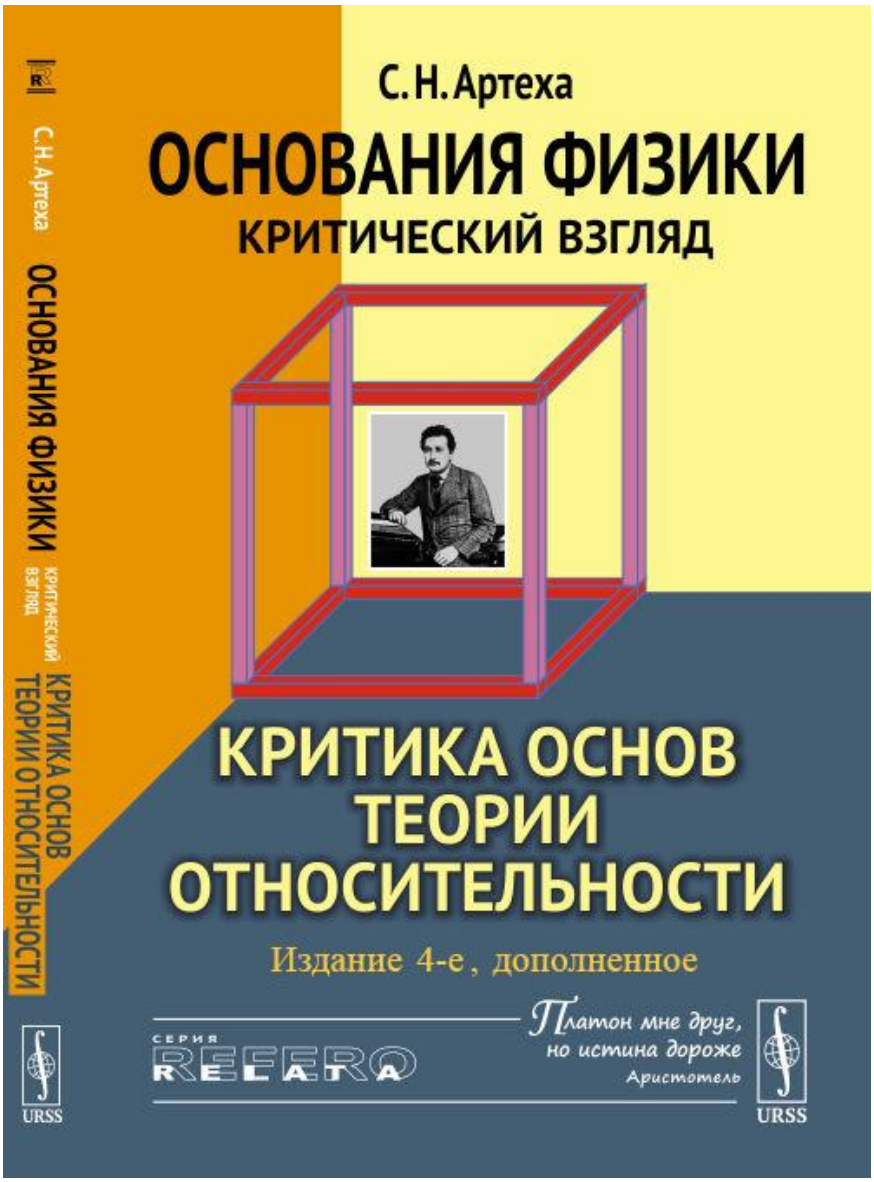
S.N.アルテハ

物理学の根拠（批判的な眼差し）：

相対性理論の基礎に対する批判

増補第 4 版



セルゲイ・ニコラエヴィッチ・アルテハ

数理物理学準博士，研究室長。1989 年，V.I.レーニン記念タジク国立大学卒業。ロシア科学アカデミー宇宙科学研究所大学院課程修了（1992 年，準博士号取得)。1993 年よりロシア科学アカデミー宇宙科学研究所宇宙地球物理学部門に勤務。地球物理学，プラズマ物理学，大気物理学，統計物理学その他の分野の研究（ゆらぎのカオスの研究，波動的・量子力学的障壁の解明，非線形系のモーメントによる記述方法の開発，プラズマ中における回転の自発的発生の分析，局所的構造がプラズマの運動学的・電気力学的性質および波動の伝播と散乱に及ぼす影響の解明，大気中および大規模渦（台風・竜巻タイプの渦）中における電気的過程の研究，プラズマおよび大気中における乱流の自己組織化的・発生的性質の過程の分析，等々）に従事している。その他，余暇には物理理論の基礎分析や数論などに取り組んでいる。

UDC 530
LBC 22.31

セルゲイ・ニコラエヴィッチ・アルテハ『物理学の根拠（批判的な眼差し）：相対性理論の基礎に対する批判』（増補第 4 版），モスクワ, LENAND, 2025, 全 331 頁（Relata Refero）

本書のテーマは相対性理論の基礎についての体系的，批判的な分析である。批判の対象となるこの理論の新たな論理的矛盾に主な注意が払われる。論理的矛盾が存在すれば，いかなる理論も価値がゼロになってしまうからである。本書では相対性理論，またこの理論から導き出される帰結が抱える数多くの論争点と矛盾点が詳しく検討され，空間，時間，同時性の相対性といった特殊および一般相対性理論の基本概念が，論理的にも物理学的にも破綻していることが証明される。本書には相対性理論の出現と確立に関係する諸実験の解釈についての批判的分析が含まれている。さらに，本書では相対性理論の動力学概念に対する批判が詳しく提示され，この理論の中で「正常に機能しているかのように見える」部分―相対論的動力学―が矛盾しており，根拠を欠いていることが示される。

この第 4 版では，一連の新たなパラドックスが追加され，検討されている問題のテーマに関連した考察や，いくつかの矛盾点についてのより詳細な分析が増補されている。

本書は大学生，大学院生，教師，科学技術者，そして物理学の基本問題について自立的に深く考えようとする全ての読者にとって有益で興味深いものとなろう。

****

日本語版について

本書は"С.Н.Артеха, Основания физики (критический взгляд): Критика основ теории относительности. Изд. 3-е, расш. и доп.－М.: ЛЕНАНД, 2018.－288 с. (Relata Refero)”のロシア語原文からの翻訳である。

原著書は http://www.antidogma.ru/bookru.pdf で入手することができる。

著者：セルゲイ・ニコラエヴィッチ・アルテハ（Сергей Николаевич Артеха, Sergey Nikolaevich Arteha/Artekha），数理物理学準博士，ロシア科学アカデミー宇宙科学研究所研究室長

著者の Web サイト： http://www.antidogma.ru/index_ru.html このサイトから本書のロシア語原文の他に，英語訳，フランス語訳，スペイン語訳，ドイツ語訳も入手することができる。

訳者：吉田　正友 （サイト「物理の旅の道すがら」http://naturalscience.world.coocan.jp/）

日本語版公開：第 2 版：2014 年 3 月，第 3 版：2019 年 2 月，第 4 版：2026 年 9 月

* 訳文中の角括弧［ ］内は訳注である（文献番号を除く）。
* この第 4 版における主な増補部分については巻末の「訳注 1」を参照されたい。
* 訳文中の「物質*」については巻末の「訳注 2」を参照されたい。

S.N.アルテハ『物理学の根拠（批判的な眼差し）：量子力学』（2015 年）および**『物理学の根拠（批判的な眼差し）：電気力学』**（2015 年）を訳者のサイトで入手することができる。

目　次

第 4 版まえがき …… 6

第 3 版まえがき …… 7

第 1 版まえがき …… 10

第 1 章　特殊相対性理論の運動学 …… 14

1.1. 序論 …… 14
1.2. 相対論的時間 …… 16
1.3. 同時性の相対性 …… 37
1.4. ローレンツ変換 …… 40
1.5. 距離収縮のパラドックス …… 42
1.6. 相対論的速度合成則 …… 51
1.7. 特殊相対性理論の運動学に対する補足的批判 …… 58
1.8. 第 1 章の結論 …… 68

第 2 章　一般相対性理論の基礎 …… 70

2.1. 序論 …… 70
2.2. 一般相対性理論の基礎に対する批判 …… 70
2.3. 相対論的宇宙論に対する批判 …… 88
2.4. 暗黒物質*と暗黒エネルギー …… 92
2.5. 重力波 …… 94
2.6. 第 2 章の結論 …… 97

第 3 章　相対性理論の実験的基礎 …… 98

3.1. 序論 …… 98
3.2. 一連の実験の相対論的解釈に対する批判 …… 99
3.3. 第 3 章の結論 …… 127

第 4 章　特殊相対性理論の動力学 …… 128

4.1. 序論 …… 128
4.2. 特殊相対性理論の動力学概念 …… 130
4.3. 相対論的動力学の一般的解釈に対する批判 …… 143
4.4. 第 4 章の結論 …… 167

付論Ａ．不変速度の存在の「証明」に関する分析 …… 169

付論Ｂ．あり得る周波数パラメーター化 …… 179

付論Ｃ．あり得る周波数依存性メカニズム …… 180

付論Ｄ．いくつかの仮説に関するコメント …… 184

あとがき …… 192

文　　献 …… 197

索　　引 …… 210

［訳注 1］第 4 版における主な増補部分一覧 …… 212

［訳注 2］訳文中の「物質*」について …… 213

第 4 版まえがき

根っこを見よ！
（コジマ・プルトコフ）

最近 10 年間における出来事は，世界において善と悪，真理と虚偽の対立の活動期が始まったことを物語っている。このような状況において，我々国民が汗と血によって稼いだ資金を似非理論の支援に配分することは，きわめて不道徳なことである。それとは逆に，この状況が，自分の研究結果の真実性と実践的検証可能性に対する各科学者の責任感の向上を促進しなければならない。もう「居心地のいい殻から這い出て」，自分の市民としての選択を行うべき時がきた。

この第 4 版では，暗黒物質*，暗黒エネルギー，重力波といった最新流行の虚構の分析，一連の最新の実験の分析，また，新たな最重要のパラドックスに関する叙述が増補され，一連の微妙な問題や代替案に関するより詳細な考察がより幅広くなされ，旧版で取り上げられていた矛盾に対する詳細な説明が増補されている。新版では，筆者の著作 2 点を含め，引用文献［160-207］が増補されている。

2023 年 3 月

第３版まえがき

私の仕事は真理を語ることであって，
それを信じ込ませることではない。
（J.-J. ルソー）

虚偽あるいは無根拠と思われることは，たとえその代替となるものを
我々が持っていなくても，捨て去らなければならない。
我々がそこに真理があると考えようが考えまいが，
錯誤が錯誤であることに変わりはない。
（ヴォルテール）

本書第 1 版［133］が世に出てから，既に 14 年間という短からぬ歳月が過ぎた。ロシアにおける状況は，本書において提起されている問題に関する議論の可能性という面では幾分改善された。一部の会議では，疑わしい理論（相対性理論，ビッグバン，相対論的宇宙論，等々）に対する批判が含まれている，根本的な問題に関する報告を行い，討論することが許されるようになった。一部の完全に正統派系の科学雑誌（今のところ，それはロシア科学アカデミーが出版している専門雑誌ではないが）は，それらの理論を批判する論文や代替理論のアイデアを述べている論文を掲載するようになった。多数の人々が，自分自身の観点を持ち，それを公の場で表明することを恐れなくなった。基礎的な性格を持つものも含め，新たな研究成果やアイデアについて議論することのできるセミナーが，様々な所で定期的に開催されている。それゆえ，全体的に見れば，徐々にではあるが，自己欺瞞からの解放と自覚のプロセスが進行している。この 14 年間，筆者自身もまた，英語の雑誌や国際会議の資料において，さらに多数の論文［134~138, 152~155］を発表してきた。そして，この間におけるロシア内外の研究者たちとの間の交流は，実に膨大な量に達した。また，［201］において，2 つの相対性理論の出現時からの反相対論闘争の経過が著者によって手短に叙述され，これらの理論を批判する何千人もの誠実な研究者たちの名前が書き出され，何千点もの批判的発表物への言及が与えられた。

相対性理論に対する批判者たちの中には，12 人のノーベル賞受賞者を含め，多数の著名な哲学者, 数学者, 物理学者, すなわち,（教科書を書いたり書き写したりしただけでなく）科学の発展に開拓者として貢献した人々が含まれている。この理論に対する錚々たる反対者の数は，この理論の錚々たる支持者の数に匹敵する。それゆえ，ここでは，権威はどうやら裁判官ではないようだ。相対性理論に対する批判者たちは現実に観測されている効果を否定しようとしているなどという言説を，信じてはならない。それが嘘であることは，次の例を取れば最も容易に理解することができる。魔法使いが太陽を昇らせようと呪文を唱えているところを思い浮かべていただきたい。我々が言っているのは，我々は日の出を見ないであろうということではない。我々が主張しているのは，魔法使いの呪文は日の出とはいかなる関係も持っていないということのみである。相対性理論は魔法使いの呪文である。その呪文は，相対性理論がその説明の功績をもっぱら自らに帰しているあらゆる効

果と，まったく無関係なのである。このように，この理論を自分自身で分析し，諸現象の真の原因と具体的なメカニズムを探求する可能性を否定するべき理由は存在しない。例えば，数学においては，無限個（！）の裏付けは，たった 1 個の反証に勝ることはできないということを忘れてはならない。相対論者たちは，そこにおける矛盾が彼らによって故意に隠蔽されている事例の数を競うのではなく，他ならぬ反対者たちによって見出された矛盾について考えるべきである理由は，まさにここにある。真理の探究は，反対者たちからの異議に対する真剣な態度を常に前提としている。

真の科学者の姿勢は，次の言葉のうちに鮮やかに照らし出されている。「**真理を発見しようと欲する者は，論敵の主張や推理のうちに，論敵に劣らぬほど熱心に真理を探し求める。……彼は，論敵がその考えを最も正確に表現するための言葉を見出せるようにするため，論敵に力を貸そうと努める。彼は，論敵自身が自らを理解している以上に深く，論敵を理解しようと試みる。具体的な問題に関する論争の参加者は，論敵が主張している事柄を覆したり，貶めたり，ぶち壊したりする目的で論敵の論拠の個々の弱点を利用するのではなく，論敵の主張から，真理の発見に役立つあらゆる価値あるものを抽出するべく努力を払わなければならない**」（T. コタルビンスキ［訳注］）。

真理の探究と論争の進め方に対して真の科学者としての態度を取っている者は，はたして多いと言えるのだろうか？ 科学理論というものを，「陽のあたる場所」をめぐる動物的な競争本能の精神に従って受け止めてはならない！ もう，「問題をカーペットの下に掃き入れる」という卑しい習慣を捨てようではないか。そしてそれとは逆に，物理理論のうちに存在する不整合，他の事実や検証済みの理論との間の矛盾，アルゴリズムを欠いた手法，ad hoc な追加的仮説，物理学上，哲学上，方法論上あるいは数学上の未解決の諸問題に関する情報を正直に伝え合うようにしようではないか。これらの問題が正直に明るみに出されたとき，あらゆる研究者はそれらを解決しようと試みることができるようになる。我々の世代がそれらを解決できなかったとしても，我々に続く諸世代は，きっとそれを成し遂げることができるに違いない。重要なのは，将来の各新世代がゼロから出発して，「それらの問題をカーペットの下から，まるで地下活動のように人目を避けてこっそり引っ張り出す」ようなことをする必要がなくなるようにすること，そして，最も若く，最も生産的な年齢の人々がそれらの問題について考え，解決することに全力を集中することができるようにすることである。（例えば，「傑出した」物理学者たちによる科学の終焉に関する愚痴話とは違って，「〇〇に関する未解決の諸問題」という題名のついた数学書は，常に人にインスピレーションを与えてくれるものである。）

本書第 1 版は，基本的に，簡潔な命題の形で手短に書かれていた（多くの論点は，独立した論文の量になるまで補足を加えたり，詳述したりすることが可能であった）。しかし，これは願望にすぎないかもしれないが，第 1 版は，存在する問題をあらゆる人が理解できるように叙述されていた。また，第 1 版で述べられていた内容はその緊急性を失ったわけではないが（それゆえ，この新版からは第 1 版の内容はまったく削除されていない），それ

［訳注］ タデウシュ・コタルビンスキ（Tadeusz Kotarbiński）は，戦間期ポーランドにおけるポーランド学派（ルヴフ–ワルシャワ学派とも言う）の代表的な哲学者。ポーランド学派は，文化史上稀に見る社会的色彩の濃い文化運動を担った，論理学者・哲学者・数学者らの総称である（『岩波哲学・思想事典』の「ポーランド学派」の項目等を参照した）。

でもやはり，旧版を踏襲した版ではなく，大幅に増補された版を出版することとした。本版においては，新たな重要なパラドックスに関する叙述，追加的な文献の引用（2 つのまえがきにおけるものも含め）が加えられ，様々な側面や代替案に伴う一連の微妙な論点についての詳しい議論がより幅広く展開され，旧版で取り上げられていたいくつかの矛盾についてのより詳しい説明が補足されている。これは，相対論者たちによる偏見に捕らわれた本書の読み方を考慮して行われた。言うまでもなく，それは，ここで提起されている問題の本質を解明したいという願望が彼らに少しでも生じるならば，の話ではあるが。

筆者には，60 億の地球の住民に何かを納得させるいかなる物理的可能性もない（1 人当たりの時間が 1 秒だったとしても，結局，人間の寿命を超えてしまう）。それに，達成不可能なそんな目標は立てるものではない。自明のことだが，それぞれの人間は，自分自身の選択を行う完全な権利を持ち，「自分の殻に閉じこもって生き続ける」という選択も含め，その選択について責任を負う。ただし，「馬の目隠しには，首輪，くつわと鞭が必ず添えられる［いかなる物事にも必ず満たされるべき必要条件がある］」ことに，注意を促しておきたい。それ以外の全ては，人間の個人的な選択である！ だから，私は，それが自覚的なものである限り，あらゆる選択に敬意を表し，それを受け入れる。

2 つの相対性理論に関する批判的分析に取り掛かるに当たり，私は，全ての人が，せめて自分自身に対してだけでも正直であり続けることを希望する。では，素晴らしい真理探究の旅となりますように！

2017 年 11 月

第１版まえがき

親切で正直，聡明にして楽天的な
我が両親に本書を献げる

前世紀における技術分野の成果がきわめて目覚ましいものであったのにくらべ，科学分野の成果は（科学界の取り巻きが流布している宣伝文句とは逆に）それよりずっとささやかなものでしかなかったことを認めなければならない。それらの成果はいずれも，理論物理学者たちの「ブレイクスルー」というよりは，むしろ実験家や技術者，発明家たちの努力のおかげとみなすことができる。「後付けの説明」なるものの価値がどの程度のものかは，誰もが知っている。それだけではなく，理論家たちのそのような「ブレイクスルー」から生じた「損失」について，実態に即して評価を行うことが望まれる。前世紀におけるもっとも重大な「損失」―それは，物理学全体の統一性と相互連関，すなわち，科学的世界観と物理学諸分野へのアプローチの統一性が失われたことである。現代物理学が「つぎはぎだらけの毛布」の様相を呈していることは明らかである。そして人々はこの毛布を使って，ばらばらに切り離された研究や互いに脈絡のない事実の堆積からなる，見通せぬほど巨大な山を覆い隠そうと試みている。十分に検証されたいくつかの基礎理論が現代物理学の基礎をなしているという，人為的に支持されている意見とは裏腹に，（個別の具体的現象のための）ad hoc な仮説や，さらにはまた，問題の既に知られている答えを覗き見た学生さながら，計算結果を「必要な方向」に補正するという科学を装った行為が，あまりにもしばしば見受けられる。基礎理論が実際的応用において持つ予測力は，（「科学界の芸人」たちの主張とは異なり）ゼロに近い。これはとりわけ，特殊相対性理論に対して当てはまる。「特殊相対性理論の」実際に検証可能な結果は，この理論の創出以前に得られたもの，あるいはこの理論のアイデアを用いることなしに（往々にしてこの理論に対する反対者によって）得られたものであって，それより後に「収集家」たちの努力によってこの理論の成果に「組み込まれた」ものなのである。

相対性理論は現代物理学にがっちりと統合されているのだから，その土台をほじくり返すべきではない，そんなことをするより「建物の上階」を増築した方がいい，この理論を批判しても「コブをつくる」［失敗して痛い目にあう］だけだ，と思われるかもしれない（相対性理論に対する批判を永久機関の発明になぞらえた，ソ連科学アカデミー最高幹部会の決定を思い出そう）。まともな科学雑誌は，今後 10 億年間検証することのできない仮説であれ，永久に検証不可能な仮説であれ，審査をいとわないものだ。ところが，相対性理論の根本にかかわる問題については，その審査を全ての科学雑誌が引き受けるわけではない，と言うにはほど遠いのが現状である。状況は，これとは逆でなければならないのではなかろうか。相対性理論の基礎は高等教育機関だけでなく，学校でも教えられているのだから，「若者の精神を堕落させない」ためには，どんなに小さな疑問が生じた場合にも，あらゆる問題が科学界によって真剣かつ詳細に検討されなければならない。

しかし，科学エリートの中には，少数だがきわめてアクティブ，かつきわめて地位の高い一群が存在し，これが奇妙にコード化されたやり方で振る舞っている。彼らは，「尻尾がピンクの黄色い象」（ビッグバン後に必ず残ったはずの月内部に存在する超重粒子，あるいはこれに類するもの）のことなら，保護者のように真面目な顔をして議論をすることができる。ところが，相対性理論についての議論の試みとなると，彼らは統一センターからの指令に従っているかのように，そしてまるで自分の体から下着をはぎ取られ，そこに何か「ほくろ」のようなものが見つけられてしまうのを恐れるかのように，アクティブに活動し始める。これはただ単に，彼らに対して「大至急敵を撃滅せよ」という命令が下り，それで彼らは，しばしば相手の論文を読みもせずに，相手の顔に泥を塗りたくっているにすぎないのかもしれない（幸い，筆者は今までのところこの難を免れている）。いかなる批判であれ，たとえ不愉快きわまりない批判であっても，彼ら自身の理論を改善する力を持った何らかの合理的核心を含んでいる可能性があるにもかかわらず……。

相対性理論は，単なる理論としての役割（例えば電磁理論に応用される各種の計算方法のうちの一つのような役割）ではなく，第一原理としての役割，さらには他のあらゆる検証済みの原理や概念（時間，保存則，等々）を無効とする力を持つ，「至高原理」の役割さえを自らのものとして要求している。したがって，相対性理論はより入念な論理的，実験的検証を受ける用意がなければならない。本書で示されるように，この理論は論理的検証に耐えられない。

相対性理論は，それぞれの局所的要素には矛盾のない，いわゆる「不可能な構造体」（本書の表紙に描かれている「不可能な立方体」，等々）の実例をまざまざと示している。この理論は局所的な数学的誤りは含んでいない。しかし，我々が「記号 t は時間を意味する」と言うやいなや，ただちに構造体を延長することが可能となり，そして矛盾が現れる。空間の性質等々についても状況はこれと同様である。

この理論の元々の「パラドックス」はただ単に，相対論者たちによってあたかも真理であるかのように，ある種の「奇妙さ」に転化されたものであるにもかかわらず，長い間，我々は「パラドックスとともに生きる」という考え方を教え込まれてきた。しかし現実には，正常な人間なら誰でも，もしある理論の中に確実な論理的矛盾が存在する場合には，科学全体が依拠している論理とその個別的理論との間で選択を行う必要があることを理解している。個別的理論の方を選択することができないことは明らかである。他ならぬこの理由により，本書は相対性理論の論理的矛盾についての検討から始まる。そこでは論理の問題に主な注意が払われる。

現実の現象を記述するあらゆる物理理論は，「イエス／ノー」タイプの原理に従って実験的に検証することができる。相対論者たちもまた，「実験的に検証不可能なものは，存在しないものである」というアプローチを形式的には支持している。相対性理論は低速度（例えば運動学の場合）においては古典物理学に移行しなければならず，その古典的結果は一意的である（観測系に依存しない）ことから，相対論者たちはしばしば，パラドックスを古典的結果と一致する唯一の結果に帰着させる方法で，自分の理論に矛盾が存在しないことを証明しようと試みている。これはそれ自体，相対性理論の運動学的効果を実験的に検出することが不可能であること，すなわち，その効果が実際には存在しないこと（つまり，導入された相対論的な値は補助的な性質のものであるという，ローレンツの元々の見解）

を認めていることである。相対論者たちは数多くの論争点を実に様々なやり方で「説明」しようと試みている。すなわち，各人，「裸の王様」の衣装の存在しない細部を自分勝手に考え出すことを許されている。この事実もまた，この理論の非一意性を示す間接的徴候となっている。相対論者たちは，まったく相対論的でない分野の理論も含め，可能な限り多くの理論を相対性理論と整合させることによって自分の理論の意義を大きくしようと試みている。全世界に広がるこのような連携の「クモの巣」が持つ人為性は，一見して明らかである。

相対論者だけでなく，物理学には独自の法律があることを忘れた数学者もまた，相対性理論を（自分の活動領域として）擁護している。第1に，いくつかの最終結論の立証可能性は，その理論の真理性を証明しない（これは，フェルマーの定理が正しいという事実からは，350年の間に提出された「証明」が正しいという結論は導き出されない，あるいはまた，恒星や惑星の観測される運動からは，水晶球［プトレマイオスが導入した，惑星や恒星がその上に存在するという天球］が存在するという結論は導き出されないのと同様である）。第2に，数学においても，式で表すことが困難で，かつ解を求めることを難しくするような追加条件（例えば自然数解を見出せという条件）が存在する。物理学においては，このような事実は，例えば「値の物理的意味」という概念によって表現される。第3に，数学が任意の対象（実在するものであれ，実在しないものであれ）について研究することが可能であるのに対して，物理学が取り組んでいるのは，現実に測定可能な物理量の間における相互関係の探求のみである。もちろん，現実の物理量をいくつかの関数の組み合わせに分解したり，あるいは何らかの複雑な関数に代入したり，これらの組み合わせの意味を「でっち上げ」たりすることは可能である。しかし，それは学校の数学でやる代入の練習以上のものではなく，その練習は難しさの度合いにかかわりなく，物理学とは何の関係も持たない。

我々は，「科学界の芸人」たちの（自らの利益のために）だましたい，あるいはだまされたいという願望は彼らの良心にゆだねておいて，相対性理論のいくつかの疑問点について偏見のない分析を試みることとしよう。

相対性理論の誕生以来の期間をつうじて，そのパラドックスや相対論者の実験に対する批判を含んだ論文が幾度となく現れ，この理論を修正しようとしたり，エーテル理論を復活させようとしたりする試みがなされてきた。しかし，通常，その批判は個別的な性格を持ち，この理論の個々の側面にしか触れていなかった。ようやく前世紀の末になって批判の流れが著しく大きく広がり，その質も高まった（本書末尾の文献一覧には，これに関連する論文と書籍が掲げられている。その内容については，その題名自体が語っている）。

批判側の場合とは異なり，相対性理論の側には専門家による基礎的な擁護論［3, 17, 19, 26, 30, 31, 33-35, 37~41, 158, 159］が存在することを認めなければならない。それゆえ，筆者が自らに課した主な目標は，他ならぬその優れた相対性理論擁護論に依拠しつつ，この理論に対する首尾一貫した体系的批判を与えるということであった。本書の本論部分は，一般に採用されている暗黙の慣行に従い，査読付きの国際科学雑誌（*Galilean Electrodynamics, Spacetime & Substance*）による審査を受け，これを通過した内容からなっている。その結果，論文［48~55］を嚆矢として，課せられた課題は徐々に達成されつつある。これらの論文においては，相対性理論の基礎をなしている諸実験，特殊および一般相対性理論の基礎的な運動学概念，相対論的動力学の動力学概念とそこからの帰結が詳し

く検討されている。批判的研究の流れ全体の中で，相対論的動力学に関する仕事はこれまでほとんど見受けられなかった。この事実が本書執筆の主な理由の一つとなった。

本書は，いくつかの発表論文を統一的な見地からまとめ直したものである。（しかも，読者にとって，論理の細部は自国語で読んだ方がより良く理解できるのが常である［著者の前掲論文は全て英語で書かれている］。）我々は，「不条理な絵」の全体をできるだけ完全に見て取ることができるようにするため，相対性理論のそれぞれの疑問点を，可能な限り他の疑問点とは独立した形で検討するよう努力したい。しかし，本の分量をなるべく小さくするため，本書では，検討されている問題に関する記述の教科書からの引用はなされていない。したがって，相対性理論の基礎について，読者がある程度の知識を持っていることが想定されている。また本書では，この理論の一般的解釈だけでなく，可能な「相対論的代替案」もしばしば検討されている。これは，疑わしい解釈について別の相対論的選択肢を作り出し，相対性理論を修正しようという誘惑が誰かに生じるのを防ぐためである。「怪物」はとっくに死んでいるのだから，生き返らせようとするのは無意味だ―これが筆者の見解である。

首尾一貫した叙述の論理を選択することはきわめて困難であった。どの問題についても，その問題に付随する多様な論点全てを本書の同じ箇所で一度に叙述してしまいたいという気持ちが生じたが，それはまったく無理なことである。読者に本書を最後まで読み通していただけるだけの十分な力と忍耐があれば，本書を読み進める途中で生まれてくる疑問や疑念は，順次解決されていくものと筆者は期待している。本書の構成は次のとおりである。第 1 章では時間と空間に関する相対論的概念，また相対論的運動学のその他多数の側面の描像が示される。第 2 章は一般相対性理論の基礎と相対論的宇宙論に対する批判をテーマとしている。第 3 章では相対性理論の実験的裏付けに対するコメントが与えられている。その際，我々は，電磁気学，またはエーテルに関する個別的仮説にしか関係を持たない実験については詳しく検討することはせず（これはそれ自体で一個の大きなテーマとなる），もっぱら，相対論の運動学と動力学の本質そのものにのみ関係する一般的な実験について分析を行う。第 4 章は特殊相対性理論の動力学概念，また相対論的動力学の結果と解釈に対する批判を内容としている。各章の終りでは短い結論が与えられている。付論 A（これは第 3 版において増補された）では不変速度なるものの存在の必要性に関する数学的な似非証明が分析されている。それ以外の付論ではいくつかの個別的仮説が検討されている。

2003 年 9 月

第 1 章　特殊相対性理論の運動学

1.1. 序論

普通，特殊相対性理論の標準的な教科書は，相対性理論の出現と確立に先行して生じていたと言われる物理学の危機なるもの，そして諸実験についての記述から始まる。もっとも，特殊相対性理論の創出は実験的裏付けを必要としない単なる理論上の「ブレイクスルー」にすぎないという見解［38］も存在する。筆者はこのような見解に賛同しない。なぜなら，物理学は何よりもまず，実在する世界について説明し，観測（測定）される物理量の間の相互関係を見つけることを使命としているからである。とは言え，我々は諸実験の分析ではなく，相対論的運動学についての検討からこの本を始めることにしよう。問題は，観測される同一の現象を，いくつかの理論によってまったく異なった仕方で解釈しようとすることが可能であるということだ（物理学では常にそうであったし，これからもそうであろう）。しかし，何らかの理論に論理的矛盾が発見されたときは，その理論を棄却することになっている。物理学の歴史においては，多くの現象の解釈が絶えず変化してきている。それゆえ，そのような変化という点で，前世紀が最後の世紀であったなどと考えるべきではない。

相対性理論に対するほとんど宣伝に類する支持意見，また特殊および一般相対性理論の教科書やポピュラーサイエンスの文献では，「相対性理論の実際上の重要性」，「全ての数学的計算，そしてこの理論から得られる帰結の唯一性と妥当性」，「数式の単純さとエレガントさ」，「実験による理論の完全な立証可能性」，「論理的無矛盾性」といった命題が謳われている。粒子動力学に関する問題はひとまず脇において（この問題は第 4 章で検討される），運動学概念についてのみ検討すると，「相対性理論の実際上の重要性」がゼロであることは明白である。相対論的運動学の唯一性と理論的妥当性も疑問の対象とし得る［58, 65, 102, 111, 132, 144, 145, 148~151, 156, 157］。文献［48~50, 52, 134~138, 152~155］では，時間，空間，同時性の相対性に関する基礎的概念にかかわる一連の論理的パラドックスが詳しく分析され，特殊相対性理論が論理的妥当性を完全に欠いていることが示されている。また，これらの文献では，特殊相対性理論が実験的裏付けを完全に欠いていること（本書第 3 章はこの問題をテーマとしている），そして解の非唯一性のある種の証明として，特殊相対性理論の全ての計算の周波数パラメーター化の可能性が記述されている（このパラメーター化は前掲引用論文の主要目的ではなかった。周波数パラメーター化は付論 B と C において個別的仮説として提出されている）。

本章では，特殊相対性理論の運動学概念に対する批判が提示され，教科書に含まれている「あたかも真理であるかのように見える」一連の誤りに注意が向けられる。これら全ては，既にニュートンが先人たち（とりわけ古代ギリシア人）の仕事を見事にまとめ上げ，その著書『自然哲学の数学的諸原理』において明確な形で定式化した，古典的な空間と時間の概念に戻ることを余儀なくさせる。相対論者たちは何がなんでも従来の認識を崩壊させ（主に「絶対的」という言葉に難癖をつけるやり方で），いかなる代償を払ってでも「我

らの新たな偉大なるもの」をゆるぎないものとするべく邁進しているが，自分たち自身では時間，空間および運動の概念に対していかなる定義も与えることができず，ただ単にこれらの言葉をもて遊んできたにすぎない。それゆえ，この序論においてニュートンの古典的概念［28］について手短ではあるがコメントしておくことは無駄ではなかろう。

自然科学上の実際的な必要性から出発したニュートンは，「あらゆる生き物」（例えば，人間の意見によれば抽象的思考能力を持たないとされる昆虫）が上記の諸概念を「持ち，これを実際に利用している」ことを理解していた。したがって，これらの概念は基本概念，すなわち何かを経由する方法で定義することが不可能な概念に属する。つまり，可能なのは，これらの概念のもとで意味されているもの，あるいは実際の場で利用されているものを列挙すること，そして理想化された数学的計算において含意される抽象的概念を分離することのみである。それゆえ，ニュートンは絶対時間，真の時間，数学的時間または長さ（この場合，これらは全て単なる同義語にすぎない！）を相対時間，見かけ上の時間または日常的時間から明確に分離した。したがって時間は，検討されている過程の長さと，基準となる過程の長さとの数学的な対比を意味する。古典物理学における共通時間の導入の可能性は，信号伝達速度の明らかな有限性と直接的に関係していたわけではない。共通時間の獲得は，むしろ，局所的時間から所与の実用精度で時間を換算する可能性に対する確信と関係していた。ニュートンはこれとまったく同様の仕方で，絶対空間と相対空間，絶対位置と相対位置，絶対運動と相対運動を分離した。現象の因果関係の探求を科学の目的の一つとみなすとすれば，古典的アプローチの重要な肯定的側面は，検討対象をそれ以外の宇宙から分離するという点にある。例えば，圧倒的に多くの場合，「観測者の目の運動」は進行している具体的過程に対して，ましてやそれ以外の全宇宙に対して顕著な影響を及ぼさない。もちろん，「見かけ上の効果」が生じることはあるが，通常，検討対象たる過程にのみ集中するため，計測器の校正，換算等々によってその効果は取り除かれる。古典的な運動学概念もまた，検討対象たる過程から独立した基準点と参照基準を定義する目的により，事実上，ニュートンによって導入されたものである。このことが，大きく異なる多様な現象を統一的に記述し，様々な知識分野を連結し，記述を簡素化するための土台を作り出している。実際，直感的にも古典的概念は感覚において我々に与えられるものと一致しており，これを利用しないことは「耳を使って歩こうと努力する」のに等しい。それゆえ，もしひょっとして，何らかの記述において，ある種の時間が何らかの過程に依存するようになったとしても，それはせいぜいのところ，不正確な基準が選ばれた，あるいは「時間」と「時計」の概念が混同されたのだということを意味しているにすぎない。幾世紀にもわたる科学の進歩は，運動学の古典的理解（このような理解は既に古代ギリシア人によってまとまった形で形成され始めた）は論理の内的矛盾も，実験との矛盾ももたらさないことを示している。

次に，相対論者たちがこの分野でいったい何を「しでかした」のかという問題に話を進め，特殊相対性理論の時間と空間に関する基礎的概念の論理的矛盾について検討する。まず時間概念から始めよう。

1.2. 相対論的時間

最初に，どうすれば最も簡単に相対性理論の運動学概念の誤りを証明できるかについて述べよう。「イエス／ノー」タイプの結果の場合，2 人の観測者のうち正しいのは 1 人だけで，それ以外はあり得ないはずである。したがって，相互排他的な複数の意見において，運動している観測者たちのうち少なくとも 1 人は正しくないはずである。ところで，この状況は，第 3 の静止している観測者との関係においては，常に対称とすることができる。このとき，第 3 の観測者の計測器の示度が古典的な結果（$v = 0$で検証された結果）と一致することになり，第 1 の観測者の示度も第 2 の観測者の示度も，第 3 の観測者の示度に移行しなければならない。しかし，第 1 と第 2 の観測者の両方の運動の結果，3 人の観測者全員の計測器の示度は相異なったものとなる。状況の対称性により，第 1 の観測者も第 2 の観測者も正しくないということになり，正しい結果（古典的結果）は第 3 の静止している観測者のみによって記述される。変形版双子のパラドックスにおける時間概念の矛盾性［48,51］（時間は不可逆である！），そして「同時性の相対性」概念の矛盾性［50］がまさにこうして示された。（文献［33］の時空図は普通の双子のパラドックスの物理さえ変えないことを指摘しておこう。すなわち，地球上に暮らす双子の片割れの付加的な加齢全体は，遠い地点において宇宙飛行士の運動が変化したときに突然（！）生じるのであって，同時線の変化として幾何学的に表現されるだけである。）

相対性理論の詳しい分析を古典版双子のパラドックスから始めよう。

古典版双子のパラドックス

伝統的な双子のパラドックスに関する周知のまことしやかな「説明」の要点は，双子の一方が乗っているロケットが方向転換したとき，彼の加速の存在により，2 つの基準系は等価でなくなるという，状況の非対称性を示すということである。残念ながら，（同時線の取り替えの導入や一般相対性理論への信仰を利用した）「数学マジック」が多数の研究者たちを催眠術にかけている。しかし，物理学にとっては，数学記号ゲームのみでは不十分である。物理学は，諸現象の原因，それらの実現メカニズム，利用される諸量の物理的意味の探求に取り組む学問である。物理学と数学の違いはまさにここにある。加速の役割を詳しく検討しよう。

古典的時間と同様に，任意の物体の相対論的固有時間はその物体自体の運動速度に依存しないことを思い出そう。双子の 1 人目が重力のない慣性基準系に留まっており，2 人目は宇宙旅行をしている宇宙飛行士であるとしよう。第 1 に，特殊相対性理論の教科書に従えば，**兄弟の各人の意見によれば**，加速（方向転換）以前には，**他方の兄弟**はより年下でなければならないとされていることを思い出そう。それは初期状態―加速以前の状態―であることに注目しよう。そもそも，加速時間の間を除き，飛行全体の時間を通じて，特殊相対性理論における状況は双子の双方にとって完全に対称的である（教科書ではそのような状態が取り上げられている）。したがって，**兄弟の各人の意見によれば**，**他方の兄弟**の年齢の増大は，飛行時間のうちそれらの（加速を受けていない）部分の間における年齢の固有の増大よりも小さくなければならない。加速したのは宇宙飛行士の兄弟のみであるから，

（相対論的教科書に従えば）2 人が出会ったとき，他ならぬ彼が，地球に残った兄弟より年下であると宣言される。これが最終状態である。しかし，若返り（固有時間の逆戻りの運動）は不可能である以上，宇宙飛行士の兄弟は，自分の兄弟との間の自分の年齢差をプラスからマイナスに替えるために，加速時間の間に加速以前よりさらに若くなることはできなかった（先ほど注目した「初期状態」を思い出していただきたい）。すなわち，特殊相対性理論の結果を信じた場合には，地球に残った兄弟は，（初期における反対の年齢差を埋めるために）宇宙飛行士の双子よりはるかに大きく加齢しなければならない。唯一の作用は加速であったのだから，宇宙飛行士の双子の観点から見ると，加速しているのは彼自身であり，より速く加齢しているのは他方の兄弟だということになる！ （周囲の人々全員の加齢の度合いをより少なくするため，宇宙飛行士やスポーツ選手が加速することを禁止すべきではなかろうか？） そのような「遠隔現象」の原因は，いったいどこにあるのだろうか？ しかも，メカニズムが欠如している（双子 2 の加速は遠隔における双子 1 の加齢に影響を及ぼすことはできない）。

第 2 に，図 1.1 から分かるように，加速を伴う飛行区間$|OA|, |BC|, |CB|$および$|AO|$の長さは，相異なる飛行に対して同一の長さに選ぶ（固定する）ことができるのに対し，同一の大きな等速度での飛行区間$|AB|$と$|BA|$の長さは，相異なる飛行に対して著しく大きく変化させることができる。例えば，ある場合には 50 光年の距離の飛行を選び，別の場合には 100 光年の距離の飛行を選ぶことができる。**同一の加速度**が **2 対**の双子の**相異なる**年齢差（$v \to c$のとき，それぞれ$t_2 - t_1$~50年と$t_4 - t_3$~100年）を説明することができないことは明らかである。さもなければ，因果性が失われる。すなわち，加速度が同一であるにもかかわらず，その影響は相異なる対の双子に対して相異なったものになる！ この考えを発展させると，加速度の符号を絶えず変えることが可能になり（$< v >= 0$），追加的加齢は恣意的なものとなる（この場合，時間の遅れと不変速度に関する特殊相対性理論の公式は意味を持たない）。

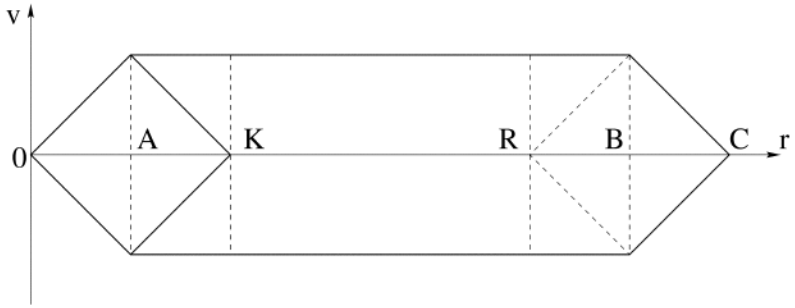


図 1.1. 双子のパラドックスにおける加速の役割

第 3 に，地球に残った兄弟は，加速度運動，すなわち区間$|OA|$と$|AK|$における往復運動にのみ関与することができる。これらの区間は，宇宙飛行士の兄弟の同様の運動区間，すなわち$|OA|$と$|BC|$における往路区間および$|CB|$と$|AO|$における復路区間と完全に同一である。地球に残った兄弟は，宇宙飛行士の兄弟が地点 R を通過する，計算されている時刻にスタートすることができる。その結果，加速度運動の開始時刻の移動のみが観測されることになる。したがって，加速における最も重要な違いが消え去る。なぜなら，双子の両方が（彼らの固有時間によるところの）同一の加速度運動に引き入れられたからである。

第 4 に，今度はそれとは別の状況を想定してみよう。1 番目の兄弟は地球に残り，おなじみの重力（自由落下の加速度$\boldsymbol{g}$）の作用下にある。2 番目の兄弟は区間$|OA|, |BC|, |CB|$および$|AO|$のみにおいて，それと同じ加速度$\boldsymbol{g}$で加速する。そのような加速度のとき，相対論的速度にはおよそ 1 年間で到達することができることに注意しよう。その 1 年の間に加速度的年上化も加速度的年下化も起こらないことは明らかである。したがって，加速度$\boldsymbol{g}$は宇宙飛行士に対し，彼の飛行のうち小さい部分にしか影響を及ぼさない。地球に残った兄弟は，その兄弟である宇宙飛行士が等速度飛行している間に，地球の重力$\boldsymbol{g}$を受けないようにするため，宇宙に向かって遠ざかることさえできるはずであり，そのとき，彼らにとっての状況は完全に同一となるはずである。何しろ，一般相対性理論によれば，大きさが$\boldsymbol{g}$の重力の影響と大きさが$\boldsymbol{g}$の加速度の影響は等価であるのだから。今度は，いったいどちらの兄弟がより年下になるのだろうか？ 既に検討した全ての場合において，双子の一方の加速度が他方の年齢に及ぼす影響のメカニズムは欠如している。こうして，数学記号と事前に求められている特殊相対性理論の結果との一致―それはつじつま合わせ以上のものではない―，そして双子のパラドックスについての加速度を用いた元々の「説明」（アインシュタイン，パウリ，ボルン，ラウエ）は，埃まみれの科学史珍事件資料保管庫に引き渡すことができる。

相異なる宇宙飛行士が運動している過程において，彼らの加速度と速度は相異なったものであり得るが，しかし常に，ある 1 地点における出会いを作り出すことが可能である。そしてそのとき，各宇宙飛行士の意見によれば，同一の対象の年齢は相異なったものとなる。これは馬鹿げている。次に，変形した形の双子のパラドックスを検討することにより，相対性理論に関する同様の分析を続けることにしよう。

変形版双子のパラドックス

古典物理学においては，観測者たちのうちの 1 人によって得られた結果は，他の任意の観測者（実験にまったく参加しなかった研究者を含む）によって利用され得ることをあらかじめ念頭においておこう。したがって，この場合における我々の目標は，答えが常識［健全な判断力］から見て当然なものとなるような，対称的な課題設定を定式化することである。一方，一貫して（！）常識を否定し，相対性の普遍性を信じ込んでいる相対論者は，1）実験の各参加者にとっての結果，2）他の各観測者の観測結果と計算結果に関する各参加者の相対論的理解（計算）を検討し，それらの間の比較を行わなければならない。しかしどうしたわけか，彼らはこの問題では「真理」の確立のために努力を払おうとしない。ただし，彼らのうち，そのような分析をきちんと行った少数の人々は，2 人の観測者という図式の場合には相対論的効果は存在しないことを確認し（そしてこのことを言明した），あるいはまた，観測者の数がそれより大きくなると矛盾が生じることを発見した（最も誠実で勇気ある人々は相対性理論批判者の陣営に鞍替えさえした）。

一部の相対論者たちは，事象の時刻と事象に関する情報の取得時刻とを故意に混同している。それゆえ，「相対論的聖像」―アインシュタインの同期方法―についても事前にコメントをしておこう。古代のプリミティブな科学でさえ，時刻の対ごとの同期［pairwise synchronization］などという荒唐無稽なものまで堕落していなかったはずである。なぜなら，

任意の対ごとの同期方法は何らかの理論的概念を利用している（そしてそれに依存している）からである。例えば古代に，遠征中の皇帝が息子が誕生したという知らせを受け，その際，急使が皇帝の所にたどり着くのに半年かかった場合には，当然のことながら，皇帝は，息子が生まれたのは知らせを受けた時刻ではなく，半年前であることを理解した（皇帝が失敗を回避することができたのは，人々が時間を客観的に測定するために**遠方の独立した信号源―太陽―**を利用していたからである）。アインシュタインの主観主義的方法においては，空間的に隔たった所にいる観測者たちにとっての時刻は，信号の受信時刻に提示されるのではなく，**計算によって**提示される（さもないと，観測者たちの間の距離に依存してスライドする時間帯が得られ，いかなる同期も得られないはずである）。**アインシュタイン同期自体は，任意の 2 つの反対方向における光速度の相等性を事前に公準として定めている。**それだけでなく，実際にはいかなる同期も生じない：参加者の各人は**自分の計算に基づいた**時刻を他の参加者の時刻と人為的に**みなし**，その先，自分の頭の中にこの**信仰**を持って生きていく。そして，全ての思考実験をこの**信仰**に基づいて分析する。すなわち，自分自身のデータを自分自身の計算と比較する！ いったい，いかなる客観性があるというのか?! 互いに静止している観測者たちのうちの 1 番目の観測者が，自分は信号発信時刻におけるゼロ時刻を提示したという信号を 2 番目の観測者に送るとしよう。信号を受け取った 2 番目の観測者は，まだいかなる同期された時刻も提示することができない！ それゆえ，彼は，自分の同期されていない時計に基づいて時刻を記憶した上で，その信号を瞬時に反射する。今や，戻って来た自分自身の信号を受け取った 1 番目の観測者は，**自分の時計に基づいて** 2 番目の観測者による信号の受信時刻を**計算する**ことができる。**しかし**（！），その計算は，**光速度の等方性に関する仮説**（すなわち，往路における光の伝播時間と復路における光の伝播時間の相等性に関する仮説）を利用し，経過した時間を半分に割る（$2T/T = T$）ことによって行われる。ところで，この仮説は実験的に検証しなければならないはずである（さもないと，この同期方法は巧みに導入された光速度不変に関する公準の言い換えということになる）。それでもなお 2 番目の観測者が何らかの同期された時刻を提示することができるようにするため，1 番目の観測者もまた自分の信号を瞬時に反射する。そしてその 2 回反射された信号を受け取ったことによってのみ，2 番目の観測者は，1 番目の観測者の時計に基づくゼロ時刻がいつであったか，また，現在時刻が$3T$（$2T/2 = T \Rightarrow T + 2T = 3T$）であることを**計算し**，この計算に基づいて自分の時計を提示する，すなわち時刻を同期することができるようになる。このとき，2 番目の観測者もまた，光速度の等方性に関する**仮説を信じなければならない**。今や，両方の観測者の時計において，時刻は$3T$となる。今後，空間的に隔たった所にいる相互に静止した観測者たちの時刻は（アインシュタインによれば）同期されていると我々が語るとき，我々は，まさにこのような手順が行われたことを暗黙のうちに理解することになる。（ただし，もしエーテルが存在し，そのエーテルがそれらの観測者たちを結ぶ線に沿った非ゼロの速度成分を持っている場合には，光速度の等方性は存在しなくなる）。

今度はパラドックスそのものに話を進めよう。地球人の 2 つのコロニーAと Bが互いから大きく離れた場所にあるとしよう（図 1.2）。その中間に灯台 Oがある。灯台が信号を送り，信号が到着すると，それぞれのコロニーから双子の片割れが乗った宇宙船が 1 機ずつ出発する。加速度（高速度に達するための加速度）の法則は同一になるように事前

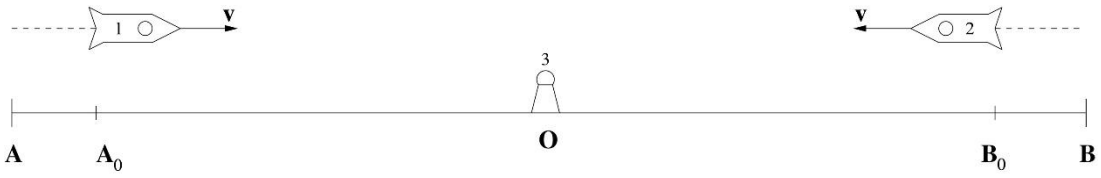


図 1.2. 変形版双子のパラドックス

に選ばれる。それぞれの宇宙飛行士の意見によれば，（灯台のそばで）互いに大きな相対速度ですれ違う瞬間，相手は自分より年下でなければならないはずである。しかし，これは不可能である。なぜなら，その瞬間，自分の姿を写真に撮り，写真の裏側に自分の年齢を書き込むことが（またはデジタル通信で写真を交換しあうことさえ）できるからである。一方の宇宙飛行士が**その後にブレーキをかけると**，他方の宇宙飛行士の写真の顔にしわが現れるなどということはない。

このパラドックスは，同年齢者たちのパラドックスとして定式化すると，さらにその度合いを強めることができる。なぜなら，特殊相対性理論では，（例えば地球上の時間帯のような）時間のカウント開始の移動ではなく，時間の進行自体（継続時間）の変化が宣言されているからである。ロケットの加速の法則およびそれに続く一定の運動速度は，同一になるように事前に選ばれる。今度は，それぞれのコロニーから宇宙飛行士ファミリーが出発するものとし，あらゆる加速度運動が停止した直後に，それぞれの宇宙船上で 1 人ずつ赤ん坊が生まれたとする。地点A_0とB_0において灯台に対して静止している観測者は，それぞれ，赤ん坊 1 と赤ん坊 2 が出現した事実を確認することができる。静止している 3 人の観測者（A_0, B_0, O）の時刻は事前に同期されており（例えば上記のアインシュタインの方法によって），また，必要な場合には，時間の共通のカウント開始は，例えば信号の受信時に（各観測者の固有時計に従って）計算によって同一の値に移動させることができる。そして赤ん坊たちが誕生した瞬間，今度は 5 人の参加者にとっての時刻が同期される。すなわち，2 人の宇宙飛行士の赤ん坊のそれぞれにとっての時間（時間は単に彼らの年齢をカウントするだけとなる），地点A_0とB_0にいる 2 人の観測者=証言者にとっての時間（彼らは自分の時間のカウント開始をゼロに移動させ，自分の時間のカウント開始をどれだけ移動させる必要があるかに関する信号を灯台上の観測者に送る），および灯台上の観測者にとっての時間（彼は，時間のカウント開始の移動に関する信号（および時間のカウント開始をどれだけ移動させる必要があるかに関する信号）の受信後に，自分の時間のカウント開始をより遅く移動させる）のゼロカウントがセットされる。ところが，惑星地球は十分大きいので，他ならぬ何年前に誰が誕生したかを見出し（地点A_0とB_0にいる観測者が宇宙飛行士の赤ん坊を見付けたとき），彼を灯台に送り届けることが可能である（自分の兄弟の写真や履歴のビデオ記録を持った 3 番目の地球に残った赤ん坊として）。宇宙飛行士の赤ん坊たちは年齢を比較する目的で選ばれる。それに先行する（それぞれ地点A_0およびB_0までの）あらゆる運動の履歴は彼らにとっては存在しない。赤ん坊たちは，常に互いに対して等速度で運動していたという特徴を持っている。彼らは灯台上で出会うまでの間に，相互の間で比較して，等台上の観測者の視点から見た場合にも（$d = |OA_1| = |OB_1|$），彼らのそれぞれの視点から自分が通過した経路を見た場合にも，同一の大きさの経路を飛行した。これはまさに，時間間隔の長さを比較し，特殊相対性理論を検証することを目的とし

た，曖昧なところがまったくない実験である。例えば，1 番目の子供の等速度飛行が，1 番目のロケット上にある時計で測定して 18 年間続いたとしよう。その場合，特殊相対性理論の観点から見ると，1 番目の子供はこう判断することになる。「僕の 18 年間の人生の間ずっと，2 番目の子供は僕に対してより大きな速度で運動していた，つまり，彼の年齢は僕の年齢より小さくなければならない」。これに加えて，もし地点B_1からの信号が到着した時刻から 1 番目の子供が 2 番目の子供の年齢をカウントし始めたとすると，彼は，灯台のそばで 2 番目の子供と出会うときには「おしゃぶりをくわえた赤ん坊」を見ることになるはずだ，と考えるだろう。2 番目の子供も 1 番目の子供について，これとまったく同じことを考えるだろう。しかし，運動の完全な対称性により，結果は明らかである。すなわち，これらの「宇宙飛行士」たちの年齢は同一となる（このことは灯台上の静止した観測者によっても確認される）。

灯台のそばをノンストップで通り過ぎるとき，2 人の宇宙飛行士は自分の写真を撮り，それに年齢を書き込み，デジタル方式で写真を交換することができる。まさか，一方の宇宙飛行士が減速している時間に，他方の宇宙飛行士の写真上の顔が老化し始めるのだろうか？ しかも，しかも，U ターンして相手に追いつくために，加速度をともなって運動することをどちらの宇宙飛行士が欲するかは，事前に知られていない。

ところで，各宇宙飛行士は，彼ら 2 人が通過した経路の合計さえもが明らかに同一になるようにするため，共通の中心から飛び去り，自分の従来の経路をさらに進み続けることにより，その経路に一様な通過済み経路を追加し，それぞれ地点B_0とA_0まで等速度で飛び，そこに到着することができる。では，彼らのうち，いったいどちらが年下になるのだろうか？ それとも，彼らは互いに対して運動していなかったのだろうか？

一部の相対論者の数学者は，ローレンツ変換を利用して計算を特殊相対性理論の結果に合わせてつじつま合わせすることを好んでいる。彼らにはそのための 2 つの策略がある。第 1 の策略は，利用されている物理量の意味を隠蔽することである。それらの物理量のうちの一部は，**1 人の**具体的な**確定された**観測者にとって直接測定される量であるが，別の部分は，その観測者にとって，特殊相対性理論に対する信仰に結びつけられた単なる計算値にすぎない。このように，特殊相対性理論の規則に従った**それ自体との間**のこの整合化は疑似科学的なマゾヒズムである。このパラドックスの場合，全ての参加者は 1 地点で出会うのだから，第 1 の策略は通用しない。第 2 の策略は，ローレンツ変換における，永遠に存在していた時計（ときにはその座標）にとっての開始時刻を移動することである。このパラドックスにおいては，この策略も通用しない。なぜなら，開始時刻を後方に移動することはできず―その頃，赤ん坊はまだ存在していなかった―，前方に移動することもできない―赤ん坊の年齢は一目瞭然たる形で正確に分かっている―からである。古典物理学においては，時間の概念は無矛盾であり，過去の時刻（または時計の示度）の対ごとの，また集団的な比較を行うことが許される。特殊相対性理論においては，それはもはやそうではない。この状況は，対称的課題の場合にこの上なく明白となる。

I）各参加者は，実験時間中に腕時計によって自分の固有時間を測定する（見る）ことが可能となる。その時間は，2 人の宇宙飛行士が灯台のそばを通り過ぎるとき（または彼らが，それぞれ地点B_0とA_0にいる遠方の側の観測者のそばを通り過ぎるとき），5 人の観測者全員にとって同一となる。さもなければ，相対性原理自体が破られてしまう，すなわち，

特殊相対性理論の基盤がまったく存在しなくなってしまう。

II）彼らは，互いに出会ったとき，その自分の固有時間と他人の固有時間を自分の目で見る。しかしさらに，例えば 1 番目の子供は，特殊相対性理論によれば下記の事柄がいかなるものでなければならないかを解明し，比較を行わなければならない。

III）「灯台が子供 1 に向かって速度 **v** で飛んで行く間」において灯台上で経過したとかいう計算時間。

IV）子供 2 が子供 1 に向かって速度$\mathbf{V}_{AB}$で飛んで行く間における子供 2 の計算年齢。

V）子供 2 は自分自身を何歳とみなすか。

VI）灯台上の観測者は自分自身を何歳とみなすか。

VII）灯台上の観測者は子供 2 を何歳とみなすか。

VIII）子供 2 は灯台上の観測者を何歳とみなすか。

そして，各実験参加者はこのような 8 つの質問に答えなければならない。その結果，各参加者にとって，計算時間と実験時間は相異なったものになる（全てが同一とはならない）。例えば，

$$\frac{d}{v},\ \frac{d}{\gamma v},\ \frac{d(1+v^2/c^2)^2}{\gamma v}$$

等々といった時間が存在し，それらは少なくとも誰かの観測値あるいは予測値と矛盾している。

このような相対論的屁理屈を回避するため，各観測者の観点から見て歴然たる事柄を任意の「整数の半分理論」に基づいて比較しよう。さて，同年齢の各宇宙飛行士が，地点A_0とB_0にいる互いに静止した観測者=証言者の間の距離を同一の等速度で通過したとしよう（同年齢の地球に残った者は灯台Oの近傍に住んでいた）。観測される値において，その値を決定するとき，誰が観測するのかを 1 番目の下付き添数，彼が誰を観測するのかを 2 番目の下付き添数によって表そう。灯台のそばでの出会い後における値は，さらに，肩にプライム記号 [′] を付けて表そう。このとき，t_{11}，t_{22}，t_{33}は，同年齢者たちが灯台のそばで出会ったときの，それぞれ，宇宙飛行士 1，宇宙飛行士 2 および地球に残った者 3 の固有時間（$equiv$年齢）である。彼らの各人は，自分の固有時間（年齢）を鏡の中で見出し，各他者の固有時間を彼の顔の上で（しわの数に基づいて）見出す。すなわち，その情報は実験的で検証可能な情報であり，計算情報ではない。例えば，全員が宇宙飛行士 1 を見ると

$$t_{11} = t_{21} = t_{31}$$

となり，それと同様に，3 人全員が 2 番目または 3 番目の同年齢者を見ると

$$t_{22} = t_{12} = t_{32},\ t_{33} = t_{13} = t_{23}$$

となる。宇宙飛行士 1 および 2 にとっての（灯台上の証言者=地球に残った者 3 に関する）課題の対称性の結果，次式が得られる：

$$t_{31} = t_{32}.$$

さらに，宇宙飛行士 1 が灯台（地球に残った者 3）の方へ飛んで行くが，しかしそのとき，地球に残った者 3 が絶対値が同一の速度で宇宙飛行士 1 の方へ飛んで行く。したがって，次式が得られる：

$$t_{13} = t_{31}.$$

さもないと，相対性原理自体（すなわち，特殊相対性理論のための土台）が破れることになる。それと同様に，宇宙飛行士 2 と地球に残った者 3 の相対運動を記述すると，次式が得られる：

$$t_{23} = t_{32}.$$

このように，全ての時間（年齢）は同一であることが判明した： 任意の観測者による固有時間も，また見かけ上の時間も，他の任意の参加者に対して次式のようになる：

$$t_{11} = t_{21} = t_{31} = t_{22} = t_{12} = t_{32} = t_{33} = t_{13} = t_{23} \equiv \tau_0.$$

特殊相対性理論の観点から見ると，これは，少なくとも，奇妙なことである（3 つの系は互いに対して相異なる速度で運動していた，すなわち，それらの系は相対論的公式によって結び付いていなければならなかった)。しかし，主要な矛盾はここではない。なぜなら，この状況は，5 人の観測者（および時刻の同期）の我々による選択にすぎないからである。矛盾は，その先において，宇宙飛行士 1 と 2 の飛行がそれぞれ地点B_0とA_0まで続いたときに出現する。これら 3 人の参加者（観測者）のうち任意の者の観点から見ると，経路の前半は，彼にとって経路の後半と等しく，速度は変化していなかった。これより，次式が導き出される：

$$t'_{11} = t_{11} = \tau_0,\ t'_{22} = t_{22} = \tau_0,\ \ t'_{33} = t_{33} = \tau_0.$$

しかし，なにしろ，他の任意の観測者を見る，これら 3 人の観測者のうち任意の者の観点から見ると，他の観測者もまた，経路の前半と等しい経路の後半を，以前と同一の速度で飛行することになるのである（もし相対論的な距離の収縮を信じたとしても，収縮した経路の後半は，収縮した経路の前半と等しい)。これより，次式が導き出される：

$$t'_{12} = t_{12} = \tau_0,\ t'_{21} = t_{21} = \tau_0,\ \ t'_{13} = t_{13} = \tau_0,\ t'_{31} = t_{31} = \tau_0,$$
$$t'_{23} = t_{23} = \tau_0,\ \ t'_{32} = t_{32} = \tau_0.$$

このように，実験の後半に関する 9 つ全ての新たな値は，それら自体の間で等しく，また，実験の前半に関する以前の 9 つの値と等しい。まさにこれが，我々が求めていたことである。これら 9 つの時間の間の一部の等式は，相対性原理または課題の対称性から出発して書くことができたはずであることに注目しよう：

$$t'_{12} = t'_{21},\ t'_{31} = t'_{13},\ \ t'_{23} = t'_{32},\ t'_{31} = t'_{32}.$$

地点B_0とA_0にいる静止した観測者たちは，それぞれ，宇宙飛行士 1 と 2 のまさにこの現実の年齢を記録する（自分の目で見る)： $T_1 = t_{11} + t'_{11} = 2\tau_0 = T_2 = t_{22} + t'_{22}$（$B_0$，$A_0$および$O$における時計は事前に同期されているので，それらの静止した観測者たちが実験の慣性部分の当該の終了時刻を地球に残った者 3 に知らせ，彼はその時点における自分の人生の写真やビデオ記録を掲げることができる)。

さて次に，我々の実験の後半に関して，双子の一方が地球上に残り（我々の場合，それは地球に残った者 3 である)，他方がロケットで飛行する（我々の場合，それは宇宙飛行士 1 または 2 のいずれでもよい）という，普通の双子のパラドックスについての相対論的お

とぎ話を思い出そう。全ての教科書において，飛行が等速度で続いている間（加速度を持って方向転換するまで），地球に残った者の観点から見ると宇宙飛行士の方がより若くなり，宇宙飛行士の観点から見ると地球に残った者の方がより若くなると主張されている。それだけでなく，相対論的公式によれば，値は相異ならなければない：

$$t'_{11} \neq t'_{12} \neq t'_{13},\ t'_{21} \neq t'_{22} \neq t'_{23},\ t'_{31} \neq t'_{32} \neq t'_{33}.$$

矛盾が得られた：計算による相対論的時間は，全ての参加者によって自分の目で記録される現実の時間とはいかなる関係も持っていないのだ！ したがって，慣性系の非ゼロの相対速度の存在は，それ自体では相異なる時間の進行をもたらすことができない：この疑似効果のための客観的原因も，実現メカニズムも存在しない。もし相対論者たちが客観的現実の代わりに，観測者たちの間の変化する距離に依存してスライドする時間帯を我々にこっそり掴ませているのだとしたら，それは，似非理論―扇動者の歪んだ鏡の中で世界を見させる理論―のなんという尊大さだろうか？

今度は，変形版「n人の多生児」のパラドックス（図 1.3）について検討しよう。彼らが 1 つの中心 Oから相異なる方向に向けて飛び立つとしよう。このとき，どの対の組み合わせにおいても，飛び去る角度は異なるものとする（不等辺n角形）。速度と加速度のスケジュールは事前に定められている（全てのロケットは常に Oを中心とするある球面上に「位置して」いる）。諸量が持つベクトル特性により，全ての相対速度と相対加速度は対ごとに異なったものとなる。選ばれたある 1 人の宇宙飛行士の意見によれば，他のどの宇宙飛行士も等しい時間だけより加齢が進んでいなければならないはずであるが（これはどの宇宙飛行士の視点から見ても同じことである），これは不可能である（この変形版でも，各宇宙飛行士はそれぞれの加速の前と後に自分の写真を撮ることができる）。別の面から見ると，中心に残った（$n+1$）番目の双子にとっては，このスキームは完全に対象であり，宇宙飛

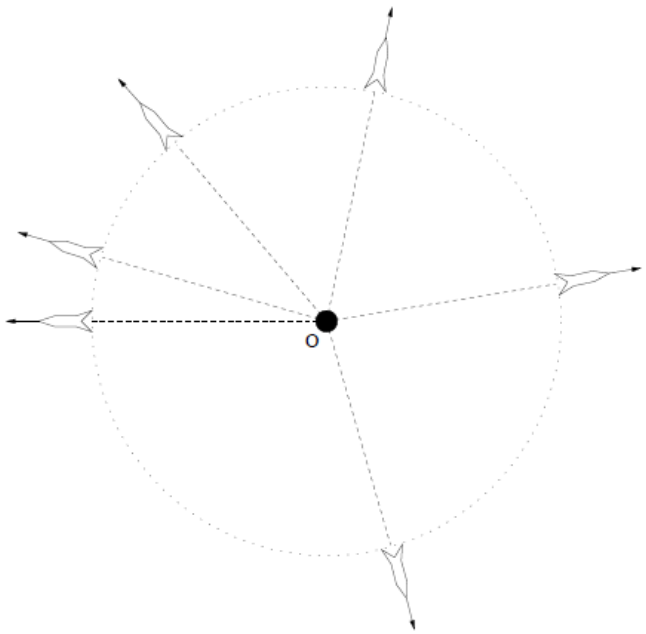


図 1.3. n人の多生児のパラドックス

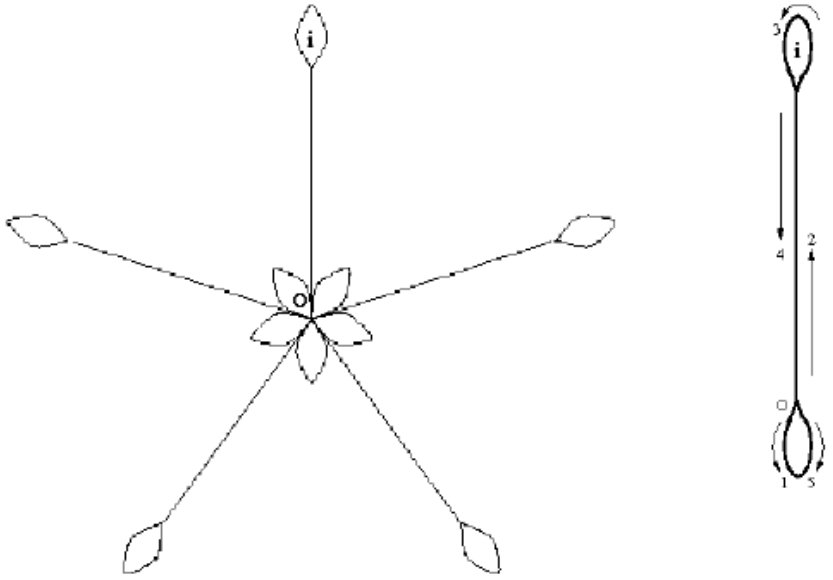


図 1.4. 花形タイプの対称的スキームによる飛行

行士の兄弟たちの年齢は同一となる。最も単純な個別的場合が得られるのは，1 人の兄弟が中に残り，別の 2 人が反対方向に（180°の角度で）飛び去る場合である。より複雑なある飛行スキームに 3 番目の観測者を導入するというアイデア自体がこれより前に提案されていたことを指摘しておこう（[156] 参照）。

等速度運動の直線区間（慣性区間）を含んでいる，花形タイプのそれに類似した対称的飛行スキーム（図 1.4）についてより詳しく検討しよう。各ロケットの運動は 5 つの区間からなっている。ロケットは 1 つの中心 O から絶対値が同じ加速度（例えば $\boldsymbol{g}$）でスタートし，同一のループ（加速区間 1）に沿って進んだ後，再びそれと同じ共通の中心 O を通り過ぎる。したがって，そのような加速区間を進行するために各ロケット（i または j）が費やす時間は，中心で静止している観測者の視点から見ても，任意の宇宙飛行士の視点から見ても同一となる（$t_{1i} = t_{1j}$）。その先，ロケットは等速度で直線的に飛行する（慣性区間 2）。次に，ロケットは同一の方向転換ループ（区間 3）に沿って方向転換する。方向転換ループの場合にも，$t_{3i} = t_{3j}$ であることを示すのは容易である。任意のループは別のループ，あるいはループ 1 から何らかの平行移動や方向転換によって得ることができるからである。その先，ロケットは再び等速度で直線的に飛行する（慣性区間 4 は区間 2 と一致している。ただし，運動は逆の順序で行われる）。最後に，減速ループを通過した後，運動は終了する（軌道区間 5 は軌道区間 1 と一致している）。減速は加速とは逆の順序で行われる（$t_{5i} = t_{5j} = t_{1i} = t_{1j}$）。スキームは完全に対称である。すなわち，全ての宇宙飛行士にとって，総運動時間は同一である（$t_i = t_j$）。以上に述べたことが空間の一様性と等方性を反映していることは明らかである。各ロケットの運動はそれらの 5 つの区間に沿った運動からなっているのだから，最終的に，我々は直線軌道（慣性区間）に沿った運動に関し，任意の i と j について $t_{2i} + t_{4i} = t_{2j} + t_{4j}$ という結果を得る。ただし，速度はベクトル量であり，相対速度は i と j の選択に依存している。ところが，時間の遅れを反映している相対論的公式は相対速度の 2 乗しか含んでいない。したがって，特殊相対性理論によれば，時間

の進行は相異なる宇宙飛行士にとって異なっていなければならない。このことが，同時にスタートして同時にフィニッシュした宇宙飛行士の間における矛盾だけでなく，静止している観測者のデータとの矛盾をももたらしている。このように，相対速度の存在それ自体は時間の遅れの原因となることはできない。人為的に考え出した補助的ダイアグラムを使って古典版双子のパラドックスの各種のバリアントを「説明」しようとする試みは，ナイーブに見える。ここでもまた，相対論者たちはずるがしこくふるまっており，全ての観測者の視点から見たときに矛盾が存在しないようにするための解決法について検討しようとはしない（まさか，彼らのうち誰かが「ローレンツ変換は不十分だ，このダイアグラムのほうがより多くのものを与えてくれる」などと主張し始めたりはしないだろうが)。「控え目」な言い方をすると，物理学と数学はいささか異なった学問である。「菱形，平行四辺形，三角形といった純粋に幾何学的な図形がここで変形し，あるいは回転したらどうなるか」という問題に，誰かが興味を持つことはできる。しかし，特殊相対性理論の疑似科学的な救済に関する相対論者たちのあらゆる提言は，「片脚を首のまわりに 2 回巻きつけ，左側のかかとで右耳をかき，このとき通常の人間（もっと自然なやり方で自分の欲求を満たす人間）におけるのと同一の感覚（その感覚の解明は事前に行う必要がある）を引き起こすようにせよ」というのに類する，傲慢な命令を思い起こさせる。しかし，事態がこのような「状況」にあっても，次の事実が注目される。古典物理学においては，論理的に矛盾のないあらゆる道筋は同一の客観的結果へと導く（各観測者は他の任意の観測者の意見を推測し，その判断を利用することさえできる)。特殊相対性理論においては，事態はまったくこれと異なる。すなわち，同一タイプの意見のうちの一部を恣意的なやり方で誤りと仮定しなければならない（つまり，古典物理学に合わせてつじつま合わせをするための道筋を選択しなければならない）のである。「ここでは読む，ここでは読まない，ここではこんなふうにひっくり返る，ここではあんなふうにひっくり返る」という，素晴らしい理論が得られる。そしてシャンソンでも歌われているように，「その他の点につきましては，美しき公爵夫人さま，万事順調，万事順調でございます」[訳注]。巧妙なでっち上げである。

時間のパラドックス

次に，運動系にとっての時間のパラドックスに話を進めよう。このパラドックスの「解決」のためにしばしばローレンツ変換が利用される。ローレンツ変換はある時刻 t に対して一体的な時間連続体t'を対比することを可能とする。複数の時間間隔を照合する場合には，時間のカウント開始の同期手順は重要ではないことを心にとめておこう。2 対の時計（$(1, 2)$ と $(1', 2')$）があり，これらは各対ごとにそれぞれの系 K およびK'に空間的に同一の間隔をあけておかれ，同期されているものとしよう（図 1.5)。同期のチェックは，例えば，4 台の時計全てがおかれている平面におろした垂線上の無限遠におかれた発信源によって行うことができる（これについてはこの先の共通絶対時間の確定に関するパラグラフでもっと詳しく述べる)。このとき，任意の時間間隔について次式が得られる：

[訳注]　この歌の仏語原詩と日本語訳をネットで入手することができる。検索ワード例：アミカル・ド・シャンソン，万事順調，公爵夫人。

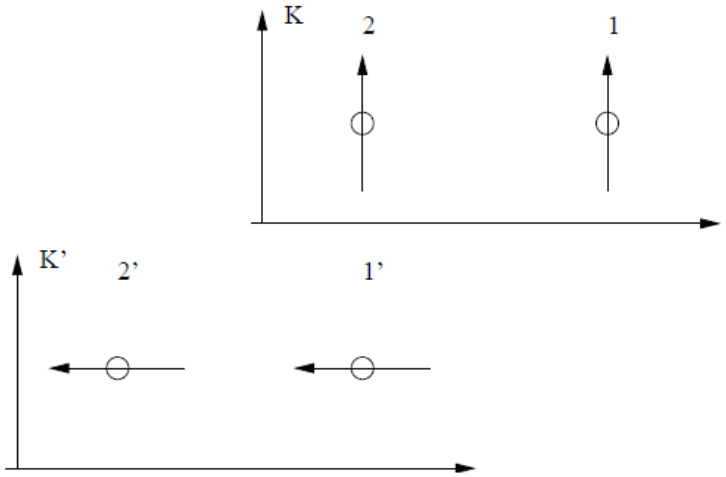


図 1.5. 時間のパラドックス： 時刻$t = 0$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2,\ \Delta t_1' = \Delta t_2' . \tag{1.1}$$

ところが，レンツ変換の公式によれば，系 Kにいる（時計近傍の）2 人の観測者の視点から見ると，時計合わせをした時刻において次式が得られる（図 1.6）：

$$\Delta t_1' < \Delta t_1,\ \Delta t_2' > \Delta t_2 . \tag{1.2}$$

すなわち，不等式（1.2）は等式（1.1）と矛盾している。系K'にいる（時計近傍の）2 人の観測者の視点から同様の不等式を書くと，（1.1）から矛盾が生じる。時間間隔の差の値さえも相異なったものとなる。したがって，これら 4 人の観察者は，次回に 1 地点で出会って結果について検討する際，相互の間で合意に達することができない。科学の客観性は一体どこにあるのか？

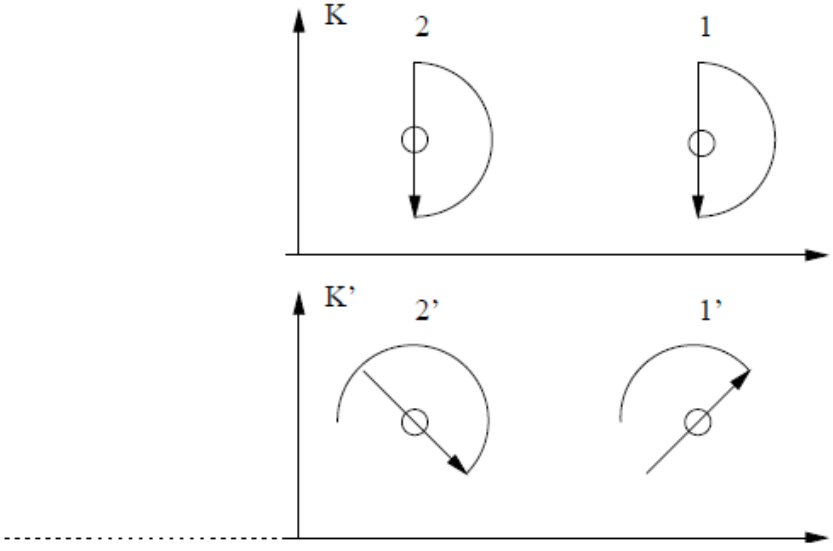


図 1.6. 時間のパラドックス： 時刻$t = t_1$

対蹠人のパラドックス

特殊相対性理論が誤りであることは，地球という惑星上における人類の生活全体によってきわめて簡単に証明される。特殊相対性理論の初歩的な論理的矛盾である対蹠人のパラドックスについて検討しよう。赤道上の 2 人の対蹠人（例えば，1 人はブラジル，もう 1 人はインドネシアに暮らしている）は，地球の自転により，各時刻において絶対値が一定の速度で互いに対して運動しているという点が異なっている（図 1.7）。したがって，課題の歴然たる対称性にもかかわらず，2 人はそれぞれ，相手方よりも年上になるか年下にならなければならない。引力が邪魔をする？ では，引力を除去し，我らの「宇宙飛行士」のそれぞれをキャビンに収容することにしよう。各人はこのような「回転木馬」上における時間を，回転木馬の中心に対して不動の遠地点の星に対する方向，また回転木馬の固有回転周期に基づいて（地球上におけるのと同様にして）定めることができる。当然，時間の流れは両方の「宇宙飛行士」にとって同一となる。回転周期を知れば，時刻同期は計算によって行うことができる（これら全ては原理的問題ではなく，技術的問題である）。効果を強めるために，例えば，特殊相対性理論の公式に基づき，時間の進行の過程における差が 1 年間に 100 年分だけ「蓄積」されるようにするため，周速度を$v \to c$に増大させよう。遠心力（加速度）が邪魔をする？ では，$v^2/R \to 0$となるようにするため（例えば，たとえ 100 年間においても，その加速度による積算効果が現在あり得る加速度測定精度より何桁も小さくなるようにするため），回転木馬の半径 R を増大させよう。このようにした場合，いかなる実験によっても対蹠人たちの運動を直線運動と区別することができない。すなわ

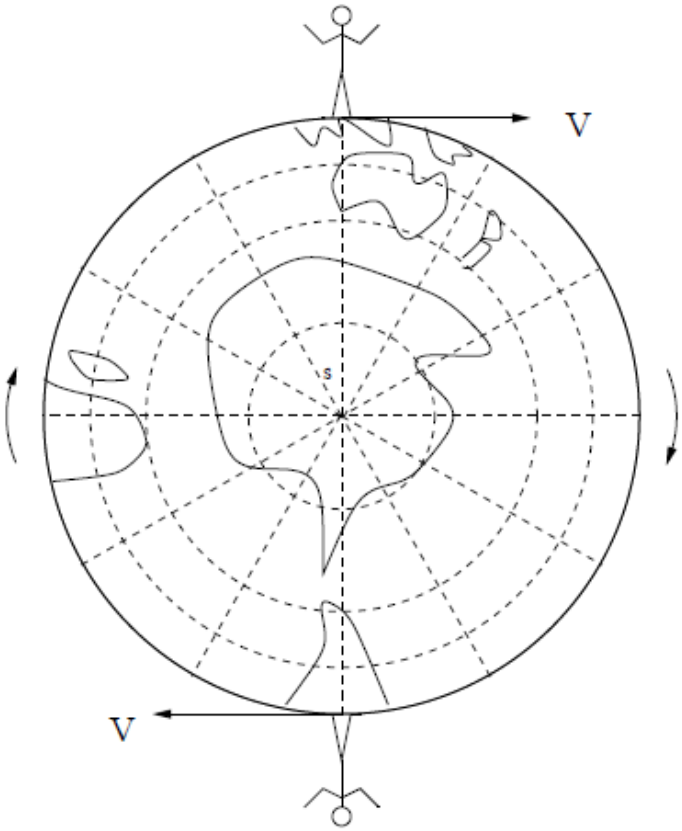


図 1.7. 対蹠人のパラドックス

ち，実験遂行期間全体にわたり，系の非慣性的性質は検出され得ない。相対論者たちにとって，系の原理的慣性の必要性を求めて闘うことは無意味である。なぜなら，無限の厳密性はあらゆる理論を「斬殺」するからである。数学のような厳密な科学においても，与えられた数よりも好きなだけ小さい数であるεという概念が（例えば，実数論の基礎付けの際に）利用されている。我々の場合には，厳密な数学的変換を目的として，回転木馬の半径として大きな R を選ぶことにより，遠心加速度v^2/Rの地上における遠心加速度a_cに対する比を，好きなだけ小さい値である ε よりも小さくすることができる（例えば，$\varepsilon{\sim}10^{-10}$，あるいは$\varepsilon{\sim}10^{-100}$といった値をとることができる。なにしろ，特殊相対性理論の全ての実験は地球上において$\varepsilon{\sim}1$（！）で行われたものなのだから)。さらに，もしあなたが相対性（特殊相対性理論による相対性であれ，ガリレオによる相対性であれ，違いはない。我々は長さを比較しているのだから）を信じているのなら，対蹠人たちのうちの 1 人の運動をもう一方の対蹠人により近い所へ平行移動させ，回転木馬モデルのことは全て忘れてしまってよい。明らかなように，絶対値が同一で，しかし方向が逆な各速度を持つ任意の 2 つの直線運動の場合には，思考上の逆操作を行うこと，すなわち 2 つの軌道のうち一方を大きな距離だけ（$R\to\infty$）平行移動させ，ある種の「回転木馬」によって 2 つの運動を結合させることが常に可能である。さてそれでは，何年かが経過したとき「患者は生きていますか，それとも死んでいますか？」 また，あなたはブラジル人とインドネシア人のうち，どちらがお気に入りですか？ 課題の完全な対称性，そして特殊相対性理論の完全な崩壊。一般的に言えば，時間の共通性が，時刻同期に関する問題が持つ原理的重要性を消失させる（つまり時計は，例えば携行することが可能である）ということを指摘しておこう。運動の「ほぼ慣性的」な性質に関する疑問点については，第 3 章で検討する。その「原理」に従い，大きな R への移行が可能であるということから自分と他人の目をふさごうと試みている相対論者のためには，正n角形（$n\geq 3$。それぞれの角には不動の観測者が配置されている）を半径の大きな円に内接させ，今度は，宇宙飛行士の乗った各ロケットのこのn角形の辺に沿った純粋の直線運動について考察するよう提案することができる（同一の「地上」加速度gによって同一速度に達するための一様なループを，このn角形の角に一様に接合することさえできる)。各ロケットの互いに対する運動にもかかわらず，不動の観測者（例えば，円の中心にいる観測者）にとっては，各ロケットのこれら全ての慣性系はまったく対等であり，各ロケット内における時間の進行も一様であることは明らかである。さらに我々は，円の中心において宇宙飛行士たちが同時にスタートし，同時にフィニッシュすることを可能とする「花形」タイプの明らかに対称的な図式を描くこともできる（図 1.8)。

我々は（時間のカウント開始ではなく）時間の進行を比較しているのだから，相互に静止している任意の物体のために時間の進行の相等性を利用することができる。すると，大きさと方向の点で任意の速度を持つ 2 つの対象の平面運動の場合に合わせて，回転木馬モデルを容易に一般化することができる。これは純粋に幾何学的なトリビアルな課題である（図 1.9)。例えば，図 1.9 に描かれている，速度ベクトル$\overrightarrow{AA_1}$および$\overrightarrow{BB_1}$の直線運動をしている 2 つの物体があるとしよう。これらの速度は絶対値が等しく，大きさが光速に近い（$v\to c$）としよう。空間中に任意の点 O を選び，点 O を中心として円を描く。円の半径 R は，遠心加速度が事前に与えられたある小さな大きさε_1（例えば，現在あり得る加速度測定精度）より小さくなるような半径（$v^2/R<\varepsilon_1$，すなわち$R>v^2/\varepsilon_1$）とする。AA_1に

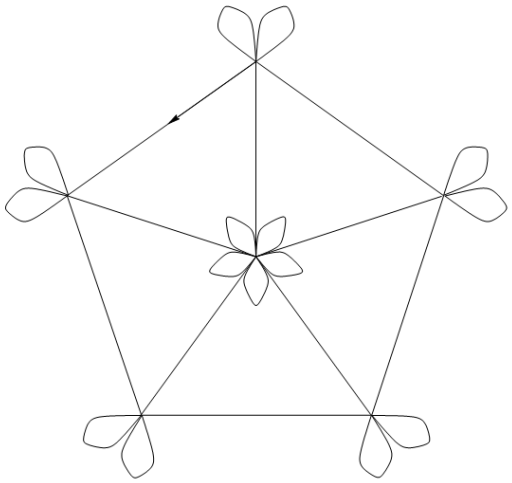


図 1.8. 「花形」タイプの別の対称的飛行モデル

対して垂直な直線AA_2を引く。点 Oを通り，直線AA_2に平行な直線A_3A_4を引く。この直線と円の交点に，絶対値が$\left|\overrightarrow{AA_1}\right|$と等しく，$\overrightarrow{AA_1}$に平行なベクトル$\overrightarrow{A_3A_5}$を引く。実は，我々は単に運動$\overrightarrow{AA_1}$の平行移動を行っただけである。運動$\overrightarrow{BB_1}$についても同様の手順を行い，$\overrightarrow{B_3B_5}$を得る。今や，2 つの運動は同一の円上にあり，現在あり得る実験精度では慣性運動と区別することができない。課題の明らかな対称性により，このような運動物体にとっての時間は一様に流れる。例えば，時間の長さは円の中心 Oからやって来る周期的な閃光によって測定することができる。次に，$\overrightarrow{AA_1}$と平行で，しかし絶対値が異なる速度ベクトル$\overrightarrow{CC_1}$によって特徴付けられる直線運動を取り上げよう。運動を平行移動させ，$\overrightarrow{C_3C_5}$を得る（このとき，円の半径$|OC_3| = R\left|\overrightarrow{C_3C_5}\right|/\left|\overrightarrow{A_3A_5}\right|$とする）。この場合，我々は 2 つの物体（速度$\overrightarrow{A_3A_5}$および$\overrightarrow{C_3C_5}$の物体）が，互いに 2 つの円の半径方向上の距離を一様に保ったまま，同心円弧A_3aおよびC_3dに沿って運動するのを見る。（図 1.9 では見やすくするために大きな円弧が描かれて（つまり角度が誇張されて）おり，実際には，全ての円弧は角度がきわめて小さく，直線区間と区別できない。） ここでもまた，時間は中心 Oからの周期的閃光

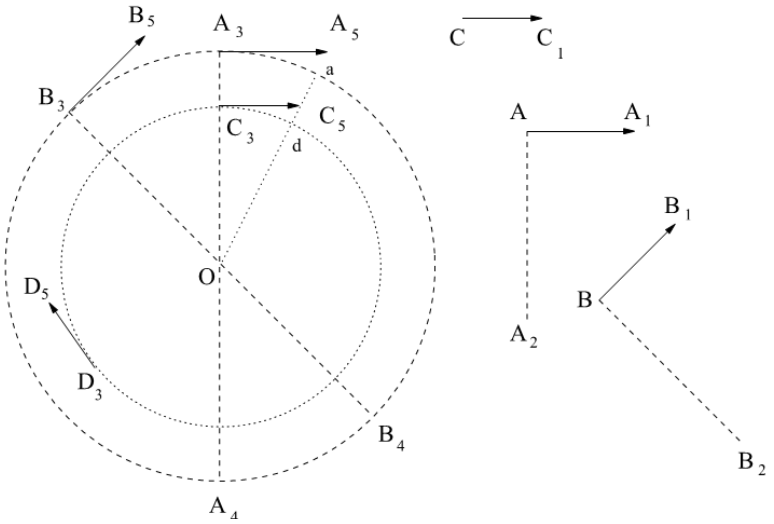


図 1.9. 任意の平面運動に関する回転木馬モデル

で測定することができる（円C_3dを通過するのと同じだけの光球面が円A_3aをも通過する。光球面はどこにおいても「隠れたり，消滅したり，集積したり，付け加わったり」しない）。このような物体にとっても時間はやはり一様に流れることは明らかである。ここで，我々は点C_3を通る円を延長し，任意の新たな点において，円に接し，絶対値が$\left|\overrightarrow{C_3C_5}\right|$に等しいベクトル$\overrightarrow{D_3D_5}$を引くことができる。ここでもまた，速度$\overrightarrow{D_3D_5}$および$\overrightarrow{C_3C_5}$で運動する物体は同一の円上にあり，課題の対称性により，それらにとっての時間は一様に流れる。我々は以上の結果により，速度$\overrightarrow{A_3A_5}$および$\overrightarrow{D_3D_5}$，または$\overrightarrow{B_3B_5}$および$\overrightarrow{C_3C_5}$を持つ運動を例として，時間は物体の平面運動の速度の大きさにも方向にもまったく依存せず，一様に流れることを証明した。点状物体の場合の 3 次元運動への移行もきわめて簡単な方法で行うことができる。まず，速度ベクトルのうちの 1 つを 2 番目のベクトルの始点に移動させる。次に，交わるこれら 2 本の直線を含む平面を描く。この平面上で，上述した全ての作図を実行することができる。このように，時間は慣性系同士の相互運動にまったく依存しない。

ロケットの円運動

もう 1 つの最も重要なパラドックスについて検討しよう。2 機の同じロケット（または人工衛星）が星の周りの同じ円軌道に沿って結合して飛んでいるところを思い浮かべていただきたい。特殊相対性理論（および一般相対性理論）によれば，時間は互いに結合している 2 つのロケット系において同じ様に流れていることは明らかである。今度は，第 2 の状況（図 1.10）について検討しよう。すなわち，我々はロケットを分離し，一方の軌道を任意の直径に対して 180°方向転換させた。今度は，2 機のロケットは前と同じ軌道に沿って同じ速度で運動しているが，しかし星の周りを互いに反対方向に回転しており，1 周する間に 2 回（地点 A と B で）出会う。一般相対性理論の効果が 2 機のロケットにとっての時間の進行に及ぼす影響が前と変わっていないことは明らかである。ところが，特殊相対性理論が時間の進行に及ぼす影響との間で矛盾が生じた。すなわち，今や，**2 機のロケットは互いに対して**常に非ゼロ速度で運動しているのである（速度の 2 乗を含んでいる相対論的公式を思い出していただきたい）。「若返りのリンゴ」が香る時間など，そこには 1 ナノ秒間たりとも存在しない！[訳注] 回転数は任意とすることができるので，残るは，どちらに「一等賞」を与えるか？―どちらがより若い状態に留まっているか？―を決定することだけだ。反時計回りで運動している方か，それとも時計回りで運動している方か？ また，どこからそれを見るのか？ この課題は完全に対称的であり，いかなる時間の違いも存在し得ないことは事実上明白である。このことは，時間の遅れといった特殊相対性理論の効果はまったく存在しないことを意味している。遠心加速度（非慣性）が相対論を邪魔しているとでも？ 問題なし！ ロケットの周速度を光速度に近づけよう。地球表面における遠心加速度a_cに対するロケットの遠心加速度c^2/Rの比が事前に与えられた任意の値εよりも小さくなるなるように，軌道半径Rを増大させよう。例えば，ε~10^{-10}を選ぶことができる。ところが何しろ，相対論を裏付けているとされている全ての結果は，地球上においてε~1で得られたものなのだ！ ここでも再び，相対論者たちにとって，絶対的慣性を求めて闘う

[訳注] 「若返りのリンゴ」は，ロシアの俗信において，食べると若返るとされている果実。つまり，2 つのロケットにとっての時間の進行には，1 ナノ秒間の違いも生じないということ。

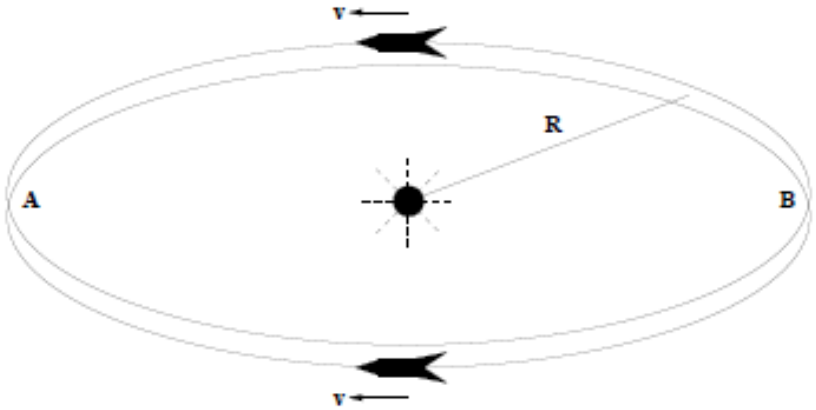


図 1.10. 円軌道に沿った運動

ことは無意味である。さもないと，特殊相対性理論には研究すべきテーマすらまったく残らなくなる！

切り分けられた定規のパラドックス

物体の質量を 2 倍に増大させても，物体の落下加速度を 2 倍に増大させることはできないという事実についての（統一体を諸部分に分割する方法による）ガリレイの証明を念頭に置きつつ, 切り分けられた定規のパラドックスを定式化しよう。4 つの同じ定規（図 1.11）について検討しよう。分かり易くするため，静止している定規 A はスタート地点に，静止している定規 B はフィニッシュ地点に横たわっているものとする。定規 C は 2 つの等しい部分（1 と 2）に切り分けられ，実験時に運動することになる。それと同じ定規 D は実験時に単一の統一体として運動することになる。全ての運動法則は同一となるように事前に選ばれる。まず最初に，定規 C の 1 番目の半分 C–1 の運動を個別に検討しよう。この定規は等加速度で運動し始め，大速度 V に達し，その等速度で飛行した後，フィニッシュライン F をその右端で横切る。次に，定規 C の 2 番目の半分 C–2 は 1 番目の半分と同時に運動し始め，それ（C–1）と同じ法則に従って運動すると仮定しよう。その場合，2 番目の半分の右端は，1 番目の半分 C–1 がフィニッシュライン F を横切る瞬間に，ライン O' を横切る

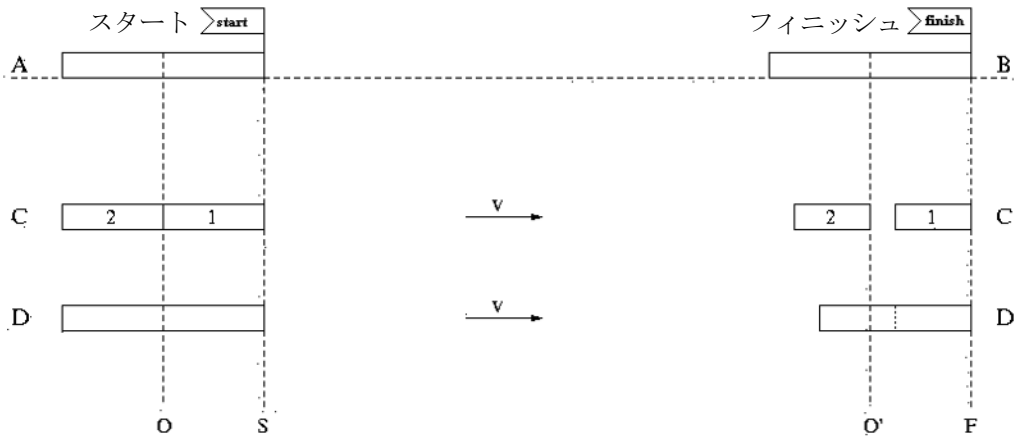


図 1.11. 切り分けられた定規のパラドックス

ことになる。これは自明な結果である。すなわち，2 番目の半分 C–2 をめぐる状況が 1 番目の半分 C–1 をめぐる状況と異なっている点は，C–2 の右端はライン S からライン O へ平行移動しているのだから，座標原点が平行移動しているということのみである。しかし，切り分けられていない定規 D の場合，状況はそれとはまったく異なったものになる。定規 D は単一の統一体としてフィニッシュ地点に到達するからである。我々は論理的矛盾を抱えている。第 1 に，定規は自分が切り分けられていることをどこから知るのか？ 第 2 に，特殊相対性理論によれば，ゼロの幅の切り分けは非ゼロの空間的隙間に転化することはできない。それだけでなく，定規は任意の数の諸部分に分割することが可能であるから，つじつま合わせ（特殊相対性理論を救済するための思考のシフト）を用いることにより，生じる全ての隙間から同時に免れることはまったく不可能である。

共通絶対時間

時間の概念は変換法則における次元の比例係数よりも幅が広く，また，過程の局所的不可逆性に対してはるかに大きな関係を持っている。第 1 に，物体の運動に対する時間の一意的対応付けは，異方的であるかもしれず，様々な「速度」で進行するかもしれず，また局所的不可逆性を示すかもしれない内部過程を考慮していない（そのような各「速度」は，統一体としての物体の速度とともに幾何学的に形成される）。第 2 に，時間を電磁相互作用の伝播速度に対してのみ対応付けることは，存在する可能性のあるそれ以外の相互作用（真空中を伝播することのできる相互作用）を考慮しておらず，事実上，あらゆる現象を電磁的性質のみによって把握すること（電磁相互作用の絶対化）を意味する。どうすれば共通絶対時間の導入が可能であるかについては，この後に述べる。

固有時間（事実上の主観的時間）の概念を導入する場合には，次の点が方法論的に重要であると思われる。他の物体の固有時間は，（我々の固有の規則に従って）計算するのではなく，それ自体に「たずねる」必要がある。それでは，次の実験について検討しよう（図 1.12）。観測者が静止系S'の地点 O にいて，地点 O に灯台がおかれている。灯台は 1 秒ごとに信号を発信しており，その閃光の合計個数 N は地点 O において経過した秒数に等しい。宇宙飛行士（運動系S'）が地点 O からスタートするとしよう。すると，地点 O から遠ざかるにつれて，宇宙飛行士は閃光をスタート前よりも小さい頻度（周波数）で感知するようになる（実は，灯台の時間の減速）。しかし，次に灯台に近づいていくと，閃光の頻度はスタート前よりも大きくなる（今度は灯台の時間の加速）。$v < c$のとき，宇宙飛行士が閃光（光球面）のうちの 1 つも追い越すことができず，よけることもできないことは明ら

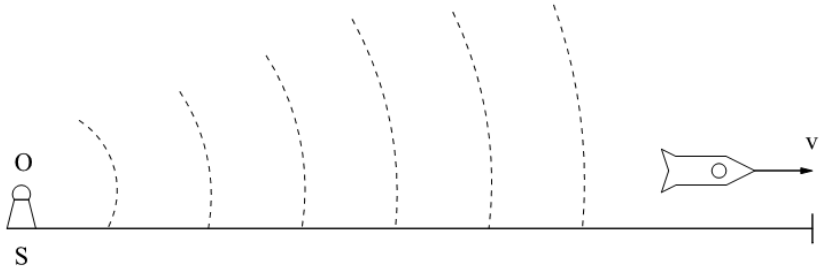


図 1.12. 固有時間信号の交換

かである。したがって，その運動のダイアグラムと軌道の如何にかかわりなく，宇宙飛行士は，地点 O に帰還したとき，ちょうど N 個の閃光，つまり，灯台が発した全ての閃光を感知する。したがって，これら 2 人の観測者のいずれもが，灯台上では N 秒が経過したと証言する。宇宙船上の宇宙飛行士が灯台を持っており，自分の経過秒数について信号を送る場合にも，やはり宇宙飛行士の時間について意見の違いは生じない。状況が完全に対称的であることが分かる（例えば，双子のパラドックスの場合）。1 地点における出会いの場合には，全ての光球面が向かい合う観測者たちを横切って進む（光球面の個数は増えも減りもしない）。その個数は N，すなわち両方の観測者にとっての経過秒数に等しい。

次に，共通絶対時間の確定に関する問題について検討しよう。（当然のことながら，自分の心臓の鼓動で時間を測定するとすれば，それは主観的時間であり，内的・外的条件に依存する。） 固有の「電磁的時間」を導入し，これを絶対化しようとする試み―それは過去への回帰である。ただし，過去においてさえも，情報伝達のみじめなほどの速度（例えば，伝書鳩郵便による情報伝達速度）にもかかわらず，人々は同期を行うことができた。遠方発信源（太陽や星）を利用できたからである。次の思考実験を想像してみよう（図 1.13）。線分 AB の垂直二等分線上にある遠方発信源 S が周期的に信号（周期 T）を送る。信号が地点 O に到着した瞬間，2 台の記録装置（1 と 2）が鏡面対称的に運動し始め（速度 $\mathbf{v}$ と $-\mathbf{v}$），周期 $2T$ で A と B に当たって反射する。速度 v は任意とすることができる（$|AB|$ を適当に選べばよい）。2 台の装置は（反射点を除き）各瞬間に互いに速度 $2v$ で運動しているにもかかわらず，信号は地点 O（ここに観測者 3 を配置することができる）を通過する瞬間に同時に感知される。このようにして決定された時間は，3 人の観測者全員にとって（地点 O において）共通となる。次の一歩を進めるためにここで指摘しておくと，特殊相対性理論の変換公式を導出するためには，同じ直線に沿った相対運動について検討するだけで十分である（慣性系が検討されているのだから）。大きな距離 $|SO|$ を適当に選ぶことにより，地点 O への信号到着と地点 A および B への信号到着の間の時間差が事前に与えられた任意の大きさより小さくなるようにすることができる。その結果，観測者 1 および 2 の運動

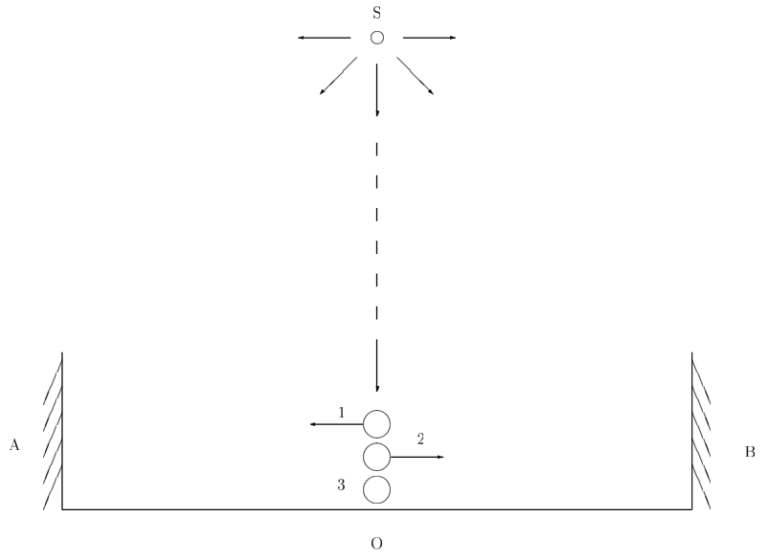


図 1.13. 共通絶対時間の確定のための無限遠の信号源

速度にかかわらず，選ばれた線分 *AB* 全体にとって，時間は所与の精度で同一となる。したがって，諸系の相対運動の方向に対して垂直の位置におかれた無限遠の発信源は，共通絶対時間（カウントする慣性系に依存しない同一時間）を決定する時計の役割を果たすことができる。信号の観測される到着方向の変化に関する問題については，後で述べる（波面の方向の変化を反映するとかいう光行差を「でっち上げたい」という誘惑が誰にも起こらないようにするため)。

補足コメント

方法論に関する次のコメント。同期のためにアインシュタインの方法を用いると，時間概念は制約されたものとなる。第 1 に，2 つの独立した変数（座標と時間）のうち，独立であり続けるのはそのうちの一方のみであり，このとき，他方は運動状態（主観主義）および光の速度特性と関係付けられる（なぜ，例えば音や地球等々の速度特性とは関係付けられないのだろうか)。第 2 に，速度を決定するためには座標と時間の独立した決定が不可欠であるから，光速度自体は決定不可能な（測定不可能な，公準として設定される）大きさとなる。

相対論者たちは，役にも立たない発明のために苦心惨憺するのがなんと好きなのだろう！ 相対性理論のそのような役にも立たない「偉大な」発明の一つが，光時計である（100 年間，誰もその実験モデルを構築しようと試みさえしなかったし，これからもしないだろう！)。それは，理想的に平らな，理想的に平行な，理想的に光を反射する鏡を作ることが不可能だからではない。それは，我々は特殊相対性理論が記述しているようには，「チク，タク」を脇から観測することができないからである。時計が「役に立つ」のは最初の「チク」までで，その瞬間，「同一」であることを止めてしまう。なぜなら，「チク」が記録された瞬間，光子は相互作用しなければならないからである。にもかかわらず，我々は，時間の遅れを証明するためにしばしば光時計を用いる「我らの相対論者」たちの主張［35］（図 1.14）に立ち戻ることにしよう。しかし，これとまったく同様に，速度$u \ll c$で周期的に反射する粒子（音波の方がよい）を観察し，任意の時間の遅れ$\tau_0/\sqrt{1-v^2/u^2}$を得ることが可能である。知られているように，速度の直交成分は独立して記述することができる。すなわち，計測器に対する速度$\mathbf{v}$での水平運動は，それまでの速度$\mathbf{u}$での粒子の垂直振動に対していかなる影響も及ぼさない。光速度不変の公準の実験的裏付けに関する問題につい

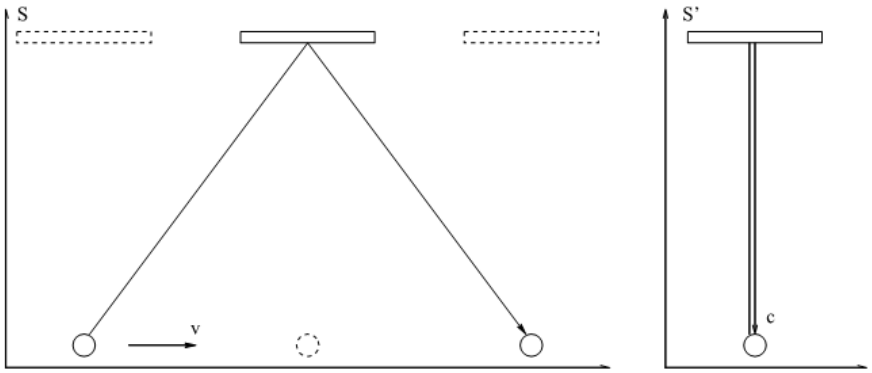


図 1.14. 光時計

ては第 3 章で分析する。

特殊相対性理論における時間の遅れは，見かけ上の効果以上のものではない。音の場合，管のうなりの長さΔtは音源（管）に対する受音側の速度にも依存するが，ここから時間の遅れなどという結論を導き出す者はいないことに注意しよう。ここで問題なのは，いかなる速度で運動するかについての観測者の「決定」は，音の放射過程とは（また，管の内部におけるそれ以外の諸過程とも）いかなる因果関係もないということである。静止している大気中で 1 人の歌い手が連続的に歌をうたっており，その双子の片割れが音速とほぼ等しい速度v_s，すなわち$\alpha_1 \equiv v/v_s \approx 1$で歌い手から遠ざかっていき，次に歌い手に向かって（同じ比α_1で）運動するとしよう。たしかに歌声はひずんで聞こえるものの，歌い手がより速く加齢したことを記録した者はこれまで誰もいない。さて今度は，ほぼ光速，ただし前と同じ数値$\alpha_2 \equiv v/c = \alpha_1 \approx 1$の速度のロケットで飛び去っていった双子の片割れを追いかけて進む光に，その歌声を変調してみよう。双子の片割れは前回と同じひずんだ歌声を聞くことになる。いったいなぜ，前回とは状況が変わり，地球に残った双子の片割れが速く加齢しなければならないのか？ 仮に，生きている有機体を死んだ有機体と区別する一定の放射周波数というものが存在し，ある種の生きている有機体がその放射周波数によって特徴付けられるとする。すると，あなたの運動（ドップラー効果）を原因として，あなたはまず最初に有機体の死を確認し，その後でその再生を確認するとでもいうのだろうか？ あるいは，あなたとは因果関係のない物体の客観的性質の変化を公準として定めなければならないのだろうか？

アインシュタインによる時刻同期方法についてコメントしよう。互いに静止している 3 つの点というトリビアルなケースの場合に，アインシュタインの方法による時刻同期の推移性が生じる。（同じ直線上にない）3 点が互いに相異なる方向に（非平行に）運動する 3 つの系に属する場合，同期手順は不確定なものとなり得る。すなわち，時計はどの時刻について同期されているとみなされるのか？ 同期手順の開始時刻についてか，終了時刻についてか，それとも中間時刻についてか？ 同じ直線上にある 3 点の場合でさえ，アインシュタインの方法は，ある 1 つの方向における光速度と，それと正反対の方向における光速度との相等性という，実験ではまったく検証されていない命題に依拠している。実際，その同期は計算手順の途中にあるか，または堂々巡りの反復プロセスとなっていることが分かる。これらの欠点は，垂直二等分線上にある遠方発信源を利用した同期法［48］にはない。この方法は，追加的な仮説を設けることなく，時刻同期を所与の線分全体上において（また平面区域においてさえ），事前に選択された精度により（計算ではなく）実験によってただちに実行することを可能とする。

次に，時間の計量単位の話に移ろう。当然ながら，孤立した現象の場合には，何らかの数学的モデルの枠内における任意の通常量は，様々な計量単位や様々なスケール（均等スケールおよび不均等スケール（例えば対数スケール））で記述することができる。その計量単位やスケールは，主にそのモデルにとっての記述上の便宜性，また一般化の際における他の物理現象や数学モデルにとっての同一量の使用（様々な物理諸分野の連結）の可能性によって決定される。しかし，テイラーとホイラー［33］の「神聖なる単位」に関する皮肉はまったく不適切である。もちろん，時間をメートルに換算するための換算係数を導入することは可能である。しかしその際，換算係数は光速である必要はなく，例えば，歩行

者の速度であってもよい。今あげた速度は両方ともまったく同様に，音響現象，熱現象，流体力学その他多くの物理学諸分野とは無関係である。そもそも，全ての量はメートルで表すことができる（質量，電荷等々）。しかし，これら全ての「多様なメートル」は，

1）足し算することができず，

2）相互の間に互換性がなく，

3）両方のある種の組み合わせという形ではきわめて稀にしか現れず，

4）しかも相異なる現象にとっては，同一の組み合わせでは役に立たない（例えば，「区間」は真空中における光の伝播法則にしか関係がない）。全ての量は無次元量にすることができる（すると，全ての物理量は個別に追跡しなければならないことになる）。しかし，いかなる場合にも物理学は数学にはならない。物理学が研究するのは，様々なものの組み合わせからなる，ありとあらゆる幻想的な「方程式の世界」ではなく，自然の中で実現される，比較的少数の方程式のみである（物理学の主要な質問は，「自然の中ではいかなる相互関係が実現されるか，そこからなぜ，いかなる帰結が生じるか」である）。

1.3. 同時性の相対性

時間に関する基礎的概念に対する批判を終えたところで，この理論の論理的基礎の分析を引き続き行い，「同時性の相対性」という補助的概念について検討することにしよう。特殊相対性理論の思考実験を思い出そう。鉄道を列車$A'B'$が速度vで走行しているとしよう。列車の中央（C'）と向かい合う鉄道路盤上（C）に（2 つの点が一致する瞬間$C = C'$に）稲妻が落ちる。このとき運動する列車と関係する系では閃光が点A'とB'に同時に到達する。これに対して，静止している観測者にとっては閃光は点 A と B（ABの中点は点 Cにある）に同時に到着する。ところが，この時刻までの間に，点 C とC'（各線分の中点）は若干の距離だけ離れている。しかし，古典物理学においても，点A'，B'，A，Bからの情報を新たな共通点 Dにある最終速度v_1で送る（または逆に点 Dから点A'，B'，A，Bに送る）ことにすれば，これと類似した状況を作り出すことが可能である（ここでは特殊相対性理論と光速度不変は何の役割も演じない）。

次のような力学モデル（図 1.15）を提案することができる。4 つの質点が 1 対ずつ，（鉄道路盤と隣り合う）点 Cおよび列車の中央C'上に速度v_1で（引力なしに）「落下」するとしよう。C'は落下の瞬間までの間に，点 Cと隣り合う点C''に「到達」している。理想的な反射器（底角$\alpha = \pi/4$の二等辺三角形）が点 C と列車の中央C'に設置されているとしよう。すると，鉄道路盤上（点 C ）で反射した 2 つの粒子は速度v_1で相異なる側に飛んでいき，点 A と Bに同時に到達する（古典物理学では$|AB| = |A'B'|$）。そのためには時間$t = L/v_1$（ここで $2L$ は列車の長さ）を要する。列車の中央C'上で反射した他の 2 つの粒子は鉄道に対して前方には$v' = v_1 + (v/\tan\alpha) = v_1 + v$，後方には$v'' = v_1 - v$の速度で運動する。これと同一の時間 tの間に列車は経路 vtを進むのだから，これらの粒子のうち 1 番目は経路（前方）$L' = v_1 t + vt$を進んで点A'に到達する。同様に，2 番目の粒子は$L'' = v_1 t - vt$を進み，したがって点B'に到達する。このように，反射器への質点の落下という事象は 4 つの点全て，すなわち点 Aおよび B（鉄道上）と点A'およびB'（列車上）において同時に記

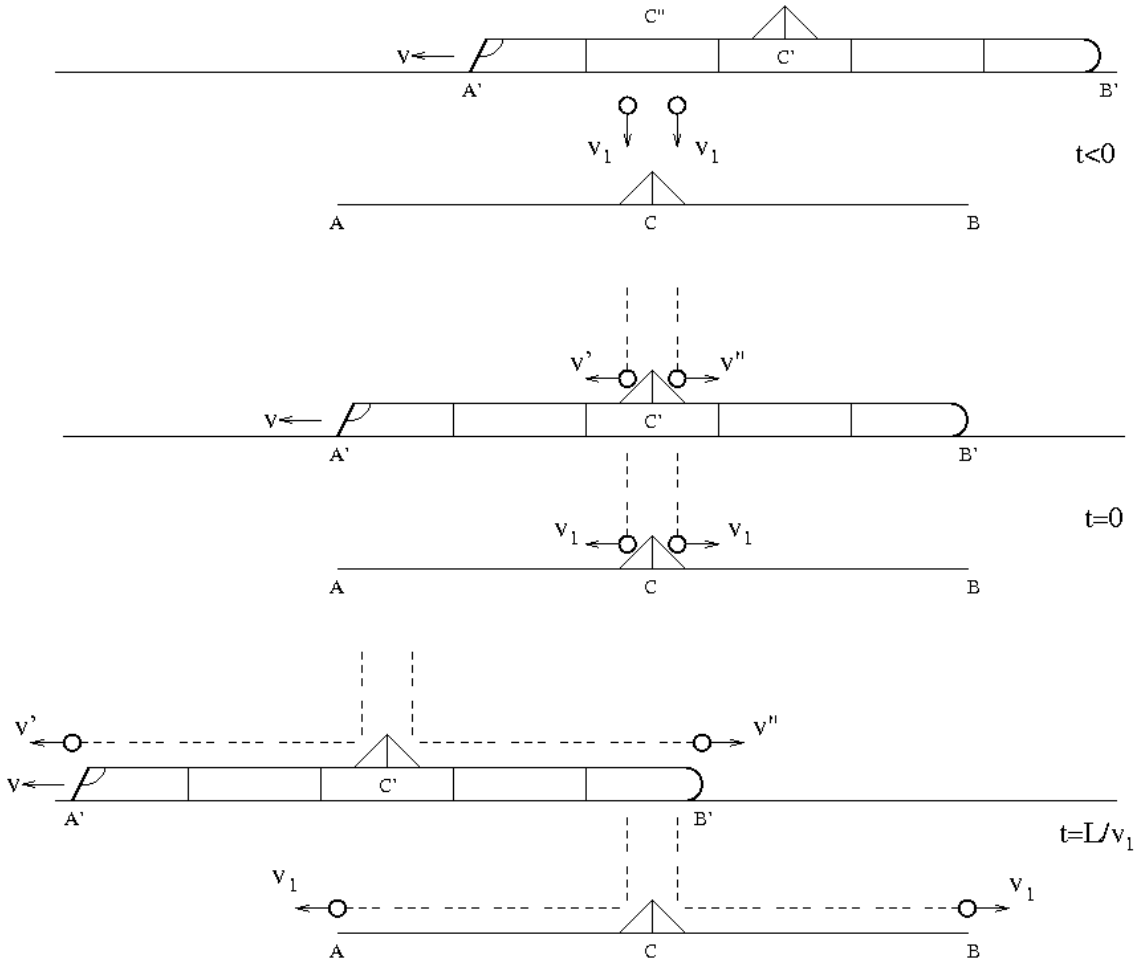


図 1.15. 同時性の相対性の力学モデル

録される。これは，列車上に落下する質点が列車の慣性運動に関与したケースである。もし 2 番目の質点対が（鉄道路盤上の）静止点C''上に一度に落下するようにしたいのであれば，列車側（列車側のみに限る）の三角形反射器は次の底角を持たなければならない： 列車の運動方向と反対側の底角$\alpha_3 = 0.5\arctan(v_1/v)$，列車の運動方向の底角$\alpha_4 = \pi/2 - \alpha_3$。この場合には，2 つの粒子は列車と平行に飛び，列車の両端に同時に到達する（しかし，2 番目の粒子対と同時ではない！）。もし 4 つの質点全てがそれぞれに対応する点 A', B', A, B の上を同時に「通過する」ようにしたいのであれば，列車側の反射器の底角はさらに角度$\arccos\frac{v_1}{\sqrt{v^2+v_1^2}}$だけ小さくしなければならない (平面導波管を設置すれば, 列車上の粒子対はあまり高く「上昇」しすぎることなく，列車に平行に運動する)。以上から分かるように, きわめて多様な状況のために複数の類似した力学モデルを設定することが可能である。

これらは 2 つの相異なる事象であると言うことができる。そして閃光（稲妻）の場合にも，やはり事象は 2 つである。実際，速度$\mathbf{v}$で互いに運動している系 S とS'の中心 O と O' が一致した瞬間に閃光が生じたとしよう。ある瞬間 $t > 0$ に，光波面は系 Sにおける O を中心とする球面Σ上と，系S'におけるO'を中心とする球面Σ'とに存在することになる（これ

は不可能であるように見える)。しかし，ここには驚くべきこと（古典物理学との矛盾）は何もない。なぜなら，系 Sにいる観測者がある周波数 ωの光を記録するとき系S'にいる観測者も（ドップラー効果の結果）周波数（ω'）は異なるものの，同一の光を記録するからである。ところでこれは，同定可能な差異を持つ 2 つの事象，すなわち，観測者たちが出会ったとき測定結果 ωとω'の比較を行うことが常に可能な事象に他ならない！

今度は，同時性の相対性を「証明している」思考実験についてより詳しく吟味してみよう。互いに運動している系 SとS'の中心 OとO'が点$O = O'$で一致した瞬間に閃光が生じたとしよう。特殊相対性理論によれば，系 Sの時計で計った時間$\Delta t = t_1 - t_{01}$の間に，光は中心 O から$c(t_1 - t_{01})$の距離を進む。系S'の時計で計ったこれと同じ時間$\Delta t = t_2 - t_{02}$の間に，光は中心 Oから $c(t_2 - t_{02})$の距離を進む。初期時間の調整は 2 つの時間Δtの差に影響を与えず，また，実験前と実験後のいずれにおいても任意の方法で検証することができる。例えば，運動方向に対して垂直の位置におかれた無限遠の周期的発信源を利用することができる。系 Sの時計で計られる閃光について事前に（例えば 100 万年に 1 回，定期的に）取り決めをしておいて，事前に選択された閃光よりも一瞬前に，系S'を「組織化」することができる（これに関連する非局所性のパラドックスについては第 1.7 節で検討する)。

特殊相対性理論の主たるポジティブなアイデアは，相互作用の伝播速度の有限性という点にあったことを思い出そう。まさにこのアイデアを，近接作用理論が表現し，また場の理論によるアプローチが（マクスウェル方程式をつうじて）反映している。すなわち，これらの理論とアプローチによれば，光波面は光源から受信点までの空間の全ての中間点を逐次的に通過する。同時性の相対性という概念は，まさにこの性質との間で矛盾をきたしている（図 1.16)。このことを証明するために，我々は特殊相対性理論の次の 2 つの主張を利用することにしよう。すなわち，1）閃光が進行する間に観測者たちが空間的に互いにある距離だけ離れたとしても，同一の閃光は互いに運動している観測者たちに同時に到達する。2）特殊相対性理論（教科書）の運動学の公式は速度の 2 乗しか含まない。そこで，例えば，系S'にいる第 1 の観測者は閃光発信源に向かって小さい速度v~10^4 m/sで運動しているとしよう。発信源までの距離は大きい（100 万光年）ので，100 万年の間に 2 人の観測者は大きな距離~ $2{\cdot}10^{17}$ m だけ離れることになる。特殊相対性理論の公式によれば，信号の到着時刻は各観測者にとって同一である。第 1 の観測者は，空間のどの地点で光波面を第 2 の観測者のために「通らせてやった」のだろうか？ もしかしたら，第 1 の観測者が 100 万年間ずっと鏡を保持していて，信号を受信する 1 秒前に鏡を引っこめたのか？

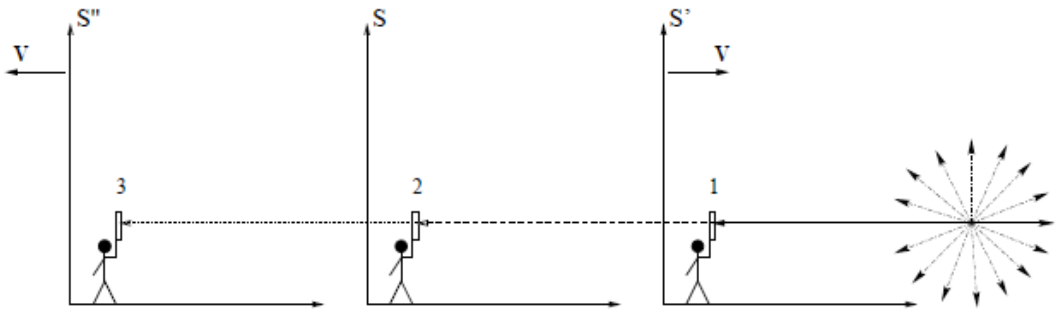


図 1.16. 同時性の相対性の矛盾

第 2 の観測者の意見によれば，信号はどこか前方で第 1 の観測者によって反射させられたのだという。では，第 1 の観測者の装置がまだ閃光に反応していなかったとすれば，彼は何を反射させたのか？ 同様に，第 3 の観測者が第 2 の観測者から上記と同じ速度で，ただし発信源とは反対側の方向に遠ざかっていくとしよう。もし第 2 の観測者が鏡を保持しているのが 100 万年マイナス 1 秒間なら，第 3 の観測者は光を見るのだろうか？

一方では，特殊相対性理論の公式には速度の 2 乗しか含まれていないのだから，第 2 の観測者は第 1 と第 3 の観測者による信号受信時刻を同一とみなすことになる。検討対象たる信号を各観測者が受信し次第，各自の信号をただちに送信するという取り決めをすることができる。すると，第 2 の観測者の計算が正しいとすると，彼は第 1 と第 3 の観測者からの信号を同時に受信しなければならない（課題は対称的である）。ところが他方では，マクスウェル方程式によれば，光は連続的に伝播し，第 2 の観測者は検討対象たる信号を自分が見るのと同時に，第 1 の観測者からの信号を受信する。第 2 の観測者の意見によれば，光はこの時刻までにはまだ第 3 の観測者に到達していなかった。こうして，第 2 の観測者は自己矛盾をきたす。すなわち，特殊相対性理論の公式に基づく 1 番目の計算は，マクスウェル方程式に基づく 2 番目の計算と矛盾している。光の空間的経路は単一なのだから（発信源，第 1 の観測者，次に第 2，最後に第 3 の観測者），観測者たちが閃光を同時に見ないことは明らかである。

特殊相対性理論の枠内においてさえ，同時性の相対性という概念は強い制約を受けているということ，すなわち，この概念は 2 つの孤立した事象にしか適用することができない（交差し合う複数の一次原因も，交差し合う複数の後続作用も存在しない。またそもそも，2 つの孤立した事象以外のいかなる追加的事実も我々の関心の外にある）ということを補足として指摘しておこう。実際には，空間と時間の中のそれ以外の全ての点の場合は言うに及ばず，選ばれたこれらの点の場合でさえも，光円錐は交差を持っている。現実には，我々は，多数の交差を持ちながら空間と時間の各点を通って進行する，因果的に結ばれた（また因果的な結びつきのない）諸事象の密な連鎖を持っている（各原因がそれに対応する帰結の生起を光速で引き起こすということでは決してない）。そしてこの現実の（スケールの異なる！）時間格子は，空間全体にとって相互連関的なものである。したがって，一般的な場合には，我々は因果的な結びつきのない諸事象でさえ，その継起順序を（基準系の選択によって）取り替えることができない（いずれにせよ，このことがどこかに反映されるだろう）。

1.4. ローレンツ変換

ローレンツ変換に関していくつかの指摘をしておこう。ローレンツ変換の導出へのいくつかのアプローチのうちの 1 つにおいては，見かけ上 2 つの運動系にとって異なって見える光球面（閃光は 2 つの運動系の中心が一致した瞬間に生じた）が利用されているか，または，これは事実上同じことであるが，間隔の概念が利用されている（この概念は同一の光球面を表している）。方程式系

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2, \tag{1.3}$$

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = c_1^2 t_1^2 \tag{1.4}$$

の解は，ただ単に 2 つの表面の交線でしかなく，それ以上のものではない（図 1.17）。これらは$y = y_1$，$z = z_1$という条件下では球体と回転楕円体の表面となり，2 つの図形の中心間の距離はvtである。しかし実は，これは別の課題―2 つの閃光に関する課題（任意の時刻にこれらの閃光の中心を見出すこと，すなわち，逆の課題を解くことは可能か）―なのである。

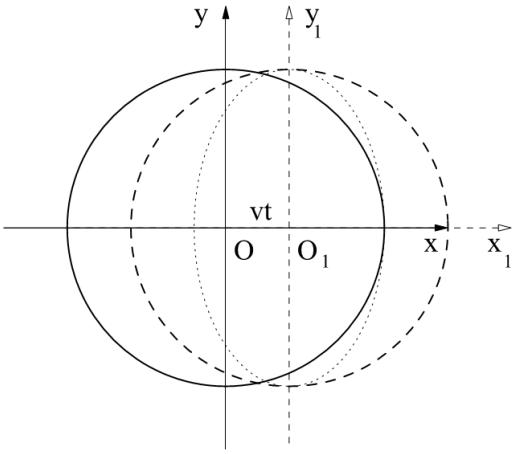


図 1.17. 2 つの閃光に関する課題

ローレンツ変換の導出への別のアプローチにおいては，方程式（1.3）を（1.4）に転換するような転換が追求される。明らかなように，変数が 4 つの場合，そのような変換は一つだけではない。第 1 に，線型性，相互一意性，可逆性等々といった要件と同様，$y = y_1$，$z = z_1$という等式の設定はあり得る仮説の 1 つであるにすぎない。（周波数パラメーター化の追加的可能性については付論で述べられている。）第 2 に，光表面のいかなる変換も，体積（その中で非電磁的な物理過程が起こり得る体積）の変換をまったく決定付けない。例えば，音速もやはり音源の運動に依存しないが，このことからはいかなる大域的な結論も導き出されない。

いずれの場合にも，特殊相対性理論におけるローレンツ変換は 1 つの対象ではなく，2 つの対象を物理的に記述している。さもなければ，簡単に矛盾に陥ってしまう（図 1.18）。閃光が生じたとしよう。光球面の代わりに，系 Kおよび K'の相互運動に対して垂直な 1 つのビームを分離しよう（それ以外の光エネルギーはただちに系内で吸収されることにする）。中心から大きな距離だけ離れた所で，長い鏡 Z（2 つの系の相互運動の線に対して平行な線に沿っておかれている）を使ってビームの進路を遮断しよう。すると，系 Kの観測者はある時間の経過後に反射した信号を記録する。信号は完全に吸収されるものとしよう。しかし，系 K'とともに運動している観測者もまた，ある時間の経過後に空間中の別の地点で信号をキャッチする（やはり信号は完全に吸収される）。相異なる相互速度vを持つ 2 つの系の「連続体」を捕まえれば，信号は直線の任意の点でキャッチすることが可能である。付加エネルギーはいったいどこから捕まえられたのか？ これは特殊相対性理論の第 1 種永久機関ではないか？

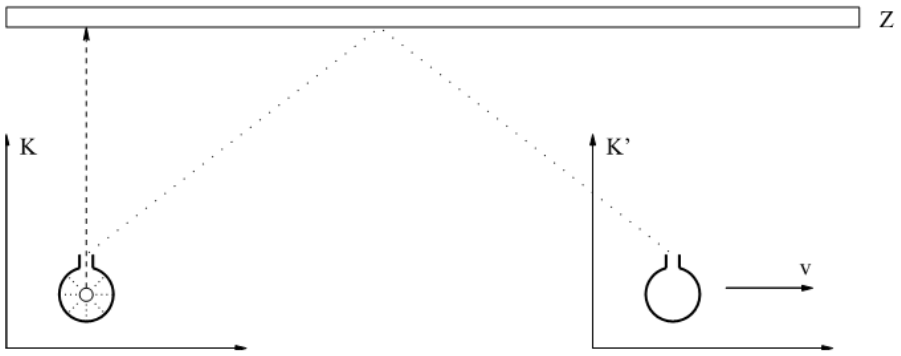


図 1.18. 光球連続体の矛盾

ある数式がある定数c'を持つローレンツ型変換に対して不変であることが分かったとしても，それはせいぜい，その方程式のいくつかの特殊解の中に，速度c'で伝播する性質を持つ波動タイプの表面が存在することを意味するにすぎない。しかも，それとは別の数式は言うに及ばず，選ばれたその方程式にさえ，独自の不変変換を持つさらに別の特殊解が存在し得る。つまり，数学の場合，不変性という事実からはいかなる一般的な数学的結論も導き出されないのである。特殊現象から「シャボン玉をふくらませよう」と試みているのは相対論者たちだけだ。

1.5. 距離収縮のパラドックス

次に，空間概念に話を進めよう。特殊相対性理論の全ての結論は間隔の不変性から導き出されているのだから，上記で証明された等式$dt = dt'$および相対論の等式$c = constant$（これを信じるとした場合）から$dr = dr'$が得られ，空間概念についてはこれ以上検討しなくてよいということになる。しかし本書では，最大限完全な観点を形成するため，それぞれの論争点について，可能な限り他の論争点とは切り離して検討することにしよう。

同一の物体が異なる観測者には異なって見えるのだから（非客観性），特殊相対性理論における長さの収縮は現実の物理的効果を反映することができない。それだけでなく，ある基準系から別の基準系への移行は十分に迅速に起こり，このことがただちに全宇宙に（無限宇宙にさえ）反映されるのだという。これは明らかに特殊相対性理論によって擁護されている相互作用伝播速度の有限性の原理と矛盾し，つまりは因果性の原理とも矛盾する。したがって，このような収縮は，そのうちのいくつかが物理的意味を持たない量からなる，補助的な数学的計算以上のものではない。特殊相対性理論における長さの収縮過程を説明するために現実の物理的メカニズムを援用することは不可能である。なぜなら，収縮は任意の速度$v \neq 0$でただちに起こらなければならないからである。実際には，加速の過程で物体をその後ろ側から押すだけでなく，前から引っ張ることもできるのだから，その場合は収縮ではなくて伸長が生じるはずである（これは実験的に検出可能である！）。ゆっくりした等加速度の場合，この恒常的な伸長状態は加速時間全体をつうじて一様となるはずである。したがって収縮はいつになっても始まらない。

特殊相対性理論は「絶対真空空間中におけるアインシュタインの光斑との戯れ」として

あっという間に創造されたものであるから，電磁場（スイッチ付きの電流，レーザー，ビームおよび鏡，等々）を利用したあらゆる擬似パラドックスは容易に解決することができる。そこで相対論者たちは，そのパラドックスをあたかも特殊相対性理論における矛盾の非存在であるかのように巧みに描き出している。彼らはこの目的でいとも簡単にすり替えを行い，真のパラドックスの代わりに，ありとあらゆる電気スイッチや有効爆発等々が登場する，自分たちが考案あるいは「追加」した疑似パラドックスを「詳しく吟味」している。それゆえ，この種の改ざんには十分ご注意いただきたい！ さて次は，長さの収縮の具体的なパラドックスを取り上げることにしよう。

座標軸に沿った飛行

本書の叙述は，このきわめて重要なパラドックスについての議論から始めることができたかもしれないが，筆者は全ての読者にとってよりなじみのある話の進め方を選んだ。さて，このパラドックスの本質は，一部の物理学者たちは，形式化されたディテールの研究に没頭するあまり，任意の個別的物理現象は**単一の全体の一部のみ**をなしているということを感じることを止めてしまった，ということである。座標原点に向かって飛んで来た 3 機の有人ロケットを思い浮かべていただきたい。これまでの間，1 番目のロケットは X 軸に沿って，静止系の座標原点にある時計で 100 年間，速度 $0.99c$ で等速度運動してきた。2 番目のロケットは Y 軸に沿って，それと同じ座標原点の時計で 1000 年間，速度 $0.9999c$ で等速度運動してきた。3 番目のロケットは Z 軸に沿って，それと同じ座標原点の時計で 100 万年間，速度 $0.999999c$ で等速度飛行してきた。そして今，それら 3 機のロケットが座標原点を通過しようとしている（以上は，実験開始前までの状況である。それらのロケットがいかにして，いつ，どこからスタートしたかについては，各人が，彼が個人的に信じている理論に従って計算することができる）。共通の原点を通過する瞬間，全ての宇宙飛行士と座標原点にいる観測者は，彼らを取り囲んでいる**共通の宇宙**を見て，次に，**空間の同一地点において同一の時刻に**見たものに関する情報を無線電報で交換し合う。静止している観測者は，全員にとっておなじみの「永遠なる宇宙」を見るだろう。特殊相対性理論を信じるとすれば，1 番目のロケットの宇宙飛行士は，全宇宙は X 軸に沿って 10 分の 1 に圧縮したと言明し，2 番目のロケットの宇宙飛行士は，全宇宙は Y 軸に沿って 100 分の 1 に圧縮したと言明するのに対し，3 番目のロケットの宇宙飛行士は，**それと同じ全宇宙**は Z 軸に沿って 1000 分の 1 に圧縮したと主張することになる。まさか，ロケットの運動が我々の全宇宙を圧縮したなどというたわ言を信じる者がいるだろうか？ しかも，それはいかなる物理的メカニズムも欠いている。ミュンヒハウゼン男爵［＝ほら吹き男爵］の生まれ変わりだ！ それとも，因果原理があからさまな形で適用されないようにするため，圧縮されたのは宇宙全体ではなく，その一部（それぞれ，100 光年，1000 光年，1000000 光年の部分）のみであるとでも言うのか？ また，宇宙のそれ以外の部分との間に断絶が現われたとでも言うのか？ いずれのバリアントも，歴然たる相対論的ナンセンスである。

このように，相対論的変換が決定しているのは現実の座標ではなく，補助的文字のみであり，現実には $d\mathbf{r} = d\mathbf{r}'$ が得られている。ここでも再び，特殊相対性理論の全ての結論は

間隔の不変性から導き出されているのだから，相対論の等式 $c = constant$ は正しいと信じるならば，$dt = dt'$ が得られ，時間の変化についてはもはや検討しなくてもよいということになる。しかし，相対性理論に対する見方を完全なものにするため，我々は，この理論によって描き出されている不条理な絵の全容の解明作業を続けることにしよう。

十字架のパラドックス

剛平面上に大きな平板がおかれており，そこから小さな十字架が切り出されたとしよう（図 1.19）。十字架の長さは横棒の幅よりはるかに大きい（$|AD| \gg |BC|$）。十字架が，古典物理学による場合にはそれが切り出された跡の開口部に入り込む（例えば，重力の作用で開口部に落下する）ことになるように，十字架を平板に沿って滑らせる。相対運動速度 $\mathbf{v}$ は，相対論の公式によって長さが 2 分の 1（またはそれ以下）になるように選ぶ。十字架の重心（点 o）は横棒の中心にあることに留意しよう。したがって，十字架の垂直運動（落下または前端部の方向転換）は，(1) 中心 o と横棒の中心線（$O'O''$）が真空空間の上方にある場合，および (2) 点 C, D, E, F のいずれにも支えがない場合にのみ可能である。横棒もしくは端部のうちの 1 つ，または両端が常に平板によって支えられているのだから，十字架上の観測者の視点から見ると，十字架は長さが 2 分の 1 に収縮した開口部の上を滑って通過していく。有名な「棒の方向転換を使ったトリック」はここでは起こらない（この課題についてはこの少し後で検討しよう）。ところが平板上の観測者の視点から見ると，(2 分の 1 に収縮した）十字架は開口部に落下するのである。このようにして，我々は相異なる 2 つの事象を得る。では，落下（剛平面への衝突）はあったのか，なかったのか？ また，開口部の中にいた観測者はどうなるのだろうか（彼は押しつぶされてしまうのか否か）？ あるいは，彼が助かるためには，彼は大至急，十字架の速度まで加速しなければならないのか？ それとも，収縮した十字架が届かない端部 $A'H'$（または $D'E'$）の近くにいなければならないのか？ もし誰かがどうしてもこのパラドックスを「存在のパラドックス」の形に再定式化したいというのなら，前のパラグラフの相対論者による「電磁的すり替え」を思い出し，起爆装置を平板の下に設置しておき，もし十字架が落下したときは，十字架形の開口部の中心の平板の下におかれた爆弾の押しボタン式スイッチが十字架の重心によってのみオンになるようにすればよい。

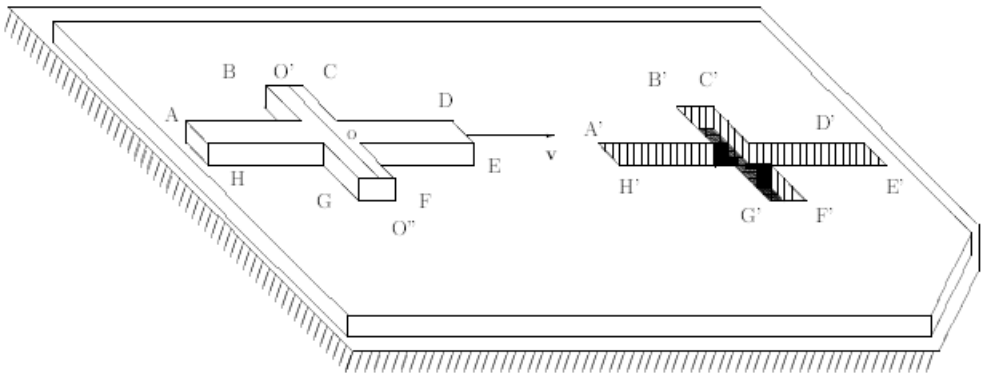


図 1.19. 十字架のパラドックス

補足的なパラドックスと奇妙さ

別のパラドックスについて書こう。平板から円板が切り出され，その中心を軸として回転し始めるとしよう。長さの収縮の結果，平板上にいる観測者は隙間と，平板の向こう側の物を見るはずである。一方，円板上の観測者は平板が円板に迫ってくるのを見るはずである。十分大きな R を選べば，加速度v^2/Rは$v \to c$の場合でさえ，事前に設定された任意の大きさより小さくなれるのだから，系が非慣性系であることは何の意味も持たない。この円板の幾何学については一般相対性理論をテーマとする第 2 章で詳しく検討する。この種の矛盾は，おなじみの相対性理論が論理的に成り立たない（科学の基礎をなす予測可能性が失われる）ことを示している。

もう一つの「奇妙さ」（距離のパラドックス）に注目しよう。物体の長さの収縮は空間自体の性質と関連付けられているのだから，物体までの距離も収縮しなければならない（これは，我々が物体に近づいているのか，それとも物体から遠ざかっているのかとは無関係である！）。したがって，ロケットの速度が十分大きいとき（$v \to c$），我々は星々が遠ざかっていくのを見るだけでなく，手をのばして星々に触れることもできる。なにしろ，我々の固有基準系では我々のサイズは変化しないのだから。それだけでなく，地球から大きな加速度（特殊相対性理論は加速度に制限を加えていない）で長時間飛び去っていくと，我々は地球から「1 m」の距離にいることになる。他ならぬこの「1 m」の距離にいる観測者は，ロケットの逆転運動（すなわち，ジェットエンジンの運動に対して反対方向の運動）をいったいどの瞬間に目撃するのだろうか？

今や，距離の同時測定方法は物体の運動に依存しない以上，絶対時間の導入が可能であるという事実もまた，時間の遅れ，同時性の相対性，さらに距離収縮に関する特殊相対性理論の論理的にパラドキシカルな結論を覆す。例えば，薄い物体（例えば，紙から切り出された輪郭だけの肖像画）が写真フィルムに沿って任意の速度で滑っているとしよう。すると，無限遠にある写真撮影用フラッシュでごく短時間の照明が行われた場合，この物体の長さは写真上のその陰影の長さと一致することになる。光源から平面上におろされた垂直二等分線を物体が通過する瞬間，閃光の波面が平面に到達するという条件付きなら，無限遠ではなく普通の遠方光源を利用してもよい（いわゆる「波面の方向転換」なるものについては第 1.7 節を参照のこと）。

物体までの距離の収縮は別の理由によっても矛盾している。歩行者の速度による運動の場合でさえ，遠い星雲までの距離は著しく収縮しなければならない。しかし，その収縮の方向は不定である。もし運動している歩行者が星雲を見つめると，彼は地球の境界を越えて飛び去ってしまうのだろうか，それとも逆に，その眼差しによって別の星雲を引き寄せるのだろうか？ これらの結果のいずれも，完全な神秘である。

特殊相対性理論における長さの収縮にともない，ベルト駆動装置をめぐって奇妙なことが生じる（図 1.20）。ベルトのフリーな両半分［現在駆動ローラーと接触していない 2 つの部分］のそれぞれの上にいる観測者たちの視点から見ると，円筒形ローラーは楕円筒形に変化し，向きが変わらなければならない。すなわち，楕円の半長軸の各点のうち，各観測者と反対側にある各点は近づき合わなければならないのである（ここでもまた非客観的な描写が得られる）。例えば，特殊相対性理論ではベルトの上半分と下半分の長さは非客観的なものと

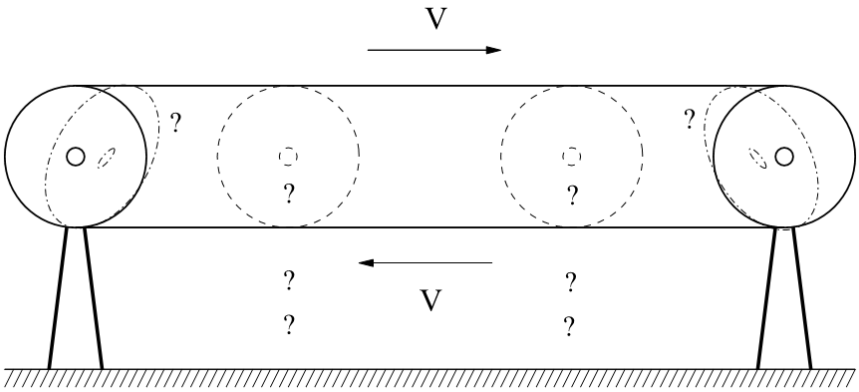


図 1.20. ベルト駆動装置の幻想

なる。静止した台の上にいる第 3 の観測者の視点から見るとまったくの矛盾が生じる。一方では，ローラーは互いに近づき合わなければならない。他方，ローラー軸を支えている静止した支承部はその場に留まらなければならない。いったい，ローラー軸は何の上で支えられることになるのか？ では，現実の空間が収縮するというのか？ 特殊相対性理論を緊急救助するためには，何を人為的に公準として定める必要があるのだろう。それは，ローラーと支承部のために挿入された互いに異なった空間，そしてベルトの客観的性質（伸張性）の変化か？

「それは空間自体の運動学的効果である」といった類の決まり文句を使って長さの収縮メカニズムについての説明から逃げようとする試みは，「収縮方向」（空間のどの地点に向かって収縮するのか？）の不定性によって失敗に終わっている。実際，（観測者の）カウント開始地点は物体の内部，あるいは左側または右側といったように，無限空間の任意の地点におくことが可能であり，このとき，物体全体は収縮するだけでなく，その任意の地点に向かってさらに移動することになる。このことは，この効果の矛盾性と非現実性を同時に証明している。区間の両端に 2 人の観測者（運動している観測者）がいる運動系が一瞬のうちに創出されたとすると，この場合，その区間の収縮が区間のどちらの端部に向かって生じなければならないかは不明である。「ローレンツ変換の相互一意性」という文句もこの状況を救うことができない。これではまったく不十分である。ある種の数学的変換の相互一意性はこの変換を計算上の便宜のために利用することを可能とするが，しかしこのことは，相互一意性を持つ任意の数学的変換が物理学的意味を持つことをいささかも意味しない。さらに，収縮した物体の停止過程も奇妙である。次の疑問が生じる。物体の寸法はどちらの側に向かって回復するのか？ 遠く離れた相異なる観測者たちがこの物体を観測していた場合，空間の収縮はどこに向かって起こったのか？

細い棒に関する課題

長さ 1 m の細い棒が長さ 1 m の穴のある薄い平面に沿って滑動するという課題［106］について詳しく検討しよう（［33］の演習問題 54 を参照のこと）。あらゆる物体は，どんな代償をはらってでも特殊相対性理論を矛盾から救い出せるような仕方で収縮し，方向転換し，「湾曲」し，滑らなければならないというのは，きわめて奇妙なことである（しかし，

図 1.21. サンドイッチ内での滑動

このようなアプローチは，特殊相対性理論の運動学的効果が原理的に検出不可能であることの間接的な承認である)。この課題に対して，棒の現実の剛性はいかなる関係を持ち得るのだろうか？ いかなる関係も持ち得ない！ 棒全体のうち，穴の上に束縛なしに張り出している部分のみが湾曲に関与するようにするため，棒が 2 つの平面（サンドイッチ）の間を滑ることにしよう（図 1.21)。もし長さ 10 cm まで（10 分の 1 に）短くなった穴の中に長さ 1 m の棒が「湾曲し，滑り込む」ことができるとしたら，それとまったく同様に，長さ 1 km の棒（その棒はもはや，古典物理学においても，特殊相対性理論においてさえも，平面基準系に落ち込まないはずであるが）もその穴の中に「湾曲し，滑り込む」はずである。ここで（イコライザー機構の場合における）音響振動速度におごそかに言及することは，真理の「まことしやか」な隠蔽である。現実の 2 本の一様な水平棒が同じ高さにあるとしよう（図 1.22)。1 番目の棒はテーブルに押し付けられた状態で滑り，時刻$t = 0$に一方の端部が垂れ下がり始める。この時刻（$t = 0$）に，2 番目の棒が自由落下し始める。$t > 0$の任意の時刻において，1 番目の棒の 1 端が湾曲するのと比べ，2 番目の棒がはるかに大きな距離だけ下方に転移している（落下している）ことは明らかである（ところが事実として，特殊相対性理論は現実の物体を剛性ゼロの物体に置き換えようと試みている)。ここで分析されている課題の場合，相対論的速度は，現実の物体を絶対的な剛性を持つ物体のモデルにより近似させることにより，低速度の場合よりも剛性の影響を減少させることしかできない。実際には，棒の湾曲は相対論的運動に対して垂直な方向に向かって生じる。したがってこの課題は，川に張った薄氷上での重い物体の滑動という課題，つまり，運動速度が小さいとき，物体は（氷の湾曲によって氷が割れることで）落ち込む可能性があるが，速度が十分に大きいときは（氷の湾曲が小さいため）落ち込むことなく氷上を滑ることができるという問題に類似している。音響振動速度は光速よりもはるかに小さい。したがって，静的状態にある場合と比べ，分子は実質的により短い時間で移動し，その結果，湾曲はより小さくなる。分子 1 個当たりの下側平面の厚さを，棒の湾曲部の移動の大きさより大きくしてみよう（その大きさは事前に選択された具体的な材料によって決まる)。先ほどの棒が平面に沿って（停止することなく）滑り続けられるようにするため，穴の 2 番目の端部にきわめてゆるやかな傾斜面をつけよう（図 1.21)。非相対論的速度において棒

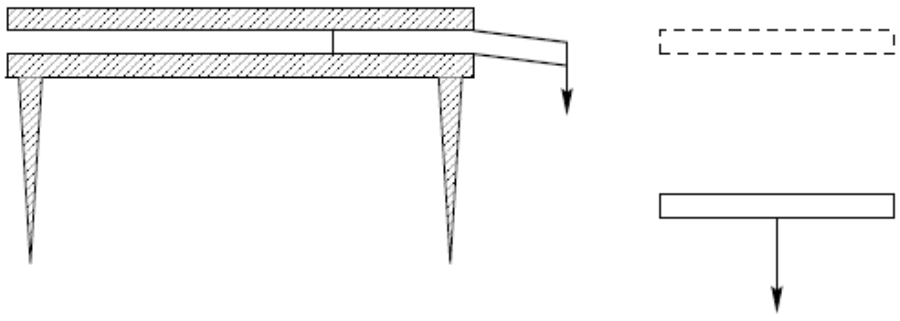


図 1.22. 棒の剛性と湾曲

が現実の 10 cm の穴の中に「滑り込まない」のであれば，ましてやより大きな（相対論的）速度において，10 cm まで短縮した（とかいう）穴の中に棒が「滑り込まない」ことは明らかである。平面の全ての特徴は前回と同じで，棒の長さを 20 cm または 1 km とした場合，特殊相対性理論の観点から見ると何が生じるのだろうか？ また，実験の幾何学的特徴は前回と同じままで，棒のために様々な材料（剛性がゼロのものから最大のものまで）を選んだとしたら？ 1 つのケースに合わせて全てのパラメーターを精密につじつま合わせしたとしても，それ以外の（相異なる）全てのケースにおける矛盾を解消することができないことは明らかである。特殊相対性理論を救うためには，実験中には剛性が材料の客観的性質であることをやめる（そして観測者，幾何学的寸法および速度に対して ad hoc に依存する）という公準，あるいは穴の 2 番目の端部が「必要とされる仕方」で ad hoc に跳ね上がるという公準を設定しなければならない。目的がこのような手段を正当化するのか？

X 軸に沿って飛行する細い棒（棒は今回は平面に押し付けられていない）が同一寸法の開口部（この開口部は Z 軸に沿ってゆっくりと迫ってくる）を通り抜けるという，上記と類似した課題が一般向けの文献［6］でも取り上げられている。相対論者たちは，観測者たちの証言における矛盾を空間中における棒の方向転換（この場合，古典物理学におけるのと同様に，棒はいかなる場合にも開口部を通り抜ける）を使って「解消」しようとしている。しかし，方向転換はローレンツ収縮を無効としない。Z 軸に沿った下方からの平行な光ビーム（例えば遠方光源からの光）で開口部を照らしてみよう。開口部の上方の高いところで，平面に平行に，ただし棒と平面の相互運動に対して垂直に，つまり Y 軸に沿って写真フィルムを高速度で通過させよう（図 1.23）。すると，棒が通り抜けたにもにもかかわらず，特殊相対性理論における結果は，それでもやはり相異なる観測者にとって相異なったものとなる。古典物理学においては，棒が開口部を通り抜けた瞬間に写真フィルムが真っ黒になる現象（完全な黒化）が得られるはずである（このことが明るいフィルムテープ上の真っ暗になった区間によって確認されるはずである）。棒の上にいる観測者の視点から見ると，相対性理論においてもこれと同じ完全な黒化が生じるはずである（なぜなら，開口部が縮小し，方向転換するのだから）。ところが，平板（およびフィルム）の上にいる観測者の視点から見ると，棒の方が縮小し，方向転換する。したがって完全な黒化は決して起こらない。いったい，誰が正しいのか？

棒の相対論的な方向転換角度は，X 軸に沿った速度と Z 軸に沿った速度の比に一意的に

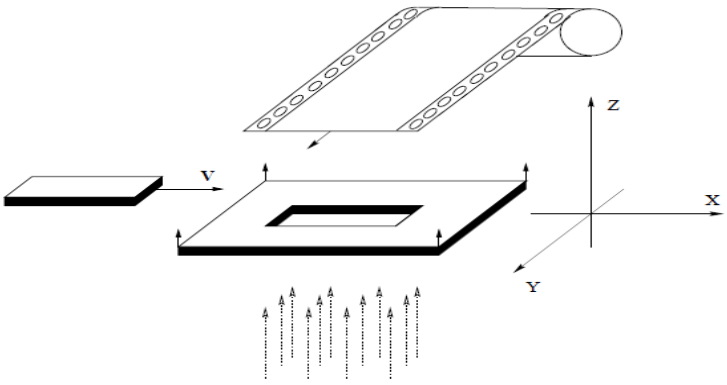


図 1.23. 棒の「方向転換」

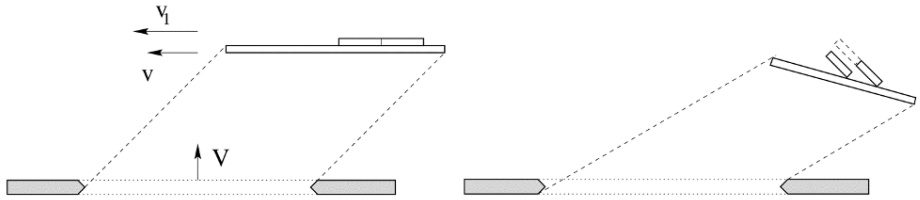


図 1.24. 滑動する棒のパラドックス

依存している。したがって，その状況を，きわめて簡単にパラドキシカルな状況に作り変えることができる。この目的により，1 番目の棒とは別の小さい棒lが，1 番目の棒に沿って速度v_1で滑動するとしよう（図 1.24 の左側)。2 つの棒の上にいる各観測者は，2 つの棒の間に隙間は存在しないと言明している。ところが，特殊相対性理論によれば，平板の上にいる観測者にとっては，大きい棒 L と小さい棒lは，平板に対して相異なる角度だけ方向転換していることになる。速度vとv_1の違いにより，小さい棒は大きい棒に対して上方に方向転換していることになり，したがって 2 つの棒の間に隙間が現われる。矛盾が生じる。統一体を諸部分に分割する方法を適用すると，その矛盾をさらに強めることができる。まず最初に，単一の統一体としての棒lについて検討しよう。この場合，棒lの 1 番目の半分は，それに沿って滑動が行われている棒 L の上方へ，ある高さだけ持ち上がった状態となる（図 1.24 の右側。棒の半分は破線で描かれている)。今度は，小さい棒が実際に 2 つの半分に分割されている，それとは別の状況について検討しよう。このような場合には，小さい棒の 2 番目の半分をめぐる状況は，その 1 番目の半分の起点の平行移動と完全に類似したものとなる。したがって，それらの半分は，それらの後端が大きい棒の上にある状態となるが，両者は空間的に分離されている（図 1.24 の右側。実線で描かれている)。このような状況の奇妙な点は, 特殊相対性理論においては, 任意の方向転換を行ったときにも，相対論的因子を掛けたときにも，ゼロ分割はゼロであり続けるということである。我々は先ほど，小さい棒の 2 つの半分を大きい棒の**上方に**配置したが，実は，そうすることによって特殊相対性理論に少々手助けをしてやったのであった。矛盾の原因は，特殊相対性理論には，他の物体にとって透過不可能な剛体はまったく存在しないということにある。すなわち，特殊相対性理論の「物理学」全体は，もっぱら閃光を利用して「導出」されているが，閃光は互いの中を透過し合う能力を持っている。その結果，任意の観測者たちの証言を（例えば，一方の棒の中心において）整合させるためには，まさにその場所において，両方の棒が互いの中を通過し合うことが必要となるはずなのである（相対論的トリックと現実との間の不条理な不一致)。

長さの収縮に関するいくつかのコメント

さらに，距離の収縮に関する相対論的効果（歩行者たちのパラドックス）について検討しよう。次のような思考実験（図 1.25）についてあらかじめ「約束」しておこう。線分の中点におかれた灯台が線分の両端に信号を送ることにしよう。線分の長さは 100 万光年とする。閃光が到達した瞬間，線分の両端にいる 2 人の歩行者が線分を含んでいる直線に沿

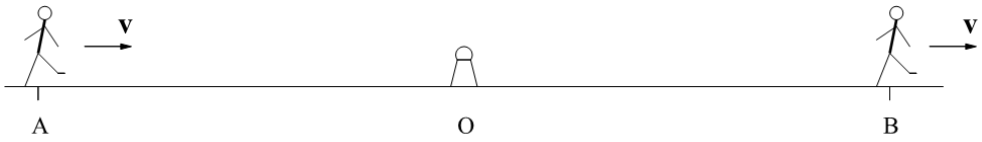


図 1.25.　2 人の歩行者のパラドックス

って，事前に選択された同一の側に向かって同一速度で歩き始め，数秒間進む（移行過程は 1 秒間の何分の 1 しか続かず，この現象においていかなる顕著な役割も演じることはできない)。運動している線分（2 人の歩行者の系）は静止している線分の両端に対して数百 km 収縮しなければならない。しかし，いずれの歩行者もこの数秒の間に数百 km もの「飛躍」などしない。ローレンツ変換は連続的であるから，運動している線分が真ん中で 2 つに分かれたということもあり得ない。この線分はいったいどこで収縮したのだろうか？ そして，どうすればそれを検出できるのか？

なにしろ，特殊相対性理論は加速度に対して原理的な制限を加えていないのだから，このパラドックスをさらに強めることができる。あるロケットがケンタウルス座 α 星から 1 光秒の距離の所に存在しており，それと正確に同様の 2 機目のロケットが惑星地球から 1 光秒の所に存在しているとしよう。これら 2 機の相互に静止したロケットが 1 つの基準系を構成しており，太陽（地球）－ケンタウルス座 α 星系が 2 番目の基準系を構成している（これらの天体も十分な精度で互いに静止しているとみなそう)。実験条件は事前に取り決められており，時刻は同期されている。所与の時刻に両方のロケットが同時におよそ 1.5 秒間の間地球の方向（ごくわずかだけ地球をそれる方向）へ加速し，その結果，ロケット間の距離が 1 m 半まで収縮するような速度$v \approx c$に達する（2 番目のロケットは地球のすぐ近傍でこの速度に達する)（なにしろ，これは空間自体の運動学的効果とされているのだ！)。一方，惑星地球上の歩行者たちにとって距離は以前のままであった。そのとき，より近い方のロケットがある歩行者の頭上を跳び過ぎた瞬間，彼は遠い方のロケットに向かってスタートし，1 秒間の間に 2 m 進み，停止し，方向転換する。相対論的おとぎ話によれば，彼は両方のロケットを見るはずである。その瞬間，両方のロケットは減速し始め，1 秒間の間に停止する。しかしなにしろ，両方のロケットは，3 秒間の飛行の間に，3 光秒より大きい距離を通過することはできなかった。すなわち，1 番目のロケットはケンタウルス座 α 星からほぼそのような距離の所に，2 番目のロケットは地球からほぼそのような距離の所に存在しなければならないのである。1 番目のロケットは，その 1 秒間の減速の間に，すなわち，光速度より数億倍大きい速度で，約 4 光年の距離の所にあるケンタウルス座 α 星に向かって尾部を前に向けて飛び去らなければ（戻らなければ）ならない！ 自分自身の公準に反して……。

相対論による長さの収縮を「正当化」するため，フォック［Vladimir Aleksandrovich Fock］［37］は次のように推論している。長さ（線分の両端によって実際に確定することが可能な長さ）の測定は，静止系では非同時的に行うことが可能であるのに対し，運動系では同時に行う必要がある。間隔の不変性

$$(x_a - x_b)^2 - c^2(t_a - t_b)^2 = (x'_a - x'_b)^2 - c^2(t'_a - t'_b)^2$$

より，$t'_a = t'_b$，$t_a \neq t'_b$を選んだとき，$|x_a - x_b| > |x'_a - x'_b|$を得る。しかしそれでは，客観的な長さ$|x_a - x_b|$を唯一の仕方で得るために$t_a = t_b$を選ぶことを恣意的にしないのは，いかなる理由によるのか？ 時間にも，また固有基準系のための同時性の概念にも依存しない長さ（線分の両端）の測定過程が存在する事実は，この系における時間特性と空間特性との完全な独立性を証明している。それとは別の系，すなわち運動系のために，速度の運動学的概念に加えて，さらに座標と時間との第2の追加的関係なるものが出現しなければならないのは，いったいなぜなのか？

「現実の長さ」は存在しないというマンデリシュタム［19］の見解および彼が挙げている物体の角測度の例は誤っている。物体の角測度は物体の寸法だけでなく，物体までの距離にも，すなわち2つのパラメーターに依存する。したがって，1つのパラメーター（物体までの距離）を固定しさえすれば，物体の角測度を一意的なものとすることができる。いかなる長さ測定方法を採用した場合でも，相異なった運動をしている棒は相異なる長さを持つという彼の言明も誤りである。例えば，事前に相対運動に対して垂直に方向転換された複数の棒の測定（直接的比較）の手順が可能である。次に，これらの棒を任意の仕方で方向転換することができる。そもそも，これらの棒は，一致した瞬間に運動に対して垂直になるようにゆっくりと回転することが可能であったのである。それゆえ，この方法は，特殊相対性理論においてさえも相対運動に対してまったく依存しない。

一部の相対論者たちは，立方体の場合にはそもそも長さの収縮は存在せず，あるのは方向転換のみであると考えている（つまり，彼らは自分たちの間においてすら合意に達することができないということだ)。立方体が天井に押し付けられた状態で飛行するとすれば，立方体が現実に方向転換することはないこと（あるいは，それは見かけ上の効果でしかないこと）を証明するのは容易である。一般的に言えば，物体までの距離，その見かけ上の速度および寸法は，光を使った場合でさえ，それら自体の間において「無矛盾」ないくつかの方法によって決定することができる。例えば，ただ1人の観測者にとっても，角度寸法による方法，照度による方法，ドップラー効果による方法といった方法によってこれらを決定することが可能である。しかし，同一の物理量について様々な値が得られることは，物体およびその運動が持つ唯一の真の客観的性質（計測器の校正はこの性質に合わせて行われる）を破棄するものではない。

特殊相対性理論は，それ以外の一連の物理量の客観性を放棄する方法で，この理論による長さの定義の無矛盾性を「買い入れよう」と試みている。しかし，この手品は時間には通用しない―時間は不可逆的であるからだ。奇妙な点に注目しよう。すなわち，可逆性（ある慣性基準系から別の慣性基準系への移行およびその逆に際しての可逆性！）という意味において，線形的なローレンツ変換は座標についても時間についても完全に等価（可逆的）なのである。それゆえ，奇妙なことに，最初の状態に戻ったとき各物体間の寸法の差は消滅するのに対し，経過した時間の差は元のまま残ることになる（例えば「双子のパラドックス」の双子の場合)。

1.6. 相対論的速度合成則

運動学とは，運動原因の探求には取り組まずに，例えば，ある複数の速度が与えられれ

ば，それらの速度の合成結果を見出すことが可能である，といった問題に取り組む分野であることを思い出そう。粒子動力学（この分野は運動原因の探求に取り組む）に関する問題は個別の検討を必要とする（第4章参照）。

さて，相対論的速度合成則についてコメントしよう。相対運動に直接関与する2つの系については，これらの相対速度の決定に際して何らの疑いも生じることはない（古典物理学においても，特殊相対性理論においても）。系S_2が系S_1に対して速度v_{12}で，またそれと同様に系S_3が系S_1に対して速度v_{13}で運動しているとしよう。系S_1にいる観測者は，これら2つの速度を実験的に測定することができる。実は，相対論的速度合成則が定義している相対速度は，観測者自身が関与していない運動の相対速度なのである。系S_2に対する系S_3の運動速度は次のように定義される：

$$v_{23} = \frac{v_{13} - v_{12}}{1 - \frac{v_{13}v_{12}}{c^2}}. \tag{1.5}$$

この法則の真の本質は，まさにこの形式（ただしv_{13}は普通は v_{12}とv_{23}を通じて表される）のうちに現れている。この法則は，時刻の同期と長さの測定のためにアインシュタインの規則が用いられた場合には，系S_1にいる観測者は系S_3とS_2のいかなる相対速度を記録するかを語っている。外交辞令を抜きにして単刀直入に言えば，この「法則」は，特殊相対性理論の「唯一正しき教説」に根拠を与えないなどということにならないようにするためには，系S_1にいる「盲目」の観測者は，いかなる相対速度を系S_3とS_2に対して「有無を言わせず」押し付けなければならないかを物語っている。実は，我々が相手にしているのは，ここでもまた「見かけの法則」なのである。（周波数に対する光速のあり得るパラメーター依存性の場合には，この表式は変更される―付論BとCを参照のこと。）

次に，方法論について検討する。相対論的速度合成則が非共線ベクトルの場合に非可換であるということは，運動学概念にとってきわめて奇妙なことである。非可換性という性質（また，ローレンツ変換は回転がないときは群をなさないという事実）は，理論物理学のごく一部の教科書で軽く触れられているにすぎない。しかし，例えば量子力学では，この性質が数学的道具立て全体を著しく変化させ，物理的には非可換量の同時測定が不可能であることを表している。

一般的な相対論的速度合成則

$$\mathbf{v}_3 = \frac{(\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2)\mathbf{v}_1/v_1^2 + \mathbf{v}_1 + \sqrt{1 - v_1^2/c^2}(\mathbf{v}_2 - (\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2)\mathbf{v}_1/v_1^2)}{1 + (\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2)/c^2} \tag{1.6}$$

から，結果が変換の順序に依存していることが分かる。すなわち，例えば順序が

$$+v_1\mathbf{i},\ -v_1\mathbf{i},\ +v_2\mathbf{j},\ -v_2\mathbf{j}$$

（ここで，$\mathbf{i}$および$\mathbf{j}$は直交系の単位ベクトル）の場合には，合成速度がゼロという結果が得られる。これに対し，同一量でも順序が異なる

$$+v_1\mathbf{i},\ +v_2\mathbf{j},\ -v_1\mathbf{i},\ -v_2\mathbf{j}$$

の場合には，非ゼロの速度が得られる。この速度は速度v_1とv_2に対してきわめて複雑な形で依存する。$v_1\mathbf{i}$と$v_2\mathbf{j}$の変換（運動）の逐次的な適用が

$$\mathbf{v}_3 = v_1\mathbf{i} + \sqrt{1 - v_1^2/c^2}\,v_2\mathbf{j}$$

という結果をもたらすのに対し，これとは別の順序の$v_2\mathbf{j}$と$v_1\mathbf{i}$は

$$\mathbf{v}_3' = v_2\mathbf{j} + \sqrt{1 - v_2^2/c^2}\,v_1\mathbf{i}$$

という結果をもたらす。すなわち，異なったベクトルが得られるのである（図1.26）。

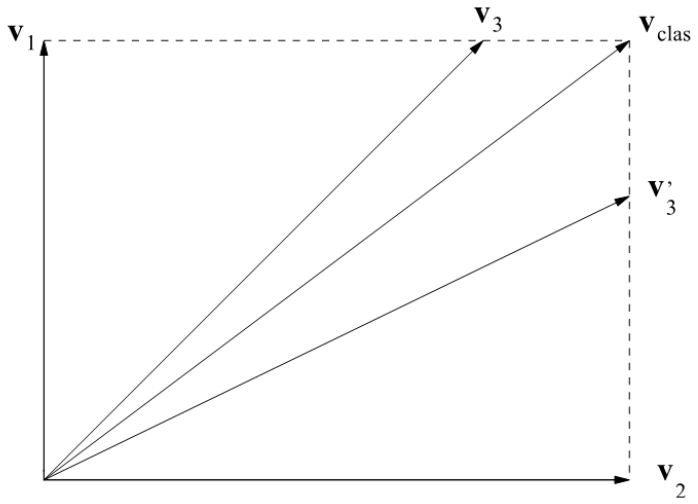


図 1.26. 特殊相対性理論における速度の平行四辺形

このような場合，速度ベクトルの成分分解はいったい何を意味するのだろうか？ 第1に，最も単純な古典的計算方法（可換代数）の相対論的方程式（非可換代数）への移入は不当であること，すなわち，ベクトル方程式の解でさえ，その成分ごとに追加的な公準，複雑化，あるいは説明を必要とすることを意味する。第2に，古典物理学の方法（仮想変位の原理，変分法，等々）を単純に適用することはできない。ゼロでさえ「個別化」しなければならなくなるだろう。すなわち，あるベクトルの組み合わせによって構成されている「ゼロ値」の数は，その組み合わせに対して鏡映対称なベクトルの組み合わせによって構成されている「ゼロ値」の数と等しくなければならない。したがって，揺動理論も追加的な基礎付けを必要とすることになる。このように，「特殊相対性理論の単純さとエレガントさ」という命題とは裏腹に，最も単純な手順の場合でさえ，その正確な基礎付けを行うためには，多数の人為的な複雑化や説明を導入しなければならなくなる（このことは教科書には書かれていない）。

相対論的速度合成則の論理的矛盾について，1次元の場合を例にとって検討してみよう。水平な樋の形をした天秤があり，その樋の真ん中に，水平な横方向支え軸があるとしよう。2つの一様な小球（質量m）が樋に沿って，支え軸から相異なる側に転がり始める（図1.27）。今は相対論的質量について議論するのを避けるために，次のように話を進めることにしよう。すなわち，天秤が水平姿勢のときの点（「死点」）を除き，どこにおいても天秤の支え軸に摩擦は存在しないということにする。水平姿勢のときの摩擦力の閾値は，（2つの小球の間に）生じる可能性のある相対論的質量の小さな差によって天秤が転位することを許さない値とする。ただし，その感受性の閾値は，小球の片方が（もし落下して）存在しなく

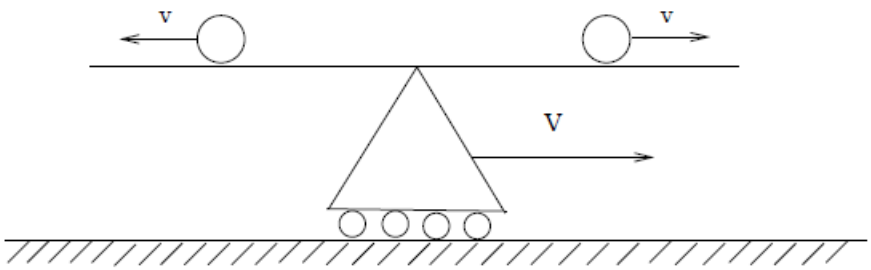


図 1.27. 速度合成則と天秤の矛盾

なったときに天秤が（「死点」から離れて）回転するのを妨げることのできない値とする。天秤の系における2つの小球の速度は，絶対値が同一であるとする。すると，この系内で2つの小球は同時に端部に到達して下に落ちるため，天秤は水平姿勢を保ち続ける。さて次に，天秤がそれに対して速度Vで運動している系の内部における，これと同一の運動について検討しよう。Vのみを$V \to c$とし，vについては$v \ll v_s$（ここで，v_sは樋の材料中における音速）とする。すると，天秤を絶対剛性とみなす（音波を無視する）ことができる。相対論的速度合成則によれば，次式が得られる：

$$v_1 = \frac{V - v}{1 - vV/c^2}, \quad v_2 = \frac{V + v}{1 + vV/c^2} .$$

速度が

$$\frac{v_1 + v_2}{2} = V \frac{1 - v^2/c^2}{1 - v^2V^2/c^4} < V$$

である中点の運動は，常に天秤の運動よりも遅い。したがって，天秤の運動方向と逆の方向に運動している小球の方が最初に転がり落ちる。その結果，均衡が失われ，天秤は回転し始める。我々は第1の観測者のデータとの間で矛盾を生じることになる。観測者が天秤の右側部分の下に立っているとしたら，彼には何が起こるのだろうか？

ローレンツ変換はある慣性系から別の慣性系への逐次的移行を記述することができるのだろうか？ また，相対論的速度合成則は現実の速度変化に対応しているのだろうか？ もちろん，ノーである。最初に，相対論的速度合成則にはどのような意味が込められているかを思い出そう。この法則は，速度合成は光速より大きい速度をもたらすことはできないということを証明しなければならない。次のような場合には，どうすれば速度を合成することができるのだろうか？ 例えば，我々の地球が恒星に対して運動しており（事実として，運動している第1の基準系が存在する），地球から宇宙船が高速度で飛び立ち（事実として，運動している第2の基準系が「創出」された），次にその宇宙船から次のロケット（第3の基準系）が飛び立つ，等々。変換の逐次的適用という言葉の下では，まさにこのことが意味されなければならない。そうだとすれば，例えば，速度合成則ではどれを第1の速度，どれを第2の速度とみなすのかという問題は無意味となる（これは可換的転換にとって重要である）。上記の全ての例は，まさにこの意味で引用されたものである。

今度は，運動方向が任意の場合のローレンツ変換について検討しよう。すなわち，

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r} + \frac{1}{V^2}\left(\frac{1}{\sqrt{1-V^2/c^2}} - 1\right)(\mathbf{rV})\mathbf{V} + \frac{\mathbf{V}t}{\sqrt{1-V^2/c^2}},$$

$$t_1 = \frac{t + (\mathbf{rV})/c^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}}.$$

相対論的速度合成則（1.6）を次の量

$$v_1\mathbf{i},\ \ v_2\mathbf{j},\ \ \ v_1\mathbf{i} - v_2\sqrt{1-v_1^2/c^2}\mathbf{j} \tag{1.7}$$

に逐次適用するとゼロが得られることは，容易に確かめられる。これと同じ速度の組み合わせのローレンツ変換を任意のベクトル$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j}$に適用すると，次式が得られる：

$$\mathbf{r}_1 = \frac{x + v_1 t}{\sqrt{1-v_1^2/c^2}}\mathbf{i} + y\mathbf{j},$$

$$t_1 = \frac{t + xv_1/c^2}{\sqrt{1-V_1^2/c^2}}.$$

さらに，次式が得られる。

$$\mathbf{r}_2 = \frac{x + v_1 t}{\sqrt{1-v_1^2/c^2}}\mathbf{i} + \frac{y\sqrt{1-v_1^2/c^2} + v_2 t + xv_1v_2/c^2}{\sqrt{1-v_1^2/c^2}\sqrt{1-v_2^2/c^2}}\mathbf{j},$$

$$t_2 = \frac{t + xv_1/c^2 + yv_2\sqrt{1-v_1^2/c^2}/c^2}{\sqrt{1-v_1^2/c^2}\sqrt{1-v_2^2/c^2}}.$$

$\mathbf{r}_3$およびt_3の式はあまりにも大きくなりすぎるので，あからさまな形では書き下さない。しかし，グラフィックソフトを利用すると，次の性質を確認することができる。

1）新たな系においては，座標の開始点を除く任意の空間点において初期時刻は同期されていない。

2）時間間隔は$dt_3 \neq dt$に変化している。すなわち，我々は最初の静止系ではなく，新たな運動系に入り込んだわけである。したがって，少なくとも教科書においては，ローレンツ変換あるいは相対論的速度合成則の意味は明らかにされていないということになる。

3）線分は長さが変化しているだけでなく，方向転換している。このことは，方向転換の角度，すなわち差

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_3[x(1),y(1),t] - y_3[x(0),y(0),t]}{x_3[x(1),y(1),t] - x_3[x(0),y(0),t]}\right) - \arctan\left(\frac{y(1)-y(0)}{x(1)-x(0)}\right)$$

を数値的に見出せば，容易に確認することができる。これらの性質は，計量（メトリック）の擬ユークリッド性によって数学的に十分納得できるように説明することができる。しかし物理学的には，状況はきわめて単純である。これらの性質は，ローレンツ変換と相対論的速度合成則の非客観性（皮相性），そしてこれら相互間の不一致を証明している。実際，我々はある慣性系から別の慣性系へと逐次的に移行したのであって，方向転換は系の非慣性性を意味するのであるから，特殊相対性理論は，それ自体が自らの適用可能範囲を逸脱

している。もしこの方向転換が現実のものであるとすると，このことは慣性系概念の非客観性（なぜなら，結果は当該の系への移行方法に依存するのだから）を，またそこからの帰結として，特殊相対性理論の存立基盤そのものの欠如を意味することになる。

相対論的速度合成則の式はローレンツ変換の式から導き出されているにもかかわらず，いったいなぜ，教科書に書かれている解釈はこれら2つの式の不一致という結果をもたらすのか，その理由を分析してみよう。系Kと系K'の1次元相互運動を例にとった際の，この結論を思い出そう（教科書で検討されているのは，1次元の場合のみ（！）であることにご注意いただきたい）。ローレンツ変換

$$x_1 = \frac{x + Vt}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, \quad t_1 = \frac{t + Vx/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

から出発して，定義$v = dx/dt$および$v_1 = dx_1/dt_1$を考慮に入れて，微分dx_1をdt_1で割ると次式が得られる：

$$v_1 = \frac{v + V}{1 + vV/c^2}.$$

ここから次のことが分かる：

1）観測者は系Kの中心にいて，自分の系Kにある，検討対象たる物体までの距離xを測定する。

2）彼は自分の系内において時間tは共通であるとみなし，その系における物体の速度を$v = dx/dt$と定義する。

3）彼は自分の（！）時間tを用いて系Kに対する系K'の速度$-V$を測定し，2つの系の相対速度を方向に関して相互に反対であるとみなす。この観測者はこれ以外には何も測定することができない。すなわち，速度の合計値v_1は計算値である。

こうして，我々は，以前に筆者が述べたことのある次の解釈［49］に到達する。すなわち，相対論的速度合成則は，観測者自身が関与していない相対運動の速度を定義している。この効果は現実の効果ではなく，（定義されている特殊相対性理論の規則を用いた場合における）見かけ上の効果にすぎない。形式的には，相対論的速度合成則の式には速度の値を逐次，好きなように代入することが可能であるが，しかしその公式の本質上，我々はv_2を決定するために2番目の代入式に単純に移行することはできない。1本の直線に沿った複数の運動の合成の場合には，古典的な可換性が保存され，矛盾はベールで覆われる。しかし，速度ベクトルが非共線ベクトルである場合には，項目3）は誤りであることが明白となり，相対論的速度合成則とローレンツ変換の間の矛盾と不一致が一気に露呈する。

既に検討した例［(1.7) 参照］においては，前とは別のアプローチをとることができる。3つの速度変換の順序のうち，ローレンツ変換における最初の時刻を不変のまま保存するものを探してみよう。すると，(1.7) の代わりに，次の唯一の順序を採用することが可能であることが容易に確かめられる：

$$v_1\mathbf{i},\ v_2\mathbf{j},\ -v_1\sqrt{1 - v_2^2/c^2}\,\mathbf{i} - v_2\mathbf{j}\,. \tag{1.8}$$

しかし，第1に，線分の方向転換が依然として残っている。第2に，この新たな速度の組み合わせは，この順序では速度合成則を満たさない。つまり，実は，速度v_1およびv_2の速度

合成則への代入順序が入れ代わったのである（これはこの法則の本質に適合しない）。このように，矛盾はどうしても解消されない。特殊相対性理論の矛盾性が露呈している例の一つは，トーマス歳差である。慣性系（直線運動をしている系と等速度運動をしている系）の順序に起因して，その結果として，突然，物体の回転（原理上，これは非慣性運動である）が生じるのである。このように，標準的な教科書で述べられている「数学的空間」$1+1$（$t+x$）中におけるローレンツ変換から「空間」$1+2$または$1+3$中におけるローレンツ変換への移行は，物理的矛盾を含んでいる。

特殊相対性理論においては，物理量が持つ直観的に当然な多数の性質が意味を失う。例えば，相対速度は不変であることをやめる。特殊相対性理論では，1本の直線に沿って相異なる速度で飛行する粒子は，運動系にとって複雑な「速度の扇形」を形成する。特殊相対性理論では，等方速度分布は別の運動系にとって等方であることをやめる。特殊相対性理論には，言われているようないかなる単純化も存在しない。

特殊相対性理論は（レーダー信号のタイプの）信号の対ごとの交換および同期に重きをおいているので，幾何学的速度合成それ自体が内部で矛盾したものとなる。本質的に現実の上に築かれた数学的上部構造であるニュートン力学においては，我々は，純粋に数学的に，（物体1の）ある等速度から（物体2の）別の等速度を引き算し，物体1と物体2の一定の相対速度を得ることができた。さて今度は，それらの物体が交わる2直線に沿って運動しているところを想像していただきたい（例えば，1台の自動車が道路に沿って運動しており，2台目の自動車がその道路の上に架かっている橋に沿って運動している所を思い出そう）。それらの自動車の任意の一方が他方の自動車の運動をレーダーで追跡することができるようにするためには，そのレーダーは**回転**しなければならない。すなわち，計測器は別の基準系―非慣性基準系―中に存在することになるのだ！

特殊相対性理論からは，速度$v > c$は存在し得ないという結論は決して導き出されない。また，この結論は信号伝達速度にのみ当てはまるという補足は，（拡大解釈に対する明らかな反例の存在にかんがみて）人為的な補足にすぎない。しかし，この種の補足を付け加えても，信号（情報）概念は十分な決定性を欠いている。例えば，我々が超新星の閃光から信号を受け取るとき超新星を挟んで正反対の位置においても同一の情報が閃光に「含まれている」と，本当に確信することができるだろうか？ つまり，我々はそのことを速度$2c$で知ることができるのだろうか？ あるいは，それは情報ではないのか？ したがって，特殊相対性理論において想定することが可能なのは，真空中で発信源から受信点までの空間の全ての点を逐次的に伝播する，電磁的性質を持った物質的媒体上にある情報のみである。

速度の代数和がcを超える場合でさえ光信号を交換することを可能にする，相対論的速度「合成」則の「驚異」について1つだけコメントしておこう。情報交換のための信号は反対方向ではなく，必ず対象の方向に向けて送出されなければならないという，明らかな事実に注意しよう。それゆえ，古典物理学の場合においても形式的な速度合成の結果$v_1 + v_2 > v_{signal}$となるのだから，信号交換には何も驚くべきことはない。2機の飛行機が飛行場Oから速度$0.9v_{sound}$で飛び立ち，X軸の反対方向に向かって（つまり相対速度$1.8v_{sound}$で）互いに離れていくとしよう。2機の間で音響信号の交換を行うことは可能か？ もちろんである！ 音波は信号発信時刻における信号源S_1の速度とは無関係に空気中を伝播するのだから，第1の飛行機（信号を送出した側）はX軸の正の方向に向かって伝播しつつある波面に

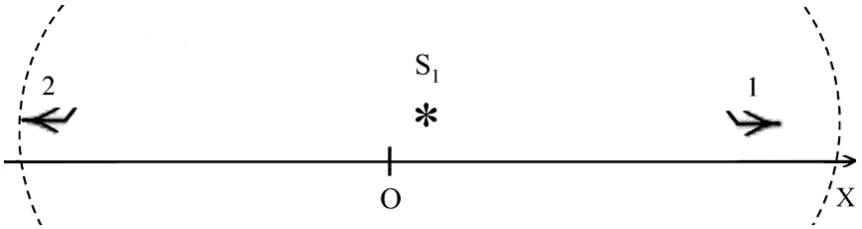


図 1.28. 信号の交換

追いつき，一方，第2の飛行機はX軸の負の方向に向かって伝播しつつある波面と「競争」することになる。両方の飛行機の運動速度は，それぞれに最も近い各波面区域の伝播速度よりも遅い（図1.28）。したがって，現実における速度の和は，（複雑なやり方で）音速と比較されるのではなく，$2v_{sound}$の値（光の場合は$2c$の値）と比較される。

さらに，速度の大きさに対する物理的制約が数学によって課されることはあり得ないということ（一部の式では負の量が根号内に入るという事実）も明らかである。特殊相対性理論の全ての公式は光信号の交換（アインシュタインの同期法）を用いて得られたものであることを思い出す必要がある。物体が一気に光より速く運動し始めたとすると，物体を追う形で送出された信号は決して物体に追いつくことはできない。同様に，音響を利用した同期を導入することが可能である（するとやはり公式にその特性が現れることになる）が，しかし，このことから超音速は存在し得ないという結論は決して導き出されない。媒質中における擾乱（音または光の擾乱）の伝播速度は，ある物体のその媒質を貫く運動の速度とはいかなる形でも無関係である。

1.7. 特殊相対性理論の運動学に対する補足的批判

一般的なコメントから始めよう。数学記号を使った変換といった，方程式の群特性［group properties］は，物理学のいかなる原理や公準ともまったく無関係である。すなわち，それらの群特性は，追加的な物理学的仮説なしに見出すことができる。例えば，真空中におけるマクスウェル方程式（あるいは音響学における方程式を含む古典的波動方程式）の群特性を反映するローレンツ変換は，特殊相対性理論に導入されている光速度不変の公準や相対性原理とは完全に無関係である。

相対性理論―それは事実上，「見かけの理論」，すなわち，実験の基礎に電磁相互作用の法則を（その法則を空間と時間の性質に一般化した上で）据えたときに（電磁現象の絶対化），我々がその実験において見るものの理論なのである。同様に，音その他を用いて観測される現象はどのように見えるかという問題を設定することができる。自明のことであるが，各種の相互作用の伝達速度の有限性が，その相互作用を用いて観測される現象の見え方を変える。しかしこのことは，いかなる包括的仮説にも制約されない世界の統一的記述を目的とした空間および時間（絶対的な古典的物理概念）への対応付けのために，統一的な外挿を行うことを妨げるものではない。

ニュートン空間は，より次元の小さい系はより次元の大きい系と同様の性質を持つことができるという重要な性質を持っている。例えば，ベクトルは空間だけでなく，直線と平

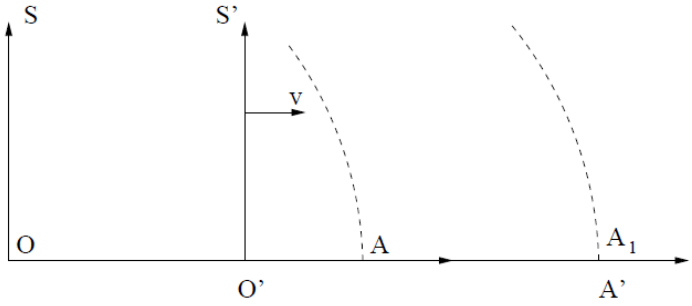


図 1.29. 非局所性のパラドックス

面にも導入することができる。相対性理論においては，空間的な量はベクトルの性質を持たない（4元ベクトルの性質しかない)。すなわち，古典物理学的な量への連続的な極限移行（「ほぼベクトルのようなもの」→ ベクトル）はない。

次のコメントとして，「非局所性」のパラドックスについて述べる。特殊相対性理論の全ての公式は局所的である，すなわち運動の履歴に依存しないという点に注目しよう。系S'が系Sに対して速度$\mathbf{v}$で運動しているとする。中心Oと中心O'が一致した瞬間，中心Oで閃光が生じる。時間tの間に，波面は系Sでは点Aに，系S'では点A'にそれぞれ到達する（図1.29)。点$A_1 = A'$に存在する系Sの受信装置に対して，速度が$\mathbf{v}$であることをパルス的に通知しよう。すると，波面が一瞬のうちに点A'に移動したという結果が得られた（なぜなら，今や我々は系S'にいるのだから)。では，同一の時刻に，波面はどこに存在していたのだろうか？ 点$A_1 = A'$で時間が変わったのか？ もし一瞬の後に，我々が点A_1にある受信装置を停止したとしたら？ 時間が回復し，波面は再び点Aに戻るのだろうか？ ところでもし，観測者が自分が閃光を見たことを忘れてしまったとしたら？ その場合は未来を見るために，より速く運動する必要があるのだろうか？ 点A_1の観測者は系S'と常に一緒に運動していたわけではないということは，何も説明しない。なぜなら，点A'には系S'と常に一緒に運動していた別の観測者がいる可能性があるからである。観測者たちのうち1人は事象を見て，もう1人は見ないという結果が得られるのだろうか？ 科学の客観性が消滅してゆく。

次の補助的コメントを付け加えることができる。光束（光）は真空中において光速度で運動するのだろうか？ もしイエスだとすると，我々はストロボスコープを使って波束(光)を個々のパルスに細分することができない。すなわち，長さの縮小の結果，各パルスの長さ，またパルス同士の各間隔の長さはゼロにならなければならないからである（これは実験と矛盾する)。得られたパルス（信号）および間隔の寸法を静止系（実験室系）においては有限であるとみなすとすれば，波束の固有基準系においてはパルスも間隔も無限でなければならない（それでは，パルスも間隔も存在しないところで，どのようにしてパルスや間隔を比較するのか？)。これは本質上，光，そしてパルス間の空間は物質*的なものなのかという問題である。

次に，運動基準系への移行時における粒子の見かけ上の運動の方向，あるいは波動信号の見かけ上の受信方向（例えば光行差を思い出そう）についてコメントしよう。特殊相対性理論においては，この初歩的な古典物理学的事実は波面全体のある角度への方向転換となる。ここで，波面全体はある時刻における光球面の点に相当する。特殊相対性理論にお

いては，同一時刻における波面は，（まさに時間の進行の変化の結果として）互いに運動している各系によって異なることを思い出そう。しかし，記録装置の運動の履歴は特殊相対性理論のいかなる公式にも含まれていない。特殊相対性理論の全ての公式は局所的であり（それらの公式には積分経路は存在しない），それゆえ，遠方銀河からのビームの飛行時間の間に，地球上の観測者が地軸の周りと太陽の周りを何百万回も回転し，また我々の天の川の中心の周りを何回も回転したことを考慮することができない。光源と受信装置の間の空間中を飛行している光子は，その時刻においては受信装置や光源と因果的にいかなる関係も持たない。記録装置と光子の相互作用は信号を受信したまさにその時刻に生じる。受信装置がそれまでずっとある速度 **v**で運動していて，受信時刻に空間中の当該地点に至ったのか，それとも，それまで空間中の当該地点に「立ち止まって」いて，受信の一瞬前に同じ速度 **v**を獲得したのかの間には，いかなる違いもない（光子との相互作用の結果はいずれの場合も同一である）。このように，信号の受信という**事実**自体にとっては，光子が空間中の当該の場所に到着したことのみが意味を持つ。また，空間中の当該の場所における受信装置の速度が信号到達の**事実**自体を変化させない（変化させるのは信号の周波数のみである―ドップラー効果による）ことも明らかである。もし信号受信の事実自体が受信装置の速度に依存しているのだとすると，諸系のうちの1つの系に含まれるドップラー効果の公式に数値を代入することには，何の意味があるのか？ したがって，波面全体が現実に方向転換すること（これは信号到達の事実を反映する）は決してあり得ない。これは，観測される信号受信方向を記述するための局所的な（当該地点における）数学的（微分的）な方法である。このことは，おなじみの自然現象（雨や雪）とのアナロジーを利用すれば容易に理解することができる（図1.30）。無風状態の天気のときあなたは真っ直ぐ上の雨雲を見つめる。雨雲から雨が降り始めると，あなたは雨粒が真上（「信号」の受信方向）から自分の上に落ちてくるのを見る。あなたが走り出すと（むしろ雪の日のドライブを思い出した方がいい），雨粒の飛来方向（「信号」の受信方向）は運動方向に沿ったはるか前方となり，現実の雨雲と一致しなくなるかもしれない。しかし，雨の水平な前面は地面に到達したか（「信号」受信の事実），または到達しなかったかのいずれかであり，その事実は地表面の当該地点におけるあなたの運動には依存しない（図1.30参照）。

最も重要な次の思考実験について検討しよう。地球上の観測者（受光器P）から大きな距

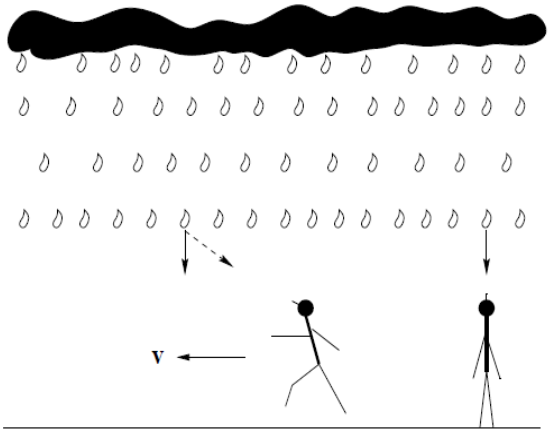


図 1.30. 知覚される運動の方向の変化

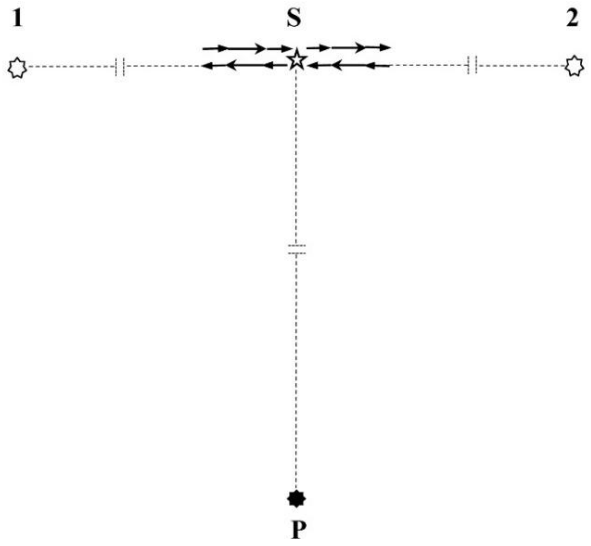


図 1.31. 光行差に関する相対論的作り話

離（数十ないし数百光年）の所に，光を放射している静止した強力な人工光源Sが存在しているとする。光源－受光器の線に対して垂直な直線上のその光源からの2つの反対側に向かって1光年の距離の所に2つの静止した星が位置しているとする（図1.31参照)。その光源が，1番目の星の方向へ光速度に近い速度まで1秒間の間パルス的に加速し（特殊相対性理論は加速度に対して制限を課していない)，次に1番目の星の方向へその等速度で1秒間の間飛行し，次に完全に停止するまで1秒間の間パルス的に減速した後，反対方向へほぼ光速度まで加速し，絶対値でそれと同じ等速度で飛行し，1秒間の間減速し，最初のスタート地点で停止する。その後，全ての行動が上記と同じ順序で続けられるが，しかし今度は2番目の星の方向へ行われる： 1秒間－光速度に近い速度への加速，1秒間－それと同じ等速度での飛行，さらに1秒間－停止に至るまでの減速，1秒間－その場に停止する； 次に，全てはスタート地点の方向へ行われる： 1秒間の加速，1秒間大きな等速度で飛行し，1秒間の間に最初のスタート地点で停止する。我々の興味を引くのは，停止区間および等速度での飛行区間である。我々の光源の飛行による影響を受けた区間が6光秒の長さを上回らないことは明らかである。光源までの何百光年と比べると，これはきわめて小さい値であるので，現代の地球上の望遠鏡の精度は，そのような角距離を検出するためにはまったく不十分である。では，相対性理論の観点から見ると，何が生じなければならないか？ なにしろ，相対論者たちは，公式には相対速度が含まれていると信じているのだから。この場合には，光速度に近い速度で運動したときの光行差角は45°に近くなるはずである。我々は地球から，その光源の巨大な長さの発光経路をまったく見ることができないはずである。また，光源は，両方の星を，さらにはそもそも往復数百光年の距離に達するその飛行の直線上に存在する全ての星を貫通するはずである！ あなたは相対論的たわ言が馬鹿げていると思いませんか?! したがって，光行差の公式に含まれているのは，信号の受信点における（しかもその受信時刻における）受信器の局所的絶対速度のみであることは明らかである。

今度は，特殊相対性理論のある種空論的な理論構築について検討しよう。例えば，特殊相対性理論においては，無限系について検討すること，一例をあげれば，付加的な空間電

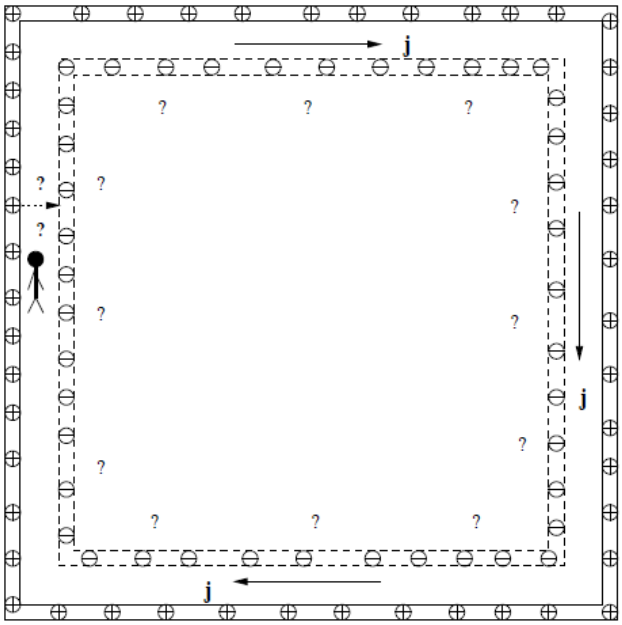


図 1.32. 通電中のループのパラドックス

荷の出現を「説明」する際，通電導体について検討することは非現実的である（無限性のゲーム)。実際，導体は閉回路（有限）でしかあり得ない。この場合，説明は方法論的に複雑なだけでなく，矛盾したものとなる。通電中の正方形ループ，例えば超伝導ループについて検討してみよう。それぞれの電子およびイオンの電荷の大きさは不変であり，粒子の総数も不変である。ではこのとき，電荷密度は，いったいどうすれば変わることができるのだろうか？ 電子の運動を「イオングリッド系」の視点から眺めてみよう（図1.32)。特殊相対性理論においては,「電子ループ」は寸法が減少しなければならない（各直線区間における電子の運動に起因する長さの収縮)。課題の対称性の結果,「電子ループ」は「イオンループ」の内部に入り込まなければならないように見える。このとき，我々は導体近傍において，奇妙な非対称性を持った場（双極子場タイプの場）を得ることになるはずである。それだけでなく，電子の速度が大きい場合には，電子とイオンは観測者から見て相異なる側に現れることができるはずである。観測者を横切るそのような移動（粒子の運動に対して垂直な移動）がいかにすれば生じ得るのか，まったく理解不可能である。さらに，電荷を持つ電子（そしてイオン）が電流の中にとどまり，相異なる側へ飛び分かれないのは，いかなる力によるものなのか？ 仮に正方形の1つの辺に関して，要件に合わせて調整可能な特殊相対性理論の不確定性を利用できたとしても（では収縮はどちらの端部に向かって生じるのか？)，正方形のその他の辺に関しては，問題は全て元のまま残っている。

3つの同一の静止系が存在しており，それらの系のそれぞれの等距離点において，それら3つの相異なる系に属する3台の時計が同期されているとしよう。また，2つの系に対し，3番目の静止系に対する，絶対値が等しい，しかし方向が反対の速度が知らされるとしよう。それぞれの出会い点において，3台全ての時計の示度は互いにどのように相関することになるのか？と尋ねたくなる。なにしろ，1番目と2番目の系が相互に運動しているにもかかわらず，3番目の系に対する対称性が，1番目と2番目の系の時計の同一の示度を保証して

いるのだ。

特殊相対性理論の時計・定規系は，理論的には空理空論であり，実際上も不都合である。なぜなら，全ての情報は事後の何らかの時刻に収集され，分析される（解釈される！）からである。古典的ニュートン座標と相対論的ローレンツ座標の間の相互関係の一意性は，後者の座標の自動的な無矛盾性を意味しない（物理学と数学の差異はまさにこの，物理的意味という点にある）。例えば，空気力学的研究を行う際には，（特殊相対性理論タイプの）全ての公式において，光速度の代わりに空気中における音速を利用し，地球上の静止空気中における亜音速の運動について検討することが可能であるかもしれない。しかし，そのような「特殊相対性理論風な」変換（時間に関する変換）が持つ矛盾性は，実験によってすぐに検出されるだろう。このことは，形式的・数学的アナロジーが持つ，物理学にとっての危険性を示している。

時間の遅れに関する相対論的アイデアの誤謬性は明らかである。その公式には相対速度の2乗しか含まれていない（効果は速度の方向に依存しない）からである。4つの一様な物体を例にとってみよう。第2の物体が第1の物体に対して速度$\mathbf{v}_{12}$で運動しているとする。すると，その時間は第1の物体に対して相対的に遅れることになる。これは客観的効果であると言えるだろうか（「客観的」という言葉の意味を思い出そう。客観的効果とは，検討対象たる物体と相互作用していない観測者の存在や性質に依存しない効果である）？ 次に，第3の物体が第2の物体に対して任意の方向に任意の速度$\mathbf{v}_{23}$で運動しているとする。すると同様に，その時間は第2の物体の時間に対して相対的に遅れることになる。またも客観的効果？ 第4の物体をとり，第1の物体と並べて静止状態においてみる。第4の物体が第3の物体に対していかなる速度で運動しているかについては，もう論じないことにしよう。ここで重要なのは，一般的な場合には，その速度はゼロではないということだけである。すなわち，第3の物体の時間に対する第4の物体の時間の「客観的な相対論的」遅れが得られた。したがって$dt_1 > dt_2 > dt_3 > dt_4$である。しかし，第4の物体と第1の物体は互いに静止しているのだから，$dt_1 = dt_4$ではないのか！ 対ごとの同期というアインシュタインの方法の唯一性と無謬性に対する空想的な信仰からは，このような不条理が得られる。客観性が土台から消え去り，相対論的外見効果，あるいは純粋に計算上の組み合わせ（「流動する時間帯」）が残る。言われている「偉大な功績」など，いったいどこにあるというのか？ さらに，運動する系の場合，どうしたわけか，**空間自体の収縮**―いわゆる運動学的効果―が観測されなければならないとされている。そのような収縮を計算するため，あれこれの運動する観測者に対する**その空虚な空間自体の速度**を，いったいどうすれば決定することができるのか？ 空虚の速度を決定するための装置の特許が与えられているのか？ それは天才的な発明であるに違いない！ それはきっと，交通警察官の間で大きな需要を獲得するだろう―間違いなく，速度違反の罰金せびり取り装置になる！

次に，いくつかの一般的コメントを行おう。特殊相対性理論の運動学全体は間隔の不変性$dr_2 - c^2dt^2 = inv.$から導き出されている。しかし我々は，この式は真空空間の場合について書かれた式であることを知っている。媒質中では光速度は一定ではなく，異方的となることがあり，しかも所与の具体的な媒質中において任意の周波数の光が伝播できるわけではない（減衰，吸収，反射，散乱について思い出そう）。真空中における現象の性質が別の媒質中における現象の性質（例えば液体中における流体力学的特性といった性質，また

固体中における弾性，電気特性といった性質）に自動的に移し替えられる物理学の分野など，1つも存在しない。すなわち，これらの性質は真空空間の性質によっては決定されない。このような包括的な「性質のクローン化」を行う権利を自らのものとして主張しているのは，特殊相対性理論のみである。

概して言えば，特殊相対性理論では，それ自体の内部で矛盾した相互排他的な光の性質が，ただ単に公準として定められているにすぎない。それゆえ，光は定規よりも単純な現象であるというフォック［37］の主張に正当性はない。光信号の役割を過大評価し，光によって我々に「見えてくる」あらゆるものを確実と判断してはならない。さもないと，水の入ったコップの中のティースプーンを曲がっていると判断しなければならなくなる（その判断が間違いであることは，液体の境界に突き出たスプーンの全ての「露出点」の座標を直接測定する方法を使えば，空間中で幾何学的に簡単に確認することができる）。古典的時間（あるいは運動線に対する垂直二等分線上にある無限遠の発信源によって決定される時間）は重要な長所を持っている。すなわち，その時間はあらゆる場所で同一であり，諸過程の履歴や空間の性質に関するいかなる計算や推論も行う必要がないことを我々は事前に知っている，という長所である。実際，特殊相対性理論は参照基準の1つとして光速度を利用している。古典的運動学には長さと時間の2つの参照基準があることを思い出そう（参照基準の不変性という「自明」の法則を次のように定式化しよう。参照基準の長さ1 mは不変であって1メートルに等しく，参照基準の時間の長さ1 secは不変であって1秒に等しい。ところが人々は，「相対論的参照基準の不変性に関する偉大な法則」なる話をうんざりするほど耳に吹き込まれているのである）。参照基準の導入―それは定義であるから，その性質は議論の対象とはならない［19］。その結果，特殊相対性理論においては，光の伝播に関連する全ての物事は，実験に属する権限の対象であることをやめてしまった。特殊相対性理論における全ての計算は事象（閃光）のためにのみ書かれているため，この理論は論理的につじつまが合わなくなっている（真空中における光の性質の「利用」が，それ以外のあらゆる「非真空中」における現象に対しても何の根拠もなく適用されていることについては，あらためて言及するまでもない）。

ファインマンの本［35］では哲学者について，また基準系に対する結果の依存性について，皮肉たっぷりな口調で語られているが，しかし，あらゆる「外見」にもかかわらず，物体は現実の客観的特性を持っていることは強調されていない。例えば，人間は遠く離れた所から見れば蟻ほどの大きさに見えるが，それは彼が実際に縮小したことを意味しない（あらゆる計測器はまさに客観的特性に合わせて校正されることになっている）。あらゆる量の相対性に関する議論は真理であるかのように見えるが，しかし（！），特殊相対性理論において時間が相対的となり，相互作用速度が有限となるやいなや，空間的に離れた諸物体についての相対量の概念自体が不確定となる（因果関係のない結合経路に依存する，あるいは観測系に依存する，等々）。あらゆる量を「遠い星」との関係で定義することは無意味となる。なぜなら，我々は「いまだかつて存在したことのない現実」を見ているからだ。例えば，4年前，ケンタウルス座α星はかくかくしかじかの場所にあり，かくかくしかじかの性質を持っていた。何十年か何百年か昔，別の星々はかくかくしかじかであった。何十億年か昔，遠く離れた星雲たちはかくかくしかじかであった。すなわち，その信号は，観測者がまだ存在しなかったときに発信源によって送出されたものであるが，その発信源

自体がいつかは存在しなくなる，あるいは既に存在していないかもしれないということは，一般に認められている。それでは，何との関係で量を定義するのか？ 相対量は空間の局所的な特性との関係（単一の瞬間的因果関係）に基づいてのみ定義することができるということは，明白である。

一般に，運動学において特殊相対性理論が行っていることは，「閃光を用いた画像の取得」と呼ばれている。周知のように，画像は，拡大・縮小したり，バーチャル化したり，（曲面鏡で）歪曲したりすることができる。しかし，特殊相対性理論を除くいかなる物理学領域においても，そのような画像に基づいて研究対象自体の性質が変化したという結論を下すようなことはされていない。逆に，**現実の**情報を抽出するための校正方法の探求が行われている。ますます大声で喧伝されている特殊および一般相対性理論の「時空」効果は，フィクションにすぎない。

次の重要なコメントは，特殊相対性理論という理論の名称にも含まれている相対性の概念に関するものである。系の孤立性というガリレイのアイデアとは逆に，特殊相対性理論では系と系の間で光パルスの交換が行われる。特殊相対性理論では相対性概念は不条理の域にまで持ってゆかれ，物理的意味を失った。実際，この理論ではいくつか（原則として2つ）の物体を含んだ系が分離され，それ以外の現実の宇宙全体は除外される。特殊相対性理論においては，このような抽象を行うことが可能であるというのだから，ましてや，分離された当該系の内部における諸過程は全宇宙の「空虚（真空）」全体に対する当該系の運動速度に依存しないという公準を，簡単に設定することができるわけである。しかし，そのような抽象化にもかかわらず，物体に関する「現実的」な相対量（$\mathbf{r}_{ij,}\,\mathbf{v}_{ij,}$ 等々）はいずれにしても現れてこない。実際には，物体iの状態を変化させようとする試みに対する物体iの応答反応は，局所的特性，すなわち空間中の当該地点における物体iと場の状態によって決定される。ただし，物体iに生じた変化が他の物体jに及ぼす影響は，若干の時間間隔Δt_jが経過した後に現れる。したがって，あらゆる量の変化は，局所的な場所（あるいは局所的特性）との関係において決定されなければならない。ところで，これはニュートンの絶対空間の発現に他ならない。分離された方向および分離されたカウント開始地点（運動している，または静止している開始地点）がこの絶対空間中に存在するのか否かという問題は，完全に別の問題である。この問題は，抽象的理論（モデル理論）においては，例えば理論の便宜上の理由に従って公準として設定され得るのに対し，我々の唯一の現実的宇宙の場合には，実験によって解決されなければならない。古典的ニュートン物理学における絶対時間の概念もまた，この上なく明確である。時間は一様でなければならず，系内で観測される任意の現象から独立でなければならない。垂直二等分線上にある無限遠の周期的発信源によって同期される時刻は，まさにこのような性質を持っている。もしあなたの時刻が何らかの過程に依存しているのだとしたら，それはせいぜいのところ，あなたが選んだ基準が不適当であったことを意味しているにすぎない。（これとは逆に，特殊相対性理論では時間は独立した量ではない。その時間は系の運動状態$\mathbf{v}$および座標，例えば$c^2t^2 - r^2 = constant$という相関関係と関連付けられている。）時間の一様な進行にとって，時間のカウント開始の選択は任意である。現象についての共通の記述と結果の比較可能性を確保するため，スケール（計量単位）は全ての系について同一でなければならない。時間の一様な進行は，現象の記述の最大限の単純性を自動的に保障するとともに，時間の基礎的

概念のために，参照基準に基づく時間の定義を導入することを可能とする。

相対論者たちは，相対性理論を擁護するための扇動において，次の**2つの意図的な偽造**を行っている。第1に，彼らは，時間と時計は同じものであるという幻想を創出しようと故意に試みている。特殊相対性理論の作り話よりもはるか昔，検査済みの時計がヨーロッパから赤道まで運ばれたとき，時計がひどく遅れ始めることが判明した。しかも，その遅れは，神話的なナノ秒単位の遅れではなく，事実上，1日の間に気づくほどの大きさであった。当時も時計は存在したが，幸いなことに，赤道上においては時間は「本質的にきわめて異なった仕方で」進行するなどという考えが頭に浮かんできた愚か者は一人も存在しなかった。自然科学者たちは，時計の構造に影響する具体的な物理的メカニズムをただちに決定した。時計の精度もまた，高い精度であれ，低い精度であれ，時間の進行自体に対していかなる関係も持っていない！ 第2に，相対論者たちは，実験の過程における時刻同期と信号交換は同じ事柄であるという意見を創出しようと，故意に試みている。例えば，グレゴリオ暦の導入時には，時刻同期が行われた。しかし，その際，タイムマシンを発明し，それに乗ってアレクサンドロス大王のところへ飛んで行き，大王が生まれたのはキリストの誕生より何年前のことか，等々といった情報を伝えた者は誰もいない。実際，ある「物理的概念」が「科学性」を自負している場合には，必ず，その概念のための数学的公式と換算方法が存在している。そもそも，その換算方法を用いれば，時刻同期もまた，実験の前でも，最中でも，後でも行うことができる。例えば，2つの物体について，古典的量と相対論的量の間には相互に一意的な数学的関係が存在する（換算が可能である）。H.ポアンカレはこの事実に気づき，先行する複数の規約と同時に，あり得る複数の規約のうちのわずか1つに関する新構想と変換について検討を行った（[24]，著作『晩年の思想』，第2章および巻末解説（M.I. Panov, A.A. Tyapkin, A.S. Shibanovの論文）を参照のこと）。しかし，新たな相対論的構想は，1つの直線に沿わない空間的運動の記述の際に，また2つ以上の物体の場合に，しばしば行き詰まりに陥っている。

方法論に関してさらにいくつかのコメントを行おう。概して言えば，特殊相対性理論においては，2つの相異なる慣性系での諸現象の比較方法は，これらの慣性系が両方とも無限に長く存在していたことを想定している。しかし，慣性系は常に具体的な物体に「結合」されており，有限の時間しか存在しなかったものである。それゆえ，これらの系の形成の履歴（そしてその履歴の影響）は既に「消滅」したのか？という問題を，それぞれの具体的場合ごとに解明する必要がある。

文献［33］に書かれている射影とのユークリッド的アナロジーは，まったく現実と合致していない。射影は抽象的な記述方法であるにすぎず，方向転換しても物体自体は少しも変化しない。これとは逆に，特殊相対性理論では，観測者の運動が変化すると，物体（遠く離れた物体！）の特性が瞬時に変化するのである。

人為的に支持されている意見に反して，相対論的力学から古典的力学への極限移行は存在しない（いくつかの量に関しては，近似的移行すら存在しない！）。時間$t = t' + vx'/c^2$についてのローレンツ変換からガリレイ変換への極限移行は，ニュートン力学は低速度$\beta = v/c \ll 1$の単なる極限ではなく，別の条件，すなわち$c \to \infty$が要求されていることを示している。しかし，そうだとすると，特殊相対性理論における諸量の多くにとって，古典的量への極限移行は存在しない（下記参照）。なぜなら，古典物理学においては $c \neq \infty$であ

るからである。この速度の有限値は既に17世紀に測定されているのだ！ それは些細な補正だと考える人がいるとすれば，それはまったくの誤りである。例えば地球の運動を考慮に入れると，冥王星について研究する際の誤差は$30 \cdot 50 \cdot 150000000/300000^2 = 2$ secに達する可能性がある。また，1パーセクの距離においては10000 secが得られる。これは決してナノスケールの大きさではない。

時空の最大限の一様性という性質は，理想的・数学的なニュートンの空間と時間（実は，「天下り式に与えられた上部構造物」である空間と時間）の属性，あるいはモデル空間（例えば，離れた所では相互作用しない質点を含んでいる空間）の属性であるかもしれない。相対性理論における上記の性質を現実の空間と時間の原理的な性質とみなし，この性質に依拠しようとする試みは，人為的な試みである。第1に，地球スケールにおいてさえ，我々は空間地点，時刻，慣性系の軸の方向および速度を恣意的に変えることはできない。地球空間の制約条件，地球の自転，重力場，月の影響，磁場，温度場，等々を思い出そう。そしてこれは，相対論的速度や巨大な全宇宙スケールにおける場合にどこかにあるに違いないという原理上の制約ではなく，実際に直面している現実上・実践上の制約なのである。とは言え，現実の物体と重力場を含んでいる全宇宙スケールにおいては，この性質もまた，証拠に基づいて証明されているわけではない（「一様なゼリー」モデルは現実の宇宙を記述していない）。第2に，解は方程式の形式に加えて，さらに初期条件と境界条件によって決定される。実際上の現実の有限なスケールにおいては，このこともまた，任意のシフトや変更を行うことを妨げる（あるいは，課せられる条件をさらに変更することが必要となる）。相対性理論の主張に従った場合，現実に存在する非線形的な性質や非線形方程式に関する問題に，いったいどうすれば取り組むことができるのだろうか？ そもそも「相対性」という概念自体が，引力が存在する現実の空間への一般化（というよりむしろ狭隘化）を許さないのである（一般相対性理論という用語が不適切であることを強調したのはフォック［37］である）。

相対性原理（あらゆる形態の）は，系の境界外を「眺めることなしに」，系の一様な運動を検出することはできないことを想定している。かつては，そのような運動の検出を可能とするための万物を透過する媒質の役割をエーテルが果たしていた。そこで問題となっていたのは絶対運動の検出ではなく，エーテルに対する運動のみの検出であったということ，つまり，外を「眺めることなしに」，これらの運動を比較することは可能であったという点に注意しよう（ここで念頭におかれているのは計算の可能性のみである。なぜなら，基準点および参照基準からなる系をエーテルと関連付けることはできないのだから）。しかし，現代的理解に従ってエーテルは「廃止」されたものの，それと類似した性質を持った「候補」，すなわち重力場（原理的に遮蔽不可能な場）が残っている。例えば，重力相互作用の伝播速度と光速度は等しいという追加的仮説を採用した場合には，残存放射［宇宙背景放射］の異方性から，重力場（万物を透過する場）は異方的であるという結論を導き出すことができる。このように，局所的地点においてさえ，外を「眺めることなしに」，巨視的スケールでの系の不等性を原理的に検出することができる。理論的には，重力相互作用伝播速度は光速度よりはるかに大きいという仮説を採用すれば，そのような結論を回避することができる。その場合には等方性が確定され得るわけであるが，実際上においては，その確定を行う権限は実験に属する。

さらにもう一つの補助的コメント（観察）を行おう。相対性理論には相異なるバリアントがいくつ存在するか？ 相対論の擁護者たちが宣伝していることを聞いたり読んだりすると，相互に相容れない，まったく相異なるいくつかの理論が存在しているという結論を下すことができる（相対論者たちはこのことに注目したり，これについて互いに論争することを好まない―まさにここには，彼らにおける「利益」の連帯保証がある）。理論の数は，次の二者択一的な選択に依存している：

・光速度が依存していないのは，信号源の運動速度に対してのみなのか，それとも，光速度は受信側の運動速度にも依存していないのか。

・質量は運動速度に依存しているのか，それとも，「質量は質量である」ので，運動速度に依存していないのか。

・相対論的な運動学的効果は客観的で観測可能であるのか，それとも，観測可能でないのか。

・ある相対論者たちは，任意の重力，あるいは任意の非慣性が存在するときには特殊相対性理論を用いることはできないと断固として主張しているのに対し，別の相対論者たちは，近似計算の可能性がなければ，あらゆる理論は死んでしまうことを認識している。

・光速度は不変なのか，それとも重力（ときには時間）に依存しているのか。

・一般相対性理論には保存則は原理的に存在しないのか，それとも，場的なバージョンを得ることが可能なのか。

・長さの変化と時間の進行を決定するためにはローレンツ変換を用いる必要があるのか，それとも，そのためにはローレンツ逆変換を用いることが可能なのか，等々。

以上から明らかなように，相対性理論のバリアントの数は2^N個（ここで，Nは相異なる二者択一の数）に達する。では，相対論者たちは，2^N個というきわめて多数のバリアントのうちいったいどれを「唯一正しき教説」として守るために闘っているのだろうか？ 例えば，最後の項目（ローレンツ変換とローレンツ逆変換のいずれを用いるのか，すなわち，観測者は静止系と運動系のいずれに存在しているのか）に関しては，教科書では4つのバリアントの全てが記載されている。このことはO.E.アキモフ［文献［132］参照］によって「プライムのパラドックス」と名付けられた。この例において，「あなたが長身なったのか，それとも，あなたの双子の片割れが短身になったのか」は，客観的に存在している世界にとって決して同じことではないという初歩的な違いを，相対論者たちは本当に理解していないのだ。ナポレオンと彼の部下である長身の元帥をめぐる有名な小話を改作すると，―「ナポレオンが本を取るために爪先立ちするのか，それとも，元帥の不注意な発言をとがめてその身長を頭1個分短くするのか」は，決して同じことではない。相対性理論は，まさに，現代物理学をプロクルステスの寝台に寝かせ，頭を奪おうとしているのである。

1.8. 第1章の結論

この第1章は相対論的運動学の一般物理学な問題，そしてこれに対する体系的な批判をテーマとしていた。ここでは特殊相対性理論の論理上・方法論上の多数の矛盾が詳しく分析された。もしこの理論に含まれるのが方法論上の矛盾のみであったならば，この理論を

修正し，追加的な説明，詳細化，補足，等々を導入することが可能であったであろう。しかし，論理的矛盾の存在はあらゆる理論のあらゆる結果を「無」に帰せしめるのであって，特殊相対性理論はその例外とはなり得ない（ところが，他のあらゆる理論に対する態度と比べ，特殊相対性理論に対するあまりにも寛大な態度が見られるというのが現状である)。

これまで述べてきたことの全体を手短にまとめてみよう。この章では，「空間」，「時間」，「同時性の相対性」といった基礎的概念が詳しく分析された。変形版双子のパラドックス，n人の多生児のパラドックス，対蹠人のパラドックス，時間のパラドックス，等々に基づき，特殊相対性理論における時間に関する基礎的概念が破綻していることが示された。さらに，運動平面（運動線）に対する垂線上に位置する無限遠の周期的信号源を用いることにより，系の運動速度とは無関係な共通の絶対時間を導入することが可能であることが証明された。

次に，相対論的な長さの概念は矛盾していることが，多数の例（十字架の運動，切り分けられた定規，円板の回転，距離の収縮，ベルト駆動装置，収縮方向の不確定性，通電中の回路，等々）によって示された。平面に沿った棒の滑動，飛行する棒の方向転換，非局所性のパラドックス，古典物理学への極限移行といった課題における特殊相対性理論の矛盾が詳しく検討された。

第1章では，ローレンツ変換および間隔不変性の真の意味が議論され，相互作用伝播速度の有限性に依拠している場の理論によるアプローチに対する「同時性の相対性」の矛盾が詳しく検討された。また，ローレンツ変換と相対論的速度合成則の矛盾が詳しく議論された。以上の他に，第1章では相対量という概念自体と時空の一様性という性質の双曲化が批判的な観点から詳しく議論された。

第1章の総括的な結論の要点は，古典的な空間と時間の概念，線形的な速度合成則，そしてあらゆる派生的な量の古典的意味に回帰する必要があるということである。特殊相対性理論の運動学の実験的裏付けに関する問題，また相対論的動力学に関する問題は，それぞれ第3章と第4章で詳しく検討される。次章では非慣性系の運動学に関する問題が論じられる。

第２章　一般相対性理論の基礎

2.1. 序論

前章では特殊相対性理論の運動学が論理的に矛盾していることが証明された。このことは，古典的な空間と時間の概念への回帰を余儀なくさせる。相対論者たちは，特殊相対性理論は重力が存在しない場合における一般相対性理論の極限的場合であると言明している。したがって，一般相対性理論の運動学の正当性に対してもただちに疑いが生じる。特殊相対性理論とは異なり，一般相対性理論は，例えば「幾何化」というアイデアを通じて表された等価原理のように，かなり興味深いアイデアを含んでいる。(電磁場の幾何化が誤りであることは，ただちに明白となる。実験が示しているように，中性粒子は「空間の電磁的歪み」を感知しない。) 仮に一般相対性理論の根拠が正しいとすると，一般相対性理論は，ニュートンの静力学的な引力の法則の修正に関する科学的仮説としての地位を要求することができるだろう。しかしそれは誤りであって，重力理論は別の基礎の上に構築されなければならない。一般相対性理論およびこれと関係しているビッグバン仮説，相対論的宇宙論，いわゆる暗黒物質*，暗黒エネルギー等々に関する研究は，どうしたわけか伝統的に先進科学に分類されている。きわめて多数の論文［41, 178, 181, 182, 185-187, 194, 195, 198-200］や書籍，研究会議，放送番組，映画がこれらの研究をテーマとしている。公平を期するために，次の点を指摘しておく必要がある。すなわち，特殊相対性理論とは異なり，一般相対性理論は，その代替となり得る理論のない，一般的に承認された理論であったことは一度もない。この理論が出現した当初から，この理論に対する正当な批判の流れが途絶えたことはない［18, 141, 157, 160, 165, 166, 176, 180, 183, 184, 188-193, 202］。十分に展開されたいくつかの代替理論（例えば［11, 18, 157］）が存在する。我々は一般相対性理論以外の理論については分析を行わないが，空間と時間の性質の改変と「遊び戯れ」，その極限的な場合として特殊相対性理論の相対論的運動学を持つような理論は，もうそれだけで明らかに疑わしいということを指摘しておくべきだろう。

この第2章の主な目的は，一般相対性理論の基礎的概念に対する批判である。ここでは一般相対性理論の空間と時間の概念の論理的矛盾が証明される。第2章では，教科書［3, 17, 39］に書かれている，一見真理のごとくにみえる隠れた誤謬と論争点が一歩一歩明らかにされてゆく。我々は一般相対性理論を救うために作り出されるかもしれない逃げ道をふさぐため，一般に受け入れられているこの理論の解釈だけでなく，いくつかの「相対論的代替理論」についても検討を行う。時刻同期の問題およびマッハの原理についての議論がなされ，一般相対性理論から導き出される疑わしい帰結に注意が向けられる。

2.2. 一般相対性理論の基礎に対する批判

一般相対性理論には数多くの難点が存在することが広く知られている。すなわち，

1) 整合性の原理が損なわれている（人為的な外的条件を導入しない限り，重力が存在し

ない場合への極限移行が存在しない)。

2) 保存則が欠如している。

3) 加速度の相対性は実験的事実と矛盾している (宇宙内で回転している液体が楕円体の形を持つのに対し，回転していない液体は球体の形を持つ)。

4) 特異解が存在する。

(通常，このような場合には，いかなる理論も受け入れ難いとみなされる。ところが，相対性理論はその「普遍的性格」を守るために，ブラックホール，ビッグバンといった空想的なモデルを構築し始める。)

一般的コメント

一般相対性理論に対する一般的な批判点について検討しよう。「共変性の必然性」という神話から始めよう。あらゆる微分方程式の一意的解は，方程式の形式に加えて，さらに初期条件および／または境界条件によって決定される。これらの条件が与えられない限り，一般的な場合には共変性は何ものをも決定せず，あるいは解の性格が変化した場合には物理的なナンセンスへと導く可能性がある。仮に初期条件および／または境界条件が与えられたとしても，解を代入したとき，得られるのは恒等式であって，どんなに正確に変換しても恒等式は恒等式であり続ける。それだけでなく，ある一定のやり方で初期条件および／または境界条件を変えれば，ある与えられた変換に対して不変な方程式を，任意の解について考え出すことができる。

一般相対性理論においては，部分空間とのアナロジー，例えば巻かれた平らなシートがしばしば用いられている。しかし，部分空間を空間全体から切り離して考察してはならない。例えば，シートを円筒形に巻いた場合，普通は便宜上の理由で円柱座標系に移行するが，この数学的変換は現実の3次元空間にも，現実の最短距離にもまったく影響しない。

公理が単純であることや公理の数が最少であることは，それだけではまだ解の正しさを保証しない。一般相対性理論の解の間の等価性を証明することですら，困難な課題となっている。前提の数は，一方においては一意的な正しい解を得るために十分な数でなければならないが，また他方においては数学的解決方法の選択および比較の幅広い可能性を確保し得るものでなければならない(数学には,数学独自の法律がある)。一般相対性理論では，数学的手順が人為的に複雑化されているだけでなく，事実，さらにいくつかの数の「要件に合わせて調整可能な隠れたパラメーター」が計量テンソルの成分から導入されている。一般相対性理論における現実的な場と計量は未知であり，定義を必要としている状態にあることから，結果はただ単に，少数の実に雑多な実験データを利用して，必要とされる結果に合わせてつじつま合わせされているにすぎない (最初に答えを覗いておいて,「賢そうなふり」をして「理論においては全てまさにこうでなければならぬ」と考える)。

特殊相対性理論においては光速度不変を実験的に裏付け，間隔の相等性を理論的に証明しようとする，せめてもの試みがなされたのに対し，一般相対性理論ではそのような試みすらなされていない。一般相対性理論においては，結果が積分経路に依存する可能性があるため，一般的な場合には$\int_a^b dl$が意味を持たない以上，全ての積分値および積分を使った

計算は意味を持たなくなる可能性がある。

数多くの疑問が一般相対性理論の正しさに疑念を抱かせる。方程式の一般共変性が不可欠かつ一意的であるとすれば，一般共変的でない古典的方程式への極限移行はいかなるものであり得るのだろうか？ 一般相対性理論においてエネルギーおよびエネルギー密度の概念が定義されていないとすれば，重力波には何の意味があるのだろうか。また，その場合，（エネルギー概念が存在しないという状態において）光の群速度，また信号伝達速度の有限性は何を表しているのだろうか？

保存則の共通性の度合いは，保存則の導出方法（物理法則からの変換を利用するのか，それとも理論の対称性からの変換を利用するのか）には依存しない。表面に沿った積分値の導出および積分の利用は，表面運動の場合には別の結果をもたらす可能性がある（例えば，結果は極限移行の順序に依存する可能性がある）。多数の実験によって確認され，何世紀にもわたって機能してきたエネルギー保存則，運動量保存則，角運動量保存則および質量中心保存則が一般相対性理論には存在しないという事実は，（科学の発展の連続性と継承性という原則にかんがみて）この理論に対してきわめて深刻な疑念を抱かせる。一般相対性理論は，原理的にも実験的にも検証不可能な宇宙進化論に対する世界制覇の野望，そして貧弱な実験的根拠に合わせて作りだした，きわめて疑わしいいくつかのつじつま合わせを除けば，いまだに何一つ，自らの功績として示すことができていない。さらに，次の事実が一般相対性理論に対する疑念を一層大きなものとしている。すなわち，キリング・ベクトルを用いた同一の系（ただし，「島型」系［"insular type" system］のみ）のために，エネルギー概念のある種の類似物を導入することが可能な場合があるという事実である。しかし，その場合には，線形座標のみを用いる必要がある（ただし，例えば極座標を用いてはならない）。補助的な数学的道具立てが，同一の物理量の本質に対して影響を及ぼすということは決してあり得ない。そして最後に，エネルギーの局所化が不可能であること，また，全宇宙スケールにおいてさえもエネルギーの「自発的」な非保存があり得るということは，一般相対性理論を全面的に放棄するか，または理論の構想を「ゼロから」見直すか，あるいは別の発展可能なアプローチを利用することを余儀なくさせる。次に，一般的なコメントから，より具体的な問題に話を進めよう。

空間の幾何学

一般相対性理論における空間の幾何学の変化の可能性という問題は，まったく常軌を逸している。相互作用伝達速度の有限性を変えることができるのは物理法則のみであって，数学法則ではない。直線は存在しない，なぜなら直線を無限遠まで引くためには光速度をもってしても無限の時間を要するからだなどということを，我々は決して認めないだろう（平面と空間についても同様である）。派生的な量の数学的意味も変わることはできない。「非慣性系における幾何学の変化の不可避性」に関する一般相対性理論の証明の1つは，「回転基準系においては，長さの収縮の結果，円周の長さの直径に対する比はπより小さくなる」である。この場合について，「新たな幾何学」を描き出すことができた者は誰もいなかったことを指摘しておこう。存在しないものを描くことは不可能である。実際には，真の幾何学だけでなく，観測される幾何学も変化しない。我々の運動に伴って，数学上の線

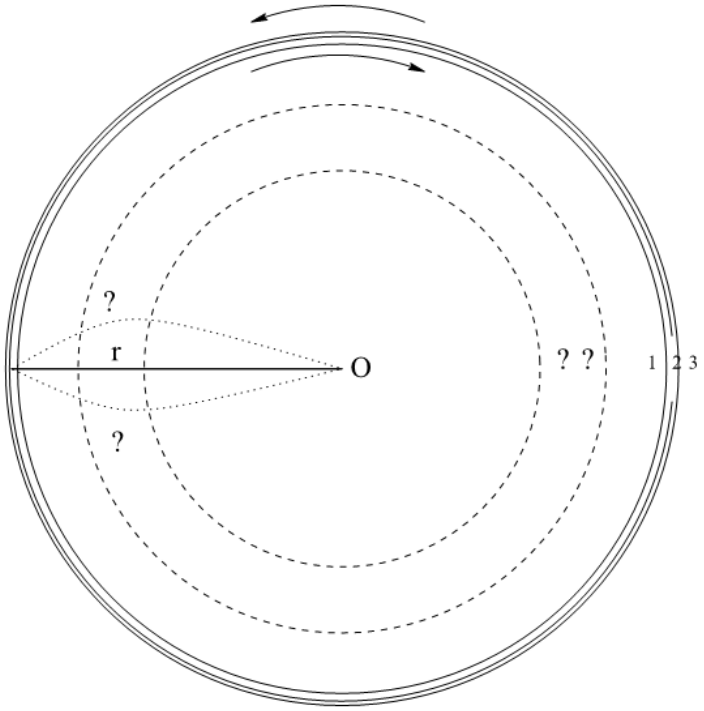


図 2.1. 回転する円周の幾何学

が移動したり，変化したりすることはあり得ない。相対性理論において，円周の運動に対して垂直な半径が変化するはずはないものの，それでもあえてまず最初は，円周が動径方向に運動すると仮定しよう。半径がほぼ同じ3つの同心円があるとしよう（図2.1）。3つの円周上に観測者を1人ずつ配置し，中心から順に1, 2, 3と番号を振ろう。第2の観測者は静止したままで，第1と第3の観測者は，中心Oの周りをそれぞれ時計回りと反時計回りに同一の角速度で回転する。すると，相対速度の違いと長さの収縮の結果，観測者たちは位置が入れ替わる。ところが，彼らは全員が空間の1地点にきたとき相異なった描像を見る。実際，第1の観測者が中心から3, 2, 1という配置を見るのに対し，第2の観測者はそれとは別の1, 3, 2という順番，そして第3の観測者のみが最初の描像の1, 2, 3を見る。矛盾が生じた。今度は，回転する平面の幾何学が変化したと仮定しよう。しかし，その場合，最上部と最下部のどちらが優先されるのか？ 課題は対称的であるというのに，平面はいったいどこに向かって湾曲したというのか？ 最後の仮定として，（非慣性系における見かけの運動が変化するのと同様に）半径が湾曲したとすると，第2の観測者が見る半径は湾曲していないのに対し，第1と第3の観測者は，，半径が相異なる側に湾曲していると判断する。このように，3人の観測者は同一空間の同一地点において相異なった描像を見る。したがって，湾曲は客観的ではない（また，科学的研究の対象とはなり得ない）。

回転する円周は，特殊および一般相対性理論のアイデアが矛盾していることを証明している。実際，教科書によれば，運動に対して垂直な半径は変化しない。したがって，3つの円周は運動とは無関係に，それぞれ自らの位置にとどまる。静止した円周の上に観測者たちを等間隔に配置し，円周の中心から点状の閃光を送り，その信号が到着した瞬間，観測

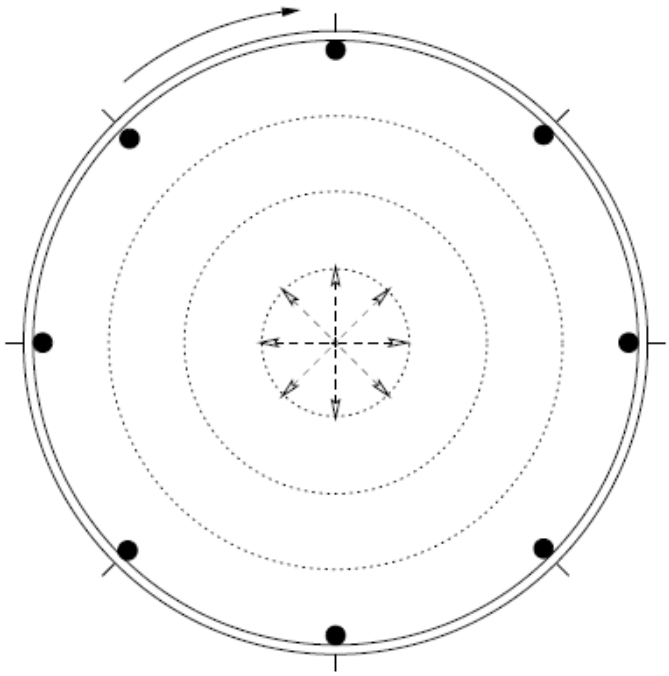


図 2.2. 円周上の等間隔の観測者たち

者たちは運動している方の円周の上に短い棒線を書き込むようにする（図2.2)。課題の対称性の結果, 棒線も等間隔となる。閃光が次々と周期的に生じたときそれぞれの観測者は，閃光が生じた瞬間，自分のそばを棒線の目印が通過したと証言するだろう（閃光の周期がしかるべく設定されている場合)。つまり，静止している円周と運動している円周の各区間の長さは等しい。円周が停止したとき目印は自らの位置に留まる。等間隔の目印の数（その数は観測者の数と等しい）は変化しない。したがって，静止している場合，区間の長さも等しい。このように，長さのいかなる収縮（および幾何学の変化）もまったく存在しなかった。

再び空間の幾何学に関する問題について，ただし今度は別の側面から検討しよう。ビームを使って幾何学を決定したいと考えていたガウスの時代から，この問題はずっと混乱状態にある。あれこれの実験の有限性は，理念上の数学的概念に対して決して影響を及ぼすことができない。一般相対性理論における光は，最短曲線にさえ沿わずに運動する。すなわち，フェルマーの原理$\delta \int dl = 0$の代わりに，一般相対性理論では$\delta \int \left(1/\sqrt{g_{00}}\right) dl = 0$（ここで，$g_{\alpha\beta}$は計量テンソル）を得る［17］。このような場合，いったい何によって光を他のものから区別することができるのだろうか？ 教科書では，幾何学の変化が不可避であることの理由が，しばしば次のような仕方で「根拠付け」られている。すなわち，「重力場中において光が閉じた三角形を描き出すためには，鏡は若干の角度だけ向きを変えられなければならず，その結果，三角形の角度の和はπとは異なったものになる。しかし，重力場中における任意の点状物体および3つの反射器（図2.3参照）に関して，「角度」の和を

$$\sum \beta_i = \pi + 4 \arctan\left(\frac{gL}{2v_0^2}\right) - 2 \arctan\left(\frac{gL}{v_0^2}\right)$$

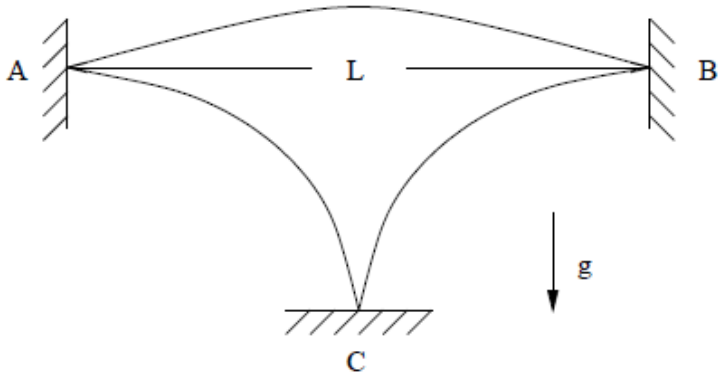


図 2.3.「三角形の幾何学」

と書くことができる」，と。

同一の空間の幾何学が，実験条件Lおよびv_0に依存するという結果が得られる。鏡AとBの間の角度α（図2.3ではその角度は$\alpha=0$となっている）も変えることが可能なのだから，その幾何学を広い範囲で人為的に変えることが可能であるということになる。可変パラメーターαおよびLは光についてのパラメーターであり続けることに注意しよう。幾何学の変化の不可避性に関するこのような一見真理であるかのように見える証明においては，いくつかの点が強調されていない。第1に，質点を使った実験と光を使った実験のいずれにおいても，幾何学の「描出」は瞬間的にではなく，ある時間の間に逐次的に行われる。第2に，加速度系の場合，粒子（および光）は真空中を慣性の法則に従って直線的に運動し，実際には，その運動に対してその加速度系の境界の運動が付加的に組み合わされる。全ての落下角度（実験系における）はそれに対応する反射角度と等しく，「角度の幾何学」はまったく変化しない。ただ単に，境界の運動によって図形が開いた図形となるだけである。第3に，現実の物体の長さ同士の比の算定に際しての境界の役割が，まったく解明されていない。例えば，もし現実の物体の全ての点が一様な加速度系の作用を受けたとすると，長さと角度の相互関係（「幾何学」）は変化しないままとなる。加速を受けるのが境界のみである場合には，物体の寸法のあらゆる現実的変化は境界との相互作用の際にのみ生じる。ユークリッド幾何学の直線は，いかなる場合にも引くことができる。例えば，重力場中で水平な直線を引く場合，2本の一様な長い棒があるとしよう（図2.4）。第1の棒のための支点を棒の中央に設置しよう。棒のたわみの結果，上に凸の曲線が形成される。第2の棒のための2つの支点を第1の棒の降下した両端と同じレベルに設置しよう。第2の棒のたわみの結果，下に凸の曲線が形成される。湾曲したこれら2本の棒の間の中間線が，直線を決定する。

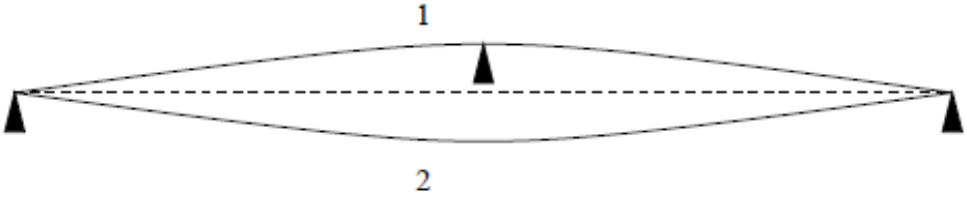


図 2.4. 重力場中での直線の引き方

等価原理

さて，一般相対性理論の次の重要概念―系のある非慣性的性質に対する重力場の等価性―に話を転じよう。あらゆる非慣性系とは異なり，重力場はユニークな性質，すなわち，重力場中では運動する全ての物体は1つの中心の方に向かって偏向するという性質を持っている。理想的に平行な2枚の鏡の間で2つのビームを鏡に対して垂直に発射すると，慣性系ではビームは互いに平行に無限に運動し続ける。2枚の鏡が加速方向に対して垂直に向けられている場合には，非慣性系での加速の際にも同様の状況が生じる。これとは逆に，重力場中では，鏡がそれと同様の方向に向けられている場合，2つのビームは接近し始める（図2.5）。したがって，もし観測時間の間に何らかの効果が測定されたならば，光速度の大きな値の結果として，（非慣性的性質ではなく）他ならぬ重力場の存在も確認することができる。もちろん，重力以外にも2枚の鏡の相互配置を保持することのできる別の力が存在するため，鏡の歪みを考慮する必要はない。弱い重力場の場合にも，球対称と面対称の違いを見出すことができる。ある種の慣性系の場合には観測時間全体にわたって重力場を除外することが可能であるという一般相対性理論の結論は，一般的な場合には誤りである。

重力と加速度の等価原理は空間中の1地点にのみ関係を持ち得るものであり，したがって非現実的である。このことが，例えば，重力場中におけるビームの偏向に関する誤った計算へと導いたのであった（アインシュタインはそれより後になってからようやく係数を2回手直しした）。一般相対性理論における慣性質量と重力質量の等価原理もまた，1個の個別的物体についてしか厳密に定式化することができない（一般相対性理論は時空と全ての物体との相互関係を含んでいるのであるから，この理論における等価原理は非現実的である）。それゆえ，物理学的には，一般相対性理論はいかなる非相対論的理論への極限移行も持つことができない（形式的・数学的にしか持つことができない）。現実の物体は（基準点としてさえも）空間の性質に非線形性を持ちこむのだから，特殊および一般相対性理論の全ての線形変換は，真空空間にしか当てはまらない。それゆえ，他の基準系への移行に伴って生じる諸現象の差異は，厳密に空間と時間の1つの地点において解明されなければな

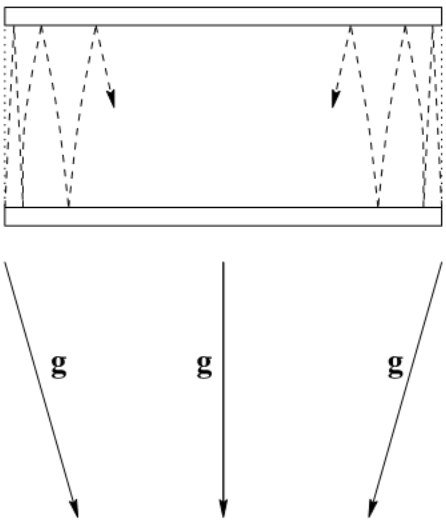


図 2.5. 重力場中における平行ビームの接近

らない。しかし，どうやって1つの地点に2人の相異なる観測者を配置するのか？ したがって，特殊および一般相対性理論の全ての課題は，近似的・モデル的な（大域性を欠いた）性格しか持つことができない。

同一の量―質量―が異なった現象に関与できるということ，すなわち，重力を含む任意の力の作用時における慣性のスケールとして，また重力質量として現象に関与できるということには，驚くべきことはまったくない（例えば，運動する電荷は電場と磁場の2つを発生させる）。重力質量と慣性質量の厳密な相等性という問題は，まったくのこじつけである。この相等性は重力定数γの数値の選び方に依存しているからである。例えば，比例関係$m_g = \alpha m_{in}$の場合，全ての法則は同一となるが，しかし重力定数の定義は別の定義，すなわ$\gamma' = \alpha^2\gamma$となる。ここに神秘を見出そうとしたり，ゆがんだ空間のモデルを構築しようとしたりしてはならない。同一の値を重力質量と慣性質量の両方に代入することは，一般相対性理論だけでなく，ニュートンの引力理論でも行われている。これは単に，経験的事実（より正確には，最も単純なγの値の選択）であるというにすぎない。

方程式の形態は時空の性質に依存すると［37］の著者が言うとき，そこにはある種の空理空論が含まれている。我々は何らかの方法を用いれば，この依存性を検証する目的で，この時空自体を変えることができるという印象が生じる。しかし実際には，我々が持っているのは単数の宇宙である。宇宙の複雑さを付け加えることによってあらゆる個別的（局所的）現象を複雑化しようとする一般相対性理論の試みは，科学にとって有益なものではない。局所的現象の数学的記述のための局所座標の選択は別の問題であって（この場合には現象の具体的な対称性が記述を簡素化する），大域性はここでもやはり関係がない。

一般相対性理論における非慣性系の利用は内的矛盾をはらんでいる。実際，特殊および一般相対性理論は，見かけの速度はcより小さくなければならないと主張しているにもかかわらず，回転系においては十分に離れている諸物体は光速度より大きい速度で運動することになってしまう。しかし，自転している地球と空の写真は，見かけ上の剛体回転（古典的な回転）が観察されることを示しているというのが実験的事実である。回転系（例えば地球）の利用は，中心からの物体の距離がいかなる場合においても古典物理学と矛盾しない。これに対し，一般相対性理論では成分g_{00}の値はマイナスになる。これは，この理論において許されないことである。地球における天文学においては，観測というものをいったいどう取り扱えばいいのだろうか？

一般相対性理論における時間

一般相対性理論における時間概念もこの上なく混乱している。閉じていない線に沿ってしか行えないのなら，時刻同期とはいったい何を意味するのか？ 閉回路に沿った迂回に伴う時間のカウント開始の変化―これは，一般相対性理論の明らかな矛盾である。なぜなら，同期の速度が大きい場合には，そのような迂回路を多数作り出し，恣意的な年上化または年下化を得ることが可能になるからである。例えば，真空（空虚）を回転しているものと想像すれば（我々自身が円に沿って運動すれば），我々は心に思い描いた想像に応じて，相異なる結果を得ることができる。

一般相対性理論が主張する重力ポテンシャルに対する時間の依存性，また重力と非慣性

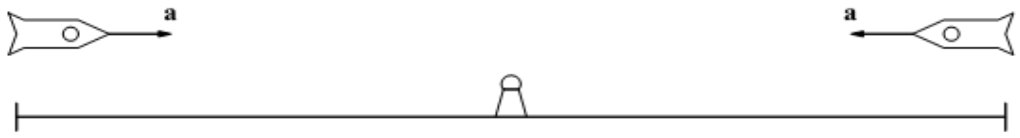


図 2.6. 加速度を伴う双子の飛行

的性質（加速度）の等価性を一瞬の間だけ信じることにすると，この場合，時間は相対加速度に依存するということを容易に理解することができるだろう（拡大解釈）。そうだとすると，実際，相異なる加速度運動は相異なる重力ポテンシャルに対応しなければならず，また逆に，相異なる重力ポテンシャルは相異なる加速度運動に対応しなければならない。しかし，相対加速度はベクトルとしての性質を持っている（そしてこのことを「隠す」ことはできない）。すなわち，一般相対性理論の拡大解釈は唯一可能な解釈なのである。変形版双子のパラドックス［51］を利用することにより，一般相対性理論の拡大解釈における加速度に対する時間の非依存性を容易に証明することができる。双子の宇宙飛行士が互いから大きく離れた場所にいるとしよう。2人の中間におかれた灯台からの信号に従い，宇宙飛行士たちは灯台に向かって同じ加速度で飛行し始める（図2.6）。一般相対性理論においては時間は加速度に依存し，加速度は相対的性質を持っているのだから，それぞれの宇宙飛行士は，自分の双子の兄弟の方が年下だと判断することになる。灯台のそばで出会ったとき，彼らは写真を交換することができる。ところが，課題の対称性により，その結果は明らかである。すなわち，時間は加速度系においても非加速度系とまったく同じように流れるのである。しかもそれだけでなく，それぞれの宇宙飛行士（さらに3人目の宇宙飛行士を灯台上に配置してもよい）は，自分の誕生日に関する信号を互いに送り合うことができる。灯台のそばで出会うまでの間に，同一の数の光球面が彼ら全員を横切る（光球面が隠れる場所はどこにもない）。はたして，自分は50歳の誕生日を迎えたという兄弟からの「電報」を出会いの1分前に受け取った宇宙飛行士は，5歳のお誕生日おめでとうという返事を送り返すのだろうか（もしかしたら，眼科の検査を受けるべきでは）？ 仮に一般相対性理論に従って重力場を加速度と等価とみなすとすれば，時間間隔は重力場の存在に依存しないということになる。例えば，加速度に対する時間間隔の依存性に関する拡大解釈の論拠は，次のようにして容易に覆すことができる。地球上の相異なる部分にいる何人かの人間を選ぼう。仮に我々が重力場と加速度の等価性を採用したとすると，地球の引力をシミュレーションするためには，彼らは地球の中心から，つまり，相異なる方向に向かって加速しなければならない（それぞれの加速度ベクトルは方向によって区別されることになる）。したがって，全ての相対加速度は相異なったものとなる。課題の対称性により，選ばれた人々の年齢が彼らの所在地に依存しないことは明らかである。

物体の運動に対して垂直に位置する遠方の周期的信号源を使った時刻同期方法［48］について，いくつかのコメントをしよう。まず慣性系から始めよう。経路の限られた区間における時刻同期の可能性は，運動線の全体にわたる時刻同期の可能性を与える（図2.7）。実際，各線分に対応して任意の距離だけ離れた周期的信号源N_jが存在し，情報を送るとすれば（N_jは固有の順序番号，n_jは経過した秒数。時間のカウント開始は他の信号源との間で統一されていない），線分同士の結合点にいる観測者は，左側と右側の2つの信号源の時

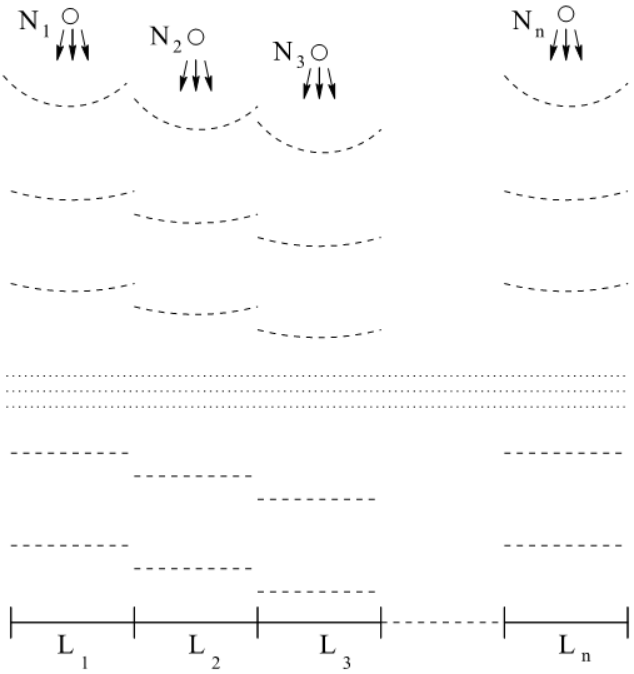


図 2.7. 運動線上における時間の同期

間のカウント開始を比較することができる。この情報を第1の観測者から最後の観測者まで逐次伝達することにより，共通の時間のカウント開始を設定することができる（第1章で証明されているように，時間はそれ自体が絶対的な意味を持っている［48］）。

観測される同期信号伝達速度が時間の長さの決定に影響を及ぼさないことは明らかである。すなわち，経過した秒数を表示するパルス（例えば光球面や粒子）は等間隔で空間全体を満たしてゆき，信号源が放出するのと同じ数のパルスが末端の観測者に到達する。（我々は神様ではないから，「時間の始まり」を導入することはできない。つまり，時間は既に何事もなく，一様に進んでいるのだ。）仮に見かけの信号伝播速度を$c = c(\mathbf{r})$とみなしたとしても，光の経路にはかかわりなく，信号源が放出するのと同じ数の光球面が末端の観測者に到達することになる（光球面はただ単に，どこかで空間的に濃密になったり，あるいは希薄になったりすることができるだけである）。時間は長さとして，一様に知覚されることになる。このように，空間的な非一様性（重力場）が存在する場合にも，完全な同期が可能である。

次に，相対論者たちによってただちに一般相対性理論の正しさを裏付けるものとみなされることとなった，2つの有名な実験を思い出そう。ヘイフリー–キーティングの実験では，2つのセシウム原子時計が飛行機で西方向と東方向に旅をし，その示度が静止していた時計と比較された（その際には，特殊相対性理論の「速度増加」が考慮に入れられたが，本書第1章で証明されているように，そのような効果は存在しない）。メスバウアー効果を利用したパウンド–レブカの実験では，上方向および下方向のある一定の垂直方向の経路を光子が通過する際における光子周波数のシフトが測定された。物理学では，同一の影響を2回考慮に入れることは認められていない。加速度と重力が，様々な過程に影響を及ぼす何らかの力を反映していることは明らかである。しかしこれは，他ならぬ力の作用の一般的

結果である。例えば，人間はあらゆる過荷重に耐えられるわけではないし，壁掛け振り子時計は無重力状態では進まなくなるが，しかしこのことは，時間が止まったことを意味しない。それゆえ，ヘイフリー–キーティングの粗雑な実験は，重力と加速度がセシウム原子内における過程に何らかの仕方で影響を及ぼすというトリビアルな事実を確認しているにすぎず，固定された場所の場合におけるその時計の相対的精度の高さは，まったく何の意味もない。それだけでなく，ヘイフリー–キーティングの実験の解釈は，「固有原子時間を単位とする」放射周波数［3］は重力場に依存しないことが想定されている，パウンド–レブカの実験の「説明」と矛盾している。さらに，一般相対性理論のもう1つの不確定性を考慮する必要がある。すなわち，平均場$\boldsymbol{g}$が存在しない場合でさえ，場の測定不可能な高速ゆらぎ（計測器の慣性的性質を超える速度を持つゆらぎ）が存在する可能性があるという点である。このような不確定性が任意の$\boldsymbol{g}$において存在することになる。すなわち，一般相対性理論の公式によれば時間は重力ポテンシャルに依存するのだから，平均値$<\boldsymbol{g}>$がゼロの場合でさえ，有効ポテンシャルはゼロとは異なったものとなる。ところで，せめて理論上だけでも，携行可能な精密時計を考え出すことは可能だろうか？ 可能である。目印用の刻み目を付けたはずみ車を用意し，摩擦をなくすために超伝導浮上装置に載せ，はずみ車の軸を重力場の勾配の方向（非慣性系の場合は合力の方向）に沿って向ける。回転するこのはずみ車が正確な時間のカウントを可能にしてくれるはずである。この場合には，少なくとも，回転速度の変化を引き起こす明らかな原因やメカニズムは見当たらない。もちろん，弱い重力場の場合，このような時計は現段階ではセシウム原子時計より精度が劣っているだろう。相対性理論に対する批判とは無関係に，次の仮説を述べておこう。すなわち，個別原子の崩壊は異方的に生じ，その異方性は原子の磁気モーメントの方向と関連付けられる可能性がある。その場合，磁気モーメントを秩序化させ，原子系を凍結することができる。すると，そのような「凍結」したセシウム原子時計の重力場における示度は，時計の方角に依存することになる。

さて，同期信号（例えば，長さの同時測定のための同期信号）の話に戻ろう。直線運動をしている加速度系の場合には，運動線に対して垂直な位置にある遠方信号源からの信号を利用することができる。また，円周区間の場合には，信号源は円の中心にあればよい。これらの場合は，無重力での事実上全ての非慣性運動を含んでいる。（さらに，任意の平面運動の場合には，平面運動への垂線上にある周期的な遠方信号源を利用することができる。）等ポテンシャル面に沿って任意の運動をしている球体の現実の重力場の場合には，重力場の中心からの周期的信号を利用することができる。

長さおよび時間間隔の変化に関する特殊および一般相対性理論の結論の矛盾性を証明するに当たっては，これらの量の理想的（古典的）測定の精度が，特殊および一般相対性理論によって予測されている効果の量を原理的に凌駕し得るだけの十分な精度となっているという点に注意しよう。例えば，運動線への垂直二等分線上の同期信号源を利用した場合，同期の時間的精度について$\Delta t \approx l^2/(8Rc)$という式が得られる（ここで$l$はその時間が同期された線分の長さ，$R$は同期信号源までの距離である）。すなわち，光球面の大きな半径を選択することだけでなく，運動の小区間lを選択することによってもΔtを小さくすることが可能なのである。時間収縮に関する特殊相対性理論の公式によれば，同様の量について

$\Delta t = l\left(1-\sqrt{1-v^2/c^2}\right)/v$という式が得られる。$R$を有限値，$v$を所与の速度としたとき，不等式

$$l/(8Rc) < \left(1-\sqrt{1-v^2/c^2}\right)/v \tag{2.1}$$

が満たされるようなlを選べば，相対論的諸理論の結論は誤りであることが判明する。

半径（重力場の中心から引かれた半径）に沿って任意の運動をしている系の場合には，運動線への垂直線上を自由落下する周期的信号源を同期のために利用することができる。その際，同期信号源までの距離Rは，重力場がその距離において（等ポテンシャル球面の丸みによって）ほとんど変化しない値で，かつ，垂線が下ろされた点の近傍において（2.1）のlに対応する値を選ぶ必要がある。したがって，一般相対性理論の結論はこの場合にも覆すことができる。空間自体の性質としての距離収縮に関する特殊および一般相対性理論の「普遍的」な結論は，最も重要な個別的場合に関して誤っている。最も一般的な場合においては，信号が運動に対して垂直に到達し，かつ，一般相対性理論の結論を覆す（2.1）のRとlが存在するような周期的信号源の配置を見つけることが可能であることは，直観的に完全に明白である。「余計な尾ひれがくっつけられた」基準系や，恣意的に進む時計の必要性はまったくない。すなわち，現実の長さのあらゆる変化は，現実の力によって説明されなければならない。そして，互いに静止した諸物体の系と共通時間を（たとえ換算法を用いる方法によってでも）導入することが常に可能でなければならない。このように，空間と時間は，系の運動に依存しないニュートンの空間と時間でなければならない。

一般相対性理論からのいくつかの帰結

次に，一般相対性理論の数学的方法およびこの理論からの帰結についての検討に移ろう。時空の性質との戯れが，一般相対性理論においては変分法の適用が疑問視されるという結果をもたらしている。すなわち，量は加法性を持たず，ローレンツ変換は可換性を持たず，積分値は積分経路に依存しない。また，相異なる基準系において距離が異なる場合には，いかにすれば終点を固定点とみなすことが可能であるかすら明らかでない。

重力の局所化不可能性（遮蔽不可能性）が，一般相対性理論において保存則が存在する（ただし，「島型」系においてのみ）ためには，無限大における条件が原理的な重要性を持つ（無限大における質量の非存在に起因するユークリッド性）[37]という結果をもたらしている。古典的アプローチの方がより首尾一貫しており，理論的および実際的な応用においてより有用である。すなわち，物理的意味を持つのは2つの遷移点の間におけるエネルギーの局所的変化のみであるから，エネルギーは定数のレベルに至るほどの精度で決定されている。したがって，無限大における条件などというものは何の意味も持たない。

一般的な形での線形化手順は大きな疑念を呼び起こす。線形化は個別的なものでしかあり得ないからである。一般相対性理論では，単純化への希求が語られている一方で，座標時間と固有時間という2つのタイプの時間さえ導入されている。既知の結果，あるいは直観的（古典的）結果に合わせたつじつま合わせがしばしば行われている。例えば，水星の近日点移動の計算の場合と同様に，光の偏向の計算に際しては符号のうち1つが選ばれる[3]。

$du/d\varphi$は2つの符号を持ち得る。では，どちらを選ぶのか。$du/d\varphi$で除す割り算が行われていることについては，もはや言うに及ばない。$du/d\varphi$の値はゼロにもなり得るのだから。上記の文献では，時空関係の複雑さについて書かれているが，しかし結局，非常に長い時間をかけて普通の数学座標に移行している。そうしなければ結果を何とも比較することができないからである。いったい，闘争は何を達成するために行われたのか？ 疑似科学のためか？

重力相互作用の伝達速度はどのようなものか，光速度より大きいのか，小さいのか，それとも光速度と正確に等しい（一般相対性理論ではこれが公準とされている）のかについての十分な実験的証拠は，今に至るまで得られていない。例えば，ラプラスとポアンカレ［24, 87］は観測データに基づき，重力相互作用伝達速度は光速度より数桁大きいと考えていた。

さて，一般相対性理論の実験的裏付けについて検討しよう。普通，様々なデータが100個あったとしても，それによって常に理論が構築されるというわけではない―理論を構築するよりも，データを表にまとめる方が容易だからだ。一般相対性理論の場合はと言えば，我々は「3.5件の観測を持つ偉大な理論」について論じているわけだが，そのうちの3件はフィクションである。重力場における光の直線運動からの偏向については，次の点を述べる必要がある。第1に，実験家たちの大部分が指摘しているように，効果の定量的確認は具体的な実験家の信念に著しく依存する。エディントン卿が実際には何を測定したかに関するより詳しい話については，G.イフチェンコフ［Gennady Ivchenkov］の論文［202］で読むことができる。第2に，既に古典的公式$m\boldsymbol{a} = \gamma mM\mathbf{r}/r^3$から，任意の物体は，質量がゼロおよびマイナスの物体であっても，重力場中で落下するという結論が導き出されている。第3に，そもそも，効果は何と比較されるのか？ 絶対的に空虚な空間（絶対真空空間）との間でか？ 既に1962年，王室天文官［英国王室直属の上級官の名称］グループは，太陽近傍には巨大な距離にわたって広がる大気が存在するため，太陽近傍における光の偏向は一般相対性理論の証明とみなすことはできないと発表した。既に非常に古くから，地球大気の場合の屈折が天文学者たちによって考慮されていることを思い出そう。既にロモノソフ［18世紀ロシアの詩人・自然科学者］は金星大気中における光の偏向を発見していた。説明を理解するため，ガラス球を思い浮かべてほしい。当然のことだが，平行ビーム（遠い星からの光）はガラス球の内部で中心に向かって偏向する。このような系は光学レンズとして誰もが知っている。ガス球（太陽大気）の場合も同様の状況が生じることになる。重力場における光の偏向を正確に計算するためには，太陽大気が存在すること，そしてビーム経路上における密度勾配と温度の存在が媒質の屈折率の変化，したがってまたビームの湾曲を引き起こすことを考慮する必要がある。これらの効果は地表面近傍のわずか100 mの距離でも蜃気楼を引き起こすのだから，太陽近傍を数100万kmも通過する星からの光の場合にその効果を考慮しないとすれば，それは純然たる空理空論である。

水星の近日点移動―もちろん，それは美しい効果である（しかし，唯一の例における効果である。「科学理論の導入」にとって少なすぎはしないか？）。それゆえ，その効果の大きさを一意的に推定できるようにするために，固体近傍における効果（例えば，惑星近傍の衛星にとっての効果）を観測してみたら面白いかもしれない。ここで問題とされているのは，太陽は固体ではないため，水星の運動が太陽上で潮汐波を引き起こしている可能性

があり，その潮汐波が今度は逆に水星の近日点移動に影響を及ぼしている可能性があるということである。(その潮汐波は，重力相互作用伝達速度および太陽の「流体力学的」な性質の如何に従い，水星の運動より先行するかもしれず，逆に水星の運動より遅れるかもしれない。) いずれの場合にせよ，一般相対性理論の「重力」効果を純粋に分離できるようにするためには，水星の潮汐および他の惑星が水星の軌道特性に及ぼす影響を計算するのに必要な重力相互作用伝達速度を知る必要がある（そもそも，その「純粋」な効果が存在すればの話であるが)。

一般相対性理論における近日点移動の計算からは（単一の引力点の場合における厳密解から)，我々は天体の正確な質量を知っているのだという印象が生じる。ところが実際には，一般相対性理論をニュートン理論の補正として利用すると，状況は矛盾したものとなる。すなわち，一般相対性理論の検証のために惑星の質量を代入するために，惑星の正確な質量をその見かけの運動に基づいて再構成しなければならないという課題が生じる。惑星の軌道は円軌道だと想像してみよう。この場合には，ニュートン理論における公転周期は，見えない歳差運動を既に考慮に入れて取られたものとなる，すなわち，既に再正規化されたものとなることはただちに明らかである。それゆえ，ニュートン理論には再正規化された質量が既に含まれている。一般相対性理論による補正は，全ての惑星が及ぼす摂動的影響および非球形性の影響よりもはるかに小さいのだから，この複雑な多体問題における正確な質量の再構成が，運動の描像全体の記述を著しく変化させる可能性がある。しかし，このことはまったく考慮されていない。

概して言えば，水星の近日点移動をめぐる状況は相対論者たちの振る舞い方の典型例を示している。第1に，一般相対性理論よりもはるか昔に得られたラプラス近似計算の既知の結果と近日点移動効果とをアインシュタインが比較していたにもかかわらず，その効果はこの理論によって予測されたものだという言説が流布されている。私は，「予測すること」と「後付けで説明すること」の間の大きな違いを，全ての人間が理解できるようになることを望んでいる（ファインマンの小話を思い出そう)。第2に，歳差運動は古典物理学にもあった。19世紀のデータによれば，水星以外のいくつかの惑星の影響による歳差の合計値は588″と計算されていたが，不足していた計算値はわずかに約43″，つまり小さな補正である。(20世紀のいくつかのデータによれば，ほぼ1桁大きな歳差の合計値が示されているが，ここには一般相対性理論からの43″という値―「タブー」―が残存している。ちなみに，この値は誤植である可能性もあるが，こんなつまらぬこと（これが「一般相対性理論の大きな実験的基礎」の3分の1を占める）に難癖をつけるのはやめておこう。）第3に，現代数学をもってしても，多体問題における精密な計算は今のところ行える状態ではない。古典的な場合には，その計算は個別の惑星の影響からの独立した補正値の和として行われていた（対ごとの相互作用においては，太陽も惑星も質点とみなされていた)。当然ながら，古典的な場合には，最終結果（既に観測値の90％以上に達していた！）は，太陽の非球形性（これは実験的事実だ！)，太陽系の全ての惑星（および小天体）の影響，そして太陽は固体の物体（質点）ではなく，しかもその相異なる層内における局所的密度はその他の運動する惑星からの影響を単に「後追い」しなければならないという事実を考慮に入れれば，さらに改善することが可能である（より現実的・具体的な物理的メカニズムのこの導入路線に従えば，不足している小規模効果を得ることが完全に可能である)。しかしこれに対し

て，相対論者たちが言明していること—それは，理性では理解不可能な空理空論である！彼らは2つだけの質点—太陽と水星—の運動を検討しただけで，効果（しかもそのうちの小さなパーセントのみ）を「発見」しているのである。失礼ながら，あなた方の一般相対性理論は，古典物理学から既に見出された効果の大部分をどうやって補正するのか？ 計算するのがこわい？ では，あなた方が繰り返し言っている「輝かしい一致」とは，どんな一致なのか？ それは，望んでいるものに合わせた純然たるつじつま合わせだ！

しかも，水星の近日点移動についての相対論的「説明」の創始者の論文［41, pp.439-447］は，初歩的な数学的誤りを含んでいる。例えば，（ペテンを用いて）導出されたその3次方程式に対して，代数で良く知られている代数方程式の根の和に関するヴィエトの定理を適用すると

$$\frac{1}{\alpha} = \alpha_1 + \alpha_2 + \frac{1}{\alpha}, \;\Rightarrow\; \alpha_1 + \alpha_2 = 0, \;\Rightarrow\; \phi = \pi$$

という条件が導き出されることに，その創始者は気づかなかった。すなわち，アインシュタインの「計算」からは，いかなる近日点移動も導き出されないのである。アインシュタインの論文に関するより詳しい分析は，文献［146］で読むことができる。

表面に対して平行に運動する光は地球の人工衛星と同じように円運動し始めるという，ラプラス解における「ブラックホール」の原型は，一般相対性理論のアイデアとは異なっている。十分に大きなエネルギーを持つ光が物体から，物体の表面に対して垂直の方向に離れていくことを禁じるものは存在しない。そのようなビームが（内的原因および外的原因によって）存在することは疑いない。例えば，外部から入射するビームはエネルギー保存則に従ってエネルギーを蓄え，反射後にそのような「ブラックホール」を離脱することが可能である。光が持つ矛盾した性質を引用するかわりに，素粒子，例えば電子の「落下」について検討した方が簡単である。電子にとって弾性反射の可能性は残っているのだろうか，それとも，（一般相対性理論を救うために）その可能性を公準として禁止しなければならないのだろうか？ その可能性をやはり禁止することはできないと仮定した上で，次の過程について検討しよう。電子が遠方の点A（例えば100天文単位離れた所）から初速度ゼロで大質量の物体に向かって落下し始めるとしよう（図2.8）。物体は「近傍に残った最後の分子」まで吸収しつくし，我々の電子がシュワルツシルトの球面（図ではBと記されている）を横切るより一瞬前に「ブラックホール」となる。見やすくするため，距離$|OB|$は大きく広げて描かれている。電子が「ブラックホール」の表面Oと衝突する一瞬前の時刻において，この「物体」は安定しており，その表面の速度も加速度も一瞬の間

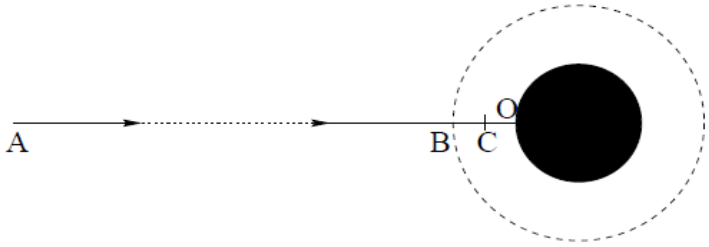


図 2.8.「ブラックホール」への落下

に非常に大きくなることはできないのだから（しかも，衝突は電子との間ではなく，こちらに向かって飛んでくる熱粒子との間で起きた可能性がある），我々が選んだ電子は弾性衝突した後，衝突までの間に得たのと同じ速度で点Aに向かって飛んでいく。電子はシュワルツシルトの球面Bを通り抜けることはでいないと主張されている。では，電子が点C（例えば「物体」の中心から10 kmの距離のところ）で停止したとしよう。エネルギー保存則が満たされているとすれば，点AおよびCにおける電子の速度は等しくゼロであるから，点Aにおける電子のポテンシャルエネルギーもまた，点Cにおけるポテンシャルエネルギーと等しい。したがって，点AとCの間には重力場（引力）は存在しない。存在するとすれば，ポテンシャルは単調に減少しなければならなかったはずである。しかし，この状況を純粋に一般相対性理論の立場から検討すると，これよりさらにひどい結果が得られる（後述を参照）。一般相対性理論における「ブラックホール」は完全な神秘である。長い棒を例にとると，（特殊相対性理論によれば）運動時に棒の質量は増加し，寸法は減少する。何と，「ブラックホール」が形成されるということか？ 高速運動すると，全天が「ブラックホール」で埋まってしまうことになる。何しろ，一般相対性理論によればこの過程は不可逆なのだから。例えば，高速で運動している光にとっては，宇宙のあらゆる物体はブラックホールとなる（ではそもそも，光はどうやって今なお存在しているのだろうか？）。

いくつかの周知の解を思い出そう。すなわち，1）シュワルツシルト解は真空中における静力学的な中心対称場を記述している（温度特性は存在しない，すなわち$T=0$ Kであることに注意しよう）。2）軸対称なカー計量は回転崩壊の重力「場」を記述している。解の特異点または多重連結性の存在は，少なくともこれらの領域では解が適用できないことを意味する。そのような状況がシュワルツシルト解における「ブラックホール」に関する空間と時間の符号定数の変化に伴って生じているが，その何らかの人為的な哲学的意味を探求することには何の価値もない。シュワルツシルト解における$r = r_g$での物理的特異性は，純粋な数学的変換によっては解消することができない。別の符号を持つ無限大をこの特異点において追加することは無限大との人為的な戯れであり，そのような手順を行うためにはその物理的根拠が必要とされる。（物理学においては，$\alpha \exp(-\lambda r)/r$（ここで$\lambda$は大きな値）を人為的に追加することによって，ゼロにおけるあらゆる特異性を解消しようなどとはしないのではないか？）。V.A.フォックによって（調和座標において）見出されたアインシュタインの重力場方程式の厳密解は，別の値$r = r_g/2$のときに特異点を持っていることに注目しよう（これは一般相対性理論の非一意性を証明している）。それだけでなく，$r = r_g/4$のときに特異点を持つW.パウリの解も存在している（非一意的な特異点があまりにも多すぎないか？）。さらに，回転座標系においては，一般相対性理論は一致の原理を満たさない： 極限において古典物理学に移行しない（慣性力が出現しない）。

「ブラックホール」の観測不可能性は，一般相対性理論からさえ導き出すことができる。すなわち，「ブラックホール」の形成時間は，遠く離れた観測者としての我々にとって無限なのである（我々が「世界の終り」まで待ったとしても，たった1つの「ブラックホール」が形成するのにも間に合わないだろう）。崩壊は完了することができないのだから，全てが既に生じ終わっているかのようにみなす解には何の意味もない。外部観測者にとっての事象と内部観測者にとっての事象とが無限大の時間によって分離されていることは，「時間

の進行の相対性の究極的な例」などではなく，シュワルツシルト解の矛盾性の初歩的レベルの現れであるにすぎない。まさにこの事実が解の体系の「不完全性」を示している。一方の符号の電荷がより多く「ブラックホール」内に消え去った場合，電荷保存則に何が起こるのかは明らかにされていない。「ブラックホール」への接近時における「計量的潮汐力」［39］についての神秘的な記述には正当性がない。なぜなら，その「計量的潮汐力」は，物体の範囲内における重力勾配がきわめて大きいことを意味しているのかもしれず，しかし一方，一般相対性理論のアイデア全体はそれとは正反対の仮定に基礎をおいているからである。回転が存在する場合におけるカー計量もまた，一般相対性理論の破綻をまざまざと示している。すなわち，カー計量は，物理的に非現実的ないくつかの解を数学的に厳密な形で与えているのである（シュワルツシルト計量の場合と同じ操作ではこの状況を救うことができない）。このように，「ブラックホール」などといった一般相対性理論から生まれた物体は存在することができず，したがって科学の領域から非科学的空想の領域に移されなければならない。世界は驚くほど（しばしば動力学的に）安定しており，無限の崩壊は起こらない（起きているのは爆発の方である）ことを全宇宙が物語っている。これら全てのことは，一連の効果（例えば，アクリーション，放射，等々）として完全な形で姿を現している超大質量の（しかし動力学的に安定した）物体が存在する可能性を否定するものではまったくない。そのためには一般相対性理論の空想は少しも必要とされない。「ブラックホールの蒸発」という形で一般相対性理論を人為的に救済する方策を探す必要もない。この理論にはそのような可能性は決してないからである（光速度は超えられない）。一方，それとは逆に，古典物理学には何の問題も存在しない。

一般相対性理論は疑わしい前提と結果を数多く含んでいる。そのうちの一部を列挙してみよう。例えば，低速度および重力場の弱さに関する要件は疑わしい。すなわち，大質量の惑星に宇宙船を着陸させると，宇宙船は立つことも，ゆっくり動くこともできなくなるというのは本当だろうか？ 温度ゆらぎにもかかわらず，低速度の分子は見出されないというのは本当だろうか？ また，一般相対性理論における中心対称な場に関する検討は，物理的意味を持たない。すなわち，速度は動径速度でしかあり得ないのだから，回転があり得ないだけでなく，現実の温度特性もあり得ない，すなわち$T = 0\,\mathrm{K}$となる。キャビティ内の場は単一の形では得られず，特異点が生じないようにするために，ただ単に2つの相異なる定数が公準として定められるだけである。

放物運動（離心率$e = 1$）の場合の重力波放射はエネルギーおよび角運動量の喪失をもたらす。これは実験データと明らかに矛盾する。

事実上，一般相対性理論は弱い場と弱い回転の場合，つまりニュートンの引力理論と同じ領域でしか適用することができない。運動する電荷の間におけるこれに類する相互作用は静力学的なクーロンの法則とは異なっていることを思い出そう。それゆえ，静力学的なニュートンの引力の法則を適用する前に，運動する物体の場合についてその法則を検証する必要がある。そして，それを行う権限は実験に属する。

一般相対性理論における全ての量の相対性に関連する，もう1つの原理的側面について考察しよう。ただ単に方程式として書かれている法則は，それ自体では何ものをも決定しない。あらゆる課題を解決するためには，さらに，具体的なもの―物体の特性（質量，形状，等々），初期条件および／または境界条件，力の特性（大きさ，方向，着力点，等々）

など―についての知識が必要とされる。基準点が実際に与えられた後，それに引き続いて起こる量（位置，速度，加速度，等々）の変化が基準点との関係において研究される。一般相対性理論における全ての量の原理的な相対性は実験と矛盾している。局所測地的なローレンツ慣性系との関連で加速度（あるいは回転）を導き出そうとして次々に行われている人為的な試みは，唯一有効で実験的に検証済みの絶対空間座標との単なるつじつま合わせにすぎない（元来，一般相対性理論は絶対空間座標をまったく含んでいない［18］）。

重力定数は数学の定数ではなく，変更が加えられつつある定数である［9］。したがってその値は，静力学的なニュートンの引力の法則に加えられる修正も考慮に入れることができる（例えば水星の近日点移動の計算に際し，これらの影響の分析は行われていない）。多体結合系における有限運動（例えば周期運動）の場合には，様々な共振現象を見ることができ，その共振現象が軌道パラメーターの統一的な補正（特に，物体の最終的寸法―その形状の非球形性―および／または質量分布を考慮に入れた補正）に反映されている。

概して言えば，近接作用の原理が重力にとって有用となり得るのは（ただし，重力相互作用の伝達速度によってはそうでないこともあり得る），ごく少数の場合，すなわち大質量（同程度の質量）の諸物体が互いの近傍を高速（$v \to c$）で運動する場合に限られる。筆者はそのような実例を知らない。

物体の動力学を記述するためには，幾何化のみでは明らかに不十分である。同一のサイズの数種類の球を取り上げよう： 空気，木，鉄，鉛。それらの球を真空チャンバー中で自由落下させ始めよう。それらの球の下方のチャンバーの底には，同一の大きな剛性を持ったばねが付いている始動ボタン（例えばギロチン式スイッチ）が取り付けられている。すると，運動の運動学が完全に同一である（$x_i(t) \equiv x_j(t),\ v_i(t) \equiv v_j(t),\ a_i(t) \equiv a_j(t)$）にもかかわらず，そこへ鉛球が落下したボタンのみが作動する。このこともまた，その中に[L]および[T]の測定単位（次元）しか含まれていない単位系は自己充足的ではないことを証明している。我々の世界の物質*性を「含んでいる」測定単位が不可欠なのである。そのような単位であることができるのは質量の単位[M]である。

一般相対性理論の重力に対するアプローチはユニークである。エレベーターのかごの中に身を隠し，一瞬の後に自分が怪我をすることを知らぬまま，落下を満喫するのである。もちろん現実には，状況はそれとは異なる。我々は，引力の中心との相対的関係において，自分がどこに向かってどのように運動しているかを見ることができる。テイラーおよびホイラーの主張とは裏腹に，これこそ，観測者―第1の「粒子」―とセットになった第2の「粒子」なのである。まさにそれゆえに，重力に対する純粋に幾何学的なアプローチは（いつか，計算手段として有用となるかもしれないとしても），物理学の旅の途上における一時的な支道なのである。だから，ある本［33］に書かれているたとえ話に登場する2人の旅人（ひずんだ空間の幾何学に対するアプローチを示しているとかいう2人の旅人）にとっては，「ごくわずかなこと」が必要である。すなわち，地球の球面上を赤道から，他ならぬ子午線に沿って運動しようという願望を持つことだ（彼ら以外の50億の人間にはそんな願望は起こらないかもしれない）。旅人たちの願望とは異なり，地球や太陽の方に引っ張られたくない，そして力を費やさずに宇宙に飛び立ちたいとどんなにあなたが願おうと，あなたの願望だけでは明らかに不十分である。このような現象は，力（この場合は引力）の概念を反映している。自然界においては何種類の相互作用が現実化しているのか，なぜそれら

の相互作用だけなのか，局所化された質量，電荷，粒子が存在するのはなぜか，引力はなぜ他ならぬ距離の2乗に比例するのか，あれこれの具体的な物理定数が自然界の中で現実化しているのはなぜかといった問題，またその他数多くの問題に対して，幾何学は回答を与えることができない。これらの問題は物理学の専管事項である。

2.3. 相対論的宇宙論に対する批判

宇宙進化論は永遠に仮説であり続けるだろう。そのいかなる前提条件も（等方性や一様性に関する前提条件すらも）検証することができないからである。「はるか昔に出発し，今も走り続けている列車には，別の場所で，しかも別の時刻にしか追いつくことはできない」。一般相対性理論は一連のパラドックス（重力のパラドックス，輝度測定に関するパラドックス）の解決を自分の功績とみなしている。重力のパラドックスとは，密度が一様な無限宇宙の場合には，物体の重力加速度に関する確定した値をポアソン方程式から得ることはできないというパラドックスである。（物理モデルにおける無限性を条件としたときの純粋に数学上の不確定性は，現実に対していかなる関係を持つのか？）輝度測定に関するパラドックスの要点は，永遠に存在する（定常的な）無限宇宙の場合には，光の吸収と変換を考慮しない限り，天空の輝度は星々の平均輝度と等しくなければならないということである（またも多数の非現実的な前提条件が付けられている）。しかし，古典物理学においても同様のパラドックスの解決の可能性が記述されている（例えば，相異なる次数の系（エムデン［Emden］球面，シャルリエ［Charlier］構造，等々）を利用した解決法）。宇宙は一面に広がった媒質ではないし，我々は宇宙の全体構造をまったく知らないのだから，この種のパラドックスのための条件の現実化の可能性（むしろその逆である）について断言することができないことは明らかである。例えば，オルバース［Olbers］の輝度測定のパラドックスは海とのアナロジーに基づいて容易に理解することができる。つまり，光は一定量ずつ吸収され，散乱され，反射されて，一定の深度に達するとまったく透過しなくなる。もちろん，希薄な宇宙の場合，そのような「深度」は巨大なものである。しかし，輝く星々はかなりコンパクトで，互いから遠く離れた物体である。その結果，夜空の光の強度に寄与するのは有限個の星のみとなる（もはや言うまでもないことだが，理論においてはさらにドップラー効果，より望ましくは実験的事実―赤方偏移―を考慮する必要がある）。

天体のスペクトルにおける赤方偏移に関する状況はまだ最終的に確定していない。宇宙には，そのスペクトルのうちの異なる区間がまったく相異なった偏移を持っている天体が著しく大きな割合で存在する。概して言えば，遠く離れた天体までの距離は直接的に測定されているわけではないから（計算結果はある一定の仮説と結びついている），計算結果を赤方偏移と関連付けることも，やはり仮説である（仮説においては，何が検証可能かはまだ知られていない）。例えば，膨張宇宙は一般相対性理論なしでもドップラー効果に従って赤方偏移を与える。それだけでなく，赤方偏移およびいわゆる残存放射の充満に対しては，散乱素過程［elementary scattering］が寄与することになることを考慮する必要がある。コンプトン効果が$\lambda' > \lambda_0$の波を与えることを思い出そう。重力場におけるスペクトル線の遷移は，エネルギーについての一般的な理解に基づく機械論的モデルによってさえも見事に予測さ

れていた。

概して言えば，ビッグバン（大爆発）理論は大きな疑惑を抱かせる。何が，どこに向かって，いつ爆発したのかというありふれた疑問（何しろ，空間も時間も物質*も存在しなかったのだから）の他に，ブラックホールに関する一般相対性理論の結論（限界速度である光速度は超えられないという結論）はどうするのかという疑問が生じる。何しろ，宇宙は，ゼロ時刻においては（さらに，ゼロ時刻においてだけでなく，ある長さの時間にわたって）ブラックホールでなければならなかったのだから。一般相対性理論が課す条件はどうするのか？ 何しろ，ブラックホール内における収縮といった比喩的記述の代わりに，今や，我々はあらゆる場所における膨張を実験的に観測しているのだから。どうやら，検証不可能なものをでっち上げるのがよっぽど面白いにちがいない（ただし，そんなものは科学と呼ぶに値しない）。

次の原理的な問題に進もう。物質*の分布と運動を任意に指定することができないということは，理論の長所なのか？ そしてそれは正しいのか？ 一般的な場合には，それは理論が矛盾していることを意味する。なぜなら，重力以外にも，物質*を移動させる能力を持つ別の力が存在するからである。実際的な観点から見ると，それは，我々は初期時刻に存在していなければならなかった，そして「一般相対性理論にとって正しい」やり方で全ての分布を我々が指定しなければならなかったということを意味する。そうだとすると，我々はt_0を，「天地創造の瞬間」以外の瞬間とみなさなければならないのだろうか？ また，そのような選択を行うためには，いかなる原理が一意的に決定されなければならないのか？ それを決定するためには，一般相対性理論による予測から得られるかもしれないあらゆる予想より，さらに多くの知識が要求される。擾乱の正確な記述の可能性，また擾乱理論は疑問視されている。何しろ，結果の値も任意であることができないからである。まったく未知の状態方程式が方程式系に付加されていることは，巨視的レベルと微視的レベルの結合による人為的な複雑化を意味しており，恣意的なつじつま合わせが可能であることを反映している（例えば温度依存性が除外されている）。アインシュタイン方程式に宇宙定数を追加することが可能であること―それは，一般相対性理論の方程式の非一意性と恣意の可能性を間接的に認めていることである。全てをそれほどの精度で指定することができるというのなら，なぜ物質*の初期分布と初期運動を恣意的なやり方で指定しないのだろう。

マッハの原理

遠い星々の作用による慣性質量の被決定性および加速度の絶対性というマッハの原理も疑わしい。この原理は，ある物体の内在的性質を他の諸物体の性質を通じて説明しているからである。もちろん，このアイデアそれ自体は美しい。仮に世界の全てのものが相互に連関していて，かつ何らかの理想的で完全な状態方程式が存在するとみなすとすれば，物体のあらゆる性質はそれ以外の宇宙全体からの影響によって決定されなければならないことになる。しかしそうだとすると，1つ1つの粒子を個性を持った粒子とみなさなければならなくなる。より小さな知識からより大きな知識へと進んでゆく科学にとって，これは誤った道である。「無限を抱擁することはできない」からである。実際，非一様な質量分布（コンパクトな物体の内部における質量分布）や，近くから遠くまでの諸物体の引力の相異な

る大きさを考慮に入れたとすると，物体の一様な回転や慣性による一様な運動の代わりに，絶え間のない「痙攣」が得られることになるだろう。

原理上，マッハの原理は検証不可能である。全ての物体を宇宙から除去することにせよ，重力定数を人為的にゼロに向かわせることにせよ，現実とは何の関係もない抽象である。ただし，主としてコンパクトな物体に集中している宇宙の質量を計算することにより，「遠い星々」の影響を実験的に推定することは可能である。1光年$\sim 9\cdot 10^{15}$ mの距離にあり，太陽質量$M\sim 2\cdot 10^{30}$ kg程度の質量を持つ星の引力は，1 mの距離にある質量わずか$m_0\sim 25$ gのおもりの作用と等しい。しばらくの間，疑わしいビッグバン理論を利用して，宇宙の存在時間を$\sim 2\cdot 10^{10}$年とみなすことにしよう。仮に星々が光速度で飛び散り続けたとしても，宇宙の大きさは$\sim 2\cdot 10^{10}$光年ということになる。最も近い星同士の間の平均距離を1光年とみなそう。我々は全ての量を意図的に大きく設定しよう。 例えば， 宇宙の質量を大きく設定し，その密度を$\rho\sim 10^{33}/10^{54}\sim 10^{-21}$ g/cm^{3}としよう（宇宙の正確な密度は知られていないが，しかしそれは$\rho < 10^{-28}$ g/cm^{3}と推定されている）。さらに，物体間の距離が2倍になると引力は4分の1になる，等々といったことを考慮に入れよう。宇宙全体のある1つの方向における作用力のシミュレーションを試みてみよう。最も近い星同士の間の平均距離を1光年とみなした場合でさえ，1 mの距離上に次の大きさの質量（g）を配置する必要がある（$2\cdot 10^{10}$まで合計しよう）：

$$M_0\sim 25(1+1/4+1/9+\cdots)=25\sum 1/n^2\sim 25\pi^2/6<50.$$

実は，係数$\pi^2/6$は観測線上における密度の有効増加を表している。「全宇宙」の作用をシミュレーションするためには，半径1 mの分厚い金属球面を想定し，中心方向のその厚さを可変とすればよい（非一様性をシミュレーションするため，内径近傍に針状構造物を作ることさえできる）。

緻密な金属球面の厚さを0.6 mとすると，中心から0.4 mまでは空洞，その先1 mまでは金属ということになる。この場合，金属の密度を~ 8.3 g/cm^{3}とすれば，質量M_0に相当するのは半径~ 0.35 cmの円柱ということになる。現実には，我々は円柱内だけでなく，円錐内の星の影響も考慮に入れる必要がある。我々は球体の金属錐も持っているわけであるが，しかしそれでもやはり円柱の大きさの順序について推定を行うことにする。円錐を，星々の新たな層が加わるのに応じて現れる，いくつかの円柱形の層に分割しよう（図2.9）。それぞれの新たな層はその前の層より6個の星の分だけ大きくなる。中心からそれぞれの星の層の最も近い境界までの距離は，三角形の相似$R_i/1=i/r$から求められる。よって$R_i'=\sqrt{i^2(1+r^2)}/r$が得られる。したがって，質量M_0の補正値（$2\cdot 10^{10}$まで合計しよう）は次のように求められる：

$$m_0\left(1+\frac{1}{4}+\cdots\right)\left(1+\sum_i\frac{6}{R'^2_i}\right)<M_0\left(1+6r^2\sum_i\frac{1}{i}\right)$$

$$\sim M_0\left(1+6\cdot 10^{-5}\log\left(2\cdot 10^{10}\right)\right)\sim M_0(1+0.02).$$

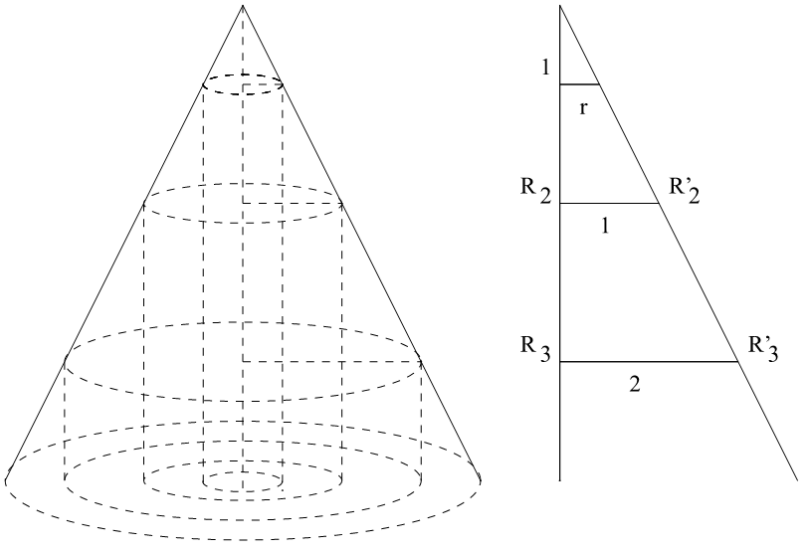


図 2.9. マッハの原理と宇宙の影響

このように，我々の構造物は，「全宇宙」の作用を算出するのに十分適した構造となっている。もちろん，宇宙が無限であると仮定すれば，得られた調和級数は発散し，我々の構造物は不適となる。しかし，その仮定は一般相対性理論にも，また最新の見解や観測データにも矛盾する。

次に，いくつかの小球を球面内部のばねの上においてみよう。副次的な効果が加わらないようにするため，空気を構造物からポンプで抜き，さらに薄い容器を使って小球を球面から絶縁してもよい。マッハの原理によれば，球面を回転させ始めると遠心力が現れ，小球は互いに別々の方向に分かれていくはずである。このとき，遠心力は，もし小球自体が回転したら生じるであろう力と同一でなければならない。これがあり得ないことはまったく明らかと思われる。もしそんな効果があるとしたら，とっくの昔に気づかれていたはずだからである。こうして我々は，既にニュートンにより定義されている加速度，質量，空間および時間の絶対的概念に回帰したわけである。ただし，上記の実験は，ニュートンの静力学的な引力の法則の修正を決定する上で有用であるかもしれない。なお，補正力と力のモーメントの作用方向は事前に知られていないため，小球は移動と回転の十分な自由度を持っていなければならない。

概して言えば，宇宙の残りの部分全体の作用による質量（および慣性力）の概念自体の被制約性は，きわめて簡単に反証することができる。2台の同一の秤を取り，それらを並べて置こう。サイズが同一の，しかし相異なる物質で作られた2個の立方体を取ろう： 発泡プラスチック製および鉛製の立方体（それらは質量が$11350/10 = 1135$倍異なることになる）。1個の立方体を一方の秤に載せ，2番目の立方体を他方の秤に載せよう。当然のことながら，それらの秤は立方体の相異なる重量を示す。それは宇宙全体の作用によって決定されていると，あなたは言うのか？ 素晴らしい！ それらの秤をそのまま置いておいて，それらの立方体の場所をきわめて迅速に入れ替えよう。当然のことながら，宇宙は，2台の秤を隔てている平面に対して鏡面反射しなかったが（星座は鏡面反射しなかったし，地球

は反対方向に自転し始めなかった，等々），どうしたわけか，**質量（重量）は自分の立方体と一緒に移動した**。この操作の多数回の実行は同一の結果をもたらす。このように，質量は具体的な物体の局所的性質を反映しているのであって，宇宙全体が空間の具体的場所に及ぼしている影響は取るに足らぬほど小さい。それゆえ，普遍性を自負しているマッハの美しいたわ言もまた，歴史資料保管庫に引き渡すことができる。

2.4. 暗黒物質*と暗黒エネルギー

いわゆる「暗黒物質*」が存在するという結論は，天体物理的物体によって創出される重力効果に基づき，それらの挙動の**間接的徴候のみを基礎として**下されたことを思い出そう。現代諸理論に反して，それは次の徴候であった： 銀河の外側領域の異常に高い回転速度（その速度は$R^{-1/2}$のように減少せず，例えばアンドロメダ星雲の場合には，ほとんど一定に保たれている）； 伴銀河および互いに近接する球状星団の運動に基づく銀河の質量の推定値； 楕円銀河の星質量はガスを保持するためには不十分である； 重力レンズ効果に基づく銀河団の推定値。もしかしたら，それでもやはり理論自体および推定値が間違っているのではないか（それは引力の法則からの逸脱，あるいは棄却されたエーテル媒質［179］の影響である可能性がある）？ 一方では，暗黒物質*は光と相互作用しないという公準が立てられており，他方では，その公準に反して「光は暗黒物質が存在している所から放出されている」とされている。

太陽から13000光年の半径内の400個の星に関する研究は，いかなる「暗黒物質*」の存在も検出しなかった。すなわち，地球の近傍でそれを探索するのは無駄なことである（それより遠くにおける探索は検証不可能な空想である）。したがって，大きな距離への補外の際に現代諸理論には何らかの問題が存在しているか，または遠方の天体に関して何らかのパラメーターが不正確に推定されているということになる。

現実の天体と並んで，まったく神秘的な（その存在が信仰のレベルに留まっている）天体が「暗黒物質*」の役割の候補として提唱されている： ブラックホール，クォーク星，Qスター，原始ブラックホール，プランク・ブラックホール（マクシモン）。ビッグバンおよび相対論的宇宙論のでっち上げられた諸問題がブラックホールと関係付けられている。この役割のために，何らかの似非科学理論を救うためにでっち上げられた空想的な粒子が提唱されている： アクシオン（量子色力学における強いCP対称性の破れの「問題」を解決するとされている粒子）； フォティーノ，グラビティーノ，ヒグシーノ，スニュートリノといった神秘的な超対称性粒子；「宇宙膨張時における真空の相転移」という似非理論の枠内ででっち上げられた，おとぎ話のような時空の位相欠陥（磁気モノポール，宇宙ひも，ドメインウォール，テクスチャー）。

もし初期において暗黒物質*が宇宙プラズマの粒子との間で熱力学的平衡状態にあったとすると，いったいいかにして温度が低下し，その相互作用が停止したのだろうか？ 安定平衡が破れるためには，きわめて重大な原因（および有効なメカニズム）が必要である。

隠れた質量について： 天体力学の計算において光領域の可視的天体のみを考慮した場合には，矛盾が生じる。しかし，太陽系を例に取った場合でさえも，（光を発している）太陽の他に，さらに，衛星を持っている惑星，小惑星，隕石，流星，太陽性，ダスト，ガス，

等々が存在していることを我々は知っている。それゆえ，進化の過程において全質量が必ず恒星中に集中していなければならないというわけでは決してない。接近通過軌道を捕獲軌道から区別するセパラトリックスが常に存在しており，しかも，捕獲軌道上における粒子のうち，中心に行き当たる能力を持っているのは小さい部分に限られる。なぜなら，この場合における主要な運動は直線運動ではなく，円（楕円）運動であるからである。すなわち，考察されている問題における天体物理学的部分は，現実の質量およびその進化の誤った推定，また，実験室条件下で得られた法則を大きな距離に補外したときの法則の歪みと関係している可能性がある。考察されている問題における宇宙論的部分は，そもそも考察するに値しない。なぜなら，それは純粋の仮説の領域であるからである。

いわゆるツビッキー［Fritz Zwicky］の問題（銀河団の質量の問題）に関するコメントをしよう。我々に見えているのは，無限に遠方の球面上への放射投影のみである。我々は，天体までの距離も（したがってそれらの相互配置も），それらの相対速度も（速度の放射投影さえもが，ある種の仮説への信仰を伴って決定されている），正確には知っていない。我々は，天体が数十億年の間，どこからどこへ，どのように移動（飛行）してきたのかを知らない。また，宇宙スケールではきわめてわずかな観測時間（観測天文学の存在時間）の間に，それらの天体の今後の進化を予言することは不可能である。それゆえ，今のところ，問題は純粋に仮説上の問題である。

いわゆる重力レンズ効果とは，何よりもまず，普通のガスレンズである（当然のことながら，それはガスの質量も含めた天体の総質量と関係を持っている）。しかし，光路上における密度および温度の勾配も大きな役割を演じている。そのようなきわめて遠方の各天体から地球に入射するビームは，**きわめて狭い指向性**を持っており，光路長$s \cdot n(s)$を持つ事実上直線的な独自の具体的経路を進行している。ところが，ある1点には，相異なる経路に沿って進行した複数のビームが入射する可能性がある。それゆえ，相異なる種類の明瞭な画像が得られることには，何ら驚くべきことはない。ライマンαの森は，まさに，光路上では物質（この場合は水素ガス）のきわめて多様な状態と出会う可能性があることを証明している。そのような距離上において，「新たな」（暗黒の）物質*と称するものが存在していることを推定し，さらに，それが強い相互作用に（また電磁相互作用にも）関与していないことを検証することがいかにすれば可能であるかは，謎のまま残されている。そのような非関与を裏付けるためには，光路上における全ての条件を正確に知り，そこで出会う全ての状態に関する厳密な理論を持つ必要がある！

暗黒物質*は，宇宙の加速的膨張と称するものを「説明する」ためにのみでっち上げられた。膨張仮説はもはや完全なたわ言であり，より遠方の天体がより大きな赤方偏移を持っており，その依存関係が非線形であることが検出されたとき，嘘の膨張仮説を放棄し，波の散乱・減衰による光の赤化理論に転向することがただちに必要になった。それに加えて，放射天体からの重力の克服時におけるエネルギー偏移（重力偏移）（引力がより大きい星や銀河から引力がより弱い地球への光の方向上における）を考慮する必要がある。また，星から地球までの経路は**直線ではなく**，ガス領域の密度，温度および有無に依存して「振動している」ことも考慮する必要がある。さらに，天体までの距離がより大きいほど，直線の長さと光路長との間の差はより大きくなる（例えば正弦曲線と直線との間の増大する差のように）。まさにこれがあなたの似非膨張なのだ。

「暗黒エネルギーに関する状態方程式」といったタイプのいかなるたわ言的用語も必要とされていない。なぜなら，存在権を持っているのは，「物質（物質*）の状態方程式」という用語であるからである。また，現実の物質と暗黒物質*および暗黒エネルギーの（誤った計算に従って）でっち上げられた質量との合計（?!）はまったく意味を持っていない。それに対し，言うまでもなく，隠れた質量は常に存在しており，必ず存在していなければならない。なぜなら，可視域において我々が記録しているのは，現実の物質*（物質）の一部のみであるからである。

赤方偏移の大きさは光が通過した**光路長**に比例している。媒質を通過した光の強度は非線形的に（現実の光路に対して指数関数的に）低下する。それゆえ，Ia型超新星の光度に基づく宇宙膨張の推定値は誤りである。

WMAP衛星による宇宙マイクロ波放射（ここでも再び，いわゆる「残存放射」という用語が人為的にでっち上げられた）の測定値は，我々の宇宙は平坦であることを証明した。すなわち，「オッカムの剃刀」によれば，新たな実体―「時空の曲率」―を発明することに意味はなかった。なぜなら，ユークリッド幾何学だけで完全に十分であるからである。また，一般相対性理論やでっち上げられた宇宙定数にはいかなる必要性もない。

暗黒物質*に関する仮説は，この仮説がその提示を使命としていた実験値，すなわち銀河の星々の異常赤方偏移を一度も提示したことがないことに注目しよう。銀河の星の異常赤方偏移に関する数値的に正確で経時的に不変な表現は［192］において，ただし，特殊相対性理論をアイソ相対性理論［isorelativity］に取り替える方法で達成された。

2.5. 重力波

今度はいわゆる重力波についての考察に話を進めよう。空間および時間は変化する（運動する）物質*を記述するために人類が用いているカテゴリーである。これが我々の世界認識の方法であり，我々の思考の組織（構造）である。それに対し，時空はまったく存在していない「対象」であり，時空の計量もまた，一般相対性理論のようなでっち上げられた似非理論における数学的抽象にすぎない。別の面から見ると，重力は場的本性および物質*的担体を持つことができる。この場合には，重力波は（一般相対性理論とはいかなる関係も持つことなく）存在する可能性が完全にあるはずである。しかし，重力の伝播速度は事前には知られていない。既に何十年もの間重力波を検出することができていないことは，むしろ，それが存在しないことを証明している（LIGO観測所からの注文に応じてなされた重力波の「発見」については，我々はこの先で考察する）。

重力波との関連で言及されている二重星系の接近テンポを短い観測期間の間に決定することは不可能である（二重星系の全てのパラメーターの決定の不正確性があまりにも大きすぎる）ことに注目しよう。二重星（二重パルサー）の1日当たり2.5インチの接近を記録することが可能であると真剣に語ることは，似非科学でしかありえない（しかも，その接近は他ならぬ一般相対性理論に従って生じているなどと言われている）。二重パルサーのタイミングは，パルサー自体における，また観測者までの信号伝播媒質中における過程の非一様性を証明しているにすぎない。これらの現象のうちのどれ1つとして，理論によって

100%掌握され，記述されていない。我々の最も近い恒星―太陽―の場合でさえ，全ての過程，例えばバーストを100%正確に予言する理論は存在しない。また，そのバーストから地球までの粒子の伝播はきわめて近似的にしか記述されていない。それよりはるかに遠方の天体に関して，それらの似非科学者たちはいったい何を自慢しているのか?! 概して言えば，引力を及ぼしている天体間の距離の周期的変化は，太陽系中も含め，至る所で（純粋な円運動を除き，常に）観測されている。また，最も近い天体からの場合には，その効果はより顕著でなければならない。これが第1の点である。

第2に，ラプラスが月の運動の綿密な観測に基づいて行った計算は，重力の伝播速度は光速度を何桁も上回っていることを示した。すなわち，重力波の伝播速度もcよりはるかに大きいことが判明する可能性がある。

第3に，実験室において非重力的本性を持つ力によって引き起こされた振動は，（四極子的ではなく）双極子的性格を持っている可能性があるはずである。すなわち，波エネルギーがより大きいのに対し，減衰はより小さいはずである。

第4に，波エネルギーに関する公式$E = \hbar\omega$（または運動量に関する公式$\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$）が無質量重力［massless gravitation］の場合には有効でなくなるということは，本当に証明されているのだろうか？ 証明されていないのなら，（神話的な）ブラックホールとの間で必ず生じるという神話的な相互作用に期待するより，実験室実験における他ならぬ高速振動する有質量物体から得られる，それよりはるかに顕著な結果に期待する方が意味があるはずである。

第5に，任意の変化は**何ものかとの関係に基づいて**のみ記録することができる。例えば，振動は定常系（例えば，参照基準，等々）との関係に基づいて測定される。ところが，もし計量自体が振動すると，計測器の特性も含め，全てのもののサイズが同期的に変化するはずである。その結果，いかなる相対的変化も記録することが不可能になるはずである（マイケルソン干渉計タイプの実験の垂直的スキームが注意を引く。このスキームを用いて，しばしば嘘の結論が下されている）。相対論者たちは重力の伝播速度を光速度と同一視しているので，電磁特性も重力と関係している変化に同調することになり，それゆえ，電磁放射（ビーム）を用いても，そのような変化を検出することはできないはずである。このように，「時空自体」の振動を検出することは原理的に不可能である。それに対し，地球物理的本性は容易に記録されることを実践は示している。すなわち，一般相対性理論はまったく無関係なのである。

第6に，計量の10^{21}~10^{23}分の1の変化を記録することが可能であると真剣に語ることができるのは，札付きの似非科学者だけである。なぜなら，人類がそのような精度で測定することが可能な量は存在しないからである（あらゆる大学1年生に誤差論の再試験を受けさせることになる）。また，ここではいかなる統計学も状況を変えることはできない。

相対論者たちは，我々の世界を傍から観測しているデミウルゴスの機能を自らに付与しており，真実らしく見せかけるために，（古典的な独立した観測者とのアナロジーを機械的に受け売りして）諸現象をまさにそのように記述している。現実には，任意の観測者（および計測器）は我々の世界の一部なのである（そして正確に同じように全ての作用にさらされている）。したがって，時空のいかなる振動も（一般相対性理論によれば，これこそが重力波である），「検出装置」（重力アンテナ，レーザー式マイケルソン干渉計，等々）から独立して検出されることが原理的にできない。また，検出されるものは，現実の物理的パ

ラメーター（例えば地球物理学的あるいは宇宙的パラメーター）の変化に起因する，計測装置の内部における現実の局所的変化によって説明されるのであって，神話的な「時空」の変化によっては決して説明されない。むしろその逆である：波の運動と重い有質量天体の運動との相関は，重力場の物質*的な（力的な，場的な）本性を意味しているはずであり，重力波の計量的本性に関する一般相対性理論の結論を反証しているはずである。

一般相対性理論における重力波は，ゼロエネルギーを持っていなければならないことが知られている（エネルギー概念が並進対称性と結び付けられているため）。ところが相対論者たちは，正真正銘の似非科学者として，この事実を無視し，より単純な公準を設定している：彼らは仮説的に決定された最終質量から仮説的に決定された初期質量を引き，その結果にc^2を掛けている。すなわち，全相互作用エネルギーは重力波によって奪われるなどというお定まりの検証不可能な仮説を導入している。沢山の出まかせの仮説を背景として見ると，仮説が1個多かろうが少なかろうが，大した違いはない―なんてくだらないことをやっているんだ！

重力波の発見と称するもの，またその偽の発見によるノーベル賞受賞をめぐる歴史は，100年後には，ジョルダーノ・ブルーノの時代よりも酷い恥ずべき歴史とみなされるようになるだろう（なぜなら，金と栄誉のために真理を売り渡した者たちにとっては，いかなる生命の危険もなかったのだから）。この「実験」では，正確には何が測定されたのか？

1. ブラックホールの存在 ― 仮説。
2. 重力波の存在 ― 仮説。
3. 一般相対性理論 ― 理論というより，むしろ仮説。
4. 重力の伝播速度は光速度と一致している ― 仮説。
5. 擾乱源の所在地 ― 仮説。
6. 擾乱源までの距離は約13億光年 ― 仮説。
7. 2つのブラックホールの合体が生じた ― 仮説。
8. それらのブラックホールの質量は36および29太陽質量である ― 2つの仮説。
9. 新たなブラックホールの質量およびその回転パラメーター ― 仮説。
10. 放射エネルギー量 ― 仮説。

では，仮説的量（理論に合わせて計算でつじつま合わせされた量）ではなく，測定可能で掌握可能な量は，いったいどれか？ 1つもない！ これらの多数の仮説のうち，その似非科学実験で検証することができるのは，いったいどれか？ 1つもない！

その擾乱とある種の電磁信号との事実上同時の観測（2016年）が，重力波の速度と光速度との一致として解釈されたことが注意を引く。ところが，2018年にガンマ放射がある種の信号より数秒遅く到来したことは，もはやそれらの速度の違いとして解釈されていない。つじつま合わせの似非科学とは，こういうものなのだ！

もし重力波の1回の発見がオーダーメードの（演出された）発見ではなく，真の発見であったとすると，現在ブラックホール，中性子星，パルサーと呼ばれているものと関係している多数の事象に関して，それに類する「発見」（100%の相関）が観測されるはずである。しかし，それは観測されていない！

マクスウェル方程式が平坦な空間上でのみ定義されることができるのと同様に，重力波は，他ならぬ曲率により，曲がった多様体上では定義されることができない。

2.6. 第2章の結論

この第2章は一般相対性理論に対する批判をテーマとしていた。この章では，共変性や基本的物理概念に関する一般的な命題からより具体的な命題にいたるまで，一般相対性理論の教科書に含まれていて，否応なしに目に飛び込んでくる数多くの疑わしい側面が取り上げられた。回転系における幾何学が不変であることの証拠が詳しく検証された。一般相対性理論における等価原理の根拠の欠如と矛盾について検討がなされた。一般相対性理論の時間概念と時刻同期が矛盾していることが証明された。最も興味深い個別的な場合に関して時刻同期方法および長さの同時測定方法が示された。第2章では空間の幾何学の不変性が示され，境界の役割が論じられた。一般相対性理論の方法およびこの理論からの多数の帰結に含まれる疑わしい側面が浮き彫りにされた。シュワルツシルト解その他のいくつかの解および一般相対性理論からの帰結における「ブラックホール」概念の矛盾性が詳しく検討された。また，マッハの原理とその可能な検証法についての考察がなされた。

第2章の総括的な結論の要点は，時間と空間の古典的概念に回帰し，この強固な土台の上に重力理論を構築する必要があるということである。

第３章　相対性理論の実験的基礎

3.1. 序論

これまでの章においては，相対性理論に対する批判のかなりの部分はいわゆる思考実験に基礎をおいていた。ひょっとしたら，思考実験の技術的な実行可能性と実験精度に関する無意味な疑問が，誰か「善意の人」に生じるかもしれない。そうならないようにするため，1つトリビアルなコメントをしておこう。ガリレイの時代以来，思考実験の構築は，批判される側のある理論の概念と規則を利用し，その概念と規則の内的矛盾を証明するやり方で行うことが一般に認められている。そしてその結果，実験と比較し得るような量がまったく存在しないことが明らかにされる。論理的矛盾はあらゆる理論の発展に終止符をうつ。相対性理論の論理的矛盾は前章までにおいて既に明らかであるとはいえ，描像をさらに完全なものとするため，相対性理論についての考察を，今度は実験的観点から行うことにしよう。

本章では，我々は現実の実験について分析し，相対性理論によるその実験の解釈の誤りを示そう。相対論者たちの実験をめぐる考察のプロセスをスタートさせるために，まず，特殊相対性理論と「ほとんど衝突せずに済んだかもしれない」いくつかのアイデアについて検討しよう（そしてその後，我々は段階を追って批判にいたることになる)。

第3章の序論は相対性理論にとって重要な疑問から始めよう。すなわち，光速度は一定か？ この疑問に対する答えは，地球の運動が光速度に及ぼす影響の解明を目的としたマイケルソン–モーリーの実験において既に与えられているように思われるかもしれない（さらに，この実験に類似したモーリーの光学実験，ケネディ–ソーンダイク［Kennedy-Thornedike］の光学実験，ウィーンのジュース［Joos］による実験，等々［7, 61, 83］を思い出そう)。特殊相対性理論を修正しようという試み［79, 97, 116］，またローレンツのエーテル理論を復活させようという試み［1, 42, 64, 95, 108, 119］があったことに注目しよう。

しかし，「一定」という用語は，時間，空間座標，光の伝播方向，伝播領域の物理的性質（例えば重力の有無)，そして最後に，光自体の性質に対する非依存性を意味する。マイケルソンの干渉計ではそもそも何を決定することが可能だったのかという疑問に対して先入観にとらわれない答えを与えるためには，若干の努力が必要とされる。マイケルソンの実験ではいかなる速度も測定されておらず，測定されているのはビームの位相差である（そして速度については，我々は間接的にしか判断できない）ことを指摘しておこう。この実験では，2つのビームが互いに垂直な方向に運動していたことを思い出そう。しかし，次の点に注意しよう。相異なる点における時間間隔が同期することを回避するため，両方のビームは閉じた軌道に沿って (互いに垂直な2つの方向に) 運動したのであった。したがって，実は我々は，互いに逆向きの諸方向についてのある種の「平均的」な光速度のみを相手にしていることになる。

上記を考慮すると，マイケルソンの実験の結果は次のように定式化することができるように思われるかもしれない。すなわち，ある基準系における互いに逆向きの2つの方向につ

いての固定周波数の光の平均速度は，その系の運動に依存しない，と。マイケルソン–モーリーの実験の結果との関連で，少なくとも次の2つの疑問が生じてくる：

（1）光速度は光の伝播方向にかかわらず一定（$\mathbf{k}_1 = \mathbf{k}/k$）なのか，それとも異方的（$c = c(\mathbf{k}_1)$）なのか？ この疑問は若干拡張して次のように変えることができる： 光速度は空間座標$\mathbf{r}$および時間tに依存するのか？ しかし，相対性理論の観点からのこの種の疑問は，現在の理論的および実際的な可能性の範囲を超えている。なぜなら，この種の疑問は，そのようなものとしての空間の構造の問題に触れることになるからである。これらの疑問については，ここでは論じない。これらの疑問に関する特殊相対性理論の観点からの実験的検証を行うためには，距離測定および時刻同期のための，非電磁的な性質を持つ「基本系[basic system]」が必要とされるからである。

（2）より実際的な疑問が存在する： 真空中における光速度は，光自体が持つ特性に依存するのか？ 特に，周波数ωに対する依存性，すなわち$c = c(\omega)$はあり得るか？

光速度不変の物理学的（哲学的）意味（特殊相対性理論に関する教科書による）は次のとおりである。光が中間媒質なしに真空中を伝播する性質を持っているとする。基準系は「空虚」と固く結合することはできないのだから，我々の系が真空に対していかなる速度で運動するかは，どうでもよいことである。したがって，我々の系との関係における光速度は，系の運動から独立でなければならない（どうしたわけか，他の粒子は真空中で実に様々な速度で運動することができるにもかかわらず！）。しかし，次のような疑問が生じる。1）真空中に粒子（光子）を入れると，真空の性質は変化するのだろうか？ 2）真空中における電磁振動の伝播メカニズムはどのようなものか？ これらの疑問に答えるための個別的仮説が本書の付論BとCにおいて提出されている。

本章では，既存の実験においてはいったい何が現実に決定され得たのかという問題が詳しく分析される。その結果，不適切にも特殊および一般相対性理論の功績に帰せられている一連の有名な実験や観測データの相対論的解釈に対する詳しい批判が与えられる（相対論者たちを刺激しないため，我々は相対性理論と明らかに矛盾していた実験，また通常は相対性理論の擁護者たちによって無視されている実験については検討を行わない）。特殊相対性理論の中で「正常に機能しているかのように見える」唯一の部分—動力学—については次の第4章で詳しく検討する。

3.2. 一連の実験の相対論的解釈に対する批判

特殊相対性理論が（1）光速度不変の公準と，（2）電磁現象に適用されている相対性原理の2つの公準に依拠していることは広く知られている。光速度不変の原理の正しさを証明する主な証拠の1つとみなされているのは，エーテル風の検出に関する実験の否定的結果である。

アインシュタインの方法による時刻同期は，実験のアイデアにさえ人為的な制約を持ち込む。相対運動の可逆性（$-\mathbf{v} + \mathbf{v} = 0$）により，系の運動速度に対して光速度が依存性を持つようになるためには，奇効果しか存在することができないことは明らかである。しかし，光速度を（閉じた経路に沿った）2つの互いに反対方向の速度の平均速度として決定す

る試みがなされている。その結果，系の運動速度に対する唯一の古典的線形依存性が互いに消去され合っている。このように，この種のアプローチは，そのアプローチ自体が，実験的に検証される必要があった光速度不変の公準と，既にこっそりとすり替わっているのである。

我々は以下において，真空空間（より正確にはガリレイの相対性原理）の立場からは，マイケルソン–モーリーらの諸実験において何が得られなければならないかについて分析する。地球の運動に関してあらかじめ何かを前提として想定してはならないこと，また，ガリレイの時代には，そのような実験は，例えば地球は静止していることを証明したかもしれないということを心にとめておこう。概して言えば，「計測器」を使う前に，そもそもそれが何を測定するものなのかを知るために，実験室の条件下で計測器の試験と校正を行う必要がある。ところが現実には，ある小話のようなことが起きているのだ：

「ペーチカ君，計測器は…」

「3！」

「なぜ3だ？」

「ところで“ケイソクキ”って何なんですか？」

地球の自転により，緯度に沿っておよそ400 m/sの定常風が観測されるはずであるという「理論」が誰かの頭の中に生じたと想像していただきたい。風向計と風速計による風の測定が開始され，風は時間と場所に応じて，風向・風速ともに大きな範囲で常時変動しているという説明がなされたとしよう。この結果から，地球上には大気はまったく存在しないという「科学的結論」が下されたかもしれない。

我々はいくつかのエーテル構想にも手短に言及するつもりであるが，本書は具体的に相対性理論に対する批判をテーマとしている以上，現在一般に受け入れられている相対性理論の理解について優先的に論じることにしよう。

マイケルソン–モーリーの実験

この実験の分析に対する正しいアプローチについて述べる前に（これは本節の最後で行われる），これについて理解するためは，この実験の理論およびその結果に付随する一連の微細な点やあり得る解釈について考察することが是非とも必要である。我々はこの先でエーテル構想について考察するが，今は真空中における相対性原理に注意を集中することにしよう。なぜなら，特殊相対性理論の全てのパラドックスや本書の結果にとって，我々の所にあるものがエーテルなのか，それとも真空なのかは重要ではないからである。教科書ではマイケルソン干渉計の動作に関するひどく単純化され，若干歪曲された理論が我々に押し付けられているので，我々は，試しに教科書に調子を合わせ，そのような理想化された道具を暫くの間信じることにして，**ガリレイの相対性原理**の観点から見たときに期待され得る結果について検討しよう。周知のように，光は相異なる現象において，その姿を粒子として，また波動として現す（粒子と波動の二重性というフレーズは，今検討している問題とは何の関係もない）。最初に，光の粒子性を仮定しよう。この場合には，マイケルソン–モーリーの干渉計モデルは互いに垂直な2本のアームの形で提示することができる。理想的な反射器が装置の中央に1つ，各アームの端部に1つずつ設置されている（図3.1）。互

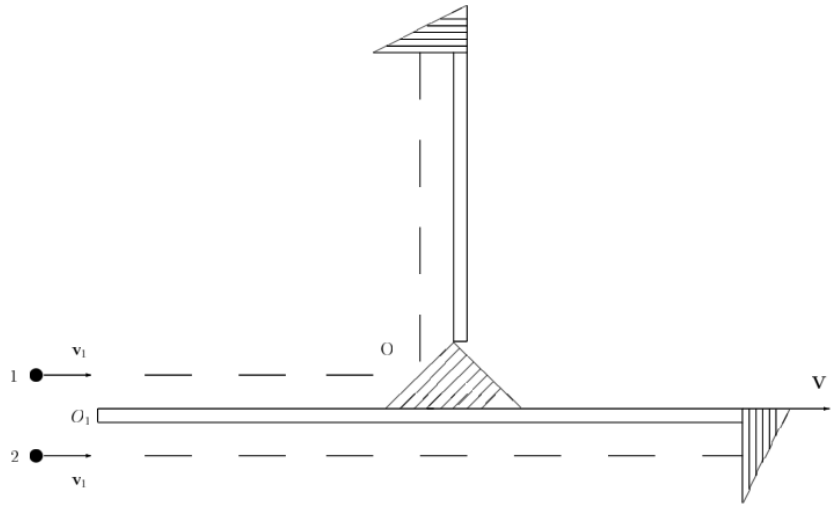


図 3.1. マイケルソン–モーリーの実験の粒子モデル

いに平行に速度$\mathbf{v_1}$（「世界の基　準系」 に対する速度）で運動している2つの粒子が，それ自体が速度$\mathbf{V}$（前記と同一の系に対する速度）で運動しているこの装置に入ったとしよう。このとき$v_1 > V$である。すると，装置に対する粒子の速度は点O_1において$v_1 - V$となる。粒子1は装置の中央で反射した後，それと同一の速度（装置に対する速度）$v_1 - V$（絶対値）で垂直方向に運動する。2つの粒子は各アームの端部から同時に反射する。また，両粒子は点Oにも点O_1にも同時に到達する。速度v_1およびVの如何にかかわらず，2つの相互に垂直な方向において，これら2つの粒子の速度にはいかなる差も認められないことになる。したがって，光を粒子の流れとみなした場合は，マイケルソン–モーリーの実験（ケネディ–ソーンダイクの実験，トマーシェク［Tomaschek］の実験，ボンチ=ブルエヴィチ［Bonch-Bruevich］とモルチャノフ［Molchanov］の実験，等々）の結果は，いかなる肯定的結果も与えることはできなかった。そしてこれは，ガリレイの相対性原理を含め，任意の相対性原理の観点から見ると，そうなるはずである。

今度は光の波動性を仮定しよう。透明媒質とのアナロジーによれば，この場合には，光速度は媒質（エーテルまたは物理的真空；相対論者たちは空虚を信じている）の性質および／または伝播しつつある光自体の内部特性（周波数，振幅）にしか依存し得ない。光が波動であるとすると，光源の速度は周波数のみを変化させる。したがって，その周波数をωとしたとき，光速度$c(\omega)$は光源の速度に依存しない。ここで念頭におかれているのは次のことである。すなわち，同じ周波数の光の波動は互いに同一であるということ，また，我々が周波数ωの光を知覚したとしても，その光が，光源によってその周波数そのもので放射されたものなのか，それとも周波数ω_1で放射されたが，光源の運動によって周波数が$\omega_1 \to \omega$（ドップラー効果）に変化したものなのかは，まったく区別することができないということである。いずれの場合も測定される値$c(\omega)$は同一となる。

さて，マイケルソン–モーリーの実験およびその類似実験に話題を戻そう。入射光，薄板を通過した光，および鏡からの反射光は同じ観測系内では同一の周波数を持つ（これは特殊相対性理論以前に知られていた実験的事実である）。それゆえ，光速度$c(\omega)$は2つの互いに垂直な方向の場合に一定であり続け，これらの実験は何も検出することができなかっ

た。2本の同じレーザービームによるタウソン［Towson］の実験もまた，何も検出することができなかった。なぜなら，複数のビームを（同一方向の）単一のパターンに合流させると周波数は同一となり，いかなる規則的なうなりも観測されなくなるからである。このように，1つの固定周波数を用いた実験によって光速度の変化を検出する試みは，その本質そのものが誤っている。検出を試みることが可能な唯一の依存性は$c(\omega)$依存性のみであって，それ以外の全ての依存性は間接的な形で，すなわちドップラー効果を通じて登場することしかできない。したがって，光を波とみなした場合にも，マイケルソン–モーリーの実験（ケネディ–ソーンダイクの実験，トマーシェクの実験，ボンチ=ブルエヴィチおよびモルチャノフの実験，等々）の結果は，再び，いかなる肯定的結果も与えることができなかった。そしてこれは，ガリレイの相対性原理を含め，任意の相対性原理の観点から見てそうなるはずである。

それゆえ，相対論者たちが空虚の空間およびマイケルソンの実験の厳密にゼロの結果を信じているのならば，その結果を説明するためにはガリレイの相対性原理のみで完全に準分である（また，新たな実体を発明する必要はない）。

方法論上の目的のために，教科書に含まれている一見真理のように見えるいくつかの誤りについて検討しよう。一部の研究者たちは「古典的な観点」に立ち，エーテルは不動であり引きずられることはないという仮説から出発しつつ，干渉計中におけるビームの走行時間の差を計算するために奇妙なスキームを描くのを常としている［35］。このスキームでは，反射の法則が働かない，つまり入射角が反射角と等しくない（図3.2）。これは実験と矛盾している。そうだとすれば，少なくとも，そのような偏差のメカニズムを説明し，実験に対するそのメカニズムの影響を決定する必要がある（古典的法則に従って光の速度と干渉計の鏡の速度との重ね合わせを仮定すれば，それを決定することは可能かもしれない）。また，同一のビームの干渉を可能とする角度をどうやって推定するのかも不明である。全てのデータを記録するのは干渉計といっしょに運動している観測者だけなのだから，実際問題として，まさにその観測者の視点から実験を分析することが必要とされる［50］。

次に，エーテルが存在するという仮説を採用した場合には，光速度はその媒質の性質に

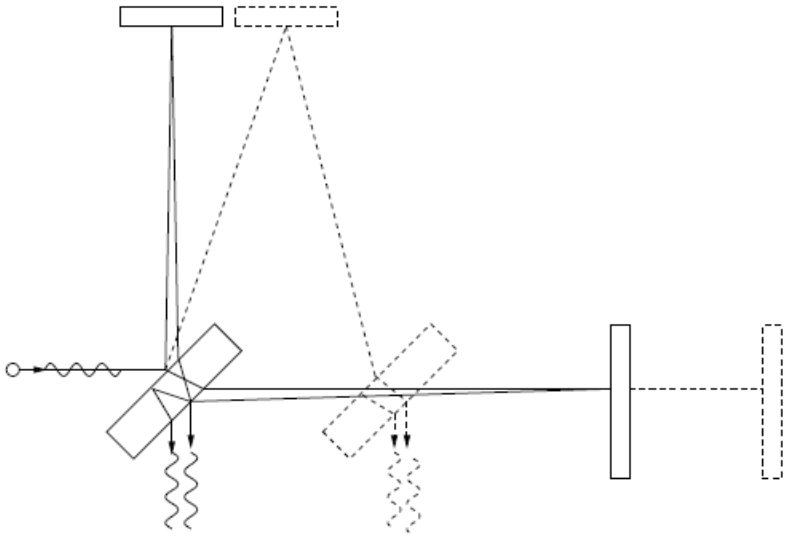


図 3.2. 干渉計のスキーム

依存する（音とのアナロジーによる）。この場合，光速度が光源の運動速度と重ね合わさることができないことは明らかである（超音速機の轟音は媒質によって定まる一定の速度で伝播し，その結果，超音速機は音を追い越す）。さらに，光は物質と相互作用し（物質によって散乱または吸収される），エーテルとも相互作用する（エーテル中を伝播する）のだから，エーテルと物質の相互作用も観察されるはずである。ところが，マイケルソン–モーリーの実験の相対論的解釈においては，あり得ないことが仮定されていた：エーテルに対する光の固い「結合」，またエーテルと物体の相互作用の完全な非存在（地球や装置によるエーテルの引きずり），すなわち，静止エーテルというケースが押し付けられていた。当然のことながら，エーテルの部分的引きずり（なお，薄い境界層内における一連の局所的実験の場合，エーテルの引きずりは事実上完全な引きずりとなる可能性がある）が存在する場合には，理論は複雑化する。しかし，このことは決してエーテル仮説を覆すものではない（相対論者たちはと言えば，彼らは，ある小話にあるように，夜，暗がりで落とした鍵を街灯の明かりの下で探している酔っ払いのように行動することを提案している—見つけられる場所ではなくて，探すのが楽な場所で探せ，と）。

我々は，そこでは干渉像の代わりに遮光により2つの片方の強度が比較されていた実験の結果については考察しないことにして（その方が感度がより高いと主張されているとしても，それらの実験は，遺体安置室を含め，2つの病院の平均温度を比較するのに等しい），干渉実験の元々のアイデアに関するいくつかのコメントを，エーテル構想の観点から行うことにしよう。精度のオーダーが1桁の実験であれ2桁の実験であれ，その実験の正しさが実用精度で裏付けられる程度に，ほんの少しだけフレネルの随伴係数を修正することが常に可能であることに注目しよう。公平を期するため，次の点を指摘しておく必要がある。すなわち，マイケルソン–モーリーの実験およびその類似実験は，（計測器の構造や理論に関する論争はあったものの）あり得る誤差を考慮に入れた上で，エーテル風の速度はゼロではないという結果を常に揺るぎなく与えていた［94, 95］。マリノフ［Marinov］［90, 91］とシルバートゥース［Silvertooth］［115］は残存放射に対する確実な速度を発見した。結果がゼロに近い値になったのは，計測器を金属カバーで遮蔽した場合のみであった。現在，全ての計測器が真空化されている（局所的に閉じた系にされている）事実を，客観性のために想起しよう。そこで例えば，飛行機が超音速で運動しているときでさえ，飛行機の客室内における局所的な音速は一定に保たれている（機外の風に依存しない）。エーテル的観点は得られた結果と矛盾しないことになる。すなわち，フレネルの引きずりは金属物体にとっては完全である（金属についてはヘルツの電気力学は正しい），つまり，エーテルは金属カバー内部の計測器に対して（局所的に）静止しているのだから，内部でエーテル風を探すのは無意味なのである。さらにもう1つの点が相対論者たちによって通常黙殺されている。光学に関する実験データの総体は，ホイヘンスの原理の正しさを証明している。すなわち，波が到達した各地点は2次波の波源なのである。金属製シールドが存在しない場合でさえ，そのような局所的に静止した要素による光の再放射を考慮することが必要となるためには，1枚の薄いガラス板（あるいは初期の諸実験においては空気）があれば十分である。その結果，エーテル構想において実際に観測される速度は，地球の軌道運動速度よりも明らかに小さいものとならなければならない。しかも，エーテル風の速度の地球に対する接線成分が軌道速度と一致していなければならないということには，いかなる根拠があるの

か？ エーテル構想は，全ての物質は（地球も含めて）エーテルからなっていること，地球は静止エーテル中を通過して飛んでいるのではないこと，そして他ならぬエーテルの渦運動が地球の自軸周りおよび太陽周りの回転を引き起こしていること（惑星の運動の減速が何千年もの間事実上認められないのは，まさにそのためである）を予想している。したがって，エーテル風の速度の接線成分は地球の軌道速度よりはるかに小さいことが判明する可能性がある。また，このようなアイデアを反証するためと称して，ここに光行差の値を持ち込む必要はない。なぜなら，記録されているのは，**軌道上の向かい合う2点における光源への見かけの方向の変化**のみであるからである。1つの小さいコメント： もしエーテルが電磁放射の伝達を担っているだけではなく，重力の要因でもあるとすれば，エーテル流の主成分は鉛直でなければならない！

さらにもう1つの誤謬は，干渉の波動的記述の代わりに，選択された方向へ頑強に（並進的に）漕ぎ進んでいる（すなわち仕事をしている）ボート（固体）の運動の記述が我々に掴まされていることである。それに続くまことしやかな誤謬は，あたかも実験が地球の運動速度を決定しているかのような，実験の記述である。マイケルソン干渉計はその速度を測定する能力を持っていない。入射ビームの位相差の結果，干渉像が形成されるとはいえ，干渉計は位相差さえ測定しない： 干渉計はその位相差の変化を検出する能力しか持っていない。そしてその先において干渉が始まる―その変化はこのことから生じることができたはずである。

もし半透鏡の厚さが（また，それに対応して補償板の厚さも）厳密にゼロに等しかったとすれば，マイケルソンの実験の結果も厳密にゼロに等しかったはずである。ここで問題なのは，そのような単純化されたスキームにおいては，速度の縦成分（干渉計の選択された方のアームに沿った成分）がそのアームに沿った波の位相に及ぼす影響は，ドップラー効果によって厳密にゼロになるということである［132］。これが生じるのは，波源と受波器が同一の運動系中に存在しているからである（波源からの出力時における周波数にある係数を掛ける必要があれば，受波器への入力時における周波数をそれと同一の係数で割る必要がある）。他方では，（そのアームに対して）垂直な速度成分が垂直アームに沿った波に及ぼす影響は，歳差効果によってやはりゼロになる（反射後のビームの往路の運動が，反射前のビームの運動によって引き起こされた変化を相殺する［132］）。もし補償板が半透鏡の板の影響と全ての場合に一致する能力を持っているとすれば，上記の原因による総合効果もまた厳密にゼロとなるはずである。ところが，それはそうではない。

1つの実験において検証することが可能なのは1つの依存関係のみであり，しかも，それ以外の全てのことが既に決定されているという条件下においてであることを思い出そう。パラメーター間の何らかの相互関係を実験的に検証する場合には，それら全てのパラメーターの値および全ての実験条件が独立した方法で（それ以前に既に裏付けられている実験および校正された計測器に基づいて）決定されなければならない。さて今度は頭の中で往時に戻り，用いられている干渉計の仕組みおよび性能について先入観なしに検討しよう。相対論者はマイケルソン–モーリーの実験，特にミラーの実験に対してありとあらゆる異議を唱えている。では，相対論者たちに調子を合わせてみよう！ 磁歪とおっしゃる？ もちろん！ さらに，電歪，干渉計のアームと媒質の温度の非一様性，ラジオメーター力，計測器の形状およびビーム経路の重力による歪み，非慣性も存在する。ところで，光速度cに

ついては何が知られていたか？ 何も知られていなかった： 光源の速度と足し合わされるのか，足し合わされないのか；受光器の速度と足し合わされるのか，足し合わされないのか；地球の物理的場の中ではいかに振る舞うのか；光速度の最も正確な値はどれだけか？ 予想される速度vについては何が知られていたか？ これもまた，何も正確には知られていなかった。干渉計のアームの長さについては何が知られていたか？ やはり何も知られていなかった： アームの長さは光の波長の何分の1かまでの精度で測定されていない。では，ある具体的な回転角のときにおける垂直な2つのアームの相等性をいかにして検証するのか？ 非慣性的な地球上に重力場その他の場が存在するとき（このとき，でっち上げられた空間のでっち上げられた相対論的幾何学は歪む），我々は干渉計の2つのアームの正確な垂直性，鏡の平行性および垂直性をいかにしても検証することができない。このような実験がいかなる正確な定量的裏付けも与えることができないことは明らかである（不確定性が多すぎる―何が何によって検証されるのかが知られていない）。これは決定的実験ではない。それゆえ，ここからグローバルな結論を下してはならない。しかし，それにもかかわらず，このような欠陥のある実験からでさえ，いくらかのことを導き出すことができる。

さて今度は，（我々の目を現実から逸らすことにより，相対論者たちが我々に無理やり押し付けようと試みていることではなく），そのような実験においては正確にはいったい何が起こっていたのかを，解釈抜きで公正に定式化するよう努めよう。

I. 干渉像を捉えるために，マイクロメーターのねじを回す必要があった（干渉像の消失が測定過程の最中に生じることがときおりあり，そのときは再びねじを回していた）。

II. 干渉像の変化の周期がしばしば90°または180°と一致していなかった。それだけでなく，そのような周期においては，干渉縞の平均シフトに関してしばしば線形傾向が観測されていた！

III. 鏡を用いたビーム経路の延長に対する干渉縞シフトの振幅の線形依存関係が存在していなかった。すなわち，定性的には，可視的な変化像はわずかしか変化していなかった（ところが相対論者たちは，この実験に関する嘘の理論により，このことから，ゼロ結果の精度が上昇したという人為的な結論を下している）。

IV. 干渉計にカバーを掛けたとき，あるいは干渉計を別の種類のガスで満たしたとき，干渉像の挙動が（ときには顕著に）変化していた。

今や，我々は，本節でなされた全てのコメントに立脚して，マイケルソン干渉計に関する正しい理論を構築するためにはいったい何に注意を払う必要があるかを定式化することができる（また，これに類する実験から，定量的結果を導き出すことができる）。

1. 干渉は1つの光源から出たビームの場合にのみ生じる可能性があることが知られている（物理学者たちは数十年間の間，同型の2台のレーザーから干渉を得ることすらできていない）。したがって光源は点光源で単色でなければならない（さもないと，多色面光源の場合には，干渉縞の運動の代わりに，干渉像が「呼吸する」可能性がある）。したがって，正しい理論では，**2つのビームは必ず1つの光源から出なければならない**（この点はこの後の第3項で精緻化される）。

2. **それらの2つのビームは必ず**網膜上または写真機もしくはビデオカメラのマトリクス上の**1つの固定点に到達しなければならない**（網膜やマトリクスが，例えば，その点に強度の最大または最小が存在することを決定する）。1点には数対のビームが到達することがで

きる！（その理由はこの後の第3項で精緻化される）。

3. 我々に押し付けられているビームの進行の記述は歪曲されている（それは，超音速機の研究をする代わりに，子供の紙飛行機について語るのとまったく同じだ）。教科書は，まるで 1 つの単独のビームが干渉計の第 1 のアームに沿って進み（すなわち$\alpha = 0$のとき），半透明板上で 2 つのビームに分割されるかのように事態を誤って描き出している。ところが，具体的な干渉計の場合（すなわち，全てが正確に決定されていないが，しかし装置のサイズならびに鏡および板の角度が**固定されている**とき）には，任意の方向転換角φのとき，それはまったく不可能である。それとは逆に，我々の課題は，いかなるビームが第 1 項および第 2 項を満足するかを見出すことにある。逆の課題を解く必要がある： 2 つのビームがビデオカメラのマトリクスの同一の固定点に常に入射するようにするためには，2 つのビームは点光源からいかなる相異なる角度$\alpha_1(\varphi) \neq 0$および$\alpha_2(\varphi) \neq 0$（注意： これらの角度は干渉計の方向転換時に相異なる変化の仕方をする）でスタートしなければならないかを計算せよ。その固定点において我々の興味を引くのは，方向転換角φに依存する，到来した 2 つのビームの位相差の変化である。すなわち，我々は，各ビームについて，通過した経路全体を復元する必要がある。経路全体は目に見える障害物（反射および屈折をもたらす表面―鏡および板）によっていくつかの区間に分割される。各区間i上において，それらのビームは相異なる角度で運動する。したがって，それらのビームは周波数が異なっている： $\omega_1^i(\varphi), \omega_2^i(\varphi)$。各ビームにおいて相異なる引きずりが生じる； 板の内部においては周波数分散を考慮する必要がある： $n[\omega_1(\varphi)], n[\omega_2(\varphi)]$。位相差に関する計算の結果，数値的にのみ解くことが可能な，あまりにも煩雑な超越方程式が得られる。ビームの反射の計算は，我々においては，まるで無限大の平面波が無限大の平面鏡に入射するかのようして行われる。しかし何しろ，それはまったく間違っている： 誰かエッジ効果を考慮した者はいるのだろうか？

理論的な結果は次のとおりとなる。既に述べたように，全ての板の厚さがゼロのとき，干渉縞のシフトは存在しない。板の厚さが増大するにつれて，シフトの振幅は準周期的に変化する； 屈折率の値が増大するにつれて，効果の値も準周期的に変化する。一般的な場合には，シフトは相対論者たちが予想しているいわゆる 2 次効果の小さい部分をなす。経路の延長は精度の増大をもたらさず，シフトの値の準周期的な小さい変化しかもたらさない。現実の実験から定量的結論を下すためには，上記において言及された装置の全ての特性を可能な限り大きな精度で決定する必要がある。

したがって，マイケルソン–モーリーの実験は光速度不変を証明しておらず，いかなる古典的原理も反証しておらず，むしろその逆となっている： この実験はフレネルの引きずり仮説を再度裏付けており，エーテルのある種の運動の存在を間接的に証明している。

光行差，フィゾーの実験およびその他の実験

どうしても説明することが不可能な実験が特殊相対性理論を導入した実験以外にあるとすれば，それはいったいどんな実験なのだろうか？ いくつかの補助的コメントから始めよう。我々は量子電磁力学には詳しく触れない。量子電磁力学の予測精度は精度$(\Delta c/c) \sim 10^{-8}$に対してごくわずかしか依存していないからである（これは受信装置が運動

している場合である。光源が運動している場合には，例えば音速の場合と同様に，光速度は一般的には一定のままであり得る)。しかし，光速度は一定ではないとは，誰も考えようとすらしなかった。

光行差現象は古典物理学によって見事に説明されており［23］，次の2つの原理的事実によって決定される。

(1) 1年の間における観測系の速度の変化，主として地球の交点による変化（この状態は絶対的であり，慣性系の直線運動速度あるいはエーテルその他の媒質の存在には依存しない)。

(2) 慣性系における光源から受信点までのビームの直線的伝播（これは粒子説の場合には光粒子の運動の慣性的性質の結果であり，波動説の場合にはホイヘンスの原理の結果である)。

我々の計測器に「入ってくる」際，光は固定された方向と周波数を持っており（過程の履歴（光源の運動，媒質，受信装置）は重要ではない)，あらゆる測定はまさにその「具体的な光」について行われるのだということをもう一度思い出そう。フィゾーの実験は決定的実験ではない。なぜなら，この実験は媒質中における光速度を

$$u = \frac{c(\omega)}{n} \pm v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

として記録することを許容しており，測定は具体的な固定周波数ωについて行われた，すなわち$u(\omega_1)$と$u(\omega_2)$の比較はなされなかったからである。フィゾーの実験ではその比較を行うことは不可能であった。

特殊相対性理論の証明のためにミューオンの寿命を援用すること―それは，純然たる空理空論である。互いに対して相対論的速度で運動する2つの慣性系を創出することは，現在の人類にとってまだとても手に負える仕事ではない。そして，そのような実験の下にまったく別の現実をカムフラージュするべきではない。不安定粒子の寿命はその生成条件に依存しているに違いない（安定核でさえ励起状態や不安定状態となることがあり，あるいは逆に再結合等々が生じることもある)。高エネルギー宇宙線と窒素原子および酸素原子の衝突時における高度20 ~ 30 kmでのミューオン生成条件は，実験室におけるその生成条件とは異なっている。言うまでもなく，ミューオンの速度，ミューオン流の加速度および密度ですら，様々な高度で測定されたことはない。加速器で行われた測定は，より正確に言えば，具体的な粒子の具体的な崩壊過程に対する加速度および各種の場の影響の証拠を示しているのである（これもまた，相対論者たちのダブルスタンダードを示す指標となっている。すなわち，彼らは，あるときには，最小の非慣性を擁護するために一般相対性理論を参照するよう推奨しているにもかかわらず，それと別のときには，それが特殊相対性理論の擁護を目的としている場合には，加速器におけるきわめて大きな加速度に対して，また特殊相対性理論の慣性的イデオロギー自体をそのような疑似説明に適用することはできないことに対して目をつぶるのだ)。「ミューオンによる証明」が特殊相対性理論の教科書に載せられるようになったのは1930年代半ばのことであった。それから数年後，第1に，ミューオンは事実上任意の高度で生成していること，第2に，ミューオンのエネルギーの増加に伴い，その透過力が著しく増大することが発見された。にもかかわらず，相対論者た

ちの偽造証拠は教科書から削除されることなく，学生たちの頭を混乱させ続けている（これは科学倫理にかかわる問題である）。

リッツの仮説

公平を期するために指摘しておくが，20世紀初頭という時代においては，W.リッツの弾道仮説［174］（これは本質上，粒子の場合の古典的な速度合成則である）でさえ，それほど容易に覆すことはできなかっただろう。文献［29］からその結論を手短な形で引用し，いくつかのコメントを与えよう。距離Lの所に存在する中心星の衛星からの信号が到着するまでの時間は，衛星が中心星の陰に入る瞬間の信号の場合は$t_1 = L/(c-v)$，陰から出る瞬間の信号の場合は$t_2 = \frac{T}{2} + L/(c+v)$（ここで，$T$は軌道運動の周期）である。目に見える効果（二体系は見かけ上三体系となる）について$t_1 = t_2$とみなすと，$L = T(c^2 - v^2)/(4v)$を得る。軌道の直径については$D = Tv/\pi$を得る。αを観測角とすると，$\alpha \approx \tan\alpha \approx D/L$であり，また$v \ll c$であるから，$\alpha = 4v^2/(\pi c^2)$となる。観測される様々な衛星の実際の速度は$v \ll 350\ \mathrm{km/s}$である。その結果，そのような効果の観測については$\alpha \ll 2 \times 10^{-6}$ラジアンでなければならない（これは最新の望遠鏡の精度を超えている）。

もちろん，この結論はかなり粗っぽいものである。t_2についての式では，$\frac{T}{2}$の代わりにTxと書く必要がある。ここで，xは衛星が陰にある期間の割合であり，常に$x \ll \frac{1}{2}$であって，このことがαの限界精度を増大させる。それだけでなく，今日では写真を用いて（現像がそれを可能にしてくれるなら）きわめて短い時間間隔を記録することが可能である。つまり，$t_2 - t_1 = \frac{T}{2} + y$（ここで，$y \ll T$）と書くことができ，このことが限界精度をさらに増大させる。しかし，リッツの仮説を擁護するためにも，いくつかのコメントを述べよう。

(1) $t_2 \geq t_1$について分析することは非生産的である。なぜなら，観測される全ての星食は周期的となり，また，我々が観測しているのは現実に三体系（あるいは四体系，等々）なのか，それともそれは見かけにすぎないのかを，我々はどうしても調べることができないからである。

(2) 衛星の軌道運動の過程で，観測地点に信号が到着するまでの時間はなめらかに変化し（現実の物体たる衛星とその見かけ上の像とは一致しない），このことが現実の軌道およびxの大きさの決定を歪曲する。

(3) 光が非一様な媒質（大気，それに宇宙空間）中を通過する結果，シンチレーションや分散が生じることが知られている。それらの悪影響を減少させるために，（部分食ではなく）完全食の観測，しかも望ましくは地球の人工衛星から観測を行うべきである。

(4) 我々が手に入れることができるのは軌道の平面射影のみであるから，一般的な場合には，我々は陰の区間の長さxを確実に推定することができない（図3.3）。陰の区間における運動時間は観測者（地球）に対する方向によって相異なったものとなる。したがって，対称的な方角を持つ軌道が必要とされる。さらに，軌道の射影の「両肩」および両天体の

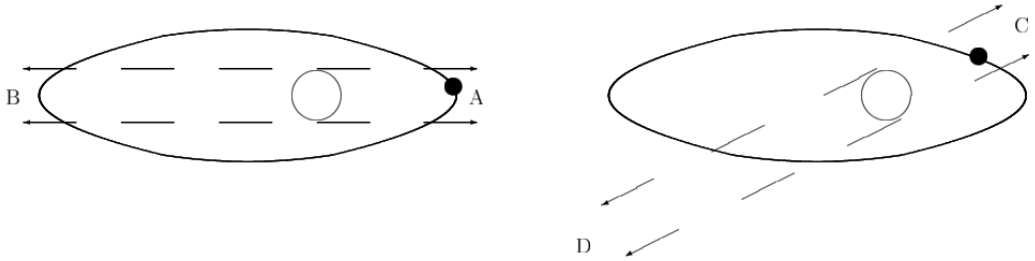


図 3.3. 陰の区間の決定

大きさの決定精度が, 信号が到着するまでの時間の決定精度 (計算精度) に制限を与える。

（5）既に述べたように，抽象的な光速度は存在せず，観測されるのは$c(\omega_1[v])$と$c(\omega_2[-v])$の具体的な値である。したがって，周波数$(\Delta\omega/\omega_0)$の決定精度が$(\Delta c/c_0)$の精度の理論的推定，したがってまた$(\Delta t/t)$に対して制限を与える。

最も重要なのは次のコメントである。

(6) 決定された周波数ω_0を持つ光を放射しているのは, 統一体として速度 **v**で運動する1つの物体ではなく，様々な熱速度でカオス的に運動する諸粒子である。したがって，微視的スケールにおいて特有ないかなる周波数（輝線）を利用しても，統一体としての物体の速度から計算時間の遅れを決定することは不可能である。衛星のスペクトル強度$I(\omega)$のグラフがある特有の形状（例えば，最大値$I_{max}(\omega_1)$）を持ち，かつそのグラフが主星のスペクトル強度グラフと（形状の点で）識別可能なほど異なっている場合にのみ，選別された変動（！）周波数$\omega_1(t)$（これは最大値$I_{max}(\omega_1(t))$に対応する）におけるスペクトル強度$I(\omega,t)$の変化を観測することにより，リッツの弾道仮説を証明または覆すことができるかもしれない。

筆者が知る限り，このような最も重要な点に関して天文データの詳細分析が行われたことはない。さらに指摘しておかなければならないのは，二体系の場合についてのリッツの仮説は到着する信号の位相変調だけでなく, 振幅変調も予測しているということである(空間内の固定地点においては，様々な光伝播速度の結果，相異なる時刻に放出された光の重ね合わせに起因する強度の脈動が生じる)。このとき，二体系までの距離が大きければ大きいほど，脈動の相対的強度は増大し，また脈動の周波数も（ある限界まで）増大する。一部の著者［29］は，クエーサーやパルサーの「存在」をリッツの仮説を裏付ける証拠とみなしている。実際，これらのものの脈動周期が短いこと（ときには1秒未満）はこれらの物体のコンパクトさを，そして放射が強いこと（これらのものの遠さを考慮した強度）はその逆のことを物語っている。リッツの仮説をより徹底的に検証する必要があるか，あるいは幻想的な（検証不可能な）最新バージョンを信じ続けるかのいずれかである。さらにまた，金星のレーダー観測処理の複雑さは，光には慣性的性質が存在する可能性があると考えることを余儀なくさせている。

シンクロトロン放射を用いた実験［167］に関していくつかのコメントをする必要がある。そこでは，この実験は弾道理論を反証していると主張されている。

1）そもそも速度が直接的に測定されていない。

2）どうしたわけか, 電子の速度およびある象限から別の象限への電子の経路が既知とみ

なされている（では，量子力学はこのことと合致しているのだろうか？）。

3）2 番目の実験の場合に薄い板の通過および鏡からの反射が用いられている（精度に対していかなる影響を与えているか？）。

4）奇妙なことに，経路が非対称に選ばれている：（I）$L = 580\ \text{cm}$；（II）$L_2 + L_3 = 205 + 210 = 415\ \text{cm}$。

5）電子の速度はcとほとんど異なっておらず，実験が要求している精度で同定することができない。

6）事実上，話は弾道仮説についてはまったくなされておらず，むしろ原子の再放射についてなされている。

7）両方の実験の場合において先触れ―波面―が検出されている。

8）光電子増倍管の反応時間および実験の非対称性の影響が知られていない。

9）2 番目の実験の場合にも，鏡とプリズムのアラインメントが粗雑である。

10）$c(\omega_1)$と$c(\omega_2)$の唯一可能な依存関係の直接的比較がなされていない。

したがって，この実験をリッツの仮説に対する反証として一意的に解釈することはおそらくできないだろう。

しかし，リッツの仮説を擁護したり展開したりすることは本書の目的ではない。弾道仮説を含め，リッツのきわめて興味深いアイデアに関するより詳しい情報を［203］で得ることができる。

サニャックの実験

サニャックの実験は光速度可変性$c \neq constant$の直接的証拠である（そして光に関する古典的速度合成則の間接的証拠でもある）。この実験の要点を思い出そう。角周波数Ωで回転する円板のへりに沿って4つの鏡（より正確には3つの鏡Bと1枚の板H。図3.4参照）が設置された。1つのビームが（板H によって）2つのビームに分割され，そのうちの1つは反時計回り（回転方向），もう1つは時計回りに運動した。2つのビームが出会ったとき干渉像が生じた。干渉縞のシフト（信号到達時間の差による）は相等しく，$\Delta z = 8\Omega r^2/(c\lambda)$であることが判明した。周波数$\Omega$の系の回転が持つ非慣性的性質が，ここでは決定的要因となっていないことは明らかである。真空中で曲がった光を見た者は誰もいない（2つの反射点の間でビームは直線的に運動する）。にもかかわらず，次の思考実験について検討してみよう。円板の半径が無限大$r \to \infty$に向かって，ただし$\Omega r = v$の値は一定に保たれるように急速に拡大していくことを想像してみよう。すると$\Omega \to 0$が得られる。したがって加速度の値$\Omega^2 r$は0に向かって急速に減少していく。加速度が事前に与えられた任意の値（例えば既存の実験精度）よりもはるかに小さくなるような半径rを選ぼう。すると，誰もこの「ほぼ慣性系」を慣性系と区別することができなくなる。ここで等間隔の鏡の数を増加させると（$N \to \infty$），鏡同士の間の直線（ビーム）は円板の円周に近づいていく。その結果，干渉縞のシフトについて$\Delta z = \alpha L v/c$（ここで，αは選択した光（λ）に関する定数，Lは円周の長さ）という式を得る。実験の明らかな対象により，効果はLに関して加法的であり，効果の大きさは長さの単位と関連付けることができる。選択した1つの直線区間についての加速度の「蓄積効果」は，事前に与えられた任意の値よりも小さくすることができる。したが

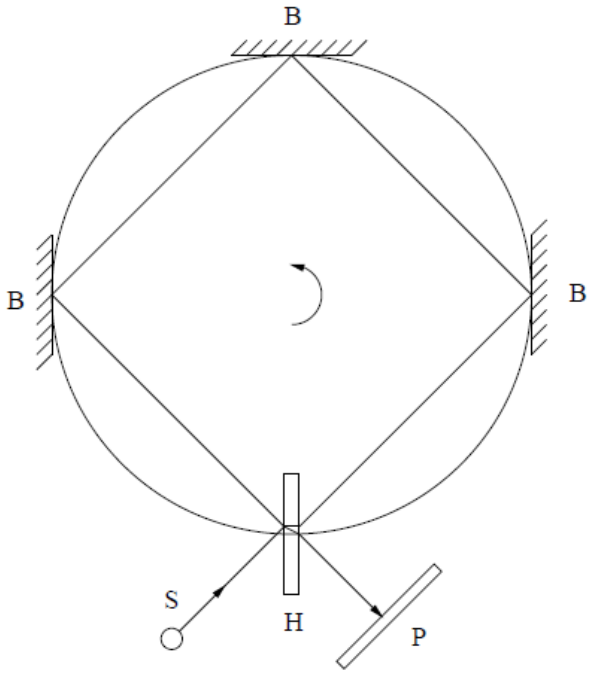


図 3.4. サニャックの実験

って，干渉縞のシフトについて$\Delta z \sim v/c$を得る（$v = \Omega r$は有限値であるから，Ωのある変化はそれに相当するvの変化をもたらす）。したがって，信号伝播時間は系の運動速度に対して線形的に依存する，すなわち$c \neq constant$である。

哀れなエーテルのためにお口添えのほどを

エーテルに関して補助的なコメントをしよう。露骨な言い方をすれば，「絶対的空虚」（物理的性質を持たない空虚）を無視し，それとは別の「物理的真空」（物理的性質を持った真空）といったタイプの概念を捏造するのは，数多くの先行研究者たちに対する不当行為（剽窃）である。「エーテル」という用語がそのような概念のために既に存在しているからである。全ての実験を単純かつ一目瞭然たるモデルに基づいて一度に説明せよ，さもなくば「舞台から去れ」という命令を与えられたのはエーテルのみであった。その後における物理学の展開はそれとは異なった慣行を持ちこんだ（光の二重性，量子力学［139］［邦訳版あり］，等々を思い出そう）。すなわち，説明も一目瞭然たる現実的モデルの構築もなしに，物理的な対象や現象の矛盾した性質が事実としてあっさりと仮定されるようになったのである。例えば，超流動ヘリウムの矛盾した性質（毛細管中を粘性なしに流動するが，回転運動時には粘性が存在するという性質）を記述するための二成分系液体モデルがある。現実はこのモデルから遠く離れているが，このモデルは機能している（役に立っている）。ところが相対論者たちは，エーテル理論に対してのみそれより多くのものを要求してきた。実際には，相対論者たちによって非現実的と宣告された全てのエーテル理論に関して，自然において作用しているアナロジーが存在していたにもかかわらず（では，それより多くの何がモデルに対して要求すべきことのように思われたのだろうか？）。例えば，エーテル密度が変化しても光速度は一様であることには，驚くべきことは何もない。$T = constant$のとき，

空気中における音速も空気密度に依存しないのだから。エーテル密度が地球表面近傍では宇宙におけるより著しく（しかしせいぜい60000倍）増大する可能性があることにも，驚くべきことは何もない。大気密度はその何桁も大きく増大するのだから。ストークスのモデルは大気を含まないモデルである。このモデル（渦なしの非圧縮性運動を仮定したモデル）の数学的な難しさは，今の話にはまったく何の関係もない。自然を記述する現実的な解は，ストークスによって発見された解に近いものであることが明らかになるかもしれない（非線形方程式の単なる真の厳密解を簡略化されていない偏導関数の中に見出す方が，数学的にははるかに困難である）。公平を期するために指摘しておくと，現在では十分に展開されたエーテル構想（例えば［1,8］），またエーテル的理解を用いた十分に展開された数学的アプローチ［142］［邦訳版あり］が存在する。

次に，別の具体的問題に話を進め，いくつかの有名な実験に関して短くコメントしよう。上記においては，真空空間内における光行差について，特殊相対性理論抜きで粒子説と波動説の両方の観点から分析を行った。静止エーテル理論の観点から導き出される結果もそれらと同様のものとなる。媒質（例えば気体中の媒質）の密度が段階的に減少した場合，媒質によるエーテルの完全引きずりは理解しがたいものになる。それゆえ，エーテル完全引きずり仮説を真剣に検討した者は（相対論者たちを除けば）誰もいなかった。仮にエーテルが固体および液体の物体によって完全に引きずられるとしても，その分析は簡単ではなかっただろう。すなわち，物体間の遷移層に関する理論を創出し，さらに気体の場合についての境界エーテル層に関する理論を気体密度に応じて創出することが必要になっただろう（例えばマイケルソンの実験においては，地球自体の軌道速度である30 km/sについては，話はどうしても進むことができなかっただろう）。しかし物理学は別の道を進み，既にフレネルは，光学的に透明な媒質中ではエーテルの部分引きずりのみを想定すればよいことを示す，ある係数を導入した。管を水で充填した場合，エーテルの部分引きずりは光行差を事実上（達成された精度において）変化させないことがフレネル自身によって示された（非垂直観測の場合には充填媒質内におけるビームの屈折角を考慮する必要がある）。ただし，概して言えば，このようなあらゆる問題はもはや光行差理論ではなく，屈折理論に属する。エーテル完全引きずり仮説をまっとうに議論することのできる唯一のケースは，光学的に不透明な媒質（金属）の場合である。ヘルツが光学現象を自らの電気力学の観点から考察することを当初から拒否したとき，彼はこのことを直観的に感じていたのかもしれない（それゆえ，相対論者たちが信用失墜を目的として誘電体に関する彼の理論を利用しているのは不当である）。

トロウトン–ノーブル［Trouton–Noble］の実験は真空空間におけるガリレイの相対性原理と矛盾しない。概して言えば，誘電体に関するあらゆる実験はガリレイの相対性原理と矛盾しない。なぜなら，光（より正確には場）は，その経路の一部分においては原子と原子の間の真空空間を通過し，経路の他の一部分においては原子によって吸収され，再放射されるからである。エーテル部分引きずり理論の場合には，フレネルの随伴係数を実用精度で決定することが（金属製シールドが存在しなければ）常に可能であり，その係数は精度のオーダーが1桁の実験でも2桁の実験でも裏付けられている（本当のところを言えば，精度はあまり高くないことがしばしばあり，実際には1つ以上の「つじつま合わせ用」の係数が導入されている）。ローランド［Rowland］の実験は，エーテル理論の観点から見れば，エ

ーテルが金属によって完全に引きずられることを事実上証明し，またガリレイの相対性原理の観点から見れば，運動する電荷の電流との等価性を証明した。レントゲン，エイヘンヴァルト［Eichenwald］およびウィルソンの諸実験では，誘電体内におけるフレネルの随伴係数が事実上得られた。

ケネディ–ソーンダイクの実験

ケネディ–ソーンダイク干渉計とマイケルソン干渉計との唯一の違いは，前者においては，どの場合にも両方の垂直アームの長さが等しくならないように選ばれていたことにある。しかし，干渉像にとって重要なのは，利用される光の波長との関係における光路差（波長に対する光路差の比率）のみである。さらに，干渉計（例えばマイケルソン干渉計）のアーム長の測定精度は，利用される光の波長よりも常に小さい。したがって，文献［38］の見解とは逆に，ケネディ–ソーンダイクの実験はマイケルソン–モーリーの実験といかなる点においても異ならない。それゆえ，既にマイケルソンの実験に関して述べた全てのコメントは両方の実験に共通することになる。実験の目的（干渉計系の運動が光速度に及ぼす影響の検出）という見地から考えるならば，教科書に書かれている値と比べ，著者たちの推定値$v \leq 15\ \mathrm{km/s}$（この値も不正確ではあるが—下記参照）の方がより適切である。温度ゆらぎや基板結晶格子の振動が任意の$T = constant$（$T \neq 0$）において常に存在するため，温度に関する大きな安定性はある限界を超えたところでは重要性を持たなくなる。最も重大な点は様々な周波数ωの場合における相異なる光速度$c(\omega)$の比較が行われなかったことであるが，その比較はこのような実験では行い得ないことであった。さらに，真空空間の場合については慣性系に関するあらゆる古典的考察が有効であり続けている。すなわちガリレイの相対性原理が効力を保っている［48］。エーテルモデルの場合における金属製シールドに関する一般的コメントは，この実験に対しても適用することができる。このように，これまで列挙した全ての実験は，地球の運動の検出に対してすら何の関係も持っていない。

アイヴズ–スティルウェルの実験と球面波の場合の横ドップラー効果

次に，アイヴズ–スティルウェル［Ives-Stilwell］の実験についての議論に進もう。アイヴズ自身は特殊相対性理論に対する反対者であり，この実験をエーテルの立場から説明していたこと（すなわち，実験をこの立場から解釈することも可能であること）に注意しよう。そもそも，何もかも一緒くたにして自分の懐に放りこみ（きっと，自分をもっと恰幅のいい姿に見せるためだろう），あるいは「特殊相対性理論が沈没したら，科学全体が沈没してしまう」ようなふりをして，特殊相対性理論をあらゆる理論と（まだ最後まで検証されていない理論とさえも）結合しようとするのが，特殊相対性理論の特徴である。概して言えば，ドップラー効果の基本理論の場合とは異なり，任意の配置における周波数依存性の決定は実験の専管事項である（それゆえ，ここから時間に関するさらなる仮説を編み出すのはまったくのこじつけである）。実際，アイヴズ–スティルウェルの実験は，その理想的な形においてさえも（過程の現実の特殊性を無視したとしても），横ドップラー効果ではなく，0°および180°に近い2つの方向の場合のドップラー効果，すなわち縦ドップラー効果に近

似した効果を測定することになるだろう。この実験は間接的な実験である。なぜなら，補正値（相対論的補正値と称するもの）は計算値であるからである（さらに，この計算値は様々な領域からの比較手順を経たものであり，このことがさらなる非対称性をもたらしている)。[22] の実験は，相対論的表式からの著しい系統的偏差（ほぼ60±10%）を示した。したがってその効果は，ドップラーの式というよりは，むしろ光ビーム中における諸反応の特殊性によって決定されている可能性がある。それ以外にも代替的な実験データ［22, 120］が存在することを紹介しておこう。次に我々は，この実験について若干の批判を与えよう。相対論者たちはこの実験を，まるで横ドップラー効果が一定の時刻（ビームが装置の垂直二等分線を通過する瞬間）に装置の1点から感知されるかのように描写している。実際には，感知される信号は別々の時刻に放射の別々の領域から，しかも運動に対して垂直でない領域を含めた領域から得られた信号の総和である（例えば，光行差はどこに消えてしまったのだろうか？)。つまり，検討されている効果は2つの縦ドップラー効果の間におけるある種の「合成平均値」なのである。

相対論者たちは，特殊相対性理論におけるドップラー効果に関して，お定まりの偽造を行っている。すなわち，彼らは点閃光（すなわち，**球面波**！）について検討しているのに，その結果を**平行平面波**の場合の古典的ドップラー効果と比較している。平行平面波の場合，いかなる横ドップラー効果も存在しないことは明らかである（だから，相対論者たちはここで自慢などするべきではない)。しかし，もし誰かが球面波と平行平面波の違いを理解していないとしたら，彼は多分，物理学も数学も理解していないのだろう（例えば，ソ連時代の中等学校の第8学年のレベルの知識を持っていれば，次の課題の正確な解を厳密に見出すことができる。―上下に振動している浮きが水面上に円形波を励起している。表面波の上方においてある線に沿って運動している観測者が，単位時間に記録する波の最大値の数はいくつになるか？)。様々な人々によってなされた球面波に関するドップラーの公式（および古典的な横ドップラー効果）の発見とその発見に対する反作用の歴史に関係するいくつかの有為転変については，教科書［132］および［204］に述べられている。上記の波源の場合とは異なり，我々は波長を調べるのではなく，それよりおなじみの特性―波源および/または受信装置が運動するときの周波数の変化―を探求することにしよう。

まず最初に，媒質中で**運動する点波源**によって励起される球面波（それは例えば音響，あるいは水面上の円であり得る）について検討しよう。静止している受信装置が点R（図3.5）にあるとする。波源が常に点Oで静止しているとすると，信号の伝播方向は線分ORによって描かれる（波長は，距離$|OR|$を，その距離を通過する時間中に生じた振動数で割ることによって決定することができる)。それとは別の点iで静止している波源の場合にも，状況はそれと類似したものになる。次に，波源が一定速度$\mathbf{v}$で直線運動するとしよう。我々は，波長と等しい長さの区間を検討される信号として暫定的に選び，その信号の始点に対応する点を追跡することにしよう（等速度運動の場合，その暫定的に選ばれた区間の中間点あるいは終点の運動を追跡することは，それと完全に同じ意味を持つことができる)。信号の送出開始時刻に波源が点Oにあったとすると，受信装置によるその信号の受信開始時刻には，波源は点jにある。普通，ドップラー効果の理論では，角度θは「受信装置系において測定される，速度と観測線の間の角度」とされている。三角形の三辺（距離，あるいは波長―各辺の長さをその時間の間に生じた振動数Nで割った場合―）の相互関係から，

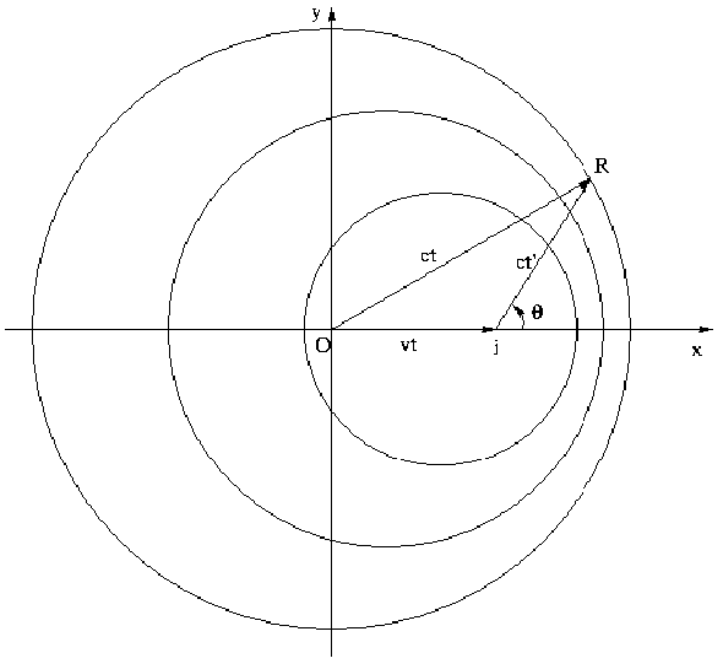


図 3.5. 波源が運動しているときのドップラー効果

点Oで静止している波源の振動の周期Tとの比較に基づき，感知される振動の周期T'を容易に決定することができる（ここで，$T = t/N,\ T' = t'/N$）。そのために余弦定理

$$(ct)^2 = (vt)^2 + (ct')^2 - 2(ct')(vt)\cos(\pi - \theta)$$

を用いよう。この2次方程式をt'について解くと次式を得る：

$$t' = t\left(\sqrt{1 - \beta^2 \sin^2\theta} - \beta\cos\theta\right).$$

ここで，普通は$\beta = v/c$である。その結果，周波数の変化に関して次式を得る：

$$\nu' = \frac{\nu}{\sqrt{1 - \beta^2 \sin^2\theta} - \beta\cos\theta}.$$

今度は，球面波は媒質中において静止している波源jによって励起され，受信装置は一定速度$\mathbf{v}$で直線運動しており，信号の受信開始時刻には点Rにあるとしよう（図3.6）。前回と同様に，その三角形に対して余弦定理$(ct')^2 = (vt')^2 + (ct)^2 - 2(ct)(vt')\cos(\pi - \theta)$を用いて，2次方程式を$t'$について解くと次式を得る：

$$t' = t\frac{\sqrt{1 - \beta^2 \sin^2\theta} + \beta\cos\theta}{1 - \beta^2}.$$

その結果，球面波の場合のドップラー効果の公式は次の形を持つことになる：

$$\nu' = \nu\left(\sqrt{1 - \beta^2 \sin^2\theta} - \beta\cos\theta\right).$$

この公式の導出手順それ自体から，この公式は任意のときに正しいという結論が導き出される。実際，角度θは波源と受信装置の間の距離を自動的に追っている。なぜなら，平行平面波の場合とは異なり，この角度は運動の過程で変化しているからである。得られた公式

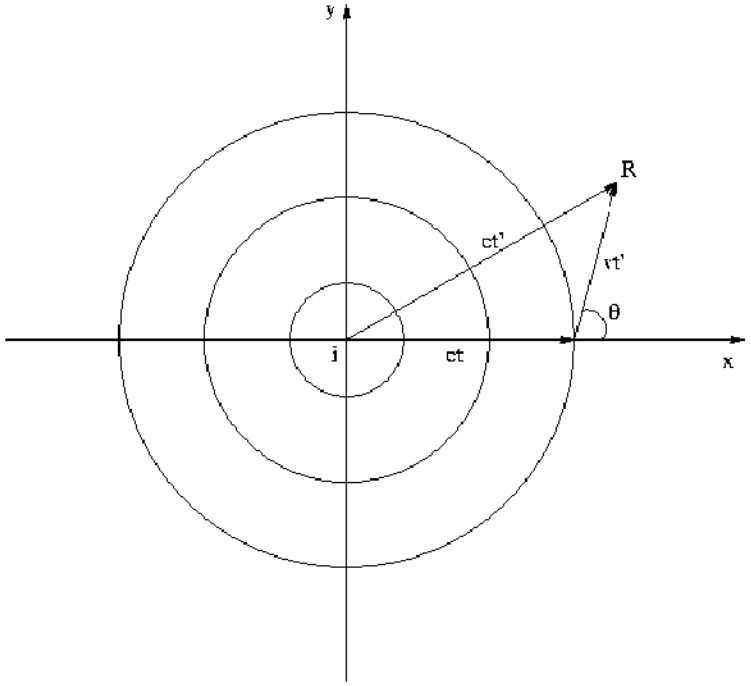


図 3.6. 受信装置が運動しているときのドップラー効果

において何よりもまず我々の興味を引くのは，球面波の場合には，横ドップラー効果が存在し（公式に$\theta = \pi/2$を代入した場合），その効果が相対論的表式と完全に一致しているという事実である。波源と受信装置が同時に運動しているときには，球面波の場合のドップラー効果は次の形を持つ：

$$\nu' = \frac{\nu\left(\sqrt{1-\beta_1^2\sin^2\theta_1} - \beta_1\cos\theta_1\right)}{\sqrt{1-\beta_2^2\sin^2\theta_2} - \beta_2\cos\theta_2}.$$

さて，「我らが相対論者たち」の話に戻ろう。相対論者たちの中で，波源の運動と受信装置の運動を同時に含んでいる1つの相対論的公式を最後に書いたのはマックス・フォン・ラウエである。その後，どうやら，相対論者たちは2つの運動を同時に考慮することが相対論のイデオロギーそのものと矛盾していることを理解したらしい。しかし，彼らは2つの公式のうちいずれを残すべきかについて，合意に達しなかった（なにしろ，A.アインシュタインには2つの公式があるのだ！）。その結果，文献においては，異なる著者ごとに相異なる公式が出てくる。それだけでなく，ドップラー効果に関する1つの相対論的公式が，極限移行時にドップラー効果に関する**2つの**古典的公式をどうすれば同時に与えることが可能なのか，理解に苦しむ（なにしろ，音の場合には，2つの公式は実験的に検証済みであるが，それらは相異なる観測結果を与えるのだ）。

事実上，我々は球面波の場合の横ドップラー効果を得たわけであるが，この効果は光の場合にも，音の場合にも存在するのである！ その結果，アイヴズ–スティルウェルの実験において，現実の信号源について赤方偏移が観測されることになり（そのような偏移した周波数の作用時間の方がより長い），したがってその効果は観測点までの距離に依存しなければならない。光の場合には，平行平面波の場合の古典的ドップラー効果が観測される

などと，いったい誰が言ったのだろうか？ 何しろ，ドップラー効果は純粋の波動運動の場合にしか古典的形態を持たないのだから。仮に光がまったく波動ではないとすると，相対論的な式を含め，別の式を得ることができる［60］。このように，この実験もまた，特殊相対性理論における相対論的時間の遅れを裏付ける実験に属するものと無条件にみなすことはできない。

一部の相対論者［38,107］は最も重要な3つの実験（マイケルソンの実験，ケネディ–ソーンダイクの実験およびアイヴズ–スティルウェルの実験）を特に重視し，これらはローレンツ変換（特殊相対性理論の基礎）へと一意的に導くと言っている。しかし，これら3つの実験はいずれも十分な証拠能力を持っていないことを我々は知っている。特殊相対性理論は実験的観点から見た場合でさえ，「空虚の中を漂っている」のである。

補足コメント

一般的なコメントから始めよう。公平を期するために，力学的現象の場合でさえ，相対性原理が最大限の実験精度で検証されたことは一度もないということを指摘しておく必要がある。もし万物を透過するエーテルは存在しないと信じたとしても，重力場はそれに類似した性質を持っている。観測者が地球上でどのように運動したとしても（一直線上における一様な運動であろうと，地球表面に沿った円運動であろうと），引力はその大きさまたは方向が変化することになり，このことは諸実験における定量的な法則性を比較することによって検出することができる。したがって，提示されている仮説検証実験は，引力が存在しない所，あるいは観測地点に対して宇宙全体の分布が厳密に対称になっている所でしか行えないはずである。しかし，運動する物体が存在する場合には，そのような厳密な「引力補正」はただ1つの地点でしか行えないはずである。検討対象たる物体が当該時刻に通過する空間の1地点との相対的関係における状態（速度，加速度，等々）の絶対的変化が，現実のあらゆる場合に観測されている。それだけでなく，厳密な慣性系の概念は，実験の観点においては「ほぼ慣性系」，すなわち，既存の精度の範囲内では実験期間全体を通じて厳密な慣性系と区別することのできない系に敷衍して適用されなければならないということを認めるべきである。これが認められないとすると，この概念は実際的な適用の場を失い，物理学にとって無用な概念となってしまうかもしれない。例えば，全ての「相対論的」実験は例外なしに非慣性的な地球（地球の非慣性的性質はフーコーの振り子によってきわめて簡単に証明される）の上で行われており，したがってもし完全に厳密なアプローチを採用したとすると，その実験を説明するために特殊相対性理論の相対性原理を援用することはできなくなる（限りない厳密性は物理学のあらゆる分野に「引導を渡す」ことになる）。

さらにもう1つの一般的コメントをしよう。相対性理論が正しい理論なのか否かという問題と，特殊相対性理論が記述し，悪用しようと試みているその全ての効果が存在するのか否かという問題とは，まったく無関係である（水晶球が否定されたからといって，現実に観測される惑星運動が否定されるわけではないのと同じである）。現象自体が存在するのか否かという問題と，その現象の説明を唯一記述しているある理論が正しい理論なのか否かという問題―この2つの問題を明確に区別する必要がある。いかなる異常効果も，特殊相対性理論において提示されているまさにその「理由」によって，存在し得ない効果とな

るのである（特殊相対性理論の命題と結論の組み合わせ全体は相互に両立し得ない，すなわち論理的に矛盾しているからである）。しかしそれでもなお，何らかの異常効果が観測される場合には，その効果のために，別の現実的理由（説明，解釈）を探す必要がある。それぞれの理論は，実験的に検証されるべきいくつかの「もし」を含んでいる。例えば，物体の速度が現実に（！）変化した場合，物体中における何らかの過程の進行が変化しているという可能性はあるか？ 原理的にはある。例えば，第1の「もし」として，「もしエーテルが存在するならば」，そして第2の「もし」として，「もし何らかの過程がそのエーテルに対する速度に依存しているならば」。しかし，そうだとすると，2つの観測系の相対速度はまったく何の関係もなくなる。例えば第1の系と第2の系がエーテルに対して同一の速度vで互いに逆方向に運動した場合，その何らかの過程は2つの系内において一様に進行することになる。ところが，第3の系が第1の系と同一方向に，ただしエーテルに対して$3v$の速度で運動した場合には，相対速度が前と同じ$2\,v$であるにもかかわらず，第3の系内における過程と第1の系内における過程は相異なったものとなる。この場合には，相対性原理自体（そしてとりわけ特殊相対性理論）が破綻している。このようなことは原理においては可能であり得るとしても，実験の過程でのみ検証されなければならない（この検証を所要精度で行った者はまだ誰もいない）。

実験結果に関するもう1つのコメント。光速度の測定に関する諸実験のそれぞれにおけるデータのばらつきは大きいのが普通である。ところで，特殊相対性理論において提示されている小さい許容誤差は，一定の統計処理（すなわち，所望の結果に合わせたつじつま合わせ）の後にはじめて得られたものである。このことが既に過去にも混乱を招いたのであった。すなわち，相対論者たちによって提示されている光速度の推定値は，提示されている許容誤差範囲を明らかに逸脱して2回も変更された値であるからである（[25]参照）。

宇宙における光の分散はかなり以前に検出されている［5］。宇宙における様々な周波数の波の遅延がチーホフ［Gavriil Adrianovich Tikhov］およびノルドマン［Charles Nordmann］によって検出された［170］。文献［48］では真空中における光の分散$c(\omega)$が予想されている（この仮説については付論BとCにおいて検討する）。X線バーストの検出から2か月間が経過した後に輝線が現れた例［13］を挙げることができる。このことも真空中における光の分散と関係している可能性がある。

古典的速度合成則は物体の並進運動に対してのみ関係を持っている。仮に，さらに振動運動も関係があるとすれば，合計速度に関して（非相対論的速度の場合でさえ）確定的なことを一般的な形で語ることはできなくなる。例えば，音叉にぶつかるハンマーの衝撃速度は伝播する波動の速度といかなる関係も持たない。不運な小鳥と飛行機がいかなる相対速度で（超音速でさえ）飛んでいたのであろうと，また，それらがいかなる経路を通過したのであろうと，それらの衝突後における音速は毎秒330 m―空気中における音速―となる（$v_s = \lambda\nu$として決定される飛行機の客室内部における音速が，飛行機の飛行速度とは無関係に一定となることは明らかである； それと同様に，$c = \lambda\nu = constant$として決定される計測器の内部における光速度は，計測器の外部におけるいかなる運動にも依存していない。しかしこのことは，受光器が光に対して対向方向に運動する場合には，それらの出会いはより早く生じる。すなわち，合計した経路を時間で割ったものとして決定される最終的な速度は$(S_1 + S_2)/t = c + v_r > c$となる）。もう1つの例。長い棒が水面に沿ってその

長手方向に対して垂直に速度v_1で運動しており，棒の前方で点状発信源が波動を励起しているとする。すると，その波動は，経路の一部においては棒に対して静止している水の中を速度v_2で進んで行き，経路の他の一部においては岸に対して静止している水の中を進んで行くことになる。その結果，波動の速度は$v_2+ v_1$とv_2の間にあることになる（そして，概して言えば，その速度は発信源までの距離の関数となる）。次の例。穴のあいた飛行機の客室内部における飛行機に対する局所的な音速は，客室内部における定常空気流の速度に依存することになる（フレネルの随伴係数のある種の類似物）。

特殊相対性理論においてデータの統計処理が行われると特徴的な「精度向上」が生じるのは，きわめて奇妙なことである。これは，データが人為的に選択され，この理論の枠にぴったり収まる依存関係の探求が意図的に行われていることを意味している。第1に，様々な物理量の最確値は，相互作用の個別過程（個別事象）においてさえも相互の因果関係をまったく持たないことがあり得る（具体的な測定過程における真の値と平均値，最確値あるいは有効値との間の違いを思い出そう）。第2に，本質的に非線形な式の場合，真の値（瞬間値，あるいは因果的な結び付きを持つ値）に関して言明されている相関性を平均値（あるいは有効値）から導き出すことはきわめて困難である。データ（特殊相対性理論を裏付けていると称されているデータ）のそのような解析はどこを探しても見つけられない（何しろ，この場合にはゆらぎ理論を援用する必要があるからである）。第3に，次の数学的事実に注意を払う必要がある。

1）周期が知られていない周期関数の別の周期（例えば，原子による再放射からの寄与が考慮されていない不正確な周期）に基づく統計的平均化は，その結果としてゼロ，または真の値より小さい値を与える可能性がある。

2）不正確な仕方で推量された調和振動，あるいは遷移した調和振動を選び出す方法で周期依存性を決定しようとする試みは，ゼロ，すなわち$\int \cos(\omega t)\cos(\omega_1 t+\alpha)\,dt = 0$，または過小値を与える。一連の実験（マイケルソンタイプの実験）において，個別の各測定値がゼロ水準から著しく逸脱しているにもかかわらず，統計処理後には数値振動がきわめて小さくなっている理由の1つは，データ統計処理の不正確さにある可能性がある（ミラーがその実験で行った解析［95］を思い出そう）。

微細なメスバウアー効果を利用して現象の研究を行うことが「大流行」になっている。しかし，パウンド–レブカの実験において，共振周波数の偏移に対する温度の影響を特殊相対性理論の時間の遅れ効果と関連付けているのは，きわめて奇妙である。それは純然たる空理空論である。温度変化が例外なく全ての物理現象に対して多かれ少なかれ影響を及ぼしているとは言え，特殊相対性理論の時間は古典的研究領域にとってまったく無関係であることは明らかである。さもなければ，もし相対論者たちの世界制覇の野望をほんの少しでも隣接研究領域—試料の溶融過程に関する研究—にまで拡大させた場合，彼らは何を宣言しなければならなくなるのだろうか（何しろ，溶融状態ではメスバウアー効果自体が消滅するのだから），—その宣言とは，「時間はその歩みを終えた」，「時間は単一となった」といったたわ言なのではないか？ パウンド–レブカの温度実験における統計的解析もまた，きわめて疑わしいしろものである。その解析では，周波数偏移に対する温度（より正確には温度変化）の影響が決定されている（しかし，その影響が加齢といったい何の関係があるのか?!）。温度は試料内部における諸速度の分散を特徴付けていることを思い出そう。

では，いったいどうすればメスバウアー効果を統一体としての試料に適用することが可能なのだろうか？ そもそも，時間の進行をドップラー効果と関連付けたり，あるいは時間の進行の指標として，具体的な過程の何らかの周波数を選んだりするのは奇妙なことである。実際問題として，周波数ω_1で励起された多数の原子からなる系が存在したとしよう。この試料中における時間の進行の指標として周波数ω_1を選ぼう。原子は基底状態に遷移し始めるとき，光子を放出する。逆に光子を吸収する原子も存在し，光子の一部には多重吸収されるものさえある。その結果，系内にさらに別の周波数が現れる（複数の相異なる周波数が現れることさえある）。しかし，この事実に基づいて，選ばれたこれらの原子の場合でさえも時間が変化したと考えるのは不条理である。時間の進行の変化を試料全体に適用すること，ましてや，想像によってその試料と関連付けることのできる全ての基準系に適用することについては，もはや言うに及ばない（特殊および一般相対性理論はまさにこの種の大域化を利用している）。

方法論に関する次のコメントは，相対論者たちによってしばしば行われる用語の改ざん（欺瞞による自己正当化のための様々な「方法」の1つ）に関するものである。例えば，相対論者たちは分母に値cを含んでいる項（例えばv/c，等々）を「相対論的な項」と呼び始めた―このような項は古典的な場合にもしばしば現れており，したがって少なくとも，古典的場合と相対論的場合における類似した項に関して解析表式の比較を行う必要があるにもかかわらず。この種の欺瞞的状況は金星のレーダー観測の場合にも生じた。このときには，実際に用いられていたのは純粋に古典的な公式であったにもかかわらず，特殊相対性理論の新たな（!?）裏付けが見つかったという噂が流されたのであった（［118］参照）。

一般相対性理論の基礎実験

本章は一般相対性理論を主題とするものではないが，描像を完全なものとするために（相対論者たちは相対性理論の統一性について言明しているのだから），一般相対性理論の諸実験についてもいくつかの批判的コメントを補足的に提示しよう。きわめて奇妙なことに，相対論者たちは，ある場合には，特殊相対性理論の枠内における記述と一般相対性理論の枠内における非慣性系を用いた記述とは等価である（例えばサニャックの実験の場合）と主張しているが，それ以外の場合には，言明されている重力場と非慣性系の等価性にもかかわらず，特殊相対性理論は不釣り合いなほど小さい成果（例えば水星の近日点移動の場合）しか与えていない。

ヘイフリー–キーティングの実験は一般相対性理論を裏付けていると言われている。しかし，この結論は少数の（そのうえ切り捨て処理された）標本に基づいて得られたものである。同じ一次データにアクセスする機会を得た別の研究者たちは，まったく正反対の結論を下した。にもかかわらず，ヘイフリー–キーティングの実験は時間の重力依存性を支持するものと解釈された（実は，その解釈は重力場における搬送波発生器の搬送波周波数そのものの変化を意味している）。しかしその場合には，ヘイフリー–キーティングの実験はパウンド–レブカの実験の解釈と矛盾することになる。後者の実験では，発生器はあらゆる高度において同一の周波数を与えるとみなされていたからである（したがって，これらの実験のうちのいずれかを相対性理論の貯金箱から取り除く必要がある）。

一部の相対論者たちは，GPSが一般相対性理論の結論（ついでに特殊相対性理論の結論も）を完全に裏付けていることを口角泡を飛ばして証明しようとしている。ソ連時代の普通の中等学校の第7学年で学んでいた，誰もがおなじみの三角測量（相似に基づく三角形の各辺の決定）に対して，これらの「理論」がいかなる関係を持っているのか（また，周波数と衛星の軌道の安定性に対しても，これらの理論はまったく無関係である）？ 理論家たちにとっては,「何が存在しなければならないか」という文句を何度も何度も唱えたり,「耳から綿を引っ張り出したり」するのをしばらく中断して,「実際には何が存在しているか」を知るために，彼ら自身が「観測屋」という控え目で地味な呼び名をつけてやった相手の言うこと［144］に，しばらく耳を傾けてみるのも悪くはないのではなかろうか。何しろ，「優先的基準系」（WGS-84, PZ-90, GLONASS, NAVSTAR GPS）の開発に参加し，航法衛星等々に対する地球表面の運動への補正値の導入を特殊相対性理論の公準に反するやり方で行ったのは，他ならぬその「観測屋」たちなのだから。実務家たち（測地学者，技術者，発明家，実験家）には，理論家たちから「後付けの説明」を聞いているヒマはない。彼らは，ことわざに言う「犬が吠えても蒸気機関車は進む」の蒸気機関車のように行動しなければならないのだ。さて，そういうわけで，衛星システムNAVSTAR GPSの発生器は，その周波数が軌道上において10.23 MHzまで上昇するようにするため，特殊相対性理論以前から知られていたエトベッシュ効果に厳密に従い，地上において周波数10. 22999999545 MHzに合わせられている。すなわち，長年にわたる航法実験が「飛行中の飛行機」による唯一の実験を覆しているのである。この件については英語のサイトでも読むことができる。例えば，GPSに関する30件以上の特許の特許権者であり，GPSは相対性理論と矛盾していることを明確に主張しているロン・ハッチ（Ron Hatch）が書いていることについては，［205］［訳注］をご覧いただきたい。

文献［33］では重力赤方偏移がエネルギー論の立場から解釈されているが，重力場における時間の遅れはいったいどこに消えてしまったのだろうか？ 文献［21］では相対論者間における「意見の不一致」を解消させようという試みがなされている。しかし，この論文における実験結果のエレベーター（初速度ゼロ）モデルを使った「説明」はまったく根拠薄弱であり，それゆえ，パウンド–レブカの実験とヘイフリー–キーティングの実験の比較を，重力による時計の歩度の変化を裏付けるものとみなすことはできない（一般相対性理論によれば，重力場は自由落下中のエレベーター内部では局所的に「オフになっている」ことを思い出そう）。というのは，特殊および一般相対性理論の全ての公式は局所的であるからである。実は，相対論者たちはこの論文で，無限大の速度を信号を使うことによって1つの物体を思考実験として「創出」しようと試みているのである。今，受信装置が実験室内において，4年後にケンタウルス座α星から受け取ることになる光子に影響を及ぼすのにちょうど都合の良い仕方で運動しているという事実は，あり得るのだろうか？ もちろん，ノーである！ 何しろ，特殊相対性理論も信号（光子およびその影響）は光速度で伝播するとみなしているのだから（過程の履歴は相対性理論のどの公式にも含まれていない）。それ

［訳注］ 現在，［205］に示されている URL からはロン・ハッチ（Ron Hatch/Ronald Ray Hatch）に関する記事に到達することはできないので，https://wiki.naturalphilosophy.org/index.php?title=Ronald_R_Hatch（日本語で閲覧可能）を利用することをお奨めしたい。ここからハッチの論文の全文または要約をダウンロードすることができる。

ゆえ，我々は，パウンド–レブカの実験を「説明」する際，初期時刻におけるエレベーターの速度をゼロ速度とみなしてはならない。逆に，我々は，「計測器」（光子を受け取る原子）が光子の受信時刻に現実の静止原子と同一の場所に位置し，かつゼロ速度を持つことができるような速度（その速度は遠く離れた光子に影響を与えない）を自由落下中のエレベーターに知らせなければならない。ドップラー効果は速度にのみ依存し，加速度には依存しないのだから，ここではドップラー効果が何の関係も持たないことは明らかである。2つの原子は完全に同一の位置に所在することになり，両者の違いは，一方には下側に支えがあり，他方にはないという1点のみである。しかし，特殊相対性理論においては，支えを一瞬のうちに取り去ったとしても，何も変わることができない（ドップラー効果による）。ただし，この最終状態を得るためには光子を異なった「深度」から送出することが可能であったかもしれない，つまり，効果は同一の状態（場所）にとって異なったものとなったかもしれない。したがって観測される効果は，光子を受け取る原子の所在場所の影響ではなく，他ならぬ光子自体の変化した性質の影響である。他ならぬ光子が赤方偏移を起こす（「受信場所が青方偏移を起こす」のではない）のであって，このことは光子のエネルギー喪失および現実の周波数（観測される周波数ではない）という古典的用語で記述することが完全に可能である。文献［21］に引用されている「光子を吸収する原子のエネルギー準位の青方偏移」という用語を使ったこの偏移の一般相対性理論による「説明」は，さらに別の理由によってもきわめて疑わしい。ここで問題となっているのは個別原子なのだから，この効果は「場所（一般相対性理論の時計）の特徴」ではあり得ない。例えば，気体中の原子は（衝突の瞬間を除いて）常に自由落下状態にあるが，その場所においてはいかなる偏移も観測されないはずである。液体中および固体中の原子も運動状態にある（$T\to 0$の場合でさえも）。したがって，スペクトル線の明確な偏移（この効果は数cm/sの速度に対してさえ強い感受性を持っている）の代わりに，スペクトル線の全面的な広がりが観測されるはずである。しかし，いずれの場合においても，得られるのは「一般相対性理論の普遍的な重力効果」［21］ではなく，この過程に関与する具体的な非相対論的メカニズムの効果である。共振効果（放射スペクトル線の存在）の陰に隠れるのは結構だが，連続スペクトルへの移行について考察してみた場合にはどうなるだろうか？ 連続スペクトルは光子が進んだ経路をどこから知るのだろうか？ そして，原子に「落下」した全ての光子が吸収されるわけではないということを考慮に入れた場合，光子の一部は，その光子を待っていた「青方偏移した場所」自体を必ず通過するのだろうか？ また，そもそも媒質が存在しないとしたら？ 例えば，光子が「ブラックホール」に落ち込んだとしよう。光子がエネルギーを変化させないまま飛んだとしたら，光子がその旅の途上で通り過ぎた場所は「ますます青く，さらに青く」なり続けることになる。なんと美しいポエジーであろうか！ 物理学においては，数学記号を使ったトリックは説明とみなすことができない（例えば，文献［21］の3番目の「説明」における無質量性の条件は仮説以上のものではない）。パウンド–レブカの実験の説明は他ならぬエネルギーの用語においてこそ正しい（エネルギーが変化する，すなわち光子の周波数が変化する）ということは，次の思考実験（図3.7）から明らかである。重力場$\boldsymbol{g}$の下部において電子1個と陽電子1個が消滅したとする。得られた光子2個を上方に反射させよう。上部において1対の粒子の生成が再び生じたとする。重力場中を上昇する際，光子のエネルギーが変化しなかったのだとしたら（地球上の普通の空気を思い出そう），

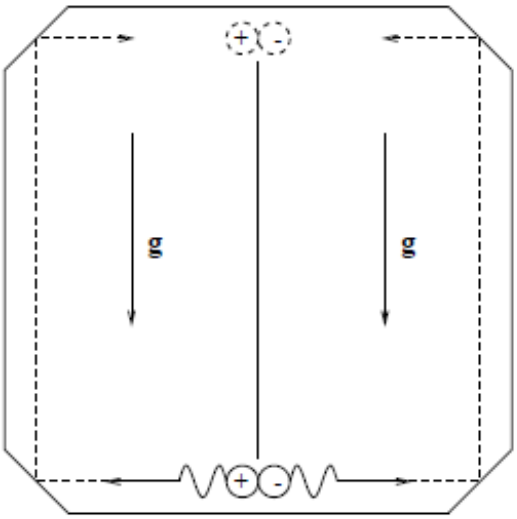


図 3.7. 一般相対性理論の永久機関

いったいどうやって我々は重力場中においてエネルギーを消費することなく，粒子を高い所まで持ち上げたのだろうか（付加的なポテンシャルエネルギーを粒子に与えたのだろうか）？ これは永久機関ではないか？ このような矛盾は，重力場$\boldsymbol{g}$の下部において別のタイプの反応―γ量子1個が放射される―を利用し，上部においてそれに対応する反応を利用すると，さらにいっそう明瞭となる（補助的な反射を利用しない場合も同様となる）。

「現に存在する」空間の歪み（我々の唯一の宇宙内における空間の歪み！）と称するものを実験的に決定することが可能であり，不可欠であるという相対論者たちのいくつかの言明は，きわめて奇妙に思われる。では，そのような歪みはそもそも何との関係において測定されるのだろうか？ 何しろ，実験というものは，物理量を伴って生じる変化しか記録できないのだから（参照基準値との比較法）。

一般相対性理論の最新の「裏付け」

総説論文［198］では，一般相対性理論の検証に関する新たな「成果」と称するものが情熱的に宣伝されている。例えば［194］では，（地球から送出され，月から反射されたレーザー信号の遅延に基づいて）重力結合エネルギーを考慮に入れたかのようにして質量等価原理が考察されている。この問題は完全にこじつけであり，「サイズの巨大さ」には依存していない。なぜなら，質量の相等性は重力定数の値の定量的決定の中に既に織り込まれているからである（しかも，近接作用の原理が宣言されている以上，重力結合エネルギーは局所的性格を持っている）。宇宙スケールの導入は，多数のパラメーターが掌握不可能になる結果として，むしろ事態を悪化させる。例えば，宇宙には信号の伝播に影響を及ぼす媒質および場が存在する； 3質点の問題さえ正確に決定されていないのに，太陽系中にはそれよりさらに大きい数の天体が存在している； 天体の質量の正確な値は知られていない；全ての天体は運動状態にあり（慣性状態にはない），複雑な（非点状の）形状を持っている；地球物理過程が考慮されていない（例えば正確な潮汐理論は存在しないが，潮汐は海水面上だけでなく，陸地面上でも出現している）。

さらに，超長基線電波干渉計を用いた［186, 187］の結果に関しても一連の疑義が存在する。それらの実験のうちどれ1つとして直接実験ではない（解釈でしかない）。太陽の正確な質量は知られていない。では，太陽までの正確な距離を，あるいは宇宙機の正確な経路が知られていないとき，宇宙機までの正確な距離を，誰が知ることができるのか（その経路は直線にはならない。なぜなら，それは太陽コロナの存在，またプラズマ伝播媒質に依存しているからである）？ 長基線の場合，全ての角度の不確定性，プラズマの密度勾配および温度勾配の存在を考慮に入れてビームの進行差の正確性をいかにすれば決定することができるのか？ 遅延時間τのどれ1つとして掌握することができない（すなわち，全ては信仰に縛り付けられている！）。位相遅延は一般相対性理論に服従していなかったので，結果をつじつま合わせするために「群遅延」がでっち上げられた（統計処理もそれと同じ目的に従っていた）。諸過程に関する多数の理解はモデル的性格を持っていたが，しかし，それほど沢山のモデルが一度に導入されたら，そのとき，いったい何が何によって検証されるのか？ それと同様に，［199］における月の距離測定を用いた1個の実験が「検証」しているパラメーターの数はあまりにも多すぎはしないか？ 検証される量もまた，それ以外の全てのパラメーターが既知のとき，1つでなければならない。そこでは一次データが提示されていない［200］の宣言に関しても一連のコメントをすることができる： 地球および月は慣性系ではない（空間中を加速度運動している）； 反射器までの距離および光速度不変を掌握することは決してできない（伝播媒質の性質が変化している）； 関与している天体の質量の形態も，地球物理過程も考慮されていない。ちなみに，古典物理学（古典的速度合成則）を裏付けている金星のレーダー観測については［196, 197］で読むことができる。

［178, 182］では探査機カッシーニに搭載されたマイクロ波通信システムが「証明」のために用いられている。方法のそのような多様性にもかかわらず，欠陥は同一である： プラズマ中における密度, 温度, 場の正確な分布が知られておらず, したがって正確な$\varepsilon_{\alpha\beta}(\omega)$等々は知られていない。

次に，パルサーを用いた「証明」［181, 185, 195］について。ここではいかなる仮説がいかなる仮説を検証しているのかが理解不能である： 何しろ，パルサーの仕組み，条件およびメカニズム，パルサーの軌道およびそれらまでの距離は単なる予想でしかない； それらまでの経路および伝播媒質の性質も知られていない。N個の物体の正確な解は，3個の質点の場合でさえ，どの理論にも存在していない。［181］ではパラメーター（文字）のある種の組み合わせが用いられているが，それらのどれ1つとして正確に掌握することができない。それはいったい，いかなる検証（とりわけ証明）なのか？

発表されている多数の一般相対性理論の「実験的検証」は「相異なる計量」を要求している。このことは，実際の各場合における「実験的検証」とは何であるかを暗に示している： それは, 計量の選択に含まれている, 所望の結果を保障する数学的スキームである（人為的つじつま合わせ）。

相対性理論の基礎に対する批判を要約すると，ニュートンの古典的な空間および時間の概念に立ち戻る必要があるという結論が導き出される。我々も粒子に関する古典的・線形的ベクトル的な速度合成則に立ち戻ろう。

光速度についてもう一度

まず最初に，光のような「対象物」の速度という言葉がどういう意味で用いられるかが，方法論的に定義される必要がある。当然のことながら，方法論的により望ましい定義は，経過した時間間隔に対する通過した経路の比$\mathbf{V} = \Delta\mathbf{R}/\Delta t$という古典的な速度の定義である。この定義は，「対象物」の運動の過程において，その「対象物」をまったく歪めないからである。ところが，波長と周波数の積$V = \lambda\nu$を通じた光速度の定義は，ただちにいくつかの問題を引き起こす。第1に，我々は，（力学的振動の場合とは異なり）電磁振動の過程自体を直接的に見ているわけではない。したがって，「対象物」自体が波動的性質を持っているのか，それとも「対象物」が計測器と相互作用する過程で波動的性質が**発現（発生）しているにすぎない**のかについて，我々は絶対的な確信を事前に持つことはできない。第2に，2番目の方法によって計算された速度とは，**我々の計測器の内部における**何らかの波動過程の速度である。したがって，我々の「対象物」（光）の計測器の外部における運動速度がその内部（別の媒質内！）における運動速度と一致していることを，さらに証明する必要がある。今のところ，それに関する徹底的な証明は存在しないように思われる。

古典物理学においては，速度の概念は明確に定義されている（交通警察のことを思い出してみてもいい）。ところが，「秘密諜報部員007―光―」の場合に限っては，（相対論者たちの主張に従って）次のような沢山の身分証明書が存在する：「偉大なる」不変速度（「相対論者の誓い」はこの速度を使って行われる）；座標速度（この速度は，相対論者たちが冒涜的な$c \pm v$の必要性をどうしても隠しきれなくなったときに使う―何の役にも立ちはしないけれど）；位相速度（これに基づいて測地学者は仕事をし［144］，光学技術者は顕微鏡や望遠鏡を設計し，天文学者は屈折等々を計算する）；群速度（これはレイリーが「遺憾の念を覚えつつ」導入した速度であり，研究現場では事実上ほとんど使われていない。ただし，この速度は相対論者たちによってしばしば「正真正銘の速度」と言明されている。もちろんそれは，この速度が「たまたま」負ではない，あるいは相対論者たちによって指定された定数より大きくない場合に限っての話だが）。何から何まで，「駅で行われている3つのコップを使ったいかさま賭博」である。詐欺の手口はお分かりですか？ それとも，お分かりでない？［訳注］

光速度に関する問題については既に述べたとおりであるが，今度は光信号の場合（純粋に粒子的な光モデルおよび純粋に波動的な光モデルの場合）における速度合成則を，1次元運動を例にとってより明確に定式化してみよう。軸は光源から受信装置に向かう方向に取る。光源が受信装置からの距離Lの地点で，ある周波数特性ω_0を特徴とするビームを発射したとする。この場合，次の2つの状況が生じ得る。

1）受信装置が光源に対して速度vで運動している場合には，光の性質の如何にかかわらず，受信速度（L/t）は幾何学的な和$c(\omega) - v$によって決定され，受け取られる光の周波数はきわめて簡単なドップラーの古典的法則$\omega = \omega_0(1 - v/c)$によって決定されることになる。受信装置がいかなる局所的速度（固定された寸法を持つ受信装置の内部において全て

［訳注］ 広大なロシアの鉄道では長距離列車の発着が大幅に遅れ，そのため旅客は駅の待合室や通路で長時間待たされることがよくある。この一節は，駅に出没するならず者が退屈している旅客を賭け事に誘い，詐欺的な手口で金を巻き上げることを言っている。

の測定が行われる時の速度）を記録することになるかという問題は，まったく別の問題である。その大きさは光の性質（波動？ 点粒子？ 内部自由度を持つ粒子？），受信装置の構造，周波数ω，等々に依存する可能性がある。

2）信号源が速度vで運動している場合には，結果は光の性質に依存する。光が粒子の流れであるならば，再び，線形的・古典的な速度合成則$c(\omega_0)+v$を得る。光が波動であるならば，我々は事実上，並進運動と振動運動の合成を相手にすることになり，理論家は依存性$c[\omega(v)]$およびドップラーの法則をあからさまな形で記述することはできなくなる。速度の大きさについては,「伝播媒質」の特性との関係を見出すことが原則的には可能である。例えば，気体中における音速は次の大きさを通じて表すことができることを思い出そう：気体の分子量，温度，断熱指数；固体の場合には，縦方向および横方向の音速は密度，ヤング率およびポアソン比を通じて表される；液体の場合には，経験的に得られたいくつかの係数の知識が必要とされる。真空中における光の伝播速度に関するあり得る仮説の1つが本書の付論BおよびCで述べられている。これらの付論においては，光の伝播過程に主要な影響を与えているのは仮想電子–陽電子対であること，また周波数に関しては，周波数は小さな振動の範囲内においてのみドップラーの法則$\omega=\omega_0(1-v/c)$に従って決定されることが仮定されている。任意の距離および運動方向，任意の場の場合，ならびにエーテルまたは光の内部構造（付加的な自由度）が存在する可能性がある場合には，全ての依存関係は著しく複雑化する。したがって，速度合成則の決定にせよ，光速度自体（ここでもまた，受信装置内部における局所的速度ではなく，光源と受信装置の間の真空中における速度）および一般的な場合におけるドップラーの法則の決定にせよ，これらは実験の専管事項である。

概して言えば，速度はベクトル量である（方向を持っている）という理由によるだけでも，光速度は不変であることはできない。例えば，鏡から反射するとき，光速度は変化する。相対論者たちが光速度の絶対値の保存を公準として定めたとすると，反射時には無限大の加速度が得られることになる。この特異な結果は,いったい何よりすぐれているのか？

興味深い事実を挙げよう。特殊相対性理論においては，光速度は最大速度（乗り越えられない境界）として意図的に選ばれている。相対論的速度合成則は，速度の和が常に光速度以下になるように構築されている。すなわち，光列車の上では腰かけることができないのだ。その場合，我々が複数の速度のうちの1つをcと等しい速度として選んだとすると，第2の速度の方向の如何にかかわらず，合計速度もやはりcと等しくなる。すなわち，光列車からは降りることもできないのだ。ところが，タキオンの神話的な世界のために，我々が光速度を超える複数の速度を一度に選んだ場合には，それでもやはり，我々は光速度より小さい値を得る。しかも，そのそれぞれが光速度より小さい2つの速度を合成した場合にも，それとまったく同じ合計速度を得ることが可能なのである［155］:

$$\frac{nc+nc}{1+\frac{nc\cdot nc}{c^2}}=\frac{\frac{c}{n}+\frac{c}{n}}{1+\left(\frac{c}{n}\right)\cdot\left(\frac{c}{n}\right)/c^2}=\frac{2nc}{1+n^2}<c.$$

例えば，$2c$の大きさの速度を持つ2つの運動の相対論的合成は，$c/2$の大きさを持つ2つの速度の合成と同様に，$4c/5$という合計速度を与える。こうして，非一意性が生じる―すな

わち，我々は，我々の世界に属する実在粒子の光速未満での崩壊時に形成された何らかの粒子を観測しているのか，それとも，どうやら見つけることが不可能らしい，神話的なタキオンの超光速での崩壊を見ているのか。超光速ロケットから超光速ゾンデを前方に発射することはできない―ゾンデはロケットに対して前方に光速未満の速度で飛び始めた後，ロケット本体を突き破る―ということも，きわめて奇妙である。

3.3. 第3章の結論

物理学は何よりもまず実験科学であり，しかも大部分の教科書の記述は相対性理論の他ならぬ実験的「裏付け」から始まっているという理由により，第3章においては（特殊相対性理論における論理的欠陥の存在にもかかわらず）一連の実験の相対論的解釈を分析し，その解釈の誤りを示す必要があった（ここで言われているのは実験で得られたデータ自体の誤りではない。実験家は常に正しいのだ！）。本章では真空空間（相対性原理を考慮に入れた真空空間）の場合について，特殊相対性理論の確立へと導いた諸実験が粒子的観点と波動的観点から詳しく分析された。唯一可能な光速度の$c(\omega)$依存性がまったく研究されていなかったために，これら全ての実験は「ゼロ結果」しか与えることができなかったことが示された。次に，特殊相対性理論を立証していると言われている諸実験が分析され，方法論に関する一連のコメントが与えられた。

本章には，相対性原理の実験的裏付け，エーテル理論，データ統計処理等々に関する一般的コメントと並んで，光行差，マイケルソン–モーリーの実験，ケネディ–ソーンダイクの実験，アイヴズ–スティルウェルの実験等々に関する具体的な批判的検討が含まれている。ここでは，特殊相対性理論の枠内でなされているこれらの実験の解釈がまったく不適切であることが示された。本章の終わりの部分では，ヘイフリー–キーティングの実験およびパウンド–レブカの実験といった一般相対性理論の実験が検討され，一般相対性理論におけるこれらの実験の解釈が誤りであることが示された。本章は，相対性理論が実験的裏付けをまったく持たないことを証明している。

第４章　特殊相対性理論の動力学

4.1. 序論

ここまでの章においては，特殊相対性理論の運動学的概念が矛盾していること，一般相対性理論は根拠を欠いていること，最も重要な一連の実験の相対論的解釈が誤りであることが証明された（この後はもう，我々は相対性理論を記憶術の規則のようにみなすことができる。しかしそれにしても，その規則はあまりにも煩雑で不合理である)。観測される諸現象についての別の解釈，つまり相対論的解釈とは異なった解釈を探求するためには，上記の証明だけでまったく十分ではあるが，この第4章によって相対性理論に対する体系的批判に補足を加え，さらに完全なものとしたい。ここでまず問題にしたいのは，学校の教科書を始めとするあらゆる教科書が現代科学の成功を基礎としたいわゆる進歩という考え方に同調するよう我々を誘導しているということ，そして相対性理論がその基礎の一つとして喧伝され，その際にはどうしたわけか原子爆弾や加速器への言及がなされているということである。しかし，加速器の場合でさえ，状況は雲一つない晴天と言うには程遠いというのが実態である（もっとも，理論家たちは，自分たちが書く「鍵符号」[中世ロシア正教会の聖歌の楽譜で使われていた独特の符号] だけが現実に対して最も直接的な関係を持っていると狂信的に信じこんでいるのであるが)。すなわち，「理想的」な理論的計算に基づいた場合でさえ，定格出力に達する加速器は1台もなく，実際の実験方針や技術的計算においては，大部分の場合，現象論的な数式，あるいは「つじつま合わせ」のパラメーターや因子が利用されている。本章の主な目的は，特殊相対性理論の中で実際的意義を持っていると思われるかもしれない唯一の部分，すなわち相対論的動力学においてさえ多数の問題点が存在し，それらの問題点が相対論的なアイデアおよび結果の解釈の根拠について疑わざるを得なくさせていることを示すことにある。

「我々は，我々がそこに見出したいものを実験のうちに見る」という周知の哲学的言明は，特殊相対性理論にぴったり当てはまる。「自分の殻に閉じこもって生きている」理論家たちはこの種の態度を養い，状況を深刻化させている。彼らはあらゆる実験のうちに自分の数学記号の操作の裏付けのみを見ようとする（もっとも，筆者も理論家に属しているのだが)。理論のうちに現に存在する不確定性（ちなみに，その不確定は特殊相対性理論では入念に隠蔽されている）は，実験の解釈を著しく大きな範囲まで変形させることを可能にする。そしてさらに，実験の不完全さは，データに対して行われた統計的「つじつま合わせ」(所望の結果に合わせたデータの切り捨て）によって「必要とされる仕方」で最大化される。

理論物理学の教科書で電荷の運動方程式や場の方程式が導出される際には，一意的な「牧歌的風景」の幻想を創出しようと試みられている。しかし，そのような方程式の場合には，マクスウェル方程式があらゆる場の方程式となるはずであり，全ての力はローレンツタイプの力であるはずであり，また静力学的な力の場合はクーロンの法則の形を持つはずである。重力場の場合には，一般相対性理論のそのような代替理論について（若干の補足や変

更を加えた上で）検討することが可能である。ただし，一般的な場合には，状況はそれとは異なる。例えば，核力はR^{-2}に比例しない。各種の場や力に関する多数の反証事例が存在する。したがって，特殊相対性理論のアプローチを含め，理論物理学は既存のあらゆる現象をその固有の原理のみに基づいて決定することはできない。それは実験の排他的専管事項である。（それだけでなく，実験家は，あらゆる理論は不正確，あるいは誤りでさえあり得るということを信条として受け入れる心構えを持たなければならない。）

特殊相対性理論の護教論的な宣伝もまた，人を驚かせる。例えば，「質量とエネルギーの間の相関関係が原子力産業全体の土台をなしている」という熱のこもった主張［40］には，歴史的にも実際面においてもまったく根拠がない。その相関関係は，素粒子と放射能の発見，ウラン原子核の自然崩壊および誘導崩壊の解明，原子核の安定性の決定，あり得る核反応経路およびそれらの経路の間における実際的目的による選択の可能性の確定，同位体分離技術，放出エネルギーの実際的利用等々のいずれに対しても，いかなる関係も持っていない。このように，質量とエネルギーの間の相関関係は原子力産業発展上のいかなる重要段階とも無関係である。この相関関係は，（これがいかにパラドキシカルなことであろうと）既知の具体的反応における放出エネルギーの決定ともやはり無関係である。なぜなら，歴史的には，全ては別の（逆の）順序で生じたからである。すなわち，まず最初にある反応が発見されたとき，その反応は，他ならぬエネルギー放出に基づいて検出されたのである。計算のための関数―数学記号の組み合わせ―を様々な方法で導入することが可能になるのは，その後のことである。生じている核反応における質量変化を直接決定することは，通常，技術的にまったく不可能である。疑わしい理論的解釈を利用した場合には，それによって質量変化を決定する試みはあまりにも粗雑な満足感だけに終わってしまい，その満足感のために大きな代償を支払わなければならなくなるだろう。したがって，質量とエネルギーの間の相関関係は，実際面においては学校の数学でやる逆向き代入の練習の役割しか果たしていない。表にまとめられた後付けの計算データから，所望の結果が間違いなく必ず得られるからである。原理的には，「扇動者の歪んだ鏡」に映った世界の像を（相対論的似非理論のプリズムを通して）見ることにより，世界の中における自分の位置を決定することを習得することは可能である。しかし，そうすることによって人間にとって人生をより複雑にし，しかもその際，世界は歪んでいるなどと言って世界を誹謗中傷する罪を犯すことに，意味はあるのだろうか？

最も重要な予備的コメントをしよう。哲学的観点から見ると，相対性理論（およびその相対性概念の絶対化）は，仮にそれが嘘の理論ではないとしても，原理的に，相対量のみでは不十分であることを示す明らかな例がそこには存在している古典力学より，一般的な理論になることができない。しかも，それは閉鎖系と開放系の例（船の船倉内における現象と甲板上における現象は異なっている）だけではない。運動学的特性だけでなく，具体的な対象物に「属している」任意の動力学的特性の存在もまた，ただちに過程を個別化する。学校で学ぶ初歩的な例について検討しよう。小球が非弾性的に地球に落下するとしよう。相対速度は小球と地球の両方に「属している」のだから，小球にとっても地球にとっても同一である。熱に移行した**運動エネルギー**を決定しよう。我々が地球という惑星の質量ではなく，小球の質量の方を公式に代入するのは，いったいなぜなのか？ それはただ単に，そうしなければ，不適切なほど大きな結果が歴然たる形で得られてしまうからだろう

か？ この例においては，役割を演じているのは，局所的に絶対的な速度のみであることが分かる（その場合，2つの答えは**同一の結果を厳密な形で与え**，我々の選択には依存しない)。それに対し，相対速度を利用した場合には，**近似的な**答えしか得ることができない。ただし，その答えを得ることができるのは，小球の質量を用いたときに限られる。

4.2. 特殊相対性理論の動力学概念

さて，今度は特殊相対性理論の動力学概念のより複雑な問題に話題を進めよう。相対論的動力学には，互いに運動する2つの系の場合における物理量に関する直接の実験的比較は存在しない（存在するのは曖昧な解釈のみである）にもかかわらず，相対論的動力学では全てがうまくいっている(相対論者たちの論理によれば,加速器がちゃんと動いている）ように見えるかもしれない。その動力学概念の吟味を試みてみよう―これを試みる理由は，特殊相対性理論の擁護論者たちによる現代的解釈において，相対論的動力学は完全な誤りである相対論的運動学に依拠しているからということにすぎないのだが。

一般的なコメントから始めよう。特殊相対性理論における全ての量の相対性というアイデアの無制限な適用には，まったく根拠がない。実際，2つの物体が相互に$\mathbf{r}$の距離にあり，相対速度 $\mathbf{v}$を持っているとしよう。この場合，時刻$t + dt$におけるこれらの物体の相互作用の結果は，上記の特性によっては決定されず，運動の履歴全体に依存する。作用は有限の速度で伝播するのだから，時刻t_1に第1の物体に対して影響を及ぼすのは，独自の座標と速度を持つ現実の（時刻t_1における）第2の物体ではなく，影響がそこから出発し，時刻t_1に到達することのできる軌道上の先行地点から来た，第2の物体のある種の「イメージ」なのである。したがって，あらゆる物理量（例えば力）は，同一時刻における相対速度のみに依存することはできない。唯一の例外は，その時 $\mathbf{r} = 0$となる，点粒子の正面衝突のみである。したがって，局所的な微分方程式の代わりにもっと複雑な方程式を採用する（履歴を考慮に入れる）か，または全ての物理量の相対性というアイデアを捨てる必要がある。あらゆる現実の現象がそれより前の時刻における特性によって決定されることになるため，「当該時刻における相対速度」という概念そのものさえ不確定となる。何しろ，元来，特殊相対性理論は絶対速度を知らないのだから（特殊相対性理論が知っているのは相対速度のみである)。例えばアインシュタインは，光行差は地球とその星の相対速度に依存すると本当に考えていた（[41]，第1巻)。しかし，光行差は地球の速度にのみ依存し，星の速度はこの効果に対していかなる影響も及ぼしていないことを実験は示している。星々の速度の間のきわめて大きなばらつきにもかかわらず，地球上において光行差は全ての星について一様のものとして記録されている。相対速度はいったいどこに消えてしまったのだろうか？ 実は，既にこの事実が，特殊相対性理論の根本的な構想に対する反証になっている。最大の「手抜かり」を伴う明らかな矛盾が生じているのは，分光連星系の場合である。分光連星の公転周期は小さく，速度は大きいので，特殊相対性理論によれば，地球上の観測者にとって，それらの星は，軌道の向かい合う区間上においては，自分の反対側の位置から数十秒角だけ異なっていなければならない（例えば，地球が自分の軌道にそって運動するときの光行差)。しかし，そのような「ジャンプ」を記録したものはこれまで誰もいない。

特殊相対性理論に対する同様の反証は，磁場中のコイルという課題からも得られる。すなわち，コイルの運動が即座にコイル内で電流を誘導するのに対し，磁石の運動は（相互作用速度の有限性により）若干の時間が経過した後にのみコイル内で電流を誘導する。この課題には対称性がなく，したがって相対速度に対する依存性のみでは明らかに不十分である。

質量概念

次に，より具体的な動力学概念の問題を取り上げよう。「質量」の概念から始める。「運動する物体の質量」という新たな物理概念を特殊相対性理論にきちんとした形で導入するためには，そのような運動質量のいかなる理論からも独立した測定手順を最初に決定する必要がある。（あるいは，一般相対性理論における「重力場における物体の質量」の場合には，この理論自体の公準に反する形で，重力質量と慣性質量の違いを決定する必要がある。）しかも，決定する必要があるのは測定手順なのであって，換算手順，例えばまたもや公準として定められるエネルギーや運動量に関する公式を通じた換算手順ではない。さもないと，その理論は「自分で自分の髪をつかんで自分を引きとめようとする」ことになる。特殊相対性理論の場合はそのような測定手順は存在しない。

「質量」という物理概念は，"m"という文字が入ることのできるいかなる公式（数学）とも直接的な関係を持っていない。質量の基礎概念にとって存在するのは，唯一明確な定義，すなわち参照基準に基づく定義である。この定義は，他ならぬ静止状態にある質量を決定する（例えば，長さの参照基準に関しては，温度条件という条件も存在する）。また，「自転車を発明する［＝分かりきったことをやり直す］」ことに価値はない。"m"という文字は$\mathbf{v}, \mathbf{a}$，等々を含んでいる実に様々な公式に入ることができるとは言え，運動状態にある質量は決して定義されない。これらは別々のものなのである！ それゆえ，より定義が難しいエネルギーや運動量の概念（これらの概念は理論，解釈，系の状態，等々に依存している）を通じて質量の基礎概念を定義することは，物理学的にはナンセンスである（数学的には正確であり得るとしても）。例えば，単純な速度概念を$\mathbf{v} = \mathbf{p}c^2/E$と定義することは，「不条理の域に達する」おそれがある。測定実験を含むあらゆる実験は，その全ての実施条件が最大限正確に規定されなければならない。ところが，概して言えば，理論物理学（例えば特殊相対性理論）における「説明」や「定義」はしばしば物理学的な理解から逸脱し，物理量の本質を数学的変換（その変換自体は正確であることが多い）の陰に隠す，疑似科学的な隠蔽となっている。

質量中心概念

特殊相対性理論においては，系の構成諸部分が相互運動する場合には，「系の質量中心」といった単純な概念でさえ非一意的となる。例えば文献［33］では「質量中心のパラドックス」が検討されている。ロケットの基準系内で管内部の両端から一様な2つの砲丸が同時に発射され，即座に栓AおよびBによって管の両端が密閉される（図4.1）。古典物理学ではいかなる矛盾も生じず，任意の基準系の質量中心は常に管の中心と一致することになる。

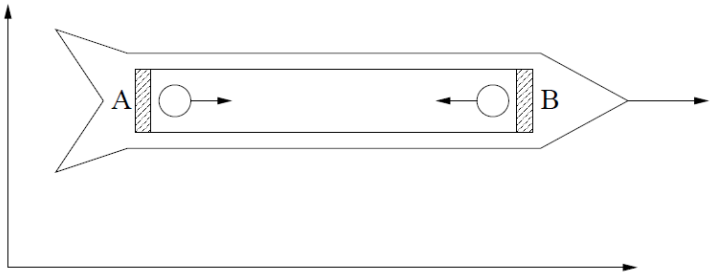


図 4.1. 砲丸の入った管の質量中心

質量中心は様々な方法，すなわち，質量中心をあるいはゼロ運動量の中心として，あるいはバリオン数（原子核内の核子の数）の中心として，あるいは物体間の引力の中心として計量し，直接計算する方法（古典物理学では質量と距離は不変量である）によって決定することができる。文献［33］では，バリオン数中心の概念は「非生産的である。なぜなら，バリオン数中心の世界線は特殊相対性理論の諸法則と無関係だからである」と言明されている（つまり，その諸法則と矛盾しているからという理由にすぎない！）。重力は特殊相対性理論には元々含まれておらず，したがって一般相対性理論に移行しなければならないはずであるが，文献［33］では，実験室系内において物体間の引力の中心と管の中央が一致すると宣言されている（しかし，ここで検討されているのは「ゼロ運動量の中心」である）。ところが，栓との1回目の衝突（実験室系内における非同時衝突）の直後からは特殊相対性理論の普遍性を断念し，（特殊相対性理論を救うための）具体的な相殺メカニズム―管内の音波および音波によるエネルギー（質量）移動―を思い出さなければならなくなる。次に，管の両端から伝播するその音波は互いに打ち消し合う。しかし，その場合には，2つの逆方向の相異なる系内における音波の相異なる速度を公準として設定しなければならなくなるのではないか？ また，管の材料と実験の幾何学的特性を変えたら，どうなるのだろうか？さらに，管が存在せず，質量がきわめて大きな栓のみが存在するとして，局所的重力測定の感度が砲丸の運動の決定を可能とするほど高かったとしたら，どうなるのだろうか？ これらの各場合に，相殺メカニズムにどう対処するのか？

上記の課題において，栓 AおよびBにおける運動量伝達，または各栓に対して平行な障害物における運動量伝達に基づいて質量（「縦質量」）を決定する場合には，質量中心のある単一の世界線が得られる。また，管底部に対する圧力（重力からの圧力，荷電した砲丸の場合は電気力からの圧力，磁石でできた砲丸の場合は磁気力からの圧力，等々）に基づいて質量を決定する場合には，その質量（「横質量」）に関して別の複数の世界線が生じる。概して言えば，特殊相対性理論においては，これら全ての世界線は相異なったものとなる。そして，ある世界線の場合はこれは無意味な（特殊相対性理論にとって非生産的な）世界線であるという公準を設定し，ある場合は矛盾を「説明」してくれる具体的なメカニズムに移行し，また別の場合は客観的特性の変化を公準として設定することが必要となる。例えば，栓がある応力で大質量の管に押さえ付けられており，その応力が，ロケットの基準系内における「相対論的質量」を持つ砲丸がぶち当たり，その栓が吹き飛ばされるときの応力より，わずかに大きな応力であるとしよう。すると，実験室系内においては，2つの砲丸のうちの一方（より大きな「相対論的質量」を持つようになった方）が栓を吹き飛ばす

ことになる。では，栓の後ろ側にいる観測者は生きているのか，それとも死んでしまったのか？ あるいは再び，特殊相対性理論を救うために，栓を押さえ付ける応力の限界は特殊相対性理論においては客観的特性ではない（基準系に依存する）という公準を定める必要があるのだろうか？ では，管の両端部の底部にトラップを取り付け，それを取り付けることにより，ロケット系内における質量（「相対論的横質量」）が，砲丸が底部に落ち込むのにわずかに足りない質量になるようにしたらどうなるのだろうか？ すると再び，実験室系内においては，2つの砲丸のうちの一方（より大きな「相対論的質量」を持つようになった方）が栓を吹き飛ばす。そして再び，特殊相対性理論を救うために，強度の閾値の変化を公準として設定するのだろうか？ 特殊相対性理論の値段―多数の客観的特性の喪失を公準として定めることの値段―は，あまりにも高すぎはしないか？ 古典物理学においてはそこでは既に全てが分かりきったことになっている，つまらない場所にひそむ問題点，疑問点，そして矛盾点が，特殊相対性理論にはあまりにも多すぎはしないか？ しかし，特殊相対性理論が質量中心概念を捨てられないのも当然である。なにしろ，「静止質量」に関する等価性$E = m_0c^2$というアインシュタインの結論は，この概念に基づいているのだから。

特殊相対性理論における諸力

特殊相対性理論は運動学においても，また動力学概念にとっても何も有益なものを与えない。その膨大な数の付加的な複雑さ全体は，ローレンツの電磁気力が速度（または，電磁気力の作用を古典的なニュートンの第二法則と整合させようとする場合は加速度）に「複雑な形で」依存していることにのみ起因している，ということになるのだろうか?! しばらくの間，本題から脱線した話をしよう。諸力はいかなる量に依存している可能性があるのか（そして一般的な立場から見て，アリストテレスとニュートンのアプローチの違いはどこにあるのか）？ 物体の相互作用は物体の状態に変化をもたらす。その変化の指標を選ぶ必要がある。アリストテレスは静止状態を基本状態とみなし，指標として物体の運動速度$\mathbf{v} = \mathbf{f}(t, \mathbf{r})$を観測することを選んだ（アリストテレスは$\mathbf{f}(t, \mathbf{r})$の大きさを，運動を引き起こす力と関連付けていた）。観想のみで満足できるのなら，$\mathbf{v} = \mathbf{f}(t, \mathbf{r})$を選べば，もうそれだけで十分事は足りる。しかし，運動の動力学の創出が試みられるようになると，ガリレイの思考実験の後，アリストテレス的な力の概念は現実と合致しないことが明らかとなった。ただし，完全に正確な見方をすると，この結論は，空虚な空間の存在に対する第一波相対論者たち―ガリレイの追随者たち―の信仰と関連付けられている（ガリレイ自身は互いに同一な諸孤立系についてのみ検討を行ったのであって，彼の「似非追随者たち」とは異なり，自らの原理を相互浸透的な基準系に適用することはしなかった）。エーテルが存在するとした場合，アリストテレス的な静止状態は局所的にエーテルと関連付けられるが，そのエーテル全体は「一様に不動」である必要はまったくなく，それどころか複雑な渦巻き運動をしている可能性がある。例えば，太陽系の渦動力学理論が存在し，この理論においては，力は平衡運動とは異なる運動の維持のためにのみ必要とされている。しかし，渦動力学についての分析はこの本の対象範囲に含まれないので，我々は現段階において一般的に受け入れられている諸命題を利用することにしよう。物体の相互作用の記述方法に関するニュートンの選択はそれとは異なっており，物体の状態変化の指標としては物体の加速度

が取られている。ニュートンの第二法則は本質的には「力」の概念の定義なのであって，関数的依存関係［functional dependency］の観点から見ると，力と加速度は次元因子（質量）にいたるまで正確に一致している。理想的には，この運動記述方法は（我々になじみのある形式では）$m\mathbf{a} = \mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \mathbf{v})$と書かれる。しかし，諸力の源泉と媒質の配置および運動が任意の場合について，例えば諸力に関する静力学的表式の知識から出発してそのような「理想的な」諸力$\mathbf{F}$のあからさまな表式を見出す問題は，今にいたるまで解決されていない。自然は我々に対し，その秘密をいつもやすやすと開示してくれるわけではない。したがって，力に関する理想的な表式の代わりに，$\mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \mathbf{v}) = \mathbf{F}_1(t, \mathbf{r}, \mathbf{v}, \dots)$として見出したものを利用する他はない。それゆえ，概して言えば，現実の諸力は実験に基づいて決定されなければならない。次のような力，

$$\mathbf{F} = const, \quad \mathbf{F} = \mathbf{F}(t), \quad \mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{r}),$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \mathbf{v}), \quad \mathbf{F} = \mathbf{F}(d^3\mathbf{r}/dt^3)$$

等々が知られており，これらがきわめて多様な形で組み合わされている。ひとまとめにした表式

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, \dots, d^3\mathbf{r}/dt^3, \dots)$$

から分かるように，2番目の導関数を含め，全ての導関数はいかなるものによっても特定されておらず，したがって自然の中で現実化している多種多様な力を決定することができるのは，実験のみである（例えば，特殊相対性理論よりもはるか前にウェーバーによって提案された公式を思い出そう。その公式では力は加速度にも依存するとされていた）。ここで我々にとって重要なのは，ローレンツ力$\mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}})$を含んでいる相対論的運動方程式は，力$\mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, \ddot{\mathbf{r}})$を含んでいる古典的なニュートンの第二法則として書き表すことが可能であるということである。ちなみに，仮に力に関する相対論的表式を信じるとすれば，選択肢として，物体の速度に対して縦方向および横方向の力の成分に関する変換を導入すること（しかし，荒唐無稽な縦質量や横質量を導入することには何の意味もない），あるいは古典的なニュートンの第二法則を$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$と書き，それと同時に力の静力学的な表式$\mathbf{F}_0$を含んでいる新たな力$\mathbf{F}$の関係式を

$$\mathbf{F} = \sqrt{1 - v^2/c^2}[\mathbf{F}_0 - \mathbf{v}(\mathbf{v}\mathbf{F}_0)/c^2]$$

と書くことができる。さらにまた，ラグランジュ関数から様々な表式を得るための諸方法が持つ能力を過大評価してはならない。この関数自体は何らかの展開が持つ精度よりも低い精度で決定され，したがってこの関数によって諸原理を決定付けることはできないからである。

特殊相対性理論においては，ある基準系から別の基準系に移行する際，諸力の変換が行われるが，これは方法論的に見てまったく理解しがたいことである。例えば，互いの間の距離が$\mathbf{r}$で絶対値が同一の2つの電荷，$+e$と$-e$について検討してみよう（図4.2）。静止した2つの電荷と関係する基準系では，両電荷の間で作用する電気力は$F = e^2/r^2$である。次に，両電荷を結ぶ直線に対して垂直に速度$\mathbf{v}'$で運動している系に含まれる，同一の電荷について検討しよう。この系では，両電荷は互いに平行に飛行する。特殊相対性理論［17,32］に

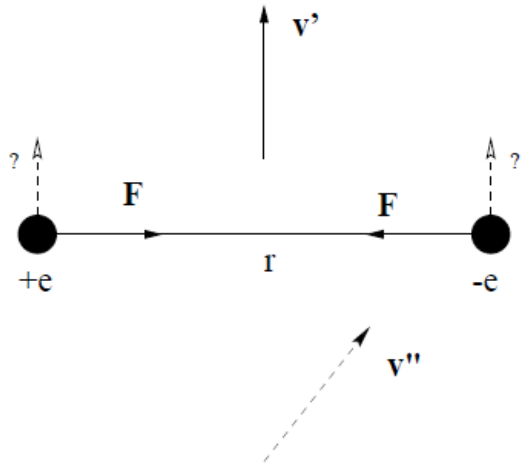


図 4.2. 平行に飛行する 2 つの電荷

よれば，今度は両電荷の間で次の力が作用する：

$$F' = Ge^2/r^2, \text{ ここで, } G = \sqrt{1 - v'^2/c^2}\,.$$

変換係数Gは，いかなる物理量と結び付けられるのだろうか？ 特殊相対性理論において，電荷は不変である。運動に対して垂直な距離rも変化しない。はたして，この理論においては，諸力はその物理量を失ってしまうのだろうか？ さらにもう1つ奇妙な点がある。観測者の速度$\mathbf{v}''$が両電荷を結ぶ直線に沿った成分を持っている場合には，両電荷に作用する力は両電荷を結ぶ直線に対して垂直な成分を持つことになるのだ（すなわち，運動の描像が本質的に変わることになる）。

非荷電物体は諸力の作用の下で荷電物体と同様にふるまわなければならない，すなわち，全ての力は一様な仕方で変換されなければならないなどというアインシュタインの意見には，まったく根拠がない。既にH.ポアンカレは，我々はある力をある物体から恣意的に「切り離し」たり，力を別の物体に恣意的に「結び付け」たりすることはできないと書いていた。ある力（例えば電気力）がある物体（荷電物体）には作用し，別の物体（非荷電物体）にはまったく作用しないのだとすれば，ましてや，全ての力が変換された場合にも速度依存性は一様でなければならないということは，自明なことではない。特殊相対性理論の枠内においてさえ，これはまったく裏付けのない，例によって例のごとき仮説なのである。諸力の変換は，唯一の特殊ケース―ローレンツ力―に対してのみは関係を持っているかもしれない。もしそうだとしても，このケースにおいても微妙なニュアンスがある。例えば，運動系に移行する際，磁気力の大きさがゼロになる可能性がある。これは，単一の力を電気力と磁気力に分けて取り扱うという暫定的な約束事の現れなのではないか？ そうだとすれば，暫定的な約束事に従って分けられた電場と磁場（および電気力と磁気力）の変換時における不変性に対して，なぜそんなに注意を集中する必要があるのか？

概して言えば，ある観測系から別の観測系への移行時における諸力の変換というアイデア自体が，実験物理学全体にとってナンセンスである。実際，動力計上のアラビア数字の表示は観測者の運動には依存しない，つまり，力を記録する動力計の示度は観測者の運動によって変化しない。力は，その力の「源」と，その力が加わる具体的な「対象」との間で作用するのであって，ここでは局外者のいかなる目の運動もまったく無関係である（つ

まり，力は源と対象の性質，およびこれらのものの相互運動のみによって決定することができる)。

特殊相対性理論におけるエネルギーと運動量

計量単位に関するコメントから始めよう。質量単位による運動量とエネルギーの表現は何も有益なものを与えることができない。それらの量は互換性がなく，それらの量の両立的な操作（および組み合わせ）の数は限られているにもかかわらず，どっちみちそれらを相異なる物理量として注意して取り扱わなければならなくなるからである。既に十分うまく整合化されている大きさの単位に混乱をもたらすことに，意味はあるのだろうか？

相対論的動力学に対する特殊相対性理論のアプローチは唯一のアプローチなのだろうか？ 決してそうではない！ 古典物理学においては，エネルギーの運動エネルギーとポテンシャルエネルギーへの区分は，かなりの程度まで暫定的な約束事とすることができる。例えば統計物理学では非慣性回転系における運動を記述する際，系の平均運動（！）エネルギーを事実上ポテンシャルエネルギーに分類している。すなわち，$v_\varphi = \Omega\rho$から$E = m\Omega^2\rho^2/2$が形成されている。流体力学にもう1つ別の教訓的な例がある。この例では，媒質中を進む物体の運動を記述するために付加質量（「有効質量」）という概念が導入されている。この場合，真の質量が変化していないことは明らかである。それとまったく同様に，相対論的力学においても，加速度への新たな「速度」の付加を物体のポテンシャルエネルギーと関連付けてとらえることが可能であり，一方，物体の運動エネルギーは不変のままとして，古典的なニュートン方程式，ただし別の「有効力」と不変質量m_0を持つ方程式について検討することが可能である。

特殊相対性理論は4元ベクトルを導入することが重要かつ不可欠であると主張しているにもかかわらず，相互作用する3つの粒子の場合でさえ，その表式

$$E = \sum_i m^{(i)} c^2 \gamma^{(i)},\ \mathbf{P} = \sum_i m^{(i)} \mathbf{v}^{(i)} \gamma^{(i)},\ \text{ここで，}\ \gamma^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{1 - v_i^2/c^2}}$$

は4元ベクトルをなしておらず，保存されない。粒子相互作用のポテンシャルエネルギーの導入もまた，困難を引き起こしている。まさかとは思うが，特殊相対性理論とは二体理論なのではあるまいか？ 言明されている普遍性はいったいどこにあるのか？ 相互作用粒子系に関してラグランジュ関数やハミルトン関数を構築する際にも同様の困難が生じる。

古典的エネルギーへの極限移行も矛盾している。$c \to \infty$といった移行の条件については既に述べた。しかし，この場合，特殊相対性理論においては，静止エネルギーだけでなく，任意のエネルギーが$E = \infty$となってしまう。$\mathbf{P} = m(d\mathbf{r}/d\tau)$の形での相対論的運動量の表式［26］も論理的一貫性を欠いている。$d\mathbf{r}$が静止基準系に属する量であるのに対し，$d\tau$は運動系（運動する物体）に属する量であるからである。

多数量についての低速度への極限移行は一連の問題を生じさせる。一致の原理によれば，相互作用伝達速度が無限大と想定されている場合には，全ての公式はニュートン形式に移行しなければならない（例えば，ラグランジュ関数，作用，エネルギー，ハミルトン関数，等々)。しかし，我々はそれがそうなっていないことを文献［17］に見る。すなわち，4元

速度は4つの数の組み合わせ（$1,0,0,0$）に移行し，何ものも意味しなくなる； 4元加速度も同様である； 間隔$S\to\infty$および量dSは極限移行の順序に依存する； 4元力の成分はゼロの組み合わせに向かって変化していく，等々。このことは，上に挙げた全ての相対論的な量と表式が独立した物理的意味を持ち得ないことをまざまざと示している。

マクスウェル方程式

次の短いコメントは，マクスウェル方程式（現在一般に採用されている形のもの）に関するものである。マクスウェル方程式は低速度における経験的事実を現象論的に総括することによって得られた（その際には流体力学とのアナロジーが使われた）ということを思い出そう。したがって，それらの方程式が最終的な形で解明され尽くされていると期待してはならない。マクスウェル方程式（あるいは波動方程式）が位相速度を決定しているのに対し，相対性理論には最大信号速度（群速度）に対する「野望」がある。実際には，我々は常に具体的な光を相手にしている。それゆえ，この事実が何らかのインデックスによって表示されなければならない。すなわち，cの代わりにパラメーター依存性$c(\omega)$が書かれなければならず，波動方程式はフーリエ高調波に関する方程式となる。現代の相対論擁護者たちは視覚的明瞭性，また光伝播媒質モデルの原理的必要性を放棄しているため，非単色光の場合における「絶対真空」に関してさえ，マクスウェル方程式の各種方法による一般化が向かう方向は非一意的となりつつある。現実の非線形媒質（「分子間真空」の性質，分子による光の吸収および再放射のメカニズム，等々を含んでいる媒質）に関しては，もはや言うまでもない。そのような一般化は物理的原理抜きに，純粋に数学上の思惑に従って好きなだけ導入することが可能であるから，それらの一般化は全て対等となる。座標変換および時間変換に対するマクスウェル方程式の不変性に関する要件はきわめてあやふやである。なぜなら，これらの変換のために様々な場や方程式を多数の方法によって導入することが可能であり，その導入に際しては，ただ単に，測定対象となるそれらの場の作用が，実験において現実に観測される値と一致しさえすればよいからである。例えば，文献［81］においては，マクスウェル方程式を時間について不変のまま保存するような場の非局所的変換が存在することが示されている。一方，文献［14］においては，場について一定の変換がなされたとき，場の方程式がガリレイ変換に対して不変となるような仕方で非線形的変換および非局所的変換を導入することが可能であることが示されている。共形変換に対するマクスウェル方程式の不変性も知られている［163］。

歴史について少々。マクスウェル方程式（および波動方程式）の最初の不変変換を見出したのはW.フォークト［Woldemar Voigt］であった［172］。それは次のようなものであった：

$$x'=x-vt,\quad y'=y/Q(v),\quad z'=z/Q(v),\quad t'=t-xv/c^2;$$

$$Q=\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

現在の形式のローレンツ変換はJ.ラーモア（『エーテルと物質*』, 1900），そしてそれより後にH.ローレンツおよびH.ポアンカレによって導出された。最初，それは次の形を持っていた：

$$x' = \eta(v)Q(v)(x - vt), \quad y' = \eta(v)y, \quad z' = \eta(v)z,$$

$$t' = \eta(v)Q(v)(t - xv/c^2).$$

ここで$\eta(v)$は任意の速度関数である。しかしその後，H.ローレンツおよびA.アインシュタインは, 正変換と逆変換の逐次適用は何も変えないなどと判断し（では, そうだとすれば, それに続いて生じる双子のパラドックスをめぐる「論理」はいったいどうするのか?!），これらの判断から出発して，$\eta(v)\,\eta(-v) = 1$を恣意的に$\eta(v) = \eta(-v) = 1$と同一視した。ここには選択の一意性はない。例えば，[162] の著者はそれより論理的な選択を行っている : もしあなたが参照基準として固定されていない物差しおよび時間の進行，また光の特性，すなわち$L(v)$および $t(v)$を採用するのなら，ドップラー効果によるそれらの変化を考慮する必要がある。彼は

$$\eta(v) = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

を選択し，その結果，次式を得ている：

$$\eta(v)Q(v) = \frac{1}{1 - v/c}.$$

これは純粋に古典的な因子である！ 第1に，この因子は速度の符号（我々が接近していくのか，それとも遠ざかっていくのか）に依存している。そして第2に，有効力の弱化を考慮している。我々が作用の源から遠ざかりつつあり，我々の速度がその（電磁）作用の伝達速度に近い場合には，このことは既に常識から見て自明でなければならない！ それゆえ，マクスウェル方程式の不変性には，いかなる一意性もまったくない！

場に関して一般に採用されている変換が方法論的に誤っていることを示そう。無限に長い無電荷の2本の平行導線があるとしよう。両方の導線中において，正電荷を持つ骨組みに対して一定の速度で，電子が1方向に運動している，すなわち，電流密度 **j**は同一であるとしよう。このとき，古典的場合には，場についての表式中の量

$$jdV = en(v_+ - v_-)dV$$

は不変量である。すなわち，場$H_\perp$およびこの場の作用は系の運動速度に依存しない。相対論的な検討の場合には（$\mathbf{E} = 0$であるから），

$$H_\perp = \frac{H_\perp^0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

が得られる。すなわち，場は観測者の運動速度に依存する。しかし，次の2つの場合は明らかに対等である。

（1）速度$\mathbf{v}_{obs} = 0$の系，すなわち観測者が骨組みに対して静止しており，電子が速度**v**で運動している場合。

（2）系が速度$\mathbf{v}_{obs} = \mathbf{v}$で運動している，すなわち観測者が電子に対して静止しており，骨組み（陽イオン）が逆方向に速度$-\mathbf{v}$で運動している場合（同一の電流）。相対論の公式はこれらの場合について$H_\perp$（および場の作用）の相異なる値を与えるが，これは不条理である。それだけでなく，非中性流（例えば荷電粒子流）を伴う3次元の状況の場合，ある慣

性系から別の慣性系への移行についての特殊相対性理論の記述は完全に矛盾している。

次に，特殊相対性理論で広く喧伝されている，マクスウェル方程式の不変性に関する「原理的」な問題について吟味しよう。教科書［32］では，次の4つの微分形式の方程式が電気力学の基本方程式系に含められている：

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \frac{4\pi}{c}\mathbf{j} + \frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t},$$

$$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t},$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{D} = 4\pi\rho,$$

$$\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0.$$

しかし，座標形式での8つの方程式のこの系は，（全ての成分を考慮に入れた）16個の量 $\mathbf{E}, \mathbf{D}, \mathbf{B}, \mathbf{H}, \mathbf{j}$ および ρ を決定するためには明らかに不十分である。これらの方程式に，さらに媒質の特性も導入する必要がある。非線形，非一様で非等方的な媒質の存在を考慮すると，一般的な形でこれを行うことは可能とは思われない。一定の限度内において行うことが可能なのは，線形従属に関する個別的なモデル的理解，すなわち

$$\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E},$$

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H},$$

$$\mathbf{j} = \lambda\mathbf{E}$$

を導入し，媒質を特徴付ける3つの新たな未知関数 $\varepsilon, \mu, \lambda$（または，モデル的課題の場合は定数）を含んでいる，さらに9つの方程式を追加することに限られる。最後に挙げた3つの方程式の共通の不変性については，話題にすることすらできない。例えば，強磁性体や強誘電体の存在を思い出そう。これらの場合にはヒステリシス現象が見られる。すなわち，過程の進行はその履歴に依存している。これら場合には，そもそも，その挙動を微分方程式で記述することはできない。完全方程式系のうちの一部分の不変性のみに基づいて，「特殊相対性理論のシャボン玉を膨らませ」てもよいのだろうか？ 例えば，任意の方程式から恣意的な断片を分離し，それらの被加数の不変性を悪用することは可能だとしても，明らかにノーである！ それだけでなく，ローレンツ変換（双曲的回転）は角度と角度の間の相関関係を変化させるので，運動基準系同士の間での移行に際しては，複雑な境界の形状の変化が考慮されなければならない。このように，任意の媒質中のマクスウェルの完全方程式系は，どの一つの物理的変換に対しても不変とはなり得ない。

最初の4つの方程式は，真空中の場について考察を行う際に限り，独立した関心を引く可能性がある。しかし，真空中のマクスウェル方程式のローレンツ変換に対する不変性は，それ以外の諸現象に関してはまったく何も意味していない。第1に，マクスウェル方程式は空虚な空間中における場に関する方程式である。そのような空間においては，我々は線分の半分を切り取り，それを2倍に拡大し，元と同じ線分を得ることができる。それゆえ，空

虚な数学的空間においては，任意の基準系，任意の無矛盾な幾何学，あるいは任意の換算係数を利用することが可能である。これは，数学的記述の便宜のみに基づいて決定することができる。しかし，我々は生きている有機体を切断し，それを顕微鏡下で2倍に拡大することは決してできない―有機体は死んでしまうからだ。空間中における現実の物理的な物体と場の存在は，自然な基準点，固有のスケール，および対象物の間の相互関係を指定する。これら全体が，現実の物理的空間と空虚な数学的空間との違いを決定付ける。第2に，いくつかの種類の相互作用が持つ，真空中を光速度で伝播するという性質は，相互作用の媒質中における伝播速度を決定しない。電磁相互作用が果たしている大きな役割にもかかわらず，媒質中における擾乱は音速で伝播する。(我々の「電磁的」世界の場合には）真空中における定数である定数 cのみに基づいて気体，液体および固体中における音速や光速度を決定することはできない。等方的な空間の中で現実の固体の異方性がどのようにして生じ得るのかは，明らかではない。これらの性質，またその他数多くの性質全ては，真空中のマクスウェル方程式の適用可能範囲を超えている（特殊相対性理論はと言えば，真空中における点状閃光の球対称性を，物質である物体や媒質の全ての性質に対してクローン化することを提案している)。したがって，世界全体の諸性質を真空中のマクスウェル方程式の不変性に合わせてつじつま合わせすること，―それは，特殊相対性理論のあまりにも過大な要求である。第3に，その作用という点で単一なものである場の電気的部分と磁気的部分への分割は，かなり暫定的な約束事であり，著しく恣意的である。それゆえ，これらの人為的に分離された諸部分の不変性は，決定的な意義を持ち得ない。係数ρ, ϵ, μ（座標，時間，光の性質，等々に依存している係数）の存在は，媒質中のマクスウェル方程式の場合，それらの方程式をローレンツ変換に対して非不変なものとしている（あるいは，ここでも再び，媒質が持つ特性の客観性を否定しなければならなくなる)。

重要なコメント。マクスウェル方程式それ自体は，導入された諸場の諸特性の物理学的測定方法が示された後に初めて，物理学的な意味を獲得することができる。今日までのところ，そのような「閉じた方程式」となっているのは，ローレンツ力の下における荷電粒子の運動方程式である。ローレンツ力は，様々な時代の全てを通じて電磁力として唯一のものであったわけではないということを思い出そう。電磁力の最も有名な表式としては，アンペール力，ウェーバー力その他多数の表式があった。もし現代電気力学が自己整合的なものであるとすれば，電場・磁場はそれらの力の作用によって発現するのだから，電磁力の表式は，人為的に導入されるのではなく，マクスウェル方程式から導出されなければならないはずである。そのような表式が［149］［英訳版あり］において得られたが，その表式はローレンツ力の表式とは異なったものになっている。ローレンツ力に関する表式を，電磁力として原理的に厳密で無矛盾とみなすことはできるだろうか？ 明らかにノーである！ 現代電気力学の成果は周知のとおりではあるが，いくつかの批判すべき側面にも留意する必要がある［140］［邦訳版あり］。第1に，現代電気力学においてさえも放射の反作用が補足的に導入されているが，この放射の反作用は無意味な電荷の自己加速をもたらす(この自己加速は，電場・磁場の大きさに条件を課する方法を用いた，公準的な仕方でしか制限することができない)。第2に，量子力学［139］［邦訳版あり］の誕生それ自体が，ローレンツ力は原子スケールにおける電荷の挙動を適切に記述していないことを物語っている。第3に，粒子ドリフトという有名な現象にとって，ドリフト速度

$$\mathbf{v} = c\frac{[\mathbf{E}\times\mathbf{H}]}{H^2}$$

が電荷，質量および電場・磁場の大きさ自体には依存せず，電場と磁場の比E/Hにのみ依存しているということは，いささか奇妙である。このように，現代電気力学の微分方程式系およびその考え方は原理的に厳密で完全に自己整合的であって，物理学の他の諸分野に対して制限を加え得るだけの能力を持っていると，みなすことはできない。

補足コメント

古典物理学では全ての概念が明確に定義された意味を持っており，その概念を代用品にすり替えることはできない。相対論者たちが自分たちの新たな概念（より正確には記号の組み合わせ）のために別の名称を思いついたとしよう。慣性中心の座標についての相対論的定義［17］，すなわち

$$\mathbf{R} = \frac{\sum E\mathbf{r}}{\sum E}$$

は物理的意味を持たない。なぜなら，特殊相対性理論においては，同一の運動粒子系の慣性中心は相異なる基準系では相異なったものとなるからである。すなわち，その慣性中心は平衡の中心というその機能的用途を果たすことができないのである。大質量の平箱があり，その中でいくつかの大質量の小球が運動しているとしよう。 古典的場合において，系全体の慣性中心が小球の運動と衝突の過程で常に平箱の中心と一致しているとしよう。すると，古典的場合には，我々は（例えば，地球の重力場あるいはそれ以外の場の中において）慣性中心を断面が小さな支えの上で均衡させることができ（図4.3），平衡が保たれる。特殊相対性理論においてはこれとは逆に，我々が高速で運動する相対論的ロケットからこの系を見ただけで，慣性中心は支えの上以外のところに移る可能性があり，平衡が乱される。特殊相対性理論の素晴らしい客観性：制御熱核融合におけるプラズマの平衡を乱さないようにするため，飛行したり，実験を覗き見たりしないよう，相対論的ロケットの皆様にお願い申し上げます（なぜ核融合炉がとてつもなく鈍重な「ブラックホール」になってしまったのか，その理由がついに明らかになった。—熱核融合炉の周りで，あらゆるものが飛び回ったからだ！）。

質量とエネルギーの相対論的関係は, 実は, 原理的に重要な事柄を何も反映していない。

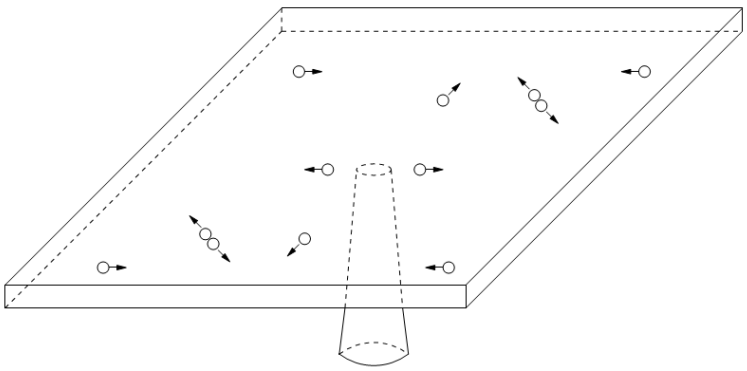


図 4.3. 系の慣性中心と平衡

実際，運動エネルギーの古典的表式

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

と，相対論的表式

$$E = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1\right)$$

は本質的な点では（質的には）何らの違いもない。これらの量はいずれも計算値である。これらの量を測定する試み（すなわち計測器の校正）は理論の解釈に依存する。これらの値は参照基準との比較によって決定することができないからである。エネルギーの相対論的表式

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

には質量だけでなく，それ以外の量が含まれているため，質量とエネルギーは，両者の相互関係があり得るいかなる形を取った場合にも，多様な値（不等価な値，独立した値）であり続ける。いわゆる「静止エネルギー」$E = mc^2$の場合でさえ，質量とエネルギーの相互変換は議論の対象にすらなり得ない。ここで重要な点は，（この種の過程の唯一の候補である）消滅に伴って光子が生成するが，特殊相対性理論ではその光子に関して，同一の公式に基づいて「運動質量」が公準として設定されていることである。したがってこの場合にも，議論の対象となるのは単なる粒子の相互変換なのである。「静止エネルギーは特殊相対性理論のみの仮説である」という主張については，もはや何も言う必要はない。なぜなら，特殊相対性理論は，古典物理学におけるのと同一の不確定な定数に全てを帰着させているからである。

特殊相対性理論の枠内において，公式$E = mc^2$が不変ではないことにも注意を払おう。質量は不変であり，光速度も不変である。しかし，エネルギーは4元ベクトルである。物体を構成する，様々な速度$\mathbf{v}_i$で運動する分子の運動エネルギーを物体のエネルギーに含ませようとする場合，運動系に移行したとき，それらの速度は統一体としての物体の速度と様々な仕方で合成される。その結果，相互関係は損なわれ，新たな系において，この公式は「文字E」なるものの単なる相対論的定義にすぎなくなってしまう。

特殊相対性理論は，原理的な立場に立って「風車と戦おう」と試みている（例えば，絶対的剛体の概念と）。しかし，古典物理学においては，絶対的剛体という抽象物に文字どおりの意味を込めようとする者は誰もいない。完全に非相対論的な速度においてさえ絶対的剛体は存在しないことは，誰にとっても分かりきったことである（この問題について考える際は，道路上での自動車同士の普通の衝突を思い出した上で，加速度の役割，より正確には力の役割に注意を向けよう）。絶対的剛体という抽象物が利用されるのは，ある運動を記述する際に，検討されている現象にとって変形が無視し得るほど小さい，あるいは本質的な重要性を持たない場合，また，数学的計算の単純化を目的とした場合に限られる。特殊相対性理論は原理として素粒子を点粒子とみなしており［17］，そのため，ただちに別の原理的問題――連の量の特異性という問題―に突き当たっている。

さて，今度は直接，相対論的動力学（衝突理論および荷電粒子の運動法則）に関するコメントに話を進めよう。

4.3. 相対論的動力学の一般的解釈に対する批判

まず最初に，誤解が生じないようにするため，相対論的力学についていくつかのコメントをしよう。第1に，運動法則（最終的な観測結果）を実験精度で裏付けたとしても，そのことは，その結果への到達を可能とした全ての方法の正しさの証明や正当化の根拠には決してなり得ない。科学理論においては，最終結果であれ，出発命題（前提），中間考察および計算であれ，これらはそれ自体において正しくなければならないのである！ 第2に，特殊相対性理論の基本命題が誤りであるということからは，現実の粒子運動を記述するためには静力学的な力を含んでいる古典力学に回帰すべきであるという結論は導き出されない。これら2つはまったく無関係な理論である。古典力学はモデル理論である。すなわち，古典力学は，物体は絶対的に剛性であること，2つの質点（事実上，その半径が極限においてゼロに向かっていく2つの絶対的に剛性な弾性小球）の衝突は絶対的に弾性であること，運動エネルギーと運動量は統一体としての物体の運動内に完全に集中しており，両者の交換は瞬間的に生じることを仮定している。古典力学と相対性理論のいずれにおいても，衝突する粒子の内部における諸過程は検討されていない。また，高速度において現れる追加的な問題は，相互作用伝達速度の有限性の考慮という問題のみである。

言うまでもなく，相互作用の伝達・伝播時間の有限性の考慮は，現実に観測される粒子運動を変化させる。例えば有効質量（より正確には有効力）に関して，速度に対する諸量の依存性という付加的な依存性が現れる。定性的には，このことは次の基本的な力学モデルに基づいて理解することができる。1次元の場合について検討しよう。放出源が絶え間なくかつ均等に一様な粒子を放出し，それらの粒子はある直線に沿ってある等速度v_1で飛行するとしよう。静止している試験質量を直線上のどの場所においても，試験質量に対しては一定の圧力（飛来して衝突する粒子からの圧力）が作用することになる。試験質量が放出源から離れていく方向に速度Vで運動できるようにした場合には，試験質量に到達する単位時間当たりの粒子数は減少することになる。到達速度Vのときのその影響を考慮に入れた因子は次のようになる：

$$\frac{1}{1-V/v_1}$$

これは，運動時における有効力の減少，または有効質量の増加として解釈することができる。この効果はあらゆる近似分解なしの厳密な量である！ この量は速度Vおよびv_1のきわめて幅広い範囲内で実験的に測定することができる。相対性理論がこれとはまったく別の効果（まったく別の原因に起因する効果）を自らのものとして要求している以上，初めのうち，この至る所で観測される「力学的」効果を考慮し，この量の相対論的変化の全体を説明するのではなく，観測される変化と上記の古典的効果との差のみ（！）を説明する必要があるように思える。それゆえ，ここでは相対論者たちが「少し欲張りすぎて，余計なものを強奪してしまった」ことは明らかである。自由な試験物体がそれらの粒子の作用に

よって加速する時の極限$V \to v_1$において，この力学的実験における有効質量は無限大に向かっていく（より正確に言えば，有効力がゼロに向かっていく）。

自明のことだが，この古典的力学モデルから定量的依存関係を導き出してはならない。なぜなら，衝突自体を絶対的に弾性的で瞬間的なものとみなしてはならないからである。ここでは，電子の動力学（$m_\perp$および$m_{||}$）を記述するローレンツの古典的モデル（可変形球）が存在することに注意を促すにとどめよう。古典的な粒子運動方程式は，非局所性あるいは非線形性に準拠した路線［14,15,81］に従って得ることも可能である。相対論的効果は，有効電荷の変化を想定した路線に従って得ることもできる。力学の発展路線のあり得る全ての代替案についての分析およびその選択は本書の範囲外である。

次に，相対論的動力学そのものに話を進めよう。特殊相対性理論は加速度，そして概して粒子動力学の考察という点でまったく支離滅裂である。特殊相対性理論がそこから導き出されるローレンツ変換は，物体の加速度に制約条件を与えることができず，したがって加速度系の研究にとって必要とされる制約条件を与えることができない。しかし，この場合における特殊相対性理論と実験の不一致は，あまりにも顕著になりすぎたようである。それゆえ，特殊相対性理論は，加速度（非慣性）系の研究は一般相対性理論の専管事項であると宣言する。ところが，この宣言を順次適用すると，特殊相対性理論にはローレンツ変換それ自体と速度合成則（すなわち運動学の一部分）しか残らなくなってしまう。特殊相対性理論の意義を高めるために，この理論ではまず最初に形式的・数学的な形で4元加速度の計算が行われ，次に相対論的動力学の方程式が形式的に「導出」される。しかし，諸力の変換に対してはいったいどうやって対処するのか？ この場合には，自らの宣言とは裏腹に，ある加速粒子（$v \neq 0$のとき）を「別の」加速粒子（$v = 0$のとき）に変換しなければならなくなる。電磁場の変換もまた，言明されている自己制約条件と矛盾している。なぜなら，一般に受け入れられている仕方で導入された電磁場は電磁力の作用しか反映しておらず（力の場的なアプローチ），それ以上のものは何も反映していない。特殊相対性理論と一般相対性理論のアプローチの等価性を示せば，それによって理論の「意義」を高めることができるように思えるかもしれない。しかし，一連の課題において，特殊相対性理論と一般相対性理論の適用は，それぞれ相異なる定量的結果をもたらしている。これらの不一致が，これらの相対性理論のうちいずれか一方（より正確には両方）を犠牲にする必要性をもたらしている。

特殊相対性理論における保存則の立証可能性について

核物理学や素粒子物理学による特殊相対性理論の立証は，相対論者たちが提示しているように一意的であるとはとても言えない。ある1つの方程式は，物理量の間のたかだか1つの依存関係のみによって検証することはできないことに注意しよう（ポアンカレを思い出そう）。検証に際しては，その方程式に含まれる全ての物理量が事前に独立した方法で決定されなければならない。さもなければ，それは法則ではなく，ある非測定量の公準的な定義になってしまう。相対論的保存則は立証され得るのだろうか？ 新たな粒子の性質がただ単に公準として定められているにすぎない場合がしばしばある。例えば，中性粒子の生成あるいは関与が検出されると，常にその性質の公準化が行われる。もしかしたら，粒子

の種類がこんなに沢山増えたのは，まさにこのことが理由（「裸の王様」の衣装をカモフラージュするため）なのではなかろうか？ 文献［33］において特殊相対性理論の「様々な可能性」をデモンストレーションする目的で詳しく吟味されている，次の反応について検討しよう：

$$H^2\text{（高速）}+H^2\text{（静止）}\rightarrow H^1+H^3.$$

このような「デモ用」の反応の場合でさえ（ここでは，全ての量が既に測定済みであり，また, 全ての均衡が取れているはずであると思われるかもしれないが), 次のことが分かる。

1) 関与する全ての粒子の運動エネルギーを測定することは不可能であり，したがってエネルギー保存則は検証されていない。

2) エネルギー–運動量の完全な均衡には特殊相対性理論のいくつかの方程式が関与しているが，それらの（a prioriな）方程式はいまだに検証されていない（その結果，検証されるべき量が，ただ単に公準として設定されているにすぎない)。

3) 運動量の均衡の表式において，運動量が方向別に人為的に区分されなければならないようになっているが，区分された諸粒子が相互作用の同一の個別過程に属しているという保証は存在しない（そして，生成場所別および生成時刻別の区分はまだなされていない)。

4）粒子散乱角の公差も存在せず，このことが文献［33］に掲げられている相対精度$2\cdot 10^{-6}$に疑念を抱かせる（何しろ，重陽子のエネルギーでさえ相対精度10^{-3}（！）でしか測定されていないのだ)。

5）任意の衝突の過程そのものが，特に，粒子散乱角が大きな場合，そのまま直接荷電粒子の加速度運動とされている。したがって現代的な理解によれば，何らかの放射が常に観測されるはずである。しかし，γ量子の直接的記録の場合を除き，発生する場のエネルギーおよび運動量の計算はどこにも見当たらない。このように，保存則における均衡は未検証である。ただ単に，独立した仕方での測定が行われていない諸量に対し，特殊相対性理論に矛盾を生じさせないような値が与えられている（公準として設定されている）にすぎない。そして，特殊相対性理論はこの公準化の途切れのない連鎖を無限に続けようと試みているのである。

いくつかの相対論的解とそこからの帰結

諸力の変換のパラドックスについて検討しよう。静止している2つの異なる電荷e_1とe_2があり，これらの電荷は互いの間の距離がLの2つの平行平面によって分離されているとする（図4.4)。互いの間に働く引力の結果，これらの電荷は互いの間の最小距離 Lのところにある。（これらの電荷は平面系に対して一様な平衡状態にある。）各電荷の下の平面上に目印を付けるか，あるいは各電荷の隣りに観測者を配置しよう。次に，速度$\mathbf{v}$で運動する相対論的ロケットからこの電荷系を観測しよう。ベクトル$\mathbf{v}$とベクトル$\mathbf{L}$の間の角度をθとする。これらの電荷の間に働く電磁力をロケットの基準系内で測定しつつ［17］, 力の接線成分，すなわち各平面に沿った力の成分に関心を払おう。電荷e_1に対しては次の力が作用する：

$$F_\tau=\frac{e_1e_2(1-v^2/c^2)(v^2/c^2)\sin\theta\cos\theta}{L^2(1-v^2\sin^2\theta/c^2)^{3/2}}\neq 0. \tag{4.1}$$

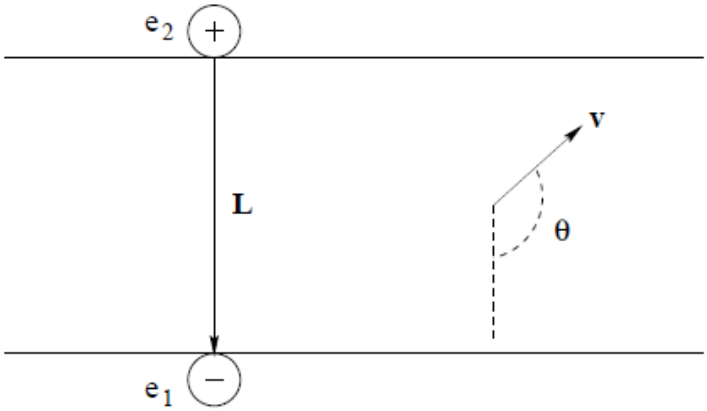


図 4.4. 諸力の変換のパラドックス

したがって，これらの電荷はそれぞれの初期位置から転位する。2つの小球が大きな電荷を持ち，Lが小さくなっていき（$L \to 0$），vが大きくなっていく（$v \to c$）としよう。各観測者に小球を細い糸で保持させる。糸は切れるだろうか？ 答えは観測系に依存する。いったい，2人の観測者のうちどっちが正しいのか？ こうして，特殊相対性理論のお定まりの矛盾に帰着する。

今度はいくつかの個別的な課題について検討しよう。一様な定常電場$E_x = E$における電荷e，質量m_0の粒子の運動の記述（［34］参照）は方法論的にパラドキシカルである。実際，古典物理学においては，$v_y = v_0$のときの軌道は放物線となる：

$$x = eEy^2/(2m_0v_0^2).$$

一方，特殊相対性理論においては，その軌道は鎖線となる：

$$x = \frac{m_0c^2}{eE}\left(\cosh\left[\frac{eEy}{m_0v_0c}\right] - 1\right).$$

しかし，yが大きい場合には，相対論による軌道は指数曲線に近い，すなわち，放物線よりも勾配が急である。では，この場合には，速度の増加に伴う慣性（質量）の増加というアイデアと，いったいどうやって折り合いをつけるのだろうか？ 仮に，多少大きな勾配にもかかわらず，粒子は軌道に沿ってよりゆっくりと運動するとみなすことにしたとしても，では，粒子はy軸方向について，いかなる力によって減速したのだろうか？ なにしろ，その力は$F_y = 0$であって，この力は特殊相対性理論においても$F_y' = 0$とはならない。しかも，初期速度$v_y = v_0$は非相対論的であってもよい（そしてこのままの形を保つ）。

相対論的ロケットについてのエネルギーの均衡［33］

$$m\cosh\theta + M_2\cosh(d\theta) = M_1$$

は奇妙である。初期質量の有限値をM_1，最終質量の有限値をM_2としたとき，放出速度［ロケットからの推進剤の放出速度］が大きい場合には（$\theta = \tanh(v/c)$），個々の放出分の質量$m \to 0$という条件が満たされなければならない（特殊相対性理論に矛盾を生じさせないために）。しかし，この量はロケットの装置の構造のみによって決定されるものであり，原理的な制限は存在しない。

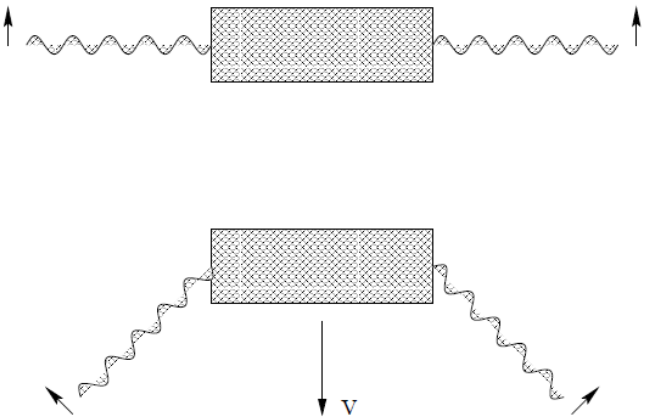


図 4.5. 公式$E = mc^2$の導出のための図

アインシュタインの結論の1つである関係式$E = mc^2$は根拠が不十分である。この結論において， 2つの対称な光の運動量の物体による吸収過程は互いに対して運動している2人の観測者の視点から検討されている。第1の観測者は物体に対して静止しており，第2の観測者は光に対して垂直に運動している（図4.5）。特殊相対性理論においては，光は，他ならぬ速度vを持っている観測者の運動を事前に知っていなければならず，また，この第2の系において物体の速度は変化せずに，その質量のみが変化するような仕方で運動量を獲得しなければならないという結論が得られる。光によって運動量が伝達されたとき，他ならぬ物体の観測速度が変化したという，光圧に関するレベデフ［Pyotr Nikolaevich Lebedev］の実験（および現在一般に受け入れられている理解）に対して，いったいどう対処するべきなのだろうか？ また，もし絶対的な吸収性を持つ，でこぼこな（斜めに傾いた）表面があるとしたら，運動量には何が生じるのだろうか？ 我々が相手にしているのは現実の横波である光（今日一般に受け入れられており，特殊相対性理論においても受け入れられているモデル）であるのか，それとも神秘的な縦横波である光（特殊相対性理論を救済するための光）であるのかも，引用した図からは分からない。

次式に見られるように，特殊相対性理論の最新バージョンにおいて，系の運動量に応じて総放射量の質量に違いが生じるとされているのは，きわめて奇妙である：

$$m = \sqrt{\frac{(E_1 + E_2)^2}{c^4} - \frac{(\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)^2}{c^2}}. \tag{4.2}$$

鏡を使って個々の光子の運動量（方向）を変化させたら，どうなるのだろうか？ ここで，系の重力中心を決定してみよう。重力中心の位置はどこに特定されることになるのか？ また，重力中心の近傍における場の構造はどのようなものになるのか？ まさか，その重力中心は跳躍し，消滅した後，再び出現することになるのか？ 任意の角度で散乱する2つの光子の総放射量の質量を決定するために上記の特殊相対性理論の公式（4.2）を利用し，1つの中心から様々な方向に分散する放射（図4.6）について検討してみよう。すると，光子の1対ずつの組み合わせ方に応じて，系全体の総質量の様々な値を得ることができる（総質量のあり得る全てのバリアントを「説明」するためには，負の質量も人為的に導入しなけれ

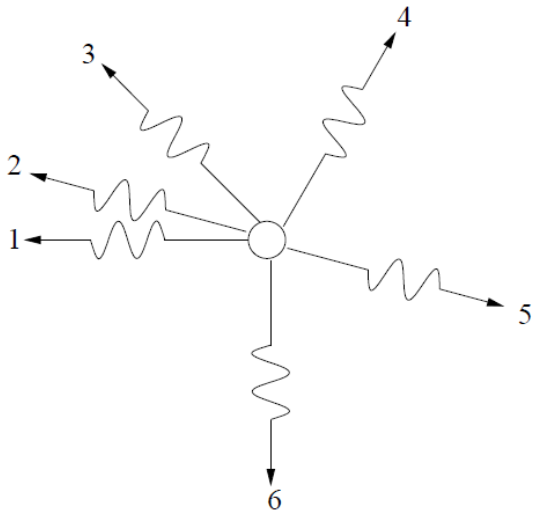


図 4.6. 光子の組み合わせの質量

ばならなくなるのではないか？） ところで，一般相対性理論においては，放射の重力 中心の位置を特定するためには放射発生の履歴を考慮する必要があり，また，まったく別の現象である重力を正しく記述するためには電磁場の未知の時空構造全体を考慮しなければならない。無限の複雑化だ！ この全てはいったい何のためなのか?!

スピンとトーマス歳差

相対論者たちは，特殊相対性理論と比べたとき，ニュートン力学には記述されていない何かがあると常に強調している。例えば文献［33］は，いわゆるトーマス歳差（「同時性の相対性」の現れとしての，特殊相対性理論における棒の方向転換効果）について検討し，ニュートン力学においてはジャイロスコープは常にその方位を保つと主張している。しかし，量子力学によって知られているように，電子のスピン磁気モーメントは常に軌道磁気モーメントの方向と同じ方向，または逆の方向を向いている。すなわち，この場合，そのスピン磁気モーメントは軌道面（および電子の速度！）に対して垂直である。そしてこの一般に受け入れられている場合において，ニュートン力学と特殊相対性理論のいずれもが，ジャイロスコープの方向を軌道面に対して垂直な方向に保つ。それゆえ，文献［33］に描かれている変化するスピンの方向は，現実と合致していない（図4.7）。もしそれでもなお，電子のスピン方位が傾いていると想定した上で，我々が検討している対象は単なるジャイロスコープ（回転する小球）ではなく，磁気モーメントを持った荷電粒子であることを思い出すというのであれば，その場合は荷電核の磁場における諸力の作用の下で電子スピンの歳差運動が観測されることになり，その歳差運動は古典的な仕方で記述することが可能である（そもそも，微視的世界の諸対象がそれを行うことを可能としてくれる限りにおいて）。この現象を（特殊相対性理論による解釈抜きで）古典的に記述するためには，スピンおよび磁気モーメントの方位を含め，原子の全てのパラメーターを知る必要がある。しかも，古典的な場合には，核磁気モーメントが軌道に対して垂直でないならば（かつ核も歳差運動をすることができるならば），電子のスピン方位が軌道に対して垂直な場合にも，歳差運動は生じ得る。現実の多体問題においては，全ての軌道，全ての歳差運動，すべての

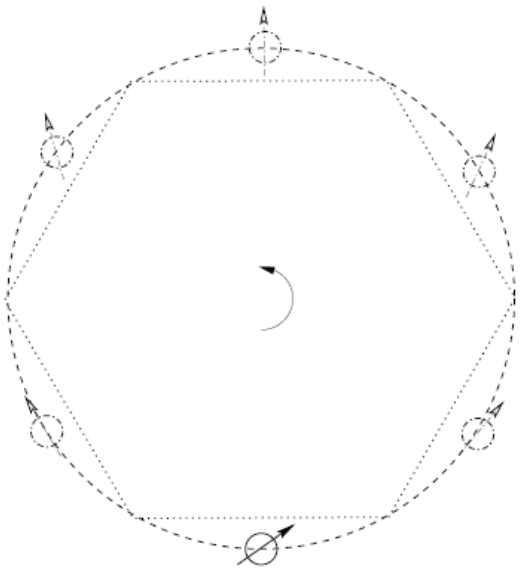


図 4.7. 特殊相対性理論におけるトーマス歳差

近日点移動を含め，全ての運動の調整が常に行われる。

特殊相対性理論における粒子スピン概念の現在の利用の仕方は，その内部において統一性を欠いている。ここでの問題点は，粒子は互いに衝突したとき，互いに対して運動し，かつ自らの運動を変えるわけであるが，特殊相対性理論によれば，運動系内における角運動量（軌道角運動量およびスピン角運動量）は，静止系内における角運動量と異ならなければならないとされていることである。スピンはいったいどうすれば不変であり続けつつ，厳密な数値等価性（相対論的保存則）に関与することができるのだろうか？

それだけでなく，特殊相対性理論の運動論的効果としてのトーマス歳差は内的矛盾をきたしている（第1章参照）。なぜなら，回転過程は特殊相対性理論の慣性系（等速直線運動）の枠組みを超えているからである。

質量についてもう一度

独立した法則としての質量保存則は膨大な量の実験データによって裏付けられている。素粒子はまったく変化しないか，またはその運動エネルギーあるいはそれに付随する電磁場が変化するか，またはそっくりまるごと別の種類の粒子に転化する。光子もまた，速度および周波数または波長によって特徴付けることのできる粒子である。質量からエネルギーへのいかなる任意の転化も決して存在しない。

特殊相対性理論には，ゼロ静止質量を持つ粒子に関する問題も残っている。第1に，エネルギーと運動量についての相対論的表式からは，$v = \mathrm{c}$，$m_0 = 0$の場合への厳密な移行は導き出されない。そのような移行において，例えば，ありとあらゆる周波数ωの連続体はどのようにして生じることが可能なのだろうか？ 第2に，我々が逐次的に消滅と生成を繰り返す対の線形連鎖を持つとしたら，あるいは$m_0 \neq 0$から反射を使って$m_0 = 0$を得るとしたら，そのとき，重力エネルギー（重力場），そして空間の歪みはどこへ消えるのだろうか（そして，消滅時におけるそれらのものの局所化の中心はどこにあるのだろうか）？ 概

して言えば，現代的な解釈における光子の静止質量に関する問題は無意味である。特定の粒子としての光子は，特定の周波数ωによって特徴付けられる。静止状態（$\omega = 0$）においては，それは別の種類の粒子ですらなく，ただ単に光子が存在することをやめただけということになる。それゆえ，光子の静止質量という概念自体が存在しない（光子の静止エネルギーといった概念も同様である）。一方，現実の光子については，エネルギーと運動量だけでなく，質量も決定することが完全に可能である。教科書［26］において，$m = 0$のとき，あらゆる力は無限大の加速度を生じさせるという理由により，古典物理学ではゼロ静止質量を持つ粒子は存在し得ないという結論が下されているが，これはまったくの誤りである。第1に，どんな力でも$m = 0$の光子に対して作用することができるというわけではない。例えば，重力が作用したとき，ゼロ質量は正確に「縮小」し，加速度は有限であり続ける。第2に，古典力学と特殊相対性理論のいずれも加速度の大きさに対して原理的な制限を課していない。このことが，例えば粒子の衝突や光の反射を，瞬間的過程として検討することを可能にしている。第3に，相対論者たちの論理によれば，力の作用を受けたときも光の加速度はゼロであり続けるのだという。そのような特殊相対性理論を選択することが，いかなる点でよりすぐれているというのか？ 直観に訴えると，特殊相対性理論においては無限大の光子質量が得られることになるのである。

エネルギーを運んだり，運動量を持ったりすることのできる物質*的な媒質としての場（それは電磁場だけでないことがあり得るのか？）は，質量も持つことが可能である（このような構想は内的矛盾をきたしていない。そして，この可能性が現実化されているか否かに対する答えは実験だけが与えることができる）。その場合には，場は古典的な質量保存則に関与するはずであり，そうだとすると，質量は任意の反応において保存されることになる。また，場は運動量とエネルギーの保存則にも関与するはずであり，そうだとすると，これらの保存則のうち，粒子に関する古典的部分を変化させないことが可能である。それゆえ，古典物理学においても，励起状態にある原子は非励起状態にある原子よりも重くなる可能性がある，あるいはより大きなエネルギーを持つ物体はより大きな質量を持っている可能性があるということには，何ら驚くべきことはない（ちなみに，このことを検証することは現在の測定精度では今のところ無理である）。この付加質量は場の内部に集中しており，その場が粒子を振動させ，外力が働いていないときの軌道［forceless trajectory］に沿って粒子を運動させ，あるいは粒子を保持している壁［particle-retaining wall］から粒子を跳び離れさせる。粒子は純粋に電磁的な性質を持つと仮定し，そのような粒子の衝突過程そのものを想定した場合には，真空中では相対論的なエネルギー–運動量の様式を利用することが可能かもしれないが，それは諸量の一意的な相互関係という観点に立った場合に限られる。なお，この場合には，エネルギーと運動量はその衝突過程のみを特徴付けるのだということを念頭においておく必要がある。なぜなら，実は，そのエネルギーと運動量は場（あからさまな形では算出も特定もされていない場）のエネルギーと運動量を計算に含めて記述されたものだからである。

特殊相対性理論における衝突理論と保存則

特殊相対性理論においては，衝突についての記述を単純化するため，何らかの「都合よ

く運動する」基準系に移行するという手法がきわめて頻繁に利用されている。しかし，そのような手順は物理的裏付けをまったく持っておらず，互いに同一な諸閉鎖系についての相対性原理もここではまったく無関係である。人工的な粒子ビームを使った相対論的実験を行う場合，ビーム発生源（加速器）も記録装置も地球と結び付いているのであって，我々の思考上のイメージから加速器や記録装置が運動する観測者と一緒に飛び立つなどということは起こらない。ウィルソン霧箱内におけるある過程を研究する場合，粒子の飛跡が結び付いているのは環境（つまり霧箱）であって，飛行する観測者ではない。例えば，古典物理学においては，諸粒子の飛跡間の角度は観測者の運動によって変化しない。これに対して，その飛跡を残す諸粒子の速度間の角度は観測者の運動速度に依存する可能性がある。相対論的物理学においては，諸粒子の軌道間および速度間の角度は，様々な法則に従って両方とも観測者の運動速度に依存する。それゆえ，特殊相対性理論の観点から見ると真理であるかのように見える新たな基準系へのそのような移行は，解の解釈を著しく歪曲させる可能性がある。すなわち，あらゆる過程は現実の観測者（記録装置）の系においてのみ検討されなければならない。

2つの粒子（特殊相対性理論における原則的に点状の粒子）の衝突過程を平面運動として検討することは，もう一つの現実の歪曲である。実際，点粒子の統計的特性について研究する場合でさえ，計測器は（2つの粒子の運動という理想的課題に合わせてつじつま合わせするために）それぞれの粒子対と一緒に，それぞれ自分勝手に（相異なる仕方で！）飛んだり回転したりすることはできない―装置の位置は固定されているのだから。それだけでなく，点粒子は，現実の有限の大きさを持った粒子の極限的な場合として検討されなければならない。さもなければ，粒子の正面衝突は観測されないことになり，原子や分子の衝突について検討することはできない，また陽子は構造を持つことができない，等々といった事態が生じることになる。そして，上記の極限的な場合において，粒子の衝突は原則的に3次元的である（平面運動である確率はゼロに等しい）。例えば，2つの一様な小球（1および2）が，衝突するまでの間，空間内においてねじれの位置にある2直線（2直線の間の最小距離は小球の直径より小さい）に沿って互いに近づいていくとしよう。既に実験の開始当初から，我々は与えられたこれらの2直線を通る1つの平面を描くことができない。にもかかわらず，ねじれの位置にある2直線（衝突前の2つの軌道）の間の最小距離の中点を取り，その中点を通り，かつそれらの軌道に対して平行な，交差する2直線を引いてみよう。すると今度は，交差する2直線は唯一の平面α上を通る（図4.8）。衝突するまでの間，2つの小球の中心はこの平面に対して平行に運動する。すなわち，第1の小球の中心はこの平面よりわずかに上側を，第2の小球の中心はこの平面よりわずかに下側を運動する。衝突後，2つの小球はねじれの位置にある別々の直線に沿って飛び去る。ここでもやはり，これらの2直線を通る1つの平面を描くことはできない。しかし再び，衝突前の場合と同様に，衝突後の運動線がその上に横たわっている2直線を，中点で交差するようになるまで平行移動させる操作を行ってみよう。交差する2直線を通る平面βを描いてみよう（ここでも再び，2つの小球の中心はこの平面の別々の側で運動する）。しかし，「衝突前の平面」は「衝突後の平面」と重なることはなく，ある角度で後者と交差する。

第2の方法。第1の粒子の運動軌道（衝突前と衝突後における粒子の運動の交差する2直線）を通る1つの平面γと，第2の粒子のそれと同様の運動軌道を通る第2の平面δを描こう。

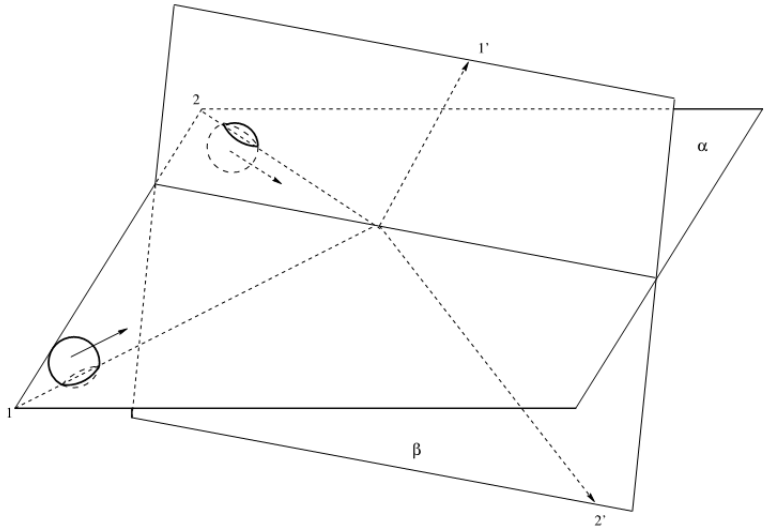


図 4.8. 2 つの粒子の非平面運動

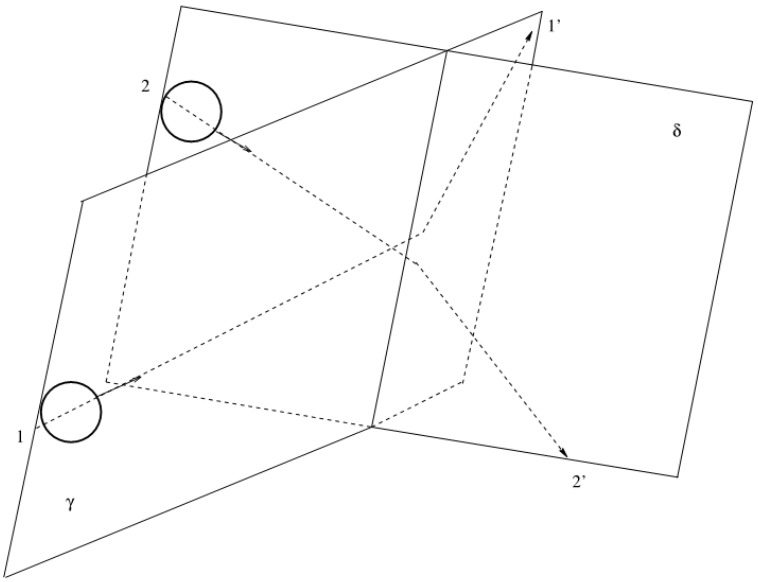


図 4.9.　2 つの粒子の衝突の 3 次元性

しかし，これらの平面もまた，ある角度で交差する（図4.9)。

運動の3次元性から，いったい何が導き出されるだろうか？ 第1の結論。全ての関係が線形的というわけではないということ。例えば，2つの物体がねじれの位置にある2直線に沿って等速直線運動する場合でさえ，物体間の距離は時間の非線形関数となる。第2の結論。運動量（射影表示）およびエネルギーの古典的保存則を書いてみよう：

$$v_{1x} + v_{2x} = v'_{1x} + v'_{2x}\,, \tag{4.3}$$

$$v_{1y} + v_{2y} = v'_{1y} + v'_{2y}\,, \tag{4.4}$$

$$v_{1z} + v_{2z} = v'_{1z} + v'_{2z}\,, \tag{4.5}$$

$$\sum_{i=1,2}\left(v_{ix}^2+v_{iy}^2+v_{iz}^2\right)=\sum_{i=1,2}\left(v'^2_{ix}+v'^2_{iy}+v'^2_{iz}\right). \tag{4.6}$$

方程式系（4.3～4.6）から，6つの未知量（v'_{1x}, v'_{1y}, v'_{1z}, v'_{2x}, v'_{2y}, v'_{2z}）に対して方程式が4つしかないことが分かる。したがって，解には2つの未定パラメーターが残らなければならない。仮に運動を平面運動とみなす（式（4.5）を取り除く）と，残った4つの未知量に対して方程式は3つということになる。したがって，特殊相対性理論の解と古典物理学の解を比較する場合には，解の入れ替えが行われ，1つの未定パラメーターのみが残る（通常，粒子の散乱角が未定パラメーターとみなされる）。このような解の入れ替えは実験データの不正確な解釈へと導き，このことはとりわけ，欠落している量の復元が行われる場合に顕著である。例えば文献［33］では，一様な質量と電荷（より正確には一様な比e/m？）を持つ粒子の散乱の2つの飛跡（散乱角が90°未満の場合）が示され，ここから古典力学は誤りであるという結論が下されている。飛び散る粒子の軌道間の角度αの表式を書いてみよう：

$$\cos\alpha=\frac{v'_{1x}v'_{2x}+v'_{1y}v'_{2y}+v'_{1z}v'_{2z}}{\sqrt{\left(v'^2_{1x}+v'^2_{1y}+v'^2_{1z}\right)\left(v'^2_{2x}+v'^2_{2y}+v'^2_{2z}\right)}}. \tag{4.7}$$

Z軸を$v_{1z}=v_{2z}=0$となるように取る。次に，方程式（4.3）から変数v'_{1x}，方程式（4.4）から変数v'_{1y}，方程式（4.5）から変数v'_{1z}，方程式（4.6）から量v'^2_{2z}を書き表す（このとき，全ての変数の取り得る値の範囲は$v'^2_{2z}>0$という条件によって制限される）。上記の全ての量を式（4.7）に代入する。その結果，v'_{2x}およびv'_{2y}の2つのパラメーターに対する依存関係が得られる。この関係式は煩雑になるので書き出さない。グラフィックソフトを利用すると次のことを確認することができる。すなわち，量$v_{1x}, v_{1y}, v_{2x}, v_{2y}$が与えられたとき，円筒形の内側部分に似た，ある表面が得られる。つまり，量$\cos\alpha$は広い範囲内で変化する。例えば，次の値

$$v_{1x}=0.1;\quad v_{1y}=0.1;\quad v_{2x}=0.7;\quad v_{2y}=0.7;\quad v'_{1x}=0.6;$$

$$v'_{2x}=0.2;\quad v'_{1y}=0.4;\quad v'_{2y}=0.4;\quad -v'_{2z}=v'_{1z}=\sqrt{0.14}$$

が全ての古典的保存則（4.3 ~ 4.6）を満たすことが容易に確かめられる。これらの値について$\cos\alpha=0.29554$，すなわち$\alpha\approx 72.8°$が得られる。次のことに注目しよう。速度が光速度を単位として表されているとみなした場合，$z\geq 60$以降において，原子内における内部電子の運動に関して完全に現実的なのは，それよりも小さい速度である。それにそもそも，原子内で静止している電子を見た者は誰もいないのである！ 古典物理学においては，記録装置系内で静止粒子との衝突が生じたとき，90°の角度が一意的に得られる（でも，そんな粒子をどこで見つけることができるのだろう？）。しかし，観測される散乱角が90°であるということから，粒子のうちの1つが静止していたという逆命題（このような事象の数学的確率は限りなく小さい）を一意的に導き出すことは決してできない。このように，古典物理学においても，相対論的物理学においても，欠落しているデータを復元するという逆方向の課題は，一意的な操作とはならない（相異なる無矛盾な解が無数に存在する）。

衝突時における保存則をより厳密に実験的に検証するためには，（理論の如何にかかわ

らず）既知の粒子の細い単一エネルギービームの場合における，真空中における所与の衝突角での粒子の衝突を解明する必要がある。その際，衝突過程の完全な研究には，粒子のエネルギー別の均衡の検証（空間内における各散乱角についての検証），粒子の運動量の均衡の検証，衝突前後におけるビーム内総粒子数の均衡（散乱確率）の検証，発生した放射のエネルギー別および方向別の均衡の検証が含まれなければならない。通常は特に注意が払われていないさらに2つの疑問（さらに2つの不確定性）がある。1つは，散乱は衝突する諸粒子の固有トルクの相互方位に依存しているのか？という疑問，もう1つは，衝突の過程でその固有トルクは変化するのか？という疑問である。古典物理学においては，これらの疑問に対する答えは肯定的である（ただし，定量的な面では，その答えは小球の「仕組み」に強く依存している）。

筆者は，特殊相対性理論において，何らかの衝突過程に関する分析が上記の全ての点に関して完全に行われているのを見たことがない。しかし，このことからは，通常利用されている相対論的保存則がいかなる衝突過程においても誤っている（実験誤差の範囲内において）という結論は導き出されない（多くの個別的場合に相対論的保存則が完全に誤っていることが判明したとしても）。筆者が主張しているのは，相対論的な衝突法則の絶対的立証となる個別的な事例すら存在しないということだけである（喧伝されている包括的な立証可能性については，もはや言うに及ばない）。

原則的な厳密な立場から見た場合，素粒子物理学において相対論的保存則が衝突過程に適用されていることはきわめて疑問である。粒子は，衝突する粒子の電荷，衝突角および散乱角と無関係にその姿を維持し得るのだろうか？ なぜなら，荷電粒子は衝突過程で加速作用を受けるからである。したがって，現代的な理解（特殊相対性理論における理解を含む）によれば，常に何らかの放射（場）が観測されなければならない。まさか，問題の答えをこっそり覗き見る学生のように振る舞う必要があるというのだろうか―記録装置がγ量子を記録してしまった（「我々の腕をつかんでしまった」）からには，「賢そうなふり」をしてγ量子をあからさまな形で考慮に入れる必要がある，と。そして，それ以外の場合には，「賢そうなふり」をして特殊相対性理論の公式の正しさを信じるのか？ 特殊相対性理論の「予測力」はいったいどこにあるのか？ 実際には，相対論的保存則には，場のエネルギーと運動量を考慮するための項をあからさまな形で補足することが必要とされているのである。

概して言えば，衝突における相対論的保存則について議論することが正当とされる唯一の場合は，電磁的性質の力（ローレンツ力）による粒子の相互作用である。それ以外の場合には，相対論的保存則の充足は未検証の仮説にすぎない（特殊相対性理論の光球面は非電磁的性質の力に対していかなる関係も持っていない）。しかし，電磁相互作用の場合にも，相対論的保存則を導出するためには特殊相対性理論のいかなるアイデアもまったく必要とされない。周知のように，初期条件付きの運動方程式は，運動の積分を含め，全ての運動特性を完全に決定付ける。そのような運動の積分となり得るのはエネルギーである（ただし，常にそうであるというわけではない）。運動方程式から次式が導き出される：

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{v}d\mathbf{P} = \mathbf{F}d\mathbf{r}. \tag{4.8}$$

ポテンシャルエネルギーの定義を導入しよう：

$$U = -\int_{r_0}^{r} \mathbf{F} d\mathbf{r}.$$

運動量（これは実験的運動方程式（4.8）に含まれる量である）の形式，例えば古典的場合における

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v},$$

また相対論的場合における

$$\mathbf{P} = m\mathbf{v}/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

を知ることにより，

$$dE = \mathbf{v} d\mathbf{P} - \mathbf{F} d\mathbf{r}$$

から，それぞれ，古典的エネルギー保存則

$$U + mv^2/2 = constant$$

または相対論的エネルギー保存則

$$U + mc^2/\sqrt{1 - v^2/c^2} = constant$$

を得ることができる。作用と反作用の力が等しいという条件（ニュートンの第三法則，中心力仮説）の下では$\mathbf{F_{12}} = -\mathbf{F_{21}}$である。このとき，運動方程式（4.8）から運動量保存則を得ることができる（これもまた実験的運動方程式（4.8）に含まれる量である）。すなわち，$d\mathbf{P_1}/dt = \mathbf{F_{12}}$，$d\mathbf{P_2}/dt = \mathbf{F_{21}}$より次式を得る：

$$\frac{d(\mathbf{P_1} + \mathbf{P_2})}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathbf{P_1} + \mathbf{P_2} = const.$$

しかし，磁力$\mathbf{F_{12}} \neq -\mathbf{F_{21}}$の存在下では，粒子の相対論的運動量保存則も一般的な場合には撹乱される可能性がある。粒子の大部分は，電気的に中性な多くの粒子でさえ磁気モーメントを持っている（すなわち，特殊相対性理論で言うところの「理想的な点電荷」ではなく，有限な大きさを持った荷電磁気回転子である）のだから，場の運動量をあからさまな形で考慮することなしに相対論的運動量保存則を核物理学や素粒子物理学に適用するのは完全に不当である。したがって，我々は再び，衝突時における場の運動量，すなわち場のエネルギーもあからさまな形で考慮に入れる必要があるという結論に帰着したわけである。(多分，このことは核物理学や素粒子物理学を整理整頓し，幽霊粒子の数を減らすのに役立つのではなかろうか？)

放射反作用力の考慮もまた，特殊相対性理論で言われているエネルギーおよび運動量の保存則の撹乱をもたらす。粒子の衝突過程において，この力を考慮することを拒否する？しかし何しろ，粒子の衝突過程においては，この力こそが最も重要とされなければならないのである（高エネルギー粒子同士の接近に起因する大きな場と大きな変動加速度が存在する)。

特殊相対性理論における角運動量

一般に採用されている表式の一般的場合において，粒子衝突時の相対論的エネルギーおよび運動量は保存されないという事実は，特殊相対性理論における角運動量もまた保存されないという結果に導く。しかし，角運動量の相対論的表式の信用は，それよりはるかに単純な様々な例［8］によって簡単に失墜してしまう。例えば，直角レバーのパラドックスを思い出そう。$\pi/2$の角度に配置された2つの一様なアーム$l_1 = l_2 \equiv l$に対し，絶対値が等しい2つの力$F_1 = F_2 \equiv F$が作用するとしよう（図4.10）。2つの力の合計モーメントはゼロである。この構造物は不動のままである。古典物理学においては，この結果は基準系や新たな物理的概念，過程，あるいは現象にはまったく依存せず，新たな数学的計算を考え出す必要もない。

特殊相対性理論では事情は異なる。片方のアームに沿って速度vで運動するロケットから誰かがこの系に視線を向けただけで，合計モーメントはゼロとは異なるものになってしまうのである。長さの収縮および力の変換の結果，$M_{sum} = Flv^2/c^2 \neq 0$となる。直角レバーは回転し始めなければならない。このような矛盾は特殊相対性理論の放棄，そして明白で正しい結果を与える古典物理学への回帰へと導かないわけにはいかなかったと思われるかもしれない。ところが，相対論者たちは（ラウエおよびゾンマーフェルトに追随して）別の道を歩み始めた［34］。疑似科学の「御為」に，何かを犠牲にする必要がある。相対論者たちにとっては常識は特殊相対性理論よりも重要度が低いので，欠落している偽モーメントを発明する必要がある。だから今，もしあなたが何か（例えば壁）によりかかろうとしているのなら，あるいは直角レバーを使おうとしているのなら，それに備えてもっとたくさん衣服を着こんでおきなさい。何かによりかかったり，直角レバーを使ったりすると，あなたの体を貫いて「何か」（エネルギー）が流れ，その量は巨大な量になり得るのだから！ しかも，運動している相異なるロケットから複数の人間があなたを見ている場合には，その流れ（多分，汗の流れなのでは？）は同時に，相異なったものになり得るのである。もしあなたが自分の手で一様な応力を加えて両方のアームを握ると，エネルギーが一方の手から軸に向かって勢いよく流れ去り，どこかで「沈殿」することになる。でも，ご心配なく！ その「何か」を測定することはいかなる方法によっても不可能であり，しかもその測定は相対論者たちにとって要らざることなのだ―何しろ，物理学に取り組んでいるわけで

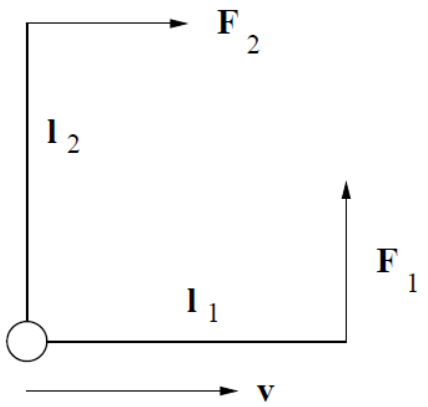


図 4.10. 直角レバーのパラドックス

はないのだから。必要とされているのは，ただ単に，文字式が（常識から見て）明白な結果と符合するようにすることだけだ。こうして，(そうしなければ矛盾が露見してしまうので）原理的に検出不可能な1つの相対論的効果の代わりに，相互にまったく正確に補い合う，原理的に検出不可能な2つの相対論的効果が得られた。この種のあらゆる「発明」から得られる「蒸発残留物」[相対性理論からその誤謬を除去した後に残る部分]は以前から明白とされていた古典的結果であるにもかかわらず，この種のトリック（文字が符合しているというトリック）が多くの人々に対して効果を発揮している。

コンプトン効果

コンプトン効果の理論に関してもいくつかの疑問がある。それは特に，実験曲線における次の2つの最重要事実の解釈に関する疑問である。1）静止した自由電子における散乱。2）当たる硬X線のエネルギーが1 Mevを超えるとき（?!），強く（？）束縛された電子が存在するという言明。1番目の事実については，次の点を指摘する必要がある。第1に，現実の温度においては，自由電子の場合でさえ，電子がゼロ速度を持つ確率はゼロに等しく，電子の勝手な運動（現実の分布）を検討する必要がある。特に，ピークが関係を持っているのはゼロ速度に対してではなく，確率が最も高い速度（原子内の場合は原子内の束縛電子の十分に大きな速度）に対してであるはずである。第2に，電子ビームにおけるこの効果を3つの全ての量ごとに，すなわち粒子の角度別，エネルギー別および粒子数別に独立に立証すれば興味深いと思われる（完全均衡)。2番目の事実については，言われているような大きなエネルギーにおいて，いかなる電子も（内部電子でさえ）もぎ取られないのは奇妙であるという点を指摘しよう。おそらく，コンプトン効果は（メスバウアー効果と同じように)，何らかの共振条件から出発して（原子内における吸収・放射の具体的なメカニズムを考慮に入れて)，統一体としての物体（または原子）の場合について検討されなければならないと思われる。しかし，いずれにせよ，1回（！）の実験で測定される3つの量全てに対する原子内における電子の運動の影響および温度の影響は依然として不確定のままである。

電磁相互作用の場合には，相対論的運動方程式

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c}[\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$$

を，したがってまた衝突過程への相対論的保存則の適用可能性を疑う根拠は最も弱いに違いないと思われるかもしれない。にもかかわらず，コンプトン効果の相対論的記述の根拠に対する疑問について，さらにいくつかのコメントをしよう。小球―コンプトンの「ビリヤード」モデルの類似物―の衝突の場合の一連の不確定性については，上記において既に検討した。標準的な教科書，例えば［27,30,40］に引用されている諸実験を分析することにしよう。γ量子の記録時刻と電子の記録時刻とが重なり合う時間が$\Delta t > 10^{-20}$ secである場合には，その実験は，粒子放出の同時性を立証しないだけでなく，粒子をいずれか1回の散乱事象と一意的に対応付けることを可能にしないことに注意しよう。そして，その精度は最新の測定能力の限界さえ超えているのである（つまり，これは今のところ「信仰」の問題であり，また，ここでは統計学は何の助けにもならない)。

散乱に関与する電子を自由電子と呼ぶことは方法論的に誤っている。なぜなら，そう呼んだ場合には，散乱に関与する電子の数はその実験において一定でなければならない，ところがその数は散乱角に依存して変化するとみなさなければならず，したがって散乱角が十分に小さいときは，全ての電子が束縛電子であることが「判明する」，ということになってしまうからである。しかし実際には，全ての電子が原子内におけるその運動の結果として運動量伝達に関与しており，γ量子からエネルギーの一部を奪っている。なぜなら，原子系内においては全ての電子が束縛電子であったからである。

コンプトン効果の理論には不明瞭な点がいくつもある。例えば，電子より大きな粒子―原子核―における散乱は，どのような役割を持っているのか（つまり，干渉はあり得るのか，そして原子核で散乱された放射からの干渉に対する影響はあり得るのか）？ 例えば原子核での散乱の場合のように，非偏移スペクトル線［unshifted line］が常に存在しなければならないのに，リチウムでの実験においては非偏移スペクトル線が存在しない（Compton, Wu）のはなぜなのか？ 全ての物質において1つの偏移ピーク［shifted peak］ではなく，2つの偏移ピークが存在し，これらの偏移ピークが初期スペクトル線に対してほぼ対称な位置にあるのはなぜなのか？

それだけでなく，全ての軌跡は，理想的な理論におけるようには視覚化されず，補助的な手段や解釈を用いて再現されているにすぎない。すなわち，保存則の検証の際に我々が相手にしているのは統計的仮説なのである。試料からの二重散乱の確率は著しく高い値を持つ可能性があるにもかかわらず，諸実験においてはその推定は行われていない。また，どの実験においても，実験装置のあらゆる部分からの多重散乱「バックグラウンド」が果たす役割についての推定が行われていない。実験精度は低く，散乱断面積に関する精度でさえ~10%である（しかも，これは統計的精度である！）。実験に際しては最も見栄えのいい（理論にとって好都合な）事例が選ばれている。例えば，Crane, GaertnerおよびTurinの実験では10000点の写真から300件の事例が選び出され（少なすぎはしないか？），散乱断面積のデータがクライン–仁科–タムの公式と一致していると宣言されている。試料の厚さが大きい場合（Kohlrausch, Compton, Chao）には，二重散乱の影響を考慮する必要があることは明らかである。それと同様に，SzepesiとBayの実験において二重散乱の事象数が単散乱の事象数と同じオーダーであることは，その実験スキームから明らかである。この事実が考慮されていないとすると，言明されている精度17%はきわめて疑わしい。Hofstadterの実験において各種要因の影響に起因する表向きだけの補正（つじつま合わせ）が行われていることは不審の念を呼び起こす。この実験では，ありとあらゆる補正（30%に達するつじつま合わせ！）の後，精度15%が宣言されている。

実際，上に列挙した全ての実験では，粒子の様々な散乱方向は区別されないまま，空間の一定の場所への粒子のヒット（到達）が記録されている。したがって，特殊相対性理論による解釈のこれらの実験による確証度はかなり疑わしい。例えば，CrossとRamseyの実験では，言明されている公差範囲を考慮した場合，点［ヒット点］のほぼ半分は理論曲線から外れたところにある。記録装置を散乱平面の外に移動させた場合にも散乱事象における一致数は依然として著しく大きく，バックグラウンド値の3倍以上となっている事実は注意を引く。Skobeltsynの実験とこの理論との比較が，相異なる角度に向かって散乱された粒子の数の比$N_{0^\circ}^{10^\circ}/N_{10^\circ}^{20^\circ}$を利用して行われていることもきわめて奇妙である。これらの数

値のそれぞれの値（および分子と分母の個別の値）はある種の平均値（有効値）だからである。ゆらぎ理論を導入することなく，平均値の比（2つの実験）と真の値の比（理論）との比較を一般的な形で行うことは，いかにすれば可能なのだろうか？

コンプトン効果の理論的裏付けをより完全に行うためには，ヒットする粒子のための1台のコリメーターではなく，各種類の散乱粒子をさらに狭い方向範囲別に区別するための3台のコリメーターが必要である。バックグラウンドノイズを除去するためのアブソーバーも必要である。これらの問題が解決されれば，残るは全粒子のエネルギー別フィルトレーションの問題「のみ」である。このように，純粋に相対論的効果であるかのように見えるコンプトン効果のような効果でさえ，完全な実験的検証を受けていないのである。

補足コメント

先に説明した非平面運動（ねじれの位置にある2直線に沿った運動）の可能性は，有限な大きさを持つ2つの物体の場合でさえ，水星の近日点移動に関する課題に対して関係を持っている可能性がある（このことを分析した者は誰もいない）。

1つ，補助的なコメントをしておこう。運動量に関する相対論的表式の導出に際しては，運動量は速度に沿った方向を向いていなければならない，さもないと運動量は不確定となってしまうということが「証明」されている。しかし，唯一の粒子の場合についてのそのような推論には，厳密性が完全に欠けている。$\mathbf{v}=0$の系においては運動量の方向も不確定であるからである。運動論に関する古典的表式は空間のユークリッド性（一様性，等方性）と質量の不変性から導き出される。最小必要性の原理に従い，粒子の運動量の方向と大きさの両方に関する古典的表式を立てることができる。一方，あらゆる相対論的変化はエネルギーに関する表式の変化に現れる。ただし，荷電粒子の場合には，場はゼロエネルギーとゼロ運動量も持つ可能性があるということを思い出す必要がある。厳密に弾性の衝突となり得るのは，内部自由度を持たない中性粒子の衝突のみである。

補助的なコメントをもう1つ。文献［33］（演習問題65「質量のない運動量」）ではホイール付きの平台について検討されている。平台の一方の端部の上に蓄電池付きのモーターがあり，そのモーターがベルト駆動装置により（平台全体を横切って），平台の他方の端部の上にあるホイールを回転させている。ホイールにはプロペラが付いており，プロペラは水中に沈んでいる。その結果，蓄電池の電気エネルギーは平台の一方の端部から移動し，平台の他方の端部において水の熱エネルギーに転換する。ここでも再び，我々は確定性の喪失（非客観性）を相手とすることになる。すなわち，特殊相対性理論を救うためには，相異なる観測者は，エネルギー（質量）転移の経路および速度について相異なる人為的な結論を下さなければならない。例えば，特殊相対性理論によれば，平台上にいる観測者はエネルギー（質量）転移の原因をベルト駆動装置に帰さなければならない。では，その観測者のために，ベルトの2つの小さな断片のみを観測できるように露出した状態で残した場合には，その質量移転はどこで（何の中において），そしてどのようにして実験的に裏付けることが可能なのだろうか？ 古典物理学の立場はより明確である。すなわち，ある物体が第2の物体に作用した場合，なされる仕事は作用する力に相対的移動量を乗じた積，$A=\int \mathbf{F}d\mathbf{r}$または$A=\int \mathbf{F}\mathbf{v}dt$（ここで，$\mathbf{v}$は相対速度）として定義される。例えば，運動する物

体は摩擦力の作用の下で停止する。表面に対する物体の運動エネルギーは摩擦力のする力と数値的に等しく，また，発生した熱の量と数値的に等しい。これらの量は不変である（観測系に依存しない）。

次に，相対論的公式の立証可能性に関する方法論上のコメントをしよう。微視的世界の物理学における実験精度は，通常，個別の測定過程においては高くない。しかし，「理論にとって必要とされる」事象の選択，そしてそれに引き続いて行われる結果の統計処理（理論に合わせたつじつま合わせ）によってその精度は人為的に高められる。古典的研究領域におけるのとは異なり，相対論的速度領域における粒子速度の大きさを直接測定できる者は誰もいない（粒子の質量を直接測定することも不可能である。e/mのみは測定可能であるが，それは特定の理論的解釈を利用し，その解釈に見合った計測器の校正を行う場合に限られる）。それゆえ，$\mathbf{v}$およびmの値をエネルギーおよび運動量の計算値（！）に代入し，それによって特殊相対性理論の保存則を検証してはならない。もし何らかの数値的大きさが検証に耐えてほぼ無傷のまま生き残り，それが実験的に決定された場合でさえ，その数値からエネルギーおよび運動量に関する文字式を抽出することは多数の相異なる方法によって可能であり，多数の相異なる結果が得られる。何しろ，エネルギーと運動量の数値的大きさの測定でさえ間接的方法で行われているのである（我々は再び，理論的解釈の問題を相手にすることになる）。

ある物体があなたの腕が動ける速度よりも大きい速度を持っている場合には，もちろん，あなたは腕を使ってその物体を加速させることはできない。しかし，対向方向の運動の場合には，衝突速度は両速度の合計として決定される。電磁相互作用伝達速度とほぼ同じ速度で飛んでいる粒子を電磁場を使って加速させようとする場合の状況は，それと完全に同じになる（加速効率は高くならない）。しかし再び，粒子が正面衝突する場合には，速度は加法的に形成される。次の思考実験について検討してみよう。1つの直線上の点A, B, C上に3人の観測者を配置しよう。点Bは線分ACの中間にある。この中点を通る垂線OB上に，周期的同期信号の点状信号源Oを距離$R = |OB|$が大きくなるようにおく。これら4つの点は全て互いに静止しているのだから，直線上にある我々の3つの点に対し，選択された同期法を古典物理学と特殊相対性理論の両方において適用しよう。距離Rを十分大きく取ることにより，点A, B, Cにおける時刻同期の事前に与えられた精度を確保することができる。線分の両端の点AおよびCにおかれたカプセルの中に，速度$0.9c$で粒子を放出する性質を持った放射能源を入れる。第1の同期信号を受信すると，カプセルの蓋が同時に開き，粒子が互いに対向方向に（点Bに向かって）飛び出す。点Bの観測者は，2つの対向流の間の空間が速度$0.9c + 0.9c = 1.8c$で絶え間なく「食われる」のを見る。衝突した粒子はそれと同じ速度で「互いに咬みつき合い」始める（線分ACの適当な長さを選択することによって衝突時刻を第2の同期信号の到着にぴったり合わせ，計算の正しさを確認することができる）。これこそが現実の観測者にとっての現実の粒子衝突速度なのであって，この場合，相対論的速度合成則は何に対してもまったく無関係である。おそらく，微視的世界の物理学における反応経路が複数存在しているのは，多くの場合，見かけだけである。ただ単に，諸量の相対性（そして他ならぬ相対論的公式に従った計算の必要性）に対する相対論者たちの限りなき信仰が，まったく相異なる条件の下で生じる様々な反応を一様な衝突パラメーターの下で生じた反応に属するものとすることを，彼らに余儀なくさせているにすぎないのであ

る。

次の疑問が生じる： 現実の静止している観測者によって記録される，粒子（ここで念頭におかれているのは普通の粒子であって，おとぎ話に出てくる「タキオン」ではない）の超光速度を得ることは可能か？ 答えは次のとおり。粒子の速度が光速度によって制限されていることなど，ほとんどあり得ない（より正確には，今言ったことの真意は，光速度の2倍の速度によってさえ制限されないということだ)。それがあり得るとしても，それは次の一連の条件が満たされた場合に限る。第1に，自然界には真の素粒子が存在してはならない。第2に，全世界は電磁的な性質のみを持ち，マクスウェル方程式に厳密に従わなければならない。しかし，真の素粒子は存在する，自然界には電磁相互作用だけでなく，それ以外の種類（少なくともさらに3種類）の相互作用が存在する，そして電磁相互作用でさえ，現代的形態のマクスウェル方程式のみによって記述されるわけではないと判断するための，あらゆる根拠がある（既にリッツがこのことについて書いている。また，量子力学の誕生の事実そのものについても想起しよう［139, 140］)。実際的な方面では次のことを提案することができる。ほぼ光速度で飛行する粒子が対向する2つのビーム上で衝突する場合について検討しよう。一様な電荷を持ち，しかし質量が著しく異なる真の素粒子（例えば陽子と陽電子）が厳密な正面衝突をした場合には，粒子のうち，180°散乱され，光速度の2倍近い速度を持つ，軽い方の粒子が検出されるはずである。自明のことだが，厳密な正面衝突からのごくわずかなずれも，今言った値の速度からの著しい偏差を引き起こす。それゆえ，上記のような事象の確率は小さい（しかし，その確率はゼロではない！)。より大きな速度を得る目的でこの手順の多回反復（フェルミ加速の類似物）を実行することはさらに困難である（しかし，宇宙においてはこのようなことが完全にあり得る)。

「静止」している粒子との衝突について検討するとき，次の疑問が生じる： そんなに沢山の静止粒子はどこで見つかったのか？ そしてその事実はどのようにして検証されたのか（なぜなら，このことは衝突角，散乱角，衝突径数，等々の決定に関係を持っているからである）？

電磁場が存在する領域を粒子が通過する際，粒子が単位時間当たりに受け取るエネルギーは，古典物理学の場合も相対論の場合［17］も同一の公式

$$\frac{dE_{kin}}{dt} = e\mathbf{E}\mathbf{v}$$

で与えられることに注意しよう。これこそが加速器の計算が「ほぼうまくいっている」理由の1つである。古典物理学の場合と相対論の場合で異なっているのは，同一の事象と計測器の示度とが，相異なるエネルギースケール（より正確には，文字記号の相異なる組み合わせ）によって比較されている点のみである。

光子には運動量が存在するという説明に対して，特殊相対性理論はいかなる優先的関係も持っていない。光子を含め，あらゆる粒子は他の諸粒子と相互作用したときに，つまり事実上，運動量の伝達に基づいて検出される。現代的理解によれば，光子に運動量が存在すると決定する上で，その実験的基礎となっているのは光圧に関するレベデフの実験である。光子の運動エネルギーについての文字式は，$dE = \mathbf{v}d\mathbf{p}$という一般的な定義（一般的な運動方程式）から簡単に導出することができる。光子が光速度$v = c$で運動することを考慮する場合には，特殊相対性理論のいかなるアイデアも用いることなく，積分を行うことに

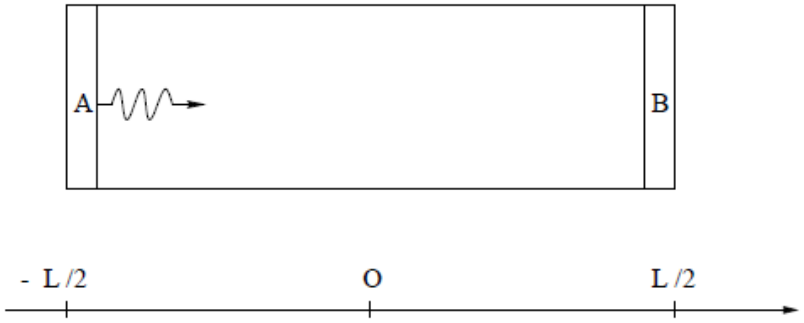


図 4.11. 放射の質量とエネルギーとの関係

よって$E = cp$が得られる。ただし，この公式は（媒質中ではなく）真空中における光の場合にのみ正しい。

アインシュタインの公式$\Delta E = \Delta mc^2$の半古典的導出［40］もまた，まったく満足し得るものではない。第1に，特殊相対性理論における質量中心概念は矛盾している。第2に，当該の状況においては音波が一定の役割を果たしているにもかかわらず，どうしたわけか，特殊相対性理論において音波が思い出されるのは，音波が本質的な重要性を持たないとき（明白なパラドックスから目をそらさせようとするとき）である。長さL，質量Mの一様な管（図4.11）の両端の上に，質量の無視できる物体AとBが存在するとしよう［40］。例えば，同じ物質でできた単分子層を取り上げてみよう。物体Aの単分子層の原子は励起状態にあるとする。文献［40］では次の「循環プロセス」が検討されている。最初に，物体Aが物体Bの方向に向かって短い光パルスを放出する。管は統一体として運動し始めると主張されている。これは間違いである。長さL＝1 cmとしよう。放出されたパルスは，物体Aをひずませるとともに，物体Aを保持している管の分子から分子間距離程度の距離だけ転位させる。すると，失われた平衡を取り戻そうとする弾性力が生じる。その結果，縦振動と横振動の複雑な系が管に沿って伝播し始める。光が物体Bに到達するまでの時間に，これらの音波は10^{-5} cm未満しか進まない（なぜなら，$v_{sound} \ll c$であるから）。同様のプロセスが物体Bとの間で繰り返される。こうして，音波が互いに打ち消し合い，平衡が確立するまでの間，振動する管は中心Oから両方向に向かって伸びる（伸びる距離は物体Aの側の方がやや大きい）。しかし，ここで問題とするべき点は，この複雑な現実のプロセスですらない。文献［40］の著者は，その先において，吸収したエネルギーを持っている物体Bを内部の力を使って物体Aと接触させ，物体Bはそのエネルギーを物体Aに返し，自分の位置に戻るとしているのだ（そしてその先には数学記号が書かれている）。ちょっと待った！ 第3に，物体Bが運動量を伝達することなしに電磁的励起エネルギーを物体Aに伝達することができたのは，いかなる方法によってなのか？ しかも，それは光パルスでしかあり得なかった（そうでないとすると，熱力学の第二法則に従い，物体Aには全てのエネルギーは移行しなかったということになる）。しかし，そのような場合には，我々はただ単に光を使った相互間における運動量の逆伝達を相手にしていることになり，ここからはいかなる大域的結論も導き出されない。この課題は，ボート上における2人の人間の間のキャッチボールに関する古典的課題に類似している。ボールは質量を持っており，飛行中はさらに非ゼロの運動量とエネルギーを持っている。質量の大きさは運動量と運動エネルギーの表式に含ま

れているが，ここからはいかなる全宇宙的結論も導き出されない。文献［40］で目標とされているものは，それよりはるかに簡単に得ることができる。一般的な表式$dE = \mathbf{v}d\mathbf{P}$から，光の場合について$\Delta E = c\Delta P$を得る。古典的方法を導入すると，光子の場合，運動質量$P = mv$であるから，$v = c = constant$より，唯一の可能性$\Delta P = c\Delta m$が得られる。その結果，特殊相対性理論による思考上だけのイメージなどまったく抜きにして$\Delta E = c^2\Delta m$が得られる。しかし，第4に，この結果は（その導出方法の如何にかかわりなく）電磁エネルギーにしか関係を持っておらず，それ以上のものではない（少なくとも，この結果の一般性を裏付ける証拠はない)。

重要なコメント： 相対性理論では最小作用の原理は働いていない。なぜなら，第1に，特殊相対性理論における変数は独立変数ではなく，でっち上げられた「間隔」によって束縛されている。第2に，時間および座標に関する積分範囲の固定は，相対論のアイデア自体―基準系および物体の運動速度の相対性に対する諸量の依存性―と矛盾している。さらに，数学的観点から見て考慮すべき問題点が出てくる。第3に，作用積分のゼロとの等式からは，その積分がゼロを与える，多数の相異なる被積分表式を得ることができる。第4に，相対論的作用変分では，積分記号下にあるのは4元ベクトルのスカラー積であり，そのゼロとの等式からは，諸成分のうちの1つのゼロとの等式が必ず導き出されるわけでは決してない。それだけでなく，解は非一意的であり（δx^iに対する任意の直交被加項までの精度で)，それらのベクトル自体は直交ベクトルであることが判明する。第5に，相対論においては，ラグランジュ関数は不変量（真のスカラー）からなっていなければならず，任意の4元ベクトルへの増分は，その4元ベクトルに対して常に直交でなければならない（方向転換)。したがって，特殊相対性理論においては，作用はまったく極値を持っていない（変分に対してまったく無関係―常にゼロに対して恒等―である)。これについてのより詳しいことは［168］で読むことができる。

特殊相対性理論において，v/cについて級数展開し，級数の有限個の項のみを考慮する方法で解を求める手順が取られていることは，一般的な場合には誤りとなる可能性がある。無視された項が解の形に重大な変化をもたらす可能性がある。時間に関する近似解の適用範囲はきわめて狭くなる可能性があり，その結果，近似解はいかなる理論的意味も実際的意味も持たなくなる（しかし，真の関数の振る舞いを知らないのに，どのようにしてこのことを検出するのか？)。近似解からの平均解の導出も疑わしい。トリビアルな例をあげよう。形式的には，ローレンツ力においては，v/cを含んでいる磁力を無視することができるように見えるかもしれない。しかし，それは間違いである。古典的範囲では，両方の場に対して垂直な一定の速度を持つ粒子の現実の平均ドリフトの代わりに，場$\mathbf{E}$に沿った加速度運動が得られるだろう。相対論的範囲［17］では，速度は$[\mathbf{E} \times \mathbf{B}]$の方向においても最も急速に増加する。おそらくそれゆえに，v/cについてある項まで構築された近似的なラグランジュ関数は様々な問題をもたらす可能性があり，特殊相対性理論における正確なラグランジュ関数の構築は原理的な問題を抱えている。放射反応の作用下における電荷の自己加速は，特殊相対性理論の諸結果が持つ限界性の現れである。放射は遠く離れた領域において決定されるのであって，素粒子の大きさ程度のスケールにおいて生じる諸プロセスに強く依存してはならない。すなわち，特殊相対性理論の厳密性の過大評価だけが素粒子を点粒子とみなすことを余儀なくさせているのである。

相対論的熱力学においては，プランクの解とオットの代替理論[訳注]が同程度に「厳密に」導出されている。物理学者たちは温度の変換に関するこれらの選択肢について長い間論争してきた。どちらを選択するか：$T \to T_0/\gamma$か，それとも$T \to \gamma T_0$か？ 結局のところ，（「裸の王様の衣装」のために「水玉模様」でも「縞模様」でもなく，「縞模様の水玉模様」を選択し），温度を不変量とみなすという取り決めが結ばれた。このように，このことは，相対性理論は科学理論ではなく，「取り決め」（！）にすぎないことを再び証明している。もちろん，これは反科学だ。

次の方法論上のコメントは何よりもまず運動学に関するものではあるが，特殊相対性理論にも，また相対論的動力学にも関係している。文献［17］（41頁）では，固有の慣性系（すなわち，与えられた各時刻において検討対象たる系に対して静止している系）に対して等加速度を持つ，検討対象たる系の運動を決定するという課題が設定されている。「ある慣性系に対して等加速度を持つ運動が，別の慣性系に対しては非等加速度運動であり得るというのは本当か？」という自然な疑問が読者に生じたかもしれない。残念ながら，特殊相対性理論における状況はまさにそのとおりなのである（放射の記述の場合を除き，相対性理論が高次導関数をほとんど使っていないのは，我々にとってまだしもラッキーであった。そうでなかったら，さらに多くのどんな「複雑なダンスのステップ」を見せられるはめになったことだろう）。しかし，等価原理にはどう対処するのか？ つまり，ある慣性系においては，ある1つの重力場（不変な場）に対する等価性が得られているにもかかわらず，それと同一の空間地点に存在する別の慣性系においては，重力場（物理的場！）が変化してしまったということか？ 地上の丸石がまるで風船のように飛び立ちつつあるかのように観測者に「見える」ようにするためには，観測者はいかなる速度で飛行する必要があるのか？ また，同様の仕方で等加速されたある種のロケットに動力計を取り付け，そのばねにおもりをつり下げたとすると，それぞれ異なった運動（ただし運動速度は一定）をしている観測者たちは，まさか，動力計の針が異なったアラビア数字を指しているのを見ることになるというのだろうか？

有名な相対論的潜水艦のパラドックスを思い出そう（2つの干草の山の前に立った「ビュリダンのロバ」のように，今，特殊相対性理論は選択肢の前に立っているのだ）。すなわち，陸上の観測者の視点から見ると，潜行中の潜水艦は船体の長さの収縮に起因する密度増加によって沈下していかなければならない。ところが潜水艦内の観測者の視点から見ると，それとは逆に，潜水艦は周囲の水の密度増加によって浮上していかなければならないのである。何か「一見科学的な魔法の呪文」を唱えることが必要となり，相対論者たちは，あるいは加速プロセス，あるいはまた強まった重力場における空間の歪みを引き合いにだすことを選択した。つまり再び，一般相対性理論にお伺いを立てるよう勧めたのである。おそらく，特殊相対性理論のために，墓碑銘として次のように書くことができるだろう―「特殊相対性理論は無窮なるものを抱擁せんと渾身の努力を傾けり。されど特殊相対性理論にはおのれの研究対象すら一度たりとも存在せざりき」。さて，この場合に重力はまったく無関係であることが明らかになるようにするため，このパラドックスを別の仕方で定式化し

［訳注］ ハインリヒ・オット（Heinrich Ott）の代替理論については，"relativistic thermodynamics, Ott"でネット検索すると様々な情報が得られる。

直してみよう。ごく普通の地球上の条件において（つまり，弱い重力場において！），ごく普通の潜水艦が（透明な水中において），等速度（非相対論的速度！）で所定の一定深度を保ちながら，2隻の艦艇の間を通り抜ける経路を首尾よく通過した。これが**答え**であり，この答えは「両方の観測者の視点」から既に知られている！ さて，今度は質問である。運動している相異なる相対論的観測者たちは，特殊相対性理論の観点に立ったとき，何を主張しなければならないのか？ 特殊相対性理論は光パルスの交換以外の何ものにも取り組まなかったのだから，当然，相対論的観測者たちもまた，特殊相対性理論が主張する全てのものを，他ならぬその光を使って見なければならない。ここで，彼らはいつ，「それ」を見るのか？という疑問が生じる。それは「事象」が生じた時刻に放出された光が観測者たちに到達したときのみであることは明らかである（相対論者たちが主張しているように，瞬間的通信は存在しない）。200億年が経過した後（その時には潜水艦も艦艇も既に存在しなくなっている「かもしれない」が），200億光年離れた所から（運動している2つのロケットに乗った）2人の観測者が我らの潜水艦の方角を眺め，はるかかなたの事象を示す，他ならぬその光パルスを捉えたとしよう。観測者たちのうちの1人は潜水艦の経路と同じ方向に，もう1人は潜水艦の経路とは逆の方向に，ほぼ光速度で運動しているとする。特殊相対性理論によれば（速度合成の結果が異なるため），2人の観測者の意見（潜水艦は沈下したのか，それとも浮上したのか？）は異ならなければならない。それになにしろ，宇宙船が光パルスのすぐ後を追って（相対論的眠りをいたずらに妨げないようにするため，少しだけ遅れて）飛来し，「潜水艦は**所定深度を保ちながら**その任務を首尾よく遂行した」と知らせてくれたとしても，観測者たちはその言葉を信じてはならないことになっているからだ。ああ，相対論者たちの主張を信じたいものだ―正確な時刻に正確な速度で飛行している正確な異星人が，はるか昔に過ぎ去ったその事象を眺めた場合には，ワシーリー・イワノヴィッチ（・チャパーエフ）は，もしかしたらまだ溺死（沈没）していないのかもしれないのだから。[訳注]

もちろん，特殊相対性理論における客観的特性のあらゆる喪失（本書では，この点についての説明は描像を完全なものとする目的でのみ行われている）は，この理論に存在する論理の欠落や矛盾と比べれば，単なる「学生レベルのつじつま合わせ」にすぎないように見える。「特殊相対性理論は単に新たな幾何学なのであり，既にそれだけでこの理論は無矛盾である」という，一部の相対論者たちによって流布されている決まり文句は実に奇妙である（幾何学は多数存在するが，我々の世界は1つなのだ！）。物理学の研究対象そのものさえ感じ取れないというのなら，どうやら，彼らは専門分野の選択を誤ったようである（物理学は，研究対象である現象に直接影響を及ぼす諸現象の原因および具体的な諸メカニズ

［訳注］ ワシーリー・イワノヴィッチ（・チャパーエフ）［この（ ）付きの表記は原文のママ］はロシア革命後の国内戦で赤軍の師団長を務め，1919 年に戦死した英雄的人物であり，また，その名を冠した旧ソ連海軍の大型対潜艦（対潜水艦戦を主とする戦闘艦）「ワシーリー・チャパーエフ」でもある。この文章のチャパーエフを，（1）人名と解釈すれば，潜水艦に乗り組んでいた「ワシーリー・イワノヴィッチなる人物」が，潜水艦が沈下して沈没した場合は「溺死」したことになる（逆に潜水艦が浮上した場合はまだ生きている）。しかし（2）艦名とも解釈でき，仮にそうだとすると潜水艦が「その任務を首尾よく遂行」して魚雷を命中させ，その結果，敵方の「2 隻の艦艇」のうち「対潜艦チャパーエフ」が「沈没」したことになる（その逆もあり得る）（なお，ロシア語では「溺死」も「沈没」も同じ単語）。いずれの解釈が正しいか（両方とも間違っている可能性もある）の判定，そして著者がこのような多義的な書き方をした理由についての推察は，相異なる観測者たる相対論的読者の皆様にお任せしたい。

ムの研究に取り組む学問である)。言うまでもなく，物理学においては数学的解を得る目的で座標変換（例えば共形変換）がしばしば利用されている。特に，音響学においては（そしてまさに課題が変換に対して不変であるという理由で)，いくつかの課題の解決にはローレンツ変換を（ただし音速において！）利用することが可能である。しかし，もし無名の誰かが「いったん正しい解が得られたということは，それはすなわち，全宇宙が円の外部領域から内部領域に“変換された”ということだ」などと主張したとしたら，全ての物理学者は，そのような言明はどこに位置付けられるべきかを理解するだろう。ところが別の人間，今度はとても偉い偉い相対性理論の学者が「私が隣りのパン屋に入った瞬間，全宇宙が収縮した」と言うと，「太鼓持ち」の群れが，そのたわ言の正しさを証明し始めるのである（どうやら，彼らはかわいそうに，子供の頃ひどく恵まれない扱いを受けていたらしい―童話の『裸の王様』すら読んでもらえなかったのだから。あるいは，彼らは，この永遠の童話が人生ときわめて直接的な関係を持っていることを理解しなかったのかもしれない)。

筆者の立場から見て最も首尾一貫した態度は，相対論的な動力学および電磁気学の結果が近似的なものであり，その精度は実験によって与えられるものであることを原理として認める態度である。純理論的な方法が持つ可能性を過大評価し，物理学に大域性という過度の負荷を課することをしてはならない。筆者は，まさにこの理由により，そして相対論的諸実験は裏付けが不十分であるという理由により，代替理論を提案する試みは行わない。今，理論がしなければならないことは，高速度領域において具体的に検証された諸実験を分析し，総括・総合することである。

多数の相対論批判者が剽窃というテーマを提起している。実際，この倫理的側面を避けて通ることは難しい。相対論者たちの泥棒の「論理」（弁明）は，こう言っている。「他人の興味深いアイデアを剽窃したという理由でA.アインシュタインを非難することは，相対性理論が誤っているという主張と矛盾している」。決してそんなことはない。誰かが自動車を盗み，その後，その車を壊した場合，ちゃんと動く車が存在しないという事実は，彼が最初に窃盗を行った事実を消滅させない。それゆえ，A.アインシュタインの著作には，彼に先行する偉大な研究者たちからの誰もが知っている引用の表示が存在しないという事実からは，不快な後味が残る。そのような点に関する情報不足を補うため，[206]［＝著者のサイトの内容の一部］には「真の先駆者全員を記憶する」という企画が追加掲載されている。

言うまでもなく，アインシュタインの公式とローレンツの公式の**解釈**における違いはかなり本質的なものである。例えば，いわゆる「運動学的効果」の場合，アインシュタインにおいては，その現実化（作用）の原因もメカニズムも存在しない。たった一人の人間（もし彼が「地球のへそ［この世の中心，お山の大将］」であったとしても）の頭に運動しようという考えが浮かびさえすれば，宇宙全体が圧縮されることができるのはなぜなのか？ したがって，物理学にはそのような効果のための居場所はない（それは数学的トリックにすぎない)。それとは逆に，ローレンツにおいては，相互に運動したとき，各物体が各物体（ましてや空間全体）との関係において圧縮されるのではなく，エーテル中を通過して具体的に運動した物体のみが圧縮される。ここには，原因（エーテル中を通過する具体的な速度での運動の開始）も，メカニズム（エーテルとの相互作用）も存在する。そのような効果であるならば，物理学において検討されることが十分にできる。2つの公式の解釈のうちに

は，まさに物理学と数学の違いが存在している。

ニュートンの構想が最も好ましいのはなぜか？ 物理学の古典的概念は，我々を取り囲む世界についての誠実な研究者たちによる何千年間にもわたる観測（天文学的な宇宙観測も含む）の一般化として定式化された。運動学の古典的理解は内的矛盾も，実験との矛盾ももたらさない。いわゆる運動学的効果（例えば，神話的な空間の収縮や歪曲）について論じることに意味はあるのだろうか？ もちろん，ノーである。もし空間自体を歪曲しているとみなすのであれば，物差しもまったく同じように歪曲しているはずであり，そのような歪曲はいかにしても検出することができないはずである。まさにそれゆえに，古典的概念が理想的なもの（また，実際的な利用において最も単純なもの）として選ばれる。古典的概念は，実在する物質*に何らかの新たな性質を「詰め込む」ことを妨げるだろうか？ まったく妨げない！ 物質*が持つ，既に発見されている，あるいは将来発見される可能性のある任意の性質は，古典物理学に容易に，かつ有機的に組み込まれるであろう。例えば，古典物理学においては，エーテルが持っている可能性のある性質を検討することは完全に妥当なことである（特殊相対性理論においては，エーテルに関する検討はいかなる意味も持たない。特殊相対性理論においては，エーテルは観測可能な性質を奪われているからである）。古典物理学においては，質量や電荷の発生，光子の構造，等々といった問題を検討することが完全に可能である。古典物理学は，多階層的［multilevel］な系や運動（深さと広がりが無限大で，それと同じ程大きな多様性を持つ系や運動）の存在の潜在的可能性を妨げるだろうか？ これも妨げない。ニュートンの第一「法則」は，他のいかなる対象物とも相互作用していない，特定の物体の理想的な直線運動についてのみ語っている。現実の宇宙においては，そのような状況は厳密な形では（ときおり，しかも近似的な形でしか）出現しない。それゆえ，我々の唯一の宇宙において，いかなるタイプの自然運動（例えば円運動など）が現実化するかは，存在している現実の相互作用によって完全に決定される。運動を記述するためのニュートンの第二法則よりも「経済的な」表現方法が発見されるかどうかは，未来が教えてくれるであろう（概して言えば，そのような「改善」は可能であるが，しかしそれは，記述される原理そのものの正否に関する問題ではない！）。運動方程式は運動の積分を完全に（！）決定しており，しかもそれは，相互作用しない無構造の質点に関して導入された，古典力学的なエネルギーと運動量でなければならないということではまったくない（現実の散逸過程を伴う古典的な事例，あるいは流体力学の事例，等々を思い出そう）。そして最後に，古典物理学には，相対量だけでなく，絶対量も存在している（そしてこのことが実践において見事に機能している）。すなわち，古典物理学は現在既に，絶対量を含んでいないあらゆる理論よりも一般的な理論なのである。

4.4. 第 4 章の結論

この第4章は相対論的動力学に対する批判をテーマとしていた。この「正常に機能」しており，「検証済み」であるかのように見える研究領域における論理的矛盾が提示された。

第4章では，前章に引き続き，相対性概念に対する批判が行われた。さらに，相対論的な質量概念が詳しく検討され，これに対する批判が与えられた。特殊相対性理論における質

量中心概念の矛盾性が示された。次に，力および力の変換に関する相対論的概念，ならびに各種の計量単位についての相対論的アプローチに対する批判が与えられた。次に，マクスウェル方程式の不変性の真の意味(特殊相対性理論による大域化を除外したときの意味)が検討された。さらに本章では，質量とエネルギーの間の相対論的な相関関係に対する批判が提出され，いわゆる「核物理学の実験的裏付け」が批判され，一連の個別的課題が検討された。放射質量，いわゆるトーマス歳差といった特殊相対性理論の様々な側面，その他の課題が吟味された。一般に受け入れられている相対論的動力学の解釈がまったく根拠を欠いていることが示され，コンプトン効果の特殊相対性理論による解釈が批判的に詳しく分析された。

本章の総括的な結論の要点は，あらゆる動力学概念の古典的解釈に回帰する必要があるということ，相対論的解の古典的解釈が可能であるということ，そして高速度領域における一連の現象について，より完全な実験的研究を行う必要があるということである。

付論Ａ．不変速度の存在の「証明」に関する分析

論文［158］について詳しく検討しよう。この研究では相対論的速度合成則の試みがなされているが，しかし，それは平行速度に関してのみである。すなわち，自然は既に理論によって制限されている。まず手始めに，予備的なコメントをしよう。$c = constant$は何を意味することができるか？ 波の伝播速度は古典物理学においても波源の運動速度に依存しない。受光器に対する（受光器の内部における，ではなく！）光速度不変は，これまで誰によっても裏付けられたことがない。それだけでなく，木星の衛星イオの食に基づいたレーマーによる光速度の大きさの決定は，光速度不変を否定している。信号の取得時間は受光器の運動に依存している（もしそうでないのなら，そもそも，公式中に$c \pm v$は現れないはずである）。また，$c = \lambda\nu$という表式は，閉じた計測器内における波動過程の速度のみを決定しているのであって，周囲空間中における信号の伝播速度は決定していない。時間と時計は，まったく相異なる概念である。そもそも，時計の同期はΔtの長さを変えないのだから，時間の進行とは無関係であり，必須条件ではまったくない。互いの間における信号のプリミティブな交換は，中世における伝書鳩郵便を思い出させる。時間の進行とは異なり，時計の歩度およびその非同期はそれらの時計自体の構造に**依存している**。

以下，この付論において，番号付けされている表式の全ての引用は，批判対象である論文［158］からのものである（ここでは，表式を比較対照するため，その論文を手元に持っていることが望ましい）。［158］の著者は，相対性原理と両立できる最も一般的な関係式（平行速度に関する！）を示すという目標を設定している。それは，速度合成則

$$w = \frac{v + u}{1 + Kuv}$$

である。個別的場合であるものが，いったいどうすれば最も一般的なものになることができるのだろうか？ 諸速度の平行性を現実に保証することは可能なのだろうか？ 明らかにノーである！ 所与の長さの2つの速度uとvに関して，それらが平行である場合とは，0次元の集合である。そして非共線ベクトルに関して，相対論的速度合成の結果は，既にその適用の順序（速度合成の順序）に依存しているのである！

$K^{-1/2}$という量は「不変速度」ではなく，境界速度である。すなわち，この速度より小さい2つの量の合成はやはりこの速度より小さい量を与えるが，しかしこの速度より大きい2つの量の合成もまた，この速度より小さい量を与えるのである！ 2つの量のうちのせめて一方がこの境界速度と等しい場合に限り，この速度が再び「合成」の結果となる。見てのとおり，何ものによっても裏付けられていない2つの追加的な公準―$K^{-1/2}$を超える速度で運動することは不可能であるという公準と，そこから「飛び降りる」ことも，そこを「飛び越える」こともできない，奇妙な境界速度が存在するという公準―が得られた。

マーミンは，2変数関数を1変数関数に転換する方法について述べている。しかし，数学においては，そのようなことは常に可能というわけではない。すなわち，いくつかの追加的な仮説と制限が，しかも思考実験（！）を通じて人為的に導入されることになるのである。［158］の著者は，相対性原理が満たされるようになることを事前に想定している。す

なわち，我々は，孤立系（相互作用しない同一の系。これは既に自然に対する制限である）を相手にしているのである。にもかかわらず，そのとき，著者は，相対速度の間における開いた関係を探求している。［158］の表式（2.3）において，著者は，その前の表式（2.2）の意味のすり替えが目立たなくなるようにするため，別の変数を特別に導入している。添え字に注意していただきたい！ 表式（2.2）では，添え字は

$$f(v_{CB}, v_{BA}) \to v_{CA}$$

というように，互いの間できちんとつながっている。これは，速度合成の物理的意味に対応している。もし著者がv_{AC}に関する表式を符号の置き換えを通じて書き表したかったのであるのならば，

$$-v_{CA} = v_{AC} = f(v_{AB}, v_{BC}) = f(-v_{BA}, -v_{CB})$$

と書く必要があった。このように，（2.3）の代わりに，

$$f(-y, -x) = -f(x, y)$$

と書かなければならなかった。また，いかなる「一般的判断」からも，引数に関する表式（2.6）の対称性はまったく導き出されない。それだけでなく，非共線ベクトルに関する一般的な相対論的速度合成則は速度の順序に依存している（非可換である！）という事情が，我々の観点の正しさを裏付けている。それゆえ，平行速度の個別的場合もまた，対称（可換）でなければならないということはまったくない。

次の問題。**被測定**速度（ある系内に位置している計測器との関係において測定される速度）と**被計算**速度（計測器が存在している系には属さない速度）とを，明確に区分する必要がある。我々の場合には，ある関数fは計算を目的として導入されているのだから，速度v_{AC}が被計算速度であることは明らかである。一方，その関数の変数―速度v_{AB}およびv_{BC}―は被測定速度である。しかし，そのとき，計測器が存在し得るのは系B内のみである。したがって，論文［158］における新たな点Dの追加は，ただ単に，系B内に存在している計測器が測定することのできない新たな被計算速度，すなわちv_{DC}, v_{CA}, v_{DA}の表式（2.7）における導入という結果をもたらしているにすぎない。それに伴い，表式（2.8）の第1式において，被測定速度と被計算速度が場所を交換しており，このことが求める計算関数の物理的意味を変化させている。（2.9）において被測定量と被計算量を混合することが可能であるということは，追加的な物理学的仮説である。我々は，被測定量と被計算量を交換したとき，求める関数の形が元のまま（同一）であり続けるということを事前に想定することはできない。古典物理学（線形従属）の場合，被計算速度は観測系の運動にはまったく依存しない。しかし，相対論物理学においては，非共線ベクトルに関してそれはもはやそうではない。

数学においては，たとえその2変数関数が「連続でかつ微分可能」であったとしても，2変数関数が1変数関数として表されるというような一般的性質は存在しないことに注目しよう。それゆえ，「パラメーター従属」や「変数固定」に関する文言，また（2.10）における偏導関数の全導関数（2.14）への置き換えは，あからさまな欺瞞を隠蔽する目的を持っている。その欺瞞が機能していない例を，誰でも簡単に見つけることができる。このよう

に，表式（2.17）は，マーミンの「証明」がその地位を狙っている「一般的場合」の中に居場所を持っていない。そして，我々は，（2.6）の対称性は相対論の中に居場所を持っていないことを既に見たのだから，ましてや，等式（2.18）が機能するはずはない。そのとき，表式（2.19）も，関数hを求めることも意味を失う。しかも，ゼロにおいて導関数がゼロになる場合には，h'は無限大になり得るはずである。

さらに，（3.1）の代わりに，別の表式―自己無撞着な表式―

$$w = f(v,u),\quad s_1 = f(v,s),\quad s_2 = f(v,-s)$$

を書く必要がある。表式（3.5）は正しい。なぜなら，それは古典的相対性のみを用いているからである。（3.6）が既にそれ以前の諸定義と一致していないことは明らかである。しかし，関数hを求めることに意味はないという点も含め，上述した全ての点を忘れたとしても，（3.9）の最も単純な解は$h'(s) = 1$となる。まず第1に，いかなる場合においても，議論することが可能なのは，被計算速度の決定のみであることに注意しよう。被測定速度は，我々の数学ゲームなしでも実験から決定される（なぜなら，最良の選択は最も単純なバリアントであるからである）。第2に，マーミンは，表式（3.9）から出発して，全ての場合に対して有効な，ある種の**単一の**定数を基礎付けようと試みている。ウサギとカメはあらゆる場合に出会うことになることに注意しよう。すなわち，その一方だけが立ち止まった場合でも，両方が立ち止まった場合でも，あるいは両者が任意の速度で運動した場合でも，両者は出会うのである。$u = 0$を選んだ場合には，最も単純な選択は$h' = 1$という個別的場合において得られる。しかし，最も重要なのは，考え出されたその関数は，その非可換性により，いかなる速度合成則も与えないということである。

相対性原理への信仰から出発して，つまり，一連の量は相対速度に対して依存している可能性があると予想して，エキゾチックな（相対論的な）変換が可能であると仮定したとすると，それらの量は相対速度の**絶対値**に依存しているという予想は**追加的な仮説**となる。その場合，我々は，往復運動時に測定される諸量の相等性についてすら確信することができなくなる。例えば，その場合には，基準系内における2つの列車は$T_1(u) = T_2(u)$であるということすら疑うことができる。さらに，ここでもまた，被測定量と被計算量を混同してはならない。すなわち，（4.1）の代わりに，（関数fとの整合性を得るために）$t_1(v,u) - t_2(v,u)$を調べる必要がある。著者の推論は列車の運動系に関して行われている，すなわち，

$$T_1(u) - T_2(u) = T_1'(u') - T_2'(u') \qquad (4.3)$$

であるので，我々は（4.6）の代わりに，

$$t_1(0,u) - t_2(0,u) = t_1(0,u') - t_2(0,u')$$

とのみ書くことができる。著者は次に，その関係式はv系においても保存されるという公準を定めている（これはまたも追加的な仮説である）。我々はこの論文の全ての中間式に修正を加えることはせずに，ただちに最終式を書くことにしよう：

$$\frac{g(v)}{2v} = \frac{\big([f(-v,u) - f(v,u)]/(2v)\big) + 1}{[f(v,u) - v][f(-v,u) + v]}$$

およびその極限

$$k = \lim_{v\to 0}\frac{g(v)}{2v} = \frac{1 - \left.\frac{\partial f(v,u)}{\partial v}\right|_{v=0}}{u^2}.$$

しかし，ここでも再び，ここからはいかなる特別の関数h'も導き出されない。

著者はさらに，Kの値が負のとき，$|v| > (-K)^{-1/2}$かつ$|u| > (-K)^{-1/2}$ならば，速度合成則（5.2）は$|v| + |u| \rightrightarrows -|w|$という結果に導くことができると指摘している。しかし著者はどうしたわけか，Kの値が正のときのときにおける，それとは別の奇妙さを無視している。境界速度$c = K^{-1/2}$は，諸現象を次の3つの奇妙な「世界」に分割している：

I) $v_i < c$,

II) c,

III) $V_j > c$.

このとき，

$$v_i + v_k \rightrightarrows v < c,\quad v_i + c \rightrightarrows c,\quad V_j + c \rightrightarrows c,\quad v_i + V_j \rightrightarrows V > c$$

であるが，しかし，速度を合成すると，その各速度はcよりも大きくなり，粒子はI番目の「世界」に「転落」する。すなわち，$2c + 2c \rightrightarrows \frac{4c}{5}$となる。（$\frac{c}{2} + \frac{c}{2} \rightrightarrows \frac{4c}{5}$のときにもそれとまったく同じ結果となる）。

波の伝播速度が，いかなる波の場合にも，またいかなる伝播速度の場合にも波源の運動速度に依存しないことは明らかである（そのような例は多数見られる）。古典物理学における場合も含め，それはただ単に波の性質であるにすぎない。しかし，真空中における光速度の不変性の裏付けは今のところ存在しない。速度$V = \lambda\nu$は計測器の内部における波の局所的伝播速度を決定している。そして，木星の衛星イオの食に基づくcの決定は，むしろ，光速度が受光器の運動速度に依存していることを物語っている。いずれの場合にも，それ以外の証拠は今のところ存在しない。

マーミンは，系B内においてはv_{CB}とv_{BA}の2つの速度のみが被測定速度であることを忘れて，表式（5.3）からKの値を決定することを提案している。表式（5.3）は，本質的に，系B内では測定されない速度であるv_{CA}の**定義**なのである。また，1個の表式は2つの未知量，すなわちv_{CA}とKを同時に決定することはできない。著者は，系A内における量v_{CA}について「質問する」よう提案している。奇妙な相対性が得られる！ どうしたわけか，我々によって測定されていない系A内における長さと時間の値を系A内の観測者が知っていることを，我々は信じることができないのだ（それは，相対論の暴露という観点から見て不都合なことである）。我々は，それらの値を人為的な相対論的法則に基づいて自ら計算しなければならなくなる。しかしそのとき，我々は，系A内の観測者が語る速度に関する証言をそっくりそのまま信じなければならないというのだ。結局のところ，「ここでは読む，ここでは読まない」，……そしてシャンソンでも歌われているように，「その他の点につきましては，美しき公爵夫人さま，万事順調，万事順調でございます」（いかなる犠牲を払っても，我らは特殊相対性理論を救うのだ）！ 概して言えば，運動線分の垂直2等分線上にある無限遠の発信源を用いた同期方法は，一意的に古典的な値（空間的，時間的な値と運動特性）に導

く。

文献［159］の研究における相対論的速度合成則の「根拠付け」についても簡単にコメントをしよう。線形変換に対して逆の変換およびそれらの変換の積は当該の構造を保存する（群を構成する）という要求は，追加的な要求である（また，その要求は非共線運動に関しては満たされない)。テルレツキーが空間の一様性について語り，しかしその際，ある種の奇妙な変換を人為的に導入しようと試みたとき，彼はまず最初に，そのようなでっち上げられた「物理学」にとって，平行移動から何を期待しなければならないか（いかにしてパラドックスを回避しなければならないか）という疑問に答えるべきであった。表式(7.6)においては，その定数は別の座標，すなわちy_1, z_1に依存する可能性がある。(7.7）の変換の形自体が仮説となっている。すなわち，もし一般化について語るのであれば，座標の交差従属性［cross dependence］があり得る。

さらに，$x \to -x, v \to -v$のみの取り替えは，3つの基底ベクトルの方位を変化させる。したがって，(「証明」を行っている著者が望んでいるように）変換公式において何も変化しないようにするためには，$y \leftrightarrow z$の位置を交換する必要がある（非球体の場合，これはただちに明らかなことである)。正変換と逆変換の形式の一致は疑わしく思われる。非共線ベクトルに移行する際には，「群論的特性」をめぐる大きな問題が生じる。それゆえ，これら全ての数学の練習問題は人為的に見える。

最後に，速度に対する質量の依存性はこじつけである。すなわち，速度とともに質量が増加するのではなく，物体の速度が相互作用の伝達速度（運動量の伝達速度）に近づくと，有効力が減少するのである！ 古典物理学にもそのような有効力の減少が存在する。このように，［159］の研究もまた，相対論的不変性と速度合成則の根拠付けという点で，厳密であると認めることはできない。

付論B．あり得る周波数パラメーター化

以下の付論においては，いくつかの個別的仮説が検討される。これらの付論は，特殊相対性理論のアプローチが唯一のアプローチではないということ，そして全ての計算の周波数パラメーター化が可能であることを証明している点を除けば，本書の本論部分で述べられている相対性理論批判とはほとんど無関係である。付論が主張しているのは上記の点のみである。なぜなら，付論では特殊相対性理論の誤った方法が利用されているからである（その方法が誤りであることは本書の本論部分で証明されている）。筆者は1993年から1999年までの時期，以下の2つの付論（プラス第3章のマイケルソンの実験の分析に関する部分）に述べられているアイデアをいくつかの有名雑誌に何とか発表しようと試みていた。当時は，外交辞令的な理由ですぐには論文を審査してもらえなかったり，あるいはおよそ次のような回答が届けられたりした―「そのようなことを相対性理論と量子電磁力学のうちに発見した者は誰もいない。一方，これらの理論の予測精度はきわめて大きい」と。そもそも，理論家はどうすれば何か新しいことを発見できるのだろうか（「後付け」で説明するのではなく）。理論家は何らかの事実を仮定し，自分の仮定から導き出される帰結を検証しなければならない。しかし，光速度が周波数に依存している可能性を仮定しようと試みた者は誰一人いなかった。しかも，ここで問題にされている精度は，現在の実験精度を1桁か2桁上回る程度のものである。この程度の精度はごく近い将来に達成することができる。なにしろ，物理学では，現在の精度を何十桁も上回る精度を必要とする実験が真剣に検討されているのだから。筆者はついに時間を浪費することにあき，相対性理論のこれほどまでに高い精度とはいったい何なのかを検証しようと決心したのであった（それと同時に，自分が学生の頃，この理論に不満を抱いていたことを思い出した）。その結果，いくつかの独自の批判論文のうちの最初の1本が，そして今や，この本が出現したというわけである。それゆえ，全て物事にはそれなりのプラスとマイナスがあるということだ。

さて，光速度の周波数に対するあり得る依存性に関する検討に話題を進めよう。周知のように，真空中に粒子を入れると，仮想対（粒子–反粒子対）の出現といった様々な過程が真空中に生じる。そして，多くの相互作用の過程はそのような仮想対を利用して記述することができる。光もまた，その伝播の過程で真空の性質に影響を及ぼす（特に，真空偏極が生じなければならない）。したがって，相反定理により，光の伝播過程に対する偏極した真空の逆作用が存在しなければならない。その結果，ある特定の周波数の光は，ある誘電率εを持つ「媒質」としての真空を通って伝播することになり，その誘電率εは伝播する光そのものによって決定される。すなわち，$c = c(\omega)$である。

質量項をマクスウェルのラグランジアンにあからさまな形で追加する方法でマクスウェル方程式を一般化すると，（現代的理解によるところの）ミンコフスキー空間におけるプロカ方程式が導かれることが知られている。媒質中を伝播する電磁波は媒質によって変えられ，この影響が有質量光子の生成のうちに現れる［100］。位相速度の一定性という仮定においてさえ，光の群速度の周波数依存性（真空中における分散），すなわち

$$v_g = (d\omega/dk) = c\sqrt{\omega^2 - \mu^2 c^2}/\omega$$

（ここで，μは光子の静止質量）が生じる。ただし，この付論においては質量生成および電荷理論の問題についての検討は行わない。ここでの主な目的は，光速度自体に関連を持ついくつかの物理学的問題を描出することである。

次の3つの疑問が一度に生じる。1）ω依存性はどうすれば推定または測定することができるのか？ 2）ω依存性がこれまで発見されなかったのはなぜか？ 3）ω依存性から導き出される帰結はどのようなものか？

様々な光速度測定方法が存在する。すなわち，天文学的な方法，遮断による方法，回転鏡による方法，電波測地学的な方法，定在波による方法（共振器），λとνを独立に測定する方法である。現在，最も精度が高いのは最後に挙げた方法［59,67］であり，標準局はまさにこの方法により，光速度を小数第8位までの精度で測定している。しかし，この方法には原理的な困難が存在する［7］。しかも，この方法には原理的に不十分な点があることを指摘しなければならない。すなわち，この方法は局所的な（計測器の内部における）光速度と関係を持っている可能性があり，また，もしそもそも光が純粋な波動でないとすれば，この方法は光速度とまったく無関係である可能性があるのである。その他の方法が（$c(\omega)$依存性の発見にとって）なぜ不適切であるかは，前章までの説明から既に明らかである。また，1つの個別的仮説にとっても不適切である理由が，この先，この付論の説明によって明らかにされる。

以下において，我々は特殊相対性理論の方法に従うことにする（その方法が誤りであるということ，そしてその方法は，補足条件（アインシュタインの同期方法を選択するという条件）の下で，2つの基準系の場合における「見かけの効果」しか与えないということは，しばらく忘れることにしよう）。特殊相対性理論からの諸帰結（例えば変換法則）の導出に際しては，間隔の概念$ds^2 = c^2dt^2 - (d\mathbf{r})^2$が利用されていることを思い出そう。ここでは，方法論に関する次の2つのコメントを述べる必要がある。第1に，間隔の等式$ds^2 = ds'^2$でさえ，もっともらしい仮説の1つ以上のものではない。確実なまま残るのは唯一の点$\Delta s = 0$のみだからである（$c = const$antと仮定した場合）。例えば，任意のn乗（nは自然数）を等しく取って$c^n dt^n - dx^n - dy^n - dz^n$とし，各種の「物理法則」を得ることができる。あるいはまた，$t = t'$であるが，しかし$c'^2 = c^2 - v^2$であるとみなす，すなわち$v' = v\sqrt{1 - v^2/c^2}$である（相互運動の見かけの速度は相異なる観測者ごとに異なる）とみなすことができる。このように選択すれば，相対論的な縦ドップラー効果は古典的表式と一致することになる。この種のエキゾチックな系は特殊相対性理論と同程度に（すなわち，特定された2つの対象についてのみ！）内部調整することが可能であり，したがって様々な選択のうち，理論的虚構にすぎないのはいずれであるかを明らかにすることができるのは実験のみである。我々はここでは，この種のあらゆるエキゾチックな仮説について検討することはしない。

第2に，間隔の利用に際して，利用されている光はある地点から別の地点に進む具体的な光であるという点，つまり，間隔には表式$\mathbf{c}(\omega_i, \mathbf{l}_i)$を代入する必要があるという点が強調されていない。しかし，その場合には，複数の間隔の比例式（この比例式は教科書から引用したものである）は次のように不確定な相関関係

$$\frac{a(\mathbf{l}_2,\omega_2,\mathbf{v}_2)}{a(\mathbf{l}_1,\omega_1,\mathbf{v}_1)}=a(\mathbf{l}_{12},\omega_{12},\mathbf{v}_{12})$$

に帰着し，したがって複数の間隔の相等性すら裏付けることができない。再び，実験に答えを求める必要が生じた。なぜなら，この相関関係は今のところ「未知の」ドップラーの法則と関係を持っているからである。このように，自己の固有の原理のみから出発する理論構築は一意的とはならない。特殊相対性理論の一般に受け入れられている結論（方法）がもたらす若干の帰結は，実験的に裏付けることが可能である（例えば，粒子の動力学に関するある精度をもって？）かのように言われているのであるから，以下において，我々はその結論に依拠してみよう。ただしその際，我々はあり得る$c(\omega)$依存性を考慮に入れて，その結論に変形を加えることにする。

物理学的には，この変形は次のことを意味する。ある測定の見かけの結果は測定手順に依存し，計算結果は各種の系のための時刻の同期方法に特に依存する。この付論のアイデアによれば，「単一の電磁相互作用伝達速度」は存在しない（存在するのは$c(\omega)$のみである）。アインシュタインによる時間間隔の同期のためにある特定の周波数ωが利用される場合には，実験結果はωに依存することになる。例えば，系内において進行するある1つの過程が，固有周波数ω_kを持つ過程である場合には，その系についての検討は$c(\omega_k)$を使って行うことが自然である（まさに信号が伝播するのと同様に）。2つの系が互いに運動する場合には，各システムについての2つの値，すなわち$c(\omega)$と$c(\omega')$が公式に現れることになる。なぜなら，互いに運動する各系内においては，同一の光が相異なる周波数を持つからである。この場合には，ドップラー効果の結果として，値ωとω'は互いに結び付いている（下記参照）。次の事情に注目したい。系内において進行する過程が，相異なる固有周波数ω_iを持つ複数の過程である場合には，$c(\omega_i)$依存性の結果，互いに運動する観測者は，1つの地点において事象の相異なる描像を見ることになる（見かけの効果）。以下の計算において，我々は文献［4, 17］の記述とのアナロジーに従うことにする。

ω'を系内において伝播する信号の周波数とする。固有系についての間隔の表式ds'^2，および観測系についての間隔の表式$ds^2=c^2dt^2-dx^2-dy^2-dz^2$に，（$c$の代わりに）$c(\omega')$を代入すると，$ds^2=ds'^2$より，固有時間（$d\mathbf{r}'=0$）を次のように定義することができる：

$$dt'=dt\sqrt{\frac{c(\omega)^2-V^2}{c(\omega')^2}}. \tag{B.1}$$

一方，固有長さについての公式は有効であり続ける。これらは全て「見かけの効果」でしかないことを再度強調しておこう。任意の数式において，（被）加数や係数を一定の規則に従って左辺から右辺に，あるいはその逆方向に移すことができる（それらの数式は全て等価である）。では，時間が一方の観測者において加速したのか，それとも逆に他方の観測者において減速したのか（あるいは長さが増加したのか，減少したのか）を，どのようにして決定するのか？ もし誰かが「あなたの時間は，ある1つの対象に対してはある仕方で減速し，それ以外の対象に対しては別の仕方で減速した」と言ったとしたら，あなたはもうそれだけで，その種の数限りない無益な「情報」の馬鹿馬鹿しさをすぐに感じ取るはずだ。

ところが，相対論者たちが「あなたの所では全て通常どおり，ただし，どこか遠く離れた誰かにおける何とかは……」と言った場合には，多くの人はすぐに安心して，「おとぎ話」の続きに耳を傾け続けるのだ。

ローレンツ変換の導出のために平面txでの回転

$$x = x'\cosh\psi + c(\omega')t'\sinh\psi,$$

$$c(\omega)t = x'\sinh\psi + c(\omega')t'\cosh\psi$$

を用いてみよう。すると，ローレンツ変換は$\tanh\psi = \left(V/c(\omega)\right)$（ここで，$V$は系の速度）を使って次のようにまとめられる：

$$x = \frac{x' + \frac{c(\omega')}{c(\omega)}Vt'}{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}, \quad t = \frac{\frac{c(\omega')}{c(\omega)}t' + \frac{V}{c(\omega)^2}x'}{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}. \tag{B.2}$$

表式（C.2）においてdxとdtを書き，$d\mathbf{r}/dt$を見出すことにより，速度についての変換を得る：

$$v_x = \frac{\frac{c(\omega)}{c(\omega')}v_x' + V}{1 + \frac{v_x'V}{c(\omega)c(\omega')}}, \quad v_y = \frac{v_y'\sqrt{1 - \frac{V^2}{c(\omega')^2}}}{1 + \frac{v_x'V}{c(\omega)c(\omega')}}, \quad v_z = \frac{v_z'\sqrt{1 - \frac{V^2}{c(\omega')^2}}}{1 + \frac{v_x'V}{c(\omega)c(\omega')}}. \tag{B.3}$$

x軸に沿った運動については次式を得る：

$$v = \frac{\frac{c(\omega)}{c(\omega')}v' + V}{1 + \frac{v'V}{c(\omega)c(\omega')}}. \tag{B.4}$$

最大見かけ速度は$V_{max} = c(\omega)$（ここで，ωは固有系内における光速度）となることが分かる。全ての式は直線に沿った運動の場合の正確な合成則に導く（系AからBへ，および系BからCへの変換は，系AからCへの変換と同じ結果を与える）ことに留意しよう。本書の本論部分によれば，公式（C.1），（C.2）における量t'およびx'は独立した物理的意味を持たない（これらは架空の補助的量である）ことを思い出そう。公式（C.4）は公式（1.5）とのアナロジーに従って次の形に書き直すことができる：

$$v_{23} = \frac{v_{13} - \frac{c(\omega)}{c(\omega')}v_{12}}{1 - \frac{v_{13}v_{12}}{c(\omega)c(\omega')}}. \tag{B.5}$$

この形にすると，この表式の本質（見かけの効果）が最もよく見えるようになる。公式

$$\tan\theta = \frac{v'\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}\sin\theta'}{\frac{c(\omega')}{c(\omega)}V + v'\cos\theta'} \tag{B.6}$$

は速度の方向の変化を記述している。光行差についての相対論的表式は元のまま維持される（$v' = c(\omega')$を代入する）。いかなる場合にも，光行差についての相対論的表式は近似式

であることを思い出そう。4元ベクトルの変換も元のまま維持される。このことから4次元波動ベクトル$k^i = \left(\frac{\omega}{c}, \mathbf{k}\right)$の変換が導き出される：

$$k_0^0 = \frac{k^0 - \frac{V}{c(\omega)}k^1}{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}, \quad k_0^0 = \frac{\omega}{c(\omega)},$$

$$k^0 = \frac{\omega'}{c(\omega')}, \quad k^1 = \frac{\omega' \cos\alpha}{c(\omega')}.$$

その結果，ドップラー効果

$$\omega' = \omega \frac{c(\omega')}{c(\omega)} \frac{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}{1 - \frac{V}{c(\omega)}\cos\alpha} \tag{B.7}$$

が得られる。ここから，系の運動に対する光速度（$\omega \neq 0$）の依存性が導き出される（相異なる系に対しては相異なる周波数ω'が対応する）ことに注目しよう。ただし，次の付論で示されるように，光学領域の場合，この効果は無視し得るほど小さい。相対論者たちはドップラー効果についての表式には相対速度が含まれていると主張している。これは誤りである。地球上のある地点で爆発が起こり，放射の1本の線が短時間だけ放出され，冥王星上の受信装置が信号を捉えたとしよう。どの時刻にその神秘的な相対速度を決定するのか？なにしろ，閃光が生じた時刻には受信装置は地球の方を見ることができなかったのだし，信号を受け取った時刻には信号源は既に存在せず，しかも地球は反対側に向きを変えているのだ。媒質が存在しない場合でさえ，相対速度の代わりに，信号放出時刻と受信時刻におけるそれぞれの絶対速度の間の差が得られるはずである(そしてそれは同一ではない！)。そして，現実に何が得られるかは，実験が示さなければならない。

エネルギー–運動量ベクトルの変換は次のように行われる：

$$P_x = \frac{P_x' + \frac{V\epsilon'}{c(\omega)c(\omega')}}{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}, \quad \epsilon = \frac{\epsilon' \frac{c(\omega)}{c(\omega')} + VP_x'}{\sqrt{1 - V^2/c(\omega)^2}}. \tag{B.8}$$

この付論のアイデアに従うとすれば，媒質中における光の伝播と真空中における光の伝播との間には，より密接なアナロジーが存在しなければならない。

(1) 相異なった波束は真空中において相異なった仕方で分散する。

(2) 真空中における光の分散はビームの平行度に対して根本的な制限を課する。

(3) 真空中における光の散逸が存在する。すなわち，光の強度は光が真空中を伝播していくにつれて減少する。

(4) 光は「老化」する。すなわち，光の周波数は真空中を伝播する間に減少する。この現象は，「なぜ天空は光輝いていないのか？」という（オルバースの）パラドックスと関係を持ち，赤方偏移に独自の寄与をしている可能性がある。すなわち，宇宙進化の考え方に修正をもたらす可能性がある。実は，今述べているのは，赤方偏移の代替的な説明という問題である。赤方偏移の効果はきわめて小さく，この効果を実験室での研究によって裏付けることは現段階では可能とは思われない。そのため，天体のスペクトル線の赤方偏移の

検出が最高精度の光学的方法によって行われているわけであるが，しかし，赤方偏移が目に見える形で現れているのは，そこまでの距離が地球の公転軌道を基線にして（三角法に従って）測定してももはや決定し得ないような，きわめて遠い天体のみである。このこととの関連において，ハッブル定数の値はこれまで既に1桁も補正されていることを思い出そう。

量子電磁力学に移行する際は，全ての計算で$c \to c(\omega)$の代入を行う必要がある。この依存性は，例えば，古典的な記述

$$|\vec{E}| \gg \frac{\sqrt{\hbar c(\omega)}}{(c(\omega)\Delta t)^2}$$

が可能であるという条件の下で，不確定性関係

$$\Delta P \Delta t \sim \hbar / c(\omega), \quad \Delta x \sim \hbar / mc(\omega)$$

およびその他多数の公式に現れる。

ω依存性を記述する公式は著しく変化する。その例として，光子の放出と吸収について検討しよう。結果として，新たな係数

$$B = \frac{1}{1 - \dfrac{d \ln c(\omega)}{d \ln \omega}}$$

が，所与の偏極度を持つ光子の数$N_{\mathbf{kl}}$についての表式

$$N_{\mathbf{kl}} = \frac{8\pi^3 c(\omega)^2}{\hbar \omega^3} I_{\mathbf{kl}} B$$

および（吸収，誘導放射および自然放射の）確率についての関係式$dw_{\mathbf{kl}}^{ab} = dw_{\mathbf{kl}}^{ind} = dw_{\mathbf{kl}}^{sp} B$に現れる。$B$という量はアインシュタインの係数についての表式にも現れる。

場の固有振動の場合について代入$c \to c(\omega_k)$を利用することにより，光子伝播関数のフーリエ成分についての次の表式を得る：

$$D_{xx} = \frac{2\pi i}{\omega_k} c(\omega_k)^2 \exp(-i\omega_k |\tau|) .$$

あからさまな形での$c(\omega)$依存性なしで，$D(k^2)$を見出すことはできない。各種の断面積（散乱断面積，対生成断面積，崩壊断面積，等々）についての最終的表式を得る場合にも，あからさまな形でのω依存性が不可欠である。既知の各種公式において，一次近似として代入$c \to c(\omega)$を行うことができる。

付論C．あり得る周波数依存性メカニズム

半古典的なアプローチから出発して，光学とのアナロジーに基づいて$c(\omega)$依存性の推定を試みてみよう。実は，これは真空中における電磁振動の伝播に関するあり得る仮説の1つである。仮想的な（現実には存在しない）「粒子–反粒子」対からなる，ある種の系として真空を記述しよう。真空中においては，現実の粒子が存在しないときには仮想粒子は決して姿を現さない（現実には存在しない）。光の伝播領域では仮想対が生じる。光の伝播は仮想粒子対との逐次的な相互作用（振動励起）の過程として記述することができる。最も軽い仮想電子–陽電子対が最も大きな影響を及ぼす（振動が容易に励起される）。それゆえ，これらの対のみが考慮されることになる。

原子内あるいはポジトロニウム内における振動は現実の粒子の振動の一例であるから，その振動によって仮想対の振動の固有周波数を決定することはできない。仮想対（励起なしには存在しない対）に対応することのできる周波数は1つだけ存在する。固有周波数は電子–陽電子対の生成に対応する周波数$\omega_0 = 2m_e c^2/\hbar$（ここで，$m_e$は電子の質量）と定義することができる。このような記述の場合には，仮想対内の電子と陽電子は同一地点に局所化されている（仮想対は現実には存在しない—完全消滅）と仮定するのが合理的である。古典的な振動子モデルを使うことにより，光の位相速度についての表式を次のように書くことができる：

$$c(\omega) = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad \sqrt{\varepsilon} = n - i\chi, \tag{C.1}$$

$$n^2 - \chi^2 = 1 + 4\pi \frac{N{f_e}^2/m_e}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\gamma^2}(\omega_0^2 - \omega^2),$$

$$n\chi = 4\pi \frac{N{f_e}^2/m_e}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\gamma^2}\omega\gamma.$$

あとはc_0，γおよびNfの値を決定するだけでよい。γの値を選ぶ際に迷いは生じない。その値は次に示す放射の反作用によって決定される（真空中の場合において唯一可能な選択）：

$$\gamma = \frac{e^2\omega^2}{3m_e c^3}.$$

この場合に我々が追究することができるのは，古典電気力学が内的に矛盾しておらず，かつ量子効果がごく微弱な領域，すなわち$\omega \ll \omega_0/137$，かつ$\lambda \gg 3.7 \times 10^{-11}\text{cm} \gg R_0$（ここで，$R_0 = e^2/(m_e c^2)$は電子の半径）の領域のみである。$Nf$の値は光の伝播過程を確保するのに十分なだけの，単位容積当たりの仮想対の数を意味する。実は，ここでは光の量子の大きさ，および光の中で起動された仮想対の量が問題となる。量子の長さ方向の大きさがl~λ程度であることは明らかである。場$\mathbf{E}$および$\mathbf{H}$の変化の連続性を確保するためには，仮想対の「物質」が量子全体にわたって「広がって」いて（図C.1参照），局所的な軸（図の平面に対して垂直で，C軸と交差する軸）の周りを周波数ωで回転していると仮定することが

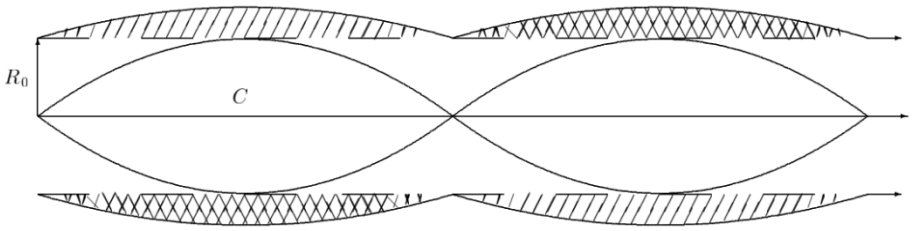


図 C.1. 真空の逐次的偏極としての光の伝播

できる。

1つの対が占める領域の大きさは（$2R_0,\ 2R_0,\ R_l$）（ここで，$R_l = \lambda/I$であり，Iは「広がって」いる対の数）である。平均運動エネルギー（磁場のエネルギー）は平均ポテンシャルエネルギー（電場のエネルギー）に等しいので，数Iは等式 $2Ie^2/(2R_0) = \hbar\omega$から見出すことができる。よって次式が得られる：

$$R_l = \frac{2\pi ce^2}{\hbar\omega^2 R_0}, \quad Nf = \frac{\hbar\omega^2}{8\pi ce^2 R_0}.$$

光の無次元位相速度についての最終的な近似表式は次の形を持つ：

$$\frac{c(\omega)}{c_0} = 1 - \frac{\hbar c_0 \omega^2}{4e^2}\frac{(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\gamma^2}. \tag{C.2}$$

これより，$c_0 = c(0)$であることが分かる。光の位相速度は周波数が増加するにつれて減少する。

若干の推定を行おう（(C.2) 参照）。紫外線領域の場合は$(\Delta c/c_0) \sim -0.5 \times 10^{-6}$である（可視ビーム領域における効果は無視し得るほど小さい）。$\omega \sim 10^{18}\ \mathrm{sec}^{-1}$における効果は$(\Delta c/c_0) \sim -1.4 \times 10^{-5}$である。ドップラー効果による地球の運動の影響は，紫外線領域においてさえも$(\Delta c/c_0) \sim -10 \times 10^{-10}$であり（無視し得る），この記述の適用可能領域の境界上（$\omega \sim \omega_0/137$）では$(\Delta c/c_0) \sim -3.6 \times 10^{-7}$である。表式$c^2k^2 = \omega^2\varepsilon$を用いることにより，群速度$U_g = (d\omega/dk)$について次式を得る：

$$U_g \frac{d\left(\omega\sqrt{\varepsilon}\right)}{d\omega} = c_0 .$$

群速度も周波数が増加するにつれて減少し，事実上，位相速度と一致する。群速度と位相速度の間における最大の差はこの記述の適用可能領域の境界上（$\omega \sim \omega_0/137$）で得られ，その違いは0.01％である（c_0に対しておよそ2×10^{-7}）。上記で利用されている光の量子の小さなサイズは十分に根拠のある（現代的理解に基づく）ものであることを指摘しておこう。このようなコンパクトな物体は微視的世界の任意の物体との間で，統一体として事実上瞬間的に相互作用する。そして実際，量子力学においてはこれらの性質を公準として想定しなければならない（例えば，光電効果やコンプトン効果を説明する際）。

現在の一般的な実験能力では，（地球の運動の影響の場合と同様）可視ビーム領域における光速度のω依存性を決定するには不十分である。そのような現状ではあるが，実験に関するいくつかの一般的意見を提示しよう。$c(\omega)$のω依存性の検出を実験目的そのものとして設定する必要がある。いかなる換算も検討対象たる過程に関する特定の理論的認識を引

き入れることになってしまうため，測定は［換算を介在させない］直接的なものとしなければならない。特に，真空中における実験が行われなければならない。光と物質の相互作用に関する純粋に理論的な計算は正確には遂行し得ないからである。一般的な場合には，物質*との相互作用は光の周波数ωに依存している。特に，鏡は周波数ωが相異なる波動を相異なる仕方で反射しているはずである（それだけでなく，反射は瞬間的な過程ではない）。光の変換に関連した換算は，あり得る光速度のω依存性を考慮していない。一般的な場合には，ビームの遮断は波束を，したがってまた波束の速度を変化させる。自由荷電粒子がこの効果に影響を及ぼす可能性があるため，金属製シールドを忌避する必要がある。

ビームの遮断方法に関しては，各種周波数のビームの同時スタート，また波面が一定距離を通過する時間間隔の適切な決定精度の確保が必要とされる。または代替案として，2本のスペクトル線（レーザービーム）の混合物から1本のスペクトル線を遮断によって除去してもよい。反射は瞬間的な過程ではなく，光の周波数に依存しているのだから，鏡を使って経路を延長するという標準的手法はまったく不適切である。あるいは，各ビームについて（相異なる各周波数について！），反射回数を等しくしなければならない。今述べたコメントは干渉計法に対しても適用することができる。ビーム（ω_1）を2つのビームに分割しよう。第1のビームを経路Lの始点で（ω_2に）変換し，第2のビームを経路Lの終点で（ω_2に）変換する。経路Lは変えることができる。もし$c(\omega)$依存性が存在するとすれば，干渉の描像は経路Lの変化とともに変化するはずである。ただし，擾乱なしにLを変えることには技術的な困難がある。

十分に幅広いスペクトルω_iについての天文学的調査が$c(\omega)$依存性の検出に役立つ可能性がある。皆既食のとき，二重系内において特徴的なスペクトル形状の非同期的な発現や消滅を人工衛星から観測することができる。ただし，距離が大きい場合には，光が実際に真空（ガス，プラズマ，塵，等々が存在しない真空）を通過したことを完全に確信することはできない。$c(\omega)$のω依存性を検出するためには，ω_iについて$c(\omega_i)$の補足的な数学的解析を行う必要がある。

最も興味深いのは，可視ビーム領域の場合の$c(\omega)$と，X線領域またはγ線領域の場合の$c(\omega)$との比較である。知られている限りにおいて，後の方のこれら2つの領域については実験データが存在しない。ただし，γ線に関する実験には一連の困難があり（波動モデルによる場合におけるλおよびνの最高精度の直接的・独立的測定法については［7, 59, 67］参照），しかも光の純粋な波動的性質について確信を持つことはできない。

この付論が提起している最も一般的な問題は，真空中に粒子（光子）が導入されたとき，真空の性質は変化しないままなのか否かという問題である。もし真空の性質が変化するのであれば，粒子（光）の伝播過程に対する逆方向の影響があるはずである（相互作用の原理）。$c(\omega)$依存性とは，この原理のある種の発現なのである。

以上のように，付論においては，特殊相対性理論，量子電磁力学，光学，等々に属する諸公式に対応する，$c(\omega)$依存性の結果についての公式が導き出された。$c(\omega)$依存性の事実そのものを検出するためには，目標指向的な研究が必要とされる。$c(\omega)$依存性の最大の効果は高周波領域の場合に観測されるはずである。実験上の重大な困難は存在するものの，あり得る結果は原理的に重要で興味深いものとなろう。

この付論では，光の波動モデルの場合に$c(\omega)$依存性をもたらす可能性のある様々なメカ

ニズムのうちの1つについて考察した。しかし，波動モデルは言うに及ばず，光の粒子モデルの場合でさえ，古典的速度合成則を覆すような決定的実験は存在しないことを思い出そう。ここで重要なのは，光の場合には，$c(\omega)$依存性，ドップラーの法則および速度合成則の3つの依存性が，光の波動モデルにおいては一意的な形で相互に連関しているという点である。これらの依存性のうち任意の2つだけを知っていれば，3つ目の依存性を一意的に決定することができるのである。波動モデルの場合には，真空中における電磁振動（光）の伝播過程は，伝播する光自体によって惹起される，仮想粒子（対）の振動の逐次的発生として記述することができる。（とは言え，この付論で検討したモデルの場合には，より重い粒子の消滅時に生じる光の性質の差異に関する問題，それ以外の仮想対の役割に関する問題，あるいは素粒子の「最小要素性［elementariness］」に関する問題が生じてくる）。

付論D．いくつかの仮説に関するコメント

相対論的な考え方を持った一部の著者たちは，特殊および一般相対性理論の不十分性および矛盾性を感じ，これらの理論を一般化しようと試みた―相対性が全てであるからには，加速度の相対性は実験と矛盾しているにもかかわらず（船上の回転する水槽中の水は放物面の形状を持つようになる； ところが，その水と一緒に回転するカメラは，水槽中の水の表面は平坦であることを証明せず，まるで周囲の海が放物面の形状を持ったかのようになる)。「似非開発者」たる相対論者たちが物質*的性質とのアナロジーを導入する場合にも，やはり包括性を自らのものとして要求する。例えば［175］の著者［巻末文献［175］の訳注参照］は，空間のためにねじれという性質を付け加えている。空想，まさに空想だ！ 相対論の伝統的な布教者たちがこの著者に襲いかかったのは，そんなふうに空想してはならないからではまったくない。彼らは，自分たちの見かけだけ科学的な確立したドグマ，そして自分たちの幸福に対する脅威を感じ取ったのだ。なにしろ，相対性理論に対する疑念と追加的な疑問が出現するからだ。もし相対論者たちの空想的な想像による空間の歪みが物体に引力を受けさせることができるのなら，ねじり弾性といった固体の性質を空間に付け加えることにより，空間をさらに物質*化することが可能になる。実際，我々が思い付いたとおりに，任意の組成，密度または質量を持った物体を我々に必要とされる速度で回転させ（そのとき角速度は一定に保たれる)，あるいは回転周波数を変化させることが可能であることを実験は示している。いったいどうしてそうなのか：空間の歪みが力によって物体の運動に影響しているというのなら，なぜねじれはそうではないのか？ この性質は物質*的物体とは関係を持っていない。残っているのは，一般相対性理論の物質*的に存在していない空間の存在しない新たな性質について空想することだけだ。幾何化とは，そもそも似非数学者たちにとっての強迫観念である。彼らは，力の概念を感じていない。彼らは，無重力下ではカタツムリやハエはリンゴやナシの表面に沿って任意の方向へ一様に容易に這って行くことが可能であり，それらの物体のいかなる幾何学もカタツムリやハエにとって障害にはならないことを理解していない。もちろん，幾何学はそれ自体で力の概念を決定することができない！ また，彼らは，引力を及ぼしている重力中心の幾何学を描くとき，心理的錯覚を利用している： あらゆる人間にとって，無意識のうちに，あらゆる物は穴の中へ自発的に落下して行くように思えるのだ（これが地球の引力を受けている人間の経験である)。この理論における幾何化のアイデアの数学的仕様も幼稚である： 同一の4次元時空の計量テンソルg_{ik}が，磁場のポテンシャルも重力場のポテンシャルも記述している； しかしなにしろ，現実の物理的場の性質は相異なっており（遮蔽される－遮蔽されない，速度に依存する－依存しない，等々)，また，相異なる場が一緒に作用することができるのである！ 弱場の近似において得られるのは，マクスウェル方程式ではなく，以前から知られている重力磁気［gravitomagnetism］の結果である（これは原理的には興味深いことであるが，しかしそれは幾何化ではなく，また，そのためにはいかなる相対性理論も必要とされない)。

［164］の研究［巻末文献［164］の訳注参照］は，相対論の頂点，研究の論理的完成とみなすことができる。この研究は，向き付けされた点［oriented point］（正規直交ベクトルの4つ組）という概念を導入し，4次元空間中における事象の方向と座標の間の関係を見出している。

そのような個別化された追加的パラメーターを利用した結果，時間と関係するいくつかのパラドックスを解消する可能性が現れている。正直に言えば，伝統的な相対性理論においてさえ，独自の研究対象は存在しない（相対論者たちが人為的に独自の研究対象としてきたものを現実の対象とみなしてはならない！）。それゆえ，そのようなより複雑な数学化された理論において独自の研究領域が現れるということはきわめて疑わしい。この理論はあまりにも人為的に見える（しかも，特殊および一般相対性理論が極限的場合と宣言されているのは疑わしい）。著者は自分の理論にはエキゾチックな適用範囲が存在すると主張しているが，その説明は理由ではなく，「無理なこじつけ」に見える。すなわち，著者の数学と現実との間の関係を追跡することはできない。さて，［175］および［164］の著者たちはトルチンの慣性体［訳注］を「根拠なしに無理に利用」している。一般物理学および理論物理学の教科書からよく知られているように，閉じた系は，（そのとき，最終状態において系の諸部分の相対的配置が元のまま保たれるようにするため）質量中心に対して任意の角度だけ方向転換することができる。ところが，これらの著者たちは，閉じた系は質量中心の並進運動を自立的に引き起こすことができると主張している。周知のように，全ての慣性体は，静止摩擦および支持面または支持線が存在するときにのみ，（加速度運動時に運動する諸部分の重量が変化する結果生じる静止摩擦力の異方性によって）運動する。もしこれらの著者が正しいとすれば，摩擦力が存在しない水中の平底船の上に慣性体の構造物を置いたとき，推力（加速度および速度）が顕著に増大するはずである。ところが，彼らはこのような簡単な実験を行おうと試みることさえしない(そしてそのような実験の代わりに，そこには静止摩擦が存在しない多様な似非実験を行っている)。支持面および静止摩擦が存在しない場合（宇宙空間中において，または無重力状態を再現した放物線軌道に沿って飛行機が飛行するとき）には，そのような慣性体が並進準動をし始めることはない。電気力学的帰結も「無理にこじつけられている」ように見える。言うまでもなく，現代電気力学は，多数の未解決の問題［140］や困難な問題を持っている。これには，非慣性計測器と非慣性電磁媒質（物体），例えば回転する電磁媒質との相互作用に関する問題が徹底的に解明されていないという問題が含まれている。では，［164］の著者において，電気力学の自発的非慣性運動への一般化が得られなかったのはなぜなのだろうか？ 回転物体の場合におけるそのような問題の研究は，お定まりの多次元の怪物，この場合は向き付け可能な怪物についての無駄話などすることなく，電気力学の枠内でも行うことが可能である。ただし，回転のこの個別的場合には，答えが真理に似たものに見える可能性がある。なぜなら，古典電気力学においては，磁場の作用と回転の間の類似性がよく知られているからである。核変換における主要な役割を新たな放射の超透過作用に帰しているのは奇妙である。なぜなら，その場合に，実験温度，電極材料（Pd, Ni, Fe…）および電極表面のテクスチャー（また，それ以外の個別的で再現性の悪い諸条件）がこの捉え難い要因に及ぼす影響を説明する必要があるからである。その際に我々自身が全ての条件を与える，巨視的対象を取り扱うアカデミックな課題だけでなく，古典物理学においてさえ，我々は初期条件や境界条件を知らないことがしばしばある。ところが［164］の理論では，我々はそれよりはるかに多

［訳注］ トルチン（Vladimir Nikolaevich Tolchin）の慣性体（inertsoid/inertioid の仮訳）については，”Wikipedia, инерцоид Толчина”（日本語で閲覧可能）または“inertsoid of Tolchin/ Tolchin inertioid ”でネット検索すると様々な情報を得ることができる。

数のデータ（統計物理学，核物理学，素粒子物理学その他多数の領域に関するデータ）を知ることを要求されることになり，このことが，提唱されている手順を実際に利用することを不可能にしている（あとはもう，似非数学を用いて「何々は何々と似ている」ゲームをして遊び，自分の解釈を恭しく信じるより他はなくなる)。

このように，[175] および [164] の研究においては，我々は，根拠なしに複雑化された数学（たとえそれが形式的には可能な数学であったとしても）を用いた，現実から遊離した（何もない所でいかなる前提もなしに空想によってでっち上げられた）ゲームを掴まされることになる。そのゲームでは，帰結は「雀の涙ほど」で，定量的に検証可能な結果は「どんなに探しても見つからない」。相対論の一般化には比較的少数の人々しか取り組んでおらず，それらの理論の学習は学校や高等教育機関では強制されていないので，それらに関する詳しい分析は本書のプランには含まれていない。

以下，この付論においては，我々はいくつかの有名な仮説に軽く触れることにする。これらの仮説もまた，本書の本論部分と直接関係するものではない。重力についての考察から始めよう。重力と電磁力が距離に対して同様の依存性を持つという事実は，これらの力は同一の作用メカニズムを持つという誤った考え方に導き，重力を電磁場とのアナロジーを通じて「説明」しようという気持ちを起こさせる。しかし，これは実験と矛盾している（例えば重力の遮蔽は検出されていない)。重力をファンデルワールス力タイプのものとみなすこともできない。もしそのようなものだとすれば，(ニュートンの法則におけるように逆2乗関数を得るためには）距離とともにわずかに減少するような遠隔力が存在しなければならないはずであるが，そのような力は存在しないからである。異なる符号を持つ「有質量電荷」を導入する方法で重力を対称化しようとする試みも誤りである。重力は引力を通じてのみ発現する。「では，反重力はいったいどこにあるのか？」という月並みな疑問の他にも，「電荷的」アプローチに対するトリビアルな反論がある。大きな物体，例えば地球について検討しよう。地球が例えば「正の有質量電荷」を「帯びて」いて，地球によって引き付けられている物体が「負の有質量電荷」を「帯びて」いるとする。逆の過程（図D.1）について検討しよう。地球から大きな破片をちぎり取り，宇宙の遠く離れた所に運び去る。周知のように，地球から持ち上げられた破片はそれ自体で宇宙に飛び去ることはなく，逆

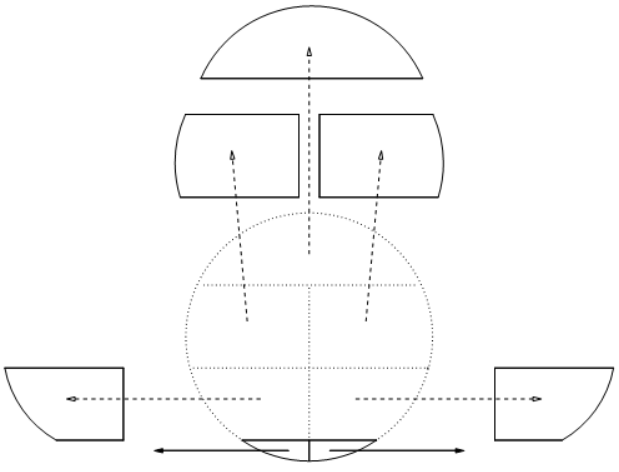


図 D.1.「電荷重力」の矛盾

に地球に向かって落下しようとする。したがって，「正電荷」はそのような各過程の後，地球の残り部分に「流れ落ちる」はずである。その際，「正電荷」の量は（総電荷を保存するために）増大していく。最後に残った破片*A*は，元の地球全体よりも大きな力で物体を引き付けることになる。このことは物質量に対する重力の比例関係と矛盾する。それだけでなく，別の矛盾も生じる。最後の破片*A*を厳密に半々に分割したとしたら，どちらの半分が正に，どちらの半分が負にならなければならないのか？ それとも，半々に分割した瞬間に各部分が互いに斥け合い，反重力が得られるのか？（反重力の有無は負の質量の有無とは無関係であり得るにもかかわらず。）

重力を電気力学の2次効果として形式的・数学的に記述する試みは，矛盾していることが判明する公算が大きい。問題は，効果のそれぞれの加法性，すなわち，線形依存性が各物体の電荷に関しても質量に関しても同時に(！)線形でなければならないという点にある。微視的粒子および分子レベルにおいてさえ，質量と電荷を一意的依存性によって関係付けることは不可能である。また，そもそも巨視的物体は，相異なる方法によって相異なる電荷量で荷電させ，任意の質量を持つ諸部分（ガリレイの思考実験による真空管中を一様に落下する諸部分。これは実験的に裏付けられる）に分割することができる。その結果，同時に作用するクーロン力と重力の間の完全に任意の比を得ることができる。それだけでなく，このような仮説は相互作用そのもののメカニズム（まさに物理学が取り組まなければならないと思われる事柄）を決して解明することができない。

重力の幾何化という一般相対性理論の誤った試みは，それ以外の場，例えば電磁場の幾何化の試みを誘発する。このアイデアが誤りであることは明白である。すなわち，荷電粒子だけでなく，他の粒子と「正面」衝突しない限り電荷を「感じない」中性粒子が存在するのである。したがって，空間の同一地点において，ある1つの粒子は空間の電磁的歪みの存在を示し，他の粒子は歪みが存在しないことを示すことになってしまう。概して言えば，ある未知の力を別の未知の力あるいは現象と形式的に一括りにするという，以上検討した全ての方法は，おそらく，あまり生産的ではない。

実際的応用にとってより有益となる可能性があるのは，ニュートンの静力学的引力理論のマクスウェル的アプローチによる各種の一般化である（例えば［157］，［11］を参照）。それだけでなく，既に知られているもう1つの興味深いモデルがある。残念ながら，機械論的モデルに対しては見下した態度をとるべきだという考え方を我々は絶えず吹き込まれている。しかし，それは正しくない。機械論的モデルは，創り出した後，「手でちょっと触って」みて，その有効性を確かめることのできる唯一のモデルである。このようなモデルは（「特定学派の学者の間では完全に証明済み」のモデルとは異なり），学校の生徒から著名な学者まで，誰もが理解し，議論することができる。そのモデルとは，具体的には次のようなものである。このモデルでは，宇宙内ではきわめて微小な中性粒子（「超世界微粒子」[訳注]。提唱者はルサージュ）があらゆる方向に一様に飛び回っていて，物体との弾性衝突時にその運動量を伝えていると仮定されている。2つの物体は互いに影（または半影）を投

［訳注］「超世界微粒子」は，本書のロシア語原文では" лиссажёны"，英訳版では"Lesagens"，仏語訳版では"lissagènes"と表記されているが，これらの単語をネット上で見出すことはできなかった。この邦訳版では，ジョルジュ＝ルイ・ルサージュ（Georges-Louis Le Sage）が提唱した粒子の一般的な英語名である"ultramundane corpuscles"の仮訳として「超世界微粒子」を用いる。

げかけ合っており，その結果，距離の2乗に反比例する力で互いに引き付け合うことになる。ただし，1つだけ「しかし」がある。陽子と電子はこの仮説上の粒子にとって不透明なのだから，大きな（半径がほぼ数千km以上の）物体の場合には， 2つの質量の積に対する比例性からの逸脱が力の発現の仕方に見られる可能性がある。かつてはさらにもう1つの反論があった。すなわち，超世界微粒子ガスの温度はきわめて高いはずであり，したがって宇宙は「燃えて」いなければならない，なぜなら，熱力学的平衡が急速に確立したはずだからであるという反論である。ただし，この理論の様々な修正版が既に現れている： 1）超世界微粒子は絶えず物体によって吸収されている（そして物体はそれに伴って絶えず「成長」している）可能性がある； 2）超世界微粒子は物体から離脱する性質を持った粒子に転換する可能性がある。残念ながら，これらのことを直接的な実験で裏付けることも否定することも今のところ不可能である。実験分野においてさえ，重力について全てが明らかになっているわけではない。例えば，物体の相互運動および回転が物体間に働く引力に及ぼす影響についての精密測定はなされていない。重力が慣性質量（したがってまた，例えばこまの回転時に生じる慣性力）に及ぼす影響に関する仮説が存在する。例えば遠心力の決定に際して，回転は何との関係において決定されるのか？という疑問が（我々に植え付けられている相対論的な紋切り型思考の発現として）生じる。慣性系を原理的に決定するための実際的な方法が存在する。決定することができるのは，ある別の先行状態に対する状態の変化（例えば，回転する2つの小球の間のばねの伸び）のみであるため，主張することができるのは，（遠心力によって引き起こされる）伸びが最小となるのはかくかくしかじかの回転周波数のときであるということのみである（当然のことながら，生じる可能性のある回転方向の変化を考慮した上で）。もしこの「最小伸び状態」が回転軸の方位と無関係に保存されるならば，我々は慣性系を得たことになる。それが太陽中心系となるのか，それとも別の系となるのかという問題を，我々の唯一の宇宙の場合について純理論的に決定することはできない（宇宙からほぼ全ての物体を取り除くという抽象的な机上論を現実に実行することは不可能である）。慣性力は（数学的）形式の点では変化せず，したがって検討することができるのは，重力に対する慣性質量自体の依存性のみであることは明らかである。おそらく，合成重力のベクトルの方向に対する慣性質量の何らかの測定可能な依存性はまずあり得ないと思われる（もしそうでないとすると，無重力中で液体が回転したとき，回転楕円体は生じ得ないはずである）。合成重力のベクトルの絶対値に対する多少なりとも本質的な依存性もまた，あまりあり得そうにない。さもなければ，彗星，小惑星および隕石の運動の計算は，一般に認められているデータと何桁も違ったものになってしまうだろう（例えば，運動量保存則に従い，大質量物体（地球，太陽，等々）から遠ざかる物体はその速度を増すことになるが，そんなことはあり得ない）。総重力ポテンシャルの値に対する慣性質量の依存性について検討を行うためには，（大きな距離にわたって運動したときにポテンシャルの変動があまり顕著にならないようにするため）まず最初に，ポテンシャルのゼロレベルはどのような意味を持ち得るのか，また，（定量的推定を行うために）我々の唯一の宇宙の中でそのポテンシャルをどのようにして究明するべきなのかを，一般哲学および一般物理学の観点から決定する必要がある。おそらく，慣性質量のこのあり得る依存性もまた，強いものではあり得ない（本書におけるマッハの原理についての検討を参照）。しかし，一般的な場合においては，この問題の原理的な解決は実験によってのみ可

能である。一連の宇宙論的問題は，重力相互作用の半径の有限性［143］を仮定することによって理論的には解決され得るかもしれないが，この仮説を検証することは今のところ可能とは思われない。この効果は天文学的規模の大距離になって初めて感知されるようになるからである。それゆえ，重力理論は，ニュートンがこの理論を残して世を去った時とほとんど同じ状態にある。この研究領域は深い思考力を持つ，しかるべき研究者の登場を待っている。［207］の論文「万有引力の抜き取り遊びとトリビアル」では，この分野における事態の現状がかなり正確に，かつユーモアを交えて述べられている。この論文で，著者は奇妙なことに気づいている―ほとんど木製の装置を用いて今から何世紀も前に行われたそのような「正確で最も重要な」実験が，現在の学校や高等教育機関どころか，世界の最大級の大学や研究センターにおいてさえも再試行されていないのはなぜなのか？ 概して言えば，この論文を批判的観点から読んでみると，決して損はしない（ご自分で正しく判断していただきたい)。

光の本性の研究に取り組んではならないという密かな禁止命令にもかかわらず，この方面において払われている努力は興味深い成果をもたらしつつある［147］。ここでは，我々は,「いったい光とは何か？」という疑問に答えようとしているその他の補足的な仮説について，手短に触れるにとどめることにしよう。粒子と波動の二重性を公準として定めることによって人間の思考を麻痺させてはならない。光の粒子的性質なしにすませることはできない。粒子を使って波動的性質をイミテートすることはかなり容易であるから（空気中の音，海の波，等々といった現実の現象を思い出そう)，「光は波というより，むしろ粒子である」というニュートンの見解は現在もアクチュアルである。しかし，光は純粋の波動，あるいは何か中間的なものであるかもしれず，また複雑な内部構造を持っている可能性もある。これら全てが様々な光のモデルを構築することを許している（図D.2)。例えば，光を構成している粒子が方向を持った諸性質を持っているとすれば，光を（偏極に関する実験の結果にもかかわらず）縦波として記述することさえできる。あるいは，光を「回転する歯車」のある種の類似物として描き出すことができる。この場合，媒質または計測器に対する電磁波の作用が「歯車」の回転の角周波数と関係している可能性，また$\lambda\nu = c = constant$という相関関係をもたらしている可能性さえある。ただし，そのような局所的な（計測器の内部における）光速度cは，統一体としての「歯車」の運動速度（空間中の所定の経路を光が通過する速度）とはまったく無関係である可能性もある。文献［60］では，光子には固有回転が存在する，また古典的速度合成則が存在すると仮定したところ，現在の測定精度（v/cについて2桁のオーダーまで）の範囲内で相対論的速度合成則と一致する

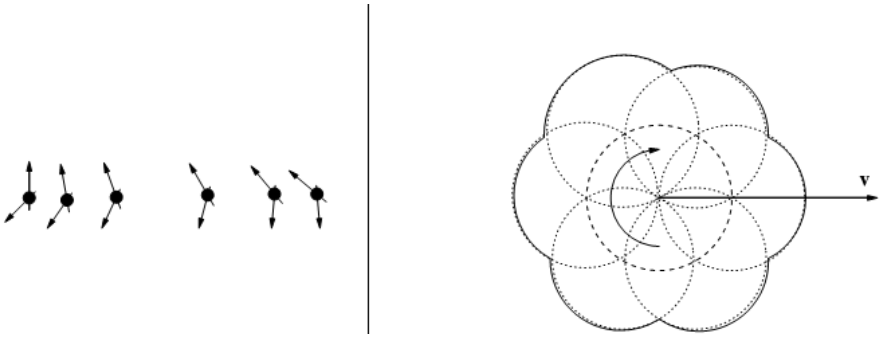


図 D.2. 光のモデル

ドップラー効果が得られた。一般に認められているレベデフの（光圧に関する）実験に関してさえ，一連の研究者は疑念を抱いている。その理由は，第1に，一部の彗星はどうしたわけか尾を太陽側に向けて飛んでいるということ，第2に，様々な推定が示すところによれば，光圧の効果は極端に小さく，ラジオメーター効果の方がそれよりはるかに大きな値を持っているということである。残念ながら，光の性質に関する問題もまた，実際的方面でも理論的方面でも解決済みとみなすことはできない。この問題もしかるべき研究者の登場を待っている。

本書ではほとんど触れられなかったより大きなテーマは，電気力学の基礎にかかわるものである［140］。電気力学の分野における成果は，実際的方面においては確かに大きい。にもかかわらず，一般に受け入れられている理論には調和が感じられない［20］。沢山の理論の断片が人為的にくっつけ合わされているように見える。少なくとも，方法論に関する方面ではもうひと働きすべきものがある。微分形のマクスウェル方程式が正しいという認識から出発した場合には，独自の興味深い解を持つ別の「閉包方程式［closure equationまたはclosing equation］」［149］が厳密な形で得られる。さらに，電気力学に対する新たな公理的アプローチという興味深いアイデアが存在すること［12］，そしてヘルツの電気力学を再生させ，ウェーバー力を一般化しようという試みがなされていること［89］については手短に言及するにとどめよう。ウェーバー力は，ある初期条件においてはこの力が電荷の自己加速をもたらすという理由により，当初から否定されたという事実を思い出そう。特殊相対性理論においても放射の反作用力の作用下における電荷の自己加速が発見されたが，どうしたわけか，特殊相対性理論は否定されなかった（ここにもまた二重基準が見られる）。現在，自己加速の問題（そしてもう1つ別の，それより後に提起された加速の角度依存性という問題）は，ウェーバー力の枠内でかなり順調に解決されつつある。電気力学に関するより詳細な問題については［140］で読むことができる。

エーテルに関するテーマについては，手短に言及するだけにとどめるにせよ，避けて通ることはできない。現在では，エーテル構想には，多数の基礎的問題を解決するための十分に練り上げられた数学的道具立てが存在している［142］。（多くの現代理論が疑似数学的性格を持っているのとは異なり）全てのエーテル理論が近接作用理論であり，概して言えば，事物の深奥を洞察し，諸現象の原因とメカニズムを理解しようと試みている，まさに物理学の理論であることは明らかである。（現代の諸理論が全ての現象を説明できていないだけでなく，数多くの問題点や内部矛盾を抱えていること［139, 140］には目をつぶり）この世界に存在するあらゆる現象を一度に説明し尽せという不可能なことを理論に対して要求する敵対者を最も多く持っているのは，エーテル理論である（そのような敵対者は，高水準の教育を受けた半物理学者兼半数学者たちの中にもいるし，科学界の取り巻きが流す宣伝を何も考えずに信じ込んでいる専門家たちの中にもいる）。

N.A.コルトヴォイはその著書5「新物理学」第11部において多数のエーテル理論の概観を与えている［訳注］。エーテル理論はきわめて多様であり，全ての提唱者を列記することすら困難である。それゆえ，ここではいくつかの特徴的な例をあげるにとどめよう。それは例

［訳注］N.A.コルトヴォイ（Nikolai Alekseevich Koltovoy）『エーテルモデル概観』の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。

えば，エーテルを気体状とする理論（V. A.アツュコフスキー［訳注*］, P. D.プルソフ［訳注*］），電子−陽電子または光子とする理論（A.V.ルイコフ［Anatoly Vasilievich Rykov］），粒状とする理論（A.I.ザガスチコフ［Anatoly Ivanovich Zakazchikov］，巻末文献［8］），エーテルは分域構造を持つとする理論（K.A.ハイダロフ［Karim Amenovich Khaidarov］），相異なる符号のチャージを持つとする理論（F.F.ゴルバツェヴィッチ［Feliks Feliksovich Gorbatsevich］），単一の符号のみのチャージを持つとする理論（V.I.ミルキン［Vladislav Iosifovich Mirkin］），固体状とする理論（Ye.V.グセフ［Evgeny Viktorovich Gusev］），液体状とする理論（V.M.アントノフ［Vladimir Mikhailovich Antonov］），高密度の圧縮性・非粘性媒質であるとする理論（N.A.マグニツキー［訳注**］）であり，その他にも数多くの理論が存在する。エーテル自体の微粒子についても，その微粒子は等方的または異方的である，数種類存在する，一連の複雑な性質を持っている，転換する，等々，様々な見方がある。いくつかの理論はかなり十分詳細に練り上げられているが，様々な方向性の中で，本格的な分析の対象とすることができるのは，どのような方向性なのだろうか？自明のことだが，あれこれの微視的理論を立証または反証する，あるいは全ての理論を棄却させることができるのは，**実験的に裏付けられた新たな予測**の総体のみである（ただし，正統派科学によって喧伝されている実験を決定的実験とみなすことはできないのは明らかである）。現段階では，そのような諸理論の「内部」問題に関して次のようなコメントをすることができる。エーテル粒子が転換能力を持っているとすれば，我々の世界の多くの対象物が持っている実験的に立証可能な自己同一性と離散性の自己復元および保持のメカニズムは，どのようなものなのか？ 複雑な性質を持っているエーテル粒子の場合には，それらの性質（その性質の生起および作用の原因とメカニズム）の説明という問題が再び生じることになる。例えば，両方の符号のチャージを持つエーテルについて検討する場合，これまで未解決の問題，すなわち，単一の統一体としての各チャージを維持しているのはどのような力なのか，反対符号のチャージ同士が引きつけ合うメカニズムはどのようなものなのか，相異なる符号のチャージ同士はなぜ中性化しないのか，といった問題がそのまま残る（つまり，問題が再びより深いレベルに持ち越される）ことになる。また，もしエーテルが互いに反発し合う単一符号の粒子であるとした場合，我々の世界が純粋に気体状の世界ではない（エーテルが凝縮して固体状や液体状の物体にもなっている）のはなぜなのか？ 固体状エーテルの場合における主要な「内部」問題は，何がその固体状形成物を1つにまとめ続けているかという問題である。また，銀河から素粒子にいたるまでの，大きさとエネルギーがまったく異なる諸物体がその固体状形成物を通り抜けて運動するメカニズムを説明する必要がある（確かに，光子は結晶を通り抜けることができるし，電子も金属中で運動することができる。しかし，固体中においてそのようなことが生じるのは一部の対象物の場合のみであり，しかもそれは限られたエネルギー範囲内においてである）。 この付論の仮説は，自立的な思考への読者の関心を鼓舞する目的でのみ紹介したものである。

［訳注*］ ロシア語圏におけるエーテル理論の発展に多大な影響を与えた V. A.アツュコフスキー（Vladimir Akimovich Atsukovsky）の著作 10 点［巻末文献［1,2］も参照］および P. D.プルソフ（Pyotr Denisovich Prussov）の著作 1 点の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。

［訳注**］ N.A.マグニツキー（Nikolai Alexandrovich Magnitskii）については，巻末文献［142］の訳注で紹介されている V.L.ブイチコフらの本の邦訳版 433 頁の訳注を参照されたい。

あとがき

> 三角形の三つの角が正方形の二つの角と等しいという真理が，もし誰かの支配権と，あるいは支配権を有する者の利益と矛盾していたならば，幾何学のこの原理は，議論によって否定されなかったとしても，(略) 幾何学に関する全ての書物を焼き尽くす方法で抹殺されていたであろうということを，私は疑わない。
>
> (トマス・ホッブズ)

本書は相対性理論の優れた擁護論についての批判的概論として構成されている。我々が（学校時代から）教育を受ける過程で繰り返し繰り返し，様々な観点から頭に叩き込まれてきた理論について徹底的な批判を行うことは，つらい作業である。どこから叙述を始めようとしても，これまで教え込まれてきた既製の紋切り型の答え（「家庭用インスタント食品」）が頭につきまとって離れようとしないからである。さらに，全ての読者にとってなじみのある叙述の論理を見出すことはまったく不可能であった（論理のバリアントは 1 つではない）。また，多様な論点全てについて，その検討内容を本書の同じ箇所で一度に叙述することも不可能であった。それゆえ，筆者は読者の忍耐と善意に期待するほかはなかった。このあとがきまで読み進んでこられた読者には，この本を読んでいて浮かんだ疑問はその先の方の叙述によって解決されたということに，きっと同意いただけるものと思う。あるアカデミー会員は相対性理論に対するどんなに小さな疑念も官僚的なやり方で抑圧しようとして，相対性理論を九九表になぞらえた。おそらく，そのアカデミー会員は，誰かが明らかなたわ言を書いたとしても，段落と段落の間に九九表から引用した例がおかれていさえすれば，「純粋なる良心」をもってその「理論」を真理と認め，それに疑念を抱く者に対して「数学的計算」を検証するよう要求するのだろう。しかし，物理とは，(それが真理であると否とにかかわらず)「鍵符号」[128 頁参照] ではなく，「鍵符号の周りの」全てのものが，それを取り囲む現実との間でいかなる関係を取り結んでいるか，ということである。本書は，まさにその物理について論じた本である。叙述の結果は次のように要約することができる。本書では相対性理論の方法論上および論理上の数多くの問題点が示された。相対性理論には「説明に関する方法論上の問題」が存在するため，理論を「空虚な場所で大きくふくらませ」ざるを得なくなっている。そして，論理的矛盾はあらゆる物理理論の発展に対して終止符をうつ。本書の第 1 章では特殊相対性理論の運動学が論理的に矛盾していることが思考実験に基づいて証明された。第 2 章は一般相対性理論の論理的矛盾をテーマとしていた。第 3 章では相対性理論が実験的裏付けを完全に欠いていることが示された。第 4 章は相対論的な動力学概念の矛盾性を示し，相対論的動力学の古典的解釈の可能性について分析している。本書の総括的な結論の要点は，空間，時間およびあらゆる派生的な量の古典的概念，またあらゆる動力学概念の古典的解釈に回帰する必要があるということ，相対論的動力学の古典的解釈が可能であるということ，そして高速度領域における一連の現象に関してさらなる実験的研究を行う必要があるということである。筆者が「特殊相対性理論の幻影を取り除く」ことができたとすれば，本書の目標の一部はかなりの程度まで達成されたことになる。本書の巻末に付した文献一覧は完全というにはほど遠いものでは

あるが，相対性理論およびこれに付随する諸理論に対する批判のいくつかの補足的側面について，そこに掲げられている論文や書籍によって知ることができる（その内容については，その題名自体が語っている）。

誰もが知っている最近の人類発展史をあらためて注意深く眺めてみると，人々は「1 コペイカ［ロシアの補助通貨単位。無価値なもののたとえ］をめぐって論争してきた」のではないかという印象を受ける。人類全体をだますこと（特に，「高度の学識を有する専門家」たちと頭脳を競い合うこと）は可能なのだろうか。ところが，それは物理学といった比較的精密な知識領域においてさえ可能であったのである。なにしろ，アインシュタイン本人でさえ，自分が触れる全てものがおとぎ話のように金に，ではないが，新聞のセンセーショナルな記事に変わっていくのに驚いていたのだ。しかも，彼は自らが生み出したものの正しさを終生疑っていたのである。しかし他方，現在，相対性理論の前に立ちはだかり，官僚的なやり方で自らの地位を永遠に守り通そうとしている者たちは，それとは別問題である。その例として，「疑似科学・科学研究捏造対策委員会」［1998 年にロシア科学アカデミー幹部会に設置された研究調整機関］の創設を取り上げよう。宣言されている「いかさま師たちによる強奪から国家を守る」という委員会の目的は，至極結構なもののように思われるかもしれない。しかし，ほとんどの諸外国にはこれに類する機関は存在せず，存在するとしてもその資金を使って何かが行われているわけではない。しかも我が国には，研究資金の提供に関する決定が採択される前に，研究に関する審査を実施するという慣行がいつの時代にもあった［すなわち，対策委員会が存在しなくても審査によって上記の目的は現に果たされている］。一方，理念的な面について言えば，科学界はそれ自体が誤ったアイデアをふるい落とす能力を持ち，いかさまに対する免疫力を備えている。「相対性理論に同意しない全ての者は物理学者ではない」という意見が聞かれるようになった今，状況は明らかになりつつある。他の問題に関しては，それがいかなる問題であれ，様々な意見，理論，学派，等々が存在してもよい。ところが突然，「地球のへそ［この世の中心，お山の大将］」が発見され，これは議論の対象とされるべきではないということになったのである。では，1905 年以前の物理学者たちのことは，いったいどう取り扱うのか？ 彼らはもはや物理学者ではないとでもいうのか？ また，相対性理論の解釈に同意しなかった 20 世紀の物理学者たち（これにはきわめて高名な学者たち，そしてノーベル賞受賞者たちも含まれる）のことはどうするのか？ 彼らも全員，物理学者ではないとでもいうのか？ そもそも，様々なアイデアについての自由な議論と段階的な理解を抜きにして，科学はどうやって発展することができるのか？「相対性理論を理解できた者は，その歴史全体をつうじて，その創始者を含めて誰一人いなかった」という言葉が知られている。ところが相対論者たちは，相対性理論を理解する必要はないと誇らしげに言明する（必要なのは機械的に丸暗記し，決まった手順を実行することだけだ。なぜなら，理解することや一目瞭然であるということは幼稚で，彼らの威厳をそこなうことだからだ）。これは実に，イデア［idea］から，例によって例のごとき崇拝用の偶像［idola］が創り出されたということだ（そして既に偶像の前には神官たちが控えている）。

残念ながら，相対性理論をめぐる状況を個々の出版物によって是正することは困難である。もし大部分の研究者が相対性理論の誤りを理解したとしても，この「シャボン玉」を吹き払うことは決して容易ではない。ところで，物理学の専門教育を受けた人々を対象として「あなたは相対性理論の解釈を正しいと思いますか，それとも誤りだと思いますか？」

というアンケート調査を実施したら，面白いことになるのではなかろうか。もしアンケートが匿名で行われれば（なにしろ，特殊相対性理論に反対する旨の発言をした者を科学アカデミーから除名する「組織体制」の準備がなされていたのは，まだつい最近のことだ。しかも，「新疑似科学委員会」の弾圧能力が発揮される可能性もある），その結果がどうなるかを筆者は予想することができる。しかし，それだけでは不十分かもしれない。十分な数の研究者たちがアリストテレス（「プラトンの友人」）にならい，「**真理**は 100 ドルの給料よりも尊い」[訳注] とおおっぴらに発言できるようにするためには，科学的態度の文化そのものを変革する必要がある（これは歴史の現代版リメイクである）。相対性理論の問題に終止符をうつことができるのは，修士課程・博士課程を含め，学校および高等教育機関におけるカリキュラムと試験要領のしかるべき改革に関する決定が採択された時である。

神から人間に伝わった現実感覚との矛盾をもたらす相対性理論に対して，筆者はまだ学生の頃から内心ある種の不満を抱いていた。しかし，当時は事の本質に則して反論し得る点がなかったため，カリキュラムに含まれている学習事項の習得にはげまざるを得なかった。おそらく，多くの研究者や技術者にもこのような記憶が残っているのではなかろうか（筆者はそのような何人かの研究者から意見を聞いたことがある）。しばしば，このことが物理学の基礎問題に対する関心を研究者から失わせ，その科学的基礎，方法および結果について自分が確信を持ち得る研究領域のみに研究者を閉じこもらせる結果を招いている。

もちろん，ソ連（そして現在のロシア）の教育システムは，「モザイク型」の知識ではなく，普遍的な知識を与えるという点で，常に西側の教育システムよりも優れていた。それにもかかわらず，両方のシステムには共通の欠点がある。これらのシステムは，学生たちに自立的思考を展開させるのではなく，膨大な情報の流れを吸収させる（「轍に従って進ませる」）のに都合がいいように構築されている（既存理論の大部分は，その研究領域における全ての問題に答えを出し終えているわけではないにもかかわらず）。そして，全ての学習事項（全ての真実らしい答え）を丸暗記し，要求されたやり方でそれぞれの試験に合格し終えた後に，履修し終えた事項にもう一度立ち返り，学んだ理論が真理であるかどうかを，せめて自分のためだけにでも詳細に吟味し直してみようという気力と欲求を持っている学生はそう多くはない。

奇妙な話だが，物理学の各分野が直面している意見の相違や幾千幾百の問題についての言及を教科書に見出すことはできない（『ファインマン物理学』はその良き例外である）。それらは，「何かを数えたり，解の存在を証明する」といったタイプの固定的な課題ではない（そのような問題は物理学ではなく，むしろ数学に属する）。物理学は「方程式の向こう側にあるもの」，すなわち諸量や諸法則の物理的意味，モデルの構築，実験および理論解の解釈に取り組む学問である。

一部の大物学者たちでさえ，物理学への興味を失わせようとしている。「物理学の終焉は近い」という言明が時折彼らの口から発せられる。これはまるで，彼らが「終焉の戦略」を決定しようとしているのだから，我々は深く考え込んだりせずに，何かの三次近似式の 108 番目の項の計算にもっと大慌てで取りかからなければならない，といった状況である

[訳注] アリストテレスの『ニコマコス倫理学』に由来する，「プラトンは友人である。しかし，真理こそがさらに尊い友人である」という名言がある。

かのように見える。筆者は，人間が学び得る最も重要なことは，自立的に思考するということだと考えている。それゆえ，筆者は本書では相対性理論に対する代替理論を提示しなかった。いくつかの有名な仮説について，ほとんど批判を加えることなく（「鞭」はその仮説の主張内容にとって適度なものとなるように加減しなければならない）手短に言及したが，これは勘定外である。

さて最後に，しばし空想にふけってみたい。物理学界において，何かが良い方向に変化するということはあり得るのだろうか？ まず最初に，現在の問題点を浮き彫りにしよう。残念ながら，20 世紀は科学的態度の文化に著しい劣化をもたらした。それ以前には，学者たちは「どこへ急ぐでもなく」，個々の現象を何十年もかけて徹底的に研究し，未解決の課題は後進に残すことができた（ニュートンの「私は仮説を捏造しない」という言葉を思い出そう）。20 世紀はこれに独自の修正を加えた。過去の時代の概念，方法，アイデアに対する高慢な態度が現れた。「我々の世紀には，もうほとんど全てのことが知られている，我々は宇宙のはるかな深部まで“潜り込み”，宇宙に飛び出しているのだから」と。しかし実際には，「我々の足元や身の回り」の問題の大部分は，100 年前と同じレベルにとどまっているのである（ちなみに，他の学問分野においては，言葉による上べだけの解釈から得られた結果の現実性を識別することは，物理学よりもはるかに困難である。その現実性を証言してくれるものが物理学よりも少ないからである）。発表件数が研究者を評価する際の主な基準となった（これはまるで，オレンジ 10 個の干からびた皮は，果汁たっぷりのオレンジ 1 個の代わりをつとめることができるというようなものだ）。この「急げ急げ」においては，（永遠の**真理**の代わりに）はかない「新規性」が選考基準の一つとされているノーベル賞も少なからぬ役割を果たしていた。ただし，20 世紀初頭におけるノーベル委員会の健全な保守主義は，特殊相対性理論にも一般相対性理論にもこの賞を与えることを許さなかったという事実を，公平を期するために指摘しておく必要がある。にもかかわらず，科学界の取り巻きによる宣伝が道徳的基盤をゆっくりと侵食し，さらには「分断して統治せよ」政策が科学界にも徐々に浸透していった。多くの場合，科学界は**真理**を探究する人々のコミュニティーから，金稼ぎをめぐって競争し合う派閥構造へと変容した（派閥間では同じテーマに関する引用文献すら交差し合わない）。

理想においては何を見たいか？ 研究者たちが，見せかけの科学性の陰に隠れるのではなく，複雑な現象をより分かり易いものにするために努力する姿を見たい（様々な公式の「序列」はその公式の意義に対応していなければならない）。研究者たちが，独りよがりの質問をして報告者を「蹴っとばしてやる」ためにではなく，報告者がいったい何を提起しようとしているのかを理解する目的でセミナーに参加するようになり，その結果，「産湯と一緒に赤子も流してしまう［議論の際に枝葉末節にこだわるあまり，本質的なものを見失ってしまう］」ような事態がなくなることを望みたい。研究者たちには，自らの誤りをいさぎよく認める心構えを持ち（誤りにも，誤りを認めることにも，身の破滅となることは何もない），科学によって得られる自らの名声のために闘うのではなく，科学における真理の探究のために仕事をしてほしい。論文の著者たちには，論文の数を追い求めたり，既に発表済みの結果を利用して自分の新たな研究を「水増し」したりすることをやめてほしい。著者たちには，様々なレベルの研究成果，すなわち，「これは発表する必要はない」，「これは発表しなくてもよい」，「これは発表してもよい」，「これは発表する必要がある」，そして「これは発表し

ないわけにはいかない」といった様々なタイプの成果のうち，最後の 2 つのタイプの研究成果の達成を目指して努力することを望みたい。査読者たちには，自分の仕事に対してもっと責任ある態度を取ってほしい（さなもなければ膨大な情報の流れの中で「水ぶくれした友好的情報」を見分けることはまったく不可能となり，小話にあるように，読み手になるか，それとも書き手になるかを選ばなければならなくなってしまう）。学派のメンバーは，そのリーダーから最悪の行動様式（「これは全部誤りだ。→ 違うって？ じゃあ，これは全部とっくに知られていることだ。→ また違うって？ うーん，それじゃ，これは誰にも興味のないことだ」といったタイプの行動様式。ところがその「誰にも」の「誰」がたった 1 人の査読者だけなので，その後はもう思う存分「バザール中を歩き回って買い手を探す」ことができる［つまり，そんなリーダーを持ったメンバーは買い手（研究成果を正当に評価してくれる人）を見つけるために大変な苦労を余儀なくされる］）ではなく，最良のものを学ぶようにしてほしい。「お仲間グループ」の集団的無責任とは縁を切り，誰がその論文の査読を行ったか，編集者たちのうち誰がその論文を推薦したか，また雑誌の最終頁に付録として，いかなる論文が誰によって却下されたか（できれば査読報告書の抜粋も？）を公表するべきかもしれない。科学雑誌が編集主任，また編集主任によって選ばれた集団の意見表明の場であることをやめて，各研究テーマに関する様々な意見のスペクトルを実態に則して提示するようになることを願う。論理的矛盾や数学的誤りがなく，実験と合致していることが科学論文に求められる主な評価基準となってほしい（例えば雑誌"*Galilean Electrodynamics*"で採用されているように）。（その時点において）一般に受け入れられている別の理論の存在が，論文の審査に影響を及ぼしてはならない。上に述べた夢が，人々の現実の行動の中で実現することを願いたい。夢を見るなら，**大きな夢**を見よう。

文 献

ロシア語文献 ［ロシア語文献の英訳は本書の英訳版による。］

[1] V.A. Atsukovsky, **General Etherodynamics**, (Energoatomizdat, Moscow, 1990). ［本書の内容がより詳しく展開されている V.A.アツュコフスキー『エーテル動力学的自然科学の始動』（全 6 巻）の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。］

[2] V.A. Atsukovsky, **Critical Analysis of Basis of the Relativity Theory**, (Zhukovskii, 1996). ［V.A.アツュコフスキー『相対性理論の基礎に関する批判的分析』の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。］

[3] P.G. Bergmann, **Introduction to the Theory of Relativity**, (Inostrannaya Literatura, Moscow, 1947).

[4] V.B. Berestetskii, E.M. Lifshitz and L.P. Pitaevskii, **Quantum Electrodynamics**, (Nauka, Moscow, 1989).

[5] V.A. Bunin, "Eclipsing Variable Stars and the Problem on the Light Speed Dispersion in Vacuum", **Astronomical Journal**, N 4, 768-769, (1962).

[6] M. Gardner, **Time Travel and other Mathematical Bewilderments**, (Mir, Moscow, 1990). [In English: (W.H. Freeman and Company, New York, 1988).]

[7] V.P. Danilchenko, V.S. Solov'ev and J.P. Machekhin, **The current Status of Calculations and Measurements of the Speed of Light**, (Nauka, Moscow, 1982).

[8] A.I. Zakazchikov, **Returning of Ether**, (Sputnic+ Company, Moscow, 2001).

[9] V.P. Ismailov, O.V. Karagios, A.G. Parkhanov, "The Investigation of variations of experimental data for the gravitational constant", **Physical Thought of Russia 1/2**, 20-26 (1999).

[10] F.M. Kanarev, **Are you Continuing to Believe? or Decided to Check?**, (Krasnodar, 1992).

[11] Ja.G. Klyushin, **Some Consequences from Maxwell Approach to Description of Gravitation**, (L'ubavitch, St-Peterburg, 1993).

[12] Ja.G. Klyushin, **The Basis of Modern Electrodynamics**, (SPeterburg, 1999).

[13] V.N. Komarov, **Universe Visible and Invisible**, (Znanie, Moscow, 1979).

[14] G.A. Kotel'nikov, "Group Properties of Wave Equation with Noninvariant Speed of Light", **Theor. Math. Phys. 42**, 139-144 (1980).

[15] G.A. Kotel'nikov, "The Galilean Group in Investigations of Symmetric Properties of the Maxwell Equations" in **Group Theoretical Methods in Physics 1**, 466-494 (Nauka, Moscow, 1983).

[16] L.V. Kurnosova, "Scattering of Photons of Different Energy on Electrons", **Progress of**

Physical Sciences, 52, 603-649 (1954).

[17] L.D. Landau and E.M. Lifshitz, **The Classical Theory of Fields**, (Nauka, Moscow, 1988).

[18] A.A. Logunov, M.A. Mestvirishvili, **Relativistic Theory of Gravitation**, (Nauka, Moscow, 1989).

[19] L.I. Mandelshtam, **Lectures in Optics, Relativity Theory and Quantum Mechanics**, (Nauka, Moscow, 1972).

[20] G.V. Nikolaev, **Modern Electrodynamics and Causes of its Paradoxicality**, (Tverdynya, Tomsk, 2003).

[21] L.B. Okun', K.G. Selivanov, V.L. Telegdi, "Gravitation, Photons, Clocks", **Progress of Physical Sciences**, 169, 1141-1147, (1998).

[22] L.A. Pobedonostsev, Ya.M. Kramarovsky, P.F. Parshin, B.K. Selesnev, A.B. Beresin, "Experimental Determination of the Doppler Shift of Hydrogen Lines on Beams of H_2^+ Ions in the Energy Region 150-2000 KeV", **Journal of Technical Physics, 59**, N 3, 84-89, (1989).

[23] **Problems of Space, Time and Motion**, Collected Articles of 4th International Conference, v. I, St-Petersburg, 1997.

[24] H. Poincaré, **On Science**, (Nauka, Moscow, 1983).

[25] G. Rozenberg, "Speed of Light in Vacuum", **Progress of Physical Sciences, 48**, 599-608, (1952).

[26] I.V. Savel'ev, **Physics**, v. 1, (Nauka, Moscow, 1989).

[27] I.V. Savel'ev, **Physics**, v. 3, (Nauka, Moscow, 1987).

[28] V.D. Savchuk, **From Relativity Theory to Classical Mechanics**, (Feniks+, Dubna, 2001).

[29] V.I. Sekerin, **The Relativity Theory - the Mystification of the Century**, (Novosibirsk, 1991).

[30] D.V. Sivukhin, Atomic and Nuclear Physics, part 1, (Nauka, Moscow, 1986).

[31] D.V. Sivukhin, **Optics**, (Nauka, Moscow, 1985).

[32] D.V. Sivukhin, **Electricity**, (Nauka, Moscow, 1977).

[33] E.F. Taylor, J.A. Wheeler, **Spacetime Physics**, (Mir, Moscow, 1968). [In English: (W.H.Freeman and Company, San Francisco, 1966).]

[34] V.A. Ugarov, **Special Relativity Theory**, (Nauka, Moscow, 1969).

[35] R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, **The Feynman Lectures on Physics**, Part 2, (Mir, Moscow, 1977). [In English: V.1, (Addison-Wesley, London, 1963).]

[36] **Physical Encyclopaedia**, v. 2, (Sovetskaya Encyclopedia, Moscow, 1962).

[37] V. Fock, **The Theory of Space, Time and Gravitation**, (Physmatgis, Moscow, 1989). [In English: (Pergamon Press, London, 1959).]

[38] N.U. Frankfurt, A.M. Frank, **Optics of Moving Body**, (Nauka, Moscow, 1972).

[39] E. Schmutzer, **Relativitätstheorie - Aktuell**, (Mir, Moscow, 1981).

[40] E.V. Shpolskii, **Atomic Physics**, (Nauka, Moscow, 1974).

[41] A. Einstein, **Collected Scientific Works**, (Nauka, Moscow, 1967).

[42] **Ether Wind** (ed. V.A. Atsukovsky), (Energoatomizdat, Moscow, 1993).

英語文献

[43] A. Agathangelides, "The GLORY in Small Letters", **Galilean Electrodynamics 13**, Spec.Iss., 19-20 (2002).

[44] A. Agathangelides, "The Sagnac Effect is Fundamental", **Galilean Electrodynamics 13**, 79-80 (2002).

[45] V. Aleshinsky, "Electrodynamics: the Consistent Formulas of Interaction for a Current Elements, a Moving Charges and New Effects", **Spasetime and Substance 3**, N 1/11, 1-14 (2002).

[46] G. Antoni and U. Bartocci, "A Simple Classical Interpretation of Fizeau's Experiment", **Apeiron 8**, 139-145 (2001).

[47] C. Antonopoulos, "A Bang into Nowhere: Comments on the Universe Expansion Theory", **Apeiron 10**, 40-68 (2003).

[48] S.N. Arteha, "On the Basis for Special Relativity Theory", **Galilean Electrodynamics 14**, Special Issues 2, 23-28 (Fall 2003).

[49] S.N. Arteha, "On Frequency-Dependent Light Speed", **Galilean Electrodynamics 15**, Special Issues 1, 3-8 (Spring 2004).

[50] S.N. Arteha, "On Notions of Relativistic Kinematics", **Galilean Electrodynamics 16**, Special Issues 1, 9-13 (Spring 2005).

[51] S.N. Arteha, "On the Basis for General Relativity Theory", **Spasetime and Substance 3**, N 5/15, 225-233 (2002).

[52] S.N. Arteha, "Some Remarks to Relativistic Kinematics", **Spacetime and Substance 4**, N 3/18, 114-122 (2003).

[53] S.N. Arteha, "On Notions of Relativistic Dynamics", **Spacetime and Substance 4**, N 4/19, 174-181 (2003).

[54] S.N. Arteha, "Some Remarks to Relativistic Experiments", **Spacetime and Substance 4**, N 4/19, 188-192 (2003).

[55] S.N. Arteha, "Critical Comments to Relativistic Dynamics", **Spacetime and Substance 4**, N 5/20, 216-224 (2003).

[56] A.K.T. Assis and M.C.D. Neves, "History of the 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson", **Apeiron 2**, 79-87 (1995).

[57] P. Beckmann, "Sagnac and Gravitation", **Galilean Electrodynamics 3**, 9-12 (1992).

[58] S. Bertram, "The Lorentz Transform", **Galilean Electrodynamics 6**, 100 (1995).

[59] T.G. Blaneu, C.C. Bradley, G.J. Edwards, B.W. Jolliffe, D.J.E. Knight, W.R.C. Rowley, K.C. Shotton, P.T. Woods, "Measurement of the Speed of Light", **Proc. R. Sos. London A 355**, 61-114 (1977).

[60] L.B. Boldyreva and N.B. Sotina, "The Possibility of Developing a Theory of Light Without Special Relativity", **Galilean Electrodynamics 13**, 103-107 (2002).

[61] A. Brillet and J.L. Hall, "Improved Laser Test of the Isotropy of Space", **Phys. Rev. Lett. 42**, 549-552 (1979).

[62] R.T. Cahill and K. Kitto, "Michelson-Morley Experiment Revisited and the Cosmic Background Radiation Preferred Frame", **Apeiron 10**, 104-117 (2003).

[63] J.O. Campbell, "Black Holes – Fact or Fiction?", **Apeiron 5**, 151-156 (1998).

[64] J.P. Claybourne, "Why an Ether is Positively Necessary and a Candidate for the Job", **Galilean Electrodynamics 4**, 38-39 (1993).

[65] J.P. Claybourne, "The Reciprocity of Einstein's Special Relativity Theory", **Galilean Electrodynamics 3**, 68-71 (1992).

[66] D.M. Drury, "Lorentz's Galilean-Invariant Form of Maxwell's Equations in Free Space", **Galilean Electrodynamics 3**, 50-56 (1992).

[67] K.M. Evenson, J.S. Wells, F.R. Petersen, B.L. Danielson, G.W. Day, R.L. Barger, and J.L. Hall, "Speed of Light from Direct Frequency and Wavelength Measurements of the Methane-Stabilized Laser", **Phys. Rew. Lett. 29**, 1346-1349 (1972).

[68] T.V. Flandern, "On the Speed of Gravity", **Galilean Electrodynamics 4**, 35-37 (1993).

[69] T.V. Flandern, "What the Global Positioning System Tells Us about the Twin's Paradox", **Apeiron 10**, 69-86 (2003).

[70] T.V. Flandern, "The Top 30 Problems with the Big Bang", **Apeiron 9**, 72-90 (2002).

[71] L.P. Fominskiy, "To Concept of an Interval or Basic Mistake of the Theory of Relativity", **Spasetime and Substance 3**, N 2/12, 49-54 (2002).

[72] Yu.M. Galaev, "Ethereal Wind in Experience of Millimetric Radiowaves Propagation", **Spasetime and Substance 2**, N 5/10, 211-225 (2001).

[73] Yu.M. Galaev, "The Measuring of Ether-Drift Velocity and Kinematic Ether Viscosity within Optical Waves Band", **Spasetime and Substance 3**, N 5/15, 207-224 (2002).

[74] G. Galeczki, "Physical Laws and the Theory of Special Relativity", **Apeiron 1**, 26-31 (1994).

[75] G. Galeczki and P. Marquardt, "A Non-expanding, Nonrelativistic Universe", **Apeiron 3**, 108-113 (1996).

[76] Jo. Guala-Valverde, "The Identity of Gravitational Mass/Inertial Mass. A Source of Misunderstandings", **Spasetime and Substance 2**, N 1/6, 42-43 (2001).

[77] R.R. Hatch, "Relativity and GPS-II", **Galilean Electrodynamics 6**, 73-78 (1995).

[78] R.R. Hatch, "In Search of an Ether Drift", **Galilean Electrodynamics 13**, 3-8 (2002).

[79] H.C. Hayden, "Is the Velocity of Light Isotropic in the Frame of the Rotating Earth", **Physics Essays 4**, 361-367 (1991).

[80] H.C. Hayden, "Stellar Aberration", **Galilean Electrodynamics 4**, 89-92 (1993).

[81] J.P. Hsü, L. Hsü, "A Physical Theory Based Solely on the First Postulate of Relativity", **Phys. Let. A 196**, 1-6 (1994).

[82] P. Huber and T. Jaakkola, "The Static Universe of Walther Nernst", **Apeiron 2**, 53-57 (1995).

[83] T.S. Jaseja, A. Javan, J. Murray, and C.H. Townes, "Test of Special Relativity or of the Isotropy of Space by Use of Infrared Masers", **Phys. Rev. 133**, A1221-A1225 (1964).

[84] Ph.M. Kanarev, "Photon Model", **Galilean Electrodynamics 14**, Spec.Iss., 3-7 (2003).

[85] A.L. Kholmetskii, "Is the Theory of Relativity Self-consistent?", **Apeiron 8**, 74-83 (2001).

[86] P. Kolen and D.G. Torr, "An Experiment to Measure the One-Way Velocity of Propagation of Electromagnetic Radiation", **Found. Phys. 12**, 401-411 (1982).

[87] P.S. Laplace, **Mechanique Celeste**, English transl. reprinted by Chelsea Publ., (New York, 1966).

[88] R.B. Lindsay, **Theoretical Physic**s, (Dover Publications, New York, 1969).

[89] Ch.W. Lucas and J.C. Lucas, "Weber's Force Law for Finite-Size Elastic Particles", **Galilean Electrodynamics 14**, 3-10 (2003).

[90] S. Marinov, **Czech. J. Phys. 24**, 965 (1974).

[91] S. Marinov, **Gen. Rel. Grav. 12**, 57 (1980).

[92] P. Marmet, "GPS and the Illusion of Constant Light Speed", **Galilean Electrodynamics 14**, 23-30 (2003).

[93] A. Martin, "Light Signals in Galilean Relativity", **Apeiron 1**, N 18, 20-25 (1994).

[94] F.F. Michelson, F.G. Pease and F. Pearson, "Repetition of the Michelson-Morley Experiment", **J. Opt. Soc. Amer. 18**, 181-182 (1929).

[95] D.C. Miller, "The Ether-Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth", **Revs. Mod. Phys. 5**, 203-242 (1933).

[96] C.I. Mocanu, "Is Thomas Rotation a Paradox?", **Apeiron 1**, N 16, 1-7 (1993).

[97] H. Montanus, "Special Relativity in an Absolute Euclidean Space-Time", **Physics Essays 4**, 350-356 (1991).

[98] H.A. Munera, "Michelson-Morley Experiments Revisited: Systematic Errors, Consistency Among Different Experiments, and Compatibility with Absolute Space", **Apeiron 5**, 37-53 (1998).

[99] U. Nascimento, "On the Trail of Fresnel's Search for an Ether Wind", **Apeiron 5**, 181-192 (1998).

[100] M.M. Novak, "The Effect of a Non-Linear Medium on Electromagnetic Waves", **Fortsch. Phys. 37**, 125-159 (1989).

[101] H.A. Papazian, "On the Mass of the Photon", **Galilean Electrodynamics 4**, 75-77 (1993).

[102] B.I. Peshchevitskiy, "Relativity Theory: Alternative or Fiasco", **Galilean Electrodynamics 3**, 103-105 (1992).

[103] V.V. Petrov, "The Michelson-Morley Experiment and Fresnel's Hypothesis", **Galilean Electrodynamics 13**, Spec. Iss., 11-14 (2002).

[104] R. Prasad, "A Non-Riemannian Universe", **Apeiron 3**, 113-116 (1996).

[105] C.E. Renshaw, "The Radiation Continuum Model of Light and the Galilean Invariance of Maxwell's Equations", **Galilean Electrodynamics 7**, 13-20 (1996).

[106] W. Rindler, **American Journal of Physics 29**, 365 (1961).

[107] H. Robertson, "Postulate Versus Observation in the Special Theory of Relativity", **Rev. Mod. Phys. 21**, 378-382 (1949).

[108] W.A. Rodrigues,Jr. and J. Tiomno, "On Experiments to Detect Possible Failures of Relativity Theory", **Found. Phys. 15**, 945-961 (1985).

[109] S.A. Sannikov-Proskuryakov, M.J.T.F. Cabbolet, "Towards the Ether Theory (Apology of the Ether)", **Spasetime and Substance 2**, N 4/9, 171-174 (2001).

[110] S.A. Sannikov-Proskuryakov, M.J.T.F. Cabbolet, "Non-Einsteinian Theory of Gravity", **Spasetime and Substance 4**, N 1/16, - (2003).

[111] Xu Shaozhi, Xu Xiangqun, "A Reexamination of the Lorentz Transformation", **Galilean Electrodynamics 3**, N 1 (1992).

[112] Xu Shaozhi and Xu Xiangqun, "On the Relativity of Simultaneity", **Apeiron 1**, N 16, 8-11 (1993).

[113] Ch.W. Sherwin, "Measurement of the One-Way Speed of Light", **Galilean Electrodynamics 13**, 9-13 (2002).

[114] E.I. Shtyrkov, "Time Evolution of Vacuum Parameters as the Bases for a Cosmological model", **Galilean Electrodynamics 8**, 57-60 (1997).

[115] E.W. Silvertooth, **Specul. Sc. and Technol. 10**, 3 (1986).

[116] D. Sutliff, "Why Physics Cannot Assume the Relativity of Motion or an Infinite Universe: Problems with Special and General Relativity", **Physics Essays 4**, 217-222 (1991).

[117] T. Theodorsen, "Relativity and Classical Physics", **Galilean Electrodynamics 6**, 63-72 (1995).

[118] S.A. Tolchelnikova-Murri, "The Doppler Observations of Venus Contradict the SRT", **Galilean Electrodynamics 4**, 3-6 (1993).

[119] D.G. Torr and P. Kolen, "Misconceptions in Recent Papers on Special Relativity and Absolute Space Theories", **Found. Phys. 12**, 265-284 (1982).

[120] K.C. Turner, H.A. Hill, **Bull. Amer.Phys. Soc. 8**, 28 (1963).

[121] A.P. Volchenko, "About the new Approach to Construction of the Special Relativity", **Spasetime and Substance 1**, N 3/3, 130-134 (2000).

[122] Zh.Y. Wang, "Failure of the Relativistic Energy-Momentum Relation for Photons in Media", **Galilean Electrodynamics 14**, 56 (2003).

[123] C.K. Whitney, "Finding Absolution for Special Relativity Theory", **Galilean Electrodynamics 7**, 23-29 (1996).

[124] C.K. Whitney, "The Twins, the Mesons, and the Paradox", **Apeiron 4**, 104-109 (1997).

[125] E.T.Whittaker, **A History of the Theories of Aether & Electricity** (Longman, Green and Co., London, 1910).

[126] H.E. Wilhelm, "Galilei Covariant Electrodynamics of Moving Media with Applications to the Experiments of Fizeau and Hoek", **Apeiron 1**, N 15, 1-5 (1993).

[127] W.F. Wolff, "A Modified Newtonian Treatment of Gravity", **Galilean Electrodynamics 13**, 55-58 (2002).

[128] Y.-G. Yi, "On the Nature of Relativistic Phenomena", **Apeiron 6**, 205-216 (1999).

[129] N.A. Zhuck, "The Cosmic Microwave Background as Aggregate Radiation of all Stars", **Spacetime and Substance 1**, N 1/1, 29-34 (2000).

[130] N.A. Zhuck, "New Concepts about the Universe and its Laws", **Spacetime and Substance 1**,

N 3/3, 98-104 (2000).

[131] N.A. Zhuck, "Modern Concepts of Space, Time and Boundedness of Lorentz Transformation Laws", **Spacetime and Substance 4**, N 1/16, 1-6 (2003).

第3版への追加文献 ［日本語に訳されているものはロシア語文献］

[132] O.E. Akimov『自然科学：連続講義』（UNITY-DANA, モスクワ，2001, 639 p.）．［O.E. アキモフ「相対性理論に対する批判：10. マイケルソン・モーリーの実験」の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。著者については邦訳版の巻末に付されている「著者紹介」を参照されたい。］

[133] S.N. Arteha『相対性理論の基礎に対する批判』（Editorial URSS, モスクワ，2004，LKI 出版社，モスクワ，2007）．

[134] S.N. Arteha「相対論的運動学のパラドックスについて」，『Congress-2004 “自然科学と技術の基礎的問題”論文集』，シリーズ「宇宙研究の諸問題」，第28冊，サンクトペテルブルク， 2004, pp.24-37.

[135] S.N. Arteha「相対論的運動学に対する批判」，『Congress-2004 “自然科学と技術の基礎的問題”論文集』，シリーズ「宇宙研究の諸問題」，第28冊，サンクトペテルブルク， 2004, pp.38-51.

[136] S.N. Arteha「相対性理論のいくつかのパラドックスについて」，『第8回国際科学会議“空間・時間・引力”（2004年8月16~20日日）資料』, サンクトペテルブルク, TESSA, 2005, pp.7-18.

[137] S.N. Arteha「相対性理論のいくつかの側面に対する批判」,『第9回国際科学会議“空間・時間・引力”（2007年8月7~17日）資料』（サンクトペテルブルク, TESSA, 2007, pp.7-17.）.

[138] S.N. Arteha「古典力学と相対論力学の関係について」,『国際会議“第7回 オクネフスキー講座”（2011年6月20~24日，サンクトペテルブルク）報告資料』（バルト国立技術大学，サンクトペテルブルク， 2011, pp.29-30.）.

[139] S.N. Arteha『物理学の根拠（批判的な眼差し）: 量子力学』（モスクワ，LENAND, 2015, 208 p.）．［本書の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。］

[140] S.N. Arteha『物理学の根拠（批判的な眼差し）: 電気力学』（モスクワ，LENAND, 2015, 208 p.）．［本書の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。］

[141] L. Brillouin『相対性理論の再検討』（Mir, モスクワ，1972）．

[142] V.L. Bychkov, F.S. Zaitsev『連続媒質力学の方法論による電磁気現象と重力現象の数理モデリング』（モスクワ， Max Press, 2016.）
［本書の原文および英訳版（2021）をhttp://eth21.ru./index.htmlで，また第3版（2023）の邦訳版を訳者のサイトで入手可能。］

[143] N.A. Zhuk『宇宙論』（有限責任会社“Model Vselennoi”，ハリコフ，2000）．

[144] E.B. Klyushin『自分に対する物理学講義』（出版社“Bumazhnaya Galereya），モスクワ，2005）．

[145] T.A. Lebedev『現代物理学のいくつかの論争問題』（レニングラード工科大学，1955）．

[146] K.V. Manuilov「A.アインシュタインの論文“一般相対性理論における水星の近日点の移動の説明”の批判的分析」,『第8回国際科学会議“空間・時間・引力”（2004年8月16~20日）資料』，サンクトペテルブルク，“TESSA”, 2005, pp.403-429.

[147] B.M. Moiseev『光量子の物理モデル』）モスクワ，出版社“LIBROKOM”，2011, 80 p.）．

[148] Yu. I. Petrov『物理学の基本的理解のパラドックス』（モスクワ，URSS，2012, 336 p., 第2版）.

[149] J.J. Smulsky『相互作用理論』（ノヴォシビルスク大学出版部，ロシア科学アカデミーシベリア支部地質学・地球物理学・鉱物学合同研究所学術出版センター，ノヴォシビルスク，1999）．［本書の英訳版をhttps://www.ikz.ru/~smulski/TVEnA5_2.pdfで入手可能。

[150] R.V. Fyodorov『物理学：危機的問題，新たな原理』（チェルノフツィ， Prut, 2005, 400 p.）．

[151] R.V. Fyodorov『運動の物理学に関する対話』（チェルノフツィ， Prut, 2008）．

[152] S.N. Arteha, "Critical Remarks to the Relativity Theory", **Spacetime and Substance 6**, N 1/26, 14-20 (2005).

[153] S.N. Arteha, “On classical physics without relativity”, Abstracts, **13th Annual Conference of the Natural Philosophy Alliance (NPA)**, 3-7 April 2006, University of Tulsa; see also: Natural Philosophy Alliance, Newsletter, v. 12, N 2, July 2006, p.4.

[154] S. Artekha, A. Chubykalo, A. Espinoza, “Some of the complexities in the special relativity: new paradoxes”, **Physical Science International Journal**, 2016; **11(1)**: 1-15. DOI: 10.9734/PSIJ/2016/26788.

[155] S.N. Artekha, A. Chubykalo, A. Espinoza, (2017) “On the Question of the Invariance of the Light Speed”, **Journal of Modern Physics**, **8**, 1213-1233. doi: 10.4236/jmp.2017.88080.

[156] P. Beckmann, **Einstein plus two**, (Golem Press, 1987).

[157] O.D. Jefimenko, **Causality, electromagnetic induction and gravitation. A different approach to the theory of electromagnetic and gravitational fields**, (2nd Edition, Electret Scientific Company, Star City, 2000).

[158] N.D. Mermin, **Amer. J. Phys.**, 1984, **52**, No 2, p. 119. ［N. David Mermin, «Relativity without light», American Journal of Physics 52, 119 (1984)はインターネットで入手することができる（有料）。］

[159] Ya. Terletskii, **Paradoxes in the Theory of Relativity**, (Springer, NY, 1968).

第4版への追加文献 ［日本語に訳されているものはロシア語文献］

[160] S.N.Arteha『物理学の根拠（批判的な眼差し）：相対性理論の基礎に対する批判』（モスクワ，URSS, 2018, 288 p.）.

[161] J. Bernal『社会の歴史における科学』（モスクワ，外国語文献出版所，1956）.［邦題：ジョン・デスモンド・バナール『歴史における科学』］

[162] L.I. Verkhovsky『相対性理論と統一場理論に関する回想録』（モスクワ，2000）.

[163] V.P. Vizgin『数学史研究』，第 19 冊（モスクワ，Nauka, 1974）.

[164] E.A. Gubarev『現実的相対性原理』（モスクワ，有望技術革新基金，2020, 336 p.）.［著者名：E.A.グバレフ（Eugene A. Gubarev）。本書の英訳版：E.A. Gubarev, Principles of real relativity, 2021］

[165] O.D. Efimenko『因果関係，電磁誘導と重力．電磁場と重力場の理論に対する別のアプローチ』（モスクワ，URSS, 2021, 226 p.）.

[166] V.A. Zhmud, (2021)「ハッブルの法則の解釈に対する系統的アプローチ」,『自動化技術とソフトウェア・エンジニアリング』，No.1(35), pp.146-164.

[167] P.I. Gladkikh, A.S. Mazmanishvili, L.V. Reprintsev, P.I. Filippov『シンクロトロン放射光子を用いた弾道実験』，ハリコフ，ハリコフ物理工学研究所，77-41, 1977.

[168] V.A. Kuligin「“幽霊”を伴う“輝かしい数学的形式主義”」,
http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001g/00163903.htm [In English: V.A. Kuligin. The Principle of Least Action in Special Relativity Theory. Galilean Electrodynamics, Vol. 12, Special Issues 2, 2001.]

[169] A.K. Maneev『相対性理論の根拠付けに対する批判に寄せて』（ミンスク，科学アカデミー出版部，1960）.

[170] D.Ya. Martynov『一般天体物理学教程』（モスクワ，Nauka, 1971, pp.310-319）.

[171] L.A. Pokhmelnykh『物理学における根本的誤謬と真の電気力学』（LLC PPC «Maska», 2012, 354 p.）.

[172] K.A. Rybnikov『数学史』（モスクワ，モスクワ国立大学出版部，1994）.

[173] V.P. Rykov『絶対的実質力学［absolute substantial dynamics］入門．ニュートン力学の非相対論的精緻化』（サンクトペテルブルク，自己出版，2022, 332 p.）.

[174] S.A. Semikov『リッツの弾道理論と宇宙像』（ニジニ・ノヴゴロド，LLC «Stimul-ST», 2010）.

[175] G.I. Shipov『物理的真空理論』（モスクワ, Firm «NT-Tsentr», 1993）.［G.I.シポフ（Gennady Ivanovich Shipov）の理論については，”G.I. Shipov, theory of physical vacuum”でネット検索すると様々な英語情報を得ることができる。

[176] H. Ahmar, G. Amato, J.V. Kadeisvili, J. Manuel, G. West, O. Zogorodnia, Additional experimental confirmation of Santilli’s isoredshift and the consequential lack of the

universe expansion, Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, **13** (2013), No. 3-4, 321-357. http://www.santilli-foundation.org/docs/IRS-confirmations-212.pdf

[177] S. Artekha, A. Chubykalo, A. Espinoza, (2020) Dark matter, dark energy and related topics in theoretical physics, Hadronic Journal, 43, P. 61-77.［本論文は http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/bitstream/20.500.11845/2140/1/2020%20HJ43-Dark%20matter.pdf で入手可能。］

[178] B. Bertotti, L. Iess, P. Tortora, A test of general relativity using radio links with the Cassini spacecraft, Nature 425 (2003), 374-376.

[179] V.L. Bychkov, F.S. Zaitsev『連続媒質力学の方法論による電磁気現象と重力現象の数理モデリング』，モスクワ，Max Press, 2019. (Mathematical modeling of electromagnetic and gravitational phenomena on the methodology of continuum mechanics), MAKS PRESS, Moscow (2019), 640 p.)［文献[142]参照］

[180] S.J. Crothers, General Relativity – a Theory in Crisis, Global Journal of Science Frontier Research Physics and Space Science, **12** (2012), Issue 4.

[181] T. Damour, G. Esposito-Farèse, Testing gravity to second post-Newtonian order: A field-theory approach, Phys.Rev.D **53** (1996), 5541.

[182] L. Iess, G. Giampieri, J.D. Anderson, B. Bertotti, Doppler measurement of the solar gravitational deflection, Classical and Quantum Gravity 16 (1999), 1487.

[183] G. Ivchenkov「一般相対性理論の最も重要な裏付け，あるいはエディントン卿が 1919 年に測定したもの」(The most important confirmation of GTR or what Lord Eddington measured in 1919), http://www.elibrary-antidogma.narod.ru/bibliography/eddington.htm［このサイトは日本語で閲読可能。］

[184] O.D. Jefimenko, Gravitation and Cogravitation, Electret Scientific, Star City (2006).

[185] M. Kramer et al., Test of general relativity from timing the double pulsar, Science 314 (2006), 97-102.

[186] D.E. Lebach et al., Measurement of the solar gravitational deflection of radio waves using very-long-baseline interferometry, Phys.Rev.Lett. 75 (1995) 1439.

[187] D.S. Robertson, W.E. Carter, W.H. Dillinger, New measurement of solar gravitational deflection of radio signals using VLBI, Nature 349 (1991), 768.

[188] R.M. Santilli, Inconsistencies of general relativity and their apparent resolution via the Poincare invariant isogravitation, Preprint Institute for Basic Research IBR-TPH-03-05 (2005). http://www.i-b-r.org/Inconsisist-Gravitation.pdf

[189] R.M. Santilli, Hadronic Mathematics, Mechanics and Chemistry, Vol. 1, Limitations of Einstein's Special and General Relativities, Quantum Mechanics and Quantum Chemistry,

International Academic Press (2008).

[190] R.M. Santilli, Nonlinear, Nonlocal and Noncanonical Isotopies of the Poincare' Symmetry, Moscow Phys. Soc. 3 (1993), 255-280. http://www.santilli-foundation.org/docs/Santilli-40.pdf

[191] R.M. Santilli, Partons and Gravitation: some Puzzling Questions, Annals of Physics 83 (1974), 108-157. http://www.santilli-foundation.org/docs/Santilli-14.pdf

[192] R.M. Santilli, Representation of galactic dynamics via isoshifts without universe expansion, dark matter and dark energy, American Journal of Modern Physics, 4 (2015), No. 2, 26-43. https://doi.org/10.11648/j.ajmp.20150402.11

[193] R.M. Santilli, Rudiments of IsoGravitation for Matter and its IsoDual for AntiMatter, American Journal of Modern Physics, 4 (2015), No. 5-1, 59-75. https://doi.org/10.11648/j.ajmp.s.2015040501.18

[194] I.I. Shapiro, C.C. Counselman, R.W. King, Verification of the principle of equivalence for massive bodies, Phys.Rev.Lett. 36 (1976), 555.

[195] J.H. Taylor, A. Wolszzan, T. Damour, J.M. Weisberg, Experimental constraints on strong-field relativistic gravity, Nature 355 (1992), 132-136.

[196] S.A. Tolchel'nikova-Murri「特殊相対性理論の実地試験としての金星のレーダー観測」(Venus's radar observations as a practical test of the special theory of relativity),『高等教育機関紀要』, 測地学と航空写真測量, 6 (2001), pp. 85-108.

[197] S.A. Tolchelnikova-Murri, The radar observations of Venus and some problems of the STR, Proc. Galileo back to Italy, Atti del Convergno Internationale, pp. 81-94, Andromeda, Bologna (1999).

[198] S.G. Turyshev, Experimental tests of general relativity: recent progress and future directions, Phys. Usp. 52 (2009), 1-27.

[199] J.G. Williams, X.X. Newhall, J.O. Dickey, Relativity parameters determined from lunar laser ranging, Phys.Rev.D 53 (1996), 6730.

[200] J.G. Williams, S.G. Turyshev, D.H. Boggs, Progress in lunar laser ranging test of relativistic gravity, Phys.Rev.Lett. 93 (2004), 261101.

一般的インターネットリソース

[201] http://www.antidogma.ru/library/index.html

[202] http://www.elibrary-antidogma.narod.ru/bibliography/eddington.htm

[203] http://www.ritz-btr.narod.ru/

[204] http://www.sceptic-ratio.narod.ru/

[205] http://www.naturalphilosophy.org/site/cnps-memes/

[206] http://www.antidogma.ru/library/firsts.html

[207] http://newfiz.info/gra-opus.htm

索 引

［この日本語版では，索引の頁数の表示は省略し，本書で論じられている内容の概略をつかむことができるようにするため，項目名のみを表示した。］

あ 行

運動量
　運動量保存則
　角運動量
　　角運動量保存則
　光子の運動量
エーテル
エネルギー
　エネルギーと質量の関係
　エネルギーの計量単位
　エネルギー保存則

か 行

カー計量
課題
　棒の滑動に関する課題
　棒の方向転換に関する課題
間隔
慣性中心
近日点移動
空間
　円の幾何学
　空間の一様性
　三角形の幾何学
　ニュートン空間
系
　慣性系
　　非慣性系
　　「ほぼ慣性系」
原理
　ガリレイの相対性原理
　幾何化の原理
　共変性の原理
　相対性理論における相対性原理
　等価原理
　フェルマーの原理
　マッハの原理
コンプトン効果
光行差

さ 行

時間
　固有時間
　時間の計量単位
　時間の同期
　　アインシュタインの―
　　一般相対性理論における―
　　遠方発信源による―
　時間の不可逆性
　絶対時間の確定
　ニュートンの時間
　ミューオンの寿命
実験
　アイヴズ–スティルウェルの実験
　ケネディ–ソーンダイクの実験
　サニャックの実験
　思考実験
　パウンド–レブカの実験
　フィゾーの実験
　ヘイフリー–キーティングの実験
　マイケルソン–モーリーの実験
質量
　慣性質量
　光子の質量
　質量中心
　質量の定義
　質量の等価性
　質量保存則
　重力質量

縦質量
横質量
重力
重力定数
重力波
シュワルツシルト解
スピン
赤方偏移

た 行

力
一般相対性理論における力
遠心力
力の変換
放射の反作用力
特殊相対性理論における力
ローレンツ力
対の消滅
ドップラー効果
トーマス歳差

は 行

パラドックス
n人の多生児のパラドックス
オルバースの輝度測定のパラドックス
距離のパラドックス
時間のパラドックス
質量中心のパラドックス
十字架のパラドックス
重力のパラドックス
対蹠人のパラドックス
直角レバーのパラドックス
天秤のパラドックス
通電中のループのパラドックス
同年齢者たちのパラドックス
非局所性のパラドックス
双子のパラドックス
変形版双子のパラドックス
歩行者たちのパラドックス
非可換性
光
光圧
光速度
参照基準としての光
"ビッグバン"
ビームの偏向
ブラックホール
フレネルの随伴係数
変換
ガリレイ変換
ローレンツ変換

ま 行

マクスウェル方程式
マクスウェル方程式の不変性

ら 行

リッツの仮説

［訳注1］第4版の主な増補部分一覧

本書第3版の邦訳を既に読まれた読者が，この第4版において増補された部分のみを読むことができるようにするため，主な増補部分の一覧を下記に示す。

(1) 6 頁「第 4 版まえがき」。

(2) 18 頁「一部の相対論者たちは,」から 19 頁「光速度の等方性は存在しなくなる」。」まで。

(3) 22 頁「このような相対論的屁理屈」から 24 頁「なんという尊大さだろうか？」まで。

(4) 50 頁「なにしろ，特殊相対性理論は」から「自分自身の公準に反して……。」まで。

(5) 57頁「特殊相対性理論は（レーダー信号のタイプの）」から「存在することになるのだ！」まで。

(6) 60頁「最も重要な次の思考実験」から61頁「局所的絶対速度のみであることは明らかである。」まで。

(7) 62頁「3つの同一の静止系」から63頁「保証しているのだ。」まで。

(8) 85頁「いくつかの周知の解」で始まる段落中の「V.A.フォックによって」から「（慣性力が出現しない）。」までの部分。

(9) 87頁「物体の動力学を記述するためには,」から「質量の単位[M]である。」まで。

(10) 92頁から94頁まで「2.4. 暗黒物質*と暗黒エネルギー」。

(11) 94頁から97頁まで「2.5. 重力波」。

(12) 99頁「アインシュタインの方法」から100頁「すり替わっているのである。」まで。

(13) 100頁「この実験の分析に対する」から「結果について検討しよう。」まで。

(14) 109頁「シンクロトロン放射を用いた実験」から110頁「一意的に解釈することはおそらくできないだろう。」まで。

(15) 122頁「一般相対性理論の最新の「裏付け」」から124頁「(人為的つじつま合わせ)。」まで。

(16) 137頁「歴史について少々。」から138頁「いかなる一意性もまったくない！」まで。

(17) 143頁「言うまでもなく,」から始まる段落中の「到達速度Vのときのその影響を考慮に入れた因子は次のようになる：」から144頁「有効力がゼロに向かっていく)。」まで。

(18) 163頁「重要なコメント：」から「[168］で読むことができる。」まで。

(19) 164頁「相対論的熱力学においては,」から「もちろん，これは反科学だ。」まで。

(20) 184頁「相対論的な考え方を持った一部の著者たちは，」から186頁「本書のプランには含まれていない。」まで。

(21) 187頁「重力を電気力学の2次効果として」から「決して解明することができない。」まで。

［訳注 2］訳文中の「物質*」について

他の欧米諸語と同様，ロシア語には「物質」を意味する複数の単語がある。物理学で主に使われている用語は「материя [materia]」と「вещество [veschestvo]」である。本来，この 2 つの単語の日常的用法における概念は大きく重なっており，両者の違いを文脈から切り離して定義することは事実上不可能である。しかし，ロシアの物理学界ではこれらの用語の使い分けについてある程度の合意が成立しているように思われる（当然のことながら，両者の概念の具体的な内容は論者の立場によって異なる）。

しかも，本書の著者はこれらの用語を明確に区別して使っている。したがって訳文の理解に混乱を生じさせないためには，両者を訳し分けなければならない。しかし，訳者の知る限り，これらの用語に対応する日本語の物理学用語は「物質」の 1 語しか存在しないため，異なる用語によって訳し分けることはできない。そこで，多少煩わしさを感じさせるかもしれないが，「материя」は「物質*」，「вещество」は単に「物質」と表記することで両者の違いが分かるようにした。

かなり大まかな括り方をすると，「материя（物質*）」は「вещество（物質）」の上位概念であり，「материя は вещество および場などからなる」と言うことができる。おそらく，日常的な語感では，日本語の「物質」から思い浮かぶのは「вещество」の方であろう。

ロシア語版 Wikipedia の記事「Материя」は次のように説明している（一部のみ抜粋）。

「**материя** — 客観的現実，空間の内容物，科学および哲学の主要カテゴリーの一つ，物理学の研究対象。

物理学は，空間と時間（時空）の中に存在する何ものかとしての материя（ニュートンに始まる理解—空間は事物の入れ物，時間は事象の入れ物），または空間と時間の性質をそれ自体が与える何ものかとしての материя（ライプニッツに始まり，後にアインシュタインの一般相対性理論において表現された理解）を記述する。時間の中で様々な形態の материя とともに生じる変化が物理的現象をなす。物理学の主な課題は，あれこれの種類の материя およびその相互作用の性質を記述することにある。

主な種類の материя

現時点では 3 つの形態の материя が存在する。

・вещество — ハドロン物質，バリオン物質／古典的理解における物質，反物質／中性子物質／その他の種類の物質／クォークグルーオンプラズマ／仮説上のプレクォーク超高密度物質*形成物

вещество とは異なり，場の内部に空虚はなく，場は絶対的な稠密性を持っている。

・場（古典的意味での）— 電磁場，重力場／量子場

・物理的本性が不明な物質的*対象 —暗黒物質*，暗黒エネルギー」