

相対論とアインシュタイン伝説の革新

佐藤 文隆

Relativity and Reform of Einstein Legacy

Humitaka SATO

In this World Year of Physics 2005, we can mention four faces of Einstein, the fourth one being an icon of HiTech. History of his Nobel prize tells us how the relativity paper was odd to the physics community at the time, whether it is science or metaphysics?

Key words: Einstein, relativity, Nobel prize, gauge theory

1. 世界物理年 2005 とアインシュタイン伝説

物理学と社会の交流をはかるために、物理学のブランド・アイコンであるアインシュタインを利用するかたちで「世界物理年 2005」が企画された。しかし、その際、このアイコンに現代的な新しい意義づけをして世に送り出す必要がある。世にはびこっているアインシュタインのイメージに媚びるのではなく、物理学の実態にあった新しいアイコンを創造しなければならない。「世の中でもてるにはこういうイメージでないか」という違和感があれば放置すべきでない。

こういう観点から、筆者は次のような「アインシュタインの四つの顔」を提案している¹⁻⁴⁾。

- 1919 年 革命の人
- 1945 年 力強い科学技術
- 1979 年 知的興味としての科学
- 2005 年 ハイテクのシードとしての科学

ここで「年」はおのおのの顔が登場した目安であり、社会と連動した「顔」の推移をみることができる。科学はこれら四つの顔の合体したものであると考える。

目安とした各「年」の出来事は次のようである。「1919 年」は重力による光の経路の曲がりを実測され、第一次大戦直後のヨーロッパ社会の虚脱感の中に突如としてアインシュタインブームが起こった年である。「1945 年」は第二

次大戦終戦の年であり、原子爆弾が科学技術に人類の進歩をみ、そのシンボルが $E=mc^2$ であった。「1979 年」はアインシュタイン生誕 100 年の年であるが、ブラックホールやビッグバン、力の統一理論などの研究が絶頂期を迎えた。そして、「2005 年」はアインシュタインの「奇跡の年」100 周年である。この第四の新たな顔を追加すれば、アインシュタインのシンボルは $E=mc^2$ や $2GM/c^2$ (ブラックホール) から $E=h\nu$ に変わっていくかもしれない。

「革命の人」での補足： 1922 年にアインシュタインの日本への招聘を行った改造社が他に招聘した人物は、数理哲学者バートランド・ラッセルと産児制限のサンガー女史であった。1921 年、ラッセル来日時「現在の革命の人を三人挙げて」と新聞記者に問われて、「一位にアインシュタイン、二位にレーニン、三位はなし」と答えたという。当時、日本の大衆もこのイメージでアインシュタインを仰ぎ見たのであった⁵⁾。

第四の顔で想定しているアインシュタイン絡みの「ハイテクのシード」を以下に列挙する。

- 1905 年 光子： 光電，光化学，エレクトロルミネセンス (EL)，…
- 1905, 15 年 相対論： 計時精密化，GPS，…
- 1917 年 A 係数， B 係数，誘導放出： レーザー，…
- 1924 年 ボース・アインシュタイン (BE) 凝縮：

甲南大学理工学部 (〒658-8501 神戸市東灘区岡本 8-9-1) E-mail: satoh@konan-u.ac.jp

超伝導・流動，コヒーレント光，BE 気体，…

1935 年 アインシュタイン・ポドルスキー・ローゼン (EPR) 論文： 量子計算，量子暗号，量子通信
筆者は「アインシュタイン＝相対論公式の修正を」という論も展開しているが⁶⁾，彼を超有名にした「1919 年の一件」は，ヨーロッパの激動と共鳴した社会現象であることを理解することが重要である^{5,7)}。物理学者の中にも，「世間があれば騒ぐのだから物理学上もあればに重要なのだ」と，専門家の見識を放棄した議論が横行するからである。それでも，この相対論トラウマは容易に抜けず，世界物理年も「相対論 100 年」と解説される場合が多い。

「世界物理年」提案の発祥の現場に，たまたま筆者は居合わせた。それは，2000 年 12 月のベルリンであったプランク量子論 100 年会議であった第 3 回世界物理学会会議の席上である。次期のヨーロッパ物理学会会長であるフランス人の学者が提案したものである。レーザー関係の専門家と思う。これが純粹・応用物理学国際連合 (IUPAP)，ユネスコ，国連総会にあがっていったのである。もちろん，そのときの前後の演説もそうであったが，物理学の「景気の悪さ」を打開する策を追求する中で出てきたものである。筆者はこのときから，今回のイベントはアインシュタイン伝説の作り直しのことだと思ってきた。

2. アインシュタインのノーベル賞の七不思議

史実に即して「作り直す」という発想に立つと，ひとつ気になるのがアインシュタインのノーベル賞にまつわる異常さである。中身の軽重を度外視して挙げてみた。

- A) 1921 年度の物理学賞だが 1922 年に発表された。
- B) 受賞講演を 1922 年 7 月に行っている。
- C) 受賞理由に相対論でなく光電効果を挙げた。
- D) 1905 年の光子説論文も含めて，光電効果を特別にとりあげた論文はない。
- E) 受賞講演は，光電効果にはふれず，相対論で行った。
- F) 受賞前から半ば公然と，賞金をミレーバ家族に渡すことで離婚が成立している。
- G) 奇跡の年の光子論文が「光電効果論文」と称されるようになった。

無理して「七不思議」にしたが，C，D，G は関連した疑念である。

ノーベル賞発表は，世間も，哲学などの学術・思想界も，皆が「アインシュタイン＝相対論」という公式を踏み固めている最中である。しかし，ノーベル賞委員会はなぜか相対論に言及しなかった。サイテーションは，“for his

services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect” である。したがって，この一件をつぶさに見ていけば，「アインシュタイン＝相対論」トラウマからの覚醒の一助にもなるかもしれない。こうした発想で，もう少し詳しくみる。

2.1 「理論物理」と発表延期

1916 年は第一次大戦で，1940，41，42 年は第二次世界大戦で贈賞はなかった。平常の年でも「受賞者なし」の例はいくつかあり，物理学賞では 1931，34 年がそうである。こういう例は他の賞ではもっと多い。1921 年と 22 年の同時発表は社会混乱のせいではない。じつは，1918 年度のプランクも 19 年のシュタルクと同時発表されている。プランクの際には，「理論物理」の評価をめぐって「もめた」と公然といわれていた。大物科学者レイリーやローレンツの全業績からみると，ノーベル賞のサイテーションは明らかに個別の実験に矮小化されている。ボルツマンとプランクが実験をしない最初の物理学者であり，それ以前には重要な理論物理学者は存在しなかった。

発足時のノーベル賞委員会が，実験業績にこだわったのは明確である。ケルビンやマッハといった大物に贈賞するよりは，実験業績の顕彰で新味を出そうとした。プランクは自他ともに対象外の意識であり，中立的な意見がいえる彼の影響力が初期にあったといわれる。そのプランクが，理論物理をノーベル賞の対象にさせた嚆矢となった。

1921 年は「もめて」決められずに，22 年度のボーアの受賞と抱き合わせで決定したと推察される。22 年の発表時，アインシュタインは日本に向う途上の上海寄港時に電報を受けた。ボーアは，「貴方より 1 年遅れでほっとした」という趣旨の気持ちを手紙で日本にいるアインシュタインに伝えている⁸⁾。「もめた」理由は，「理論物理」はクリアされているから，相対論の評価であったろう。また，「2 人抱き合わせだと決められるが，共同受賞だと賞金が半額になるので 2 年にわたって行った」といううがった見方もできる。F には都合な話である。この約束は実行され，ミレーバはこの金でアパートを買って家作で生きていけるようにしたが，晩年は悲惨だった。

2.2 光電効果

奇跡の年の光子論文を受賞理由に選んだとしても，光子説といわずに，なぜ光電効果という特殊ないい方をしたのかが D の謎である。ノーベル賞のこのサイテーションがわざわざいって，05 年論文の主題が光電効果であるという誤解 G がいまでも流布している。この論文の内容は，前半で黒体放射のエントロピーを計算して，それが粒子集団として導いたのと解釈できるとして光の粒子説を出し，後

半でその仮説を裏づける当時の実験結果を論議している。そこに登場するのが第一に蛍光のストークス則、第二に光電効果のレナードの実験結果の解釈、第三に紫外線によるイオン化に関するシュタルクの実験、である。確かに光電効果は登場するが、これだけを取りあげているわけでないし、また以後にもそういう論文はない。1900年のプランクの黒体放射での量子仮説を提案したが、光子論文まではこの量子仮説の展開は一切なかった。プランク自身が、量子仮説を黒体放射以外に波及するものとみていなかった。アインシュタインこそが、この仮説を生き返らせて一般現象に拡張する先導役を果たしたのである。光子説もさることながら、放射の絡まない純粋力学現象の比熱理論への拡張(1907年)も量子理論の展開には重要な転回点であった。

科学研究は多くの人間の共同作業で成し遂げられるが、それには「開拓型」と「完成型」がある。「開拓型」は、「完成型」が出た後からみるとみすぼらしくみえる。しかし、「開拓型」で材料が出揃ったからこそ「完成型」があったのであり、いずれ劣らず重要である。この見方でいえば、相対論は「完成型」であり、光子説は量子力学という「完成型」に貢献した「開拓型」である。量子力学の「開拓型」には、プランク、アインシュタイン、ボーアのほかに多くの実験の成果が含まれる。それに対して「完成型」は、ハイゼンベルグ、シュレーディンガー、ディラックである。このようにアインシュタインは2つの型で重要な貢献をしており、ノーベル賞委員会は「開拓型」をとった。ただ、大衆のヒーローとしては「完成型」のほうが語りやすいので、「アインシュタイン=相対論」になっている。「開拓型」も重要であることを公衆に伝えるのが「第四の顔」である。

2.3 1917年放射論文

1917年論文の放射理論の内容は、1916年にもいくつかの会合で口頭発表している。指摘したいことは、この時期が一般相対論の完成時期と重なっていることである。一般相対論はまったく彼の一人舞台で、数学的にも大変骨の折れる仕事であった。体調をこわすほどの集中だったと後で述懐している。ベルリン赴任、戦争、家族別居など、私生活でも大変な時期である。そこにみられるのは、唯我独尊的でなく、学界の論議に積極的に参加する姿勢である。これはベルリン時代の特徴で、論文リスト⁹⁾をみるとよくわかる。

1917年放射論文を、1925年量子力学に登場する確率記述の嚆矢であるとする見解がある。Van der Waerden 編纂の「量子力学の原論文」という古典論文を英訳した本で

ある⁹⁾。ここで、量子力学とはハイゼンベルグ、シュレーディンガー理論のことをいい、プランクから始まる前期量子論は含まれない。そうすると、最初の地点をどこにもってくるかは自明でない。この編者は、そこにアインシュタインの1917年論文をもってきている。理由は編者がこの本に詳しく論じているが、ポイントは確率の導入である。この論文の遷移確率 A , B の導入のところで、放射能の崩壊確率、平均寿命などを受け継ぐものとして、ラザフォードの論文を引用している。最近、1917年論文の再評価を促す Kleppner の論文がある¹⁰⁾。「1919年の一件」で相対論に社会的に火がつく前の「奇跡の年」の、光子説と相対論の比較を記しておく。1905年の論文投稿段階で、アインシュタインは光子説を「革命的」と自評している。また、彼の学界デビューとなった1911年のソルベール会議では光子説の話をし、1914年のベルリンへの就任講演は相対論であった。訪日の帰途にパレスチナとスペインを旅行して、ベルリンに落ち着いたのは3月下旬であった。受賞講演は、6月11日にスウェーデン Gothenburg であった Nordic Assembly of Naturalists の機会に“Fundamental ideas and problems of the theory of relativity”という題でなされた。内容では、光電効果、光子説にはまったくふれず、題名通りの内容であった。ノーベル賞講演集では、「授賞式での講演でないので「光電効果の発見」に関する講演でない」という脚注がついている。蛇足ながら加えると、朝永振一郎も授賞式はけがで欠席し、受賞講演は東京のスウェーデン大使館で行っている。

謎Eの答えは、まったく政治的理由であった気がする。光子説の論文での引用文献で登場する名前はプランク、レナルト、シュタルクであるが、23年当時、ドイツでのアインシュタイン排斥運動はすでに熾烈であり、その組織者がレナルトやシュタルクだった。したがって、この時期に光電効果をテーマに喋る気にはならなかったであろう。

3. 電磁気学・相対論・形而上学

本誌の特集での筆者の分担は相対論である。一見したところ相対論と無関係なことを話題にしているようであるが、じつはアインシュタインの相対論の意味をめぐっては、自明でない論争が当時あったことの認識は重要である。そのことが、相対論という理論の性格、あるいは大げさというと「物理学とは何か」を考えるうえで必要なのである。これを理解するには、当時の学界が相対論の性格に示した困惑、論争を知ることが重要である。

前述のノーベル賞をめぐる異常さの背景にはこの「困惑」がある。ところが不幸なことに、「相対論は科学か、

形而上学か」といった当時の学界に存在したデリケートな戸惑いが、ナチズムの台頭による反ユダヤの「アーリア物理の確立」「アインシュタイン排斥」で荒々しく取り扱われた。静穏な環境の中での議論の深化が妨げられ、時代の嵐の中でかき消されたまま現在に至っている。「静穏」に戻って60年も経ったから決着済みと思うかもしれない。しかし、その時期はアインシュタインの第二、第三の「顔」が前面に出て、「物理学の世紀」を上気したまま謳歌してきた。

奇跡の年の論文のひとつ「運動物体の電磁気学」は、すでに確立していた電磁気学の中に新しい時間空間論を発見し、それに応じて粒子の運動方程式を修正し、その中で質量エネルギーを見いだす、という内容である。質量エネルギーは、この年の第四の論文で補足された。現在、特殊相対論は学部教育の科目にもなっているが、そこで学習する基本概念であるローレンツ変換にもミンコフスキー時空にも、なぜかアインシュタインの名がない。あの変換式はローレンツがすでに論文に書いている。また、相対論をガリレオ変換の発展とみる、相対性原理（優先慣性系不在）の考えはポアンカレによるもので、相対論という名称もポアンカレによる。さらに、ローレンツ変換をミンコフスキー空間での“回転”対称性と捉える最終版といえるミンコフスキー空間の理論も、1905年論文の刺激によるが、本人が呈示したものではない。「アインシュタインは何をしたのか」となる。ローレンツ、ポアンカレ、ミンコフスキーで十分である。アインシュタインの独自性は、縦質量とか横質量といった質量の変換だけで、実際、当時はここが実験的検証の鍵として関心を集めた。

現在からみると、質量ゼロの光子のエネルギー・運動量の変換を可能にするものとして特殊相対論をみることもできる。しかし、1905年の光子論文と相対論論文では、この関連づけはされていない。光子論文は「発見法的」と銘打つほど「開拓型」なのに対して、相対論論文は論理一辺倒のものでまったく性格が違う「完成型」である。当初、光子説はおもにエネルギーで論じられたが、運動量も含めて飛行する粒子のイメージで相対論変換と明確に結びつくのは1909年の講演である。光子の運動量まで直接確認されるのは、1923年のコンプトン効果によってである。この実験に関し、アインシュタインはコメント論文を書いている⁸⁾。

3.1 エーテルとマイケルソン

相対論の1905年論文を現在みても、まったく時代を感じさせない。引用文献が1つもなく、当時の学界の論議に参加するという姿勢ではなくて、「みなさん根本的に見方

を間違っていますよ」といわんばかりで、まさに“宇宙人”の立場で語っている。

この論文の性格を語るうえで一番重要なことは、相対論で電磁気学は小骨1本も変更がないことである。当時、この分野の先輩であるローレンツの電磁気学の教科書があった¹¹⁾。ローレンツはプランクと並んで早期に相対論を評価した人物だが、その後も彼の教科書はそのまま売れ続けた。電磁波と電子系の作用の物理には便利だからであろう。アインシュタイン流にみるのが、大抵の物理学者にはそれほど必要なかったのである。ローレンツは自著のあちこちにノートや脚注をつけて、アインシュタイン流への読み替えを盛り込んだ。ただ、電磁気学をつかう立場の読者には「見方の変更」にしか過ぎず、この教科書の数式はアインシュタイン革命後も何の変更も必要なかった。

電気力学の教科書として広く1920年代まで読まれたこの本をみると、あちこちに「エーテル」という言葉が登場する¹¹⁾。エーテルがいかにも19世紀物理の大前提であったかがわかる。多くの物理学の歴史では、「相対論はエーテルを排除した」と解説される。しかし、1905年論文では、「光エーテル」を「絶対静止座標系」という、物理的実体というよりは、座標系という数学概念にあっさり置き換えている。また、マイケルソン・モーリーの実験については、エーテルに対する地球の運動を探る「失敗した実験」として一般的にふれるが、動機という位置づけはない。この点も、マイケルソンの実験結果をうけてエーテルから相対論に転回したという通常の解説と、アインシュタインの思考は整合していない。彼にとっては、「離れた位置での同時刻の定義を可能にする公理として光速一定をおく」である。彼本人のエーテルへの言及は当初は少ないが、聴衆の関心・思考に合わせるかたちで後に増えた。

1907年のマイケルソンのノーベル賞のサイテーションは、“for his optical precision instruments and the spectroscopic and metrological investigations carried out with their aid”である。ノーベル賞講演でも分光学精密化の技術の話をしており、マイケルソン・モーリー実験にはふれていない。1905年論文の評価が学界で出る以前だから当然といえる。現在、光学分野の人を除けば、物理学の学習の中でマイケルソンに出会う唯一の機会がこの「失敗した実験」であることとのギャップが大きい。アインシュタインが著名になって訪米し、米国での最初のノーベル賞学者として科学新興国を象徴するこの大物と同席する場面もあった。マイケルソンはエーテル実験にふれた歓迎の挨拶をしたが、続くアインシュタインのスピーチでは、その実験には一切ふれなかった。マイケルソンの業績

全体を正しく伝えるのが、光学の専門家の責任であろうと思う。

3.2 物理学と形而上学

プランクをはじめとする相対論を早期に高く評価した人達は、「物理学教程」といった体系的な教科書を書いている人達である。例外は、放射能エネルギーの説明に感心したキュリー夫人である。プランクは、物理法則を変分原理で統一的に呈示するといった視点から、ただちに自分で論文を書いている。すなわち、実験でごじゃごじゃと見つかった現象をみる目をできるだけ整理し、体系化して、後進に教育するという営みに情熱を傾けていた物理学者のここをまず揺さぶったと云ってよい。アインシュタイン自身にとっても、小骨1本変らないが、電磁気学を明瞭、簡潔に見直すかと格闘した結果のレポートだったのである。新しい存在・現象・効果の発見が物理学だというなら、「簡潔、統一」ということは学習用・教育用の工夫に過ぎないという見方もできる。

ともかく、実験室であれこれ物理学をやる立場からみれば、相対論は屋上屋を重ねる形而上学のようにみえた。これがノーベル賞選考で「もめる」当時の状況だった。確かに、相対論は形而上学＝哲学の深部に影響をもった。現在からみると、「哲学をも揺るがす科学上の発見」という性格は、むしろ高評価につながると思うかもしれない。しかし、この現在の感覚を当時の世界に投影するのは間違いである。19世紀末から学問の世界で存在感を増した科学への文化世界の反発に対するスタンスとして、科学界は実証を重視したストイックな営みであることを強調し、老舗の哲学と混同されることを警戒した。トルストイの科学批判、マッハの実証主義認識論、ポアンカレの科学論、マックス・ウェーバーの「職業としての学問」などの背景にある、こうした科学者社会の歴史を理解する必要がある⁷⁾。

ここで20世紀を振り返ったときに、アインシュタインをはじめとする理論物理学者が輝いて見えるということ相対化する姿勢が必要である。世紀のはじめ、理論物理学者というのは、一人前でない、講義要員の別枠教授としてドイツ圏で登場した^{12,13)}。ところが、ボルツマン、プランク、アインシュタイン、ハイゼンベルグ、ディラック、シュレーディンガー、湯川、ランダウ、ファインマンなどという巨匠の登場する中で、物理学とは理論物理が先に引張って実験物理がそれを検証する、というイメージが20世紀中葉にかけて醸成された。その前夜の過度期に現れたアインシュタイン排斥派は、理論物理退治も叫んだ。

1907年当時、ゾンマーフェルトがローレンツ宛の手紙で、アインシュタインの相対論にはユダヤ的な絶対的抽象

主義の匂いがすると書いているという¹⁴⁾。ここでいう「ユダヤ的」についての筆者の考察は、拙著の中でサルトルの著書を引用して説明を試みている⁷⁾。狂信的なナチス物理学者は、相対論も量子力学もともに「ユダヤ的」といって攻撃した。それに正当な根拠があるというわけではないが、彼らがスローガンとしてこれを掲げた理由には、当時の多くの物理学者が、従来の物理学のやり方からいうと、違和感をもっていたという現実があったのである。この20世紀前半での物理学の転換の意味を自覚し、20世紀後半の物理学にこうした「ユダヤ的」現象の結末に思いをいたすべきだろう。「物理学とは何か」という論議とはこのことを指している。

4. 時空対称性の発見

最後に、途中をとばして、現時点からみた相対論の展開への筆者の見方を述べておく。ひとことでいえば、物理法則に対称性という概念を導入して、「保存則」の根拠としての「屋上屋」を重ねることに成功したことである。一方、実在の概念は、“保存する恒常性”と結びついており、この「屋上屋」は素朴実在概念の解体を引き起こすように思える。

4.1 大域的対称性

特殊相対論は、ガリレオ対称性にかわるローレンツ対称性を発見したことである。一般論として、「作用不変」を物理法則とすれば、対称性は保存則を演繹的に導く。その嚆矢はネータの定理である。ここで「作用」とは、ラグランジアンやラグランジアン密度を積分したものである。ニュートン力学にはガリレオ対称性（ガリレオ変換で作用が不変であること）がある。あるいは有限な系が外場のない空間に存在する場合には、ガリレオ・ポアンカレ対称性があり、エネルギー・運動量、角運動量、重心運動の保存則を導く。すなわち、保存則は時空の対称性から演繹される。こうした理論的視点はきわめて初等的な原理であり、通常のニュートン力学をこの原理で見直した教科書を筆者は著しているので参照されたい¹⁵⁾。例えば、ガリレオ対称性と重心運動の保存の結びつきはあまり知られていない。

このようにニュートン力学を見直せば、相対論は対称群の入れ替えに過ぎない。こうした理論的発展は、アインシュタインの相対論が1つの動機であったが、結果としては力学の一般的深化であって、四次元時空のローレンツ変換はその一例に過ぎない。

この対称性と保存則の関係はその後、連続変換の時空対称性を超えて、非連続時空対称性（パリティ、正反粒子など）、荷電や素粒子の他の量子数（カラー、フレーバー、

バリオン、レプトンなど)の保存則を各種の対称性として捉える方法として重要な原理になっている。また、こうした対称性を群論で扱う手法は、原子や原子核の特殊な物理モデルに内包されている対称性をつかっていたエネルギーレベルの構造の研究にも威力を発揮している。

4.2 局所対称性=ゲージ理論

時空の異なる点での対称性変換を関係させる任意性に応じて、ゲージ場が導入される。一般相対論は、じつはローレンツ対称性のゲージ場理論である。ゲージ場の発想はワイルに由来するが、物理に登場したのは、電磁場のゲージ理論としての見方を一般化したヤング・ミルズ理論である。また、同時期に内山龍雄が一般相対論のゲージ場の構成を明らかにした¹⁶⁾。デカルトは、幾何問題を座標系をつかって解く手法を導入した。ここで、座標系のとり方は任意であり、対象をデジタル化するゲージ(物差し)に過ぎない。ゲージが違えば数字は違うが、幾何学的関係はゲージのとり方に依存してはならない。このように、座標はつかうが座標によらない性質を扱う手法を一般に幾何学的理論といい、ロボットの制御理論などでもつかわれる¹⁷⁾。ここで「幾何」を「物理現象」に置き換えると、「法則を一般座標変換に不変なかたちに表示する」となる。重力の作用をゲージ場の中に吸収させたものが一般相対論である。1932年中性子発見のころからの原子核・素粒子の物理学に、アインシュタインは関心を示さなかった。フェルミ、湯川に始まる素粒子の新しい相互作用と加速器実験によるクォーク、レプトンの発見は、1970年代に入ってゲージ

場による相互作用の統一的な見方に立つ「標準理論」に結実した。新量子数の実験的発見と量子場理論という差はあるが、この結末にアインシュタインが先回りして立っていたともいえる。

文 献

- 1) 佐藤文隆：京都新聞，11月27日(2004)。
- 2) 佐藤文隆：読売新聞，1月5日(2005)。
- 3) 佐藤文隆：科学，2月号(2005)。
- 4) 佐藤文隆：Einstein and Japanese (WYP日本委員会パンフ，2005)。
- 5) 金子 務：アインシュタイン・ショック(岩波現代文庫，2005)。
- 6) 佐藤文隆：“「アインシュタイン=相対論」公式の修正を”，大学の物理教育，11，No. 7(2005)。
- 7) 佐藤文隆：孤独になったアインシュタイン(岩波書店，2004)。
- 8) A. Calaprice: *The Einstein Almanac* (Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2004)。
- 9) B. L. van der Waerden ed.: *Sources of Quantum Mechanics* (Dover, New York, 1968)。
- 10) D. Kleppner: *Physics Today*, Feb. (2005) 30-33。
- 11) H. A. Lorentz: *The Theory of Electrons* (初版1906; Dover版, New York, 1952)。
- 12) 佐藤文隆：“理論物理学者の起源”，日本物理学会会誌，4月号(2004) 240-241。
- 13) 佐藤文隆：創立50周年記念講演報告集(2004，基礎物理学研究所)。
- 14) *Physics Today*, February (2005) 14のコラム記事。
- 15) 佐藤文隆：対称性と保存則(岩波書店，2004)。
- 16) 内山龍雄：一般ゲージ場序説(岩波書店，1987)。
- 17) 佐藤文隆：“車庫入れのゲージ理論”，数理科学，5月号(2000) 36-40。

(2005年7月11日受理)