


 «Квант» для младших школьников

ソ連科学誌・クヴァントから

やさしい物理学

39

小島 英夫 (静岡大学) 訳

## 物理学者の弁明 M. カガノフ (クヴァント 1992, No. 10, 9-13pp)

物理学者は弁明する必要があるのだろうか？ 誰に向かって？ この問題は確かに、この文章の表題に掲げられている。大量破壊兵器の開発の告発について、物理学者は弁明することを余儀なくされている。しかし、ここで話したいのは別の事である。物理学は、工業的な応用、多くの実用的な科学や技術的な学問に利用されるアイデアと技術の源泉であることは事実で、それゆえに本質的に世俗的であるかのように考えられている。しかし、私はこの小論で、このような考えから物理学を擁護したいと思うのだ。

精神的なものは何であれ、それを一言で定義するのは難しい。しかし、人間が自分の環境について、それが生きる上で便利であるかないか、ということ以上の興味を抱いていることは、私にとっては疑いのないことである。風景に色彩を感じない人、日の出、日の入りの情景に無関心な人、植物と動物の世界に興味のない人、生命体の一部分に驚異的な〈構造〉を見て驚きを感じない人は、精神性に欠けると言うことができるだろう。周囲の自然を見た時に人が感ずる驚きは、好奇心に変わり、教育と学習とによって知識欲が育つ。多くの人々の知的好奇心が、知識の種々の段階に留まっているのは確かである。なぜかというと、〈子供〉の問い、〈なぜ？〉や〈どういう風に？〉に答えるためには、非常に多くの細

かな実験をして、深遠な理論をたてる必要があるからである。そのようにして人間は、単純な観察に始まり、実験による厳密な結論を出すこと、さらに物事の本質に達する為に自然現象の根本にある法則を知り、宇宙の構造を理解するまでになった。

知識の深化過程には危険が隠されている。日没の風景に感銘を受けてそれを画布に再現することは芸術的な営みであるが<sup>1)</sup>、太陽光線のスペクトル構造を説明すること、光量子の放射機構を研究することは、退屈な、極めて専門的な行為であると思われる。確かに、我々をとりまく宇宙を研究するには、公式や装置を駆使していろいろな法則を研究するような、専門的な活動が必要である。特に、複雑な器具や装置を必要とする科学では、物好きな人や芸術家が貢献する余地はない。しかし、我々に突き付けられた自然の最も深遠な問題とそれに対する答えの間には、弁証法的な矛盾が存在する。ときに、限られた範囲の現象を(専門的に!)研究している人が、その現象と宇宙の構造の関係を究めるのではなく、宇宙の画布に追加の一筆を加えるのだと感ずることがある。そんな時でも私は(いまましい事に)そのような人を俗物だと非難するつもりはない。彼(この仮定的な〈低俗な〉研究者)が、理性ではなく感情に裏打ちされて、計算にあるいは測定法の仕上げに専念し

1) 画家によって描かれた風景の場合に限られることは確かである。

ていることは疑いのないことだからである。

我々の世代の物理学者には、L.D. ランダウを襲った不幸が記憶に残っている<sup>2)</sup>。自動車事故の後で、医師や物理学者の努力にも拘らず、ランダウは研究活動に復帰することはできなかつた。事故の後、ランダウは6年間生き延びたが、彼と話した多くの人々が知っているように、彼は他人の研究の細かい計算についての記憶は持っていたが、理論物理学者として仕事をすることは出来なかつた。医師の考えでは、それは感情を司る脳の領域の外傷性損傷によるものだった。

もう一つの、上のとは関係がないように見える例を挙げよう。かつて、ソ連アカデミー物理学研究所(現在、この研究所にはP.L. カピツァの名称が付けられている。当時はカピツァは生きており、アカデミーを指導していた)の会員にYa.B. ゼルドビッチ<sup>3)</sup>が選ばれた。彼は創造活動について、一般的な話をした(どういう切っ掛けでかは忘れたが)。基本的な意味で、知的好奇心は人間の欲求の一つと認められる。科学は、この欲求に応える方法である。その欲求を満たすことは、食物、衣服、住居などを満たすことと同様に人間にとって必要である。話は、基礎科学の経済的支援の問題になった。ゼルドビッチは、科学研究の結果の実用的価値ではなく、人間(人類)の知識における知的満足を強調した。この考えは私には非常に気に入った(だから覚えていたのだが)。彼は興味ある話を、会議でばかりでなく、それ以外の場所でもした。若い、有能な理論物理学者の言葉が、私に強い印象を与えた。彼はゼルドビッチに全面的に賛成していた訳ではない。その彼が、次のように白状した：彼が計算に没頭していたとき、

あまり重要でない一つ問題の設定に導く疑問が生じ、その答を求める欲求に駆られてその計算の過程に興奮し(私流に言えば、インスピレーションを受けて)、厳密な数学的規則の適用過程に存在する、驚くべき調和に喜びを覚えた。多分それは、現実の自然に数理が対応するという、意識下の感覚によるものであろう。この若い物理学者の言葉に対応するものが、私が日常的に行っている、問題の解答を求める過程(くであるかのような過程)に対しても存在することは確かである。

専門家でない読者に、物理学者の仕事のこのような面を理解してもらうために、一人の科学者を取り上げよう。この科学者の仕事の本質を表わす言葉は、月並ではあるが、創造である。科学的な仕事—それは創造である。創造は、どのような形の人間の活動においても、インスピレーションによって引き起こされる。それが科学者の活動を精神的なものに転換する。

それに加えて、活動には過程がある—創造はその過程の結果である。過程には精神性はないように見える。(なんらかの測定あるいは計算により)結果を得る過程は、我々が知っているように客観的に存在することだ。多くの科学者が確信しているように、精神性は我々の意識の外に、独立して存在する。それらの科学的な探求の結果自体も、精神性と何等かの関係があるのだろうか？ 私にはそうだと思える。この確信を説明してみよう。その為に、宇宙の構造を理解する努力を取り上げる。物理学とは関係ないが、パズルの謎解きを知っているだろうか。例えば、次の様なパズルである；不規則な形をした小片群からなる、球あるいは立方体がある。球(あるい

2) アカデミー会員でノーベル賞受賞者のL.D.ランダウ(1908-1968)の紹介をする必要はないだろう。ランダウは20世紀の最も重要な理論物理学者の一人であり、その研究活動によってばかりでなく、何冊もの教科書(理論物理学教程)によっても優れた業績を上げた。その教科書で物理学を学んだ理論物理学者は多い。さらに、彼は一群の、最も優れ、生産的な物理学者を育て上げた。

3) Ya.B.ゼルドビッチ(1914-1987)、有能で、非常に活動的な理論物理学者、燃焼の物理学、素粒子物理学、天体物理学、宇宙論で業績を上げた。A.D.サハロフおよびYu.B.ハリトンとともに、ソ連の原子兵器の開発に携わった。アカデミー会員、ソ連邦労働英雄に3回なっている。

は立方体)を分解して、その小片群から元の球(あるいは立方体)を組み立てるとというのが問題である。パズルを解くときに、解があることを知っていることは非常に重要である。さらに、球の分解に際して、各小片はそれ以上分解できないことが分っている。最後に、組合わせの規則を知る必要がある；パズルの規則は、認識過程における自然法則のようなものである。組み立ての際の規則は、どんなパズルにも共通に、アприオリに存在する、次の様なものである：変形したり、力を加えたりしてはならない。一般的に言えば、どんなパズルにも分解と再構成の方法がある。

宇宙の問題に戻ろう。物理学者は、多分昔から、全ての物は部分からできていると確信していた。しかし、どのような？ 分解の限界はあるのだろうか？ 私が大学で学んでいた時には、物質は電子、陽子および中性子からなることを誰でも知っており、それらの宇宙の〈煉瓦〉は特別な用語で素粒子と呼ばれていた。それ以後、〈素〉粒子は極めて多くの小片(粒子)に分けられた。年毎に新しい粒子が現れた。それらは分類され、種族に分けられ、種々の関係を付けられ、そして……全ての〈素〉粒子が十分に素元的ではないことが分った。現在、もはや理論物理学者の仕事の中だけでだが、宇宙を構成する〈煉瓦〉はクォークであることに〈なっている〉。クォークは電荷が電子電荷の $1/3$ か $2/3$ で、かつての素粒子の外では誰も見る事ができないのに、その存在は誰にも疑えないという、人間精神の創造した粒子である。

私の話との関連では、次のことが重要である：クォークは人間精神の所産であり、宇宙

の構造の、統一的な、美しい見取図を作るために必要なのである<sup>4)</sup>。

物質の最小の粒子の構造が分ったので、それから我々の宇宙と我々自身がどのように作られているのかを考えよう。

一つの興味のある研究がある。〈素〉粒子の構造を探求しても、我々が結晶構造を見る目も、磁性や超伝導性の性質についての我々の理解も変わらない。物理学には独特な階層構造(ヒエラルキー)が存在する。巨視的な対象の性質を理解するには、〈究極に〉達する必要はない。適当なところに留る必要がある。例えば、金属の電気伝導や熱伝導を説明するには、金属を構成する原子核の性質を知る必要はない。階層構造があるために、科学的に得られる結論に保存性(保存則)が保証される。実際、階層構造が無いとすると、どんな研究をするにも物理学の全ての問題を根本的に究めることが必要になるだろう。そうすると、その本質からして、自然法則を知ること自体が不可能になることがわかる<sup>5)</sup>。

とにかく我々は、物質の最小の粒子から、宇宙(我々の宇宙の諸々の物体)の構造に戻ってきた。すると、宇宙の構造は、正しく積み木と同じだと考えられるのではないだろうか！

巨大で、複雑であるが、それでも積み木だ。一このような考えには、時々お目にかかる。残念ながら、物理学に縁の無い人々だけでなく、物理学者の中にもそのような意見がある。特に素粒子物理学に携わる人々に、そのような意見は多い。私はそのような意見には根本的に反対である。

賛成できないのは、宇宙の組成と構造を全

4) われわれの話にとって重要な言葉〈美学と科学〉について、少し詳しく説明することを許して頂きたい：二つの相違点に注意しよう。第一に、科学的な美しさを評価するときには、学者は日常生活の美しさを評価する時よりも一致しやすいようである。第二に、何等かの隠れた理由によって、美しい結果は稀に、偶然にしか現れない。もし私が信心深かったなら、神の美的基準が一致すると考えるだろう。あるいはこう考えるだろう：神は科学者の美的基準を採用して、法則が科学的な研究により容易に見出せるようにしてくれたのだ。確かに、この考えを受入れるには、人間が信心深い必要があるだろう。

5) 同じような論理で、我々の社会を改造する神が存在したら、と考えることもできないだろうか？ もし改造の結果、その社会構造が政治的に(イデオロギー的に、および他の面での革新に)無関係な、あるいは弱くしか依存しない社会ができるとすると、その改造は良いことだろうか？ こんなことを考えるのも面白いではないか！

は立方体)を分解して、その小片群から元の球(あるいは立方体)を組み立てるとというのが問題である。パズルを解くときに、解があることを知っていることは非常に重要である。さらに、球の分解に際して、各小片はそれ以上分解できないことが分っている。最後に、組合わせの規則を知る必要がある；パズルの規則は、認識過程における自然法則のようなものである。組み立ての際の規則は、どんなパズルにも共通に、アプリアリに存在する、次の様なものである：変形したり、力を加えたりしてはならない。一般的に言えば、どんなパズルにも分解と再構成の方法がある。

宇宙の問題に戻ろう。物理学者は、多分昔から、全ての物は部分からできていると確信していた。しかし、どのような？ 分解の限界はあるのだろうか？ 私が大学で学んでいた時には、物質は電子、陽子および中性子からなることを誰でも知っており、それらの宇宙の〈煉瓦〉は特別な用語で素粒子と呼ばれていた。それ以後、〈素〉粒子は極めて多くの小片(粒子)に分けられた。年毎に新しい粒子が現れた。それらは分類され、種族に分けられ、種々の関係を付けられ、そして……全ての〈素〉粒子が十分に素元的ではないことが分った。現在、もはや理論物理学者の仕事の中だけでだが、宇宙を構成する〈煉瓦〉はクォークであることに〈なっている〉。クォークは電荷が電子電荷の $1/3$ か $2/3$ で、かつての素粒子の外では誰も見る事ができないのに、その存在は誰にも疑えないという、人間精神の創造した粒子である。

私の話との関連では、次のことが重要である：クォークは人間精神の所産であり、宇宙

の構造の、統一的な、美しい見取図を作るために必要なのである<sup>4)</sup>。

物質の最小の粒子の構造が分ったので、それから我々の宇宙と我々自身がどのように作られているのかを考えよう。

一つの興味のある研究がある。〈素〉粒子の構造を探求しても、我々が結晶構造を見る目も、磁性や超伝導性の性質についての我々の理解も変らない。物理学には独特な階層構造(ヒエラルキー)が存在する。巨視的な対象の性質を理解するには、〈究極に〉達する必要はない。適当なところに留る必要がある。例えば、金属の電気伝導や熱伝導を説明するには、金属を構成する原子核の性質を知る必要はない。階層構造があるために、科学的に得られる結論に保存性(保存則)が保証される。実際、階層構造が無いとすると、どんな研究をするにも物理学の全ての問題を根本的に究めることが必要になるだろう。そうすると、その本質からして、自然法則を知ること自体が不可能になることがわかる<sup>5)</sup>。

とにかく我々は、物質の最小の粒子から、宇宙(我々の宇宙の諸々の物体)の構造に戻ってきた。すると、宇宙の構造は、正しく積み木と同じだと考えられるのではないだろうか！

巨大で、複雑であるが、それでも積み木だ。—このような考えには、時々お目にかかる。残念ながら、物理学に縁の無い人々だけでなく、物理学者の中にもそのような意見がある。特に素粒子物理学に携わる人々に、そのような意見は多い。私はそのような意見には根本的に反対である。

賛成できないのは、宇宙の組成と構造を全

4) われわれの話にとって重要な言葉〈美学と科学〉について、少し詳しく説明することを許して頂きたい：二つの相違点に注意しよう。第一に、科学的な美しさを評価するときには、学者は日常生活の美しさを評価する時よりも一致しやすいようである。第二に、何等かの隠れた理由によって、美しい結果は稀に、偶然にしか現れない。もし私が信心深かったなら、神の美的基準が一致すると考えるだろう。あるいはこう考えるだろう：神は科学者の美的基準を採用して、法則が科学的な研究により容易に見出せるようにしてくれたのだ。確かに、この考えを受入れるには、人間が信心深い必要があるだろう。

5) 同じような論理で、我々の社会を改造する神が存在したら、と考えることもできないだろうか？ もし改造の結果、その社会構造が政治的に〈イデオロギー的に、および他の面での革新に〉無関係な、あるいは弱くしか依存しない社会ができるとすると、その改造は良いことだろうか？ こんなことを考えるのも面白いではないか！

か？ 自然はなぜ人間の頭脳の産物である法則で記述されるのだろうか？……再び宗教的な世界観に立ち戻って（快適な答えを求めて）、あらゆる問題の設定を逆転させて、次のように言うこともできる：《自然は人間の頭脳で理解できるように創造された……》。

私はこの問題にたいする答を知らない。確実なことは、それがあまり厳密には定式化されていないことである。私は哲学者ではない。

いろいろな時に、人生のいろいろな段階で、この問題は私の心を占め、私に物を考えさせた。具体的な問題の解決に従っているときには、このような問題の存在には注意しなかったが、巨匠達（アインシュタイン、ボーア、シュレーディンガー、後にハイゼンベルグ）の文章の中にそれらの問題を発見した時には、私はそれを〈干渉〉することを許されない、尊重すべきものと考えた。しかし次第に、理論物理学の、もっぱら具体的な計算に携わる仕事の傍ら、理論や実験によって完全に決まるだけでなく、その結果が宇宙の科学的な見取図に占める位置に関係した、興味のある一般的な問題をも研究の対象とするようになった。さらに、宇宙の科学的な見取図は、宇宙とどんな関係にあるのか、という問題が心を占めた。職業的な哲学者になるつもりはなかったが、私はいくつかの論文と一冊の本を書いた。しかし、自分の信念をこんなに明瞭に話したことはこれまでに一度も無い；一科学は人間の精神生活の一つの側面である。人間の創造力を発展させるためには、それを利用することが不可欠である。人々の生活にとって基本的な欲求である、知的好奇心を満足させるためにもそれは必要である。少しでも科学的に重要な成果で、人間の精神的な〈粒子〉の詰っていないようなものはない。もう一度繰り返そう。精神の粒子は真理の探求の中だけでなく、真理そのものにも含まれているのだ。なんらかの意味で、科学は自然の人間化の結果である。言葉、概念、関係—それは

人間が自然に与えたものである。宇宙の外的な色彩を人々に示すのが画家であるとすれば、内的な、知的な色彩の存在を開示するのが科学者である。それは、物質の運動で表わされ、比較的簡単な基本法則に纏められた、著しく多様な形の自然法則を、われわれが認識することが可能だ、という形をとる。

科学、とくに物理学に対するロマンチックな関係が薄れて行くのを感じるにつけても、私は上に述べたような気持ちを若い人々と分かち合いたいと思うのである。

(訳 こじま ひでお)

## 統計学を学ぶための 行列入門

M. J. R. ヘアリー著 / 堤 陽・栗木道二訳

A 5 判・定価 2,369 円

統計(statistics)の実務に携わっている方々、統計の手法を利用されている方々がその活動の途上、統計学の理論的な基礎やより広い応用を学ばれる必要が生じたとき、最も困難を感じられるのが行列と行列式(matrix と determinant)、いわゆる、線形代数学の基礎であります。そのための、数学の啓蒙的月刊誌等、たとえば、BASIC 数学にも、しばしばそのような企画があり寄稿されています。また、統計のやさしい入門書が数多く出版されていますが、それを必要とされている方々が満足するものでないようであります。その原因としては次のようなことが考えられます。まず、行列と行列式のやさしい入門書といっても、その内容は多岐にわたっているための困難さ、統計のやさしい入門書といっても、統計の理論と行列、行列式の用法の2つにまたがっている困難さであります。

原著

M. J. R. Healy 著 Matrices for Statistics,  
Oxford Science Publications

は、行列の導入から行列計算のアルゴリズムおよびそのプログラム(補遺)にいたるまでの自然で流れるような講義、命題—証明の形式をとらず、例題は統計分野からとられている得難い名著であります。

現代数学社