

科学と社会

第16回

国家・学問・戦争の諸相

量子力学が意味したもの(1)

米国の場合

岡本 拓司

前々回、前回は、第一次大戦後の日本の科学の特徴を伝える事例を取り上げた。今回と次回は、戦間期の科学界に生じた大事件である量子力学の登場に注目し、特に、この理論に基づく物理学の発展とともに科学研究において躍進を遂げた2地域、すなわちアメリカ合衆国と日本の動向について論ずる。

16.1 量子力学誕生前後のアメリカの物理学

量子物理学誕生前後のアメリカの物理学史は、日本ではあまり意識されることはないが、世界的にみれば研究の集中している対象であり、広く知られた現代物理学史の通史でも、既存の研究を用いるとアメリカ中心に記述が偏る惧れがあるが致し方ないと断っている¹⁾。2つの世界大戦を含む時期に、アメリカの物理学は、学問の内実とそれをとりまく社会制度の両面において、他の地域・時代にはない大きな変容を遂げており、多くの研究者が、第二次大戦後の科学の特質を検討するための材料や、学問と社会の関わり全般を考えるための課題を、そこに見出して来た。それらの全貌を記すことはできないが、以下では幾つかの特徴的な論点を検討してみよう。

16.2 物理学者の亡命とアメリカ

科学史にあまり詳しくなくとも、アメリカと物理学といえば、第二次大戦中、この国が多くの物理学者を動員して原子爆弾の開発に成功したことにはすぐに思い当たるであろう。第二次大戦下では、アメリカの敵国であったドイツや日本でも原子力の軍事利用が目指されたが、これに成功したのはアメリカのみであった(英国などの協力もあった)。アメリカの原爆開発成功の背景には、連邦政府が注ぎ込んだ財政的な支援(科学技術関連予算は、戦時下では年間4,800万ドルから5億ドルへと急増した²⁾)があったことは確かであるが、個体的な開発には多くの優れた物理学者が必要であった。そのような物理学者たちが、なぜ第二次大戦当時のアメリカにいたのであろうか。

すぐに思い当たるのは、ナチスやファシズムによるユダヤ人の迫害を逃れて亡命してきた、自身や家族がユダヤ系であったり、ユダヤ系でなくとも中欧の政治状況全般を嫌った物理学者たちであろう。実際、原爆開発に当たっても、フェルミ(妻がユダヤ人、Enrico Fermi, 1901-1954)、フランク(James Franck, 1882-1964)などの亡命物理学者たちが重要な役割を果たしている。他国から亡命して間もない人々の多くを最新兵器を開発す

る極秘計画の枢要に関わらせたという点には、アメリカという国の成り立ちの特異性を見ることが出来る。原爆開発計画自体が、ドイツが先に核分裂の軍事利用に成功することを惧れたユダヤ系の亡命物理学者たちの動きから始まっており、具体的にはアインシュタイン(Albert Einstein, 1879-1950)の署名したローズヴェルト大統領(Franklin Delano Roosevelt, 1882-1945)宛ての1939年夏の手紙がその端緒であった。手紙を実際に草したのは、ハンガリー生れの物理学者、シラード(Leo Szilard, 1898-1964)であり、友人のウイグナー(Eugene Paul Wigner, 1902-1995)とテラー(Edward Teller, 1908-2003)に相談した上でのことである³⁾。関わったすべての人物が亡命者であった。

ただし、計画が進展すると、シラードを含む亡命者たちの一部は「敵性外国人」として原爆開発からは排除され、また計画の研究面を指揮したのは、アメリカ人のオッペンハイマー(J. Robert Oppenheimer, 1904-1967)であった。開発を支えた物理学者の大半は、まだ若かったファインマン(Richard Phillips Feynman, 1918-1988)などを含む、米国で育った科学者たちであったことも間違いなく、亡命物理学者たちの多くは1930年代後半になってからアメリカにやってきたのであり、それ以前からこの国には、物理学者を育成し、物理学研究の隆盛をもたらした動きがあったと考えなければならない。

また、亡命してきた知識人たちの専門分野が多岐にわたっていたにも関わらず、物理学者の存在が特に顕著である点にも注意すべきであろう。数としては化学者が多く、学問的な貢献では数学者も顕著であるが(1965年のアメリカ科学アカデミーの数学部門の会員51人のうち14人がヨーロッパ出身であった⁴⁾)、大学に職を得る機会に最も恵まれたのは物理学者たちであった⁵⁾。物理学者の存在が際立つのは第二次大戦中の活動ゆえでもあるが、それ以前から、アメリカでは自然科学の中でも特に物理学が、大学で教育と研究に従事できる人材を必要としており、亡命者に職を提供できるほどの活況を呈していた。

さらに、上述の事情とやや矛盾するようではあるが、ヨーロッパの物理学者であれば、だれでも職が得られたわけではなかった。アインシュタインのように突出した存在であれば問題はなかったが、ノーベル賞受賞者であっても、彼より若いシュレーディンガー(Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, 1887-1961)は、すでに研究能力の頂点は過ぎていると看做され、亡命を望んだもののアメリカで職を得ることはできなかった。反対に、若いハイゼンベルク(Werner Karl Heisenberg, 1901-1976)は、同僚がドイツを離れるなか自身は自国の文化を守ることを選択して留まったが、複数のアメリカの大学から教授職の提供を受けていた⁶⁾。必ずしも望み通りの人材が得られたわけではなかったにせよ、アメリカ側は、自分たちの必要に鑑みて適切な者を選ぶ主体性を確保していた。

現代物理学史では、1932年が「奇蹟の年」と呼ばれることがある。これは、量子力学が1920年代後半に成立したのちに、その適用範囲をさらに広げる基礎となった5つの成果が、この年に発表されたためである。いずれも後にノーベル賞の対象となる5つの成果とは、中性子の発見、人工的な核分裂の成功、サイクロトロンの開発、重水素の発見、陽電子の発見であるが、このうち最後の3つはアメリカ人の業績であった(順に、ローレンス(Ernest Orlando Lawrence, 1901-1958)、ユーリー(Harold Clayton Urey, 1893-1981)、アンダーソン(Carl David Anderson, 1905-1991)による⁷⁾)。

奇蹟の年の3つの成果が物語る通り、アメリカは、物理学研究においては、大規模な知識人の亡命が始まる以前の1930年代初めに、すでにヨーロッパを超える存在になりつつあった。亡命物理学者が他国ではなくアメリカで研究の場を得るのに成功したのも、アメリカの中で他の分野に比べて物理学が亡命者により顕著な活躍の場を与えることができたのも、そのためであった。亡命による物理学者の大西洋を越えた移動は、ドイツ語圏の凋落とアメリカの隆盛の両方を同時にひきおこす出来事であり、これと、第二次大戦中の物理学

研究の躍進により、戦後のアメリカの物理学の世界の学界における位置は、ヨーロッパとの比較において、また名実ともに、向上した。では、1930年代までにアメリカの物理学の成長を牽引したのは何だったのであろうか。

16.3 第一次大戦後のアメリカの物理学の成長

アメリカをヨーロッパに並ぶ物理学研究の中心地にしたのは、第一次大戦後に起こった、科学研究・教育の躍進を目指した動きであり、これは、科学者の意識的な行動と、ロックフェラー、カーネギー、グッゲンハイムなどの財団による支援によって具体化した。

科学者の側では、第一次大戦中（ただしアメリカは参戦前）の1916年に、戦備（Preparedness. 参戦前の準備をこう呼ぶ）への協力を目指して、科学アカデミー（National Academy of Sciences）を母体とする学術研究会議（National Research Council: NRC）が結成された。天文学者のヘール（George Ellery Hale, 1868-1938）の主導によるものであり、物理学者のミリカン（Robert Andrews Millikan, 1868-1953）、化学者のノイズ（Arthur Amos Noyes, 1866-1936）らが協力したほか、アメリカ電話電信会社のカーティ（John Joseph Carty, 1861-1932）やジュエット（Frank B. Jewett, 1879-1949）など産業界の技術者・科学者も加わった⁹⁾。

大戦中、NRCは、科学者が軍や企業と協力して戦時研究を行うための調整にあたり、潜水艦探知、弾道計算、航空機の改良などで具体的な成果を挙げることに成功した。戦後には、大統領の諮問に応える機関としての地位を確立し、戦時中に引き続いて企業との協力の下に科学研究の応用の拡大に努めたほか、諸財団からの寄附を、大学での研究所設立や、奨学金制度の発足、学術誌の刊行などに振り向け、純粋科学の領域においても研究・教育の活性化を促進した。

一方、19世紀末の「金ぴか時代」（Gilded Age）の石油業界・鉄鋼業界などの成功に基づいて、カー

ネギー、ロックフェラー等が築き上げた財は、第一次大戦前には、医療・衛生・教育など、支援の理由を一般社会に説明するのが容易な対象に振り向けられていた。この姿勢が変化するのは第一次大戦を契機としてであり、それは、科学研究が実践的な役割を果たし得ることが明らかになり、また戦後の世界の復興にも役立ち得ると確信されたためであった⁹⁾。諸財団は初めはNRCを通じて、次いで独自にも科学研究への援助を行うようになる。

財団の中でもロックフェラーの支援は突出しており、1924年から29年の間に、この財団の一般教育部（General Education Board: GEB）が国内の大学に行った援助は、自然科学関連のみで1,200万ドルに達した。支援の特徴は、一部の優れた大学に厚く資金を提供する（“Making the peaks higher”）というものであり、上述の期間に、ヘールやミリカンの所属するカリフォルニア工科大学に281万5千ドル、プリンストン大学に200万ドル、シカゴ大学に179万8千ドルが与えられるなど、上位6大学が総額の4分の3以上を受け取った¹⁰⁾。支援は、研究施設の建設や基金創設にあてられた。例えばプリンストンでは、ロックフェラーからの寄附に自動努力分が加えられて300万ドルの基金が設けられ、その半分ずつが5人の教授の給与と研究助成金に用いられた。

16.4 科学への支援と量子力学の導入

第一次大戦後のアメリカにおける科学支援の隆盛は、科学分野の研究・教育全般の活性化をもたらしたが、量子力学の導入には特に大きく貢献した。

量子力学を築いた人々の中にアメリカ人はほとんどいないが、あえて挙げるとすれば、前期量子論の最後期に現れるBKS理論（1924年）のスレーター（John Clarke Slater, 1900-1976）くらいであろうか。BKSとは共同研究を行った3人の物理学者の姓の頭文字であり、最後のSがスレーター、Bはボーア（Niels Henrik David Bohr, 1885-1962）、Kはクラマース（Hendrik Anthony Kramers, 1894-1952）を意味する。ボーアやクラマースとの共同

研究は、スレーターにとって極めて不愉快な経験であったが¹¹⁾、ヨーロッパが物理学研究の最先端にある以上は、そこに追いつくために留学が不可欠であるように思われた。スレーターはハーヴァードの物理学科で博士号を取得しており、実際にはアメリカで学んだ内容で充分ヨーロッパの水準に追いつくことができたのであったが——BKS理論は発表後すぐに否定されたが、ボーアとクラマースに抵抗してスレーターが主張した点のみは結果的に正しかった——、そのことを確認するためにも留学する必要があった。

「奇蹟の年」1932年に現れた5つの成果はいずれも実験研究に属するものであった。このうち3つがアメリカでなされ、量子力学の誕生後、わずか数年で、この理論の誕生に貢献しなかった国が研究の先端に到達したのは、理論研究の方向性がいったん固まり（相対論との整合性、原子核、物性など）、実験上の成果が求められる段階が到来したためであった。アメリカは第一次大戦前から実験研究においては一定の水準には達しており、量子力学誕生後に最も早く成果を挙げたのも実験研究においてであった。

一方、量子論（1900年）、相対性理論（1905年、1915年）、量子論的原子模型（1913年）などの登場により、ニュートン力学の誕生以降揺らぐことのないように見えた物理学の基礎理論に大きな変革の兆しが現れた頃から、ドイツ語圏を中心に、世界の物理学者全体の関心は理論へと移っていった。さらに、理論の高度化により、実験を行いつつ理論研究の動向を追うことは困難になり、実験を行わず理論研究のみに従事する研究者の集団が、国境を越えて成立することとなった。

アメリカは、第一次大戦による情報の途絶などもあって、理論研究確立の国際的な流れから取り残されていた。大戦後、アメリカの物理学者がまず目指したのは、ヨーロッパで生れた新たな理論上の成果を吸収した上で新たな貢献を成し得る理論研究者の育成と、理論研究の拠点の形成であった。アメリカの物理学が「成年に達する」¹²⁾ためには、理論研究が、とくに量子論の領域において充

実する必要があった。そして、第一次大戦後の研究支援体制の確立は、この方面において大きく貢献したのである。

前述のスレーターが博士号取得後に応募した奨学金の一つは、NRCの創設したものであり、博士号取得者を対象に年間1,800ドルが支給された。この額は、結婚は望めないが一人ならば生計は立てられるという程度である。1919年の制度の創設から1925-1926年までにNRCの奨学金を得た若手の物理学者は52名に上り、支給総額は20万ドルに達した（1人が複数年受給できる）¹³⁾。それ以前には若手研究者が生活を維持するには教育を担当するのが通常であったが、この奨学金は彼らが研究に専念することを可能にした。

NRCの奨学金は、しかし、国内の研究機関への支援を目的としており、当初は留学に用いることはできなかった（この制限は1926年に解除される）。スレーターが留学時に獲得したのは、ハーヴァード大学が設けていた、渡航用のシェルダン奨学金（Sheldon Scholarship）であった。

理論研究の確立のために必要な若手研究者の留学を可能にしたのは、私設の財団が設けた奨学制度であった。特にロックフェラーは、1923年に国際教育部（International Education Board: IEB）を設け、アメリカのみならず全世界の教育の発展と振興を目標に掲げた。IEBは、1929年までに100万ドルを奨学金として費やしたが¹⁴⁾、ヨーロッパ留学を望むアメリカ人物理学者の多くがこの奨学金によってこれを実現させた。

IEBの奨学金はアメリカでの研究を望む外国人にも支給された。ラポルテ（Otto Laporte, 1902-1971）やオルデンバーグ（Otto Oldenberg, 1888-1983）らは、この制度によって1920年代半ばにヨーロッパからアメリカに渡り、そのまま職を得ている。

ヨーロッパからの訪問者についていえば、著名な物理学者の訪問、具体的には講演旅行は、アメリカの研究者たちが先端の研究に関する情報を得るための重要な機会となった。ここでも第一次大戦後に科学界が享受した財政的援助が活用された。ボー

アは僅々2カ月の滞在によりアムハースト大学から3,000ドル、イェール大学から1,250ドルを受け取り、ゾンマーフェルト (Arnold Johannes Sommerfeld, 1868-1951) は1922年から1923年の冬の1学期の講義でウィスコンシン大学から4,000ドルを得た。ボルン (Max Born, 1882-1970) は、本務先はしばらく休みにして、アメリカでの講義を、ゲッティンゲンに家1軒を建てられるまで行おうとも考えたという¹⁹⁾。訪問者たちが、最新の成果をアメリカでも普及させようという意欲に燃えていたことは間違いないであろうが、驚いもてなしにも関心は抱いたであろう。

NRCが調整し諸財団が提供した科学向けの巨額の資金の大半は、研究所の建設や研究用基金の創設などに振り向けられており、奨学金や渡航・招聘のための援助は小さな割合を占めるに過ぎない。しかし、当時のアメリカの物理学がヨーロッパの水準に達するために要したものの、すなわち量子力学における理論研究者の育成のためには、人間を介した知識や技能の吸収が不可欠であり、額は小さくとも、この点において、留学や招聘を可能にした財団等の支援が果たした役割は大きかった。

以上見たように、第一次大戦後のアメリカの物理学の急成長は、この時期に急速に高まった科学研究支援の機運によることも大きい。物理学者たちが、ヨーロッパを中心に起きた物理学上の変革 (量子力学の誕生、理論物理学の確立) の流れに参加するという目的を明確にし、支援の効果が見えやすいようにこれを活用したことで実現したといえる。彼らが目的を明確にできたのは、それが、科学史上も数多くはない基礎理論と研究・教育の様態の転換 (古典物理学から量子物理学への転換) に密接に関わるものであり、向かうべき先が明瞭だったためである。この目的の達成は、それ自体上述の転換の重要な一部を成していたが、僅かな期間の後に、物理学研究の中心地の大西洋を挟んだ移動と、第二次大戦中の原子爆弾の開発という、さらに特異な出来事が続いたために、アメリカにおける物理学の急成長が与える印象はより劇的なものとなった。

16.5 新しい理論への態度

アメリカでの量子力学の受容は、一群の理論研究者の誕生とともに進んだ。ヨーロッパでは、ニュートン力学とは異なる形態のこの基礎理論の物理的解釈について、1927年の第5回ソルヴェー会議以降、ボーアやアインシュタインといった物理学者たちが議論を闘わせ、その結果、ボーア、ハイゼンベルク、パウリ (Wolfgang Ernst Pauli, 1900-1958) らのいわゆる「コペンハーゲン解釈」が提唱されるに至るなどの動きがあった。しかし、アメリカの物理学者たちの反応は、ヨーロッパの同僚たちのそれとはやや異なったようである。

量子力学に関する哲学的議論の中心人物の一人であったハイゼンベルクは、1929年、ライプツィヒへの赴任前に講演旅行を行うためアメリカに上陸したが、そこで出会った反応は次のようなものであった。「ヨーロッパにおいては、新しい原子理論の非直観的な傾向、粒子と波動概念の間の二重性、自然法則の純粹の統計的な性格などが、大抵は白熱した討論となり、ときとしては新しい考えが烈しく拒絶されるという結果を導くことがあるのに、大部分のアメリカの物理学者は、これといった障害もなく新しい考え方をむしろ進んで受け入れ、明らかに彼らには少しも困難を生じえないように見える」²⁰⁾。ヨーロッパで見られた、新たな物理理論は、現実の世界の理解に関して何を意味するのかといった問題をめぐる議論は、アメリカでは関心を持たれず、抵抗や拒絶のないまま理論が受容されていたという観察である。物理学・科学の役割や意義についての基本的な了解が、大西洋の両岸で異なっていたことを窺わせる。

実際、量子力学を用いた研究を担ったアメリカの物理学者たちは、後年、理論の物理的解釈をめぐる論争を振り返って、以下のように述べている。「多くの『悪しき』哲学がはびこっていた」(オッペンハイマー)；「理論に特に心配はなく」(ポーリング (Linus Carl Pauling, 1901-1994))；「哲学には関心がなかった」(ヴァンヴレック (John Hasbrouck Van Vleck, 1899-1980))；「コモヤ

ルヴェーの哲学は不要な騒ぎで『完全にヨーロッパ的現象』であった」(スレーター)²¹⁾。哲学的議論に無関心であるのみならず、それは不要で有害であるとも感じていたようである。

具体的な量子力学の利用にあたっては、例えば計算の結果得られる波動関数をどのように用いるかといった問題が生ずる。これについては、アメリカの物理学者たちの多くが、波動関数は多数の粒子 (例えば電子) の統計的なふるまいの記述であるという、ボルンの「統計的解釈」を適用した²²⁾。この解釈の前提には、個々の粒子のふるまいは決定論的である (確率的に予言できるというのではなく、確定している) という理解があり、個々の粒子のふるまひも確率的にのみ予言できるとするコペンハーゲン解釈とこの点で異なる。両者の相違は、微視的な領域での物理的実在が実際にどのようなものであるかを問題にする際には重大であるが、この当時の実験が関わる現象を論ずる際には、現実的には大きな問題は生じず、実験結果の整合的な説明のためには統計的解釈があれば十分であった。それでも、「自然」や「実在」に関心がある者であれば、次の段階で、ではこの理論に従えば個々の電子のふるまひはどのようなものであると考えられるのかという問題に向かうのが自然であるようにも思われる。しかし、アメリカの物理学者たちは、こうした問題を取り上げないのみならず、そこに問題があると指摘する程度に注意を払うことも稀であった²³⁾。

研究論文では取り上げられない事項も、教科書ではある程度の紙数を割いて解説がなされることがある。アメリカでも、1920年代末以降、量子力学の教科書が出版されるようになり、そこではハイゼンベルクの不確定性関係や波動関数の物理的解釈といった問題も取り上げられることがあった。

例えば、コンドン (Edward Uhler Condon, 1902-1974) とモース (Philip M. Morse, 1903-1985) は、1929年刊行の英語で書かれたものとしては最初の量子力学の教科書²⁴⁾において、不確定性関係は座標と運動量の同時測定が不可能であるという実験的事実に即して理解すべきであると述

べている。その上で、こうした態度に関して参考になるのは、ハーヴァード大学の高圧物理学の実験家、ブリッジマン (Percy Williams Bridgman, 1882-1961) の「操作主義」(Operationalism) であると指摘する。また、翌年刊行されたルーアーク (Arthur Edward Ruark, 1899-1979) とユリーの『原子、分子、量子』²⁵⁾も、不確定性関係を論じた箇所では、これが操作主義的な物理量の定義付けに基づく概念であると述べている。

操作主義は現在では顧みられることのほとんどない科学論上の一つの見解であるが、量子力学受容期のアメリカでは、議論を実験と理論の関わりに限定し、哲学論議を回避するためにしばしば引用された。操作主義と量子力学との関わりは、例えば、ハイゼンベルクの「Die Bahn entsteht erst dadurch, das wir sie beobachten.」(軌道はまず我々がそれを観測するという事実を通して存在するに至る) という文章を、「電子軌道の操作的定義」と評したオッペンハイマーの言葉によって幾分は想像できる。科学において用いられる諸概念を、具体的な実験・観測の場に即して理解しようという操作主義の主張は、量子力学が提示する新奇性に引き寄せられ、物理学者が不慣れな思弁に陥ることを防ごうとする際に援用された。アメリカの物理学者が量子力学をめぐる哲学的議論を展開することは稀であったが、それを行う必要に迫られた際や、あるいは哲学的議論を退ける際には、操作主義に言及する機会が多かったのである。

16.6 操作主義を越えて

操作主義の代表的な主張は、「概念はこれと対応する一連の操作と同義である」(“the concept is synonymous with the corresponding set of operations.”²⁶⁾) というものであり、具体的には、例えば長さという概念は、長さを測定する操作によって定義されるという。

ブリッジマンは、特殊相対性理論における同時性の定義を吟味し、次元解析の効力と限界を具体的な物理量の測定に即して検討した上で、こうし

た着想に至っていたが、当時築かれつつあった量子力学は(操作主義の解説書である『現代物理学の論理』(*The Logic of Modern Physics*)は1926年に書かれ翌年刊行された)、彼の眼には、物理的操作に即して諸概念を定義するという、自身の理想そのものの方針に従う理論であるかのように映っていた。『現代物理学の論理』には、「新量子力学(1925年-1926年におけるハイゼンベルク、ボルン、およびシュレーディンガーの力学)により、電子の概念のように基本的な概念を物理的操作によって理解することの必要が力説され」²³⁾たという文章も見られ、若い世代の物理学者たちが、操作主義を量子力学を理解するための導きの糸であると捉えたのも無理はない。

量子力学の内実を理解するようになると、しかし、ブリッジマンは、操作主義についても、量子力学についても、従来とは大きく異なる見解を抱くようになった。操作主義は、概念を理解するために操作を用いるのではなく、概念を操作によって定義するというより強い主張であったが、いずれにしても、操作に基づく定義や解釈が概念の理解に明瞭さをもたらすことを期待して、ブリッジマンはこれを提唱していた。

『現代物理学の論理』執筆の時点ではブリッジマンは意識していなかったようであるが、上述の主張の基礎には、誰がどこでいつ行おうとも、ある確定した操作を行えば、その結果は同一のものになるという前提があった。操作の結果にあいまいさが残るのであれば、概念を操作で定義しても概念の不明確さは払拭されない。しかし、量子力学誕生後に現れたハイゼンベルクの不確定性関係に関わる議論は、具体的な測定の際に即して、微視的な領域の操作は、結果が確定できるような形態では実行できないという事実を明らかにした。操作による定義で概念の意味を確定させようとしたブリッジマンの意図は潰えることとなった。

また、ブリッジマンは、従来の科学において信奉されてきた因果性を、やはり操作に即して理解していた。具体的には、指定された操作を行えばその結果が同じものになることが、物理的世界にお

いて因果性が成り立つことの基盤であると理解しており、そうした操作によって定義された概念で科学を組み立てることにより、物理的世界の因果性を反映した理論が構築できると考えたのである。

ハイゼンベルクの不確定性関係の議論は、操作主義が依拠した操作の結果の一意性やそれに基づく因果性といった前提を突き崩したが、では量子力学がそれに変わる新たな物理的実在の記述に関わる指針を提示したかといえば、少なくともブリッジマンには、そうは見えなかった。量子力学が依拠している確率という概念は、無限回の試行や無限のサンプル数を前提としており、現実に実行可能であるという条件をもつ操作のみを科学において有効なものとするブリッジマンは、これを、物理的実在の記述に用いるには不適切であると判定したのである。

量子力学やハイゼンベルクの不確定性関係が提示する議論は、ブリッジマンには自然の法則性や理解可能性を否定するものであると思われたが、不確定性関係は具体的な測定の場合に基づく説得的なものであったために、彼はそれを受け入れざるを得なかった。受け入れた結果、ブリッジマンは、新たな理論は、神や自由意志、テレパシー、魂などの存在をも可能にするものであると述べるに至った²⁴⁾。量子力学の成立が操作主義の提唱者に与えた影響は深刻であった。

一方、ブリッジマンを引用して量子力学の理解を図ろうとしていた若手の物理学者たちは、操作主義の提唱者の新理論への反応に戸惑ったが、多くの者はこれを無視し、わずかに目をとめた者はこれは物理学(physics)ではなく形而上学(metaphysics)の課題であると判断した(例えばヴァンヴレック²⁵⁾)。彼らは、具体的な操作に即して理論を理解することの意味は認めしたが、操作に基づく理論が物理的実在を記述するかどうかといった問題には関心を持たなかったのである。逆にいえば、ブリッジマンは、物理学が実在の記述であることを要請するという点で、同時代のアメリカの科学者の中では異質な存在であった。

実在の記述ではないとすれば、では物理学は一体

何であるのか。実験結果を再現する数学的な道具というあたりが量子力学世代のアメリカの物理学者の共通する認識であり、その道具が実在をうまく再現していると考えるのは、一種の「信仰」(faith)であると主張する者もあった²⁶⁾。無味乾燥なようではあるが、古典物理学から量子物理学への交代を通じて、物理学—あるいは科学—全体の性格の表現として残ったのは、こうした言い方であった。学問を論ずるにあたって、それが実在の表現であるか否かを当初から問題にしない態度は、例えばクーン(Thomas S. Kuhn, 1922-1996)のパラダイム論において顕著であるが、クーンの物理学研究を指導したのは、こうした科学観を量子力学の受容期に表明した物理学者たちの一人、ヴァンヴレックであった。アメリカにおける量子力学の受容については、制度面での成功が関心を集めがちであるが、上述のような科学観の転換も、目立たない形ではあれ、同時期に生じていたのである。

今回はアメリカにおける量子力学の受容を論じた。次回は同時期の日本での対応を検討する。

参考文献

- 1) Helge Kragh, *Quantum Generations* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999), p.xii.
- 2) Daniel J. Kevles, *The Physicists* (Cambridge, Massachusetts, and London, England: Harvard University Press, 1987), p.341.
- 3) Kragh, *op. cit.*, 1), *Quantum Generations*, p.265.
- 4) ローラ・フェルミ著、掛川トミ子・野水瑞穂訳、『二十世紀の民族移動 2』、みすず書房、1972年、91ページ。
- 5) Roger L. Geiger, *To Advance Knowledge: The Growth of American Research Universities, 1900-1940* (Oxford University Press, 1986), p.242.
- 6) Maurice R. Davie, *Refugees in America* (New York: Harper, 1947), pp.435-440.
- 7) David Cassidy, *Beyond Uncertainty: Heisenberg, Quantum Physics, and the Bomb* (New York, Bellevue Literary Press, 2009), p.293.
- 8) Charles Weiner, "1932-Moving into the New Physics," *Physics Today*, 25:5 (May 1972), pp.40-49.
- 9) Keveles, *op. cit.*, 2), *The Physicists*, pp.102-138.
- 10) Robert E. Kohler, *Partners in Science* (Chicago and London: The University of Chicago Press, 1991), pp.1-129.
- 11) Geiger, *op. cit.*, 5), *To Advance Knowledge*, p.162.
- 12) Takuji Okamoto, "Percy Williams Bridgman and the Establishment of Theoretical Physics at Harvard," *Historia Scientiarum*, 14:1 (2004), pp.1-48.
- 13) John H. Van Vleck, "American Physics Comes of Age," *Physics Today*, 17:6 (June 1964), pp.21-26.
- 14) Katherine Russell Sopka, *Quantum Physics in America, 1920-1935* (New York: Arno Press, 1980), p.2.11.
- 15) Geiger, *op. cit.*, 5), *To Advance Knowledge*, p.162.
- 16) Sopka, *op. cit.*, 13), *Quantum Physics in America*, p.2.21.
- 17) W.K. ハイゼンベルク著、山崎和夫訳、『部分と全体』(みすず書房、1986年)、153ページ。
- 18) Nancy Cartwright, "Philosophical Problems of Quantum Theory: The response of American Physicists," in Lorenz Krüger, Gerd Gigerenzer, and Mary S. Morgan, eds., *The Probabilistic Revolution*, vol.2 (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987), pp.417-435, p.419.
- 19) E.H. Kennard, "On the Quantum Mechanics of a System of Particles," *Physical Review*, 31 (1928), pp.876-890.
- 20) Cartwright, *op. cit.*, 17), "Philosophical Problems," p.420.
- 21) E.U. Condon and P.M. Morse, *Quantum Mechanics* (New York: MacGraw-Hill, 1929).
- 22) A.E. Ruark and H.C. Urey, *Atoms, Molecules and Quanta* (New York, MacGraw-Hill, 1930).
- 23) Percy Williams Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (New York: Macmillan, 1927), p.5.
- 24) Bridgman, *op. cit.*, 22) *The Logic of Modern Physics*, p.222.
- 25) P.W. Bridgman, "The New Vision of Science," *Harper's Magazine*, 158 (1929), pp.443-451.
- 26) Van Vleck, *op. cit.*, 12), "American Physics Comes of Age," p.23.
- 27) K.K. Darrow, *Introduction to Contemporary Physics* (New York: D. Van Nostrand, 1926).

(おかもと・たくじ、東京大学大学院総合文化研究科)