

“STS”あるいは「科学技術研究」について II (2)

後藤 邦夫

第 I 部 “STS”の意義と STS 研究の枠組に関する一般的考察

(以上第10号及び第11号)

第 II 部 現代の科学技術の構造と STS のリサーチ・プログラム

第 1 章 20世紀科学技術の特色と研究プログラム

(以上第12号)

第 2 章 科学・イデオロギー・社会

2. 1 20世紀の「科学革命」

2. 2 科学とイデオロギー(1)還元主義の成功

2. 3 科学とイデオロギー(2)還元主義批判の代替的思想と方法

2. 4 科学、社会意識、倫理

第 2 章ノート

(以下次号)

2. 1 20世紀の「科学革命」

哲学的思考と結びつくもっとも基礎的な分野で、20世紀の科学が多くの輝かしい成果をあげたことはすでによく知られている。その状況を最初につかんでおくことにしよう。そのために、幾つかの主要なテーマを選び、それぞれの到達点を認識の段階に基づいて分類・考察する。ただし、以下の記述が物理学に偏したものとなるのは筆者の専攻上やむを得ない。

多くの人々の予想とは異なり、基礎的分野における問題は必ずしも明快な解決をみているとはいえない。たとえば、今世紀の半ばに理論物理学の研究者を志した若者にとって、一旦それらの魅力に取りつかれると身を滅ぼす「サイレンの歌声」として畏怖された難問が少なくとも三つは存在した。「量子力学における観測の問題」、「統計力学におけるエルゴード問題」、「一般相対論的統一場理論」がそれである。今日では状況が変わり、当時の課題がそのまま残っているわけではないが、同様な問題が科学の多くの分野で常に再生産されているであろう。

では、これらが不毛な形而上学的課題であったかというとは決してそうではない。難問に正面から取り組まない多くの研究者にとっても、それらは常に頭の中に居座り続ける厄介な存在である。ノーマル・サイエンスにおいて活躍する研究者は、すでに強固であると考えたい自己の学問的基盤に対する疑念がそれによってたえず再生産され、反省を強いられるのである。個別の研究にとってはもちろん、その哲学的意義は極めて大きいといわねばならない。

2. 1. 1 確立された理論とその哲学的意味

第一のグループは、研究者の大多数によっておおむね確立されたと認知されている課題であり、基礎的な問題の解決状況に対する判断や哲学的解釈において極端な意見の分岐がないと見られるものである。代表的な事例は物理学における相対性理論の場合である。数学と論理学における決定問題（あるいは証明をめぐる議論）もそれに含まれるであろう。

特殊相対性理論の本質に関しては、研究者間にもはや意見の分岐はない。19世紀に確立された古典電磁気学が「光速度の不変」（あるいは「光の運動に対する絶対静止系の存在の否定」）を明確に導いた。この事実を、力学の世界でガリレイ以来当然とされてきた「運動に関する相対性原理」と両立させようとする、時空座標に対する「ローレンツ変換」が自明の帰結として導かれる。一旦これを認めれば、空間の枠組の内部で起こる物理的事象の間の時間的關係に対する伝統的な見方の変革、および時間と空間の概念の変革は、むしろ当然のことになる。さらに、質量とエネルギーの同等性（アインシュタインの関係式）が導かれることもすでに周知である。このような理論の現在の到達点に関しては、おびただしい実験的根拠に支えられていることもあって、もはや疑問の余地はない。

ただし、特殊相対性理論の形成に至るプロセスに関しては状況が異なる。学校秀才としてのエリートコースから外れた26才の青年アインシュタインの驚くべき業績の背景をめぐっては、それを単に天才の仕業と片付けるわけにもゆかず、それぞれの科学史的研究に基づく複数の解釈が並立してきた¹⁾。

特殊相対性理論の形成に関する研究の中から主要な見解を拾ってみると以下のようなになる。

(1) ニュートンの体系の成立にとっての非明示的前提であった「絶対空間」や「絶対時間」が本来は否定されるべきであるというマッハのプログラムの実現のための哲学的探求の物理学における具体化の一段階であったとする。この見解は、アインシュタインの後任としてプラハに赴任したフィリップ・フランクなど、主にウイーン学派によって主張されてきた²⁾。

(2) 19世紀の光学における弾性エーテル・モデルの発展の中で、フレネル、ブルースター等の研究に始まるエーテルと地球の相対運動を見いだそうとする努力がなされた。しかし、マイケルソン・モーレイの実験によって、そのような相対運動が見いだされないことが明らかになる。この矛盾した事態を説明するために提出された多くの研究の延長上にアインシュタインの革新的研究を位置づけようとする。物理学の発展の連続性を無意識的に受容する多く

の物理学者にとって理解しやすい見解であり、すでに完成した物理学の立場からは自然である。したがって、多くの物理学書や解説的科学史書に記述されている³⁾。

(3) アインシュタインの論文の表題「運動物体の電気力学」が示す通り、ファラデー・マクスウェルの電磁気学とニュートン力学との理論的不整合の解決が直接に追及された結果であるとする見解がある。広重、ホルトンなど、科学史の専門家がこれを強く主張してきた⁴⁾。

(4) アインシュタインが同時に発表した光量子仮説の論文が、光の伝播におけるエーテルの存在や役割を否定するものであることに注意し、(2)の立場に思考の不連続な飛躍を導入する説明がある。武谷三男が主張し日本の物理学者の間で一定の支持を得た⁵⁾。

筆者の見解は(3)であり、さらに(1)のような哲学的考察が若干の影響を与えたと考えるものである。

一般相対性理論は、同じくアインシュタインによって次の二つの要請をみたすことを目的として構想されて成功を収めた。即ち、

「物理学の理論に対し相対性原理の拡張としての一般共変性を満たすことを要求する。」

「ニュートンの万有引力が遠隔力であったという形而上学不備を重力場の理論を完成して克服する。」

その際、加速度運動に帰着しえないところの永久重力場の効果は、重力の源泉となる質量の存在によって生ずる空間の非ユークリッド的計量によって説明された⁶⁾。しかし、理論の美的整合性にもかかわらず、基礎方程式を具体的に解くことの困難さや、根拠となる実験（観測事実）の少なさのために、その受容は特殊相対性理論ほど順調ではなかった。もちろん、今日では、圧倒的多数の物理学者によって支持されている。しかも、その哲学的インパクトは特殊相対性理論の場合を上回るものがある。

特殊相対性理論の哲学的帰結の一つは、ニュートンの古典論においては自明であった事象に関する空間的記述と時間的記述の分岐を、異なる地点にお

ける事象の「同時性」の意味を変革することによって統合した。その意味は決して小さくはない。しかし、一般相対性理論が物質の存在と空間の幾何学的計量とを統合したことは、「容れ物としての時空」と「容れられる中身の物質」との統合であり、さらに大きな意味を持つとされたのである。早くも1920年、ライヘンバッハは、一般相対性理論が時空と物質の分離という長く続いた常識を破壊したことによって、時間・空間がカントの意味でのア・プリオリ的性格を持つカテゴリーではなくなったことを指摘した⁷⁾。この事実は、形式と内容の区別や論理と実証（または反証）の区別と併存を科学的認識の基本とする立場が、ウィーン学派の中の「硬派」によって批判されたという意味で重要である。

次の事例は数学と論理学における決定問題をめぐるものである。

19世紀以来の「数学の算術化」のプログラムは、「算術の公理」（自然数を定義するペアノの公理）を出発点とする数学の体系化をめざすものであって、今世紀初頭まで多くの支持を集めた。しかし、1931年の「ゲーデルの証明」が、この公理の無矛盾性の証明がありえないことを明示したために、プログラムの転換が余儀なくされたのである。ここから数学をその根底において厳密性を欠いた体系であるとするのはもちろん早計である。ゲーデルの証明はヒルベルトの意味の有限性の立場に立脚していたから、その立場を変更することによって、ゲーデル後の展開は十分に可能であった。（集合という概念についても、非明示的定義しかありえないことはすでに広く知られていた事実である。）

数学基礎論としての展開とは別に、20世紀の数学（特にゲーデル以後の展開）がもたらした他領域への影響は、19世紀までの「応用数学」が工学や天文学、物理学における計算の手段を与えたのに比べ、以下の事例のように、きわめて多様である。

(1) 集合論は19世紀の所産であるが、明確に定義された条件を集合の要素に課することによって、構造を導入することが出来る。さらに特定の構造に対しては、相互に同型 (isomorphic) な表現を具体的な対象に即してつく

ることができる。(たとえば、ブール束が、集合の演算、ブール代数、二値論理など、相互に同型な表現をもつことは、数学の初歩の学習者にとってさえ周知の事実となった。) それによって、特定の対象の構造を、それと同型の別個の表現によって分析することが可能になる。(グラフやブール関数による論理回路の分析などはその一例である。)

関連する重要な話題として「構造主義」を挙げることができる。もっとも単純な代数構造の一つである群構造を幼児の行動や認識に見いだす(ピアジェ)、あるいは未開とされる部族の通婚のタブーの中に見いだす(レヴィ・ストローズ) ことによって、「人間の科学」に関する新たな展望が得られた。われわれの人間としての本質は、複雑な文明社会の「雑音」によって覆い隠されている意識されない構造であり、タブー、民俗、無意識的行動、神話、伝承などの中に隠されているそれらの構造の解読によって、文化の壁を越えた普遍的人間性の発見に導かれるということである⁸⁾。

(2) ゲーデルの問題は、ほとんどそのまま、有限アルゴリズムの問題(計算可能性の問題)に転化することになった。1930年代に、チューリングは仮想的計算機を構想し、基礎論の問題の分析に用いた。その後、弾道計算という技術的課題の解決のためにコンピュータが開発されたが、それはパスカルやライプニッツ以来の計算機ではなく論理学の規則を電子回路によってシミュレートしたものであった。ここで、有限の大きさを持ち有限の時間働くコンピュータによって「計算可能」な問題の範囲を定めることと、有限回の論理的ステップで前提と結論を結ぶ手順の存在の範囲を探ることは等価である。その意味で、コンピュータには「ゲーデル的限界」が確かに存在する。しかし、人工知能や芸術の領域に及ぶ現代のコンピュータの限界と具体的にどのように関わるかはまだ明らかではない。

(3) 「記号の導入」、「文法にかなう式の決定」、「変形規則」、「公理の決定」の4段階が数学をつくりあげる手順のひとつとして知られており、論理学や計算機言語において成功した。この手順を自然言語の文法に導入しようとしたのが変形生成文法である。支配的文化と少数派の文化の区別を超えた、多

元的で普遍的な人間主義が開発者チョムスキーの意図であったが、その結果が一種の数学的手順となったのは構造主義の場合と同様である。

このような数学のもつ普遍性（ウィーン学派風にいうとトートロジー性）が「支配的西欧文化」の相対化の手段となることに対する明確な評価はまだなされていない。したがって、ここにもオープンな課題が存在する。

さらに、「生物学の革命」として喧伝されたDNAの発見と構造の決定、遺伝情報の伝達と「複製」のメカニズムも、異論や解釈の余地なく確立されたといえるだろう。地球上の全生命が単一の祖先をもつという、いわゆるセントラル・ドグマについても同様である。この成果を物質の原子論に代表される「還元主義プログラム」の成功例と見なすことは容易である。特定の個体に関するすべての情報がDNAを構成する分子の配列に帰着されるとみなされるからである。もちろん、特定の個体の生命活動の特徴の「すべて」についての完全な決定論が存在するとは考えられていない。「還元主義プログラム」が生命の領域でどこまで貫徹するのかという問題はまだオープンである。遺伝子の変化と進化の関係に関する標準理論についてもおそらく同様である。

ここで取り上げたテーマは、科学として若干の未完成の部分を残してはいても、哲学的論議によって補うべき部分はほとんど残されていないといえる。その意味では、おおむねクーンの意味でのパラダイムが確定したノーマル・サイエンスの領域に属するといえることができる。哲学的課題が見られるとしても、それらは、コンピュータ利用の限界や遺伝子組み替え問題のように社会との境界において生成されるということができる。

2. 1. 2 おおむね確立された分野における哲学的解釈の多元性

科学理論としてはほとんど完成の域にあるにもかかわらず、基礎的な部分に問題を残しているために哲学的解釈の余地を残している分野がある。その代表的事例として量子力学をとりあげる。

物理学の基礎理論としての非相対論的量子力学はたしかに完成度の高い理論体系である。理論体系が整合的であるだけではない。300年の歴史をもつ

天体力学と変わらぬ精度をもって、原子のレベル以下の大きさの領域で広汎な現実的問題を計算し、実験データを説明することが出来る。原子分子と原子核に関する問題ばかりでなく、物理学がかつての化学の領域に進出して新たな「物質科学」への統合を果たしたのも量子力学の輝かしい成果である。さらに、それらの成果に基づいて、いわゆるハイテクノロジーの諸分野が興り、現代の産業社会に多大の影響を与えている。

ところが、量子力学は、古典的な物理学の発展のなかで培われた常識を打破するという点においては相対性理論に比べてはるかに過激であった。(物理学者の間では相対性理論は古典論として扱われる。) 自然記述が本質的に統計的であること、不確定性原理の存在、本質的非局所性(アインシュタイン・ポドルスキー・ローゼンのパラドクス)、観測における非因果的变化など、古典的立場では受け入れがたい命題が現在確立されている理論体系から必然的に導かれる。その体系の一般的性格を古典論と比較しつつ示すと次のようになる。

(1) 古典論では、物理的対象の「状態」はその対象を記述するのに必要なすべての物理量の値の集まりによって記述される。しかし、量子力学では対象の「状態」と「物理量」は別個の概念である。体系が特定の状態にあるときに、ある物理量を測定するとその値が一定の確率分布で得られる。(ある特定の物理量に関する「固有状態」という特別な状態でその物理量を測定したときに限り、定まった値が得られる)

(2) 古典論ではすべての物理量は乗法に対する交換則を満たす。量子論では相互に正準共軛な物理量(たとえば同一自由度に属する位置と運動量)は乗法に対して非可換である。これがいわゆる「不確定性原理」の原因である。

(3) 因果的な運動法則を与える運動方程式は、古典論、量子論ともに存在する。ただし、古典論では物理量の時間的变化を与える式であるのに対し、量子論では、状態の変化を与える式(シュレーディンガーの描像)、物理量の変化を与える式(ハイゼンベルグの描像)、状態の変化と物理量の変化が混ざって表わされる式(一方を相互作用による変化のみとする場合を日本で

は朝永の描像と呼ぶことがある)の選択が可能である。

このような一般的体系から導かれる帰結が古典物理学の常識(同時にわれわれの日常的感覚)と大きく懸け離れているため、「現在の量子力学は不完全である」という見解が繰り返し表明され、アインシュタイン、プランク、シュレーディンガーのような量子力学の建設に大きく貢献した大家によってさえ主張されてきたのである。しかし、現在の体系に替わる「完全な理論」を見いだそうとするおびただしい試みは成功していない。したがって、現在成立している体系を前提として、古典論的常識からの著しい乖離を「哲学的解釈」によって補うという方法が取られることになる。そしてその中での正統派がボーアやハイゼンベルグによる「コペンハーゲン解釈」とされている。しかし、正統派の中でも微妙な意見の分岐があるし、量子力学が十分に実用的であり、それ以上、哲学的な論議に踏み込む必要はないという見解も少なくない。ここではそれらの詳細を論ずることはしないが、正統派の最大公約数的見解を次のようにまとめておく。

(1) 測定に関するジラード＝フォン・ノイマンの解釈⁹⁾

ある「純粋状態」にある物理的対象において特定の物理量を観測すると、対象はその物理量の「固有状態」とよばれるもののひとつへ非因果的に変化する。測定値は、多数の異なる固有状態からなる古典的な統計集団(「混合状態」)において得られる場合と同一の確率で得られる。この非因果的変化を物理的過程として量子力学そのもので記述する試みは多くの研究者の多年の努力にもかかわらず、成功していない。明確なのは、「測定」という行為がそれを引き起こすこと、および、その結果として、量子力学が予測するのと同じの結果をもたらす、「混合状態」(古典的統計集団)の実現を予測することは可能だということである。しかし、すくなくとも測定における人間的主体の役割を担う人間、または人間のシミュレータが、「観察者」として存在していなければならない。(「心理・物理平行主義」)

(2) ボーアの「相補性原理」¹⁰⁾(狭義のコペンハーゲン解釈)

不確定性関係によって同時に精確な測定が不可能とされる「位置」と「運

動量」に関する認識は、対象に関する「時空的記述」と「因果的記述」に相当する。古典物理学では両者をともに厳密に認識することが可能であるが、量子力学ではそれは不可能であり、他方に関する認識を犠牲にすることによってのみ一方について厳密な認識が可能となる。すなわち、量子力学では、「時空的認識」と「因果的認識」は相補的であるという「相補性原理」が成り立つ。より厳密にいうと、「時空的認識」を得るために必要な実験システムと「因果的認識」を得るための実験システムを同時に設定することは出来ないという、認識における「主体的選択」に対する制約が存在する。

上記の(1)と(2)をコペンハーゲン解釈と呼ぶことが多い。しかし、それは精確ではない。(1)の問題意識は、物質のミクロな構造とマクロ的物理量の観測をめぐってマクスウェルやスモルコウスキが行った問題提起を量子論の分野に継承したものであって、(2)で主役を演ずる不確定性関係の解釈とは別個の歴史的コンテキストで理解されなければならない。

いずれにせよ、正統的見解では、理論の解釈に「観測主体」(必ずしも生身の人間ではないが)の介入が不可欠である。したがって、これに満足できず、別個の体系化や解釈の可能性を試みる物理学研究者があとを絶たないのである。それらの中で、もっとも有名なのはド・ブロイ、高林、ボームによる再定式化である。(ただし、ド・ブロイとボームが量子力学の変更と新たな解釈(「因果的解釈」)を目指したのに対し、高林は正統的体系の異なる表現のひとつとした。これは、正統派の形式と彼等の形式とが実質的に同等であって正統派の形式の定着は「社会的に構築された」とする、最近のカッシングの議論に通ずる。)しかし、代替的定式化の中ではもっとも成功したといえるこの形式でさえ、正統派を超えるものとはいえないというのが筆者の意見である¹¹⁾。

形式をそのまま受け入れたらうと、正統派的解釈における「主体」の存在を排除した試みとして注目されたのが、エヴェレットの「多世界解釈」である¹²⁾。そこでは(1)で述べた観測による「非因果的变化」が「一つの固有状態」へ向かって起きるのではなく、観測の対象となる物理量の「すべての固有状

態」が「現実に」に実現されていると考える。そして、われわれがある値を得るのは、たまたまその値が実現される特定の世界にいるからであり、それとは別の値が実現される他の世界も同時に実在するとみなす。われわれが何かを見るたびに、世界は可能な数値のとり方の数だけ、無数に分岐してゆき、われわれが住んでいるのとは別個の世界がおびただしく実在しているという。しかし、この解釈がもたらす「現実」を受け入れることは容易ではない。最近、「宇宙の量子論」の定式化のなかで、ゲルマンとハートルが提唱した「多歴史解釈」はこれの改良版であるが、まだ試論の段階にとどまるものといわねばならない。

現在の正統的な形式の強みは、より広い理論的枠組の中に量子力学を展開してゆくことが比較的容易であったことである。素粒子物理学では、特殊相対性理論の要求を満たすことが必要であったし、また、無限自由度をもつ力学系である「場」の量子力学的振る舞いを記述する必要があった。その際に起こる多くの原理的困難を巧みに「処理」しつつ、「解決」しつつ、では必ずしもないことに注意！）量子力学は多大の成果を挙げてきた。高エネルギー領域に進むに従い、いずれかの段階で理論の適用限界にぶつかるという予測は当たらなかつた。それにもかかわらず、解決困難な原理的難問は消えたわけではない。同様のことは、多自由度系への拡張に基づく「量子統計力学」についてもいえる。

この状況は、ポパーのいう「反証可能性」の概念を想起させる。正統派の理解に基づく量子力学の正しさを完全に証明することができなくても、それが誤っており他の体系によって代替させるべきだとする試みが成功しない以上、現在の量子力学を科学的真実と見なすほかはないのである。

ただ、幸いなことに、量子力学の原理的課題の領域はもはや思弁のみの対象ではなくなりつつある。近年のハイテク技術は従来「思考実験」によってしか扱えなかつたテーマを具体的な実験の対象とすることを可能にしたからである。たとえば、アインシュタイン・パラドクスとして有名な量子力学に固有の非局所性をチェックするアスペの実験、ボーム・アハラノフ効果の確認

に関する外村の実験などによって、かつての哲学的課題が物理学の領域に含まれるようになった。古典物理学でも、高級な数理力学のなかに僅かな位置を占めていたカオスが今日のような流行のテーマとなったのはコンピュータの登場によるところが大きい。(ただし、古典論ではよい見通しが得られるカオスも、量子力学との関係ではまだ多くの解決困難な課題がある。これらに関しては節を改めて扱う¹³⁾。)

さらに、量子力学と同様、多数の研究者の合意が存在するにもかかわらず、なお多くの問題を残している事例として、素粒子物理学と宇宙論の統一の「標準理論」をあげることが出来る。おおむね確立された素粒子と基本的相互作用の統一的描像と、同様に研究者の多くが支持する宇宙創成のビッグバン・モデルとを、宇宙初期の高温高密度の状況を背景にして統一的に扱おうとする試みはすでに大きな成果を挙げてきた。しかし、現在の加速器とコライダーで実現できる高温高密度と標準理論の当否の判定をなし得る実験的状況との間には、なお甚だしい隔たりがあることは事実であり、地球上で実現可能な実験的手法でそのギャップを埋めることは恐らく不可能であると思われる。理論の方でも量子重力をめぐるは解決困難な課題が山積している。したがって、宇宙初期の超マイクロな状態を扱う「宇宙量子論」は、現在の流行のテーマであって理論形式の整備が進んではいるが、依然として完全にオープンなテーマであると判断される。

2. 1. 3 推測を含む進行中の課題

最近になって急速に進出してきた生命科学に関するテーマの多くが、この領域における事例に含まれるであろう。もちろん、その中には、分子生物学のように、物理学の対象の生体の蛋白質分子の領域への拡大として理解されるものが少なくない。しかし、生命論は本来的に有機体論的思考のホーム・グラウンドであった。その極致ともいべきテーマがデカルト以来の心身問題であって、その解決の可能性をめぐるは歴史上繰り返し論議されてきたのである。最近、一方で「ヒトゲノム計画」が進行して人間のDNAの完全

解説が到達可能な範囲に入るとされ、他方、脳内物質の作用機序の解明によって心身問題は終局に近づきつつあるという議論がなされている。筆者はそれらの意見には同意しない。しかし、このテーマを扱うには別の機会が必要であろう。

物理の領域では、同様な問題意識がカオスや複雑系をめぐって存在する。ただ、最近における複雑系の流行が在来の有機体論的システム論に関する一般的議論をどこまで超えるかは必ずしも明確ではない。カオスはそれに比べればはるかに明確な概念であり次第に「ノーマルサイエンス」に接近しつつあるといえる。しかし、専門研究者のコミュニティの外側では、「渾沌」という訳語のイメージが一定の影響力を発揮することもある。かならずしもその内容が正確に理解されているとはいえない状況である。このように体系的には未完成な部分を残しながらも、現実の世界で大きく取り上げられる問題に関しては、哲学的な議論の自由度が一層大きくなるのである。したがって、しばらくこの種のテーマを考察しよう。ただし、カオスやエルゴード性の認識の歴史と今日の状況、およびその意義に関する分析を行うには十分なスペースを伴う機会が別に必要である。以下では、ここで進めようとしている哲学的課題に関連した古典力学系の性質の一部を論ずるにとどめる。

古典的なニュートン力学が支配する世界での決定論的因果律の存在に関しては、このシリーズの中では常に自明のものと見なしてきた。相対論が必要となる高エネルギー領域でも、強い重力の世界や量子論が必要となるミクロな世界でもない、われわれ人間のスケールに合った世界では、いわゆる「デカルト・ニュートン・カント」のパラダイムは強固なものと見なされてきたのであった。しかし、力学的運動の初期条件が常にピンポイントの正確さで与えられることは現実にはありえず、常にある一定の誤差あるいは広がりを持つと考えなければならない。運動の過程において、その広がりが未来の力学系の状態の因果的予測を妨げない程度に収まるのは、力学系が「線形」だからである。しかし、自然界の圧倒的に多くの事象はなんらかの程度で非線形であるから、初期条件のわずかの「ずれ」あるいは「揺らぎ」が後の時点

における大きな変動となり得る。リヤプノフ常数で表わされるその変動を運動方程式のみで予測することは現実的には著しく困難であるような場合が生ずることが直ちに理解される。

19世紀末の天体力学で、相互に重力相互作用をおこなう三個の天体の力学的運動を解く問題（具体的には、そのような力学系の集まりである太陽系の構造安定性の問題）において、上記のような事態が太陽系の各惑星の軌道の不安定性をもたらす可能性があることをすでにポアンカレが示唆していた。（この種の三体問題は一般に解析的解法をもたない。）ただし、そのような力学系における非線形性が「十分に小さな小さな摂動」であれば、ある惑星の安定軌道が一時的に不安定になっても、直ちに別の安定軌道に戻ると期待される。（いわゆるソフト・カオスの発生である。）この問題は1954年にコルモゴロフが明確な形で予想し、モウザーとアルノルドの証明を経て、KAM定理となった。これは今世紀に確立された古典力学の基本定理の一つとしてすでに広く認識されている¹⁴⁾。（現実の問題では、計算機シミュレーションと小惑星の不規則軌道の研究が理論の実証に寄与してきた。）

加えて、1970年代末には、単純な1次元力学系におけるリー・ヨークの定理や非線形力学系におけるポアンカレ寫像の「分岐」に関する「ファイゲンバウムの普遍性」の発見などがあり、カオスは物理学の最前線の研究課題となって行く¹⁵⁾。

ここに現れる「カオス」は、日常的な言語感覚から想像されるものとは異なり、本質的に決定論的因果律にしたがう力学系が示す科学的明証性をもつ概念である。しかし、17世紀以来の力学の発展の中では正当に認識されて来なかったのである。この世界における圧倒的多くの力学系（および力学によって記述される現実）が非線形であり非定常的であることは明白である。にもかかわらず、線形で定常的な系という稀少なケースに即した理論とその解釈が支配的であったのは、人類がその範囲の問題しか解くことが出来なかったという事情とともに、神の手によるかどうかとは関係なく、世界は基本的に単純で調和がとれたものであるはずだというわれわれのプラトンの先入観

“STS”あるいは「科学技術研究」についてII (2)

が働いてきたためであろう。そこで、プリゴジンは、非線形、非定常、非平衡であることを世界の基本原理とすることで、時間に対して非対称な基礎理論を構築するという野心的な試みを提起してきたのである¹⁶⁾。

このような事態の展開をみると、「デカルト・ニュートン・カント」のパラダイムの基盤である古典力学そのものがそのパラダイムに対する異なる見方を要求するに至った事情が理解できるであろう。

量子論の対象となるミクロ的自然についてもその圧倒的部分が非線形であることは明白であり、古典論とパラレルな議論が成り立つと期待される。ところが、カオスと量子力学の両立性に関して依然として多くの疑問が提起されている。なぜならば、量子力学はその基本構造において線形性が古典力学の場合以上に本質的な役割を担っているためである（状態に関する線形重ね合わせの原理など）。今日、量子カオスの存在を支持する立場の研究の多くが半古典近似に依存するのは、具体的計算の困難性の問題とともに、原理的な問題があるためである。もちろん、量子力学そのものの拡張や再定式化による根本的な解決の努力がなされているが、さきに述べたように、今日の量子力学の形式的完成度は非常に高く、その一角を変えることが容易には出来ない状況であることには変わりはない。ここでも問題はなおオープンである。まさしく、この課題は同じく非線形問題に直面する「量子重力」とならぶ、現代物理学のもっとも挑戦的なテーマである。

これまでの三段階にわけ、それぞれの事例に即して行ってきた議論は、20世紀の科学における自然認識がいずれも哲学的考察と必然的に結びついていることを示す。それらを次のように総括しておく。

- (1) おおむね確立された理論に基づく在来の哲学的認識の改変。
- (2) 複数の解釈の余地を残したままパラダイムとなった理論体系に関する多様な哲学的分析。
- (3) 基本的なパラダイム転換の可能性を含んで進行する研究に関する分析。これらは少なくとも具体的な研究プログラムを構成するが、より一般的な

立場からの考察も必要である。それを次節以下で扱う。

2. 2 科学とイデオロギー(1)還元主義の成功と限界

20世紀の科学技術の成功の多くが「還元主義」という特定の方法論的立場に大きく依存していることは明白である。ここで、還元主義というとき、一般的に次のように規定しておく。

1) ある事物あるいは事象を、より根源的あるいは原初的と見なしうる事物あるいは事象に「還元する」態度あるいは方法である。

2) 上記の「根源的あるいは原初的と見なしうる事物あるいは事象」は、事物や事象の全体に対し「要素」として位置づけられる。そして、全体に関する知見は要素に関する知見によって与えられる。

このようなむしろ単純な研究方法が、洗練された哲学的方法にくらべ、現代の科学研究の方法として強力であった。その理由はとりあえず次のように理解することが出来る。

(1) 研究手段の整備

還元主義的研究を行うための手段が19世紀以降に急速に整備されたこと。「事物あるいは事象を、より根源的あるいは原初的と見なしうる事物あるいは事象に還元する」といっても、17、8世紀までは思弁的方法以外の手段はほとんどなかった。論理的な演繹だけではなく、解析的手法を含む数学的推論が、原理的命題と個別的結果を結び付ける慣用的な方法として登場した。さらに、日常的感觉を上回る精度やスケールで実験や観察をおこなうことが可能となった結果として、還元主義が現実的研究方法となりえたのである。もちろんその基盤をつくったのが技術進歩であることは言うまでもない。

(2) 研究評価の容易さ

還元主義の立場では、研究成果の評価が比較的容易である。たとえば、実験では「より根源的な存在あるいは現象の発見と結びついているか」、理論では「提出された新たな理論が、現象をどの程度根源的なレベルの存在、あるいは命題と結び付けることに成功しているか」という設問の形で個別的成

果の評価を行うことが出来る。

還元主義における「根源性」、「原初性」、「要素性」の在り方は多様であり、それにしたがって、さまざまな還元主義を考えることが出来る。以下に具体的なものから抽象的なものへ、順に事例を示す。

(A) 原子論的還元主義

物質のさまざまな性質や行動を原子分子の構造や運動に還元することによって、20世紀の物理学がもっとも成果を収めたのはこの種の還元主義による。現象の複雑性は、常により基本的な（あるいはより微小な）領域の存在がもつ性質に還元される。その場合、根源性ととも「要素性」がとくに強調される。しかしながら、その基本的領域での要素である物質の性質が必ずしも「より単純」であるとは限らないのが問題である。それらが複雑な属性や構造を持ち、高度で抽象的な手法を必要とする場合があることをわれわれは素粒子物理学や場の量子論の分野で十分に経験済みである。

(B) 数学的還元主義

数学は、多くの異なる事象をある明確に定義された手法で記述するという意味では一種の人工言語であるし、しかも、その記述の内容からは意味が捨象されている。（それゆえに、その形式が多くの現実的課題を表現しうる。）複雑な事物に数学的表現を与えることによって、対象とその属性を単純な数学モデルに還元することが出来る。もちろん、その単純化された数学的表現自体が複雑な解釈問題を引き起こすことは十分にありうることである。

(C) 論理的あるいは公理的還元主義

科学研究の結果がある論理構造を持った命題の集まりとして与えられることがある。論理学や数学の場合にはこの点は明白であって、そこに現れる多数の命題を還元して、少数の基本的命題の組、「公理」を見いだすことが出来る。同様なことは、本来必ずしも明示的な論理構造を持つとは限らない科

学理論においても近似的に成立するが、そのプロセスは単純ではない。ただ、このような還元成功は科学者集団の中では高い評価を受ける。もっとも、そのようにして達成された「公理的還元」の成果が常に直観的に明白な意味を与えるとは限らない。熱現象に対する歴史的公理化の結果としての法則群と完備したカラテオドリの公理系、量子力学の通常形式とリー代数の表現としての定式化を比較してみればよい。また、公理を構成する要素的命題が矛盾なく与えられているかという問題があることは、「ゲーデルの証明」が示すとおりである。

(D) 概念的還元主義

科学的事象を扱う際には、多くの概念を操作しなければならない。そこでは、操作の対象となる概念の数がより少なく、より単純で基本的であることが希望される。このようにして得られた概念は、「より普遍的」と見なされるが、その普遍性こそは科学的研究の評価においてもっとも重視される基準の一つである。20世紀の科学の中で、時間と空間が「時空」に統合され、時空的記述と因果的記述が「相補性」によって結ばれるなど、われわれはすでに多くの事例を見た。それはたしかに「進歩」の一形態であるが、この場合もやはり還元を経た概念をめぐって複雑化した議論が呼び起こされるのである。

このように、還元主義的方法の成功について分析すると、認識論的手段としてのその方法には限界があることが示される。それを以下のように総括しておこう。

(1) 還元の際して現れる根源的な事物や概念は、しばしばそれ自体が高度で複雑なものとなり、科学としての研究や評価の枠からはみ出すことさえ起こる。そこで問題は哲学的考察や解釈の次元に移行する。「相補性」がその一例である。

(2) 異なる還元プロセスの融合あるいは同時遂行が良い結果を得るためにしばしば必要となる。原子論的還元と概念的還元の同時的実行の事例が素粒子物理学であろう。その場合の終局的目標が「統一理論」ということになる。その結果として実現される対象が一層複雑で高度なものとなるのは避けられない。

(3) 異なった領域の課題を単一の還元的手法で同時解決をはかろうとする試みも存在する。量子カオス、観測と量子的エルゴード性、観測と計算可能性問題など、魅惑的なテーマは多い。これらも一種の還元主義的手法の融合であるが、その成果についてはまだ評価が下せる段階ではない。

(4) 最終的課題として、本質的に還元不可能な事象あるいは理論的命題、概念に関する問題があることはもちろんである。かつてのように、アイデアや神をもちだすことは出来ないとするれば、還元主義的方法はその基盤において常に矛盾と格闘しなければならない。この矛盾はいわゆる悪矛盾に類するものであって、常に困難を根源と原初に移行させようとする還元主義がもつ根本的なアポリアである。

ここから方法は二つに分かれるであろう。矛盾の再生産を承知で還元困難な存在を新たな還元主義の枠組へ移すか、それとも還元主義に替わる別個の指導原理となる方法を求めるからである。現在の段階でのわれわれの知識では困難はいずれも同じである。とくに後者について次節で概観しよう。

2. 3 科学とイデオロギー(2)還元主義批判の代替的思想と方法

古代以来の自然理解の方法として、原子論と有機体論は常に拮抗する立場であったが、近代科学の発展の中で前者が支配的地位に就くことになった。有機体論はさまざまな形態で再生産され、原子論＝還元主義に対する「対抗的方法」であり続ける。しかし、20世紀の科学技術の成功の中では、このような対抗的方法が具体的な有効性をもつものとして存在し続けるのは困難であった。したがって多くの場合、それらは還元主義的方法の成功がもたらした現代文明のネガティブな側面に対する批判者にとどまったのであって、そ

れがなんらかの具体的成果を生むような方法となることはほとんどなかったのである。しかし、古典的な近代力学でさえ、その発展の極点において世界の圧倒的多数の事象が非線形、非定常であることをわれわれに思い出させるような状況が生まれている。また、生命科学における還元主義の進出は、生命の全体性の理解を一層切実なものにしている。その意味では代替的方法に関する問題提起は在来にもまして重要になった。以下でその中の主要な動向を考察しよう。

(A) 厳密な方法としての現象学

このシリーズの中でかつて指摘したように、社会学や精神病理学の分野で具体的に展開されている現象学的方法は二つの側面を持っている。

(1) 現象学の起源はカントの意味での総合的思考にある。それは幾何学や数論における純粹概念（あるいは純粹悟性概念）を心理学のような別の学問によらずに獲得する方法として構想された。純粹概念が不完全な現実の理想化によって得られるという単純な見解を受け入れないとすれば、それらの概念は経験に基づく推論なしにわれわれの精神の内部に形成されるとするほかはない。そこで、フッサールは、ある対象に対するわれわれの強力な指向性をもつ直観の働きが精神の内部に純粹悟性概念を形成すると考えたのである。その際、対象に関するすべての先入観的表象は排除されていなければならない。フッサールはこの精神的状況を「現象学的還元」と呼ぶことにした。このようにして獲得された概念の普遍性を保証するのは後期のフッサールのキ概念である「共通主観性」である。しかし、フッサールが企図したような、科学研究のための論理学と並ぶ厳密な方法としての現象学を確立しようとする研究はなお進行途上にあると言わねばならない。

(2) 特定の問題に対しては現象学が新たな研究手順をつくりだしていることは確かである。われわれの精神を働かせて得たすべての結果、あるいは直観的なイメージや思考がすべて受容され、同等の重要性を持つものとして記録される。先入観なしに、このようにして記録された事象やイメージは、

“STS”あるいは「科学技術研究」についてII (2)

これらに対する直観の志向によって「意味」を獲得するはずである。そして意味ある存在の構築によって、対象に関するある「言明」すなわち「理論」がもたらされるであろう。

このような研究方法は、在来の科学研究の方法とは対照的である。それは人文学の一部では可能であっても科学的研究の条件である普遍性を保証するものとなるであろうか。それとも、科学はファイヤアーベントがかつて論じたように、あらゆる試みが許容される芸術活動に接近すべきものであろうか。問題はなおオープンである。

(B) ホリズムとシステム論¹⁷⁾

ホリズムという言葉はギリシャ語のホロス（全体）を起源とするが、それがポピュラーになったのは、アーサー・ケストラーの「機械の中の幽霊」（1967）で、ホロスと素粒子の語尾につく「オン」を合わせた「ホロン」という合成語が提案された頃からである。（70年代末の日本では、大平内閣が設置した審議会で「ホロニック・パス」という新語が提案された。）ケストラーの本の文脈では、通常は「サブシステム」というところにわざわざ新語を当てた理由は、「全体」に対する「部分」であってもそれなりの一体性を持つ点を強調して、システムにおける階層的認識を示すためであったと思われる。すなわち、システムという概念には、全体を不可分の一体と見る有機的立場から、部分が確立しそのうえで全体の構成を考えるという還元主義に接近した立場までのスペクトラムが存在するということである。もちろん、われわれが親しんできたのは、機械工学や送配電ネットワーク、回路設計など、後者の還元主義に近いシステムであった。そして、両者の中間にあるものとして開放系や自己組織系の数学モデルが生命体のシミュレータとして研究されてきたのである。半世紀前、生物の自動制御系としての側面がウィナーによって提唱された（サイバネティクス）頃に比べると、これは着実な進歩であるといえよう。

ところが、還元主義との代替には前者にさらに接近したモデルが必要であ

る。動的モデルに関する在来の研究の延長上に、全体を不可分の一体と見る有機体論的システムを扱う方法がもたらされるのか。このテーマもオープンである。

(C) エコロジー的思考

エコロジー自体は、有機体論と同様、自然に関する伝統的思想にその起源をもっている。現代においても、その思想的背景や方法は多様であり、確定した方法論をもつ研究分野として確立しているとはいえない。多様な生物の相互依存関係をエコロジカルシステムとし、エネルギーの代謝プロセスをシステム科学的手法で解明するオダムのアプローチや生物の個体数の変動を追う数理モデルの研究などを一方の極とすると、他方の極には人間を含むエコシステムを構築することによって、自然の中の人間の地位に関する近代的ヒューマニズム確立以後の思想をも全面的に否定する試みがある。それらの中に共通点を見いだすことは困難であるが、強いて言うならば次のようなものであろう。

(1) 少数の例外的ケースを除き、エコロジカルシステムは質的な多様性をもつ多数の構成要素を含む。その意味では、それは多重構造を持つ複雑系であるといえる。

(2) 正常なエコロジカルシステムは定常的であるか、あるいは定常に向かう（ロトカのテーゼ）。その状況は、人間と自然の共生を望む人々を満足させるが、それが「ゼロ成長」への接近であることを無視できない。

質的多様性の共存と安定性とは、多くの人々にとって好ましいイデオロギー的目標を与える。しかも、近代批判の要素をも含んでいる。しかし、現状では生物学の一分野の方法を超えた普遍性をもつ独自の科学的方法を与えることにはなっていない。

(D) 弁証法の可能性

マルキストの一部は、「弁証法」は古典的二値論理に替わる新たな論理学

を与えると考えていた。そこで、古典的な近代科学の「機械論的世界観」を新しい弁証法的論理によって乗り越えることが出来ると主張されたのである。いわゆるスターリニストでは全くないローゼンフェルドは、ボーアの相補性が弁証法であると主張している。しかし、ヘーゲルの論理学や弁証法について学ぶと、彼の論理学とカントの意味での分析的思考の道具である論理学とを同次元で扱うことが不可能であることがわかる。

「絶対的な一なるもの」と「個別的な多」との関連をパルメニデスが論じたと言われる。以来、弁証法は、原義である「対話」を超えて、神あるいはアイデアと世界における物質的および精神的存在との相互関係を媒介してきた。ヘーゲルの論理学は「純粋な理念の学」であって、理念が「存在」という即自的形態から、「本質」や「概念」へ展開してゆく有様を示すものであった。そこで、還元主義における「要素」とホリズムにおける有機的全体とを弁証法が媒介する可能性が期待されることになる。しかし、それが具体的にどのような方法として科学の中に登場するのか。われわれはまだそれを知らない。

ヘーゲル本来の弁証法の機能に一層期待されるものがあるとするれば、科学技術とその帰結に対して、人間とその社会がどのような関係をもつかということを解明するうえでそれが果すべき役割においてである。彼は神＝アイデアと現実世界の関係を明確にしようとしたが、われわれが行うことは、彼の神を科学技術を形成してきた人間の主体的本質におき替えることであろう。

2. 4 科学，社会意識，倫理

この課題は「科学社会学的課題」を扱う次章の「科学技術者の職業意識，市民としての意識，社会的責任」のテーマでもある。そこで、この問題の哲学的側面に限って論ずることにしよう。

科学技術の価値に関してはさまざまな見解がある。科学者や哲学者を含む公衆の受け取り方を簡略化すると、以下の四点（あるいは二つの対立的命題の組み合わせ）にまとめられる。

- (1) 科学技術は、その本性において、真であり善である。

(2) 科学技術は本質的に人間性と両立しない。

(A) 科学技術は客観的世界の反映であって、それゆえに中立的で価値から自由である。

(B) 科学技術は人間の活動の所産であり、それゆえに価値中立的ではありえない。

これらの表現の背後にはそれぞれに哲学的思索が存在する。従って、さらに詳細な分析が可能である。以下にその一端を示そう。

相互に対立する(1)と(2)は啓蒙主義時代のもっとも重要な哲学的論点を構成する。もちろん、(1)は18世紀の啓蒙主義の擁護者のうちの進歩的見解を反映する。ただし、歴史的文脈の中では、その立場は全く複雑な形態をとる。すなわち、当時の宗教的雰囲気やイギリスの自然神学やフランス百科全書派の理神論など、キリスト教の教義の解釈上の分岐のひとつとして現れることになる。しかし、現代に近づくに従い、(1)はより単純な科学的合理主義の形態をとり、科学技術の進歩を無条件で推進する思想となってゆく。サン・シモン主義から20世紀前半のテクノクラシズムへ、急進的ジャコバニズムから旧ソ連における正統派マルクス主義へ、等の思想的潮流をもその中に含めることが出来る。これはまた、大多数の科学技術者と一部の大衆によって無意識のうちに支持されてきた。

これと対立する見解(2)もまた、宗教的原理主義、ロマン的反動、さらにある種のエコロジー思想などの多様な形態をとる。例えば、キリスト教において、神によって啓示された知識を最高で唯一のものとする、科学技術による知識は「禁断の果実」の成果であり原罪の表現となる。あるいは、科学技術は西欧帝国主義の侵略の一形態であり、人間と自然の共生のもとに成立した共同体とは相容れないものである。このような見解は、最近の環境の危機や開発途上国における伝統的共同体の解体とそれにともなる悲劇的事態の広がりの中では説得力を持つであろう。

しかしながら、このような対立から生産的な成果が得られないことは明白である。むしろ際限のない論争によって具体的に人々の生活を改善する機会

を失う結果となる可能性がある。

もう一つの対立(A)と(B)は一層込み入っており、やはり西欧にその思想史的起源を持っている。

科学的知識の価値中立性の主張(A)は、おそらく、西欧の科学者集団の「古きよき日」の理想であったに違いない。とくにそれは19世紀のドイツにおける新カント派の哲学者によって思想的に強化され、さらにマクス・ウェーバーという傑出した擁護者を得た。ウェーバーは同時にドイツにおける社会政策の強力な推進者であった。たとえ、知識の価値中立性を認めても、次ぎに来る課題は、「それでは、その知識を如何にしてよい目的に役立てるか」ということである。これが欠落すると、それらの知識が悪用されて社会に害毒を流すことを止められない。従って、優れた学者は二つの人格を生きなければならない。職業的科学者としては、いかなる価値体系に対しても厳格に価値中立的でなければならないと同時に、市民として、社会において確立された規範に基づいて正しく行動しなければならない。しかし、現実の世界で、このような理想的人格を堅持することは決して容易ではない。

(B) の主張はヘーゲルにその典型を見ることが出来る。しかし、その場合科学の性格を決定するもっとも重要な要因は人間の集団ではなくて「絶対理念」であった。また、マルクスを含む彼の追随者は、ときに逸脱はしたものの学問上の貢献は大きかった。しかし、彼らの近代科学そのものに対する直接の貢献は事実上無きに等しい。むしろ、ヘーゲルの哲学的使命は、かれの哲学の理念の自己実現のための現実の世界を作り上げることであった。彼の論理学が形式と内容の統一を前提とする点でアリストテレス的であったのに対し、その政治哲学の目標はプラトンを思わせる。ドイツ帝国あるいは国民国家ドイツが、よき社会システムとして、ドイツにおける精神的、物質的豊かきをもたらしることが出来ると思ったのである。そこには、分断され孤立した個人が多くの矛盾に悩んでいた市民社会を乗り越えようとする意図が存在した。

ここで、よき社会的諸関係の実現が最優先の課題となる。このようなヘー

ゲル的命題によれば、科学技術の価値や倫理は、結局はすでに確立されている社会的諸関係に固有の価値に帰着するのである。この節におけるわれわれのテーマに関するかぎり、これはすぐれた見解である。しかし、それは誤った科学技術の政治理論を作りだした。たとえば急進的な毛沢東主義者の「政治優先」のスローガンは失敗の代価を払うことになったのである。

にもかかわらず、社会的責任を自覚した価値中立論者とヘーゲルのテーゼの信奉者の「本質的緊張」が、科学技術の善悪に関する非主体的な対立よりもはるかに生産的であると言わねばならない。ただ、その方向に議論を進めるには、哲学的分析だけでは不十分である。現在の科学技術の状況を前提とした望ましい社会的諸関係と価値に関して、具体的に研究することが必要となる。すなわち、科学社会学的研究が重ねられなければならない。

第2章ノート

- 1) John Stachel, “History of Relativity”, (L. M. Brown, A. Pais, Sir B. Pippard (ed.), *Twentieth Century Physics*, 1995 IOP and API, Chap. 4)

20世紀物理学の総合報告の1章として書かれたもので100ページのなかに、特殊及び一般相対性理論の歴史の研究の総合報告がよくまとめられている。筆者はボストン大学のアインシュタイン全集編纂のプロジェクトの中心人物のひとり。

- 2) フィリップ・フランク「アインシュタイン」(矢野健太郎訳1950岩波書店)が代表的である。フランクは、アインシュタインがベルリンに招聘されて去った後、プラハ大学に後任として赴任した人物で親交があった。マッハに批判的な人々がこの見方の流布を妨げたが、青年期のアインシュタインの実像が知られるに従い、無視できない見解となった。ただ、マッハ自身は、相対論と自分の哲学のつながりを否定した。これは有名なエピソードである。

- 3) しかし、この見解を代表すると目される、E. Whittaker, *A History of Ether and Electricity*, 2vol 1953では、「ローレンツ・ポアンカレの相対性理論」であり、アインシュタインは軽視されている。

- 4) 広重徹「相対論の形成」(1980みすず書房)所収の論文。ホルトンの主要論文「アインシュタイン・マイケルソン・〈決定的実験〉」は広重の主要論文などとともに、西尾茂子編「アインシュタイン研究」1977中央公論社、に記載されている。

- 5) 武谷三男「量子力学の形成と論理」(1949銀座書房)。

- 6) 微分幾何学を新たに学ばなければならなかったアインシュタインにとって、それは簡単なことではなかった。彼が一旦は一般共変性を放棄したり、式の導出でヒルベルトに先を越されて困惑した有様が知られている。

J. Mehra, *Einstein, Hilbert and the Theory of Gravitation*, 1974.

K. Erman, and C. Gylmore, “Einstein and Hilbert, Two Months in the History of General Relativity,” *Archive for the History of Exact Sciences*, v.19, n.1, 1978.

など。

- 7) H. Reichenbach, *Die Relativitätstheorie und die Erkenntnis a priori*, 1920, Springer.

- 8) C. Levi-Strauss, *la Structure Elementaire de Parants*, 1951. 群論的方法の部分は、当代の大数学者のひとり、アンドレ・ベイユの手になるものである。

- 9) J. von Neumann, *die Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, 1932.

これは観測問題を論ずる際には必ず取り上げられる標準的な古典である。しかし、このテーマを扱った第5, 6章はあきらかに、ジラードのマクスウェル・デーモンに関する論文の影響下で書かれている。

10) 代表的な見解がコモ講演として知られる次の文章にある。

N. Bohr, Quantum Postulate and Recent Development of Atomic Theory. 1928.

11) この因果的解釈には長い歴史がある。1920年代後半に早くもド・ブロイが提案したが、1928年のソルベー会議でパウリ等の反論でつぶされ、1952年のボーム、1953年の高林の論文で再登場した。当然、正統派からの批判は厳しかったが、最近、ボームの仕事の再評価が盛んである。たとえば、

James T. Cushing and others (ed.), *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal*, BPS 184, 1996 Kluwer Academic Publishers.

12) 関連する論文がエヴェレット自身の1957年の論文とともに以下に収められている。

B. S. DeWitt et al, *The Many World Interpretation of Quantum Mechanics*, 1973 Princeton.

ゲルマンの解釈の一般向け解説は、M. Gell-Mann, *The Quark and the Jaguar*, 1994, Freeman N. Y. (野本陽代訳「クォークとジャガー」1997, 草思社)の第11章にある。もとの着想は、M. Gell-Mann and J. B. Hartle, *Quantum Mechanics in the Light of Quantum Cosmology*, in W. H. Zurek (ed.) *Complexity, Entropy and the Physics of Information*, 1990. Addison Wesley pp. 425~458にある。P. Omnès, *He Interpretation of Quantum Mechanics*, 1994. Princeton にやや詳しい解説がある。彼等の理論の中では、IGUS (Information Gathering and Utilizing System) なるものが重要な役割を果たしているが、それは正統派における「観測の主体」の別の表現であろう、というのが筆者の意見である。さらに、J. Bub, *Interpreting the Quantum World*, 1997, Cambridge U.P. を参照すること。

これらについての詳しい解説と批判は別の機会におこないたい。

13) “Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology” という名称の国際会議が1983年以来3年置きに日立中央研究所で開かれてきた。

14) この問題についての解説が最近多く出されている。たとえば、

I. Peterson, *Newton's Clock*, 1993 Princeton. (一般向き, 翻訳あり。)

“STS”あるいは「科学技術研究」についてII (2)

F. Diacu and P. Holmes, *Celestial Encounters*, 1996, Princeton. (やや専門的な解説)

現代的な観点による歴史研究も出始めた。一例をあげると, J. Barrow-Green, *Poincaré and the Three Body Problem*, 1997, American Mathematical Society and London Mathematical Society.

15) ファイゲンバウム普遍性に関する研究論文のリプリントとして,

Predrag Cvitanovic (ed.), *Universality in Chaos*, 1984 Adam Hilger

をあげる。リー・ヨークの定理と関連した一次元力学系のカオスの平易で優れた解説は, 山口昌哉「カオスとフラクタル」講談社文庫である。

16) 量子カオスの解説として多くの書物が書かれている。そのなかで適切なものをあげるとすれば, 中村勝弘「カオスと量子物理学」(1997サイエンス社)であろう。巻末にこの分野の主要文献があがっている。

17) A. Koestler, *The Ghost in the Machine*, 1967, MacMillan, New York

A. Koestler and J. R. Smythies (ed.), *Beyond Reductionism: New Perspectives in Life Science*, 1969, Hutchinson, London.

L. von Bertalanffy, *General System Theory*, 1968, George Braziller, New York.

“STS”, or Science and Technology Studies in Perspective II (2)

Kunio GOTO

The second article of the Part II of the STS series concentrates to the philosophical implications of the Twentieth Century Science. The remarkable development of science in this century is deserved to be called as the Scientific Revolution, because of the prominent success of the theory of relativity and the quantum mechanics in physics or molecular-theoretical studies in biology. Thus established scientific knowledge is not always complete, or theoretically closed. More or less, theories should be complemented with many kind of philosophical argument, in accord with an accomplished level of each theory. Problems, which are open in contemporary scientific investigations, are explained with the aid of philosophical discussion to anticipate the research programs for the future.

One of the most important core understanding, which is common to successful achievement of the Twentieth Century Science, is the reductionistic way of thinking as an ideological thought. Analyzing the aspects of the reductionism, critical studies of this methodology are given. The alternatives are discussed for further investigations: phenomenology, holism and systems theory, ecological thinking and dialectic.

The last section deals with the problem of social consciousness and ethics on scientific issues. In a philosophical context, two pairs of value

“STS”あるいは「科学技術研究」についてII (2)

systems are referred to clarify the understanding of this problem: Enlightenment progressivism versus its counter reaction, and neo-Kantian neutralism versus Hegelian stand point theory. These are discussed in some detail, but the complement of the ethical aspects of science and technology with the social studies is necessary. It is reserved for the next article.