

## 論 説

## 科学的認識活動の現代的展開と これを基礎づけた産業活動との相互作用に関する考察

兵 藤 友 博

## 目 次

1. 現代的な意味での科学と産業の相互依存性について
  - (1) Bernal の著書『科学と産業』と『歴史における科学』に見られる見解をめぐって
  - (2) 科学と産業の現代的展開をどう見るか —時代区分をめぐって—
2. 20 世紀における科学研究の国際的なパワーシフトと産業との関連性
  - 英独と米国とに見られる科学と技術の相互作用の差異について—
3. 研究開発の組織化・連携をめぐって
  - (1) 研究開発組織に見られる 20 世紀前半期と後半期との違い
  - (2) 科学研究の進展に見られる学术界と産業界との連携について
4. 科学的認識活動の現代的展開をどうとらえるべきか
  - (1) 科学的認識の発展を基本にすえて科学発展の歴史的道筋を考える
  - (2) 理論認識の根幹としての科学観測・実験とその技術的基礎、産業との連関について
5. 科学的認識活動の理論的レベルを基礎づける科学実験手段の現代的特質について
  - (1) 原子物理学実験の現代的基礎をめぐって
  - (2) 科学実験手段の能動性・独自性をめぐって
    - 装置系の登場と実験手段の生産技術からの相対的独立性—
6. まとめにかえて
  - 現代物理学を事例とした最近の科学的ならびに科学哲学的研究についての検討—

19 世紀的段階での対象は、おおづかみに捉えれば、熱・光・電気・化学といったマクロ物質レベルでの現象の究明であった。その後の 20 世紀の第一四半世紀の時期の対象は、上述とは異なってミクロスコピックな原子・原子核レベルでの現象の究明となり、様々な実験研究がおこなわれた。そこでの最大の問題は精密測定すなわち測定系の一層の改良も他でもないが、対象となる未知のミクロスコピックな現象そのものをいかに実験において設定するかということが以前にも増して追求され、装置系の製作と装置（容器）内の状態のコントロールが実験研究の基本的課題として浮上した。

熱輻射や放電、X 線放射などの“相対的新しい運動形態”（後述参照）とも特徴づけられる現象は、高温、高電圧、高真空下の現象であり、いずれも電気を媒介とした装置系の設定なしに捕捉しえるものではない。また、同様に測定系も電気を媒介とした機器がいつそう発達した。つまり、これらの実験手段はこの独占資本主義期の時代の産業技術としての電力や鉄鋼、合成化学等の技術を基礎として発達し、実験研究はこのような新しい産業技術に基礎づけられ、新しい段階へと踏み込んで発達していったのである。

小論が対象とする時代は、19 世紀末の熱輻射や放電などの“相対的新しい運動形態”とも

特徴づけられる研究が行われた時期を第一段階とすれば、これらの実験的研究で明らかになったミクロスコピックな物質を意識的に「探り針」として用いて原子とそれを構成する粒子の物質的構造を究明していった時期を主に対象とするもので、この時期は第二段階といえる。当然のことながら、この究明は、一方でミクロスコピックな現象の「探り針」として用いられる電子や X 線などが物質的にどのようなものなのかが明らかにならない限り、実現しえないものであった。1920 年代になると、電子や X 線の波動性と粒子性の二重性としての物質像が明らかになっていくのだが、それはこのような研究展開の基本的性格に由来するものだったといえよう。

もう一つの注視すべき事柄は、この時期の欧米諸国の科学研究の不均等発展が、その動態を反映して研究の進展にも現れていることである。これらの実験的研究は主に 19 世紀末のイギリス、ドイツに始まるが、次第に 1910 年代になるとアメリカにおいて科学を主導する拠点が新たに構築され、科学の主戦場は移り変わり、アメリカでの研究が頭角を現していく時代でもある。このような移行はどのような動因をもって展開していったのか、この点も重要な論点である。

以下では、これまでの先行研究を踏まえて、小論が対象とする筆者の問題関心と分析視角を示す。それは、端的に言えば、上述に示した 20 世紀的な意味での科学的認識活動の固有の特質、ないしは科学的認識の発展を基礎づける実験的研究の現代の特徴、またこれらをその根源から基礎づける科学と産業技術の相互作用とはどのようなものであったのか、さらにいえば、学術組織の新たな展開とそれとの産業界の連携はどのようなものであったのかということに関する事柄である。

## 1. 現代的な意味での科学と産業の相互依存性について

### (1) Bernal の著書『科学と産業』と『歴史における科学』に見られる見解をめぐって

小論が課題とする問題に興味深い視点を提供している先行研究としては、今日では古典的ともいえるが、イギリスの科学史家 J. D. Bernal の論考がある。Bernal は、『科学と産業』<sup>1)</sup>において 19 世紀を対象として考察を加え、諸科学間での継承と技術への波及効果の動態だけでなく、諸技術の科学への波及効果はどうであったのか、また科学発展をめぐってそれを取り巻く産業、政府、制度、思想などとの関わりはどうであったのか、さらには、科学は国境をこえてどのように展開したのか、これらの事柄について総合的に考察を加えている。

こうした Bernal の記述の中で殊に興味深い点は、科学と産業との相互依存性は 19 世紀に

---

1) J. D. Bernal (菅原仰訳), 『科学と産業』, 岩波書店, 1956 年; (原著) *Science and Industry in the Nineteenth Century*, 1953.

において依然として希薄であったとしている点である<sup>2)</sup>。その上で、Bernalはこの両者の依存性を決定的に強めたのは、世紀末の電気工業や化学工業の登場ならびにX線や電子、放射能の科学発見が契機となっているという。これらを総括的に表現している文脈としては、19世紀は“科学にとっては主として転換期に相当していた”とし、“その百年間に科学は、巨匠の手になる社会の典雅な装飾品の地位から、毎日の商品生産やサービス業務における本質的な要素に変貌しなければならなかった”<sup>3)</sup>と、これは文芸的な印象的記述ではあるものの、科学の歴史的特質をとらえている。つまり、知的産物としての“学芸”から量産される商品、サービスの開発に欠かせないものとなったというのである。

Bernalは続く『歴史における科学』の「現代における科学」の項で、“科学がはじめてその本領を示したのは、この20世紀になってからだった……20世紀には第二の科学革命が行なわれたといっても不当ではあるまい”（……は筆者による省略）と特徴づけている<sup>4)</sup>。

ここには“第二の科学革命”という刺激的な表現がある。このようなBernalの記述の根底には、資本主義がその内部矛盾から新しい社会制度を生起させる時代になっているのだとの認識がある。そしてまた、政治的統治システムの変動の到来を見通して、科学と技術の相互交渉の枠組みの変動をとらえたのである。すなわち当該時代にはそのような歴史的特質が横たわっているのだとの問題意識を基礎に、この時代の科学研究の展開の特徴を考察し<sup>5)</sup>、利潤を独占的に追求する企業体は科学者・技術者を雇い、新製品・製造技術の研究と開発のための研究機関を設けるに到ったのだと見て、このような科学と技術の相互作用の枠組みの展開に科学研究の20世紀初期の歴史的動因を見出している。

筆者は、科学と技術との相互作用、すなわち、こうした時代におけるその特質を具体的に科学と技術の個別的事例の内容に立ち入って分析し、その相互作用とはどのようなものであったか、を明らかにすることが欠かせないと考える。理論科学・実験科学、基礎・応用研究と製品開発研究、実験手段とその産業技術的基礎、学術研究機関と産業技術研究機関、科学技術政策、等々の連なりの中で、科学研究は個別にどのような条件下で展開していったのか、その道筋を明らかにすることを主題として考察することが肝要である。

## (2) 科学と産業の現代的展開をどう見るか —時代区分をめぐって—

Bernalは、同書『歴史における科学』のなかで、“物理学の革命”は、“第一の段階”＝1895年から1914年の“おもに古い19世紀科学の技術的手段と知的手段をつかって、新しい

2) J. D. Bernal, *ibid.*, pp. 6-7, 145-147.

3) J. D. Bernal, *ibid.*, p. 151.

4) J. D. Bernal (鎮目恭夫訳)『歴史における科学』、みすず書房、1967年；(原著) *Science in History*, 1954.

5) J. D. Bernal, *ibid.*, pp. 414-419.

世界が探検され、新しい観念が創造された”“現代物理学の英雄時代”にはじまり、“第二の段階” = 1919 年から 1939 年の“産業の技術と組織がはじめて大規模に物理科学のなかにはいりこみ、しだいに指導的科学家が“産業界や政府の研究機構とのあいだに、親密なむすびつきがつくられていった”時代へと転じ、その後、政府との結びつきを強めた“第三の段階”となり、科学の進歩は産業と軍備と直接に結びつき、科学は政治的中立性という仮面をはがされたとしている<sup>6)</sup>。

時代区分の特徴づけとしては、19 世紀末から 20 世紀の初頭にかけての物理学実験の発展についていえば、「19 世紀」的だとか、あるいは「産業界や政府」との「結びつき」が「親密」になったと特徴づければ、事足りるものではない。つまりそれ自体の内実、すなわち科学が明らかにした認識内容との関連で評価しないでは十分な科学的評価とはいえない。上記の Bernal の評価は、どちらかといえば科学の社会史的枠組みから見たもので、科学総体としての問題を一般科学史としてとらえ、その延長線上に物理科学という個別分野を対象とした時代区分を構想している。いうならば、その時代区分の基準は、物理科学分野の認識の発展段階というよりは、「物理学革命」を実現した知的・技術的手段の登場、科学の産業との結びつきや政府との結びつきの強さの程度にその基準を見出している。

なお、Bernal は、“第二の段階”以前にも、1884 年設置されたライデン大学低温実験室と冷凍工業とのつながり、1911 年創設された Kaiser-Wilhelm 協会研究所 (現 Max-Planck 研究所) とドイツ重工業との結びつきや、1900 年に創設された I. Langmuir を擁したアメリカの GE 研究所 (General Electric Research Laboratory) 研究所などに、科学と産業との結びつきの事例を見出すことができるものの、これらの研究組織の産業的結びつきは例外的事例としていることを記しておく。

この例外的事例はさておくとして、このような時代区分の適合性について、本論文の枠組みに関わる部分について評するならば、“第一の段階”と“第二の段階”、続く“第三の段階”とで、基準が異なっており、この点について整理しておく必要がある。前述のこのような特徴付けだけでは、“第一の段階”ではまったく産業や政府との結びつきがなかったように見えてしまう。しかし、必ずしもそうとはいえない。ここでの適正な理解の仕方は、実験観測手段をどの程度形態において産業は提供したのか、たとえば、産業は依然として手段の部材を提供する程度のものだったのか、個々の実験観測手段の要素は提供されていたが、それではまだ実験観測手段の系としては成立していなかったのか、あるいはまた、測定機器を提供していたのか、装置機器を提供する段階に到っていたのか、さらにはまた設計から含めて特別に特殊実験に提供したのか、これらの状況を見据えなくは何ともいえない。例えば、科学機器製造業者にしても、

---

6) J. D. Bernal, *ibid.*, pp. 434-436.

民生用の精密機器を提供するメーカーでもあり、この部面での科学と産業との結びつきは単純な話ではない。科学機器製造業というものは多くは定型的な機器を提供するとしても、それを超えてどの程度個別の科学観測実験の固有の目的に即した形で応えることができる産業として成立していたのか、この点を検分する必要がある<sup>7)</sup>。そこにこそ科学と産業との結びつきの具体的な動態を示すものが見出されるからである。

このような事態を考慮するならば、科学観測実験手段がどうできあがるのかということと、科学の産業（あるいはまた政府）との結びつきの問題は、一つの事柄の二つの部面として見ることができる。つまり、科学観測実験手段の成立は、基本的には社会とは無縁どころか、程度の差はあれ産業や政府との結びつきのなかで実現されるものであるからである。Bernalの時代区分の基準は、そういう矛盾の問題として理解し、“第一の段階”も“第二の段階”も“第三の段階”も、科学観測実験手段はどのようにそれぞれ製作され、また新たな手段が開発されているのか、そしてこの手段の製作・成立に産業（また政府）はどのように関わり合い、その関わり合いはどのように変化させてきたのか、という二つの部面での特徴付けをどのように捉えるのかという問題である。

ところで、日本の科学史家の天野清は、熱輻射論・量子論の誕生期を取り上げ、この時期の科学と産業との関連について注目される歴史評価を示しており、ここで触れておくことにする。

その天野は、熱輻射論・量子論の誕生は19世紀末発達したドイツ工業技術に基礎づけられて初めて現実的なものとなったとの見解を提示している<sup>8)</sup>、この指摘に目をとめる必要があるが、天野は、このような観点を押し出しつつも、その具体的関連性については照明・冶金技術の指摘にとどまったと述べている<sup>9)</sup>。たしかに温度計測、光度標準についていえば、照明技術や冶金技術がこれらと大いに関わっていたという、天野の指摘はもつともである。いうならば、この指摘は、熱輻射研究の19世紀的段階を特徴づけたにせよ、これを抜け出した研究の新しい段階の技術的基礎を特徴づけるものではなかった。すなわち、M. Planckを作用量子発見へと導いた、質的により一様な輻射を提供した、新しい熱輻射源として電気炉が採用されたこと、その事実についていえば、天野も触れてはいるが、電力技術に基礎づけられたものとの評価に天野は到っていない<sup>10)</sup>。

そしてまた、天野は「量子論誕生の技術史的背景」<sup>11)</sup>で“熱輻射研究は一面において第一の学

7) Mari E. W. Williams, 『科学機器製造業者から精密機器メーカーへー 1870-1939年における英仏両国の機器産業史』、大阪経済法科大学出版部、1998年；原著：Mari E. W. Williams, *The Precision Makers: A History of the instruments industry in Britain and France, 1870-1939*, London and New York, Routledge, 1994.

8) 天野清, 『量子力学史』(改訂増補版), 中央公論社, 1973年, p. 29; (初版) 日本科学社, 1948年。

9) 天野清, 「熱輻射論と量子論の起源」, 『科学史論』, 日本科学社, 1948年, pp. 13-15.

10) 拙稿, 「熱輻射論史の実験的側面からの検討 (I)」, 『19世紀物理学史研究』No. 3, 1988年。

11) 天野清, 「量子論誕生の技術史的背景」, 『科学史論』, 日本科学社, 1948年。

問的研究と連なると共に、他方技術的な要求と技術的な前提によって実現されたものであり、それは 19 世紀末のドイツ工業の強固な地盤に生い立って居り、広く経済、政治の面と連なるのである”と述べて、熱輻射研究の理論科学とのつながり、その実験手段の技術的基礎あるいは技術から科学に要請される課題を含めてとらえることの重要性を指摘している。すなわち熱輻射研究を理論科学の発展の中でとらえると共に技術とのつながりで見なくてはならないという。とはいうものの、筆者が問題としている実験的側面に関していえば、どのように実験研究が理論研究から規定され、またその実験手段そのものがどのような独自の技術性を形成して成立したかについていえば、筆者が上述で指摘したように天野は不十分さをまぬがれない。

さて、この項を終えるにあたって、この小論が対象とする科学史的課題に関わる時代区分の仕方について筆者の見地を示しておきたい。筆者は、先に“19 世紀末の熱輻射や放電などの“相対的新しい運動形態”とも特徴づけられる研究を第一段階とすれば、これらの実験的研究で明らかになったミクロスコピックな物質を意識的に「探り針」として用いて原子とそれを構成する粒子の物質的構造を明らかにしていった第二段階といえる。”と特徴づけた。この時代区分の特徴は Bernal の区分とは異なり、原子物理学の探究の科学的認識の理論レベル・実践レベル（後述 4 項参照）の発展段階の深まりを課題意識として特徴づけたものであるが、この第二段階の時期をさらに区分するならば、1913 年前後あたりを期して、前期と後期とに区分できる。というのも、産業内の企業内研究所に科学的専門性を身につけた者が科学研究者として所属し、科学実験手段の機器はこの産業内の企業研究所を媒介にして製作・提供される時代へと移り変わっていったと見られるからである。

## 2. 20 世紀における科学研究の国際的なパワーシフトと産業との関連性

— 英独と米国とに見られる科学と技術の相互作用の差異について —

かつて素粒子論物理学者で名をはせた坂田昌一らは、筆者が研究対象とする、原子物理学のヨーロッパからアメリカへの流れについて、欧米各国の原子核物理学の発展を比較検討し、“この時期を境として各国の国際的地位に著しい変化がおこる”，あるいは“最初イギリスで発展した原子核の実験的研究も漸次その中心をアメリカへ移す”と記した<sup>12)</sup>。

もちろん坂田の記述にはこれ以上の具体的な、それも装置を中心にすえた論述はないけれども、このように科学と技術の先端的地域は 19 世紀末から 20 世紀前半期にかけて国際的にシフトしたことに間違いのないことである。基本的に科学と技術は自然に根ざしていることから国境を越えて普遍的に成立するものではあるが、その主戦場が国境を越えて移行するということは特殊固有の歴史的・社会的条件があつてのことで、その意味でここに注視すべき科学技術史

12) 坂田昌一他、「原子核物理学の形成過程」、『物理学と方法』岩波書店、1972 年、pp. 155, 158。

上の重要な意味がある。一般的にいえば科学・技術の発展は基本的に不均等に発展し、世紀が進むにつれ科学の国際的な交流はより一層進む。問題は、なぜ 20 世紀はアメリカへの移行であったのかということに、科学・技術発達歴史的課題がある。

ところで、先の Bernal の時代区分、すなわち指導的科学家による私的 science から産業界が主導した science、政府の science に示されるように、本格的に科学研究が国家施策のもとに進められるのは、戦争を science と技術の需要先とした第一次世界大戦期を外すと、1930 年代以降である。しかしながら、民生用に限っていえば事態は異なっていた。というのも、開発されていた製品技術、ならびに使用されていた製造技術の質は科学研究による新たな開発を必要とし、企業内研究所で両者の相互交渉は展開されたのである。

先にも指摘したように、このような science の国際的なシフトは、もちろん science と技術の不均等発展にあるのだが、この問題は、それぞれの地域の大学等の研究機関や企業、政府における、science と技術の有用性に対する価値認識の差異と関わっている。この点について、Bernal は「science の企業化」なる特徴付けをして、次のような大まかなスケッチをしている。

science に基礎づけられていた化学工業や電気工業等の産業は量産化技術を手にしたが、science に投資することで science の確かな手助けを確保し、自己の拡大再生産をおこなおうとした。たしかにイギリスの大学の science は一面では一定程度の水準を築いた。その意味で高等教育研究制度としては成功したともいえよう。しかしながら、意外と大学における研究は基本的に群雄割拠の分散性と、必ずしも研究に専念できない変則性からまぬがれえなかった。また、イギリスは、アメリカの企業内研究所、ならびに政府機関における science の強さに比して、企業内研究所の研究は脆弱であった。後者の政府の science にしても「国立物理学試験所」(The National Physical Laboratory) はリスク検査をこえて新たな発展の可能性のある工業物理の研究をすすめることはなかったといわれている。これに対して、アメリカの企業内研究所は自己のうちに純粋な基礎 science をも取り込んだことで、また潤沢な資金のおかげで、science と技術の相互交渉がすすんだ。真空技術の進歩を刺激したのは最初、電球工業であり、やがて電子管製造が大いにこれを刺激したが、ここで頭角を現したのが他ならぬアメリカであった<sup>13)</sup>。

このように、20 世紀の物理学の展開は、当初イギリスやドイツを中心に展開していたが、

13) J. D. Bernal 『science の社会的機能』勁草書房、1981 年；(原著) *The Social Function of Science*, 1939 の「第 3 章イギリスの現在に於ける研究組織」や Mari E. W. Williams の前掲書 (7) 等を参照されたい。

なお、田中浩朗は、「帝国物理技術研究所設立期におけるドイツ物理学の制度的問題」(『科学史・科学哲学』9 号、1990 年) で、次のような記述をしている。たとえば、“もちろん標準や検定に関するものであったのだが、しかし science 制度の大きな構造転換へとつながるようなより根本的な問題も含まれていた”と述べる一方、“当時の物理学制度の根本的問題は、物理学研究を職務とする scientist がいないことであった”と指摘する。これは、PTR がいわゆる度量衡を取り扱う試験研究機関というだけでなく、science 研究活動の分業化 (分化) を制度の発展の上にとらえ、一つの研究機関が science 研究機関としてどのように変容していたのかという観点から歴史をとらえなくてはならないとした点で興味あるものである。

やがてこの研究拠点はアメリカへと重点を移し、展開した。この研究拠点の移行は、基本的に産業技術の新展開をアメリカが主導する形で進んでいったからに他ならないけれども、だからといって科学の面でもアメリカが主導するようになったというのは早計である。

それを説明するものは基礎科学の進展、なかでもその科学実験の部面に見られる。具体的に言えば、科学実験手段を構成する観測・装置の個別要素が提供されるようになった。例えば X 線管は製品開発を目的として医療用（軍事医療を含む）・科学研究用、その他の社会的要請に応える形でその研究開発が重層的に組織的に進められ、科学と技術との交渉はこれまでとは異なったものになった。言うならば、実験手段を構成する技術的要素を、技術は科学との相互交渉を通してブラッシュアップし、実験系を再構成したのである。

例えば、GE 研究所を中心に展開された X 線管の開発は、これに隣接する白熱電球や電子管の研究開発が組織的に展開され、なおまた科学研究用の X 線管は軍事医療のための携帯用を含む医療用 X 線管の開発を通して、その根幹の問題が解き明かされていったことを見れば分かる。また、電子の波動性の同時検証においては、イギリスの G. P. Thomson があつらえた実験機器とアメリカの C. Davisson & L. Germer があつらえた実験手段には大きな差異があった。端的に指摘するならば、前者は従来型の放電管技術の延長線上にあり、後者は電子管という新しい装置技術を用いていた。このように両者を基礎づける技術の違いに英米の社会的・歴史的土壌の違いを見ることができる。この事例は共に電子の波動性の検証という同様の研究成果を上げてはいるが、その科学実験研究の基礎は異なり、パワーシフトが起きていることを示すものである。その後、サイクロトロンなどを用いた原子核物理学実験を主導したのはアメリカであったことも、そのことを同様に物語るものである。

### 3. 研究開発の組織化・連携をめぐって

#### (1) 研究開発組織に見られる 20 世紀前半期と後半期との違い

ここでの検討は、まさに科学が「一般的生産力」（これに対して工場の中の機械設備は「直接的生産力」と特徴づけられる）として位置づけられていく、こうした時代を取り扱うのであるが、その点で注目すべき先行研究は、企業競争力の要因としての研究開発の部面から考察した、R. Buderer<sup>14)</sup> や R. S. Rosenbloom & W. J. Spencer<sup>15)</sup> の研究である。これらの先行研究の問題意識は、企業が戦略上どのように研究開発を位置づけ、どのような性格をもつ研究開発組織を設置していったのかを着目して分析をしたものであるが、20 世紀後半のみならずその初期についても考察を加えている。

14) R. Buderer, 『世界最強企業の研究戦略』, 日本経済新聞社, 2001 年; (原著) *Engines of Tomorrow*, 2000.

15) R. S. Rosenbloom & W. J. Spencer 編, 『中央研究所時代の終焉』, 日経 BP 社, 1998 年; (原著) *Engines of Innovation*, 1996.



これらの二書における研究の主要な関心事は研究開発組織の成立・発展にあり、その考察は興味深い。どちらの著作にも共通する問題意識は、研究開発の展開・組織の仕方は時代的に異なり、20世紀初めから1930年代、第二次大戦期、二次大戦後から1960年代、そして1970年代以降に区分できるとし、やがて研究開発に対する期待は過剰なものとなり、研究開発をすれば課題は解決しうるのでとの認識が一般的となり、基礎研究と開発研究は分離し、非実践的（非実際の）なものに形をかえていった。しかしながら、その問題が1970年代から1980年代に察知されるに及んで、“中央研究所”の“肅正”ともいうべき事態を引き起こしていったと。つまり、アメリカでは20世紀初期以来“科学研究指向”の強い企業内研究所が組織されたが、それは次第に“基礎科学と資金十分な科学者は劇的な新技術を生み出す”<sup>16)</sup>との神話的伝統をつくり、第二次大戦期をステップとして拡大し冷戦期を迎えた1960年代まで支配した。殊にこのように軍事的要請を介して過剰な研究開発投資がおこなわれるに及んだけれども、その裏では現実の経済や社会とは隔たり、研究・開発・製造の各セクションの分散的傾向を生み出した。ところが、1980年代に至り、折からの経済の競争激化、技術の加速度的変化にあおられ、これまでの研究組織・手法の改革をおこなわざるを得ない、「中央研究所の終焉」とも評される局面に到ったというのである。

上記二書はこれらの研究組織・手法、なおいえば研究開発のマネジメントの事柄を中心的話題としているが、この小論の問題関心との関わりにおいて、これらの二書は次のような点を共通に指摘している。すなわち、中央研究所スタイルの研究開発への過信的（過剰）ともいえる依存傾向の形成は、その初期においてGE社の研究所の存在が大きかったと評している。確かにこのような枠組みでの功罪が20世紀を通してあるのかもしれない。だが、これは歴史を過度に通貫的に、ないしは不適切に遡及して評価したものである。

たしかにこのように20世紀前半とその後半とを連携させて見るのもありえよう。実にこれらの二書が指摘するように、20世紀後半の研究所を中心としたマネジメント面に見られる分散的な事態は、20世紀前半からの傾向が災いし、そのような事態に追い込んだのかもしれない。とはいえ、筆者の分析したところでは、20世紀前半期は、基礎的な科学研究や技術開発が、また場合によってはそれらが工場の要求する課題と切り結び、有機的関係を構築していたともいえる。研究と開発の具体的な実態において、両時期を相対的に区別し、それぞれの当時の時代状況、ないしは時代が要請する課題を相対的に独立させて見て、どのように科学と技術とが育まれていったのかという部面から適切に評価すべきである。

---

16) R. S. Rosenbloom & W. J. Spencer, *ibid.*, p. 67.

## (2) 科学研究の進展に見られる学术界と産業界との連携について

学术界と産業界の連携は、単に研究者の連携や科学情報のフォーマルな交換のみならず、実験手段の技術的要請・提供、科学研究のノウハウの交流、さらにはまた政府・アカデミーレベルでの審議会での議論など、両者をつなぐチャンネルは多様で、両者の連携が 20 世紀の第一四半世紀に確かな形をもって展開した。

また、科学研究の対象(課題)は、学術研究機関のみで取り扱えるような段階を超えて、産業界の課題との関連や産業界が保有するより高度な技術の支援などもあって、解決しうる段階に入った。つまり、これまでの技術と違って、高電圧、高真空、高温下での装置のコントロールが実現され、また科学実験における検出・測定は企業の錬成された確かな技術でもって実現しうるようになった。

一方の産業界にしても、単に研究を外部の研究者に委託するだけでは、対象となっている課題解決の新しい局面は見えてこない。専門的知見をそなえた科学者が日常的に現場で立ち向かうことで、課題が科学的にとらえられるのである。GE 研究所の I. Langmuir は自著の論文で過去の研究者の論説をしばしば引き合いにして、課題を解く手がかりを得ている。また、当時の GE 研究所の工場現場と企業内研究所、スタッフの連携は効果的なものであったといえよう。基礎研究であれ、目的基礎研究であれ、ハードルとなっている課題にフィードバックするから目前の事柄の本質が見えてくるのだといってよい。こうした基盤があるからこそ、学術研究機関の科学者と産業技術をバックにした企業内研究所の科学者とが連携することが可能となり、適切な協調ができるのである。

そしてなお、研究活動の横の展開は研究者間の交流によって、あるいは共同・協力連携によって展開されるが、GE 社の研究所やベル研に見られる連携は、単なる研究交流や共同・協力連携ではなく、やがて製品製造に結びつく企業経営を基盤とした、企業組織に組み込まれた協力・共同の研究ともいべきものである。なおいえば、課題に即して有効に組織された集団の組織が一定の目的のもとに具体的成果の達成を目指して取り組むような組織連携である。これは、たとえばイギリスのマンチェスター大学の原子物理学者 E. Rutherford らに見られる大学研究室での、どちらかといえば学術研究分野の進展を目的とした比較的フリーハンドの効く協力・共同の組織とは異なる。もちろん今日の国内外に開かれた公的な共同研究所・機構などの研究室レベルを超えたものもある。

## 4. 科学的認識活動の現代的展開をどうとらえるべきか

### (1) 科学的認識の発展を基本にすえて科学発展の歴史的道筋を考える

筆者は、Bernal の先に触れた資本主義の変動を基軸とした科学の政策的・制度的・組織的な部面にその現代性を見ようとした視点を評価しつつも、それと重ねて、どのような新しい科

学的認識が得られていったのかということをも科学発展の基本的道筋としてとらえ、その発展の歴史的要因を分析することが肝要であると考えている。小論が対象としている課題との関連でより具体的にいえば、理論（知識）レベルとしては原子の内部構造や電子、放射能などの実際をどのような方法をとることで具体的な認識内容としてつかまえたのか、また、実践（実験・観測）レベルとしては、新しい認識の発見に結びつくようなミクロスコピックな現象を自然界から切り取るために、どのような技術的手段・手法を取りそろえ、実験装置系を構成し、その中に特異な状態を的確に設定し実現しえたか、ということに注目する。つまり、科学的認識の理論的レベルと実践的レベルのこの二つの部面において、どのように認識の対象となる新しい自然をとらえようとしていたのか、またこの二つの部面がどのように関連していたのか、といったことを基軸にしつつ、外的要因も含めて、科学発展の現代的性格を考察する。

E. Segre の『X線からクォークまで』<sup>17)</sup> は、Segre 自身が記しているように、個人的な体験から科学的発見がどのような道筋をとって達成されたのか、またそれらの科学的発見に関わった科学者の人柄などについて叙述したもので、この著作自体は現代物理学史を意図したものではないと述べている。だが、そこには次のような趣旨の興味ある記述がある。

19世紀末に物理学は“決定的な方向転換”をなした。その際の四つの偉大な発見：1895-97年にわたるX線、電子、ゼーマン効果、放射能の発見を可能にしたのは、後の加速器のエネルギー出力や低温設備の冷却能力からするとその大きさは100万分の1に過ぎないものであった。いうならば、技術的手段からすれば、取るに足りないようなものであった。真空ポンプにしても旧式のものであったし、電源は2v程度、それもその維持管理が面倒なブンゼン電池が使われていた。それでも電子やX線の発見を可能にしえる、特異な状態に実験装置、この場合には放電管内部の環境を技術的に設定することで達成され、“原子の世界を微視的に考えるきっかけ”となる時代へと踏み込むことができたのだと記している<sup>18)</sup>。

このことは、科学的実践レベルからいえば、気体放電や熱輻射などの“相対的に新しい運動形態”を実験装置内に出現しうるように、装置・観測系が設定され、科学実験が遂行されれば、その後の実験装置からすれば旧くとも可能であるということをも物語っている。

なお、相対的に新しいということとは、19世紀までに明らかになった熱・光・電気などの運動形態とは異なった、マクロスコピックな運動形態ではあるものの、ミクロスコピックな運動形態への発見へと結びつくという意味である。この“相対的に新しい運動形態”という表現を提示した宮下晋吉は、「手段（高真空）と目的（物質の運動形態・構造形態の追求）とははっきりと区別しなければならぬ」との視点、つまり新しい運動形態の認識として獲得するには、ど

17) E. Segre, 『X線からクォークまで』, みすず書房, 1982年; (原著) *Personaggi e Scoperte Nera Fisica Contemporanea*, 1976.

18) E. Segre, *ibid.*, pp. 3-7, 16-19.

のような実験手段を媒介させて働きかけていったのかという、認識の発展史としての実験科学史の方法論的視点を示し、電子の発見の実験史をとらえた<sup>19)</sup>。

そのことは評価できるとしても、宮下の論考では明示的には示されていない次の視点を筆者は指摘しておきたい。すなわち、実験手段としての装置系を適切に設定し、ミクロスコピックな自然をとらえるマクロスコピックな“相対的に新しい運動形態”を装置系に実現することで、初めて新しいミクロスコピックな認識がとらえられるのだという、そのような世紀転換期の物理科学において展開された手法の問題である。

## (2) 理論認識の根幹としての科学観測・実験とその技術的基礎、産業との連関について

科学的認識の発展を軸に歴史を捉え、それとの直接的な関連において観測・実験を理論認識の根幹として位置づけるとしても、さらになお科学の理論認識と観測・実験、実験技術の基礎としての生産技術、社会的制度などとの関連をどのように位置づけるのかということが問題となる。

科学と技術との関連は、産業革命期以降の展開をふり返ってみればわかるように、機械化は綿紡織機械から蒸気機関にすすんで温度と圧力、体積の計測をうながし、これが熱力学の誕生の基礎となり、また電信技術の発達には電気や磁気の計測の技術的進歩が土壌となって電磁気学の成立へと向かう。さらにまた窯業（ガラス）技術の発展に支えられて望遠鏡が一新し、回折格子とあいまって光学・天文学が新しい段階へと進む。このように産業革命以降の技術発展は科学発展の基礎となっている。

しかしながら、こうした科学と技術との連関を問題にしたとしても、ただ実験研究の技術的基礎を対象とするだけでは、外面的な評価にとどまらざるをえない。科学が独自にどのようにその固有の歴史的課題ととり組み、解決していったのか、なおいえば科学研究独自の目的意識的な理論的認識を基礎づけている科学的実践、すなわち新しい対象をとらえる実験的部面を問う必要がある。

ところで、こうした視点と違って制度史ないしは社会史を見直す立場から、ドイツにおいて熱輻射研究の足場となった PTR (Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 帝国物理工学研究所) とその業績を問うて、その歴史的新しさをつまびらかにする視点もある。例えば、前述で紹介した宮下晋吉は PTR の高温測定の研究に焦点をあて、工業計測、その科学（ここでは熱輻射研究）とのつながりを問題とし、科学実験成立に際しての工学的基礎・生産技術との関連をあきらか

---

19) この点についての子細は、宮下晋吉「J. J. Thomson と気体放電研究」「J. J. Thomson の陰極線研究」、『科学史研究』No. 137-140, 1981-82 年を参照されたい。それらの論考についての筆者の批判的考察は、拙著「物理学現代的展開をとらえる視点－実験的側面からの検討を中心にして－」『物理学史』No. 5, 1991 年, pp. 14-21 を参照されたい。

にしている<sup>20)</sup>。しかしながら、その力点は自然現象の探究にあたって工業計測技術が大きなインパクトとなっていたというところに留まる。

近年の宮下の『模倣から「科学大国」へー 19世紀ドイツにおける科学と技術の社会史』も、おおよそ上記の研究の延長線上にある。これは19世紀ドイツの「科学大国」への路程を分析したものであるが、この書は近代化に遅れていたドイツがいかにか「科学大国」へと行き着いたのかを基本的課題とするものである。宮下は同書において社会史的視点から、ドイツにおける科学発展の道筋を示そうとしている。だが、そこでの分析対象は計測学や科学器具学などの工学、すなわち実用科学（応用化学）を主とするもので、やがて際立った成果を生み出したドイツの物理学、物理化学などの理学、すなわち純粋科学（基礎科学）の台頭を分析対象としてはいない<sup>21)</sup>。科学と技術（産業）の連関の「19世紀的」もしくは「20世紀的」な意味での歴史的特質を明らかにするとしても、また制度史、社会史部面を取り上げるとしても、科学の成立を課題とするならば、当該時代の科学の基本的問題を中心にすえて分析しなくては基本的な目標を逸するであろう。

目下の課題を成し遂げるには、これらの外延的な部面との関連を考慮しつつも、理論的認識の手法と実験の手法を視野に入れて、前項での視点を引き合いにしていえば、科学的認識の理論的レベルと実践的レベルとが交錯する部面を基軸に据えて、その歴史的考察をおこなうことが欠かせない。

## 5. 科学的認識活動の理論的レベルを基礎づける 科学実験手段の現代的特質について

### (1) 原子物理学実験の現代的基礎をめぐって

さて、科学実験手段の現代的特質をどう見るかに関わって、天野清の科学実験をとらえる視点について1の(2)の項でも取り上げたが、天野清の論考には原子物理学実験に関連して一歩抜きんでたものがあり、ここでこの点に関わって意見を述べておきたい。

その論考は「物理学の現実的基礎」<sup>22)</sup>で、端的には原子物理学の話題を事例にして、より進んだ、すなわちミクロスコピックな実体が明確となる実験の現代的展開をとらえたもので、Compton効果に関する実験にかかるものである。

天野は上記の所論の「現実の実験の認識論的構造」の節で、その「実験装置」について、“X

20) 宮下晋吉, 「炉産業と高温の科学」, 『科学史その課題と方法』, 青木書店, 1987年。

21) 宮下晋吉, 『模倣から「科学大国」へー 19世紀ドイツにおける科学と技術の社会史』, 世界思想社, 2008年。

19世紀の純粋科学の部面で成果を上げたドイツ人科学者には、例えば、エネルギー保存則ではマイヤー、クラウジウス、気体分子運動論ではボルツマン、電磁気学・電気化学ではウェーバー、ヒットルフ、ヘルムホルツ、オストワルド、ヘルツ、ネルンストの名が挙げられよう。

22) 天野清, 「物理学の現実的基礎」『科学史論』, 日本科学社, 1948年, pp. 164-177。

線発生装置と霧箱と立体写真機、それに入れる乾板、霧箱内を照射するタングステン爆発装置があり、X線を均質な束にする鉛板や管が目につくのである”と述べた上で、“これらすべてはそれぞれ通常の意味での器械であるが、この実験の目的に従って統一され、X線束や二次電子の直観的な空間配置を予想して適当な幾何学的配置にある。実験を遂行するにはX線の交流電源やその他のスイッチを入れればよい”と記している。

この天野の記述は、殊に“実験の目的に従って統一され”の記述に示されるように、基本的に筆者の特徴づける実験手段の発達の見方に近い認識が見られる。すなわち、筆者が指摘する、実験手段そのものの目的が実現できるようにそれ自身を一つの系として成立させるという、実験手段そのものの技術性、ならびにその実験手段の現代的特質としての装置＝測定系の電氣的つながりを想定しているようにも見える。とはいうものの、天野の記述はそれが視覚的視野に入った限りにおいて直観的に捉えたものであって、その域を出ていない。

というのは、19世紀の実験、その手段の発展について概括すれば、次のように特徴付けられるからである。熱・電気・磁気・光といった物理学的諸運動形態の相互転化を検出・測定する原理、および装置＝測定手段の要素が産業革命期を画期として登場し、力学的・光学的対象をこえた、より広範な対象をとらえた。しかし、それはまだマクロスコピックなレベルの熱や電気、磁気、化学反応をとらえたにすぎなかった。こうした段階とは異なる新段階を築いたのは、19世紀末の電氣的につながれた装置＝測定手段の体系化であった。ミクロスコピックな対象を捕捉する各種の装置機器、および変換器＝電気回路＝指示器の測定機器が出現した。自然に対して能動的にふるまう実験手段体系としての技術性は、ここに至って明確な姿を取って立ち現れてきたのである。このような分析的認識には到っていない。なお、変換器というのは熱や電気、磁気、光などの運動形態(エネルギー)を電氣的形態に変換する機器(センサー)、電気回路は変換器と指示器をつなぐ配線、指示器はたとえば電流計に見られるように電氣量を指針などで視覚的に表示する機器のことである。

しばしば電子は放電管の真空の中に見出されたといわれる。たしかに放電管の存在は重要ではある。だが、それが他の実験手段要素と連携して電子を検出できるような段階へと高められなければ、電子は発見できなかったのである。その意味で電氣的に結びつけられた装置・測定手段の体系化がここに成立したことが結節点なのである。ここに、なぜ19世紀末から20世紀初頭にかけて新しい物理学を生み出した、数々の実験的諸発見が可能となったのか、その根拠を見出すことができる。

ここでなお留意しなければならないことは次の点である。たしかに測定手段による一定の形式・標準に照らした観察や観測なしに対象とする自然の情報を得ることはできないが、科学実験とは単にそのような観察や観測による定量化、精密化といったことだけで特徴づけられるものではない。しかるべき装置手段を自然との間に介在させ、その実験装置内の自然の物理的状

態を人為的に設定もしくは改変するということなしに、ことに人間の感覚的能力をこえた自然界、すなわちミクロスコピックな対象を捕捉することはできない。

原子物理学実験の要はミクロスコピックな粒子の相互作用をいかに認識できるようにマクロスコピックに浮き立たせるかにあり、電氣的に結びつけられた装置＝測定手段はこれを実現した。電子発見の装置となった放電管のみならず、本論文で分析した Compton 効果発見の要としての X 線管も同様である。また、放射線の測定のために E. Rutherford と J. W. Geiger が製作した計数管は、 $\alpha$  粒子の作用をそれによって引き起こされる気体の電離作用を測定することで、すなわちミクロスコピックな物質の運動形態をマクロスコピックな電氣的連動形態、すなわち電離倍増効果という相対的に新しい運動形態を媒介してとらえるものであった。

科学は技術を通して自然につながるということは、技術が提起する、あるいは技術によって捕捉された問題を解くことによって自然の構造なり法則を明らかにしえるのだという原則的理解を指している。とはいえ、筆者が指摘したいその理解は、科学実験が科学（理論）の提起する課題を解き明かすために、実験手段を一つの緊密な系としてしつらえることで、目的とする自然をとらえられるということなのである。いいかえれば、科学は基本的には生産的（社会的）実践を基礎とし、それを介して自然と結びつくのであるが、科学は独自に科学的実践であるところの、理論活動の一環としての実験を遂行し、実験手段を介して自然を捕捉するのである。ここに理論物理、実験物理といわれている、理論科学部門に対する実験科学部門の独自の役割、その分化の問題が横たわっている。

## (2) 科学実験手段の能動性・独自性をめぐって

### －装置系の登場と実験手段の生産技術からの相対的独立性－

次に、科学的認識における実験手段の設定の意味、すなわち実験手段の 20 世紀展開ともいふべき装置系の登場やこれら実験手段の生産技術との関係、科学的認識に対する科学実験手段の側からの能動性の問題についてコメントしておきたい。

かつて宮下晋吉は、“一般に自然科学は技術を通して自然を反映し、一方で技術が社会と連なるのであるが、実験はとくに物質の運動形態を反映し、一方で、生産技術との相互関連の中で、実験技術が社会と連なる”<sup>23)</sup>ものだとして、科学と実験、実験技術、生産技術を位置づけた。このような実験と実験技術との位置づけに賛同するとしても、こうした議論だけで実験と実験技術の科学史が尽くされるものではない。論ずべきは「科学史と技術史の統一」を視野に、科学実験をどのように具体的場面をとらえ、より一層踏み込んで叙述するかにある。

ここでの宮下の論議は、上記の実験技術といった用語にも見られるように、実験と実験技術

23) 宮下晋吉, 「X線の発見と実験・技術・社会」, 『科学史研究』No. 143-45, 1982-83年。

を技術史・技術論の枠組みに引きつけて分析している。たしかに実験手段を基礎づける真空技術、電気計測技術などが独占資本主義期の電力技術の発展を契機に一新される。しかし、これは生産技術における技術の発展を特徴づけたものであって、それがそのまま科学実験における実験手段の発展を特徴づけたものにはならない。

実験手段は生産技術に基礎づけられながらも科学の枠組みの中で理解されるべきものである。たとえば原子物理学における実験手段の技術は、マクロスコピックな物質の運動形態を媒介にして、ミクロスコピックな自然の運動形態の実験対象たる特異性をもつ実体を直接的にとらまえるところの、科学実験手段系のうちの観測対象を出現させる装置機器（放電管、電離箱、X線管など）内部の環境状態を能動的に設定する装置手段と、ならびにそれらのミクロスコピックな自然の運動形態の特異性を検出するために電氣的運動形態を媒介にして、これを視覚的に感知しえる機械的に表示する計測手段（変換器＝回路＝指示器）とで構成される。そうではあるが、これらの二つの実験手段が新たに開発された様々な生産技術を駆使しつつも、実験目的に応じて科学実験機器を相対的に独立させて製作し実験の場面で作動させることで、原子物理学は数々の実験を基礎に多くの成果を生み出したのだ<sup>24)</sup>。

もう一点、注意しなければならないのは、次のような歴史が示す局面である。事例を上げるとするならば、X線管技術はいつどのように成立したのかという局面をどう規定するかということである。少なくとも W. Röntgen が最初に X線を発見したとき、X線を発生する装置は放電管（真空管）であって、X線管として造られたいわゆる X線管というものではない。実に放電管は当時の生産技術を基礎として製作されたもので、このような経緯を踏まえれば X線管の起源は放電管を用いて X線を発見した科学実験にあるという限りの事柄として理解すべきである。

また Röntgen の発見をうけて、企業内研究所を設けた電気メーカーによって、当時めざましく成長してきた支配的製品技術としての白熱電球の改良、それにとまなう電球の管球内部を対象とした科学実験を参考に、X線管としては端緒についたばかりの X線管内部の高真空下の状態を科学的に分析し、性能のすぐれた X線管をつくり上げていった。こうした改良の延長線上に、例えば Compton 効果の発見もあった。すなわち、GE 社から科学実験用に特別に造られた X線管が提供され、これが Compton によって用いられ、ノーベル賞につながる研究成果へと結びついていったことに留意する必要がある。

要するに、X線管は 1910 年代において白熱電球や電子管などが管球に関わる新たな生産技術の後押しをうけて急速に改良されていったが、同様に共通する技術的基礎の上で X線管も医療検査用に効果的なものが造られる一方、Compton 効果の発見を可能にする高性能な科学

24) 戸坂潤、「実験及び技術」、『全集第三巻』勁草書房、1966年、pp. 280-298。



実験用の X 線管も造られたのである。この経緯をどう評価するのか。すなわち、X 線管は管球技術の中でどのように発達していったのか、このことも検証する必要があるが、一方でまた、それが X 線発生科学装置として科学実験固有の目的・設計に即してどのようにしつらえられていったかということ、前述とは区別して見定める必要があろう。

いうならば、実験手段の生産技術からの相対的独自性を的確に理解しなくてはならない。科学実験はその固有の目的・設計にしたがい、生産技術から実験観測装置、もしくはその装置要素（部品）を供与され、これを一つの実験観測手段の系としてしつらえるのである。前者の実験観測装置（たとえば、科学観測用の電子顕微鏡、電波望遠鏡など）を供与される場合は、それ自体についていえば、装置の加工・組立も含め生産技術に依存しているが、多くの場合、その他のいくつかの装置との連携なしに科学観測を完遂することはできない。また、装置を稼働させるには、運転のみならず補修も不可欠である。さらには対象となる観察試料の研究目的に即した加工も必要であろう。なお、このような X 線管の場合とは異なるが、望遠鏡で天文観測をおこない目的の対象をとらえるには、その特異な姿をとらえるには宇宙そのものがある種の装置なのであることから、季節・時間、望遠鏡自体の設置場所も含め考慮しなくてはならないことを付記しておく。

ところで、装置要素が供与される場合は、科学実験の側において加工・組立、もしくは生産技術から提供された材料をもとにして加工・組立がおこなわれており、科学実験の側において装置が自前で開発される。前者の場合はどうだろうか。この場合にしても、装置製作の契約にともないメーカーへの装置設計の指示（装置開発における科学実験の側からの働きかけ）がおこなわれるのが一般的であろう。一般的と言ったのは、設計情報があればできるというものではないからである。科学実験装置の出来映えは生産技術を保有する企業の側の加工・組立技術の水準、材料技術の水準に依存するからである。また、仮に装置が出来上がったにせよ、科学実験はみずからの目的・設計にしたがい、その装置をわがものとし、ときにはより高度な水準の観測・実験手段の系を生み出し、科学者に提供することが欠かせない。

なお、電子管も X 線管とはほぼ同時期（1910 年代半ば以降）に確かな機能を持ったものとして成立した。さらに付け加えるならば、ベル研における電子の波動性の検証は電子管そのものの技術のみならず、その電子管技術の粋を結集したもので、ベル研という研究機関（研究制度）なしにありえなかったといえよう。

## 6. まとめにかえて

—現代物理科学を事例とした最近の科学史的ならびに科学哲学的研究についての検討—

なお、本論文の研究課題との関連で、科学者による実験と実験室での知識生産を社会的文化的解釈においておこなう、科学史的研究が近年話題となっており、これらについて最後にコメ

ントしておきたい。

これらの研究はこれまでの科学史研究が科学の成果としての理論を軸に論ずることに傾斜していたことに対して、科学者の実際の研究活動を基盤としてその展開をとらえようとするものである。

その第一は、たとえば Bruno Latour の所論で、科学者は自然自体に向かい合っているというよりは、文献収集やその理解、論文執筆であって実験室においても観測記録やその数値処理などに対処することが主要なことで、科学者の行為を中心にすえて捉えようとする。つまり科学者はそうした活動に取り組むことでどれだけ自分の研究テーマを「事実らしさ」をもって表明しうるかということに努めているのだとして、このような「事実の社会的構成」にこそ科学者の行為の本質があるのだという<sup>25)</sup>。

また、Knorr-Cetina は、研究活動の社会的条件（広く社会的ネットワークも含む）や実験的技法などを首尾よく選択し整えていく蓄積過程を見返し、得られた選択結果から改めて再構成することで科学の規準や方法を作り直していく営みに科学の本質を見出そうとしている<sup>26)</sup>。

これらの二者の科学のとらえ方は多少異なるが、どちらも科学者の日常的な研究活動を対象とし、科学というものは実験室内外の諸要素の影響下にある人工的に構成された空間において自然的世界に介入することで捉えられたものであるとするものもある。

どちらにしても、これらの所論は科学者の活動の中に科学展開の本質を追跡しようとする、いわゆる社会的構成主義の立場に立つものである。なおいえば、科学的発見によって「成功」に導かれるとはいっても、客観的な自然の法則性に関する認識は社会的選択によつて的確にとらえられているとの立場をとる。

これらの社会的構成主義の相対主義的な見方とは異なる所論もある。その代表的なものが P. Galison の『*image & logic*』である。Galison は、科学的実践を理論と実験、装置の三つの構成部分でとらえて、高エネルギー物理学を事例に科学発展のダイナミズムを分析する。すなわち固有の特性をもった装置を類別して、霧箱に象徴されるように（蒸気の凝結作用を用いて）荷電粒子の飛跡を目に見える形で捕捉するイメージ派と、ガイガーカウンターに象徴されるように（放射線が通過すると管内の不活性ガスが電離され、陰極と陽極の間にパルス電流が流れる）その通電回数で粒子の数を計測するロジック派、その両者がやがてトレーディングゾーンにおいて融合することで新しい実験科学が展開するのだとして、サイクロトロンなどを用いた高エネルギー

25) ブルーノ・ラトゥール著（川崎勝・平川秀幸訳）『科学論の实在』、産業図書、2007年；Bruno Latour & Steve Woolgar, *Laboratory life: the construction of scientific facts*, Princeton University Press, 1986.

26) Karin D. Knorr-Cetina, *The manufacture of knowledge: an essay on the constructivist and contextual nature of science*, Pergamon Press, 1981.

金森修・中島秀人編著、『科学論の現在』、剋草書房、2002年。

ギー物理学の歴史を叙述する<sup>27)</sup>。

この Galison の見方は本論文に直接的に関わる点を持ち、その点についてコメントしておこう。問題は上述の科学的実践というカテゴリーの範疇をどう整理するのかということにある。Galison が二つの学派に類別した装置は観測用の検出装置であって、そこには高エネルギー粒子を創成する装置やその他の装置は入っていない。確かに実験研究の流れをこのように類別することができるが、はたしてそれだけで事足りるものなのだろうか。たとえば、ガイガーカウンターにしても、確かにその機能は計数にあるが、Geiger らの研究のプロセスでは単に  $\alpha$  粒子の数を計測しただけではない。彼らはカウンターの機能を考察する中で特異な軌跡をもつ  $\alpha$  粒子の存在に気がつき、そこから  $\alpha$  粒子の反跳実験へと向かい、これをカウンターで検出することで、原子核の存在へと辿り着いていった。という顛末を考えると、単純にイメージ派とかロジック派というように類別するのが必ずしも適切とはいえない。

なお、量子論の概念・理論形式などの全般的な理論的部面に光を当てて、その成立・発展過程について歴史的にまとめた M. Jammer<sup>28)</sup>、J. Mehra & H. Rechenberg<sup>29)</sup> のものもあり、最後にコメントしておきたい。

これらの研究は有意義なものであるが、20 世紀における一般科学技術史的研究としては十分なものとはいえない。というのも前者は個別的な研究分野の学説史的な研究分析にとどまり、後者については量子論分野について広く分析しているとはいえ、その個別分野の通史的な分析にとどまっている。

また、L. M. Brown, A. Pais, B. Pippard 編集の『20 世紀の物理学』の第一巻には B. Pippard による“第一章 1900 年当時の物理学”や A. Pais による“第二章 原子と原子核の導入”の章において、総体的な展開が記されている。けれども、それは歴史的要因を考察するというよりは節目となる科学的発見のトピック的な事実関係の記述が主となっている<sup>30)</sup>。

筆者が本論で目的としたことは、科学史的事例としては 20 世紀の第一四半世紀の原子物理学分野に、また技術史的事例としては主として電気技術分野にかかることで、そこでの科学研究の進展とそれと切り結んだ技術の開発研究、ならびにそれら両者の相互交渉の展開を分析し、その 20 世紀的展開の特質とはどのようなものなのかをとらえることにある。ここに「20 世紀

27) P. Galison, *image & logic*, The University of Chicago Press, 1997.

I. Hacking, “The Self-Vindication of the Laboratory Science”, A. Pickering, *Science as Practice and Culture*, The University of Chicago Press, 1992.

28) M. Jammer, *The Conceptual Development of quantum Mechanics*, McGraw-Hill, 1966; (邦訳書) 小出昭一郎訳, 量子力学史 1, 2, 東京図書, 1974 年。

29) Jagdish Mehra & Helmut Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, Springer-Verlag, 1982-1987.

30) L. M. Brown, A. Pais, B. Pippard (ed. By), *Twentieth Century Physics*, 1995; (邦訳) 『20 世紀の物理学』丸善, 1999 年, pp. 1-46, 47-109.

的展開」と記したが、先の Brown & Pais, Pippard らの『20 世紀の物理学』も同様に、こうした表現が歴史的に見てよりの確なのか、よく考えてみる必要がある。単に時期は明示しているけれども便宜的ともいえるもので、内容的な特徴付けはこのような表現では示されない。

なお、この小論は科学的認識の現代的な展開、そのメカニズムについて論じたもので、科学的認識といっても、その認識は工学を含む自然科学分野を対象としたもので、人文・社会科学分野を対象とした現代的展開のメカニズムの問題は、基本的に別の範疇の問題であることを断っておく。