

19世紀欧米主要国における自然科学の展開と科学史の方法

高橋 智子

自然科学は「普遍性」あるいは「国際性」を持つことから、その歴史的研究は様々な国に所属する研究者の存在の仕方を捨象した「学説史」として行われてきた。その一方で科学の研究制度や科学者の職業化・組織化など科学や科学者の存在の仕方に起因する問題は、「学説史」に納まりきらないために「科学の社会史」として研究され、学説史の展開とは異なり、国による違いに目を向けた国家間の比較検討を中心に行われてきた。

また自然科学の展開と技術との連関は、多くの論者が指摘してきたにも関わらず、「学説史」にも「科学の社会史」にも納まりきらないものであった。だから産業革命期に出現した科学と技術の明瞭な関係は、一般的な関係として指摘されるか、あるいは個別的問題として論じられるに留まってきた。個別的問題としては、例えば熱学と蒸気機関、電磁気学と通信技術との関係などがその典型である。

自然科学の展開は「普遍性」、「国際性」を持ちながら、科学や科学者の存在の仕方や技術の展開は明らかに国によって異なる。しかし、こうした問題をばらばらに語るのではなく、どのように結びつけて理解するのが現在問われていると考える。この小論では、ばらばらに語る大きな問題であることを指摘し、よく知られた19世紀の科学史的・技術史的展開を欧米主要国の技術発達、工業生産の展開と関連づけて考察する。

I 欧米主要国における技術の進展状況について

はじめに欧米主要国における19世紀の工業の展開と新技術登場の関係について検討し、その特徴を概観しておく。

1. 工業の展開

繊維工業、石炭産業、鉄鋼業は産業革命の中核を形成した⁽¹⁾とはよくいわれることなので、図1にイギリス、ドイツ、フランス、アメリカ各国の石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄・鉄鋼生産高を示した。19世紀全体を通覧しうる整合性のある各国別鉱工業統計はないので、ここではメンデリソンのデータを採用した⁽²⁾。また、クチンスキーのデータから世界に占める欧米主要国の工業生産高の割合を図2に示した⁽³⁾。これらのデータから、ここでは以下のことを確認しておく。

まず当然のことではあるが、図1から見て取れるように、イギリスだけが産業革命期にあった

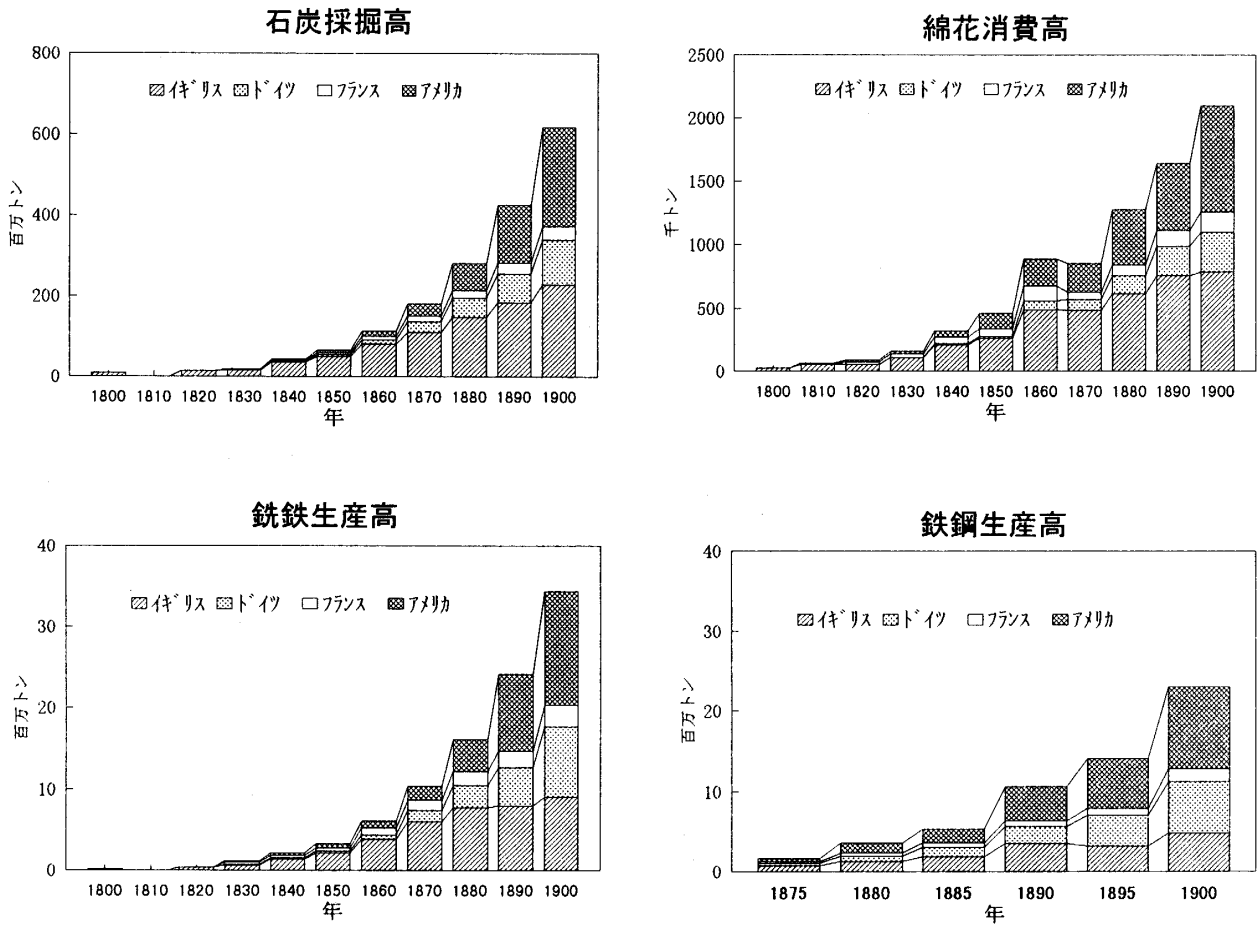


図1 欧米主要国における工業生産の展開

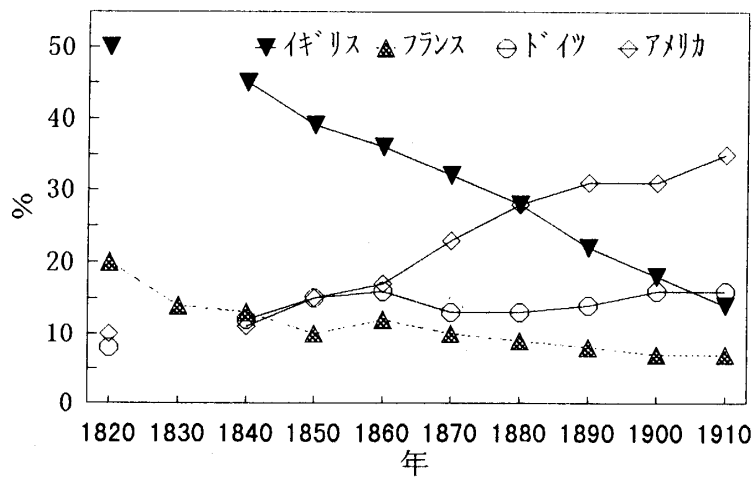


図2 世界に占める欧米主要国の工業生産高の割合

1830年以前、石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高などの絶対量は、19世紀末に比較すれば痕跡程度の規模であった。フランス、ドイツ、アメリカ等が相次いで産業革命期を迎えるとともに、これらの絶対量は急激に増大するが、イギリスは石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高ともに1870年代まで世界トップの座を守っており、一国で50%以上を占めるという圧倒的に優位な生産力基盤の上に立っていたことが了解される⁽⁴⁾。

図2によれば、1880年アメリカは世界に占める工業生産高の割合でイギリスに肩を並べるものの、石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高ではようやくイギリスの1850～60年代のレベルに達していたに過ぎない。また1880年代のドイツは、石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高でみればイギリスのそれぞれ1860年代、1830年代、1860年代の水準に達した程度であり、フランスの場合は石炭採掘高ではイギリスの1830年代、綿花消費高では1820年代、銑鉄生産高でも1840年代の水準でしかなかったのである。

図1、2は、よく知られるように、1830年～1870年までイギリスは「世界の工場」としての役割を持ち、一方フランス、ドイツ、アメリカは基本的にイギリスに対する食糧や工業原料の供給国としての役割を持たされていたという、これまでの見解⁽⁵⁾⁽⁶⁾を支持するものといえる。

1870年代以降もイギリスの石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高は一貫して増加の傾向を示す。しかし米・独・仏3国のこれら3品目の合計は1880年代にイギリスを凌駕しはじめ、1900年にいたって、アメリカ一国のみでイギリスを凌駕することになる。ついでドイツがイギリスに接近するが、世界に占める工業生産高の割合でドイツがイギリスのそれを凌駕するのは20世紀に入ってからで、1910年代のことになる。一方、フランスの工業生産高がイギリスのそれを凌駕することはなく、世界に占める工業生産高の割合では1840年代にすでにドイツ、アメリカに追い抜かれている。しかし石炭採掘高、綿花消費高、銑鉄生産高でフランスがドイツに追い抜かれるのは1870年代になってからであった。

このようにして見ると、よく言われる19世紀末のイギリスの「衰退」は、イギリスに続いた各国の産業革命の過程で上昇をみた工業生産高がイギリスのそれを遥かに上回るテンポで進められた結果による、相対的な地位の低下に過ぎなかったともいえる⁽⁷⁾。

しかしその一方で、銑鉄生産高はともかくも、鉄鋼生産高でははじめからアメリカが世界のトップであり、次いでドイツであるように、1870年代以降、そもそもイギリスの優位が確立されない工業部門が登場している。そうした工業部門として、アメリカの電機機械工業やドイツの染料工業を中心とする有機化学工業は代表的事例であり、鉄鋼生産とともに、アメリカとドイツが世界をリードする「国際的な分業体制」が出現してもいる⁽⁸⁾。

2. 新技術の登場

図3は19世紀に登場した新技術の件数を国別かつ技術部門別に示したものである⁽⁹⁾。

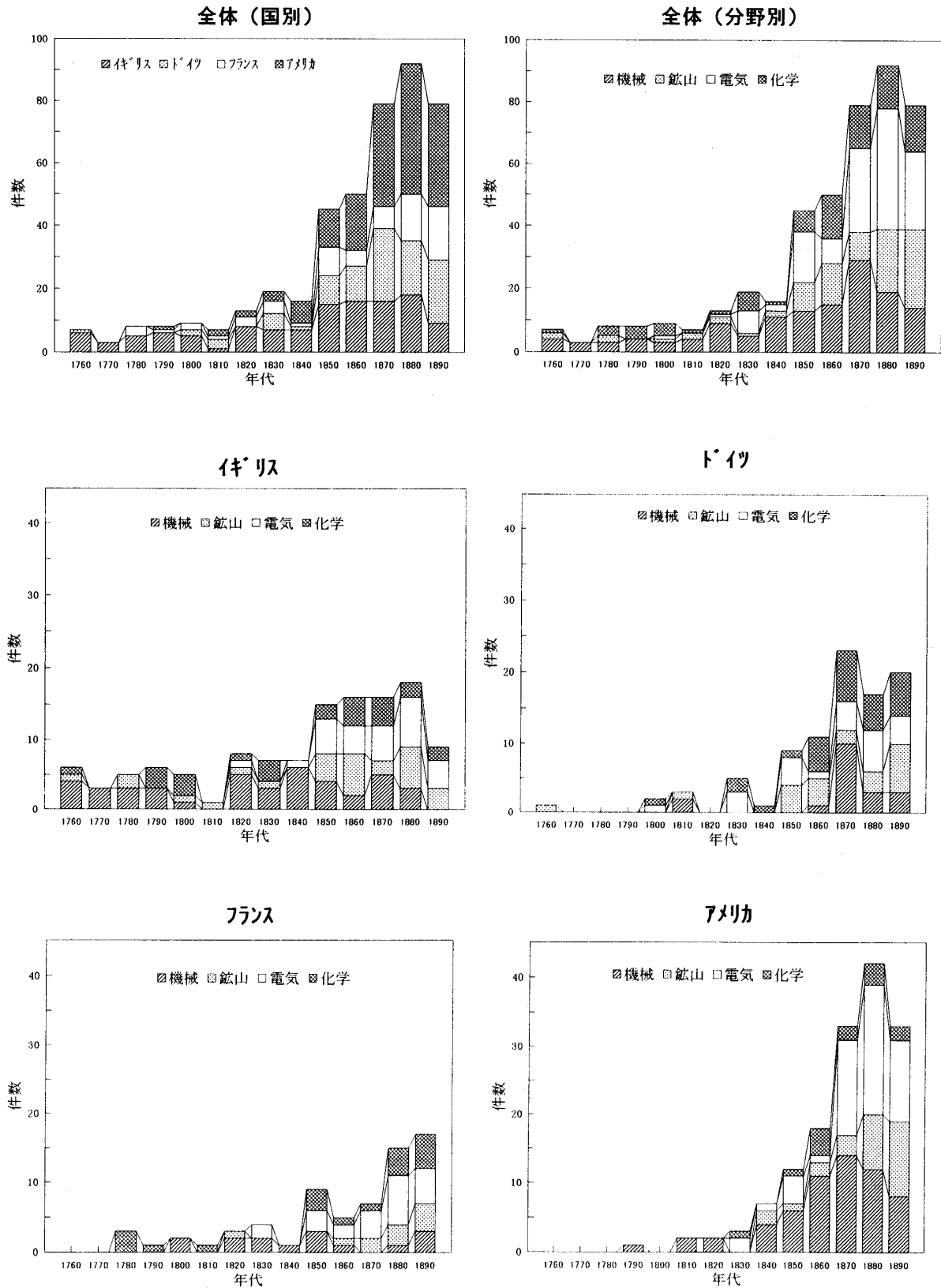


図3 欧米主要国における新技術の登場件数

ここでいう機械技術には工作機械、原動機、繊維機械などのほかにミシンやタイプライター、印刷機などを含む。鉱山技術には製鉄技術、冶金技術、削岩機などの鉱山機械のほか石油や鉱石の発見などを含む。電気技術には電池、電信機、電動機、発電機技術や電気照明技術のほか電信線の敷設や発電所の運転開始などを含む。化学技術には各種化学物質の製造、ガラス技術、染料、合成繊維のほか写真フィルムの発明などを含み、厳密な定義による技術部門別とはいえないが、大体の傾向を知りうるものとする。

図3の国別、分野別に示した全体の新技术登場の件数は、図1の各種工業生産高と同様に急激に増大していることが知れる。しかし、各国全体、各分野全体の新技术登場件数は、一様に増大しているわけではなく、各国、各分野ともに増減を繰り返している。また各国の新技术登場件数はいずれの国も1850年代を画期としているが、1870年代アメリカの著しい成長を除けば、1850年代以降、英・仏・独の間に大きな較差はない。しかも分野別に比較すれば、1870年代以降アメリカは、電気、機械分野の新技术登場件数では他を圧倒しているが、化学分野ではドイツ、フランスに及ばない状況であった。

(1) 先の図2によれば、相対的にはイギリスの長期低落傾向、フランスの低迷、ドイツの慢性化、アメリカの1870年代からの急成長は明確であるが、図3の各国別新技术登場件数の推移と明確な相関関係を読みとることはアメリカを除いて困難である。つまり、19世紀にあつては、新技术の登場がその国の工業生産高を一対一対応的に一挙に押し上げるという、今日よく見られるような関係には必ずしもなっていないのである。ここから、革新的な技術を登場させた国で、その技術を実際に使った工業部門が展開されるとは限らないこと、あるいは工業部門の技術革新は、その工業がもっとも大規模に展開されている国で登場するとは限らないことが推測される。

ここでは、実際によく知られた具体的事例として、近代的な熔鋼技術の登場と鉄鋼業の展開の関係について触れる。

周知のように近代的な熔鋼法は、イギリスで1855年にベッセマー転炉法として、1864年にはフランスでマルタン平炉製鋼法として登場した。さらに1877年、鉄鋼を脆弱にするリンを除去するためのトーマス法がイギリスで登場した。しかしベッセマー転炉法を導入して鉄鋼生産を飛躍的に増大させたのはアメリカであり、トーマス法を導入して鉄鋼生産でアメリカに迫ったのはドイツだったのである⁽¹⁰⁾。すなわち、コークス製鉄—パドル法の技術体系を整備し、鉄鋼生産で世界をリードしていたイギリスは、新たに登場した熔鋼法を積極的に活かすことができなかったのであり、一方で鉄鋼・鉄鋼生産ともにもっとも規模が小さかったフランスで、近代的な熔鋼法の一つが登場したのである。

このイギリスの事例からも明らかなように、どのような生産手段体系つまり技術によって生産を行うのかという産業における技術選択の問題は、当然ながら当該時代の技術水準にまず制約されるが、必ずしも最新技術が選択されるとは限らないのであって、実際の選択では、生産の目的や見通

し、資本の大きさや市場の成熟度合い、それ以前の資本投下の状況など、その技術を選択する側の社会的・経済的な枠組みによって制約される⁽¹¹⁾のである。一方フランスのマルタン平炉熔鋼法の登場については、フランスのレオミュール以来の熔鋼製造についての理論的研究の歴史がその背景にあったことが指摘されている⁽¹²⁾ように、近代的な熔鋼法の確立は、冶金や化学反応理論、また熱理論など、経験的知識からでは不可能な科学的な研究を必要とする理論的課題の解決を必要としたのであり、そこでは実際の工業生産の規模ではなく、むしろ技術上の課題が理論的に導き出されていたところに新技術の登場を可能にする条件があったといえる。

(2) さて、図3の各国別グラフからは、イギリスの産業革命期に当たる1760年代～1830年代まで、イギリスは安定した新技術創出国であり、フランスがわずかにそれに続き、ドイツが時折いくつかの新技術を登場させていたことが知れる。そこで元のデータから具体的にこの様子を見ておく。

この70年間の新技術の登場件数は、全件数55件の内34件をイギリスが占め、しかも機械技術部門が19件ともっとも多くなっている。イギリスが「世界の工場」となるべく技術的基盤をこの期間に独創的に確立していたことを示すものといえる。

周知のようにイギリスの産業革命は綿工業の機械化を基軸に展開された。1764年のハーグリーブスのジェニー紡績機をはじめアークライトの水力紡績機（1769年）、クロンプトンのミュール紡績機（1779年）、カートライトの力織機（1785年）など、一連の繊維機械が登場するが、イギリスの綿花消費高からもわかるように、こうした技術革新がすぐに工業の膨張をもたらしたわけではない。革新的な技術が現実に工場で使われるためには、まだまだ多くの改良を必要とし、また機械運転用の原動機の登場、さらに機械を製造するための手段の獲得、つまり工作機械工業の成立を必要とした。他に先駆けて産業革命を迎えたイギリスは、こうしたすべてをいわば自前で揃えなければならなかったといえる。

鉱山などの揚水用原動機でしかなかった蒸気機関が、工場の機械運転用原動機となるのは、1781年ワットの回転蒸気機関が登場してからであり、実際に綿紡績工場で蒸気機関が使われたのは1787年であった⁽¹³⁾。1775年ウィルキンソンの蒸気機関シリンダー用中ぐり盤の登場が蒸気機関の改良に大きな役割を果たしたように、蒸気機関の登場は金属加工用工作機械の開発を促した。1797年モーズレーの送り台付き金属加工用旋盤、1817年ロバーツの平削り盤、1825年クレメントの平削り盤、1829年ナズミスの自動ナット・フライス盤などが相次いで登場し、今日使用されている工作機械の大部分が19世紀中頃までに登場した⁽¹⁴⁾。さらに専門工作機械の出現は、蒸気機関や繊維機械などの標準化による量産を可能にし、その過程で計測機器、ゲージ、型取り工具などが使用され、流れ作業生産に似た体制を作り上げてもある⁽¹⁵⁾。1796年に開業したボルトン＝ワット商会のソホウ鋳造所はそうしたもっとも初期の例である⁽¹⁶⁾。さらにいえば、ソホウ鋳造所やモーズレーの工場は新たな機械工の養成所ともなり、多くの機械技術者を育て、鉄道敷設をはじめ各種生産機械の製作に必要な人材を供給した⁽¹⁷⁾。

イギリス人職工の海外移住は1825年までは禁止され、また繊維機械など重要と考えられた型の機械は、部品や設計図も含めて1842年までは輸出を禁止された⁽¹⁸⁾。それでも1825年には、ヨーロッパ大陸で働くイギリス人熟練労働者の数は2,000人を越えていたともいわれ、人的交流が技術的知識の普及に一定の役割を果たしたことが知られる⁽¹⁹⁾。

(3) 図3の各国別新技術の登場件数の1830年代以降の特徴は、イギリスのレベルをあげた形での安定化とアメリカの急増である。これを(2)と同様に元のデータで見よう。

1830年～1870年までの40年間に登場した新技術の件数は130件とそれ以前の期間の2倍以上になる。しかも機械工業をはじめ、化学工業、電気機械工業など新しい産業部門の登場を反映した新技術が数多く登場した。国別に見れば英45件、仏19件、独26件、米40件と全体でイギリスがトップであることに変わりはないが、その較差はそれ以前よりも小さい。アメリカはそれ以前の8倍、ドイツは4倍強と急激に件数を伸ばし、しかも機械技術部門ではアメリカが21件でイギリスの15件を上回り、化学部門ではドイツが9件でイギリスに並んだ。アメリカはイギリスによく似た構成を持ったが、ドイツは機械技術部門が1件とこの部門の弱さが目立つ。分野別では電気部門は2件から33件、鉱山・冶金部門が9件から25件と大きく伸びており、この2部門はイギリスがリードした。

この期間、イギリスは「世界の工場」または「世界の製鉄所」といわれるが、イギリスから鉄といっしょに大量の技術者、労働者がヨーロッパ大陸、またはアメリカに派遣され、鉄道の敷設や技術指導を行ったことが知られる⁽²⁰⁾。

さらに1870年から1900年までの30年間をみれば、ドイツ、フランスの追い上げ、またアメリカの電気技術部門の急成長を特徴としている。この期間に登場した新技術の件数はそれ以前の約2倍の250件である。国別では英43件、仏39件、独60件、米108件であり、アメリカは機械、鉱山・冶金、電気の3部門で、ドイツは化学部門でトップとなる。ドイツは工作機械技術では1860年代になるまでイギリス技術者の力を必要とした⁽²¹⁾といわれるが、ここにきてようやく機械部門でも新技術の登場を見ることになる。一方でイギリスは機械技術部門の件数が半分に減り、結果的に合計件数を減らした。

(4) 電気技術は、多少なりともその分野の科学的知識がなければ開発そのものが難しい技術といわれるが、1831年～1870年を見ればイギリス10件、ドイツ7件、フランスとアメリカがそれぞれ8件と、その新技術は、各国でほぼ同様な件数で登場した。

また具体的に技術内容を見れば⁽²²⁾、1833年(独)ガウス、ウェーバーの電磁式電信機、37年(米)モールスの自記式電信機、43年(英)ホイットストーンのホイットストーン・ブリッジ、51年英・仏、カレー～ドーヴァー間海底ケーブル敷設、55年(英)ケルヴィンの海底ケーブル電流波形の解析、65年欧州の国際電信条約成立、66年大西洋横断海底電信線の敷設完了など、電気技術の中心は有線電信技術であった。これらを構成する電源の電池、ケーブルの銅や絶縁体、信号をつくり出すスイッチ回路、微弱電流の増幅装置などは、機械技術に依存するというよりは、電気化学理論や回路理論、

物質の電気的特性など理論的な問題を多く抱えていた。したがって技術の展開ではイギリスのケルヴィンのように科学者が指導権を握っていたのであり、その過程で電気工学や電気技術者が誕生していった⁽²³⁾。

1870年代以降になると電気技術の中心は照明・電力技術へと展開した⁽²⁴⁾、発電機によるアーク燈の点灯は1870年代に各国ではじまり、1873年のウィーン万国博ではベルギーのグラムによって発電機が同時に電動機にもなり得ることが示され、1882年のミュンヘン電気博覧会ではフランスの物理学者デュプレによって距離57kmの直流送電の実験が行われた。さらに1891年、フランクフルト・アム・マインで開かれた万国電気博覧会でドイツ AEG 社のロシア人技師ドリヴォ・ドブロウオリスキーが三相交流による170kmの送電実験を77%の効率で成功させた。これ以後、蒸気動力に変わる工場用動力としての電力利用は本格化する。この照明・電力技術部門での活動は、もはや大学の科学者ではなく、エジソンのような企業家やドリヴォ・ドブロウオリスキーのように電気機器メーカーに雇われた技術者たちによって行われた。アメリカでは1886年 W H 社、1892年 G E 社が設立され、G E は1900年に企業内研究所を設立している。

II 欧米主要国における科学の研究状況

ここでは各国における自然科学の研究状況を概観する。図4に英・仏・独・米における自然科学の研究状況を分野別に示した⁽²⁵⁾。もとよりこうした欧米主要国以外にも多くの国の科学者がこの時代に活躍しているが、ここでの議論は基本的に4カ国に限定した。

(1) 図4の全体(分野別)で見ると自然科学のいずれの分野(数学、物理学、化学、生物学、地学)でも、その規模においては相違するものの、ほぼ同じような割合で増大したことがわかる。これは図3の全体(分野別)における各技術分野(機械、鉱山、電気、化学)の変動がやや大きいのと対照的であり、19世紀自然諸科学が全般的に展開をみせており、自然科学の展開が累積的であることを示している。また、自然科学の各分野が一つの分野で閉じた存在ではなく、相互に内的連関をもちながら発展する一面を示しているといえよう。

自然諸科学の分化と統合の基礎は、自然そのものもつ運動諸形態の区別を反映するとともに、対象の存在様式を理解するための統合化、総合化を不可避とするところにある。図4の全体(数学、物理学、化学、生物学、地学の合計)のグラフから知れるように、統計的にみるならば、それぞれの分野の進展状況は、数学を除いてほぼバランスのとれたものとなっている。科学政策的あるいは科学研究体制的な国家による科学振興は、19世紀初頭のフランスにおけるエコール・ポリテクニック、19世紀末のドイツの国家研究所体制の確立を除けば、「自然発生的」な科学研究に任されていた。

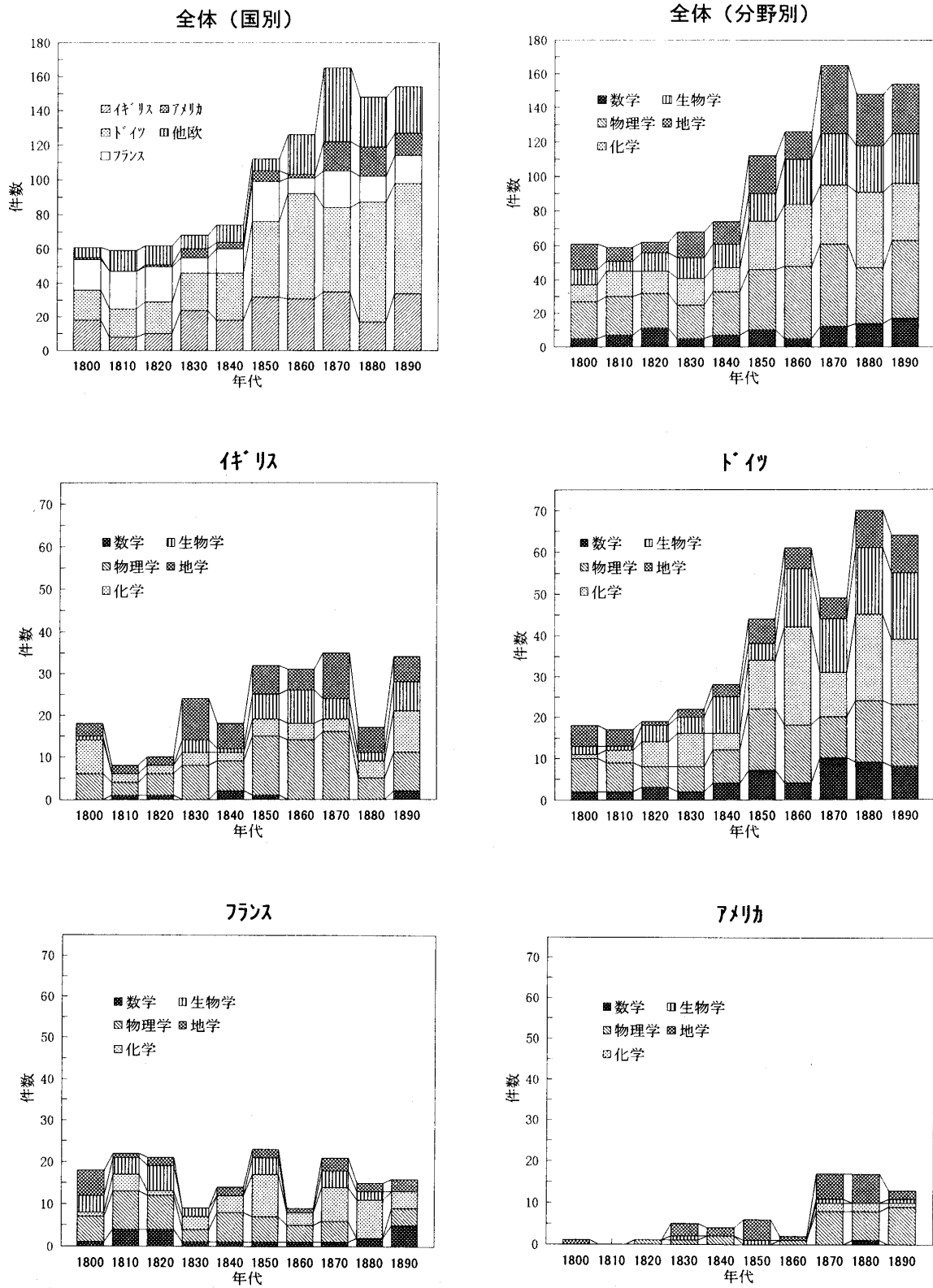


図4 欧米主要国における科学研究状況

またイギリス、ドイツ、フランス、アメリカにおける自然諸科学の展開の総体は結果としてバランスのとれたものになっている。これは物理学的運動諸形態の認識の問題、あるいは化学的、生物学的、地球科学的運動形態が相互に関連し、その区別と総合がなんらかの形で関連しあっているから、人為的・政策的意図が介在しないと、このような特徴が抽出されとも考えられる。

それでは、こうした研究活動の契機となるはずの社会的・経済的諸関係はどのようになっているのだろうか。全体に占める各国の割合をみるなら、先の工業生産高や新技術の登場件数とはかなり状況を異にしていることがわかる。イギリスにおける科学研究を量的に見れば必ずしも世界をリードしているわけではないが、安定した水準を保っている。それはフランスでも同様であった。いわばドイツだけが1850年代以降に突出したのである。また技術部門では突出したアメリカは科学ではきわめて低水準にあった。科学研究活動が必ずしもその国の社会的・経済的基盤に一对一对応するものではなく、国際的な視野からの検討が必要であることが知れる。図からは件数を読み取りにくいので、ここでも元のデータを提示しながら議論を進めよう。

(2) 数学は19世紀を通じて80件、英7件、独51件、仏21件、米1件であり、よく知られるようにドイツの科学者、次いでフランスの科学者を中心とした部門であったことが特徴である。19世紀を通じて数学は、それまでのように天文学や測地学、機械学などの「補助学問」ではなく、「純粋数学」として研究される自立した学問分野を確立したことの反映として、経済的基盤とのかかわりが後退し、抽象性のゆえに思想的諸活動の蓄積が大ききいてきていると考えられる。とはいえ、19世紀の初頭、例えばドイツのガウスに見るように、天体の軌道運動や測地学、地磁気測定などと深く関係したものや⁽²⁶⁾、フランスのフーリエのように熱伝導の問題からフーリエ級数を展開したものの⁽²⁷⁾など、当時、高度な数学的解析を必要とし始めていた天文学や物理学と結びついていたものも多かった。あるいはまたポンスレの「力学教程、機械への応用」やコリオリの「剛体の力学および機械の効率計算概論」など、実際の機械に現れる力の作用を総合的に考察した「応用数学」を論じたものも多い。製鉄業で大きな発展をみせていたイギリスで、熔鋼技術の理論的な課題が解かれなかったと同様に、機械技術や熱機関の理論的な課題の検討が、機械産業の発展していたイギリスではなくフランスで進展したのも数学的学問の特性といえる。

19世紀初頭、数学研究の中心となったのはフランスのエコール・ポリテクニク⁽²⁸⁾であり、その後はドイツのゲッティンゲン大学であったが、数学分野の1800年代、40年代の落ち込みは、フランス革命後のエコール・ポリテクニクの改組(1805年)、ゲッティンゲン大学7教授の罷免(1837年)の時と重なるのであり、そうした研究環境の不安定さが何らかの影響を与えたとも推察される。

物理学は19世紀を通じて261件ともっとも多く、その内訳は英87、独103、仏52、米29である。前半は英・独・仏がほぼ並ぶが、1850年代に英・独がそれ以前の約2倍の件数となり、最後の四半世紀になってアメリカが登場してくる。研究内容でみれば、前半は光と物質との相互作用、電気・磁気、熱の実験的研究が進み、こうした物理的運動諸形態の相互転化性が認識されるとともに、1850

年代にエネルギー保存則が確立された。さらに気体分子運動論や熱輻射論、電磁場と物質との相互作用の問題などが研究され、19世紀末にはいわゆる「古典物理学」の形成を見る。その一方で1870年代頃より、ミクロな物質の運動諸形態にもとづくさまざまな現象が実験によって明らかにされ始め、20世紀の初頭には量子論へと導かれることになる。

化学は19世紀を通じて200件、その内訳は英42件、独106件、仏47件、米5件であるが、このうち148件は1850年以降のものであり、19世紀の後半、とくにドイツを中心に展開された分野であることがわかる。生物学は19世紀を通じて146件、その内訳は英33件、独83件、仏26件、米4件である。地学は19世紀を通じて156件、その内訳は英58件、独49件、仏22件、米27件である。

(3) 図4を先に掲げた図2新技術の登場件数と比較するとアメリカの科学研究活動の件数の少なさがまず目を引く。すでに見てきたようにアメリカでもっとも多いのは物理学の29件であり、そのほとんどは1870年～1900年、アメリカの新技術の登場件数が急増する年代に集中している。具体的にそのいくつかを挙げれば、A. A. Michelsonによる一連の光速度測定やC. P. Steinmetzの磁気履歴現象に関する実験式など精巧な実験装置が不可欠な研究、G. E. Haleの分光写真機、H. A. Rowlandの凹面格子など実験装置そのものの考案、またE. C. Pickeringによる分光連星、E. Barnardによる木星の第5衛星など、当時アメリカが世界に誇ったハーバードやリック天文台の巨大な望遠鏡を駆使した発見と、いずれも高い技術水準を要求される実験装置群に関わるものであった。この点ではまさにこの時代にアメリカがもっていた精密機械技術がものをいったといえる。

一方ドイツは、アメリカとは逆に科学研究の多さが目を引く。19世紀を通じて329件ともっとも多く、特に19世紀後半の件数の伸びは圧倒的に他を引き離している。しかも地学を除くすべての分野で最高の件数であり、それぞれの分野で一定の成果を上げた。技術的・社会的基盤から見れば、イギリスよりはるかに遅れた状況におかれ、むしろアメリカに近かったにも関わらず、こうした科学の展開が見られたのである。

19世紀におけるドイツ科学のこうした「繁栄」は、これまで、この期のドイツにおける研究体制の整備によって説明されてきた。例えば、1825年ギーゼン大学に設置された化学・薬学研究所では、リービヒの指導のもと、実験による化学の体系的な教育が行われた。また各地に技術学校、後の工科大学がつくられ、いち早く科学教育を教育体系の中に組み込んでいった。さらに1887年、各国に先駆けて国立の研究機関、国立物理工学研究所をベルリンに開設したのである。むしろこうした説明は説得的であるが、教育・研究体制というシステムさえつくれば、自動的に豊かな研究成果が現れるというものではない。

こうした教育・研究機関は、そうした制度の整っていない各国の若者・科学者を引きつけ、各国から留学生が押し寄せ、また科学者が研究にくだけの魅力が備わっていなければならない。そして新しいエネルギーが創り出す学問の創造的環境というものを考えなければならない。つまり体制だけではなく、研究者の国際的交流の中心となりえた側面の評価を具体的に検討することが必

要とされる。

Ⅲ 基本的な問題点と課題

1. 19世紀自然科学の展開とその経済的・社会的基盤とのかかわり

以上概観したように、19世紀は物理学、化学、生物学、地学など自然諸科学が成立した時代であった。またこの時代は、世界史的には市民革命と産業革命が同時進行した二重革命の時代⁽²⁹⁾でもあった。この期間にフランス、ドイツ、ロシア、アメリカでも資本主義が進展し、イギリスを中心にした「世界資本主義体制」⁽³⁰⁾が形成された時代ともいわれる。つまり、社会的にも経済的にも大きな変化が起こった時代に、ときを同じくして自然諸科学は成立したのである。そこに歴史的必然性をみるバナールや荒川等の関心は、19世紀科学史を社会的・経済的基盤との関わりで再構成することにあつた⁽³¹⁾。しかし自然諸科学の成立と欧米主要国の資本主義的社会の成立の一致は、必ずしもバナールらがいうように「同一の時代に同一の場所で一緒に成長し開花した」⁽³²⁾わけではなかったことはすでに見た。

またこのことは、各国における市民革命、産業革命の展開状況からみても明らかである。イギリスは1760-1830年、フランスは1830-1860年、ドイツは1840-1875年、アメリカは1860-1880年に産業革命を果たすのであって、ここには大きな「時間的落差」⁽³⁸⁾が存在した。しかも「世界の工場」イギリスの存在を前提に、イギリス以外の国がイギリスと同じ道を通して産業革命を展開し、資本主義生産を発展させることは不可能であった⁽³⁴⁾。一方、市民革命をみれば、イギリス名誉革命は1688年、産業革命に100年近く先だてて行われたが、フランスでは1797年、1830年、1848年とまさに産業革命の進展と密接に関わって展開された。フランスにおける一連の市民革命はドイツをはじめ世界の民主革命に大きな影響を与えたが、1848年のドイツ三月革命はしばしば「流産した市民革命」⁽³⁵⁾といわれ、ドイツの近代国家としての統一は普仏戦争直後の1871年、したがって産業革命末期のことになる。つまり国際間で社会的・経済的な不均等発展が同時存在するような状況があつたのであり、19世紀自然科学の各国における社会的・経済的基盤は当然ながら国によって異なつていたことになる。

にもかかわらず、19世紀の初頭にはイギリスのファラデー、フランスのアンペール、ドイツのガウスやウェーバー、アメリカのヘンリーらによって一斉に電磁気学研究が展開されたように、「科学の発展の同時性」⁽³⁶⁾が存在した。また全体としてみれば、19世紀の「科学的繁栄の中心」はドイツだった⁽³⁷⁾といわれるように、資本主義的發展段階ではもっとも遅れたドイツで顕著な科学の展開が見られるという、いわば逆転現象があつたわけである。

つまり各国における科学の展開は、必ずしもその国の社会的・経済的基盤に一対一対応のような照応はしていない。したがって科学の社会的・経済的基盤は各国の歴史状況との関連を視野に入れた国際的な視点で検討しなければなるまい。しかしこれまでのところ、こうした点についての科学

史の方法論はない。むしろ科学のもつ「国際性」は暗黙の了解として当然のように受け止められ、問題にさえされてこなかった。しかし仮にそうであるならば、各国における科学の展開がその国の社会的・経済的基盤と密接に関わるといわれ、科学研究の基盤整備が声高にいわれる今日、逆に科学の「国際性」は再検討されなければならないことになる。

2. 科学と技術との関係について

ゲッセン論文⁽³⁸⁾以来、自然科学の社会的・経済的基盤としてもっとも注目されてきたのはその物質的基盤を構成する技術であり、科学と技術とは密接な連関を持っていることが指摘されてきた。科学と技術とが密接に関わるのならなおのこと、「世界の工場」イギリスでこそ科学が「繁栄」したと考えるのが常識的ではなかろうか。にもかかわらず、それは基盤整備の遅れたドイツであったり、あるいは社会的・経済的基盤の異なる諸国で「同時」な現れかたをしたわけである。蒸気機関がもっとも早く普及するのはイギリスでありながら、蒸気機関との関係で最初の重要な「熱理論」を提出したのはフランスのカルノーであり⁽³⁹⁾、またイギリスは繊維の漂白染色との関連から酸・アルカリ工業をもっとも大規模に展開するが、その基礎となる無機化学理論の研究はフランスを中心に行われ、ソーダの工業的製造方法を開発したのもフランス人であった⁽⁴⁰⁾ように、技術の飛躍的發展を引き出すような理論構築は、必ずしもその技術部門の工業化が進んでいた国とは限らず、また工業化の方法が開発された国で、その工業化の方法が実際の産業部門として大規模に展開されとは限らなかったのである。したがって、ここでも先と同様、国際的な視野から科学と技術との関係を論じる必要が生じるのである。

バナールや荒川をはじめ多くの論者が科学と技術との連関を具体的に描いてはいるが、こうした国を越えた科学と技術の関係にはあまり関心が向けられていない。むしろ、蒸気機関と熱力学、電気通信技術と電磁気学、製鉄技術と熱理論や化学・冶金学、酸・アルカリ工業と無機化学理論、染料工業と有機化学理論など、いわば「当然」⁽⁴¹⁾とも考えられる科学と技術との一対一対応的な関係として、いわば科学の理論史としてしか描かれてこなかったのである。

一般論としては、科学と技術との関係が、19世紀の半ばを境に質的に変化したことが早くから指摘されてはきた。つまり、イギリス産業革命初期の技術上の問題は「単純」であり、「専門的な科学上の資格をもった特別な人々を必要とせず、ふつうに文字が読め、簡単な機械装置や金属加工に熟練し、実際の経験と積極性とをもつ人が十分にいれば解決されるような問題」⁽⁴²⁾であったのであり、産業革命の初期の段階では技術の発達に科学が寄与する以上に、技術の発達そのものが科学に多くの課題と素材を提供した⁽⁴³⁾。19世紀中頃には科学は技術の基礎として認められ、それまでのように試行錯誤や経験的知識ではどうにもならない、科学的知識を基礎にした技術の改良が行われ、さらなる産業革命の進展は、電気技術や鉄鋼技術のように何らかの科学的知識がなければ開発も改良も不可能な新たな技術分野を登場させた⁽⁴⁴⁾。また「技術の基礎としての科学」⁽⁴⁵⁾という認

識をもたらし、科学と技術の関係は19世紀後半にきわめて密接なものになった。さらに技術の基礎として科学が認められたことが、科学の制度化や組織化の必要性を認識させ、資本主義発達の遅れたドイツでは国家的な規模でそれが進んだ⁽⁴⁶⁾ というものである。実際、19世紀の後半に見られたドイツにおける有機化学理論の展開と有機化学工業の発展などはそうした事例としてよく知られてはいる⁽⁴⁷⁾。

しかし「技術の基礎としての科学」だけが科学ではなく、自然の客観的法則性をそれ自体解き明かそうとする、「真理の探究」としての「純粋」自然科学分野が存在している。技術史の側からは「純粋の自然科学と何よりも実用をめざす技術との間には、少なからぬ距離がある」ことが指摘され、「この距離を埋める」ものとして新たに工学史の研究の重要性が指摘⁽⁴⁸⁾ されているが、科学史の課題として考えるなら、いわゆる「工学」、「応用科学」、「純粋科学」といわれるような科学の「分化」をどう議論するののかの問題であり、技術に直結しないような科学理論の展開にとって、その物質的基盤が何であったのかが歴史的・具体的に明らかにされなければならない。

IV 研究者の交流

1. 国際交流の実態

図5は19世紀の著名な数学者42名、物理学者70名の112名を選び、彼らの出身国と留学や研究あ

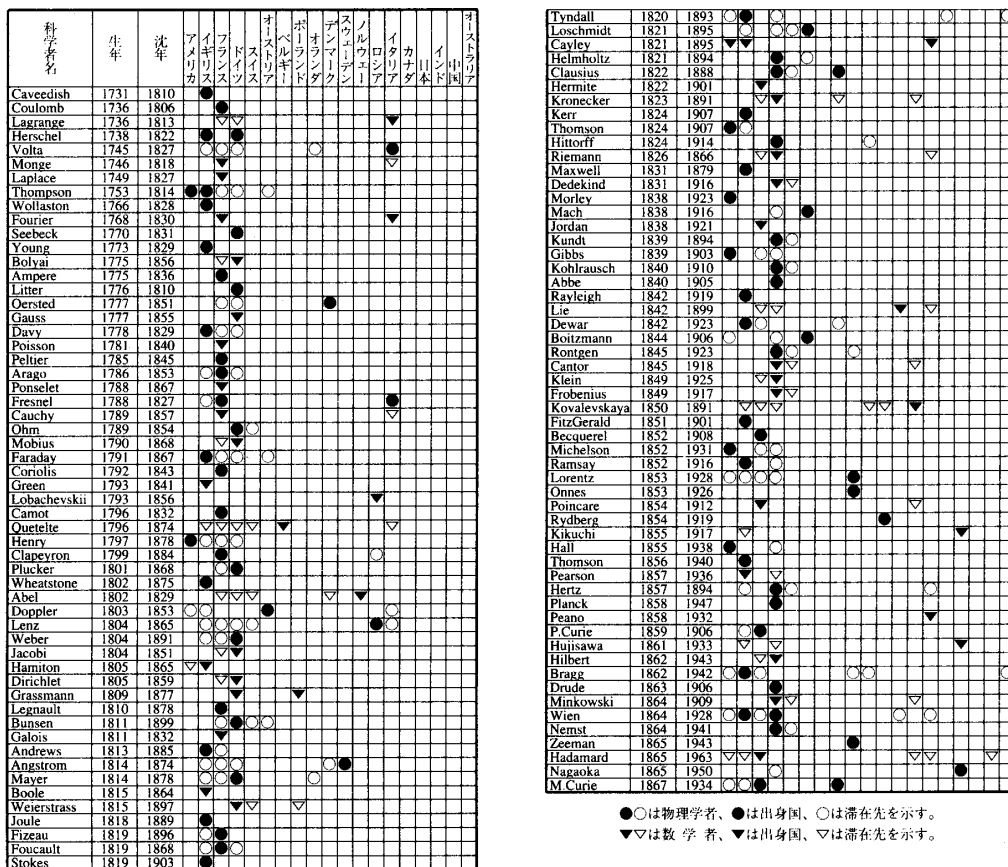


図5 欧米主要国における科学者の交流

るいは講義、講演などのために滞在したことのある国を示したものである⁽⁴⁹⁾。これは19世紀に活躍した科学者の一部を示したにすぎないが、これだけでも科学者がかなり自由に各国の科学者と交流していたことが伺えるであろう。ちなみにどのような動きだったのかを表1に整理しておく。

表1 欧米主要国における科学者の交流状況

出身国	出身者数	国別滞在者数				
		アメリカ	イギリス	フランス	ドイツ	その他
アメリカ	7	—	3	4	5	1
イギリス	23	4	—	8	6	2
フランス	22	2	5	—	2	8
ドイツ	33	1	5	13	—	22
その他	27	4	12	13	17	—
合計	112	11	25	38	30	33

112名のうち75%以上の85名が何らかの理由で海外に滞在した経験を持ち、国外に出ることのなかった者はフランスでは半数近くいたが、アメリカでは0%、イギリスとその他の国で23%、ドイツでは14%にすぎなかった。また海外での滞在経験を持つ85名のうち、11%がアメリカ、27%がイギリス、29%がドイツ、36%がフランスとその他の国に滞在している。

アメリカの科学者にとって、自分の研究領域の最新の情報を知るにはヨーロッパに行くのが一番よかった⁽⁵⁰⁾のであり、ここではヨーロッパの研究・教育機関と科学者たちがアメリカの科学教育、研究条件の不備を補完する役割を果たした。例えば、光速度測定で知られるマイケルソンは1880年ヨーロッパに渡り、ドイツのハイデルベルク大学、ベルリン大学、フランス大学、エコール・ポリテクニクなどを訪ねて光学をはじめ力学、微積分学を学んでいる。1881年のエーテル実験はヘルムホルツの下で行われ、ベルリン大学の実験室でさらにポツダム天文台で測定が行われたのである⁽⁵¹⁾。

科学者の交流はもとより19世紀に始まったものではない。いわば近代科学の成立のはじめから科学者たちの自発的な結合は生まれ⁽⁵²⁾、18世紀までに公的な機関として各国にアカデミーがつくられていた⁽⁵³⁾。しかもこうしたアカデミーは定期的に雑誌を発行し、研究の成果を公開することで、科学的知識を各国の科学者の共有財産にしてきたのである。1821年にLaplaceが指摘⁽⁵⁴⁾しているように、こうしたアカデミーのなかで科学者たちは活発に交流し、相互批判を繰り返すことで、自然科学を発展させてきたのである。

19世紀の特徴の一つは、さらに専門化された研究拠点ともいえる場が形成されたことであり、そこを中心に科学の交流が行われたことである。1794年パリに設立されたエコール・ポリテクニクや

1798年ロンドンに設立された王立研究所 (Royal Institution)、また1810年に設立されたベルリン大学、1825年ドイツ (ヘッセン) のギーゼン大学につくられた化学・薬学研究所などはそうした初期の事例といえる。

もとより国境は人為的なものであって自然科学にとって意味を為さないことはいうまでもない。動植物の分布や地質や地層、風土病など、それぞれの地域に固有な自然が存在する。C. R. Darwin の『種の起源』が、1831年から1836年にわたるビーグル号の世界航海において行った南米の動植物群や化石調査、またガラパゴス諸島での動植物群の調査によっていることはよく知られている。また天体や地磁気、気候など、そもそも地球的規模で観測が行われなければ十分な解明が成し得ない自然科学分野が存在する。こうした分野の中には植民地経営上必要な分野が含まれ、その国の経済的・社会的発展段階には必ずしも照応しない形で進展している。そしてまた国際的な共同研究へと展開したのも少なくない。1830年代にドイツのガウスらが組織した磁気学連盟⁽⁵⁵⁾はその典型である。1850年代にはじめられた全ヨーロッパでの気象情報交換における電信の利用は、ヨーロッパ諸国の軍事的・経済的諸活動を反映したものであり、やがてそうした規制から離れて、科学者の国際共同が生まれてくる。1870年代に計画された全天を対象とした星図の作成などはそうした事例の一つである。かくして19世紀は地球全域を研究対象とすることが必要かつそれが可能になった時代なのである。

カールスルーエでの化学者会議、メートル法の制定、電磁気単位の統一などは、工業技術の統一化、規格化という面だけではなく、科学者の交流、知識の交流を促す上でも重要であった。

2. 科学の普遍性と国際性について

19世紀初頭の「科学の発展の同時性」について荒川は、「大工業は全体としては未だ起こってはいないので、科学の本質的普遍性が基礎になれば、この時期に、かかる発展の同時性は起こりえないことは明らか⁽⁵⁶⁾」として、科学の「同時性」は「普遍性」に基づくものと説明した。自然科学の「普遍性」は、一般に自然科学がもつ自然からの規定性として理解されるもので、まさに自然科学の本質的特徴である。自然にとって国境が意味をなさないことはいうまでもないが、「科学の発展の同時性」を科学の「普遍性」から説明したのでは、時と場所を選ばず理解されうるという必要条件ではあっても、特定の時と場所を指定する十分条件、これこそ歴史性なのだが、これを語ってはいない。19世紀の自然諸科学の分化と統合の基礎も、当然ながら、自然そのものがもつ運動諸形態の区別と統一にある⁽⁵⁷⁾のであって、「発展の同時性」がこうした科学の「普遍性」を基礎におきながらも、いかにして社会的・経済的基盤と連関するのかについて言及されなければならないだろう。つまり、暗黙の了解とされてきた「科学の普遍性や国際性」についての歴史的な検討が必要とされるのである。いわゆる科学の「客観性」、「真理性」なるものの科学基礎論的な議論をここでするつもりはない。なぜなら、自然諸科学の展開の歴史的契機としての社会的・経済的基盤と普遍

性・国際性の連関構造が捨象されてしまうからである。したがって科学者や技術者の国際的交流の実態や彼らの研究を支える物質的基盤としての研究手段（研究環境、実験機器・装置、物質群など）の交流に注目しなければならないことを意味している。

V おわりに

以上、19世紀の科学の展開と技術との関わりについて見てきた。科学—工学技術—産業の一連の関係について、既成のある一つの分野を取り出したときに、そこに内的連関が見い出されるのはいわば当然である。問題は内的連関のような静的関係ではなく、歴史のダイナミズムのなかに位置づけた動的関係をいかに抽出するかである。

19世紀の産業革命の時代のなかで、自然科学研究は量的にも質的にも、それまでとは比較にならない規模で拡大した。科学のこの量的拡大そのもの、また質的拡大そのものが、それまでの科学の物質的基盤を不十分なものとし、新たな形で物質的基盤を必要としていたと見ることができる。それが科学における国際的交流を補償する科学・研究システムであり、さまざまな科学者の国際会議の出現に見られる科学者の共同研究や交流であった。科学者は自らの研究の場を外国に求めることも、また実験装置群を外国から取り寄せることも、また場合によってはすべてを自分で賄うこともあるが、そうした選択が「自由」に行われたことも19世紀の特徴であった。

以上を要するに、科学史を「普遍性」を根拠に理論史・学説史としてとらえていながら、なお、社会的・経済的基盤と関係づけようとする科学史研究の方法は不十分であること。「普遍的」な科学の展開とその展開を支えたり受容したりする地域性あるいはその多様性との同時存在的関連こそが歴史性であり、認識論的な方法だけではこの歴史性を解明することはできない。したがって当然ながら科学史を一国科学史としてとらえきれないこと。また単なる研究体制、教育体制など体制史では動的な科学者の研究活動が欠落してしまうこと。今日、なによりも自然科学を国際的な文化的諸活動の事象として検討し直す時代であることを提起した。

注

- (1) 渡辺國廣、『工業化の比較史—英仏独—』、慶應通信株式会社、1973年、p.17。
- (2) 河野健二、飯沼二郎編、『世界資本主義の歴史構造』、岩波書店、1970年、p.64に採録されたメンデルソン、飯田貫一他訳、『恐慌の理論と歴史』、第1分冊、p.327の統計表より作成。
- (3) 同上書、p. 65に採録されたJ. Kuczynski, *Die Geschichte der Lage der Arbeiter unter dem Kapitalismus*, Bd. 37, 1967, S.19の統計表より作成。
- (4) 河野健二、飯沼二郎編、『世界資本主義の歴史構造』、岩波書店、1970年、p.64。
- (5) 例えば、渡辺國廣、前掲書、p.18。
- (6) J・D・チェムバース、『世界の工場—イギリス経済史 1820—1880』、宮崎・米川訳、岩波書店、

1965年。

- (7) E. J. Hobsbawm, *Industry and Empire, An Economic History of Britain since 1750*, Weidenfeld and Nicolson, London, 1968, pp.31-34 ; ボブスボーム、『産業と帝国』、浜林正夫・神武庸四郎・和田一夫訳、未来社、1984年、pp.44-45。
- (8) 荒川泓、『近代科学技術の成立』、北大図書刊行会、1973年。pp.199-223、参照。
- (9) 図の基礎データは、湯浅光朝編著の『コンサイス科学年表』（三省堂、1988年）のなかの「詳細年表」（pp.223-341）外国欄にある技術の項目数を10年ごとに区切って各国別に数え上げたものである。湯浅の年表は科学史年表として定評はあるとはいえ、個人の編集によるもの、また日本人から見た年表という点で問題がないわけではないが、とりあえず公刊されている網羅的な年表として湯浅のものを利用した。
- (10) 荒川泓、『製鋼技術の変革と製鉄業の発展』、前掲書、pp.188-198。また中沢護人、『鋼の時代』、岩波書店、1964年、pp.91-151、参照。
- (11) S. Ihara, "Development of Electric Power Technology and Social Framework in Japan," *Historia Scientiarum*, Vol. 5, No. 2 (1995), p.161.
- (12) バナール、『科学と産業』、p.103。
- (13) イギリス綿紡績工場では1787年のはじめて蒸気機関が使われ、1800年には84台の蒸気機関が設置されていた (S. リリー著、小林秋男・伊藤新一訳、『人類と機械の歴史』、岩波新書、1953年、p.104)。イギリスで蒸気機関の設置台数の統計が取られるようになるのは1870年代以降であり、この期にどれほどの蒸気機関が設置されていたのかはわからない。フォーブスによれば1800年頃500台のボルトン=ワット機関が運転されていた (フォーブス、『技術の歴史』、岩波書店、p.191)。またランダスによれば1800年の蒸気機関使用台数はせいぜい1,000台、総馬力数1万馬力であり、1850年には50万馬力の定置機関と79万馬力の移動機関（その大部分は蒸気機関車）の蒸気機関が運転されていた (ランダス、『西ヨーロッパ工業史』、みすず書房、p.118)。また業種別では、ブッラク・カントリーの研磨業で1783年以前に、鉄鑄造業では1788年から、銅および真鍮の圧延業では1790年から、針金製造業では1808年から、機械製釘業では1813年から、ネジ製造業では1819年から、金属管製造業では1822年から、それぞれ蒸気動力を使用し始めたことなどが知られている (W. H. B. Court, *The Rise of Midland Industries*, p.258)。
- (14) K・R・ギルバート、中山秀太郎訳、『工作機械』、C・シンガー他編、『技術の歴史』、第8巻、筑摩書房、1979年、p.377。
- (15) 一般に互換性部品による大量生産方式は「アメリカ的製造方式」として知られ、アメリカにはじまるかのように思われているが、実際にはこの期のイギリスの機械生産に起源をもっていたことが1970年代になって指摘された。A. E. ムッソン、『イギリスでの起源』、O. マイヤー、R. C. ポスト編、小林達也訳、『大量生産の社会史』、東洋経済新報社、1984年、所収、pp.42-62、参照。

- (16) ソハウ鑄造所は蒸気機関の完全な一貫量産体制を実現した確立するために新設されたもので、Boulton はこれを蒸気機関の標準化と部品の精密加工によって現実のものとした。大河内暁男、『産業革命期経営史研究』、岩波書店、1978年、pp.48-49、参照。
- (17) K・R・ギルバート、中山秀太郎訳、「工作機械」、C・シンガー他編、『技術の歴史』、第8巻、筑摩書房、1979年、p.377。
- (18) 蒸気機関と工作機械は、特別許可により輸出を認められていた。ランダス、石坂昭雄・富岡庄一訳、『西ヨーロッパ工業史』、p.164、p.411、参照。
- (19) イギリス人技術者や企業家の移住による技術の伝播について体系的な研究は行われていないが、以下の著作から多くの事例を知ることができる。W. O. Henderson, *Britain and Industrial Europe*, University of Liverpool Press, 1954 ; R. A. Buchanan, *The Engineers : A History of the Engineering Profession in Britain, 1750-1914*, Jessica Kingsley Publishers, 1989, pp.146-160。アーミディジ、鎌谷親善・小林茂樹訳、『技術の社会史』、みすず書房。
- (20) ヒューズ、角山榮ほか訳、『世界経済史 — 工業化の現代史 —』、マグローヒル好学社、1977年、pp.104-110。
- (21) O. マール、「独逸機械工業揺籃時代の回顧」、『マシナリー』、Vol. 1, No. 1、昭和13年3月、p.17。
- (22) 木本忠昭、『電気の技術史』、オーム社、1990年、から抽出。
- (23) M. Sviedrys, "The Rise of Physics Laboratories in Britain", *Historical Studies in the Physical Science*, Vol. 7, 1976, pp.405-436。
- (24) J. A. Fleming, *Fifty years of Electricity*, 1921。
- (25) ここでも基礎データは図2と同様、湯浅光朝編著の『コンサイス科学年表』（三省堂、1988年）のなかの「詳細年表」（pp.223-341）外国欄からそれぞれの項目を数え上げたものである。年表では天文学が独立した項目になっているが、ここでは物理学に含めた。
- (26) クライン、彌永昌吉監修、『19世紀の数学』、共立出版、1995年、pp.46-62。
- (27) 同上書、pp.67-71。
- (28) 同上書、p.63。
- (29) E・J・ボブスボーム、『市民革命と産業革命 — 二重革命の時代』、安川・水田訳、岩波書店、1968年。
- (30) 河野健二・飯沼二郎編、『世界資本主義の歴史構造』、岩波書店、1970年。
- (31) J・D・バナール、『歴史における科学』、鎮目・長野訳、みすず書房、1955年。J・D・バナール、『科学と産業』、菅原訳、岩波書店、1956年。荒川泓、『近代科学技術の成立』、北大図書刊行会、1973年。
- (32) バナール、『歴史における科学』、p.300。
- (33) 荒川、「『科学=技術革命』論批判と技術の概念規定について」、前掲書、P.229。
- (34) 河野・飯沼編、前掲書、p.52。

- (35) 松川清、「ドイツにおける“改革”とウィーン体制」、『世界歴史』19巻、岩波書店、1971年、p. 92。
- (36) 荒川、前掲書、p. 229。なお「科学の発展の同時性」は、Thomas S. Kuhn, “Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery,” M. Clagett, ed. ; *Critical Problems in the History of Science*, 1959, pp. 321–356, の中では「同時的発見」として議論されており、クーンは「研究者たちが互いにリンク」していることを再評価すべきと指摘した。つまりあるパラダイムが形成され「同時的発見」が起こるというものであり、研究者のリンクの必然性、研究者のリンク登場の必然性を問題にしていない。この議論は自然科学の普遍性を前提とした科学史の限界を示すものであろう。さらに物理学史として19世紀前半を総括した、井原聰「19世紀物理学史の構造的把握のための史論」（『東京工業大学人文論叢』、No. 1、1974年、pp.111–134）は、クーンの弱点を衝いてはいるが、なお認識論的議論に留まっており、「普遍性」を前提にしている、各国別の物理学の進展の違いを捨象している点では、なおその枠内にある。
- (37) 湯浅光朝は、科学的業績が一国で全世界の総数の25%以上を占める時期を「科学的繁栄の時期」と定義した上で、平凡社の「科学技術史年表」などの分析の結果として、「科学的繁栄の中心」が1540年～1610年はイタリア、1660年～1730年はイギリス、1770年～1830年はフランス、1810年～1920年はドイツ、1920年～はアメリカへと「移動」していることを示した。Yuasa Mitsutomo : Center of Scientific Activity : its Shift from the 16th to the 20th Century, *Historia Scientiarum*, No. 1, 1962, pp.57–75.
- (38) ベー・エム・ゲッセンが「ニュートン『プリンキピア』の社会的経済的根源」と題して、1931年ロンドンで開催された第2回国際科学史会議で発表した論文。秋間実他訳、『ニュートン力学の形成』、法政大学出版局、1986年。
- (39) S. Carnot, *Peflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a developper cette puissance*, A Paris, chez Bachelier, Libraire, 1824。広重徹訳・解説、『カルノー・熱機関の研究』、みすず書房、1973年。蒸気機関と科学との関係は日本でももっとも古くから論じられてきたものであり、技術史・科学史ともに膨大な文献が存在する。大谷良一、「蒸気機関の発達過程における科学と技術との関係」、『科学史研究』、第25号、1953年3月、pp.23–28 など。
- (40) 荒川、「無機化学工業の成立」、前掲書、pp.37–40。
- (41) 大谷良一、「蒸気機関の発達過程における科学と技術との関係」、『科学史研究』、第25号、1953年3月、p.28。
- (42) ボブスボーム、『産業と帝国』、浜林正夫・神武庸四郎・和田一夫訳、未来社、1984年。pp.44–45。
- (43) 例えば、バナール、『歴史における科学』、p.300。
- (44) 例えば、A・R・J・P・アビロード、田辺振太郎訳、「技法的職技から技術の基礎としての科学への転換のはじまり」、C・シンガー他編、『技術の歴史』、第8巻、筑摩書房、1979年、pp.555–568。
- (45) 同上。

- (46) 宮下晋吉、「ドイツにおける工学研究機関 — 国立研究機関の成立過程」、昭和57年～59年度科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書（研究代表者 大谷良一）、『独占形成期における個別工学と研究機関の成立に関する実証的研究』、昭和60年3月、pp.58-92。
- (47) 荒川、「ドイツを中心とする合成化学工業の成立」、前掲書、pp.205-212。
- (48) 大谷良一也、『独占形成期における個別工学と研究機関の成立に関する実証的研究』、昭和57年～59年度科学研究費補助金研究成果報告書、昭和60年3月、はしがき。
- (49) 科学者の選択は小学館の百科辞典『ジャンルジャポニカ』に掲載された人物とし、その交流についてはD. S. B. を中心に補った。
- (50) 岡田努、『19世紀前半期におけるアメリカの自然科学の状態とJ. Henry — J. Henry の電磁石研究を中心に —』、平成5年度茨城大学大学院理学研究科修士論文。中村新二、『A. A. Michelson と光速度計測について』、平成2年度茨城大学大学院理学研究科修士論文。バーナード・ヤッフエ、藤岡由夫訳、『マイケルソンと光の速度』、河出書房、1979年、p.52。
- (51) ヤッフエ、同上書、pp.52-71。
- (52) 1560年にポルタがナポリに創設した「自然の秘密のアカデミー」にはじまり1603年ローマに設立されたアカデミア・デル・リンチェイ、フィレンツェのアカデミア・デル・チメント（1657-1667年）などが知られている。
- (53) ロンドンのロイアル・ソサイエティ（1645年発足、1662年国王認可）やパリ科学アカデミー（1666年ルイ14世の時代にコルベールによって創設）をはじめベルリン（プロイセン、1700年）、ペテルブルク（ロシア、1725年）、ストックホルム（デンマーク、1739年）、ミュンヘン（バイエルン、1759年）などが知られている。
- (54) 1821年にLaplaceはアカデミーの特徴について「個々の学者は容易に独断に陥るが、アカデミーのなかでは独断の見解がぶつかり合う結果、すぐにそれらは粉碎されてしまう。さらに互いに相手を納得させたい願いから、会員たちの間に、観測と計算の結果以外のものを仮定しないようにすることに意見の一致が導かれる」と述べている。Laplace : *Precis de l'histoire de l'astronomie*, Paris, 1821, p.99.
- (55) 1833年、ゲッティンゲンのガウスとウェーバーによって磁気観測所がつくられたが、彼らはフンボルトと協力してドイツ政府だけでなく、外国の政府をまでこの仕事に引き入れた。これによって磁気学連盟が設立され、全地球上に磁気観測所網が広げられた。すべての観測所はゲッティンゲンの施設を手本に建設され、ゲッティンゲン時によって、ガウスの装置を用い、ガウスの方針によって観測が行われ、観測の結果はすべてゲッティンゲンに送られた。それらの結果は、1836年から1841年までに『磁気学連盟観測結果報告』としてゲッティンゲンで公刊された。ガウスはこれらの結果に基づいて地磁気学の一般理論を樹立した。安田徳太郎訳・編、『ダンネマン大自然科学史』、第8巻、三省堂、1979年、pp.135-6。

(56) 荒川、前掲書、p.229。

(57) 岩崎・宮原将平、『現代自然科学と唯物弁証法』、大月書店、p.303。