

研究開発モデルの鉄鋼研究を事例とした検討

初 山 高 仁*

An Examination of R&D Models in the Case of the Researches on Iron and Steel

HATSUYAMA Takahito

要 旨

日本では1990年代以降、研究開発論や研究開発モデルについての議論が盛んに行われている。本稿では、まずは研究開発モデルと科学技術基本計画の傾向を検討した。そのうえで19世紀末のイギリス機械技師協会で行われた鉄鋼研究を具体的事例とすることにより、特に研究開発モデルにおける基礎研究の位置づけについての検討を行った。このような検討の結果として、基礎研究と産業上の課題とを結びつける工学的研究の役割が、より深く検討されねばならないことをここで指摘した。そしてこの役割を実現するために、学協会や研究所がいかなる機能を担わなければならないかを示すことが今後の研究開発論の課題なのだを指摘した。そしてまた本論文で指摘した諸要素が今後の科学技術政策の策定において考慮される必要があると主張した。

キーワード 研究開発モデル、科学技術政策、科学技術基本計画、基礎研究、鉄鋼

1 はじめに

日本では1990年代以降に技術開発や科学研究のあり方に関する議論が盛んに行われている。技術開発を目的とした科学研究の制度化のために1995年には科学技術基本法が制定され、翌年には科学技術基本計画（第1期）の策定がなされた。「科学技術」との呼称に止まらず「産業科学技術」との呼称までもが登場し、その理論化が進められつつもある¹。

わが国の科学技術政策においては、科学研究の成果を産業目的へと結びつける過程が重視され、これに対応する形で研究開発論あるいは研究開発モデルについての議論が行われている。従来の研究開発論では研究開発が、基礎研究の成果が応用研究や開発研究を経て商業化にいたるという直線的な過程（リニアモデル）として描かれる傾向があった。日本の科学技術政策においては、80年代後半にいわゆる「基礎研究ただ乗り論」に後押しされるかたちで、「基礎研究重視」が叫ばれたが、これは基本的にリニアモデルを想定したものであったと考えられる。しかし、政策策定側としてもリニアモデルが現実の研究開発の過程に即していないことを認め、他の研究開発モデルを提示せざるを得ない状況となった。

科学技術政策の推進にあたって実効性のあるモデル構築を行うためには、いかに基礎研究と技術開発および生産活動との関係をモデルとして整理するかが問題となる。このためには、当然のことながら、科学と産業のそれぞれの目的や性格を的確に捉え、そのうえでそれらの関係をいかに論じるかが重要となる。したがって、科学と技術を区別し、しかる後に相互の連関を理解しなければならない。科学技術という用語は実のところこの区別がそもそも曖昧である。

*表現・現社・保育科 非常勤講師

産業科学技術との呼称ともなればなおさらである。

筆者は、こうした研究開発論や研究開発モデルの妥当性が研究開発の歴史的事例によって検証される必要があると考える。したがって本稿ではこの問題意識に従い、鉄鋼研究を事例として扱うことにより研究開発モデルの検討を行う。なお、ここで取り上げる事例は19世紀後半のイギリス機械技師協会（Institution of the Mechanical Engineers）の活動である。このような百年以上も前の事例には、おそらく現代の研究活動とは相違があると考えられて当然である。しかし19世紀後半は、制度化や産業化といったかたちで科学と産業の関係が変質したとしばしば指摘される時期であり、研究開発の現代にも通じる基本的な形態が形成されたと推測される時期である。したがって、現代的な研究開発の原型がここで成立したと見なすことができるのであり、研究開発モデルの検討に必要な条件もまたここに含まれていると考えられる。本稿ではイギリス機械技師協会で行われた鉄鋼研究を事例として検討することにより、特に研究開発モデルにおける基礎研究の位置づけについての検討を行う。これにより、今後の科学技術政策の要件を示そうと考える。

2 研究開発モデルと科学技術基本計画の傾向

本稿では19世紀末のイギリスでの鉄鋼研究の展開過程を具体的事例として研究開発の過程について論じていくわけだが、これについて述べる前に、まずは近年現れた研究開発モデルの概略を述べ、また、科学技術基本計画における基礎研究の位置づけについてもまとめ、若干の検討を行っておく。

(1) 商品開発モデル

通商産業省は1992年に刊行した『産業科学技術の動向と課題』において産業技術と科学を明確に区分することは困難になってきているとして²、「産業科学技術」なる概念を新たに導入した。さらにはリニアモデルの限界を認め³、Chain-Linkedモデル、スパイラルモデル、コンカレントシステムモデルといった研究開発モデルを提示した⁴。しかしこれらはいずれも、いわば、科学研究を産業的課題と結び付けることを目的として構築されたモデルである。つまり商品開発に役立つ限りで科学を捉えるという視点に止まっているといえ、産業的課題と直接には結びつかない研究の位置づけは不明確である。

科学の目的は自然認識を深化させることであり、産業上の応用を必ずしも意図しているわけではない。一方、産業は生産活動を目的とし、当然のことながら自然認識の深化を目標としてはいない。したがって研究開発モデルの構築にあたっては、目的の異なるこれらの活動の相違と連関を捉えることが不可欠であるといえる。にもかかわらず、商品開発モデルは商品開発に役立つ限りでしか科学を捉えていないのだから、現実の研究開発を捉えたものではないといえる。とはいえ、リニアモデルのように研究成果が着実に産業へと結びつき、コンカレントシステムモデル（研究・開発・生産・販売が情報を共有する形で同時並行して進展するとするモデル）のように産業目的からは独立した科学や技術の発展が保証されるのならば、これはこれで望ましいものであろう。

(2) 社会学的モデル

ギボンズが提唱しているモード論⁵では、ディシプリン内部の論理で進められる従来の知識生産の形態をモード1、社会に開かれた新しい形態をモード2とする。このため、モード論では産業と関係する研究はモード2に分類されることになる。企業が商業的に成功するには「自分の組織のなかに蓄えられていない資源を使って、知識を生産する能力が求められる」ため、「大学、政府の研究所、そしてほかの企業と、新しい形の結びつきを発展させなければならない」⁶というのがギボンズらの主張である。さらには、大学や政府の研究所も研究成果を流通させ、産業界と結びつく必要があるという。だからこそモード2が必要だというのである。こうしてギボンズらはモード2を実現すべく、知識生産の新しい制度・組織を模索し、この制度が実現すれば将来はモード2のシステムの内部にモード1が組み込まれるとまでいう⁷。つまりは制度的配慮のみで科学と産業が自動的に結びつくというかのような議論なのである。結果として社会学的なモデルは、研究開発を論じはするが科学研究の内容に踏み込むことはないので、科学研究の成果が産業的課題と結びつくプロセスはモデルの対象外となっている。しかるに、わが国ではこのモード論に沿う形で1998年に大学等技術移転促進法が制定され、大学へのTLO (Technology Licensing Office) の設置が政策的に推進されている。

(3) 科学技術基本計画における基礎研究の位置づけ

わが国では1995年に科学技術基本法が設定されて以降、1996年に第1期科学技術基本計画が、2001年・2006年には第2期・第3期の科学技術基本計画が策定された。ここではこれら基本計画において基礎研究がいかに関位置付けられているかをまとめる。

第1期基本計画では「研究開発推進の基本的方向」として「経済フロンティアの拡大や高度な社会経済基盤の整備に貢献し、新産業の創出や情報通信の飛躍的進歩などの諸課題に対応する独創的・革新的な技術の創成に資する科学技術の研究開発を推進する」ことがまずは目標とされ、ついで環境や食糧などの社会的諸問題に対応する研究を推進することが目標として掲げられた⁸。そしてこれらと同時に推進されるべき研究としていわゆる「基礎研究」の推進が次のように打ち出されている。

「(基礎研究による)研究成果は、時に、技術体系の革命的な変貌や全く新しい技術体系の出現をもたらし、社会に様々な波及効果を与える。さらに、自然と人間に対する深い理解は、人類が自然との調和を維持しつつ発展を続ける大前提でもある。このような重要性にかんがみ、基礎研究を積極的に振興する。」⁹

なるほど基礎研究は研究開発のまさしく基礎であり「大前提」である。しかしこの第1期基本計画では、この「大前提」であるはずの基礎研究が、推進すべき研究としては、むしろ第三の位置にある。

第2期基本計画では、「科学技術政策の理念」として「知の創造と活用」、「国際競争力」と「持続的発展」、「安心・安全で質の高い生活」の3点が明確にされた¹⁰。これのみを見れば第1期計画では第三の位置にあった基礎研究は第一の位置にあるように見える。この上で基礎研究推進の内容は「科学技術の戦略的重点化」として次のように語られている。

「研究者の自由な発想に基づき、新しい法則・原理の発見、独創的な理論の構築、未知の現象の予測・発見などを旨とする基礎研究は、人類の知的資産の拡充に貢献し、同時に、世界最高水準の研究成果や経済を支える革新的技術などのブレークスルーをもたらすもので

ある。このような基礎研究を一層重視し、幅広く、着実に、かつ持続的に推進していく。」¹¹そして、このような基礎研究の中でも「特に大きな資源の投入を必要とするプロジェクトについては」「資源を集中し、効果的・効率的に推進する」とされた¹²。ところが第2期計画では、かくした上で「国家的・社会的課題に対応した研究開発の重点化」と称し、第1期計画で真っ先に課題として掲げられていた経済産業振興を目的とした研究の推進が結局のところ重点課題として位置づけられている¹³。これでは、あくまで経済産業振興に結びつく限りでの基礎研究の推進なのだと言われかねない。

第3期科学技術基本計画でも第2期計画と同様の理念が示され、「科学技術の戦略的重点化」が重要課題とされたが、ここではさらに「第2期基本計画で進めた研究分野の重点化にとどまらず、分野内の重点化も進め選択と集中による戦略性の強化を図る」という課題が定められている¹⁴。この枠組みの下で基礎研究は次のように位置付けられている。

「人類の英知を生み知の源泉となる基礎研究は、全ての研究開発活動の中で最も不確実性が高いものである。その多くは、当初のねらいどおりに成果が出るものではなく、地道で真摯な真理探求と試行錯誤の蓄積の上に実現されるものである。また、既存の知の枠組みとは異質な発見・発明こそが飛躍知につながるものであり、革新性を育む姿勢が重要である。」¹⁵

ここでは基礎研究の性格が明確に言い表されているといえる。しかし問題は、基礎研究の振興が政策の上で実行されるかどうかにある。科学技術基本計画では一貫して基礎研究の重要性が語られてはいる。しかし、通商産業省の示した研究開発モデルと同様に、産業的課題に資する限りで基礎研究の必要性を認める傾向が見られることもまた確かである。したがって、基礎研究がいかに産業的課題と結びつくのが事例に基づいて検討される必要がある。そこで次に、実際に行われた鉄鋼研究を事例として取り上げることにする。

3 19世紀後半のイギリス機械技師協会での鉄鋼研究

イギリス機械技師協会は1879年に機械材料の問題を発端として「鋼の焼入れ・焼鈍し・焼戻し研究委員会」（以下では焼入れ研究委員会と略す）を設置した。機械材料としての重要性から、鉄鋼の研究が開始されたのである。この委員会は1885年まで活動し、続いて89年からは合金研究委員会が鉄鋼研究を行った。合金研究委員会は91年に最初の報告を提出し、99年に提出した第5報告で鉄-炭素系の詳細な状態図を提示した。そしてこれらの成果を土台として理論的な状態図が作成され、鋼の熱処理は科学的な裏付けを得るに至ったのである。以下では、これらの委員会での研究活動の展開をまとめていくことにする。

(1) 焼入れ研究委員会での鉄鋼研究

焼入れ研究委員会は協会に対し、1879年に第1報告¹⁶を提出、81年に実験方法を提示し¹⁷、83年に第2の報告¹⁸を、そして85年に最終報告¹⁹を提出している。

第1報告では当時までに行われていた熱処理についての研究内容がまとめられ、これらに検討が加えられている。この委員会の委員長でありこの報告の報告者でもあるアンダーソン(William Anderson)は、まず最初に焼入れについての研究でこれまでに立てられた諸仮説を整理し、その結果としてエジソン(Thomas Alva Edison)の仮説に特に注目することになった。

エジソンは白熱電球の研究のいわば副産物として、金属に吸収されていた気体によって、金属が白熱したときに金属表面に無数の微細な裂け目が生じるといふ仮説を発表していた²⁰。アンダーソンは鋼中に吸収された気体が加熱によって放出され、急冷した場合はこの気体が再吸収されないと考え、この結果として焼入れ硬化が起こると見たのである。この一方で、アンダーソンは焼戻しの原因を説明できないことから炭素の存在を原因とする仮説を否定した。焼入れ研究委員会ではこれを受け、造幣局のロバーツ (William Chandler Roberts)、化学者のエイベル (Frederick Augustus Abel)、物理学者のヒューズ (David Edward Hughes) らの機械技術分野以外の研究委員によって独自の実証的研究を進めていった。

ロバーツは、吸収された気体が焼入れの原因になるという理論を検証するために、真空中での焼入れ実験を行ない、真空中でも焼入れ硬化が起こることを確かめた²¹。かくして、エジソンが提起しアンダーソンが支持した仮説は否定されたのである。

ロバーツに続いてエイベルは、アンダーソンが難色を示した炭素の存在を焼入れの原因とする仮説を、炭化鉄に注目して化学的に追求していった。エイベルの行った実験は次のようなものである。冷間圧延された鉄板から数枚の円盤を切り出し、これらに焼入れ・焼鈍し等の処理を加えてからクロム硫酸に溶かし、溶け残る物質と物質の量を分析するというものである (炭化鉄が形成されていれば酸化されずに溶け残ることになる)。この実験によりエイベルは熱処理の程度によって溶け残る炭化鉄の量に差異があることを確認した。

ヒューズは、鉄の物理的な状態を破壊・変化させることなしに鉄鋼の物理的な状態を判定する方法を模索した結果として、わずかな変化でも検知が可能な磁性の現象に注目した。彼はマグネチック・バランスと称する測定機器を自ら発明し、これを用いて焼戻しの程度によって磁性が変化することを示したのであった²²。

焼入れ研究委員会での研究の進展過程は鉄鋼の研究自体が確立される過程、つまり、化学・物理学の研究方法を鉄鋼に対して適合させていく過程であったし、新たな研究手段が適用される過程でもあった。ロバーツの研究では真空状態を作り出すために当時としては新しいスプレングル・ポンプが使用された。エイベルの研究ではクロム硫酸の濃度を変化させるなどの試行錯誤の過程が必要であった。ヒューズの研究では鉄鋼の状態を変化させない研究方法が模索され、最新の測定機器が使用された。このように、焼入れ研究委員会の研究は、第1報告では想定されていなかった化学的研究や物理的研究によって大きく進められ、この結果として冶金理論の形成へと向かったのだとまとめられる。

(2) 合金研究委員会での鉄鋼研究

1890年代、鉄鋼についての研究は機械技師協会に新たに設けられた合金研究委員会に引き継がれた。委員会の第1報告²³によれば、合金研究委員会は鉄鋼のみの研究を目的とした委員会ではなかったが、鉄を「第1に試験されるべき金属」と位置づけ²⁴、1891～1897年までの間に第1～第4報告を提出し、1899年の第5報告では詳細な鉄-炭素系状態図を示した。なお、合金研究委員会の中心人物であるオーステン (William Roberts-Austen) は焼入れ研究委員会の一員であったロバーツと同一人物である。

合金研究委員会の第1報告ではじめに詳しく取りあげられたのは高温温度計である²⁵。オーステンは1889年にル・シャトリエ (Henry Le Chatelier) の熱電対温度計を入手し、1000℃以上まで精確に測定できることを確かめた。そのうえで、最初に検討された合金は銀-銅合金

である²⁶。ここではイギリスの物理化学者ガスリー (Frederic Guthrie) の合金研究が取りあげられ、金属を高温まで加熱し、溶融した状態から冷却してその温度変化を記録するという実験方法が提示された²⁷。この上で、オーステンは金属に不純物が混入したときの融点の降下の問題に関して、溶液の凝固点降下に関するいわゆるラウール (Marie François Raoult) の法則とこれを金属にあてはめたヘイコック (Charles Thomas Heycock) とネビル (Francis Henry Neville) の研究を取りあげた。オーステンはこれらの物理化学の理論をふまえた上で、金にビスマス、白金、ケイ素、マンガン、アルミニウムが混入した場合の実験結果を述べている²⁸。

オーステンは、以上のように物理化学の理論をふまえた実験をしたうえで、第1報告の最後で鉄鋼について取りあげた²⁹。第1報告では様々な合金の高温温度計による測定と、この結果に基づいた冷却曲線の作成、そして物理化学の適用によって合金の性質を理論的に説明するという、合金研究委員会での研究方針が示されたのだといえる。

続く1893年の第2報告³⁰では合金内での分子の形成が合金の性質に与える影響が論じられた。ここでオーステンはラウール、ファンツ・ホッフ (Jacobus Hendricus Van't Hoff)、アレニウス (Svante August Arrhenius) といった物理化学者たちの希薄溶液についての研究への言及がなされており、微量な溶質が溶液中で化学結合せずに自由に振る舞うとの仮説が採用されている³¹。1895年の第3報告³²では冷却曲線を用いた研究がさらに進められ、1897年の第4報告³³ではこれらをふまえて鉄-炭素系状態図が提示された。そして1899年の第5報告³⁴ではさらに詳細な状態図が示されたのである。

4 鉄鋼研究と自然科学

以上のようにイギリス機械技師協会で行われた鉄鋼研究では物理化学の理論が鉄-炭素系へと適用されていった。次に、これらの鉄鋼研究で用いられた理論がいかにして導かれたかをまとめておく。

(1) ファンツ・ホッフ、ラウール、アレニウスの研究

ファンツ・ホッフ、ラウール、アレニウスの研究については様々な文献に記述があるのでここでは概略のみを述べる。1886年、ファンツ・ホッフは濃度や温度の変化に伴う浸透圧の変化を理論的に説明するために熱力学を溶液系へと応用した。これにより溶液の理論研究の基礎が築かれたといえる。ラウールは非電解質の希薄溶液について研究を行い1882年に凝固点降下の法則を示した。電解質水溶液に対する実験結果から、凝固点だけでなく溶液の蒸気圧も溶液の濃度に比例して降下することが知られていたが、ラウールはこの問題に対しても非電解質溶液を用いた研究を行い、1886年に蒸気圧降下の一般則を示した。アレニウスは塩、酸、塩基を研究する過程でイオン説を着想し、1887年には電気化学的に溶液の性質を解明した。オーステンは第2報告で彼らの研究に注目したが、これらの研究は溶液の性質を理論的に説明することを目的として行われていたとまとめられるだろう。

(2) ガスリーの溶液研究と合金研究

ガスリーは1870年代中頃から電解質水溶液の研究を始め、1876年と1878年に論文「塩の水

溶液と添加された水について」³⁵を發表し、ここで温度と水溶液濃度の関係を論じた。

続けて、ガスリーは1884年に「融けやすさについて」³⁶ (On Eutexia) を發表したが、これは混合された金属や塩に含氷晶と同様の性質があることを示し、共晶という一般的な概念を確立させるためのものであった。ガスリーはビスマス-亜鉛系、ビスマス-錫系、ビスマス-カドミウム系の共晶温度と組成を示し、さらには硝石と他の硝酸塩等との混合物といった鉱物類にも溶液との類推が成立することを示した。なお、この論文の末尾では共晶の地質学や鉱物学での重要性が主張されている³⁷。

ガスリーは同年にまた「塩の水溶液と添加された水について」と題する論文³⁸を發表して再び溶液の問題を論じ、さらには論文「混合に伴っておこる熱的および体積の変化」³⁹を發表し、溶液の研究を進めた。ガスリーの研究の中心は溶液にありはしたが、共晶の概念を溶液の問題だけでなく金属や鉱物にまでも拡大したのもであったのである。

(3) ヘイコックとネビルの合金研究

ヘイコックとネビルはラウールの方法を金属の場合にも応用できると推定して実証的研究を行い、1889年に「ラウールの融点降下の方法の合金への応用」⁴⁰を發表し、ラウールの理論を合金に適用した。ここで述べられている実験でヘイコックとネビルは錫を溶媒とし、原子数の割合で錫を100とし、1の割合の亜鉛、銅、銀、カドミウム、鉛、水銀、アルミニウム、アンチモンをそれぞれ添加した。実験結果としては、アンチモンの場合は凝固点の上昇が認められたが、他の添加金属では凝固点降下が確認された。

彼らは同年、「他の金属を添加することによるナトリウムの凝固点の低下」⁴¹において錫を溶媒とした場合でさらに添加金属にナトリウム、金、タリウム、ビスマスを追加した。彼らはこれらに関しても凝固点が降下することを確認したうえで、今度はナトリウムを溶媒として同様の実験を企図した。溶媒を替えた理由は通常の温度計では測定に時間がかかりすぎるためであった。なお、錫の融点は231.9℃、ナトリウムの融点は98℃であるから、計測は容易になったがかわりに溶融できる金属が限定されることになった。この研究ではガスリーの研究との比較も行われ、結果としては凝固点の降下が確認された。なお、添加する金属としては鉄もあげられたが、溶融することには成功しなかった。

彼らは1890年に「溶融したときの金属の分子量」⁴²を發表し、さらに金属の凝固点降下について論じた。ここでは再び溶媒として錫が選択され、ラウールの法則がどれほど金属にあてはまるかということと、溶体中の分子の原子数がいくつかということが追究され、さらには金属と電解質との比較も目標とされた。添加金属は銀、ニッケル、金、銅、タリウム、ナトリウム、パラジウム、マンガン、鉛、亜鉛、カドミウム、水銀、ビスマス、カルシウム、インジウム、アルミニウム、アンチモンと増加した。

ヘイコックとネビルによる研究では、特定の金属間にいかなる特性があるかを確かめることではなく、微量の金属の添加により合金一般の凝固点にいかなる変化があるかが問題とされたといえる。なお、対象とされる温度の低さから、鉄は実験対象にされなかったことも指摘しておきたい。

以上のように、鉄鋼研究に取り入れられた物理化学的な研究の成果は、もともと鉄鋼を直接の研究対象としたものではなかった。むしろ、ガスリーのように溶液だけでなく金属、鉱物ま

でもが研究対象となっていた。鉄という金属だけに限定せずに物質一般に対して研究が行われることによって生まれた自然認識の豊かな蓄積が技術開発につながる成果を生み出したと見なす必要がある。つまり、科学から技術へと向かう道筋においては、技術の特定分野に限定されないような研究活動が必要であったということになる。

5 鉄鋼業と自然科学

19世紀の中頃に大量製鋼法が開発されたことにより鋼の大量生産が可能となったが、これは同時に、転炉や平炉などの装置内における化学変化や状態変化を職人技能にたよらずに管理するための、鉄についての科学的な認識を必要とした。鉄鋼業などの装置産業における生産は、素材の形状を変化させる機械的な生産ではなく、装置内での化学変化と状態変化を利用した生産である。山崎俊雄は「形態の変化にあらざる化学変化を労働過程にするから、装置の発展を図るには、装置内の反応に関する科学的法則が明らかにされねばならない」⁴³との重要な指摘を行ったことがある。鉄鋼業に関して言えば、化学反応の理論が重要であることはいうまでもないが、これに加えて、温度などの物理的条件の管理が必要とされた。このため、19世紀の後半には冶金学が学問分野として成立した。

大量製鋼法の登場により、鉄鋼業は巨大装置産業へと転換していった。鋼の生産量が増加すると鋼の用途も拡大し、レール、機械、構造材料、兵器などが大量に生産されるようになった。この結果として、これらそれぞれの製品に対応した材料試験を行い材料の力学的性質を実験的に調べることが必須となったし、同伴元素が鋼に与える影響をより精確に知ることも必要とされた。1880年代には顕微鏡による分析法も研究され始めた。また、電気機器の材料としての重要性から電磁氣的性質の研究も開始された。鉄鋼研究者は、添加元素と温度変化によって多様な性質を示す鉄という対象を扱い、これに製品の必要とする性質を与えるために、添加元素が鉄に与える影響をまずは明らかにしなければならなかった。鉄と炭素の関係の解明は、特殊鋼生産のための基礎として特に重要であったといえる。

以上のような鉄鋼業と自然科学の関係を見ると、産業的課題が新しい学問分野を生み出すという性格のあることがうかがえる。つまり、生産活動自体が多様な自然認識を進める駆動力だったのである。

6 研究開発モデルにおける基礎研究の位置

以上のように、鉄鋼業と自然科学の関係をイギリスにおける鉄鋼研究の進展を踏まえて述べてきた。次に、これらの事例から先に述べた研究開発モデルの検討を行うことにする。

(1) 商品開発モデルと基礎研究

商品開発モデルは、基礎研究が応用・開発を経て商品化へ至るという連続的な流れをモデルの基本的な骨格として持っている。しかし、ここまででみたような鉄鋼研究の過程では課題自体が鉄鋼業ではなく機械工学の課題として初めに現れた。つまり、鉄鋼生産の課題ではなく鉄鋼消費の課題として現れたのである。そして、この課題に応えるべく、最新の科学と研究手段が動員された。しかも、これらの科学と研究手段は鉄鋼製品を開発する目的で生まれたもので

はなかった。してみると、基礎研究が直線的に商品化へ至るというリニアモデル（およびこれに類するモデル）の見地は、いわば歴史の後知恵によって過去の事実を再構成したものでもいえよう。研究開発の過程を直線的な関係としてとらえないコンカレントシステムモデルであっても同様である。鉄鋼業と機械工学と自然科学とでは研究の目的が異なっており、同時ではあっても並行はしていなかった。鉄鋼業は経済性をなによりも追求し、機械工学は品質や性能を追求し、自然科学は認識の深化を追求していたのである。しかし、同時に情報が共有される過程として「産業科学技術」の関係を捉えたことはコンカレントシステムモデルの積極点である。直線的ではない過程、そして同時ではあっても並行してはいない過程で、基礎研究をいかに位置づけるかが、商品開発モデル構築の課題であるといえる。なお、ここでいう「同時」とは蓄積された研究成果が産業上の課題と同時に存在するということであり、研究自体は過去に行われているということに留意する必要があるだろう。

（２）社会学的モデルと基礎研究

先述のようにギボンズのモード論では、モード2が研究の内容に踏み込むものでないところに難があった。ここまででみた鉄鋼研究の事例は、イギリス機械技師協会が主導し委員会という研究組織が整備されて行われた研究であったが、この過程では研究手段の水準が研究内容を規定もしたし、鉄鋼の化学的研究と物理的研究との総合が必要でもあった。制度的配慮のみで科学と産業が自動的に結びつく関係ではなかったのである。鉄鋼研究は自然認識の水準や技術の水準によって制約を受けており、これらの制約が研究の進展を決定づけていたといえる。社会学的モデルはこうした制約を表現できていない。産業目的からはひとまず離れた見地から、いかなる研究手段によっていかなる研究が行われており、その成果がいかなる水準にあるか（つまりはモード1の内容）が、まず把握されなければならない。その上で基礎研究（モード1）を産業的課題と結びつけるために、研究を社会に開く必要があるのだといえる。

しかし、モード論に積極点があることも間違いない。本稿では詳述できなかったが鉄鋼研究の進展には学協会や研究所の存在が重要な役割を果たしたことは事実である。「社会に開かれて」いたことが研究を進展させる重要な要素だったのである。自由にそして多様に行われる基礎研究を総合するような学協会や研究所がなければ、鉄-炭素系状態図のような成果は得られなかったであろう。したがって、学協会や研究所がいかなる役割を担うべきかを示すことが研究開発モデルの構築にあたっての課題となる。

（３）研究開発における基礎研究の機能

以上述べてきたように、19世紀末の鉄鋼研究の事例と照らし合わせると、通商産業省（当時）が提示した研究開発モデルは現実の研究開発の過程には対応しないものであるといえる。社会学的モデルにもまた課題があった。

そこで、研究開発モデル構築のために、筆者は一つの仮説を設定することにする。すなわち、自然科学の目的は広く自然を認識とすることなのであるから、これを「戦略的」に行うことは相当に困難であるというものである。基礎研究に戦略性はそぐわないとでもしたほうが、研究開発モデルの構築はむしろ容易になるのではなからうか。直接の技術的課題を持たない研究の蓄積が技術開発のためのポテンシャルとして決定的に機能するのだということを認めるところからモデル構築を進める必要があるのだと筆者は主張する。

現在（2008年）実施されている第3期科学技術基本計画においては「基礎研究の推進」必要性が一応のところ述べられているが、結局のところ「戦略的重点化」と称して開発研究が重視されているきらいがある。しかし、筆者の仮説の見地からすれば、基礎研究が技術開発の基盤として積極的に涵養されることが産業上の課題を解決するための前提である。

ただし、今日基礎研究は主に理学の分野で担われているが、理学的な基礎研究を行ってればそれだけで技術開発と産業発展が実現されるかといえ、そうではない。理学的分野の成果を産業上の成果へと結びつける研究分野も必要とされる。イギリス機械技師協会での鉄鋼研究では多様な分野の知見を必要としたのであるし、このような研究が物性物理学などの萌芽となり、また鉄鋼生産の科学的管理を実現するための基礎となったのである。したがって領域横断的な研究が今後ますます行われる必要があると考える。

7 おわりに

筆者は「直接の技術的課題を持たない研究の蓄積が技術開発のためのポテンシャルとして決定的に機能する」との見地を支持する立場にある。史実として鉄鋼の問題は鉄鋼以外の研究分野の成果によって解決された。そしてまた鉄鋼の問題は冶金学という新しい学問分野を産み出す端緒だったのであり、これによって技術開発のためのポテンシャルは強化されてきた。したがって、技術開発を推進するためには、基礎研究の推進が大前提として行われなければならない。そしてこれはまた、基礎研究を主に担っている理学的分野へ課題を提起する研究分野が必要であるということにもなる。産業の側からの、また、技術開発を主に担っている工学的分野からの情報発信が極めて重要となる⁴⁴。

また、以上で示したような研究開発の事例では研究手段の形成が重要な要素であった。研究手段の開発が基礎研究の一翼を担っていたのである。したがって、研究手段の研究を行う分野（＝研究のための技術開発を行う分野）が研究開発の過程では一定の地位を得ることになる。すなわち、理学的研究を進展させるための工学的研究の重要性を認めなければならないのである。してみると、開発研究と見なされがちな工学的研究にも基礎研究としての性格があることを認めざるをえない。なお、吉川弘之らは従来いわれる「基礎研究」を「第1種基礎研究」と呼称し、これに加えて「第1種基礎研究」の成果をもとにして「モノをつくる研究」に「第2種基礎研究」という呼称を与えている⁴⁵。これは筆者の見解とも重なるところのある主張である。工学的研究の基礎研究としての性格については、「第2種」との呼称の是非も含めて、今後さらに議論が深められる必要があるだろう。

これに加えて、本稿では詳述できなかったが、学協会や研究所の存在もまた研究開発モデルの構築において無視できない要素である。焼入れ研究委員会の多様な研究者を結びつけたのはイギリス電信技師協会であった。また、イギリス機械技師協会だけでなくイギリス鉄鋼協会も鉄鋼研究を進展させるのに重要な役割を果たした学協会であった。筆者はこのイギリス鉄鋼協会を事例として学協会の機能について論じたことがある⁴⁶。また、機械技師協会で行われた研究は、イギリスの国立物理学研究所（NPL）に引き継がれていったが、筆者はこのNPLで行われた研究を対象とすることで、研究所の役割についてもまた論じたことがある⁴⁷。これらを要するに、学協会や研究所は個別多様に行われていた研究を総合化する役割を担っていたといえる。

筆者は、いわゆる基礎研究と産業上の課題とを結びつける工学という分野の役割がより深く検討されねばならないことをここで指摘する。工学の主な内容は開発研究ではあろうが、工学は研究課題の提起および研究手段の創出といった形で基礎研究をむしろ基礎づけてもいる。リニアモデルのようには一方的でない工学の役割がより認識されねばならない。そしてこのような役割を実現するために学協会や研究所がいかなる機能を担わなければならないのかを、史実に基づいて示すことが今後の研究開発論の課題なのだと指摘する。

筆者は、ここまでで指摘してきた諸要素が今後の科学技術政策の策定において考慮される必要があると主張する。

(Endnotes)

- 1 吉川弘之、内藤耕、『「産業科学技術」の哲学』、東京大学出版会、2005。
- 2 通商産業省編、『産業科学技術の動向と課題－地球規模での技術的共生に向けて－』、1992、p.1。
- 3 同上、p.5。
- 4 同上、pp.35-36。
- 5 ギボンズ編著、『現代社会と知の創造 モード論とは何か』、小林信一他訳、丸善、1997、原書は M. Gibbons: *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, Sage Publication, London, 1994.
- 6 同上、pp.98-99。
- 7 同上、p.260。
- 8 科学技術庁科学技術政策局編、『科学技術基本計画（解説）』、1997、pp.50-51。
- 9 同上、p.50。
- 10 文部科学省編、『科学技術白書 平成14年版』、2002、p.326。
- 11 同上、p.331。
- 12 同上。
- 13 同上。
- 14 文部科学省編、『科学技術白書 平成18年版』、2006、p.325。
- 15 同上。
- 16 W. Anderson: "First Report to the Council of the Committee on the Hardening, Tempering, and Annealing of Steel," *Proceedings of Institution of the Mechanical Engineers*, 1881, pp.681-695. 以下では *Proceedings of Institution of the Mechanical Engineers* は *PIME* と略す。
- 17 F. A. Abel: "Memorandum on Results of Preliminary Experiments Made With Thin Disks of Steel," *PIME*, 1881, pp.696-705.
- 18 F. A. Abel: "Report on Further Experiments Bearing Upon the Question of the Condition in Which Carbon Exists in Steel," *PIME*, 1883, pp.56-67.
- 19 F. A. Abel: "Final Report on Experiments Bearing Upon the Question of the Condition in Which Carbon Exists in Steel," *PIME*, 1885, pp.30-48.
- 20 T. A. Edison: "The Action of Heat in Vacuo on Metals," *NATURE*, Oct. 2, 1879, pp.545-546.
- 21 W. Chandler Roberts: "Results of Experiments Made With a View to Ascertain Whether Occluded Gases Play any Part in the Hardening and Tempering of Steel," *PIME*, 1881, pp.706-711.
- 22 D. E. Hughes: "On the Physical Condition of Iron and Steel," *PIME*, 1884, pp.36-52.
- 23 W. C. Roberts-Austen: "Report to the Alloys Research Committee," *PIME*, 1891, pp.543-566.
- 24 *Ibid.*, p.543.
- 25 *Ibid.*, pp.546-555.
- 26 *Ibid.*, pp.555-558.
- 27 *Ibid.*, pp.556-557.
- 28 *Ibid.*, pp.561-564.
- 29 *Ibid.*, pp.564-566.
- 30 W. C. Roberts-Austen: "Second Report to the Alloys Research Committee," *PIME*, 1893, I, pp.102-138.

- 31 Ibid., p.103.
- 32 W. C. Roberts-Austen: "Third Report to the Alloys Research Committee," *PIME*, 1895, I, pp.238-253.
- 33 W. C. Roberts-Austen: "Fourth Report to the Alloys Research Committee," *PIME*, 1897, I, pp.31-69.
- 34 W. C. Roberts-Austen: "Fifth Report to the Alloys Research Committee," *PIME*, 1899, I, pp.35-68.
- 35 Frederick Guthrie: "On Salt Solution and Attached Water," *Philosophical Magazine*, series 5., vol.1, 1876, pp.49-60, pp.354-369, pp.446-455, vol.2, 1876, pp.221-225, vol.6, 1878, pp.35-44, pp.105-115.
- 36 Frederick Guthrie: "On Eutexia," *Philosophical Magazine*, series 5., vol. 17, 1884, pp.462-482.
- 37 Ibid., pp.479-482.
- 38 Frederick Guthrie: "On Salt Solution and Attached Water," *Philosophical Magazine*, series 5, vol.18, 1884, pp.22-35, pp.105-120.
- 39 Frederick Guthrie: "On Some Thermal and Volume Change Attending Mixture," *Philosophical Magazine*, series 5, vol.18, 1884, pp.495-517.
- 40 C. T. Heycock and F. H. Neville: "The Application of Raoult's Depression of Melting Point Method to Alloys," *Abstracts of the Proceedings of the Chemical Society*, No.65, 1889, pp.41-42.
- 41 C. T. Heycock and F. H. Neville: "The Lowering of the Freezing Point of Sodium by the Addition of Other Metals," *Journal of the Chemical Society*, vol.55, 1889, pp.666-676.
- 42 C. T. Heycock and F. H. Neville: "The Molecular Weights of Metals When in Solution," *Journal of the Chemical Society*, vol. 57, 1890, pp.376-393, pp.656-661.
- 43 加茂儀一編、『技術の歴史』、毎日新聞社、1956、p.255。
- 44 Chain-Linked モデルはこの点のある程度表現できている。
- 45 吉川・内藤、前掲書、p.69。
- 46 拙稿、「19世紀末における鉄鋼業の発展と鉄冶金学の形成－イギリス鉄鋼協会の国際的活動についての分析を中心に－」、『国際文化研究』第7号、東北大学国際文化学会、2000、pp.161-176。
- 47 拙稿、「創設期のイギリス国立物理学研究所における合金研究」、『国際文化研究』第10号、東北大学国際文化学会、2004、pp.221-235。