

江戸と明治の製鉄技術  
- 明治の技術革新はいかに生じたのか -

財団法人国際東アジア研究センター  
長谷川純一

Working Paper Series Vol. 2008-29  
2008年12月

この Working Paper の内容は著者によるものであり、必ずしも当センターの見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で引用、再録されてはならない。

財団法人 **国際東アジア研究センター**  
ペンシルベニア大学協同研究施設

# 江戸と明治の製鉄技術

## - 明治の技術革新はいかに生じたのか -

財団法人国際東アジア研究センター

長谷川純一\*

### 要旨

途上国の長期的成長において技術変化が果たす役割が大きいが、どのように技術変化が起こるのかについては、未だ、明らかならざるところが多い。本稿では、日本の江戸期から明治期にかけての製鉄技術を取り上げ、技術変化がどのように起こったのか検証し、途上国の経済発展への示唆を考えてみたい。

そのため次の4点について分析する。第1に、江戸期において、西洋では製鉄技術が大きく変化したが、日本ではほとんど変化しなかった。これは、なぜか。第2に、江戸末期に複数の藩が反射炉の建設に挑戦するが、一部の藩では成功し、他では失敗している。成否を分けたのは、何か。第3に、明治期、官営製鉄所は、釜石と八幡に建設されるが、ともに、初期において大きな失敗をした。当時の計画と失敗の原因を検討することにより、技術変化の特徴について考察する。第4に、これら技術変化の特徴を、より一般化する形で、人的資本、知識水準、ローカリゼーション、試行錯誤の観点から整理する。特に、技術変化を促進する社会の制度について、議論を試みる。

---

\*財団法人国際東アジア研究センター 主席研究員  
〒803-0814 北九州市小倉北区大手町 11-4  
E-mail: hasegawa@icsead.co.jp

## はじめに

20世紀後半、日本は世界の中でも有数の鉄鋼生産国となる。本稿では、そこに至る遙か以前、初めて日本に近代的製鉄産業が誕生する時期の前後、江戸期・明治期の鉄鋼生産の技術について取上げ、この時代の技術変化がどのように起こったのかを探ってみたい。

本稿の主な関心は、次の4点である。第1に、江戸期以前の時代には、製鉄技術は、ほとんど変化していない。江戸期に西洋では、次々と新しい技術が発明されるのに対して、なぜ、日本では技術変化が起こらなかったのだろうか。日本では、新たな発明が起こらなかっただけでなく、西洋の新技术も導入されていない。技術変化は、新製品に対する需要、人的資本の水準、対外開放度、あるいは、幸運と偶然などに依存して発生すると考えられるが、本稿では、技術変化を起こさなかった社会の特徴についても検討に加えることにしてみたい。

第2に、江戸末期に、日本近海に外国艦船の影が見えるようになってくると、国防上の理由から、洋式反射炉の技術を導入して、大砲を鑄造しようとする試みが行われるようになった。反射炉の建設は、一部の藩では成功するが、他藩では失敗している。洋式反射炉の技術は、当時の日本の技術水準から、それほど遠く離れていたのだろうか。成功した藩では、どのようにその距離を縮め、新しい技術の導入に成功したのか。これらについて、成功した藩と失敗した藩を比較することによって、技術変化の要因を検討する。

第3は、官営製鉄所の初期の失敗についてである。釜石製鉄所では、1880年に第一次操業を開始するが、わずか97日で中止、第二次操業も196日で中止し、1883年には廃業されている。その後、釜石製鉄所において、高炉による生産が始められるまでには、10年の期間を必要とした。八幡製鉄所も、非常に似た経緯をたどり、最初の操業から1年足らずで閉鎖となり、以降、再開されて安定的な操業を行うまでには、10年近くの年月を必要とした。釜石・八幡製鉄所ともに、明治政府を挙げての計画であり、膨大な財政を支出したのに、なぜこのように大きな失敗を経験したのだろうか。本稿では当時の計画と失敗の原因を検討することによって、技術変化の特徴について考えてみたい。

最後に、江戸・明治期の製鉄技術における技術変化の特徴を検討する。ローカリゼーション、試行錯誤、および人的資本と知識水準について検討するが、特に、技術変化と社会制度の関係についても考えてみたい。江戸期と明治期は隣接するが、まったく異なった社会制度を持つ時期であり、社会制度が技術変化に及ぼす影響を考える上で、重要な示唆をもたらしてくれると考えられるからである。

議論の順序は、はじめに、伝統的な製鉄技術である「たたら製鉄」、江戸末期に導入された洋式反射炉、そして明治維新後の官制製鉄の3つの技術およびその変化について検討する。最後に、これらの議論を通じた技術変化の特徴について考えてみたい。

## 1. たたら製鉄の時代

まず、江戸後期の製鉄産業の状況を検討する。製鉄技術が日本に伝えられたのは、弥生時代といわれ、以来、日本各地で製鉄が行なわれていた。江戸期以前の製鉄の方法は、いわゆる「野たたら法」と呼ばれる方法で、鉄鉱石や砂鉄などの鉄原料を、粘土で作った炉の中で木炭と一緒に燃焼させ、鉄を還元する技術である。16世紀末頃から、いくつかの重要な技術変化が起こり、次第に産業として定着した。第1の技術変化は、慶長年間（1596～1615年）に起こった「鉄穴流し（かんながし）」と呼ばれる、砂鉄の採集方法である。鉄穴流しでは、鉱脈を大規模に取り崩し、川などで水を利用して比重選鉱を行なうものである。この方法を採用することで、大量の原料を採取することが可能となった。第2の技術変化は、「天秤ふいご」の発明であり、元禄年間に起っている（大橋 1991, p.19）。たたら法では、燃焼効率を維持するために大量の空気を炉に送る必要がある。このため、天秤ふいごは、送風の効率を改善するよう考案されたもので、天井から吊した天秤の下に2枚の踏み板を接続して、人の脚力を利用して風を送る。第3の技術変化は、鉄穴流しと天秤ふいごの導入によって、生産量が増大したことにより、生産施設を「高殿」と呼ばれる建屋の中に設置するようになったことである。野たたらでは、雨が降れば生産を中止しなくてはならないため、年間のうちでも晴天の日が続く時期だけに、生産が行なわれたが、建屋ができたおかげで、年間を通じて生産ができるようになった（大橋, 1991, p. 19）。

江戸後期には、各地でこのような高殿が建設され、鉄穴流れと天秤ふいごによるたたら製法が行なわれている。1784年、伯耆の国（鳥取県）の下原重仲によって著わされた『鉄山必要記事』には、たたら法による鉄生産を行なっている国として、播磨（兵庫県）、但馬（兵庫県）、美作（岡山県）、因幡（鳥取県）、伯耆（鳥取県）、備中（岡山県）、備後（広島県）、出雲（島根県）、石見（島根県）、安芸（広島県）、薩州（鹿児島県）が挙げられている（窪田, 2003）。中国地方は、原料となる砂鉄を豊富に産するため、数多くの製鉄産業が営まれ、南部藩（岩手県）の製鉄産業と並んで有名である。安永・天明期（1772～1788年）の「大坂登鉄高」によれば、中国地方の鉄鋼生産量として年間240万貫（9,000トン）という報告がある。

たたら法の大きな弱点は、原料となる砂鉄の量に比して、製品となる銜鉄・銹鉄の量が小さく、歩留まりが悪い点である。窪田（2003）によれば、天秤ふいごを使用しても、製品の4倍以上の原料を必要とし、明治になってからの記録でも、出雲のたたらで3.3から3.4倍であったという（p. 190）。たたらは、砂鉄の消費だけでなく、木炭の使用量も非常に多い。1回の製造工程は3～4日で、これを一代（ひとよ）というが、一代のたたらに、5,500貫の砂鉄とほぼ同量の木炭を使用して、1,500貫の銹鉄を作ったという記録がある（大橋, 1991, p. 20）。したがって、たたら法による鉄の生産には、大量の砂鉄と木炭を必要とする。さらに、たたら法では、鉄ができあがると炉を破壊して製品を取り出さなくてはならないので、恒常的に生産を継続することが可能な西洋高炉製鉄と比べて、生産量は、

はるかに小さかった。

鉄はさまざまな形で消費されている。軍用として、刀剣・甲冑・鉄砲，農漁業用として、鋤・鍬・鎌・釣り針，生活用として，鍋・釜・包丁・縫い針・鋏，建設用として，鉄槌・のみ・錐・釘・金尺などの用途があった。たたら法によって生産された銑鉄，鋳鉄が，各地の鍛冶職人に渡り，これらの武器，道具となって消費者の手に渡った。たたら製鉄は，原料である砂鉄と木炭を作る森林の付近に立地するが，鍛冶加工業は，京都，大坂などの流通の中心に数多くできている。

江戸後期の鉄の需要を考えると，まず，武器としての需要は，江戸初期から連続して低下していたと考える。また，この時代は，産業機械などの鉄鋼需要はまだ発生していないので，その点でも需要は増えていない。したがって，江戸期を通じて鉄鋼需要は大きな増加はなく，生産者に対して，生産増大の誘因は大きくなかったと考えられる。このことは，たたら製鉄の技術が，江戸時代を通じてほとんど変化していないことの一要因となっている。たたら法の技術は，炉を作るための粘土の採取場所，粘土の捏ね方，砂鉄，原料のくべ方，燃えさかる火の音や色の見分け方，など，その土地に属する知識が中心であった。このような技術が，代々口承で伝えられており，その内容は長期にわたって変化していない。

江戸時代の製鉄技術が変化しなかった間，ヨーロッパでは相次ぐ戦争と産業革命によって，製鉄技術を大きく進歩させている。1730年代以降には，コークスを燃料とするコークス高炉法が広まり，さらに1830年代には，送風方法が水車を利用するものから蒸気機関に変わり，生産性が飛躍的に上昇した。コークス高炉初期には，1日1高炉当たり1トンであった生産量が，1850年代のイギリスでは30トンにまで高められていた(大橋，1991，p. 23)。

江戸後期の製鉄現場には，これら西洋の新技术を導入しようとした形跡はない。その最大の理由は，鎖国政策によって，外国知識習得への制約が存在したことであったと考える。鎖国政策が，海外からの変化と刺激を遮断して，長期にわたって同じ技術を利用し続けさせたと考えられる。しかし，たたら法で使用する膨大な量の砂鉄と木炭の費用を考えれば，より効率の良い技術への必要性は非常に大きかったのではないだろうか。したがって，仮に，たたら製鉄を行っている人々が，新技术の存在を知れば，競って技術導入が試みられたはずである。

他方，江戸後期の社会状況は，既に蘭学が盛んに研究され，国内には蘭書・英書が数多く存在していた。一部の学者には，新しい製鉄技術に関する情報も伝わっていたと推測される。しかし，その情報が製鉄現場に届くには至らなかった。新技术が注目されるのは，国防上の必要に迫られる時まで待たなくてはならなかった。その背景には，この時代の社会が，変化を求めなかったことに原因があるのではないかと考えられる。

江戸時代は，日本の歴史上，最も長期的に安定し持続した社会であったばかりでなく，変化を好まず，新たな発明も改善も避けることが求められていた社会である。1721年將軍

吉宗は、商人・職人に業種別のグループを作らせ、相互に新商品を監視させた上で、発明も改善も一切を禁じるお触書を出している<sup>1</sup>（奥村，1970）。人々の生活では、冠婚葬祭から日々の生活に至るまで、先例を尊び、格式を重んじた。旗本の子供として生まれた者は旗本を継ぎ、下級武士の子供は下級武士になった。同様に、商家の子供は商家を継いだ。そのように将来の職業まで、誕生と同時に決定している社会では、人々は懸命に伝統を守ることを求められた。人々は、大きな変化を好まず、長期にわたる安定を好んだ。蘭学は危険視され、西洋の知識が進んで取り入れられることはなかった。このように、蘭学を学習する者が、新技術や新商品を世に伝えることなく、知識のまま終わらせたのは、社会が変化に対して抵抗する力が働いていたためであると考えられる。より高い生産性をもって、鉄を生産する技術が存在することを、社会の一部の人が知っていても、それが伝播しなかったのである。

## 2. 洋式反射炉の時代

ところが、1840年代台に突如として、状況が変化する。それまで幕府・諸藩は、200年余りの安定の時期に、まったく軍事力を行使することなく、ひたすら軍事的装備を陳腐化させてきた。だが、西欧諸国から、次々に届けられる通商と開国の要求に、幕府・諸藩は一斉に危機意識に火をつけた。幕府・諸藩は、急転して、新たな軍備、それも西洋と対抗しうる水準のものを必要とするようになった。軍備の中でも特に海岸警備が急務とされ、精度の高い大砲が要求された。たたら法で生産される鉄は、硬く、日本刀や剃刀の製造には適しているが、砲身の鑄造には粘性が不足するため不適であった。そのため、佐賀藩、薩摩藩、伊豆荊山（幕府天領）、水戸藩、長州藩、島原藩飛地領豊前安心院、鳥取藩では、西洋技術を取り入れた反射炉の建設が行なわれるようになった。

これら諸藩のうち、最も早く反射炉を手がけ、成功したのが佐賀藩である。佐賀藩では、1850年7月に着工し、同年12月より生産を開始している。生産された鉄は、すべて大砲の製造に使用され、1852～1865年の間に、大砲125門を製造したとされている（大橋，1991，pp. 49～50）。この間の事情を、中岡（1991）は、「たった一冊の種本 ヒューゲン著『リエージュ国立砲鑄所における鑄造法』<sup>2</sup> をもとに、その本の図面だけを頼りに反射炉を建設し、その本の記述だけを手引きにして銑鉄をその炉で溶かし、大砲を鑄造した、…」（p. 480）と述べ、この時代の懸命の努力を、「経済合理性の面からみれば途方もない技術的試

---

<sup>1</sup> 「呉服類諸道具書物は申すに及ばず、諸商売物菓子類にてても、新規に功出し候事爾今以降固く停止たり。…諸商売物の中古来の通にて事済み候所、近年色品を替、物数奇にも仕出候類は追て吟味を遂げ…」（奥村，1970，p. 19）

<sup>2</sup> 1826年オランダにて刊行。

み」(p.481)が行なわれたとしている。大急ぎに海防を整えなくてはならない、鑄鉄砲を配備しなくてはならないという新たな需要に対し、限られた海外の情報を手がかりに、懸命の努力が行なわれたことが推察できる。

佐賀藩における反射炉の操業は、未知の技術を習得する過程であった。生産の初期の段階では、原材料の選定、溶解時間、送風方法など、未知の分野での実験が行なわれ、多くの失敗を重ねている。反射炉の完成直後、1850年末に行なった第1回溶解では、銑鉄900Kgを装入して試みた結果、炉内温度が十分に上がらなかったため、溶解は50%程度しか進まず、失敗した。その後同様の失敗を繰り返したが、回を重ねるごとに溶解の度合いが向上し、第8回目にほぼ100%の溶解に成功したという(大橋,1991,p.43)。この反射炉の銑鉄溶解能力は、1回の操業で3~3.5トンであり、大型大砲の鑄造には36ポンド砲で高炉2基、150ポンド砲で高炉4基分の鉄を必要とした(大橋,1991,p.45)。そのため、反射炉を増設する必要がある、最終的には合計4基の反射炉が建設された。最初の目標であった36ポンド砲が製造されるまでには、第一次操業から2年の期間が費やされ、150ポンド砲が完成するのまでには、5年以上の期間を必要としている。この時期の技術伝播は、情報が不足する中での、懸命の試行錯誤を繰り返し、知識の水準を引き上げている。ヒューゲニンの著書を頼りに、蘭学・兵学の研鑽者やたたら法の職人を総動員して、試行錯誤が繰り返された。炉の中の化学反応に、既存の知識と未知への想像力を駆使して、日夜思いを馳せたに違いない。その結果、佐賀藩では、大砲の鑄造に成功している。

技術伝播が成功するためには、新技術以前に既にもっている知識水準が重要である(長谷川,2007,pp.41~43)。佐賀藩において、反射炉の操業が成功した理由は、当時の和算、築城技術、土木技術などの蓄積があったことと、および2年にわたる試行錯誤によりその知識水準を、新技術の習得に手が届くほどの水準にまで高めることができたことにあると考えられる。

佐賀藩に続いて、幕府天領である伊豆韮山に反射炉が建設されるが、この建設には、佐賀藩の経験が生かされている。当初、幕臣によって建設された韮山反射炉は1855年2月に最初の火入れが行なわれるが、当初は、炉の欠陥のために溶解に時間を要し溶銑の質が不良となり、操業は失敗であった。その後、韮山の反射炉は、2年間の間、放置される。2年後になって、大幅な改築を行なっている。この改築は、佐賀藩に助力を求め、同藩が既に学習していた知識と技術を全面的に利用することで行なわれた。韮山反射炉は幕府の主導で建設しているので、幕府の威光を以って他藩に依頼することが可能であった。佐賀からは、技術者の中心的存在であった杉谷雍介、田代孫三郎、職人彦兵衛、角兵衛、安兵衛、鑄造工領蔵らが派遣されている(大橋,1991,pp.113~118;窪田,2003,pp.243~246)。ここでは、試行錯誤の代わりに、経験者からの技術の伝播があったといえるだろう。韮山反射炉は、現在でも存在するために、その設計や材質を正確に知ることができる。反射炉の大きさを調べると、ヒューゲニンの原著に忠実に建設されているという(大橋,1991,p.109)。これは、模倣によって技術の導入を行なおうとしたことの証しであると考えられる。

さらに、炉体を造る耐火煉瓦は 1,700 度に耐える性能があることが確認されているが、これは、現代の製鉄所でも使用できる性能である。この耐火煉瓦は、ヒューゲニンの著書を頼りに、伊豆、相模、武蔵、駿河、三河の各地から瓦職人を動員して製造されている（窪田, 2003, p. 244）。このことは、当時の瓦職人の技術の水準が、ヨーロッパの技術水準と、大きくはかけ離れていなかったことを示していると考えられる。

佐賀藩、伊豆韮山、薩摩藩、鳥取藩の反射炉が成功裏に操業されたのに対し、長州藩では、反射炉建設の計画は、途中で頓挫している。長州藩の反射炉は、操業した形跡はなく、大砲が製造されたことも確認されていない（大橋, 1991, pp. 206~209）。大橋（1991）は、その理由を、「長州藩は佐賀、薩摩のいずれからも反射炉の技術を十分に伝習することができなかったことにある」（p. 205）と述べている。佐賀藩では、オランダの文献と蘭学者・技術者・職人を総動員して懸命の努力を重ね、2 年間の試行錯誤を繰り返した結果、新技術を習得した。他方、長州藩では、同様の努力を重ねたものの、財政的な理由および大砲輸入開始のため、十分な試行錯誤の期間をもつことができず、結局、計画は中断している。また、伊豆韮山では、当初の独自の努力による操業では失敗し、2 年後に佐賀藩の助けを得て成功している。懸命の努力と試行錯誤を継続するだけの財力と時間的猶予をもった者は成功し、そうでない者は失敗しているのである。

1860 年頃になると、急速に高まった反射炉の建設熱は、一気にしぼんでしまう。いくつかの反射炉は成功するものの、銑鉄の量的な供給能力に制限があり、かつ大型の大砲の作成が困難であるために、完成品を海外から購入するようになるためである。上記の反射炉はいずれも、緊急に大砲を製造することを目的としている。したがって、大砲が輸入されるようになると、反射炉への関心は急速に薄れていった。しかし、各地において懸命の努力によって習得された知識と技術は、その後の、工業技術の習得に引き継がれていったと考える。日本全体の製鉄産業としてみると、反射炉の生産はこれ以上には進まず、各地において 1850 年代以前のたたら法による製鉄が引き続き行なわれた。

西洋技術を利用し続けた唯一の例外が、釜石鉄山の洋式高炉による製鉄である。釜石には日本最大の鉄鉱山があり、砂鉄ではなく鉄鉱石を使用する洋式高炉が建設された。釜石の洋式高炉には、大島高任が中核的技術者として参加している。大島は、藩医を父として生まれ、オランダ医学学習のために長崎に留学するが、そこで西洋の砲学、鉱山、精錬などを学んだ。大島は、長崎留学中にヒューゲニン著『リエージュ国立砲鑄所における鑄造法』を学友手塚律蔵と共に翻訳している（飯田, 1982, pp. 38~39）。長崎留学の後、大島は水戸藩に乞われて、反射炉の建設と操業に参加している。水戸藩の反射炉建設に従事した後、大島は、岩鉄（鉄鉱石）を使用した西洋高炉による製鉄が、鑄鉄砲に向いていることを力説し、地元商人資本の参加を得て、釜石鉄山の製鉄所を建設するに至った。釜石鉄山の最初の洋式高炉は 1857 年に開業し、明治維新直前までに 10 基の高炉が活動している（大橋, 1991, p. 275 および p. 284）。最初の火入れから、わずか 10 日後には 0.75 トン、

続いて 0.94 トンの鉄の生産に成功している（窪田，2003，p. 249）<sup>3</sup>。この後，試行錯誤を繰り返すことにより，日産 1 トン超にまで生産性を上昇させている。

釜石鉄山洋式高炉の技術移転は，大島高任など優秀な人材に負うところが大きい。大島は，江戸で蘭学を学習した後，水戸藩の反射炉建設に参加し，試行錯誤を繰り返すことによって西洋技術を習得した。その後南部藩に戻り，釜石では，反射炉とは異なった製鉄技術である高炉に挑戦する。大島が水戸藩の製鉄仲間へ送った書簡の中には，「高炉築立方焼石炭製法等之儀に付，イハイ並びにコンストウォールと申す蘭書吟味致し度儀之有」とあり，ヒューゲニンの他にイハイとコンストウォールの 2 書も，参考にしていることがわかる（大橋，1991，p. 282）。さらに，釜石では，1 番炉の建設から開始し，10 番炉まで建設しているが，新たな建設の都度，設計を変えて改良を試みているのは，さらに試行錯誤が続けられたことを意味する。高炉の操業は，鉄鉱石を木炭燃料で熔解し，溶剤として石灰を入れるが，大島は，これら原料の比率，投入の時刻，溶解の時間，送風の量などの変化をさまざまに試みて，蘭書には書かれていない釜石独自の状況への技術の適合を行なったものと考えられる。この技術のローカリゼーションには，地元が存在した伝統的な知識が役立てられている。中国地方など他地域のたたら法では，原料に砂鉄を使用するが，南部藩では古くから，「餅鉄」と呼ばれる鉄鉱石を使用した，たたら製鉄が行なわれていた。その鉄鉱石溶解の知識と技術が，洋式高炉において，地元の原料を使用するためのローカリゼーションに工夫を凝らし，大いに活躍したといわれている（飯田，1982，pp. 40～42；大橋，1991，pp. 284～288）。

### 3. 官営製鉄の時代

明治維新を迎えると，日本は新たな産業国家としての道を歩き始めた。ようやく始まりかけた近代的機械産業を支えるためにも，また，人々の日常的な新商品への需要に応えるためにも，鉄の生産を増加することが，国家の急務とされた。表 1 は，19 世紀後半の各国の鉄鋼生産高である。これをみると，当時の日本の鉄鋼生産高が，著しく低かったことがわかる。明治初期の日本では，既に釜石，江刺製鉄所が洋式高炉を操業していたが，製鉄の中心的技術は依然としてたたら法であり，生産地の中心は中国地方であった。

---

<sup>3</sup> 最初に火入れが行なわれた 12 月 1 日は，現在では鉄鋼業界によって「鉄の記念日」に指定されている。

表 1 19 世紀後半の鉄鋼生産量 単位：千トン

年	銑鉄			溶鋼			錬鉄		
	1870	1880	1890	1870	1880	1890	1870	1880	1890
イギリス	6,060	7,802	8,033	287	1,321	3,637	2,600	2,000	1,744
アメリカ	1,961	3,896	9,353	68	1,268	4,347	1,170	2,115	2,652
ドイツ	1,319	2,729	4,658	170	624	1,614	932	1,359	1,559
フランス	1,171	1,733	1,962	94	389	582	670	985	825
ロシア	360	446	927	9	296	378	254	292	400
日本	n.a.	6	16	0	0	0	n.a.	2	2

出所：大橋（1991，p．383）

このような状況の中で、明治政府は、国家主導の製鉄産業を計画した。その最初の計画が、官営釜石製鉄所である。この計画は、鉱山専用の鉄道と 2 基の 25 トン高炉を建設するものである。それまでの、大島高任による洋式高炉は、日産 1 トンであったが、当時のヨーロッパの最新技術では日産 30 トンを生産しており、一気に西洋の技術水準に到達しようとするものであった。鉄道は、当時はわずかに東京 - 横浜間に存在しただけであるから、日本で 2 番目の鉄道を、釜石に建設するということになる。政府の製鉄産業への取り組み意欲がいかに大きいか想像される。1874 年、政府は釜石鉄山を官営とし、ルイス・ビヤンヒー他 6 名の外国人技術者に製鉄所の計画を作成させた（奥村，1973，p．198）。ビヤンヒーの計画は忠実に実行に移され、高炉、錬鉄炉、圧延機などの基幹設備一式、蒸気機関その他付帯設備一式、耐火煉瓦に至るまで、すべてイギリスから輸入され、操業にあっても、ドイツ人 1 名、イギリス人 9 名の外国人が技術指導を行なっている（大橋，1991，p．407）。

しかし、釜石製鉄所の操業は、悲惨な結果に終わっている。1880 年、第一次操業は、わずか 97 日間の操業で停止した。1 日平均 15.4 トンの銑鉄の生産に成功したものの、高炉の木炭消費量が当初見込みを大幅に上回る 1 日 1 万貫に達し、製炭能力の不足、木炭供給計画の杜撰さのため、木炭が不足し操業を継続できなくなった（大橋，1991，p．407～408）。第二次操業は 1882 年に行なわれ、当初は日産 31.5 トンまで生産するに至ったが、燃料を木炭からコークスに転換する際に、鉱滓が炉内で凝結し、出湯口をふさぐという重大な障害が発生し、火入れから 196 日で中止に追い込まれた（大橋，1991，p．408）。これ以降、官営釜石製鉄所は、再び操業することなく、翌 1883 年に廃業されている。

技術伝播の観点からすると、釜石製鉄所の挫折から、貴重な教訓を読み取ることができる。まず、すべての設計を既に技術をもっている外国人に任せ、さらに、大部分の機械装置を既に技術をもっている外国から輸入している。佐賀藩や葦山の反射炉が、才

ランダ語の一冊の本から建設されているのに対し、こちらは、設計も、建設も既に技術をもっている者が監督にあたり、輸入機械装置を使用している。いわば、生産施設と技術者を、そっくりヨーロッパから、移植しようとしたのである。このため、操業の当初から、銑鉄の生産に一定の成功を収めている。佐賀藩の場合に、2年の試行錯誤の期間を必要としたのと対照的である。

しかし、生産設備と技術者を移植しようとしても、日本の風土に適合させるローカリゼーションが必要であり、現地の事情に適合できなければ失敗せざるを得ない。もともと、ヨーロッパの高炉は、火力の強いコークスを使用する前提で作られている。ヨーロッパと日本では、原材料の賦存状況が異なっている。したがって、ヨーロッパの技術を日本で使用するには、一部技術をローカライズさせて使用しなくてはならないのである。釜石製鉄所は、日本の事情に疎い外国人技術者の主導によって操業したために、ローカリゼーションにおいて重大な困難に直面し、結局は失敗に終わった。

その後、釜石製鉄所は、田中長兵衛に払い下げられ、やがて製鉄の一大生産拠点として日本経済の成長に大きな役割を果たすに至るが、それは遙か時代が下がってからである。当初、田中製鉄所は、官営釜石製鉄所を払い下げ受けるのではなく、釜石鉄山の鉄鉱石の払い下げを受け、1885年、釜石製鉄所の敷地の一部に日産4~5トンの小型高炉を2基建設し、小規模な銑鉄生産を目指した。燃料はコークスではなく木炭、送風は蒸気機関ではなく水車を動力としており、この限りにおいて、官営釜石製鉄所の技術水準からは、技術的に後退しての再出発である(大橋, 1991, p. 426)。しかも、「数十度の改良と修繕」(飯田, 1982, p. 50)を重ねて、ようやく1886年に試験操業に成功したという。さらに1894年には、それまで操業中断のまま放置されていた官営釜石製鉄所の25トン高炉を改修し、ついに日本最初のコークス製鉄に成功した(奥村, 1973, p. 200)。その結果、1894年の田中製鉄所の銑鉄生産量は、前年の約8,000トンから、13,000トンに増加し、この年初めてコークス高炉による製鉄量が、たたら法による製鉄量を上回った(奥村, 1973, p. 200)。

1901年には、官営八幡製鉄所が操業を開始している。官営八幡製鉄所は、当時イギリスを抜いて世界最先端といわれたドイツの製鉄技術を、ドイツ人技術者の設計と技術指導によって、日本に移転させる試みであった。このため、ドイツの会社から生産施設一式を輸入し、ドイツ人技術者と経営陣が操業にあたった。しかし、日本のコークスがヨーロッパのものと非常に異なるため、そのままの設備では日本の事情に適合することができず、結局1年足らずで、閉鎖に追い込まれてしまった(Hausmann and Rodrik 2003, p.625)。また、ドイツ人技術者と日本人技術者の間に軋轢が生じ、ドイツ人技術者のほとんどは解雇された(飯田, 1988, pp. 46~47)。

その後、日本人技術者の懸命の努力によって、高炉、コークス炉の改善などのローカリゼーションが行なわれた結果、1910年頃には、本格的な技術的基礎を確立し、安定的な操業を行なうようになった。この段階では、日本の技術者が設備・装置あるいは原料処理の欠陥を発見して、是正・改善するだけの能力を習得したとされている(大橋, 1991, p. 434)。

これは、第1段階（操作技術の習得）、第2段階（保守技術の確立）、第3段階（修理技術の習得）を経て、ようやく第4段階の、自主設計の技術的確立までの、技術伝播のプロセスが完了したものと考えることができる。19世紀前半には、ヨーロッパの17世紀の技術にすら到達していなかった日本が、わずか60年余りの間に、200年間の技術進歩に追いついた計算である。

#### 4. 製鉄技術における変化の特徴とその含意

最後に、江戸・明治期の製鉄技術における技術変化の特徴について整理し、技術移転を考える上での含意について考えてみたい。順に、ローカリゼーション、試行錯誤、人的資本と知識水準、そして技術変化と社会制度の関係4つの点について述べる。

第1は、ローカリゼーションの重要性である。ローカリゼーションは、外国からの技術導入の時に、必要となる。官営釜石製鉄所では、1880年に操業を開始するが、第一次操業が97日間、第二次操業が196日間で中止され、その後は15年間もの間、操業から見放されて放置されたままであった。その理由は、設計にあたった外国人技術者が日本の事情を理解しなかったこと、および発注者である日本政府が外国人技術者に全面的に依存してしまったことにある。外国人技術者はコークス原料による操業には豊富な経験をもつが、木炭による操業の経験はない。ヨーロッパと日本の石炭原料の賦存には大きな違いがあり、その違いを克服することができなかった。釜石製鉄所の洋式高炉が再開されるには、高炉の改修が必要であった。結局、日本人の技術能力がそれを可能とするまでには、さらに10年以上の期間を必要としている。

官営八幡製鉄所の場合も、操業が開始されたのは1901年であるが、初期の操業は1年足らずで中断されている。だが、ここでも、釜石での苦い経験を忘れたかのように、原料とするコークス供給の問題が生じたのである。2年間の休業を経て、再開されるが、再び高炉の状況が悪化したため、操業は中断せざるを得なかった。それ以降、試行錯誤を繰り返し、ようやく本格操業されたのは、開業から10年後の1910年であった。官営八幡製鉄所も、ヨーロッパ人技術者が設計し、ヨーロッパから生産装置を輸入し、ヨーロッパ人技術者の指導によって操業を開始した。官営八幡製鉄所の設計に起用されたリユールマンは、ドイツ鉄工業の権威者であるが、日本の原料については知識が欠けており、当時の日本側の技術水準についても正確な理解がなかった（大橋，1991，p. 433）。これらの経験から、技術伝播の過程では、ローカリゼーションが、時として非常に困難なものであると同時に、極めて重要であることを指摘できる。

第2に、試行錯誤による技術の習得である。試行錯誤は、技術経験者のいないところでの技術導入の際に必要となる。佐賀藩の反射炉の場合、設計の基礎となる情報はオランダの文献が存在したが、操業については、反射炉技術の経験者はどこにも存在せず、すべて

試行錯誤により開始しなくてはならなかった。国防上の理由から、緊急に銑鉄を必要としていたにもかかわらず、2年の試行錯誤の期間を経てようやく大砲の鑄造に成功している。その間、何度も失敗を繰り返している。懸命の試行錯誤が行なわれたとって良い。これと対称的な事例が、長州藩と伊豆韮山の反射炉である。長州藩では、十分な試行錯誤の期間をもつことができず、計画は失敗した。伊豆韮山は、当初の操業で失敗し、2年間操業が停止された後、佐賀藩の助力によりようやく成功に至った。十分な試行錯誤の時間的猶予をもった者は成功し、試行錯誤が十分でない場合には、失敗している。また、官営釜石製鉄所と官営八幡製鉄所の場合は、既に技術を習得している外国人技術者がいたために、銑鉄の生産は操業開始直後から、一時的にだが、成功した。だが、両製鉄所はローカリゼーションには失敗し、短期間で操業閉鎖に追い込まれている。技術経験者が存在しない場合には、一定期間の試行錯誤による技術習得が必要である。このような、試行錯誤による知識水準の引き上げは、新たな知識を理解するためのベースを形成するものと考えられる。

第3は、人的資本と知識水準である。認知科学の理論によれば、新技術の伝播には、既存の知識水準と新技術の知識水準とが、かけ離れていないことが必要である(長谷川 2007)。佐賀藩の反射炉や釜石鉄山の洋式高炉の成功をみると、西洋のマニュアルを徹底的に学習することによって、苦勞しながらも、そこに書かれている技術を実現している。これは、自身の知識水準を新技術の知識水準の近くに引き上げることに該当する。だが、韮山の反射炉においては、幕臣が建設した最初の炉では成功せず、既に成功を収めていた佐賀藩の知識を借用してようやく成功に辿り着いている。長州藩では、佐賀藩からの技術支援が受けられなかったことが、計画中断の1つの原因となっている。このように、西洋知識と既存知識の水準の差異は、一部の地域では縮めることに成功し、他の地域では失敗に終わっている。このことは、江戸期の製鉄に関する技術水準が、西洋のそれと比較して、技術伝播が可能なほどには接近していなかったことを示していると考えられる。

反射炉の耐火煉瓦の製造には、既存の有田焼の陶器製造技術が活用されている。佐賀藩や釜石鉄山において、幾多の困難が克服できた背景には、当時の和算、築城技術、土木技術などの蓄積があった。しかし、当時の技術水準が、西洋技術を理解するに十分な水準にあったかという点、一般には、そうではない。佐賀藩では、試行錯誤により洋式高炉の技術に近付くだけの知識水準をもつに至ったが、長州藩と伊豆韮山では十分に近接することができなかった。すなわち、当時の知識水準は、西洋技術を理解するには十分ではなかったが、試行錯誤によって技術水準を高めることができた場合にのみ、技術伝播に成功したと考えられる。

第4に、技術変化と社会制度の関連である。江戸初期から200年以上にわたって、日本の製鉄技術は、殆ど変化することがなかった。鎖国政策によって、国外の知識を遮断したことが、技術変化を妨げた主な理由であると考えられる。同時に、「社会の変化に対する抵抗」が存在したために、積極的な技術変化が妨げられたと考えられる。また、その後の時期に、社会が変化を必要とするように転換すると、急速に西洋の技術が導入されたという事実は、

それ以前の社会に変化に対する抵抗が存在したとする推論を補強するものであると考えられる。

1850年代には、社会は、技術変化に対する考え方を転換している。大砲の鑄造が必要であるという国家的な理由で、一気に変化を是認する方向に転換した。それ以前には、大して関心が払われなかった西洋技術の翻訳と理解に、社会のもてる能力を総動員して対応している。既存技術のたたら法の現場では、技術者は伝承により受け継ぐとされており、原料となる砂鉄の処理方法、投入の時刻、送風の方法などについては、門外不出とされていた。1850年以前には、このような環境の中に新しい西洋技術が持ち込まれることはなかった。それが、国家的な危機感により、大砲鑄造に適した品質を求めて、技術変化を是とする社会的な転換が生じた。武家がオランダ語の文献を翻訳し、職人が伝統的なたたら知識を活用して提供できる知識を探した。武士階級から職人に至るまで、同じ目的の作業を行なうことができたのは、社会的にその目的が肯定されるようになったことが影響していると考えられる。

明治維新後の社会は、鎖国政策は廃棄され、一気に対外開放度が高くなっている。その中で、社会の各層は変化を容認しない性向から、変化を求める性向に転換し、新技術は社会的に歓迎される状況にあった。そのため、巨額の費用を投じて、西洋の生産施設をまるごと一式輸入するようなことさえ行なわれたのである。人々は、旧来の方法にしがみつくことを止め、新たな商品を求めるように変化した。したがって、明治は、技術変化に対する社会的な抵抗は大幅に減少していた時代である。社会が、変化に対して柔軟に受容する姿勢を示すとき、技術革新が生まれる可能性が大きくなると示唆しているのではないだろうか。

## 参考文献

飯田賢一（1982）「軍事工業と鉄鋼技術」，海野福寿編，『技術の社会史：第3巻』，有斐閣。

飯田健一（1988）『日本の技術2 - 鉄の100年 - 』第一法規出版

大橋周治編著（1991）『幕末明治製鉄論』アグネ

奥村正二（1970）『火縄銃から黒船まで 江戸時代技術史』

奥村正二（1973）『小判・生糸・和鉄 続江戸時代技術史』岩波書店

窪田蔵郎（2003）『鉄から読む日本の歴史』講談社

中岡哲郎（1991）「土，技術，そして科学」大橋周治編著『幕末明治製鉄論』アグネ

長谷川純一（2007）「技術伝播のメカニズムとその障害」『東アジアへの視点』（財）国際東アジア研究センター，第18巻4号，p. 37

Hausmann, Ricardo, and Dani Rodrik（2003），“Economic development as self-discovery”，*Journal of Development Economics*, 72, pp. 603-633.