

土木史におけるモデル規範適応過程分析(1)

—北海道炭鉱技術導入について—

北海道大学大学院環境科学研究科教授 正員 山村悦夫

Model Reference Adaptive Process Analysis on Civil Engineering History(1)

-Transfer of Coal Mining Technology on Hokkaido-

by Etsuo Yamamura

概要

小川博三は、日本土木史概説において述べているように、日本民族は異質の文化と接触したとき、土木事業が高揚したことを時代区分の中で明らかにしている。この様に、土木事業が高揚した時代は、先進国をモデルとして土木技術を導入し、それを受容し、日本的適応を試みたと考えられる。ここでは、これらの考えに基づいて、北海道における炭鉱技術導入と受容の努力過程と適応の過程について考察するものである。
(モデル規範適応過程、北海道炭鉱技術)

1. はじめに

小川博三は、日本土木史概説で次のように述べている。「時代のテーマが大きく変わるのは異民族の文化に接触する場合に大きい。縄文文化の世界に米が入ることによって弥生文化が生じたことは周知の通りであるが、さらに朝鮮半島から鉄器が入ってその社会は大きく向上した。これが古墳時代の開かれた根底にある事象である。しかし六世紀末、七世紀はじめ、シナ文化を積極的にとり入れたときの変化ほど大きいものはないであろう。これに匹敵するものは安土桃山時代であり、明治時代である。史家は日本の歴史を大きく分けて五つとする。大化の改新、幕府の成立、安土桃山時代、明治維新の四つがその境界をなすとするのである。しかるに大化の改新を中心とした前後はシナ文化に接触した時代であり、安土桃山時代はポルトガル・スペインの南蛮文化に接した時代であり、また明治は産業革命を経た欧米文化に接した時代である。鎌倉幕府の成立は、それまで外国であった東北地方を併合して一民族、一言語一宗教、一国家を形成するという長期運動を完結した時点の現象である。このうち鎌倉幕府成立の時点を除いて、わが国の土木事業がそれぞれ大きく花開いた時期である。同時にそれは国家が統一され、国力が強盛になった時期であり、国民に生々澁刺の気がみなぎった時期である。異文化の摂取・国家統一、土木事業、この三者はほぼ相関関係を保ちながら歴史を描きつづけて来ているといってよい。」この様に土木事業が高揚した時代は、異文化の摂取、先進国をモデルとして土木技術を導入し、それを受容し、日本的適応を試みたと考えられる。6世紀末、7世紀はじめには先進国をシナとして、安土桃山時代はポルトガル・スペイン等を、明治時代には欧米を先進国としてモデル規範適応を試みたと思われる。

本研究では、明治時代における欧米の土木技術をどのように受容し、適応していったかについて、主に北海道における炭鉱技術導入について考察する。石炭鉱業発展の過程において、これを技術面から支える種々の新しい機械や工法が欧米より導入されてきているが、その多くは採炭用の坑内技術として進歩したものであるが、石炭輸送技術の発展を支えた鉄道や港湾の建設に際して最新の土木技術が大いに貢献した。採鉱、開坑、採炭および選炭という石炭採掘の工程において、土木技術が直接大きくかかわりを持つものとして開坑、採炭の際の開削をあげることができ、また、長崎の軍艦島のような築造もある。

2. 在来採炭技術

在来の採炭技術は、市場も狭く経営規模も小さく未熟であったが、しかし 100 年以上にわたり蓄積されてきた技術があった。

17 世紀末から 18 世紀中頃までの採炭方法は、露頭の炭層を採掘するか、露頭の炭層を堀り進むだけにすぎない「ためき掘り」といわれる原始的な採炭方法であった。しかし、18 世紀末になると採炭方法も一定の進歩を見せ、明確な採炭技術が形成されている。すなわち、炭坑開削の前提となる炭層、地質などに関する一定の知識が形成され、また、開坑方式についても堅坑、横坑、斜坑の 3 つの方法が明確に認識されている。堅坑は「つるべ掘」と呼ばれ、「低きは先づ堅に掘り又横にほる」と述べ、横坑は「低きは山根より直に横に入る」、斜坑は、「見立次第に山を穿ち、石炭にあたりてより横に掘入」と述べられている。これらの開坑方法は、一方では炭層や地層、地形についての知識を前提とし、他方では、具体的な採炭方法を規定するので、きわめて高度の総合的知識を要する技術であった。

採炭方法は、炭層内に主要坑道を掘り、そこから左右に掘り進むもので、素朴ながら柱房式に近い採炭方法をとっていた。坑内の維持のためには、支柱が使用されており素朴ながら残柱式採炭法が行なわれ、切羽においては、つるはしで炭層から石炭を採取する坑夫の採炭技術であった。

在来採炭技術の最大の問題は、採炭場面が深くなることに伴う湧水であり、排水のための労働が炭価を高めることであった。堅坑は、石炭の運搬同様に湧水をつるべで汲みとり排水し、斜坑では、坑底に溜った湧水を手動ポンプで階段式にくみ上げ排水する。そして坑道が深くなり、曲折が多くなると手動ポンプによる排水が困難になるので、別途に坑口をあげ、疎水坑による排水法が用いられている。また、横坑の場合は、水準以下に堀り進み、湧水を自然に坑外へ流出させる方法もとられている。こうした排水技術は開坑方法と関連して採炭技術の中心的なものといえる。

通風についても、もっぱら自然通風によっていた。石炭の運搬は、堅坑は石炭をかごに入れてつるべであげ、斜坑や横坑では「ずり」と呼ばれる竹かごに石炭を入れて、ひいたり背負ったりして運びだしたが、坑内外に四輪車も使用された。

19 世紀にはいと市場が漸次拡大して、採炭技術は一層蓄積され、特に、筑前のような先進地域では上層の炭層が掘りつくされ、炭層が深くなり、そのため採炭技術の進歩がみられた。幕末においては、排水技術では「竜土水」といわれる手押ポンプや水車も利用された。堅坑では「南蛮車」が使用され、滑車を利用した捲揚機であり、これにより、堅坑は従来は 6 - 9 m 位の深さにすぎなかったが 30 m 位の深さも可能となった。また、採炭技術の進歩には金山の技術の導入もあった。

幕末の採炭技術で注目されるのは、大炭鉱の形成で、炭質、立地など有利な条件を備えた地域に大炭鉱が形成され、その中で高島炭鉱は、長崎港より 15 km 離れた孤島にあるが、年産 3800 トンも出炭していった。1855 年（安政 2 年）には、炭坑は 3 つの坑からなり、400 人近い坑夫が働き、約 23500 トンを産出し、多数の水車が排水のため使用されていた。

以上のように、高島炭坑は相当大きな炭坑であり、請負人や熟練坑夫によって採炭の技術が支えられていた。1871 年（明治 4 年）に高島炭坑を調査したイギリス人鉱山技師ポッターは、炭層や地形に通じた在来の技術者の協力を得て調査を行っており、その知識と技術に高い評価を与えている。

北海道における炭坑の開発は、1854 年（安政元年）の箱館開港に伴って外国汽船への燃料の供給の必要性により始まり、幕府は 1856 年（安政 3 年）の白糠炭山を直轄として同鉱の採掘を行った。その時の開削・採炭技術をみると、坑口は 2 つで、坑道が山腹から水平に掘り進められ、一方は約 18 m、他方は 15 m の地点でさらに左右に坑道が掘られ、天井の崩落防止に留木を用い、坑内のカンテラー部には安全燈も使用されるなど、九州地方で蓄積された採炭技術が十分に活用されている。採炭された石炭は、約 1 年間で 865 トンであり、すべて箱館に送られ外国船の燃料となったが、炭質が不良のため採炭は中止となった。

白糠に代って箱館奉行所は、1856年（安政3年）に発見された茅沼炭鉱の開発に力を注ぎ、箱館に近く炭質も良好であったので1857年（安政4年）には採掘を開始している。その後、幕府雇の外国人技師が同鉱に導入され、1862年（文久2年）には米国地質学者兼鉱山技師R. パンベリーとW. P. ブレークが地質調査を行っている。同年には彼らは箱館に「坑師学校」を設立して日本人に鉱山学の教育を施している。そのなかに、日本鉱山業の近代化を担う大島高任、山尾庸三、武田斐三郎らがいた。1867年（慶応3年）には幕府雇の英人技師E. H. M. ガワーが来山し、炭質良好と認められているが、この年の出炭量は100トンにすぎず未だ坑内外の機械化はなされていなかった。

3. 明治時期における外国技術の導入

明治政府は、北方防備と富国強兵を推進するため、資源豊富な未開発地である北海道の開発に力を注ぎ、その重要な課題の一つが炭鉱開発であった。そのために、開拓使は、炭鉱開発技術を身につけた日本人技術者を積極的に採用した。その代表としては、幕府の首脳の1人であった榎本武揚である。彼は、幕末に長崎の幕府海軍伝習所において蒸気機関や化学を学び、またオランダ留学で砲術、蒸気機関、航海術のほか鉱物学や化学など鉱山開発に必要な知識と技術について学んでいる。維新後、榎本は、その鉱山開発技術をいかし、幌内炭田の調査や日本ではじめて石炭の本格的な化学分析表を作成している。榎本のほか、開拓使仮学校長に就任した荒井郁之助や大島高任や武田斐三郎などは旧幕臣にもかかわらず、明治幕府に採用され炭鉱開発に活躍した。

明治政府が採用した外国人技術者は北海道の炭鉱開発の基礎をつくり、その最初は、H. ケプロンであった。ケプロンはアメリカ農務長官であったが、化学技術者A. アンチセル、土木測量技術者A. G. ワーフィールドらを伴って1871年（明治4年）に来日し、翌年から北海道開拓使顧問兼頭取として北海道開拓に着手し、ブレークから地質鉱物調査の報告を受け、それを参考にしながらワーフィールドに測量、アンチセルには地質調査にあたらせた。

翌年1873年（明治6年）には、B. S. ライマンとその弟子H. S. マンローにより全道的な地質鉱物調査が行なわれ、特に、幌内には数回の調査がなされ北海道の炭鉱開発の基礎を確立した。その後、米人鉱山技術者L. G. E. ゴウジョウ、J. U. クロフォード、英人開坑長E. バリー、米人坑夫頭J. H. ダウスなどの外国技術者が次々に雇われ、茅沼炭鉱の改良と幌内炭鉱の開発がなされた。

このように、北海道の炭鉱開発は、米国人技術者によりはじめられ、その助手として働いた日本人が体験的に近代技術を身につけたことが重要である。ライマンの地質調査に同行した助手は、開拓使仮学校の生徒で、同校で基礎的な学理を学び、ライマンに同行して全道を調査し、その過程で地質調査などの技術を体得し、ライマンも技術を身につけるよう配慮した。

同校の助手達は、1878年（明治11年）に「地質学社」を結成し、研究会を開き、地質学関係の洋書を学び、翌年1月から月刊誌「地学雑誌」を発行し、洋書の翻訳と地質調査報告を発表している。助手達の中には、三井三池炭鉱所長島田純一、明治鉱業専務稲垣徹之助のように、九州地方の炭鉱開発に重要な役割を果たしている。また、測量技術についても、J. R. ワツソンのもとで、荒井郁之助などの日本人が三角測量技術を身につけている。

海外留学については、1871年（明治4年）の黒田清隆開拓使長官によって欧米視察がなされ、同行した大島圭介が開拓使学校で教え、幌内炭鉱の開発に貢献した。開拓使派遣の海外留学生は33名であるが、その中で、鉱山学8名、工学2名となっており鉱山開発に開拓使が相当力を入れていたことがわかる。

技術者の教育については、黒田長官の要請により1872年（明治5年）に開拓使仮学校が東京芝の増上寺で設置され、1876年（明治9年）には札幌農学校として、鉱山学、土木学、農学などの技術者の養成にあたり、講師には、海外留学で近代的な技術を身につけた大島圭介や旧幕臣の技術者荒井郁之助があたり学

生に基礎的学理のみならず実地調査を行なって技術を体得させた。

(1) 茅沼炭鉱の外国技術導入

明治政府は、1869年（明治2年）より茅沼炭鉱の採炭を開始し、幕府時代より働いていたガワーとその助手スコットは、運搬設備の整備に努力し、坑内には手押し一輪車を導入し、坑外運搬には坑口から海岸までの2kmを幅約80cmの鉄線路を設け、4トン車牽牛を行っている。炭車は、当初英米より購入したが、間もなく日本人職人が炭車の製造技術を身につけ製品を供給するようになっている。しかし、運搬手段に比較して、坑内は旧態依然たる状態であった。

採炭用具は、主に火薬が使用されたが、この火薬使用は、後の発破採炭と異なり、上下、左右に切り目をいれずに仕掛け、坑内を荒廃させた。石炭の坑内運搬方法は、切羽から主要坑道に向けて穴をあけ、そこから石炭を坑道に落とし、それを一輪車の手押し運搬によって坑外に搬出した。排水は自然排水になっており、通気坑も独自に設定されていない。このように同鉱は雇外国人の指導のもとに近代的な炭鉱へと変わりつつあったが、未だ新旧施設が混在している状態であり、同鉱の改良のためには多額の資本が必要であった。そこで、政府は、榎本の巡回調査、アンチセル、ライマン、大島圭介等の視察調査によって、幌内炭鉱の開発と伴に改良計画を立案し、1877年（明治10年）同鉱の運搬施設・港湾の改良に17万円の支出を決定し、1879年（明治12年）には米人技術者ゴウジョウと英人坑夫長パリーが招かれて、本格的な洋式採炭技術が導入された。

ゴウジョウ技師は、改良意見書を出し、炭層が複雑で急傾斜のため縦横に坑を開く必要を指摘し、大坑道の整備を行い、そこから各炭層に沿って沿層坑道を開き、それらを貫通する堅坑の通気坑を開削することを指摘している。またその大坑道・沿道坑道には鉄路を敷設し馬匹運搬を行ない、坑外には選炭器を設置し、茅沼より港まで汽車鉄道を敷設する計画となっている。

この計画に沿って同鉱の改良がなされ、北海道ではじめて堅坑が開削され、「人力扇風器」「木製扇風器」が設置され、坑夫小屋、炭車鉄工場が新設され、安全燈が導入されている。1880年（明治13年）には、通気坑に「気筒」が設置され、蒸気力の利用がはじまり、1881年（明治14年）には選炭器も設置されている。こうした坑内諸設備の近代化にもかかわらず、同坑は坑内ガスが多量に発生し、断層が多く、しかも石炭埋蔵量が推定より少なかったため、出炭が計画を下廻り、1882年（明治15年）には官業廃止となり、翌年民間に払い下げられた。しかし、これらの洋式技術は、新たに開発された幌内炭鉱に移され、その成果が結実していく。

(2) 幌内炭鉱の外国技術導入

幌内炭鉱は、1873年（明治6年）にライマンが調査を開始し、榎本武揚も調査に乗り出し、この調査によって、同鉱は埋蔵量が豊富で、炭脈・炭質も優良と判断され、1875年（明治8年）からは大島圭介、黒田長官、伊藤博文参議、山県有朋参議などの政府要人が次々と幌内を視察し、官業の計画が進められた。

1878年（明治11年）には開発費として133万円の公債による出資が決定された。官業決定後、開拓使では事務係を設置し、外国人技術者を雇い入れ、1879年（明治12年）から開坑の準備にとりかかった。しかし、運搬手段が、まったく整備されていなかったため、このため雇外国人クロフォードやゼントが鉄道建設に必要な測量を行い、その結果、幌内－江別－札幌－小樽・手宮に至る鉄道建設計画が決定し、翌1880年（明治13年）より鉄道建設工事が開始された。

開拓使では鉄道資材、機関車・機械類の購入と職工雇い入れのためクロフォードを米国に派遣し、彼の帰国後軌道の敷設が始められ、同年には小樽・手宮－札幌間、翌年1881年（明治14年）には札幌－幌内間が完成し、約90kmの全線が開通し、幌内炭鉱の運搬手段が確立した。

幌内炭鉱の開発は、茅沼炭鉱を指導したゴウジョウの指導のもとで、1878年（明治11年）に開坑に着手し、翌年、主要坑道の開削にあたっている。この坑道は、高さ2.1m、幅2.7m、海拔94mの位置から炭層

めがけて直角に掘られ、1881年（明治14年）坑口より450mの地点で最初の炭層に到達し、2月後には本層に到達している。この地点から炭層に沿って左右に採炭のための沿層道がそれぞれ2本平行に開削されている。掘進にはたがねや発破のほか、一部には蒸気削岩機が使用された。

1881年（明治14年）には工部省雇英人技師で三池炭鉱の開削を指導したポッターが来道し、炭層露面から直接沿層道を開坑すべきという指導により、滝ノ沢、本沢の沿層坑道が開坑され、1882年（明治15年）には、本格的な採炭が開始された。

採炭方法は、平行して開削された2本の沿層坑道の間を約9mごとに区切り、小坑道を設けて切羽を設け、天井を支えるために3-6mの炭柱を残して採炭する残柱式採炭法であり、採炭には火薬を使用した。

採炭された石炭は、切羽から沿層坑道にある石炭ロートまで、運炭箱に入れて人力でおろすか、また切羽に自転巻を設けて沿層坑道におろした。そこから主要坑道を経て坑外に至るまで4輪車を押していき、貯炭場で塊粉に選別された。排水は、水準上の採掘であったから自然排水で十分であり、機械を使用しなかった。同鉱では、多量のガスが発生するため、通気施設には力を注ぎ、数十個所にわたり通気坑を掘り1885年（明治18年）には、対流による通気を行っている。1889年（明治27年）には、動力扇風機が設置され、坑内照明は危険な場所に安全燈を使用した。以上のように官営期の炭鉱は水準上の採掘であり、深部採炭にはなっていなかった。

(3)北炭の外国技術導入

1889年（明治22年）には、同鉱は鉄道とともに北海道炭鉱鉄道会社（北炭）に払い下げられた。北炭は幌内のほか幾春別を買収し、借区権を譲り受けた空知、夕張の炭鉱を創業開始早々に開削し、炭鉱の機械化をおし進めた。

坑道の開削技術を見ると、1895年（明治28年）の空知炭鉱の深さ210m、幌内炭鉱の深さ225mの開削にみられように大規模な堅坑開削がなされた。坑道開削には従来の手堀りや黒色火薬・カーボニットなどの火薬によるものと、圧搾空気を動力とする小型削岩機が使用された。1889年（明治22年）には空知、夕張の両鉱では、ウォーターライナー削岩機が使用され、1908年（明治41年）には、夕張鉱、真谷地鉱では、柱堅坑開削のためウォーターライナー削岩機8台が購入された。同鉱は規模が大きいので、機械力の導入が採算面でも有効に発揮した。

採炭部での機械化はあまり進展をみなかったが、急傾斜の炭層では従来の方法に加え「上向き階段法」という階段状に切羽を設定し傾斜を作り出す方法が考えられ、夕張鉱では1897年（明治30年）より従来の残柱法に加えて切羽間に残った炭柱を一斉に退却しながら採掘する「退却長壁法」が採用され、1900年（明治33年）には、夕張鉱において圧搾空気動の裁炭機が導入され、透し堀りに利用されている。

運搬部では、切羽運搬は人力ないし馬匹運搬で敷設したレールの上に炭車をのせて運んだ。主要坑道の機械化は急速に進み、1893年（明治26年）の夕張鉱では蒸気曳揚機が設置され、翌年には、蒸気エンドレスロープが設置され、1895年（明治28年）には、空知鉱で堅坑捲揚機が導入され、1900年（明治33年）には、夕張鉱でわが国最初の空気圧搾機関車が使用された。1902年（明治35年）には、すでに手宮製作所において電動エンドレスロープが製作され、動力は蒸気力から電力へと急速に転換している。

坑外運搬には、1901年（明治34年）に空知鉱で坑口から貯炭場間に電車が導入され、翌年には、手宮製作所電動エンドレスロープが設置されている。

通気の機械化は急速に進展し、1898年（明治31年）には早くも夕張鉱に電動扇風機が設けられ、1900年（明治33年）からは、坑内にも圧搾空気動の小型扇風機を導入している。

排水については、採鉱が地下深く進むにつれて排水の機械化が必要となり、排水ポンプが設けられ、1909年（明治42年）には、空知鉱で100馬力の電動式ポンプが導入された。

選炭では、1896年（明治29年）に夕張、空知鉱では粉炭水洗機を導入している。この選炭機・洗炭機

の導入によって石炭の品質を向上させ、多様な石炭需要に対応して石炭の商品価値を高めることができた。

機械化の急速な進展に伴って、原動力も蒸気力から電力へと急転換し、1898年（明治31年）、幌内では、直接 7.5kwの発電機を設けて扇風機を動かし、その後、次々と発電所を建設して蒸気力から電力への転換がはかられた。また、坑内外の機械化の進展に対応して、諸機械の製作にも力を注ぎ、手宮や岩見沢製作所では、鉄道関係製品、扇風機、洗炭機、捲揚機、電力器などを製作した。このように、生産手段を一応自前で供給できる技術を蓄積していった。

4、おわりに

以上のように、わが国の外国からの炭鉱技術導入は、江戸時代後期には、オランダを通して欧米の技術が導入され、在来採炭技術においても未熟であったが、技術の蓄積があった。明治政府は、これらの蓄積された技術を継承して、幕府の首脳の一であった榎本武揚をはじめ炭鉱開発技術を身につけた日本人技術者を積極的に採用し、多数の外国技術者を採用し、その助手として日本技術者を付けて技術を修得させ、さらに海外に技術者を留学させて技術を体得させた。その中には、鉄道建設などの多くの土木工学も含まれている。そのようにして、技術は、1880年（明治14年）代後、雇外国人の助手、海外留学生、開拓使学校卒業生等の間に着実に定着し、1889年（明治22年）には炭鉱技術関係の外国人技術者は1人も存在しなくなっている。さらに、北海道の炭鉱が民間に払い下げられてからは、最新の導入された炭鉱の各種の機械も自社の製作所で製造するに至っている。

この様に、江戸時代後期にはオランダを通して欧米をモデル規範として技術修得に努力し、明治時代には、それらの在来技術を継承して、欧米を特に、イギリス、アメリカをモデル規範として技術の修得に努力し、海外と異なる炭層や地質の状況を克服して、わが国の炭鉱に適応した各種の機械を製作し、日本的適応を実践したのである。

5、参考文献

- (1)小川博三「日本土木史概説」 共立出版 1975年、
- (2)土木学会編「日本の土木地理」 森北出版 1974年、
- (3)隅谷三喜男「日本石炭産業分析」 岩波書店 1968年、
- (4)ユネスコ東アジア文化研究センター編「資料御雇外国人」 小学館 1975年、
- (5)加茂儀一「榎本武揚」 中央公論社 1960年、
- (6)北海道庁編「新北海道史」（通説二） 1971年、
- (7)北炭「七十年史」 1958年、
- (8)北海道新聞社「北海道大百科事典」上、下、1981年
- (9)Yamamura,E「A Study on Model Reference Adaptive Control in Economic Development (1)-(6)」 Environmental Science, Hokkaido University, Vol.6, No.2, 281-300, 1983年, Vol.7, No.1, 1-13, 1984年, Vol.9, No.1, 27-43, 1986年, Vol.9, No.2, 151-161, 1986年, Vol.10, No.1, 19-35, 1987年, Vol.10, No.2, 145-165, 1987年、
- (10)Yamamura,E「Optimal and Reference Adaptive Process for the Control of Regional Income Disparities」 Papere of Regional Science Association, Vol.56, 201-213, 1985年、
- (11)Yamamura,E「Optimal and Reference Adaptive Process for the Control of Regional Income Disparities」 The Institute of Scientific and Technical Information, Moscow, 8A103, 1986年、