

土木史におけるモデル規範適応過程分析(2) ー北海道広域三角測量技術導入についてー

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(2)
-Transfer of Triangulation Technology for a Vast Area on Hokkaido-

by Etsuo Yamamura

概要

開拓使は洋式測量による北海道地図を作成するため1873年(明治6年)4月よりワッソンの指導のもとに広域三角測量を開始し、その後、デーの指揮のもとで三角測量の基線を詳細に測量している。これには、日本の技術者、荒井郁之助、福士成豊をはじめとして参加し、わが国初めての洋式広域三角測量技術を修得した。ここでは、従来からの測量技術と洋式三角測量技術を比較検討して、この技術の導入と受容努力過程と適応過程について考察するものである。
(モデル規範適応過程、三角測量技術、紅毛流測量術)

1. はじめに

伊能忠敬は、1800年(寛政12年)に蝦夷地南東沿岸測量を願い出て許可され、門弟3人、下男2人を従えて江戸から奥州街道を北へ進み、三厩(青森県)から吉岡(渡島支庁)にたどり着き、海岸線沿いに北東へ向かって箱館、室蘭、幌泉、大津、釧路へと測量を進めた。間宮林蔵は、1800年(寛政12年)蝦夷地に渡り、伊能忠敬に測量術を学び西蝦夷地を測量した。1826年(文政9年)に幕府天文方高橋是保が伊能忠敬、間宮林蔵等の測量をもととして、「大日本沿岸実測全図」の中の蝦夷全図を作成した。この北海道地図によって北海道の海岸線はほぼ正確に描き出された。

北方探検家・開拓判官・著述家である松浦武四郎は、1833年(天保4年)より諸国遊歴の志を固め本州、四国、九州の名跡、山岳などほとんどくまなく回り、多くの旅日記を著わし、吉田松陰、頼三樹三郎等と交友を深め、1845年(弘化2年)に最初に蝦夷地へ渡った。その時、西蝦夷地瀬棚まで至ったが旅人取り締りが厳しく箱館に引き返し、松前家の計らいによって場所請負人として東蝦夷に入って知床岬まで探検した。次いで翌年は北蝦夷地(樺太)勤番役の僕として樺太探検を果たした。1849年(嘉永2年)に国後島・択捉島を探検し、1850年(嘉永3年)に「初航蝦夷日誌」「再航蝦夷日誌」「三航蝦夷日誌」を著わした。そのころになると蝦夷通として広く知られるようになり、1855年(安政2年)に幕府御雇に登用された。1856年(安政3年)に蝦夷地請取役手付として、東、北、西蝦夷地を一周し、「竹四郎廻浦日記」31巻を著わした。1857年(安政4年)東西蝦夷山川地理取調御用を命ぜられて、西蝦夷地天塩まで、翌年は残りの土地について主要河川をさかのぼり、内陸部の状況を詳細に調べて「東西蝦夷山川取調日誌」85巻、「東西蝦夷山川地理見取図」28枚を著わした。これによって、伊能忠敬の沿海図の中に山脈、河川、湖沼等が記入された。この日誌には、地理に限らず、場所請負人たちの無策な経営とアイヌに対する苛酷な扱い、北方防備の必要性が訴えられている。その後、蝦夷地紹介を目的として前期日誌の摘訳本「蝦夷紀行」24巻をはじめ、数多くの著者を刊行した。新政府が誕生すると1869年(明治2年)開拓判官に任用され、北海道名、国郡名の選定を行った。政府のアイヌ介護の方針に反対して、翌年辞任し、著述生活に入った。松浦武四郎の地図は、1人の

努力でなされ測量はほとんど行われておらず、磁石で方向を採るだけで、アイヌを案内人として実地調査を行ったにすぎず、地図上の位置は不正確であった。1874年（明治7年）の夏、石狩川をさかのぼって十勝に出た開拓使御雇技師である地質学者のライマンは松浦地図によって種々の誤算を生じ、15マイルの差があったり、川筋が全く錯乱していることを示している。正測の行われた海岸線を除いて、位置の不正確は免れず、これをもって明治以後の北海道内陸開拓の基礎とすることはできなかった。そこで開拓使は、正確な内陸地図を緊急に作成することが必要であった。

2. 在来測量技術

測量は、中国の古辞「測天量地」の略といわれているように、測量の言葉は天文観測にたいして用いられていた。現在の測量にあたる言葉としては量地が用いられ、まれに測地も用いられた。規矩は「規矩準繩」の略語として用いられ、規はコンパス、矩は定規や曲尺のことである。この道具の名から転じて、幾何学的な図形を描く術の意味で用いられた。測量術の名称としては、紅毛流で用いられ、何らかの原理にもとづく方法を学び、測器を開発する理論的な面と、それを実地に応用する実際の面がある。測量術の実地にあたっては、書物を学ぶだけでは理解できない部分があり、実地に教えを受けて修練しなければならないことも多かった。測量の書物の中には、技術上の細かいことを秘伝、口伝として説明を避けていることがしばしばある。

江戸時代より以前の測量技術についての記録は少ないが16世紀中から約百年間の諸技術の発展は目ざましい。これは、中国明貿易による文化・技術の導入、銭貨輸入による貨幣経済の発達、産業の発達、南蛮文化の導入があり、築城、航海、砲術、検地などの新しい技術が飛躍的に発展し、それと共に測量術が発達した。

江戸初期の和算書の中に測量術も記されており、たとえば、辺の長さが3尺から1間もある正方形や長方形の板を使って距離を図る方法が述べられており、その一辺を水平にして立てて、角の所から目的を見通し、板上にできた直角三角形と目的までの大きな直角三角形の相似を利用して距離を測る。この方法では先方に長さのわかっているものがなくてもよいが、目的までの距離が長くなると、板上の直角三角形が細長くなり精度が悪くなる。

高さを求める方法は、ある長さの糸をついたものさしを用意し、糸の端を口にくわえて、ものさしを持った手を伸ばし、木の高さを求める場合は、根元までの距離を測って高さを求める「糸・物差し方式」で求められる。山の高さを求めるときは、頂上の直下までの距離は実測できないので、山頂を仰いでみたあと、ある距離だけ進み、あるいは退いて再び頂を仰いで山の高さを算出する重差法を用いている。

土地の面積を測る方法は、主なものとして2通りあり、ひとつは、その土地の面積が変わらないように出入りを考えて長方形化する方法で、もう一つは、測ろうとする土地を三角形に分割して、それらの面積の和として求めるものであるが、実際に土地の面積を測る方法は、十字法と言われる土地を長方形化する方法を用い、三角形分割法は、縮図の図上で面積を求めるときに用いられた。

3. 紅毛流測量技術

1643年（寛永20年）南部領山田浦（現岩手県山田町）に1人のオランダ人が漂流した。それは外科医師カスパルで、長崎の与力樋口権右衛門は、カスパルより遠近測量の術を学んだのが、西洋流測量術が我国に伝えられた最初のものと思われる。その頃、北条流の兵法家北条氏長もオランダ人ユリアンから測量術の伝授を受けたと思われる。氏長は、明歴大火（1657年）後に、幕府によって江戸図を作成している。これらの外にも、西洋人から直接・間接に測量術を学んで者がいたであろうが、一つの流派を形成するにいたらなかったと思われる。測量術で唯一と言える流派を興したのが、樋口からはじまる清水貞徳によって中興開基した清水流と言われるものである。この流派の測量法は「規矩元法」あるい

は「規矩元法町見」と言われ、秘術とされ、すべて伝書・免許状の形式で伝わり、大成された系統の書物は、刊行されたものは一点もなかった。しかしその内容の大半は、村井昌広の「領地指南」(1733年刊)「領地指南後編」(1794年刊)によって公開されている。この書では測量術を5つに分類し、量盤術、盤針術、渾発術、算勘術、機転術である。量盤術は、平板のような量盤の上に定規を置き、各地点から見通して線を引き、板上に縮図を作る方法である。盤針術は、磁石の針を見通すために、十字の木の枠に糸を張った「規矩元器」で方位を測り、方位と距離の数値をもとに縮図を別に書く方法である。渾発術は、コンパスをもって手を伸ばし、長さのわかった先の種を、コンパスの足を開いてはさんで、その足の開きから先方までの距離を求める方法である。算勘術は数理を持って遠近広狭高下浅深を求める方法であり、機転術は、その場での思いつきに類する方法である。しかし、渾発術は、実測にはむかず、算勘術は、理論的なものが多く、機転術は、粗雑であるので、量盤術と盤針術が、単に距離と高さを測るだけではなく、縮図や地図が作成できるので紅毛流測量術の中心と考えられる。

将軍吉宗の享保持代には、測量書が数多く著わされた。吉宗は、自らも暦算をたしなみ、顧問として関孝和の高弟建部賢弘を選び、全国から提出された国絵図をもとに日本地図を作らせた。また、1720年(享保5年)には、キリスタン禁書の令を、暦算の書に限って緩和し、その結果、中国語で書かれた西洋の暦算書が輸入された。これによって、測量術の書物を出版し公開することができるようになった。将軍吉宗は、新田の開発を奨励したので、それを実行するために測量が重要となら、栗田久巴は1720年(享保5年)に「新編地方算法集」、万尾時春は1722年(享保7年)に「見立算規矩分集」、1733年(享保18年)「量地指南」が刊行された。

1726年(享保11年)に西洋の暦算の書「暦算全集」、翌年に「崇禎暦書」が輸入され、その中に三角関数表と平面、球面三角法が含まれていた。当時は、三角関数表ではなく、「八線表」、「割円表」と呼ばれ、ある半径の四分円の弧に対してできる8つの線分「正弦、余弦、正切、余切、正割、余割、正矢、余矢」が8線であり、半径に対する比ではなく、実際にできる線分の長さのことであるので、同じ角度でも8線は半径によって異なるので、常に半径を考慮しなければならなかった。

この三角関数表が本格的に測量に用いられるようになったのは渡米のち、百年立ってからで、和算家はほとんど用いなかったし、測量でもあまり精度を問題にしなければ紅毛流で充分であった。しかし、18世紀から19世紀になると、ロシアの船が日本の北方沿岸に出没し、通商を求めたりするようになり、幕府も沿岸の地図、特に蝦夷地の地図の必要性を痛感するようになり、伊能忠敬のような偉大な測量家を生み出した。

伊能忠敬の測量術は、特に目新しいものではなく、方位盤と磁石を用いて方角を定め縄や鎖によって長さを実測するもので、この方法では、誤差は累積すると大きいものになるので、これを修正するために遠方の山をかりの目標として交会法で修正を加えた。また、天候の許す限り毎晩大きな象限盤で恒星の子午線を通過するときの高度を測り、江戸で実測した恒星表、また実測から得られた子午線一度の長さを用いて各地図の南北距離を算出して訂正に役立てた。この方法は、測器は異なるが、紅毛流で行われた方法である。しかし、測量の原理は新しくなくとも、測器には細心の注意を払って、中国の書物にのっている西洋の測器を和時計師に作らせ精密な測器を使用した。1854年(安政元年)の開国の前後には、各地で海岸線の測量が行われ、砲台の作成、敵船までの距離の測定など精度の向上が求められた。そして測量術の書物が延々と刊行された、八線表(三角関数表)も刊行され、航海用の天測器械である八分儀や六分儀も、その精密さのゆえに陸上でも用いられた。

安政開国によって長崎出島の初代のオランダ商館長のドンケル・クルティウスは、オランダ政府代表として幕府の近代化政策に協力して1855年(安政2年)には幕府が開いた長崎海軍伝習所に海軍将校ペルスライケンを招いて第一次の海軍伝習を開始し、この時の伝習生に勝海舟がいる。1857年(安政4年)には第2次の伝習のため、明治初年には海軍大臣となったカッテンディーケ海軍大尉、軍医ボンペ

・フォン・メーデルフォルトが派遣された。何れも一流の人材であった。この伝習所では、銃砲術、造船術、運転術はもとより、規定、地文学、測定器、海図、観測および時球観測などの測量に関する講義や実習がなされた。この伝習生の中には、北海道の測量の中心となった荒井郁之助も学んでおり、航海用ではあるが、精密な天測器械や測定器に習熟していた。

4. 北海道における広域三角測量技術

広い地域の測量には、骨格となる基準点が必要であり、測量地域が広いほど、高精度の基準点が必要になる。このような基準点の測量およびその維持管理には莫大な経費が必要となるため、世界各国は国の事業として実地している。我国においては、建設省国土地理院において、一等から四等までの三角測量、二等多角測量、および一等から三等までの水準測量が実地されている。このように、国土地理院が行なう測量は、各種測量の基礎になるものであるから測量法上、基本測量と規定されている。各等三角点の位置は、まず一等三角点を定め、これを与点にして二等、三等、四等の順に決定している。各等三角点は、全国等密度に設置され、水平位置の精度は等級にかかわらず、おおむね等しくなるように等級ごとの測量精度が定められている。一等水準点は国道および主要地方道に沿い2Kmおきに設置され、これに基づいて二、三等水準点が設置されている。水準点は、各等三角点の標高の基準になるのみならず、各種測量に高さの基準を与えている。

各等三角点はすべて三角測量によって設置されたものであるが、今日では、二等以上の三角点の位置の決定には光波測距儀による三辺測量が採用され、三等三角点の位置の決定には多角測量方法が用いられている。このように、三角測量は、基準点測量のなかでも歴史が最も古く、かつよく体系化された技術である。三角測量の特徴としては、少数の基線を与えるだけで、あとは測角のみで三角網を決定することができ、広大な地域でも見通しさえ確保できれば、高精度の三角点を能率よく設置することができ、既設点さえあれば、測角のみで三角点を設置することができる。しかし、欠点として見通し線の確保のための選点がむずかしく、平野における三角測量は特に選点に苦勞し、また高測標の建設や多くの伐木を要するなどの多大の労力と費用を要する。

前述したように、伊能忠敬や松浦武四郎によって北海道の地図は、前時代比較して、正確さを増したが、山脈や河川の位置、方向等はまだ不正確であったので、北海道の内陸の開拓にあたっては正確な地図が必要であった。

1871年（明治4年）に工務省は、工学寮内に測量司をもうけ、英国測量技師マックワエン他5名を招聘し、英国式による測量を開始して、翌年から東京で小規模な三角測量を行なっている。

開拓使は、1873年（明治6年）から北海道の三角測量を開始することになり、測量長にワッソンが任命された。ワッソンは直ちに外国技術者の招聘と測量器械を米国に注文して、札幌にむかった。補助手には、長崎海軍伝習所で学び幕府海軍奉行であり、榎本武揚と供に北海道に脱れ、箱館戦争で戦い、明治になって、開拓使五等出付として開拓使仮学校を管理する荒井郁之助や開拓使仮学校の生徒らも参加した。

一行は、小樽を経由して、昨年ワーフィールドが残した箱館と札幌間の新道の測量を行ない、三角測量の準備にかかった。ワッソンと荒井一行は、北海道で最も三角測量の基線を設ける地に適した勇払原野に行き、直線9哩の線を選んで概測を行なった。ワッソンの外国人助手として米国海軍大尉デーが着任し、必要器械の一部も到着したが、小器械のみで三角測量を行なうには不十分であった。そこで、開拓使の命により石狩川沿を測量することになり、本流と支流の測量を行なった。この時の測量法は従来の沿岸測量と同じ方法で行なわれた。しかし、冬を向かえ完成することができなかったが、測量延長344哩、停留所4723ヶ所、河川23に及び、その結果を石狩川測量報文として発表した。

1874年（明治7年）に、ワッソンは任期中で陸軍省に転じ、三角測量はデーの指揮下で行なわれるこ

とになった。しかし、米国に注文した測量器械はまた到着しなかったので、予備調査として著名な山の頂に三角測量に必要な測標の設置を行い、さらに、かねて選定していた勇払の基線の測量を行ない、勇払の北緯42度37'24"、東経141度45'の地点を基点として東へ直線に測り、約3哩を精測した。さらに、建標隊は、馬追山に測標を建て、そこから札幌開拓使本庁屋上に作られたドームを望み最良の三角測量を行えるようにした。その間、米国に注目した測量器械が到着し、10インチの経緯儀、司搬天文推測記、基線測度計一式、時辰儀一式、サイデリアル・コロームル一式、ヘリオトロープ等であった。

1875年（明治8年）に準備は整い、開拓使は民事局に測量課を置き、天文測量、三角測量、測標設置、基線測量、沿岸測量に着手した。

天文測量は、デー及び荒井郁之助がこれにあたり、箱館時辰録の差と日差しを確定するため、経緯儀で測定した。さらに、札幌の経緯度並に時辰録日差を定め、次に石狩、増毛、天塩、宗谷、紋別、斜里、厚岸、根室、幌泉など33ヶ所で測定しその経緯を定め、さらに、電信を用いて札幌・箱館間の経緯度の差を測った。

三角測量は、2隊に別れ、一隊は福士成豊を主任として南西部を計り、一隊は関大之を主任として勇払基線の西端から測量を努め、北に向かい北海道を横断した。

測標設置も2隊にわかれ、道南地方で23個の測標をたて、勇払の基線と箱館の副基線とを結び、一隊は西部三角測量に必要な測標を沿岸に設置しながら宗谷に至った。

基線測量は、勇払基線を精測すること2回、また、デーと荒井は箱館に副基線を選び、標台及び標塔を設置した。

沿岸測量は4隊にわかれ、一隊は幌泉より根室に至り、2隊は噴火湾沿岸、三隊は小樽から宗谷、四隊は宗谷から根室間を測り、これによって沿岸の測量は全道を完了した。

1876年（明治9年）にデーは契約満了となり、荒井郁之助は開拓使より地理局に入り、後に内務省の測量局長となり我国の測量事業の基礎を作り、さらに天文台の基礎を作り、日食観測、標準時制定など学問的業績を残した。

この両氏に変わって福士成豊が相当することとなった。福士成豊は、わが国で最初の西洋型帆船を作った箱館の船大工豊治の5男で、航海業福士長松の養嗣子となり、造船技術を学び、イギリス人ボーター経営の商に入って英語を修得し、イギリス人ブラキストンと交際して、測量・測候・標物学を学んだ。箱館奉行の外国方運上所に勤め、2等訳官となって、開拓使の官吏となった。1872年（明治5年）には自宅に気候測量所を設けて、我国初めての本格的な気象観測を行なっている。1875年（明治8年）にロシアのペトロパブロフスクに出張し、翌年千島を測量して、「クリル島海線見取図」を作成し、その後も、北海道の測量、気象観測事業の上で指導的役割を呈した。

福士は、まず東京・青森間の経度を測定し、時差4分零秒753と得、さらに箱館の副基線を測量して、これにより北海道の三角測量と全国的な測量と正確に結びがつく基礎を作った。

このようにして、北海道の三角測量はようやく軌道に乗ったが、移民の増加により、漁場、耕地割、道路、山林、村域の測量の増大によって三角測量の事業は続行する事ができなくなり中止となった。

これらの測量の結果は、デーの指揮下で行なわれた結果については、Report of the Trigonometrical Survey of the Island of Hokkaido, Japan, Murray, S. Day, March 27, 1876 として提出をされ、1877年（明治10年）に「北海道測量報文」として出版された。

この報文の中では、三角関数表の利用や、断線の計算方法、測定値の誤差の計算に最小二乗法を用いるなど、現在の三角測量手法とほぼ同じ方法が記されている。

この報文の予で、デーは次のように記している。

「余今将来ノ事業ヲ以テ荒井氏ニ委託スルニ当リ左件ヲ閣下ニ保障スルハ余ガ尤モ快トスル所ナリ抑モ同氏ノ業ニ於ル既ニ精シ而テ福士関其他方今局中在ル諸氏ノ之ヲ補助スルアレハ此測量益進歩シテ本使

ノ満足ヲ致シ且之ニ従来スル諸氏ノ名譽トナランヲ必セリ。分課各業ニ従来セル補助手ノ其担任ノ事業ヲ誠実綿密施行セシハ余ガ深く感心スル所ナリ而テ余ハ其勉勵ヲ褒賞官シ併テ特來勸奨ノ為其能力ニ応ジ等シク昇級セラレン・・・」

このようにデーは、荒井郁之助、福士成豊の優秀を認め、補助手の献身なる努力に感心し、この事業の完成を期待していた。

5. おわりに

西洋の測量技術は、幕府の唯一の窓である出島より、中国やオランダを通じて少しずつではあるが流入してきたが、始めは秘術とされ、伝書・免許状の形式で伝わり大成された系統の書物は刊行されなかった。将軍吉宗の享保時代になると暦算書の輸入により多数の測量術の書物が公開された。この中に三角数表も含まれていたが、当時の和算家は、苦勞して問題を解く意義を見出す傾向があったのでほとんど関心を示さなかった。これらが本格的に用いられたのは、その後百年後であり、本格的な三角測量の方法が普及してからである。北海道の三角測量は、測標設置は全道の1/3にすぎないが、全国広域三角測量が開始されたのが、北海道三角測量の最高位の荒井郁之助が地理局に入った1878年（明治11年）からのことであることを考えると、北海道の貴重な経験が全国の三角測量に役立ったと思われる。

6. 参考文献

- (1)小川博三『日本土木史概説』 共立出版 1975年
- (2)北海道新聞社『北海道大百科辞典』 上、下、1981年
- (3)土木学会『明治以前 日本土木史』 1936年
- (4)モルレー・エス・デイ 『北海道測量報文』 開拓使 1877年
- (5)高倉新一郎「明治以後の北海道測量史－北日本地図作製史 第六報」 北方文化研究報告、18輯 1963年
- (6)保柳陸美編書『伊能忠敬の科学的業績』 古今書院、1974年
- (7)山村与右衛門『塵却記の研究・図録編』 森北出版、1966年
- (8)秋岡武次郎『日本地図作成史』 鹿島出版会 1971年
- (9)高木菊三郎『日本に於ける地図測量の発達に関する研究』 風間書房 1966年
- (10)山村悦夫「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－」18回日本土木史研究発表会論文集、1988年
- (11)Yamamura, E. 「A Study on Model Reference Adaptive Control in Economic Development (1)-(7)」 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, Vol.11, No.2, 141-184, 1988年.
- (12)Yamamura, E 「Optimal and Reference Adaptive Process for the Control of Regional Income Disparities」 Papers of Regional Science Association, Vol.56, 201-213, 1985
- (13)カッテンディーケ『長崎海軍伝習所の日々－日本滞在記抄－』 平凡社 1964年
- (14)土橋忠則監修『教程基準点測量』 山海道、 1983年