伊能忠敬の全国測量と天文観測

中 村 士*

Inoh Tadataka's Land-survey Expeditions in Japan and His Astronomical Observations

Tsuko NAKAMURA*

[Received 29 December, 2018; Accepted 4 April, 2019]

Abstract

Land-survey expeditions across the Japanese archipelago during the period from 1800 to 1817 and scientific map-making conducted by Inoh Tadataka were monumental achievements in the Japanese history of cartography. How Inoh's astronomical knowledge and skills are reflected in his survey instrumentation and map fabrication of the Japan islands is reviewed. The contents of this paper are as follows: Section II makes an overview of Inoh's astronomical background nurtured both in his early life and at the Asakusa shogunal astronomical office; Sections III and IV discuss the influence of imported Chinese and Dutch books and European astronomical instruments on the survey apparatus used in the above expeditions; Section V describes his concrete star observation methods for determining local latitude, which were drawn by a local painter in the Kure district of Hiroshima in 1806; Section VI introduces survey work and map-making of the Sanuki fief in Shikoku by Kume Michikata, a surveyor and contemporary of Inoh, in contrast to those adopted by Inoh; and, Section VII comments on Inoh's cartographic policy and techniques in completing his famous *Dainihon Enkai Yochi Zenzu* (The Great Coastal Map of Japan).

Key words : cartography, Inoh Tadataka, Western astronomy, astronomical observation, latitude
キーワード : 地図学, 伊能忠敬, 西洋天文学, 天文観測, 緯度

I. はじめに

2018年は伊能忠敬の没後200年だった。国会図書館のデータベースによれば、2018年現在、タイトルに伊能忠敬という語を含む著書は、数え方にもよるが250点を優に超える¹⁾。この数は、他のよく知られた江戸時代の科学者について書かれた著作数、杉田玄白156点、平賀源内209点、司馬江漢102点、関孝和62点、青木昆陽40点、などと比べてみても圧倒的に多く、忠敬の人気のほどが納得できる。

その一方で、忠敬の日本全国測量と地図制作を科学的側面から論じた研究書は今までわずかしかない。その代表はよく知られた、大谷亮吉による『伊能忠敬』(大正6年)と、保柳睦美が編纂した『伊能忠敬の科学的業績』(昭和49年)である。忠敬の学術的業績の主要部分は、この両書ではほぼ網羅されているといってよいだろう。忠敬は佐原時代から多数の天文・暦学書を熱心に勉強し暦計算も色々行なったが、天文学・暦学を科学として研究や発展させた著作がとくにあるわけではない²⁾。このことからわかるように、忠敬は基本的

* 大東文化大学東洋研究所

* Institute for Oriental Studies, Daito-Bunka University, Tokyo, 175-0083, Japan

には測量と地図づくりの実務家だったが、天文暦学における十分な知識と経験がなかったら、『大日本沿海輿地全図』のごとき精密で大規模な日本全図を完成させるのは困難だったことも確かである。

よって、本稿では、大谷・保柳以後に明らかにされた、地図づくりに関連する忠敬の天文暦学、とくに天文観測の儀器と観測技術的な側面を中心に、筆者が行なった研究も含めて、いくつか簡単に紹介してみたい。

II. 忠敬の天文暦学知識の背景

日本全図のような広域地図の測量と地図作成には、天文測量の素養と技術が欠かせない—広域測量と天体の位置観測とは、測角の原理と使用する測器は基本的に同じだからである。そのため、忠敬が幕府の全国測量事業に乗り出す以前の、わが国における天文測地学の状況と忠敬の天文暦学修行をまず見ておくことは意味があろう。

1) 江戸出府以前

忠敬は延享2年(1745)に上総国(千葉県)の九十九里で生まれ、17歳の時に、九十九里から30kmほど北に離れた下総国佐原(現在の香取市佐原)の伊能家に養子に入った。忠敬は一族の期待通り伊能家の家業である醸造業に精進し、同家の財政を好転させた。明和年間の凶作の際は米銭を提供して窮民を救済したなどの功績で、天明元年(1781)には36歳で名主役を命ぜられている。名主という立場の責任上、農地・公道、用水路、河川の改修と開発にも携わることになり、測量にも通じる必要が生じたのだろうが、すでに九十九里の少年時代から算術を好み和算の初歩を学んだと伝えられる。

渋川景佑が書いた「伊能翁見聞記」によれば、伊能家に入籍してからは、多忙な家業の合間に天文暦学、数学、測量の書物を購入して読みふけた。そのため、家業に集中してほしい家族らはこれが気に入らなかったようだ。

保柳は伊能家蔵書のなかから、江戸出府以前の忠敬の天文暦学、数学、測量の蔵書リストを整理している(保柳, 1974)。それらのうち、お

もなものを拾ってみると、天文暦学では『授時暦』(1666)、『貞享暦』(1684)、中根元圭による『皇和通暦』(1714)、『天文図解発揮』(1739)、および『授時暦俗解』(1776)、『宝暦甲戌元暦』(1755)、西川正休訓点の『天経或問』(1730)など、20種があげられる。また、数学書には、明の『算法統宗』(1674)、関孝和らによる『大成算経』(1711)、中西敬房の『暦学法数原』(1787)、など約18種、測量・地図関係では、万尾時春の『見立算規矩分等集』(1722)、村井昌弘の『量地指南』(1733)、同後編(1754)、長久保赤水の『日本輿地図』(年代未詳)、など10数種があった。これらの書物を忠敬がどの程度深く理解したかは不明だが、それらに基づく計算草稿もいくつか残っており、忠敬の学問はいずれの分野でも当時から相当なレベルに達していたことが窺われる。

2) 麻田派天文学者の活動

よく知られているように、忠敬の天文暦学と関係が深いのは、以下に述べる麻田派の天文学者たちである。明和8年(1771)～安永元年(1772)頃、九州臼杵の杵築藩藩主の侍医を務めていた麻田剛立は、念願の天文暦学研究に専心するため密かに脱藩し、大坂で先事館と名づけた私塾を開いて教えた。医者として生計をたてながら中国の暦学書を研究するとともに、自らも天文測器を改良・考案し、天文観測も盛んに行なった。剛立のもとには、高橋至時、間重富、足立左内、西村太冲などの優れた門人が集まった。なかでも高橋至時(1764-1804)は、大坂定番同心という下級武士だったが、若い頃から数学と暦学を好み、麻田派一門のなかでは数理的思考にもっとも優れた才能を発揮した。一方の間重富(1756-1816)は、至時とは対照的に当時の大坂では有数の裕福な質屋の主人で、少年の頃から天文学に興味をもち、12歳の時に渾天儀の模型をつくり周囲の大人を驚かせたと伝えられる。また、先事館への入門以前から漢籍の天文書を購入し、西洋天文学を勉強していたと息子の間重新は記している。至時と重富の先事館入門はともに天明7年(1787)だった。彼らは師弟が協力して、剛立が臼杵時代から行っていた中国の天文暦学研究を、理論と観測の

両面で発展させてゆく（例えば、渡辺、1983）。

はじめの頃彼らは、『貞享暦』や『授時暦』に加えて、西洋天文学、数学の内容を含む『暦算全書』（梅文鼎が1723年に出版）や『天経或問』を研究した。『天経或問』の方は、清朝の游子六（游芸ともいう）が1675年に刊行した天文学の一般概説書である。中国ではほとんど普及しなかったが、西洋天文学の初歩と気象・地理まで広く扱っており、後に天文方になった西川正休が訓点付の注釈書を出版した享保15年（1730）頃から、日本では非常な人気を呼んだ。

その後、剛立、至時、重富らは、中国に渡来したイエズス会の宣教師らが中国語に翻訳・編纂した天文暦学書を通して、西洋天文学をより深く知ることになる。『暦象考成上下編』と『暦象考成後編』である。前者は、太陽は地球中心の運動をする（天動説）が、他の惑星は太陽中心に回るというティコ・ブラーエの宇宙体系を述べた本である。また、後者の本はその頃はきわめて珍しい漢籍で、重富が苦勞して入手した。太陽と月の運動に関しては、ケプラーによる楕円軌道の理論をはじめて説いていた。当時の日本人暦学者にとって楕円運動理論は非常に難解で、その数学的内容を十分に理解できたのは至時だけだった。

また、彼らは、天文儀器的改良と考案、それらを用いた天文観測にも熱心に取り組んだ。この方面は、幼少の頃から器具の取扱いと工夫とに優れ、財力もあった重富が中心になって行なわれた。彼らが天文儀器的製作でもっとも参考にした漢籍は、『新製靈台儀象志』である。清朝の天文台長に任命された宣教師のフェルビースト（F. Verbiest, 南懷仁）が、西洋の新しい天文観測装置の知識によって種々の天文儀器的を北京で製作し、その成果をこの書物にまとめあげた（杜ほか、1997）。

3) 寛政の改暦

寛政7年（1795）3月、大坂における麻田派天文学者たちの評判と実力を耳にした幕府は、高橋至時と間重富を改暦事業に従事させるために江戸に召し出した。当時、幕府の老中首座にあった松平定信は八代将軍徳川吉宗の孫にあたり、西

洋天文学による改暦が吉宗の長年の悲願だったこともよく承知していたから、至時と重富という人材を得て、ついに改暦に踏み切ったのである。同年11月には至時は天文方に任命され、『暦象考成後編』に基づき改暦を行なうことを上申した。重富とともに新暦の立案と改暦用の観測儀器的の準備に取り掛かった。そして翌年には改暦の命が発せられ、至時らは改暦の形式的責任者だった土御門家と打合せおよび共同観測を行なうために上京した。こうして、西洋天文学の成果をはじめて取り入れた新暦は「寛政暦」と命名され、寛政10年（1798）から施行された。

至時は寛政の改暦以後も暦の改良に絶えず心掛けていた。享和3年（1803）、天文方を管轄する若年寄の堀田正敦から、フランスの天文学者ランデが書いた天文書の蘭訳本5冊（通称、『ランデ天文書』。フランス語の原著は *Astronomie* (Lalande, 1771 年版)、オランダ語訳本は *Astronomia of Sterrekunde* (1777-1780)) を解説することを命じられる。通覧してみてその内容が中国書に比べて高度で精密なことに衝撃を受けた至時は、乏しいオランダ語の知識を優れた数理的な理解能力で補って、自分が興味のある項目、理解できる分野を解説した。その成果が『ランデ暦書管見』8冊で、この仕事の途中で文化元年（1804）正月に病没した（上原、1977）。この『ランデ天文書』は、忠敬が全国測量で求めた緯度差1度の距離の正しさを至時が確認する上で重要な役割をすることになる。

4) 忠敬の高橋至時への入門

さて忠敬は寛政6年（1794）、家督を息子の景敬に譲り隠居、通称を勘解由と改めた。そして翌年、50歳で江戸の深川黒江町（江東区門前仲町）に居宅を構え、蔵前の裏手にあった幕府の浅草天文台（暦局）に高橋至時を訪ねて、天文暦学修行のため至時に入門することを許された。この訪問は、至時が寛政改暦のために寛政7年4月に大坂から江戸に出府してからわずか数か月だったから、偶然にしても時期があいすぎる気がする。忠敬が何らかのツテで、至時が江戸に来る情報を察知していたのではなかろうか³⁾。

佐原時代に天文暦学書、数学書を独習していたおかげで、至時への入門後ほどなく忠敬は『暦象考成上下編』を終了し、1、2年のうちに『暦象考成後編』によって、日月食の予報計算もできるまでに上達したという（『星学手簡』中の、重富から至時に宛てた、寛政8年11月24日の書簡による）。また、黒江町の自宅には天文儀器を備えて熱心に観測を行なった。暦局で至時と暦学の話をしている時でさえ、夕暮れが近づくと観測のために帰宅することに気を取られ、忘れ物などは構わずに大急ぎで帰ってしまうことがたびたびあったという逸話が残っている。

III. 浅草天文台の天文儀器 (1)

寛政の改暦以前に幕府天文方が天体の位置観測に使用していた天文儀器は、初代天文方の渋川春海の時以来使われた、渾天儀だった。渾天儀は、観測者を中心とし、地平線、子午線、天の赤道、黄道、などの、円環を組み合わせてつくった天球の模型に相当し、実際の天球と渾天儀との相似関係を利用して角度を測る。天体の緯度・経度をこの1台で測定できたが、測角精度はせいぜい0.5～1度に留まった。

1) 『新製霊台儀象志』

間 重富ら麻田派天文学者が天文儀器の製作でもっとも参考にした漢籍は、上述したフェルビーストによる『新製霊台儀象志』（1674年（康熙13年）序）である。一方、フェルビーストらは、デンマークの大天文学者ティコ・ブラーエ（Tycho Brahe）が1602年に出版した『天文観測機械』（*Astronomiae Instauratae Progymnasmata*）をおもにもとにして天文測量儀器を開発した。ティコは、古代からギリシアでも中国でも使用され続けた汎用の観測儀器である渾天儀を止めて、天体の緯度と経度を独立に測る専用の装置を多数考案・製作し、肉眼で達成しうる最高精度（角度で1～2分）の観測を実現したことで知られる。

『新製霊台儀象志』は、第1巻から14巻までの説明文と、117図からなる第15巻、16巻の非常に詳しい図説から構成される。内容は、地平経緯儀、象限儀、紀限儀など、天文儀器の構造、機

能と測定法、それらの製作法や据付台座の加工法、テコや滑車の原理図、種々の製図器具、観測のための各種恒星表などを扱っている。麻田剛立、間 重富らは、これらの図説をたよりに、寛政改暦とそれ以後の浅草天文台のための観測儀器を、京都の時計職人だった戸田東三郎と協力してつくりあげていった。

2) 『寛政暦書』に見る天文方の観測儀器

改暦が行われると、関係した天文方はその報告書を幕府に上呈するのが貞享改暦以来の慣例だ。寛政改暦の報告書は『寛政暦書』であるが、これが実際に幕府に提出されたのは弘化元年（1844）で、寛政10年（1798）の新暦施行から実に46年も経過していた。このように大幅に遅れた原因は、至時が文化元年（1804）に病死したこと、および至時の仕事を引き継いだ高橋景保が多忙だった上に、文政11年（1828）にシーボルト事件の首謀者として捕らえられ翌年に獄死したことである。『寛政暦書』を最終的にまとめたのは至時の次男、渋川景佑らだった。

そのため、『寛政暦書』のなかで、寛政暦の暦理や計算法の説明には大きな改訂はなかったが、観測装置の記述は、寛政の改暦から1840年代までに新たにつくられたり輸入されたりした天文儀器の情報も含まれている。すなわち、天文方の吉田四郎三郎秀茂が書いた「儀象図」1～3（巻19～21）と「儀象誌」1～4（巻22～25）である。この部分の図説と記述の仕方は『新製霊台儀象志』によく似ているから、後者の構成に倣ったことは疑いない。ここでは、寛政の改暦以後、浅草天文台備え付けの標準的な観測装置になった、忠敬の天文測量にも深く関係する象限儀、子午線儀、垂揺球儀を取りあげる。

2-1) 象限儀

象限儀は天体が真南にきた時（南中）、つまり子午線を通過する時の天体の高度角を測る装置で、天体の赤緯座標、または観測地の緯度を求めるのに使用する。角度目盛を刻んだ部分が円周の4分の1の扇型なので象限儀（quadrant）という。望遠鏡が発明されてからは天体を狙う視準筒に望遠鏡が取り付けられ、角度で1分以下の測定

も可能になった。上記の「儀象誌」によれば、寛政の改暦の時にはじめて象限儀、子午線儀、垂揺球儀を製作し、京都で試測した後に江戸へもち帰り、浅草天文台に設置したと記される。象限儀は図 1a, b で見ると、ティコの象限儀の形が大きな変更もなく、『新製霊台儀象志』を経由して日本に伝わったことが理解できる。

2-2) 子午線儀

この装置の基本構造は、2本の支柱の間を、空中に糸を張ってつくった三角形の面が南北の子午面に一致するようにしたものである(図2)。天明年間に剛立が、『新製霊台儀象志』に記された三角線儀の記事をヒントに考案したと伝えられる。観測者は三角糸の下にいて見上げる姿勢で、上下2本の糸が重なって見える位置に座り、これらの糸を基準に天体が子午線を通過した瞬間を片目で測る。

天文台の子午線儀では、糸の三角面を子午面にあわせて正確に設置するためにいくつかの恒星を数夜にわたって測定し、少しずつ三角面の方位を修正する必要があると相当に面倒な作業だった。『新製霊台儀象志』に付属する恒星表の一部はこの目的のために用意されていた。

実際の天文観測では、子午線儀だけを単独で使用することはほとんどない。後述するように、忠敬が全国各地で行なった緯度測定における観測の場合は、子午線儀の観測者が子午線通過の瞬間を合図し、その時の恒星の高度を象限儀の担当者が読取った。また、日食・月食観測では1か所に数日逗留して、太陽日の長さを測定し各食分に対する地方太陽時を決めるために、子午線儀と垂揺球儀とを併用した。

2-3) 垂揺球儀

江戸時代に日常生活で使用された時計は和時計であるが、これは昼夜の1刻の長さが季節によって変動する不定時法のため、天文現象の観測には使えない。天文観測には、季節によらずつねに一定の歩度で進む精密な機械時計が必要である。

麻田派天文学者が考案した天文観測用の時計は、垂揺球儀と呼ばれる振り時計だった(図3)。江戸時代の垂揺球儀は5～6台が現存するが、

図 1 (a) ティコの天文台があったフベン島(現在はスウェーデン領)のティコ・ブラーエ天文博物館に展示される象限儀のレプリカ(2005年筆者撮影)。(b)『寛政暦書』の「儀象図」に描かれた浅草天文台の象限儀(国立天文台所蔵)。望遠鏡が共架されている。

Fig. 1 (a) Quadrant (replica) invented by Tycho Brahe. It is displayed at Tycho Brahe Astronomical Museum located on Hven Island, Sweden (photographed by the author in 2005). (b) Quadrant used at Asakusa shogunal astronomical observatory from Kansei Rekisho (courtesy National Astronomical Observatory of Japan). A telescope is mounted on the sighting alidade.

多くは10万～100万の目盛カウンターを備えていて、1目盛が現代の時計の1～2秒に相当する。

振子を用いた時計は17世紀中頃にオランダの

図 2 『寛政暦書』の子午線儀 (国立天文台所蔵)。この図では、風よけと、暗闇で糸を見やすく照明するために、三角糸の下線は観測小屋の内部に隠れている。

Fig. 2 Meridian transit instrument used at Asakusa shogunal astronomical observatory described in *Kansei Rekisho* (courtesy National Astronomical Observatory of Japan). The lower line of the triangle is not visible because it is obscured by the observation house.

ホイヘンスが発明していた。『新製霊台儀象志』のなかに「垂線球儀」という節があり、この装置を使用して太陽・月の見かけの直径や2つの恒星の相対角距離を測る例が説明されている。

「儀象志」の編者は、天明年間に麻田剛立が創製したと説明する一方で、子午線儀も垂揺球儀も本来はやはり西洋人の発明だろうと述べている。後者の説は、垂揺球儀は当時輸入されていたであろうヨーロッパ製振り時計を模倣した物、とする大谷の考えと同じである (大谷, 1917)。他方、和時計研究家の浅井 忠は、輸入振り時計の存在が知られていない、などの事実に基づき、日本での創製説を主張した (浅井, 1983)。近年、振子を用いた调速機と冠型脱進器を備えた尺時計が見つかることから、垂揺球儀において歩度の精度をあげる一連の工夫はやはり日本人の独創だろうと小曾根は結論づけている (小田, 1994; 小曾根, 2011)。

上述したように、寛政改暦の京都での試測に使用された象限儀、子午線儀、垂揺球儀は、寛政

図 3 『寛政暦書』の垂揺球儀 (国立天文台所蔵)。図では、時計の機械部分と振り部分だけで、駆動力源の重錘は描かれていない。

Fig. 3 Astronomical pendulum clock used at Asakusa shogunal astronomical observatory described in *Kansei Rekisho* (courtesy National Astronomical Observatory of Japan). Only the gear mechanism and pendulum are shown, not the driving weight.

10 年 (1798) 頃には浅草の暦局に戻されていた。忠敬はすでに寛政 7 年に至時に入門していたから、それら測器の設置や調整にも当然立ち会って詳細を把握していたことは疑いない。そしてその経験が、寛政 12 年 (1800) からの全国測量で使用された忠敬の象限儀、子午線儀、垂揺球儀の製作に大きく影響したことも確かだろう。

IV. 浅草天文台の天文儀器 (2)

III 章では、寛政改暦以後の幕府天文方の儀器はおもに中国の西洋人宣教師が書いた漢訳天文書を参考にして製作されたことを議論した。一方、「儀象志」によると、長崎のオランダ商館を通じて輸入されたヨーロッパ製の測器も数種類、浅草天文台には所蔵されていた。しかも、忠敬の天文測器に重要な影響を及ぼしたものもあるので、本章ではそれらを紹介する。

1) 「限象観星鏡図」

1998 年に「日蘭交流のかけ橋」という特別展が開催され、そこに「限象観星鏡図」と題する

ヨーロッパから輸入された天文測器の図と附解などの関連文書が展示された（神戸市立博物館, 1998）。寛政4年（1792）、新奇で非常に精巧に見える西洋の大型天文観測儀器一式を舶載したオランダ東インド会社の船が、長崎出島に入港した。この輸入品の調査を長崎奉行所から命じられて、オランダ通詞の本木良永⁴⁾が提出した報告書と図面が展示された資料だった（図4）。本木は西洋の科学機器に関してはもっとも詳しい立場だったが、その報告書を読むと、これはまったく未知の高度な天文儀器で使い方もわからないとして、困惑している様子が伝わってくる。報告書の冒頭の所で、本器はオランダ語ではクワドランツ・ミコロメーテルと称すると漢字に片仮名をふっている。本木は、ミコロメーテルは意味不明だったが、クワドランツ（kwadrant, quadrant）は象限儀を表わすことは理解できたので、象限という言葉の思いつきで反転して「限象」という造語を用いたのだろう。実はこの儀器は、当時のヨーロッパでは携帯型天文象限儀（portable astronomical quadrant）と総称され、メートル法の概念が誕生する前夜の時代の、標準的な測地観測装置として、とくに英国とフランスでは多種類が製作された（例えば、Bennett, 1987）。

その後筆者らは偶然に、この西洋天文儀器が輸入された経緯を記した文書をみつけた。『本木蘭文』（長崎県教育委員会, 1997）と呼ばれる一群のオランダ語文書のなかに、当時のオランダ商館長から長崎奉行に宛てた、寛政5年（1793）の請願書と請書である（中村・鳥井, 2006）。これら2通の書簡によって、日蘭双方は2年掛りの交渉の末に、幕府は最終的にこの儀器一式をオランダ側の言い値、3700 テールで買わされたことがわかった。当時の米相場で換算すれば、現在の約4600 万円に相当する。このように高度で高価な天文儀器を最初に誰が何の目的で発注したのかがまったく不明のまま幕府は引き取らざるを得なかった。幕府はこれを天文方に下げ渡したが、大坂の至時や重富がまだ暦局に入る以前で西洋天文学を知る天文方はおらず、誰も使い方がわからないまま放置されていたらしい。

図4 「限象観星鏡正面図」（神戸市立博物館所蔵）。詳しい部分図も付属する。彩色されていないが、ほとんど同じ図が長崎のシーボルト記念館にも所蔵される。

Fig. 4 Drawing by Gensho Kanseikyo (Quadrant with telescope, courtesy Kobe City Museum). Figures of detailed parts are also attached. Siebold Museum in Nagasaki has a similar drawing to that of Gensho Kanseikyo.

2) 『寛政暦書』の「蛮製地平経緯儀」

『寛政暦書』の「儀象誌」中に、「蛮製地平経緯儀」と題した項目がある。その図説（原文は漢文）を上記の天文測器のものと比較したところ、両者の構造、三脚の形、各部の寸法と材質の記載などがほとんど同じで、これがまさに「限象観星鏡」その物であることが判明した。その全体図を図5に示す。図4と比べると、こちらは日本人絵師が伝統的な画法で描いた図であることが見てとれる。

重要なのは、儀象誌の説明文において、この地平経緯儀の遊表と望遠鏡附属の測食定分儀に、ア

図 5 『寛政暦書』中の蠶製地平経緯儀全圖（国立天文台所蔵）。中央の縦線は、2頁にまたがっている原図をついだために生じた。

Fig. 5 Imported portable astronomical quadrant from *Kansei Rekisho* (courtesy National astronomical Observatory of Japan).

ムステルダムの G. Hulst Keulen と Jan Kleman と読める製作者の漢字による銘が刻まれていたと記している点である。クレマンとケウレンはともに、18 世紀後半から 19 世紀にかけてアムステルダムで活動した代表的な器機・航海用具メーカーであり、そのためオランダ東インド会社とも関係が深かった。つまり、この地平経緯儀は、日本からの注文に応じて、この 2 社が自己の技術的総力をあげて製作した最高級の特注品だったのである（後述のマイクロメータ副尺が実に 3 か所に装備されていた）。知られる限り、この種の地平経緯儀はオランダにも現存していない。

しかし、輸入されても誰も使い方がわからなかったような高度な地平経緯儀が、なぜ日本側から発注されたのかという大きな疑問が残った。その後、この時期のオランダ商館長日記や、日本か

らの注文書控簿など、オランダ側の史料⁵⁾を再調査する過程で、発注の経緯がようやく浮かび上がってきた（中村・田中ファンダーレン, 2014）。発端は、氏名未詳のオランダ通詞の 1 人が、おそらく蘭書の『ボイス学芸辞典』（Egbert Buys, 1769-1778 出版）中の天文儀器の図説をたまたま見かけたことだった。そこには、航海用のオクタント（八分儀）と天文象限儀がほぼ“同じ大きさ”で描かれていた。この通詞は后者の知識がまったくなかったため、単に大きさから判断してオクタントと同程度の価格の器具だろうと推測し、天明 7 年（1787）頃に気軽に天文象限儀の注文を蘭館に出したと考えられる—当時、オクタントは個人で所有している通詞も複数いた。ところが、実際には天文象限儀はオクタントより数 100 倍も高価だったため、この通詞は引込みがつかなくなり、発注者として名乗り出なかったようだ。つまり、この天文象限儀、または蠶製地平経緯儀は、一通詞の気まぐれの結果として輸入されたというのが真相らしい。

3) 『ラランデ天文書』の来歴

至時が享和 3 年（1803）に『ラランデ暦書管見』で解説を試みて以来、江戸時代の天文学に大きな影響を与えた『ラランデ天文書』であるが（II 章 3）節）、その舶載の経緯も実はよくわかっていなかった。至時に本書の取調べを命じた若年寄の堀田正敦は、同書を成瀬某から借用したとされる（上原, 1977）。この成瀬は、1801-1806 年に長崎奉行を務めた成瀬正定⁶⁾か、あるいは尾張犬山藩藩主の成瀬正寿（または父親の正典）だった可能性が高い。天文学に関係のない彼らが、当時最新の内容を含む天文書だった『ラランデ天文書』の出版を知るはずもないし、まして 80 両も支払って自主的に輸入したとはとても考えられない。よって、単なる珍書として何かのはずみで入手したとみなすのが自然であろう。

ところで、私たちが調べた上記のオランダ東インド会社の資料には、この天文儀器一式が収納された 7 箱の内容明細を記した送り状（オランダ語の *faktuur*）も含まれていた。そして、その箱の 1 つには、“象限儀の説明書として使うための

ランデ本5冊の完全版”、であると書かれていたのである。この蘭訳本『ランデ天文書』が象限儀一式の一部として含まれていた理由は容易に想像がつく。この天文象限儀はオランダ国内でも今までつくられたことのない、日本向けだけの特注品だったから、その使用説明書などを新たに用意する余裕はなかっただろう。そのため、天文象限儀の詳しい図と解説を載せていた『ランデ天文書』を使用説明書として代用したのである。しかし、出島の蘭館から7箱一式を受取った輸入担当の通詞は、天文象限儀の知識などまったくなかった。だから、『ランデ天文書』は他の箱の儀器と関係がない書籍とみなして別扱いにした結果、それが巡り巡って成瀬某の手に渡ったと考えられる。

なお、このことはまた、本木良永はこの場に居合わせなかったことをも示唆する。なぜなら、もし彼が7箱一式を開梱する際に立ち会っていたら、この天文象限儀と『ランデ天文書』との関係に必ず気づいたはずだし、したがって、先に述べた「限象観星鏡図」のようなあいまいな報告書を書くこともなかったに違いない。江戸時代天文学の近代化に大きな役割をした『ランデ天文書』のごとき重要な蘭書の舶載が、1人のオランダ通詞の気まぐれな誤解から起こったことを見ると、歴史における偶然の巡り合わせの不思議さを思わずにはいられない。もし、『ランデ天文書』が本木の手に渡っていたら一歴史上の“もし”に意味がないことを承知であえていうなら一、同書の翻訳事情も至時の場合とは随分異なったものになったかもしれない。

4) 「限象観星鏡」の日本への影響

限象観星鏡、すなわち、『寛政暦書』中の蜜製地平経緯儀の説明には、「測食定分儀」と題した小節がある。日・月食の食分（欠け具合）と欠けた方位を測定できる、近代の糸線測微尺（filarmicrometer）の一種で、望遠鏡の接眼部に装着して使用する。その構造と寸法の記載は、本木が書いた限象観星鏡の附解とよく一致しているから、明らかに両者は同一物である。

一方、大谷はその著書（1917）のなかで、測

食定分儀に関して次のように説明している。間家に所蔵される「日月食観測録」のなかで、食の食分と方位を測定できる簡単な装置を重富が自ら考案し、寛政5年7月の月食はこれを用いて観測したと記されている。その後、試行錯誤による改良を加えて寛政改暦の頃（1797-1798）には本格的な測食定分儀が完成したのでだろうと。大谷が「日月食観測録」から再録した図を見ると、重富による初期の測食定分儀は、円形の視野内に十字線を張っただけの簡単なもので、目測で食分と欠けの方位を求めたようだ。

しかし、現存する当時の測食定分儀は伊能忠敬記念館に所蔵されるものが唯一⁷⁾で、忠敬が寛政12年（1800）の蝦夷地測量に持参したとされる。大谷の本によれば、その構造は、カムとギアを組み合わせたマイクロメータ副尺を採用している⁸⁾。副尺については再度後述するが、マイクロメータ副尺は『新製霊台儀象志』では言及していないから、至時と重富が江戸に来る以前には日本では知られておらず、しかもマイクロメータねじの切削は高度な製作技術が要求された。したがって、上に述べた重富らによる改良は、オランダがもたらした蜜製地平経緯儀に付属していた測食定分儀を参考に行なわれたと判断せざるを得ない。そしてその経験が忠敬の測食定分儀にも利用されたと考えられる。以上のように、蜜製地平経緯儀を通して日本人は、マイクロメータ副尺の知識と精密測定の手法を学んだのである。ちなみに、後の章で言及する久米通賢の史料にも、明らかに限象観星鏡をもとにしたとわかる天文儀器の図面が残されている。

V. 忠敬の全国測量の天文学的側面

―第5次測量の天文測器

伊能忠敬は高橋至時の支援を得て、寛政12年（1800）の第1次測量（奥州街道・蝦夷東岸）からはじめ、文化12-13年（1815-1816）の第10次測量（江戸府内）まで、実に17年に及ぶ日本全国測量に従事した。その間、測量隊は、昼は地上測量、夜間は天測というハードな作業をほぼ毎日継続した。『大日本沿海実測録』（伊能による記

図 6 (a) 新出の象限儀本体。(b) 象限盤の対角斜線目盛と微動ネジ装置部分、及び視準用望遠鏡の接眼部 (2002 年筆者撮影。現在は萩博物館所蔵)。

Fig. 6 (a) Newly discovered quadrant. (b) Divisions of diagonal subscale and its screw mechanism and eyepiece of sighting telescope (courtesy Hagi City Museum).

録の大学南校による復刻：伊能, 1870) によれば、天測で緯度の値を得た地点は 1100 か所以上に達し、それらはいわゆる「伊能大図」の上に星印として示されている。この章では、最近見つかった天文観測装置の複製品と、忠敬らの天測風景を描いた、有名な「夜中測量之図」に関する新情報について紹介する。本稿の紙幅の制約上、十分な説明と議論とを尽くせない箇所もあるので、詳細は中村の報告 (中村, 2015) も参照いただきたい。

1) 新出の象限儀・子午線儀

2003 年 6 月、国立科学博物館で「江戸大博覧会」と題する大規模な特別展が開催され、各分野の器物史料、文書史料が多数展示された (国立科学博物館, 2003)。そのなかに、伊能忠敬の中国地方測量で使われたと称する象限儀、子午線儀が飛入り出品された (以後、これらを省略して新出測器と呼ぶ)。その際に撮影された写真を、象限儀 (図 6) と子午線儀 (図 7) にまず示す。

筆者はこれら新出測器の出所を知らされないまま展示解説を書くことを依頼され、大谷の著書中の記述と取敢えず比較してみた。その結果、象限儀に関しては、忠敬のいわゆる中象限儀と各部の寸法、構造・機構がウリ二つであることがわかつ

図 7 新出の子午線儀。中央の黒っぽい 2 本の垂直の柱が子午線儀 (2002 年 筆者撮影。現在は萩博物館所蔵)。

Fig. 7 Newly discovered meridian transit instrument (courtesy Hagi City Museum).

たが (表 1)、作者と製作年代に関しては何の手掛かりも得られなかった。ただ、この時注目したのは、忠敬自身の子午線儀は失われて伊能忠敬記念館にも現存していない点だった。そのため、展示後、所蔵者の小川忠文氏にお願いして調査させていただいた。以下に、両者の象限儀と子午線儀とを簡単に比較する。ここで、中象限儀とは、中

表 1 新出の象限儀と子午線儀の寸法と忠敬所持の物との比較.

Table 1 Size Comparisons of newly discovered quadrant and meridian transit instrument with those of Inoh Tadataka.

測器	伊能忠敬記念館	新出測器
象限儀	中象限儀 象限盤外半径 3 尺 8 寸 (114 cm) 目盛盤外半径 3 尺 6 寸余 (108 cm 余)	象限盤外半径 116 cm 目盛盤外半径 105.5 cm 円弧目盛部分の幅は 6 cm
子午線儀	現存せず (大谷の時代から)	前柱の高さ 270 cm (台座を含む) 後柱の高さ約 150 cm

国地方も含めて忠敬が全国測量でもっとも頻繁に使用した象限儀である (大谷, 1917)。

1-1) 象限儀

象限儀の寸法を比べると, 表 1 以外の部分の寸法も両者はよくあっていることが確かめられる。箱型の視準遠望鏡 (4 枚レンズ) の構造と寸法, 1 度間隔の象限盤の目盛, 10 分の 1 に分割した対角斜線副尺の目盛もほとんど同じづくりである。伊能忠敬記念館に展示されている象限儀は仮の台に載せてあるため, 実際の観測の時にどう設置したかは不明なのに対し, 新出象限儀では観測用の架台も附属していた。忠敬の象限儀では象限盤は真鍮製だが, 新出測器は象限盤の目盛部分も含めて象限盤全体および架台は木製である。しかし, 全体が硬質の木材で堅牢に製作されているため, 図 6b の対角斜線目盛の線刻が時を経た現在もはっきり残っている。

1-2) 子午線儀

この子午線儀が象限儀と一対として製作されたことは, 同種の材質, 同じ木組の手法と茶色の漆塗装などから明らかである。運搬の便のためであろう, 前柱が 3 個, 後柱は 2 個に分割できる。前柱, 後柱ともに複数のホゾ穴が穿たれ, 三角形の糸を張れるように附属部品を取り付けるためであることがわかる。前柱には 4 脚の台座が附属し, 後柱は土中に直接打ち込めるように下部先端が尖っている。

後述する『浦島測量之図』には「夜中測量之図」とは別に, 象限儀と子午線儀の詳しいスケッチ図が附属していて, 新出測器はそれらと比べると非常によく似ている。そのため, これら新出測

器は, 忠敬が瀬戸内海沿岸の測量中に, その象限儀・子午線儀を丁寧に計測した上で製作された復元品であろうと, この時点では想定した。なお, 忠敬の子午線儀が佐原で失われた理由は容易に察しがつく。三角糸が張られていない状態での前柱と後柱は単なる古角材にしか見えず, 知識のない者なら忠敬の測量には無関係と見なして廃棄してしまったことは大いにあり得る。

2) 新出測器の来歴

この 2 点の新出測器は, 忠敬の時代に呉地方の大庄屋を務めた宮尾家のご子孫が, 戦後まもなく古い蔵を解体し売却した品々のなかから, 小川氏の前の所蔵者が入手したとのことである。また, 小川氏によれば, 象限盤裏側の枠の半径部に, かすかに文字らしいものが見えたので, 黒い汚れを剥がしてみた。その結果, 製作者氏名と製作年月日, および関係者の氏名を記した銘文が現われた。さらに, ある博物館の御好意により赤外線カメラで撮影していただき, 可視光では見えなかったいくつかの文字も判読することができた (■は判読不能の文字)。その結果を以下に示す。

測 ■

度刻 (割) 武田正信

目盛書入 武田鴻範

塗師 景山儀兵衛

天保二年辛卯二月 日

鹿老渡辰之助直範造之

作者名に記された鹿老渡は通常の苗字ではなく, 呉附近の島の地名だった。以下に, 『伊能忠敬測量日記』(以後, 「測量日記」と略記する) から, 第五次測量の鹿老渡に関する記述を引用する

図 8 広島県呉市倉橋島と鹿老渡（矢印）。

Fig. 8 Maps of Kurahashi island and Karouto.

（伊能著，佐久間校訂，1998）。

文化三年 [1806]

三月十三日，…午後測量中大風雨…大雨ニテ測残。三手共暮ニ倉橋嶋ノ鹿老渡へ着。止宿津和野屋金右衛門，此夜モ曇天不測。

同十四日，朝曇天，…鹿嶋一周…，三番六ツ後帰宿。

此夜晴天測量，芸州佐伯郡御用掛五日市村庄屋弥右衛門来ル，大庄屋平田半右衛門モ来ル，伊予國松山領大庄屋杉田勇五郎来ル。

同十五日，宵ヨリ大風曇天，鹿老渡湊ヨリ下…七ツ半後倉橋嶋本浦備前屋直助止宿江着。

鹿老渡には一行は2泊3日滞在したことがわかる。複雑に入り組んだ島々の海岸線測量のために必要だったのだろうが，忠敬の測量では同所に2泊することは比較的珍しい。

図8の地図に見るように，鹿老渡は呉市の江田島に隣接する倉橋島にあり，最南端に位置する小さな港である。江戸時代には廻船の潮待ち・風待ちのために栄えた瀬戸内海の良港だった。上述の新出測器は，この鹿老渡の辰之助直範なる人物（素性未詳）が，忠敬の鹿老渡滞在時に象限儀と子午線儀の構造を調べ，寸法を測定したのだら

う。伊能隊は鹿老渡に2泊3日滞在したために，昼間の測量では象限儀・子午線儀はもち歩かず宿に残していたはずで，辰之助は昼間に詳しく計測させてもらえたと思える。「測量日記」を読むと，忠敬は各所で来訪者に気軽に測量器具や天文測器を見学させたり，天文暦学書を貸し与えたりしている。その計測結果をもとにして辰之助は，理由は不明だが，25年後の天保2年（1831）になって新出測器を復元製作し，それらがやがて上に述べた大庄屋宮尾家に渡ったと推定されるのである。ちなみに，象限盤の目盛分割の計算にかかわった武田正信は，広島藩の天文測量役を務めた人物だった（渡辺，1983，1986）。おそらく，鹿老渡の辰之助が上記の象限儀・子午線儀の製作立案者で，八線表（三角関数表）などを用いる専門の知識と技術が必要な仕事は，測量家武田氏に依頼したと推測される。

3) 『浦島測量之図』と忠敬の瀬戸内海測量

上でも触れた『浦島測量之図』とは，文化3年（1806）に呉地方へ忠敬が来訪した際に，芸州賀茂郡の割庄屋を務めていた宮尾家（当時は宮尾三兵衛）が藩命で伊能隊の世話をし，その時に同家が絵師に依頼して制作させた資料である。昭

和 25 年頃に、宮尾家から呉市の入船山記念館に寄託されたという（呉市入船山記念館, 2006）。また、V 章 2) 節に述べた新出測器の旧蔵者が宮尾家から鹿老渡辰之助作の象限儀、子午線儀を入手したのも、この時期だったと考えられる。

『浦島測量之図』は卷子仕立てで次の 5 部から構成される。すなわち、(1) 二十八宿去北極度一覧、(2) 「浦島測量之図」、(3) 「夜中測量之図」、(4) 測量器具類の図と解説、および (5) 広島藩内の測量行程（文化 3 年 2 月 6 日～4 月 4 日）と関係者名簿、である。これらのうち、(3) 「夜中測量之図」が象限儀、子午線儀による観測方法の実際をよく伝える図として従来からしばしば引用されてきた（例えば、伊能忠敬研究会, 1998）。

図のなかで、頭巾をかぶって毛せんに座り、手明かりをもって子午線儀の三角糸を照らしているのが一般には忠敬であるとされる。この子午線係は測定すべき星が南中した瞬間を声で知らせ、それを受けて象限儀の係がその天体の高度角を測定し、机に座った記録係がその値を記録する。この図は、人物描写の素朴で生真面目な印象を与える。おそらく、宮尾家からは記録の目的で描くことを依頼されて、この絵師は創作でなく、自分で見た情景に基づき忠実に描写をする努力をした結果がこの「夜中測量之図」になったのだろう。また、図の西空低くに描かれた星座、参宿（オリオンの三ツ星）は、この時期の午後 8 時頃（地方時）の空をまさに示しているし、館報『入船山』（呉市入船山記念館, 2006）のなかで『浦島測量之図』について分析した解説者も、伊能隊の測量風景をかなり忠実に表現していると 1 度ならず強調している。したがって、「夜中測量之図」は、どこかの宿所で実際に行われた天文観測に基づき描かれた可能性が高い。

4 「夜中測量之図」の観測地の探索と現地調査

そこで、ここでは、「夜中測量之図」が実際に行われた天文観測を描写したという立場に立って、その観測地の探索をまず試みる。「測量日記」、『浦島測量之図』に付された呉地方の測量行程などから、3 月 6～22 日の期間に天測が行なわれた日にちと立ち会った役人の数を、「測量日

表 2 「夜中測量之図」の候補地。

Table 2 Candidate sites for Inoh's astronomical observations drawn by Yachu Sokuryonozu.

日付	止宿地	立会役人・庄屋	備考
3 月 6 日	三津村	4 名	星印あり (雲間に四五星測)
3 月 7 日	内海村	1 名	
3 月 11 日	三ノ瀬	記載なし	
3 月 14 日	鹿老渡	3 名	星印あり
3 月 18 日	宮原村呉町	5 名	
3 月 21 日	江田嶋本浦	4 名	星印あり

記」から表 2 に拾い出してみた。表の第 3 欄の「立会役人・庄屋」は、「測量日記」に具体的氏名が明記されている、天測に立ち会った御用掛と大庄屋の人数である。また、「備考」欄の「星印あり」は、「伊能大図」中で、天測が行なわれた地点を示す朱色の星印マークをもつ地点である。

この表 2 と「夜中測量之図」中の描写と比較する際、立会いの役人・庄屋の数が一番の手掛かりを与える。「夜中測量之図」では正装した 3 名（1 名は羽織・袴を着て刀を帯びているからおそらく藩の御用掛）の後ろ姿が描かれているが、表 2 でこれに該当するのは天測も行なわれた鹿老渡だけである。以上から、「夜中測量之図」の観測地としては、伊能隊が 3 月 13～15 日に滞在した倉橋島の鹿老渡がもっとも可能性の高い候補と認めてよいように思われる。

このことを確認するために、2011 年と 2012 年に 2 回、鹿老渡の現地調査を行なった。

倉橋島の古い建築に関する調査報告書、『倉橋島志』などを手掛かりに、鹿老渡で寛政 3 年（1791）頃から唯一存続しているとされる、野村家と宮林家を調べた。『倉橋島志』（野村, 1999）によると、野村家は、貞享頃から文政年間まで庄屋と地域の組頭を務めた由緒ある家柄だったが、私たちの調査時には、その場所は無住の更地になっていた。そこで、民宿を経営するという街路西端の角地の宮林家を訪問した。宮林家の建物は鹿老渡のなかでもひときわ目立ち、中庭を取り巻

図 9 (a) 伊能大図 (第 167 号) 中の鹿老渡と、(b) 現代の衛星写真 (Google map)。下図の中央部、2 つの山の接点あたりが鹿老渡の中心街。上図で星印が伊能隊の天測地点。

Fig. 9 (a) Site at Karouto indicated on Inoh's large map No. 167. Asterisk shows Inoh's astronomical observation site. (b) Bird-eye photograph of the same site taken by a satellite. The central part of Karouto is located near the conjunction of two islands.

く堂々たる白なまこ壁土蔵造りの平屋建てで、『倉橋町史』(倉橋町, 2001) には、宮林家は本陣に使われたこともあると記される。

ここで聞き取り調査を行なったが、応対下さった宮林家の宮林八重子さん(宮林家八代目のご当主、宮林敏氏の未亡人)から驚くべきことを聞かされた。私たちが伊能忠敬の話を“もち出す前に”，宮林家は野村家の分家で、両家はもとは津和野屋金右衛門という名前だったと、八重子さんははっきり明言されたことである(忠敬の測量については何もご存じなかった)。この名前は、「測量日記」のなかで、忠敬らが鹿老渡で天測のために止宿した宿の当主の名前そのものだった(V章2)節を参照)。したがって、忠敬らの天測は、野

図 10 子午線儀子午面の設置誤差と緯度決定誤差との関係。観測地の緯度が 35 度で、恒星の赤緯が 0 度の場合。

Fig. 10 Relation between east-west setting errors of meridian transit instrument (abscissa in degrees) and latitude determination errors (ordinate in minutes of arc). It is assumed that the geographical latitude of the observation site is 35 degrees N and the observed star has a declination of 0 degrees.

村家か宮林家かの屋敷内で行なわれたことが明白になった。また、『倉橋の建築』(倉橋町, 1989)に基づく両家の屋敷の構成や伊能大図の精度を検討した結果、図 9a の天測点により近い、宮林家の屋敷内で行なわれた可能性がもっとも高いことも示された。

この章の終りに、伊能隊の子午線儀の使用について簡単に検討しておきたい。III 章 2) 節でも述べたように、子午線儀の南北方位の設置は従来から、かなり面倒で手間のかかる作業とされてきた。そのため、「夜中測量之図」に描かれたような、後柱を地面に打ち込んだだけの“いい加減”な据付で、『大日本沿海実測録』に記された角度 1 分という緯度の精度が果たして実現できるかどうか疑問に感じた。そこで、子午線儀の子午面への設置誤差が恒星の高度(つまり緯度)測定に与える影響を計算してみたのが図 10 である。例えば、子午線儀の東西方位誤差が 2 度の時、緯度誤差は 1 分に相当している。よって、この程度の方位誤差を許すなら、半円方位盤(方位磁針)などがし

めす南北にあわせて⁹⁾、子午線儀の後柱を地面に打ち込む作業は容易であるし、したがって、星の南中時における緯度の測定も角度で1分以内の精度は充分実現できたと考えられる。

5) 本章のまとめと結論

まず、新出測器である象限儀と子午線儀は、『浦島測量之図』に記された観測装置のスケッチと説明、および「夜中測量之図」に描かれた観測風景を裏づける存在として重要である。また、忠敬自身の子午線儀が佐原に現存しない以上、忠敬が実際に瀬戸内海測量で使用した子午線儀の姿を伝える唯一の器物史料という意味でも、鹿老渡辰之助の象限儀・子午線儀は大きな意味をもつといえる。

さらに、新出象限儀に刻されていた銘文が発見されたために、「測量日記」の記載と鹿老渡での現地調査を組み合わせた解釈がはじめてできるようになった結果、「夜中測量之図」は鹿老渡での天測を描いた可能性がもっとも高いことを示すことができた。ゆえに、新出象限儀は上記の三者（銘文、日記、現地調査）を結びつける中心的役割を担った訳で、辰之助の象限儀・子午線儀は復元品とはいえ、きわめて貴重な歴史的器物資料と位置づけることができる¹⁰⁾。

VI. 久米通賢による讃岐全図の作成と測器の副尺

伊能忠敬の『大日本沿海輿地全図』はわが国における未曾有の地図制作事業であったが、この時代に地図づくりに携わったのはひとり忠敬だけではない。忠敬に匹敵する精度の地図作成を実施した例として、加賀・越中・能登三州の地図をつくった新湊（富山県）の石黒信由と、讃岐（香川県）の久米通賢がある。ここでは、後者の讃岐測量と地図作成、およびその測量器具の副尺について取り上げる。

1) 久米通賢の天文測量と測量器具

久米栄左衛門通賢（1780-1841）は讃岐国の東端、引田馬宿の出身で、子供の頃から和時計を修理するなど手先が器用だった。寛政10年（1798）、19歳の時に大坂の間重富に入門、天文暦学、測量を学び4年後に帰郷した。帰郷後、

文化14年（1817）頃まで、日月食、彗星、恒星の天文観測に従事している。文化3年（1806）、高松藩の測量方として讃岐国の測量と地図づくりを命ぜられた。また、その過程での見聞と経験から、坂出地方に塩田を建設することを藩に提案した。この坂出の塩田は戦後には全国屈指の製塩業に発展した（岡田、1988）。通賢の後半生は、おもに種々の工夫をこらした鉄砲、大砲の発明と製作とで知られるが（有馬、1934）、これは文化年間頃からロシア勢力が樺太、エトロフに侵入しはじめたことに危機感を抱き、その対抗意識から武器開発に着手したらしい。

讃岐全図作成の藩命を受けて、通賢は新たに象限儀と地平儀とを製作し、11月から2か月あまりをかけて、ほぼ讃岐全土を測量して回った。これら測量器具と測量記録は、鎌田共済会郷土博物館（坂出市）と引田町歴史民俗資料館（東かがわ市）に現存する。筆者らは1999年にこれらを調査する機会を得た。以下はその報告に基づく（中村、1999; 中村ほか、2000）。

久米が讃岐測量で使用した地平儀を図11に示す。方位角を測定するのに用いた。その形状と構造から見て、『新製霊台儀象志』に載っている地平経儀を参考にした可能性が高い。しかし、いくつも独自の工夫が見られる。注目すべきは、角度目盛りの最小刻み以下を読取るのにバーニア副尺を採用している点で、この時代にバーニア副尺の使用はきわめて珍しい。久米の場合、この測器によって、遠方の点の方位角はすべて、ある特定の方角からの相対的な離角として測った。この点、方位磁針を使用した伊能忠敬の場合と対照的である。その結果、忠敬の『山島方位記』に記された方位角の精度は5分であるのに対して、久米は約2分の測定精度を実現している。

久米は讃岐測量の結果として讃岐全図を完成させて高松藩に献上したはずだが、従来はその所在が不明だった（たぶん、戦災焼失）。ところが、2002年に讃岐全図の下図が偶然に発見された（香川県歴史博物館、2003）。177×223 cmと178×243 cmの東西2図で、縮尺を調べてみると、正確に12000分の1だった。讃岐全図は面

図 11 久米通賢が製作した地平儀（鎌田共済会郷土博物館）。目標点を視準するためのアリダードは失われている。角度目盛りを刻んだ真鍮の円周部の直径は 56 cm，中央のボールの高さは 39 cm。

Fig. 11 Chiheigi (horizontal theodolite) produced by Kume Michikata (courtesy Kamada-kyosaikai Local Museum). The alidade is missing. Diameter of graduation circle and central pole measure 56 cm and 39 cm, respectively.

積や規模の点ではもちろん、忠敬の『大日本沿海輿地全図』に及ぶべくもないが、久米はほとんど独力で測量を行ない、この地図を仕上げたのであり、江戸時代の測量・地図史上では、やはり特筆すべき事例であると思う。

この久米による讃岐測量は、伊能忠敬が四国測量に訪れた文化 5 年（1808）の 2 年前だった。そのため、久米は藩から伊能隊の案内役を仰せ付けられ、2 か月間行動をとにした。ここで不思議なのは、両者の史料からは、久米は自身の讃岐測量のことを忠敬に語った様子もないし、2 人の師である間重富についても話題にした形跡が見られないことだ。これは余り人となじまない、孤高な性格だった久米の方に原因があったらしい。

2) 天文測量儀の副尺

II 章のはじめでも述べたように、天文の位置

観測と広域の地上測量の測器では、2 点間の離角を測るという点では原理は同じである。その際、角度目盛りの最小間隔の端数をいかに詳細に読み取るかが測定精度を決定する—これが副尺を使用する意義である¹¹⁾。

歴史上、発明されたアナログ式の副尺は何種類かあった。発明の時代順に並べると、(1) ノニウス尺、(2) 対角斜線副尺、(3) バーニア副尺、(4) マイクロメータ副尺である。この分類は、すでに『寛政暦書』（弘化元年、1844）の『儀象誌』にも分度法として記されていて、(1) 平行層圈法、(2) 対角線法、(3) 計隔表法、(4) 螺子更分法、と呼ばれた。漢字の使い方から見て、漢籍起源ではなく洋書からの翻訳語らしい。

よく知られているように、麻田派の天文学者は『新製霊台儀象誌』の図説を参考にして、もっぱら対角斜線副尺を使用した。忠敬の象限儀などもほとんど対角斜線副尺である（上述したように、忠敬の測食定分儀には蛮製地平経緯儀に付属の測食定分儀を参考にしたらしいマイクロメータ副尺が使われていた）。

江戸時代に最初にバーニア副尺の原理を理解し、天文測器に応用したのは誰だろうか。それは、前章に述べた久米通賢だった。彼が文化 3 年（1806）かそれ以前に製作したオクタント（八分儀）が坂出に残されていて、その円弧目盛りにはバーニア副尺が採用されており、現在でもスムーズに動く。間重富の所で修業した時に輸入されたオクタントをはじめて見て感銘を受け、後に自ら製作した。

また、上記の地平儀や象限儀にもバーニア副尺が使われていて、しかも主尺と副尺の目盛り分割比がそれぞれ異なっていた（香川県歴史博物館、2003）—これは、バーニア副尺の原理を正しく理解していなければまず不可能である。興味深いのは、『星学書簡』（有坂、1979）中の、至時から重富に宛てた寛政 10 年（1798）の手紙で、堀田正敦から示された輸入セキスタント（六分儀）の目盛りの読み方がわからないと書き送っていることである（中村、2001）。このことは、至時や重富でさえ、寛政末年頃まではバーニア副尺の原理が

わからなかったことを示唆している。したがって、久米ははじめてバーニア副尺を理解した1人で、しかもそれを自作の天文測器に応用した最初の日本人ということが出来る。

VII. まとめにかえて一度法への考察

本稿のタイトルにもある、忠敬の天文学と全国測量との最重要な接点は、天文観測から求まる緯度と地上測量で得られる距離との関係であることはいうまでもない。ここでは大谷(1917)に従って、緯度1度差と地表距離との関係を「度法」と呼ぶことにする。この最終章では、地図測量の実務家としての忠敬の胸のうちに、度法への関心が『大日本沿海輿地全図』の制作に向かって、単なる概念からどのように具体化して行ったかを簡単に推測してみたい。

1) 忠敬が度法へ関心を向けた時期

至時は、大坂にいた寛政2年(1790)頃にオランダの航海・天体暦の類を見て、そこに記された天文定数の数値が、中国の時憲暦のものと異なることに気づいたとされるから(吉田, 1987)、この頃から地球の大きさ、つまり度法に注意を向けはじめたのかもしれない。そして忠敬の至時への入門後、地球の大きさが2人の話題にのぼり、忠敬は早速、黒江町と浅草の暦局との緯度差と距離から度法を計算したが、至時はそのような短距離では正しい値は得られないと論じ、これがやがて蝦夷地の測量事業につながっていったことは周知のことである。しかし当初は、従来の数値を自らも確かめてみたい、といった程度の動機だったのではないだろうか。これに関して、東京天文台の台長だった広瀬秀雄は、忠敬がある日重富から尋ねられて、自らが大笑いしながら“大ぼら”ですと語ったという逸話(『星学手簡』, 寛政8年11月24日の重富から至時宛ての書簡)をもとに、江戸にきた直後前後から日本全国の実測地図をつくるという漠然とした願望が忠敬の胸にあったと提案したいと述べた(保柳, 1974, 広瀬執筆部分)。だが、これはさすがに時期が少し早すぎるのではないだろうか。佐原で天文暦学をかなり勉強していたとはいえ、一介の地方庄屋がいきな

り日本全国の実測地図づくりとは、あまりに飛躍しすぎる気がするのである。

すでに述べたように、忠敬は全国1100か所の地点で0.5～1分精度の緯度測定を行なった(『大日本沿海実測録』)一方で、経度の測定に成功した例はほとんどない。大谷(1917)によれば、忠敬の全国測量期間の17年間に、日月食は13回、木星衛星の食・エンペイ現象は16回の観測を試みているが、江戸との同時観測で精度の良い経度決定はほとんどできなかった。ただし、江戸と大坂・京都との経度差だけは、麻田派天文学者の協力もあり、ほぼ正しい4度18分と4度5分とが得られた。

2) 忠敬による地図作成の具体的手順

西欧の近世以降の地図づくりでは、地球球面上の測定された地点の緯度と経度を投影法という数学変換によって平面に移すことが一般的になった。この場合、球面上の地形のすべての特性が平面上でそのまま保持されるはずはなく、等角、等積、等距離などの性質だけを、目的に応じて利用していた。

中国でも北極出地度(緯度)の差1度に対応する地表距離(度法)という概念は古くからあったが(例えば、ニーダム, 1991)、それが大地は球体であるとする考えには発展せず、古代中国からの伝統である「天円地方」というレベルのままだった。つまり、度法は平面上の単なる南北方向の距離と同等の量という認識に留まった。広瀬(保柳, 1974, 広瀬執筆部分)はこれを「方格(方眼)地図思想」と呼んでいる。そのため、近世になっても中国や日本では、球面上から平面への数学変換を地図の作図に利用するアイデアはついに生まれなかった。

忠敬の測量の場合、たとえ西欧流の投影法を知っていたとしても、上述したように経度のデータはほとんどなかったから、投影法に基づく作図はもちろん不可能だった。だから、逆説的にいえば、投影法を知らなかったからこそ、忠敬は日本全国を完成することができたともいえるだろう。

忠敬が測量結果から広域の地図を仕立てた手順は次の通りである(広瀬, 1967; 保柳, 1974, 広

瀬執筆部分)。(1) 起点 (例えば、深川黒江町) からある遠方地点まで、間縄と方位磁針によるいわゆる導線法を次々に繰り返す、この測量ルートに沿った南北と東西の距離成分を合計する。この積分した南北・東西成分をもとに、あらかじめ指定した縮尺にあわせて起点とこの遠方地点とを直交座標の平面図にプロットする、この作業を遠方の他の各地点についても行ない、測量ルートと海岸線からなる図がまずできあがる (広瀬はこれを「地形図」、または「広域寄せ図」と名づけている)。ただし、導線法による南北方向の誤差の累積を避けるため、各地で緯度の天文観測を行なって確認し、必要に応じて、起点を他所に移した図をつくり、それらから広域の寄せ図を合成した。

(2) この図上に、縮尺と度法 (緯度差 1 度に相当する里数) に基づく平行横線群を 1 度ごとの緯線として上下 (南北) に順次記入する、(3) 起点で緯線に直交する縦線を描き、これを中央子午線とする、(4) この基準経線の左右 (東西) に、度法の長さをその地の緯度の余弦で伸縮させた距離の点を各緯度線上に取り、それらを滑らかにつなげば、中央子午線以外の経線が得られる (これら経線群は赤道対称の正弦曲線である)。

こうして描かれた緯度経度のネットワークをもつ伊能図は、一見サンソン図法で描いた地図のように見えるが、これは本来の投影法による描図とは逆の手順であるため、近世の投影理論にこだわった大谷 (1917) の強い批判の対象になった。それに対して、大谷の批判は日本人が西洋の投影法などをまったく知らなかった当時の時代状況を無視した議論であるとして、保柳や広瀬 (保柳, 1974, 広瀬執筆部分) は反論した。

その後も、伊能図の描画図法については『伊能図に学ぶ』(東京地学協会, 1998) などで扱われているが、ここでは忠敬がいつ頃から度法の具体的数値に真剣に関心を抱くようになったかを考えてみよう。その時期は、小縮尺の中図または小図を描きはじめた頃からはないだろうか。そう推測する理由は、上記の (2) と (4) の過程においては、正確な度法の値を知らないと、測量ルートや海岸線、地形の図と、後から描く緯線と経線とが

矛盾のない関係にならないからである (とくに経線は、緯線と違って、観測からではなく計算で求めたものにすぎない)。おそらくそのために、忠敬は享和 2 年 (1802) の第 3 次測量までのデータを使い、10 個近い区間で度法を計算し、ようやく自信のもてる 28 里 2 分という値を得たのだった (大谷, 1917)。

このようにして仕立てられた『大日本沿海輿地全図』は、結果として東北地方から北の部分と九州ではかなり大きな経度の系統的ずれが生じていた¹²⁾、緯線と経線が中央子午線の附近以外では直交しない問題もあった¹³⁾。そのため、交會法によって求めた遠方の山などへの方位線は、それを直線状に記した忠敬の描画法は正しくないなどの点が指摘された。とはいえ、そうした欠点より、忠敬がもてる測量と天文暦学の知識と技量を最大限に発揮して、ともかく『大日本沿海輿地全図』を完成に導いたという事実こそが、歴史上からはもっとも評価すべき点であるに違いない。

謝 辞

査読者として、元原稿の不備と誤りを丁寧に見ていただき、改善点をご指摘下さった野上道男先生にまず謝意を表したい。なお、余談になるが、本論文の最終稿を準備中にたまたま、筆者の父親である中村 拓が『地学雑誌』(第 78 巻, 1969 年) に伊能忠敬没後 150 年に関連して論文を寄稿していたことを知った。偶然とはいえ、何か不思議な因縁のようなものを感じた次第である。

注

- 1) 忠敬に関する著作を時代別に集計してみると、明治時代 9 点、大正時代 7 点、戦前 18 点、1945 ~ 1970 年 21 点、1971 ~ 1990 年 55 点、1991 ~ 2017 年 148 点であり、過去 30 年ほどの間に全体の半数以上が出版されたことが知れる。
- 2) 忠敬の著作で天文学に関して自己の主張を述べたおそらく唯一のものは、『仏国暦象編斥妄』である。仏教関係者は文化年間頃から、西洋天文学が盛んになってくる世情に対抗して、須弥山説などの仏教的宇宙観を擁護するために、いわゆる梵暦運動を展開した。その代表が、僧侶の釈円通が文化 7 年 (1810) に出版した『仏国暦象編』である。それに対して、梵暦運動への反対論も起こったが、その 1 つが忠敬が書いた上記の著作だった。このなかで忠敬は、至時への入門事情 (ここでは忠敬の記憶違いか、寛政 8 年

と記す)と、緯度差1度の距離の測定をはじめた経緯も説明している。

- 3) 忠敬が江戸に移る数年前に再婚した女性の父親は、幕府高官の間に面識が多かった仙台藩の著名な医師、桑原隆朝だった。その関係で、忠敬は至時が江戸に来る情報を事前に聞いていた可能性が高い。
- 4) 本木仁太夫良永(1735-1794)は出島のオランダ商館に勤務したオランダ語通詞。口頭通訳が役目だった通詞が蘭書を翻訳するようになった先覚者の1人で、天文・地理に関する翻訳書が10点あまりある。とくに、『天地二球用法』(安永3年, 1774)はコペルニクスによる地動説(太陽中心説)をはじめて日本人に紹介したことで知られる。
- 5) 東京大学史料編纂所に所蔵されるオランダ東インド会社関係史料のマイクロフィルムをおもに利用した。
- 6) 和算小説作家、鳴海風氏のご教示による。
- 7) 明治維新後、浅草天文台は明治2年(1869)に東京府に移管され、その天文儀器や器具の多くはスクラップとして廃品業者に売却されたことが『東京市史稿』(東京都, 1961)に記されている。そのため、伊能忠敬記念館に所蔵される天文測器は、浅草天文台の測器を窺い知る上でもきわめて貴重な存在である。
- 8) 5年ほど前に忠敬の測食定分儀を実見したが、ギア機構の内部は見えず、さびて固着しているのか調整ネジ類は力を加えてもまったく動かなかった。忠敬が実際に使用したものか否か若干の疑問が残る。
- 9) 子午線儀の前柱・後柱の間隔を2mと仮定し、南北方向の設置誤差を2度とすれば、後柱の東西方向のずれは約7cm(2.3寸)まで許されるから、容易に実行できただろう。事実、重富から至時に宛てた寛政8年11月24日の書簡(『星学書簡』)でも、子午線儀の方位を定めるのに磁石を用いる同様な議論をしている。ただし、この方法が有効なのは、忠敬が日本測量を行なった時代には、たまたま磁北の偏角がゼロに近かったからであることを忘れてはならない。
- 10) 小川忠文氏旧蔵の象限儀・子午線儀は現在、山口県萩市の萩博物館が2017年に開館した幕末ミュージアム(明倫学舎)に収蔵・展示されている。
- 11) 天文測量において、測角精度を向上させる手段は副尺の改良以外に、望遠鏡が発明された当初、その拡大作用を利用する方法が期待された。しかし、後者が実用化するのには望遠鏡の発明(1608年)から50年以上もたって、糸線測微尺が考案されて以後だった。
- 12) 広瀬の数理解析によれば(『伊能忠敬の科学的業績』, p. 150), 伊能の方法で描いた地図上の経度線の数値と正しい経度値の差(経度誤差)は、起点Aから遠方のある地点Mまで、どのようなルートに沿って測量したかに依存する。伊能図で遠方の地点Mの経度が正しい値を与えるのは、起点Aから中央子午線に沿ってこのM点に対応する緯度まで垂直(南北)方向にまず測り、その後この緯度線に沿って水平(東西)方向にMまで測るようなルートを取った場合だけである。しかし、現実には忠敬はそのような測量ルートは取れなかったから、一般にA点から南北に遠く離れしかも中央子午線から東西に離れた

地点ほど、伊能の作図法では経度の誤差が大きくなった。これが、伊能図では、とくに蝦夷や九州が正しい経度から大きくずれているおな原因と考えられる。

- 13) 中央子午線以外の経線が水平な平行緯線と直交しない問題は、忠敬の師である至時も気づいていた。そのため、地図の作図において赤道以外の直線状の緯線を北極方向に凹な円弧に改めることを忠敬に提案した。それに対して忠敬は、面倒な作業なので西日本の地図完成後に考えますと返事した(『星学手簡』, 享和3年(1803)2月17日付の至時から重富に宛てた書状、有坂, 1968)。後にその計算を忠敬が試みた草稿、『一里六分図東西之経度並自北極下国直圓経度』も残っているが、地図としては実現されずに終わった。

文 献

- 有馬成甫(1934): 江戸時代の鉄砲. 東京科学博物館編: 江戸時代の科学(第8章). 博文館. [Arima, N. (1934): Gunnery in the Edo period. in *Sciences of the Edo Period (Edo No Kagaku Dai 8 Sho)* edited by Tokyo Science Museum, Hakubunkan. (in Japanese)*]
- 有坂隆道(1968): 享和期における麻田派天文学者の活動をめぐって—『星学手簡』の紹介. 日本洋学史の研究 I. 創元社. [Arisaka, T. (1968): Activities of the Asada-school astronomers in the Kyowa era—Introduction of “Astronomical Correspondence (Seigaku Shukan)”. in *Studies of Japanese Western Learning I (Nihon Yogakushi No Kenkyu I)*. Sogensha. (in Japanese)*]
- 有坂隆道(1979): 寛政期における麻田派天文学者の活動をめぐって—『星学手簡』の紹介. 日本洋学史の研究 V. 創元社. [Arisaka, T. (1979): Activities of the Asada-school astronomers in the Kansei era—Introduction of “Astronomical Correspondence (Seigaku Shukan)”. in *Studies of Japanese Western Learning V (Nihon Yogakushi No Kenkyu V)*. Sogensha. (in Japanese)*]
- 浅井 忠(1983): 垂揺球儀, 時計調査報告. 時計学会. [Asai, T. (1983): *Astronomical Pendulum Clock (Suiyo Kyugi Tokei Chosa Hokoku)*. Clock Society. (in Japanese)*]
- Bennett, J.A. (1987): *The Divided Circle: A History of Instruments for Astronomy, Navigation and Surveying*. chap.4 and chap.7, Phaidon-Christie.
- 杜 石然ほか, 川原秀城ほか訳(1997): 中国科学技術史(下). 東京大学出版会. 原著は1982年刊. [Du, S. et al. (1997): *History of Chinese Science and Technology (Chugoku Kagaku Gijutsushi Ge)* translated by Yoshida, T. et al., University of Tokyo Press. (in Japanese)*]
- 広瀬秀雄(1967): 伊能忠敬図と日本の経度. 地学雑誌, **76**, 150-153. [Hirose, H. (1967): The latitudes in Japan and Inoh Tadataka Maps. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **76**, 150-153. (in Japanese)*]

- 保柳睦美編 (1974): 伊能忠敬の科学的業績. 古今書院.
[Hoyanagi, M. ed. (1974): *Scientific Achievements of Inoh Tadataka* (Inoh Tadataka No Kagakuteki Gyoseki). Kokon Shoin. (in Japanese)*]
- 伊能忠敬著, 大学南校編 (1870): 大日本沿海実測録. 大学南校. [Inoh, T. (1870): *Measured Geographical Data along the Japanese Coast* (Dainihon Enkai Jissokuroku) edited by South College (Daigaku Nanko). (in Japanese)*]
- 伊能忠敬著, 佐久間辰夫校訂 (1998): 伊能忠敬測量日記. 紀伊半島・瀬戸内海の島々・中国地方 (第五次) 測量篇. 大空社. [Inoh, T. (1998): *Inoh Tadataka's Land-survey Diary, the 5th Series, Kii-peninsula, Islands of the Setonaikai, and Chugoku District* (Inoh Tadataka Sokuryo Nikki Kii Hanto Seto Naikai No Shimajima Chugoku Chiho Dai 5 Ji Sokuryohen) annotated by Sakuma, T., Ozorasha. (in Japanese)*]
- 伊能忠敬研究会編 (1998): 忠敬と伊能図. アフ・プランニング. [Inoh Tadataka Society ed. (1998): *Tadataka and Inoh Maps* (Tadataka To Inohzu). Our Planning. (in Japanese)*]
- 香川県歴史博物館編 (2003): 久米栄左衛門通賢研究の新展開—久米通賢シンポジウムと新出史料. 香川県歴史博物館. [Kagawa Prefecture History Museum ed. (2003): *New Progress of Studies of Kume Eizaemon Michikata—Kume Michikata Symposium and Newly Discovered Historical Materials* (Kume Eizaemon Michikata No Kenkyu No Sintenkai Kume Michikata Symposium To Shinshutsu Shiryō). Kagawa Prefecture History Museum. (in Japanese)*]
- 神戸市立博物館編 (1998): 日蘭交流のかけ橋—阿蘭陀通詞がみた世界, 本木良永・正栄父子の足跡を追って. 神戸市立博物館. [Kobe City Museum ed. (1998): *Exhibition 'Bridge between Japan and the Netherlands through the Eyes of the "Oranda-Tsuji" or the Japanese Interpreters for the Dutch'*. Kobe City Museum. (in Japanese with English outline)]
- 国立科学博物館編 (2003): 図録「江戸大博覧会—モノづくり日本」. 毎日新聞社. [National Science Museum ed. (2003): *Great Exposition of the Edo Period* (Edo Daihakurankai Mono Zukuri Nippon). Mainichi Newspaper. (in Japanese)*]
- 倉橋町編 (1989): 倉橋の建築. [Kurahashi-cho ed. (1989): *Architecture of Kurahashi* (Kurahashi No Kenchiku). (in Japanese)*]
- 倉橋町編 (2001): 倉橋町史 (通史編). [Kurahashi-cho ed. (2001): *History of Kurahashi-cho* (Kurahashi Choshi Tsushihen). (in Japanese)*]
- 呉市入船山記念館編 (2006): 「浦島測量之図」復刻版. 館報入船山, 7. [Kure City Irihune-yama Memorial Museum ed. (2006): *Urahune Sokuryo no Zu* (reproduced). *Kanpo Irihune-yama*, 7. (in Japanese)*]
- Lalande, J.J.F. (1771): *Astronomie*. Desaint. *Astronomia of Sterrekunde* (1777-1780), Jan Morterre.
- 長崎県教育委員会編 (1997): 長崎奉行所関係文書調査報告書, 本木蘭文目録. [Nagasaki Board of Education ed. (1997): *Investigation Reports of Documents for Nagasaki Magistrates, Inventory of Motoki Dutch Documents* (Nagasaki Bugyosho Kankei Bunsho Chosa Hokokusho Motoki Ranbun Mokuroku). (in Japanese)*]
- 中村 士 (1999): 久米栄左衛門通賢の天文測量記録. 東洋研究, 133, 1-21. [Nakamura, T. (1999): *Astronomical and land-survey records by Kume Eizaemon Michikata*. *Studies of Asia and Africa* (Toyo Kenkyu), 133, 1-21. (in Japanese)]
- 中村 士 (2001): 我が国天文・測量史上におけるオクタント・セキスタント. 大東文化大学東洋研究所編: 東アジアの天文・暦学に関する多角的研究, 71-119. [Nakamura, T. (2001): *Octants and sextants in the Japanese history of astronomy and land-surveying*. in *Multi-lateral Studies of Astronomy and Calendar-making in East Asia* (Higashi Ajia No Tenmon Reigaku Ni Kansuru Takakuteki Kenkyu) edited by Toyo Kenkyujo, Daito Bunka University, 71-119. (in Japanese)*]
- 中村 士 (2015): 伊能忠敬が瀬戸内海測量で使用した天文儀器と「夜中測量之図」の観測地. 科学史研究, 54, 3-16. [Nakamura, T. (2015): *Ino Tadataka's land-survey expedition in 1806 at the Setonaikai district and its astronomical instruments*. *Journal of History of Science* (Kagakushi Kenkyu), 54, 3-16. (in Japanese with English abstract)]
- 中村 士・田中ファンダーレン, イサベル (2014): 本木良永が取り調べた「限象観星鏡」の謎の解明へ. 東洋研究, 193, 1-26. [Nakamura, T. and Tanakavan Dahlen, I. (2014): *Towards a solution of the enigma of an advanced Dutch astronomical instrument imported into Japan in 1792*. *Studies of Asia and Africa* (Toyo-Kenkyu), 193, 1-26. (in Japanese)]
- 中村 士・鳥井裕美子 (2006): 本木良永による「限象観星鏡図」と幕府天文方の測器. 洋学: 洋学史学会研究年報, 13, 1-35. [Nakamura, T. and Torii, Y. (2006): *Gensho Kanseikyo Zu depicted by Motoki Ryoei and instruments of the shogunal astronomical observatory*. *Annals of the Society for the History of Western Learning in Japan*, 13, 1-35. (in Japanese)*]
- 中村 士・澤田 平・長谷川桂子 (2000): 久米通賢製作の天文・測量器具. 国立天文台報, 5, 1-18. [Nakamura, T., Sawada, T. and Hasegawa, K. (2000): *Astronomical and land-survey instruments produced by Kume Michikata*. *Reports of National Astronomical Observatory of Japan*, 5, 1-18 (in Japanese with English abstract)]
- ニーダム, ジョセフ, 吉田忠ほか訳 (1991): 中国の科学と文明, 第5巻 天の科学. 思索社 (原著は1976年). [Needham, J. (1991): *Science and Civilization in China Vol. 5, Astronomy* (Chugoku No Kagaku To Bunmei Dai 5 Kan Ten No Kagaku) translated by Yoshida T. et al., Shisaku-sha. (in Japanese)*]
- 野村直助編 (1999): 倉橋島志 (非売品, 原著は明治42

- 年). [Nomura, T. ed. (1999): *History of Kurahashi Island (Kurahashi Toshi)*. Private publication. (in Japanese)*]
- 小田幸子 (1994): 和時計図録. セイコー時計資料館. [Oda, S. (1994): *Illustrated History of Japanese Clocks (Wadokei Zuroku)*. Seiko Tokei Shiryokan. (in Japanese)*]
- 大谷亮吉編 (1917): 伊能忠敬. 岩波書店. [Ohtani, R. ed. (1917): *Inoh Tadataka*. Iwanami Shoten. (in Japanese)*]
- 岡田唯吉 (1988): 讃岐偉人久米栄左衛門翁, 増補修正 4 版. 鎌田共済会. [Okada, T. (1988): *Kume Eizaemon of the Sanuki Fief, 4th Revised Edition (Sanuki Ijin Kume Eizaemon O Zoho Shusei 4 Han)*. Kamada Kyosaikai. (in Japanese)*]
- 小曽根 淳 (2011): 垂揺球儀 (天文観測用時計) の起源について. 京都大学数理解析研究所講究録, **1739**, 157-167. [Ozone, J. (2011): The origin of astronomical pendulum clocks. *Kyoto Daigaku Suri Kaiseki Kenkyujo Koukyuroku*, **1739**, 157-167 (in Japanese)*]
- 東京地学協会編 (1998): 伊能図に学ぶ. 朝倉書店. [Tokyo Geographical Society ed. (1998): *A Recent Knowledge of Ino-Tadataka's Map*. Asakura Shoten. (in Japanese)]
- 東京都編 (1961): 東京市史稿 (市街編), 第 50 冊. 590-591. [Tokyo Metropolitan Government ed. (1961): *Manuscript History of Tokyo City (City Part) (Tokyo Shishiko Shigaihen Dai 50 Satsu)*. (in Japanese)*]
- 上原 久 (1977): 高橋景保の研究. 講談社. [Uehara, H. (1977): *Studies of Takahashi Kageyasu (Takahashi Kageyasu No Kenkyu)*. Kodansha. (in Japanese)*]
- 渡辺敏夫 (1983): 近世日本科学史と麻田剛立. 雄山閣出版. [Watanabe, T. (1983): *The Pre-modern Japanese History of Science and Asada Goryu (Kinsei Nihon Kagakushi To Asada Goryu)*. Yuzankaku Shuppan. (in Japanese)*]
- 渡辺敏夫 (1986): 近世日本天文学史 (上). 恒星社厚生閣. [Watanabe, T. (1986): *The Pre-modern Japanese History of Astronomy Vol. 1 (Kinsei Nihon Tenmongakushi Jo)*. Koseisha Koseikaku. (in Japanese)*]
- 吉田 忠 (1987): 天文方の蘭学事始. 日蘭学会会誌, **11**, 11-24. [Yoshida, T. (1987): Initiation of the Western learning by shogunal astronomers. *Bulletin of Japan-Netherlands Institute*, **11**, 11-24. (in Japanese)*]

* Title etc. translated by T.N.