

伊能忠敬の科学的アプローチ

星を鏡に瑞穂の国を写し取り

地図に仕上げた天文学学士 伊能勘解由



五月廿五日曇天雲間ヲ測之

箱館測量

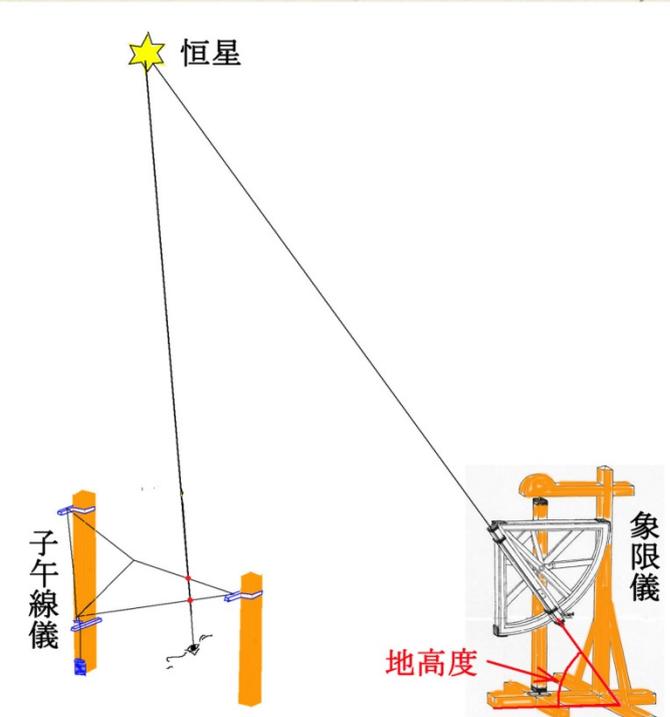
箱館
極高
四十四七
分

斛二

天記七

帝座

五月廿七日於同所							
		六二四八一五	七九二六二	五七五四	十度十分十抄	地高度	加十
		六二四八一五	七九二六二	五七五四	十度十分十抄	地高度	加十



戸村茂昭 || 著

「君と一緒に、**全国津々浦々**に散在する郵便局を結ぶコンピュータネットワークシステムを開発していた時から、**全国津々浦々**という同じキーワードで繋がる広範囲な測量をした伊能忠敬に興味を湧き、当時から伊能忠敬のつくった日本図（伊能図）を探求してきた。その探求のお蔭で、フランスに眠っていた伊能中図の里帰りやアメリカの議会図書館に眠っていた214枚という膨大な量の伊能大図の発見などを通じて、伊能図やそれをつくった伊能忠敬に関する膨大な知見が自分の書齋に蓄積されたので、ホームページを介してそれらを世間に開示したいのだ。手伝ってくれないか？」。

10年ほど前、当時の伊能忠敬研究会名誉代表であった今は亡き自分の現役時代の先輩で且つ上司であった渡辺一郎さんに、上記のように声をかけられた。以来、先輩から提供された伊能忠敬に関する膨大な紙ベースの史資料（測量日記、伊能図、測量データ、書簡、研究ノートなど）をITで処理し、ホームページで閲覧できるようにしたり、DVD化したり、図録に編集したりしてきた。

そのような作業の過程は、伊能図や伊能忠敬という人物に関する膨大な知見を記録した経文が詰まっている神社仏閣の門前でその経文を眺めている小僧のような立場であった。

そのような知見の山の中に、伊能忠敬が \sin 、 \cos 、 \tan を使いこなしていたことを知り、自分の出自が理系であったことからその伊能忠敬の理系面に感銘してしまった。それ以来、それまでの単なるITによる編集作業だけでなく、伊能忠敬研究会の会員にしてもらい、見よう見まねで調査研究レポートを投稿したりしていた。

しかしながら、伊能図や伊能忠敬という人物に関する膨大な知見の中には、天文暦学学士であった伊能忠敬の天文暦学関連のものが殆ど存在してなかったのである。もちろん、天文学に関して、例えば、どのような星座があるのかさえも知らず、また知ろうという気持ちも自分にはなかったのも、特段、不思議だとも思っていなかったのものである。

ところが、2年ほど前（2118/3/1）に「伊能忠敬の天体観測の実態」と題する記者発表が行われ、その発表の席に居合わせたことが契機となって、伊能忠敬の天体観測に興味を湧き、自分なりに本腰を入れて「伊能忠敬の天文暦学」関係を調べてきた。

この本は、49歳で期するところがあって名前を伊能勘解由と改めて隠居し、江戸に出て天文暦学を50の手習いよろしく学び、その天文暦学の知見を武器として全国津々浦々の地球上の位置座標（北極出地度：緯度）を天体観測によって把握した伊能忠敬の科学的アプローチに焦点をあてて書いてみたものです。このような切り口の伊能本は今までの伊能本では取り上げられてこなかったと思うので、先ず以て、天国にいらっしゃる天文暦学学士であった伊能忠敬先生が喜んでくれるのではないかと思う。併せて、伊能忠敬の新たな伊能忠敬像を伊能忠敬ファンの読者の皆さんにもおすそ分けできるのではないかと思うものです。

目次

第1章 伊能忠敬とは？	1
1-1. これまでの伊能忠敬像	
(1) 伊能忠敬を紹介するワンフレーズ紹介文	
(2) 小学6年「社会」の教科書における紹介文；	
(3) 伊能忠敬本のバイブル「伊能忠敬 大谷亮吉編著」の序言	
1-2. 伊能忠敬 略歴	2
第2章 伊能忠敬翁が蝦夷地測量を幕府にプレゼンテーションした伊能測量の要諦	4
第3章 天体観測の方法（一次測量の場合）	6
<天文暦学の基礎；伊能忠敬が学んだ内容>	
[天球]、[自転]、[公転]、[地軸の傾き]、[星図]、[赤道緯度と地高度と北極出地度との関係]	
第4章 二次測量以降における北極出地度の求め方の特徴	17
第5章 伊能測量における様々な科学的アプローチの実態	
5. 1 深夜まで待機して星を測った	20
5. 2 月食観測	21
5. 3 能代では一晩に80個の恒星を一晩中観測していた	25
5. 4 伊能測量隊は既に三角測量を部分的に行っていた。	30
5. 5 地上南北一度里数の推算	
5. 6 富士山の高さの測定	
5. 7 測量回次別ルート図	
5. 8 一次測量における天測の実測データ；測地度説（人）解説版	
5. 9 記念碑マップ	
5. 10 天測が出来ない原因を嘆いた測量日記の記述	
5. 11 感動的な測量日記の名文	
第6章 一次測量における天測の実測データ（翻刻・解説）	35
第7章 測量回次別ルート図	69
第8章 記念碑マップ	75
クレジット	80

第1章 伊能忠敬とは？

1-1. これまでの伊能忠敬像

(1) 伊能忠敬のワンフレーズ紹介文；

- ・新聞記事での常套句；「江戸時代後期に日本初の実測日本地図を作った測量家伊能忠敬」

※本来の伊能忠敬像としては、測量家伊能忠敬ではなく「**天文曆学学士伊能勘解由**」と表現すべき。

- ・ウィキペディア；伊能忠敬は、江戸時代の商人・**天文学者**・測量家である。

通称は三郎右衛門、勘解由、字は子齋、号は東河。

寛政12年(1800年)から文化13年(1816年)まで、17年をかけて日本全国を測量して『大日本沿海輿地全図』を完成させ、国土の正確な姿を明らかにした。

1883年(明治16年)、贈正四位

※本来の伊能忠敬像としては、「**55歳からシニア世代の17年**」と、常人とは異なりシニアになってから活躍した特徴を漏らすべきでない。

(2) 小学6年「社会」の教科書における紹介文；

- ① 佐原(千葉県)で大きな酒屋を営んでいた忠敬は、**50才**のとき、**天文学**や測量術の勉強を始めました。そして、幕府に願い出て、自ら費用を出して東北や北海道の測量を行い、地図を作りました。その実力が認められてからは、幕府の命令を受けて全国各地を測量しました。全国の沿岸をくまなく歩き、歩数や方位をはかりながら進める作業は、大変な労力をともしました。地図造りのために忠敬が**17年**にわたって歩いた距離は**3万5000km**にもなります。忠敬の死後、地図づくりは弟子たちに引きつがれ、現在の地図とほとんど変わらない正確な日本地図が完成しました。(教育出版「小学社会6上」)

- ② 佐原(千葉県)の商人であった伊能忠敬は、**50才**を過ぎてから西洋の**天文学**や測量術を学びました。そして、幕府の命を受けて全国を測量して歩き、初めて正確な日本地図をつくろうとしました。(日本文教出版「小学社会6上」)

- ③ 佐原(現・千葉県香取市)の名主で商業を営んでいた伊能忠敬は、**50才**で家業を長男にゆずり、江戸で**天文学**や測量術を学びました。その後、幕府の許可を得て、江戸から奥州街道を経て現在の青森県に道と北海道の海岸を自費で測量しました。その技術に驚いた幕府は、全国の測量を幕府の事業とすることとし、忠敬にこれを命じました。忠敬は**72才**までの間に全国を測量し、**74歳**で亡くなりましたが、地図の作成は友人や弟子たちに引きつがれ、**1821年**に完成しました。(東京書籍「新編 新しい社会 6上」)

(3) 伊能忠敬本のバイブル「伊能忠敬 大谷亮吉編著」の序言

維新前我が邦に於ける科学は概ね秘伝的に発達せるものにして、其の普及を図らざりしにより、今日其の状勢を窺うは決して容易の業にあらず。独り伊能忠敬翁の沿海実測の事業は人口に膾炙し江戸時代科学の偉績として特筆大書すべきものなり。

1 - 2. 伊能忠敬 略歴
省略

第2章 伊能忠敬翁が蝦夷地測量を幕府にプレゼンテーションした伊能測量の要諦

図2-1は、伊能測量が他の測量と比較して何処が違うのか、江戸幕府の蝦夷地取締御用係であった松平信濃守に説明する目的で認めた書簡を、測量日記にも記録したものです。

最初の2行は、本人の名前と住所を明らかにしており、3行目から5行目までは、現在の学歴に相当する身分を明らかにしています。そして、本文の冒頭でいきなり、

「地図を精しく認め候術は、

第一は北極出地度に御座候」

と自分が学んできた天文暦学から得た知見に基づいて、伊能測量の要諦は「北極出地度」である、とズバリ主張したのです。

ここで「北極出地度」とは、地球上の位置座標としての「緯度」に当たります。したがって、この冒頭の主張は、伊能測量以前から行われていた、国絵図などのための測量方法である「町見」とか「量地」という狭い範囲を対象とした測量法とは違って、地球規模の視点に立ったまったく新しい天体観測技術を蝦夷地測量では採用しますと主張したのです。

この主張が功を奏して、伊能忠敬による蝦夷地測量の実行が最終的に決定し、10日後の寛政12年閏4月19日、伊能忠敬は蝦夷地に向けて一步を踏み出したのです。

この「北極出地度」の求め方についても、180日に及ぶ蝦夷地測量が終わって江戸に戻った際の帰府報告書（伊能忠敬測量日記第三巻）では、その天体観測の仕方を次のように具体的に述べています。

「北極出地度の儀、

泊々にて、いずれも象限儀を相用い、恒星中の大星をえらび、

天気曇り見えがたき節は五、六星、晴天の夜は二、三十星も 皆その地高度を測量^{つかまつ} 仕り、

兼て測り置き候 恒星赤道緯度^{あいもち}を相用い、その所の北極出地度を相求め申す候。

北極出地度を一星毎に各の如く^{つかまつ} 仕り、

其の中取り候て、其の地の北極出地度と相定め申す候。」

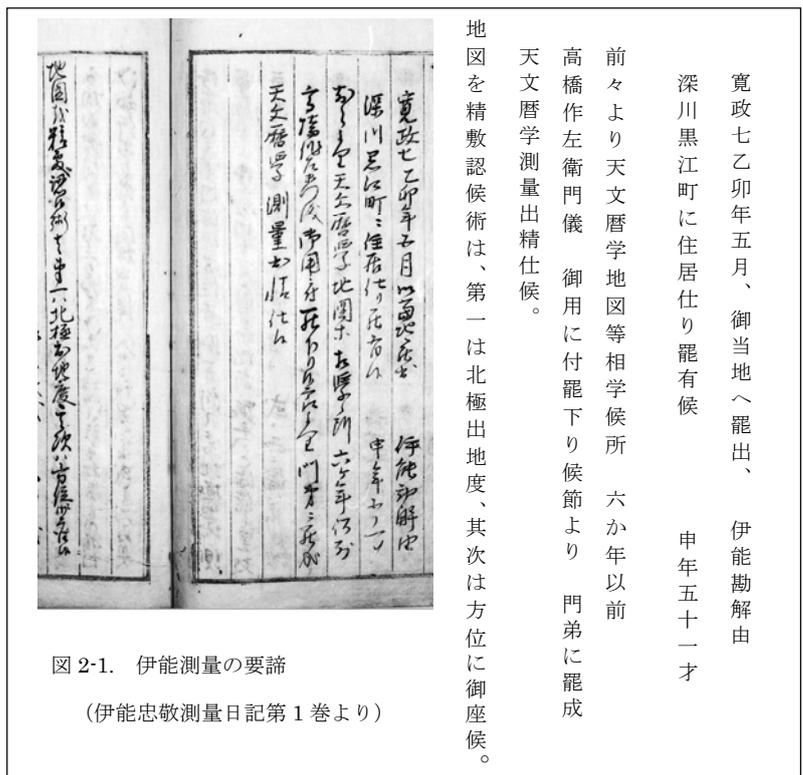


図 2-1. 伊能測量の要諦
(伊能忠敬測量日記第1巻より)

この北極出地度（すなわち「緯度」）を、伊能忠敬による蝦夷地測量においては、恒星の赤道緯度を使って求めた、と明確に測量日記にしたためられているにも関わらず、従来の伊能本の編著者の誰も、この方法を紹介していなかったのです。具体的には、伊能本のバイブルと言われている大谷亮吉編著になる「伊能忠敬：1917」では、伊能忠敬の緯度測定法を次のように捉えている始末です。

「忠敬の測定方法は、一種の**比較測定法**とも称すべきものにして、出張中毎夜宿舎の庭園若しくはその地適當の地に、精緻なる大象限儀を設置し、数多くの恒星の方中高度を観測し、かねて原点たる江戸深川黒江町に於いて精測、これ等恒星の方中高度と対照して江戸原点と出張観測地点との緯度の差を算出し、然る後、これを原点の緯度に加算して出張地点の緯度を求むるの方法を取りたり。

斯の如く忠敬は、各地の緯度を定むるに当たり、既に「儀象考成」等によりて伝えられたる恒星の赤緯表に依頼することなく、全然江戸の原点における自家観測の結果を基礎として、これを誘導したるを以て、原点に於ける恒星方中高度の測定及び原点の緯度の絶対値測定事業は頗る重大なる要務となりたり。（中略）又原点に於ける緯度の絶対値は、周極諸星（特に勾陳一 α Urs. min.）の上下の方中高度観測の結果を第一とし（云々）」。

この大谷亮吉の緯度測定法の認識には、2点の重大な事実誤認が存在しています。

- ・事実誤認の1点目は、出張先で使用した象限儀を「大象限儀」としていることです。測量日記第一巻によれば、持参したのは「中象限儀」とされているのです。
- ・事実誤認の2点目は、大谷亮吉は測量日記の第三巻巻末に記載の天体観測の実態部分（すなわち恒星の赤道緯度を伊能忠敬が用いていたこと）を見過ごししていたということです。

いずれにしても、恒星の赤道緯度を用いて北極出地度を求めた、と明確に忠敬が測量日記の中に書き残していた、そのことは揺るぎない事実です。加えて、筆者は、「測地度説」と題する一次測量と二次測量に行ける天体観測の観測データを国会図書館で発見しましたが、その測量データによって一次測量においては恒星の赤道緯度を用いて北極出地度を求めていた事実を確認しました。

第3章 天体観測の方法（一次測量の場合）

図3-1は、伊能測量隊が夜分に天体を観測している最中の様子です。伊能測量隊は、測量出張先の宿舎近くで、星の観測に邪魔なものが南北方向に無く、且つ見晴らしが良い10坪ほどの場所を確保して置くように、と測量出張先に対して前触れして置きました。そして「泊り泊りにて」、と前記の帰府報告書に書いてあるように、基本的には全ての宿舎で夜分には天体観測を行うことを前提とし、日中における量地作業は九ツ(昼)ごろから遅くとも七ツ(午後四時)頃までとしていたのです。

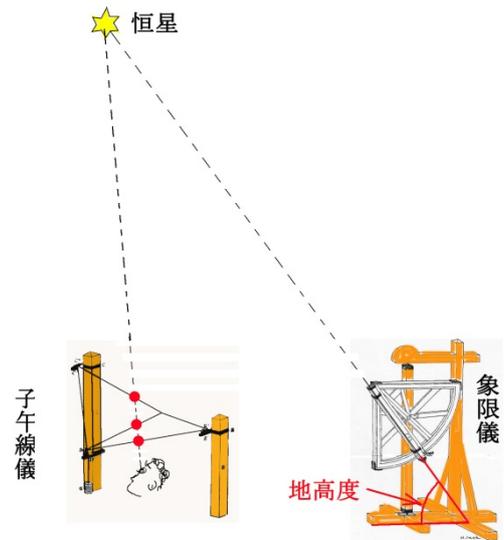


図 3-1. 天体観測の様子

つまり、「昼は地を量り、夜は天を測る」という測量と云う言葉の源語である「**測天量地**」を忠実に実行したのです。

そして、観測用の測器は、現地に到着の都度組み立てて据え付けました。また、使用した測器は、通常は図3-1の左側の「**子午線儀**」と、右側の「**象限儀**」と呼ぶものを使用しました。日食や月食の観測を行う場合は、更に「**垂揺球儀**」と呼ぶ振り子時計や「**測食定分儀**」と呼ぶ食分測定器などが追加されました。

子午線儀とは、地球の赤道に対して直角に交差するように、北極(十二支の「子」の方角)と南極(十二支の「午」の方角)との間の地表を結んでいると見做した線(この線を**経線**と呼びます)を、天球(「天球」については後述します)に投影した**子午線**と同じ方向に、図2-2で示しているようにピ〜ンと緩みなく糸を張ったものです。

どのように使うのかと言えば、測ろうと決めていた星が、南北にピ〜ンと緩みなく張った3本の糸を同時に横切る(つまり子午線を恒星などの天体が横切ること。これを「**南中**」または「**方中**」と呼びました)のを、3本の糸の下から見張っており、横切った瞬間、今度は象限儀に取り付けられている望遠鏡で、その恒星を捉えます。そして、その**望遠鏡と水平線との角度**(この角度が帰府報告に「**地高度**」と書かれていた観測データです)を、象限儀の弧の部分に刻まれている目盛りで読み取ります。なぜ恒星が子午線を横切った瞬間を測るのかといえば、観測地点がどこであろうとも、子午線の方法は羅針盤の針の方法で一律に正しく捉えることが可能であり、また、観測地点がどこであろうとも、その瞬間がその星の一番高い**仰角(地高度)**となるからなのです。

本書の表紙は、伊能測量隊が蝦夷測量の際に箱館(現函館市)で測った実測データ(出典は、「**測地度説**」；国立国会図書館デジタルコレクション所蔵)です。実は、この史料を筆者が発見したことから、伊能忠敬の天体観測の実態が明らかになったのです。

また、図3-2は、蝦夷地の最東端ニシベツで図3-1の方法によって測った実測データです。

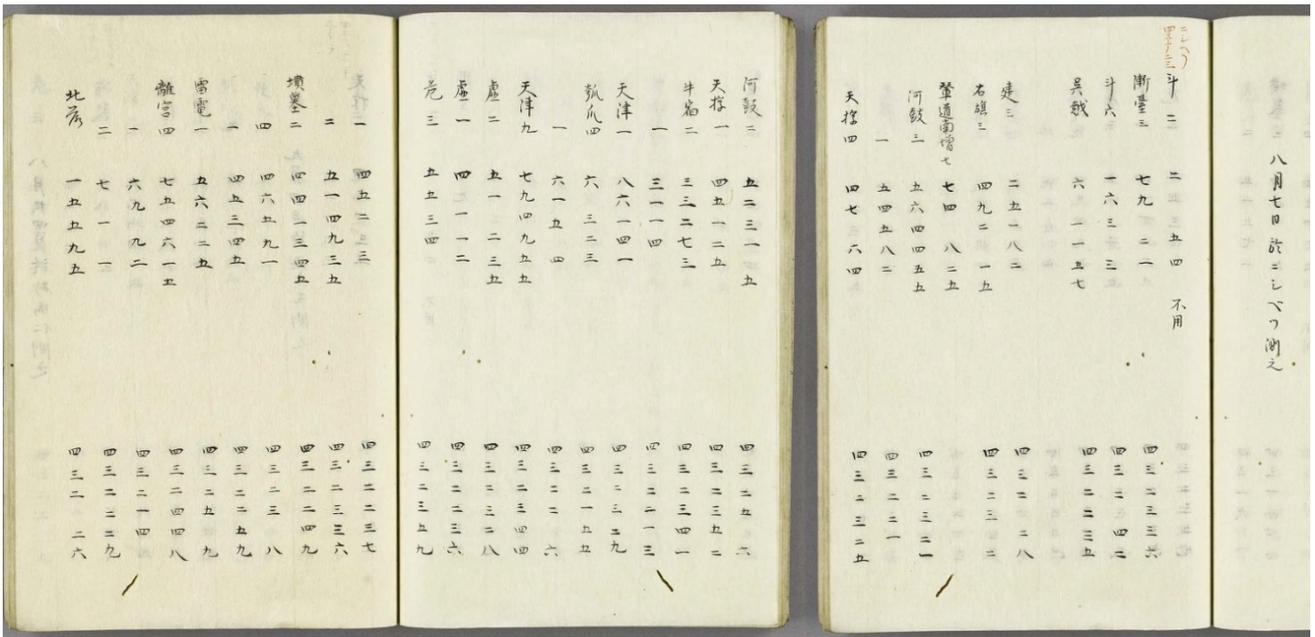


図3-2. 天体観測データ（於ニシベツ）

表3-1. 天体観測データ解読結果

また、表3-1は、図3-2の観測データを筆者が解読したものです。以下、図3-2の内容を表3-1と対比しながら説明します。

図3-2の一段目は測った星の名称です（当時は中国式の星の名称でした）。測った星の中に北極星（中国名称では勾陳一）が無いのがお分りの筈です。

図3-2の二段目は「地高度」で、子午線を横切った瞬間の望遠鏡の方向と水平線との仰角です。

図3-2の三段目は、空白ですが、二次測量以降の場合（図3-3）は「極差」が記録されています。

極差とは、江戸深川黒江町の忠敬邸で当該恒星を測った地高度と出張先で当該恒星を測った地高度との差分です。この極差のデータが一次測量の実測データに記載されていないことが、とりもなおさず、赤道緯度を用いた証拠でもあるのです。

図3-2の四段目は、帰府報告に「兼て測り置き候 恒星赤道緯度を相用い、その所の北極出地度」と書かれているその地点での北

No	測った星の名称 中国名 現代名	観測時刻	地高度	北極高度	備考	北極高度観測値 の分秒を分に換	
1	斗二 いて座α	17:28'20"	05°40'		不採用	0	
2	漸臺三 いて座κ	17:46'79"	02°10'	43°23'36"		23.6	
3	斗六 いて座κ	17:52'16"	30°30'	43°20'42"		20.7	
4	畢張 いて座κ	80°11'57"	43°22'35"			22.583	
5	建三 いて座ε	25°18'20"	43°20'28"			20.467	
6	右樞三 わし座δ	48°20'15"	43°23'02"			23.023	
7	壁宿南垣七 はくちよう座β	74°08'25"			不採用	0	
8	河鼓三 わし座γ	56°44'55"	43°23'21"			23.333	
9	河鼓一 わし座β	54°58'20"	43°22'10"			22.167	
10	天棓四 わし座κ	47°08'40"	43°23'25"			23.417	
11	河鼓二 わし座α	18:45	52°31'05"	43°25'06"		25.1	
12	天棓一 わし座φ	45°12'50"	43°23'52"			23.897	
13	牛宿二 やき座α	33°27'30"	43°23'41"			23.833	
14	牛宿一 やき座β	31°14'00"	43°22'13"			22.217	
15	天津一 はくちよう座γ	18:24	36°14'10"	43°23'29"		23.433	
16	畢張四 いて座δ	80°32'30"	43°21'55"			21.917	
17	畢張一 いて座α	61°50'40"	43°22'06"			22.1	
18	天津九 はくちよう座ε	79°49'55"	43°23'44"			23.733	
19	虚二 こうま座α	51°02'35"	43°23'28"			23.467	
20	虚一 みずがめ座β	40°11'20"	43°22'38"			22.8	
21	虚三 ベガス座ε	55°34'00"	43°23'59"			23.933	
22	虚一 みずがめ座α	45°20'30"	43°22'37"			22.817	
23	虚二 ベガス座φ	51°49'35"	43°23'38"			23.8	
24	虚二 みずがめ座γ	44°13'45"	43°22'49"			22.817	
25	填星四 みずがめ座ε	46°58'10"	43°23'08"			23.133	
26	填星一 みずがめ座δ	45°34'50"	43°22'59"			22.933	
27	南宮一 ベガス座κ	56°22'50"	43°25'09"			25.15	
28	南宮四 ベガス座κ	75°48'15"	43°24'48"			24.8	
29	南宮二 ベガス座λ	69°09'20"	43°21'40"			21.867	
30	南宮二 ベガス座μ	21:45	70°10'10"	43°22'29"		22.433	
31	北極星門 みなみのうお座α	21:43	15°59'50"	43°20'28"		20.433	
				観測値の単純平均	43°22'58"	←	22.9435172
				伊能図上の北極高度	43°28'		

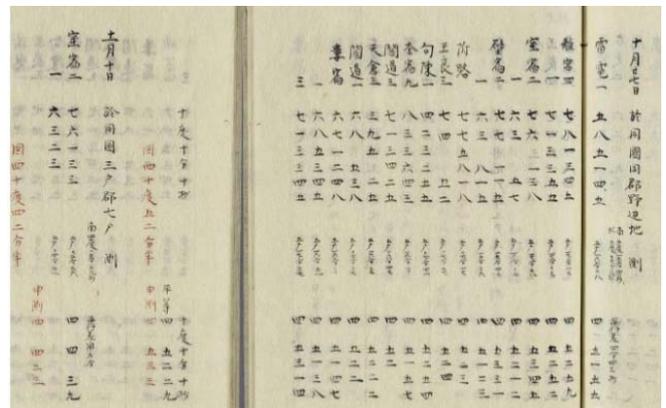


図3-3. 二次測量(野辺地)天体観測データ

極出地度（すなわち現在の用語の「緯度」）です。地高度と赤道緯度とから北極出地度を求める方法は、伊能忠敬が隠居してからの名前を**勘解由**という宮中の役職の名称を使うという決死の覚悟で学び始めた**天文暦学**の知識が不可欠なのです。

そこで、異例かも知れませんが、ここから**天文暦学**の基礎を説明します。

<天文暦学とは>

「暦学」という用語の「暦」とは何かを、改めて広辞苑で調べてみますと、その語源は「日読^{ひよみ}」だそう
です。すなわち、その「日」が

- ・一年の何処（属する月及びその月の何日目、あてはまる祝祭日など）に当たるか、
- ・どのような日（日の出・日没の時刻、月の満ち欠け度合い、日食・月食・故事・行事など）か、

などを、日を追って記載したもの、と説明しています。

結局、**暦とは太陽や月や星座という天体の動きによって出現する一日の天体现象**

（注；天体とは、恒星・惑星・彗星など。そのような天体が天球上に織りなす文様を**天文**という。）
をベースに整理したもの、ということになります。したがって、その整理には「天体の運行に関する学問；**天文学**」の知識が必要不可欠だということになります。

なにやら難しそうですが、200年以上も前の江戸時代のご隠居さんである伊能勘解由翁が理解できたのですから、小惑星リュウグウを探索して帰還できるほどサイエンスの進んだ21世紀に生きている読者の皆さんに分からない筈がありません。ぼちぼち天文学の基礎を説明しますので理解してください。

[天球]

夜空に輝くたくさんの星々までの距離は様々ですが、一番近い恒星までは、太陽を除くと、**光の速度**で**4年（すなわち4光年）**もかかるほど、極めて遠い遠い宇宙の彼方にあります。

※補足（光の速度）

- ・光の速度は、299、792、458 m/s。すなわち、1秒あたり約30万 km です。
- ・地球の直径は、約13万 km 弱だそうですから、光の速度で0.43秒の長さに過ぎません。
- ・1年は、31、536、000秒（=365日/年×24時間/日×60分/時間×60秒/分）に相当し。
4年では、126、144、000（=31,536,000×4）秒に相当します。

4光年の距離とは、地球直径の293、358、139.5倍（=126,144,000/0.43；約**3億倍**）に相当します。したがって、地球上で星を観測するわれわれ人間の肉眼では、夫々の恒星への距離感を感じることは出来ず、あたかも地球を中心とし、且つ、地球を取り囲む巨大な球体の内側に星や太陽などの天体が張り付いて回っているように見えます。この地球を取り囲み、すべての天体が張り付いていると見做した大きな球体を「**天球**」と呼んでいます。

その天球に張り付いている恒星など天体の絶対位置を表す座標系が「**赤道座標系**」です。つまり、地球上の位置を表す**緯度・経度**に対応させ、地球の中心から地球の赤道面を延長した天球の位置を基点（0°）とした座標系です。

その基点に対して

- ・地球の中心から北に 90° の方向を**天の北極**（あるいは「**真の北極**」）と呼び、
- ・地球の中心から南に 90° の方向を**天の南極**（あるいは「**真の南極**」）と呼びます。

「**北極出地度**」とは、地球上の測量地点の地平線から天の北極を仰ぎ見た角度（ δ ）のことであって、その**天の北極**から僅かにずれて**天の北極**を周回している北極星を仰ぎ見た角度とは違うのです。

一方、「**緯度**」とは、その地点における天頂の方向と赤道面とのなす角度（ δ ）と定義されています。

その「**北極出地度**」と「**緯度**」とを図解すれば、図 3-4 に示すとおりとなり、「**北極出地度=緯度**」ということになります。

また、地球は完全な球体ではなく、少しつぶれた楕円体であるので、天頂から測量地点を通った直線を赤道に交差させた場所は、地球の中心と一致しません。

- ・赤道面から天の北極までは、地球上の場合は「**北緯 n°** 」ですが、天球の場合は「**+ n°** 」
 - ・赤道面から天の南極までは、地球上の場合は「**南緯 n°** 」ですが、天球の場合は「**- n°** 」
- で表します。これが帰府報告に書かれていた**赤道緯度**に当たります。

また、地球の今一つの座標である経度に対応した天球の座標を「**赤道経度**」あるいは「**赤経**」と呼びます。赤経は、**春分点**（太陽が天球の赤道を南側から北側へ横切る点；当時の春分点はカシオペア座の**Wの右肩**の星）を通る子午線を基点（ $0^\circ=0$ 時）とし、東回りに計り、 $15^\circ=1$ 時、 $15'=1$ 分、 $15''=1$ 秒として24時までの数値で表します。

なお、歳差運動（地球の地軸の首振り運動）の影響により、赤道面もわずかず上下左右に移動するので、赤緯・赤経も微妙に変化しています。

〔自転〕

天球は動かないものだと考えます。一方、地球は西から東に自転しているので、地球から見ると、天球及び天球に張り付いている恒星などの**天体は東から西に回転**しているように見えます（太陽や月が東から上り、西に沈むように見えるのは、この地球の自転によるのです）。

「**赤経**」の値が24時までということは、地球が一昼夜24時間で一回転していることを意味します。

ところで、天球は動かないもの、地球は西から東に**自転**している、という地球と天球だけの関係で考えますと、例えば、夜に見える星座は、時間と共に変わりますが、時間を例えば午後8時頃に固定した場合、季節によって見える星座は変わることなく、毎晩毎晩午後8時頃に見える星座は月日が変わっても同じ星座だけになってしまいます。しかし、実際上は、四季折々で午後8時頃に見える星座は異なります。その理由は、星座が見えるのは夜だけですが、その夜があるのは当然のことですが太陽があるからです。

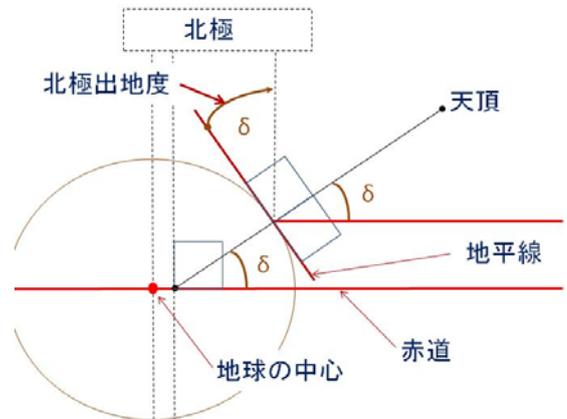


図 3-4. 北極出地度

だから

- ・天球は動かないもの、
- ・天球は西から東に**自転**している

に加えて、更に、

- ・地球は太陽の周りを**公転**している
- という事実を考慮しなければならないのです。

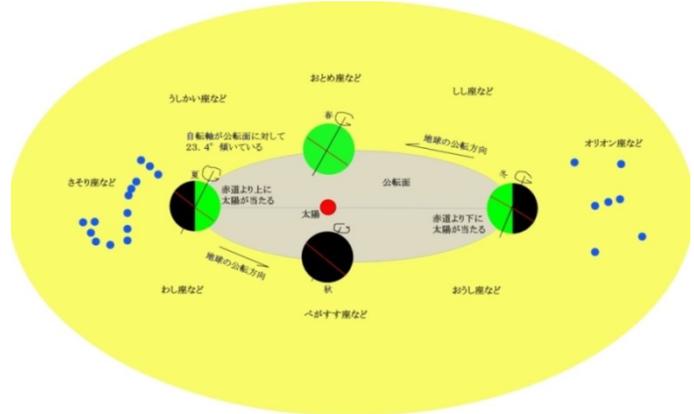


図 3-5. 地球の公転の仕組みと

季節ごとに見える星座の関

[公転]

図 3-5 は地球の自転と公転の様子と季節ごとに見える星座との関係を図式化したものです。

- ・黄色で塗りつぶした部分が天球に当たります。

天球は動きません。

- ・恒星も天球に張り付いていると考えますから動きません。
- ・惑星（地球も惑星 planet です）は、太陽を 1 つの焦点とした**楕円軌道**を回っています。しかし、地球にいる我々から見ると太陽も天球の内側を滑って動いているように見えます。その天球の内側を滑っている太陽の軌跡を**黄道**と云います。

さて、なぜ、楕円軌道かと云えば、太陽の廻りを地球が廻ることによって**遠心力**が生じ、地球は太陽から離れようとします。一方、太陽の**万有引力**によって地球は引っ張られます。遠心力も万有引力も、地球と太陽との間の距離 r に関係し、**遠心力は距離 r に反比例**して、遠心力は離れれば離れる程に弱くなります。一方、**万有引力は距離 r の二乗に反比例**して、離れれば離れる程により一層弱くなります。その結果、遠心力と万有引力が釣り合う距離が生じます。しかし、その釣り合う距離は、距離 r と r の二乗という関係から、力の関係に強弱が生まれるため、楕円軌道になってしまうのです。これを**ケプラーの第 1 法則**と呼びます。

地球が太陽の周りを回っている（「公転している」といいます）と提唱したのが「**コペルニクスの転回**」という言葉として有名な**コペルニクス**、万有引力は**ニュートン**、その二つを合わせたのが**ケプラー**なのです。このような**楕円軌道の原理**が日本で明らかになったのは、徳川吉宗の禁書緩和策によるもので、三治郎少年（忠敬翁の子供時代の名前）が生まれた頃だったのです。このようなニュースは瓦版で知らされたでしょうから、多感な三治郎少年も天文ファンになっていたに違いありません。しかし、三治郎少年は母親と死に別れたり、婿養子になったりで夢を追っている暇はありませんでした。隠居してようやく少年時代の夢を追えるようになって、天文暦学を学び始めたのかも知れません。天文暦学を学んだのですから忠敬翁は楕円軌道であることは知っていたのです。

[地軸の傾き]

地球は太陽の周りを公転しながら自転していますから、太陽に向いている部分と太陽に背を向けている部分とに分かれます。太陽に向いている昼の部分は明るいので星が見えませんが、背を向けている夜の部分は暗いので星が見えます。一方、地球を構成している分子などに働く遠心力と万有引力に対して**も楕円軌道による太陽からの距離の強弱が働**きます。その結果、その遠心力と万有引力の強弱を打ち消したいとして働く力が地球の分子に生じることによって地球は好むと好まらざるを得ずに**自転**させられ

てしまうのです。つまり、自分自身の意思で回転しているように見えますが、厳密には太陽との遠心力と万有引力との関係で回転させられているのです。その自転は、楕円面（つまり、公転面）に対して、なにもなければ必ずからず垂直となるのですが、実際には23.4度だけ傾いています。傾いたきっかけは、月が地球の衛星になったことに関係があるそうです。

さて、自転によって、昼と夜という現象が生じていると申しました。さらに地球の自転軸が、公転軸に対して23.4度だけ傾いていることによって、図2-6で示めているように、

- ・地球の南極側が太陽に直角に向いてしまい、日本などの北極側が太陽に対して斜の向きになってしまう場合と、
- ・地球の北極側が太陽に直角に向いてしまい、オーストラリアなど南極側が太陽に対して斜の向きになってしまう場合が

生じます。

太陽に対して斜の向きになると、太陽からの熱が弱まって寒くなり、且つ夜が長くなってしまいます。これが冬という季節です。

一方、太陽に対して直角の向きになると、太陽からの熱が強まり、且つ太陽に向いている昼の時間が長くなります。これが夏という季節です。そのような関係において天球は動かないものと考えているので、例えば、季節に拘わらず夜8時に見える天球の方向は、図3-5のように冬と夏とでは真逆となるので、季節ごとに見える星座は異なるのです。

[星図]

恒星の座標情報としては前述したように赤緯と赤経があるので、その情報をもとにして、星図をつくることができます。伊能測量当時の恒星図として現在残存しているものに「伊能忠誨の星図」が伊能忠敬記念館に所蔵されています（図3-6）。例えば、七夕の星である「織女」の当時の赤緯は「北38度32分」なので、その値の目盛りの位置に織女は描かれています（赤経に関しては複雑なので説明を省略します）。

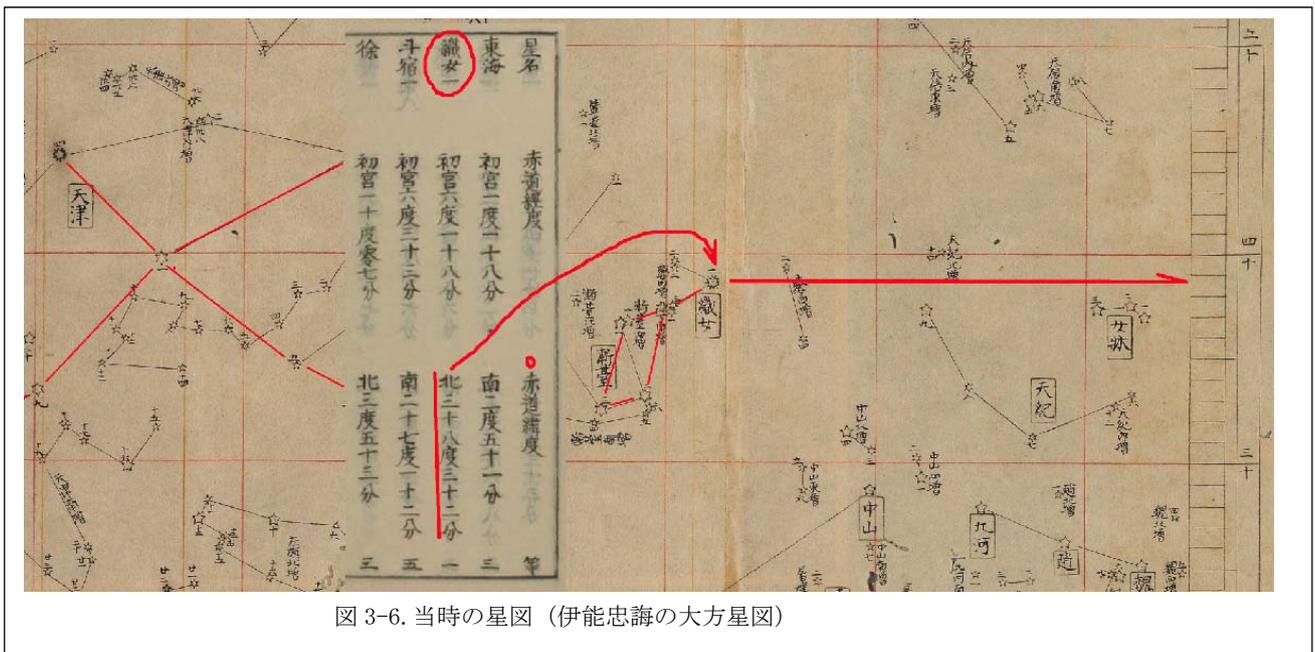


図3-6. 当時の星図（伊能忠誨の大方星図）

[赤道緯度と地高度と北極出地度との関係]

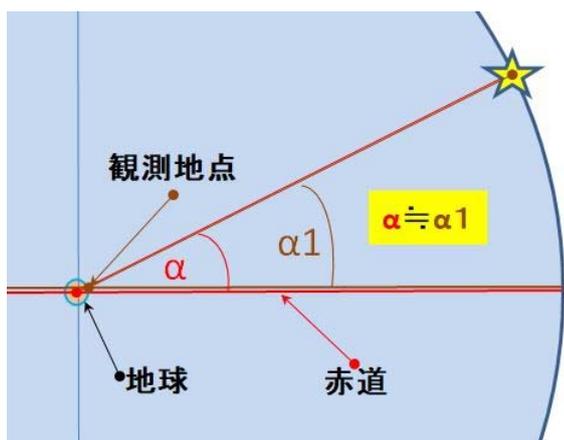


図 3-7. 天球から見た赤緯

しかし、その直線が地表を横切った地点の緯度は α° とはなりません。なぜならば、緯度とは、観測地点から天頂に引いた直線と赤道面との角度 δ だからなのです。

(図 3-8 参照)

なぜ、こういうことになるかと言えば、天球は完全なる球体と見做しているのですが、地球は完全な球体ではなく、実際上は弱冠潰れて楕円形になっているからなのです。

さて、地表で星を観測している人間には、その地点から天頂に伸ばした直線が赤道面に対して角度が何度であるか、換言すれば、その地点の緯度が何度であるかは、地球の中心が何処にあるかを視覚的に確かめられないので測ることが出来ません。

では、もしもその観測地点で赤道面が何処なのかを捉えることが出来るならば、その地点で捉えた赤道面と水平線と天頂と赤緯が明らかな恒星とを使えば、その地点の緯度（北極出地度）を求めことが出来るかもしれません。

既に天球の項で説明したように、地球から一番近い恒星までは太陽を除くと光の速度で4年（すなわち4光年）もかかるほど極めて遠い宇宙にあります。それは、地球直径の約3億倍（0が8個）も遠い遠い距離だという現実に着目すれば、天球の大きさや地球の大きさの大小を前提に考えれば、図 3-7 のように、天球の視点で考えれば、地球の赤道が観測地点を通過していると見做しても、ほとんど問題ないと考えることができます。

この図 3-7 という現実的な赤道緯度、及び、図 3-8 という赤道緯度と緯度との関係を前提にして赤道緯度 (α) と地高度 (h) と北極出地度 (δ) との関係を、図式化してみれば図 3-9 となり、観測地点で恒星の地高度 h を測れば、北極出地度 δ は幾何の問題として解くことによって次の数式で求めることができます。

$$\begin{aligned} \text{北極出地度 } \delta &= \text{赤道緯度 } \alpha + \text{天頂距離 } \beta \\ &= \text{赤道緯度 } \alpha + (90^\circ - \text{地高度 } h) \quad \text{---式 1} \end{aligned}$$

※式 1 は、観測恒星が天頂よりも“南”側の場合、“北”側の場合は「=赤道緯度 $\alpha -$ 天頂距離 β 」

赤道緯度とは、既に [天球] の項で説明したように、地球の中心から地球の赤道面を延長した天球上の赤道を基点 0° とした赤道座標系において、図 3-7 に示しているように、地球の中心から天球に伸ばした直線が赤道面に対し α° であれば、そこにある星の赤緯は $+\alpha^\circ$ となります。

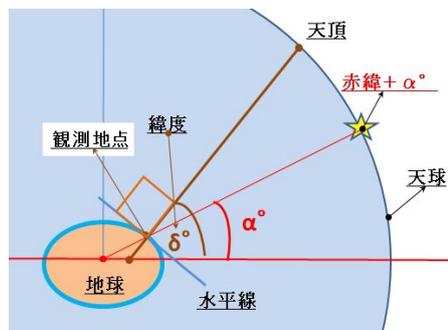


図 3-8. 北極出地度（緯度）と赤道緯度の関係

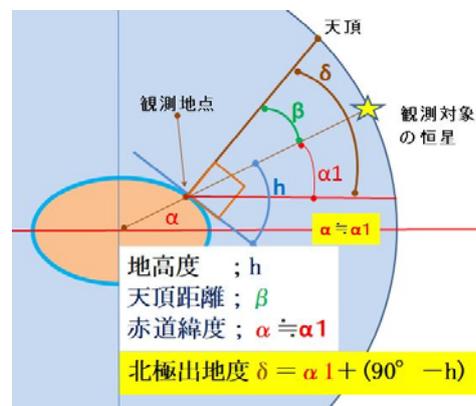


図 3-9. 北極出地度（緯度）と赤道緯度の関係

伊能忠敬翁が帰府報告に認めた「兼て測り置き候 恒星赤道緯度を相用い、その所の北極出地度」は、式1を使って求めたのです。

[天体観測の具体的状況]

図3-3に朱書きされている「ニシベツ四三度二三」とは、帰府報告に「其の中取り候て、其の地の北極出地度」としたためていたものに当たり、それは、三段目の其の中(平均値)を計算した上で、秒の位を丸め込んで観測地点の緯度とした、という意味なのです(表3-1参照)。

さて、蝦夷地測量の場合、アッケシ湾西岸までは歩測によって沿海の形状を測る量地(海岸線の方位と距離の測量)及び殆ど全ての宿泊所での天体観測(測天)を行いました。ところが、厚岸湾からニシベツまでは現地の幕府役人の状況(鮭の収穫時期に当たり多忙)の影響を受け、沿海を進みながら根室経由で蝦夷地の北部に進むという当初の計画で進むことが困難となりました。そこで、当初の方針を変更し、風連湖方面に一旦直行することになりました。そこで、まず原野を流れる川を渡りながら、途中、二ヶ所(ノコリベツと姉別)で宿泊し、姉別では雌阿寒岳と雄阿寒岳への方位を観測し、更に、天体観測を行って緯度(北極出地度)を求め、蝦夷地における姉別の相対位置情報だけは取得しました。

そして、八月七日(現在の九月二十五日)の昼頃に風連湖の畔のニシベツ(現在の別海町)に到着したのです。到着後、天体観測用の測器を据え付けて夜を待ちました。季節としては秋の彼岸にあたりましたから、午後六時前には星が瞬きだし、南の地平線から天の川が立ち上がっていました。

[測った星]

ニシベツの宿舎で測量を始めた直後、地平線から立ち上がった天の川の中に、今にも子午線儀を横切りそうな恒星らしきものを発見したので、それは「斗二」という恒星(現在の星座では「いて座の南斗六星」の星)だろうと見做し、取り敢えず地高度を測りました。しかし、月が近くにあったので、自信を持つことができなかつたので採用をあきらめた(「不採用」と表記)ようです。

その後は晴れたので、「晴天の夜は二、三十星」と帰府報告書に書いてあるとおり、合計三十一個の恒星の地高度(図2-3の二段目の数値)を、平均7分間隔で測りました。忙しかったでしょうね~!

図3-10はニシベツで測った恒星です。

[測定データの特徴]

さて、測ったデータ(図3-2の二段目)は、漢数字の6桁で記録されています。空白は「〇ゼロ」を



図3-10.ニシベツで測った星と夜空
(縦線が子午線で横線が赤緯)

意味します。したがって、例えば、表 3-1 の No15 の天津一（はくちょう座 γ ）の場合、その地高度は 88 度 14 分 10 秒

であった、と記録されたことを意味します。

ここで、読者の皆さんは、分度器をイメージして、この **88 度 14 分 10 秒** を調べてみてください。多分 88 度に関してはハッキリと目盛で確認できる筈です。しかし、14 分 10 秒という目盛りの位置を分度器で確認できますか？多分、出来ない筈です。しかしながら、伊能測量隊は図 2-1 の右側に描かれている象限儀で 14 分 10 秒までを読み切っているのです。凄いですネ～！その仕組みを以下に説明します。

象限儀には、半径約 1.15m の四半円形の円盤のフチに、望遠鏡の傾き角度を読み取る金属板が張り付けられています。半径が約 1.15m なので、その四半円形の円弧の長さは約 1.8m になります。そこに 0 度から 90 度の目盛が刻印されているので、

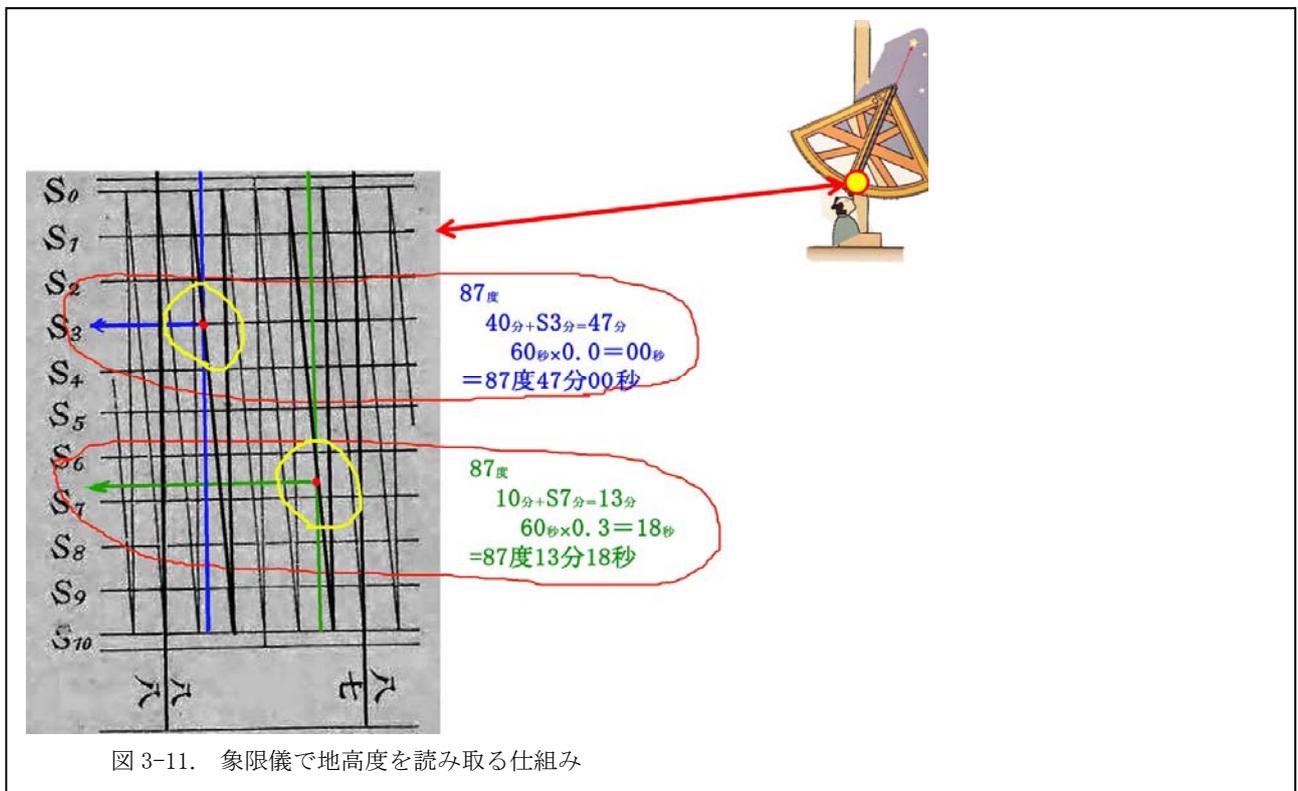
1 度当りの間隔は約 2 c m ($=180\text{cm}/90^\circ$)

1 分当りの間隔は約 0.3 m m ($=20\text{mm}/60'$)

1 秒当りの間隔は約 0.005 m m ($=0.3\text{mm}/60''$)

となります。

1 秒当りの間隔は約 0.005 m m ？！、それほど微妙な間隔を肉眼で識別できるわけがありませんね。識別できないのだから、その目盛りを刻むこともできません。では実際はどのようにして **88 度 14 分 10 秒** と読み切ったのでしょうか？それは図 3-11 に示すような読み取りの仕組みになっていたのです。



すなわち、目盛は一象限 90 度（長さは 181.8 c m）を、10 分間隔（6 分 7 厘 [約 2cm]）ごとに直線（図 3-2 の縦の直線）で刻み、その直線に交差させた目盛盤幅を 10 分割した直線（ $S_0 \sim S_{10}$ ）と、更に目盛

盤 10 分間隔ごとの隣り合う直線の始末端を結ぶ対角斜線からなる三種類の線を刻んでいます。これにより、直接的には 1 分まで読み取ることができます。

図 3-11 において、青色の縦直線は天頂付近の星を測った望遠鏡の視準線がその青色の縦直線の位置にピッタリと重なった場合です。その青色の縦直線は、図の下部に刻印されている目盛の八七を超えた、四番目の縦直線を超えて、五番目の縦直線の直前にあるので、八七度四〇分は超えています。その超えている「分」の部分は、対角斜線が ⑤ 直線と交差しています。この ⑤ 直線は、一〇分間隔の間を 10 分割した直線（⑤ ~ ⑥）の、下から七番目に当たることから七分を意味するので、結果は 87 度 47 分 0 秒となります。

図 3-11 において、緑色の縦直線は、八七度一〇分の直線を超え、対角斜線の ⑤ と ⑥ の直線の間にあります。この ⑤ 直線は 10 分間隔の間を 10 分割した直線（⑤ ~ ⑥）の下から三番目、⑥ 直線は四番目なので、分の位は十三分に当たります。秒の位は ⑤ と ⑥ の間の一分（六〇秒）を目測で十分割した三番目あたりに当たるので、〇. 三分（18 秒）に相当し、結果は 87 度 13 分 18 秒となります。

結局、秒の位は直接的に一桁台まで読み取っていたわけではなく、対角斜線の位置を 10 分割の目測で求めていたこととなります。この場合、秒の位は 6 秒の倍数の有効数字だけがあらわれることになる筈ですが、実際上は 6 秒の倍数というよりは 5 秒間隔が多いようです。ではどのように読み取ったかですが、推定できる方法の一つに、一つの星を僅かな間隔の間に複数回数測りなおし、その平均値をとって 5 秒の倍数に丸め込んだということが考えられます。

<閑話休題>

目盛盤については、伊能測量隊の読み方だけでなく、目盛りを刻む方法はどのようなのでしょうか？

図 3-2 のように、目盛は 1 分間隔で刻まれていましたから、その間隔は 1 分当りの間隔約 0.3mm の 10 倍で 3mm です。この割り切れない間隔で 900 個の目盛りを 1.81m の円形の金属に刻むという現場を想像すると気が遠くなってしまわないのでしょうか？この仕事には三角関数の計算ができなければなりませんから、職人には無理だったのではなかろうかと思われまます。実は、これをやったのは、忠敬翁の 4 番目の奥さんだった才女“お栄”さんだったらしいとのこと。

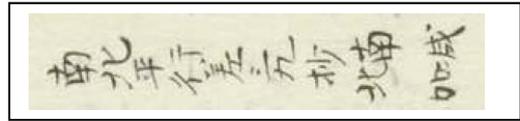
（出典；江戸の天文学者 中村士著 p131）

[測定データから緯度を求めた方法]

以上までで、測量現場での仕事がおわったので、あとは風呂に入って、寝るだけ？かと言えば、そうではなく、その日のうちに測って得た地高度から北極出地度を求める仕事が伊能測量隊には残っていました。

象限儀で測った地高度データから北極出地度は前述の式 1 で求めた筈です。式 1 が伊能遺産として残っていたわけではありませんが、前述の帰府報告に「兼て測り置き候 恒星赤道緯度を相用い、その所の北極出地度」という文言から考えれば、三角関数の原理からあの式以外には考えられないのです。なお、伊能忠敬本のバイブルとされる大谷亮吉編著「伊能忠敬」の 375 頁には、「清朦気差（空気の屈折より生ずる誤差）を含有するものなり」と明記してありますから、大気差の影響を受けることは知っていたようです。

それから、誤差に関しては、二次測量データ記録帳（図 3-3）に「平行差」という補正值が次のように明記されています。



この平行差とは、象限機の支柱の垂直の誤差、及び象限儀に取り付けた望遠鏡の焦点のズレのことです。二次測量以降ではこの平行差を考慮していたのですが、一次測量の段階ではどうなのか。以下に検算してみましょう。

表 3-1 の No15 の天津一（はくちょう座 γ ; デネブ）の地高度 $h = 86$ 度 14 分 10 秒から求まる北極出地度を試算してみます。

天津一（はくちょう座 γ ）の当時の赤道緯度は、現在のオープンソースプラネタリウム（Stellarium）によれば

$$\alpha = 39 \text{ 度 } 37 \text{ 分 } 25.5 \text{ 秒}$$

ですから、

$$\begin{aligned} \text{北極出地度} &= \alpha + \{90^\circ - h\} \\ &= 39^\circ 37' 25.5'' + 90^\circ - 86^\circ 14' 10'' \\ &= 43^\circ 23' 15.5'' \end{aligned}$$

$$\text{忠敬計算値} = 43^\circ 23' 20.0''$$

$$\text{差分} = 0^\circ 0' 4.5''$$

更に、表 2-1 の No5 の建三（いて座 π ）の地高度 $h = 25$ 度 18 分 20 秒から求まる北極出地度を試算してみます。

建三（いて座 π ）の当時の赤道緯度は、 $\alpha = -21$ 度 19 分 43 秒
ですから、

$$\begin{aligned} \text{北極出地度} &= \alpha + \{90^\circ - h\} \\ &= -21^\circ 37' 25.5'' + 90^\circ - 25^\circ 18' 20'' \\ &= 43^\circ 21' 57'' \end{aligned}$$

$$\text{忠敬計算値} = 43^\circ 20' 23.0''$$

$$\text{差分} = 0^\circ 1' 34.0''$$

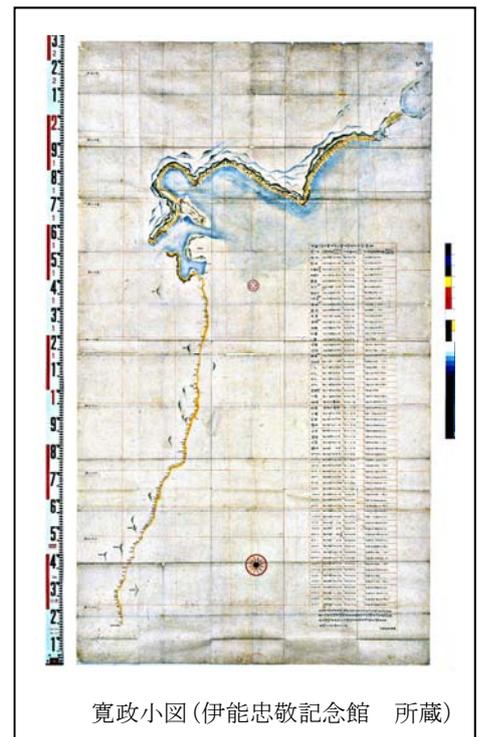
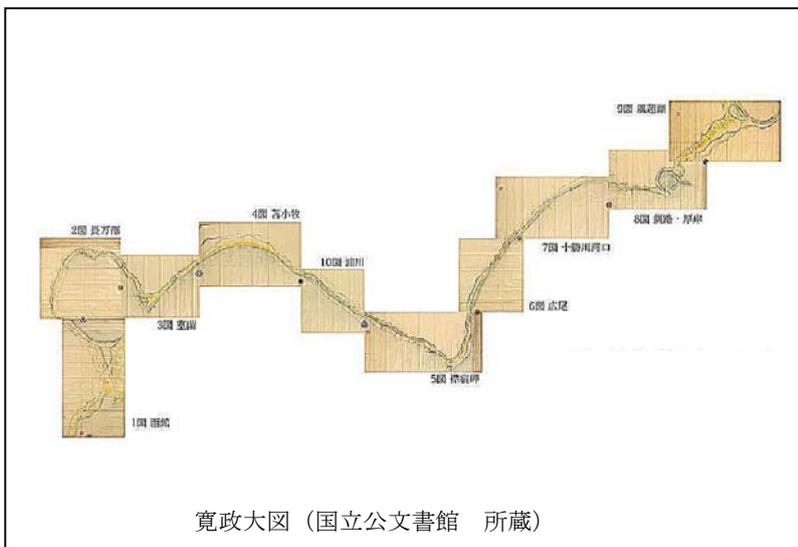
以上のとおり、天頂付近の恒星を測った結果は、殆ど計算式どおりの答えになっていますが、地平線近くの恒星を測った結果は、緯度を求める計算式の大気差を無視すると、それ相応の誤差が生じてしまっているようなので、伊能測量当時は、大気差を測る方法が確立していなかったようです。

このようにして、求まった北極出地度は個々の星ごとに大気差の影響以外にも目視技術による誤差が混入しているので、その誤差の影響を減ずるため、「**其中取り候て、其の地の北極出地度と相定め**」と帰府報告書に書かれているように、平均値を計算してその地の緯度と定めるという現在の統計学のアプローチが採用されていたのです。表 3-1 でもその平均値の検算をした結果は、図 3-3 に朱書きされている値と一致しました。

第4章 二次測量以降における北極出地度の求め方の特徴

伊能忠敬翁の最初の測量行となった蝦夷地測量は、その決定が出発の五日前の寛政12年、閏4月14日（西暦1800年6月6日）というギリギリになってしまいました。当時、蝦夷地を往復するには最低でも半年は必要でしたから、6月上旬からでは厳寒の地での測量という厳しいことになって成功も危ぶまれます。そういうことから、距離の測量は効率化するために**歩測**という手段を採用し、本州部分は一平均10里（約40km）で進むなど、かなりの強行軍でした。そのような背景の下で、曲がりなりにも蝦夷地測量をやり遂げて10月22日（西暦1800年12月8日）江戸に戻り、大急ぎで地図を作成して12月21日（西暦1801年2月3日）に幕府に呈出しました。提出したものは次の通りです。

- ・大図 21枚（本州部分11枚、蝦夷地部分10枚）
- ・小図 1枚



この地図の出来栄が、従来の国絵図とは一線を画して素晴らしかったことから、幕府の気に入るところとなり、今度は、御当地内海通（東日本太平洋沿海）の形状を明らかにする地図作成のための測量（いわゆる二次測量）が、享和元年3月7日（西暦1801年4月19日）に仰せつけられたのです。

その二次測量にあたり、一次測量の結果をみてその測量データを分析した師匠は、大気差の影響によるそれ相応の誤差が生じてしまっていることに気付いた、としか考えられないのですが、図2-2で空白としている三段目の極差を活用すれば大気差の影響を受けずに北極出地度を求められるということを忠敬翁にアドバイスした筈です。

「極差を活用すれば、大気差の影響を受けず」ということはどういうことか？と言え、大気による屈折度合 ρ は、当時は明確には分かかっていませんでしたが、現在では次の通りです。

$$\rho = 58.3'' \times \tan(90^\circ - h) \quad \text{式2}$$

つまり、この式2で求まる角度だけ大気によって屈折して、地高度が見かけ上高くなってしまいます。したがって、大気差の補正がまだ出来なかった伊能測量では、誤差の多い測量結果になってしまうのです。

この大気差を求める式において $(90^\circ - h)$ は、式1の β （天頂距離と同じです。したがって、観測

する恒星が天頂（90°）であれば、大気の屈折は起こらないことを意味しています。このことは、前章で、天頂付近にあった**天津一**（はくちょう座γ）という恒星の計算結果と、忠敬翁の計算値との差分が**4.5秒**であったのと比較すると、地平線近くにあった**建三**という恒星の計算結果と、忠敬翁計算値との**差分は1分34秒**と、ほぼ**21倍ほどの大きな誤差**となってしまうことから、観測する星によって大気差による誤差の影響が大きいということになります。

さて、**極差**を活用する場合の北極出地度の求め方はどのような方法なのかを説明しましょう。

図2.3に示した野辺地での観測結果のうち、先頭の雷電一（ペガサス座ζ）の測量データは、

- ・地高度 = 58° 51' 45"
- ・極差 = 5° 16' 08"
- ・北極出地度 = 40° 51' 55"
- ・平行差 = 4' 43"

と記録されています。ここで、平行差とは当日止宿先に到着後に据え付けた象限儀や望遠鏡のズレを表す物理的誤差の値です。これは一次（蝦夷地）測量の測量データである図2-2には記録されて居ません。天体観測の測器は当日現場で据え付けるので当然のことながら平行差などの誤差が生じてしまうので、図2-2ではどこかに既に含まれていると考えられます。

さて、上記の雷電一の観測データから北極出地度をどのようにして求めたかと言えば、次に示す通りになります。

$$\text{北極出地度} = \text{原点北極出地度} + \text{極差} - \text{平行差} \quad \text{式3}$$

ここで、原点北極出地度とは江戸黒江町の伊能忠敬宅天文台の北極出地度 $35^\circ 40' 30''$ です。

従って、

$$\begin{aligned} \text{北極出地度} &= \text{原点北極出地度} & + \text{極差} & - \text{平行差} \\ &= 35^\circ 40' 30'' & + 5^\circ 16' 08'' & - 4' 43'' \\ &= 40^\circ 51' 55'' \end{aligned}$$

となります。すなわち、大気差の計算をする必要が無いのです。

この求め方をニシベツでの建三に当てはめてみましょう。

ニシベツと江戸深川との極差は

$$8^\circ 42' 30'' \quad (= \text{ニシベツの緯度 } 43^\circ 33' - \text{深川の緯度 } 35^\circ 40' 30'')$$

となるので、この江戸深川で観測した場合の建三の大気差を含んだ地高度 h は

$$34^\circ 0' 50'' \quad (= \text{ニシベツでの建三の地高度 } 25^\circ 18' 20'' + \text{極差 } 8^\circ 42' 30'')$$

だったこととなります。

また、江戸深川における建三の大気差 ρ は

$$\begin{aligned} \rho &= 58.3'' \times \tan(90^\circ - 34^\circ 0' 50'') \\ &= 58.3'' \times \tan(55^\circ 58' 10'') \\ &= 58.3'' \times 1.48 \\ &= 86.3'' = 1' 26.3'' \end{aligned}$$

であったこととなります。

いずれにしても、この大気差と極差を活用した場合、ニシベツでの建三の観測結果の基づく北極出地

度は、

$$\begin{array}{rcl} \text{建三での北極出地度} & = & \text{原点北極出地度} \quad + \text{極差} \quad - \text{平行差} \\ & = & 35^{\circ} 40' 30'' \quad + 8^{\circ} 42' 30'' \quad - \text{平行差} \\ & = & 44^{\circ} 23' 00'' \quad - \text{平行差} \end{array}$$

と簡単に求めることができます。

そして、この場合は、原点でもニシベツでも共に大気差 ρ を含んだままの地高度相互の極差であるので、結果として双方の大気差が相殺されていることから、極差を適用しなかった一次測量の場合よりも二次測量の結果の方が精度が良くなっていることになるのです。

そして、結果として、蝦夷を除けば、日本全国の北極出地度は極差を適用したものとなっているので、各地点の北極出地度は絶対値としては大気差の補正がされていない

(つまり、現在の緯度と伊能測量の北極出地度は大気差相当、多分、数分以内だけずれている可能性が高い)

のですが、各地点相互の相対的緯度は合致していることになる筈です。つまり、現在の日本列島の衛星写真にぴったりと重なり合うほど精密な日本地図となっていることがそのことを立証しているのです。