伊能忠敬の地図作成における「緯度差 1 度 28.2 里」問題

野 上 道 男*

Scale Factor of Latitude Distance in Surveying and Mapping by Inoh Tadataka

Michio NOGAMI*

[Received 7 January, 2019; Accepted 23 July, 2019]

Abstract

In 1801, Inoh Tadataka observed the heights of stars at the meridian passage to learn the latitudes of points, and also surveyed surface distances among the points surveyed astronomically. He obtained the distance of one degree as 28.2 Ri under the Japanese system and regarded this value as a definition for surveying and making maps. Therefore, 2538 Ri corresponds to 10000 km in the metric system. Subsequently, he surveyed most of the coastline of Japan and its major roads, and made basic 1:36000-scale maps using this definition. The accuracy of latitudes at astronomical observation points on the 1/216000-scale map is estimated by comparing those on an actual digital map of Japan. The standard deviation of the difference in latitudes between the two maps is within 0.5 minute (0.926 km).

Key words : Inoh Tadataka, latitude distance, scale factor, astronomical observation, ground surveying

キーワード : 伊能忠敬, 緯度差距離, 縮尺, 天文測量, 地上測量

I. 問題の所在と研究の目的

伊能忠敬は 1801 年（第 2 次）奥州街道測量で得た値をもとに「緯度差 1 度 = 28.2 里」と「定義」した。大谷（1917, p. 543）の用語ではこれを度法という。なぜこの値を「定義」とするのかという理由は、伊能はこの数値にかかわる導線測量（地上測量）と星測（天文測量）を 1802 年以後も続けているのに、その成果をとり入れることなく、同じ値を使って導線測量の成果を補正し、緯線が描かれた地図（海岸線と街道）をつくり続けているからである。

誤差の大きい地上測量の南北位置を星測（恒星の子午線通過高度による緯度測量）によって、

「緯度差 1 度 = 28.2 里」（大図上では 101.52 寸）という値を用いて補正し、誤差が星測点を越えて伝播しないようにし、さらに測量成果を地図にするとともにこの値が縮尺として必要とされた。

伊能の師の高橋至時はこの度法が一種の定義であるのに、従来の「尺度」を用いているので、当然のことながらその値に乖離があるのではないかと危惧したであろう。このことは間重富への享和 2 年（1802 年）4 月（伊能の第 3 次旅行の出発は 6 月 11 日）の高橋至時の書簡に述べられている（大谷, 1917, p. 451）。

幕府天文方としての高橋のさらなる危惧は、公儀ではない伊能の「定義」が、実は、公儀であるべき尺度を定めていることになるからであろう。

* 東京都立大学名誉教授

* Emeritus Professor, Tokyo Metropolitan University

いつの時代でも尺度や地図は国に属するマターである。もちろん伊能の値が「測定値」のレベルであるかぎり、何も問題はない。しかし測定値のままでは地図はつukれない。

1) メートル法制定の例

メートル法の起源はオールダー (2006) に詳しい。またフランスの政府機関のページである *Métrologie légale et industrielle*¹⁾ に掲載されている *Histoire du metre* も信頼が置けると思われる。

フランスでは三角測量の成果によって、緯度と距離 (トアーズ) の関係を得て、それに基づいて、A「赤道から極までの距離の 1000 万分の 1 を 1 m とする」という新しい尺度を定義した。つまりトアーズで測った値を用いて、A という定義でメートル原器をつくった。その後、地球の大きさをこの原器に基づいて再測したところ、A の定義と差が生じた。しかし当然のことながら、これは「定義の精度」の問題とは捉えられていない。

A の定義はメートル原器によって具現化されるが、前述した A はメートル原器の新しい権威づけである。それまでは各国各地域の政治的権威 (皇帝とか王) がそれぞれ尺度の定義を定めていた。1789 年のフランス革命後制定された新しい尺度である A はそれを科学の手に移すことであるので、画期的なことなのである。

フランス革命の進行とほとんど同時期にドランブルとメシャン (いずれもランデの弟子) はパリを通る子午線 (ダンケルクからバルセロナ) の三角網測量と天文測量を行い、距離と緯度差の関係を得た。その測量値 (トアーズ) は、赤道から極まで (緯度差 90 度) の距離を 1 万 km とするという新しいメートル法の定義に直接使われた。それまでフランスで使われていた尺度はトアーズであり、カナダや合衆国ロシアなどでも使われていた。

フランスでは 1799 年 12 月 10 日の法令で、1 m を 443.296 ligne とすることを明文化した。メートル法以前のフランスの尺度では、ligne の 12 倍が 1 pouce, 12 pouce が 1 pied du roi, 6 pied が 1 toise (トアーズ, 864 リーニュ) であ

る。したがって 1 トアーズ = 1.9490 m という換算はこの時点でフランスの法令に基づく定義となった。日本では 1885 年条約に加入し、そのとき以前に使われていた尺を逆に 10/33 m と定義して併用することにした。

2) 尺度の比較

大谷 (1917, p. 275) によれば、高橋至時は『ランデ暦書管見』に「1 竿は我六尺四寸二分許にあたる」と記しているという。早稲田大学図書館蔵沿海地図 (中図) の余白に書き込まれている、日官吉田賢太郎 (源 秀賢) 文化元年 (1804 年) 8 月の日付の記事でも「1 竿ノ長サ本邦ノ曲尺六尺四寸二分ニ当ル」とある。引用が明記されていないが、高橋至時と伊能が得た値であることに間違いはない。

高橋の死後、この『ランデ暦書管見』に漏れた部分の翻訳と補稿がなされ、文政 9 年 (1826 年) 『新巧暦書』にまとめられた。佐久間達夫は私家本『伊能忠敬』(平成 17 年 1 月 1 日発行、発行所が自宅とある。p. 50) において、『ランデ暦書』第 3688 章に地球の大きさの記載があり、「東西 3281012 トアーズ、南北 3262688 トアーズ、地上最大 1 度の長さは、57264.5 トアーズ、最小 56944.7 トアーズであり、緯度の高低によって里数も違ってくる」と記述している。

ここに出ているトアーズの数値を前出の法定換算率で計算すると、東西 (半径) 6394.69 km (現在の GRS80 楕円体では約 6378.14 km)、南北 (半径) 6358.98 km (同約 6356.75 km) となる。(a - b/a) と定義される扁平率は 1/179.05 (同 1/298.26) である。緯度差 1 度は 111.61 km (同約 111.694 km, 極付近) ~ 110.99 km (同約 110.574 km, 赤道付近) となる。

カッシーニ三世 (観測で木星の衛星掩蔽の表をつくったジョヴァンニの孫) はカッシーニ図法 (横軸正距円筒図法) を考え出したフランスの地理学者である。彼は 1740 年にフランス国内基準子午線を測量し、伊能のように地図もつくっている (オールダー, 2006, p. 40)。このようにフランスではメートル法制定に先立って子午線測量の伝統と地図作成の実績があり、緯度と距離 (トア

ズ)の測量結果が『ラランデ暦書』(原著は1771年発行、第2版のオランダ語訳は1780年頃)にとり入れられたのである。メートル法制定に直接かかわった弟子のドランプルらの測量成果は『ラランデ暦書』の第3版にとり入れられているという。ただしこれは高橋至時がみたオランダ語訳より後のことである。

伊能の第2次測量は三厩(41.1976N)から江戸(35.6750N)にわたっている。この距離はトアーズではいくらか、『ラランデ暦書』の楕円体を使って高橋至時が区分積分の和を計算したとは考えられない。地球が楕円体であるために生ずる緯度の高低による緯度差1度の値の変化は、後述するように、伊能の測量精度では実測できないことは、師弟とも知っていたはずである。そこで、地球が楕円体であることを知りながら、師弟は実務的には球体として扱うことにしたのである(理由は後述)。

「1竿は我六尺四寸二分許にあたる」という高橋至時の記述はもちろん竿(トアーズ)と曲金の原器をつきあわせて得た値ではない。もちろん換算がフランスで法定された(1799年)ことも知らないであろう。しかし、それに先だってフランスで行われていた子午線測量のデータ(トアーズ)は『ラランデ暦書』で知っていた。同じ対象を異なる尺度で測れば、尺度の換算は可能となる。

地球を球体として、緯度差1度=28.2里とする伊能の度法をつきあわせた計算結果が、高橋至時の「1竿は我六尺四寸二分許にあたる」という記述となった。この記述には緯度が付記されていないことから、地球を楕円体とみなしていないことがわかる。しかし知識としては知っているもので、「許」(ばかり)という表現になっている。

この換算によれば、曲尺1尺は0.30358 mとなり、これは大谷(1917, p. 274)が農商務省当局に測定してもらったという享保尺(15°Cで0.30365 m, 0°Cで0.30357 m)に近い値である。

メートル法制定の動きとほとんど同時期に行われた伊能の測量については、あたかも尺の原器が存在したかの想定のもとで、B「緯度差1度=28.2里」の精度の高さが大谷(1917)や保柳

(1974)以来広く喧伝されてきた。しかし伊能は地球の大きさを測ろうとして、測量を重ねて、次第に正確なBの値を得たのではない。後述するように、第1次測量行の成果を地図化するとき(寛政12年、1800年)は、緯度差1度を27里余としたが、その後は、没後の1821年に完成した最終版の伊能図作成でも、一貫して28.2里であり、この値を変えることはなかった。いくら正確な値に近づくからといって、この値を次々に変えることはできない。繰り返しになるが、この値は単なる測定値ではなくなっていた。

「緯度差1度の距離を測る」と「地図をつくる」という作業は同時には実施できない。すなわち伊能によるB「緯度差1度=28.2里」は、星測点で導線の南北位置を補正するとき、また地図をつくるときに縮尺として必要とされる定義値である。この定義は1804年以降には幕府天文方公認であり、メートル法制定の例にならえば、この定義に基づく原器が幕府によってつくられるべきであった。江戸幕府が尺の原器をつくり、どのように管理したかは明らかでない。しかし為政者として(前例・後例から)市中の尺の流通を放任していたはずはない。伊能が使った尺は精度からみて、許容範囲内のものであった。したがってその長さを厳密に考証することにそれほど意義はない。

一般に長さ(length, longueur)と距離(distance)は同じ次元の同じ量であるが、後者は大きい長さに用いられることが多い。したがって測定する方法や器具は異なる。両者の単位の換算を算術的に行うことはもちろん可能である。

3) 研究の目的

この論説の目的は大谷(1917, p. 447-456)、保柳(1974, p. 113-120)、金窪(1998, p. 135-163)などによってとりあげられてきた度法(緯度差1度=28.2里)に関する議論を整理し、この度法でつくられた中図の精度を星測点の位置から検討することである。

伊能忠敬は第2次測量行の星測によって、以後の測量・地図化の基本的な定義値である「緯度差1度=28.2里」を個人的には確定させた。これに対して疑問を呈する師高橋の助言も受け入れ、

第3次では慎重に測量したと伝えられている。しかし測量値として得られた値で定義値を見直す(変える)ことはなかった。この定義値は第4次(1803年、東海・北陸)でも使われ、師高橋至時(1804年正月5日死去)にも認められ(つまり幕府からも公認され)、1804年につくられた中図はすべて、この定義でつくられている。

伊能の測量法は導(道)線法と呼ばれている。海岸線や街道について、短い間隔で(多くは60間以下)、方位と距離を次々に測って、つなぎあわせて測線を延ばす方法である。しかしこのような細部測量を積み重ねて日本全図をつくったのではない。暦学・天文学を専門とする高橋至時の弟子である伊能は天文測量(星測)で地図をつくろうとしたのであり、導線測量は星測点間の細部測量に相当するという位置づけであろう(野上, 2019a, b)。第1次測量では導線の距離測量は歩測によっている。天文測量(この場合は緯度観測のみ)はその点で観測が行われることが要点であり、その点に至る導線測量とは独立だという特徴がある。

II. 使用データ

伊能の緯度観測の精度は場所ごとの文字記録(北極出地度または緯度)と、観測点の地理院地図(旧称電子国土WEB)の緯度の差によって検証できる。「小図」「中図」の付表や『大日本沿海実測録』(以後『実測録』)には地名が記述されているだけであるが、一部の「大図」や「中図」には星測点が星印で記入されている。これによって導線との位置関係で星測点の位置(緯度経度)を地理院地図上で推定できる。文字記録につきものの誤写などについての資料批判は厳密には行わなかったが、地図との対比が可能であるため、史書の史料批判とは別の観点からの考察が可能であった。

伊能図そのものについては、齋藤 仁・渡辺一郎(東京地学協会, 1998, p. 55-78)と渡辺一郎(東京地学協会, 1998, p. 202-219の資料一)に詳しく述べられている。ここでは伊能図の余白に書き込まれた付表や最終版伊能図につけられた『実

測録』などの文字記録にも注目し、デジタル化された地図について述べる。

1) 伊能忠敬記念館蔵「寛政12年測量小図」および付表

この地図(以後K小図)は伊能の最初の小図である。地図の余白に北極出地度(緯度)の付表が書き込まれており、本州28, 蝦夷地34の星測値が載せられている。この付表は保柳(1974, p. 131)が引用している。

伊能は寛政12年(1800年)10月21日に江戸に帰着しているから、K小図はわずか2か月ほどの間につくられたものである。『伊能忠敬測量日記』(以後『測量日記』)1800年の末尾に挿入されている、高橋至時より堀田摂津守への差出状に、「蝦夷絵図の添書」として「十一月初より一漸十二月二十日頃迄に出来上がり」と伊能は書いている。この地図および付表は1800年の測量成果だけでつくられているという点で貴重である。

記念館が公表している電子版には地図に添えられてメートル尺が写し込まれている。スキャン密度や地図上の緯線間隔などから地図の縮尺を知ることできるが、いずれにせよ地図上の計測は紙の伸縮もあり、間接的である。

2) 徳島大学図書館蔵「沿海地図」および付表

上中下3枚揃いの中図(以後T中図)である。公開者の註記に「桐箱の裏蓋に文化元甲子歳伊能勘解由造之」とあると記されている。甲子歳は1804年である。この研究では徳島大学図書館の許可を得て、WEB公開電子版の原ファイルを使用できた。徳島大学から提供を受けたT中図の諸元についてまとめておく。画像フォーマットはpsb(フォトショップ:ビッグドキュメント形式)である。

「上」関東中部: 28343 px × 21370 px

「中」東北: 38548 px × 44358 px

T中図「下」蝦夷地には北極出地の値の付表がある。蝦夷地の測量は1800年に行われただけであるので、T中図「下」および付表の蝦夷地星測点のデータには、新しくつけ加えられたものはない。一方奥州街道は第1次復路のほか、第2次の復路に測量が行われており、白河以南について

は第3次にも測量されている。したがって、T中図付表の星測値はこれら3回のデータが取捨選択されているとみるべきである。取捨選択の様子によって、伊能が過去の自分の測量成果をどのように評価しているかがわかる。

T中図には完全には消されずに残っている作業線が認められる。後出のW中図と比較することで、伊能の地図の作成手法を追求する手がかりが得られる。このT中図には複写に使われた針穴と星測点を示す星印が記入されている。

T中図「下」の余白には付表のほかに「沿海地図凡例」が載せられている。ただしこの凡例は、次のW中図の付表と比べると、抄録となっている。伊能は1803年に第4次（尾張・越前以東）測量行を行っており、文化元年（1804年）は測量旅行がなかった年である。

3) 早稲田大学蔵「沿海地図」および付表

尾張・越前を西南限とし、蝦夷地東南海沿岸までを範囲とする中図である（以後W中図）。この中図の範囲も制作年もT中図と同じである。地図としての完成度はT中図より高い。地図の範囲からもわかるように第4次測量行（1803年10月7日江戸に帰着）までの成果が地図化されている。導線は丸みを帯びており、他の中図からのコピーである。

W中図は42枚に分割されて、公開されている。350 dpiでスキャンされたこの中図の各分割図は非常に美麗で星測点や方位線（値つき）も鮮明である。メートル尺が写し込まれているが、分割されているので計測に使いにくい。

高橋至時の死（1804年1月5日）後、嗣子高橋景保を通じて、同年8月に上呈した中図（のコピー）であることが、地図余白の囲み記事でわかる。また文化元年甲子八月伊能勘解由謹図とある草書体の「沿海地図凡例」が囲み記事となっている。ここには「一度里数之事」という見出しで、3項目にわたり、緯度経度の里数について述べられているが、これは保柳（1974, p. 316-319）に活字体で採録されている。

また付表に辛酉年（1801年）測量とある「北極出度」が行程順に記述されている。この年の

行程は、伊豆半島一周と、江戸（6月19日）から房総半島を回り、三陸海岸経由で野辺地まで、そこから奥州街道を経て江戸帰着（12月7日）、である。

4) 「NISSHA 株式会社蔵中図」（通称フランス中図）

全8枚揃いの中図（以後F中図）で、このうち北海道西部/東部、東北、関東を利用した。フランスのイヴ・ペイレ氏旧蔵のもので（株）日本写真印刷（NISSHAと改称）株式会社が購入所有し、同社から学術用に貸し出を受けた。このF中図には星測点を示す星印が記入されている。このF中図は文政四年（1821年）完成のもので、北海道についてはK小図やW中図・T中図と違って全域が地図化されている。つまり間宮林蔵などのデータがつけ加えられていることがわかる。1821年完成の最終版中図であろう。付表や凡例はないが、後述の『輿地実測録』がそれに当たる。

5) アメリカ議会図書館蔵大図

略して「A大図」と呼ぶことにする。これは明治になってから陸軍が伊能大図を模写したものがアメリカに渡っていたものである。アメリカ議会図書館が公開しているjp2ファイルをbmpに変換して使った。北海道のA大図には伊能忠敬の測量データでつくられたものと、それ以外のデータ（間宮林蔵などの測量）でつくられたものがある。

A大図には星印が印されている。これが星測点の位置を示すもっとも詳しい地図データである。その大図上の星測点の座標は表3（後述）に示している。中図や地理院地図の相当点はこの大図のデータで推定している。

6) 『輿地実測録』『大日本沿海実測録』

この文字データ集は1821年上呈の伊能図の付表という位置づけである。地図の正本は失われたが、『輿地実測録』は国立公文書館に保管されている（渡辺・鈴木, 2010, p. 120）。国立国会図書館にもまったく同じものがあり、「明治三年庚午八月大学南校」とある『大日本沿海実測録』（『輿地実測録』）である（以後『実測録』）。伊能による天文測量成果の集大成であり、全部で1220余

の星測データ（恒星の子午線通過高度による緯度値）が数えられる。F 中図の星印とほぼ完全に対応している。文字記録の『実測録』だけでは星測点がどこか比定できないが、中図を通じて星印を探し、さらに大図を読むと、その位置（緯度経度）を地理院地図上で得ることができる（野上, 2019a, b）。

7) 国文学研究史料館蔵『日本経緯度実測』

国文学研究史料館の管理タグに、所蔵者 高知県立図書館（山内文庫）とある。表紙に制図基原とあり、「日本経緯度実測」「伊能勘解由識」とあり、国ごとの北極出地の抜粋データが並んでいる。13 枚目に京都を 0 度 0 分 0 秒とする東西里差（計算値）が並んでいる。この数値表記法は伊能のものではない。しかし 20 枚目に収録されている「東都以北蝦夷地北極出地度方位里測量」の項については、データの出典を寛政 12 年庚申（1800 年）12 月 伊能勘解由謹図としている。この論説ではこの値を参照した。そのほか、佐渡「自輿地実測録浦入」（浦は補）という項などもあり、『日本経緯度実測』は『輿地実測録』を引用している。

最後の項に「地勢提要跋」とあり、文政 7 年甲申（1824 年）「夏月觀巢橋景保識」とある。つまり最終版の伊能図が完成した 1821 年の 3 年後に高橋景保が『実測録』などを抄録したものである。また独自データである東西里差は中図に引かれた緯度経度線から、図上読みとりで経度を計算したものであろう。このような経度の読みとりはその後も行われることがあるが、地図の実体が経度によってつくられていないので、ほとんど無意味である。ただしこのことは数値的には確認すべきこととなっている。

8) 早稲田大学蔵『日本経緯度実測』

基本的には国文学研究史料館蔵『日本経緯度実測』と同じで、内容はさらに抜粋されて少なくなっている。このうち第 1 次測量行のデータである「東都以北蝦夷地北極出地度方位里測量」は 7) 節にも同じものがある。『日本経緯度実測』と K 小図の附表で共通する 19 測点についてはその記述値は一致している。

地名が同一であっても星測が行われた泊宿が同じとはいえないが、K 小図附表の記述値は『実測録』・T 中図附表・W 中図附表のグループの記述値とかなり異なる。盛岡では泊宿が本町と石町、福島でも中町と本町、宇都宮でも単に宇都宮と宇都宮池上町とそれぞれ別の場所であることが記述と『測量日記』によってわかっている。

9) 伊能忠敬『測量日記』

佐久間（1998）『伊能忠敬測量日記』（ほとんど同内容の伊能忠敬 e 史料館 DVD 版がある）を使用した。星測が行われれば、『測量日記』には必ずといってよいほど、「（夜）測量」とか「星測」などと記事に残されている。星測は夜間に行われるので、止宿に関する記事があれば星測点の位置の比定の助けとなる。ただし当時の村地図や街道宿場図などがないと、泊宿名から星測点を探すことはできない。

III. 文字記述データ（緯度）の点検と電子化地図の前処理

1) 文字記述データ（緯度）の比較と校訂

第 1 次測量行については『測量日記』に泊宿の記事がない。星測点の位置（緯度経度）を推定する根拠となる大図（A 大図）に第 1 次第 2 次測量の星測点が欠落していることがあり、位置比定に際して縮尺が小さい F 中図に頼らざるを得ない箇所もあった。

表 1 に江戸から野辺地までの星測点の記録を抽出し比較している。対象は南校『実測録』、早稲田大学図書館蔵中図（W 中図）附表、徳島大学図書館蔵中図（T 中図）附表、伊能忠敬記念館蔵小図（K 小図）附表、国文学研究史料館蔵『日本経緯実測』の「東都以北」の項と国別の項、である。

W 中図附表と T 中図附表は、地名の表記に差があるところ（宇都宮）と 1 例外（吉岡）を除いて同一の値を載せている。W 中図附表では、吉岡を三八度一七分としているが、T 中図附表と『実測録』では「二七分」としており、「一七分」は原データからの誤写と判断して「二七分」に校訂した。

表 1 奥州街道星測値の比較.

Table 1 Astronomically determined latitudes of points along Oushu Road described in various data sources.

No	資料名	南校『実測録』	W 中国付表	T 中国付表	K 小図付表	『日本経緯度実測』	
	測定点	1821 年	1804 年	1804 年	1800 年	東都以北の項	国別の項
1	野辺地	四十度五二分半	四十度五二分半	四十度五二分半	四十度五三分半	四十度五三分半	
2	七戸	四十度四二分半	四十度四二分半	四十度四二分半	四十度四二分半	四十度四二分半	
3	五戸				四十度三三分	四十度三三分	
4	三戸	四十度二三分半	四十度二三分半	四十度二三分半	四十度二四分	四十度二四分	
5	一戸	四十度一三分半	四十度一三分半	四十度一三分半	四十度一三分半	四十度一三分半	
6	沼宮内	三九度五九分半	三九度五九分半	三九度五九分半	四十度 半分	四十度〇〇分半	
7	盛岡本町				三九度四三分半	三九度四五分半	
8	盛岡こく町	三九度四三分	三九度四三分	三九度四三分			三九度四三分
9	花巻	三九度二四分半	三九度二四分半	三九度二四分半	三九度二五分	三九度二五分	
10	水澤	三九度 九分	三九度 九分	三九度 九分	三九度一二分	三九度一二分	
11	一関	三八度五五分半	三八度五五分半	三八度五五分半	三八度五九分	三八度五九分	三八度五五分半
12	月館	三八度四三分半	三八度四三分半	三八度四三分半	三八度四六分	三八度四六分	
13	吉岡	三八度二七分	三八度一七分	三八度二七分	三八度二八分	三八度二八分	
14	仙台国分町	三八度一六分	三八度一六分	三八度一六分	三八度一六分	三八度一六分	三八度一六分
15	舟廻				三八度 三分半	三八度 三分半	
16	大河原宿	三八度 三分半	三八度 三分半	三八度 三分半			
17	越河宿	三七度五五分	三七度五五分	三七度五五分	三七度五五分	三七度五五分	
18	福島中町				三七度四七分	三七度四七分	
19	福島本町	三七度四五分	三七度四五分	三七度四五分			三七度四五分半
20	二本松本町				三七度三八分	三七度三八分	
21	本宮宿	三七度三十分半	三七度三十分	三七度三十分			
22	須賀川				三七度一八分	三七度一八分	
23	白川本町	三七度 七分	三七度 七分	三七度 七分	三七度 七分	三七度 七分	
24	白坂宿	三七度 四分					三七度 四分
25	越堀宿	三六度五六分半			三六度五八分	三六度五八分	
26	佐久山宿	三六度四八分半					
27	喜連川	三六度四三分	三六度四三分	三六度四三分	三六度四五分	三六度四五分	三六度四三分
28	宇都宮			三六度三三分半		三六度三六分	
29	宇都宮池上町	三六度三三分半	三六度三三分半		三六度三六分		三六度三三分半
30	雀宿	三六度三十分	三六度三十分	三六度三十分			
31	間々田	三六度一六分			三六度二十分	三六度二十分	
32	栗橋宿	三六度 八分半					
33	幸手	三六度 四分	三六度 四分	三六度 四分	三六度 七分半	三六度 七分半	
34	粕壁宿	三五度五九分					
35	草加	三五度五十分	三五度五十分	三五度五十分			
36	深川黒江町						

これら中国の付表の値と『実測録』の値との比較では、共通するする測点のうち 1 例外（本宮宿）を除き、同じ値である。一般論として、筆写の場合の誤写では文字脱落の場合が多く、付加は

少ない。しかし本宮宿については『実測録』だけが「三七度三十分半」とし、「半」が余計についている。これ以上の検討は行わなかったが、「半」がある方が地理院地図の位置（緯度）に（0.5 分、

0.0083 度) だけ近づく。『実測録』が上呈本であることを考慮(尊重)して、W 中図付表・T 中図付表の方を「半」文字の脱落とみなしたい。

『日本経緯実測』では国別の項で、『実測録』のコピーであるはずなのに、福島本町の値を「三七度四五分半」と「半」をつけ加えている。W 中図付表・T 中図付表では「半」はついていない。「半」をつけても地理院地図との差は正負が変わるだけで値は同じである。この「半」の付加を誤写と判定した。

1800 年の K 小図付表の値は『日本経緯実測』「東都以北」の項の値とまったく一致している。しかしその値は前述の 1804 年の W・T 中図付表と 1821 年の『実測録』の値とかなり異なっている。つまり K 小図付表の値は最終版の『実測録』に採録されなかっただけでなく、1804 年の時点ですでに伊能自身によって無視されているということである。

K 小図付表の 24 測点のうち『実測録』より大きな値を記録している点が 15 もある。差の値をみると(測定点数)、四分(1)、三分半(2)、三分(1)、二分半(3)、二分(1)、一分半(1)、一分(3)、0.5 分(3)、一致(6)、対応測点なし(3)となっている。また K 小図付表の測点の緯度を地理院地図と対応させると 20 測点について差の平均値は 1.7 分、標準偏差は 1.3 分である。このことから判断すると、伊能が 1800 年に用いた象限儀には 1.7 分程度の系統的誤差(おそらく器差)があったと判断される。

このことは第 2 次(1801 年)の再測によって、伊能自身も気がついていたに違はなく、距離の測量も歩測であったことからみて、第 1 次測量行の成果はすべて無視することになったのだと思われる。以上のことから、「緯度差 1 度 28.2 里」の問題を考察するとき、第 1 次の測量成果は無視してよいことになる。

2) 伊能忠敬記念館蔵「寛政 12 年測量小図」の検討

記念館が公表しているこの小図の電子版の解像度は低く、それなりに以下の解析の精度は不十分である。この小図には、N36～N44 度の 9 本の

緯線が引かれている。6 本の経線も引かれているがそれは無意味なので無視する(後述)。それ以外に緯線と直交する南北線が 4 本認められる(表 2)。西から南北線 1～4 とする。南北線 1 の西側の南北線は江戸深川黒江町(推定)を通っている。伊能中図が 1804 年頃まで使っていた本初子午線である(伊能の子午線については前述)。この線は南北線 1 より、9 点の平均として 63 px ほど西に離れている。

本初子午線と 4 本の南北線(合計 5 本)と 9 本の緯線の交点の xy 座標を計測して表 2 とした。この座標値には筆者の読みとり誤差と伊能図の製図誤差・紙の伸縮誤差が重合している。緯線の傾きは y 座標値によって、南北線の傾きは x 座標値によって知ることができる。この小図については地図を正置しなければならないような計測は行わないが、大まかに見て、南北線および緯線は地図画像の軸と平行している(正置されている)としてよいであろう。

9 本の緯線の間隔は、5 本の南北線の交点で測てみると、40 個の値の平均は 252、つまり緯線間隔は 252 px である。記念館が公表しているこの小図にはムラテック KDS 社の ROD が写し込まれており、10 回の測定で、1.000 m が 1036 px であった。したがって緯度差 1 度は図上 0.2432 m となる。この値では、この小図の縮尺は約 1/456871 となる。当然のことながらこんな定義の縮尺の地図がつくられたはずはなく、小図は 1/432000 で製図されているので、緯度差 1 度は 105.05 km となる。これは「緯度差 1 度 = 28.2 里」から計算すると、26.66 里となる。大谷(1917, p. 448)は伊能が寛政 12 年(1800 年)測量ではじめて得た値が子午線 1 度「貳拾七里余許」であるとしているが、その値に近い。

緯線と直角に交わる 4 本の南北線の間隔は、9 本の緯線との交点 30 個で測ることができる。30 個の値の平均は 273 px で、これは図上では 0.2635 m である。この南北線の間隔は区切りのよい値(緯線間隔)ではない。製図の時に南北の方向(緯線と直交)を示すために引いた白線のようなものにすぎないと考えている。このような南

表 2 寛政 12 年測量伊能小図の東西・南北線。

Table2 DistancesbetweenlatitudelinesonInoh's1:432000-scalemap.

緯線	本初子午線		南北線 1		南北線 2		南北線 3		南北線 4		緯線間隔
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
44	587	333	650	332	922	335	1195	334	1468	337	252.20
		253		253		253		253		249	
43	590	586	649	585	920	588	1194	587	1466	586	248.20
		245		248		249		249		250	
42	591	831	647	833	920	837	1193	836	1465	836	250.80
		253		252		248		250		251	
41	589	1084	645	1085	920	1085	1193	1086	1466	1087	253.60
		255		254		253		253		253	
40	588	1339	645	1339	919	1338	1191	1339	1465	1340	250.80
		250		251		252		250		251	
39	585	1589	646	1590	917	1590	1191	1589	1465	1591	253.00
		253		253		252		254		253	
38	585	1842	647	1843	917	1842	1190	1843	1463	1844	253.60
		253		252		254		254		255	
37	584	2095	643	2095	916	2096	1188	2097	1463	2099	254.20
		254		254		255		254		254	
36	582	2349	643	2349	917	2351	1188	2351	1462	2353	252.05
平均		63.0		272.0		273.0		273.0			

北線が存在することは、大谷（1917, p. 468）によって指摘されている。

この小図には前述 4 本の南北線のほかに、本初子午線と、緯線とは直交せず北に収斂するような 6 本の朱色の南北線が描かれている。これは「サンソン及フラムステッド法」（大谷, 1917, p. 475）で間隔が計算された子午線であろう。この小図はいうまでもなくこの投影法でつくられたものではない。

公開されているこの小図の電子版で見ると、導線に針穴はないようであり（記念館石井氏からも確認を受けた）、導線は丸みを帯びている。しかし南北線 1～4 や緯線には針穴がところどころにあるようである。伊能図のような手書き地図の場合、地図の要素（導線、経緯線、文字、彩色された背景など）の重なり具合や忌避具合が問題とされる。この小図は多分模写図であろうが、地図の模写の順序がある程度読みとれる。

9 本の緯線と 7 本の子午線はその他の地図要素（導線・文字・背景）の描画が終わったあとに、

朱色で重ね書きされている。しかし付表の枠内は避けている。南北線 1～4 は地図要素より先に描かれていた墨線らしく、背景の描画で薄くなり不鮮明なところがある。しかし海域などで、なぜか重ね書きされて朱色の緯経線より明瞭な部分もある。いずれにせよ電子版しか見ていないので、確定的なことはいえない。原図であれば、地図要素の描画順序から地図の作成手順が推定できる。現存する伊能図は針穴ありとなしに二分されるが（渡辺・鈴木, 2010, p. 128-141 の表の備考欄）、針穴については模写したときのものと、模写されたときのものがあり、裏打ち紙を貫通しているかどうかで判断できるとされている。伊能図研究家のさらなる観察結果を待ちたい。

3) 徳島大学蔵電子版伊能中図の正置

電子版伊能図の場合、スキャンされて得られた画像の座標軸が地図本来のそれと一致している保証はない。例えば、T 中図「上」（関東・中部）の場合、深川黒江町を通る南北線（伊能の本初子午線、ただし磁北）の下端における地図画

像の座標値(x, y)は(22157, 20500), 上端では(21716, 1178)である(5回読みとりの平均値)。「中」(東北)の場合は下端で(15531, 42614), 上端で(14853, 2411)となっている。下端と上端のx座標値を比較すると, 画像座標軸yと本初子午線が斜交していることがわかる。

T中図「上」の場合, 「本初子午線」を画像座標軸と一致させるためには, 元画像を時計回りに1.310度回転させる必要がある。しかしその回転を行うと, 緯度35度線と36度線は右下がりになってしまう。そこで回転角を1.290度とすると, 緯線が画像座標軸と平行になった。ここでは明らかに他の緯線と斜交している37度線は対象としていない。この緯線はT中図複製時の製図ミスである。他の中図には見られないようである。

T中図「中」には「上」で黒江町を通る子午線が延長してきている。この子午線は0.9645度西偏しているのでこれにあわせて画像を時計回りに回転させると, 41~38度の緯線はすべて右下がりになってしまう。「中」で一番西側の西1度の子午線は0.5233度西偏しているが, この角度にあわせた回転でも緯線は右下がりになってしまう。つまり, この「中」には緯線と直交する子午線はない。そこで, 41~38度の緯線が画像座標軸と平行になるような最適回転角度を探索した。結果として時計回り0.47度の回転で, 各緯線が画像座標軸と平行するようになった。

この回転では緯度線が画像軸と平行になるようにしたため, 深川黒江町を通る本初子午線(ゼロ度線)は「上」では回転前1.310度, 回転後は0.0171度, 「中」では回転前0.9670度, 回転後は0.4927度の傾きとなった。

以上のような処理は, 電子化地図だから必要となっただけではない。紙地図である伊能図でも地図を正置しようとすると同じ問題が生ずるはずである。伊能図には国土地理院の紙地図のような枠はないからである。普通は本初子午線を南北としようとするであろうが, そうすると今度は緯線が傾く。二者択一の問題である。本研究では結局, 伊能図を正置するとき, 緯線が画像のx軸と平行になるように画像を回転させる方がよいと判断し

た。これによって本初子午線は画像のy軸と斜交してしまうが, これはむしろ伊能図の性質にあっていると考えている。なお伊能図の子午線問題を論じるとき, これが真北(地理的極)ではなく磁北を基準としていることが理解の基礎でなければならない。これは伊能図上で点の座標を読みとるような作業をするとき問題となることである。

4) 徳島大学蔵電子版伊能中図に縮尺を挿入

伊能図には縮尺の定義はあるが, 作図の際に生じる誤差や紙の伸縮もあり, 伊能図の縮尺が定義通りである保証はない。さらに電子版地図にはピクセル座標値(x, y)はあるが, 縮尺という概念はない。しかし現実の距離(緯線間隔)が何ピクセルに相当するかという「縮尺」を設定することができる。

T中図「中」0.470度回転後の地図画像の場合, 各緯線のy座標値(西端, 中央部, 東端)はそれぞれ次のように計測された。

41度線: 8383, 8409, 8388

40度線: 18636, 18638, 18641

39度線: 28866, 28855, 28860

38度線: 39115, 39098, 39116

緯度差1度のピクセル数(9データ平均)は10239 pxである。

T中図「上」1.331度回転後の地図画像の場合, 各緯線のy座標値(西端, 中央部, 東端)はそれぞれ次のように計測された。

37度線: 5482, 5440, 5412

36度線: 11251, 11238, 11255

35度線: 17015, 17014, 17012

緯度差1度のピクセル数(3データ平均)は5766 pxである。なお, 有意に他の緯線と斜交している37度線は除外している。

5) W中図・T中図・F中図における導線・星測点描画の比較

W中図は針穴がなく, 目視で導線を描いている。そのため他の2つの中図では折れ線となっている導線が曲線となっている。星測点はほぼ導線上にあるが, 導線を描く前に星印が描かれている。その位置は不正確である。またA大図にはない地名が描かれている。地図は美しく仕上がっ

ているが、学術的価値は高くはない。一般に伊能中図は縮尺が異なるのに、大図のように導線を折れ線で表現する。これは現実の道路や海岸線と異なるので、中図と地理院地図だけで星測点の緯度を得るのは困難である。導線と星測点の関係が明らかな大図を介する必要がある。

T 中図は折れ線からなる導線の特徴を備えており、測点の針穴も明瞭である。大図と比較すると、測点を適当に「うろ」抜いて、導線を動かし単純化を行っている。したがって、中図の導線の屈折点には大図の測定点が保持されていることが多い。中図の星印の位置は個々の点についての検討では導線との位置関係を意識せず、その地名（泊宿のある集落）の範囲のどこかで星測が行われた、という程度の精度で捺印されていることがわかる。統計的な精度は後述する。

F 中図は T 中図と似た特徴を備えている。ただし測点の「うろ」抜きは同じではないので、導線の細部は一致しない。つまり F 中図と T 中図には、もともになるもっと高精度の導線を書き込むことができる座標の数値データが存在したことをうかがわせる。

すでに述べたように T 中図と F 中図の星印は導線や地名を避けて捺印されおり、星印の中心が星測点であることはあり得ない。A 大図と地理院地図の対応（読図の根拠）はもっと多くの事例で示すべきであるが、両方のデータとも簡単にディスプレイ上に表示できるので、紙面を費やす必要はない、と考える。その代わり表 2 には大図上の座標値と地理院地図の緯度経度を載せている。座標値あるいは緯度経度を表示させながら、マウスを動かせば、該当点を地図上で確認できる。

IV. 緯度差 1 度 = 28.2 里問題

緯度差 1 度の南北距離はいくらか。この問題は 大谷 (1917, p. 447-456) によって最初にとりあげられ、それに関して興味深い逸話が 大谷 によって残されている。1801 年測量の成果である緯度差 1 度 = 28.2 里という値に対して、師の高橋至時は伊能からその値の算出方法の説明を聞いても納得しなかったらしい (大谷, 1917, p. 451; 保柳,

1974, p. 120, 根拠は 1802 年 4 月 5 日の間 重富宛て手紙)。伊能は 6 月 11 日第 3 次羽越旅行に出発しているので、師を説得できないまま旅行に出発したと思われる。

高橋至時の疑問点はおそらく、星測点で導線の南北距離成分を補正しているのに（導線法だけでは地図はつukれない）、その距離を使って緯度差：距離を計算することは循環論であると考えたからではないだろうか。伊能の導線測量の手法や測量誤差の問題が至時の疑問点ではあるまい（確証はない）。

第 3 次羽越測量行（1802 年 10 月 23 日帰着）では師から提起された問題点に留意して測量を行ったのに、やはり至時は慎重な態度をとり続けたようである（I 章前述）。保柳 (1974, p. 121-123) は、「地球楕円形赤道日食法」（高橋至時, 1803 年）を引いて、至時は地球が完全な球体でないことを知っていたが、伊能の測量にそのことを求めなかった」としている。このことをことさら問題視することが、大谷 (1917, p. 447) 以来行われてきているが、伊能の測量方法では、そもそも地球を楕円体とみなさなければならないような測量精度には達していない。したがって、このことは伊能が師の同意を得られなかった理由ではない。

次にそれを試算してみよう。天文測量値について、国土地理院のユーティリティ (GRS80) で計算すると、子午線上の距離が 111.1111 km となるのは、以下のとおりである。

緯度 39.5N ~ 40.5006886N,

緯度差 1.0006886 度

緯度 38.5N ~ 39.5008603N,

緯度差 1.0008603 度

緯度 37.5N ~ 38.5010326N,

緯度差 1.0010326 度

緯度 35.5N ~ 36.5013706N,

緯度差 1.0013706 度

40 度付近と 36 度付近での緯度差の差は 0.000682 度 (0.04092 分) である。

一方伊能の星測値（緯度）は 0.5 分 (0.0083 度) で記述されている。これは鉛直線偏差（楕円

体面に立てた法線との差)を考慮すべき精度ではない。また真値(地理院地図)との差(筆者などの地点比定誤差も含めて)の標準偏差は後述(V章)のように、0.474分(奥州街道沿い36地点)、0.714分(大谷の55地点)、0.384分(全国20地点)である。伊能の緯度観測の精度は明らかに地球が楕円体であることを測量によって検出できるレベルではない。このことを師弟とも理解していたので、新知見であってもこの理由によって、楕円体説を無視したのであろう(確証はない)。つまり、誤差の検討もせずに、伊能が新知見を無視して地球を球体としていたことを問題視して、とりあげてきた大谷・保柳以来の通説は測定誤差の点から検討していないので間違っている。

ここでは時系列的にたどってみよう。高橋至時がラランデ暦書をはじめて見たのは1803年7月である(金窪, 1998, p. 137)。6か月間にわたり、この書の読解に熱中しすぎて体調を壊し、1804年正月五日に夭逝した。その書には地球の大きさを記述した章がある。多分その箇所を読んだのであろう、大谷(1917, p. 455)は至時が「偶享和3年1903年ラランド暦書を得て奥州に於ける最近の測数を知り其殆ど忠敬が得たるものと一致せるを見て始めて忠敬の技、神に入れるを確認」と述べている。

さらに澁川景佑(至時次男)の見聞録を以下のように引いて傍証としている(大谷, 1917, p. 455)。「予(忠敬)両三年を歴て漸一度の里数を測定して二十八里二分とす。然るに東岡先生(至時)是を信ぜずして未だ確数に非ずとす。(と忠敬は憤然とするが<中略>至時は和蘭暦書を読んで)其内に一度里数の事あり。先生自ら訳して彼邦尺と日本尺と比例して彼方測定の一度里数を以本邦一度数を推求するに果たして我邦は翁の測量の一度里と密合を得たり。爰に於て先生翁と共に悦ぶこと限りなしと云ふ」。しかし何の数値がどのように一致したのかは書いてない。これを楕円体に関することだとする説は上述したようにおそらく間違っている。

当時のフランスの単位トアーズと尺の関係については、同じ対象物(緯度差1度)を(原器を

突きあわせていない)2つの単位の異なる物差しで測っただけでは、測定値の換算(単位の換算)はできるが、精度の比較はできない。したがってここでいう「密合」とは何であったかを改めて考える必要がある。

高橋至時を師として天文学・暦学を学んだ伊能忠敬は地図作成のために、可能であれば毎夜のように星測(恒星の子午線通過高度の観測)を行った。対象とした恒星の数は悪条件のとき3~4、条件がよければ30にも達している。使用した象限儀は木製のもので、真鍮製の目盛版が貼りつけてある。目盛間隔は1分(0.0167度)であるが、同心円の2つの目盛を使い、それをつなぐ対角線を用いることで、目測で0.1分まで読みとることができた(以上は大谷, 1917, p. 351-387)。

測量結果は伊能小図・中図の余白に書き込まれた付表や『実測録』などに文字として残されているが、最小単位は「分半」(0.5分間隔)である。すなわち伊能は3~30程度の測定値の平均値がありながら、0.5分単位で記録として残しているといえる。器差や測定誤差を配慮した措置であると思われる。

子午線通過には上方と下方の2回があり、中点が天の北極点である。この方法では大気差を軽減できる。しかし、12時間を隔てての同一星の2回の観測は測量旅行中では無理なことである。伊能は江戸深川黒江町の自宅(139.7942E, 35.6745N)で、各恒星の子午線通過高度の観測値(もちろん精度のよい平均値)をもっていたので、それとの差で緯度を計算できたのである。当時中国で観測された恒星の赤緯値もあったが、それには満足していなかったらしい(大谷, 1917, p. 374, 534)。

V. 星測(緯度)測定値の精度と地図上の位置精度

大谷(1917)は伊能の星測についての機器(象限儀, p. 351-369)と測定方法(p. 369-387)、精度(p. 520-543)について詳細な検討を行っている。

緯度差1度=28.2里でつくられた実際の地図

を検証する場合、最初に必要なのは、文字として記録されている星測（緯度）値の観測精度の検討であろう。星測点を地理院地図上に比定し、その緯度を読みとり、差をとることで比較できる

最初に奥州街道のデータ（表 3）に則して述べる。『実測録』にある星測点を大図の星印で確認し、xy 座標を求める。次にその点に相当する T 中図、F 中図での座標を求めた。そして地理院地図に大図星印の相当点を探して緯度経度を読みとった。表 3 の 36 点について、『実測録』記載値と地理院地図の緯度値の差を求めた。平均値は 0.0013 度、標準偏差は 0.0079 度（0.474 分）である。

対象を全国に広げて星測値の精度を統計してみた。データは大谷（1917, p. 539-543）にある『沿海実測録』の 55 個の緯度値データである。対比される新しい緯度値の測定者は、当時の水路部、測地委員会、地理局測量課などである。55 もデータがあるのに大谷は「新旧測点は多少其位置を異にするが故に」と述べて定性的な特徴を述べるだけで、統計的記述をしていない。そこで計算してみると、誤差値の平均は 0.0026 度、標準偏差は 0.0119 度（0.714 分）である。確かに表 3 の値よりバラツキが大きい。

次に、大谷（1917, p. 439）が「是等一千有余の地点中忠敬が度法決定上、或は量地誤差補正上、若くは其他の理由により特に枢要なりと認め数夜にわたりて観測を反復しもっとも正確なる結果を収めんことを期したる諸点」として列挙している 20 点について検討した（表 4）。表 4 の地点名（大谷, 1917, p. 439）は『実測録』の記述より詳しい。地理院地図に表示はされなくても、そのまま現在まで残っている小さな地名もある。なお記述値は『日本経緯度実測』とも照合した。測点 No 16「高知種崎町」については、大図 No 159 でみると種崎半島に星測点がない。そこで「種崎町」を消去して高知市内の星測点とした。No 9 は大図 No 135 に星印がないが、富田屋橋（址）の「間長涯天文観測の地」の石碑の位置を読みとった。長涯は高橋至時の盟友であった間重富（1816 年没、61 才）の号である。

これら 20 点の星測値と地理院地図の緯度の差の値は、平均値 0.0017 度、標準偏差 0.0064 度（0.384 分）であった（表 4）。差の平均値は十分に小さい。偶然誤差の発生源は伊能の測量誤差と筆者の測定点位置同定誤差である。

以上の検討を通じていえることは、差の値の標準偏差はおおむね 0.5 分（0.926 km）以下であるが、0.1 分（0.185 km）以下になることはない。これを伊能の星測の精度とみてよいであろう。

1) 測量・地図化のための「緯度差 1 度＝28.2 里」

大谷（1917, p. 280）は伊能家に遺存する 2 本の圭尺に注目し、温度変化も考慮して、顕微鏡下の観察で対角副尺目盛の間隔まで言及している。そして推定差違（用語はママ）は 1/3000 程度としている。同じくこの問題を考証した保柳（1974, p. 117-128）は伊能が間縄を作成するのに用いた尺はメートル法導入時の政府の定義とはほぼ同じで、この尺による緯度差 1 度 28.2 里は 110.75 km に相当する、と結論している。大谷も保柳も、伊能の測量のいわば伊能の測量の原器を探していたことになる。

しかしこれらのロジックは立論に無理がある。例えば、伊能は尺の原器をもっていたとしよう。この原器を使って 60 間（約 110 m）の長さの間縄を作成したとする。ついでこの間縄を使って野外でその程度の長さの距離を測定したとする。しかしながら距離の記録は半間（0.9 m 程度）が最詳である。奥州街道のように南北に伸びる導線では、このようなスパンの測量をおおよそ 1000 回ほどすると、緯度差 1 度の南北距離となる。このようにいくら精密な原器に基づいていても、短から長へ拡大していくような導線測量法では、計算上と違って、5 桁の有効数字をもつ測量値が得られるはずはない。

第 2 次の測量行（1801 年 12 月 7 日帰着）の成果を地図化するに際して、当時の尺度に近い値であれば好ましいが、伊能はとにかく定義値が欲しかったのである。また、この定義（縮尺）がないと「中図」や「小図」はつukれないのである。中図の場合 1 里が 6 分に相当するから、28.2 里

表 3 奥州街道星測点の座標値.

Table 3 Evaluation of accuracy of astronomically determined latitudes of points along Ohshu Road.

測定点		A 大図上の位置			『実測録』		地理院地図		差 (度)	T 中図上座標値		F 中図上座標値	
		No	x	y	記述値	度換算	緯度	経度		x	y	x	y
1	野辺地	40	1882	6953	四十度五二分半	40.8750	40.8665	141.1273	0.0085	26154	9696	18675	7908
2	七戸	44	762	1325	四十度四二分半	40.7083	40.6974	141.1534	0.0109	26366	11342	18810	9173
5	一戸	49	4701	2300	四十度一三分半	40.2250	40.2187	141.3003	0.0063	27468	16303	19637	13013
6	沼宮内	49	3978	5750	三九度五九分半	39.9917	39.9752	141.2262	0.0165	26902	18736	19234	14757
8	盛岡石町	50	3920	1543	三九度四三分	39.7167	39.7005	141.1554	0.0162	26331	21545	18849	16897
9	花巻	50	3122	6295	三九度二四分半	39.4083	39.3967	141.1163	0.0116	25736	24586	18315	19187
10	水澤	51	4732	1871	三九度 九分	39.1500	39.1433	141.1424	0.0067	25850	27377	18442	21279
11	一関	51	4750	5335	三八度五五分半	38.9250	38.9287	141.1364	-0.0037	25854	29628	18428	23023
12	月館	51	3527	8377	三八度四三分半	38.7250	38.7331	141.0188	-0.0081	25089	31575	17817	24494
13	吉岡	52	1794	3562	三八度二七分	38.4500	38.4451	140.8853	0.0049	24208	34460	17126	26662
14	仙台国分町	52	1508	6269	三八度一六分	38.2667	38.2603	140.8706	0.0064	24071	36174	17021	28022
16	大河原宿	53	2291	3266	三八度 三分半	38.0583	38.0501	140.7356	0.0082	22934	38496	16158	29659
17	越河宿	53	2291	3266	三七度五五分	37.9167	37.9151	140.5923	0.0016	21765	39956	15304	30771
19	福島本町	56	1880	629	三七度四五分	37.7500	37.7540	140.4644	-0.0040	20706	41617	14449	32064
21	本宮宿	56	1244	4474	三七度三十分半	37.5083	37.5183	140.4039	-0.0100	24905	2437	15570	3202
23	白川本町	68	4083	5788	三七度 七分	37.1167	37.1275	140.2146	-0.0108	24098	4741	14493	6334
24	白坂宿	68	3772	6573	三七度 四分	37.0667	37.0794	140.1916	-0.0127	23983	5027	14307	6650
25	越堀宿	69	5162	247	三六度五六分半	36.9417	36.9459	140.1048	-0.0042	23591	5770	13772	7614
26	佐久山宿	F	3961	2527	三六度四八分半	36.8083	36.8087	140.0074	-0.0004	23155	6551	13213	8726
27	喜連川本町	69	4211	3990	三六度四三分	36.7117	36.7190	140.0254	-0.0073	23244	7072	13359	9371
29	宇都宮池上町	69	2424	6454	三六度三三分半	36.5583	36.5618	139.8821	-0.0035	22548	7986	12415	10642
30	雀宿	69	2307	7527	三六度三十分	36.5000	36.4940	139.8723	0.0060	22521	8381	12446	11155
31	間々田	87	1142	2054	三六度一六分	36.2667	36.2680	139.7672	-0.0013	22054	9658	11863	12858
32	栗橋宿	87	278	4060	三六度 八分半	36.1417	36.1414	139.7022	0.0003	21722	10399	11368	13863
33	幸手	87	483	5067	三六度 四分	36.0667	36.0729	139.7193	-0.0062	21810	10681	11505	14247
34	粕壁宿	87	1025	6713	三五度五九分	35.9833	35.9815	139.7183	0.0018	21993	11319	11734	15114
35	草加	F	1621	9034	三五度五十分	35.8333	35.8309	139.8065	0.0024	22224	12168	12012	16203
36	深川黒江町	90	8058	2488	三五度四十分半	35.6750	35.6745	139.7942	0.0005	22173	13104	11963	17475
平均									0.0013				
標準偏差									0.0079				

表 4 大谷（1917）があげる重要星測点の座標値.

Table 4 Evaluation of accuracy of 20 latitude data Ohtani (1917) pointed out as important points.

No	地名	大図上の座標			地理院地図		記述値	度換算	差 (度)
		x	y	緯度	経度				
1	陸奥国津軽郡三厩村	38	3555	2573	41.1976	140.4293	四一度一一分五〇秒	41.1972	-0.0004
2	出羽国山本能代湊萬町	60	2259	2249	40.2155	140.0313	四〇度一二分三〇秒	40.2083	-0.0072
3	越後国頸城郡高田呉服町	80	8215	2191	37.1102	138.2430	三七度〇七分	37.1167	0.0065
4	能登国鹿島郡所口阿良町	84	5102	3997	37.0470	136.9678	三七度〇二分三〇秒	37.0417	-0.0053
5	越前国敦賀郡敦賀西原町	121	6719	2373	35.6549	136.6280	三五度三九分三〇秒	35.6583	0.0034
6	山城国京都神泉苑町	133	3979	2274	35.0109	135.7471	三五度〇〇分三六秒	35.0100	-0.0009
7	伊豆国加茂郡下田弥次田町	102	2728	2635	34.6732	138.9412	三四度四〇分三〇秒	34.6750	0.0018
8	備前国御野郡岡山下ノ町	145	1670	1834	34.6626	133.9301	三四度四〇分三〇秒	34.6750	0.0124
9	摂津国大阪富田屋町	135	1493	2145	34.6758	135.4925	三四度四〇分	34.6667	-0.0091
10	志摩国答志郡鳥羽藤野郷	117	2664	2834	34.4826	136.8359	三四度二八分三〇秒	34.4750	-0.0076
11	安芸国沼田郡広島堺町四丁目	167	2496	2583	34.3951	132.4460	三四度二四分	34.4000	0.0049
12	紀伊国牟婁郡錦浦	131	4392	2835	34.2176	136.4006	三四度一三分三〇秒	34.2250	0.0074
13	長門国豊浦郡赤間関南部町	178	2596	773	33.9554	130.9402	三三度五七分三〇秒	33.9583	0.0029
14	豊前国企救郡小倉船頭町	178	1701	1927	33.8880	130.8787	三三度五三分三〇秒	33.8992	0.0112
15	紀伊国牟婁郡田邊本町	140	1242	408	33.7326	135.3769	三三度四四分	33.7333	0.0007
16	土佐国土佐郡高知種崎町	159	2932	2962	33.5613	133.5453	三三度三四分	33.5667	0.0054
17	伊豫国宇和島本町二丁目	171	6048	2169	33.2215	132.5683	三三度一四分	33.2333	0.0118
18	肥前国彼杵郡大村本町四丁目	201	5880	3818	32.9071	129.9596	三二度五四分三〇秒	32.9083	0.0012
19	肥前国彼杵郡長崎爐糟町	202	2881	2376	32.7519	129.8810	三二度四五分	32.7500	-0.0019
20	薩摩国鹿兒島郡鹿兒島車町	209	1429	3538	31.6039	130.5621	三一度三六分〇六秒	31.6000	-0.0039
平均 N = 20									0.0017
標準偏差									0.0064

は 169.2 分 (1.692 尺) である。つまり中図ではこの間隔で平行する 1 度間隔の緯線が引かれている。第 1 次測量では緯度差 1 度 27 里余という値が得られたので、この値で作図したのである (K 小図)。

2) 地図上の「緯度差 1 度 = 28.2 里」

伊能が緯度差 1 度 28.2 里という定義で、実際につくった地図上の星測点の位置精度について検討する。他に点位置としては山頂や海岸線と街道があるが、これは測量方法が異なるので、ここではとりあげない。点としての山頂は方位測量による前方交会法で位置が測量されている。線としての海岸線や街道は折れ線近似の区間距離とその方位が測量される (導線法)。

地理院の紙地図と違って、隣接図幅との接合は、伊能大図と中図では簡単ではない。伊能図に

は隣接図との接合位置を示す方位ローズが記入されているが、これはほとんど装飾用で、それをつないでも緯線や本初子午線と平行あるいは直交していないことが多い。このように同じシリーズの地図であっても接合は精度よくできない。また接合方法によって、図上計測の結果に影響が出る。そこで同一図幅内の星測点を統計対象とする。大図では星測点の数が少なく、個々の点についての検討はできるが、統計処理に十分な数とはならない。そこで中図の図幅ごとに検討した。紙の伸縮があることを前提として (ただし局所的な伸縮は無視) 星測点の中図上の y 座標値とその点の地理院地図の緯度を用いて、最小二乗法で、緯度と y 座標値の統計的相関を求めた。

中図の星印はその地名の家屋記号が集合した範囲のどこかに星測点がある、という程度のもので、

大図の星測点位置と比べると、それが中図の星印の中心であることはむしろまれである。大図（縮尺は中図の6倍）との比較で見ると、中図では大図の星印の幅3つ分ほどずれている場合もあった。したがって中図上の星印の座標を計測してもその1点だけの位置としては相応に不正確である。もちろん統計的に扱うことが必要となる。

2-1) 当事者の統計学的センス

具体的な検討に入る前に、伊能とその100年後の研究者である大谷亮吉について、近代統計学に通ずる考え方がどうであったかについて述べる。1805年から1809年ごろ、最小二乗法をめぐって、ドイツ（ガウス）とフランス（ルジャンドル）の先見者の激しい論争があった。最小二乗法は近代科学における測定値処理の基本的手法である。測地学のデータ処理に応用したのは後者であるが、確率論的な理論を確立したのは前者である。メートル法の提唱者の一人であるラプラスは次のことを明らかにしている。(1) 測定回数が増えれば誤差が減少すること、(2) それによって不規則な誤差と系統的な誤差を分離して比較できること、(3) 測定値に対して理論値がどの程度適合しているかを定量的に示すことができること。近代統計学の誕生は伊能が日本列島の測量に熱中している1810年ごろのことである。

測地測量は誤差との戦いである。実践家である伊能は、体験的に例えば星測の星数を3～4個では不足と認識し、しかし実務上30個程度を上限として平均値を計算している。大谷（1917, p. 505）は「誤差の内には系統的なものと偶発的なものとの二種あるは言を俟たざる所」と述べ、「正確だがばらつきが大きい」測定と「ばらつきは小さいが正確ではない（系統誤差がある）」測定を区別している。しかしこの見解から伊能の測量値を考察したのは次の一例だけである。大谷（1917, p. 510-513）に方位測量のデータに対して「平均誤差」という指標が定義され、これを使った精度についての考察がなされている。しかし大谷（1917, p. 511）の「平均誤差」という用語やその定義式は、後に用いられるようになった統計用語や定義式とは異なる。大谷（1917）は測量

機器の精度について詳しく考察しているが、測量値に統計学的な検討をせず、最終的な測量成果である地図そのものの統計的精度についてはほとんど関心を示さなかった。

作業手順としては、大図の星測点位置を導線との位置関係で読みとり、地理院地図の読図と中図の簡略化された導線との位置関係から、地理院地図およびT中図上で星測点の位置を推定し、その緯度・座標を読みとった。

2-2) T中図「上」（関東・中部）の場合

1.29度時計回りに回転させた修正地図を使っている。奥州街道沿いに14の星測点がある（表3）。中図上のy座標値と地理院地図の緯度(x)との回帰直線は、

$$y = -5746x + 218057 \quad R^2 = 0.9999 \quad (1)$$

である。前述の「縮尺」では緯度差1度は5766 pxであるので、14の星測点はおおむね良好な精度で、緯線があらかじめ引かれた地図にプロットされているといえよう。相対誤差は0.348%である。T中図「中」に比べて、相対誤差が大きいのは「縮尺」（緯度差1度の間のピクセル数、3個のデータの平均）の誤差のためであろう。

2-3) T中図「中」（東北）の場合

時計回りに0.49度回転させた修正地図を使っている。奥州街道沿いに14の星測点がある（表3）。中図上のy座標値と地理院地図の緯度(x)との回帰直線は、

$$y = -10256x + 42876 \quad R^2 = 0.9999 \quad (2)$$

である。前述の「縮尺」（9個のデータの平均）では緯度差1度は10239 pxであるので、14の星測点はおおむね良好な精度で、緯線があらかじめ引かれた地図にプロットされているといえよう。相対誤差は0.166%である。

以上の検討を通じて、28.2里を測定値と捉えるのではなく、定義値とする考え方が必要であることを述べ、緯度差1度を28.2里とする定義でつくられた地図（この場合はT中図）上の星測点の緯度は、地理院地図と比較して、十分な精度をもっている、とした。

VI. 要 約

(1) 伊能図は地球の小円である緯線を平行する直線で表している。本初子午線はそれと直交している。伊能図で精度が良好で信頼性が高いのは緯度である。伊能のいわゆる導線測量は星測点間の細部測量に相当する。

(2) 奥州街道沿いに行われた星測値としては、第1次測量行(1800年)のデータは1804年の時点で、伊能自身によって採用されないデータとなっている。

(3) 星測点の位置を示す広範でもっとも詳しいデータとして大図がある。それ以上の詳しい位置を特定する材料としては『測量日記』の泊宿名があるが、当時の街道宿場図や村地図で特定したのはわずかである。

(4) 地球が楕円体であるとの新知見は、師高橋至時から伊能に伝えられた。しかし測量機器の制約から伊能の測量は、地球が楕円体であることに左右されるような精度に達していない。師弟が共有するこの理解に基づいて、師弟ともこれを無視したのであろう。伊能図は地球を球体としてつくられているが、測量誤差からみて、これは妥当な措置である。

(5) 「緯度差1度28.2里」は伊能の測量精度の高さを証明するものとされている。しかし、この値は第2次の奥州街道の測量で得られたものであり、その後の測量はその精度を高めようとしたものではない。「緯度差1度28.2里」(大図上では101.52寸、中図上では16.92寸)によって、導線測量成果の補正が可能となり、緯線の入った地図を作成することができた。この定義では、1尺は0.30402mと換算され、この値は後の明治政府による法定の10/33mよりは享保尺0.30356mに近い。

(6) 「緯度差1度28.2里」という定義でつくられた中図(徳島大学図書館蔵「沿海地図」)の星測点の位置(緯度)は統計的には良好な精度でプロットされている。

注

- 1) <https://metrologie.entreprises.gouv.fr/fr/la-metrologie/point-d-histoire/histoire-du-metre> [Cited 2019/1/7]。

文 献

- オルダー、ケン、吉田三知世訳(2006): 万物の尺度を求めて—メートル法を定めた子午線大計測。早川書房。[Alder, K. (2006): *The Measure of All Things (Banbutsu No Shakudo O Motomete Metoruho O Sadameta Shigosen Daikeisoku)* translated by Yoshida, M., Hayakawa Shobo. (in Japanese). Alder, K. (2002): *The Measure of All Things*.]
- 保柳睦美編著(1974): 伊能忠敬の科学的業績。古今書院。[Hoyanagi, M. ed. (1974): *A New Appreciation of the Scientific Achievement of Ino-Tadataka: Who Established a Landmark in the History of Land-survey and Cartography of Japan*. Kokon Shoin. (in Japanese with English abstract)]
- 金窪敏知(1998): 世界測量史における伊能図。東京地学協会編: 伊能図に学ぶ。朝倉書店, 135-159。[Kanakubo, T. (1998): Inoh maps in the history of geodetic survey. in *A Recent Knowledge of Ino-Tadataka's Map* edited by Tokyo Geographical Society, Asakura Shoten, 135-159. (in Japanese)*]
- 野上道男(2019a): 伊能大図における星測と横切測量・方位測量による導線位置の補正—第4次測量までの例—。地図, 57(3), 1-13。[Nogami, M. (2019a): Techniques to secure precision of the open traverse surveying of Ino Tadataka. *Chizu*, 57(3), 1-13. (in Japanese with English abstract)]
- 野上道男(2019b): 伊能大図の計測から見た導線位置の精度と補正—第6・7・8次測量の例—。地図, 57(4), 1-17。[Nogami, M. (2019b): Accuracy evaluation of Ino Maps in 1/36000 and positional error correction techniques. *Chizu*, 57(4), 1-17. (in Japanese with English abstract)]
- 大谷亮吉(1917): 伊能忠敬。岩波書店。[Ohtani, R. (1917): *Inoh Tadataka*. Iwanami Shoten. (in Japanese)*]
- 佐久間達夫解説校訂(1998): 伊能忠敬測量日記。大空社。[Sakuma, T. (1998): *Survey Diary of Inoh Tadataka (Inoh Tadataka Sokuryo Nikki)*. Ohzora-sya. (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)]
- 渡辺一郎・鈴木純子(2010): 伊能忠敬の地図をよむ(改訂増補版)。河出書房新社。[Watanabe, I. and Suzuki, J. (2010): *Readings of Ino Tadataka's Maps (Inoh Tadataka No Chizu O Yomu)*. Kawade Shobo Shinsha. (in Japanese)*]

* Title etc. translated by M.N.