伊能忠敬の求めた1度あたり子午線長と測量の不確かさ

—測地度説のデータに基づいて—

海 津 優*

Meridian Arc Length Obtained by Inoh Tadataka and Uncertainty Associated with the Survey: Based on Data in “Sokuchidosetu”

Masaru KAIDZU*

[Received 30 December, 2018; Accepted 20 June, 2019]

Abstract

In 1880, Inoh Tadataka surveyed the meridian arc length corresponding to one degree of latitude difference. A record of calculations is contained in a handwritten manuscript titled “Sokuchidosetu” or “On Meridian Arc Length Corresponding to One Degree.” The uncertainty of latitude for a short arc is dominant and is estimated to be about 0.42 minutes. This uncertainty is in accord with the rounding latitude at half a minute in many documents that refer to Inoh’s work on coordinates. Some points were used for astronomical observations of latitude in two successive years. A comparison of those results suggests some bias in the results and a standard deviation around the mean of about 1.3 minutes. This is obviously much more than the uncertainty estimated from the scatter of one degree meridian arc length against the N-S component of a great circle connecting the ends of a route. Data sets of astronomical latitude observations surveyed independently help clarify the uncertainty associated with Inoh’s latitude observations obtained from field surveys. The scatter of distance and latitude difference data around the linear trend suggests that the uncertainty of the N-S distance is about 7.3/10,000.

Key words : Meridian arc length, latitude, uncertainty, Sokuchidosetu, Inoh Tadataka

キーワード : 子午線弧長, 緯度, 不確かさ, 測地度説, 伊能忠敬

I. はじめに

伊能忠敬による緯度1度あたりの子午線長の測定が行われた1800年前後は、ちょうどフランスにおいて Deramble や Mechain らにより1メートルの定義のための測量が行われた時期ときわめて近い。もちろん、地球の扁平度を考慮し、測量手法としても三角測量によっていたフランス科学

アカデミーの測量 (Delambre, 1799) と、地球を球と仮定し、測量手法としても古来の道線法によっていた伊能忠敬の仕事とは技術的には隔たりがあるが、結果としてかなり近い値を得たこと、またその後この値が伊能らの全国の地図作成にあたって、南北方向のスケールの規正に用いられたこともあって、多くの研究者の興味を引いてきた。測量用具と計算の概要については大谷亮吉に

* 株式会社パスコ東日本事業部

* Eastern Japan District Division, PASCO corporation, Tokyo, 153-8555, Japan

よる先駆的で詳細な研究（大谷，1917）がよく知られているほか，伊能忠敬による測量の基本的な考え方とその意義については，伊能忠敬の科学的業績（保柳，1974）。また，計量学の立場からは山田（2016）の1 mと尺貫法の換算に力点を置いた検討がある。このように，すでに多くの研究があるなかではあるが，本稿では，主として測地度説（天）（伊能，1800）の記述に基づき，1度あたりの子午線長の不確かさと天文測量の不確かさについて考えてみたい。

II. 不確かさのモデル

1) 緯度1度あたりの子午線長

地球の形は，南北におよそ1/300ほど扁平な回転楕円体で近似される。伊能忠敬が奥州街道を経て蝦夷地までの子午線測量を開始したとき，彼のみならず，その師である高橋至時も，地球を球とみなしていたことは，大谷（1917）に記述されているとおりである。その後ラランドによる天文学の教科書のオランダ語訳（いわゆるランデ暦書）が伝わるに及び，地球の形が扁平な回転楕円体で近似されることが知られたが，すでに測量は開始されており，伊能忠敬は最後まで，地球の形を球として測量結果を処理していたことも先行研究に明らかなおりである。

地球を球で近似するなら，その半径は曲率の逆数で与えられる。つまり，2点において球面に立てた法線のなす角度（2点を結ぶ大円の接線のなす角度に等しい）を知って，2点間の球面距離を測定するならば地球の半径が決定できるわけである。いまだクロノメータが利用できず，電信のような遠隔地の時計をあわせる手法が利用できない時期の測量であるから，経度の差を精度よく測定することは容易ではなく，しかも精度の確保のため，長大な距離でこれを行うとすれば，同一子午線上で緯度を測定し，その間の子午線長を測量する，あるいはそれと同等とみなせる測量するのが実務的にはほぼ唯一の手法であった。

2) 伊能忠敬による子午線長測量

伊能忠敬は天文測量をしながら奥州街道を北上し，その道のりを道線法により測量したわけであ

るが，幸い街道は南北に近いとはいえ，若干の屈曲はまぬかれず，しかもその概略の方位も，仙台以南と仙台以北では少し異なっている。実際には彼は測量結果を1/36,000で地図にあらわし，その南北成分を測定後，縮尺分母を乗じて当該区間の子午線長を得ている。地図にあらわすにあたり，測量は歩測と間縄で距離を測り，坂道の傾斜については角度を測定して余弦を乗じて水平距離を計算，街道の屈曲点では両端で羅針により方位を測定し，平面として方位の余弦を乗じて南北成分，正弦を乗じて東西成分を計算した。

伊能忠敬が利用した器械の構造や概略の精度は大谷（1917）に明らかどころであるが，歩測によった区間と間縄によった区間の詳細な記録，利用器材の点検調整あるいは比較校正の記録等が手元にないので，考えうる系統的偏りの要因についてその影響を概算し，緯度と子午線長の不確かさを見積もってみたい。

3) 系統的な偏りとその程度

不確かさを与える要因のうち，系統的偏りを与える可能性のあるものを挙げてみる。

- ・天文観測
 - 気差
 - 光行差
 - 歳差，章動
- ・距離測定
 - 標高補正の無視
 - 間縄の伸縮
- ・地図への展開
 - 地磁気偏角（長波長および磁気異常）
- ・地図への展開と読みとり
 - 紙の伸縮
- ・緯度による曲率の違い
 - 扁平度の無視

以下系統的偏りが測量結果に与える影響を大まかに見積もってみる。

3-1) 天文測量

気差については高度角の大きな星を用い，できるだけ南北に偏らぬよう選んで子午線通過時の高度角を観測していること（天頂を挟んで対称的に観測すれば，気差の影響はほぼ同量で，符号が逆

になるので軽減できる), 深川での観測との差を用いていることから, 共通部分については除去できることを考慮すると, 第1近似としては処理されていると考えてよいであろう。

光行差は大まかにいって日周光行差で0.3秒, 年周光行差で20.5秒程度であるから, 年周光行差は1/4分程度まで読みとっていた伊能忠敬の観測にとっては厳密に言えば無視できない量ではあるが, 最終的に多くの場合0.5分で丸めるので今後の課題として, 当面無視しておく。

歳差・章動のうち, 章動は振幅が9秒程度であるから読取精度を考慮すると無視をしておいてよからう。一方, 歳差は天の北極が26,000年かけて, 23.4度の半径で天の上を動いてゆくようにみえる現象であって, 大きな現象であるからよく知られており, 線形近似ではあるが伊能忠敬の測量においても処理がされていた。また, これはゆっくりした現象であるから, 深川との差をとる方法も併用することである程度消去できていたと考えてよからう。

3-2) 距離測定

緯度とあわせて要となる測定であるが, あまり多くの情報がない。

傾斜補正はしたものの, 標高補正はしていないとされているので, 測地度説で路線の端点として扱われている点について, 地名をもとに地理院地図上で対応する地域を探し, 道路からあまり離れていない神社付近の標高を拾ってプロットしたものが図1である。神社によったのは, 神社は人里のなかにあり, とくに地方では長期にわたって移転せずにいることが多いからである。選定は任意であるので, この結果は伊能忠敬が実際に通過した地点である保証はなく, あくまでもおよその傾向をみるだけである。これをみると, 多くの点が標高の低いところに存在し, 岩手県内陸部と伊豆半島以外では50m未満の点がほとんどである。一番標高の高い閉伊郡田野畑で230m程度であるから, この高さで測った水平距離をジオイドと扁平度を無視して半径6370kmの球面に投影すると100万分の36.1だけ短く投影され, それより標高の低い点では, 効果はこれ以下である。

図1 測地度説(天), 「地上1度里数測考」に記載された天文観測地点付近の現在の標高。

Fig. 1 Present heights of points recorded in “Sokuchido-setu (A)” where Inoh Tadataka observed latitude.

1万分の4程度のことであるので, 十分に無視可能である。

間縄の精度は, 張力, 温度, 湿度などに強く影響されると考えられる。もちろん材質を選んだり, 鎖を用いたり工夫がなされているところであるが, 比較校正の間隔によっては一様ではないスケール誤差がありうる。この効果は手元の資料からでは評価できないので, 不確かさのなかに織り込むしかないのである。張力等の指定のある条件で検定される日本工業規格の繊維製巻き尺の許容差が100mの場合で40.6mmとされているから, 1万分の4程度であり, 伊能の距離測定がこれよりよかったとは考えにくいことからこの程度なばらつきは容認することとなる。

計測結果は, 大図の下図に展開されてゆくわけであるが, この際局所的に平面として扱い, 東西成分, 南北成分を直線区間の路線長におのおの方位角の正弦, 余弦を乗じて記載してあることが知られている(大谷, 1917)。球としての地球の半径を求めるのではあるが, 個々の測量結果は平面問題として扱ったわけである。しかし, 幸いに奥州街道はほぼ南北に通っており, 子午線長という意味では, 平面としての扱いは大きな影響をもたらない。

3-3) 地図への展開

方位については, 伊能忠敬は羅針により計測し

たことが知られており、その当時の江戸における地磁気偏角がほぼ零度であったとする研究（今道, 1984）がある。しかし、伊豆半島から東北にかけて、広域的にみるならば、同じ文献所収の1800年における等偏角線図からみて、系統的に三陸以南ではわずかに東偏、三陸以北ではわずかに西偏していた可能性がある。これは測量成果をわずかではあるが系統的に右回転させる効果がある。奥州街道の方位は南半部で概略28度、北半部で概略18度程度であり、今道の零度の等偏角線の形と同じ向きに曲がっているが、より直線的で、東偏領域から北へ行くにしたがって西偏領域へ入っている。系統的な回転は図からみて0.2度程度と見積もられる。さらに伊豆半島や東北の火山地帯では短波長の局所的な偏角異常が存在しており、現在の国土地理院の磁気偏角図をみても等偏角線は多項式近似から波打って外れる短波長の成分を有する（国土地理院, 2016）。短波長の効果は不確かさに埋め込んで扱うとして、広域的な効果の分を概算してみる。羅針が真北を指すとして計算される距離の南北成分に偏角の長波長成分として0.2度程度の系統的影響を仮定して、簡単のため、南部と北部でおおの路線はほぼ直線であるとして、子午線長に相当する南北成分のスケールの偏りを計算する。南半部では28度の方位が0.2度程度違うことで $-1.6/1,000$ 、北半部で18度の方位が0.2度程度違うことで $-1.1/1,000$ 程度のスケール誤差が見込まれる。

一方、直線とみなされる測線の両端で羅針により方位角を測定することは、開放多角測量の距離とともに急速に座標の不確かさが増大する効果を減殺するという著しい効果がある。開放多角測量と、方位をコントロールした場合の多角測量の座標不確かさについては例えばJarosz and Moy (2016)で論じられているように進行方向は方位角を測定しても角測定だけの場合でも辺数の平方根に比例して不確かさが増大するものの、進行方向と直交する方向の不確かさの増大は方位角の観測により劇的に抑えられる。つまり、東西方向の振れが抑制されることで、子午線長を正しく計算するに効果があったこととなる。

3-4) 地図への展開と読みとり

地図への展開と読みとりにあつては、系統的影響を与える要因は紙の伸縮である。用紙は西の内紙を水張りし、5日ほど放置して自然の伸縮に任せて後に使用したとされており（大谷, 1917）、一応の対策はとられているが、湿度の変化等の影響を定量的に見積もることは困難である。図葉ごとに異なる影響については不確かさに埋めて扱うとして、共通の影響があるとすればスケールの形で現れることが期待される。

3-5) 緯度による曲率の違い

地球が約1/300南北に扁平であることは現在ではよく知られている。現在国際測地学協会が採用しているGRS80 (Moritz, 1980)の楕円体で計算すると、三厩で1度あたりの子午線長は111,047.84 mに対し、下田では110,943.86 mであるからその差は103.88 m (9/10,000 相当)になる。路線の北端では南端に比して1/1,000程度系統的に1度あたり子午線長が長くなる方向の偏りが与えられる。

4) 系統的でない不確かさ

前項で考察したように、天文測量による緯度の観測と羅針による方位の観測に系統的な偏りの要因がわずかにあるが、緯度について0.3分、方位について0.2度程度のものであることがわかった。一方、系統的ではない不確かさは、ほかに資料がないので、観測結果のみから見積もらねばならない。

まず、天文観測による緯度の観測は、正中時の高度を測ることで、高度角が停滞する瞬間付近での観測となり、誤差が生じにくい工夫がなされているが、測地学説でも1/4分で丸めてあり、日本経緯度実測でも観測結果の記述にあたって、0.5分単位に丸めていることから、経験的に1分程度の不確かさがあることが考慮されていたものと考えられる。緯度差は路線の両端で独立に観測された緯度の差をとるので、個々の観測の $\sqrt{2}$ 倍になる。天文測量による緯度については同じ地名に対して時期により異なる緯度が記載されている場合があり、数は多くないが、その量は標準偏差であらわして1分強程度である。2点間の子午線

長に直せば 0.5 里相当であるから、20 里の路線について 1/40 程度になる。もちろん路線が長くなれば相対的な不確かさの比は小さくなる。

距離の測定については、歩測の場合で、通常 1/200 程度の不確かさはあるとされているので大きいようであるが、短距離では実は緯度観測の精度よりよい。間縄を用いるともう少し不確かさが減少することが期待できる。現在の繊維製巻き尺の許容差が、前述のように日本工業規格ではおよそ 4/10,000 程度であるが、初期の測量に用いられたものは、材質が渋引き苧麻の縄であり、張力も人間の感覚で加えられていること等を考慮すると 1/1,000 程度の不確かさがありそうである。杖先羅針盤により、方位をコントロールしながらの開放多角測量であるから、Jarosz and Moy (2016) にあるとおり、進行方向の座標の不確かさは区間の数の平方根に比例する。もし概略直線の路線でかつ区間の長さがあまり変わらないとすれば、路線長の平方根に比例するはずだから、路線長の観測値は出発点を固定した場合の到着点の進行方向座標成分の不確かさとして、路線長の平方根に比例する形で評価できる。結果は 1/36,000 で図化され、図から子午線長南北成分を読みとる際の不確かさが加わってそれが 36,000 倍され、さらにこれに紙の伸縮が加わって 1 度あたり子午線長の計算に用いられることになる。定量的見積もりはできないところであるが、子午線長は、緯度と同様、他の要因に比して大きな不確かさの要因となることが考えられる。そこで、緯度差と子午線長を主たる不確かさ要因として、伊能忠敬の計算同様地球が球であるとして、緯度観測と子午線長測定が互いに独立であることを用いた、1 度あたりの子午線長の不確かさから緯度と子午線長の不確かさを推定してみる。

単純なモデルであるが、1 度あたり子午線長を r 、2 点間の観測された緯度差を δ 、2 点と同じ緯度を有する平行圏間の子午線長測定値を s とするとき、

$$r = s/\delta \quad (1)$$

$$dr = \frac{ds}{\delta} - \left(\frac{s}{\delta^2}\right)d\delta \quad (2)$$

s/δ は r の推定値なので、これをもっともらしい値である r_0 で表して不確かさの関係（誤差伝搬の式）に代入して整理すれば

$$dr^2 = (ds^2 + r_0^2 d\delta^2)/\delta^2 \quad (3)$$

となる。

ds が路線長の平方根に比例するなら、係数を c とおいて、

$$dr^2 = (c^2 s + r_0^2 d\delta^2)/\delta^2 \quad (4)$$

$s = r_0 \delta$ であること、緯度の観測は各点独立なので、路線長依存性がなく、定数と扱ってもよいことを考慮すると、 A, B を定数として

$$dr^2 = A/s + B/s^2 \quad (5)$$

となる。

路線長の不確かさが卓越するならば、(5)式で B を 0 に近づけることと同じであるから 1 度あたりの里数の不確かさは距離の南北成分の平方根に逆比例し、緯度の差の不確かさが卓越するならば(5)式で A を 0 に近づけるのと同じことであるから距離の南北成分に逆比例する。もし、路線長の不確かさが、路線長にあまり依存せず、定数で扱えるような場合は、(4)式カッコ内はほぼ一定の数値になることが期待される。この場合も式の形から 1 度あたりの里数の不確かさは距離の南北成分に逆比例する。

III. 測地度説（天）に基づく天文測量と距離測量の不確かさ

1) 緯度 1 度あたりの子午線長

まず、測地度説（天）の「地上 1 度里数測考」によって天文測量により求めた緯度の不確かさ、距離と方位を測定して求めた子午線長およびそれから求めた 1 度あたりの子午線長の不確かさについて考えてみる。測地度説（天）にはいくつか理由を付していない修正が記載されている。この修正を施すと、結果が 28.2 里に近づく旨の記載

図 2 伊能忠敬が道線法と天文観測から求めた 1 度あたりの里数と GRS80 のパラメータから計算した 1 度あたりの里数の比較。

Fig. 2 Meridian arc length corresponding to 1 degree of latitude obtained from Inoh Tadataka's traverse and astronomical survey compared to that calculated from GRS80 ellipsoidal parameters.

があるが、この修正については理由が不明であるから、ここでは修正前の観測値を採用する。

記載された北極出地の差と地上距離および緯度 1 度あたりの子午線長を緯度に対してプロットしたのが図 2 である。GRS80 は定義式からの計算値である。平均的にいえば、現在採用されている値ときわめて近いことがみてとれるが、ばらつきはかなり大きい。これを子午線長に対して並べ替えたものが図 3 である。当然のことながら長距離の観測値から求めた結果がより安定している。基準は 10 里以上の路線から求めた 1 度あたりの子午線長の平均値である 28.17 里にとってある。

外側の赤色の曲線は南北距を r として $1/r$ に比例する曲線であり、内側の緑色の曲線は $1/\sqrt{r}$ に比例する曲線である。先に述べたように、不確かさの要因として、緯度差の不確かさが卓越する場合および地図上の南北成分の読みとりの不確かさが路線長の不確かさより十分に大きい場合は $1/r$ に比例、路線長の不確かさが卓越する場合は $1/\sqrt{r}$ に比例する。不確かさの表現としてどちらがよりよく観測値に整合するかは、これだけのデータでは定めがたいが、とくに差が顕著になる短い路線では緯度差の不確かさが相対的に大きくなるので $1/r$ に比例すると考えると、その係数は 3.50 程度である。これがすべて緯度差に起因するとした場合の緯度差の不確かさは $3.5/r_0^2 =$

図 3 区間ごとの 1 度あたり里数のばらつき。天測点間の子午線長と緯度差から計算された区間ごとの 1 度あたり里数の 28.17 里からの残差。

Fig. 3 Scatter of Meridian arc length corresponding to 1 degree of latitude against N-S distance between end points of route. Scatter around 28.17 Ri (mean of relatively long routes).

0.01060123 度となり、これは 0.636 分に相当する。路線両端の緯度はしたがって、0.45 分程度の不確かさを有すると考えられる。距離測定の不確かさについては、すべてが $1/\sqrt{r}$ に比例すると考えると、その係数は 2.2 程度であるから、1 里あたりの不確かさは $\sqrt{2.2}/r_0 = 0.0527$ 里程度に見積もられるが、グラフにみるように、少なくとも短距離ではこの見積もりは過剰になる。これらは極端な場合の見積もりであるが、ほぼ単線形の開放多角路線であるので、緯度の不確かさと南北距離の不確かさの分離は容易ではない。

そこで、緯度差と南北距離の観測値から分散共分散行列をつくり、固有値問題を解く形で、緯度差と南北距離の観測値をプロットした点と推定直線の距離の和を最小にする直線近似を求める。この処理は図 4 に示すようにプロットされた点の配置の直線性がきわめてよいことから十分正当化できると考える。南北距離観測値の平均値は 6.425 里、直線（大きい方の固有値に対応する固有ベクトル）の傾きから推定される 1 度の里数は 28.287 里/度、小さい方の固有値に対応して推定されるベクトルを軸とする方向のばらつきは 0.3518446×10^{-4} である。ここで得られた緯度差 1 度あたりの里数は短い路線の数が圧倒的に多いことから、長い路線から求めたものに比して

図 4 2 点間の緯度差とその間の南北距離の関係。

Fig. 4 Relation of Latitude difference and N-S distance.

精度的にやや不利な値となっていることが考えられる。いささか乱暴な扱いになるが、これを小さい方の固有値に対応する固有ベクトルの向きにより緯度差の成分と南北距離の成分に分解すると、緯度差の成分が 0.957685×10^{-6} 、各点の緯度観測は独立で同じ不確かさを有すると考えれば、1 点あたりの緯度観測の不確かさはこの分散を 2 で除し、平方根を開くことにより求められて、0.42 分となる。

南北距離方向の分散は 0.33856×10^{-5} となるから、平均距離で除して平方根を求めれば 1 里あたりの不確かさが 7.259×10^{-4} 里、すなわち 9.4 尺程度、相対的な不確かさでいえば 7.3/10,000 程度と見積もられる。

ここで求められた各点の緯度の不確かさ 0.42 分程度、南北距離の不確かさ 1 里あたり 9.4 尺は、緯度については先に定性的検討から見積もったものと著しい齟齬がなく、伊能忠敬が天文観測結果を 1 分の半分で丸めて記述していることとも整合し、南北距離の不確かさも約 1/1,000 に近く、受け入れ可能なレベルである。

異なる観測の分散の推定には例えば MINQUE (Rao, 1977) などの手法が知られているが、線状の開放多角網では情報が不足すると思われるの

表 1 相続く 2 年間に行われた同一点における緯度観測値の比較。

Table 1 Differences in observed latitudes at the same locations in two successive years.

地名	申	酉	酉-申 (分)
草加		354915	
雀宮		363000	
宇都宮	363600	363400	-2
喜連川	364500	364300	-2
白川	370700	370700	0
本宮		373015	
福島	374700	374500	-2
越河	375500	375500	0
大河原		380315	
仙台	381615	381615	0
築館	384600	384330	-2.5
一ノ関	385900	385530	-3.5
水澤	391200	390900	-3
沼宮内	400030	395900	-1.5
一戸	401330	401330	0
三戸	402400	402330	-0.5
野辺地	405330	405230	-1
	平均		-1.46159
	標準偏差		1.198289

で、これらの適用は今後の課題としたい。また、緯度の里数についても推定手法により 28.18 里と 28.287 里の数値が得られた。先行研究に指摘されるように伊能忠敬が求めた 28.2 里は、代表値として固定しておくという意味合いのものと扱うのが適切であるようである。

2) 寛政 12 年と享和元年に同一地点で行われた天文観測結果の比較

測地度説 (天) 14 帖表より「自東都深川距奥州南部領野辺地北極出地度推算」という記事があるが、ここに記された緯度には「申」「酉」あるいは「酉申合」なる印の付いているものがある。寛政 12 年が庚申、享和元年が辛酉の年であることから、第 1 回測量と第 2 回測量で同じ地点を経由し、天文観測ができたときの結果を併記してあるものと考えられる。数は多くないがその結果を比較することで天文観測の不確かさを考えてみる。

表 1 に示したようにこの記事では 12 点において観測が行われている。平均で 1.5 分の差があり、平均値の周りの標準偏差であらわしたばらつきは 1.2 分である。不確かさを標準偏差の 2 倍で見積もると先ほど見積もった天文緯度観測の不確かさは 0.45 分の 5 倍程度である。15 秒で丸めてあり、サンプル数が少ないのでこれだけでは評価が困難であるが、連続した 2 年の測量結果の間に一定の符号に偏った差があり、さらにそのなかでも 1 分を越えるばらつきが生じていることが注目される。区間別に求めた 1 度あたり子午線長の不確かさから推定した緯度の不確かさは、時期による系統的な差異の影響を含んでいないはずであるから過小評価になっている可能性がある。

IV. ま と め

伊能図の作成にあたり座標の規正に用いられた緯度差 1 度あたりの子午線長の計算に用いられた第 1 回および第 2 回の東北測量について記された「測地度説」の記述に基づき、短い路線については緯度の不確かさが主要なばらつきの要因と思われ、それから推定される緯度の観測の不確かさはおよそ 0.45 分程度、南北距離の観測の不確かさは、1 里あたり 9.4 尺程度と推定された。これは例えば「日本経緯度実測」等で、緯度の観測値が 1 分の半分で丸めた形で記載されていることと整合している。系統的な不確かさについては、II 章 3) 節に述べたように、1/1,000 程度のものを含んでいるとみられるので球近似でつくられた伊能図であるが、精度的にみた内部整合性はあるものと考えられる。

なお、測地度説所収のデータのうち、異なる年に同一地点で測定された 12 件について確認してみると、系統的にもみえる差がみられ、サンプル数が不足なのでこれだけでは評価が困難であるが、時期の異なる測量結果についてはさらに不確かさが大きい可能性がある。現地測量に際して得られた同一地点での独立な観測のデータをさらに収集して比較検討することが、伊能忠敬が全国測量の現地で行った天文緯度観測の不確かさについての情報を与えてくれると期待している。なお、大谷

も述べているように、伊能の天文観測では、章動、光行差については処理がされていない。章動（極運動を含む）と日周光行差は小さいので無視するとして、年周光行差は周期が 1 年であるため、測量にかかる日数との関係で深川との差では処理しきれていない可能性がある。地軸は黄道面に対して 23.4 度傾いているから、周極星を中心に観測すると黄道面に対して低い角度での観測が含まれる可能性があり、1/4 分程度まで読みとっていたと考えられる伊能の観測には若干の影響があった可能性が否定できない。ただ、実際の処理にあっては基本的に 1 分の半分で丸めていること、系統的でない緯度のばらつきも 0.45 分程度と見積もられることから、この効果は無視したことは結果には影響しないと考える。

謝 辞

伊能忠敬が求めた 1 度あたり子午線長について検討してみようとお勧めいただいた星埜由尚東京地学協会副会長に感謝する。

また、星埜副会長、村上真幸氏および匿名の査読者には、有益なご指摘を賜った。深く感謝する。

文 献

- Delambre, J.B.J (1799): *Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc du méridien*. Crapelet, Paris.
- 保柳睦美 (1974): 伊能忠敬の科学的業績—日本地図製作の近代化への道—。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)]
- 今道周一 (1984): 伊能忠敬時代の日本付近における地磁気偏角について。地磁気観測所要報, 20(2), 55-59. [Imamiti, S. (1984): Isogonic lines over Japan in the time of Tadataka Ino. *Memoirs of the Kakioka Magnetic Observatory*, 20(2), 55-59. (in Japanese with English abstract)]
- 伊能忠敬 (1800): 測地度説 (天)。書写本。[Inoh, T. (1800): *On Arc Length Corresponding to One Degree (A)* (*Sokuchidosetu Ten*). Hand written manuscript. (in Japanese)*]
- Jarosz, A. and Moy, C. (2016): Error propagation and survey strategies for long, underground, open traverses. 16th International Congress for Mine Surveying, Brisbane, Australia, 12-16 Sept 2016, 135-

- 国土地理院 (2016): 磁気図 (偏角) 2015.0 年値. 国土地理院技術資料 B1-No.71. [Geospatial Information Authority (2016): Geomagnetic Chart (Declination) epoch 2015.0. *Technical Material of Geospatial Information Authority* B1-No.71. (in Japanese)]
- Morits H. (1980): Geodetic Reference System 1980. *Bulletin Géodésique*, **54**, 395-405.
- 大谷亮吉 (1917): 伊能忠敬. 岩波書店 [Ohtani, R. (1917): *Inoh Tadataka*. Iwanami Shoten. (in Japanese)*]
- Rao, C.R., 奥野忠一ほか訳 (1977): 統計的推測とその応用. 東京図書, 568p. [Rao, C.R., (1977): *Linear*

Statistical Inference and Its Applications 2nd Edition translated by Okuno, T. *et al.*, Tokyo Tosho, 568p. (1973 John Wiley and Sons Inc.)]

- 山田研治 (2016): 「緯度 1 度」の実測と尺度の推算(2) —伊能忠敬の緯度 1 度の実測—. 計量史研究, **38**(1), 14-27. [Yamada, K. (2016): The survey of 1 degree of latitude and the measure estimation (2)—The survey of 1 degree of latitude by Tadataka Ino—. *Bulletin of the Society of Historical Metrology, Japan*, **38**(1), 14-27. (in Japanese with English abstract)]

* Title translated by M.K.