

◆教養

伊能忠敬の測量技術

日本国際地図学会 会員
 国土地理院 測図部 調査資料課 課長 菱山剛秀 ひしやまたけひで



伊能忠敬（肖像画）〔伊能忠敬記念館所蔵〕

わが国と西洋の接触は16世紀末にまでさかのぼるが、西洋の近代的な測量技術が組織的に導入されたのは、他の土木技術などと同様に、明治になってからである。しかし、江戸時代半ば（17世紀前半）には、オランダを通じて西洋の測量技術が伝わり、18世紀初頭には、紅毛流測量術として流派を形成し、独自の発展がみられた。これが基になり、18世紀後半から江戸時代の終焉までの間に暦学者や兵法学者等の間で西洋の測量技術が急速に広がっていった。

伊能忠敬が全国の測量を開始した1800年頃は、測量術に対する人々の関心が高い時代であり、伊能忠敬は、全国の正確な地図づくりをとおして、当時の先端技術を実践したといえよう。

忠敬自身は、自ら実施した測量方法についてまとめたものを残していないが、忠敬の遺志に基づき、忠敬の全国測量に従った弟子の渡辺慎（旧姓：尾形敬介）が忠敬の測量方法をまとめた『量地伝習録』という記録を残しており、千葉県佐原市の忠敬の旧居に残された測量用具や当時の測量書などからも忠敬の測量方法を知ることができる。

はじめに

伊能忠敬の名は、初めて日本の正確な地図をつくったことで地図や測量の分野以外の人でも聞いたことがあるだろう。

正確な地図をつくるためには、きちんとした測量を行う必要があるが、伊能忠敬はどのような方法で全国の測量を行ったのであろうか。

わが国では、古代から古墳の築造、奈良・平安時代の宮都の建設、戦国時代以降の大規模な城郭の建設といった土木工事をはじめ、耕作地や領地の管理、税の徴収のための地図が作成されていることなどにより、一定の測量技術が存在したことは容易に想定される。しかし、江戸時代以前の測量技術について記録されたものは残されておらず、具体的な測量方法は明らかになっていない。

伊能忠敬の測量

伊能忠敬の測量方法は、その当時のわが国の先端技術を採用しているが、決して特別な方法ではなく、基本的な考え方は、このころすでに普及していた紅毛流測量術によっている（図1）。

（1）基本的な測量方法

忠敬の測量方法を記した『量地伝習録』の測量方法を要約すると、「街道、海浜などの線、あるいは田畑、沼池、島嶼などの形を測量する場合は、まず基準となる杭を打ち、そこから間縄けんなわを使って形に沿って、次の点まで距離を測り、そこに杭を打ち、目印になる梵天を立てる。そのあとで、小方位儀を二つ使って順逆に次の点の方角を測り、野帳に記録する」ということになる。つまり、距離と角度（方位）を次々に測って、

図1 忠敬の測量方法

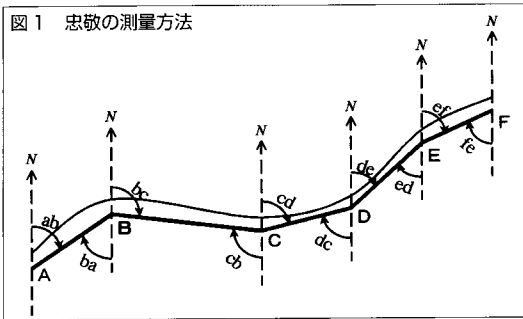


図2 廻り検地

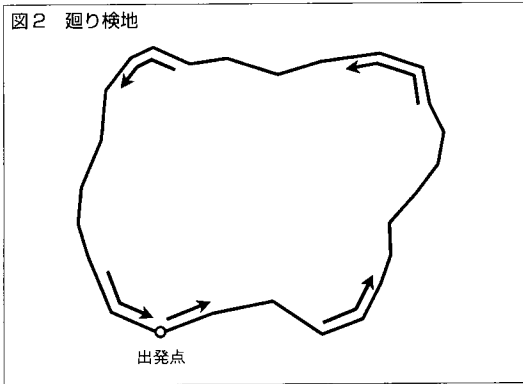
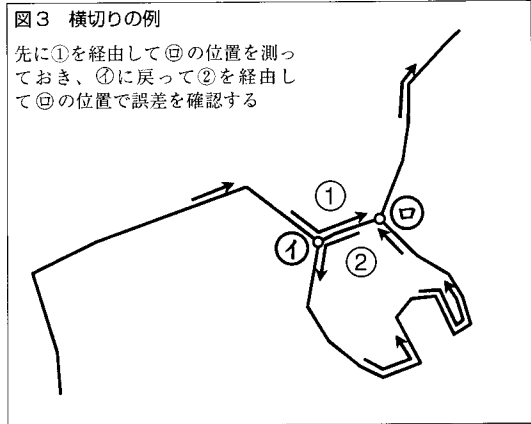


図3 横切りの例

先に①を経由して㊸の位置を測っておき、①に戻って②を経由して㊸の位置で誤差を確認する



で相互に方位を測ることにしている。これにより、一方向の測定結果だけではわからない誤りの発見や、測定時の誤差が大きくなならないよう平均化することが可能になる。

② 廻り検地

誤差の確認方法の一つに、方位と距離を測っていき、最後に最初の杭に戻る「廻り検地」と呼ばれる方法がある(図2)。誤差がなければ、最初と最後の点が一致するはずである。

通常は、村内の田畑の位置関係など、狭い範囲の測量に適用されていたが、忠敬は、広域の測量にもこの考え方を適用している。

③ 横切り

廻り検地は、出発した元の位置に戻ることで誤差を確認する方法だが、海辺の出崎などで正確な測量ができない場合は、「横切り」という方法によっている(図3)。

これは、先回りして出崎の途中を横切り、到着点まで測量しておき、元へ戻って出崎を回り、あらかじめ測っておいた杭につなぐという方法で、既知点につなぐ考え方は廻り検地の応用である。

④ 交会法による補正

忠敬の測量結果は、縮尺が1里3寸6分(1/36 000)の下図に整理され、これを基に、同縮尺の大図、中図と呼ばれる縮尺が1里6分(1/216 000)の広域図がつくられ、さらに縮尺を1/2にした1里3分(1/432 000)の小図がつくられている。中図や小図に描かれている山や島には、細い朱書きの直線が交わるように引かれている(図4)。

これは、地図の骨格が崩れないようにするための工夫で、通常の測量を行いながら、ところどころで目標

各地点の位置を求める現在のトラバース測量、または導線法と呼ばれる測量方法であり、当時は紅毛流の盤針術と呼ばれていた。

(2) 直接的な測量

紅毛流の測量書では、国郡などの広域の地図の作成に伴う長い距離の測定には、渾発術こんぱつという方法が用いられていた。渾発術は、目標地点に標木ひょうぼくと呼ばれるあらかじめ長さのわかっている目印を設置し、伸ばした腕の先の両脚器りょうきゃくき(渾発)やものさしを用いて目印の長さを測り、三角形の相似の関係から間接的に距離を求める方法であるが、忠敬は測量の精度を確保するため、こうした間接的な方法は極力避け、間縄まわづなや鉄鎖てつさにより直接測定する方法を採っている。

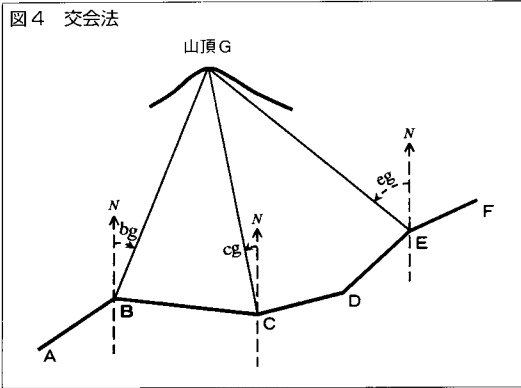
(3) 誤差の確認

距離と角度を次々に測っていく忠敬の測量方法は、広域的で測る距離が長くなるほど誤差の累積がかさむ性質がある。このため、忠敬はさまざまな方法で誤差を確認し、最小限にするための工夫をしている。

① 確認の測量

紅毛流の測量書によると、方位の測定は測点を一つ置きにとり、目標の方位角の測定も一方向だけの測量しかしていなかったようだが、忠敬は、すべての測点

図4 交会法



となる遠くの山や島などの方角を測っておき、部分的な大図をつなぎ合わせる際の位置の確認や補正にこれを利用したことを示すものである。

⑤ 天文観測による補正

忠敬は、交会法により遠くの山や島を測量して、これらの点をつないで骨格としたが、距離が長すぎて、こうした目標間をつなぐことができないことから、天体観測を行い、地球上の緯度や軽度の差を測り、観測地点の経緯度を求めている。

天文測量の結果は、交会法とともに、導線法の欠点を補うという目的だけでなく、広域の地図作成において、地球上の経緯度に基づく地図を描くためにも必要であった。

(4) 距離の補正

地表面に沿って距離を測定すると、傾斜のある坂道などでは、地図に描く水平距離より長い値となってしまうため、実際に測った値を水平距離に換算する必要がある。忠敬の測量でも、坂道を測量する場合は、水盛台という現在の水準儀に相当する器具や高低角を測る象限儀を用いて坂の角度を測定し、八線表という三角関数表に相当する表を用いて斜距離を水平距離に換算している。

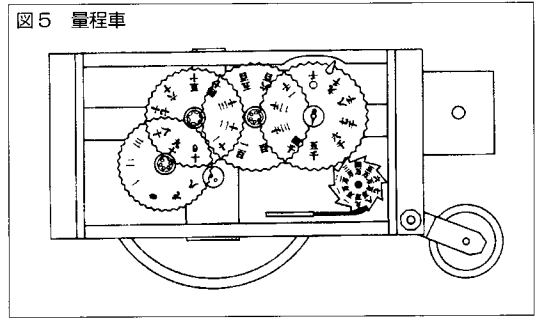
測量用具の工夫

伊能忠敬の測量の基本は、距離と角度の測定である。このため、忠敬は距離と角度（方位）を測る道具に細心の注意を払っている。

(1) 距離を測る道具

当時の測量では、距離を直接測るものさしとして間縄と呼ばれる麻縄でつくられたロープや間棒という檜や松、あるいは竹でつくられた長い棒が使われていた。

図5 量程車



しかし、距離測定の基準となる間縄については、使用している間に伸びが生ずることから、忠敬も頭を悩ませていたようである。このため、忠敬は一般的に使われていた麻縄ではなく、細い鉄の棒の両端を輪にしてつないだ鉄鎖や、藤、鯨の鱧、竹などの伸縮のない材質を使った縄を使用するよう注意している。

この頃、距離の測量には間棒や間縄のほかに、輪竿、間車、杖車など、車輪の回転数を利用して距離を測る道具も考えられていた。これらの道具には、車輪の回転を数える工夫が施されていたが、なかでも忠敬の測量用に開発された「量程車」は、その構造が最も複雑なものといえよう（図5）。しかし、この量程車は、砂浜や凸凹道では正確な値を得ることが難しく、限られた場所でしか使用されなかったようだ。

(2) 方位を測る道具

一般的に、角の測定には、目標となる2方向を挟む角（挟角）を図る場合と一定方向（通常は北）から目標の方位を測る場合がある。江戸時代末の測量の主流は、前述したように紅毛流の盤針術であり、角の測定は、磁針の指す北、または南からの方位を測る方法である。

紅毛流の測量では、方位の測定に規矩元器という木製の道具が使われるのが一般的であったが、忠敬の測量では、効率性と精度を確保するため、杖の先に付けた小型の羅針盤を改良したものを使用している。

羅針盤には、目標を正確に捉えるための視準板をつけ、針を支える支持部にも水晶を使用するなど、磁針の回転部の摩擦を最小にするとともに、磁針を細く長くして目盛を細かく読めるようにしている。目盛盤も、方位を詳細に読み取るため、十二支の方位の1方位（30度）をさらに30等分し、360度に分割している。さらに、測定結果の誤読を防ぎ、効率的に測量が行えるよう、方位盤の目盛を逆にして南北方向につけられた視準板で目標を視準したときに、目標の方位が磁針

図6 穹窿羅針

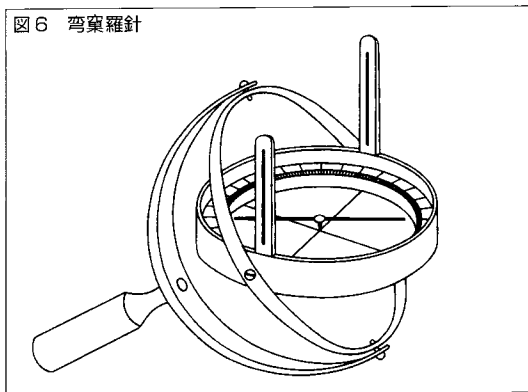
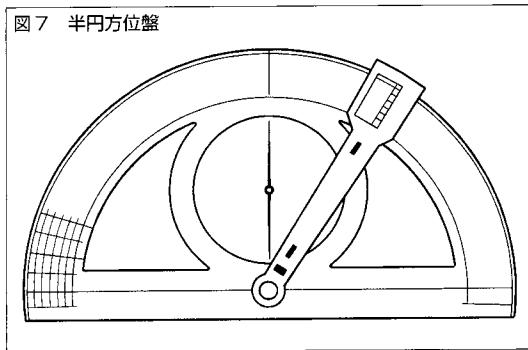


図7 半円方位盤



の指す目盛で直接読み取れるようにしている。

また、磁石の針が目盛盤やガラスの覆いなどと接触しないよう水平を保つため、羅針盤を半環と全環を組み合わせた2軸の穹窿に取り付け、自動的に水平が保てる構造にしている。

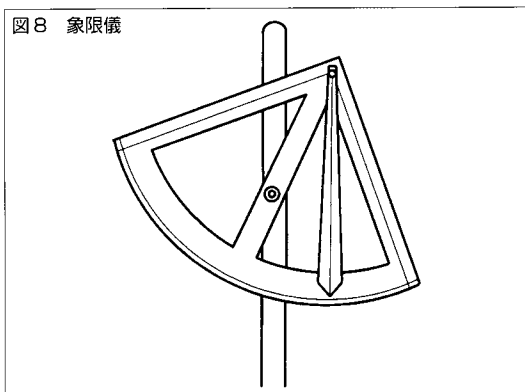
忠敬が全国測量に使用したこの小型の方位盤は、「穹窿羅針」、あるいは杖につけて使用したことから「杖先羅針」とも呼ばれ、一般的には杖の先端を三脚の台に差し込んで固定して使用したようだが、杖をそのまま地面に突き刺し、一脚で使用することもあったようだ(図6)。

この小型の方位盤は、江戸末期には地方にも普及し、小方儀として明治初期まで土地の測量に広く使用された。

忠敬の使用した測量機器の中に一目盛をさらに6分割し、10分単位の目盛が読み取れる半円形のやや大きめの方位儀が残されている。遠方の目標を精度よく測るためには、より精細な目盛が読み取れる道具が必要であり、この半円の方位盤は、交会法で遠くの山や島の方位を測定するのに用いたものである(図7)。

(3) 高低角を測る道具

図8 象限儀



水平方向の角度の測定には、方位盤が用いられたが、垂直方向の角度の測定には、円を4分割した扇型の辺にとりつけた望遠鏡や筒で目標を視準し、四分円の中心から垂直に下げた錘の先で目盛を読む象限儀が使われた。象限儀は、もともと天体観測用の道具だが、忠敬は小型の象限儀を坂道の傾斜や山の高さの測量に使用している(図8)。

おわりに

忠敬の測量方法は、決して特別な方法ではなく、基本的な考え方や技術は、当時の出版物でも知られていた紅毛流測量術によっている。

忠敬の測量が他の測量と異なる点を挙げるとすれば、先端技術の合理的な部分を選んで実践用にさまざまな工夫を施したこと、天文測量により各地の経緯度を求め、科学的な地図作りに使用したことであろう。

忠敬の測量におけるこれらの工夫は、忠敬を支えた多くの人々の協力によるものであるが、それを的確に使用し、1点ごとの丹念な測量の積み重ねによって、現在の測量結果とほとんど変わらない地図を作成した忠敬の努力は、測量に携わるものの姿勢として、これからも継承されなければならないことと感じている。

《参考文献》

- 1) 大谷亮吉：伊能忠敬(帝国学士院蔵版)、岩波書店、1917年
- 2) 保柳睦美：伊能忠敬の科学的業績(訂正版)、古今書院、1980年
- 3) 松崎利雄：江戸時代の測量術、総合科学出版、1979年
- 4) 佐藤甚次郎：明治期作成の地籍図、古今書院、1986年
- 5) 伊能忠敬研究会：忠敬と伊能図、(株)アワ・プランニング、1998年