

測地成果2000 — 日本測地系の現状と問題点 —

Geodetic Coordinates 2000

Present Status and Problems of Tokyo Datum

測地部 高橋保博

Geodetic Department Yasuhiro TAKAHASHI

要旨

国土地理院では、各種測量や地図に使われている基準点成果の見直し作業を進めている。見直し後の新しい成果を「測地成果2000」と呼称している。

この「測地成果2000」の構築に際して、現在使用している日本測地系の問題点の解決を目指している。

本稿は、近代測量が始まった明治時代から現在までの、各種測量の基準となっている基準点(三角点、水準点等)の歴史と現状についてまとめ、さらに、現状での問題点及び歴史に起因する技術的な問題点について整理をしたものである。

1 はじめに

我が国における測地事業は、明治維新による近代政府の誕生と共に始められた。明治4年に工部省に測量司がおかれ、組織的な土地調査と地図作成の機関となり、全国的な三角測量に着手した。軍事上その他の理由で参謀本部陸地測量部がこれらの測量事業を統合して実施する事になり、1882年(明治15年)頃から1916年(大正5年)の間に国内の測量を完了させた。

戦後、測量法及び国土調査法が制定され、これにより国家の測地座標系が体系づけられた。この体系は、「日本測地系」と呼ばれ現在に至っている。

国土地理院では、西暦2000年を目途に「日本測地系」の改訂を計画している。

ここでは、「日本測地系」の現状と問題点について述べる。

2 測地系

測地系(測地基準系)とは、ある基準の基に測量を行って、位置(水平位置及び高さ)の基準となる点(基準点)を国土全体に均等な密度で配置・構築した体系をいう。

我が国の測地系は、日本測地系(Tokyo Datum)と呼ばれ、明治政府が全国の5万分の1地形図の作成を目的に構築されたものであり、当時としては最高の技術で測量された三角点、水準点の網で日本列島をおおった。又、現在ではこれらの三角点や水準点を基準として公共測量等により多数の基準点が設置されている。

この基準は、測量法で次のように規定され、現在用いられている。

表-1 測量法第11条

測量法第11条

1. 地球の形状及び大きさについては、ベッセルの算出した次の値による。
長半径 : 6,377,397.155m
扁平度 : 1/299.152813
2. 位置は、地理学的経緯度及び平均海面からの高さで表示する。但し、場合により直角座標又は極座標で表示することができる。
3. 距離及び面積は、水平面上の値で表示する。
4. 測量の原点は、日本経緯度原点及び日本水準原点とする。但し、離島の測量その他特別の事情がある場合において、国土地理院の長の承認を得たときは、この限りでない。
5. 前号の日本経緯度原点及び日本水準原点の地点及び原点数値は、政令で定める。

測量法施行令第2条

日本経緯度原点の地点及び原点数値は、次のとおりとする。

地点 東京都港区麻布台2丁目18番1地内旧
東京天文台子午環の中心点

原点数値

経度 東経 139°44'40"5020

緯度 北緯 35°39'17"5148

原点方位角 156°25'28"442

(旧東京天文台子午環の中心点において真北を基準として右回りに測定した鹿野山一等三角点の方位角)

2. 日本水準原点の地点及び原点数値は、次のとおりとする。

地点 東京都千代田区永田町一丁目一番地内
水準点標石の水晶板の零分画線の中点

原点数値 東京湾平均海面上24.4140m

3 日本測地系の歴史と現状

1) 日本経緯度原点

日本経緯度原点は、明治の初年近代的大地測量の開始

に伴って、原点が必要となり、東京麻布の旧海軍観象台の構内に選定された。

1876年（明治9年）に緯度観測を行い、その後経度及び方位角が観測され1885年（明治18年）に一応の観測が終了した。緯度については、海軍中尉大伴兼行（後に肝付に改姓）の観測した結果を、経度については、アメリカ沿岸測地局のチットマン氏らの観測した値を子午環中心に移し、一等三角測量を開始した。

その後、海軍水路部が、経度について、当時既に得られていた、ウラジオストックとグアムからのそれぞれの観測値を平均して求めた。その結果、1918年（大正7年）9月に文部省告示により、+10.405秒が原点に補正された。この結果により、三角点の数値や地図の図郭が全て変更された。

その後、1923年（大正12年）の関東震災により、原点の子午環が破壊されてしまったばかりか、周囲の基準点相互の位置関係も懸念されたため、大規模な震災復興測量を行なった。その結果、原点位置は不動とし、原点方位角（鹿野山一等三角点の方向角）を変更した。

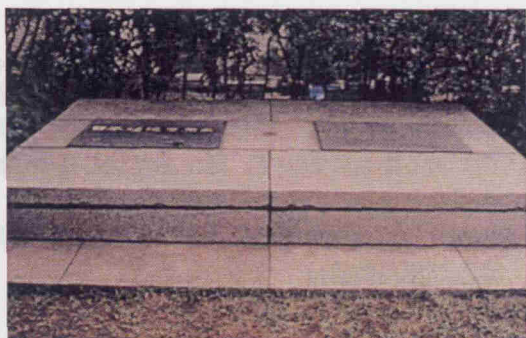


写真-1 日本経緯度原点

2) 日本水準原点

我が国における高さの基準は、全国各地の主要河川の河口に、主に治水の立場から設置された「量水標」の験潮記録によって平均潮位を求め、それを基準面として測量が行われていた。

1884年（明治17年）6月、一等水準測量の開始に伴い、全国統一した基準面が必要となり、東京湾霊岸島量水標の1873年（明治6年）6月から1879年（明治12年）12月までの内4ヶ月間の欠測を除いた6年3ヶ月間の記録から平均海水面を決定した。

1891年（明治24年）には、現在的水準原点が建造された。標高の指標は、舟形石の軸端に埋め込まれた水晶板の目盛り刻線によって与えられ、精密に水準測量が行われ零目盛を24.500mに設定した。

1923年（大正12年）に、油壺験潮場に於ける1900年（明治33年）から23年間の記録を用い測量した結果、原点数値と比較したところ、僅か3mmの差であった。

その後、1923年（大正12年）の関東震災の発生に伴い、

関東地方及び甲信地方で一等水準網の点検測量を行うと共に、油壺験潮場の験潮記録を用いて、原点の変動量を推定したところ、-86mmが算出されたため陸地測量部は、部命令により1928年（昭和3年）3月31日に日本水準原点の標高を現在の24.4140mに変更した。

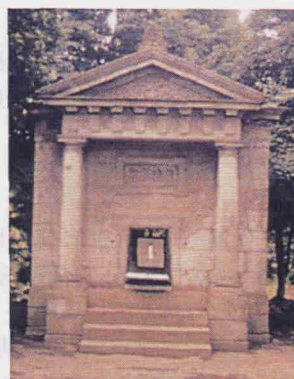


写真-2 日本水準原点

3) 基線測量

一等三角網の辺長に絶対値を与え、かつ、その精度を確保するため、1882年（明治15年）から1911年（明治44年）までに、全国ほぼ200kmおきに14カ所の基線場を設置した。

表-2 全国基線場一覧表

基線名	測定年度	所在	基線長	標準偏差	相対誤差
相模野	1882年（明治15年）	神奈川県	5,209.9697	±0.00293	0.56ppm
三方原	1883年（明治16年）	静岡県	10,839.9757	±0.00697	0.64ppm
養庭野	1885年（明治18年）	滋賀県	3,065.7239	±0.00077	0.25ppm
西林村	1887年（明治20年）	徳島県	2,832.2124	±0.00169	0.60ppm
天神野	1888年（明治21年）	鳥取県	3,301.8051	±0.00089	0.27ppm
久留米	1889年（明治22年）	福岡県	3,161.0071	±0.00169	0.53ppm
笠野原	1892年（明治25年）	鹿児島県	5,875.5038	±0.00145	0.25ppm
塩野原	1894年（明治27年）	山形県	5,129.5872	±0.00187	0.36ppm
須坂	1896年（明治29年）	長野県	3,219.9120	±0.00074	0.23ppm
鶴見平	1898年（明治31年）	青森県	4,006.0309	±0.00052	0.13ppm
札幌	1900年（明治33年）	北海道	4,539.7703	±0.00142	0.31ppm
蕨別	1903年（明治36年）	北海道	4,069.8502	±0.00038	0.09ppm
声間	1908年（明治41年）	北海道	2,677.5035	±0.00040	0.15ppm
沖縄	1911年（明治44年）	沖縄県	4,151.6773	±0.00041	0.10ppm

測定に用いられたインバール製25m基線尺の検定は5m標準尺により10μの精度で行なわれた。さらに、同標準尺は、メートル副原器により1μの精度で検定が実施された。なお、基線測量の精度は表-3のとおり、概ね0.5ppm（10kmで5mmの誤差）である。野外における測量で得られたこの精度は、他の科学技術分野では類を見ない程、高精度なものであった。



写真－3 基線測量風景

4) 一等三角点

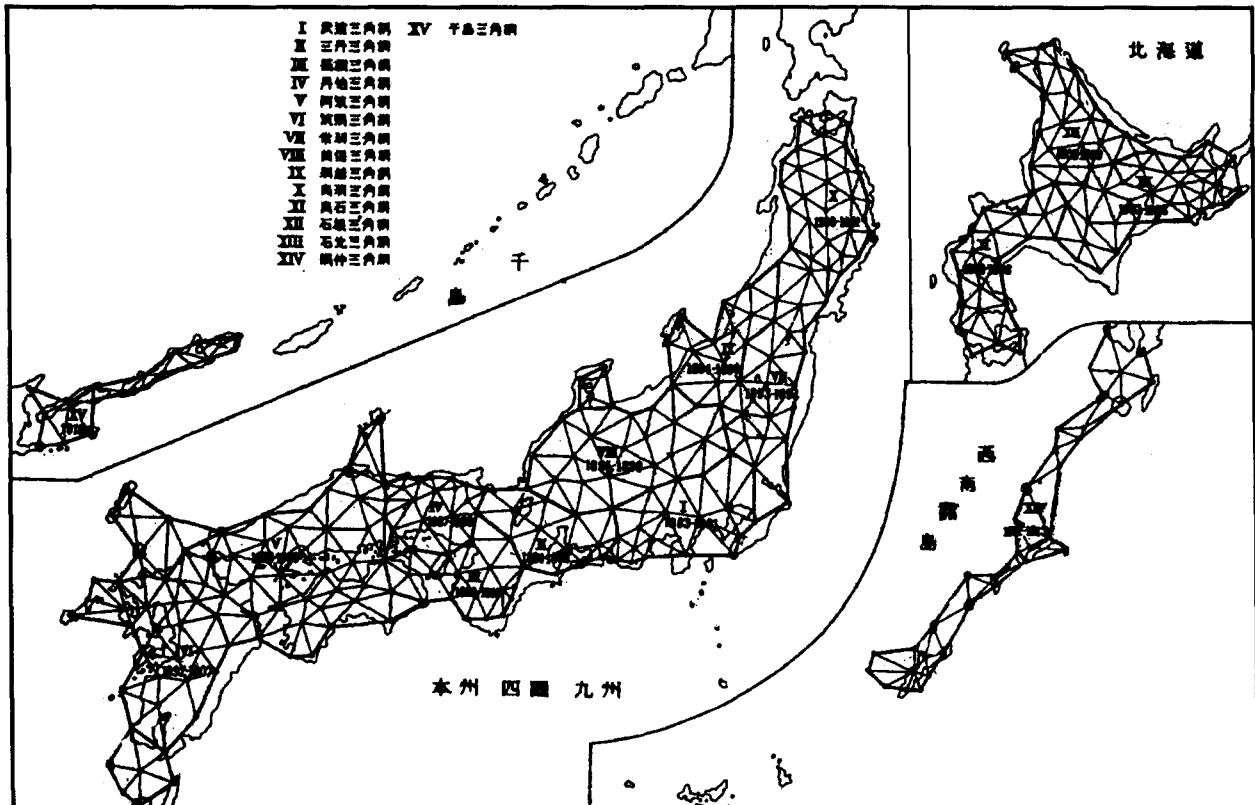
一等三角点の整備は、相模野基線1882年（明治15年）、三方原基線1883年（明治16年）の測定完了とともに、明治16年の武遠三角網を始めとして次々に全国の一等三角網の整備に着手し、1915年（大正4年）に終了した。

この一等三角測量の結果は、当時既に自国の基準点整備を完了していた測量先進諸外国の基準点精度（三角形の閉合差から求めた一角の標準偏差）に匹敵するものであった（表－4 参照）。

表－3 一等三角測量の精度

番号	三角網	点数	一角の標準偏差	観測年
1	武遠	22	± 1.0030	明治16年～明治24年
2	三丹	15	± 0.9452	明治17年～明治31年
3	摂讃	16	± 0.6666	明治19年～明治22年
	紀伊	9	± 0.5521	明治28年～明治29年
4	丹伯	22	± 0.5580	明治20年～明治22年
5	阿筑	45	± 0.5468	明治23年～明治29年
	隠岐	3	± 0.1339	明治39年～明治41年
6	筑隅	29	± 0.2722	明治25年～明治27年
	封馬	4	± 0.0916	明治23年～明治40年
	五島	3	± 0.3043	明治24年～明治26年
7	常羽	30	± 0.4463	明治26年～明治27年
8	美信	29	± 0.7323	明治28年～明治31年
	能登	5	± 0.8295	明治26年～明治31年
9	羽越	16	± 0.5078	明治27年～明治32年
	佐渡	3	± 0.6566	明治27年
10	奥羽	30	± 0.6169	明治33年～明治34年
11	奥石	23	± 0.5589	明治29年～明治38年
12	石根	39	± 0.7479	明治36年～明治41年
13	石北	30	± 0.5872	明治41年～明治42年
14	隅沖	34	± 0.6366	大正元年～大正2年
15	千島	19	± 0.7800	大正4年

合計 426 点 平均 ± 0.66 秒



図－1 基線測量及び一等三角点網図

表-4 当時の諸外国の一等三角測量の精度

国名	一角の標準偏差
オランダ	0.388秒
ドイツ	0.534秒
デンマーク	0.442~0.997秒
フランス	0.270~3.709秒
北アメリカ	0.480~1.47秒
日本	0.66秒

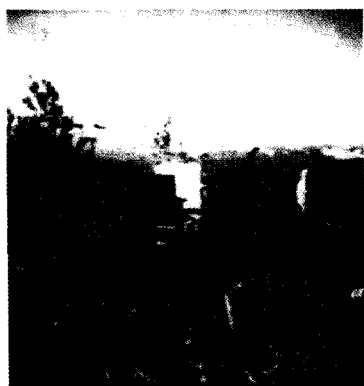


写真-4 回照器(太陽光を鏡で反射させ観測点に送る装置)

5) 二・三等三角点

一等三角測量網の中に配点密度を増やすため、二等、さらに三等というように逐次三角網を整備していく手法が採られ、二等三角測量は一等三角測量開始から1年後の1884年(明治17年)に開始され、二等三角測量は1917年(大正6年)に、三等三角測量は1920年(大正9年)に全国の整備を終了した。

表-5 二・三等三角点の精度

地域	二・三等 三角点数	観測誤差		観測年度
		二等三角	三等三角	
本州	約 6,000 点	±0.78秒	±1.88秒	明治17年~明治26年
本州、四国、九州、千島	約 31,500 点	±0.72秒	±1.61秒	明治27年~大正2年
北海道、千島、南西諸島	約 9,500 点	±0.91秒	±1.69秒	大正3年~大正9年

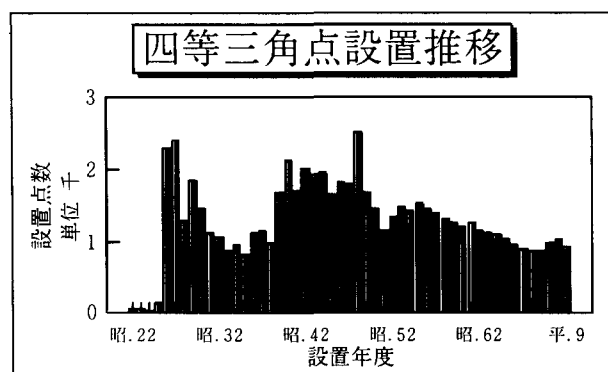


写真-5 三角測量観測風景

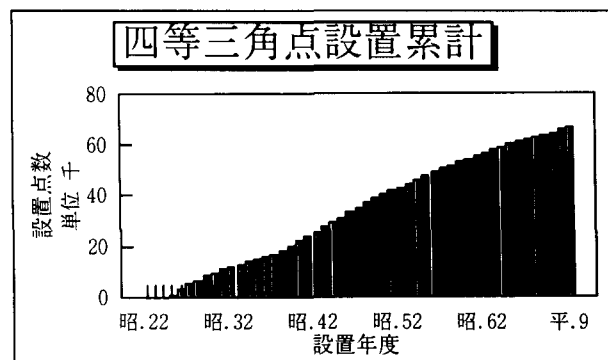
6) 四等三角点

陸地測量部時代の三角測量は、全国の5万分の1地形図の作成を目的に構築されたものであったので、一辺の平均距離4km, 配点密度が16km²に2点を標準として、三等三角点までを設置した。この時代、四等三角点や五等三角点が設置されてもこれらは散発的なものであり、永久標識は設置されず、地形図作成のための補助点として使用される程度であった。

1951年(昭和26年)に国土調査法が制定され、地籍測量が開始された。これに必要な基準点(四等三角点)の設置が全国で開始された。さらに、1961年(昭和36年)からは国土基本図事業に必要な四等三角点の設置も行われた。



グラフ-1 四等三角点の設置推移



グラフ-2 四等三角点の設置累計

7) 一等水準点

一等水準点の整備は、1883年(明治16年)に東京周辺から開始され、第一回目の全国の観測が大正2年に終了した。その後も全国の繰り返し観測が行われ、1997年(平成9年)には、第8回目の観測が終了した。また、災害復旧、火山・地震等地殻変動の把握及び地盤沈下調査等のための地域的な観測も行われている。

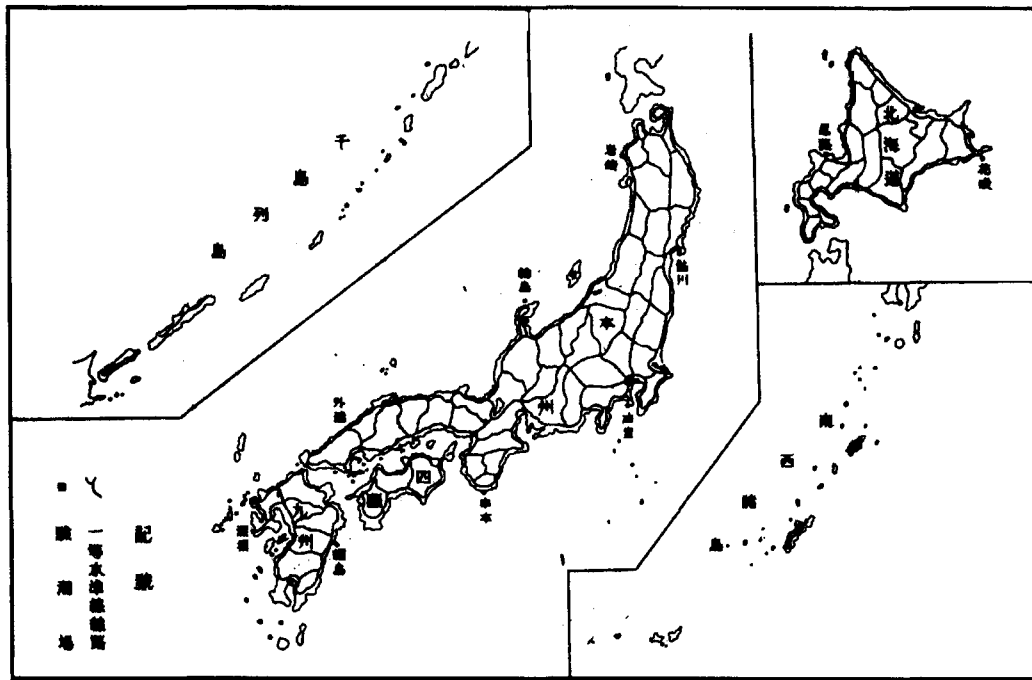


図-2 一等水準点路線図

8) 二・三等水準点

二等水準測量は、当初、三角点に高さを与える目的で行われ、1906年（明治39年）までは標石を埋標せず、標杭や神社の石垣等が用いられた。1907年（明治40年）から埋標が行われるようになり、1940年（昭和15年）までに284点が設置された。

戦後、国土調査、地殻変動調査、湖沼調査、土地利用調査、国土基本図事業等が行われるようになり、三等水準測量が新たに加わり、1998年（平成10年度）現在では二等水準点約5800点、三等水準点約600点が全国に設置されている。



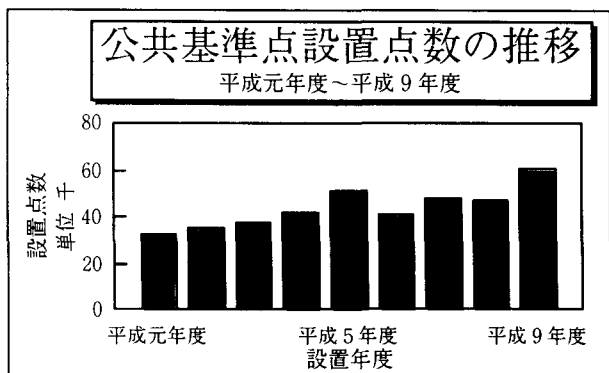
写真-6 水準測量風景

9) その他の基準点

基本測量により設置した水平位置の成果を持った基準点は、前述の三角点の他に準三等三角点、復興三角点、多角点、小等三角点、公等三角点、標等三角点、五等三角点、三等多角点等がある。内準三等三角点は、関東、北海道地方の隠蔽地に設置され、樹上測標による前方交会法によるもので精度的に劣っているが、三等三角点として登録されている。復興三角点は関東震災に伴い、新設された三角点である。その他については、精度が劣ること、また設置の目的が終わっている。そのため、これらの基準点については順次廃点の手続きを進めている。

10) 公共測量により設置された基準点

公共測量による基準点は、測量法（昭和24年法律第188号）の施行に伴い前述の基準点を利用して、国又は地方公共団体が設置したものであり、1988年（平成元年）から1997年（平成9年）では、グラフ-3の設置点数と



グラフ-3 最近の公共基準点設置の推移

なっている。

4 日本測地系の問題点

我が国の位置や高さの基準である三角点や水準点は、国土地理院が整備する2万5千分の1地形図を始めとした国の基本図の基礎になっているほか、地方公共団体が作成する各種の地図、ダムや道路建設の公共土木工事のための測量、個人の権利に係わる土地の測量にその基準を与えている。また、水路測量や各種法令・条約における経度・緯度による位置の表示の基準も、三角点や水準点と同じ基準が用いられている。

しかし、整備開始以来100年以上が経過し、次のような様々な問題が生じている。

1) 測地系のグローバル化

日本測地系の制定当時は、各国が独自に楕円体などの原子を決めて測量を行って経緯度を求めた。前述のように日本の測地系も当時の最新の楕円体を使っているが、近年のGPSなど地球規模のシステムを基礎とする位置決定技術の急速な普及により、世界共通に使用できる経緯度への早急な対応を迫られている。

また、GPSは測量ばかりではなく、位置情報を必要とする多くの分野で用いられるようになってきている。特に船舶や航空機のナビゲーションの分野では、既にGPSがその中核になっている。

船舶のナビゲーションでは、GPSが与える座標と海図が一致することが重要なことから、IHO（国際水路機構）の技術決議によって、海図を世界標準で刊行すべきことを勧告している。また、航空ナビゲーションの分野に於いても、航空関連施設の位置を世界標準で表すようICAO（国際民間航空機構）が勧告している。

一方、一般の測量でもGPS衛星の軌道情報は、地球重心系で提供されており、21世紀の位置情報がGPSを中核として発展していくことが予想される状況においては、ローカルな日本測地系から世界共通に利用できるような座標系への対応が必要である。

2) 測地系の精度

電子技術の進歩により、測量機器も目覚ましく発展した。特に1965年（昭和40年）代後半から使われたEDM（光波測距儀）により 10^{-6} （10kmの距離で1cmの誤差に相当）の精度が可能になり、さらに、近年のGPSにより 10^{-7} （100kmの距離で1cmの誤差に相当）程度の高精度な測量が容易にできるようになった。

これらの高精度測量は、今日の進んだ土木技術を支え、大規模な公共建設工事に不可欠になっている。また、依然として地価が高い水準にある都市部においては、トラブルを回避するためにも土地の高精度測量が求められており、多くの地方自治体では、これらの各種の用途に対応できるように、広域に高精度な公共基準点網を整備する動きが続いている。

ところが、本来国家基準点に準拠することにより測量

の精度・信頼性が向上すべきものであるにもかかわらず、現行基準点体系は地図作成の基準を目的として、高精度で構築されている。しかし、現行の基準点体系の精度は、現代の測量の精度より低いことから、各地の自治体が高精度の都市基準点網を整備する場合、測量結果が国家基準点と整合せず、精度確保のため一部の三角点の使用を避けるなどの処置を執らざるを得ない事態が生じるなど、深刻な問題になっている。

3) 測地系の維持管理

日本では、盛んな公共事業に代表されるように国土の開発事業が活発に行われ、基準点の破損・亡失が各地で多発し、位置座標成果を公開しながら現地で見つからない基準点があることが指摘されている。

国土地理院では標石調査を実施するとともに、公共測量等により利用された基準点に関しては利用者の協力を得て基準点の状況に関し情報収集に努めているが、十数万点にのぼる国家基準点をきめ細かく管理することは、非常に困難になっている。

4) 技術的な問題点

a) 日本経緯度原点

経緯度原点付近は、地球上の平均的な場所に比べ、近くに日本海溝があるというような特異な地域に当たり、地形、地殻構造に由来する鉛直線（重力の方向）が傾いていることが判っている。ここでの天文観測により経緯度原点の値を求めて準拠楕円体（ベッセル）を固定したため、地球全体で見ても、例えば、地球重心系と較べ経度で-10秒前後、緯度で+10秒前後の系統的な誤差を持っている。

b) 準拠楕円体とジオイド

準拠楕円体は、地球の形状に最も良く整合している必要がある。我が国では明治初頭から、ベッセルの算出した値を使用しているが、日本近傍において現実の形状（ジ

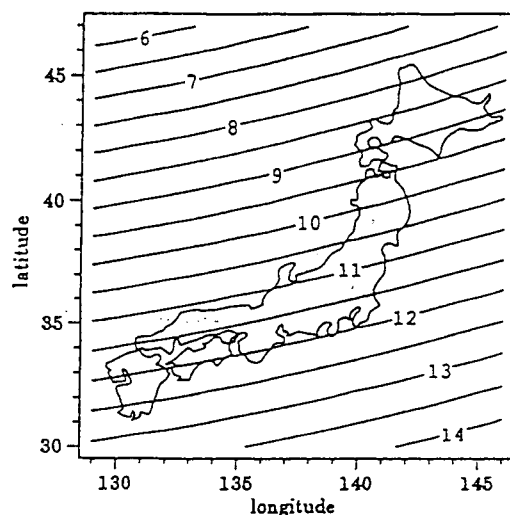


図-3 経度の差

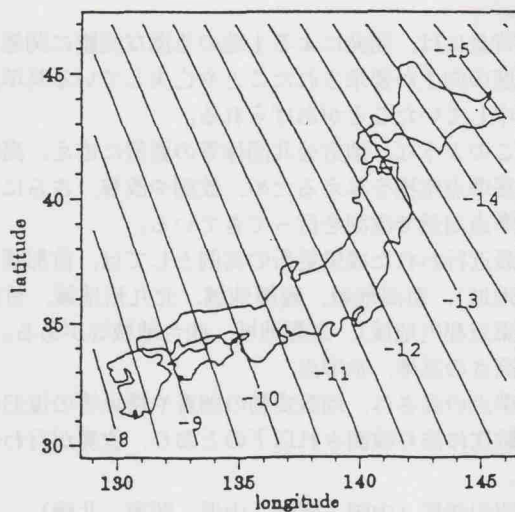


図-4 緯度の差

ジオイド：平均海面を陸地部へ延長した仮定の面）とうまく整合していないため、準拠楕円体とジオイドは、原点を離れるにしたがって系統的に乖離が大きくなっていき、結果として座標が日本海側にずれていくこととなった。

また、経緯度原点から鹿野山一等三角点への方位角（原方位角）についても、新しいデータと比較すると、全体に反時計回りの系統差を持っている。

この誤差は、明治時代に行った観測が悪いのではなく、原点において天文経緯度と測地経緯度を一致させたこと、準拠楕円体にベッセル楕円体を採用したことに起因している。三角点の成果には、これらの歪みとして原点から見ると北海道で南西へ8～9m、九州では南側へ3～4mもの誤差が累積している。

c) スケール誤差及び計算手法

当時は、長距離を直接に測定する技術がなかったため、数kmの基線を測定し、角度の測定だけにより、一等三

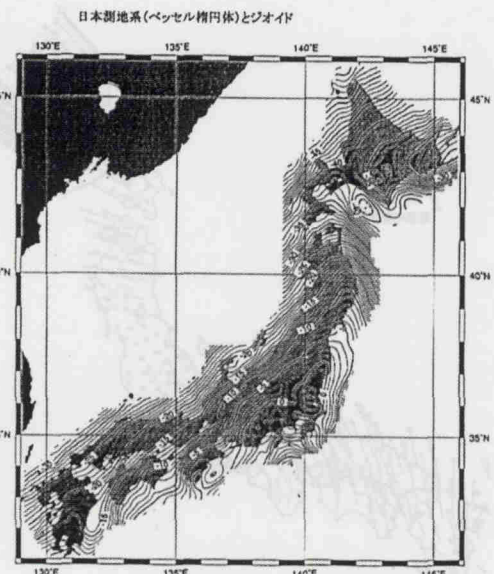


図-6 日本測地系とジオイド

角点の距離にまで基線を増大して、基準点の位置を決定した。このことは、距離を延ばすほど、誤差も増大することとなった。

また、計算手法も現在行っているような大型電子計算機を使った、同時網平均計算ではなく、いくつかの地区毎に分けて行う逐次計算法と呼ばれる手法を行ったため、地区境においては不整合が見られる箇所もある。

d) 地殻変動による不整合

我が国は世界有数の地震火山国である。日本測地系での成果の完成から80年以上経過して、累々と続く地殻変動で、殆どの基準点が実際の位置とは違っていることが推定される。

e) 改測による不整合

改測を行う理由には、①震災等による場合②高精度な基準点の要望等があり、いずれも地域的に行われている

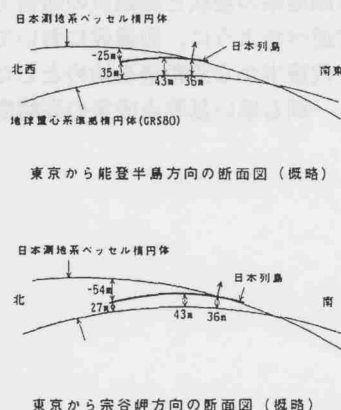


図-5 日本付近の楕円体の関係

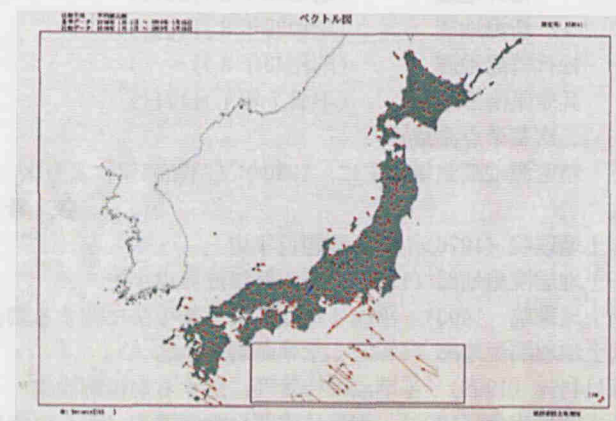


図-7 電子基準点が捉えた1年間の地殻変動



図－8 現状の成果の歪み

ため、改測を行わない周囲の三角点との不整合が懸念される。

① 震災復旧測量

三角測量が進行中あるいは終了後に発生した大地震によって、三角点が移動したと考えられた場合に行われた測量である。この改測で、成果を改定した場合に、移動が生じた範囲の推定や計算する上での不動点の選定等の検討が必ずしも十分とはいえない。

震災等による改測の例は以下の通りである。

濃尾地震	(明治24年10月28日)
桜島地震	(大正3年1月12日)
関東地震	(大正12年9月1日)
北伊豆地震	(昭和2年3月7日)
丹後地震	(昭和5年11月26日)
鳥取地震	(昭和18年9月10日)
南海道地震	(昭和21年12月21日)
福井地震	(昭和23年6月28日)
新潟地震	(昭和39年6月16日)
松代群発地震	(昭和40年8月～)
兵庫県南部地震	(平成7年1月17日)

② 二次基準点測量等

精密測地網測量は主に、1980年(昭和55年)より大

都市及びその近郊の人口集中地域において実施している。

背景には、開発による土地の急激な高騰に関連して精度の向上が要求されたことや亡失している基準点が集中していたことがあげられる。

このような、地方公共団体等の要望に応え、高精度な基準点座標を与えるため、改測や改算、さらに二次基準点測量で改測を行ってきている。

最近行われた成果更新の実例としては、首都圏(横浜地域)、新潟地域、阪神地域、北九州地域、首都圏(東京都内地域)、京都地域、仙台地域等がある。

f) 高さの基準、水準点

水準点の高さは、地殻変動の調査や震災等の復旧のため、数次に渉り改測され以下のとおり、改算が行われている。

昭和28年(中国、四国、中近、関東、北陸)

昭和31年(東南北部)

昭和35年(東北北部、北海道)

昭和38年(九州)

昭和44年(北海道を除く全国)

昭和47年(北海道)

全国の一等水準点の改測は第8回目終了している。そして、改測時に部分的な改算が行われているが、全国を視野に入れた改算は1969年(昭和44年)以来、30年間も行われていないため、継続的な変動や広範囲な変動には必ずしも対応していない。また、北海道では独立に平均計算を行っているため、本州との連続性に欠けている。

さらに、水準点は三角点と比較して、その標高は格段に精密であることは言うまでもないが、現状の成果は地域的な重力の違いを考慮せず水準面が回転楕円体であるとして計算した重力値(標準重力)を用いて補正を行い求められた標高(正規正標高)である。厳密には、観測した場所での重力値を用いて補正した標高(正標高)にする必要がある。

5 おわりに

以上が日本測地系の現状と問題点の報告である。

本稿の中で述べたように、測量界においては、1965年(昭和40年)代後半から測距儀を始めとした高精度な機器が登場し、一刻も早い基準点成果の高精度化が望まれている。

参考文献

国土地理院(1970):測量地図百年史

国土地理院測地部(1992):日本経緯度原点小史

国土地理院(1993):平成4年度成果更新手法に関する調査研究報告書

国土地理院測地部(1992):水準測量沿革誌

國見利夫(1992):基準点維持管理に関する規程解説集

日本測量協会(1988):測量技術開発動向調査(新しい測地(座標系)作業報告書)

日本測量協会(1988):現代測量学(測地測量)

陸地測量部(1939):測地便覧

国土地理院(1997):日本のジオイド96

国土地理院(1997):国土地理院技術協議会 基準点体系分科会(Ⅱ)報告