

新・測地系変換ソフトウェア MGC2000A

大門 肇, 加藤 剛, 片山真人: 航法測地課
久保良雄: 東海大学

A New Datum Transformation Software, MGC2000A

Hajime DAIMON, Tsuyoshi KATO and
Masato KATAYAMA : Geodesy and Geophysics Division
Yoshio KUBO : Tokai University

1 要旨

日本測地系と世界測地系との変換プログラムで用いるための、日本測地系歪み量データファイルを作成した。ファイルは、日本の陸上部と距岸15kmまでの海域を含む615,496個の緯度30"×経度45"のメッシュデータより成る。データは国土地理院の歪み量の値をベースにしつつ、島嶼を含む陸域においては96点の水路部海洋測地基準点における観測値に調和するようにそれを規正するとともに、海域部においては一定の原則に基づいて陸域の値を海域に延長することによって作成した。精度は海上での測位には十分な0.001"を確保している。本稿では、本データ作成の過程を詳述するとともに、このファイルを用いる測地系変換プログラムについての説明をする。

2 はじめに

2001年6月20日に測量法及び水路業務法の一部を改正する法律が公布され、我が国の測量や海図・陸図の基準となる測地系として海陸ともに世界測地系が用いられることになった。

これに伴い、日本測地系と新しい世界測地系の間測地系の変換作業が多く分野で必要になることが予想されたため、「日本測地系と世界測地系の経緯度変換(暫定版)」の変換精度を向上させることとし「新・測地系変換ソフトウェア MGC2000A」を作成したので、このソフトウェアについて紹介する。

2つの測地系の間の変換は、それぞれの測地系の

基本的諸量が示されれば、数学的にはそれほど難しい問題ではない。逐次近似法など若干の数学的技法は要するものの、これを計算機のプログラムに書くにしても、数十行程度の極めて短いプログラムとなる。

ところが、測地系の変換における主たる困難は、それが単なる数学的な変換だけではないというところにある。それは、現実の日本測地系が観測誤差等に起因する複雑な誤差を持っており、その誤差は、離島等、日本測地系の三角点網に結合されていないところでは別にしても、最大で十数メートルほどに達している。

これを無視して単なる数学的変換を行うだけならば、この誤差は世界測地系で表した経緯度にもそのまま踏襲されることになる。大きな労力を要してまで日本測地系から世界測地系に移行する理由は、世界標準の測地系に変えるということのほか、この際、現時点で期待しうる最高精度の測地系を構築しようということにもあるはずである。そのため、この誤差、すなわち日本測地系の歪みは可能な限り取り除いておくことが求められる。

日本測地系の歪みについては、以前からその存在やおおよその大きさが知られており、水路部、国土地理院ではその正確な値を決定するために各種の観測を行ってきた。水路部について言えば、海洋測地網の整備計画の下に、本土三角点網に結合されていない離島を主とし、しかし、それにとどまらず測地原点から遠く離れ歪みが比較的大きいと考えられる

地点や、測地網の骨格を形成する要となるような地点で観測を実施してきた。

これらの観測については、既に多くのものが書かれているのでここでは詳しく述べないが、観測は次の3種類のものからなっている。

一つは海洋測地網の本土基準点である下里水路観測所における人工衛星レーザー測距 (SLR) 観測である。国際共同観測として、測地衛星「ラジオス」、国産測地衛星「あじさい」などを定常的に観測することにより、地球上における本土基準点の位置を常時決定する作業を行ってきている。従って、これは日本測地系の歪みを求めるための観測ではない。

次は、下里水路観測所のレーザー測距装置と、主要な離島及び本土の配置的に重要な地点に設置したもう1式の可搬式レーザー測距装置を用いた人工衛星レーザー測距の同時観測である。これにより、観測点の位置が高精度に決定され、ひいてはそれらの点と近傍の三角点を結合することで測地系の歪みも高精度に決定される。

もう一つは、これら可搬式レーザー測距装置で観測を行った地点と他の比較的小さい離島などを比較的簡単な観測によって結合するものである。観測方法としては、かつては NNSS (Navy Navigation Satellite System: 米海軍航行衛星システム) が使われたが、その後は GPS (Global Positioning System: 全方位測位システム) が使われている。いずれも両地点での同時観測を行うことにより高い精度を確保し、ここにおいても近傍に三角点があれば結合することで測地系の歪みを決定することができる。

これら水路部の海洋測地の成果により、離島についてはほぼ完全に、また、本土三角点網に結合された地点についても要所所で十分な精度で日本測地系の歪みが決定された。

この成果に基づいて、日本測地系から世界測地系に数学的変換をするに先立って日本測地系の経緯度に施すべき歪み量補正データをメッシュデータの形で作成した。なお、本土の点については、国土地理院が多くの地点で歪みの観測を行っており、その成果が公表されている。また、本土内の歪みの決定に関しては国土地理院が一義的に行うべきものと考え

られる。従って、水路部のメッシュデータを作成するに当たっては、本土部分については国土地理院のデータを利用した。

今回、水路部の歪みデータを作成するにあたっては、当然のこととして海域に重点が置かれている。島嶼を含む陸上での観測値をいかに海上にまで適用できるようにするかは最も重要であり、精力を注いだところである。

本稿は、以上のようにして作成した水路部の日本測地系歪みデータの概要を、それを使用する測地系変換プログラムとの関連について触れつつ解説するものである。

3 測地系変換プログラム

本稿で述べる日本測地系の歪み (以下、歪みと言う) データファイルは、水路部が公開している測地系変換プログラムで使用するためのものである。従って、ファイルについて良く理解するためには、その測地系変換プログラムの構成についても知っておく必要があろう。プログラムには公開用、部内用として2つのバージョンがあるが、ここでは水路部ホームページなどを通じて公開されている Ver. 3.0 C-I (3.0: プログラムのバージョン番号, C: 歪みデータのバージョン記号, I: 公開用, II: 部内用を示す) について述べる。

なお、部内用バージョン Ver. 3.0 C-II は以下の点において公開用バージョンと異なっている。

- ①日本測地系の歪みがありながら既に歪み補正を行って作成された小笠原諸島、硫黄島、大東諸島、先島群島の海図刊行地域については、【歪みの補正を行う・行わない】の双方で計算させても、歪み補正は行わない。
- ②楕円体高も考慮した計算ができる。
- ③歪みを考慮した計算の場合、歪み量も出力し、歪み量が無ければ歪み無しと表示する。
- ④本節末尾に記述する計算対象海域外でも計算を行うが、この場合陸地と海域の判定は行わない。(変換の方向)

測地系変換プログラム (以下、プログラムと言う) では、日本測地系から世界測地系への変換及び逆の

世界測地系から日本測地系への変換のどちらでも行うことができ、どちらを行うかはプログラム実行の最初に選択する。

なお、この選択を含むすべての入力、ホームページに表示される入力用の枠に指示されたとおりに入力するが、ダウンロードするなどして入手したパソコン用プログラムを実行する場合には、画面上に指示が出るのでそれに従って入力する。また、キーボードとディスプレイによる入出力、ファイルからファイルへの入出力のいずれもが可能である。

歪みデータによる歪みの補正は、日本測地系から世界測地系への変換では数学的変換を行う前に日本測地系の経緯度に対して施され、世界測地系から日本測地系への変換においては数学的変換を行った後、それによって得られた(数学的)日本測地系の経緯度に対して施される。

(歪み補正を行うかどうか)

プログラムでは、歪み補正は必ず行われるのではなく、行うかどうか選べるようになっている。その理由は次のとおりである。

一口に日本測地系による経緯度と言ってもいろいろな素性のあるものがあることに注意しなければならない。最も普通なのは三角点を元に決定した経緯度であろうが、この場合は歪みの影響を直接受けているので歪み補正を行わなければならない。一方、海上でGPSによって決定した位置は、世界測地系によって表示されたものを自分の計算で日本測地系に直したのであれ、また、受信機内のソフトで日本測地系に直されたものであれ、歪みを持っていない。従って、そのような日本測地系の経緯度については歪みの補正を行ってはならない。その他いろいろなケースが考えられるので、日本測地系での経緯度が決定された由来の明らかなものについては然るべく選択する必要がある。

(経緯度データの入力)

経緯度データは1行に1地点の緯度の度・分・秒、経度の度・分・秒を入力する。度、分は整数で、秒は整数または小数で入力する。

複数の地点をまとめて計算することは可能であるが、異なる変換の方向、歪み補正を行うものを行わ

ないものが混じったものは同時には計算することができない。

高さに関するデータは入力しなくてもよい。これは、海上あるいは海岸にごく近い地点のみを変換の対象としているためである。しかしながら、すぐ後に述べるように、これによりわずかの誤差を生じる。
(数学的変換)

数学的変換は次のパラメータに基づいている。すなわち、

日本測地系の準換楕円体：ベッセル

(赤道半径：6377397.155m,

扁平率：1/299.152813)

世界測地系の準換楕円体：WGS84

(赤道半径：6378137.0m,

扁平率：1/298.257223563)

両楕円体の中心の差：

$$x_W - x_T = -146.383 \text{ m}$$

$$y_W - y_T = +507.298 \text{ m}$$

$$z_W - z_T = +680.443 \text{ m}$$

この式で、 x, y, z に付した添え字のTは日本測地系、Wは世界測地系を示す。なお、両楕円体の中心の差を示す上の数値は、下里水路観測所での観測結果に基づいて決定された、現時点での最も確実な値である。

数学的変換の計算に伴う誤差は十分に小さく問題とならない。しかしながら、プログラムでは海面の楕円体からの高さを0とみなして処理している。海上あるいは海岸近くと言っても日本測地系、世界測地系それぞれの楕円体からの高さは数十メートルに及ぶ場合があり、これを0として処理するので、若干の誤差を生じる。しかし、これによる経緯度の値への誤差は高々0.001"、約3cmであるので実際上は全く問題がない。

内陸の点については誤差はもっと大きくなる理屈であるが、後に述べるように、そのような点については本プログラムは責任を負わず、国土地理院の変換式に従うようコメントが出るようになっている。

(歪み量の計算)

歪み量は緯度30"×経度45"のメッシュごとのデータとして用意されている。任意の点での歪み量につ

いてはその点に関する4つのメッシュの値を用い、bi-linear 内挿法によって求めている。

各メッシュの歪み量の値はそのメッシュの南西の角におけるものである。従って、関係する4つのメッシュとは当該の点を含むメッシュ、その北に隣接するメッシュ、当該の点を含むメッシュの東に隣接するメッシュ、及びその北に隣接するメッシュである。

それぞれの南西の角の緯度、経度を (ϕ_0, λ_0) , (ϕ_1, λ_0) , (ϕ_0, λ_1) , (ϕ_1, λ_1) とし、当該の点のそれを (ϕ, λ) とする。また、5つの各点における歪み量などの関数値をそれぞれ f_{ij} ($ij=00, 10, 01, 11$), f とすると、 f は

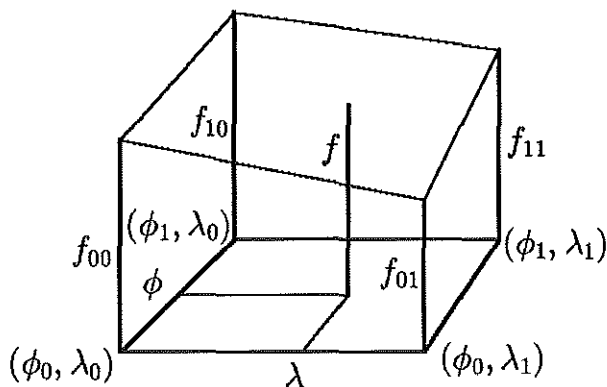
$$f = f_{00} \times (\phi_1 - \phi) / 30'' \times (\lambda_1 - \lambda) / 45'' + f_{10} \times (\phi - \phi_0) / 30'' \times (\lambda_1 - \lambda) / 45'' + f_{01} \times (\phi_1 - \phi) / 30'' \times (\lambda - \lambda_0) / 45'' + f_{11} \times (\phi - \phi_0) / 30'' \times (\lambda - \lambda_0) / 45''$$

で与えられる (第1図)。

歪みデータが存在するのは日本国内の陸上部とそこからの距岸約15km以内の海域だけである。歪み量の計算はそれら歪みデータの存在する地点でのみ行われ、それ以外の海上の点では単なる数学的変換が行われる。

(海か陸かの判別)

プログラムでは、変換量を求めようとする点が海であるか陸であるかの判別を行うようになっている。これは、陸上の点については水路部が責任を持って変換量を示すことができないので、そのことを示すためである。また、外国の陸上の点については、



第1図 Bi-linear 内挿法
Fig. 1 Bi-linear interpolation.

変換は行わない。

海陸の判別には歪みデータと同じメッシュで陸か海を示すデータファイルを用いている。このため、判別の分解能は同じ程度、つまり約1kmである。従って、海岸線付近での正確な判別は不可能である。これについては、判断に迷う場合には海と判定することとした。具体的には、歪みの計算で用いたものと同じように関係する4メッシュがすべて陸の値をもつ場合にのみ、当該点を陸と判定することにした。

なお、陸の場合で日本か外国かの判別は、そこに歪みデータが存在するかしないかによった。日本の陸上であるならば歪みデータが存在するはずだからである。ただし、北方四島については歪みデータが存在しない。従って、この地域については例外として強制的に日本の陸上とするようにした。また、尖閣諸島、竹島については、陸の部分の面積が小さいため海域の扱いとした。

海陸判定のためのデータファイルはビットマップ形式のものではなく、各幅が30''の緯度帯毎に陸の始まりと終わりの経度 (一般には複数組ある) を与える方式をとっている。経度の分解能は45''である。これによって、データファイルのサイズはビットマップ形式のものより格段に小さくなっている。

(結果の出力及び対象海域)

結果の出力に際しては、1地点毎に、変換された経緯度の値とともに、次のような4種類のコメントを表示するようにしている。すなわち、

- ・「海上の点です。水路部の式によって変換しました」

何ら問題のない場合である。上述したように、海岸線付近の海か陸かが疑わしい場合にはこのケースを採用している。

- ・「陸上の点です。国土地理院の変換式に従って下さい」

この場合には、一応変換値は示すがこのようにコメントしている。実際には国土地理院の値との差は無視できるほどである。

- ・「外国の陸上の点です。変換できません」

この場合には、変換値は示されず、緯度、経度とも0が表示される。

- ・「対象海域外です」

この場合にも、経度、緯度には0が表示される。

ここで、対象海域というのは

緯度が14°N以上、50°N以下

経度が120°E以上、161°E以下

の海域（地域）で、日本の主権の及ぶ地域、海域はすべて包含している。

4 歪みデータ作成の基本方針

歪み量の計算は基本的に、水路部の海洋測地基準点成果と国土地理院の測地系変換パラメーターファイルに基づく。

この場合、しかしながら、国土地理院の測地系変換パラメーターファイルは30"×45"のメッシュデータファイルとして既に公表されているものがあり、一方水路部の海洋測地基準点は96点についての成果から成っている。従って、国土地理院の既に存在するファイルをベースとし、それを水路部の成果に基づいて、要所要所の歪み量を検定しつつ規正していくというのが最も効率的であると考えられたので、その方法に従った。

ただし、離島については水路部の成果に信頼性があることから、当該離島及びその付近の島嶼において全面的に水路部の成果を採用することとした。また、海域においては国土地理院の変換パラメーターは存在しない。よって、海域については水路部独自の方法によって歪み量の推定を行った。その方法の詳細については5.3に記述する。

（海洋測地基準点成果）

水路部の歪みデータを作成するためにその成果を採用した海洋測地基準点は96点である。基準点の数はこれよりも多いが、旧点などは除いた。これら採用した点の一覧を第1表及び第2図に示す。

第1表の経緯度は海洋測地観測により得られた歪みのないと考えられる日本測地系での経緯度である。 $\Delta\phi$ 、 $\Delta\lambda$ はこの経緯度と旧国土地理院三角点成果の経緯度との差（海洋測地基準点成果—三角点成果）である。そのうち離島等で歪みのメッシュデータが無い地点は25点（※印）存在し、「—」で示した点は三角点成果自体がない地点である。その他の欄

については、後にそれぞれの関係するところで説明する。

（国土地理院変換パラメーターファイル）

使用した国土地理院の測地系変換パラメーターファイルはTKY2JGD.parと名付けられて公表されているデータファイルである。TKYはTokyo Datumすなわち日本測地系を、JGDはJapan Geodetic Datumすなわち国土地理院の新しい測地系（世界測地系）を意味する。

データは30"×45"メッシュ、すなわち、国土地理院の言う3次メッシュあるいは1kmメッシュと呼ばれるもので与えられている。メッシュコードについては後に触れる。変換パラメータが与えられているメッシュの総数は392,183である。

なお、TKY2JGD.parのファイルのデータは経緯度の変換量であって歪み量ではない。変換量から歪み量を算定する方法は5.1で記述する。

5 歪みデータファイルの作成

水路部歪みデータファイルは次のようなステップを踏んで作成した。

- ①国土地理院測地系変換パラメーターから国土地理院の歪みデータを求める
- ②水路部海洋測地基準点において観測された歪み量により、国土地理院の歪み量を規正し、水路部の歪み量とする
- ③陸上で決定された歪み量を海域に延長する

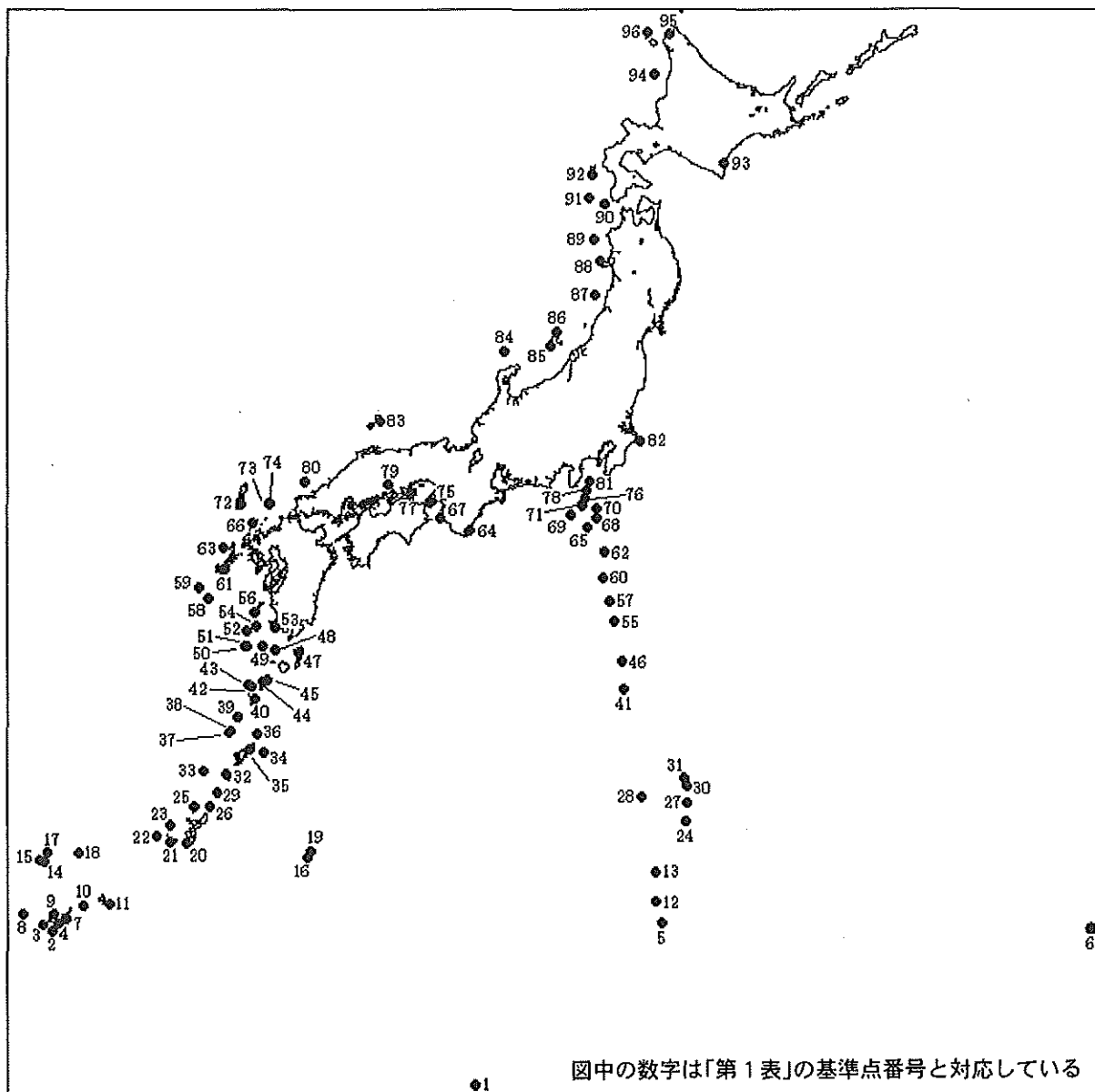
以下に、上の各ステップについて述べる。

5.1 国土地理院データファイルの修正

国土地理院のTKY2JGD.parファイルは歪み量を与えるデータファイルではない。また、国土地理院のメッシュコードは、たとえば同緯度を見た場合、数値が連続していないので、このままではプログラム上甚だ使用しにくい。TKY2JGD.parファイルを使うに当たってはこれら2点について修正を施す必要があった。

（国土地理院メッシュコードの構造）

TKY2JGD.parで採用されているメッシュは、国土地理院の定めている3種類のメッシュのうち3次メッシュ、あるいは1kmメッシュと呼ばれるもので



第2図 海洋測地基準点
Fig. 2 Marine geodetic control points.

ある。メッシュのサイズは緯度方向30"×経度方向45"の各ほぼ1km四方であるが、各メッシュではコードの付け方が次のようになっている。

・ 1次メッシュ

赤道から40'毎に切った緯度帯について、0から始まる2桁の通し番号が付けられる。経度については東経100°から始まる1°毎に0から始まる2桁の通し番号が付けられる。両者を緯度、経度の順に並べた4桁の数字が1次メッシュコードとなる。たとえば、北緯30°12.3'、東経135°0'の地点のコードは4535となる。

・ 2次メッシュ

各1次メッシュを緯度、経度ともに8等分した帯に切ることにより64個の2次メッシュが作られる。それぞれの帯に0から7の番号を付け、緯度、経度の順にならべて2桁の数字を作り1次メッシュコードの後につなげる。こうして作られる6桁の数字が2次メッシュコードとなる。上に例示した点の2次メッシュコードは453520となる。

・ 3次メッシュ

各2次メッシュを緯度、経度ともに10等分した帯に切ることにより2次メッシュは100個の3次メッ

第1表 海洋測地成果

Table 1 Results of marine geodetic surveys.

	基準点	緯度			経度			$\Delta \phi$	$\Delta \lambda$	$\Delta \phi$ (JHD-GSI)	$\Delta \lambda$ (JHD-GSI)	結合	影響 km
		°	'	"	°	'	"						
1	沖ノ島島*	20	25	5.874	136	4	35.053	-	-	-	-	0	100
2	波照間島	24	3	34.410	123	46	33.128	-0.257	0.397	-0.011	0.035	0	10
3	仲ノ御神島*	24	11	28.526	123	33	47.543	-	-	-	-	0	10
4	黒島	24	13	59.451	123	59	46.474	-0.261	0.387	0.023	-0.012	0	10
5	南硫黄島*	24	14	21.943	141	27	16.779	-	-	-	-	0	100
6	南鳥島*	24	17	23.805	153	59	17.087	-	-	-	-	0	100
7	石垣島	24	21	54.123	124	12	57.310	4.712	7.248	0.018	0.000	0	100
8	与那国島	24	26	45.194	122	56	9.619	4.840	7.089	0.052	0.005	0	100
9	鳩間島	24	28	0.041	123	49	17.753	-0.205	0.535	0.058	0.103	0	25
10	多良間島	24	40	3.908	124	41	53.802	-9.142	17.168	0.009	-0.036	0	20
11	宮古島	24	42	55.677	125	28	12.999	-1.884	2.402	-0.053	-0.008	0	100
12	硫黄島*	24	46	2.486	141	18	31.087	-25.348	5.687	-25.348	5.687	0	100
13	北硫黄島*	25	25	57.200	141	17	45.508	-	-	-	-	0	100
14	南小島*	25	43	6.125	123	33	15.011	-	-	-	-	0	100
15	魚釣島*	25	44	18.490	123	27	43.129	-	-	-	-	0	100
16	南大東島	25	49	30.357	131	13	55.513	-12.090	18.796	-0.015	-0.033	0	100
17	黄尾嶼*	25	55	24.913	123	40	54.696	-	-	-	-	0	100
18	赤尾嶼*	25	55	6.649	124	33	41.773	-	-	-	-	0	100
19	北大東島	25	56	10.190	131	19	28.408	-12.049	18.778	0.027	-0.051	0	100
20	沖繩島	26	7	40.172	127	43	3.943	-0.379	0.301	0.010	-0.019	1	100
21	久場島	26	10	2.057	127	14	6.926	-0.530	0.330	-0.123	0.034	1	20
22	久米島	26	20	10.323	126	49	38.182	-0.433	0.250	-0.007	-0.030	1	20
23	粟国島	26	34	34.595	127	13	12.290	-0.365	0.264	0.035	-0.007	1	30
24	母島	26	38	13.134	142	9	30.531	-0.005	-0.005	0.016	0.006	0	100
25	伊平屋島	27	1	18.322	127	57	52.132	-0.333	0.248	0.013	-0.007	1	20
26	与論島	27	2	6.776	128	23	58.800	-0.306	0.250	0.011	-0.012	1	10
27	父島	27	5	38.923	142	12	3.772	-0.018	-0.016	0.003	-0.005	0	100
28	西之島*	27	14	34.215	140	52	39.268	-	-	-	-	0	100
29	沖永良部島	27	22	52.799	128	38	12.310	-0.277	0.233	0.012	-0.010	1	20
30	嫁島	27	29	37.644	142	12	50.027	-0.079	-0.009	-0.058	0.002	0	100
31	鴛島	27	40	33.187	142	8	8.243	-0.145	0.055	-0.124	0.066	0	100
32	徳之島	27	47	12.110	128	53	39.982	-0.269	0.229	0.010	0.016	1	30
33	硫黄島島*	27	51	51.561	128	14	6.839	-0.319	0.325	-0.319	0.325	1	50
34	喜界島	28	19	2.091	129	58	55.464	-0.170	0.265	0.001	-0.006	1	20
35	奄美大島	28	23	3.094	129	33	10.002	-0.189	0.210	0.001	-0.005	1	60
36	サンドン岩*	28	45	17.229	129	46	49.858	0.600	-0.800	0.600	-0.800	1	20
37	横当島*	28	47	38.785	128	59	11.909	-	-	-	-	0	100
38	上ノ根島*	28	49	54.042	129	0	19.467	-	-	-	-	0	100
39	宝島	29	8	26.621	129	12	36.656	-0.155	0.163	-0.001	-0.003	1	30
40	諏訪ノ瀬島	29	36	23.332	129	42	10.896	-0.110	0.121	0.001	-0.027	1	30
41	婿婦岩*	29	47	24.500	140	20	42.100	-	-	-	-	0	100
42	小臥蛇島	29	52	16.510	129	37	13.895	-3.000	-0.200	-2.889	-0.347	1	10
43	臥蛇島	29	54	28.811	129	32	3.429	-0.100	0.155	0.011	0.008	1	10
44	口之島	29	59	23.044	129	55	1.529	-0.092	0.144	0.019	-0.004	1	20
45	平瀬*	30	2	19.104	130	3	9.647	8.000	-9.500	8.000	-9.500	1	10
46	伊豆鳥島*	30	28	48.753	140	17	33.343	-	-	-	-	0	100
47	種子島	30	40	39.563	130	58	16.620	-0.028	0.152	-0.003	-0.005	1	40
48	薩摩硫黄島	30	46	11.899	130	16	52.167	0.000	0.000	0.059	-0.108	1	20
49	薩摩黒島	30	49	29.151	129	56	23.007	-0.050	0.100	0.001	-0.004	1	20
50	草垣島	30	49	39.833	129	25	39.142	0.121	0.598	0.194	0.510	1	10

※基準点名に付いている「*」は、国土地理院のメッシュデータがない25地点を示す

	基準点	緯度			経度			$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	$\Delta\phi$ (JHD-GSI)	$\Delta\lambda$ (JHD-GSI)	結合	影響
		°	'	"	°	'	"						
													km
51	草垣上ノ島	30	51	21.677	129	28	7.569	0.121	0.665	0.194	0.577	1	10
52	宇治島	31	11	57.155	129	28	38.987	-0.066	0.060	-0.014	-0.016	1	10
53	枕崎	31	16	6.522	130	17	43.667	-0.022	0.105	0.000	-0.002	1	100
54	津倉瀬*	31	18	17.863	129	44	32.603	-	-	-	-	1	20
55	須美寿島*	31	26	5.400	140	3	14.000	-	-	-	-	0	100
56	甌島	31	38	14.124	129	42	6.332	-0.042	0.060	-0.001	-0.003	1	40
57	ペヨネース列岩*	31	53	0.940	139	55	13.733	-	-	-	-	0	100
58	男女女島	31	59	19.441	128	21	8.582	0.031	-0.116	0.004	-0.019	0	100
59	男女島島*	32	14	24.811	128	6	24.066	-	-	-	-	0	100
60	青ヶ島	32	27	17.467	139	45	44.538	2.428	0.150	-0.011	0.011	1	50
61	福江島	32	39	25.385	128	52	2.427	0.028	-0.018	0.004	0.005	1	50
62	八丈島	33	4	10.069	139	49	33.439	0.380	-0.054	-0.001	0.000	1	100
63	白瀬	33	10	46.947	128	48	20.937	0.000	0.000	-0.062	0.038	0	50
64	下里	33	34	28.112	135	56	23.227	0.034	-0.009	0.003	-0.003	1	100
65	蘭灘波島*	33	38	50.948	139	18	7.365	-	-	-	-	0	20
66	峯岐	33	46	2.001	129	38	46.622	0.123	-0.025	0.030	-0.043	1	20
67	御坊	33	52	42.409	135	3	50.797	0.056	0.028	-0.005	0.002	1	100
68	御蔵島	33	53	38.366	139	35	56.247	0.155	-0.097	-0.002	0.002	1	50
69	銭洲*	33	56	24.850	138	49	14.410	-	-	-	-	0	20
70	三宅島	34	5	24.875	139	34	9.514	0.048	-0.018	-0.008	-0.007	1	50
71	神津島	34	11	13.802	139	7	36.559	0.088	-0.043	-0.005	0.014	1	20
72	対馬	34	11	35.980	129	17	45.218	0.120	-0.011	0.004	-0.006	1	70
73	小屋島	34	13	41.200	130	6	50.572	0.017	0.202	-0.101	0.168	1	20
74	沖ノ島	34	14	27.972	130	6	29.150	0.130	0.050	0.012	0.016	1	20
75	南淡	34	15	56.576	134	45	19.215	0.056	0.066	0.003	0.017	1	100
76	新島	34	21	56.776	139	15	42.551	0.109	-0.052	-0.016	-0.005	1	20
77	土庄	34	28	59.221	134	11	41.311	0.063	0.091	0.001	-0.007	1	100
78	利島	34	31	40.516	139	16	45.480	0.088	-0.064	0.000	-0.002	1	20
79	美星	34	40	35.569	133	34	24.759	0.087	0.097	-0.001	-0.001	1	100
80	見島	34	46	14.353	131	9	45.540	0.150	0.043	0.020	-0.037	1	20
81	伊豆大島	34	46	41.014	139	23	9.029	0.038	-0.055	0.006	-0.025	1	20
82	銚子	35	42	6.124	140	51	24.400	-0.012	-0.037	0.011	-0.001	1	50
83	隠岐諸島	36	10	37.456	133	19	19.448	0.126	0.096	-0.001	-0.006	1	50
84	舩倉島	37	50	54.187	136	55	18.753	-0.018	0.098	0.032	-0.021	1	40
85	佐渡島(宮ヶ原)	37	58	47.429	138	14	15.169	0.010	0.233	0.036	0.140	1	40
86	佐渡島(大野亀)	38	19	5.134	138	27	52.242	0.000	0.229	0.034	0.131	1	40
87	飛島	39	10	51.931	139	32	50.489	-0.013	0.073	-0.001	0.000	1	20
88	男鹿	40	0	6.898	139	42	18.614	-0.010	0.102	-0.013	-0.003	1	100
89	久六島*	40	31	53.336	139	30	4.237	-	-	-	-	0	20
90	松前小島	41	21	18.468	139	48	40.469	0.003	0.107	-0.034	-0.021	1	10
91	松前大島	41	29	39.626	139	21	3.577	0.000	0.000	-0.055	-0.146	1	20
92	奥尻島	42	3	16.367	139	27	9.958	0.025	0.070	-0.020	-0.045	1	30
93	十勝	42	18	54.849	143	19	56.416	0.058	0.207	-0.005	-0.005	1	100
94	天売島	44	25	2.961	141	18	2.223	0.135	0.232	0.001	-0.007	1	20
95	稚内	45	23	1.787	141	44	2.032	0.170	0.249	0.001	-0.006	1	100
96	礼文島	45	25	56.017	141	3	24.637	0.217	0.228	0.040	-0.002	1	50

※基準点名に付いている「*」は、国土地理院のメッシュデータがない25地点を示す

シュに細分される。それぞれの帯に0から9の番号を付け、緯度、経度の順にならべて2桁の数字を作り2次メッシュコードの後につなげる。こうして作られる8桁の数字が3次メッシュコードとなる。上に例示した点の3次メッシュコードは45352040となる。

以上のコードの付け方からわかるように、3次メッシュコードは上位から1, 2, 5, 7桁目が緯度に関係し、3, 4, 6, 8桁目が経度に関係するという複雑な構造であり、たとえば同じ緯度帯で見えていくと数値が連続していない。

(改訂メッシュコードへの変更)

上に述べたメッシュコードは非常に使いづらいものに思われたので、独自のコードに改訂を行った。改訂メッシュコードは同じく8桁の数字から成るが、上位4桁が緯度によって決まり、下位4桁が経度によって決まる。従って、同じ緯度では同じ上位4桁の数字を持ち、同じ経度では同じ下位4桁の数字を持つ。

具体的には、緯度については北緯14°から始めて30°毎に0から始まる4桁の通し番号を付ける。経度については、東経120°から始めて45°毎に0から始まる4桁の通し番号を付ける。緯度、経度の順に並べて8桁のコードとした。上に例示した地点の改訂メッシュコードは19441200となる。

3次メッシュコードから改訂メッシュコードへの変換式を次に示す。

$A_1B_1A_2B_2A_3B_3$ の場合

$$\begin{cases} A' = 10 \times (8 \times A_1 + A_2) + A_3 - 1,680 \\ B' = 10 \times (8 \times B_1 + B_2) + B_3 - 1,600 \end{cases}$$

$A' \times 10,000 + B'$ が改訂メッシュコード

どちらからどちらに変換するにせよ、上に述べた定義に従って、一旦、一方のコードを経緯度に直してから、他のコードに変換する方が容易である。

(変換パラメーターから歪み量データへ)

国土地理院のTKY2JGD.parデータファイルは日本測地系による経緯度と世界測地系による経緯度との差を、測地系変換パラメーターとして与えるものである。つまり各数値は、数学的変換量と歪みを足し合わせたものになっている。一般ユーザーに

としてはこれで十分なわけであるが、歪み量だけを取り出して利用すると、数学的変換量と歪み量とを分離しなければならない。

国土地理院における数学的変換のパラメーターがわかってさえいれば、このことは容易に実行できる。そのパラメーターは公表されており、次のとおりである。

日本測地系の楕円体はもちろん水路部と共通のベッセル楕円体であるので、ここに再掲はしない。国土地理院が採用している世界測地系の楕円体は、GRS80と呼ばれるものであって、WGS84のそれとはわずかに異なり、次の値を持つ。

赤道半径：6378137.0m

扁平率：1/298.257222101

また、2つの楕円体の中心の相対位置は次のとおりである。

$x_w - x_T = -146.414$ m

$y_w - y_T = +507.337$ m

$z_w - z_T = +680.507$ m

この数値を用いて、392,183個ある各メッシュ毎に数学的変換量を計算し、ファイルに与えられている変換パラメーターの値から引くことにより、国土地理院の歪み量を算定した。この数学的変換量の計算においては、各点の楕円体高を0として計算した。国土地理院の計算では各点の楕円体高が考慮されているが、3の(数学的変換)に述べたとおりこれにより生じる誤差は0.001"程度であり、実用上問題ない。

5.2 海洋測地基準点成果による規正

前節で求めた国土地理院の歪み量は、水路部海洋測地基準点における観測によって得られた歪み量とは一般に差がある。一部の離島等、まだ日本測地系に結合されていない地点は別として、本土三角点網に結合されているはずの島嶼においてもその差が最大0.5"に達することがある(たとえば草垣島)。また、離島の中には三角点の成果のないところもある。

その状況は、第1表の $\Delta\phi$ (JHD-GSI)、 $\Delta\lambda$ (JHD-GSI)に示した。数値は、水路部の歪み量から、国土地理院のそれを引いたものである。

(規正の考え方)

水路部海洋測地基準点は離島等にあり、そこでの観測値は国土地理院の計算値よりも精度が高いと考えられることから、それらの地点では水路部の歪み量をその地点の歪み量とした。

その周辺の地点については、水路部海洋測地基準点からの距離に応じて水路部の歪み量により国土地理院の歪み量に補正量を加えた。

具体的には、ある水路部基準点における水路部歪み量と国土地理院歪み量との差を Δs 、基準点からその周辺の任意の点までの距離を d km とするとき、その点の規正值 δs を

$$\delta s = \Delta s \times (r - d) / r$$

によって計算した。s は緯度または経度を意味し、r は距離を示す定数である。

この式は、 $d = 0$ 、つまり基準点においては $\delta s = \Delta s$ となって補正值は国土地理院の歪み量との差そのものであり、 $d = r$ 、つまり基準点から r km 離れた地点では $\delta s = 0$ となって補正值が 0 となることを意味している。その間の地点については補正量は基準点からの距離に比例して直線的に減少する。すなわち、水路部基準点の観測値による規正は半径 r km の円内のみで行われる。この状況を第 3 図に示す。

(規正の及ぶ範囲)

r は、本土三角点網に結合されている地点については 100 km とした。そのような地点は第 1 表の結合という欄に 1 の数字が示されている。

一方、第 1 表の結合欄に 0 の数字が示されている島嶼については、水路部の観測値による歪み量がそ

のまま周辺の点すべてに対して有効であるとした。

ただし、他の基準点の歪み量の影響するところまでは及ばないように、実際には、各離島の歪み量の影響の及ぶ円（これを影響円と呼ぶ）の半径 R を限定した。

ここで注意すべきは、R は r ではないということである。

それぞれの影響円はなるべく相互に重なり合わないことが望ましい。このため、R は最大 100 km、基準点が密に存在するような海域ではそれより小さくするなど、個々の基準点毎にそれぞれの値を決定した。それでも、いくつかの海域で影響円同士が重なり合うことは避けられない。そのような重なり合っている地域内の点では、その点に最も近い基準点の歪み量となるようにした。

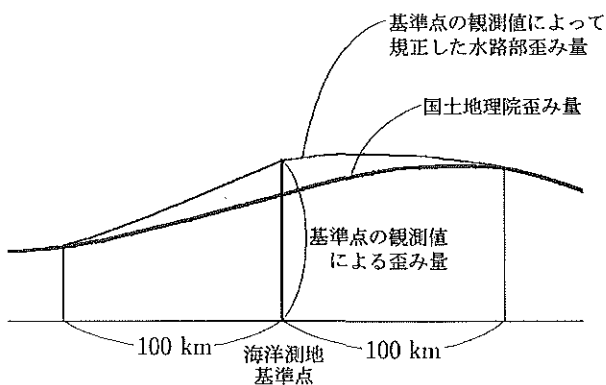
R を決めるにあたって、特に留意したのは次のような場合である。

まず、離島における補正值は本土、つまり本州、北海道、九州、四国の 4 島に影響を与えないようにした。このため、該当する島における影響円が本土にかからないようにその半径を決定した。本土内の水路部基準点の影響下でない本土の点については国土地理院の歪み量を優先させたのである。たとえば、輪島では最も近い海洋測地基準点は舢倉島であるが、舢倉島での水路部の歪み量が輪島の歪み量に影響することのないよう、舢倉島の R の値を決定した。

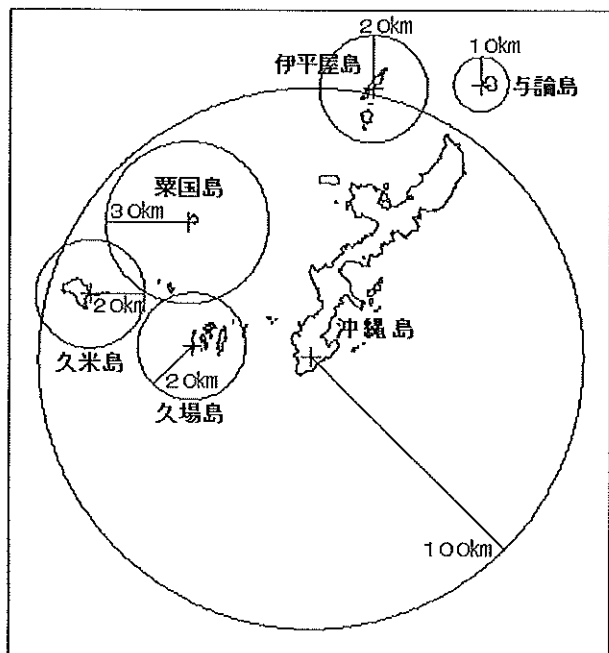
同様に、たとえば、沖縄島の北部では、那覇の基準点よりも、伊平屋島や与論島の基準点の方が近い。しかし、この場合、沖縄島すべてにおいて那覇の基準点の値によるよう、那覇の影響円を大きくし、伊平屋島、与論島のそれを小さくなるよう調整した。その状況を第 4 図に示す。

ここで、舢倉島も沖縄島・伊平屋島・与論島も本土三角点に結ばれている島（第 1 表の結合欄が 1 の点）である。従って、上の式の $r = 100$ km で補正量が 0 になるという規定の適用は受けている。そのようにしつつ、半径 R の影響円を持つのである。

各基準点の R の値は第 1 表の影響欄に示した。
(水路部歪み量の連続性)



第 3 図 海洋測地基準点成果による規正
Fig. 3 Regulation by marine geodetic control points.



第4図 影響円半径の例
Fig. 4 Example of influential circles.

ここで、水路部歪み量が地域的に連続であるかどうかについて考察しておきたい。ここに水路部歪み量というのは、本土等において国土地理院のそれを補正するか、離島において水路部の観測値をそのまま採用するかの違いによって決定した歪み量のことである。

まず、本土の陸域では、水路部の観測値による国土地理院の値への補正量は半径100kmのところまで0になるよう連続的に減少するので通常、国土地理院の歪み量が連続である限り水路部の歪み量にも不連続は生じない。しかしながら、2つの水路部基準点が200km以内の距離に位置する場合、その中間点では異なる補正値を適用する円がぶつかることになるので、そこで不連続が生じる。この場合にも、ある地点の歪み量の補正値はそこから最も近い基準点の値によって決定されるとしている。たとえば、美星と土庄との基準点においてそのようなことが起こる。

離島間では、影響円がぶつかるのは海上においてである（そのように影響円の半径を決定してある）ので、島の中で歪み量の不連続は生じていないと考えられる。しかし、非常に入り組んだ複雑な地域（たとえば、石垣島・西表島周辺など）に不連続が生じ

る。また、離島の場合、不連続というわけではないが、わずかな海上の距離を隔てた2つの島の間で歪み量が大きく異なることがある。

5.3 海域への拡張
(海上での歪みの考え方)

以上はすべて陸上の点に関して述べたものである。ここで、陸上の点というのは国土地理院の歪みデータの存在するメッシュ及び国土地理院のデータのない25の水路部基準点を含むメッシュのことである。主要4島の他ほとんどの島嶼を含み、その海岸線を含むメッシュもカバーしている。しかしながら、一部の小さい遠隔離島を含まないほか、海域はカバーしていない。

水路部歪みデータファイルは海域をも含む必要がある。と言っても、すべての海域が対象となるわけではない。陸から遠く離れた海上の位置は、その決定の経緯からして、陸上部の歪みの影響を受けているとは考えられないからである。

そこで、日本測地系の歪みを海上に延長するに際しては次のことを仮定した。

- ①海岸線から10km以内の海上では、そこから一番近い陸の歪みの影響をそのまま受けている。
- ②海岸線から10kmよりも遠く15km以内の海上では、15kmのところまで歪み量が0になるように、10kmから15kmにかけて直線的に歪み量が減少している。

以上を式で表すと、海上のある点の歪み量を δs 、そこから最も近い陸までの距離を r 、その陸の点での歪み量を Δs するとき、

【 δs 式】

$$\delta s = \Delta s \quad (r \leq 10\text{km})$$

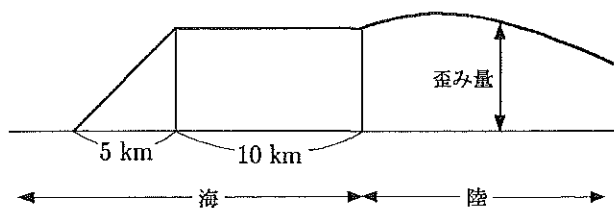
$$\delta s = \Delta s \times (15 - r) / 5 \quad (10\text{km} < r \leq 15\text{km})$$

$$\delta s = 0 \quad (r > 15\text{km})$$

によって δs が与えられる。ここに、 s は緯度または経度を意味する。この状況を図に表せば第5図のようになる。

(距離-メッシュ対応数列)

上に述べたことは、文章や式で書くと比較的簡単であるが、実際の計算およびプログラミングにおいてはかなりの工夫を要するところである。歪みデー



第5図 海域への拡張
Fig. 5 Extension of distortion to the sea.

タファイルを作成するに当たって計算時間を要するものも、圧倒的にこの部分である。

そのポイントは、任意の海上の点において、そこから最寄りの陸上の点をどのように見つけるかということである。いろいろな方法が考えられるであろうが、ここでは、計算機の計算能力に頼った、次のような方法を採用した。すなわち、

歪み量を計算すべき海上のメッシュの番号を $i \times 10,000 + j$ とする。 i は緯度帯に対応し、 j は経度帯に対応する。

このメッシュを基準に、そこから d メッシュ (実際の距離 $d \times 1.852 \text{ km} / 2$) だけ離れているメッシュをすべて拾い上げ、その番号を $i + \Delta i, j + \Delta j$ として求める。これを、 $d = 0$ から $d = 16$ ($\approx 15 \text{ km}$) までに行うと、 $\Delta i, \Delta j$ はそれぞれ $\Delta i(d, k), \Delta j(d, k)$ という2次元の配列となる ($\Delta i(d, k), \Delta j(d, k)$ はそれぞれ概ね $-16 \sim +16$ の値をとる)。 k は d メッシュだけ離れたメッシュの中での何番目ということを表すが、特に意味はない。

この $\Delta i(d, k), \Delta j(d, k)$ という2つの配列を d と k によって順に並べると2組の数列ができるが、これを各メッシュ毎に計算する必要はない。同じ緯度帯の点に対しては同じものになる。さらに、緯度が近いところではほぼ同じになることから、緯度 5° 毎に数列を作った。

一旦この数列が作られると、次には海上のすべてのメッシュについてこの数列を当てはめ、そのメッシュに近いメッシュ順に歪みが定義されているか否かを調べていく。そして、最初に陸と判定された点をその点から最も近い陸の点とした。

そのような点が存在した場合、上記【 δs 式】において $r = d \times 1.852 \text{ km} / 2$ の関係を考慮し、

$$\delta s = \Delta s \quad (d \leq 11 \text{メッシュ})$$

$$\delta s = \Delta s \times (16 - d) / 5$$

$$(11 \text{メッシュ} < d \leq 16 \text{メッシュ})$$

として歪み量を求めた。

目で見れば一見して陸から 15 km よりも遠いとわかるメッシュにも機械的にこの判定方法を当てはめるため計算に時間を要する。こうして、陸上の点から 15 km 以内のすべての海上のメッシュとそこから一番近い陸上の点、及びその海上の点での歪み量を求めた。その結果、歪み量を持つ海上のメッシュの数は $223,288$ となり、陸のメッシュと合わせて水路部歪みデータを有するメッシュの総数は $615,496$ となった。
(海上での歪み量の連続性)

ここでも、歪み量が位置的に連続であるかどうか見ておきたい。たとえば、東京湾において、あるメッシュの歪み量が三浦半島の歪み量によって決定されているところ、隣のメッシュでは房総半島の歪み量によって決定されている、というようなことは通常起きうることである。そしてこのような場合、一般的に歪み量の不連続が生じると考えられる。

東京湾のような所では全体的に歪みが小さいから不連続が生じてもそんなには目立たないが、遠隔離島などでは隣り合った島でも歪み量がかなり異なり、その2等分線上で相当量の不連続が生じることが十分に想定される。

しかしながら、今回とった海上における歪み量の決定方法は、プログラム中では補間されるので結果的には歪み量は連続となっている。

6 おわりに

以上に述べた $615,496$ 個のメッシュと、その点の経緯度に対する歪み量という数字が得られるに至るまでには、海洋測地網の構想、国産測地衛星の打ち上げの計画等に始まり、厳しい離島等での観測に従事した多数の関係者の20年以上にわたる努力と苦労があった。その名前をここに列挙することはできないが、それらすべての人々に対し敬意と謝意を表したい。

参 考 文 献

加藤 剛・仙石 新・片山真人：日本測地系と世界測地系の経緯度変換（暫定版）MGC2000，水路部技報，19，16-104（2001）。

国土地理院：基準点座標92，国土地理院技術資料 B・1-No.1-No.23（1994）。

国土地理院：TKY2JGD解説，国土地理院CD-ROM（2000）。