

水路部における重力データファイルと
重力異常ブロック平均値の計算

我如古 康弘*・小山 薫*

GRAVITY DATA FILE OF THE HYDROGRAPHIC DEPARTMENT
AND ESTIMATION OF BLOCK MEAN GRAVITY ANOMALIES

Yasuhiro Ganeko and Kaoru Koyama

Received 1980 September 12

Abstract

The Hydrographic Department started sea gravity measurements in 1964 as one of the observations carried out under the Upper Mantle Project. Gravity measurements by JHD has continued to publish gravity measurements in the form of free-air gravity anomaly maps around Japan, which are part of the series of the Basic Map of the Sea. The areas where gravity surveys were made by JHD and the finished data reductions are shown in Figure 1. The total number of gravity sites amounts to around 84,000, and the individual numbers of sites for each observation cruise are listed in Table 2.

It is hoped to provide all the gravity data in a machine readable form. As the first trial for producing JHD gravity data file, we adopted a form of sequential file on magnetic tapes. The data format of the data file is shown in Table 1. Each record is composed of 132 characters. We have tried to provide informations on each gravity site record in as much detail as possible by using symbolic signs. Around 427,000 gravity sites have been stored in the JHD gravity data file (JHDGF-T 80), which includes gravity data of JHD and other Japanese institutions, with additional gravity data of foreign institutions supplied by the Japan Oceanographic Data Center. The gravity system of JHDGF is unified to JGSN-75 or IGSN-71, and the gravity anomalies are based on the Geodetic Reference System 1967. Although the most desirable form of the data file may be a data base system, the electronic computer system of JHD does not have sufficient magnetic disk units for such a rather large data base system at present. The density of gravity sites are shown schematically around Japan in Figure 2 for JHD data only and in Figure 3 for JHDGF-T 80. Dense data coverage is seen around Japan.

To compute a gravimetric geoid we need block mean gravity anomalies. The least-squares estimation technique has been tested to obtain $10' \times 10'$ block mean gravity anomalies, and the gravity data file produced here has been successfully used for such computations.

* 編暦課 Astronomical Division

1. はじめに

水路部では UMP (Upper Mantle Project Project) を機会に、1964年に T.S.S.G. 型海上重力計 (Tokyo Surface Ship Gravity Meter) を用いて、海域における重力観測を開始した。この重力測定は、1967年に始まった大陸棚「海の基本図」作成における重力異常図の刊行という形で引き継がれ今日に至っている。この間、日本の大陸棚及び、その周辺において、高密度の重力測量が実施されてきた。Figure 1 に海の基本図測量において重力測量が実施されデータの整理が完了している地域を、測量行動記号名とともに示してある。行動記号名の初め 2 文字は測量実施年を計わし、後の 2 文字は測量実施地域の記号名である。重力値の測定結果は、20 万分の 1 の縮尺の重力異常図として刊行されると同時に、1972 年までの測定結果は、数値データとして水路部観測報告・天文測地編に発表されている。1973 年以降はデータ数が増大したこともあり、観測報告には重力測定状況と重力異常図のみを掲載し、数値データは要求に応じて磁気テープファイルの形で提供することとした。

後に Table 2 で示すように、水路部における重力測定値も 84,000 点近くに達しており、日本周辺だけでも国内の他機関および外国による測定を合わせれば 20 万点を超える膨大な量となっている。重力値は物理量の性質上、異常図として定性的な議論を行う以上に、数値データとして利用することが極めて重要である。

膨大な量に達している重力データを、数値データとして有効に利用するためには、統一的な磁気テープファイルまたは磁気ディスクファイルの作成が必要である。そのデータファイルにおいては、重力値および重力異常システムの統一が図られていること、十分な量の情報を含んでいること、利用しやすい形式であること等が重要である。

このような事情を考慮して重力データファイルを作成したので、その概要を紹介すると同時に、重力データファイルを利用しての重力異常のブロック平均値のテスト計算の結果を述べる。

2. 重力データファイルに必要な情報

重力データファイルを作成するためには、これを現在および将来にわたって測地学・地球物理学等に有効に利用するのに必要な情報は何か検討しなければならない。以下に、必要と考えられる主要な情報項目を列挙してみる。

- | | |
|--------------|--|
| (a) 測点の位置 | 測地座標系を正確に規定すること、または、ファイル全体で測地座標系を統一すること。 |
| (b) 重力値 | 重力システムの正確な表示または単一システムへの統一。 |
| (c) 重力異常値 | |
| (d) 標高または水深値 | 標高については高さの基準面の正確な表示。 |
| (e) 測定機械名 | 重力計の固有記号・番号の表示は、将来スケールファクターの改訂等を実施するのに有効である。 |
| (f) 測定者 | データの出所を明らかにする。 |
| (g) 測定日時 | データの新旧の区別を明らかにする。 |
| (h) エトベス補正值 | 海域における重力測定の状態を知るうえで重要な資料となる。 |
| (i) 測量行動名 | これを単位とした一連のデータの活用を容易にする。 |
| (j) 測定精度 | データを利用するにあたって、データの精度は重要な要素である。精度表示は、重力値とともに位置に関しても必要である。データファイル作成時に、可能な限りの精度評価を行っておくべきである。 |

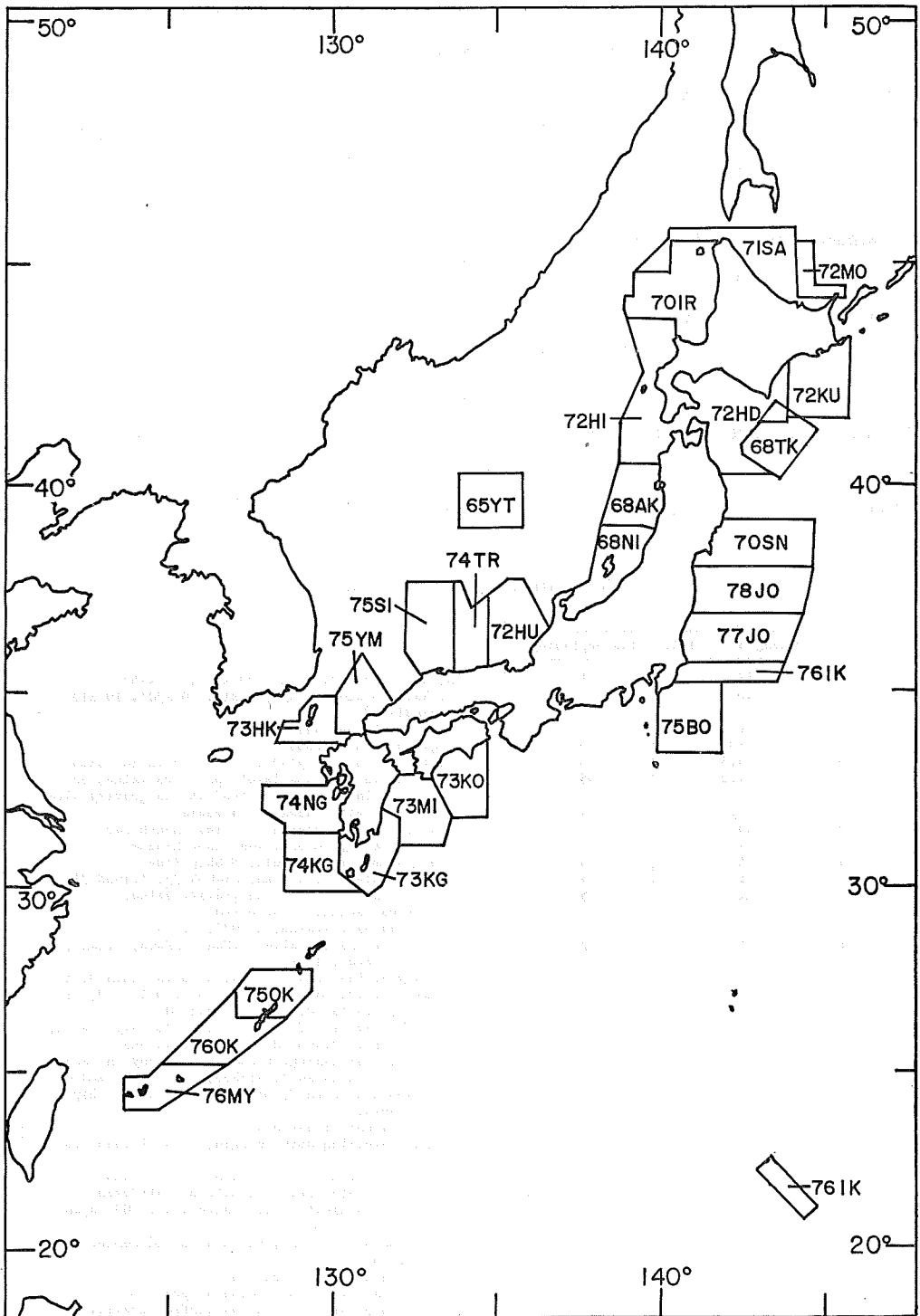


Figure 1 The gravity surveyed areas with cruise identifications. The gravity data for all the areas are included in the magnetic gravity data file.

(k) 測定点の地域表示 データの地域別検索が容易となり、データ処理の時間が短縮される。

前記の項目の外、標高については、その基準が日本水準原点であるか、島などにおけるローカル水準点であるかの区別、海域における重力測定では、重力測定点が瞬時にける海面上であるか、平均海面上に補正されたものであるかの区別などは、重力測定が高精度になれば、重要な情報となるものである。位置の精度の評価として、海上における測定法の表示も重要であろう。

3. 水路部の重力データファイル

(1) データファイル・フォーマット

Table 1 に、採用された重力データファイルのフォーマットを示す。これは、当面の磁気テープ等の順編成ファイル用のフォーマットとして作られたものである。1 測点分のデータは、ラインプリンタの 1 行分の字数 132 文字とし、各測点について可能な限りの情報を記号化して与えることとしている。これは、データファイルを、例えば地域で分類・並べ換えを行い、種々のデータが入り混ってしまった場合でも、個々のデータの情報が常に最大限表示できることを目的としている。

Table 1 に見るとおり、2 節で掲げた必要項目はすべて取り込まれている。第 1・第 2 の項目は、測点位置に

Table 1 JHDGF gravity data file format

Item No.	Data Type and Length of Field	Character No. of Item Beginning	Data Description
1	I7	1	MSQ No., 10°x10°, 1°x1°, 30'x30', 15'x15'
2	I8	8	GSQ No., 10°x10°, 5°x5°, 1°x1°, 30'x30', 10'x10' (Appendix 1)
3	F10.6	16	Latitude (in degrees)
4	F10.6	26	Longitude (in degrees)
5	F9.5	36	Gravity value (in Gals) at the observation site
6	F9.2	45	Height above mean sea level (positive value) or water depth (negative value) at the gravity site
7	F7.2	54	Free-air gravity anomaly (in mGals)
8	A8	61	Date of gravity observation, Year:Month:Day
9	A4	69	Time of gravity observation, Hour:Minute
10	A1	73	Time system; J:JST, U:UTC, S:Ship time
11	A1	74	Gravity system; P:Potzdam, J:JGSN 75, I:IGSN 71
12	A1	75	Air mass correction to the gravity value; N:not corrected, C:corrected
13	A1	76	Gravity anomaly system; A:1930, B:1967
14	A1	77	Kind of the gravity site; S:Sea surface, L:Land, U:Under water, A:Air
15	A1	78	Accuracy of the gravity data; A:better than 0.01 mGals, B:0.01 to 0.1, C:0.1 to 1, D:1 to 3, E:3 to 5, F:5 to 10, G:worse than 10
16	A2	79	Coordinate system of the position; TD:Tokyo Datum, S3:SAO-SE3, CO:WGS 72, MO:miscellaneous
17	A2	81	Method of positioning; L:Geodetic survey on land, C:Loran C, A:Loran A, N:NNSS, AC:Loran A and C, NC:NNSS and Loran C, G:General method of ship positioning
18	A1	83	Height system; I:Instantaneous sea surface, J:Japan levelling datum origin, L:Local mean sea level
19	A3	84	Observer; JHD:Japan Hydrographic Department, GSI:Geographic survey Institute, ORI:Ocean Research Institute, Tokyo University, JGS:Japan Geological Survey
20	A2	87	Gravity meter; TS:TSSG, LA:LaCoste and Romberg, WR:Worden
21	A6	89	Gravity meter identification
22	A5	95	Name of gravity survey cruise or project
23	A5	100	Name of ship used for the sea surface gravity survey
24	F6.2	105	Second order correction for TSSG (in mGals)
25	F7.2	111	Eötvös correction for the sea surface gravity survey
26	A7	118	Filler by blanks or remarks
27	I8	125	Record sequence number

対する地域分類番号で、第1番目は MSQ No. (Marsden Square No.) と呼ばれるメッシュ番号によっている (IOC, 1976). 通常の MSQ No. は $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ブロックの大きさまでであるが、ここでは $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ブロックを、更に $30' \times 30'$ ブロックに、 $30' \times 30'$ ブロックは $15' \times 15'$ ブロックに分割して、それぞれ下2桁に1から4までの番号を付している。GSQ No. (Gravity Square No.) は、新しくこのデータファイルで定義したものである。これは、MSQ No. にある不連続性をなくしたもので、北から南まで東回りを基本としてブロックに番号を付したものである。GSQ No. では 10° , 5° , 1° , $30'$, $10'$ の5段階のメッシュにより8桁の番号を付している。GSQ No. の方法については Appendix 1 を参照されたい。ファイルフォーマット中では、位置の座標系、重力システムなどについて混在が可能となっているが、ファイルを使用するに当たって、システムが統一されている方が望ましい。したがって、作成されたデータファイルでは、位置は SAO-SE3 システム (Gaposchkin et al., 1973) を、重力値は JGSN 75 (Suzuki, 1976) を採用して単一システムに変換している。重力異常は、1967年測地基準系における準楕円体の物理常数を用いたシステムを採用している。

(2) 重力データ

Figure 1 に示された重力データ処理が完了した地域の全データが重力データファイルに収容された。重力測量は海の基本図測量として、他の観測項目である海底地形・地質構造・地磁気と同時に実施しており、測線間隔は通常2マイルと、高密度なデータが取得されている。Table 2 は、それぞれの観測行動ごとの測点数を示したものである。データファイルに収容された水路部関係のデータ総数は、1980年9月現在83,672点である。このデータについて、データの密度分布を模式的に図示したものが Figure 2 である。この図では $30' \times 30'$ ブロックに含まれるデータ数を基にして、データ密度を表示する方法を用いている。表示方法は、1~3個までを

Table 2 Gravity survey cruises by JHD and numbers of observation sites for each cruise

Name of Cruise	Year	Cruise Ident.	Number of Sites
Vicinity of Yamato-Tai	1965	65YT	347
Offing of Tokati and Tohoku	1968	68TK	1370
Offing of Akita	1968	68AK	884
Offing of Niigata	1968	68NI	2014
Offing of Isikari and Rumoi	1970	70IR	3287
South Offing of Sanriku	1970	70SN	1389
Offing of Soya and Abasiri	1971	71SA	1727
Offing of Monbetu	1972	72MO	447
Offing of Hukui	1972	72HU	1877
Offing of Kusiro	1972	72KU	2405
Offing of Hiyama	1972	72HI	1519
Offing of Hidaka and Iburi	1972	72HD	2635
Offing of Hukuoka	1973	73HK	1664
Offing of Kagosima	1973	73KG	4158
Offing of Miyazaki	1973	73MI	4109
Offing of Koti	1973	73KO	2452
Offing of Nagasaki	1974	74NG	5525
Offing of Tottori	1974	74TR	1430
Offing of Kagosima	1974	74KG	3450
Offing of Okinawa	1975	75OK	3595
Offing of Yamaguti	1975	75YM	2762
Offing of Simane	1975	75SI	2957
Offing of Boso	1975	75BO	6154
Vicinity of South Ito-Sima	1976	76IK	1463
Offing of Okinawa	1976	76OK	4831
Vicinity of Miyako-Sima	1976	76MY	3287
Offing of Kasima-Nada	1976	76IK	3215
South Offing of Joban	1977	77JO	6017
North Offing of Joban	1978	78JO	6701
Total			83672

単に長方形の枠で表わし、4~8個までを4分割で、9~15個までを9分割で等、 n^2 (n は整数)個に達するごとに n^2 分割された $30' \times 30'$ のブロックで表示することとした。

海上重力観測は他機関においても実施されている。東京大学海洋研究所および地質調査所から提供された海上重力データも水路部データと同形式に変換し、磁気テープファイルを作成した。更に、水路部に設置されている海洋資料センターが米国の海洋資料センターから入手した西太平洋海域の海上重力データ、Watts (1977) が編集した南西太平洋の重力異常図中から、デジタイザーを用いて読み取ったデータ、国土地理院から出版された陸上重力データ等をも、同一形式として磁気テープファイルに追加した。その結果、データ総数は426,922となった。このデータファイルの全データは、ACOS システム 700 の標準形式で、2,400 フィート磁気テープ約3巻に収められている。このデータを、先の Figure 2 と同様な手法の測定密度で図示したものが Figure 3 である。密度を表示した地域に含まれるデータ数は234,732点である。

十分な密度で測点が存在するのは海の基本図測量が実施された海域のみで、その他の海域では、まだまだ測点数は不足している。また、重力値の測定精度についても、異なる観測行動間の隣接する測点において、数10 mGal に達する差がある場合があり、必ずしも十分に満足できる精度のデータのみであるとはいえない。Ganeko (1980) によれば、相対精度 10 cm のジオイドの計算のためには、ランダム精度 5 mGal 以内で求められた $10' \times 10'$ ブロックの平均重力異常が必要とされる。そのためには、ほぼ 10 マイル間隔の測線で海域をおおわねばならない。また、系統的な測定誤差は、たとえそれが小さくとも、積分効果によってジオイド高計算には無視できない影響がある。先に述べた観測行動間の不一致を考慮すれば、海域に重力基準点を設置することが極めて重要であることがわかる。

重力基準点の設置は、絶対重力計によることが理想的であるが、海洋においてはその方法は現在のところ実現不可能であるので、十分に吟味した海上重力計を用い、エトベス補正を正確に補正するために、海底に設置された音響トランスポンダー・ドップラソナー・慣性航法・人工衛星航行システム等による高精度測位を行って、ある程度の広さ(例えば1マイル四方)の重力基準海域を設定する必要がある。そして、10 cm ジオイドのためには、5° ごとのメッシュ点に 0.3 mGal の精度の重力基準点の設置が必要と考えられる。これは、高さに換算すればほぼ 1 m であり、重力測定時の海洋潮汐及び、地球潮汐力をも無視できないことになる。エトベス補正に関していえば、東西方向に 0.05 ノット (緯度 30° で) の精度が必要である。

4. 重力異常ブロック平均値の計算

データファイル化された数値重力データの実際利用として、ある広さの地域の重力平均値を求めることや、重力値の補間を実行することができる。JHDGF を用いた重力異常の補間および $10' \times 10'$ ブロックの重力異常平均を求めるプログラムを作成した。計算方法は Least Squares Estimation 法 (Heiskanen and Moritz, 1967 ; 我如古, 1978) を用いることとした。

(1) 計算式

Least Squares Estimation 法によれば、ある地点 P における重力異常値の推定値 $\tilde{\Delta g}_p$ は、その地点の周辺の q 個の重力異常データ $\Delta g^T (\Delta g_1, \Delta g_2, \dots, \Delta g_q)$ を用いて、

$$\tilde{\Delta g}_p = C_0^T C_0^{-1} \Delta g \quad (1)$$

と推定される。ここで、 C_0 は q 個の重力異常の相関マトリックスで、その成分は

$$[C_0]_{ij} = C_{\Delta g}(i, j), \quad i, j = 1 \sim q \quad (2)$$

というように、重力異常の相関関数 $C_{\Delta g}$ で表わされる。 $C_{\Delta g}$ は通常距離のみの関数で、 $C_{\Delta g}(i, j) = C_{\Delta g}(r_{ij})$,

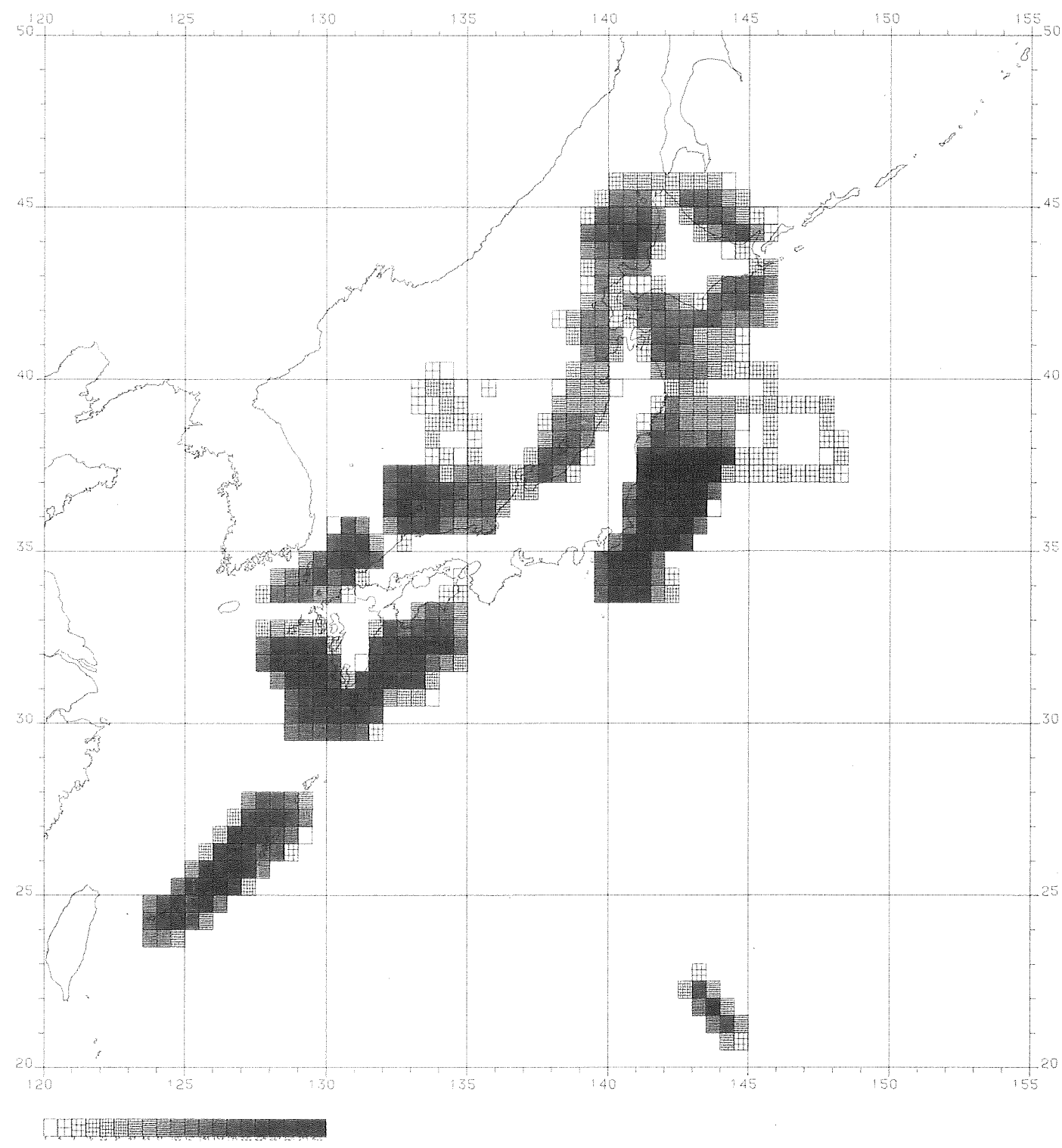


Figure 2 Schematic expression of gravity site distributions based on the number of sites included in each 30'x30' block. This figure is for the gravity sites of JHD observations only.

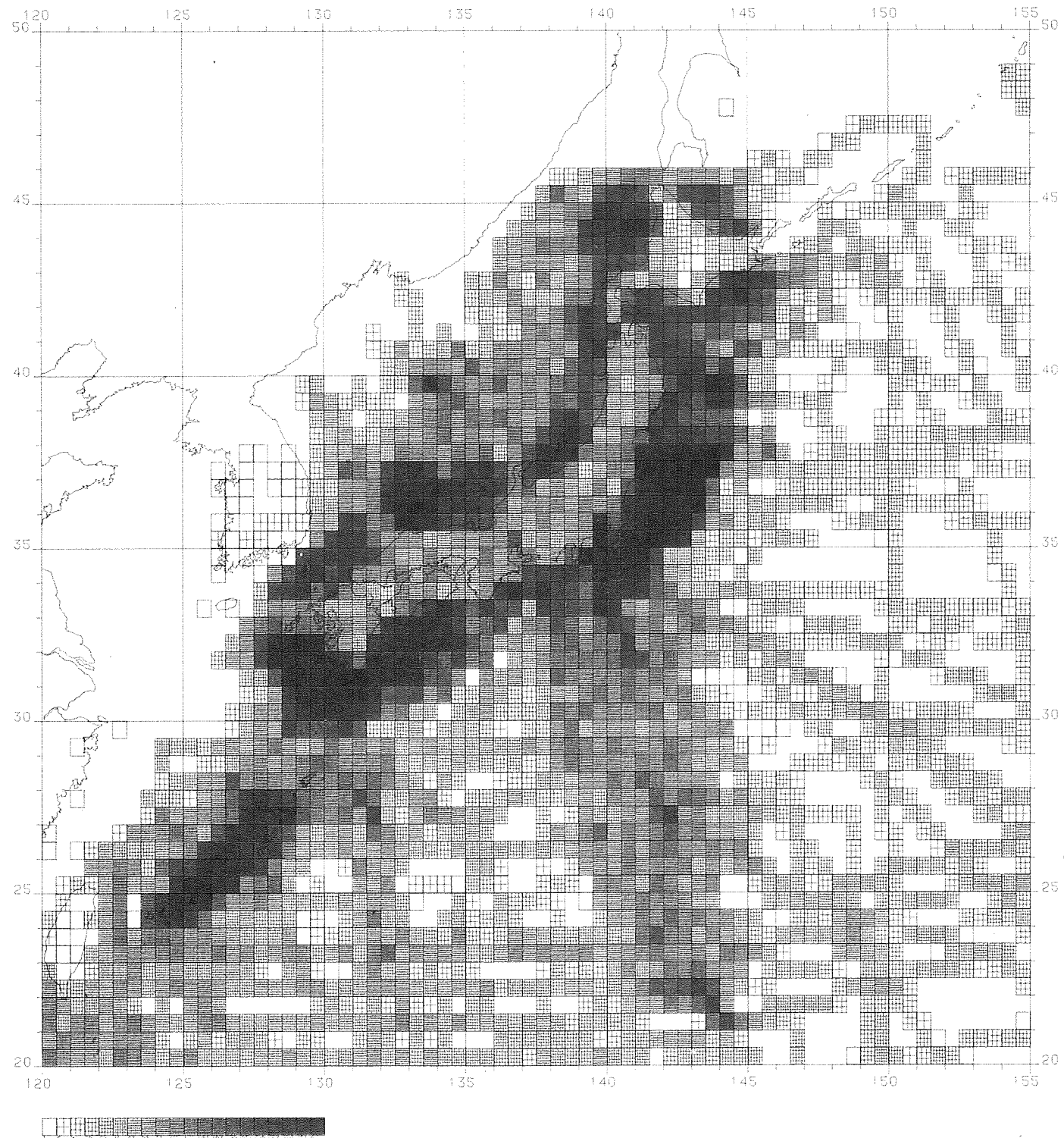


Figure 3 Schematic expression of gravity site distributions based on the number of sites included in each 30' x 30' block. This figure is for the gravity sites of JHDGF-T80.

r_{ij} は i 点と j 点との間の距離、と書かれる。 C_p はやはり、相関関数を成分とする列ベクトルで、その成分は

$$[C_p]_i = C_{Ag}(i, p) = C_{Ag}(r_{ip}), \quad i=1 \sim q \quad (3)$$

と書け、 i 点と p 点との距離関係が決まる。(1) 式の C_p の肩の T は転置を意味している。各点のデータに誤差が含まれる場合には (2) 式は

$$[C_0]_{ij} = C_{Ag}(i, j) + C_n(i, j) \quad (4)$$

と書かれる。 C_n は誤差の相関関数で、各点での誤差が独立である場合には、

$$C_n(i, j) = n_i^2 \delta_{ij}$$

となる。 n_i は i 点の重力値の誤差、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタと呼ばれ、

$$\delta_{ij} = 1, \quad i=j$$

$$\delta_{ij} = 0, \quad i \neq j$$

である。(1) によって推定される重力異常値の誤差 ε は次式で計算される。

$$\varepsilon^2 = C_{Ag}(0) - C_p^T C_0^{-1} C_p \quad (5)$$

次に、重力異常のブロック平均値も、(1) 式と同様な形で求めることができる。すなわち、ブロック平均値の推定値を $\tilde{\Delta g}_B$ として

$$\tilde{\Delta g}_B = \bar{C}_B^T C_0^{-1} \Delta g \quad (6)$$

で与えられる(我如古, 1978)。ここで C_0 , Δg は(1)式における同一のものであるが、 \bar{C}_B は点重力異常とブロック平均値との相関関数を成分とする列ベクトルである。ブロック σ_B と測点 i との相関関数 \bar{C} を用いて、

$$[\bar{C}_B]_i = \bar{C}(\sigma_B, i)$$

によって \bar{C}_B の成分が表される。 \bar{C} は重力異常の相関関数 $C_{Ag}(x, i)$ をブロック σ_B 内で平均することによって得られる。すなわち

$$\bar{C}_B(\sigma_B, i) = \frac{1}{S_B} \iint_{\sigma_B} C_{Ag}(x, i) d\sigma \quad (7)$$

である。ここで S_B はブロック σ_B の面積である。(6) で推定されるブロック平均値の誤差 $\bar{\varepsilon}$ は、(5) と同様に

$$\bar{\varepsilon}^2 = \bar{C}_B(0) - \bar{C}_B^T C_0^{-1} \bar{C}_B \quad (8)$$

で与えられる。 \bar{C}_B はブロック平均値の2乗平均値 (variance) であり、

$$\bar{C}_B(0) = \frac{1}{S_B^2} \iiint_{\sigma_B} \iiint_{\sigma_B} C_{Ag}(x, y) d\sigma_x d\sigma_y \quad (8)'$$

で与えられる。

測定が内部に存在しないブロックの重力異常平均値を、その周囲の値の知れたブロック平均値から推定することもできる。この場合の算式は

$$\tilde{\Delta g}_B = \bar{C}_B^T \bar{C}_0^{-1} \Delta g \quad (9)$$

である。ここで \bar{C}_0 は、平均値が与えられたブロック間でのブロック平均動力異常の相関関数を成分とする正方マトリックスである。すなわち、 q 個の既知ブロックがあるとして、ブロック σ_i とブロック σ_j について

$$[\bar{C}_0]_{ij} = C_{Ag}(\sigma_i, \sigma_j) = \frac{1}{S_i S_j} \iiint_{\sigma_i} \iiint_{\sigma_j} C_{Ag}(r_{ij}) d\sigma_i d\sigma_j, \quad i, j=1 \sim q \quad (10)$$

で与えられる。\$S_i, S_j\$ はそれぞれブロック \$\sigma_i, \sigma_j\$ の面積である。\$\overline{\Delta g}\$ はブロック平均値を成分とする列ベクトルで、\$\overline{\Delta g}^T = (\overline{\Delta g}_1, \overline{\Delta g}_2, \dots, \overline{\Delta g}_q)\$, \$\overline{C}_B\$ は、平均値を推定したいブロック \$\sigma_B\$ とブロック \$\sigma_i (i=1 \sim q)\$ との相関関数を成分とする列ベクトルである。すなわち、

$$[\overline{C}_B]_i = C_{\overline{\Delta g}}(\sigma_B, \sigma_i) = \frac{1}{S_B S_i} \iint_{\sigma_B} \iint_{\sigma_i} C_{\Delta g}(r_{Bi}) d\sigma_i d\sigma_B, \quad i=1 \sim q \quad (11)$$

で与えられる。与えられたブロック平均値の精度に関する相関関数 \$C_{\overline{n}}\$ を考慮すれば (10) 式は

$$[\overline{C}_0]_{ij} = C_{\overline{\Delta g}}(\sigma_i, \sigma_j) + C_{\overline{n}}(\sigma_i, \sigma_j)$$

と置き換えられる。(9) で推定されるブロック平均値の精度は

$$\overline{m}^2 = \overline{C}_B(0) - \overline{C}_B^T \overline{C}_0^{-1} \overline{C}_B \quad (12)$$

で見積もられる。

(2) 重力異常ブロック平均値の計算例

前節で列挙した計算式を利用するためには、重力異常の相関関数 \$C_{\Delta g}\$ を知らねばならない。Ganeko (1980) は、日本周辺に関して、重力異常から GEM-8 モデル (Wagner et al., 1976) の長波長重力異常を引き去った残差重力異常の相関関数

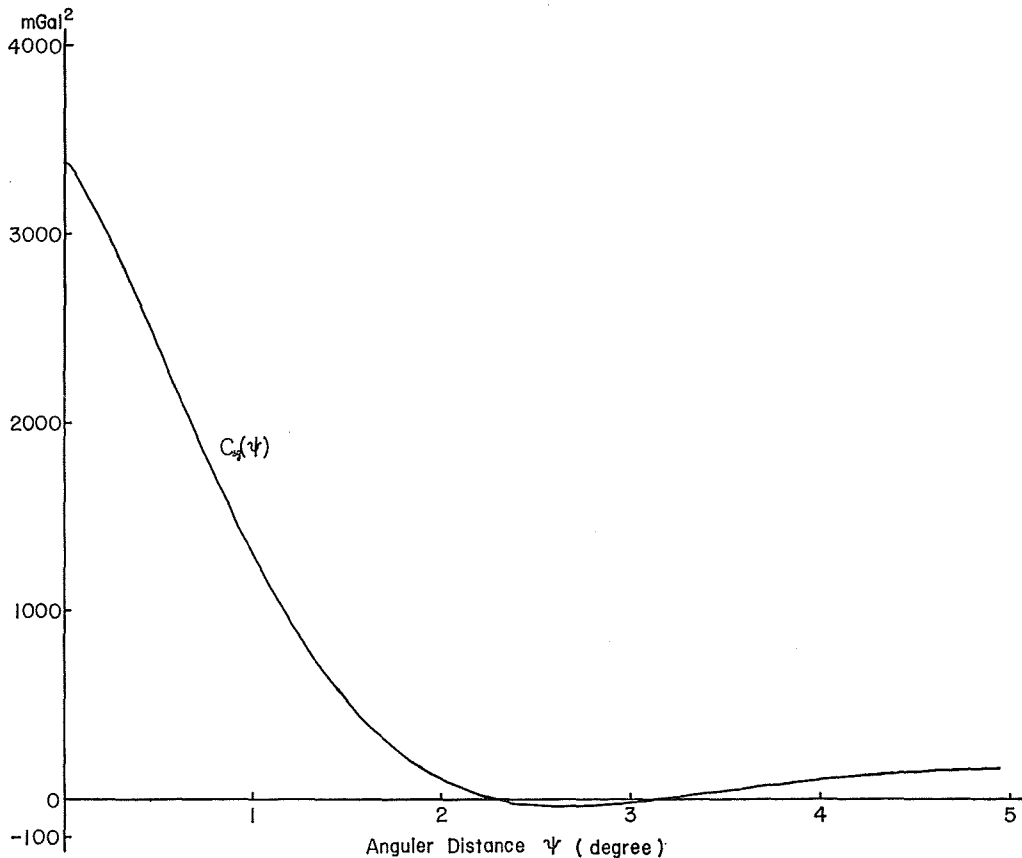


Figure 4 Covariance function of gravity anomaly obtained from gravity data around Japan and GEM-8 global gravity model.

$$C_L = C_0 \exp [-(r/D)^p] \cos kr \quad (13)$$

$$C_0 = 3,133 \text{ mGal}$$

$$D = 161.2 \text{ km}$$

$$k = 0.007854 \text{ 1/km}$$

$$p = 1.227$$

を得た。一方、重力異常の相関関数は

$$\begin{aligned} C_{\Delta g}(\phi) &= \sum_{l=2}^{\infty} \sigma_l^2(\Delta g) P_l(\cos \phi) \\ &= \sum_{l=2}^L \sigma_l^2(\Delta g) P_l(\cos \phi) + \sum_{l=L+1}^{\infty} \sigma_l^2(\Delta g) P_l(\cos \phi) \end{aligned} \quad (14)$$

と書ける。ここで σ_l^2 は重力異常の degree variance, P_l は l 次のルジャンドル多項式である。(14)式右辺の第1項が長波長成分, 第2項が短波長成分である。GEM-8 では次数 25 までのポテンシャル展開係数が, 完全に与えられており, (14) で $L=25$ とすれば, 第2項は (13) 式に対応することになる。第1項は, GEM-8 のポテンシャル係数から得られる。この第1項を C_G と書けば, 結局, 重力異常の相関関数として

$$C_{\Delta g} = C_G + C_L \quad (15)$$

を得る。 $C_{\Delta g}$ の具体的な形を Figure 4 に示す。

重力データファイル JHDGF-T 80 を用いて, $10' \times 10'$ ブロックの重力異常平均値のテスト計算を実施した。Figure 5 a は, テスト計算を実施した地域における, それぞれの $10' \times 10'$ ブロックに含まれる測点数 (最上段), ブロック平均値の計算に用いたブロック内およびその周囲 $2.5'$ 以内に含まれる測点数 (中段), および, 推定されたブロック平均値の誤差 (mGal) (最下段) を示している。計算は (6) および (8) 式に基づいており, 重力値の誤差は一律に 7.5 mGal のランダム誤差を仮定した。Figure 5 b には, ブロック内に含まれる測点の単純平均によるブロック平均値 (上段) と, Least Squares Estimation によるブロック平均値 (下段) を示した。

ブロック内に含まれる 1 点の測定値をもってそのブロックの平均値に代える場合に, そのブロック平均値の平均的誤差は Representation Error と呼ばれるが, それは次式 (我如古, 1978, p.74)

$$\bar{\epsilon}^2 = C_{\Delta g}(0) - \bar{C}_B(0) \quad (16)$$

で与えられる。ここで, C_0 は重力異常の 2 乗平均値であり, Figure 4 の $\phi=0$ における $C_{\Delta g}$ の値である。すなわち, $C_{\Delta g}(0) = 3,376 \text{ mGal}^2$, $\bar{C}_B(0)$ は (8)' で与えられるブロック平均値の 2 乗平均値で, テスト計算を実施した緯度における $10' \times 10'$ ブロックに対しては, $\bar{C}_B(0) = 3,286 \text{ mGal}^2$ となる。したがって, $\bar{\epsilon} = 9.5 \text{ mGal}$ を得る。ブロック内に q 個の測点がある場合に, その単純平均値でブロック平均値を推定するとすれば, その誤差は

$$\bar{\epsilon}_n^2 = \bar{\epsilon}^2 / q \quad (17)$$

で見積もられる (Ganeko, 1978, p.75)。各測点にランダム誤差 n が一律にあるとすれば,

$$\bar{\epsilon}_n^2 = (\bar{\epsilon}^2 + n^2) / q \quad (17)'$$

と評価される。ここでも, 7.5 mGal ランダム誤差を仮定すれば, $\bar{\epsilon} = 9.5 \text{ mGal}$ を用いて, $\bar{\epsilon}_n = 12.1 / \sqrt{q}$ を得る。(17), (17)' 式によれば, ブロック内の測点の数の増大に伴い, 推定誤差はデータ数の平方根に反比例して減少することになるが, 実際には, ブロック内で測点分布が一律に密度を増すととは限らないので, この誤差見積りは一般には楽観的といえる。

32°	0	0	0	0	2	64	56	55	73	79	80	71
		1	10	11	27	69	61	63	77	81	86	76
		17.4	12.3	14.1	7.2	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
	10	10	11	10	12	70	54	66	72	78	70	62
	18	18	19	19	43	72	60	70	77	84	74	69
	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	3.0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	13	10	9	10	14	51	62	82	67	73	80	58
	23	21	17	14	29	85	65	86	70	78	84	58
	9.3	9.3	9.5	10.0	5.7	3.0	3.0	2.9	3.0	3.0	2.9	3.0
	5	8	8	8	7	9	12	35	56	79	62	55
	21	25	23	24	26	29	49	74	62	81	69	59
	9.8	7.4	5.2	3.8	4.0	4.0	4.0	3.8	3.0	2.9	3.0	3.0
	0	0	0	0	2	7	22	12	13	32	38	38
					5	22	35	19	33	58	88	89
					11.5	6.2	3.3	5.5	3.9	4.3	3.0	3.0
	0	0	0	0	0	0	10	5	16	15	27	36
							14	26	27	35	45	66
							5.9	5.0	3.9	4.1	3.2	3.1
31°N	127°E						128°					129°

Figure 5 a Number of gravity sites in each 10'×10' block, the first line, number of gravity sites in the area of 10'×10' block and additional 2.5' square ring, the second line, and estimated error (in mGals) of the computed 10'×10' block mean gravity anomaly by the least-squares estimation method, the third line.

32°		11.4	6.9	11.4	27.8	24.3	33.9	32.3	34.2	18.5	5.3	-12.9
					21.7	24.3	33.3	32.8	33.6	18.3	8.4	-11.8
	9.4	5.4	5.8	19.8	27.6	31.8	31.0	32.4	22.4	7.6	-14.5	-9.2
	9.8	4.8	6.6	19.3	29.4	32.5	31.5	32.2	21.2	7.7	-13.2	-8.5
	19.9	19.4	27.8	39.1	46.5	31.3	28.2	28.5	15.2	14.7	12.5	6.8
	13.5	14.6	24.7	37.2	41.5	30.9	28.5	28.6	13.7	13.8	13.3	5.9
	26.8	26.9	29.8	38.0	25.4	26.5	22.5	34.8	21.5	14.0	3.8	19.8
	31.3	28.4	28.1	36.9	29.3	26.0	27.3	32.0	20.6	14.2	4.3	20.5
					33.9	38.3	24.9	19.6	8.8	20.9	14.5	25.0
					31.5	32.3	25.4	19.3	10.6	18.0	14.8	25.5
							22.2	22.6	19.6	18.8	20.6	35.3
							21.8	22.8	23.0	21.2	21.8	33.2
31°N	127°E						128°					129°

Figure 5 b 10'×10' block mean gravity anomaly (in mGals) computed by the simple average, the first line, and that by the least-squares estimation method, the second line.

Least Squares Estimation 法による $\bar{A}g$ の推定は、測点分布を反映しており、Figure 5 a で、測点数が同一でありながら、推定誤差が大きく異なるのは、測点分布状況の差によるところである。C_B(0) の値から、10'×10' ブロックの平均値は、±57 mGal に達する値を取ることが予想されるので、ブロック内に測点が存在しない場合には、単にこのブロックの平均値を 0 または長波長重力異常で置き換えるかわりに、何らかの方法で平均値を推定する方が良く考えられる。Figure 5 a で、ブロック内に測点が存在しない場合でも、Least Squares Estimation 法によりブロック平均値を推定すれば、10~20 mGal の精度が得られることがわかる。

以上のブロック平均値の推定に関する議論では、重力異常データに含まれる系統的誤差について無視してきた。系統的誤差については、単に数学的な議論では解決できない問題であり、ここでは、ランダムな誤差成分のみに限った。現状のデータでは、ある程度の広域にわたって 10~20 mGal の系統誤差が含まれる恐れが十分にあり、この点に関する考慮は、データを実際に利用する場合に重要となろう。

(3) 10'×10' ブロック平均値データファイル

水路部における重力測定の目的のうち重要なものの一つとして、日本周辺における重力ジオイドの決定がある。重力ジオイドの計算には、測定された重力異常の面積分を実行する必要がある。このために、重力異常データは、ある広さのブロックの平均値の形で与えることが便利である。現在、JHDGF-T 80 を用いて、日本周辺における 10'×10' ブロック重力平均値ファイルを作成中である。前節(2)で述べた手続きで計算できない 10'×10' ブロックについては、後にそのブロックの周辺の既知の 10'×10' ブロック平均値を用いて、(9) 式により、可能な限り平均値の推定を行うことにしている。作成された 10'×10' ブロック平均値ファイルは、ジオイドの計算、及び日本周辺の重力異常図の自動図化に利用する予定である。1978年に打ち上げられ、3ヵ月余り観測を実施した米国海洋観測衛星による高度計データは、相対海面形状を 10~20 cm の精度で与えており、これに見合う精度の重力ジオイドを求めることが、重力データファイル整備の当面の大きな目標である。

5. 重力データファイルのデータベース化

作成された重力データファイルは、順編成ファイルとして磁気テープに収容されている。これを、そのまま磁気ディスクに収容することも考えられるが、現時点においては、水路部の電子計算機システムの磁気ディスク装置の容量からの制限によって、重力データファイルを磁気ディスク内に常駐させることができない。

順編成ファイルにおいては、データの修正・追加・削除を実行するうえで不便なことが多い。磁気ディスク上のランダムファイル化も考えられるが、データの追加・削除を有効に行うことに対しては必ずしも理想的であるとは言えない。特に、多量のデータが刻々追加され、またはデータの削除・修正が多いと考えられる海上重力データに対しては、これらへの対応が容易なデータファイルシステムである必要がある。

重力データを利用する形態として、次のようなものが考えられる。

(a) ある地域の重力データを検索して、その地域の重力異常の様子を調べる場合

この場合、地域の特定法として、任意の経度・緯度で区切った地域を指定するか、先に述べた、MSQ または GSQ No. を与えることによって地域を指定するかである。現在の順編成ファイルにおいては、GSQ No. でソートがなされているので、10'×10' の領域を最小単位として、GSQ No. で地域を指定すれば、この種の検索は容易に行うことができる。

(b) 観測行動または観測シリーズを単位としてデータを検索する場合

これは、その観測行動における測定器の状況調査や、その行動を単位としてデータに何らかの修正または情報追加を実施する場合に、このようなデータの検索が必要となる。

(c) 観測者名（観測機関名）によってデータを検索する場合

各観測機関の観測の進捗状況や、観測地域を調査する場合に利用される。

(d) 観測日時によってデータを検索する場合

観測の年ごとの進捗状況、及び新旧の観測の区別の調査を実施し、また、これをパラメータにしたデータの修正・削除に利用される。

(e) 観測機器名によってデータを検索する場合

観測機器の調査、及びその後の機器の個性に応じたデータの修正などを実施するのに利用される。

(f) データの性質（陸部データであるか、海域データであるかの区別）によって、データを検索する場合

陸部データと海域データとでは、おのずからその性格および利用目的が異なる場合がある。特に、陸上重力値に関しては、高精度を目標としその経年変化を知ることを第一の主題とする場合も多く、データの地域分布的な取り扱いとは分離してデータを利用する場合がある。

(g) 絶対重力値であるか、相対重力値であるかの区別

以上のようなデータ利用を容易にし、かつ、データの修正・追加・削除が容易に実施し得るデータファイル形式は、いわゆるデータベースとすることが理想的と考えられる。現在、試験的にこのデータベース化を試みており、利用できる磁気ディスクの容量を考慮して、とりあえず Figure 3 の領域に含まれるデータ 23 万点余りについて、データベース化を実施する予定である。水路部が現有する電子計算機 ACOS システム 700 においては、データベースシステムは COBOL 言語で供給されており、当面コボルによって、データベースの各種操作を実行しなければならない。しかし、COBOL と FORTRAN との接合は容易であり、COBOL のサブプログラム群がある程度整備された段階では、データベースは FORTRAN によっても自由に利用できる見通しである。このデータベース化は、55 年度末を目標として実施することを考えている。

6. おわりに

以上、水路部における重力データファイルの現状について述べた。現在のように重力データファイルの形が整った段階であり、これの評価の問題やデータファイルの実際的な利用は、その緒についたばかりである。日本周辺のみに関しても、陸上重力データの収集は全く不十分であるといわざるを得ない。これは日本国内における重力データセンターが未整備であることや、重力データをファイル化して利用する諸研究が、日本国内ではまだ一般化されていないためといえよう。最近の人工衛星アルチメトリによる海面形状決定の技術的進歩は、グローバル物理測地学に一大転換をせまっているといえよう。すなわち、10 cm の精度のグローバル物理測地学が、海洋学などへの応用も含めて要求される時代となった。これによって、ますます広域で多量のデータ利用が必要となり、測地学データのデータファイル化は重力データのみに限らない重要問題である。

なお、重力データファイル JHDGF-T 80 の作成にあたって、日本海洋資料センターから重力データの提供を得たこと、および、仙田昭夫氏外電子計算機室スタッフからは、データベースに関する助言を得たことに謝意を表す。

参 考 文 献

- 我如古康弘 1978 : “重力異常のブロック平均値を求める統計的方法について”, 水路部研究報告, No. 13, 67—82.
- Ganeke, Y., 1980 : “New determination of a marine geoid around Japan”, Report of Hydrographic Researches, No. 15, Japan Hydrographic Department, 71—170.
- Gaposchkin, E.M., editor, 1973 : “1973 Smithsonian Standard Earth (III)”, Spec. Report 353, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, Mass., pp. 388.
- Heiskanen, W. and H. Moritz, 1967 : Physical Geodesy, W.H. Freeman, San Francisco, Calif. pp. 364.
- Inter Governmental Oceanographic Commission, 1976, Manual on International Oceanographic Data Exchange (Fourth Edition), Manual and Guides, No. 9, UNESCO.
- Suzuki, H., 1976 : “The International Gravity Standardization Net 1971 and the Japan Gravity Standardization Net, 1975”, J. Geod. Soc. Japan, 22, 112—129.
- Wagner, C.A., F.J. Lerch, J.E. Bround and J.A. Richardson, 1976 : “Improvement in the geopotential derived from satellite and surface data (GEM 9 & 8)”, Rep. X-921-76-20, NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, pp. 11.
- Watts, A.B., 1976 : “Gravity field of the Northwest Pacific Ocean Basin and its margin : Philippine Sea”, The Geological Society of America.

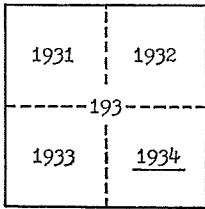
Appendix 1

GSQ (Gravity Square Number) の構成

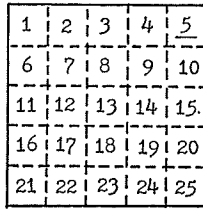
経度・緯度 10 度のブロックに、経度 0 度を起点として、北から東回りに線状に南へ向って連続番号を付し、更に 10°×10° のブロックを順に、5°×5°、1°×1°、30'×30'、10'×10' の小ブロックに分割してブロック番号を付する。したがって、GSQ No. は 8 桁の整数となる。一例を下に示す。

例 GSQ = 193 | 4 | 05 | 3 | 6
 ① | ② | ③ | ④ | ⑤

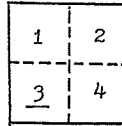
- ① 193 : 10°×10° ブロック番号, 3 桁 (1~648)
- ② 4 : 5°×5° ブロック番号, 1 桁 (1~4)
- ③ 05 : 1°×1° ブロック番号, 2 桁 (1~25)
- ④ 3 : 30'×30' ブロック番号, 1 桁 (1~4)
- ⑤ 6 : 10'×10' ブロック番号, 1 桁 (1~9)



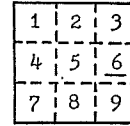
10°x10° Block



5°x5° Block



1°x1° Block



30'x30' Block