

ISSN 0366-5542

CODEN : CCHHAQ

地質調査所報告 第280号

西南日本における重力データ解析
および画像化表現法の研究

地質調査所

平成6年3月

地質調査所報告 第280号

所長 佐藤 壮郎

Report No.280

Geological Survey of Japan

Takeo SATO, Director General

西南日本における重力データ解析
および画像化表現法の研究

Research on the gravity data analysis
and imaging method in Southwest Japan

編集

村田泰章・駒澤正夫・野呂春文・志知龍一・山本明彦

Edited by

Yasuaki MURATA, Masao KOMAZAWA, Harufumi NORO,

Ryuichi SHICHI and Akihiko YAMAMOTO

地質調査所

平成6年3月

Geological Survey of Japan

March, 1994

巻 頭 言

重力による地質構造の解析法の研究は、非常に古い歴史を持つために、昔とあまり変化がないような印象があるかもしれない。しかし、日本列島をカバーする重力データは、年々、高密度で高精度なものになってきている。また、解析法に関しても、重力データから地殻表層部の岩石密度を推定するような新しい解析が可能になってきており、データと解析法の両面で進歩している。

本報告は、中部日本を重点地域として広く西南日本に分布する重力データについて、その解析と画像化表現に関する5編の研究論文を取りまとめたものである。最初の論文(志知・山本)では、西南日本における約8万点の重力データの測定・編集における問題点と、データの精度の評価が述べられている。2番目の論文は、この重力データ編集の成果として、日本列島中央部における1/70万の重力異常図を示し、その主な特徴について述べたものである。3番目の論文(駒澤ほか)は、重力データの解析法の例を示し、関東山地北部の実際のデータに応用している。4番目の論文(村田・野呂)では、重力と関係の深い地形・地質のデータを利用して、重力データを効果的に表現した例が示される。5番目の論文(野呂・志知)は、CD-ROMの持つ性格を明らかにして、その結果、CD-ROMが重力のような地球科学データの公開にいかにも有効であるかについて述べている。

本報告の印刷は、文章作成ソフトウェア TeX と PostScript を用いて版下を作成することによって行われた。細かな部分でまだ検討すべき点もあるが、印刷にかかる経費が少ない、納期が短縮される、校正も不要になる等の長所がある。また、本報告は、「地熱探査技術等検証調査に伴うデータの解析・評価」の研究成果として印刷を行った。

最後に、本報告の作成に当たっては、たくさんの大学、機関から未公表の重力データを提供していただいた。ここに、厚くお礼を申し上げる次第である。

平成6年3月

編 者

村田泰章・駒澤正夫・野呂春文・志知龍一・山本明彦

総目次

巻頭言	村田泰章・駒澤正夫・野呂春文・志知龍一・山本明彦	
西南日本における重力データベースの構築	志知龍一・山本明彦	1
A Bouguer gravity anomaly map in Central Japan	Gravity research group in Southwest Japan	29
関東山地北部における重力異常について	駒澤正夫・村田泰章・高倉伸一・ 二宮芳樹・丹治耕吉	37
地形および地質データを用いた重力データの画像化表現法	村田泰章・野呂春文	63
西南日本の重力データと重力異常図，および重力データ解析プログラムの CD-ROM 作成	野呂春文・志知龍一	77

CONTENTS

Foreword	Yasuaki MURATA, Masao KOMAZAWA, Harufumi NORO, Ryuichi SHICHI and Akihiko YAMAMOTO	
A gravity database of Southwestern Japan compiled at Nagoya university	Ryuichi SHICHI and Akihiko YAMAMOTO	1
A Bouguer gravity anomaly map in Central Japan	Gravity research group in Southwest Japan	29
Gravity Anomalies in the northern area of Kanto mountains, central Japan	Masao KOMAZAWA, Yasuaki MURATA, Shin-ichi TAKAKURA, Yoshiki NINOMIYA and Kokichi TANJI	37
Effective imaging of the gravity data using topographic and geologic data	Yasuaki MURATA and Harufumi NORO	63
CD-ROM of the gravitational data and the Bouguer anomaly map of Southwest Japan and gravity analyzing programs	Harufumi NORO and Ryuichi SHICHI	77

西南日本における重力データベースの構築

志知龍一*・山本明彦**

A gravity database of Southwestern Japan compiled at Nagoya University

By

Ryuichi SHICHI and Akihiko YAMAMOTO

Abstract: A gravity database to cover the Southwestern Japan was compiled at Nagoya University. In this paper, details on the problems concerning present database establishment are described. In the Southwestern Japan, there had been spread gravimetrically very wide blank area especially in the west of Fossa-Magna. Since the end of 1970's, Nagoya University and other organizations have been conducting an extensive gravity survey with respective individual objects in this area. During the period of the last fifteen years, this very wide blank area was almost completely filled up with those newly measured gravity data. Present gravity database has come to be constructed by collecting those respective data as well as other existing ones available at Nagoya University. About 77 thousands of net gravity data were filed from more than 20 of various organizations. We performed total revisions on all of those filed data to keep a high accuracy. Present gravity database is characterized by very high quality with an overall accuracy of 1 mGal or better, as well as a uniformly distributed dense coverage.

要 旨

筆者らは、北緯 38° 30' 以南の日本列島西南部に入る地域で、重力のデータベースを編集した。本稿では、実質総点数で約 7 万 7 千点を収録した、このデータベース構築に係わる問題を述べる。本データベースは、重力データの空白が目立っていた西南日本地域で、過去 10 数年間に、名古屋大学の他、幾つかの研究機関や組織が進めてきた新規取得データをまとめると共に、既存データの可能な限りでの収録にも努め、測定点分布の均一化と稠密化を目指した結果として、できあがったものである。それらの研究機関や組織は、大別して 20 を越えた。本対象地域のうち、フォッサマグナ地帯から豊後水道に至る、日本列島中央部においては、北陸・信越の一部地域、およびその他の僅かな部分を除き、空白がきれいに解消された。ここに収録された 8 万弱の全データは、測定数値・座標・標高の全般にわたる丹念な全面的改定作業を行った後、日本重力基準網 1975(JGSN75)(国土地理院,1976)に準拠した重力値へのリダクション、および地形メッシュデータの改定を含む、最新の方法を取り入れた地形補正量の統一再計算処理を施し、精度の向上を行った。それら諸作業が完了した結果、本データベースに収録された全データは、1mGal の高精度を保持するに至った。

1. はじめに

日本列島および周辺海域をカバーする重力データは、既に膨大な量のものが蓄積されている。それらを収集・バンキングを行ったものが 2 つ存在している。その 1 は、工業技術院地質調査所の駒澤・広島

* 名古屋大学理学部地震火山観測地域センター, ** 北海道大学理学部地震予知観測地域センター

Keywords: Bouguer anomaly, data reduction, gravity database, gravity survey, JGSN75, NGDB, Southwestern Japan

らの編集になる、陸域・海域それぞれ、約30万点・90万点という極めて膨大なものである。その中には、我が国における既存重力資料の殆ど全てが収録されている。同所においては、これによって色々な形での重力異常図が編纂・出版されてきた(例えば駒澤,1982)。現在、20万分の1重力異常図の編纂が進行中(広島ほか,1990a,1990b,1991,1993)である。また最近では、同所発行の地質アトラス(第2版)には、500万分の1重力異常図(駒澤ほか,1992b)が収録されている。その2は、金沢大学による、陸域・海域併せて約90万点というもので、河野・古瀬(1989)は、これで100万分の1ブーゲー異常図を編集した。今回我々が編集したものは、この2つに比べると量的にはまだ小さなものではあるが、日本における第3の重力データベースとなるものであって、本稿は、その記載を目的としたものである。「データベース」とは、公開性を兼ね備えていなければ、用語としては適切ではない。この真の意味での機能を備えた「重力データベース」は、日本にはまだ残念ながら1つも存在していないのが現状である。しかし、後の便宜のために、駒澤・広島らの編集データ、および今回の我々の編集データを、以下簡単にし、それぞれ「GSGDB」,「NGDB」と呼ぶことにする。

2大データベースが既に存在しているにも拘らず、何故「NGDB」を構築する必要があるのか?その必要性の理由を述べれば、主として次の2つが挙げられる。先ず第1には、双方の何れも、所収データが一般には非公開であって、部外者も利用できるものになっていない事が挙げられる。公開できない理由の幾つかの問題点の1つとして、例えば、極めて大きな部分を占める資源関係のものが、公表に馴染まないという事が挙げられていて、データ公開の見通しはまだ示されていない。この様な条件下では、個々の研究者がテーマとする学問分野の必要から、新たに重力にも独自の研究を展開したいと考え、既存データの存在を承知の上で、独自の新たなデータの取得から始めせざるを得ない。この事情は、現在でも基本的には全く変わっていない。第2の理由としては、西南日本地域には、国土地理院によって測地学的目的のために離散的に測定がなされている以外には、データが全く存在しない、事実上の空白地帯が、極めて広く分布していた事である。例えば、「GSGDB」に収録されているデータの分布は、駒澤ほか(1992a)に記載されていて、この事情がよく分かる。この図で、陸域に限ってその主たる分布を見ると、フォッサマグナ以東の東北日本の全域は、極めて稠密かつ限無くカバーしているが、西南日本地域になると、かなり部分的に偏在したものになっていて、非常に広い範囲での空白が目立つ。特に中部山岳地帯においては、文字通りの空白であった事が挙げられる。この問題こそは、第1番目にあげた理由以前の、最も本質的問題であって、このような重要な意味合いをもつ、西南日本地域一帯での新規データの補充は、100%の学問的貢献をもたらす。これが今回の「NGDB」を構築すべき最大の理由であったし、今後も、空白地帯が完全に解消されるに至るまでのしばらくの間は、その理由が存在し続ける。

かくして、「NGDB」が構築されたことによって、西南日本地域の重力データに関する事情は大きく変化した。何よりも大きな特徴は、「NGDB」が「GSGDB」のデータ分布と極めて良い相補性をなす分布ででき上がったことである。「GSGDB」は、その際だった稠密性に加え、20万分の1重力異常図の編纂に耐える、極めて高い精度を誇っている事は周知であるが、「NGDB」の場合も、決してこれに引けを取るようなものではない。面積的にも、既に日本列島全体のほぼ3分の1を、限無く覆いつくした稠密分布を持つようになった。これは、「GSGDB」がカバーする地域の、半分の広さに相当すると共に、質的にも1mGalの精度を保っている。従って、この両者を併せれば、現在のデータ蓄積量からだけでも、日本列島をほぼ全域にわたって、極めて高品質のデータで埋めたものができる。このあとまだ空白地帯として残っているのは、本州では、主として北陸・信越地域の一部と山口県・島根県・広島県にまたがる地帯の他には、僅かな局所的空白だけであり、九州ではやや広いが、中央部・南東部を残すだけである。今や、このようなデータベースへと発展させることも、現実的課題となったと言えるであろう。

2. 経過

本データベース「NGDB」が構築されるまでに至る直接の契機は、1978年から、名古屋大学で本格的な重力研究を開始した事に始まる。名古屋大学での重力研究は、地球科学教室創立まぎわの頃、濃尾

平野での重力測定がなされた (Iida and Aoki, 1958) のが端緒である。この研究は、別途、地質調査所によってなされた、伊勢湾から三河湾一帯での海底観測 (中条・須田, 1971, 1972) と併せて、濃尾平野全域の地下構造の解明に重要な意味を持つものであった。その後、地震予知事業推進の一環として、1978年に理学部に測地移動班が設置された。これを期に、この先駆的な業績を発展させることを意図して、ラコスト重力計 G 型を導入したのが契機となった。その当時、中部地方での既存資料を調べたところ、次のような状況であった。国土地理院では、主要な国道沿いで重力測定を既に完了し、各地方毎に報告 (Geographical Survey Institute (GSI), 1964 他) がなされていて、それらをまとめた、日本全国の大局的な重力異常図が発行された (GSI, 1985)。それらの数値データの使用許可は頂き、収録させていただいた。しかし、国土地理院のデータは、我々の要求からすると、まだ疎に過ぎるし、特に関心が持たれる中部山岳地帯は、全くの測定空白域であった。その他の機関の資料は、断片的・地域的分布に限定されている上に、殆どのもが、所在情報の域を出るものではなく、数値データの入手自体が困難で、事実上殆ど不可能に近い状態であった。印刷公表されたものは極めて僅かであった。我々にとっては、広大な地域が測定空白域か、殆どそれに等しい状況であった。要するに結論は、自前の測定でデータの蓄積を図る以外には、新たな研究の推進は期し難い、という事であった。

研究に取掛かる動機は、こうして定まった。これが、15年を経て「NGDB」の完成を見るに至るわけであるが、これには、方法論の確立から始まり、データベースの名に相応しいデータの量・質両面での蓄積量を持つに至るまでの、何段階かの質的転機を踏んで到達していったものである。それを、順を踏んで追って行けば次のようである。

(1) 方法論の確立 では動機が定まった次に、研究の新たな展開を図るのに、どの様に実行するのか、その方法論を定める問題がある。我々がこの重力研究に取り掛かった当初、重力データでどの程度の精度が得られるかを試算してみた。その結果は、地形急峻・高標高の山岳地域になれば、ブーゲー異常値では、高々数 mGal 程度の信頼度に留まるであろうという予測であった。国土地理院の 250m メッシュ地形データ (国土数値情報 KS - 110-1) を地形補正に利用するとして、高標高の山岳地帯になれば、測定点近傍の地形補正量を正しく見積もるには、この程度の格子点だけでは少々粗に過ぎると考えられた。さらに、表層密度や重力鉛直勾配の不均一さも大きくなる事を考えれば、この程度が限度と思われた。そうであれば、データリダクションの段階で、精度に大きな影響を与える標高の同定も、数メートル以内の精度で抑えれば十分だという結論になる。この程度の標高精度ならば、国土地理院発行の 1/25,000 地形図、あるいは地方自治体発行の地形図上に付されている独立標高点は、完全にこの条件を満たすし、場合によっては、独立標高点が十分与えられていない所では、コンターを使っても十分耐えられる事を意味することになる。この手法で、地球物理学的目的に十分応え得る精度が得られると判断したのは、実に幸いな事に、我々が重力計を入手し、この研究に着手したまさにその 1978 年こそ、国土地理院が、極めて精度の高い新体系での 1/25,000 地形図を、日本全土にわたって完成し、これが利用出来るようになったのと同年であった事である。

この事は、方法論を決定する上で、実に重要な意味を持つことになった。すなわち、それまでは、精度の良い重力データを取得しようと思えば、併せてレベル測定を要するという極めて重い制約が、広域にデータを取得する上で、最も大きな障害として立ちはだかってきた。これが一切不用となり、効率的な測定を可能にしてしまったのである。こうして我々の方法論は、地図だけを頼りに測定場所を選定するという方法にしり、地形補正のためのメッシュデータにしり、国土地理院の成果物に全面的に頼るといものである。ひとえに、この単純明快な方法論の確立こそが、「NGDB」の結実に至らしめた、第 1 番目の基礎であった。

(2) 高精度の確認 この成果はすぐに現れた。名大グループは、まず最初に空白地帯である中部山岳地帯に入り、3年後には、これら山岳地帯を他の地域に先がけて、稠密な測点分布で覆われた地帯へと一変させた。これで、中部山岳全体でアイソスタシーが全く成立っていない事、すなわち、赤石・木曾の両山岳地帯には、これに対応する負異常が全く存在しない事、飛騨山地には負異常はあるにはあっても、山体を保持するには極めて不十分なものでしかない事を明らかにした (Yamamoto *et al.*, 1982a, 1982b)。

その後、近畿東部まで測定を埋め (Furumoto *et al.*, 1985), 琵琶湖の特異な負異常を明らかにした。1986年には、地震予知研究の点で、重要な意味を持つ発見にも発展した。すなわち、1984年長野県西部地震震源域において、この地震の主断層と重力急変帯との間の顕著な相関を見つけた (志知ほか, 1988; Shichi *et al.*, 1993) 事である。

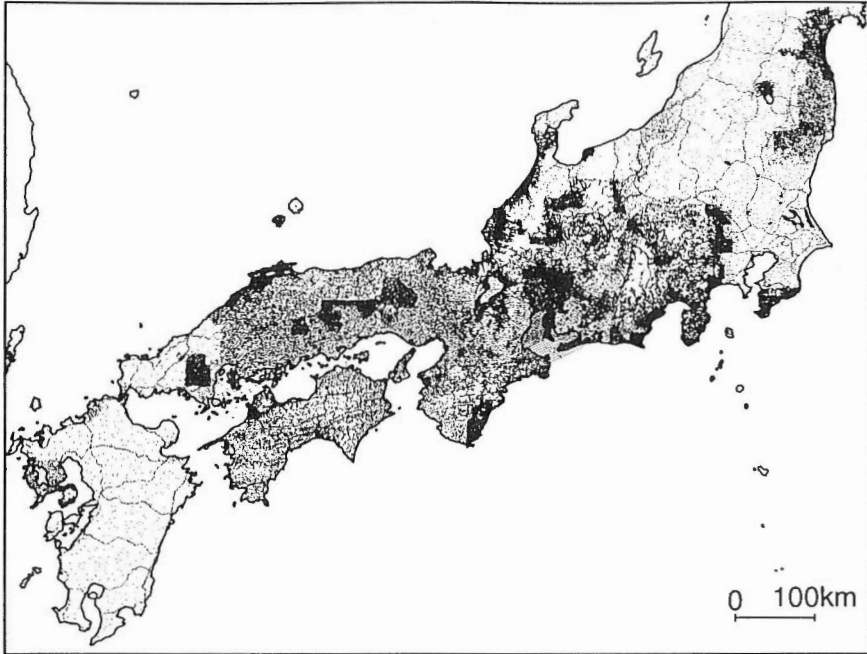
これらの研究が進展し、データを細部にわたって子細に点検していく過程で、我々が当初予測していた重力データの総合精度に関する限界値、高々数 mGal に留まるであろうという予測は、実際には、それより遥かに高いものが得られることが判明してきた。これは、フィールドデータの丁寧なりダクションを行い、かつ座標精度を高めて地形補正を行えば、当初予測を遥かに上回る、精細なパターンを描き出せるという事が明確になってきた。このことが、高精度の「NGDB」を実現させるための、第2番目の基礎となった。この項に関する事項は、子細にわたって後述する。

(3) データの量的拡大と質的向上 以上のように、予想以上の高精度が得られることが判明するようになった1988年頃の時点で、必要なデータの改定が済んだ後に、出来上がるようになった重力異常図は、大変見ごたえのあるものになった。この頃の名古屋大学独自のデータ蓄積量は、丁度1万点に達したところで、糸魚川-静岡構造線より西の中部地方の主要な部分と、近畿北東部にかけての地帯では目立った空白は無くなるまでになったが、まだ高々中部地方と近畿地方の約東半分までという段階であった。ここまで我々が蓄積したデータからだけでも、他分野のデータからだけでは全く知られ得なかった、多くの新たな重要な知見をもたらした。さらに2つの新たな欲望へと発展した。

それは第1に、測点分布を面的に拡大して、我々の守備範囲たる中部地方の地球物理学的な背景を、より広域な地域的関連で理解したいという事である。この立場からすれば、我々の到達点はまだ十分な面積をカバーしたとは言えず、中部地方に隣接する東西の両地域での空白の克服が切望される。すなわち、東側のフォッサマグナは、アジアプレートと北米プレートとの境界をなしている、との見解が有力になってきた。もう一方の西側では、構造地質学的に特異な意味を持つ近畿三角帯が、地球物理学的にはどんな意味を持つのか。また特に、フィリピン海プレートの潜り込みの形状が、この辺りで大きく変わっているとの地震学的事実が次第に鮮明になってきている。こうした事が、サイスマテクトニクスにどのような意味を持つのか。重力データはそれに手掛かりを与えてくれないであろうか。この問題に何とか迫りたい、という欲求である。第2には、データの1点1点に必要な改定を施せば、1mGalの総合精度が保障できることが明確になった。では、それまでに取得・収集した全てのデータを、このレベルまで引上げて、全域での精細な重力異常図が、任意の部分で作成できるところまで持っていくべきであろう。これは、何としてもやり遂げたい、という欲求である。このような問題意識を持つようになっていた頃に、各務財団からの研究助成金と、科学研究費が同時に採択された。これによって、データの大幅な量的拡大(2.5倍化)と併せて質的向上がなされた。これが「NGDB」を完成させるための、第3番目の基礎となった。

(4) 他機関の協力関係の進展 以上述べた名古屋大学グループ独自による量・質両面でのデータ蓄積と、これを支えるソフト面での進展に加え、他の大学・研究機関・研究グループ等からの協力による、データの収録が大幅に進展した。と同時に、それらデータ全ての質的改定を完了した。これが「NGDB」を完成させるための、第4番目の決定的な基礎となった。

以上が、「NGDB」構築に至る経過のあらましである。個々の機関でのデータは、夫々の独自の目的を持って取得されたものであって、当初からデータベースにまとめ上げることを意図して蓄積されてきた訳ではない。名古屋大学グループの場合も、当初はやはり、中部・近畿での独自資料の蓄積を主たる目的として、測定・蓄積したものであった。これが、1989年に、文部省科学研究費および各務記念財団の研究補助金の交付を受けてから、今日に至るまでの期間に事情が一変した。急速にデータ量を増したことによって、それまでの広大な空白域を順次埋めていく事が可能になった。これがベースト役を果たして、他機関から収録させてもらった、これらデータ全てを併せることによって、西南日本の東部は殆ど空白が無くなるまでの分布を持つに至った。それが、第1図に示されたものであって、これにより、「データベース」としての意味合いが完全に整った訳である。この経過については、志知・山本(1992)を参照さ



第1図 収録データ全点の分布図

Fig. 1 Distribution of the total data filed in the gravity database compiled at Nagoya University.

りたい。我々が重力研究を本格的に開始した1978年から1988年に至る11年間は、いわば準備段階であり、それ以降の1989年からの5年間は「NGDB」への仕上げの期間であった。

3. データソース

1993年末の時点までを区切りとして、「NGDB」に収録された個々のデータソース毎に、簡単な説明と夫々の分布を、まず示す事にする。ここまでの収録データは、実質総点数で約7万7千点であり、その分布は第1図のようになっている。以下、各機関毎に分けて述べる。機関毎に大別すると次の21になる。夫々の機関のデータがどのような分布状況であるかは、第2図(a)~(e)を参照して頂きたい。以下に述べるデータの点数は、特にことわらないかぎり、基準点や重複点を除いた実質点の数を表す。

(1) 名古屋大学 ここに含まれる最大のものは、名古屋大学グループによるもので、基準点での測定値も含めた、総測定数が26,000点、そのうち基準点の他、クロスチェック等のために重複測定したものを除外した実質点数は24,124点で、その分布が第2図(a)に示してある。ここに示した測定点の内の520測定分は、北海道大学との共同観測によるものである。その他にも、他機関との共同で測定したものが幾つかあり、それらも便宜的に、名古屋大学データの一部としてファイルした。その内訳を示すと、地学団体研究会との共同観測によるものが1,086測定、岐阜大学との共同観測によるものが337測定、静岡大学・気象研究所との共同観測によるものが271測定の、総計2,214測定(総測定数の8%強相当)である。1978年以降、本格的観測を開始した初期のデータについては、Yamamoto *et al.*(1982a)とFurumoto *et al.*(1985)に数値を公表した。これらの公表数値の中には、少なからぬ数の誤りがあった他に、データリダクションに係わる問題や、地形補正その他の全般にわたる、様々な問題がある事が判明した。Iida and Aoki(1958)にも類似の問題があった。従って、今回のデータベースでは、それらの全面的改定を行い、これを全て解決した上でファイルした。この間に明らかになった問題点については、後述する。

(2) 北海道大学 北海道大学独自のデータとしては、Yokoyama and Tajima(1960)による富士山周辺の91点と、科学研究費による名古屋大学との分担作業によって、新潟県西部・長野県北部で測定した

227 測定のデータがある。この他に、名古屋大学との共同で、伊豆半島南西部と木曾御嶽山周辺において行った、合計 520 測定(前掲)がある。以上を併せた総計 838 点での測定データは、殆どが名古屋大学との共同によるものであるので、便宜的に、第 2 図(a)に併せて示した。

(3) 地質調査所 同所発行の報告書に掲載されている、数値データから収録したものが 5 件で、それらは、伊勢湾・三河湾の一带(中条・須田,1971,1972)、駿河湾の周辺(駒澤ほか,1985)、阿武隈山地(村田ほか,1992)、および関東山地(駒澤ほか,1994)に分布している。この他に、北陸地域における未公表データを、名古屋大学データとの相互交換で収録した。これら全部を併せた総点数は 7,853 点で、第 2 図(b)に分布図を示す。

(4) 金属鉱物探鉱促進事業団・金属鉱業事業団 飛騨地域(金属鉱業事業団,1974b,1975,1976b,1978)・長棟地域(金属鉱物探鉱促進事業団,1972b)および那智地域(金属鉱業事業団,1976c,1977b)について、同事業団の許可を受けて収録。また、播但地域(金属鉱物探鉱促進事業団,1972a; 金属鉱業事業団,1974a)・津山地域(金属鉱業事業団,1976e)・北島根地域(金属鉱物探鉱促進事業団,1967,1968a,1970)・成羽川地域(金属鉱物探鉱促進事業団,1968b)・錦川地域(金属鉱業事業団,1976a,1976d,1977a)の 5 地域については、同事業団の許可を受けて、地質調査所において編集されたものを、名古屋大学のデータとの交換で収録した。総点数は実質数で 11,452 点、その分布を第 2 図(b)に掲載した。

(5) 国土地理院 1987 年、1989 年、1991 年および 1992 年の計 4 回にわたり、測地第 1 課長と名古屋大学志知との間で覚書を取り交わして、相互のデータを交換し、北緯 38° 30′ 以南に含まれるデータを収録した。国土地理院データの实質総点数は 11,660 点である。その分布は、第 2 図(c)に示す通りで、本データベースの範囲全域に漏れなく分布している特徴から、広域の大局的傾向を知る上で欠かせないものである。全データは未公表資料である。

(6) 京都大学 京都盆地の村上ほか(1975)、京都市東北部の西田・横山(1982)、福井県中部の Takeuchi *et al.*(1983)、大山地域の宮腰(1985)、高槻周辺一帯の伊藤ほか(1989)、亀岡盆地の清水ほか(1973)、生駒市一帯の西田ほか(1991)等以外は、大部分が未公表資料である。それらの報告件数は非常に多いが、中川・東(1984)や Nishida *et al.*(1990)のように数値が省略されているので、理学部地質学鉱物学教室・地球物理学教室、および防災研究所の夫々に、資料の収集依頼をして収録、それらの全部を一括編集・収録した。琵琶湖周辺一帯に分布するものは、地質学鉱物学教室の未公表資料(Nishida *et al.*,1990、その他)である。伊豆半島東部中央の地帯のものは、相模湾共同観測によるものである。山崎断層一帯のものは、未公表資料(中村・渡辺,1985)を収録した。これらの収集データ数は、理学部地質学鉱物学教室関係が 2,643 点、理学部地球物理学教室・防災研究所関係が 1,347 点の、総数 3,990 点である。全点の分布図は、第 2 図(d)に掲載した。

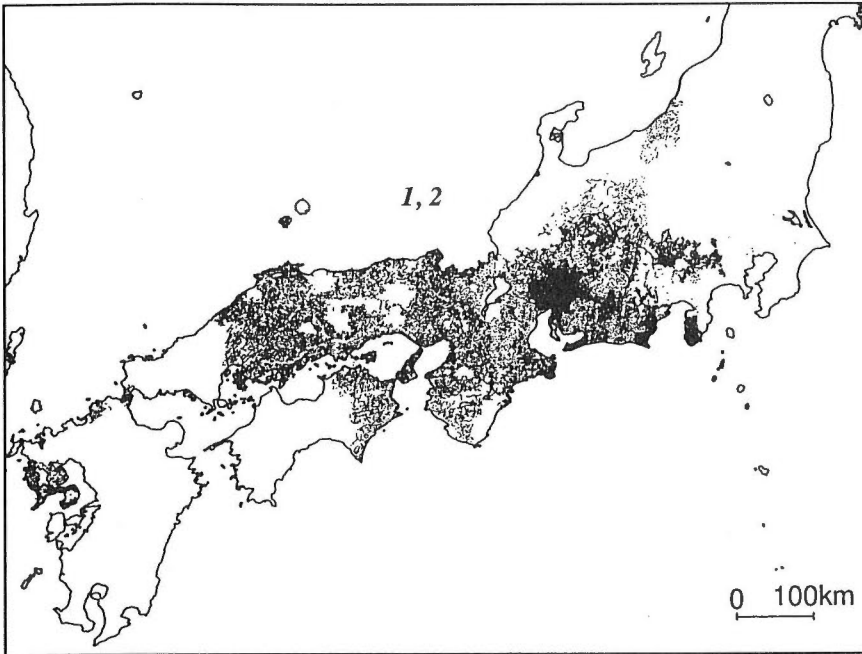
(7) 静岡大学 駿河湾周辺一帯から丹沢山地に分布する。その内の一部分が公表されている(Satomura,1989)が、大半は未公表資料(三尾・里村,1993; 里村・安間,1986; 里村ほか,1991)である。それらを、名古屋大学データとの相互交換で収録した。この他に、山口県徳佐地区のデータ(里村ほか,1990)があり、これを含めた総点数が 2,292 点である。その分布は、第 2 図(d)に掲載した。この他に、静岡市から焼津市にかけての地帯で、名古屋大学・気象研究所との共同観測による 271 測定のデータがあり、名古屋大学のファイル(前掲)に収録されている。

(8) 岐阜大学 岐阜県西濃地域に分布、名古屋大学との協力により測定されたものである。総点数 663 点で、未公表資料を収録。分布を、第 2 図(d)に掲載した。この他に、岐阜県西濃地域での名古屋大学との共同観測によるデータ 337 測定があり、名古屋大学のファイル(前掲)に収録されている。

(9) 高知大学 四国南西部のほぼ全域をカバーする分布でデータ取得、名古屋大学との協力により測定。総点数で 1,572 点の未公表資料を収録した。分布を、第 2 図(d)に掲載した。

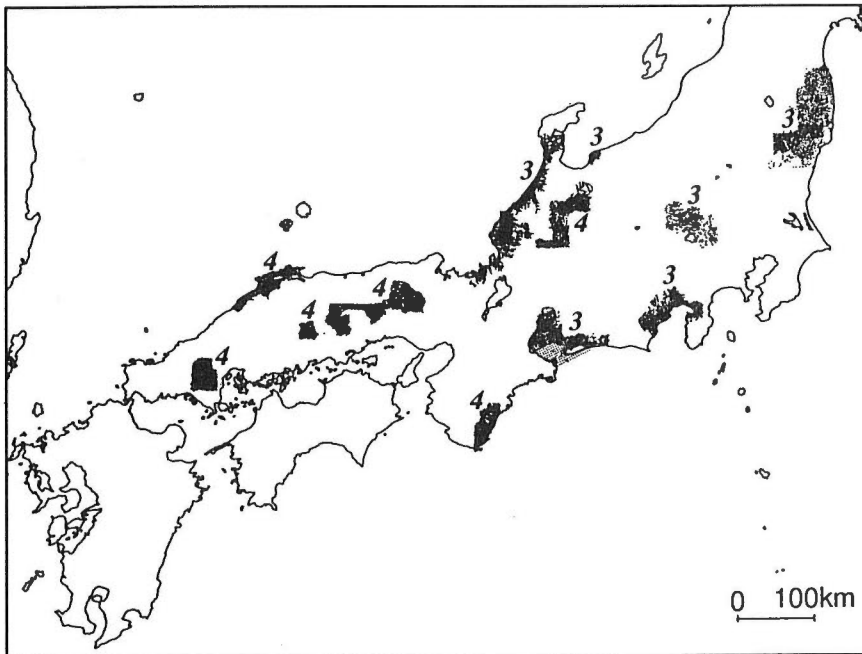
(10) 島根大学 三瓶山周辺地域・島根県東部地域・松江市に分布、名古屋大学との協力により測定。総点数 561 点の、未公表資料を収録した。分布を、第 2 図(d)に掲載した。

(11) 地学団体研究会 愛知県と埼玉県の 2 グループによる測定がある。夫々、愛知県・紀伊半島中部、および関東山地東北部に分布するもので、名古屋大学との協力により測定。これらの総点数は 665 点



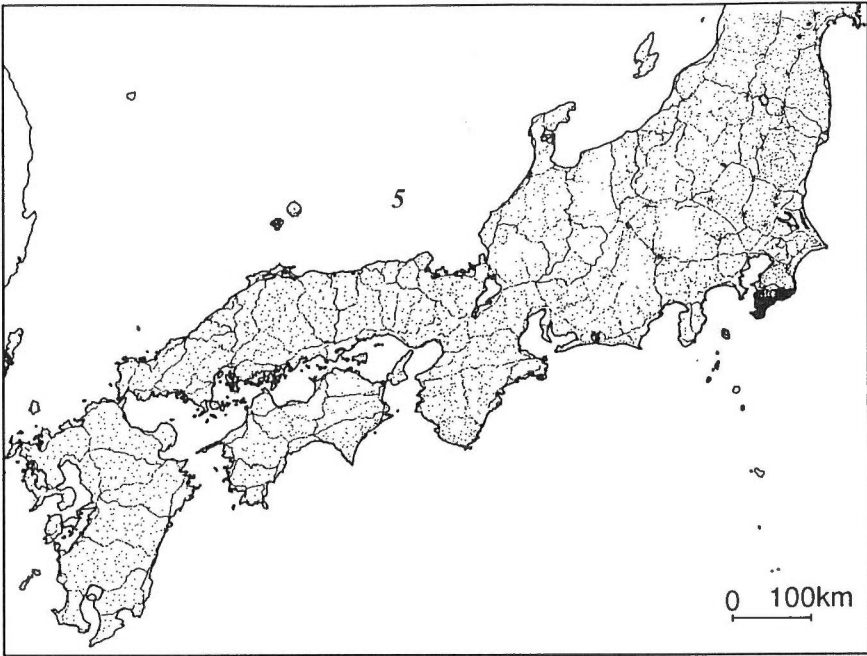
第 2 図 (a) 収録データの各機関別分布図 名古屋大学 (1) および北海道大学 (2)

Fig. 2 (a) Distribution of each organization's data. Nagoya University(1) and Hokkaido University(2)



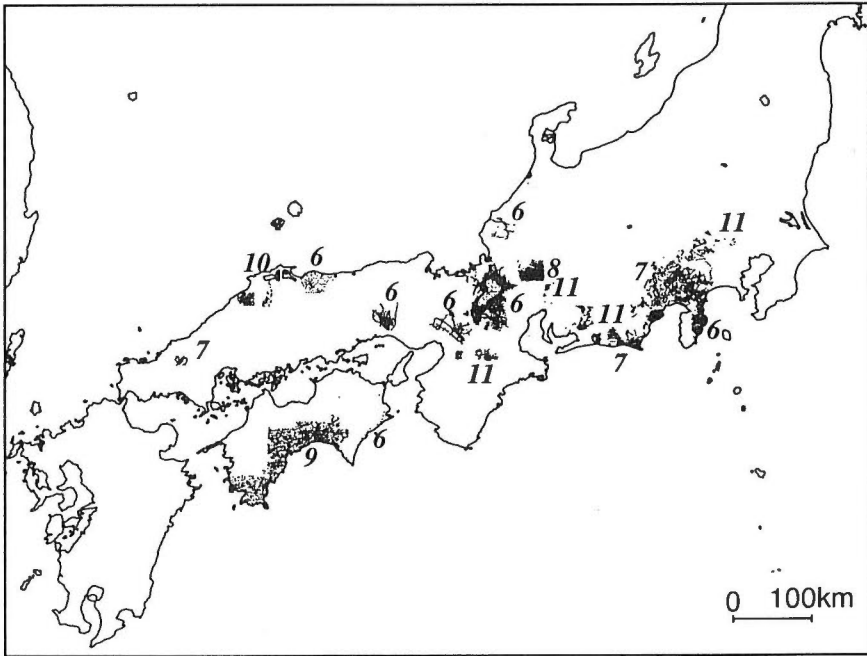
第 2 図 (b) 収録データの各機関別分布図 地質調査所 (3) および金属鉱物探鉱促進事業団・金属鉱業事業団 (4)

Fig. 2 (b) Distribution of each organization's data. Geological Survey of Japan(3) and Metal Mining Agency of Japan(4)



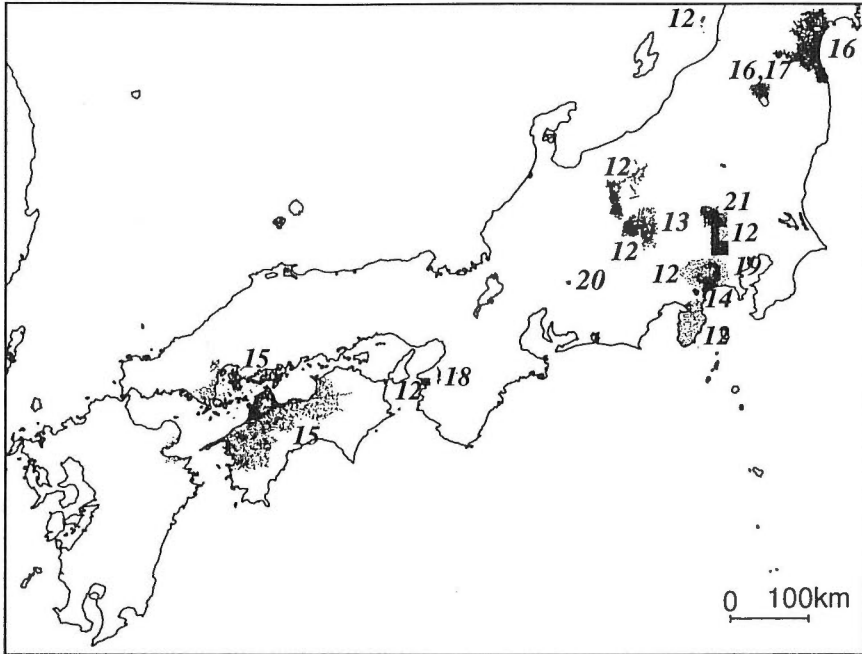
第2図(c) 収録データの各機関別分布図 国土地理院(5)

Fig. 2 (c) Distribution of each organization's data. Geographical Survey Institute(5)



第2図(d) 収録データの各機関別分布図 京都大学(6)・静岡大学(7)・岐阜大学(8)・高知大学(9)・島根大学(10)・地学団体研究会(11)

Fig. 2 (d) Distribution of each organization's data. Kyoto University(6), Shizuoka University(7), Gifu University(8), Kochi University(9), Shimane University(10), and Association for the Geological Collaboration in Japan(11)



第 2 図 (e) 収録データの各機関別分布図 東京大学地震研究所 (12)・東京大学海洋研究所 (13)・神奈川県温泉研究所 (14)・愛媛大学 (15)・東北大学 (16)・弘前大学 (16)・秋田大学 (18)・気象庁気象研究所 (19)・動力炉核燃料開発事業団 (20)・応用地質株式会社 (21)

Fig. 2 (e) Distribution of each organization's data. The University of Tokyo (Earthquake Research Institute(12) and Ocean Research Institute(13)), Hot Spring Research Institute, Kanagawa Prefecture(14), Ehime University(15), Tohoku University(16), Hirosaki University(17), Akita University(18), Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency(19), The Chubu Works of Power Reactor Nuclear Fuel Development Corporation(20), and Oyo Corporation(21)

で、未公表資料を収録した。分布を、第 2 図 (d) に掲載した。この他に、名古屋大学との共同観測によるデータが、愛知県設楽地域と、関東山地地域の 2カ所にある。それらの合計 1,086 測定分のデータが、名古屋大学のファイル (前掲) に収録されている。

(12) 東京大学地震研究所 全データは公表されたもので、粟島周辺、伊豆・丹沢、関東山地、糸魚川-静岡線沿い、和歌山市に分布している。何れも論文掲載数値データ (笠原ほか, 1966; 実川ほか, 1974; 萩原ほか, 1986a, 1986b, 1986c, 1987a, 1987b, 1988a, 1988b, 1988c; 大久保ほか, 1990, 1991, 1992) から収録した。総点数 3,347 点で、分布は、第 2 図 (e) に掲載した。

(13) 東京大学海洋研究所 八ヶ岳周辺に分布する。藤本ほか (1990) に掲載数値データから収録した。実質数で 282 点の分布は、第 2 図 (e) に掲載した。

(14) 神奈川県温泉研究所 箱根周辺一帯に分布するもので、東大地震研究所大久保によって編集された。大久保ほか (1992) 論文掲載の数値データから収録。実質数 2,054 点の分布は、第 2 図 (e) に掲載した。

(15) 愛媛大学 四国北西部と広島県の瀬戸内海沿岸沿いの地帯、およびこの間に挟まれる瀬戸内海の島嶼、さらに、別府湾の周辺に分布する。全データ未公表資料を、名古屋大学データとの相互交換で収録した。総点数 2,637 点の分布は、第 2 図 (e) に掲載した。この内の一部について、Ohno *et al.* (1989) に記載されている。

(16) 東北大学 双葉断層地域に分布する東北大学独自データ 231 点、地質調査所との共同観測によるデータ 2,575 点が仙台平野および周辺に分布、さらに弘前大学との共同観測データ 342 点が猪苗代湖北部に分布している。以上の総計 3,148 点、全点未公表資料を収録依頼し、ファイルした。分布を、第

2図(e)に掲載した。

(17) 弘前大学 東北大学との共同観測データ 342点(前掲)が、猪苗代湖北部に分布している。全点未公表資料を収録。分布を、第2図(e)(前掲)に掲載した。

(18) 秋田大学 和歌山市東方の中央構造線を横断して分布するデータが総点数で123点ある。全点未公表資料を収録。分布を、第2図(e)に掲載した。

(19) 気象庁気象研究所 相模秦野盆地に分布するもので、静岡大学を通じて未公表資料を収録。総点数148点。分布を、第2図(e)に掲載した。この他に、静岡市から焼津市にかけての地帯で、名古屋大学・静岡大学との共同観測で測定した271測定のデータ(吉田ほか,1984)があり、名古屋大学のファイル(前掲)に収録されている。

(20) 動力炉核燃料開発事業団 同団中部支社による未公表測定データ262点を収録させてもらった。岐阜県瑞浪市に分布するもので、第2図(e)に掲載した。

(21) 応用地質株式会社 関東山地北縁の、櫛引断層において測定された内部資料208点を収録させてもらった。全点未公表資料。分布を、第2図(e)に掲載した。

〔NGDB〕に収録したデータソースの所在は、以上の21機関である。第2図(a)~(e)は、各機関毎のデータ分布を、オーバーラップしないようになるべく分かりやすく分類して示したものであるが、若干説明を加えておく。(a)から(c)までは、夫々の機関・組織毎に、個別目的の下に大量のデータ蓄積がなされているもので、機関別あるいは、編集主体を同一にするもので分類した。(d)に示した京都大学と静岡大学以外のデータは、全て名古屋大学との協力により重力計の融通を受けて、夫々が独自の目的を持って進めた観測である、という意味での共通点がある。また、ここにまとめた機関の資料は、フィールドデータが完備しているものが多く、リダクション後の重力値の精度が高いという特徴がある。(e)には、比較的広域にまとまって観測されたものの他、ごく小区域で極めて稠密に測定されたもので、お互いに重なり合わないものを一括して示した。ここで、西南日本の重力異常を大局的に見るために、5mGal間隔で描いたブーゲー異常図を、第3図に示しておく。

4. 重力データの精度評価基準

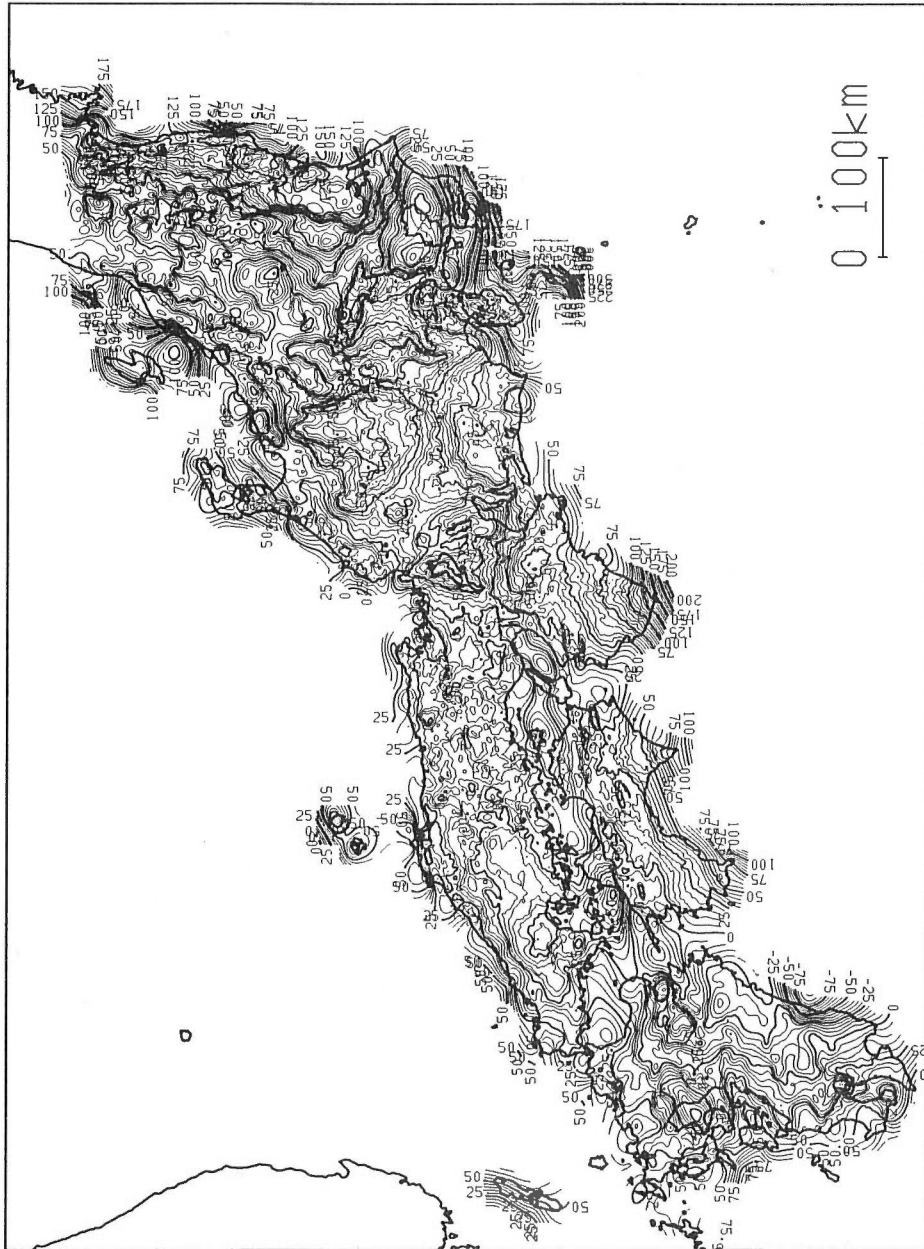
一般に、地下構造を反映する物理量としてはブーゲー異常が用いられ、重力測定データから次式による補正項を施して導かれる。

$$Ba = g - \gamma + Fr - Br + Tc \quad (1)$$

ここに、 Ba : ブーゲー異常値、 g : 重力値、 γ : 正規重力値、 Fr : フリーエア補正值、 Br : ブーゲー補正值、 Tc : 地形補正量を表す。 γ には、国際重力式1967を与えるのが一般的である。通例、調査区域があまり広くない限定された地域であれば、地殻表層を無限平板として単純化し、問題なく処理される。地形補正項は、無限平板に対応させ、範囲も適当な距離で打切って計算する。

しかし、日本全域を対象とするような広域となると、0mから3,000mを越える高標高の地点までの全ての範囲をカバーするものとしての、精度が保証されなければならない。こうなると、ブーゲー補正と地形補正の各項には、地殻の球面効果を取り入れた式としなければならない。球面ブーゲー補正には、萩原(1975)の式がよく用いられる。地形補正も考慮すべき項目が増える。さらに標高差も大きくなれば、大気質量の引力効果に現れる差を取入れなければならない。これらの夫々の項目を勘案しながら、全体を総合して、出来得る限りの高精度を如何に達成するかが、腕の見せ所である。例えば地形補正に、観測点近傍での計算法をどう工夫するか、海域の計算も加えるか、あるいは陸域だけに止めるか等々といったものである。とどの詰り、考え得る色々なファクターを比較・検討しながら、誤差を最終的にどの程度に止めるか、といった様々な検討の下に、各研究機関・研究者が夫々に色々な工夫をこらしてプログラムしている。名古屋大学ではどんな方式を採用しているかは、Yamamoto *et al.*(1982a)・山本(1984)、また野崎(1981)に述べられているので参照されたい。

さて本論では、〔NGDB〕が如何にして高精度を達成したかを主題として論述したい。そのため、以下



第3図 全収録データの範囲内におけるブーゲー異常の傾向図 コンター間隔 5mGal
Fig. 3 Bouguer gravity anomaly map in the whole area contoured with 5 mGal interval.

に誤差評価の基準を与える。これには、無限平板補正に対応した定義式を使っただけで十分目的が果される。ブーゲー異常値に含まれる誤差は、その定義式(無限平板による)の全微分を採って、次式で評価される。

$$\Delta Ba = \Delta g - (\partial\gamma/\partial\phi)\Delta\phi + (\partial g/\partial z - 2\pi G\rho)\Delta z + \Delta Tc \quad (2)$$

ここに、 ϕ : 緯度、 z : 標高、 G : 万有引力定数、 ρ : 地殻表層密度である。この式により、個々の重力データの持つ精度は、次の4項目に分けて評価される。

(a) 重力測定値の精度評価 右辺第1項の精度は、相対測定で採用した基準点重力値のJGSN75に対する精度、フィールドデータから重力値を導くリダクション段階における、重力計の換算定数表の精度(例えば Nakagawa *et al.*, 1983) および重力計のドリフト補正等に係わるもので、これを丁寧に実行しないと場合によっては、1mGal を越える誤差を生じさせる事がある。

(b) 正規重力の見積り精度 右辺第2項は、緯度方向に0.1' 角の位置の誤差(約185mに相当)で0.15mGalの誤差を生じさせることを表す。

(c) フリーエア補正およびブーゲー補正の精度 右辺第3項の()内に含まれる重力鉛直勾配と表層密度の2つの項は、それぞれフリーエア補正およびブーゲー補正に対応するもので、共に変数であるが、重力鉛直勾配にどの程度の違いがあり得るかという問題は、現在のところ有効な見積法が殆どない。そこで、 $\partial g/\partial z$ には $\partial\gamma/\partial z (=0.3086\text{mGal/m})$ で代表させ、一方、 ρ については一般的に用いられる花崗岩の平均密度(2.67g/cm³)を与えると、

$$(\partial g/\partial z - 2\pi G\rho) = 0.1967\text{mGal/m} \quad (3)$$

となる。表層密度は、現実にはかなりの幅を持つ変数である。特に高標高の山岳地帯では、ブーゲー異常の絶対値には、数mGal~10mGalの差が簡単にでてしまうので若干言及しておく。地形が最も急峻・高標高である中部山岳の内、御嶽山を中心とした周囲約100kmの範囲を例に採って、実際のデータに表層密度に変化を与えて数値実験し、夫々どのようにパターンが変化するか、図に出力させてみた(Shichi *et al.*, 1993)。その結果によれば、仮定密度が少なくとも現実に取り得る範囲である限り、コンターの描くパターンにはほんの僅かな差しか現れないことが判明した。この事はすなわち、極く近傍に隣接する測定点相互の間では、「相対精度」としては殆ど影響を及ぼさないという結論になる。従って、右辺第3項の、標高の精度に係わる誤差評価は、(3)式によって次のように要約される:「標高誤差5mに対応するブーゲー異常値の誤差は1mGalになる」。

(d) 地形補正の精度 右辺第4項の地形補正に係わる項は、単純ではない。平坦な平野部等ではほとんど無視してもかまわないけれども、これが急峻な山岳地帯の深い谷や尾根筋等といった場所になると、僅か数10mの水平位置の誤差だけで数mGalの誤差を生じさせてしまう事がある。具体的に実際の急峻な地形の箇所を選んで、緯度・経度ともに0.1' 角の誤差を与えて数値実験してみた結果では、10mGalを越えてしまった例さえある。従って、この事から、「座標の精度は1/100' 角の精度で統一する必要がある」という結論が導かれる。更に地形補正精度の評価に当たっては、計算処理を統一することが最も大切である。地形補正法には、開発者毎に色々なヴァージョンが存在し、これに伴って系統差が生ずるからである。

以上の検討から、全データに1mGalの「総合精度」を保証できるようにするとしたら、何が要求されるのか、必要な事項をまとめると次の4項目になる。以下では、精度とはブーゲー異常の絶対値を意味するものではなく、(c)項で述べた「相対精度」を表すものとし、(a)から(d)までの各項目全てを含めた精度として「総合精度」と呼ぶことにする。

(1) フィールドデータに立返る事が可能なデータセットの場合は、データリダクションを極力正確に行う事。これには、基準重力値、ドリフト補正、重力計の換算定数表等の正確を期することが要求される。リダクションデータだけで与えられているデータセットの場合は、JGSN75系への変換の正確を期する事。

(2) 測定点の標高は、少なくとも数メートル以内の精度で決める事。悪くても5メートルを越えない事。

(3) 測定点の座標は、緯度・経度共に $1/100'$ 角程度の精度で与える事。これはひとえに地形補正量の正確な算定に必要な条件で、特に山岳地帯においては十分な注意を払う事。

(4) 地形補正は、同一方法による統一処理を施す事。異なった手法の結果を混在させない事。

5. オリジナルデータの問題点と改定の必要性

5.1 オリジナルデータの問題点

真に安心して使えるデータベースを完成させるには、以上の4項目全てを完全に満足したものに仕上げなければならない。しかし、現実には収録した個々のファイルに固有な様々な問題が含まれていて、単純なものではない。それらの主たるものを分類すると、次のような5つの事項が挙げられる。

- (1) フィールドデータのリダクション処理およびその方法に係わる問題
- (2) データの mis-handling に起因する問題
- (3) 測定時の誤りに起因する問題
- (4) JGSN75 系への変換にかかわる問題
- (5) 座標精度の不足の問題

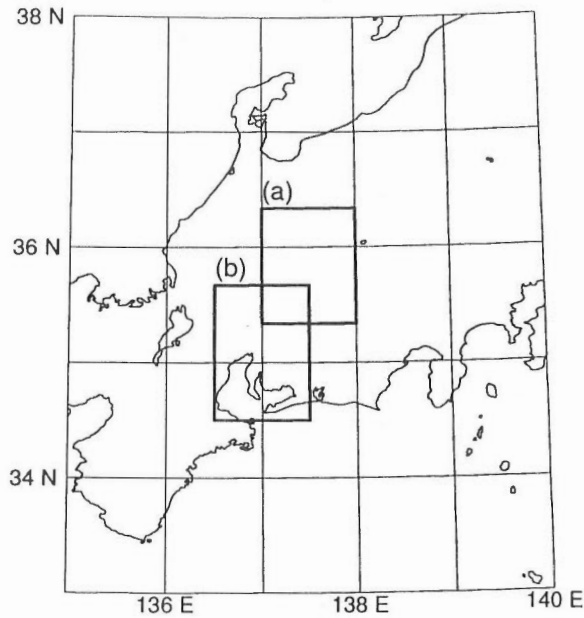
この内、最初の(1)と(2)の問題は、リダクション処理方法上の、必要な改定を行った上で、観測データを丹念に再点検し直して、統一再計算処理を施すことで解決される。(3)の問題は、単にフィールドノートの点検だけでは済まず、測定地点の同定を間違えていないか、あるいは重力計のダイヤルを読み違えていないか、といった類の問題である。これには、観測野帳と測定地点を書込んだ地図にまで戻っての、念入りな再点検が必要になる。(4)の問題は、リダクション後の重力値だけが与えられていて、フィールドデータに戻ってリダクションをし直す事ができないデータに係わる問題である。特に、ポツダム系データや、相対値データセットがこれに該当する。最後の(5)は、座標精度が不足しているデータに係わるもので、この場合には、測定地点を地形図の上で確かめながら、座標を必要精度($1/100'$ 角)まで高めるための読み直しをしなければならない。

以上の前処理の改定を完了した後、最終的にデータリダクションと地形補正の統一処理を施して改定を完了する事になるが、これにはなるべく最新の一番高い精度を保障する方法を取り入れる事に尽きる。我々は現在のところ、Yamamoto *et al.*(1982a)・山本(1984)の手法をスタンダードとして採用している。この中では、フィールドデータのリダクションの精度を高めること、例えば、重力潮汐の見積りには、中井(1979)の方法を採用し、また地形補正には、国土地理院による地形データ(KS-110-1)を用い、問題のある箇所については、可能な限りの改定を随時施す等の、改良に努めている。

5.2 データの質の持つ意味とその改定の必要性

このようにして収集した個々の資料は、元々が、夫々の取得の目的や、データそのものの処理方針に係わる、固有の履歴をそのまま残しているものである。これを反映して、様々な問題を含んでいるのが通例である。従って、オリジナルのままでは、それらの全てが同じレベルの精度を保障できるものではないし、無視し難い不良データを残したままのファイルも少なからずある。第一、我々自身が研究を開始した当初では、得られるであろう精度も、前述の如くかなり低いものと評価していたし、データの中に少々の誤りがあっても気にせず、どんどんデータ量を増やしていくという方針を採った。このような問題を残したままの段階では、作図方法での工夫をして、適当な広さのメッシュで平均値を採り、予めその中に明らかな不良データが含まれている場合は、プログラムの上で外してしまうといった前処理をして作成したグリッドデータで、出力させるといったバージョンに頼ることになる。そうして作成した図の1例を示しながら、精度改定を如何に進めたかを説明する。

1986年に、1984年に発生した長野県西部地震震源域で合同観測が実施された。その一環として、重力の補充測定を行った。この測定の終了直後に、第4図(a)に示した範囲でそれまで採用していた作図バージョンで出力したものが第5図(a)に示されている。この図の丁度中央に、15km程の長さで西南



第4図 ブーゲー異常図のインデックスマップ (a) 第5図の範囲 (b) 第7図の範囲

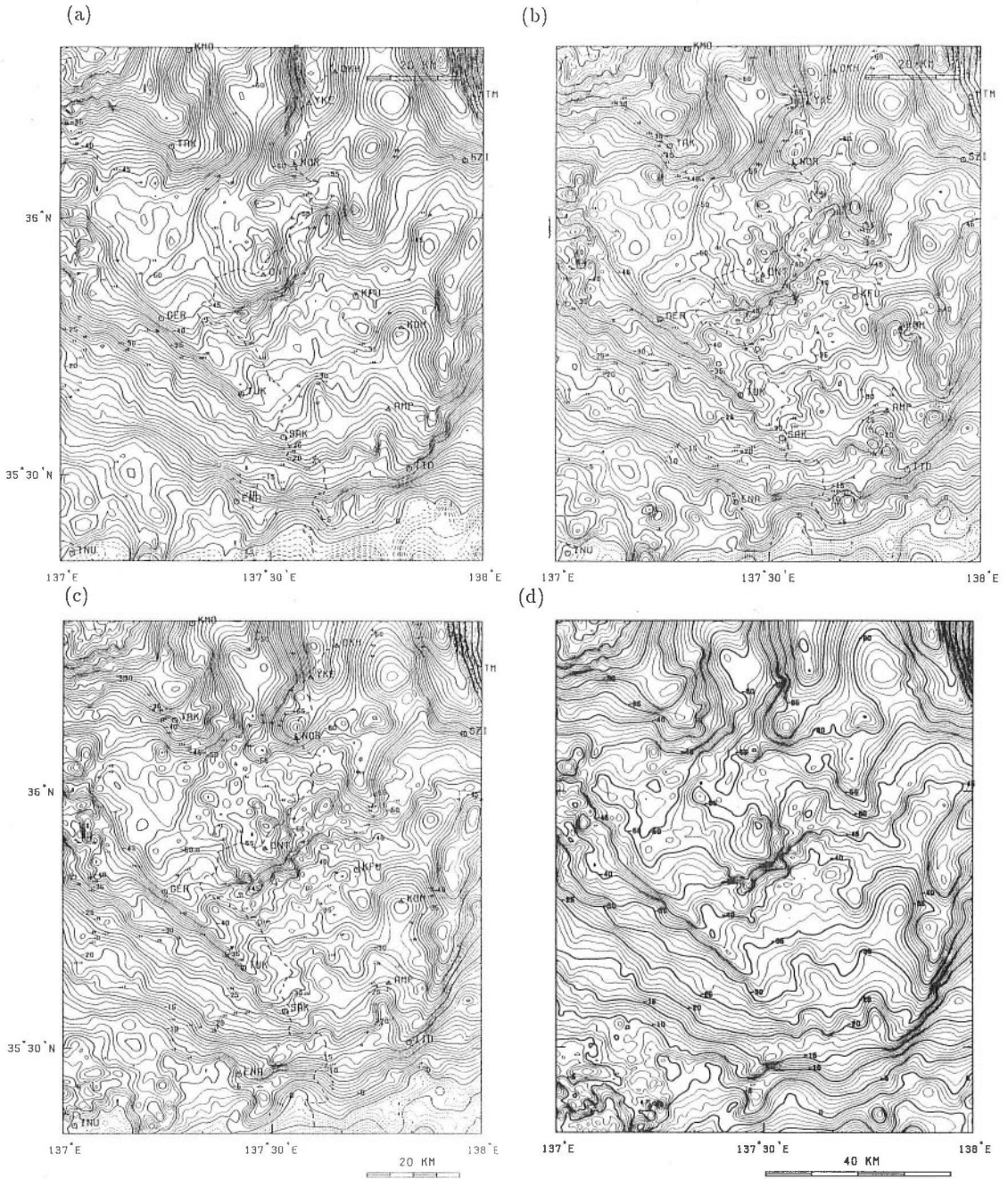
Fig. 4 Index map for the Bouguer anomaly maps. (a): the area for Fig.5, (b): the area for Fig.7, respectively.

西-東北東のトレンドを持つ重力急変帯が見えるが、この北傾斜していく肩に当たる位置こそ、同地震の主断層面そのものである事、また、この急変帯の南東側に北西-南東のトレンドを持って長く伸びているノッチの部分が阿寺断層である、という際だった特徴も明らかにされた。

出来上がる図も、ここまでの段階で満足するならば、重力資料個々の持つ問題点など、さほど気にしなくても済む。しかし、データ数は、このままの図の出来栄で済ますには、もったいない程の点数で、相当稠密に測定した。メッシュを細かく切れば、震源域での急変帯がもっときめ細かく出てくるであろう。という事で、作図プログラムのバージョンアップをし、全く同一データを使って新たに作図し直してみたのが第5図(b)だった。こうして描いた図では、メッシュを細かくすればコンターの滑らかさが増して精細になる。その反面、1点1点のデータの重みが増し、その精度に引張られることになる。一見して分かるように、随所に不良データが混在していて、かえって図全体の出来栄の足を引張ってしまった事が示された。こうして、データ1点1点を持つ精度の問題の重大さがクローズアップした。

先ず、第5図(b)に含まれている明らかな不良データを一つ一つ、嵐潰しに外していった。これで、我々名古屋大学独自データの中に混じっていた、かなりの数の間違いを見つけ出して、修正することができた。その主なものは、単純な数値の入力間違い、測定場所を間違えてしまったもの、測定時におけるダイヤル数字の読み間違い・記載間違い等々であった。こうして段々細かいパターンにまで眼を配って、更に続け、虫殺しもある程度まで進んだ段階で出力してみたのが第5図(c)である。この図を第5図(b)と比べてみると、確かに明らかな不良データは無くなったし、不自然な所も少なくなかった。しかし、パターンを乱している点を一つ一つ外していって見ても、どうも本質的な問題の解決には、まだ程遠いように思われた。第1、本当に信頼が置けるのは一体何なのか、という事にも基準がなく、こんな場合には頭が混乱してくるものである。

この範囲に当時含まれていたデータファイルは、名古屋大学、国土地理院、金属鉱業事業団の3機関だ



第5図 木曾御嶽山を中心とした地域(第4図(a))で作成したブーゲー異常図 (a)1986年以前の古いバージョンによるデータおよび作図法による出力例。(b)(a)図と同一データでメッシュを細かくした新バージョン作図法による出力例。(c)(b)図の中に含まれていた不良データを外した後に出力し直した例。(d)全データの全面的改定を施した後(b),(c)図と同一バージョン作図法によって出力した例。

Fig. 5 Bouguer gravity anomaly maps around Mt.Ontake. The area is indicated in Fig.4(a). Contour interval is 1 mGal. (a) An example of the output by an old mapping version employed before 1986. (b) An example of the output by a new mapping version employed after 1986. The gravity data used is the same as used in (a). (c) Same as (b). Obviously wrong data included in (b) were removed. (d) Same as (c). Data after performing total revisions were used.

けで、構成が比較的単純であった。そして、個々のファイルの中で重複測定されているデータや、3ファイル相互で重複しあっている点もかなりある。そこでまず、この3つのデータファイルの個々の中同志で、次に各ファイル相互の間で、重複測定してある点や、ごく近傍で測定されている点同志でのクロスチェックを試みた。その結果が重大で、次の様な問題が見つかったのである。

名古屋大学独自のデータについて

1) 1979~80年当時のデータと1986年以降に新しく測定したデータのリダクション後の重力値を比べると相互の間に、明らかに有意な大きな差がある。

2) 1979~80年当時のデータと1986年以降に新しく測定したデータの地形補正量を比べると相互の間に、明らかに有意な差がある。

国土地理院データについて

3) 1986年以降に新しく測定した名大独自データのリダクション後の重力値との間には、明らかに有意と思われるような差はない。

4) 1986年以降に新しく測定した名大独自データの地形補正量と比べると、明らかに有意な差があり、かなり大きな値になっていることが非常に多い。

要するに、ここまでは、何を基準にして判断すべきかも見極めぬままに、当てずっぽうの手作業をやっていたに過ぎなかった。この当時採用していたデータフォーマットは80カラムのカードイメージで、この制約のため、その中に直接ブーゲー異常値を書込んでいなかった。このおかげで、ブーゲー異常値を数値で判断できず、図にして始めて分るという方法上のまずさが、問題点を見つけ出すのを遅らせてしまった。この単純な問題をすぐに改良して、必要な数値は全てビジュアルな形で点検できるようにした。随分手間取りはしたが、問題点の所在はこうしてはつきりした。結論は、次の4点に集約された。

1) の主な原因は、各重力計の換算定数表の改定をする前と後(例えば Nakagawa *et al.*, 1983)の違いで出た差で、用いた換算定数表の違いだけで重力値に最大0.5mgalの差が出る。その他、基準点での重力値の差、および不適切なドリフト補正の仕方から生じた無視し難い系統差がある。何れの問題も再計算処置を要する。

2) の原因は、地形補正方法を途中何回か改定した(野崎, 1981; 山本, 1984)が、処理した時点毎の地形補正値をそのまま保存して使用した事による。最新バージョンでの統一処理を要す。

3) 国土地理院のデータの重力値は、JGSN75を具現した極めて信頼性の高い基準値を提供している。名大独自のデータについても、重力計の換算定数表の改定版による再計算処理を施すだけで基準値提供の役割を果たす。

4) の原因は、国土地理院のデータが、緯度・経度共に0.1'角で与えられている座標精度の不足に起因するためのもので、これの改定で問題の完全な解決が図られる。座標の全面改定を要す。

かくして、極めて明快な形で判明したこれらの問題点は、時間をかけて直していく事で全てが解決される。ともあれ、ここで明らかになった改定作業の全項目を、まず第5図の範囲で実行した。その結果出来上がったものが、第5図(d)である。この全面的改定が如何に絶大な効果をもたらしたかは、一目瞭然である。しかも、「不良データ」として外したもののまでが、全て完全に蘇ってしまった。この図の対象地域の大半は、ブーゲー補正・フリーエア補正・地形補正の、3補正項の全ての精度が、最も不利な条件となる3,000m級の山々が連なる山岳地帯で、2,000mを越える少なからぬ地点での測定も含んでいる。そのような地域であるにも拘らず、1mGalの総合精度を保障している事は、そのコンター間隔で描かれている出来栄の良さで、見事に証明されている。

6. 全データの高精度化のための全面的改定作業

前章5で述べたように、精度の上で、最も不利な条件にある中部山岳地帯においてさえ、1mGalの総合精度が保証されることが実証された。このような高精度は、4章で定式化した評価基準に基づいて、必要な諸改定を完了することによって達成される。今回の「NGDB」の完成に向けて、この改定を全面的

に実施し、完了することにした。問題は、8万弱に上るデータを、1点1点間違いなく、この作業を如何に効果的に進めていくかである。これは、単純作業ながら実に骨の折れる仕事であって、収録したデータがカバーする日本全土の半分以上の全ての範囲において、第5図(d)のように精細な図ができるようになる事を唯一の楽しみとしての、根気との闘いである。この間に判明した事柄等について、以下に述べる。

この改定作業は、その目標を、山岳地帯の最も厳しい不利な条件下での取得データに対しても総合精度で1mGalの水準に照準を当てる。これを実現するために必要な作業は、全収録データについて、

- (1) 重力値を0.1mGalの桁の精度までJGSN75系へ完全に更正する事
- (2) 標高精度を数メートル以内の誤差で抑える事
- (3) 座標精度を1/100'角あるいは最低でも1"角まで高める事
- (4) 地形補正は同一バージョンでの統一処理をする事

の4点に集約される。この各項に係わる事項を以下に述べる。また、以上の方針で進めた全面改定で、どの程度の改善がなされたかについて、説明をする。

6.1 重力値のJGSN75系への更正に関して

6.1.1 フィールドデータにさかのぼれるデータの再計算処理

まず、6(1)項について言及する。この改定を、全データファイルについて完成させるには、基準重力値を提供するファイルがある。ボツダム系や相対値のファイルは、これとのクロスチェックによつての更正を完成する事が必要になる。そのためには、基準重力値を提供するファイルが、少なくとも十分な量のデータを持つ事が不可欠である。できればこの役割を果たす複数のファイルの存在が望まれる。これにはまず第1に、国土地理院のデータが該当する。国土地理院は、信頼できる基準重力値を提供するという、その本来的使命からして、その重力値は、殆どの場合問題なく基準値の役割をする。しかし、全国に漏れなく分布してはいるが、どこにおいても、クロスチェックがこれだけで十分可能な望ましい分布をしているわけではない。そこで、当然我々名古屋大学独自のデータも、その役割を果たし得るものとすべきであろう。しかしその当時のままでは、とてもそこまでの保障をしかねる不完全な状況でしかなかった。それまで自前で蓄積した資料の中には、疑問があつて簡単に除外してしまったものや、また、宿泊所等で、重力計の状態チェックのための測定がしてあるのに、その位置を地図上にプロットしなかったために、ファイルから外してしまったものも相当沢山ある。単に不完全なだけではない。更正の仕方そのものにも、不正確なところが随所に認められた。今回これを契機に、全資料を漏れなく洗い直してファイルし直し、測定地点の間違いや観測野帳の記入ミス等の修正、入力数値の点検等も完了した上で、最も信頼の置ける重力基準点(複数)を定め、それらでの重力値に準拠して正確なドリフト補正を行う一方、複数使用した重力計の定数表も、新たな検定による再更正で改定したのものによつて、データリダクションを完了する事にする。

国土地理院と我々独自のもの、この2つのファイルが、JGSN75に完全に準拠した基準としての確定値を提供すれば、極めて大きな意味を持つことになる。これに加え、他機関のデータでも、同じ改定が可能な場合には、全てこの改定を実行する事にする。その他の重力値だけしか与えられていないデータのファイルについては、これらとのクロスチェックで、可能な限り修正を行い、最終的に全てのデータのJGSN75系への更正を完了することにする。

名古屋大学独自の過去のデータに関しては、順を追って処理していくべき次の項目が挙げられ、これを完了した。

(a) 全資料の完全なファイル化

先ず最初に、それまでの全てのフィールドドキュメントを総点検して、これを全部ファイルし直す事から始めた。その具体的な中身は、次の3つである。

1) 名古屋大学内重力基準点その他の臨時基準点でのリファレンス測定資料の再収録

当初は、データリダクション終了後、データの重複を避けるために、データファイルからカットして

しまったもので、大量な数に上っていた。再計算はこの再録を抜きに行えない。この再点検で明らかになった重大な問題点の1つを挙げると、その中に明らかに入力間違いをしてしまったものが含まれていたために、見掛け上、経過時間に比例した異常なドリフトとして、誤差を生じてしまっていたものを見つけた。

2) 宿泊所での測定を生かすための地図上の位置の同定

ドリフト補正にきわめて大切なデータであるが、地形図上に宿泊所の位置がプロットされていなかったものが非常に多かった。合計121測定あったものが、幸い全ての位置が判明した。これら宿泊所での測定データは、臨時の基準点としてドリフト補正に極めて有効に生かされた。

3) 疑問なデータとして除外されていたデータの再録と修正

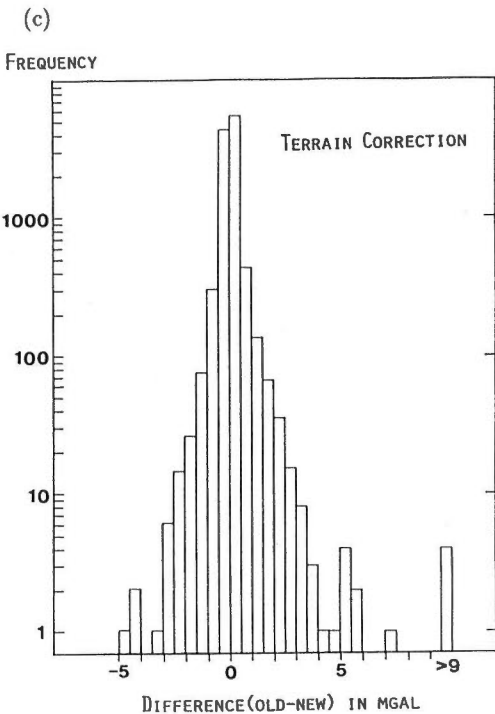
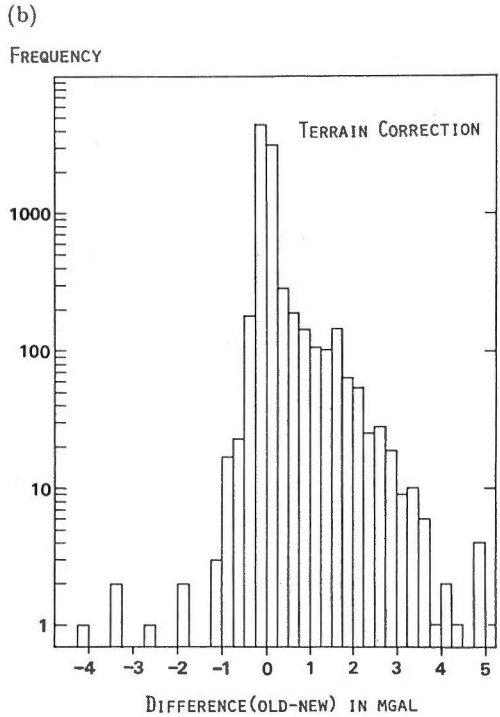
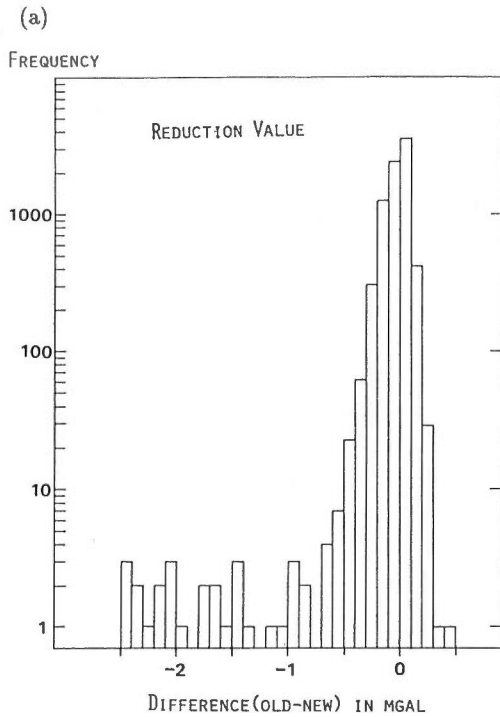
これで除外されたものは、殆どが、ダイアルの読み間違い、あるいは測定地点を間違えたものと判定され、問題の所在が判明した。これで修正・再録されたものが、夫々77点、55点の合計132点であった。ついでに、こうして見つかった「誤り」の特徴について述べておく。フィールドワークを主とする者にとっては、きっと参考になるであろう。ダイアルの読み間違いと判定したものの多くは、数値を逆さにひっくり返して記帳してしまった例が最も多く、次いで、同じ数字が並んで続く場合、その個数を間違えてしまったもの、さらに、桁を飛ばしてしまって数字の記帳を忘れてしまった例等々である。これは、誰もが共通して犯してしまいやすい間違いであるらしい。測定地点を間違えた場合にも、どうも共通性があるらしい。最も多かったのが、カーブや谷筋等の他、道路の三叉路等を別の地点と取違えてしまったものである。予めこれ等の特徴を目標とした先入観が、判断の誤りの原因となったものと思われる。この中には、一旦は間違っていないか?とは考えながらも、「地図が間違っている」という風に、勝手に合理化してしまった場合もある。これは、平素の論理思考で、えてして陥りやすいパラドックスに実に良く似ていて、戒めとすべきである。後になって間違いと分かるこの問題の中に、重力データの中に潜んだ「人間味」の温りが感じられて、興味深い。

(b) リダクションの再統一計算処理

(a)でのファイル化が完了した後、複数台使用した重力計の各換算定数表には、夫々定数検定に基づく改定版を使い、かつ宿泊所のデータを生かして、出来る限り最短時間での閉環ループを採っての、ドリフト補正を完了した。この全面的再改定を要したデータの総数は、8,083点であった。この改定によって、新・旧の更正重力値の間にどの程度の差が出たかの結果が、第6図(a)に示されている。改定前の値が概して小さく出ているのは、重力計メーカーから与えられているオリジナルの換算定数表の係数が、例外なく小さかったためである。そのために改定したファクターが、 10^{-4} の桁で、その値はむしろ 10^{-3} にさえ近いものであった(Nakagawa *et al.*, 1983)という事から生じた結果である。また、改定前に、異常に小さな値であったものが見えているのは、(a)で、基準点でのフィールドデータの「入力間違い」として述べた、問題の部分に相当するものである事を表している。

名古屋大学以外のデータの内、フィールドデータが完備しているものが幾つかある。それらは、第2図(d)に示した京都大学の一部データの他、静岡大学・岐阜大学・高知大学・島根大学および地学団体研究会の全データがこれに該当し、それに北海道大学のデータもある。これら全てについて、名古屋大学データと同様のリダクションを完了した。それらの中にも、名古屋大学の所で述べた事と、全く同種の「誤り」を数多く見つけ出し、可能なものについては修正を行った。内容は名古屋大学データの項で述べた事と同じなので、その詳細は割愛する。

本項に関するフィールドデータの改定と、これによる再計算処理の結果、更正後の重力値が如何ほどの精度を持つに至ったかは、同一ファイルの中に含まれている、重複測定されているデータや、別のファイルのデータ相互でのクロスチェックをして確認できる。このクロスチェックが可能な点は多かった。これで比較することが出来たデータによれば、殆どの場合が $\pm 0.1\text{mGal}$ 以内の差に収まっていて、 $\pm 0.2\text{mGal}$ を越えるものは僅かであった。このことから、本項に含まれるデータ、すなわち、フィールドデータからのリダクションを完了したデータは、その全てが、次の[6.1.2]項に係わる改定のための、基準値として機能することが確認される。



第 6 図 データの全面的改定の効果を示す統計ヒストグラム

(a)1986 年以前測定の名古屋大学データに関するデータリダクション方法の違いによって出た重力値の差。
 (b)1988 年以前測定の名古屋大学データに関する地形補正方法の違いによって出た地形補正量の差。(c) 国土地理院全データの座標精度改定によって出た地形補正量の差。

Fig. 6 Histograms to show how the gravity data were revised by total revisions.

(a) The differences between the reduced gravity values in the data of primary stage and ones after re-calculation are compared for 8,083 points of Nagoya University's data. (b) The differences between the terrain correction values in the data of primary stage and ones after re-calculation are compared for 9,030 points of Nagoya University's data. (c) The differences between the terrain correction values in the data of primary stage and ones after coordinate revision are compared for 10,511 points of the Geographical Survey Institute's data.

また、このクロスチェックは、「座標精度」の確認も可能である、という副産物的意味もあったので言及しておく。個々のファイルに収められている座標値は、処理を行った担当者の採用方法によって、僅かながら差がある。しかし、その差は僅かで、緯度・経度の双方ともに、差が $0.03'$ 角を越えることは少なかった。従って、今回の「NGDB」収録データの座標精度は $\pm 0.02'$ 角以内と結論づけて良い。± $0.02'$ 角をこえる差がある場合も僅かながらあるにはあった。何れにしても、このクロスチェックができた点については、座標値を統一した。この場合、名古屋大学ファイルの値を優先、その他の場合はその都度判断という事で修正した。この必要性は、地形補正量に目標総合精度の 1mGal に比べて、量的に無視できない違いが生ずる場合があることを考慮したためである。

6.1.2 フィールドデータにさかのぼれないデータの JGSN75 系への更正

今回までに収録させてもらった資料の中には、リダクション後の重力値だけが与えられていて、フィールドデータに戻ってリダクションをし直す事ができないデータが沢山あった。なかでも、ポツダム系データや相対値で与えられているデータの場合、この更正は不可欠であって、そのデータ量はかなり多い。この問題の解決には、既に JGSN75 に準拠した精度で統一されているデータセットが存在していて、これと十分な点数でオーバーラップしているデータが見出せる場合には、それらで相互に「クロスチェック」することで解決される。しかしこの様な条件が揃っていない場合には、必要かつ十分な点数で「クロスチェック」を行うために、新たな測定を行って解決する以外に適切な方法は見出し難い。この目的のための測定もかなりの箇所で行った。こうして本項に係わる更正は、その基準値としての [6.1.1] 項に入るファイルが相当量出来上がった事で、これ等とのクロスチェックがうまく進み、その全ファイルについて、JGSN75 への更正は、± 0.2mGal 程度の精度で完了したと考えている。ポツダム系データと相対値データの資料は、ノースアメリカンやウォルドン等の、古いタイプの重力計で取得されたものが殆どである。従って、換算定数の問題が残っていて、これの改定はまだできていない。例えば、Iida and Aoki(1958)はこれに該当するが、カバーする地域が濃尾平野で、重力値の幅もあまり広くはないことから、平均値での整合によっての更正に留めてある。

6.2 地形補正の統一処理に関して

6(4)項の地形補正に係わる精度の評価に当たっては、地形補正プログラムおよび計算処理を同一にして統一する事が最も大切である。異なったバージョンの処理結果を混在させると、これに伴って系統的な「差」を生じ、これだけで数 mGal の違いに及ぶ事がある。

我々が重力研究に取掛かった頃の、計算機使用料の内、最も金食い虫だったのが地形補正で、このためそのころは、一度計算したらそのまま後生大事に使っていた。その後10年を経過する間に、地形補正方法の改良を重ね、その時々でのバージョンでの出力結果をファイルして使ってきた。これが結果的には災となってしまった。第5図(b)~(c)にその問題が端的に示された。色々検討してみると、測定点近傍の計算を忘れてしまったらしい、という単純なミス疑いのあるところも見受けられた。結局、こうした問題が残っているデータの、総計9,030点について全面的に再計算し直した。この再計算の前後で、どれだけ地形補正値が変わったかを比べたものが、第6図(b)に示してある。その差が 1mGal を越えてしまったものが実に多いことが分かる。このことは、重力データの処理においては、最も大切な事項の1つとして、「地形補正方法のバージョンを統一しなければならない」という事を端的に表している。

6.3 標高の改定に関して

次に、6(2)項の標高の精度に関して述べると、これに係わって問題が出てくるのは、大抵の場合、測定地点を間違えているケースが多い。それは、出来上がった重力異常図の中に、明らかな「プラス」か「マイナス」の大きな目玉を描くことで判断される。このような場合には、観測野帳に照して、地形の特徴から判断して、修正が可能なケースがある。また、測定地点の標高をコンターを使って決めた場合、もし不自然なパターンを描いたとしたら、数メートル以内の範囲での修正をする事は許される。これも大変骨の折れる作業であるが、実行する事にする。

我々が進めている重力測定の手法は、全面的に地形図だけに頼るというものである。測定地点の選定は、水準点と三角点は当然として、独立標高点をまず優先する。しかし、この独立標高点は、必ずしも

理想的な分布で与えられている訳ではない。このような箇所においては、地形図コンターを積極的に利用して、測定点分布の均一化と稠密化を図っている。結論的に言えば、1点1点の標高精度を気にするよりも、重力異常の地域分布の差の方が遥かに大きい場合が多く、従って、この方針で測定点分布の稠密化を図る方が、より精細なパターンを描き出せるからである。一旦はこうして測定しておいて、出来上がったパターンを見て、必要なら数メートル以内の範囲での修正を施す。測定をより稠密に行っているならば、この手法で極めて精細なパターンが出て来る事は、第5図において実証されたし、これに関する詳細は、Shichi *et al.*(1993)に記載されている。

それでは、国土地理院発行の1/25,000地形図は、どの程度の標高精度を保証するのであろうか。これには、別の体系での地形図との比較が有効であろう。特に地域開発が進んでいる地域では、主として各自治体が、1/2,500地形図を作成している。これを基本とし、それから再編集した1/5,000地形図、あるいは1/10,000地形図を保持している。それらには、実に沢山の独立標高点が10cmの桁で与えられており、場合によってはcm、mmの桁で記されている。この中には、国土地理院1/25,000地形図の独立標高点と直接比較できる場所が極めて多く見出される。両者の差を調べると、通例では1~3m程度の系統差が認められ、この系統差を中心値として、数10cmの幅でのバラつき内に収まっている。これは、4章(2)項にあげた標高精度評価基準を完全に満足している。こうして、我々の採用している方法論の、合理的根拠が与えられた。ここに述べた様な、直接の比較が可能な箇所のデータについては、桁の高い自治体地形図を信用するとして、適宜修正を施している。こうして標高値の改定を行った箇所は、現在のところ400余箇所である。この様な箇所では、出来上がる重力異常図の精細さが一段と増す。今後同様な改定を順次進めていけば、より精度を増した精細なものへと上げて行く事が可能である。

収録した名古屋大学以外のデータについても、名古屋大学データと全く同様な方法で、標高精度の引上げを行ってあるが、これまでにかなりの点数において改定したものがあつた事の言及に止め、詳細は割愛する。

本項に関して、この他に言及しておくべき問題を、1つ挙げておく。それは、水準測量での標高が出されているのに、そのリダクション段階での処理間違いで、標高に明らかに大きな下駄を履かせてしまった例が見つかったことである。こうした問題は、描かれたパターンの不自然さに現れる。この様な場合、既存のデータ相互だけではクロスチェックが出来なければ、新規にクロスチェックを可能にする測定を行う以外には解決策はない。ここに指摘した問題は、この新規の比較によって明らかになったものである。この類の問題の困難さは、1つのデータファイルの中に、「虫」が混在している事で、特に付随資料が乏しいファイルでは、それらを見つけ出すことを難しくする。収録データの個々のファイルが、真に安心して使える「データベース」の1つとなっていくためには、こうしたきめ細かさを経た管理の下に、ファイルされたものとなる事が要求される。この標高の問題と全く同じ事が、重力値についても言える。それは、「標高」を「重力値」と読み換えるだけの違いであつて、現実にそれが見つかつて、重力値を修正した例があつた事を言及するに止める。

6.4 座標改定に関して

6(3)項の、座標精度をここまで高める必要があるのは、ひとえに地形補正を正しく算出するための必要事項に他ならない。正規重力の見積り誤差も、これで完全に解消される。古い年代に取得された測定データの中には、座標が緯度・経度共に0.1'角の精度でしか与えられていないものが非常に多い。この場合、特に急峻な山岳地域になると、この座標精度の丸めの誤差だけで、地形補正量に数mGal、10mGalを越える誤差を与える場合もある事は既に述べた。この様な場合、折角重力値は十分な正しい精度で与えられていても、結果的にはその精度が全く生かされない。このため、全データについて1/100'角の座標精度を確保する事が要求される。国土地理院のデータは、残念ながら全てこのフォーマットでファイルされている。しかし、座標の改定をしさえすれば、完全に本来の最も信頼の置けるものとして蘇ることになる。同じ条件にある他のファイルについても、この座標改定は何としてもやり遂げなければならない。

国土地理院データの座標は、先ず最初に、全ての読み直しを行わなければならない。殆どのデータが水準点と三角点であるので、地形図上では探しやすい。こうして何なく場所が同定できる場合は楽であ

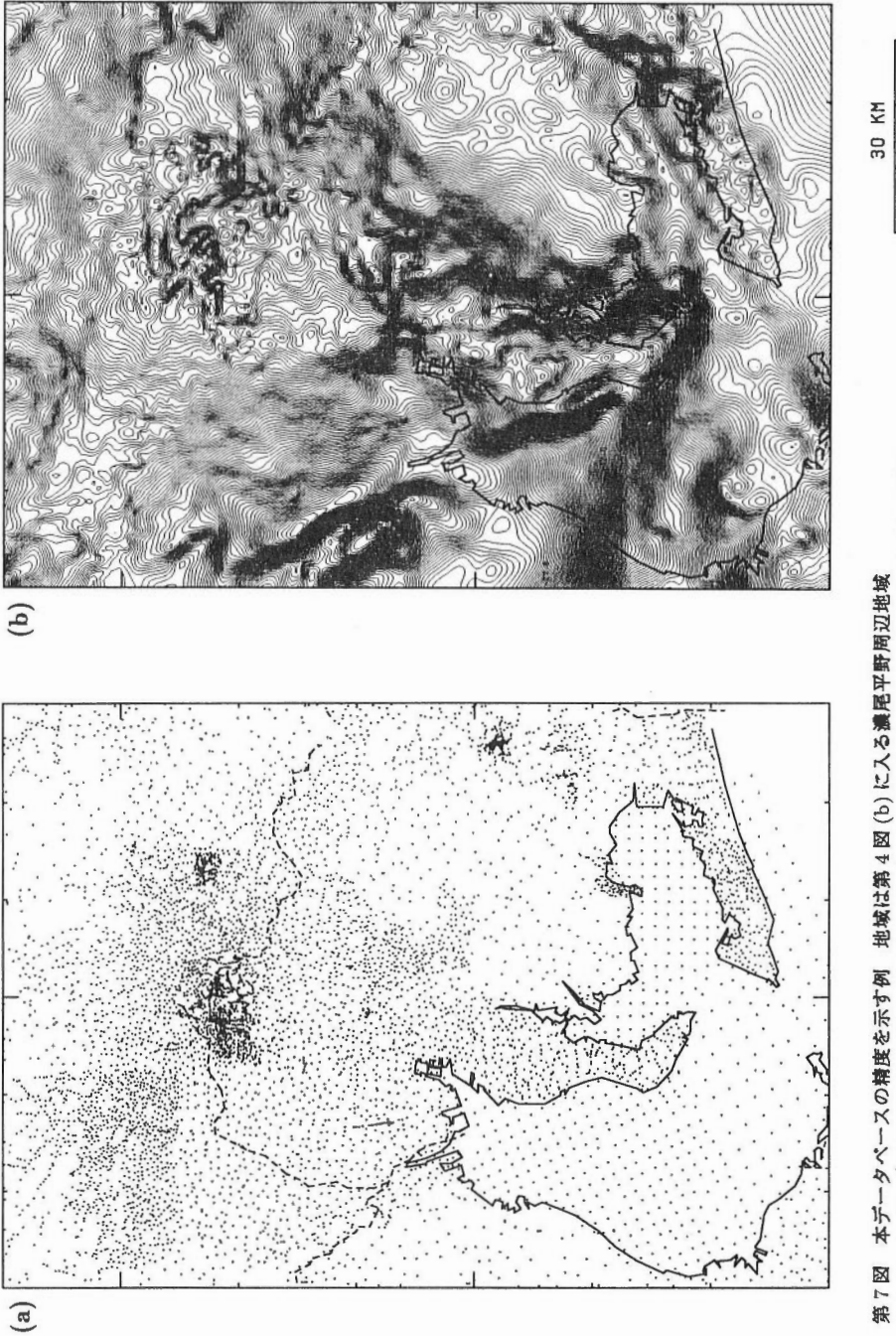
るが、新しい地形図では、測定がなされた当時の場所から改埋・移設された位置しか記されていないものが極めて多い。こうして、正確な原位置が分からなかったり、既に亡失してしまったために、全く記載されていないものも非常に多い。こういう場合には、旧道を辿りながら、コンターの様子を考慮しつつ、大略の位置の見当をつけて読み直しを行った。こういう場所でのデータは、正確は期し難いけれども、山間地ではこれで計算し直した地形補正量の方がよりまともらしい事は、座標読み直しの前後の値を夫々使って、拡大部分図を出し、双方を比較してみる事によって判明した。このようにして、国土地理院のデータ全点の座標改定を完了した。この座標改定の結果、地形補正量がどの程度改善されたかを示したのが、第6図(c)である。この図は、第2図(c)に示された分布の内、房総半島先端の部分を除く10,511点について、調べた統計である。これで分かるように、地形補正量の差が1mGalを遥かに越えてしまったものが実に多い。この図を見ただけで、座標改定の効果が、如何に絶大であったかは一目瞭然である。

この座標改定に係わる問題は、伊豆・箱根に分布する、地震研究所の初期の頃のデータ(実川ほか,1974)も同じ条件であり、1/25,000地形図を使って改定を行った。その中のかんりの点数のデータについては、場所の同定ができなかったが、幸い実川等が当時フィールドワークに使った5万分の1地形図が保存されていて、これを使い、地震研究所大久保によってこの座標読み直し作業が完了した。この場合も、座標改定の効果は絶大で、差が10mGalを越えた場所もあった。

以上細々と述べてきたが、本章に係わる必要な諸改定は、現在までにはほぼ完全にでき上がったものと考えている。勿論、まだ問題のあるデータも残っている可能性は無くはないが、そうした「虫」は最早や僅かににしか過ぎない。そこで、以上の全面改定の結果、如何なる精度のデータが出来上がったのか、その1例を、第7図に示しておく。第4図(b)に示したN34°30′~N35°40′およびE136°30′~E137°30′の範囲の濃尾平野を中心にした地域には、第7図(a)のようにデータが分布をしている。これを東西・南北それぞれ193のメッシュに区切って、地殻表層平均密度2.67g/cm³を仮定して、0.5mGal間隔のコンターで描いたブーゲー異常図が、第7図(b)である。この図に見られる精細さで、「NGDB」の持つ質の水準がよく表わされていると考えている。この「質」の水準は、単にこのような狭い地域に限定されるものではなく、データを収録した全範囲で保証されている事を、本報告別稿(Gravity research group in Southwest Japan,1994)による大判図面で確認して頂きたい。

7. 今後への展望およびまとめ

第7図(a)の測定点分布の状況を見ながら、今後への展望を述べてみたい。第7図(b)の北東角に近い所に、極めて小規模の「目玉」が幾つか見えている。これらの箇所は、測定点が特に密に分布している所に対応している。一見「虫」データとの疑いが持たれるかも知れないけれども、そのどれもが、それらの個々の地点に対応する地質の違いを見事に表したものである。さらに拡大図にしてみると、0.2mGal間隔、否、0.1mGal間隔のコンターで描いても、全く遜色のない精細な図ができあがる。その中にこの地質との相関という特徴が、極めて鮮明に描き出される。ここで言う0.2mGalとか0.1mGalの分解能ともなれば、もはや閉環測定法でリダクションがしてある重力値そのものの絶対精度の限界か、既にそれを越えてさえる。重力値を真にこれに対応する精度で与えるためには、精密測定の手法での測定と、これに見合ったリダクションをしなければならぬ領域にすら入る。我々が収録し終えたデータには、少なくともこんなことにも耐え得る「総合精度」が達成できたと言うことであろう。さらに、これだけの分解能を保障するには、この「重力値の正確な決定」と共に、もう一つ、フリーエア補正とブーゲー補正を併せた精度が、これに対応するための標高精度が必要で、1mあるいは数10cmの相対精度が要求される。勿論、これは、データ全点について保障されなければならない。しかし、今ではこんなことも難無く実現してしまう。多くの自治体では、この要求を完全に満たしてくれる1/2,500縮尺の、極めて精巧な独自の地形図を保有している。その中には10cmの桁での独立標高点が実に沢山記されていることは、既に述べた。それらを利用させてもらえばそれで済んでしまうのである。第7図(a)の測定点の内、の相当な点数は、こうして選点したものである。こんな精巧な地形図が出現するまでは、広域調査をしようにも、併せてレベル測定を要したという大きな障壁が、これを阻んできた事も、既に述べた。今や



第7図 本データベースの精度を示す例 地域は第4図(b)に入る濃尾平原周辺地域

(a) データの分布図 (b) 仮定平均密度 2.67 g/cm^3 , 0.5 mGal 間隔コンターで作図したブーゲー異常図
Fig. 7 An example to show the accuracy of present database. The area is the Nobi Plain and its vicinity shown in Fig.4(b).

(a) Distribution of the data included. (b) Bouguer gravity anomaly map with 0.5 mGal contour interval. 2.67 g/cm^3 is assumed.

こんなことは、遠い過去の事として遥か彼方へと過ぎ去りつつある。何れ遠からぬ将来に、日本全土でこんな条件が完備する事を願うばかりである。

第7図(a)に戻ってみると、そこにはまだ測定点密度の「疎・密」がある。当然のことながら、密な箇所では精細なパターンが描かれる。疎な箇所ではきめ細かさが少々欠ける。しかし、大局的な傾向はすでに綺麗に描き出されている事には間違いない。そこから読み取られる特徴を手掛りにして、もっと詳細なことを知るのどこに目を付けて精査すべきか、といった示唆は、既に十分与えてくれていることは間違いないであろう。第1図にさらに戻れば、今回完成を見た「NGDB」は、少なくとも西南日本の東部の殆ど全域にわたって、この条件を備えたことが結論付けられる。この条件とは、ある意味では出発点の第1歩でもある。それは、重力データがもたらすであろう、より精細な情報を得るために「濃尾平野部でのような密な分布にまで持っていくための」である。

本データベースは色々な利用法が可能になる。最近重力データから、地殻表層密度を導く新しい手法の開発が進展した(Fukao *et al.*,1981; Murata,1993; 名和ほか,1993)。本データベースの均一・稠密分布という特色は、この面での一層の進展に寄与するであろう。また、大量の重力データを用いて、ジオイドの起伏を詳細に出していく研究も急速に進展しつつある(Kuroishi and Milbert,1993)。「NGDB」は、地球物理学や地震予知への応用のみならず、このように、地質学・測地学のほか、さらに関連のある学問分野に役立つであろう。本稿の主題たる精度向上のための全面的改定作業は、1988年以降の5年間これに没頭して成し遂げたものである。この間、16,000点の新規データ補充測定も併せての大作業であったが、ようやくここまでたどり着いた、という感が深い。

本データベースの質には、量と共に、それなりの自信を持っている。今後は、色々な分野において活用してもらえる様に、これまでの関係者の相互の間での協議を詰めて、遠くない将来において、関係者以外の一般ユーザーに対しても本データベースの利用を促す事を意図しつつ、可能なところからのデータの提供を考えていく予定である。問題はその運用の仕方に掛かる。そこで、今後に向けての課題に触れておく。そもそも、学問分野における協力関係とは、対等・平等・互恵の関係の上に成立つものである。それは決して、量的な大小関係や、貢献度の違いによって差があってはならないものであるし、ましてや、大が小を併呑してしまうような、一方通行の関係になってしまうものであってはならない。今日に至る事ができたのは、ひとえにこの信頼関係以外の何物でもない。「NGDB」結実の成果は、20を越える関係諸機関の共有財産として、永続させるべきものである。それが出来るか否かは、先ず最初に、関係者同志が、対等・平等・互恵の関係で、相互に自由に利用し合い、プライオリティーを行使し合える、真の「データベース」と出来るか否かに掛かっている。その具体的な形態が何であるのか、ということ早期に見定めて、円滑な運用がなされることを期待したい。その上に立って、部外者に対しても利用を促すようなものにしていく事を考えるべきであろう。それは、論理の帰結の必然性からすれば、公開性を志向したものにならざるを得ない。データ公開方法の1試案が、本報告別稿(野呂・志知,1994)において述べられるであろう。

なお、本稿に関連するものとして、本報告別稿(Gravity research group in Southwest Japan,1994)において、データが最も理想的な形で分布をしている「中部日本」の範囲で作成した、大判の1/700,000ブーゲー異常図が収録される。また、国土地理院からは、本データベース収録データで編集したメッシュデータから作成した、立体陰影図が発行された(GSI,1993)。本データベースの持つ量・質両面での精度がどの程度のものであるかは、それらの図副および関連資料によって確認されるであろう。

謝 辞

本報告作成の機会を与えて頂いた工業技術院地質調査所、また本報告に関連する精細な大判図面の作成の労を取って頂いた同所地質情報センターの方々、さらに図面の作成のためのソフトウェアの開発に当たられ、使用させて頂いた関係者の方々に深く感謝申し上げます。本データベースの完成を見るに至るまでに、実に多くの機関・組織、およびそこに所属されるの方々、あるいは個人の方々の力添えを頂いた。これら全ての人の協力と善意に深甚なる感謝を捧げる。未公表のデータを収録させて頂いた諸機関、貴重な付加価値を付けた資料の提供に応じて下さったの方々、地形図の無償提供を頂いた関係自治体、また重力測定に際して、思い掛けない便宜を図って下さったの方々、これらの支援なくして本データベースの

完成は成し得なかった。本来なら、これらの方々の、お一人づつの御尊名を挙げて礼を尽くすべきであるが、あまりの多きにわたる事に鑑み、これを割愛させて頂く失礼をお許し頂きたい。

資金的支援を頂いた各務記念財団、科学研究費の交付を頂いた文部省に厚く御礼申上げる。地形補正に係わる地形メッシュデータ(国土数値情報 KS-100-1)は国土地理院から提供して頂いた。本データベースの構築に至るまでの諸計算は、主として名古屋大学大型計算機センターによって遂行した。

文 献

(本研究に内容的に係わりのあるもの以外は、数値データが掲載されているものに限定)

- 中条純輔・須田芳朗 (1971) 伊勢湾北部の重力分布とその考察. 地調月報, vol.22, p.415-436.
- (1972) 伊勢湾南部と三河湾の重力分布とその考察. 地調月報, vol.23, p.573-594.
- 藤本博巳・古田俊夫・河内晋平・小野裕一郎・網敷俊志・伊関伸一・中久喜伴益・高知尾順治・秋元孝敏・大場孝信・河野芳輝・古瀬慶博 (1990) 八ヶ岳火山列周辺の重力異常. 測地学会誌, vol.36, 253-266.
- Fukao, Y., A. Yamamoto, and K.Nozaiki (1981) A method of density determination for gravity correction. Jour. Phys. Earth, vol.29, p.163-166.
- Furumoto, M., A. Yamamoto, H. Shiraki, Y. Fukao and R. Shichi (1985) A dense gravity survey in Western-Central Japan. Jour. Earth Sci., Nagoya Univ., vol.33, p.81-109.
- Geographical Survey Institute (1964) Gravity survey in Japan (3) Gravity survey in the Kanto and Chubu districts. Bull. Geogr. Surv. Inst., vol.9, p.155-340.
- (1985) A new Bouguer anomaly map of Japan (except Hokkaido District). Bull. Geogr. Surv. Inst., vol.29, p.102-103 (with 1 sheet of 1:1,500,000 scale map).
- (1993) Gravity anomaly relief map of the south-western Japan. 1 sheet.
- Gravity research group in Southwest Japan (1994) Bouguer gravity anomaly map in Central Japan (with 1 sheet of 1:700,000 scale Bouguer anomaly map). Rept. Geol. Surv. Japan., no.280, p.29-36.
- 萩原幸男 (1975) 通常のブーゲー補正と球面ブーゲー補正. 測地学会誌, vol.21, p.16-18.
- ・長沢 工・大久保修平 (1986a) 善光寺地震断層の重力調査. 地震研究所彙報, vol.61, p.529-535.
- ・山下 昇・小坂共栄・矢野賢治・安井敏夫 (1986b) 糸魚川-静岡構造線の重力調査 (I) - 松本盆地中央部のブーゲー異常と構造解析-. 地震研究所彙報, vol.61, p.537-550.
- ・村田一郎・田島広一・長沢 工・井筒屋貞勝・大久保修平 (1986c) 活断層の重力調査 (1) - 1931年西埼玉地震の震源断層の検出-. 地震研究所彙報, vol.61, p.563-586.
- ・長沢 工・井筒屋貞勝・小竹美子・大久保修平 (1987a) 活断層の重力調査 (2) - 関東山地北東縁における断層群の検出-. 地震研究所彙報, vol.62, p.311-327.
- ・村田一郎・長沢 工・井筒屋貞勝・小竹美子・大久保修平・田島廣一 (1987b) 糸魚川-静岡構造線の重力調査 (II) - 諏訪湖周辺部のブーゲー異常-. 地震研究所彙報, vol.62, p.517-534.
- ・長沢 工・井筒屋貞勝・小竹美子・大久保修平 (1988a) 活断層の重力調査 (3) - 越生-高麗本郷断層と立川断層北部-. 地震研究所彙報, vol.63, p.33-50.
- ・村田一郎・長沢 工・井筒屋貞勝・小竹美子・大久保修平 (1988b) 活断層の重力調査 (4) - 立川断層の検出-. 地震研究所彙報, vol.63, p.115-129.
- ・大久保修平・中村正夫 (1988c) 和歌山平野の重力調査-学術ボーリング候補地の探査-. 地震研究所彙報, vol.63, p.305-313.
- 広島俊男・駒澤正夫・中塚 正 (1990a) 青森地域重力異常図 (ブーゲー異常). 重力図, no.1, 地質調査所.
- ・須田芳朗・村田泰章・中塚 正 (1990b) 秋田地域重力異常図 (ブーゲー異常). 重

- 力図, no.2, 地質調査所.
- 広島俊男・駒澤正夫・大熊茂雄・中塚 正・三品正明・斎藤和夫・岡本國徳 (1991) 山形地域重力異常図 (ブーゲー異常). 重力図, no.3, 地質調査所.
- ・—————・中塚 正 (1993) 新潟地域重力異常図 (ブーゲー異常). 重力図, no.4, 地質調査所.
- Iida, K. and H. Aoki (1958) Gravity anomalies and the corresponding subterranean mass distribution, with special reference to the Nobi Plain and its vicinity, Japan. Jour. Earth Sci., Nagoya Univ., vol.6, no.1, p.113-142.
- 伊藤 潔・村上寛史・中村佳重郎 (1989) 有馬・高槻構造線周辺における重力測定. 地震 II, vol.42, p.485-495.
- 実川 顕・田島広一・井筒屋貞勝 (1974) 伊豆半島・丹沢山地およびその周辺の重力測定. 地震研究所速報, vol.13, p.43-66.
- 笠原慶一・萩原幸男・田島広一・川田 薫 (1966) 粟島およびその周辺海底における重力測定. 地震研究所彙報, vol.44, p.261-271.
- 金属鉱物探鉱促進事業団 (1967) 昭和42年度広域調査北島根地域重力探査報告書. 9p.
- (1968a) 昭和43年度広域調査北島根地域重力探査報告書. 13p.
- (1968b) 昭和43年度広域調査成羽川地域重力探査報告書. 12p.
- (1970) 昭和47年度広域調査北島根地域石見地区重力探査報告書. 42p.
- (1972a) 昭和47年度広域調査播但地域重力探査報告書. 26p.
- (1972b) 昭和47年度広域調査長棟地域重力探査報告書. 45p.
- 金属鉱業事業団 (1974a) 昭和48年度広域調査播但地域重力探査報告書. 27p.
- (1974b) 昭和49年度広域調査飛騨地域重力探査報告書. 37p.
- (1975) 昭和50年度広域調査飛騨地域重力探査報告書. 21p.
- (1976a) 昭和50年度広域調査錦川地域重力探査報告書. 13p.
- (1976b) 昭和51年度広域調査飛騨地域重力探査報告書. 39p.
- (1976c) 昭和51年度広域調査那智地域重力探査報告書. 28p.
- (1976d) 昭和51年度広域調査錦川地域重力探査報告書. 27p.
- (1976e) 昭和51年度広域調査津山地域重力探査報告書. 22p.
- (1977a) 昭和52年度広域調査錦川地域重力探査報告書. 28p.
- (1977b) 昭和52年度広域調査那智地域重力探査報告書. 30p.
- (1978) 昭和53年度広域調査飛騨地域重力探査報告書. 34p.
- 国土地理院 (1976) 日本重力基準網1975の設定. 測地学会誌, vol.22, p.65-76.
- 駒澤正夫 (1982) 静岡・御前崎及び横須賀地域重力図 (ブーゲー異常図). 特殊地質図, no.22, 地質調査所.
- ・長谷川 功・須田芳朗 (1985) 駿河湾沿岸地域における重力異常について - (I) - 測定と編集. 地調月報, vol.36, p.53-84.
- ・石原文丈・広島俊男 (1992a) 日本列島の重力図の作成と主な特徴. 月刊地球, vol.14, no.3, p.166-173.
- ・—————・山崎俊嗣・村田泰章 (1992b) 日本及び隣接地域重力異常図. 日本地質アトラス (第2版), sheet 13, 地質調査所.
- ・村田泰章・高倉伸一・二宮芳樹・丹治耕吉 (1994) 関東山地北部における重力異常について. 地調報告, no.280, p.37-62.
- 河野芳輝・古瀬慶博 (1989) 100万分の1日本列島重力異常図. 東京大学出版会.
- Kuroishi, Y. and D.G. Milbert (1993) Gravimetric Geoid of Japan. 80th Meeting Program and Abstracts, Geod. Soc. Japan, p.51-52.
- 三尾有年・里村幹夫 (1993) 静岡県中西部における重力異常と地震災害の関係. 静岡大学地球科学研究

- 報告, vol.19, p.45-59.
- 宮腰潤一郎 (研究代表者) (1985) 大山火山形成過程の地球物理学的手法による研究. 昭和 59 年度文部省科学研究費補助金 (一般研究 c) 研究成果報告書.
- 村田泰章・牧野雅彦・広島俊男・駒澤正夫・中塚 正 (1992) 阿武隈地域の重力異常について. 地調月報, vol.43, p.291-334.
- Murata, Y. (1993) Estimation of optimum average surficial density from gravity data: An objective Bayesian approach. *Jour. Geophy. Res.*, vol.98, no.B7, p.12,097-12,109.
- 村上寛史・里村幹夫・竹内文朗・後藤典俊・吉川賢一 (1975) 京都盆地南部における重力探査. 物理探鉱, vol.28, p.268-276.
- Nakagawa,I, S.Nakai, R.Shichi, H.Tajima, S.Izutuya, Y.Kono, T.Higashi, H.Fujimoto, M.Murakami, K.Tajima and M.Funaki (1983) Precise calibration of scale values of LaCoste & Romberg gravimeters and international gravimetric connections along the Circum-Pacific zone (Final report). Final report on "Precise calibration of LaCoste & Romberg gravimeters and contribution to the reform of the International Gravity Standardization Net 1971", p.1-117.
- 中川一郎・東 敏博 (1984) 四国東南部における 1973~1983 年の重力変化. 測地学会誌, vol.30, p.323-324.
- 中井新二 (1979) 実用的な起潮力計算プログラム. 緯度観測所彙報, vol.18, p.124-135.
- 中村佳重郎・渡辺邦彦 (1985) 重力測定による山崎断層付近の地下構造 (序報). 京大防災研年報, no.28B-1, p.111-118.
- 名和一成・深尾良夫・志知龍一・村田泰章 (1993) 重力データを用いた日本列島中央部の地殻表層密度分布の推定. 惑星科学関連学会 1993 年合同大会予稿集, p.81.
- 西田潤一・横山卓雄 (1982) 京都市東北部, 京都大学付近の重力測定結果について. 九十九地学, vol.17, p.7-17.
- Nishida,J., I.Katsura and S.Nishimura (1990) Gravity survey around Lake Biwa, Southwest Japan. *Jour. Phys. Earth*, vol.38, p.1-17.
- 西田潤一・桂 郁雄・西村 進・阿部悦夫 (1991) 奈良県生駒市高山地区の重力探査から推定される活構造. 地震 II, vol.44, p.345-354.
- 野呂春文・志知龍一 (1994) 西南日本の重力データと重力異常図, および重力データ解析プログラムの CD-ROM 作成. 地調報告, no.280, p.77-91.
- 野崎京三 (1981) 球面地形補正の計算プログラム. 測地学会誌, vol.27, p.23-32.
- Ohno,I., K.Takaichi, Y.Endo, R.Goto, A.Takahashi, M.Ishii, S.Okada, Y.Saiki, E.Ohtani, and M.Kato (1989) Gravity survey in northwestern Shikoku, Japan, and subsurface structure of the Median Tectonic Line. *Jour. Phys. Earth*, vol.37, p.385-400.
- 大久保修平・長沢 工・村田一郎・許 華紀 (1990) 糸魚川-静岡構造線の重力調査 (III) - 松本盆地東縁断層北側延長部の追跡 -. 地震研究所彙報, vol.65, p.649-663.
- ・—————・—————・安藤 潤 (1991) 糸魚川-静岡構造線の重力調査 (IV) - GPS 支援下での松本盆地東縁断層北側延長部の重力測定 -. 地震研究所彙報, vol.66, p.285-298.
- ・—————・平賀士郎・田島広一・萩原幸男 (1992) 南関東活断層の重力調査 (I) - 国府津-松田断層 -. 地震研究所彙報, vol.67, p.325-359.
- 里村幹夫・安間秀明 (1986) 糸魚川-静岡構造線南部地域の重力異常. 静岡大学地球科学研究報告, vol.12, p.55-74.
- Satomura,M. (1989) Bouguer gravity anomalies in the South Fossa Magna, Central Japan. *Modern Geology*, vol.14, p.47-67.
- 里村幹夫・竹村恵二・堀江正治 (1990) 山口県徳佐盆地の重力探査. 静岡大学地球科学研究報告, vol.16, p.67-75.
- ・小林茂樹・伊藤忠士・白井和平 (1991) 相良における傾斜計連続観測結果とその周辺の広域傾斜変化との関係. 静岡大学地球科学研究報告, vol.17, p.149-159.

- 志知龍一・山本明彦・木村 敦 (1988) 御嶽山周辺の重力測定. 月刊地球, vol.113, p.668-675.
- (1992) 中部・近畿全域の超精密重力異常図の作成及びデータベース化. 平成3年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書(代表者:志知龍一), 106p.
- Shichi,R., A.Yamamoto, A.Kimura and H.Aoki (1993) Gravimetric Evidences for Active Faults around Mt.Ontake, Central Japan: Specifically for the Hidden Faulting of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake. Jour. Phys. Earth, vol.40, p.459-478.
- 清水欣一・黒川睦生・相場瑞夫 (1973) 農業用地下水調査開発調査亀岡盆地地区調査報告書(重力探査). 近畿農政局計画部資源課, p.27-35.
- Takeuchi,F., N.Hirano, M.Satomura and Y.Kono (1983) Observation of gravity to reveal a buried fault associated with the Fukui Earthquake. Bull. Disast. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., vol.33, p.147-162.
- Yamamoto,A., K.Nozaqi, Y.Fukao, M.Furumoto, R.Shichi,and T.Ezaka (1982a) Gravity survey in the Central Ranges, Honshu, Japan. Jour. Phys. Earth, vol.30, p.201-243.
- , Y.Fukao, M.Furumoto, and R.Shichi (1982b) Gravity anomaly and contemporary tectonics of the Central Ranges, Japan. Proc. General Meet. IAG Tokyo, May 7-15, 1982, p.251-259.
- 山本明彦 (1984) 山岳地域の重力データ処理. 月刊地球, vol.6, no.6, p.373-380.
- Yokoyama,I., and H.Tajima (1960) A gravity survey on volcano Huzi, Japan, by means of a Worden gravimeter. Geofisica pura a Applicata, vol.45, p.1-12.
- 吉田明夫・岩田孝仁・里村幹夫・志知龍一 (1984) 駿河湾西岸における活構造線(帯)存在の可能性. 地震 II, vol.37, p.453-464.

A Bouguer gravity anomaly map in Central Japan

By

Gravity research group in Southwest Japan *

Abstract: A database of gravity data covering Southwest Japan was established at Nagoya University. Present gravity database is characterized by very high quality with an overall accuracy of 1 mGal, as well as a uniformly distributed dense coverage. By use of this database, a large sized Bouguer gravity anomaly map in Central Japan was contoured at 0.5 mGal interval with 1:700,000 scale. It delineates very fine gravity structures in Central Japan with a markedly improved quality compared with other previous ones.

1. Introduction

At the end of 1970's, the state of gravity data storage in the southwestern part of Japan was as follows. Geographical Survey Institute (GSI) had been conducting a gravity survey for geodetic purposes, and the measurements were made mainly on the bench marks and the triangulation points. GSI's data offered an important material to obtain a perspective view of gravity profile in the whole Japanese Islands (GSI, 1985), but for the geophysical purposes, their distributions were too sparse. A large number of gravity data mainly for the purpose of natural resources developments were stored by many organizations. New Energy Development Organization issued a gravity anomaly map by compiling those data (Komazawa et al., 1987). But in geophysical purposes, there lays a problem that the data are not evenly distributed over the region. Besides this, almost all of those data are still not open to public use. Publications with numerical information are quite limited. To fill in this geophysically very wide blank area of gravity data in Southwest Japan, we have been conducting extensive gravity surveys with respective individual objects. A gravity database has come to be constructed by collecting respective data at Nagoya University.

In Central Japan, our database has come to have a uniformly distributed dense coverage, except for locally restricted zones in the Hokuriku and Shin-etsu districts. We constructed a large sized Bouguer gravity anomaly map in Central Japan (Appended map), ranging from 132° E to 139.5° E in longitude. It is contoured at 0.5 mGal interval with 1:700,000 scale, and attached to this paper.

* Following 23 organizations participated to the research group; 1) School of Science, Nagoya University*¹, 2) Faculty of Science, Hokkaido University*², 3) Geophysics Department, Geological Survey of Japan*³, 4) Geological Information Center, Geological Survey of Japan*⁴, 5) Geodetic Department, Geographical Survey Institute, 6) Metal Mining Agency of Japan, 7) Faculty of Science, Kyoto University, 8) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 9) Faculty of Science, Tohoku University, 10) Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 11) Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 12) Hot Spring Research Institute, Kanagawa Prefecture, 13) Faculty of Science, Ehime University, 14) Faculty of Liberal Arts, Shizuoka University, 15) Faculty of Science, Kochi University, 16) Faculty of Education, Gifu University, 17) Faculty of Science, Shimane University, 18) Faculty of Science, Hirosaki University, 19) Mining College, Akita University, 20) Association for the Geological Collaboration in Japan, 21) Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 22) the Chubu Works of Power Reactor Nuclear Fuel Development Corporation, and 23) Oyo Corporation. (Representatives: Ryuichi SHICHI*¹, Akihiko YAMAMOTO*², Masao KOMAZAWA*³, Toshio HIROSHIMA*³, Yasuaki MURATA*⁴, and Harufumi NORO*⁴)

Keywords: gravity database, active fault, Central Japan, Southwest Japan, gravity anomaly, Bouguer anomaly map, JGSN75

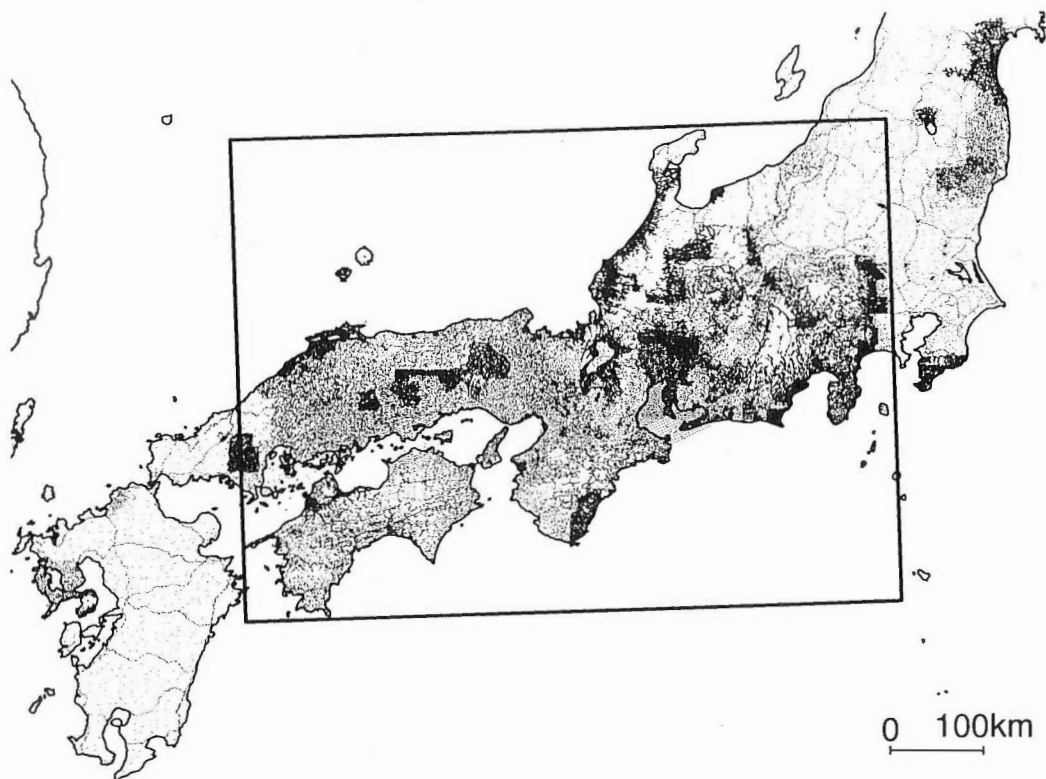


Fig. 1 Distribution of the total data filed in the gravity database compiled at Nagoya University. The range enclosed by a box corresponds to the range of Appended map (1:700,000) of Bouguer gravity anomalies.

Present Bouguer gravity anomaly map with the same title as this article "A Bouguer Gravity Anomaly Map in Central Japan" will be referred to as "new BA Map" or simply "Appended map" hereafter.

2. Data and procedure

The gravity data compiled at Nagoya University amounted up to 77,132 in total with net points. Their distribution is shown in Fig.1. Detailed descriptions of this database are given in another article in this volume (Shichi and Yamamoto, 1994). The range of the "new BA Map" is indicated by a box in Fig.1.

The organizations joined in the database are Nagoya University, Hokkaido University, the Geological Survey of Japan(GSJ), the Geographical Survey Institute, the Metal Mining Agency of Japan, Kyoto University, Tohoku University, the University of Tokyo, the Hot Spring Research Institute (Kanagawa Prefecture), Ehime University, Shizuoka University, Kochi University, Gifu University, Shimane University, Hirosaki University, Akita University, the Association for the Geological Collaboration in Japan, Japan Meteorological Agency, the Chubu Works of Power Reactor Nuclear Fuel Development Corporation, and Oyo Corporation. We performed also total revisions on all of those data to keep a high quality, and achieved an overall accuracy of 1 mGal or better. The revisions performed are; (1) normalization of the gravity values with an accuracy of ± 0.2 mGal referring to the Japan Gravity Standardization Net 1975 (JGSN75) (GSI, 1976), (2) keeping the coordinate accuracy

by an amount of 0.01 minute of arc for both latitudes and longitudes, (3) keeping the altitude accuracy by an amount within a few meters error, and (4) revisions on the method for terrain correction and related data such as topographical mesh data KS-110-1 provided by GSI. After performing those total revisions, we accomplished a unified recalculation on all the data, and the results are filed in the database. The processing for mapping the Appended map was executed at GSJ.

At the stage deriving Bouguer anomaly values, we adopted following commonly used two constant values for gravity reductions; normal gravity gradient of -0.3086 mGal/m for Free-air reduction, and Bouguer density of 2.67 g/cm³ for both Bouguer reduction and terrain correction. We examined the propriety of the Bouguer density adopted. Incorrect adoption of the Bouguer density sometimes yields unreasonable patterns in the resultant Bouguer anomaly maps. They appear in the form of close correlation with the topography. Recently, several methods to estimate the optimal Bouguer density have been developed under various algorithms to minimize the correlation between the distribution of Bouguer anomaly and the topography (Fukao et al., 1981; Murata, 1993; Nawa et al., 1993).

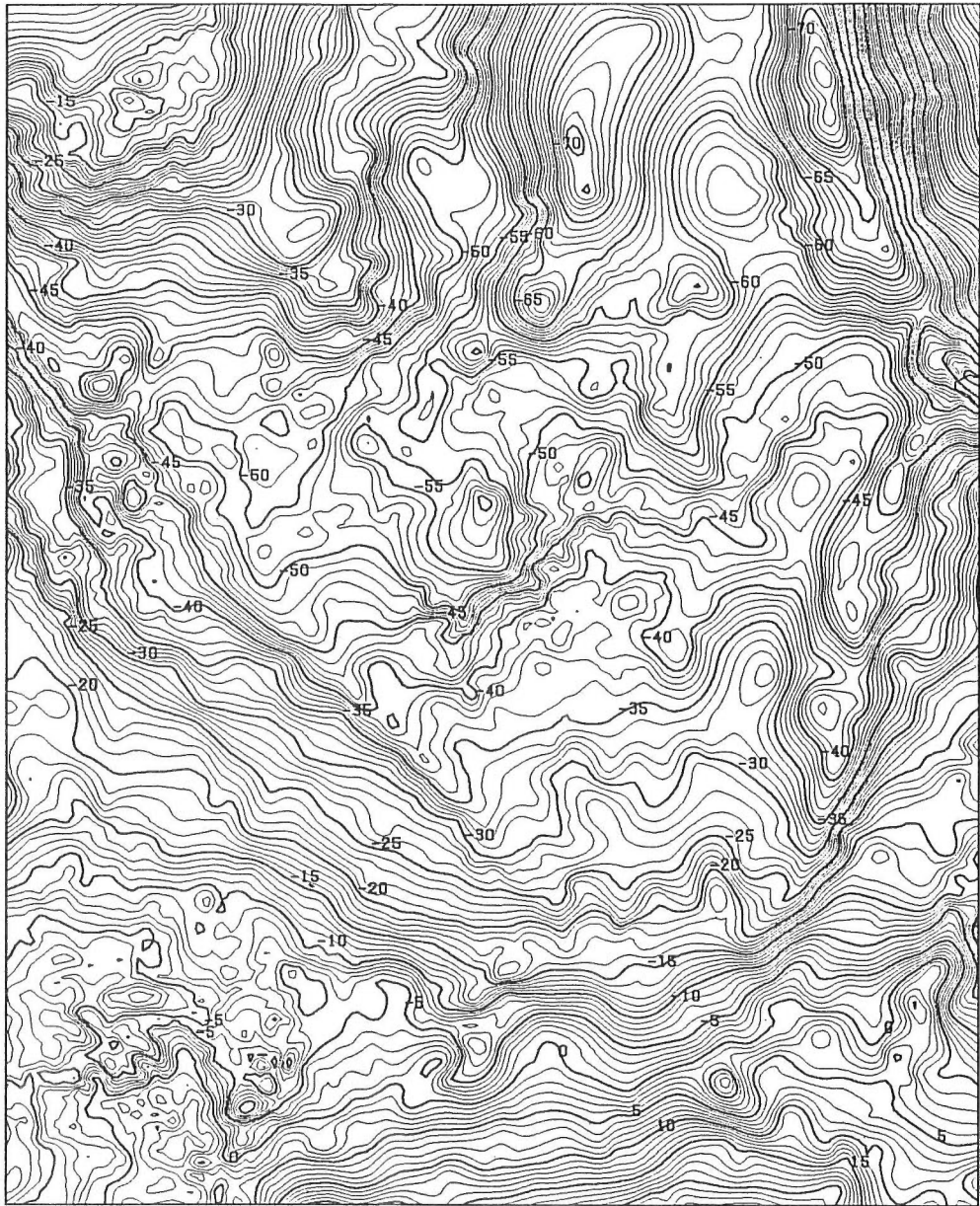
An example of the examinations is shown in Fig.2 (Shichi et al., 1993) for the case of the Mt.Ontake area. This area, ranging $35^{\circ} 15' - 36^{\circ} 25'N$ in latitude and $136^{\circ} 55' - 138^{\circ} 05'E$ in longitude, is one of the steepest mountainous area in Japan. Gravity measurements in this area were generally made at very high altitudes, and there are included not a few data with observation elevations more than 2,000 meters. This examination, therefore, will give most severe condition. Fig.2(a) and Fig.2(b) show the Bouguer distributions for a Bouguer density of 2.67 g/cm³ and 2.59 g/cm³, respectively, where a density value of 2.59 g/cm³ was derived by the method proposed by Fukao et al. (1981) as an optimal Bouguer density for the area. At a glance in Fig.2, we can recognize very few differences in the contoured patterns, although there are about 5 mGals of difference in the absolute Bouguer anomaly value at maximum.

According to the result by Nawa et al. (1993), the optimal surface crustal densities in our mapping area range generally between 2.5 and 2.8 g/cm³. These values are nearly equivalent to those in Fig.2. The topography is generally more gently sloped in low altitudes than the area in Fig.2. It may be concluded, therefore, that an adoption of a constant Bouguer density 2.67 g/cm³ over the whole range will practically bring about no serious misleading patterns in the resultant gravity anomaly map.

3. Gravity features

As noted in the previous section, our gravity data have very high quality and high precision with an overall accuracy of 1 mGal or better over the whole range of present database, and the resultant "new BA Map" shows many outstanding features. We believe, therefore, many discussions on gravity features so far by many researchers are strengthened by the Appended map. The early gravity studies (e.g. Yamamoto et al., 1982; Furumoto et al., 1985), for example, showed that, (1) surface loads over the regions of high topographic reliefs are not necessarily compensated isostatically at depth in the Central Ranges except the Hida mountains, (2) the negative Bouguer anomaly belt parallel to the Hida mountains vanishes southwestward in the vicinity of the Atera fault across which there is a marked difference in regional Bouguer anomaly pattern, and (3) there spreads very strong negative gravity anomaly zone in and around Lake Biwa. We can reconfirm these facts more clearly and precisely on the Appended map.

It is strongly noted here that an excellent correlation between known active faults or tectonic boundaries and the distribution of Bouguer anomalies is remarkable even in very local regions. For example, the location of the Median Tectonic Line (MTL), the first order active fault in Japan, which



(a)

40 KM

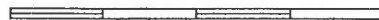
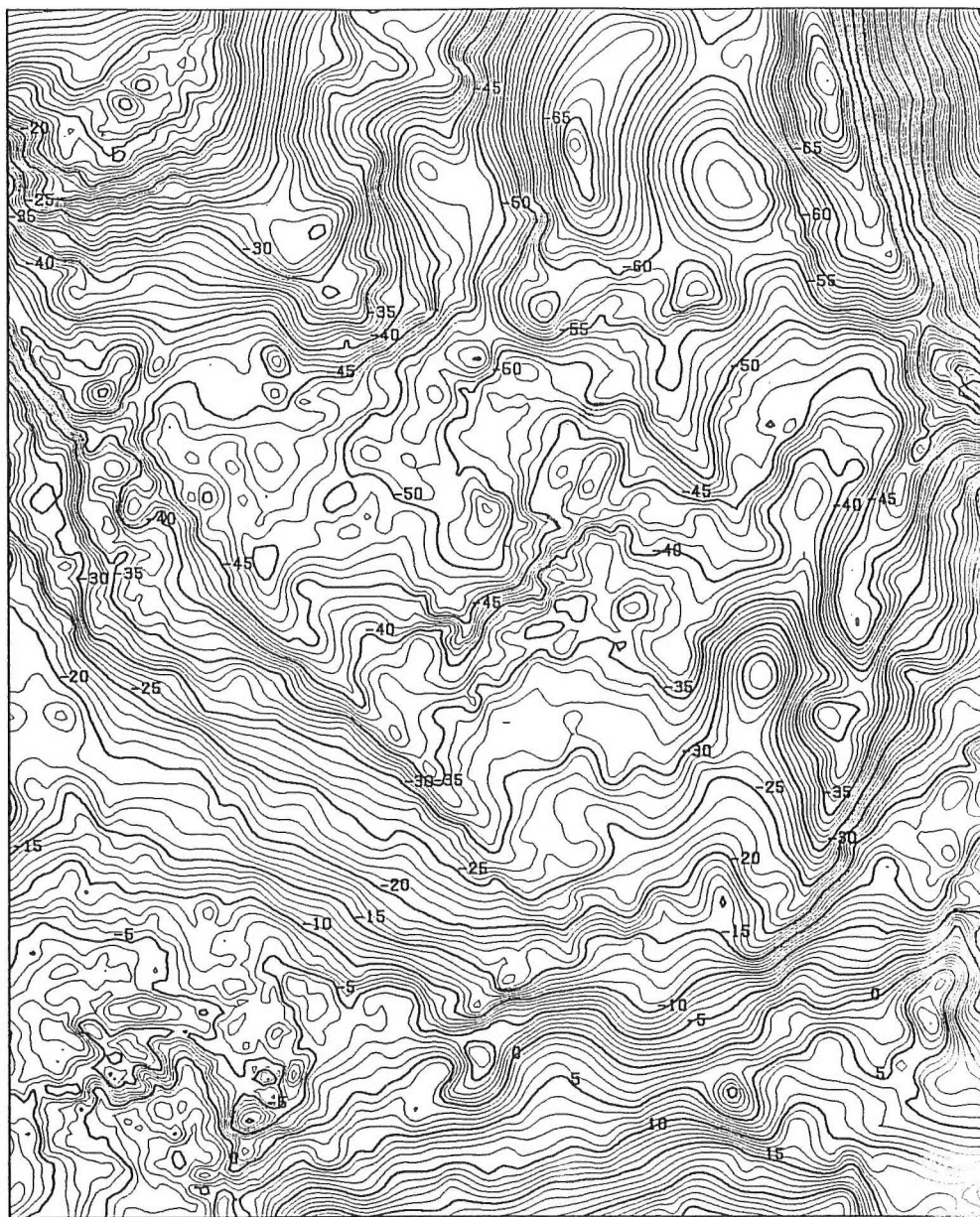


Fig. 2 An example of comparison of the Bouguer anomaly pattern for different Bouguer density (after Shichi et al., 1993).
(a) for a Bouguer density 2.67 g/cm^3 .



(b)

40 KM



Fig.2(b) (b) for the optimal Bouguer density 2.59 g/cm^3 . The range is $35^\circ 15' - 36^\circ 25' \text{N}$ in latitude and $136^\circ 55' - 138^\circ 05' \text{E}$ in longitude, where Mt.Ontake is located at the center.

was defined as a comparatively indistinct boundary in Bouguer maps issued previously, has been much more clarified by the Appended map with respect to its resolution and linearity. MTL trending NS at its eastern end is represented by a very narrow belt of Bouguer high anomalies more clearly than any other maps so far published. The southward extension of this belt is divided into two parts near Sakuma. One is extending southwestward along MTL, which can be traced through the Kii Peninsula as far as the Shikoku area, and the other is extending southward and connects to the Akaishi Tectonic Line, which forms an abrupt change of gravity.

Another outstanding feature of the Appended map is an existence of hidden faults or boundary structures that might not correspond to any known geological or geophysical structures. Using the present gravity database, Shichi et al. (1993) found that the locations of the aftershocks of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake exactly coincide with the steep gradient belt of Bouguer anomalies, which may be a geologically unknown concealed fault. We can also observe many linear structures with sharp gravity changes locally in both the Chugoku and the Shikoku areas. Most of these gravity structures do not correspond to any known active faults or geological boundaries and they might be considered as concealed faults or tectonic structures.

Other characteristics of the gravity feature than those pointed out above can be seen elsewhere in the Appended map. The gravity patterns delineated very precisely in the Appended map will bring valuable information, not only for geophysical fields but also for geological, geodetical and other related study fields.

4. Conclusion

We have established a gravity database to cover Southwest Japan with very high quality and high precision. This database made it possible to provide fine gravity structures and to discuss not only regional structures but also detailed features of gravity anomalies in Southwest Japan. The Appended Bouguer anomaly map delineates many known active faults or geological boundaries that can be characterized by a steep Bouguer gradient belts, and shows an extremely close correlation between these tectonic boundaries and Bouguer anomalies. Also the Appended map shows an important gravity feature that many gravimetric boundaries, which may not be well correlated with known faults, can be inferred as geologically or tectonically unknown boundary structures. These facts provide extremely important constraints on the regional tectonic settings and the seismic hazard evaluation.

Acknowledgment

We express our thanks to all organizations and individuals who provided every convenience for the present study and helped our works. Numerical calculations for the database establishments were carried out using FACOM M780/20 at the Nagoya University Computation Center. Data processings and mappings were performed on the calculation system of Geological Survey of Japan.

References

- Fukao, Y., A. Yamamoto, and K. Nozaki (1981) A method of density determination for gravity correction. *Jour. Phys. Earth*, vol.29, p.163-166.
- Furumoto, M., A. Yamamoto, H. Shiraki, Y. Fukao, and R. Shichi (1985) A dense gravity survey in Western-Central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, vol.33, p.81-109.
- Geographical Survey Institute (1976) Establishment of the Japan Gravity Standardization Net 1975.

Bouguer anomaly map (Gravity research group)

- Jour. Geod. Soc. Japan, vol.22, p.65-76.
- Geographical Survey Institute (Geodetic Department) (1985) A new Bouguer anomaly map of Japan (except for Hokkaido District). Bull. Geogr. Surv. Inst., vol.29, part 2, p.102-103, (with one sheet of 1:1,500,000 scale size of Bouguer anomaly map).
- Inoue,H. (1986) A least-squares smooth fitting for irregularly spaced data: Finite-element approach using the cubic *B*-spline basis. Geophysics, vol.51, p.2051-2066.
- Komazawa,M., T.Hiroshima, Y.Okubo, Y.Suda, and J.Nakai (1987) Gravity map of Japan (Bouguer anomalies), scale 1:1,000,000. New Energy Dev. Org., Tokyo.
- Murata,Y. (1993) Estimation of optimum average surficial density from gravity data: an objective Bayesian approach. Jour. Geophy. Res., vol.98, no.B7, p.12,097-12,109.
- Nawa,K., Y.Fukao, R.Shichi, and Y.Murata (1993) Estimate of subsurface density distribution in central Honshu from gravity data. Abstracts 1993 Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting, p.81.
- Shichi,R., A.Yamamoto, A.Kimura, and H.Aoki (1993) Gravimetric evidences for active faults around Mt.Ontake, Central Japan: Specifically for the hidden faulting of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake. Jour. Phys. Earth, vol.40, p.459-478.
- , and A.Yamamoto (1994) A gravity database of Southwestern Japan compiled by Nagoya University. Rept. Geol. Surv. Japan, no.280, p.1-28.
- Yamamoto,A., K.Nozaki, Y.Fukao, M.Furumoto, R.Shichi, and T.Ezaka (1982) Gravity survey in the Central Honshu, Japan. Jour. Phys. Earth, vol.30, p.201-243.

日本列島中央部の重力異常図

西南日本重力研究グループ*

要 旨

名古屋大学において、北緯 38 度 30 分以南の日本列島西南部地域をカバーする重力データベースを編集した。1970 年代の末頃の時点では、フォッサマグナ以西の西南日本地域には、重力データの空白域が非常に広く残っていたが、名古屋大学を始めとする多くの大学や研究機関の努力で、この空白のほとんどが埋めつくされるまでになった。本データベースは、大別して 20 を越える機関からそれらデータを集めて、実質点数で 8 万弱の重力データを収録し、さらに、これら全データに、総合精度 1mGal を達成するための全面的諸改定作業を施して、構築されたものである。今回、データが最も理想的に分布している、東経 132 度～139 度 30 分の範囲において、0.5 mGal 間隔コンターによる 70 万分の 1 ブレーグ異常図を作成した。この図に描き出されたパターンの精細さで、本データベースの持つ精度の高さが証明されている。なお、ここに収録されているデータは、アップデートされて間もないものが非常に多いこと、さらに殆どが未公表のものであることに鑑み、本稿は、それらオリジナルデータ所有者で構成する研究グループによる発表の形態をとった。

* 以下の機関がこの研究グループに参加している。*名古屋大学理学部^{*1}、北海道大学理学部^{*2}、地質調査所地殻物理部^{*3}、地質調査所地質情報センター^{*4}、国土地理院測地部、金属鉱業事業団、京都大学理学部、京都大学防災研究所、東北大学理学部、東京大学地震研究所、東京大学海洋研究所、神奈川県温泉研究所、愛媛大学理学部、静岡大学教養部、高知大学理学部、岐阜大学教育学部、島根大学理学部、弘前大学理学部、秋田大学鉱山学部、地学団体研究会、気象庁気象研究所、動力炉核燃料開発事業団中部事業所、応用地質株式会社(研究代表者：志知龍一^{*1}、山本明彦^{*2}、駒澤正夫^{*3}、広島俊男^{*3}、村田泰章^{*4}、野呂春文^{*4})

関東山地北部における重力異常について

駒澤正夫 * · 村田泰章 ** · 高倉伸一 * · 二宮芳樹 * · 丹治耕吉 ***

Gravity Anomalies in the northern area of Kanto mountains, central Japan

By

Masao KOMAZAWA, Yasuaki MURATA, Shin-ichi TAKAKURA,
Yoshiki NINOMIYA and Kokichi TANJI

Abstract: The gravimetric survey was carried out at 532 stations in the northern area of Kanto mountains, the central Honshu island in Japan, with using the LaCoste & Romberg gravimeter (G-304) between 1984 and 1987. Gravity anomaly maps with several assumed density are compiled with 13,072 station data, including this exploration data.

Bouguer anomalies of Kanto mountains are characterized by high gravity anomaly area, bordering with steep gravity gradients in the northern part and with gentle gravity gradients in the southern and southwestern part, which corresponds to the outcrop of Sambagawa group (Sambagawa metamorphic rocks and Mikabu green rocks) and Chichibu group of the northern part, and suggests existence of high density ($2.8\sim 3.0\text{ g/cm}^3$) rock body 3~5 km thick beneath those groups. Density contrast of surface layers between Sambagawa group and Chichibu group is not detected by gravimetric density analysis, and those densities are about 2.7 g/cm^3 , but density of Neogene granitic rock, included in Shimanto group located in southern region of Chichibu group, is a little small, about 2.65 g/cm^3 .

要 旨

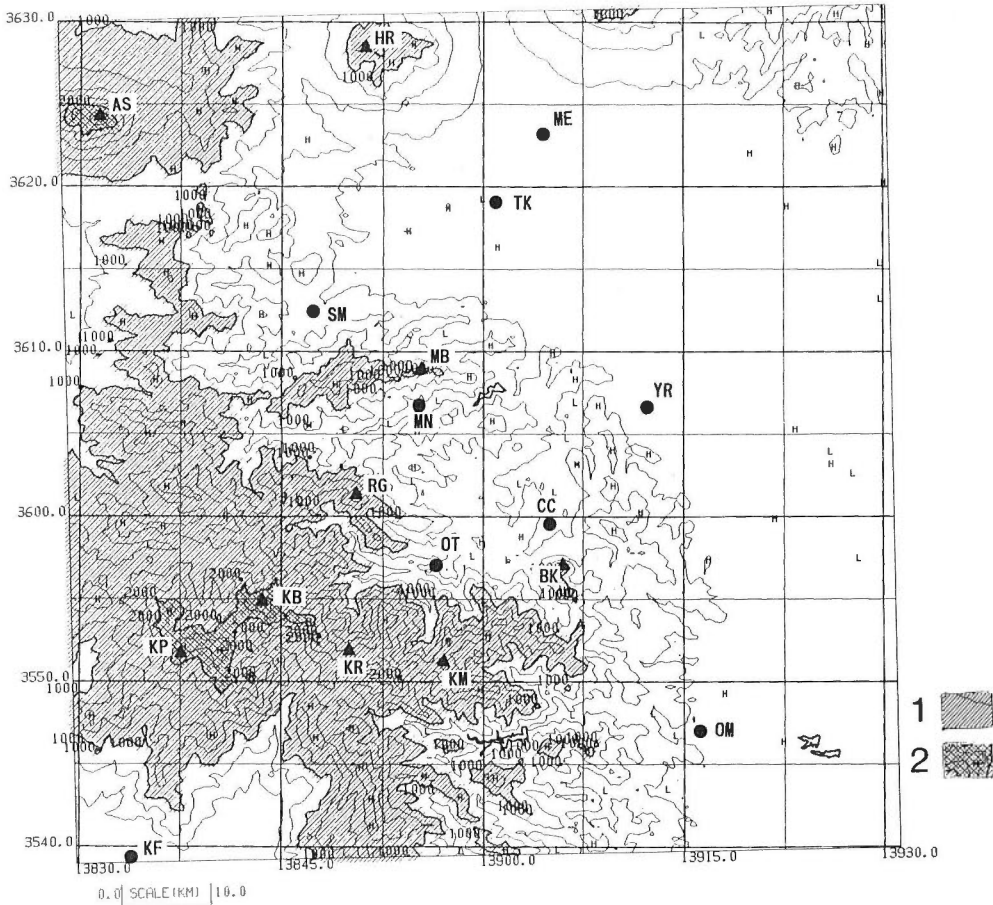
重力データの空白地域である関東山地北部域において、1984年から1987年にわたり重力調査を実施した。使用した重力計は、絶対重力点間で検定を行ったラコスト・ロンバーグ社製 G 型重力計 (G-304) である。今回の調査の測点数は 532 点であり、周辺地域の既存データも併せて総計 13,072 点のデータから編集して重力異常図を作成した。

作成した重力図から見いだされたことは、以下のようにまとめることができる。関東山地は、地質基盤の隆起域に対応し概略高重力異常域となっている。特に、三波川帯の変成岩類と御荷鉾緑色岩類の分布域の北側は重力の急勾配に画され、基盤の露出が見られない寄居町より、更に東方に伸び東松山市付近まで追跡でき、三波川帯の潜在を示唆している。一方、三波川帯の南側の境界を画するような重力勾配は認められず、南に約 10km ずれたところから南もしくは南西に向かって緩やかな重力異常の減少がみらる。その解釈としては、地表部では両地体間の密度差は小さいが、三波川帯と秩父帯北部を含めた地域に伏在する高密度の構造が考えられる。秩父市周辺においては局所的な沈降域に対応して低重力異常域が西南西方向から湾状に入り込んでおり、浅部の低密度構造を示している。重力からみた表層解析の結果では、三波川帯と秩父帯の岩石密度は、 2.7 g/cm^3 程度で両地体区による差は認められなかった、四万十帯はやや小さい結果が得られた。

調査域も含めた広域的な重力異常パターンを見ると、今回の調査結果によって、従来よりもフィリピン海プレートの北上を示唆する波状パターンの連続性がより明瞭になった。

* 地殻物理部, ** 地質情報センター, *** 元所員

Keywords: Kanto mountains, gravity anomaly, gravity survey, Sambagawa, Chichibu, Mikabu, upward residual, CVUR



第1図 調査地域の地形 等高線間隔：250m

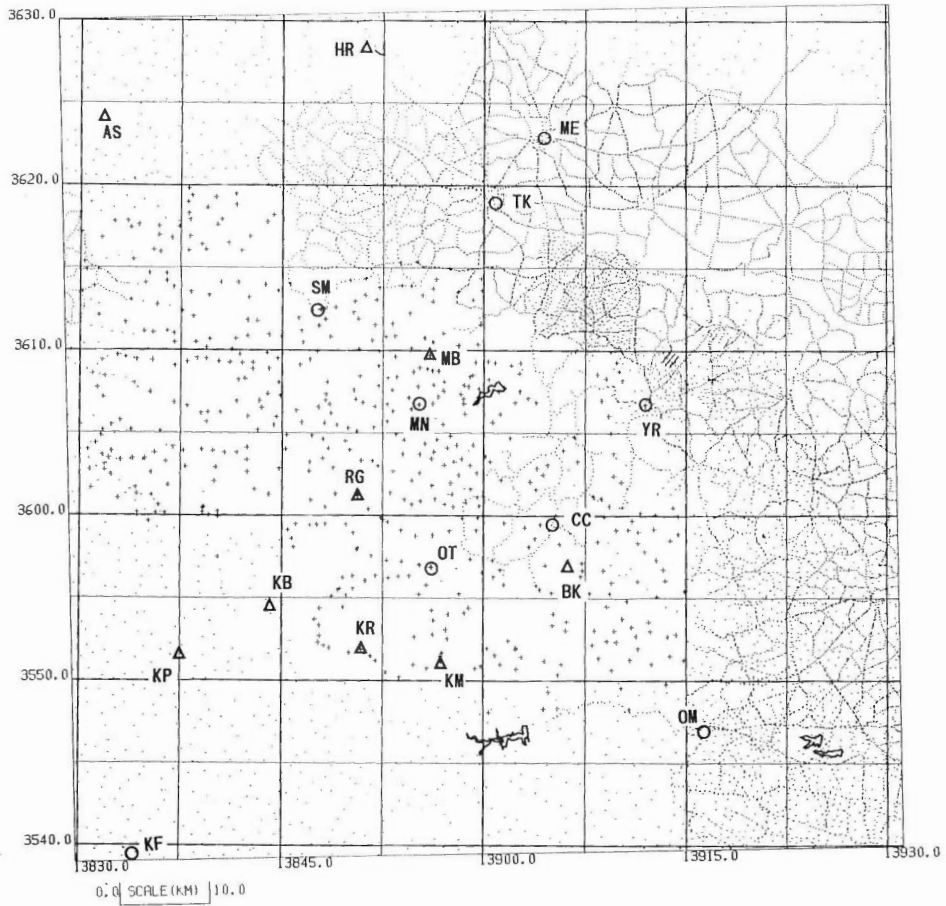
Fig. 1 Topography of study area. Contour interval : 250m, 1 : 1000~2000m, 2 : > 2000m.
 ▲ : mountains; AS : Asama, BK : Bukou, HR : Haruna, KB : Kobushiga-dake, KM : Kumotori,
 KP : Kinpou, KR : Karamatsuo, MB : Mikabu, RG : Ryougami.
 ● : city etc.; CC : Chichibu, KF : Kofu, ME : Maebashi, MN : Manba, SM : Shimonita, TK : Takasaki,
 OM : Ome, OT : Ootaki, YR : Yorii.

1. はじめに

関東山地東部域において、昭和30年代に石油・天然ガス探査を目的としたものとして、石油資源開発株式会社や帝国石油株式会社によって重力探査が実施されており、その重力データは「関東地域重力図(ブーゲー異常; 1/20万) (駒澤, 1985) に既に取り込まれている。近年、地震活動に関連する活断層の検出を目的として地震研究所(萩原ほか(1986))によって重力調査が実施されており、そのデータは今回の編集データとして利用した。北部域については、田島ほか(1977)が、既に概査的な調査を実施しているが、デジタル・データの形で公表されていないことや、詳細な測点図が付与されていないので空白域として調査域に含めた。また、本調査域の南部、西部及び北部域については、昭和58年度に新エネルギー総合開発機構が地熱探査を目的として重力探査を実施しており、既に、他の既存資料も含めて「全国重力図」として編集されている(駒澤ほか, 1987)。本調査地域は、その「全国重力図」で編集されなかった重力データの空白域に当たる。

関東山地はその周辺域に比べ、地形が急峻なことから既に述べたように石油、地熱等の資源探査の調査

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)



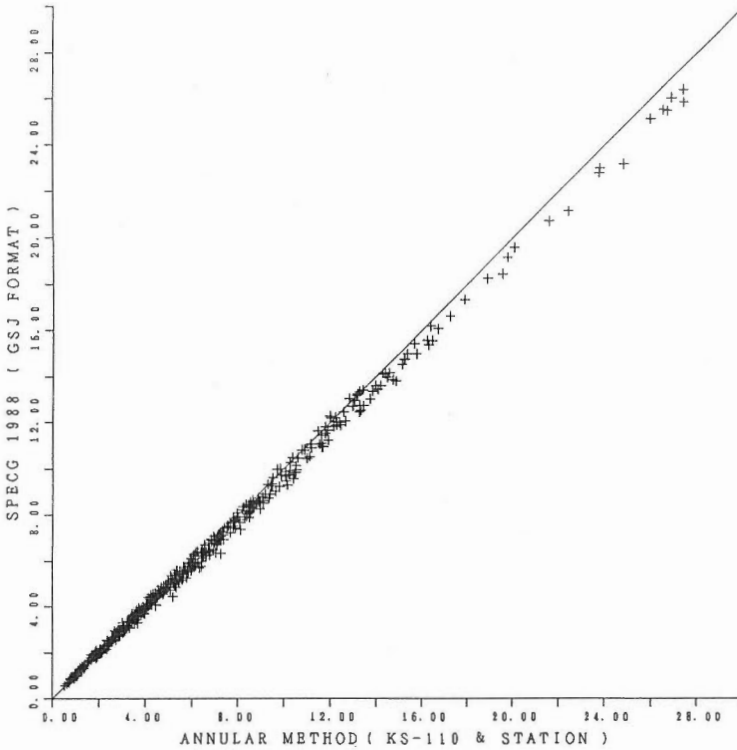
第2図 重力測定点分布 + : 本測定, • : 既存点

Fig. 2 Gravity stations. + : this study, • : other stations.

地域から外れた地域であり重力データの空白域になっていた。しかし、地質学的見地からみれば、フォッサ・マグナ地域に孤立した基盤岩地域として認識されており、重力異常のパターンが地質的構造と調和するか否か、重要な地域である。また、地球物理学的観点からは、本地域とその周辺はプレートの3重会合点に位置し、フィリピン海プレートの北上に起因した伊豆半島を中心とした波紋状の重力パターンが関東山地で如何なるパターンを示し、それを如何に解析・解釈するか興味を持たれる問題である。

2. 重力測定と絶対重力値の決定

重力測定は1984年から1987年にかけて実施した。本調査地域は、東京、埼玉、群馬及び山梨の1都3県にまたがる約2,200km²の地域で、測点数は532点である。第1図に調査地域の地形図を、第2図に今回の測定データと既存データも含めて編集した測点図を示す。使用した重力計は、地質調査所所有のLaCoste-Romberg(ラコスト・ロンパーク)社製のG型重力計(no.304)で、測定時、10年以上の使用実績があり、安定した重力計であった。本調査は、広域的地下構造の概要を把握するを目的としたことから、測定点の標高値を水準測量等で決める方法でなく、既知標高点として国土地理院の2万5千分の1地形図に記載されている水準点、三角点、独立標高点を利用することにした。測点配置は均等にすべきところであるが、既知標高点がないところでは、地形図のコンター値を気圧高度計の短時間閉塞値と対



第3図 仮想扇形法とSPECG 1988による地形補正値の比較 密度は2.0g/cm³

Fig. 3 Comparison between annular method and SPECG 1988. Density is assumed to be 2.0 g/cm³.

比させて標高値を決めた。その際、地形勾配の大きくなならない場所を選定して標高値の精度の維持に努め、同時に周辺地形補正値が大きくなならないようにした。測定点の位置(緯度・経度)は、2万5千分の1地形図の精度と考えられる0.01' (実長10~20m程度)の精度で読んだ。

重力の測定はいわゆる閉塞測定で行った。これは、始点と終点を絶対重力値が決まった基点(必ずしも同一点でなくてもよいが、本測定では同一点を始点と終点にしている)で1日のうちに閉塞する方法である。その方法は水準測量と基本的には同じ方法である。ただし、昭和62年度に測定した三峰口から雲取山、大洞山(飛龍山)、唐松尾山、雁峠、雁坂峠を経て大滝村に戻る登山道路線については、閉塞期間が4日に及び、ドリフトは0.2mGalをやや上回ったが本調査の目的には十分な精度である。

重力基点の絶対重力値は、国土地理院(1976)により日本重力基準網1975(JGSN75)に基づいた絶対重力値が決定されている水準点について、誤差を分散させるためと単独点のエラー・データの排除のため複数の水準点での測定結果に基づき決定した。なお、水準点(及び三角点)の絶対重力値の成果は、国土地理院で閲覧したものである。本調査の重力基点は作業効率を考慮して調査区域毎に4点設定した。即ち、昭和59年度は埼玉県寄居町($\phi=36^{\circ} 6.73'$, $\lambda=139^{\circ} 11.92'$, $h=92m$)、昭和60年度は群馬県万場町($\phi=36^{\circ} 6.73'$, $\lambda=138^{\circ} 55.19'$, $h=337m$)、昭和61年度は群馬県下仁田町($\phi=36^{\circ} 12.49'$, $\lambda=138^{\circ} 48.15'$, $h=237m$)、昭和62年度は埼玉県大滝村($\phi=35^{\circ} 56.07'$, $\lambda=138^{\circ} 51.19'$, $h=656m$)とし、各基点間でも閉塞測定を行った。なお、これら各基点と地質調査所に設定してある絶対重力点($\phi=36^{\circ} 3.659'$, $\lambda=140^{\circ} 8.187'$, $h=22m$, $g=979,948.73mGal$)との間の往復2回の開放測定(基準点に1日以内に戻らない測定だが、ラコスト重力計のドリフトは通常小さいので参考になる)の結果は、上記方法で決めた値と矛盾がなかった。

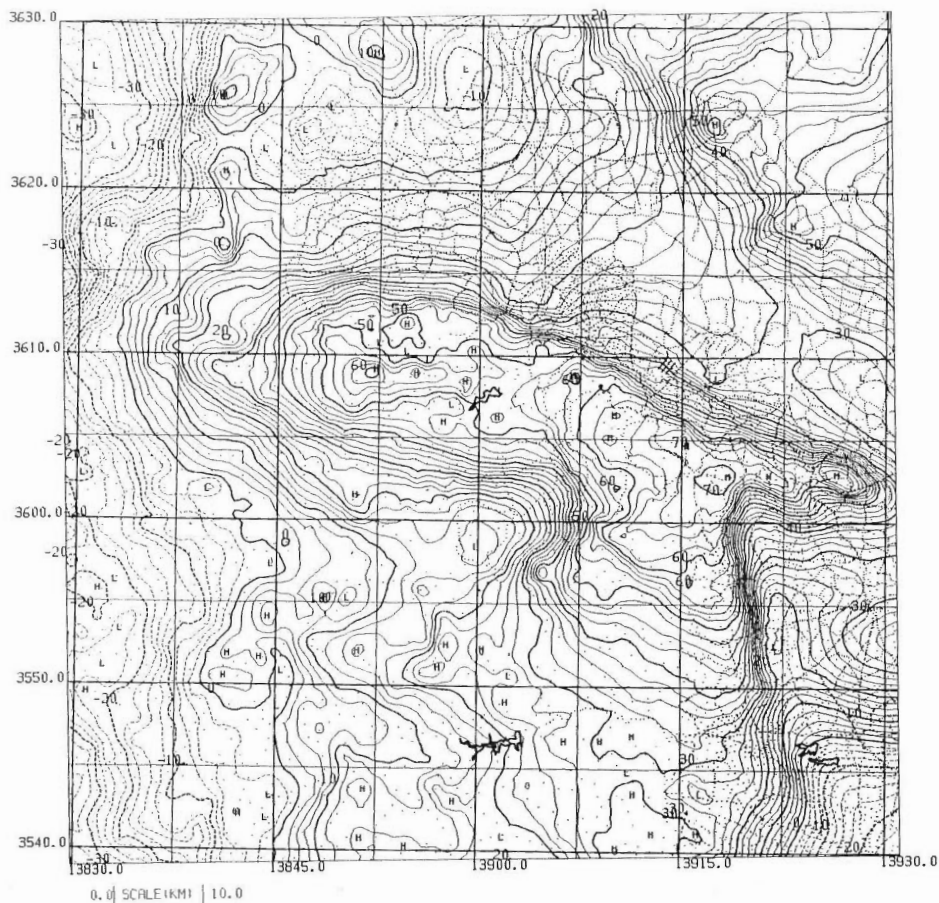
3. ブーゲー異常値の算出と重力図の作成

地形補正については、地質調査所重力探査グループ(1989)による方法もあるが、ここでは著者が従来より用いている方法(駒澤,1988)によった。それは、地球の曲率を考慮した仮想扇形の集合体で地形を近似する方法で効率的に補正計算ができる。上記2種の補正值の相関を第3図に示すが、仮想扇形法の方が系統的にやや大きい値を示す。しかし、その差は補正值(2.0g/cm³換算)が最大になる30mGal付近でも1mGal程度で精度的には問題はないが、機会があれば系統的なズレの要因をチェックしたい。また、補正範囲は本来は地球全表面にわたるべきであるが、遠方による影響は数10kmスケールの長波長のトレンドを生じさせるだけなので、従来どおり60kmまでとした。極近傍域(500m以内)と近傍域(500m~4km)については「国土情報整備事業」の一環として国土地理院が作成した標高に関する「国土数値情報資料(KS-110)」である250mメッシュ(実際には7.5"×11.25"の格子)の標高データを一部修正し、海域・陸水域については海図・海の基本図(海上保安庁水路部)、湖沼図(国土地理院)等のデータを補充して用いた。なお、本来は500m以内の極近傍域については、目視、或いは数10m精緻な地形メッシュで補正計算をするのが望ましいが、本調査が概査であることと測定点の標高値の精度を勘案すると、250mメッシュによる上記の仮想扇形による補正值で充分と考えられる。ブーゲー補正については従来から行われてきた無限平板による方法ではなく、地形補正と同じ範囲の有限の球殻(球帽)による方法によった。この方法では地形効果が厳密に除去でき、独立峰や尾根部の見掛け上の低重力異常がなくなり地質構造との対比が忠実にできる重力図となった。

ところで、ブーゲー異常図の仮定密度については、地表に分布する岩石の密度にはバリエーションがあり、実際に重力異常に反映するのは局部的な岩石密度ではなく、数10~数100mの範囲の平均的なバルク密度であると考えべきであり、岩石の密度測定値は参考値程度と捉えるべきである。以上のことからある仮定密度の重力図を一種類例示するより、地形図と数種の仮定密度のブーゲー異常図を例示して、目視的に比較すれば地表の岩石密度(有効平均密度)の面的把握が簡単に行える。いづれにしても重力異常図には地形効果が何らかの形で含まれており、地形図と数種の仮定密度のブーゲー異常図を目視的に比べることによって密度構造を直観的且つ簡単に推定できる。ここでは、本地域が三波川帯や秩父帯の基盤岩(たとえば、萩原(1951))の露出する地域であり仮定密度は、概略2.5~3.0g/cm³の範囲にあると考えられることから、2.5g/cm³、2.7g/cm³、2.8g/cm³、3.0g/cm³の4種類のブーゲー異常図を各々、第4図、第5図、第6図及び第7図に示す。なお、仮定密度とブーゲー異常との関係は第8図に例示したので参照されたい。また、重力データを数値表の形で公表することは今後の調査・研究に有益と思われるので巻末のTable 1に示す。

4. 密度推定

前述した4種のブーゲー異常図(第4図~第7図)と地形図(第1図)を比較すると、地形に相関するような短波長のパターンが消えるは、2.7~2.8g/cm³とかなり大きいことが容易に推定できる。ここでは地域的な密度差が見いだされるか、G-II相関法で比較してみる。G-II相関法の欠点は、重力異常の変化の激しいところや重力異常に広域的なトレンドが重畳されている場合は、相関関係が幅を持って不明瞭になったり相関関係は見えても地質構造の広域トレンドが重力の鉛直勾配を変化させたりするので正確な密度推定が出来ないことである。しかし、重力異常が大きく変化せず、広域トレンドが含まれないように解析エリアを狭くとり、標高差が大きいデータで相関をとれば有効で簡便な方法となる筈である。上述のように、全調査域についてG-II相関をとるのは精度が保証できないので、解析領域を北緯35°5'を境に北側と南側に分けて、地体区分(第9図に示した地質図を参照)で差異が見出されるか検証した。その結果を、第10図と第11図に示す。両図において多少の幅を持たせて直線を引いてみると、北部で約2.7g/cm³、南部で約2.5g/cm³と両者に差異があることが判る。しかし、南部については第4図~第7図を見て判るように南に向かってブーゲー異常値が一方的に減少する傾向が見られ、その解析結果が



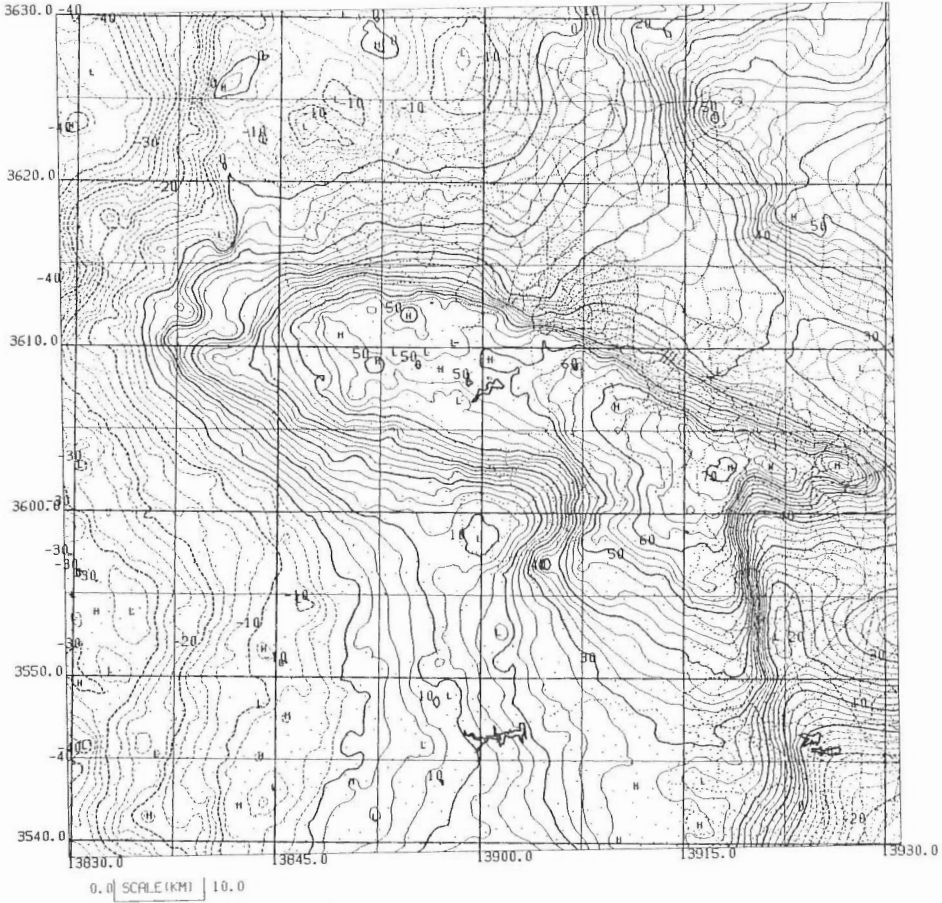
第4図 ブーゲー異常図 $\rho=2.5\text{g/cm}^3$, コンター間隔: 2.5Gal

Fig. 4 Bouguer anomalies. $\rho=2.5\text{g/cm}^3$, contour interval: 2.5Gal.

必ずしも確度の高いものとは考えられない。そこで信頼度の高いと考えられる別の解析法で密度推定を試みたので、以下に示す。

本論文では、著者の一人(駒澤)の案出による密度推定の新手法を示す。それは、「上方接続残差分散比較法 (Comparison of Variance of Upward Residual: CVUR 法)」とでも呼べるもので、ハイパスフィルターの残差値を最小にする密度を表層密度とするものである。基本的考え方は、地形が構造的に第1層目に当たり、重力異常に最も短波長成分として表れていると考える。そして、仮定密度が地表地形を構成している岩石のバルク密度と一致すれば、第1層目は密度的に透明になって地形に基づく短波長の重力成分は消失する筈である(第8図を参照)。つまり、仮定密度と表層密度が一致した場合、重力異常の短波長成分の比率が長波長成分に比べ最も小さくなるを考える。このような比較をする場合、各仮定密度のデータに解析範囲のウィンドウを掛けてスペクトルを比較するのが、一般的な方法であるが、ここではハイパスフィルター(場合によっては、バンドパスフィルター)を掛けて、その残差重力異常の分散量(ランダム性)が一番小さくなる仮定密度を最適な密度であるとする。

具体的には、2面の接続面を仮定した上方接続フィルターを組み合わせて作成したバンドパス・フィルターを用いた。まず、ブーゲー異常値をメッシュデータで考え、メッシュ点 $p(i, j)$ での仮定密度 ρ 、接続面 h の上方接続フィルターを通したブーゲー異常を、 $g_p(\rho, h)$ とおく。ここで、2面の上方接続フィル



第5図 ブーゲー異常図 $\rho=2.7\text{g/cm}^3$, コンター間隔: 2.5mGal
 Fig. 5 Bouguer anomalies. $\rho=2.7\text{g/cm}^3$, contour interval: 2.5mGal.

ター値の差 (残差重力値) から決まる分散指標 $a_p^M(\rho)$ を以下のように定義する.

$$\begin{aligned} a_p^M(\rho) &= \sum_{q=0}^M \{g_{p-q}(\rho, h_1) - g_{p-q}(\rho, h_2) - \overline{g_p^M}\}^2 / M \\ &= \sum_{q=0}^M \{\Delta g_{p-q}(\rho; h_1, h_2) - \overline{g_p^M}\}^2 / M \end{aligned} \quad (1)$$

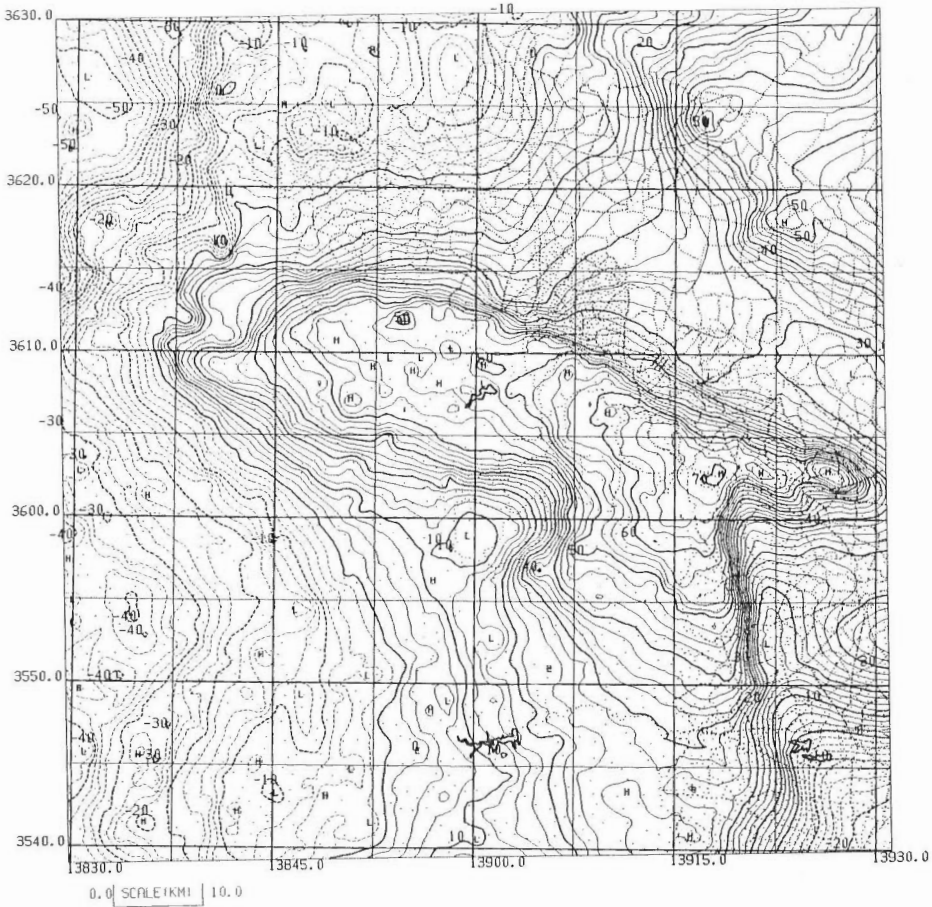
ただし, h_1, h_2 は上方接続の接続面パラメータで, 地形の凹凸の程度と波長に応じて決めてやる. また, M は分散量を求める領域 (ウインドウと考えてもよい) のサンプル数である.

なお, $\overline{g_p^M}$ は計算領域の残差重力値の平均値で, 以下のとおり.

$$\overline{g_p^M} = \sum_{q=0}^M \{g_{p-q}(\rho, h_1) - g_{p-q}(\rho, h_2)\} / M \quad (2)$$

また, 密度変化の大きい地域においては, 距離依存性を持たせたウェイト w_q を導入して,

$$a_p^M(\rho) = \sum_{q=0}^M w_q \{\Delta g_{p-q}(\rho; h_1, h_2) - \overline{g_p^M}\}^2 / M \quad (3)$$



第6図 ブーゲー異常図 $\rho=2.8\text{g/cm}^3$, コンター間隔: 2.5mGal
 Fig. 6 Bouguer anomalies. $\rho=2.8\text{g/cm}^3$, contour interval: 2.5mGal.

と定義すれば、空間的により円滑な密度推定ができる。当然、表層最適密度は、分散指標が最小になる密度である。推定誤差 $\delta\rho$ については、標高の揺らぎ(標準偏差)と、重力異常の揺らぎ δg (ここでは、 $\delta g = \sqrt{\text{mini}(a_p^M)}$ として考える)から、

$$\delta\rho = \delta g / 2\pi G\delta h = 24 \delta g / \delta h \quad (4)$$

と考えられる。上式の意味するところは、最適密度が精度よく決まるのは、地形の起伏が大きく最適密度でのブーゲー異常の分散が小さくなければならないことを示している。

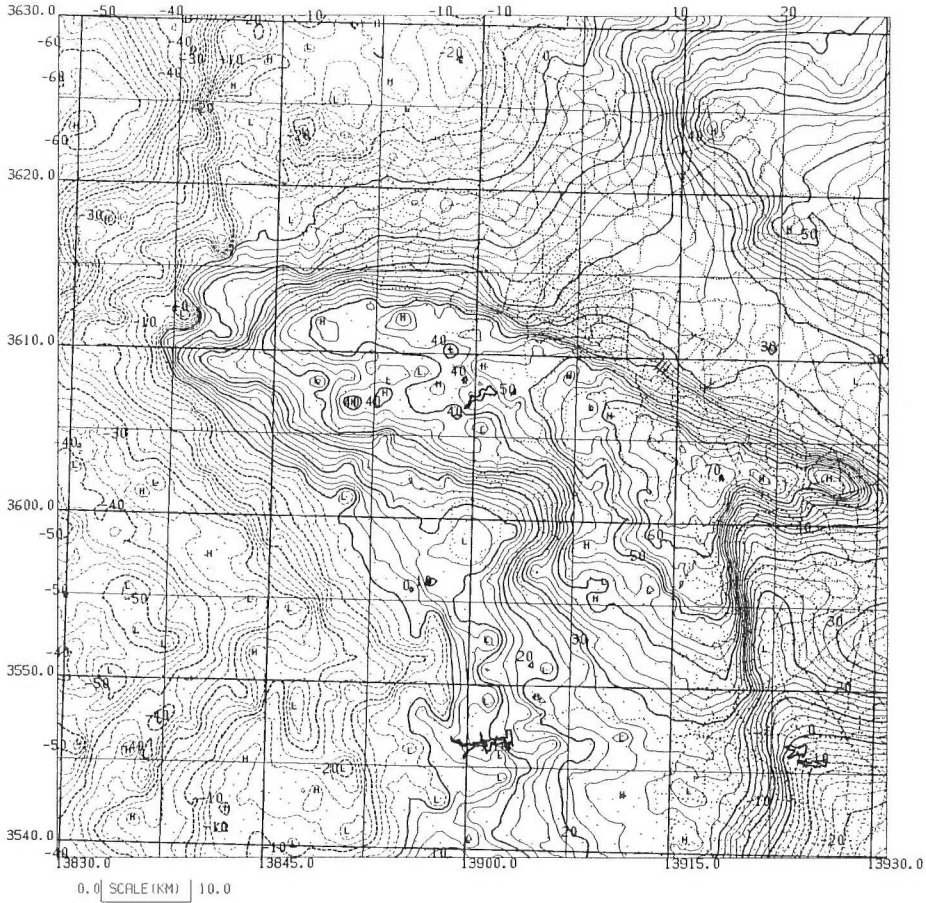
また、本手法は地形との相関は考えていないように見えるが、それは見掛け上だけのことで、実際には各仮定密度のブーゲー異常値を算出するには標高データが使われているのは言うまでもないし、解析結果についても測点間での標高差が大きければそれだけ精度が上がることも他の手法と同じである。

なお、上方接続の組み合わせによるバンドパスフィルター値は以下に示すコンボリューション積分により求める。

$$\Delta g(x, y; h_1, h_2) = \int \int g(x - \xi, y - \eta) w(\xi, \eta; h_1, h_2) d\xi d\eta \quad (5)$$

ただし、ウェイト w は、

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)



第7図 ブーゲー異常図 $\rho=3.0\text{g/cm}^3$, コンター間隔: 2.5mGal
 Fig. 7 Bouguer anomalies. $\rho=3.0\text{g/cm}^3$, contour interval: 2.5mGal.

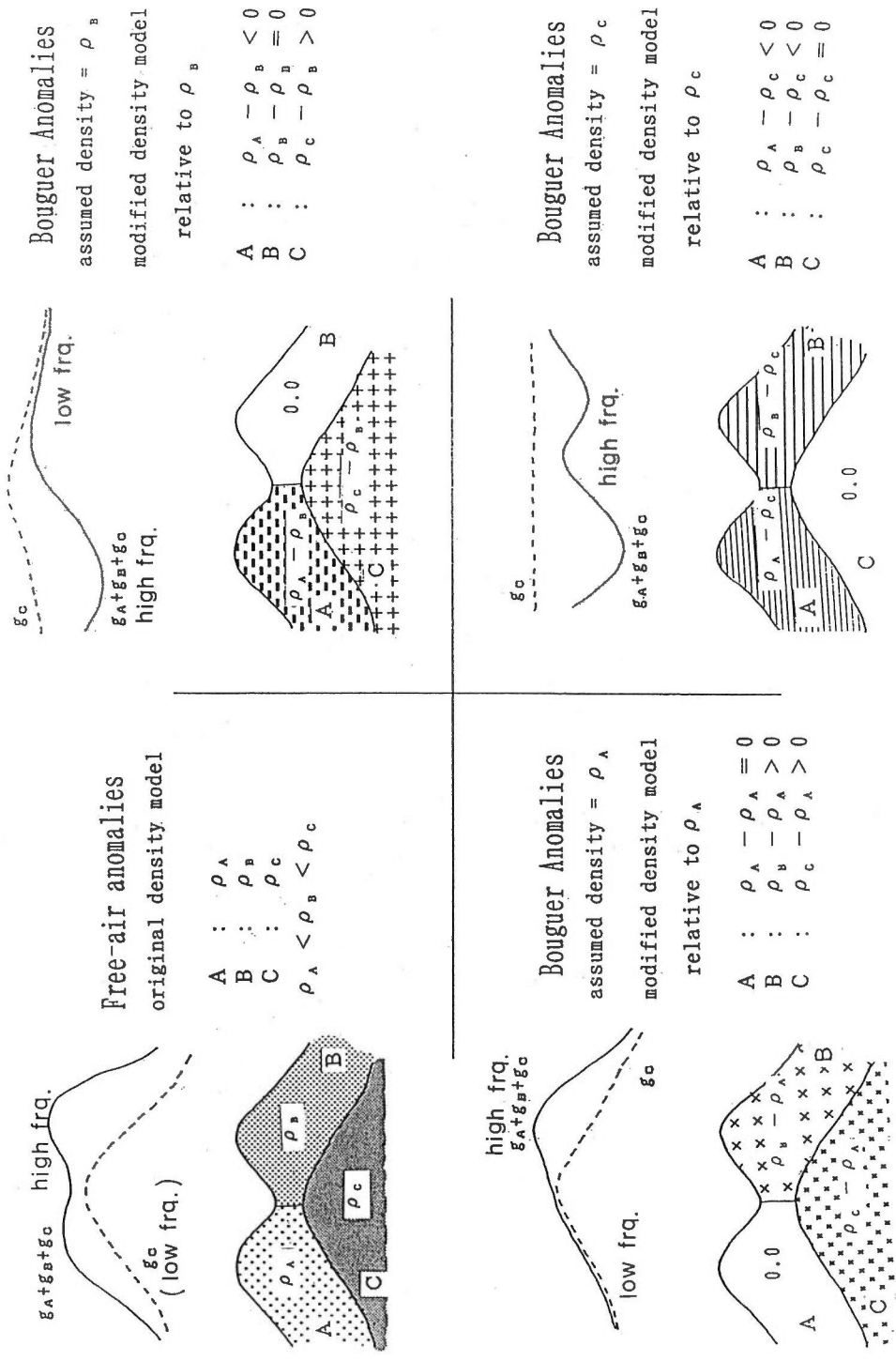
$$w(x, y; h_1, h_2) = \int_0^1 \int_0^1 \cos mx \cos ny \{ \exp(-\omega h_1) - \exp(-\omega h_2) \} dm dn \quad (6)$$

$$(\text{但し}, \omega = \sqrt{m^2 + n^2})$$

で与えられる。

当然、本手法は h_1 , h_2 及び M の組み合わせを変えることにより、表層密度だけでなく山塊や山脈・山地全体の平均密度のようなやや深い場所の密度推定にも利用できる。ただ、サンプリング数 M を大きく取り過ぎると表層密度の異なった領域のデータが分散指標に含まれることになり、結果の信頼性が低下することにも注意しなければならない。

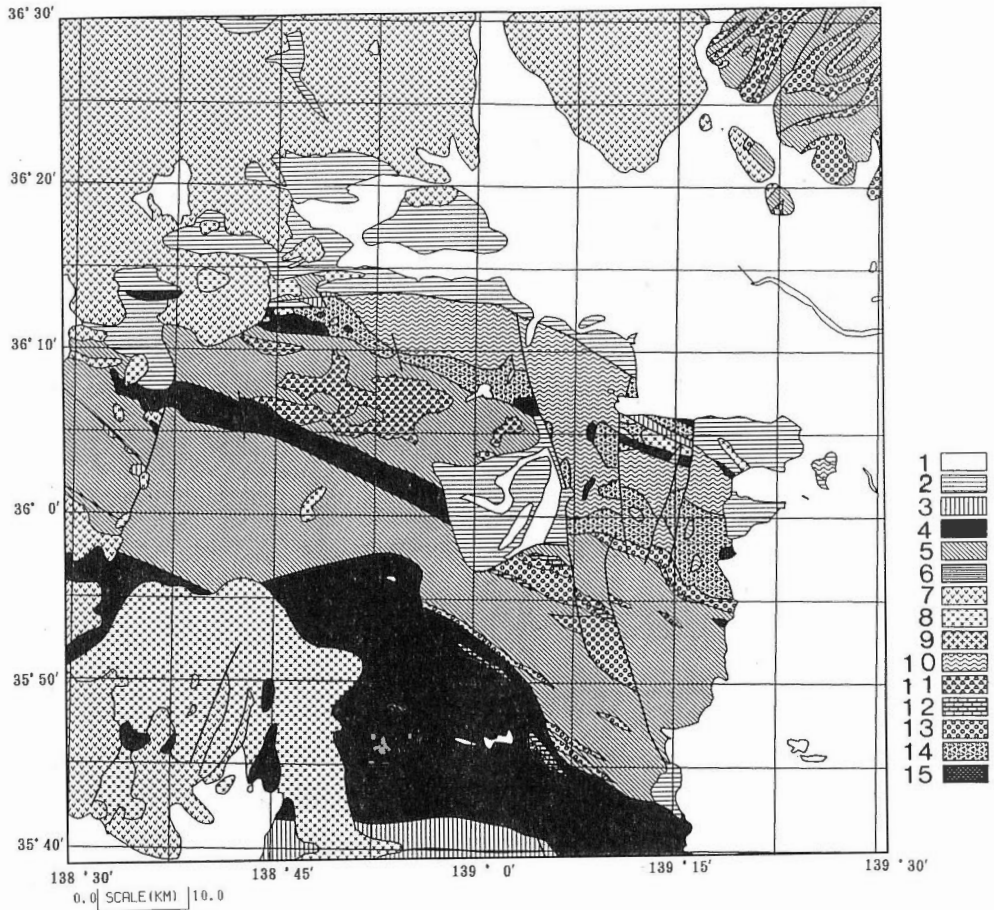
本手法の問題点としては、上方接続フィルターを利用するので測点データ値をそのまま使わず、一旦メッシュデータを作成しなければならない点と、測点固有の情報を損なわないようにするにはメッシュ間隔をなるべく小さくしなければならない点が上げられる。前者の問題点であるメッシュデータの作成には、メッシュ点の周辺の局所領域について距離依存性の重みを持って各測点に最適(最小2乗法的)にフィットするような双2次曲面を仮定していく、という補間法を取った。この補間法で用いた双2次曲面は、水平方向の2階微分までは連続であるので滑らかな補間ができ人間の目から見ても自然で、ロジックも簡潔である。後者の問題点である情報の欠落防止にはメッシュ間隔をなるべく小さくすればよいが、



第8図 仮定密度の変化とブーゲー異常との関係。

Fig. 8 Schematic diagram of relation between assumed density and Bouguer anomalies.

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)



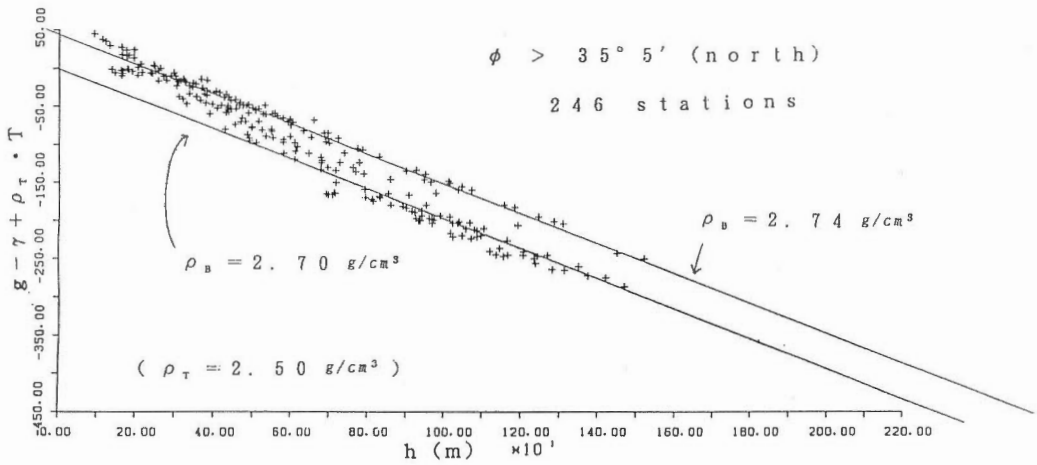
第9図 調査地域の地質図

Fig. 9 Geological map of study area.

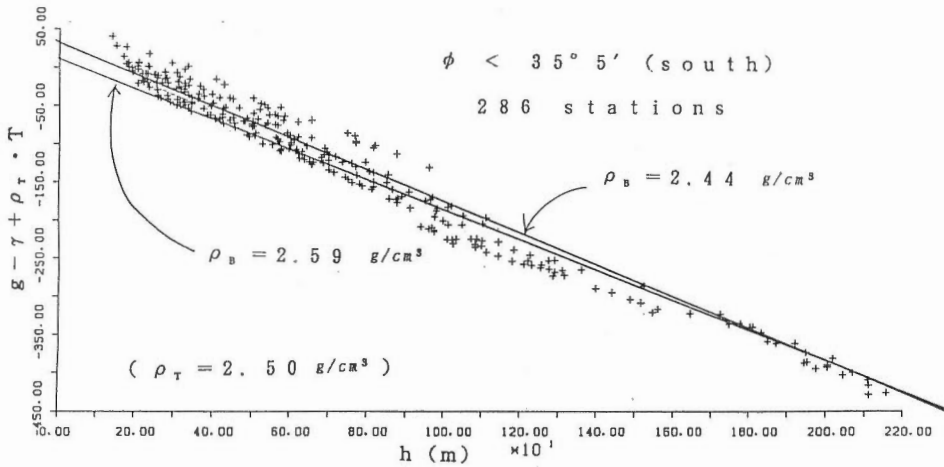
1: Sedimentary rocks (Quaternary), 2: Sedimentary rocks (Neogene), 3: Sedimentary rocks (Paleogene), 4: Sedimentary rocks (Cretaceous), 5: Sedimentary rocks (Jurassic-Triassic), 6: Sedimentary rocks (Paleozoic), 7: Volcanic rocks, 8: Plutonic rocks (Felsic), 9: Plutonic rocks (Mafic), 10: Sambagawa metamorphic rocks, 11: Exotic blocks (Basalt), 12: Exotic (Limestone), 13: Exotic blocks (Chert), 14: Mikabu green rocks, 15: Ultramafic rocks.

計算量も勘案して平均的な測点分布間隔の $1/5 \sim 1/10$ をとれば充分と判断し 250m メッシュで計算した。また、上記パラメータの h_1 , h_2 については表層密度の推定を考えているので $h_1=0$, 広域トレンド除去のため $h_2=250\text{m}$ を選定した。また、解析範囲を決めるパラメータ M は、解析範囲が 10km になるよう選定した。

最適密度は以下に示した手順で決定した。まず、仮定密度が 2.3, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 及び 3.0g/cm^3 の 6 種について分散量を各々計算しプロットする。しかし、このままでは最適密度の付近で小さくなっていく様子は判るが、最適密度の値は特定できない。そこで各プロット点を通るような 2 次曲線の関数を最小 2 乗法で決定し、その関数が最小になる変数値を最適密度と決める。調査域の北部 ($\phi=36^\circ 10'$, $\lambda=138^\circ 55'$ を中心とした半径 10km の範囲) で三波川帯に属する地域と南部 ($\phi=36^\circ 0'$, $\lambda=138^\circ 50'$ を中心とした半径 10km の範囲) で秩父帯に属する地域についての解析結果を第 12 図及び第 13 図に示す。G-H 相関法では、北部と南部で差がでたが、本手法 (CVUR 法) では、北部で 2.702g/cm^3 , 南部で 2.704g/cm^3 と表層密度で見るとほぼ両地帯区に密度差はない結果となった。なお、本調査地域の平均密



第10図 北緯36° 5′より北部のG-H相関関係
 Fig. 10 G-H correlation of the northern area of 36° 5′ N lat.



第11図 北緯36° 5′より南部のG-H相関関係
 Fig. 11 G-H correlation of the southern area of 36° 5′ N lat.

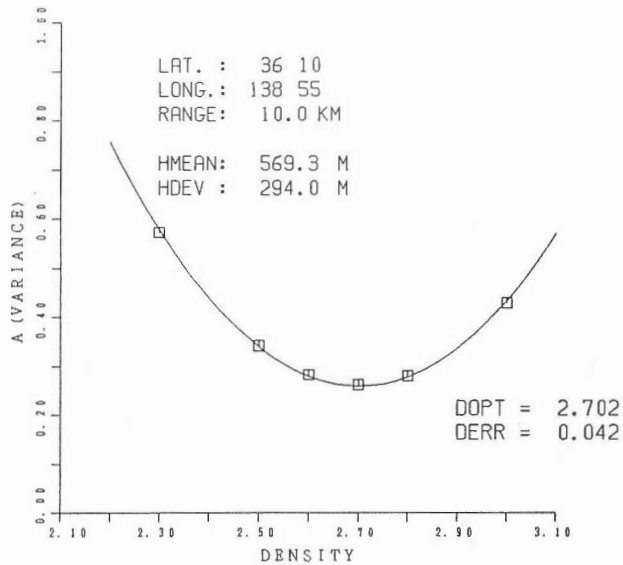
度を、新しく測定した532点のデータだけからABIC最小化法(村田,1990)で求めると2.627g/cm³と
 なって、本手法に比べ小さい結果になっているが、解析範囲を広く取ったためと思われる。しかし、い
 かなる数値的处理によっても、意味のある密度を0.05g/cm³以内の精度で決めるのは困難と考えておく
 のが妥当なところであろう。

ちなみに、四万十帯に属する新第三紀花崗岩が分布する金峰山周辺($\phi=35^\circ 52'$, $\lambda=138^\circ 38'$ を中
 心とした半径10kmの範囲)の密度は、2.651g/cm³と明らかに三波川帯や秩父帯の基盤に比べれば小さい
 ことが判った。また、秩父陥没帯の下部中新統の堆積岩の分布域($\phi=36^\circ 0'$, $\lambda=139^\circ 0'$ を中心と
 した半径10kmの範囲)は、2.544g/cm³と周辺部に比べれば、更に密度が小さいことも判った。

5. ブーゲー異常の特徴

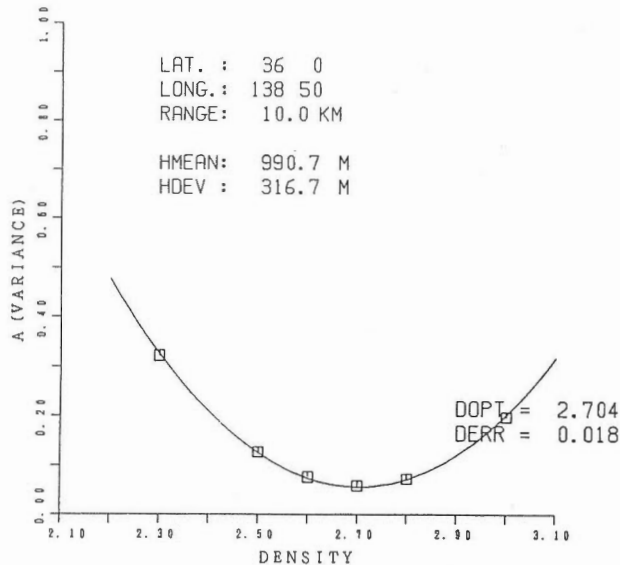
本調査域の平均的な表層密度は前節の結論から2.7g/cm³程度と考えられ、以下の地質との対比には第
 5図と第9図を用いることにする。関東山地は、地質基盤の隆起域に対応し、高密度の岩石の露出と対

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)



第12図 上方接続残差の分散比較法での密度推定 $\phi=36^{\circ} 10'$, $\lambda=138^{\circ} 55'$ を中心とした半径 10km の範囲; 三波川帯区

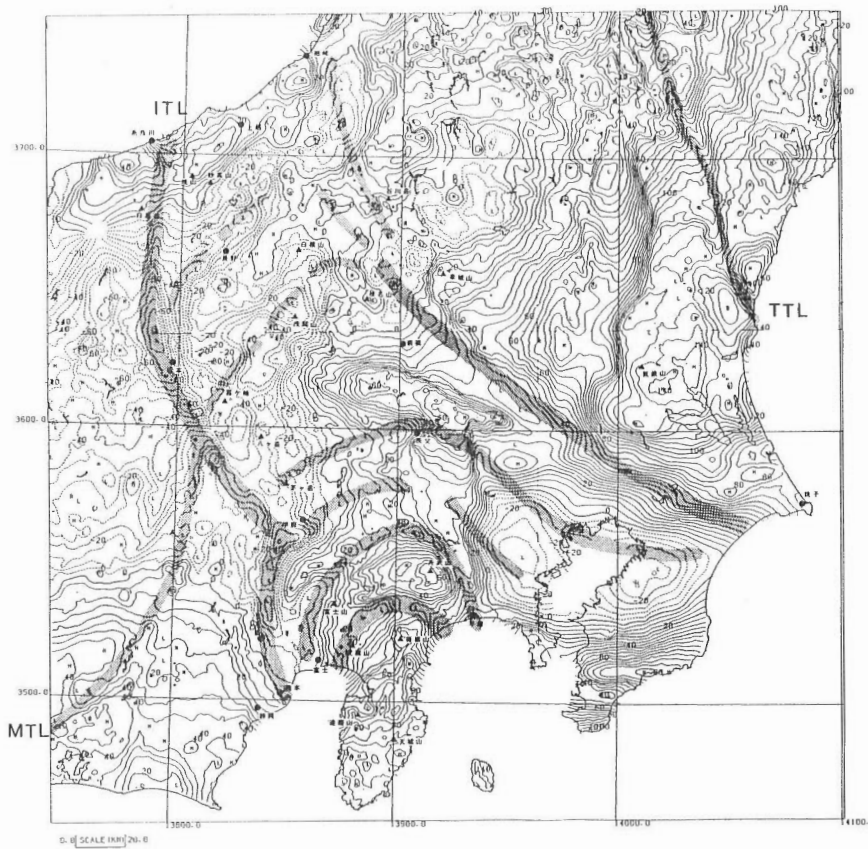
Fig. 12 Estimation of density by CVUR method. Radius of analysis is 10 km of the place ($\phi=36^{\circ} 10'$, $\lambda=138^{\circ} 55'$); belonging to Sambagawa group.



第13図 上方接続残差の分散比較法での密度推定 $\phi=36^{\circ} 0'$, $\lambda=138^{\circ} 50'$ を中心とした半径 10km の範囲; 秩父帯区

Fig. 13 Estimation of density by CVUR method. Radius of analysis is 10 km of the place ($\phi=36^{\circ} 0'$, $\lambda=138^{\circ} 50'$); belonging to Chichibu group.

応して概略高重力異常域となっている。特に、三波川帯の変成岩類と御荷鉾緑色岩類の分布域の北側は重力の急勾配に画され、それは基盤の露出が見られない寄居町より更に東方に伸び東松山市付近まで追跡できることから、三波川帯の潜在を示している。一方、三波川帯の南側の境界を画するような重力勾配は見えず、その分布域から南に約 10km ずれたところ (「山中地溝帯」部のやや北方に対応する) に重



第14図 関東山地を中心としたブーゲー異常と主な構造 (駒澤ほか,1992)
ブーゲー異常図の仮定密度は 2.5g/cm^3 , コンター間隔は 5mGal . MTL : 中央構造線, ITL : 糸魚川-静岡構造線, TTL : 棚倉構造線.

Fig. 14 Wide-area Bouguer anomalies in and around Kanto mountains and brief features (Komazawa et al.,1992).

Assumed density is 2.5g/cm^3 and contour interval is 5mGal . MTL : Median tectonic line, ITL : Itogawa-Shizuoka tectonic line, TTL : Tanakura tectonic line.

力勾配の大きくなっているところがあり, そこから南もしくは南西に向かって緩やかな重力異常の減少がみらる. その重力パターンの説明としては, (1) 三波川帯と秩父帯の地表部 (地形の起伏程度のスケールの深度) の密度差はない, (2) 三波川帯の表層部は 2.7g/cm^3 程度と考えられるが, 基底部には更に密度の大きい岩体 (三波川帯に分類できるか否かは決められない) の存在, (3) その三波川帯の基底部の高密度岩体が北方から秩父帯の下部にも伏在し「山中地溝帯」部まで張り出している, (4) 高密度岩体の厚さは, 周辺部に比べ $0.2\sim 0.3\text{g/cm}^3$ 程密度が大きいとすると, $3\sim 5\text{km}$ となって根のない構造が想定できる, (5) さもなければ, 地下 $3\sim 5\text{km}$ より深いところでは密度差のない均質な構造になる, 等のことが上げられる.

更に, 南側に位置する四万十帯の表層密度は, 三波川帯や秩父帯に比べれば, 0.1g/cm^3 までは密度差がないにしても多少は密度が小さいようであり, 南西側に向かって層厚を増せばブーゲー異常値が小さくなっていくことに整合する. 秩父周辺については局所的な沈降域に対応して低重力異常域が西南西方向から湾状に入り込んだ重力構造をもつ. 秩父盆地より西北西方向に伸びる「山中地溝帯」は白亜系に分類されているが, 重力異常からは破碎構造や地溝構造は見え, 周囲の古生層 (秩父帯) との密度差が

ないと考えられる。しかし、三波川帯の基底部に伏在する高密度岩体を画する密度境界の存在が「山中地溝帯」域に考えられる。

調査域も含めた広域的な重力異常パターン(第14図)を見ると、フィリピン海プレートの北上を示唆する波状パターンの連続性がより明瞭になった。本調査域の北方にも関東平野から伸びてきた低重力異常帯が藤岡、富岡、前橋の各市付近をとおり、北方に延ばせば新潟県柏崎市付近に至り、山下(1970)のいう銚子-柏崎線に対比できる。しかし、榛名山付近で西方、更に南西方向に方向を向けて浅間山、霧ヶ峰、八ヶ岳といった火山フロントの低重力帯を経て糸魚川-静岡構造線に延長することもでき、関東山地を取り囲むような半円状の大きな低重力帯が見えてくる。

6. おわりに

本論文では重力データの公表という点に主眼を置いたため、重力異常の特徴を定性的、概略的に述べるにとどめたが、詳細に地質図と対比させれば地質図だけでの解釈だけでは不十分であった議論に利用できると思われる。また、重力の急傾斜帯は密度構造の急変帯であるという認識を基に地体構造との対比の可能性も示した。今後の課題として、今回の結果から得られた表層の密度を勘案して、面的な密度分布だけでなく鉛直方向の構造も含めて密度モデルを設定し定量解析を試み、関東山地の基盤がどの程度の根を持つ構造であるか否か等を検証したい。

文 献

- 地質調査所重力探査グループ(中塚正・広島俊男・駒澤正夫・牧野雅彦・須田芳朗・村田泰章)(1989)
地質調査所重力補正標準手順 SPEC G 1988 について. 地調月報, vol.40, p.601-611.
- 萩原尊禮(1974) 物理探鉱法. 現代工学社, 256p.
- 萩原幸男・村田一郎・田島広一・長沢 工・井筒屋貞勝・大久保修平(1986) 活断層の重力調査(I) - 1931年西埼玉地震の震源断層の検出-. 地震研究所彙報, vol.61, p.563-586.
- 国土地理院(1976) 日本重力基準網1975の設定. 測地学会誌, vol.22, no.2, p.65-76.
- 駒澤正夫(1985) 20万分の1関東地域重力図(ブーゲー異常図). 特殊地質図, no.24, 地質調査所.
- ・広島俊男・大久保泰邦・須田芳郎・中井順二(1987) 100万分の1全国重力図(ブーゲー異常図), 新エネルギー総合開発機構.
- (1988) 仮想扇形地形による重力地形補正法. 測地学会誌, vol.34, p.11-23.
- ・石原丈実・広島俊男(1992) 日本列島の重力図の作成と主な特徴. 月刊地球, vol.14, p.166-173.
- 村田泰章(1990) ABIC最小化法によるブーゲー密度の推定. 地震, vol.43, p.327-339.
- 田島広一・下鶴大輔・横山 泉(1977) 浅間・草津白根周辺の重力測定. 火山 第2集, vol.22, p.161-172.
- 山下昇(1970) 柏崎-銚子線の提唱. 島弧と海洋, 東海大学出版会, p.179-191.

Appendix

Table 1

Gravity data in the northern area of Kanto mountains, central Japan.

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	AES-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.70)	Y M D (3.00)			
1	3608.20	13910.23	162.00 C	979856.67	979830.97	0.38	0.06	76.56	60.48	59.19	57.26	85 3 7	
2	3608.77	13910.02	175.00 C	979853.25	979831.77	0.35	0.07	76.34	58.81	57.41	56.71	55.31	85 3 7
3	3609.30	13909.83	132.00 C	979860.09	979832.53	0.31	0.04	69.15	56.05	55.00	54.48	53.43	85 3 7
4	3608.55	13908.39	530.90 TP1	979771.24	979833.46	4.14	1.19	104.42	59.05	55.47	55.66	53.03	85 3 7
5	3608.30	13909.04	368.40 TP4	979810.07	979831.10	2.21	1.09	93.49	60.35	57.70	56.37	53.72	85 3 7
6	3606.98	13908.72	383.00 C	979808.42	979829.20	1.36	0.28	98.24	61.43	58.49	57.01	54.07	85 3 7
7	3606.05	13909.25	195.00 C	979847.86	979827.87	1.05	0.17	81.01	63.15	61.72	61.00	59.57	85 3 7
8	3605.02	13909.40	657.70 TP2	979746.03	979826.39	4.46	1.18	123.38	65.64	61.02	58.72	54.10	85 3 7
9	3603.78	13909.58	654.80 TP3	979743.54	979824.61	4.24	1.33	121.77	63.79	59.15	56.83	52.19	85 3 7
10	3602.39	13909.60	520.00 C	979770.58	979822.62	1.11	0.14	109.23	57.50	53.36	51.29	47.15	85 3 7
11	3602.02	13910.17	501.00 C	979776.73	979822.09	1.49	0.37	110.05	61.25	57.34	55.39	51.49	85 3 7
12	3600.51	13910.23	330.00 SH	979765.21	979819.93	1.54	0.52	109.64	57.93	53.79	51.72	47.59	85 3 7
13	3601.05	13908.66	313.00 SH	979802.64	979820.70	1.44	0.25	79.37	50.08	47.74	46.57	44.22	85 3 7
14	3559.98	13914.40	139.00 SH	979856.21	979819.37	0.90	0.08	80.79	68.42	67.43	66.94	65.95	85 3 8
15	3600.07	13912.71	406.00 C	979798.75	979819.10	1.28	0.29	105.56	66.15	63.00	61.42	58.27	85 3 8
16	3600.16	13911.59	875.80 TP1	979689.80	979819.43	6.18	1.53	141.38	65.28	59.19	56.14	50.06	85 3 8
17	3559.68	13910.96	767.00 C	979721.41	979818.74	2.10	0.15	140.12	59.13	55.13	56.13	50.13	85 3 8
18	3559.15	13910.66	748.00 SH	979725.57	979817.98	1.82	0.18	139.18	65.44	59.55	56.60	50.70	85 3 8
19	3559.13	13909.77	960.30 TP	979670.10	979817.95	5.83	1.24	149.21	63.47	56.61	53.18	46.32	85 3 8
20	3559.94	13908.89	770.00 C	979711.93	979819.11	3.24	0.51	131.19	58.73	52.93	50.03	44.24	85 3 8
21	3558.44	13908.42	306.00 SH	979802.97	979816.96	2.48	0.46	81.28	55.34	53.26	52.22	50.15	85 3 8
22	3556.68	13908.84	557.00 SH	979746.58	979814.44	1.75	0.55	104.83	50.82	46.50	44.34	40.02	85 3 8
23	3555.92	13909.46	565.00 SH	979744.72	979813.35	1.29	0.29	106.52	50.52	46.04	43.80	39.32	85 3 8
24	3555.27	13909.29	441.00 SH	979765.13	979814.42	2.70	0.76	89.61	50.08	46.92	45.34	42.48	85 3 8
25	3556.05	13911.36	276.40 BM	979801.92	979813.54	1.75	0.47	74.51	49.85	47.87	46.89	44.41	85 3 8
26	3555.11	13912.81	208.30 BM	979812.83	979812.19	1.54	0.38	65.77	47.72	46.28	45.55	44.11	85 3 8
27	3600.48	13914.04	335.00 C	979817.02	979819.88	1.05	0.29	101.35	68.80	66.20	64.90	62.29	85 3 8
28	3558.91	13914.41	176.00 C	979840.56	979817.64	1.11	0.17	78.09	62.35	61.09	60.46	59.20	85 3 9
29	3558.52	13913.81	235.00 C	979828.86	979817.08	1.60	0.39	85.14	64.45	62.79	61.96	60.31	85 3 9
30	3559.20	13912.61	294.00 SH	979818.37	979818.05	1.62	0.26	91.88	65.03	62.89	61.81	59.67	85 3 9
31	3559.03	13911.40	426.00 C	979787.46	979817.81	2.39	0.56	101.93	63.20	60.10	58.55	55.45	85 3 9
32	3558.33	13911.40	572.00 SH	979759.58	979816.83	1.31	0.48	120.06	63.38	58.85	56.58	52.05	85 3 9
33	3557.83	13911.88	820.00 SH	979700.93	979816.09	4.26	1.07	138.63	63.53	57.53	54.52	48.51	85 3 9
34	3555.44	13914.89	538.00 SH	979750.19	979812.67	2.97	1.18	104.35	55.37	51.45	49.49	45.57	85 3 9
35	3556.08	13913.44	618.80 TP3	979731.62	979813.58	3.37	1.39	109.78	53.38	48.86	46.61	42.09	85 3 9
36	3556.75	13913.29	770.00 SH	979701.63	979814.54	5.20	1.69	125.46	57.88	52.48	49.78	44.37	85 3 9
37	3557.33	13912.78	816.40 TP0	979695.95	979815.37	5.25	1.44	133.26	61.01	55.23	52.34	46.56	85 3 9
38	3554.48	13909.09	328.00 C	979781.61	979811.29	2.84	0.37	72.37	45.01	42.82	41.73	39.54	85 310
39	3555.32	13907.82	542.00 SH	979739.70	979812.49	3.55	1.04	95.27	47.32	43.49	41.57	37.93	85 310
40	3548.28	13910.73	230.00 SH	979779.49	979802.42	2.54	0.47	48.89	31.05	29.63	28.91	27.49	85 310
41	3546.81	13902.91	566.00 SH	979698.54	979800.32	2.16	0.31	73.61	19.77	15.45	13.30	8.98	85 310
42	3546.39	13901.41	615.00 SH	979681.76	979799.72	3.00	1.47	72.68	15.68	11.13	8.85	4.30	85 310
43	3548.07	13900.40	681.00 SH	979667.46	979802.12	5.72	1.47	76.26	19.26	14.70	12.42	7.86	85 310
44	3548.32	13905.48	608.80 TP	979697.36	979802.48	3.08	1.14	83.54	27.44	22.90	20.71	16.22	85 310
45	3548.27	13904.43	759.00 SH	979665.59	979802.41	3.47	1.18	98.16	27.42	21.76	18.93	13.77	85 310
46	3549.32	13904.80	394.00 SH	979734.40	979803.91	6.56	1.34	52.90	27.95	23.96	24.96	22.96	85 310
47	3550.38	13905.52	608.00 SH	979696.93	979805.43	5.57	1.94	79.91	30.14	26.16	24.17	20.19	85 310
48	3551.00	13905.78	854.00 C	979654.79	979806.31	3.35	0.84	112.75	31.85	25.38	22.14	15.67	85 310
49	3605.88	13903.88	297.00 C	979818.42	979829.06	1.33	0.47	81.85	53.97	51.75	50.63	48.40	85 311
50	3607.12	13903.27	432.00 C	979790.82	979829.41	0.89	0.48	95.55	52.45	49.01	47.28	43.83	85 311

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA	TI	FREE-AIR	BOUGUER	ANOMALIES			
						(1.00)	(1.00)	(2.50)	(2.70)	(3.00)			
51	3606.84	13902.31	406.00 SH	979794.18	979828.00	1.44	0.47	91.29	52.28	49.16	44.48	85.311	
52	3606.16	13901.25	830.00 SH	979699.74	979829.03	4.47	1.52	128.59	52.97	46.92	43.89	37.84	85.311
53	3605.67	13900.64	1037.70 TP1	979647.93	979827.33	7.35	1.80	141.53	51.58	44.38	40.78	33.59	85.311
54	3603.28	13906.95	582.80 TPU	979748.57	979823.90	3.89	0.81	105.52	53.97	49.86	47.80	43.70	85.311
55	3604.79	13906.70	149.60 BM	979851.86	979826.06	0.63	0.03	72.82	58.66	57.53	56.96	55.83	85.311
56	3603.97	13905.90	169.40 BM	979836.31	979824.89	0.61	0.00	64.55	48.26	46.96	46.31	45.01	85.311
57	3603.09	13904.76	190.00 SH	979819.66	979823.63	0.56	0.03	55.52	36.95	35.47	34.73	33.24	85.311
58	3602.47	13904.41	192.00 SH	979813.01	979822.74	0.59	0.04	50.37	30.18	29.43	27.93	27.93	85.311
59	3602.89	13903.94	192.00 C	979815.70	979823.34	0.64	0.04	52.46	33.86	32.37	31.63	30.14	85.311
60	3602.05	13903.44	216.00 C	979802.33	979822.13	0.70	0.13	47.70	26.73	25.06	24.22	22.54	85.311
61	3601.59	13903.90	221.00 C	979798.71	979821.48	0.75	0.20	46.28	24.91	23.20	22.35	20.64	85.311
62	3609.23	13902.72	176.00 SH	979844.86	979832.43	1.34	0.07	67.59	51.42	50.13	49.48	48.19	85.312
63	3609.10	13902.08	194.00 SH	979840.91	979832.25	1.95	0.16	69.38	52.36	51.00	50.32	48.96	85.312
64	3609.27	13900.86	245.00 SH	979829.65	979832.49	2.20	0.49	73.61	53.35	51.73	50.92	49.30	85.312
65	3608.26	13900.39	456.00 SH	979784.49	979831.04	1.45	0.44	94.98	50.77	49.63	49.06	47.92	85.312
66	3607.76	13901.53	301.00 SH	979813.96	979830.32	1.25	0.35	77.36	49.90	47.77	46.70	44.56	85.312
67	3607.51	13901.12	415.00 SH	979791.48	979829.96	1.82	0.87	90.40	51.56	48.46	46.91	43.82	85.312
68	3607.54	13902.66	182.00 SH	979840.36	979830.01	2.05	0.29	67.37	53.37	52.25	51.69	50.57	85.312
69	3608.62	13902.63	154.00 C	979845.07	979831.56	1.21	0.07	64.98	50.77	49.63	49.06	47.92	85.312
70	3604.71	13901.99	579.00 SH	979748.75	979825.95	2.57	1.39	102.27	48.01	43.67	41.50	37.16	85.312
71	3602.17	13901.31	220.00 SH	979801.38	979822.31	0.87	0.08	47.82	26.87	25.19	24.36	22.68	85.312
72	3603.29	13900.49	256.00 SH	979802.10	979823.91	2.53	0.92	58.03	37.45	35.80	34.98	33.33	85.312
73	3603.60	13900.14	276.00 C	979801.97	979824.36	2.31	0.49	63.62	40.39	38.53	37.60	35.75	85.312
74	3604.28	13859.26	336.00 SH	979793.56	979825.33	2.74	0.80	72.75	44.32	42.04	40.90	38.63	85.312
75	3559.56	13901.54	258.00 SH	979775.96	979818.57	0.94	0.04	37.86	13.09	11.11	10.12	8.14	85.312
76	3557.31	13900.68	290.00 SH	979763.75	979815.34	2.02	0.09	38.74	13.31	11.28	10.26	8.22	85.312
77	3555.82	13901.51	498.00 SH	979723.22	979813.21	3.90	0.65	64.50	22.03	18.63	16.93	13.54	85.312
78	3601.15	13908.10	235.00 SH	979816.37	979820.84	1.40	0.25	68.89	47.70	46.00	45.15	43.46	85.313
79	3600.59	13909.28	339.00 SH	979796.48	979820.04	2.64	0.84	81.88	52.89	50.57	49.41	47.09	85.313
80	3553.75	13910.24	280.00 SH	979788.92	979810.25	2.10	0.23	65.92	41.76	39.83	38.86	36.93	85.313
81	3553.24	13910.90	258.00 SH	979791.58	979809.52	2.15	0.43	62.52	40.78	39.04	38.17	36.43	85.313
82	3554.82	13910.58	374.00 SH	979776.52	979811.78	1.67	0.44	80.98	45.89	43.08	41.68	38.87	85.313
83	3553.05	13909.60	465.00 C	979748.28	979809.25	2.64	1.13	83.35	41.17	37.79	36.11	32.73	85.313
84	3552.71	13911.24	248.00 SH	979792.48	979808.76	1.85	0.24	61.09	39.65	37.93	37.08	35.36	85.313
85	3552.42	13909.10	375.00 SH	979758.75	979808.34	4.19	1.19	66.95	38.06	35.75	34.60	32.28	85.313
86	3552.18	13908.00	538.00 C	979723.82	979808.00	3.83	0.96	82.64	35.82	32.07	30.20	26.46	85.313
87	3553.04	13908.14	655.00 C	979705.80	979809.23	3.55	1.43	99.48	39.75	34.97	32.59	27.81	85.313
88	3552.33	13909.80	312.00 SH	979769.01	979808.22	5.23	2.26	57.91	38.22	36.64	35.85	34.28	85.313
89	3551.97	13911.40	231.00 SH	979793.74	979807.70	1.80	0.17	58.17	38.38	36.80	36.01	34.43	85.313
90	3551.03	13912.42	206.00 C	979798.83	979806.36	1.40	0.15	56.89	38.73	37.28	36.56	35.10	85.313
91	3551.52	13913.81	175.00 SH	979808.84	979809.06	0.84	0.03	56.64	40.33	39.02	38.37	37.07	85.313
92	3551.27	13914.80	250.00 SH	979794.96	979806.70	0.49	0.09	66.25	41.20	39.19	38.19	36.19	85.313
93	3552.80	13914.23	182.00 SH	979812.18	979808.89	1.02	0.26	60.31	43.72	42.39	41.73	40.40	85.313
94	3552.68	13913.62	205.00 SH	979806.09	979808.72	1.49	0.65	61.48	43.66	42.23	41.52	40.09	85.313
95	3553.00	13912.30	309.00 SH	979784.87	979809.17	1.38	0.55	71.89	42.88	40.56	39.40	37.08	85.313
96	3553.56	13912.19	325.00 SH	979782.50	979809.98	1.72	0.62	73.65	43.83	41.44	40.25	37.86	85.313
97	3551.28	13910.79	325.00 C	979767.14	979806.71	4.03	1.86	61.55	37.50	35.58	34.62	32.69	85.313
98	3557.15	13907.25	366.00 SH	979777.79	979815.11	4.32	0.80	76.45	48.83	46.62	45.51	43.30	85.315
99	3556.32	13907.18	518.00 SH	979747.84	979813.93	3.65	0.65	94.57	49.40	45.78	43.97	40.36	85.315
100	3556.68	13907.29	449.00 SH	979760.43	979814.44	5.22	1.97	85.56	51.52	48.60	47.23	44.51	85.315

Table 1 continued (2)

地質調查所報告 (第280号)

Table 1 continued (3)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - (2.70)	ANOMALIES (3.00)	Y M D	
101	3556.98	13904.57	415.00 C	979763.53	979816.87	4.00	1.06	77.54	44.00	41.32	39.98	16.99 85 315
102	3558.12	13903.34	256.00 SH	979782.15	979816.50	1.26	0.04	45.48	24.74	19.84	18.89	16.99 85 315
103	3558.63	13903.80	236.00 SH	979786.36	979817.23	1.28	0.22	42.79	21.19	19.46	18.62	16.87 85 315
104	3559.48	13904.22	206.00 SH	979793.47	979818.45	1.01	0.09	39.44	20.31	18.79	18.00	16.49 85 315
105	3559.28	13903.04	403.80 TP	979748.37	979818.18	1.02	0.15	55.62	15.79	12.60	11.01	7.82 85 315
106	3558.28	13905.62	283.00 C	979790.84	979816.73	1.47	0.05	62.27	36.22	34.14	33.09	31.01 85 315
107	3555.76	13903.91	336.00 SH	979762.39	979813.12	4.76	0.48	53.78	30.40	28.53	27.59	25.72 85 315
108	3555.52	13904.16	360.00 SH	979756.17	979812.78	5.38	1.03	55.31	30.95	29.00	28.03	26.08 85 315
109	3555.31	13905.04	513.00 C	979733.70	979813.48	3.58	0.71	80.33	35.49	31.90	30.10	26.52 85 315
110	3554.04	13905.18	485.00 C	979729.76	979810.66	4.72	0.97	69.57	30.52	27.39	25.83	22.71 85 315
111	3553.36	13905.10	597.00 C	979705.55	979809.69	5.13	0.89	80.89	31.15	27.17	25.18	21.20 85 315
112	3553.59	13906.14	590.00 SH	979712.47	979810.02	4.43	1.55	85.31	34.56	30.50	28.47	24.41 85 315
113	3553.03	13906.10	690.00 C	979690.49	979809.22	4.58	1.56	94.97	34.17	29.31	26.88	22.01 85 315
114	3556.29	13900.71	441.00 SH	979733.79	979813.88	3.67	0.65	56.82	19.73	16.77	15.28	12.32 85 315
115	3556.73	13901.25	329.00 SH	979758.38	979814.51	2.40	0.14	46.22	17.67	15.38	14.24	11.96 85 315
116	3606.78	13856.23	327.00 SH	979802.32	979828.92	2.68	0.25	75.14	47.50	45.29	44.18	41.97 85 910
117	3607.07	13858.52	314.00 SH	979804.30	979823.33	2.91	0.59	72.70	47.01	44.95	43.93	41.87 85 910
118	3606.17	13858.60	427.00 C	979782.35	979828.04	2.43	0.56	86.89	48.16	45.06	43.52	40.42 85 910
119	3606.78	13858.54	466.00 SH	979775.31	979828.92	1.91	0.69	91.01	46.91	43.38	41.62	38.09 85 910
120	3607.15	13859.55	323.00 C	979806.89	979823.45	2.44	0.77	77.95	50.13	47.91	46.80	44.57 85 910
121	3607.70	13859.68	347.00 C	979802.85	979830.24	2.92	1.01	80.52	51.38	49.05	47.88	45.55 85 910
122	3609.28	13859.41	406.00 SH	979792.19	979832.50	1.95	0.71	88.80	51.07	48.05	46.54	43.52 85 910
123	3609.33	13858.33	439.00 SH	979787.87	979833.58	2.15	0.49	91.59	50.90	47.65	46.02	42.77 85 910
124	3609.33	13900.32	262.00 SH	979823.65	979832.58	3.30	1.44	72.97	51.39	52.16	51.39	49.84 85 910
125	3608.50	13859.19	950.00 C	979675.66	979831.39	6.48	1.30	138.16	55.10	48.46	45.14	38.49 85 910
126	3608.43	13858.99	1012.50 TP	979661.20	979831.28	8.10	1.86	143.07	57.60	50.76	47.34	40.51 85 910
127	3607.82	13858.88	695.00 C	979738.32	979830.41	2.62	0.85	123.15	56.95	51.65	49.00	43.71 85 910
128	3608.87	13855.84	1015.00 C	979671.03	979831.92	3.41	0.32	153.04	55.59	47.80	43.90	36.10 85 910
129	3605.88	13856.31	533.00 C	979759.88	979827.63	2.29	0.74	97.53	47.37	43.36	41.36	37.34 85 911
130	3605.51	13856.99	695.00 C	979730.05	979827.10	1.46	0.47	118.20	49.09	43.56	40.80	35.27 85 911
131	3604.83	13857.55	396.00 C	979783.48	979826.12	2.59	0.59	80.38	45.29	42.49	41.08	38.28 85 911
132	3604.28	13858.03	329.00 SH	979792.24	979825.33	2.85	0.86	69.27	41.85	39.66	38.56	36.37 85 911
133	3603.43	13858.38	316.00 SH	979791.18	979824.11	1.39	0.18	65.41	35.69	33.31	32.13	29.75 85 911
134	3603.04	13859.00	268.00 SH	979797.75	979823.55	1.59	0.19	57.74	33.56	31.63	30.66	28.72 85 911
135	3602.60	13859.49	253.00 C	979798.00	979822.92	1.19	0.06	53.99	30.39	28.51	27.56	25.67 85 911
136	3601.60	13859.05	282.00 SH	979780.70	979821.49	0.94	0.03	47.08	19.81	17.62	16.53	14.35 85 911
137	3602.45	13858.18	450.00 C	979752.18	979823.77	1.17	0.38	69.15	24.87	21.32	19.55	16.01 85 911
138	3603.27	13857.81	325.00 C	979785.65	979823.88	2.01	0.78	62.90	33.80	31.47	30.31	27.98 85 911
139	3603.06	13857.09	345.00 C	979778.49	979823.58	1.88	0.41	62.20	30.67	28.15	26.89	24.37 85 911
140	3603.85	13856.30	430.00 C	979766.19	979824.72	2.00	0.53	74.99	34.88	31.67	30.06	26.86 85 911
141	3604.37	13855.67	558.00 C	979743.47	979825.46	2.37	0.86	91.00	38.44	34.24	32.14	27.93 85 911
142	3603.44	13856.15	396.00 C	979768.57	979824.13	2.78	1.12	67.47	32.84	30.08	28.69	25.92 85 911
143	3603.75	13854.02	532.00 C	979744.64	979824.57	2.53	0.90	82.05	32.61	28.65	26.68	22.72 85 911
144	3604.58	13854.12	565.00 SH	979743.06	979825.76	2.22	0.61	92.45	38.79	34.50	32.35	28.06 85 911
145	3604.93	13853.50	795.00 C	979696.12	979826.26	1.71	0.37	115.94	37.05	30.74	27.58	21.27 85 911
146	3604.62	13856.56	502.00 C	979756.41	979825.82	3.19	1.57	86.31	41.65	38.08	36.29	32.72 85 911
147	3604.13	13857.33	363.00 C	979782.71	979825.12	2.61	0.91	70.44	38.85	36.32	35.06	32.53 85 911
148	3603.72	13855.27	425.00 C	979762.00	979824.53	3.01	0.83	69.45	33.28	29.42	27.94	24.97 85 911
149	3601.28	13857.67	307.00 SH	979773.77	979821.03	1.69	0.24	48.31	20.39	18.05	16.93	14.69 85 911
150	3601.83	13856.15	345.00 C	979767.22	979821.82	2.21	0.23	52.70	22.00	19.54	18.32	15.86 85 911

関東山地北部における重力異常(駒澤ほか)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.70) (2.80) (3.00) Y M D
151	3602.60	13855.57	717.00 C	979697.85	979822.92	2.63	1.11	96.96	28.48 23.00 20.26 14.78 85 911
152	3601.99	13857.24	345.00 C	979768.91	979822.05	2.87	1.35	54.15	25.10 22.78 21.62 19.30 85 911
153	3600.58	13859.69	285.00 C	979775.60	979820.03	1.18	0.14	38.19	13.29 11.30 10.30 8.31 85 912
154	3559.88	13859.58	306.00 C	979764.65	979819.03	1.36	0.24	40.89	12.16 9.86 8.71 6.41 85 912
155	3559.12	13859.44	343.00 C	979754.04	979817.94	1.96	0.62	42.79	11.68 9.19 7.94 5.46 85 912
156	3601.13	13859.54	258.00 C	979780.92	979820.82	0.92	0.02	40.56	15.75 13.76 12.77 10.78 85 912
157	3600.80	13858.71	284.00 SH	979774.78	979820.34	1.15	0.11	42.91	15.96 13.81 12.73 10.57 85 912
158	3559.83	13858.44	308.00 C	979765.83	979818.95	1.37	0.04	42.76	13.82 11.51 10.35 8.04 85 912
159	3559.10	13857.50	336.00 C	979754.76	979817.91	3.60	0.89	41.37	15.09 12.99 11.93 9.83 85 912
160	3558.83	13856.23	395.00 C	979742.86	979817.52	4.31	0.67	44.98	15.35 12.98 11.79 9.42 85 912
161	3558.78	13854.97	455.00 C	979722.33	979817.45	6.01	1.51	46.11	13.50 10.89 9.59 6.98 85 912
162	3559.12	13853.91	502.00 C	979712.42	979817.94	5.92	1.18	51.13	12.97 9.92 8.39 5.34 85 912
163	3559.75	13852.56	612.00 C	979692.54	979818.84	6.11	1.53	63.35	14.51 10.60 8.65 4.74 85 912
164	3600.40	13851.44	907.00 C	979643.14	979819.77	4.43	1.45	103.99	20.28 13.59 10.24 3.54 85 912
165	3559.87	13852.33	630.00 SH	979688.31	979819.01	6.32	1.60	64.49	14.29 10.27 8.26 4.25 85 912
166	3559.62	13852.90	595.00 C	979696.71	979818.65	5.80	1.44	62.47	14.63 10.81 8.89 5.07 85 912
167	3600.52	13857.75	314.00 SH	979769.10	979819.94	1.52	0.15	46.89	17.71 15.38 14.21 11.88 85 912
168	3600.71	13857.10	321.00 SH	979767.63	979820.21	1.78	0.14	47.30	18.05 15.71 14.54 12.20 85 912
169	3601.03	13856.42	326.00 SH	979767.76	979820.67	2.33	0.48	48.52	20.10 17.83 16.69 14.42 85 912
170	3600.90	13855.30	423.00 SH	979747.86	979820.49	2.11	0.18	58.73	19.62 16.49 14.92 11.79 85 912
171	3600.69	13854.70	415.00 C	979741.25	979820.19	3.91	0.79	49.95	16.16 13.46 12.11 9.41 85 912
172	3600.98	13854.14	453.00 C	979735.47	979820.60	4.68	1.56	55.48	19.65 16.78 15.35 12.49 85 912
173	3601.40	13853.08	570.00 C	979711.04	979821.20	4.75	1.55	66.53	18.66 14.83 12.92 9.09 85 912
174	3607.82	13855.13	603.00 C	979751.83	979830.41	2.68	0.92	108.29	51.82 47.30 45.04 40.52 85 913
175	3608.94	13855.28	1286.20 TP	979598.41	979832.02	11.84	2.95	163.94	59.57 51.22 47.05 38.70 85 913
176	3607.22	13856.63	303.00 C	979805.84	979829.55	3.06	0.31	70.63	46.46 44.52 43.56 41.62 85 913
177	3607.91	13856.31	515.00 C	979768.15	979830.54	3.22	0.97	97.34	51.39 47.72 45.88 42.20 85 913
178	3607.54	13857.03	315.00 C	979802.36	979830.01	3.98	0.95	70.39	47.26 45.41 44.48 42.63 85 913
179	3608.12	13857.10	550.00 C	979760.55	979830.84	4.04	1.89	100.23	52.68 48.88 46.98 43.17 85 913
180	3607.35	13858.32	310.00 C	979804.46	979829.74	3.06	0.43	71.23	46.32 44.33 41.33 85 913
181	3607.89	13858.58	563.00 C	979761.87	979830.51	1.87	0.47	105.89	51.56 47.22 45.04 40.70 85 913
182	3608.71	13854.81	1046.92 L	979666.01	979831.69	3.27	0.32	158.09	56.99 48.90 44.86 36.77 85 913
183	3608.79	13856.21	1184.00 SH	979622.74	979831.80	9.43	2.68	156.97	57.11 49.12 45.13 37.14 85 913
184	3608.76	13856.68	1246.00 TP	979604.41	979831.76	11.87	2.72	157.81	57.63 49.62 45.61 37.60 85 913
185	3607.16	13854.45	475.00 SH	979773.26	979829.46	2.27	0.42	91.19	47.04 43.51 41.74 38.21 85 914
186	3607.58	13853.20	595.00 C	979751.91	979830.07	3.37	1.08	106.25	52.32 48.01 45.85 41.54 85 914
187	3607.83	13852.17	786.00 C	979716.48	979830.42	2.35	0.46	129.36	53.00 46.89 43.84 37.73 85 914
188	3608.35	13852.88	1073.00 C	979661.50	979831.17	3.01	0.41	162.14	57.68 49.33 45.15 36.79 85 914
189	3609.07	13852.19	1310.10 TP	979606.27	979832.20	7.60	1.55	178.98	61.55 52.15 47.46 38.06 85 914
190	3608.43	13850.79	1522.30 TP1	979552.19	979831.28	10.02	1.76	191.25	58.04 47.38 42.05 31.40 85 914
191	3608.38	13853.55	1157.00 TP	979632.40	979831.21	6.85	2.24	158.90	55.36 47.08 42.94 34.65 85 914
192	3606.44	13854.54	375.00 SH	979790.38	979828.43	2.95	0.59	78.50	46.52 43.96 42.68 40.13 85 914
193	3606.74	13852.83	444.00 SH	979775.97	979828.86	3.90	1.08	94.19	48.11 45.16 43.69 40.75 85 914
194	3606.60	13851.90	508.00 C	979762.26	979828.66	3.65	1.01	91.17	47.06 43.53 41.77 38.24 85 914
195	3606.86	13851.00	577.00 C	979753.31	979828.03	3.68	0.81	103.13	51.88 47.77 45.72 41.62 85 914
196	3607.60	13850.35	926.00 C	979688.18	979830.09	2.80	0.82	144.56	54.82 47.64 44.05 36.87 85 914
197	3607.02	13850.47	685.00 C	979734.19	979829.26	3.48	0.85	117.08	54.06 49.02 46.50 41.46 85 914
198	3606.32	13853.25	527.00 SH	979762.44	979828.26	1.50	0.21	97.62	46.11 41.99 39.93 35.81 85 914
199	3605.72	13852.82	376.00 SH	979784.34	979827.40	3.22	0.84	73.80	42.37 39.86 38.60 36.09 85 914
200	3605.36	13851.84	458.00 SH	979765.88	979826.88	2.66	0.45	81.15	39.75 36.44 34.78 31.47 85 914

Table 1 continued (4)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA	TI	FREE-AIR	BOUGUER - ANOMALIES	Y	M	D
						(1.00)	(1.00)	(2.50)	(2.70)	(3.00)		
201	3605.28	13849.93	437.00 C	979766.77	979826.77	3.94	0.72	75.68	39.67	36.79	35.35	32.47 85 914
202	3605.11	13850.56	420.00 C	979765.89	979826.52	4.31	0.83	69.80	36.50	33.84	32.51	29.84 85 914
203	3604.53	13849.69	500.00 C	979743.23	979825.69	4.19	1.20	72.64	30.68	27.32	25.64	22.28 85 915
204	3603.96	13850.05	598.00 SH	979722.57	979824.87	3.42	0.87	83.03	28.91	24.59	22.42	18.09 85 915
205	3603.32	13851.71	642.00 SH	979713.05	979823.96	3.29	0.60	87.99	26.71	21.81	19.36	14.45 85 915
206	3603.01	13852.14	476.00 SH	979742.39	979823.51	3.76	0.59	66.58	26.05	22.81	21.18	17.94 85 915
207	3602.70	13853.28	423.00 SH	979753.10	979823.07	2.98	0.36	61.39	24.44	21.49	20.01	17.05 85 915
208	3602.13	13854.69	375.00 C	979759.49	979822.25	3.09	0.48	53.79	22.15	19.62	18.35	15.82 85 915
209	3605.48	13849.11	445.00 C	979738.78	979827.05	4.24	0.76	73.57	37.49	34.60	33.16	30.27 85 915
210	3607.35	13848.27	900.00 C	979684.50	979829.74	4.03	1.39	133.23	49.26	42.54	39.18	32.47 85 915
211	3607.00	13848.23	965.00 C	979672.69	979829.23	2.36	0.73	141.97	47.07	39.48	35.69	28.09 85 915
212	3606.73	13848.52	947.00 C	979676.19	979828.85	3.29	0.30	140.31	46.24	38.72	34.96	27.43 85 915
213	3606.17	13848.63	698.00 C	979719.80	979828.04	3.95	1.31	107.92	43.07	37.88	35.29	30.10 85 915
214	3605.60	13848.16	515.00 C	979744.14	979827.22	5.07	1.76	76.64	35.30	32.00	30.34	27.04 85 915
215	3606.56	13847.70	651.00 C	979725.35	979828.60	4.36	1.32	98.43	41.14	36.55	34.26	29.68 85 915
216	3604.63	13848.01	480.00 SH	979746.80	979825.83	3.02	0.14	69.90	27.10	23.68	21.97	18.55 85 915
217	3604.08	13848.42	503.00 SH	979737.29	979825.04	3.92	0.48	68.28	25.32	21.89	20.17	16.73 85 915
218	3603.48	13847.99	565.00 C	979716.94	979824.18	5.03	1.10	67.91	21.26	17.53	15.66	11.93 85 915
219	3602.88	13848.79	735.00 C	979685.72	979823.32	4.53	1.21	89.98	24.38	19.13	16.50	11.26 85 915
220	3602.68	13847.00	1050.00 C	979619.56	979823.04	2.82	0.60	121.24	18.70	10.50	6.40	-1.80 85 915
221	3603.23	13847.07	850.00 C	979663.81	979823.83	2.99	0.99	103.03	21.64	15.13	11.87	5.36 85 915
222	3604.82	13847.23	498.00 C	979742.95	979826.11	3.06	0.12	71.33	26.75	23.18	21.40	17.83 85 915
223	3605.63	13846.45	596.00 C	979725.22	979827.27	4.89	1.83	82.66	32.44	28.42	26.41	22.39 85 915
224	3606.36	13846.04	777.00 C	979696.24	979828.31	2.89	0.90	108.46	34.39	28.46	25.50	19.57 85 915
225	3604.86	13845.35	560.00 C	979726.04	979826.16	2.82	0.18	73.49	21.84	17.70	15.64	11.50 85 916
226	3604.01	13845.28	630.00 C	979701.80	979824.94	4.38	1.10	72.06	17.01	12.61	10.41	6.00 85 916
227	3602.83	13844.77	889.00 C	979641.04	979823.25	4.55	1.53	92.86	11.31	4.78	1.52	-5.00 85 916
228	3605.49	13844.36	645.00 SH	979707.24	979827.07	2.93	0.82	80.00	19.77	14.96	12.55	7.73 85 916
229	3605.98	13844.58	761.00 SH	979690.18	979827.77	2.61	0.69	98.01	24.92	19.07	16.14	10.30 85 916
230	3605.18	13843.18	610.00 SH	979707.76	979826.62	3.53	1.03	70.16	15.07	10.66	8.46	4.05 85 916
231	3606.52	13843.46	727.00 SH	979695.80	979828.54	2.97	0.87	92.37	23.70	18.20	15.46	9.96 85 916
232	3606.95	13843.29	859.00 SH	979674.73	979829.16	2.71	1.25	111.39	28.36	21.72	18.40	11.76 85 916
233	3607.24	13844.85	978.00 SH	979659.16	979829.58	2.11	0.78	132.10	35.22	27.47	23.59	15.84 85 916
234	3608.06	13844.73	738.00 SH	979711.68	979830.75	2.61	1.05	109.43	38.72	33.07	30.24	24.58 85 916
235	3608.90	13843.99	436.00 SH	979767.74	979831.96	3.56	0.64	71.14	34.30	31.35	29.88	26.93 85 916
236	3609.52	13844.65	437.00 SH	979771.68	979832.85	3.31	0.71	74.51	36.93	33.92	32.42	29.41 85 916
237	3609.85	13843.86	337.00 SH	979791.20	979833.32	3.03	0.22	62.70	34.90	32.67	31.56	29.34 85 916
238	3610.85	13844.93	304.00 SH	979802.37	979834.76	3.25	0.62	62.26	38.46	36.56	35.61	33.70 85 916
239	3611.98	13846.20	278.00 SH	979814.40	979836.38	1.97	0.22	64.65	40.37	38.43	37.45	35.51 85 916
240	3611.20	13846.44	307.00 SH	979810.23	979835.26	2.70	0.40	70.55	45.05	43.01	41.99	39.95 85 916
241	3610.50	13846.53	382.00 SH	979788.72	979834.26	3.82	1.12	73.17	42.64	40.19	38.97	36.53 85 916
242	3609.95	13847.61	597.00 C	979748.98	979833.47	3.26	0.96	100.53	46.13	41.78	39.60	35.25 85 916
243	3609.44	13847.04	630.00 C	979741.10	979832.73	3.38	1.05	103.56	46.01	41.41	39.10	34.80 85 916
244	3609.12	13846.34	690.00 C	979725.72	979832.27	3.54	1.39	107.15	43.77	38.70	36.16	31.09 85 916
245	3614.00	13845.59	309.70 BM	979796.87	979839.28	1.68	0.15	53.99	25.66	23.40	22.26	20.00 85 916
246	3611.49	13847.68	345.00 SH	979803.55	979835.68	2.62	0.74	75.17	45.50	43.13	41.94	39.57 85 917
247	3610.83	13848.57	556.00 SH	979767.20	979834.73	2.64	0.67	104.84	53.17	49.04	46.97	42.84 85 917
248	3611.88	13848.20	321.00 SH	979812.13	979836.24	3.05	1.13	75.79	49.70	47.61	46.57	44.88 85 917
249	3612.46	13847.82	241.70 BM	979824.77	979837.07	1.67	0.08	63.13	41.90	40.21	39.36	37.66 85 917
250	3612.60	13848.95	270.00 SH	979821.72	979837.27	1.71	0.21	68.61	44.51	42.58	41.62	39.69 85 917

Table I continued (5)

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)

Table 1 continued (6)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	MOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGER - (2.70)	ANOMALIES (3.00)	Y M D
251	3612.30	13850.32	371.00 C	979805.77	979836.84	1.66	0.36	84.25	46.66	45.27	42.49 85 917
252	3612.97	13850.43	276.00 SH	979821.98	979837.80	1.54	0.35	70.19	45.04	42.02	40.00 85 917
253	3611.89	13850.66	478.00 SH	979781.87	979836.25	1.65	0.28	95.79	49.14	45.41	38.89 85 917
254	3613.34	13851.19	241.00 SH	979828.57	979838.33	1.08	0.68	65.45	42.82	41.01	40.10 38.29 85 917
255	3613.79	13852.22	215.00 SH	979830.57	979838.98	0.78	0.02	58.78	38.13	36.48	34.00 85 917
256	3613.05	13852.01	249.00 C	979830.15	979837.92	1.35	0.22	69.91	47.13	45.30	44.39 42.57 85 917
257	3612.25	13854.53	248.00 C	979832.88	979836.77	2.25	0.38	73.48	53.05	51.42	50.60 48.97 85 917
258	3611.61	13853.22	321.00 SH	979815.46	979835.85	2.14	0.22	79.51	51.13	48.86	47.73 45.46 85 917
259	3611.53	13851.90	468.00 SH	979784.43	979835.73	2.13	0.65	93.93	50.65	46.65	44.90 41.40 85 917
260	3610.88	13853.43	489.00 SH	979780.59	979834.80	1.94	0.36	97.49	51.05	47.34	45.48 41.76 85 917
261	3610.83	13852.76	383.00 SH	979797.63	979834.73	2.64	0.29	81.92	48.31	45.63	44.28 41.59 85 917
262	3610.58	13851.68	500.00 SH	979773.15	979834.37	3.02	0.54	93.88	49.01	45.42	43.63 40.04 85 917
263	3610.07	13850.71	722.00 SH	979731.20	979833.64	3.56	0.84	121.13	54.45	49.11	46.44 41.11 85 917
264	3613.33	13855.44	205.00 SH	979837.09	979838.32	0.77	0.01	62.89	43.25	41.68	40.90 39.33 85 917
265	3614.35	13851.18	189.80 BM	979832.35	979839.78	0.79	0.02	51.99	34.01	32.57	31.85 30.42 85 917
266	3614.25	13850.06	204.40 BM	979827.65	979839.64	0.83	0.01	51.93	32.51	30.96	30.18 28.63 85 917
267	3604.11	13842.40	649.00 C	979690.55	979835.09	3.59	0.43	65.53	7.54	2.82	0.46 -4.26 85 918
268	3602.62	13842.40	760.00 SH	979656.54	979824.95	5.57	1.34	68.87	3.26	-4.61	-9.86 85 918
269	3601.58	13842.93	876.00 SH	979627.91	979821.46	6.12	2.04	77.52	1.24	-4.87	-7.92 -14.02 85 918
270	3601.26	13844.01	998.00 C	979607.37	979821.00	4.25	1.31	95.05	1.46	-6.03	-9.77 -17.26 85 918
271	3603.39	13842.40	700.00 SH	979677.23	979824.06	4.29	1.00	69.96	7.40	2.39	-0.11 -5.11 85 918
272	3602.92	13840.10	975.00 SH	979615.21	979823.38	4.30	1.42	93.42	-4.94	-8.58	-15.87 85 918
273	3602.08	13840.01	1100.00 C	979582.51	979823.18	3.60	1.13	100.47	-5.30	-13.76	-17.99 -26.45 85 918
274	3603.79	13840.76	878.00 SH	979642.05	979824.63	3.54	0.97	89.10	6.16	-0.47	-3.79 -10.43 85 918
275	3603.92	13839.89	1048.00 SH	979607.89	979824.92	3.51	1.35	107.17	6.55	-1.50	-5.52 -13.57 85 918
276	3604.00	13839.09	1086.00 SH	979562.43	979824.93	2.64	1.15	131.29	5.17	-4.91	-9.96 -20.05 85 918
277	3603.92	13837.72	1225.00 SH	979571.28	979824.82	1.74	0.30	125.15	1.82	-8.04	-12.98 -22.84 85 918
278	3604.15	13836.95	1183.00 SH	979579.01	979825.15	1.63	0.26	119.59	0.32	-9.22	-13.99 -23.53 85 918
279	3605.10	13836.01	1314.00 SH	979552.31	979826.51	2.31	0.79	131.92	0.84	-9.64	-14.88 -25.37 85 918
280	3603.28	13836.40	1255.00 C	979557.04	979823.90	1.88	0.35	121.07	-5.00	-15.09	-20.13 -30.22 85 918
281	3603.79	13835.59	1086.00 SH	979591.48	979824.93	2.64	0.27	102.67	-5.05	-13.67	-17.98 -26.59 85 918
282	3603.92	13841.68	714.00 SH	979671.76	979824.64	5.12	1.79	68.22	6.29	1.33	-1.14 -6.10 85 918
283	3613.61	13844.65	320.00 SH	979793.02	979838.72	1.76	0.14	53.88	24.58	22.34	21.18 18.84 86 913
284	3613.95	13843.71	330.00 SH	979786.03	979839.21	2.11	0.24	49.49	20.10	17.75	16.58 14.23 86 913
285	3613.21	13842.50	498.00 C	979751.46	979838.15	2.88	1.04	67.80	22.78	19.18	17.38 13.78 86 913
286	3616.10	13839.36	580.00 SH	979723.75	979842.30	2.39	0.65	61.23	6.42	2.03	-0.16 -4.54 86 913
287	3616.04	13838.09	677.00 SH	979700.19	979842.21	3.05	0.88	67.67	4.41	-0.65	-3.18 -8.24 86 913
288	3616.41	13839.04	608.00 SH	979761.59	979842.74	2.15	0.21	82.26	3.94	-0.73	-3.06 -7.73 86 913
289	3617.59	13840.19	830.00 SH	979671.02	979844.44	1.45	0.47	63.46	0.29	-6.37	-9.69 -16.35 86 913
290	3617.92	13840.51	832.00 SH	979670.10	979844.92	1.32	0.44	62.68	-1.02	-7.72	-11.07 -17.76 86 913
291	3617.92	13838.19	941.10 TPU	979647.91	979844.92	0.68	0.17	94.13	-2.50	-10.23	-14.10 -21.83 86 913
292	3616.88	13838.15	1207.20 TP	979581.18	979843.82	7.40	3.21	110.95	3.62	-4.97	-9.26 -17.84 86 913
293	3618.28	13838.08	937.00 C	979643.45	979845.83	0.46	0.00	87.89	-8.86	-16.60	-20.47 -28.21 86 913
294	3618.98	13838.04	932.00 C	979643.64	979846.44	0.45	0.00	85.53	-10.73	-18.44	-22.29 -29.99 86 913
295	3619.79	13838.08	937.00 SH	979644.44	979847.60	0.48	0.00	86.71	-10.00	-17.74	-21.61 -29.34 86 913
296	3619.37	13838.30	934.00 SH	979644.68	979847.00	0.49	0.00	86.63	-9.73	-17.44	-21.30 -29.00 86 913
297	3618.65	13839.44	973.00 SH	979642.33	979845.96	1.18	0.18	97.34	-1.33	-9.22	-13.17 -21.06 86 913
298	3619.27	13840.10	717.00 SH	979652.27	979846.86	1.26	0.10	67.45	-4.45	-10.21	-13.08 -18.83 86 913
299	3619.45	13841.53	510.00 SH	979743.79	979847.12	1.81	0.17	54.86	4.90	1.99	0.03 -3.89 86 913
300	3618.82	13841.59	493.00 SH	979743.99	979846.21	2.42	0.39	50.73	5.08	1.43	-0.40 -4.05 86 913

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.70)	(3.00) Y M D
301	3613.72	13856.25	257.40 TP	979819.10	979838.88	0.97	0.38	60.50	35.87	33.90
302	3614.31	13856.48	166.00 SH	979834.11	979839.73	0.50	0.01	46.46	30.26	28.97
303	3614.35	13859.81	185.00 SH	979831.65	979839.78	0.38	0.03	43.64	27.25	25.93
304	3613.64	13859.85	161.00 SH	979834.24	979838.76	0.53	0.03	46.01	30.40	29.15
305	3613.04	13859.21	490.50 TP	979765.76	979837.90	4.54	2.19	80.03	39.93	36.12
306	3613.56	13858.14	177.00 SH	979835.61	979838.65	0.68	0.02	52.44	35.52	34.17
307	3612.94	13856.23	257.00 C	979830.59	979837.76	1.22	0.34	72.98	49.01	47.09
308	3616.05	13841.94	487.00 C	979746.82	979842.23	2.91	1.14	55.68	11.88	8.37
309	3616.51	13841.02	915.00 C	979646.48	979842.89	2.92	1.10	86.68	-1.63	-8.70
310	3618.21	13844.33	430.00 SH	979755.90	979845.33	3.36	0.77	44.08	7.36	4.42
311	3617.81	13843.84	492.00 SH	979745.38	979844.76	2.57	0.46	53.26	8.09	4.48
312	3616.88	13842.55	716.00 C	979704.53	979843.42	1.36	0.43	82.83	11.28	5.56
313	3617.50	13837.37	961.00 SH	979643.85	979844.31	0.64	0.10	96.82	-1.98	-9.88
314	3616.81	13836.82	1097.00 SH	979618.30	979843.32	1.04	0.07	114.19	-2.34	-6.60
315	3616.97	13835.86	1205.60 TP	979589.89	979843.55	1.80	0.39	119.03	-2.13	-11.82
316	3617.52	13835.88	1145.40 TP	979599.70	979844.34	2.21	0.93	109.49	-4.44	-13.55
317	3617.63	13834.38	1071.70 TP	979614.57	979844.50	1.51	0.67	101.48	-6.59	-15.24
318	3617.43	13833.79	1024.00 SH	979618.37	979844.21	0.94	0.28	90.86	-13.69	-22.05
319	3617.83	13833.54	1136.50 TP	979589.51	979844.79	3.12	1.16	96.12	-14.61	-23.47
320	3617.81	13832.54	834.00 SH	979666.42	979844.76	0.82	0.04	73.61	-9.46	-16.11
321	3616.81	13831.61	1155.50 TPU	979581.57	979843.32	4.81	1.89	95.50	-12.98	-21.66
322	3614.12	13841.71	390.00 SH	979770.58	979839.45	3.28	0.87	52.30	19.56	16.95
323	3613.33	13839.60	534.00 C	979739.13	979838.32	3.56	0.60	66.40	19.32	15.56
324	3614.12	13840.45	456.00 SH	979759.16	979839.45	2.15	0.14	61.24	18.77	15.37
325	3613.52	13838.26	678.00 SH	979703.64	979838.59	3.93	1.13	75.05	13.89	9.00
326	3613.83	13836.98	1080.00 SH	979621.56	979839.04	1.35	0.33	116.49	7.17	-1.58
327	3614.19	13836.48	1243.00 SH	979584.52	979839.55	1.90	0.20	129.19	4.41	-5.58
328	3614.65	13836.45	1375.40 TP	979552.96	979840.22	4.39	1.03	137.80	5.61	-4.96
329	3614.08	13834.86	900.00 SH	979651.90	979839.40	1.16	0.33	90.96	-0.19	-7.48
330	3614.65	13835.20	1086.00 SH	979614.15	979840.22	0.99	0.18	109.76	-1.08	-9.95
331	3615.95	13835.99	1086.00 SH	979623.75	979842.08	0.96	0.19	117.49	6.57	-2.31
332	3616.08	13835.43	1023.00 SH	979634.67	979842.27	0.89	0.13	108.79	4.20	-4.17
333	3615.51	13834.00	969.50 TP	979633.27	979841.45	1.06	0.47	91.71	-6.90	-14.79
334	3615.35	13830.33	707.70 TP	979672.46	979841.22	0.47	0.00	50.80	-22.50	-28.34
335	3614.87	13830.48	692.00 C	979672.89	979840.53	0.53	0.01	46.68	-24.44	-30.13
336	3614.90	13831.34	715.00 C	979673.29	979840.58	0.62	0.01	54.13	-19.16	-25.03
337	3611.57	13859.76	212.00 SH	979836.20	979835.79	1.70	0.31	66.68	48.64	47.19
338	3610.38	13859.56	595.00 SH	979761.97	979834.61	1.60	0.33	112.29	53.95	49.28
339	3610.29	13858.15	686.00 C	979737.12	979833.95	2.44	0.66	115.64	49.92	44.66
340	3611.05	13857.01	289.00 SH	979819.05	979835.05	2.04	0.29	74.03	48.77	46.74
341	3610.51	13856.23	325.00 SH	979810.54	979834.27	2.39	0.33	77.39	49.23	46.98
342	3609.69	13856.01	507.00 C	979770.35	979833.09	2.84	0.77	94.52	48.46	44.77
343	3610.75	13855.62	353.00 SH	979805.93	979834.61	2.74	0.48	81.08	50.85	48.44
344	3610.14	13854.62	477.00 SH	979777.56	979833.74	2.81	0.65	91.83	48.83	45.39
345	3609.61	13853.44	590.00 C	979754.35	979832.98	2.81	0.77	104.23	49.43	45.04
346	3609.96	13852.25	773.00 C	979722.38	979833.48	1.86	0.14	128.19	51.98	45.89
347	3613.91	13854.62	180.00 C	979834.85	979839.15	0.63	0.01	52.10	34.75	33.37
348	3613.94	13853.94	180.00 C	979834.89	979839.20	0.68	0.00	52.09	34.86	33.48
349	3612.38	13837.64	1040.00 SH	979629.13	979836.96	1.83	0.61	113.81	9.81	1.49
350	3612.05	13838.42	1422.50 TP	979538.73	979836.48	7.87	2.35	141.81	13.47	3.21

Table 1 continued (7)

関東山地北部における重力異常 (駒澤ほか)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	MOR-G	TA	TI	FREE-AIR	(2.50)	BOUGUER - ANOMALIES					
										(2.70)	(3.00)	Y	M	D	
351	3611.70	13833.41	1235.10	TP	979575.91	979835.98	2.97	0.73	121.72	0.44	-9.26	-14.11	-23.81	86	918
352	3612.09	13831.39	1018.00	TP	979613.11	979835.34	1.97	0.68	91.43	-9.54	-18.05	-22.10	-30.21	86	918
353	3611.14	13834.80	990.00	SH	979636.37	979835.17	1.41	0.53	107.41	7.54	-0.45	-4.45	-12.44	86	918
354	3611.06	13835.43	1015.00	SH	979634.87	979835.26	1.12	0.38	113.74	10.80	2.56	-1.56	-9.79	86	918
355	3611.18	13836.48	1104.00	SH	979619.19	979835.23	1.21	0.16	135.33	12.95	3.96	-0.53	-9.52	86	918
356	3611.03	13837.00	907.00	SH	979662.97	979835.02	1.66	0.28	108.58	17.95	10.69	7.07	-0.18	86	918
357	3610.49	13837.04	768.00	SH	979691.87	979834.24	2.04	0.23	95.39	20.15	14.13	11.12	5.10	86	918
358	3609.07	13837.05	695.00	C	979693.83	979832.20	2.78	0.43	76.87	11.06	5.79	3.16	-2.10	86	918
359	3609.32	13837.98	552.00	SH	979729.89	979832.56	4.23	0.95	68.47	21.20	17.42	15.52	11.74	86	918
360	3605.99	13842.40	680.00	SH	979696.87	979827.78	3.53	1.09	79.71	17.34	12.35	9.86	4.87	86	919
361	3606.93	13841.62	790.00	SH	979680.80	979829.13	3.46	1.21	96.21	22.22	16.30	13.34	7.43	86	919
362	3606.25	13840.44	953.00	SH	979641.66	979828.16	2.01	0.34	108.31	13.79	6.22	2.44	-5.12	86	919
363	3606.26	13839.50	1068.00	SH	979615.85	979828.17	3.19	1.25	117.54	14.05	5.77	1.63	-6.65	86	919
364	3605.65	13839.42	1470.70	TP	979526.56	979827.30	4.47	1.11	153.69	11.92	0.58	-5.09	-16.44	86	919
365	3606.20	13839.02	1351.00	SH	979558.72	979828.09	2.14	0.38	148.16	12.86	2.04	-3.37	-14.20	86	919
366	3606.62	13837.99	1165.00	C	979594.91	979828.69	2.09	0.61	126.40	10.14	0.84	-3.81	-13.11	86	919
367	3606.86	13837.04	1037.00	SH	979618.11	979829.03	2.33	0.60	109.79	7.36	-0.83	-4.93	-13.12	86	919
368	3609.38	13835.43	1265.00	SH	979577.77	979832.55	2.48	0.48	137.36	11.56	1.28	-3.76	-17.84	86	919
369	3609.45	13834.26	1058.00	SH	979616.24	979832.75	1.45	0.50	110.68	3.87	-4.68	-8.95	-17.49	86	919
370	3609.60	13833.44	968.00	SH	979631.06	979832.96	1.10	0.17	97.53	-0.83	-8.70	-12.63	-20.50	86	919
371	3609.73	13832.81	922.00	SH	979639.79	979833.15	0.97	0.15	91.89	-2.03	-9.54	-13.30	-20.81	86	919
372	3609.39	13831.69	860.00	SH	979648.73	979832.66	1.07	0.27	82.19	-5.04	-12.02	-15.51	-22.49	86	919
373	3608.59	13830.35	794.00	SH	979657.95	979831.51	1.06	0.09	72.21	-8.18	-14.62	-17.83	-24.26	86	921
374	3607.16	13831.74	1048.00	SH	979603.29	979829.46	1.57	0.29	97.93	-7.52	-15.96	-20.18	-28.61	86	919
375	3607.31	13831.31	926.00	SH	979628.47	979830.28	1.29	0.17	84.67	-8.87	-16.35	-20.10	-27.58	86	919
376	3608.42	13831.87	811.00	SH	979654.47	979831.27	1.51	0.21	74.22	-6.82	-13.30	-16.54	-23.03	86	921
377	3602.96	13837.89	1310.00	SH	979548.50	979823.44	2.39	0.61	129.35	-0.51	-10.94	-16.16	-26.60	86	921
378	3603.42	13834.86	1072.00	SH	979590.83	979824.10	2.39	0.65	98.23	-7.66	-16.14	-20.37	-28.84	86	921
379	3601.85	13836.59	1112.10	TFU	979355.00	979821.85	12.95	2.45	185.29	-0.79	-15.67	-23.12	-38.00	86	921
380	3602.60	13835.32	1275.00	C	979550.72	979822.92	1.82	0.24	121.89	-6.37	-16.64	-21.77	-32.03	86	921
381	3608.00	13834.06	892.00	SH	979642.65	979830.67	2.08	0.34	87.98	-0.05	-7.09	-10.61	-17.65	86	921
382	3607.45	13835.24	940.00	C	979634.75	979829.88	2.78	0.76	95.67	4.41	-2.89	-6.54	-13.84	86	921
383	3604.84	13831.59	1083.00	SH	979585.49	979826.13	0.96	0.28	94.25	-16.35	-25.20	-29.62	-38.47	86	922
384	3605.19	13831.75	1120.00	SH	979580.26	979826.64	1.16	0.44	99.93	-14.00	-23.12	-27.67	-36.79	86	922
385	3605.48	13832.38	1166.00	SH	979576.18	979827.05	1.01	0.07	109.62	-9.44	-18.97	-23.73	-33.26	86	922
386	3605.78	13833.04	1282.00	SH	979556.00	979827.48	1.51	0.21	124.77	-4.99	-15.37	-20.56	-30.94	86	922
387	3605.20	13833.86	1238.00	SH	979626.19	979826.65	1.96	0.45	118.22	-5.90	-15.83	-20.80	-30.73	86	922
388	3604.39	13831.22	974.00	SH	979605.15	979825.49	1.00	0.10	80.98	-18.24	-26.18	-30.15	-38.08	86	922
389	3603.99	13830.61	1009.00	SH	979594.55	979824.92	0.94	0.20	81.71	-21.30	-29.54	-33.66	-41.90	86	922
390	3603.67	13831.69	1022.00	SH	979593.81	979824.46	0.96	0.23	85.44	-18.87	-27.21	-31.38	-39.73	86	922
391	3603.90	13832.40	1032.00	SH	979594.37	979824.79	1.12	0.11	88.75	-16.19	-24.59	-28.78	-37.18	86	922
392	3603.43	13833.95	1098.50	TP	979583.34	979824.11	1.78	0.50	98.90	-11.25	-20.06	-24.47	-33.28	86	922
393	3603.36	13833.07	968.00	SH	979607.04	979824.01	1.85	0.22	82.46	-14.02	-21.74	-25.59	-33.31	86	922
394	3603.49	13832.15	959.00	SH	979606.97	979824.20	1.41	0.26	79.43	-17.23	-24.97	-28.83	-36.57	86	922
395	3603.11	13831.88	1178.50	TP	979558.57	979823.65	3.61	2.08	99.43	-14.61	-23.72	-28.27	-37.38	86	922
396	3602.79	13830.74	1025.00	C	979587.38	979823.20	1.00	0.22	81.49	-23.30	-31.66	-35.84	-44.20	86	922
397	3601.66	13830.87	1111.00	SH	979573.52	979821.58	1.19	0.31	95.48	-17.44	-26.48	-30.99	-40.03	86	922
398	3601.04	13832.87	1142.00	SH	979566.30	979820.69	1.60	0.22	98.70	-16.40	-25.61	-30.21	-38.42	86	922
399	3600.18	13834.33	1285.00	SH	979538.99	979819.45	1.43	0.14	116.71	-13.57	-23.99	-29.20	-39.62	86	922
400	3600.15	13835.70	1229.00	SH	979550.61	979819.41	2.60	0.76	111.11	-10.49	-20.21	-25.08	-34.81	86	922

Table 1 continued (8)

地質調查所報告 (第280号)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.80)	Y M D			
401	3600.15	13836.35	1253.00 SH	979548.72	979819.41	2.06	0.26	116.62	-8.79	(2.70)	(2.80)	(3.00)	Y M D
402	3600.64	13835.87	1290.00 SH	979543.61	979820.11	1.90	0.37	122.22	-7.42	17.79	22.97	33.34	86 922
403	3601.21	13835.37	1220.00 SH	979556.57	979820.93	3.24	0.99	112.78	-6.48	15.80	20.56	30.10	86 922
404	3601.32	13834.26	1082.00 SH	979580.89	979821.09	2.29	0.43	94.39	-12.81	21.38	25.67	34.24	86 922
405	3601.68	13834.17	1209.00 SH	979556.61	979821.60	1.50	0.33	108.75	-13.51	23.29	28.18	37.96	86 922
406	3602.44	13832.36	974.00 SH	979603.41	979822.69	1.43	0.15	82.00	-16.16	24.01	27.94	35.79	86 922
407	3602.75	13831.88	938.00 SH	979608.87	979823.14	1.56	0.22	75.72	-18.38	25.91	29.67	37.20	86 922
408	3601.32	13848.99	950.00 C	979634.81	979821.09	3.99	0.82	107.60	18.32	11.18	7.61	0.46	86 923
409	3600.53	13848.25	815.00 C	979650.28	979819.96	5.03	1.64	82.57	9.90	4.09	1.18	-4.63	86 923
410	3600.94	13847.12	980.00 C	979622.22	979820.54	3.50	0.82	104.81	11.21	3.72	-0.02	-7.51	86 923
411	3601.22	13850.66	1723.50 TP	979458.50	979820.95	13.41	2.76	169.92	24.59	12.96	7.15	-4.48	86 923
412	3610.97	13844.02	355.00 SH	979789.12	979834.93	3.03	0.68	64.57	34.86	32.48	31.29	28.92	86 924
413	3611.78	13843.10	470.00 C	979758.64	979836.09	2.44	0.42	68.39	25.18	21.72	20.00	16.54	86 924
414	3611.85	13842.41	608.00 C	979732.99	979836.19	1.74	0.22	85.21	25.85	21.10	18.73	13.98	86 924
415	3610.99	13842.40	579.00 C	979732.58	979834.82	3.14	1.69	77.23	24.41	20.18	18.07	13.85	86 924
416	3608.23	13841.74	548.00 SH	979738.51	979831.00	4.65	1.55	77.43	31.61	27.94	26.11	22.44	86 924
417	3608.29	13842.20	474.00 SH	979753.99	979831.08	4.10	0.53	69.99	24.12	20.69	18.98	15.55	86 924
418	3608.88	13842.79	396.00 SH	979774.02	979831.93	3.63	0.61	65.12	32.63	20.30	28.73	26.13	86 924
419	3607.37	13843.92	1192.00 TP	979605.21	979829.76	6.21	2.31	143.95	35.21	26.52	22.17	13.47	86 924
420	3608.07	13848.37	1452.00 C	979584.43	979830.77	7.59	2.14	182.32	50.25	39.69	34.41	23.84	86 924
421	3609.53	13838.71	499.00 SH	979745.05	979832.86	3.79	0.49	66.98	24.12	20.69	18.98	15.55	86 924
422	3609.50	13839.37	482.00 SH	979752.66	979832.82	3.58	0.64	69.39	27.79	24.47	22.80	19.48	86 924
423	3610.49	13838.60	677.00 C	979710.10	979834.24	2.61	0.60	85.55	21.20	16.05	13.47	8.32	86 924
424	3610.70	13839.64	614.00 C	979722.00	979834.54	3.49	0.69	77.72	22.13	17.68	15.46	11.01	86 924
425	3610.17	13839.40	524.00 SH	979742.31	979833.78	3.64	0.74	71.84	25.19	21.52	19.69	16.02	86 924
426	3610.72	13841.55	578.00 C	979730.26	979834.57	2.52	0.53	74.85	20.58	16.24	14.07	9.72	86 925
427	3610.07	13841.25	549.00 C	979743.80	979833.64	2.18	0.33	80.38	28.28	24.11	22.03	17.86	86 925
428	3609.76	13841.83	432.00 SH	979765.53	979833.19	3.35	0.86	66.46	29.50	26.54	25.06	22.11	86 925
429	3609.33	13840.33	439.00 SH	979764.28	979832.58	3.75	0.64	67.99	31.32	28.38	26.92	23.98	86 925
430	3609.25	13841.13	409.00 SH	979769.03	979832.46	3.97	0.64	63.60	30.61	27.97	26.65	24.01	86 925
431	3609.26	13842.03	379.00 SH	979776.92	979832.48	3.42	0.35	62.23	31.00	28.50	27.25	24.75	86 925
432	3609.27	13842.83	366.00 SH	979781.36	979832.49	3.03	0.16	62.64	31.80	29.33	28.09	25.63	86 925
433	3613.56	13830.13	697.00 C	979670.08	979838.65	0.51	0.00	47.29	-24.40	-30.14	-33.01	-38.74	86 925
434	3613.88	13831.05	712.00 C	979672.83	979839.11	0.68	0.05	54.21	-18.63	-24.46	-27.37	-33.20	86 925
435	3613.04	13833.80	792.00 C	979674.85	979837.90	0.98	0.07	82.11	1.71	-4.73	-7.94	-14.37	86 925
436	3612.76	13849.54	854.00 C	979668.82	979811.25	5.28	0.09	95.60	8.90	1.96	-1.51	-8.44	86 925
437	3556.35	13850.29	712.00 SH	979659.22	979813.97	6.08	1.18	65.74	6.89	2.19	-0.17	-4.88	87 910
438	3556.24	13849.55	750.00 SH	979647.26	979813.81	7.14	1.23	65.65	5.02	0.16	-2.26	-7.11	87 910
439	3555.58	13850.30	786.00 SH	979643.20	979812.87	4.92	0.52	73.64	3.71	-1.89	-4.68	-10.28	87 910
440	3555.21	13849.82	874.00 SH	979620.67	979812.34	6.52	1.74	78.78	3.72	-2.28	-5.28	-11.29	87 910
441	3554.45	13849.54	1047.42 L	979589.27	979811.25	5.44	1.25	101.95	5.80	-1.89	-5.73	-13.42	87 910
442	3556.06	13851.23	655.00 SH	979669.71	979813.55	6.00	0.63	59.06	5.47	1.18	-0.96	-5.25	87 910
443	3556.36	13854.51	620.00 SH	979691.96	979813.98	3.20	0.59	70.09	13.14	8.59	6.31	1.75	87 910
444	3556.87	13856.11	405.00 C	979736.03	979814.71	3.77	0.34	47.12	14.03	11.38	10.06	7.41	87 910
445	3557.24	13855.24	425.00 C	979729.30	979814.93	4.27	0.46	46.34	12.41	9.69	8.33	5.62	87 910
446	3557.23	13853.94	485.00 C	979712.04	979815.23	5.44	0.91	47.29	10.14	7.03	5.54	2.56	87 910
447	3557.28	13852.80	491.00 SH	979707.08	979815.30	6.61	1.27	44.10	9.14	6.34	4.94	2.14	87 910
448	3557.55	13851.65	525.00 C	979686.49	979815.69	7.22	1.19	43.62	6.62	3.66	2.18	-0.78	87 910
449	3557.95	13850.58	570.00 C	979683.35	979816.26	8.93	2.51	43.78	6.37	3.37	1.88	-1.12	87 910
450	3558.03	13850.62	574.00 SH	979685.78	979816.38	7.82	1.59	47.33	6.73	3.48	1.86	-1.39	87 910

Table I continued (9)

Table 1 continued (10)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREF-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.70) (2.80) (3.00) Y M D
451	3558.97	13850.31	623.00 SH	979680.13	979817.72	6.91	1.29	55.45	3.61 1.69 2.14 87 910
452	3559.49	13848.22	742.00 SH	979658.52	979818.47	5.93	1.15	69.79	1.93 -0.58 -5.61 87 910
453	3559.46	13847.58	779.00 SH	979648.32	979818.48	5.87	1.47	71.04	-1.12 -3.79 -9.13 87 910
454	3559.43	13847.11	811.00 SH	979642.79	979818.38	5.73	1.43	75.43	4.94 -0.69 -3.79 -9.15 87 910
455	3559.14	13845.46	910.00 SH	979618.56	979817.97	5.48	1.41	82.14	-5.77 -9.03 -15.54 87 910
456	3559.49	13846.03	856.00 SH	979628.53	979818.47	6.71	2.09	74.96	2.24 -3.58 -12.31 87 910
457	3559.48	13849.79	659.00 SH	979674.69	979818.45	7.27	2.05	60.38	5.48 -6.45 -0.62 87 910
458	3556.38	13851.98	636.00 SH	979677.63	979814.01	5.80	1.50	60.67	4.38 2.29 -1.87 87 911
459	3556.33	13853.70	551.00 SH	979696.54	979813.94	5.87	1.05	53.43	6.91 5.19 1.74 87 911
460	3556.24	13852.94	574.00 SH	979689.13	979813.81	6.58	0.92	53.25	9.55 6.05 4.30 0.81 87 911
461	3558.09	13845.87	1142.00 SH	979571.72	979816.46	5.09	1.69	108.35	-1.95 -6.56 -10.81 -19.32 87 911
462	3558.60	13845.72	1011.00 SH	979595.99	979817.19	5.26	1.51	91.49	-8.32 -12.02 -19.41 87 911
463	3557.51	13840.27	1315.00 C	979535.25	979815.63	1.86	0.16	126.05	-6.25 -16.83 -23.13 -32.71 87 911
464	3559.65	13835.19	1545.00 C	979486.40	979818.70	3.20	1.25	145.04	-7.56 -19.77 -25.87 -38.08 87 911
465	3600.52	13839.26	1515.00 C	979502.78	979819.94	2.13	0.50	150.93	-1.26 -13.44 -19.52 -31.70 87 911
466	3600.46	13839.15	1488.00 SH	979507.12	979819.86	1.93	0.30	147.89	-2.89 -14.89 -20.88 -32.88 87 911
467	3559.94	13840.26	1515.00 C	979498.91	979819.11	3.00	1.02	147.89	-2.11 -14.11 -20.11 -32.11 87 911
468	3600.23	13840.26	1558.00 SH	979492.95	979819.53	2.71	0.97	154.77	-0.38 -12.79 -18.99 -31.40 87 911
469	3600.04	13839.60	1440.00 C	979514.17	979819.25	2.67	0.57	139.88	-3.26 -14.71 -20.43 -31.89 87 911
470	3600.18	13839.14	1398.00 SH	979520.14	979819.45	2.43	0.53	132.70	-6.72 -17.87 -23.45 -34.60 87 911
471	3549.80	13913.51	218.00 SH	979791.90	979804.60	1.33	0.42	55.43	35.84 34.27 33.49 31.92 87 912
472	3549.55	13910.11	304.00 SH	979767.93	979804.24	2.66	0.42	58.33	33.06 31.03 30.02 28.00 87 912
473	3550.65	13908.42	400.00 C	979748.76	979805.81	3.66	1.07	67.21	34.37 31.74 30.42 27.80 87 912
474	3551.38	13908.50	620.00 C	979708.32	979806.61	2.49	0.72	93.58	30.14 27.79 23.09 87 912
475	3551.21	13904.51	695.00 C	979677.58	979806.61	7.08	2.68	86.21	31.15 26.75 24.55 20.14 87 912
476	3550.70	13902.44	600.00 C	979691.03	979805.88	6.10	1.14	71.09	23.46 19.65 17.75 13.94 87 912
477	3551.44	13902.81	700.00 C	979675.74	979805.94	6.06	1.40	85.59	27.45 22.79 20.47 15.82 87 912
478	3551.91	13902.41	805.00 C	979657.59	979807.62	4.94	0.99	99.14	27.28 21.53 18.66 12.91 87 912
479	3552.44	13901.82	1020.00 C	979616.47	979808.37	3.12	0.39	123.56	24.87 16.98 13.03 5.14 87 912
480	3552.00	13902.38	815.00 C	979655.69	979807.74	4.85	0.80	100.19	27.08 21.23 18.31 12.46 87 912
481	3551.54	13900.85	969.00 SH	979622.96	979807.09	4.65	1.05	115.62	26.03 18.87 15.28 8.11 87 912
482	3551.98	13900.28	1110.00 C	979594.19	979807.72	5.53	2.00	129.70	27.73 19.57 15.50 7.34 87 912
483	3550.74	13859.39	1010.00 C	979611.21	979805.94	3.70	0.29	117.65	21.44 13.74 9.89 2.20 87 912
484	3550.89	13859.79	964.00 SH	979618.29	979806.16	5.12	1.38	110.33	22.43 15.40 11.88 4.85 87 912
485	3550.98	13901.27	687.00 C	979670.76	979806.29	8.12	2.30	77.25	25.63 21.50 19.43 15.30 87 912
486	3554.02	13857.38	1523.10 TP	979497.28	979810.63	9.76	1.96	157.23	23.29 12.57 7.21 3.50 87 913
487	3553.08	13857.21	1776.00 SH	979435.08	979809.29	13.32	2.87	174.33	23.41 11.34 5.30 6.77 87 913
488	3552.54	13857.33	1921.20 TP	979406.49	979808.52	13.67	2.23	191.28	26.41 13.22 6.63 6.56 87 913
489	3551.66	13856.94	1803.00 SH	979440.64	979807.26	8.35	1.84	190.25	24.12 10.83 4.19 9.10 87 913
490	3551.47	13856.80	1833.00 C	979434.73	979806.99	7.67	0.80	193.86	22.98 9.31 2.48 -11.19 87 913
491	3551.15	13856.82	2017.70 TP1	979384.93	979806.53	13.68	2.64	201.44	26.77 12.79 5.80 -8.17 87 914
492	3550.76	13855.81	1810.00 C	979439.77	979805.97	8.22	1.51	192.82	25.67 12.30 5.61 -7.76 87 914
493	3550.97	13854.81	1949.30 TP3	979399.69	979806.27	10.77	1.87	195.38	20.40 6.40 -0.60 -14.60 87 914
494	3550.21	13853.78	2069.10 TP3	979366.13	979805.18	13.24	2.58	199.83	18.84 4.36 -2.88 -17.36 87 914
495	3550.53	13852.77	1850.00 B	979424.55	979805.64	6.65	1.69	190.26	15.09 1.08 -5.93 -19.94 87 914
496	3551.22	13851.99	1746.00 C	979456.86	979806.63	3.19	0.34	189.52	16.34 2.49 -4.44 -18.30 87 914
497	3551.49	13851.61	1872.00 SH	979428.60	979807.01	4.23	0.31	198.72	16.26 1.58 -5.76 -20.44 87 915
498	3551.88	13850.91	2109.20 TP3	979361.58	979807.57	12.37	2.93	205.25	18.00 3.02 -4.47 -19.45 87 915
499	3551.68	13850.02	2005.00 C	979392.59	979807.29	7.19	0.70	204.43	14.82 -0.35 -4.74 -23.11 87 915
500	3551.99	13848.53	2004.00 SH	979389.57	979807.73	7.55	1.41	200.66	12.07 -3.01 -10.56 -25.64 87 915

Table I continued (11)

NO.	LAT.	LONG.	HEIGHT	ABS-G	NOR-G	TA (1.00)	TI (1.00)	FREE-AIR (2.50)	BOUGUER - ANOMALIES (2.70) (2.80) (3.00) Y M D
501	3552.11	13848.15	2044.00 SH	979377.34	979807.90	8.61	1.96	200.59	4.63 -12.23 -27.43 87 915
502	3552.32	13847.71	2112.10 TP3	979360.85	979808.20	9.87	1.77	204.78	-4.51 -12.26 -27.77 87 915
503	3552.73	13847.78	2158.00 SH	979349.70	979808.79	11.18	2.29	207.20	-3.60 -11.41 -27.02 87 915
504	3553.35	13847.81	1952.00 C	979403.59	979809.68	5.56	0.87	196.70	-6.64 -14.17 -29.24 87 915
505	3553.72	13847.43	1945.00 B	979400.49	979810.20	6.61	2.27	190.92	-8.83 -16.23 -31.02 87 916
506	3554.39	13847.79	1975.00 C	979390.03	979811.16	8.19	0.93	188.75	-10.02 -17.38 -32.10 87 916
507	3555.12	13848.72	1643.00 C	979468.76	979812.21	6.98	1.16	164.10	-1.33 -7.46 -19.71 87 916
508	3555.52	13849.17	1360.00 B	979531.84	979812.78	5.02	1.18	139.36	-5.15 -15.48 87 916
509	3555.58	13849.30	1290.00 C	979546.16	979812.87	4.18	0.80	132.02	-1.82 -6.77 -16.69 87 916
510	3600.53	13848.25	815.00 C	979650.14	979819.96	5.03	1.64	82.44	1.05 -4.77 87 917
511	3601.32	13848.99	950.00 C	979634.71	979821.09	3.99	0.82	107.50	11.08 7.51 0.37 87 917
512	3603.96	13850.05	598.00 SH	979722.46	979824.87	3.42	0.87	82.92	22.31 17.98 87 917
513	3603.34	13850.90	770.00 C	979687.27	979823.98	1.84	0.34	101.66	16.57 10.50 87 917
514	3554.11	13858.57	699.00 SH	979670.70	979810.76	6.62	1.30	76.42	10.47 87 917
515	3554.42	13858.91	600.00 C	979691.72	979811.21	6.41	0.68	66.46	13.99 10.24 87 917
516	3555.26	13858.21	508.00 SH	979712.14	979812.41	5.18	0.39	57.30	13.76 12.15 8.92 87 917
517	3557.36	13859.03	316.00 SH	979757.30	979815.42	2.43	0.10	40.23	13.12 10.95 9.87 7.70 87 917
518	3556.56	13859.92	392.00 C	979740.70	979814.27	3.94	0.73	48.22	16.93 14.42 13.17 10.67 87 917
519	3554.26	13856.14	772.00 SH	979656.47	979810.98	4.71	0.95	84.48	15.49 9.97 7.21 1.69 87 918
520	3553.63	13856.30	815.00 C	979644.89	979810.08	5.38	0.87	87.07	15.28 9.53 6.66 0.92 87 918
521	3552.79	13856.23	864.00 SH	979630.09	979808.87	6.70	1.26	88.58	15.01 9.12 6.18 0.29 87 918
522	3552.65	13854.90	982.00 C	979607.55	979808.67	5.78	1.58	102.62	14.52 7.47 3.95 -3.10 87 918
523	3555.23	13855.24	685.00 C	979675.06	979812.37	4.11	0.68	74.85	13.41 8.50 6.04 1.13 87 918
524	3555.78	13855.78	1101.50 TPV	979588.96	979813.15	7.02	1.77	146.40	19.02 11.23 7.34 -0.45 87 918
525	3614.96	13857.52	137.50 BM	979837.03	979840.66	0.42	0.01	39.66	26.26 25.18 24.65 23.57 86 914
526	3615.38	13854.99	146.20 BM	979833.35	979841.26	0.47	0.00	38.05	23.84 22.70 22.13 21.00 86 914
527	3615.31	13853.81	163.00 BM	979829.67	979841.16	0.49	0.00	39.65	23.73 22.46 21.82 20.55 86 914
528	3612.46	13847.82	241.70 BM	979824.80	979837.07	1.67	0.08	63.16	41.93 40.24 39.39 37.69 86 914
529	3606.73	13911.92	92.00 C	979872.17	979828.85	0.26	0.01	72.58	63.56 62.83 62.47 61.75 85 315
530	3606.73	13855.19	337.00 C	979798.37	979828.85	2.62	0.16	74.36	45.52 43.22 42.07 39.76 85 910
531	3612.49	13848.15	237.00 C	979825.34	979837.11	1.92	0.23	62.21	42.09 40.48 39.67 38.06 86 913
532	3556.07	13851.19	656.00 C	979669.52	979813.57	5.97	0.68	59.17	5.40 1.09 -1.06 -5.36 87 910

LEGEND

NO. : station number, LAT. : latitude (3608.20 = 36° 8.20')

LONG. : longitude (13910.23 = 139° 10.23')

HEIGHT : height (h) in m and height definition.

C : contour, TPn : n-th order triangulation point,

BMm : m-th order bench mark, SH : spot height, L : leveling

ABS-G : absolute gravity (g), NOR-G : normal gravity (γ : GRS1980)

TA : terrain correction (0~60 km ; ρ = 1.0 g/cm³)

TI : terrain anomalies (Δg_t) and Bouguer anomalies (Δg_b) are given by

Free-air anomalies (Δg_f) and Bouguer anomalies (Δg_b) are given by

$$\Delta g_f = g - \gamma + \beta h + \delta g_A, \quad \Delta g_b = g - \gamma + \beta h + \delta g_A + \rho(B_S + T_A)$$

where ρ, β, δg_A, B_S are assumed density, vertical gradient of γ, atmospheric correction and spherical Bouguer correction, respectively.

地形および地質データを用いた重力データの画像化表現法

村田泰章*・野呂春文*

Effective imaging of the gravity data using topographic
and geologic data

By

Yasuaki MURATA and Harufumi NORO

Abstract: In the present paper, an effective mapping method of the gravity data is described. The Bouguer gravity anomaly maps in combination with topographic shading and geologic coloring help us to understand the interdependent nature of the relationships of geological phenomena. The topographic shading on the Bouguer gravity anomaly maps are easy to identify the geographical location. The colored overlay of the geologic data on the Bouguer gravity anomaly maps makes it possible to compare the correlation between the distributions of gravity anomaly and geology directly.

Next, the programs and data for plotting those maps are described. Both the gravity and geologic data are arranged into digital mesh data format to match the topographic mesh data format of KS-110-1 provided by the Geographical Survey Institute. Two standard formats to print out the figures with some kinds of output devices are shown. The first, the JKM format, is for the mesh data such as topography, geology, and gravity. The second, the JKG format, is used to draw the maps and bird's eye views. The programs used in the present procedure can be applied to express any kinds of other earth science data in digital mesh data format.

要 旨

本報告では、まず、重力データを地形や地質の情報と併せて表現することの効果について述べる。重力異常に地形陰影を重ねることにより、断層と重力異常の関係が明瞭になる上に位置の認識が可能になること、また、重力異常と地質データを併せて表現することにより、重力異常の要因や被覆されている地質が推定できる等、地形や地質のデータを用いた重力データの高度な表現は、地球科学の定性的な議論を助けることが明らかになった。

次に、重力データの高度な表現を可能にするために必要なデータと開発したプログラムについて説明する。重力や地質のデータは、国土地理院の地形データ (KS-110-1) と調和するようにメッシュによって表現される。このメッシュデータを記憶するために JKM というフォーマットを開発した。また、作図に関して、プログラムの作成を容易にして、多くの出力機器への出力に対応するために、図形データの標準フォーマット JKG を開発した。本報告で述べられるプログラムは、重力、地形、地質データ以外にも、メッシュによって表現できる地球科学データ一般に応用することができる。

* 地質情報センター

Keywords: gravity anomaly, topographical shading, digital geologic map, mapping method, stereo view, mesh data, JKM format, JKG format.

1. はじめに

地球科学においてはデータを言葉では表現できないことが多く、図によって表現することが非常に重要である。したがって、図をいかに工夫してデータの持つ情報を最大限に表現するかが問題となる。しかしながら、重力データについては、測定データから地形の影響等を取り除いた重力異常値をコンター図で表現することが多いのが現状である。コンター図の長所は、知りたい場所の値を正確に読み取れることと、コンターの疎密から変化の度合いがつかめることであるが、それ以上にコンター図が広く用いられているのは、出力・印刷が容易だからであろう。しかし、コンター図は、相対的な値の大小や全体的な異常の傾向を捉えるが難しいので、縮尺が小さい場合や広い範囲の図では、カラーにした方が効果が高い。従来は、カラーの図の出力が難しかったが、最近では出力機器の進歩もあってカラーの図が容易に出力できるようになってきた。

2. 重力と地形・地質の関係

重力異常は、地殻の密度構造の不連続に起因する。もし断層で基盤に落差があれば、重力異常にも落差となって現われる。しかし、軽い堆積岩と重い深成岩が接している場所でも同じように重力異常に落差が現われる。したがって、重力異常に落差があっても、地質学的な情報がなければ、断層による落差なのか地質の違いによる落差なのかを判断することができない。

重力データでは、その解析・議論に地形が重要であることはもちろんであるが、重力測定データを補正する段階においても、重力異常と地形の関係が大きな問題となる。重力の測定値には地形の影響が含まれ、解析の邪魔となるので地形の影響を補正することが必要である。この補正には正確な岩石密度を与える必要があり、この密度が実際の密度と違っていると、地形に相関した成分が重力異常に残ってしまう。しかし、広域の重力異常図を作成する場合には、どうしても様々な地質の分布域が含まれてしまうので、ある地域に密度を合わせると他地域で不一致になってしまう。一般的に、広域の地殻表層密度として 2.67g/cm^3 という値が使用されている。しかし、火山地域では、この値は明らかに高すぎる密度となるので地形の影響が残ることがある。

第1図は、赤石山地を中心とする約 $200\text{km} \times 200\text{km}$ の地域の重力、地形、地質の各データを示している。使用したデータについては、第4章で詳しく述べる。第1図を見ると、伊豆半島では重力異常が乱れ、地形の影響が残っていることが分かる。また、地質図では富士山の山頂はどこであるかなど場所の認識が難しいが、地形の陰影図を見ればそれは一目瞭然であり、他の場所でも、平野や大きな山、断層の位置等から、どこであるかを読み取れる。コンピュータで地質図を作成する場合には、印刷のように親切的な基図を表示することが難しいので、地形陰影が場所の認識の強力な武器となる。

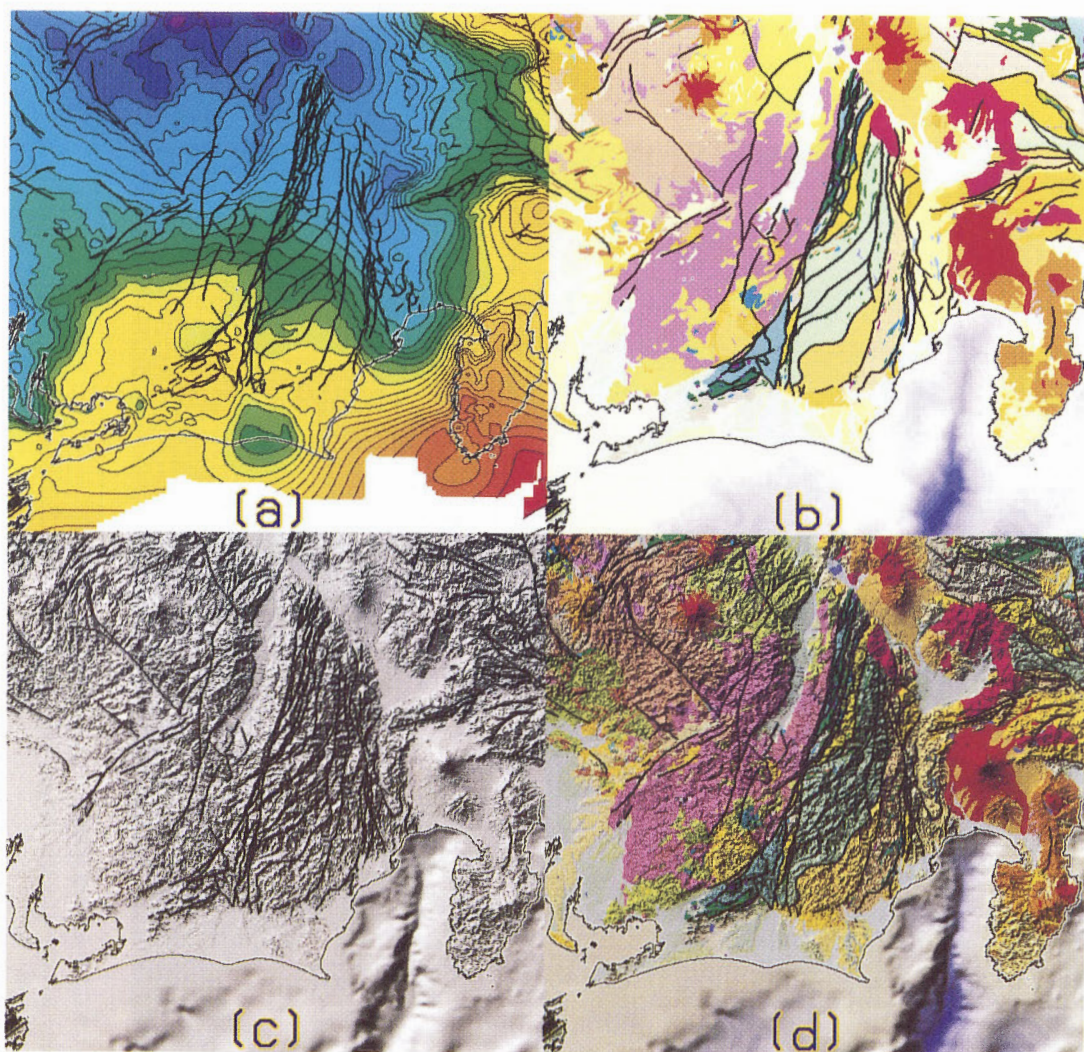
3. 組合せ表現の効果

3.1 重力異常と地形の表現

第2図は、カラーで表現した重力異常図に地形陰影を施したものである。カラーで表現することによって、地域ごとの重力異常の特徴がよく分かる。例えば、重力異常は松本盆地が最も小さく、低重力異常の鋭い谷になっている。能登半島・伊豆半島・紀伊半島、室戸岬・足摺岬と海に突き出ている部分が高重力異常で、その中でも紀伊半島の先端が最も大きい。この図で、地形陰影は場所認識のための役割を果たしている。必要に応じて、カラー図に最低限のコンター線を補えば、値を読みにくいという欠点をカバーすることができる。

3.2 重力異常と地質の表現

重力異常には、アイソスタシーの効果やプレートの沈み込みの影響等の非常に長波長のトレンド成分が含まれていて、地質と比較する場合には邪魔になる。第3図は、重力異常から大局的な傾向面を取り



第1図 赤石山地周辺の各種データの表現例

(a) 重力図 (青や緑は低異常, 黄色や赤は高異常を示す) (b) 地質図 (水色は堆積岩, 茶色は火山岩, ピンクは深成岩, 黄緑は変成岩をそれぞれ示す) (c) 地形陰影図 (d) 地形陰影地質図 ((b) 図に (c) 図を重ねたもの)

Fig. 1 An example of the expression methods of the earth science data in the vicinity of the Akaishi mountains area, central Japan.

(a) Bouguer gravity anomaly map (Shichi and Yamamoto, 1994), (b) geologic map (Geol. Surv. Japan, 1992b), (c) topographic shading relief map, and (d) geologic map with topographic shading relief.



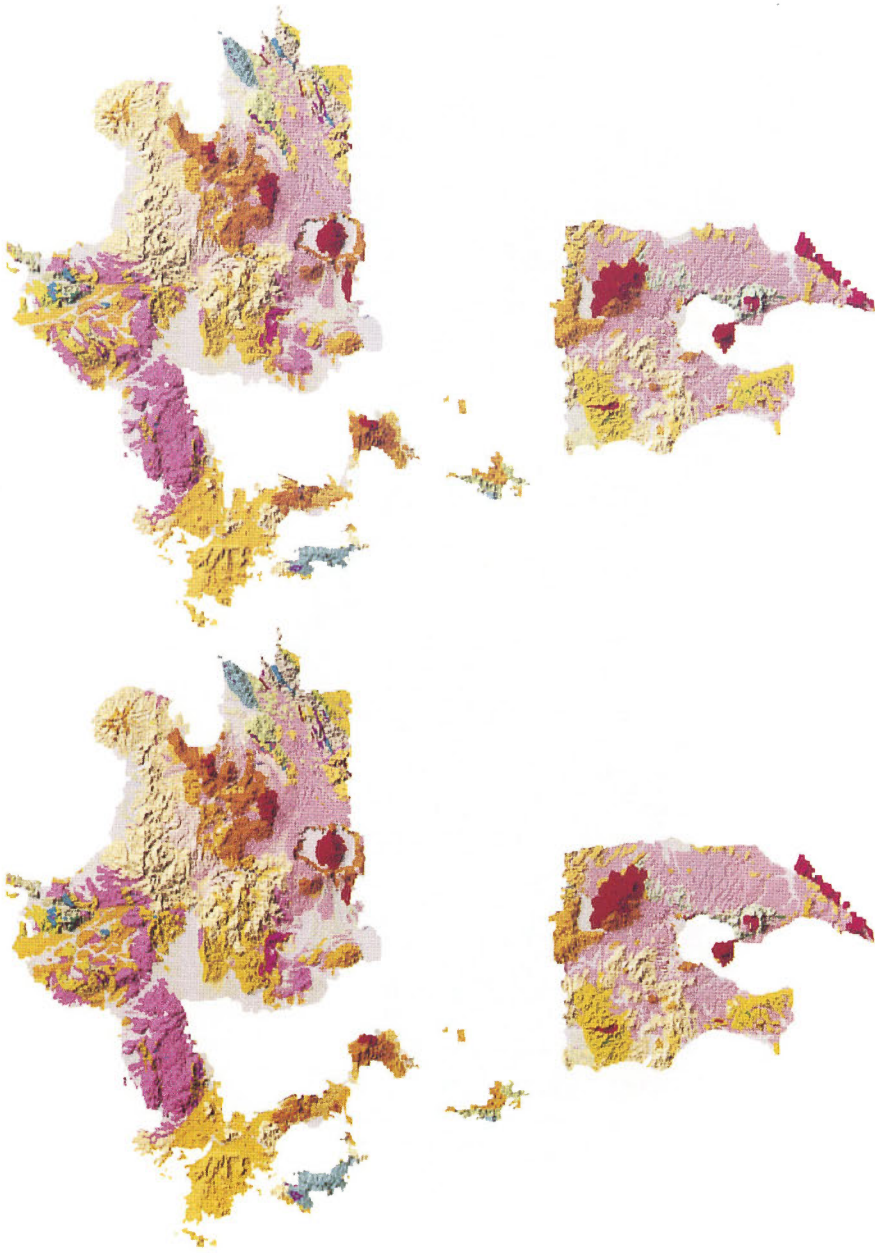
第2図 地形陰影を施した日本中央部の重力異常図 コンター間隔は10mGal

Fig. 2 Bouguer gravity anomaly map with topographic shading relief in the central Japan. Contour interval is 10 mGal.



第3図 地質図を重ね合わせた残差重力図の鳥瞰図 残差重力は重力異常より大局的な傾向面を取り除くことによって計算される。

Fig. 3 Bird's eye view of the trend reduced residual gravity anomalies overlaid with the geologic map.



第4図 陰影地質図で色付けした地殻表層密度の鳥瞰図のステレオペア 交差透視用になっており、奇り目をして右目で左の図、左目で右の図を見ることにより、地殻表層密度の大小が立体的に見える。

Fig. 4 A stereographic pair for bird's eye view of the surficial density. The colors show the geologies. Stereo view is done by crossing eye lines. The right figure is for left eye, and the left figure is for right eye.

除いた残差重力図の鳥瞰図の上に、地質図を描いたものである。緑色に見える玄部岩質の異地性岩体や、舞鶴から西南西に延びるコンプレックスに添って、残差重力異常が急に高くなっていることが分かる。また、残差重力の直線的な異常は、ほとんどが断層に關係している。

地質図のように情報量の多いデータに他のデータを重ねるためには、鳥瞰図にする等の工夫が必要である。

3.3 ステレオ視の効果

ステレオ視の目的は、図形に奥行きを加えて、別の情報を表現することである。したがって、目の位置を最初から斜め上に置いたような鳥瞰図ではステレオ視の効果は薄い。それよりも、一枚では平面図に見える図面が、2枚並べてステレオ視することにより、平面図に隠されていたもうひとつの情報が浮き出るようにした方が効果がある。ステレオ視では、印刷の汚れや図の解像度の悪さを、2枚の図がお互いに補いあうために、1枚で見るよりも非常に精彩に見ることができる効果もある。

地質データは境界を持った不連続なデータなので、色によって表現することには向いているが、ステレオ視の奥行きによって表現することは難しい。ステレオ視の奥行きによって表現するデータとして適しているのは、重力データのような連続しているデータや地形データである。

村田(1990)は、重力データの地形補正に用いる地殻表層密度が実際の密度と異なっていると、重力異常図が乱れ、滑らかではなくなることを利用して、重力異常図の滑らかさから真の地殻表層密度を推定する方法を提案した。第4図は、この方法を応用して求めた九州地域の地殻表層密度分布(Murata,1993)をもとに、地形陰影を付けた地質図を重ねたものである。この図は、ただ見ただけでは2枚の地質図に見えるが、ステレオ視をすることによって、地殻表層密度の大小が凹凸となって浮き出てくる。手前に浮き出てくる部分が地殻表層密度が大きい地域である。重力データを用いて計算される地殻表層密度は、重力異常図よりも直接、地質図と比較することができる。この図から、地殻表層密度は、阿蘇山北部の火砕流で覆われている部分で最も低く、火山岩、堆積岩、花崗岩・変成岩、斑れい岩の順に高くなっている様子がよく分かる。

4. データの種類とフォーマット

ここでは、本報告で使用したデータについて、その概要とデータの形式について述べる。

4.1 重力データ

ももとの重力測定データは、経度、緯度、標高からなる位置データに、重力測定値等が付属する点データである。通常、重力データから地下構造を解析する時には、点データから地形の影響を取り除いた重力異常値を用いる。地形補正のための仮定密度は解析によって異なる場合があるので、オリジナルの点データは解析の際には非常に重要なデータである。

しかし、一般的に点データはデータの表現には向かない。データの特徴を図によって表現するためには、メッシュ形式の方が都合よい。志知・山本(1994)の重力データ等を収録したCD-ROM(野呂・志知,1994)には、スプライン関数によって表現された重力異常図が収められており、このデータを用いれば、任意の範囲・間隔のメッシュデータや、測線データを生成することができる。ここでは、他のデータと併せて表現するために重ね合わせるデータと整合させる必要があるため、用いたデータの中で最も変更することが難しい地形データに合わせて、重力データのメッシュデータを生成した。

4.2 地形データ

現在、日本全国をカバーしている最も精密な地形データは、国土地理院が開発した国土数値情報の標高データファイル(KS-110-1)である。このファイルは2万5千分の1地形図から、標高値を経度方向11.25秒、緯度方向7.5秒間隔で読み取り、メートル単位で収録したものである。この間隔は、東京周辺で東西280m、南北230mとなるため、その中間をとって250mメッシュと呼ぶこともある。

国土数値情報は陸域のみをカバーし、海域の水深については、国土数値情報と同等の精度を持つメッシュデータは現在のところ公開されていない。しかし、日本周辺では駿河湾、相模湾など陸域と海域の地形を一度に示したほうが大局的な議論ができることが多い。米国の海洋大気庁地球物理データセンター (NGDC) の地形メッシュデータ (谷,1990) は、唯一、全世界の標高・水深を収録しているが、間隔が5分 (約9km) と粗い。

そこで今回は、日本周辺について新たに KS-110-1 と同じ間隔の水深メッシュファイルを作成した。使用したデータは、200m と 500m 間隔の水深線を数値化した海上保安庁水路部の水深情報ファイルであり、水深線が疎な部分では、ETOPO5 のデータを補った。水深情報ファイルと ETOPO5 を分解したランダム点データに、KS-110-1 とスムーズに接続するようなスプライン曲面を当てはめ、KS-110-1 では未定議の海域部分の水深を求めた。

4.3 地質データ

地質データとしては、地質調査所発行の 100 万分の 1 日本地質図 (地質調査所,1992a) を数値化したデータを収録した CD-ROM (地質調査所,1992b)、および 50 万分の 1 活構造図の数値ファイルが日本全土をカバーしている。これらのファイルはポリゴン形式で数値化されているが、地形データと重ねて表現するためにはメッシュデータの方が都合がよいので、100 万分の 1 日本地質図数値ファイルを重力データと同じように地形データ (KS-110-1) に合わせて約 250m 間隔のメッシュデータに変換している。メッシュデータとポリゴンデータの違いと各々の特徴については、村田ほか (1990) に詳しく述べられている。

4.4 JKM フォーマット

これまで述べてきたデータはすべてメッシュ (グリッド) データであるが、このようなデータを記述するためのフォーマット (JKM) を、第 1 表に示すように定義した。第 1 表では、使用例として実数型の地形データを示したが、RGB 各 256 階調のフルカラーを記述する場合には、データ部を RGB 各 3 桁ずつで、計 9 桁の整数 RRRGGGBBBB のように表現する。しかし、1 つのデータを 9 桁の整数 (および 1 つのスペース) で表現すると、ファイルサイズが非常に大きくなってしまふ欠点があるので、ディスク容量を節約するために、RGB を各 1 バイトで表現するバイナリーオプションも用意した。

5. プログラム

我々が研究を行い成果を発表するためには、数多くの種類の図が必要となる。その中でも地球科学の場合、地図、地質図、等高線図、鳥瞰図の 4 種類は基本的な図である。これらの図を、最近の計算機環境の主流となりつつあるワークステーションを中心とした UNIX 環境で、作成するシステムを開発した (村田・野呂,1991)。このシステムでは、基本的な情報として国土数値情報、世界地形ファイル、水深情報ファイル等をデータベース化している。そして、このデータベースを効果的に利用するために、次のような機能を持つ一連のプログラムを開発した。(1) データベースを使いやすくコンパクトな形式に構築し、任意の場所を検索するデータベース機能 (2) 座標投影や他のシステムとのデータ交換を行ったり、グリッドデータを処理する変換機能 (3) 地図、地質図、等高線図、鳥瞰図を出力するとともに、緯経線等の整飾を行う作図機能 (4) 図の用途に応じて選択する出力デバイスに出力する出力機能

これらの機能を UNIX のフィルターコマンドの形式で、すなわち、『検索→変換→作図→出力』という流れを、それぞれの処理に対応するコマンドの連結で実行する。作図の範囲や、鳥瞰図の視点の位置等の作図パラメータは、コマンドのアーギュメントとして指定する。

この作図システムでは、データ解釈、論文投稿、スライド等の用途に合わせて、X ウィンドウやレーザービームプリンタ、細かな整飾ができるポストスクリプトプリンタ、または、フルカラーの表現が可能なパソコン画面等に出力することができる。

ここでは、このシステムの中で、重力のような地球物理データや、地質図のようなデータの出力によ

第1表 メッシュデータを記述するためのJKMフォーマット 各項目の長さと言行中のデータ数は自由であり、行中ではブランクでお互いを区切る。

Table 1 JKM format to describe mesh data. The length and number of items in a line is unlimited. The separator of the items is one space or tab-space.

順番	項目	備考
1	コメント	文字型で最初の一行のみ
2	x方向のメッシュ数	整数
3	y方向のメッシュ数	"
4	原点(左下)のx座標	数値
5	原点(左下)のy座標	"
6	x方向のメッシュの間隔	"
7	y方向のメッシュの間隔	"
8	未定値を示す値	"
9	データの最小値	"
10	データの最大値	"
11	データ	数値で、順番はメッシュの左下から上へ走査し、一番上に達したら一つ右に移動する。

使用例

Mesh-data made by g_db (topography)

```

495 861 464996.25 434400.00 22.500 15.000 9999.99 0.00 1760.00
9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99
9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 9999.99 40.00 30.00 17.00 30.00 29.00
60.00 130.00 70.00 69.00 140.00 140.00 90.00 75.00 90.00 140.00
150.00 68.00 63.00 140.00 240.00 200.00 230.00 240.00 240.00 230.00
260.00 250.00 250.00 240.00 290.00 350.00 300.00 230.00 240.00 240.00

```

|

く使用するメッシュデータの処理プログラムについて述べる。

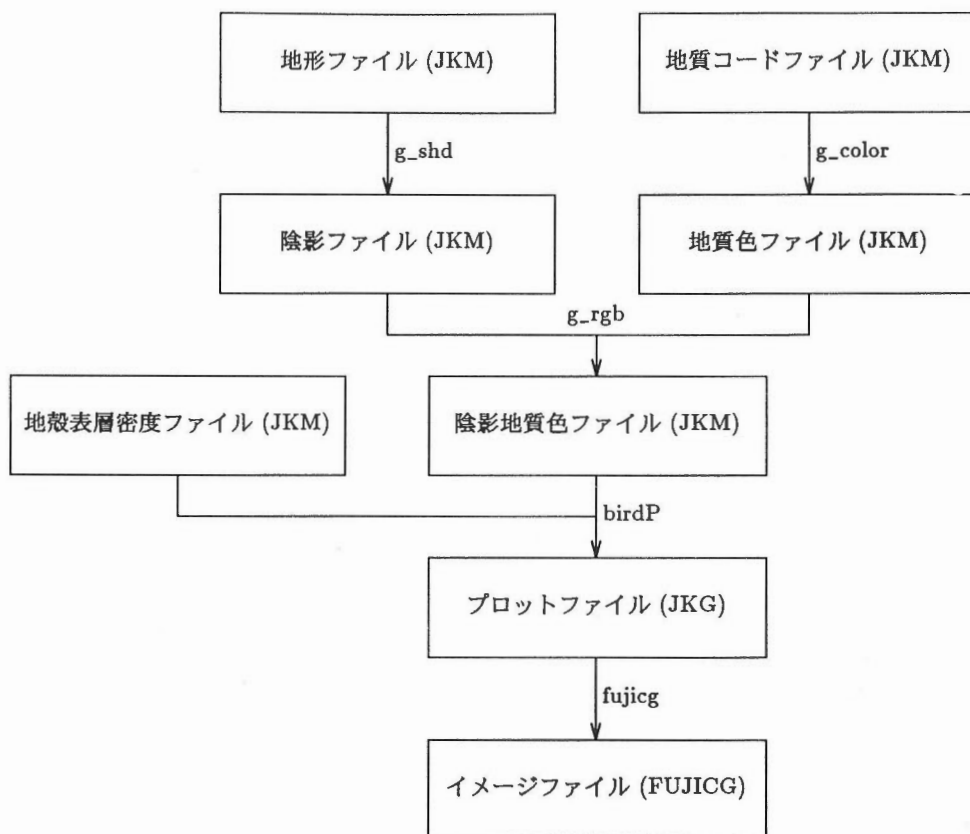
5.1 メッシュデータの処理プログラム

第5図は、例として第4図を作図するための処理の流れを示したものである。作図のための基本データは、地形ファイル(HEI.mesh)、地質コードファイル(GEO.mesh)、地殻表層密度ファイル(RHO.mesh)の3種類である。以下に使用したコマンドを説明する。コマンドはUNIX形式であり、各コマンドは'<'の後に示されたファイルからデータを読み込み、'>'の後に示されたファイルへ結果を出力する。'|'は、その前のコマンドから次のコマンドへデータを受け渡すことを意味する。

- (1) まず、地形ファイルから g_shd プログラムによって各メッシュ内の明るさが0から255までの値で計算される。

```
g_shd -135 55 < HEI.mesh > HEI-SHD.mesh
```

コマンドの後の2つの数字は、仮定する光源の方位と伏角である。



第 5 図 第 4 図の鳥瞰図を作成する場合のプログラムの流れ ボックスはデータ、矢印はデータの変換を表現し、矢印に併記したコマンドによってその変換が実行される。

Fig. 5 The flow chart for mapping the bird's eye view figures shown in Fig. 4. The boxes show the data. The arrows indicate the data conversion flow processed through the commands attached to them.

- (2) 一方、地質コードファイルは各地質コードに割り当てられた RGB 値 (geo3.col に格納) に変換される。

```
g_color geo3.col < GEO.mesh > GEO-RGB.mesh
```

- (3) その RGB 値にそのメッシュの明るさを掛け算することによって、陰影付きの地質色ファイルが完成する。

```
cat GEO-RGB.mesh HEI-SHD.mesh | g_cal '*' > GEO-SHD.mesh
```

'cat' コマンドは後に指定したファイルを連結して出力する。

- (4) 次に伏角 (rx) と方位 (rz) を指定して、鳥瞰図を後で述べる JKG フォーマットで出力する。

```
birdP -f RHO.mesh -cf GEO-SHD.mesh -rx 95 -rz -90 > JKG.plot
```

ステレオペア用の図は、見る角度を少しずらせばよいので、第 4 図では、左右の図で伏角を 10 度ずらしてある。

- (5) JKG データは、フルカラーの表現ができる FUJI-CG イメージファイルに変換される。画素数は横方向 1,280、縦方向 1,024 とする。

```
fujicg -x 1280 -y 1024 < JKG.plot > FUJI-CG.image
```

FUJI-CG イメージファイルは、各画素の RGB が 1 バイトずつ順番に並ぶだけの単純なファイルであり、パソコンの画面やカラーポストスクリプトプリンタに出力することができる。

プログラムをなるべく単機能に分割することによって、例えば地質色ファイルを重力異常色ファイルに変更すること等を簡単に行うことができる。

5.2 JKG フォーマット

これまで述べてきたプログラムは、すべての図を JKG と呼ぶフォーマットで出力する。地質調査所では最近、一部の出版物について、この JKG フォーマットを用いた電子製図により出版 (牧野ほか,1992; 高橋ほか,1992; Ishihara,1994) を行っている。次にその JKG フォーマットについて説明する。

我々が通常作図する図は、地図や地質図等の平面図に鳥瞰図まで含めても、基本的に点、線、面と文字に分解できるものが多い。地紋付けや陰影付け等、市販のソフトウェアでは対応できない図を出力するためには、出力装置に応じたソフトウェアを開発しなければならないが、点、線、面、文字の基本パーツを作図するだけの、必要最低限の命令セットで各種の図を表現するようにすれば、その開発が容易になる。

JKG フォーマットは、第 2 表に示すコマンドから構成され、地図、地質図、等高線図、鳥瞰図等を表現することが可能である。これらの図を JKG フォーマットで出力するプログラムと共に、座標投影をしたり、JKG フォーマットをディスプレイやカルコン静電プロッタ等に出力するプログラムも開発した。

このフォーマットでは、データの容量を小さくするために、先頭の 1 文字でコマンドの種別を表している。その後、各コマンドごとに必要なパラメータが、セパレータ (スペースまたはタブ) で区切られて続く。JKG フォーマットには改ページという概念はなく、1 つのファイル (または連結された複数のファイル) で 1 枚の図を作図することになる。

座標系については、平面図で投影変換を行なうことが多いために、基本的に秒 (東経、北緯) あるいは経緯度を座標変換した後のメートル (x,y) を採用している。ただし、座標投影などが必要ない場合は、任意の座標系を用いて単独の作図は行うことができる。また、文字およびマーカの大きさ、ラインの線幅、点線パターンの長さの単位は、直感的に把握するためにポイント (1/72 インチ) とした。

第 6 図には、単純な図形を JKG フォーマットで表現した例を示す。複雑な地質図もこの JKG フォーマットを用いて表現することができる。

6. おわりに

本稿では、CD-ROM によって公開された重力データと地質データ、および国土数値情報で公開されている地形データを用いた画像化表現について報告を行った。

カラーや陰影、鳥瞰図、ステレオ視等を使ってデータを表現する画像化手法は、新しい方法や知見を伝えるという論文の目的を考えれば、単なるテクニックと片付けることはできず、データの本質を伝えるために必要不可欠なものである。

また、本報告の背景には重力データの公開がある。データの公表に関して閉鎖的であった重力の分野で、オリジナルの点データではなくとも、面データとしての重力異常のデータが、計算機可読のデジタルデータとして公開されることは、地球物理学にとって大きな意味を持っている。紙に印刷されただけの重力異常図では定性的な議論しかできないが、重力異常データが数値データとして公開されることによって、これまで述べてきたような画像化はもちろん、地下構造の解析やジオイドの計算等の多くの研究が可能になる。なお、本報告で使用した CD-ROM 版の重力異常図データは、地質調査所の他に、名古屋

第 2 表 JKG フォーマットのコマンド一覧表
Table 2 Plot commands of the JKG graphic format.

コ マ ン ド	機 能
A < <i>xmin ymin xmax ymax</i> >	Area. 作図領域の左下 (<i>xmin ymin</i>) と右上 (<i>xmax ymax</i>) の座標を設定する。作図命令 (小文字) の前までに必ず指定する。
W < <i>xmin ymin xmax ymax</i> >	Window. クリッピング枠を左下 [<i>xmin ymin</i>] と右上 [<i>xmax ymax</i>] で定義される長方形に設定する。
R	ReleaseWindow. クリッピング枠を解除する。
S < <i>s</i> > { <i>b h c</i> }	StringSet. 文字の種別 [<i>s</i> :サイズ、 <i>b</i> :左右位置 (-1=左、0=中央、1=右)、 <i>h</i> :上下位置 (-1=下、0=中央、1=上)、 <i>c</i> :色] を指定する。
M < <i>n</i> > { <i>s c</i> }	MarkerSet. カレント・マーカ [<i>n</i> :コード番号、 <i>s</i> :大きさ、 <i>c</i> :色] を設定する。
L < <i>w</i> > { <i>p s c</i> }	LineSet. カレント・ライン [<i>w</i> :線幅、 <i>p</i> :16 ビットの整数で定義されるパターン (各ビットの 0 は空白部、1 は実線部を示す)、 <i>s</i> :パターンの 1 単位の長さ、 <i>c</i> :色] を設定する。
F < <i>n</i> > { <i>c</i> }	FaceSet. カレント・フェース [<i>n</i> :地紋、 <i>c</i> :色] を設定する。
s < <i>char</i> ↓ >	symbol. 文字列 [<i>char</i> :改行まで有効] をカレント・ポイントの位置に描画する。
p	pointmarker. カレント・ポイントにカレント・マーカを描画する。
m < <i>x y</i> >	move. <i>x,y</i> の位置にカレント・ポイントを移動する。
l < <i>x y</i> >	line. カレント・ポイントと <i>x,y</i> を結ぶ線分を描画する。カレント・ポイントは <i>x,y</i> に移動する。
d	draw. カレント・パスを描画する。
n	newpath. ポリゴンの定義を開始する。ポリゴンは後に続く m 又は l 命令で定義する。
f	fill. ポリゴンの定義を終了し、カレント・フェースでポリゴンの内部を塗りつぶす。
# < <i>char</i> ↓ >	comment. コメント。改行まで有効。
% < <i>char</i> ↓ >	

(注) <> 内は必須パラメータで、{} 内は省略可能なパラメータである。また、↓は改行 (CR) までを意味する。

例 1. 線種を変えて四角を書く。		
A	0.0 0.0 1.0 1.0	作図領域を指定する。
L	0.567 -1 1 3	カレント・ラインを幅 0.2 mm、実線、カラー 3 とする。
m	0.0 0.0	カレント・ポイントを移動する。
l	0.0 1.0	線分を描画する。
l	1.0 1.0	"
l	1.0 0.0	"
l	0.0 0.0	"
d		カレントパスを作図する。
例 2. 三角形で塗りつぶす (輪郭は書かない)。		
A	1.0 1.0 2.0 2.0	作図領域を指定する。
F	0 1	地紋と色を指定する。
n		三角形の定義を開始する。
m	1.0 1.0	頂点 1 の指定。
l	1.5 2.0	頂点 2 の指定。
l	2.0 1.0	頂点 3 の指定。
l	1.0 1.0	頂点 1 の指定。
f		三角形を塗りつぶす。
例 3. 三角形で塗りつぶす (輪郭も書く)。		
A	1.0 1.0 2.0 2.0	作図領域を指定する。
F	0 2	地紋と色を指定する。
n		三角形の定義を開始する。
m	1.0 1.0	頂点 1 の指定。
l	1.5 2.0	頂点 2 を指定し、かつ輪郭を描画する。
l	2.0 1.0	頂点 3 を指定し、かつ輪郭を描画する。
l	1.0 1.0	輪郭を描画する。
f		三角形を塗りつぶす。
d		カレントパスを作図する。

第 6 図 JKG フォーマットの単純な使用例

Fig. 6 Examples of use of the JKG format.

屋大学, 北海道大学, 金属鉱業事業団, 京都大学 (理学部, 防災研究所), 静岡大学, 東京大学地震研究所, 東京大学海洋研究所, 神奈川県温泉研究所, 岐阜大学, 高知大学, 島根大学, 地学団体研究会, 愛媛大学, 東北大学, 弘前大学, 秋田大学, 気象庁気象研究所, 動力炉核燃料開発事業団中部事業所, 応用地質株式会社の各データによって作成された。各データの詳細については, 本報告別稿 (志知・山本, 1994) を参照されたい。

謝 辞

本報をまとめるにあたり、名古屋大学の志知龍一先生には原稿の改善に有益なご意見を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 地質調査所 (1992a) 100万分の1日本地質図第3版。
——— (1992b) 100万分の1日本地質図第3版, CD-ROM版. 地球科学データベース CD-ROMシリーズ, CDGSJ92010.
羽坂俊一 (1989) パソコンで地形を表現する. 地質ニュース, no.414, p.6-8
Ishihara, T. (1994) Magnetic anomaly map of East Asia. *Miscellaneous maps series*, no.32, scale 1:4,000,000, Geol. Surv. Japan.
木下 章・岡庭直久 (1984) 新しい地図表現 (陰影) の試み. 国土地理院時報, 第60集, p.36-39.
牧野雅彦・大久保泰邦・中塚 正 (1992) 日本の磁気図. 地質編集図, no.23, scale 1:2,000,000, 地質調査所.
宮崎芳徳 (1986) 九州中部画像処理による各種重合画像と陰影画像作成. 昭和59・60年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書「国土地熱資源評価技術に関する研究」, p.79-110.
——— (1988) 画像処理による陰影画像と各種重合画像作成. 地質ニュース, no.410, p.1-4.
村田泰章 (1990) ABIC最小化法によるブーゲー密度の推定. 地震, vol.43, p.327-339.
———・野呂春文・矢野雄策 (1990) 地質図データベースの現状と将来. 地学雑誌, vol.99, p.570-577.
———・——— (1991) 全世界地形データのグラフィック出力システムの開発. 第2回日本情報地質学会講演予稿集, p.59-60.
Murata, Y. (1993) Estimation of optimum average surficial density: an objective Bayesian approach. *Jour. Geophys. Res.*, vol.98, no.B7, p.12097-12109.
野呂春文・志知龍一 (1994) 西南日本の重力データと重力異常図, および重力データ解析プログラムのCD-ROM作成. 地調報告, no.280, p.77-91.
志知龍一・山本明彦 (1994) 西南日本における重力データベースの構築. 地調報告, no.280, p.1-28.
高橋正明・山口 靖・野田徹郎・村田泰章・玉生志郎・駒澤正夫 (1992) 新潟地熱資源図. 特殊地質図, no.31-1, scale 1:500,000, 地質調査所.
谷 伸 (1990) デジタルバシメトリー (数値海底地形) の世界. 地学雑誌, vol.99, p.587-593.

西南日本の重力データと重力異常図, および重力データ 解析プログラムの CD-ROM 作成

野呂春文*・志知龍一**

CD-ROM of the gravitational data and the Bouguer anomaly map
of Southwest Japan and gravity analyzing programs

By

Harufumi NORO and Ryuichi SHICHI

Abstract: This report explains (1) outline of ISO 9660 standard for CD-ROM, (2) functions of the CD-ROM writing system which we have introduced and (3) CD-ROM of the gravitational data and the Bouguer anomaly map of the southwestern Japan and gravity analyzing programs.

要 旨

この報文では, (1) CD-ROM に関する ISO 9660 規格の概要, (2) 今回導入した CD-ROM 書き込みシステムの機能, (3) 西南日本の重力データと重力異常図, および重力データ解析プログラムの CD-ROM 作成, について報告する.

1. は じ め に

重力データや重力異常図データなどの配布のためには, データ生産者の権利(氏名表示権, 同一性保持権等の著作人格権, そして, 出版権等の著作財産権)を保護するために, デッドコピー不可, 改変不可な媒体が望ましい. また, 重力異常図のデータは 100 メガバイト以上の大きなものになるため, それが格納できる程度に大容量で, 小型で取り扱いの簡便な丈夫なものが望まれる. 後者の条件を満たす媒体としては, 現在, 光磁気ディスク, 追記型光ディスク, DAT(Digital Audio Tape), 8mm ビデオテープ, CD-ROM がある.

光磁気ディスクは, 書換え可能であるため, ハードディスクの延長として便利である. しかし, 光磁気ディスクの書換え可能という利点があるが, 逆に, 著作権の保護, 丈夫さ, 長期保存等の点からは欠点となりうるため, データ配布に適するとは言い難い. 媒体が比較的高価なこともデータ配布用には不利である.

追記型光ディスクは, 300mm 径大型のもので片面 1.3 ギガバイト, 130mm 径小型のもので片面 300 メガバイトの容量を持っている. 大容量かつ長期保存可能(50 年以上)なこと, 追記は可能だが既存の内容の変更が不可能なことから, データの保存に適している. しかし, 媒体が比較的高価なため, データ配布用に使うのは困難である.

DAT(Digital Audio Tape) は, オーディオカセットテープより小さいサイズで, 容量は 1.3 ギガバイトである. 小型・大容量・安価という点で, 他の記憶媒体に圧倒的に優っている. しかし, 外部磁場によ

* 地質調査所地質情報センター, ** 名古屋大学理学部付属地震火山観測地域センター

Keywords: CD-ROM, Bouguer anomaly map, gravity database, Southwest Japan, gravity analyzing program

るデータ破壊の可能性、接触読み取りによる劣化と定期的風通しが必要という保守性の悪さから、データの一時的な保存に用いる、と考えるべきであろう。

DATの代わりに、8mmビデオテープを記録媒体に用いるもの(商品名EXABYTE)では、容量が5ギガバイト以上あり、大容量かつ安価である。しかし、DATと同様に、外部磁場によるデータ破壊の可能性、接触読み取りによる劣化と定期的風通しが必要という保守性の悪さから、これもデータの一時的な保存に用いる、と考えるべきであろう。

CD-ROMは、再生専用光ディスクであり、120mm径の小型ディスクで、600メガバイト近い容量を持っている。書換えが不可能、長期保存可能、小型で安価、という特徴がある。さらに、ISOによる標準規格にしたがったCD-ROMは、パーソナルコンピュータからワークステーション、あるいはメインフレームにいたるまで互換性が保たれるため、データの保存のみならず、データの配布・交換用にも優れている。

プレス成型により大量複製される狭い意味のCD-ROM以外に、WORM(Write Once Read Many)ディスクともよばれる、1枚づつデータの書き込みをおこなうCD-ROMもあり、データ生産の現場でもCD-ROMを制作することができる。書き込み装置が高価で、光磁気ディスクや追記型光ディスクに比べて、データ書き込みに多少手間がかかるのが、欠点であるが、必要に応じて直ちに大量複製工程に移れることの利点は大きい。

以上で述べた媒体の中で、デッドコピーが不可能で、改変不可能な媒体は、CD-ROMだけである。したがって、重力データと重力異常図データを配布するには、CD-ROMが現状では最適であると判断できる。そこで、今回、CD-ROM(WORMディスク)書き込みシステムを導入し、データの書き込みに関する検討をおこなった。この報文では、まず、CD-ROMとCD-ROM書き込みシステムについて説明し、次いで、実際のデータをCD-ROMに書き込んだ結果と、重力データベースCD-ROMの構成について報告する。

なお、この報告でふれる具体的な製品名について、どの様な意味においても、著者と地質調査所は、それらを推薦あるいは推奨するものではない。

2. CD-ROMの仕様

2.1 CD-ROMの物理的仕様

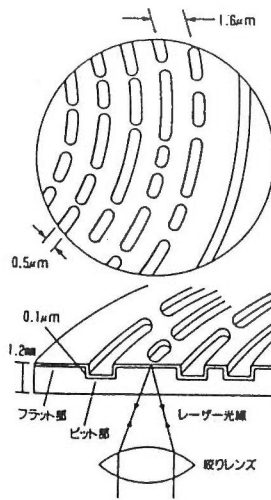
CD-ROMは、オーディオ用CDと同じ媒体を、計算機の外部記憶媒体として転用したものである。その構造は、第1図に示すように、厚さ1.2mmのポリカーボネートの円盤に、ピットと呼ばれる、幅 $0.5\mu\text{m}$ 長さ $0.9\mu\text{m} - 3.3\mu\text{m}$ の小さなへこみを、中心から外に向かってラセン状に並べアルミニウムコーティングしたものである。ラセンのピッチは、 $1.6\mu\text{m}$ である。記録は、線速度一定におこなわれる。

CD(CD-ROMも同じ)には、直径が12cm(5.25 inch)のもの、8cm(3.5 inch)のものがある。12cmCDには、線速度が $1.4\text{m}/\text{sec}$ のもの、 $1.2\text{m}/\text{sec}$ のものがあり、それぞれの最大記録時間は、63分、74分である。なお、CDに関する特許上の制約により、記録時間は80分を越えることが出来ない。現在、記録時間が79分59秒のWORMディスクはあるが、大量複製される狭義のCDの上限は74分である。8cmCDの最大記録時間は、18分である。

CD-ROM上にあるデータの読み出しは、 $1\mu\text{m}$ 程度に絞った、連続発振する4mWのレーザーで非接触でおこなう。そのために、比較的大容量(12cmのCD-ROMで600メガバイト弱)、書換え不可能、長期保存可能(気温40度、湿度80%で70ないし80年は保証される)、非接触読み出しのため繰り返し読み出しによる劣化がない、軽く丈夫で取扱と保管が楽、等の特徴がある。

上に述べたCD-ROMの物理的構造は、ソニーとフィリップスが提唱したもので、「レッドブック規格」とよばれる。この、物理的構造の上に、計算機外部記憶媒体としてのCD-ROMの物理的フォーマットが構築され「イエローブック規格」とよばれる。

オーディオ用CD、計算機用CD-ROMとも、データは、1本のラセンに沿って記憶されている。そこ



第1図 CDの構造

Fig. 1 Physical structure of CD.

第1表 CDおよびCD-ROMの番地付けの例

Table 1 Addressing of CD and CD-ROM.

物理ブロック番号	分	秒	ブロック
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	0	2
269998	59	59	73
269999	59	59	74

で、CD、CD-ROMとも、すべてのデータは、1秒間に75個ある物理ブロックで管理され、物理ブロックの番地は、分・秒・ブロック番号(0から74)という3つのパラメータで指定される。番地付けの例を第1表に示す。

CD-ROMの1つの物理ブロックの長さは2048バイト、それが75個で1秒である。したがって、例えば、記録時間を63分とすると、全体で $2048 \times 75 \times 60 \times 63 = 580,608,000$ バイト記録できることになる。ただし、先頭の2秒間は使わない規約になっているので、実際に記録できる量は、 $2048 \times 75 \times 2 = 307,200$ バイト(300キロバイト)少ない、580,300,800バイトである。なお、74分CD-ROMでは、 $2048 \times 75 \times 60 \times 74 - 2048 \times 75 \times 2 = 681,676,800$ バイトが、また、8cmCD-ROMでは、記録時間が18分なので、165,580,800バイトが記録できる。

CD-ROMの物理ブロック長2048バイトは、CDの物理ブロック長2352バイトより、304バイトだけ短い、その分は、第2表に示すように、先頭12バイトの同期信号、その直後の、分・秒・物理ブロック番号・ファイルモードの情報に用いる4バイトのヘッダ、データの後に置かれる4バイトの誤り検出符号(EDC)、8バイトのスペース、276バイトの誤り訂正符号(ECC)、に用いる。EDCとECCがあるため、エラー率は、バイト単位で 10^{-12} 程度となり、CD-ROMの容量が 6×10^{10} 程度であることを考慮すると、エラーはほとんど起こらないと考えてよい。

第2表 CD-ROMの1つの物理ブロックの構成

Table 2 Structure of one physical block.

名称	データ長 (バイト単位)	内容
同期信号	1	1 個の 0x00
	10	0xff 10 個
ヘッダー	1	1 個の 0x00
	1	分
	1	秒
	1	ブロック番号
	1	モード
データ	2048	2048 バイトのデータ
誤り検出	4	EDC 符号
予約空白	8	8 個の 0x00
誤り訂正	276	ECC 符号

2.2 CD-ROMの論理的仕様

CD-ROMの論理的仕様には、マッキントッシュの専用フォーマットであるHFS、Sun Workstationの専用フォーマットであるUFS、Photo-CD、CDI、CD-XA、準国際規格としてハイシエラフォーマット(略称HSF)、国際規格のISO 9660、などがある。これらは、いずれも、1本につながった物理ブロックというCD-ROMの物理フォーマットの上に、MS-DOSやUNIXなどのファイル構造を実現するものである。

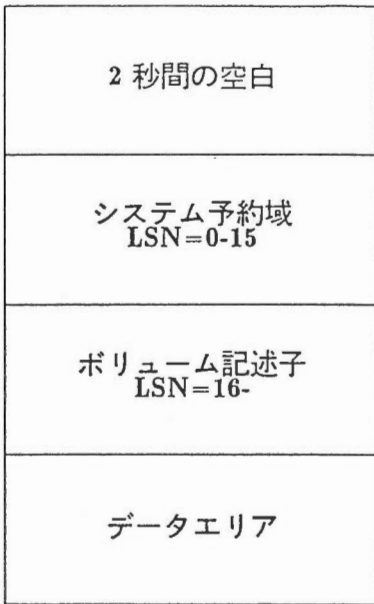
CD-ROMの論理的仕様として、国際規格のISO 9660が制定される前に、その基礎となる規格として、1985年、各メーカーの協議によって決められたのが、ハイシエラフォーマット(略称HSF規格)である。これが、1987年に小修正されてISOに提案され、ISO 9660となった。ハイシエラフォーマットとISO 9660では、細部が異なり、両方を説明すると混乱するので以下では、ISO 9660についてのみ説明する。今日、多種の計算機に対応するデータ配布媒体として通用しているCD-ROMの多くと、今後発表されるデータ配布用CD-ROMのほとんどがISO 9660にしたがうと予想されるので、これで十分であろう(瀬戸,1988)。なお、ハイシエラフォーマットについての詳細は、山崎(1987)を参照されたい。

2.3 ボリュームの構成

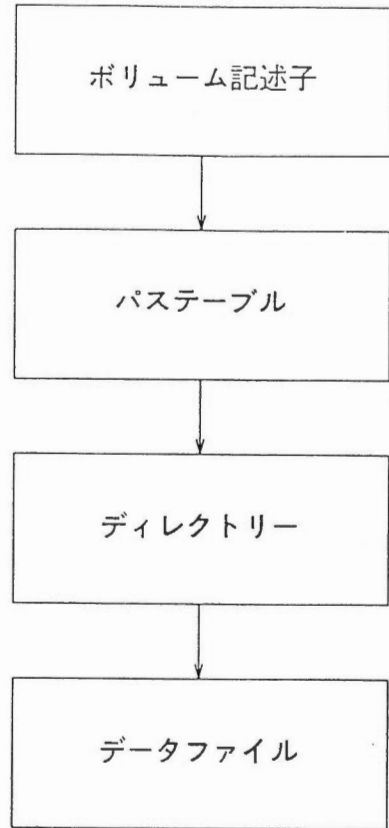
ISO 9660では、1枚のCD-ROM全体を、ボリューム(Volume)とよび、ボリュームは、2048バイト長の論理セクター(Logical Sector)から構成される。なお、論理セクターとは、物理フォーマットの説明で述べた物理ブロックとまったく同じものを読み替えたものである。ボリュームは複数のCD-ROMにまたがることができ(マルチボリューム)、それ全体をマルチボリュームセットとよぶ、マルチボリュームセットを用いると、CD-ROMの物理的サイズを越える巨大なファイルが実現できる。

論理セクターは、規格により利用可能とされる0分2秒0ブロック以降の物理ブロックを、0番からの通し番号(論理セクター番号: Logical Sector Number, LSN)でよぶ。すなわち、63分CD-ROMでは、0から283,349番までの番号になる。論理セクターは、512バイト、1024バイトあるいは、2048バイトの長さの論理ブロックに分けることができ、論理ブロックもまた、通し番号(Logical Block Number)でよぶ。論理ブロックの長さは、後で述べる、ボリューム記述子の中に明記される。

ボリュームの物理的構成を第2図に示す。ボリュームの先頭の16個の論理セクター(LSN=0-15)は、システム予約域とされ、その内容はCD-ROM制作者にまかせられる。システム予約域につづく論理セクター(LSN=16)からボリューム記述子(Volume Descriptor)がはじまる。ボリューム記述子は、ボリューム全体を管理するための情報を記述するもので、最低1個の基本ボリューム記述子(Primary Volume



第 2 図 ボリュームの物理的構成
Fig. 2 Physical structure of a volume.



第 3 図 ボリュームの論理的構成
Fig. 3 Logical structure of a volume.

Descriptor) と 1 個の終端記述子 (Volume Descriptor Set Terminator) が必須である。終端記述子より後は、パステーブルファイル、ディレクトリーファイル、データファイル等が置かれるデータエリアである。

ボリュームの論理的構成を、第 3 図に示す。ボリューム全体を管理する情報を記述しているボリューム記述子の下に、ボリューム全体にある (複数の) ディレクトリーファイルの所在をすべて記述するためのパステーブルファイルがある。パステーブルファイルの下にデータファイルの所在を記述するディレクトリーファイルがあって、最下位の階層にデータファイルがある。

2.4 ボリューム記述子

ボリューム記述子 (Volume Descriptor, VD) は、それぞれ必ず 1 個の論理セクター (2048 バイト長) を占有し、第 3 表に示すように 5 種類ある。そのうち、基本ボリューム記述子と終端記述子が必須、他はオプションである。ボリューム記述子の種類は、ボリューム記述子の置かれた論理セクターの先頭の 1 バイトに書かれた数値で指定される。

基本ボリューム記述子 (Primary Volume Descriptor) は、ボリューム全体を管理するもので、ボリュームには、1 つ以上が必須である。終端記述子 (VD Set Terminator) は、複数あるかもしれないボリューム記述子の終了を示すために置かれる、1 個の論理セクター (2048 バイト長) である。当然、必須である。

補助記述子 (Supplementary VD) は、ボリュームで用いる文字セットを指定するために用いる。標準的な CD-ROM では、互換性を保つために、ボリューム記述子、パステーブル、ディレクトリー名、ファ

第 3 表 ポリリューム記述子の総括表

Table 3 Table of volume identifiers.

ISO 名称	略号	タイプ番号 (16 進表現)	機能	必須か オプションか
Primary VD	基本記述子	0x01	ISO9660 標準形式のポリ リューム構成の記述	必須
Supplementary VD	補助記述子	0x02	ポリリューム構成と文字コ ードの指定	オプション
Volume Partition Descriptor	非標準パーティシ ョン記述子	0x03	ISO 9660 に準拠しない部 分の場所の指定	オプション
Boot Record	ブートレコード	0x00	VD の内容がシステム起 動時にブートデータとし て使用される	オプション
VD Set Terminator	終端子	0xff	VD セットの終了を指示 する	必須

イル名は、ISO 646 文字集合 (だいたい 7 ビット ASCII に相当する文字セット) で記述することになっている。そのため、メインフレーム等、他の文字セットを用いる計算機では都合が悪い。そのような場合にも対応できるように、この補助記述子が用意されている。なお、データファイルの内容については何等の制約もないので、バイナリデータであろうが漢字であろうが自由に記録することができる。

非標準パーティション記述子 (Volume partition Descriptor) は、ポリリュームの中に、オーディオのような ISO 9660 に準拠しない領域が含まれる場合、その位置を指定するのに用いる。また、ブートレコード (Boot Record) は、その内容が、システムの起動時にデータとして用いられる。

現在、データ交換用の CD-ROM で、基本ポリリューム記述子と終端記述子以外があることは、きわめて希だと考えられるので、以下では、基本ポリリューム記述子と終端記述子のみについて説明を加える。

基本ポリリューム記述子は、論理セクター 16 (LSN=16) に置かれるのが普通であり、必ず 1 セクター (2048 バイト) を占有する。その内容は、第 4 表に示すとおりである。それらのフィールドを大別すると、CD-ROM の規格に関するもの (Standard Identifier, Volume Descriptor Version)、ポリリューム構成に関するもの (System Identifier, Volume Identifier, Volume Space Size, Volume Set Size, Volume Sequence Number, Volume Set Identifier)、論理ブロックの大きさ (Logical Block Size) を指定するもの、パステーブルやディレクトリーに関するもの (Path Table Size, Location of Path Table, Root Directory Entry, File Structure Version)、本に例えると、奥付け情報に関するもの (Publisher Identifier, Data Preparer Identifier, Application Identifier, Copyright File Identifier, Abstract File Identifier, Bibliographic File Identifier)、日付けに関するもの (Volume Creation Date 等) に分けられる。

なお、サイズや、位置というような数値で表現される項目で複数バイトにわたるものは、計算機における数値の内部表現の違いに対処するために、最下位バイトを先頭にもってくる表現 (Least Significant Byte First, LSBF) と、最上位バイトを先頭にもってくる表現 (Most Significant Byte First, MSBF) との両方が用意してある。

CD-ROM の規格を指示する Standard Identifier フィールド (5 バイト長) に CD001 と書いてあるのが ISO 9660 準拠の印である。ハイシエラフォーマットでは、CDROM と書いてある。Volume Descriptor Version は、現在 0x01 (16 進表示) である。

ポリリューム構成に関するフィールドは、以下のとおりである。

- ・ System Identifier は、システム予約域 (論理セクター番号 LSM=0 から 15) の内容を示す。
- ・ Volume Identifier は、ポリリュームの名前である。

重力データの CD-ROM 作成 (野呂・志知)

第4表 ポリリューム記述子の構成

Table 4 Components of a primary volume identifier.

フィールド名	位置	記述型	内容の概要
Volume Descriptor Type	00	N	ポリリューム記述子のタイプ番号
Standard Identifier	01-05	C	"CD001"なら ISO 9660 準拠
Volume Descriptor Version	06	N	基本ポリリューム記述子のバージョン
System Identifier	08-27	C	論理セクター 0 番から 15 番の内容を示す
Volume Identifier	28-47	C	当該ポリリュームの名前
Volume Space Size	50-57	NLM	ポリリューム全体の論理ブロック数
Volume Set Size	78-7b	NLM	マルチポリリューム時のポリリュームの全枚数
Volume Sequence Number	7c-7f	NLM	マルチポリリューム時の当該ポリリュームの番号
Logical Block Size	80-83	NLM	論理ブロックのサイズをバイト単位で表す (512,1024 あるいは 2048)
Path Table Size	84-8b	NLM	バスターブル全体のバイト数
Location of Path Table-L	8c-8f	NL	LSBF 表記されているバスターブルの論理ブロック番号で表した位置
Location of Optional Path Table-L	90-93	NL	LSBF 表記されている予備バスターブルの論理ブロック番号で表した位置
Location of Path Table-M	94-97	NM	MSBF 表記されているバスターブルの論理ブロック番号で表した位置
Location of Optional Path Table-M	98-9b	NM	MSBF 表記されている予備バスターブルの論理ブロック番号で表した位置
Root Directory Entry	9c-bd		ルートディレクトリーのエントリーをディレクトリーの形式で記述
Volume Set Identifier	be-13d	C	マルチポリリューム時のポリリュームセット全体の 名前
Publisher Identifier	13e-1bd	C	発行者 (機関) の名前
Data Prepaper Identifier	1be-23d	C	ポリリューム作成者の名前
Application Identifier	23e-2bd	C	データの利用方法等の記述
Copyright File Identifier	2be-2e2	C	著作権に関するファイルのファイル名
Abstract File Identifier	2e3-307	C	アブストラクトファイルのファイル名
Bibliographic File Identifier	308-32c	C	書誌事項ファイルのファイル名
Volume Creation Date	32b-333	C	ポリリューム内容が作成された日付
Volume Creation Time	335-33c	C	ポリリューム内容が作成された時刻
Volume Modification Date	33e-344	C	ポリリューム内容が最終的に変更された日付
Volume Modification Time	346-34d	C	ポリリューム内容が最終的に変更された時刻
Volume Expiration Date	34f-355	C	ポリリューム内容が無効になる日付
Volume Expiration Time	357-35e	C	ポリリューム内容が無効になる時刻
Volume Effective Date	360-366	C	ポリリューム内容が有効になる日付
Volume Effective Time	368-36f	C	ポリリューム内容が有効になる時刻
File Structure Version	371	C	ディレクトリー規格のバージョン

- 位置は先頭からのオフセットを 16 進数で表したものである。
- 記述型は、C : ASCII 文字列 (数字, 大文字, 一部の記号), N : 8 ビットの数値, NL : LSBF (Least Significant Byte First) 表記の数値, NM : MSBF (Most Significant Byte First) 表記の数値, NLM : LSBF 表記の数値の後に MSBF 表記の数値を続けたもの, である。
- 日付・時刻データは、年 (0001-5999), 月 (01-12), 日 (01-31), 時 (00-23), 分 (00-59), 1/100 秒 (0000-5999) を文字で表している。

第 5 表 バステーブルの構成
Table 5 Components of a path table.

位置	記述型	内容
00	N	バステーブルエントリーの長さ (論理ブロック単位)
01	N	拡張属性テーブルの長さ (論理ブロック単位)
02-05	NL または NM	ディレクトリーエクステント先頭の論理ブロック番号
06-07	NL または NM	親ディレクトリーのエントリー番号
08-	C	ディレクトリー名 (長さが奇数のとき最後に 00 を付ける)

- 記述型の略号の意味は、基本ボリューム記述子と同じ。

第 6 表 ディレクトリーエントリーの構成
Table 6 Components of a directory entry.

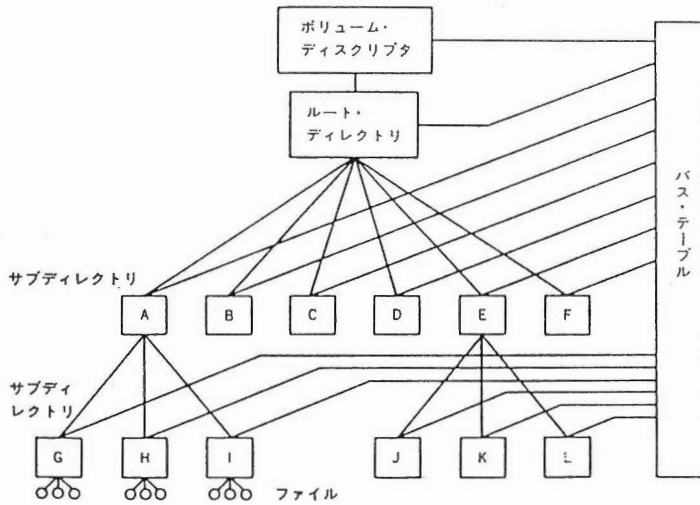
位置	記述型	内容
00	N	ディレクトリーエントリーの長さ (バイト単位)
01	N	拡張属性レコードの長さ (論理ブロック単位)
02-09	NLM	ファイルエクステント先頭の論理ブロック番号
0a-11	NLM	ファイルサイズ (バイト単位)
12-18		日付・時刻
19		ファイルフラグ
1a	N	インターリーブモード時のファイルユニットのサイズ
1b	N	インターリーブモード時のギャップサイズ
1c-1f	NLM	ボリューム通し番号
20	N	ファイル名の長さ (バイト単位)
21-	C	ファイル名 (長さが偶数のときは終わりに 00 を付ける)

- 記述型の略号の意味は、基本ボリューム記述子と同じ。

- ・ Volume Space Size は、ボリューム全体の理論ブロック数である。
- ・ Volume Set Size は、マルチボリュームのときの、ボリュームの枚数である。
- ・ Volume Sequence Number は、マルチボリュームのときの、当該ボリュームの番号である。
- ・ Volume Set Identifier は、マルチボリュームのときの、ボリュームセット全体の名前である。
- ・ Logical Block Size は、論理ブロックの長さをバイト単位で表したもので、512,1024,あるいは、2048 である。

バステーブルやディレクトリーに関するフィールドは、以下のとおりである。

- ・ Path Table Size は、バステーブル全体のバイト数である。
- ・ Location of Path Table L は、LSBF で表記されているバステーブルの、論理ブロック番号 (LBN) で表した位置である。
- ・ Location of Path Table M は、MSBF で表記されているバステーブルの、論理ブロック番号 (LBN) で表した位置である。
- ・ Location of Optional Path Table L は、LSBF で表記されている予備バステーブルの、論理ブロック番号 (LBN) で表した位置である。
- ・ Location of Optional Path Table M は、MSBF で表記されている予備バステーブルの、論理ブロック番号 (LBN) で表した位置である。
- ・ Root Directory Entry は、ルートディレクトリーのエントリーを、後で述べるディレクトリーの形式で記述している。



第4図 パステーブルの役割

Fig. 4 The role of a path table.

・ File Structure Version は、ディレクトリー規格のレベル (後述) である。0, 1, 2 が、それぞれ、レベルの 1, 2, 3 に対応する。

本の奥付けに相当するフィールドの意味は、字義のとおりであるので説明を要しないであろう。ただし、Copyright File Identifier と Abstract File Identifier そして Bibliographic File Identifier は、当該ボリュームに含まれるそれぞれに関するファイルの名称である。

日付けに関するフィールドのうち、Volume Expiration Date & Time と Volume Effective Date & Time は、それぞれ、当該ボリュームが無効になる日付・時刻と、有効になる日付・時刻を表している。

2.5 パステーブル

ISO 9660 では、MS-DOS や UNIX と同じく、階層ディレクトリーによってファイルを管理する。ディレクトリーの階層は 8 段まで許されている。CD-ROM は、容量が大きいため、ディレクトリーやファイルの数が莫大かつ複雑になる可能性があり、ディレクトリーを順に追ってファイルを検索するのでは、時間がかかりすぎる。そこで、ボリューム中のすべてのディレクトリーの位置 (論理ブロック番号) を記述したパステーブルが用意されている。

パステーブルは、LSBF 表記のものと MSBF のものが 1 つずつ用意され、ボリュームごとに必須である。それぞれは、1 つずつの予備をもつことができる。パステーブルの内容を第 5 表に示す。第 4 図に示すように、パステーブルをシステムのメモリー上に持っておけば、目的のディレクトリーに直接到達することができる。

2.6 ディレクトリー

ファイルの階層構造の親になるルートディレクトリーの位置は、パステーブルに記述されるとともに、基本ボリューム記述子にもディレクトリーエントリーの形式で記述される。すべての、サブディレクトリーとファイルは、ルートディレクトリーから関連付けられる。ディレクトリーは、ディレクトリーエントリーからなる。ディレクトリーエントリーの形式は、第 6 表に示すとおりである。ディレクトリーの先頭にあたるエントリーは、自分自身へのそれであり、次に、親ディレクトリーへのエントリーが置

FILE.TXT	(8文字以下のファイル名と3文字以下の拡張子 レベル1以上)
FILE.DAT;2	(ファイル名, 拡張子とバージョン番号 レベル2以上)
THIS_IS_VERY_LONG_FILE_NAME	(31文字以下のファイル名 レベル2以上)

第5図 ISO 9660の各レベルにおけるファイル名の例

Fig. 5 Examples of file name for each level of ISO 9660.

かれる。それ以降に、名前の辞書順にエントリーが並ぶ。

ファイル名は、「名前, 拡張子;バージョン番号」という形で記述される。拡張子はオプション、バージョン番号はレベル2以上で許されるオプションである。ファイル名の長さは、レベル1は、11文字まで、レベル2と3では、31文字まで許される(第5図)。

CD-ROMにおいては、ファイルの書換えがありえないので、ファイルは、常に連続した論理ブロックにまとめて書き込まれる。これをエクステントとよぶ。ディスクの回転待ちのタイムロスを免れるために、ファイルを飛び飛びのエクステントに置くこともできる(マルチエクステントファイル)。この場合は、各エクステントごとにディレクトリーに記述される。

2.7 拡張属性レコード (XAR)

ISO 9660では、ファイルごとに、アクセス制御、レコード構造情報、等を持たせることができる。それを、拡張属性レコード (Extended Attribute Record, XAR) とよび、ファイルの先頭におかれる。内容は、省略する。拡張属性レコードのある無し、その長さ(論理ブロック単位)は、ディレクトリーに記述される。

2.8 ISO 9660のレベル

ISO 9660には、レベル1からレベル3まであり、各レベルの違いは、第7表に示すとおりである。このうち、レベル1は、パーソナルコンピュータのMS-DOSのファイル構成と相性がよいため、広く使われている。レベル2は、レベル1におけるファイル名とディレクトリー名の長さの制限をゆるめ、ファイルのバージョン番号を書けるようにしているため、UNIXあるいはVMSで用いるのに便利である。

第7表 ISO 9660のレベルによる違い

Table 7 Table of differences among three levels of ISO 9660.

機能	レベル1	レベル2	レベル3
マルチボリューム	○	○	○
マルチエクステントファイル	×	×	○
ディレクトリー名の最大長	8	31	31
ファイル名の最大長	12*	31	31
ファイル名のバージョン番号	×	○	○

* 8バイトのファイル名+1バイトの"."+3バイトの拡張子

2.9 マルチボリュームセット

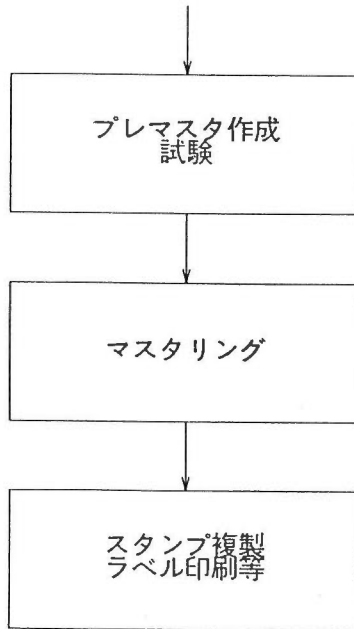
マルチボリュームセットとは、複数のCD-ROMの組合せをいう。これを使えば、1枚のCD-ROMに収まらない巨大なデータファイルが実現できる。さらに、データに追加が生じた場合にも対処できる。

マルチボリュームセットを可能にするための機能が、上に述べたボリューム記述子に用意されている。

・ボリュームセット識別子 (Volume Set Identifier, VSID): ボリュームセット全体の名称、各ボリュームで同一であることが必須である。

・ボリュームセットサイズ (Volume Set Size, VSS): ボリュームセットを構成するボリューム (CD-ROM) の枚数。

CD-ROM 出版者



第 6 図 CD-ROM の制作工程

Fig. 6 Typical fabrication process of CD-ROM.

・ボリューム順番号 (Volume Set Sequence Number, VSSN) : セット中の何番目かを示す番号。
マルチボリュームセットを作るためには、以下の条件が必要である。(1) 各ボリュームのディレクトリーは、他のすべてのボリュームのディレクトリーを記述しなければならない。(2) 各ボリュームの同じ物理的位置に、同じディレクトリーが存在しなければならない。(3) パステープルも同様である。

3. CD-ROM データ書き込みシステム

3.1 CD-ROM の生産行程とプレマスター

CD-ROM の生産工程は、第 6 図に示すように、(1) データフォーマットの変換とプレマスター CD-ROM の作成、(2) マスタリングと射出成形による大量生産工程、に分けられる。

プレマスター CD-ROM は、射出成形 (プレス) によって作成される狭い意味の CD-ROM とは異なり、レーザーによる書き込みシステムで 1 枚づつ作るものである。前に述べたように、書き込みが 1 度だけで読みだしが複数回、という意味から、WORM (Write once Read Many) ディスクともよばれる。もちろん、データの読み出し等の利用に置いては、普通の CD-ROM とまったく変わらない。耐久性もほぼ同等である。今回、地質調査所に導入したのは、このようなプレマスター (WORM) CD-ROM 作成システムである。

プレマスター CD-ROM 作成システムを導入することの意義は、次のとおりである。

・CD-ROM の小ロット生産が可能になる。工場での作成は、普通数百枚単位であり、少量生産にむいていない。日常的に使うデータのバックアップ、テスト的な作成、研究者間での小規模流通、等、少量の生産に便利である。もちろん、大量複製が必要になった場合は、チェックの済んだプレマスターをもとに工場での大量生産工程に渡せばよい。

・工場でのプレマスター作成を自家製に切り替えることにより、チェックが容易になるとともに、それ



第7図 CD-ROM 作成システムのハードウェア構成
 Fig. 7 Hardware components of CD-ROM writing system.

に要するコストと時間を大幅に節約できる。

3.2 導入した CD-ROM 作成システム

今回、導入した (プレマスター) CD-ROM 作成システムのハードウェア構成は、第7図に示すとおりである。全体のコントローラーとして、NEC(株)のPC-9801FXを採用している。ローカルなハードディスク (現在 500 メガバイト、増設予定) は、CD-ROM に書き込むデータファイルの一時的な保管場所として用いるものであり、専用ハードディスク (1.3 ギガバイト) は、CD-ROM に直接書き込むことができるようにフォーマットを変換したデータイメージを保管するためのものである。ともに、SCSI でコントローラーに接続される。CD-ROM(WORM ディスク) への書き込みは、SONY(株)のCDW-E1 データエンコーダーと CDW-W1 データレコーダーを用いておこなう。このシステムは、工業技術院ネットワーク地質調査所サブネットに接続され、ワークステーションやスーパーコンピュータ、メインフレームからのデータの取り込みが容易におこなえる。

作成用ソフトウェアとしては、(株)アプリックス製のCDWriter-98を用いている。このソフトウェアでCD-ROMを制作するための作業の流れは、次のとおりである。

(1) 書き込みたいデータファイルを、ネットワークコマンド ftp により CD-ROM 作成システムのローカルなハードディスクにコピーする。NFS(ネットワークファイルシステム)を用いればローカルなハードディスクへのコピーが不要となる。

(2) コマンド CDH を用いて、基本ボリューム記述子の内容を作成する。その内容は、XXX.CDH という拡張子付きのファイルに保存される。ここで、XXX は仮のボリューム名である。

(3) コマンド CDS を用いて、CD-ROM に書き込むデータファイルの名前リストを作成する。CDS を起動すると CD: という名の仮想的なドライブが作られるので、その上に MKDIR 等のコマンドを用いてディレクトリー構造を作り、必要なファイルを (仮想的に) コピーすると、書き込みファイルのリストとディレクトリー構造を記述したファイル XXX.CDS ができあがる。ここで作ったディレクトリー構造にしたがって、CD-ROM の上に同じディレクトリー構造が作られる。

(4) コマンド CDF を用いて、フォーマット変換をおこない、CD-ROM に直接書き込むことのできるデータイメージを、専用のハードディスクに作る。これは、(2) と (3) で作成した、XXX.CDH および XXX.CDS に記述した内容にしたがっておこなわれる。

(5) コマンド CDW を用いて、専用ハードディスク上に作成したデータイメージを実際に CD-ROM に書き込む。専用ハードディスク上のデータイメージは、次の CDF の実行までは破壊されないので、必要な枚数の CD-ROM を連続して作成することができる。

第 8 表 CD-ROM 書き込み装置と書き込み方式
Table 8 Table of CD-ROM writing devices and writing methods.

メーカーモデル名	記録方式
Sony CDW-900E	Disc at Once
Sony CDW-E1/W1	Disc at Once
YAMAHA YPE/YPR-201/301	Disc at Once
Philips CDD 521	Incremental Write
JVC XR-W1001	Incremental Write
Ricoh RS-9200CD	Incremental Write
YAMAHA CDR100	Incremental Write

3.3 CD-ROM 書き込み装置

導入したシステムでは WORM ディスクへの書き込みを、SONY(株)の CDW-E1 データエンコーダーと CDW-W1 データレコーダーでおこなっている。ここで、書き込み機の機種について若干の留意事項を記す。

今日用いられている書き込み方式には、2つの種類がある。中心部から外周に向かって一気にデータを書き込む Disc at Once 方式と、リードインで始まりリードアウトで終わる 1セッション単位でデータを書き込む Incremental Write 方式である。Disc at Once 方式では、データの書き込みが 1 回に制限されるのに対して、Incremental Write 方式では何回もデータを書き込むことができる。

Disk at Once 方式で作成した WORM ディスクは、大量生産される CD-ROM とほとんど同じものである。そのため、通常の CD-ROM ドライブで読むことが容易であるとともに、工場に持ち込んだときプロトタイプデータとしてそのまま用いることができる。なお、すでに詳しく説明したように、ISO 9660 規格では、Disc at Once 方式を前提にしている。

一方、Incremental Write 方式で作成した WORM ディスクには、データのところどころにリンクブロックとよばれる継目があるため、ISO 9660 の CD-ROM として読もうとしたとき、エラーとして検出されてしまう。そのため、通常の CD-ROM としての配布や工場での複製作業のプロトタイプデータとして用いるのは困難である。しかし、Disc at Once 方式に比べて、Incremental Write 方式の記録装置が安価であること、1 回に書き込むデータの量が少ないためデータイメージを保管するためのディスク空間が小さくてすむこと、書き込みに伴う準備作業が簡易であること、などの長所があるため、データのバックアップ等に適しているといえる。

各メーカーが提供している CD-ROM 書き込み装置は、Disc at Once 方式と Incremental Write 方式の、どちらかのみに対応している(第 8 表)。Disc at Once 方式の書き込み装置で Incremental Write をおこなうことは不可能である。一方、Incremental Write 方式の書き込み装置を用いて Disc at Once 方式の書き込みを行うことは原理的には可能である。ただし、そのためには、先頭のリンクブロックがエラーとして認識されないようにするためのソフトウェアと、フォーマット変換の済んだデータイメージを保持するための大きなディスク空間が必要である。

4. 結 果

4.1 CD-ROM の書き込みに要する時間

作業時間のほとんどは、CDF によるフォーマット変換と専用ハードディスクへのデータイメージの書き込み、そして、CDW による実際の CD-ROM への書き込み作業で費やされる。約 300 メガバイトの

データでは、CDF によるフォーマット変換作業に約 20 分、CDW による実際の CD-ROM への書き込み作業に約 40 分を要した。CD-ROM への書き込みが、リアルタイムでおこなわれることがわかる。

4.2 CD-ROM 書き込みシステムの評価

導入した CDWriter-98 システムの評価を述べる。結論から述べると、このシステムは、実用的には十分な機能を備えており、初心者にも使いやすい。特に機能が豊富なわけでもなく、一部に不親切なところもあるが、価値を損なうほどのものではない。

(1)CD-ROM に書き込むデータファイルのリストを作成するために用いるコマンド CDS が使いやすい。仮想のドライブの上で作ったディレクトリー構造にしたがって CD-ROM のディレクトリー構造が作られるというのは、直感的でよい。

(2)CD-ROM の基本ボリューム記述子の内容を作るためのコマンド CDH は、使える文字セットを示すなど、丁寧にできている。その一方で、入力を求められている項目の意味の説明がないため、何を書くのか迷いがちである。正確に入力するためには、基本ボリューム記述子についての知識が必要であった。この点の改良が強く望まれる。

(3)MS-DOS 上での運用を重視したためであろうが、ISO 9660 レベル 2 の機能の一部が省かれている。ファイル名とディレクトリー名を長くできないこと、ファイル名のバージョンが記述できないこと、である。このシステムで作った CD-ROM を UNIX 上で用いるとき、多少物足りなく感じるが、MS-DOS やマッキントッシュでの運用を考えると正しい選択であろう。

(4)このシステムは、CD-ROM へのデータ書き込みの基本機能を、初心者にも使いやすく提供するという目的で作られている、と思われる。そのため、マルチボリュームセットや、拡張属性レコード、等のように、CD-ROM に関する高度の知識がなければ使いこなせない機能は省かれている。現状で、これらの機能が必要な場面は少ないであろうから、問題は少ない。しかし、将来の充実は望まれる。

5. 作成した重力データ、重力異常図、重力解析プログラム CD-ROM

作成した重力データベース CD-ROM の構成を第 8 図に示す。DOC ディレクトリーには、本報告掲載の論文の全文を置く。TEX のソースファイルと dvi ファイル、簡単に整形したテキストファイルである。

DATA ディレクトリーには、重力データと、ブーゲー異常図データを取める。PROG ディレクトリーには、当該報告書の著者らが開発した重力データ解析ソフトウェアが置かれている。DEMO ディレクトリーには、パーソナルコンピュータで上記のブーゲー異常図を表示するためのデモプログラムを置く。

ブーゲー異常図は、仮定密度を 2.67 g/cm^3 として Inoue(1986) の方法により作成した。CD-ROM に収めたのは、(1) 図を作成するのに用いた全データの測点位置、(2) スプライン係数のファイル、(3) ブーゲー異常図の JKM 形式(村田・野呂,1994)のデータファイル、(4) 国土数値情報標高データベース KS-110-1 の形式における標高点と同じ位置の点のブーゲー異常値を計算し、KS-110-1 の形式で並べたファイル、である。

重力データは、上記の図を作成するのに用いたデータのうち、論文等によりすでに公表されたもののみである。未公表データは含まれない。

6. 結 論

CD-ROM 書き込みシステムの導入により、CD-ROM の作成とチェックが簡単かつ短時間でおこなえるようになった。300 メガバイト程度のデータで、フォーマット変換の作業に約 20 分、CD-ROM への書き込みに約 40 分を必要とすることがわかった。試作版の作成、研究者間でのデータ交換用の少数の CD-ROM の作成が実用的におこなえるようになった。

DOC /	├──	SHICHI /	志知・山本 (1994) の T _E X テキスト
		MURATA /	村田・野呂 (1994) の T _E X テキスト
		NORO /	野呂・志知 (1994) の T _E X テキスト
		KOMAZAWA /	駒澤ほか (1994) の T _E X テキスト
		NAGOYA /	西南日本重力研究グループ (1994) の T _E X テキスト
DATA /	├──	JKM /	ブーゲー異常 JKM 形式メッシュ (仮定密度 (ρ)=2.67)
		KS /	ブーゲー異常 KS-110-1 形式メッシュ (ρ =2.67)
		SPLINE /	ブーゲー異常スプライン係数 (ρ =2.67, 2.0-3.0 (0.1 刻み))
		POINT /	測点位置 (分単位)
		TABLE /	公開された測定データ
PROG /	├──	BAYRHO /	地殻表層密度推定プログラム
		SPLINE /	スプライン当てはめプログラム
		SPECG88 /	地質調査所重力解析標準プログラム
		NAGOYA /	名大版地形補正プログラム
DEMO /	├──	SRC /	デモプログラム
		BIN /	デモプログラムの実行ファイル
		LIB /	デモプログラム用のデータファイル

第 8 図 作成した重力データベース CD-ROM のディレクトリー構成
Fig. 8 Directory structure of the CD-ROM of the gravity database.

そのシステムを用いて重力データベース CD-ROM を作成した。当初の期待どおり、小型かつ簡便なデータベース配布媒体が実現できた。

謝 辞

地質情報センターの松本則夫氏には、パーソナルコンピュータにおけるイーサネットの利用についてご教示いただいた。同じく、中野司氏には、ワークステーションにおける CD-ROM の利用についてご教示いただいた。記して、感謝の意を表する。

文 献

- Inoue, H. (1986) A least-squares smooth fitting for irregularly spaced data: Finite-element approach using the cubic B-spline basis. *Geophysics*, no.51, p.2051-2066.
- 瀬藤一起 (1988) CD-ROM と MS-DOS. bit(共立出版), vol.20, no.6, p.620-631.
- 村田泰章・野呂春文 (1994) 地形および地質データを用いた重力データの画像化表現法. 地調報告, no.280, p.63-76.
- 山崎俊一 (1987) CD-ROM の事実上の国際標準「ハイシエラフォーマット」. 日経バイト(日経マグロウヒル), no.36, p.90-101.

平成6年3月22日 印刷
平成6年3月25日 発行

通商産業省工業技術院 地質調査所

〒305 茨城県つくば市東1丁目1-3

印刷者 木村篤義
印刷所 創文印刷工業(株)
東京都荒川区西尾久 7-12-16

© Geological Survey of Japan

ISSN 0366-5542

CODEN : CCHHAQ

REPORT No. 280

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Takeo SATO, Director

Research on the gravity data analysis
and imaging method in Southwest Japan

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Higashi 1-1-3, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 Japan

1994

地 調 報 告
Rept. Geol. Surv. Japan
No. 280, 1994