

金沢大学重力データベースの公表

本多 亮¹⁾・澤田 明宏²⁾・古瀬 慶博³⁾・
工藤 健⁴⁾・田中 俊行¹⁾・平松 良浩²⁾

- 1) 公益財団法人地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所
- 2) 金沢大学理工研究域自然システム学系
- 3) 三菱スペース・ソフトウェア株式会社
- 4) 中部大学工学部

Release of Gravity Database of the Kanazawa University

Ryo Honda¹⁾, Akihiro Sawada²⁾, Nobuhiro Furuse³⁾,
Takeshi Kudo⁴⁾, Toshiyuki Tanaka¹⁾ and Yoshihiro Hiramatsu²⁾

- 1) Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES),
Association for the Development of Earthquake prediction (ADEP)
1-63 Yamanouchi Akeyo-cho, Mizunami, Gifu, 509-6132 Japan
- 2) School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192 Japan
- 3) Mitsubishi Space Software Co., Ltd.
2-4-1 Hamamatsu-cho, Minato-ku, Tokyo, 105-6132 Japan
- 4) College of Engineering, Chubu University
Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi, 487-8501 Japan

Abstract

We have finished the preparation for the official release of the Kanazawa University gravity database as a primal edition. Kanazawa University Gravity Research Group has been observing gravity data since 1972. The total amount of the gravity station is 21,520 now. The gravity data are not distributed uniformly, nor abundant as other databases already released. However, we can adequately provide data for some particular areas. With the release of the database, we constructed the GIS platform assisted map view dataset. By this map dataset, we can easily compare the gravity anomaly distribution together with topography, aerial photographs and other datasets, for all over the country.

1. はじめに

重力データは「地球の形を測る」測地学の観点から基本的且つ重要な物理量であると同時に、活断層調査等の構造探査や資源探査などで利用され、単に学問としてだけではなく社会的観点からも有用なデータとなっている。日本国内においては様々な目的により国土・領海を覆い尽くさんばかりの重力データが蓄積されてきており、1990年代よりそうしたデータベース公表の潮流があった。1994年の名古屋大学によるデータベース公表（志知・山本，1994）に始まり、2000年には地質調査所（現産業技術総合研究所）による重力データ CD-ROM（地質調査所，2000）が発行され、さらに現在までに西南日本重力グループによる重力データ CD-ROM 発行（The Gravity Research Group in Southwest Japan, 2001）、国土地理院の測定データ Web 公表（国土地理院，2002）と、大型データベースの公表が相次いだ。これらのデータベースのうち産業技術総合研究所、西南日本重力グループによるものはバージョンアップデータも公表されており（地質調査総合センター，2004；Yamamoto *et al.*, 2011）、こうした大きなデータベースに限らずとも、数表によるデータ公表を伴う文献も新たに公表されている。そういった公表データのコンパイルを継続的に行うことも今後の課題として挙げられる。

一方、金沢大学でも多くの重力異常データが所蔵されてきたが、河野・古瀬（1989）による重力異常図とその解説書という形での出版はあったものの、残念ながら膨大に蓄積されたデータそのものの公表には至らなかった。今回、金沢大学によって観測が行われた分のデータに関する整理が進み、数値での公表が可能となったので、重力観測とデータ処理の概要、公表されるデータベースの特徴と合わせ、ここに報告する。

2. 金沢大学による重力観測とデータ処理

故河野芳輝金沢大学名誉教授による重力測定は1972年に始まった。その年に北海道大学の横山泉博士（現名誉教授）の手ほどきを受け、北海道大学の所有する LaCoste & Romberg 社製 G 型相対重力計（G-21）を用いて能登半島での重力測定を行っている。1974年には現在まで使用されている LaCoste & Romberg 社製 G 型相対重力計（G-348）が導入され、その後 1976 年から 1977 年にかけての海外での研究活動による中断期間のあと、精力的に日本各地の重力測定が開始された。1996 年からは Scintrex 社製相対重力計 CG-3M（S315）も導入され、こちらも現在も活躍中である。

金沢大学重力グループによる重力測定手法にはこれまでいくつかの細かな変更点はあったものの、1972年の測定開始から大きく変更されることなく続いている。測定は詳細に後述する基準点を用いた環測定によって行われており、基準点から数時間以上の移動を伴う観測では現地の重力基準点若しくは水準点等での測定を心がける。また、相対重力計による野外での観測に付きまとうテアの問題にスムーズに対処できるよう、毎朝・毎晩の宿基準点での測定も行っている。また、すべての重力測定において機器ドリフトは安定してお

り、測定点位置決定精度や補正計算時の誤差を考慮しても最大で数 mGal 程度の精度のデータベースであると言える。公開されるデータベース中では既に公開されている上述の他機関データと合わせて 1 mGal コンターの重力異常図を用意しており、他機関データとの整合性という意味でも問題の無いデータベースであると言える。測定位置には可能な限りコンクリート釘でマーカ―を打ち込み、簡単な測定点のスケッチを点の記として書き記すとともに、重力計の写った現場写真を残すことにしている。このようなマーキングは 1978 年の測定より導入されている。理由としては、1 つにはテア等の機器トラブルに迅速に対応するためであり、もう 1 つは地震等のイベントに際して重力値の時間変化を検出出来ればという思いが込められていた。測定点写真や測定点スケッチは同一点での再測定が可能になるように、年月を経てもその測定点を発見できるように工夫して撮られ、描かれている。これらの測定点写真及び点の記についてはデジタル化が実現していないので今回公表されるデータベースには含まれない。

測定点名は特に特徴的な目印等が無い場所については測定点番号をそのまま測定点名としている。機器高は常に重力計上面とマーカ―上面の高度差として測定されているが、繰り返し測定の際以外は用いられることなく、データベースにおける標高値に加味されていない。砂利道、私有地などマーカ―を打ち込めない測定点に関してはアルファベット 1 文字であらわされる測定点環境に反映される。測定点環境は A：基準点、B：特定の施設や建物などの前、内部、屋上など、C：舗装道路、D、未舗装道路、となっている。標高決定精度については 0～5 までの 6 段階に数値化されており、0：水準点など 1 cm 以内の精度、1：三角点等 10 cm 以内の精度、2：独標点などの 1 m 以内の精度、3：地形図の等高線から決定された場合の 10 m 以内の精度、4：険しい地形の測定点で地形図の等高線から決定された場合、5：DGPS による決定（数 cm 以内で決定されても、ジオイドの精度に依存）、となっている。座標決定方法は GPS を導入した 1998 年以前と以後で決定精度とともに大きく変わっている。GPS 導入以前は国土地理院発行の 25,000 分の 1 地形図や、各自治体発行の 5,000 分の 1 都市計画図などを基に座標決定を行っていた。標高値は、水準点・三角点や独立標高点での測定の際にはその標高値を採用し、そのほかの測定点では地形図の等高線から標高値を読み取っている。緯度・経度値については野外で地形図に記した測定点位置を、初期は手作業で、後に PC に接続されたデジタルイザ―によって数値化していた。GPS 導入後は干渉測位によって高精度に標高決定が可能になるとともに、緯度経度の値をデジタルイザ―する必要性が無くなった。2000 年に SA (Selective Availability) が解除になり単独測位による水平方向の決定精度が改善されてからは、標高値はともかくとして、緯度経度の値は単独測位によって得られた値をそのまま用いることが多くなった。GPS 導入以前の標高決定には地形図の等高線のほか、気圧や気圧高度計による標高値を記録し、参考にしていた。これらは GPS による標高決定が困難であった場合に備えて、標高決定のサポートデータとして現在も記録されている。なお、公開されるすべての測定点座標値は世界測地系に準拠する。

重力データは金沢大学独自のファイルフォーマットとプログラム群によって処理されている。重力補正処理の詳細は河野・古瀬（1989）で既に紹介されているものから大きく変わるものではないのでここでは省略する。河野・古瀬（1989）以降に大きく改善された点はそれまで用いられていた 500 m メッシュ地形モデルによる地形補正（河野・久保，1983）よりも詳細な 50 m メッシュ地形モデルによる地形補正（本多・河野，2005）が導入されたことで、データの質は当時に比べて飛躍的に向上している。また、2000 年問題に対応するための処理プログラム修正と、それに伴う一部データフォーマットの改訂作業等を経て現在に至っている。

3. 観測に用いられてきた重力基準点の変遷について

金沢大学による重力測定は、重力計検定時や時間変化検出を目的とする往復測定を除けば、すべてキャンパス内の重力基準点で閉じられる環測定によって行われている。数時間を超える自動車による移動を伴う測定の際には研究対象地域の一等重力点でさらに環を作り、計器の長距離輸送によるトラブルに備えている。金沢大学キャンパス内の重力基準点の変遷について述べる。金沢大学旧城内キャンパスおよび現角間キャンパスにおける重力基準点の座標および重力値は以下に示すように統一されているが、角間基準点の重力値には敷地造成工事による時間変化があった。座標値・重力値はいずれも世界測地系・JGSN75 にそれぞれ準拠している。

(1) 城内基準点

場 所：金沢大学城内キャンパス理学部 2 号館 166 号室

点 名：KUFS166

緯 度：36.56799°

経 度：136.65866°

標 高：33.79 m

重力値：979857.99 mGal.

城内重力基準点は当時の「岩石物性実験室」内に設定したものである。角間町へのキャンパス移転が行われた 1992 年年末までの野外観測は、全てこの点を基準にして行っていた。緯度経度の決定は 25,000 分の 1 地形図からのデジタル化により行われており、誤差は 5 m 以内である。標高決定は一等水準点からの水準測量により行われ、誤差は 1 cm 以内である。重力値は城内理学部 130 号室に国土地理院によって設置されていた重力基準点（979857.90 mGal）から数度の往復測定によって決定した。2 点間の距離は 50 m 程度である。

(2) 角間基準点

場 所：金沢大学角間キャンパス理学部（現：自然科学 5 号館）玄関

点 名 : KUFSEGS
緯 度 : 36.54590°
緯 度 : 136.70814°
標 高 : 106.19 m
重力値 : 979841.71, 979841.67, 979841.64 mGal

角間重力基準点は国土地理院が 1992 年 11 月 16 日に重力測定を実施し設置した重力基準点をそのまま使用している。国土地理院による測定は基準点に隣接する室内で行われている。この基準点は、金沢大学理学部が金沢市角間町に移転した 1993 年 3 月の測定から使用した。最初の測定は対馬測定 (1993 年 3 月 30 日) であった。緯度・経度は地理院「点の記」を参照し、5,000 分の 1 地形図より誤差 1 m 以内で決定。標高値は GPS 精密測位と水準測量から誤差 1 cm 以内で決定した。1999 年 4 月より、金沢大学自然科学研究棟建設に伴って周辺山地の削除が行われたため重力値が減少した。金沢大学本部施設課に問い合わせ確認した (2007 年 11 月 6 日) ところでは、この整地工事は 1998 年に角間川の改修と調整池の造成から始まり、実質的な山体削除の工事は 1999 年に開始され、冬期間の工事中断をはさんで 2000 年末に終了した。工事は重力基準点から 300 m ほどはなれた位置で行われた。国土地理院は 2004 年 9 月 8 日に再び金沢大学角間キャンパスにおける絶対重力測定を実施した。1992 年に測定を実施した部屋が測定に利用できなかったため、新たに金沢大学本部所有の倉庫地下室において行われ、現在はその測定場所が金沢 FGS となっている (979846.12 mGal)。その際国土地理院は金沢大学理学部玄関前の旧重力点について新 FGS からの接続測定を行い、3 台の LaCoste & Romberg 重力計による測定の平均値として 979 841.64 mGal (± 0.01 mGal : SD) を報告している。われわれも 2006 年 9 月 12 日、Scintrex 社製 CG-3M 重力計を用いて (LaCoste & Romberg 社製 G 型重力計はこの時期修理中であった) 新設された絶対重力点と金沢大学理学部玄関重力点との間 (約 300 m) を 3 往復して測定を行った。絶対重力点の重力値を基準として求められた金沢大学理学部玄関重力基準点の重力値は 979841.64 mGal (± 0.04 mGal : SD) であり、国土地理院が与えた値と極めて調和的であった。

残された 1999 年 1 月から 2000 年 12 月までの期間の重力値に関しては、工事期間の重力値の変化 (減少) が一定で進行したと仮定し、これを単純化してステップ関数的な変化に置き換えた。つまり、変化前と後の値の中間値 (979841.67 mGal) を与えることとした。過渡期における重力基準値の誤差は最大で 0.03 mGal 程度で収まると考えられる。

山地の削除により重力値が 70 μ Gal 減少したことになるが、もちろんこのことは通常行われている野外観測の結果に何らの影響を及ぼす変化量ではない。この処理はブーゲー異常分布を議論する限り特に大きな問題にはならないが、前項で述べたような重力値の時間変化を扱う際に大きな問題となるため対応したものである。

4. 公表されるデータベースの特徴

4.1. 金沢大学重力データの分布

公表されるデータの特徴を、このデータベースを用いた過去の主要な研究を踏まえつつ述べる。Figure 1 に公表されるすべての重力データの位置を示す。今回公表する金沢大学重力データは、恐らく現在未公表のデータの中では最も膨大且つ全国に広く展開するものであろう。データ数としては重複点を除いて 21,520 点であり、全国を密且つ均等に覆うデータベースではないものの、場所によっては他機関による既存のデータベースに比べて密にデータが存在する。Figure 2 (a) ~ (b) にデータ分布の状況をより詳しく図化したものを示す。他機関によるデータをどの程度補うものであるかを詳しく見るために、(a) に公表されるすべての金沢大学測定データから最近接の他機関測定点までの距離、(b) に公表されるすべての金沢大学測定データを中心とする半径 5 km 以内の他機関測定点の数の分布を示す。

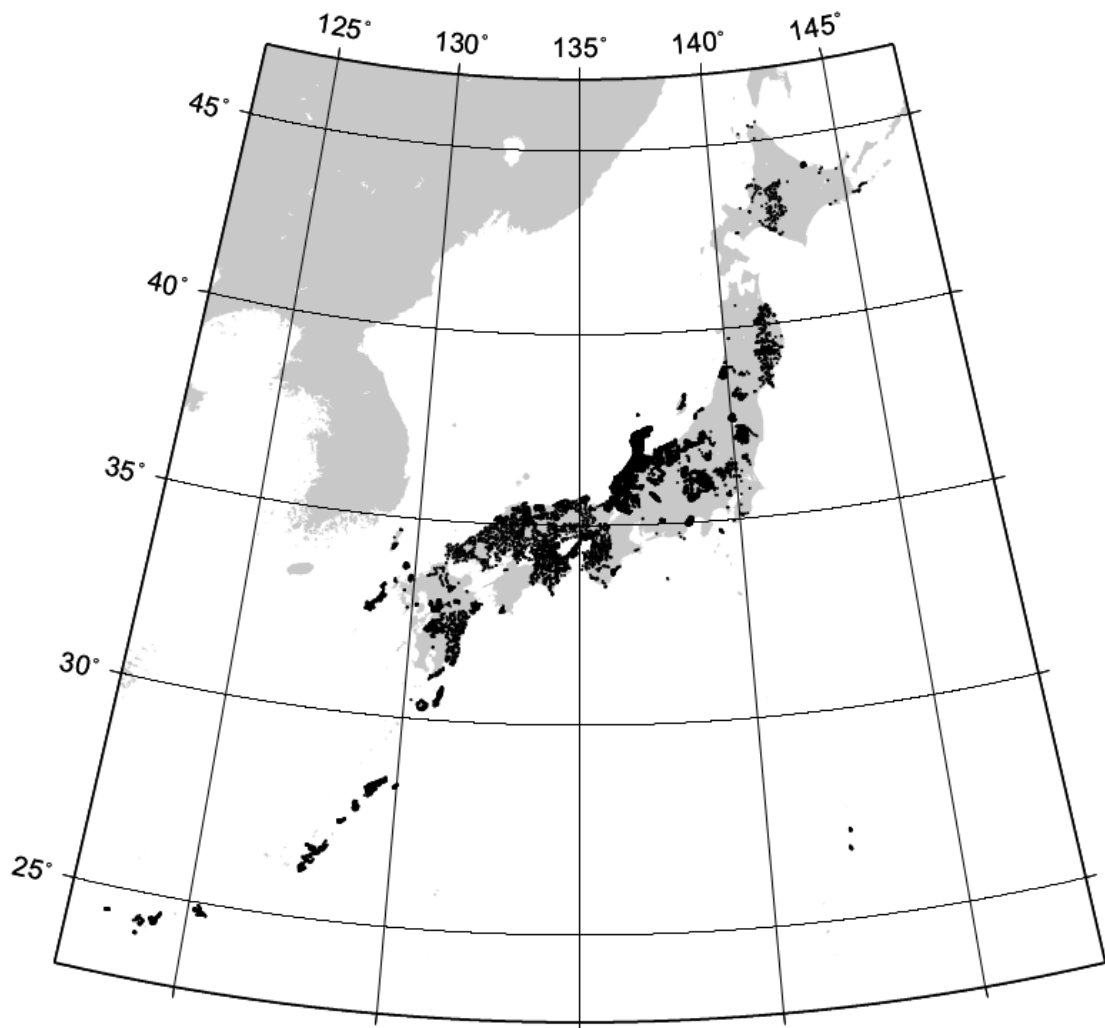


Fig.1. Distribution of the Kanazawa University's gravity data.

Figure 1 から、北陸地域にデータが多いことが明らかであるほか、南西諸島および小笠原諸島の一部にもデータが充実していることがわかる。北陸地域は金沢大学に近いことから、金沢大学による最初の重力測定が行われた地域でもあり、学生のための様々な研究テーマに取り上げられた地域でもある。特に能登半島の邑知低地帯は地形的にも重力異常の分布から見ても非常に特徴的であるため、角南・河野 (1988), 須藤・他 (2004) などに代表される観測が行われた。近年では 2007 年能登半島地震に前後して奥能登地域で稠密な観測が

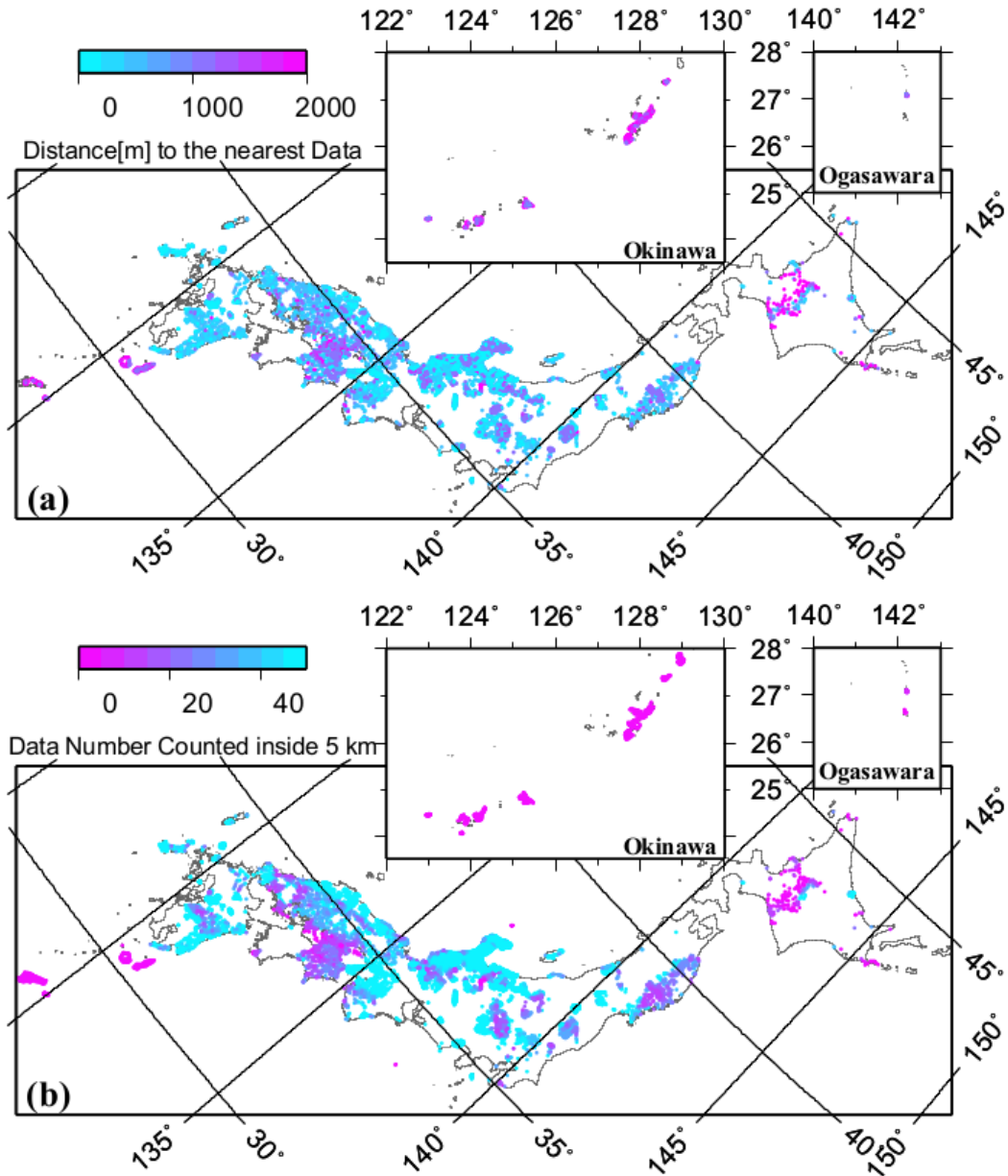


Fig.2. Characteristics of the distribution of the Kanazawa University's gravity data. (a): Distance to the nearest other faculty's data. (b): Data number of the other faculty's data, counted inside radius 5 km of each Kanazawa University's data.

行われている (Honda *et al.*, 2008; 澤田・他, 2012). 加賀平野から福井にかけても多くのデータが整備されていることも目立つ. これらは例えば Sawada *et al.* (2012) などが加賀平野で行った観測に加え, 福井地震の震源域をターゲットにした観測結果 (河野・他, 1981; Takeuchi *et al.*, 1983; 小林・他, 2001) によるものである. このほかにも内陸地震発生域に着目した観測がいくつかあり, 例えば大久保・他 (1988) は跡津川断層周辺, 竹内・他 (2001) では山崎断層周辺の観測が行われ, 本多・他 (2000) では発生直後の 2000 年鳥取県西部地震震源域での観測が行われている.

Figure 2 (a) に示されるように最寄りの他機関データまでの距離が 1~2 km 以上も離れている点は北海道, 瀬戸内海の島嶼部, 南西諸島にまとまってみられる. 特に瀬戸内海についてはほぼすべての島での測定が行われている (大野・他, 1994; 河野・他, 2001). また, 北アルプス縦断測定を行った際のデータ (河野・張山, 1984) も, 他のデータから遠く隔絶されたデータとして良く表れている. 中部山岳地域に着目して観測・研究が行われた (河野・他, 1982; Kono *et al.*, 1982a; Kono *et al.*, 1982b; 古瀬・河野, 1982; 河野, 1983; 源内・他, 2002) 背景には, 古瀬・河野 (1984) で論じられた本州中部地域のアイソスタシーに着目したことが挙げられる. このため中部山岳地域では局所的に稠密な観測がおこなわれるよりも, 広域を均等にカバーする観測点分布となっている. Figure 2 (a) で見られることと同様の傾向は Figure 2 (b) にも現れている. こちらは他機関の測定点がどのぐらい豊富にある地域で測定されたかを示すものであり, 今回公表されるデータセットが島嶼部や北海道地域で貴重なデータを提供できることが分かる. 一方, 周囲の既存データ数が豊富な地域であるために Figure 2 では目立たないが, 能登半島における金沢大学重力データはデータベースの中でも特に稠密であることを記しておく.

他には岩手県周辺でデータの充実が伺える. その成果はこの地域を対象とした観測結果 (大久保・河野, 1988; 河野・大久保, 1985) や, 男鹿-気仙沼爆破地震観測 (Research Group For Explosion Seismology, 1977) の測線を対象とした Tanaka *et al.* (1999) による研究にまとめられている.

4.2. データベースの特徴

データベースの公表形式としては, CD-ROM のイメージ若しくは圧縮されたデータベースファイルを金沢大学理工学域自然システム学類地球学コース Web サイト内 (http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/gravity_database.html) よりダウンロードする形を採り CD-ROM 自体の配布は行わない. これまでに公表されてきたデータベースとの大きな違いは, すべてのデータに測定時刻や測定点標高決定に関する詳細な情報が付されていることで, 特に測定年月日・時刻の情報が存在することによって, すべてのユーザーが潮汐補正等のすべての重力化成処理を自分の手で行うことも可能であり, 時間変化の研究にもデータを用いることが可能になっている.

また, 今回のデータベース公表では, 現時点で広く普及する GIS ツールに対応した重力

異常図・測定点情報等を付加し、データベース利用者がより手軽にデータを閲覧できるように心がけた。具体的には、測定点位置をソフトウェアで表示するために、数値データをあわせて作成した。測定点表示用のソフトウェアとして Google 社が無料で配布しているバーチャル地球儀ソフトウェアである Google Earth, およびフリーソフトとして利用できる地図ブラウザソフトであるカシミール 3D を対象とし、それぞれのソフトウェアに対応したフォーマット形式の測定点位置データを作成した。Google Earth を利用することによって、空撮地表写真と測定点位置とを重ねて閲覧することができる。また、カシミール 3D を利用することによって、国土地理院が提供している数値地図（地形図）と重ねて閲覧することが容易に可能となる。その他に、Google Earth で利用可能である重力異常分布図を冒頭で述べた他機関データを含めて作成した。これは重力測定点を含む地域をそれぞれ 1 度×1 度の範囲に分割し、それぞれの範囲における画像ファイルとして 1 mGal 間隔のコンター線を含むブーゲー重力異常分布図を作成した。この画像ファイルはブラウザから対象範囲をクリックすることにより Google Earth によって表示される。ブーゲー重力異常分布画像の透過性を調節することにより、背景の空撮地表写真、前述の測定点位置情報、その他の地理情報データと重ねて表示することが可能であり、重力異常分布と他の情報との比較が容易となる。

今後の課題としてはデータベースの利用者からのフィードバックを反映させてのデータベースのバージョンアップが挙げられる。たとえば大東島の測定データ (Isezaki *et al.*, 1983) はデータの不備のため公表が見送られたが、適正な処理の後公表されるであろう。また、工藤・河野 (1993), 工藤・河野 (1994), 工藤・河野 (1999) で報告されたような重力異常陰影図や澤田・他 (2009) による海上重力図についても、いずれは Google Earth 上での閲覧が可能になるように整備を進めていく。

謝辞

今回公表される金沢大学重力データベースはその立ち上げ時より、観測スタイルの確立やデータベースを維持する上での様々な工夫など、すべてを故河野芳輝金沢大学名誉教授が中心に行ってきたものである。また、金沢大学地球物理学教室で重力観測に従事しデータベースの充実に貢献するとともに、代々脈々とデータベースの維持管理をされてきた歴代の諸先輩方の力無くしてはこうしたデータベースが現在まで受け継がれることもなかった。公表されるデータベースを故河野芳輝先生に捧げるとともに、重力データベースの維持に係わってこられたすべての方々、著者一同感謝を申し上げます。編集委員と査読者による数々の指摘は本論文を改善する上で大きな助けとなった。記して感謝いたします。図の作成には GMT (Wessel and Smith, 1998) を用いた。

参考文献

- 地質調査所（編）（2000）：日本重力 CD-ROM, 数値地質図 P-2, 地質調査所.
- 地質調査総合センター（編）（2004）：日本重力 CD-ROM（第2版）.
- 古瀬慶博・河野芳輝（1982）：中部地方北西部の重力異常と地下構造, 地震 2, **35**, 547-556.
- 古瀬慶博・河野芳輝（1984）：本州中部地域のアイソスタシー, 地震 2, **37**, 569-578.
- 源内直美・平松良浩・河野芳輝（2002）：重力異常から推定された飛騨山脈下超低密度域の三次元分布, 火山, **47**, 411-418.
- 本多亮・平松良浩・河野芳輝（2000）：年鳥取県西部地震震源域の重力異常とそれから見た震源断層の特徴, 地震 2, **55**, 83-88.
- 本多亮・河野芳輝（2005）：日本列島周辺の海陸統合 50M メッシュ地形データの作成とそれを用いた海陸重力地形補正, 測地学会誌, 51, 33-44.
- Honda, R., Y. Hiramatsu, Y. Kono, and H. Katagawa（2008）：Gravity anomalies and the geologic block structures in and around the aftershock area of the 2007 Noto Hanto Earthquake, Earth Planets Space, 60, 111-115.
- Isezaki, N., H. Nishimura, H. Inokuchi, M. Hyodo, K. Yaskawa, Y. Kono, and Y. Honkura（1983）：Geophysical Study on Daito Islands (Part 2), --Geomagnetic and Gravimetric Survey of Kita-Daito Island and Aeromagnetic and Gravimetric Survey of Minami-Daito Island, Mem. Grad. School Sci. & Technol., Kobe Univ., 1-A, 57-74.
- 小林直城・平松良浩・河野芳輝・竹内文朗（2001）：重力異常による福井平野の3次元基盤異常の推定—福井地震およびその周辺の活断層との関係—, 地震 2, **54**, 1-8.
- 国土地理院（2002）：重力データ検索
〈http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv_search/gravity.pl〉,（参照 September 1, 2002）.
- 河野芳輝・角南基亮・藤井美智子（1981）：福井平野における重力異常と福井地震災害との関係, 地震 2, **34**, 377-383, 1981.
- 河野芳輝・日比猛・久保昌之・角南基亮・道上収・渋谷恭二・古瀬慶博・鈴木敬二郎（1982）：中部日本北部の重力異常(1), 地震 2, **35**, 539-545.
- Kono Y., T. Hibi, M. Kubo, O. Michigami, K. Shibuya, M. Sunami, K. Suzuki and N. Furuse（1982）：Gravity Anomaly over the Northern Part of Central Japan (1), Sci. Dep. Kanazawa Univ., **27**, 71-83.
- Kono, Y., H. Hibi, M. Kubo, O. Michigami, K. Shibuya, M. Sunami, K. Suzuki and N. Furuse（1982）：Gravity Anomaly over the Northern Part of Central Japan (2), Sci. Rep. Kanazawa Univ., **27**, 117-146.
- 河野芳輝（1983）：中部日本北部の重力異常(2) --地形, 地震活動, 活断層, 構造線との比較--, 地震 2, **36**, 247-253.
- 河野芳輝・久保昌之（1983）：メッシュ状平均標高データを用いた地形補正計算, 測地学会

誌, **29**, 101-112.

河野芳輝・張山亮一 (1984) : 飛騨山脈中軸部の重力異常, 第 62 回日本測地学会.

河野芳輝・大久保義弘 (1985) : 大槌湾周辺の重力異常, 東京大学海洋研大槌臨海センター報告, **11**, 41-49.

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, pp. 88.

河野芳輝・西山吉介・井口博夫 (2001) : 瀬戸内海東部の島々における重力測定—瀬戸内海高重力異常帯—, 測地学会誌, **47**, 2, 649-658.

工藤健・河野芳輝 (1993) : 日本列島の重力異常陰影図—(I)重力異常陰影図の作成, 地震 2, **46**, 237-243.

工藤健・河野芳輝 (1994) : 日本列島の重力異常陰影図—(II)フォッサマグナ周辺の重力異常陰影図と地質構造, 地震 2, **46**, 371-379.

工藤健・河野芳輝 (1999) : 西南日本の重力異常勾配と地震活動との関連, 地震 2, **52**, 3, 341-350.

大久保義弘・古瀬慶博・河野芳輝 (1988) : 跡津川断層周辺のブーグ異常と地殻構造, 地震 2, **41**, 97-102.

大久保義弘・河野芳輝 (1988) : 金沢を基点とした北上山地周辺の一等重力点結合--重力定数の改定効果--, 測地学会誌, **34**, 1-9.

大野一郎・河野芳輝・藤本博巳・小泉金一郎 (1994) : 瀬戸内海西部の重力異常と負異常帯の地下構造, 地震 2, **47**, 395-401, 1994.

Research Group For Explosion Seismology (1977) : Regionality of the Upper Mantle around Northeastern Japan as derived from explosion seismic observations and its seismological implications, *Tectonophys.*, **37**, 117-130.

澤田明宏・笹原昇・本多亮・河野芳輝 (2009) : 内部矛盾の少ない日本列島周辺の海上重力データセット, 海洋情報部技報, **27**, 78-86.

澤田明宏・平松良浩・水林侑・浜田昌明・本多亮 (2012) : 重力異常から見た能登半島北部地域の地塊構造, 地震 2, **64**, 235-239.

Sawada, A., H. Bessyo, Y. Hiramatsu, Y. Kono, M. Furumoto (2012) : Gravity Anomaly and Subsurface Structure in the Kaga Hot Springs Area, *J. Hot Spring Sci.*, **62**, 135-143.

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, 地質調査所報告, **280**, 1-28.

角南基亮・河野芳輝 (1988) : 能登半島南部邑知低地帯周辺の重力構造, 地震 2, **41**, 173-178.

須藤洋和・北口善啓・山本和弘・河野芳輝 (2004) : 能登半島南部の重力異常と基盤構造—重力異常と活断層—地震活動との関係—, 地震 2, **56**, 363-377.

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.*, **33**, 147-162.

竹内文朗・中村加重郎・渡辺邦彦・松村一男・河野芳輝・原宏史・駒沢正夫・西田良平 (2001) : 山崎断層系安富断層周辺での重力測定, 京大防災研年報, **44**, B-1, 177-184.

Tanaka, T., R. Shimatani and Y. Kono (1999) : Crustal structure model and dynamics along the Oga-Kesennuma Line, northeastern Japan, J. Geodetic Soc. Japan, **45**, No.3, 205-214.

The Gravity Research Group in Southwest Japan (Reps. R. Shichi and A. Yamamoto) (2001) : Gravity Measurements and Database in Southwest Japan, Gravity database of Southwest Japan (CDROM), Bull. Nagoya Univ. Museum Spec. Rept., No. 9.

Yamamoto, A., R., Shichi and T., Kudo (2011) : Gravity Database of Japan (CD-ROM), Earth Watch Safety Net Research Center, Chubu University, Special Publication, No. 1.

Wessel, P., and W. H. F. Smith (1998) : New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 79 (47), pp. 579.