



Title	日高山脈トッタベツ深成岩体の重力異常と貫入形態
Author(s)	神山, 裕幸; KAMIYAMA, Hiroyuki; 山本, 明彦 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 69, 147-173
Issue Date	2006-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.69.147
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21507
Type	departmental bulletin paper
File Information	12.pdf



日高山脈トッタベツ深成岩体の重力異常と貫入形態

神山 裕幸

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

山本 明彦

愛媛大学理学部地球科学科

長谷川 健

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

梶原 崇憲・茂木 透

北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

(2005年12月27日受理)

Gravity anomaly and intrusive style of the tilted Tottabetsu plutonic complex, Hidaka Mountains, Northern Japan

Hiroyuki KAMIYAMA

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

Akihiko YAMAMOTO

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Ehime University

Takeshi HASEGAWA

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

Takanori KAJIWARA and Toru MOGI

Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received December 27, 2005)

An exposed cross section of the tilted Tottabetsu plutonic complex allows direct observation of its 2-D cross-sectional shape and pretilting vertical variation in lithology and small-scale internal structures. Furthermore, the cross-sectional exposure allows direct evaluation of pretilting vertical density variations in both the pluton and the country rocks, which serve as a strong constraint in gravity modeling that complements information on the ‘missing’ original horizontal dimension of this tilted pluton.

The pluton is rectangular in cross-sectional shape, measuring ~10-km thick by ~8-km wide. It is stratified with the uppermost thin granitic unit (~1-km thick) and the underlying thick gabbro-diorite units (~9-km thick) that preserve a stratigraphic record of numerous

hotter replenishments in the form of alternation of originally horizontal mafic sheets and cumulate layers. The paleohorizontals (i.e. floor of the magma chamber at any one time) inferred from the sheets, pipes and cumulate layering and foliation dip steeply eastward, being roughly perpendicular to the original side walls and subparallel to the original roof of the pluton. Thus, in terms of the 2-D cross-sectional exposure, the pluton apparently had a vertically-elongated cylindrical form with vertical side walls and a flat roof before tilting.

Both the pluton and the country rocks show systematic density increase with paleodepth, but density contrast of the pluton with the country rocks varies between each unit. The gabbro-diorite units show positive density contrasts ($\Delta\rho=0-0.2\text{ g/cm}^3$) with the tonalitic and metasedimentary country rocks, while the granitic unit shows negative density contrasts with the country rocks ($\Delta\rho\sim-0.1\text{ g/cm}^3$). The new Bouguer anomaly map shows distinct correlations between the bedrock geology and local gravity field. As expected from the positive density contrasts of the gabbros and diorites relative to country rocks, a local gravity high is seen associated with the exposure of the gabbro-diorite units. At the same time, a weak gravity low is seen associated with the exposure of granite, concordant with the negative density contrasts of the granites relative to the country rocks. The gravity model shows that the subsurface contact between the pluton and the country rock gently dips westward, being roughly perpendicular to the steeply east-dipping paleohorizontals inferred from the surface geology. This strongly supports that the hidden pretilting side wall of the pluton was also nearly vertical.

At first sight, the cylindrical shape with vertical side walls and a flat roof could be interpreted as being the result of emplacement at dilational sites along major faults and shear zones. However, such an emplacement mechanism invoking space creation by horizontal displacement of country rocks contradicts gradual vertical stacking of the originally horizontal mafic sheets that represent recurrent hotter injections. We suggest that space for the successive magma batches injected into the Tottabetsu magma chamber was created by vertical displacement of fault-bounded blocks of roof or floor country rocks with little horizontal displacement.

I. はじめに

深成岩体の形状と内部構造は、その貫入・定置機構を知る上で重要な手掛かりとなりうるが、多くの深成岩体の露出は主に形成時の水平方向断面に相当するために、鉛直方向の情報が決定的に不足している。このことから、地球物理学的手法を用いて深成岩体の三次元的な形状を明らかにしようとする試みが活発に行われてきた。特に重力探査による方法は他の手法と比較すると簡便で低コストであることから、深成岩体の地下での形状に制約を与えるために広く利用されてきた(例えば, Bott and Tuson, 1973; Petraske et al., 1978; Hodge et al., 1982; Ameglio and Vigneresse, 1999; Richards and Collins, 2004)。しかし、地球物理学的手法は、三次元的な構造を知る上で強力な武器になる一方で、解像度の面で限界がある。露頭スケールないしさらに細かい構造をみようとする、地質学的手法に頼らざるを得ない。さらに、重力異常から深成岩体の形状を推定するためには岩体と母岩との密度差についての情報が不可欠であるが、ほとんどのケースにおいて、鉛直方向の密度変化についての情報が欠落しているという問題がある。岩石の

密度は、大局的には、温度圧力条件や重力場に支配されたプロセスによってコントロールされていると考えられるので、多くの深成岩体において、岩体・貫入母岩ともに、密度変化は水平方向よりも鉛直方向で顕著であると考えられる。にもかかわらず、深成岩体の重力異常の解析において鉛直方向の密度変化が考慮されることは希である。

鉛直方向の情報を得るもう一つの方法として考えられるのは、テクトニックなプロセスにより横倒しになって露出した深成岩体の地質学的観察である(例えば、Rosenberg et al., 1995; Bachl et al., 2001; Miller and Miller, 2002)。この場合、岩体内および母岩の岩相や構造の鉛直方向変化についての詳細な情報と鉛直方向断面の形状を直接得られる一方で、得られるイメージは事実上二次元断面に限られる。すなわち、岩体形成時の水平方向の情報が犠牲になる。しかし、これを地球物理学的手法により補完してやることにより、三次元的なイメージを確立することが可能であろう。この場合、鉛直方向の密度変化についての情報を表層岩石試料から直接入手できることから、重力異常の解析においてより現実的な制約を与えることができるといった点でもメリットは大きいと思われる。しかしながら、これまでにそのような岩体に地球物理学的手法が適用された例はない。

本研究でケーススタディの対象とした日高山脈トツタベツ深成岩体は、日高変成帯の衝上に伴い厚さ 10 km に及ぶマグマ溜り化石の鉛直断面を露出しており、深成岩体の形成プロセスを理解する上で格好のフィールドであるといえる。このような岩体は世界的にみても希であり、そこから得られる知見は、他の露出が不十分な深成岩体の形成史を理解する上にも重要であろう。本論文では、重力異常と地質図上での特徴から岩体の形状について議論し、さらに、岩体の内部構造と併せて岩体の発達過程についての解釈を試みる。なお、本論文の一部は、すでに Kamiyama et al. (2005) に公表されているが、議論の一貫性を保つために、一部内容に重複がある。

II. 日高変成帯の地質概略

1. 地殻断面としての日高変成帯

日高変成帯は、様々な地殻深度に対応した変成岩、深成岩類を露出しており、中下部～上部大陸性地殻断面に相当するとみなされている (Komatsu et al., 1983)。これら深部地殻物質は、後期中新世以降の太平洋プレートの斜め沈み込みに伴い、千島前弧が西進、東北日本弧が衝上することにより露出したものと考えられている (Kimura, 1986)。変成岩の変成度は、東部から西部に向かって非変成から緑色片岩相、角閃岩相を経てグラニュライト相に至る。すなわち、西側がより深部に相当するものと考えられる。Osanai et al. (1991) によれば、変成岩類の最高変成条件は、日高山脈中部地域で 7 kb, 830°C である。火成岩についても系統的な配列がみられ、東部では花崗岩質岩が卓越するのに対し、西部では斑れい岩類ないし閃緑岩類が卓越する。変形構造にも系統的な分布がみられる。全体的な傾向としては、変成岩、火成岩ともに東部では塊状であり変形作用をほとんど被っていないが、西部では変形を受け片状ないし片麻状を呈する。これら変形岩の面構造 (片状構造、片麻状構造) および火成岩の層構造は概ね南北の走向を示し東に急傾斜する。

日高変成帯の最深部は、日高主衝上断層によって幌尻オフィオライト（宮下，1983）と接している。

2. 日高変成帯北部の深成岩類 —特に苦鉄質岩の分布と区分について—

Fig. 1 に日高変成帯北部の地質図を示す。日高変成帯北部は、特に深成岩類の露出が大きいことで知られる。中でも苦鉄質岩（斑れい岩類および閃緑岩類）の露出は大きく（前田，1997）、深成岩類の露出の約 2/3 を占める。これら苦鉄質深成岩類は、その組織・構造と地質図上での分布から下部斑れい岩—閃緑岩（lower gabbro-diorite；以下 LGD）と上部斑れい岩—閃緑岩（upper gabbro-diorite；以下 UGD）とに区分されてきた（例えば、小松ほか，1986；Komatsu et al., 1994）。LGD は、日高変成帯の地殻層序の下部に産し、南北に細長く伸長して露出する。部分的には初生的な組織・構造を残しているが、一般にグラニュライト相の変成・変形作用を被っている。これに対し、UGD は LGD の最東部（最上部）から東方（浅所）に張り出すようにして分布しており、サブソリダスの変形作用をほとんど被っていない。この区分に従うと、Maeda et al. (1981) によるパンケヌシ斑れい岩体は LGD に含まれるのに対し、その上位の芽室岳深成岩体と末武（1997）によるトツタベツ深成岩体の斑れい岩・閃緑岩露出域は UGD に属する（Fig. 1）。

小松ほか（1986）は、UGD（芽室岳深成岩体、トツタベツ深成岩）の中下部に隣接して産する不均質トーナライト（ピパイロ岩体）が、LGD と同様、変形作用を被っていることから、UGD は主要な変形作用の後で貫入したもの、すなわち、LGD とは異なるステージのマグマ活動の産物であるとした。しかしながら、UGD と LGD の境界を明確に定義することは困難である。地質図上の境界部付近では変形の強度が漸移的に変化し、組織・構造から両者を区別することができない。また、Maeda and Kagami (1996) によれば、パンケヌシ斑れい岩体・芽室岳深成岩体のどちらも、岩体形成に関与したマントル由来マグマは N-type MORB の性質を示す。さらに石英が長石よりも低温で、すなわち、一般により浅所で流動を開始すること（Passchier and Trouw, 1996）を考慮すると、同等の地殻深度におけるピパイロ岩体と UGD の変形の有無は、岩質の違いによる岩石のレオロジー特性の違いを反映しているとみることがもできる。

以上のことから、現時点では、LGD と UGD は必ずしも異なるステージのマグマ活動の産物ではなく、一連のマグマ活動によって形成されたものであると考えてもよいように思われる。ただし、これまでに両者の関係について、年代学的・構造地質学的観点から詳細な検討がなされたわけではないので、本論文ではトツタベツ川上流域に産する変形作用を被った苦鉄質岩類を小松ほか（1986）に従い LGD と呼び、また、その上位の変形作用を被っていない苦鉄質岩類とさらに上位の花崗岩を末武（1997）に従いトツタベツ深成岩体と呼び、両者を区別することにする。今後、LGD・UGD 両者の関係を明らかにするためには、構造地質学的・年代学的・地球化学的見地から、より詳細な検討がなされることが望まれる。

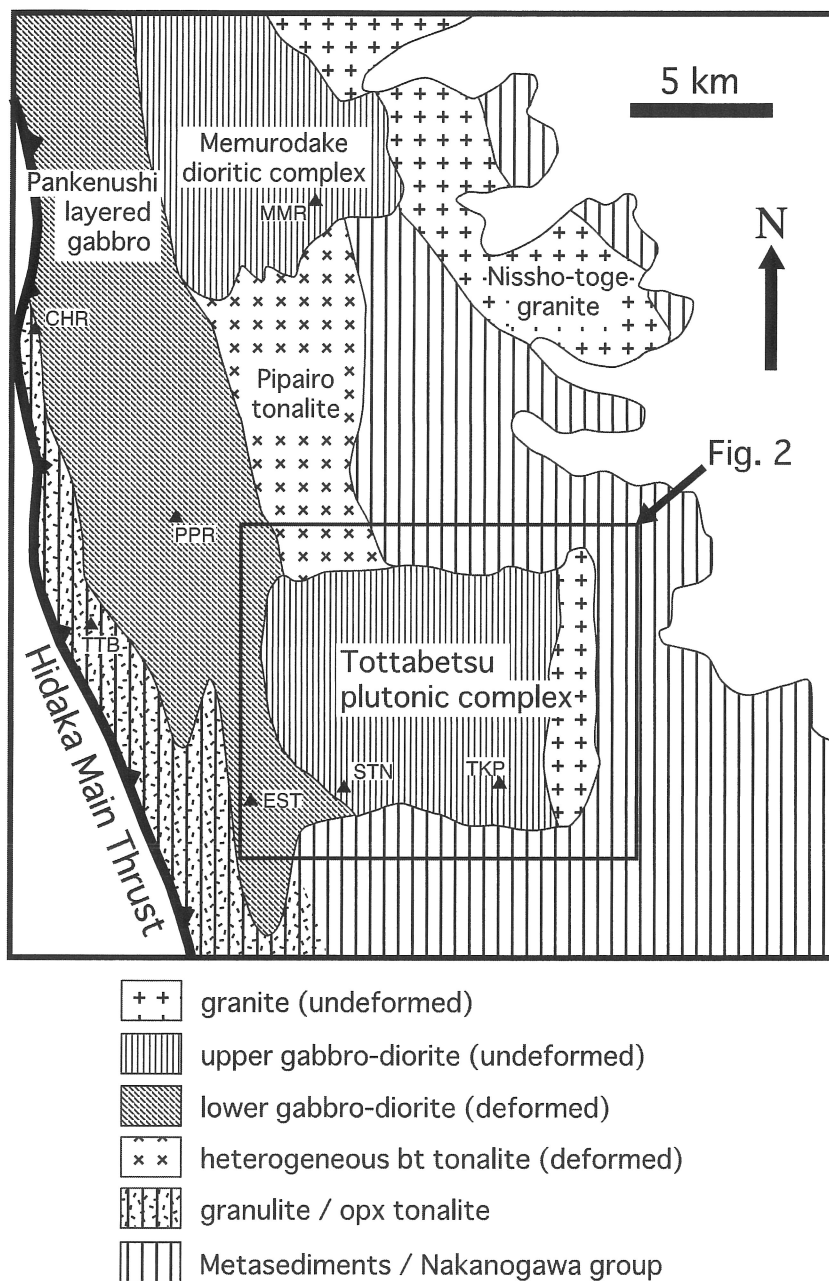


Fig. 1. Simplified geologic map of the northern part of the Hidaka metamorphic belt, modified after Komatsu et al. (1986). Solid triangles represent major peaks: CHR, Mt. Chiroro; EST, Mt. Esaoman-tottabetsu; MMR, Mt. Memuro; PPR, Mt. Pipairo; STN, Mt. Satsunai; TKP, Mt. Tokachi-poroshiri; TTB, Mt. Tottabetsu.

III. トッタベツ深成岩体の断面形状と内部構造

Fig. 2 にトッタベツ深成岩体の地質図を示す。トッタベツ深成岩体は、東部ではほとんど非変成の中の川層群の砂岩・泥岩に、また、北部および南部ではこれらを原岩とする緑色片岩相ないし角閃岩相相当の変成岩に貫入しており、これらに接触変成作用を与えている(高橋, 1992; 末武, 1997)。岩体の北西部は変形作用を被った不均質トーナライトからなるピパイロ岩体に接しており、また、西部は変形作用を被った斑れい岩類を主体とする LGD に漸移することは前述のとおりである。

トッタベツ深成岩体の地質図上での最も際立った特徴は、その断面形状であろう。岩体は概ね

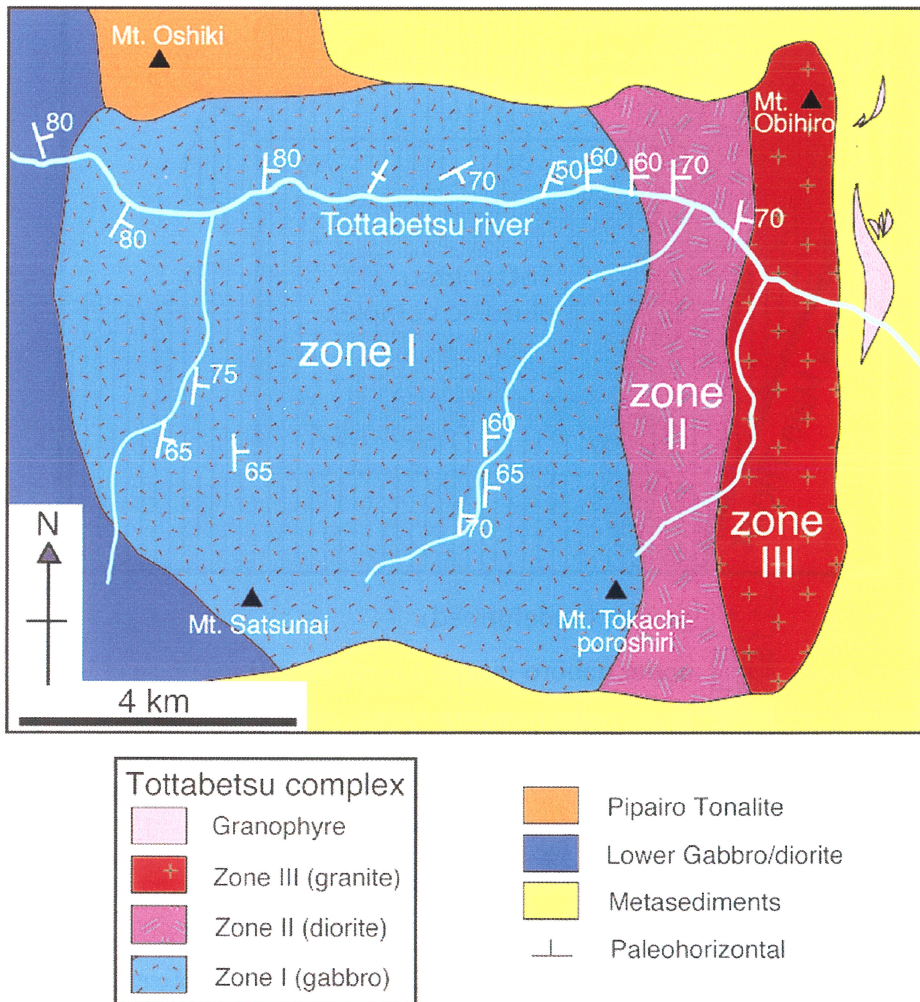


Fig. 2. Geologic map of the Tottabetsu plutonic complex, modified from Suetake (1997). Paleohorizontals are inferred from magmatic structures such as mafic sheets, pipes and cumulate layering and foliation (see Fig. 3).

長方形であり、南北におよそ 8 km、東西に 12 km の規模で露出している (Fig. 2)。岩体と母岩との境界は直線的であり、地形との相関はみられない。すなわち、少なくとも地表付近では、岩体と母岩は高角で接しているものと推測される。地質図 (Fig. 2) 上に示した走向傾斜は、岩体形成時の水平面を表している (詳細は後述)。これら古水平面は一貫して概ね南北の走向を示し 50~90° の角度で東に急傾斜する。これら古水平面の傾斜と東西方向の距離から見積もると、岩体は約 10 km の厚さをもっていたことになる。岩体の幅は、東西方向の距離 (形成時の地殻深度) に関係なく約 8 km でほぼ一定である。岩体の側壁は古水平面と概ね直交しており、また、岩体のルーフは古水平面と概ね平行である。すなわち、少なくとも表層地質の情報からは、岩体はやや鉛直方向に伸長した柱状であり、直立した側壁と平坦なルーフをもっていたことが示唆される。

末武 (1997) はトツタベツ深成岩体の岩相分布を明らかにし、主要な構成岩石の組成の違いから、岩体を zone I~III に区分した (Fig. 2)。zone I (層厚約 7 km) は主に斑れい岩類からなり、岩体下部の約 2/3 を占める。zone II (層厚 1~1.5 km) はその上位に位置し、広い組成範囲を示す閃緑岩類からなる。zone III (層厚 1~1.5 km) は岩体の最上部に位置し、岩相変化に乏しい狭義の花崗岩からなる。

zone I では、急冷緑をもつ細粒斑れい岩のシートと優白質閃緑岩質ないし斑れい岩質のキュムレートの薄層との互層が観察される (Fig. 3 a, c)。このような苦鉄質シートとキュムレート層との互層は、高温高密度の苦鉄質マグマが分化の進んだマグマ溜りに間欠的に注入され、その都度マッシュ状の底部と結晶に乏しい活動的な部分との間に定置・固化することによって下位から徐々に形成されていったものであると解釈される (例えば、Chapman and Rhodes, 1992; Wiebe, 1994; Wiebe and Collins, 1998)。苦鉄質シートの下面には、しばしば荷重痕や火炎状構造が発達する (Fig. 3 a)。さらに、これら苦鉄質シートは、しばしば下位のキュムレート層の上面からのびるペグマタイト質のパイプに貫かれている (Fig. 3 b, c, d)。これらペグマタイト質のパイプは、マッシュ状のキュムレートの変形により粒間から搾り出された低密度の分化液が、未固結の苦鉄質シート中を上昇することによって形成されたものであると推測される。事実、キュムレート層には、上位の苦鉄質シートの外形に調和的な火成葉理が発達しており、マッシュ状のキュムレートが上位の高密度苦鉄質マグマの荷重により変形を受けたことが示唆される。これらパイプ構造や荷重変形構造は重力的な不安定に起因して形成されることから、形成当時の上下・水平方向の判断基準として用いることができる (Wiebe and Collins, 1998)。パイプは東落ち急傾斜の苦鉄質シートやキュムレート層と概ね直交している。すなわち、シートやキュムレート層が、もともとは水平方向の拡がりをもっていたことを示している。これらの火成構造は、東方上位・東落ち急傾斜の日高変成帯全体の構造と調和的である。同様の東落ち急傾斜の構造を示すシートとキュムレート層の互層は zone II でも観察されるが (Fig. 3 e, f)、岩石はより SiO₂ に富み、中間組成を示す。zone I と zone II の組成の違いは、本質的には、注入されたマグマの組成の違いを反映している。一方、zone III を構成する花崗岩は、zone I・zone II を構成するキュムレートと相補的な分化液が最終的に冷却・固化したものであると考えられる。この考えは、Sr 同位体組成およ

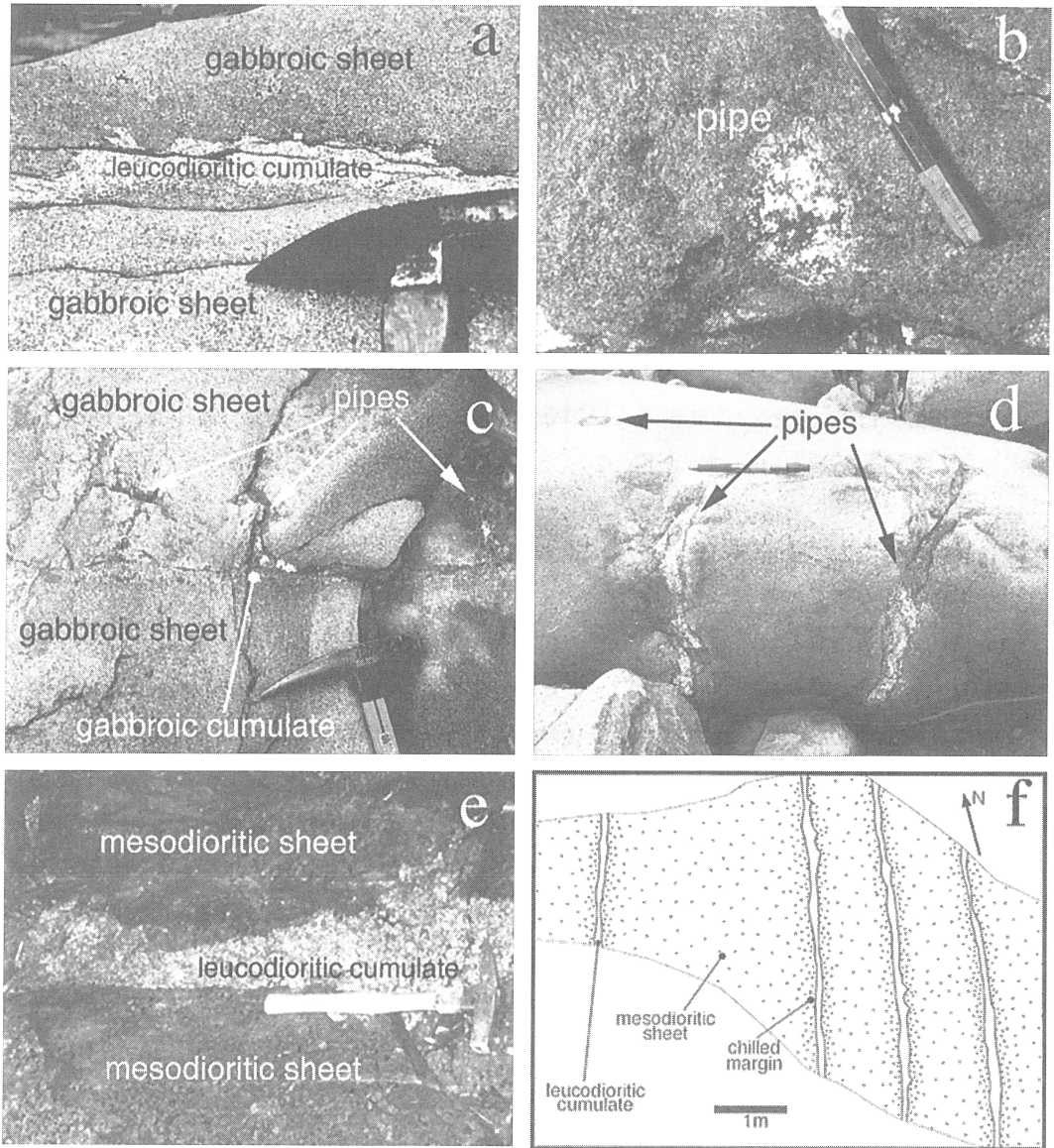


Fig. 3. Field photos (a-e) and a sketch (f) showing magmatic structures related to hotter replenishments. (a) Gabbroic sheets separated by a thin, intervening layer of leucodioritic cumulate (zone I). Note the lobate basal margin of the upper gabbroic sheet and the flat top of the lower sheet. (b) A pegmatitic pipe with axis roughly perpendicular to the exposure (zone I). (c) Subtly chilled gabbroic sheets separated by a thin, intervening layer of gabbroic cumulate (zone I). Note the pegmatitic pipes extending upward from the top of the cumulate layer. (d) Pegmatitic pipes with axis roughly parallel to the exposure (zone I). (e) Mesodioritic sheets separated by a thin, intervening layer of leucodioritic cumulate (zone II). (f) Alternation of mesodioritic sheets and leucodioritic cumulate layers (zone II).

び主成分・微量成分元素組成からも支持される (Kamiyama, 2003).

なお、トッタベツ深成岩体直下の地下構造については、トッタベツ川中流域～上流域を通る東西方向の測線において実施された屈折法・反射法地震探査 (Iwasaki et al., 2004) と広帯域 MT 法による比抵抗構造探査 (茂木ほか, 2002) の研究がある。これらによると、トッタベツ深成岩体を含む日高山脈直下には、6 km/s を超える高速度層が地表付近までせり出しており (Iwasaki et al., 2004)、また、地表付近から地下 30 km の深部に至るまで、1000 Ω m 以上の高比抵抗帯が存在する (茂木ほか, 2002) ことが示されている。これらの結果は、高密度・高比抵抗の深成岩類・変成岩類からなる中下部地殻が、千島弧と東北日本弧の衝突によって地表露出しているとする地質学的・岩石学的見解と調和的である。しかし、いずれも日高衝突帯の大構造をターゲットにした研究であり、トッタベツ深成岩体の地下での形状と構造については明らかにされていない。以下では、トッタベツ深成岩体と周辺部における重力測定結果を述べ、岩体の地下構造について議論する。

IV. 重 力 探 査

トッタベツ深成岩体の地下での構造・形状に制約を与えるため、2004 年夏から 2005 年秋にかけて、トッタベツ岩体露出域を含む日高山脈中部～北部地域において重力探査を実施した。本地域における重力探査は、山本・森谷 (1989)、丸山ほか (1991)、Maruyama et al. (1991)、山本ほか (2001 a)、山本 (2002) などによりなされているが、トッタベツ岩体の地下構造を議論する上で十分な測点分布は得られていなかった。そこで今回、既存の約 100 点の観測点に加え、主に林道、作業道、登山道、沢沿いのルートで、新たに 287 点の測定を実施した。新たに得られた 287 点のデータの緯度・経度・標高・重力値等については本論文の末尾に収録した。

1. 位置決定

観測点の緯度・経度・標高は、主にデファレンシャル GPS 法 (DGPS) により決定したが、一部、道路の交差点やカーブなど場所特定が容易で、標高の変化が緩やかな地点では、国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図の独立標高点および等高線から標高値を読みとり、単独測位の GPS で緯度・経度を決定した。また、三角点が利用できる場所では、これも利用して標高決定を行った。DGPS の解析にあたっては、国土地理院により設置されている電子基準点『芽室』と『中札内』の観測データを使用した。

なお、GPS による位置測量では、ジオイド高の地域変化が考慮されていないので、他機関のデータおよび国土地理院発行の地形図上で標高決定された観測点のデータとの整合性を維持するためには、高さデータの補正が必要となる。特に当該地域はジオイド高の急変帯にあたるため、電子基準点の標高データをもとに DGPS 測量により求められた見掛けの標高値と、水準測量により得られる標高値との間で最大で 2 m 以上の差が生じる。そのため、観測点の緯度・経度から計算されたジオイド高を DGPS 測量により求められた楕円体高から差し引くことによって得られた値

を標高値として採用した。ジオイド高の計算には、国土地理院によるジオイド・モデルファイル *gsigeome.ver 3* を使用した。

2. 重力測定とブーゲ異常計算

重力測定には、2台の Scintrex CG-3 M 重力計 (S 227 および S 315) を使用した。各点の絶対重力値は、北海道大学理学部 3 号館 105 号室の一等重力点 (FGS. 3-105) を測定ループの閉環点とすることにより求めた。その際、絶対重力値は、日本重力基準網 JGSN 96 (Nakai et al., 1997; Yamaguchi et al., 1997) に準拠した。観測に際しては、『帯広市岩内自然の村』に仮基準点を設置し、観測の開始・終了時点でのドリフト、テア等のチェックを行った。なお、S 227 重力計の諸特性や誤差評価については、山本ほか (2001 b) を参照されたい。

観測によって得られた相対重力値に地球潮汐補正、ドリフト補正、計器高補正を施して絶対重力値を求め、次式により、ブーゲ異常値 (BA) を決定した。

$$BA = g - \gamma + \beta h - BC(\rho) + TC(\rho) + AC$$

ここで、 g : 絶対重力値、 γ : 正規重力値、 β : フリーエア勾配、 h : 標高、 BC : ブーゲ補正值、 TC : 地形補正值、 AC : 大気補正值、 ρ : 補正密度、であり、ブーゲ補正、地形補正は補正密度の関数である。正規重力値については、Geodetic Reference System 1980 (International Association of Geodesy, 1980) に基づいて計算した。フリーエア勾配としては、0.3086 mGal/m を使用した。ブーゲ補正では、過剰な補正を防ぐため (山本, 1984)、半径 100 km の範囲で有限の球帽による補正式を用いた (萩原, 1978)。また地形補正はブーゲ補正と同じ範囲で Yamamoto (2002) による球面地形補正法により計算した。なお、以上の処理の際に使用した座標系は東京測地系である。大気補正 (AC) は次式により計算した。

$$AC = 0.87 - 0.0965 h$$

ここで h は標高 (km) であり、 AC は mGal で与えられる。ブーゲ補正值 (BC)、地形補正值 (TC) の計算で必要とされる補正密度 (ρ) としては、2.67 g/cm³ を使用した。

3. 密度測定

重力異常から地下構造を推定するためには各地質ユニット間の密度差についての情報が不可欠である。ここでは、露頭から採取した、新鮮かつできる限り亀裂の少ない岩石試料の重量を大気中と水中の双方で測定し、次式により岩石の密度を決定した。

$$\rho = WA / (WA - WW)$$

ここで、 ρ : 密度 (g/cm³)、 WA : 大気中での重量 (g)、 WW : 水中での重量 (g) である。測定は、トツタベツ深成岩体の構成岩石 45 試料、LGD の構成岩石 8 試料、(変)堆積岩類およびピパイロトナライトを含む珪長質貫入母岩 23 試料の合計 76 試料について実施した。

V. 密度分布の特徴

ブーゲ異常の特徴について述べる前に、密度の測定結果を述べる。Fig. 4に、表層岩石の密度測定結果を日高主衝上断層からの東西方向の距離に対してプロットした。日高変成帯が、西側がより深部に相当する地殻断面を露出していることを考えると、この図は衝上前の地殻深度に対応した岩石の密度変化を表していると読み替えることができる。

Fig. 4から、斑れい岩類露出域～閃緑岩類露出域 (LGD, zone I・II) では、母岩の変成岩類と比較してより高密度であるのに対して、花崗岩露出域 (zone III) ではより低密度であることがわかる。ここで特筆すべきは、深成岩類・変成岩類どちらについても、東西方向の系統的な密度変化がみられるという点である。このような系統的な密度変化は、中下部～上部大陸地殻断面を露出している日高変成帯ならではの特徴であり、大陸地殻一般の密度構造を考える上でも興味深い。以下に密度変化の具体的な特徴を列挙する。

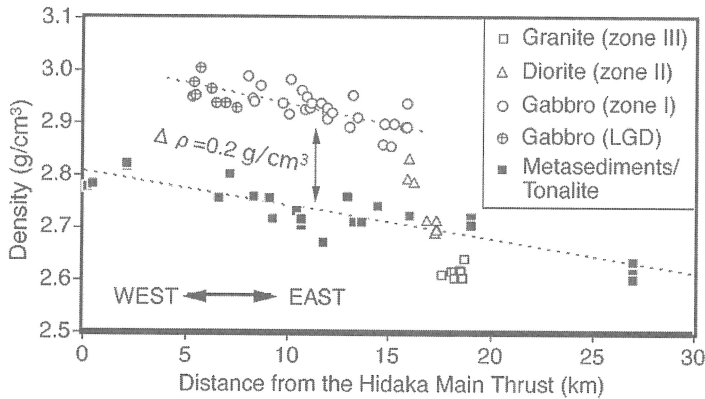


Fig. 4. Rock densities plotted versus E-W distance from the Hidaka Main Thrust.

(i) 砂泥質変成岩、トナライトを含む珪長質貫入母岩の密度は、主に変成度の変化に対応して、東に向かって低くなる傾向を示す。最西部の日高主衝上断層付近のグラニュライト相相当のものは、 $\rho = 2.78 \sim 2.83 \text{ g/cm}^3$ 程度であるのに対して、最東部のほとんど非変成のものは $\rho = 2.61 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$ 程度である。

(ii) LGD, zone I を含む斑れい岩類の露出域でも東方への密度減少がみられる。LGD 露出域では $\rho = 2.93 \sim 3.01 \text{ g/cm}^3$ であるが、そこから東方に向かって系統的に密度が減少し、zone I 最東部では $\rho = 2.86 \sim 2.94 \text{ g/cm}^3$ 程度となる。一方、珪長質貫入母岩との密度差に着目すると、東西方向の距離に関係なく $\Delta\rho = 0.2 \text{ g/cm}^3$ 程度でほぼ一定である。

(iii) 閃緑岩類露出域 (zone II) では、東方への SiO_2 含有量の急増に対応して密度の急減がみられる。zone II 西部では $\rho = 2.79 \sim 2.83 \text{ g/cm}^3$ であるが、東部では $\rho = 2.69 \sim 2.72 \text{ g/cm}^3$ 程度となる。珪長質貫入母岩との密度差は、 $\Delta\rho = 0 \sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ 程度である。

(iv) 花崗岩露出域 (zone III) では $\rho = 2.61 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$ であり、母岩との密度差は、 $\Delta\rho = -$

0.1 g/cm³ 程度である。

VI. ブーゲ異常の特徴

既に述べたように、本研究地域における重力測定は、山本・森谷 (1989)、丸山ほか (1991)、Maruyama et al. (1991)、山本ほか (2001 a)、山本 (2002) などによりなされている。Fig. 5 a, b, c に、既存の測点データに新たに得られたデータを加えて作成したブーゲ異常図を示す。ブーゲ異常図中には、重力測定点の位置をプロットした。茶丸は今回新たに得られた観測点であり、黒丸は既存の測点分布を示す。Fig. 5 a はブーゲ異常分布の特徴が一目で分かるように色分けしたものであり、ブーゲ異常値が高くなるほど暖色系の色で示してある。Fig. 5 b, c は、ブーゲ異常のコンターを地形と地質それぞれに重ね合わせたものである。

これらの図を見てまず気付くことは、全体的な傾向として、日高山脈の地形的な高まりに対応して西側ほど高いブーゲ異常値を示すという点である。このような日高山脈の地形的な高まりに対応したブーゲ異常の高まりは、過去の研究からも繰り返し指摘されてきた特徴である (山本・森谷, 1989; 丸山ほか, 1991; Maruyama et al., 1991; 山本ほか, 2001 a; 山本, 2002)。このような特徴は、おそらくは高密度の中下部地殻物質を地表露出しているという日高変成帯全体の大構造を反映しているのであろう。正の異常値の最大値はトッタベツ川上流域八の沢出合い付近で観測され、その値は 136 mGal に達する。この値は日高地域全体でみても最も大きい値である。

注目すべきは、東北東落ちのトレンドを示す地域異常に表層地質・密度分布とよく対応した局地異常が重なっているという点である。西部の LGD 露出域では、これに対応して南北に延びた高重力異常の尾根がみられ、そこから、トッタベツ深成岩体の斑れい岩・閃緑岩露出域 (zone I・zone II) に対応した高重力異常の尾根が東方に張り出している。この特徴は、斑れい岩類・閃緑岩類が珪長質貫入母岩よりも高い密度をもつことと調和的である。一方、さらに東方の花崗岩露出域 (zone III) 付近では、母岩との負の密度差を反映して、むしろ弱い低重力異常の谷がみられる。まさに地質図にみられる特徴がそのままあてはまっているとみることができる。これらの特徴は、LGD やトッタベツ深成岩体の存在が局所的な重力変化の原因になっていることを示している。

VII. 二次元地下構造モデル

前述のトッタベツ深成岩体付近の重力変化が、具体的にどのような密度構造を反映したものであるかを捉えるために、二次元タルワニ法 (Talwani et al., 1959) による地下構造解析を行った。解析は、測点が概ね 0.5 km 間隔で存在するトッタベツ川中流域～上流域の東西方向の測線に沿った重力プロファイル (Fig. 5 c, A-A') について行った。Fig. 6 に解析結果を示す。なお、この図に示されている重力プロファイルは、実際の観測値ではなく、重力コンターから読み取った値である。

本研究で着目するのは、トッタベツ深成岩体に起因する重力異常であるのに対して、ブーゲ異

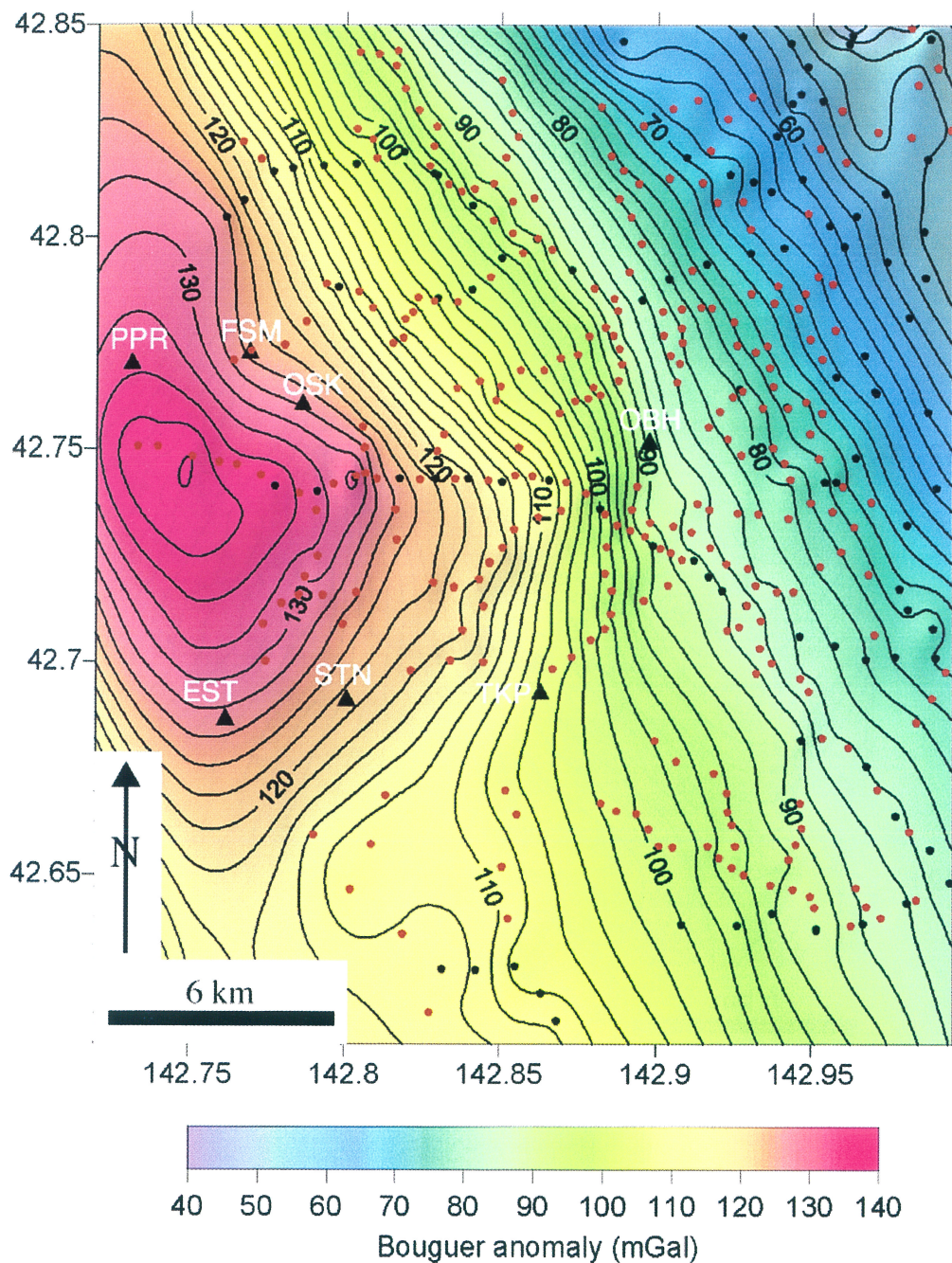


Fig. 5a. Bouguer anomaly map of the study area. Black and brown dots mark the locations of preexisting and newly-obtained gravity stations, respectively. Contours are in milligals. Elevation and terrain corrections have been applied using a density of 2.67 g/cm^3 . Bouguer gravity variation is shown by both the contours and background colored image. Solid triangles represent major peaks: EST, Mt. Esaoman-tottabetsu; FSM, Mt. Fushimi; OBH, Mt. Obihiro; OSK, Mt. Oshiki; PPR, Mt. Pipairo; STN, Mt. Satsunai; TKP, Mt. Tokachiporoshi.

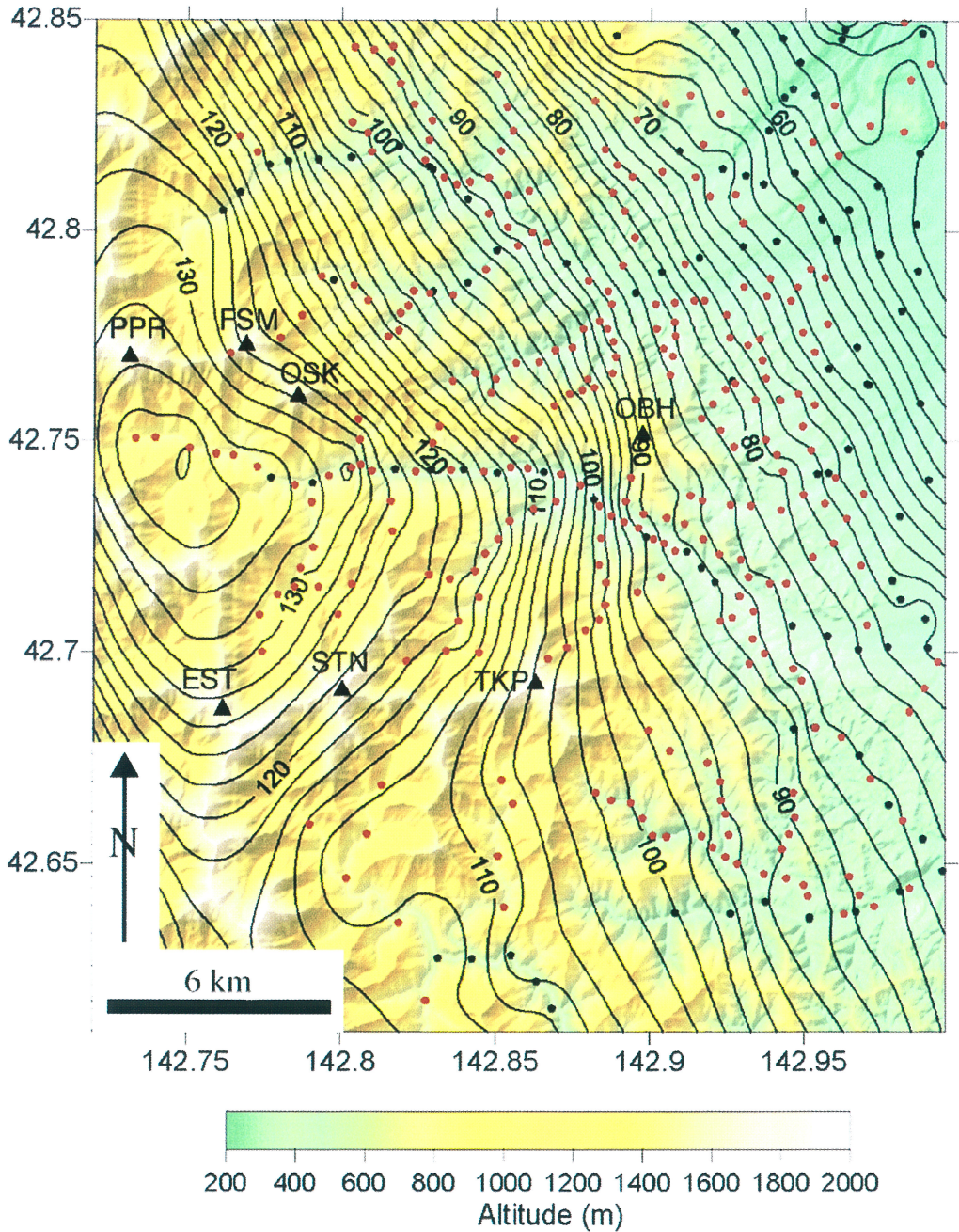


Fig. 5b. Bouguer anomaly map with a colored topographic image. The Bouguer gravity variation is shown by the contours in milligals. Black and brown dots mark the locations of preexisting and newly-obtained gravity stations, respectively. Solid triangles represent major peaks: EST, Mt. Esaoman-tottabetsu; FSM, Mt. Fushimi; OBH, Mt. Obihiro; OSK, Mt. Oshiki; PPR, Mt. Pipairo; STN, Mt. Satsunai; TKP, Mt. Tokachi-poroshiri.

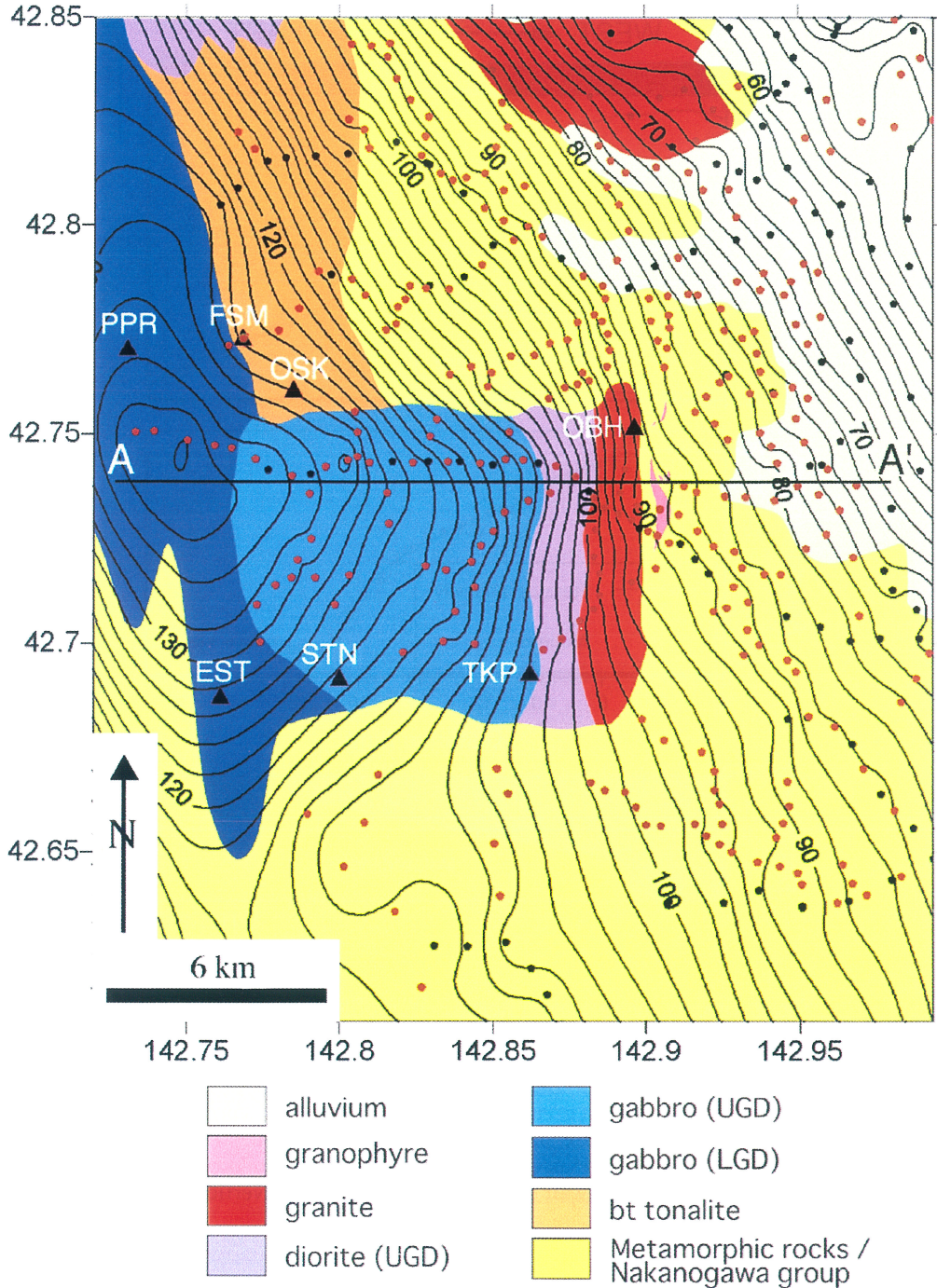


Fig. 5c. Bouguer anomaly map with bedrock geology. The Bouguer gravity variation is shown by the contours in milligals. Black and brown dots mark the locations of preexisting and newly-obtained gravity stations, respectively. The profile line (A-A') shown in Fig. 6 is indicated. Solid triangles represent major peaks: EST, Mt. Esaoman-tottabetsu; FSM, Mt. Fushimi; OBH, Mt. Obihiro; OSK, Mt. Oshiki; PPR, Mt. Pipairo; STN, Mt. Satsunai; TKP, Mt. Tokachi-poroshiri.

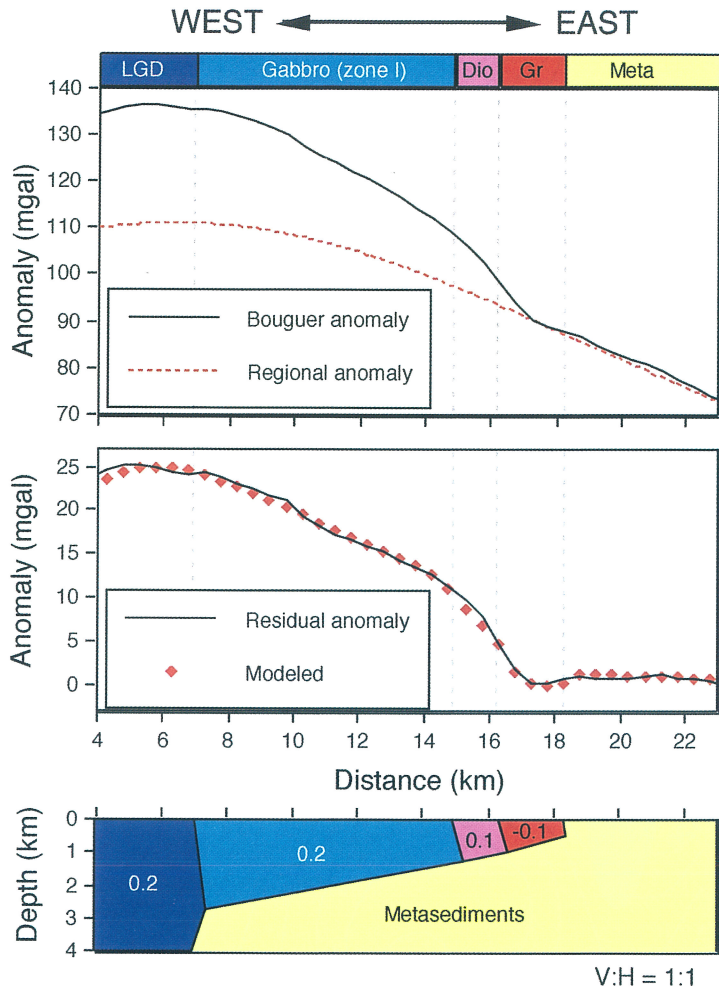


Fig. 6. Gravity interpretation along E-W profile A-A' (Fig. 5c). (a) Bouguer gravity profile and subtracted regional gravity. (b) Residual anomaly and modeled gravity field. (c) 2-D model for the gravity profile. Density contrasts relative to the metasediments are shown in g/cm³. The model shows that the Tottabet-su plutonic complex has a gently westward-dipping (10–20°) contact with the metasedimentary country rocks, supporting that the pretilting side wall of the complex was nearly vertical.

常には、地下深部や遠方のソースやより大規模な構造による影響も含まれる。特に日高変成帯では、東西方向の広域的な密度変化の影響も含まれているものと考えられる (Fig. 4)。ここでは、まずそれらの影響を取り除くために、20×20 km² の正方形グリッドの移動平均により得られた地域異常トレンドをブーゲ異常から差し引き、残差異常を求めた。Fig. 6 a に実線と点線で示したの

は、それぞれブーゲ異常と地域異常のプロファイルである。また、Fig. 6 b, c に示したのは、得られた残差異常プロファイルと、このプロファイルから決定された2次元地下構造モデルである。構造解析にあたっては、表層地質および密度測定結果を考慮してLGD, zone I, zone II, zone III, (変)堆積岩の5個のブロックにわけてフォワードモデリングを行い、可能な限り単純なモデルで残差異常プロファイルを説明することを試みた。Fig. 6 bからは、モデル計算によって求めた重力プロファイルと残差異常プロファイルとがよく一致していることがわかる。

得られたモデルについて、まず注目すべきことは、トツタベツ深成岩体と貫入母岩との境界が10~20°の傾斜で直線的に西側に向かって深くなっていくという点である。このような貫入面は、表層地質から推定された東落ち急傾斜の古水平面と概ね直交する。すなわち、この解析結果は、岩体が形成当時にはほぼ直立した側壁をもってたことを強く支持するものであるといえる。一方、現時点での測点分布からはLGDの地下での形状を特定するに至っていないが、トツタベツ川最上流域のLGD露出域の残差異常値を説明するためには、LGDがトツタベツ岩体よりも深部に突き出した形状をしている必要がある。つまり、トツタベツ深成岩体が鉛直方向に伸長した柱状でありLGDが水平方向に伸長した平板状であるようにみえるという地質図上での二次元断面形状の特徴が、地下でもそのままあてはまっているとみることができる。

VIII. 考 察

深成岩体は、しばしばマグマ溜りが固化したものであると位置付けられる。しかし、ここで留意すべき点は、深成岩体は、あくまでも種々のマグマプロセスの時間積分の結果形成されたものであり、必ずしもその形状や大きさがある瞬間の活動的マグマ溜りのものを反映しているわけではないということである。トツタベツ深成岩体は、急冷相を伴う苦鉄質シートとキュムレート層の積み重なりからなることから、十分に長い時間スケールでみた場合、深部からのマグマ供給と結晶作用が同時進行することによって徐々に成長していったものと考えられる。すなわち、このことは、ある瞬間の活動的なマグマ溜りは、岩体全体の大きさと比較してはるかに小さかったことを意味している。一方、ここで問題になるのは、繰り返し深部から供給されたマグマが如何にして自身の空間を既存の地殻内に確保し、最終的に現在みられるような大規模な岩体を形成するに至ったのかということである。これは一般に『空間問題 (space problem または room problem)』とよばれ、深成岩体をめぐる謎として古くから岩石学者・構造地質学者の注目を集めてきた地球科学上の極めて重要な問題である。深部からやってきたマグマがマグマ溜りに注入されれば、その分マグマ溜りは膨張する。すなわち、必然的に既存の地殻構成岩石 (母岩) の変位が伴われることになる。

母岩の変位の方向に着目すると、最近の空間確保機構についてのモデルは、大きく2つのグループにわけて考えることができる。一つは、広域的なテクトニクスによる剪断に伴う引張割れ目やプリアパート空間を利用するというもの、すなわち、母岩の水平方向への変位を強調するものである (例えば、Guineberteau et al., 1987; Glazner, 1991; Tikoff and Teyssier, 1992; Olivier et

al., 1999). この場合, マグマの空間確保により生じる地殻の余剰体積は, 衝上断層の形成や海溝での沈み込みによって補償されることになる (Glazner, 1991). もう一つは, マグマ溜りの天井部の押し上げ (例えば, Corry, 1988; Grocott et al., 1999), または, 底部の沈降 (例えば, Cruden, 1998; Grocott et al., 1999; Brown and McClelland, 2000), すなわち, 母岩の鉛直方向への変位を強調するものである. 天井部の押し上げの場合, マグマの空間確保で生じる余剰体積は, 地表が隆起することにより補償される (Jackson and Pollard, 1988). 一方, 底部の沈降の場合, 空間確保により地殻浅部に生じる余剰体積は, 深部からマグマがぬけることにより生じる体積欠損により補償されることになる (Cruden, 1998).

トツタベツ深成岩体の地質図上での二次元断面形状および重力異常の特徴は, 岩体がやや鉛直方向に伸長した柱状であり, また, 直立した側壁と平坦なルーフをもっていたことを示している. このような特徴は, 一見, 引張割れ目やプルアパート空間を利用して定置したとするモデルと調和的であるように思える. しかしながら, 岩体が水平方向の拡がりをもつ苦鉄質シートとキュムレート層の鉛直方向への積み重なりからなることは, 水平方向に徐々に拡大する空間を利用して成長したとする考えと矛盾する. つまり, このことは, 岩体が引張割れ目やプルアパート空間を利用して定置したのではなく, 天井部の押し上げまたは底部の沈降によって鉛直方向に徐々に成長していったことを意味する. また, 岩体が直立した側壁と平坦なルーフを持つこと, さらに, マグマ溜りの底で形成された古水平構造が一貫して側壁とほぼ直交した方向を示すことは, 天井部または底部の母岩ブロックが断層を介してピストン状に変位することによって空間が確保されたことを示唆する.

最近の深成岩体の形状についてのコンパイル (McCaffrey and Petford, 1997; Petford et al., 2000) によると, ほとんどの深成岩体は, 水平方向に伸長した平板状であり, また, 水平方向の幅と鉛直方向の厚さは強い正の相関を示すとされている. すなわち, 一般的には深成岩体はその規模に応じて鉛直方向のみでなく水平方向にも成長していくことが期待される. 一方, トツタベツ岩体の形状と成長過程は明らかにこの経験則から外れる. トツタベツ深成岩体は, やや鉛直方向に伸長した柱状であり, また, 鉛直方向のみに成長していったと考えられる. その特異性を説明するためには, 水平方向への成長を阻害するなんらかの要因を考える必要があるように思われる. 一つの可能性として, 鉛直方向に発達した割れ目系や断層の存在が, 岩体の水平方向への成長を阻害したということが考えられる. いずれにしても, トツタベツ深成岩体の形状の特徴は, 脆性的な上部地殻の性質を反映しているものと思われる.

IX. お わ り に

日高変成帯の衝上に伴い厚さ約 10 km におよぶマグマ溜り化石の鉛直断面を露出しているトツタベツ深成岩体とその周辺部において重力観測を行い, 表層地質の情報と併せて岩体の発達過程についての解釈を行った. 新たに得られたブーゲ異常図からは, 表層密度分布とよく対応した重力異常分布が確認された. すなわち, 斑れい岩および閃緑岩露出域に対応した高重力異常域

と花崗岩露出域に対応した弱い低重力異常域の存在が明らかになった。得られた重力異常分布と表層密度分布をもとに地下構造解析を行った結果、岩体と母岩との地下での境界が西側に向かって緩やかに傾斜していることが示唆された。このような貫入面は、表層地質から推定された東落ち急傾斜の岩体形成時の水平面と概ね直交する。つまり、この解析結果は、岩体が鉛直方向に伸長した柱状であり、直立した側壁をもっていたとする表層地質からの推論を支持するものであるといえる。岩体が急冷縁を伴う苦鉄質シートとキムレート層の鉛直方向への積み重なりからなること、さらに、直立した側壁と平坦なルーフをもつことから断層を介した天井部または底部の母岩ブロックの鉛直方向への変位によって岩体の空間が確保されたことが示唆される。今後、トックベツ深成岩体の発達過程についてさらに理解を深めるためには、岩体内だけでなく、周辺部の地質構造も含めて詳細な検討がなされることが望まれる。

謝辞 GPSによる座標決定の処理に際して北海道大学地震火山研究観測センターの森済氏および高橋浩晃氏にご協力いただいた。GPSの基準点の設置に際しては、帯広市拓成町の本山義光氏および芽室町伏美の川端牧場の方々に御協力いただいた。北海道大学地震火山研究観測センターの山口照寛氏には、一部観測に同行していただいた。臼杵直氏には、密度測定のためのサンプルの一部を提供していただいた。また、本稿をまとめるにあたり、産業技術総合研究所の中島隆氏、高橋浩氏、宮崎一博氏、Vanderbilt大学のCalvin Miller氏、北海道大学地震火山研究観測センターの寺田暁彦氏、橋本武志氏、本多亮氏、市原寛氏との議論は有益であった。ここに記して以上の方々に深謝致します。

文 献

- Ameglio, L., and J. L. Vigneresse, 1999. Geophysical imaging of the shape of granitic intrusions at depth: a review, *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques*, edited by A. Castro, C. Fernandez and J. L. Vigneresse, *Geol. Soc. Lond. Spec. Pub.*, **168**, 39–54.
- Bachl, C. A., C. F. Miller, J. S. Miller and J. E. Faulds, 2001. Construction of a pluton: evidence from an exposed cross section of the Searchlight pluton, Eldorado Mountains, Nevada, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **113**, 1213–1228.
- Bott, M. H. P., and J. Tuson, D, 1973. Deep structure beneath the Tertiary volcanic regions of Skye, Mull and Ardnamurchan, North-west Scotland, *Nature (Physical Science)*, **242**, 114–116.
- Brown, E. H., and W. C. McClelland, 2000. Pluton emplacement by sheeting and vertical ballooning in part of the southeast Coast Plutonic Complex, British Columbia, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **112**, 708–719.
- Chapman, M., and J. M., Rhodes, 1992. Composite layering in the Isle au Haut Igneous Complex, Maine: evidence for periodic invasion of a mafic magma into an evolving magma reservoir, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **51**, 41–60.
- Corry, C. E., 1988. Laccoliths: Mechanics of emplacement and growth, *Geol. Soc. Am. Spec. Pub.*, **220**, pp. 110.
- Cruden, A. R., 1998. On the emplacement of tabular granites, *J. Geol. Soc. Lond.*, **155**, 852–862.
- Glazner, A. F., 1991. Plutonism, oblique subduction, and continental growth: An example from the Mesozoic of California, *Geology*, **19**, 784–786.

- Grocott, J., A. A. Garde, B. Chadwick, A. R. Cruden and C. Swager, 1999. Emplacement of rapakivi granite and syenite by floor depression and roof uplift in the Palaeoproterozoic Ketilidian orogen, South Greenland, *J. Geol. Soc. Lond.*, **156**, 15–24.
- Guineberteau, B., J.-L. Bouchez and J.-L. Vigneresse, 1987. The Mortagne granite pluton (France) emplaced by pull-apart along a shear zone: Structural and gravimetric arguments and regional implication, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **99**, 1310–1320.
- 萩原幸男, 1978. 地球重力論, 共立出版, pp. 242.
- Hodge, D. S., D. A. Abbey, M. A. Harbin, J. L. Patterson, M. J. Ring and J. F. Sweeney, 1982. Gravity studies of subsurface mass distributions of granitic rocks in Maine and New Hampshire, *Am. J. Sci.*, **282**, 1289–1324.
- International Association of Geodesy, 1980. Resolutions adopted by the International Association of Geodesy, XVII General Assembly, Canberra, *Bull. Geod.*, **54**, 377–393.
- Iwasaki, T., K. Adachi, T. Moriya, H. Miyamachi, T. Matsushima, K. Miyashita, T. Takeda, T. Taira, T. Yamada and K. Ohtake, 2004. Upper and middle crustal deformation of an arc-arc collision across Hokkaido, Japan, inferred from seismic refraction/wide angle reflection experiments, *Tectonophysics.*, **388**, 59–73.
- Jackson, M. D. and D. D. Pollard, 1988. Mechanics of growth of some laccolithic intrusions in the Henry Mountains, Utah, I. Field observations, Gilbert's model, physical properties and flow of the magma, *Tectonophysics.*, **18**, 261–309.
- Kamiyama, H., 2003. Petrology of the Tottabetsu plutonic complex, north Japan: a sub-vertical section of the time-integrated magma chamber, Ph.D. dissertation, University of Tokyo, pp.247.
- Kamiyama, H., A. Yamamoto, T. Hasegawa, T. Kajiwarra and T. Mogi, 2005. Gravity and density variations of the tilted Tottabetsu plutonic complex, Hokkaido, northern Japan: implications for subsurface intrusive structure and pluton development, *Earth Planets Space*, **57**, e21–e24.
- Kimura, G., 1986. Oblique subduction and collision: forearc tectonics of the Kuril arc, *Geology*, **14**, 404–407.
- 小松正幸・宮下純夫・在田一則, 1986. 日高変成帯の構成, 地研専報, **31**, 189–203.
- Komatsu, M., S. Miyashita, J. Maeda, Y. Osanai and T. Toyoshima, 1983. Disclosing of a deepest section of continental-type crust upthrust as the final event of collision of arcs in Hokkaido, North Japan, *Accretion tectonics in the Circum-Pacific regions*, edited by M. Hashimoto and S. Uyeda, Terra, Tokyo, 146–165.
- Komatsu, M., T. Toyoshima, Y. Osanai and M. Arai, 1994. Prograde and anatectic reactions in the deep arc crust exposed in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, Japan, *Lithos*, **33**, 31–49.
- 前田仁一郎, 1997. 北海道日高山脈に露出する未成熟大陸地殻断面に記録された火成活動, 火山, **42**, S 107–121.
- Maeda, J., and H. Kagami, 1996. Interaction of a spreading ridge and an accretionary prism: Implications from MORB magmatism in the Hidaka magmatic zone, Hokkaido, Japan, *Geology*, **24**, 31–34.
- Maeda, J., Y. Motoyoshi and T. Takahashi, 1981. Magmatism in the Main zone of the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, *Tectonics of paired metamorphic belts*, edited by Hara, I., Tanishi Print Kikaku, Hiroshima, 19–24.
- Maruyama, T., Y. Nagasaki and C. Kitsunezaki, 1991. Gravity survey in and around the Hidaka Mountains, *J. Min. Coll. Akita Univ., Ser. A*, **VII**, 219–281.
- 丸山孝彦・長崎康彦・狐崎長琅, 1991. 日高山脈及びその周辺の重力異常と地質構造, 秋田大学鉱山学部資源地学 研究施設報告, **56**, 95–113.
- McCaffrey, K. J. W., and N. Petford, 1997. Are granitic intrusions scale invariant? *J. Geol. Soc. Lond.*, **154**, 1–4.
- Miller, C. F., and J. S. Miller, 2002. Contrasting stratified plutons exposed in tilt blocks, Eldorado Mountains, Colorado River Rift, NV, USA, *Lithos*, **61**, 209–224.
- 宮下純夫, 1983. 日高変成帯西帯におけるオフィオライト層序の復元, 地質学雑誌, **89**, 69–86.

- 茂木透・日高2000MT 探査グループ, 2002, 日高地域での広帯域MT 探査, 月刊地球, **24**, 485-487.
- Nakai, S., K. Yamaguchi, K. Nitta, H. Yamamoto, K. Matsuo, M. Machida, M. Murakami, M. Ishihara, R. Shiich and A. Yamamoto, 1997. Data processing for the Japan Gravity Standardization Net 1996, in: Gravity, Geoid, and Marine Geodesy (GraGeoMar 96), Proceedings of the International Symposium, No. 117, Tokyo, Japan, September 30 - October 5, 1996, convened and edited by J. Segawa, H. Fujimoto and S. Okubo, 228-233, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN:3-540-63352-9, pp.746.
- Olivier, P., L. Ameglio, H. Richen and F. Vadeboin, 1999. Emplacement of the Aya Variscan granitic pluton (Basque Pyrenees) in a dextral transcurrent regime inferred from a combined magneto-structural and gravimetric study, *J. Geol. Soc. Lond.*, **156**, 991-1002.
- Osanaï, Y., M. Komatsu and M. Owada, 1991. Metamorphism and granite genesis in the Hidaka Metamorphic Belt, Hokkaido, Japan, *J. Metamor. Geol.*, **9**, 111-124.
- Passchier, C. W. and R. A. J. Trouw, 1996. *Microtectonics*, Springer, pp.289.
- Petford, N., A. R. Cruden, K. J. W. McCaffrey and J. L. Vigneresse, Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust, *Nature*, **408**, 669-673, 2000.
- Petrasko, A. K., D. S. Hodge and R. Shaw, 1978. Mechanics of emplacement of basic intrusions. *Tectonophysics*, **46**, 41-63.
- Richards, S. W., and W. J. Collins, 2004. Growth of wedge-shaped plutons at the base of active half-grabens, *Trans. Roy. Soc. Edinbur. Earth Sci.*, **95**, 309-317.
- Rosenberg, C. L., A. Berger and S. M. Schmid, 1995. Observations from the floor of a granitoid pluton: inference on the driving force of final emplacement, *Geology*, **23**, 443-446.
- 末武晋一, 1997. 深成岩体中の不均質構造:日高変成帯主帯, トクベツ複合深成岩体の例, 地質学論集, **47**, 57-74.
- 高橋浩, 1992. 日高変成帯主帯札内川上流地域のトータル岩類の岩石学的研究 -S-タイプ/I-タイプ花崗岩類の共存関係-, 地質学雑誌, **98**, 295-308.
- Talwani, M., J. L. Worzel and M. Landisman, 1959. Rapid gravity computation for two-dimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone, *J. Geophys. Res.*, **64**, 49-59.
- Tikoff, B., and C. Teyssier, 1992. Crustal-scale, en echelon "P-shear" tensional bridges: A possible solution to the batholithic room problem, *Geology*, **20**, 927-930.
- Wiebe, R. A., 1994. Silicic magma chambers as traps for basaltic magmas: the Cadillac Mountain Intrusive Complex, Mount Desert Island, Maine, *J. Geol.*, **102**, 423-437.
- Wiebe, R. A., and W. J. Collins, 1998. Depositional features and stratigraphic sections in granitic plutons: implications for the emplacement and crystallization of granitic magma, *J. Struct. Geol.*, **20**, 1273-1289.
- Yamaguchi, K., K. Nitta, H. Yamamoto, K. Matsuo, M. Machida, M. Murakami, M. Ishihara, S. Nakai, R. Shiich and A. Yamamoto, 1997. Data processing for the Japan Gravity Standardization Net 1996, in: Gravity, Geoid, and Marine Geodesy (GraGeoMar 96), Proceedings of the International Symposium, No. 117, Tokyo, Japan, September 30 - October 5, 1996, convened and edited by J. Segawa, H. Fujimoto and S. Okubo, 241-248, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN: 3-540-63352-9, pp.746.
- 山本明彦, 1984. 山岳地域の重力データ処理, 月刊地球, **6**, 373-380.
- Yamamoto, A., 2002. Spherical terrain corrections for gravity anomaly using a digital elevation model gridded with nodes at every 50 m, *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, **11**, 845-880.
- 山本明彦, 2002. 日高衝突帯周辺の重力異常, 月刊地球, **24**, 488-494.
- 山本明彦・森谷武男, 1989. 北海道の重力異常と地下構造, 月刊地球, **11**, 377-385.
- 山本明彦・齋藤松彦・山田一夫, 石川春義, 2001 a. 北海道日高衝突帯南部の重力異常と地殻構造, 北海道大学地球物理学研究報告, **64**, 51-80.
- 山本明彦・山田一夫・齋藤松彦・石川春義, 2001 b. 北海道幌満地域とその周辺における重力異常, 北海道大学地球物理学研究報告, **64**, 21-49.

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height	Gravity	T.C.	B.A.
	°	'	°	'	m	mgal	mgal	mgal
HUA10563(001)	42	37.045	142	49.640	633.64	980,373.707	17.44	111.84
HUA10601(002)	42	38.148	142	49.123	636.34	980,374.946	15.84	110.36
HUA10063(003)	42	38.275	142	57.778	327.84	980,426.201	4.21	89.16
HUA10617(004)	42	38.366	142	51.164	640.13	980,372.104	16.30	108.39
HUA10064(005)	42	38.384	142	58.354	311.57	980,428.232	3.37	86.10
HUA10022(006)	42	38.531	142	57.074	347.53	980,423.030	5.35	90.61
HUA10065(007)	42	38.542	142	58.081	331.62	980,424.457	4.55	88.10
HUA10273(008)	42	38.638	142	59.037	297.05	980,429.352	3.45	84.96
HUA10023(009)	42	38.691	142	56.990	355.35	980,421.534	5.86	90.92
HUA10003(010)	42	38.783	142	56.650	365	980,420.907	4.56	90.75
HUA10560(011)	42	38.784	142	48.118	712.77	980,360.475	16.49	110.62
HUA10066(012)	42	38.806	142	57.875	343.88	980,421.506	5.52	88.13
HUA10004(013)	42	38.848	142	56.220	379.49	980,419.206	5.31	92.55
HUA10005(014)	42	38.990	142	55.707	402.92	980,414.548	7.52	94.48
HUA10006(015)	42	39.096	142	55.480	412.21	980,413.801	7.83	95.72
HUA10616(016)	42	39.111	142	51.047	684.80	980,362.662	17.35	107.68
HUA10062(017)	42	39.202	142	56.582	379.50	980,417.338	6.62	91.46
HUA10007(018)	42	39.226	142	55.221	431.65	980,409.357	9.02	96.09
HUA10009(019)	42	39.371	142	54.329	452.62	980,403.735	13.50	98.84
HUA10010(020)	42	39.384	142	54.053	466.47	980,402.272	13.16	99.74
HUA10008(021)	42	39.390	142	55.001	431.37	980,408.582	10.95	96.94
HUA10095(022)	42	39.393	142	55.537	441.08	980,408.549	6.83	94.69
HUA10061(023)	42	39.414	142	56.707	390.42	980,415.179	5.93	90.44
HUA10600(024)	42	39.416	142	48.515	765.90	980,349.586	18.06	110.82
HUA10605(025)	42	39.544	142	47.400	837.97	980,337.535	18.39	113.10
HUA10272(026)	42	39.592	142	58.914	301.27	980,428.500	4.16	84.22
HUA10552(027)	42	39.636	142	53.855	477.51	980,399.270	14.91	100.28
HUA10060(028)	42	39.649	142	56.822	399.13	980,412.872	6.03	89.59
HUA10096(029)	42	39.692	142	55.471	462.49	980,403.887	7.49	94.45
HUA10615(030)	42	39.842	142	51.319	748.43	980,351.618	15.60	106.31
HUA10553(031)	42	39.856	142	53.627	499.19	980,393.551	16.45	100.03
HUA10097(032)	42	39.883	142	55.383	483.20	980,399.646	7.53	94.03
HUA10554(033)	42	39.889	142	53.234	525.94	980,386.001	20.01	101.26
HUA10550(034)	42	39.938	143	1.868	246.94	980,434.385	1.54	76.29
HUA10059(035)	42	40.002	142	56.798	416.50	980,409.227	6.04	88.83
HUA10566(036)	42	40.109	142	48.791	851.16	980,332.695	19.71	111.33
HUA10098(037)	42	40.153	142	55.379	502.01	980,394.322	9.13	93.59
HUA10614(038)	42	40.186	142	51.104	796.07	980,342.300	16.34	106.60
HUA10271(039)	42	40.195	142	58.296	323.54	980,425.095	4.31	84.43
HUA10099(040)	42	40.424	142	55.127	542.17	980,388.442	7.94	94.01
HUA10275(041)	42	40.439	143	1.218	270.59	980,429.916	1.63	75.81
HUA10628(042)	42	40.596	142	54.396	629.86	980,372.881	10.00	97.50
HUA10270(043)	42	40.795	142	57.726	360.45	980,418.864	3.94	84.17
HUA10627(044)	42	40.897	142	53.971	723.06	980,353.275	11.51	97.30
HUA10269(045)	42	40.935	142	57.216	377.08	980,415.766	5.33	85.52
HUA10276(046)	42	41.121	143	1.342	281.56	980,427.247	1.53	74.16
HUA10189(047)	42	41.152	142	59.040	321.44	980,424.497	2.31	79.98
HUA10190(048)	42	41.486	142	59.338	310.44	980,425.520	1.85	77.88
HUA10072(049)	42	41.585	142	56.963	389.71	980,414.623	4.02	84.57
HUA10277(050)	42	41.669	143	1.432	270.32	980,428.892	1.18	72.43

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height	Gravity	T.C.	B.A.
	°	'	°	'	m	mgal	mgal	mgal
HUA10071(051)	42	41.761	142	56.796	402.84	980,412.352	4.42	85.01
HUA10069(052)	42	41.835	142	55.938	394.50	980,415.748	6.64	88.88
HUA10191(053)	42	41.861	142	59.608	297.14	980,427.364	1.32	76.02
HUA10670(054)	42	41.869	142	49.268	1075.33	980,301.551	15.63	117.68
HUA10106(055)	42	41.905	142	52.012	1506.19	980,196.062	22.86	104.55
HUA10070(056)	42	41.979	142	56.243	412.13	980,412.471	4.53	86.73
HUA10671(057)	42	41.993	142	50.670	981.15	980,315.999	14.81	112.53
HUA10621(058)	42	42.013	142	46.464	998.29	980,329.185	14.15	128.41
HUA10395(059)	42	42.023	142	50.047	849.56	980,342.244	17.08	115.07
HUA10105(060)	42	42.065	142	52.381	1257.92	980,249.651	16.38	102.30
HUA10068(061)	42	42.188	142	56.012	411.92	980,413.370	3.82	86.57
HUA10104(062)	42	42.315	142	52.744	886.72	980,324.689	13.95	101.26
HUA10049(063)	42	42.383	142	58.217	308	980,428.610	1.84	79.13
HUA10075(064)	42	42.445	142	55.368	449.70	980,406.955	4.87	88.24
HUA10394(065)	42	42.449	142	50.280	749.47	980,363.975	17.03	116.38
HUA10103(066)	42	42.478	142	53.010	778.95	980,345.453	12.66	99.26
HUA10074(067)	42	42.498	142	55.614	419.51	980,412.795	4.18	87.38
HUA10622(068)	42	42.539	142	46.405	897.90	980,350.305	16.25	131.04
HUA10688(069)	42	42.541	142	47.938	971.56	980,330.416	16.80	126.23
HUA10073(070)	42	42.582	142	56.031	363.73	980,423.253	3.71	86.28
HUA10102(071)	42	42.680	142	53.130	710.01	980,358.565	11.96	97.79
HUA10393(072)	42	42.795	142	50.674	667.35	980,379.946	17.30	115.94
HUA10172(073)	42	42.800	142	55.750	365	980,423.743	4.21	87.19
HUA10424(074)	42	42.824	142	46.767	821.32	980,365.354	16.14	130.46
HUA10693(075)	42	42.868	142	53.760	641.85	980,367.436	12.03	93.03
HUA10423(076)	42	42.939	142	47.093	783.63	980,370.802	17.65	129.82
HUA10623(077)	42	42.939	142	47.558	802.39	980,369.072	15.62	129.76
HUA10689(078)	42	42.971	142	48.213	959.41	980,335.125	15.26	126.35
HUA10150(079)	42	42.984	142	56.665	423.36	980,409.367	2.93	82.73
HUA10149(080)	42	42.987	142	56.349	403.04	980,414.245	3.54	84.22
HUA10110(081)	42	42.998	142	53.134	623.91	980,377.159	11.05	98.05
HUA10697(082)	42	43.049	142	50.105	759.32	980,367.217	15.75	119.38
HUA10694(083)	42	43.074	142	54.228	504.67	980,394.691	10.31	91.27
HUA10151(084)	42	43.078	142	55.918	500.61	980,393.429	6.07	84.97
HUA10696(085)	42	43.111	142	49.702	920.84	980,339.224	13.78	121.16
HUA10392(086)	42	43.162	142	50.591	623.16	980,392.256	15.39	117.09
HUA10422(087)	42	43.197	142	47.206	750.09	980,378.582	17.35	130.31
HUA10050(088)	42	43.233	142	58.100	290	980,431.090	1.79	76.75
HUA10111(089)	42	43.243	142	53.012	580.53	980,387.646	10.46	99.04
HUA10152(090)	42	43.318	142	55.770	525.05	980,390.138	4.87	84.93
HUA10051(091)	42	43.350	142	57.167	310	980,429.149	2.70	79.47
HUA10153(092)	42	43.387	142	55.356	564.89	980,382.283	6.03	85.96
HUA10695(093)	42	43.399	142	50.786	602.55	980,397.635	14.04	116.71
HUA10173(094)	42	43.442	142	54.493	398.32	980,416.946	7.37	89.14
HUA10421(095)	42	43.493	142	47.464	717.29	980,386.598	15.96	130.03
HUA10076(096)	42	43.546	142	54.269	401.67	980,416.760	7.60	89.69
HUA10252(097)	42	43.556	142	57.569	335.22	980,423.580	2.23	78.08
HUA10174(098)	42	43.605	142	54.073	409.92	980,415.329	8.55	90.74
HUA10381(099)	42	43.612	142	55.039	611.14	980,372.345	7.15	85.90
HUA10146(100)	42	43.613	142	51.036	575.73	980,403.888	12.21	115.54

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height	Gravity	T.C.	B.A.
	°	'	°	'	m	mgal	mgal	mgal
HUA10112(101)	42	43.626	142	53.050	508.78	980,404.379	8.06	98.69
HUA10683(102)	42	43.719	142	48.988	887.80	980,349.675	13.73	124.13
HUA10077(103)	42	43.768	142	53.769	418.91	980,415.755	7.68	91.82
HUA10420(104)	42	43.795	142	47.501	691.88	980,392.062	16.52	130.60
HUA10382(105)	42	43.836	142	54.677	636.52	980,367.889	8.02	86.97
HUA10175(106)	42	43.857	142	53.494	424.29	980,416.259	8.12	93.68
HUA10145(107)	42	43.871	142	51.252	562.02	980,407.349	10.23	113.94
HUA10052(108)	42	43.905	142	57.832	281.45	980,432.782	1.82	75.79
HUA10383(109)	42	43.917	142	54.318	614.88	980,374.007	8.01	88.69
HUA10078(110)	42	43.938	142	53.236	439.81	980,417.305	7.16	96.70
HUA10384(111)	42	43.965	142	53.870	547.21	980,388.808	8.18	90.29
HUA10054(112)	42	44.033	142	56.550	321	980,428.929	3.01	80.69
HUA10147(113)	42	44.042	142	51.723	521.01	980,413.850	9.33	111.22
HUA10055(114)	42	44.089	142	55.981	358.72	980,422.661	3.41	82.14
HUA10113(115)	42	44.089	142	53.015	442.48	980,418.951	7.18	98.66
HUA10056(116)	42	44.101	142	55.579	367.84	980,421.657	4.55	84.06
HUA10251(117)	42	44.126	142	57.404	306.61	980,428.864	2.10	76.76
HUA10186(118)	42	44.136	142	47.432	649.05	980,402.010	16.29	131.37
HUA10144(119)	42	44.146	142	52.151	497.07	980,417.248	6.81	107.23
HUA10385(120)	42	44.148	142	53.530	558.04	980,390.044	6.80	91.10
HUA10684(121)	42	44.151	142	48.954	690.97	980,388.700	14.66	124.66
HUA10402(122)	42	44.159	142	55.025	414.56	980,412.525	6.26	85.72
HUA10401(123)	42	44.241	142	54.784	451.92	980,405.956	6.45	86.56
HUA10053(124)	42	44.250	142	56.988	298.69	980,431.511	2.38	77.94
HUA10253(125)	42	44.259	142	58.165	269.19	980,432.946	1.55	72.74
HUA10176(126)	42	44.380	142	52.645	459.49	980,420.396	6.10	102.82
HUA10185(127)	42	44.385	142	47.086	653.57	980,403.532	15.74	132.87
HUA10386(128)	42	44.488	142	53.629	619.68	980,376.470	7.92	91.16
HUA10141(129)	42	44.489	142	57.599	282.28	980,432.295	1.77	74.54
HUA10184(130)	42	44.520	142	47.752	611.32	980,408.893	15.99	129.96
HUA10177(131)	42	44.539	142	52.264	465.74	980,422.244	7.52	106.18
HUA10179(132)	42	44.574	142	50.763	505.78	980,421.103	10.36	115.70
HUA10140(133)	42	44.580	142	56.593	346.66	980,422.888	2.57	78.43
HUA10182(134)	42	44.583	142	49.444	550.39	980,416.181	13.27	122.44
HUA10183(135)	42	44.589	142	48.594	574.79	980,413.468	14.54	125.80
HUA10180(136)	42	44.597	142	50.131	526.78	980,418.898	11.79	119.02
HUA10624(137)	42	44.626	142	48.188	602.50	980,411.756	14.23	129.17
HUA10178(138)	42	44.629	142	51.612	479.79	980,422.862	8.35	110.26
HUA10187(139)	42	44.637	142	51.271	493.64	980,421.868	9.27	112.89
HUA10431(140)	42	44.638	142	46.362	704.83	980,395.068	16.58	134.95
HUA10678(141)	42	44.671	142	48.372	597.31	980,411.381	13.18	126.65
HUA10432(142)	42	44.794	142	45.900	725.41	980,393.078	14.74	134.94
HUA10139(143)	42	44.814	142	56.473	379.90	980,415.319	3.19	77.66
HUA10433(144)	42	44.828	142	45.567	732.74	980,391.717	15.20	135.42
HUA10249(145)	42	44.875	142	57.136	288.40	980,432.966	2.05	76.10
HUA10434(146)	42	44.901	142	45.042	744.13	980,388.880	16.75	136.27
HUA10137(147)	42	44.923	142	55.636	422.16	980,409.745	4.55	81.58
HUA10682(148)	42	44.969	142	49.781	644.34	980,395.028	12.40	118.33
HUA10138(149)	42	45.019	142	56.262	359.24	980,420.199	3.11	78.09
HUA10677(150)	42	45.025	142	48.366	663.96	980,396.613	15.20	126.48

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height	Gravity	T.C.	B.A.
	°	'	°	'	m	mgal	mgal	mgal
HUA10405(151)	42	45.026	142	51.337	757.79	980,367.825	7.94	108.91
HUA10436(152)	42	45.029	142	43.999	832.07	980,369.913	18.15	135.83
HUA10435(153)	42	45.039	142	44.377	792.74	980,376.918	18.78	135.71
HUA10136(154)	42	45.151	142	55.376	413.55	980,412.181	4.54	81.97
HUA10681(155)	42	45.212	142	49.910	771.46	980,370.397	10.56	116.51
HUA10248(156)	42	45.221	142	56.969	299.29	980,429.987	1.92	74.61
HUA10676(157)	42	45.316	142	48.324	819.49	980,366.564	13.29	124.72
HUA10135(158)	42	45.322	142	55.004	499.72	980,395.318	5.37	82.61
HUA10121(159)	42	45.515	142	52.120	858.52	980,339.181	10.40	101.84
HUA10247(160)	42	45.517	142	57.200	280	980,432.665	1.84	72.98
HUA10134(161)	42	45.537	142	55.220	533.19	980,386.538	6.42	81.14
HUA10130(162)	42	45.583	142	56.535	306.49	980,429.886	2.29	75.75
HUA10131(163)	42	45.590	142	56.055	319.83	980,429.005	3.05	78.24
HUA10246(164)	42	45.678	142	56.890	286.71	980,432.601	1.89	74.04
HUA10120(165)	42	45.682	142	52.423	739.29	980,361.815	8.02	98.35
HUA10118(166)	42	45.694	142	50.915	508.56	980,412.264	11.88	107.25
HUA10081(167)	42	45.724	142	52.677	578.14	980,394.343	6.61	97.69
HUA10133(168)	42	45.744	142	55.475	364.29	980,422.311	3.79	80.78
HUA10046(169)	42	45.771	142	52.907	542.04	980,399.511	6.60	95.68
HUA10132(170)	42	45.832	142	55.653	345.54	980,424.796	3.30	78.96
HUA10702(171)	42	45.865	142	50.160	527.57	980,406.803	16.48	109.86
HUA10119(172)	42	45.885	142	52.777	623.07	980,383.783	6.56	95.67
HUA10117(173)	42	45.888	142	50.988	435.66	980,424.662	12.81	105.96
HUA10129(174)	42	45.898	142	56.256	330.52	980,425.092	2.41	75.32
HUA10160(175)	42	45.955	142	54.397	494.04	980,399.996	3.87	83.72
HUA10703(176)	42	45.970	142	50.586	470.27	980,417.640	14.66	107.46
HUA10082(177)	42	45.974	142	53.261	552.52	980,395.021	5.00	91.35
HUA10116(178)	42	46.123	142	51.369	448.63	980,423.561	8.70	102.94
HUA10089(179)	42	46.129	142	51.833	417.34	980,427.182	9.01	100.72
HUA10128(180)	42	46.158	142	56.188	318.52	980,427.603	2.25	74.92
HUA10083(181)	42	46.208	142	53.320	473.29	980,410.156	4.66	90.21
HUA10161(182)	42	46.224	142	54.445	434.26	980,411.349	3.40	82.45
HUA10611(183)	42	46.260	142	45.835	1678.50	980,183.616	30.50	127.33
HUA10245(184)	42	46.283	142	57.200	275	980,430.972	1.53	68.85
HUA10088(185)	42	46.302	142	52.135	380.32	980,432.681	8.30	97.97
HUA10159(186)	42	46.333	142	54.262	404.56	980,417.845	3.91	83.46
HUA10087(187)	42	46.346	142	52.476	363.92	980,434.568	7.48	95.75
HUA10126(188)	42	46.377	142	55.916	346.10	980,422.668	2.66	75.48
HUA10610(189)	42	46.400	142	46.156	1793.91	980,146.421	40.41	122.74
HUA10047(190)	42	46.431	142	53.273	457.00	980,413.040	3.86	88.75
HUA10127(191)	42	46.469	142	56.140	365.96	980,417.363	2.58	73.86
HUA10609(192)	42	46.479	142	46.812	1395.14	980,247.843	18.34	122.95
HUA10125(193)	42	46.483	142	55.557	327.39	980,427.400	2.73	76.45
HUA10042(194)	42	46.500	142	48.917	670	980,390.125	8.88	112.65
HUA10162(195)	42	46.516	142	54.497	377.15	980,422.597	3.33	81.98
HUA10243(196)	42	46.567	142	56.967	275	980,431.301	1.59	68.81
HUA10041(197)	42	46.583	142	49.117	635	980,396.397	8.18	111.21
HUA10086(198)	42	46.605	142	52.686	338.57	980,437.791	7.30	93.43
HUA10158(199)	42	46.614	142	54.130	363.32	980,426.343	4.53	84.06
HUA10084(200)	42	46.616	142	53.157	413.89	980,422.197	4.18	89.49

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height m	Gravity mgal	T.C. mgal	B.A. mgal
	°	'	°	'				
HUA10244(201)	42	46.683	142	57.450	267	980,431.164	1.39	66.72
HUA10091(202)	42	46.710	142	54.481	334.47	980,430.920	3.68	81.97
HUA10085(203)	42	46.720	142	53.012	354.90	980,433.722	5.09	90.18
HUA10608(204)	42	46.798	142	47.221	1183.19	980,290.951	14.40	119.74
HUA10124(205)	42	46.802	142	55.491	318.57	980,429.076	2.48	75.67
HUA10044(206)	42	46.833	142	49.150	600	980,401.918	7.46	108.75
HUA10043(207)	42	46.933	142	49.300	580	980,407.031	6.14	108.46
HUA10032(208)	42	46.950	142	54.100	291	980,440.741	3.67	82.89
HUA10090(209)	42	46.953	142	53.236	303.45	980,441.938	4.96	87.82
HUA10031(210)	42	46.983	142	54.467	285	980,440.223	3.34	80.81
HUA10030(211)	42	47.000	142	55.050	270	980,439.698	3.29	77.27
HUA10037(212)	42	47.000	142	56.733	270	980,433.113	1.64	69.03
HUA10045(213)	42	47.000	142	48.517	660	980,393.395	7.32	111.64
HUA10163(214)	42	47.008	142	54.865	276.06	980,439.703	3.16	78.32
HUA10036(215)	42	47.067	142	56.267	282	980,433.038	1.81	71.39
HUA10169(216)	42	47.079	142	50.151	450.87	980,424.489	9.25	103.42
HUA10168(217)	42	47.097	142	49.703	502.70	980,419.014	7.06	105.91
HUA10033(218)	42	47.133	142	53.183	317	980,439.680	3.95	86.94
HUA10167(219)	42	47.138	142	49.388	526.97	980,415.200	7.24	106.99
HUA10029(220)	42	47.200	142	55.817	260	980,438.570	2.11	72.69
HUA10038(221)	42	47.200	142	56.867	269	980,432.423	1.52	67.72
HUA10166(222)	42	47.227	142	48.244	650.38	980,396.139	7.64	112.47
HUA10034(223)	42	47.283	142	52.800	325	980,439.325	4.47	88.44
HUA10028(224)	42	47.317	142	56.333	251	980,437.914	1.79	69.78
HUA10026(225)	42	47.333	142	57.400	257.9	980,431.879	1.33	64.61
HUA10165(226)	42	47.344	142	47.607	729.92	980,382.449	9.40	116.02
HUA10170(227)	42	47.442	142	50.800	407.96	980,429.796	8.12	98.62
HUA10027(228)	42	47.450	142	57.117	238	980,437.452	1.58	66.36
HUA10228(229)	42	47.504	142	53.462	336.89	980,433.778	3.53	83.97
HUA10233(230)	42	47.533	142	54.667	296	980,435.615	2.54	76.74
HUA10195(231)	42	47.783	142	51.417	380	980,433.122	5.48	93.31
HUA10035(232)	42	47.833	142	51.983	350	980,435.914	6.20	90.84
HUA10229(233)	42	47.913	142	53.691	481.01	980,402.294	4.71	81.35
HUA10194(234)	42	47.983	142	51.700	358	980,435.597	6.02	91.70
HUA10196(235)	42	48.061	142	51.210	417.21	980,426.459	4.44	92.49
HUA10256(236)	42	48.119	142	55.803	274.64	980,432.613	1.94	68.06
HUA10197(237)	42	48.249	142	50.844	422.64	980,426.194	5.78	94.35
HUA10230(238)	42	48.292	142	53.496	507.15	980,396.387	4.61	79.91
HUA10255(239)	42	48.343	142	56.916	228.56	980,437.993	1.63	63.76
HUA10234(240)	42	48.500	142	55.150	315	980,426.442	2.07	69.37
HUA10202(241)	42	48.509	142	51.213	433.99	980,420.666	6.16	91.04
HUA10235(242)	42	48.517	142	55.650	294	980,428.948	1.81	67.47
HUA10231(243)	42	48.550	142	53.262	552.93	980,385.865	5.88	79.27
HUA10201(244)	42	48.566	142	51.626	420.40	980,419.282	8.10	88.84
HUA10198(245)	42	48.652	142	50.221	428.51	980,425.905	6.45	95.27
HUA10200(246)	42	48.690	142	50.481	433.97	980,422.911	6.93	93.78
HUA10199(247)	42	48.750	142	49.983	420	980,427.895	7.22	96.22
HUA10203(248)	42	48.754	142	50.841	416.59	980,424.470	7.07	91.96
HUA10239(249)	42	48.761	142	53.636	391.06	980,417.374	3.43	76.20
HUA10236(250)	42	48.767	142	54.867	290	980,432.664	2.73	70.94

Station No.	Latitude (N)		Longitude (E)		Height	Gravity	T.C.	B.A.
	°	'	°	'	m	mgal	mgal	mgal
HUA10265(251)	42	48.834	142	54.233	348.47	980,423.280	2.97	73.17
HUA10238(252)	42	48.937	142	53.335	428.69	980,410.228	3.63	76.39
HUA10217(253)	42	49.003	142	49.603	432.15	980,426.328	7.63	97.06
HUA10407(254)	42	49.067	142	57.650	247.5	980,428.385	1.51	56.65
HUA10226(255)	42	49.103	142	46.339	628.28	980,401.197	13.90	116.62
HUA10210(256)	42	49.117	142	48.583	480	980,419.860	9.76	101.96
HUA10207(257)	42	49.128	142	51.070	427.34	980,419.135	7.69	88.80
HUA10237(258)	42	49.156	142	53.102	466.44	980,403.067	3.77	76.45
HUA10257(259)	42	49.228	142	55.017	322.45	980,423.415	2.80	67.44
HUA10408(260)	42	49.267	142	57.150	258	980,428.693	1.36	58.57
HUA10218(261)	42	49.292	142	49.690	487.63	980,414.273	7.05	94.90
HUA10209(262)	42	49.345	142	45.996	683.40	980,392.920	12.44	117.36
HUA10211(263)	42	49.386	142	48.487	537.83	980,410.353	8.07	101.73
HUA10411(264)	42	49.417	142	58.917	230	980,430.990	1.45	55.24
HUA10206(265)	42	49.422	142	51.302	452.35	980,412.707	6.79	85.95
HUA10410(266)	42	49.500	142	58.267	234	980,428.566	1.14	53.16
HUA10412(267)	42	49.517	142	59.683	172	980,441.491	1.07	53.83
HUA10212(268)	42	49.535	142	48.185	577.31	980,400.141	9.93	100.91
HUA10219(269)	42	49.569	142	49.744	509.54	980,408.754	6.83	93.05
HUA10261(270)	42	49.582	142	53.726	534.96	980,383.911	4.81	71.17
HUA10258(271)	42	49.673	142	55.352	342.79	980,417.663	2.86	65.07
HUA10205(272)	42	49.766	142	51.186	491.78	980,403.887	6.90	84.47
HUA10409(273)	42	49.800	142	57.567	239.7	980,429.129	1.31	54.57
HUA10220(274)	42	49.801	142	49.391	534.65	980,403.868	7.57	93.50
HUA10260(275)	42	49.825	142	54.291	555.62	980,375.037	6.73	67.91
HUA10262(276)	42	49.851	142	52.911	600.52	980,373.915	4.69	73.54
HUA10259(277)	42	49.945	142	54.773	451.81	980,396.143	5.17	66.87
HUA10263(278)	42	49.995	142	55.835	300.02	980,424.171	2.56	62.40
HUA10221(279)	42	50.103	142	49.124	563.25	980,397.768	8.46	93.45
HUA10413(280)	42	50.167	142	59.050	170	980,443.919	1.30	55.12
HUA10204(281)	42	50.233	142	51.000	576.00	980,386.322	6.89	82.75
HUA10414(282)	42	50.400	142	59.433	152	980,445.425	1.05	52.50
HUA10222(283)	42	50.423	142	48.937	609.81	980,387.966	9.05	92.92
HUA10225(284)	42	50.581	142	48.615	660.25	980,377.627	11.07	94.29
HUA10224(285)	42	50.614	142	48.235	722.85	980,365.913	11.97	95.75
HUA10223(286)	42	50.628	142	48.978	646.60	980,379.857	8.96	91.65
HUA10415(287)	42	50.967	142	58.917	197	980,434.157	1.09	49.25

A density of 2.67 g/cm^3 is assumed. Gravity stations are listed in the increasing order of latitude. Gravity values are referred to the Japan Gravity Standardization Net 1996 (JGSN96; Nakai et al., 1997; Yamaguchi et al., 1997). Terrain corrections were computed using 50m DEM (Yamamoto, 2002). T.C.:Terrain Correction, B.A.:Bouguer Anomaly.