



Title	石狩平野とその周辺の重力異常アトラス
Author(s)	山本, 明彦; YAMAMOTO, Akihiko
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 66, 33-62
Issue Date	2003-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.66.33
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14324
Type	departmental bulletin paper
File Information	66_p33-62.pdf



石狩平野とその周辺の重力異常アトラス

山本 明彦

北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター

(2003年1月6日受理)

Gravity Anomaly Atlas of the Ishikari Plain and Its Vicinity, Hokkaido, Japan

Akihiko YAMAMOTO

Institute of Seismology and Volcanology,

Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received January 6, 2003)

The Ishikari Plain in western Hokkaido, Japan, is characterized by the largest alluvial lowland (the Ishikari Lowland) in Hokkaido. Neogene rugged mountains dominate western part of the plain, and in the eastern margin of this plain lies the Ishikari Teichi Touen Fault Zone (ITTFZ) which borders on the Miocene hill belts (Iwamizawa, Kurisawa and Umaoi hills). To the east of the hill belts spread Yubari Mountains and the Yubari Coal area mainly composed of pre-Neogene volcanic rocks. The ITTFZ runs in a nearly N-S direction, protruding westward, and is classified as reverse fault system. Recent study of active faults in Japan has led to a new fault mapping in which activity classification and location of faults are accurately re-determined. While no noteworthy faults have been observed near Sapporo city, the Nopporo Hill Fault Zone is newly identified as an active fault system in the newly-compiled fault mapping. Although Bouguer anomalies around the Ishikari Plain are known to be characterized by (1) low anomalies corresponding to Quaternary sediments in the plain, and (2) high anomalies corresponding to Neogene high-density rocks, detailed gravity structure particularly across the ITTFZ in the eastern margin of the plain has not been reported so far. We performed gravity surveys and compiled pre-existed gravity data in and around the Ishikari Plain to reveal a fine structure around the plain. Finally, a new gravity anomaly atlas (Bouguer anomaly map and a first horizontal derivative/gradient map) of the Ishikari Plain and its vicinity was produced on the basis of these gravity data. A new Bouguer anomaly map delineates an excellent correlation between tectonic boundaries or known faults and Bouguer anomaly distributions. Also the map shows that the Ishikari Plain is characterized by a predominant gravity low with the amplitude of the order of 10~20 mgal with several gravity highs corresponding to Quaternary uplift zone. This gravity low is strongly correlated to the surface geology and topography. In mountainous area west of

the plain high gravity anomaly is dominant over the Neogene volcanic rocks. Pronounced local gravity high with several closed maxima can be observed in the western margin of the Miocene hill belts, conforming to the trend of the geological formations in the area. We conclude that this local high anomaly along the ITTFZ has a high horizontal gradient value of more than 10 mgal/km amplitude, and is attributable to active fault dynamics forming the ITTFZ.

I. はじめに

北海道西部に位置する石狩平野は人口 180 万人を越える札幌市を擁し、北海道の中でも最も人口が集中する地域である。この地域は砂岩・軽石などの堆積物が広く分布する第四紀の平野であり、複数の活断層系が存在することでも知られている。石狩平野の南西には、2000 年に噴火した有珠山をはじめ、爆発的な噴火を繰り返している活火山を擁するため、石狩平野とその周辺部は防災の面からも大変重要な地域である。また、多くの被害地震も報告されており(笠原・宮崎, 1998)、活発なテクトニクスを示す地域でもある。1995 年に発生した兵庫県南部地震以降、最近では札幌市などの自治体や北海道立地質研究所、北海道大学などによって地下構造の調査もすすめられている。本論文では、稠密なデータから得られた石狩平野周辺の重力異常分布を作成し、詳細な重力異常アトラスの構築を試みるとともに、重力異常分布の概略やその特徴について議論する。

II. 地質・地形の概略

北海道の地質構造区分は大きく北海道東部、北海道中央部、北海道西部の三地域に分けられる。北海道東部は千島弧の南西端に位置し、千島列島の地質区分と深い関係を持っている。地質構造区分では根室帯からなり、その西側では島弧-島弧衝突帯である日高衝突帯を形成している。千島弧内弧の火山弧は知床半島から西にむかって新第三紀の火山群を形成している。北海道中央部は日高山脈から北海道北部(稚内周辺)に延びる北海道中軸部を主要とする地質構造を有し、北方のサハリン島に連続する地質分布を示す。地質構造区分では常呂帯、日高帯、空知~エゾ帯、礼文~樺戸帯からなる。中央に位置する日高衝突帯には海洋地殻の上に形成された中生界と蛇紋岩の混合岩体が存在する。北海道西部は地質構造区分では渡島帯からなり、東北日本弧内帯の北方延長にあたるため、東北地方の日本海側の地質に類似した特徴を示している。北海道西部の東縁に位置する石狩平野には標高 100 m 以下の石狩低地帯が広がっており、この低地帯を境として、その東側と西側の地質は大きな相違を示すことから、石狩低地帯は北海道の地質構造区分の重要な境界になっている。石狩低地帯はほぼ礼文~樺戸帯に属し、札幌西方の山塊は渡島帯に区分されており、札幌市はほぼ両者の境界に位置している。石狩低地帯の東縁部には岩見沢丘陵~馬追丘陵が南北に延びており、その東西をそれぞれ、由仁低地帯・安平低地帯、長沼低地帯ではさまれている (Fig. 1)。そして岩見沢丘陵~馬追丘陵は全体に西に弧状に屈曲しており、その西部と西縁部には雁行配列をなす複数の断層帯が存在している(活断層研究会, 1980, 1991)。石狩地域

では新第三紀とそれ以降の地層が広く分布しており、主に火山岩、火山砕屑岩などが広がっている。しかし、薄別層群などのごく一部の地層を除けば、白亜紀～古第三紀の地質は分布していないのが特徴である。これらの特徴は東北日本弧内帯に広く分布するグリーンタフ地域に共通しており、東北日本弧内帯～北海道西部は白亜紀～古第三紀を通して安定した陸域であったことを示している。これに対して、石狩低地帯の東部では先新第三系の岩体からなる夕張山地をはじめとする山地が広がっており、多くの化石を産出する白亜紀の地層（函淵層群など）や石炭層を含んだ古第三紀の地層（幌内層群、石狩層群など）が広く分布している。新第三紀層の中でも最も古いとされる定山溪層群の火山活動で始まった札幌地域周辺のグリーンタフ地質変動は第四紀に入って台地や低地を形成し、現在の石狩周辺の地形を作り上げた。札幌西方の山塊はこのグリーンタフ地質変動の後、鮮新世中頃から第四紀初めにかけて噴出した古い溶岩や火山砕屑岩からなっている。札幌市の東方に位置する野幌丘陵は第四紀半ばに隆起して形成され、その後、約四万年前に支笏カルデラの形成が始まり、支笏湖～月寒周辺にかけて広大な火山灰台地が形成された。その後、扇状地や石狩沖積平野が形成され、現在の地形となっている。

III. 石狩平野周辺の新しい活断層像

活断層は一般に地質や地形と密接な関連をもっている。北海道には群をなして活断層が分布する地域がいくつか存在する。このうち最も規模が大きいものは十勝平野の十勝中央断層系である。石狩地域には、樺戸断層、当別断層、栗沢断層、馬追断層など、多くの断層が存在し、それらの多くはほぼ南北の走向を持ち、いずれも逆断層である。従来、これらの活断層群は『日本の活断層』（活断層研究会、1980、1991）を元に分類されるのが一般的であった。しかし、1995年の兵庫県南部地震以降、活断層研究の重要性が高まったため、いっせいに陸上の活断層の精査が始まり、新しい情報が急速に蓄積されてきた。最近になって、活断層研究グループを中心として活断層の研究は新たな展開を示し、『近畿の活断層』（岡田・東郷、2000）、『第四紀逆断層アトラス』（池田ほか、2002）、『活断層詳細デジタルマップ』（中田・今泉、2002）などの成果が次々と世に出された。これらの新しい活断層像を、従来より知られている活断層（活断層研究会、1980、1991）の分布や特徴と比較検討することは地下構造の研究や地震発生ポテンシャル評価のためにも有用である。ここでは、便宜上、『活断層詳細デジタルマップ』（中田・今泉、2002）で定義された新たな活断層を『新活断層』、また、『新編 日本の活断層』（活断層研究会、1991）で定義された活断層を『旧活断層』と呼称する。旧活断層では、活断層は『最近の地質時代に活動し、将来も活動することが推定される断層』と定義されている。ここで、地質時代は、第四紀、すなわち、およそ過去200万年間とされている。一方、新活断層は『最近数十万年間に概ね千年から数万年の間隔で繰り返し活動し、その痕跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層』と定義されている。日本の主要な活断層は概ね約千年から数万年の間隔で繰り返し活動するものが多いため、第四紀の活断層として定義される断層であっても、過去数十万年間にわたって活動した痕跡が認められない断層に関しては、今後も活動する可能性が少ないと考えるのは妥当であろう（中

田・今泉, 2002). 結果的に, 地域によっては, 新活断層像は従来の旧活断層像とはかなり異なったものになっている。新活断層像のもうひとつの大きな注目点として, 位置精度の向上が指摘される。旧活断層では, 位置の精度は, 数 10 m~100 m であったものが, 新活断層では, 10 m となり, ひと桁もの向上がはかられている。このため位置に関する詳細な検討が可能となっている。また, 断層の属性データが大量の地図情報とともに提供されていることもあり, 今後の地震・火山の防災の観点からも重要な資料と考えられる。

以上のことを念頭において石狩平野周辺の新旧の活断層分布を比較し, 新たな活断層像を調べてみた。Fig. 1 は石狩平野周辺における地形と活断層の分布を示したものであり, 活断層はそれぞれ, (a) 旧活断層, (b) 新活断層, を示す。Fig. 1 a には, 岩見沢丘陵 (IH), 栗沢丘陵 (KH), 馬追丘陵北ブロック (UHN), 同中央ブロック (UHC), 同南ブロック (UHS), 野幌丘陵 (NH) の位置を示した。Fig. 1 b では, 中田・今泉 (2002) にしたがって, 確実度に応じて活断層を色分けし,

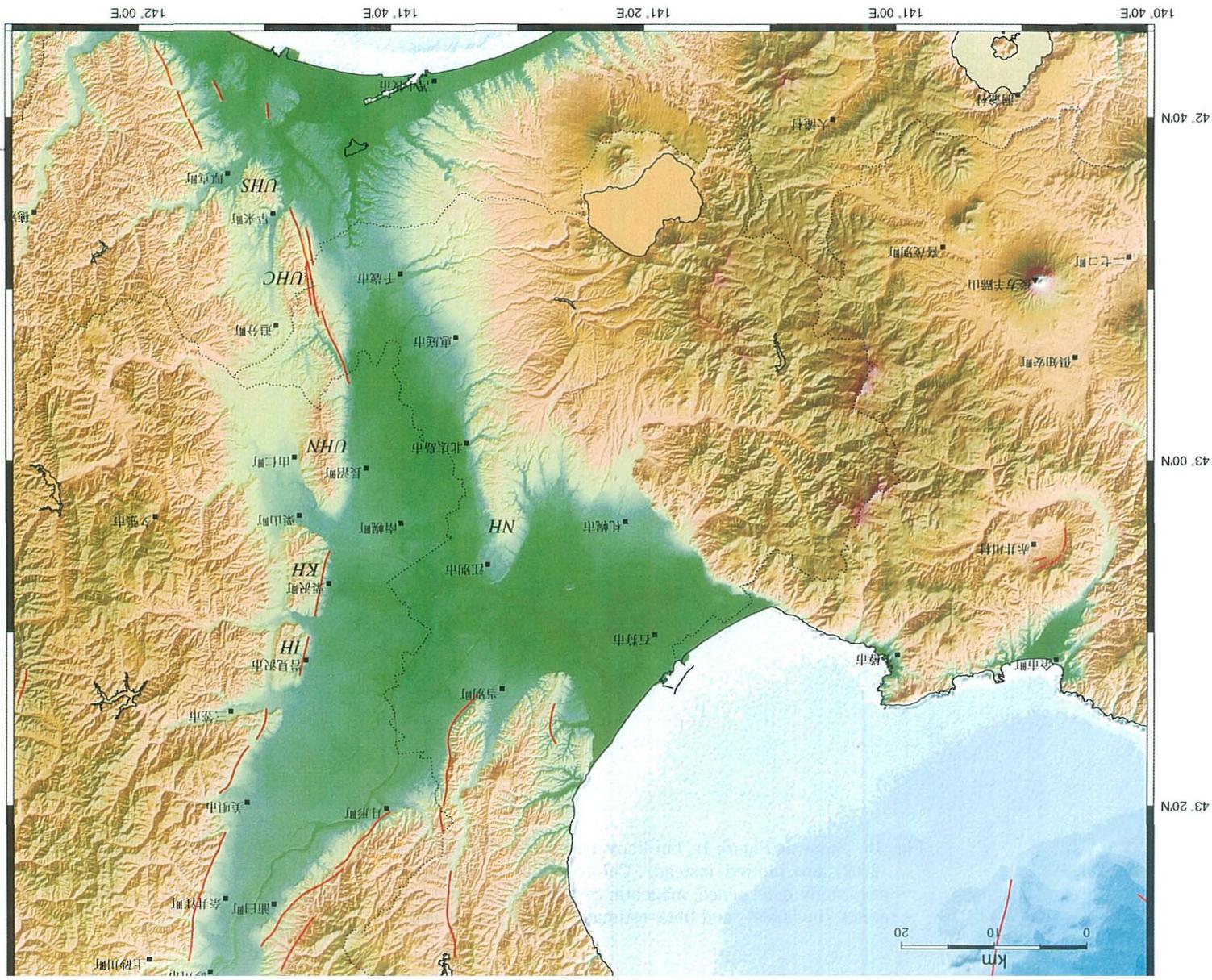
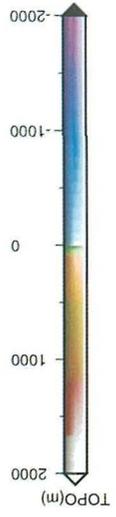
- 赤: 確実に存在し, 位置も確定,
- 紫: 存在するが位置がやや不明確,
- 緑: 存在する可能性が高い (伏在部),
- 青: 地下の推定活断層,

の 4 種類に分類した。ただし, 中田・今泉 (2002) では地下の推定活断層は黒色で示されているが, ここでは他の情報と区別するために青色で描画している点に注意されたい。Fig. 1 a の赤実線で示されているのは石狩低地東縁断層系であり, 石狩平野で最も規模が大きい断層系である。この断層系は, 岩見沢丘陵 (IH)~栗沢丘陵 (KH)~馬追丘陵 (UHN, UHC, UHS) を中心として全体に西に弧状に屈曲し, 岩見沢断層, 栗沢断層, 長沼傾動帯, 泉郷断層, 馬追断層, 嶮淵断層, そしてこれらに付随する断層群などから構成される全長約 55 km の大断層帯である (岡ほか, 2001)。これらの断層は各々が 5 km~13 km の長さを持ち, 主たる構造は東側傾斜 (西側上がり) の逆断層で, 横ずれ成分はほとんど見られないことが知られている。石狩低地帯とその周辺は, 鮮新世以降, 北海道における最大級のネオテクトニクスが進行しており, その東縁に位置する石狩低地東縁断層系は, 石狩炭田ブロックの西方へのつきあげと, 右横ずれ成分を伴うブロック全体の南側回転運動などの相互作用により形成された (岡, 1986)。Fig. 1 a の旧活断層分布を見ると, これら石狩低地東縁断層系に属する諸断層が明瞭に区分されていることがわかる。しかし, これらの諸断層は, 元々, 20 万分の 1 のスケールで公表されたため, 各断層それぞれがほぼ単一の単純な線分として描かれていることがわかる。この傾向は複雑な構造を持つ馬追断層, 嶮淵断層付近でも同様である。しかも, 長沼町~由仁町の市街地に広がる長沼傾動帯付近を見ると, 旧活断層分布では活断層がまったくプロットされていないことがわかる。これに比べ, 新活断層分布を示す Fig. 1 b では, 長沼傾動帯付近でも, 活断層が明瞭に示されており, また, 馬追断層, 嶮淵断層付近の複雑な断層形状がよく表現されている。新活断層では, 位置の精度が格段に向上しているため, 微妙な位置の違いが現れている。また, 旧活断層分布に比べ, 新活断層分布では, 岩見沢断層から嶮淵断層までの断層セグメントが南北にわたって, ほぼ全体としてひとつの線分

として連なるようになってきている様子が明瞭に示されている。特に岩見沢～栗沢断層では、旧活断層分布の1.5 kmほど西側に新たに断層が定義されたため、岩見沢断層～馬追断層～峻淵断層にかけての連続性がきわめて明瞭になっていることがわかる。また、岩見沢丘陵(IH)・栗沢丘陵(KH)の東縁(岩見沢市、栗沢市の約5 km東の位置)では、岩見沢断層・栗沢断層にほぼ並行するように新たに伏在断層が活断層として定義されており、石狩低地東縁断層系が岩見沢丘陵～馬追丘陵の西縁だけでなく、全体として丘陵の東縁にも存在することを示唆している。この傾向は、新活断層分布において、栗山町や由仁町付近でそれぞれ約5 kmの長さの推定活断層が示されていることから明らかであろう。

新旧活断層分布におけるもうひとつの大きな相違は、Fig. 1bに示されたように、従来、活断層は存在しないと思われていた札幌市周辺の野幌丘陵(NH)東縁および西縁付近で、新たに活断層群(野幌丘陵断層帯)が認定されたことである。北広島市～江別市付近に広がる野幌丘陵(NH)付近では以前より丘陵地の両側に地形面の傾動や撓曲等の変動地形の存在が知られており、最近、大津ほか(2001)は野幌丘陵付近でトレンチ調査を行ない、中期更新統の下野幌層を不整合に覆う沖積扇状地堆積物の存在を確認している。Fig. 1bに示されるように野幌丘陵断層帯は野幌丘陵(NH)の東麓・西麓に沿って分布する南北約20 kmの断層帯である(中田・今泉, 2002)。野幌丘陵はこれらの断層によって隆起したと考えられており、北広島市～江別市にかけて野幌背斜構造を形成し、周囲の泥炭地との境界をなしている。西に傾斜している東縁側の断層群に沿って10 m程度の変位があり、海成段丘を形成しているが、断層構造そのものは石狩低地帯の地下に伏在していると考えられている。野幌丘陵付近で新たに野幌丘陵断層帯が認知されたことは、札幌市の近縁で比較的浅い内陸被害地震が発生する可能性が出てきたことを意味している。このため、今後、野幌丘陵断層帯付近において、精細な地下構造探査が必要になるだろう。一方、札幌市域では、新活断層分布からも断層の存在は確認されていない。このことは決して活断層が存在しないことを意味するわけではなく、あくまでも、上記で述べたように、活断層としての明らかな痕跡が見つかっていないことを示すにすぎない。またこれは札幌周辺に限ったことではなく、活断層全体の分布を調べる時にも注意しなければならないことである。現在、活断層の認定はまず地形の情報を中心として判断され、さらに地質情報を結び付け、そして、实地調査でそれらを確認して総合的に確実度や活動度を定める、という手段を通して行なわれる。現在では、活断層の認定に対して、反射法地下構造探査など、地球物理的な手法はあまり考慮されていない。このため、地震、重力、地磁気など、地球物理データの裏付を伴った伏在断層等の研究は新たな活構造の推定や既存活断層の認定に対してきわめて有効であると考えられる。実際、Shichi et al.(1992)は、本州中央部の阿寺断層系の北東に位置する御嶽山の南東麓で発生した1984年長野県西部地震の震源域近傍において、明瞭な重力異常の高勾配強度域が存在することを発見した。この付近は、旧活断層でも新活断層でも、活断層がまったく認められていない地域である。このためこの重力異常の高勾配強度域を地震断層(活断層)に相当する構造境界と推定した。これは稠密な重力異常データを用いて地震断層が確認された初めての例である。今後、石狩平野周辺でもさまざまな

Fig. 1a. Map showing topography and known faults in the Ishikari Plain and adjacent areas where the digital elevation model by Geographical Survey Institute (2001), gridded with nodes at every 50 m, was used. Heavy red lines demonstrate known active faults by the Research Group for Active Faults of Japan (1991). The digital topography is illuminated by the artificial light from the N-W direction. Large closed triangles and squares show locations of major named summits and cities (towns), respectively. IH: Iwamizawa Hill, KH: Kurisawa Hill, UHN: Umaoi Hill (Northern Block), UHC: Umaoi Hill (Central Block), UHS: Umaoi Hill (Southern Block), NH: Nopporo Hill.



(a)

Fig. 1b. Same as Figure 1a, but known active faults (thick colored lines) by Nakata and Imaizumi (2002) are plotted instead. Colored fault indicates, red: certainly exists and location is accurately determined, magenta: certainly exists and location is not accurate, green: possibly exists (invisible), and blue: estimated fault lying at depths.

地球物理手法による既存の活断層の調査や伏在断層の推定が重要な位置を占めると考えられる。

IV. 石狩平野周辺の重力異常

1. 重力データと各種補正

日本列島全域を対象とする重力異常図はこれまでに、国土地理院 (Geographical Survey Institute, 1985; 国土地理院, 1988), 新エネルギー総合開発機構 (1987), 河野・古瀬 (1989), 地質調査所 (1992) などにより公表されている。また日本列島の重力異常陰影図や余色立体図が国土地理院 (Geographical Survey Institute, 1993, 2000) や町田ほか (2000) により公開されている。北海道地域では国土地理院 (1955, 1988) により重力異常図が公表され、石狩平野周辺においても、例えば、岡 (1986) が重力異常を議論し、駒澤ほか (1998) はブーゲ異常図を公開した。特に、昭和 30 年代以降、石狩平野周辺では、石油資源開発株式会社 (以降、JAPEX と呼称する) による稠密な重力探査が行なわれており、その後、北海道大学、北海道立地下資源調査所 (現北海道立地質研究所) なども重力調査を行なっている。このうち、JAPEX によるものは石狩平野周辺だけで約 18,000 点におよぶ重力データが蓄積されており、平均的な観測点分布の間隔は約 300~400 m である。このため他の機関のデータと合わせることにより、詳細な重力異常分布の構築と議論に対して十分な空間分解能を有する。駒澤ほか (1998) はこの JAPEX による稠密な重力データを元にした石狩平野周辺の重力異常図を公開したが、補正密度が 2.3 g/cm^3 とやや小さく、また、重力異常図のみの公開であるため、さまざまな解析や議論は困難であった。もともと、JAPEX の重力データは物理探査などの特殊な目的のために行なわれたこともあり、現在も、特別な場合を除き、非公開となっている。最近、地質調査所 (2000), Shichi and Yamamoto (2001) により、日本列島全域におよぶ稠密重力データベースがあいついで構築され、それらがともにデジタル形式 (CD-ROM) で公開されているが、JAPEX のデータは含まれていない。今回、JAPEX による石狩低地帯周辺の稠密重力データをはじめとして、北海道大学、地質調査所 (2000)、北海道立地質研究所等の既存データをコンパイルし、石狩平野周辺の重力異常アトラスを作成した。

今回使用した重力観測点の分布を Fig. 2 に示す。Fig. 2 において、半径 3 km の円内に観測点が存在しない地域 (石狩湾を含む) では、地質調査所 (2000) により複数種類の密度値で計算された 1 km の grid 間隔のブーゲ異常値を使用した。これにより、重力観測点分布が粗な領域 (いわゆる観測空白域) を補間した。ただし、実際にこの補間が適用された陸域は石狩低地帯の東方および西方のごく一部の山間部である。Fig. 2 で示されるように、観測点分布が非常に稠密なため、長波長だけでなく、短波長の重力異常の議論にも十分な空間分解能となっていることがわかる。Fig. 2 に示した重力データのうち、JAPEX のものは各基準点を元にして絶対重力値を算出した。また北海道大学等によるデータは主に LaCoste & Romberg 重力計 (G 791), Scintrex 重力計 (S 227) により求められたものであり、絶対値の決定には北海道大学理学部 3 号館 105 号室の一等重力点 (FGS. 3-105) を使用した。また、用いた絶対重力値は JGSN 96 (Nakai et al., 1997; Yamaguchi et al., 1997) に準拠した値を使用した。観測点の緯度、経度は、主に、国土地理院

Fig. 2. Locations of gravity stations (closed circles). Background shaded image demonstrates digital topography illuminated by the artificial light from the N-W direction. Note that gridded Bouguer gravity data by Geological Survey of Japan (2000) are additionally used in this study (see the caption of Fig. 3). Heavy colored lines and dotted red lines demonstrate known active faults by Nakata and Imaizumi (2002) and the Research Group for Active Faults of Japan(1991), respectively.

発行の2万5千分の1の地形図や各自治体が作成した地形図を使用し、三角点、水準点、独立標高点による標高値を使用した。一部の観測点では、GPSにより座標を決定した。使用した重力計の諸特性や誤差評価については山本ほか(2001 a, 2001 b)を参照されたい。地形補正はブーゲ補正と同じ範囲(観測点から半径80 kmの範囲)とし、50 m DEM (Digital Elevation Model, 国土地理院, 2001)を利用したYamamoto (2002)による球面地形補正法により計算した。また重力補正密度として 2.67 g/cm^3 を使用し、大気補正を考慮した上で、ブーゲ異常値を決定した。石狩低地帯全域としては、最適な補正密度は 2.67 g/cm^3 より小さいと思われる(駒澤ほか, 1998)が、ここでは、過去に公開されている多くの図版との整合性を保つため、 2.67 g/cm^3 を使用した。なお、本研究の対象となっている領域全体のブーゲ異常のパターンは、補正密度を 2.67 g/cm^3 よりある程度小さくしてもそれほど大きな変化は見られない。特に平野部では標高が低いため、重力異常のパターンに大きな変化は現れない。

2. 重力異常図に見られる諸特徴

上記の手続きを経て得られた石狩平野とその周辺における重力異常図(フィルタ長1 kmのローパスフィルタを通したものを)をFig. 3に示す。またFig. 4には簡略化された地質図を示す。ここでは、地形との比較を容易にするため、重力異常と地質情報はともに地形の陰影を重ねた形で表現した。Fig. 4に示した地質情報は100万分の1の地質データ(地質調査所, 1995)を元としているため、地質ブロックの分布やその境界位置についてはある程度の誤差を含む点に留意されたい。今回作成したブーゲ異常図に見られる特徴を以下に述べる。

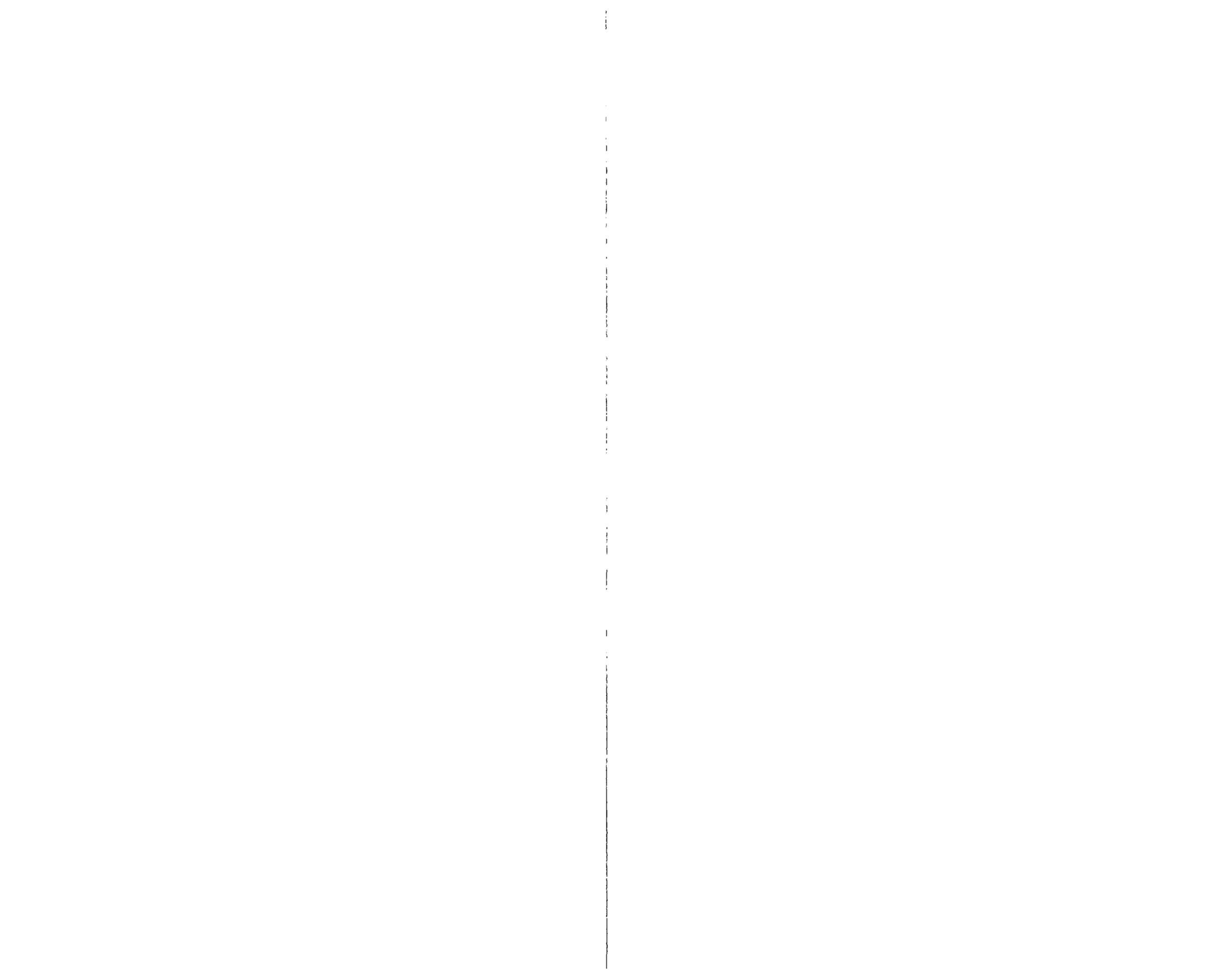
- (1) 石狩低地帯は全体として低重力異常を示し、周囲の山塊は高い重力異常となっている。この低い重力異常は石狩低地帯に厚く堆積した新第三紀~第四紀の堆積岩などによるものと考えられる。一方、周囲の山塊は先新第三系の高密度な岩体が分布しているため高い重力異常となっている。
- (2) 石狩低地帯の東縁では、岩見沢丘陵、栗沢丘陵、馬追丘陵のそれぞれに対応する高い重力異常域が存在する。また各丘陵の西縁側にもさらにローカルな重力異常の高まりが見られる。
- (3) 岩見沢丘陵では、西縁だけでなく、東縁にも、重力異常の急変が見られ、その急変帯は栗山町付近まで追跡できる。
- (4) 石狩低地帯東縁断層帯に沿って、非常にシャープな局所的な重力異常の変化がみられる。その重力変化は長沼傾動帯付近で最も大きくなり、石狩低地帯東縁断層帯全体を通して、ひとつの重力異常急変帯を形成している。
- (5) 石狩低地帯東縁断層帯に沿う重力異常の急変域は場所によっては 10 mgal/km をこえる重力異常勾配となっている。同様に、札幌市から南南東~南方向に延び、支笏湖の東縁を通る重力異常の急変域も 10 mgal/km をこえる重力異常勾配値を示す(Fig. 5)。
- (6) 岡ほか(2001)は、馬追丘陵については重力的な高まりと地形的・地質的な高まりの間に微妙なずれが生じていると指摘したが、稠密データに基づく本重力異常図によれば、そのず

これは長沼町～由仁町付近の馬追丘陵の北ブロック西縁で顕著であり、その付近には、新たに定義された活断層（長沼傾動帯）が延びている。馬追丘陵の中～南ブロックでは、重力的な高まりと地形的・地質的な高まりはおよそ一致しているように見える。

- (7) 先第三系が分布する札幌市西方の山間部と平野部の境界部に沿って、ややシャープな重力異常の急変帯が見られる。この急変帯は札幌市から南南東～南方向に延び、支笏湖の東縁を通っている。しかし、この急変帯は、北緯 43 度以南では、明瞭な地形・地質の境界とは一致していない。この付近では支笏火山噴出物が表層に広く分布しているため、表層の地質とは別に、活断層のように、地下で構造が大きく変化する境界が存在する可能性がある。
- (8) 新しく活断層として定義された野幌丘陵断層帯付近では、約 4～5 mgal の重力異常の高まりが見られ、またその北西（江別市西方）、南東（千歳市付近）にはそれぞれ相対的に約 10 mgal 程度低くなっている重力異常域が存在する。これらはそれぞれ大規模な沈降部に対応する。ただし、野幌丘陵付近の高重力異常域と地形との間には強い相関はなく、また、野幌背斜構造や野幌丘陵断層帯と重力異常との間にも明瞭な相関は存在しない。
- (9) 羊蹄山～洞爺湖～札幌～小樽～赤井川で囲まれた地域では、低重力異常が卓越しており、特に、無意根山～余市岳付近では、後期中新世以降の碎屑岩類に対応した低重力異常帯が広く分布している。
- (10) 札幌～当別～江別で囲まれる札幌東部沈降部は明瞭な低重力異常を示し、江別市の西部で約 10 mgal の極小値をとる。この沈降部はその北西延長が当別向斜に連なり、重力異常の窪みもそのまま延長している。さらに北西に向かうと、樺戸山地の増毛～当別構造線に至り、樺戸山地を二分する重力異常の谷を形成している。

V. 考 察

石狩低地帯周辺における重力異常は、全体的に地質や地形をうまく説明する分布となっている。新しく軽い堆積物が広く分布する石狩低地帯は、そのまま低重力異常を示し、周囲に広がる新第三紀～第四紀の堆積岩などの地域も概ね高い重力異常となっている。しかし、石狩平野の中央部では、低重力異常の凹みは一様ではなく、札幌～当別～江別で囲まれる札幌東部沈降部、および、千歳市付近を中心とする札幌南東部沈降部は明瞭な低重力異常を示すが、野幌丘陵断層帯付近では、約 4～5 mgal の重力異常の高まりが見られる。石狩低地帯における第四紀鮮新世以降の沈降運動は 1,500～2,000 m に達すると考えられており、場所によっては 3,000 m を越える堆積層が存在する。岡（1986）に示されている変動量の地域分布によれば、札幌東部沈降部、札幌南東部沈降部は大きな沈降量を示すのに対し、野幌丘陵断層帯付近では、変動量は小さく、西縁側では 220 m の垂直変位となっている。これらの変位がそのまま重力異常のソースになっていると仮定すると、札幌東部沈降部、札幌南東部沈降部はほぼ期待通りの異常値になるが、野幌丘陵付近の重力異常の高まりは期待値より大きくなりすぎてしまう。このことから、現在、10 m 程度の変位を伴う海成段丘を形成している野幌背斜構造は、地下において密度コントラストがより大きく



なっているか、あるいは、変位量が現在知られている値より大きくなっている可能性が考えられる。

これらの低地帯に対して、石狩平野西部にひろがる山塊は主に先第三系の岩体が分布し、平野部との境界には構造線の存在が推定されている。笠原・宮崎 (1998) は、札幌北部地域周辺の直下型地震をコンパイルし、その震央分布から山間部と平野部の北部境界における伏在構造線 (起震断層) の存在を推定している。過去に行なわれた石狩平野周辺地域の地下構造の研究では、主に平野部の構造解析や石狩低地東縁断層帯を主な研究対象としたものが多く (例えば、吾妻, 1961 a, b, 1962; 岡ほか, 2001), 石狩低地東縁断層帯については、岡ほか (2001) が断層を跨ぐ 4 測線の重力プロファイルで解析を行なっている。しかし、札幌北部地域の伏在構造線に関する詳細な議論は現在までなされていないのが現状である。このような地下深部に存在する構造変化は、それが密度変化の積分として観測される限り、重力異常からその構造を見つけることが可能である。もちろん、ポテンシャル量としての重力異常は一意に構造を決定できない性質を持つため、構造決定に一意性を持たせるためには、ボーリング、地震データなど、他の物理量による束縛条件が必要となる。

重力異常から地下の急激な密度変化をさぐるためには、重力異常の水平方向の微分 (勾配) の異常を調べることは非常に効果的である (たとえば、Blakely and Simpson, 1986; Yamamoto et al., 1986; ten Brink et al., 1993; 楠本ほか, 1996, 2002; 山本ほか, 2001 a, b; 山本・石川, 2002)。特に重力異常の急変を示す地域では、この手法は有効である。Yamamoto et al. (1986) は東海～近畿地域のブーゲ異常分布から、太平洋に面したベルト地帯に大規模な重力異常の急勾配地帯を発見し、地下の構造境界の存在を示した。またこのような解析は重力異常の陰影図を通して行なうとより効果的に視覚に訴えることが可能である。Yamamoto (2003) は石狩平野周辺の重力異常の陰影図を解析し、石狩低地東縁断層帯が現在知られているよりも長い範囲にわたって分布していることを示した。今回、フィルタ操作を施さない重力異常を元にして、石狩低地東縁断層系など、特に重力異常の急変 (すなわち、地下構造の急変) を示す地域において、重力異常の水平方向の微分 (勾配) を調べることによって、定量的に、かつ、解析的に検証してみた。本論文では、重力異常分布 B を直接、スプライン関数として与え、勾配強度の定義として、 $\sqrt{(\frac{\partial B}{\partial x})^2 + (\frac{\partial B}{\partial y})^2}$ を採用した。これにより、方向性を持たない勾配強度の議論が可能である。

Fig. 5 はこのようにして得られた石狩平野周辺の重力異常水平勾配強度分布図である。図に示した勾配強度の範囲は 0 ~ 8 mgal/km である。8 mgal/km を越える領域は黄色の領域で示されている。通常、勾配強度が 4 ~ 5 mgal/km 程度を越える場合には、ブーゲ異常図にも明瞭な線状構造としてあらわれることが多い (Shichi et al., 1992; 山本・志知, 1994)。ここでは重力異常の勾配強度分布に見られる線構造を明瞭に示すため、活断層分布を意図的にはずしてある。Fig. 6 は Fig. 5 に活断層分布を重ね、また背景に地形陰影を加えたものである。Fig. 5 を見ると、緑色～黄色で着色された領域が石狩低地帯の東西に広く分布していることがわかる。これに対し石狩平野のほとんどの領域では 0 ~ 3 mgal/km を示し、東西の高勾配強度域とは対象的になっ

Fig. 5. Map showing Bouguer anomaly gradient (the magnitude of the first horizontal derivative of non-filtered Bouguer anomaly) of the Ishikari Plain and adjoining areas for gradient values ranging from 0 to 8 mgal/km. Note that this map emphasizes the shortwavelength features of Bouguer anomaly. Yellow zones show a region with high gradient anomaly value.

Fig. 6. Same as Figure 5, but digital topography (background shaded image) and known faults are superimposed. Heavy colored lines and dotted red lines demonstrate known active faults by Nakata and Imaizumi (2002) and the Research Group for Active Faults of Japan(1991), respectively.

ている。特に黄色でプロットされている領域は 8 mgal/km を越える勾配強度値を持ち、地下で非常に急激な構造の変化が予想される。そのような地域として特に注目されるのは、石狩低地東縁断層帯、および、札幌市の南に延びる高勾配強度域であろう。

石狩低地東縁断層帯では、長沼町の 2 km ほど東の馬追丘陵北部で最も高い勾配強度を示し、その最大値は $12\sim 13 \text{ mgal/km}$ を示す。そして高勾配強度域の帯は岩見沢市から栗沢町、長沼町を通過して早来町の西部に至り、非常に明瞭な線構造を形成しているように見える。Fig. 6 を見ると、この線構造は、石狩低地東縁断層帯の中央部（長沼町付近）を除いて、ほぼ新活断層の分布と一致していることは非常に興味深い。またこの線構造の東側にも明瞭な高勾配強度域の帯が見られ、特に岩見沢市、栗沢町の東縁で顕著である。これは Fig. 6 に見られるように、岩見沢丘陵、栗沢丘陵の東縁にほぼ一致しており、両丘陵付近の石狩低地東縁断層帯では、西縁だけでなく、東縁でも、同程度の規模の地下構造変化が存在すると考えられる。一方、Fig. 5, Fig. 6 に示されるように、長沼町の 2 km ほど東の高勾配強度域は新旧いずれの活断層分布ともまったく一致せず、しかも由仁町にいたるまで2本の帯が見られる。これらのことから、馬追丘陵北部では、地下の構造が複雑になっており、石狩低地東縁断層帯がさらに複数の断層セグメントに分岐している可能性が高いと考えられる。

次に、石狩低地帯の西に広がる山間部に見られる高い勾配強度域のうち、札幌市から南～南南東方向に直線的に延びる高勾配強度帯が特徴的である。ここではこの高勾配強度帯を仮に『札幌～支笏構造線』と呼称する。札幌～支笏構造線は札幌市付近から南～南南東方向に向かい、支笏湖北西部のえにわ湖あたりまでほぼまっすぐに延びている。そしてえにわ湖付近でその方向を西南西に変え、支笏湖温泉～モラップまで追跡でき、総延長は約 40 km に達すると推定される。札幌～支笏構造線が延びる領域は平野と山塊との地形境界ではなく、また、Fig. 4 に示すように地質の境界でもない。しかしながら、この付近には、支笏火山噴出物が表層に広く分布しているため、表層の地質とは別に、地下深部に大規模な構造境界が存在する可能性がある。ここで述べたような高い勾配強度域は支笏湖南部にも見られる。

一方、石狩低地帯の西に位置する山間部の東縁に沿って見られる高勾配強度域は、全体に東に向かって弧状に屈曲するような、幅 $15\sim 20 \text{ km}$ 程度の高勾配強度域の帯としても解釈することができる。つまり、鮮新世以降の地殻変動という大規模な運動が起きたため、平野部と接する領域では、運動のはげしさの反映として複雑な地下構造が形成され、その密度変化がそのまま重力異常として観測されているのかもしれない。いずれにせよ、支笏火山噴出物の下では、重力異常から見る限り、過去の知見では説明できない地下構造の変化が存在する可能性が高い。

VI. ま と め

石狩平野とその周辺において、稠密な重力データから重力異常アトラスを作成し、石狩低地帯と周辺の先新第三系の山塊の重力異常や地下構造について解析を行なった。重力異常は全体として地質や地形をよく説明する結果となり、軽い第四紀の堆積物が広く分布する石狩低地帯は、そ

のまま低重力異常を示し、周囲に広がる新第三紀～第四紀の堆積岩などの地域も概略高い重力異常となることがわかった。石狩平野の中央部では、低重力異常の凹みは一様ではなく、札幌市東部の沈降部、千歳市付近の沈降部は明瞭な低重力異常を示すのに対し、野幌丘陵断層帯付近では、約4～5 mgalの重力異常の高まりが見られる。これらの沈降部では、第四紀鮮新世以降の沈降運動と重力異常との間によい一致が見られるが、野幌丘陵断層帯付近では、重力異常から期待される変動量と実際の沈降運動の量は異なる結果となった。石狩低地東縁断層帯では、重力異常の勾配異常が線構造を示し、その分布は石狩低地東縁断層帯の中央セグメント（長沼町付近）を除いて、ほぼ活断層の分布と一致することがわかった。また、岩見沢丘陵、栗沢丘陵付近では、その西縁だけでなく、東縁でも線的な勾配異常が見られ、どちらも同規模の地下構造変化を有すると推定される。一方、札幌市から南～南南東方向に直線的に延びる高勾配強度帯はきわめて顕著であり、本論文では『札幌～支笏構造線』と名付けた。この構造線は、札幌市付近から南～南南東方向に向かい、支笏湖北西部のえにお湖付近までほぼまっすぐに延びた後、えにお湖付近でその方向を西南西に変え、支笏湖温泉～モラップに至る総延長約40 kmの大構造線である。しかも、地形や地質との境界とは一致せず、支笏火山噴出物の下部では、複雑な構造変化が存在する可能性が示唆された。今後、上記の知見に対して明確な結論付けを行なうには、石狩低地帯とその周辺において、より広範囲の調査を行なう必要があると思われる。また、そのためには重力探査だけでなく、反射法地震探査をはじめとする各種物理探査を実施することが望まれる。

謝辞 石油資源開発株式会社の担当者各位には、未公開の重力データの資料を閲覧させていただき、さらに学術使用を快諾していただいた。重力調査に際しては石川春義氏（北海道大学大学院理学研究科地震火山研究観測センター）の御協力をいただいた。岡崎紀俊氏（北海道立地質研究所）には重力データに関して便宜をはかっていただいた。また、重力調査にあたって、各自治体の担当者各位には、調査実施のためにご尽力いただき、さらに資料を提供していただいた。ここに記して以上の方々に深謝致します。なお、本論文中のすべての図はGMT(Generic Mapping Tools)ソフトウェア(Wessel and Smith, 1995)を用いて作成した。

文 献

- 吾妻稔, 1961 a. 由仁平野と馬追丘陵の地下構造 (その1), 石油技術協会誌, **26**, 169-179.
吾妻稔, 1961 b. 由仁平野と馬追丘陵の地下構造 (その2), 石油技術協会誌, **26**, 339-345.
吾妻稔, 1962. 石狩低地帯の地下構造, 石油技術協会誌, **27**, 135-172.
Blakely, R. and R. W. Simpson, 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies, *Geophysics*, **51**, 1,494-1,498.
地質調査所, 1992. 日本地質アトラス (第2版), A全判26葉, 朝倉書店.
地質調査所 (編), 1995. 100万分の1日本地質図, 第3版 CD-ROM 版, 数値地質図 G-1, 地質調査所.
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.
Geographical Survey Institute, 1985. A new Bouguer anomaly map of Japan (except Hokkaido District),

- Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **29**, 102–103.
- Geographical Survey Institute, 1993. Gravity anomaly relief map of the south-western Japan, 1 sheet.
- Geographical Survey Institute, 2000. Gravity anomaly relief map of Japan, 3 sheets, (国土地理院技術資料, B・1-No.28).
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 (編), 2002. 第四紀逆断層アトラス, 1–254, 東京大学出版会.
- 笠原稔・宮崎克宣, 1998. 札幌市とその周辺の歴史地震と最近の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, **61**, 239–262.
- 活断層研究会編, 1980. 日本の活断層, 分布と資料, 1–363, 東京大学出版会.
- 活断層研究会編, 1991. 新編日本の活断層, 分布と資料, 1–437, 東京大学出版会.
- 国土地理院, 1955. 日本での重力測定 (1) 北海道地域での重力測定, 測地学会誌, **4**, 23.
- 国土地理院, 1988. 北海道の単純ブーゲ異常図の作成, 地震予知連絡会会報, **40**, 12–13.
- 国土地理院, 2001. 数値地図 50 m メッシュ (標高), CD-ROM 全 3 枚 (日本-I, 日本-II, 日本-III).
- 駒澤正夫・広島俊男・村田泰章・牧野雅彦・森尻理恵, 1998. 札幌地域重力図, 1:200,000 重力異常図, 10, 地質調査所.
- 河野芳輝・古瀬慶博, 1989. 100 万分の 1 日本列島重力異常図, 1–76, 東京大学出版会.
- 楠本成寿・福田洋一・竹本修三・由佐悠起, 1996. 重力異常から求めた別府–島原地溝東部の 3 次元地下構造, 測地学会誌, **42**, 167–181.
- 楠本成寿・長尾年恭・駒澤正夫・石原丈実, 2002. 重力異常の水平勾配からみた駿河湾周辺の地下構造, 地震 **2**, **55**, 291–294.
- 町田守人・木村勲・久松文男・黒石裕樹・平岡喜文・志知龍一・駒澤正夫・山本明彦, 2000. 全国のブーゲ異常の余色立体図作成, 日本測地学会, 第 94 回講演会要旨, 171–172.
- Nakai, S., K. Yamaguchi, K. Nitta, H. Yamamoto, K. Matsuo, M. Machida, M. Murakami, M. Ishihara, R. Shichi 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, (pp.746), ISBN: 3-540-63352-9.
- 中田高・今泉俊文, 2002. 活断層詳細デジタルマップ, 1–60, 東京大学出版会.
- 大津直・田近淳・廣瀬亘, 2001. 北海道石狩平野, 当別断層の最近の活動, 地球惑星科学関連学会, 2001 年合同大会, 要旨, Jm 001.
- 岡孝雄, 1986. 北海道の後期新生代堆積盆の分布とその形成に関わるテクトニクス, 地団研専報, **31**, 295–320.
- 岡孝雄・田近淳・大津直・廣瀬亘・岡崎紀俊・石丸聡, 2001. 石狩低地東縁断層帯, 活断層図とその解説, 北海道活断層図, No.3, 1–157, 北海道立地質研究所, 北海道.
- 岡田篤正・東郷正美, 2000. 近畿の活断層, 1–395, 東京大学出版会.
- Shichi, R. and A. Yamamoto (Representatives of the Gravity Research Group in Southwest Japan), 2001. Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM), *Bull. Nagoya University Museum, Special Rept.*, **9**, CD-ROM.
- Shichi, R., A. Yamamoto, A. Kimura and H. Aoki, 1992. Gravimetric evidences for active faults around Mt. Ontake, Central Japan: Specifically for the hidden faulting of the 1984 Western Nagano Prefecture Earthquake, *J. Phys. Earth*, **40**, 459–478.
- 新エネルギー総合開発機構, 1987. 1/1,000,000 全国重力異常図 (ブーゲ異常図).
- ten Brink, U. S., Z. Ben-Avraham, R. E. Bell, M. Hassouneh, D. F. Coleman, G. Andreasen, G. Tibor and B. Coakley, 1993. Structure of the Dead Sea pull-apart basin from gravity analysis, *J. Geophys. Res.*, **98**, 21,877–21,894.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1995. New version of the generic mapping tools released, *EOS, Trans. Am. Geophys. Un., Suppl.*, **Aug. 15**.

- Yamaguchi, K., K. Nitta, H. Yamamoto, K. Matsuo, M. Machida, M. Murakami, M. Ishihara, S. Nakai, R. Shichi and A. Yamamoto, 1997. The establishment of 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, (pp.746), ISBN: 3-540-63352-9.
- 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**, No.6, 845-880.
- Yamamoto, A., 2003. Gravity-based active fault mapping around the eastern margin of the Ishikari Lowland, Hokkaido, Japan, *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, in press.
- 山本明彦・石川春義, 2002. 北海道渡島半島南部の重力異常と浅部地殻構造, 北海道大学地球物理学研究報告, **65**, 247-290.
- 山本明彦・志知龍一, 1994. 重力で何がみえるか?, 月刊地球, **16**, No.6, 特集“プレート沈み込み帯のジオダイナミクス”, 303-308.
- 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**, 21-49.
- 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**, 51-80.
- Yamamoto, A., Y.Fukao, M. Furumoto, R. Shichi and H. Shiraki, 1986. A Bouguer anomaly gradient belt on the Pacific side of Central Honshu, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **13**, 537-540.