

### 3. 1. 2 重力探査に基づく地下構造調査

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 重力探査に基づく地下構造調査

(b) 担当者

| 所属機関                          | 役職    | 氏名    |
|-------------------------------|-------|-------|
| 国立大学法人金沢大学<br>理工研究域地球社会基盤学系   | 教授    | 平松 良浩 |
| 国立大学法人金沢大学<br>理工研究域地球社会基盤学系   | 博士研究員 | 澤田 明宏 |
| 国立研究開発法人産業技術総合研究所<br>地質情報研究部門 | 主任研究員 | 宮川 歩夢 |
| 国立大学法人金沢大学大学院自然科学研究科          | 修士課程  | 深田 雅人 |
| 国立大学法人金沢大学大学院自然科学研究科          | 修士課程  | 河尻 茉歩 |
| 国立大学法人金沢大学大学院自然科学研究科          | 修士課程  | 福岡 光輝 |
| 国立大学法人金沢大学大学院自然科学研究科          | 修士課程  | 山本 史  |
| 国立大学法人金沢大学理工学域                | 学部生   | 高野 彩香 |
| 国立大学法人金沢大学大学院自然科学研究科          | 修士課程  | 杉井 天音 |
| 国立大学法人金沢大学理工学域                | 学部生   | 陣出 湧也 |

(c) 業務の目的

森本・富樫断層帯及び周辺断層帯との近傍部において、既往の重力探査データを踏まえて、重力探査を高密度・稠密に実施し、地下の断層構造の変化や構造の連続性を調査する。平野縁辺部の堆積層構造情報を得て、強震動予測のための地下構造モデル構築に活用する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 令和4年度：

既往重力データを収集・精査した上で、森本・富樫断層帯周辺において重力測定を実施し、重力異常図を作成し、断層近傍の断層姿勢や周囲の活断層帯との関係を拘束するための資料化を進めると共に次年度の森本・富樫断層帯を横切る地震波探査測線に沿った二次元密度構造解析のための重力測定点配置についても検討した。

2) 令和5年度：

令和4年度に引き続き、森本・富樫断層帯周辺における重力探査の継続と、地下構造調査を継続する。サブテーマ1. 1の地震波探査測線を含む森本・富樫断層帯の走向と直交する測線での調査を行い、重力探査に基づくモデルの信頼性向上を図る。

3) 令和6年度：

令和4年度及び令和5年度の調査に引き続き、森本・富樫断層帯周辺における重力測定点を増強する。森本・富樫断層帯の北側、南側延長部の形状や周辺断層帯との関

係に関する知見を得る。

## (2) 令和4年度の成果

### (a) 業務の要約

#### 1) 森本・富樫断層帯周辺の既往データの収集・精査

森本・富樫断層帯周辺における既往重力データ 3269 点を収集し、サブテーマ 1. 1 で得られた 0.5 m DEM (Digital Elevation Model) を用いて標高値を精査した結果、山間部では標高値の修正が必要な既往重力測定点が存在することが判明した。

#### 2) Scintrex CG-3M 型重力計の精度の検定

一等重力点金沢の重力値と大きく異なる重力値が得られる北海道と南九州の一等重力点及び富士山検定ラインにて重力測定を実施し、重力値の差の比較から本研究で用いる Scintrex CG-3M 型重力計の測定精度に問題がないことを確認した。

#### 3) 森本・富樫断層帯周辺における重力探査

既往重力データ分布に基づき重力測定点配置を検討し、森本断層北端付近、富樫断層南端付近及び野町断層中央部付近において重力測定を実施し、320 点の新規重力異常データを得た。また、サブテーマ 1. 1 の地震波探査測線を参照し、森本・富樫断層帯を横切る二次元密度構造解析のための重力測定点配置について検討した。

### (b) 業務の実施方法

本年度の業務項目は、下記の 3 項目とした。

#### 1) 森本・富樫断層帯周辺の既往重力データの収集・精査

#### 2) Scintrex CG-3M 型重力計の精度検定

#### 3) 森本・富樫断層帯周辺における重力探査

各項目の実施方法は以下の通りである。詳しくは次節「(c)業務の成果」で述べる。

1) では、森本・富樫断層帯周辺における既往重力データを収集し、サブテーマ 1. 1 の成果である 0.5 m DEM を活用して既往重力データの標高値を精査し、標高値に問題のある既往重力測定点の可視化を行なう。

2) では、北海道と南九州の一等重力点及び富士山検定ラインにて重力測定を実施し、重力値の差の比較から本調査で用いる Scintrex CG-3M 型重力計の測定精度の検定を行なう。

3) では、既往重力データ分布に基づき森本・富樫断層帯周辺における重力測定点配置を検討し、森本断層北端付近、富樫断層南端付近及び野町断層中央部付近において重力測定を実施する。また、サブテーマ 1. 1 で実施する地震波探査の測線を踏まえて、森本・富樫断層帯を横切る二次元密度構造解析のための重力測定点配置について検討する。

### (c) 業務の成果

#### 1) 森本・富樫断層帯周辺の既往重力データの収集・精査

既往重力データとして、金沢大学の公開データ (本多・他, 2012) および公開以降に測定された重力データ、国土地理院 (2002)、産業技術総合研究所地質調査総合センター (2013)、Yamamoto et al. (2011)、The Gravity Research Group in Southwest Japan (Shichi and

Yamamoto, 2001)による重力データを用いた。これらの既往重力データの測定点数は経度 136 度 25 分から 137 度、緯度 36 度 24 分から 36 度 48 分の範囲内で、金沢大学の公開データ(本多・他, 2012)は 1513 点、2012 年から 2021 年度末までのデータは 59 点であり、国土地理院(2002)は 52 点、産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)は 680 点、Yamamoto et al. (2011)は 699 点、The Gravity Research Group in Southwest Japan (Shichi and Yamamoto, 2001)は 267 点の計 3270 点であった(図 1)。森本・富樫断層帯の地下の断層構造の解明のためには、断層帯周辺で重力測定点が密に分布することが必要であるが、図 1 に示す既往重力データの測定点分布から森本断層と邑知潟断層帯との間や野町断層より東側の市街地域、富樫断層南端の白山市鶴来付近で重力測定点が少ないことが判明した。

既往重力データの精度に関する問題点として、GNSS (Global Navigation Satellite System)を用いた位置決定手法の導入以前に実施された重力測定では、測定点の位置決定、特に標高に関する決定精度が低い可能性が挙げられる。金沢大学の公開データにおいては、主に紙媒体である国土地理院 25000 分の 1 地形図や市町作成の 2500 分の 1 地形図等を用いて位置が読み取られていたため、特に山間部での測定では位置情報に誤りがある可能性が高い。金沢大学の重力データについては、測定日時の情報が使用可能であり、測定年で色分けした重力測定点の分布を図 2 に示す。GNSS を用いた位置決定手法の導入以前である 2006 年以前の測定データが大半を占めることが明らかとなった。また、他機関の重力データについても、それらの公表年から考えて、GNSS を用いた位置決定手法の導入以前のデー

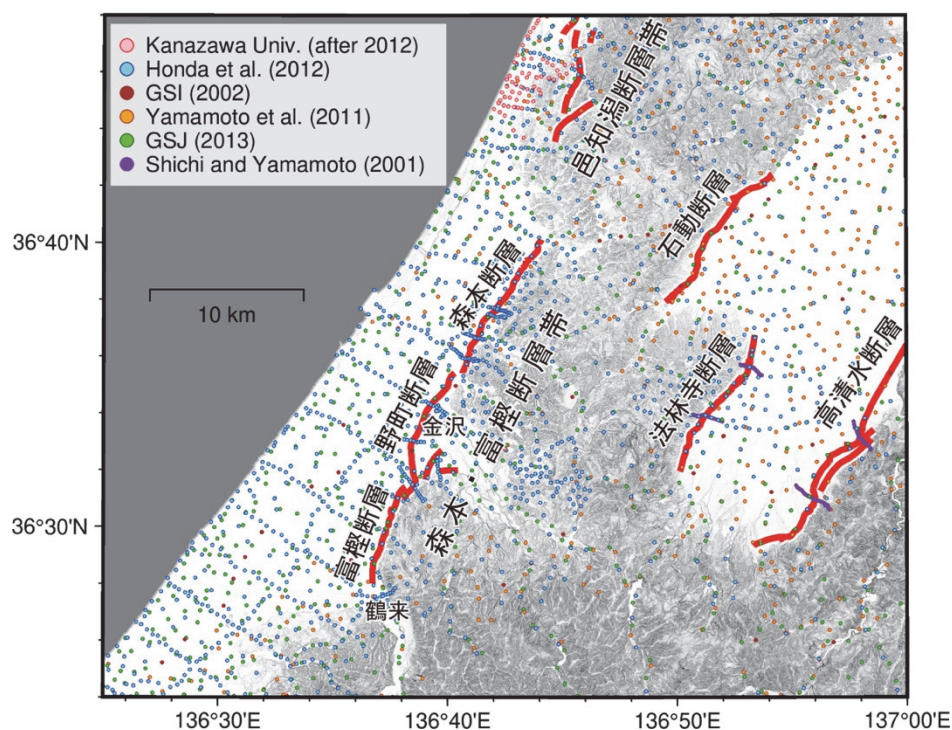


図 1 森本・富樫断層帯周辺における既往重力データの分布図(丸印)。色の違いは公開データの違いを表す。活断層の地表トレース及び地形はそれぞれ活断層詳細デジタルマップ(中田・今泉, 2002)及び国土地理院基盤地図情報数値標高モデル(10 m メッシュ)(国土地理院, 2014)に基づく(以降の図についても同様)。

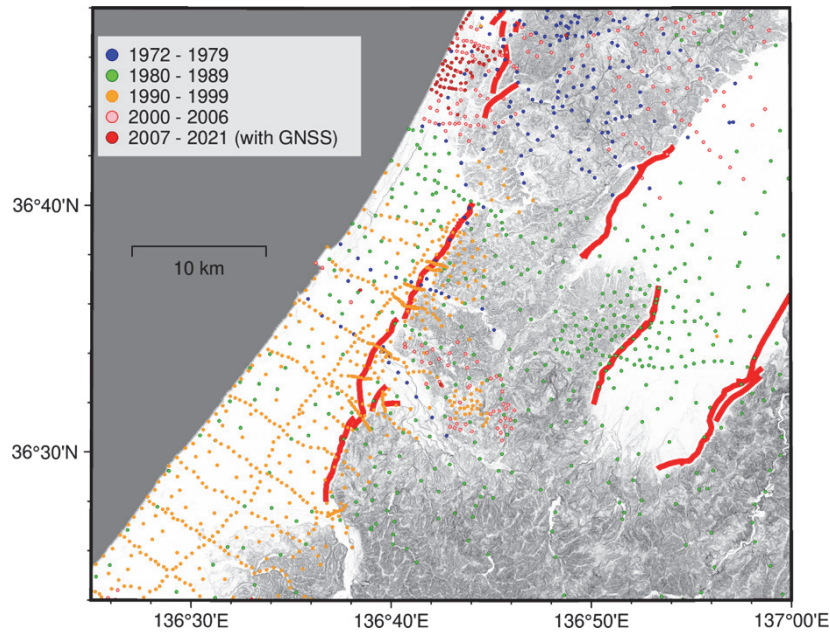


図2 重力データの測定年で色分けした森本・富樫断層帯周辺における金沢大学の既往重力測定点の分布。

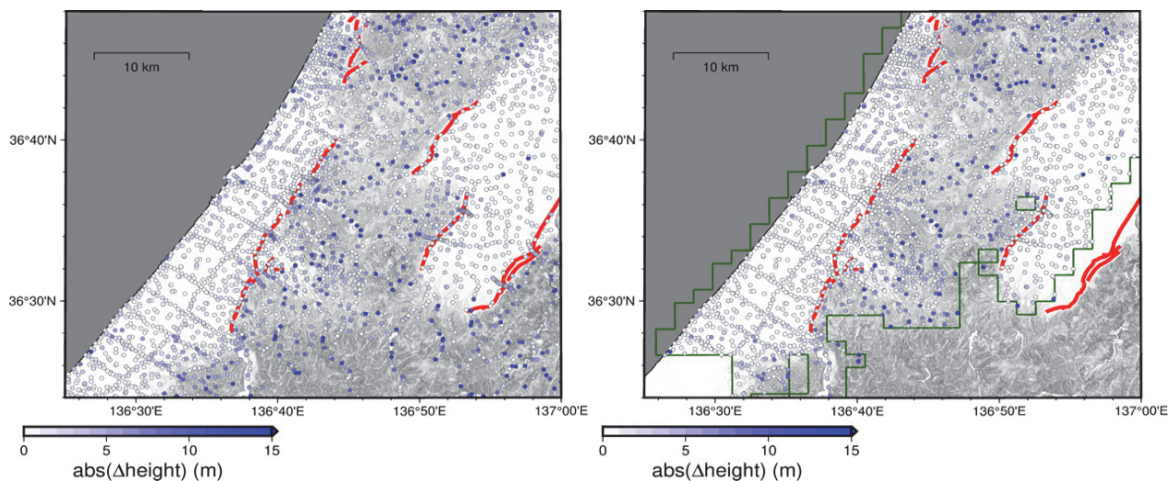


図3 (左) 既往重力測定点における国土地理院基盤地図情報数値標高モデルの 10 m DEM の標高値と重力データの標高値の差の絶対値。(右) 既往重力測定点におけるサブテーマ 1. 1 の成果として得られた 0.5 m DEM の標高値と重力データの標高値の差の絶対値。緑線は 0.5 m DEM のデータ範囲を示す。

タが大半を占めると考えられる。したがって、これらの公開データには少なからず標高値が正確でないデータが含まれている可能性が高く、重力測定点の標高値の誤りは、その重力測定点での重力値の誤りにつながる。

本調査では、既往重力データの測定点の標高値を検証するために、公開データである国土地理院基盤地図情報数値標高モデル (10 m メッシュ) (以下、「10 m DEM」) 並びにサブテーマ 1. 1 の成果として得られている 0.5 m DEM を使用した。既往重力データに記載さ



れている緯度及び経度においてそれぞれの DEM で標高値を読み取り、測定点の標高値と比較した結果を図 3 に示す。10 m DEM との比較から、森本・富樫断層帯周辺の平野部においては、DEM と重力データの標高値の差は概ね 1 m 未満であるが、山間部においては 5 m を超える標高値の差が生じている重力測定点があることが判明した。この特徴は 0.5 m DEM との比較においても確認することができるが、0.5 m DEM との比較においては山間部において、標高値の差が大きな測定点が減少した。これは、10 m DEM より 0.5 m DEM の方が地形の細かな変化を正確に捉えていることを反映している。

本調査の重力測定では重力測定点の位置決定に GNSS を使用した。令和 4 年度調査での森本・富樫断層帯周辺における重力測定点の標高値とサブテーマ 1. 1 の成果として得られた 0.5 m DEM から得られる標高値との比較を図 4 に示す。GNSS を使用した位置決定は本調査では RTK (Real Time Kinematic) 測量と Static 測量の 2 通りの測量法を用いており (詳細は 3) 一 a) を参照)、平野部山間部に関わらず標高値の差が概ね 1 m 未満であった。239 の重力測定点における RTK 測量による fix 解と 0.5 m DEM が示す標高値との差は、平均  $-0.0375$  m、標準偏差  $0.856$  m であった。また、71 の重力測定点における Static 測量による fix 解と 0.5 m DEM が示す標高値との差は、平均  $0.0288$  m、標準偏差  $0.871$  m であった。すなわち標高が正確に決定されていることが判明した。一部、標高値の差が大きな重力測定点が存在するが、本調査での GNSS による標高値と国土地理院地形図及び 0.5 m DEM を比較した結果、この測定点周辺における 0.5 m DEM の標高値が正確でない可能性が判明した。したがって、本調査での GNSS を用いた重力測定点の標高値の決定の有用性が確認できた。今後、既往重力データにおいて標高差の大きな測定点については、地形改変の可能性も考慮しつつ、標高値の検証を行う予定である。

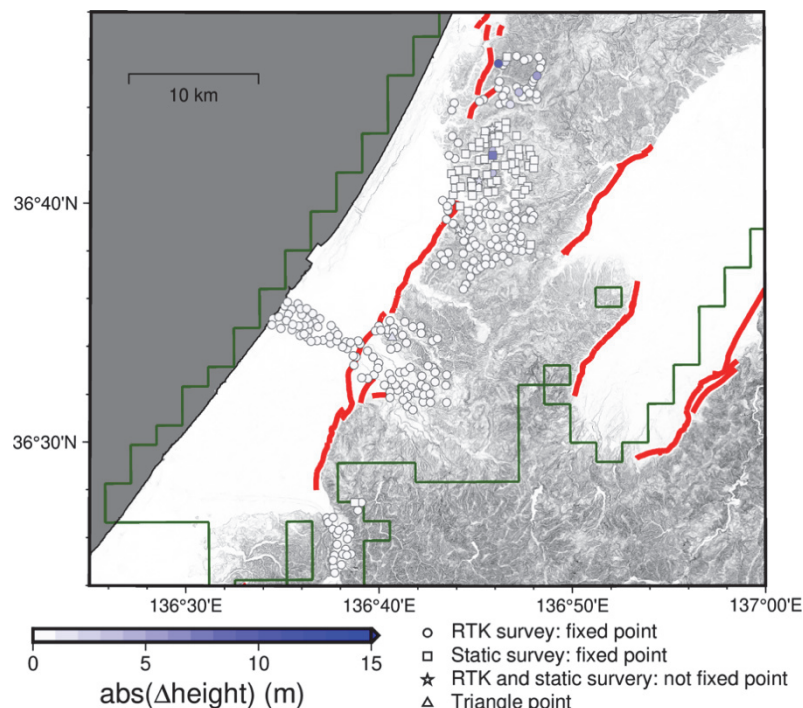


図 4 令和 4 年度調査での重力測定点におけるサブテーマ 1. 1 の成果として得られている 0.5 m DEM の標高値と GNSS を用いて決定した標高値の差の絶対値。

## 2) Scintrex CG-3M型重力計の精度検定

金沢大学が所有する Scintrex CG-3M型重力計(S/N:9507302)には重力値の大きさに依存して測定重力値が線型的に変化するバイアスがあり、重力測定点での正確な重力値を得るためには重力測定精度の検定を実施し、それから得られる補正係数が必要となる。そのため、金沢大学敷地内にある一等重力点金沢の重力値と緯度の違いにより大きく異なる公表重力値を示す北海道及び南九州での一等重力点(国土地理院, 2023)で重力測定を行い、公表重力値と金沢大学所有の Scintrex CG-3M型重力計による測定重力値の差を比較した(詳細は a) を参照)。また、重力値は標高によっても変化するため、標高差が大きく、かつ重力値が精密に測定されている富士山麓と富士山五合目(富士山検定ライン)でも重力測定を実施し、重力測定精度の検定を行った(詳細は b) を参照)。

### a) 一等重力点の重力値を用いた精度検定

金沢大学の敷地内にある一等重力点金沢での重力値と大きく異なる重力値が得られる北海道の一等重力点 8 点及び金沢から北海道への経路上に位置する一等重力点新津の 1 点、並びに南九州の一等重力点 10 点での重力測定を行った(図 5)。

図 6 に本調査で測定した一等重力点での重力測定の結果を既往結果と合わせて示す。図 6 において、重力値の大きさに依存した測定重力値の変化がなければ、縦軸のゼロのライン上にデータが分布する。令和 4 年度の重力測定データは既往データと同じ傾き一定の回帰直線上に分布していることから、Scintrex CG-3M型重力計には既往データにおいて既

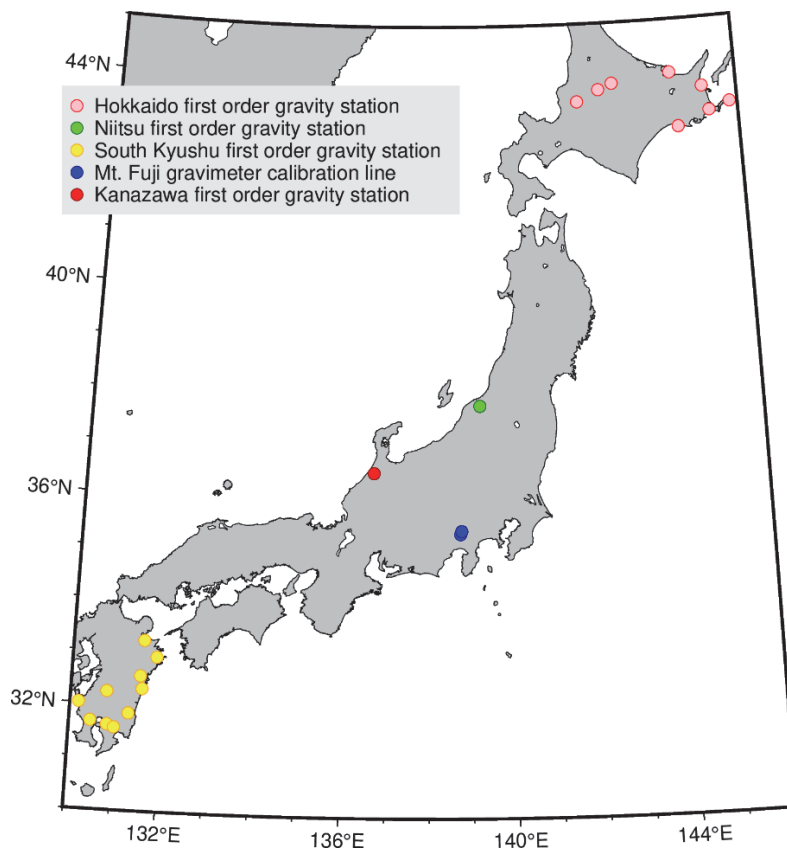


図 5 金沢大学所有 Scintrex CG-3M型重力計の精度検定のための重力測定を行なった一等重力点及び富士山検定ラインの位置。

知であった重力値の大きさに依存して測定重力値が線型的に変化するバイアスが存在することを確認した。原点を通る回帰直線の傾きから得られるこのバイアスに対する補正係数は 1 mGal あたり  $0.002313 \pm 0.00003087$  となった。この補正係数に基づく森本・富樫断層帯周辺での測定重力値に対する補正量は、森本・富樫断層帯周辺での重力値の変化量が約 70 mGal であることから、 $70 \times 0.002313 = 0.16191$ 、すなわち最大で 0.16 mGal 程度である。このような補正を行うことにより、Scintrex CG-3M 型重力計で得られた測定重力値は一等重力点での公表重力値と整合的な値となり、本調査で用いる Scintrex CG-3M 型重力計が十分な測定精度を持つこと及び既往重力データとも整合的な重力値が得られることを確認した。

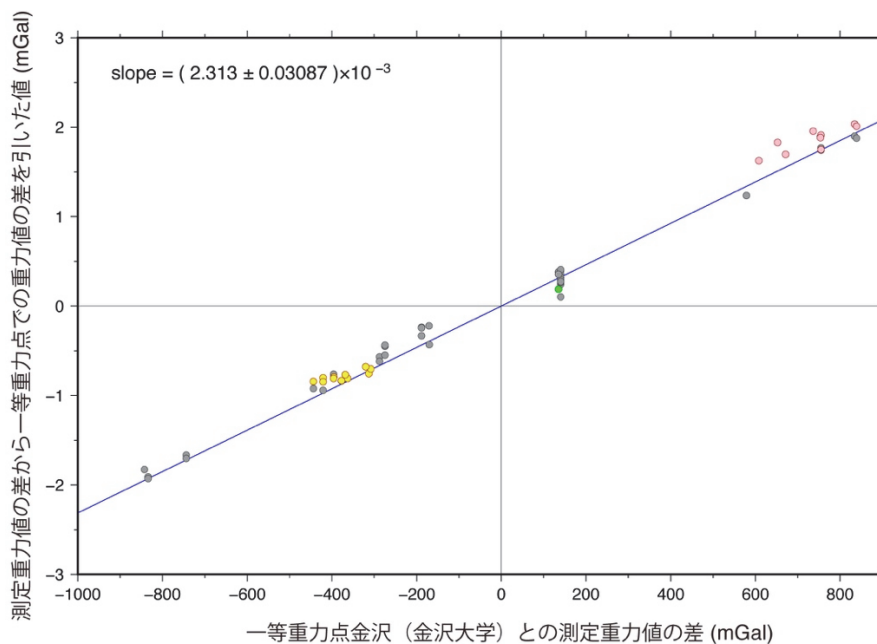


図6 一等重力点金沢（金沢大学）と他の一等重力点での測定重力値の差と各地点での測定重力値の差から公表されている重力値の差を引いた値のプロット。直線は原点を通る回帰直線である。

b) 富士山検定ラインでの重力値を用いた精度検定

標高差により大きな重力値の差が生じる山梨県富士山科学研究所の富士山検定ラインにおいても精度検定のための重力測定を行なった。富士山検定ラインにおいては、山梨県富士山科学研究所の基準点（基準重力点富士吉田：MFRI-E）及び富士山五合目（SL5ST）で絶対重力計を用いた重力測定が実施されており（今西・他，2022）、その2点間の重力値と金沢大学が所有する Scintrex CG-3M 型重力計による測定重力値を比較した（図7）。図7の横軸は Scintrex CG-3M 型重力計による測定値（重力計の経時変化（トレンド値）および潮汐成分の除去済み）であり、縦軸は絶対重力計を用いた重力測定によって得られた重力値である。Scintrex CG-3M 型重力計のバイアスのため直線の傾きは1からわずかにずれて  $1.0027893$  となるが、測定精度に問題はないことが確認できた。

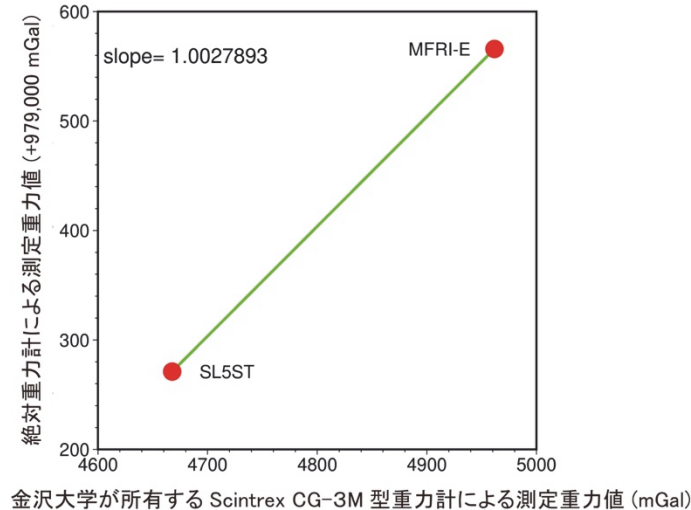


図7 富士山検定ラインにおける金沢大学が所有する Scintrex CG-3M 型重力計による測定重力値と絶対重力計による測定重力値との比較。MFRI-E は山梨県富士山科学研究所の基準点（基準重力点富士吉田）であり、SL5ST は富士山五合目の測定点を示す。

### 3) 森本・富樫断層帯周辺における重力探査

#### a) GNSS を用いた位置決定の改良

重力測定点における位置決定、特に標高値を精度良く決定することは、測定重力値の正確さを担保する上で重要である。このため近年の測定では位置決定に GNSS による Static 測量を用いてきた。しかし、従来の Static 測量では 1 重力測定点で 15 分以上の測定時間を要するため、重力測定の時間効率を高めるためには短時間で位置決定が可能な測量法の導入が必要であった。本研究では、Static 測量に代えて測定時間が短い RTK 測量による位置決定法を導入し、時間効率の高い重力測定を試みた。Static 測量と RTK 測量を並行して実施した結果、RTK 測量は Static 測量と同等の測定精度であることを確認した。この結果、GNSS 測定時間は 15 分から 5～10 秒程度（長くても 30 秒程度）に短縮することができ、測定点での重力測定に要する時間も約 18 分から約 7～10 分に短縮することができ、重力測定の効率化を達成した。

RTK 測量では、2023 年 1 月までは基線長解析を行うための RTK 基準点を三脚及び 1.955 m 高のポールを用いて金沢大学の敷地内に設置した（写真 1 左）。基準点のアンテナの位相中心の座標は、経度 136.7063008 度、緯度 36.5424222 度、標高 155.00 m であった。また、2023 年 2 月以降は金沢大学の敷地内の固定された石碑上のマウントに GNSS アンテナを設置した（写真 1 右）。このときの基準点のアンテナの位相中心の座標は経度 136.7091463 度、緯度 36.5449163 度、標高 151.94 m であった。これらの RTK 基準点の位置を図 8 に示す。RTK 基準点に設置した GNSS 受信機及び測定点で用いる GNSS 受信機をそれぞれ携帯電話回線で接続することで RTK 測量を行った。

RTK 測量導入前および RTK 測量が行えない観測点では、位置決定に Static 測量を行った。基線長解析の基準点として国土地理院が運用する電子基準点「内灘」または「鳥越」の観測結果を参照した。





写真1 (左) 2023年1月までのRTK基準点。(右) 2023年2月以降のRTK基準点。共に金沢大学敷地内に位置する。

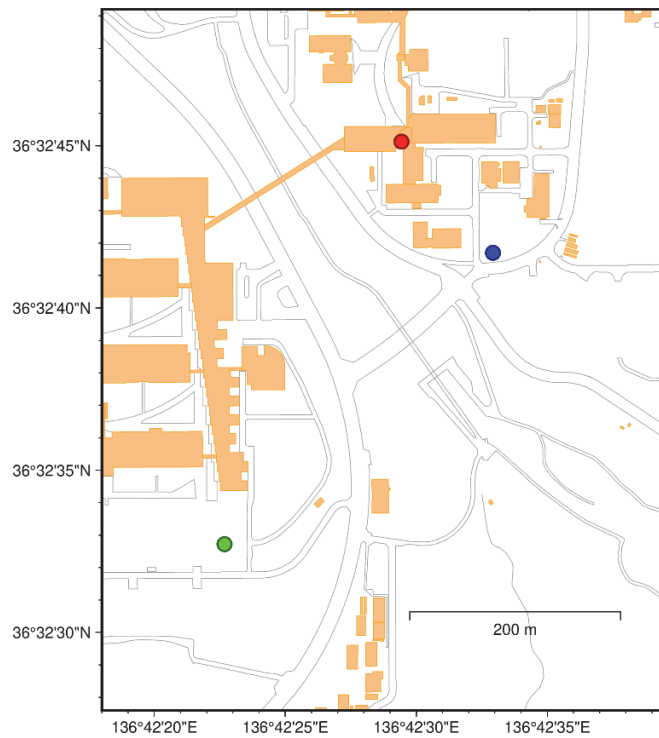


図8 金沢大学敷地内におけるRTK基準点の位置。赤丸は一等重力点金沢、緑丸は2023年1月まで、青丸は2023年2月以降のRTK基準点を示す。

## b) 重力探査

### i) 測定点配置の検討

既往重力測定点分布(図1)に基づき、森本・富樫断層帯周辺で既往重力測定点が少ない地域を本調査の重力測定候補地域として検討し、令和4年度調査における新規重力測定は、森本断層北端部周辺と富樫断層南端部周辺及び野町断層中央部周辺にて重点的に実施した。

新規重力測定点の配置については、車による現地へのアクセスを考慮した上で、計画段

階では地図上で約 500 m 間隔（東西 20 秒、南北 16 秒間隔）の格子線を設定し、可能な限り格子毎に 1 点の重力測定点が分布するよう試みた。また、現地においては計画段階の重力測定地点を参考にして、安全な測定が行えること、GNSS 電波が受信可能なこと、地面の強度や傾斜が Scintrex CG-3M 型重力計の設置に適していることを確認し、重力測定点を決定した。図 9 に森本・富樫断層帯周辺における令和 4 年度調査での新規重力測定点の分布を示す。

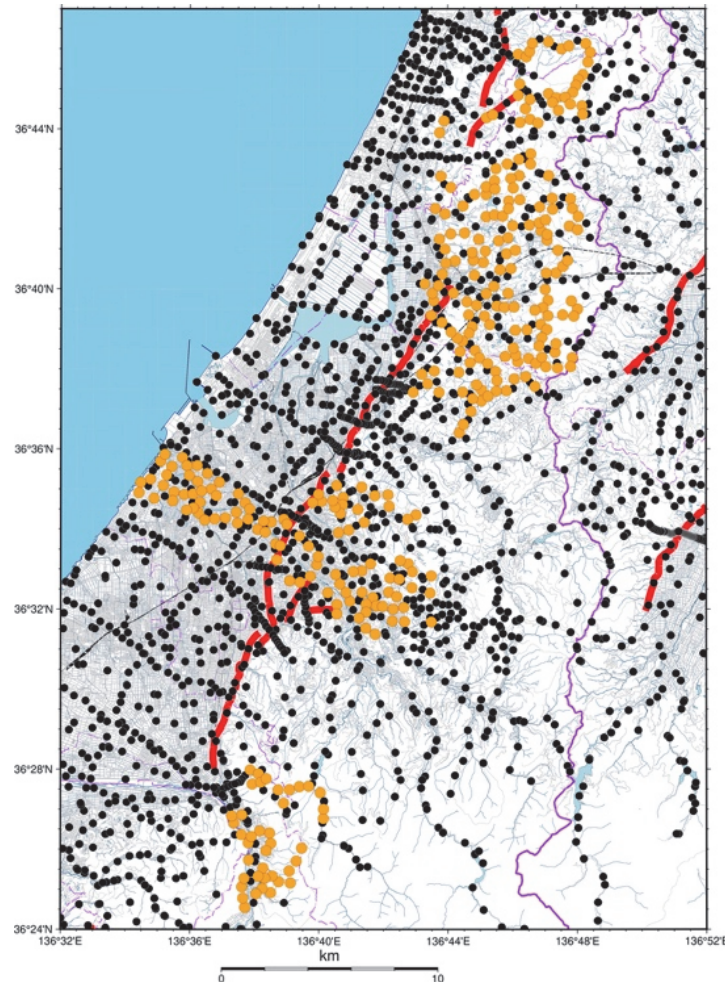


図 9 令和 4 年度の調査における森本・富樫断層帯周辺の新規重力測定点（オレンジ丸）と既往重力測定点（黒丸）の分布。

#### ii) 重力測定手順

重力測定における作業手順は以下の通りである。

- ・重力測定候補地で重力測定点を決定し、重力計の設置を行う。
- ・重力計の隣（約 0.4 m の距離）に GNSS アンテナの二脚を設置する。
- ・重力計の設置後に重力測定を行う。1 回の重力測定には約 140 秒を必要とする。
- ・GNSS 受信機を操作し RTK 測量を行う。通常、RTK 測量は 30 秒未満で終了する。測量結果をフィールドノートに記載する。
- ・フィールドノートに重力測定点周辺の地形や構造物のスケッチ、重力測定結果などを記載する。

- ・ 重力測定点および周辺地形の写真撮影を行う（写真2）。
- ・ 重力測定終了後に重力測定時間、重力測定結果および GNSS アンテナと重力計との高度差をフィールドノートに記載し、その後2回目の重力測定を行う。
- ・ 2回目の重力測定終了後に重力測定時間および結果をフィールドノートに記載する。重力測定結果の1回目と2回目との差の絶対値が 0.01 mGal 未満ならばこの重力測定点での重力測定を終了し、撤収する。また、差の絶対値が 0.01 mGal 以上ならば引き続き3回目の重力測定を行う。
- ・ 3回目の重力測定結果を1回目および2回目の重力測定結果と比較し、3回の重力測定で十分な結果が得られなかった場合には4回目以降の測定を実施する。
- ・ 重力計及び GNSS アンテナを撤収する。



写真2 重力測定時における測定機材（Scintrex CG-3M 重力計と GNSS アンテナ）の設置例。

### iii) 重力値算出に関わる各種の補正

重力測定によって得られた重力値に対して、重力測定の時間、緯度、標高、機器高の各パラメータを用いることにより、重力計の経時変化に伴うドリフト補正、大気圧補正、潮汐補正の各補正処理を行った重力値を計算する。さらに、その重力値からフリーエア補正、ブーゲー補正および地形補正の各補正処理を行うことにより、ブーゲー異常値を算出する。ドリフト補正については、1日の測定業務の開始時および終了時に金沢大学敷地内の一等重力点金沢にて重力測定を行い、潮汐補正および大気圧補正後の重力値の開始時と終了時の間での変化量から、重力測定値の単位時間あたりの経時変化量としてのドリフト値を計算する。このドリフト値から、当日行った各重力測定値についてそれぞれの測定時間に対応するドリフト補正値を計算し、補正を行う。大気圧補正は、測定点の標高から  $0.87-0.965 \times 10^{-4} \times \text{標高 (m)}$  (mGal) で計算する。潮汐補正は Longman (1959) に示されるアルゴリズムにより計算を行う。フリーエア補正の補正値としては  $0.3086 \times \text{標高 (m)}$  (mGal) を用いる。

### iv) ブーゲー補正と地形補正に用いる補正密度

ブーゲー補正及び地形補正には、本多・河野(2005)で示される計算手法に基づき、地形データとして 10 m DEM (国土地理院, 2014) を用いて補正値を計算する。本調査で用いる補正密度は  $2300 \text{ kg/m}^3$  である。この値は安山岩起源の堆積岩の密度に近く対象地域周辺の



地質構造に適していると考えられる。産業技術総合研究所地質調査総合センターによる金沢地域重力図(ブーゲー異常)の説明書(村田・他, 2018)では補正密度として 2350 kg/m<sup>3</sup>、重力図では補正密度として 2300 kg/m<sup>3</sup>の値が用いられており、このことから本調査で用いる 2300 kg/m<sup>3</sup>の補正密度は妥当であると考えられる。

上記の補正値を用いて、ブーゲー異常値 ( $\Delta g_0''$ ) は以下のように計算される。

$$\Delta g_0'' = g - \gamma + d + G_T + \beta h - 2\pi G \rho h + T_C + C_A$$

ここで、 $\Delta g_0''$  : ブーゲー異常値 (mGal)、 $g$  : 観測重力値 (mGal)、 $\gamma$  : 正規重力値 (mGal)、 $d$  : ドリフト補正値 (mGal)、 $G_T$  : 潮汐補正値 (mGal)、 $h$  : 標高(m)、 $\beta h$  : フリーエア補正値 (mGal)、 $G$  : 万有引力定数、 $2\pi G \rho h$  : ブーゲー補正値 (mGal)、 $T_C$  : 地形補正値 (mGal)、 $C_A$  : 大気圧補正値、である。

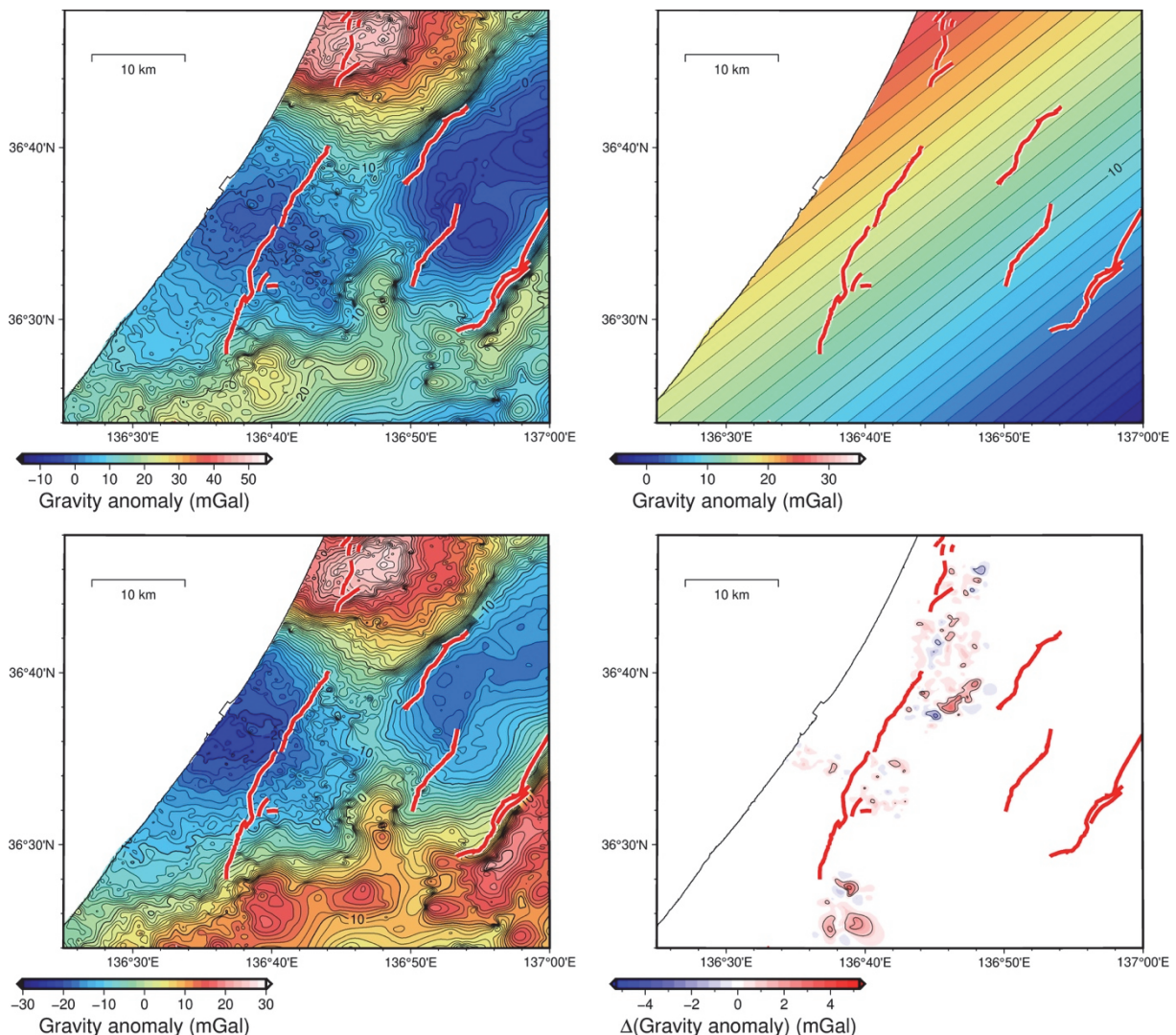


図 10 (左上) 森本・富樫断層帯周辺における令和 4 年度調査で得られた重力値を含むブーゲー異常図。(右上) 平面トレンド成分の分布。(左下) 平面トレンド成分を取り除いた重力異常図。(右下) 令和 4 年度調査による重力値を含む重力異常分布と既往重力データに基づく重力異常分布の差。コンター線の間隔は 1 mGal である。



v) 令和4年度調査結果を反映した森本・富樫断層帯周辺における重力異常

令和4年度調査によって得られた重力値を含むブーゲー異常分布から対象地域外にわたる長波長な重力異常成分を取り除くために、平面トレンド成分を推定し、それを除去する。この処理により、森本・富樫断層帯やその周辺の浅部の地質構造に起因する重力異常分布をより強調して表現することができる。図10左上に令和4年度調査で得られた新規重力測定点での重力値を含むブーゲー異常図、図10右上に取り除かれた平面トレンド成分、図10左下に平面トレンド成分を取り除いた重力異常図を示す。本調査地域では大局的には北側で高重力異常、南東側で低重力異常であるため、北西から南東方向へと重力異常値が低下するような平面トレンドが推定され(図10右上)、結果的に北側と南側で高重力異常、中央部で低重力異常となる(図10左下)。図10左下に示す重力異常から既往データについて同じ処理を行い作成した重力異常を差し引いたものを図10右下に示す。重力測定点の場所により重力値の増減は異なるが、変化量は概ね±2 mGal以下であり、重力異常分布に大きな変化は見られないが、新規重力測定点の増加により新規重力測定地域において、より細かな重力異常の変化が重力異常図に表れるようになった。

vi) 森本・富樫断層帯周辺の地形と地質の概要

図10左下に示す重力異常図は地下の密度構造を反映する。そのため、一般的に重力異常図は地質構造と良い対応を示す。図11に森本・富樫断層帯周辺の地質図と地形図を示す。石川県の地質分布は紘野(1993)に詳しくまとめられており、それに基づき森本・富樫断層帯周辺に分布する地層や岩石について形成年代が新しいとされる順に以下に記す。森本・

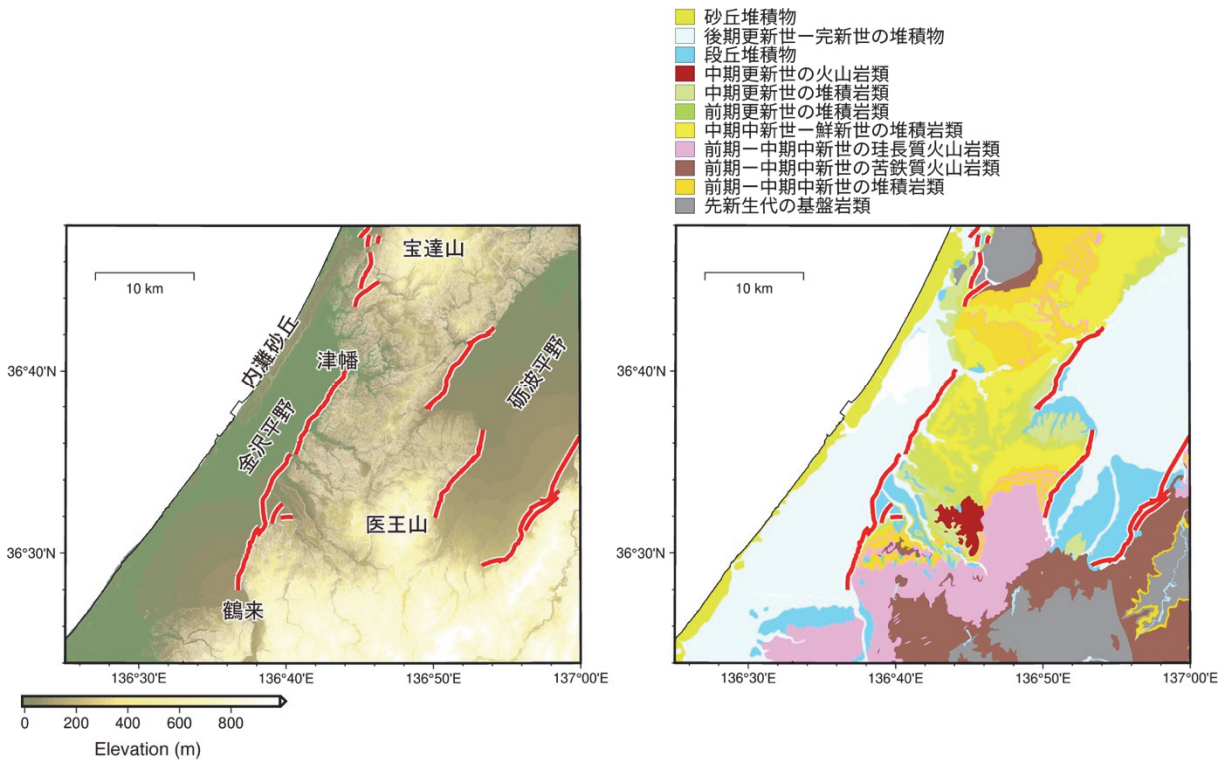


図11 森本・富樫断層帯周辺の地形図と地質図。地形は国土地理院数値標高モデルに基づく。地質図は20万分の1日本シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター(編), 2015)を改変。

富樫断層帯の西側に位置する金沢平野には、後期更新世から完新世にかけての堆積物が分布する。さらに西方の海岸沿いには内灘砂丘に相当する砂丘堆積物が分布する。森本・富樫断層帯の東側は丘陵地形である。金沢市の東方には中期更新世に形成された火山岩類が分布し、50～60 万年前の溶岩ドームとそれを取りまく火砕岩により構成される。金沢市の北東部には中期更新世の堆積岩類が広く分布し、内湾成ないし淡水湖成の堆積物からなり、金沢平野および海岸砂丘の地下などに分布する。丘陵縁部と平野の地下および金沢以北津幡以南の丘陵部には浅海で堆積した細粒・中粒の均質な砂層からなる前期更新世の堆積岩類が分布する。金沢北部から津幡までの丘陵地及び宝達山南部、また金沢市の南部及び医王山にかけて前期～中期中新世の堆積岩類が分布する。石川県南部の医王山地域から鶴来の西の山地にかけて、前期～中期中新世の珪長質火山岩類として分類される流紋岩質の角礫凝灰岩、軽石凝灰岩、細粒凝灰岩などからなる厚い地層が分布する。その下位には、前期～中期中新世の苦鉄質火山岩類が分布する(山田・高橋, 2021)。宝達山付近では、先新生代の基盤岩類として、船津花崗岩類が分布する。

vii) 森本・富樫断層帯周辺における重力異常の特徴

図 12 に地質図と重ね合わせた重力異常図を示す。本調査地域北側の高重力異常は宝達山周辺に分布し、この地域で地表に露出する密度の大きい花崗岩によりこの高重力異常が生じていることが分かる。邑知潟断層帯南部に属する活断層はこの高重力異常域に位置する。本調査地域南側の高重力異常は概ね東西方向に延びる密度の大きい火山岩の分布域に対応している、また、金沢平野及び砺波平野付近に分布する低重力異常域はこれらの平野に分布する密度の小さい堆積層から成る堆積盆の構造を反映していると考えられる。金沢平野の南東縁に位置する森本・富樫断層帯は、金沢平野付近の低重力異常域に区画されるように位置しており、断層帯を境とするような重力異常の変化は明瞭ではない。一方、砺波平野と山地・丘陵地の境界に位置する石動断層や高清水断層付近では断層の走向方向に平行に重力異常のコンター線が密になっており、重力異常値が急変していることが分かる。

図 10 左下に示す重力異常に遮断波長 4 km のフィルター処理(重力異常の高周波数成分、すなわち短波長成分を除去)を施した重力異常図を図 13 に示す。この処理によって周囲の重力測定点での重力値と大きく異なる重力値を示す重力測定点の影響を軽減することができる。図 10 左下で見られた森本・富樫断層帯周辺の重力異常の特徴は図 13 においてより明瞭に見ることができる。本調査地域の活断層は全て逆断層であり、一般的に逆断層では、基盤で生じる鉛直方向の変位により、断層の走向と直交方向(傾斜方向)に下盤側から上盤側に向けて重力異常の値が大きくなるため、断層付近で重力異常の勾配の絶対値が大きくなる。したがって、断層構造に起因する重力異常の特徴を抽出するためには重力異常の勾配を計算し、図示することが有効である。

図 14 に森本・富樫断層帯の走向に直交する方向(傾斜方向)として N120° E 方向の重力異常の勾配図及びそれを地質図に重ね合わせた図を示す。森本断層に沿って、断層の中央部を最大値として勾配値がやや大きくなっていることが分かる。これは地下の断層構造を反映している可能性がある。野町断層に関しては、断層位置より平野側に張り出すように勾配値がやや大きくなる領域が断層に概ね平行に分布するように見え、地下の断層構造と何らかの関係性があるかもしれないが、現段階では評価が困難である。富樫断層について

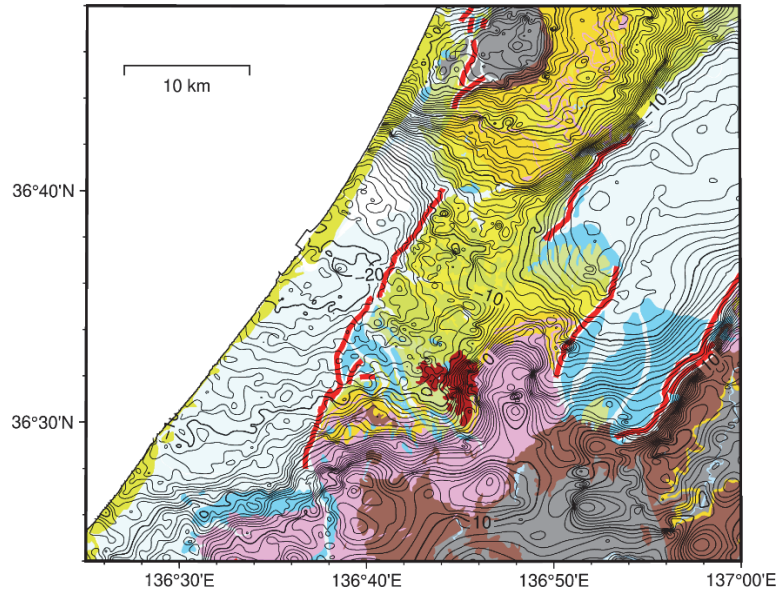


図 12 地質図と重ね合わせた重力異常図。コンター線の間隔は 1 mGal である。地質図の判例は図 11 と同じである。

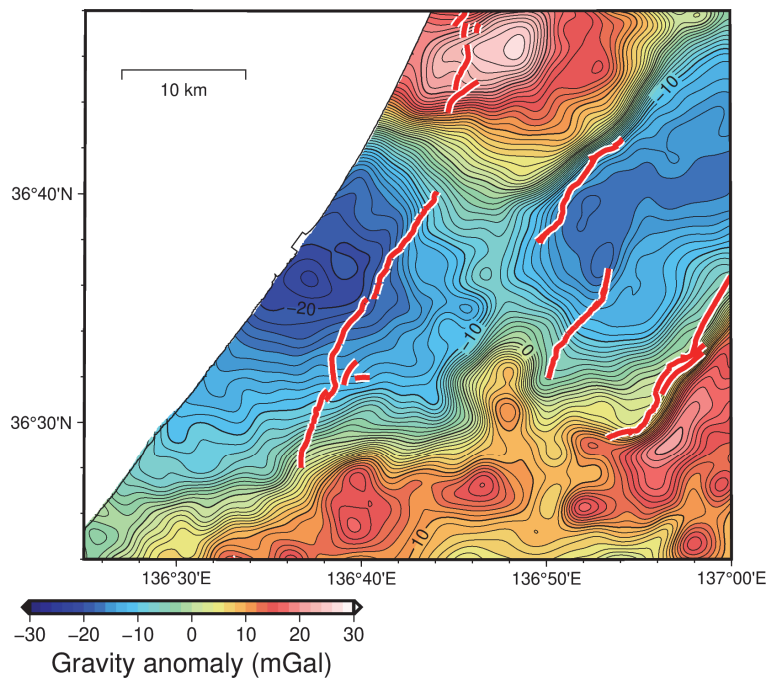


図 13 遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常図。コンター線の間隔 1 mGal である。

は、勾配値の大きな領域と斜交するように断層が延び、この勾配値の大きな領域は地質構造によるものであり、結果として地下の断層構造が重力異常の特徴として表れにくくなっていると考えられる。

図 15 は森本・富樫断層帯の走向方向と平行な  $N30^{\circ} E$  方向の重力異常の勾配図とそれを地質図に重ね合わせた図である。断層の走向方向に構造境界が存在すると、これらの図において勾配の絶対値が大きな領域として表れる。森本断層の北端と邑知潟断層帯南端の間



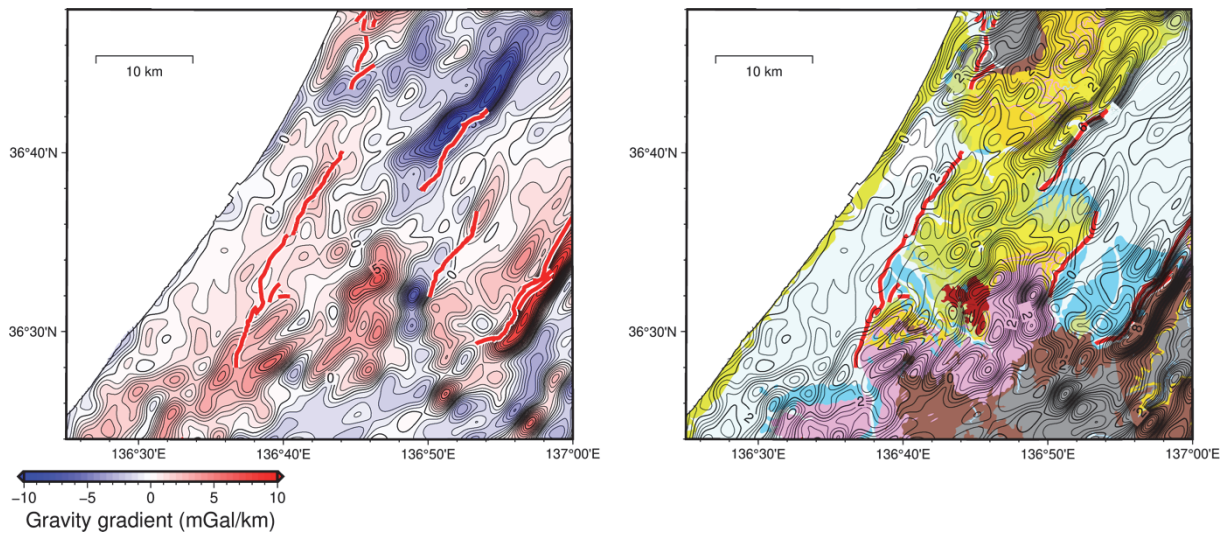


図 14 (左) 遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の森本・富樫断層帯の傾斜方向の勾配。(右) 地質図と重ね合わせた遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の森本・富樫断層帯の傾斜方向の勾配。コンター線の間隔は 0.5 mGal/km である。地質図の判例は図 11 と同じである。

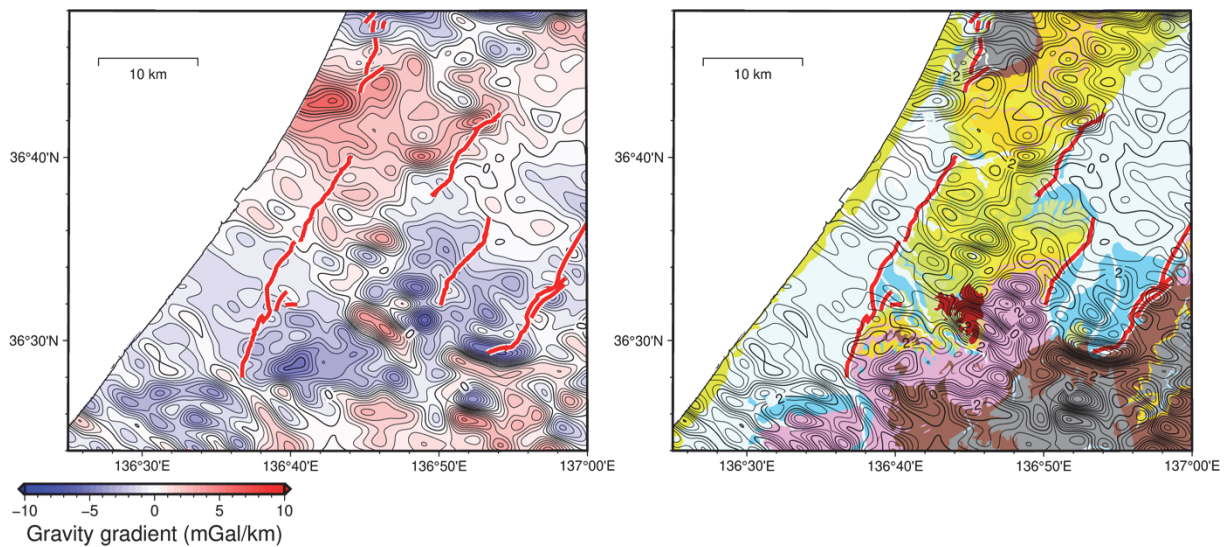


図 15 (左) 遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の森本・富樫断層帯の走向と平行方向の勾配。(右) 地質図と重ね合わせた遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の森本・富樫断層帯の走向と平行方向の勾配。コンター線の間隔は 0.5 mGal/km である。地質図の判例は図 11 と同じである。

で勾配値が大きな領域が分布し、これは森本断層と邑知潟断層帯の地下の断層構造が連続しないことを反映している可能性が現時点では考えられる。砺波平野の法林寺断層の南端や高清水断層の南端部は勾配値の大きな負の値の領域で区画されている。この領域は地質構造が変化する領域でもあり、断層構造が地質構造に規制され、これらの断層の南端がより南側に延びないことを反映している可能性がある。一方、石動断層は南端、北端ともに



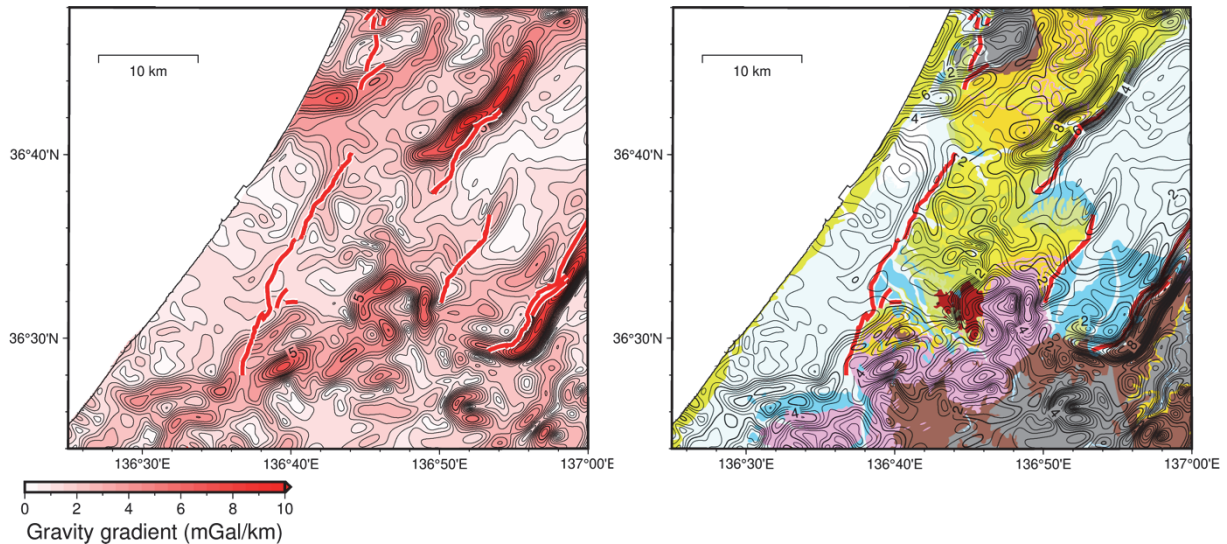


図 16 (左) 遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の水平一次勾配。コンター線の間隔は 0.5 mGal/km である。(右) 地質図と重ね合わせた遮断波長 4 km のフィルター処理後の重力異常の水平一次勾配。コンター線の間隔は 0.5 mGal/km である。地質図の判例は図 11 と同じである。

勾配値の大きな領域に区画されることはなく、南端、北端共に地下の断層構造が延長する可能性が考えられる。これは図 14 における勾配値の大きな負の値の領域が石動断層の走向方向に延びることと整合的である。

図 16 は図 13 に示す重力異常の水平一次勾配の分布図とそれを地質図に重ね合わせた図である。基盤で鉛直変位を伴う断層構造があれば、地表の断層トレースに沿うように水平一次勾配の大きな値の領域として表れる。森本断層はややその傾向が見られるが、野町断層及び富樫断層についてはそのような傾向は明瞭ではない。これは法林寺断層や邑知潟断層帯南部でも同様であり、森本・富樫断層帯や法林寺断層、邑知潟断層帯南部は鉛直方向の基盤変位が乏しい活断層であることを示している可能性が考えられる。一方、石動断層や高清水断層は走向方向に水平一次勾配の大きな値の領域が延びており、鉛直方向の基盤変位が大きい活断層であると考えられる。

現時点での重力異常の特徴からは上記の可能性が考えられるが、次年度以降に実施する重力測定により得られる新規重力データを追加することにより、重力異常の特徴が上記と異なってくることも考えられるため、さらに詳細な重力異常分布並びに他のサブテーマの調査結果と比較して、今後検討する必要がある。

#### viii) 森本・富樫断層帯を横切る測線での重力測定点配置の検討

令和 5 年度にはサブテーマ 1. 1 で実施された地震波探査測線を含む森本・富樫断層帯を横切る複数の測線において二次元密度構造解析のために重力探査を実施する。そのため、本年度は既往重力測定点の分布及び道路状況を考慮しながら、測線の設定および測定点配置について検討を行った。設定した測線は、二次元密度構造解析の際にサブテーマ 1. 1

で得られる地震波速度構造の結果を参照する必要があるため、サブテーマ1. 1の令和4年度調査で実施された野町断層中央部を横切る測線並びに令和5年度調査で実施予定の森本断層及び法林寺断層を横切る測線の2本と森本断層北部を横切る測線1本、森本断層と邑知瀉断層帯南部の間を横切る測線1本、富樫断層の中央部を横切る測線1本、富樫断層の南端部を横切る測線1本の計6本である（図17）。これらの測線沿いの道路状況を調べ測定点配置について検討を行い、測線に沿った概ね幅2kmの範囲内に測定点を配置可能であることを確認した。なお、令和5年度におけるサブテーマ1. 1の地震波探査測線の実際の設定に合わせて、上記の重力測定の測線および測定点配置は変更されることがある。

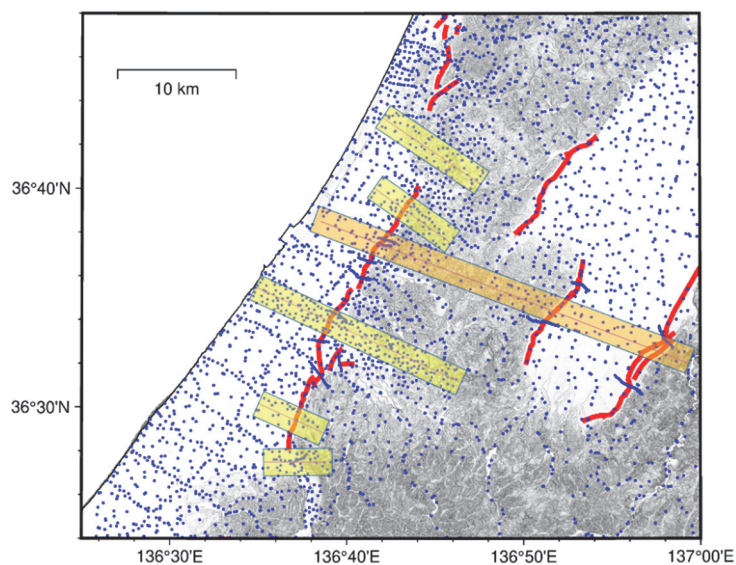


図17 森本・富樫断層帯を横切る二次元密度構造解析のための令和5年度調査での重力探査測線（予定）。

(d) 結論ならびに今後の課題

森本・富樫断層帯周辺における既往重力データを収集し、国土地理院基盤地図情報数値標高モデルの10m DEM及びサブテーマ1. 1で得られた0.5m DEMを用いて、既往重力データの標高値の検証を行った。その結果、山間部の重力測定点において、既往重力データで公表されている標高値とDEMから得られる標高値に5m以上の差がある場合があることが判明した。これらの標高値の差が大きな既往重力測定点については、次年度以降に地形改変の可能性も考慮し、標高値の修正に取り組み、より正確な重力値を得るように努める。北海道と南九州の一等重力点及び富士山検定ラインでの重力測定により、本調査で使用する金沢大学所有のScintrex CG-3M型重力計の測定精度に問題がないことを確認した。既往重力データの測定点分布に基づき、本調査における重力測定点配置を検討し、次年度に実施する森本・富樫断層帯を横切る重力探査測線の配置についても検討した。令和4年度は森本断層北端部周辺（森本断層と邑知瀉断層帯の間の領域）、野町断層中央部周辺、富樫断層南端部周辺にて、重点的に重力測定を行った。これらの新規重力データを加えた重力異常図及びその

勾配図を作成し、森本・富樫断層帯及び周辺の活断層に関する重力異常の特徴を抽出した。森本・富樫断層帯は全体としては重力異常では断層構造の特徴が明瞭ではないが、堆積盆の構造を示す低重力異常域に断層帯が区画されている。森本・富樫断層帯の傾斜方向の重力異常の勾配からは森本断層及び野町断層については断層構造に起因する可能性のある重力異常が見られるが、富樫断層では不明瞭であった。これらのことは森本・富樫断層帯の基盤における鉛直方向の変位が小さいことを示唆する。一方、石動断層や高清水断層は断層の地表トレース付近で重力異常値の変化が大きく、地下の断層構造が重力異常に表れていると考えられる。また、断層帯間で連続する地下の断層構造の存在を示すような重力異常の特徴は見られなかった。以上のことは現時点での結果であり、今後の重力測定のみならずの充実により重力異常分布が本報告書に記載したものから変化する可能性もあるため、次年度以降の調査結果や他のサブテーマの結果を踏まえて検討する必要がある。

#### (e) 引用文献

- 本多亮・澤田明宏・古瀬慶博・工藤 健・田中俊行・平松良浩，金沢大学重力データベースの公表，測地学会誌，58(4)，153-160，2012.
- 本多亮・河野芳輝，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，51，33-44，2005.
- 今西祐一・西山竜一・本多亮，富士山における2台のFG5による絶対重力測定（2022年9月）－相対重力計検定ラインの構築およびFG5の器差検定－，地震研究所彙報，97，1-11，2022.
- 糸野義夫（編），石川県地質誌，新版・石川県地質図（10万分の1）説明書，石川県・北陸地質研究所，1993.
- 国土地理院，重力データ検索  
([http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv\\_search/gravity.pl](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv_search/gravity.pl))，2002.（2002年9月1日閲覧）.
- 国土地理院，基盤地図情報数値標高モデル 10 mメッシュ（標高）  
(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>)，2014.（2014年7月16日閲覧）.
- 国土地理院，基準点成果等閲覧サービス (<https://sokuseikagisl.gsi.go.jp/top.html>)，2023.（2023年2月6日閲覧）
- Longman I. M., Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun, J. Geophys. Res., 64(12), 2351-2355, 1959.
- 村田泰章・宮川歩夢・駒澤正夫・名和一成・大熊茂雄・上嶋正人・西村清和・岸本清行・宮崎光旗・志知龍一・本多亮・澤田明宏，金沢地域重力図(ブーゲー異常). 重力図, No. 33, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，2018.
- 中田 高・今泉俊文（編），活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会，解説書 60p, DVD-ROM 2枚および付図 2葉，2002.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編），日本重力データベース DVD版，数値地質図 P-2, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編），20万分の1日本シームレス地質図，2015年5月29日版，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2015.

Shichi, R. and A. Yamamoto (Representatives of the Gravity Research Group in Southwest Japan), Gravity Database of Southwest Japan (CD-ROM), Bull. Nagoya University Museum, Special Rept., No.9, 2001.

山田来樹・高橋俊郎, 北陸地方における日本海拡大期火成活動の時空変遷: 漸新世~中期中新世火山岩類の層序, 年代, 岩石学的特徴, 地質学雑誌, 127(9), 507-525, 2021.

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