

### 3. 2 活断層の稠密重力調査

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層の稠密重力調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人岩手大学	教授	越谷 信

(c) 業務の目的

本課題では解決すべき問題を、①逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配、②傾斜する横ずれ断層の構造、③厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の構造、④伏在活断層の検出、と定め、断層帯深部形状を推定する手法の確立を目的として、地球物理学的および変動地形学・地質学的な調査研究観測を実施し、活断層-震源断層システムの形状を具体的に明らかにすることを目指している。活断層を横断する稠密重力探査を行うとともに、密度構造モデルを推定し、活断層の地表～深部構造の推定に資する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 29 年度：

業務の目的で掲げた問題①逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、多チャンネル稠密固定展開・高エネルギー震源稠密発振による高分解能反射法地震探査（2測線）を行い、本研究課題（サブテーマ2）では、このうち琵琶湖西岸断層帯および花折断層の両方を横切る測線に合わせて稠密重力調査を行った。重力調査を行った琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯について、地形補正を施したブーゲー異常を計算し、地表地質や活断層の位置との関連性を検討し、地下密度構造モデルを提供した。

2) 平成 30 年度：

業務の目的で掲げた問題②傾斜する横ずれ断層の構造の典型例として、中央構造線断層帯（四国）などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査に合わせて重力調査を行った。測線は鮮新・更新統と上部白亜系が正断層の関係にある石鎚山地北縁を横断する測線で同様の調査を実施した。ほぼ同一の測線沿いに実施された高分解能反射法地震探査より広範囲にわたって、追加補足的に重力調査を行った。測線は鮮新・更新統と上部白亜系が正断層の関係にある石鎚山地北縁を横断する測線で、標高測定により注意して調査を実施した。長大な中央構造線断層帯に沿った、断層深部構造と活断層の構造的な変化を検討するのに資する資料として、断層系を横切る方向での地形補正を施したブーゲー異常の算出を行い、この値の変化と地質との関係性を検討し、ブーゲー異常に対応する地下密度構造モデルを提供した。

3) 令和元年度：

業務の目的に掲げた問題③厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の構造の典型例として、また問題④伏在活断層の検出を目的として、庄内平野東部地域に発達する庄内平野東縁断層帯および青沢断層帯を対象として、サブテーマ1で実施された高分解能反射法地震探査測線に合わせ、さらに東方に範囲を広げて重力探査を行った。取得したデータから、地形補正を施したブーゲー異常を算出し、この値の変化と地質との関係性を検討し、ブーゲー異常に対応する地下密度構造モデルを提供した。

以上の解析結果は、変動地形・地質構造解析とあわせて断層帯の浅部～深部形状と歪み解消様式を検討するのに用いられた。

## (2) 令和元年度の成果

### (a) 業務の要約

サブテーマ2では、本課題で解決すべき上記の4つの問題のうち、令和元年度に、問題③厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の構造および④伏在活断層の検出を目的として、庄内平野東縁断層帯・青沢断層を対象にして、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査に合わせて重力調査を行った。

### (b) 業務の実施方法

問題③および問題④に関して、稠密重力調査の測線は、庄内盆地東縁断層帯および青沢断層を横切る測線で、山形県酒田市中野俣周辺に設定した（以下、「中野俣測線」）。本測線は、サブテーマ1の反射法地震探査測線をさらにより東方に2 km程度延長し、青沢断層を越えて東側の中新統青沢層の分布域に達するように設定した。

この測線における重力の測定間隔は標準を約200 mとした。重力測定にはシントレックス重力計、RTK-GPS装置（図1、図2）および電子レベル（Leica社製Sprinter）を用いた。解析に用いた重力測定点の総数は、73点である。

中野俣測線の近隣地域に既知の重力基準点が存在しないため、山形県酒田市内の既知基準点として一等重力基準点（電子基準点（付））940032Aを用い、これと現地の四等三角点（TR4584020810）上に設けた仮基準点の間を閉合測定し、仮基準点の絶対重力値を決定した。

測定点の位置情報は、GNSS測量および水準測量と重力計に付属するGPSにより取得した。GNSS測量による取得データは、経度、緯度、標高およびGNSS測量における諸情報（測定日時、水平標準偏差、垂直標準偏差、衛星数、PDOP値等）である。GNSS測量が難しい地点では、水準測量と重力系に付属するGPSにより、標高を電子レベルに、緯度経度を重力計のGPSによった。測定点における重力に関わる情報は、重力測定値、器械高、起伏の一番大きい方向50 m範囲のスケッチである。重力値は、1回あたり1分間60測定し、この平均値を求め、X方向およびY方向の傾きのtiltの値は10秒角を越えないようにし、潮力補正は組み込まれたソフトウェアを使用した。通常の測定点では2回測定し、両者の平均値の差が20  $\mu$ Galを越えないようにし、現地基準点では3回測定し、それらの平均値の差が30  $\mu$ Galを越えないようにした。



図1 シントレックス重力計 CG-5



図2 Hemisphere 社製 RTK-GPS 装置

得られた読み取り値より、通常の方法（地質調査総合センター，2004）に従ってブーゲー異常を求めた。これは、得られた読み取り値に対して、器械高補正、ドリフト補正、地形補正、緯度補正（正規重力値との差の算出）、大気補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行うことにより算出した。地形補正は、測定点の両側50 m範囲のスケッチに基づく近傍補正、50 m～1 km範囲の中距離補正および1 km～45 km範囲の遠距離補正の陸域補正を行った。ブーゲー補正は球面補正とし、補正範囲は45 kmとした。地形補正およびブーゲー補正の際に、標準地層の密度を、 $2.3 \text{ g/cm}^3$ にした。これは、本測線周辺に分布する地層とほぼ同様な年代・岩相の地層が分布する新庄地域の情報に基づいて設定した。新庄地域を含む地域において実施された「東北日本横断地殻構造探査」によって得られた速度構造、および稠密反射法地震探査とボーリング掘削資料の検討から得られた詳細な地質断面（佐藤・他、2006）により、本地域を構成する地層のP波速度を推定すると、概ね $1.8 \text{ km/s}$ ～ $5.5 \text{ km/s}$ である。これをGardner et al. (1974)のP波速度と密度の関係式に基づいて計算すると、 $1.89 \text{ g/cm}^3$ ～ $2.66 \text{ g/cm}^3$ であり、これらの地層がいずれも地表まで分布していることから、標準地層推定の際の仮定密度として、 $2.3 \text{ g/cm}^3$ と設定した。

このようにして得られたブーゲー異常に対して、断層や地層分布との関係を示す。この結果に後述の理由でトレンド補正を施し、それを満足する地下密度構造モデルを提示する。

### (c) 業務の成果

問題③および問題④に関して、山形県庄内平野東方中野俣測線における重力調査および解析結果を以下に示す。

既知重力基準点は山形県酒田市内の一等重力基準点（電子基準点（付））940032A を用いた。同点の位置を図3に、諸元を表1に示す。



図3 一等重力点（電子基準点(付)）940032A の位置（赤丸内）  
地形図は国土地理院地図を使用。

表1 中野俣測線において調査に使用した一等重力点の諸元

一等重力点（電子基準点（付））	940032A
基準点コード	G1E000940032A
等級種別	一等重力点(電子基準点(付))
基準点名	940032A
20万分の1地勢図名	酒田
5万分の1地形図名	酒田
緯度	38° 53′ 40′ ′ .5447
経度	139° 48′ 31′ ′ .9000
標高（m）	7.704
重力鉛直勾配（mGal/m）	0
重力値（mGal）	980070.99
ブーゲー異常（mGal）	1.77
エポック	0
作業内容	改算
作業年月日	20161201

一等重力点 940032A は、本調査の測線から西端で 9 km、東端で 22 km 程度離れているため（図 4）、中野俣測線近傍、酒田市中野俣中里付近の四等三角点 TR45840208101 に仮重力基準点（7001）を設けた（図 5）。仮重力点 7001 における絶対重力値の算定は、一等重力点 940032A との閉合測定を行うことにより求めた。その際、重力計読み値等のデータを表 2 に示す。なお、閉合重力測定は各点で少なくとも 5 回以上行い、より安定したデータを採用している。

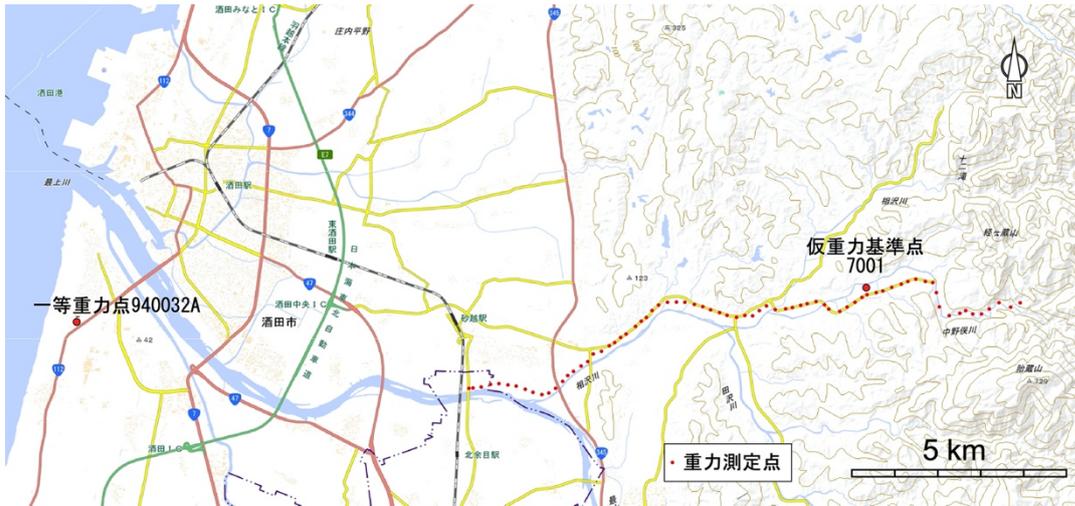


図4 一等重力点 940032A、仮重力点 7001 および重力測定点の位置関係  
地形図は国土地理院地図を使用。

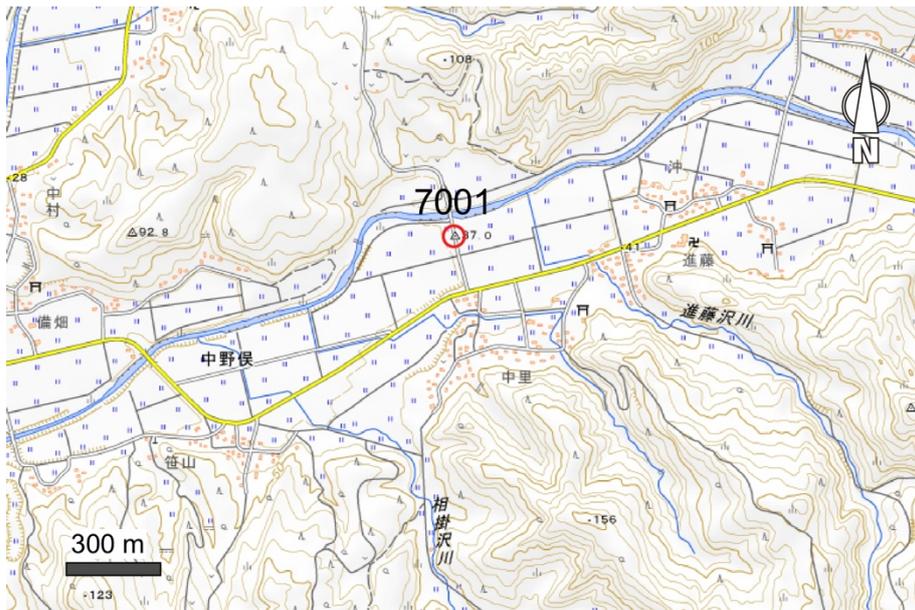


図5 中野俣測線における仮重力点 7001 の位置  
地形図は国土地理院地図を使用。

表2 中野俣測線における一等重力点と仮基準点の閉合測定結果

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
7000	5314.793	0.247	0.6	-1.1	0.016	120	5:05:20	2019/7/12	一等重力点 940032A
7001	5341.601	0.055	-2.5	-0.2	0.081	120	7:02:42	2019/7/12	仮重力点
7000	5314.989	0.193	2.7	0	0.101	120	8:13:00	2019/7/12	一等重力点 940032A

仮重力基準点 7001 の諸元は以下の通りである。

- ・緯度 北緯 38° 54′ 05″ .9765
- ・経度 東経 140° 00′ 53″ .6976
- ・標高 67.04 (m)
- ・絶対重力値 980097.6727 (mGal)

中野俣測線における重力測定は、73 点で行い、測定間隔は測線沿いにおおむね 200 m を標準とした。重力測定は、一日の測定開始時と終了時に仮基準点において測定を実施し、器械の内部的理由で発生するドリフトの影響を少なくするようにした。測定点の位置を図 6 に、測線 A と地質との位置関係を図 7 に、活断層との位置関係を図 8 に示す。また、測定点の位置情報を表 3 に、各測定点での重力計読み値、器械高等を表 4 に示す。中野俣測線は、本地域周辺二分する主要な地層である中新統青沢層、草薙層、北俣層、鮮新統楯山層、丸山層、観音寺層、更新統庄内層群を横切り、また、青沢断層および庄内平野東縁断層帯を構成する酒田衝上断層群を横切るように設定した。なお、表 3 における X 座標および Y 座標の値は、国土交通省による平面直角座標系 X 系の値である。

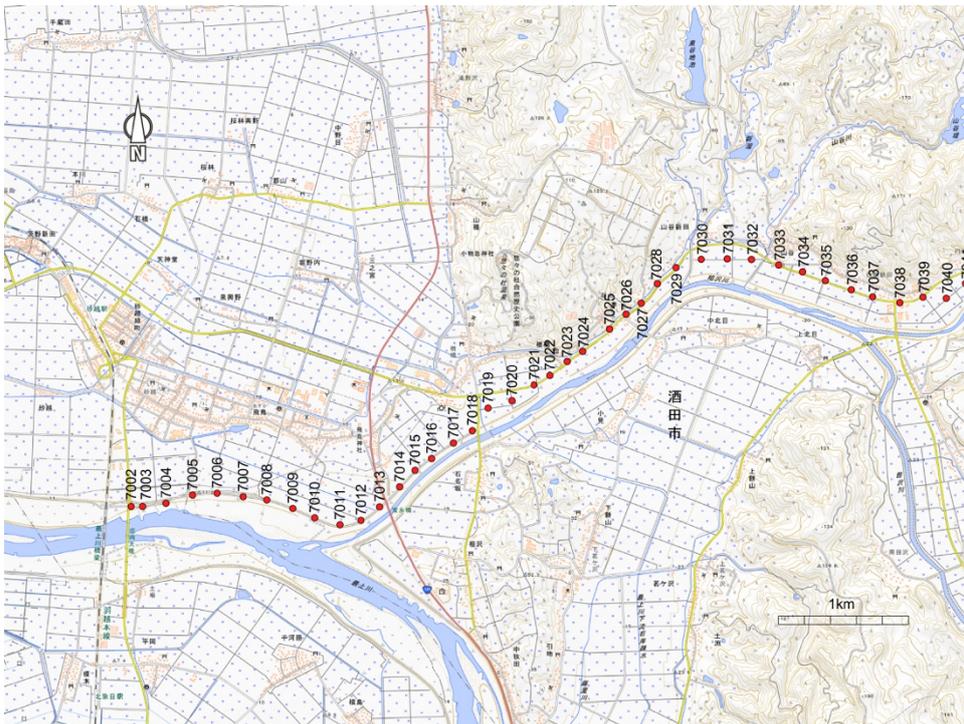


図 6 (その 1) 中野俣測線の重力測定点 (西側)  
地形図は国土地理院地図を使用。



図6 (その2) 中野俣測線の重力測定点 (東側)  
地形図は国土地理院地図を使用。

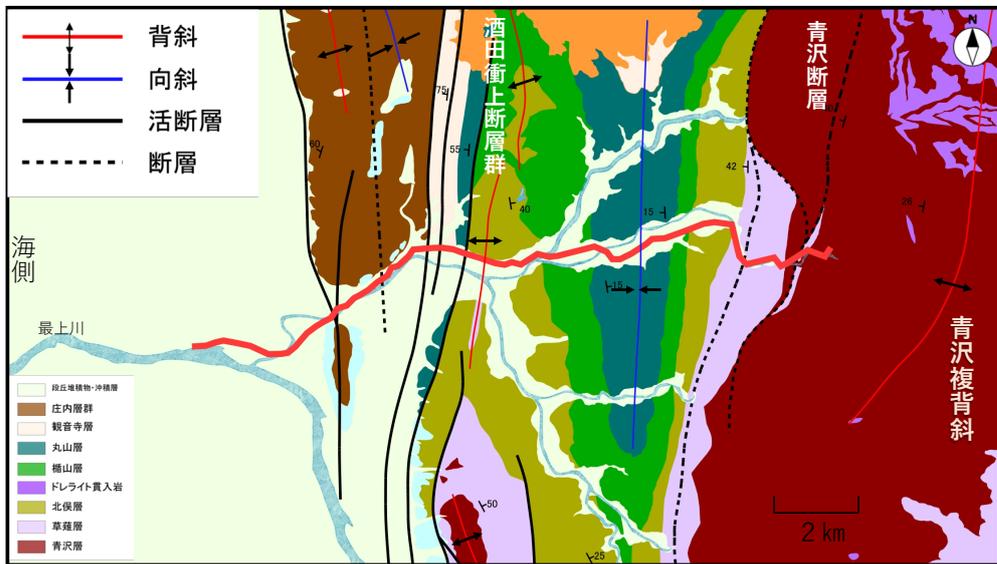


図7 中野俣測線の重力測定点と地質の関係  
地質情報は、池辺・他 (1979) および土谷 (1989) による。

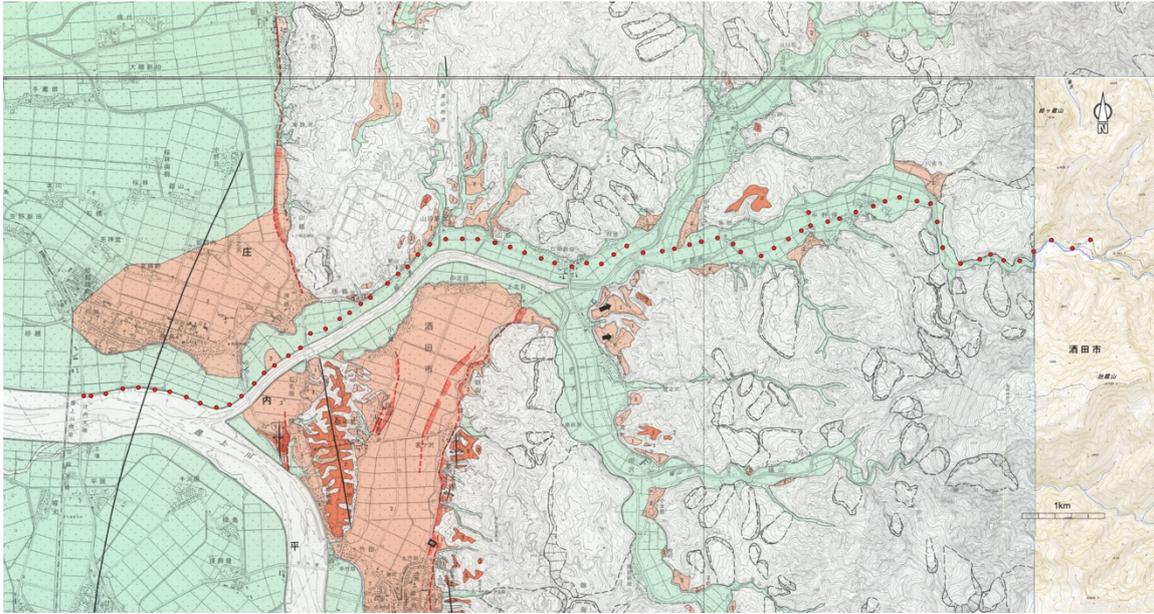


図8 中野俣測線の重力測定点と活断層の関係  
活断層情報は、国土地理院地図を使用。

表 3 (その 1) 中野俣測線における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
7002	-123775.738	-79985.941	38.8814087	139.911443	11.4385
7003	-123777.936	-79899.004	38.8814049	139.9124451	11.6118
7004	-123754.81	-79701.965	38.881588	139.9147132	11.7097
7005	-123711.005	-79507.263	38.8819771	139.9169519	11.7793
7006	-123696.028	-79298.583	38.8822098	139.9193551	11.7802
7007	-123715.032	-79113.254	38.8820648	139.9214931	11.5417
7008	-123752.378	-78918.448	38.8817482	139.9237424	12.0312
7009	-123808.086	-78726.257	38.8812103	139.9259637	12.3628
7010	-123891.389	-78544.601	38.8804741	139.9280667	12.2047
7011	-123962.813	-78362.42	38.8798599	139.9301743	12.2318
7012	-123930.265	-78173.257	38.8801651	139.9323505	12.3661
7013	-123822.186	-78005.381	38.8811569	139.9342729	12.6467
7014	-123677.281	-77866.722	38.8824615	139.9358544	12.4003
7015	-123555.428	-77748.499	38.8836098	139.9372031	12.4147
7016	-123432.968	-77599.614	38.8847084	139.9389051	12.4825
7017	-123323.129	-77432.938	38.885704	139.9408136	12.5637
7018	-123237.556	-77275.891	38.8865013	139.942614	12.712
7019	-123066.244	-77178.283	38.8880043	139.9437197	10.7273
7020	-123009.661	-76973.961	38.8885612	139.9460683	10.8766
7021	-122881.96	-76846.026	38.8897133	139.9475285	12.2827
7022	-122814.364	-76712.258	38.8903542	139.9490627	13.0022
7023	-122696.79	-76544.763	38.8914299	139.9509801	15.2938
7024	-122587.629	-76389.56	38.8924179	139.9527569	15.3138
7025	-122434.396	-76191.648	38.8937874	139.955021	15.4702
7026	-122329.429	-76078.767	38.8947411	139.9563105	15.6404
7027	-122243.247	-75953.174	38.8955574	139.9577486	15.8263
7028	-122077.155	-75811.903	38.8970757	139.9593587	16.4354
7029	-121931.463	-75657.222	38.8984146	139.9611256	16.763
7030	-121907.722	-75473.093	38.8986206	139.9632455	16.2231
7031	-121908.074	-75245.375	38.8986359	139.9658705	16.4573
7032	-121908.272	-75064.046	38.8986359	139.9679608	17.1002
7033	-121953.241	-74873.268	38.8982124	139.9701648	18.9994
7034	-122013.415	-74685.805	38.897728	139.9723323	18.2347
7035	-122082.979	-74490.107	38.8970985	139.9745956	19.0791
7036	-122144.55	-74315.212	38.8965607	139.9766183	19.3507
7037	-122211.894	-74144.763	38.895977	139.9785903	21.3814
7038	-122256.304	-73931.794	38.8955917	139.98105	20.2299
7039	-122205.185	-73743.839	38.8960686	139.983211	20.8494
7040	-122236.018	-73544.889	38.895813	139.9855076	21.5914

表 3 (その 2) 中野俣測線における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
7041	-122115.532	-73389.08	38.8969536	139.9872907	22.4258
7042	-122016.558	-73238.912	38.8978424	139.9890111	23.3113
7043	-122094.311	-73049.735	38.8971672	139.9912001	24.3583
7044	-122083.416	-72825.793	38.8972855	139.9937803	24.67
7045	-122048.447	-72680.654	38.8975983	139.9954496	25.2997
7046	-122007.717	-72503.783	38.8979721	139.9974842	26.8209
7047	-121965.965	-72327.46	38.8983765	139.9995123	27.4452
7048	-121922.478	-72141.374	38.8988266	140.0016528	28.2048
7049	-121997.328	-71923.03	38.8981285	140.0041775	32.893
7050	-122143.208	-71785.897	38.8968658	140.0057736	30.334
7051	-122148.751	-71612.284	38.8967934	140.0077754	32.6825
7052	-122058.726	-71439.314	38.8976593	140.0097599	34.457
7053	-121958.741	-71279.619	38.8985634	140.0115903	34.8768
7054	-121856.342	-71126.937	38.8994293	140.0133397	36.8204
7055	-121777.058	-70963.648	38.9001884	140.0152138	38.4414
7056	-121738.494	-70771.611	38.9005585	140.0174236	38.8289
7057	-121699.534	-70606.806	38.900898	140.0193194	40.6748
7058	-121623.3	-70428.491	38.901577	140.0213671	42.44
7059	-121554.41	-70237.708	38.9022636	140.0235594	43.3821
7060	-121493.442	-70067.902	38.9028358	140.0255107	43.4156
7061	-121442.862	-69849.105	38.9032707	140.0280279	45.6485
7062	-121488.202	-69635.898	38.902874	140.0304904	47.7977
7063	-121491.674	-69461.464	38.902813	140.0325016	50.0531
7064	-121743.336	-69400.1748	38.9006004	140.0332336	50.9711
7065	-122075.135	-69327.6285	38.8976173	140.0341034	53.9891
7066	-122275.892	-69130.8267	38.8958244	140.0363922	58.2401
7067	-122212.199	-68858.9005	38.8964195	140.0395203	61.0951
7068	-122164.873	-68651.9938	38.896862	140.0419006	64.5411
7069	-122322.396	-68506.4173	38.8954544	140.0435944	65.7711
7070	-122255.875	-68362.882	38.8960648	140.0452423	68.1771
7071	-122125.572	-68152.6083	38.8972549	140.0476532	72.0201
7072	-122001.602	-67942.396	38.8983879	140.0500641	76.4181
7073	-122126.083	-67697.2568	38.8972855	140.0529022	79.4911
7074	-121980.684	-67515.991	38.8986092	140.0549774	93.8461

表 4 (その 1) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時 間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5341.732	0.177	3.8	0.3	-0.064	60	0:09:14	2019/7/13	0.171	仮重点
7002	5320.977	0.688	-2.3	-2.4	-0.076	60	1:22:43	2019/7/13	0.169	
7003	5321.010	0.624	3.9	4.5	-0.077	60	1:52:19	2019/7/13	0.167	
7004	5321.108	0.490	0.4	3.1	-0.075	60	2:18:07	2019/7/13	0.168	
7005	5321.214	0.540	-4.1	0.3	-0.072	60	2:38:16	2019/7/13	0.167	
7006	5321.396	0.556	0.8	1.1	-0.067	60	2:58:16	2019/7/13	0.164	
7007	5321.580	0.635	2.0	-4.0	-0.063	60	3:13:04	2019/7/13	0.163	
7008	5321.536	0.467	-8.6	-3.2	-0.056	60	3:30:39	2019/7/13	0.165	
7001	5341.938	0.154	0.3	1.2	-0.035	60	4:16:18	2019/7/13	0.164	仮重点
7001	5405.538	0.059	-3.8	0.9	-0.067	60	4:49:25	2019/10/21	0.159	仮重点
7009	5385.287	0.162	-2.5	2.0	-0.066	60	5:23:31	2019/10/21	0.134	
7010	5385.448	0.247	-3.7	4.0	-0.065	60	5:44:14	2019/10/21	0.131	
7011	5385.586	0.208	7.9	4.5	-0.064	60	5:53:10	2019/10/21	0.134	
7012	5385.730	0.277	6.7	6.8	-0.063	60	6:04:37	2019/10/21	0.112	
7013	5385.844	0.177	-0.9	-1.9	-0.060	60	6:26:57	2019/10/21	0.161	
7014	5386.153	0.156	-0.5	1.8	-0.059	60	6:39:15	2019/10/21	0.161	
7015	5386.352	0.164	1.4	-1.5	-0.058	60	6:48:15	2019/10/21	0.124	
7016	5386.529	0.179	-2.9	-5.1	-0.056	60	7:04:52	2019/10/21	0.132	
7017	5386.909	0.185	-3.0	0.7	-0.055	60	7:15:46	2019/10/21	0.153	
7018	5387.167	0.145	-6.7	0.3	-0.053	60	7:32:43	2019/10/21	0.156	
7001	5405.623	0.070	2.8	-0.4	-0.050	60	7:57:07	2019/10/21	0.165	仮重点

表 4 (その 2) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時 間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5406.082	0.110	-0.1	-2.9	0.038	60	0:10:27	2019/10/22	0.167	仮重力点
7019	5388.409	0.176	0.2	0.8	0.027	60	0:30:08	2019/10/22	0.156	
7020	5388.778	0.249	1.3	3.4	0.021	60	0:41:31	2019/10/22	0.153	
7021	5388.729	0.268	-0.5	-0.5	0.015	60	0:52:21	2019/10/22	0.158	
7022	5388.654	0.189	-4.3	-0.3	0.009	60	1:04:23	2019/10/22	0.143	
7023	5388.312	0.165	-3.0	-3.5	0.000	60	1:18:53	2019/10/22	0.176	
7024	5388.462	0.213	-1.9	0.8	-0.004	60	1:29:16	2019/10/22	0.155	
7025	5388.710	0.286	-2.8	-1.0	-0.011	60	1:40:32	2019/10/22	0.148	
7026	5388.873	0.233	0.7	-3.4	-0.018	60	1:55:29	2019/10/22	0.130	
7027	5389.230	0.215	0.5	-3.6	-0.026	60	2:08:36	2019/10/22	0.179	
7028	5389.548	0.214	6.0	-5.8	-0.031	60	2:19:20	2019/10/22	0.167	
7029	5390.076	0.218	0.0	0.5	-0.036	60	2:30:19	2019/10/22	0.154	
7030	5391.064	0.225	5.4	-1.6	-0.042	60	2:43:10	2019/10/22	0.139	
7031	5392.247	0.237	-3.6	-1.3	-0.067	60	3:50:41	2019/10/22	0.153	
7032	5393.124	0.330	-2.2	-0.7	-0.070	60	4:05:50	2019/10/22	0.134	
7033	5392.904	0.400	1.8	-0.6	-0.072	60	4:16:01	2019/10/22	0.181	
7034	5393.670	0.424	1.4	-0.3	-0.075	60	4:28:53	2019/10/22	0.164	
7035	5394.864	0.254	2.0	-1.9	-0.076	60	4:38:52	2019/10/22	0.165	
7036	5396.104	0.320	2.2	-3.2	-0.078	60	4:52:55	2019/10/22	0.169	
7037	5396.879	0.213	0.7	-1.6	-0.078	60	5:04:35	2019/10/22	0.119	
7038	5398.650	0.392	0.0	-1.8	-0.079	60	5:17:45	2019/10/22	0.172	
7039	5399.590	0.280	4.4	4.3	-0.079	60	5:30:02	2019/10/22	0.165	
7040	5400.608	0.281	4.6	-3.2	-0.078	60	5:44:51	2019/10/22	0.175	
7041	5401.026	0.169	-0.8	-0.2	-0.077	60	5:54:48	2019/10/22	0.170	
7042	5401.532	0.290	-3.2	1.2	-0.077	60	6:03:33	2019/10/22	0.174	
7043	5402.134	0.204	0.7	-1.9	-0.075	60	6:16:16	2019/10/22	0.131	
7044	5402.937	0.243	3.5	-0.9	-0.072	60	6:34:24	2019/10/22	0.139	
7045	5403.277	0.306	3.3	0.6	-0.071	60	6:44:12	2019/10/22	0.165	
7046	5403.581	0.229	0.9	-2.4	-0.068	60	6:55:51	2019/10/22	0.156	
7047	5404.080	0.243	4.9	-4.1	-0.066	60	7:08:10	2019/10/22	0.151	
7001	5406.262	0.138	-3.3	1.6	-0.063	60	7:22:13	2019/10/22	0.165	仮重力点

表4 (その3) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5406.753	0.161	2.0	4.2	0.071	60	0:08:24	2019/10/23	0.165	仮重点
7048	5405.024	0.163	-0.9	-3.1	0.064	60	0:24:16	2019/10/23	0.145	
7049	5404.586	0.136	-0.9	0.1	0.058	60	0:35:30	2019/10/23	0.168	
7050	5405.415	0.211	1.6	-2.0	0.050	60	0:50:18	2019/10/23	0.173	
7051	5405.370	0.123	-0.7	1.9	0.045	60	0:59:50	2019/10/23	0.169	
7052	5405.564	0.195	3.4	-2.3	0.036	60	1:13:53	2019/10/23	0.165	
7053	5406.031	0.169	8.0	0.9	0.030	60	1:24:24	2019/10/23	0.169	
7054	5406.175	0.187	-3.1	-0.4	0.024	60	1:33:57	2019/10/23	0.165	
7055	5406.500	0.138	-4.1	2.8	0.016	60	1:46:17	2019/10/23	0.172	
7056	5407.193	0.097	-0.1	-2.1	0.009	60	1:57:12	2019/10/23	0.167	
7057	5407.400	0.124	-3.8	1.5	0.002	60	2:08:05	2019/10/23	0.168	
7058	5407.818	0.156	-2.0	-5.6	-0.010	60	2:26:54	2019/10/23	0.161	
7059	5408.517	0.157	-0.9	4.9	-0.017	60	2:39:24	2019/10/23	0.158	
7060	5409.255	0.127	4.1	-6.7	-0.024	60	2:48:29	2019/10/23	0.174	
7061	5409.775	0.123	-2.9	-3.4	-0.036	60	3:09:05	2019/10/23	0.175	
7062	5410.213	0.143	-5.8	-4.1	-0.078	60	4:43:27	2019/10/23	0.177	
7063	5410.485	0.131	-0.1	-4.0	-0.082	60	4:58:24	2019/10/23	0.160	
7064	5411.176	0.119	-4.8	3.7	-0.086	60	5:21:27	2019/10/23	0.169	
7065	5411.099	0.069	1.2	-0.5	-0.069	60	7:37:46	2019/10/23	0.159	
7066	5411.165	0.090	-3.8	0.4	-0.066	60	7:47:31	2019/10/23	0.157	
7001	5406.952	0.157	-2.1	-0.1	-0.058	60	8:08:17	2019/10/23	0.172	仮重点
7001	5407.426	0.146	0.5	1.5	0.087	60	0:18:54	2019/10/24	0.165	仮重点
7067	5411.756	0.049	0.6	-1.2	0.072	60	0:58:46	2019/10/24	0.156	
7068	5411.205	0.064	1.6	2.1	0.052	60	1:35:54	2019/10/24	0.159	
7069	5411.142	0.053	1.0	1.3	0.041	60	1:51:53	2019/10/24	0.161	
7070	5411.243	0.042	1.1	-0.5	0.026	60	2:15:24	2019/10/24	0.171	
7071	5410.820	0.044	2.1	0.6	0.009	60	2:38:21	2019/10/24	0.148	
7072	5411.251	0.050	0.4	-3.4	-0.030	60	3:34:17	2019/10/24	0.172	
7073	5411.932	0.064	0.8	-2.5	-0.055	60	4:12:14	2019/10/24	0.152	
7074	5409.603	0.050	-0.5	-2.7	-0.072	60	4:44:43	2019/10/24	0.164	
7001	5408.132	0.163	-5.7	-4.8	0.087	60	0:37:06	2019/10/25	0.163	仮重点

表4により得られた読み取り値より、器械高補正、ドリフト補正、陸域の地形補正、緯度補正（正規重力値との差の算出）、大気補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行うことにより、ブーゲー異常を算出した。地形補正やブーゲー補正の際に、前述のように近接する庄内地域で推定される地層の密度を用いて、標準地層の密度を、 $2.3 \text{ g/cm}^3$ と仮定した。この推定方法を詳しく述べると、新庄地域には、下位より、長尾層、銀山層、中島層、南沢層、鮭川層、八向<sup>やむけ</sup>層、および毒沢層が分布している（佐藤・他，2006）。年代や岩相の点から、これらの地層は、長尾層が本地域の青沢層、銀山層が草薙層、中島層が北俣層、南沢層が楯山層、鮭川層が丸山層、八向層が観音寺層、および毒沢層が庄内層群にほぼ対比される。一方、新庄含む地域で行われた「東北日本横断地殻構造探査」で得られた速度構造と、新庄地域で行われた稠密反射法地震探査断面や近隣のボーリング掘削資料（佐藤・

他、2006) から、新庄地域の各層の P 波速度は、

長尾層	3.8~5.5 km/s	(2.43~2.66 g/cm <sup>3</sup> )
银山層・中島層	3.0~3.8 km/s	(2.29~2.43 g/cm <sup>3</sup> )
南沢層・鮭川層	2.2~3.0 km/s	(2.12~2.29 g/cm <sup>3</sup> )
八向層	1.6~2.8 km/s	(1.96~2.25 g/cm <sup>3</sup> )
毒沢層	1.4~1.8 km/s	(1.89~2.02 g/cm <sup>3</sup> )

と推定される。これらの P 波速度を、Gardner et al. (1974)の経験式を用いて密度に換算したものを括弧内に示している。これらから、庄内地域の地層の密度範囲が 1.89 g/cm<sup>3</sup>~2.66 g/cm<sup>3</sup>と推定され、これらの地層がいずれも地表まで分布していることから、標準地層の密度を、2.3 g/cm<sup>3</sup>と仮定した。

算出されたブーゲー異常を表 5 に示す。また、北端から南端に向かう距離に対するブーゲー異常の変化を図 9 に示す。図 9 において、ブーゲー異常は東に向かって増大する。測線全長 12.5 km に対して、約 44 mGal 程度増大する。測線西端からの距離が 4.5 km 付近までは増大の割合が比較的小さいのに対し、酒田衝上断層群を越える付近では増大の割合が一度大きくなる。これより東方では、すぐ西側の酒田衝上断層群付近に比べれば小さいものの、0~4.5 km 付近の西部に比べ、増大の割合が増す。西端からの距離 11 km 付近の青沢断層付近で段差状にブーゲー異常が増大し、さらに東方では、距離 6~11 km 付近以上の割合でブーゲー異常が増大する。酒田衝上断層群および青沢断層を横切ると、ブーゲー異常の増大の割合が変化するのは、東側の浅部により密度の大きい地層が分布していることを示す。

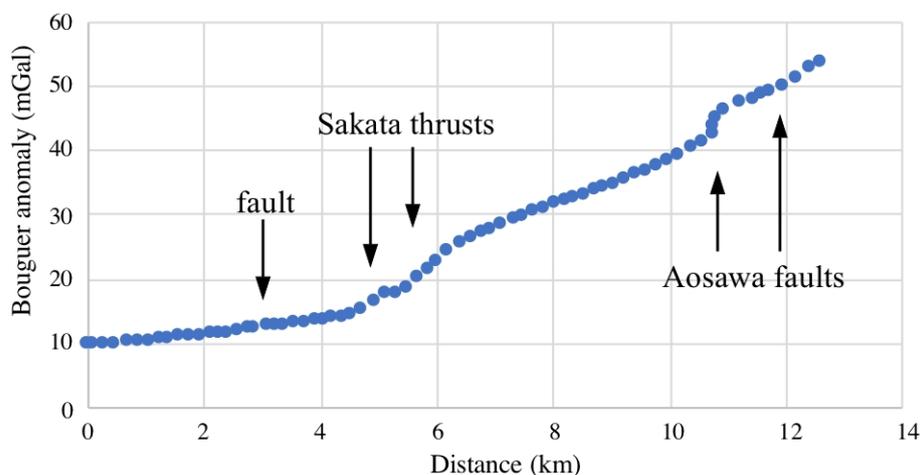


図 9 中野俣測線のブーゲー重力異常

表5 (その1) 中野俣測線におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
7002	980076.86	980070.574	0.01	0.02	0.13	9.95
7003	980076.86	980070.573	0.02	0.02	0.13	10.01
7004	980076.94	980070.593	0.02	0.02	0.13	10.10
7005	980077.03	980070.630	0.01	0.02	0.14	10.15
7006	980077.20	980070.643	0.01	0.02	0.14	10.30
7007	980077.37	980070.630	0.02	0.01	0.14	10.46
7008	980077.31	980070.601	0.02	0.02	0.14	10.54
7009	980077.40	980070.559	0.02	0.02	0.15	10.75
7010	980077.55	980070.494	0.02	0.02	0.15	10.93
7011	980077.68	980070.438	0.01	0.02	0.15	11.13
7012	980077.82	980070.466	0.02	0.01	0.16	11.27
7013	980077.93	980070.553	0.01	0.01	0.16	11.35
7014	980078.24	980070.669	0.02	0.00	0.17	11.50
7015	980078.42	980070.767	0.02	0.00	0.17	11.60
7016	980078.59	980070.866	0.01	0.00	0.17	11.66
7017	980078.97	980070.955	0.01	0.00	0.18	11.99
7018	980079.23	980071.024	0.01	0.01	0.19	12.23
7019	980079.99	980071.161	0.00	0.01	0.19	12.43
7020	980080.35	980071.208	0.01	0.02	0.20	12.82
7021	980080.30	980071.310	0.01	0.03	0.20	13.00
7022	980080.21	980071.365	0.01	0.04	0.21	13.04
7023	980079.88	980071.460	0.01	0.06	0.21	13.15
7024	980080.02	980071.548	0.01	0.09	0.21	13.31
7025	980080.26	980071.672	0.02	0.10	0.22	13.51
7026	980080.41	980071.756	0.02	0.10	0.23	13.63
7027	980080.78	980071.826	0.03	0.07	0.23	13.94
7028	980081.09	980071.959	0.03	0.07	0.24	14.27
7029	980081.60	980072.076	0.01	0.05	0.25	14.67
7030	980082.58	980072.097	0.00	0.02	0.26	15.45
7031	980083.74	980072.098	0.00	0.01	0.27	16.66
7032	980084.61	980072.099	0.00	0.01	0.28	17.67
7033	980084.40	980072.065	0.01	0.03	0.28	17.94
7034	980085.15	980072.018	0.00	0.05	0.28	18.64
7035	980086.34	980071.964	0.00	0.08	0.29	20.13
7036	980087.58	980071.917	0.00	0.10	0.29	21.53
7037	980088.33	980071.864	0.00	0.09	0.29	22.76

表5 (その2) 中野俣測線におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
7039	980091.05	980071.873	0.00	0.12	0.31	25.45
7040	980092.06	980071.850	0.00	0.07	0.32	26.56
7041	980092.47	980071.947	0.00	0.08	0.33	27.09
7042	980092.98	980072.027	0.00	0.08	0.33	27.71
7043	980093.56	980071.966	0.00	0.05	0.34	28.54
7044	980094.36	980071.976	0.00	0.04	0.36	29.39
7045	980094.70	980072.005	0.00	0.03	0.36	29.84
7046	980095.00	980072.039	0.00	0.02	0.37	30.42
7047	980095.49	980072.074	0.00	0.02	0.38	31.03
7048	980095.93	980072.110	0.00	0.03	0.39	31.63
7049	980095.50	980072.052	0.02	0.03	0.39	32.31
7050	980096.32	980071.936	0.01	0.05	0.41	32.75
7051	980096.27	980071.933	0.00	0.04	0.42	33.21
7052	980096.46	980072.006	0.00	0.03	0.44	33.70
7053	980096.92	980072.087	0.00	0.03	0.45	34.20
7054	980097.06	980072.170	0.00	0.03	0.46	34.70
7055	980097.38	980072.234	0.00	0.03	0.48	35.34
7056	980098.07	980072.266	0.00	0.04	0.50	36.15
7057	980098.27	980072.298	0.01	0.05	0.52	36.78
7058	980098.68	980072.360	0.01	0.06	0.54	37.59
7059	980099.37	980072.416	0.01	0.07	0.57	38.50
7060	980100.11	980072.466	0.00	0.06	0.61	39.24
7061	980100.62	980072.508	0.01	0.06	0.65	40.30
7062	980101.02	980072.473	0.00	0.10	0.70	41.38
7063	980101.28	980072.472	0.01	0.14	0.74	42.32
7064	980101.97	980072.272	0.03	0.25	0.77	43.75
7065	980101.83	980072.008	0.00	0.40	0.81	44.92
7066	980101.89	980071.850	0.04	0.37	0.90	46.26
7067	980101.98	980071.902	0.05	0.53	0.99	47.50
7068	980101.41	980071.941	0.08	0.62	1.04	48.01
7069	980101.34	980071.817	0.00	0.67	1.16	48.54
7070	980101.44	980071.871	0.03	0.64	1.18	49.12
7071	980100.99	980071.976	0.09	0.73	1.20	49.79
7072	980101.41	980072.076	0.01	0.91	1.22	51.31
7073	980102.06	980071.979	0.08	0.76	1.35	52.82
7074	980099.72	980072.096	0.01	0.99	1.26	53.56

問題③や問題④では、厚い堆積層とその中に伏在する活断層の存在形態を確認することが重要であるので、それより地下深部に原因をもつ密度変化を取り除かなければならない。そのため、東北地方を横断する方向の広域的なブーゲー異常変化を取り除く。図 10 は、地質調査総合センター（2004）が公開しているデータを利用し、中野俣測線の南北方向の中心、北緯 38 度 53 分 30 秒から±5 分、つまり北緯 38 度 48 分 30 秒～38 度 58 分 30 秒の間で、東西方向は東北日本全体を網羅するブーゲー異常の東西方向の変化を示す。これらのデータを解析する際には、公開データに含まれる水域地形補正を算入し、また、地形補正やブーゲー補正の範囲は公開データの様式にしたがって 60 km とした。補正計算に用いる標準地層の密度は、中野俣測線に合わせて 2.3 g/cm<sup>3</sup> とした。

図 10 に示すように、東北地方におけるブーゲー異常の変化は、直線近似すると、西に向かって減少する。この変化率は、0.0007 mGal/m である。そこで、この変化率を広域的なトレンドとして、浅部構造の解析の際には除去することにする。計算上は、

(トレンド補正後の値) = (観測ブーゲー異常) - 0.0007 × (測定点の西端からの距離)  
 である。計算結果を図 11 に示す。

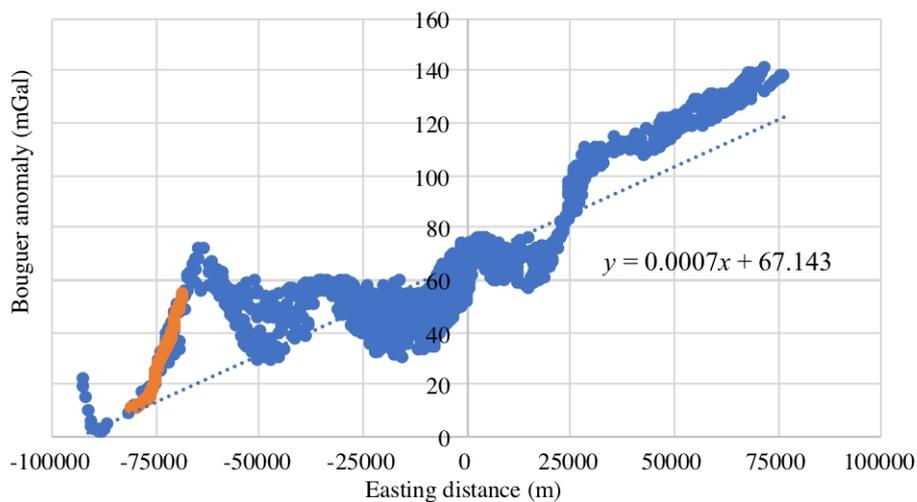


図 10 中野俣付近 (38°53.5′) から南北に±5′ の東北地方陸域のブーゲー異常 (補正密度 = 2.30 g/cm<sup>3</sup>, 青点で表示) および中野俣測線上での測定値 (赤点)

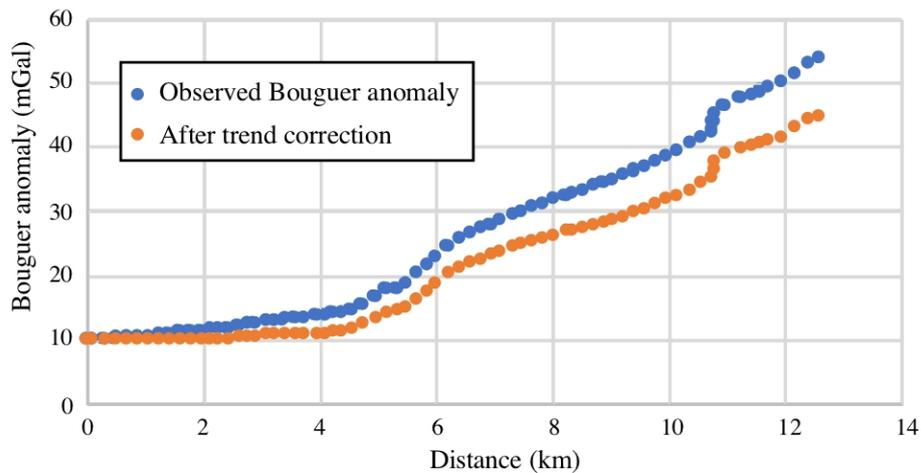


図 11 中野俣測線におけるトレンド補正前後のブーゲー重力異常

図 11 に示すようなトレンド補正後のブーゲー異常に適合するよう地下密度構造モデルを検討する。前述のように、新庄地域との地層の対比を考慮に入れて、5層モデルで検討する。各層の密度は以下の通りである。

- 第1層 1.90 g/cm<sup>3</sup> 庄内層群に相当
- 第2層 2.00 g/cm<sup>3</sup> 観音寺層に相当
- 第3層 2.20 g/cm<sup>3</sup> 楯山層・丸山層に相当
- 第4層 2.40 g/cm<sup>3</sup> 草薙層・北俣層に相当
- 第5層 2.65 g/cm<sup>3</sup> 青沢層に相当

なお、第5層は新庄地域では長尾層に相当するが、長尾層は泥岩を主体とする地層であるのに対し、青沢層は玄武岩溶岩や玄武岩質火砕岩からなるので、長尾層よりやや大きい値を設定した。密度構造から算出されるブーゲー異常は Talwani et al. (1959)の方法に基づく、重力場解析ソフト LTC 社製 2MOD を使用した。この際、background density は、ブーゲー補正算出時に用いたのと同じ標準地層の密度 2.30 g/cm<sup>3</sup>とした。解析に当たっては、地表に分布する地質と矛盾の無いようにし、サブテーマ1で得られている反射法地震探査による深度断面を参考にした。解析の結果を図 12、図 13 および図 14 に示す。図 12 にトレンド補正後の観測ブーゲー異常と密度構造から推定される計算ブーゲー異常を示し、図 13 に密度構造図、図 14 に参考にした反射法地震探査による深度断面図を示す。地域全域で、観測と計算ブーゲー異常はおおむねよい一致を示す。

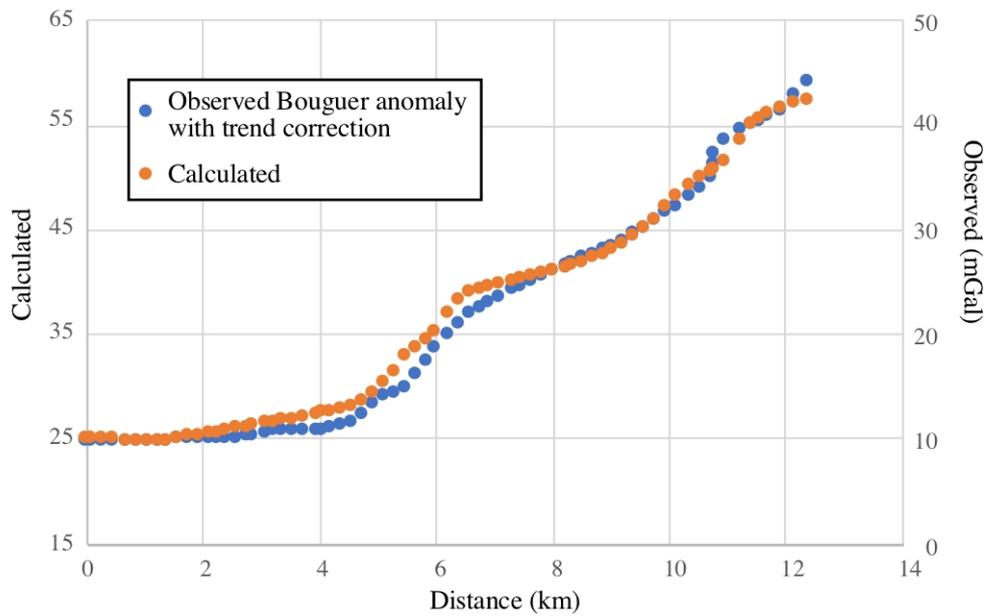


図 12 中野俣測線における観測ブーゲー異常と密度構造モデルから推定される計算ブーゲー異常

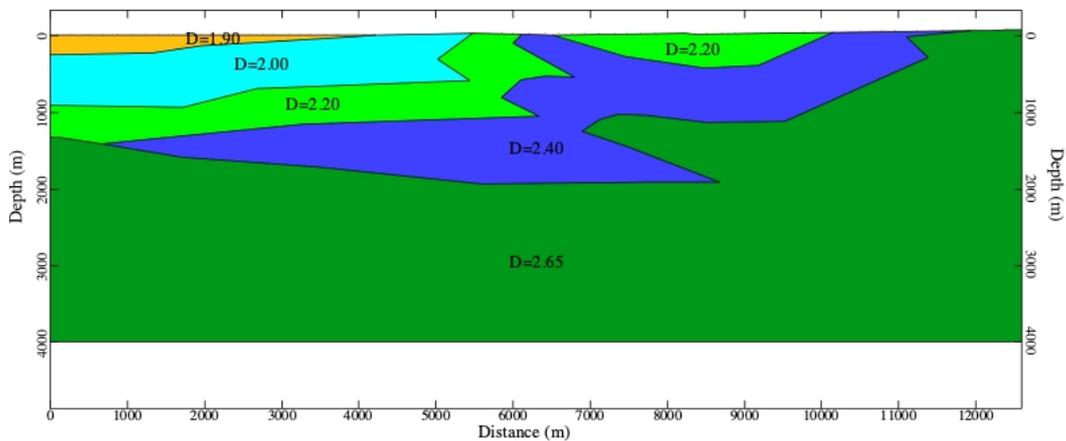


図 13 中野俣測線における密度構造モデル  
 地層との対応関係は、おおよそ第 1 層 ( $2.90 \text{ g/cm}^3$ ) が庄内層群、第 2 層 ( $2.00 \text{ g/cm}^3$ ) が観音寺層、第 3 層 ( $2.20 \text{ g/cm}^3$ ) が楯山層・丸山層、第 4 層 ( $2.40 \text{ g/cm}^3$ ) が草薙層・北俣層および第 5 層 ( $2.65 \text{ g/cm}^3$ ) が青沢層に相当する。

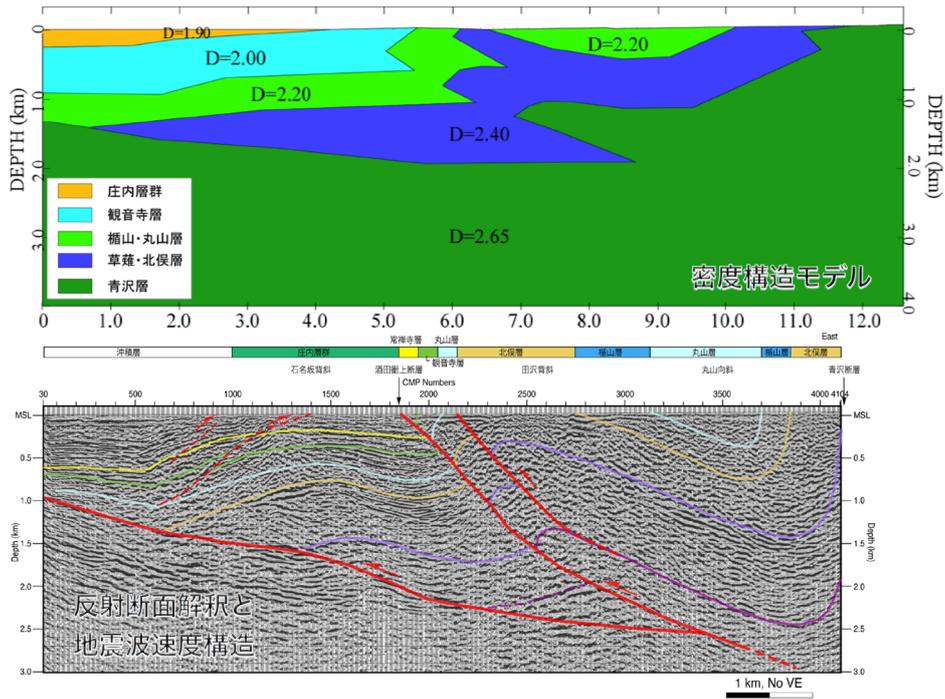


図 14 中野俣測線における密度構造モデルと反射法地震探査のマイグレーション後深度断面図の解釈の比較

図 13 の密度構造モデルから推定される断層構造を図 14 の反射法地震探査のマイグレーション後の深度断面と比較する。図 14 では、酒田衝上断層群は 2 条の分岐した断層から構成され、浅部で約  $45^\circ$ 、深部で約  $30^\circ$  と低角で東に傾いている。この断層群は、青沢層以上の地層群を大きく変位させ、この断層活動に伴って上盤側には背斜や向斜の地質構造が形成されていることを強く示唆している。さらに、図 13 の密度構造モデルから東側の青沢断層付近に密度構造の段差が推定されるが、これは青沢断層のうちでも地質図で示される西側の断層に相当し、この段差が示すように、大きな変位が認められる。これらの断面では必ずしも明らかではないが、酒田衝上断層群より青沢断層の方がやや傾斜角が大きいことから、さらに深部では一つの断層に収斂する可能性がある。一方、酒田衝上断層群の下盤側では、第 4 層、つまり草薙層以上に相当する地層が草薙相当層の層理面に大きく斜交しない断層により断ち切られると解釈できる。これは、草薙層など泥質岩がディタッチメント断層を形成していることを示唆する。

このように今回得られた密度構造モデルから推定される地質構造と、サブテーマ 1 において反射法地震探査断面から推定される断層構造とは大局的により一致を示す (図 13、図 14)。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

稠密重力調査により、中野俣測線のブーゲー異常の変化が明らかになった。中野俣測線では、ブーゲー異常は酒田衝上断層群および青沢断層周辺で急変し、密度の異なる地層がこれらの断層を挟んで接しており、より東側ほど密度の大きい層が分布することを示す。密度構造モデルからは、酒田衝上断層群は 2 条の断層からなり、東に  $45^\circ \sim 30^\circ$  で傾斜すると推定

される。青沢断層については、変位の大きい断層 1 条が推定され、地下では酒田衝上断層群と収斂し、一つの断層となる可能性がある。また、酒田衝上断層群から派生したディタッチメント断層が存在し、その上位の地層を変位している可能性を示す。

今後の課題として、大局的には、反射法地震探査による断層構造や地質構造は、重力調査に基づく結果と主要な断層の位置関係や地質分布と同じである。ただし、詳細には地下における断層や地質分布が完全に一致はしていない。今後、重力調査に基づく、密度構造モデルについて、この点を踏まえて、さらに改善が望まれる。

(e) 引用文献

地質調査総合センター，日本重力 CD-ROM 第 2 版，2004.

池辺 穰・大沢 穠・井上寛生，酒田地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 図幅），地質調査所，42 p., 1979.

Gardner, G. H. F., Gardner, L. W. and Gregory, A. R., Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophys.*, 39, 770-780, 1974.

佐藤比呂志・八木浩司・池田安隆・今泉俊文・荻野スミ子・宮内崇裕・戸田 茂・平野信一・松多信尚・越後智雄・田力正好・井川 猛・酒井隆太郎・新庄 97 反射法地震探査グループ，新庄盆地東部佳津褶曲群を横切る反射法地震探査．地震研究所彙報，81，157-169，2006.

Talwani, M., Worzel, J. M., Landisman, M., Rapid Gravity Computations of two-dimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Jour. Geophys. Res.*, 64, 49-59, 1959.

土谷信之，大沢地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 図幅），地質調査所，85 p., 1989.

### (3) 平成 29～令和元年度の成果

#### (a) 業務の要約

サブテーマ 2 では、本課題で解決すべき上記の 4 つの問題のうち、問題①逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象にして、また、問題②傾斜する横ずれ断層の構造の典型例として、中央構造線断層帯（四国地域）を対象にして、さらに、問題③厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の構造および④伏在活断層の検出を目的として、庄内平野東縁断層帯・青沢断層を対象にして、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査に合わせて重力調査を行った。問題①については、平成 29 年度に実施された調査結果に基づき、地形補正を施したブーゲー異常を算出した。問題②については、愛媛県西条市周辺で中央構造線を横切る測線において、平成 30 年度に実施された調査時の測線を南方に延長し、さらに、精度を高めるために標高と重力の再測定を行い、同測線沿いに標準で約 200 m、活断層付近で 100 m の測定間隔で、稠密重力補足調査を行った。その結果、同測線沿いにおけるブーゲー重力異常の変化が明らかになり、サブテーマ 5 に地下密度構造モデルを提供した。問題③および問題④については、令和元年度に、山形県酒田市周辺で庄内平野東縁断層帯・青沢断層を横切る測線上で、200 m 間隔を標準的な測定間隔として稠密重力調査を行った。その結果、同測線沿いにおけるブーゲー重力異常の変化が明らかになり、サブテーマ 5 に地下密度構造モデルを提供した。

#### (b) 業務の実施方法

問題①～④のいずれについても、ブーゲー異常の計算は、通常の方法（地質調査総合センター，2004）に従い、得られた読み取り値に対して、器械高補正、ドリフト補正、地形補正、緯度補正（正規重力値との差の算出）、大気補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行うことにより算出した。なお、潮汐補正は使用した重力計CG-5に内蔵されている補正機能によっている。地形補正は、測定点の両側50 m範囲のスケッチに基づく陸域近傍補正、50 m～1 km範囲の陸域中距離補正および1 km～45 km範囲の陸域遠距離補正を行った。ブーゲー補正は球面補正とし、補正範囲は45kmとした。

問題①に関して、滋賀県安曇川<sup>あどがわ</sup>沿いに設定された花折断層および琵琶湖西岸断層帯上寺断層を横切る測線（以下、「安曇川測線」）で重力異常の一つであるブーゲー異常を計算した。ブーゲー異常計算の計算時の地形補正およびブーゲー補正の際には、古琵琶湖層群などの比較的新期の地質の影響を明瞭にするため、標準地層の密度を、 $2.2 \text{ g/cm}^3$ にした。これは、サブテーマ 1 による安曇川測線における屈折トモグラフィーの結果に基づいて決定した。同トモグラフィーの結果では、測線東部で P 波速度  $2.0 \sim 3.0 \text{ km/s}$  の層が厚さを増す。この部分が古琵琶湖層群に概ね対応すると考え、その速度の平均的な値から、Gardner et al. (1974) の P 波速度と密度の関係式に基づいて、 $2.2 \text{ g/cm}^3$ とした。

このようにして得られたブーゲー異常に対して、断層や地層分布との関係を示した。この結果に後述の理由でトレンド補正を施し、それを満足する地下密度構造モデルを 2 層および 3 層の場合について提示した。

問題②に関して、稠密重力調査の測線は、中央構造線断層帯を横切る測線で、サブテーマ1の反射法地震探査測線より南方に1.5 km程度延長し、愛媛県西条市付近に設定し、重力異常の一つであるブーゲー異常を計算した。平成30年度の調査では、測線長は反射法地震探査測線とほぼ同一であったが、この際の解析結果から、南部に分布する三波川変成岩類は大きく密度の異なる岩石からなり、ブーゲー異常に影響を与える可能性があることから、三波川変成岩類の測定値を局所化しないよう、南方に延長した。さらに、この調査に合わせて、より精度の高いブーゲー異常の算出のためには、より精度の高い標高値が必要であることが指摘されていたため、標高および絶対重力値を補足的に再測定した。この測線（以下、「A測線」）における重力の測定間隔は標準を約200 mとし、活断層周辺では約100 mに設定した。重力測定にはシントレックス重力計とRTK-GPS装置を用いた（図15、図16）。



図15 シントレックス重力計 CG-5



図16 Hemisphere社製 RTK-GPS装置

A測線の近隣地域に既知の重力基準点が存在しないため、愛媛県東温市内の既知基準点として一等重力基準点（電子基準点（付））950433Aを用い、これと現地に設けた仮基準点の間を閉合測定し、仮基準点の絶対重力値を決定した。

測定点の位置情報は、GNSS測量により、取得データは、経度、緯度、標高およびGNSS測量における諸情報（測定日時、水平標準偏差、垂直標準偏差、衛星数、PDOP値等）である。測定点における重力に関わる情報は、重力測定値、器械高、起伏の一番大きい方向50 m範囲のスケッチである。重力値は、1回あたり1分間60測定し、この平均値を求め、X方向およびY方向の傾きのtiltの値は10秒角を越えないようにし、潮力補正は組み込まれたソフトウェアを使用した。通常の測定点では2回測定し、両者の平均値の差が20  $\mu\text{Gal}$ を越えないようにし、現地基準点では、3回測定し、それらの平均値の差が30  $\mu\text{Gal}$ を越えないようにした。

ブーゲー異常計算時の地形補正およびブーゲー補正の際に、地域は離れているが、伊藤・他（1996）と同様に本地域の標準地層の密度を、2.5  $\text{g}/\text{cm}^3$ にした。

このようにして得られたブーゲー異常に対して、断層および地質分布との関連性を示した。さらに、この結果を満足する地下密度構造モデルをサブテーマ5に提示した。

問題③および問題④に関して、稠密重力調査の測線は、庄内盆地東縁断層帯および青沢断層を横切る測線で、山形県酒田市中野俣周辺に設定し（以下、「中野俣測線」）、重力異常の一つであるブーゲー異常を計算した。本測線は、サブテーマ1の反射法地震探査測線をさらにより東方に2 km程度延長し、青沢断層を越えて東側の中新統青沢層の分布域に達するように設定した。

この測線における重力の測定間隔は標準を約200 mとした。重力測定にはシントレックス重力計、RTK-GPS装置（図15、図16）および電子レベル（Leica社製Sprinter）を用いた。解析に用いた重力測定点の総数は、73点である。

中野俣測線の近隣地域に既知の重力基準点が存在しないため、山形県酒田市内の既知基準点として一等重力基準点（電子基準点（付））940032Aを用い、これと現地の四等三角点（TR4584020810）上に設けた仮基準点の間を閉合測定し、仮基準点の絶対重力値を決定した。

測定点の位置情報は、GNSS測量および水準測量と重力計に付属するGPSにより取得した。GNSS測量による取得データは、経度、緯度、標高およびGNSS測量における諸情報（測定日時、水平標準偏差、垂直標準偏差、衛星数、PDOP値等）である。GNSS測量が難しい地点では、水準測量と重力系に付属するGPSにより、標高を電子レベルに、緯度経度を重力計のGPSによった。測定点における重力に関わる情報は、重力測定値、器械高、起伏の一番大きい方向50 m範囲のスケッチである。重力値は、1回あたり1分間60測定し、この平均値を求め、X方向およびY方向の傾きのtiltの値は10秒角を越えないようにし、潮力補正は組み込まれたソフトウェアを使用した。通常の測定点では2回測定し、両者の平均値の差が20  $\mu\text{Gal}$ を越えないようにし、現地基準点では、3回測定し、それらの平均値の差が30  $\mu\text{Gal}$ を越えないようにした。

ブーゲー異常計算時の地形補正およびブーゲー補正の際に、標準地層の密度を、2.3  $\text{g/cm}^3$ にした。これは、本測線周辺に分布する地層とほぼ同様な年代・岩相の地層が分布する新庄地域の情報に基づいて設定した。同地域を含む地域において実施された「東北日本横断地殻構造探査」によって得られた速度構造、および稠密反射法地震探査およびボーリング掘削資料の検討から得られた詳細な地質断面（佐藤・他、2006）により、本地域を構成する地層のP波速度を推定すると、概ね1.8  $\text{km/s}$ ～5.5  $\text{km/s}$ である。これをGardner et al. (1974)のP波速度と密度の関係式に基づいて計算すると、1.89  $\text{g/cm}^3$ ～2.66  $\text{g/cm}^3$ であり、これらの地層がいずれも地表まで分布していることから、標準地層推定の際の仮定密度として、2.3  $\text{g/cm}^3$ と設定した。

このようにして得られたブーゲー異常に対して、断層や地層分布との関係を示した。この結果に後述の理由でトレンド補正を施し、それを満足する地下密度構造モデルをサブテーマ5に提示した。

### (c) 業務の成果

問題①に関して、安曇川測線における重力調査および解析結果を以下に示す。既知重力基準点は京都市内の一等重力基準点（電子基準点（付））960643Aを用いた。同点の諸元は表6に示す通りである。また、同点の位置を図17に示す。

表6 調査に使用した一等重力点の諸元

一等重力点（電子基準点 （付））	960643A
基準点コード	G1E000960643A
等級種別	一等重力点（電子基準点（付））
基準点名	960643A
20万分の1地勢図名	京都及び大阪
5万分の1地形図名	京都東北部
緯度	35°03′11″.2979
経度	135°46′23″.8624
標高（m）	70.204 m
重力鉛直勾配（mGal/m）	0.0000 mGal/m
重力値（mGal）	979709.72 mGal
ブーゲー異常	-12.77 mGal
エポック	0
作業内容	改算
作業年月日	20161201

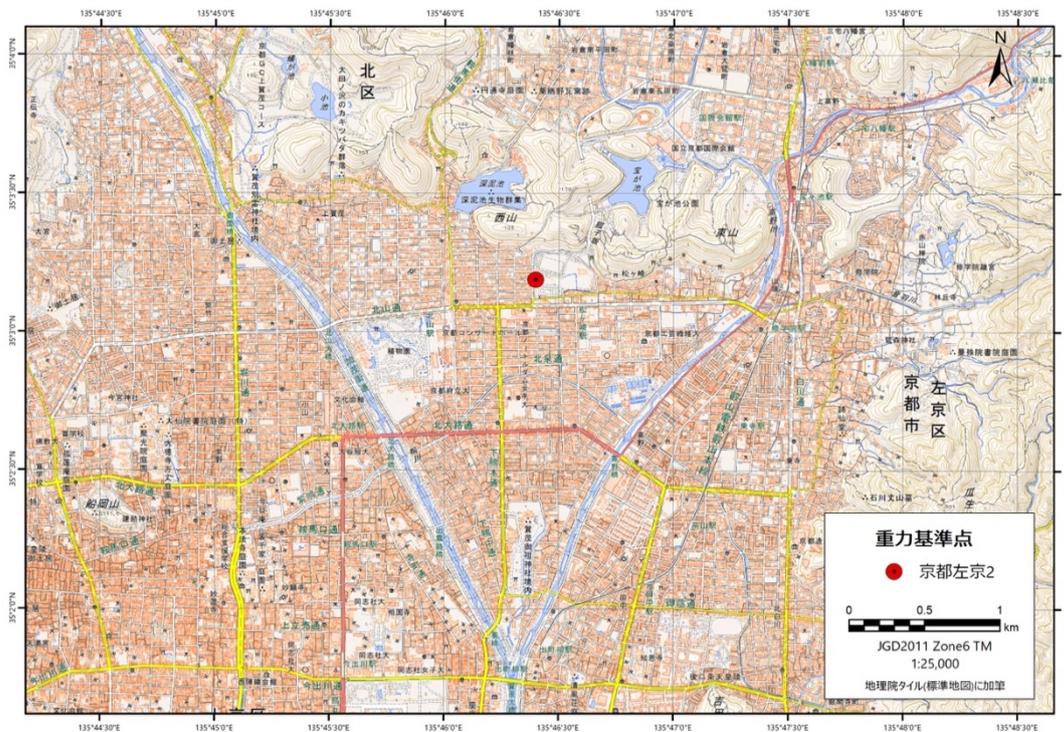


図17 一等重力基準点 960643A 位置図

重力測定のための仮基準点は、安曇川測線沿いの滋賀県高島市安曇川町市下古賀 1182

にある旧広瀬小学校敷地内に設けた。仮基準点の位置情報は以下の通りである。また、仮基準点の位置を図 18 に、現地写真を図 19 に示す。仮基準点の位置情報は以下の通りである。

- ・緯度 35°21'23".5841
- ・経度 135°59'20".8235
- ・標高 (m) 117.407 m

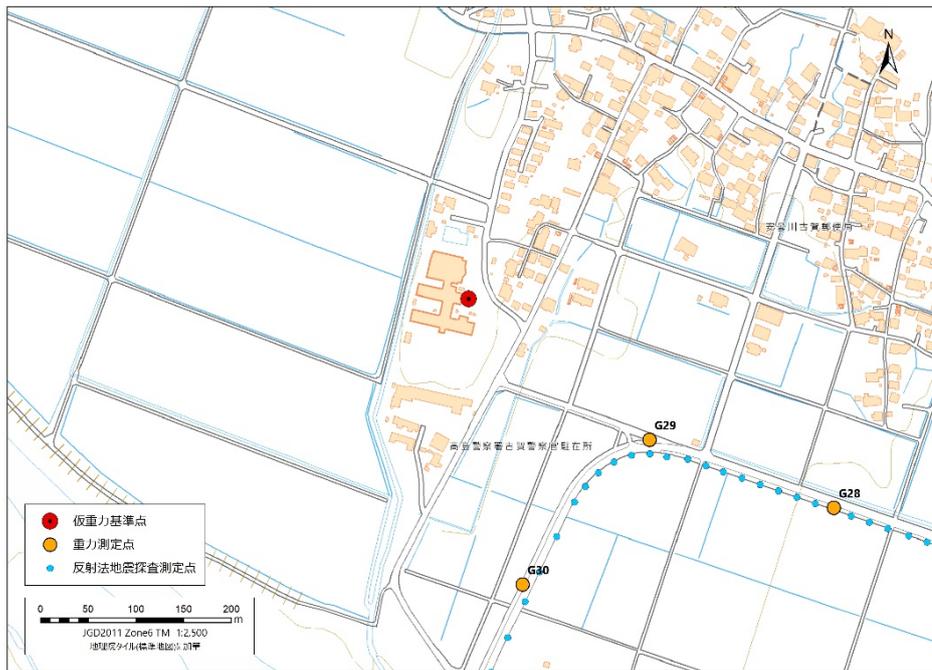


図 18 重力仮基準点位置図



図 19 仮基準点写真

仮基準点の重力値は京都市内の一等重力基準点 960643A との閉合測定に基づき決定した。その際の、重力計の測定値（読み値）を表 7 に示す。なお、重力測定は各点において複数回実施しているが、表 7 では、器械の傾きが最も小さいものを採用し、表示している。

表 7 一等重力点と仮基準点の閉合測定結果

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G90001	4653.069	0.071	2.7	-4.7	0.016	120	0:33:00	2018/3/15	一等重力点 960643A
G10001	4648.012	0.013	0	0	0.021	120	3:14:42	2018/3/15	仮重力点
G90002	4653.219	0.022	-5.8	-5.1	-0.058	120	6:09:46	2018/3/15	一等重力点 960643A

安曇川測線における重力測定は、104 点で行い、このうち 95 点は測線沿いにほぼ 200 m 間隔に設定し、琵琶湖西岸断層帯を付近では、測定点間隔を約 100 m とした。重力測定は、一日 3 回仮基準点において測定を実施し、器械の内部的理由で発生するドリフト影響を少なくするようにした。測定点の位置を図 20 に、その拡大図を図 21 に、位置情報を表 8 に、重力測定結果を表 9 に、重力測定時の器械高を表 10 に、ブーゲー異常の計算結果を表 11 に示す。計算に当たっては、この器械高に、重力計内部でのセンサーまでの高さ 0.089 m を加えてある。なお、表 8 における X 座標および Y 座標の値は、国土交通省による平面直角座標系 VI 系の値である。

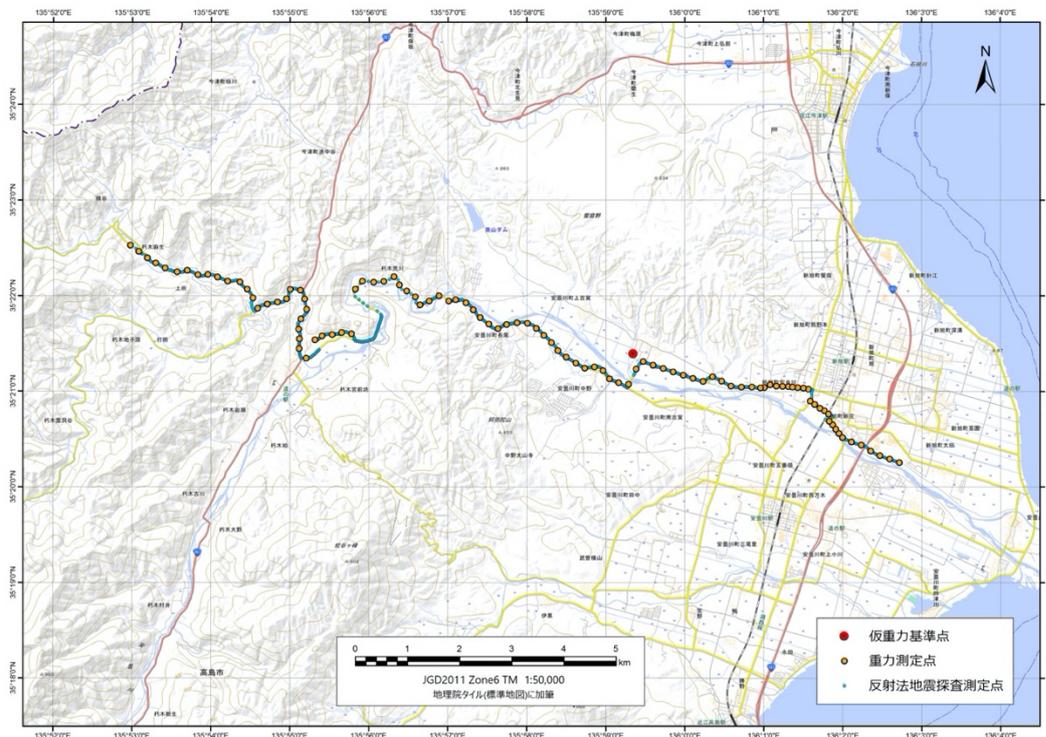


図 20 安曇川測線重力測定点位置図（全体）

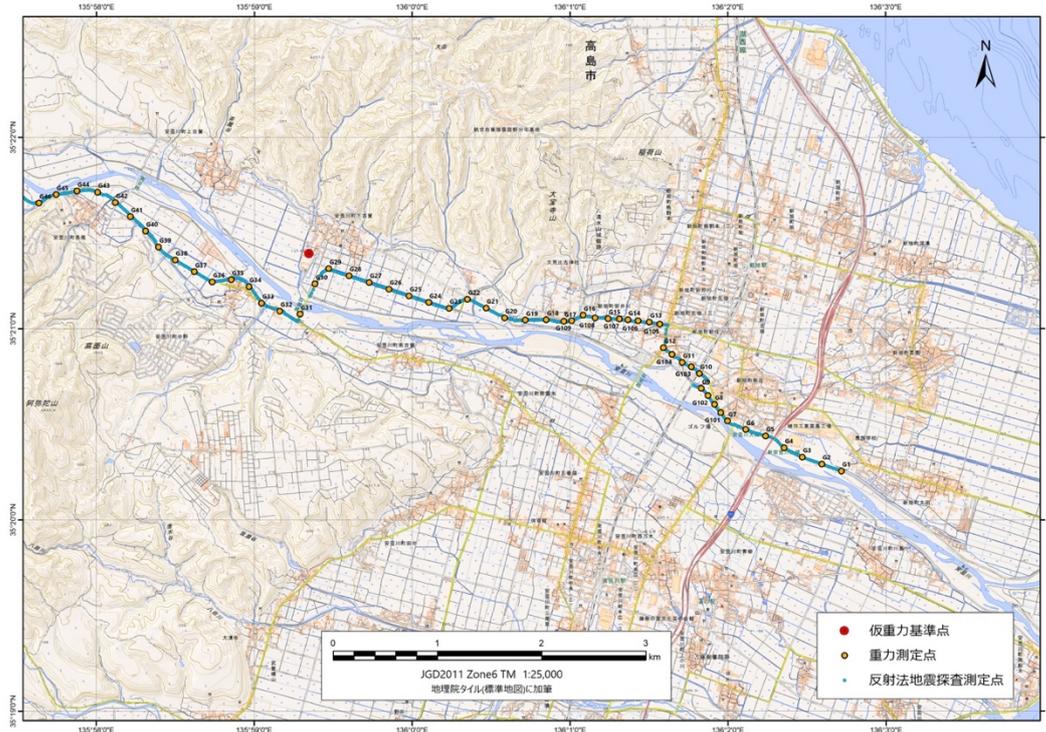


図 21 (その 1) 安曇川測線重力測定点位置図 (東側)

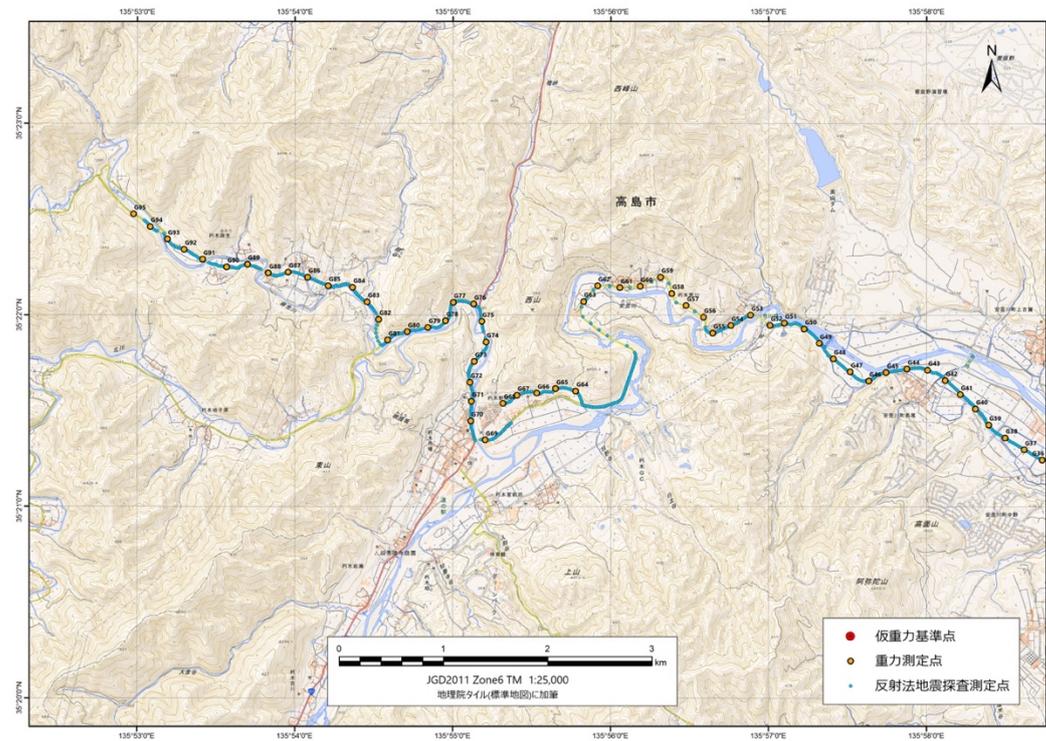


図 21 (その 2) 安曇川測線重力測定点位置図 (西側)

表 8 (その 1) 安曇川測線における重力測定点の位置

測定点番号	X座標(m)	Y座標(m)	緯度(°)	経度(°)	標高(m)
G10001	-71385.421	-989.003	35.35655114	135.9891176	117.407
G1	-73486.173	4119.047	35.33760650	136.0453128	97.470
G2	-73418.456	3931.385	35.33821767	136.0432487	98.004
G3	-73351.139	3743.687	35.33882521	136.0411841	98.622
G4	-73261.570	3568.168	35.33963324	136.0392537	99.320
G5	-73145.850	3389.646	35.34067699	136.0372902	97.980
G6	-73085.633	3199.020	35.34122043	136.0351933	100.180
G7	-73002.295	3025.902	35.34197220	136.0332891	101.119
G8	-72841.590	2899.312	35.34342120	136.0318970	101.947
G9	-72687.264	2773.568	35.34481269	136.0305142	102.581
G10	-72543.754	2756.243	35.34610637	136.0303240	96.071
G11	-72435.789	2590.766	35.34708003	136.0285038	97.122
G12	-72294.162	2409.262	35.34835714	136.0265073	97.951
G13	-72046.668	2275.023	35.35058842	136.0250311	98.393
G14	-72024.426	2068.791	35.35078936	136.0227620	99.343
G15	-72013.164	1879.127	35.35089126	136.0206753	100.445
G16	-71980.398	1639.045	35.35118704	136.0180338	102.060
G17	-72039.403	1454.170	35.35065544	136.0159996	103.090
G18	-72023.376	1285.090	35.35080014	136.0141393	103.556
G19	-72027.502	1084.938	35.35076319	136.0119371	104.486
G20	-72005.644	886.375	35.35096042	136.0097524	107.843
G21	-71910.542	708.946	35.35181783	136.0078003	107.486
G22	-71825.608	530.764	35.35258355	136.0058399	109.207
G23	-71914.177	354.019	35.35178525	136.0038952	108.581
G24	-71856.974	158.832	35.35230094	136.0017476	108.895
G25	-71793.263	-30.280	35.35287526	135.9996668	109.391
G26	-71728.400	-222.779	35.35345992	135.9975488	110.157
G27	-71664.310	-412.516	35.35403758	135.9954611	111.156
G28	-71599.031	-606.541	35.35462592	135.9933262	112.290
G29	-71529.574	-799.569	35.35525189	135.9912022	113.920
G30	-71677.627	-932.592	35.35391719	135.9897387	116.645
G31	-71970.018	-1076.867	35.35128137	135.9881516	119.467
G32	-71940.671	-1269.810	35.35154568	135.9860287	121.497
G33	-71863.968	-1444.852	35.35223686	135.9841026	121.401
G34	-71704.301	-1566.708	35.35367595	135.9827616	120.638

表 8 (その 2) 安曇川測線における重力測定点の位置。

測定点番号	X座標(m)	Y座標(m)	緯度(°)	経度(°)	標高(m)
G35	-71636.003	-1735.188	35.35429132	135.9809076	118.444
G36	-71659.199	-1918.127	35.35408190	135.9788948	119.087
G37	-71560.159	-2090.493	35.35497432	135.9769980	119.688
G38	-71446.417	-2274.170	35.35599921	135.9749767	121.377
G39	-71320.645	-2432.446	35.35713257	135.9732347	123.374
G40	-71166.342	-2559.617	35.35852317	135.9718349	123.661
G41	-71027.419	-2704.664	35.35977507	135.9702384	124.813
G42	-70890.749	-2849.728	35.36100664	135.9686417	126.389
G43	-70790.930	-3018.702	35.36190593	135.9667819	126.238
G44	-70779.791	-3216.510	35.36200572	135.9646052	127.708
G45	-70814.467	-3416.491	35.36169248	135.9624047	130.931
G46	-70896.250	-3582.148	35.36095469	135.9605822	131.491
G47	-70806.718	-3760.639	35.36176109	135.9586177	131.229
G48	-70682.182	-3922.802	35.36288306	135.9568326	132.086
G49	-70531.896	-4057.178	35.36423723	135.9553532	133.958
G50	-70393.185	-4200.972	35.36548700	135.9537701	142.021
G51	-70336.253	-4391.818	35.36599937	135.9516696	149.680
G52	-70358.534	-4529.265	35.36579791	135.9501572	146.136
G53	-70259.829	-4715.755	35.36668680	135.9481044	145.109
G54	-70359.097	-4905.216	35.36579106	135.9460200	155.180
G55	-70433.985	-5078.499	35.36511514	135.9441135	161.032
G56	-70279.715	-5168.111	35.36650530	135.9431264	155.503
G57	-70166.891	-5334.055	35.36752144	135.9412995	156.891
G58	-70050.144	-5473.080	35.36857307	135.9397688	157.778
G59	-69892.838	-5578.692	35.36999047	135.9386055	148.974
G60	-69982.066	-5774.777	35.36918504	135.9364481	146.657
G61	-69994.170	-5968.528	35.36907479	135.9343160	147.740
G62	-69976.573	-6182.728	35.36923211	135.9319586	153.416
G63	-70129.024	-6318.357	35.36785704	135.9304672	159.988
G64	-70993.115	-6393.656	35.36006748	135.9296453	180.016
G65	-70969.931	-6586.520	35.36027521	135.9275228	181.075
G66	-71012.678	-6766.448	35.35988868	135.9255433	182.115
G67	-71033.989	-6957.896	35.35969526	135.9234368	181.283
G68	-71111.079	-7092.333	35.35899941	135.9219582	180.772
G69	-71464.958	-7263.020	35.35580825	135.9200831	170.921

表 8 (その 3) 安曇川測線における重力測定点の位置。

測定点番号	X座標(m)	Y座標(m)	緯度(°)	経度(°)	標高(m)
G70	-71281.333	-7401.059	35.35746246	135.9185626	171.929
G71	-71091.138	-7394.143	35.35917697	135.9186370	174.868
G72	-70907.767	-7407.817	35.36082981	135.9184848	183.031
G73	-70705.862	-7366.437	35.36265013	135.9189383	185.466
G74	-70518.325	-7252.677	35.36434145	135.9201885	179.202
G75	-70319.457	-7295.170	35.36613377	135.9197191	179.033
G76	-70152.279	-7373.136	35.36764017	135.9188596	180.808
G77	-70136.223	-7568.128	35.36778345	135.9167136	183.780
G78	-70312.933	-7641.401	35.36618999	135.9159089	192.882
G79	-70378.142	-7812.370	35.36560086	135.9140281	193.896
G80	-70419.970	-8009.041	35.36522226	135.9118642	196.989
G81	-70499.422	-8196.570	35.36450454	135.9098014	194.991
G82	-70301.011	-8283.925	35.36629233	135.9088380	196.902
G83	-70130.657	-8394.013	35.36782701	135.9076248	195.131
G84	-69990.823	-8534.027	35.36908631	135.9060825	198.373
G85	-69976.327	-8768.033	35.36921495	135.9035071	201.774
G86	-69893.691	-8964.070	35.36995811	135.9013488	215.816
G87	-69843.959	-9152.489	35.37040469	135.8992747	218.954
G88	-69852.066	-9341.786	35.37032986	135.8971915	212.504
G89	-69767.583	-9543.689	35.37108949	135.8949685	211.364
G90	-69793.531	-9741.631	35.37085368	135.8927904	211.660
G91	-69719.494	-9972.481	35.37151878	135.8902490	214.948
G92	-69623.118	-10149.593	35.37238574	135.8882986	215.308
G93	-69523.982	-10310.670	35.37327772	135.8865246	219.179
G94	-69402.553	-10476.739	35.37437057	135.8846954	224.596
G95	-69281.633	-10636.075	35.37545888	135.8829402	231.231
G101	-72922.195	2959.438	35.34269444	136.0325582	101.575
G102	-72755.696	2838.568	35.34419564	136.0312290	102.298
G103	-72479.263	2677.828	35.34668792	136.0294615	96.865
G104	-72359.984	2493.663	35.34776360	136.0274357	97.958
G105	-72066.657	2374.390	35.35040800	136.0261243	97.476
G106	-72034.885	2168.293	35.35069487	136.0238568	99.282
G107	-72016.018	1987.979	35.35086532	136.0218729	99.637
G108	-72005.886	1755.331	35.35095709	136.0193132	101.290
G109	-72034.249	1528.703	35.35070179	136.0168197	102.677

表9 (その1) 安曇川測線における重力測定結果

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G10001	4648.529	0.083	-5.5	-0.1	-0.032	60	23:12:14	2018/3/15	仮基準点
G1	4638.310	0.119	-1.6	1.0	-0.013	60	23:42:52	2018/3/15	
G3	4638.490	0.117	2.3	-0.8	0.006	60	0:16:19	2018/3/16	
G4	4638.611	0.112	4.6	-5.3	0.013	60	0:28:23	2018/3/16	
G5	4639.237	0.204	1.2	-1.5	0.022	60	0:44:08	2018/3/16	
G6	4639.146	0.147	-3.0	-2.9	0.029	60	0:59:32	2018/3/16	
G7	4639.459	0.197	-1.1	-3.4	0.036	60	1:16:49	2018/3/16	
G8	4639.760	0.158	-1.3	2.4	0.046	60	1:46:31	2018/3/16	
G9	4640.175	0.112	1.3	5.5	0.048	60	1:58:22	2018/3/16	
G10001	4648.613	0.095	1.0	-4.5	0.050	60	2:22:43	2018/3/16	仮基準点
G10	4641.834	0.152	-2.2	-2.8	0.036	60	3:41:13	2018/3/16	
G11	4642.415	0.121	-2.6	-4.7	0.030	60	3:56:21	2018/3/16	
G12	4642.941	0.272	2.1	-2.0	0.020	60	4:15:32	2018/3/16	
G13	4643.313	0.182	-2.5	-5.7	0.001	60	4:50:56	2018/3/16	
G14	4644.067	0.182	0.0	-4.8	-0.008	60	5:07:14	2018/3/16	
G15	4644.822	0.279	0.0	2.6	-0.023	60	5:31:24	2018/3/16	
G16	4645.924	0.154	4.4	-4.3	-0.032	60	5:45:53	2018/3/16	
G17	4646.452	0.112	1.5	-3.8	-0.041	60	6:00:14	2018/3/16	
G18	4647.535	0.103	0.2	-1.8	-0.055	60	6:26:41	2018/3/16	
G19	4649.031	0.126	3.1	-2.2	-0.062	60	6:41:10	2018/3/16	
G20	4649.439	0.159	0.2	-3.0	-0.068	60	6:52:40	2018/3/16	
G10001	4648.738	0.121	0.0	0.7	-0.077	60	7:21:27	2018/3/16	仮基準点
G10001	4649.142	0.094	1.0	1.0	-0.043	60	23:13:27	2018/3/16	仮基準点
G20	4649.857	0.075	0.0	0.9	-0.026	60	23:38:32	2018/3/16	再測
G21	4649.628	0.069	3.5	-1.4	-0.010	60	0:01:51	2018/3/17	
G22	4649.188	0.097	-1.4	1.3	0.000	60	0:16:22	2018/3/17	
G23	4649.551	0.07	-1.7	0.0	0.017	60	0:43:22	2018/3/17	
G24	4649.493	0.06	1.0	1.2	0.026	60	0:55:37	2018/3/17	
G25	4649.533	0.09	-0.1	-0.5	0.034	60	1:09:17	2018/3/17	
G26	4649.493	0.084	0.9	1.1	0.044	60	1:29:00	2018/3/17	
G27	4649.337	0.082	-0.5	0.0	0.050	60	1:40:09	2018/3/17	
G28	4649.283	0.076	-0.4	0.7	0.055	60	1:53:25	2018/3/17	
G29	4649.317	0.044	2.7	4.8	0.061	60	2:12:29	2018/3/17	
G10001	4649.213	0.063	1.0	1.5	0.066	60	2:34:35	2018/3/17	仮基準点
G30	4648.669	0.06	-1.1	-6.0	0.057	60	3:54:29	2018/3/17	
G31	4647.936	0.064	-2.1	-1.1	0.049	60	4:16:13	2018/3/17	
G32	4648.145	0.132	0.2	-3.3	0.041	60	4:30:40	2018/3/17	
G33	4648.906	0.053	-4.7	4.6	0.032	60	4:46:56	2018/3/17	
G34	4649.578	0.065	-4.7	-8.1	0.019	60	5:07:53	2018/3/17	
G35	4650.714	0.071	1.1	-4.3	-0.003	60	5:43:07	2018/3/17	
G36	4651.152	0.062	-0.1	2.2	-0.018	60	6:03:00	2018/3/17	
G37	4651.147	0.057	0.7	-3.8	-0.028	60	6:18:02	2018/3/17	
G38	4651.147	0.067	3.6	-0.6	-0.038	60	6:33:09	2018/3/17	
G39	4651.552	0.051	1.1	-2.4	-0.052	60	6:55:09	2018/3/17	
G40	4652.566	0.059	-0.6	-4.1	-0.059	60	7:05:46	2018/3/17	
G41	4652.460	0.049	1.0	-0.9	-0.067	60	7:21:55	2018/3/17	
G42	4651.608	0.039	1.1	0.4	-0.072	60	7:31:53	2018/3/17	
G43	4651.785	0.042	-1.0	-1.1	-0.078	60	7:44:44	2018/3/17	
G44	4652.001	0.033	-1.3	-1.2	-0.082	60	7:56:34	2018/3/17	
G10001	4649.378	0.045	0.0	-2.9	-0.088	60	8:22:10	2018/3/17	仮基準点

表9 (その2) 安曇川測線における重力測定結果

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G10001	4649.737	0.034	-1.0	1.1	-0.075	60	22:38:02	2018/3/17	仮基準点
G44	4652.384	0.029	0.3	2.1	-0.064	60	22:59:26	2018/3/17	再測
G45	4652.011	0.035	-1.8	1.4	-0.058	60	23:10:05	2018/3/17	
G46	4651.818	0.029	-1.5	1.0	-0.047	60	23:28:11	2018/3/17	
G47	4651.575	0.03	2.7	0.4	-0.037	60	23:41:31	2018/3/17	
G48	4651.844	0.028	0.3	0.0	-0.026	60	23:56:56	2018/3/17	
G49	4652.039	0.017	-3.0	1.9	-0.014	60	0:13:33	2018/3/18	
G50	4651.188	0.023	2.9	1.1	-0.002	60	0:28:47	2018/3/18	
G51	4650.169	0.029	-0.4	1.5	0.007	60	0:43:16	2018/3/18	
G52	4650.994	0.02	1.3	-4.3	0.022	60	1:02:29	2018/3/18	
G53	4651.307	0.02	0.0	-2.1	0.032	60	1:16:49	2018/3/18	
G54	4649.674	0.023	4.3	-0.6	0.050	60	1:44:08	2018/3/18	
G55	4648.561	0.028	0.9	-1.8	0.057	60	1:57:14	2018/3/18	
G10001	4649.833	0.021	1.8	-0.5	0.073	60	2:31:48	2018/3/18	仮基準点
G56	4649.268	0.041	3.0	-2.4	0.079	60	4:01:48	2018/3/18	
G57	4649.267	0.021	2.5	0.3	0.074	60	4:21:54	2018/3/18	
G58	4649.207	0.018	-2.2	-0.5	0.067	60	4:39:43	2018/3/18	
G59	4650.277	0.013	5.0	2.0	0.059	60	4:55:13	2018/3/18	
G60	4651.811	0.041	-2.2	-1.3	0.053	60	5:06:59	2018/3/18	
G61	4651.854	0.025	-1.5	-7.2	0.046	60	5:18:07	2018/3/18	
G62	4650.846	0.03	-4.7	2.1	0.023	60	5:50:29	2018/3/18	
G63	4649.754	0.025	2.5	-0.4	0.013	60	6:04:46	2018/3/18	
G64	4644.683	0.024	2.5	-4.6	-0.002	60	6:26:10	2018/3/18	
G65	4644.624	0.015	-2.9	1.6	-0.026	60	6:58:08	2018/3/18	
G66	4644.585	0.023	-0.1	-0.9	-0.034	60	7:09:18	2018/3/18	
G67	4645.238	0.015	0.6	1.2	-0.042	60	7:20:48	2018/3/18	
G68	4645.612	0.016	4.1	0.0	-0.050	60	7:31:25	2018/3/18	
G69	4644.834	0.032	0.1	4.4	-0.059	60	7:47:00	2018/3/18	
G10001	4650.002	0.013	1.3	-1.4	-0.078	60	8:24:11	2018/3/18	仮基準点
G10001	4650.362	0.052	0.0	-0.7	-0.085	60	22:31:06	2018/3/18	仮基準点
G69	4645.231	0.036	3.5	-3.4	-0.076	60	22:54:55	2018/3/18	
G70	4646.703	0.062	1.0	-0.9	-0.068	60	23:12:57	2018/3/18	
G71	4647.733	0.018	-1.6	-0.1	-0.062	60	23:24:57	2018/3/18	
G72	4646.779	0.029	3.3	-3.1	-0.051	60	23:41:56	2018/3/18	
G73	4646.693	0.017	2.7	-4.2	-0.042	60	23:56:12	2018/3/18	
G74	4647.741	0.053	-1.3	1.5	-0.033	60	0:07:50	2018/3/19	
G75	4648.055	0.031	5.2	-0.3	-0.024	60	0:20:58	2018/3/19	
G76	4647.665	0.013	-0.7	0.1	-0.011	60	0:37:32	2018/3/19	
G77	4647.021	0.022	-0.7	-1.7	-0.002	60	0:49:19	2018/3/19	
G78	4646.635	0.02	-3.0	1.5	0.008	60	1:02:03	2018/3/19	
G79	4646.255	0.016	2.3	-0.8	0.022	60	1:19:40	2018/3/19	
G80	4644.787	0.014	2.0	-3.9	0.033	60	1:34:09	2018/3/19	
G81	4646.854	0.019	4.6	0.8	0.044	60	1:48:53	2018/3/19	
G10001	4650.464	0.019	-0.1	0.0	0.073	60	2:34:39	2018/3/19	仮基準点
G82	4646.054	0.02	0.3	0.4	0.096	60	4:13:11	2018/3/19	
G83	4648.044	0.019	-1.5	-4.2	0.095	60	4:23:53	2018/3/19	
G84	4648.068	0.014	-1.9	-1.1	0.093	60	4:34:46	2018/3/19	
G85	4647.924	0.03	0.7	3.0	0.085	60	5:02:18	2018/3/19	
G86	4645.631	0.013	2.2	-2.2	0.079	60	5:15:37	2018/3/19	
G87	4644.889	0.019	-1.9	-0.4	0.071	60	5:29:59	2018/3/19	

表 9 (その3) 安曇川測線における重力測定

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G88	4646.098	0.02	2.4	-2.8	0.064	60	5:42:54	2018/3/19	
G89	4646.438	0.02	0.6	2.7	0.050	60	6:05:21	2018/3/19	
G90	4646.439	0.027	-2.7	-0.6	0.040	60	6:18:31	2018/3/19	
G91	4645.600	0.028	-1.0	-1.7	0.027	60	6:36:18	2018/3/19	
G92	4645.780	0.039	-2.2	-3.8	0.017	60	6:48:49	2018/3/19	
G93	4645.367	0.026	2.4	-1.5	0.007	60	7:02:09	2018/3/19	
G94	4643.832	0.041	-0.9	-0.9	-0.008	60	7:23:12	2018/3/19	
G95	4642.510	0.035	0.0	0.9	-0.021	60	7:39:39	2018/3/19	
G10001	4650.613	0.033	0.0	-0.4	-0.047	60	8:15:34	2018/3/19	仮基準点
G10001	4651.003	0.082	-2.5	2.6	-0.077	60	23:13:00	2018/3/19	仮基準点
G7	4641.889	0.135	1.7	1.7	-0.066	60	23:37:42	2018/3/19	再測
G101	4642.034	0.133	0.9	-0.1	-0.060	60	23:49:22	2018/3/19	
G102	4642.334	0.125	-2.5	-0.8	-0.050	60	0:06:24	2018/3/20	
G103	4644.502	0.129	0.8	-0.9	-0.036	60	0:27:15	2018/3/20	
G104	4645.105	0.108	-0.5	-2.7	-0.027	60	0:39:21	2018/3/20	
G105	4645.769	0.088	0.3	0.4	-0.014	60	0:56:05	2018/3/20	
G106	4646.059	0.087	-0.3	0.9	-0.006	60	1:06:27	2018/3/20	
G107	4646.798	0.136	1.2	-0.5	0.009	60	1:27:07	2018/3/20	
G108	4647.681	0.124	0.0	3.8	0.022	60	1:42:30	2018/3/20	
G109	4648.472	0.087	0.0	0.2	0.030	60	1:52:50	2018/3/20	
G17	4648.814	0.114	-1.5	1.0	0.039	60	2:03:53	2018/3/20	再測
G10001	4651.078	0.14	-0.6	-0.2	0.050	60	2:19:23	2018/3/20	仮基準点
G2	4640.933	0.147	-0.1	0.7	0.091	60	3:27:03	2018/3/20	
G33	4650.745	0.128	1.7	1.0	0.099	60	3:48:58	2018/3/20	再測
G34	4651.453	0.182	-0.6	0.8	0.102	60	4:00:50	2018/3/20	再測
G35	4652.542	0.126	1.1	1.1	0.105	60	4:18:18	2018/3/20	再測
G60	4653.059	0.105	-0.1	2.3	0.107	60	4:38:43	2018/3/20	再測
G10001	4651.148	0.125	3.3	-2.2	0.105	60	5:02:57	2018/3/20	仮基準点

表 10 安曇川測線における重力測定点での重力計の器械高

測定点番号	器械高	測定点番号	器械高	測定点番号	器械高
G90001	0.17	G35	0.17	G71	0.17
G10001	0.16	G36	0.18	G72	0.18
G1	0.16	G37	0.18	G73	0.17
G2	0.17	G38	0.18	G74	0.16
G3	0.17	G39	0.17	G75	0.17
G4	0.17	G40	0.17	G76	0.17
G5	0.18	G41	0.17	G77	0.17
G6	0.16	G42	0.17	G78	0.17
G7	0.17	G43	0.17	G79	0.17
G8	0.16	G44	0.17	G80	0.18
G9	0.14	G45	0.17	G81	0.17
G10	0.17	G46	0.17	G82	0.17
G11	0.17	G47	0.18	G83	0.17
G12	0.17	G48	0.16	G84	0.17
G13	0.17	G49	0.17	G85	0.16
G14	0.17	G50	0.18	G86	0.16
G15	0.17	G51	0.17	G87	0.17
G16	0.18	G52	0.18	G88	0.16
G17	0.17	G53	0.17	G89	0.17
G18	0.17	G54	0.18	G90	0.17
G19	0.17	G55	0.17	G91	0.16
G20	0.16	G56	0.17	G92	0.17
G21	0.17	G57	0.17	G93	0.17
G22	0.17	G58	0.16	G94	0.16
G23	0.18	G59	0.17	G95	0.17
G24	0.17	G60	0.17	G101	0.14
G25	0.17	G61	0.18	G102	0.15
G26	0.17	G62	0.17	G103	0.17
G27	0.17	G63	0.17	G104	0.17
G28	0.17	G64	0.17	G105	0.17
G29	0.17	G65	0.16	G106	0.17
G30	0.17	G66	0.17	G107	0.18
G31	0.17	G67	0.17	G108	0.17
G32	0.18	G68	0.17	G109	0.16
G33	0.17	G69	0.18		
G34	0.18	G70	0.17		

表 11 (その 1) 安曇川測線におけるブーゲー異常の計算結果

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m) (mGal)	中距離 (50 m~1 km) (mGal)	遠距離 (1~ 45 km) (mGal)	
G1	979694.35	979762.477	0.06	0.02	0.13	-45.73
G2	979694.41	979762.529	0.06	0.02	0.14	-45.61
G3	979694.52	979762.581	0.04	0.02	0.14	-45.44
G4	979694.64	979762.650	0.04	0.02	0.14	-45.23
G5	979695.26	979762.739	0.03	0.01	0.15	-45.02
G6	979695.15	979762.786	0.06	0.02	0.15	-44.62
G7	979695.46	979762.850	0.02	0.02	0.15	-44.26
G8	979695.75	979762.973	0.03	0.02	0.15	-43.88
G9	979696.15	979763.092	0.04	0.02	0.16	-43.45
G10	979697.75	979763.202	0.05	0.00	0.16	-43.36
G11	979698.32	979763.285	0.00	0.00	0.17	-42.73
G12	979698.85	979763.394	0.00	0.00	0.17	-42.13
G13	979699.21	979763.585	0.00	0.00	0.18	-41.84
G14	979699.95	979763.602	0.00	0.01	0.19	-40.88
G15	979700.70	979763.610	0.00	0.01	0.20	-39.89
G16	979701.80	979763.636	0.00	0.02	0.20	-38.42
G17	979702.32	979763.590	0.00	0.02	0.21	-37.62
G18	979703.40	979763.603	0.00	0.03	0.21	-36.43
G19	979704.89	979763.599	0.02	0.04	0.22	-34.66
G20	979705.29	979763.616	0.00	0.03	0.22	-33.59
G21	979705.06	979763.689	0.00	0.03	0.23	-33.95
G22	979704.61	979763.755	0.00	0.03	0.24	-34.08
G23	979704.97	979763.687	0.00	0.02	0.25	-33.81
G24	979704.90	979763.731	0.01	0.02	0.26	-33.82
G25	979704.94	979763.780	0.00	0.02	0.27	-33.71
G26	979704.88	979763.830	0.00	0.02	0.27	-33.63
G27	979704.73	979763.879	0.01	0.02	0.28	-33.59
G28	979704.67	979763.929	0.00	0.02	0.29	-33.45
G29	979704.70	979763.982	0.00	0.02	0.29	-33.12
G30	979704.01	979763.869	0.03	0.01	0.29	-33.06
G31	979703.26	979763.644	0.00	0.02	0.30	-33.00
G32	979703.47	979763.666	0.00	0.02	0.31	-32.35
G33	979704.22	979763.725	0.00	0.02	0.32	-31.66
G34	979704.88	979763.848	0.01	0.01	0.33	-31.25

表 11 (その2) 安曇川測線におけるブーゲー異常の計算結果

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
G35	979706.00	979763.900	0.03	0.02	0.35	-30.58
G36	979706.43	979763.883	0.01	0.03	0.37	-29.97
G37	979706.42	979763.959	0.00	0.03	0.38	-29.91
G38	979706.41	979764.046	0.02	0.04	0.39	-29.55
G39	979706.80	979764.143	0.02	0.05	0.40	-28.79
G40	979707.81	979764.261	0.02	0.04	0.40	-27.85
G41	979707.70	979764.368	0.00	0.03	0.41	-27.88
G42	979706.84	979764.473	0.01	0.02	0.41	-28.49
G43	979707.01	979764.550	0.00	0.03	0.42	-28.41
G44	979707.22	979764.559	0.02	0.05	0.44	-27.75
G45	979706.85	979764.532	0.12	0.15	0.46	-26.92
G46	979706.65	979764.469	0.01	0.27	0.49	-26.84
G47	979706.40	979764.538	0.00	0.15	0.50	-27.47
G48	979706.66	979764.633	0.00	0.18	0.51	-27.04
G49	979706.85	979764.749	0.07	0.25	0.51	-26.25
G50	979706.00	979764.856	0.13	0.22	0.49	-25.44
G51	979704.97	979764.899	0.08	0.19	0.48	-25.08
G52	979705.79	979764.882	0.04	0.21	0.51	-24.99
G53	979706.09	979764.958	0.04	0.27	0.53	-24.79
G54	979704.45	979764.881	0.01	0.28	0.51	-24.29
G55	979703.33	979764.824	0.01	0.29	0.50	-24.08
G56	979703.98	979764.942	0.09	0.49	0.54	-24.02
G57	979703.97	979765.029	0.01	0.60	0.55	-23.75
G58	979703.90	979765.119	0.08	0.67	0.56	-23.37
G59	979704.96	979765.240	0.03	1.10	0.61	-23.40
G60	979706.49	979765.171	0.01	0.62	0.64	-23.35
G61	979706.53	979765.162	0.00	0.59	0.64	-23.13
G62	979705.51	979765.175	0.01	0.65	0.62	-22.82
G63	979704.41	979765.058	0.03	0.47	0.59	-22.81
G64	979699.33	979764.393	0.10	0.53	0.48	-22.86
G65	979699.25	979764.411	0.05	0.52	0.48	-22.85
G66	979699.21	979764.378	0.05	0.42	0.48	-22.86
G67	979699.85	979764.361	0.04	0.40	0.49	-22.42
G68	979700.22	979764.302	0.01	0.20	0.50	-22.58

表 11 (その 3) 安曇川測線におけるブーゲー異常の計算結果

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~45 km)	
G69	979699.44	979764.030	0.01	0.06	0.58	-25.36
G70	979700.91	979764.171	0.01	0.12	0.57	-23.70
G71	979701.94	979764.317	0.06	0.21	0.54	-21.96
G72	979700.98	979764.458	0.08	0.26	0.50	-21.22
G73	979700.88	979764.614	0.05	0.29	0.48	-20.99
G74	979701.92	979764.758	0.02	0.45	0.49	-21.13
G75	979702.23	979764.911	0.02	0.58	0.50	-20.69
G76	979701.84	979765.039	0.15	0.72	0.50	-20.26
G77	979701.19	979765.051	0.09	0.99	0.50	-19.79
G78	979700.80	979764.916	0.01	0.42	0.46	-19.61
G79	979700.41	979764.865	0.05	0.54	0.47	-19.33
G80	979698.94	979764.833	0.33	0.60	0.48	-19.34
G81	979701.00	979764.772	0.05	0.30	0.51	-18.86
G82	979700.13	979764.924	0.11	0.53	0.51	-18.85
G83	979702.12	979765.055	0.02	0.28	0.54	-18.05
G84	979702.14	979765.163	0.11	0.21	0.55	-17.36
G85	979701.98	979765.174	0.01	0.21	0.57	-16.99
G86	979699.68	979765.237	0.01	0.20	0.53	-16.43
G87	979698.94	979765.275	0.01	0.28	0.53	-16.33
G88	979700.14	979765.269	0.09	0.45	0.58	-15.86
G89	979700.47	979765.334	0.03	0.53	0.61	-15.73
G90	979700.47	979765.313	0.00	0.58	0.64	-15.55
G91	979699.62	979765.370	0.04	0.71	0.65	-15.33
G92	979699.79	979765.444	0.02	0.80	0.68	-14.95
G93	979699.37	979765.520	0.02	0.74	0.68	-14.71
G94	979697.83	979765.613	0.09	0.93	0.69	-14.60
G95	979696.50	979765.706	0.09	1.00	0.70	-14.41
G101	979695.60	979762.911	0.02	0.02	0.15	-44.09
G102	979695.90	979763.039	0.02	0.02	0.16	-43.75
G103	979698.06	979763.252	0.00	0.00	0.17	-43.02
G104	979698.66	979763.344	0.00	0.00	0.17	-42.28
G105	979699.31	979763.569	0.00	0.00	0.18	-41.93
G106	979699.60	979763.594	0.00	0.00	0.19	-41.26
G107	979700.35	979763.608	0.00	0.01	0.19	-40.43
G108	979701.21	979763.616	0.00	0.01	0.20	-39.19
G109	979701.99	979763.594	0.00	0.02	0.21	-38.06

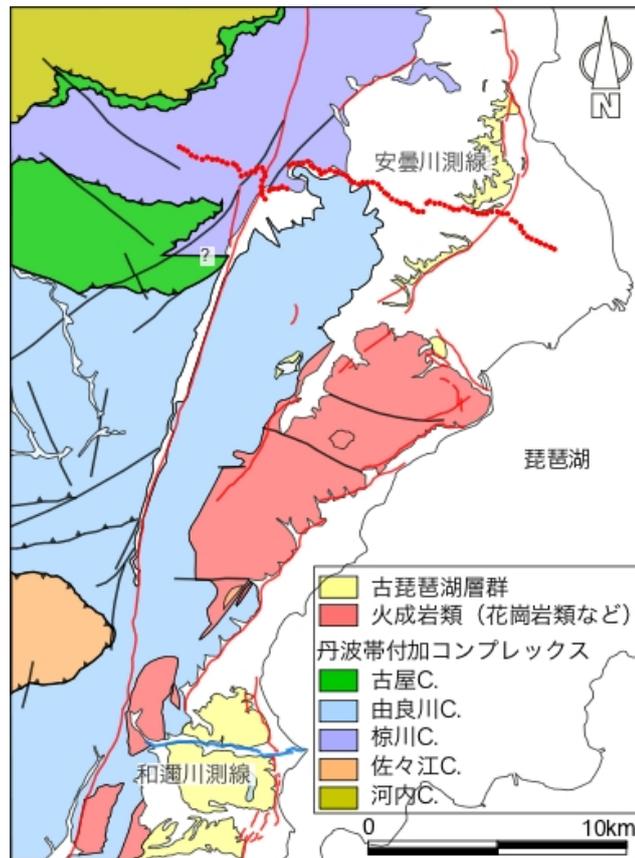


図 22 安曇川測線の重力測定点位置および周辺の地質図

安曇川測線の重力測定点を図中の赤丸で示す。地質情報は、中江・他，2001；石田・他，1984；木村・他，1998；中江・他，1998；木村・他，2001；岡田・他，2008；宮内・他，2004；堤・他，2004に基づく。

安曇川測線付近の地質は、ジュラ系丹波帯付加コンプレックス、花崗岩類からなる火成岩類、鮮新統～更新統古琵琶湖層群およびそれらを覆う段丘堆積物や沖積層からなる。本地域周辺の丹波帯付加コンプレックスは、河内コンプレックス、佐々江コンプレックス、<sup>まわくがわ</sup>棕川コンプレックス、由良川コンプレックスおよび古屋コンプレックスに細分される。古琵琶湖層群の最大積算層厚は 1500m に達する。本地域付近では、古琵琶湖層群は琵琶湖に近い沿岸付近に分布し、丹波帯はそれより西側の地域に分布する（図 22）。古琵琶湖層群の地表分布の東縁付近には、琵琶湖西岸断層帯が発達し、西方の丹波帯中には花折断層が発達する（図 22）。

安曇川測線におけるブーゲー異常の変化を図 23 に示す。図 23 の横軸は、重力測定点の西端と東端を結んだ線上で測線西端からの東方向への距離を示す。

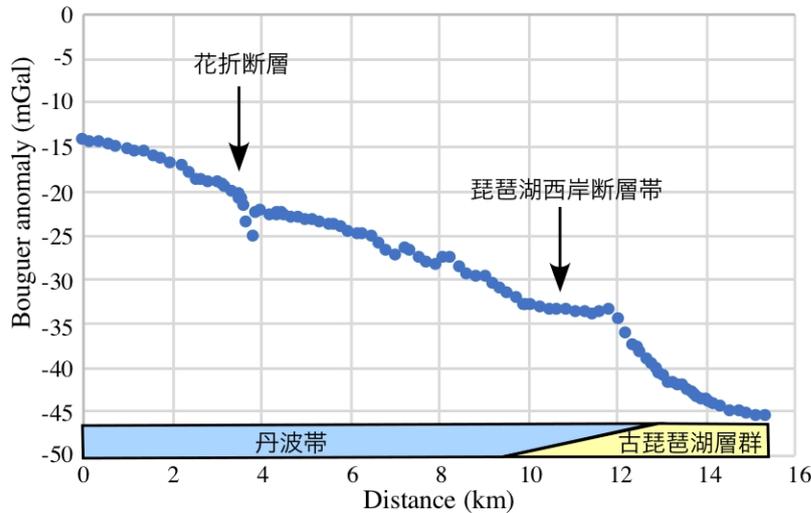


図 23 安曇川測線のブーゲー異常

図 23 において、琵琶湖西岸断層帯の東側付近で東方に向かってブーゲー異常が減少し、約 3 km 区間で 10 mGal 以上低下し、減少の割合が大きい。これは、東側のより小さい密度の地層と西側のより密度の大きい地層の境界が東側に急傾斜であるか、西に向かって傾斜すること示唆している。この地域では、密度の小さい層は古琵琶湖層群に対応し、大きい層は丹波帯の地層群に対応する。これより西側の地域では、ブーゲー異常の変化は西側ほどほぼ一定の割合で大きくなる傾向を示し、その差は、18 mGal 程度に達する。ただし、細かく見ると、花折断層の付近で、数 mGal と小さいものの、西側が明らかに大きい段差状の変化が認められる。この段差は、花折断層付近の地下におけるこれも岩相変化を反映している可能性がある。

前述のように、安曇川測線上で西端からの距離 11 km 付近から西方は、丹波帯の分布域に相当し、岩相的に砂岩や泥岩を主体とし、密度の大きな変化は地質学的に考えにくい。一方で、この範囲でブーゲー異常の変化は西方に向かって約 18 mGal 大きくなり、地下には十分な密度の変化があることを示している。これは、地表に分布の認められる丹波帯の岩相変化だけでは説明できず、広域的なブーゲー異常変化に対応している判断できる。そこで、これらの広域的なブーゲー異常変化、いわゆるトレンドの効果を除去するため、ここでは、以下のようにすることとした。まず、地下深部の影響を取り除き、地下浅部の影響を残すために、サブテーマ 1 で得られた P 波速度のトモグラフィ図 (図 24) の地下浅部に分布する P 波速度 3 km/s 線に注目する。この線は、琵琶湖西岸断層帯より東方で下降し、密度のより小さい層の深さを急激に増すことを示している。これは前述のように古琵琶湖層群がこの付近から厚さを急激に増すことに対応する。そこで、これを境界として、上部を密度 2.20g/cm<sup>3</sup>、下部を 2.50g/cm<sup>3</sup> として、地下構造を作成した (図 25)。なお、それぞれの密度は図 24 から上部の平均的な P 波速度を 2.5 km/s、下部のそれを 4~5 km/s とし、Gardner (1974) により推定した。図 25 の密度境界を図 24 の P 波速度トモグラフィ図に描いたものが図 26 である。図 26 に示すように、図 25 は本地域の概略的な地下密度構造を示しており、ほとんど地下浅部の影響のみが反映している。この地下密度構造と観

測されたブーゲー異常を図 27 に示す。なお、密度構造モデルから計算ブーゲー異常を求めるには、Talwani et al.(1959)の方法による二次元重力場モデリングソフトウェア LCT 社製「2MOD™」を用いた。この際、background density は、ブーゲー補正算出時に用いたのと同じ標準地層の密度 2.20 g/cm<sup>3</sup>とした。つまり、図 27 の計算ブーゲー異常は、2 つの密度の異なる地層分布のみを反映したもので、観測ブーゲー異常はこれら以外の広域トレンドを含んでいることになる。そこで、観測ブーゲー異常の距離に対する傾きがこの単純な 2 層密度構造モデルに適合するよう広域トレンドを求め、試行錯誤的に、0.0014 mGal/m であると仮定した。具体的には、測定点のトレンド補正值はこの広域トレンドに西端からの距離[m]を乗じて計算する。つまり、

$$(\text{測定点のトレンド補正值}) = 0.0014 \times (\text{測定点の西端からの距離})$$

であり、また、トレンド補正後のブーゲー異常は以下の式で表される。

$$(\text{トレンド補正後の値}) = (\text{観測ブーゲー異常}) - (\text{測定点のトレンド補正值})$$

このようにして観測ブーゲー異常をトレンド補正したものを図 28 に示す。

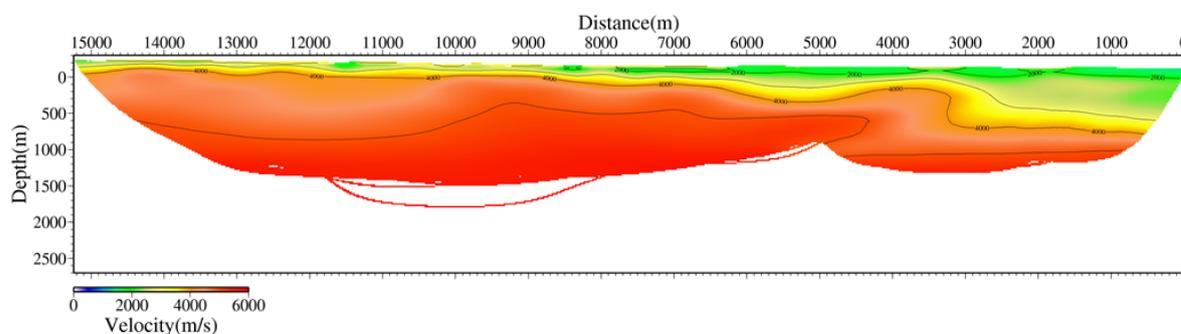


図 24 安曇川測線の P 波速度トモグラフィ (サブテーマ 1 より)

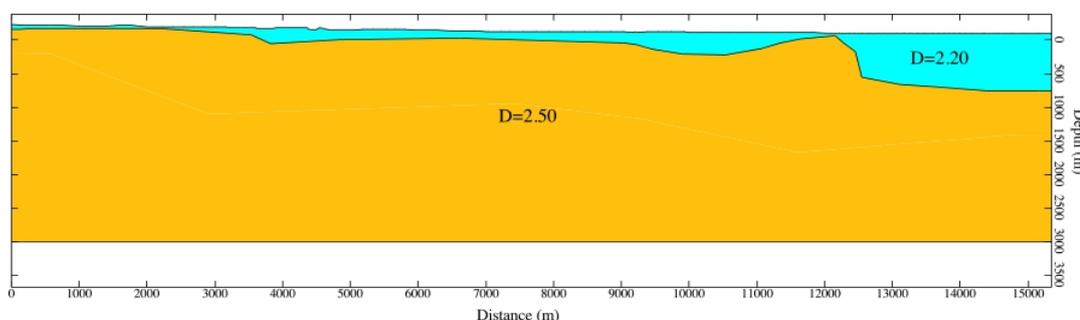


図 25 安曇川測線における P 波速度トモグラフィに基づく 2 層モデル

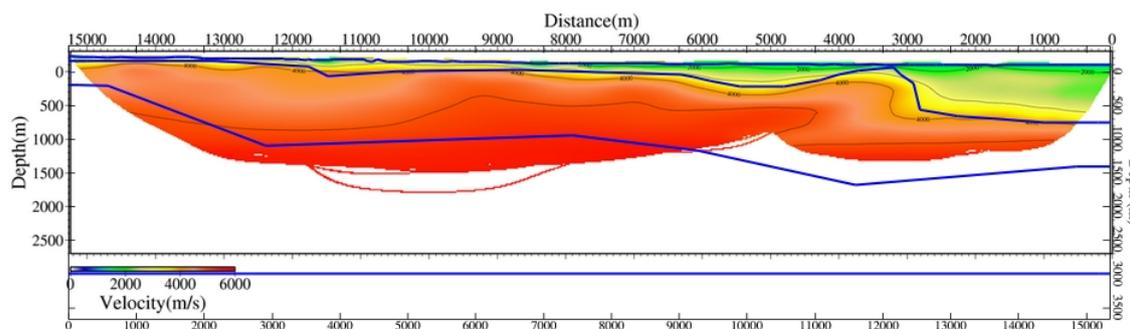


図 26 安曇川測線における P 波速度トモグラフィと 2 層密度構造境界の関係

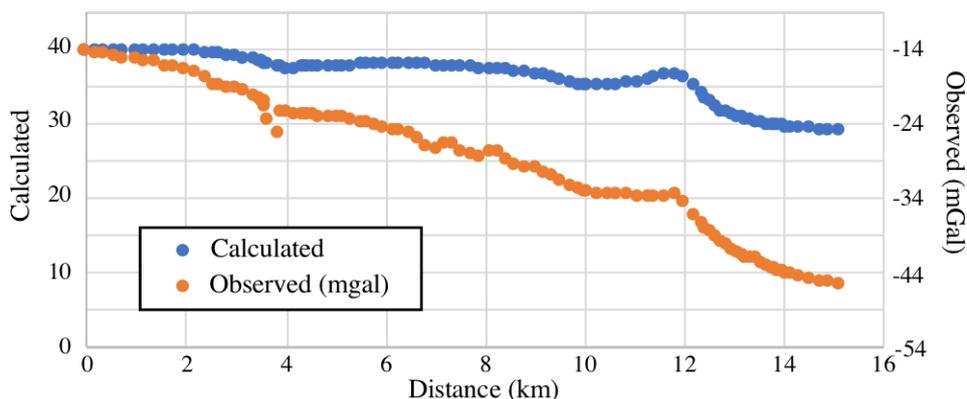


図 27 図 25 の密度構造モデルと観測ブーゲー異常の関係

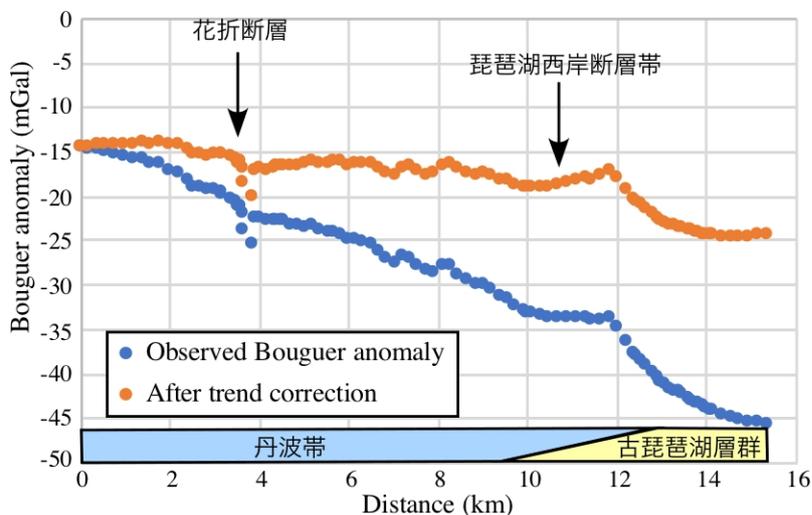


図 28 安曇川測線における広域トレンド補正後の観測ブーゲー異常

ここでは2層モデルと3層モデルを作成した。2層モデルは、本地域の主要な地質が、密度の大きく異なる丹波帯の付加コンプレックスからなる地層群と琵琶湖層群に分けられることから設定した。3層モデルは、2層モデルだけでは説明できない花折断層付近の観測ブーゲー異常の段差状の変化をもたらす地下深部の構造を反映するために設定した。2層モデルにおいて、第一層は鮮新統から更新統の古琵琶湖層群相当層で、第二層が三畳系からジュラ系の付加体から成る丹波帯に対応すると想定した。3層モデルでは、2層モデルの第二層をさらに2層に分割し、その境界はP波速度トモグラフィに現れている速度の変化に概ね対応するように設定した。各層の密度は2層モデルの場合は第一層が  $2.2\text{g/cm}^3$ 、第二層が  $2.5\text{g/cm}^3$ 、3層モデルは第一層が  $2.2\text{g/cm}^3$ 、第二層が  $2.45\text{g/cm}^3$ 、第三層が  $2.55\text{g/cm}^3$  と仮定した。これらの密度は前述のP波速度トモグラフィ(図24)に基づき、Gardner (1974) の式より算出した。

2層モデル(図29、図30)では、安曇川測線東部地表に分布する古琵琶湖層群が分布しており、丹波帯との境界が西側で浅く、東に行くにつれ深くなる様子がよく表されてい

る。本測線東部において、古琵琶湖層群が地下で西側に湾入する形態を示す。これは、琵琶湖西岸断層帯が約  $30^\circ$  の角度で西傾斜の逆断層を形成していることを示している。ただし、最も変位の大きい部分を地表に延長しても変動地形学的に知られている断層線に一致せず、さらに東側に延長される形態を示す。その垂直変位は数百 m である。地表で認められる断層線の地下では、重力異常に現れるほど大きな変位量は見られない。このように、このモデルでは、東側の琵琶湖西岸断層帯付近の地質構造はよく反映している。しかしながら、西部の花折断層付近に見られるブーゲー異常の段差状の変化は、モデル上は第一層の層厚の変化により表現するしかないが、この付近で第一層の厚さが変化することを示す積極的な理由はない。特に、P 波速度トモグラフィに第一層の厚さの変化を示す経常の変化が認められない。そこで、次の 3 層モデルを検討する。

3 層モデル (図 31, 図 32) では、第二層および第三層をほぼ丹波帯を 2 分するように設定した。P 波速度トモグラフィ (図 24) をみると、花折断層の地表断層線の地下付近で、 $4.5 \text{ km/s}$  の境界が東西で段差をなす構造を示す。このことを考慮して、第二層と第三層の境界をこの構造を生かすように設定し、そのほかの地域もこの境界が P 波速度トモグラフィ図 (図 24) の  $4.5 \sim 5 \text{ km/s}$  の間にくるように描いてある。この結果、花折断層付近に見られるブーゲー異常の段差上の変化はこの境界の段差上の変化によって表すことができる。このことは、花折り断層の地下延長がこの付近を通っており、それを境に第二層と第三層の境界が変位を受けている可能性を示している。ただし、今のところ、第二層および第三層とも丹波帯内の地層を想定しているが、具体的にどのような地層や岩相を反映しているのかは明らかではない。

いずれのモデルにおいても、サブテーマ 1 において反射法地震探査断面や P 波速度トモグラフィから推定される断層構造 (図 33) と、ブーゲー異常に基づく密度構造モデルから推定されるそれとは大局的によい一致を示す。

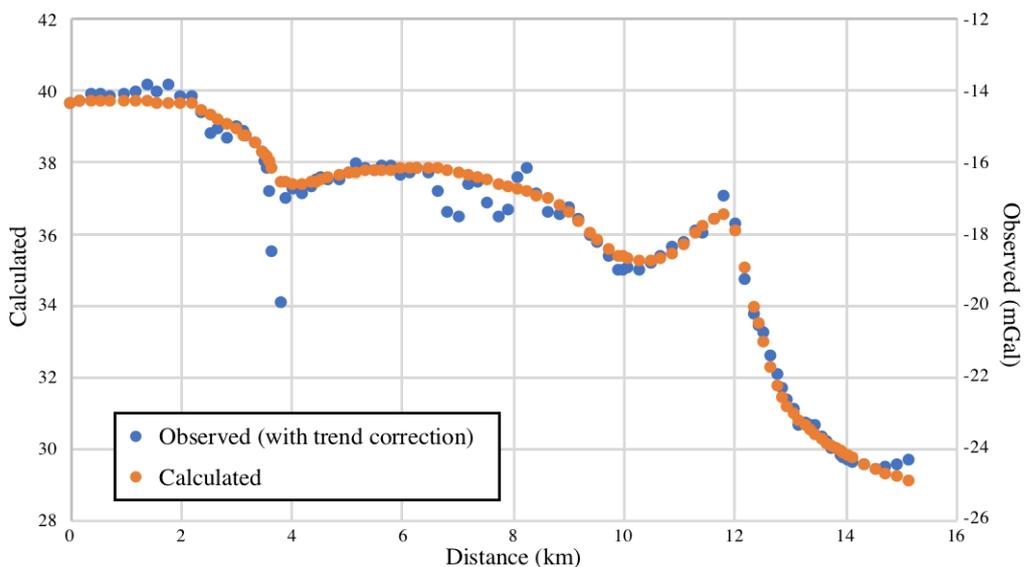


図 29 安曇川測線における 2 層モデルにおけるトレンド補正後の観測ブーゲー異常と計算ブーゲー異常の関係

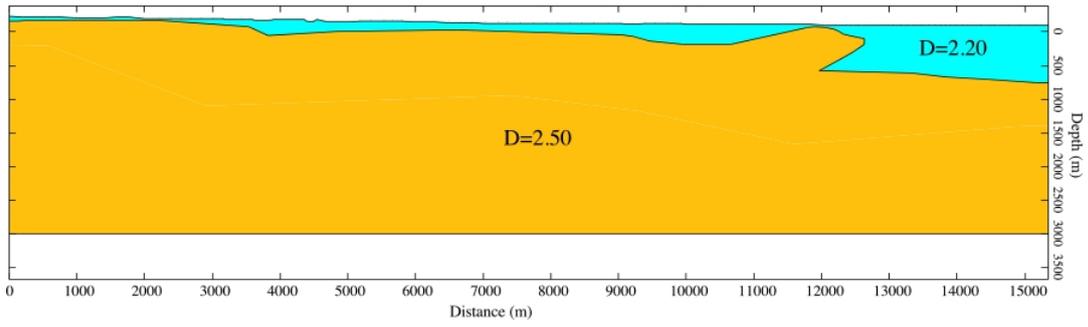


図 30 安曇川測線における 2 層モデル

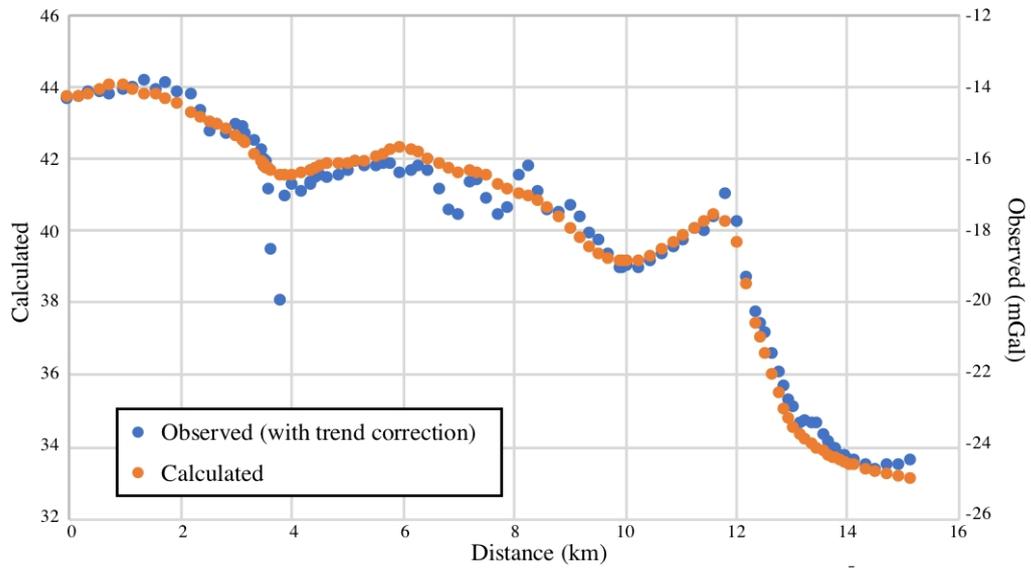


図 31 安曇川測線における 3 層モデルとトレンド補正後の観測ブーゲー異常と計算ブーゲー異常の関係

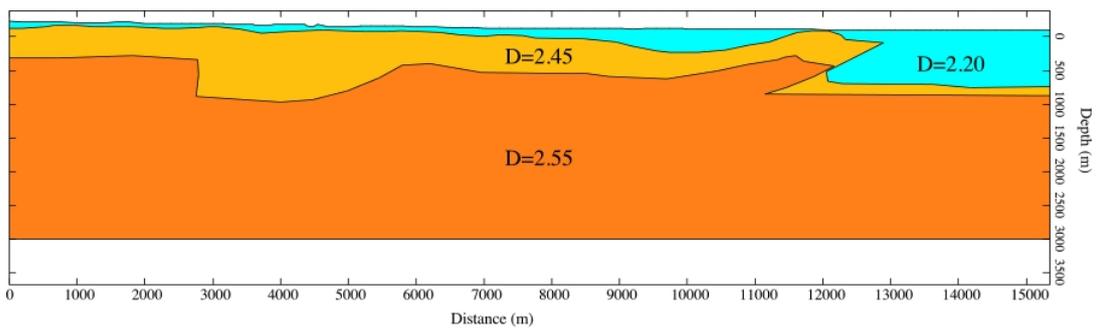


図 32 安曇川測線における 3 層モデル

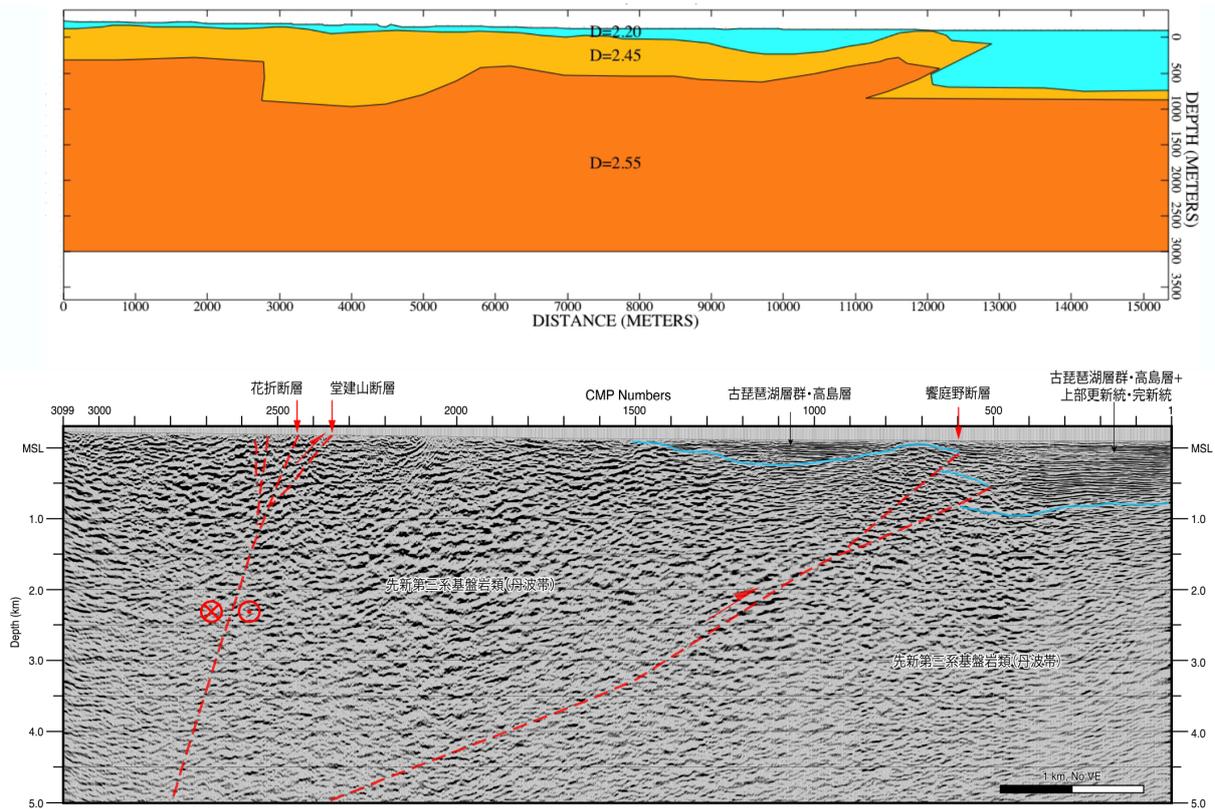


図 33 (上) 安曇川測線の密度構造モデルと (下) サブテーマ 1 の反射法地震探査・饗庭野-朽木測線のマイグレーション後深度断面の解釈の比較。

問題②に関して、中央構造線断層帯測線 A における重力調査および解析結果を以下に示す。

既知重力基準点は愛媛県東温市内の一等重力基準点（電子基準点（付））950433A を用いた。同点の位置を図 34 に、諸元を表 12 に示す。

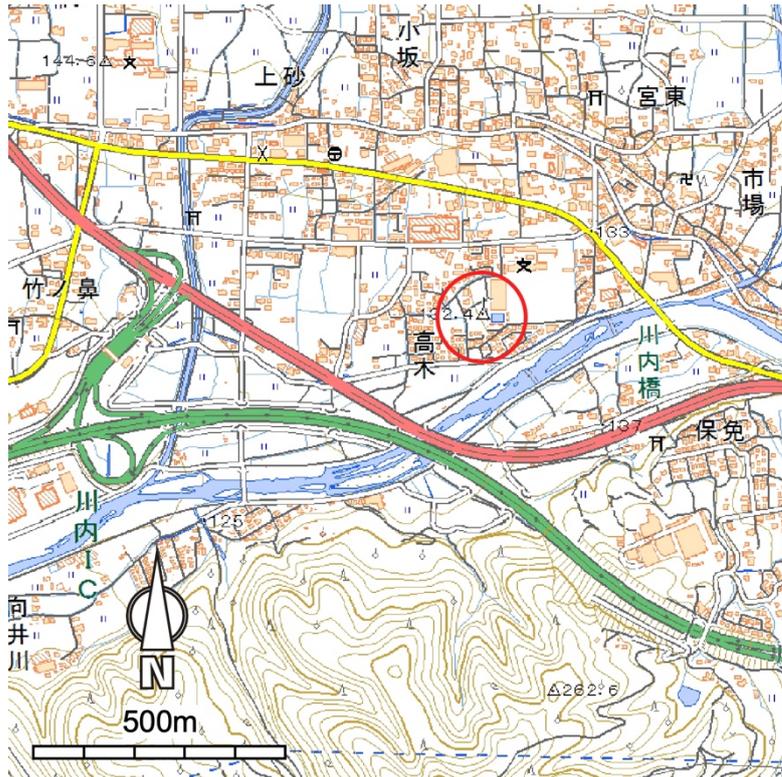


図 34 一等重力点（電子基準点(付)）950433A の位置（赤丸内）  
地形図は国土地理院地図を使用。

表 12 一等重力点（電子基準点(付)）の諸元  
国土地理院ホームページ基準点成果閲覧サービスによる。

一等重力点（電子基準点（付））	950433A
基準点コード	G1E000950433A
等級種別	一等重力点（電子基準点(付)）
基準点名	950433A
20万分の1地勢図名	松山
5万分の1地形図名	松山南部
緯度	33° 47'47".3652
経度	132° 54'41".9148
標高（m）	132.417
重力鉛直勾配（mGal/m）	0.0000
重力値（mGal）	979586.62
ブーゲー異常値	-15.82
エポック	0
作業内容	改算
作業年月日	20161201

一等重力点 950433A は、本調査の測線から 30 km 程度離れているため（図 35）、測線 A 近傍、新兵衛大橋付近に仮重力基準点（6001）を設けた（図 36）。仮重力点 6001 における絶対重力値の算定は、一等重力点 950433A との閉合測定を行うことにより求めた。その際、重力計読み値等のデータを表 13 に示す。



図 35 一等重力点（電子基準点(付)）950433A と仮重力点 6001 の位置関係  
地形図は国土地理院地図を使用。

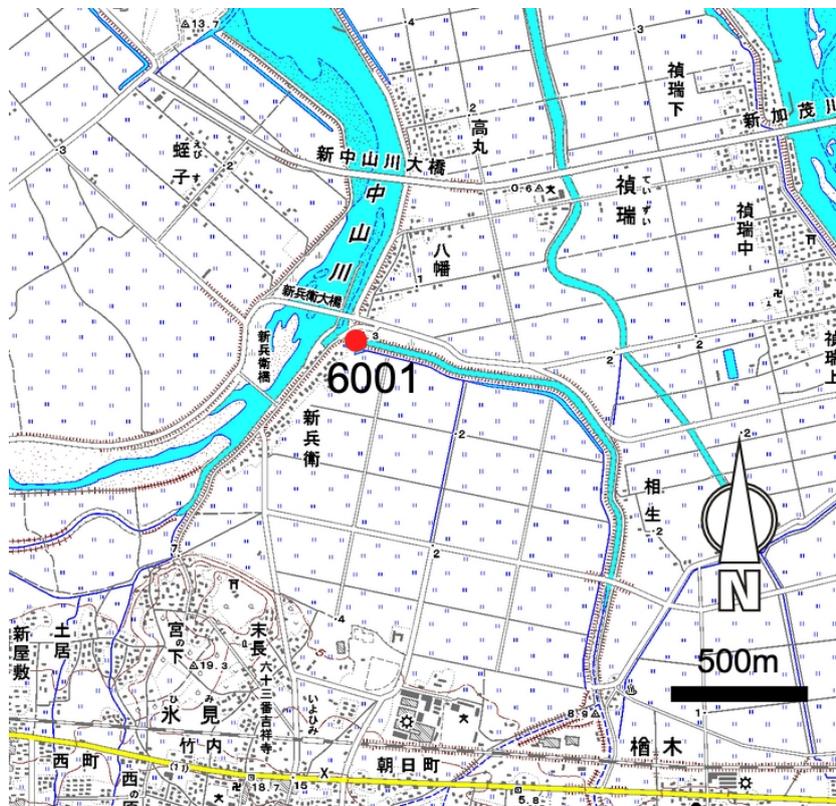


図 36 仮重力点 6001 の位置  
国土地理院発行 25000 分の 1 数値地図「高知」より「西条」・「西条北部」を使用。

表 13 仮重力点 6001 と一等重力点 950433A との閉合重力測定値。

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
6000	4689.069	0.023	1.1	0.1	0.039	60	0:33:53	2018/11/20	0.163	一等重力点 950433A
6001	4728.923	0.049	-0.5	-2.1	-0.012	60	1:56:21	2018/11/20	0.158	仮重力点
6000	4689.076	0.025	-2.6	-1.5	-0.039	60	2:50:34	2018/11/20	0.160	一等重力点 950433A

仮重力基準点 6001 の諸元は以下の通りである。

- ・緯度 北緯 33.91033416 (度)
- ・経度 東経 133.1327014 (度)
- ・標高 5.120 (m)
- ・絶対重力値 979626.4680 (mGal)

なお、閉合重力測定は各点で少なくとも5回以上行い、より安定したデータを採用している。

令和元年度は平成 30 年度に指摘された三波川変成岩分布域でのブーゲー異常の変化の様子を詳しく見るために、平成 30 年度の調査地域を南方に約 1.5 km 延長し、また、精度の向上を図るため、GNSS 測量および重力の再測定を補足的に行った。延長された中央構造線断層帯測線 A における重力測定は 67 点で行い、測定間隔は測線沿いにおおむね 200 m を標準とし、活断層周辺では一部 100 m 間隔とした。重力測定は、一日の測定開始時と終了時に仮基準点において測定を実施し、器械の内部的理由で発生するドリフトの影響を少なくするようにした。測定点の位置を図 37 に、測線 A と地質との位置関係を図 38 に、活断層との位置関係を図 39 に示す。また、測定点の位置情報を表 14 に、各測定点での重力計読み値、器械高等を表 15 に示す。測線 A は、三波川コンプレックスと後期白亜紀和泉層群の境界をなす中央構造線、和泉層群と鮮新世～更新世岡村層の境界をなす岡村断層、および小松断層を横切るように設定した。なお、表 14 における X 座標および Y 座標の値は、国土交通省による平面直角座標系 IV 系の値である。

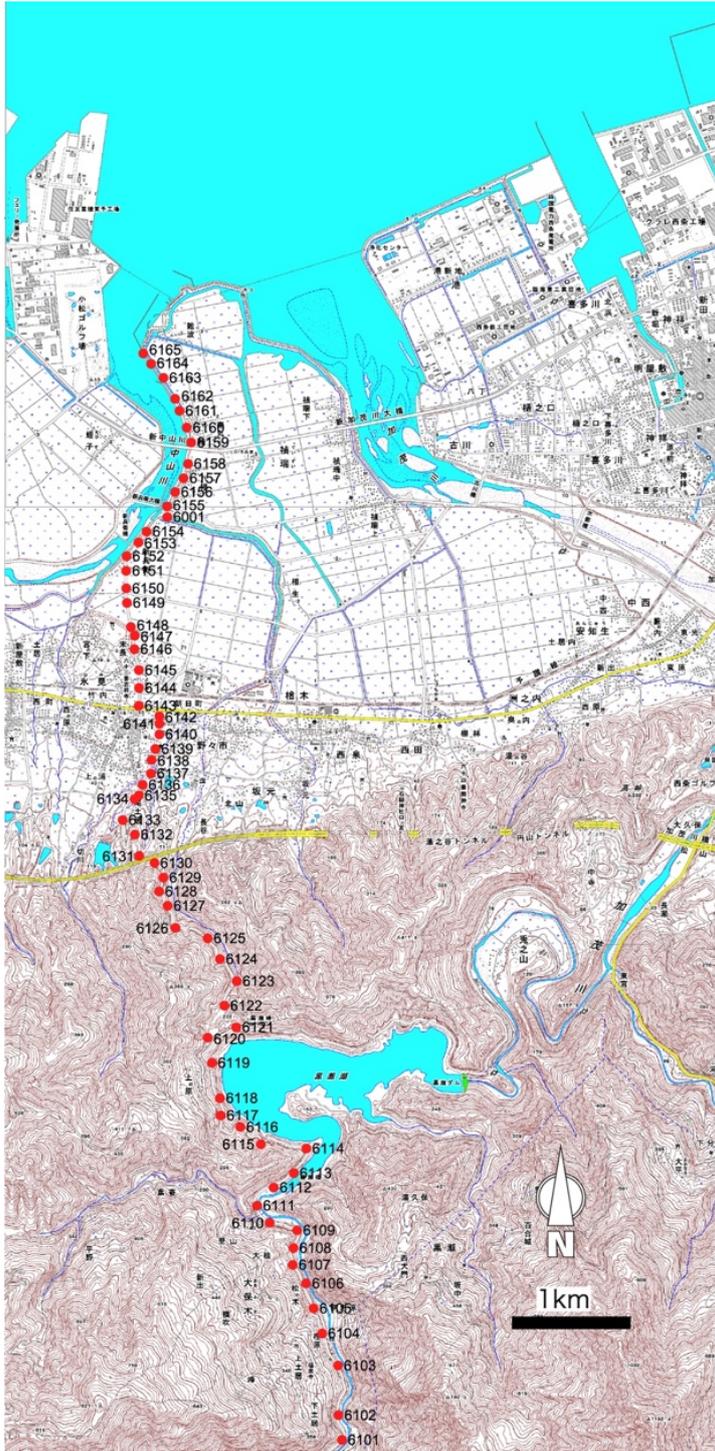


図 37 中央構造線断層系 A 測線の重力測定点  
 国土地理院発行  
 25000 分の 1 数  
 値地図「高知」よ  
 り「西条」・「西  
 条北部」を使用。

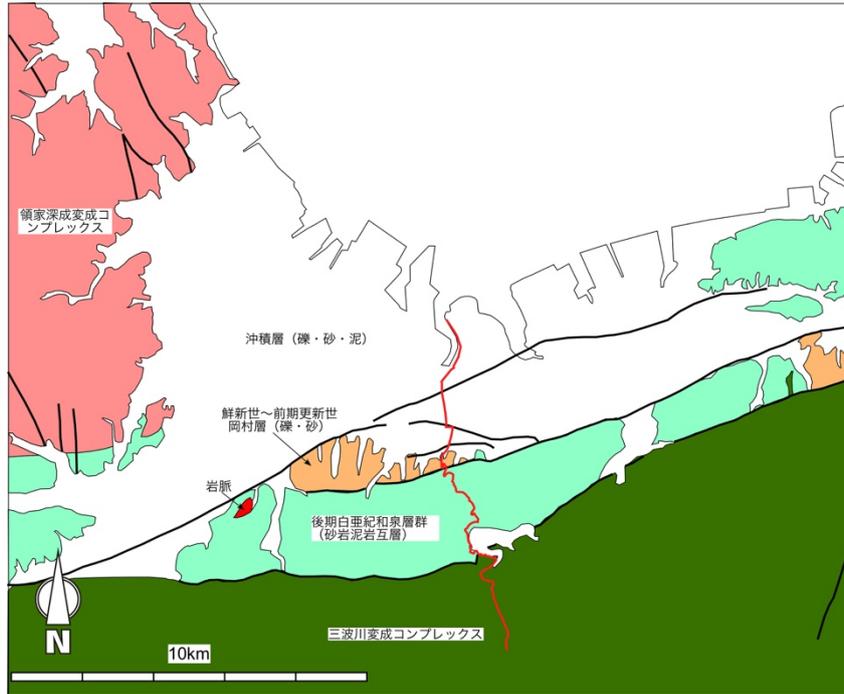


図 38 中央構造線断層系 A 測線の重力測定点と地質の関係  
 地質情報は、地質調査総合センター (2018) 1 : 200,000 地質図幅  
 「高知第 2 版」による。

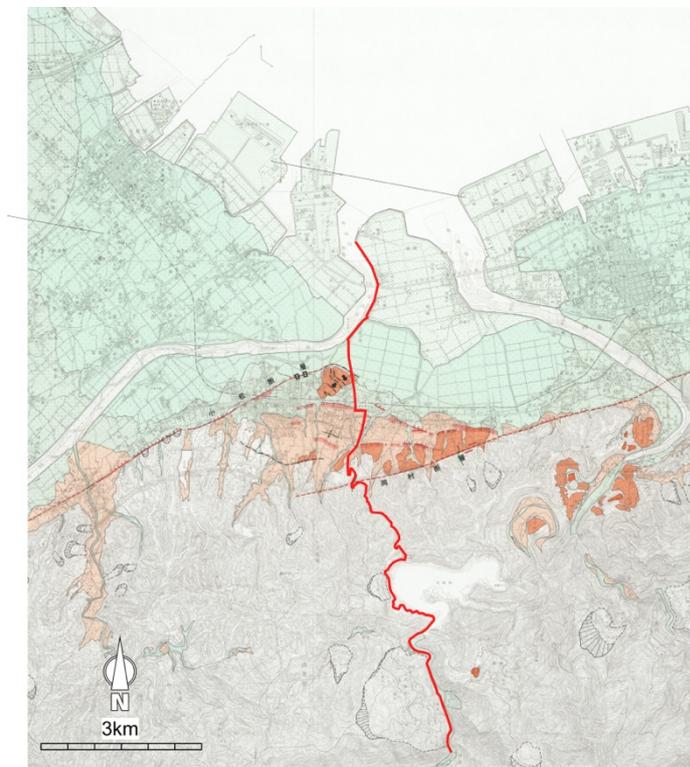


図 39 中央構造線断層系 A 測線の重力測定点と活断層の関係  
 活断層情報は、国土地理院発行都市圏活断層図「西条」による。

表 14 (その 1) 中央構造線断層帯測線 A における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
6101	93112.443	-32477.832	33.83910129	133.14907637	148.43
6102	93335.349	-32509.693	33.84111009	133.14872389	149.92
6103	93750.540	-32494.320	33.84485404	133.14887469	149.92
6104	94024.676	-32631.224	33.84732150	133.14738521	156.51
6105	94248.659	-32707.538	33.84933863	133.14655225	152.40
6106	94469.570	-32791.800	33.85132781	133.14563348	144.51
6107	94606.576	-32862.871	33.85256088	133.14486035	142.47
6108	94770.210	-32894.720	33.85403526	133.14451006	138.77
6109	94910.054	-32844.397	33.85529769	133.14504867	136.01
6110	94991.113	-33100.623	33.85602054	133.14227662	128.17
6111	95135.742	-33198.444	33.85732148	133.14121402	120.02
6112	95291.029	-33061.370	33.85872588	133.14268957	123.74
6113	95397.254	-32879.363	33.85968932	133.14465261	125.90
6114	95609.745	-32786.252	33.86160809	133.14565098	129.65
6115	95664.567	-33159.481	33.86209071	133.14161518	143.08
6116	95818.615	-33342.664	33.86347388	133.13962955	153.58
6117	95891.323	-33499.128	33.86412447	133.13793574	165.50
6118	96045.286	-33518.406	33.86551203	133.13772152	166.12
6119	96345.063	-33582.884	33.86821283	133.13701319	175.95
6120	96552.901	-33606.762	33.87008599	133.13674717	194.80
6121	96653.602	-33347.702	33.87100215	133.13954346	179.92
6122	96842.934	-33453.040	33.87270588	133.13839768	162.83
6123	97046.385	-33375.611	33.87454269	133.13922690	150.91
6124	97237.704	-33485.137	33.87626419	133.13803572	142.89
6125	97415.366	-33599.354	33.87786239	133.13679430	133.39
6126	97509.865	-33883.858	33.87870531	133.13371526	121.30
6127	97704.957	-33963.335	33.88046175	133.13284859	113.79
6128	97823.792	-34006.426	33.88153180	133.13237818	107.52
6129	97936.089	-33973.841	33.88254534	133.13272609	102.59
6130	98052.096	-34041.860	33.88358909	133.13198630	94.91
6131	98120.544	-34189.030	33.88420147	133.13039267	76.73
6132	98314.193	-34232.894	33.88594602	133.12991094	67.51
6133	98420.619	-34335.964	33.88690223	133.12879252	49.08
6134	98607.112	-34238.354	33.88858686	133.12984050	35.09
6135	98651.429	-34205.247	33.88898750	133.13019670	32.73
6136	98726.096	-34149.594	33.88966252	133.13079547	29.18
6137	98835.706	-34102.469	33.89065231	133.13130069	26.34
6138	98931.092	-34077.218	33.89151314	133.13156999	23.89
6139	99028.194	-34051.196	33.89238948	133.13184757	21.42

表 14 (その 2) 中央構造線断層帯測線 A における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
6140	99161.185	-34025.674	33.89358937	133.13211835	18.12
6141	99237.497	-34013.810	33.89427780	133.13224367	16.47
6142	99313.228	-34002.147	33.89496098	133.13236684	15.44
6143	99401.264	-34179.151	33.89574900	133.13044967	15.06
6144	99553.309	-34178.987	33.89711987	133.13044553	11.97
6145	99697.261	-34184.573	33.89841759	133.13037953	7.78
6146	99892.134	-34222.660	33.90017336	133.12996014	7.20
6147	100010.711	-34236.719	33.90124201	133.12980350	6.84
6148	100075.283	-34249.889	33.90182378	133.12965858	4.36
6149	100299.680	-34282.968	33.90384590	133.12929215	2.07
6150	100403.294	-34292.308	33.90477980	133.12918711	1.69
6151	100547.450	-34291.569	33.90607956	133.12918948	1.67
6152	100686.885	-34291.936	33.90733671	133.12918006	5.37
6153	100799.580	-34199.482	33.90835579	133.13017542	5.25
6154	100900.589	-34114.307	33.90926927	133.13109254	4.28
6001	101018.163	-33965.111	33.91033416	133.13270135	5.12
6155	101118.889	-33950.156	33.91124280	133.13285918	5.06
6156	101218.686	-33892.672	33.91214444	133.13347695	4.17
6157	101352.086	-33827.514	33.91334929	133.13417643	4.05
6158	101489.318	-33784.749	33.91458797	133.13463362	3.97
6159	101653.378	-33748.501	33.91606832	133.13501931	4.26
6160	101794.046	-33790.311	33.91733526	133.13456174	4.32
6161	101944.489	-33839.950	33.91869009	133.13401912	4.29
6162	102037.965	-33895.876	33.91953108	133.13341068	4.24
6163	102194.781	-33998.182	33.92094166	133.13229816	4.21
6164	102318.578	-34078.656	33.92205523	133.13142302	4.23
6165	102426.299	-34148.086	33.92302421	133.13066793	4.17

表 15 (その 1) 中央構造線断層帯測線 A における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
6001	4915.297	0.155	-1.2	-0.7	-0.027	60	0:39:31	2019/9/23	0.165	仮重力点
6101	4882.475	0.111	1.7	-8.8	-0.015	60	1:24:24	2019/9/23	0.164	
6102	4883.685	0.094	-5.5	-0.8	-0.008	60	1:45:12	2019/9/23	0.158	
6103	4886.467	0.103	1.3	-1.7	0.008	60	2:29:05	2019/9/23	0.15	
6104	4887.548	0.135	3.7	-4.9	0.015	60	2:42:29	2019/9/23	0.167	
6105	4888.617	0.117	0.2	-1.7	0.021	60	2:57:15	2019/9/23	0.162	
6106	4889.566	0.108	-6.4	4.5	0.031	60	3:19:27	2019/9/23	0.158	
6107	4891.213	0.164	6.2	-6.6	0.051	60	4:01:55	2019/9/23	0.168	
6108	4893.715	0.078	-1.5	3.6	0.097	60	6:03:50	2019/9/23	0.179	
6109	4895.373	0.093	6.4	0.9	0.101	60	6:18:54	2019/9/23	0.168	
6110	4896.423	0.066	-3.4	-5.4	0.104	60	6:37:26	2019/9/23	0.172	
6111	4897.634	0.09	-1.9	-2.1	0.105	60	6:56:46	2019/9/23	0.156	
6112	4898.339	0.082	1.1	3.8	0.106	60	7:08:57	2019/9/23	0.177	
6113	4898.725	0.083	4.8	-3.6	0.105	60	7:29:49	2019/9/23	0.168	
6114	4899.873	0.071	1.8	-0.5	0.103	60	7:47:13	2019/9/23	0.156	
6115	4896.707	0.1	6.2	-2.8	0.101	60	8:05:05	2019/9/23	0.154	
6001	4915.782	0.116	-0.4	-7.8	0.087	60	8:53:29	2019/9/23	0.17	仮重力点

表 15 (その2) 中央構造線断層帯測線 A における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
6001	4915.897	0.065	-7.8	-1.5	-0.014	60	23:16:53	2019/9/24	0.167	仮重力点
6116	4894.522	0.046	-7.1	-2.3	-0.027	60	0:04:12	2019/9/25	0.178	
6117	4891.307	0.036	5.1	4.4	-0.03	60	0:13:19	2019/9/25	0.168	
6118	4890.619	0.041	-0.4	-1.5	-0.034	60	0:28:11	2019/9/25	0.168	
6119	4889.772	0.039	-1.1	1.6	-0.038	60	0:42:18	2019/9/25	0.160	
6120	4886.974	0.053	-0.3	1.9	-0.042	60	0:55:09	2019/9/25	0.175	
6121	4889.196	0.068	0.7	-2.4	-0.045	60	1:07:56	2019/9/25	0.161	
6122	4893.014	0.042	2.8	4.2	-0.05	60	1:28:52	2019/9/25	0.115	
6123	4894.672	0.033	-1.3	-1.7	-0.052	60	1:45:24	2019/9/25	0.171	
6124	4895.898	0.041	-2.7	3.2	-0.054	60	2:03:59	2019/9/25	0.176	
6125	4897.052	0.044	8.7	-2.5	-0.055	60	2:19:40	2019/9/25	0.178	
6126	4898.931	0.037	-2.3	-2.7	-0.055	60	2:36:40	2019/9/25	0.171	
6127	4899.892	0.04	2.8	-0.2	-0.054	60	2:49:32	2019/9/25	0.177	
6128	4901.011	0.04	2.4	2	-0.052	60	3:03:19	2019/9/25	0.173	
6129	4901.571	0.046	0.7	-0.2	-0.041	60	3:43:47	2019/9/25	0.180	
6130	4903.073	0.036	-4	-2.2	-0.035	60	3:59:58	2019/9/25	0.177	
6131	4905.818	0.042	-0.4	-2.5	-0.028	60	4:15:00	2019/9/25	0.170	
6132	4906.317	0.05	2.4	2.4	-0.021	60	4:28:02	2019/9/25	0.172	
6133	4909.292	0.053	-5.5	-6.5	-0.009	60	4:49:25	2019/9/25	0.166	
6134	4911.435	0.059	-2.5	1	0	60	5:04:18	2019/9/25	0.167	
6135	4911.767	0.049	2.8	-2.2	0.008	60	5:16:26	2019/9/25	0.170	
6136	4912.272	0.059	1.4	6.9	0.015	60	5:26:49	2019/9/25	0.169	
6137	4912.677	0.039	-1.5	5.2	0.025	60	5:42:24	2019/9/25	0.157	
6138	4912.929	0.052	-3.5	-2.1	0.043	60	6:05:28	2019/9/25	0.181	
6139	4913.26	0.058	0.3	1.1	0.055	60	6:21:42	2019/9/25	0.175	
6140	4913.667	0.056	-3	-0.8	0.065	60	6:35:00	2019/9/25	0.172	
6141	4913.879	0.058	2.6	2.2	0.073	60	6:45:47	2019/9/25	0.168	
6142	4913.963	0.078	-1.5	2.2	0.081	60	6:57:03	2019/9/25	0.170	
6143	4913.828	0.055	0.6	0.2	0.101	60	7:28:05	2019/9/25	0.169	
6144	4914.321	0.057	-2.3	-0.2	0.107	60	7:39:19	2019/9/25	0.165	
6145	4915.163	0.057	0.3	0	0.124	60	8:12:13	2019/9/25	0.163	
6001	4916.478	0.047	-5.9	-3.9	0.129	60	8:25:37	2019/9/25	0.169	仮重力点

表 15 (その 3) 中央構造線断層帯測線 A における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
6001	4916.583	0.072	-4.7	-0.2	0.001	60	23:56:11	2019/9/25	0.17	仮重力点
6146	4915.514	0.079	-2.3	-2.2	-0.006	60	0:13:37	2019/9/26	0.169	
6147	4915.577	0.067	3.7	1.6	-0.01	60	0:23:58	2019/9/26	0.169	
6148	4916.076	0.064	-5.4	4.7	-0.015	60	0:34:23	2019/9/26	0.17	
6149	4916.934	0.066	3.7	-0.4	-0.024	60	0:52:23	2019/9/26	0.172	
6150	4917.027	0.065	3.4	3.6	-0.029	60	1:03:14	2019/9/26	0.166	
6151	4917.091	0.07	0.6	3.1	-0.035	60	1:14:36	2019/9/26	0.177	
6152	4916.329	0.057	-0.6	-0.4	-0.043	60	1:32:25	2019/9/26	0.178	
6153	4916.41	0.045	1.1	-6	-0.054	60	1:58:03	2019/9/26	0.175	
6154	4916.741	0.064	-1.3	-1	-0.058	60	2:09:15	2019/9/26	0.166	
6155	4916.634	0.063	-4.9	2.7	-0.064	60	2:27:17	2019/9/26	0.171	
6156	4916.976	0.064	-1.1	-2.5	-0.068	60	2:38:19	2019/9/26	0.167	
6157	4917.114	0.073	8.5	-7.3	-0.07	60	2:49:29	2019/9/26	0.16	
6158	4917.237	0.06	-3	-2.3	-0.073	60	3:04:04	2019/9/26	0.168	
6159	4917.296	0.125	-2.8	0	-0.074	60	3:18:28	2019/9/26	0.145	
6160	4917.363	0.098	-2.3	-1	-0.075	60	3:33:32	2019/9/26	0.167	
6161	4917.579	0.106	-5.2	-0.7	-0.068	60	4:17:33	2019/9/26	0.167	
6162	4917.682	0.057	4.2	-0.8	-0.064	60	4:29:36	2019/9/26	0.17	
6163	4917.835	0.058	1.5	3.6	-0.059	60	4:43:12	2019/9/26	0.165	
6164	4917.916	0.062	4.3	-4.4	-0.055	60	4:53:12	2019/9/26	0.16	
6165	4918.024	0.062	4.6	-1.7	-0.044	60	5:12:00	2019/9/26	0.169	
6001	4916.865	0.038	-3.5	1.2	-0.035	60	5:28:03	2019/9/26	0.169	仮重力点

表 15 により得られた読み取り値より、器械高補正、ドリフト補正、陸域の地形補正、緯度補正（正規重力値との差の算出）、大気補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行うことにより、ブーゲー異常を算出した。ブーゲー補正の際に、地域は離れているが、伊藤・他（1996）と同様に、本地域の標準地層の密度を、 $2.5 \text{ g/cm}^3$  にした。算出されたブーゲー異常を表 16 に示す。また、北端から南端に向かう距離に対するブーゲー異常の変化を図 40 に示す。

図 40 において、ブーゲー異常は沖積層の分布する海岸平野で小さく、南側の山地で大きくなる。最も大きくなるのは三波川変成岩帯中である。ただし、三波川変成岩帯中ではブーゲー異常が単調な増減は示さず、数 mGal の変化を示す。ブーゲー異常の距離に対する変化の割合が最も大きいのは、岡村断層を挟んだ岡村層から和泉層群にいたる地域である。このことは、和泉層群から岡村層へと密度の大きく異なる地層に変化する地下形状を強く反映していると考えられる。なお、地質調査総合センター（2004）の編集図では、本調査結果と場所が必ずしも一致するわけではないが、三波川コンプレックスの分布地域でブーゲー異常が小さくなることが示されている。ただし、この編集図の元となるデータの

分布は本調査に比べ極めて粗であるので、本調査の方が場所に関する分解能は高いことに注意が必要である。

表 16 (その 1) 中央構造線断層帯測線 A におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
6101	979593.60	979635.918	0.22	1.76	4.53	5.03
6102	979594.79	979636.086	0.25	1.97	4.20	6.13
6103	979597.53	979636.399	0.17	1.85	3.71	6.83
6104	979598.60	979636.605	0.09	1.33	3.29	6.49
6105	979599.65	979636.774	0.04	1.33	3.10	5.94
6106	979600.58	979636.940	0.11	1.38	2.96	5.02
6107	979602.19	979637.043	0.07	1.19	2.83	5.22
6108	979604.57	979637.167	0.07	1.02	2.71	6.00
6109	979606.21	979637.272	0.09	0.91	2.62	6.52
6110	979607.24	979637.333	0.05	0.97	2.59	5.88
6111	979608.43	979637.441	0.18	1.08	2.54	5.79
6112	979609.13	979637.559	0.11	0.96	2.39	6.27
6113	979609.49	979637.639	0.18	0.70	2.29	6.25
6114	979610.62	979637.800	0.04	0.37	2.11	6.36
6115	979607.44	979637.840	0.08	0.66	1.95	6.30
6116	979605.05	979637.956	0.04	0.61	1.77	5.26
6117	979601.82	979638.010	0.12	0.93	1.65	5.12
6118	979601.11	979638.126	0.18	0.86	1.57	4.19
6119	979600.25	979638.352	0.02	0.75	1.39	3.99
6120	979597.44	979638.509	0.01	0.60	1.26	4.14
6121	979599.65	979638.585	0.18	0.51	1.27	3.46
6122	979603.43	979638.728	0.03	0.68	1.27	3.65
6123	979605.09	979638.881	0.13	0.78	1.25	3.19
6124	979606.29	979639.025	0.11	0.77	1.23	2.47
6125	979607.43	979639.159	0.11	0.78	1.21	1.53
6126	979609.29	979639.229	0.03	0.93	1.23	1.08
6127	979610.24	979639.376	0.05	0.71	1.20	-0.22
6128	979611.34	979639.466	0.28	0.57	1.18	-0.30
6129	979611.86	979639.551	0.26	0.43	1.17	-1.28
6130	979613.35	979639.638	0.08	0.29	1.16	-2.27
6131	979616.07	979639.689	0.03	0.22	1.19	-3.54
6132	979616.56	979639.835	0.04	0.12	1.16	-5.36
6133	979619.51	979639.915	0.00	0.10	1.19	-6.33
6134	979621.64	979640.056	0.01	0.07	1.18	-7.27
6135	979621.96	979640.090	0.01	0.06	1.18	-7.49
6136	979622.45	979640.146	0.01	0.04	1.17	-7.84

表 16 (その 2) 中央構造線断層帯測線 A におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
6137	979622.84	979640.229	0.01	0.03	1.15	-8.20
6138	979623.07	979640.301	0.01	0.02	1.12	-8.61
6139	979623.38	979640.374	0.01	0.01	1.10	-8.94
6140	979623.78	979640.474	0.01	0.01	1.07	-9.42
6141	979623.97	979640.532	0.01	0.01	1.06	-9.65
6142	979624.05	979640.589	0.01	0.01	1.04	-9.90
6143	979623.88	979640.655	0.00	0.01	1.00	-10.32
6144	979624.36	979640.770	0.01	0.01	0.98	-10.62
6145	979625.17	979640.878	0.01	0.00	0.95	-10.84
6146	979625.38	979641.025	0.00	0.01	0.91	-11.00
6147	979625.44	979641.115	0.03	0.02	0.89	-11.08
6148	979625.93	979641.163	0.02	0.02	0.88	-11.17
6149	979626.77	979641.333	0.00	0.00	0.85	-11.13
6150	979626.85	979641.411	0.00	0.00	0.83	-11.26
6151	979626.91	979641.519	0.00	0.00	0.81	-11.37
6152	979626.13	979641.625	0.01	0.00	0.78	-11.55
6153	979626.19	979641.710	0.03	0.00	0.76	-11.58
6154	979626.51	979641.786	0.04	0.00	0.75	-11.54
6001	979626.47	979641.875	0.03	0.00	0.74	-11.55
6155	979626.39	979641.951	0.04	0.00	0.73	-11.72
6156	979626.72	979642.027	0.02	0.00	0.72	-11.74
6157	979626.85	979642.128	0.01	0.00	0.71	-11.78
6158	979626.96	979642.231	0.01	0.00	0.69	-11.82
6159	979627.00	979642.355	0.02	0.00	0.67	-11.87
6160	979627.06	979642.461	0.03	0.00	0.66	-11.92
6161	979627.24	979642.575	0.02	0.00	0.64	-11.94
6162	979627.33	979642.645	0.03	0.00	0.63	-11.91
6163	979627.47	979642.763	0.04	0.00	0.62	-11.90
6164	979627.55	979642.856	0.04	0.00	0.60	-11.96
6165	979627.64	979642.937	0.04	0.00	0.59	-11.99

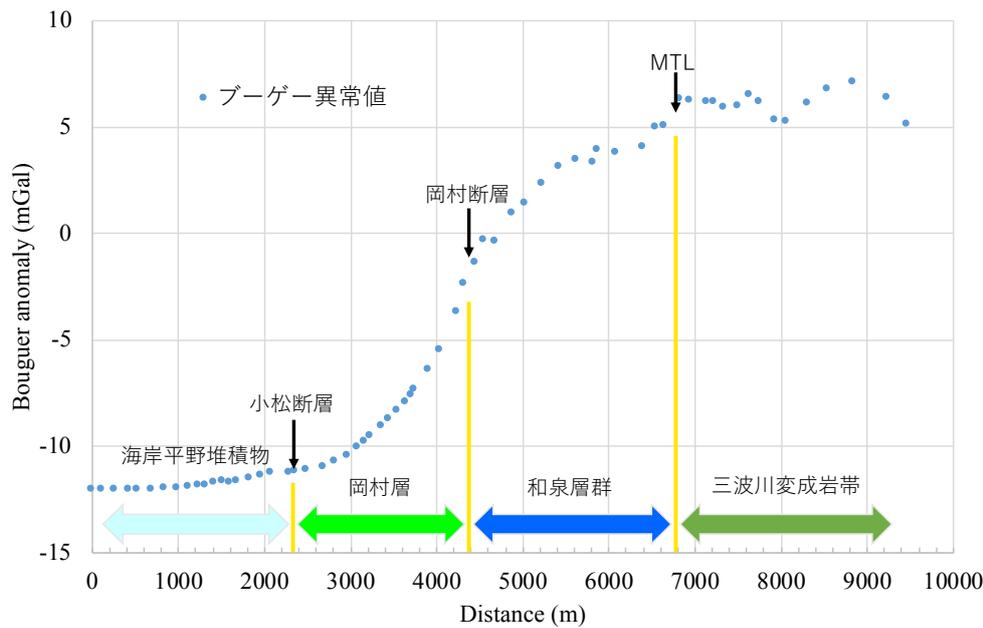


図 40 中央構造線断層帯 A 測線の重力異常

得られたブーゲー異常に基づき、密度構造モデルを作成した。本調査地域の地質は、高温低圧型の変成作用を受けた砂岩や泥岩を原岩とする変成岩類や花崗岩類からなる領家コンプレックス（領家変成帯）、低温高圧型の変成作用を受けた泥質片岩、珪質片岩や塩基性片岩からなる三波川変成岩コンプレックス（三波川変成帯）、白亜紀の砂岩、泥岩やその互層からなる和泉層群、第四紀の砂礫層やシルト層からなる岡村層、および沖積層からなる（青矢・他，2013；地質調査総合センター，2018）。本調査地域の南方には、白亜紀以降の砂岩、泥岩などからなる付加体堆積物である四万十帯が分布する。これらの地層や岩石類の密度は、伊藤・他（1996）によって、次のように推定されている。すなわち、

- ・領家コンプレックス（領家変成帯）：2.57～2.65 g/cm<sup>3</sup>
- ・三波川コンプレックス（三波川変成帯）：2.65～2.73 g/cm<sup>3</sup>（なお、三波川コンプレックスのうち、塩基性片岩は、2.9～3.0 g/cm<sup>3</sup>、珪質片岩は、2.7 g/cm<sup>3</sup>、泥質片岩は、2.5～2.6 g/cm<sup>3</sup>とされている。）
- ・和泉層群：2.5 g/cm<sup>3</sup>

である。このほか、伊藤・他（1996）が調査した徳島県脇町周辺には鮮新世～更新世の礫よりなる土柱層が分布し、2.3 g/cm<sup>3</sup>と推定している。解析の結果、領家コンプレックスと三波川コンプレックスでは、それぞれ 2.61 g/cm<sup>3</sup>および 2.69 g/cm<sup>3</sup>のときに最適解が得られたとしている。本調査地域では、おおむね類似の岩石が分布する伊藤・他（1996）の結果に基づいて、地下密度構造を以下のように設定する。

- 第 1 層：2.20 g/cm<sup>3</sup>
- 第 2 層：2.55 g/cm<sup>3</sup>
- 第 3 層：2.60 g/cm<sup>3</sup>

第4層：2.73 g/cm<sup>3</sup>

第5層：2.55 g/cm<sup>3</sup>

地質区分とこれらの密度層との対比関係は、おおよそ第1層が岡村層および沖積層、第2層が和泉層群、第3層が領家コンプレックス、第4層が三波川コンプレックスおよび第5層が四万十帯である。また、三波川コンプレックスの厚さについては、Sato et al. (2015)に基づき、おおよそ5 km とした。密度構造から算出されるブーゲー異常は Talwani et al. (1959)の方法に基づく、重力場解析ソフト LTC 社製 2 MOD を使用した。この際、background density は、ブーゲー補正算出時に用いたのと同じ標準地層の密度 2.50 g/cm<sup>3</sup> とした。解析に当たっては、地表に分布する地質と矛盾の無いようにし、サブテーマ1で得られている反射法地震探査による深度断面を参考にした。解析の結果を図41および図42に示す。図41が観測ブーゲー異常と密度構造から推定される計算ブーゲー異常を示し、図42に密度構造図を示す。図43に反射法地震探査によるマイグレーション後の深度断面図および解釈を示す。地域全域で、観測と計算ブーゲー異常はおおむねよい一致を示す。図42の重力調査に基づく密度構造図からは、岡村層に相当する密度 2.12 g/cm<sup>3</sup> と和泉層群に相当する密度 2.55 g/cm<sup>3</sup> の層の境界が急傾斜ではなく、北に緩く傾斜する場合が最もよく観測ブーゲー異常を説明しており、このことから、岡村断層は地下では北傾斜をなすと推定される。この密度構造モデルから推定される地質構造と、サブテーマ1において反射法地震探査断面やP波速度トモグラフィから推定される断層構造とは大局的によい一致を示す(図43)。なお、岡村層より北側の活断層、例えば小松断層などはブーゲー異常から推定される密度構造にはほとんど反映されない。

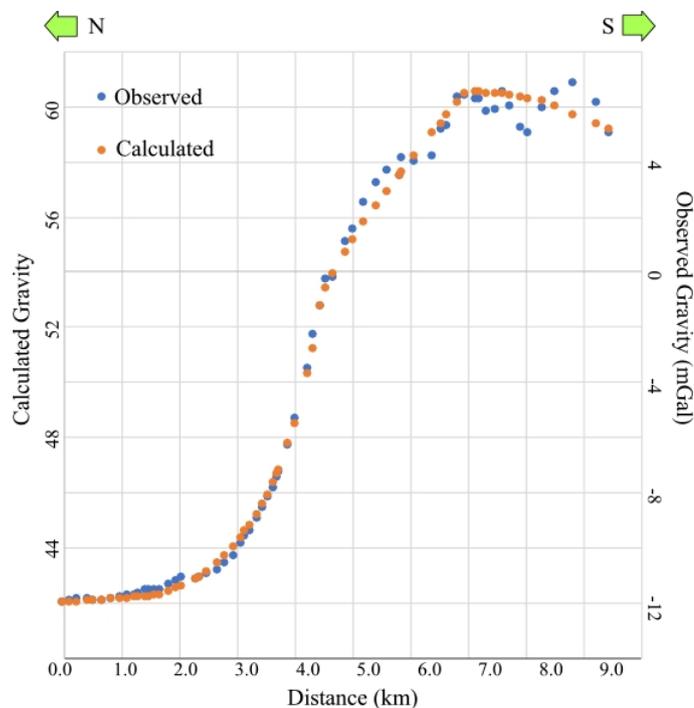


図41 中央構造線断層系 A 測線における観測ブーゲー異常と密度構造モデルから推定される計算ブーゲー異常

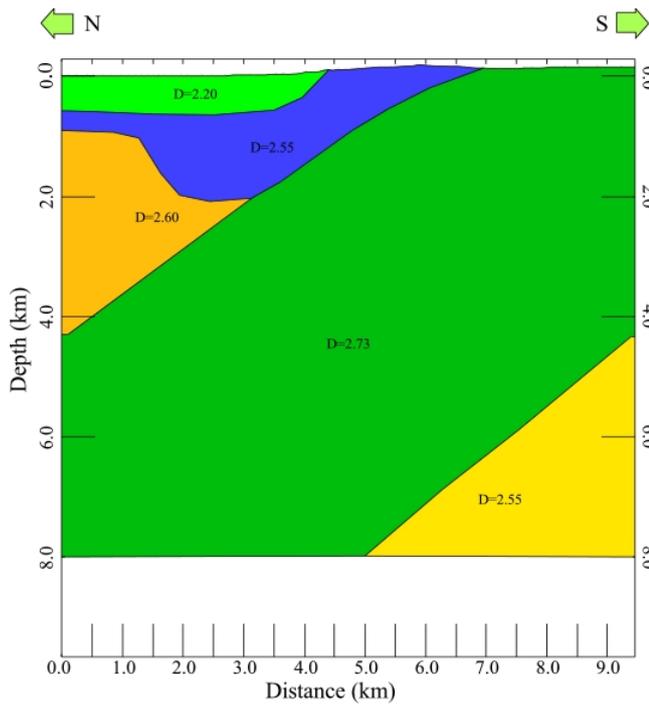


図 42 中央構造線断層系 A 測線における密度構造モデル。  
 地層との対応関係は、おおよそ第 1 層(2.20 g/cm<sup>3</sup>)が岡村層および沖積層、第 2 層 (2.55 g/cm<sup>3</sup>) が和泉層群、第 3 層 (2.60 g/cm<sup>3</sup>) が領家コンプレックス、第 4 層 (2.73 g/cm<sup>3</sup>) が三波川コンプレックスおよび第 5 層 (2.55 g/cm<sup>3</sup>) が四万十帯である。

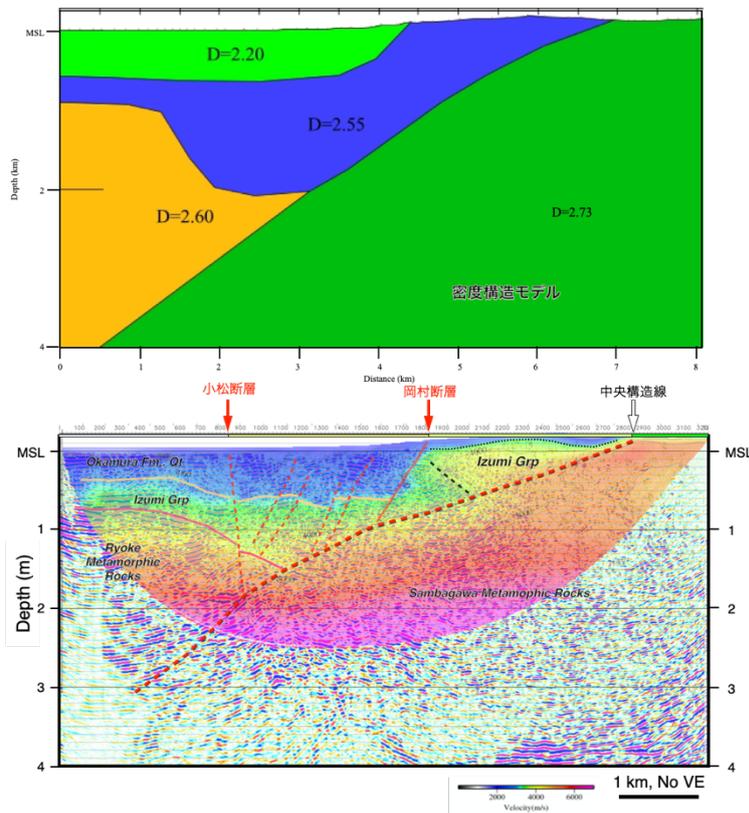


図 43 中央構造線断層系 A 測線と反射法地震探査・西条測線における反射法地震探査のマイグレーション後深度断面の解釈の比較。

問題③および問題④に関して、山形県庄内平野東方中野俣測線における重力調査および解析結果を以下に示す。

既知重力基準点は山形県酒田市内の一等重力基準点（電子基準点（付））940032A を用いた。同点の位置を図 44 に、諸元を表 17 に示す。

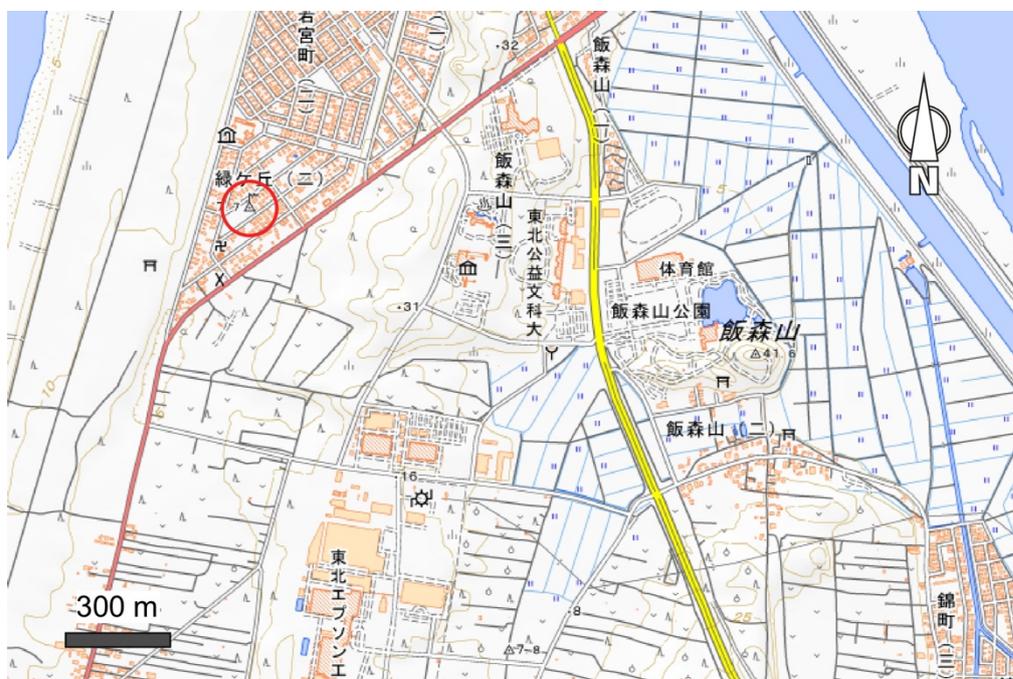


図 44 一等重力点（電子基準点(付)）940032A の位置（赤丸内）  
地形図は国土地理院地図を使用

表 17 中野俣測線において調査に使用した一等重力点の諸元

一等重力点（電子基準点（付））	940032A
基準点コード	G1E000940032A
等級種別	一等重力点(電子基準点(付))
基準点名	940032A
20万分の1地勢図名	酒田
5万分の1地形図名	酒田
緯度	38° 53′ 40′ ′ .5447
経度	139° 48′ 31′ ′ .9000
標高（m）	7.704
重力鉛直勾配（mGal/m）	0
重力値（mGal）	980070.99
ブーゲー異常（mGal）	1.77
エポック	0
作業内容	改算
作業年月日	20161201

一等重力点 940032A は、本調査の測線から西端で 9km、東端で 22 km 程度離れているため（図 45）、中野俣測線近傍、酒田市中野俣中里付近の四等三角点 TR45840208101 に仮重力基準点（7001）を設けた（図 46）。仮重力点 7001 における絶対重力値の算定は、一等重力点 940032A との閉合測定を行うことにより求めた。その際、重力計読み値等のデータを表 18 に示す。なお、閉合重力測定は各点で少なくとも 5 回以上行い、より安定したデータを採用している。

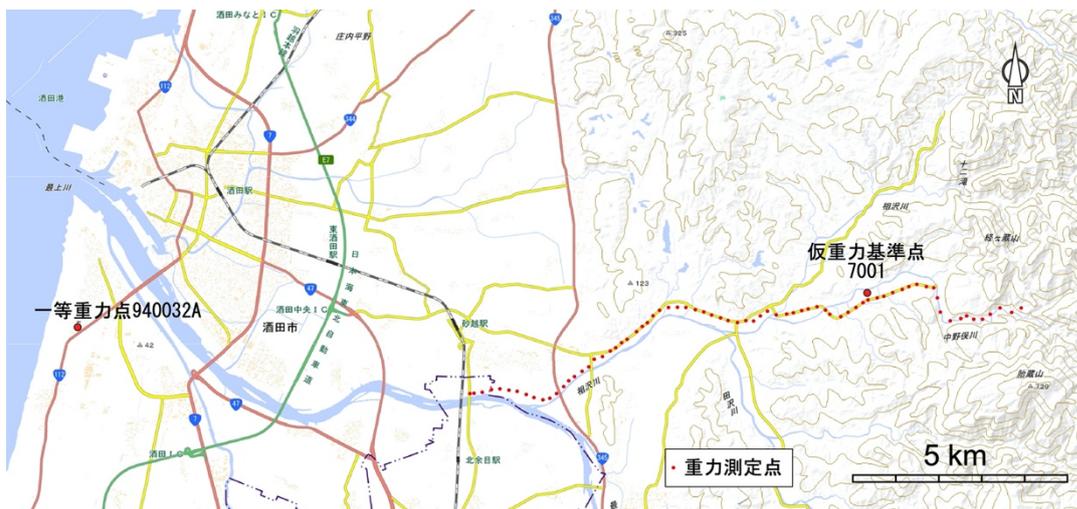


図 45 一等重力点 940032A、仮重力点 7001 および重力測定点の位置関係  
地形図は国土地理院地図を使用

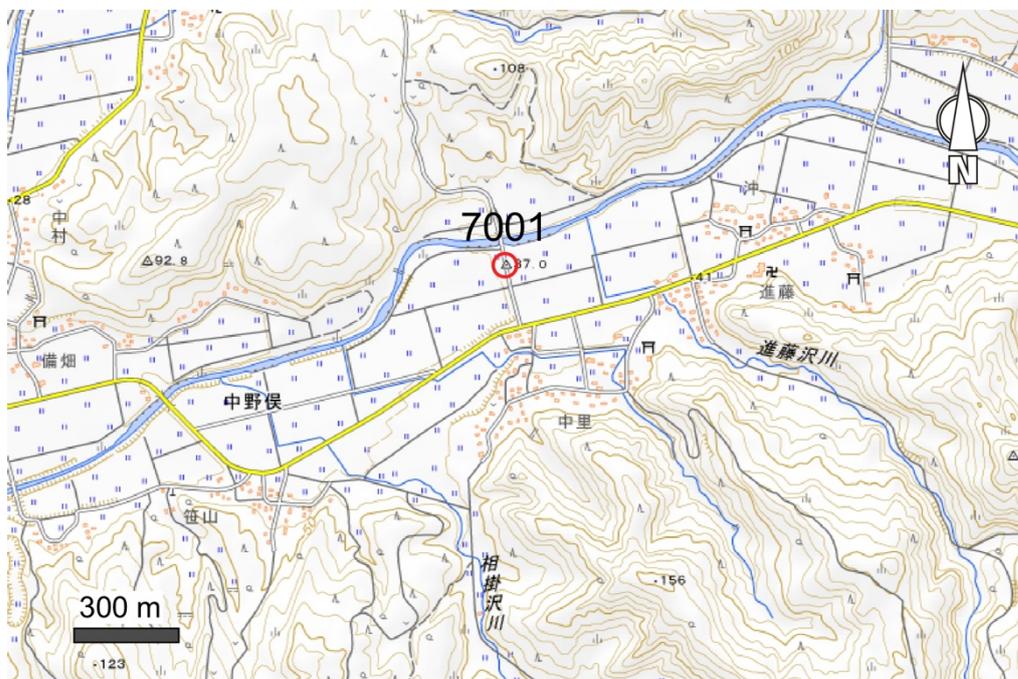


図 46 中野俣測線における仮重力点 7001 の位置  
地形図は国土地理院地図を使用

表 18 中野俣測線における一等重力点と仮基準

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
7000	5314.793	0.247	0.6	-1.1	0.016	120	5:05:20	2019/7/12	一等重力点 940032A
7001	5341.601	0.055	-2.5	-0.2	0.081	120	7:02:42	2019/7/12	仮重力点
7000	5314.989	0.193	2.7	0	0.101	120	8:13:00	2019/7/12	一等重力点 940032A

仮重力基準点 7001 の諸元は以下の通りである。

- ・緯度 北緯 38° 54′ 05″ .9765
- ・経度 東経 140° 00′ 53″ .6976
- ・標高 67.04 (m)
- ・絶対重力値 980097.6727 (mGal)

中野俣測線における重力測定は、73 点で行い、測定間隔は測線沿いにおおむね 200 m を標準とした。重力測定は、一日の測定開始時と終了時に仮基準点において測定を実施し、器械の内部的理由で発生するドリフトの影響を少なくするようにした。測定点の位置を図 47 に、測線 A と地質との位置関係を図 48 に、活断層との位置関係を図 49 に示す。また、測定点の位置情報を表 19 に、各測定点での重力計読み値、器械高等を表 20 に示す。中野俣測線は、本地域周辺二分する主要な地層である中新統青沢層、草薙層、北俣層、鮮新統楯山層、丸山層、観音寺層、更新統庄内層群を横切り、また、青沢断層および庄内平野東縁断層帯を構成する酒田衝上断層群を横切るように設定した。なお、表 19 における X 座標および Y 座標の値は、国土交通省による平面直角座標系 X 系の値である。

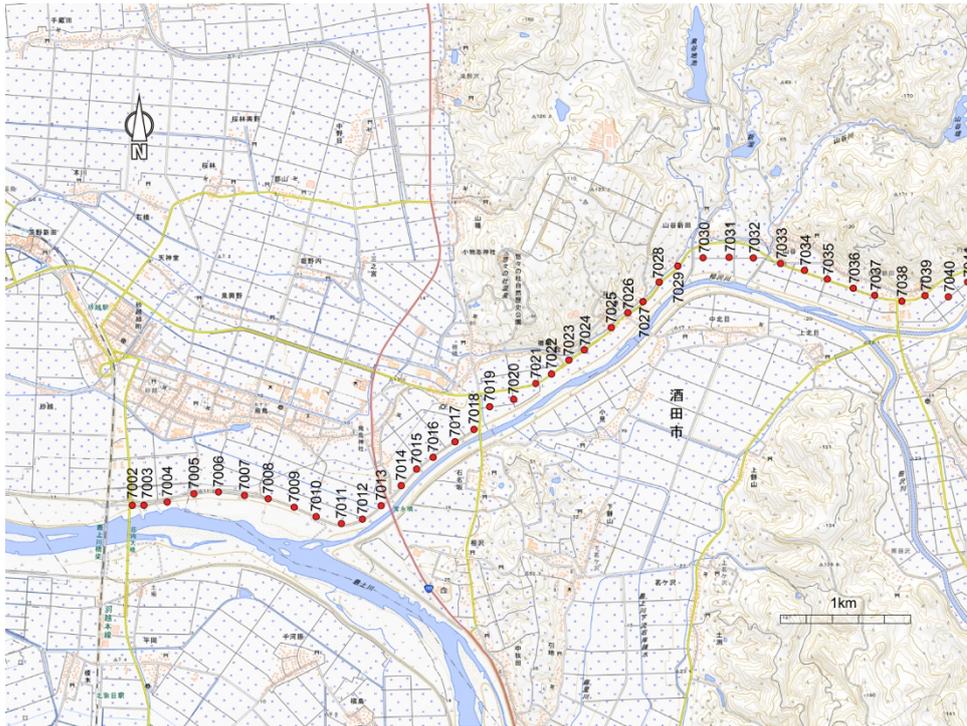


図 47 (その 1) 中野俣測線の重力測定点 (西側)  
地形図は国土地理院地図を使用

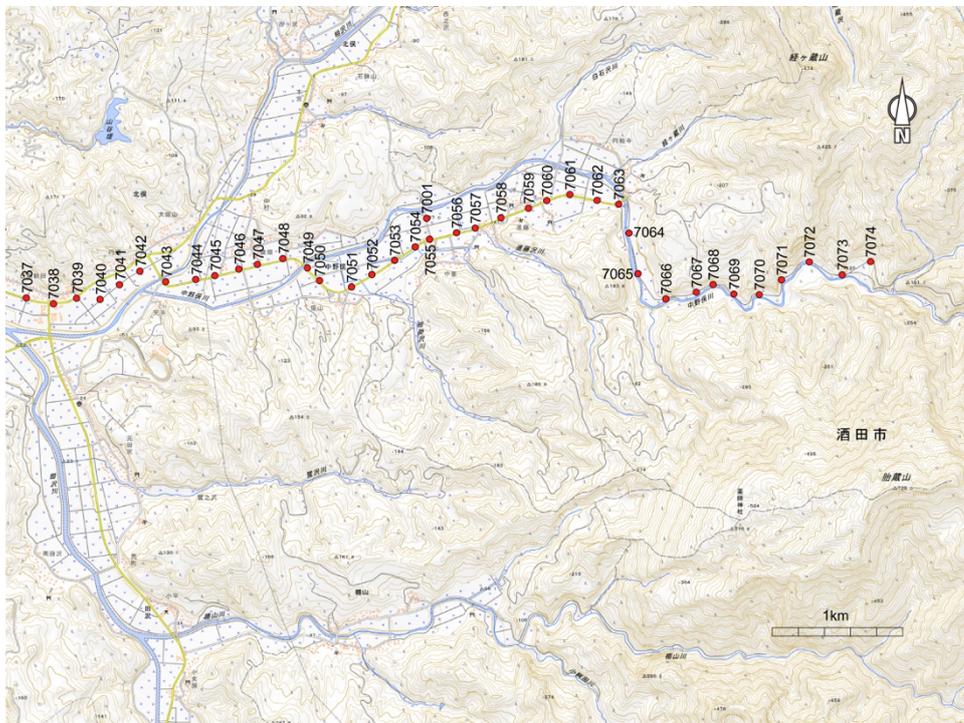


図 47 (その 2) 中野俣測線の重力測定点 (東側)  
地形図は国土地理院地図を使用

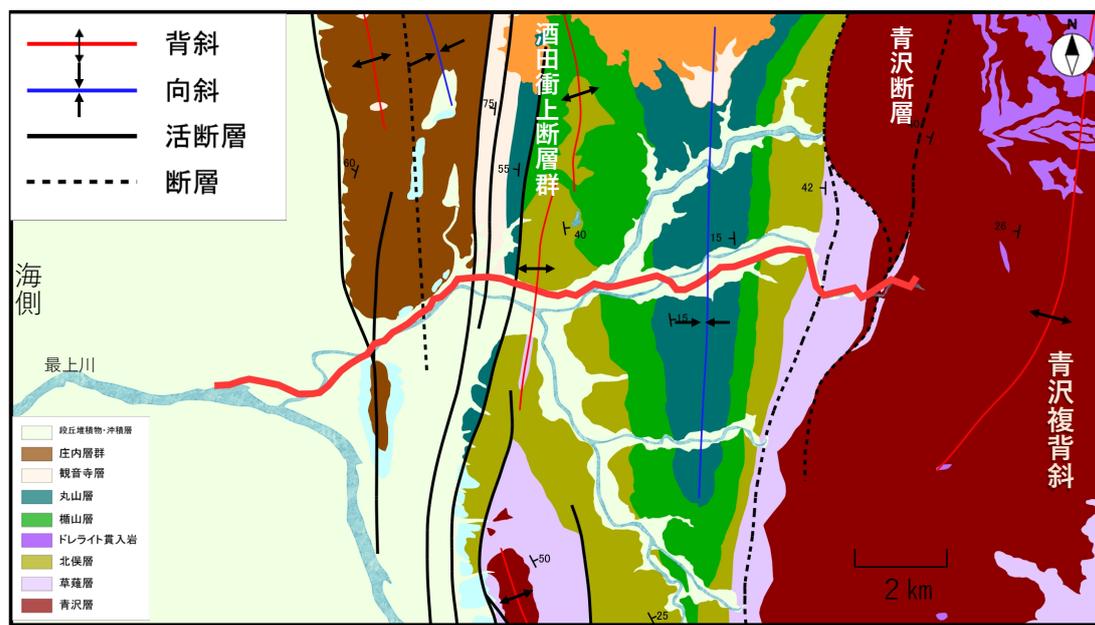


図 48 中野俣測線の重力測定点と地質の関係  
地質情報は、池辺・他（1979）および土谷（1989）による。

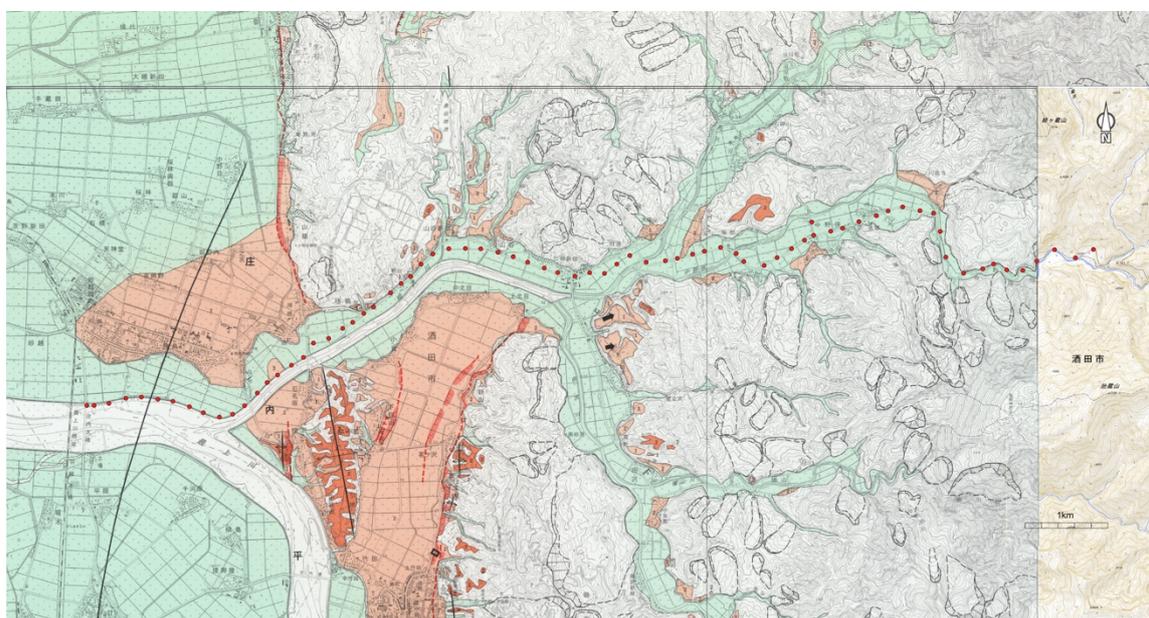


図 49 中野俣測線の重力測定点と活断層の関係  
活断層情報は、国土地理院地図を使用

表 19 (その 1) 中野俣測線における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
7002	-123775.738	-79985.941	38.8814087	139.911443	11.4385
7003	-123777.936	-79899.004	38.8814049	139.9124451	11.6118
7004	-123754.81	-79701.965	38.881588	139.9147132	11.7097
7005	-123711.005	-79507.263	38.8819771	139.9169519	11.7793
7006	-123696.028	-79298.583	38.8822098	139.9193551	11.7802
7007	-123715.032	-79113.254	38.8820648	139.9214931	11.5417
7008	-123752.378	-78918.448	38.8817482	139.9237424	12.0312
7009	-123808.086	-78726.257	38.8812103	139.9259637	12.3628
7010	-123891.389	-78544.601	38.8804741	139.9280667	12.2047
7011	-123962.813	-78362.42	38.8798599	139.9301743	12.2318
7012	-123930.265	-78173.257	38.8801651	139.9323505	12.3661
7013	-123822.186	-78005.381	38.8811569	139.9342729	12.6467
7014	-123677.281	-77866.722	38.8824615	139.9358544	12.4003
7015	-123555.428	-77748.499	38.8836098	139.9372031	12.4147
7016	-123432.968	-77599.614	38.8847084	139.9389051	12.4825
7017	-123323.129	-77432.938	38.885704	139.9408136	12.5637
7018	-123237.556	-77275.891	38.8865013	139.942614	12.712
7019	-123066.244	-77178.283	38.8880043	139.9437197	10.7273
7020	-123009.661	-76973.961	38.8885612	139.9460683	10.8766
7021	-122881.96	-76846.026	38.8897133	139.9475285	12.2827
7022	-122814.364	-76712.258	38.8903542	139.9490627	13.0022
7023	-122696.79	-76544.763	38.8914299	139.9509801	15.2938
7024	-122587.629	-76389.56	38.8924179	139.9527569	15.3138
7025	-122434.396	-76191.648	38.8937874	139.955021	15.4702
7026	-122329.429	-76078.767	38.8947411	139.9563105	15.6404
7027	-122243.247	-75953.174	38.8955574	139.9577486	15.8263
7028	-122077.155	-75811.903	38.8970757	139.9593587	16.4354
7029	-121931.463	-75657.222	38.8984146	139.9611256	16.763
7030	-121907.722	-75473.093	38.8986206	139.9632455	16.2231
7031	-121908.074	-75245.375	38.8986359	139.9658705	16.4573
7032	-121908.272	-75064.046	38.8986359	139.9679608	17.1002
7033	-121953.241	-74873.268	38.8982124	139.9701648	18.9994
7034	-122013.415	-74685.805	38.897728	139.9723323	18.2347
7035	-122082.979	-74490.107	38.8970985	139.9745956	19.0791
7036	-122144.55	-74315.212	38.8965607	139.9766183	19.3507
7037	-122211.894	-74144.763	38.895977	139.9785903	21.3814
7038	-122256.304	-73931.794	38.8955917	139.98105	20.2299
7039	-122205.185	-73743.839	38.8960686	139.983211	20.8494
7040	-122236.018	-73544.889	38.895813	139.9855076	21.5914

表 19 (その 2) 中野俣測線における重力測定点位置

測点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
7041	-122115.532	-73389.08	38.8969536	139.9872907	22.4258
7042	-122016.558	-73238.912	38.8978424	139.9890111	23.3113
7043	-122094.311	-73049.735	38.8971672	139.9912001	24.3583
7044	-122083.416	-72825.793	38.8972855	139.9937803	24.67
7045	-122048.447	-72680.654	38.8975983	139.9954496	25.2997
7046	-122007.717	-72503.783	38.8979721	139.9974842	26.8209
7047	-121965.965	-72327.46	38.8983765	139.9995123	27.4452
7048	-121922.478	-72141.374	38.8988266	140.0016528	28.2048
7049	-121997.328	-71923.03	38.8981285	140.0041775	32.893
7050	-122143.208	-71785.897	38.8968658	140.0057736	30.334
7051	-122148.751	-71612.284	38.8967934	140.0077754	32.6825
7052	-122058.726	-71439.314	38.8976593	140.0097599	34.457
7053	-121958.741	-71279.619	38.8985634	140.0115903	34.8768
7054	-121856.342	-71126.937	38.8994293	140.0133397	36.8204
7055	-121777.058	-70963.648	38.9001884	140.0152138	38.4414
7056	-121738.494	-70771.611	38.9005585	140.0174236	38.8289
7057	-121699.534	-70606.806	38.900898	140.0193194	40.6748
7058	-121623.3	-70428.491	38.901577	140.0213671	42.44
7059	-121554.41	-70237.708	38.9022636	140.0235594	43.3821
7060	-121493.442	-70067.902	38.9028358	140.0255107	43.4156
7061	-121442.862	-69849.105	38.9032707	140.0280279	45.6485
7062	-121488.202	-69635.898	38.902874	140.0304904	47.7977
7063	-121491.674	-69461.464	38.902813	140.0325016	50.0531
7064	-121743.336	-69400.1748	38.9006004	140.0332336	50.9711
7065	-122075.135	-69327.6285	38.8976173	140.0341034	53.9891
7066	-122275.892	-69130.8267	38.8958244	140.0363922	58.2401
7067	-122212.199	-68858.9005	38.8964195	140.0395203	61.0951
7068	-122164.873	-68651.9938	38.896862	140.0419006	64.5411
7069	-122322.396	-68506.4173	38.8954544	140.0435944	65.7711
7070	-122255.875	-68362.882	38.8960648	140.0452423	68.1771
7071	-122125.572	-68152.6083	38.8972549	140.0476532	72.0201
7072	-122001.602	-67942.396	38.8983879	140.0500641	76.4181
7073	-122126.083	-67697.2568	38.8972855	140.0529022	79.4911
7074	-121980.684	-67515.991	38.8986092	140.0549774	93.8461

表 20 (その 1) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時 間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5341.732	0.177	3.8	0.3	-0.064	60	0:09:14	2019/7/13	0.171	仮重点
7002	5320.977	0.688	-2.3	-2.4	-0.076	60	1:22:43	2019/7/13	0.169	
7003	5321.010	0.624	3.9	4.5	-0.077	60	1:52:19	2019/7/13	0.167	
7004	5321.108	0.490	0.4	3.1	-0.075	60	2:18:07	2019/7/13	0.168	
7005	5321.214	0.540	-4.1	0.3	-0.072	60	2:38:16	2019/7/13	0.167	
7006	5321.396	0.556	0.8	1.1	-0.067	60	2:58:16	2019/7/13	0.164	
7007	5321.580	0.635	2.0	-4.0	-0.063	60	3:13:04	2019/7/13	0.163	
7008	5321.536	0.467	-8.6	-3.2	-0.056	60	3:30:39	2019/7/13	0.165	
7001	5341.938	0.154	0.3	1.2	-0.035	60	4:16:18	2019/7/13	0.164	仮重点
7001	5405.538	0.059	-3.8	0.9	-0.067	60	4:49:25	2019/10/21	0.159	仮重点
7009	5385.287	0.162	-2.5	2.0	-0.066	60	5:23:31	2019/10/21	0.134	
7010	5385.448	0.247	-3.7	4.0	-0.065	60	5:44:14	2019/10/21	0.131	
7011	5385.586	0.208	7.9	4.5	-0.064	60	5:53:10	2019/10/21	0.134	
7012	5385.730	0.277	6.7	6.8	-0.063	60	6:04:37	2019/10/21	0.112	
7013	5385.844	0.177	-0.9	-1.9	-0.060	60	6:26:57	2019/10/21	0.161	
7014	5386.153	0.156	-0.5	1.8	-0.059	60	6:39:15	2019/10/21	0.161	
7015	5386.352	0.164	1.4	-1.5	-0.058	60	6:48:15	2019/10/21	0.124	
7016	5386.529	0.179	-2.9	-5.1	-0.056	60	7:04:52	2019/10/21	0.132	
7017	5386.909	0.185	-3.0	0.7	-0.055	60	7:15:46	2019/10/21	0.153	
7018	5387.167	0.145	-6.7	0.3	-0.053	60	7:32:43	2019/10/21	0.156	
7001	5405.623	0.070	2.8	-0.4	-0.050	60	7:57:07	2019/10/21	0.165	仮重点

表 20 (その 2) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時 間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5406.082	0.110	-0.1	-2.9	0.038	60	0:10:27	2019/10/22	0.167	仮重力点
7019	5388.409	0.176	0.2	0.8	0.027	60	0:30:08	2019/10/22	0.156	
7020	5388.778	0.249	1.3	3.4	0.021	60	0:41:31	2019/10/22	0.153	
7021	5388.729	0.268	-0.5	-0.5	0.015	60	0:52:21	2019/10/22	0.158	
7022	5388.654	0.189	-4.3	-0.3	0.009	60	1:04:23	2019/10/22	0.143	
7023	5388.312	0.165	-3.0	-3.5	0.000	60	1:18:53	2019/10/22	0.176	
7024	5388.462	0.213	-1.9	0.8	-0.004	60	1:29:16	2019/10/22	0.155	
7025	5388.710	0.286	-2.8	-1.0	-0.011	60	1:40:32	2019/10/22	0.148	
7026	5388.873	0.233	0.7	-3.4	-0.018	60	1:55:29	2019/10/22	0.130	
7027	5389.230	0.215	0.5	-3.6	-0.026	60	2:08:36	2019/10/22	0.179	
7028	5389.548	0.214	6.0	-5.8	-0.031	60	2:19:20	2019/10/22	0.167	
7029	5390.076	0.218	0.0	0.5	-0.036	60	2:30:19	2019/10/22	0.154	
7030	5391.064	0.225	5.4	-1.6	-0.042	60	2:43:10	2019/10/22	0.139	
7031	5392.247	0.237	-3.6	-1.3	-0.067	60	3:50:41	2019/10/22	0.153	
7032	5393.124	0.330	-2.2	-0.7	-0.070	60	4:05:50	2019/10/22	0.134	
7033	5392.904	0.400	1.8	-0.6	-0.072	60	4:16:01	2019/10/22	0.181	
7034	5393.670	0.424	1.4	-0.3	-0.075	60	4:28:53	2019/10/22	0.164	
7035	5394.864	0.254	2.0	-1.9	-0.076	60	4:38:52	2019/10/22	0.165	
7036	5396.104	0.320	2.2	-3.2	-0.078	60	4:52:55	2019/10/22	0.169	
7037	5396.879	0.213	0.7	-1.6	-0.078	60	5:04:35	2019/10/22	0.119	
7038	5398.650	0.392	0.0	-1.8	-0.079	60	5:17:45	2019/10/22	0.172	
7039	5399.590	0.280	4.4	4.3	-0.079	60	5:30:02	2019/10/22	0.165	
7040	5400.608	0.281	4.6	-3.2	-0.078	60	5:44:51	2019/10/22	0.175	
7041	5401.026	0.169	-0.8	-0.2	-0.077	60	5:54:48	2019/10/22	0.170	
7042	5401.532	0.290	-3.2	1.2	-0.077	60	6:03:33	2019/10/22	0.174	
7043	5402.134	0.204	0.7	-1.9	-0.075	60	6:16:16	2019/10/22	0.131	
7044	5402.937	0.243	3.5	-0.9	-0.072	60	6:34:24	2019/10/22	0.139	
7045	5403.277	0.306	3.3	0.6	-0.071	60	6:44:12	2019/10/22	0.165	
7046	5403.581	0.229	0.9	-2.4	-0.068	60	6:55:51	2019/10/22	0.156	
7047	5404.080	0.243	4.9	-4.1	-0.066	60	7:08:10	2019/10/22	0.151	
7001	5406.262	0.138	-3.3	1.6	-0.063	60	7:22:13	2019/10/22	0.165	仮重力点

表 20 (その3) 中野俣測線における重力測定結果

測点 番号	重力読み値 (mGal)	標準 偏差	傾き X	傾き Y	潮汐補正 (mGal)	測定時 間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	器械高 (m)	備考
7001	5406.753	0.161	2.0	4.2	0.071	60	0:08:24	2019/10/23	0.165	仮重力点
7048	5405.024	0.163	-0.9	-3.1	0.064	60	0:24:16	2019/10/23	0.145	
7049	5404.586	0.136	-0.9	0.1	0.058	60	0:35:30	2019/10/23	0.168	
7050	5405.415	0.211	1.6	-2.0	0.050	60	0:50:18	2019/10/23	0.173	
7051	5405.370	0.123	-0.7	1.9	0.045	60	0:59:50	2019/10/23	0.169	
7052	5405.564	0.195	3.4	-2.3	0.036	60	1:13:53	2019/10/23	0.165	
7053	5406.031	0.169	8.0	0.9	0.030	60	1:24:24	2019/10/23	0.169	
7054	5406.175	0.187	-3.1	-0.4	0.024	60	1:33:57	2019/10/23	0.165	
7055	5406.500	0.138	-4.1	2.8	0.016	60	1:46:17	2019/10/23	0.172	
7056	5407.193	0.097	-0.1	-2.1	0.009	60	1:57:12	2019/10/23	0.167	
7057	5407.400	0.124	-3.8	1.5	0.002	60	2:08:05	2019/10/23	0.168	
7058	5407.818	0.156	-2.0	-5.6	-0.010	60	2:26:54	2019/10/23	0.161	
7059	5408.517	0.157	-0.9	4.9	-0.017	60	2:39:24	2019/10/23	0.158	
7060	5409.255	0.127	4.1	-6.7	-0.024	60	2:48:29	2019/10/23	0.174	
7061	5409.775	0.123	-2.9	-3.4	-0.036	60	3:09:05	2019/10/23	0.175	
7062	5410.213	0.143	-5.8	-4.1	-0.078	60	4:43:27	2019/10/23	0.177	
7063	5410.485	0.131	-0.1	-4.0	-0.082	60	4:58:24	2019/10/23	0.160	
7064	5411.176	0.119	-4.8	3.7	-0.086	60	5:21:27	2019/10/23	0.169	
7065	5411.099	0.069	1.2	-0.5	-0.069	60	7:37:46	2019/10/23	0.159	
7066	5411.165	0.090	-3.8	0.4	-0.066	60	7:47:31	2019/10/23	0.157	
7001	5406.952	0.157	-2.1	-0.1	-0.058	60	8:08:17	2019/10/23	0.172	仮重力点
7001	5407.426	0.146	0.5	1.5	0.087	60	0:18:54	2019/10/24	0.165	仮重力点
7067	5411.756	0.049	0.6	-1.2	0.072	60	0:58:46	2019/10/24	0.156	
7068	5411.205	0.064	1.6	2.1	0.052	60	1:35:54	2019/10/24	0.159	
7069	5411.142	0.053	1.0	1.3	0.041	60	1:51:53	2019/10/24	0.161	
7070	5411.243	0.042	1.1	-0.5	0.026	60	2:15:24	2019/10/24	0.171	
7071	5410.820	0.044	2.1	0.6	0.009	60	2:38:21	2019/10/24	0.148	
7072	5411.251	0.050	0.4	-3.4	-0.030	60	3:34:17	2019/10/24	0.172	
7073	5411.932	0.064	0.8	-2.5	-0.055	60	4:12:14	2019/10/24	0.152	
7074	5409.603	0.050	-0.5	-2.7	-0.072	60	4:44:43	2019/10/24	0.164	
7001	5408.132	0.163	-5.7	-4.8	0.087	60	0:37:06	2019/10/25	0.163	仮重力点

表 20 により得られた読み取り値より、器械高補正、ドリフト補正、陸域の地形補正、緯度補正（正規重力値との差の算出）、大気補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行うことにより、ブーゲー異常を算出した。地形補正やブーゲー補正の際に、前述のように近接する庄内地域で推定される地層の密度を用いて、標準地層の密度を、 $2.3 \text{ g/cm}^3$  と仮定した。この推定方法を詳しく述べると、新庄地域には、下位より、長尾層、銀山層、中島層、南沢層、鮭川層、八向層、および毒沢層が分布している（佐藤・他，2006）。年代や岩相の点からこれらの地層は、新庄地域の長尾層が青沢層、銀山層が草薙層、中島層が北俣層、南沢層が楯山層、鮭川層が丸山層、八向層が観音寺層、および毒沢層が庄内層群にほぼ対比される。一方、新庄含む地域で行われた「東北日本横断地殻構造探査」で得られた速度構造と、新庄地域で行われた稠密反射法地震探査断面や近隣のボーリング掘削資料（佐藤・他，2006）から、新庄地域の各層の P 波速度は、

長尾層  $3.8 \sim 5.5 \text{ km/s}$  ( $2.43 \sim 2.66 \text{ g/cm}^3$ )

銀山層・中島層  $3.0 \sim 3.8 \text{ km/s}$  ( $2.29 \sim 2.43 \text{ g/cm}^3$ )

南沢層・鮭川層 2.2~3.0 km/s (2.12~2.29 g/cm<sup>3</sup>)

八向層 1.6~2.8 km/s (1.96~2.25 g/cm<sup>3</sup>)

毒沢層 1.4~1.8 km/s (1.89~2.02 g/cm<sup>3</sup>)

と推定される。これらの P 波速度を、Gardner et al. (1974)の経験式を用いて密度に換算したものを括弧内に示している。これらから、庄内地域の地層の密度範囲が 1.89 g/cm<sup>3</sup>~2.66 g/cm<sup>3</sup>と推定され、これらの地層がいずれも地表まで分布していることから、標準地層の密度を、2.3 g/cm<sup>3</sup>と仮定した。

算出されたブーゲー異常を表 21 に示す。また、北端から南端に向かう距離に対するブーゲー異常の変化を図 50 に示す。図 50 において、ブーゲー異常は東に向かって増大する。測線全長 12.5 km に対して、約 44mGal 程度増大する。測線西端からの距離が 4.5 km 付近までは増大の割合が比較的小さいのに対し、酒田衝上断層群を越える付近では増大の割合が一度大きくなる。これより東方では、すぐ西側の酒田衝上断層群付近に比べれば小さいものの、0~4.5 km 付近の西部に比べ、増大の割合が増す。西端からの距離 11 km 付近の青沢断層付近で段差状にブーゲー異常が増大し、さらに東方では、距離 6~11 km 付近以上の割合でブーゲー異常が増大する。酒田衝上断層群および青沢断層を横切ると、ブーゲー異常の増大の割合が変化するの、東側の浅部により密度の大きい地層が分布していることを示す。

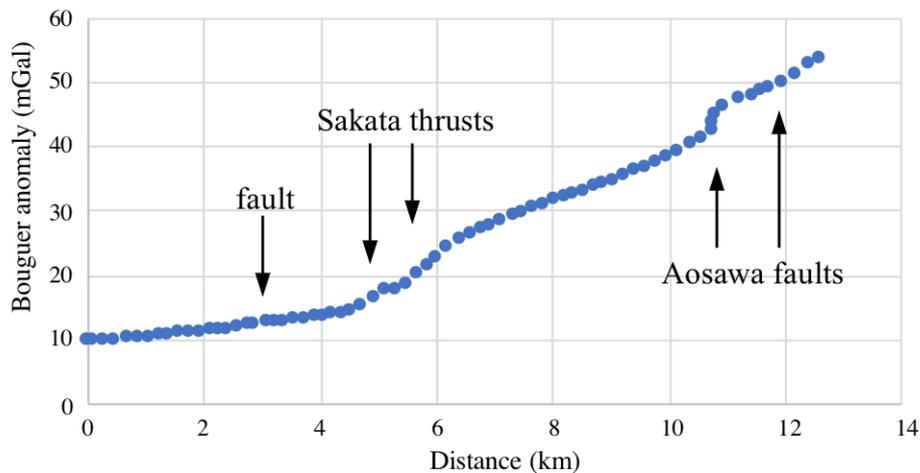


図 50 中野俣測線のブーゲー重力異常

表 21 (その 1) 中野俣測線におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~45 km)	
7002	980076.86	980070.574	0.01	0.02	0.13	9.95
7003	980076.86	980070.573	0.02	0.02	0.13	10.01
7004	980076.94	980070.593	0.02	0.02	0.13	10.10
7005	980077.03	980070.630	0.01	0.02	0.14	10.15
7006	980077.20	980070.643	0.01	0.02	0.14	10.30
7007	980077.37	980070.630	0.02	0.01	0.14	10.46
7008	980077.31	980070.601	0.02	0.02	0.14	10.54
7009	980077.40	980070.559	0.02	0.02	0.15	10.75
7010	980077.55	980070.494	0.02	0.02	0.15	10.93
7011	980077.68	980070.438	0.01	0.02	0.15	11.13
7012	980077.82	980070.466	0.02	0.01	0.16	11.27
7013	980077.93	980070.553	0.01	0.01	0.16	11.35
7014	980078.24	980070.669	0.02	0.00	0.17	11.50
7015	980078.42	980070.767	0.02	0.00	0.17	11.60
7016	980078.59	980070.866	0.01	0.00	0.17	11.66
7017	980078.97	980070.955	0.01	0.00	0.18	11.99
7018	980079.23	980071.024	0.01	0.01	0.19	12.23
7019	980079.99	980071.161	0.00	0.01	0.19	12.43
7020	980080.35	980071.208	0.01	0.02	0.20	12.82
7021	980080.30	980071.310	0.01	0.03	0.20	13.00
7022	980080.21	980071.365	0.01	0.04	0.21	13.04
7023	980079.88	980071.460	0.01	0.06	0.21	13.15
7024	980080.02	980071.548	0.01	0.09	0.21	13.31
7025	980080.26	980071.672	0.02	0.10	0.22	13.51
7026	980080.41	980071.756	0.02	0.10	0.23	13.63
7027	980080.78	980071.826	0.03	0.07	0.23	13.94
7028	980081.09	980071.959	0.03	0.07	0.24	14.27
7029	980081.60	980072.076	0.01	0.05	0.25	14.67
7030	980082.58	980072.097	0.00	0.02	0.26	15.45
7031	980083.74	980072.098	0.00	0.01	0.27	16.66
7032	980084.61	980072.099	0.00	0.01	0.28	17.67
7033	980084.40	980072.065	0.01	0.03	0.28	17.94
7034	980085.15	980072.018	0.00	0.05	0.28	18.64
7035	980086.34	980071.964	0.00	0.08	0.29	20.13
7036	980087.58	980071.917	0.00	0.10	0.29	21.53
7037	980088.33	980071.864	0.00	0.09	0.29	22.76

表 21 (その 2) 中野俣測線におけるブーゲー異常

測点番号	絶対重力値 (mGal)	正規重力値 (mGal)	陸域地形補正 1g/ccの場合 (mGal)			ブーゲー異常 (mGal) 補正密度 2.20g/cc
			近傍 (0~50 m)	中距離 (50 m~1 km)	遠距離 (1~ 45 km)	
7039	980091.05	980071.873	0.00	0.12	0.31	25.45
7040	980092.06	980071.850	0.00	0.07	0.32	26.56
7041	980092.47	980071.947	0.00	0.08	0.33	27.09
7042	980092.98	980072.027	0.00	0.08	0.33	27.71
7043	980093.56	980071.966	0.00	0.05	0.34	28.54
7044	980094.36	980071.976	0.00	0.04	0.36	29.39
7045	980094.70	980072.005	0.00	0.03	0.36	29.84
7046	980095.00	980072.039	0.00	0.02	0.37	30.42
7047	980095.49	980072.074	0.00	0.02	0.38	31.03
7048	980095.93	980072.110	0.00	0.03	0.39	31.63
7049	980095.50	980072.052	0.02	0.03	0.39	32.31
7050	980096.32	980071.936	0.01	0.05	0.41	32.75
7051	980096.27	980071.933	0.00	0.04	0.42	33.21
7052	980096.46	980072.006	0.00	0.03	0.44	33.70
7053	980096.92	980072.087	0.00	0.03	0.45	34.20
7054	980097.06	980072.170	0.00	0.03	0.46	34.70
7055	980097.38	980072.234	0.00	0.03	0.48	35.34
7056	980098.07	980072.266	0.00	0.04	0.50	36.15
7057	980098.27	980072.298	0.01	0.05	0.52	36.78
7058	980098.68	980072.360	0.01	0.06	0.54	37.59
7059	980099.37	980072.416	0.01	0.07	0.57	38.50
7060	980100.11	980072.466	0.00	0.06	0.61	39.24
7061	980100.62	980072.508	0.01	0.06	0.65	40.30
7062	980101.02	980072.473	0.00	0.10	0.70	41.38
7063	980101.28	980072.472	0.01	0.14	0.74	42.32
7064	980101.97	980072.272	0.03	0.25	0.77	43.75
7065	980101.83	980072.008	0.00	0.40	0.81	44.92
7066	980101.89	980071.850	0.04	0.37	0.90	46.26
7067	980101.98	980071.902	0.05	0.53	0.99	47.50
7068	980101.41	980071.941	0.08	0.62	1.04	48.01
7069	980101.34	980071.817	0.00	0.67	1.16	48.54
7070	980101.44	980071.871	0.03	0.64	1.18	49.12
7071	980100.99	980071.976	0.09	0.73	1.20	49.79
7072	980101.41	980072.076	0.01	0.91	1.22	51.31
7073	980102.06	980071.979	0.08	0.76	1.35	52.82
7074	980099.72	980072.096	0.01	0.99	1.26	53.56

問題③や問題④では、厚い堆積層とそこに伏在する活断層の存在形態を確認することが重要であるので、それより地下深部に原因をもつ密度変化を取り除かなければならない。そのため、東北地方を横断する方向の広域的なブーゲー異常変化を取り除く。図 51 は、地質調査総合センター（2004）が公開しているデータを利用し、中野俣測線の南北方向の中心、北緯 38 度 53 分 30 秒から±5 分、つまり北緯 38 度 48 分 30 秒～38 度 58 分 30 秒の間で、東西方向は東北日本全体を網羅するブーゲー異常の東西方向の変化を示す。これらのデータを解析する際には、公開データに含まれる水域地形補正を算入し、また、地形補正やブーゲー補正の範囲は公開データの様式にしたがって 60 km とした。補正計算に用いる標準地層の密度は、中野俣測線に合わせて 2.3 g/cm<sup>3</sup> とした。

図 51 に示すように、東北地方におけるブーゲー異常の変化は、直線近似すると、西に向かって減少する。この変化率は、0.0007 mGal/m である。そこで、この変化率を広域的なトレンドとして、浅部構造の解析の際には除去することにする。計算上は、

(トレンド補正後の値) = (観測ブーゲー異常) - 0.0007 × (測定点の西端からの距離)  
 である。計算結果を図 54 に示す。

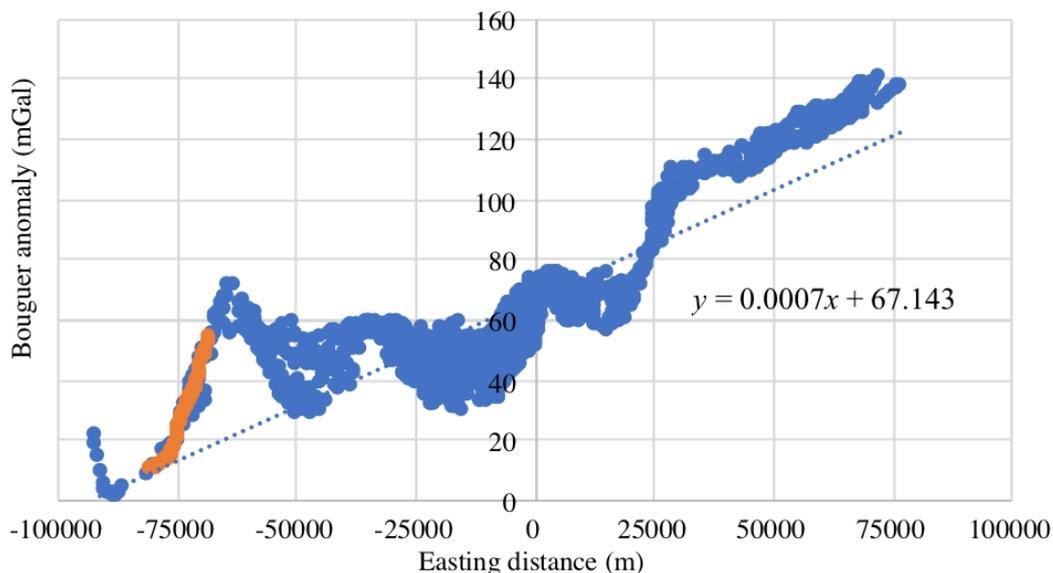


図 51 中野俣付近 (38°53.5′) から南北に±5′ の東北地方陸域のブーゲー異常 (補正密度 = 2.30 g/cm<sup>3</sup>, 青点で表示) および中野俣測線上での測定値 (赤点)

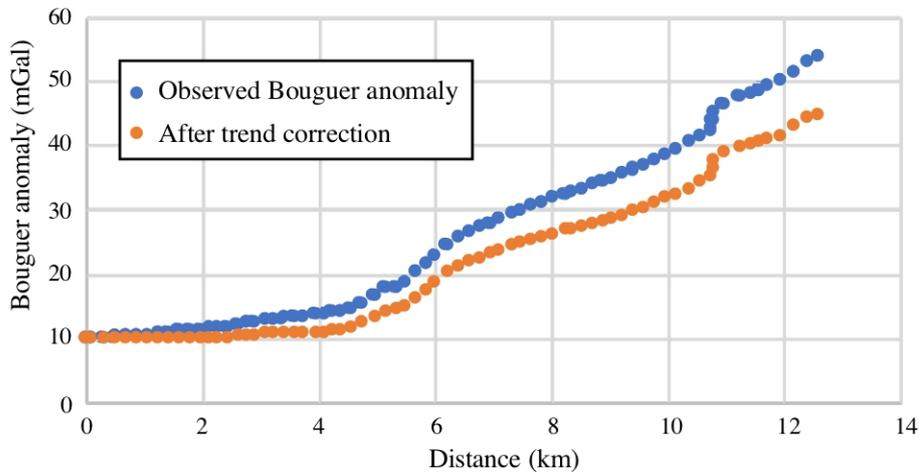


図 52 中野俣測線におけるトレンド補正前後のブーゲー重力異常

図 52 に示すようなトレンド補正後のブーゲー異常に適合するよう地下密度構造モデルを検討する。前述のように、新庄地域との地層の対比を考慮に入れて、5 層モデルで検討する。各層の密度は以下の通りである。

- 第 1 層 1.90 g/cm<sup>3</sup> 庄内層群に相当
- 第 2 層 2.00 g/cm<sup>3</sup> 観音寺層に相当
- 第 3 層 2.20 g/cm<sup>3</sup> 楯山層・丸山層に相当
- 第 4 層 2.40 g/cm<sup>3</sup> 草薙層・北俣層に相当
- 第 5 層 2.65 g/cm<sup>3</sup> 青沢層に相当

なお、第 5 層は新庄地域では長尾層に相当するが、長尾層は泥岩を主体とする地層であるのに対し、青沢層は玄武岩溶岩や玄武岩質火砕岩からなるので、長尾層よりやや大きい値を設定した。密度構造から算出されるブーゲー異常は Talwani et al. (1959)の方法に基づく、重力場解析ソフト LTC 社製 2 MOD を使用した。この際、background density は、ブーゲー補正算出時に用いたのと同じ標準地層の密度 2.30 g/cm<sup>3</sup>とした。解析に当たっては、地表に分布する地質と矛盾の無いようにし、サブテーマ 1 で得られている反射法地震探査による深度断面を参考にした。解析の結果を図 53、図 54 および図 55 に示す。図 53 にトレンド補正後の観測ブーゲー異常と密度構造から推定される計算ブーゲー異常を示し、図 54 に密度構造図、図 55 に参考にした反射法地震探査による深度断面図を示す。地域全域で、観測と計算ブーゲー異常はおおむねよい一致を示す。

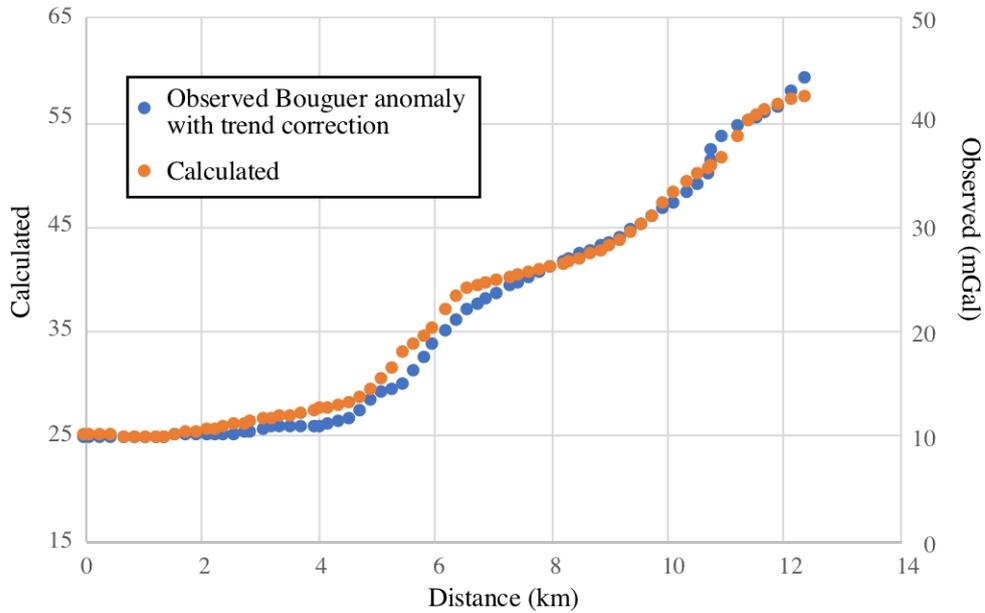


図 53 中野俣測線における観測ブーゲー異常と密度構造モデルから推定される計算ブーゲー異常

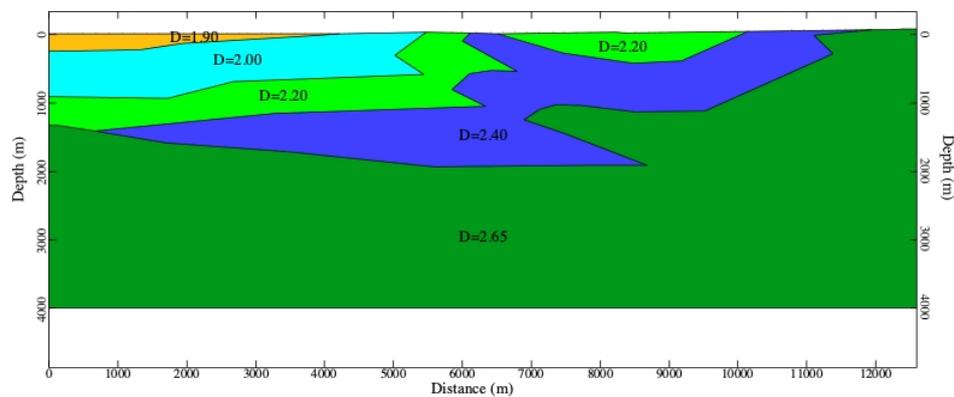


図 54 中野俣測線における密度構造モデル  
 地層との対応関係は、おおそ第 1 層 ( $2.90 \text{ g/cm}^3$ ) が庄内層群、第 2 層 ( $2.00 \text{ g/cm}^3$ ) が観音寺層、第 3 層 ( $2.20 \text{ g/cm}^3$ ) が楯山層・丸山層、第 4 層 ( $2.40 \text{ g/cm}^3$ ) が草薙層・北俣層および第 5 層 ( $2.65 \text{ g/cm}^3$ ) が青沢層に相当する。

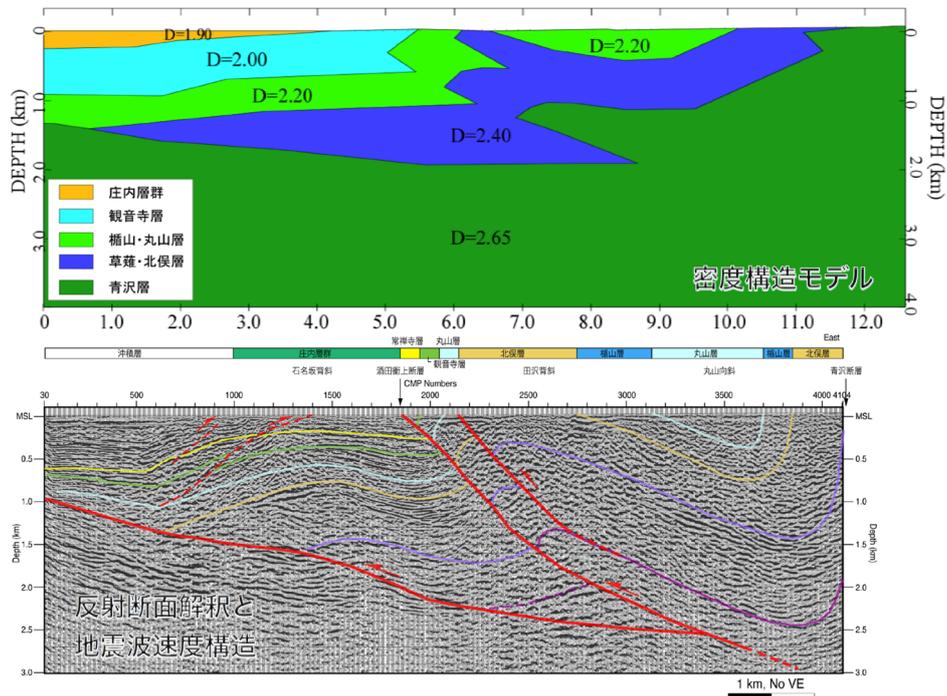


図 55 中野俣測線における密度構造モデルと反射法地震探査のマイグレーション後深度断面図の解釈の比較

図 54 の密度構造モデルから推定される断層構造を図 55 の反射法地震探査のマイグレーション後の深度断面と比較する。図 55 では、酒田衝上断層群は 2 条の分岐した断層から構成され、浅部で約  $45^\circ$ 、深部で約  $30^\circ$  と低角で東に傾いている。この断層群は、青沢層以上の地層群を大きく変位させ、この断層活動に伴って上盤側には背斜や向斜の地質構造が形成されていることを強く示唆している。さらに、図 54 の密度構造モデルから東側の青沢断層付近に密度構造の段差が推定されるが、これは青沢断層のうちでも地質図で示される西側の断層に相当し、この段差が示すように、大きな変位が認められる。これらの断面では必ずしも明らかではないが、酒田衝上断層群より青沢断層の方がやや傾斜角が大きいことから、さらに深部では一つの断層に収斂する可能性がある。一方、酒田衝上断層群の下盤側では、第 4 層、つまり草薙層以上に相当する地層が草薙相当層の層理面に大きく斜交しない断層により断ち切られると解釈できる。これは、草薙層など泥質岩がディタッチメント断層を形成していることを示唆する。

このように今回得られた密度構造モデルから推定される地質構造と、サブテーマ 1 において反射法地震探査断面から推定される断層構造とは大局的によい一致を示す(図 54、図 55)。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

稠密重力調査により、安曇川測線、中央構造線断層帯 A 測線および中野俣測線のブーゲー異常の変化が明らかになった。

安曇川測線では、ブーゲー異常の変化と地質や断層との関係が明らかになった。距離に対するブーゲー異常の変化率は、東側の琵琶湖西岸断層帯付近や西側の花折断層帯付近で大きく変化する。密度構造モデルからは、琵琶湖西岸断層帯は少なくとも2条の断層から構成され、より東側の断層は地形面に大きな変動が認められないものの、変位はより大きいと推定される。花折断層帯付近のブーゲー異常の急変は、丹波帯内の地質分布の変化に起因する可能性があり、この分布変化には花折断層そのものが関与する可能性がある。

中央構造線断層帯A測線では、ブーゲー異常は三波川コンプレックスの分布地域に向かって大きくなる。特に、岡村層分布域から岡村断層に至る地域では、大きな傾度でブーゲー異常が変化する。密度構造モデルからは、岡村層の東縁を画する岡村断層は、西に傾いていることが強く示唆され、地下深部では中央構造線に収斂する可能性がある。

中野俣測線では、ブーゲー異常は酒田衝上断層群および青沢断層周辺で急変し、密度の異なる地層がこれらの断層を挟んで接しており、より東側ほど密度の大きい地層が分布することを示す。密度構造モデルからは、酒田衝上断層群は2条の断層からなり、ほぼ東に $45^{\circ}$ ～ $30^{\circ}$ で傾斜すると推定される。青沢断層については、変位の大きい断層は1条が推定され、地下では酒田衝上断層群と収斂し、一つの断層となる可能性がある。また、酒田衝上断層群から派生したディタッチメント断層が存在し、その上位の地層を変位している可能性を示す。

今後の課題として、大局的には、反射法地震探査による断層構造や地質構造は、重力調査に基づく結果と主要な断層の位置関係や地質分布と同じである。ただし、詳細には地下における断層や地質分布が完全に一致はしていない。今後、重力調査に基づく、密度構造モデルについて、この点を踏まえて、さらに改善が望まれる。

#### (e) 引用文献

- 青矢睦月・野田 篤・水野清秀・水上知行・宮地良典・松浦浩久・遠藤俊祐・利光誠一・青木正博，新居浜地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター，181 p., 2013.
- 地質調査総合センター，日本重力 CD-ROM 第2版，2004.
- 地質調査総合センター，1：200,000 地質図幅「高知第2版」，2018.
- Gardner, G. H. F., Gardner, L. W. and Gregory, A. R., Formation velocity and density – The diagnostic basics for stratigraphic traps. *Geophys.*, 39, 770-780, 1974.
- 木村克己・吉岡敏和・中野聰志・松岡 篤，北小松地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，102 p., 2001.
- 木村克己・吉岡敏和・井本伸広・田中里志・武蔵野実・高橋裕平，京都東北部地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，89 p., 1998.
- 池辺 穰・大沢 穠・井上寛生，酒田地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，42 p., 1979.
- 石田志朗・河田清雄・宮村 学，彦根西部地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1図幅），地質調査所，121 p., 1984.
- 伊藤谷生・他24名，四国中央構造線地下構造の総合物理探査，地質学雑誌，102巻，346-360，1996.

- 宮内崇裕・岡田篤正・堤 浩之・東郷正美・平川一臣, 都市圏活断層図「北小松」, D1-No.449, 国土地理院, 2005.
- 中江 訓・吉岡敏和, 熊川地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 71p., 1998.
- 中江 訓・吉岡敏和・内藤一樹, 竹生島地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 71 p., 2001.
- 岡田篤正・東郷正美・中田 高・植村善博・渡辺満久, 都市圏活断層図「京都東北部第2版」, D1-No.524, 国土地理院, 2008.
- Sato, H., Kato, N., Abe S., Van Horne, A., Takeda, T., Reactivation of an old plate interface as a strike-slip fault in a slip-partitioned system: Median Tectonic Line, SW Japan. *Tectonophysics*, 644-645, 58-67, 2015.
- 佐藤比呂志・他 13 名, 新庄盆地東部佳津褶曲群を横切る反射法地震探査. 地震研究所彙報, 81, 157-169, 2006.
- Talwani, M., Worzel, J. M., Landisman, M., Rapid Gravity Computations of two-dimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Jour. Geophys. Res.*, 64,49-59, 1959.
- 土谷信之, 大沢地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 85 p., 1989.
- 堤 浩之・熊原康博・千田 昇・東郷正美・平川一臣・八木浩司, 都市圏活断層図「熊川」, D1-No.449, 国土地理院, 2005.