

海底重力測定に基づく富山トラフの海底表層構造

松本 剛^{*1} 堀田 宏^{*1}

富山トラフ南部を西北西—東南東に横切る断面に沿って、「しんかい2000」による潜航調査を行い、目視観察と併せて海底での重力測定を実施した。1989年はトラフ上の小海嶺付近で4点の測定を行い、1987年の富山深海長谷、1988年のトラフ中軸部から東部にかけての測定と併せて、合計15点の測定が行われたことになる。測定結果は、トラフ南部では、その中軸部に向かうほど海面と海底との異常値の差が大きく、縁に向かうにつれてその差は小さくなることを示す。一方、1989年に測定を行った小海嶺付近では両者に殆ど違いが見られない。このことは、堆積物の厚さの場所による違いを反映しているものと考えられる。また、この重力測定結果と当該海域の震源分布とから、トラフ下には東側から西側に向かって傾斜する基盤地形が存在し、その上を堆積物が覆っていることが明かとなった。

Shallow structure of the Toyama Trough based on in Situ sea floor gravity measurement

Takeshi MATSUMOTO^{*2}, Hiroshi HOTTA^{*2}

Precise survey by use of DSRV "SHINKAI2000" was conducted along the WNW-ESE section across the southern part of the Toyama Trough. During the diving mission, gravity measurement at the sea bottom was carried out along the section together with visual observation of the geological structure of the bottom of the Toyama Trough. In 1989, four gravity stations were established near a small ridge on the Toyama Trough, which results in the 15 stations totally in this area including those at the Toyama Deep Sea Channel in 1987, and those at the southern part of the trough from central to eastern part in 1988. The result shows that in the southern part of the Toyama Trough the difference between the gravity anomaly at sea surface and that on the bottom increases towards the axis of the trough, whereas the difference decreases towards the edge of the trough. The difference is quite small near the small ridge where gravimetry was conducted in 1989. This result corresponds to the variation of sediment thickness from place to place. The sub-bottom structure of the Toyama Trough was obtained from the result of gravity measurement with reference of the distribution of hypocentres. Basement rock inclines from east to west overlain by a sedimentary layer beneath the Toyama Trough, which suggests that this area has opposite polarity of sub-

*1 海洋科学技術センター

*2 Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC)

duction expected along the eastern edge of the Japan Sea.

1. はじめに

日本海東縁部は新生プレート境界として注目されており、これに伴う活構造と見られる現象が幾つか報告されている。「しんかい2000」シンポジウムでも奥尻海嶺の調査結果が取り上げられている(徳山・他, 1989)。しかし、富山湾、あるいはフォッサマグナの北方延長部に当たる富山トラフに於ては、1985年よりシービームを用いた微細地形調査、深海曳航体 JAMSTEC/DEEP TOW を用いた局所表層調査を実施し、更に1987年より潜水調査船「しんかい2000」を用いた精査を行ってトラフ底の表層構造を調査しており、また海上保安庁水路部による調査も行われている(浅田, 1989)ものの、他の日本海東縁の海底と同様に新生プレート境界であるかどうかは解っていない。

海底微細変動を調べるためには、海底表層の目視調査と併せて、海底下の構造を知る必要がある。そのためには重力測定が極めて有効な方法である。陸上用重力計を潜水船内に持ち込んで計測する方法が、現在のところ最も多く用いられている。測定に相当の時間を要するなど、効率が極めて悪いことが難点であるが、条件によっては陸上測定と同程度の精度での測定が可能であるため、これまでいろいろな機関によって実施されてきた。筆者らによっても、これまでに本海域や、南西諸島海域の伊豆海穴で測定が行われている。この海域に於ては、1987年にはトラフ西縁部の富山深海長谷に於て、1988年には能登半島沖の富山トラフ中軸部に於て、それぞれ潜水船内に陸上用重力計を持ち込んで重力測定を行った。これらの成果は前回のこのシンポジウム特集号で報告した通りである(松本, 1989)。

1989年は、これまで海上保安庁水路等により行われた地球物理観測結果(地形、重力、地磁気)や地震活動等のデータも考慮して、調査海域をトラフ中軸部の $37^{\circ}33'N$, $137^{\circ}57'E$ の小海嶺付近に選び、8月29日の潜航調査(第436潜航)に於て測定を実施した。本稿においては、1987年~1989年にかけて行われた富山舟状海盆南部における海底重力測定結果を報告し、またその結果をもとにして当該海域の表層構造並びに海底微細変動状況

に関する考察を行う。

2. 方法

1989年は、富山トラフと佐渡海嶺との接触部を調査候補海域として選んだ(図1)。海上保安庁

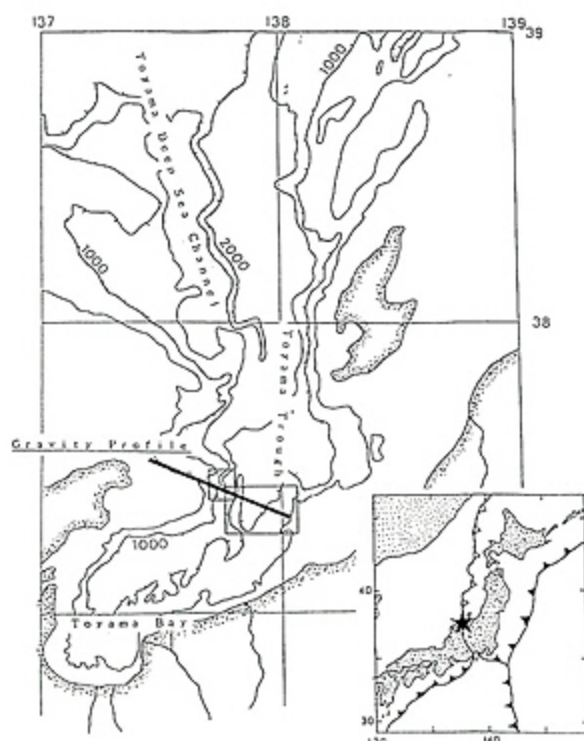


図1 能登半島沖調査海域の海底地形図。重力測定を行った測線を図中に実線で示す。

水路部の海上重力測定結果によれば、富山トラフ中軸部の $37^{\circ}33'N$, $137^{\circ}57'E$ の小海嶺を境として同トラフに伴う負のフリーエア異常帯が東西にずれており、その東側の異常帯は南西に連続して富山湾に達し、西側の異常帯は北東に連続して日本海東縁の想定プレート境界に沿って北上している。また気象庁の地震データ(図2, 図3)によれば、当該海域に於ては最近の3年間にマグニチュード3~5クラスの地震が頻発しており、震源分布は西落ちの傾向が見られる。地震分布帯はこの点が北限であり、この点から南に分布しているが、地形から見てこの南の部分は相当平らである

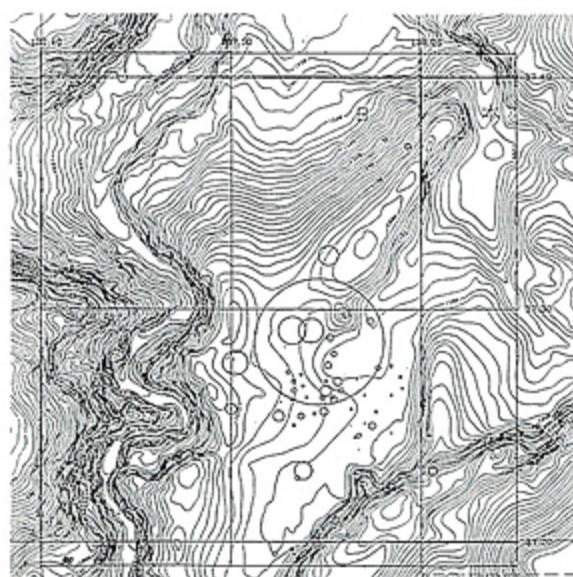


図2 気象庁地震月報による本調査海域の震央分布 (1985-1989)。海上保安庁水路部発行の海底地形図上に示す。

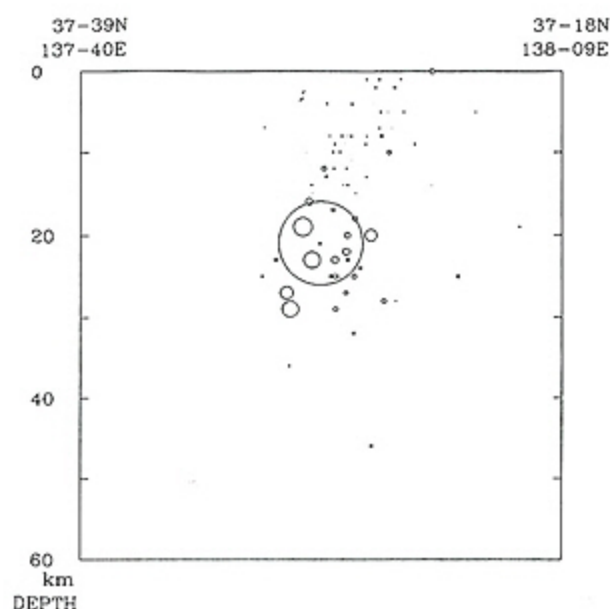


図3 富山トラフを横切る断面 (図1実線) に沿った震源分布。

ため、変動地形が出ているとすれば本小海嶺の付近であることが期待される。

以上の点を考慮し、平成元年8月29日の潜航調査 (第436潜航) に於て測定を実施した。当初の予定では2潜航を行うことになっていたが、海況不良のため、1潜航となった。また、潜航に当た

ってはこの小海嶺を横断する測線を候補測線としたが、潜航当日予定地点で漁網の存在を確認し、やむなく同海嶺の南端の裾部を西北西-東南東方向に横切る測線に変更した。このためか、潜航地点の海底は一面軟かい堆積物に覆われており、目視では変動の痕跡については確認出来なかった。

本潜航で測定に用いた重力計は、これまでと同じくラコスト G-183である。これは環太平洋重力結合によって新たに定数が決められており (Nakagawa et. al., 1984)、データの整約においてはすべてこの新しい定数を用いた。測定に当たっては、富山一等重力点 (富山地方気象台内、重力値979 867.51mgal) を基準とした相対測定を行った。すなわち、調査前後にこの場所で重力計の検定 (絶対値計算及びセンサーのドリフト検定のため) を行った。

得られた測定値については、海面上での値に換算して重力異常を計算する必要がある。海面上に換算したフリーエア異常 $\Delta g'$ は、
$$\Delta g' = g_{obs} - \beta D + 4 \pi k^2 \rho_w D - \gamma$$
 となる。ここで記号は、

g_{obs} : 海底の測定点での測定値

γ : その場所での正視重力値

β : 重力鉛直勾配 ($= dg/dz$)

k^2 : 万有引力定数

D : 測定点での水深

ρ_w : 海水密度

である。但し以上は海底地形の凹凸を全く無視した場合の関係式である。特に地形の急峻な場所では、地形による重力効果が大きく効くため、海底下の構造を推定するためには、地殻密度を仮定した地形補正が必要となる。補正法については里村・他 (1987) に詳しい。

3. 結 果

表1は、平成元年度の富山トラフの重力測定地点の位置、及びこれらの測定データについての各種補正量と補正後の重力値を示したものである。海底での測定数は4点である。最終的な重力値としては、重力計のドリフト補正済みのものを挙げてある。ここで、重力鉛直勾配 (dg/dz) は一律に0.3086mgal/mとした。この点については、松本 (1989) により詳しく議論されている。深さは潜水船の深度計の読み取り値を用い、深度計と重

表1 富山トラフ重力測定結果(1989年9月測定)

測 定 点	緯 度	経 度	重力計の 読み	スケール ファクター mgal	潮汐 補正 μgal	重力値 mgal	絶対重力値 (F997補正 済) mgal	正規 重力値 mgal	潜水船 深度 m	深度 補正値 mgal	フリー 異常 mgal
TOYAMA ※			3474.354	3652.370	-54.8	3652.315	979867.51				
G-14	37-29.64N	137-57.29E	3762.391	3955.658	133.3	3955.791	980171.27	979948.01	1127	※※	-27.7
G-15	37-29.73N	137-56.86E	3761.965	3955.210	84.8	3955.295	980170.77	979948.14	1123	250.02	-27.4
G-16	37-29.75N	137-56.33E	3759.812	3952.943	9.4	3952.952	980168.43	979948.17	1111	247.35	-27.1
G-17	37-29.87N	137-56.08E	3758.815	3951.893	-38.3	3951.855	980167.34	979948.34	1103	245.57	-26.6
TOYAMA			3474.032	3652.020	-54.2	3651.966	979867.51				

※ 測定点番号は昭和62年度からの通し番号とする。

※※ 深度補正値計算のための重力計深度は、潜水船深度(CTD採取値) + 2.27m - 舳艫高 となる。

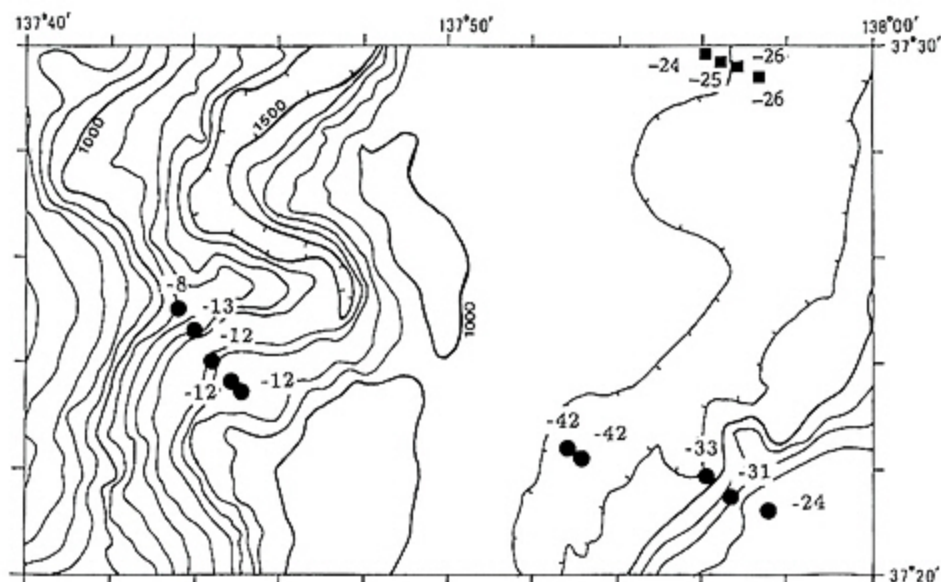


図4 昭和62～平成元年度の重力測定結果(海面上でのフリーエア異常)。海底物質の密度を1.8g/ccと仮定し、トラフを横切る地形について2次元地形補正を施した。

力計の海底からの高さも併せて考慮し、深度計の示す数値に2.27mを加えた深さの点とした。

これまでの本海域での測定結果と併せて、図4に海底重力測定点及び測定値(海面上に換算したフリーエア異常値)を示す。地形補正量は富山深海長谷の場合と同じく、補正密度を1.8g/ccとし(松本, 1989)、便宜上トラフを横切る地形についての2次元計算により求めた。この補正密度によるフリーエア異常値はやはり地形との相関が小さく、海底表面に見られる軟かい堆積物を反映して

いる。

昭和63年度の調査結果は、松本(1989)に述べた通り、トラフ中軸部の海底での測定値は-42mgalであるが、この点の直上では約-36mgalである。また、この東側の海底では-24mgalであり直上の点とほぼ同じ値を示す。すなわち、負の異常帯の縁から中央に向かうにつれて負の値が大きくなっており、しかも海面と海底との測定値の差が大きくなる。この様に、富山トラフには例えば南海トラフに匹敵する程の大きい負の重力の

異常があり、しかもその負の値は海上重力の値に比べて大きい。この付近に沈み込み等の運動が確認されていないことから判断して、この重力異常分布を説明する構造としては、海底下の基盤岩が深くえぐられており、しかもその上に厚い堆積物があって、トラフ全体が沈降を起こしていることが考えられる。

平成元年度の潜航では、1マイルの測線の間に計4点での海底重力測定を実施した。水深が1,127mから1,103mに変化しているにも拘らず、どの測定点でも約-24~-26mgalのフリーエア異常が観測された。これは前述の直上での海上重力測定結果とほぼ同じ値を示す。

4. 考 察

過去3年間の重力測定結果を考慮し、本海域のテクトニクスについて、考察を加える。

以上の海底重力測定は、ほぼ西北西-東南東方向のライン、すなわちトラフと直行する方向に沿って行われた。前述の如く、この海域では海上保安庁水路部によって海上重力測定が行われており、それらの海上・海底での測定プロファイルが1枚の図に表したものが図5である。トラフの中

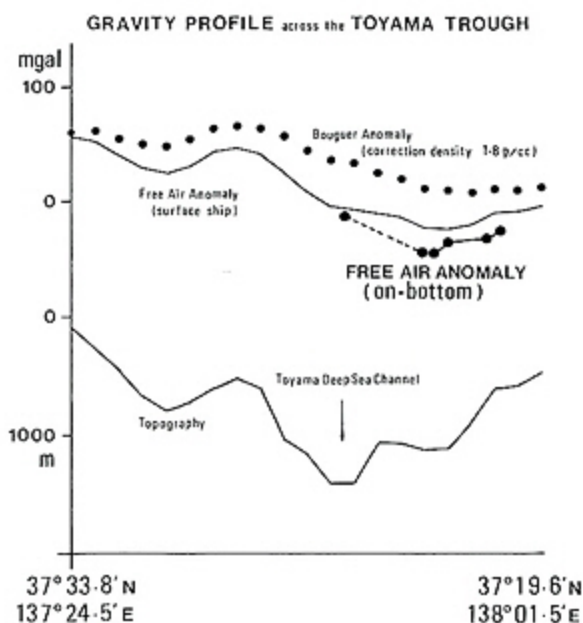


図5 富山トラフを横切る測線(図1に示す)についての重力プロファイル。海底での測定(本研究)及び海上での測定(海上保安庁水路部による)の双方を示す。

軸部は約-42mgalの値を示し、また周辺より中軸に向かうにつれて負の値が大きくなっていることが解る。以上のことから、この場所においては、沈み込み帯と同様な負の重力異常はあるものの、現在活動しているプレーとの境界ではなく、寧ろ深くえぐられた基盤岩の上に厚い堆積物が覆う構造を呈している可能性が高い。このような構造は、エアガンによる堆積構造調査の結果(Murauchi and Asanuma, 1977)とも一致している。そして、トラフ全体はこの活発な堆積物の供給によって、沈降を起こしていることが考えられる。海上重力データによれば、深海長谷に沿った異常は見られず、富山トラフの軸に向かって値は単調に減少し、トラフ軸上では極小となる。このことから、ファッサマグナの延長部に当たる想定構造境界は、この場所では富山深海長谷ではなく富山トラフの軸上にあること、深海長谷はこの構造境界の運動に付随する断層に沿って生じた蛇行河川であり、地形の窪みは構造的なものではなく表面的なものであることが推定される。また、潜水船による海底重力の値は、船上測定値に比べて小さくなっているが、その差はトラフ中軸部で約20mgal程度であり、周辺に向かうにつれて差が縮まっていることが解る。元年度の測定により、対応する海面での点とほぼ同じフリーエア異常の値を持つことが確かめられたことについては、本測定点がトラフ南端部にブロックの縁に当たるため、62~63年度の測定点であるそのブロックの中央部に比べ、堆積物が薄くなっており、そのことが重力値に表れているものと思われる。

次に、この海域の地震面の深さ、形状と重力値をもとにして、地殻表層部の構造の推定を試みた。まず、海上保安庁水路部による海面での重力データをもとに、波数解析を行った。白色雑音スペクトラム法(萩原, 1978)の考え方に従えば、縦軸をパワースペクトラム、横軸を波数とするグラフの傾斜角が、不連続面の平均的な深さに相当する。結果を図6に示す。これによると、深さ約2kmのところの不連続面が存在するはずであり、この値から判断して、堆積物と基盤岩との境界に相当すると見ることが出来る。これを参考にして、海底での重力判定結果と合う様に不連続面の形状を求めたものが図7である。それによる

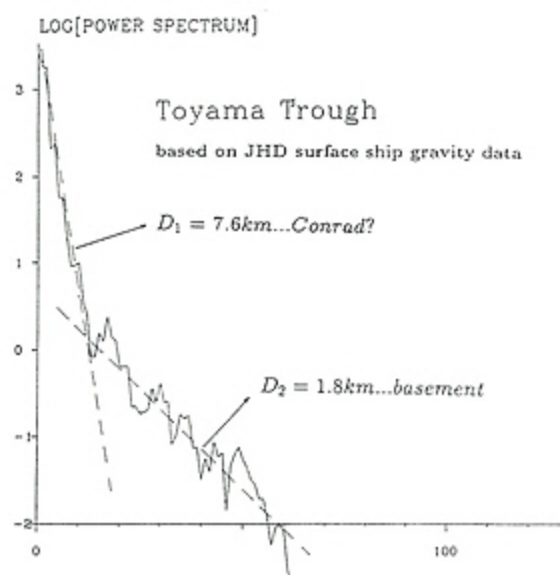


図6 図5に示す断面に沿ったフリーエア異常（海上保安庁水路部による海上重力測定結果を使用）の波数解析結果。

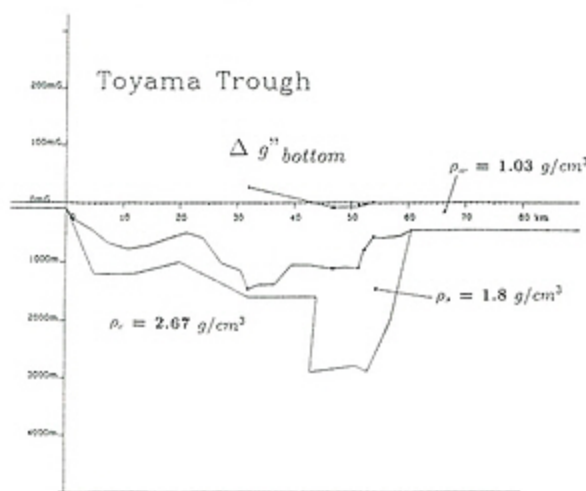


図7 富山トラフに於て推定される海底下表層構造。

と、トラフ中軸部で堆積層の厚さは1,000m程度になっており、また深海長谷付近では急に薄くなっていて、200~300m程度である。西落ちの地震面がこの堆積層と岩石層との境界に相当することに注目する必要がある。

結論として、本海域に於ては、日本海東縁で起こっているとされる西から東に向かうプレート沈み込み（小林, 1983, 中村, 1983, 他）が起きているとは考えにくい。むしろ、東から西に向かう沈み込みが起きている可能性がある。日本海東縁

の他の海域についても、沈み込みの向きは必ずしも同一ではなく、むしろ逆に東から西に向かう沈み込みを示唆する結果が、しかも音波探査により得られている例もあり（倉本, 1988）、この意味でも、日本海東縁のプレート境界は、形成し始まったばかりの未成熟な構造を持つことが考えられよう。

富山トラフの負のフリーエア異常は、日本海東縁に沿って北方に続いている。また、南方へは能登半島沖で向きを変えて富山湾の中に入り込んでいて、その異常の絶対値は富山湾内に向かって大きくなっている。富山湾は黒部川その他からの堆積物の盛んな供給によって全体が沈降する傾向にあり、海底下の構造としては深くえぐられた基盤岩の上に厚い堆積物が覆う構造を呈していることが推定される。このように、何らかの理由で堆積物の供給が活発になった場所で、堆積活動と共に基盤岩の沈降が継続して起こるような場合に、このような地下構造と負の重力異常が起これ得ると考えられる。

5. おわりに

今回の調査海域については、地震テクニクスの解明と云う点では、表層堆積物の厚さに阻まれて、局所表層調査によるアプローチを行うには非常に難しい場所である。今後、音波探査・地震探査等を併用し、今回の重力測定結果と併せた解析のみならず、シーマーク等の広域ソナーによる広範囲の底質調査が必要であろう。また今後、日本海東縁の別の海域でも同様の手法を用いた調査を実施することが重要であると考えられる。調査海域として、今回の調査とも関連の深い佐渡海峡を中心とした新潟地震の震源域も考えられるが、堆積・浸食作用によって変動地形が隠されていない海域を選定する必要がある。更には、新生プレート境界の直接の証拠があるとして注目を集め、近年「しんかい2000」によって詳細な地質調査が進められてきた奥尻海嶺等についても、更に進んだ精密調査を行う必要がある。

謝 辞

本研究は、科学技術庁の昭和60~平成元年度科学技術振興調査費による研究課題の一環として行われた。また調査を進めるに当たっては、重力計

の使用に際して、国立極地研究所の神沼克伊教授に、また、これまでに測定された地形・重力・地磁気等の基礎データの検討に際して、海上保安庁水路部の浅田昭氏及び長屋好治氏に、更に重力計の検定に際しては富山一等重力点を管理する富山地方気象台の桐本徹氏のお世話になった。これら関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 浅田昭, 加藤茂, 春日茂, 1989. 富山トラフの変動地形・地殻構造調査, 水路部研究報告, 25, 93-122
- 萩原幸男, 1978. 地球重力論, 共立全書, 242pp
- 小林洋二, 1983. プレート“沈み込み”の始まり, 月刊地球, 5, 510-514
- 倉本真一, 1988. 奥尻海嶺の形成時期, 海洋科学, 20, 669-675。
- 松本剛, 1989. 富山トラフにおける重力測定, 海洋科学技術センター試験研究報告特集号第5回「しんかい2000」研究シンポジウム, 131-137
- Murauchi, S., and Asanuma, T., 1977. Seismic reflection profiles in the Western Pacific, 1965-74. pp232.
- Nakagawa, I. (ed.), 1983. Precise calibration of scale values of La Coste & Remberg gravimeters and international gravimetric connections along the Circum-Pacific zone (final report), pp117.
- 中村一明, 1983. 日本海東縁新生海溝の可能性, 地震研究所彙報, V. 158, 711-722
- 里村幹夫, 大塚謙一, 新妻信明, 1987. 駿河トラフ中軸部における精密重力測定ならびにトラフ底と静岡側トラフ斜面の観察, 海洋科学技術センター試験研究報告特集号第3回「しんかい2000」研究シンポジウム, 15-24
- 徳山英一, 倉本真一, 徐垣, 宮下純夫, 竹内章, 門馬大和, 田中武男, 1989. 日本海盆地殻断面の調査——「しんかい2000」による奥尻海嶺西縁断層壁の観察——, 海洋科学技術センター試験研究報告特集号第5回「しんかい2000」研究シンポジウム, 101-110