

男鹿半島沖深浦小丘列における海底重力測定 —序報—

松本 剛^{*1}

日本海東縁の日本海中部地震発生域のうち、男鹿半島西方沖約80kmに位置する深浦小丘列の中の2個の小丘において、「しんかい6500」の潜航調査の際に陸上測定用のラコスト重力計を用いた海底重力測定を行い、それらの山体の構造の推定を試みた。採取された岩石試料から、ともに山体は玄武岩より成ることが推定される。重力測定値より、南南西—北北東に並ぶ2個の小丘のうち南側は山体が地殻の弾性変形により支えられ、また北側はエアリーのアイソスタシーにより支えられていることが推定される。

Gravity measurement on the Fukaura Small Hills off Oga Peninsula —preliminary results—

Takeshi MATSUMOTO^{*2}

Gravity measurement was conducted on the sea bottom of the two small hills of "Fukaura Small Hills", which is placed 80km west of Oga Peninsula, also within the epicentral area of Central Japan Sea Earthquake, during the diving expedition of SHINKAI 6500 by use of La Coste gravity meter. Crustal structure beneath the two hills was estimated by use of the gravity data. These two hills are considered to be constructed by basaltic rocks judging from the samples collected during the dives. The result of gravity measurement shows that the mass of southern hill is supported by elastic restoring force of the crust beneath it, whereas the northern one by Airy's isostatic equilibrium.

* 1 海洋科学技術センター

* 2 Japan Marine Science and Technology Center

1. 序

新生プレート収斂境界である日本海東縁部には活構造と見られる現象が数多く報告されている。この中で日本海中部地震の震源域に当たる男鹿半島沖には、深浦小丘列と呼ばれる径500m程度の海丘の列が存在していることが、海上保安庁水路部による精密地形調査の結果判明している（加藤ほか、1986）。またこの周辺の海底は柔らかい泥であるが、その泥の上には黄色の斑点が到處に分布しており、更に死んだ魚が落ちているなど、他の海域と比べて極めて特異な海底であることが、海洋科学技術センターの曳航式深海カメラ（JAMSTEC/Deep Tow）の調査によって明らかにされている（堀田ほか、1985）。

海底下の精密な浅部構造を求めるためには、潜航調査において、海底表面の目視観察と併せて重力測定を行い、両者の関係を求める事が重要である。その意味で、重力測定は極めて有効な方法である。陸上測定用のラコスト重力計を潜水船内に持ち込んで計測する方法が最も多く用いられており、著者らによってもこれまでに、日本海東縁に

当たる富山トラフや奥尻海嶺など、南西諸島海域の伊是名海穴や伊平屋小海嶺、北フィジー海盆拡大軸上などで測定が行われている。

本報告においては、平成3年度の「しんかい6500」の潜航調査の際に行った深浦小丘列での重力測定結果を報告する。

2. 調査の概要

本研究における測定は、平成3年6月の「しんかい6500」による第53潜航（6月1日）、第55潜航（6月3日）及び第56潜航（6月5日）の3回の潜航調査において行った。測定場所としては男鹿半島西方沖約80kmに位置する深浦小丘列の2個の小海丘を選び、3潜航を通じてこれらの山体を串刺しにする様な測線を設けた（図1）。本海域では、海上保安庁水路部による測量船「拓洋」を用いたシービーム測深調査が行われており、精密な地形が判明している。また本調査行動においても、「よこすか」搭載のマルチナロービーム音響測深機 HS-10による潜航地点事前調査を行っており、海丘の詳細な形状が測定されている。

本潜航調査で測定に用いた重力計は、ラコスト G-183である。測定に当たっては、羽田一等重力点（東京国際空港内、重力値979 758.08mgal）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（絶対重力値の計算

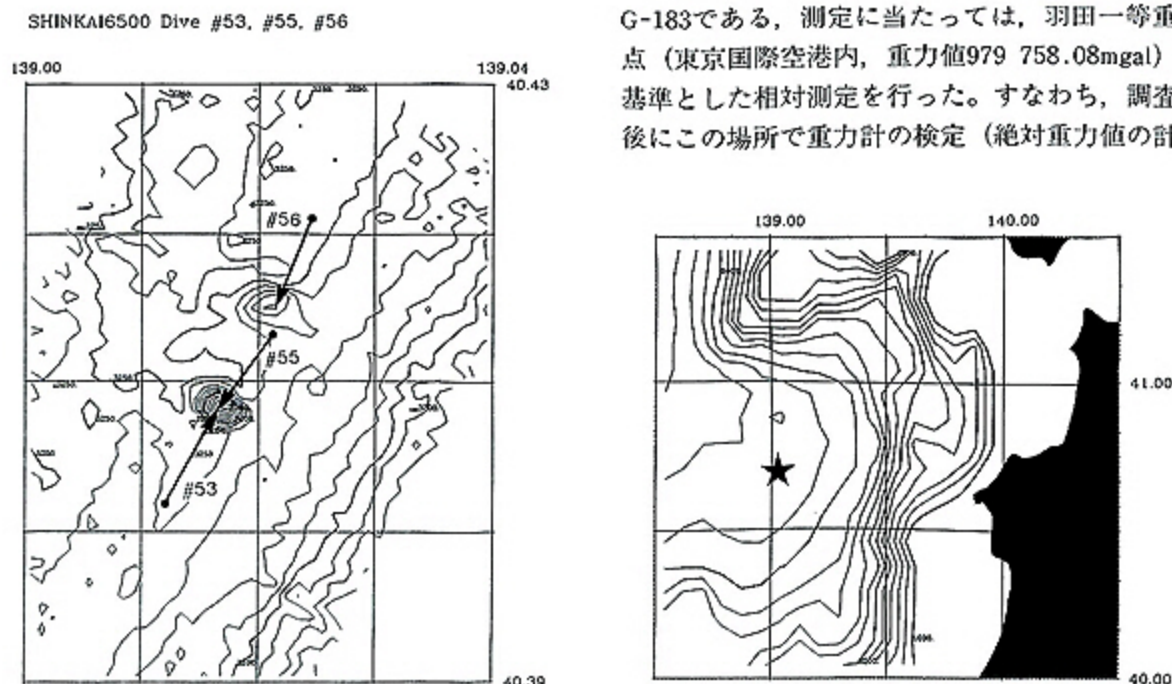


図1 男鹿半島沖深浦小丘列の海底地形及び調査測線
Fig. 1 Bottom topography and survey line in the study area, Fukaura Small Hills off Oga Peninsula.

及び測器自体のドリフト分の補正のため)を行った。

3. 各潜航の概要

3. 1 第53潜航 (1991年6月1日)

深浦小丘列の2個の小丘のうち南側の山(通称ピラミッド)について、その南南西方1600mより山頂に向かって航走し、計5点で重力測定を行った。この山は長径約500m、短径約300mであり、航走コースの殆どは泥の平坦面であったが、山に向かうにつれて徐々に水深が深くなり、裾部で極小となることから、小規模ながらも山体が形成されたことによる地殻の弾性曲げを起こしていることを示唆する。着地点付近では褐色の斑点が一面にあり、このうちの1個を採取した。航走の途中より褐色の斑点が少なくなり、魚の死骸が数箇所で見られた。また、ところどころで黒色の偏平な岩石が見られた。小丘に達すると、泥を被った岩が多く見られた。頂上付近で採取を試みたが、失敗した。

3. 2 第55潜航 (1991年6月3日)

第53潜航と同じ小丘について、北北東方1100mより山頂に向かって航走し、計5点で重力測定を行った。開始点は、その北側の小丘の南側裾部に相当する。前回と同様、南側の小丘に近付くにつれて徐々に水深が深くなる傾向が見られた。変色域については、前潜航に比べて極端に数が少なく、しかも海底に近付いてようやく視認出来る程度のものであった。白色の斑点も散見された。また、途中1箇所白色に変色した岩塊が見られた。今回観察した北側斜面は、前潜航で観察した南側斜面と同様、泥を被った岩石より成る。

3. 3 第56潜航 (1991年6月5日)

北側の小丘(比高約75m、径約500m)について、その北北東方1100mより山頂に向かって航走し、計4点で重力測定を行った。前2潜航と同様、山に近付くにつれて徐々に水深が深くなる傾向が見られた。変色域については、褐色の斑点が多く分布する処が数箇所あり、また、着地点付近には、かつて白色であったと思われる変色点があった。小丘に近付くにつれて、広い面積を持つ黄色噴出物の痕がところどころに見られた。魚の死骸についても、平坦面上に数箇所で見られた。ま

た、泥の盛り上がりと見られる径1~数m程度の高まりもところどころで確認された。小丘は南側のものと同様、泥を被った露岩で覆われているが、特に、径数m程度の卵型の巨岩が多く見られた。

4. 重力測定結果

表1は、本海域で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及び補正後の重力値を示したものである。53, 55, 56の3潜航を合わせて、南北の小丘を串刺しにする測線に沿って、計14点の重力測定を行った。得られた重力値に潮汐補正を施し、最終的な重力値を求めるため、重力計のドリフト補正を行っている。この値から、各測点の緯度に対応する正視重力値を減ずるとともに、測点の深度での海水による上向きの重力効果を補正することによって、海面上に換算したフリーエア異常値を求めることが出来る。ここで、重力鉛直勾配(=dg/dz)は一律に0.3086mgal/mとした。深さは潜水船の深度計の読み取り値を用い、海底から深度計まで、及び海底から重力計位置までの高さも併せて考慮し、深度計の示す数値に2.25mを加えた深さとした。

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。

海底地形の凹凸を考慮しない場合に、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、

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 : 測定点での深度

ρ_w : 海水密度

である。

地下構造を精密に求めるためには地殻密度を仮定した地形補正が必要である。前述のフリーエア異常の計算式は海底地形の凹凸を考慮しない場合の補正式であった。実際には海底地形の凹凸が存在するので、それによる地形の重力効果を補正する(地形補正を施す)ことによって、フリーエア異常若しくはブーゲー異常を求め、それをもとに

表1 深浦小丘列の海底重力測定結果。測点番号は測定順に付してあるため、位置順には並んでいない。

Table 1 Result of gravity measurements on the bottom of the Fukaura Small Hills.

Result of Gravity Measurements at the Fukaura Small Hills (June, 1991)

Station No.	Date, Time	Latitude	Longitude	Dial reading	× Scale factor ngal	Tide corr. μ gal	G value ngal	Absolute G (after drift corr.) ngal	Normal Gravity ngal	CTDV Depth m	Depth corr. ngal	Free air anomaly ngal
HANEDA	91 May, 29 14:19			3370.652	3543.181	+99	3543.280	979758.06				
FUK-01	Jun. 01 11:42	40-40.07N	139-01.19E	4485.912	4717.724	+93	4717.817	980932.60	980226.77	3263	725.49	-21.66
FUK-02	Jun. 01 12:42	40-40.34N	139-01.32E	4488.789	4726.755	+116	4726.871	980935.66	980229.17	3268	726.60	-20.11
FUK-03	Jun. 01 13:17	40-40.53N	139-01.43E	4491.835	4724.021	+123	4724.144	980938.93	980229.46	3273	727.71	-18.24
FUK-04	Jun. 01 13:55	40-40.70N	139-01.53E	4496.372	4728.743	+123	4728.866	980943.65	980229.71	3280	729.27	-15.33
FUK-05	Jun. 01 15:02	40-40.82N	139-01.63E	4475.105	4706.344	+107	4706.451	980921.24	980229.89	3161	702.83	-11.48
FUK-06	Jun. 03 11:44	40-41.34N	139-02.12E	4488.734	4720.697	+35	4720.732	980935.51	980230.67	3263	725.49	-20.65
FUK-07	Jun. 03 12:43	40-41.21N	139-02.00E	4491.065	4723.153	+60	4723.213	980937.99	980230.47	3270	727.05	-19.53
FUK-08	Jun. 03 13:17	40-41.05N	139-01.89E	4493.710	4725.939	+72	4726.011	980940.79	980230.23	3273	727.71	-17.15
FUK-09	Jun. 03 13:51	40-40.96N	139-01.80E	4496.495	4728.873	+80	4728.953	980943.73	980230.10	3281	729.49	-15.86
FUK-10	Jun. 03 14:59	40-40.85N	139-01.72E	4473.957	4705.131	+86	4705.217	980919.99	980229.94	3154	701.27	-11.22
FUK-11	Jun. 05 11:38	40-42.10N	139-02.45E	4492.848	4725.031	-8	4725.023	980939.79	980231.80	3261	729.49	-21.50
FUK-12	Jun. 05 12:26	40-41.89N	139-02.34E	4492.150	4724.296	0	4724.296	980939.06	980231.49	3282	729.71	-22.14
FUK-13	Jun. 05 13:18	40-41.71N	139-02.26E	4492.609	4724.779	+11	4724.790	980939.56	980231.22	3289	731.27	-22.93
FUK-14	Jun. 05 14:50	40-41.55N	139-02.14E	4479.403	4710.873	+30	4710.903	980925.67	980230.98	3214	714.60	-19.91
HANEDA	Jun. 08 13:32			3370.817	3543.355	-26	3543.329	979758.06				

※ Depth of gravity meter = CTDV Depth + 2.25 m - Height of gravity meter from the bed of measurement

地下構造解析を行う必要がある。

海面上に換算した地形補正済フリーエア異常 $\Delta g'_{TC}$ 及び地形補正済ブーゲー異常 $\Delta g''_{TC}$ は、次式で表される。

$$\begin{aligned}\Delta g'_{TC} &= \Delta g' \\ &+ (\rho_c - \rho_w) T_U \text{ (surface)} \\ &+ (\rho_c - \rho_w) T_U \text{ (bottom)} \\ \Delta g''_{TC} &= \Delta g' \\ &+ (\rho_c - \rho_w) T_L \\ &+ (\rho_c - \rho_w) T_U \\ &+ 2\pi k^2 (\rho_c - \rho_w) D\end{aligned}$$

ここで、 ρ_c は地殻物質の密度であり、また T_U は観測点より上の部分より受ける重力、 T_L は観測点より下の部分より受ける重力である。

表2には測定地点とともに、海洋地殻の平均的な密度に当たる2.67g/ccで地形補正を施したフリーエア異常及びブーゲー異常値（ともに海面上に換算した値）を示す。便宜上測線を横切る地形についての2次元補正を行っている。

第53潜航の最初の着底点では、水深3263m、フリーエア異常換算値-21.66mgalであったが、小丘の山体に近付くにつれて水深が深くなるにも拘

表2 地形補正を施した後のフリーエア異常及びブーゲー異常。北から南に測点が並ぶよう、順番を替えてある。

Table 2 Free air and Bouguer anomaly after the terrain correction.

Station No.	Latitude	Longitude	CTDV Depth m	Free air anomaly mgal	Corrected free air anomaly mgal	Bouguer anomaly mgal
			m	mgal	mgal	mgal
FUK-11	40-42.10N	139-02.45E	3281	-21.5	-20.7	204.1
FUK-12	40-41.89N	139-02.34E	3282	-22.1	-21.2	203.5
FUK-13	40-41.71N	139-02.26E	3289	-22.9	-21.3	203.4
FUK-14	40-41.55N	139-02.14E	3214	-19.9	-19.8	203.4
FUK-06	40-41.34N	139-02.12E	3263	-20.6	-19.8	204.2
FUK-07	40-41.21N	139-02.00E	3270	-19.5	-18.8	205.4
FUK-08	40-41.05N	139-01.89E	3273	-17.1	-16.2	200.0
FUK-09	40-40.96N	139-01.80E	3281	-15.9	-13.8	210.7
FUK-10	40-40.85N	139-01.72E	3154	-11.2	-11.2	211.6
FUK-05	40-40.82N	139-01.63E	3161	-11.5	-11.5	211.7
FUK-04	40-40.70N	139-01.53E	3280	-15.3	-13.5	210.9
FUK-03	40-40.53N	139-01.43E	3273	-18.2	-17.3	206.9
FUK-02	40-40.34N	139-01.32E	3268	-20.1	-19.5	204.6
FUK-01	40-40.07N	139-01.19E	3263	-21.7	-21.3	202.7

らず、フリーエア異常の値は増加し、水深3154mの山頂では-11.22mgalとなる。一方、北側の小

丘については、麓に近付くにつれて水深が深くなる点では南側の山と同様であるが、深度の増加に合わせてフリーエア異常の値は減少している。すなわち、水深3289mの麓部で -22.93mgal であるのに対し、水深3214mの頂部では -19.91mgal である。北側の山は南側の山と比べて比高は6割程度と小さいが、その点を考慮しても水深とフリーエア異常との関係は両者で逆となっている。ブーゲー異常に関しては、南側の山では山体に沿って相対的に正の異常となっているが、北側の山では山体に沿った異常は見られない。

八島(1992, 本報告書)によると、この地点で採取された岩石は年代6.64Maのソレライト玄武岩であり、地形補正の密度としてはこの値で妥当である。しかし3潜航の結果では、海底の状況に関する限り両者の小丘に決定的な違いが見当たらず、両者の山は同一の岩石により構成されていると考えられるのであるが、海底地形が均一な密度の物質から出来ていると仮定すると重力の観測値を説明することが出来ない。従って、この重力異常分布と水深値を説明するためには、両者の構造の違いを考慮する必要がある。すなわち、南側の山は、エアリーのアイソスタシーによる補償が無く、山体が地殻の弾性変形により支えられているのに対し、北側の山は小規模ながらもエアリーのアイソスタシーによって支えられ、山体に沿って地殻が厚くなっていることを示唆している。

5. 謝 辞

本調査の実施に当たっては、同一のレグに乗船した海上保安庁水路部の八島邦夫調査官及び、地質調査所の片山肇研究官と船上で討議を行った。また、国立極地研究所の神沼克伊教授からは、重力測定に関する助言を頂いた。記して謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 堀田宏, 門馬大和, 大塚清, 橋本惇, 田中武男, 1985, 昭和58年日本海中部地震震源域の目視調査, 海洋科学技術センター試験研究報告, 14, 37-53.
- 加藤茂, 桂忠彦, 浅田昭, 春日茂, 1986, 1983年日本海中部地震震源域の海底地形地質, 水路部研究報告, 21, 1-20.