

—Original Paper—

Bathymetric, Subsurface, and Gravity Survey off the Sada-misaki Peninsula, the Seto Inland Sea

Toshiya Fujiwara^{1*}, Toshiya Kanamatsu¹, and Takafumi Kasaya¹

We conducted a bathymetric, subsurface, and gravity survey off the Sada-misaki Peninsula aboard the R/V *Shinsei-maru* KS-16-E01 cruise. The objective of the survey is detailed mapping and collection of basic geological information about the western end of Median Tectonic Line (MTL) active fault zone which is inferred to be located in the Seto Inland Sea. In the eastern side of the survey area, the bathymetry is characterized by sand wave structures. These structures are thought to be formed by strong tidal currents. In the western side of the survey area, the seafloor is rather smooth without the sand wave growth. Uneven topography and depressions probably reflect the MTL active fault zone. The bathymetry is considered to be formed by lateral fault movements. In the western side of the survey area, acoustic wave reflections of the sub-bottom profiling interpreted as a boundary between Quaternary and Pleistocene sedimentary layers were identified. The sedimentary layers were vertically displaced probably caused by faults. The MTL is associated with a steep gradient zone of gravity anomaly. There is positive anomaly along the shoreline in the southeastern side, and the gravity anomaly decreases across the tectonic line to negative gravity anomaly in the northwestern side. The gravity anomaly is suggested to reflect a deeper basement structure beneath the subsurface sedimentary layer. The basement structure inferred from the gravity anomaly profile is consistent with the half-graben crustal structure formed by the listric curving fault.

Keywords : Sada-misaki Peninsula, Median Tectonic Line, Bathymetry, Sub-bottom Profiling, Gravity Anomaly

Received 28 February 2018 ; Revised 27 May 2018 ; Accepted 4 June 2018

1 Research and Development Center for Earthquake and Tsunami (CEAT), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

*Corresponding author:

Toshiya Fujiwara

Research and Development Center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan

toshi@jamstec.go.jp

Copyright by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

— 原著論文 —

佐田岬半島沖瀬戸内海における海底地形, 浅層構造, 重力調査

富士原 敏也^{1*}, 金松 敏也¹, 笠谷 貴史¹

新青丸KS-16-E01航海で, 瀬戸内海の海域にある中央構造線断層帯西端の詳細マッピング, 基礎地質情報取得を目的として, 佐田岬半島沖において, 海底地形, 浅層構造, 重力調査を行った. 調査域東側の詳細海底地形には, 強い潮流により形成されたと考えられるサンドウェーブ構造が見られた. 調査域の西側はサンドウェーブが発達せず, 比較的滑らかな海底地形である. 中央構造線断層帯に対応するような段差地形, 横ずれ断層の活動によって形成されたと考えられる窪みが見られた. 調査域西側のサブボトムプロファイラ記録からイメージされる浅層構造には, 完新世と更新世の堆積層境界と解釈できる音響層序, 断層と考えられる堆積層構造の上下方向のずれが確認された. 中央構造線に沿って重力異常の急変帯があり, 海岸沿いの南東側が高異常, 北西側が低異常となっている. 重力異常は海底近くの堆積層より深部の基盤構造を反映するものと思われる. 重力異常から推定される基盤構造の形状は, リストリック断層を伴うハーフグラバー構造と調和的である.

キーワード: 佐田岬半島, 中央構造線, 海底地形, サブボトムプロファイラ, 重力異常

2018年2月28日受領; 2018年5月27日改訂稿受理; 2018年6月4日採択

1 国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター

*代表執筆者:

富士原 敏也

国立研究開発法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター

〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15

toshi@jamstec.go.jp

著作権: 国立研究開発法人海洋研究開発機構

1. はじめに

調査船新青丸KS-16-E01航海で、佐田岬半島沖瀬戸内海において、海底地形、浅層構造、重力調査を行った。本調査は中央構造線断層帯の詳細マッピング、基礎地質情報取得が目的である。中央構造線断層帯の西端部は瀬戸内海の海域にあると推定されている (Fig. 1)。

佐田岬半島沖瀬戸内海では、産業技術総合研究所地質調査総合センターや四国電力株式会社によって、広域に地質・地球物理調査が行われており、中央構造線断層帯の概要が解っている (七山ほか, 2002; 大野ほか, 2005; 西坂ほか, 2006)。瀬戸内海全域にかけての海上重力調査については、東京大学海洋研究所の調査船淡青丸KT-91-10航海で、Tokyo Surface Ship Gravity meter (TSSG) 船上重力計を用いて行われている (小泉ほか, 1994)。瀬戸内海は船の往来が激しく漁業活動もあり、一定速度で直線的に航路を取りたい海上重力測定は非常に困難であることから、これがほぼ唯一の海上重力調査である。その後

の重力異常既存研究も、瀬戸内海海上に関しては、この調査航海データを使用している (大野ほか, 1994; 地質調査所, 2000; 名和ほか, 2008) が、測定点密度としては十分とはいえない。

本調査は局所的な海域ではあるが高空間分解能調査となっている (Fig. 2)。本論文では、既存研究を参照しながら、得られた新たな知見を議論したい。

2. 新青丸KS-16-E01航海におけるデータ取得

KS-16-E01航海 (2016年6月27日: 横須賀~7月2日: 横須賀) 中の6月29日から6月30日の31時間 (豊予海峡に入ってから抜けるまで) で調査は行われた。調査域は半島の先端部、海岸線から約1 kmの沖から南北約8 km, 東西約11 kmの範囲である (Fig. 2)。調査主測線は海岸線そして中央構造線に直交する北西~南東方向で、測線間隔は約280 mである。浅層構造調査は5測線おき, 約1400 m

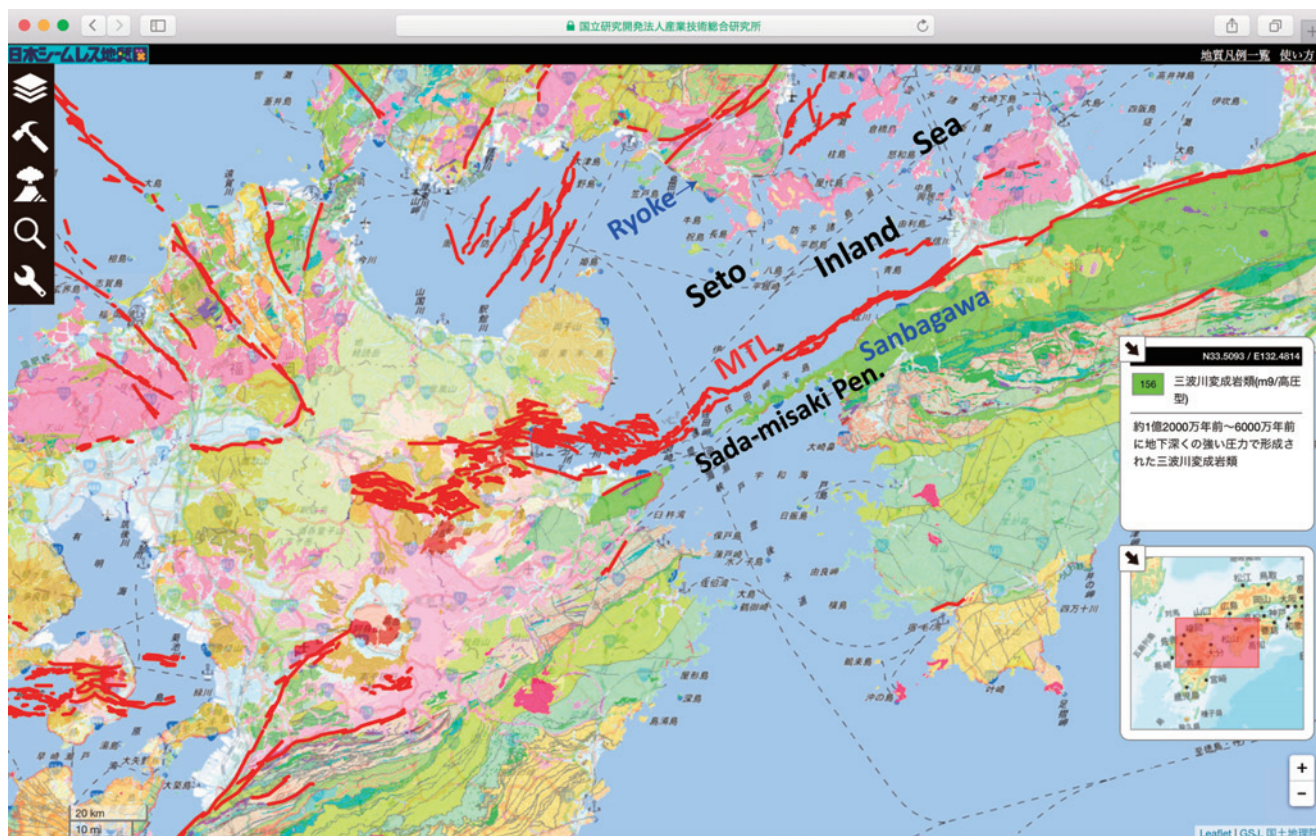


Fig. 1. Geological map around the survey area. Red lines show estimated traces of active faults (Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology: <<https://gbank.gsj.jp/seamless/>>, (accessed 2018-06-20)). MTL: Median Tectonic Line active faults, Sanbagawa: Sanbagawa metamorphic belt, Ryoke: Ryoke metamorphic belt.

図1. 調査域周辺の地質図、赤線は活断層の推定位置を示す (産業技術総合研究所地質調査総合センター: <<https://gbank.gsj.jp/seamless/>>, (accessed 2018-06-20)). MTL: 中央構造線断層帯, Sanbagawa: 三波川変成帯, Ryoke: 領家変成帯.

間隔で行われた。船速は海底地形調査時に約8 kt、浅層構造調査時は約4.5 ktであった。重力は航海中全測線で測定された。

海底地形はマルチナロービーム音響測深機 SeaBat 7125SV2 (200 or 400 kHz, 本調査では400 kHzを使用)を用いて調査された。海中音速構造把握のため、調査域内で9回、水温の鉛直分布測定 (XBT) を行った (Fig. 2, 3, Table 1)。また、気象庁松山検潮所の潮位データを利用して、得られた水深値に潮位補正を行った。Kongsberg EA600 シングルビーム音響測深機を用いた水深調査も同時に行っている。浅層構造はサブボトムプロファイラ Kongsberg TOPAS PS18 (1次波 15–21 kHz, 2次波 0.5–6.0 kHz) を用いて調査された。船上重力計は Micro-g LaCoste Air-Sea Gravity Meter System II (S-177) である。航海前後のJAMSTEC横須賀着岸時に、重力結合のための重力測定がScintrex CG-5重力計を用いて行われた。

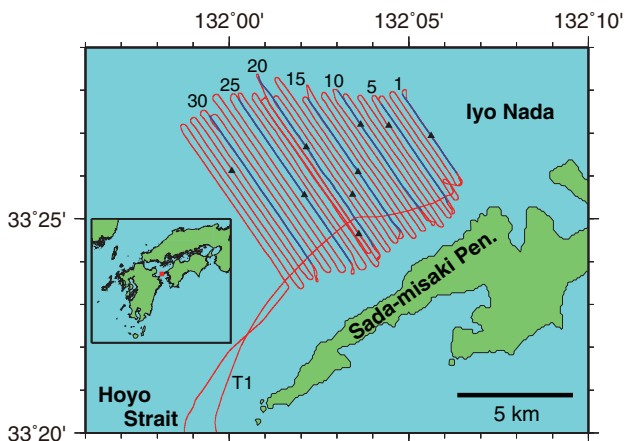


Fig. 2. Tracks of the R/V *Shinsei-maru* KS-16-E01 cruise in the survey area. Red and blue lines show tracks of the multi-narrow beam survey and the sub-bottom profiler survey, respectively. Texts attached to the lines indicate survey line numbers, and black triangles point locations of XBT measurements.

図2. 新青丸KS-16-E01航海の調査域の航跡。赤線はマルチナロービーム音響測深測線、青線はサブボトムプロファイラ測線を示す。測線に付随する番号・記号は測線番号、黒三角はXBT測定点の位置を示す。

Table 1. Time and place of XBT measurements.

表1. XBT測定時刻と測定地点。

Site	Time (UTC)	Latitude	Longitude	Depth (m)
1	2016/06/29 06:54	33°26.9390'	132°05.6227'	93
2	2016/06/29 10:01	33°27.1789'	132°04.4464'	75
3	2016/06/29 13:10	33°27.1989'	132°03.6559'	79
4	2016/06/29 16:00	33°26.0970'	132°03.5897'	96
5	2016/06/29 19:04	33°25.5699'	132°03.4422'	75
6	2016/06/29 21:58	33°26.6738'	132°02.1441'	98
7	2016/06/30 01:18	33°24.6471'	132°03.6127'	83
8	2016/06/30 04:43	33°25.5557'	132°02.0953'	110
9	2016/06/30 07:46	33°26.1158'	132°00.7419'	84

3. 海底地形と浅層構造

調査域内での水深は60~120 m, 平均水深は88 mである (Fig. 4)。調査域東側の海底地形にはサンドウェーブ構造が見られた。これらの構造は強い潮流により形成され維持されているものと考えられ、流れ方向に直交に配列するとされる。瀬戸内海には各所にサンドウェーブが存在することが知られており (Inouchi, 1990), 調査域周辺では松山港沖で巨大なサンドウェーブが報告されている (海上保安庁第六管区海上保安本部, 2010)。サンドウェーブの走向は北西~南東である。調査域には波長・高さで明瞭に区別できる2種類のサンドウェーブが見られる。規模が大きいサンドウェーブの波長は約250 m, 高さは大きなものでは約20 m, 規模が小さいサンドウェーブの波長は約40 m, 高さは約3 mである (Fig. 4(c), 4(d))。調査域の西側はサンドウェーブが発達せず、比較的なめらかな海底地形である。既存研究で報告されている中央構造線断層帯 (産業技術総合研究所地質調査総合センター活断層データベース) に対応するような段差地形、上下変位横ずれ断層の活動によって形成されたと考えられる窪みが見られた (Fig. 4(b))。本調査は2016年熊本地震後間もなくに行われたが、最近の断層活動を示唆するような、シャープな水平および上下段差形状を持つ、海底地形の変位 (地表断層) などは見つからなかった (金松ほか, 2017)。

調査域西側のサブボトムプロファイラ記録からイメージされる浅層構造には、七山ほか (2002) で報告されて

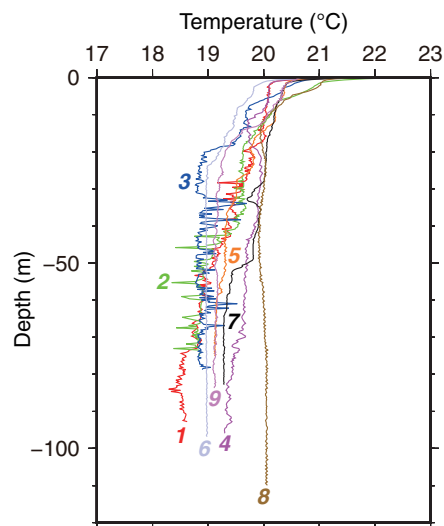


Fig. 3. Vertical water temperature profiles by XBT measurements. Numbers attached to the profiles correspond to site numbers shown in Table 1.

図3. XBT測定による水温の鉛直分布。プロファイルに付随する番号は表1に示す測定点番号に対応している。

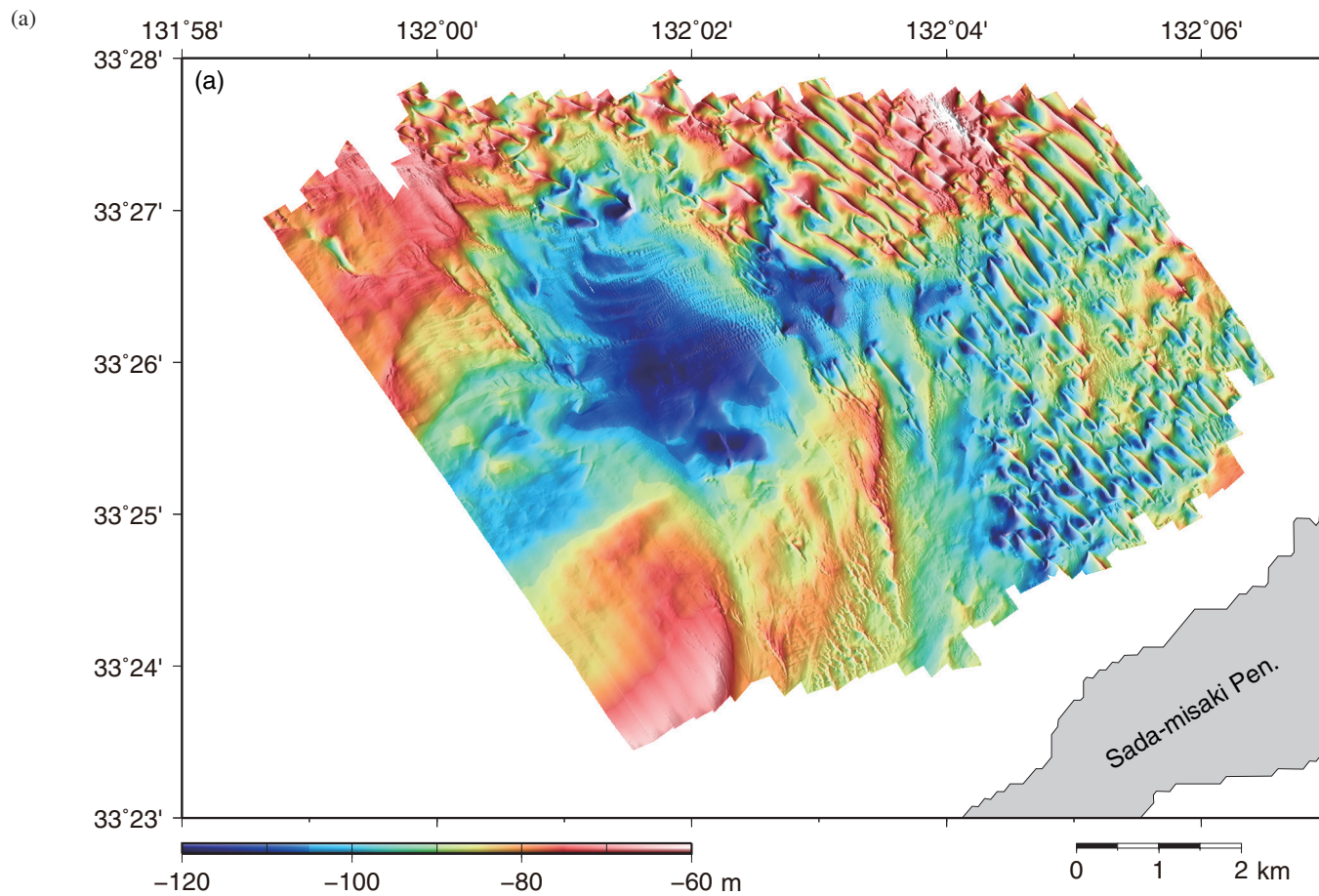


Fig. 4. (a) Multi-narrow beam bathymetry illuminated from the northwest. (b) Contour lines are at 5 m interval. Red dashed lines show traces of estimated active faults of the Median Tectonic Line active fault zone (Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology). The black line indicates Line 25. The arrow corresponds to the arrow in Fig. 5. Blue lines show locations of bathymetric cross sections across sand waves shown in (c) and (d).

図4. (a) マルチナロービーム海底地形、北西方向から光を当てている。(b) 等高線間隔は5 m。赤破線は中央構造線断層帯活断層の推定位置を示す（産業技術総合研究所地質調査総合センター）。黒実線は測線Line 25の位置を示す。矢印は図5に示す矢印の位置に対応している。青実線は(c)、(d)に示すサンドウェーブに交差する地形断面の位置を示す。

いる, 音響層A層とD層に対応すると思われる層序が確認された (Fig. 5(f)). A層は調査域周辺の最上位層で, ほぼ水平な層理を示し, 下位層とは不整合で接する. D層は連続性のよい平行層理を示し, 沖合方向へ緩やかに傾斜する. A層は完新世の堆積層, D層は後期更新世以前の堆積層境界と解釈できる (大塚ほか, 2001; 2002). 音響層序には断層と考えられる地形および堆積層構造の上下方向のずれ (e.g. 七山ほか, 2002) が確認された (測線Line 25, Fig. 5(f)). 一方, 特に調査域東側ではサブボトムプロファイル記録が不明瞭であった (Fig. 5(a)-(d)など). これは海底面のサンドウェーブを構成する層が砂層であるためか, あるいはサンドウェーブ地形による海底面の傾斜のため, 音波の透過が阻まれているためと推定

される.

4. 重力データ処理

重力計に付属するPC (ソフトウェア: SeaLogger) で収録された重力データは1秒間隔で日付, 時間, 重力値, 経度・緯度, エトベス補正等のデータが出力される (ファイル名: ****_***_S-177.DAT (S-177の前の記号がアンダースコア)). 本航海の測定では重力値 (counter unit: cu) は180秒, 経度・緯度, エトベス補正値には60秒のローパス・フィルター幅が設定された (ファイル名: ****_***_S-177.ENV に設定値収録). 重力データは時間幅でフィル

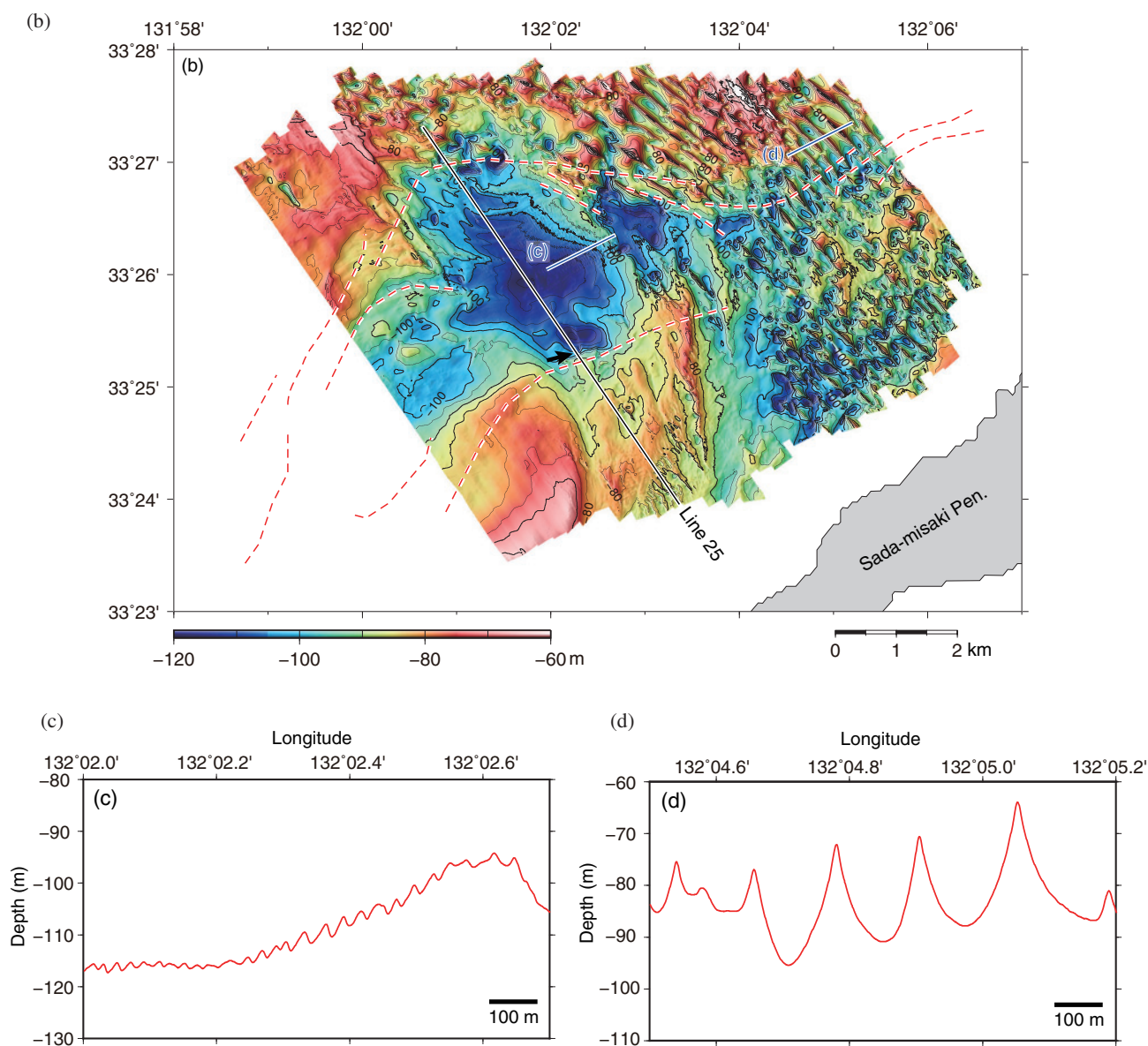


Fig. 4. (Continued)

図4. (続き)

ター処理が行われるため、船速8 ktの測定では約741 m幅の空間フィルターとなり、船速4.5 ktでは約417 m幅のフィルターとなる。

重力値 (counter unit: cu) で180秒、経度・緯度、エト

バス補正值で60秒の時間遅延を修正し、重力値 (cu) には補正係数0.990822865 (2015年検定値) を掛けた。エトバス補正は重力計から出力されたエトバス補正值を用いて行った。変針前後の約180秒間のデータは除外した。

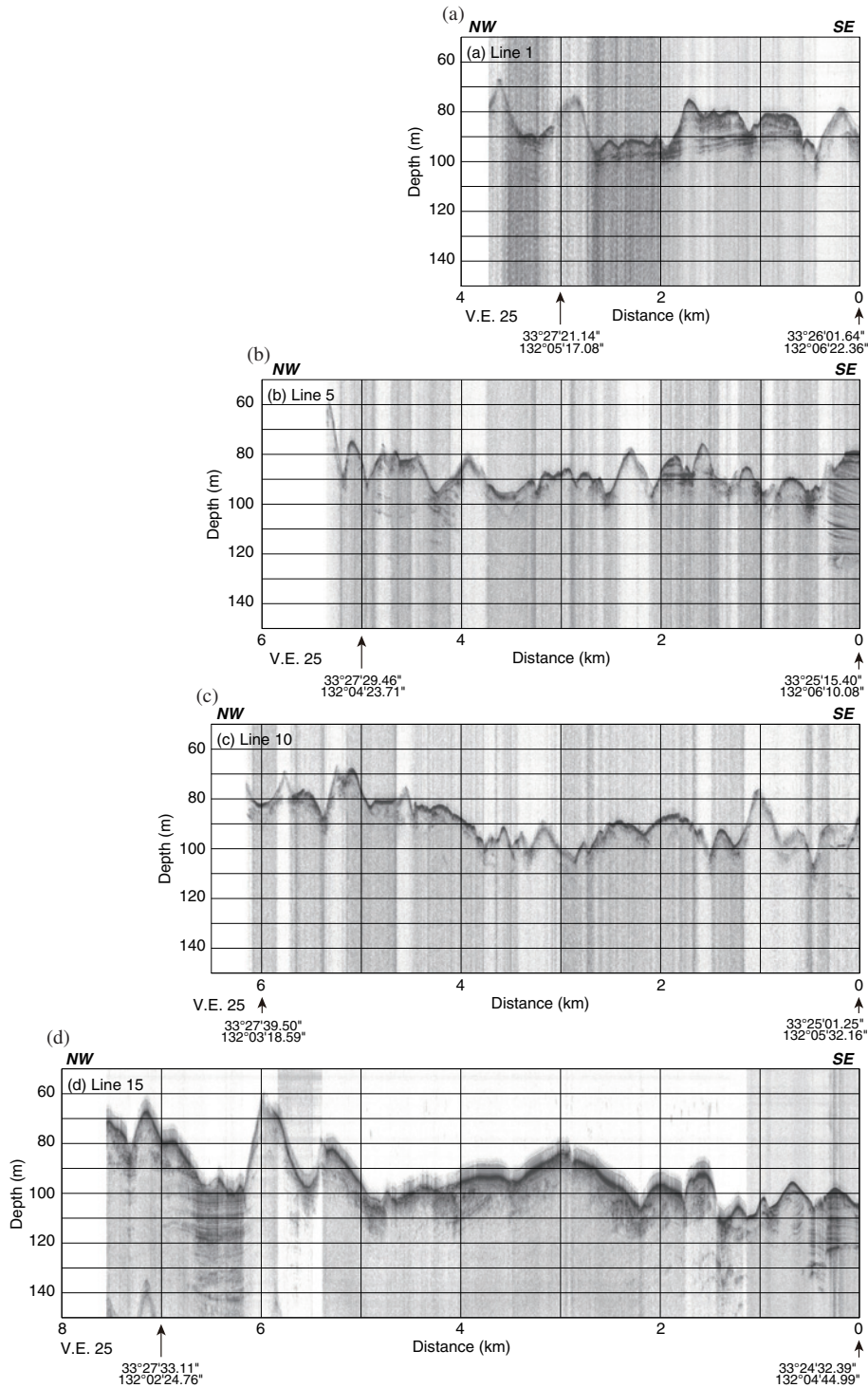


Fig. 5. Sub-bottom profile along (a) Line 1, (b) Line 5, (c) Line 10, (d) Line 15, (e) Line 20, (f) Line 25, and (g) Line 30. The vertical exaggeration is 25. The arrow in (f) shows a location of an estimated fault in the Median Tectonic Line active fault zone.

図5. サブボトムプロファイル, (a) 測線Line 1, (b) 測線Line 5, (c) 測線Line 10, (d) 測線Line 15, (e) 測線Line 20, (f) 測線Line 25, 矢印は中央構造線活断層帯中の断層の推定位置を示す, (g) 測線Line 30. 鉛直方向は25倍に誇張されている。

航海前後のJAMSTEC横須賀着岸時データを用いて重力結合を行った (11651.8 cu = 979760.2 mGal). 航海前後の測定値差から求められる重力値のドリフトは

0.06 mGal/dayであった (Table 2). ドリフトによる誤差が本調査期間内で重力測定値に大きく影響することはほぼ無いため, ドリフト補正は行わなかった. フリーエア

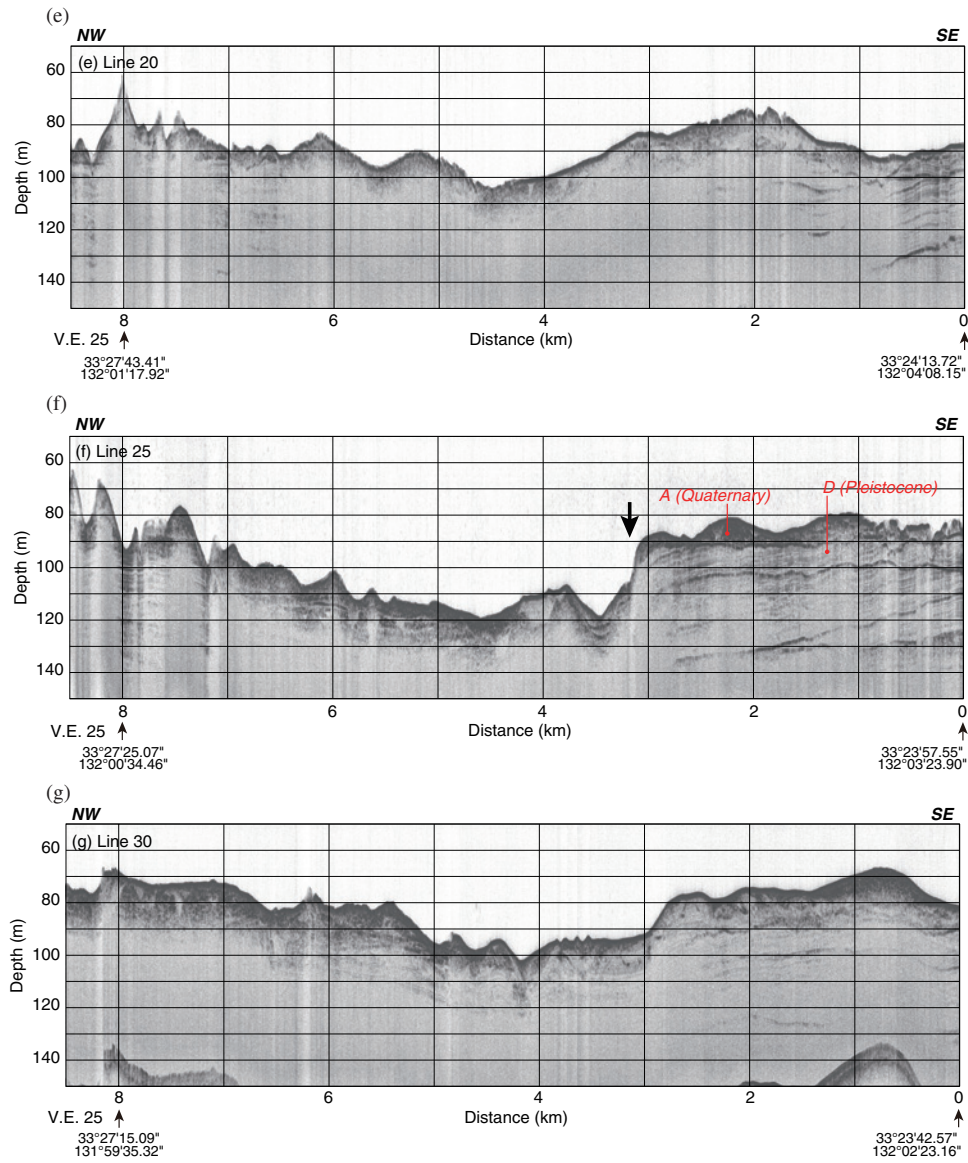


Fig. 5. (Continued)

図5. (続き)

Table 2. Gravity measurements for shipboard gravity data tie.

表2. 船上重力測定値の重力結合のための重力測定.

Site	Time (UTC)	CG-5 Reading (mGal)	Height to S-177 (m)	Gravity after Free-air Correctio (mGal)	S-177 Reading (cu)
No 6	2016/06/26 21:36:22	4242.097	-5.96	979760.209	11651.840
DSR	2016/06/26 22:01:45	4241.395			
No 6	2016/06/26 22:17:31	4242.053	-5.86	979760.178	11651.580
No 6	2016/07/02 05:10:40	4240.367	-5.46	979760.055	11651.760
DSR	2016/07/02 05:36:46	4239.669			
No 6	2016/07/02 05:57:56	4240.361	-5.36	979760.024	11652.030

No 6: JAMSTEC Yokosuka Pier "Former No 6 Bitt" (JAMSTEC横須賀専用岸壁旧6番ビッド) : 979758.370 (mGal) DSR: Deep-Sea Research Building (JAMSTEC 深海研究棟) : 979757.660 (mGal)

重力異常の計算には測地基準系 1980 に基づく正規重力方式を使用した。調査域内で主測線に交差する測線 (Line T1) とのクロスオーバーエラーの平均値は -0.5 mGal, 標準偏差は 1.8 mGal であった (Fig. 6)。フリーエア重力異常データを, Generic Mapping Tools (GMT) ソフトウェア (Wessel and Smith, 1991) の 'blockmean' を用いて, 0.2 arc-minutes 角度幅の平均化フィルター処理を行った後, 0.05 arc-minutes 間隔でグリッド化した (Fig. 7)。

ブーゲー重力異常の計算には本航海で調査した海底地形を使用した。本調査データのない場所は, ETOPO1 データ (Amante and Eakins, 2009) になめらかに連続するように補完した。ブーゲー重力異常の計算には Parker (1972); Kuo and Forsyth (1988) の手法を用いた。平均地殻の仮定密度は 2670 kg/m³ (2.67 g/cm³) を用いた, 海水密度は 1030 kg/m³ とした (Fig. 8)。仮定密度 2300 kg/m³ (2.30 g/cm³), 2000 kg/m³ (2.00 g/cm³) を用いても計算を行ったが, 調査域は水深が浅く比較的平坦な海底であるため, 密度を変化させても, 最大差が見られる場所で約 1 mGal のブーゲー重力異常の差であり, 大きな差はなかった (Fig. 9(c))。

5. 重力異常

本調査によって求められたブーゲー重力異常 (Fig. 8) は, 既存調査研究とも調和的 (小泉ほか, 1994; 大野ほか, 1994; 地質調査所, 2000; 名和ほか, 2008) で, 中央構造線に沿った重力異常の急変帯であり, 海岸沿いの南東側が高異常, 北西側が低異常となっている (Fig. 10)。測線密度が高い本調査でも, 極めて2次元性のある重力異常パターンであることがわかった (Fig. 8)。若干, 北西側低異常 (<-30 mGal) には地域差が見られ, 調査域

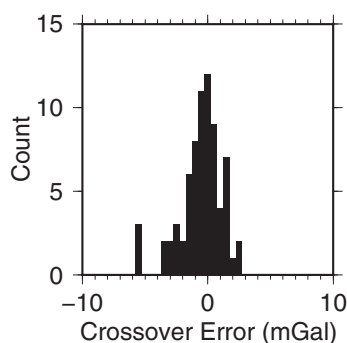


Fig. 6. Histogram of crossover errors of the free-air gravity anomaly. The crossover error was computed by subtracting a measured value at an earlier time from a measured value at a later time.

図6. フリーエア重力異常のクロスオーバーエラーのヒストグラム。クロスオーバーエラーは後の時間の測定値から先の時間の測定値を引いたもの。

西側の方が重力異常の水平勾配が緩やかになっている。

より高空間分解能である低速 4.5 kt での測定にも短波長 (波長数百 m 以下) の重力異常が明瞭には見られない (Fig. 9 の FGA 8 kt と 4.5 kt との比較)。このことは, 浅層の堆積層構造内の短波長の密度変化が小さいことを示唆する。したがって, 中央構造線断層帯の断層活動は海底地形, 堆積層を変位させているが, 浅層堆積層内で水平方向への密度構造変化を生じさせるようなことはなく, ブーゲー重力異常への寄与は小さいものと思われる。ブーゲー重力異常はより深部の重力基盤構造を反映するものと考えられる。

本調査による重力異常プロファイルは, 重力異常の急変帯の変化をより正確にとらえているはずである。瀬戸内海は疎データ地域であるため, 各既存研究で用いられる補間・編集方法により, 各研究でそれぞれ若干異なった重力異常パターンになっており (Fig. 9 の GSJ BGA や Fig. 11 の GSJ BGA と ON との比較), 調査域の重力異常の詳細は, よく決まっていない。中央構造線に直交するプロファイルは, 既存調査と比較して, より下に凸な形状になっている (Fig. 9 の GSJ BGA と This Survey BGA との比較)。南東側 2 km の区間の重力異常の水平勾配が大きく 11.5 mGal/km, 北西側 6 km の区間の水平勾配は 4.0 mGal/km になっている (Fig. 9)。

調査域付近の中央構造線での地殻構造は, 三波川変成帯と境を接する領家変成帯が, リストリック正断層によってずれ下がりハーフグラベンが形成され, そのグラベンを堆積層が埋めて形成されたと解釈されている (e.g. 由佐ほか, 1992)。本調査によって推定される下に凸な重力基盤構造の形状は, リストリック断層を伴うハーフグラベン構造に調和的である。大野ほか (1994) は, 由佐ほか (1992) による地殻構造を参照しながら, 彼らが作成したブーゲー重力異常から密度構造を解析した (Fig. 11)。豊後水道にあるプロファイル A の地殻構造は由佐ほか (1992) によっている (Fig. 10, 11)。またプロファイル A は小泉ほか (1994) の海上重力測線にはほぼ沿っている。プロファイル B の密度構造はプロファイル A の結果をふまえて推定されたものである。2次元密度構造による重力異常の計算には Talwani et al. (1959), Blakely (1996) の手法を用いた。

調査域はこれらのプロファイルの中間の位置にある (Fig. 10)。本調査の観測ブーゲー重力異常 (Fig. 11 の Obs L25 (測線 Line 25)) の最低値は, プロファイル A の計算重力異常 (Fig. 11 の Cal) の最低値より低く, プロファイル B より高いことから, 調査域のグラベン最深部の基盤の深度は A と B の中間程度の深度と推定される。グラベン最深部の基盤の深度はプロファイル A では約 3 km,

プロフィールBでは約4 kmである。観測ブーゲー重力異常の勾配は、南東側 (Fig. 11のObs L25の右側) ではプロフィールBの計算重力異常の勾配に、北東側ではプロフィールAに、より合うように思われる。重力異常の勾配は基盤の傾斜を反映していると思われる。プロフィールBでは基盤の傾斜は約30°である。プロフィールAでは約17°である。観測ブーゲー重力異常プロフィールがある場所では、基盤の傾斜は地下上部で急傾斜、下部では

より緩傾斜になっていると推定される。プロフィールBの密度構造を参照して、各層の密度値は変えないで、グラーベン最深部の領家基盤の深度 (RB層) を変更した。その結果、領家基盤の深度を約3 kmとすると観測値とよく合うことがわかった (Fig. 11(c))。この基盤深度は調査域付近の反射法地震探査の地殻構造とも整合的である (大野ほか, 2005)。プロフィールBにより近い調査域東側では北西側低異常 (<-30 mGal) の水平勾配がより急 (約

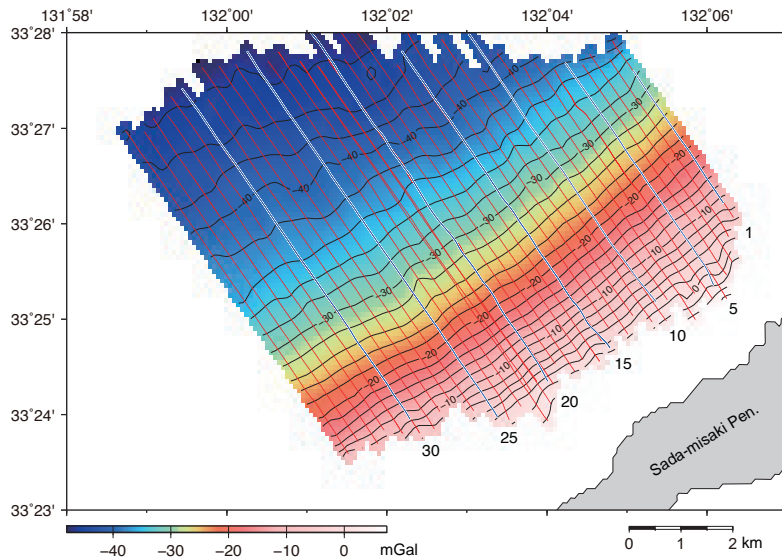


Fig. 7. Free-air gravity anomaly. Contour lines are at 2 mGal interval. Red and blue lines show tracks of the multi-narrow beam survey and the sub-bottom profiler survey, respectively.

図7. フリーエア重力異常. 等値線間隔は2 mGal. 赤線はマルチナロービーム音響測深測線, 青線はサブボトムプロファイラ測線を示す.

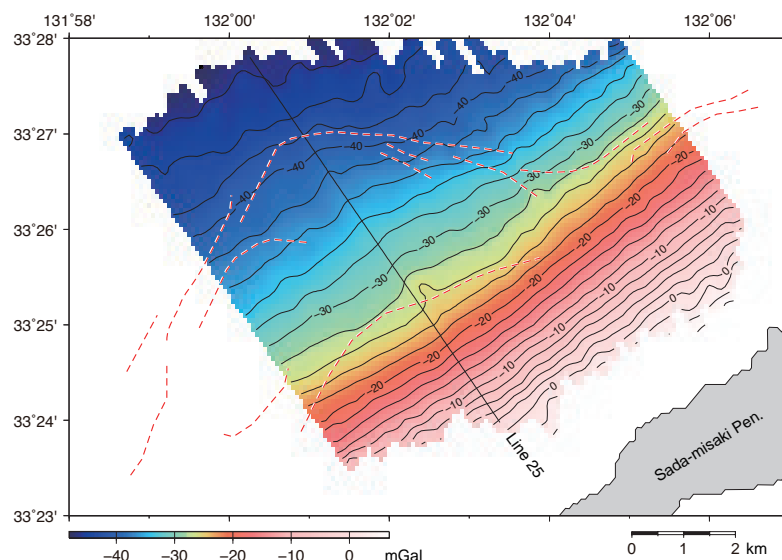


Fig. 8. Bouguer gravity anomaly with an assumed density of 2670 kg/m^3 (2.67 g/cm^3). Contour lines are at 2 mGal interval. The black line indicates Line 25. Red dashed lines show traces of estimated active faults of the Median Tectonic Line active fault zone (Geological Survey of Japan, Advanced Industrial Science and Technology).

図8. ブーゲー重力異常, 仮定密度 2670 kg/m^3 (2.67 g/cm^3). 等値線間隔は2 mGal. 黒実線は測線Line 25の位置を示す. 赤破線は中央構造線断層帯活断層の推定位置を示す.

5.0 mGal/km) であるので (Fig. 8), 調査域東側では下部の基盤の傾斜も急のままでよいかもしれない。

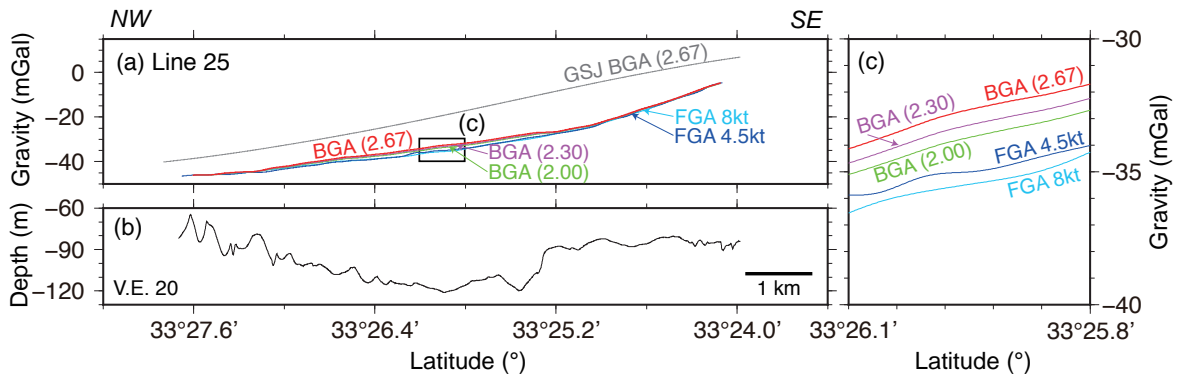


Fig. 9. (a) Cross sections of gravity anomalies along Line 25. FGA 8 kt, 4.5 kt: Free-air gravity anomalies surveyed with a speed of 8 kt and 4.5 kt, respectively. GSG BGA (2.67): Bouguer gravity anomaly from Geological Survey of Japan (2000) shown in Fig. 10, BGA (2.67), (2.30), and (2.00): Bouguer gravity anomalies with assumed densities of 2670 kg/m³ (2.67 g/cm³), 2300 kg/m³ (2.30 g/cm³), and 2000 kg/m³ (2.00 g/cm³), respectively. The black square shows the range shown in (c). (b) Bathymetry, the vertical exaggeration is 20. (c) Magnified figure of the gravity anomalies.

図9. (a) 測線Line 25の重力異常のプロファイル。FGA 8 kt, 4.5 kt: それぞれ8 kt, 4.5 ktの船速で航行時に測定されたフリーエア重力異常。GSG BGA (2.67): 図10に示されている地質調査所 (2000) によるブーゲー重力異常, BGA (2.67), (2.30), (2.00): 本研究で得られたブーゲー重力異常, 仮定密度はそれぞれ2670 kg/m³ (2.67 g/cm³), 2300 kg/m³ (2.30 g/cm³), 2000 kg/m³ (2.00 g/cm³)。黒四角は(c)で示す範囲。 (b) 海底地形のプロファイル, 鉛直方向は20倍に誇張されている。 (c) 重力異常のプロファイルの拡大図。

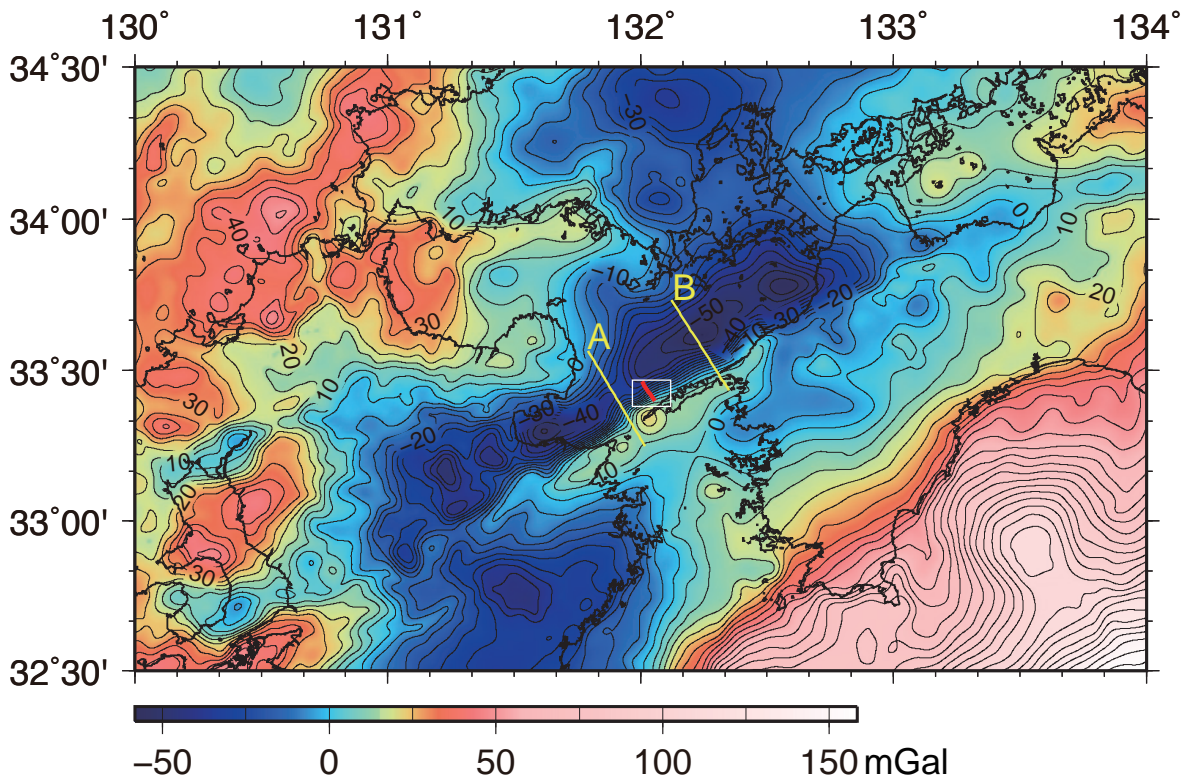


Fig. 10. Regional distribution of the Bouguer gravity anomaly with an assumed density of 2670 kg/m³ (2.67 g/cm³) (Geological Survey of Japan, 2000). Contour lines are at 5 mGal interval. Yellow lines show locations of gravity analysis profiles shown in Fig. 11. The red line and the white square in between yellow lines show the location of Line 25 and the survey area, respectively.

図10. 広域ブーゲー重力異常, 仮定密度2670 kg/m³ (2.67 g/cm³) (地質調査所, 2000). 等値線間隔は5 mGal. 黄線は図11で示されている重力異常解析の測線, 間にある赤線は測線Line 25, 白四角は調査域を示す。

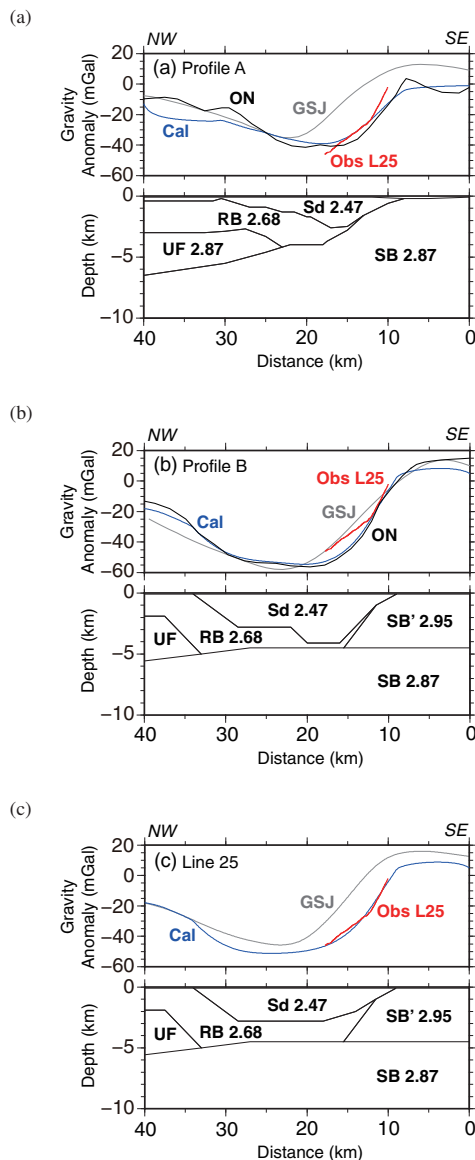


Fig. 11. Bouguer gravity anomaly analysis. Density structures in Profile A and B are from Ohno et al. (1994) (a) Profile A. The blue line in the upper figure is calculated Bouguer gravity anomaly from the density structure in the lower figure. The red line is a projection of observed Bouguer gravity anomaly along Line 25 shown in Fig. 9. GSJ: Bouguer gravity anomaly from Geological Survey of Japan (2000) shown in Fig. 10. ON: Bouguer gravity anomaly from Ohno et al. (1994). SB 2.87: Sanbagawa basement 2870 kg/m^3 (2.87 g/cm^3), RB 2.68: Ryoke basement 2680 kg/m^3 (2.68 g/cm^3), Sd 2.47: Sediment 2470 kg/m^3 (2.47 g/cm^3), and UF 2.87: Unknown formation 2870 kg/m^3 (2.87 g/cm^3). (b) Profile B. SB' 2.95: Sanbagawa basement in the Sada-misaki Peninsula 2950 kg/m^3 (2.95 g/cm^3). (c) Profile Line 25.

図11. ブーゲー重力異常解析、プロフィールAとBの密度構造は大野ほか(1994)による。(a)プロフィールA。上図の青線は下図の密度構造より計算されたブーゲー重力異常、赤線は図9に示されている測線Line 25の観測ブーゲー重力異常を投影したもの。GSJ: 図10に示されている地質調査所(2000)によるブーゲー重力異常、ON: 大野ほか(1994)によるブーゲー重力異常、SB 2.87: 三波川基盤 2870 kg/m^3 (2.87 g/cm^3)、RB 2.68: 領家基盤 2680 kg/m^3 (2.68 g/cm^3)、Sd 2.47: 堆積層 2470 kg/m^3 (2.47 g/cm^3)、UF 2.87: 未知層 2870 kg/m^3 (2.87 g/cm^3)、(b)プロフィールB。SB' 2.95: 佐田岬半島の三波川基盤 2950 kg/m^3 (2.95 g/cm^3)、(c)プロフィールLine 25。

謝辞

本航海は2016年熊本地震後、余震域の東方拡大を受けて、臨時航海として行われた。運航管理部に本航海を実施するための調整をいただいた。調査航海では新青丸乗組員に多大なる支援をいただいた。筆頭著者は淡青丸KT-91-10海上重力調査航海に参加した。25年後、淡青丸の後継船である新青丸での再訪に感慨無量である。京都大学の竹村恵二氏、産業技術総合研究所の七山太氏には周辺地質情報を提供していただいた。重力データの処理について東京大学大気海洋研究所の田村千織氏に助言をいただいた。東京大学大気海洋研究所の沖野郷子氏ならびに匿名の査読者から本稿を改善するための有益なコメントをいただいた。JAMSTEC-R編集委員会には長年、調査航海の成果公表の機会を提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- Amante, C. and B.W. Eakins (2009), ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, National Geophysical Data Center, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19pp, March 2009, <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>>, (accessed 2018-06-20).
- Blakely, R.J. (1996), Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications, Cambridge University Press, 441pp.
- 地質調査所編 (2000), 日本重力CD-ROM, 数値地形図P-2.
- Inouchi, Y. (1990), Origin of sand and its distribution pattern in the Seto Inland Sea, Southwest Japan, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 41(2), 49–86.
- 海上保安庁第六管区海上保安本部 (2010), 松山港沖で巨大なサンドウェーブを確認, <<http://www.kaiho.mlit.go.jp/06kanku/news/press/press.pdf/22-04-3.pdf>>, (accessed 2018-06-20).
- 金松敏也, 笠谷貴史, 富士原敏也, 小平秀一 (2017), 佐田岬沖の詳細海底地形: KS-16-E01 新青丸緊急調査の報告, ブルーアースシンポジウム, BE17-P07.
- 小泉金一郎, 藤本博巳, 井口博夫, 内津将, 河野芳輝 (1994), 瀬戸内海における海上重力測定, *測地学会誌*, 40(4), 333–345.
- Kuo, B.Y. and D.W. Forsyth (1988), Gravity anomalies of the ridge-transform system in the South Atlantic between 31° and 34.5° S: Upwelling centers and variations in crustal thickness, *Marine Geophysical Research*, 10, 205–232.
- 七山太, 池田倫治, 大塚一広, 三浦健一郎, 金山清一, 小林修二, 長谷川正, 杉山雄一, 佃栄吉 (2002), 伊予灘～

- 佐賀関沖 MTL 活断層系の広域イメージングとセグメント区分, *活断層・古地震研究報告*, 2, 141–152.
- 名和一成, 駒澤正夫, 村田泰章, 佐藤秀幸, 広島俊男, 牧野雅彦, 岸本清行, 村上文敏, 上嶋正人, 西村清和, 大熊茂雄, 大野一郎, 村上英記, 志知龍一, 小室裕明, 山本明彦 (2008), 松山地域重力図 (ブーゲー異常) 1:200,000.
- 西坂直樹, 大野裕記, 浅野彰洋, 瀬川爾朗 (2006), 四国北西部伊予灘周辺地域におけるヘリコプター搭載型重力測定, *電力土木*, 321, 122–126.
- 大野一郎, 河野芳輝, 藤本博巳, 小泉金一郎 (1994), 瀬戸内海西部の重力異常と負異常帯の地下構造, *地震* 2, 47, 395–401.
- 大野裕記, 西坂直樹, 池田倫治, 小林修二, 長谷川正, 村岡淳, 長谷川修一, 松島学, 瀬川爾朗 (2005), 伊予灘中央構造線活断層系における各種物理探査 (速報), 日本地震学会2005年度秋季大会, 札幌, P230.
- 大塚一広, 七山太, 三浦健一郎, 池田倫治, 金山清一, 横山芳春, 杉山雄一, 佃栄吉 (2001), 伊予灘東部海域の中央構造線活断層系の完新世活動性評価(II)–上灘沖海上ボーリングコアの解析結果–, *活断層・古地震研究報告*, 1, 215–232.
- 大塚一広, 七山太, 三浦健一郎, 池田倫治, 金山清一, 小林修二, 徳間伸介, 安間恵, 横山芳春, 安原盛明, 杉山雄一, 佃栄吉 (2002), 中央構造線活断層系伊予セグメント西端部, 下灘沖南断層の完新世活動履歴, *活断層・古地震研究報告*, 2, 125–140.
- Parker, R.L. (1972), The rapid calculation of potential anomalies, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 31, 447–455.
- Talwani, M., J.L. Worzel, and M. Landisman (1959), Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone, *Journal of Geophysical Research*, 64, 49–59.
- Wessel, P. and W.H.F. Smith (1991), Free software helps map and display data, *EOS Transactions AGU* 72, 441, 445–446.
- 由佐悠紀, 竹村恵二, 北岡豪一, 神山孝吉, 堀江正治, 中川一郎, 小林芳正, 久保寺章, 須藤靖明, 井川猛, 浅田正陽 (1992), 反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造, *地震* 2, 45, 199–212.