

山口県菊川断層帯及び福岡県西山断層帯浅海域における航空レーザ測深 (ALB) 及び海底・陸域地形データの統合編集

Airborne LiDAR/ Laser Bathymetry (ALB) of shallow sea area and integrated compilation of seafloor and land topographic data: examples from the Kikugawa fault zone in Yamaguchi Prefecture and from the Nishiyama fault zone in Fukuoka Prefecture

宮下 由香里¹・藤田 浩司²・藤田 温斗²

MIYASHITA Yukari¹, FUJITA Koji² and FUJITA Haruto²

¹ 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, yukari-miyashita@aist.go.jp)

² アジア航測株式会社 (Asia Air Survey Co., LTD., Shinyuri 21 Building, 1-2-2 Manpukuji, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa Prefecture 215-0004, Japan)

Abstract: Among the major active fault zones in Japan defined by the Headquarters for Earthquake Research Promotion (HERP), a large number of active faults with an unknown earthquake probability, which is called X-rank faults still remain to assess for long-term evaluation. Some of which are distributed in shallow waters where mapping of active faults using bathymetry data is difficult because of the difficulty of data acquisition in conventional bathymetric surveys by vessels. In this study, we attempted to obtain high-resolution bathymetry of the Kikugawa fault zone in Yamaguchi Prefecture and the Nishiyama fault zone in Fukuoka Prefecture by airborne lidar bathymetry (ALB) measurements in order to determine the detailed active fault traces at shallow marine area. As a result of the measurements, a detailed topography of the sea-land interface of the two fault zones can be determined above 15 m of water depth. The detailed distribution of the fault at the sea-land interface of the Kikugawa fault zone was clarified by editing the DEM of land and seafloor topography data and integrating them with the ALB data. At the sea-land interface of the Nishiyama fault zone, we found a lineament consisting of a valley at the extension of a fault in the land area. In summary, the ALB measurement is useful for understanding the topography of shallow marine where it has been difficult to obtain detailed topography. The next step is to increase the number of ALB measurements and to further investigate their applicability, taking into account water quality (transparency, turbidity, etc.) and water depth. In the future, it is expected to be used for the evaluation of X-rank active faults distributed in shallow marine areas and for the evaluation of active faults that are obscured in the coastal plain such as urban areas.

キーワード: 航空レーザ測深, 菊川断層帯, 西山断層帯, Xランクの活断層, 陰影段彩図, 高度段彩図

Keywords: Airborne LiDAR/ Laser Bathymetry (ALB), Kikugawa fault zone, Nishiyama fault zone, X-rank active fault, color shaded relief map, altitude tints map

1. はじめに

政府の地震調査研究推進本部が定める主要活断層帯の中には、地震発生確率が不明 (X ランク) な活断層 (以下では、X ランクの活断層と呼ぶ) が存在する。X ランクの活断層は、地形や地質条件等の制約により、従来の調査方法では活断層の長期評価に必要なデータ取得が困難であることが多い。国内に分布する 115 主要活断層帯のうち、X ランクの活断層は 41 断層帯、活動区間としては 57 区間存在する (地震調査研究推進本部, 2020a, 第 1 図)。これらのうち、

海域のみに分布、海陸に分布、海域に延長すると考えられる活動区間はそれぞれ、6 区間、8 区間、6 区間となっている (第 1 表)。

2007 年能登半島地震以降、沿岸を含む海域活断層調査の重要性が指摘され (岡村, 2008, 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会, 2009), 沿岸海域の活断層評価及び地質図のシームレス化を目指して、小型船を用いた地下構造探査が精力的に行われてきた。これらの探査の結果、陸域に分布する活断層の海域延長部や、沿岸海域の活断層の分布が

明らかとなってきた（たとえば、阿部ほか、2010a, b; 岡村ほか、2014）。しかし、小型船の航行が困難な極浅海域や商業利用されている海域では、未だに探査の空白域が存在する。

今回、海陸接合部に分布する X ランクの活断層の詳細位置を把握することを目的として、山口県に分布する菊川断層帯と福岡県に分布する西山断層帯において、航空レーザ測深（ALB 計測）による浅海域の海底地形データの取得を試みた。海陸接合部における活断層の詳細位置が明らかになることによって、従来海陸境界部が活動区間境界となっている活断層の区間分けの妥当性の検討に資する情報取得が可能となる。また、浅海部での断層詳細位置が明らかになれば、陸域延長部や沿岸海域延長部における活動履歴解明のための掘削調査の適地選定が可能となり、X ランクの活断層評価に資することが期待される。本稿では、菊川断層帯と西山断層帯における ALB 計測の目的及び計測結果と手法の適用可能性について記述する。本調査は、令和元年度文部科学省受託事業「活断層評価の高度化・効率化のための調査」の一環として実施した。

1.1 菊川断層帯の概要と調査の目的

菊川断層帯は、響灘沖から、山口県下関市神田岬南岸、同菊川町を経て、山陽小野田市竜王山付近に至る長さ約 114 km 以上の活断層である（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2016a, 第 2 図）。同断層帯は、北部区間（53 km）、中部区間（44 km）、南部区間（18 km）の 3 区間に分けられており、いずれも左横ずれが卓越する。複数区間が同時に活動した場合の地震の規模は、M7.8~8.2 程度以上と評価されている（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2016a）。北部区間及び南部区間では、過去の活動履歴が得られていないため、地震発生確率を求めることができていない。また、南部区間の南東海域延長部には、宇部南方沖断層（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2016b）が分布しており（第 2 図）、両断層の連続性と断層の分布範囲を明らかにすることが課題とされている。

本調査では、当初、菊川断層帯南部区間（小野田港沖）及び南東沖での断層分布形状を把握することを目的とした ALB 計測を実施することを計画したが、次に述べる理由により、計測対象地域を中部区間北西沿岸部の宇賀本郷沖とした。

ALB による水面下地形の計測は、水質の影響を強く受ける。筆者らのこれまでの計測実績から、最大測深深度は経験的に透明度の 2 倍程度である。菊川断層帯における ALB 計測候補地として、南部区間（周防灘側）では、山陽小野田市の本山岬沖、小野田港、中部区間（響灘側）では、下関市の神田岬~宇賀本郷沖の 3 海域が挙げられる。周防灘と響灘の水質、とくに透明度を比較すると、響灘の透明度が有意に

高い（第 3 図）。この傾向は、過去 10 年間（2009 年~2018 年）において、変化していない（瀬戸内海総合水質調査ホームページ）。以上の水質の状況を踏まえ、ALB 計測は、データ取得の可能性がより高い響灘側の神田岬~宇賀本郷沖で実施することとした（第 2 図）。響灘から日本海における海域では、海上保安庁により、2008 年から 2009 年にかけて海底地形測量が実施され、結果が杉山ほか（2010）にまとめられている。杉山ほか（2010）では、菊川断層帯の活動によって形成されたと考えられる複数の海底変動地形が記述されており、宇賀本郷沖の浅海域では断層活動による溝状地形を認めている。本調査では、この溝状地形と杉山ほか（2010）では調査されていないさらに陸側浅部の海底地形を捉えることを通じて、ALB 計測の有用性を検証することとした。

1.2 西山断層帯の概要と調査の目的

西山断層帯は、福岡県宗像市沖ノ島南方の玄界灘から、福津市奴山を経て朝倉市に至る長さ約 110 km の断層帯である（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2013）。同断層帯は、大島沖区間（38 km）、西山区間（43 km）、嘉麻峠区間（29 km）の 3 区間に分けられており（第 4 図）、いずれも左横ずれが卓越する。また、3 区間とも X ランクに区分されている。すべての区間が同時に活動した場合の地震の規模は、M7.9~8.2 程度と評価されている（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2013）。このうち西山区間は、陸域から北西海域部に連続して断層が分布する。西山区間の陸域における断層の分布形状は、千田ほか（2004）等で明らかにされているが、福津市の沿岸付近で断層分布が不明瞭となる（産業技術総合研究所、2012）。沿岸を含む海域部の断層分布については、阿部ほか（2010b）、佐藤・伊藤（2011）によって明らかにされているが、陸域との境界部付近については、データの空白域が存在する。

そこで、本調査では、福津市勝浦沖において ALB 計測を実施し、本手法による浅海底地形把握の有効性について検討することを目的とした。

2. ALB 計測と海陸地形データの統合編集

2.1 ALB 計測の方法

航空レーザ測深（ALB : Airborne LiDAR/Laser Bathymetry）は、陸域用レーザ（近赤外）と水域用レーザ（グリーンレーザ）を搭載し、陸域及び水面下の三次元データを取得する計測方法である（第 5 図）。レーザ測距、GNSS による衛星測位、IMU（慣性計測装置）による計測・解析の原理は、航空レーザ測量とほぼ同様であるが、従来型の航空レーザ測量と異なり、浅水域の計測が可能である点が大きな特徴である。

計測にあたり、計測機体は、比較的低速度で高密

度な計測が可能な回転翼機を使用した。また、レーザ照射密度は $0.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ メッシュの範囲に1点以上（ $4\text{ 点}/\text{m}^2$ ）以上となるよう設定した。機材の諸元を第2表に、計測時の計測諸元を第3表に示す。また、菊川断層帯及び西山断層帯における計測コースを第6図に示す。

2.2 海底・陸域地形データの統合編集

ALB計測データを既存の地形データと合わせて表示するため、海底及び陸域の地形データの統合編集作業を行った。海域のデータは、日本水路協会の海底地形デジタルデータM7000シリーズ（M7013 Ver.2.1 隠岐；M7014 Ver.2.1 対馬海峡；M7018 Ver.2.0.2 瀬戸内海西部）と海上保安庁提供の30mメッシュDEMデータを使用した。陸域のデータは、国土地理院基盤地図情報の数値標高モデルを使用した（第7図）。これらのデータを編集・統合し、10mメッシュの地形データを作成した（第8図）。作成にあたっては、陸域において既存DEMデータが5mメッシュのエリアにおいては、5mメッシュの標高値を用いて10mメッシュを作成し、可能な限り精度の高い地形データとなるよう留意した。また、異なる品質のデータを繋ぎ合わせるため、各データの境界付近において可能な限り不整合を小さくするよう努めた。

3. 結果と議論

3.1 菊川断層帯中部区間海陸接合部におけるALBデータの図化とリニアメントの認定

2.2項で述べた手順に従って作成した菊川断層帯周辺の地形陰影段彩図を第9図に示す。また、ALB計測を実施した山口県下関市宇賀本郷沖の地形陰影段彩図を第10図に、赤色立体図を第11図にそれぞれ示す。第10図A及び第11図Aは、既存データ（海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデル）のみを用いて作成した。第10図B及び第11図Bは、ALB計測データを統合して作成した。いずれの図においても、神田岬から宇賀本郷沖にかけての沖合に、海岸線とほぼ平行な急傾斜部からなるリニアメントが認められる。このリニアメントは、伊藤・泉（2009）、杉山ほか（2010）に示された菊川断層帯の海域延長と考えられる。リニアメントのうち、第11図Bの矢印で示した区間は、杉山ほか（2010）の第6図に示された菊川断層の活動による溝状地形に相当する（第11図C）。この溝状地形の南東側延長部の海域に注目すると、ALB計測範囲において、既往データのみから作成した図よりも解像度が増し、陸域側への延長が明瞭となっている（第10図B及び第11図B）。

ALB計測箇所の拡大図を、第12図及び第13図に示す。第12図B及び第13図における沖合側はデー

タが取得できなかったため、データが取得できた範囲のみを図化した。この海域では、水深約15m程度までの地形データを取得することができた。長門二見沖から宇賀本郷沖にかけての海域には、直線的で明瞭な谷状地形からなるリニアメントが、約2kmにわたって認められる（第13図）。等深線からは、リニアメントの北東側が相対的隆起側であることが読み取れる。宇賀本郷の陸域平野部では、わずかな範囲ではあるが、扇状地上に撓曲状の地形が認められる。撓曲状の地形の前面と沿岸域の谷状地形は連続的に見える。このリニアメントは、北西方向に伸び、第10図及び第11図で見られる海岸線と平行なリニアメントに連続する。

以上をまとめると、菊川断層帯中部区間宇賀本郷沖におけるALB計測では、水深15m程度までの海底地形を取得することができた。データを取得した範囲内に、谷状のリニアメントが認められた。このリニアメントの北西（沖）側は、既往の海底地形データで確認されている菊川断層帯のリニアメントに連続する。南東（陸）側は、陸域まで連続し、陸域沖積低地上の撓曲状の地形の前面に連続する。これまで、この沖積低地内での断層位置は不明確とされていた（楮原・堤，2016）が、上述した海域からのリニアメントの連続性から、本リニアメントが菊川断層であると推定される。

3.2 西山断層帯西山区間海陸接合部におけるALBデータの図化とリニアメントの認定

2.2項で述べた手順に従って作成した西山断層帯周辺の地形陰影段彩図を第14図に示す。第14図では、地形と西山断層帯の断層トレースの関係を見やすくするため、地名及び他の活断層は示していない。

陸域の西山断層帯は、山地と平野の境界部、傾斜変換線、河谷の系統的な左横ずれ屈曲等の変動地形によって認定される箇所が多いが、陸域北端部の福岡県福津市勝浦では、断層トレースが湾曲するとともに不明瞭となる（産業技術総合研究所，2012，第15図）。これに対し、海域では、佐藤・伊藤（2011）による海底地形探査や阿部ほか（2010b）による音波探査により、断層の正確な位置が判明している。本調査では、データが欠損している海陸接合部でALB計測を実施した。

ALB計測を実施した福岡県福津市勝浦沖の地形陰影段彩図を第15図に、赤色立体図を第16図にそれぞれ示す。第15図A及び第16図Aは、既存データ（海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデル）のみを用いて作成した。第15図B及び第16図Bは、ALB計測データを統合して作成した。

ALB計測箇所の拡大図を、第17図及び第18図に示す。第17図B及び第18図における沖合側の一部はデータが取得できなかったため、データが取得できた範囲のみを図化した。この海域では、水深約

15 m 程度までの地形データを取得することができた。勝島から勝浦浜にかけての浅海域には、直線的なリニアメントが約 2.5 km にわたって認められる(第 17 図 B 及び第 18 図)。勝島西側海域では、海岸線と平行な北北西-南南東方向の谷状の地形からなるリニアメントが複数認められる。これらのリニアメントは、南東延長部にあたる勝浦浜側において不明瞭となるが、陸域の西山断層帯の延長上に位置している。

リニアメントの位置や北東側が相対的隆起側である点は、このリニアメントが西山断層帯の延長部である可能性を示唆するが、詳細は不明である。西山断層帯西山区間の海陸接合部の断層詳細位置を知るためには、陸域延長部あるいは極浅海域でのボーリング調査や反射法探査が必要である。

4. まとめと今後の課題

山口県に分布する菊川断層帯の中部区間と福岡県に分布する西山断層帯の西山区間の沿岸海域において、グリーンレーザを用いた航空レーザ測深 (ALB) を実施した。計測の結果、両断層帯の海陸接合部において、水深約 15 m 程度までの詳細な地形を把握することができた。また、既存の海陸地形データを編集し、ALB 計測で取得したデータと統合した図を作成することを通じて、菊川断層帯の海陸接合部での断層の詳細位置を明らかにした。西山断層帯の海陸接合部では、陸域の断層の延長部にリニアメントが見いだされた。以上より、ALB 計測は、これまでの船舶を用いた測量調査では詳細な地形を把握するのが困難であった極浅海域の地形の詳細を把握するのに有効であると言える。今後は、水質 (透明度、濁度等) と水深を考慮しつつ ALB 計測事例を増やし、適用性をさらに検討する必要がある。本調査では、透明度が相対的に低いことから、菊川断層帯南部区間浅海域での計測を断念したが、たとえば、小野田港や本山岬沖で ALB 計測を実施し、詳細な海底地形データが得られるのであれば、菊川断層帯の評価に有効であろう。

本調査で試みた航空レーザ測深 (ALB) を用いた沿岸域のシームレスな地形モデル作成は、平野部で断層通過位置が不明瞭となる場合に、沿岸浅海域での断層通過位置をもとに陸域延長部での調査適地の選定を可能とする。あるいは、陸域に完新統などの新しい時代の堆積層が分布していない場合に、海域延長部での採泥調査適地の選定を可能とする。以上より、本手法を適用することで、浅海域の断層分布が直接把握できるほか、陸域のみ、あるいは海域のみの調査では選定し得なかった調査適地の選定に有効であると考えられる。将来的には、海陸を跨いで分布する X ランクの活断層の評価や、都市部など沿岸平野部で断層位置が不明瞭となる活断層評価への活用が期待される。

謝辞 海上保安庁海洋情報部には、菊川断層帯北西海域ならびに西山断層帯北西海域の海底地形データを提供していただきました。査読にあたっては、産業技術総合研究所の丸山 正博士ならびに編集担当の宍倉正展博士から有益なコメントをいただき、本稿の改善に大きく役立ちました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 阿部信太郎・荒井良祐・岡村行信 (2010a) 菊川断層帯海域延長部における断層分布と活断層について。活断層・古地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 10, 81-118.
- 阿部信太郎・荒井良祐・岡村行信 (2010b) 西山断層帯海域延長部における断層分布と活断層について。活断層・古地震研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, No. 10, 119-148.
- 千田 昇・池田安隆・堤 浩之・中田 高 (2004) 1:25,000 活断層図「直方」。国土地理院。
- 伊藤弘志・泉 紀明 (2009) 菊川断層帯の延長海域で発見された変動地形。活断層研究, 31, 27-31.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) 西山断層帯の長期評価 (一部改訂)。https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/91_nishiyama_2.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2016a) 菊川断層帯の長期評価 (一部改訂)。https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/88_kikugawa.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2016b) 宇部南方沖断層の長期評価。https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chu_14.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2016c) 周防灘断層帯 (周防灘断層群・宇部沖断層群) の長期評価 (一部改訂)。https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chu_12.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2020a) 主要活断層帯の評価結果。https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation_summary/#danso (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2020b) 今までに公表した活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧。https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)
- 地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会 (2009) 新たな活断層調査について。https://www.jishin.go.jp/main/suihon/honbu09b/katsuchousa090421.pdf (閲覧日: 2020 年 11 月 16 日)

- 楮原京子・堤 浩之（2016）1:25,000 都市圏活断層
図菊川断層帯とその周辺「下関北部」「宇部」解
説書，国土地理院技術資料 D1-No.755，1-16p.
- 日本水路協会（2009）海底地形デジタルデータ
M7000 シリーズ M7014 Ver.2.1 対馬海峡.
- 日本水路協会（2016）海底地形デジタルデータ
M7000 シリーズ M7013 Ver.2.1 隠岐.
- 日本水路協会（2016）海底地形デジタルデータ
M7000 シリーズ M7018 Ver.2.0.2 瀬戸内海西部.
- 岡村行信（2008）海域における活断層調査－現状と
課題－. 活断層研究，28，31-39.
- 岡村行信・井上卓彦・阿部信太郎（2014）山陰西部
及び九州北部沖の第四紀断層. 活断層・古地震
研究報告，産業技術総合研究所地質調査総合セ
ンター，14，157-177.
- 産業技術総合研究所（2012）平成 23 年度「活断層の
補完調査」成果報告書 西山断層帯の活動性およ
び活動履歴調査. 62p.
- 佐藤勝彦・伊藤弘志（2011）福岡沖玄界灘における
海底地形調査速報. 海洋情報部研究報告，47，
61-65.
- 瀬戸内海総合水質調査ホームページ [http://www.
pa.cgr.mlit.go.jp/chiki/suishitu/index.html](http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/chiki/suishitu/index.html)（閲覧日：
2020 年 11 月 16 日）.
- 杉山伸二・堀迫順一・福山一郎・田中喜年・西下厚志・
成田 学・加藤正治・氏原直人・笹原 昇・森
弘和・井上 渉・本間章禎・久間裕一（2010）
山口県沖（日本海側）における海底地形調査速報.
海洋情報部研究報告，46，92-95.

（受付：2020 年 11 月 24 日，受理：2021 年 3 月 11 日）

第1表. 主要活断層帯中のXランクの活断層一覧. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020b)に基づき作成. Xランクの活断層は, 地震発生確率, 地震後経過率, 平均活動間隔がいずれも不明.

Table 1. List of X-rank active fault zones in Japan. Selected from compiled data of HERP (2020b). Earthquake probability, elapsed time and mean recurrence interval of X-rank active faults are unknown.

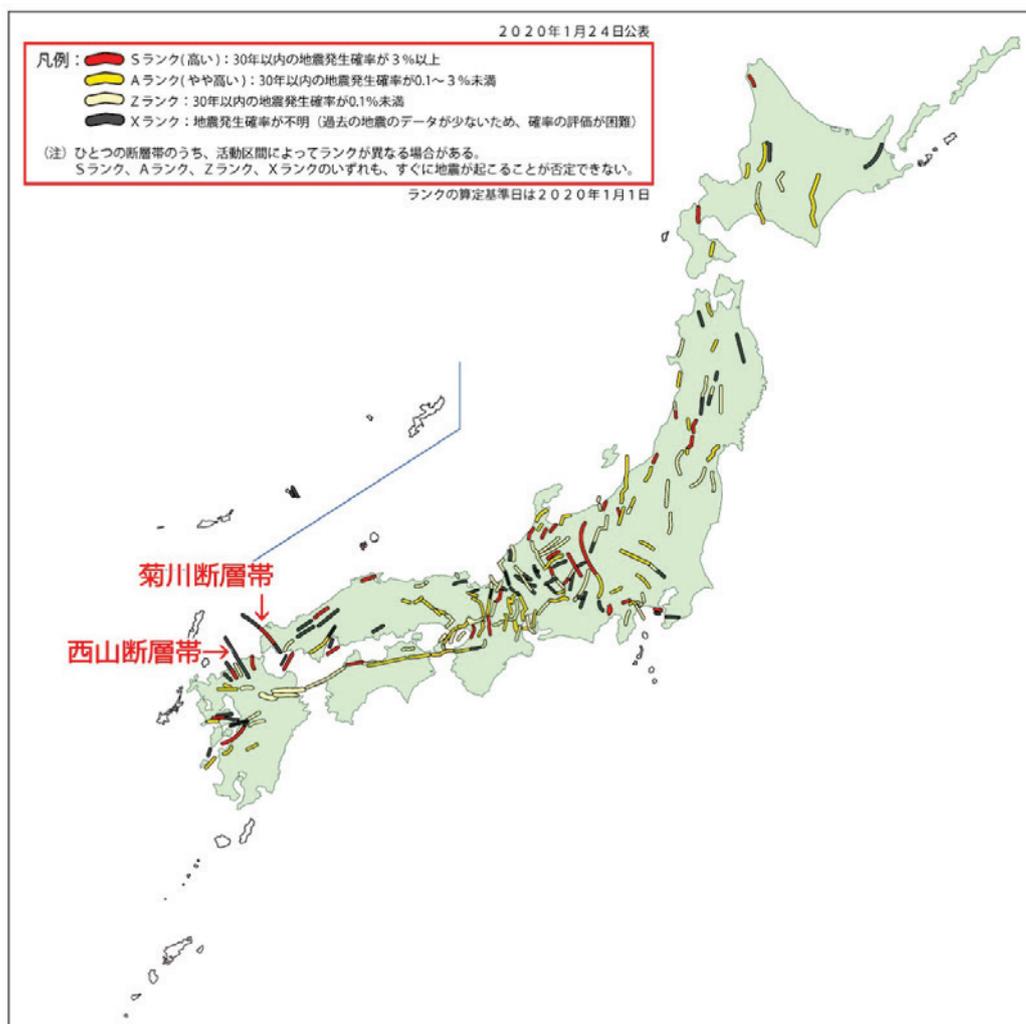
地方名	断層帯名 (起震断層/活動区間)	海域における 分布	長期評価で予想した 地震規模 (マグニチュード)	最新活動時期	
北海道地方	1 標津断層帯	延長?	7.7程度以上	不明	
	2 増毛山地東縁断層帯・沼田-砂川付近の断層帯 (沼田-砂川付近の断層帯)		7.5程度	不明	
東北地方	3 津軽山地西縁断層帯(南部)		7.1~7.3程度	1766年の地震	
	津軽山地西縁断層帯(北部)		6.8~7.3程度	1766年の地震	
	4 折爪断層		(最大7.6程度)	不明	
	5 雫石盆地西縁-真屋山地東縁断層帯(真屋山地 東縁断層帯/南部)		6.9~7.1程度	不明	
	雫石盆地西縁-真屋山地東縁断層帯(雫石盆地 西縁断層帯)		6.9程度	約2,800年前-14世紀	
	6 横手盆地東縁断層帯(南部)		7.3程度	約6,000年前-5,000年前以後	
関東地方	7 綾瀬川断層(伊奈-川口区間)		7.0程度	不明	
	8 三浦半島断層群(南部)	延長?	6.1程度もしくはそれ以上	約26,000年前-22,000年前	
	9 鴨川低地断層帯	延長?	概ね7.2	不明	
中部地方	10 身延断層		7.0程度	不明	
	11 長野盆地西縁断層帯(麻績区間)		6.8程度	不明	
	12 境峠-神谷断層帯(霧訪山-奈良井断層帯)		7.2程度	不明	
	13 伊那谷断層帯(南東部)		7.3程度	不明	
	14 木曾山脈西縁断層帯(清内路峠断層帯)		7.4程度	不明	
	15 高山-大原断層帯(猪之鼻断層帯)		7.1程度	不明	
	16 阿寺断層帯(白川断層帯)		7.3程度	不明	
	阿寺断層帯(佐見断層帯)		7.2程度	不明	
	17 屏風山-恵那山-猿投山断層帯(赤河断層帯)		7.1程度	不明	
	18 長良川上流断層帯		7.3程度	不明	
	19 福井平野東縁断層帯(西部)	海陸	7.1程度	1948年福井地震	
	20 濃尾断層帯(揖斐川断層帯)		7.1程度	1-10世紀	
	濃尾断層帯(温見断層/南東部)		7.0程度	不明	
	濃尾断層帯(主部/三田洞断層帯)		7.0程度	不明	
	濃尾断層帯(武儀川断層)		7.3程度	不明	
	21 柳ヶ瀬-関ヶ原断層帯(主部/南部)		7.6程度	約4,900年前-15世紀	
	柳ヶ瀬-関ヶ原断層帯(浦底-柳ヶ瀬山断層帯)	海陸	7.2程度	不明	
	柳ヶ瀬-関ヶ原断層帯(主部/中部)		6.6程度	約7,200年前-7,000年前	
	22 野坂-集福寺断層帯(集福寺断層)		6.5程度	不明	
	近畿地方	23 三方-花折断層帯(花折断層帯/北部)		7.2程度	1662年の地震
		24 山田断層帯(主部)		7.4程度	約3,300年前以前
		25 三峠-京都西山断層帯(上林川断層)		7.2程度	不明
中国地方	26 長者ヶ原-芳井断層		7.3程度	不明	
	27 地福断層		7.2程度	不明	
	28 筒真断層		7.8程度	不明	
	29 広島湾-岩国冲断層帯	海陸	7.5程度	不明	
	30 岩国-五日市断層帯(五日市断層区間)	海陸	7.2程度	7世紀以後-12世紀以前	
	岩国-五日市断層帯(己斐断層区間)	海陸	7.1程度	約23,000年前以前	
	31 大原湖断層		7.5程度	不明	
	32 周防灘断層帯(秋穂冲断層区間)	海のみ	7.1程度	不明	
	33 菊川断層帯(北部区間)	海のみ	7.7程度	約14,000年前以後	
	菊川断層帯(南部区間)	延長?	6.9程度もしくはそれ以上	不明	
四国地方	34 中央構造線断層帯(五条谷区間)		7.3程度	約2200年前以後-7世紀以前	
九州地方	35 西山断層帯(西山区間)	海陸	7.6程度	約13,000年前以後-概ね2,000年前以前	
	西山断層帯(大島沖区間)	海のみ	7.5程度	約20,000年前以後	
	西山断層帯(嘉麻峠区間)		7.3程度	不明	
	36 鞆固断層帯(北西部)	海のみ	7.0程度	2005年福岡県西方沖の地震	
	37 日向峠-小笠木峠断層帯		7.2程度	不明	
	38 雲仙断層群(北部)	海陸	7.3程度以上	約5,000年前以後	
	雲仙断層群(南東部)	海陸	7.1程度	約7,300年前以後	
	39 布田川断層帯(宇土半島北岸区間)	海のみ	7.2程度以上	不明	
	布田川断層帯(宇土区間)		7.0程度	不明	
	日奈久断層帯(高野-白旗区間)		6.8程度	約1,600年以後-約1,200年前以前	
40 甌断層帯(上甌島北東沖区間)	海のみ	6.9程度	不明		
沖縄地方	41 宮古島断層帯(中部)	延長?	7.2程度もしくはそれ以上	不明	
	宮古島断層帯(西部)	延長?	6.9程度もしくはそれ以上	不明	

第2表. 航空レーザ測深（ALB）システムの諸元.
Table 2. Specifications of the Airborne LiDAR Bathymetry (ALB) system.

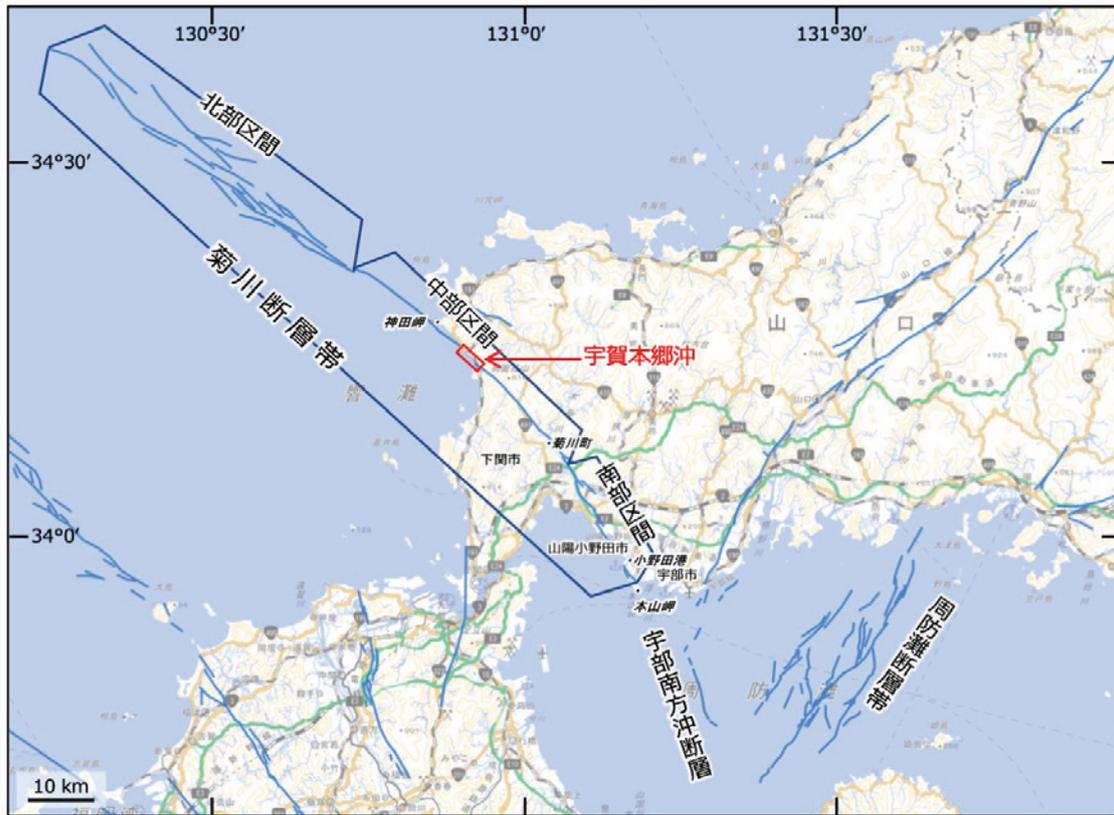
項目		機材仕様
水部用レーザ（グリーン）		35kHz（波長515nm），波形記録形式
		フットプリントは240cm（対地高度500mの場合）
陸部用レーザ（近赤外域）		最大500kHz（波長1,064nm，波形記録形式）
		フットプリントは50cm（対地高度500mの場合）
レーザクラス		クラス4（アイセーフ高度120m以上）
運用可能な対地高度		水域：500m，陸域：～1,600m
スキャン方式		楕円方式（オブリークスキャン）
視野角（FOV）		前/後：±14度，左/右：±20度
		計測幅は対地高度の71%（500m計測で約350m）
データ取得可能密度 （対地高度400mの最大値）		水部：約1.5点/m ² ，陸部：約12点/m ² （単コースの場合）
水域の測深精度		0.15m（2σ：95%）
測深性能		～15m程度（～1.5×セッキ水深）※透明度や底質等に依存
デジタルカメラ	撮影バンド数	4バンド（RGB近赤外）同時取得（機械式FMC装備）
	画素数	8,000万画素（10,320×7,752）
重量		約80kg

第3表. 菊川断層帯及び西山断層帯におけるALB計測諸元.
Table 3. Parameters of ALB measurements at the Kikugawa and the Nishiyama fault zones.

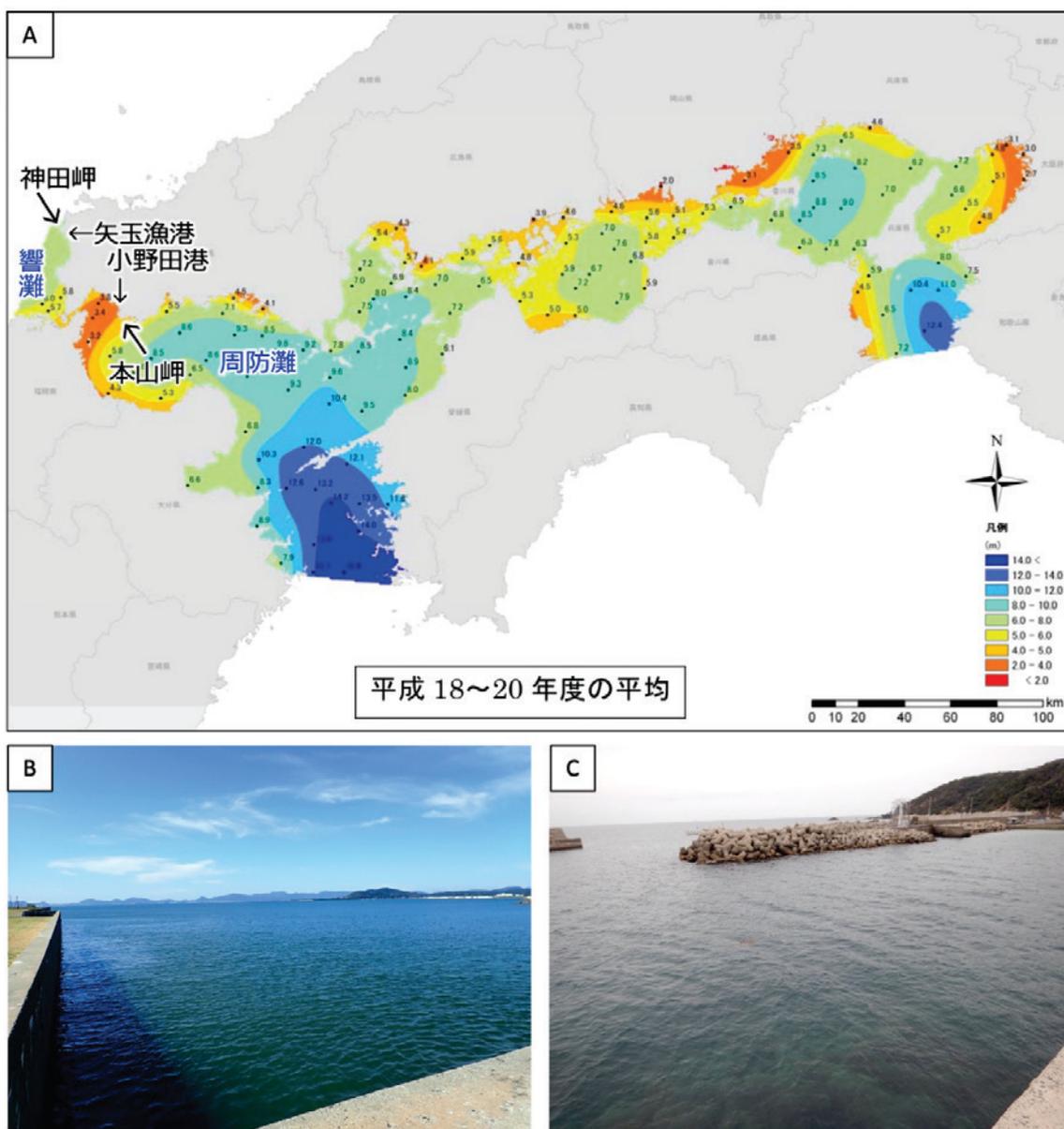
項目	山口県菊川断層帯中部区間における 計測範囲での設定	福岡県西山断層帯西山区間における 計測範囲での設定
使用機体	回転翼機	回転翼機
使用機材	Chiroptera II	Chiroptera II
飛行高度	500m	500m
対地高度	329m～500m	407m～500m
対地速度	25m/s (90km/h)	25m/s (90km/h)
パルス頻度	水域：35kHz，陸域：150kHz	水域：35kHz，陸域：150kHz
スキャン頻度	水域：1278rpm，陸域：2647rpm	水域：1429rpm，陸域：2959rpm
スキャン角	計測±20°，処理±18°	計測±20°，処理±18°
コース数	12コース	18コース
デジタルカメラ 地上解像度	5cm	5cm



第1図. 主要活断層の長期評価結果. 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2020a)に基づき作成. 灰色の線がXランクの活断層を示す. ランクの算定基準日は2020年1月1日.
 Fig. 1. Long-term evaluation of the major active faults in Japan (Headquarters for Earthquake Research Promotion; HERP, 2020a). Gray lines show X-rank active faults. The base date for calculating the rank is January 1, 2020.

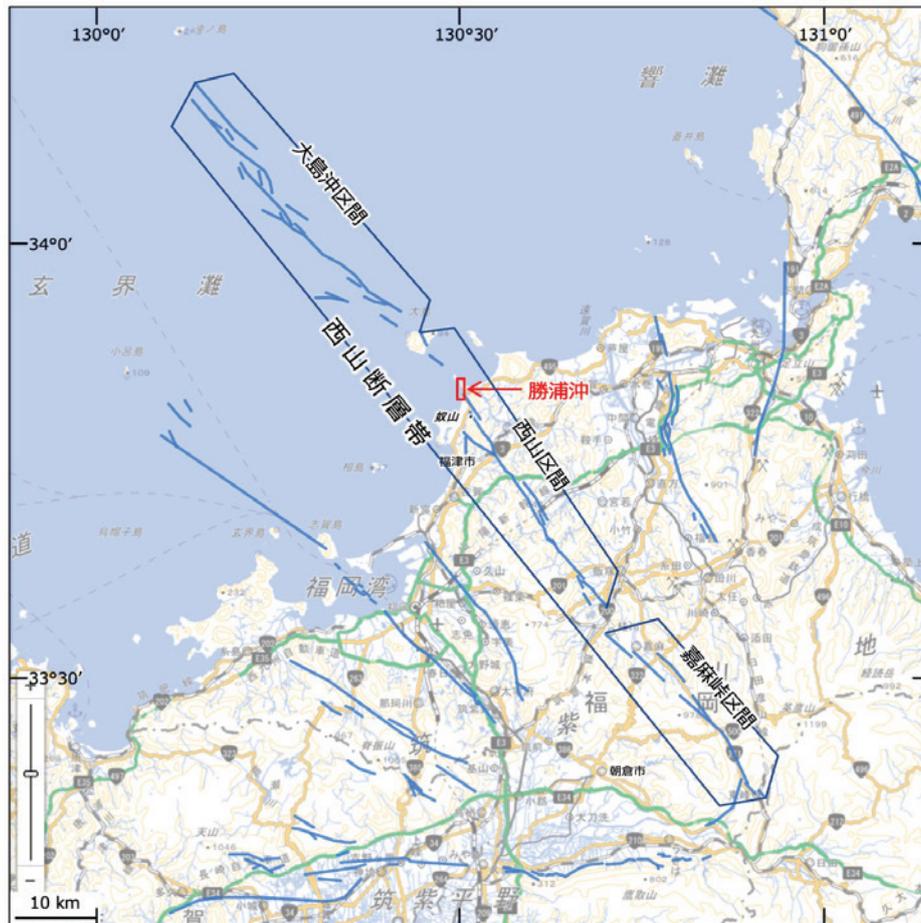


第2図. 菊川断層帯の分布と区間分け. 断層の位置・区間分けは, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2016a) による. 基図は国土地理院の地理院地図を使用した. 赤枠が ALB 計測範囲.
Fig. 2. Distribution map of the Kikugawa fault zone. Active fault distribution and segmentation are from HERP (2016a). Base map is from Geospatial Information Authority of Japan (GSI Maps). Red rectangle denotes ALB survey area.

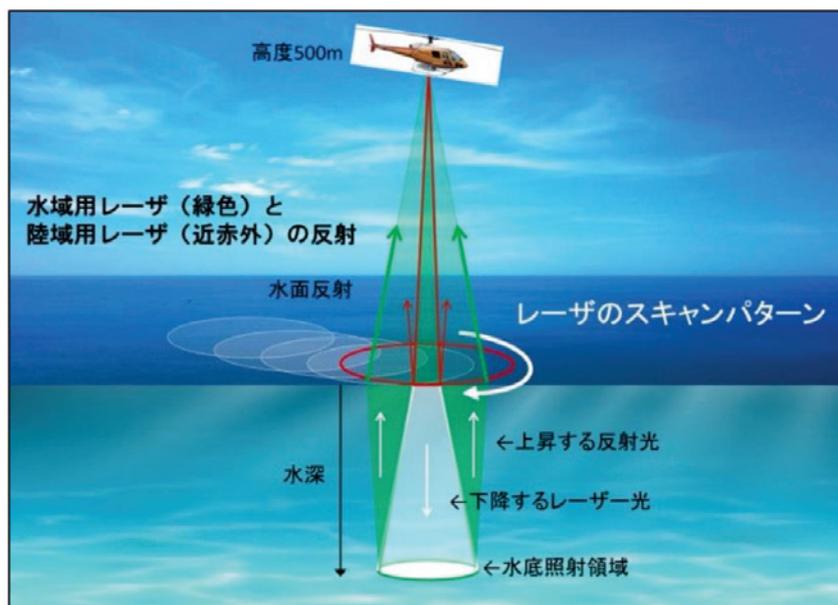


第 3 図 菊川断層帯沿岸海域の海水の透明度. A : 瀬戸内海の透明度 (環境省ウェブサイト <https://www.env.go.jp/council/09water/y0911-07/mat05-3.pdf> より), B : 小野田港 (山陽小野田市) の海水, C : 矢玉漁港 (下関市) の海水の状況.

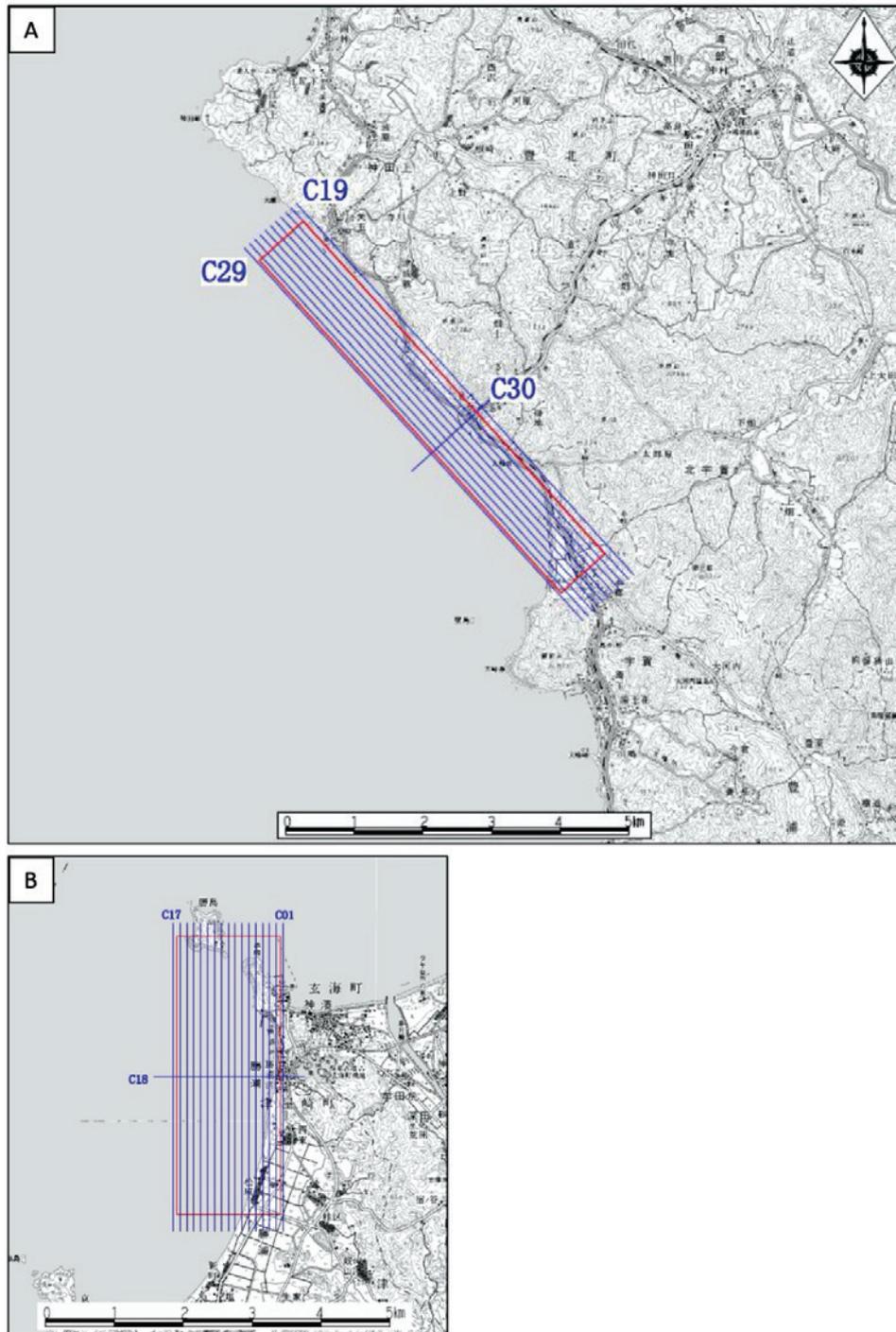
Fig. 3. Seawater transparency of coastal waters of the Kikugawa fault zone. A: the Setonaikai Sea (from the Ministry of the Environment website; <https://www.env.go.jp/council/09water/y0911-07/mat05-3.pdf>), B: the Onoda port, Sanyo-Onoda City and C: the Yadama port, Shimonoseki City.



第4図. 西山断層帯の分布と区間分け. 断層の位置・区間分けは, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) による. 基図は国土地理院の地理院地図を使用した. 赤枠がALB計測範囲.
 Fig. 4. Distribution map of the Nishiyama fault zone. Active fault distribution and segmentation are from HERP (2013). Base map is from GSI Maps. Red rectangle denotes ALB survey area.

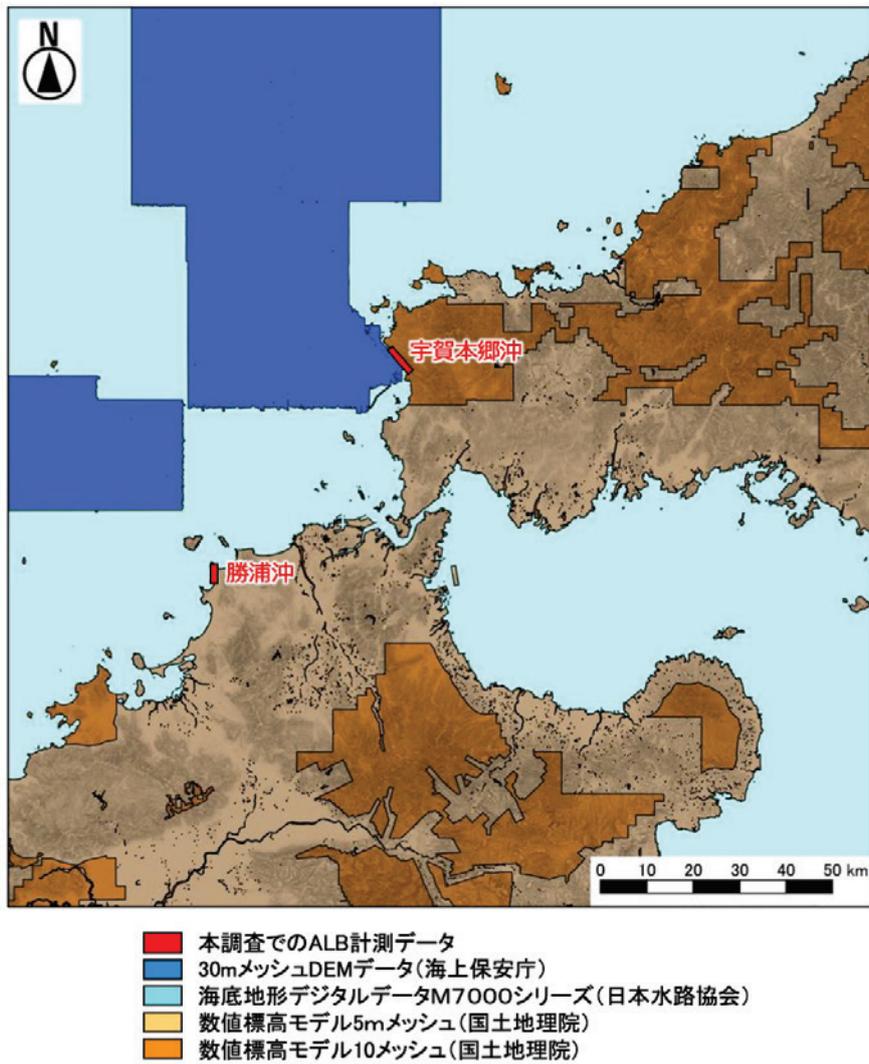


第5図. 航空レーザ測深（ALB）の概念図.
 Fig. 5. Schematic diagram showing the principle of Airborne LiDAR Bathymetry (ALB) survey.

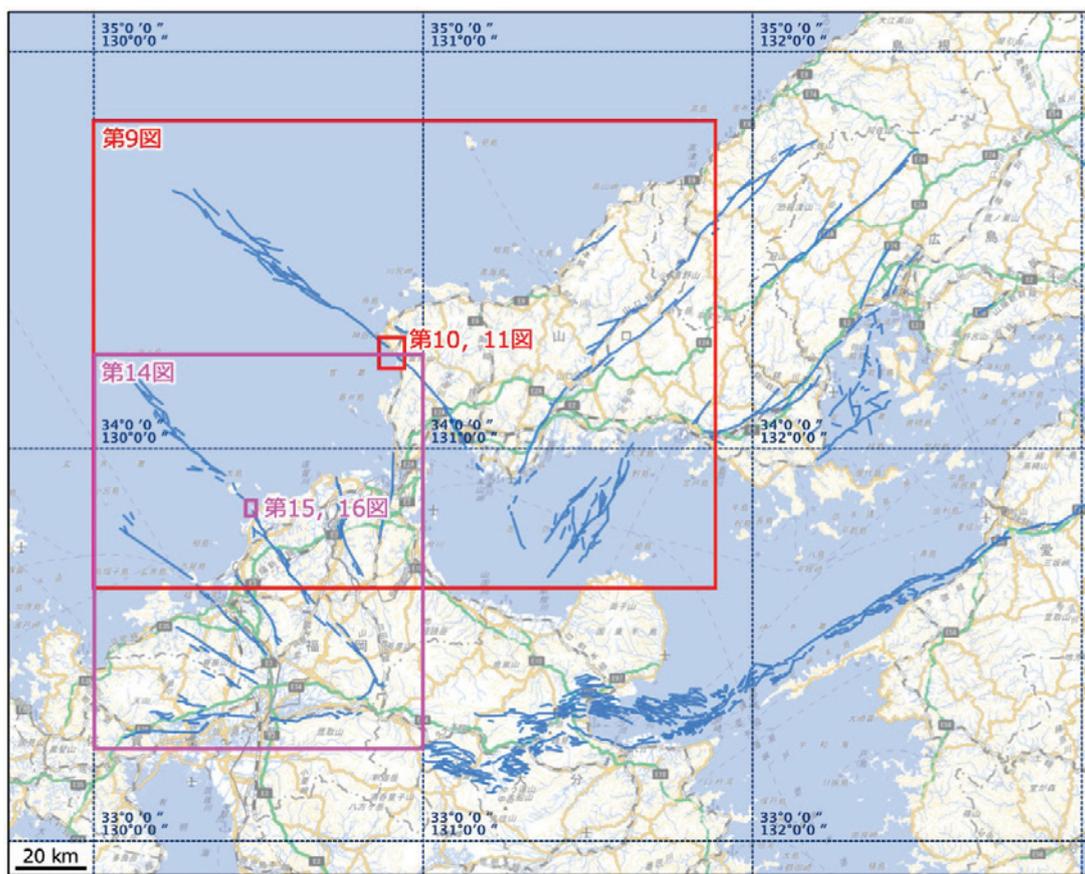


第6図. 航空レーザ計測コース図. A: 山口県菊川断層帯中部区間における計測範囲, B: 福岡県西山断層帯西山区間における計測範囲. 基図は国土地理院の地理院地図を使用した.

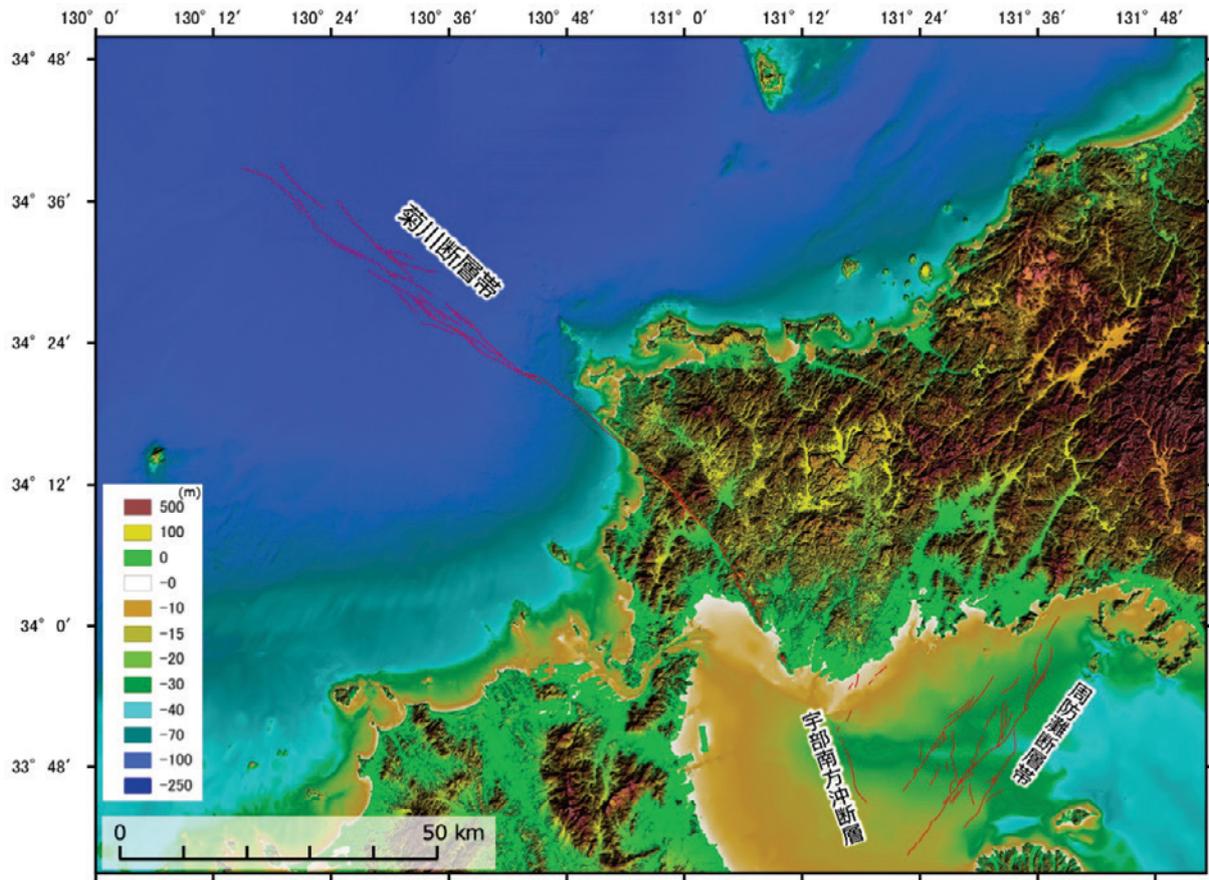
Fig. 6. Flight paths of the ALB measurements. A: Measurement area of the Kikugawa fault zone, Yamaguchi Prefecture. B: Measurement area of the Nishiyama fault zone, Fukuoka Prefecture. Base maps are from GSI Maps.



第7図. 海域・陸域地形データ統合編集に使用したデータソース位置図.
Fig. 7. Index map of original DEM data used for compiling terrain map in the study area.

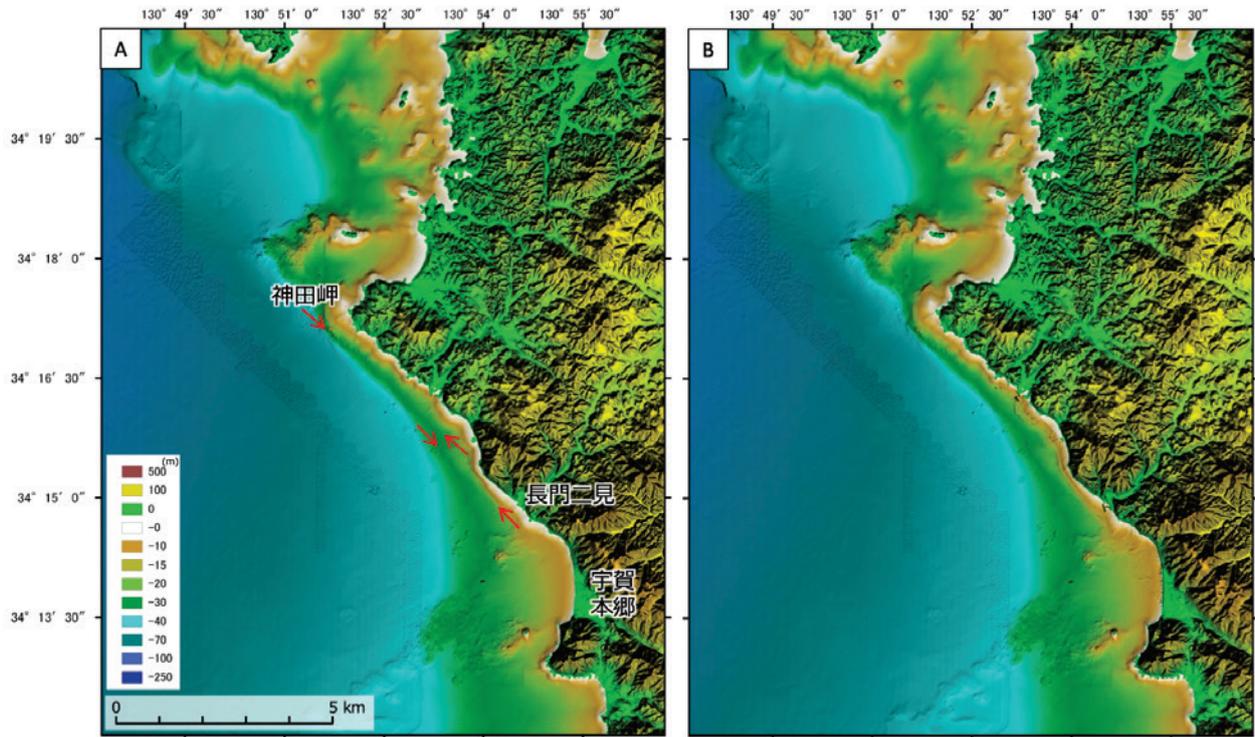


第 8 図. 海域・陸域地形データの統合編集作業範囲図. 基図は国土地理院の地理院地図を使用した.
Fig. 8. Index map of integrated editing scope of sea and land DEM data around the Kikugawa and the Nishiyama fault zones. Base map is from GSI Maps.



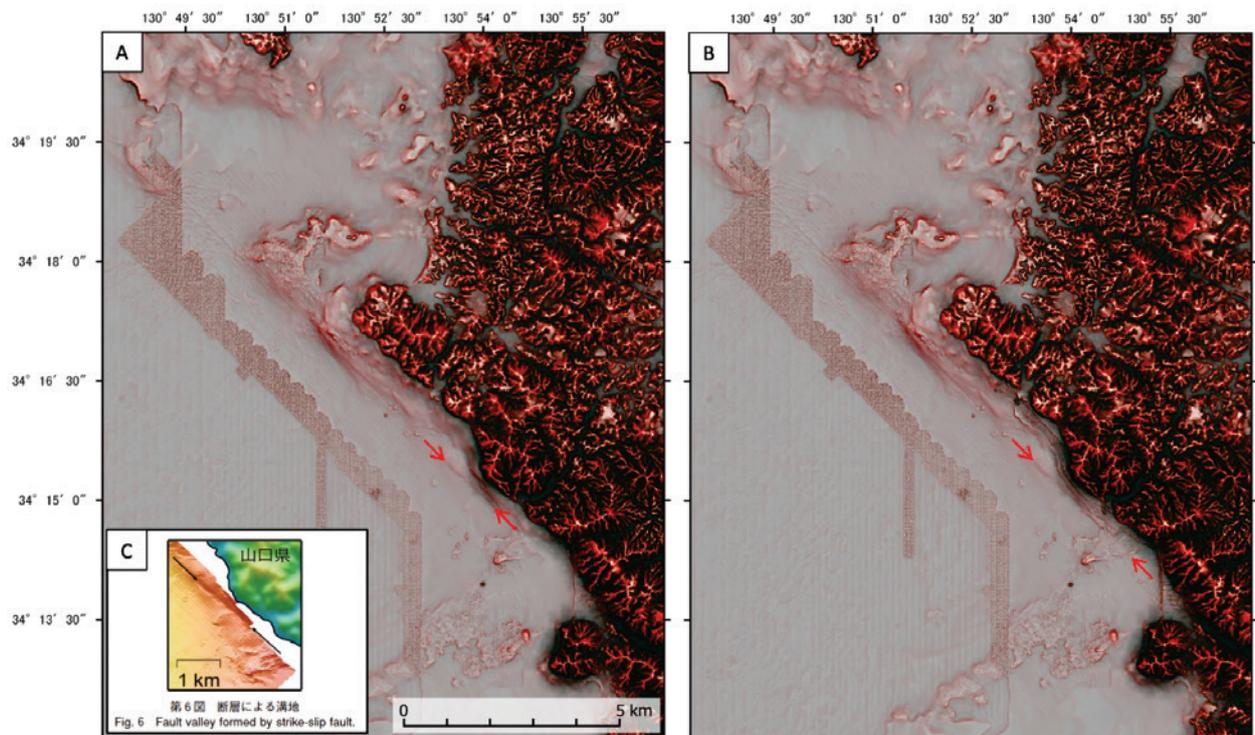
第 9 図. 菊川断層帯の分布と周辺の地形. 陸域は国土地理院数値標高モデル, 海域は海底地形デジタルデータ M7013 隠岐, M 7014 対馬海峡, M7018 瀬戸内海西部及び海上保安庁提供 30m メッシュ DEM を使用した (以下の図も同様). 活断層の位置は, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2016a, b, c) による.

Fig. 9. Active fault distribution map of the Kikugawa fault zone. Base topographic map is compiled from GSI 5 m- and 10m-mesh DEMs for land, and M7000 Digital Bathymetric Chart (M7013, M7014, M7018) and Japan Coast Guard (JCG) 30m-mesh DEM for seafloor. Same as following figures. Active fault distributions are from HERP (2016a, b and c).



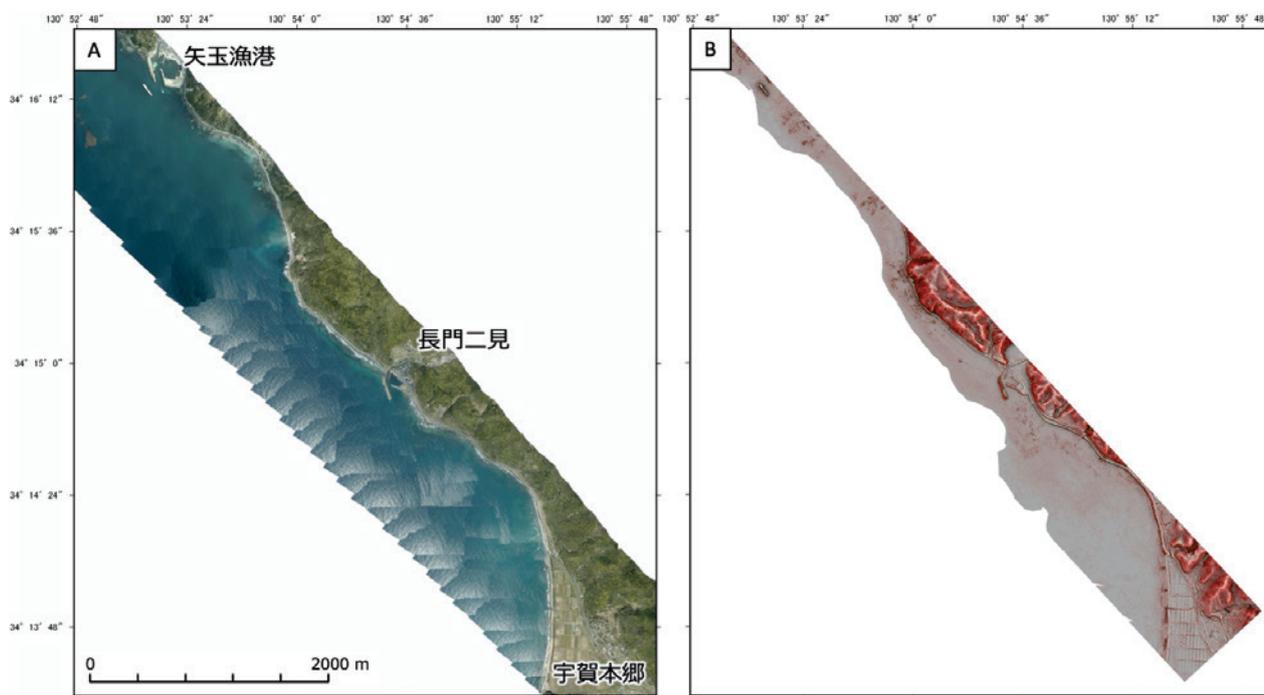
第 10 図. 菊川断層帯中部区間沿岸海域の海底地形 (陰影段彩図). A : 海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデルから作成, B : ALB データを追加. 赤矢印の間に断層が推定される.

Fig. 10. Color shaded relief map on sea-land interface area of the middle segment of the Kikugawa fault zone. A: compiled from DEMs of GSI and JCG, B: compiled from DEMs of GSI, JCG and the results of ALB measurements. The spans between the two red arrows indicate inferred fault traces.



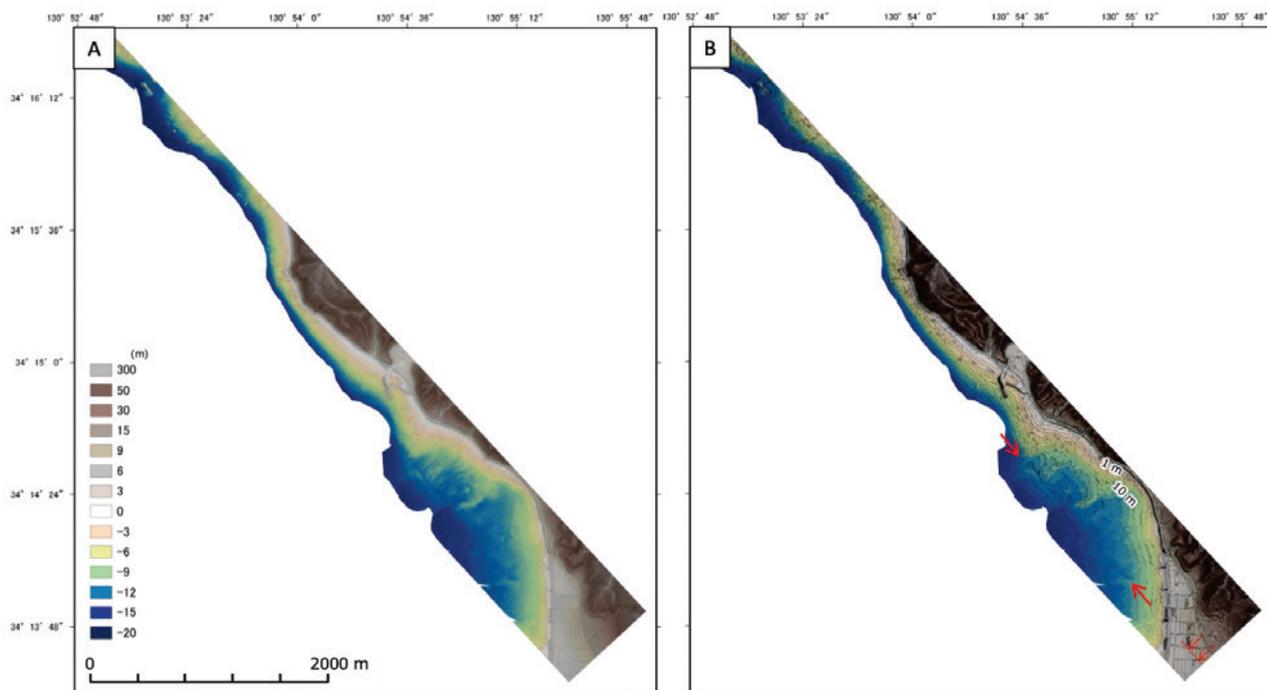
第 11 図. 菊川断層帯中部区間沿岸海域の海底地形 (赤色立体図). A : 海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデルから作成, B : ALB データを追加, C : 杉山ほか (2010) の第 6 図. 赤矢印の間に断層が推定される.

Fig. 11. Red Relief Image Map of the same area of Fig. 10. A: compiled from DEMs of GSI and JCG, B: compiled from DEMs of GSI, JCG and the results of ALB measurements, C: after Figure 6 of Sugiyama et al. (2010). The spans between the two red arrows indicate inferred fault traces.



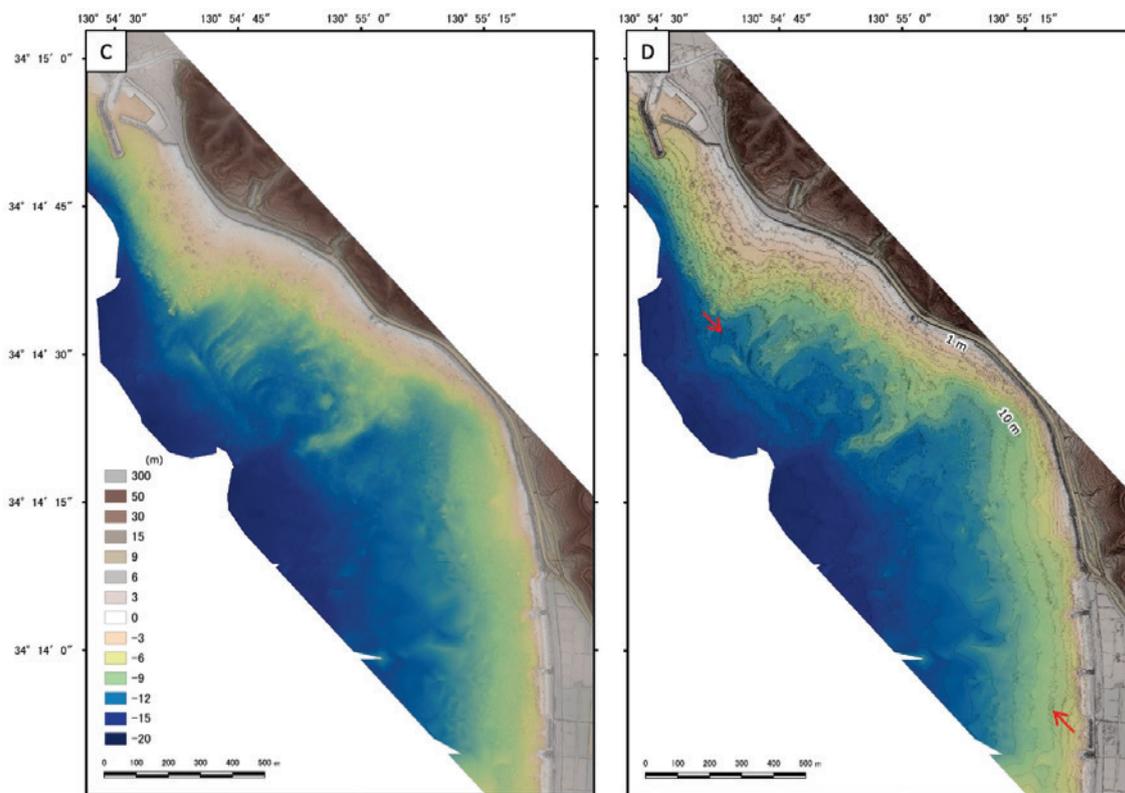
第 12 図. 菊川断層帯中部区間沿岸海域部の拡大写真及び詳細地形図. A: 簡易オルソフォト, B: ALB 計測データから作成した赤色立体図.

Fig. 12. Enlarged view of the Uga-hongo area in Figs. 10 and 11. A: Simplified orthophoto image, B: Red Relief Image Map.

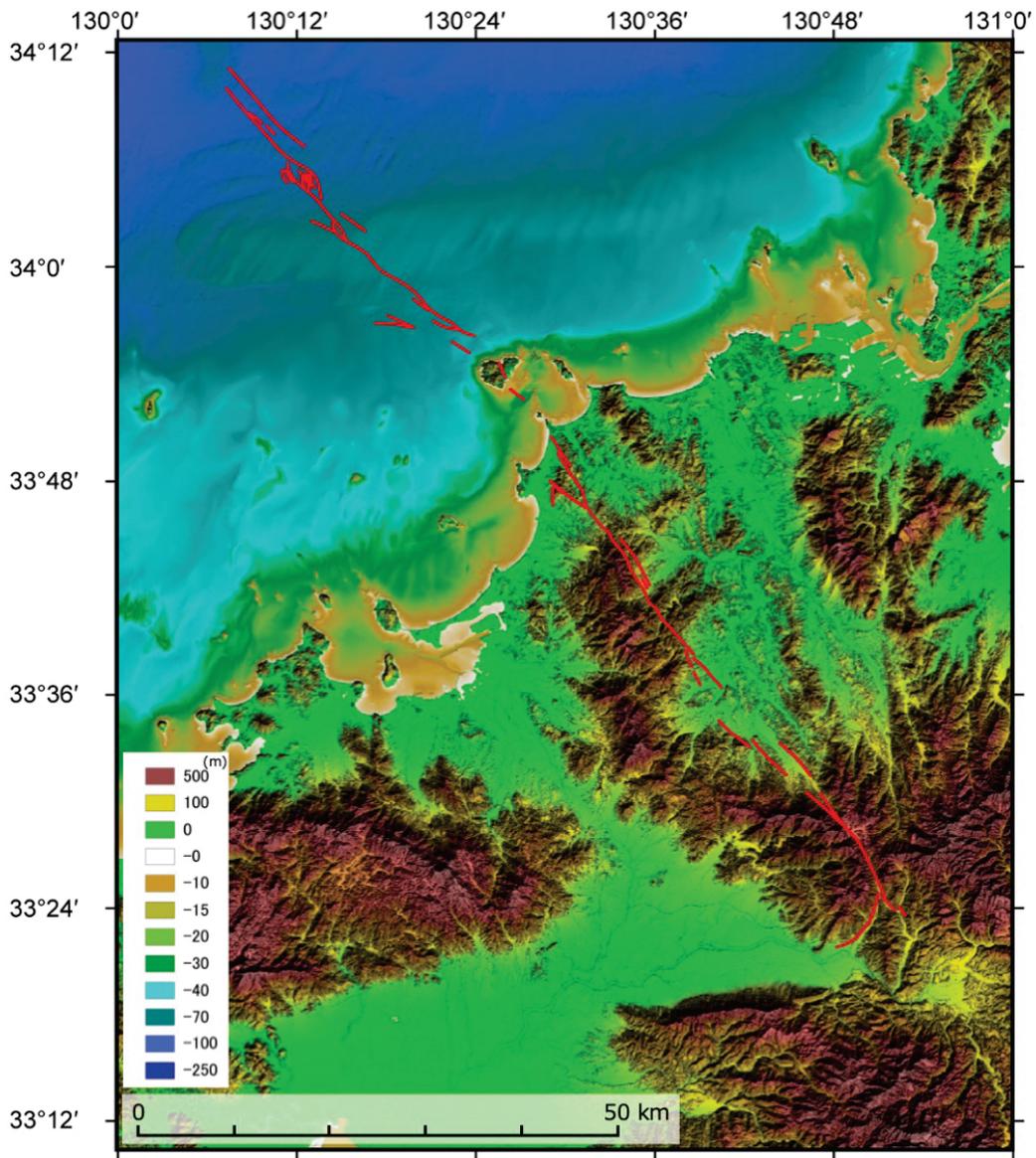


第 13 図. 菊川断層帯中部区間沿岸海域の拡大海底地形 (高度段彩図). A: 等深線なし, B: 等深線 (1m 間隔) あり, C: 等深線なし, D: 等深線 (1m 間隔) あり. 赤矢印は推定された断層と撓曲を示す.

Fig. 13. Altitude tints map of the same area of Fig. 12. A: without contour line, B: with 1m- contour line, C: without contour line, D: with 1m-contour line. The spans between the two red arrows indicate inferred fault traces. Red arrows with dashed line indicate flexure and inferred fault trace.

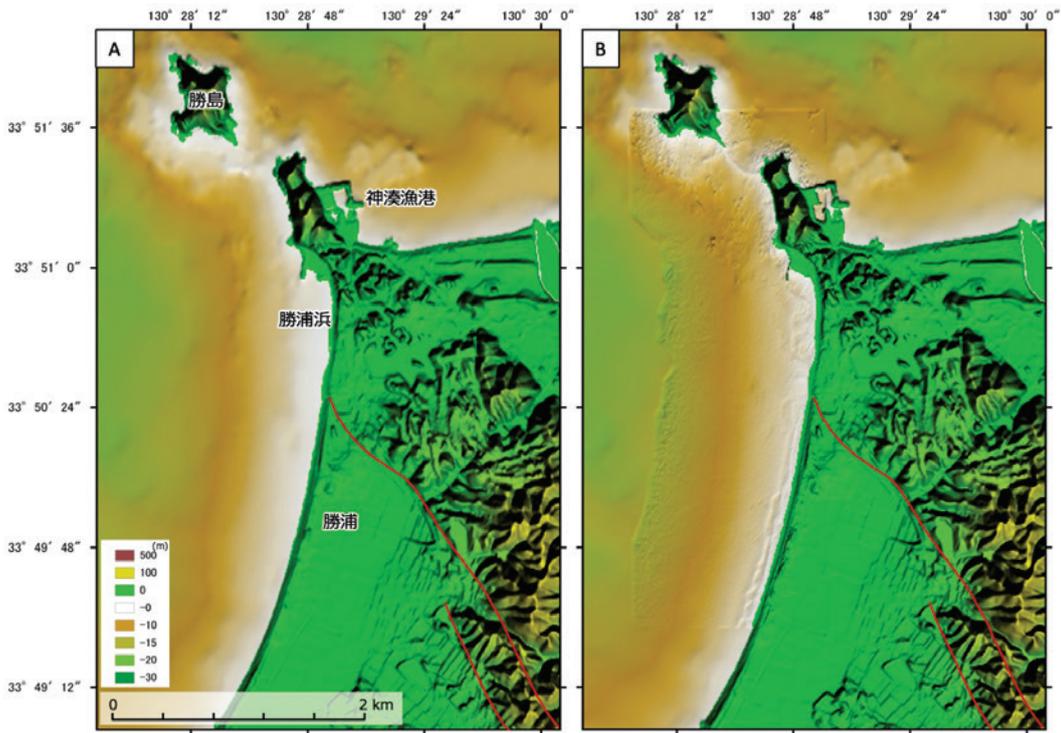


第 13 図. (続き)
Fig. 13. (continued)



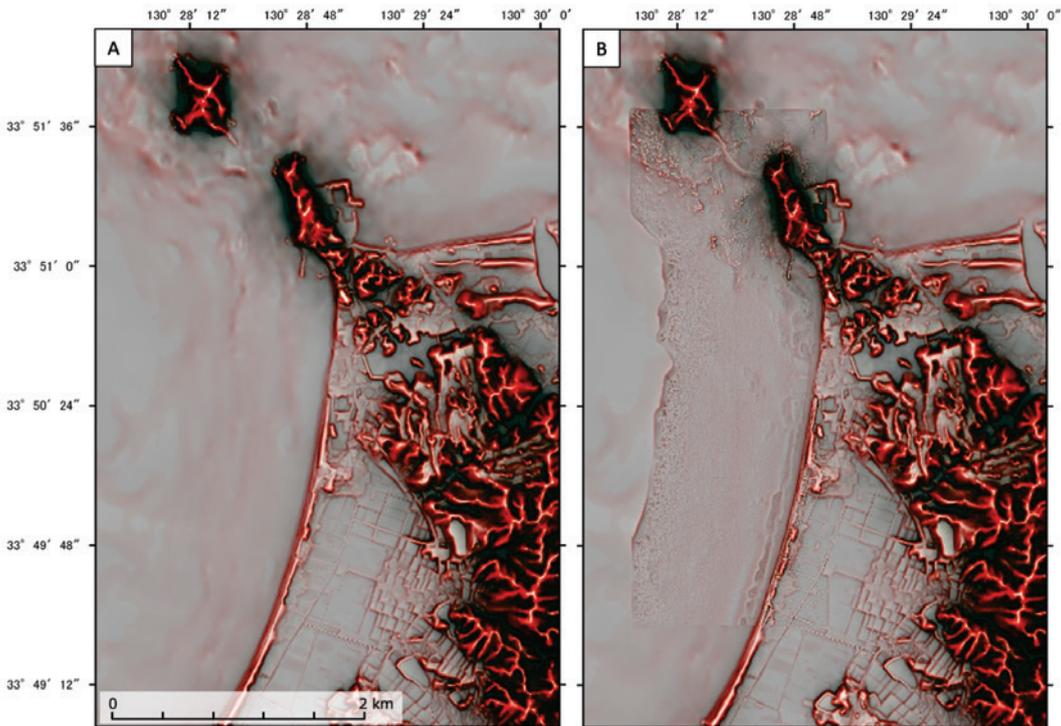
第 14 図. 西山断層帯の分布と周辺の地形. 陸域は国土地理院数値標高モデル, 海域は海底地形デジタルデータ M 7014 対馬海峡及び海上保安庁提供 30m メッシュ DEM を使用した (以下の図も同様). 西山断層帯の位置は, 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) による.

Fig. 14. Active fault distribution map of the Nishiyama fault zone. Base topographic map is compiled from GSI 5 m- and 10m-mesh DEMs for land, and M7000 Digital Bathymetric Chart (M7014) and JCG 30m-mesh DEM for seafloor. Same as following figures. Active fault distributions are from HERP (2013).



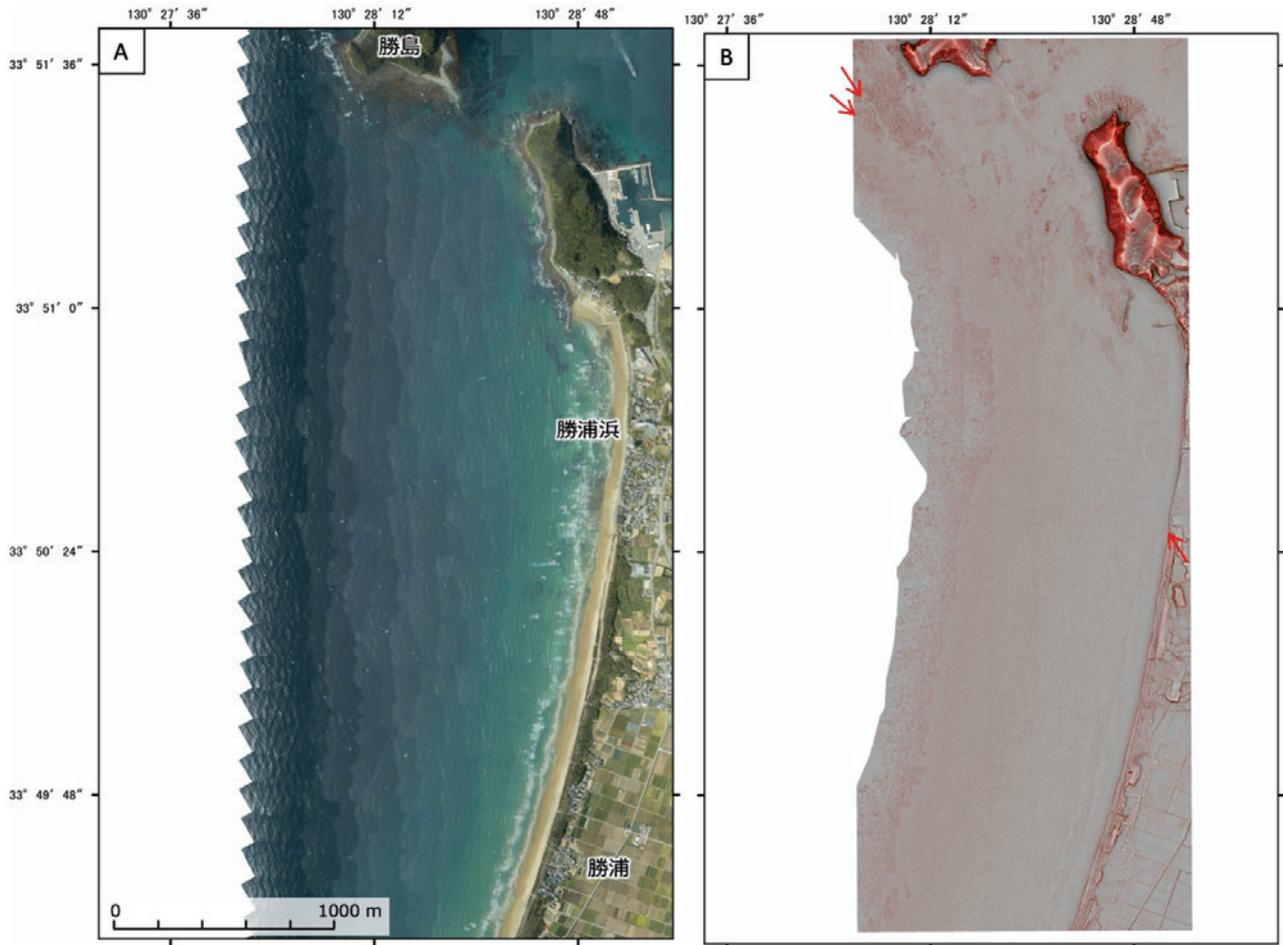
第 15 図. 西山断層帯西山区間沿岸海域の地形 (陰影段彩図). A: 海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデルから作成, B: ALB データを追加.

Fig. 15. Color shaded relief map on sea-land interface area of the Nishiyama segment of the Nishiyama fault zone. A: compiled from DEMs of GSI and JCG, B: compiled from DEMs of GSI, JCG and the results of ALB measurements.



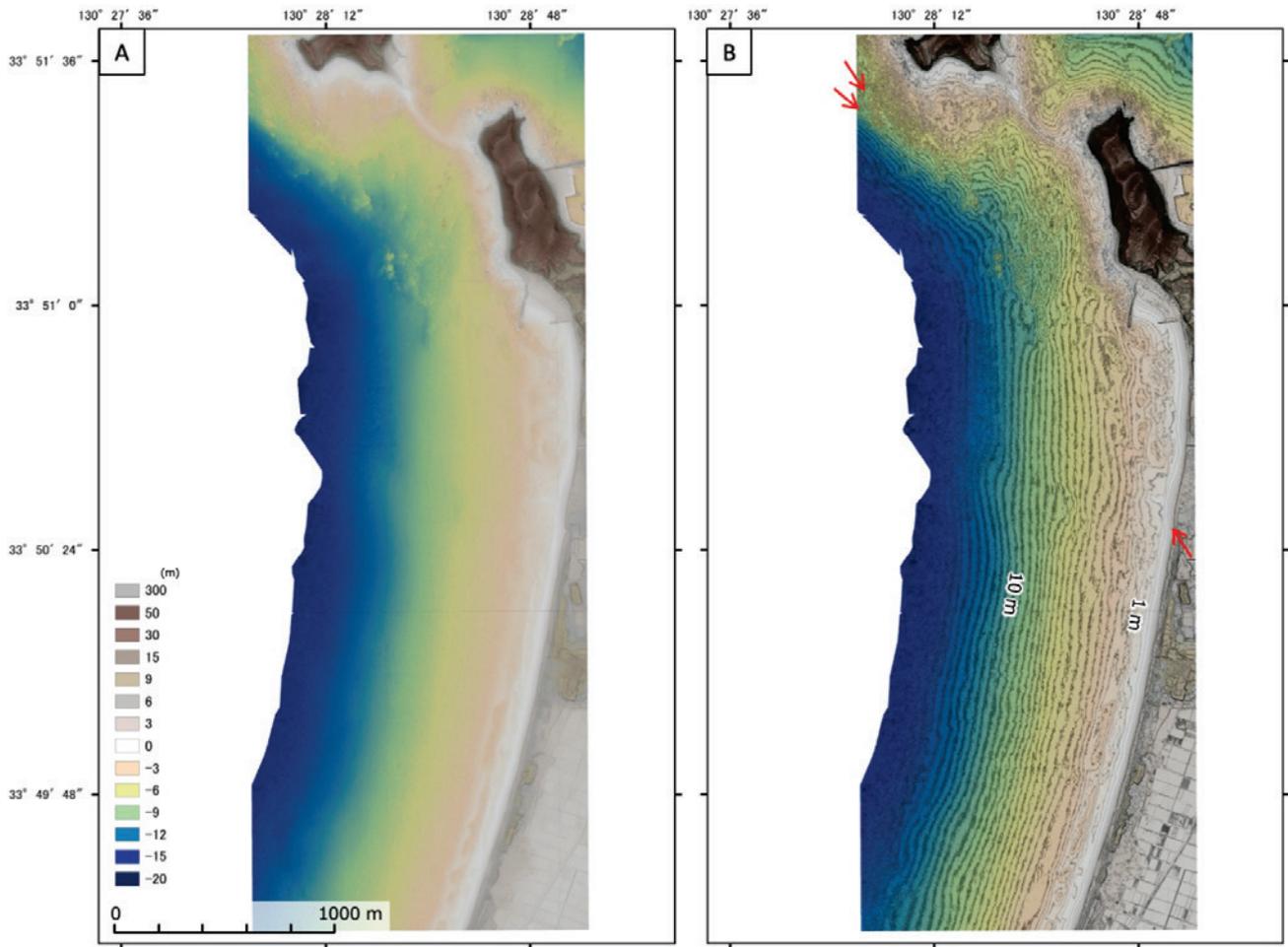
第 16 図. 西山断層帯西山区間沿岸海域の地形 (赤色立体図). A: 海底地形デジタルデータ及び国土地理院数値標高モデルから作成, B: ALB データを追加.

Fig. 16. Red Relief Image Map of the same area of Fig. 15. A: compiled from DEMs of GSI and JCG, B: compiled from DEMs of GSI, JCG and the results of ALB measurements.



第 17 図. 西山断層帯西山区間沿岸海域部の拡大写真および詳細地形図. A : 簡易オルソフォト, B : ALB 計測データから作成した赤色立体図. 赤矢印の間がリニアメント.

Fig. 17. Enlarged view of the Katsuura-hama area in Figs. 15 and 16. A: Simplified orthophoto image, B: Red Relief Image Map created from ALB-derived DEM data. Red arrows indicate locations of topographic lineaments.



第 18 図. ALB 計測による西山断層帯西山区間沿岸海域の詳細地形 (高度段彩図). A: 等深線なし, B: 等深線 (0.5m 間隔) あり. 赤矢印の間がリニアメント.

Fig. 18. Altitude tints map of the same area of Fig. 17. A: without contour line, B: with 0.5m-contour line. Red arrows indicate locations of topographic lineaments.