

豊後水道の水路測量成果の概要について[†]

森 弘和*

Outline of the hydrographic survey results on the BUNGO-SUIDO[†]

Hirokazu MORI*

Abstract

Hydrographic surveys revealed the rugged seafloor topography of the BUNGO-SUIDO (channel). This paper provides an overview the past surveys in this area and summarizes the compiled seafloor topography.

1 はじめに

海図は、航海安全を目的として幾度となく水路測量が実施され、記載内容も刷新されてきたが、港域に比べると沖合の比較的深い海域では、一度測量が行われると航海安全という観点では船舶の航行に支障がない海域として、高精度の機器が導入されても再測量するには優先順位が低くなるため、広範囲の水路測量は実施されない場合が多く、いまだに測鉛で測深した水深値が使用されている場所も多くある。

豊後水道は、愛媛県と大分県の間にある水道で、北口は佐田岬と関埼を結ぶ線が瀬戸内海と接し、南口は高茂埼と鶴御埼を結ぶ線が太平洋と接している。その中央付近にある水ノ子島周辺等いくつかの險礁を除けば水深も深く、航行する船舶に影響がなかったこともあり、昭和 15 (1940) 年に実施された豊後水道内全域の水路測量の後には、港域やその付近を除けば、近年まで網羅的な水路測量は行われてこなかった。

豊後水道では、平成 17 (2005) 年からマルチ

ビーム測深機を使用した水路測量を佐田岬と関埼の間の速吸瀬戸から開始し現在に至っている。豊後水道内の岬や島の周辺等の浅海域の一部や隣接する海域で水路測量は継続しているところであるが、豊後水道の大部分の海底地形が明らかになったことから、水路測量の概要について報告するものである。

2 これまでの豊後水道の主な調査

豊後水道の水路測量は、港湾を除けば、全国海岸測量 12 ヶ年計画の 1 つとして明治 15 (1882) 年に日本海軍水路部が開始した調査が最初である。

当時の測深は、測鉛により測定し、水深の位置は、天測や六分儀による後方交会法などにより、1 点 1 点決定したものである。測定も図化も、すべて手作業の時代である。

物理学者で随筆家の寺田寅彦は、著書「瀬戸内海の潮と潮流」(1918) の中で、「速吸の瀬戸の海の底に狭い敷居のような浅い所が連なってその両

[†] Received September 21, 2018; Accepted October 30, 2018

* 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division

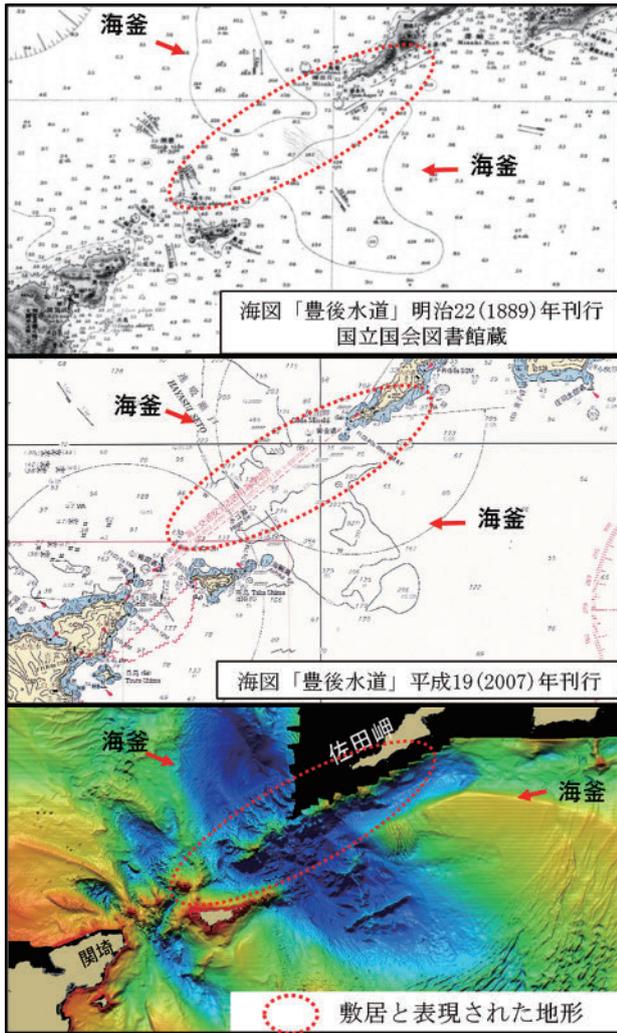


Fig. 1. Hayasui-Seto's threshold (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)

図1. 速吸瀬戸の敷居 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

側は、それより百尋以上も掘れ窪んでいます」と表現しており、明治期の海図か測量成果を見ての記述と思われるが、Fig. 1のように本成果と比べても、明治期には海釜等の主要な地形が測定されていたことが判る。

その後実施した豊後水道全域の水路測量は、昭和15(1940)年に実施した測量である。

区域は明確ではないものの豊後水道の西部の測深に浅海用の音響測深機が導入されたことが記録にある。日本水路史(海上保安庁水路部水路業務百年史編集室;1971)によると浅海用の音響測深機は「昭和12(1937)年から試用してきたイギリス製の測深機を改良し国産の音響測深機を製作

し、昭和16(1941)年以後測量艇に取り付けた」とあるので、試用していたイギリス製か国産の測深機が投入されたのであろう。

なお、当時の浅海用測深機は30m以浅を測定できないので、浅所は、従来どおり測鉛で実施している。

戦後、日本周辺の沿岸部を調査した水路測量は、性能が向上した音響測深機(シングルビーム)による測深とロランC等の電波測位により昭和42(1967)年から昭和57(1982)年にかけて実施した海洋測量等があり、昭和48(1973)年に豊後水道南側の水深100m以深の区域を2.5マイル間隔で調査した。

昭和51(1976)年から平成15(2003)年にかけて、日本沿岸部の海底地形図である「沿岸の海の基本図」作製のための測量が実施された。この測量では、海岸線から約15kmまでを浅海用の音響測深機(シングルビーム)による測深と海域ごとにオーディスターやトリスポンダを設置した電波測位、調査年次の終盤での測位はGNSSによって、0.5マイル間隔で測深した。豊後水道沿岸部では、佐伯湾周辺と宿毛湾付近の調査を行った。

これらの調査でも豊後水道の中央付近は、再測量されることはなく、水深は戦前の海軍水路部時代に測定した測鉛や初期の音響測深機による古い調査成果が現在の海図でも使用されている。

3 最新の機器による調査

3.1 マルチビーム測深機による調査概要

平成8(1996)年頃には、GNSSが普及しはじめ、水深の位置についてもそれまでの海岸線との相対位置からGNSSにより得られる位置へ更新していく必要性が生じたこと、測鉛や初期の音響測深機で測深した海域は水深の密度も粗く未発見の浅所が存在する可能性を否定できないことから、測鉛や初期の音響測深機による測量区域の解消を目的とした沿岸測量を平成8(1996)年から全管区で開始した。調査機器についても平成7(1995)年から平成11(1999)年までに管区本部

豊後水道

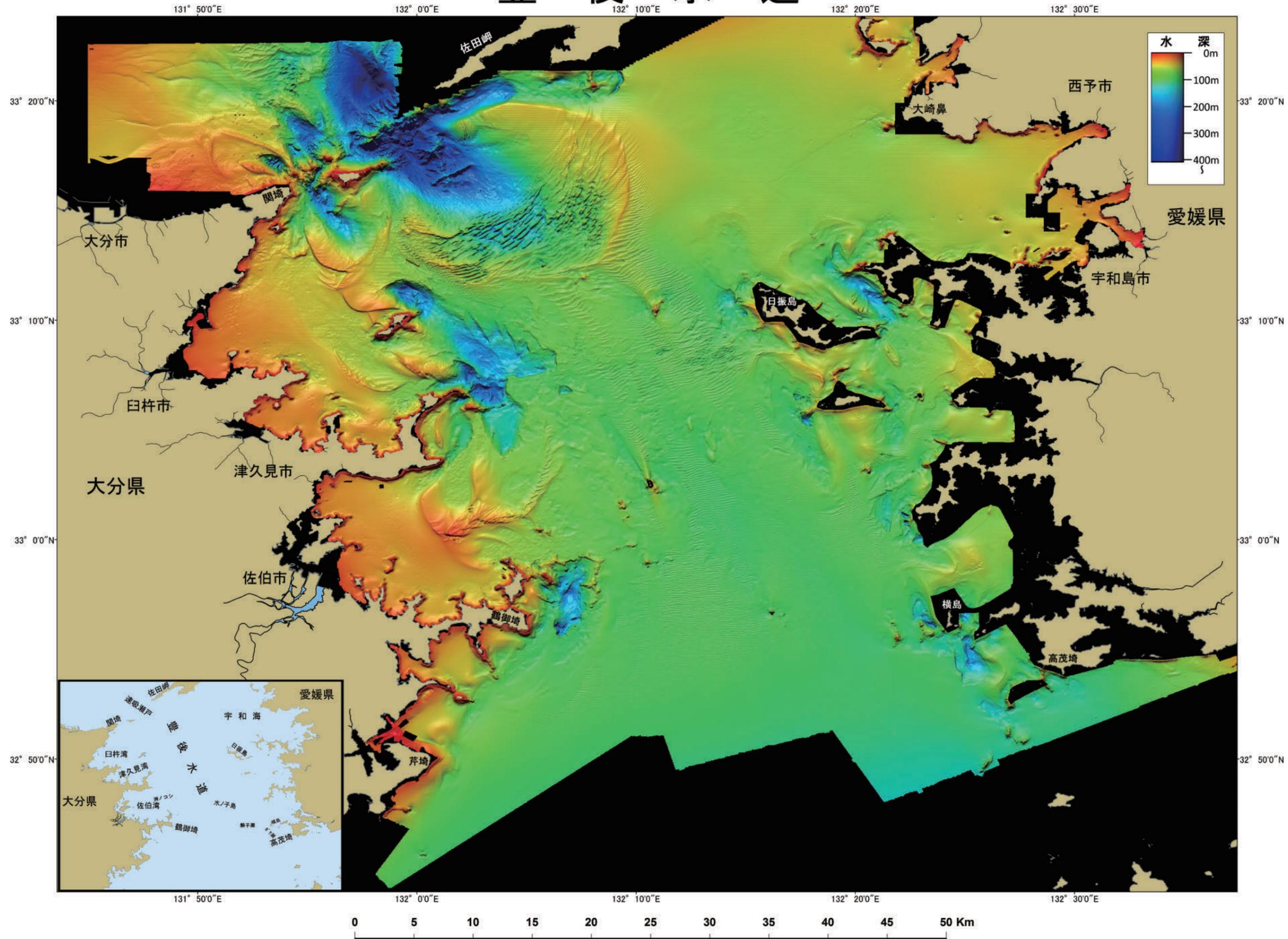


Fig. 2. Bathymetric Map of the BUNGO-SUIDO Channel (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
 図2. 豊後水道段彩図 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

所属の測量船に浅海用のマルチビーム測深機が整備され、マルチビームによる測深と DGPS による測位の組み合わせにより、海底を高精度で隙間のない面として捉えることができるようになった。

豊後水道では、平成 17 (2005) 年度から第七管区が北側の佐田岬と関埼の間の速吸瀬戸から調査を開始した。この当時の管区の測量船は、測深機：RESON 社 Seabat8101 に動揺センサー：TSS 社 DMS-05/10、ジャイロ：Sercel Nr20 Mk II を組み合わせたものであった。

平成 22 (2010) 年度までは、通常の見込みであった。他の海域との優先順位もあり、また、豊後水道の中でも船舶の交通量が多い比較的浅い海域から、調査を行っていたこともあり、豊後水道全体の測量が終了するまでは、かなりの時間を要する見込みであった。

平成 23 (2011) 年に発生した東北地方太平洋地震による津波の被害から、津波シミュレーションの精度を向上させるために詳細な海底地形データが必要となり、平成 24 (2012) 年から平成 28 (2016) 年までは、本庁、第六管区、第七管区の測量船を動員して豊後水道の調査を加速させ、平成 28 (2016) 年までには、豊後水道の主要な海域の調査を終了した。その間、調査機器も測深機：R2Sonic 社 Sonic2024DH と動揺・方位センサー POSMV WMV5 等の最新機種に更新し、精度と効率を向上させている。その結果、測鉛等による調査区域を 76 年ぶりに隙間のほとんどない水深データで更新することができた。

これまでの海図の水深値から、大まかな海底の起伏や、海釜、サンドウエーブなどはある程度読み取ることができたが、詳細なデータの画像処理により、海図を読み取る知識がなくても誰もが海底の状況を理解することができる。

3.2 調査結果

豊後水道では、過去に測鉛等で細かく調査したといっても、測定点の間には未測深箇所があり、

そこに未発見の浅所や地形が存在する可能性は否めるものではなかった。

マルチビーム測深機による一連の調査により、新たな浅所の発見に加え、海図では表現されない小さな凹地等が明確となり、潮流によって形成された地形や岩の分布が明確となった。

水深データから作製した段彩図 (Fig. 2) を一見して目に付くのは、潮流によって形成されたサンドウエーブと海釜である。これまでの成果でもその存在は知られていたが、段彩図とすることで様々な形状や大きさのものが存在することが判る。

主要な地形について、いくつか採りあげる (Fig. 3)。

3.2.1 海釜

豊後水道内には、深さが 50 m を越える巨大な海釜が多数存在し、八島 (1994) は、瀬戸内海の内海釜の成因について分類し、地域別に特徴等について論じている (pp242-260, pp300-314)。この中で取り上げられた豊後水道の内海釜は 9 個である。

八島 (1994) は、海釜の分布を沿岸の海の基本図と海図から読み取って取り上げていたが、今回の成果から、9 個の内海釜の詳細な形状だけでなく、新たに島や岬の周辺に小さいが深さのある海釜が存在することが判った。当時の測深記録は、海図が航海安全の目的から浅い水深を優先して採用する特性と測深の密度が粗いことから小さな海釜が表現されていなかったためであろう。

速吸瀬戸の南側の海釜は、八島 (1994) のなかで、長径 10.0 km 短径 5.5 km とまとめているが、Fig. 4 のように周辺のサンドウエーブを含めた周囲に海釜の縁といえる地形が形成されており、これを含めると長径 20.0 km、短径 15.0 km の巨大なものであった。

津久見湾の東側にある南北約 16 km 東西 8 km の大きな海釜 (Fig. 5) の中に、いくつかの内海釜が分布している。北側の海釜は、水深約 188 m で隣接する砂堆の頂上までの高さは約 150 m、南

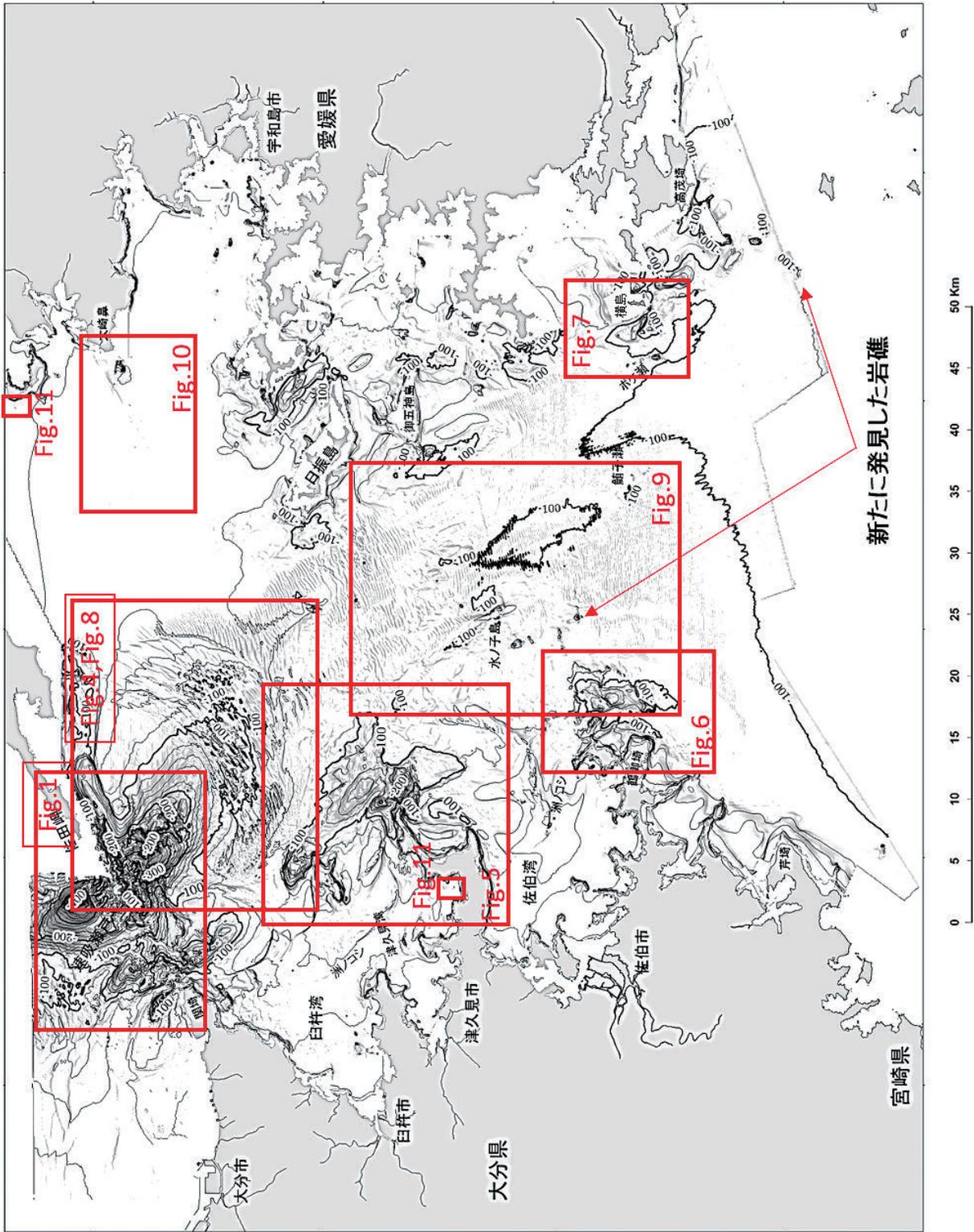


Fig. 3. Index Map
図 3. 索引図

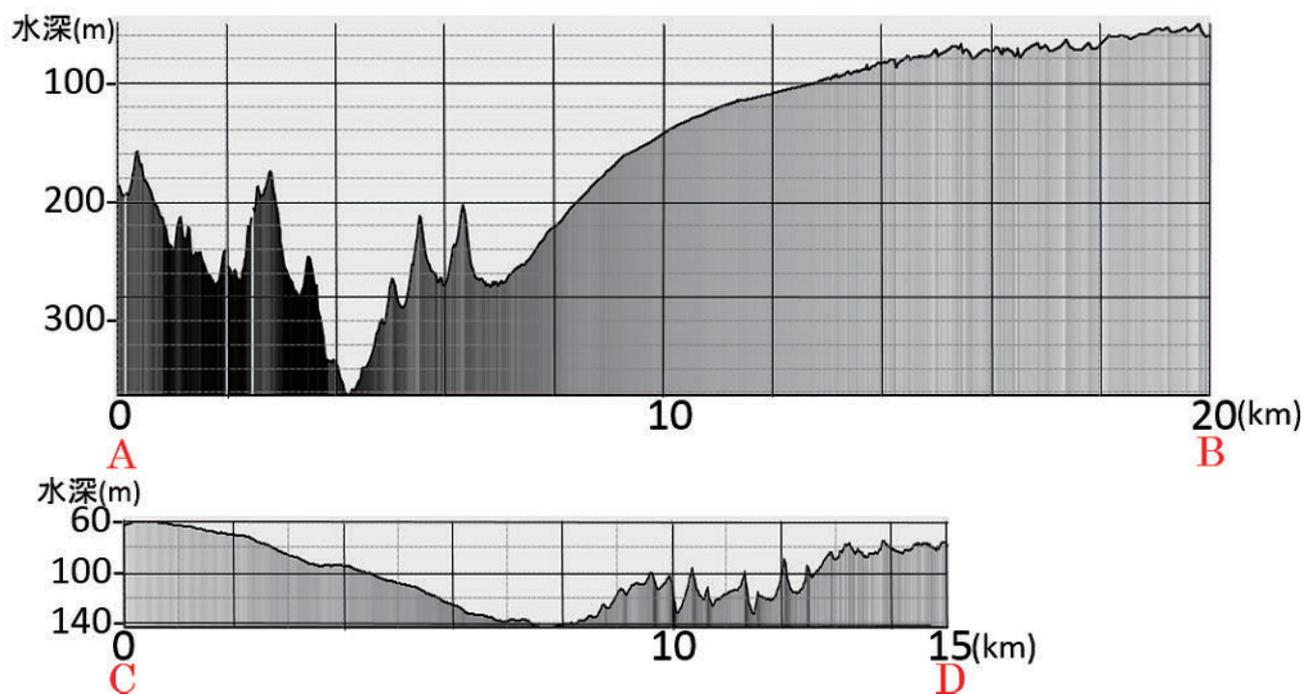
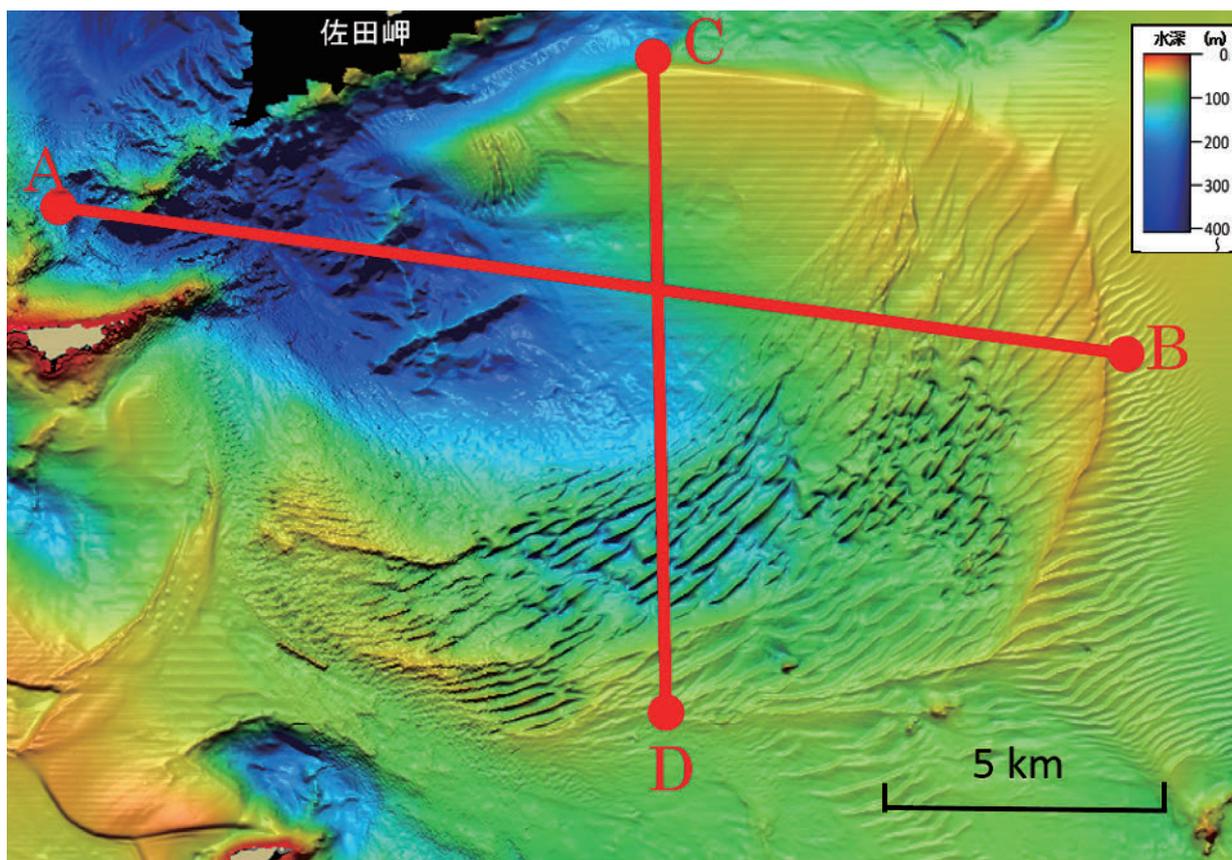


Fig. 4. Caldrons in Hayasui-Seto (South side) (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
 図4. 速吸瀬戸の海釜 (南釜) (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

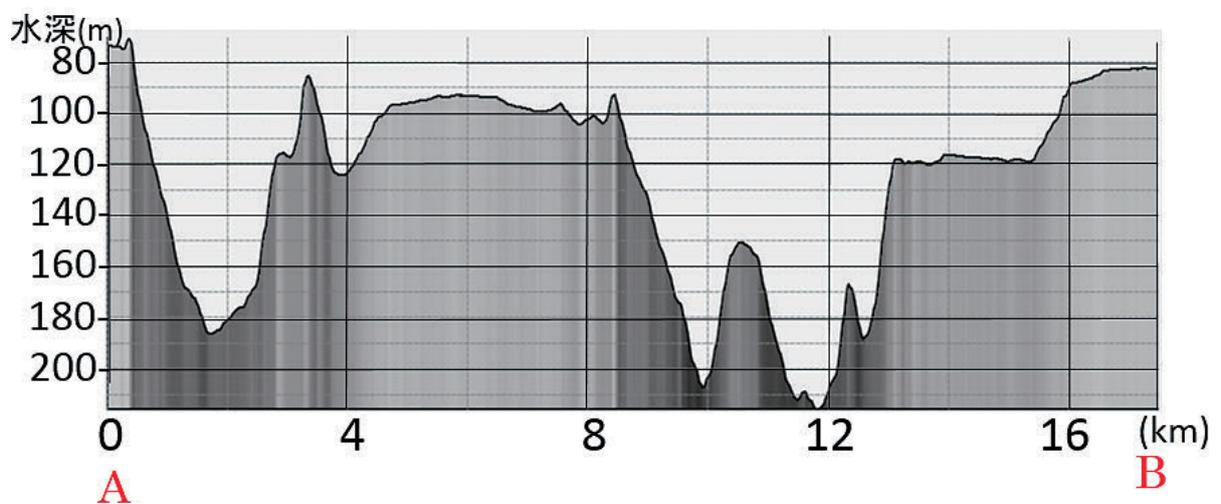
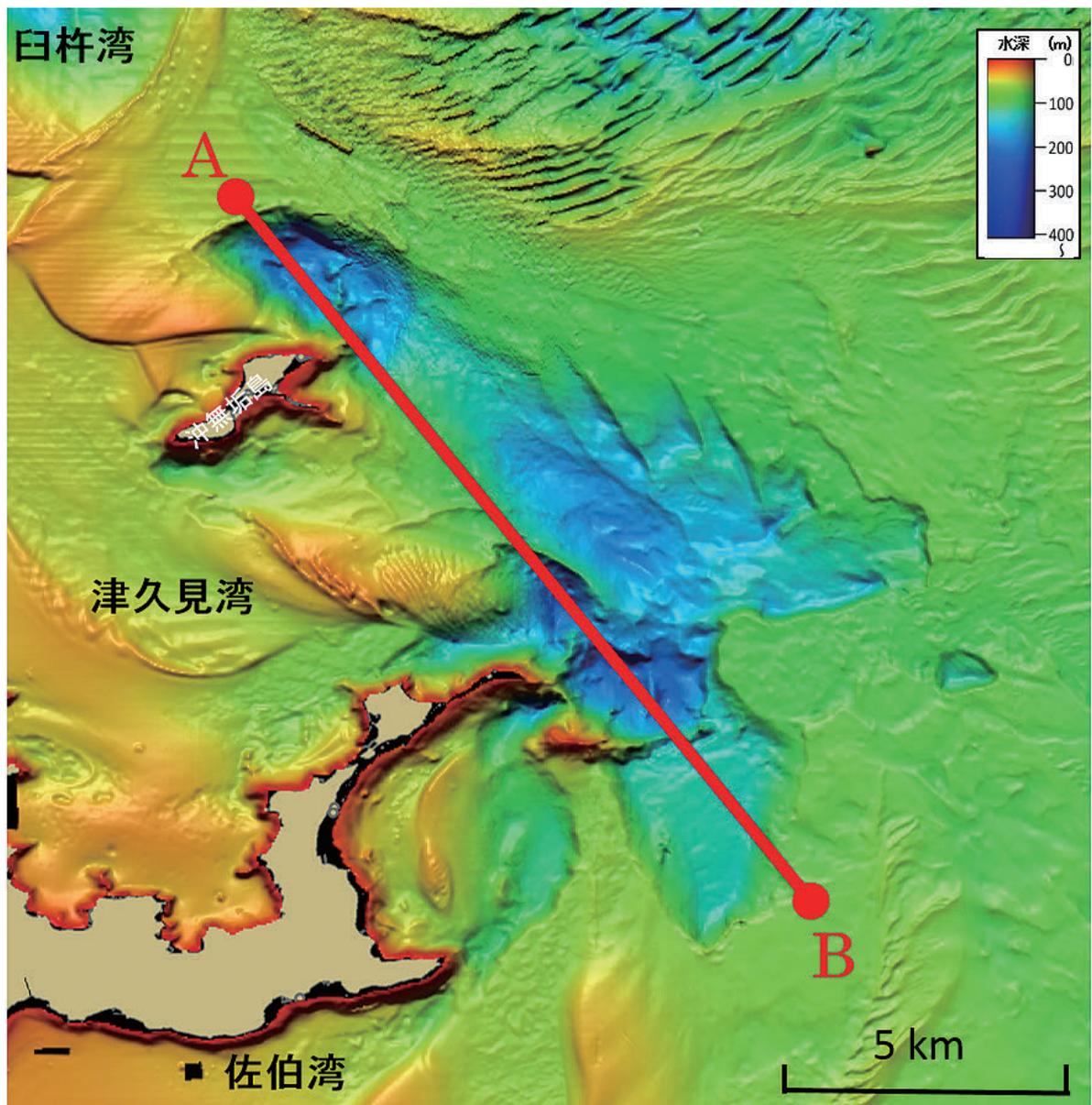


Fig. 5. Caldrons offshore of Tsukumi-Bay (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
図5. 津久見湾沖の海釜 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

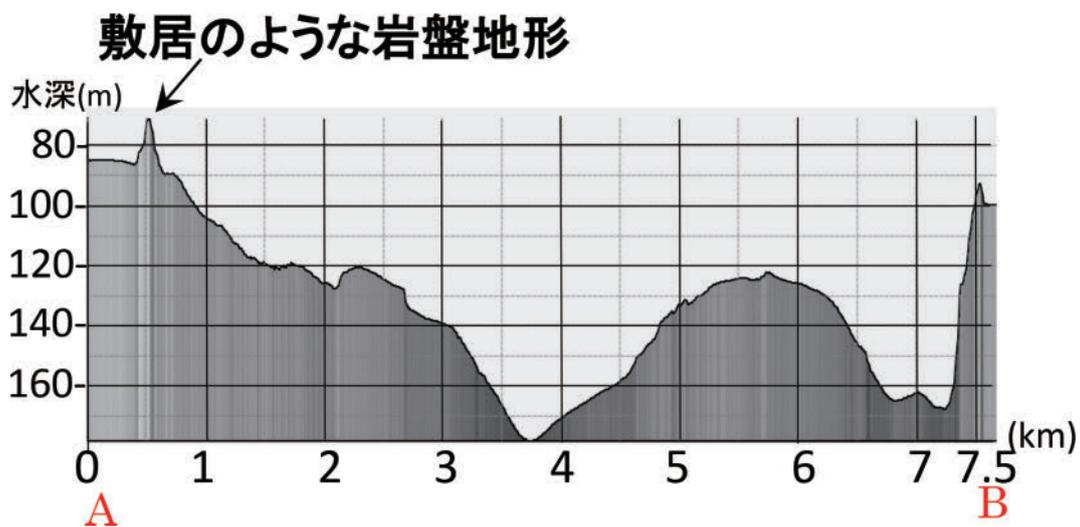
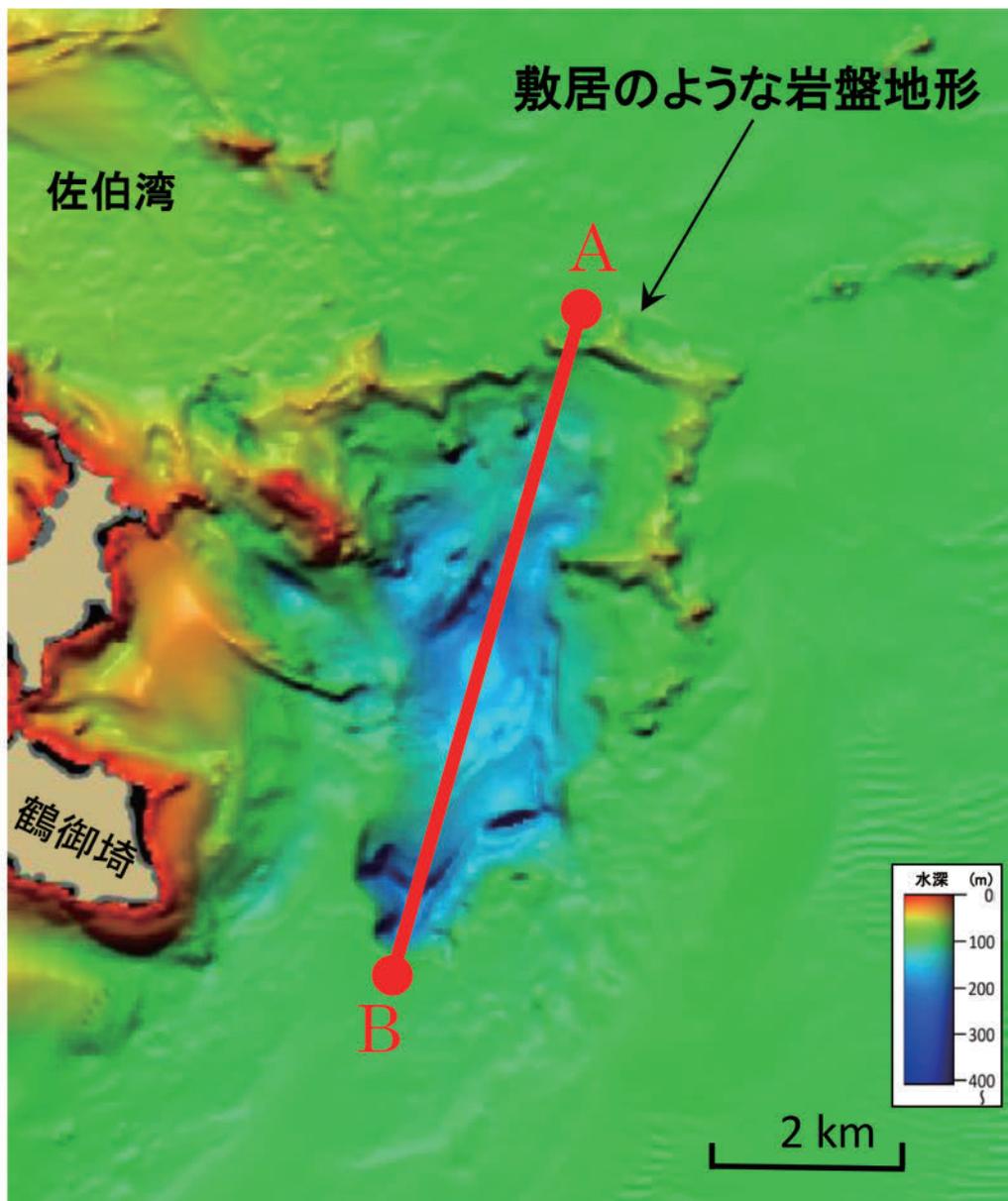


Fig. 6. Caldrons offshore of Cape Tsurumi-Saki (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
図 6. 鶴御埼沖の海釜 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

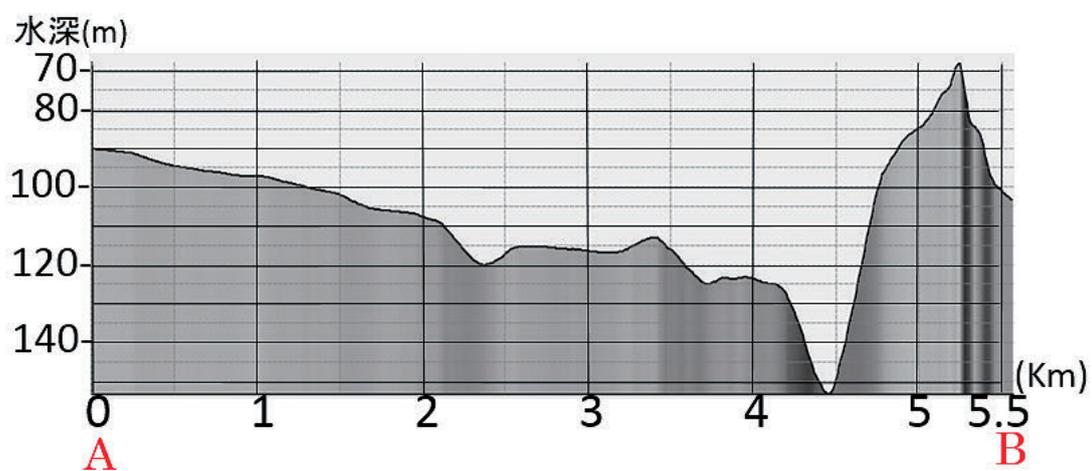
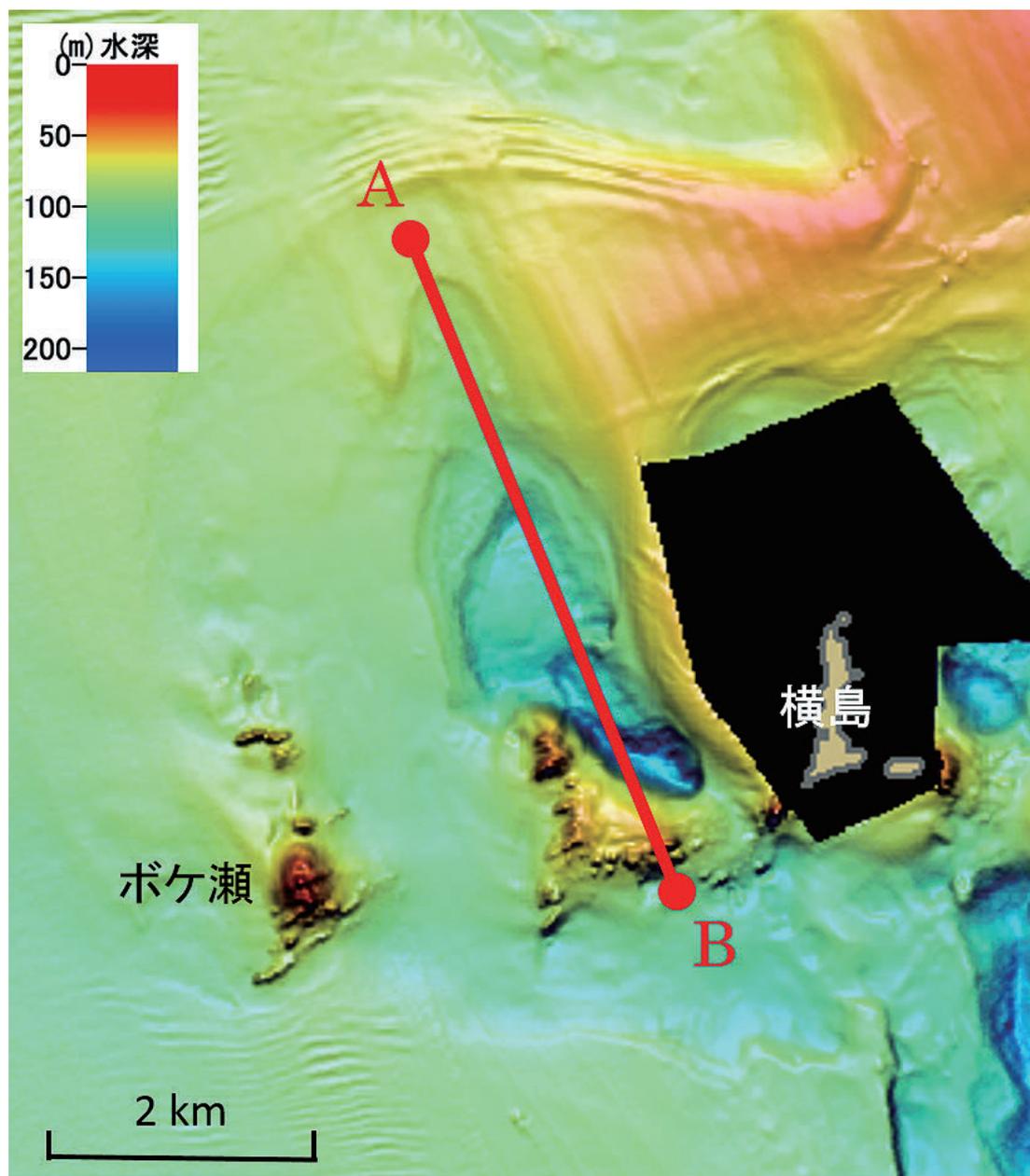


Fig. 7. Caldrons between Boke-se and Yokoshima Is. (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
 図7. ボケ瀬と横島間の海釜 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

側の海釜は、水深約 215 m である。

佐伯湾の東、鶴御埼の沖に存在する海釜 (Fig. 6) は、北側に敷居のような岩の地形が連なり、その海釜の中央付近と南側が深くなっている。速吸瀬戸など岩盤が接する海釜は、敷居のような岩盤を挟んで両側が深くなっているのに対し、この海釜では敷居のような岩盤の南側だけが深くなる特徴がある。八島 (1994) では、岬型と分類しているが、海図では敷居のような岩盤の形状は、読み取れないことから、単純に南北の潮流だけが成因となっていないのか、周囲の底質等、別の成因があるのかもしれない。

四国側の海釜は、島が多く存在するためか九州側に比べ径が小さい海釜が分布する。しかし、径のわりに深く、その水深は日振島の西側の海釜は約 125 m、ボケ瀬と横島の間に存在する海釜 (Fig. 7) は、約 155 m ある。

Fig. 7 で示す海釜の北から西の斜面の水深 90 から 120 m 前後に段丘状の地形が見られる。愛媛県側の海釜では、他にも同様の地形が見られるものがある。周囲の平坦な地形に囲まれた閉塞した状況ではあるものの、最終氷期の最盛期の海水準の痕跡であれば約 2 万年前の古い地形であることから、豊後水道の特徴的な海釜の成因に海水準の変動が影響した等、海釜の成因を考察する材料となるだろう。

今回の高密度の水深データから海釜の分布やこれまで知られていた海釜についても形状が明確になったことから、サンドウエーブや砂堆の分布とあわせ新たな知見が得られるのではと興味深いところである。

3.2.2 サンドウエーブと砂堆

豊後水道内はサンドウエーブが顕著であり、海図に記載されている潮流矢符を見ても速吸瀬戸で 5 ノット前後、豊後水道の南側でも 2 ノット前後の主として南北方向に強い潮流が存在することから、サンドウエーブの稜線の分布から推定される潮流の方向と合致する。

速吸瀬戸の南東 5 M 付近に存在するサンドウ

エーブは Fig. 8 のように速吸瀬戸南側の海釜の縁に発達しているが、サンドウエーブの波長などの違いから大きく 3 つの区域に分けることができる。西側では波長 2,500 m、波高 30 m の大きなサンドウエーブの中に波長 200 m、波高 7 から 8 m の比較的小さなサンドウエーブが存在する。中央付近は、波長 700 m 波高 20 から 25 m で海底面から突き出たような形状をしている。東側では波長 700 m 波高 20 から 25 m で、海底面を挟ったような形状と異なっている。サンドウエーブの稜線は西側で長く東側で短くなっていることから、複雑な潮流が存在することが想像できる。

また、南方の平坦な海域には、Fig. 9 のように広くサンドウエーブが分布するが水ノ子島付近を境とした北と南で波長が変わっている。北側は波長約 250 m、波高 3 から 4 m、南側は波長約 150 m、波高 2 から 2.5 m である。潮流の強さと底質による違いであろう。

大分県側の白杵湾、津久見湾、佐伯湾の湾口付近には、砂堆が特に発達している。白杵湾、津久見湾の砂堆は、周囲の海底から 25 から 30 m の高さで、速吸の瀬戸からの潮流により巻上げられたものが堆積したと思量される。佐伯湾に存在する砂堆は現行の海図に「洲ノコシ」と地名があり水深は 10 m で、周囲の海底から約 40 m の高さがある。

3.2.3 断層

愛媛県側の大崎鼻付近から西側に伸びる断層のような地形 (Fig. 10) が確認できる。これは、宇和海 F-21 と呼ばれる断層で、四国電力 (2015) に詳細が記載されている。段差が読み取れる西端は、サンドウエーブのため明確となっておらず、四国電力 (2015) と同じ結果である。地形断面を見ると、陸に近い部分で南側が落ちた最大約 2.5 m の段差が存在し、沖側 (西側) で段差は小さくなっている。

3.2.4 新たに発見された主な岩礁

豊後水道の大半が、サンドウエーブや砂堆で構

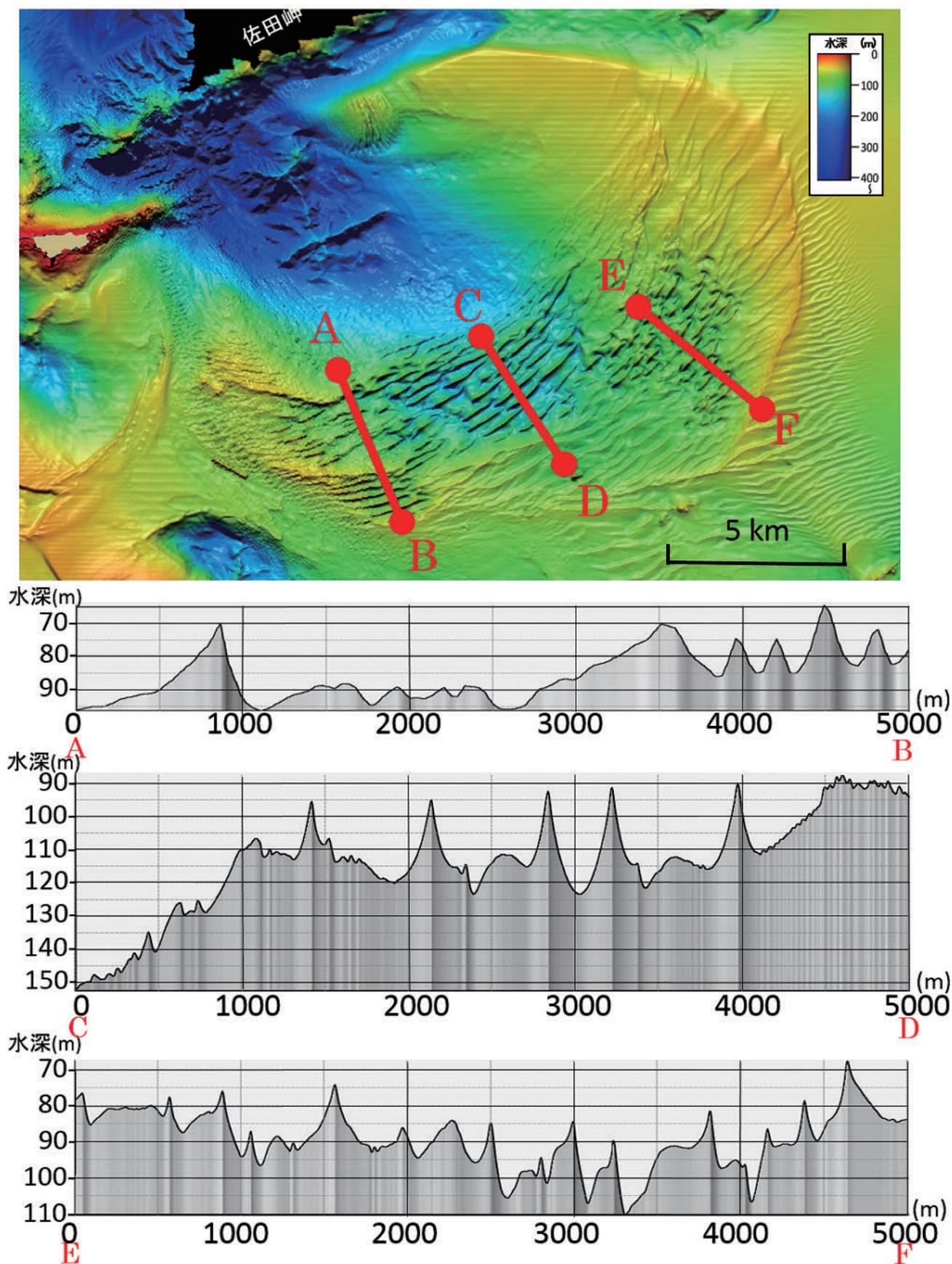


Fig. 8. Sand wave on the south side of Hayasui-Seto (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)

図 8. 速吸瀬戸南部のサンドウエーブ (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

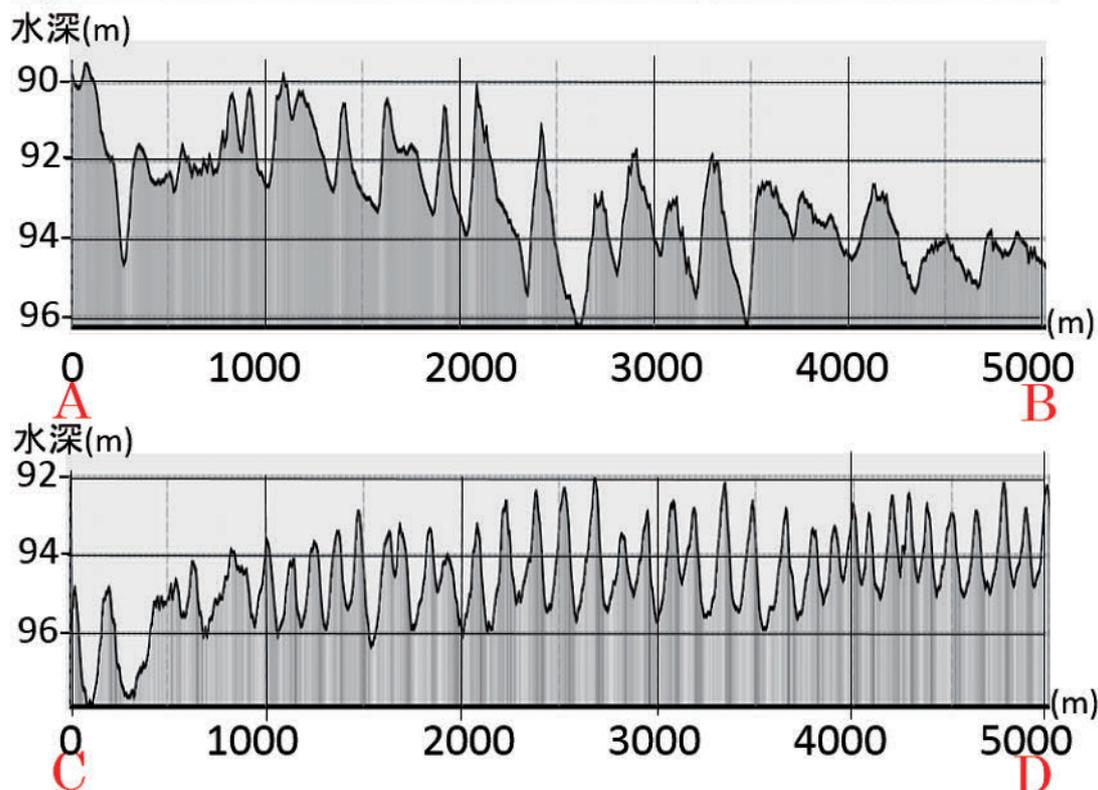
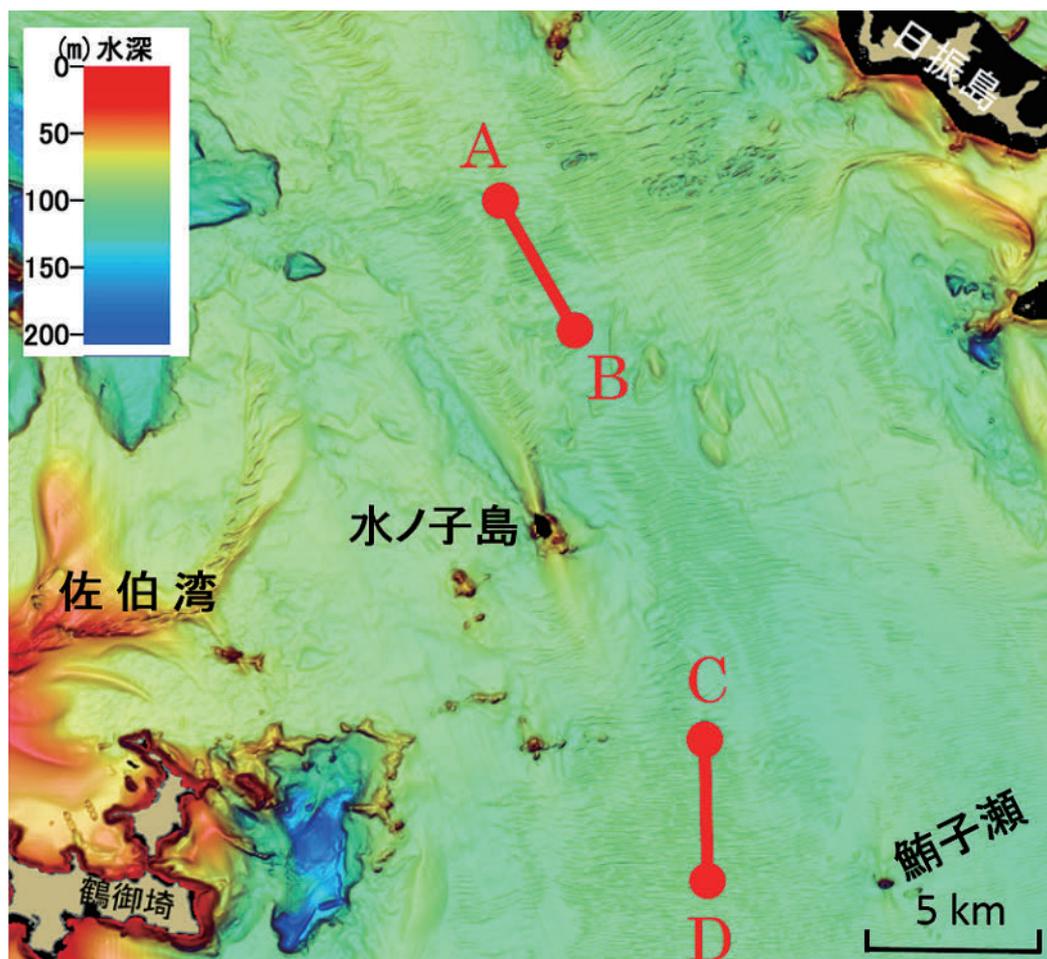


Fig. 9. Sand wave around Mizunoko-shima (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)
 図9. 水ノ子島周辺のサンドウエーブ (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

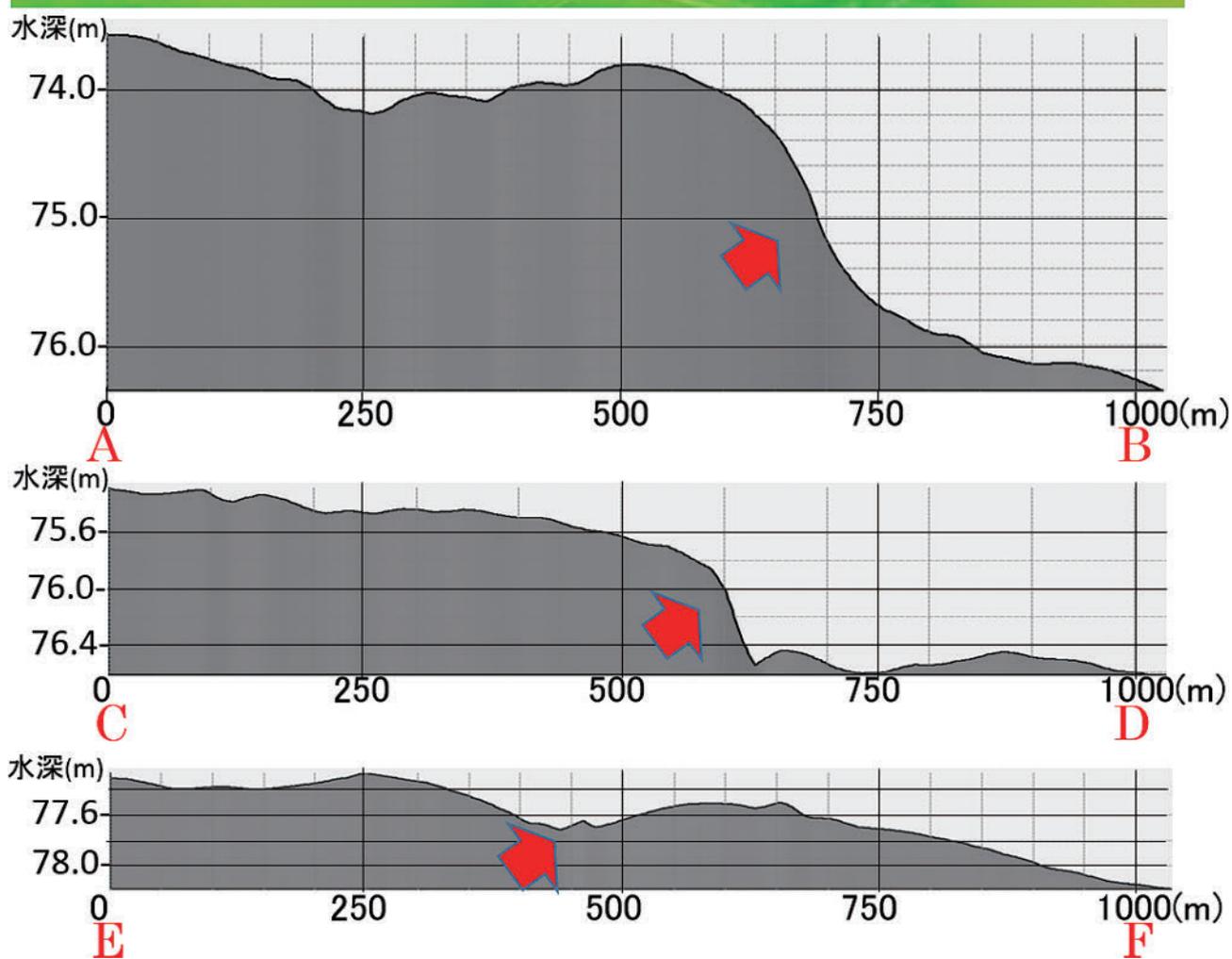
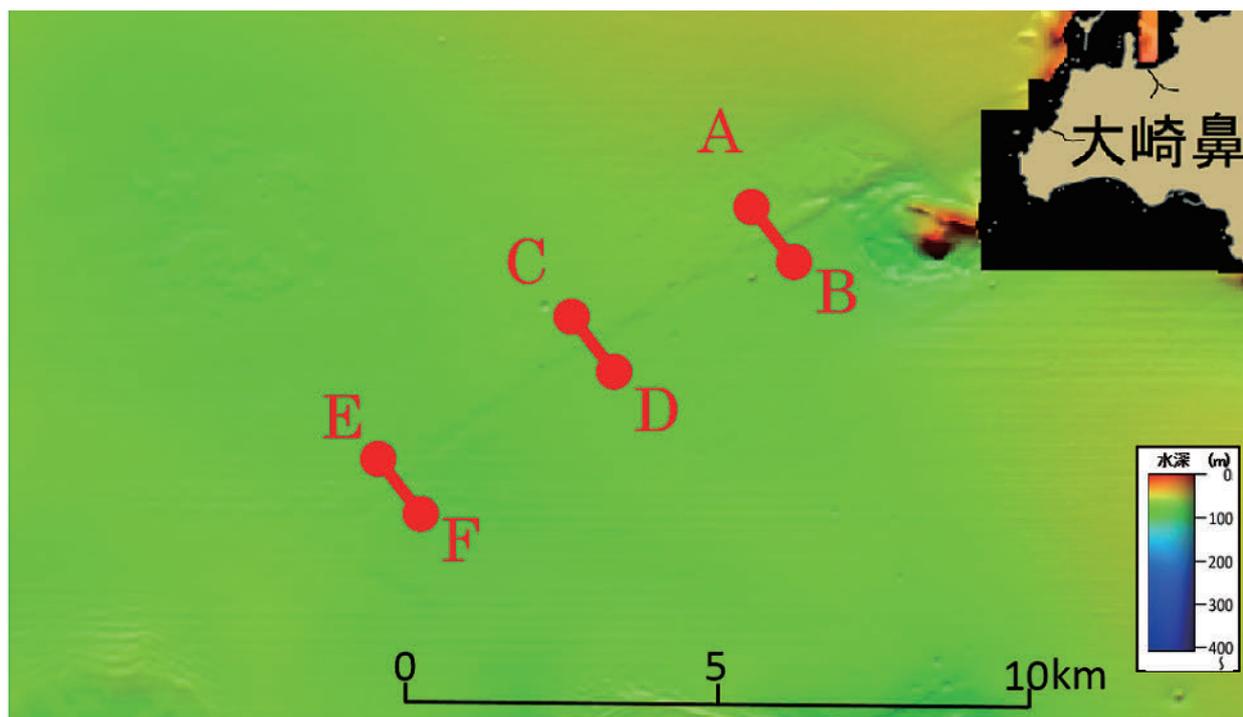


Fig. 10. Fault (Uwakai-F21) (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)

図 10. 断層 (宇和海 F21) (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

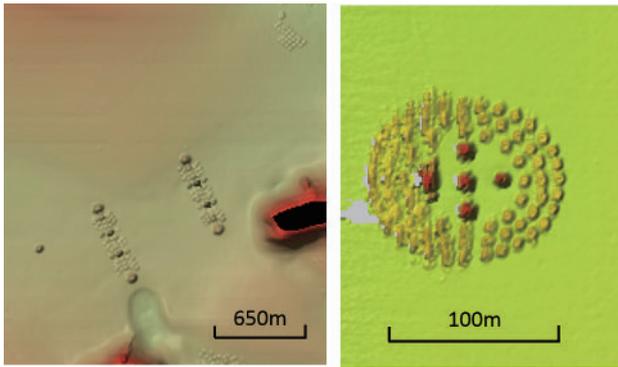


Fig. 11. Fish heaven (ChromaDepth glasses allow readers stereoscopic imaging.)

図 11. 魚礁 (クロマデプス 3D メガネを用いて立体視可.)

成されているので、岩の地形は多く見られないが、平成 21 (2009) 年にオーストラリア船籍のタンカーからの通報を受け発見に到った水ノ子島の南約 3.6 M に幅 350×350 m 水深 36 m の瀬のほか、鮪子瀬の南約 5.0 M には幅 1,500×350 m の最浅水深 55 m の細長い瀬が新たに発見された。どちらも水深 100 m 前後の平坦な地形にそそり立っているため、過去の測量では、測深線の狭間に入り発見できなかったものと思われる (Fig. 3)。

また、既存の岩の浅所でも岩の形状や分布が明確となった。

3.2.5 魚礁など

潮流が卓越し、海底の地形も複雑であると、漁場としても良好であるためか、魚礁が多数設置されている。巨大な魚礁が一行に並んでいると、巨大な物体が横たわっているようである。Fig. 11 は、どちらも水深約 60 m の海底に設置された魚礁である。魚礁を設置する作業船の位置測定精度が向上したためか、場所によっては規則的に設置されており、測位技術の向上といったことが、得られた記録から読み取れる。

4 おわりに

明治から昭和初期の測深は、主として測鉛により実施してきた。測鉛の上げ下ろしも手作業から

機械によるものへ変化し、昭和初期からは、音波を利用した測深機 (シングルビーム測深機) が登場し、現在では、マルチビーム測深機により隙間なく測深できるようになった。

過去の資料や報告書を読むと、測深の密度を如何に上げ詳細な地形を得るかということと、調査に従事できる船舶や時間が少なかったことから作業時間を短くするためには、如何に荒い密度で測深するかとの相反するテーマが存在し、解決策として調査機器や技術が発達した 1 つの要因にもなっている。

豊後水道のように水深が深く砂礫で平坦な海域は、水路測量としては優先順位が下がってしまい、これまで、古い調査成果が採用されてきたが、マルチビームによる測深が主流となってきた現在に測量できたことと豊後水道内のほぼ全域を集中的に調査できたことによって、ビジュアル的に表現でき、地形の分布だけでなく断面も容易に見ることができる。その結果、これまで平坦な海底のように理解されてきた地形も、潮流などにより複雑な地形で構成されていることが容易に見ることができる。

デジタルで得られた測量成果は、海図の最新維持だけでなく、他の目的でも活用が期待できる。

サンドウエーブや海釜の成因には、強い潮流が関係することから、Fig. 2 を広げて、これまで観測していない場所での強い潮流の存在の検討といったことなどにも話題の幅が広がることを期待し、報告とする。

なお、本稿の地形図は添付のクロマデプス 3D メガネにより、3D で立体視することができる。

謝 辞

広大な海域の測量に従事された多くの職員の皆様のご苦勞に感謝するとともに、本稿作成に当たり、ご助言をいただきました皆様、この場をお借りして御礼申し上げます。

文 献

海上保安庁水路部水路業務百年史編集室 (1971)

日本水路史, pp.38-42, pp.165-167, pp.239-240, 日本水路協会, 東京.

四国電力(2015)伊方発電所地震動評価について, 第210回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料.

寺田寅彦(1918)瀬戸内海の潮と潮流, 3pp.

八島邦夫(1994)瀬戸内海の高釜地形に関する研究, 水路部研究報告, 30, 237-327.

要 旨

豊後水道の水路測量の結果, 海底は起伏に富んだ地形だった. これまでの調査と得られた海底地形の状況について概要を報告する.