



海洋調査

協会報 / No.142

JAMSA

一般社団法人 海洋調査協会

協会員が行う海洋調査の体系 (調査項目は海洋調査士試験の区分による)

海洋調査協会は、海洋調査事業の健全な発展を期して昭和60年に創立され、「先導海洋調査士」認定制度による海洋調査技術者の技術力向上とともに、港湾整備・海洋の効率的利用・環境保全・海上の安全等の分野で貢献しています。

- 1 航路・航路調査
- 2 土質・地質調査
- 3 海洋調査
- 4 環境調査
- 5 施設・施設調査
- 6 施設物調査

SDGsへの取り組み **SDG GOALS**

海洋調査協会は、国連サステナブル開発目標(SDGs)の達成に貢献することをめざしています。

JAMSA

Japan Marine Surveys Association

一般社団法人 海洋調査協会

JAPAN MARINE SURVEYS ASSOCIATION

2020年10月

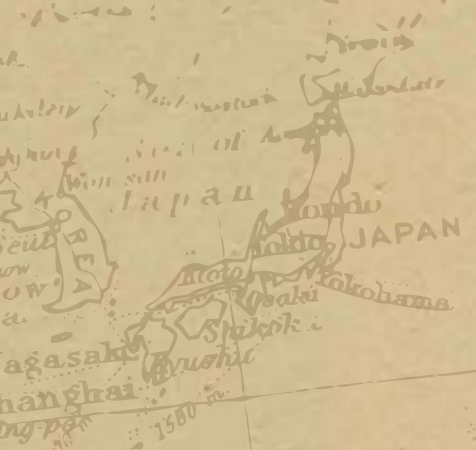
新たな海の探求技術4編

活躍する若手技術者3編

国土交通省大臣表彰 ほか

協会パンフ、技術図書 改訂のお知らせ

一般社団法人 海洋調査協会 JAMSA



巻 頭 言

玉野総合コンサルタント（株）
理事 牧村直樹



海洋調査技術のこれから

理事中部支部長の牧村直樹です。7月豪雨で被害に遭われた方々にお見舞い申し上げ、一日も早い復興をお祈りいたします。

当協会は、今年設立36周年を迎えました。今後に向けて過去を振り返り、そして「これからの海洋調査技術」について考えてみます。

36年を振り返って

この36年は、社会資本整備の量的な拡大から質的なものへの追求へと変わってきた時代だと思います。バブル景気、バブル崩壊、少子高齢化、人口減少などの変遷がありました。

近年、業界においては公共施設の維持管理対策、i-Constructionによる生産性向上、担い手確保・育成のための働き方改革などの取り組みが始まりました。また、社会はIoT化、AI化などここ数年でデジタル化がものすごい勢いで進んでいます。今までの、維持管理、防災、災害対応などの要素技術のデジタル化による、調査技術の再生が必要だと思います。

今後の海洋調査技術

これからの50年は、労働力需給のアンバランスが益々拡大します。総務省人口推計の生産年齢人口は、2020年の約7,500万人から2070年には4,000万人強へ、約55%の減少と予測されています。65歳以上の人口も現在より減少します。従来、FE（Field Engineer）は先輩社員に同行し、様々なノウハウを培うことにより調査技術を習得しています。しかし、新規採用FEとベテランFEの人口バランスが崩れ、技術の継承ができない状況が生じています。

私たち海洋調査コンサルタントは、このような労働力需給のアンバランスやデジタル化社会において、どのように対応していけば良いのでしょうか。今まで私たちが培ってきたField技術で要求仕様をこなすだけでは取り残されそうです。ヒトとIoTの連携によるスマート保全技術を開発することにより、FEが遠隔調査で作業を可能にする必要があります。

災害時の港湾には、背後地の防護、被災地への輸送拠点、代替輸送、災害復旧支援のスペース提供などの機能があります。日常点検、発災時の早期点検をFEの安全を確保しつつ行わなければなりません。最近では、災害に広域監視を得意とする衛星の活用が始まりつつあります。港湾施設の点検、海域浮遊物の早期確認を光学衛星やSAR衛星により行う日は遠くないと思われます。デジタル化により新しい海洋調査コンサルタントの姿を築き上げることが必要です。

今後も日々研鑽を積み、海洋調査業界を発展させ無くてはならない存在にし、社会に貢献していきたいと思っています。

目 次

巻頭言	牧村直樹	2
随筆 ごまめの歯ざしり	川嶋康宏	3
活躍する若手技術者		
海外測量船乗船記	榎木田浩孝	5
私と仕事と寿司とゴルフと	宮地源太	7
海の上で思うこと	山田 拓	9
新たな海の探求技術		
砂浜保全	黒岩正光	11
マルチビーム測深を用いたサンゴ礁および沿岸浅海域の海底地形探査	菅 浩伸	15
水産資源を可視化する直接計測、遠隔計測からバイオロギングまで	宮下和士	20
海底重力計と海底熱水鉱床探査	押田 淳	27

次

新技術紹介・新商品コーナー		
静岡県東部伊豆地域航空レーザ測深について	木村信太	35
地図記号の集大成	今村遼平	39
協会パンフレットのリニューアル		42
海事関係功労者国土交通大臣表彰		43
関東地方整備局港湾空港関係功労者表彰		43
海上保安庁長官表彰・管区海上保安本部長表彰		44
九州整備局長表彰・日本港湾協会表彰		45
港湾海洋調査士認定試験を受験された方へ		45
協会のうごき		46
技術図書販売目録一覧表		47
編集後記		48

マルチビーム測深を用いたサンゴ礁 および沿岸浅海域の海底地形探査

九州大学 浅海底フロンティア研究センター センター長 菅 浩伸

1. はじめに

学生時代に目にしたトーマス・ゴロウ (Thomas F. Goreau, 1924 - 1970) の論文^{1) 2)} は衝撃的だった。カリブ海ジャマイカのサンゴ礁外縁部の海底地形を見渡したようなスケッチ、そして水深と地形毎に異なる造礁サンゴの分布が記載され、魚眼レンズで撮影された写真が載る。ゴロウの描く地形スケッチにはスケール代わりに小さくダイバーの姿が描かれていた。研究を始めたときに、既にダイバーであった私は、彼のスケッチに憧れた。私自身が、ある種のパターンをもった、しかし複雑なサンゴ礁の海底地形をどのように表現しようかと模索していたときであった。

私はシングルビーム測深機と SCUBA 潜水を使ってサンゴ礁外縁部の研究をはじめた。水中でハンマーを振って岩石を採取したり、台風前後に大礫や巨礫の移動を観測した。また水陸両用の油圧式ボーリング機を作成して、SCUBA 潜水を行いながら水中で掘削をしてコア試料を採取した。それぞれの調査に際しては、模索しつつ三次元地形のスケッチを描いて調査地の地形的特徴を説明しようとした。まさか 20 年後に、夢のような技術を使って海底地形の正確な三次元図を作成していることは想像に難かった。

2. サンゴ礁の地形とその成り立ち

サンゴ礁は、熱帯水界の生物である造礁サンゴやサンゴモなどの造礁生物が何千年もの時間をかけてその骨格を積み上げながらつくってきた地形である³⁾。琉球列島に

多く分布する裾礁型サンゴ礁の地形は、外洋側から礁斜面、礁縁、礁嶺 (礁原)、浅礁湖 (礁池) の地形帯をつくる (図 1)。このうち碎波がみられる礁縁は、洋上や上空から見たときサンゴ礁の縁と認識される場所である。そこは、造礁サンゴの生育やサンゴ礁地形の成長が最も活発な、いわば「サンゴ礁地形発達の最前線」であり、サンゴ礁にとってきわめて重要な場所である。そして礁縁の陸側には大潮の平均低潮位付近の高さに達した礁原 (礁嶺) が広がる。礁縁と礁原はサンゴ礁特有の海底から急な高まりをつくる地形をつくり、この高まりが防波構造物としての性質を持つ。このため礁原の陸側に広がる浅礁湖は、波浪の影響をほとんど受けることがない。これらの海面付近に広がる浅い部分は空中写真や衛星写真で見ることができる。しかし、外洋側や内湾の水深が深い海域は、地形図もない上に空中写真に写ることもなく、どのような地形が広がっているか分からない。潜水調査を重ねたとして

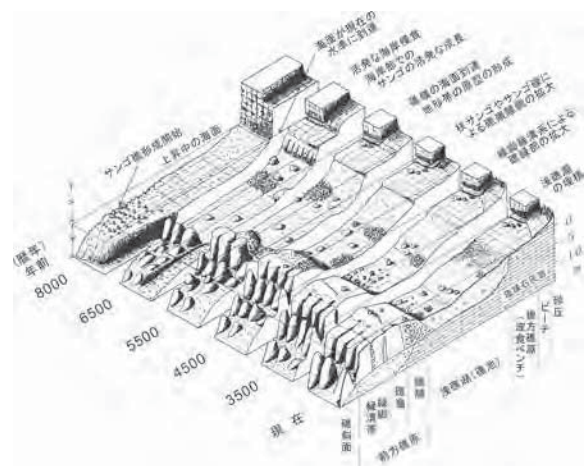


図 1 サンゴ礁の地形とその発達過程³⁾



写真1 礁斜面の地形（久米島南岸、著者撮影）

も、地形の全体像を眺めることは難しい場所であった（写真1）。

3. サンゴ礁・浅海底のマルチビーム測深

1) 海底地形を「獲る」

1990年代以降、マルチビーム測深技術が急速に進歩した。マルチビーム測深機は、扇形に広がるビームで海底地形を広く三次元的に測量することができる音波探査装置である。ただ、この装置は大型船舶に搭載されることがほとんどであったので、大型船が航行できない浅海底の測量は難しかった。私の研究室では、科研費を使って小型船舶に取り付けることができるマルチビーム測深機 R 2Sonic を 2010 年に導入した（写真2）。そして、水深 1 ~ 400 m までの海底地形を 1 ~ 2 m グリッドの高解像度で可視化する

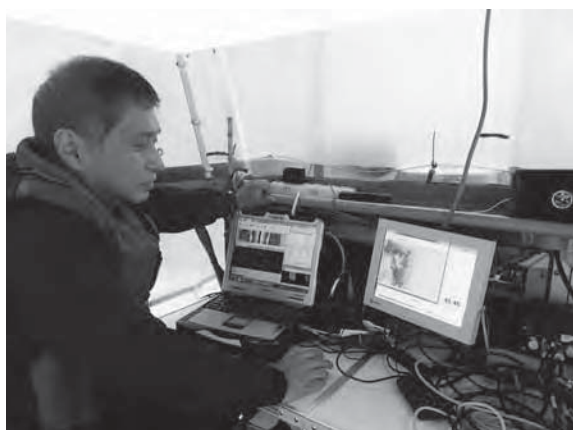


写真2 小型船を使って著者が行うマルチビーム測深調査（与那国島にて）

ことに成功した。

最も測深が難しいのは、水深が浅く、起伏が大きいサンゴ礁の「縁」に近い部分である。そこはサンゴ礁が最も創造的に地形をつくる場所でもあるため、サンゴ礁地形研究者としては最も測深を行いたい場所であった。その外洋側の礁斜面も未知の地形が広がる。これらの地形をいかに測深するかを考えた。幸運だったことは自身の測深機であるため、自分で可否を判断できたことである。そのうえで、その海域をよく知り操船に長けた漁師（海人）の船を使った。潜水漁などの経験から海底地形に詳しく、波や風にあわせて船を操る名人に船長をお願いする。船には GPS や魚探などいくつもの計器を備えているため、新たに持ち込んだ我々のマルチビーム測深機についても早々に理解していただける。このような漁師さん達がいることは日本の誇れるところだろう。私がお願いした船長の中には、測深海域からの帰りに自分が興味ある海域でおもむろに旋回し探査を始めた人もいた。なんとも頼もしい限りである。

海底の地形情報は乏しいため、何の下図もない場所での測深が常である。測深を行う私は船長に指示を出しながら、地形を予測してあらかじめレンジを設定し、スワスを振る。測深現場では、通り過ぎてしまった地形は、再度船をまわして取り直すしかない。とくに浅海で起伏の大きい場合は、地形を予測することが重要である。これは海底を見続けてきた地形学者が測深を行う際の醍醐味である。測深中に 1 秒間に数本から十数本描かれていく地形断面を見ながら海底地形をイメージするのは楽しいし、感慨深い。潜水調査で断面を測っていたときは、その断面 1 本を測るのに SCUBA タンク 1 本、約 1 時間かかったのである。

2) 細心の可視化

測深データは注意深く解析する。慣性 GPS ジャイロ（POS /MV）により計測した

船体の動揺データ（ロール・ピッチ・ヒープ）は瞬時に測深データに反映されるが、後ほど現場のパッチテスト測線のデータを基にロールやピッチの補正値を正確にはじき出し適用する。潮位や音速度プロファイルの測定結果も適用する。最も煩雑なのはノイズ処理である。浅く起伏に富むサンゴ礁の海域では、各種のフィルターを用いて処理を行うことができない。水深5mで起伏が3mあるところ、水深10mで起伏が5mあるところが普通にあるためである。

ノイズ処理は恐ろしい。なぜなら、実際は存在しない地形をつくり出してしまふことや、存在する地形を消してしまふこともあり得るからである。測深したスワス断面を並べて注意深く、地形の連続性をみながら判断する。「このような地形は実際にあり得るのか？」と問いかけながらの作業である。私の研究室の場合、2週間の測深で400～500kmの航行を行うことが常であるが、その後処理には専属のテクニカルスタッフが約9ヶ月をかけてデータ処理および可視化を進めている。

出来上がった海底地形図をもとに、私は現地で潜水調査を行う。全く地形図がなかった海域で高解像度の海底地形図ができると、その上で深度と距離を基に潜水計画を立て、調査が可能となる。未知の海域を探検できる喜びはひとしおである。その過程で、作成した海底地形図の検証も行う。ノイズ処理が足らなかったため、実際にはない地形がつくられた場所を現地で確認し、後に削除したこともあった。また、実際にある地形を削除してしまった場所では、その地形を復元するため、再度ノイズ処理をやり直してもらったこともある。地形学的に見ておかしいと思った地形については、現地を確認しながら海底地形図を完成させる。この過程でさらに海底地形を見る目が養われていくところが奥深い。

3) 測深機の“目”とダイバーの“目”

マルチビーム測深を初めて、まず私が向かったのは沖縄の久米島であった。長年にわたり島の周囲に潜って調査をしていたため、私にとっては最も土地勘（海底勘）がある海域であった。そこで、自分が潜って見た海底と、マルチビームで見える海底をつきあわせようと考えていた。装置にはそれぞれ得意不得意があり、見える範囲や精度も異なる。たとえばマルチビームとサイドスキャンソナーでは、同じ対象物でも見え方が異なる。使いこなすには長所短所を知り、目的によってそれぞれを使い分ける必要がある。私がよく知っている海底地形はマルチビームの目を通したとき、どのように映るのであろうか。

人が潜って活動できる範囲は小さい。数十～数百メートルの範囲である。また、サンゴ礁のように透明度のよい海域であっても十数メートル先までしか見渡すことができないところが殆どである。マルチビームでは広範囲の地形を一気に測量し可視化することができる。また、水中では人は簡単に上下に移動できるが、わずかな水深の違いを感知することは難しい。測深結果では広範囲にわたり、わずかな水深の違いや地形の連続性と広がりを正確に現してくれる。

一方でマルチビームの見た目にはもの足りない部分もあった。人が潜水して目にする範囲は極めて小さいが、目には微細な凹凸や色、材質感覚（テクスチャー）など多くの情報が入ってくる。私は試しにある極浅海域で測深密度を上げ、10cmグリッドでマルチビーム測深結果を可視化してみた。サンゴ礁の微地形が詳細に浮かび上がった。しかし、その中で径2mほどの大きなドーム状のサンゴではないかと思ったところが、実は小さなサンゴの集合体であったことがある。マルチビームでいくら詳細に可視化を進めても、これが限界のように思えた。装置には人の能力を超えた性能があるが、人の能力に及ばない部分もある。後に、マ

マルチビーム測深と水中フォトグラメトリモデルを組み合わせて、沖縄・古宇利島沖の水深 40 m に沈む米国軍艦 USS Emmons を対象として、地理座標を有する 5 cm グリッドの高解像度水中三次元モデルを構築することに成功したが⁴⁾、その研究は以上の経験に基づいて構想したものであった。

4. 予想を次々と裏切られた石垣島の名蔵湾

2011 年におこなった石垣島での測深調査は順調だった。夏に 2 週間にわたって波高 1 m というのは、私の知る限り殆ど巡りあうことがない海況だった。我々は外洋に面した礁斜面の調査を終え、最後に島西岸の名蔵湾を探索した。名蔵湾は東西 5 km 南北 6 km、水深 50 m 以浅の湾である。この湾には 5 万分の 1 海底地形図で奇妙な地形が見られること、また、私が以前潜水調査を行って沈水ドリーネのような地形を見たことがあることから、注目していた海域であった。マルチビームで測深を開始した我々は目を見張った。見たことのないような奇抜な絵がモニターに描かれていく。どのような地形が出てくるか分からないため、私はあらかじめ地形を予想してスワスを振ることができなかつた。また、起伏が大きく

てビームの当たらない影ができるため、何度も往復しながらの測深となった。

名蔵湾の奇妙な海底地形は、おびただしい数の深い凹地から成り立っていた⁵⁾。湾の中央には氷期の旧河川後とみられる蛇行した谷が走っていた(図 2)。多数の閉じた凹地形は氷期の低海水準のもとで地下水系によって形成されたカルスト地形が後氷期の海水準上昇と共に沈水した「沈水カルスト地形」と考えられた。凹地の直径は約 100 ~ 500 m であるため、潜水調査で見渡すことはできない。沿岸近くであるが、このような地形が広がっていることは誰もが予想すらしなかつたことであつた。名蔵湾中央部は水深 5 m から 40 m に至る斜面が数多くみられる起伏の激しい海域であつたが、高解像度海底地形図を基に調査が可能となつた。

何度かの潜水調査を行って、驚くべき発見があつた。名蔵湾に見事な造礁サンゴ群集が数多く棲息していたのである(写真 3)。それまで、専門家の間でも名蔵湾に造礁サンゴは殆ど生息していないと認識されていた。ところが実際には生物量豊かな海域であり、大規模なサンゴ群集が成立していることが発見されたのである。人口約 5 万人の石垣島沿岸域でこのような未知の地形と大規模な生物群集が発見されたことは、人里に近い沿岸域であっても未だ科学的知見がきわめて少ないことを物語っている。

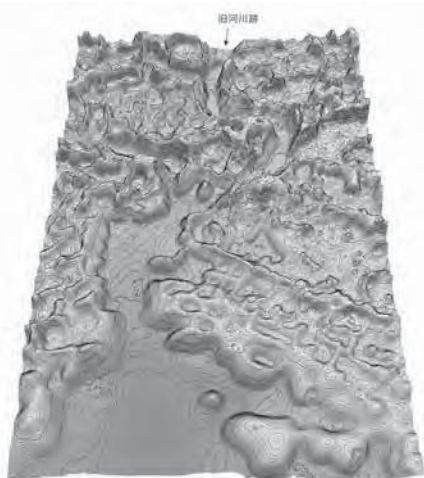


図 2 石垣島名蔵湾の沈水カルスト地形⁵⁾
湾中央部の 1.85 × 2.7km の範囲を 1 m グリッドで可視化。水深 1.6 ~ 58.5 の地形を等深線間隔 1 m 間隔で表す。

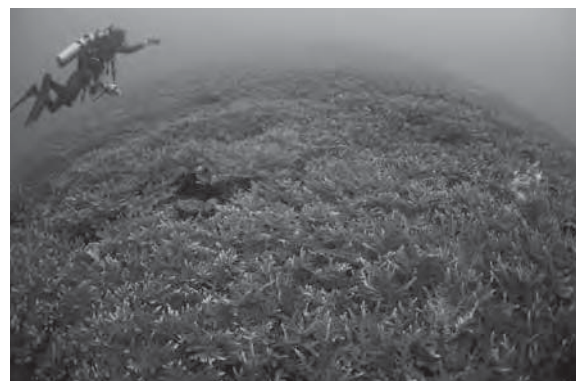


写真 3 名蔵湾の大規模造礁サンゴ群集 (著者撮影)

5. 日本の浅海底地形探査へ向けての展望

日本沿岸では1950年代から80年代はじめにかけて、地形学者による海底地形研究が盛んになった時代があった⁶⁾。特に海上保安庁水路部に在籍し、広く日本沿岸の海底地形に関する研究を行っていた茂木昭夫博士によって、青函トンネル掘削前の津軽海峡の海底地形調査⁷⁾や福岡県北部の倉良瀬戸の海釜と氷期の河谷地形⁸⁾など多くの研究がなされ、浅海域における現在の侵食・堆積作用や、氷河性海面変動に伴う浅海域の沈水地形に関する地形学的研究が飛躍的に進んだ⁹⁾。しかし1970年代以降、日本および世界の海洋研究は遠洋深海を舞台にした調査・資源探査に力が注がれ、沿岸浅海域の地形研究は中断期を迎えることとなった。

沿岸浅海域の地形の成り立ちについては、現在でも実証的な研究が乏しい。地形学の教科書¹⁰⁾でも、海面下の地形は大陸棚・大陸斜面の大地形が僅かなページで解説されるにとどまる。水深130m以浅の浅海底は、寒冷な氷期に干出して侵食作用を受け、温暖な間氷期に水没して堆積作用を受けるといふ、成り立ちの上でも複雑な地域である。日本のような水床から遠い地域では、寒冷な氷期と温暖な間氷期の間で約130mの海水準の変化があるためである。浅海域で高解像度の海底地形図を作り、地形を記載し研究する活動が、将来の教科書に新しい一章「浅海底地形」をつくる端緒となればと願うところである。

沿岸浅海域の地形探査には遠洋深海域とは異なる難しさが存在する。海上保安庁から1976年に刊行が開始された「5万分の1沿岸海の基本図」の作成においても、その整備に多くの時間と労力がかかったことが記されている¹¹⁾。最新のマルチビーム探査技術を用いても、スワスが広がりにくい浅海域では測深船の航跡を密にし、地道にデータの取得と処理を重ねる必要がある。

人口やインフラが集中する沿岸域は防災

上重要な場所であるとともに、人による海域利用も盛んな場所である。今後、浅海底の高解像度地形図を基にした沿岸防災に関わる研究¹²⁾や、海域利用に関する計画が開されることによって、沿岸部における持続可能な開発を進めることが可能になると期待するところである。

謝 辞

本稿の内容はH28～R2年度科研費 基盤研究(S)16H06309「浅海底地形学を基にした沿岸域の先進的学際研究 - 三次元海底地形で開くパラダイム -」(代表者:菅浩伸)の成果の一部です。共同研究者の皆様にご感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Goreau, T.F. (1959) *Ecology*, 40 (1), 67-90.
- 2) Goreau, T.F., Goreau, N.I. (1973) *Bull. Mar. Sci.*, 23, 399-464.
- 3) 菅浩伸 (2018) *科学*, 88 (6), 582-587.
- 4) Kan, H. et al. (2018) *Int. J. Nautical Archaeol.*, 47, 267-280.
- 5) Kan, H. et al. (2015) *Geomorphology*, 229, 112-124.
- 6) 貝塚爽平 (1955) *地理学評論*, 28, 15-26.
- 7) 茂木昭夫 (1958) *地理学評論*, 31 (1), 15-23.
- 8) 茂木昭夫 (1973) *地理学評論*, 46 (11), 755-759.
- 9) 茂木昭夫 (1978) *水工学シリーズ* 78-B-3, 1-16.
- 10) 米倉伸之ほか (2001) 『日本の地形1 総説』東京大学出版会.
- 11) 西沢邦和 (1982) *地図*, 20 (4), 24-26.
- 12) Minamidate, K. et al. (2020) *Scientific Reports*, 10, DOI: 10.1038/s41598-020-64100-6