

## CONTENTS—目次

伊豆諸島式根島周辺海域のCO<sub>2</sub>噴出域における海洋酸性化研究  
筑波大学下田臨海実験センター 助教 和田 茂樹…………… 1～3

「Techno-Ocean 2020」開催について  
Techno-Ocean 2020 実行委員会 実行委員長 飯島 一博 …… 3～4  
(大阪大学大学院工学研究科 教授)

「Techno-Ocean 2020」開催概要 …………… 4

## 伊豆諸島式根島周辺海域のCO<sub>2</sub>噴出域における海洋酸性化研究

筑波大学下田臨海実験センター 助教 わだ しげき  
和田 茂樹

### 1. はじめに

人間活動に伴って放出される二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)は地球温暖化の主要因として懸念されているが、放出されたCO<sub>2</sub>の一部は海洋に吸収され、海水の炭酸系の化学平衡を変化させる。これが第二のCO<sub>2</sub>問題とも呼ばれる「海洋酸性化」であり、海水中の水素イオンの上昇やCO<sub>2</sub>濃度の上昇、炭酸イオンの減少が海洋生物に与える影響が懸念されている<sup>1)</sup>。海洋生物への海洋酸性化の影響は、実験室下でCO<sub>2</sub>濃度を調整した海水を用意し、生物を飼育・培養する生物試験で評価されることが多い。これらの実験によって、サンゴや貝などははじめとする炭酸カルシウムの骨格や殻を有する石灰化生物が、海洋酸性化に対して負の応答を示すことが知られてきた。一方で、CO<sub>2</sub>の増加は光合成の基質を増大させることとなるため、藻類や海草など一次生産者の光合成活性の増大も予測されている<sup>2)</sup>。

上述の実験的なアプローチは、海洋酸性化の将来予測において重要な知見を数多く提供してきた。しかしその一方で、数十年から数百年のタイムスケールで生じる海水の炭酸系化学の変化を、短い実験期間で操作して影響を試験することで、生物の馴化や適応を考慮することができないという問題を有している。また、生物は単独で生存しているわけではなく、同種間・異種間の生物が、捕食-被食関係や資源をめぐる競争など、多様な相互作用を構築しており、それが生態系の仕組みを成り立たせている。こういった生物間相互作用を考慮した上で海洋酸性化の影響を評価することは、実験室下での影響試験では極めて難しいと言える<sup>3)</sup>。これらの問題に対する答えを得るための

試みとして、海底からCO<sub>2</sub>が噴き出す海域「CO<sub>2</sub>シープ」(図1)では生態系が丸ごと酸性化されていることから、海洋酸性化の影響予測を行うための研究サイト



図1 海底から噴出するCO<sub>2</sub>ガス(式根島)

として注目されている。

CO<sub>2</sub>シープを利用した海洋酸性化研究は、2008年に発表されたイタリアのイスキア島における調査結果に端を発し<sup>4)</sup>、それ以降ミルン湾(パプアニューギニア)<sup>5)</sup>やブルカーノ島(イタリア)<sup>6)</sup>、硫黄島(日本)<sup>7)</sup>、式根島(日本)<sup>8,9)</sup>など、世界各地においてCO<sub>2</sub>シープが発見されている。CO<sub>2</sub>シープでの研究は、噴出域周辺の生態系を対象とせざるを得ないため、それぞれのCO<sub>2</sub>シープで対象とする生態系は限定されるものの、長期的な影響評価や生物間相互作用への酸性化の影響予測など、実験室下では評価が難しい課題を考慮することができる。そのため、生物多様性条約の報告書<sup>10)</sup>においても、海洋酸性化研究における最重要研究サイトであることが指摘されている。

CO<sub>2</sub>の噴出域を発見しても、それが海洋酸性化研究に適するか否かを判断するためには、噴出したCO<sub>2</sub>の影響エリアや噴出ガスに含まれるCO<sub>2</sub>以外の成分の影響、コントロール海域の選定などをクリアすることが求められる。本稿では、これら考慮すべき要素に加えて、筆者らが主に調査研究を行っている式根島CO<sub>2</sub>シープにおける生態系の変化について紹介する。

### 2. 式根島 CO<sub>2</sub> シープにおける生態系の変化

伊豆諸島の一つである式根島の海岸線沿いには、ガスや温泉の噴出するエリアが散在している。その中でも、御釜湾と呼ばれる式根島最大の湾内においては、海底から連続的に多量のガスが噴出することが知られている。このガスの組成は主にCO<sub>2</sub>からなっており、湾奥では時にpHが7を切るほどに海域が酸性化している。我々の研究では、極端にpHが低い海域は海洋酸性化の将来予測のレベルを大きく超えたCO<sub>2</sub>濃度であるため、将来予測の範囲外とした<sup>8)</sup>。

そこで、将来起こりうる範囲のpH(気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の報告書などで予測されている今世紀末から来世紀にかけてのpH)が観察される海域において、調査研究を行うことが有効となる。ガス成分にはわずかに硫化水素も含まれているが、海水中の酸素と反応して消失するため、調査研究に用いる海域(主にpHが7.6～8.1の海域)においては、その影響はほとんどない<sup>8)</sup>。

式根島周辺の海は、一般的にサンゴと海藻の混成群落であり、美しい水中景観や多様な生物相を見ることができるところから、ダイビング等のサイトとしても一級である(図2(a))。CO<sub>2</sub>シープにおいて海洋酸性化の影響評価を行う際には、これらの海域を対象海域(コントロール海域)として設定する。一方で、CO<sub>2</sub>濃度の高い(pHの低い)海域においては、サンゴや石灰藻、貝類などの石灰化生物の減少、大型の海藻の減少が顕著であり、海底には背の低い藻類が優占する<sup>9)</sup>(図2(b))。サンゴや大型の海藻の体はそれ自身が構造物となり、小型の動物の住みかとして機能する。そのため、結果的にCO<sub>2</sub>濃度の高い海域においては、動物の種多様性の低下が生じている<sup>13)</sup>。

CO<sub>2</sub>シープは、噴出エリアからの距離に従いCO<sub>2</sub>濃度が低下し、現在の海に近づいていく。式根島のコントロール海域のCO<sub>2</sub>濃度は約300ppmであるが、少しCO<sub>2</sub>シープに近づきCO<sub>2</sub>濃度が400ppm程度になると、前述の石灰化生物の減少や小型藻類の優占が認められ、生態系は著しく変化する。

すなわち、CO<sub>2</sub>の上昇に伴う生態系の劇的な変化は近い未来にまで迫っており、CO<sub>2</sub>濃度の上昇を早期に抑制しなければならぬことを示している<sup>9)</sup>。このように、CO<sub>2</sub>の変化に対する生態系の応答を、連続的に示すことができるという点も、CO<sub>2</sub>シープ研究の興味深い点と言える。

図2 コントロール海域と酸性化海域における水中景観



(a) コントロール海域



(b) 酸性化海域

### 3. 海洋酸性化研究におけるCO<sub>2</sub>シープの利用可能性の検証

#### 3.1. ガス成分

海底から泡が噴出していたとしても、必ずしもそれがCO<sub>2</sub>であるとは限らない。泡には硫化水素やメタンなど、異なる種類のガス成分を多く含む場合もあり、化学的な成分解析が必要である。ガス成分の組成は、周囲の海水への溶解や水中の酸素との反応などによって変化する可能性がある。そのため、ガス採取は噴出部直上で実施することが望ましく、多くの場合、海水で満たされた容器にガスを導入し容器内の水をガスで置換する方法(水上置換)で容器内にガスを捕集することができる<sup>4,8)</sup>。測定は高精度の測定手法を用いることが理想的であるが、設備の限られたフィールド調査においては簡便な手法を用いることもある。その中で、ガス検知管は採取したガスの成分解析において、最も簡便な方法の一つと言える。採取したガスをガス検知管の管にシリンジなどを利用して通気させると、対象となるガスの濃度に応じて変色することから、電源などが利用できない環境下においても採取後すぐに測定を行うことが可能である<sup>8)</sup>。

#### 3.2. 海水の炭酸系化学

海水の化学成分の変化は、海洋酸性化の解析に直接的な影響を与える要因であることから、その成分の濃度測定はガス成分測定よりもさらに重要となる。CO<sub>2</sub>の測定は、CO<sub>2</sub>センサー等を用いた直接測定の他に<sup>11)</sup>、炭酸系の化学平衡を利用した計算も有効である。一般的

に、海水中の炭酸系化学はCO<sub>2</sub>分圧、溶存態無機炭素(DIC:Dissolved Inorganic Carbon)、pH、アルカリ度の4パラメーターを指し、この4パラメーターのうち2つに加えて水温と塩分が測定されていれば、残り2パラメーターは計算によって導き出すことが可能である<sup>12)</sup>。さらに、栄養塩濃度が同時に測定されていれば、高精度で計算が可能になるが、CO<sub>2</sub>シープにおける変化の大きさを考慮すると、多くの場合は水温と塩分、炭酸系2パラメーターの情報で、十分な精度を得られることが多い。

筆者らの研究グループでは多くの場合、pHとアルカリ度の組み合わせで炭酸系化学の測定を実施している。pHは実験化学で一般に用いられているNBSスケール(国際純正・応用科学連合(IUPAC)で定められた標準液で校正したpH)では、校正に用いる緩衝溶液のイオン強度が海水と比較して低いため、海水試料の測定には大きな誤差を生じる。そこで、海水中の硫酸イオンの影響を考慮したトータルスケール(人工海水をベースとした緩衝溶液で校正溶液したpH)を用いる。アルカリ度に関しては、酸を滴定して測定する手法が一般的であり、石灰質を含む懸濁物が浮遊している可能性のある浅海域においては、あらかじめ過をして懸濁物を取り除く。

#### 3.3. CO<sub>2</sub>以外のガス成分の検証

多くのCO<sub>2</sub>シープにおいて噴出しているのは、火山性のガスである。そのため、CO<sub>2</sub>以外の成分が含まれていることがあり、それらが海洋生物に影響を及ぼす可能性がある。特に硫化水素は火山性ガスにしばしば含まれ、かつ水生生物への影響も懸念される化合物であることから、その濃度の把握は必須課題ともいえる。海水中の硫化水素の測定は、比色法を用いる手法が高精度な定量法として利用されているが、酸を添加しガス化させて検知管を通すことで簡便に計測できる方法もある<sup>8)</sup>。なお、酸素を多く含む海水中では硫化水素が酸化されて消失してしまうため、試水を長期保存することはできないゆえに、試水を採取後は、速やかに測定を終わらせる必要がある。

また、厳密な定量値を得ることは難しいが、硫化水素の空間的な変化を相対値として推定する手法として、酸化還元電位(ORP:Oxidation-Reduction Potential)の利用も有効である。硫化水素が高濃度に存在する場合、ORPの値は低くなることからORP電極を備えたセンサーを用いて、硫化水素の量的変化を相対値ではあるものの推定することが可能となる<sup>6,8)</sup>。実際には、採水試料に対する直接測定と、センサーを利用したORP測定を併用することが理想的だろう。

#### 参考文献

1. Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A. & Kleypas, J. A. Ocean Acidification: The Other CO<sub>2</sub> Problem. *Annu. Rev. Mar. Sci.* **1**, 169-192 (2009).
2. Kroeker, K. J. *et al.* Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Glob. Change Biol.* **19**, 1884-1896(2013).
3. Riebesell, U. *Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting.* (Publications Office of the European Union, 2011).
4. Hall-Spencer, J. M. *et al.* Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* **454**, 96-99 (2008).
5. Fabricius, K. E. *et al.* Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nat. Clim. Change* **1**, 165-169 (2011).
6. Boatta, F. *et al.* Geochemical survey of Levante Bay, Vulcano Island (Italy), a natural laboratory for the study of ocean acidification. *Mar. Pollut. Bull.* **73**, 485-494 (2013).

7. Inoue, S., Kayanne, H., Yamamoto, S. & Kurihara, H. Spatial community shift from hard to soft corals in acidified water. *Nat. Clim. Change* **3**, 683–687 (2013).
8. Agostini, S. *et al.* Geochemistry of two shallow CO<sub>2</sub> seeps in Shikine Island (Japan) and their potential for ocean acidification research. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2**, 45–53 (2015).
9. Agostini, S. *et al.* Ocean acidification drives community shifts towards simplified non-calcified habitats in a subtropical–temperate transition zone. *Sci. Rep.* **8**, (2018).
10. Aze, T., Barry, J., Bellerby, R. & Secretariat of the Convention on Biological Diversity. *An updated synthesis of the impacts of ocean acidification on marine biodiversity.* (2014).
11. Atamanchuk, D. *et al.* Performance of a lifetime-based optode for measuring partial pressure of carbon dioxide in natural waters: Lifetime-based optode for measuring pCO<sub>2</sub>. *Limnol. Oceanogr. Methods* **12**, 63–73 (2014).
12. Dickson, A. G., Sabine, C. L. & Christian, J. R. *Guide to Best Practices for Ocean CO<sub>2</sub> Measurements.* <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/249> (2007).
13. Harvey, B. P., Agostini, S., Kon, K., Wada, S. & Hall-Spencer, J. M. Diatoms Dominate and Alter Marine Food-Webs When CO<sub>2</sub> Rises. *Diversity* **11**, 242 (2019).

## 「Techno-Ocean 2020」開催について

Techno-Ocean 2020 実行委員会 実行委員長 いいじま かずひろ 飯島 一博  
(大阪大学大学院工学研究科 教授)

### 「Techno-Ocean」のこれまでとこれから

近年、グローバル化・情報化社会が進む中で、様々な分野においてネットワークの重要性が高まっています。テクノオセアン・ネットワーク（会長：山内隆司経団連海洋開発推進委員長、事務局：（一財）神戸観光局内）はこのように動きに先駆けて、1986年から海洋の科学技術に関する国際コンベンション「Techno-Ocean」を神戸で隔年開催（第4回は横浜開催）し、海洋分野における産学官のネットワーク構築に貢献して参りました。海洋に関する幅広い分野の産学官関係者が一堂に集い交流し、横断的なネットワークやパートナーシップを構築するわが国唯一のコンベンションとして知られています。また、「OCEANS」との共同開催を通して、国際的にも広く認知されております。18回目の開催となる次回の「Techno-Ocean 2020」は分野横断型の国際コンベンションという意義を一層高める形で開催します。

### 「一般論文発表」の代わりとなる新しい企画をスタート ～次世代の共同研究やビジネスマッチングのチャンス、 新しい知見に出会う場として～

「Techno-Ocean 2020」は、実行委員会の中心メンバーも大幅に入れ替わり、新たな形式の企画に取り組みます。具体的には、これまでの「一般論文発表」の代わりに新たなイノベーションの素地を練る場を提供するべく、パネルセッション形式で企業、公的機関、大学の関係者が集い、

議論する企画を新たに実施いたします。また、基調講演にて最新の話題を提供してもらいます。このような場で構築されたネットワークは今後さらに大きな国際的枠組みの中心になり、日本のプレゼンスを高めるきっかけになることも期待されます。環境問題や資源エネルギー問題など、海洋を取り巻く昨今の重要課題は、それぞれの専門分野・業種といった垣根を越えて互いの理解を深め、情報を交流・共有し、広い視点から議論することがますます重要になっています。また、海洋産業育成という観点では、次世代を担う青少年の育成、新しいニーズとシーズの発掘、企業のビジネスマッチング、地域連携なども必要です。

「Techno-Ocean」はそれらの重要性を鑑み、新たな形式での分野横断型の国際コンベンションとして開催、次世代の共同研究やビジネスマッチングのチャンス、新しい知見に出会う場をご提供します。

### ◆パネルセッション：総合テーマ「海のSDGs」

第一線で活躍の方々による講演や最新情報の話題提供に続けて討論をメインとします。

- 海からのカーボンニュートラル
  - 海の探査から開発まで -海中ロボットと資源開発-
  - 持続可能性に配慮した養殖業成長産業化戦略
  - 洋上風力技術とビジネス
  - 科学技術人材の獲得戦略-海洋人材のキャリアパス
- \*参加には参加費が必要です。

### 前回OCEANSとの共催によるOCEANS '18 MTS/IEEE Kobe/Techno-Ocean 2018開催の様子



海洋科学技術セミナー



一般論文発表



参加者交流会



展示会



展示会



水中ロボット競技会

## 「Techno-Ocean」ならではの特色ある展示会

「Techno-Ocean」展示会は海洋関係分野を広く横断的に網羅しており、出展対象分野は下記のとおりです。

是非、製品や技術のプロモーション、ネットワーク構築、ビジネスマッチング、情報交換の絶好の機会としてご出展ください。現在出展者募集中です。

### ◆出展対象分野：

- ・調査・観測、計測機器（センサ等）
- ・海洋機器・装置（AUV, ROV, ASV, 水中ロボット、自律航行船等）
- ・気候変動気象、防災・減災、海洋・宇宙連携（衛星利用等）
- ・水中通信、海中音響（ソナー等）
- ・海洋資源探査・開発（石油・天然ガス、メタンハイドレート、深海底鉱物資源等）
- ・海洋再生可能エネルギー（洋上風力発電、波力・潮流発電、海洋温度差発電等）
- ・港湾開発・海洋土木・海洋構造物施工
- ・水産資源開発（沖合養殖、漁場整備等）
- ・SDGs対応
- ・海洋プラスチックごみ、環境アセスメント、環境保護・保全、汚染防止
- ・船舶、船用機器
- ・海運、海上輸送、物流・ロジスティクス
- ・海洋レジャー、海洋レクリエーション
- ・その他

出展募集締め切り：2020年6月30日（火）

入場料：無料

## 「海」に色々出会える「Techno-Ocean」

最終日の10月3日（土）は、専門家の方だけでなく小・中学生や大人の方を対象に「海」をテーマに国立研究開発法人や独立行政法人によるワークショップや講演会、絵画展などのプログラムをご用意します。詳細はホームページで順次公開します。



2018年「海のせかい教室」の様子

## 「Techno-Ocean 2020」開催概要

テ — マ：Meet at Ocean —海で会いましょう—

開 催 日：2020年10月1日（木）～3日（土）

実行委員長：大阪大学大学院工学研究科 飯島 一博 教授

事業概要：

### 有料プログラム

◆10月1日（木）午前 基調講演 会場：神戸国際展示場2号館

◆10月1日（木）、2日（金） パネルセッション 会場：神戸国際展示場2号館

### 無料プログラム

◆10月1日（木）～3日（土） 展示会 会場：神戸国際展示場2号館

◆10月3日（土） 水中ロボット競技会 会場：神戸市立ポートアイランドスポーツセンター

◆10月3日（土） パブリックプログラム（講演会、ワークショップ等） 会場：神戸国際展示場2号館他

是非、皆様のご参加、御出展をお待ちしています。神戸で新たな「海」に出会いましょう。

詳しくはホームページでご覧ください。URL: <https://www.techno-ocean2020.jp/>

お問い合わせ先：Techno-Ocean 2020 実行委員会事務局 （一財）神戸観光局内

TEL:078-303-0029 FAX:078-302-6475



### 編集室から

サクラの開花が例年より早かったのは地球温暖化のせいなのでしょう。海洋酸性化は、地球温暖化を加速する要因の一つであると危惧されています。いま地球上では、コロナウイルスによる感染拡大を防ぐために外出の自粛や自宅でのテレワーク等の窮屈な生活要請が出されています。でも、こんな時だからこそ、少し立ち止まって、家族で人類がもたらしてきた環境問題を見つめ直す時間を作ってみても良いのではないのでしょうか…？（古）

Techno-Ocean News No.74 2020年4月発行（年4回）

発行：テクノオーシャン・ネットワーク（TON）

〒650-0046 神戸市中央区港島中町6丁目9-1

（一財）神戸観光局内

☎078-303-0029 ☎078-302-6475

URL: <http://www.techno-ocean.com>

e-mail: [techno-ocean@kcva.or.jp](mailto:techno-ocean@kcva.or.jp)