

Ocean Newsletter

5 August 2024

NO. 576

海洋生物のミネラルリゼーションと脱炭素

鈴木道生 ● SUZUKI Michio

石灰岩の主成分は、貝類やサンゴなどの海洋生物が「バイオミネラルリゼーション」と呼ばれる生体反応によって作り出した炭酸カルシウムである。このバイオミネラルリゼーションのメカニズムを解明して、炭酸カルシウムを効率良く合成する技術を開発すれば、増えすぎた大気中の二酸化炭素の濃度を下げることに貢献できる。

生態学の知見を取り入れたサンゴ礁保全再生のアプローチ

識名信也 ● SHIKINA Shinya

サンゴ礁は多種多様な海洋生物の命を育む生態系である。私たちにも多くの恵みを与えてくれる。近年、衰退していくサンゴ礁を再生するために、サンゴの増殖・植え付け事業が盛んに行われている。本稿では現行のサンゴ礁保全再生事業の課題を整理すると同時に、既存の枠組みに生物・生態学の基礎知見を取り入れた新たな保全再生事業のアプローチを提案する。

藻場、ウニノミクス、生態系回復への取り組み

武田ブライアン剛 ● TAKEDA Brian Tsuyoshi

ウニノミクス(株)は、磯焼けの原因となっている増え過ぎたウニを買い上げて、陸上で養殖し販売することをビジネスとしている。本稿ではその事業の内容及びJブルークレジット取得が事業の強い裏付けとなったことや、今後のJブルークレジットへの期待について記する。

インフォメーション

第17回海洋立国推進功労者表彰

海洋生物のミネラル化と脱炭素

[KEYWORDS] バイオミネラル化／炭酸カルシウム／石灰化

鈴木道生 ● 東京大学大学院農学生命科学研究科教授

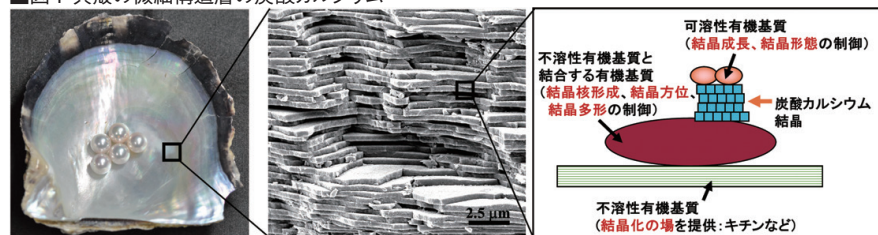
バイオミネラル化とは

生物が貝殻やサンゴの骨格、甲殻類の殻などの鉱物を生体の内外に形成する現象を、生体鉱物化（バイオミネラル化）と言う。バイオミネラル化では、シリカ、鉄、カルシウムなどさまざまな鉱物を沈着することが知られているが、地球上のバイオマスとして最も多いのがさまざまな海洋生物によって形成される炭酸カルシウムである。

炭酸カルシウムという白い粉末や、鉱物展などで展示される柱状や菱面体状の結晶を思い出すかもしれない。生物が作る炭酸カルシウムは、その結晶の形態や大きさ、結晶の多形や方位などが厳密に制御されており、貝類の殻などを顕微鏡で観察すると、その精緻な構造に驚かされる（図1）。これらの特徴を有する炭酸カルシウムを人工的に常温常圧で再現し作製することは大変困難である。このような生物による炭酸カルシウムの形成は単なる無機化学反応ではなく、反応に特殊な有機分子が関与することで制御を可能にしていると考えられてきた。

これまでバイオミネラル化に関連する基質タンパク質が数多く同定され、二酸化炭素を重炭酸イオンに変換する炭酸脱水酵素、有機物同士の結合を促すチロシナーゼ、エビやカニ、昆虫の外骨格に含まれるキチンを微細化するキチナーゼ、負に帯電した酸性のアミノ酸を多数有し炭酸カルシウムに強固に結合する Pif family タンパク質など、さまざまな新規の因子や新規の反応が関与することが明らかとなってきた。すなわち有機-無機のハイブリッド構造を有することがバイオミネラル化による炭酸カルシウムの最大の特徴である。

■図1 貝殻の微細構造層の炭酸カルシウム



左：真珠とアコヤガイ貝殻、中央：真珠層の微細構造、右：真珠層の炭酸カルシウムと有機基質の模式図

炭素循環の仮説とバイオミネラル化研究

人類の活動により大気中の二酸化炭素濃度が増加し、地球温暖化が問題となる中で、持続可能な脱炭素社会の実現を目指すことが日本のみならず、世界的に強く求められている。空気中の二酸化炭素を直接的に地中に貯留する CCS^{*1}や人工光合成、水素エネルギーの活用など、脱炭素を加速する研究が盛んに行われている。地球の地殻部には炭素の成分として石炭や石油などが大量に埋蔵されているが、それと同程度かそれ以上の埋蔵量で石灰岩における炭素も大きな割合を占めると言われている。この石灰岩（約4,000万Gt）のほとんどが生物のバイオミネラル化由来だと考えられている。大気中の二酸化炭素（760Gt）と比較すると、石灰岩中の炭素の量は圧倒的に多く、石灰岩の量が誤差の範囲で変動するだけでも大気中の二酸化炭素濃度は大きな影響を受けると容易に推測される。しかしながら、二酸化炭素を固体の炭酸カルシウムとし

て固定化するという取り組みは、これまでほとんど検討されていない。

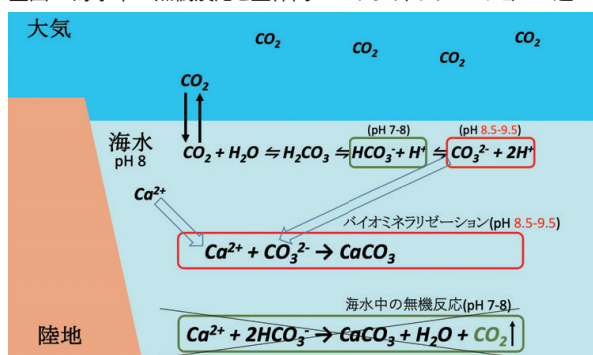
その背景には、海洋のバイオミネラリゼーションによる炭酸カルシウム生成は、二酸化炭素が海洋から放出される反応であり、炭素固定には寄与しないという認識があった。このような説は 1990 年代以前に確立され、バイオミネラリゼーションも無機的に炭酸カルシウムを生成する反応と同様であるという仮定の下での話であった。

二酸化炭素濃度を制御できる可能性

その仮説のため、バイオミネラリゼーション研究の成果を二酸化炭素固定に応用しようという研究はこれまで行われてこなかったが、状況は変わりつつある。近年のバイオミネラリゼーションの研究により、炭酸カルシウムの結晶多形、形態、方位、欠陥などが厳密に制御されること、生体内の石灰化の場では石灰化反応の前に急激な pH 上昇が起こること、触媒として特殊なバイオミネラルタンパク質がカルシウムイオンと炭酸イオンを結びつけることで速度論的に非常に有利になること、などが新たに明らかになってきた。この

ことはバイオミネラリゼーションにおいては生物が代謝反応により水素イオン(プロトン)を除去していることを示唆している(図2)。これを模倣してプロトンを人間が適切に処理できれば、海水のカルシウム源を利用して炭酸カルシウムの生成による炭素固定が可能になると筆者は考えた。二酸化炭素から炭酸カルシウムへの反応はエントロピー的に不利な反応にも関わらず発熱反応であるために外部からのエネルギーを必要とせずに進行する。また固定のコストが安く、固体として常温常圧で安定

■図2 海水中の無機反応と生体内のバイオミネラリゼーションの違い



上段の式: 二酸化炭素が溶けて重炭酸イオンと水素イオン(プロトン)に解離し、プロトンが海洋酸性化を招く。pH8の海水では主に重炭酸イオンの形態で存在するが、一部はさらにプロトンが遊離して炭酸イオンとなっている。

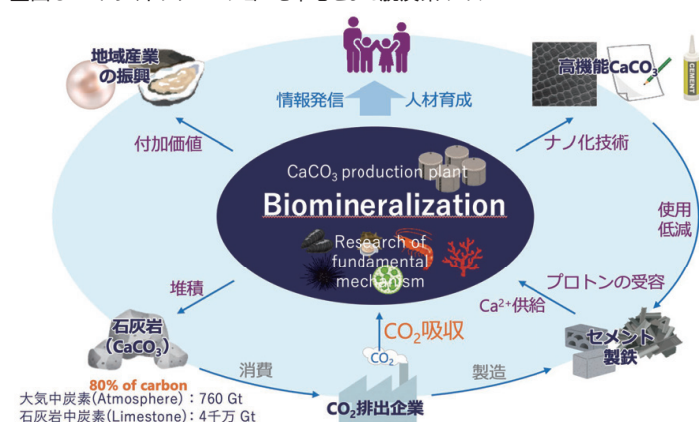
中段の式: 海洋生物による石灰化。本文参照。

下段の式: 無機的な石灰化。炭酸カルシウムの生成と共に重炭酸イオンからプロトンが生じて酸性化を招く上に、プロトンが海水中に溶けた重炭酸イオンと反応して二酸化炭素を発生させる。従来は、生物による石灰化も、プロトンや二酸化炭素を発生させるこの反応だと考えられていた。

であるため、保存にエネルギーコストが必要ない。さらに合成した炭酸カルシウムを産業利用すること(CCUS)^{※2}ができるので、販売して利益を得ることも可能になり非常にメリットが多い(図3)。

これまで人類は石灰岩を大量に消費しさまざまな産業で利用し、現在も大量の二酸化炭素を放出している。この二酸化炭素を石灰岩に戻しているのは海洋生物によるバイオミネラリゼーションである。バイオミネラリゼーションのメカニズムを研究し、その成果を利用することで効

■図3 バイオミネラリゼーションを中心とした脱炭素サイクル



率的に炭酸カルシウムを合成する技術を開発し、人類社会が大気中の二酸化炭素濃度を自在に制御できる技術を得ることを目標に研究を進めている。(了)

※1 二酸化炭素の回収・貯留 (Carbon dioxide Capture and Storage) の略。火力発電所や工場などの排気ガスに含まれる二酸化炭素を分離・回収し、地下の安定した地層の中に貯留する技術。

※2 二酸化炭素の回収・有効利用・貯留 (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) の略。回収した二酸化炭素を貯留するだけでなく、資源として作物生産や化学製品の製造に有効利用する技術。炭酸カルシウムはセメントや製鉄、製紙、プラスチック可塑剤、化粧品、食品など多様な用途で利用されている。

生態学の知見を取り入れた サンゴ礁保全再生のアプローチ

[KEYWORDS] サンゴ礁保全再生／基礎的知見／サンゴ植え付け

識名信也

● 國立臺灣海洋大學海洋環境與生態研究所所長

現行のサンゴ礁保全再生事業とその課題

サンゴ礁が衰退していく現状を改善するため、現在サンゴの保全再生事業が国内外で盛んに行われている。2024年現在、国内では沖縄県の6以上の市町村において環境省や県、民間企業のサポートのもと、サンゴの増殖・植え付け（移植）が行われている。1980年代から現在までに少なくとも30万本以上が植え付けられており、特に恩納村や読谷村では、植え付けたサンゴが1mを超えるサイズまで成長し産卵も行うなど、好ましい成果が報告されている。

しかし、現行の植え付け事業には課題も残る。1つ目の課題は、増殖・植え付けされているサンゴの「種の多様性の低さ」である。現在植え付けされている種の多くはミドリイシサンゴである。ミドリイシサンゴ類は、サンゴ礁を構成する主要なサンゴであり、生態学的重要性を有する。しかし、自然のサンゴ礁にはミドリイシサンゴ類だけではなく、数十、数百という種が混在しているため、植え付けにより生み出されたサンゴ群集の組成と自然のそれとでは違いが見られる。

2つ目の課題は、増殖サンゴの「種内の遺伝的多様性の低さ」である。現行のサンゴの増殖法は、一般的に母群体から小さな断片を調整し、サンゴの無性生殖能を利用して増やすという手法である。この方法で作られたサンゴは母群体のクローン（遺伝的に同一の群体）であるため、必然的に遺伝的多様性が低くなってしまふ。遺伝的多様性は、環境適応や種分化、および生物進化の源であり、低下すれば対象種の存続のみならず、関係する生態系に影響を及ぼす可能性がある。一部のサンゴ種では、この問題を克服するために、野外や増殖サンゴから受精卵や幼生を採取し目的のサイズまで育てる「有性生殖能を利用した増殖技術」が確立されているが、まだその成功例は多くない。その他の課題としては、植え付けしたサンゴが白化等の理由で死滅することや、一本一本手で植え付けていく作業効率の悪さ等が挙げられる。

生物・生態学的基礎知見を取り入れたアプローチ

現在沖縄では、美しい海を守るという共通のゴールのもと、漁協、行政、研究・教育機関、民間企業、ダイビング・マリレジャー業者、ボランティアの方々など、職種および世代を超えて人々が保全再生事業に取り組む協力体制が構築されている（筆者のいる台湾にはこのような体制はないため、とても羨ましく感じる）。上述の課題を解決し事業をより発展させていくには、どのような取り組みに力を注げば良いか。また生物・生態学的な基礎知見はそれをどのようにサポートできるだろうか。沖縄県の各管理単位で事業を実行すると仮定して、以下に筆者の提案を示す。

現行のサンゴ保全再生事業の現場では主に以下の4段階のプロセス、「集める」→「育てる」→「植え付ける」→「管理する」で作業が行われる。「集める」では、当該海域の環境に関する情報を収集し、育てるサンゴを採集し、さらに人と資金を集める。上述の種の多様性と種内の遺伝的多様性の問題を解決するためには、まずこの「集める」の部分に時間をかける必要があると筆者は考える。具体的には、まず増殖・植え付けを行う海域や付近の海域に生息するサンゴ種に関して情報を収集すると同時に、当該海域でできるだけ多くのサンゴ種を採集する。サンゴの種同定は容易でないため、サンゴ分類学およびサンゴの水平・垂直分布、生息環境（水温、深度、光、波

■図 海底に設置したサンゴ飼育用テーブルの一例



あたり、濁度など)に詳しい生物・生態学知識を有する人員を招請する。種内の遺伝的多様性を保つため1種あたり可能であれば50群体を採集するのが望ましい。仮に当該海域に50種のサンゴがいて、それを50群体集めるとその数は2,500株になる。2,500株は、サンゴの増殖の現場では決して多い数ではない。全ての株に標識を付けて種と群体の識別を行ったのちに、現場へと導入する。サンゴの飼育テーブル(図)を用意し種ごとに分けて飼育しても良い。

続く「育てる」の段階では、有性生殖を利用した増殖技法の確立を試みることで、種内の遺伝的多様性をさらに確保する。十分な量の配偶子を安定して得るためには、サンゴをある程度の大きさまで数年育てる必要があるため、飼育は長期戦となる。受精卵が得られたら、研究機関主導のもと、幼生の着底率を高める技術および稚ポリプの生存と成長を促す飼育技法の開発を種ごとに行う。近年ではサンゴ幼生の着底を促すホルモン様物質も複数同定されているため、これを応用しても良い。

次に、「植え付ける」の部分ではさまざまな形状のサンゴに対応可能な岩礁への固着技法を確立する。粘着性の非常に高いサンゴ移植用の接着剤も近年市販されている。移植の際には、各種サンゴの好む環境(光の強さ、波あたりなど)を考慮する。最後の「管理する」の部分では、増殖サンゴ(親群体)の日々の世話だけでなく、分子生物学的手法を用いて種内の遺伝的多様性のモニタリングを行う。具体的には、研究機関主導のもと、増殖サンゴ種全てのゲノム情報を解読し、多様性解析のための分子マーカー(SNPs)を同定する。モニタリングの結果、種内の遺伝的多様性が低いようであれば、増殖サンゴ種内の遺伝的多様性を野外集団のそれと近づけるように働きかける。現在は1種あたり数十万から百万円程度でゲノムが解読できるので、沖縄で見られるサンゴ約380種のゲノムを全て決定することも不可能ではない時代になってきている。

サンゴ礁保全のために

現行の植え付け事業に反対する声もある。しかし基礎的知見を蓄積し、技術を一つ一つ確立していくことで、規模は限られるかもしれないが自然に近いサンゴ礁を再生できる可能性があると思者は信じている。美しい海を守りたいという人々の想いを大切に、今後も産官学民が連携して取り組むことで、豊かなサンゴ礁が回復することを期待する。(了)

藻場、ウニノミクス、生態系回復への取り組み

[KEYWORDS] 磯焼け／ビジネスモデル／ブルーカーボン

武田ブライアン剛 ●ウニノミクス(株)

世界中の漁場で見られる磯焼けの問題

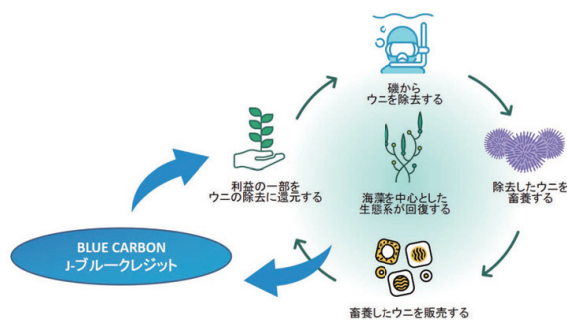
気候変動、環境汚染、捕食種の乱獲といった人間の行動の不幸な組み合わせによりウニが爆発的に増加し、海藻を食い荒らして藻場を不毛の砂漠のような場所に変えてしまっています。このようにして増えすぎたウニは、飢えてやせ細り、殻の中の身入りがほとんどありません。そのため、人間にとっては捕獲しても無価値で、またウニの捕食種が食べる対象でもなくなります。何らかの介入がなければ、こうした不毛の状態が数十年、あるいは何世紀にもわたって続く可能性があります。

そして、この磯焼けの現象は日本に特有のものではなく、漁業を営むほぼ全ての国において共通して起こっています。

藻場の再生とウニノミクスのビジネスモデル

ウニノミクス(株)は、そのような磯焼けの地域で地元の漁師と連携して、価値のない痩せたウニを採取し対価を支払います。そして採取した痩せたウニを当社の陸上養殖施設で専用飼料を与えて畜養し、身を太らせて飲食店に販売します。

このように当社とそのステークホルダーが利潤を確保する中で環境を改善してい



ウニノミクス(株)のビジネスモデル

くという循環型ビジネスモデルを通じて、磯焼けした藻場の再生に取り組んでいます。

増えすぎたウニを海底から採取すると海藻が6カ月以内に回復し、藻場が再び形成されます。藻場は子魚の生息地かつ食料源で、海の生態系の基盤です。実際に、当社の活動地域におい



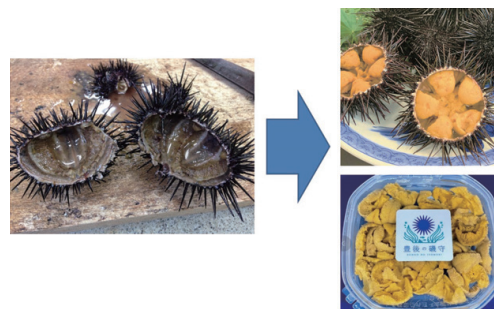
畜養設備

て地元漁協、ENEOSホールディングス(株)および小松輝久博士と共に藻場の修復とCO₂吸収に関する検証を行った結果、増えすぎたウニを除去することで天然藻場が修復されることが実証され、世界初のJブルークレジットに認証されました。Jブルークレジットとは、海洋の生態系が吸収・貯蔵する炭素「ブルーカーボン」を保護・育成するプロジェクトのクレジット認証制度で、ジャパンプルーエコノミー技術研究組合(JBE)(本誌487号参照)が管理しています。

世界から注目を受けるビジネスモデル

生態系の回復と地方創生を両立させるウニノミクスのユニークなビジネスモデルは、国際的な注目をいただいております。日本で水産庁長官賞を受賞したほか、米国のSalesforce社からエコプレナー・オブ・ザ・イヤーの称号、ノルウェーの国王任命財団Norges Velの起業家賞も受賞しています。また、「持続可能な開発のための国連海洋科学の10年」の公式推薦を得て、Uplink

世界経済フォーラムからはダボス会議に招聘を受け、各国元首や企業リーダーに私たちの活動を紹介する機会を得ました。「国連海洋科学の10年」と世界経済フォーラムによる認知は、藻場再生の必要性をより多くの方々に知っていただくきっかけとなったと自負しております。



これらにも増して私たちの活動の中でおそらく最も大きな影響を持ったのは、前述の日本における藻場再生によるJブルークレジットの実現です。認証以来、ウニノミクスは政府・業界団体・学会から招聘を受け、認証に至る経験について話す多くの機会を得ました。これにより、それまでは「カーボンクレジットが環境改善活動への投資の一助となる」との考えには懐疑的な意見が多くみられたステークホルダーの皆様方（投資家・慈善活動家・起業家・行政や政治家）からも大きな反響を頂きました。

カーボンクレジットの効用が実現したと言えます。

Jブルークレジットを取得することの意義

クレジットを確保し、私たちの経験を世界中の関係者と共有して以来、Jブルークレジット認証の前例が当初想定していたよりもはるかに大きな意味を持つことがわかりました。

国土交通省の大臣認可法人とされることで、ジャパンプルーエコノミー技術研究組合（JBE）にはこの分野での強力なお墨付きが与えられました。政府によるこのトップダウンのアプローチにより、ブルーカーボンのクレジットを確立する際の認証が明確になりました。



ウニノミクス(株)が取得したJブルークレジット証書

公開された方法論は、炭素隔離研究の現状を反映した非常に保守的なものでした。おそらく実際に隔離されている炭素の一部のみがJブルークレジットに含まれていると理解しております。この方法論には、MRV(算定・報告・公表)制度の厳密さを鑑みて推定カーボンクレジット値を特に保守的に見て信頼度を確保する意図があったと思われます。世界中の他のクレジット制度が経験している信頼性への疑義の問題を考慮すると、この特別な保守主義は適切であったと思われます。研究が進むにつれて、隔離された炭素のより正確な推定が将来のブルーカーボンへの取り組みに反映されると私は確信しています。

しかし、おそらく最も重要なのは、市場がどのように設計され、開発者と購入者がそれにどのように反応したかでした。カーボンクレジットのジャパンプルーエコノミー技術研究組合（JBE）市場は、炭素そのものの価値を超えて、さまざまなプロジェクトから生成されたクレジットを評価するユニークな機会を生み出しました。プロジェクト実施者は、海洋生態系の回復努力が生物多様性と地域社会の発展にもどのように貢献したかを共有することができました。その後、購入者は炭素の価値を超えてクレジットを評価し、修復努力によってもたらされるコベネフィットをも反映する価格設定を行いました。林業による同等のクレジットは平均4,000円/トンであることに対して、コベネフィットを伴うJブルークレジットは平均70,000円/トンを超えていることが、上記を端的に表しています。

国際的な事業拡大と環境改善への貢献

現在ウニノミクスは、同様のビジネスモデルで商業規模の拠点を北米で建設中です。また、日本においても複数の追加拠点建設の準備を進めているほか、オセアニアや他地域においても事業化を進めております。より効率化を図りかつ規模を拡大して、ビジネスを通して環境改善を図る活動を加速していきます。(了)



事務局だより

◆今号では、バイオミネラリゼーションと、サンゴ礁や藻場の再生についてご寄稿いただきました。いずれも大気中の二酸化炭素を減らし温暖化の緩和に寄与する、海洋での取り組みです。◆バイオミネラリゼーションについては、著者の鈴木氏も所属する「バイオミネラリゼーション研究会」が、一般向けの「バイオミネラル展」を2024年春まで開催していました。その会場に、主要なバイオミネラルの一覧表がありました。私たち脊索動物は、歯や骨のためにリン酸カルシウムを体内で形成していますが、非常に幅広い分類群の生物が炭酸カルシウムを形成し、石灰岩の生成に貢献しています。カタツムリのように陸生もありますが、多くが海生です。例えば、殻が「星の砂」と呼ばれる有孔虫、天然スポンジの原料になる海綿動物、造礁サンゴなど刺胞動物、オウムガイ・シャコガイなど軟体動物、エビ・カニなど節足動物、海底の岩を覆うコケムシなど外肛動物、シャミセンガイなど腕足動物、ウニ・ヒトデなど棘皮動物、磯で見られるサンゴモなど石灰藻や外洋に浮遊している円石藻（ハプト藻の仲間）など多様な藻類などが「石灰化生物」と呼ばれています。真珠もアコヤガイのバイオミネラリゼーションの産物です。東京大学は、三崎臨海実験所の箕作佳吉初代所長が、真珠ブランド「ミキモト」創始者の御木本幸吉氏と世界初の養殖真珠の発明に携わった明治時代から、脈々とバイオミネラリゼーションの研究を進めています。鈴木氏の博士課程の指導教官であった長澤寛道氏（現・東京大学名誉教授）が本誌にご寄稿くださった2011年以降、バイオミネラリゼーションの研究は大きく進展し、海洋生物の仕組みを模倣して効率良く二酸化炭素を石灰岩に戻せる未来が現実味を増しています。◆識名氏をご紹介くださったような努力でサンゴ礁が保全できれば、サンゴは共生藻類による光合成と骨格の形成によって、海草や海藻が茂る藻場と同様に、炭素を固定してくれます。武田氏をご紹介くださったJブルークレジットという自然保全を駆動する経済的な仕組みが普及し、人工ミネラリゼーションのような新技術も動き出し、沸騰化する地球が再び穏やかさを取り戻すことを祈りたいです。（瀬戸内千代）

※ 長澤寛道著「海洋生物は死んで殻を残す」本誌第271号（2011.11.20発行）
https://www.spf.org/opri/newsletter/271_3.html

『Ocean Newsletter』
次号No.577は、8月20日発行です。

下記URLにご登録いただきますと、
発行日にメール配信いたします。

https://www.spf.org/opri/newsletter/mail_magazine/

インフォメーション

第17回海洋立国推進功労者表彰

「海洋立国推進功労者表彰（内閣総理大臣賞）」の第17回受賞者が下記のとおり7月15日に発表されました。同表彰は、科学技術、水産、海事、環境など海洋に関する幅広い分野における普及啓発、学術・研究、産業振興等において顕著な功績を挙げた個人・団体を表彰し、広く国民の海洋に関する理解を深めることを目的として、平成20（2008）年度より実施しているものです。

(https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji01_hh_000572.html 参照)

■第17回海洋立国推進功労者表彰 受賞者リスト

部門	氏名・名称	功績事項
「海洋立国日本の推進に関する特別な功績」分野		
科学技術・学術・研究・開発・技能	大河内直彦（JAMSTEC）	有機分子同位体を用いた海洋の新規研究法の確立
科学技術・学術・研究・開発・技能	石井雅男（気象庁気象研究所）	海の二酸化炭素を正確に測り、人間活動が炭素循環に及ぼす影響の把握に貢献
「海洋に関する顕著な功績」分野		
海洋に関する科学技術振興	高数 縁（東京大学）	地球衛星観測による気候現象理解への貢献
海事	田村兼吉（元運輸安全委員会）	海洋分野の技術・学術的知見を活かした海難事故解析手法の開発及びその体系化に貢献
自然環境保全	苫小牧漁業協同組合	海洋環境の保全と調和した CCS 実証への協力

●OPRI情報発信アドバイザーボード(50音順)

秋道智彌

（海洋人類学）
山梨県立富士山世界遺産センター所長

飯田将司

（中国外交・安全保障）
防衛研究所理論研究部長

北村喜宣

（環境法）
上智大学法学部教授

佐藤慎司

（海洋工学・沿岸環境）
高知工科大学大学院工学研究科長

庄司るり

（航海学）
（国研）海上・港湾・航空技術研究所理事長

鈴木英之

（船舶海洋工学）
東京大学大学院工学系研究科教授

高井研

（地球微生物学）
（国研）海洋研究開発機構超先鋭研究開発部門部門長

瀧澤美奈子

日本科学技術ジャーナリスト会議副会長

竹田有里

環境ジャーナリスト、報道記者

西本健太郎

（国際法）
東北大学大学院法学研究科教授

宮原正典

よろず水産相談室afc.masaf代表

山形俊男

（海洋物理学・気候力学）
（国研）海洋研究開発機構アプリケーションラボ特任上席研究員

山下東子

（水産経済学）
大東文化大学経済学部特任教授

早稲田卓爾

（海洋技術環境学）
東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

●発行人／編集代表

阪口秀 公益財団法人笹川平和財団 海洋政策研究所所長

●発行

公益財団法人笹川平和財団 海洋政策研究所

〒105-8524

東京都港区虎ノ門1-15-16笹川平和財団ビル6階

TEL. 03-5157-5210 / FAX. 03-5157-5230

OPRI 海洋政策研究所

●●●●●●●● SASAKAWA PEACE FOUNDATION

Ocean Newsletter No.576

2024年8月5日発行（毎月5日・20日発行）

©2024 Ocean Policy Research Institute, The Sasakawa Peace Foundation

製作：（有）ブレインワークス