

TOPICS①

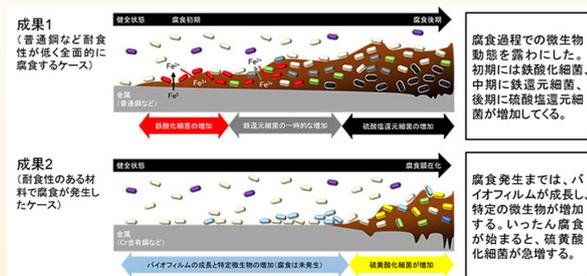
微生物による金属腐食のブラックボックスを開ける —社会インフラ維持に向けた新たな評価指針となる可能性—

超先鋭研究開発部門の若井暁副主任研究員らは、金属腐食現象の過程で関与する微生物が顕著に変化することを明らかにしました。

本研究では、微生物腐食現象が顕在化している環境に複数種類の金属材料を22ヶ月間にわたり浸漬し、腐食状況と微生物集団の変化を調べました。

本研究で得られた微生物腐食の進行時の微生物集団の情報は、この診断技術の開発に大きく貢献することが期待できます。これまで注目されていた硫酸塩還元細菌に代わり鉄酸化細菌の存在割合を調べることで早期に微生物腐食のリスクを診断し、また、詳細な微生物群集構造を見ることで微生物腐食の進行度をステージとして評価することが可能になります。

現在、浅海および深海底における種々の金属材料に対する微生物腐食試験も開始しており、今後は海洋環境における微生物腐食に対する知見の集積を進めます。将来的に、陸上・海洋環境における社会インフラのライフサイクルデザインに微生物腐食リスクを勘案した新たな評価指針を導くことが期待されます。



金属腐食過程に対応した微生物解析

これまでブラックボックスになっていた腐食過程での微生物群集構造の変化を明らかにした。この情報があることで、微生物群集構造を見ることで金属材料の腐食のステージ（初期、中期、後期）を評価することも可能。また、耐食性のある材料を用いたケース（下段）では、金属材料が健全な時の微生物の変化と腐食が発生した時の違いについても明らかにした。

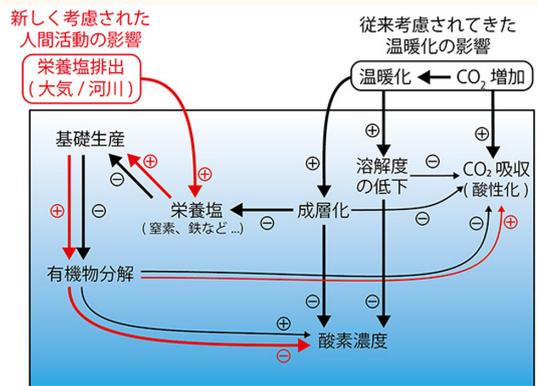
TOPICS②

人間活動に伴う海洋への窒素と鉄の排出が引き起こす地球規模の海洋環境の変化—地球温暖化の影響を相殺／増幅していることが明らかに—

地球環境部門の山本彬友特任研究員（当時。現国立大学法人東京大学 大気海洋研究所 特任研究員）、河宮未知生センター長、国立大学法人東京大学（総長 藤井 輝夫）生産技術研究所の山崎大准教授らの研究グループは、地球システムモデルを用いた数値シミュレーションにより、海洋への人為的な栄養塩排出が、海洋環境（海洋基礎生産およびCO₂吸収・溶存酸素濃度）へ地球規模の影響を及ぼし、その影響が地球温暖化の影響に匹敵することを明らかにしました。

研究では、人間活動による海洋環境の地球規模の変化が、栄養塩排出と地球温暖化の複合的な影響によって引き起こされていることが示唆されましたが、海洋への人為的な栄養塩排出は今後も続くと予想されています。

今後、研究グループでは、本研究で用いた数値モデルを用いて将来予測における人為的な栄養塩排出の影響を調べるとともに、気候へのフィードバック及び酸性化への影響についても評価し、人間活動・海洋環境・気候の相互関係をより包括的に明らかにしていく予定です。



基礎生産および炭素・酸素循環に対する人間活動の影響の模式図。黒線が人為CO₂排出および地球温暖化の影響、赤線が栄養塩排出の影響を示す。

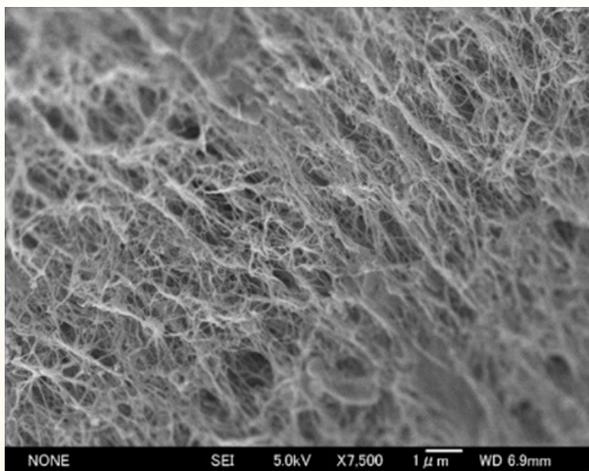
TOPICS③

1 ナノグラム以下のセルロースの分解を定量可能なナノテク計測技術を開発—先端計測とインフォマティクスにより深海微生物の新たな有用性を明らかに—

海洋機能利用部門生命理工学センターの出口 茂センター長らは、セルロースの酵素分解を超高感度に可視化・定量できる先端ナノ計測技術「SPOT」

(Surface Pitting Observation Technology) を開発しました。SPOTとバイオインフォマティクスを組み合わせた研究によって、深海に生息する微生物が新規なセルロース分解酵素の探索に向けた有望なバイオリソースであることを明らかにしました。

これまでに、直径が20ナノメートル程度の微細なセルロースファイバーの3次元ネットワークからなるゲル(セルロースナノファイバゲル)を担体として、高温、強酸性、強アルカリ性などの極限環境に生息する微生物を培養する技術の研究を行ってきました。今回の研究ではナノファイバゲルを利用したセルロース分解の超高感度な可視化計測に取り組みました。



セルロースナノファイバゲルの微細構造

難分解性のセルロースを効率的に酵素分解する技術は未だ発展途上にあり、効率的なバイオマス利用の実現に向けた技術的ブレイクスルーが求められています。本研究により深海に生息する微生物が、陸上微生物由来の既知酵素と全く異なる特徴を持つセルラーゼの探索に適した有望な生物資源であることが明らかとなりました。今回の博物学的な発見を契機として、今後は圧力への応答なども含めた深海で独自に進化したセルロース分解の生化学的メカニズムの解明を進めると共に、オープンイノベーション体制による成果の社会実装にも取り組んでいきます。

TOPICS④

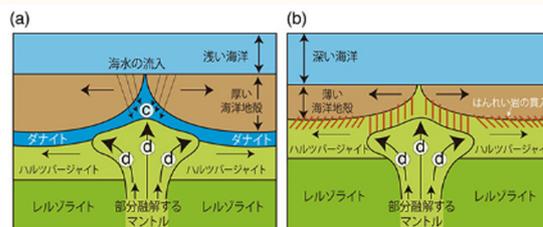
地殻—マントル境界と海洋地殻の成因に関する新しいモデルを提唱—

海域地震火山部門の田村芳彦 首席研究員(シニア)らは、地殻—マントルの境界であるモホロビッチ不連続面(以下「モホ面」という。)と海洋地殻の成因に関する新しいモデルを提唱しました。

海洋地殻を形成する中央海嶺に海水が流入する場合、より多くのマグマが生成して地殻が厚くなり境界は明瞭になる一方、海水が流入しない場合、境界は不明瞭になるという海洋地殻とモホ面の関係を表す新たな成因モデルの構築に至りました。

本モデルは、地球表面で最大の面積に広がる岩石圏である海洋地殻と人類未到のモホ面の実態に迫った画期的なものです。今回の研究成果は北西太平洋での調査とオマーンでの陸上調査から得たものですので、ここから地球という惑星がどのような内部構造となっているのかを理解するためには、更なる調査や検証が必要です。

モホ面と海洋地殻のでき方は一様ではないと考えられることから、今後、明確なモホ反射面をもつ海域とモホ反射面のない海域をそれぞれ選定して、更に比較検討していく必要があります。



中央海嶺における二通りの海洋地殻形成を示す概略図。

(a) 厚い地殻と厚いダナイト層をつくるモデル。マントル深部が上昇することによる減圧融解で玄武岩マグマを生成する(①において玄武岩マグマが生成する)。これに加えて、最上部マントルに水が流入することによってマントルの融点が低下し、より多くのマグマが発生するとともに、低圧での反応によりダナイト層が形成される(②において水の影響により安山岩マグマが生成し、その反応でハルツバージャイトからダナイトができる)。③でできるマグマは玄武岩マグマ、④でできるマグマは安山岩マグマで、玄武岩マグマと安山岩マグマが固まって地殻を形成するため、地殻は厚くなる。

(b) 薄い地殻と漸移的な地殻—マントル境界をつくるモデル。マントル深部が上昇することによる減圧融解で玄武岩マグマを生成する(①において玄武岩マグマが生成する)。マントルの最上部は低温のため融けることができず、マグマが貫入岩として多数貫入するため、地殻とマントルの境界はマントルとはんれい岩の混合物となる。地震学的に見ると地震波はこのような連続的な変化をしている境界では反射しない。また、減圧融解のみによる玄武岩マグマが固まって地殻を形成するため、(a)と比較すると地殻は薄くなる。

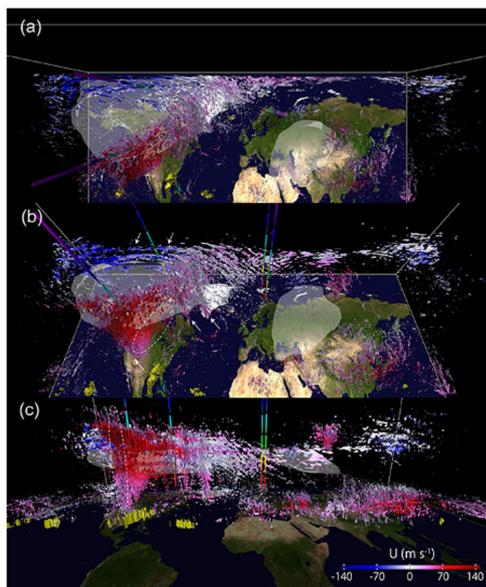
TOPICS⑤

成層圏突然昇温時の大気重力波の詳細シミュレーションと可視化に成功 —謎めいた大気重力波の長い旅路が意味するものとは?—

地球環境部門の渡辺真吾センター長代理、小新大研究生（東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程3年生）、野口峻佑招聘研究員（九州大学大学院理学研究院助教）、および東京大学大学院理学系研究科の佐藤薫教授は、成層圏突然昇温時に生じた大気重力波の詳細シミュレーションと可視化を行うことによって、極渦周辺においてドラマチックに変形する大気重力波の特徴的な形態を明らかにすることに成功しました。

本研究では、観測事実に即した大気場を用いて大気重力波の詳細シミュレーションを行い、その結果を可視化して解析することにより、さまざまな大気重力波の一生を明らかにすることに成功しました。

本研究で得られた大気重力波の長距離伝播に関する新しい描像は、天気予報や気候予測モデルの重力波パラメタリゼーションで前提としている「発生した大気重力波はほぼ真上にしか伝わらない」という仮定が多くの場合に成り立たず、思いも寄らないところから伝わってきた大気重力波が、思いも寄らないタイミングで運んできた運動量を周囲の大気と与えて、成層圏や中間圏の風の急変や物質の混合を引き起こすことを示唆します。



成層圏突然昇温時（2018年2月12日）の大気重力波詳細シミュレーションの3次元可視化結果を立体的に俯瞰した「ショーケース・ビュー」。大気重力波はその場の東西風で着色しており、東向き（西向き）の風が赤（青）。地面から赤・黄・緑・シアン・青・紫に着色した4本の柱は高さの目安を表している（20km間隔で塗り分け）。

【補足】3次元伝播する大気重力波は、1次元や2次元の断面で切り取って見ると波のように見えますが、3次元空間では細長い棒や扁平な板や楕円の線分等が折り重なったような実体をもつため、図のような表現となります。

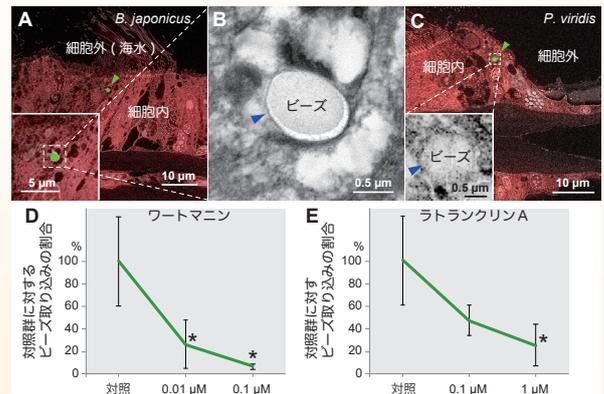
TOPICS⑥

二枚貝類が鰓（エラ）からマイクロプラスチックを取り込むことを確認 —貪食作用により細胞へ取り込む新たな汚染経路—

地球環境部門の生田哲朗副主任研究員らは、相模湾初島沖深海域（水深約900m）で採取したシンカイヒバリガイ（*Bathymodiolus japonicus*）および相模湾油壺沿岸で採取した浅海性ミドリイガイ（*Perna viridis*）

（いずれも二枚貝イガイ類）の鰓細胞が、貪食作用によってマイクロプラスチック（MP）粒子を細胞内に取り込むことを明らかにし、海洋生物の新たなプラスチック汚染経路を示しました。

今回の研究成果は、プラスチック汚染を軽減するための新規生分解性素材開発などにおいても、分解過程でMP粒子が生じないような素材づくりを目指すことの重要性も示しており、こうした研究も今後JAMSTECで進めていきたいと考えています。



シンカイヒバリガイおよびミドリイガイ鰓の細胞によるMPの取り込み。(A-C) 鰓細胞内（赤）に取り込まれたビーズ（緑の蛍光で標識した人工MP、緑矢頭）の蛍光顕微鏡と走査型電子顕微鏡による連続観察像。A, B: シンカイヒバリガイ、C: ミドリイガイ、青矢頭: 食胞膜。(D, E) シンカイヒバリガイ鰓の細胞によるビーズ取り込みに対する2種の貪食阻害剤（ワートマンニン、ラトランクリンA）の効果。*: 対照群に対する有意差 ($p < 0.05$)、エラーバーは標準偏差 ($n = 3$ 個体)。

TOPICS⑦

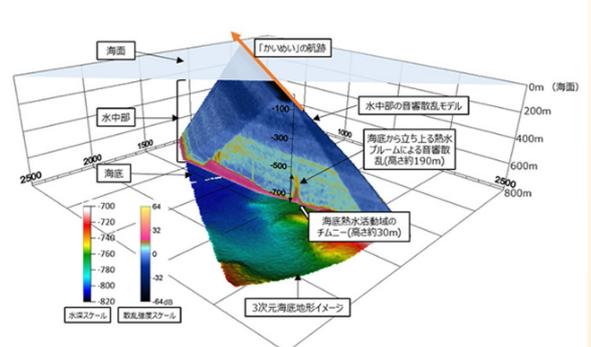
音響散乱現象を精緻に捉える手法の開発—伊豆—小笠原弧では初となる熱水プルームによる音響散乱現象の検出—

海洋機能利用部門の金子純二技術副主幹と笠谷貴史グループリーダーは、伊豆—小笠原弧では初めて熱水プルームによる音響散乱現象を捉えることに成功しました。

海底熱水活動域では、熱水プルームが音響散乱現象として調査船のマルチビーム音響測深機（Multi-beam echo sounders : MBES）によって観測されることが知られています。これまで、伊豆—小笠原弧や沖縄トラフを中心に多くの音響観測が実施されてきましたが、伊豆—小笠原弧では熱水プルームによる音響散乱現象は検出されていませんでした。

本研究では、より高分解能で観測が可能な「高周波」のMBESを用いるとともに、取得した水中音響散乱データからボクセルモデルを生成し、水中部を3次元的に可視化しうえで定量的に解釈することで、既知海底熱水活動域の音響散乱現象を伊豆—小笠原弧としては初めて捉えることに成功しました。

本手法は新たな海底熱水鉱床探査のツールとして有効であり、今後、同海域をはじめとした様々な海域において未知の熱水活動域を発見することに役立つものと期待されます。



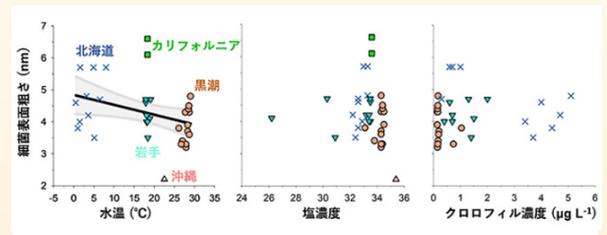
音響散乱ボクセルモデルの垂直断面イメージ

TOPICS⑧

細菌表面の粗さが海洋ナノ粒子の細菌への付着を制御していることが明らかに—細菌の栄養源獲得戦略や生物地球化学循環の詳細な理解へ貢献—

超先鋭研究部門高知コア研究所の山田洋輔研究員らは、原子間力顕微鏡を用いて様々な海洋細菌の表面性状を調査した結果、表面の粗さは細胞ごとに大きなばらつきがあり、10倍以上の差があることを発見しました。また、その粗さは水温と有意な関係が見られ、水温が低いほど粗い細胞が多く、高いほど滑らかなものが多くなるという傾向を見いだしました。さらに、細菌単離株およびモデルナノ粒子を使用した培養実験により、表面の粗さが細菌の主要な栄養源であるナノ粒子の細菌への付着を制御していることを明らかにしました。細菌の表面の粗さとその役割に関する知見は、これまで陸上の細菌では研究事例はありますが、海洋に生息する細菌に関しては、世界で初めての事例となります。

今後、このような不明点に関してさらなる検討を行い、細菌表面性状が細菌の生存戦略や海洋物質循環にどのように影響しているのか、を明らかにすることで、海洋細菌の栄養源獲得戦略の理解を深めるだけでなく、海洋中に固定化された炭素の半分を利用する海洋細菌の海洋物質循環における役割とメカニズム、更には気候変動に伴う海洋応答予測の高精度化にも役立つものと考えられます。



細菌の表面粗さと環境要因との比較。水温の粗さの間には有意な負の相関がみられた。

TOPICS⑨

ボルネオ熱帯雨林の一斉開花現象を世界で初めて衛星観測により広範囲にとらえた！

JAMSTECは、米国ハワイ大学マノア校、宮崎大学、チューリッヒ大学、横浜市立大学、マレーシア国サラワク森林局、高知大学との国際共同研究チームで、光学センサーが搭載された高頻度高解像度衛星PlanetScope（以下、「PlanetScope衛星」という）により観測された分光データを用いて、東南アジア熱帯域特有の開花現象「一斉開花」を広域的にとらえることに世界で初めて成功しました。

一斉開花現象を含む熱帯域の植物季節は、光合成や蒸発散を介した気候システムや生物多様性の理解を深めるために重要な観測項目のひとつです。しかしながら、既存の衛星観測では、センサーの精度や観測頻度が不十分であったため、これまで一斉開花現象は、観測タワーやクレーンにおける目視観測やタイムラプスカメラを用いた定点撮影により限定的にとらえられてきました。このため、種ごとの開花季節の特徴や種間の同調性についての空間分布の動態を広域的に評価することができませんでした。

本研究では、現地における長期的な地上観測データを用いた検証に基づいて、PlanetScope衛星により観測された分光データは、ボルネオのランピルヒルズ国立公園内（マレーシア国サラワク州）で2019年に広域的に生じた一斉開花現象の空間分布の特徴をほぼ個体レベルでとらえたことを明らかにしました。この成果は、既存研究において不十分であった熱帯多雨林を対象とした植物季節観測の高精度化、光合成や蒸発散など植生機能の理解の深化、さらには樹種判別の高精度化や開花季節の同調性のメカニズムの理解の深化を促進することが期待されます。

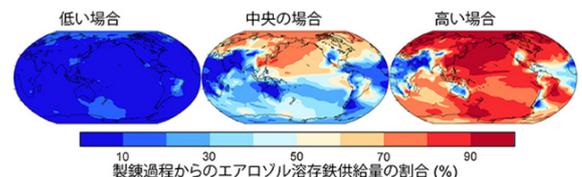
TOPICS⑩

南半球の大気汚染対策不足が南大洋を富栄養化させている可能性 — 鉱物資源開発に伴う意図しない海洋施肥と健康被害とのジレンマ —

地球環境部門の伊藤彰記主任研究員と宮川拓真副主任研究員は、全球大気化学輸送モデルを用いた予測結果と長崎県五島列島の一つである福江島における大気観測データおよび様々な海域における観測データを統計的に解析しました。その結果、大気汚染の対策不足により製錬過程で二酸化硫黄と一緒に大気中へ放出される人為起源鉄は、南大洋域への溶存鉄供給にとって重要な役割を果たしていることを明らかにしました。

本研究結果は、鉱物資源開発に伴う大気への化学物質の排出は、健康被害をもたらす一方で、海洋生態系へ栄養塩をもたらすことを示唆しており、今後国際共同研究（GESAMP）による海洋環境保全策の検討へ貢献するものとも期待されます。また、既存の大気・海洋生態系間の相互作用を考慮に入れた地球システムモデルの生物地球化学と気候の相互作用における改善を迫る重要な成果となります。

また、今後、上記取り組みに貢献していくために、気候変動予測先端研究プログラムでは、JAMSTECが運用するスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いて、今回の研究成果等を取り込み、大気からの溶存鉄供給が鉄循環を含めた物質循環による海洋生態系および気候へ与える影響を取り扱う地球システムモデルを高度化する計画です。同時に、JAMSTECでは、海洋地球研究船「みらい」や学術研究船「白鳳丸」による海洋観測を通して、大気からの人為起源溶存鉄供給が海洋鉄循環および海洋生態系へ与える影響を評価する計画です。



製錬過程由来のエアロゾル鉄の排出係数に関して低い値（低い場合）、中央値（中央の場合）、高い値（高い場合）を適用することで、大気から海洋への製錬過程由来のエアロゾル鉄起源の溶存鉄供給量推定における不確実性を算出した。暖色系は、製錬過程由来のエアロゾル鉄が大気から海洋へ供給される溶存鉄の大部分であることを示す。