

研究紹介

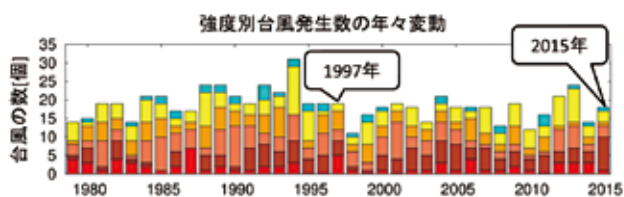
部署名・役職などは当時のものを記載しています。

スーパーエルニーニョに対する強い台風 の数の変動—台風の季節予測に向けた大気の内 部変動の予測の重要性—

地球環境部門環境変動予測研究センター雲解像モデル開発応用グループの山田洋平ポストドクトラル研究員、小玉知央研究員及び国立大学法人東京大学大気海洋研究所の佐藤正樹教授らの共同研究チームは、全球の雲の生成・消滅を経験的な仮定を用いずに物理法則に従い直接計算できる全球雲システム解像大気モデル「NICAM」を用いて、特に振り幅が大きいエルニーニョ（以下「スーパーエルニーニョ」という。）現象が発生し強い台風の発生数が多かった1997年と2015年の夏季を対象として大アンサンブル実験を行いました。

台風の発生や発生位置は、モンスーントラフの影響を受けることが知られています。強い台風が有意に増加した1997年の実験のアンサンブル平均では、モンスーントラフに伴う西風が強い傾向がシミュレートされていました。一方、変化の見られなかった2015年の実験のアンサンブル平均では、西風が弱い傾向がみられました。これは2015年のアンサンブル実験においては、モンスーントラフの強さがメンバー間で大きく変動していたため、モンスーンの強さと強い台風の数の間には有意な相関があることがわかりました。このことはモンスーントラフの強さの再現が強い台風の予測に重要であることを意味しています。

1997年や2015年のようなスーパーエルニーニョが発生する年には北西太平洋で強い台風が頻繁すると考えられていましたが、本研究の成果により、必ずしも強い台風が頻発するわけではないことが示されました。また、海面水温だけでなく、大気の内季節内スケールの内部変動により、台風の活動度が影響を受けるためであることがわかりました。



台風の活動度（年間台風発生数）の年々変動。各台風の生涯で達した最低中心気圧で強度を分けて棒グラフを色づけしている。水色は994hPaを下まわらなかった台風、黄色は994-980hPa、橙色は980-965hPa、肌色は965-945hPa、茶色は945-920hPa、赤色は920hPa以下に達した台風を示す。気象庁のベストトラックデータを用いて作成した。

今後、高解像度で大きなメンバー数でのアンサンブル実験を実行することによって大気の内変動のメカニズムの理解・予測可能性を向上することが期待されます。

(地球環境部門環境変動予測研究センター)

海底資源開発における環境影響評価に音 の活用を提案

地球環境部門のTzu-Hao LIN Research Fellowや超先鋭研究開発部門のChong CHEN研究員らは、現在の深海底における音風景（soundscape / サウンドスケープ）、海底資源採掘によって生じる海中騒音およびこれが生物に及ぼす影響に関する知見をまとめました。これに基づき、海底資源開発に伴う生態系のモニタリングおよび環境影響評価の手法として、環境の音風景を活用することを提案しました。



海底資源開発によって変化するサウンドスケープを示した概念図

音は、海中では空気中の4倍以上の速度で伝わり、また光と異なり水中でもほとんど減衰しない特徴があります。特定の音が発生する位置を遠く離れた場所からでも確認できる優れた手段となりえます。

これまで生物が察知する環境として水温や塩分などが検討されてきましたが、近年、浅い海に生息するサンゴや二枚貝のプランクトン幼生が海水中の様々な音響が作り出す環境（音風景：サウンドスケープ）を察知して成体になる場所を決めていることが報告されました。

海底資源が分布する深海底の生物多様性ホットスポットを構成する生物群集も、浅い海の生物と同様、音風景を利用して生息に適した環境を認識している可能性があります。つまり、海底資源開発に伴うサウンドスケープの変化は、生物多様性ホットスポットを構成するはずだったプランクトン幼生が環境の察知に失敗するといった影響を生じ、生態系全体の頑健性あるいは復元力が低下することが予想されます。サウンドスケープは、深海底における資源開発による環境影響評価において不可欠な指標と言えるでしょう。

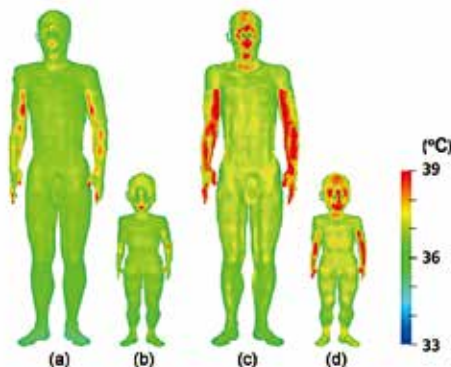
本研究グループは、海底資源開発に伴う生態系モニタリングや環境影響評価にサウンドスケープを活用できるよう、深海におけるサウンドスケープの基礎データの蓄積を目指して、世界中のサウンドスケープに携わる研究者ならびに海洋の環境影響評価に関わる専門家が連携して研究開発を進めることを呼びかけています。こうした基礎データの蓄積をおこなうことによって、どのようにサウンドスケープを変化させ、またどのような変化が生態系に起こっているのかを、観測に基づく客観的事実として明らかにすることが重要であると考えます。

(地球環境部門海洋生物環境影響研究センター
超先鋭研究開発部門超先鋭研究プログラム)

都市空間での詳細な熱中症リスク評価技術の開発に成功～より安心・安全な行動選択に向けて～

付加価値情報創生部門地球情報基盤センターの大西領グループリーダーと名古屋工業大学先端医療物理・情報工学研究センターの平田晃正センター長らの共同研究グループは、都市空間で実際に行動した場合の熱中症リスク評価技術を開発しました。

今回、JAMSTECが実施した東京駅周辺を対象とした暑熱環境予測シミュレーションによって算出された5mメッシュの気象データを入力情報とし、名古屋工業大学の人体モデルシミュレーションを実施することにより、同じ通りを歩く場合であっても日向側と日陰側の違いを考慮したリスク評価技術の開発に成功しました。



体表面温度分布 (a)成人(日陰) (b)子供(日陰) (c)成人(日向) (d)子供(日向)

スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を活用し、JAMSTECで開発を進めてきた樹木の物理的作用を考慮可能な大気海洋結合モデルMSSGを用いて、東京駅周辺領域に対し、解像度5mでの暑熱環境予測シミュレーションを行いました。シミュレーションから算出された2015年8月7日14時頃の東京駅周辺部を想定した5mごとの気象データを入力値とし、名古屋工業大学研究グループでは、熱中症リスクを評価するための大規模人体モデルシミュレーションを行いました。

本技術は、その領域や場所の気象特性を構造物や道路、樹木などの影響も考慮した上で予測し、更に詳細な人体モデルによって個人単位の熱ストレスを定量評価しているため、戸外の各地点における個人に応じた熱中症リスクの評価が可能となります。今後、この技術の対象地域や期間を拡大することで、都市計画規模で各個人の熱中症リスク評価が可能となります。

また、本研究グループでは、将来を見据えて、気象シミュレーションと人工知能(AI)の技術を融合させることで、さらに高速かつ高解像度で多目的に用いることが可能な都市気象予測の実現を目指して研究を進めています。この研究が実用化されれば、本技術による熱中症リスク評価をほぼリアルタイムで行うことができるようになり、猛暑の際の熱中症のさらなる被害低減への貢献が期待されます。

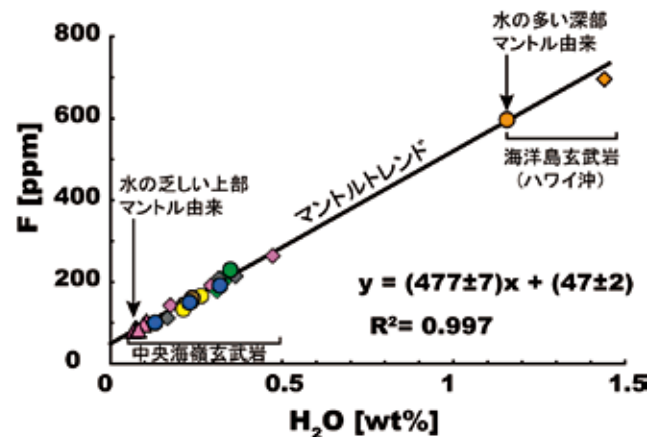
(付加価値情報創生部門地球情報基盤センター)

地球内部の水の振る舞いをフッ素で理解し、初期地球マンツルの含水率を推定

超先鋭研究開発部門高知コア研究所の清水健二技術研究員らは、世界各地の深海底火山ガラスを精密に分析した結果、フッ素の含有率とマンツル中の含水率に対する非常に良い指標となることを発見しました。また、それに基づき、初期地球のマンツルに含まれていた含水率を見積もることに成功しました。

マンツル中の水は、水惑星地球の根源となる水であり、地表へ放出して海を作ったり、地表の水が再び地球内部に戻ったりすることで循環し、地球史を通じて表層環境の変化や地球内部の物質分布に大きな影響を与えてきたと考えられています。

そこで本研究グループは、過去30年にわたる世界各地の海洋調査、海底掘削調査で採取された試料から水、フッ素を残す深海底火山ガラスを厳選し、高精度の化学分析を行いました。水の逸脱や付加がされていない、リサイクル物質の影響のない火山ガラスには、水とフッ素の含有率に非常に強い直線性の関係を発見し、これをマンツルトrendとして提唱しました。初期地球マンツル中の含水率は、0.075%程度であると見積もることができ、現在の上部マンツル(0.01%)より7倍程度水が多いことが明らかになりました。



本研究で用いた深海底火山ガラスの水-フッ素のグラフ。非常に強い直線性を発見し、これを水の乏しい上部マンツルと水の多い深部マンツルの混合によるマンツルトrendとして提唱した。海水が混染した塩素濃度が高い試料、リサイクル物質に富むものは除いてあり、trendの計算には丸印(大きなガラスの塊の高精度分析値)のみを使用。

火山ガラス中のフッ素は、水が散逸もしくは付加されたものであっても元の値を保存しているため、本研究で発見した火山ガラス中の水-フッ素の関係を基準にして、元の水の情報を取り出せることが可能になります。例えば約40億年前の世界最古の火山岩や火星、月など地球外の火山岩にも応用できる可能性はあり、地球や惑星の水はどこから来たのかという問いを解く上で、火山岩中のフッ素は、大きな役割を担うことが期待されます。また、初期地球マンツルから抜けた水が海洋を形成していることから、地球表層環境の進化・変遷や生命進化の解明などより広い研究分野にも貢献することが期待されます。

(超先鋭研究開発部門高知コア研究所)

真核生物誕生の鍵を握る微生物「アーキア」の培養に成功—生物学における大きな謎「真核生物の起源」の理解が大きく前進—

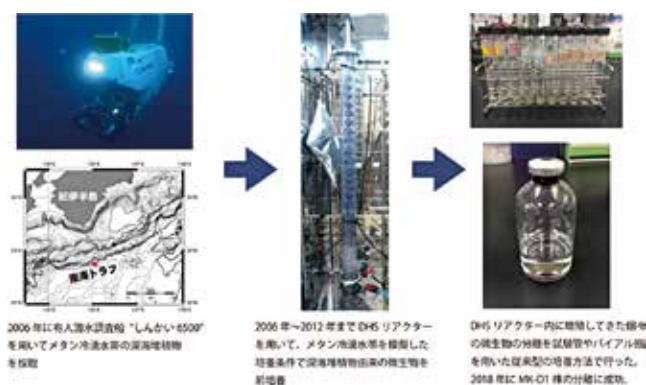
超先鋭研究開発部門の井町寛之主任研究員、国立研究開発法人産業技術総合研究所生物プロセス研究部門の延優研究員らは、深海堆積物から真核生物の祖先に近縁な微生物の培養に世界で初めて成功しました。

本研究では、独自のバイオリクター技術、最新の遺伝子解析技術および従来型の培養技術を組み合わせて用いることにより、アスガルド群に属するアーキアの培養に挑戦しました。12年にわたる研究の結果、世界初のアスガルドアーキアの培養に成功しました。このアーキアはMK-D1株と名付けられました。

MK-D1株の細胞形態は他の原核生物では観察されない複雑な形態を有することが明らかとなりました。特筆すべき特徴は、触手のような長くて分岐を有する突起構造を細胞外部に形成することでした。さらに細胞外には多くの小胞を放出することもわかりました。細胞の進化を考える上で重要な細胞膜を構成する膜脂質分子の調査も行いました。その結果、MK-D1株は、これまでに知られているアーキアと同様にイソプレノイド型の膜脂質構造を有していました。現存する真核生物の細胞膜は脂肪酸がエステル結合した構造であることを考えると、アーキアが真核生物細胞に進化していく過程で、細胞膜脂質がイソプレノイド型から脂肪酸型への切り替えが起きたと推定されます。

今回MK-D1株を培養することができたため、MK-D1株の完全長ゲノム配列を決定することができました。MK-D1株は真核生物群と姉妹群を形成したことから、「MK-D1株は培養された原核生物として真核生物に最も近縁な生物である」ことが示されました。

本研究で明らかになったMK-D1株の細胞形態・生理・遺伝学的な特徴とこれまでの真核生物の起源に関連する研究結果に基づいて、我々は真核生物の誕生についての新しい進化説“Entangle-Engulf-Endogenize (E³) model”を提案しました。

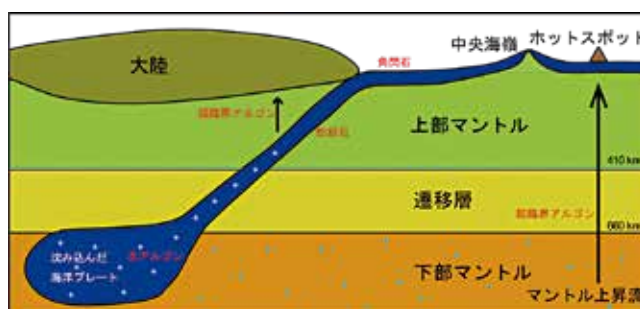


深海堆積物からMK-D1株を分離するまでの過程。

(超先鋭研究開発部門超先鋭研究プログラム)

地球深部に大量のアルゴンの氷が存在することを予言—アルゴンの大循環メカニズムを解明—

海域地震火山部門火山・地球内部研究センターの小野重明グループリーダーは、スーパーコンピュータにより数値実験及び高温高圧実験の手法により、極限環境下でのアルゴンの状態を再現した結果、地球深部に大量のアルゴンの氷が存在していることを明らかにしました。



地球内部におけるアルゴン大循環メカニズム。深さ660kmより下には大量のアルゴンが氷の状態で存在している。

アルゴンを含む揮発性成分が地球深部に相当する極限環境下においてどのような物理的および化学的な性質を有しているかを、計算と実験の両面から研究しています。本研究ではアルゴンの状態図を決定し、地球深部でのアルゴンの振る舞いを調べました。

本研究で導かれた新説では、含水鉱物から放出されるアルゴンは氷の状態であり、地球深部へ沈み込む海洋プレートの中に留まるといふものです。海洋プレートは地球マン托ルの底まで循環しているため、アルゴンも地球マン托ル最深部まで運ばれていることが予想されます。氷のアルゴンが存在する下部マン托ルは全地球の体積の約55%を占めるため、地球深部に存在しているアルゴンの氷の量は極めて大きいと見積もられます。

地球深部へ運ばれたアルゴンは地球の内部を循環し、マン托ル上昇流に乗って地表付近まで運ばれることが予想されますが、マン托ル遷移層に相当する温度圧力条件で氷のアルゴンは融解することがわかりました。そのため、マン托ル遷移層から上部マン托ル、さらに地殻へ至る過程では、アルゴンは超臨界状態で移動します。中央海嶺やホットスポットの火山活動で観測されるアルゴンガスは、この超臨界状態のアルゴンが起源だと考えられます。

本成果は、これまで謎とされてきた全地球規模でのアルゴンの大循環メカニズムの解明に結びつくものです。今後、ヘリウム、ネオン、キセノン等の他の希ガス元素や水や二酸化炭素などの揮発性成分についても研究を行い、地球史における揮発性成分の進化や役割を解明していく予定です。

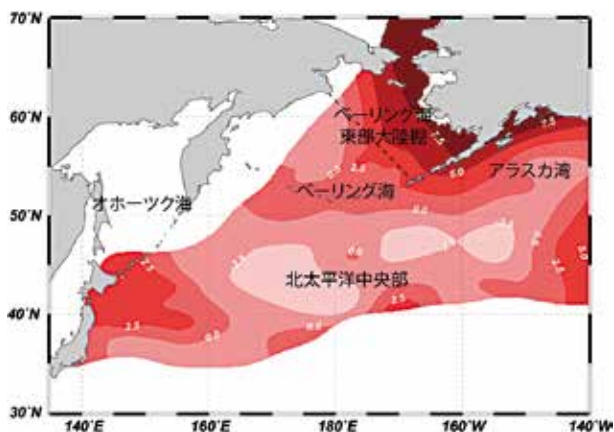
(海域地震火山部門火山・地球内部研究センター)

サケの骨に刻まれた大回遊の履歴―“同位体”が解き明かす、知られざる海での回遊ルート―

海洋機能利用部門生物地球化学プログラムの松林順 JSPS外来研究員と大河内直彦プログラム長、国立大学法人東北大学の長田稔助教（現在、国立研究開発法人水産研究・教育機構研究員）は、水産研究・教育機構、北海道大学、東京大学及び総合地球環境学研究所の研究者と共同で、海洋の同位体比地図（アイソスケープ）を用いてサケの回遊経路を個体レベルで推定する手法を開発しました。

サケは産まれた河川に戻るとい興味深い生態を持っています。しかし、現代の技術であっても個体ごとにサケの海での回遊を長期間追跡することはできなかつたため、彼らの回遊に関する十分な知見が得られていなかったのです。

そこで、本研究では世界で初めて窒素同位体比によるサケの回遊経路推定に取り組みました。私たちは最先端の窒素同位体比分析技術を駆使して、北太平洋の広範囲をカバーする同位体比地図を作成しました。



北太平洋における窒素安定同位体比の同位体比地図。ベーリング海東部の大陸棚では、特に高い同位体比となっていることが分かる。

解析の結果、サケが成長に伴って日本近海からベーリング海へと北上する既知の回遊ルートを再現しました。さらに、サケが成長の最後の段階でベーリング海東部の大陸棚に到達することが初めて明らかになりました。サケの成長の最後の段階は、彼らが性成熟する時期と一致します。これらの結果を総合的に解釈すると、海洋におけるサケの回遊は、餌資源が非常に豊富なベーリング海大陸棚で採餌し性成熟することで終わる、つまりこの海域がサケの大回遊のゴールとなっていることが考えられます。

本研究で作成した同位体比地図は、北太平洋を回遊するあらゆる動物種に適用可能です。したがって、同位体比を使った回遊追跡を他のさまざまな魚種に適用して、その回遊生態の解明に取り組みたいと考えています。

また、同位体比を用いた回遊追跡を適用できる範囲や対象種を拡大するためには、より大きな場所で、より多種の同位体元素の分布地図を描くことが必要です。

（海洋機能利用部門生物地球化学プログラム）

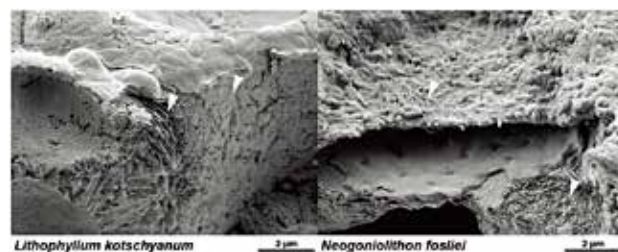
ナノスケール結晶構造の違いからサンゴモの系統分類が可能に

海洋機能利用部門生物地球化学プログラムのGerald Auerヤングリサーチフェロー及びオーストリア・グラッツ大学のWerner E.Piller教授は、サンゴモの形態分類形質として、細胞壁周囲に形成される炭酸カルシウムの微細結晶構造が有用であることを発見しました。

サンゴモは他の生物に比べてそれほど研究されてきませんでした。その大きな理由は、塩基配列による分子系統分類、骨格の外部構造による形態分類、軟体部の構造による形態分類、それぞれが異なる分類体系を示し、形態的に種の同定が困難であったからです。形態的に同じグループとされているサンゴモがまったく別の系統であったり、反対に、同じ系統のサンゴモが、大きく異なる形態を示すこともありました。

本研究では、サンゴモの独自の骨格形成プロセスに着目し、骨格の外部形態ではなく、骨格を作る際にできる微小な結晶形態が、サンゴモ内での系統の違いによる骨格の作り方を反映しているのではないかと考え、走査型電子顕微鏡を用いて多様なサンゴモの骨格微細構造を観察、検討し、分子系統分類との比較を行いました。

その結果、数百ナノメートルサイズの結晶の形態に、粒状、ブロック状、棒状、ひし形、ひし形の連結型、という異なる形態がありました。



サンゴモの表面の走査型電子顕微鏡写真。白三角の矢印の先に、数百ナノメートルサイズの微小結晶（左：ひし形、右：棒状）がみられる。

このことは、サンゴモの系統により炭酸カルシウムの骨格の作り方が微妙に異なり、それが結晶構造の違いとして表れていることを示します。

サンゴモの簡便な分類形質を見つけたことにより、今後は沿岸域の生態系の基盤をなすサンゴモの正確な分布域をより効果的に把握することができるようになります。これにより、温暖化や酸性化の影響が表れている、もしくは表れやすい海域に現在どのような種が生息し、今後どのような種に変わっていくのかなどの予測を行うことができるようになります。環境変動に対するサンゴモの応答を知ること、沿岸海洋生態系全体への影響を知るうえで不可欠であり、より正確な環境影響評価につながるでしょう。

（海洋機能利用部門生物地球化学プログラム）