

学際連携研究報告書

平成23年度

東京大学 大気海洋研究所

はじめに

学際連携研究は、平成23年度より開始した公募型の共同研究事業である。本共同研究では、全国の個人またはグループの研究者と本研究所の教員が協力して、海洋や大気に関わる基礎的研究および地球表層圏の統合的理解の深化につながる研究を実施する。特に、複数の学問分野の連携による学際的な共同研究の推進を目指すことから、「学際連携研究」と名付けられた。本共同研究には以下の二つの形態がある。

(1) 特定共同研究

本研究所が提案し、地球表層圏変動研究センターが中心となって計画的に推進する特定共同研究課題について、所内の研究グループと所外の研究者が協力して進める共同研究。

(2) 一般共同研究

全国の個人またはグループが提案する研究テーマについて、所外と所内の研究者が協力して進める共同研究で、本所の研究目的に貢献が期待できるもの。新しい研究の展開のきっかけとなるポテンシャルを秘めた萌芽的あるいは試行的研究を歓迎する。また、新規プロジェクトの立案にむけてのフィージビリティ研究（打ち合わせ会議や予備調査の実施などを含む）も審査の対象とする。

平成23年度の実績は、特定共同研究の応募数が2件（同採択数2件）、一般共同研究の応募数が10件（同採択数9件）であった。

本冊子は、平成23年度採択課題の成果報告をまとめたものである。関連分野の研究者の皆様に有効にご活用いただけると幸いである。

東京大学大気海洋研究所
共同利用運営委員会
学際連携研究部会

平成23年度学際連携研究 一覧

【特定共同研究】

番号	申込者氏名	所属機関	役職	研究課題	大気海洋研究所 共同研究教員
1	高見 英人	海洋研究開発機構	上席研究員	微生物多様性に呼応するメタゲノム情報を取り入れた海洋環境評価への方法論の検討	木暮 一啓
2	松浦 克美	首都大学東京理工学研究科	教授	海洋表層微生物群集の光応答変動メカニズムの解明	木暮 一啓 浜崎 恒二

【一般共同研究】

番号	申込者氏名	所属機関	役職	研究課題	大気海洋研究所 共同研究教員
1	渡邊 剛	北海道大学大学院理学研究院	講師	生物源炭酸塩骨格を用いた超高時間分解能古環境解析	佐野 有司
2	鈴木 淳	産業技術総合研究所	主任研究員	マグロ類耳石中の酸素安定同位体の環境履歴指標としての有効性の検討	北川 貴士 木村 伸吾
3	田副 博文	日本大学文理学部	助手	同位体分析および海洋大循環モデルを用いた海洋における希土類元素の動態解明に関する研究	小畑 元 岡 顕
4	Dhugal J. Lindsay	海洋研究開発機構 海洋・極限環境生物圏領域	技術研究主任	画像解析を用いたマリンスノーとゼラチン質生物の微細分布に関する解析方法の確立	西川 淳
5	吉田 次郎	東京海洋大学海洋科学部	教授	北太平洋水塊混合・形成域における乱流混合過程観測並びに鉛直拡散係数の推定	川邊 正樹
6	新里 宙也	沖縄科学技術研究基盤整備機構	研究員	環境復元に有用な造礁サンゴの骨格形成気候に関する研究	井上麻夕里 日下部 誠
7	宗林 留美	静岡大学理学部	助教	海洋中層におけるシアノバクテリア Synechococcus の起源と生存戦略の解明	浜崎 恒二
8	荒 功一	日本大学生物資源科学部	専任講師	海洋環境情報の実測に基づくマリンスポーツの安全基準に関する研究	道田 豊
9	中山 耕至	京都大学フィールド科学教育研究センター	助教	絶滅危惧種アカメの保全生物学的研究	大竹 二雄 小松 輝久

目次

学際連携研究報告書

【特定共同研究】

1. 微生物多様性に呼応するメタゲノム情報を取り入れた海洋環境評価への方法論の検討 . . . 1
2. 海洋表層微生物群集の光応答変動メカニズムの解明 . . . 3

【一般共同研究】

1. 生物源炭酸塩骨格を用いた超高時間分解能古環境解析 . . . 5
2. マグロ類耳石中の酸素安定同位体の環境履歴指標としての有効性の検討 . . . 7
3. 同位体分析および海洋大循環モデルを用いた海洋における希土類元素の動態解明に関する研究 . . . 9
4. 画像解析を用いたマリンスノーとゼラチン質生物の微細分布に関する解析方法の確立 . . . 11
5. 北太平洋水塊混合・形成域における乱流混合過程観測並びに鉛直拡散係数の推定 . . . 13
6. 環境復元に有用な造礁サンゴの骨格形成気候に関する研究 . . . 15
7. 海洋中層におけるシアノバクテリア *Synechococcus* の起源と生存戦略の解明 . . . 17
8. 海洋環境情報の実測に基づくマリンスポーツの安全基準に関する研究 . . . 19
9. 絶滅危惧種アカメの保全生物学的研究 . . . 21

微生物多様性に呼応するメタゲノム情報を取り入れた海洋環境評価への方法論の 検討

A study on evaluation method using metagenomic data for ocean environments corresponding to microbial diversity

高見 英人, 海洋研究開発機構・環境メタゲノム解析研究チーム, e-mail:takamih@jamstec.go.jp
河合 幹彦, 同 環境メタゲノム解析研究チーム, e-mail:kawaim@jamstec.go.jp
高木 善弘, 同 環境メタゲノム解析研究チーム, e-mail:takakiy@jamstec.go.jp
荒井 渉, 同 環境メタゲノム解析研究チーム, e-mail:w-arai@jamstec.go.jp
木暮 一啓, 東京大学・大気海洋研究所 微生物分野, e-mail:kogure@aori.u-tokyo.ac.jp
吉澤 晋, 同 微生物分野, e-mail:yoshizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

Hideto Takami, Mikihiro Kawai, Yoshihiro Takaki, Wataru Arai, Microbial Genome Research Group,
JAMSTEC

Kazuhiro Kogure, Shin Yoshizawa, Microbiology, Atmosphere and Ocean Research Institute, The
University of Tokyo

Abstract

We sequenced metagenomic libraries of 4 seawater samples collected at S1 and K2 sites in summer and winter, respectively. Since we got about 0.28 to 0.35 million reads from 4 samples, we started a series of standard data treatment such as assembling, gene finding and blast search. After that, we will carry out evaluation for metabolic potential harbored in the metagenomes from 4 samples to compare with them. On the other hand, we also did comparative genomic analysis of newly sequenced halophilic *Halomarina oriensis* with other related halophilic archaeal species. So far the genome of *H. oriensis* was found to have the adaptation mechanisms to high saline environment not only from archaea but also bacteria from the genomic signature.

1. はじめに

微生物多様性の違いとその動態変化がいかに海洋環境の変化と呼応するかを知ることができれば、海洋が私たち人類の生活にどのような影響を及ぼしうるかが自ずと見えてくると期待される。しかしながら、単に従来の 16S rRNA 遺伝子に基づく菌叢解析だけでは、微生物多様性と海洋環境の相関関係を理解するために必要な代謝能や様々な生理・生態に関与する遺伝子情報を得ることはできない。また、環境における様々な物理・化学的情報がなければ、殆どが難培養性微生物由来の代謝や生理、生態に関与する遺伝子レパートリーとその多様性の解釈が極めて難しい。

環境に存在する微生物群集のゲノムを網羅的に解析するホールコミュニティメタゲノミクスは、難培養性微生物を包括した様々な遺伝子情報の収集には非常に有効な手段である。しかし、膨大な配列情報から微生物群集が持つ潜在的代謝機能の推測には、代謝経路を正確に再構築するための方法論の開発が急務である。また、それにより予測された代謝機能と環境で生じているイベントとの相関を考えるには、フィールドワークやその後の実験で得られた環境データが非常に重要で、ゲノムデータだけでなく、環境データをあわせた総合的な解析に必要な方法論の開発も重要な課

題である。本研究では、これらの背景を踏まえ、JAMSTEC で現在開発中の潜在的代謝機能評価法と東大海洋研の蓄積した海洋サンプルや環境データを用いた総合的な解析の確立を目指した最初の試みとして、スモールスケールでの解析を行う。

2. 問題設定・方法

本研究課題では、海洋研究開発機構がこれまで海洋堆積物を中心に行ってきたメタゲノミクスのノウハウと東大・大気海洋研、木暮研究室で培われてきた様々な海洋微生物研究法や蓄積された海洋環境情報などを融合させ、微生物多様性の理解とその環境における意義付けに有効な方法論の確立を目指すものである。本研究の手始めとして、4月11日に東大・海洋研にて第一回目のミーティングを行い、JAMSTEC 側の研究内容を、5月18日にはJAMSTECにて2回目のミーティングを行って東大・海洋研側の研究内容をお互いに紹介し、本研究における具体的な研究計画を検討した。方法論の開発にあたってはスモールスケールでの解析系をまず構築することとし、昨年度“みらい”の航海で採取した亜寒帯域の観測点 K2 の夏期、冬期の海水サンプル、亜熱帯域の観測点 S1 の夏期、冬期の海水サンプル全 4 点を用いた。海水を

0.2 μ m のフィルターで濾過して得られた菌体から抽出された DNA からメタゲノムライブラリーを作製し、新型パイロシーケンサー454 を用いて 1/4 run ずつ配列決定を行った。

一方、これとは別に海洋から分離された新規な高度好塩性アーキア *Halomarina orientis* (1) のゲノム配列決定が既に終了しているため、本菌の生理学的特徴を探るべく本格的な比較ゲノム解析を開始した。

3. 結果と考察

パイロシーケンシングの結果、4 サンプルからそれぞれ、約 28 ～35 万リードの配列データが産出されたので、配列のアセンブル、各リード、形成されたコンティグからの遺伝子予測を現在行っている。1/4 run で産出される配列データとしては、ほぼ理想的なスループットが確保できているので、遺伝子予測をもとにメタゲノム中の潜在的に存在する代謝機能について、KEGG モジュールを用いた代謝機能予測を行う予定。代謝機能予測に関する方法論については、すでに JAMSTEC で取られた別環境に由来するデータを用いて並行して検討中である。

新規な高度好塩性アーキア *Halomarina orientis* の比較ゲノム解析については、これまでゲノム解析が終了した高度好塩性アーキア 16 種との比較ゲノム解析を RECOG システムを用いて行っている。特に、*Halomarina orientis* は他の多くの高度好塩性アーキアと異なり蒸留水中で細胞が壊れないという大きな特徴を有しており、この性質が塩分濃度が 3% と低い海洋環境への適応に大きく関与すると考えられる。そこで、*Halomarina orientis* と同様蒸留水中で細胞が破壊されない他の 2 種との共通

性とそれ以外の種との相違点を中心に解析を進めている。現在のところ、*Halomarina orientis* は、アーキアとバクテリアの耐塩性機構をあわせ持つようなゲノムの特徴が見えているが、詳細はさらに解析中である。

4. まとめと今後の展望

本年度は、メタゲノム情報を取り入れた海洋環境の評価方法の確立を目指した最初の試みとして、亜熱帯および亜寒帯域の定点観測において夏と冬に採取された海水のメタゲノム配列決定を行った。データのスループットはほぼ理想通りで、現在配列データの基本的な解析を行っているが、終了し次第、KEGG module を用いた潜在的代謝機能予測を行う予定である。この解析より、亜寒帯および亜熱帯海域の季節による代謝機能の共通点と相違点が浮き彫りになるものと期待される。

新規な *Halomarina orientis* は海洋性の高度好塩性アーキアであることから、本菌の海洋における分布や海洋環境における生態、機能的役割などに興味を持たれる。これまでの比較ゲノム解析の結果から、本菌には、耐塩性バクテリアが持つ耐塩性機構と高度好塩性アーキアが持つ耐塩機構が混在するので、これらが環境に応じて使い分けられているのではなかと推測される。現在詳細な比較ゲノム解析を進めているので、進化的な側面からも新たな知見が得られるのではないかと期待される。

参考文献

- (1) Inoue K, Itoh T, Ohkuma M, Kogure K. (2011) *Halomarina orientis* gen. nov. sp. nov., a halophilic archaeon isolated from a sea water aquarium. Int. Syst. Evol. Microbiol. 61, 942-946.

海洋表層微生物群集の光応答変動メカニズムの解明

A study on the mechanism for light response fluctuation on surface-dwelling marine microbe.

松浦 克美, 首都大・理工学研究科, E-mail: matsuura-katsumi (at)tmu.ac.jp
木暮 一啓, 東大・大気海洋研, E-mail: Kogure (at)aori.u-tokyo.ac.jp
濱崎 恒二, 東大・大気海洋研, E-mail: Hamasaki(at)aori.u-tokyo.ac.jp

Katsumi Matsuura, Department of Biological Sciences, Tokyo Metropolitan University
Kazuhiro Kogure, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo
Koji Hamasaki, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Abstract

Proteorhodopsin (PR) genes are widely distributed among marine prokaryotes and functions as light-driven proton pump when expressed heterologously in *E. coli*, suggesting that light energy passing through PR may be substantial in marine environment. However, there are a few data on light effect on survival of PR-containing bacteria and these whole genomes. To reveal the light effect on survival, at the beginning we examined on which media PR-containing bacteria can grow well. And whole genome analysis was performed for a better understanding of the evolutionary history of PR. As a result, we determined the optimum media for growth experiment. Whole genome analysis is currently in progress.

(Abstract should not be longer than 10 lines).

1. はじめに(節の表題: MS ゴシック 9pt)

近年の研究により、海洋表層の微生物群集はラン色細菌に代表される光合成生物のみならず、酸素非発生型の光合成細菌、プロテオロドプシンを保持して光従属的に増殖する細菌群などが存在することが明らかになってきた(Beja et al. 2002 nature, Beja et al. 2000 science)。後者の二つは直接炭酸を固定して生物生産に結び付くものではないが、光を利用してエネルギー形成を行うことから、海洋生態系におけるエネルギー代謝を見積もる上でその知見が強く求められつつある。しかしこれらの異なる様式が海洋でそれぞれどのように相互に分布し、機能しているのか、それが時間的にどう変遷してきたのかは明確ではない。本研究の目的は、遺伝子解析と定量的実験データに基づいてこれを明らかにすることである。

2. 問題設定・方法

本研究では具体的に下記の研究課題の解析を行った。

1) プロテオロドプシン保有株の増殖・生残に対する光の影響(PC-19株、PG-2株を使用)

プロテオロドプシンは光駆動型プロトンポンプであると考えられているが、具体的にどのような条件下で光エネルギーを有効に利用しているのかはよく分かっていない。本研究では、貧栄養環境下での生残に重要であると仮定し、光照射がプロテオロドプシン保有株の生残に与える影響の解明を試みた。

2) プロテオロドプシン保有株PG-2のゲノム解析

プロテオロドプシン保有株はこれまでに Bacteroidetes 門、Proteobacteria 門、Euryarchaeota 門から広く見つかっている。しかしながら、それらの株でゲノムが明らかになっているものはわずか10株程度であり、プロテオロドプシンの多様性を考えると、プロテオロドプシン保有株のゲノム情報はまだまだ少なく、遺伝的進化を考えるうえでゲノム情報は必要不可欠である。本研究では分離株PG-2のゲノム解析を行い、プロテオロドプシンの遺伝的進化の解明を試みた。

3. 結果と考察

1) プロテオロドプシン保有株の増殖・生残に対する光の影響(PC-19株、PG-2株を使用)

用いた株が増殖する為に適切な培地の検討を行った。その結果、培養・生残実験を行う為の良好な液体および寒天培地組成を明らかにした。それらの培地を用いて生残性評価方法の検討を行った。しかしながら、今回用いた株は希釈系列を作成すると、安定した生育が確認できなくなるという特徴を持っており、従来の方法では生残を定量的に解析できないことが分かった。これは、おそらくプロテオロドプシンを持つ株が非常に高い凝集性を示すことが原因と考えられ、今後顕微鏡を用いた形態観察等を平行して行っていう必要性がある。

2) プロテオロドプシン保有株PG-2のゲノム解析

プロトンポンプ活性が明瞭に観察できたPG-2株のゲノム解析をオーミクス研究センターと共同で行った。解析には、次世代シーケンサーを用いた。本研究では、全ゲノムの決定までを目的としおり、現在はゲノム断片をつなぎ合わせるフィニッシング作業中である。

4. まとめと今後の展望

本研究でプロテオロドプシン保有株の培地成分の最適化を行った。今後、この培地を用いて、プロテオロドプシン保有株の詳細な光利用機構を解明する予定である。また、ゲノム解析は現在も進行中である。ゲノム配列決定後は、これまで明らかになっているプロテオロドプシン保有株ゲノムとの比較ゲノム解析を行い、プロテオロドプシン進化史の幅広い理解を目指している。

参考文献

- (1) Keisuke Yamada, Akira Kawanabe, Susumu Yoshizawa, Kentaro Inoue, Kazuhiro Kogure, and Hideki Kandori (2012), Anomalous pH Effect of Blue Proteorhodopsin. The Journal of Physical Chemistry Letters 3, 800-804. DOI: 10.1021/jz3000257
- (2) Susumu Yoshizawa, Akira Kawanabe, Hiroyasu Ito,

Hideki Kandori, and Kazuhiro Kogure (2012) Diversity and functional analysis of proteorhodopsin in marine

Flavobacteria. *Environmental Microbiology* 14, 1240-1248. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2012.02702.x

生物源炭酸塩骨格を用いた超高時間分解能古環境解析

Ultra-high resolution analysis of paleoenvironments using biogenic carbonates

渡邊 剛, 北大・理学研究院, E-mail: nabe@mail.sci.hokudai.ac.jp

白井厚太郎, 東大・大気海洋研, E-mail: kshirai@aori.u-tokyo.ac.jp

佐野有司, 東大・大気海洋研, E-mail: ysano@aori.u-tokyo.ac.jp

高畑直人, 東大・大気海洋研, E-mail: ntaka@aori.u-tokyo.ac.jp

大森一人, 北大・理学研究院, E-mail: kazuto@mail.sci.hokudai.ac.jp

岨 康輝, 北大・理学研究院, E-mail: sowa@mail.sci.hokudai.ac.jp

Tsuyoshi Watanabe, Kazuto Omori, Koki Sowa, Faculty of Science, Hokkaido University,
Kotaro Shirai, Yuji Sano, Naoto Takahata, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University
of Tokyo

Abstract

Biogenic carbonates could record past changes of environments during their live periods. Insolation is an important meteorological parameter and a primary determinant of the Earth's climate system. The historical record of insolation in tropical and sub-tropical regions is short. Moreover, it remains difficult to extract solar radiation from a past marine environmental proxy, even though past seawater temperature, salinity, pH, and nutrients were successfully estimated from geochemical data of biogenic marine carbonates such as coral skeletons, foraminifera tests, and mollusk shells. Herein, we describe the precise analysis of Sr/Ca ratio with 20m resolution in a cultivated giant clam shell exhibiting striking diurnal variations, elevated as high as 25% relative to the mean, associated with regional hourly solar radiation. This is the finest proxy among all data ever published. Annual variation of the Sr/Ca ratio is also observed in the sample by a 10m spot with 50m interval, again correlated with daily insolation record with similar amplitude. Therefore, the Sr/Ca ratio of a giant clam shell might be a useful paleo-chemical-pyrheliometer.

1. はじめに

サンゴ骨格や二枚貝、魚の耳石などの生物源炭酸塩骨格には、“成長線”と呼ばれる日輪、月輪、年輪など“時間的な目盛り(炭酸塩骨格カレンダー)”が刻まれている。本研究では、ナノメートルからマイクロメートルの空間分解能を有する大気海洋研設置のナノシムスを用いて、これらの“炭酸塩骨格カレンダー”の時間解像度を日レベルにまで高めて、生物源炭酸塩骨格を用いた古環境解析の精度を飛躍的に上げることを目指すものである。具体的には下記の研究体制(研究分担)のもと、申請者らが日本周辺海域及び太平洋-インド洋海域で広く採取してきた天然および水槽により飼育された生物源炭酸塩骨格試料(造礁性サンゴ、二枚貝、硬骨海綿、魚の耳石)の解析を行う。生物源炭酸塩骨格には、過去の環境変化が高解像度で連続的に記録されており古環境情報を知るための強力なツールとして注目されてきた。これらの先行研究の結果、これまで欠乏していた熱帯域における水温変動を過去に遡って復元し、エルニーニョ現象(El Niño-Southern Oscillation)など数年周期で繰り返される大規模な大気海洋変動などの重要な情報が提供されるようになりつつある。一方で、分析機器の精度の向上やマイクロサンプリング技術の改良などによる高精度、高解像度分析が進み、また、様々な海域で同様の研究が進むようになると、この“炭酸塩骨格カレンダー”には克服すべき様々な問題も指摘されるようになってきた。

東京大学大気海洋研に設置されているナノシムスは、ナノスケールからマイクロスケールでの質量分析を可能にする二次イオン質量分析計である。このナノシムスでの分析をサンゴ骨格、二枚貝、硬骨海綿、魚の耳石などの生物源炭酸塩に適用することにより、これによりこれまで困難であった日輪に沿った分析が可能となる。これらは、“炭酸塩骨格カレンダー”の時間解像度を日レベルにまでに高めることであり、環境指標としての発展性と精度を上げることに繋がる。ま

た、これらの解析は、生物源炭酸塩の石灰化過程の基本単位であるアラゴナイトの結晶レベルでの元素、同位体比分析を可能にするものであり、これまで未解決であった海洋生物の石灰化のメカニズムを明らかにすることにつながる。

2. 問題設定・方法

近年、人為起源の二酸化炭素の増加による地球温暖化が問題になっているが、二酸化炭素などの温室効果ガスは副次的に気温上昇を引き起こすものの、地球の気温は1次的には日射量によって決定する。また、日光は植物の光合成に必要な不可欠な要素であり、日射量は農作物の豊作不作に大きく影響を与える。また、人間を含むほとんどの生物は昼と夜で行動様式が異なり、日照サイクルは生物の行動様式にも影響を与える。このように、日射量は地球環境や生物などに非常に大きな影響を与える重要な環境要素である。また、地球温暖化などの環境変動やそれに対する生態系の応答を調べる上で、過去の日射量に関する情報は非常に重要である。しかし、日射量に関する正確な観測データはそれほど長い期間の蓄積があるわけではなく、過去の環境を調べるためには、サンゴや二枚貝、有孔虫など生物の形成する炭酸カルシウムの骨格に含まれる微量元素や同位体組成を分析することで、その当時の環境をあきらかにするという手法がこれまで多く用いられてきた。例えば、サンゴ骨格のストロンチウム含有量や有孔虫のマグネシウム含有量を分析することで過去の水温の履歴が明らかにされてきました。他にも炭酸カルシウムの分析により塩分、pH、栄養塩などを復元する試みが行われてきました。しかし、炭酸カルシウム骨格を用いて過去の日射量を明らかにする手法を確立することに成功した研究例はこれまでなかった。過去の日照サイクルを記録しているものの候補として、熱帯から亜熱帯にかけて生息し、最長で百年以上の寿命を持つシャコガイの殻に含まれる微量元素に注目した。シャコガイ

イは体内に微小藻類を共生させることで光合成に由来する栄養分で成長することができ、その殻には昼夜のリズムに対応し、数十マイクロメートル間隔で1日1本、日輪が形成される。我々は沖縄県石垣島でシャコガイの一種であるヒレナシ (*Tridacna Derasa*) を飼育し、並行して環境データの観測を行った。飼育したシャコガイの殻を最先端の二次イオン質量分析計 NanoSIMS (ナノシムス) を使って2マイクロメートルの解像度で微量元素組成の分析を行った。この2マイクロメートルという解像度は炭酸カルシウム中の微量元素組成の分析手法としては世界最高レベルの解像度である。

3. 結果と考察

殻に含まれるストロンチウム、マグネシウム、バリウムの組成を分析した結果、マグネシウムとバリウムは環境に対して明瞭な応答を示さなかった。一方、ストロンチウムは昼に形成される部位でストロンチウム含有量が低く、夜に形成される部位でストロンチウム含有量が高いという日射量に対応する明瞭な日周期変動を示すことが明らかになった。また、年間を通じた変動も概ね、日射量の高い夏期にストロンチウム含有量が低く、日射量の低い冬期にストロンチウム含有量が高いという、日射量に概ね対応する変動パターンを示した(図)。この結果は、化石のシャコガイの殻を同様に分析する事で数千年前の日射量に関する情報を、約3時間の分解能で明らかにすることができる可能性を示したものである。

らは、台風や集中豪雨などの短期間のイベントを復元することが期待できる。特に成長速度の速いシャコガイでは、数時間の時間スケールでの解析を行うことが可能である、また逆に、成長速度の遅い硬骨海綿を用いることで、それらの環境解析を数百年間の時間スケールにも展開することができる。また、魚の耳石のストロンチウムの同位体比を測定することによりその魚の回遊の履歴を高い時間解像度で復元することが可能となる。以上のように、本研究で期待される成果は、生物学や材料工学、水産学など地球科学の分野だけにとどまらない学際的な成果となりうる。今後、シャコガイ殻の分析から過去の日射量の復元を行うためには、シャコガイのストロンチウム含有量がどの程度正確に日射量を記録しているのかをより詳細に検証する必要がある。また、シャコガイのストロンチウム含有量がどのようなメカニズムで日射量にตอบสนองして変化しているのかを正しく理解する必要がある。今回の成果は、日射量という極めて重要な環境要素を観測記録の存在しない時代までさかのぼって明らかにできる手法の可能性を示した重要な結果であり、今後さらなる検証を行い、過去の海洋環境の高解像度復元を進めていく予定である。

参考文献

Sano, Y., S. Kobayashi, K. Shirai, N. Takahata, K. Matsumoto, T. Watanabe, K. Sowa, and K. Iwai (2012), Past daily light cycle recorded in the strontium/calcium ratios of giant clam shells, Nature Communications, 3:761 doi: 10.1038/ncomms1763

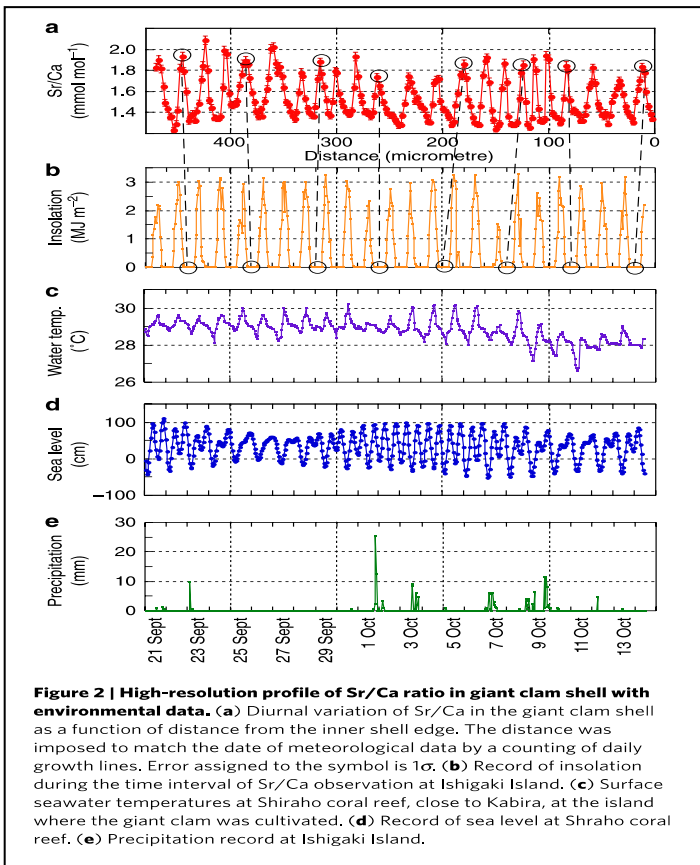


Figure 2 | High-resolution profile of Sr/Ca ratio in giant clam shell with environmental data. (a) Diurnal variation of Sr/Ca in the giant clam shell as a function of distance from the inner shell edge. The distance was imposed to match the date of meteorological data by a counting of daily growth lines. Error assigned to the symbol is 1σ . **(b)** Record of insolation during the time interval of Sr/Ca observation at Ishigaki Island. **(c)** Surface seawater temperatures at Shiraho coral reef, close to Kabira, at the island where the giant clam was cultivated. **(d)** Record of sea level at Shiraho coral reef. **(e)** Precipitation record at Ishigaki Island.

4. まとめと今後の展望

具体的な期待される成果の一例としては、サンゴ骨格やシャコガイなどの二枚貝のストロンチウムの濃度変化により水温の日変動が、また、マンガン濃度やバリウム濃度の変化が

マグロ類耳石中の酸素安定同位体の環境履歴指標としての有効性の検討

Experimental study of $\delta^{18}\text{O}$ in otoliths of bluefin tuna as an environmental indicator

石村 豊穂, 産総研・地質情報, E-mail: t-ishimura(at)aist.go.jp
北川 貴士, 東大・院新領域/大気海洋研, E-mail: takashik(at)aori.u-tokyo.ac.jp
木村 伸吾, 東大・院新領域/大気海洋研, E-mail: s-kimura(at)aori.u-tokyo.ac.jp
鈴木 淳, 産総研・地質情報, E-mail: a.suzuki (at)aist.go.jp

Toyoho Ishimura, Geological Survey of Japan, AIST
Takashi Kitagawa, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo
Shingo Kimura, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo
Atsushi Suzuki, Geological Survey of Japan, AIST

Abstract

Our main objective was to examine the validity of otolith $\delta^{18}\text{O}$ of bluefin tuna larvae (*Thunnus orientalis*) as a thermometer estimating the ambient temperature experienced by fish. For isotope analysis, we used otoliths of larvae reared at 26°C for about 2-8 days from egg stage in 2010. For comparison, otoliths of bluefin tuna juveniles aged 34 DAH (day after hatch) were also analyzed. As a result, temperature-dependent fractionation of otolith $\delta^{18}\text{O}$ was also close to that reported for inorganic aragonite, which means that vital effects are quite small. Otoliths $\delta^{18}\text{O}$ values of juveniles were almost same $\delta^{18}\text{O}$ value of the larvae reared at 26 °C. This study confirms that otolith $\delta^{18}\text{O}$ of Pacific bluefin tuna larvae can give precise and accurate estimates of the ambient temperature experienced by fish.

1. はじめに

国際的に重要な水産資源であるクロマグロ (*Thunnus orientalis*) は、近年乱獲の影響で資源量の減少が懸念されており、その適正な管理が求められている。本種の主な産卵場は南西諸島からフィリピン近海であるが、最近では日本海でもかなりの規模で産卵が行われていることが示唆されており(伊藤, 2009)、産卵場や産卵時期・規模などを正確に把握し、それらの集団構造を明らかにすることが適正な資源評価と管理を行う上で重要である。

本研究で研究対象とする魚類の耳石は、聴覚と平衡感覚器官としての機能を担っている組織である。その一方で日周輪や年輪が形成されることから、年齢査定や成長率推定などに用いられている(麦谷, 1994)。また耳石は非細胞性の炭酸カルシウム (CaCO_3) からなる組織であり、耳石に取り込まれた微量元素組成や安定同位体組成はその死後も変化することなく保持される。それらの化学組成は周辺の環境変化によって変動するため、耳石中の化学組成を調べることによって、個体の様々な生息環境の履歴を知ることができる。特に炭酸カルシウム中の酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は、生息していた環境水の $\delta^{18}\text{O}$ の変化をよく記録し、同時に、その変動は生息時の水温に依存することが示されている。そのため耳石中の $\delta^{18}\text{O}$ は生息海域履歴と水温環境履歴として期待されている。

そこで本研究では、微量炭酸塩安定同位体組成定量法を用いてクロマグロ耳石の酸素・炭素安定同位体分析を行い、生息海洋環境と比較しながら、本手法のマグロ類耳石の環境履歴としての有効性を検討することを目的とした。特に仔魚及び稚魚の $\delta^{18}\text{O}$ 温度依存性を明らかにし、その環境履歴指標としての有用性の評価をおこない、本種の産卵海域の判別可能性、近縁種への応用可能性を検討する。石村・鈴木(産総研)は耳石の酸素安定同位体分析を、北川・木村(院新領域/大気海洋研)は供試魚の採集、耳石抽出およびマグロ類分布域の海洋環境解析を担当した。

2. 問題設定・方法

耳石の $\delta^{18}\text{O}$ は生態履歴の検討要素としての活用が期待されているものの、①クロマグロ仔魚の飼育が容易ではなく基礎データを得にくいことと、②クロマグロ未成魚・成魚は周辺水温よりも高い体温を保ちながら回遊すること (e.g. Kitagawa et al., 2001: 2009) が、クロマグロ耳石 $\delta^{18}\text{O}$ を温度指標として活用するための弊害となってきた。

これまで著者らは、耳石の $\delta^{18}\text{O}$ の水温指標としての有効性を検討することを目的として、2010年6月に(独)水産研究総合センター奄美栽培漁業センター(現:同センター西海区水産研究所奄美庁舎)で飼育されているクロマグロ親魚から得られた受精卵を用いて、23-28°Cの6温度区で2-8日間の飼育をおこない、仔魚耳石 $\delta^{18}\text{O}$ の温度指標性の検討を開始した。これら飼育仔魚から得られる極微小の耳石は、既存の分析法での安定同位体比の定量が困難であったため、Ishimura et al. (2004, 2008)の微量炭酸塩安定同位体比分析システムを用いて安定同位体比分析を試みてきた。分析した耳石の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、無機沈殿で形成されるアラゴナイトの $\delta^{18}\text{O}$ の関係式 (Kim et al., 2007) とほぼ一致することから、クロマグロ仔魚の耳石の $\delta^{18}\text{O}$ は周辺水との同位体平衡下で形成され、この $\delta^{18}\text{O}$ は直接的に環境水温の指標となることが初めて裏付けられた。

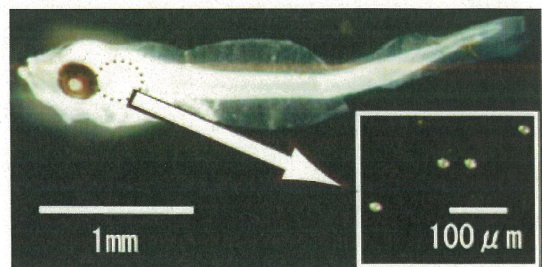


Fig. 1 Otoliths of 7 DAH bluefin tuna

一方で、マグロ耳石の温度依存性を環境履歴の指標として活用するためには、仔魚から稚魚への成長段階において、仔魚と同様の温度依存性があることを確認する必要がある。また、この温度依存性に個体差がないことを確認することも、個別の生息環境履歴を評価する上でも重要な要素である。

本研究では、これまでおこなってきたクロマグロ仔魚（～8日齢）の耳石の $\delta^{18}\text{O}$ の温度依存性の検証と共に、奄美栽培漁業センターで生産試験用に飼育されている稚魚（34日齢、26°C飼育）の耳石の $\delta^{18}\text{O}$ について環境履歴指標として評価を主な目的とした。

3. 結果と考察

分析した34日齢の耳石の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、8日齢の仔魚同様に無機沈殿で形成されるアラゴナイトの $\delta^{18}\text{O}$ の関係式(Kim et al., 2007)とほぼ一致することがわかった。また、同じ温度条件下で飼育した場合、個体間の $\delta^{18}\text{O}$ も均質であり、その分散は $\pm 0.1\%$ ($n=18$)の範囲に収束することがわかった。

この結果、クロマグロ仔魚の耳石の $\delta^{18}\text{O}$ はふ化後の初期形成期からその後の安定形成期にかけて周辺水との同位体平衡下で形成され、この $\delta^{18}\text{O}$ は直接的に環境水温の指標となることを裏付けた。今後、微小領域の炭酸塩安定同位体分析法を用いることにより、産卵場や回遊履歴、初期生態の詳細の解明にも繋がるものと期待できる。

さらに過去に採集されたクロマグロや化石(e.g. Uyeno, 1992)などから抽出された耳石を分析することで、過去の生息環境の復元も可能になる。古環境と現在の生息環境の比較が可能になれば、将来の温暖化にもなうマグロ類の生息域の変化予測にもつながるものと考えられる。

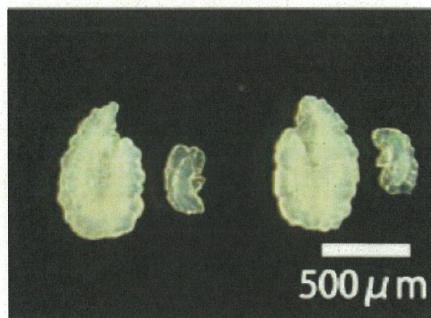


Fig. 2 Otoliths of 34 DAH bluefin tuna

4. まとめと今後の展望

本研究により、クロマグロの耳石の温度依存性は生後1ヶ月は周辺水との同位体平衡に近いことを明らかにした。耳石の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、サンゴや浮遊性有孔虫に比べて海水の $\delta^{18}\text{O}$ 値および水温との同位体平衡下で形成される値に近く、すなわちvital effectの影響が小さい可能性を示唆しており、直接の水温指標としての有用性が高いことを明らかにした。このことは本種耳石 $\delta^{18}\text{O}$ が生産にわたっての生息環境水温指標として有用である可能性を示唆している。

この成果をもとに、日本海と沖縄海域では海水中の酸素安定同位体比は大きく異なることから、今後の沖縄海域、日本海海域生まれのクロマグロから得られた耳石を分析することにより、本種の産卵海域、産卵時期判別や水温（回遊）履歴

の解明などに繋がるものと期待される。また、その履歴を明らかにすることにより、将来の温暖化にもなうマグロ類の生息域の変化予測にもつながるものと考えられる(Kimura et al., 2010)。

一方で、魚類の行動を直接的に測定する方法のひとつとして小型記録計による計測（バイオロギング）がある(e.g. Kitagawa et al. 2000)。これに耳石解析を利用した全生活史を通したマクロスケールの回遊履歴解析を組み合わせることによって、回遊・行動生態、ひいては生活史の全体像がより鮮明に浮き彫りにされ、マグロ類の資源評価や資源管理を行う上でその礎となると考えられる。

参考文献

- (1) Ishimura, T., Tsunogai, U., and Gamo, T., 2004: Stable carbon and oxygen isotopic determination of sub-microgram quantities of CaCO_3 to analyze individual foraminiferal shells, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18, 2883-2888.
- (2) Ishimura, T., Tsunogai, U., and Nakagawa, F., 2008: Grain-scale heterogeneities in the stable carbon and oxygen isotopic compositions of the international standard calcite materials (NBS 19, NBS 18, IAEA-CO-1, and IAEA-CO-8), *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 22, 1925-1932.
- (3) 伊藤智幸, 2009: 耳石日輪と0歳魚の体長別漁獲データから推定したクロマグロの産卵時期別資源寄与率. 日本水産学会誌, 75, 412-418.
- (4) Kitagawa, T., Nakata, H., Kimura, S., Itoh, T., Tsuji, S., and A. Nitta, 2000: Effect of ambient temperature on the vertical distribution and movement of Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 206, 251-260.
- (5) Kitagawa, T., Nakata, H., Kimura, S., and S. Tsuji, 2001: Thermoconservation mechanism inferred from peritoneal cavity temperature recorded in free swimming Pacific bluefin tuna (*Thunnus thynnus orientalis*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220, 253-263.
- (6) Kitagawa, T., Kimura, S., Nakata, H., Yamada, H., Nitta, A., Sasai, Y., and Sasaki, H., 2009: Immature Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, utilizes cold waters in the Subarctic Frontal Zone for trans-Pacific migration. *Environ. Biol. Fish.* 84, 193-196.
- (7) Kim, S.-T., and O'Neil, J.R., 1997: Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 3461-3475, 10.1016/S0016-7037(97)00169-5.
- (8) Kimura, S., Kato, Y., Kitagawa, T., and N. Yamaoka, 2010: Impacts of environmental variability and global warming scenario on Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) spawning grounds and recruitment habitat. *Prog in Oceanogr* 86, 39-44.
- (9) 麦谷泰雄, 1994: 魚類の耳石情報解析に関する研究. 日本水産学会誌, 60, 7-11.
- (10) Uyeno, T. 1992: Fossil marine fishes from Koetoi Formation (middle Late Miocene to early Pliocene) in Wakkanai city, Northern Hokkaido, Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Dep. Geo.* 25: 41-48.

同位体分析および海洋大循環モデルを用いた海洋における 希土類元素の動態解明に関する研究

A study on geochemical cycles for rare earth elements by a cooperation of precise isotopic analysis and global ocean circulation model

田副 博文, 弘前大・被ばく医研, E-mail: tazoe(at)cc.hirosaki-u.ac.jp

岡 顕, 東大・大気海洋研, E-mail: akira(at)aori.u-tokyo.ac.jp

小畑 元, 東大・大気海洋研, E-mail: obata(at)aori.u-tokyo.ac.jp

Hirofumi Tazoe, Institute of the Emergency Medicine, Hirosaki University

Akira Oka, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Hajime Obata, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Abstract

Rare earth elements and their radiogenic isotopes in seawater have been shown to provide insights into present and past ocean circulation and weathering conditions on land. However the precise data on REE concentrations and isotopic distribution are not enough to discuss the global geochemical cycles. In this study, concentrations and isotopic compositions in Sagami Bay are incorporated with the global ocean circulation model, and a parameters as sources, particle scavenging, remineralization are examined. Result from model simulations indicates that constant vertical profiles of Ce concentrations derived from irreversible particle scavenging. On the other hand, Nd and other REE concentrations increasing with depth reflected reversible scavenging and remineralization in the deep ocean. These differences also influence to isotopic compositions. Ce isotopic compositions showed relatively heterogeneous distribution and easily affected by local sources such as coastal, aeolian inputs, and remineralization from sediment.

1. はじめに

希土類元素は化学的な類似性が高い元素群であるが、その化学反応性が系統的に変化することから、海洋においては、その起源や粒子反応性を調べるのに適したプロキシである。特にネオジウム(Nd)とセリウム(Ce)には、他の希土類元素から放射壊変によって生成する同位体(¹⁴³Nd, ¹³⁸Ce)が存在し、海水中の同位体比は起源となる岩石の性質を反映している。海洋におけるこれらの同位体比(¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd, ¹³⁸Ce/¹⁴²Ce)の研究が進むにつれ、微量元素の粒子吸脱着過程の解明、水塊のトレーサーや古環境復元にも利用できることが明らかとなってきた。このため、特にNdについては、海洋におけるグローバルな分布を解明することを目指し、国際GEOTRACES計画のキーパラメータに挙げられるようになった(SCOR, 2007)。一方、Ceについては、高精度同位体比分析を行うことでマンガンや鉄など陸源元素の化学トレーサーとしての利用が期待される(Tazoe et al., 2011)。Ce・Ndの濃度・同位体比の変化から、海水中で沈降粒子に吸着するとともに、粒子の分解などにより海水中に再供給されており、縁辺海ではこれらの過程が特に活発に働き、微量元素がダイナミックに循環していることも明らかになってきた。これらの過程は、高精度な同位体分析により初めて解析が可能になった成果である。しかし、観測・分析の困難さから、実際に観測できた海域は限られている。グローバルな物質循環を考える上では、その観測海域を増やすとともに、これらの過程をモデル化し、世界の海洋に適用していくことが求められる。そこで、本研究では、希土類元素の濃度を再現するために構築したモデル(Oka et al., 2009)と同位体比および濃度の観測結果を比較し、現在の海洋において、希土類元素循環の支配要因を解明する。

2. 問題設定・方法

海水中の希土類元素濃度および同位体比分析用試料は相模湾において淡青丸KT-04-8, KT-05-11航海で採取した。濃度分析用試料はCTD-CMSを用いて採水し、孔径0.45μmのディスクフィルター(Kurabo)を用いて船上でただちにろ過した。その後、超高純度塩酸を添加し酸性条件下で保存した。同位体比分析試料は表面海水および200L ラージバンドン採

水器(離合社)を用いて鉛直採水を行った水深50m, 100m, 250m, 400m, 750m, 1000m, 1250m, Bottomを用いた。採取した試料は沈殿処理槽に移送し、MnO₂酸化物を被覆加工したフィルターに吸着濃縮した。試料は陸上研究室に持ち帰り、溶媒抽出(Alibo and Nozaki, 1996)およびイオン交換法(Tazoe et al., 2007)を用いて化学分離した。その後、東京大学大気海洋研究所の表面電離型質量分析(Finnigan MAT 262)を用いて同位体分析、同ICP質量分析計を用いて希土類元素濃度の定量を行った。

モデル実験では東京大学気候システム研究センターで開発された海洋大循環モデルCCSR Ocean Component Model(COCO)を用いて、海洋の温度場、塩分場、流速場などの分離場を計算した後、移流・拡散方程式によりトレーサー濃度分布を計算した。ここでは海洋外部からの供給源として「河川水起源のフラックス」「大気を経由したダスト起源のフラックス」「沿岸域の海底堆積物からのフラックス」、海洋からの除去のプロセスとして「scavenging過程」を取り上げた。Scavenging過程については「表層における一定率での除去」、「不可逆的なscavenging過程」「可逆的なscavenging過程」について取り扱う。以上のさまざまなプロセスについて、そ

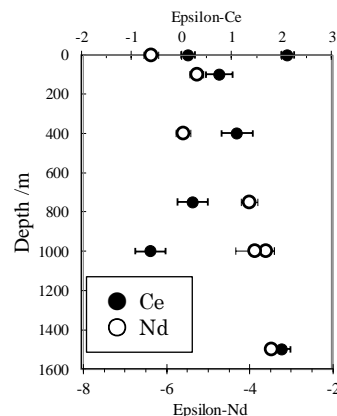


図1 相模湾におけるCeおよびNd同位体比の鉛直分布
($\epsilon_{Nd} = (R_{試料}/R_{標準物質} - 1) \times 10^4$)

それぞれの影響を系統的に議論できるよう数値シミュレーションを行った。

3. 結果と考察

相模湾における Ce 同位体比の鉛直分布は表層から 1000m にかけて水深とともに減少する傾向を示した(図 1)。底層(水深 1500m)では Ce 同位体比のみが顕著な増加を示し、大陸地殻由来の同位体の寄与が大きくなる。このことは堆積物からの再溶解の影響を反映していると考えられ、Ce 濃度に顕著な増加が見られた(図 2 a)。また、その値は表層の値と一致しており、沿岸あるいは大気から海洋表層へと供給された Ce が沈降粒子へと除去され、堆積物から再溶解していることを示している。一方で Nd 同位体比の鉛直分布は水深とともに緩やかに増加する傾向を示した。中層付近では太平洋中層水の報告値($\epsilon_{Nd} = -3.8$, Amakawa et al., 2004)と類似した値を示した。希土類元素である Ce と Nd はともに陸上の鉱物を海洋への主要な供給源としており、海洋での剥離は化学的挙動の差を反映したものである。

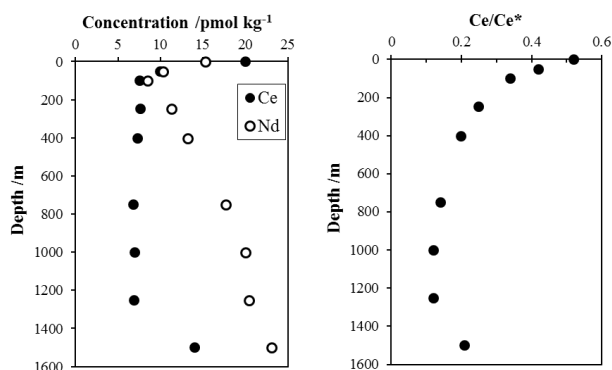


図 2 相模湾における (a) Ce・Nd 濃度および (b) Ce 異常(Ce/Ce*)の鉛直分布

Ce と他の希土類元素との挙動の相違を示す指標として用いられる Ce 異常 (Ce/Ce*) は表層で高く、水深 400m 付近まで減少する。底層では再び上昇した。不溶性の高い化学状態をとる Ce₄ 粒子除去の影響を受けやすく、海水中での他の希土類元素に対する相対濃度は低い(低 Ce/Ce*)。しかし、沿岸域や堆積物からの再溶解など近傍に供給源が存在する場合にはその影響を強く受け、Ce 異常あるいは Ce 同位体比にその影響が顕著に反映される。Ce 沿岸からの影響を受けやすいことを示している。

モデルシミュレーションによって Nd の濃度鉛直分布は、水柱中の粒子濃度に応じた不可逆的 scavenging を考えた場合に類似した傾向を示すが、重希土類元素への系統的な変化を説明することが難しい。海水から粒子の吸着だけでなく、粒子から海水への剥離を表現する可逆的 scavenging 過程を考えることで、この変化を再現することができた。この際、粒子との平衡定数である K_p ($K_p = \text{海水中の希土類元素} / \text{粒子中の希土類元素}$) を大きく設定することで Nd を含む軽希土類元素に対応した表層から深層にかけて直線的に濃度が増加する鉛直分布に近づく。Nd は重希土類元素よりも表層での吸着と粒子分解に伴う再溶解の効果は小さく、500-3000m にかけての中深層での scavenging に伴う粒子吸着の効果の影響が大きい。

一方で表層と底層を除き、ほぼ一定の鉛直濃度分布を示した Ce は同様の可逆的 scavenging を考えたモデルでは対応せず、不可逆的な scavenging を仮定し粒子への吸着速度を非常に早くする必要がある。このことは Ce のみが不溶性の高い 4 価へと酸化されることや深層水中の濃度が栄養塩の濃度分布とは全く異なることと整合的である。粒子吸着性の高い Th と同様に移流拡散の効果は小さいと考えられる。Ce 同位体比の

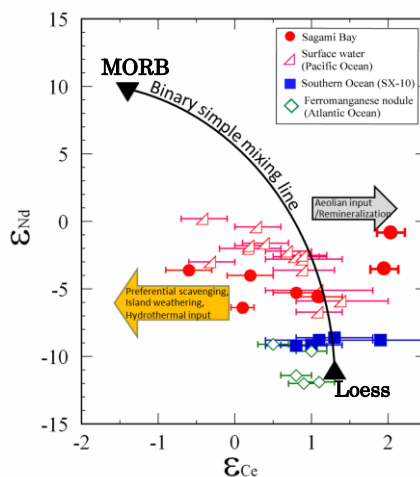


図 3 $\epsilon_{Ce}-\epsilon_{Nd}$ ダイアグラム

鉛直分布が示すように Nd 同位体比に比べ、大きく変化し、近傍の供給源の影響を受けやすい傾向を持つ。そのため海水中の Ce および Nd 同位体比(図 3)は単純な 2 成分混合ラインとは異なり、ローカルな海洋プロセスを反映した Ce 同位体比に大きな変化が観察される。

4. まとめと今後の展望

Ce と Nd は同じ希土類元素に属していながら、化学的性質の相違のため、海洋中での濃度および同位体比分布は大きく異なるものであった。モデルシミュレーションとの比較を行うことでこれらの相違が粒子の吸着・剥離過程にあることが示唆された。今後は両元素が持つ同位体比分布を再現するため、放射壊変起源同位体(^{138}Ce , ^{143}Nd)および基準同位体(^{142}Ce , ^{144}Nd)の海洋への供給源の分布を反映させ、同位体比分布の再現を試みる。両元素は供給源においてはほぼ類似した挙動を示すが、海洋中では Ce の酸化除去過程により挙動の剥離が生じると考えられる。この同位体比分布を再現し、海洋中でのプロセスを解明するため、より詳細な供給源に関する情報に基づくシミュレーション結果と観測データの比較検討を行う必要がある。

参考文献

- (1) SCORE Working Group (2007): GEOTRACES - An international study of the global marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes, *Chemie der Erde*, **67**, 85-131.
- (2) Alibo D.S. and Y. Nozaki (1999): Rare earth elements in seawater: Particle association, shale-normalization, and Ce oxidation, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **63**, 3/4, 363-372.
- (3) Tazoe, H., H. Obata, and T. Gamo (2011): Coupled isotopic systematics of surface cerium and neodymium in the Pacific Ocean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **12**: Q04004, doi:10.1029/2010GC003342.
- (4) Oka, A., H. Hasumi, H. Obata, T. Gamo and Y. Yamanaka (2009): Study on vertical profiles of rare earth elements by using an ocean general circulation model, *Global Biogeochem. Cycles*, **23**, GB4025, doi:10.1029/2008GB003353.
- (5) Amakawa, H., Y. Nozaki, D.S. Alibo, K. Fukugawa and H. Nagai (2004): Neodymium isotopic variations in Northwest Pacific waters, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **68**, 4, 715-727

画像解析を用いたマリンスノーとゼラチン質生物の 微細分布に関する解析方法の確立

A study on methods for extracting fine scale distribution information on marine snow and gelatinous zooplankton

ドゥーグル・J・リンズィー, 海洋研究開発機構, E-mail: dhugal(at)jamstec.go.jp

西川 淳, 東大・大気海洋研, E-mail: jn(at)aori.u-tokyo.ac.jp

吉田 弘, 海洋研究開発機構, E-mail: yoshidah(at)jamstec.go.jp

石橋 正二郎, 海洋研究開発機構, E-mail: sisibasi(at)jamstec.go.jp

マリー・グロスマン, 横浜市立大学, E-mail: grossmann.mary (at) gmail.com

Dhugal J. Lindsay, Institute for Biogeosciences, JAMSTEC

Jun Nishikawa, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Yoshida Hiroshi, Marine Technology and Engineering Center, JAMSTEC

Shojiro Ishibashi, Marine Technology and Engineering Center, JAMSTEC

Mary Grossmann, Doctors Course, Yokohama City University

Abstract

The off-the-shelf software package ImageProPlus (Version 6.3J) was used to calculate in situ particle numbers and cross sectional areas by employing a macro developed during the current project. Images that were analyzed were taken by an Autonomous Visual Plankton Recorder (AVPR) and optimal brightness, contrast and gamma settings for the present dataset were calculated by constructing a matrix of combinations and comparing the extracted data with that determined by manual counts by eye. Automation of this analysis allowed the visualization of particle scavenging with depth and increases in particle concentrations of the order of two within only a 40cm depth horizon. Further funding would have allowed this technique to be applied to multiple ecosystems to allow worldwide comparisons of marine snow particle fields but, surprisingly, funding was withdrawn for the second year of the project.

1. はじめに

マリンスノーとは、海水中を漂うデトリタス、生物体、無機物の凝集体で、0.5mm以上の大型懸濁態粒子を指す。マリンスノーの分布に関してはすでに多くの研究の蓄積があるが、調査されている海域は米国周辺海域に偏っており、他海域、特に大深度・外洋域での仕事は限られている。ビジュアル・プランクトン・レコーダ (VPR) という装置で深海現場のマリンスノー画像が撮れるが、そのデータは一回の観測で数万枚もの非常に膨大な数におよぶため、手作業で画像から情報を得ることは困難である。

2. 問題設定・方法

プランクトンの画像分析に関してはソフトウェアによる画像認識同定システムは開発されている。しかしながら、マリンスノーにはそのソフトウェアが対応していないことや異なる測器に付随する個々の独自のソフトウェア間でデータを共有することができないことが問題点として指摘されている。我々は off-the-shelf で誰でも購入し、使用できるソフトウェアでマリンスノー存在量の定量化及び詳細な分布情報を計算できるシステムを開発することを第一の目標に設定した。具体的には ImageProPlus (日本ローバー社) というソフトウェアでマクロを組んで、様々な解析を試みた。

3. 結果と考察

マクロの開発によってマリンスノーの海域別鉛直分布 (図1) や全粒子各サイズフラクションの鉛直分布 (図2) を把握することができるようになった。

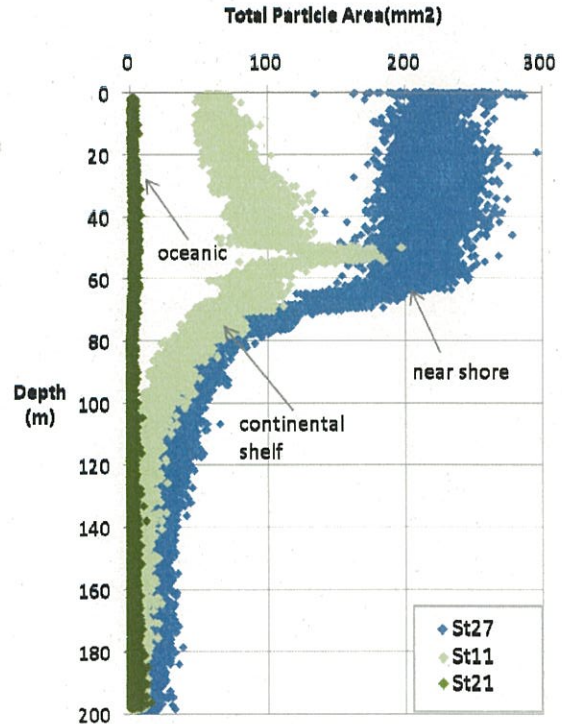


Fig. 1 Total particle area vs depth at three stations off the Antarctic continent as calculated using the present methodology.

4. まとめと今後の展望

この解析方法は相対的な粒子量を計算するには最適であるが、絶対量を出すことはまだ困難である。本研究「一般共同研究」は一年分だけの資金だったが、ここで開発できた技術をベースに使った研究「光学プランクトン観測システムによる動物プランクトン生産力の定量評価」が科学研究費基盤研究 A で採択となったため、この技術をさらに発展させ、物質循環の評価などに貢献できるように研究を進める予定である。

参考文献

- (1) Lindsay, D. J., Sunahara, K., Ishitani, Y., Watariguchi, K., Nishikawa, J. and Yamaki, A. 2012. Particle profiles vs. depth in eastern Antarctica in austral summer 2007–2008: a study using an autonomous Visual Plankton Recorder with notes on the diversity and fine-scale distribution of Ctenophora, Acantharia and Phaeodaria. *Antarctic Science* (accepted).

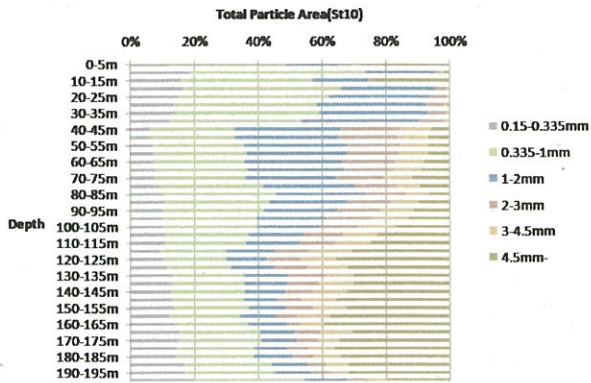


Fig. 2 Increase in the average size of marine snow particles as they scavenge other particles during sinking.

ゼラチン質生物の詳細な鉛直分布を把握することもできたが、自動化することはまだ困難である。

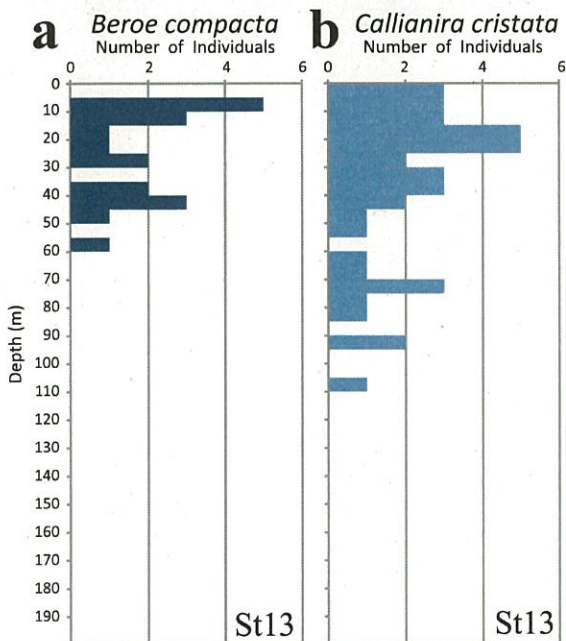
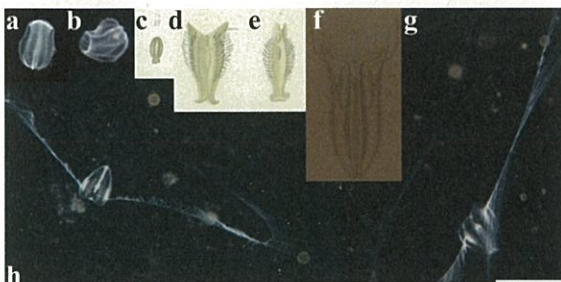


Fig. 3 Vertical distribution of two species of ctenophore in Antarctic waters near the Mertz Glacier before it calved.

北太平洋水塊混合・形成域における乱流混合過程観測並びに鉛直拡散係数の推定

Observation of turbulent mixing processes and estimation of vertical eddy diffusivity in the area of mixing and water mass formation area of the North Pacific Ocean

吉田 次郎, 東京海洋大・海洋科学技術研究科, E-mail: jiroy(at)kaiyodai.ac.jp

北出 裕二郎, 東京海洋大・海洋科学技術研究科, E-mail: ykitade(at)kaiyodai.ac.jp

Jiro Yoshida, Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology

Yujiro Kitade, Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology

Abstract (Times New Roman 10pt)

Turbulent eddy diffusivities are estimated in the North Pacific Ocean in the R/V Hakuho-Maru cruises, KH-05-4, KH-07-1, KH-08-3 and KH-11-8. Preliminary results revealed the low activity of turbulence in the layer shallower than 600m depth, and, any significant latitudinal dependence of turbulence was detected along 145°W between 50°N to 36°N.

1. はじめに

現在の海洋物理学において最重要課題である「気候変動における海洋の役割の明確化」にとって、海洋の表層、中層、深層のすべてのレベルでの大循環構造を正確に把握することが緊喫の課題である。北太平洋海域は世界の海洋を巡る深層循環の終端であり、生まれ故郷へと帰る出発点ともなる非常に特異な海域である。そのため北太平洋において全層にわたる循環像を把握することは特に重要である。また、北太平洋は一様な水温・塩分で特徴づけられる亜熱帯モード水(STMW)、シャープな塩分極小水である北太平洋中層水(NPIW)など、特異な水塊が層構造をなす海域でもある。しかるに、大循環の強さ、また、水塊の鉛直・水平混合・変質過程を支配する中小規模の渦とそれに伴う鉛直渦拡散係数が十分に把握されているとは言い難く、当該海域での乱流拡散混合過程に注目した観測研究が重要である。また本研究によって明らかにされる海水の混合や輸送は、化学や生物や生物資源の研究に重要な知見を与える。本研究を実施することにより、熱や塩分の鉛直輸送に重要であり未だ不明な点の多い二重拡散対流について、微細混合過程に果たす役割をいっそう明確に出来る。また、鉛直拡散係数の評価は直接的に大気海洋大循環モデルの改善につながり、深層も含めた大循環像をより明確にすることが出来ると考えられる。

2. 問題設定・方法

白鳳丸 KH-11-8 次研究航海に参加して、太平洋の各種水塊の形成、維持、消滅過程に関わる鉛直混合過程に注目して乱流微細構造観測を行う。太平洋東部の亜寒帯海域では、風によって海水が海洋内部に押し込められ、亜熱帯循環の東方を南下して熱帯循環に流入し、北から南へ高渦度・低塩分の海水が輸送されるという重要な現象が起きている。この現象の発生海域では風エネルギーが混合層を経て海洋内部に注入されていると考えられるので、本航海でこの海域の表層乱流観測を行う。これまでにも、数次にわたる白鳳丸航海で北太平洋海域の亜熱帯循環海域(混合が比較的小さいと考えられる)、亜熱帯モード水下部、北太平洋中層水下部とその形成域(混合は強)などで観測を積み重ねており、その経験を踏まえ、深層までのCTD観測に併せて、海洋表層1000db付近までの乱流微細構造観測を行い、微細混合過程が特異的な水塊の生成・変質過程に及ぼす影響、並びに観測資料解析により鉛直拡散係数の確度の高い推定を試みる。

微細乱流構造観測には海洋大学現有のTURBOMAPを用い

る。XCTDは本研究費で購入した。白鳳丸CTDデータからは密度比、CTD、LADCPデータからリチャードソン数、Turbomap8からはエネルギー逸散率を求め、鉛直拡散係数の推定を試みる。

3. 結果と考察

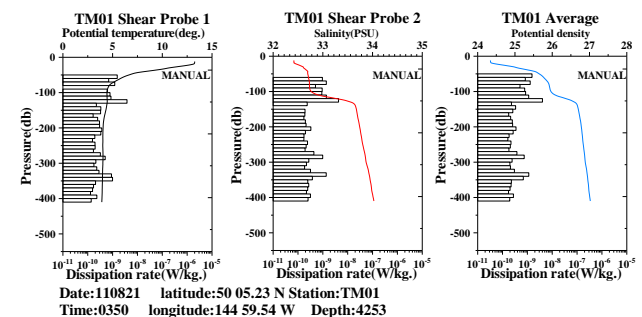
Turbomap8は鉛直乱流強度測定装置であり、0.5~0.7m/sで下降しながら、600m深程度までのShear probe(2本装着)による乱流シア、FPO7による超高速応答水温の他に、白金応答水温、電気伝導度(塩分)、水圧・水深、X軸加速度、Y軸加速度、Z軸加速度、クロロフィルaデータをシーケブルを通して512Hzで高速サンプリングする。KH-11-8次航海では全部で15回のキャストを行い、測定された乱流シアよりエネルギー逸散率ε、並びに、鉛直渦拡散係数K_vを以下の式から計算した。

$$\varepsilon = \frac{15}{2} \nu \overline{\left(\frac{\partial u'}{\partial z}\right)^2}, \frac{\partial u'}{\partial z} : \text{乱流シア}, \nu : \text{分子粘性係数} = 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{sec}$$

$$K_v = 0.2 \frac{\varepsilon}{N^2} \quad N : \text{Buoyancy Frequency}$$

下図はLeg 1のTM01観測点で得られたエネルギー逸散率をTurbomapで得られた水温、塩分、密度と共に表示したものである。

Fig.1 Turbulent energy dissipation rate obtained at Station



TM01

今航海ではεの値は表層付近を除いてε<10⁻⁸(W/kg)と小さく、乱流活動は概ね低い傾向にあった。Fig.2は左に示した式を用いて計算した鉛直渦拡散係数K_vを示したものである。

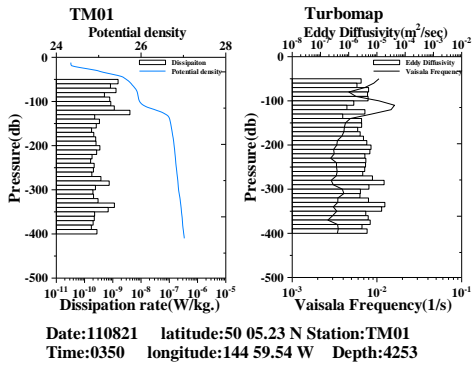


Fig.2 Turbulent eddy diffusivity and Brunt-Vaisala Frequency.

K_v は概ね 10^{-5} (m^2/sec) 以下の値をとっており、この測点で最大でも 1.8×10^{-5} (m^2/sec) であった。

Fig.3 に $145^\circ W$ に沿った K_v の変化を示す。

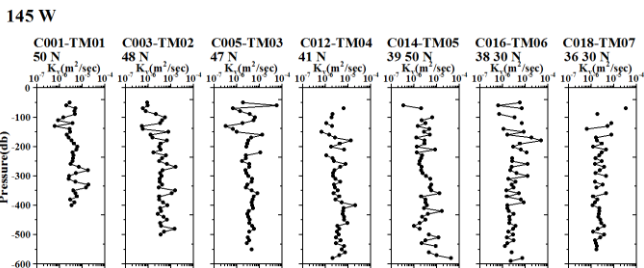


Fig.3 Latitudinal variation of turbulent eddy diffusivity along $145^\circ W$.

深海において乱流強度は北緯 30 度を境にして変化するという指摘がある (Ganachaud and Wunsch, 2000, Hibiya et al., 2007) が、この図からは明確な傾向は見られない。

4. まとめと今後の展望

現時点までに、KH-05-4、KH-07-1、KH-08-3、KH-11-8 次の4航海で Fig.4 に示すような地点において乱流観測データを得ている。

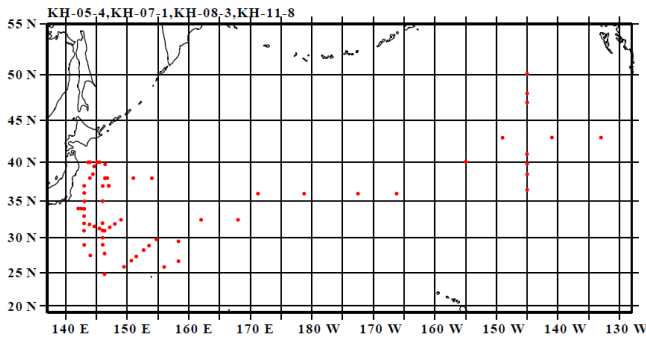


Fig.4 Turbomap stations in KH-05-4, KH-07-1, KH-08-3, KH-11-8 cruises.

今後はこれらのデータに KH-12-5 次航海でのデータを加えて、鉛直渦拡散係数のパラメータ化、並びに二重拡散対流との関連性についてまとめる予定である。

参考文献

- (1) Ganachaud, A. and C. Wunsch 2000: Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrographic data. *Nature*, 408(23), 453-457.
- (2) T. Hibiya, M. Nagasawa, and Y. Niwa 2007: Latitudinal dependence of diapycnal diffusivity in the thermocline observed using a microstructure profiler, *Geophys. Res. Lett.*, 34(24), L24602, doi:10.1029/2007GL032323.

環境復元に有用な造礁サンゴの骨格形成機構に関する研究

A study on biomineralization mechanisms of scleractinian coral

新里宙也, 沖縄科学技術研究基盤整備機構, E-mail: c.shinzato(at)oist.jp

日下部誠, 東大大気海洋研, E-mail: kusakabe(at)aori.u-tokyo.ac.jp

井上麻夕里, 東大大気海洋研, E-mail: mayuri-inoue(at)aori.u-tokyo.ac.jp

Chuya Shinzato, Okinawa Institute of Science and Technology Promotion Corporation

Makoto Kusakabe, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Mayuri Inoue, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Abstract

Coral skeletons are important indicators for marine paleoenvironmental reconstruction. However, it is unclear how changes in environmental factors affect the coral skeleton formation, since the mechanisms of the coral skeletal formation by coral soft tissues have not yet been fully elucidated. In the present study, we focused on the roles of Ca^{2+} -ATPase to temperature changes in *Porites australiensis*. We performed transcriptome sequencing of *Porites* RNA using next-generation sequencing technology and the data were *de novo* assembled into 62,809 contig sequences (total 80Mbp). A 6719 bp cDNA fragment containing an 3468 bp open reading frame, which encodes a predicted protein of Ca^{2+} -ATPase consisting 1156 amino acids was obtained from the assembled data. The increases of skeletal growth by temperature changes appeared to have minimal relationship with changes in Ca^{2+} -ATPase gene expression, though the levels of Ca^{2+} -ATPase gene expression were different among the different colonies.

1. はじめに

造礁サンゴのサンゴ骨格 (CaCO_3) に含まれる微量元素や各種同位体比は、過去の海洋環境のよい指標となることが知られており、IPCC レポートなどにもそのデータは貢献している。特に長命で数百年分の骨格サンプルが得られるハマサンゴ (*Porites* spp.) の骨格中の微量元素・カルシウム比は海水温のよい指標として研究が蓄積しており、精密な気候復元の研究に貢献している。近年の研究により、サンゴ骨格はサンゴの生物活動を通して形成されるため、必ずしも無機化学平衡のみで骨格形成が進むとは限らないことが明らかになってきた。しかしながら、サンゴの骨格形成や成長そのものに関する生物学的メカニズムについてはいまだ不明な点が多い。そこで本研究では生物学だけではなく、地球化学分野と連携して、海洋環境の高精度な間接指標となり得るサンゴの骨格形成機構の解明を目指して研究を推進している。

2. 問題設定・方法

最近の研究から、サンゴ骨格の形成にはカルシウムポンプである Ca^{2+} -ATPase が重要な働きをしていることが示唆されている (図1)。

Ca^{2+} -ATPase は光や温度によってその働きが変化することが報告されているため、外部環境の違いにより骨格の成長速度も変動することが予想される。実際にサンゴ骨格は昼間や夏期など日射量が高い時には、成長量も多いことが知られているが、これは一般に共生藻の光合成活動により骨格形成に十分な栄養が供給されるためと漠然と捉えられていただけで、 Ca^{2+} -ATPase の働きについてはあまり着目されていなかった。我々の研究グループは、これまで温度などの環境因子の変化がもたらす Ca^{2+} -ATPase と骨格の成長速度 (石灰化速度) の変動を解析することを目的として研究を継続して行ってきた。しかしながら、通常の遺伝子クローニング法を用いた

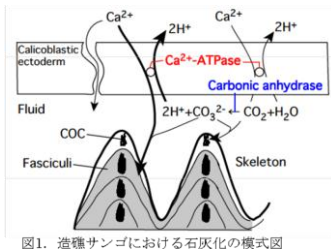


図1. 造礁サンゴにおける石灰化の模式図

Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の単離がハマサンゴにおいては極めて難しく、ハマサンゴ Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の全長配列を単離することが出来なかった。そのため、これまで部分配列を用いた断片的な解析を行ってきたが、全長配列を用いた統括的なハマサンゴ Ca^{2+} -ATPase の働きに関する理解が困難であった。そこでこの問題を解決するために、本研究では以下の5点について研究を進めた。

(1) ハマサンゴからの RNA の抽出方法を再検討し、RNA の分解・変質を低く保てる RNA 抽出法を開発する。

(2) Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の単離には、近年急速に発達している次世代シーケンサーを用いる。ハマサンゴに発現している遺伝子 EST のデータベースを作製し、そのデータベースをもとにハマサンゴ Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の配列を決定する (**).

** 哺乳類では多種類の Ca^{2+} -ATPase 遺伝子が存在することが分かっていることから、ハマサンゴについてもいくつかの Ca^{2+} -ATPase が存在すること予測される。現在、我々が得ている部分配列は一つのみであるが、次世代シーケンスを用いることにより、複数の Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の配列を決定すること出来る可能性が高い。

(3) 同定された Ca^{2+} -ATPase 遺伝子配列をもとに分子系統解析を行う。

(4) 単離された Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の配列をもとに、DIG 標識 cRNA プローブを作成する。In situ ハイブリダイゼーション法を用いて、 Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の発現部位を明らかにする。

(5) 単離された Ca^{2+} -ATPase 遺伝子の発現が環境要因 (水温) の変化によってどのように発現が変化するかをリアルタイム PCR 法を用いて解析する。また、環境要因の変化にともなう骨格成長の変化もモニタリングする。

担当

新里宙也：次世代シーケンスによる EST の作製

日下部誠：Ca²⁺-ATPase 遺伝子の発現解析

井上麻夕里：ハマサンゴの骨格成長の解析

3. 結果と考察

(1) 植物から RNA を単離する方法応用することによって、次世代シーケンスにも使用可能な極めて質の高い RNA の抽出が可能になった。このことは今後のハマサンゴを用いた生物学、特に遺伝子発現解析するために重要な進歩であった。

(2) 得られた RNA を用いて次世代シーケンスの解析を行い、トータルで 14Gbp のデータ (101bp X 2 のペアエンドシーケンス) を得た。次世代シーケンスにはイルミナ社の HiSeq 2000 を用いた。得られたデータのうち、高品質の塩基 (Quality value ≥20) のみを使用し、Velvet/Oases アッセムブラを用いてアッセムブルを行った。その結果、トータルで 80Mbp (GC 含量 45.8%)、62,809 の配列 (100bp 以上) を得た。これらの平均長は 1,278bp で N50 サイズは 2,256bp、最長のものは 44,585bp であった。約 6 万の配列のうち、21,536 配列 (全体の 34%) が完全長の ORF (ORF が 450bp 以上で 5' と 3' の非翻訳領域が 20bp 以上) を含んでいると予想された。我々がこれまで得ていたハマサンゴ Ca²⁺-ATPase の部分配列を用いて、アッセムブルデータから検索した結果、6719bp のハマサンゴ Ca²⁺-ATPase 遺伝子の全長配列を得ることが出来た。その配列から予測されるアミノ酸配列は 1156aa であった。現在、解析中ではあるが、いくつかの異なるタイプの Ca²⁺-ATPase の配列も確認されている。現在もアッセムブルの解析を継続して行っている。

(3) 得られた Ca²⁺-ATPase 遺伝子配列をもとに分子系統解析を行ったところ、今回得られたハマサンゴ Ca²⁺-ATPase は Plasma membrane Ca²⁺-ATPase に属する Ca-ATPase であることが分かった (図 2)。

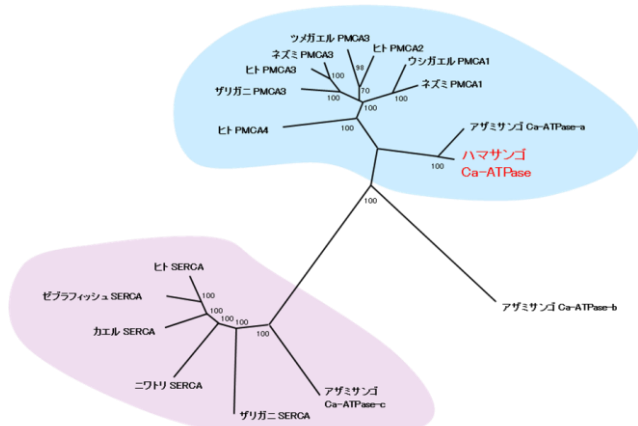


図 2. Ca²⁺-ATPase の分子系統解析

(4) 単離された Ca²⁺-ATPase 遺伝子の配列をもとに、DIG 標識 cRNA プローブを作成し、*in situ* ハイブリダイゼーションを行ったところ、造骨細胞に関係する可能性のある細胞群でシグナルを得た (図 3)。しかしながら、ハマサンゴの組織学に関する情報がほとんどないため、Ca²⁺-ATPase が発現している細胞が何であるかを同定することが出来ていない。今後は他種のサンゴとの比較検討を行い、今回シグナルが得られた細胞が何であるかの解析を進めていきたい。

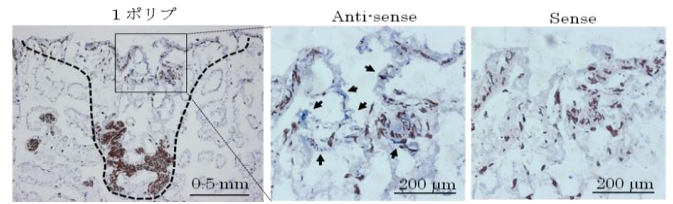


図 3. ハマサンゴ Ca²⁺-ATPase の *in situ* ハイブリダイゼーション。矢印は Ca²⁺-ATPase ポジティブのシグナルを示す。

(5) 今回得られた Ca²⁺-ATPase の遺伝子発現変化をリアルタイム PCR 法により解析した (図 4)。これまでの研究で、同じハマサンゴでもコロニーによって成長率が異なることが報告されている。本研究では、成長率の良いコロニーのサンゴでは比較的 Ca²⁺-ATPase の遺伝子発現が高い状態で維持されている可能性が示唆される結果が得られた。また、ハマサンゴを異なる水温で 1 日から 3 日間飼育し、Ca²⁺-ATPase の遺伝子発現変化を解析した。Ca²⁺-ATPase 遺伝子の発現変化はコロニーによって、温度に対する反応が異なることが明らかになってきた。このことから、水温が高くなることによって必ずしも Ca²⁺-ATPase の活性が高くなるわけではないことが示唆された。これらの結果から、Ca²⁺-ATPase の遺伝子発現がハマサンゴの成長に何らかの関わりがあることが示唆された。今後は今回得られた結果をもとに、解析に用いるコロニーの数を増やす、あるいは飼育実験の期間を更に長期で行うなどの実験によって、解析の精度を上げる必要がある。

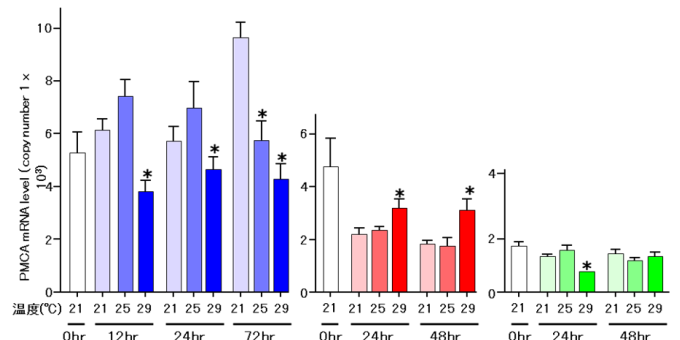


図 4. 温度変化による Ca²⁺-ATPase 遺伝子の発現変化

4. まとめと今後の展望

本研究での最大の成果はハマサンゴから次世代シーケンスに用いることが出来るグレードの RNA の抽出法を確立し、実際に次世代シーケンス技術を用いてハマサンゴの EST データベースを構築することが出来たことである (現在データ解析中)。これまで全長配列を決定することが出来なかった Ca²⁺-ATPase 遺伝子の全長配列が明らかになり、その情報をもとにハマサンゴ Ca²⁺-ATPase 遺伝子の発現解析まで研究を進めることが出来た。EST のデータアッセムブルが完了すると Ca²⁺-ATPase だけでなく、様々な遺伝子の配列情報を容易に得ることが可能になる。今後も地球化学分野と連携して骨格中の微量元素変動と温度との関係を再考察し、環境ストレスに応答するサンゴ骨格中の遺伝子の探索を行う。特に近年、大気中の二酸化炭素濃度の上昇に伴って、海洋の酸性化が問題視されているが、この問題を議論する上で不可欠な海水の pH 変動の指標となり得る遺伝子にも着目しながら研究を進めていく予定である。

海洋中層におけるシアノバクテリア *Synechococcus* の起源と生存戦略の解明

A study on subsisting of *Synechococcus* in the dark ocean

宗林 留美, 静岡大学・理学部, E-mail: srsohri@ipc.shizuoka.ac.jp
浜崎 恒二, 東京大学・大気海洋研究所, E-mail: hamasaki@ori.u-tokyo.ac.jp
Rumi Sohrin, Institute of Geosciences, Shizuoka University
Koji Hamasaki, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Abstract

Synechococcus (cyanobacteria) is widely distributed in the world's ocean surfaces, and its subsisting is recently unveiled in the meso- and bathypelagic zones. To understand potential carbon and energy sources of *Synechococcus* in the dark ocean, utilization of organic compounds by *Synechococcus* was studied by manipulation experiments using the seawater collected in the Suruga Bay. Surprisingly, *Synechococcus* abundance was increased by the addition of the antibiotics, which is an inhibitor of bacterial cell growth. *Synechococcus* was grown by the addition of the antibiotics not only in the light and dark cycle condition but also in the continuous darkness. This result suggests catabolism and assimilation of the antibiotics by *Synechococcus*, which might help *Synechococcus* to subsist in the coastal dark ocean.

1. はじめに

光合成生物であるシアノバクテリアの *Synechococcus* は、炭素およびエネルギーの獲得に光を必要とする点と、細胞サイズの小ささから、中層以深での存在が無視されてきた。しかし、申請者らは深度 200m 以深のいわば無光層で *Synechococcus* が海域・季節によらず鉛直的に一定数存在し、沈降フラックスの高い季節には無光層の現存量が全水柱の現存量の 80% を占めることを見出した(Sohrin *et al.*, 2011)。そこで、海洋中層で *Synechococcus* が生存するための戦略を明らかにすることを目的とし、*Synechococcus* の有機物利用能を調査した。申請書には *Synechococcus* の種構成を調べることで中層に存在する *Synechococcus* の起源を調査することを記載していたが、方法および定義の問題点を審査結果書類で指摘されたことを考慮し、種構成の調査は行わなかった。

2. 問題設定・方法

焼津市の駿河湾深層水取水供給施設の地下取水ピットにて深度 397m の海水(以降、397m 駿河湾深層水と呼ぶ)を採取し、捕食者を除くためにろ過を行った。得られたろ過海水の一部に有機物を添加し(終濃度 1mmol C L⁻¹)、有機物を添加しない系(以降、コントロールと呼ぶ)と共に、明:暗=12 時間:12 時間周期または連続暗条件にて静置培養を行った。また、駿河湾清水港の三保マリーナでバケツによる表面採水を行い、ろ過と有機物の添加を行った後、明:暗=12 時間:12 時間周期で静置培養した。培養期間中、消灯した研究室で定期的に培養サンプルの一部を採取し、落射型蛍光顕微鏡を用いて *Synechococcus* の現存量を求めた。

3. 結果と考察

添加した有機物の内、最も意外性のある抗生物質 A の結果を紹介する。抗生物質 A はバクテリアの増殖を防ぐ効果が認められた化合物であり、医薬品・食品分野で使用されている。本報告では、研究成果の将来的な特許申請の可能性を考慮し、抗生物質 A の物質名の記載を控えることをおゆるし頂きたい。また、抗生物質 A に関する文献名の記載を控えること、成果の一部しか記載しないこともおゆるし願いたい。

抗生物質 A を添加した系では、コントロールよりも *Synechococcus* の現存量が顕著に増えた(図 1)。抗生物質 A の添加による現存量の上昇は、清水港表面海水でも 397m 駿河湾深層水でも見られ、また、培養中の光条件によらず再現された(表 1)。この結果は、表層および中層の *Synechococcus* が

エネルギー源および(または)炭素源として抗生物質 A を利用可能であることを示唆する。

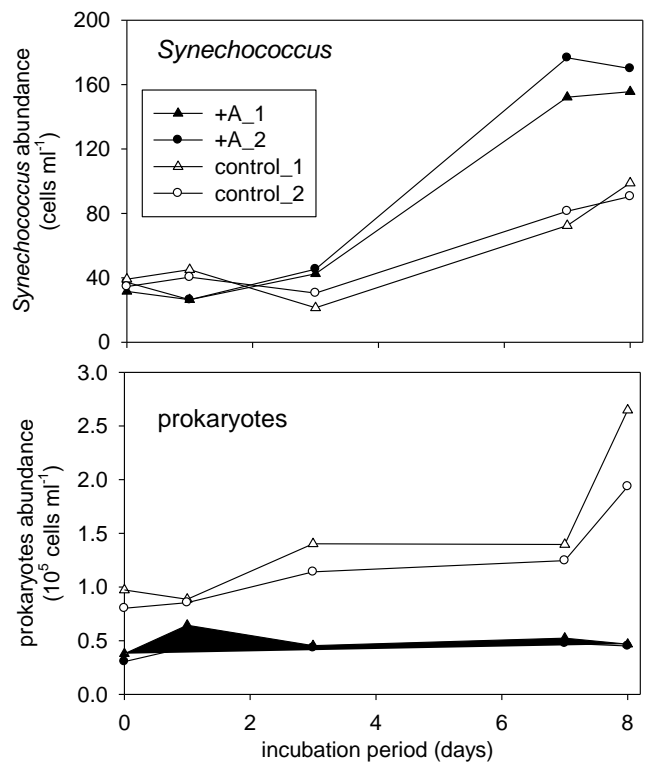


Fig. 1. Abundance of *Synechococcus* (top) and prokaryotes (bottom) during the incubation experiment using seawater from 397 m depth with (+A) or without (control) addition of antibiotics A. Incubation was performed in duplicate bottles (designated 1 and 2 in legend) in constant darkness.

抗生物質 A で増殖可能な *Synechococcus* の単離を試みたところ、平板培地での明暗周期の培養によって 397m 駿河湾深層水から単離することに成功した(図 2)。土壌では抗生物質を唯一の炭素源として増殖可能なバクテリアが単離されているが(Dantas *et al.*, 2008)、抗生物質 A で増殖可能な微生物の単離は海洋およびシアノバクテリアでは初めてと考えられる。一方、従属栄養バクテリアでは抗生物質 A の添加による増殖が検出されなかった(図 1)ことから、使用した抗生物質 A の品質は適当であったと考えられる。

Table 1. Abundance of *Synechococcus* (cells ml⁻¹) on day 8 of incubation experiments with (+A) or without (control) addition of antibiotics A.

sample	incubation	+A	control
Shimizu port, 0 m (+nutrients) ¹	light : dark = 12h : 12h, 18.0°C	(15, 19)×10 ³	(8.0, 8.6)×10 ³
Shimizu port, 0 m	light : dark = 12h : 12h, 26.1°C	(13, 14)×10 ³	(2.1, 8.2)×10 ³
off Yaizu port, 397 m	light : dark = 12h : 12h, 26.1°C	160, 230	100, 150
	constant darkness, 26.1°C	160, 170	99, 91

¹ Added nitrate and phosphate at their concentrations in f/2 medium.



Fig. 2. A greenish colony on an agar medium containing antibiotics A.

4. まとめと今後の展望

抗生物質 A は海上の養殖生簀で使用されているものの、人工化合物であるため、海水中での濃度は極めて低いと考えられる。そこで、現在進めている抗生物質 A の測定を確立し、

海水中での濃度と、*Synechococcus* の培養液中での濃度変化を明らかにすることで、今後は海洋での実態解明を目指す。たとえ抗生物質 A が現場海洋で基質として寄与する可能性が低くても、抗生物質 A を突破口として基質の推定が可能となったことが本研究の一つ目の成果である。

抗生物質 A は化学的に安定なため環境中に蓄積し、耐性菌の出現を促すことが問題になっている。*Synechococcus* による抗生物質 A の利用は環境浄化への応用の可能性を秘めており、耐性機構の解明にも貢献し得るため、生態学から工学や医学への学際連携が開かれるかもしれない。これが本研究の二つ目の成果である。今後は、単離した *Synechococcus* を用いて、未だ報告例のない抗生物質 A の代謝経路の解明を目指す。

参考文献

- (1) Dantas, G., M. O. A. Sommer, R. D. Oluwasegun, and G. M. Church, 2008: "Bacteria Subsisting on antibiotics", *Science*, 320, 100-103
- (2) Sohrin, R., M. Isaji, Y. Obara, S. Agostini, Y. Suzuki, Y. Hiroe, T. Ichikawa, and K. Hidaka, 2011: "Distribution of *Synechococcus* in the dark ocean", *Aquat. Microb. Ecol.*, 64, 1-14

海洋環境情報の実測に基づくマリンスポーツの安全基準に関する研究

A study on safety standards for marine sports based on actual measurements of marine environmental condition

荒 功一, 日大・生物資源, E-mail: arakoich@brs.nihon-u.ac.jp
遠藤 大哉, 東海大・海洋, E-mail: hiroya_e@jcom.home.ne.jp
Koich Ara, College of Bioresource Sciences, Nihon University
Hiroya Endo, School of Marine Science and Technology, Tokai University

Abstract

Although in Japan there is a guideline on safety measure for open water swimming (OWS) events, the on-the-spot decision has been actually left to the promoters' judgments based on their empirical knowledge. In this study, physical properties (i.e. current, water temperature, etc.) were measured in the coastal area off Shonan Beach, Kanagawa Prefecture, of Sagami Bay in August 2011 in order to provide information on sea conditions to the promoters of Shonan OWS event. On August 27, 2011, sea condition was relatively good for swimmers due to weak northerly winds, calm waves, high water temperatures and weak currents at the sea-surface. The information on these sea conditions was actually very valuable for the promotion of Shonan OWS event in 2011. In addition, the significance of information on sea conditions was discussed for the further advancement of marine sports and leisures in Japan.

1. はじめに

海洋基本法の成立以来、国民が海に親しむことが奨励され、マリンスポーツの振興が進められている。湘南海岸（神奈川県三浦半島の中央西部から相模湾奥の海岸一帯）は、近年、本邦で最もマリンスポーツ（競泳、ヨット、サーフィン、ウィンドサーフィンなど）、マリレジャー・レクリエーション（海水浴、ダイビング、釣りなど）が盛んに行われている海域の1つである（Ara, 2008）。

湘南海岸では、2004年に第1回の『湘南オープンウォータースイミング（以下、湘南 OWS）』という競泳大会が開催されて以来、2011年で8回を数え、この湘南 OWS は現在国内で開催されている約50の OWS 大会のうち最大の規模（参加者約2,000名）を誇る。湘南 OWS は、毎年8月に逗子・鎌倉・藤沢の3市の海岸にスタート・ゴールを設けて OWS10km、OWS2.5km、江ノ島スイムツアー800mの3コースで行われる。湘南 OWS の開催時には、陸上での運営支援者300名の他、海上でライフセーバー50人を含む約200名がヨット、シーカヤック、水上オートバイ、その他船艇により監視に当たり、泳者の安全確保には万全のガード体制が敷かれてきた。しかしながら、2009年の湘南 OWS 大会中に52歳の男性参加者1名が溺死（警察発表）するという事故が発生した。その際、現場では早期救助および早期蘇生処置が施されたが、搬送先の病院で帰らぬ命となった。この事故を受けて湘南 OWS 安全委員会は、当日の海況、ガード体制、溺水のメカニズム等の観点から分析を試みたが、具体的な原因の特定には至らなかった（遠藤・道田, 2011）。

近年、OWS の人気が高まる一方でこうした事故が後を絶たないことを重視して（財）日本水泳連盟は、2010年3月に『オープンウォータースイミング競技に関する安全対策ガイドライン』を示した。このガイドラインでは、開催地の選定条件の観点を『自然環境』と『社会環境』に分け、それぞれ確認事項を挙げた。自然環境に関しては波高、離岸流の有無などであり、開催の可否については主催者が『波高、風力、水温などの項目ごとに策定し、競技会当日のコンディションに照らし合わせ総合的に判断することが望ましい』としている。つまり、ガイドラインはあるものの、現場での決定は主催者の判断に委ねられ、流速や波浪の実測データに基づく客観的

指標を作らない限り、誰かの経験的知識に頼る構造は変わらない。そこで我々は、湘南 OWS 会場の開催担当者にレースに必要な海洋情報を提供することを目的として、レースが行われる海域で海況（潮流、水温など）の測定を実施した。さらに、こうした海洋情報のマリンスポーツ・レジャー振興における意義について検討を試みた。

2. 方法

湘南 OWS のコースがサーフゾーンに近い海域でもあるため、レース当日の観測に備え約2週間前の2011年8月12日に予備観測を実施した。8月12日の予備観測時には、GPS搭載漂流ブイ4個を湘南 OWS 大会の10kmコース上の逗子湾沖、鎌倉材木座沖、鎌倉七里ヶ浜沖、藤沢片瀬東浜沖に各1個放流し、数時間にわたって追跡した。GPS搭載漂流ブイを放流した際に各地点（現場水深5~12m）の水温・塩分は、表層から海底まで1m毎にアレック電子社製 STD を用いて測定した。8月12日に行われた予備観測の結果を踏まえて、同様の観測を湘南 OWS 大会1日目の2011年8月27日に実施した。8月27日には、8月12日に行われた予備観測とほぼ同じ場所で同様の観測を行ない、得られた流況と水温のデータを随時大会本部の遠藤に電話連絡し提供した。

湘南 OWS 大会当日を含む前後期間のコース周辺海域の流向・流速・水温は、江の島沖約4.5km（北緯35°16'、東経139°29'、現場水深約55m）の水深10m層（観測期間：8月12日~9月1日）および鎌倉市腰越地先の腰越沖小型定置網（北緯35°17'、東経139°30'、現場水深約10m）の水深2m層（観測期間：8月26日~9月6日）にそれぞれアレック電子社製 COMPACT-EM を設置・係留し1時間毎に連続観測を行った。

8月12日の大会前予備観測日および湘南 OWS 大会当日のコース付近の気象（天気、風向・風速、気温など）情報について、江の島・湘南港で1時間毎に測定・公開されているデータは、神奈川県藤沢土木事務所を通して江の島ヨットハーバー（(株)湘南なぎさパーク）より提供を受けた。

3. 結果と考察

気象条件：江の島周辺の天気は、8月12日が晴れ、27日が曇り（陽射なし）、28日が晴れだった。江の島での気温は、8月

12日(9~13時)が29.8~30.2°C、湘南 OWS 大会が開催された27日・28日(いずれも9~13時)がそれぞれ24.2~26.9°Cと26.7~30.0°Cだった。8月12日には、午前から午後にかけて南(南~南西)寄りの弱い風が継続的に吹いた。8月27日・28日のレース中(9~13時)は、北(北~東北東)寄りの弱い(風速2.1~5.0 m s⁻¹)風が継続的に吹いた。

水温・塩分：8月12日にコース上4地点(逗子湾沖、鎌倉材木座沖、鎌倉七里ヶ浜沖、藤沢片瀬東浜沖)の水深0~2m層での水温は、27.7~29.5°Cといずれの地点でも高水温だった。塩分は32.3~33.7の範囲であり、いずれの地点でも河川水(淡水)流入による極端な低塩分は認められなかった。8月27日にコース上4地点の水深0~2m層での水温は25.1~25.8°Cであり、8月12日より2.2~4.1°C低かったものの、依然高水温だった。塩分は31.9~33.9の範囲であり、8月12日と同様だった。

GPS 搭載漂流ブイによる流向・流速：8月12日には、逗子湾沖で流したものが南南東に流れた他は、当日の南寄りの風によっていずれも北(岸)向きに流れた。そのうち1個は、腰越漁港の奥深くに流れ込み、回収に注意を要した。8月27日に流したブイは、北寄りの風を反映して4個のうち鎌倉七里ヶ浜沖の1個を除いて概ね南向きに流れた。流速はいずれも0.1~0.2 ノット程度であり、泳者に大きな影響を与えるものではなかったと思われる。鎌倉七里ヶ浜沖に流したブイが他の3個と異なる動きを見せたことは、吹送流による沖出しの流れを補償するような流れがこの空間スケールにおいて存在することを示唆する。

上位者がゴールした後に再度出港し、泳者の障害にならないよう海上でレース最後尾の位置に待機しつつ、東から、すなわちスタート地点側から順にブイの回収を行った。2個目のブイ(鎌倉材木座沖)の回収に向かっている途中で、レース中に異変を起こした泳者を発見したため、急遽救助に向かい、当該泳者を船上に揚収した。船上で防寒措置を講じた上で、しばらく後に大会の監視ジェットスキーに引き渡し、大事には至らなかった。レース前に実施した4点の観測では、表面水温が約25.6°Cであり特に低いというほどではなかったものの、日射の少ない状況であったため、レース中に体温を奪われたものと推定された。あるいは、観測の空間密度が粗いことにより、局所的な冷水を捉えられていなかった可能性もあると思われる。

係留系連続観測：8月26日~9月6日の期間中の腰越沖小型定置網(水深2m層)での水温は23.9~27.6°Cの範囲で変動し、概ね南(西南西~南南東)向きに流速0.1~0.7ノットの流れが継続的に続いた。8月12日~9月1日の期間中の江の島沖定点(水深10m層)での水温は23.6~27.4°Cの範囲で変動し、4~8日毎に流向・流速がめまぐるしく変動した。8月12~15日午後には南西(南南西~西南西)向き、15日夕方~18日には西(西南西~西北西)向き、19~26日には南(南南西~南南東)向き、27~28日には西北西、29日~9月1日には南(南西~東南東)向きの流れが卓越した。

湘南 OWS 大会が開催された8月27日・28日(いずれも9~13時)、腰越沖小型定置網と江の島沖定点では、水温がそれぞれ25.0~25.7°Cと24.1~25.4°Cであり、いずれも概ね西(南西~北西)向きの流れで、流速がそれぞれ0.3~0.5ノットと0.2~0.5ノットだった。

腰越沖小型定置網(水深2m層)と江の島沖定点(水深10m層)で係留系連続観測により得られた8月27日の流況は、GPS 搭載漂流ブイにより海表面で観測された北寄りの風によ

り吹送流による沖出しの流れとは異なり、エクマン螺旋のために西向きの流れが卓越した。

4. まとめと今後の展望

8月27日、日本付近は太平洋高気圧に覆われていたものの、徐々に前線が南下しつつあり、大気の状態は不安定となりつつあった。また、日本の南の海上には台風12号が発達しながら北上中であり、台風からのうねりも強まり始めていた。ただし、大会当日(27日)は、うねりはあるものの急激に強まることはなく、また前線の影響で雲は多かったものの天気の大きな崩れはなく、前線に向けた北東風が弱く吹き続く程度で、気温・水温も急激に高まることもなく、さらに潮流も泳者に大きな影響を与える程ではなかったため、総合的にコンディションとしては問題なかった。

湘南 OWS 大会主催者(実行委員)サイドから、コース上の水温および流況の情報は極めて有用であるという評価を得ており、今後、以下のような課題について検討を続ける必要がある。

- ・レースのコースを含む海域全体にわたる水温の水平分布の把握：これにより、局所的な冷水などの情報が得られ、参加者に注意喚起することが可能となる。
- ・レース中の参加者への情報伝達の手法：これにより、刻々と変化する海況についてリアルタイムで泳者に提供可能となる。

湘南海岸における毎年8月最終週の一大イベントになりつつある湘南 OWS の大会会場海域において海象条件を実測することにより、大会運営者の経験や勘に頼らない運営条件設定が可能になるものと大いに期待される。我々の知る限り、こうした大会への参加泳者の泳走動向に関するデータと海象条件を組織だって比較した例はなく、砕波帯の外側を泳ぐ人間の泳力等に及ぼす海流などの影響について、従来にない貴重な知見が得られるものと思われる。

一方で、既往研究によって離岸流が0.3 m s⁻¹を超えるような場合には遊泳中の事故発生の可能性が高まるという指摘がなされているが、泳走中の流れの変化が泳者のラップやピッチにどのような影響を及ぼすか、またその影響は泳者の能力とどのような関連があるか、プールではなく実海域における実測をもとに検討することは、体育学の観点からも極めて興味深い課題であり、本研究のような小規模な実験であっても、得られた成果は当該分野に大きなインパクトを与える可能性がある。従来、この種の検討は、体育学分野の側から海洋学者に対する一方的な情報提供の依頼であったり、海洋学者側からの一般的な解説といった水準にとどまっていた。本研究は、海洋学の研究者と体育学の研究者が真に共同して同一の課題に取り組むものであり、湘南 OWS という個別具体的なイベントが主たる検討対象になっているとはいえ、少し大げさかもしれないが「スポーツ海洋学」といった全く新たな分野を切り開く嚆矢と位置づけることも可能と思われ、関連方面への波及効果は小さくないと思われる。

参考文献

- (1) Ara, K. and J. Hiromi, 2008: "Temporal variability and characterization of physicochemical properties in the neritic area of Sagami Bay, Japan", *J. Oceanogr.*, 64, 195-210.
- (2) 遠藤大哉, 道田 豊, 2011: "オープンウォータースイミングイベントにおける安全管理のための海洋情報" *Ship & Ocean Newsletter*, 256, http://www.sof.or.jp/jp/news/251-300/256_1.php

絶滅危惧種アカメの保全生物学的研究

Studies on biological conservation of an endangered species, Japanese lates (*Lates japonicus*)

田上 英明, OPRF・政研, E-mail: h-tanoue(at)09.alumni.u-tokyo.ac.jp
武島 弘彦, 東大院・農, E-mail: takeshim(at)aori.u-tokyo.ac.jp
小松 輝久, 東大・大海研, E-mail: komatsu(at)aori.u-tokyo.ac.jp
大竹 二雄, 東大・大海研, E-mail: otake(at)aori.u-tokyo.ac.jp
中山 耕至, 京大・フィールド研, E-mail: nakayama(at)kais,kyoto-u.ac.jp (研究代表)

Hideaki, Tanoue, Policy Research Department, Ocean Policy Research Foundation
Hirohiko Takeshima, Graduate School of Agricultural and Life sciences, The University of Tokyo
Teruhisa Komatsu, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo
Tsguo Otake, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo
Koji Nakayama, Field Science Education and Research Center, Kyoto University (Project Reader)

Abstract

This study aims to obtain essential biological bases for conservation of an endangered species, Japanese lates, *Lates japonicus*. We organized a research team tackling the following subjects in Japanese lates: (1) genetic population structure; (2) migration ecology; (3) habitat use in a river; (4) identification of stakeholders and grasping their relation. Features of this study is not only to obtain natural conditions to realize conservation of Japanese lates by synthesizing results of studies at different disciplines and levels such as genetics, migration, individual behavior and environment but also to try to establish a social frame for conservation of Japanese lates. The results obtained by this research can be a new finding of each discipline and shape biological characteristics of Japanese lates. It is possible that publication of this biological information would promote overcatch of Japanese lates. Thus it is necessary to share them with managers of the river and the sea such as communities and fisheries cooperatives, and guide stakeholders including managers voluntarily to take measures for the conservation of Japanese lates. Another role of this study is to provide objective data for taking measures such as a setting of protected area and a close season that have not been tried ever. In order to realize sweeping measures to require consensus among stakeholders, it is essential to establish a system to return their achievements and problems obtained from a continuous field survey to the managers by planning and operating measures for Japanese lates conservation based on the scientific information provided by this study.

1. はじめに

1992年、リオデジャネイロの国連環境開発会議（地球サミット）において、環境と開発に関するリオ宣言やその行動計画であるアジェンダ21が採択され、気候変動枠組条約や生物多様性条約が署名された。地球サミットから20周年を迎え、同会議のフォローアップのために2012年6月に開催されるリオ+20のテーマは、（持続可能な開発及び貧困根絶の意味での）グリーン経済及び持続可能な開発のための制度的枠組みとなっている。これまで多くの研究成果が地球環境の保護や持続可能な開発の考え方に大きく寄与してきた。その結果、特に、人口が集中し、開発が進行することにより生物多様性の危機に瀕している沿岸域において、自然環境の保全や持続的利用に必要な取り組みの強化が求められている。

日本には、リオ会議以前から各地の住民活動により豊かな自然が残されている河川・河口を含む沿岸域が多数存在している。今後もこれら地域の環境を保全し、資源を持続的に利用して行く枠組みの形成を世界に先駆けて示していくことが必要とされている。本研究の対象種であるアカメ (*Lates japonicus*) も自然環境の維持管理が進められている九州や四国の河川・河川に分布しており、釣りや観賞魚として利用されている。アカメの成魚のサイズは1mを超え、魚食性で、汽水域における食物ピラミッドの頂点にあり、汽水域生態系全体に影響を及ぼす重要な種と考えられる。アカメは生息域が狭く、個体数が少なく絶滅の恐れがある魚種として環境省のレッドブックに記載されているが、保全や管理の体制が組ま

れてはいない。河川改修、ダム建設、港湾の改修、下水処理水の排水等の人為的環境変化の影響で生息場の消滅等が将来生じれば、アカメ個体群の減少、絶滅もありうる。しかし、アカメの成魚は警戒心が強く採集が困難なこと、絶滅危惧種であるため科学的研究であるといっても採集が困難なことから、保全のための生物学的知見はほとんど存在しない。

本研究は、絶滅危惧種アカメの効果的な保全に必要な生物学的知見を得ることを目的とし、下記4項目を課題に調査研究の組織形成を進めた。

- (1) 河川個体群の遺伝的多様性・河川間の遺伝子交流
- (2) 河川域と海域との移動
- (3) 河川域における生息域利用
- (4) 利害関係者の特定とその関係の把握

2. 問題設定・方法

先行研究として、アカメは四国から種子島周辺まで回遊して産卵すると推測されているが（木下, 2001）、未だ実証されていない。四国の主なアカメの生息地である高知県の四万十川と浦戸湾、さらに九州のアカメの主な生息地である宮崎県の河川において遺伝的集団構造と耳石による回遊履歴を調べれば、アカメの繁殖戦略に関する新たな知見を提示できる。低緯度地域に広範囲に分布している近縁種のバラマンディやナイルパーチとは異なり、日本にのみ分布する固有種のアカメは、アカメ科魚類のなかで最も高緯度地域に適応した種と考えられている。そのため、アカメの遺伝的集団構造および

回遊が解明できれば、アカメの保全に寄与するだけでなく、アカメ科魚類の進化の理解に大きく貢献する。

近年の加速度データロガーを用いたバイオリギング研究により、加速度から魚類の摂餌、遊泳、休息等を検出することが可能となってきた。また、カメラロガーを用いると、装着した魚類が撮影した画像から生息地利用を知ることも可能になってきている。また、ピンガーを用いると、魚類の位置を船から継続的に追跡できる。そこで、これらバイオリギングを本研究に適用し、どのような河口域の環境をアカメが休息場、餌場、繁殖場として利用しているのかを調べる。それにより、アカメの生息に不可欠な環境要素を明らかにできる。得られる結果は、国土交通省の行なう河川改修や港湾建設時に考慮すべき環境要素についての指針となる。

3. 結果と考察

本研究により、遺伝子、回遊履歴、個体の行動、環境という異なったレベルでの解析結果を総合して絶滅危惧種アカメの保全を実現するための科学的根拠を得るための組織を形成することができた。以下にそれぞれの研究組織での活動報告と今後の予定を示す。

・集団遺伝学的解析（東大院農 武島、京大フィールド研 中山）

アカメの主な生息地である高知県鏡川、同県四万十川、宮崎県北川等で各 20 個体以上のサンプルを入手した。今後、マイクロサテライト DNA マーカーを開発し、マーカーの適用により地域間の遺伝的交流や地域内の変異を調べるとともに、過去と現在のサンプルを比較し、遺伝的多様性の経年変化も調べる。

・微量元素・安定同位体による回遊履歴解析（大海研 大竹、鈴木、OPRF 田上）

耳石を用いたアカメの回遊履歴の推定を目指し、その基礎知見となる飼育個体の耳石 Sr:Ca 比分析を行った。実験に供したアカメは中間育成を目的に飼育されていたもので、稚魚期に藻場で採捕し、その後、汽水から海水へと塩分濃度を変えて飼育していた個体（死亡個体）である。

また、混獲され死亡した稚魚、成魚を保護団体の協力で入手した。これらの個体から耳石を採集し、河川と海域との往来検知のベース情報を得るための解析を行う。

・バイオリギング・リモートセンシングによる生息域利用調査（大海研 小松、OPRF 田上）

加速度データロガーの記録からアカメの摂餌、遊泳、休息等を検出する手法を開発した。また、カメラロガーも本研究のために開発した。四万十川で、これらの研究成果を適用し、淵にある岩場にアカメ成魚が集まることがわかり、生殖行動に関連があることが示唆された。これらの結果と今後行うリモートセンシングによるハビタット調査情報とを重ね合わせることで生息域利用を把握する予定である。

・保全、管理に関わる利害関係者との利用調整調査（OPRF 田上、大海研 小松）

国土交通省、高知県、四万十市、漁業協同組合、釣り人等にアカメの保全、管理について聞き取り調査を実施した。また、

高知市で開催されたアカメフォーラムでアカメの生息地利用について講演し、今後の保全・管理について話し合った。

4. まとめと今後の展望

本研究は、遺伝子、回遊、個体の行動、環境という異なったレベルでの解析結果を総合して絶滅危惧種アカメの保全を実現するために必要な自然的条件を得るとともに、保全のための社会的組織形成をめざすことに特色がある。

研究で得られた成果の一部を科学論文として投稿し、受理された (Tanoue et al., in press)。また、本研究の過程で、メディアからの取材依頼があり、アニマルプラネットで放送された。地域の観光や研究・教育のシンボルであるアカメの保全研究については、NHK、朝日新聞社等の協力が得られることになっており、研究成果を社会に発信する予定である。2011 年 12 月には DVD ブックが出版された。

しかし、研究成果を公表することが原因となり乱獲を助長する恐れもある。そのため、アカメの生息場である河川と海域の管理者である国、地元自治体、漁業協同組合等と成果を共有すること、さらに、これらの管理者を含めた関係者が主体的に施策を展開できるように導く必要がある。そのため、今後、これまで踏み出すことができなかった保護区、禁漁期設定のような施策を実施するための客観的データを提供することも本研究の役割の一つである。利害関係者の合意が必要な抜本的な施策を実現するためには、本研究で得られるようなアカメの保全と管理に必要な情報を継続的に提供し、それをもとにアカメの保全施策を管理者が立案し、運用しながら、その成果や問題点を継続的な現場調査から管理者にフィードバックできる体制をつくることが不可欠である。

参考文献

- (1) 木下泉, 2001: “アカメ稚魚を求めて, In 「稚魚の自然史」 (千田哲史・南志・木下泉編)” 北海道大学出版, 171-193.
- (2) Tanoue, H., Komatsu, T., Tsujino T., Goto, H., Watanabe, M., Miyazaki, N. 2012: Feeding events of Japanese lates *Lates japonicus* detected by a high-speed video camera and three-axis micro-acceleration data-logger, *Fisher. Sci.*, in press.
- (3) アニマルプラネット, 2011: “特集日本列島 14 四万十川謎の大魚アカメを追う”
- (4) 朝日新聞出版, 2011: “四万十川に潜入! 巨大魚アカメ NHK ダーウィンが来た!” DVD ブック, 36, 11-17.

謝辞

本研究は、四万十川下流漁業協同組合山崎清実理事並びに組合員、チームサブマリン安光学代表ならびに同メンバー、四万十川学遊館杉村光俊常任理事、野村彩恵氏、日本放送協会後藤秀樹氏、シネマ同人篠原よし子博士に現場調査で多大なるご協力をいただいた。東京大学農学生命科学研究科鈴木享子氏には耳石の解析にご協力いただいた。高知大学木下泉教授、水産大学校の高橋洋助教、竹下直彦准教授には保全研究に関する助言をいただいた。東京大学大気海洋研究所西田睦教授ならびに宮崎信之名誉教授には本研究をはじめのうえでのきっかけをいただいた。これらの方々に深謝する。