

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「海洋生物多様性および生態系の保全・
再生に資する基盤技術の創出」
研究課題「極微量長半減期同位体を用いた革新的
な海洋生態系・物質動態トレース技術の創出」

研究終了報告書

研究期間 2013年10月～2019年3月

研究代表者：永田 俊
(東京大学大気海洋研究所、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究では、①炭素14同位体比を用いることで、海洋生物の行動や生育の履歴を解析するための新たな手法を開発し、②さらに、これを、アミノ酸別窒素安定同位体比分析法等の各種同位体手法と組み合わせて総合的に適用することを通して、③水産資源生物を含む海洋生物の動態解析に資する革新的な技術を創出することを目的とした。以上の目的を達成するためには、同位体分析に供する様々な試料の前処理方法の検討、海洋生物に含まれる各種成分の単離・精製手法の検討、同位体比の分析精度や検出感度の向上、また、加速器質量分析装置の運用体制の確立とその効率化、といった、様々な技術的な課題を克服する必要があった。そのため、本プロジェクトの前半期においては、東大大気海洋研グループ(主に炭素14分析技術開発を担当)、海洋研究開発機構グループ(主に単離・精製技術開発を担当)、東大研究博物館グループ(主に同位体分析技術開発を担当)の3グループが密接に連携することで、分析手法の開発と改良を重点的に進めた。具体的には、海洋生物試料の炭素14同位体比を測定するための、自動高速前処理システムを開発し、従来の方法では約2日間を要した作業工程を、半日程度に短縮することに成功した。またアミノ酸の化合物別窒素安定同位体比や、炭素14同位体比の分析手法の検討・改良を行い、化合物別同位体比を用いた生態系解析手法の国際的な標準化も進めた。プロジェクトの後半期には、分析技術のさらなる改良を継続するとともに、これらを駆使して、海洋生物試料の同位体分析を実施することで、海洋生物の回遊履歴や食生態を解析するための新手法を開発した。主要成果を以下にまとめる。

1) 広域回遊魚や鯨類の回遊履歴を解析する新手法の開発: 水産資源変動に精通した研究者との連携のもとに、マイワシの臓器別の炭素14同位体比測定を実施し、回遊履歴の解析手法を新たに開発した。これは、親潮海域と黒潮海域では炭素14同位体比が大きく異なることを利用し、マイワシの回遊経路を推定する手法である。この手法を用いることで、親潮海域を回遊してきた「北方回遊型」の個体と、産卵・孵化海域である黒潮海域にとどまっていた「黒潮残留型」の個体を判別することが可能になった。本手法は、今後、マイワシ資源の変動解析研究のうえで、有力なツールとなることが期待される。また、サケの脊椎骨コラーゲンに含まれる炭素14同位体比から、広域回遊履歴を推定するための新手法の開発を進めた。本手法を用いることで、個体ごとの回遊履歴を解析することが可能になり、サケ資源変動解析のうえで有用な情報を得ることができる。さらに、大型板鰓類や鯨類など、その回遊経路に不明の点が多い大型海洋生物についても、炭素14同位体比が有力な履歴情報を与えてくれることを明らかにした。

2) アミノ酸化合物別同位体比を用いた栄養段階と物質循環解析手法の開発: アミノ酸化合物別同位体比を用いた栄養段階推定法の改良を行うとともに、この手法についての国際的なコンセンサスを取り、それらの成果を国際的な共著者とともに、論文として発表した。本論文にまとめられた手法は、今後、国際的な標準手法として普及することが期待される。また、三陸沖の底魚類から単離・精製された各種アミノ酸の放射性炭素を測定した結果、表層海水の溶存無機炭素に比べて有意に低い(古い年代を示す)アミノ酸が存在することを明らかにした。この発見は、魚類の生産を支える炭素・窒素循環の中に、従来の食物連鎖の概念では説明のできないメカニズムが存在することを強く示唆する点で科学的・学術的な意義を有する。

3) クレストのチーム連携プロジェクトおよびクレストフィールドキャンペーンの実施: 各種同位体解析、環境 DNA 解析、次世代ロガーによる行動解析といった、クレストで開発された新技術を総合的に適用することで、大槌湾におけるサケの生態を追及した。その結果、降海した稚魚の湾内での分布動態、放流稚魚と天然稚魚の判別、回帰した親魚の湾内での分布動態と行動生態、などについて、新たな知見を得ることができた。

(2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

1. 炭素14を用いた広域回遊魚や鯨類の回遊履歴解析手法の開発
概要:

海水中の溶存無機炭素の炭素14同位体比は海域間で大きく異なる。本研究では、このことを利用して、魚類や鯨類の各種体組織に含まれる炭素14同位体比から、海洋生物の回遊履歴や生育履歴を解析するという新手法を開発した。本手法は、海洋生態学や水産資源学における新しい履歴解析ツールとして今後広く用いられることが期待される。

2. アミノ酸化合物別窒素同位体比を用いた食物網の解析手法の開発

概要:

アミノ酸の化合物別窒素安定同位体比を利用して、水圏生物の栄養段階を精密に測定する手法を新たに開発した。本手法は、陸上植物に由来する有機物と、水生藻類に由来する有機物の双方が食物網の基盤となる生態系への適用も可能であり、今後、河口域などの複合生態系の解析において有力なツールとなることが期待される。またアミノ酸同位体比を用いた生態系解析手法に関する国際的な標準化にも寄与した。

3. 魚類生産維持に関わる新規メカニズムの発見

概要:

三陸沖の底魚類から単離・精製された各種アミノ酸の放射性炭素を測定した結果、表層海水の溶存無機炭素に比べて有意に低い(古い年代を示す)アミノ酸が含まれていることを明らかにした。この発見は、魚類の生産を支える炭素・窒素循環の中に、従来の食物連鎖の概念では説明のできないメカニズムが存在することを強く示唆する点で科学的・学術的にきわめて意義深い。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. 海洋生物試料の炭素14分析前処理システムの自動化

概要:

炭素14同位体比を用いた履歴解析手法を開発・普及するうえでは、同位体分析前処理工程の高速化・簡便化が大きな課題であった。この問題を克服するために、本研究では新たに自動前処理システムを開発し、大幅な省力化と高速化を達成することに成功した。

2. サケの稚魚期から親魚期にかけての総合的生態解析による水産業への寄与

概要:

近年、三陸沿岸域に來遊するサケ資源は減少し続けており、孵化放流方法の改良や生態学的知見に基づく対策立案が模索されている。クレストフィールドキャンペーンでは、クレストで開発された各種新手法(炭素14及び各種同位体手法、環境DNA、次世代ロガー)を大槌湾のサケに適用することで、稚魚期および親魚期のサケの回遊生態についての新たな知見を得た。得られた成果は、今後、東北マリンサイエンス拠点形成事業等との連携のもとに、被災地の漁業復興に貢献することが期待される。

3. 化合物別同位体分析技術の高度化と応用

概要:

魚類のタンパク質に含まれるアミノ酸を分離・精製し、炭素14同位体比や窒素安定同位体比を高精度に分析する技術を開発した。本技術は、水産資源学や生態学のみならず、地球化学、考古学、人類学、古環境学、食品科学など幅広い分野において汎用的に利用することができるため、今後、基盤的ツールとして広く活用されることが期待される。

< 代表的な論文 >

Ohkouchi, N., Chikaraishi, Y., Close, H.G., Fry, B., Larsen, T., Madigan, D.J., McCarthy, M.D., McMahon, K.W., Nagata, T., Naito, Y.I., Ogawa, N.O., Popp, B.N., Steffan, S., Takano, Y., Tayasu, I., Wyatt, A.S.J., Yamaguchi, Y.T., and Yokoyama, Y. "Advances in the application of

amino acid nitrogen isotopic analysis in ecological and biogeochemical studies”, *Organic Geochemistry*, Vol. 113, pp.150–174, 2017

Ishikawa, N.F., Itahashi, Y., Blattmann, T.M., Takano, Y., Ogawa, N.O., Yamane, M., Yusuke Yokoyama, Y., Nagata, T., Yoneda, M., Eglinton, T.I., and Ohkouchi, N. “An improved method for isolation and purification of underivatized amino acids for radiocarbon analysis”, *Analytical Chemistry*, 90(20) 12035–1204, 2018

Wyatt, A.S.J., Matsumoto, R., Chikaraishi, Y., Miyairi, Y., Yokoyama, Y., Sato, K., Ohkouchi, N., Nagata, T. “Enhancing insights into foraging specialization in the world’s largest fish using a multi-tissue, multi-isotope approach”, *Ecological Monographs*, 89(1), 2019, e01339. DOI: 10.1002/ecm.1339

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

(1) 「総合解析」グループ

① 研究代表者: 永田 俊 (東京大学大気海洋研究所、教授)

② 研究項目

・加速器質量分析技術を用いた海洋生態系・物質動態の総合解析

(2) 「単離・精製技術開発」グループ

① 主たる共同研究者: 大河内直彦 ((国立研究開発法人)海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・分野長)

② 研究項目

・海洋生態系・物質動態解析に資する各種化合物の単離・精製法の開発・改良

(2) 「同位体分析技術開発」グループ

① 主たる共同研究者: 松崎浩之 (東京大学・総合研究博物館・教授)

② 研究項目

・海洋生態系・物質動態解析に資する加速器質量分析技術の開発と改良

・海洋におけるヨウ素同位体の分布・動態の解析

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

2016年4月に本研究チームが中心となって組織した第10回国際同位体生態学会議(於東京大学伊藤謝恩ホール;海外から120名の専門家が参加)において、本クレスト研究成果の国際発信を行うとともに、国際連携を強化した。これとあわせて開催されたCRESTワークショップ(2016年4月9~10日、於JAMSTEC東京事務所;国内外から約50名が参加)では、特にアミノ酸化合物別同位体比の測定方法とデータ解析方法に関する国際的なコンセンサスを形成するための議論を行った。このワークショップの成果は、大河内が筆頭著者となり、共著論文としてまとめられ、Organic Geochemistry 誌に発表された。この論文の執筆には、海外から、Brian Fry 博士、Brian Popp 博士、Matt MacCarthy 博士といった国際的な専門家が多く加わっており、今後、本クレストで開発された手法の国際的な標準化のうえでの基礎文献になると考えている。