

令和元年6月14日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02947

研究課題名（和文）同位体分析から食物連鎖の源流を探る：西部北太平洋生態系保全指標の開発に向けて

研究課題名（英文）Exploring the trophic source of marine ecosystem using isotope analysis: Towards the development of marine ecosystem conservation index in the Western North Pacific

研究代表者

相田 真希 (AITA, Maki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・技術主任

研究者番号：90463091

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：北太平洋亜寒帯西部～熱帯海域、チャクチ海に至る動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比について統計的に解析を行った。その結果、食物網の構造や構成する生物が異なっても、海域に関わらず食物連鎖とN/C同位体比には統一的な規則性があることが確認された。黒潮流域のメソ動物プランクトン群集の同位体分析から、外洋域ほど再生栄養塩・窒素固定に由来するエネルギー源を利用している可能性が示唆された。また、同海域で採集した群体珪藻・群体シアロバクテリア、稚仔魚群集の同位体比から、局所的に発生する藻類は黒潮生態系の主なエネルギー供給源とはなっておらず、黒潮流域の稚仔魚の餌料源は小型カイアシ類であることが推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、地球システムの仕組みや機能、その変動と持続可能性に関する統合的研究が精力的に行われている一方で、海洋生態系に関しては、気候変動が食物連鎖を介し水産資源として重要な魚類など高次捕食者に与える影響については未だ大きな不確実性が残されている。本成果で得られた「食物網の構造や構成する生物が異なっても食物連鎖とN/C同位体比には統一的な規則性がある」ことは、低次および高次の両端から食物連鎖を評価できる手法の1つとして、これまでの物質循環研究に加え、低次の食物連鎖と有用魚種の回遊経路・生息地域の検証や、持続的・効率的な海洋生態系利用について提言などへの発展が可能となると考えている。

研究成果の概要（英文）：We analyzed carbon and nitrogen stable isotope ratios of zooplankton from the sub-arctic to tropical western North Pacific and the Chukchi Sea. Our results clearly showed that a similar regularity between the food chain and the N / C isotope ratio, regardless structure of the food web and biological species. Isotopic analysis of meso-zooplankton community in the Kuroshio current region suggested that the offshore area use energy sources derived from regenerative nutrient and nitrogen fixation. In addition, the isotopic ratios of the community of diatoms, cyanobacteria and juvenile fish, large phytoplankton is minor as a trophic source of meso-zooplankton community in the Kuroshio and major prey items of fish larvae are small copepods.

研究分野：同位体海洋生態学

キーワード：食物連鎖 窒素安定同位体比 炭素安定同位体比 同位体濃縮 ISOSCAPE 海洋生態系 動物プランクトン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球システムの仕組みや機能、その変動と持続可能性に関する統合的研究が精力的に行われている。“海洋生態系”に関しては、気候変動に伴う一次生産の予測についての研究進展は見られるものの、気候変動が食物連鎖を介し水産資源として重要な魚類など高次捕食者に与える影響は、科学的根拠となる観測データや的確なモニタリングシステムの欠如から評価できていない。この背景として、実海域で取得可能なデータが海洋物理を中心とした観測に重点が置かれている事、学問的に動植物プランクトンと魚類など高次捕食者の調査研究に乖離があり、分野を跨いだ統合的研究がなされていない、つまり“気候変動予測研究と水産資源動態予測が結びついていない”事が挙げられる。回遊性の水産有用魚種の資源量に影響を与える要因として、成長段階(生活史)による海域移動と、これに伴う水温などの海洋環境の変化、移動した先々の主たる餌資源(動物プランクトンや小型魚類)の量や組成の変動、などが挙げられる。についてはバイオロギング技術による位置情報から、水温環境と関連づけたモデル化も進んでいる(Ito *et al.*, 2015, Prog. Oceanogr.; Okunishi *et al.*, 2009, Ecol. Model など)。しかしについては餌料環境の変動など膨大な生物情報が必要であり“魚を支える一次生産を担う海域”は容易に推定できない。よって、国際的に漁獲圧が増大する中、将来の持続的水産資源利用の為には順応的な管理手法が不可欠であるが、その根拠となる情報が不十分な状況にある。

### 2. 研究の目的

研究代表者らはこれまでに、食物連鎖中の摂餌プロセスにおいて統一的な規則性が低次生態系から高次生態系に渡って引き継がれ維持されている“ $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$  一般性”を見出している。これは、生態系間・栄養段階間における動物の代謝プロセスについて窒素炭素同位体の濃縮が共通していること、また細胞内のアミノ酸代謝過程に関して C/N 同位体効果が脱炭酸と脱アミノの過程で大きく起こることが背景にあると考えられる。本課題では、この一般性と海域特性を組み合わせた同位体モニタリングシステムを樹立させることによって、海洋物理・化学・生物を統合し、海域を跨いだ空間スケールで海洋生態系(食物網)を統一的に診ることのできる新しい評価手法の確立が可能となる、という着想に至った。主に北西部北太平洋域の亜寒帯・亜熱帯海域において動物プランクトンおよび有用魚種の  $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta^{15}\text{N}$  を測定することによって、高次捕食者の同位体比から生態系内の食物連鎖構造と、一次生産者の平均的な同位体比を推定する。これにより、低次(植物プランクトン)と高次(魚)の両端から、食物連鎖構造と海洋環境の関係を定量的に理解することを目的とした。

### 3. 研究の方法

“低次(動植物プランクトン)と高次(魚)の両端から、食物連鎖構造と海洋環境の関係について定量的な理解を深化させる”こと、また、本研究の作業仮説である“西部北太平洋域の食物連鎖は4つの直線(高緯度域、上下混合域、貧栄養塩海域、窒素固定海域)で表せる”の検証を行うことを目的に、窒素・炭素安定同位体比を指標値として用いることにより、以下の2項目に重点をおき、実施した。

#### (1) 食物連鎖構造と海域特性の検証

海洋環境や生物種が大きく異なる海域を網羅するために、研究分担者の所属機関において実施される海洋観測において、NORPAC ネット(鉛直曳:亜寒帯=150m、亜熱帯=200m)を用いて動物プランクトン採集を行った。得られた試料は、群集構造解析および種分類を行うと共に、炭素・窒素安定同位体比分析を順次実施した。尚、同位体比分析を行う前に脱脂処理を施した。

採集海域: 北太平洋 155E 線、北太平洋亜寒帯海域およびベーリング海東部(、ともに北海道大学付属練習船おしよ丸)、東シナ海黒潮流域および北部薩南海域・鹿児島湾(鹿児島大学付属練習船かごしま丸、南星丸)、西部北太平洋北海道沖～小笠原近海、沖縄近海～小笠原近海(海洋研究開発機構・白鳳丸)、九州～パラオ海嶺海域(水産研究・教育機構 蒼鷹丸)、北極海チャクチ海(米国沿岸警備隊所属船)。

#### (2) 有用魚種の同位体分析

日本近海を回遊しているマイワシ、カタクチイワシについて、北海道沖から鹿児島沖まで収集し、筋肉の窒素・炭素安定同位体比の分析を実施した。また、可能な範囲で、心臓、肝臓、生殖腺などの臓器の分析を実施した。

### 4. 研究成果

(1) 北西部北太平洋亜寒帯海域(北緯 47 度)から亜熱帯・熱帯海域(北緯 14 度)、チャクチ海における動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比について統計的な解析を行った。その結果、亜寒帯海域のような高栄養塩環境、また亜熱帯・熱帯海域のような貧栄養塩環境で且つ窒素固定系が卓越するような環境まで、食物網の構造や構成する生物が異なっても、海域に関わらず食物連鎖と N/C 同位体比には統一的な規則性があることが確認された。海域特性と食物連鎖の関係性においては、CN 同位体マップ上で、高緯度域(極域)、上下混合海域(亜寒帯、親潮・黒潮混合域など)、窒素制限海域(亜熱帯・熱帯)などの特性に区分された。これは本研究計画当初に予想し

ていた結果に概ね一致した。

炭素同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) に関し、各生態系 (食物連鎖) の同位体比は水温や日射、栄養塩濃度によって大きく変動し、高緯度域ほど  $\delta^{13}\text{C}$  は小さく、逆に低緯度域では  $\delta^{13}\text{C}$  は大きくなるという特徴が得られた。窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) では、食物連鎖の起点となる藻類の窒素同化時の主要基質によって決定されるが、栄養塩同化時に強い制限 (例えば、必須元素である鉄や低温、弱光量などの環境要因) がかけると、藻類の同化速度 (生育速度) において  $\delta^{15}\text{N}$  値が大きく変化する。動物プランクトンの  $\delta^{15}\text{N}$  においても、その環境要因が反映されている可能性が 155E 線などの観測結果から推察された。

極域について、過去に得られた南大洋 (南極海近海) の動物プランクトンで構成される  $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$  とチャクチ海で得られた同位体比を比較した結果、チャクチ海の  $\delta^{13}\text{C}$  は南極海と同じく低く、統計的にみても有意な差はなかった。一方で、 $\delta^{15}\text{N}$  では南極海は低く、チャクチ海は高い数値を得た。今後更なる検証が必要であるが、植物プランクトンが取り込んだ同位体組成の違いが、結果として動物プランクトンの同位体比へ反映された為と考えた。

動物プランクトンの口器付属肢の形態的特徴と食性、炭素・窒素安定同位体比との関係について、155E 線で表層 ~ 3000m に渡って層別採集した動物プランクトン試料 (カイアシ類) を用いて検証した。その結果、500m 以深では水深の影響が強く食性間で有意な差が見られなかったものの、表層 ~ 500m 間の窒素同位体比では食性 (粒子食性、デトリタス食性、肉食性) を反映した形態的特徴との関係性が見られた (本成果は査読付き国際誌投稿に向け執筆中である)。なお、本成果は国際シンポジウムで口頭発表を行い、第 5 回青田昌秋賞を受賞した (米田ら、2018)。

- (2) 高次魚種が、どのような一次生産に依存し育まれて (生育して) いるのかを検証するために、沖縄 ~ 鹿児島近海で採集したメソ動物プランクトンの群集組成と稚仔魚を用いて検証を試みた。黒潮流域のメソ動物プランクトン群集の同位体分析から、外洋域ほど再生栄養塩・窒素固定に由来するエネルギー源を利用している可能性が示唆された。また、同海域で採集した群体珪藻・群体シアノバクテリア、稚仔魚群集の同位体比から、局所的に発生する藻類は黒潮生態系の主なエネルギー供給源とはなっておらず、黒潮流域の稚仔魚の餌料源は小型カイアシ類であることが推定された (本成果は査読付き国際誌投稿に向け準備中である)。また、日本近海 (道南 ~ 三陸沖 ~ 房総沖 ~ 東海、鹿児島沖、北陸沖) で捕獲、収集したマイワシの筋肉の窒素・炭素安定同位体比の分析から、内湾以外では海域ごとの動物プランクトンの数値を凡そ反映していることが分かった。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

和田英太郎、野口 (相田) 真希、N/C 安定同位体を用いた新食物連鎖解析法 - その現状と今後、RADIOISOTOPE、66 巻、2017、331-342、DOI: 10.3769/radioisotopes.66.331 [査読有]

野口 (相田) 真希、和田英太郎、安定同位体比から食物連鎖を紐解く、月刊海洋、49 巻、2017、430-436 [査読無]

Nakamura, A., K. Matsuno, Y. Abe, H. Shimada and A. Yamaguchi, Length-weight relationships and chemical composition of the dominant mesozooplankton taxa/species in the subarctic Pacific, with special reference to the effect of lipid accumulation in Copepoda, Zoological Studies, 56 2017, DOI: 10.6620/ZS.2017.56-13 [査読有]

Abe, Y., H. Miyamoto, R. Saito, K. Matsuno, A. Yamaguchi and I. Imai, Comparative ecology of three dominant pelagic chaetognaths (*Eukrohnia hamata*, *Parasagitta elegans*, *Pseudosagitta scrippsae*) in the Oyashio region during the spring phytoplankton bloom, Regional Studies in Marine Science, 8, 2016, 122-132, DOI: 10.1016/j.rsma.2016.08.006 [査読有]

Matsuno, K., Y. Abe, A. Yamaguchi and T. Kikuchi, Regional patterns and controlling factors on summer population structure of *Calanus glacialis* in the western Arctic Ocean, Polar Science, 10, 2016, 503-510, DOI: 10.1016/j.polar.2016.09.001 [査読有]

[学会発表] (計 28 件)

吉永尚平、久米元、山之上香織、田野中里佳、小針統、平井惇也、相田真希、兵藤不二夫、鹿児島県南部の黒潮周辺海域における魚類仔魚の群集構造と摂餌生態、2018 年度日本海洋学会秋季大会、2018 年

Saito K., T. Kobari, M. Shinyashiki, G. Kume, M. Kitamura, M. Aita-Noguchi, F. Hyodo, H. Miyamoto and Y. Okazaki, Trophic sources and links of mesozooplankton and fish larvae in the Kuroshio based on stable isotope ratios, PICES 2018 Annual Meeting (国際学会), 2018 年

Kume G., T. Kobari, M. Ichinomiya, T. Komorita, J. Hirai, M. Aita-Noguchi, F. Hyodo, T. Takeda, T. Shigemura, H. Kuroda, S. Yoshinaga, K. Nakaya and A. Narumi, The importance of the north Satsunan area, southern Japan as the spawning and nursery

ground for small pelagic fish, PICES 2018 Annual Meeting(国際学会), 2018年  
Kuroda H., G. Kume, T. Kobari, T. Takeda, M. Ichinomiya, T. Komorita, J. Hirai, M. Aita-Noguchi and F. Hyodo, Feeding habits of larval fish in the mouth of Kagoshima Bay, southern Japan, PICES 2018 Annual Meeting(国際学会), 2018年  
米田壮汰、田村啓明、阿部義之、野口(相田)真希、兵藤不二夫、大塚 攻、Russell R. Hopcroft、山口篤、カラヌス目カイアシ類の口器付属肢の形態計測学的研究: 食性、分布水深、安定同位体比との関係、第 33 回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」(国際学会)、2018 年  
Aita M.N., K. Kitamura, T. Kobari, I. Tayasu, C. Yoshimizu, K. Tadokoro, J. Nishioka, N. Harada, Nitrogen and Carbon stable isotope ratios of the lower trophic ecosystem in the subarctic western North Pacific, ESSAS Open Science Meeting on Subarctic and Arctic Science(国際学会), 2017  
野口(相田)真希、田所和明、兵藤不二夫、陀安一郎、由水千景、西岡純、原田尚美、窒素・炭素安定同位体比を用いた親潮域における動物プランクトンの動態解析、日本地球惑星科学連合、JpGU Meeting 2017、2017  
Komeda, S., H. Tamura, Y. Abe, M.N. Aita, F. Hyodo, S. Ohtsuka, R.R. Hopcroft, A. Yamaguchi, Morphometric study of the feeding appendages of planktonic calanoid copepods: Relationship with feeding modes, habitat depths, and stable isotopes, 13th International Conference on Copepoda(国学会), 2017  
小針統、縁孝博、牧原渉、佐藤希恵、久米元、中村啓彦、宮本洋臣、岡崎雄二、長谷川大介、相田真希、吉江直樹、黒潮源流域におけるプランクトン群集の生産構造～黒潮流域の低次生産を支えるトカラ海域～、東京大学大気海洋研究所共同利用研究会「黒潮域における混合と栄養塩供給・生物生産へ与える影響」、2017 年(招待講演)  
野口(相田)真希、同位体分析および生態系モデルから食物連鎖の源流を探る、ワークショップ「海洋物質循環・生態系モデリングの発展性の探索」、2016 年

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：田所 和明

ローマ字氏名：TADOKORO, Kazuaki

所属研究機関名：国立研究開発法人 水産研究・教育機構

部局名：東北区水産研究所

職名：主幹研究員

研究者番号(8桁)：70399575

研究分担者氏名：小針 統

ローマ字氏名：KOBARI, Toru

所属研究機関名：鹿児島大学

部局名：農水産獣医学域水産学系

職名：准教授

研究者番号(8桁)：60336328

研究分担者氏名：兵藤 不二夫

ローマ字氏名：HYODO, Fujio

所属研究機関名：岡山大学

部局名：異分野融合先端研究コア

職名：准教授

研究者番号(8桁)：70435535

研究分担者氏名：石井 励一郎

ローマ字氏名：ISHII, Reichiro

所属研究機関名：総合地球環境学研究所

部局名：研究基盤国際センター

職名：准教授

研究者番号（8桁）：40390710

(2)研究協力者

研究協力者氏名：山口 篤

ローマ字氏名：YAMAGUCHI, Atsushi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。