

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月30日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22651007

研究課題名（和文）食物連鎖の同位体効果を用いた分子レベルの新たな物質循環解析法の創出

研究課題名（英文）Creation of a new biogeochemical cycle analyzing method with the molecular basis using the isotope effect along food chains

研究代表者

相田 真希 (AITA NOGUCHI MAKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・技術研究副主任

研究者番号：90463091

研究成果の概要（和文）：本研究は、親潮域、黒潮系暖水塊、アラスカ湾、南極海など、異なる生態系間の食物連鎖が持つ $\Delta \delta^{15}\text{N}/\Delta \delta^{13}\text{C}$ 比に共通性があることを見出し、安定同位体比食物連鎖解析の一般式を提示した。この共通性は、アミノ酸合成にまつわる代謝駆動時における速度論的な同位体効果が深く関係していると考えられた。本結果の一般式を更に発展させることにより、移動性の動物の生活史などの動態検証に向けて新しい研究の展開ができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：To examine the relationship between carbon and nitrogen stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) along food chains, we analyzed the data from Oyashio, warm-core ring (derived from the Kuroshio extension region), Gulf of Alaska and Antarctic Ocean. The statistical analysis suggested a strong similarity in slopes of $\delta^{15}\text{N}$ versus $\delta^{13}\text{C}$ among regions. We attributed this similarity to the commonness in physiological aspects of their feeding processes (e.g., the kinetic isotope effects inherent in the processes of amino acid synthesis). The common pattern for all regions suggests that stable isotopes could be used to elucidate general patterns in ecosystems and biogeochemical cycles.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	360,000	3,460,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環、窒素安定同位体比・炭素安定同位体比・食物連鎖・同位体分別

1. 研究開始当初の背景

地球上には様々な生態系が存在し、それぞれの特徴を持ちながら生命活動が営まれ、その環境における物質循環に大きく寄与している。

陸域・水域に関わらず、地球上の多くの生態系における食物網の出発点は一次生産者である高等植物(植物プランクトン)と位置づけることができる。一次生産者の生産量を衛星画像データから

見積もることが出来るようになってきた一方で、生態系の構造という面から見た場合、自然界で行われている食物連鎖;植物→植食性動物→肉食性動物→高次動物における連鎖過程に生じる複雑なプロセスの実態を把握するに至っていない。

近年、生態学に導入された分析手法として、分子生物学的なDNA分析法と化学的な安定同位体精密測定法がある。前者は主に系統分類や親子関係の解析に使われ、対象生物を系統進化上の位置づけを明らかにするが、後者は対象とする生態系内の物質循環の構造を知る有用な方法であり、対象生物を物質循環中の位置づけを明らかにすることに用いられ、例えば安定同位体比の濃縮係数によって食物網の構造を知ることが出来る。この40年間に蓄積された炭素と窒素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$)の自然界における変動(ゆらぎ)についての経験則を幾つかに纏めることができるが、生物界の酵素反応は速度論的な同位体効果によって規定されている為、植物の生育に使われる炭素・窒素の同位体比は地域によって一定の値を示し、統一的な規則性が生態系に渡って維持される。栄養段階(TL)が1段階上がるごとに $\delta^{15}\text{N}$ は $3.3\pm 1.1\text{‰}$ (Minagawa and Wada, 1984)、 $\delta^{13}\text{C}$ は約 1.05‰ (Fry and Sherr, 1984)高くなる事がこれまでの観測研究から示されているが、 $\delta^{13}\text{C}$ については測定する部位によって $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きく異なるため不明瞭な部分が多いままである。また、これまでの論文では、TLや種によって同位体濃縮係数が異なると考えられていた。

2. 研究の目的

生態系内の食物連鎖構造を知る手段として、接餌過程での窒素と炭素の安定同位体比: $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ の濃縮係数を測定する方法が広く使われてきている。これはTLと共に、一定の濃縮係数のもと $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ が増加することによる。しかし、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の変動について十分な検討がなされていないため、TL解析手法は主に $\delta^{15}\text{N}$ の変化量を中心に行われてきた(図1)。

本研究課題は、「窒素・炭素の同位体効果は、一次生産者の代謝過程が上位のTLにまで影響を与える重要な役割を果たしている」という作業仮説のもと、分子レベルの生理生態に基づいた物質循環解析法を新たに創出することを目的として研究を行った。

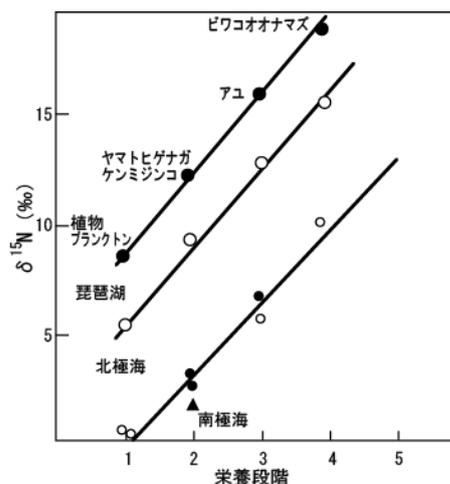


図1 水域環境における $\delta^{15}\text{N}$ と栄養段階の関係 (和田, 2002)

3. 研究の方法

$\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比が一次生産者の生息する環境条件と生体内の代謝過程で決定され、高次のTLまで引き継がれるという事実と作業仮説の検証を行うため、

- (1) 生息環境(地域)が異なる食物連鎖の $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ 値の収集(誌上発表されたデータ及び未公開データ含む)と $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比の検証,
- (2) 季節変化と $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比の違いの検証,を行った。

(1)では、低次から高次動物まで比較的データ数が揃っていると考えられた、南極海、アラスカ湾と(2)の測定結果を交えて検証を行った。更に、長期乾燥保管されていた黒潮系暖水塊(WCR86-B)の動物試料の同位体比測定も実施した。

(2)では、北海道釧路沖～三陸沖に渡るA-line観測線(水産総合研究センターの定点観測線)の親潮水域において、優占的に生息する動物プランクトンを1年に渡って種別に採集し、 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ と食物連鎖について季節的な検証を行った。

4. 研究成果

(1) 生息地域と $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比の関係

栄養塩環境が異なる4つの海域(親潮水系、暖水塊、南極海、アラスカ湾)において、各食物連鎖がもつ $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比(回帰直線の傾き)についてANCOVA(共分散分析)を用いて統計的

に解析を行ったところ、海域間に大きな違いがなく、

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = (1.53 \pm 0.25) \delta^{13}\text{C} + (40.9 \pm 5.6) + \text{各海域の定数} \quad (p < 0.05),$$

の1つの共通式で表せることを見出した(図2)。

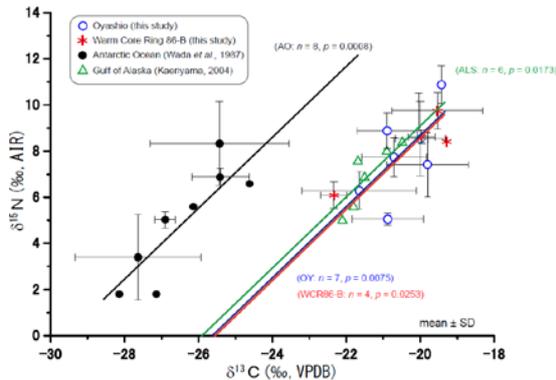


図2 南極海(●)、アラスカ湾(△)、親潮水域(○)及び暖水塊(*)の食物連鎖と $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{13}\text{C}$ マップ。実線はANCOVAの解析結果から求めた4海域に適応した共通の直線($\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$)である (Aita et al., 2011)

この結果から、摂餌過程における窒素・炭素同位体分別に関して、上記食物網を通して $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ が一定の共通式で表せることを見出した。

これらの結果は、各食物連鎖の $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 直線の切片だけが異なっていることから、一次生産者の窒素・炭素安定同位体比が生息する環境条件によって決定されること、また食物連鎖上において低次動物から高次動物まで直線関係が引けることから、ヒトを含めた高次動物まで持続的に $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ が受け継がれていることが考えられた。食物連鎖間と $\delta^{15}\text{N}$ の関係式について

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{animal}} (\text{‰}) = 3.3 (\text{TL} - 1) + \delta^{15}\text{N}_{\text{algae}} \quad (\text{Wada et al., 1987}),$$

が知られているが、これを安定同位体食物連鎖解析の第一経験則とするならば、本研究で見出した

$$\Delta\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) / \Delta\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = 1.53 \pm 0.25,$$

は安定同位体食物連鎖解析の第二経験則の提示ができたと言える。

本研究を更に発展させ、陸水系における食物連鎖についても検証を現在行っているが、同様

の成果を得つつある。

(2) 季節変化と $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比の違いの検証

A-line親潮水域で種別に分離採集した動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ は、上位捕食者(ヤムシなど)や寿命が2~3年と長い動物プランクトン(オキアミ類など)は季節を通して凡そ同じ同位体比を示していた一方で、ライフサイクルが比較的短い(~1年)カイアシ類などの動物プランクトンでは生活史に応じた同位体比を示していた。この結果から、短い期間しか捕食しない動物は、その時の餌を反映しているのに対し、表層付近に長く留まるような動物や、寿命が長い動物は混食などにより水系環境や季節変化を平均化した安定同位体比を示していると考えられた。

各季節に採集した動物プランクトンの $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 比について、ANCOVAを行った結果、(1)で見られたような1つの共通する傾きで表すことが出来なかった(図3)。春季ブルーミングが発生した時期(5月)が、 $\Delta\delta^{15}\text{N}/\Delta\delta^{13}\text{C}$ 直線が大きく揺らいだためであるが、この背景として、ブルーミングの強さが観測点で大きく異なっていた、生活史の異なるカイアシ類4種が同時期に出現した、ことにより同じ親潮水域でも観測点により $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ のバラつきが特に大きかった為であると考えられた。

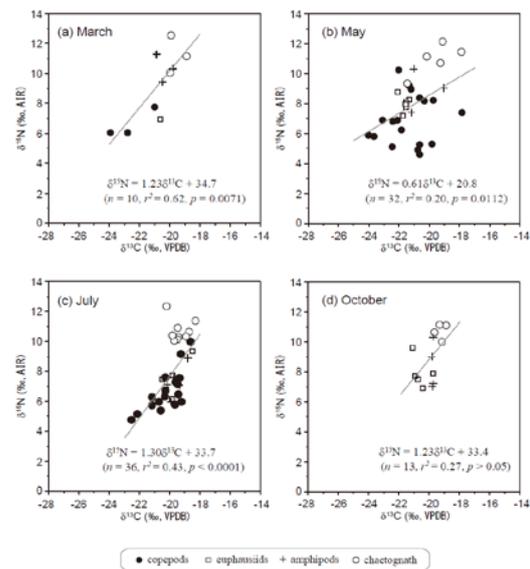


図3 A-line親潮水域で3月~10月に採集した動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の関係。実線は各月の回帰直線である。(Aita et al., 2011)

つまりブルーミングなど強い季節的な要因が発生した時に、この直線の揺らぎが強くなる可能性が、また親潮水域の5月以外の結果から、ブルーミング以外の季節では揺らぎが小さくなると示唆された。従って、これらの要因を取り除ければ

(1)で見出された一般性が季節間でも見られると考えられた。

動物の主要な代謝経路の多くは、殆ど全ての細胞や生物で共通しており、また生態が持つ同位体比はアミノ酸合成などの代謝過程における速度論的な同位体効果によって決まる。従って、本研究において得られた異なる地域の食物連鎖に見られた $\Delta \delta^{15}\text{N}/\Delta \delta^{13}\text{C}$ の共通の関係は、主として各生物のタンパク質の窒素・炭素同位体比の変動に見られた現象であり、アミノ酸合成にまつわる代謝駆動時における速度論的な同位体効果が深く関係していると考えられた。そして各食物連鎖の出発点を定める切片の違いは、一次生産者がCとNを同化した時の環境＝地域性によって決定されているためと考えた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3件)

- ① Wada, E., K. Oki, S. Yoshikawa, C.V. Baalen, P.L. Parker, G.I. Matsumoto, M.N. Aita and T. Saino (2012) Carbon and nitrogen isotope ratios of aquatic algae, with emphasis on cyanobacteria and marine phytoplankton. *Plankton & Benthos Res.*, in press. 査読有
- ② Wada, E., R. Ishii, M.N. Aita, N.O. Ogawa, F. Hyodo, A. Kohzu and Y. Yamada (2012) Carbon and nitrogen trophic fractionation of food chains in Lake Baikal and Lake Biwa- A new aspect on stable isotope analyses of a food chain. *Ecol. Res.*, submitted. 査読有
- ③ Aita, M.N., R. Ishii, K. Tadokoro, S.L. Smith, M.J. Kishi, N.O. Ogawa, T. Saino, S. Saitoh and E. Wada (2011) Trophic fractionation of carbon and nitrogen isotope ratios in the marine environments. *Featured Article in J. Plankton Res.*, 33(11),1629-1642, doi: 10.1093/plankt/fbr070 査読有

[学会発表] (計 2件)

- ① Aita, M.N., K. Tadokoro, N.O. Ogawa, F. Hyodo, R. Ishii, S.L. Smith, M.J. Kishi, T. Saino, S. Saitoh and E. Wada : Linear relationship between carbon and nitrogen isotope ratios in marine environments. *Ocean Sciences Meeting 2012*, Feb. 20-Feb. 24, 2012, Salt Lake City, Utah, U.S.A.

- ② Aita, M.N., R. Ishii and E. Wada : Trophic fractionation of carbon and nitrogen isotope ratios in marine environments. *International Symposium on Isotope Ecology 2010*, Nov. 2-Nov. 4, 2010, COOP IN Kyoto, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

相田 真希 (AITA NOGUCHI MAKI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・技術研究副主任
研究者番号：90463091

(2) 研究分担者

石井 励一郎 (ISHII REIICHIRO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員
研究者番号：40390710

スミス シャーウッド (SMITH SHERWOOD)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員
研究者番号：80399568

(3) 連携研究者

岸 道郎 (KISHI J. MICHIO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・招聘上席研究員
研究者番号：90214767

(4) 研究協力者

田所 和明 (TADOKORO KAZUAKI)
独立行政法人水産総合研究センター・東北水産研究所・主幹研究員

岡崎 雄二 (OKAZAKI YUJI)
独立行政法人水産総合研究センター・東北水産研究所・主任研究員

和田 英太郎 (WADA EITARO)
独立行政法人海洋研究開発機構・JAMSTEC フェロー

