

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：52101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651017

研究課題名(和文) 底層水安定同位体組成の正確な復元に向けた新たな同位体指標の確立

研究課題名(英文) Development of new reliable environmental proxies for reconstructing bottom-water conditions

研究代表者

石村 豊穂 (ISHIMURA, Toyoho)

茨城工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：80422012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、微小領域の安定同位体比分析手法を活用して(1)底生有孔虫の安定同位体組成に影響を与えるvital effect の特徴を理解し、その特性をもとに(2)海洋底層水の安定同位体組成を正確に復元するための解析手法の構築を目指すことを主目的とした、日本近海の試料を用いて各種有孔虫殻を個別別に分析した結果、vital effect の大きさと種内の同位体比のバラツキに強い相関があることを明らかにした。またこの特性をもとに推測した底層水の同位体組成は実際の底層水同位体組成とほぼ一致するという特性を新たに発見した。これらを同位体特性を新たな環境指標の開発に向けて活用することができる。

研究成果の概要(英文)：We analyzed the isotopic composition of individual benthic foraminifera of multiple species by using a customized high-precision analytical system, and found that the magnitude of the isotopic disequilibrium between benthic foraminiferal shell and the surrounding bottom seawater in different species is correlated with inter-individual isotopic variations. As a result, we can choose suitable species as bottom-water proxies by using the inter-individual isotopic variations. Our findings will allow the use of isotope data for benthic foraminifera as more reliable proxies for reconstructing past bottom-water conditions.

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：安定同位体比 底層水 有孔虫 微量分析 環境指標 生物源炭酸塩 古環境解析 海洋環境

1. 研究開始当初の背景

生物源炭酸塩、特に石灰質有孔虫は海洋に広域に生息し、殻の炭素酸素安定同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) は過去の地球環境変動を記録することから、過去 60 年以上にわたり世界中で環境解析に多用されてきた。しかし、環境要素と有孔虫殻の化学組成との関係は明らかにされていない部分も多く、同位体非平衡 (いわゆる vital effect など) の複雑さから、個別の同位体組成が直接の環境指標として積極的に応用されるには至っていない。さらに分析技術の限界から、数千種にもおよぶ底生有孔虫の中で安定同位体分析に用いられた種は数えるほどしかなく、環境指標としての有効活用に対する障壁となってきた。特に同位体非平衡に関しては生理生態や物理化学的な環境要素など多数の要因 (図 1) があり、それぞれを個別に分離して議論することが難しい。

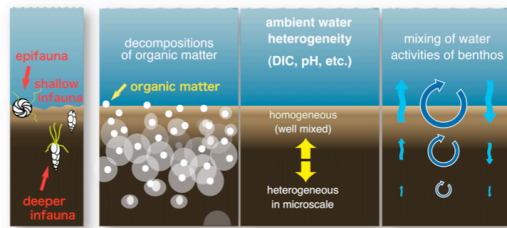


図 1 同位体比非平衡の各種要因

そういった状況の中、最近開発した微量炭酸塩安定同位体分析システム (Ishimura et al., 2004, 2008) は、高感度安定同位体分析手法である連続フロー型質量分析 (CF-IRMS) を用い、分析に必要な炭酸塩量はこれまでの 1/100 程度で、世界で唯一ナノグラムオーダーの炭酸塩を環境解析に有用な精度で分析することが可能である (表 1)。その結果、わずかに産出する有孔虫化石を利用した気候変動解析が可能となり、新たな底層環境指標構築へのアプローチへの可能性を広げた。しかし一方で、生物源炭酸塩の安定同位体組成を微小領域で、かつ、高精度で分析すればするほど明らかになる問題がある。それは、炭酸塩試料を大量分析した時には平均化されて見えなかった「同位体組成の不均質性」であり、微小領域分析ではこれが分析データのノイズとなり、解釈を複雑にする場合があるというパラドックスである。しかし視点を変えて考えてみると、高精度・高感度の分析法を用いることによって、微小領域での同位体の不均質性 (= 同位体組成分散) が有る種と無い種をはじめて区別できるようになったと言える。

| | 定量原理 | 必要炭酸塩量 (μg) |
|---|--------|--------------------------|
| 本研究 | 連続フロー法 | 0.2 < (秤量不要) |
| Kiel III Carbonate Device + MAT253 (商用システム) | 拡散導入法 | 20 < (秤量必要) |
| 従来法 | 拡散導入法 | 20000~40000 |

表 1 本研究の分析法と従来法との比較

2. 研究の目的

本研究の目的は、世界最高水準の微小領域の安定同位体比分析手法を活用して、①底生有孔虫の安定同位体組成に影響を与える vital effect の全体像を理解し、その特性をもとに、②海洋底層水の安定同位体組成を正確に復元するための解析手法の構築を目指すことである。本研究遂行に当たっては、まず、これまで分析することができなかった微細な底生有孔虫殻の酸素・炭素安定同位体比を 1 個体毎に分析をおこない、同種内の同位体組成個体分散と海水および間隙水同位体値との比較をして vital effect が生息環境による影響が強いのか、もしくは殻形成時の物理化学プロセスに起因する要因が強いのかについて検討する。

3. 研究の方法

(1) オホーツク海、南海トラフ、相模湾から得られた表層堆積物試料を用い、*Uvigerina akitaensis*, *Bulimina aculeata*, *Cassidulina* 属およびその近縁属、*Brizalina pacifica*, *Globobulimina* 属、*Stainforthia* 属 (個体重量: 約 0.2~100 μg) について個体毎に殻の安定同位体組成を定量し、有孔虫全体の vital effect の特性解明を試みた。安定同位体組成と個体重量の定量には北海道大学で開発した微量炭酸塩分析システム (MICAL2) を用いた。

(2) 汎世界的に産出し、殻が厚く堆積物中に保存されやすいという特性を持ち、古環境解析に用いられる代表的なタクサである *Uvigerina* 属を研究対象として個体別安定同位体比分析をおこない、環境指標としての有用性の評価をおこなった。先行研究では *Uvigerina* 属の複数種を一括して同位体比分析をおこない環境の相対変動解析に用いられることもあったが、一方で、同じ *Uvigerina* 属でも種によって環境指標としての一様な信頼性があるかどうかは明らかにされていない部分が多い。より信頼性の高い環境解析をおこなうためには種毎の環境指標としての信頼性についても検証する必要がある。そこで本研究では、個体別安定同位体比分析をおこない、①種内での個体毎の安定同位体比のばらつきの有無を評価して環境指標としての均質性を評価すること、また②種間での安定同位体比に違いが無いのかどうかを明らかにすることを目的に、*Uvigerina* 属の環境指標としての有用性を再検討した。

オホーツク海中央部にて採取された表層試料から *U. akitaensis*, *U. ochotica* を抽出し、生体染色された個体を測定試料として選定し、産業技術総合研究所の微量炭酸塩安定同位体比分析システム (MICAL3) にて $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ を定量した。

4. 研究成果

(1) 各種有孔虫殻を個別に分析してみると、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ とともに①種内の同位体比の個体分散（バラツキ）と同位体非平衡（vital effect）の大きさに強い正の相関があることがわかる。このことから、種内の個体分散が小さい種ほど正確な底層水 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ の指標となることがわかった。（図2）

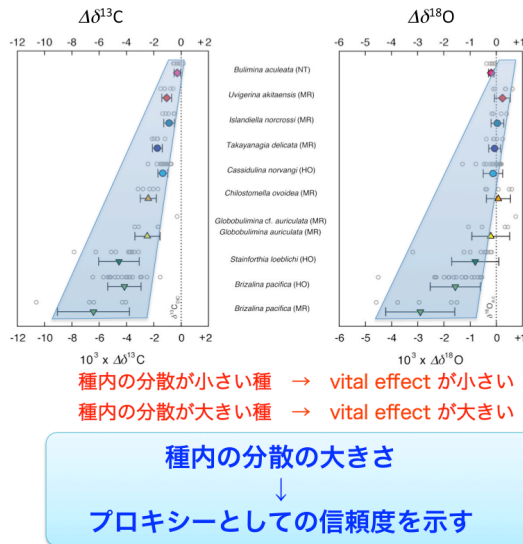


図2 各種の個体別同位体組成の特性

同時に、②種内・種間共に殻重量と同位体非平衡の大きさとの関係において負の相関があることがわかった。このことは、殻重量が重く、成長度合いが高い個体であるほど、一個体でも環境指標として有効な指標となることを示す。一方、③全ての分析結果を $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ ・殻重量の三要素でプロットしてみると（図3）有孔虫全体での同位体非平衡の特徴を捉えることが出来ることがわかった（Ishimura et al., 2012, *Biogeosciences*）。このことから、種毎で検討するよりも有孔虫という分類群全体で捉えることにより、同位体非平衡のトレンドが明確に浮き彫りにできることを示す。

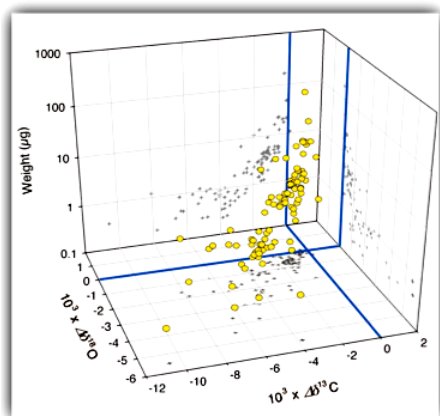


図3 有孔虫同位体非平衡の全体像

さらに図3の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ ・殻重量三次元プロットでは、上方に向かって明確な収束点があり、これが海洋底層水の同位体組成と一致することがわかった。この同位体非平衡の特性にもとづき周辺水の同位体組成を正確に復元することができる可能性も見いだした。（図4、切片が底層水の値に相当する）

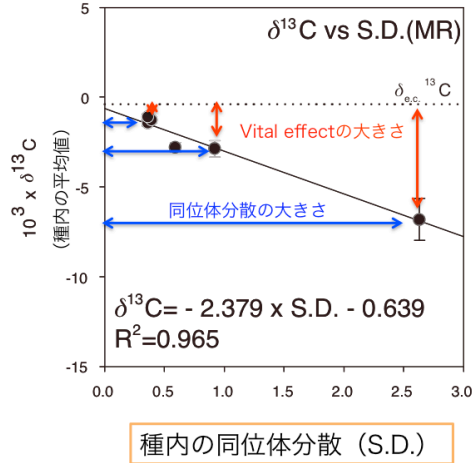


図4 同位体比分散と vital effect

(2) *U. akitaensis* の個体毎の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ はそれぞれ $-1.41 \pm 0.19 \text{ ‰}$, $+3.49 \pm 0.20 \text{ ‰}$ ($n=8$)であり、これまで報告された他種とくらべて種内の個体毎の同位体組成に高い均質性がみられた。また *U. ochotica* の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ も $-0.68 \pm 0.21 \text{ ‰}$, $+3.45 \pm 0.50 \text{ ‰}$ ($n=9$)とほぼ同様なばらつきのない小さい分析結果が得られた。このことから、種が異なっても *Uvigerina* 属自体の安定同位体組成はばらつきが小さく、1個体でも環境指標となり得ることを見出した。また、他地域の *U. akitaensis* の分析結果と調和的である事からも、*Uvigerina* 属の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ は均質であることの一般性を支持している。特に $\delta^{18}\text{O}$ に関しては、同位体平衡値と *Uvigerina* 属の $\delta^{18}\text{O}$ とがほぼ一致していることから、本種が海洋の水環境を直接指標する分類群であることも明らかにした。一方で、 $\delta^{13}\text{C}$ に関しては *U. akitaensis* は *U. ochotica* に比べておよそ 0.7 ‰ 重い $\delta^{13}\text{C}$ 値を持つという有意な差を見いだした。これは同属であっても種ごとの生態や石灰化メカニズムの違いが安定同位体組成に一樣に影響している可能性を示唆し、環境変動解析に *Uvigerina* 属を用いる際には種ごとの $\delta^{13}\text{C}$ に違いがある可能性を考慮する必要がある。

(3) 本研究を通じて、底生有孔虫は生息環境の違いによらず①種内の個体分散が小さい種ほど直接的に低層水の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{18}\text{O}$ を推定する指標となることがわかった。また、②殻重量が重く成長度合いが高い個体ほど、一個体でも環境指標として有効な指標となることがわかった。

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 5 件)

① Ishimura, T., Tsunogai, U., Hasegawa, S., Nakagawa, F., Oi, T., Kitazato, H., Suga, H., Toyofuku, T. 2012. Variation in stable carbon and oxygen isotopes of individual benthic foraminifera: tracers for quantifying the magnitude of isotopic disequilibrium. *Biogeosciences*. 査読有 9, 4353-4367, doi:10.5194/bg-9-4353-2012

[学会発表] (計 13 件)

①田中崇史・石村豊穂・木元克典・原田尚美・鈴木淳. 底生有孔虫 *Uvigerina* 属の炭素酸素安定同位体組成の環境指標としての有用性の再検討 ～種間おいび個体間の同位体組成比較から～. 日本地球化学会年会. 2013.9. 筑波大学.

②石村豊穂・角皆潤・長谷川四郎・中川書子・大井剛志・北里洋・菅寿美・豊福高志. 底生有孔虫の炭素酸素安定同位体組成・”vital effect”の全体像を捉える ～環境指標としての高精度化とその有効活用をめざして～. 日本地球化学会年会. 2013.9. 筑波大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石村豊穂 (ISHIMURA, Toyoho)

研究者番号：80422012

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：