

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 19 日現在

機関番号：52101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26550016

研究課題名(和文) 有孔虫安定同位体組成のバラツキを活かす：海洋底層環境指標の時空間評価へ向けた試み

研究課題名(英文) Stable carbon and oxygen isotopic dispersions of individual foraminifera: new proxy to estimate the sea environmental condition precisely

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：底生有孔虫の個体別同位体比分散(バラツキ)という新しい尺度を活用して海洋底層環境指標の高精度化を試みることを、また、これまで得られた海洋堆積物試料の積極的な再活用を目指すことを目的とした。

結果、Uvigerina属の酸素同位体比は地域によらず均質で環境指標としての信頼性が高いことがわかった。また、新たにNonionellina labradoricaやBolivina spissa, Islandiella norcrossi, Globocassidulina sp.を環境指標として信頼性が高いと認定した。また、安定同位体組成のバラツキを活用した堆積物の再堆積評価が可能であることもわかった。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the stable isotopic dispersions of individual benthic foraminifera to utilize them as new sea environmental proxy. The second aim of this study is to reutilize the archived sediment samples already taken from all over the world. As the results, we found that the stable carbon and oxygen isotopic compositions of Uvigerina akitaensis show the most reliable isotopic composition (low dispersion, close to isotopic equilibrium values) among several sampling sites. In addition, we found that Nonionellina labradorica, Bolivina spissa, Islandiella norcrossi, and Globocassidulina sp. also have reliable isotopic compositions. Besides, we found that we can utilize the isotopic dispersions of benthic foraminifera to evaluate the redeposition of sediment.

研究分野：安定同位体微古生物学

キーワード：安定同位体比 底生有孔虫 分散 底層環境 再堆積 微量分析 環境指標 Uvigerina属

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 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は至っていなかった。一方、私たちは世界で唯一の微量炭酸塩の安定同位体組成分析技術 (Ishimura et al., 2004, 2008.) を確立した。この研究成果により、私たちが扱う有孔虫全てを安定同位体比分析の研究対象とすることが可能になった。さらに私たちが微小有孔虫の同位体組成の解析を進める中で、これまでの環境解析で「ノイズ」と考えられていた「同位体比のバラツキ」が、環境指標としての有用性尺度として活用できることを見いだした (Ishimura et al., 2012.)。この尺度の一般化と応用研究への活用が期待できる中で、その汎用化に向けては高密度・広範囲の海洋試料の検討が必要であり、研究に必要な試料の収集には困難が予想された。

そのような状況の中、本研究では、これまで海洋から得られた膨大な環境試料に着目した。産総研/地質調査所では日本近海で得られた高密度・広範囲の貴重な堆積物試料が採取されており、「バラツキ尺度」を検討する上で、他に代えがたい有用な試料群として活用ができる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、底生有孔虫の個体別同位体比分散 (以下、バラツキ) という新しい尺度を活用して海洋底層環境指標の高精度化を試みることにある。具体的には、これまで日本周辺海域で採取された堆積物試料を有効活用し、底生有孔虫の個体別同位体組成にもとづくバラツキ指標の基礎データを蓄積し、この指標の有用性を可視化する。さらに、このバラツキ指標の海域毎・時代毎の違いの有無を検証し、指標としての時空変遷の解明とその活用を目指す。本研究は、独自の分析技術で明らかにした新しい概念の応用と、既存の海洋堆積物試料を積極的に有効活用する、という 2 つの新たな試みを実践する基礎研究である。本研究により、新たに高精度化された海洋底層環境指標の提示が可能になる。さらに本研究の意義の 1 つに、国費によって得られた貴重な地球科学試料の積極的な再活用を可能にし、その付加価値を高め、有効活用を促進する点が挙げられる。地球環境の将来予測や、海洋資源探査に向けて、今後も多くの海洋試料が収集されて行く中で、本研究参画者それぞれの独自性を活かすことにより、新しい環境指標の基礎データの集約と汎用化を通じて、環境指標・環境試料それぞれのさらなる活用を可能にする。

3. 研究の方法

日本周辺海域のこれまで得られた試料の中から、手始めとして北海道周辺海域の海洋試料を選定し、地域・時代とも広範囲にわたって産出し、古海洋指標としての利用価値が高く、同位体分析結果から海洋深層の環境変化に鋭敏だと推定される種を選定して、同位体組成のバラツキの程度について明らかにした。分析対象とする種は、まず海洋に広く分布する *Bulimina* 属や、古海洋研究で用いられることが多い *Uvigerina* 属・*Cibicides* 属などに設定することが想定した。

対象の一つである *Uvigerina* 属は、これまでの私たちの研究でも安定同位体比の均質性が高く (個体分散が小さい)、1 個体でも環境指標としての活用に適していることがわかってきている。しかし、どの海域・深度で採取した個体でも海洋試料としての信頼性が高いというわけではない。

この問題を検討するため、十勝沖および日高西方沖から、産業技術総合研究所・地質調査所の GH02/GH06 航海にて採取された表層堆積物試料を用い、以下の①～③の個別テーマを設定し研究を進めた。この地域では *Uvigerina* 属をはじめとする北西太平洋の海洋に生息する代表的な石灰質底生有孔虫が多産する。

Uvigerina 属バラツキ指標の普遍性を検討するため、海域・水深を問わず信頼性の高い同位体組成を示すかどうか、その結果として底層環境指標としての有用性の認定までを行う。

Uvigerina 属の個体別同位体比のバラツキの均質性を評価し、その結果から堆積物の再堆積評価へ活用できるかどうかを試みる。

同位体バラツキ指標をもとに、*Uvigerina* 属以外の海洋底層環境指標種 (有用種) を新たに認定し、今後の活用指針を提示する。

有孔虫個体ごとの安定同位体比分析は、1 個体ずつをリン酸と反応させ、発生した CO_2 を微量炭酸塩安定同位体システム (MICAL3c: 茨城高専) に導入し $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を定量した。

4. 研究成果

[4-1. *Uvigerina* 属バラツキ指標: 汎用的古環境指標としての認定]

日高西方沖の斜面直下から大陸棚平坦面にかけての 4 か所の採取地点 (図 1: St.398, 403, 405, 416) で産業技術総合研究所 GH 航海にて採取された表層堆積物試料を用い、抽出した底生有孔虫 *U. akitaensis* 各個体の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ を微量炭酸塩安定同位体比分析システム (MICAL3c) により測定した。測定結果 (図 2) から、4 か所全てのサンプルにおいて $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{18}\text{O}$ 値の標準偏差は $\pm 0.2\%$ 程度の範囲に収まっており、斜面からの距離によらず均質な値をとっていることがわかった。この

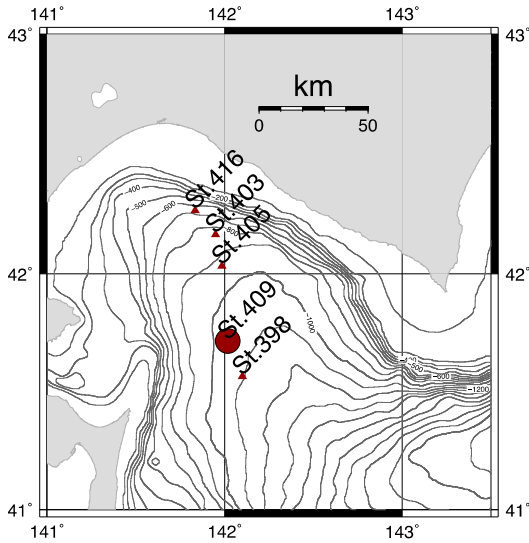


図 1 . 日高沖の試料採取地点

ことから、日高西方沖の海域では斜面の直下でも再堆積がほとんど起こっていないと推定できる。これは、日高沖の海域は海流が安定しており海底斜面が削られにくいことや、大きな河川からの土砂の流入が少ないこと、海溝から離れているため地震が少ないことなどが要因だと考えられる。したがって、日高沖の海域は再堆積の影響が小さく、環境解析に適していると言える。さらに本海域でも *Uvigerina* 属の安定同位体比のバラツキは小さく、同位体平衡値にも近いことから、環境指標としての普遍性を示す結果となった。

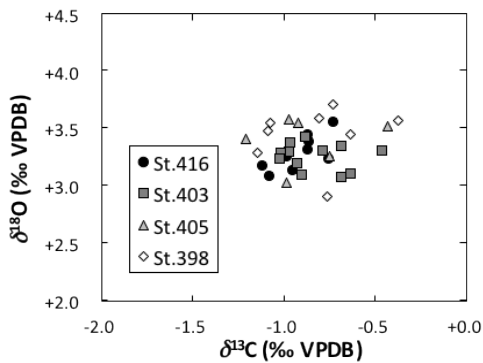


図 2 . 日高沖各地点における *Uvigerina akitaensis* の炭素酸素安定同位体組成

[4-2. *Uvigerina* 属：再堆積評価への応用]

十勝沖の河川流入の影響が示唆される 3 地点 (図 3 : St.122, St.151, St.176) の表層堆積物試料を用い、試料中の *U. akitaensis* 各個体の $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ を微量炭酸塩安定同位体比分析システム (MICAL3c) により測定した。この 3 地点では St.122 が最も河川及び斜面による再堆積の影響が強いと想定される地点で

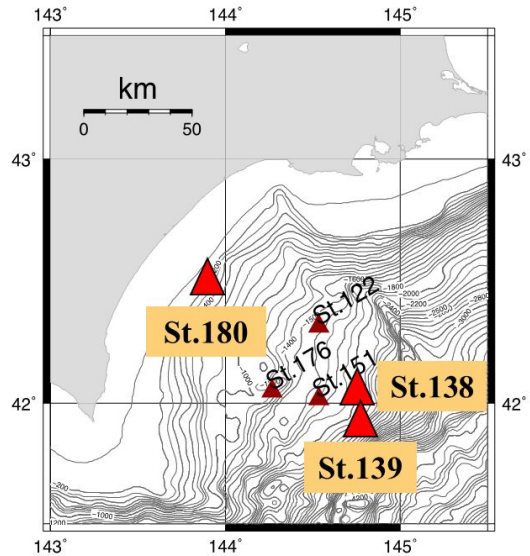


図 3 . 十勝沖の試料採取地点

あり、St.176, St.151 の順に地形と海流環境が安定していくと考えられる。分析結果から、St.122 で採取された有孔虫の $\delta^{13}C$ と $\delta^{18}O$ に最も大きなばらつきがみられた (図 4)。十勝沖掘削コアを研究した Ohkushi et al. (2005) によると、現在 (間氷期) と氷期の *U. akitaensis* の $\delta^{18}O$ はそれぞれ +3 ~ +4‰, +4 ~ +6‰ を示す。このことから St.122 では同一試料中に現在と氷期の $\delta^{18}O$ を記録する有孔虫が共存していたことが推定される。これは、斜面かつ複雑な海流により有孔虫が再堆積したことが原因と考えられる。一方、地形が安定している St.151 と St.176 では $\delta^{18}O$ のばらつきが小さく、 $\delta^{18}O$ 値も現在の環境を反映している (図 4)。これらのことから、海底地形が複雑で海流環境が安定していない地点では有孔虫の個体別同位体組成は不均質で、比較的平坦で海流環境が安定している地点では均質な同位体値を示し再堆積が生じていないことを見出した。特に St.122 では明ら

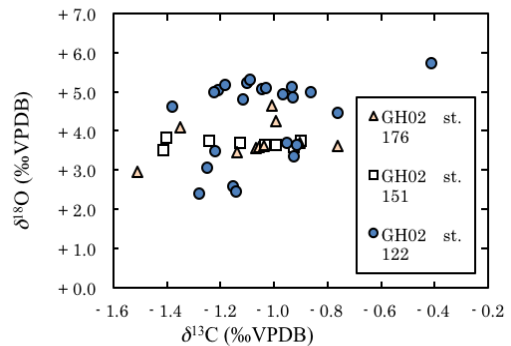


図 4 . 日高沖各地点における *Uvigerina akitaensis* の炭素酸素安定同位体組成

かに氷期の同位体値を示す個体が共存しており、再堆積の事実を明らかにするとともに、地点毎の再堆積の影響の違いも明確にすることができた。本研究の結果は、個体別の安定同位体組成を活用した再堆積の影響評価が可能であり、研究地点毎に環境指標としての信頼性を見積もる基礎データを提供できることを示す初めての研究成果となった。

[4-3. 新規古環境指標種の選定：十勝沖]

十勝沖の有孔虫の再堆積が生じていないと予想される浅海域 St.180(水深 140m)と深海域 St.139(水深 2301m) St.138(水深 1927m)の3地点を研究対象とした。St.180からは浅海域の代表種である *Angulogerina ikebei* と *Buccella frigida*、St.139からは深海域の代表種である *Nonionellina labradorica* と *Globocassidulina.sp.*、St.138からは *U. akitaensis* と *N. labradorica* を採取した。微量炭酸塩安定同位体比分析システムに導入し $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ を定量した結果、*A. ikebei*、*N. labradorica*、*G.sp.*は *U. akitaensis* と同様に安定同位体比のばらつきが小さい有孔虫であることが分かった。中でも *N. labradorica* の $\delta^{18}\text{O}$ 値は非常に均一な値 ($\pm 0.16\text{‰}$) を示した。この *N. labradorica* は海洋に広く生息しているため新たな汎用性の高い環境指標となる可能性があることがわかった。また、*U. akitaensis* の近縁種でもある浅海性の *A. ikebei* についても $\delta^{18}\text{O}$ 値が均一な値 ($\pm 0.31\text{‰}$ 、同位体値が軽い小型個体を除くと $\pm 0.16\text{‰}$) をとることから、浅海域の環境指標として用いることができること期待される。一方で、*G.sp.* の安定同位体比の均一性 ($\pm 0.18\text{‰}$) については先行研究 (Ishimura et al., 2012) から報告されており、今回の分析結果と先行研究での分析結果が調和的であることから、*G.sp.* を用いた環境解析の信頼性を高めることにつながったと言える。次に、今回得られた分析結果から再堆積作用の評価を行った。St.180 と St.139 では $\delta^{18}\text{O}$ 値のばらつきが小さいことから、やはり再堆積が生じていない可能性が高いと考えられる。また St.138 では *U. akitaensis* の $\delta^{18}\text{O}$ 値の若干のばらつきが見られた。これは堆積物の特性と比較することによって、さらなる再堆積指標確立への課題となる。本研究により、底生有孔虫の環境指標有用種の認定と、十勝沖における堆積環境の理解が進展した。今回環境指標として有用であると新たに評価した種については、さらなる検証によって信頼性を高める必要がある。

[4-4. 新規古環境指標種の選定：日高沖]

日高沖の地点 st.409 (図1：水深 1,045m) で産業技術総合研究所 GH06 航海にて採取された表層堆積物試料中から底生有孔虫 *U. akitaensis*、*B. spissssa* 3タイプ、*Islandiella norcrossi*、*Elphidium batialis* を採取し、各

体の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ を測定した。また本地域では、*B. spissssa* の形態の特徴から、大きく3タイプ (morphological variation) に分類できることを見出した。そこで、*B. spissssa* を特徴ごとに3タイプに分類し、各々の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値に違いがあるのかどうかを検証した。また *B. spissssa* に加えて、随伴種の *Islandiella norcrossi*、*Elphidium batialis*、そして *U. akitaensis* 各個体の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値を分析・比較し、環境指標としての有用性を検討した。

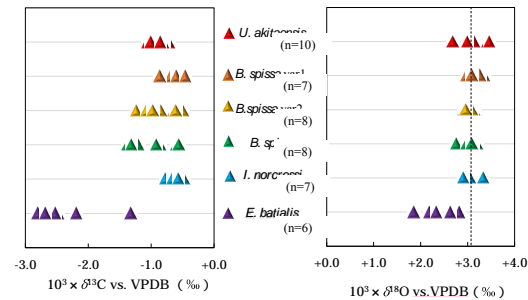


図5. 日高 St.409 における各種底生有孔虫の個体別炭素酸素安定同位体組成

本研究地点においても、*U. akitaensis* の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値は近隣サイトと近似した値をとったことから、環境指標としての信頼性を補強する結果となった(図5)。*B. spissssa* は、3タイプともに $\delta^{18}\text{O}$ 値が同位体平衡値に近く、標準偏差が $\pm 0.1\text{‰}$ 程度の範囲に収まっており、非常に安定した値をとっている。この結果は、*B. spissssa* が水温指標として有用であることを明確にした。一方で $\delta^{13}\text{C}$ 値の平均値は、形態の違いによって 0.4‰ 程度の違いがあることがわかった。*I. norcrossi* は、*U. akitaensis* と同様に、 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値が均質で同位体平衡に近いことがわかり、この結果から環境指標としての有用性が高いと認定できる。このことは、オホーツク海の先行研究 (Ishimura et al., 2012) でも確認されており、本種の汎用性を裏付けることができた。一方、*E. batialis* は、 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値が他種よりも $1\sim 2\text{‰}$ 低く、個体間のばらつきも大きい ($\pm 0.5\text{‰}$ 程度)。また、殻が厚く汚染度合いを判断しにくいいため、環境指標としての信頼性は低いと評価した。本研究結果から、*B. spissssa* と *I. norcrossi* は、環境指標としての信頼性が高いと認定することができた。今後は他地域でも *B. spissssa* の同位体比特性を検証し、環境指標としての信頼性と汎用性をさらに確認する必要がある。

[まとめ]

本研究では、底生有孔虫の個体別同位体比分散(以下、バラツキ)という新しい尺度を活用して海洋底層環境指標の高精度化を試みた。

分析の結果、*Uvigerina* 属の酸素同位体比は地域によらず環境指標としての信頼性が高いことがわかった。また、新たに分析した底

生有孔虫のうち, *Nonionellina labradorica* や *Bolivina spissa*, *Islandiella norcrossi*, *Globocassidulina.sp.* を環境指標として信頼性が高い種だと認定した。さらに, 安定同位体組成のバラツキを活用した再堆積の影響評価が可能であることもわかった。

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 2件)

Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., and Hirano, H., 2015. Individual migration pathways of modern planktic foraminifers: Chamber-by-chamber assessment of stable isotopes. *Paleontological Research*, doi:10.2517/2015PR036.

Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., Hirano, H. 2015. Exploring photosymbiotic ecology of planktic foraminifers from chamber-by-chamber isotopic history of individual foraminifers. *Paleobiology*. 41. 1. 108-121. doi:10.1017/pab.2014.7

[学会発表](計 9件)

石村豊穂, 安定同位体比分析の高度化による炭酸塩地球科学の新展開. 公開シンポジウム「新たな炭化水素資源と革新的地化学探査技術」. 北海道大学. 2016.3.17. (招待講演)

石村豊穂, 微量炭酸塩の酸素・炭素同位体分析システムの開発について. 金沢大学・同位体環境学セミナー. 2015.12.14. (招待講演)

石村豊穂・長谷川四郎・池原研. 底生有孔虫の個体別同位体組成の均質性: 再堆積評価への応用. 日本古生物学会年会・産業技術総合研究所. 2015年6月27日

TANAKA, T. ISHIMURA, T., HARADA, N. KIMOTO, K. Reliable stable isotopic compositions of individual *Uvigerina* spp. as sea environmental proxy. 日本地球惑星科学連合大会.(国際セッション). 幕張メッセ国際会議場. 2015.5.26.

中根雅晴・田中崇史・鐵智美・高木悠花・石村豊穂. 安定同位体比質量分析計 IsoPrime100 を用いた高精度・高感度分析システムの開発. 日本地球惑星科学連合大会. 幕張メッセ国際会議場. 2015年5月24日.

石村豊穂・坂井三郎・鐵智美. Geomill326 と微量炭酸塩安定同位体比分析システムのコラボレーション. 質量分析学会同位体比部会. つくば. 2014年11月.

中根雅晴・石村豊穂. 多連式小型ガス精製装置の構築～高精度安定同位体比定量へ向けて～. 日本地球化学会関東支部水戸地区研究集. 2014.10.31.

田中崇史・石村豊穂. 底生有孔虫の古海洋環境指標としての有用性に関する再検討. 日本地球化学会関東支部水戸地区研究集. 2014.10.31.

石村豊穂. 微小領域における炭酸塩の安定同位体比分析の現状(基調講演). 日本地球化学会年会. 2014.9.16 富山大学.

[図書](計 0件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

[その他]

<http://researchmap.jp/toyoho/>

<http://www.foram.jp>

6. 研究組織

(1)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

(2)研究分担者

池原 研 (IKEHARA, Ken)
国立研究開発法人・産業技術総合研究所・地質情報研究部門・総括研究主幹
研究者番号: 40356423

長谷川 四郎 (HASEGAWA, Shiro)
東北大学・学術資源研究公開センター・協力研究員
研究者番号: 90142918