

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25年 6月30日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540476

研究課題名（和文） 鮮新世の汎世界的温暖化・寒冷化と日本海の浅海環境との関連

研究課題名（英文） The relationship between global warming/cooling and shallow marine environments in the Sea of Japan during the Pliocene

研究代表者

入月 俊明（IRIZUKI TOSHIAKI）

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号：60262937

研究成果の概要（和文）：

鮮新世における日本海の環境，特に暖流の流入時期，海水準変動，古水温の変動を明らかにするため，貝形虫・浮遊性有孔虫化石の群集解析，貝形虫殻の微量元素分析等を行った．結果として，日本海に暖流が流入し始めた時期は 366～約 340 万年前であり，その後も南方から暖流の流入が頻繁に起きていたことが認められた．また，約 330 万年前の汎世界的な酸素同位体比極大イベント（MIS M2）に対比される可能性のある海水準低下の層準が認められ，当時の海水準変動は多くても 50 m 程度ではないかと推定された．さらに，貝形虫殻の Mg/Ca 比に基づく，当時の新潟県沖では現在よりも 5℃前後中層水の水温が高かった可能性が示唆された．

研究成果の概要（英文）：

Fossil ostracode and planktonic foraminiferal faunal analyses and trace element analysis of ostracode valves were conducted to reconstruct paleoenvironments such as timing of inflow of warm-water current, relative sea-level changes, and paleotemperature, in the Sea of Japan during the Pliocene. As a result, the inflow of the warm-water current to the Sea of Japan started at 3.66-ca. 3.4 Ma and it occurred frequently afterwards. Sea-level lowering possibly caused by the global cooling at MIS M2 was found and the decrease in water depth was estimated at 50 m at most. On the basis of Mg/Ca ratio of ostracode valves, paleotemperature in the intermediate water mass off Niigata was probably ca. 5 °C higher than now.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：貝形虫，浮遊性有孔虫，鮮新世，微量元素分析，日本海，海水準変動，古水温

1. 研究開始当初の背景

鮮新世前～中期（約 500～300 万年前）は、

汎世界的に CO₂ 濃度が高く，温暖な時代で，特に高緯度地域において現在よりも暖かか

ったということが、IPCCの第4次報告書でも支持されている。その後、北半球氷河作用(NHG)が約275万年前に始まり、約4.1万年周期の氷期・間氷期サイクルが顕著になった。これらの原因はパナマ地峡の形成やミランコビッチフォーシングと関連させて議論されてきた(Ravelo *et al.*, 2004; Haug *et al.*, 2005 など)。鮮新世における上記のような汎世界的気候変動が日本海の海洋環境や生物群集にどのような影響を与えたのかという問題は、今後の温暖化の動向を研究する上でも重要であり、本研究の意義はここにある。このような研究は従来いくつかなされてきた(Kitamura *et al.*, 1994; 天野ほか, 2008 など)。また、日本古生物学会で「日本海の生物相の変遷と環境変動—過去、現在そして未来へ向けて」と題したシンポジウムが行われ、特集号も出版された(2007年、化石, 82号)。申請者も世話人の1人としてシンポジウム・特集号の企画等に携わり、甲殻類に属す貝形虫を対象に研究成果を公表してきた(Yamada *et al.*, 2005; Irizuki *et al.*, 2007; 入月・石田, 2007 など)。しかしながら、従来の研究だけでは、時間解像度の高い資料が不十分で、広域な日本海の浅海環境の変遷を復元できない。また、推定した古水温も群集解析の結果からであり、6~20°Cと範囲が広い。さらに、海洋酸素同位体ステージ(MIS) G15(約290万年前)以外、いつどのような暖流が流入したのかについても十分な情報が得られていない。そこで、日本海側に分布する鮮新世の浅海成堆積物を対象に、微化石を用いた時間解像度の高い複合的分析と従来と異なる別のプロキシを用いることによって、研究結果をさらに発展させ問題解決に至る事ができるという着想に至った。

2. 研究の目的

そこで、今回の研究の主たる目的を以下のように4項目設定した。

- (1) 日本海の暖流は、いつどこから、どの程度流入したのか?
- (2) 海洋酸素同位体ステージごとの古水温の違いはどの程度か?
- (3) 海洋酸素同位体ステージごとの相対的海水準変動量はどの程度か?
- (4) 汎世界的な気候変動は日本海の浅海環境にどのような影響を与えたのか?

3. 研究の方法

(1) 地質調査と分析試料

日本海側に分布している鮮新世後期(350~260万年前)の地層を対象に、地質調査を行い、できるだけ細かい試料間隔で、微化石分析用の試料採取を行った。地質調査を主に行った地層は、富山県富山市の三田層、新潟県南魚沼市の四十日層、新潟県新発田市の鍬

江層、新潟県胎内市の鍬江層である(図1)。また、新潟県佐渡市の沢根層、富山県氷見市の藪田層などからの微化石用試料も分析に使用した(図1)。さらに、鮮新~更新世の時代に、太平洋側に生息していた暖流系貝形虫種と浮遊性有孔虫種を特定するため、黒潮暖流の影響下で形成された代表的な海成層である台湾の鮮新~更新統、宮崎県の宮崎層群佐土原・高鍋層、高知県の穴内層(図1)や、いくつかの更新統からの試料も分類学的検討や分析のために使用した。

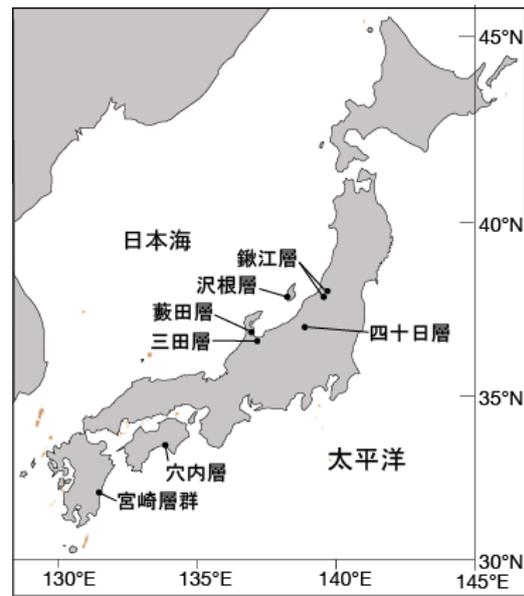


図1. 主要な調査対象の位置図

(2) 実験室での処理法

各調査地域から産出した貝形虫化石と浮遊性有孔虫化石の群集解析に基づき、古環境を復元するため、試料は通常処理方法(硫酸ナトリウム法およびナフサ法)により、岩石を構成粒子サイズまで細粒化した。その後、115メッシュにより篩がけを行い、粗粒堆積物から双眼実体顕微鏡を用いて化石を抽出した。なお、抽出にあたっては、1試料中の個体数が200になるよう適宜分割し、分割試料から全ての標本を抽出した。

また、当時の古水温を定量的に復元するために、鍬江層から産する貝形虫の殻の微量元素分析(Mg/Ca比)を行った。処理は50°C以下の温度で乾燥後、3%以下の過酸化水素水あるいはお湯を用いて試料を細粒化させ、試料から分析用貝形虫として深海生の *Kri the* 属および浅海生の *Cytheropteron* 属を抽出した。その後、前処理を行ったあと、高知大学コアセンターのICP-AESを用いて測定を行った。

(3) 堆積年代の推定法

地層の堆積年代を決め、各調査地点を対比するため、一部の地層で珪藻化石分析、石灰質ナノ化石分析、およびフィッショントラック年代測定を行った。

4. 研究成果

(1) 鮮新世後期の暖流系貝形虫種の特定

日本海における暖流流入の指標となる貝形虫種を特定するため、まず、宮崎県宮崎層群佐土原・高鍋層、高知県穴内層、関東平野の更新統の貝形虫分析を行った結果、これらの地層を特徴づける貝形虫種を把握することができた。その中で、日本海側の地層からも産出した黒潮影響下の暖流系種として、*Aurila spinifera*, *Bairdoppilata* sp., *Chejudocythere* sp., *Cytherelloidea hanaii*, *Cytheropteron uchioi*, *Legitimocythere hanaii*, *Paranesidea* sp.などがあげられる。

(2) 日本海側の各地層の対比と暖流の流入時期

分析に用いた試料が採取された地層の対比を行うため、いくつかの地点で浮遊性微化石（浮遊性有孔虫、珪藻、石灰質ナノ化石）の生層序を検討した結果、藪田層、三田層、鉦江層で、浮遊性有孔虫の No. 3 *Globorotalia inflata* Zone の断続的な変化が認められた。また、新潟県胎内市の鉦江層では珪藻化石生層序を検討し、3.5~2.7 Ma (Maは100万年前)を示す生層準が認められた。三田層、鉦江層、四十日層では石灰質ナノ化石の生層序の検討を行い、調査層準は3.66~2.75 Maの間に相当することが明らかになった。また、三田層では鍵層として有効なMT1凝灰岩層が挟在しており、この凝灰岩の2試料に対してフィッシュオントラック法による年代測定を行った結果、3.4 ± 0.2 Ma, 3.5 ± 0.2 Maの値が得られた。図2には従来の年代に関する資料も統括して、研究層準の一部の対比図を示した。

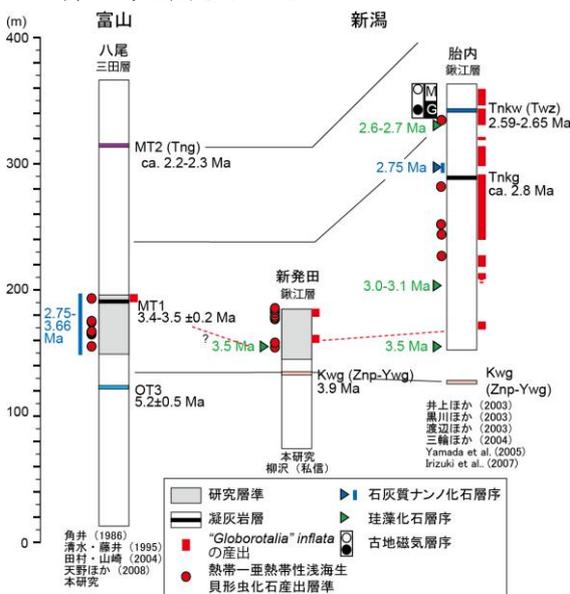


図2. 既存研究と本研究に基づく富山県三田層、新潟県鉦江層の対比および暖流系貝形虫と浮遊性有孔虫の“*Globorotalia*” *inflata*の産出層準。

また、(1)で述べたように、当時の暖流系貝形虫種が明らかとなったため、それらの種の産出層準を総括した(図2)。結果として、三田層や新発田市の鉦江層では約3.66~約3.4 Ma頃に暖流系種が現れており、No. 3 *Globorotalia inflata* bedの基底層や*Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*のような表層温暖水に生息する浮遊性有孔虫の産出時期に一致して、暖流系貝形虫種が産出した。特に3.5~2.75 Maに関しては暖流の流入が頻繁に行われていたようであると結論を得た。

(3) 新潟県胎内市の鉦江層における古水温の変化

新潟県胎内市の胎内川右岸には連続的に鉦江層が分布しており、貝形虫化石群集の因子分析により、海水準変動および定性的な古水温の推定がなされていた(Yamada et al., 2005; Irizuki et al., 2007, 図2)。今回、このルートにおいて貝形虫化石殻のMg/Ca比を用いて当時の古水温を定量的に求めた結果、図3に示すような水温範囲の古水温変動が明らかになった。すなわち、約3.1~2.8 Maの間における古水温の変化および浅海から深海に向けた水温の勾配を定量的に見積もることができた。また、この時代の間氷期における水深150 m前後の海域では、現在よりも5°C前後水温が高かった可能性があることがわかった。

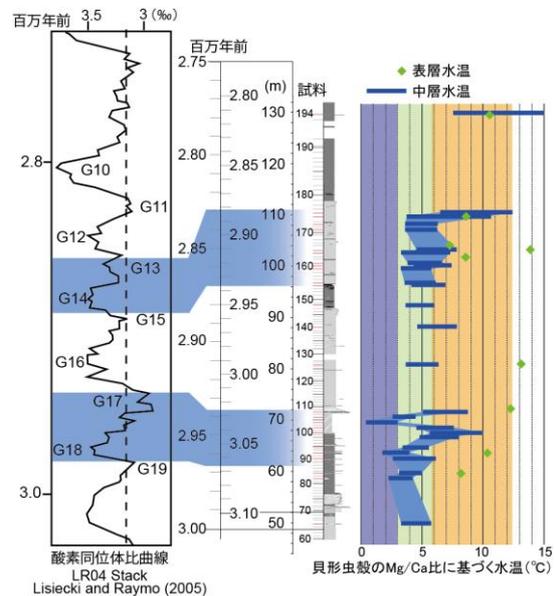


図3. 新潟県胎内市の鉦江層から産出した貝形虫殻のMg/Ca比に基づく古水温変化。G10~G19は海洋酸素同位体ステージ(MIS)を示す。

(4) 相対的海水準変動について

今回、日本海側の地層から産出した貝形虫群集は主に冷温種である Cronin and Ikeya (1987)の環極域種や好冷性種が主体をなし

ていた。これらは、例えば、*Acanthocythereis dunelmensis*, *Robertsonites* spp., *Yezocythere?* sp., *Hemicythere kitanipponica*, *Finmarchinella* spp.などで、大桑-万願寺動物群が産出する鮮新-更新統から多産する種である。また、日本海に固有な絶滅種の *Laperousecythere sasaokensis* なども多産する。これらの群集と、現在温帯海域に広く生息する *Cytheropteron miurense*, *Cornucoquimba moniwensis* などや上記 (1) の暖流系種が周期的に変化している場所が認められた。例えば、図 4 は富山県三田層における貝形虫化石群集の垂直変化である。好冷性種の卓越層準や温帯性種の卓越層準が周期的に変化している。これらの群集は貝化石の結果 (天野ほか, 2008) と同様に、上部浅海帯、すなわち 50 m 以浅の古水深を示す。今回、三田層の MT1 凝灰岩層の直上に侵食面が確認され (図 4)、この侵食面の直下の地層が欠落している可能性が高いことが明らかとなった。すなわち、不整合等の存在が示唆されるが、この年代は 3.3 Ma 前後に対比されることから、MIS M2 による汎世界的な酸素同位体極大期に相当するかもしれない。MIS M2 は当時最も酸素同位体比が高くなった時期であることから、この時期に相対的海水準が 50 m 程度は下がった可能性が示唆される。その他ではこのような侵食面が無いことから当時の海水準変動は従来指摘されてるようによく 50 m 程度と推測される。

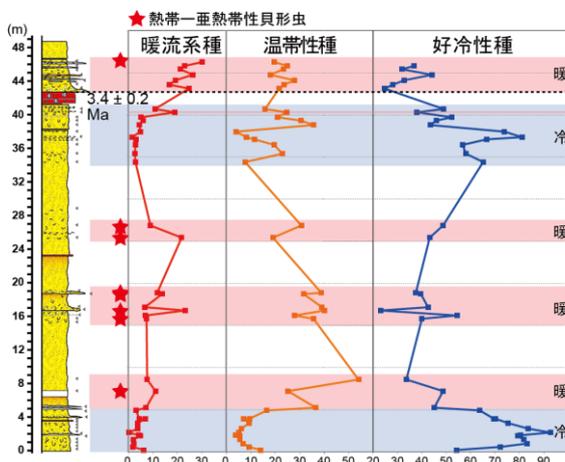


図 4. 富山県富山市八尾町三田の三田層における貝形虫種の垂直変化。太い点線は侵食面を示す。

(5) 汎世界的な気候変動と日本海の浅海環境との関連

以上のような研究成果をまとめると、3.5 ~ 2.75 Ma に関しても汎世界的な氷河性海水準変動の影響を受けて日本海側の相対的海水準が数 10~50 m 程度は変化していたと推定される。また、暖流の流入に関しては、2.75 Ma 以降とそれ以前では明らかに異なり、以前では頻繁に暖流が流入しており、また、世界

的な Mid-Pliocene Climatic Optimum のため、Irizuki et al. (2007) や入月・石田 (2007) が指摘しているように、当時の日本海の中層水は現在と異なる構造をしており、現在よりも暖かく、その温度は現在よりも 5°C 前後高かったことを今回新たに定量的に見積もることができた。

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 4 件)

- ① Iwatani, H., Irizuki, T., Hayashi, H., Global cooling in marine climate and local tectonic events in Southwest Japan at the Plio-Pleistocene boundary. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, 査読有, 2012, Vol. 350-352, pp. 1-18.
DOI: 10.1016/j.palaeo.2012.05.025.
- ② 石田 桂・吉田和弘・松岡 篤, 新潟県佐渡島に分布する中部更新統沢根層上部の貝形虫化石群と日本海表層水の低塩分化. *地質学雑誌*, 査読有, 2012, Vol. 118, pp. 476-492.
DOI: 10.5575/geosoc.2012.0024.
- ③ Iwatani, H., Irizuki, T., Goto, T., Temporal changes of Plio-Pleistocene Ostracoda from the Takanabe Formation, Miyazaki. *Paleontological Research*, 査読有, 2011, Vol. 15, pp. 269-289.
DOI: 10.2517/1342-8144-15.4.269
- ④ 入月俊明・納谷友規・山口正秋・水野清秀, 中期更新世 (MIS11 および MIS9) における古東京湾湾奥の環境変遷-埼玉県菖蒲コアの下総層群産貝形虫化石の群集解析-. *地質学雑誌*, 査読有, 2011, Vol. 117, pp. 35-52. 査読有.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosoc/117/1/117_1_35/_pdf

[学会発表] (計 15 件)

- ① Irizuki, T., Goto, T., Nasuno, S., Hayashi, H., Ohira, H., Fossil ostracode faunas from the middle Pliocene Mita Formation, central Japan, with relation to warm inflow into the Sea of Japan. *Internal Symposium on Paleooceanography in the Southern Ocean and NW Pacific: Perspective from Earth Drilling Sciences*, 2012. 11/19, 高知大学. (高知)
- ② Iwatani, H., Irizuki, T., Iwai, M., Kondo, Y., Ikehara, M., The Plio-Pleistocene boundary cooling event recorded

- d on the Ananai Formation, Kochi, southwest Japan. Internal Symposium on Paleooceanography in the Southern Ocean and NW Pacific: Perspective from Earth Drilling Sciences, 2012. 11/19, 高知大学. (高知)
- ③ Ishida, K., Goto, T., Irizuki, T., Fossil ostracode assemblages and paleotemperature using Mg/Ca of ostracode shells during the late Pliocene in the Sea of Japan. Internal Symposium on Paleooceanography in the Southern Ocean and NW Pacific: Perspective from Earth Drilling Sciences, 2012. 11/19, 高知大学. (高知)
- ④ Goto, T., Irizuki, T., Hayashi, H., Ishida, K., Yanagisawa, Y., Paleoenvironmental change based on analyses of microfossils from the Pliocene Kuwae Formation, Niigata Prefecture, central Japan. Internal Symposium on Paleooceanography in the Southern Ocean and NW Pacific: Perspective from Earth Drilling Sciences, 2012. 11/19, 高知大学. (高知)
- ⑤ 田中清明・石田 桂, 新潟県西山層, 灰爪層中にみられる貝形虫化石の殻サイズについて. 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012. 9/17, 大阪府立大学. (大阪)
- ⑥ 代永佑輔・中澤理久・石田 桂, 新潟県三島郡出雲崎町に分布する更新統灰爪層・西山層における古環境. 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012. 9/1, 大阪府立大学. (大阪)
- ⑦ 後藤隆嗣・入月俊明・石田 桂・林 広樹, 新潟県胎内市の鮮新統鍬江層における貝形虫化石群集とからの Mg/Ca 比による古環境復元. 日本古生物学会 2012 年年会, 2012. 6/30, 名古屋大学. (名古屋)
- ⑧ 石田 桂・楠 慧子・大井剛志・河瀨俊吾・IODP Expedition 317 乗船研究者, ニュージランド沖カンタベリー堆積盆における IODP Exp. 317 で掘削された陸棚コア中の貝形虫化石と古環境変遷. 日本地質学会第 118 年学術大会, 2011. 9/11, 茨城大学. (茨城)
- ⑨ 代永佑輔・石田 桂, 長野県北部中条地域に分布する中新・鮮新統小川層および柵層の堆積環境. 日本地質学会第 118 年学術大会, 2011. 9/11 茨城大学. (茨城)
- ⑩ 後藤隆嗣・入月俊明・那須野伸治・大平寛人・林 広樹, 富山市八尾町の上部鮮新統三田層の貝形虫化石群集変化と古環境. 日本古生物学会 2011 年年会, 2011. 7/3, 金沢大学. (金沢)
- ⑪ 岩谷北斗・入月俊明・岩井雅夫・近藤康生・池原 実・北 重太, 高知県唐の浜層群穴内層に記録された鮮新/更新世世界の寒冷化イベント (MIS104). 日本古生物学会第 160 回例会, 2011. 1/29, 高知大学. (高知)
- ⑫ 後藤隆嗣・入月俊明, 新潟県新発田市北部の上部鮮新統における貝形虫化石群集の時間空間的変遷. 日本古生物学会第 160 回例会, 2011. 1/29, 高知大学. (高知)
- ⑬ Kusunoki, S., Ohi, T., Kawagata, S., Ishida, K., IODP Expedition 317 Shipboard Scientists, 2010 Fall Meeting, AGU, 2010. 12/13, サンフランシスコ, USA.
- ⑭ 鈴木俊之・石田 桂・保柳康一, 台湾西部に分布する鮮新-更新統の貝形虫化石群集を用いた古環境復元. 日本地質学会第 117 年学術大会, 2010. 9/20, 富山大学. (富山)
- ⑮ 後藤隆嗣・入月俊明・林 広樹, 新潟県新発田市に分布する上部鮮新統の貝形虫・浮遊性有孔虫化石群集. 日本古生物学会 2010 年年会, 2010. 6/12, 筑波大学. (筑波)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

入月 俊明 (IRIZUKI TOSHIAKI)
島根大学・総合理工学研究科・教授
研究者番号: 60262937

(2) 研究分担者

林 広樹 (HAYASHI HIROKI)
島根大学・総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 80399360

山田 (石田) 桂 (YAMADA KATSURA)
信州大学・理学部・准教授
研究者番号: 80402098

(3) 研究協力者

岩谷 北斗 (IWATANI HOKUTO)
Department of Earth Sciences
Swire Institute of Marine Science
The University of Hong Kong
Postdoctoral Fellow

後藤 隆嗣 (GOTO TAKASHI)
島根大学・総合理工学研究科・博士
後期課程大学院生