

令和元年6月10日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14410

研究課題名(和文) 第四紀のレーヴィン海流の発達がオーストラリア大陸の乾燥化を促した

研究課題名(英文) Initiation and establishment of the Leeuwin Current system induced aridification of Australian continent

研究代表者

高柳 栄子 (Takayanagi, Hideko)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：40729208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：IODP Exp. 356で採取されたSiteU1460とU1463に含有する有孔虫化石の化学組成から、レーヴィン海流の形成・発達時期と氷期-間氷期サイクルの海水準変動に起因したレーヴィン海流と周辺の水塊構造の変化を高精度に復元した。その結果、レーヴィン海流および水塊構造がオーストラリア西沖でのテクトニクスおよび氷期-間氷期サイクルに伴う海水準に影響して変化していることを明らかにすることができた。また、氷期の時期にも同海流が現在と同程度流れていた可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、有孔虫化石の炭素・酸素同位体比、ネオジウム同位体比、先行研究より得られている底生有孔虫の群集組成を組み合わせることで、オーストラリア西岸を流れるレーヴィン海流の変化を過去約400万年間を通じて明らかにした。ネオジウム同位体比を表層海流および表層水塊の復元に応用した例は、本研究が世界初である。その結果、同海域の海洋環境の変化を定量的に復元することができ、汎世界的な気候変動の影響のみならず、地域的な地殻変動の影響も評価することができた。また、従来、氷期の時期にレーヴィン海流が流れていなかったもしくはかなり弱体化していたとされていたが、現在と同程度流れていた可能性を定量的に示すことができた。

研究成果の概要(英文)：We investigated carbon, oxygen, and neodymium isotopes of foraminifers collected from IODP sites U1460 and U463 to delineate the history of the Leeuwin Current and its surrounding surface water masses for the last 4 million years. The cores are mainly composed of shallow water carbonates. We defined Marine Isotope Stage (MIS) of the cores using the correlation between the oxygen isotope records, calcareous nannofossil biostratigraphy, and global benthic LR04 stack from Lisiecki and Raymo (2005). Our results indicate that the modern Leeuwin Current system had initiated from ~1 million years ago, and it became a modern state after the Mid-Brunhes Event. Our records also infer that the LC was not reduced during glacial periods.

研究分野：炭酸塩堆積学・地球化学

キーワード：レーヴィン海流 炭素同位体比 酸素同位体比 ネオジウム同位体比 有孔虫 オーストラリア西部

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

1. 研究開始当初の背景

現在のオーストラリア西岸には、レーヴィン海流(東岸流)の発達による低緯度から中・高緯度への熱輸送システムが駆動している。この暖流の影響により、オーストラリア西岸には温帯域までサンゴ礁が発達しており、後期更新世の最盛期には造礁サンゴの分布域が南緯 29°まで拡大していたことが知られている(Collins et al., 2006)。また、レーヴィン海流の盛衰はオーストラリアモンスーンの強度変化、ならびに南極氷床の消長と密接に関係していることも指摘されており、同海流の変動履歴を復元することは東部インド洋の海洋環境・生態系の変化ならびに地域的・汎世界的な気候変動を解明する上で重要である。

オーストラリアモンスーンはオーストラリア大陸の水環境を支配する重要な気候要素であり、第四紀を通じてその強度が弱まっていることが知られている(=年降水量の低下)。一般に、モンスーンの強度は海と陸の熱バランスならびに熱帯収束帯(ITCZ)の位置によって変化することから、両者と関係した日射量変化はモンスーン強度を決定する重要な気候因子の1つとして考えられている。例えば、石筍記録より復元された過去1万年間のモンスーン強度変化(数百~数千年スケール)は南北半球で対照的なシグナルを示し(北半球:弱体化, 南半球:強化)、両半球での日射量変化(北半球:低下, 南半球:上昇)と調和していることが示されている。一方、第四紀におけるオーストラリアモンスーンの弱体化の原因は、同期間を通じて南半球の日射量が低下した証拠はなく、地球公転軌道(ミランコビッチ理論)による日射量変化のみで説明するのは困難である。よって、オーストラリアモンスーンの変動を駆動もしくは増幅させる公転軌道要素(数万年)スケールの内部因子があると考えられ、その候補の1つとしてインド洋東部の海洋環境変化に伴う大陸-海洋相互作用や海陸の熱バランスの変化が挙げられる。

現在のレーヴィン海流の海水は、インドネシア海峡(<200 m以浅)を通じて太平洋の一部がインドネシア通過流としてインド洋に流れ込んだものである。北半球高緯度の氷床量変化が海水準変動に換算して130 mにも及んだ最近100万年間の気候下(氷期-間氷期)では、レーヴィン海流の規模や組成、また、それに伴う東部インド洋熱帯~温帯域の海洋環境(水温・塩分・栄養状態など)・生態系は海水準に大きく依存していたと示唆される。これらの変化に伴う大陸-海洋相互作用や海陸の熱バランスの変化がオーストラリアモンスーンに大きく寄与していた場合、70万~140万年前に起こったMid-Pleistocene Transition(MPT:これを境に氷期-間氷期サイクルの周期が4.1万年から10万年になった)は同モンスーンの変遷史の中で重要な転換点であった可能性が考えられるが、これらの仮説を検証するためには、地球軌道要素(数万年)スケールの時系列解析に耐えうる古環境記録を連続的に復元する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、オーストラリア西沖の陸棚で採取された第四系の連続コア試料を用い、レーヴィン海流の形成・発達時期を高時間分解能(数千年オーダー)で復元し、氷期-間氷期サイクルの海水準変動に起因したレーヴィン海流と周辺の水塊構造の変化を高精度に復元することを目的とした。

3. 研究の方法

研究試料は、2015年7月31日~9月30日に実施された国際深海科学掘削計画第356次研究航海にて採取された、オーストラリア西沖の掘削コア試料(浅海性炭酸塩堆積物)を用いる。本研究では、同航海で掘削された6本のコア試料のうち、コア回収率、連続性、堆積物に含まれる化石試料の保存状態、レーヴィン海流ならびにオーストラリアモンスーンの影響の程度などを考慮し、北側から1サイト(U1463)、南側から1サイト(U1460)、計2本のコア試料を選定した。そして、コア試料に含まれる底生有孔虫ならびに浮遊性有孔虫(*Globigerinoides sacculifer*)の炭素・酸素同位体比およびネオジム同位体比から、海水温、塩分、栄養状態、水塊の時系列変化を高時間分解能(2000~3000年/1試料)で復元し、レーヴィン海流の時代変遷と氷期-間氷期サイクルとの関係を検討した。

4. 研究成果

< コア試料の年代 >

用いたコア試料(U1460とU1463)から、石灰質ナノ化石層序の基準面をそれぞれ9および10確認することができた。よって、*G. sacculifer*と*Uvigerina* spp.の酸素同位体比、石灰質ナノ化石層序、国際標準の酸素同位体層序(LR04:Liceski and Raymo, 2005)を組み合わせることで、両コア試料の年代を決定することができた。

< 炭素・酸素・ネオジム同位体比の記録 >

*G. sacculifer*と*Uvigerina* spp.の炭素同位体比は、中期更新世までは両者が異なる値を示したが、それ以降、ほぼ同様の値を示した(図1)。これは先行研究で得られている同海域周辺の底生有孔虫化石群集の結果(Haller et al., 2018)と調和的であった。よって、本研究で得られた両種の炭素同位体比の変化は、表層~亜表層域の栄養状態の変化を示しており、同水深域を支配する水塊の変動に伴う湧昇流(upwelling)と沈降流(downwelling)の影響の変化を示していると考えられる。*G. sacculifer*の酸素同位体比は、過去約400万年間を通じてほぼ一定の値を示すのに対し、*Uvigerina* spp.の酸素同位体比は、3つのステージ(古い方から、A~C)に分けること

ができた (図 1)。ステージ A と B 間にはオーストラリア西部での地殻の隆起に伴う浅海化が生じ、ステージ C の開始から現在の水塊構造に近い状況になり南インド洋中央水の影響が大きくなったと解釈できる。また、前述の炭素・酸素同位体比に底生有孔虫のネオジウム同位体比の変動 (図 1) を加味し、先行研究での観測・分析結果より得られているオーストラリア周辺の各水塊の物理・化学的性質 (Woo and Pattiaratch, 2008; Amakawa et al., 2000, 2019) との比較を行うことで、コア採取地点に影響していた水塊を特定することができた。その結果、レーヴィン海流が存在し始めたのは約 160 万年前であるが、同海流が現在と近い状態になったのは約 100 万年であり、ほぼ現在の状態になったのは約 42 万年前以降であることが明らかになった。また、得られたネオジウム同位体比の値から、氷期の時期にレーヴィン海流が現在と同程度存在していた可能性が示唆された。

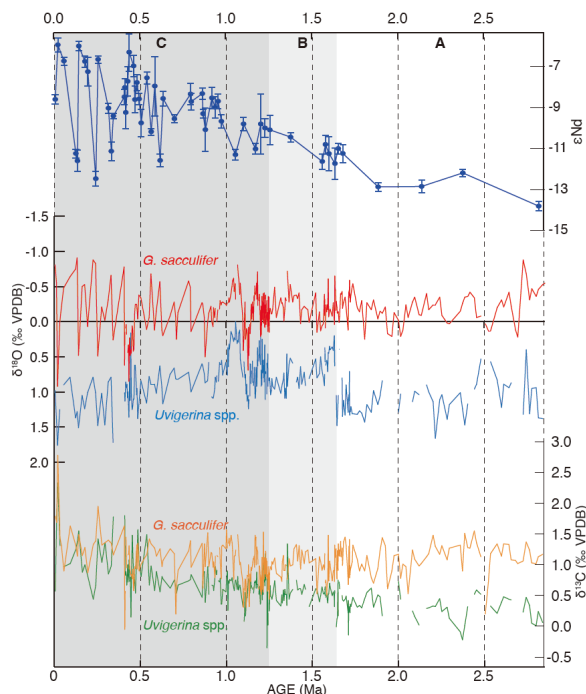


図1: コア試料の分析結果

< 引用文献 >

- Amakawa, H., Alibo, D. S., and Nozaki, Y. (2000) Nd isotopic composition and REE pattern in the surface waters of the eastern Indian Ocean and its adjacent seas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **64**, 1715–1727.
- Amakawa, H., Yu, T.-L., Tazoe, H., Obata, H., Gamo, T., Sano, Y., Shen, C.-C., Suzuki, K. (2019) Neodymium concentration and isotopic composition distributions in the southwestern Indian Ocean and the Indian sector of the Southern Ocean. *Chemical Geology* **511**, 190–203.
- Collins, L. B., Zhao, J.-X., and Freeman, H. (2006) A high-precision record of mid-late Holocene sea-level events from emergent coral pavements in the Houtman Abrolhos Islands, southwest Australia. *Quaternary International* **145–146**, 78–85.
- Haller, C., Pamela, H., Hinea, A. C., Smith, C. G. (2018) Benthic foraminifera from the Carnarvon Ramp reveal variability in Leeuwin Current activity (Western Australia) since the Pliocene. *Marine Micropaleontology* **142**, 25–39.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography* **20**, PA1003.
- Woo, M. and Pattiaratch, C. (2008) Hydrography and water masses off the western Australian coast. *Deep-Sea Research I* **55**, 1090–1104.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- Christensen, B. A., Renema, W., Henderiks, J., De Vleeschouwer, D., Groeneveld, J., Castaneda, I. S., Reuning, L., Bogus, K., Auer, G., Ishiwa, T., McHugh, C. M., Gallagher, S. J., Fulthorpe, C. S., and IODP Expedition 356 Scientists (2017) Indonesian Throughflow drove Australian climate from humid Pliocene to arid Pleistocene. *Geophysical Research Letters* **44**, 1-12.
- Groeneveld, J., Henderiks, J., Renema, W., McHugh, C. M., De Vleeschouwer, D., Christensen, B. A., Fulthorpe, C. S., Reuning, L., Gallagher, S. J., Bogus, K., Auer, G., Ishiwa, T., and Expedition 356 Scientists (2017) Australian shelf sediments reveal shifts in Miocene Southern Hemisphere

westerlies. *Science Advances* 3, 1-8.

De Vleeschouwer, D., Dunlea, A. G., Auer, G., Anderson, C. H., Brumsack, H., de Loach, A., Gurnis, M., Huh, Y., Ishiwa, T., Jang, K., Kominz, K., Christianrz, M. A., Schneeiger, B., Murray, R. W., Palike, H. and Expedition 356 Shipboard Scientists (2017) Quantifying K, U, and Th contents of marine sediments using shipboard natural gamma radiation spectra measured on DV JOIDES Resolution. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 18, 1053-1064.

Gallagher, S. J., Reuning, L., Himmler, T., Henderiks, J., De Vleeschouwer, D., Groeneveld, J., Rastiaar Lari, A., Fulthorpe, C.S., Bogus, K., and Expedition 356 Shipboard Scientists (2018) The enigma of rare Quaternary oolites in the Indian and Pacific Oceans: A result of global oceanographic physicochemical conditions or a sampling bias? *Quaternary Science Reviews* 200, 114-122.

Hanaa, D., Reuning, L., Petrick, B., and Takayanagi, H. (2019) Hardened fecal pellets as a significant component in deep water, sub-tropical marine environments. *The Depositional Record* 1, 1-14.

[学会発表](計 14 件)

Takayanagi, H., Irwan, Sekine, N., De Vleeschouwer, D., Groeneveld, J., Christensen, B. A., Reuning, L., Iryu, Y., Oxygen and neodymium isotopes of Pleistocene foraminifers from IODP sites U1460 and U1463: preliminary results, IODP Exp. 356 Post Cruise Meeting, 17 - 21 July 2017, Bremen.

Yoshii, K., Takayanagi, H., Reuning, L., Ishikawa, T., Wakaki, S., Yamamoto, K., Iryu, Y., Geochemistry of Miocene dolomites at the western Australian shelf margin: IODP Site 1464, Roebuck Basin, IODP Exp. 356 Post Cruise Meeting, 17 - 21 July 2017, Bremen.

Sekine, N., Takayanagi, H., Groeneveld, J., Christensen, B. A., Bogus, K., Iryu, Y., Relationships between paleoceanographic changes and Australian monsoon variability during the Pleistocene, IODP Exp. 356 Post Cruise Meeting, 17 - 21 July 2017, Bremen.

Christensen, B., Takayanagi, H., Petrick, B., Ishawa, T., Henderiks, J., Groeneveld, J., Mamo, B., De Vleeschouwer, D., Auer, G., Deik, H., Irwan, Fulthorpe, C., Gallagher, S., McHugh, C., Reuning, L., Late Pleistocene Age Model for Site U1460, Perth Basin, SW Australian Shelf: Implications for Leeuwin Current History. 2017 AGU Fall Meeting, 11-15 December 2017, New Orleans.

Kominz, M., Gurnis, M., Gallagher, S. J., and Expedition 356 Scientists, Australian Northwest Shelf: A Late Neogene Reversible Tectonic Event. 2017 AGU Fall Meeting, 11-15 December 2017, New Orleans.

Smith, R., Castaneda, I. S., Henderiks, J., Christensen, B. A., De Vleeschouwer, D., Renema, W., Groeneveld, J., Bogus, K., Gallagher, S. J., Fulthorpe, C. S., and IODP Expedition 356 Scientists, Mid-Pliocene to Early Pleistocene land and sea surface temperature history of NW Australia based on organic geochemical proxies. 2017 AGU Fall Meeting, 11-15 December 2017, New Orleans.

Reuning, L., Back, S., Gallagher, S.J., Fulthorpe, C.S., Lari, A. R., Himmler, T., Iwatani, H., Auer, G., Bogus, K., and Expedition 356 Scientists. The rapid switch from anorganic tropical carbonates to bioclastic sedimentation across a drowning unconformity (North West Shelf of Australia), German IODP Meeting 2017.

Deik, H., Reuning, L., Benjamin, P., and Expedition 356 Scientists. Aragonite sedimentation and dissolution on a subtropical carbonate ramp, Carnarvon Ramp, SW Shelf of Australia, German IODP Meeting 2017.

Petrick, B. F., Auer, G., De Vleeschouwer, D., Christensen, B. A., Stolfi, C., Reuning, L., Martinez-garcia, A., Haug, G., Buckley, T., Gallagher, S. J., Fulthorpe, C. S., Bogus, K., IODP 356 Scientists. Indian Ocean Circulation changes over the Middle Pleistocene Transition, German IODP Meeting 2017.

Groeneveld, J. and Expedition 356 Scientists. Shifts in Miocene Southern Hemisphere Westerlies and varying southward heat transport by the Leeuwin Current, German IODP Meeting 2017.

Takayanagi, H., Wakaki, S., Irwan, Sekine, N., De Vleeschouwer, D., Bogus, K., Ishida, T., Sato, T., Mamo, B. L., He, Y., McHugh, C. M., Reuning, L., Renema, W., Groeneveld, J., Christensen B. A., Henderiks, J., Gallagher, S. J., Fulthorpe, C. S., Ishikawa, T., Yokohama, Y., and Iryu, Y., History of the Leeuwin Current during the last 5 million years: Evidence from seawater Neodymium isotope variation. JpGU 2018, 20-24 May 2018, Chiba. 【招待講演】

McHugh, C. M., Tagliaro, G., Fulthorpe, C., Kominz, M., Groeneveld, J., He, Y., Takayanagi, H., Miocene aridity and sabkha development: SE Indian Ocean offshore western Australia. JpGU 2018, 20-24 May 2018, Chiba. 【招待講演】

高柳栄子・若木重行・石川剛志・井龍康文，ネオジム同位体比による第四紀古環境復元の新たな展開．第四紀学会年会，2018年8月26日，東京．【招待講演】

Patrick, B., Martinez-Garcia, A., Auer, G., Reuning, L., Deik, H., Takayanagi, H., De Vleeschouwer, D., Haug, G. H., Glacial Indonesian Throughflow weakening across the Mid-Pleistocene Climatic Transition. 10-14 December 2018, Washington D. C .

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。