

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24310001

研究課題名(和文) サンゴ骨格の栄養塩指標を用いた過去100年間の黒潮流量の定量的復元

研究課題名(英文) Reconstructing Kuroshio transport during last 100 years using geochemical proxies on coral skeletons

研究代表者

渡邊 剛 (WATANABE, Tsuyoshi)

北海道大学・理学(系)研究科(研究院)・講師

研究者番号：80396283

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、太平洋東岸の黒潮潮流に沿った4地点(台湾、鹿児島県甌島、高知県竜串、和歌山県串本)の黒潮流域の異なる地点の造礁性サンゴ骨格コアを用いて、水温、塩分、栄養塩濃度を復元し、週～月単位の時間精度で過去100年間の黒潮流量の変化を定量的に復元した。新たに栄養塩の指標を開発し応用することで、サンゴ骨格から復元される既存の手法と組み合わせることにより、水温(ストロンチウム/カルシウム比)、塩分(酸素同位体比)、栄養塩(窒素同位体比)の時空間変化を復元し、過去100年間の黒潮の挙動を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have reconstructed the change in Kuroshio transport during last 100 years using the coral skeletons from four different areas in north Pacific of Kuroshio regions (Luetao island, Taiwan, Koshiki island, Kagoshima, Tatsukushi, Kouchi, Kushimoto, Wakayama). We applied the oxygen isotopes, strontium/calcium ratio, nitrogen isotopes on coral skeletons to estimate the past changes of salinity, temperature, and nutrient with weekly to monthly temporal resolution and discussed the relationship during last 100 among the Kuroshio behavior, global warming, and regional climate systems, including ENSO and PDO.

研究分野：複合新領域

キーワード：サンゴ骨格 栄養塩 黒潮

### 1. 研究開始当初の背景

我が国の気候や沿岸生態系に多大な影響を及ぼす黒潮の近過去および将来の地球温暖化に伴う動態の変化は未だに明らかになっていない。また、黒潮流量に起因すると考えられている黒潮流軸の変化は、日本の太平洋岸の潮位や海洋生態系、漁獲量に直接的に影響する。これまで、黒潮流量の観測は精々40年間しかなく、また、水温、塩分を指標とした海水の物理量を指標にしたものであった。海水温や塩分などの海洋物理パラメータの観測から求められる黒潮流量の解析は約40年前(1967年)に始まり、それらの変動には数年から十年規模の周期性があると考えられている。また1990年代からは衛星による海水温や潮位の観測により黒潮流量や流軸の解析が行われている。しかし、船舶による海洋観測は期間を要し、データの時間解像度が粗いこと、またこれまでの衛星観測データから長周期変動を見出すには、観測記録が不十分であることが問題となる。造礁性サンゴは日本の太平洋岸で黒潮の流路に沿って分布する(図1)。その骨格記録はサンゴの生息期間である数百年に渡り、高時間解像度(週単位)で過去の水温、塩分などの環境変動を復元する有用なツールとして利用されてきた。黒潮は高水温、高塩分、貧栄養の水塊を熱帯から温帯域へ輸送するため、サンゴ骨格から黒潮水塊の特徴とその変動を復元できれば、過去数百年間の黒潮の流量、流軸の長周期変動を求めることが可能である。

### 2. 研究の目的

本研究では、太平洋東岸の黒潮潮流に沿った4地点(台湾、鹿児島県甬島、高知県竜串、和歌山県串本)と太平洋中央部(ハワイ島)の黒潮流域の5つの異なる地点(図1)の造礁性サンゴ骨格コアを用いて、水温、塩分、栄養塩濃度を復元し、週~月単位の時間精度で過去100年間の黒潮流量の変化を定量的に復元する。新たに栄養塩の指標を開発し応用することで、サンゴ骨格から復元される、既存の手法と組み合わせることにより、水温(ストロンチウム/カルシウム比)、塩分(酸素同位体比)、栄養塩(窒素同位体比)の時空間変化を復元し、過去100年間の黒潮の挙動を明らかにすることを目的としている。



図1 研究対象地点

### 3. 研究の方法

我が国の高い緯度勾配に分布する造礁性サンゴを用いて黒潮流軸に沿った地域における水温、塩分、栄養塩の幅広く精度の高い時空間情報を得ることにある。具体的には、これまで申請者らが設立したサンゴコアセンターに保管されてある4地点(台湾緑島、鹿児島県甬島、高知県竜串、和歌山県串本)と今回採取予定であるアメリカ合衆国ハワイ島のサンゴコア試料を用いて、酸素同位体比(水温、塩分)、ストロンチウム/カルシウム比(水温)、窒素同位体比(栄養塩濃度および起源)を解析した。

直径2m以上(生息期間100年以上)の塊状ハマサンゴ群体を探索した後、圧縮空気を動力とするエアドリルでサンゴ群体のボーリングを行った(図2)。

ボーリングした骨格を持ち帰った後、コアの記載やサンゴ年輪を観察するための軟X線画増撮影、微小粉末試料の切削などの化学分析までの一次処理を行った。

これまでに様々な栄養塩の濃度と起源を持つ海域に生息するサンゴ骨格を用いて、その窒素同位体比を測定するための手法を確立した(Yamazaki, et al. 2011a, b)。サンゴ骨格中のストロンチウム/カルシウム比は水温にのみ依存するため、両者の指標を組み合わせることにより、過去の海水温と塩分を週単位という高時間分解能で復元できる。酸素同位体比の測定は北海道大学に設置されている炭酸塩前処理装置(carbonate device)を接続した安定同位体比質量分析計で測定した。ストロンチウム/カルシウム比は北海道大学に設置されているICP発光分光分析装置(ICP-OES)で測定を行った。



図2 サンゴ骨格の水中掘削

### 4. 研究成果

熱帯域の沖ノ島や亜熱帯域の石垣島のサンゴ骨格中の有機物の窒素同位体比が海水中の硝酸の窒素同位体比を記録していることを示し、栄養塩の濃度および起源の指標として用いることが可能であることを示した(Yamazaki et al., 2011a, b)。窒素同位体比は陸起源の栄養塩と海洋深層から供給される栄養塩の識別し、海流の変化によって生じる深層水の湧昇を検出することを可能

にする。本研究で改良した手法を用いて、各地点のサンゴ骨格中の窒素同位体比の分析を開始する。

本研究では、黒潮流軸上に位置する高知県竜串サンゴコアの酸素同位体比、窒素同位体比分析、鹿児島県甕島サンゴコアの酸素同位体比、和歌山県串本サンゴコアの酸素同位体比分析を行ってきた。

高知県竜串のサンゴ骨格の窒素同位体比変動からは、過去150年間の黒潮による栄養塩供給履歴を復元した。サンゴ骨格中の有機物の窒素同位体比には海水硝酸の窒素同位体比が記録されている (Yamazaki et al., 2011)。黒潮は日本の太平洋沿岸に湧昇をもたらすため、深層の低い窒素同位体比をもった海水が表層へ供給される。本研究ではその窒素同位体比の変動を検出することにより、サンゴ骨格の窒素同位体比から黒潮の流量の変動を捉えることに成功した。気象庁の観測した38年間の黒潮流量とサンゴ骨格の窒素同位体比の変動は高い相関関係にあった (図3, 図4)。

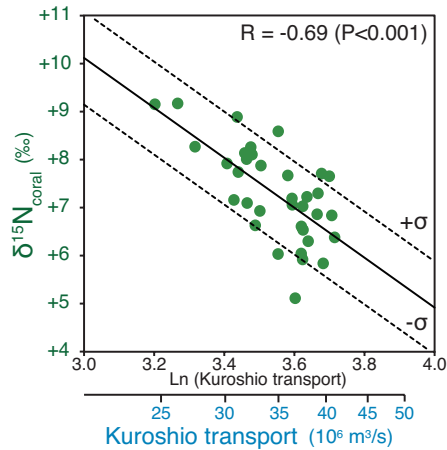


図3

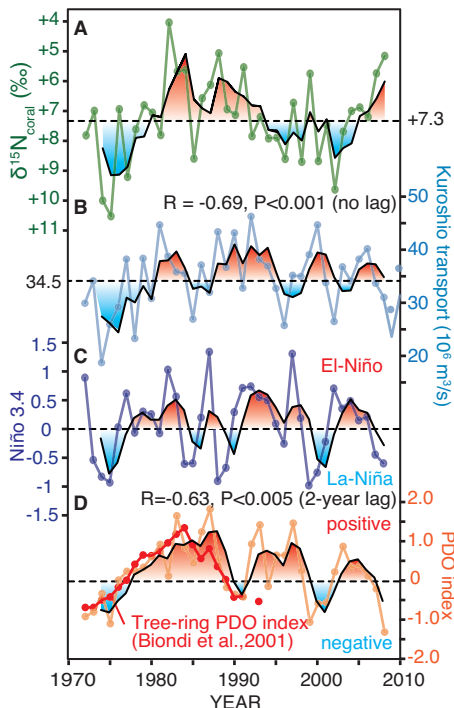


図4

サンゴ骨格の窒素同位体比の150年間の記録から、過去100年間を通じて、サンゴ骨格の窒素同位体比の変動幅が小さくなっていることを発見し、黒潮流量が大きく、安定して流れるようになってきたことを示した。この結果は地球温暖化の黒潮に対する影響を示すと考えられる (図5)。

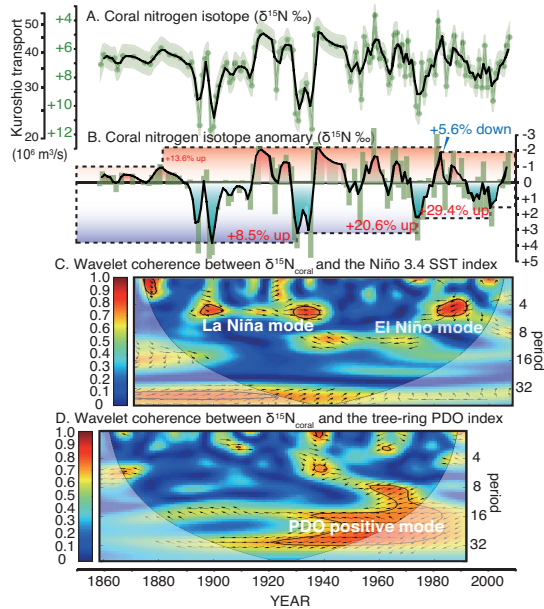


図5

また黒潮流量の変動は約30年周期で変動しており、北太平洋十年規模振動 (PDO) とエルニーニョ南方振動 (ENSO) の二つの太平洋の気候変動と密接に関係することが明らかになった。特に1920年代以降はPDOと黒潮流量は同調して変化しており、PDOが正のモード、すなわち北太平洋のアリューシャン低気圧が強いときに亜熱帯循環を通じて黒潮に伝搬し、流量を増大させていることが示された (図6)。本研究の成果は国際誌に投稿中である。

鹿児島県甕島サンゴコアからは106年間の酸素同位体比変動を復元した。サンゴ骨格の酸素同位体比は、海水温および塩分の変動を示しており、甕島のサンゴ骨格の酸素同位体比は東アジア夏季モンスーンによる東シナ海の塩分を反映していた (図7)。

甕島サンゴコアの酸素同位体比の (モンスーンの季節のみを抽出した夏の極大値は50年周期で変化していることを発見した (図8)。またこの東アジア夏季モンスーンの変動が北太平洋十年規模振動 (PDO) へ数年かけて伝搬していることを示した。本研究の成果は国際誌 Geophysical Research Letters に掲載された (Watanabe et al., 2014)。

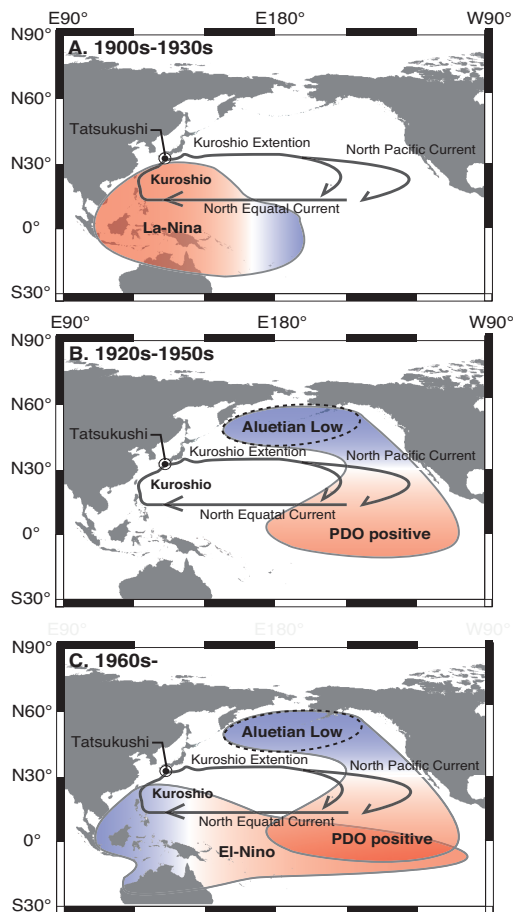


図 6

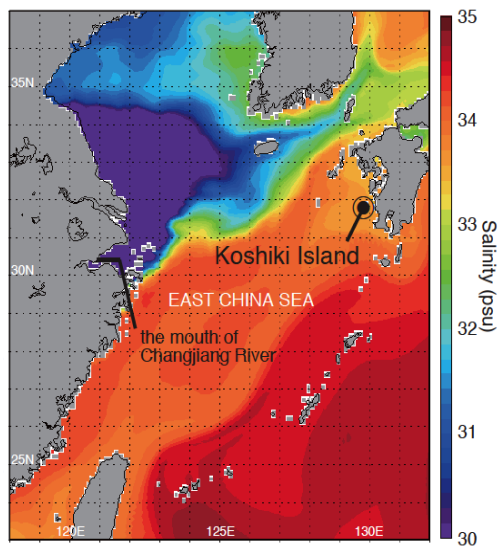


図 7

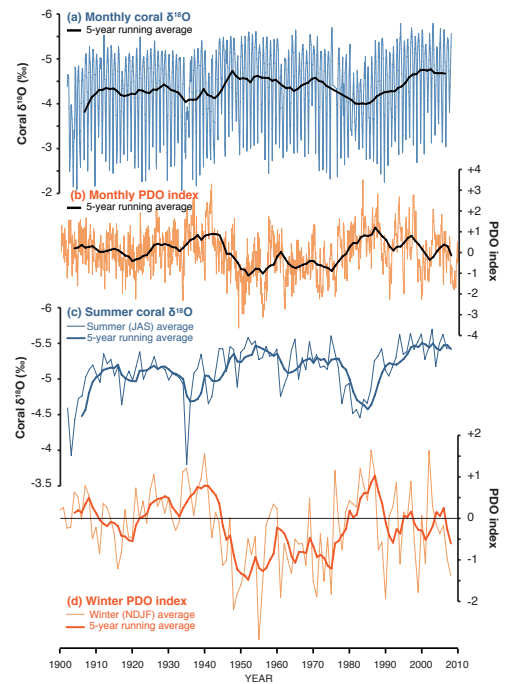


図 8

## 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 19 件)

- ① Yamazaki, A.、Watanabe, T.、Tsunogai, U、Hasegawa, H.、Yamano, H.、The coral d15N record of terrestrial nitrate loading varies with river catchment land use, Coral Reefs、査読有、2014、doi: 10.1007/s00338-014-1235-1
- ② Watanabe, T.、T, Kawamura.、A, Yamazaki.、M, Murayama.、H, Yamano.、Watanabe, T.、A 106 year monthly coral record reveals that the East Asian summer monsoon modulates winter PDO variability、Geophysical Research Letters、査読有、2014、vol41、3609-3614、doi:10.1002/2014GL060037
- ③ Sowa, K.、Watanabe, T.、Kan, H.、Yamano, H.、Influence of Land Development on Holocene Porites Coral Calcification at Nagura Bay, Ishigaki Island, Japan. PLoS ONE、査読有り vol19(2):e88790、2014、doi:10.1371/journal.pone.0088790
- ④ Ohmori, K.、Watanabe, T.、Tanimizu, M.、Shirai, K.、Lead concentration and isotopic composition in the Pacific sclerosponge (*Acanthochaetetes wellsii*) reflects environmental lead pollution、

- Geology, 査読有、vol. 42、2014、pp287-290
- ⑤ Yamazaki, A.、Watanabe, T.、Takahata, N.、Sano, Y.、Tsunogai, U.、Nitrogen isotopes in intra-crystal coralline aragonites, Chemical Geology, 査読有、vol351、2013、pp276-280
- ⑥ 永田 俊輔、杉原 薫、入野 智久、渡邊 剛、山野 博哉、日本の亜熱帯域と温帯域におけるキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) の骨格成長、日本サンゴ礁学会、査読有、vol. 15、2013、pp37-56
- ⑦ Sowa, K.、Watanabe, T.、Nakamura, T.、Sakai, S.、Sakamoto, T.、Estimation of uncertainty for massive Porites coral skeletal density, JAMSTEC Report of Research and Development、査読有、vol. 16、2012、pp31-19

[学会発表] (計 42 件)

- ① Watanabe, T.、Kawamura, T.、Yamazaki, A.、Murayama, M.、Yamano, H.、Coral evidence for winter PDO variability triggered by the East Asian summer monsoon during the last 100 years, Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 2014、28 Jul to 01 Aug, Oral presentation  
HOTEL ROYTON (Sapporo), Japan,
- ② Yamazaki, A.、Watanabe, T.、Tsunogai, U.、Iwase, F.、Yamano, H.、Variation of the Kuroshio transport over the 20th century, Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 2014、28 Jul to 01 Aug, HOTEL ROYTON (Sapporo), Japan
- ③ Komagoe, T.、Watanabe, T.、Miyaji, T.、Shirai, K.、Yamazaki, A.、Strong typhoon in 2005 recorded in the shell growth lines and geochemical signals of *Tridacna maxima* from Okinotori island, Japan, Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 2014、28 Jul to 01 Aug,  
HOTEL ROYTON (Sapporo), Japan
- ④ Ohmori, K.、Watanabe, T.、Seasonal to decadal climate signals in skeletal growth and trace elements of the Pacific sclerosponges, Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 28 Jul to 01 Aug, 2014,  
HOTEL ROYTON (Sapporo), Japan
- ⑤ Watanabe, T.、Watanabe, T.、Yamazaki, A.、Claereboudt, M.、Garbe-Schonberg, D.、Pfeiffer, M.、High-resolution isotopic records in Oman corals: Indian Monsoon climate reconstruction, Asia Oceania Geosciences Society, 11th Annual Meeting, 2014、28 Jul to 01 Aug, 2014, HOTEL ROYTON (Sapporo), Japan

- ⑥ Yamazaki, A.、Hetzinger, S.、Reumont, J. V.、Manfrino, C.、Tsunogai, U.、Watanabe, T.、Variation of North Atlantic nitrogen fixation in Caribbean coral skeletons, Japan Geoscience Union Meeting, 2014, 1 May, Oral Presentation, PACIFICO YOKOHAMA (Yokohama), Japan,
- ⑦ Watanabe, T.、Kamimura, K.、Yamazaki, A.、Ohmori, K.、Le Guern, F.、Kiyokawa, S.、Corals at marine volcano of Satsuma iwo-jima: Implication for a new proxy of hydrothermal events and biological adaptation, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 1 May,  
PACIFICO YOKOHAMA (Yokohama), Japan, Oral Presentation
- ⑧ 宮地 鼓、大森 一人、渡邊 剛、山野 博哉、サンゴ骨格中の Ba/Ca 比変動に記録される石垣島の土地利用変遷、日本古生物学会、2014年6月27日-29日、九州大学(福岡)、口頭発表
- ⑨ A. Yamazaki, T. Watanabe, U. Tsunogai, F. Iwase, H. Yamano, A 150-year variation of Kuroshio transport detected by the nitrate  $\delta^{15}\text{N}$  records in coral skeletons, Goldschmidt conference 2013, 28th August 2013, Florence (Italy), Oral presentation
- ⑩ 中村 隆志、灘岡 和夫、渡邊 敦、宮島 利宏、渡邊 剛 サンゴ骨格に記録される炭素同位体比の vital effect の理解に向けたサンゴポリプモデルの開発、日本地球惑星科学連合大会、2013年5月15日、幕張メッセ(千葉)、口頭発表
- ⑪ 大森 一人、渡邊 剛、太平洋に生育する硬骨海綿骨格の底板形成メカニズム、日本古生物学会年会、2012年7月1日、名古屋大学(名古屋)、口頭発表
- ⑫ T. Watanabe, A. Yamazaki, T. Kawamura, J. Isasa, T. Nakamura, K. Sowa, F. Iwase, K. Nomura, K. Sugihara, O. Abe, T. Sakamoto, M. Murayama, H. Yamano, Effect of environmental change on Porites growth during the last 100 years, 12th International Coral Reef Symposium, 13 July 2012, Cairns, (Australia), Oral presentation
- ⑬ A. Yamazaki, T. Watanabe, U. Tsunogai, Application of coral  $^{15}\text{N}$  proxy: interannual variability of water mass in Tatsukushi Bay due to Kuroshio volume changes, JpGU International Symposium 2012, May 2012, MAKUHARI Messe (Chiba), Japan, Oral presentation

[図書] (計 2 件)

- ① 渡邊 剛・こがめいづる、手作り絵本工房のののか、うみぼうずハンターズ-ハマサンゴのものがたり-、2013、24pp
- ② Watanabe, T.、Kogame, I.、Yamazaki, A.、

and Grove-Ogier, Studio NONOKA,  
UMIBOUZU HUNTERS -The story of a  
long-lived coral-, 2014、24pp

[その他]

ホームページ等

- (1) 北海道大学大学学術コレクション  
<http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/index.jsp>
- (2) CREES サンゴ礁地球環境学 渡邊研究室  
<https://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/crees/CREES-web/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡邊 剛 (WATANABE, Tsuyoshi)  
北海道大学・大学院理学研究院・講師  
研究者番号：80396283

### (2) 研究分担者       なし

### (3) 連携研究者

池田 昌隆 (IKEDA, Masataka)  
北海道大学・高等教育機能開発総合センター・技術専門職員  
研究者番号：00621517

宮地 鼓 (MIYAJI, Tuzumi)  
北海道大学・大学院理学研究院・博士研究員  
研究者番号：40623062

### (4) 研究協力者

山崎 敦子 (YAMAZAKI, Atuko)  
東京大学・大気海洋研究所・特別研究員  
研究者番号：40723820