

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03750

研究課題名(和文) インド洋の南北循環：気候の数十年周期変動の理解に向けて

研究課題名(英文) Meridional Overturning Circulation in the Indian Ocean: Toward the understanding of multi decadal variability in climate

研究代表者

名倉 元樹 (Nagura, Motoki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(大気海洋相互作用研究センター)・主任研究員

研究者番号：10421877

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：アルゴフロートや流速計による現場観測データ、衛星から観測された海面高度データ、これらの観測データを同化した海洋再解析データセット、単純な海洋モデル、洗練された海洋大循環モデル、といったこの分野で使用できるほとんどの手段を組み合わせ用い、南インド洋の水塊の水温塩分の変動、海盆規模の循環の変化、季節内スケールから経年スケールにおける波動といった現象を調べた。観測データを使用して現象を特定し描写するとともに、数値モデルを用いて現象の原因を特定し、簡単な数値実験によって予測可能性について議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究によって得られた成果から、水塊の沈み込みを通じた海洋による熱の取り込み、インド洋の循環と太平洋の風系変動の関連、インド洋の亜表層の流れの変動、亜表層を伝播する波動、オーストラリア沿岸の海面高度変動の予測可能性、赤道波の成因を明らかにした。これらの現象は海洋内部の貯熱量や循環による熱輸送、およびそれらの経年的な変化に関わっている。研究成果から特定された時間スケールは経年から十年規模であり(周期が7-15年程度)、これらの周期の気候変動の理解に貢献すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study examined various phenomena such as temperature and salinity variations in water masses, temporal variations in a basin-wide circulation, and waves on intraseasonal to interannual timescales near the equator and at southern midlatitudes in the Indian Ocean. This study uses the most of devices available in this field, i.e., in-situ observations from Argo profiling floats and a current profiler, satellite measurements of sea surface height, an ocean dataset that assimilates these observations, a simple ocean model, and a sophisticated ocean general circulation model. The phenomena were specified and described using observations. Their causes and generation mechanisms were identified by numerical experiments. The predictability of the detected phenomena was discussed using simple numerical experiments.

研究分野：海洋物理

キーワード：インド洋 循環 波動 水塊

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

インド洋は北緯 25 度以北が陸に覆われているという点で太平洋や大西洋と異なり、この地形の違いがインド洋に他の海盆とは性質の異なる気候をもたらしていた。このため、太平洋や大西洋に関する研究から得られた知見をインド洋の現象にそのまま適用することができず、独自の研究が必要であった。一方、インド洋は発展途上国に囲まれ、長らく海洋観測の空白域であった。これがこの海域に関する気候変動研究の進展を妨げていた。

このような状況は 2000 年に始まった国際アルゴ計画によって劇的に改善され、安価なプロファイリングフロートが多数展開された。その結果、過去 20 年程度でインド洋の観測点数は飛躍的に増加し、海洋上層 2000 m の水温塩分場をインド洋全体で高密度かつ継続して計測できるようになった。これらのことから、インド洋の気候、特に海洋循環について研究できる環境が整いつつあった。

2. 研究の目的

(1) インド洋の南北循環の時間変動および波動の伝播を調べる。海面から深度 200 m 程度の表層とともに、深度 2000 m までの垂表層・中層の現象を調べる。

(2) 水塊の水温塩分の変動を調べ、海中の貯熱量の変化に関する研究を行う。

3. 研究の方法

(1) アルゴフロートから得られた水温塩分データを、統計的手法によって緯度 1 度・経度 1 度のグリッド上に内挿し、得られたグリッドデータを用いて水温塩分の変化を調べる。水温塩分データとアルゴフロートの位置データから流速や流量を推定し、循環の変化や波動の伝播を調べる。

(2) アルゴフロートの観測データが同化された海洋再解析データを使用し、水温塩分や循環・波動について調べる。

(3) 一般に公開されている衛星観測による海上風や海面熱フラックスデータを取得し、それをアルゴフロートから得られた水温塩分データや流速の見積もりと比較することによって、水温塩分や循環の変化の原因について議論する。

(4) 単純な海洋波動モデル、および海洋大循環モデルを用いて観測された現象を再現し、これらの数値モデルを用いて実験を行うことによって現象の成因を調べる。

4. 研究成果

(1) アルゴフロートから得られた現場観測データを用い、南インド洋の水塊の水温塩分構造について調べた。その結果、水温塩分の変化が南インド洋亜熱帯域(南緯 25 度付近)とオーストラリア南方の南極周極流域の海面付近で発生し、循環に流されて沈み込み、インド洋垂表層の海盆全体に広がるのが分かった(オーストラリア南方から広がった水温塩分について図 1 に示す)。海面熱フラックスや海面淡水フラックスのデータと比較したところ、これらの水温塩分の変動は海面における熱フラックスによって生成されることが分かった。つまり、これらの海域において海洋は大気の熱量の変化を取り込み、それを海洋内部に輸送することによって、海洋中に循環させることが分かった。

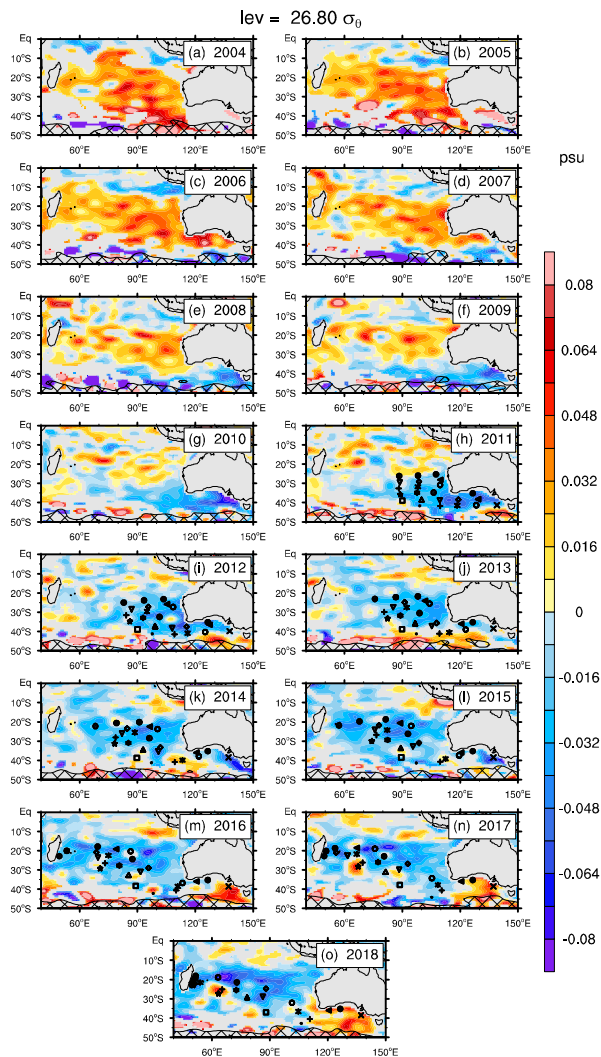


図1：アルゴフロートの観測データから見積もった26.8 (深さ約500 m)における2004年から2018年までの水温塩分(スパイシネス)偏差。赤色の部分が高温傾向、青色の部分が低温傾向を示す。南緯40度以南のハッチがついている領域は26.8 面が海洋表層の混合層に取り込まれているアウトクロップ領域を表す。パネル(h)から(o)に示されている黒色のマークは流れに沿って動く人工的なトレーサー。2004年に広がっていた高温領域が2010年ごろから低温領域に移り変わっていることが分かる。低温領域の広がりにはトレーサーの動きと概ね一致しており、低温領域が流れに乗って広がっていることを示している。Nagura (2021)より抜粋。

(2) 衛星データと単純な海洋モデルを用い、南インド洋中緯度域やオーストラリア沿岸の海面高度変動の原因やその予測可能性について調べた。海面高度の変動は海洋上層200 m程度の循環や湧昇域における海面水温の変化に関わっており、気候学的に重要な要素である。研究の結果、南インド洋中緯度域やオーストラリア西海岸沿いの海面高度変動は、エルニーニョ現象に関連した熱帯太平洋の風によって駆動されていることが明らかになった。つまり、南インド洋の循環の変動の原因は南インド洋の風の変化ではなく、熱帯太平洋のエルニーニョ現象であることが分かった。数値モデルを用いて予測実験を行ったところ、熱帯太平洋のエルニーニョ現象の情報があれば、オーストラリア西海岸沿いの海面高度変動がおよそ1年前に予測できることが分かった。これはインド洋と熱帯太平洋の現象が密接に結びついていることを示すとともに、熱帯太平洋の現象が直接的にインド洋の現象の予測に結びつくことを示している。

(3) 現場観測データ、それらを同化した海洋再解析データ、および海洋大循環モデルによる数値実験を用い、南インド洋の亜表層の流れの変動や波動を調べた。従来の研究は衛星海面高度を用い、海面付近に捕捉された変動を主に調べたものが多かった。これに対して、近年のアルゴフロートのデータの蓄積によって亜表層の変動の研究が可能になった。南インド洋の西端から東端まで平均した南北流を調べたところ、亜表層には表層と異なる周期をもつ変動があり、2006年以降北向きの輸送量が減少する傾向にあることが分かった(図2)。また、中緯度の南北方向の流れはロスビー波として西に伝播する傾向があるが、海洋上層200 mには速い伝播があるのに対し、亜表層にはその約1/3程度のスピードで伝播する遅い波動があることも明らかになった。

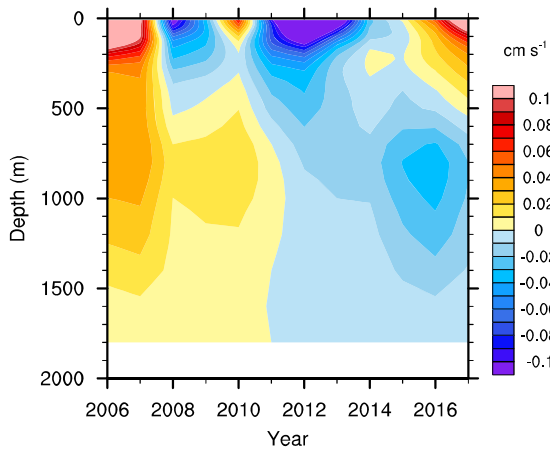


図 2：南インド洋南緯 22 度において東西に平均した南北流。平年値からのずれを表す。アルゴフロートの現場観測データから見積もった。当該海域には亜熱帯循環があり、平年値における流れは北向きである。横軸が年、縦軸が深さを表す。上層 200 m に周期の短い変動がある一方で、深さ 500 m より下に周期の長い変動があり、2006 年から 2016 年にかけて北向きの流れの偏差(オレンジ色)が南向きの流れの偏差(水色)に移り変わっていることが分かる。これは、解析期間において亜熱帯循環の北向きの流れが弱まっていることを表している。Nagura (2020)より抜粋。

(4) 赤道インド洋中央部に係留された流速計の観測データと海洋大循環モデルを用い、海洋上層 200 m における混合ロスビー重力波について調べた。流速計から得られたデータを調べたところ、約 14 日と約 20 日の二つの周期帯に変動があった。海洋大循環モデルの出力の統計解析、線形波動理論との比較、および海洋大循環モデルを用いた数値実験から、これらの二つの周期の変動はどちらも風によって駆動された混合ロスビー波であることが分かった。一方で、これら二つの変動は、鉛直波長、南北幅、エネルギーピークの深さなどが異なることも分かった。混合ロスビー重力波は海洋中層に伝播し、平均場の循環を駆動する働きがあることが過去の研究から指摘されている。本研究は海面付近におけるこの波動の駆動機構を特定するものであり、中層循環の駆動機構の解明につながるものと期待される。

< 引用文献 >

Nagura, M., 2021: Spiciness anomalies of Subantarctic mode water in the south Indian Ocean. *Journal of Climate*, Vol. 34, No. 10, pp. 3927-3953, DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0482.1.

Nagura, M., 2020: Variability in meridional transport of the subtropical circulation in the south Indian Ocean for the period from 2006 to 2017. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 124, e2019JC015874. <https://doi.org/10.1029/2019JC015874>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Motoki Nagura and Michael J. McPhaden	4. 巻 48
2. 論文標題 Predicting Interannual Variability in Sea Surface Height Along the West Coast of Australia Using a Simple Ocean Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GL094592	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nagura Motoki	4. 巻 125
2. 論文標題 Variability in Meridional Transport of the Subtropical Circulation in the South Indian Ocean for the Period From 2006 to 2017	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JC015874	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagura Motoki	4. 巻 34
2. 論文標題 Spiciness Anomalies of Subantarctic Mode Water in the South Indian Ocean	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 3927 ~ 3953
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-20-0482.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nagura Motoki, McPhaden Michael J.	4. 巻 51
2. 論文標題 Interannual variability in sea surface height at southern mid-latitudes of the Indian Ocean	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 1595-1609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JPO-D-20-0279.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Motoki Nagura, Shinya Kouketsu	4. 巻 48
2. 論文標題 Spiciness Anomalies in the Upper South Indian Ocean	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 2081 ~ 2101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JPO-D-18-0050.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Motoki Nagura	4. 巻 123
2. 論文標題 Annual Rossby Waves Below the Pycnocline in the Indian Ocean	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 9405 ~ 9415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JC014362	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagura Motoki, Osafune Satoshi	4. 巻 52
2. 論文標題 Second Baroclinic Mode Rossby Waves in the South Indian Ocean	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 1749 ~ 1773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JPO-D-21-0290.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagura Motoki, McPhaden Michael J.	4. 巻 -
2. 論文標題 Dual frequency wind-driven mixed Rossby gravity waves in the equatorial Indian Ocean	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JPO-D-22-0222.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Motoki Nagura, Michael J. McPhaden
2. 発表標題 Interannual variability in sea surface height at southern mid-latitudes of the Indian Ocean
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名倉元樹
2. 発表標題 南インド洋亜南極モード水のスパイシネス偏差
3. 学会等名 2021年日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Michael J. McPhaden
2. 発表標題 Dynamics and prediction of interannual variability in sea surface height at southern mid-latitudes of the Indian Ocean
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Motoki Nagura
2. 発表標題 Interannual to decadal variability in subtropical circulation transport in the south Indian Ocean
3. 学会等名 European Geophysical Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 名倉元樹
2. 発表標題 2006年から2017年における南インド洋亜熱帯循環の南北地衡流の変動
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lisa M Beal, Jerome Vialard, Matthew K Roxy, Motoki Nagura
2. 発表標題 IndOOS-2: A Roadmap to Better Observations of the Rapidly Warming Indian Ocean
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Michael J. McPhaden
2. 発表標題 Interannual variability at southern mid-latitudes of the Indian Ocean
3. 学会等名 Australian Meteorological and Oceanographic Society Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Michael J. McPhaden
2. 発表標題 Interannual variability at southern mid-latitudes of the Indian Ocean
3. 学会等名 WCRP-CLIVAR Workshop on Climate Interactions among the Tropical Basins (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 名倉元樹
2. 発表標題 インド洋上層2000 mにおける一年周期のロスビー波
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Shinya Kouketsu
2. 発表標題 Spiciness anomalies in the upper South Indian Ocean
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Michael J. McPhaden
2. 発表標題 Dynamics and prediction of interannual variability in sea surface height at southern mid-latitudes of the Indian Ocean
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Motoki Nagura, Satoshi Osafune
2. 発表標題 Second baroclinic mode Rossby waves in the south Indian Ocean
3. 学会等名 JpGU 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 名倉 元樹, McPhaden Michael J.
2. 発表標題 単純な海洋モデルを用いたオーストラリア西岸の海面高度の年々変動の予測
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------