

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03981

研究課題名（和文）メルツ氷河舌崩壊に起因した「レジームシフト」的变化でみる南極底層水の循環と変質

研究課題名（英文）Changes in Antarctic Bottom Water and its circulation caused by "regime shift" changes originated from Mertz Glacier Tongue collapse

研究代表者

小林 大洋（Kobayashi, Taiyo）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・主任研究員

研究者番号：10360752

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、豪州南極海盆ウィルクスランド沖（110°E付近）の南極底層水の水温・塩分・溶存酸素の1930年代から2022年までの長期時系列データを作成し、解析した。得られた主な成果は以下の通り。(1) 同海域に分布する南極底層水は、遅くとも1970年代から低塩化・温暖化、体積の減少の長期傾向を示している。(2) 2010年中頃以降、南極底層水の変化はこれらの長期傾向から反転する傾向（「変調」）にあり、その原因としてメルツ氷河舌崩壊の影響が伺われる。(3) 2010年代中頃から豪州南極海盆東部域で広く観測されている南極底層水の最深部の高塩化は、南極底層水自身の低塩化の停滞に起因する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南大洋に起源を持つ南極底層水が高塩・低塩化し、その体積が減少していることは広く観測されている。しかし、その知見のほとんどは、1990年以降、10年程度の間隔を空けて数回実施された船舶観測結果に基づくものであり、1990年以前の状況や、その変化の詳細についてはほとんど不明であった。本研究は歴史的観測データから長期の時系列データを作成することで、海域は限られるものの1930年代からの南極底層水の変化を示すことに成功した。また、豪州南極海盆東部域の広範囲で近年報告されている南極底層水の「高塩化」が生じるメカニズムを明らかにし、その真の原因は南極底層水の低塩化の停滞にあることを示した。

研究成果の概要（英文）：This study developed a long-term time-series of temperature, salinity, and layer thickness for Antarctic Bottom Water (AABW) off the Wilkes Land coast in the Australian-Antarctic Basin. The main results are the following. (1) AABW there has the warming, freshening, and contracting trends; these had begun in the 1970's, at latest. (2) The long-term trends of AABW seem to be reversed in the middle of the 2010's. (3) Salinization of the deepest AABW, which has been observed since the middle of 2010's in the eastern Australian-Antarctic Basin widely, was fundamentally caused by a slow-down of AABW freshening, which is likely to be caused by the Mertz Glacier Tongue collapse.

研究分野：海洋物理学

キーワード：南極底層水 長期トレンド レジームシフト メルツ氷河舌崩壊 深海アルゴ

1. 研究開始当初の背景

海洋大循環の最深層を担う南極底層水は、温暖化、低塩化、体積減少の長期傾向を示し、特に豪州南極海盆でこの傾向が顕著であることが知られている。同海盆内の南極底層水の一部はアデリー海岸沖のメルツポリニヤでの活発な海水形成に伴い形成・供給されるが、このポリニヤの形成・維持に大きく関与していたメルツ氷河舌が **2010年2月** に崩壊した結果、この海水生成メカニズムは劇的に変化した。その結果、豪州南極海盆の南極底層水は「レジームシフト」的に大きく変化したと考えられているが、その詳細は不明であった。

研究代表者は、最近の船舶観測データを含む歴史的観測データに加え、深海用フロート「**Deep NINJA**」の観測データを解析して、アデリー海岸沖の南極底層水の層厚が **2011年** 冬季頃から約 **50m/年** の非常に速いペースで減少したことを明らかにした (**Kobayashi, 2018**)。一方、その塩分は **2011年** 冬季に大きく (約 **0.005**) 減じて以降、解析期間終了 (**2014年8月**) までほとんど変化していない。これらの変化は、メルツ氷河舌の崩壊によりアデリー海岸沖での南極底層水の形成・供給が大きく減じたことに起因すると推測された。

Kobayashi (2018) で示されたメルツ氷河舌崩壊に伴う南極底層水の「レジームシフト」的变化は、アデリー海岸沖から深層循環を通じて豪州南極海盆全域に広がるが、その内容や規模、到達時期などの詳細は、アデリー海岸沖以外では全く不明である。また、この「レジームシフト」的变化の伝播の詳細を追跡することにより、豪州南極海盆における南極底層水の循環や変質過程を定量的に理解することができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、豪州南極海盆ウィルクス海岸沖 (**110°E** 付近) の海域における南極底層水の時間変化、特にメルツ氷河舌の崩壊に起因した「レジームシフト」的变化の有無やその詳細を、歴史的観測データおよび最近の船舶および深海用フロートによる観測データを用いて明らかにする。さらに、アデリー海岸沖で確認された変化との差異から、「レジームシフト」的变化の伝播の詳細を検討することにより、豪州南極海盆における南極底層水の循環や変質過程を定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 豪州南極海盆ウィルクス海岸沖で行われた **WOCE/GO-SHIP I09S** 観測 (**115°E** 付近)、海底地形データに基づくポテンシャル渦位分布、衛星観測により得られる気候学海面高度分布を用いて、ウィルクス海岸沖海域における水塊特性の気候学的な空間偏差場を推定する。

(2) ウィルクス海岸沖海域で得られた歴史的観測データおよび最近の船舶および深海用フロートによる観測データを上記の空間偏差場で補正することで、**61°S 115°E** に設定した仮想的な定点における水塊特性 (等温面における深度・塩分・溶存酸素) の時系列データを推定する。これにより、**1930年代** から現在に至る約 **80年間** の南極底層水の長期変化を明らかにできる。

(3) **2011年** から **2019年** に行われた海鷹丸による **110°E** 断面観測データを用いて、メルツ氷河舌崩壊後のウィルクス海岸沖海域の南極底層水の変化の詳細を解析し、アデリー海岸沖で見られた変化と比較することで、豪州南極海盆における南極底層水の循環や変質過程について考察する。

4. 研究成果

本研究により、豪州南極海盆ウィルクス海岸沖に分布する南極底層水の長期変化について、以下の事柄を明らかにした。これらの内容は、**Kobayashi (2023)** として査読付きの国際学術雑誌より刊行されている。

(1) 当該海域に分布する南極底層水は、(他の海域と同じく) 等密度面の深化 (体積減少・温暖化) と低塩化の長期変化が確認される。この長期変化は、遅くとも **1980年代** に始まる。その速度は **11-14m/年** (等密度面の深化)、 **-0.6×10^{-3} /年** (等温面上の低塩化) と推定され、いずれもアデリー海岸沖海域で確認されている変化よりもゆっくりである。また、これらの変化は、徐々に速くなる傾向を示しており、低塩化が加速しているために体積の減少速度も上昇している。

(2) 南極底層水の (等温面上の) 溶存酸素濃度には、**1970年** からほとんど変化が見られない。ただし、**2000年** 以降、その濃度が上昇する傾向を示しているが、統計的には有意ではない。

(3) 南極底層水の体積減少は、その最密層 (最深層) の層厚が減少することで引き起こされている。最密層以外では、南極底層水の層厚はゆっくりと増しており、最密層での減少の一部を補償している。この変化は、南極底層水の形成で駆動される豪州南極海盆での子午面循環の弱化を示唆する。

(4) **2010年** 以降に確認される南極底層水の変化は、上記の長期変化から乖離している。その前半 (**2011-2015年**) では、急激な体積の減少と低塩化が生じており、その後 (**2015-2019年**) はスローダウンしてその体積や塩分に変化は見られなくなる。この変化は、アデリー海岸

沖で観測されたメルツ氷河舌崩壊後の南極底層水の変化と類似点が多く、この氷河舌崩壊に伴って同海域での南極底層水の形成・供給が大きく減じたことに起因している可能性がある。(5)2010年代後半、ウィルクス海岸沖の南極底層水の最深部が高塩化しているように見えるが、これは等温面上の塩分変化が停滞している状況で最密層の層厚が減少することで生じている。豪州南極海盆東部域では2010年代より南極底層水の最深部の「高塩化」が広く観測されている。従来の研究では、その原因として高塩化傾向を示すロス海底層水が観測海域に到達したことを挙げていたが、ロス海底層水が低塩化傾向から高塩化に転じたのは2014年頃であり、それとほぼ同時期に(海域によってはそれ以前に)豪州南極海盆東部域全体にその影響が及んだと考えるのは無理がある。本研究が明らかにした高塩化プロセスでは、その原因を(メルツ氷河舌崩壊に起因する)南極底層水の低塩化の停滞に帰することができ、従来研究の時間的な矛盾をうまく解決したと言える。

また、豪州南極海盆東部域で行われた深海用フロートの国際共同観測で得られた観測データを用いて、同海域における近年の南極底層水の特性分布や、それに基づいて推測される南極底層水の移動や混合・変質の様子、また1989年以降の変化について記述した、国際共同研究の論文(Foppert et al., 2021)が刊行された。

<引用文献>

- **Foppert, A., S. R. Rintoul, S. G. Purkey, N. Zilberman, T. Kobayashi, J.-B. Sallée, E. M. van Wijk, L. O. Wallace, Deep Argo reveals bottom water properties and pathways in the Australian-Antarctic Basin, Journal of Geophysical Research: Oceans, 126, e2021JC017935, <https://doi.org/10.1029/2021JC017935>, 2021.**
- **Kobayashi, T., Rapid volume reduction in Antarctic Bottom Water off the Adélie/George V Land coast observed by deep floats, Deep-Sea Research Part-I, 140, 95-117, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.07.014>, 2018.**
- **Kobayashi, T., Changes in Antarctic Bottom Water off the Wilkes Land coast in the Australian-Antarctic Basin, Deep-Sea Research Part-I, 195, 104040, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2023.104040>, 2023.**

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Foppert, A., Rintoul, S. R., Purkey, S. G., Zilberman, N., Kobayashi, T., Sallee, J.-B., van Wijk, E. M., Wallace, L. O.	4. 巻 126
2. 論文標題 Deep Argo reveals bottom water properties and pathways in the Australian-Antarctic Basin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	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） 10.1029/2021JC017935	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi Taiyo	4. 巻 195
2. 論文標題 Changes in Antarctic bottom water off the Wilkes Land coast in the Australian-Antarctic Basin	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 104040 - 104040
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.dsr.2023.104040	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Taiyo Kobayashi
2. 発表標題 Changes of Antarctic Bottom Water off the Wilkes Land coast of the Australia-Antarctic Basin
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 小林大洋・嶋田啓資・北出裕二郎・溝端浩平
2. 発表標題 オーストラリア-南極海盆ウィルクスランド沖における南極底層水の経年変化
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会（Virtual）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林大洋
2. 発表標題 オーストラリア-南極海盆中部域における南極底層水の経年変化
3. 学会等名 日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiyo Kobayashi
2. 発表標題 Changes of Antarctic Bottom Water in the central region (near 115 °E) of the Australia-Antarctic Basin
3. 学会等名 第10回極域科学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taiyo Kobayashi
2. 発表標題 Changes of Antarctic Bottom Water in the central region (near 115 °E) of the Australia-Antarctic Basin
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林大洋
2. 発表標題 南極オーストラリア海盆ウィルクスランド沖における南極底層水の変化
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiyo Kobayashi
2. 発表標題 Changes in Antarctic bottom water off the Wilkes Land coast in the Australian-Antarctic Basin
3. 学会等名 IUGG 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023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			
オーストラリア	University of Tasmania	CSIRO Oceans and Atmosphere	Australian Antarctic Program Partnership	他1機関
米国	Scripps Institution of Oceanography			
フランス	Sorbonne Universite			