

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 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21310002

研究課題名（和文） 国際観測ネットワークによる南極底層水淡水化の量的把握と氷河融解の影響検証

研究課題名（英文） Estimations of freshening of Antarctic Bottom Water by international observation network and effect of glacial melt water

研究代表者

青木 茂 (AOKI SHIGERU)

北海道大学・低温科学研究所・准教授

研究者番号：80281583

研究成果の概要（和文）：酸素安定同位体比測定という新しい手法を標準化した国際共同海洋観測ネットワークの構築と既存のデータセットとの比較解析から、南極海のオーストラリア-南極海盆における南極底層水のここ約 20 年間にわたる淡水化の実態を把握した。この淡水化の主要な原因は、東側から本海盆に流入する底層水の低塩化と流入する量の低下と考えられる。本観測ネットワークにより、今後の海洋変化の原因を評価するための酸素同位体比分布像を構築することに成功した。

研究成果の概要（英文）：We established an international ocean observation network in the Australian-Antarctic Basin, Southern Ocean, with implementing stable oxygen isotope measurements as the standard method and compared the results with the previous hydrographic observations. Freshening tendency of the Antarctic Bottom Water in this basin was estimated. Analysis revealed that the major cause of this freshening is the freshening of the bottom water, flowing into this basin from the east, and its reduction of the flow rate. With this observation network, the baseline structure of stable oxygen isotope was constructed to infer causes of future oceanic change.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2012年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：極域環境監視・南極底層水・淡水化・酸素安定同位体比

1. 研究開始当初の背景

(1) 南極大陸沿岸域は冷たく重い南極底層水の生成域であり、世界中の大洋に底層水を供給している。南極底層水は、沿岸域の陸棚水と外洋起源の周極深層水の混合によって形成される。南極底層水は、北大西洋深層水と並んで、海洋深層大循環

を構成する最も重要な水塊である。南極底層水の密度が低下すると深層循環の弱引き起こす可能性があり、それが気候変動のトリガーとなり得る。そのため南極底層水の挙動を理解することが気候変動研究において急務となっている。

- (2) 南極底層水の形成海域としてはウェッデル海やロス海が知られているが、近年、アデリー海岸沖の重要性が注目されている。近年の我々の研究によって、アデリーランド底層水が 2000 年代の初頭までの 40 年ほど淡水(低塩)化・低密度化しつつあることが見出された。しかし、変化状況が明らかになっている場所は限られており、海盆全体における実態と具体的な淡水化量は不明であった。
- (3) アデリーランド底層水の長期的な淡水化の原因として有力視されているものに、ロス海から流入するロス海底層水の変質と底層水が形成されるアデリー海谷にそそぐメルツ氷河およびその近傍の氷河・棚氷の底面融解や海水生成によるアデリー陸棚水の変質の二つが挙げられる。しかし、研究を開始した当初は、この両者の寄与についてはほとんど理解がなされていなかった。
- (4) また、これまでの船舶観測による塩分変化の分析からだけでは、こうした変化の量は把握できるものの、最終的な原因に迫るには難しい面がある。淡水の酸素安定同位体比は、その履歴によって大きく異なる値を取るため、その時間的な変化を追えば、淡水化を引き起こしている起源を明らかにできる可能性がある。ところが、本海盆では、酸素安定同位体比の観測はほとんどなされておらず、またそれを可能とする観測ネットワークも存在しない状況であった。こうした状況で、オーストラリアをはじめとする国と共同研究の実現を模索していた。
- (5) このような背景により研究をはじめてまもなくの 2010 年 2 月上旬に、アデリー海谷にあるメルツ氷河の氷舌末端が分離し、環境の突発的な激変が生じた。このことから、底層水の変化にこれまでとは違った影響がでる可能性を強く予測させる展開となった。

2. 研究の目的

- (1) 酸素同位体比測定という新手法を取り入れた海洋現場観測を実施し、それを標準化した国際共同観測ネットワークを完成することで、オーストラリア-南極海盆における南極底層水のここ 20 年程度の淡水化の定量的把握とその原因を明らかにすることを目的とした。また、氷河・氷床の融解量の変動の可能性について、人工衛星画像にもとづいた解析により、アデリー陸棚水について、1990 年代以降のメルツ氷河底面融解による淡水流入量変化の影響を把握することも目指した。

- (2) 上記の観測・解析で得られた淡水増加量に対するロス海底層水やアデリー陸棚水の変質過程の寄与を将来的に酸素同位体比解析によって検証するための第一歩として、酸素同位体比分布のベースラインマップを作ることを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 本研究の最も中心的な方法は、観測データの解析にもとづく淡水量変化の定量的見積りである。1990 年代に行われた過去の船舶観測の結果と 2000 年代および本研究期間内に得られたデータを比較することで、淡水化の継続的実態把握と淡水化量の定量化を目指した。
- (2) 過去との比較に用いることのできる観測データを取得しこれを継続するためには、国際的な観測ネットワークを構築することが不可欠の手段となる。こうした中、国内では東京海洋大学、国外ではオーストラリアの CSIRO との共同観測を継続的に実施する枠組みが実現した。これにより、本研究期間中にオーストラリアのオーロラオーストラリス 2 回、東京海洋大学の海鷹丸で 2 回、JAMSTEC/東京大学の白鳳丸で 1 回の計 5 回にのぼる本海域を大きくカバーする共同観測が実施され、酸素同位体については下記の合計 227 観測点、2398 個のサンプルを取得し、分析することができた。
- (3) また、最終年度にみらい(JAMSTEC)と海鷹丸でもサンプルを取得し、必要に応じて今後の分析にも対応できる体制を整えた。こうして得られた酸素同位体比のベースライン分布をもとに、分布から考える変化の可能性についても考察した。

4. 研究成果

- (1) 1990 年代に行われた海洋観測と 2000 年代に実施された観測との比較解析から、本海域底層全体で低塩化が進んだことが明らかになった(図 1)。本海盆全体における淡水化率は年間 25 ギガトン程度と見積もられた。この変化の原因の可能性として、水温も合わせた解析から、本海盆に底層水を供給する元の一つである東から流入するロス海底層水の低塩化および流入量の低下が 80%程度と、ほとんどを占める可能性が示された。このロス海底層水の淡水化は、さらに東側の西南極全般において報告されている沿岸域の顕著な淡水化と整合的である。

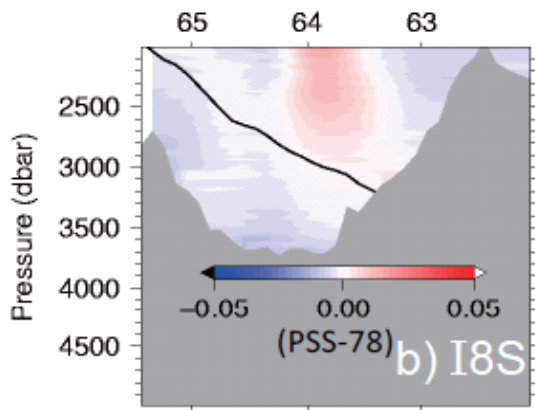


図1. オーストラリア-南極海盆を横切る南北断面における1990年代と2000年代の塩分変化の一例。110度観測線におけるものを示す。底層域が青く、塩分低下がみられる。

- (2) 他方、もう一つの可能性として、底層水の母海水のひとつであるアデリー陸棚水の変質の可能性についても考察した。しかしながら、アデリー陸棚水の塩分の変化の実態は、過去の観測データの不足により捉えることができなかった(ただし、隣接するデュルビル海谷ではここ20年程度の間で淡水化していることが分かった)。2000年代前半までのアデリー陸棚水に対する氷床融解の時間的な変化による変質の可能性を調べるためメルツ氷河の変動の実態を調べたが、2008年までの時点での流動速度は約1.2km/yrと過去の流動速度と大きな違いは見られず、氷河の流動加速等による底面での氷床融解量が増加するなどの直接的な影響は顕著ではないと考えられた。
- (3) 上記の結果は、2000年代中盤までの時期については、パインアイランド氷河を中心とした西南極棚氷・氷床融解加速の影響が、ロス海陸棚水の淡水化を経由して、遠くオーストラリア-南極海盆における南極底層水の淡水化につながっているというシナリオを描き出している。
- (4) しかしながら、2010年に氷河舌が崩壊した後の源流域近傍における海洋観測では、底層水の層厚の低下と密度の低下がこれまでに比べてさらに加速していることが明らかになった。この変化には、氷河舌の突発的な崩壊に影響を受けた海水生産量の減少の効果が考えられ、海水生産量の変化に着目する重要性を示唆した。こうしたことは今後の継続的な監視の必要性を喚起している。

- (5) 本研究により取得した日豪観測ネットワークで得られたサンプルの酸素同位体比により、本海域における底層水の起源陸棚水や底層水そのものの同位体分布の平均的な描像がはじめて得られた。ロス海の高密度陸棚水域で得られた酸素同位体比の値は、顕著に低い値を示し、陸氷融解の特徴を示している。一方、アデリー陸棚水について得られたサンプルは、氷河近傍で低い値をとり氷床融解の影響が表れている観測点があるものの、全体としてはほとんど氷床融解の影響がみられないことが分かった。このことは、アデリー陸棚水の塩分変化には、氷床融解でなく、海水生産の影響が支配的であることを示唆していると言える。これらの実態は、西南極氷床に起因する底層水変化の卓越する可能性を、間接的ながらサポートする。また、本海盆の南極底層水の主要流路における酸素同位体比は、底層水源流域から下流域に行くに従い一定の割合で増加する。このことは、南極底層水と下部周極深層水との混合過程を示すとともに、今後の底層水の特異変化を考えるうえでの基礎的なデータの基盤整備に貢献したものと結論づけられる。

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9件)

- ① Bajish, C. C., S. Aoki, B. Taguchi, N. Komori, and S. -J. Kim; Quasi-decadal circumpolar variability of Antarctic sea ice. SOLA, 9, 2013, 32-35, doi:10.2151/sola.2013-008 査読有
- ② Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams, S. Nihashi, F. Roquet, Y. Kitade, T. Tamura, D. Hirano, L. Herraiz-Borreguero, I. Field, M. Hindell, S. Aoki and M. Wakatsuchi; Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley Polynya, Nature Geoscience, Published online: 24 February 2013, doi:10.1038/ngeo1738 査読有
- ③ Shimada, K., S. Aoki, K. I. Ohshima, and S. R. Rintoul; Influence of Ross Sea Bottom Water changes on the warming and freshening of the Antarctic Bottom Water in the Australian-Antarctic Basin, Ocean Science, 8, 2012, 419-432, doi:10.5194/os-8-419-2012 査読有

- ④ Williams, G.D., S. Nicol, S. Aoki, A. Meijers, N.L. Bindoff, Y. Iijima, S.J. Marsland, A. Klocker ; Surface oceanography of BROKE-West, along the Antarctic Margin of the South-West Indian Ocean (30-80 ° E). Deep-Sea Res. Part II, 57, 2010, 738-757, doi:10.1016/j.dsr2.2009.04.020 査読有
- ⑤ Williams, G.D., S. Aoki, S.R. Rintoul, S.S. Jacobs, T. Tamura, N.L. Bindoff ; Antarctic Bottom Water production along the Adelie and George V Land coast, East Antarctica (140-149°E), J. Geophys. Res., 115, C04027, 2010, doi:10.1029/2009JC005812 査読有
- ⑥ Fukamachi, Y., S.R. Rintoul, J.A. Church, S. Aoki, S. Sokolov, M.A. Rosenberg, and M. Wakatsuchi; Strong export of Antarctic Bottom Water east of the Kerguelen Plateau. Nature Geoscience, Vol. 3, 2010, 327-331, doi:10.1038/ngeo842 査読有
- ⑦ Aoki, S., Y. Sasai, H. Sasaki, H. Mitsudera, and G.D. Williams ; The cyclonic circulation in the Australian-Antarctic basin simulated by an eddy-resolving general circulation model. Ocean Dynamics, Vol.60, Issue 3, 743, 2010. doi:10.1007/s10236-009-0261-y 査読有

[学会発表] (計 19 件)

- ① Aoki, S., Long-term Japanese observations of oceanic physical parameters in the Indian sector of the Southern Ocean, SCAR Open Science Conference, July 18 2012, Hotel Hilton, Portland, U.S.A.
- ② 青木茂 : オーストラリア-南極海盆の亜寒帯循環域表層における淡水収支について、2012年度日本海洋学会春季大会、つくば市(筑波大学)、2012年3月27日
- ③ 嶋田啓資・大島慶一郎・青木茂 : 地形による異方性を考慮した南大洋格子化データセットの作成、2011年度日本海洋学会秋季大会、福岡(九州大学)、2011年9月29日
- ④ 深町康・清水大輔・大島慶一郎・小野数也・田村岳史・青木茂・牛尾収輝・橋田元 : 南極海ケープダンレイポリニヤにおける海氷・海洋の係留観測、2011年度日本海洋学会秋季大会、福岡(九州大学)、2011年9月29日
- ⑤ 青木茂・金田麻理子・永延幹男・矢吹崇・田村岳史・大島慶一郎 : ロス海の塩分低

下にみられる南極氷床融解の影響、2011年度日本海洋学会秋季大会、福岡(九州大学)、2011年9月29日

- ⑥ Fukamachi, Y., K. Ohshima, S. Aoki, Y. Kitade, T. Tamura, and M. Wakatsuchi ; Antarctic Bottom Water revealed by mooring measurement off Cape Darnley, Antarctica, IPY Oslo Science Conference, 9 June 2010, Norway Trade Fairs, Oslo, Norway.
- ⑦ Aoki, S. ; Stable oxygen isotope ratio of sea water and its spatial distribution at the continental margin of Antarctica, IPY Oslo Science Conference, 8 June 2010, Norway Trade Fairs, Oslo, Norway.
- ⑧ Aoki, S., M. Naganobu, T. Ishimaru, S.R. Rintoul, N.L. Bindoff, K.I. Ohshima ; Stable oxygen isotope ratio of sea water and its spatial distribution at the continental margin of Antarctica, ILTS international Symposium "Frontier of Low Temperature Science", 9 November 2009, Hokkaido University, Sapporo, Japan.
- ⑨ 深町康・S.R. Rintoul, J.A. Church・青木茂・S. Sokolov, M.A. Rosenberg・若土正暁 : 南極海インド洋セクターのケルゲレン海台東側斜面域における南極底層水流量の時間変動、2009年度日本海洋学会秋季大会、京都(京都大学)、2009年9月26日
- ⑩ 青木茂・永延幹男・石丸隆・S.R. Rintoul, N.L. Bindoff・大島慶一郎 : 南極海陸棚域における海水の酸素安定同位体比とその地域的分布特性について、2009年度日本海洋学会秋季大会、京都(京都大学)、2009年9月26日

[図書] (計 2 件)

- ① 青木茂・南極海ダイナミクスをめぐる地球の不思議、C&R 研究所、2011年、総ページ数 257p.
- ② 永延幹男他(分担執筆)・南極海 氷の海の生態系、第4章、東海大学出版会、2013年、総ページ数 368p、(pp87-107).

[その他]

ホームページ等
南極海の酸素安定同位体を測る
<http://climbsd.lowtem.hokudai.ac.jp/group/Shigeru/sci/deltao18.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 茂 (AOKI SHIGERU)
北海道大学・低温科学研究所・准教授
研究者番号：80281583

(2) 研究分担者

深町 康 (FUKAMACHI YASUSHI)
北海道大学・低温科学研究所・准教授
研究者番号：20250508

(3) 連携研究者

嶋田 啓資 (SHIMADA KEISHI)
東京海洋大学・海洋観測支援センター
・博士研究員
研究者番号：30567037