

機関番号：10101
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20540419
 研究課題名（和文） 南極沿岸域における海水生産量とそれに伴う南極底層水流量の直接的評価
 研究課題名（英文） Direct evaluation of sea-ice production and associated volume transport of Antarctic Bottom Water in a coastal region off the Antarctica
 研究代表者
 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

研究成果の概要（和文）：南極底層水の流出経路であるケルゲレン海台東側斜面域における係留観測データから、この海域における赤道向きの流量がウェッデル海からの流量に匹敵する海洋大循環の重要な割合を占めるものであることを明らかにした。また、海水生産が盛んなケープダンレーポリニヤ周辺の係留観測から、この海域においてローカルに南極底層水が生成されていることを確かめた。更に、ケープダンレーポリニヤでの海水厚の係留観測に成功し、南極海の沿岸ポリニヤ内では初となる高精度のデータを取得した。

研究成果の概要（英文）：Based on the mooring data obtained off the eastern flank of the Kerguelen plateau in the pathway of Antarctic Bottom Water (AABW), we revealed that the equatorward transport of AABW in this region is comparable to that from the Weddell Sea and an important part of the meridional overturning circulation. Using the mooring data off the Cape Darnley Polynya (CDP), where sea-ice production is active, we confirmed that AABW is produced locally in this region. We have succeeded in the mooring observation of sea-ice thickness in the CDP and obtained the first high-precision data in the Antarctic coastal polynyas.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：南極海、南極底層水、海水、係留観測

1. 研究開始当初の背景

(1) ケルゲレン海台東側斜面域における赤道向き南極底層水流量の見積り

南極底層水は世界の海洋で最も比重の大きい海水であり、南極沿岸における海水生産に起因して生成され、世界中の海洋を巡る海洋大循環の駆動源となっている。この南極底層水がどのように低緯度域に拡がって行く

かについては、重要な課題であり、その実態を明らかにするには、長期に渡る時系列観測が不可欠である。しかし、このような観測はまだ十分ではなく、ウェッデル海やアデリーランド沖の流出経路において行われたのみであり、船舶観測から重要な経路である可能性が示唆されていたインド洋セクターのケルゲレン海台東側斜面域では、2003-05年ま

で行われていなかった。

(2) ケープダンレーポリニヤ周辺域における南極底層水の係留観測

南極底層水の主要な生成域としては、ウェッデル海、ロス海、アデリーランド沖が良く知られていたが、過去の船舶観測による海水特性の分布から、東南極域にも活発な生成域が存在することが示唆されていた。しかし、その具体的な場所の特定には至っていなかった。そのような中で、北大低温研のグループは、衛星データなどを用いて南極海全体の海氷生産量の推定を行い、アメリー棚氷の西側に存在するケープダンレーポリニヤが、ロス海ポリニヤに次いで、海氷生産量が2番目に多いことを示した。海氷生産に伴って生成される高塩分水は南極底層水の起源の一つであるため、このことによって、ケープダンレーポリニヤ周辺が活発な南極底層水の生成域であることが示唆された。

(3) ケープダンレーポリニヤにおける海氷厚の係留観測

南極底層水の生成には、南極大陸沿岸のポリニヤでの海氷生産が重要な要因となっているが、その量を見積もるためのポリニヤ内における海氷の厚さの係留系を用いての連続観測は、氷山のリスクなどが有るため、これまで殆ど行われて来なかった。しかしながら、衛星データからの海氷生産量の見積りの検証のためにも、このような現場観測データの取得は急務であった。

2. 研究の目的

(1) ケルゲレン海台東側斜面域における赤道向き南極底層水流量の見積り

過去の船舶観測によって、南極底層水の赤道向き主要な経路であることが示唆されていたケルゲレン海台東側斜面域(図1の白丸)における初めての長期連続観測データを用いて、その輸送量を見積り、海洋大循環における重要性を明らかにする。

(2) ケープダンレーポリニヤの周辺域における南極底層水の係留観測

衛星データに基づく海氷生産量が非常に大きいケープダンレーポリニヤの周辺域(図1の緑丸)において、流出する南極底層水を係留観測によって捉え、この海域において南極底層水が生成されているかどうかを明らかにする。

(3) ケープダンレーポリニヤにおける海氷厚の係留観測

これまで殆ど取得されたことが無いポリニヤ内(図1の赤丸)での海氷の厚さについて、係留観測で捉え、その実態を明らかにする。

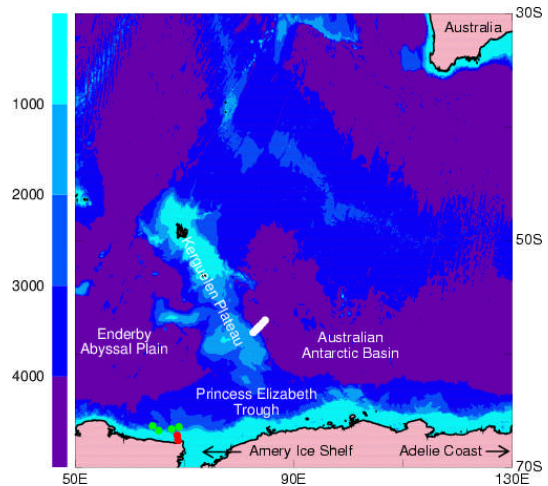


図1: 南極海インド洋セクターの海底地形図。白丸は2003-05年のケルゲレン海台東側斜面域の係留点、緑丸は2008-09年のケープダンレーポリニヤ周辺の係留点、赤丸は2010-11年のケープダンレーポリニヤ内の係留点を示す。

3. 研究の方法

(1) ケルゲレン海台東側斜面域における赤道向き南極底層水流量の見積り

2003-05年に日豪の共同観測によって取得された係留観測データから、これまでの船舶観測データでは不可能であった平均的な赤道向き南極底層水の流量の見積りを行った。

(2) ケープダンレーポリニヤ周辺域における南極底層水の係留観測

この海域における南極底層水の実態を明らかにするために、2008年2月にポリニヤの上流側(1系)と下流側(3系)に設置した係留系の回収を、東京海洋大学の練習船「海鷹丸」で2009年1月に行い、2回の航海で取得したデータと合わせて解析を行った。

(3) ケープダンレーポリニヤにおける海氷厚の係留観測

日本南極地域観測隊の「しらせ」で、2010年2月にポリニヤ内の2点において、海氷の厚さ、漂流速度、海洋流速、水温・塩分を計測する係留系を設置し、2011年2月に回収を行った。

4. 研究成果

(1) ケルゲレン海台東側斜面域における赤道向き南極底層水流量の見積り

8系の密に設置した係留系の2年間のデータから、この海域における平均的な水温と赤道向き流速の分布を求め、斜面域の海底付近には20 cm/sを超える3500 m以深の深海で計測されたものとしては最速の非常に強い流れが存在し、水温が0度以下の南極底層水が約2000 mの厚さで分布していることを明らかにした(図2)。

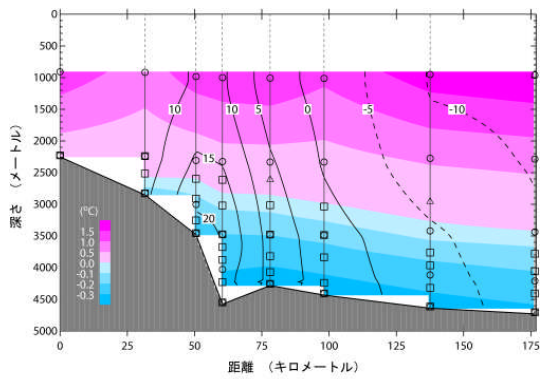


図2: 2年間の連続観測から求めた平均的な南北方向の流速(等値線で表記、単位は cm/s で、正の値が赤道向き)と水温(色で表記)の分布。丸、四角、三角のシンボルは、観測に用いた流速計、水温・塩分計、水温計の設置場所をそれぞれ示す。

また、流速と水温の時系列から求めた赤道向きの南極底層水の流量には大きな変動が存在し、これまでに行われたような船舶観測によるデータによって、平均的な流量を求めることが不可能であることも示した(図3)。2年間の平均流量は $12.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ で、これまでに南極海からの南極底層水の経路として支配的であると考えられていたウェッデル海からのものに匹敵し、南極海のみならず世界中の海洋大循環において重要な割合を占めていることを明らかにした。

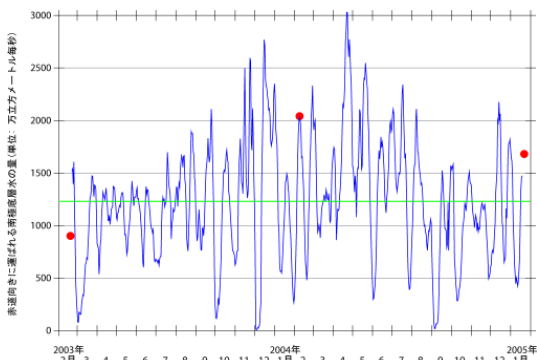


図3: 赤道向きに運ばれる南極底層水の量の時系列(青線)。緑線は2年間の平均値。赤丸は船舶観測で見積もられた流量。

(2) ケープダンレーポリニヤ周辺域における南極底層水の係留観測

ケープダンレーポリニヤからの底層水の流出経路と考えられる海底峡谷内の係留系のデータには(図4)、4-6月頃から低温で高密度の海水が、沖向きの斜面を下る流れと同時に見られた。また、これらの現象が見られるのは、3月にケープダンレーポリニヤ内で衛星データなどから見積もられた海氷生産量が高くなった直後であり、この海域でローカルに南極底層水が生成されていることが確かめられた。

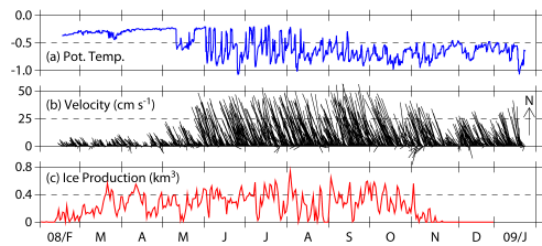


図4: ケープダンレーポリニヤ周辺の海底峡谷内に設置された係留系によって観測された海底付近(海底から約25m)の(a)水温と(b)流速(上向きが北上成分)の時系列。(c)衛星データなどから見積もられたケープダンレーポリニヤにおける海氷生産量の時系列。

(3) ケープダンレーポリニヤにおける海水厚の係留観測

回収した2系の係留系に取り付けていた超音波氷厚計、超音波ドップラー流速計、水温・塩分計では、良好なデータを取得することに成功した。海水厚のデータは、南極海のポリニヤでは初めてとなる高精度なもので、これまでに衛星データなどによる海氷生産量の見積りに用いられてきた薄氷の厚さの推定アルゴリズムの検証データとして非常に貴重なものである。

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 Fukamachi, Y., S. R. Rintoul, J. A. Church, S. Aoki, S. Sokolov, M. A. Rosenberg, and M. Wakatsuchi (2010): Strong export of Antarctic Bottom Water east of the Kerguelen plateau, *Nature Geoscience*, 3, 327-331. 査読有 <http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/handle/2115/44116>
- ② 大島 慶一郎・深町 康・青木 茂・清水 大輔・田村 岳史・牛尾 収輝・橋田 元・北出 裕二郎・若土 正暁 (2010): 未知の南極底層水生成域の発見と今後の観測に向けて ―ケープダンレープロジェクト―, *月刊海洋*, 号外 54, 12-20. 査読無
- ③ 北出 裕二郎・平野 大輔・大島 慶一郎・深町 康 (2010): 海鷹丸により観測されたケープダンレー沖の南極底層水と海洋微細構造の特徴、*月刊海洋*、号外、29-36. 査読無
- ④ Rintoul, S. R, K. Speer, M. Sparrow, M. Meredith, E. Hoffmann, E. Fahrbach, C. Summerhayes, A. Worby, M. England, R. Bellerby, S. Speich, D. Costa, J. Hall, M. Hindell, G. Hosie, K. Stansfield, Y. Fukamachi, T. de Bruin, A. Naveira

Garabato, K. Alberson, V. Ryabinin, H. C. Shin, and S. Gladyshev (2010): Southern Ocean Observing Systems (SOOS): Rationale and Strategy for Sustained Observations of the Southern Ocean. in Proceedings of OceanObs '09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, 21-25 September 2009, Hall, J., D. E. Harrison, and D. Stammer, Eds., ESA Publication WPP-306. 査読有

- ⑤ Aoki, S., N. Fujii, S. Ushio, Y. Yoshikawa, S. Watanabe, G. Mizuta, Y. Fukamachi, and M. Wakatsuchi (2008): Deep western boundary current and southern frontal systems of the Antarctic Circumpolar Current southeast of the Kerguelen Plateau, *Journal of Geophysical Research*, 113, C08038, doi:10.1029/2007JC004627. 査読有

[学会発表] (計21件)

- ① 中山佳洋, 大島慶一郎, 松村義正, 羽角博康, 深町康: ケープダンレー沖における南極底層水の形成と流動に関する数値的研究, 日本海洋学会春季大会, 東京大学柏キャンパス, 柏, 2011年3月24日. (震災により大会中止, 講演要旨集による発表に代替)
- ② Ohshima, K. I., S. Nihashi, T. Tamura, and Y. Fukamachi: Polynya formation and sea ice production off Cape Darnley Antarctica, revealed by ALOS PALSAR and AMSR-E data, 4th ALOS Joint PI Symposium, Otemachi Sankei Plaza, Tokyo (Japan), November 15 2010.
- ③ 大島慶一郎, 深町康, 牛尾収輝, 橋田元, 青木茂, 清水大輔, 小野数也: 海氷厚・南極底層水の係留系観測 - 温暖化で氷厚・底層水は変化しているか? -, 南極観測シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2010年9月15日.
- ④ Rintoul, S. R., J.-B. Sallee, S. Sokolov, Y. Fukamachi, A. Meijers: Southern Ocean Circulation and Change: Australia's Contribution to the IPY CASO and SASSI Programs, International Polar Year Oslo Science Conference, Oslo, Norway, June 9 2010.
- ⑤ Fukamachi, Y., K. I. Ohshima, S. Aoki, Y. Kitade, T. Tamura, M. Wakatsuchi: Antarctic Bottom Water revealed by mooring measurement off Cape Darnley, Antarctica, International Polar Year Oslo Science Conference, Oslo, Norway, June 9 2010.
- ⑥ 大島慶一郎, 深町康, 青木茂, 清水大輔,

田村岳史, 若土正暁, 北出裕二郎, 平野大輔, 牛尾収輝, 橋田元, 吉川久幸, 中岡慎一郎: 新たに発見された南極底層水とそれに関わる海氷生産の直接観測 - ケープダンレープロジェクト -, 2010年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 東京, 2010年3月29日.

- ⑦ 深町康, 大島慶一郎, 青木茂, 北出裕二郎, 田村岳史, 若土正暁: 係留観測による南極海ケープダンレー沖における南極底層水について, 2010年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 東京, 2010年3月29日.
- ⑧ 北出裕二郎, 平野大輔, 大島慶一郎, 深町康: ケープダンレー沖で観測された南極底層水の特性と分布, 2010年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 東京, 2010年3月29日.
- ⑨ Ohshima K. I., T. Tamura, S. Nihashi, K. Iwamoto, D. Simizu, Y. Fukamachi: Global Mapping of sea ice production and heat/salt flux in ice-covered regions, using satellite passive microwave data, US CLIVAR/SeaFlux Workshop, Surface Fluxes: Challenges for High Latitudes, Boulder, Colorado, March 18 2010.
- ⑩ 大島慶一郎, 牛尾収輝, 橋田元, 青木茂, 深町康, 豊田威信, 清水大輔, 二橋創平, 田村岳史, 小野数也, 榎本浩之, 館山一孝: 南極巨大沿岸ポリニヤにおける係留系等による海氷高精度観測, 南極観測シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2009年12月10日.
- ⑪ 大島慶一郎, 深町康, 青木茂, 清水大輔, 田村岳史, 小野数也, 牛尾収輝, 橋田元, 吉川久幸, 北出裕二郎, 平野大輔: 係留系による, 未知の南極底層水と海氷生産量・厚さの直接観測, 南極観測シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2009年12月10日.
- ⑫ 大島慶一郎, 深町康, 青木茂, 清水大輔, 田村岳史, 北出裕二郎, 平野大輔, 牛尾収輝, 橋田元, 吉川久幸, 中岡慎一郎: ケープダンレープロジェクト - 新たに発見された南極底層水とそれに関わるか海氷生産の直接観測, 国立極地研究所第32回極域気水圏シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2009年11月17日.
- ⑬ 深町康, 大島慶一郎, 青木茂, 北出裕二郎, 田村岳史: 係留観測による南極海ケープダンレー沖における南極底層水の変動について, 国立極地研究所第32回極域気水圏シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2009年11月17日.
- ⑭ 北出裕二郎, 平野大輔, 大島慶一郎, 深町康: 海鷹丸によりダンレー沖で観測された深底層水の特性と海洋微細構造, 国

立極地研究所第 32 回極域気水圏シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2009 年 11 月 17 日.

- ⑮ 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, 京都大学, 京都, 2009 年 9 月 26 日.
- ⑯ Fukamachi, Y., S. Aoki, J. A. Church, S. R. Rintoul, M. Rosenberg, and M. Wakatsuchi: Mooring measurement of the deep western boundary current over the eastern flank of the Kerguelen Plateau in the Indian Sector of the Antarctic, 9th International Conference of the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Melbourne Convention Center, Melbourne, Australia, February 11 2009.
- ⑰ Ohshima, K. I., T. Tamura, Y. Fukamachi and S. Aoki: Sea ice production in the polynya and the associated bottom water formation off the Cape Darnley, East Antarctica, 9th International Conference of the Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Melbourne Convention Center, Melbourne, Australia, February 10 2009.
- ⑱ 深町康, 青木茂, John A. Church, Stephen R. Rintoul, Mark 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の流量, 国立極地研究所第 31 回極域気水圏・生物圏合同シンポジウム, 国立極地研究所, 立川, 2008 年 12 月 2 日.
- ⑲ Speer, K. and Y. Fukamachi: Observations and indices in the Southern Ocean, The Third CLIVAR (Climate Variability and Predictability) /GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment) Meeting on Ocean Synthesis Evaluation, JAMSTEC Office, Tokyo, Japan, October 6 2008.
- ⑳ Williams, G., S. Aoki, S. Marsland, Y. Fukamachi, B. Galton-Fenzi, S. Rintoul, N. Bindoff: Downslope Mixing of Antarctic Bottom Water from East Antarctic Polynyas, SCAR/IASC IPY Open Science Conference, Park Inn Pribaltiyskaya Hotel, St. Petersburg, Russia, July 9 2008.

[その他]

報道関連情報:

- ① 海の循環「エンジン」一端 南極沖に深層流: 毎日新聞, 2010 年 5 月 11 日.

② 深層に低温の海流 北大など観測 毎秒 20 センチの流れ: 日経産業新聞, 2010 年 5 月 11 日.

③ Antarctic conveyor belt revealed in detail: physicsworld.com (The website of the Institute of Physics), April 28, 2010.

④ Scientist test powerful ocean current off Antarctica, THE INDEPENDENT, April 27, 2010.

⑤ Powerful ocean current off Antarctica factor in climate change, The Sydney Morning Herald, April 26, 2010.

⑥ Huge ocean current found circling Antarctica: THE AUSTRALIAN, April 26, 2010.

⑦ An oceanic 'fast-lane' for climate change: Nature News, Published online 25 April 2010 | Nature | doi:10.1038/news.2010.201

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし