南極海における海氷生産量の年変動

大気海洋圏環境科学専攻 極域大気海洋学講座 博士後期課程三年 田村 岳史(指導教官:大島慶一郎)

1. 研究目的

南極海はそのほとんどが季節海氷域であり、海氷が持つ正のフィードバック効果などが原因となって、地球温暖化などの気候変動からの感度が高く、海氷面積が大きく年変動する。ここは南極底層水が作られる海域であると共に、大気海洋間の熱交換が盛んに行われている海域でもあり、赤道域と並んで地球規模での気候変動を決める領域であるのではないかと考えられている。この南極海において、大気に対しても海洋に対しても大きな影響を与える領域は沿岸ポリニヤである。南極沿岸ポリニヤのほとんどは潜熱ポリニヤであり、主に風や海流によって海氷が運ばれることが原因で出現し維持される。冬季におけるここでの熱損失は非常に大きい。また、水深が浅く水温が結氷点に近い大陸棚域に形成されるため、海洋下層からの熱の供給を無視することができる。そのため、ここでは冬季を中心に海氷が活発に生産されている。この沿岸ポリニヤにおける海氷生産は南極の海氷総生産に対してのみならず、ブライン排出による塩分生産によって、南極底層水形成に対しても重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながら、現場観測が極めて難しい海域であるため、海氷生産・塩分排出に関して、定量的には明らかになっていない。そこで本研究では、熱収支計算から海氷生産を求めることを試みた。沿岸ポリニヤは空間的時間的に大きく変動するので、その大きさ及びそこでの大気・海洋(海氷)間熱交換を一日単位で測る必要がある。そのため、SSM/I のマイクロ波放射計の輝度温度データから沿岸ポリニヤを検出する新しいアルゴリズムと客観解析データを用いて熱収支計算を行うことによって、海氷生産量を見積もり、その年変動を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 平成 17 年度の成果

2.1. AVHRR 氷厚推定 (revised to Annals of Glaciology)

Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) データから得られる海氷表面温度を用いた熱収支計算を通して氷厚を求める方法を、南極 Wilkes Land 沖の Vincennes Bay polynya に適用し、氷厚の現場観測データ(自ら参加し取得したデータ)と比較することによって、この方法の有効性を示した。AVHRR データから得られる氷厚は、マイクロ波データから氷厚を見積もる際の比較・検証データに使用し得ることが示唆された。2.2. SSM/I 氷厚推定 (submitted to Journal of Atmospheric and Oceanic Technology)

南極海において Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) データを用いて海氷の薄氷厚を見積もり fast ice を検出するアルゴリズムを作成した。AVHRR データから得られる氷厚を比較・検証データとして用いることによって、SSM/I の 85GHz 輝度温度の polarization ratio (PR-85) と PR-37 から 0.2m 以薄の氷厚を検出し、その厚さを見積もる式を提出した。また、85GHz 水平・鉛直輝度温度の関係を用いて、薄氷と似た PR 特性を示し薄氷との区別が難しい ice shelf・landfast ice・glacier tongues・icebergs を fast ice として検出した。

2.3. 海氷生產量推定 (in preparation to Geophysical Research Letters)

SSM/I の 37GHz と 85GHz の輝度温度データから新たなアルゴリズムを使って得られた沿岸ポリニヤにおける氷厚のデータと、ECMWF 高分解能再解析データ(気温・風速・海面気圧・露点温度) ISCCP データ(全雲量) OISST データ(海面温度)を用いて熱収支計算を行った。解析期間は 1992~2001 年で、時間解像度は 1日ごとである。空間解像度は 12.5km×12.5km (SSM/I EASE グリッド)で、全南極海域で解析を行った。大気 - 海洋(海氷)間熱収支は、南極海域において現時点で最も適当と考えられる経験式を使用して求めた放射・乱流フラックスの和に、海氷内の熱伝導フラックスを考慮して求めた。海氷域内のグリッドにおいて海洋から大気に奪われた熱は全て海氷生産に使われるものとして海氷生産量を見積もった。海洋下層からの熱の供給はないものとしている。

南極沿岸ポリニヤでの海氷生産は高く、特に東南極沿岸で海氷生産の高い領域が半島などの突起の西側(南極沿岸流の下流側)に存在する(図 1)。ロス海沿岸では南極海で最も高い海氷生産が示され、これはロス海で高塩の南極底層水が生産されている事実に対応している。一方、ウェッデル海沿岸は、南極底層水の主要形成域であるにもかかわらず、海氷生産が比較的低い。また、東南極沿岸のPrydz Bay の西側にある Cape Darnley ポ

リニヤにおいて、ロス海に次いで二番目に高い海氷生産が示された。それぞれの南極沿岸ポリニヤにおける海氷生産量の年変動を見ると、ロス海沿岸ポリニヤでの年変動が南極海で最も大きく、そこでの海氷生産は1990年代中盤から2000-2001年にかけて大きく減少している(図2)。この結果は、現場の海洋観測から得られた近年のロス海底層水の塩分減少に対応している。また、下流のアデリーランド沖でも低塩化が観測されており、これもロス海の影響を受けている可能性がある。全南極海での海氷生産は1992~2001年で約11%減少しているという結果が得られた(図3)。この期間の南極海の海氷面積に大きな変動がないことから、この結果は1990年代において南極海の海氷厚が薄くなってきていた可能性を示している。

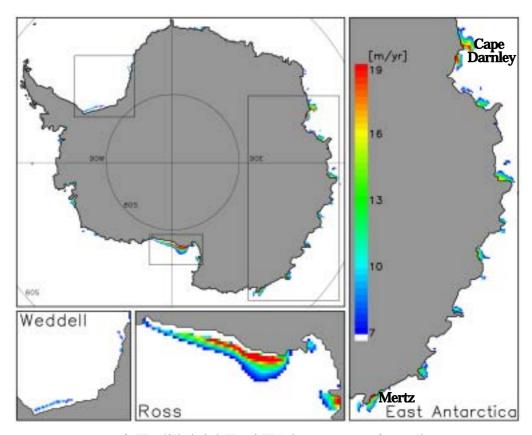


図1:年間累積海氷生産量の空間分布(1992-2001年で平均)

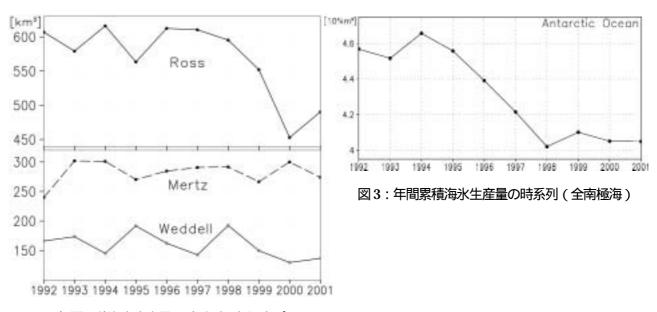


図2:年間累積海氷生産量の時系列(各沿岸ポリニヤ)

3. 論文

- [1] **Tamura, T.**, K. I. Ohshima, and S. Nihashi (*in preparation*): Estimation of sea ice production from passive microwave data in Antarctic coastal polynyas. *Geophysical Research Letters*.
- [2] Tamura, T., K. I. Ohshima, T. Markus, D. J. Cavalieri, S. Nihashi, and N. Hirasawa (submitted): Estimation of thin ice thickness and detection of fast ice from SSM/I data in the Antarctic Ocean. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology.
- [3] **Tamura, T.**, K. I. Ohshima, H. Enomoto, K. Tateyama, A. Muto, S. Ushio, and R. A. Massom (*revised*): Estimation of thin sea-ice thickness from NOAA AVHRR data in a polynya off the Wilkes Land coast, East Antarctica. *Annals of Glaciology*, **44**.
- [4] Massom, R., A. Worby, V. Lytle, T. Markus, I. Allison, T. Scambos, H. Enomoto, K. Tateyama, T. Haran, J. Comiso, A. Pfaffling, T. Tamura, A. Muto, P. Kanagaratnam, B. Giles, N. Young, G. Hyland, and E. Key (revised): ARISE (Antarctic Remote Ice Sensing Experiment) in the East: Validation of satellite sea-ice data products in East Antarctica. Annals of Glaciology, 44.
- [5] Ohshima, K. I., T. Tamura, and S. Nihashi (2005): Detection of coastal polynyas and ice production in the Antarctic and Okhotsk Seas from SSM/I. Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005, Seoul, Korea, 2652-2655.

4. 学会発表

(海外)

- [1] **Tamura, T.**, K. I. Ohshima, and S. Nihashi: Estimation of sea ice production from satellite data in Antarctic coastal polynyas, *11th CEReS International Symposium on Remote Sensing*, Chiba, Japan, December 14, 2005.
- [2] Tamura, T., K. I. Ohshima, and S. Nihashi: Estimation of sea ice production from passive microwave data in Antarctic coastal polynyas, *IGS International Symposium on Sea Ice*, Dunedin, New Zealand, December 9, 2005.
- [3] Ohshima, K. I., **T. Tamura**, and S. Nihashi: Sea ice production in the Okhotsk coastal polynya and its relation to interannual variability of Okhotsk Sea Intermediate Water, *IGS International Symposium on Sea Ice*, Dunedin, New Zealand, December 7, 2005.
- [4] Massom, R. A., A. Worby, V. Lytle, T. Markus, I. Allison, T. Scambos, H. Enomoto, K. Tateyama, T. Haran, J. C. Comiso, A. Pfaffling, T. Tamura, A. Muto, P. Kanagaratnam, B. Giles, N. Young, G. Hyland, and E. Key: ARISE (Antarctic Remote Ice Sensing Experiment) in the East 2003: Validation of satellite-derived sea-ice data products, IGS International Symposium on Sea Ice, Dunedin, New Zealand, December 6, 2005.
- [5] Tamura, T., K. I. Ohshima, H. Enomoto, K. Tateyama, A. Muto, S. Ushio, and R. A. Massom: Validation of sea ice thickness calculated from AVHRR data in an Antarctic coastal polynya, *IGS International Symposium* on Sea Ice, Dunedin, New Zealand, December 5, 2005.
- [6] **Tamura, T.**, and K. I. Ohshima: Estimation of sea ice production for the Ross Sea coastal polynya from SSM/I and AVHRR data, *3rd International Conference on the Oceanography of the Ross Sea Antarctica*, Venice, Italy, October 12, 2005.
- [7] Ohshima, K. I., T. Tamura, and S. Nihashi: Detection of coastal polynyas and ice production in the Antarctic and Okhotsk Seas from SSM/I, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005*, Seoul, Korea, July 27, 2005.

(国内)

- [8] 田村 岳史, 大島 慶一郎, 二橋 創平, "南極沿岸ポリニヤにおける海氷生産量の年々変動", 2006 年度日本海洋学会春季大会, 横浜市立大学, 2006 年 3 月 29 日
- [9] **田村 岳史**, 大島 慶一郎, 二橋 創平, Thorsten Markus, Donald J. Cavalieri, 平沢尚彦, "SSM/I データを用いた南 極海における薄氷厚の見積もりと fast ice の検出", 第 28 回極域気水圏シンポジウム, 国立極地研究所, 2005 年 11 月 30 日
- [10] 田村 岳史, 大島 慶一郎, 武藤 淳公, 榎本 浩之, 舘山 一孝, 牛尾 収輝, R. Massom, "南極沿岸域での AVHRR による海氷厚の推定とその検証", 2005 年度日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学, 2005 年 3 月 28 日