

2021 年度堀内賞の受賞者決まる

受賞者：田村 岳史（国立極地研究所）

研究業績： 海水生産量のグローバルマッピングによる地球気候の研究

選定理由：

海水の存在は、海洋から大気への顕熱・潜熱、放射、物質放出フラックスなどを大きく変化させる。また海水は、その生成・融解の過程で熱・塩・物質を海洋や大気と交換するとともに、移流によりこれらを輸送する。さらに海洋の大循環は長期的な気候変動に本質的な役割を果たしているが、その出発点の一つとなるのが南極大陸沿岸での海水生成に伴う冷たく塩分の高い水（南極底層水）の形成である。このように気候変動研究において、海水の動態と生産量の理解が重要であるにもかかわらず、衛星観測からは一般に海水面積しか得ることができないため、海水の厚さに関する情報を得ることは困難であった。このため、これまでは海水生成・融解とその時間変化はもとより、平均的な量・分布もよくわかっていなかった。

極域などの海水が広がる海域は現場観測が非常に難しく、海水生産量を見積もるためには時間的空間的に連続するデータを得ることが可能な衛星観測が、現時点で唯一の効果的な手段である。かつて NASA は衛星マイクロ波データを用いて海水厚を見積もる世界標準のアルゴリズムの開発に取り組んでいたが、その開発を断念していた。田村氏は、海水生産は主に大気から莫大に熱を奪われる薄氷域（特に沿岸ポリニヤと呼ばれる海域）で行われることに着目して、まず衛星マイクロ波観測データから薄氷域を検知し、そこでの氷厚を推定するアルゴリズムを開発した[業績 2]。田村氏は冬季の海水生成域を唯一観測し得る豪州主催の国際海水観測航海に参加し[1]、現場検証データから本アルゴリズムの有効性を実証するなどしており、NASA からも評価されて世界標準のアルゴリズムとなっている。

このアルゴリズムから薄氷(海水生産)域における海水厚がわかると、熱収支計算から熱損失を計算することができ、さらに熱損失は主に海水生成に使われるとの仮定の下で、原理的に海水生産量を見積もることができる。このようにして、田村氏は世界で初めて海水生産量のマッピングを南大洋[3]と北極海[4]において行った。これらの薄氷厚や海水生産量は、自ら企画したヘリコプター観測[8]やバイオロギングによる現場

観測[9]により、その精度の確認も行っている。田村氏による沿岸ポリニヤや海氷生産量のマッピングは、IPCCの評価報告書にも引用され[4, 9]、海洋物理学の著名な教科書 *Descriptive Physical Oceanography* (Talley et al. 2011) にもそのマップが紹介される[3]など、沿岸ポリニヤの決定版的研究になっている。

田村氏による南大洋の海氷生産量のマッピング[3]からは、海氷生産量が2番目に多い海域が昭和基地東方1200 kmにあることが示され、そこが4番目となる未知の南極底層水生成域であることが示唆された。この指摘をもとに、日本の南極観測隊のターゲット海域として集中観測が行われ、南極底層水生成域を新たに発見するに至った[7]。また、氷床の変動が海氷生産の変動を介して南極底層水の変動をもたらすという、氷床-海氷-海洋相互作用の先駆的な研究も行っている[6, 10]。さらに、海氷生産量を基に、海氷の生成・融解を考慮した海水域での海面熱塩フラックスのデータセットを世界で初めて作成し[5]、海氷生産量のデータと合わせてWeb上で公開している。海氷生産量データは数値モデルの検証データとして多くのモデル研究に利用されている。また、熱塩フラックスデータは境界条件として利用でき、不確定性が大きい海氷モデルを使わなくても海水域で気候モデルを駆動させることを可能とする。今までにはなかったこれらのデータセットは、以上のような海洋循環の理解や気候モデルの精度向上に貢献するに留まらず、大気・古気候・海洋生物[11]など様々な研究分野、日豪欧米の様々な研究者に基礎パラメータとして広く使われている。

最近、氷床の融解加速とそれに伴う海水準上昇が大きな問題となっているが、外洋と氷床の間にある沿岸ポリニヤの変動も氷床融解加速に関わっている可能性がある。そのことも含めて、田村氏は現在、日本の南極地域観測の第IX期(2016-2022年)の重点研究観測サブテーマ「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気-氷床-海洋の相互作用」の所内対応者として、南極沿岸域における海洋や大気、海氷、氷河の分野横断観測研究を中心的に推進している[12,13,14]。特に、昭和基地の背後にあるしらせ氷河、さらに東南極最大の氷床融解加速域のトッテン氷河域での大気-氷床-海洋の相互作用の観測を現場リーダー(第58次, 61次南極観測隊参加)として推し進めている。これらに加えて現在、第X期(2022-2028年)重点研究観測サブテーマ「氷床-海氷-海洋結合システムの統合研究観測から探る東南極氷床融解メカニズムと物質循環変動」の世

話人を務めている。

以上、田村氏の大気－雪氷－海洋相互作用に関わる研究は、気象学の境界領域研究を発展させるものであり、気候変動における海氷の役割を明確かつ定量的に解明するものとして高く評価できる。また、これら一連の研究は、氷床融解加速という新たな気候課題研究に挑戦するものでもあり、地球温暖化の解明に大きく貢献することが期待される。

以上の理由により、日本気象学会は田村岳史氏に2021年度堀内賞を贈呈するものである。

主な論文リスト（年代順）：

1. Tamura, T., K. I. Ohshima, H. Enomoto, K. Tateyama, A. Muto, S. Ushio and R. A. Massom, 2006: Estimation of thin sea-ice thickness from NOAA AVHRR data in a polynya off the Wilkes Land coast, East Antarctica. *Annals of Glaciology*, 44, 269-274, <https://doi.org/10.3189/172756406781811745>.
2. Tamura, T., K. I. Ohshima, T. Markus, D. J. Cavalieri, S. Nihashi and N. Hirasawa, 2007: Estimation of thin ice thickness and detection of fast ice from SSM/I data in the Antarctic Ocean. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24, 1757-1772. doi:10.1175/JTECH2113.11.1.
3. Tamura, T., K. I. Ohshima and S. Nihashi, 2008: Mapping of sea ice production for Antarctic coastal polynyas. *Geophysical Research Letters*, 35, L07606, doi:10.1029/2007GL032903.
4. Tamura, T., and K. I. Ohshima, 2011: Mapping of sea ice production in the Arctic coastal polynyas. *Journal of Geophysical Research*, 116, C07030, doi:10.1029/2010JC006586.
5. Tamura, T., K. I. Ohshima, S. Nihashi and H. Hasumi, 2011: Estimation of surface heat/salt fluxes associated with sea ice growth/melt in the Southern Ocean. *Scientific Online Letter on the Atmosphere*, 7, 17-20, doi:10.2151/sola.2011-005.
6. Tamura, T., G. D. Williams, A. D. Fraser and K. I. Ohshima, 2012: Potential regime shift in decreased sea ice production after the Mertz Glacier calving. *Nature Communications*, 3:826, doi:10.1038/ncomms1820.

7. Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams, S. Nishihashi, F. Roquet, Y. Kitade, T. Tamura, D. Hirano, L. Herraiz-Borreguero, I. Field, M. Hindell, S. Aoki and M. Wakatsuchi, 2013: Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley Polynya. *Nature Geoscience*, 6(3), 235-240, doi:10.1038/ngeo1738.
8. Tamura, T., K. I. Ohshima, J. L. Lieser, T. Toyota, K. Tateyama, D. Nomura, K. Nakata, A. D. Fraser, P. W. Jansen, K. B. Newbery R. A. Massom and S. Ushio, 2015: Helicopter-borne observations with portable microwave radiometer in the Southern Ocean and the Sea of Okhotsk. *Annals of Glaciology*, 56, 436-444, <https://doi.org/10.3189/2015AoG69A621>.
9. Tamura, T., K. I. Ohshima, A. D. Fraser and G. D. Williams, 2016: Sea ice production variability in Antarctic coastal polynyas. *Journal of Geophysical Research*, 121, 2967-2979, doi:10.1002/2015JC011537.
10. Williams, G. D., L. Herraiz-Borreguero, F. Roquet, T. Tamura, K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, et al., 2016: The Suppression of Antarctic Bottom Water production by melting ice shelves in Prydz Bay, East Antarctica. *Nature Communications*, 7:12577, doi:10.1038/NCOMMS12577.
11. Labrousse, S., G. Williams, T. Tamura, et al., 2018: Coastal polynyas: Winter oases for subadult southern elephant seals in East Antarctica. *Scientific Reports*, 8:3183, doi:10.1038/s41598-018-21388-9.
12. Silvano, A., S. R. Rintoul, B. Pena-Molino, W. R. Hobbs, E. van Wijk, S. Aoki, T. Tamura and G. D. Williams, 2018: Freshening by glacial meltwater enhances melting of ice shelves and reduces formation of Antarctic Bottom Water. *Science Advances*, 4, eaap9467, doi:10.1126/sciadv.aap9467.
13. Silvano, A., A. Foppert, S. Rintoul, P. Holland, T. Tamura, N. Kimura, P. Castagno, P. Falco, G. Budillon, F.A. Haumann, A.N. Garabato and A. Macdonald, 2020: Recent recovery of Antarctic Bottom Water formation in the Ross Sea driven by climate anomalies. *Nature Geoscience*, 13, 780-

786, doi:10.1038/s41561-020-00655-3.

14. Hirano, D., T. Tamura, K. Kusahara, K. I. Ohshima, K. W. Nicholls, S. Ushio, D. Simizu, K. Ono, M. Fujii, Y. Nogi and S. Aoki, 2020: Strong ice-ocean interaction beneath Shirase Glacier Tongue, East Antarctica, *Nature Communications*, 11:4221, doi:10.1038/s41467-020-17527-4.