

南極の「氷河由来の淡水」を三次元で捉える新手法を開発

～トッテン棚氷周辺の融解水量を海洋観測から推定～

ポイント

- ・水温・塩分・溶存酸素・水圧から、氷河由来の淡水を三次元的に推定する新手法を開発。
- ・トッテン棚氷とモスクワ大学棚氷の淡水供給量を、それぞれ年間 70 ± 7 、 53 ± 9 Gt と推定。
- ・衛星観測だけでは捉えにくい海中の融解水分布を広域・継続的に監視する手法への発展に期待。

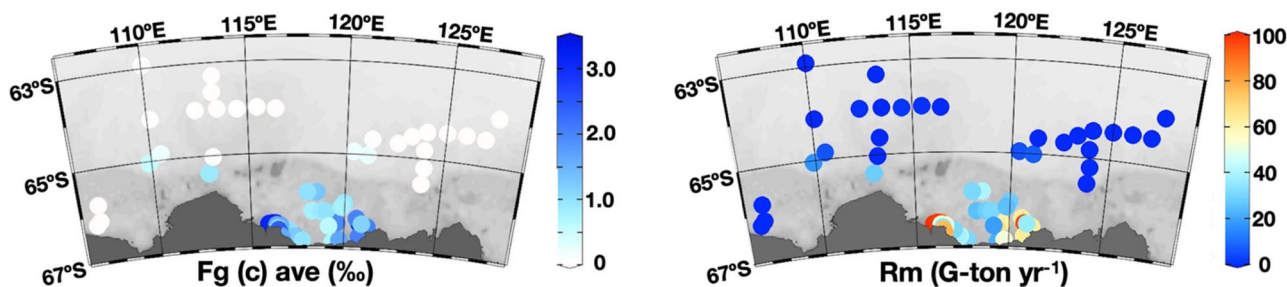
概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の渡辺 豊特任准教授、同大学低温科学研究所の平野大輔准教授、国立極地研究所の真壁竜介准教授、海洋研究開発機構の中野善之副主任研究員、東京海洋大学の溝端浩平准教授らの研究グループは、東南極のトッテン棚氷とモスクワ大学棚氷周辺で、氷河・棚氷^{*1}の融解によって海へ加わった淡水を三次元的に推定する新しい解析手法を開発しました。

南極の棚氷の下には比較的暖かい海水が入り込み、底面を融かします。しかし、融けた淡水が海のどこに、どの程度広がっているかを直接観測することは容易ではありません。本研究では、海水中の溶存無機炭素（DIC）^{*2}を、水温・塩分・溶存酸素^{*3}・水圧から推定する「重回帰分析とニューラルネットワークを組み合わせた手法」を構築しました。海洋内部の物理・生物学的な変化から予測される DIC との差を利用することで、従来必要だった淡水の端成分^{*4}組成をあらかじめ設定せずに、氷河由来の淡水の割合を推定できます。

2012～2024 年の観測に適用した結果、淡水の影響は棚氷前面から沖合のおよそ南緯 64 度まで広がっていました。また、代表的な海流輸送量を用いると、淡水供給量はトッテン棚氷で年間 70 ± 7 ギガトン（Gt）^{*5}、モスクワ大学棚氷で年間 53 ± 9 ギガトンと見積もられ、衛星観測による推定と概ね整合しました。

なお、本研究成果は 2026 年 9 月 11 日（金）公開の Nature Communications 誌にオンライン掲載されました。



東南極に広がる氷河由来の淡水。2012～2024 年の海洋観測から推定した氷河由来の淡水の分布（左）と棚氷底面からの融解水量（右）。氷河由来の淡水の割合はトッテン棚氷とモスクワ大学棚氷の前面で高く、沖合に向かって低下しながらおよそ南緯 64 度まで広がっていた。

【背景】

南極氷床は地球上の淡水の約 70% を蓄え、すべて融けた場合には全球平均海面を約 58 m 上昇させる量に相当します。地球温暖化が進む中、南極氷床の変化とそれに伴う海面上昇への影響が懸念されています。特に海に張り出した棚氷の底面には、周囲より暖かい変質周極深層水 (mCDW) *⁶ が入り込み、底面融解を促進します。棚氷が薄くなると、内陸氷床をせき止める働きが弱まり、海への氷の流出が加速する可能性があります。

東南極のトッテン棚氷とモスクワ大学棚氷は、海面下にあるオーロラ氷底盆地から氷を排出し、すべて融けると全球平均海面を約 6 m 上昇させる重要な地域です。一方、厳しい海況と観測点の少なさから、氷河由来の淡水が海中でどのように広がるかを三次元的に把握することは困難でした。従来の化学トレーサーによる方法では、混合する水の性質 (端成分) を設定する必要があり、その時空間変動が推定誤差の一因でした。

【研究手法】

南極沿岸では、比較的暖かい mCDW が棚氷の下に流れ込み、棚氷底面を融かします。そこで生じた淡水を含む海水は軽くなり、周囲の海水と混ざりながら上昇します (図 1)。

研究グループは、このような氷河由来の淡水の影響を海水中の溶存無機炭素 (DIC) の変化から捉えるため、全球海洋化学データベース GLODAPv2.2023 の 2000 年以降の高品質データを用い、外洋域と沿岸域について別々に DIC を推定するモデルを構築しました。まず統計的手法である重回帰分析で説明変数を選び、その後、ニューラルネットワークによる深層学習で非線形関係を最適化しました。説明変数には、水温、塩分、見かけの酸素消費量 (溶存酸素から算出)、水圧を用いました。

このモデルを用いて、外洋域と沿岸域で予測される DIC の差から、従来のように淡水の端成分をあらかじめ設定することなく、氷河由来の淡水の割合を推定しました。さらに、南極地域観測隊 (JARE) と GLODAP の 2012~2024 年の観測データ、及びトッテン棚氷前面で 2022~2024 年に取得した係留観測データに本手法を適用しました。

【研究成果】

本手法を前述の 2012~2024 年に東南極で得られた海洋観測データに適用したところ、トッテン棚氷とモスクワ大学棚氷の前面では、海面付近だけでなく海洋内部にも氷河由来の淡水が分布していることが明らかになりました (図 2)。

さらに、海面から約 1,000 m の深さまでの海水を平均して調べたところ、氷河由来の淡水の割合はトッテン棚氷とモスクワ大学棚氷の前面で 2% を超え、沖合に向かって徐々に低下し、南緯約 64 度付近ではほぼ 0% となりました。このことから、棚氷から供給された淡水の影響が、周囲の海水と混ざりながら沖合まで広がっていることが示されました。

また、海流の代表的な輸送量 (1.0 スベルドラップ (Sv) *⁷) を用いて棚氷底面から供給される融解水量を推定したところ、トッテン棚氷では年間 70 ± 7 Gt、モスクワ大学棚氷では年間 53 ± 9 Gt となりました。これらの値は、これまでの衛星観測に基づく底面融解量の推定値と概ね一致しました。また、2010 年代と 2020 年代の観測データを比較した結果、2020 年代の推定淡水供給量は 2010 年代に比べて、トッテン地域で $130 \pm 26\%$ 、モスクワ大学地域で $218 \pm 46\%$ 増加する値となりました。ただし、観測時期・地点が限られており、観測データの分類方法によって推定される変化量も異なるため、長期的な増加傾向を示す結果とは現時点では結論できません。

【今後への期待】

本手法は、水温・塩分・溶存酸素・水圧という比較的広く観測される項目から氷河由来の淡水を推

定できるため、観測が限られる南極沿岸域での継続監視に活用できる可能性があります。今後、南大洋で拡充する Argo フロート観測や長期流速観測と組み合わせることで、南極沿岸の棚氷融解と海洋淡水化の長期変動をより詳しく把握し、氷床－海洋相互作用や将来の海面上昇予測の不確実性低減につながることを期待されます。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費基盤研究 (S) JP22H05003 及び南極地域観測隊 (JARE) 重点研究観測 AJ1003 の支援を受けて実施されました。また、GLODAP 及び JARE の観測・データ整備に携わった研究者・関係者の協力を得ました。

論文情報

論文名	Three-dimensional reconstruction of glacier-derived freshwater in East Antarctica using an end-member-independent hydrographic parameterization (端成分に依存しない海洋観測パラメータ化による東南極の氷河由来淡水の三次元復元)
著者名	渡辺 豊 ¹ 、平野大輔 ^{2,4,5} 、大橋良彦 ⁴ 、杉田 雅 ³ 、中野善之 ⁶ 、真壁竜介 ^{4,5,7} 、溝端浩平 ⁷ (¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究院、 ² 北海道大学低温科学研究所、 ³ 北海道大学大学院環境科学院、 ⁴ 国立極地研究所、 ⁵ 総合研究大学院大学、 ⁶ 海洋研究開発機構、 ⁷ 東京海洋大学)
雑誌名	Nature Communications (英国の総合科学誌)
D O I	10.1038/s41467-026-77441-z
公表日	2026 年 9 月 11 日 (金) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 特任准教授 渡辺 豊 (わたなべ ゆたか)

T E L 011-706-2371 F A X 011-706-2371 メール yywata@ees.hokudai.ac.jp

U R L <https://yiyiwata.jimdofree.com/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

国立極地研究所広報室 (〒190-8518 立川市緑町 10-3)

T E L 042-512-0655 F A X 042-528-3105 メール koho@nipr.ac.jp

海洋研究開発機構企画部門事業推進部報道室 (〒237-0061 横浜市金沢区昭和町 3173-25)

T E L 045-778-5690 メール press@jamstec.go.jp

東京海洋大学総務部総務課広報室 (〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7)

T E L 03-5463-1609 メール so-koho@o.kaiyodai.ac.jp

【参考図】

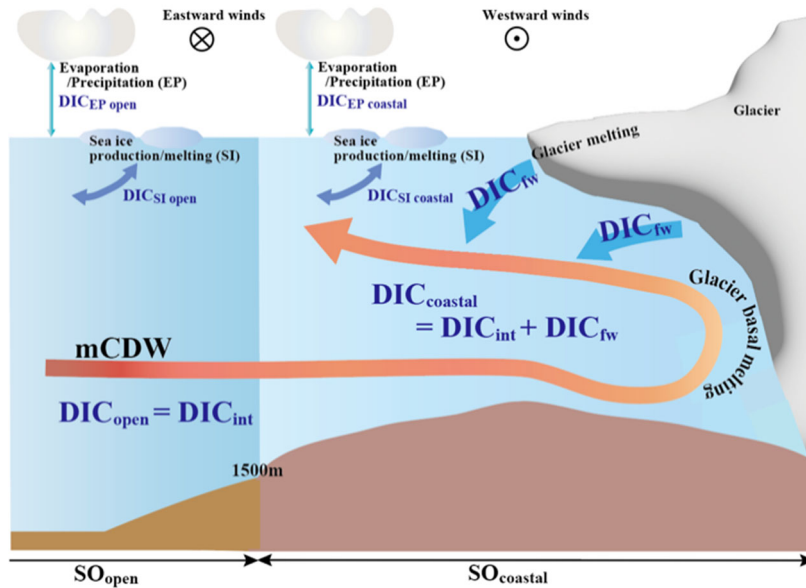


図 1. 氷河由来の淡水を推定する仕組み。比較的暖かい海水（変質周極深層水（mCDW））が棚氷の下に流れ込み、棚氷底面を融かす。融解によって生じた淡水を含む海水は軽くなり、周囲の海水と混ざりながら上昇する。本研究では、外洋域と南極沿岸域で推定される溶存無機炭素（DIC）の違いを利用して、海水に含まれる氷河由来の淡水の割合を求めた。

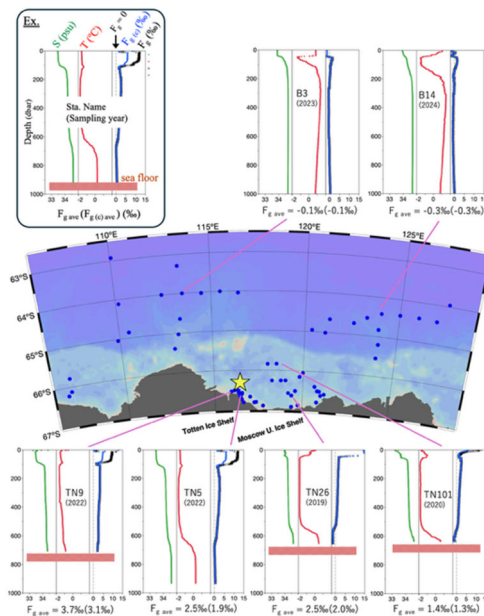


図 2. 東南極における氷河由来の淡水の鉛直分布。2012～2024 年の海洋観測から推定した、代表的な観測地点における氷河由来の淡水の深さ方向の分布。トッテン棚氷とモスクワ大学棚氷の前面では、表層だけでなく海中にも氷河由来の淡水（ $F_g \geq 0$ ）が分布していることが示された。表層では海氷の形成・融解の影響を補正している。

【用語解説】

- *1 棚氷 … 陸上の氷床・氷河が海へ流れ出し、海面に浮いている厚い氷。内陸の氷が海へ流れ出すのを抑える働きがある。
- *2 溶存無機炭素（DIC） … 海水中に溶けている二酸化炭素、炭酸水素イオン、炭酸イオンの総量。淡水の混入などによって濃度が変化する。
- *3 溶存酸素 … 海水中に溶けている酸素のこと。水温や海水の循環、生物活動などによって濃度が変化するため、海水の性質や海洋内部の過程を知るための重要な指標である。本研究では、氷河由来の淡水を推定するための説明変数の一つとして用いた。
- *4 端成分 … 複数の水が混ざる前の、それぞれの水の基準となる性質・組成。従来の混合解析ではあらかじめ値を設定する必要がある。
- *5 ギガトン（Gt） … 10 億トン。本研究では1 年間に海へ供給される淡水量の表現に用いている。
- *6 変質周極深層水（mCDW） … 南極周辺の比較的暖かい深層水が陸棚上で変質した水塊。棚氷下へ入り込むと底面融解の熱源になる。
- *7 スペルドラップ（Sv） … 海流の流量を表す単位。1Sv は毎秒 100 万 m^3 。