

## 海洋の渦状循環が温かい海水を湧昇させ棚氷を融かす

～世界の脅威となっている南極棚氷の融解に新仮説～

### ポイント

- ・南極沿岸流の渦状循環と海底との相互作用が西南極棚氷融解を決定するという新仮説。
- ・南極沿岸流が強くなると、棚氷全面部の渦状循環が強化、中心部に上昇流を伴い、高温水を湧昇。
- ・「西南極損失の氷は人為起源である」という近年提唱された仮説を白紙に戻す発見。

### 概要

北海道大学低温科学研究所の中山佳洋助教、韓国極地研究所（KOPRI）のテウパク博士らの研究グループは、パインアイランド/スウェイツ棚氷\*1などの融解が、海流と海底の相互作用によって決定されていることを世界で初めて明らかにしました。

西南極アムンゼン海に位置するパインアイランド棚氷/スウェイツ棚氷は、近年南極で最も急速に融解し、氷河を海に流出させ、海面上昇に大きな影響を与えています。もしスウェイツ氷河全体が融ければ、地球の平均海面は約 65cm、周囲の氷河が連鎖的に崩壊すると、海面水位は 5m も上昇する可能性があります。これまで、西南極氷河の融解の原因は、アムンゼン海大陸棚と外洋が接する領域からの風が、大陸棚に流れ込む周極深層水の流れを制御していること（外洋風説）と考えられていました。しかし、数値モデル研究は、この説を証明することができず、喫緊の課題となっていました。

研究グループでは、観測再現性を追求したモデル開発を行ってきました。他のモデル研究と比べ、格段に良く過去の観測結果を再現できたことが、今回の発見に繋がりました。本研究は、南極沿岸流の渦状循環と海底が相互作用することで西南極棚氷融解を決定するという新仮説を提案しました。

具体的には、過去の氷河期に氷河が削って形成された谷の東側斜面に沿って、棚氷を融解させる温かい水塊が流れてきます。この水塊の一部は棚氷下部へと侵入し、西斜面に沿って流出します。南極沿岸域を流れる海流が強くなると、谷内部の流れが強化され、強い渦状の循環が形成されます。渦状の循環は中心部に上昇流を伴い、水深 400~500 メートル以深に存在する暖かい海水を持ち上げます。この暖かい海水が冷たい棚氷のある水深まで湧昇し、棚氷を融かすのです。これまで支持されてきた外洋風説とは異なる新たな仮説です。本メカニズムの駆動源である沿岸流は、外洋の風と関連性が低いことも示され、将来予測のシナリオも大きく書き変える可能性を示唆しています。

本研究の成果は、2024 年 4 月 11 日（木）公開の Nature Communications にオンライン掲載されました。

## 【背景】

南極大陸には、地球上の氷の約90%が存在し、南極の氷が全て融解すると海水準は約60メートル上昇するとされています。南極の氷は、その上に雪が降り積もることで形成され、徐々に大陸沿岸部へと流れ、一部の地域では海へと流れ込みます（図1）。その中でもアムンゼン海東部では、多量の氷が南極大陸上から海へと流出し、南極氷床による海面上昇の寄与の約70%に相当します。特に、西南極のアムンゼン海に位置するパインアイランド棚氷/スウェイツ棚氷は、近年南極で最も急速に融解し、氷河を海に流出させ、海面上昇を脅かしています。もしスウェイツ氷河全体が融ければ、地球の平均海面は65cm以上上昇し、周囲の氷河に連鎖的な影響を与え、海面水位は5mも上昇する可能性があります。

南極から海への氷の流出は、暖かい海水が棚氷下部へ流入することによって引き起こされます（図1、2）。暖かい海水の棚氷下部への流入は、棚氷の融解/薄化、棚氷による氷河流動をせき止める効果の弱化、氷河流動の加速、大規模な南極氷床の海洋への流出を引き起こし、南極大陸上から海への氷の流出に繋がります。棚氷は、湾内など囲まれた領域に形成されやすく、氷河の流れを塞ぎとめる効果があることから、南極からの氷の流出を抑制する"栓"と例えられることがあります。例えば、もし、ある氷河の棚氷が瞬間的に失われてしまえば、氷河の流動を止めている"栓"が失われてしまうので、上流部の氷河の流れは急激に加速して、大量の氷が海へと流出してしまうこととなるのです。

そのため、南極沿岸域の海が棚氷融解を引き起こすメカニズムを理解することが、将来的な南極による海面上昇を予測するための課題となっています。このような背景において、これまで、西南極氷河の融解の主な原因は、アムンゼン海大陸棚と外洋が接する領域からの風が、大陸棚に流れ込む周極深層水の流れを制御していることだと考えられていました。しかし、これまでのモデル研究は、この説を証明することができず、原因の理解が喫緊の課題となっていました。

## 【研究手法】

南極域の観測は、場所/時刻/観測項目などがばらばらで、海洋場の全体像や長期変動を捉えることが難しく、実際の海の中で何が起きているかを理解することが非常に困難です。研究グループでは、この難局を打破すべく、観測再現性（海洋数値モデルにおいて観測された海の状態をできるだけ再現すること）を追求してモデル開発を行ってきました。本研究においても、他のモデル研究と比べ、格段に良く再現できたことで、実際の海の中で何が起きているのかを理解することができ、これまで注目されてこなかった、新たな海洋内部のプロセスの理解に繋がりました。

本研究では、研究グループで開発したアムンゼン/ベリングスハウゼン海領域海洋モデルを用いて、特に、融解量、南極大陸からの氷損失（海面上昇への寄与）の大きい二つの棚氷（パインアイランド棚氷とスウェイツ棚氷（図2））に着目した解析を行ないました。領域モデルの空間解像度（水平2-3km、鉛直70層）となっています。

## 【研究成果】

本研究は、南極沿岸流の渦状循環と海底が相互作用することで西南極棚氷融解を決定するという新仮説を提案しました（図3）。過去の氷河期に氷河が削って形成された谷の東側斜面に沿って、棚氷を融解させる温かい水塊が流れてきます。この水塊の一部は棚氷下部へと侵入し、西斜面に沿って流出します。南極沿岸域を流れる海流が強くなると、谷内部の流れが強化され、谷の末端部近くの棚氷域では、入ってくる流れと出ていく流れが強化され、強い渦状の循環が形成されます。渦状の循環は中心部に上昇流を伴うことから、水深400~500メートル以深に存在する暖かい海水が持ち上げられます。

このようにして暖かい海水が棚氷の水深まで持ち上げられ、棚氷を融かしているのです。

## 【今後への期待】

これまで、西南極氷河の融解の主な原因は、アムンゼン海大陸棚と外洋が接する領域からの風が、大陸棚に流れ込む周極深層水の流れを制御しているためであると考えられていましたが、本研究は、海底の海流による暖水湧昇現象が西南極氷河の長期融解のメカニズムであることを提案して、注目を集めています。特に、今回発見されたプロセスの原因となる南極沿岸流は、南極沿岸を数千キロメートルにわたって流れる大規模な海流の一部です。この海流は、1,000km以上離れたベリングスハウゼン海から吹く風の影響を受けていると考えられます。将来予測研究においては、外洋の東西風と氷床損失が関連しているということを仮定して行われてきたものも多くあり、新たなメカニズムの提案は、将来予測のシナリオを大きく書き換える可能性もあります。

## 論文情報

|     |   |
|-----|---|
| 論文名 | Amundsen Sea Circulation Controls Bottom Upwelling and Antarctic Pine Island and Thwaites Ice Shelf Melting (アムンゼン海沿岸流が海底からの湧昇流を形成しパインアイランド/スウェイツ棚氷融解を決定する) |
| 著者名 | 中山佳洋 <sup>1</sup> 、Park Taewook <sup>2</sup> 、SungHyun Nam <sup>3</sup> ( <sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所、 <sup>2</sup> 韓国極地研究所 (KOPRI)、 <sup>3</sup> ソウル大学)      |
| 雑誌名 | Nature Communications   |
| DOI | 10.1038/s41467-024-47084-z  |
| 公表日 | 2024年4月11日(木)(オンライン公開)  |

## お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 助教 中山佳洋 (なかやまよしひろ)  
TEL 011-706-7432 / 5480 FAX 011-706-7364  
メール Yoshihiro.Nakayama@lowtem.hokudai.ac.jp  
URL <https://sites.google.com/view/umi-nakayama-japanese>

## 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)  
TEL 011-706-2610 FAX 011-706-2092 メール [jp-press@general.hokudai.ac.jp](mailto:jp-press@general.hokudai.ac.jp)

【参考図】

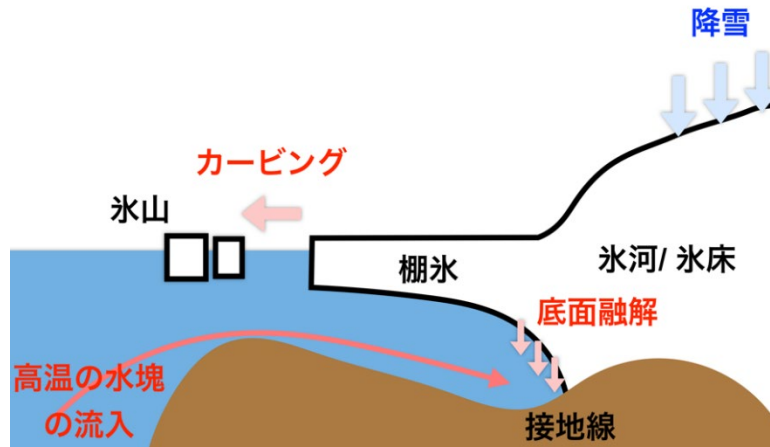


図 1. 南極の質量収支を表す概略図。

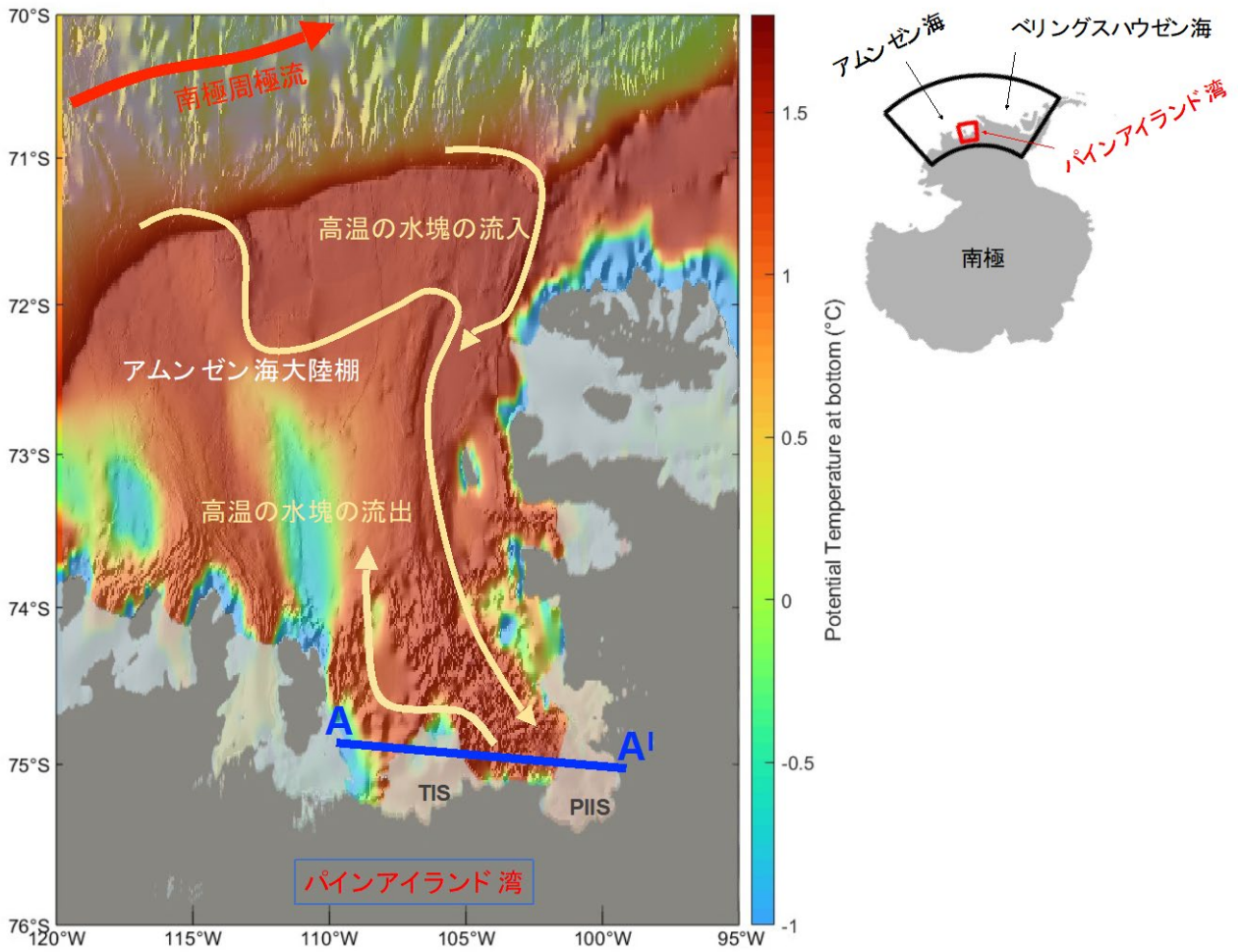


図 2. (左) アムンゼン海域の海洋循環の概略図。橙の矢印は大陸棚上の海洋循環と暖かい水塊の経路を表す。(右) モデル計算領域 (黒線) と拡大領域 (赤線)。

### 棚氷融解大の時

### 棚氷融解小の時

ポテンシャル水温(°C)

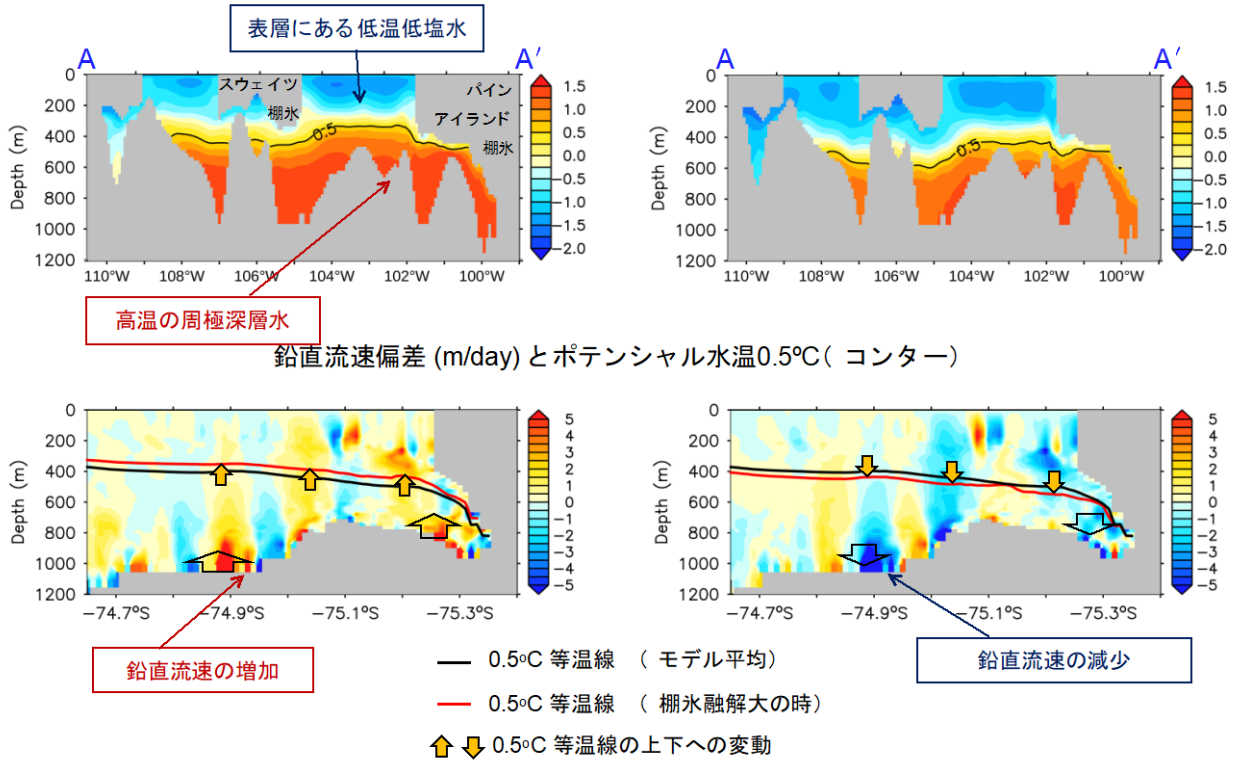


図3. 図2に示すA-A'間の(上段)水温、(下段)鉛直流速の断面図。左図は、棚氷融解が高い時期、右図は棚氷融解が低い時期を表す。棚氷融解が高い(低い)時期は、鉛直流速が強化(弱化)され、高温の水塊がより浅い(深い)水深に位置していることが確認できる。

#### 【用語解説】

\*1 棚氷 … 海へと押し出され、陸上から連結して洋上にある氷のこと。