

南極棚氷底面融解の原因

Heat sources for basal melting of Antarctic ice shelves

草原 和弥 (北海道大学低温科学研究所), 羽角博康 (東京大学大気海洋研究所)

Kazuya Kusahara, Hiroyasu Hasumi

1. はじめに

現在, 南極海では海水生成量の減少や南極氷床の海への加速度的な流出量の増加・崩壊等が観測・報告されており, 雪氷圏-海洋圏が一体となった大きな環境変化が科学的・社会的に注目を集めている. 南極氷床と南大洋の相互作用の活発化は極域の海洋を急激に淡水化させ, 地球気候システムに大きな役割を担う海洋深層循環を弱体化させる恐れがある. 本研究は氷床を起源とする氷(棚氷)の融解プロセスを海氷海洋結合モデルに導入し, 南極棚氷の底面融解を引き起こす原因(熱源)を探るものである.

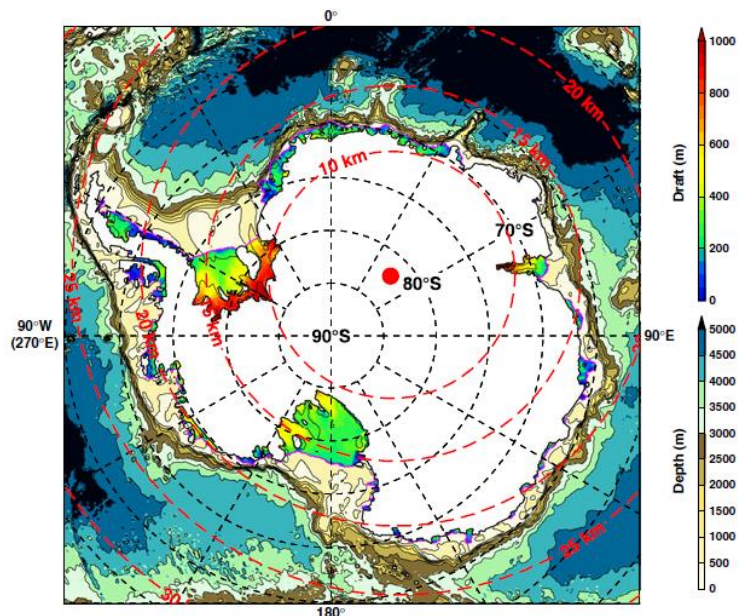


図 1: 棚氷-海氷-海洋結合モデルの海底地形と棚氷の厚さ(Draft). 赤破線はモデルの水平解像度.

2. 数値モデルと実験設定

東京大学大気海洋研究所及び海洋開発機構で共同で開発・運用されている海氷海洋結合モデル(COCO)に棚氷要素を組み込んだ数値モデルを使用した¹⁾. モデルの領域はおおよそ南緯 35°以南の南大洋全域である(図 1). 南極沿岸域の水平解像度は 10-20km である.

3. 結果および議論

図 2 は本棚氷-海氷-海洋結合モデルによって再現された棚氷底面の一年間の単位面積当たりの融解率の水平分布図である (CTRL 実験). 1979年から2011年の経年変動を含む海面境界条件(ECMWF 再解

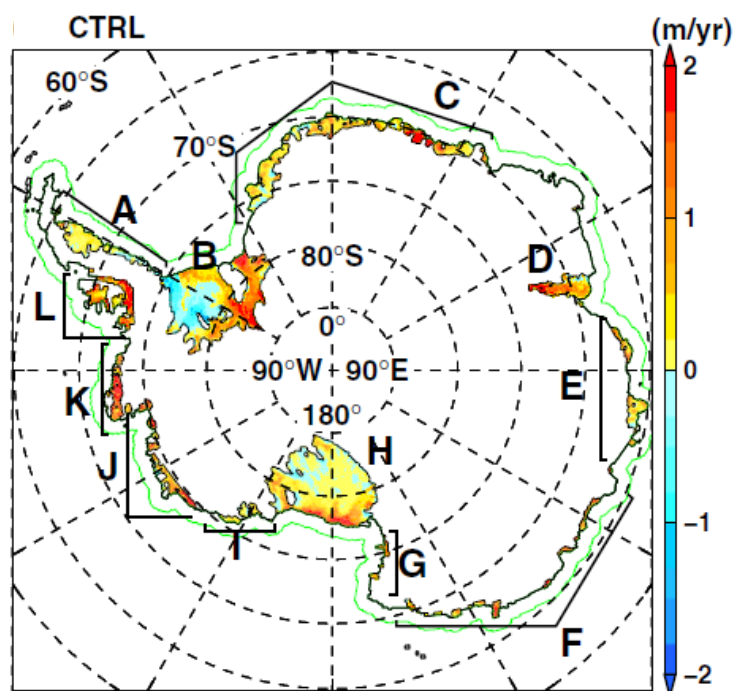


図 2: 南極棚氷年間底面融解量. 正值が融解.

析データから計算)によって駆動した経年変動実験においても、同様の融解の水平分布が得られた。南極の棚氷は正味融解しており、その全融解量は年間 770-944 Gt 見積もられた。

南極の三大棚氷であるフィルフィナー・ロンネ棚氷(図 2 の B の棚氷)、アメリー棚氷(D)、ロス棚氷(H)では結氷域も再現されている。これらの三大棚氷の面積は南極棚氷の総面積の 62%を占めているが、その融解量は全体の 44%しかない。一方、南極沿岸域に細長くへばり付いた棚氷の融解量は、南極棚氷の総融解量の半分以上寄与している。

海洋の熱によって棚氷底面は融解する。棚氷底面の融解に寄与する海洋起源の熱源は大きく三つある。一つ目は Shelf Water (SW, 冬季沿岸水)である。これは冬季、沿岸域で海氷生成時に形成される水塊で、高塩分・表層結氷水温で特徴づけられる。SW は高塩分のため、周囲の水より重く、海底まで沈み込む。棚氷下(棚氷の厚さは 100-1500 m)では、その高圧力のために、現場の結氷水温は表層の結氷水温より低い。そのため、表層の結氷水温を持つ SW が棚氷底面に接すると、棚氷底面は融解する。二つ目は Circumpolar

Deep Water (CDW, 中層水)の浸入である。この水塊は沖の南極周極流の中層の水で、高温・高塩分で特徴づけられる。この水塊は大陸棚外縁(Shelf Break)の切れ目等をとおって、海底地形に沿って棚氷下に到達し、棚氷を融解させる。三つ目は Antarctic Surface Water (AASW, 南極表層水)である。この AASW は海氷が溶けることによって形成され、夏季の太陽放射によって温められた水塊である。AASW は低塩分・高温で特徴づけられる。棚氷近辺にこの表層水が多く存在すると、沿岸に平行に吹く西風によってこの水塊が棚氷下への押し込まれ(エクマン収束)、棚氷底面を融解させる。

本研究では、棚氷底面の融解を引き起こす海洋の熱源を調べるために、棚氷縁辺(棚氷末端と海の境界)での水塊流入を各棚氷で調べた(図 3)。棚氷下に侵入する水塊は棚氷毎に大きく異なっていることがわかる。西南極域に存在している JKL の棚氷群では、中層水起源の水塊(CDW, MSW)の浸入が支配的である。一方、フィルフィナー・ロンネ棚氷(B)では、ほとんど沿岸水(SW=HSSW+LSSW)の流入で決まっている。

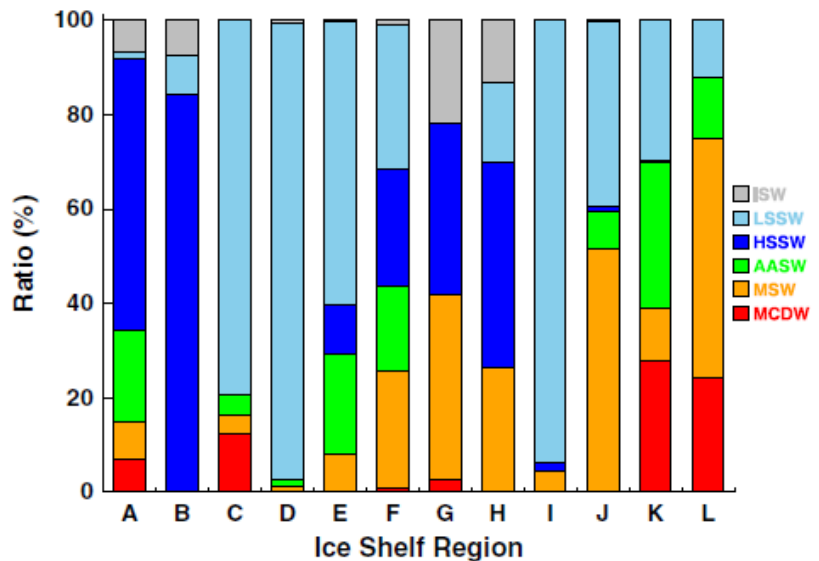


図 3: 棚氷下に流入する水塊の割合。各水塊の定義は以下に示す。ISW(Ice Shelf Water): $T(\text{水温}) < -1.9$, LSSW (Low Salinity Shelf Water): $-1.9 \leq T < -1.7$ かつ $S(\text{塩分}) < 34.6$, HSSW (High Salinity Shelf Water): $-1.9 \leq T < -1.7$ かつ $S(\text{塩分}) \geq 34.6$, AASW (Antarctic Surface Water): $T \geq -1.7$ かつ $S < 34.4$, MSW (Modified Shelf Water): $-1.7 \leq T < -1.0$ かつ $S \geq 34.4$, MCDW (Modified Circumpolar Deep Water): $T \geq -1.0$ かつ $S \geq 34.4$ 。

IPCC の気候モデルに基づく、将来気候予測によると、南大洋上の大気場では次の二つのことが予測されている。一つ目は南緯 60° 以南の領域の気温上昇であり、二つ目は偏西風の強化である。上述の現在気候における棚氷融解量が再現可能な数値モデルを用いて、将来の気候状態における棚氷の融解応答特性を調べた。

CTRL 実験に使用した海面境界条件に南緯 60° 以南に一様に+1°C~+6°Cの偏差を加えた数値実験を行なった。棚氷底面融解量が準定常に達した CTRL 実験からそれぞれ 10 年間積分を行なった。偏西風を強化した数値も実施したが、棚氷の融解量及び融解パターンは CTRL 実験と同じであった。そのため、本報告では気温を変化させた実験についてのみ記述する。

気温上昇に対する棚氷底面融解の応答は棚氷ごとに大きく異なっている(図 4)。多くの棚氷では、気温が上昇すると、底面融解量は増加傾向にある。最も大きく増加したのは、南極半島の西側に位置する L の棚氷で、83 Gt/yr から 256 Gt/yr に増加した。その次に大きな増加は C の棚氷とインド洋セクターにある棚氷群 D,E,F である。ウェッデル海の棚氷 A,B とロス海の棚氷 G,H,I は気温上昇に対して鈍い応答を示した。

気温上昇に伴う棚氷融解量の変化原因を探るために、棚氷下に流入する水塊の変化を調べた(図 5)。気温上昇による棚氷の融解量の変化は、おおよそ棚氷下に流入する熱量の変化で説明可能である(図 4 と図 5 の折れ線)。例えば、棚氷 L では気温上昇と共に、中層水及び表層水の寄与が大きくなった結果、底面融解量が大きく増加する。インド洋セクターにある棚氷 D,E,F においては、相対的に暖かい表層水の寄与が大きくなるために、底面融解量が大きく増加する。実際、表層水の棚氷下への浸入は、数は少ないが、直接現場観測においても確認されている。棚氷 B や H では、気温上昇によって、棚氷下に流入する水塊は HSSW から LSSW に変化するが、どちらも表層結氷水温の水塊であるため、気温上昇によって、棚氷融解量は大きく変化していない。

4. まとめ

棚氷-海氷-海洋結合モデルを用いて、南極棚氷の底面融解の特性を調べた。現在気候において、棚氷毎に流入する水塊が大きく異なること、温暖化時に棚氷下への水塊流入の変化(平均水温)によって、底面融解量の変化が説明できることがわかった。

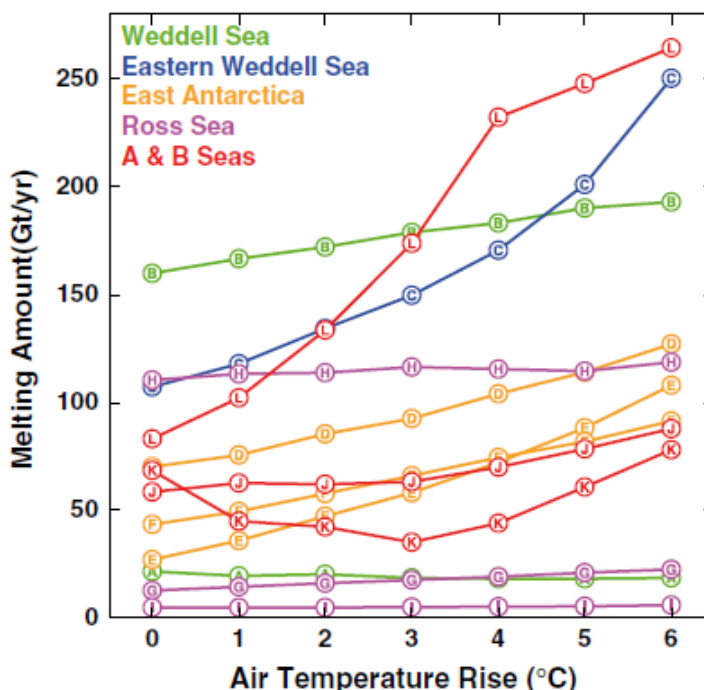


図 4: 気温上昇に対する棚氷底面融解量の変化。

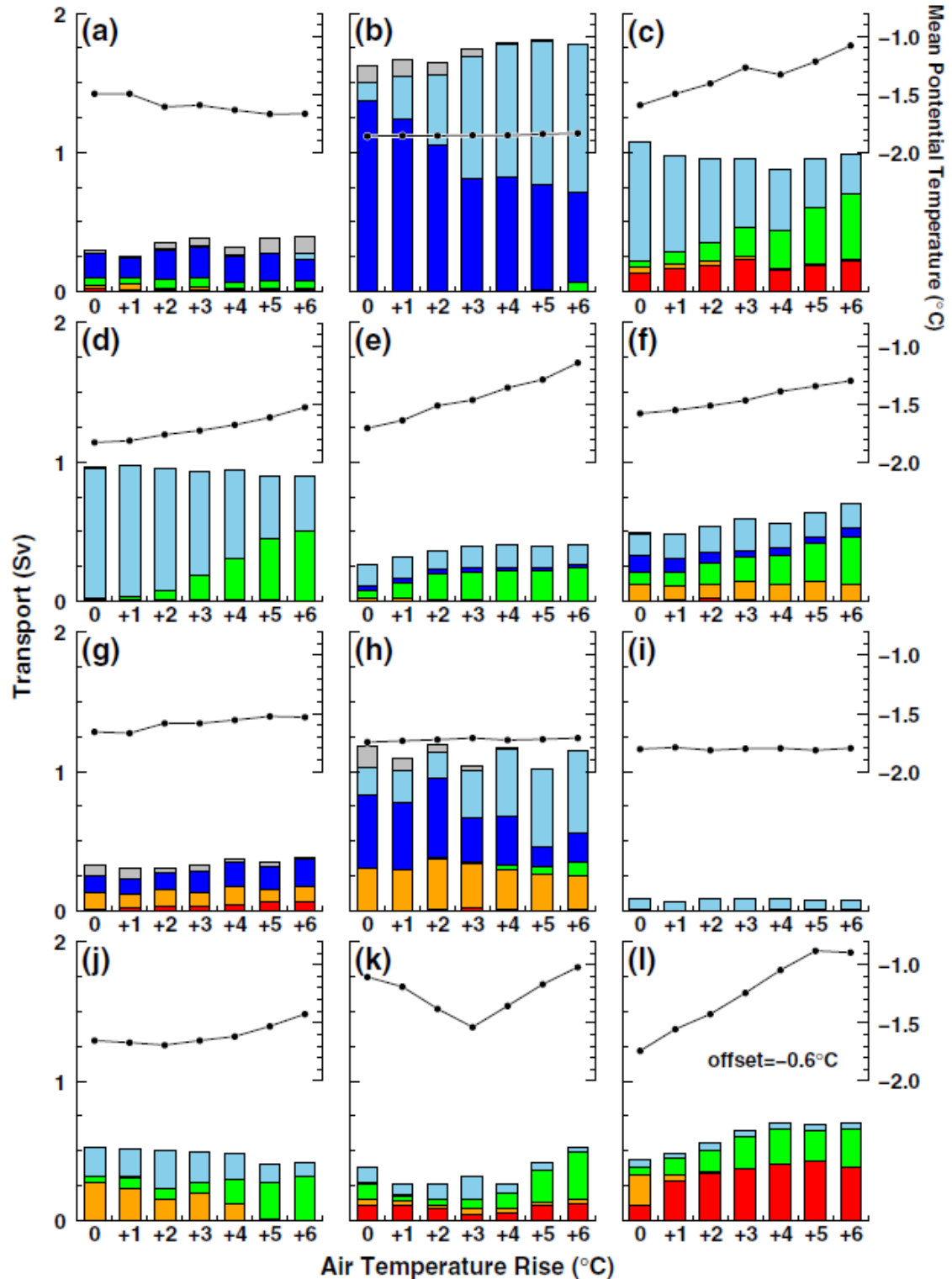


図 5: 棚氷下に流入する水塊の変化. 黒の折れ線は棚氷下への流入水の平均水温.

【参考・引用文献】

1) Kushara, K. and H. Hasumi 2013: Modeling Antarctic ice shelf responses to future climate changes and impacts on the ocean, Journal of Geophysical Research (Oceans), Vol 118, doi:10.1002/jgrc.20166