



Title	Effect of ice-ocean albedo feedback on summer retreat of Arctic sea ice cover [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	柏瀬, 陽彦
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第11533号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57154
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Haruhiko_Kashiwase_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）

氏 名 柏瀬 陽彦

学 位 論 文 題 名

Effect of ice-ocean albedo feedback on summer retreat of Arctic sea ice cover

（北極海の海水融解期における海水-海洋アルベドフィードバック効果）

北極海は近年の温暖化の影響が最も顕著に現れている海域と言われており、夏季の海水面積の減少（特に2000年代以降は激減）や海水厚の減少、多年氷域の減少などが観測されている。これらのような北極海での顕著な変化の背景には、北極海での気温上昇や外洋からの熱流入の増加の他、海水-海洋アルベドフィードバックと呼ばれる正のフィードバックが働いていると考えられている。このフィードバックは海水と開水面でアルベド（日射に対する反射率）が大きく異なる（それぞれ0.7および0.07程度）ことに起因し、海水の減少に伴って日射の吸収が強化されることで海水の融解が促進するというものである。

南極海など季節海水域での海水融解プロセスにおいては、特に融解初期の沖向き風（海水発散）をきっかけとした海水-海洋アルベドフィードバックの効果が重要な役割を持つことが先行研究によって示唆されている（Nihashi and Cavalieri, 2006）。先行研究によると、季節海水域では夏季に開水面へ大量の日射が吸収されることによって側面・底面融解が卓越する（Maykut and Perovich, 1987）一方、北極海のような多年氷域では表面融解が卓越すると考えられている（Maykut and Untersteiner, 1971）。しかし、2007年のBeaufort海で底面での融解量が1990年代の6倍程度であること（Perovich et al., 2008）から示唆されるように、近年は海水減少に伴って多年氷域である北極海が急激に季節海水域化している。そのため、北極海でも南極海などと同様に海水-海洋アルベドフィードバックが海水融解に効いてくる可能性が高くなった。実際に、海水後退が顕著な海域では開水面から海洋表層に入る日射が増加しており、その熱量は年平均での開水面の割合と有意な相関を持つことが示されている（Perovich et al., 2007）。しかし、これまでの研究で明らかになったのは海水減少が海洋表層の熱と良い対応を示すことにとどまっている。アルベドフィードバックの前提となる、開水面に入った熱で海水が融解するという仮定はどの程度成り立っているか？海水融解量の季節変動・経年変動が量的に開水面に入った熱で説明できるのか？融解の進行において正のフィードバックが本当に働いているのか？もしそうであるなら、北極海のどの海域で顕著であるのか？といったことは良くわかっていない。これら北極海の海水融解における海水-海洋アルベドフィードバック効果に対する本質的な問題に対して、本研究では種々の衛星観測による海水データや熱収支解析を駆使することで明らかにすることを目指す。

はじめに衛星マイクロ波放射計が利用可能な1979–2012年について、海水密接度および気

象再解析データ（ERA-interim）を使用して1日毎に北極海全域の開水面および海水表面での熱収支を計算した。その結果、北極海（65°N以北）の海水域（海水密接度 $\geq 30\%$ ）において融解期の熱フラックスは開水面に入る短波放射が支配的であり、開水面から海洋表層に入る熱量は氷厚を1mと仮定した場合に海水密接度の変化から推定される融解量と季節変動・経年変動ともに良い対応関係を示した。また、海水漂流速度を考慮して海域別に熱収支解析を行った結果、この対応関係は海水が激減している太平洋セクター（Beaufort海、Chukchi海、East Siberian、Laptev海、Kara海）で顕著であった。開水面に吸収された日射によって海水が融解することは、海水-海洋アルベドフィードバックが存在するために必要な条件であり、本研究の熱収支解析によってこの前提が満たされていることが示された。ここで、融解期の海水密接度データにはメルトポンドなどの影響による不確かさが含まれるため注意が必要である。本研究では海水密接度データの信頼性を評価するため、海水密接度に基づいた平均アルベドとAVHRRによって観測されたアルベドとの比較を行った結果、両者の変動は海域・時期に限らず良い一致を示した。この結果を根拠に、本研究では海水密接度をある程度信頼できるものとして扱うこととした。

次に、海水融解の多寡を決定する要因を明らかにするため、様々な要素と融解量との比較を行った。特徴的な年として融解が少なかった場合と融解が大きかった場合の平均海水密接度、海水発散、融解量を比較した結果、太平洋セクターでは融解初期に海水発散（収束）がある場合に海水密接度の減少が促進（抑制）され、その1ヶ月後から融解量に顕著な差が表れることが確認された。一方で融解期中盤以降の海水発散には融解量との対応は見られなかった。この対応関係は解析期間を通じて有意であり、融解初期の海水発散と海水密接度との同時相関は -0.45 程度、また初期の海水発散と1-2ヶ月後の融解量とのラグ相関は 0.44 程度であった。さらに、トレンドを除去した場合には初期の海水発散とその後の融解量との関係はより顕著なものとなり、海域によっては 0.70 以上の強い相関が示された。この結果は初期の海水発散をきっかけとした海水-海洋アルベドフィードバックの効果を示している。

本研究は、北極海の海水融解期における海水-海洋アルベドフィードバック効果に対して、初めて熱収支計算をもって量的に評価した研究である。これにより、北極海において開水面から入る熱が海水融解を決める主要因であり、融解量の季節変動・経年変動もそれによって決まるというフィードバック効果の前提が示された。さらに、北極海の海水後退が顕著な海域において、融解初期の海水発散をきっかけとする海水-海洋アルベドフィードバック効果が示唆され、この効果が北極海の海水後退を決める重要な要素であることが示された。