

夏季北極海における海氷-海洋アルベドフィードバック効果に関する研究

柏瀬 陽彦^{1,2}、大島 慶一郎²、二橋 創平³

¹ 国立極地研究所

² 北海道大学低温科学研究所

³ 苫小牧工業高等専門学校

A study of ice-ocean albedo feedback effect on summer retreat of Arctic sea ice cover

Haruhiko Kashiwase^{1,2}, Kay I. Ohshima² and Sohey Nihashi³

¹National Institute of Polar Research

²Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

³Tomakomai National College of Technology

The Arctic sea ice is one of the most sensitive indicator of the recent global warming. Recent satellite observations have revealed that the summer Arctic sea ice cover has been rapidly decreasing. A positive feedback caused by the difference in surface albedo between ice and ocean (~ 0.7 and ~ 0.07 , respectively), called as “ice-ocean albedo feedback”, is considered as a possible mechanism for the rapid change of the Arctic sea ice cover. However, the impact of this feedback on the Arctic sea ice retreat is still poorly understood. This study examines how the ice-ocean albedo feedback affects the Arctic sea ice retreat, based on analyses using sea ice data from satellite microwave radiometers and atmospheric objective analysis data. First, we calculated the daily net heat flux at the water and ice surfaces in Arctic sea ice cover (defined as ice concentration $\geq 30\%$), and showed that the shortwave radiation at the water surface is the dominant heat source in the melting season. Then, we compared the heat input into the upper ocean through the open water fraction with the heat required for ice retreat, with an assumption of the constant ice thickness of 1m. The result shows that they agree well with each other for seasonal and interannual variations. These imply that the heat input into the upper ocean through the open water fraction is the main heat source for ice retreat: the required condition for ice-ocean albedo feedback is satisfied in the Arctic Ocean. Further, we compared the ice divergence with the ice melting. In the Pacific sector, ice divergence in early melting season significantly correlates with the 1-2 months lagged ice melting and this correlation is particularly strong after 2000s. The effect of ice-ocean albedo feedback is suggested to be more prominent in recent decades.

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いえる。特に、夏季の海氷面積が減少しており、2000年代以降激減していること、海氷の厚さが減少していることなどが報告されている。このような北極海での顕著な変化の背景には、海氷-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氷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）ことに起因しており、海氷が減少することでアルベドが減少（日射の吸収を促進）し、さらに海氷が減少するというものである。海氷-海洋アルベドフィードバックの効果は南極海やオホーツク海といった季節海氷域での海氷融解プロセスにおいて重要な役割を持つことが示唆されている（Nihashi and Cavalieri, 2006; Nihashi et al., 2011）。一方、北極海においても海氷激減に伴って季節海氷域化が進行している（Comiso, 2012）ことから、近年は海氷-海洋アルベドフィードバックが海氷融解に有意な影響を与えるようになったことが予想される。実際に、海氷後退が顕著な太平洋セクターで海洋表層に入る日射が増加傾向にあること（Perovich et al., 2007）はこの予想と整合的である。しかし、北極海での海氷-海洋アルベドフィードバックの影響は定性的に言われているだけであり、熱量と海氷融解との比較からそれを示した研究はないといって良い。そこで、本研究では衛星観測による種々の海氷データから熱収支計算を中心とした解析を行い、北極海での海氷-海洋アルベドフィードバックの効果を定量的に示すことを目的とする。初めに、1979-2012年の期間について衛星マイクロ波放射計（SMMR および SSM/I）による海氷密接度データと気象再解析データ（ERA-interim）を使用し、北極海の海氷域（海氷密接度 $\geq 30\%$ ）の各グリッドポイントでの熱収支を1日毎に計算した。その結果、夏季北極海の海氷域では開水面に入る熱フラックスが海氷表面に入る熱フラックスよりも有意に大きく、特に日射による加熱が重要であることが示された。次に、開水面から北極海の海洋表層に入る熱量（図1 灰線）を、海氷密接度の時間変化から推定した海氷融解に必要な熱量（図1 黒線）と比較した結果、平均氷厚を1mと仮定することで両者の季節変動および経年変動が良い対応関係を示した。また、この対応関係は特に海氷後退が大きい太平洋セクターにおいて顕著であった。開水面を通じて海洋表層に入る熱が海氷融解の主な熱源であることは、海氷-海洋アルベドフィードバックが働くための前提条件であるが、北極海ではこれが満たされていることが示唆される。さらに、海氷-海洋アルベドフィードバックの海氷融解への影響を示すため、海域毎に計算した海氷発散と融解量の各年

の変動を比較した（図 2 および図 3）。その結果、特に太平洋セクターにおいて海氷融解が開始した時期の海水発散がその後 2 ヶ月程度の時間スケールで海氷融解と有意な相関を持つこと、特に 2000 年以降に限った場合に強い相関がみられることが示された。この結果は融解初期の海水発散が開水面での日射の吸収を強化することでその後の融解を促進する海氷-海洋アルベドフィードバックの効果を示しており、同時に近年はその感度が高まっていることが示唆される。

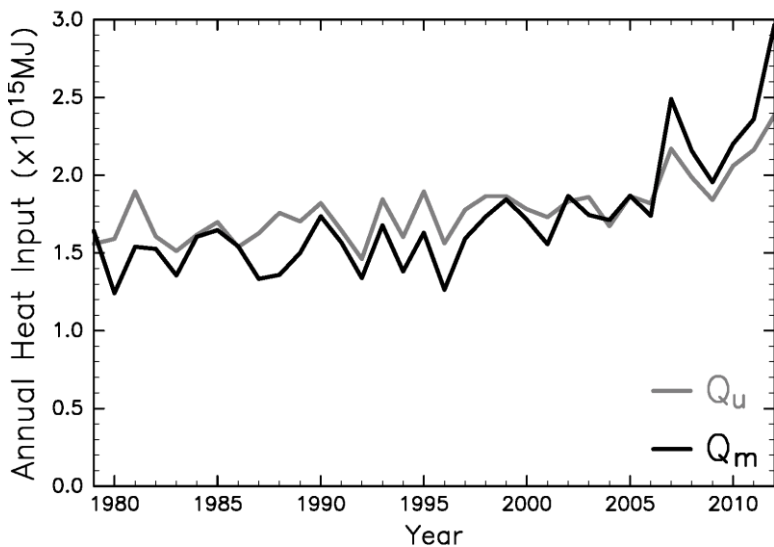


図 1. 北極海全域の海水域（海水密度 $\geq 30\%$ ）での開水面を通じて海洋表層に入る熱量（ Q_u 、灰線）および平均氷厚を 1m と仮定した場合の海水融解に必要な熱量（ Q_m 、黒線）の時系列。

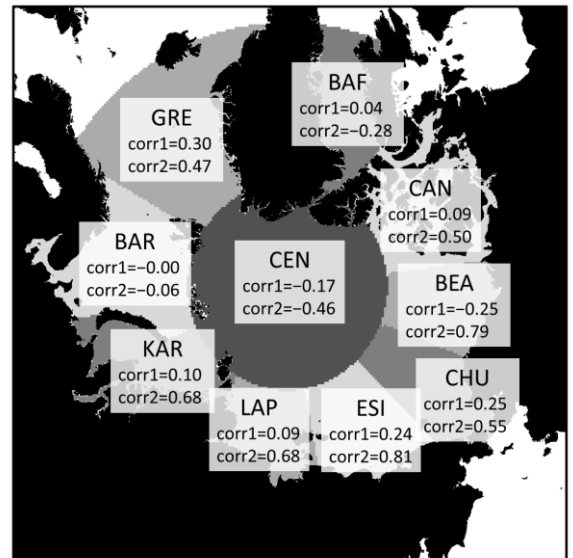


図 2. 北極海における融解初期の海水発散とその後 2 ヶ月間の海水融解との相関係数分布。corr1 は 1979-1999 年、corr2 は 2000-2012 年の期間での両者の相関係数を表す。

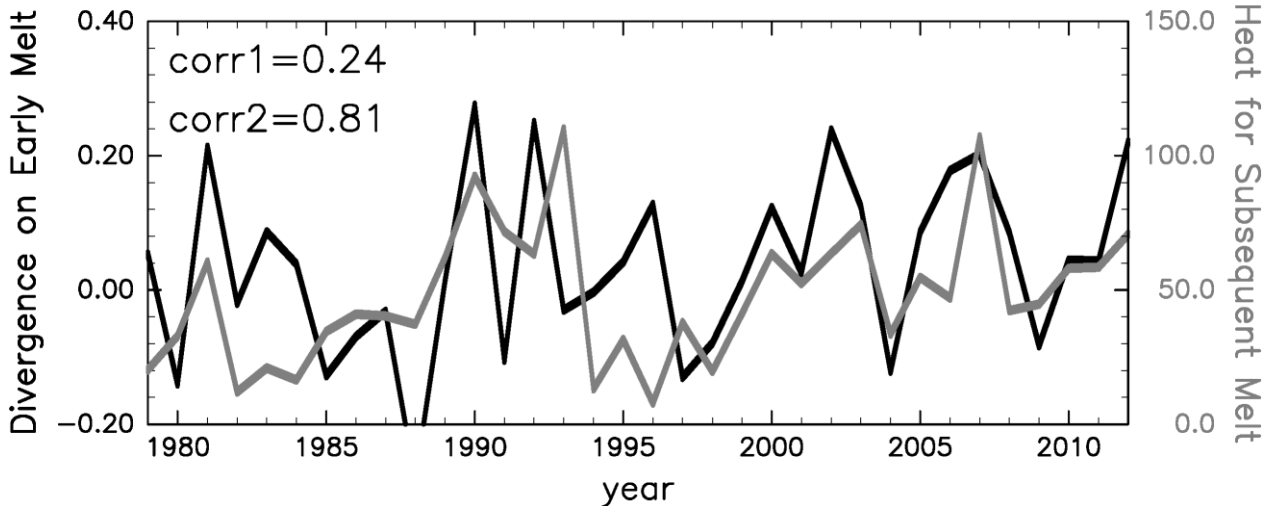


図 3. 東シベリア海（図 2、ESI）での融解初期の海水発散（黒線、単位： $\% \text{ day}^{-1}$ ）およびその後 2 ヶ月間の海水融解（灰線、単位： MJ m^{-2} ）の時系列。corr1 は 1979-1999 年、corr2 は 2000-2012 年の期間での両者の相関係数を表す。

References

- Comiso, J.C, Large decadal decline of the Arctic multiyear ice cover, *J. Climate*, 25, 1176-1193, 2012.
- Nihashi, S., and D.J. Cavalieri, Observational evidence of a hemispheric-wide ice-ocean albedo feedback effect on Antarctic sea-ice decay, *J. Geophys. Res.*, 111, C12001, 2006.
- Nihashi, S., K.I. Ohshima, and H. Nakasato, Sea-ice retreat in the Sea of Okhotsk and the ice-ocean albedo feedback effect on it, *J. Oceanogr.*, 67, 551-562, 2011.
- Perovich, D.K., J.A. Richter-Menge, K.F. Jones, and B. Light, Sunlight, water, and ice: Extrem Arctic sea ice melt during the summer of 2007, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L11501, 2008.