

# 夏季北極海の海水融解に対する ice-ocean albedo feedback の効果

柏瀬 陽彦<sup>1</sup>、大島 慶一郎<sup>2</sup>、二橋 創平<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院環境科学院

<sup>2</sup>北海道大学低温科学研究所

<sup>3</sup>苫小牧工業高等専門学校

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

Haruhiko Kashiwase<sup>1</sup>, Kay I. Ohshima<sup>2</sup> and Sohey Nihashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

<sup>2</sup>Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

<sup>3</sup>Tomakomai National Collage 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. Some studies regarded that a positive feedback caused by the difference in surface albedo (reflect ratio for the solar radiation) between ice and ocean (~0.7 and ~0.07, respectively), called as “ice-ocean albedo feedback”, is the 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. In this study, we attempt to indicate how the ice-ocean albedo feedback affects the Arctic sea ice retreat, based on the sea ice data from satellite microwave radiometers and atmospheric objective analysis data. During the summer season, sea ice retreat mainly occurs in the Pacific sector of the Arctic. From the 1990s, when the summer Arctic sea ice cover has begun to decrease, sea ice retreat in this region shows a significant correlation with the wind divergence just before the active melting season. This result suggests that the ice-ocean albedo feedback can explain the large interannual variability of the Arctic sea ice retreat. Furthermore, we conducted the heat budget analysis, and came out that the seasonal and interannual variations of the heat input into the upper ocean through the open water fraction corresponds well with that of the Arctic sea ice. This also suggests that the effect of the ice-ocean albedo feedback plays an important role for the summer Arctic sea ice retreat.

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、夏季の海水面積が減少しており、2000年代以降激減していること、海水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、ice-ocean albedo feedback 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）ことに起因しており、海水が減少することでアルベドが減少（日射の吸収を促進）し、さらに海水が減少するというものである。ice-ocean albedo feedback の効果は南極海やオホーツク海といった季節海水域での海水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）が、北極海においては定性的に言われているだけであり、定量的にそれを示した研究はないとあって良い。過去の研究によると、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、海水が激減した 2007 年の場合、観測に基づいた熱収支解析の結果からは Beaufort 海で平年の 6 倍近い量の底面融解が起こっていたこと、その一方で表面融解は平年と差が無かったことが示されており（Perovich et al., 2008）、季節海水域の特徴を示している。また、衛星観測からも北極海の多年氷域が減少していることが示されている（Comiso, 2012）。このように、多年氷域であった北極海が海水減少に伴って季節海水域化することで、海水融解に南極海やオホーツク海と同様の ice-ocean albedo feedback が効いてくる可能性が高くなった。そこで本研究では衛星マイクロ波放射計による海水データを使用して北極海での ice-ocean albedo feedback の効果について明らかにすることをめざす。本研究では衛星マイクロ波放射計の SMMR および SSM/I データを使用し、bootstrap アルゴリズムを使用して海水密接度データを得た。また、気象データとして ERA-interim を使用し、海水データとの比較を行った。解析期間は 1979-2011 年である。図 1 に 1994 年と 2007 年の 7 月から 8 月にかけての海水密接度の減少量を示す。1994 年および 2007 年はそれぞれ海水後退が極端に小さい年および極端に大きい年に相当する。図 1 からは北極海での海水後退が主に太平洋側で起きていることがわかる（他の年についても同様である）。次に、海水の減少量が何に関係しているかを明らかにするため、海水後退が顕著な海域に box（図 1 黒枠）を設定して気象データとの比較を行った。図 2 に box での海水密接度の減少量と直前（6-7 月平均）の風速の発散との散布図を示す。海水減少期に向かう 1993 年以降（図 2 ●印）では、両者には有意な正の相関があることが示されている（相関係数=0.47）。また、外れ値である 2 つの年（2003 年および 2008 年）を除いた場合、相関係数は 0.72 となる。このことは、風速場が発散傾向にあることで海水密接度が低下（海水面が増加）し、海洋表層への日射の吸収量が増加することで海水融解が促進される正のフィードバック、

つまり ice-ocean albedo feedback が働いている可能性を示唆するものである。一方で 1992 年以前では両者はほぼ無相関であるが、これは box 内が多氷域であったためであると考えられる。また、熱収支解析の結果からは融解期に開水面から吸収される熱が海氷面からのものと比較してかなり大きく、この熱量の季節・経年変動が海氷融解の変動と良く対応することが示された。この結果からも ice-ocean albedo feedback が北極海の海氷融解に対して重要な約割を持つことが示唆される。

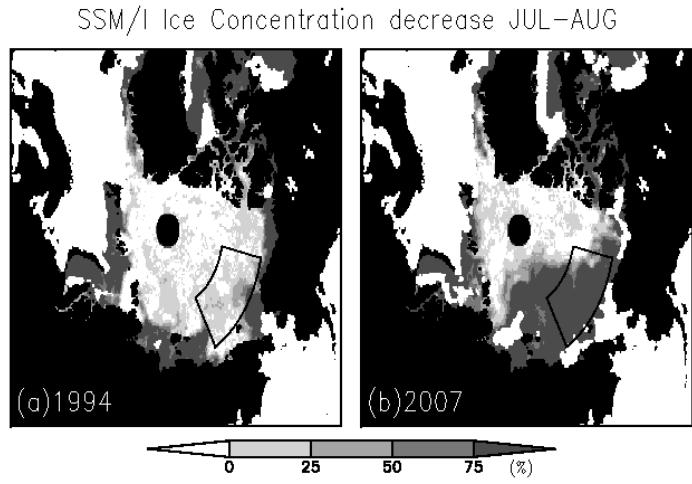


図 1. (a) 1994 年および (b) 2007 年の 7 月から 8 月にかけての海氷密度の減少量。黒枠は図 2 での比較に使用する領域を示す。

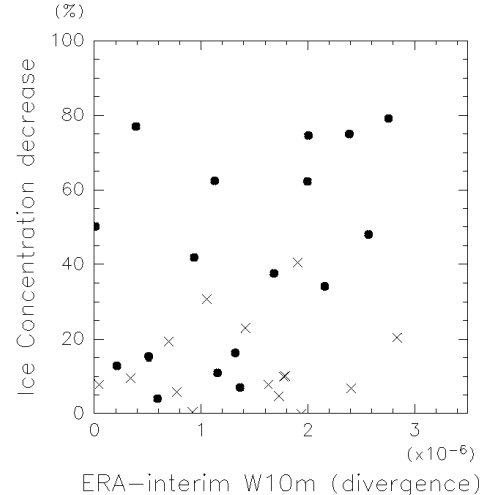


図 2. 夏季（7-8 月）の海氷密度の減少量と直前（6-7 月）の風速の発散との散布図。1993 年以降を●、それ以前を×で示す。

**References**

Comiso, J.C, Large decadal decline of the Arctic multiyear ice cover, *J. Climate*, 25, 1176-1193, 2012.

Maykut, G.A., and N. Untersteiner, Some results from a time-dependent thermodynamic model of sea ice, *J. Geophys. Res.*, 76, 1550-1575, 1971.

Maykut, G.A., and D.K. Perovich, The role of shortwave radiation in the summer decay of a sea ice cover, *J. Geophys. Res.*, 92, 7032-7044, 1987.

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: Extream Arctic sea ice melt during the summer of 2007, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L11501, 2008.