

海水減少に伴う北極下層雲の変化

佐藤 和敏^{1,2}、猪上 淳²、堀 正岳²、児玉 安正¹、James E. Overland³

¹ 弘前大学大学院 理工学研究科

² 海洋研究開発機構

³ NOAA

Impact of Arctic sea-ice retreat on the recent change in cloud-base height during autumn

Kazutoshi Sato^{1,2}, Jun Inoue², Masatake E. Hori², Yasu-masa Kodama¹, James E. Overland³

¹Department of Earth and Environmental Science, Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University, Hirosaki, Japan

²Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan

³Pacific Marine Environmental Laboratory, NOAA, Seattle, Washington, USA

Cloud-base observations over the ice-free Chukchi and Beaufort Seas in autumn were conducted using a shipboard ceilometer and radiosondes during the 1999-2010 cruises of the Japanese R/V Mirai. To understand the recent change in cloud base height over the Arctic Ocean, these cloud-base height data were compared with the observation data under ice-covered situation during SHEBA (the Surface Heat Budget of the Arctic Ocean project in 1998). Our ice-free results showed a 30 % decrease (increase) in the frequency of low clouds with a ceiling below (above) 500 m. Temperature profiles revealed that the boundary layer was well developed over the ice-free ocean in the 2000s, whereas a stable layer dominated during the ice-covered period in 1998. The change in surface boundary conditions likely resulted in the difference in cloud-base height, although it had little impact on air temperatures in the mid- and upper troposphere. Data from the 2010 R/V Mirai cruise were investigated in detail in terms of air-sea temperature difference. This suggests that stratus cloud over the sea ice has been replaced as stratocumulus clouds with low cloud fraction due to the decrease in static stability induced by the sea-ice retreat. The relationship between cloud-base height and air-sea temperature difference (SST-Ts) was analyzed in detail using special section data during 2010 cruise data. Stratus clouds near the sea surface were predominant under a warm advection situation, whereas stratocumulus clouds with a cloud-free layer were significant under a cold advection situation. The threshold temperature difference between sea surface and air temperatures for distinguishing the dominant cloud types was 3 K. Anomalous upward turbulent heat fluxes associated with the sea-ice retreat have likely contributed to warming of the lower troposphere.

北極海では、近年の海水減少に伴い海面から熱や水蒸気の供給量増加で、雲特性や大気構造が変化していることが多くの研究で指摘されている。しかし、直接の観測データを用いて行った研究はほとんどなかった。海洋研究開発機構は、1999年以來海洋地球観測船「みらい」を用いて北極航海を実施しており、ラジゾンデやシーロメータによる大気や雲底高度の観測を行っている(Fig. 1)。そこで本研究では、近年の海水減少に伴う雲底高度や大気構造の変化を調べるため、過去に海氷上で行われた米国のプロジェクトである SHEBA 観測や 1980 年代にロシアが実施した直接観測 (NP) のデータとの比較を行った。

海洋上では、シーロメータによる雲底高度観測が 8 年間 (1999, 2000, '02, '04, '06, '08-10) 実施されている。また、SHEBA 観測ではライダーを用いた観測が海氷上で行われている。Fig. 2ab は、「みらい」と SHEBA により観測された雲底高度の発生頻度分布図を示している。海氷上では、雲底高度 500m 以下の雲が 90%以上とほとんどの割合を占めている。一方、海洋上では雲底高度 500m 以下の雲が 60%、1000m の雲が 20%の割合で発生しており、海洋上で雲底高度 500m 以上 (以下) の雲の発生頻度が約 30%上昇 (減少) していることがわかった。

雲特性の違いは、2010 年の北極海航海で実施された 3 回の集中観測 (1 回目 9 月 13 日~14 日、2 回目 9 月 27 日~28 日、3 回目 10 月 10 日~11 日: 西経 162°ラインの北緯 70°~75°まで 0.5°毎) で顕著に見られ、気象環境場が大きく影響していた。1 回目は、南から流入した暖かく湿った空気が冷たい海面に冷やされ、凝結することで霧や層雲などの低い雲が卓越していた。一方、2・3 回目は、北風に伴い海氷上から冷たい空気が流入し、暖かい海面から乱流熱フラックスの供給を受けて対流が活発化して、雲量が少なく雲底高度が高い雲が発生していた。雲底高度と海面水温、気温の温度差 (ΔT) に関係性が予想されたため、散布図を作成すると ΔT が大きい (小さい) と雲底高度が高く (低く) なることがわかった。特に、 ΔT が 3°C を越えると雲底高度の高い雲が発生しやすくなっていた。

Fig. 2c は、海洋上（みらい：2000年代）や海氷上（NP：1980年代、SHEBA：1990年代）の9月の平均気温鉛直プロファイルを示している。「みらい」とSHEBAを比較すると、高度500m以下で温暖化が明瞭になっているが、中高度より上層ではほとんど変化がなかった。一方、NPとSHEBAを比較すると、対流圏全体で気温が約4K上昇していた。これは、海氷減少以前から温暖化が生じており、海氷減少に伴う温暖化はごく下層に限られていることを示している。

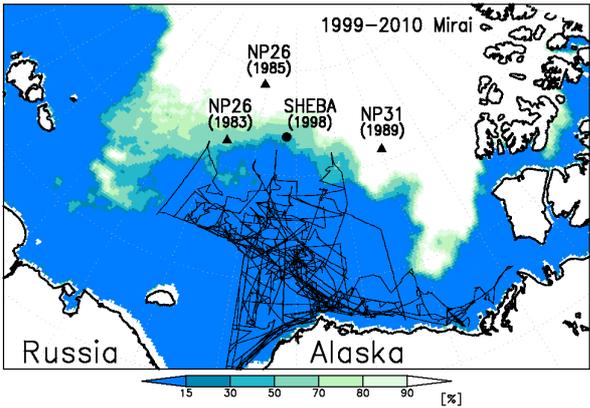


Figure 1: All cruise tracks of the R/V Mirai from 1999 to 2010, the SHEBA station in 1998, and the NP stations in the 1980s. Shading denotes sea-ice concentration on 24 September 2010 from the Advanced Microwave Scanning Radiometer for the Earth Observing System (AMSR-E).

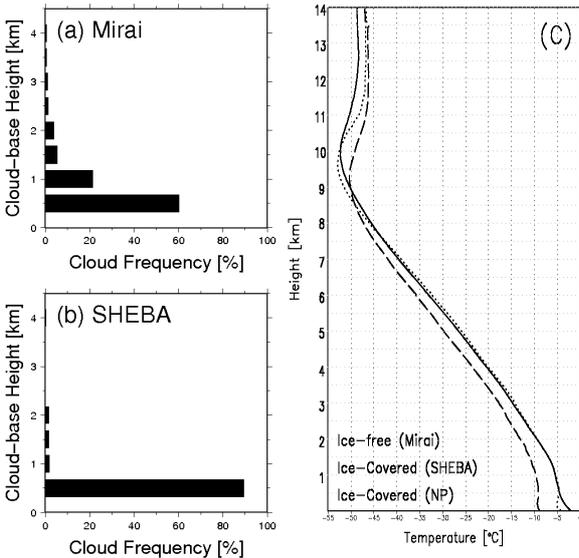


Figure2: Frequency distribution of the cloud-base height (km) detected by a ceilometer/lidar for (a) ice-free cases (R/V Mirai during September) and (b) ice-covered case (SHEBA during September 1998). (c) Vertical profiles of air temperature from surface to 14 km. Dashed, dotted and solid lines denote profiles derived from observations by NP stations (the 1980s), SHEBA (1998), and the R/V Mirai (the 2000s), respectively.

References

Sato, K., J. Inoue, Y.-M. Kodama, and J. E. Overland, 2012: Impact of Arctic sea-ice retreat on the recent change in cloud-base height during autumn. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10503, 6pp doi:10.1029/2012GL051850.