

積雪-海水系の放射伝達モデルの開発

谷川朋範¹、堀雅裕¹、青木輝夫²

¹宇宙航空研究開発機構

²気象研究所

Development of radiative transfer model of snow-sea ice system

Tomonori Tanikawa¹, Masahiro Hori¹ and Teruo Aoki²

¹Japan Aerospace Exploration Agency

²Meteorological Research Institute

A radiative transfer model for coupled snow-sea ice systems is developed to for remote sensing applications to monitor snow/sea ice parameters and for accurate climate change predictions by regional and global climate models. These models consider sea ice inherent optical properties (IOPs: single-scattering albedo, extinction optical depth, and scattering asymmetry parameter) for any wavelength between 300 and 2500 nm as a function of sea ice physical parameters including real and imaginary parts of the ice refractive index, brine pocket concentration and effective brine pocket size, air bubble concentration and effective air bubble size and sea ice thickness. The radiative transfer model generates spectral albedo and transmittance of the sea ice as function of angles of illumination, sea ice IOPs, ocean albedo and direct/diffuse fraction of downward solar fluxes. We verified that it works well for the dependence of sea ice thickness on the spectral albedo and transmittance.

大気-積雪・海水系での放射伝達計算を精度良く行うことは、地球観測衛星等で測定される光情報から積雪・海水物理量を求めるための有効な手段であるばかりではなく、地球システムモデルや領域気候モデルによる気候変動予測の精度向上のためにも重要である。積雪を対象とした放射伝達モデルはこれまで多くの研究者によって開発されており、気象研究所の地球システムモデルにも積雪の変質過程を考慮して物理的にアルベドを計算するモデルが実装されている¹⁻²⁾。しかし海水については、アルベドは簡単なパラメタリゼーションが採用されており、海水の種類、厚さ、太陽幾何条件等によって変化する効果が入り込まれていない。このため、正確な気候変動予測のためには、海水の放射過程を定量的に再現可能な海水の放射伝達モデルの開発が必要である。そこで本研究では海水の構造を考慮した放射伝達モデルを開発し、海水アルベドの振る舞いを調べるために感度解析を実施した。

海水の放射伝達モデルは海水上の積雪や海水を構成する気泡、ブラインを考慮したモデルを開発した。気泡、ブラインの数密度は海水の厚さ h_i 、温度 T_i と密度 ρ の関数として与え、一次散乱過程はそれぞれ球形粒子を仮定した Mie 散乱、多重散乱過程はモンテカルロ法を適用し³⁾、海水上の積雪の効果（積雪深、積雪粒径、積雪密度）を考慮した放射伝達モデルを開発した。大気の下向き放射は波長別に直達光と散乱光の比で与えた。出力は海水の波長別アルベドと透過率で太陽天頂角 θ_0 の関数として計算した。

図1は海水の波長別アルベドと透過率を海水厚 h_i の関数として示したものである。海水のアルベドは可視域で氷厚依存性がみられた。この理由は可視域では氷、気泡、ブラインの光吸収が非常に弱く、そのため氷厚とともに気泡やブラインなどの散乱体が増えると光散乱が増し、その結果アルベドが増加する。海水のアルベドは Nilas→Young gray ice→First year ice の順に増加することが Allison ら⁴⁾によって示されており、この結果はモデルの妥当性を示している。対照的に短波長赤外域のアルベドは低く、氷厚依存性は見られなかった。短波長赤外域は氷の光吸収が非常に強く、そのため光は海水に吸収されてしまうためである。透過率は可視域・短波長赤外域ともに氷厚依存性がみられ、特に短波長赤外域では波長依存性が強くみられた。この理由は短波長赤外域の氷の光吸収に大きな波長依存性があり、光が選択的に海水に吸収されるためである。

References

1) Aoki *et al.*, 2011: *J. Geophys. Res.*, **116**, D11114. 2) Niwano *et al.*, 2012: *J. Geophys. Res.*, **117**, F03008. 3) Tanikawa *et al.*, 2006: *Appl. Opt.*, **45**(21), 5310-5319. 4) Allison *et al.*, 1993: *J. Geophys. Res.*, **98**(C7), 12417-12429.

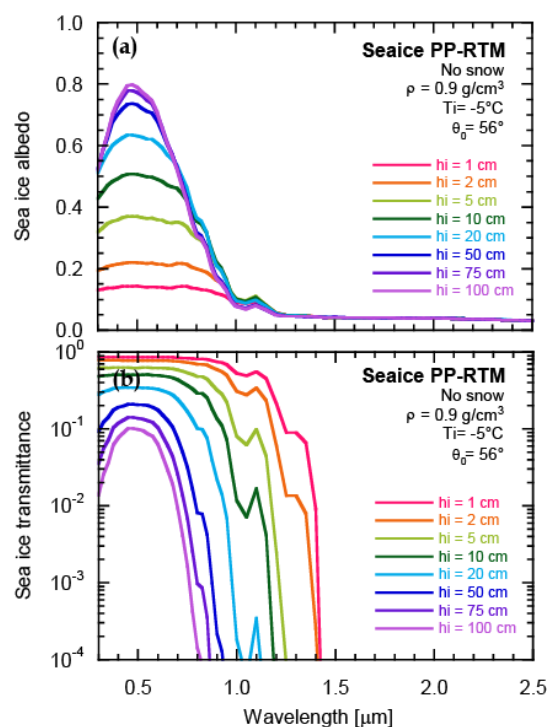


図1 (a)海水の波長別アルベドと(b)透過率の海水厚依存性