

# 海水の波長別アルベド・反射率の放射伝達計算

谷川朋範<sup>1</sup>, 青木輝夫<sup>1,2</sup>, 庭野匡思<sup>1</sup>, 保坂征宏<sup>1</sup>, 堀雅裕<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>2</sup> 岡山大学

<sup>3</sup> 宇宙航空研究開発機構

## Radiative transfer calculation of spectral albedo and reflectance on sea ice

Tomonori Tanikawa<sup>1</sup>, Teruo Aoki<sup>1,2</sup>, Masashi Niwano<sup>1</sup>, Masahiro Hosaka<sup>1</sup>, and Masahiro Hori<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute

<sup>2</sup>Okayama University

<sup>3</sup>Japan Aerospace Exploration Agency

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 angular distribution of reflectance of the sea ice as function of sun-sensor geometry, angles of illumination, snow and sea ice IOPs, and ocean albedo. We verified that it works well for the dependence of sea ice thickness on the spectral albedo and the effect of specular distribution on the reflectance in the forward direction.

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<sup>1,2)</sup>。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取り入れられていない。このため、正確な気象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、海水アルベドと双方向反射率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である。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  $\rho$  の関数として与え、海水上の積雪は積雪深、積雪粒径、積雪密度で与えた。また海水表面の粗度を考慮し、粗度の大きさはガウス分布を仮定した粗度パラメータ  $\sigma$  で与えた。出力は海水の波長別アルベドと双方向反射率である。図 1 (a) は海水の波長別アルベドを海水厚  $h_i$  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。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。図 1 (b-d) は波長  $0.8\mu\text{m}$  の海水の双方向反射率を天底の値で規格化したものである。(b) は鏡面反射方向に鋭い極大値が表れていることが分かる。これはフレネル反射の特性によるものである。しかしその分布は完全な鏡面反射光ではなく、海水表面粗度の効果 ( $\sigma=0.2$ ) によりその分布が滑らかになっている。(c) はその海水表面粗度の大きさを (b) よりも大きくした結果である ( $\sigma=0.5$ )。双方向反射率のパターンが変化し全体的に滑らかになった。(d) は (b) の海水の上に  $h_i=1\text{cm}$  の積雪が積もっているときの値である。鏡面反射方向の光の分布が (b) に比べて滑らかになり、また側方・後方反射側の値が高くなった。これは積雪による多重散乱の効果であると考えられる。References: 1) Aoki et al., 2011: *J. Geophys. Res.*, **116**, D11114. 2) Niwano et al., 2012: *J. Geophys. Res.*, **117**, F03008. 3) Aoki et al., 2000: *J. Geophys. Res.*, **105**, 10219-10236.

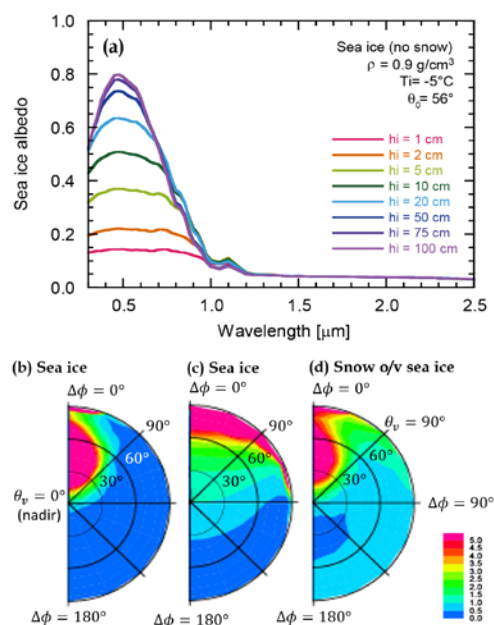


図 1 (a)海水の波長別アルベド、(b-d)双方向反射率を天底方向の反射率で規格化したもの。(b)(c)積雪なしの海水、ただし(b)は海水表面粗度の大きさ  $\sigma=0.2$ 、(c)は  $\sigma=0.5$ 。(d)は(b)に積雪を 1cm のせた結果。