

双方向反射率に対する地表面ラフネスの効果

*朽木勝幸・青木輝夫・田中悦子（気象研究所）、本吉弘岐（総研大）、岩淵弘信（地球環境フロンティア）

1. はじめに

ADEOS-II/GLI や Terra, Aqua/MODIS データを用いた積雪物理量の推定、及びその地上検証観測が行われている。しかし、衛星の波長 $1.6\mu\text{m}$ チャンネルを用いて推定された積雪表面の粒径は、地上観測に比べて概して過小評価となっている。この原因として、特に南極ではサスツルギ（風によって雪面に形成される振幅数十 cm、周期数 m の筋状の凹凸）の影響が考えられる。そこで、規則的な凹凸を比較的容易に作成できる砂を用いて、観測とモデル計算の両面から双方向反射率（HDRF：Hemispherical-Directional Reflectance Factor）に対する地表面ラフネス（凹凸）の効果を検証した。

2. 観測方法と結果

独自に開発したゴニオメーターと分光器（FieldSpec FR）を用いて、気象研究所の屋上で砂の HDRF を測定した。砂はタクラマカン砂漠 Qira の Sand dune で採取されたものを使い、フラットな場合とサスツルギを想定した筋上の凹凸（図 1(a)）をつけた場合の反射率を比較した。凹凸の向きは、太陽との相対方位角が $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ （それぞれ $\Delta\phi_r = 0, 45, 90$ とする）となるように配置した。本解析では波長 $1.60\mu\text{m}$ を使用した。

図 2 に天底方向（ $\theta_v = 0^\circ$ ）の値で規格化した双方向反射率 N-HDRF の観測値を示す。以下では $\Delta\phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 方向をそれぞれ前方、右側方、後方、左側方と呼ぶ。

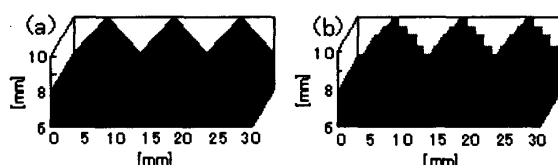


図 1：地表面ラフネスの形状 (a)観測, (b)モデル

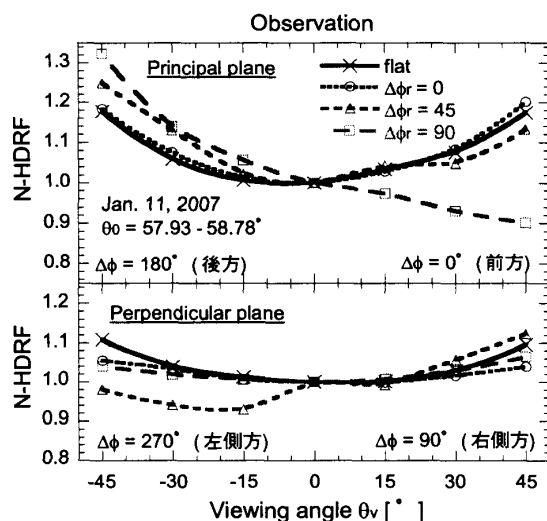


図 2：N-HDRF の観測値（上段： $\Delta\phi = 0^\circ\text{--}180^\circ$ ，下段： $\Delta\phi = 90^\circ\text{--}270^\circ$ ）

フラットでは前方と後方で高く、天底付近で低い分布となっている。ラフネスをつけた場合をフラットと比較すると、 $\Delta\phi_r = 0$ では側方の低下、 $\Delta\phi_r = 45$ では後方と右側方の上昇及び前方と左側方の低下、 $\Delta\phi_r = 90$ では後方の上昇と前方の低下が顕著に現れた。これは、ラフネスの斜面が太陽直達光に照射される方向では反射率が上昇し、逆に影ができる方向では低下することに対応している。

3. 放射伝達モデル計算との比較

一次散乱は結晶表面のラフネスを考慮した回転楕円体の砂粒子（等価粒径 $50\mu\text{m}$ ）を仮定し、Ray-tracing 法で計算した。多重散乱にはモンテカルロ法*を適用し、地表面ラフネスは階段状の凹凸（図 1(b)）を設定した。

図 3 に N-HDRF のモデル計算値を示す。後方側で全般に観測の方が高い反射率となっているのは、砂粒子スケールの微小な凹凸の影響と考えられる。しかし、フラットでは前方で高く天底付近で低いという分布が再現されている。地表面ラフネスを考慮した場合の変化傾向も概ね観測と合っている。 $\Delta\phi_r = 0$ の側方と $\Delta\phi_r = 90$ の前方において、観測よりも反射率の低下が大きいのは、観測とモデルで設定した地表面ラフネスの形状の違いによるものと考えられる。

4. まとめ

地表面ラフネスだけでなく、その向きによっても HDRF が大きく変化し得ることが観測から確認された。このラフネスの効果は 3 次元放射伝達モデル計算によって定性的には再現できた。これらの結果は、多方向反射率からラフネスに関する情報が得られる可能性を示唆している。講演時には北海道東部の積雪面における観測結果についても報告する。

※岩淵・小林（2006）：FRCGC Technical Report No.7

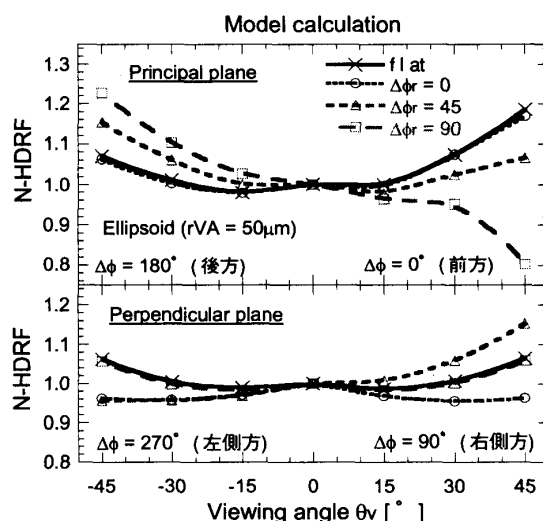


図 3：N-HDRF のモデル計算値（上段： $\Delta\phi = 0^\circ\text{--}180^\circ$ ，下段： $\Delta\phi = 90^\circ\text{--}270^\circ$ ）