

(特－5) 積雪表面の分光反射特性に関する実験的考察

長岡技術科学大学 学生員 筒井 浩行
長岡技術科学大学 正 員 小池 俊雄
宇宙開発事業団 非会員 小熊 宏之

1. はじめに

現在の衛星観測では、衛星の観測頻度や積雪域の気象条件から可視～近赤外域において連続的、且つ時系列的なアルベド値を取得することが極めて困難である。そこで、本研究では、雪面の分光反射特性と雪面アルベドに影響を与える積雪パラメータの同時観測に基づき、雪面アルベド推定に有用な波長帯の提案と、その波長帯における分光反射率の積雪パラメータ依存性を定性的に明らかにし、この間欠的とも言える衛星データを用い可視～近赤外域を対象とした時系列的なアルベドを推定するための1つの方法を提案する。

2. 観測の概要

本研究で対象とした観測地は、新潟県山古志村、苗場スキー場、長岡技術科学大学グラウンド、観測期間は1993年2月～4月である。今回は分光放射計としてオプトリサーチ社 MSR-7000(280～2500(nm))を用い雪面分光放射輝度と反射率の計測を行った。更に分光反射と同時に雪面アルベドに影響を与えるパラメータを雪粒子径・雪面の汚れ・積雪含水率定と考え、それぞれをフィールド観測において最も効果的な手法を用い測定した。

3. 雪面アルベド算定のための代表観測波長の選定

雪面での短波長放射収支は、光源である太陽光の分光放射輝度特性と雪面分光反射率特性により決定されるが、太陽の全放射エネルギーの73(%)が可視～近赤外域にあること、紫外線域での大気による吸収、並びに短波長赤外域での雪面分光反射率の低下などを考慮すると、雪面アルベド算定に有効な対象波長は可視～近赤外域のみで十分と考えられる。そこで、観測全データの分光反射率のパターンを考慮して、可視～近赤外域を400～700, 700～1000, 1000～1100, 1100～1300(nm)の4波長帯に分割し、各波長帯における反射率を代表する分光反射率を式(1)により求めた。

$$\alpha_{pk} = \frac{\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} B_P(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_i}^{\lambda_{i+1}} B_P(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

α_{pk} : 波長帯 k におけるアルベド ($k=1; 400 \sim 700, 2; 700 \sim 1000, 3; 1000 \sim 1100, 4; 1100 \sim 1300$ nm)

$B_P(\lambda)$: Planck の放射法則による分光放射輝度

$\rho(\lambda)$: 実測分光反射率

λ_i : 波長 ($i=1; 400, 2; 700, 3; 1000, 4; 1100, 5; 1300$ nm)

この式(1)を観測された分光反射率の全データに適用し、算定された各波長帯におけるアルベドと実測分光反射率がほぼ等しい波長を代表波長($\lambda_{opt,k}$)と考えた。その結果、520・870・1050・1175(nm)という4つの代表波長を獲得した。

次に、代表波長、及びこの波長におけるアルベド推定の妥当性を検討するために2つの確認を行った。

(1. 各波長帯のアルベドに基づく確認)

各波長帯毎の実測アルベド(α_{mk})と各代表波長に対応する分光反射率($\rho_{opt,k}$)との対応から推定の妥当性を検討した。

(2. 全波長帯のアルベドに基づく確認)

全波長帯(400～1300nm)を対象とした実測アルベド(α_t)と推定アルベド(α_e)との対応から推定の妥当性を検討した。

以上の2つの確認においてそれぞれ良好な適合性が認められ(図-1,2)、雪面アルベド推定に対して、上記の4代表波長における分光観測が極めて有効であることが示された。

4. 分光反射特性と積雪パラメータの関係

積雪表面の雪粒子径・汚れ・積雪含水率の各パラメータと前章において決定した代表波長に対応する雪面分光反射率との関係を表-1にまとめ、更にその関係が最も顕著に示された事例(図-3～7)を以下に示した。但し表中の◎は以下に示す意味を持つ。

◎: 大きく分光反射率が減少する。

○: 減少率は小さいが確実に分光反射率が減少する。

表-1は、「雪面反射率は、各積雪パラメータ個々の影

響により変動するのではなく、複数の積雪パラメータの相互作用により変動する。」という傾向を明らかに示している。即ち、これよりアルベド推定において複数の積雪パラメータにより定まる雪面分光反射率を考慮することの重要性が明らかに示された。

5. 結語

今回の研究により衛星観測時の雪面アルベドの算定手法、並びに積雪表面パラメータ推定の可能性が示された。従って、これに湿雪の場合の雪粒子径頻度分布の時間変化 (Raymond & Tusima(1979)) や、その含水率依存性のモデル化 (中尾(1988)) な

どに代表される積雪パラメータの時系列変動に関する成果、並びに積雪パラメータの衛星による初期値推定を組み合わせることにより、衛星観測アルベドの連続的な推定の可能性が示されたことになる。

参考文献

- 1) Raymond, C.F. & Tusima, K. (1979): Grain coarsening of water-saturated snow. journal of Glaciology, Vol.22, No.86, 83-105.
- 2) 中尾正義, (1989): 北陸地方の積雪の基礎的性質. 防災科学技術研究テキスト第5回雪氷防災, 52-59.

積雪パラメータの増大	雪粒子径の増大	汚れの増大	積雪含水率の増大
相互作用を引き起こす他の積雪パラメータ	汚れ 小 大	汚れ 比較的小 比較的大	含水率 比較的小 比較的大
分光反射率の減少	可視 〇 〇 〇 〇 〇 〇 近赤外 〇 〇 〇 〇 〇 〇		
関係図	図-3 図-4	図-5	図-6 図-7

表-1 各積雪パラメータの増大に伴う分光反射率の減少傾向

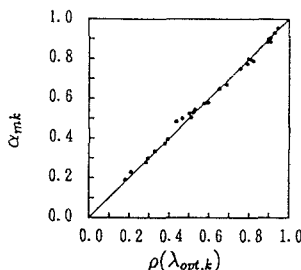


図-1 各波長帯実測アルベドと各代表波長分光反射率の適合性

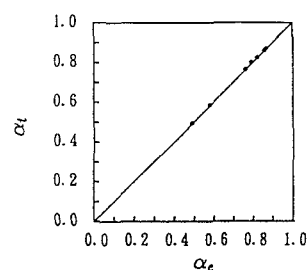


図-2 全波長帯を対象とした実測アルベドと推定アルベドの適合性

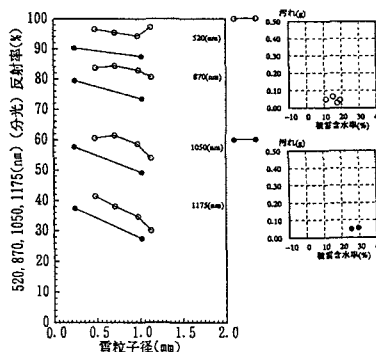


図-3 雪粒子径増大の影響 (汚れ: 小)

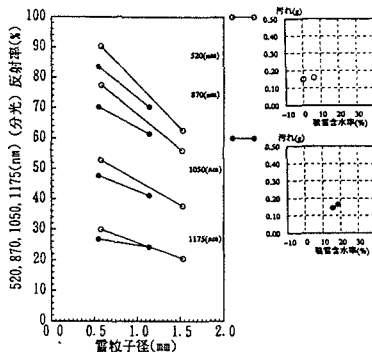


図-4 雪粒子径増大の影響 (汚れ: 大)

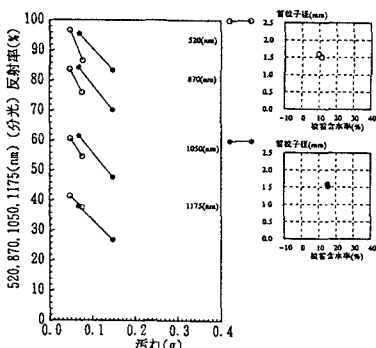


図-5 汚れ増大の影響

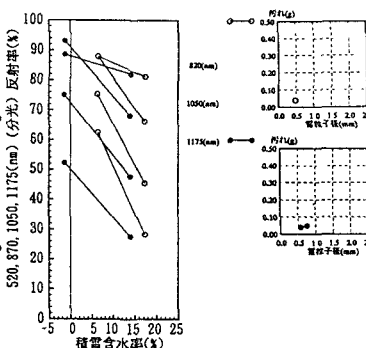


図-6 積雪含水率増大の影響 (汚れ: 小)

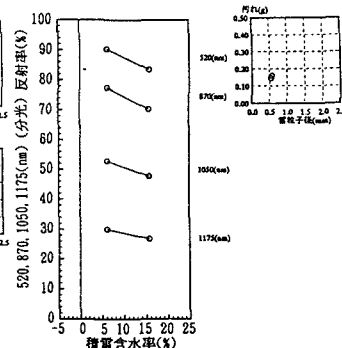


図-7 積雪含水率増大の影響 (汚れ: 大)