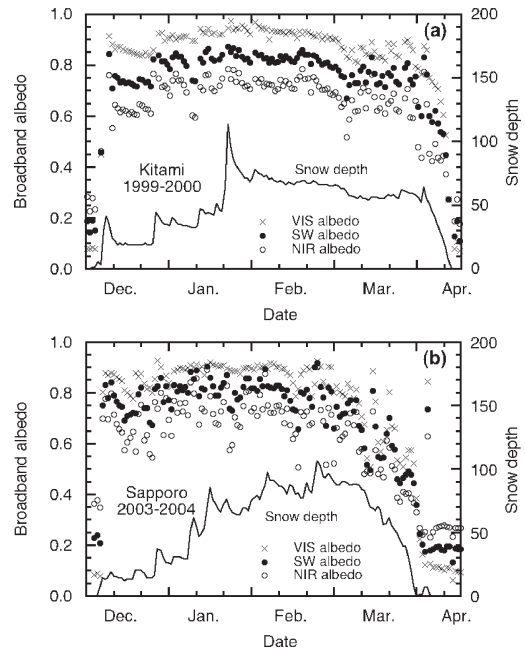


## 積雪のエージング効果

「積雪のエージング (aging) 効果」と聞くと、雪が「年をとる効果」のようだが、一体何を意味するのかピンと来ない。また、その本質は更に知られていない。ここではその用語が対象としてよく使われる積雪アルベドに焦点を絞って考えてみよう。

雪氷面のアルベドは雪氷圏の放射収支を考える上で非常に重要な物理量である。雪氷面の中でも大きな割合を占める積雪面のアルベドは、1980年代以降、放射伝達モデルを用いて比較的精度よく計算できるようになった (青木 2009)。ところが、現実の積雪アルベドの変動は非常に多くの要素の影響を受ける。それらは大きく分けて、(1) 積雪そのものの物理的な要素と、(2) 大気成分 (雲, エアロゾル, 水蒸気など) や太陽の幾何学的な条件などの外的な要素に分けることができる (青木・田中 2008)。このうち、前者がエージングと関係している。積雪アルベドが降雪後の時間経過と共に低下する現象をエージング効果、あるいは積雪のエージング効果によるアルベド低下といった使い方をされる。より一般的には、積雪のエージングとは新積雪が時間の経過と共に変化する現象のことである。その積雪の物理的な変化に伴い、アルベドが変化しているのである。

第1図は北見と札幌における広波長帯域アルベドと積雪深の一冬期間の変化である。積雪深は降雪に伴って増加し、その次の降雪まで時間と共に減少する変化を繰り返している。対応してアルベドも降雪時に増加し、その後の低下を繰り返している。これらが積雪のエージング効果に伴うアルベドの低下である。北見では札幌に比べ降雪頻度が低いため、エージング効果でアルベドが低下する期間が長い。札幌では頻繁に降雪があるため、アルベドの変動が大きい。アルベドに対するエージング効果の本質は、光学的に等価な積雪粒径の増加と積雪不純物濃度の増加である (青木 2009)。その積雪粒径は一般に時間の経過と共に増加するが、それは積雪粒子が次の3種類の変態 (meta-



第1図 (a) 1999-2000年冬期の北見と (b) 2003-2004年冬期の札幌における広波長帯域アルベド及び積雪深の日々の変化。アルベドは1131-1200 LTの30分平均値、積雪深は1200 LTの値。VIS, SW, NIRはそれぞれ可視域, 短波長域, 近赤外域を示す (青木・田中 2008; 青木 2009に加筆)。

morphism) 過程によって変化するためである (前野・黒田 1986)。(1) 乾燥等温過程 (または、等温変態過程<sup>†</sup>): 0°C以下の一定温度で積雪粒子が焼結 (sintering) によって、より表面積の小さな球形の粒子へと変化する過程、(2) 乾燥温度勾配過程 (または、温度勾配変態過程<sup>†</sup>): 積雪内部の温度勾配 (従って、水蒸気圧勾配) に伴って「しもざらめ雪」が成長する過程、(3) 融解過程 (または、融解再凍結過程<sup>†</sup>):

<sup>†</sup> Sommerfeld and LaChapelle (1970) による分類の日本語訳。

融解と再凍結によって「ざらめ雪」が成長する過程。いずれも温度依存性を持ち、表層では主に(1)と(3)の効果によって気温が高いほど粒径の増加速度が速い。積雪粒径の増加は主に近赤外域のアルベドを低下させる。第1図の1-2月において、札幌の近赤外域のアルベドが北見より大きく変動している理由は、札幌の方が気温が高いため粒径変化が大きいためと考えられる。一方、可視域のアルベドを低下させる主な要素は積雪不純物で、その正体はすすやダストといった吸収性エアロゾルの雪面への沈着である。近年北極域における積雪中すす濃度の増加が極域の温暖化に寄与しているという報告もある(青木・田中 2008)。第1図bの3月における札幌の各アルベド低下は、融雪期における積雪粒径の増加に加え、3月11-12日に観測された黄砂による積雪不純物濃度の著しい増加が寄与していた(青木・田中 2008)。その他、融解に伴う含水率の増加や、積雪深の減少などもアルベドの低下に寄与する。含水率の増加は、等価な積雪粒径の増加と本質的に同じと考えられている(Wiscombe and Warren 1980)。なお、12月は両地点共に積雪深が少ないため、各アルベドの絶対値は低めであるが、新雪では20 cm以上、ざらめ雪では50 cm以上の積雪深で地表面の影響が無視できる(Wiscombe and Warren 1980)。

積雪のエイジング効果は便利な言葉で、その本質を知らなくても、経験的にアルベドの低下量をパラメタ

ライズすることができる。しかし、例えば、将来雪氷面に沈着するエアロゾルの量や種類が変化すると現在のアルベドのパラメタリゼーションは成り立たなくなる。従って、その本質を理解し、物理的に計算する方法を開発する必要があるだろう。

### 謝 辞

積雪粒子の変態過程に関して、八久保晶弘氏(北見工業大学)、荒川逸人氏(野外科学株式会社)、尾関俊浩氏(北海道教育大学岩見沢校)から有益な助言を頂きました。

### 参 考 文 献

- 青木輝夫, 2009: 積雪の光学特性とリモートセンシングに関する研究 — 2008年度日本気象学会賞受賞記念講演一。天気, 56, 5-17.
- 青木輝夫, 田中泰宙, 2008: 大気エアロゾルの沈着が積雪アルベドに与える影響。天気, 55, 538-547.
- 前野紀一, 黒田登志雄, 1986: 雪氷の構造と物性。基礎雪氷学講座 I, 古今書院, 209 pp.
- Sommerfeld, R. and E. LaChapelle, 1970: The classification of snow metamorphism. J. Glaciol., 9, 3-17.
- Wiscombe, W. J. and S. G. Warren, 1980: A model for the spectral albedo of snow, I: Pure snow. J. Atmos. Sci., 37, 2712-2733.

(気象研究所物理気象研究部 青木輝夫)