

北見における気象・積雪断面観測(1999-2000)の概要

八久保晶弘¹・青木輝夫²・榎本浩之¹

(1:北見工業大学 2:気象研究所)

1.はじめに

積雪層構造は様々な気象条件の応答であり、表層雪崩予測や GCM 中の積雪表現過程の改良などを目的として、数値モデルを用いて気象データから層構造を再構築する試みがなされている。筆者らは、フランス気象庁で開発されている積雪層構造モデル、Crocus (Brun *et al.*, 1989, 1992) の検証、および雪面アルベドの粒径・不純物依存性のパラメータ化を主目的として、フラックス解析に必要な気象要素と積雪断面構造のデータセットを得るために野外観測を行なっている。

本稿では、北見において 1999 年 11 月から 2000 年 4 月にかけて行なわれた気象観測と積雪断面観測の概要について紹介し、特に可視・近赤外領域における雪面アルベドの特性について言及する。

2.観測内容

気象観測は、北見工大寒地気象観測室の露場にて、1999 年 11 月下旬から 2000 年 4 月中旬まで行なわれた。観測項目は、気温・湿度・風速・全天日射量・反射日射量・赤外放射量(上向き・下向き)・散乱日射量である。これに加えて、波長が 695nm のカットオフフィルタを使用した 2 台の日射計により、近赤外領域の上向き・下向き放射フラックスも測定された。

一方、隣接した場所で数日おきに積雪断面観測が行なわれた。観測項目は、層構造(雪質・粒径)・雪温・密度・含水率の各鉛直プロファイル、および不純物濃度分析用の積雪サンプリングと粒径測定用の雪面粒子のレプリカ作成である。後者の 2 つについては現在解析中である。

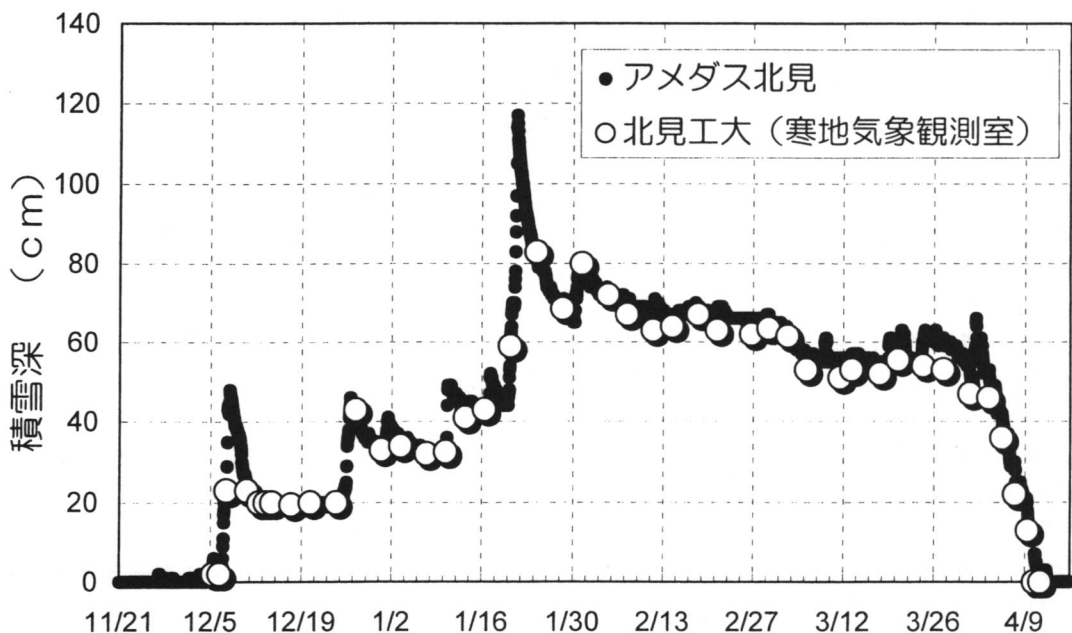


図1 1999-2000年シーズンの北見における積雪深の時系列変化

3. 観測結果および考察

積雪の概況

まず、積雪断面観測時に得られた積雪深の時系列変化を図 1 に示す。比較のために、観測点から約 500m ほど離れているアメダス観測地点（北見）の積雪深データを加えてある。このシーズンは、12 月上旬の降雪によって積雪深が 50cm 近くに達した後、約 2 週間ほどは積雪深 20cm 程度で推移した。12 月下旬からはまとまった降雪が数度あり、1 月 20-21 日にかけては記録的豪雪（アメダスでの最大積雪深：117cm）となった。その後、積雪深は 60-70cm 台を保っていたが、最高気温が 10℃以上に達した 3 月 4 日あたりから積雪深が 60cm 台を割っている。本格的な融雪期は 4 月に入ってから始まり、消雪日は 4 月 11 日であった。なお、全期間において露場の積雪深はアメダスのデータとよく一致した。

次に、積雪層構造の時系列変化を図 2 に示した。12 月中旬の積雪の少ない時期に、短期間で積雪が新雪からしもざらめ雪に変化していったことが分かる。このしもざらめ層は、全層がざらめ雪となる 3 月上旬まで積雪底部に保存されていた。また、12 月下旬からの度重なる降雪は、新雪からこしまり雪、しまり雪を経てこしもざらめ雪に変化していることが分かる。しかし、これらの層はしもざらめ雪まで発達することなく、3 月上旬に全層が 0℃となってざらめ雪に変化した。積雪中に顕著に見られる氷板やクラストはそれぞれ、12 月 9 日の降雨による表層のレインクラストと、同時期に積雪中の帯水層が凍ってできた氷板、そして 1 月 7 日の気温上昇による表層の融解・再凍結によって形成されたクラストである。

道東は典型的なしもざらめ地帯として知られているが（例えば成瀬ほか、1996）、今シーズンでは 1 月中旬～下旬にかけての降雪が比較的多かったために、積雪中の温度勾配が大きくなり、しもざらめ雪は発達しにくかったと推定される。

雪面アルベドの変化

ここでは、可視領域（305-695nm）・近赤外領域（695-2800nm）の 2 バンドに分けて求め

られた雪面アルベドの特徴について論じる。

まず、雪面アルベドの時系列変化を図 3 に示した。根雪になる前では、露場の芝生の影響で近赤外のアルベドが可視のそれよりも高くなっている。この関係は積雪期には逆転するが、積雪が 20cm 程度では地表面の影響によって、可視・近赤外ともアルベドは若干低めに出ていることが分かる。積雪期には可視のアルベドが近赤外のアルベドを常に上回り、また変化量については近赤外のアルベドの方が大きい。そして、雪面付近にざらめ雪が見られるようになった 3 月頃から雪面アルベドの変化幅が大きくなっているのが特徴的である。特に、3 月 31 日以降の表層は常に粒径 2mm 以上の含水したざらめ雪だったために、近赤外のアルベドが 0.5 前後まで低下している。

図 3 中にいくつか見られる降雪ステージに注目すると、全体的な傾向としては降雪直後の雪面アルベドは高く、時間とともに次第に低くなることが分かる。従来の研究によれば、可視領域のアルベドは不純物（光学的に吸収性を持つ物質）の、近赤外領域では積雪の粒径の影響がそれぞれ顕著であることが知られている（Warren and Wiscombe, 1980, Wiscombe and Warren, 1980）。このことをふまれば、可視のアルベドの低下率は北見の露場における不純物の堆積速度を、そして近赤外のアルベドの低下率は雪面粒子の変態速度に関わっているとみることができる。例えば、前述の 1 月 7 日、そして 3 月 4-5 日には雪面が融解して積雪粒子が極端に肥大化しており、近赤外のアルベドの極端な低下に対応している。また、3 月以降の雪面アルベドの大きな変動は、断続的な降雪によるアルベド上昇と融解およびざらめ化によるアルベド低下が原因であると考えられる。

次に、降雪直後の雪面アルベドの時系列変化を図 4 に示した。図 4 中の横軸は、降雪直後からの経過時間を表わしており、観測期間中の 10 run がプロットされている。上のグラフは可視・近赤外のアルベドの低下率を示しており、可視のアルベドよりも近赤外のアルベドの方が低下率は大きい。また、融解してざらめ雪に変化した場合はアルベドの低下具合が特に大きく、乾き雪とは別のプロセスが

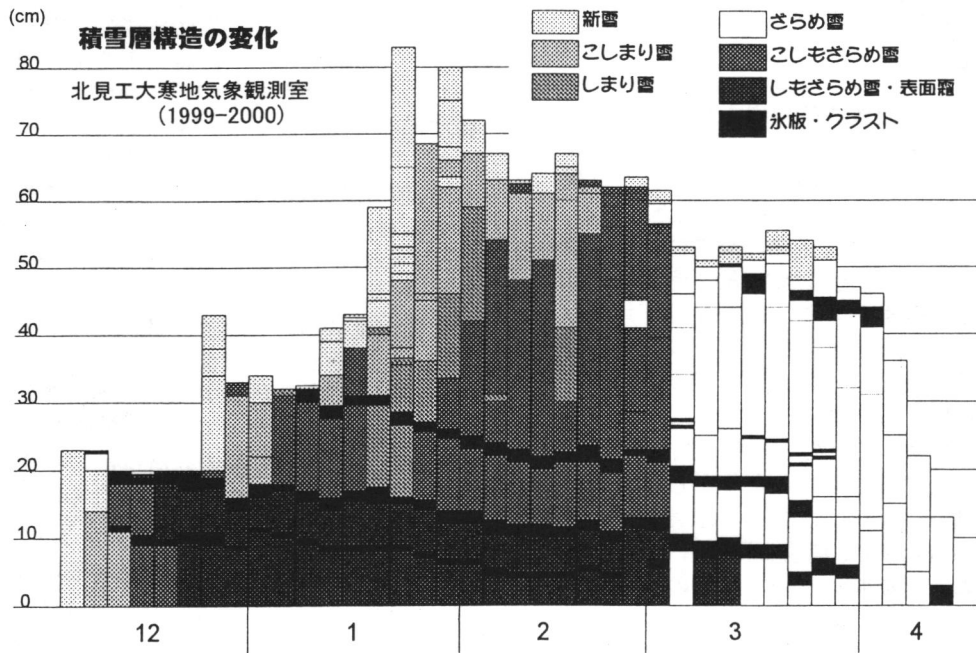


図2 積雪層構造の時系列変化

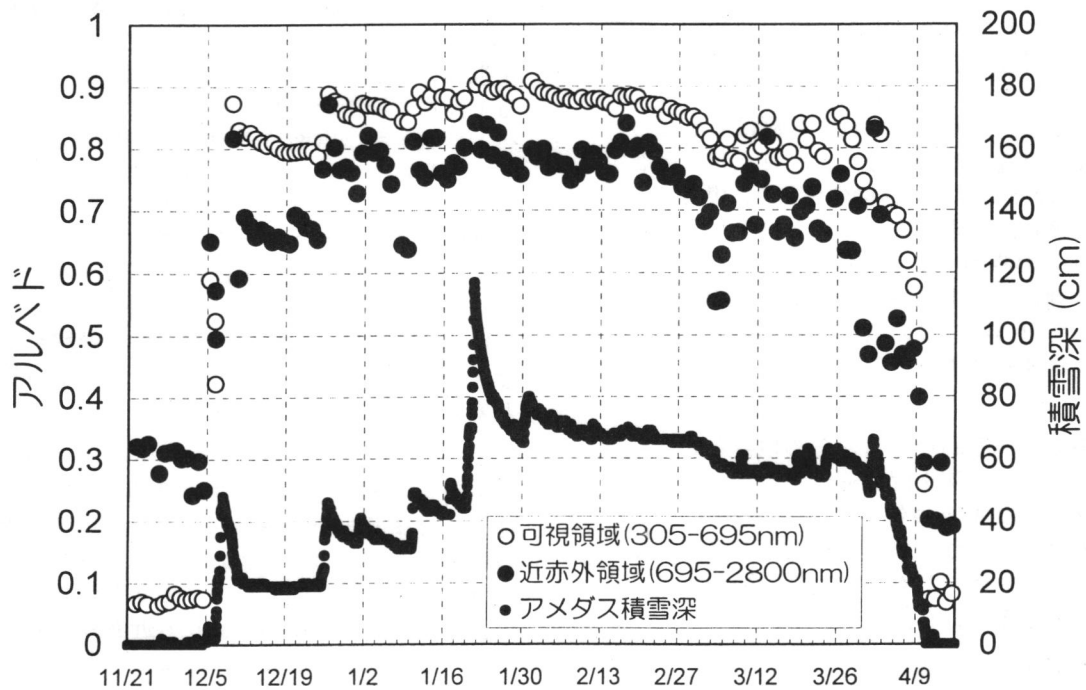


図3 正午の雪面アルベドと積雪深(アメダス北見)の時系列変化

アルベド決定に影響していることを示唆している。

下のグラフは上と同様であるが、可視・近赤外のアルベド両方について快晴日（散乱日射量／全日射量 ≤ 0.25 ）、曇天日（散乱日射量／全日射量 ≥ 0.94 ）を分けて表わしたものである。雪面アルベドは、可視領域では快晴日・曇天日でそれほど変わらないが、近赤外領域では曇天日の方が明らかに高い値を示している。その理由は以下のように説明される。曇天時には、水蒸気が多くかつ大気中の光のパスが長くなることによって、水蒸気の吸収帯を多く含む近赤外領域の入力放射量の減り方は可視域よりも大きくなる傾向を持つ。その結果、近赤外領域でも波長が約1300nm以下でアルベドの比較的高い（可視域に近い）波長帯が相対的に効いてきて、曇天時の雪面アルベドを増加させている。加えて、

雪面アルベドが高い曇天時には雪面と雲との間で多重反射が起こり、全日射量が増加する。このことは上述の傾向を強める働きを持つと考えられる。

4.まとめと今後の展望

北見において気象観測・積雪観測を同時に行ない、気象要素と積雪断面構造の良質なデータセットが得られた。特に、可視・近赤外領域に分けられた雪面アルベドの観測結果については従来の研究報告と一致しており、まだ解析の終わっていない不純物濃度分析が進めば、雪面アルベドに関する定量的な議論がさらに進むと考えられる。

今後は、雪面アルベドの粒径・不純物依存性だけでなく、太陽天頂角依存性、そして積雪粒径の変化率に密接に関わると考えられる温度依存性などについても解析を進めていく一方で、積雪層構造モデルの雪面アルベド計算過程の改良のために、実用的な雪面アルベドのパラメータ化を試みる予定である。

5.謝辞

北見工大寒地気象観測室の露場使用の際には、北見工大土木開発工学科利水研究室の佐渡公明教授、中尾隆志助手にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

6.参考文献

- Brun *et al.*, (1989) An energy and mass model of snow cover suitable for operational avalanche forecasting. *J. Glaciol.*, **35**(121), 333-342.
- Brun *et al.*, (1992) A numerical model to simulate snow-cover stratigraphy for operational avalanche forecasting. *J. Glaciol.*, **38**(128), 13-22.
- 成瀬 廉二ほか, (1996) 北海道内の広域積雪調査 - 1996年2月 - 低温科学 資料集, **55**, 13-26.
- Warren and Wiscombe, (1980) A model for the spectral albedo of snow, II: Snow containing atmospheric aerosols. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2734-2745.
- Wiscombe and Warren, (1980) A model for the spectral albedo of snow, I: Pure snow. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2712-2733.

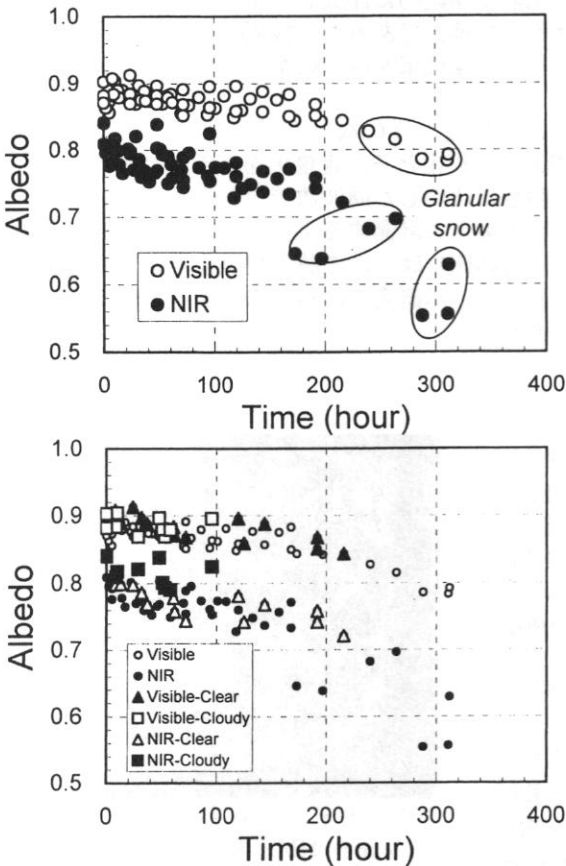


図4 雪面アルベドと経過時間との関係