

積雪層構造モデル：Crocusの検証実験

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)

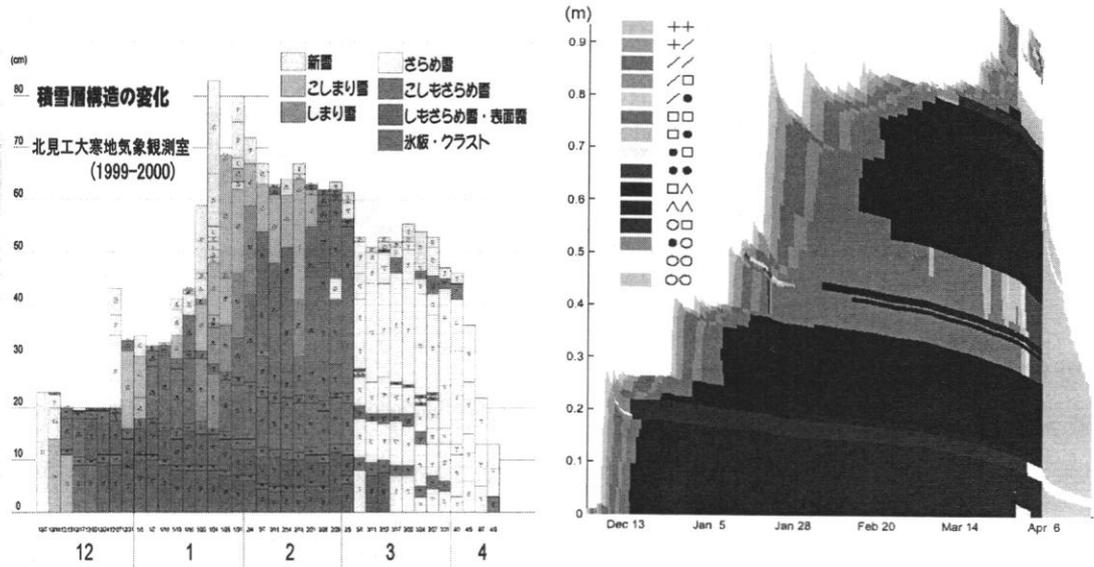


図1 1999-2000シーズンの積雪断面の時系列変化。左：野外観測結果、右：Crocusによる計算結果。

1.はじめに

表層雪崩の予測や GCM 中の積雪表現過程の改良などを目的として、気象データから層構造を推定する積雪層構造モデルが世界各国で開発されている。筆者らは、フランス気象庁で開発された積雪層構造モデル、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両データセットを得るために野外観測を行なっている。

筆者らは昨年、1999-2000年に北見で行なわれた気象観測と積雪断面観測の概要について報告し、観測から得られた雪面アルベドの特性、特に可視域・近赤外域における波長依存性について考察を行なった(八久保ほか、2000)。今回は2000-01年の最新データも合わせて、Crocusによる積雪層構造の再現を試み、計算結果と実測とを比較検討した結果を報告する。

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～2000年4月中旬、2000年12月中旬～2001年4月上旬に行なわれた。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・エアロゾル濃度・積雪下面における地熱流量などである。日射量については波長695nmのカットオフフィルタを使用して、可視域と近赤外域に分けて測定されている。なお、本報告では上述の観測データのうち、Crocus運用に必要なものだけを用いる。

一方、隣接した場所で週に2回、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積雪粒子の接写撮影・レプリカ作成である。ただし、後者の2項目については現在解析中である。

3. Crocus の概要

Crocus は実用的な雪崩予報のために開発され、各国の積雪研究者の手によって検証や改良が行なわれている。Crocus の入力パラメータは、気温・風速・湿度・降水量・雨雪判別・大気放射量・直達日射量・散乱日射量・雲量の9つの気象要素である。一方、積雪深や積雪水量、積雪層構造(雪質・粒径や雪温・密度・含水率の各鉛直プロファイル)、雪面における熱収支成分の時系列データなどが計算結果として出力される。

今回の Crocus を用いた計算結果では、特に断わらない限り、各種パラメータは default 値のままですべて計算されている。

4. 観測結果とモデル結果との対比

積雪層構造

1999-2000 シーズンの断面観測結果を図1左に示した。12月中旬の積雪の少ない時期に形成されたしもぎらめ雪の層は、2ヶ月以上にわたって積雪底部に保存されている。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ぎらめ雪に変化している。これらの層はその後、3月上旬の気温上昇によって全層が0℃に達し、ざらめ雪となった。積雪中に顕著に見られる氷板やクラストはそれぞれ、降雨や気温上昇による表層の融解・再凍結によって形成されたものである。

次に、Crocus による同シーズンの積雪層構造の時系列変化の再現結果を図1右に示した。12月に形成された顕著なレインクラスト(ざらめ雪で表現)や、その下部のしもぎらめ雪がよく再現されている。また、レインクラスト上の降雪は新雪からこしまり雪を経て、最終的にはほとんどの層がこしもぎらめ雪に変化している。しかしながら、全体的に積雪深を過大評価する傾向が見られる。特に2月頃からその差が大きくなりはじめ、計算終了日の4/20になってもなお積雪が残っている(実際の消雪日は4/11)。また、3月上旬の融解イベントの影響は表層付近にとどまり、全層が融解し始めるのは4月からである。

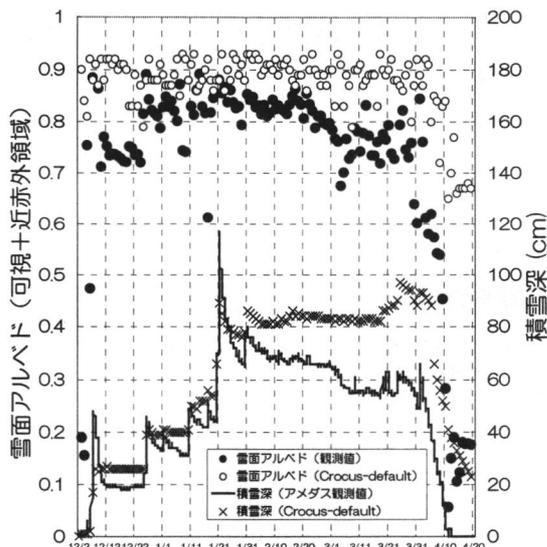


図2 1999-2000 シーズンの雪面アルbedoと積雪深。

雪面アルbedo

1999-2000 シーズンの雪面アルbedoと積雪深の時系列変化を図2に示した。雪面アルbedoに注目してみると、Crocus はこれをかなり過大評価している。その理由として、Crocus では表面積雪の光学的粒径だけで雪面アルbedoを決定しているために、積雪が少ないときの地面の影響や、光学的粒径の異なる多層構造の効果をCrocus は表現できないことが第一に挙げられる。加えて、不溶性不純物による可視域のアルbedo低下をCrocus は考慮しておらず、冬期間に降下した汚れが積雪表層に蓄積されてくる融雪期には、なおいっそう過大評価することになる。

Crocus が雪面熱収支をよく再現しているかどうかは、雪面温度の計算結果で判断できる。図3は冬期2シーズン分の雪面温度の観測値と計算値との関係である。平均すると2℃程度の過小評価傾向が見られる。このことは、雪面熱収支の各成分のうち、雪面への入力成分が系統的に過小評価されていることを示唆している。

図4は2000-2001シーズンの雪面アルbedoと積雪深の時系列変化を表わしている。ここではCrocus のアルbedoパラメータが default

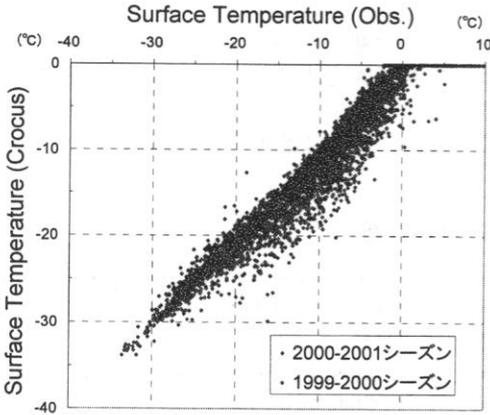


図3 雪面温度の観測値と Crocus 計算値との比較。

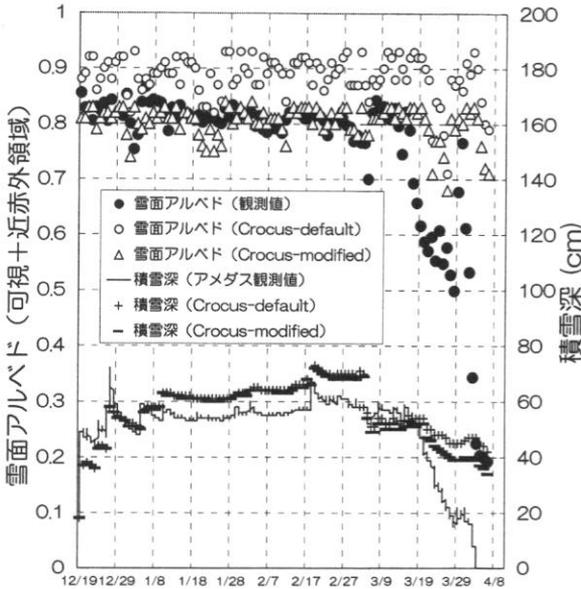


図4 2000-2001 シーズンの雪面アルbedoと積雪深。

値のまま (図中: Crocus-default)、および雪面アルbedoの最大値が観測値と同程度になるようチューニングしたもの (図中: Crocus-modified) の2種類の実験を行なった。まず雪面アルbedoの時系列変化に着目すると、実際の融雪期 (3月後半~) に至る前の雪面アルbedoの変化は観測値と概ね一致しているが、融雪期以降には依然として大きなギャップが

見られる。また注目すべきことは、雪面アルbedoを1割程度低下させることによって日射の吸収量が増加したにもかかわらず、積雪深がほとんど変化していないことである。そこで、全期間の平均の熱フラックスを計算した結果を表1に示した。

表1 Crocusによる2000-2001シーズンの平均熱フラックス (雪面入射方向が正)。

[W m ⁻²]	Crocus-default	Crocus-modified
短波収支	6.6	11.1
長波収支	-28.1	-30.0
顕熱	16.2	14.6
潜熱	0.8	0.2
雨・雪熱	-0.2	-0.2
伝導・融解熱	5.7	5.3

雪面アルbedoを減少させたことによって、短波放射量の収支は約7割増加している。しかし、この増加分は積雪下層からの伝導熱の減少あるいは融解熱の増加にほとんど結びついていない。雪面温度の上昇によって、雪面からの長波放射量が増加し、雪面に向かう潜熱・顕熱が僅かではあるが減少することによって、短波放射量の増加分が相殺されていることが表1から判断できる。

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、積雪層構造モデル: Crocusの検証に必要な気象要素と積雪断面構造の良質なデータセットが2シーズンにわたって得られた。これらをもとに、Crocusによる積雪層構造の再現を行ない、計算結果と実測との比較検討によってモデルの問題点の解明を試みた。

まず、Crocusは積雪深を過大評価している。これは積雪の圧縮粘性係数が実際より大きめに設定されているものと思われる。また、雪面アルbedoも1割程度の過大評価傾向にあり、0.8以下に下がることが減多にない。すなわち、積雪粒子の粒径パラメータを用いたアルbedo計算過程にも何らかの問題があると考えられ

るが、雪面熱収支がうまく再現されていないことから、この傾向は複合的原因による可能性も否めない。

Crocusのdefaultパラメータには標高の高いフランスアルプスで経験的に求められた値が使用されているため、モデルでは考慮されていない「積雪表層の汚れ」がアルベド低下を促す重要なファクターと考えられる。また、この「汚れ」は環境のエアロゾル濃度と関連がある可能性があり、2000-2001シーズンにパーティクルカウンタを導入して露場付近のエアロゾル濃度データを得ている。今後はサンプリングされた積雪層の不純物濃度分析を行ない、積雪粒子の粒度解析やエアロゾル濃度データと合わせて定量的な議論を進めていくと同時に、乱流輸送係数や積雪の圧縮粘性係数などの積雪に関する基本的なパラメータについて、一つ一つ検証していく必要があると思われる。

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環境水理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.

八久保 晶弘・青木 輝夫・榎本 浩之 (2000) 北見における気象・積雪断面観測(1999-2000)の概要。「北海道の雪氷」(日本雪氷学会北海道支部機関誌), 第19号, 14-17.