

# AMeDAS で計算可能な積雪層構造モデルの作成と積雪装構造の推定

齋藤佳彦 (㈱雪研スノーイーターズ)、榎本浩之 (北見工業大学)

## 1 はじめに

積雪層構造モデルは雪崩予測、積雪地帯での熱、水収支を把握などに有効であるが、現在開発されているモデルは、多くの気象要素を利用して可能な限り詳細に表現したモデルから用途を特定した簡易的なものまで様々である。

本研究では、入手が容易な気象データを利用して、詳細に積雪層構造を表現できる実用的で多用途なモデルを作成し、北海道などの寒冷地の積雪内部構造の推定と作成したモデル検証を目的とする。

## 2 モデル概要と基本式

作成のコンセプトとは利用する観測データが比較的容易に入手可能であり、できる限り詳細に積雪の層構造、積雪の物理量(雪温、密度など)を表現できるモデルである。そのため、入力として全国各地に観測地点があり、継続的なデータが取得可能である AMeDAS のデータを利用することを前提に作成した。

モデルで考慮する物理過程は、熱収支、降雪、融解流下による水収支、雪の圧密過程を基本とした。

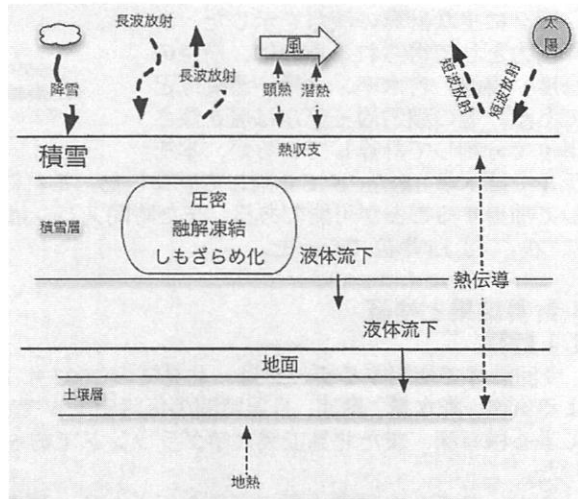


図1 モデルでの積雪の熱、水収支  
作成したモデル上での積雪の熱と水収支を示す。実線は水の移動、破線は熱の移動を示す。

### 2.1 基本式

熱に関する基本式は、熱伝導方程式に熱収支を考慮した

$$c_s \rho_s \frac{dT_s}{dt} dz = \lambda_s \frac{dT_s}{dz} + Q_S + Q_L + Q_H + Q_{IE} - l_F F dz \quad \dots\dots\dots(1)$$

である。ここで、 $c_s \cdot \rho_s \cdot \lambda_s$  : 雪の比熱・密度・熱伝導率、 $T_s$  : 雪温、 $Q_S$  : 正味短波放射量(入力を正)、 $Q_L$  : 正味長波放射量(入力を正)、 $Q_H$  : 潜熱(入力を正)、 $Q_{IE}$  : 顕熱(入力を正)、 $l_F$  : 氷の融解潜熱、 $F$  : 単位時間、単位体積当りの融解量である。ただし、(1)式は積雪表面での基本式であり、積雪内部では熱伝導方程式に融解潜熱を考慮した式とした。雪の融解は雪温  $T_s=0^{\circ}\text{C}$  になったときに始まるものとして考える。図1はモデルで考慮した熱、水収支過程を示す。図1では地面も描かれているが、計算上、土壌からの熱量も考慮するため、地中のある深さまで数層仮定し、地中の熱伝導も計算している。

圧密現象については、遠藤ら(1990)より

$$\int_{t-1}^t W(t,ti) dt \cdot g \cdot \cos^2 \theta = (C/n)(\rho_t^n - \rho_{t-1}^n) \quad \dots\dots\dots(2)$$

を用いた。ここで  $W(t,ti)$  :  $t$  時間の  $ti$  層にかかる荷重、 $g$  : 重力加速度、 $\theta$  : 地面の斜度、 $C \cdot n$  : 圧縮粘性係数に関する係数、 $\rho$  : 雪の密度。

## 2.2 計算の流れ

モデルで入力として使用した観測データは、標準的な AMeDAS 地点で観測されている毎時間の気温、降水量、風速、日照時間である。気温、風速、日照時間より、熱収支に関する気象要素を推定する。地面からの伝導熱については、積雪期に積雪と地面の境界温度がほぼ  $0^{\circ}\text{C}$  になることから境界条件を与えた。雪崩の発生原因となり、他の雪に比べ圧縮粘性係数の低いしもぎらめ雪は、積雪内部の温度勾配の積算より検出する。

図2に主な計算の流れを示した。計算出力として得られるものは、層毎の密度、雪温、含水率、水量、雪質などである。他の積雪層モデルは層を深さ単位で分割して計算しているが、本モデルでは水量  $1\text{kg}/\text{m}^2$  で分割して計算した。これにより層の構造が明確になり、1層を継続して抽出することが可能である。また時間スパンは、熱収支については1s、その他の過程については1h単位で行った。

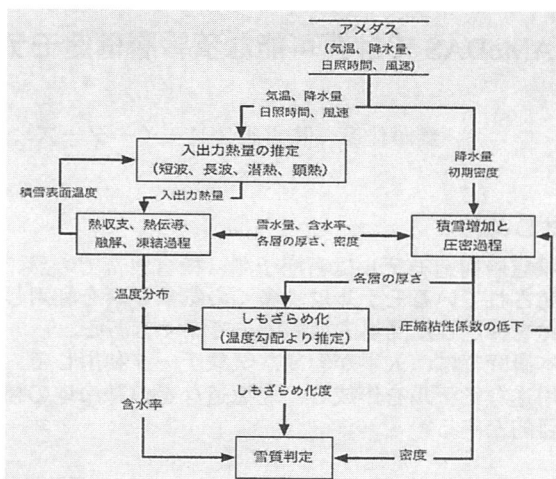


図2 計算の流れ

モデルの計算の流れを示す。熱収支、熱伝導、凍結融解は各層ごと1秒、その他の過程については1時間を1ステップとして計算。層の分割方法は水量  $1\text{kg}/\text{m}^2$  とした。

## 3 計算結果と検証

### 3.1 計算

今回計算で使用するデータは、北見での2003年12月から2004年4月までのAMeDASによる気温、降水量、風速、日照時間の毎時データとした。またモデル検証のため、AMeDASによる積雪深、また北見工業大学グラウンドで約5日ごとに行った積雪断面観測データを使用した。

なお、モデルの積雪水量の評価も行うため、積雪水量の断面観測での測定を行っている北見の2000-2001シーズンについても計算を行った。

### 3.2 結果と比較

図3にモデルの計算結果を示した。各色は雪質を示す。なお雪質判定は密度と含水率、しもぎらめ化の進行具合により行った。積雪深の2つのピークは大雪時のものである。雪質はこしもぎらめ雪としもぎらめ雪が占めているが、これは北見の積雪の傾向をよく表していると言える。

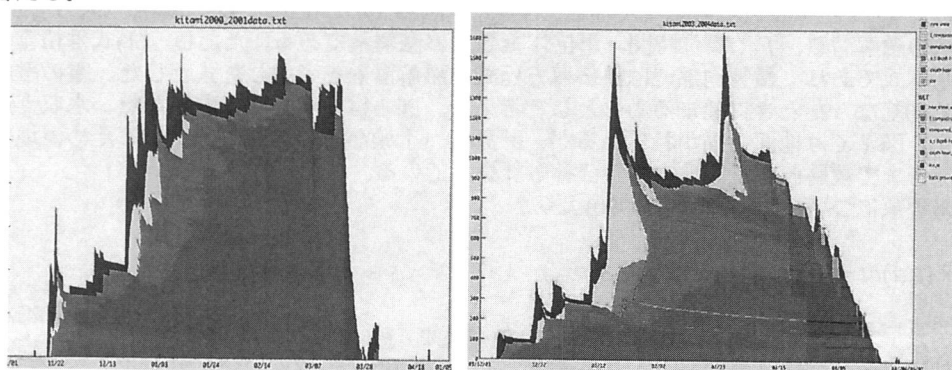


図3 モデルでの出力結果(雪質)

モデルでの北見2000-2001(左図)及び2003-2004シーズンの計算結果。縦軸は積雪深、横軸は時間、各色は雪質を示す。積雪深の2つのピークは大雪を示す。

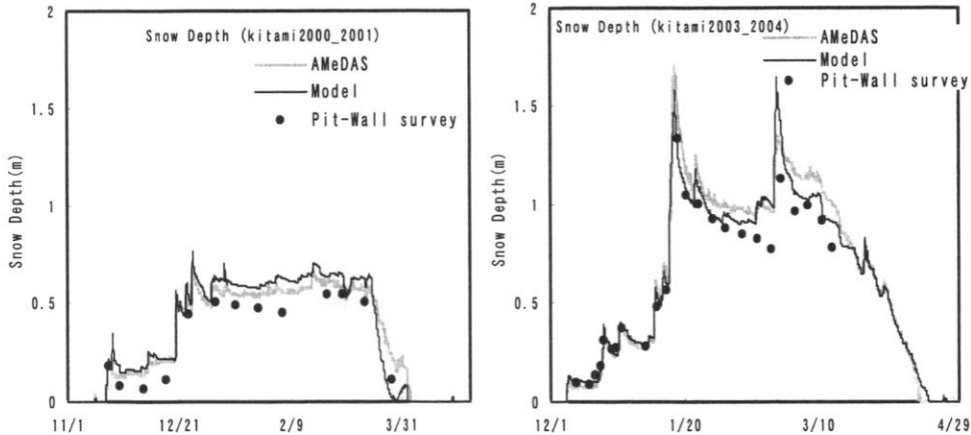


図4 積雪深比較  
北見 2000-2001(左図)及び 2003-2004(右図)シーズンの AMeDAS、積雪断面観測、モデルの積雪深比較。縦軸は積雪深、横軸は時間を示す。2つの観測データ (AMeDAS と断面観測) の間でもずれが生じている。

図4は、計算した期間の AMeDAS、断面観測、モデルでの積雪深を比較したものである。2003-2004 シーズンについて、1/16 ごろ短期間に積雪深が1m以上増加しているのが分かる。モデルと2つ観測データを比較してみると、大まかな傾向は一致しているが、大量降雪時(大雪時)や融雪開始時に若干のずれが生じている。積雪が消滅する時期についてはほぼ一致している。

図5に、北見での2000-2001シーズンのモデルと断面観測の積雪水量の比較を示した。積雪開始時は断面観測よりも10mm程度大きく見積もっている傾向であったが、12/20ごろの降水後より、実測値よりも過小評価する傾向が現れ、最大で30mm程度小さく表現していた。また、3月下旬からの融雪時にも、モデルが20mm程度小さく見積もる傾向にあった。モデルで誤差が現れる原因としては、蒸発散過程を考慮していないこと、積雪内部での水分移動の推定、降雪の捕捉率を考慮していないことが考えられる。

図6は北見での1月大雪直後の積雪断面観測とモデルの密度比較である。断面観測、モデルとも積雪深20cm以下は下部であるにも関わらず密度が低い。この部分はしもぎらめ化しているものと思われる。また、2つのデータを比較してみると下部に多少のばらつきが見られるが、20cm以上ではよく一致している。

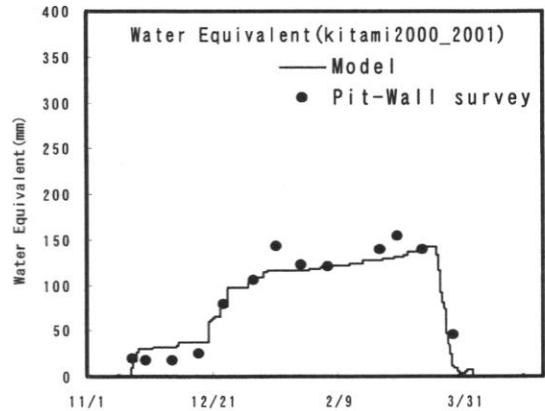


図5 積雪水量の比較(北見 2000 2001)  
北見 2004/1/17 11:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の積雪密度比較。縦軸は積雪高さ、横軸は密度を示す。積雪深20cm以下は密度が低く、しもぎらめ化していると思われる。

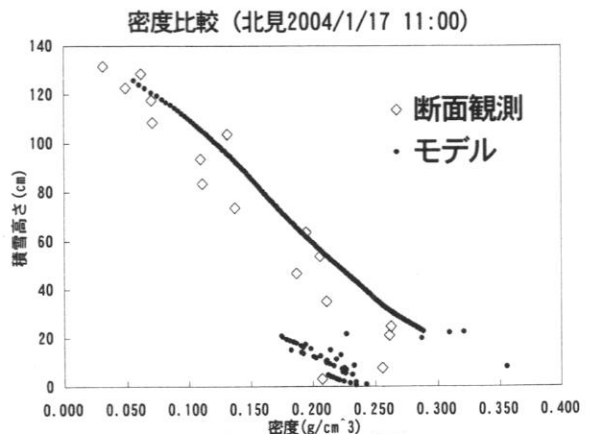


図6 積雪密度の比較  
北見 2004/1/17 11:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の積雪密度比較。縦軸は積雪高さ、横軸は密度を示す。積雪深20cm以下は密度が低く、しもぎらめ化していると思われる。

図7に北見 2004/1/17 の断面観測とモデルの雪温の比較を示した。地表面との境界では、断面観測、モデルとの雪温が0℃付近になっており、雪温の現象を表現することが出来ていると思われるが、積雪表面になるにつれ観測値とモデルの間でずれが大きくなり、最大で8℃近くのずれが生じている。また、雪温の分布についても、観測値では表面付近で温度が表面下部よりも低い値となっているが、モデルでは表面付近で表面下部よりも高い雪温となっている。これらのモデルと断面観測値とのずれは、モデルでの熱収支（積雪表面及び地表面境界での）の推定法、積雪の熱伝導率推定のずれなどが原因となって生じたものであると考えられる。

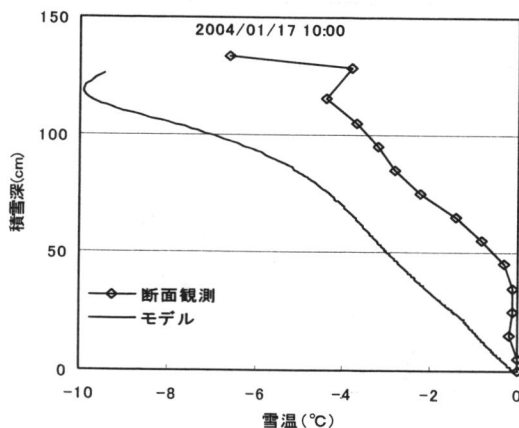


図7 雪温の比較  
北見 2004/1/17 10:00 のモデルと北見工大グラウンドでの断面観測の雪温比較。縦軸は積雪深、横軸は温度を示す。

#### 4 まとめ

モデルで計算した積雪深については、降雪時、融雪開始時などの若干のずれは見られるが、2つの観測データと比較した結果よく一致していた。密度についても大まかな傾向は表現していた。また、寒冷地の積雪に発生しやすく、北見の積雪の特徴であるしもざらめ雪の発生を良く表現していた。しかし、水収支、熱収支に依存している積雪水量や雪温では観測値と大きくずれが生じていることも確認した。

このように作成したモデルを使用して、AMeDASのように比較的入手が容易なデータより、大まかな積雪、積雪層構造の傾向を表現することができたが、雪温や積雪水量などの詳細な物理量は、実際とのずれが生じていた。

更に推定精度を向上させるためには、熱収支、熱収支の推定法を見直す必要があると思われる。

#### 文献

遠藤ら,1990：低密度の雪の圧縮粘性係数と密度の関係 雪氷,52 p267-274