

地球温暖化を踏まえた積雪融雪現象予測モデルの開発

東北支店 水圏グループ 小原 一哉

地球温暖化は、積雪寒冷地特有の降雪・積雪・融雪現象に大きな変化をもたらします。融雪洪水形態の変化に加え、積雪水量の減少に伴う河川水利用などへの深刻な影響が懸念されています。ここでは、「地球温暖化の適応策」を模索する一つの基礎モデルとして開発した河川融雪流出量予測モデル(岩手大学との共同研究)のうち、その核となる積雪融雪現象予測モデル(積雪深と地面到達量予測)について紹介します。

降水量、積雪水量、融雪水量について

積雪融雪現象予測モデルでは、降水から融雪に至る全過程を水量の連続性をもとに評価します。上空から地上付近に到達する水量を「降水量」(ここでは既知とします)、降水量の一部で雪の形態をとり地表面に貯留している水量を「積雪水量」、融解して積雪水量から除かれる水量を「融雪水量」、融雪水量のうち積雪層を経由して地面に到達する水量を「地面到達量」と定義します。また、任意の時刻において、積雪層の空隙中を浸透している水量を「浸透水量」、浸透水量のうち降雪粒子に付着する水量を「保水量」と定義します。(図1)

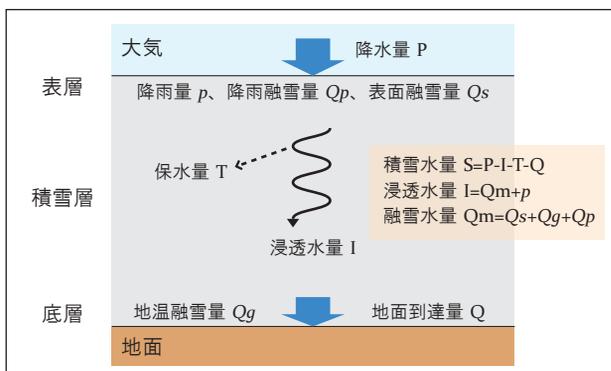


図1 降水から融雪に至る水量の流れ(同時刻)

降水形態の判別について(降雪と降雨)

積雪融雪現象を予測する第一歩は、降水量の形態(降雪、降雨)を判別することです。本モデルでは、降雨の発生確率が50%以下となる地上の気温で代表させ、それを「降水形態判

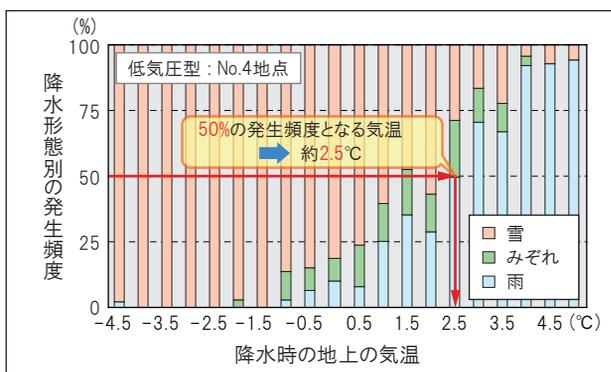


図2 降水時の気温と降水形態の関係

別気温(Tc)」と呼んでいます(図2)。

降水は、上空の降雪粒子が地上に落下する過程で融解しければ降雨になります。つまり、地上の降水形態を予測するためには、降雪粒子を融解させる大気熱量を常に想定しなければなりません。しかし、現在の高層気象観測体制では、現実的・実用的な運用が難しいため、地上の気温で代表することとしました。

ここで、上空に至る気温変化の特性は、降水要因によって大きく異なるため、地上と上空の気温差が大きい季節風型とその逆の傾向を持つ低気圧型とに分類してTcを設定しました。その結果、低気圧型Tcの方が低いこと、両者ともに標高依存性があること(上昇すること)がわかりました。(図3)

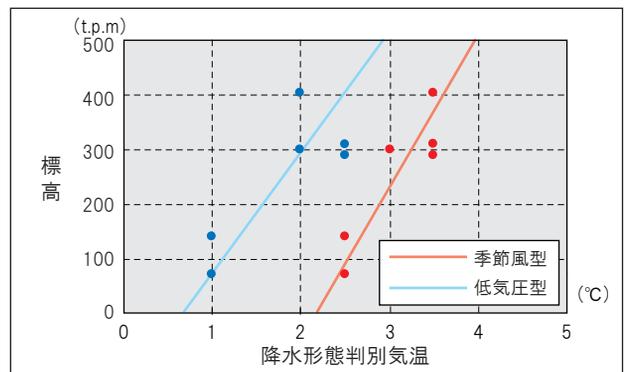


図3 降水形態判別気温と標高の関係

融雪水量の算定について

融雪形態は、気温や日射の熱量によって積雪表層付近で発生する「表面融雪」、地面熱量によって底層付近で発生する「地温融雪」、及び降雨が持つ熱量によって積雪表層付近で発生する「降雨融雪」(ここでは、省略)に分類されます。

表面融雪量は、熱収支法を用いて理論的に定量化が可能です。しかし、河川流域内の日射量、湿度、気温などを時空間的に連続して観測している例はほとんどないため、熱収支法の実用性は非常に低いこととなります。

そこで、本モデルでは、単位計算時間の正気温の合計値(積算暖度)に表面融雪係数(Dhf)を乗じた値で積雪表層部に作用する正の総熱量を代表させるDegree-Day法を適応して、実用性を確保しました。

一方、地温融雪量(Qg)は、底層が積雪によって概ね一定温度に保温されていることから、地温によらず安定した融雪量が観測されました。地温融雪量は概ね直接地面に浸透し、厳寒期の基底流量に相当します。

積雪層の物性と主な現象について

融雪水量は、浸透過程でその一部が雪結晶間に付着するため、地面到達量とは異なる値を示します。その程度は、積雪層の密度や湯き具合によって変化します。また、保水量の一部は、夜間冷却によって再凍結し、積雪水量や乾き密度を変化させます。従って、これらの積雪層内部の主要な現象をモデル化する必要があります。

積雪層は形成履歴(荷重と経過時間)が異なる複数の層から構成され、また、応力に対して、弾性と粘性の性格を併せ持ちます。そこで、圧密現象をモデル化するため、積雪層を粘弾性体と取り扱い、室内実験や断面観測を行いました。これらの実験から、応力と歪み速度の関係を表す粘性係数(η)を求めた結果、新雪密度(Rns)を初期値とし、降雪後の荷重と経過時間履歴に応じた圧密後の乾き密度を高い精度で予測できるようになりました(図4)。

保水能力も実験(種々の乾き密度を持つ供試体の注水実験)によって求めた結果、可能保水率(Rwh)は、乾き密度の増加に伴い低下することがわかりました。

以上から、時々刻々変化する積雪層の乾き密度とその影響を受ける地面到達量とを一体的に評価することが可能となりました。また、密度をもとに積雪水量を積雪深に変換することができるため、観測しやすい積雪深を用いることで、モデル精度の管理も容易になりました。

なお、外気温の影響を受ける積雪表層部からの深度は、再凍結深(Sdr)として、実験から20cmと設定しました。

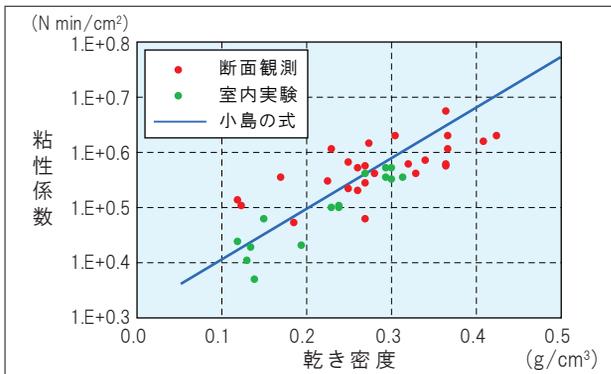


図4 乾き密度と粘性係数の関係

モデルの精度について

本モデルでは、降水、積雪、融雪に至る全過程を3つの素過程に分類し、降水量と気温が既知である地点の地面到達量と積雪深を日単位で予測します(図5)。

全期間を通じ、積雪深と地面到達量ともに、良好な精度で予測可能であることがわかります(図6)。

その一方、初冬期及び晩冬期に予測値が乖離する時期が確認されます。同時期は、特に、積雪の有無自体の誤差やTcの誤差が予測精度に大きな影響を与えます。ただし、これらは時間単位の予測方法を適応することで、多くが解消されると考えています。

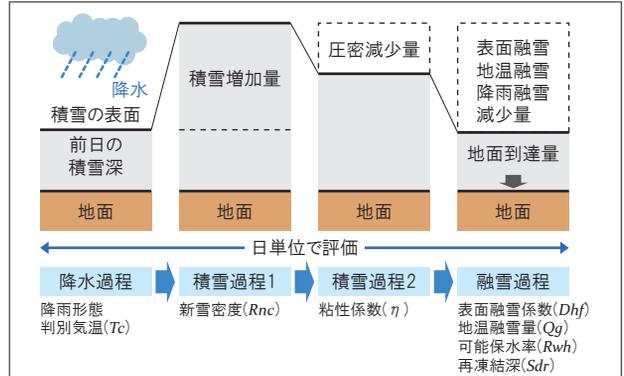


図5 積雪融雪現象予測モデルの素過程とパラメータ

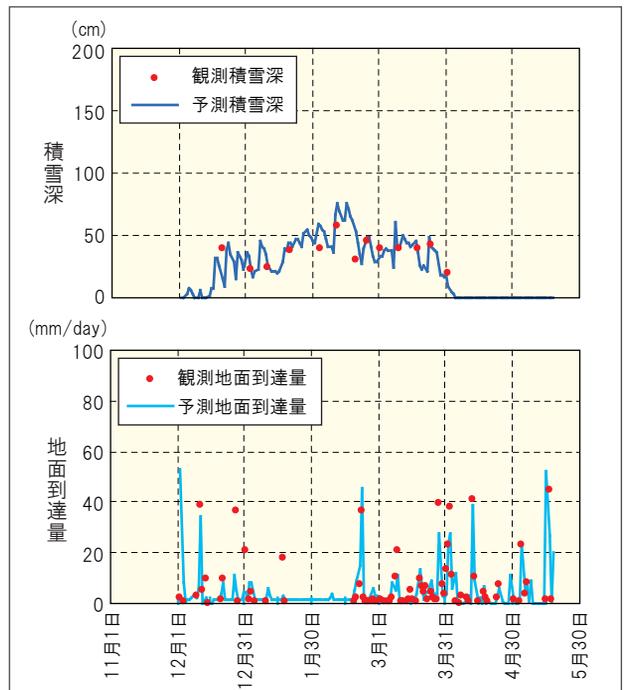


図6 積雪深と地面到達量の予測例(NO.1地点, 1993)

今後の取り組み

時間単位の予測計算では、積雪層内部の浸透速度をモデル化する必要があります。浸透速度は、密度、含水量、雪質などによって30~150cm/hrと大きく変動することがわかっており、河川流域の規模によっては、流域や河道の到達時間以上に流出誤差に影響を与える要素となります。今後、慎重かつ早期にモデル化を図る予定です。