熱収支法を用いたDegree-Day法の適用性の検証

東北大学工学部　学生会員　○宮田　俊介
東北大学大学院　正会員　朝岡　良浩
東北大学大学院　正会員　風間　聡

1. はじめに

日本において，積雪は重要な水資源であるが，地球温暖化をはじめとする気候変動は，降雪や積雪，融雪に大きな影響を及ぼす．過去の長期的な積雪量の再現は，気候変動あるいは気候変動が積雪水資源に与える影響の評価に対して有効なデータといえる．

積雪モデルは融雪モデルを組み込む必要があるが，融雪モデルは熱収支法と Degree-Day 法の二つに分類することができる．このうち，Degree-Day 法は積雪期間の日融雪量が日平均気温と線形関係にあると仮定するシンプルな手法である．Degree-Day 法は広域にわたる積雪量の推定に適しているが，物理的根拠に乏しく，その適用性や妥当性について検証する必要がある．

宮田ら [1]は Degree-Day 法の適用性に影響を与える気象要素として最大積雪深と積雪日数，気温を示した．本研究はそれらの影響を定量的に評価するため，Degree-Day 法や融雪係数の，降水量と気温に対する感度分析を行った．

2. 積雪モデル

積雪モデルは，積雪水量モデルと降雪モデル，融雪モデルにより構成される．積雪水量を推定する式を以下に示す．

$$SWE = SWE' + SF - SM \tag{1}$$

ここで SWE は積雪水量(mm/day)，SWE' は前日の積雪水量(mm/day)，SF は降雪水量(mm/day)，SM は融雪水量(mm/day)である．

次に Degree-Day 法による融雪モデルを示す

$$SM = T \cdot K \tag{2}$$

ここで T は日平均気温(℃)，K は融雪係数(mm/day･℃)である．融雪係数は Degree-Day 法において融雪量を決定する重要なパラメータである．

次に熱収支法による融雪モデル [2]について説明する．この融雪モデルは積雪を一つの層とみなし，積雪面における放射量と潜熱・顕熱交換量より融雪熱量を求め，融雪量を推定する．熱収支法は融雪に寄与するエネルギーを成分ごとに求め，積雪層と大気の熱交換をモデル化した熱力学に厳密な手法であり，その精度は高いことが示されている [2]．

3. 感度分析

感度分析を行うために Degree-Day 法による融雪モデル，熱収支法による融雪モデルをそれぞれ用いた積雪モデルにより，積雪水量の推定値と再現値を得た．そして融雪係数を 0.1 から 20.0 まで 0.1 刻みに変化させ，積雪深の観測値と任意の融雪係数に対応した積雪深の推定値の相関係数を求め，相関係数が最大となる融雪係数を採用する．さらに積雪モデルのインプットデータである降水量と気温を変化させて融雪係数を求めることにより，Degree-Day 法と融雪係数の，降水量と気温に対する感度分析を行った．データセットとして山形県山形市の机上気象観測所における気象データを用いた．対象期間は 2005 年 11 月から翌年 4 月までとし，対象期間に一定値の融雪係数を求めた．

4. 結果と考察

降水量はデータセットの観測値に 0.1 倍から 2.0 倍までの降水量の変化率を掛けることにより変動させた．また，気温はデータセットの観測値に−5.0℃から＋5.0℃までの気温の変化(℃)の値を加えることにより変動させた．**図-1** に気温と降水量の変化に対する相関係数の分布を示す．図によると，気温の増加と降水量の減少に伴い相関係数は減少した．これは宮田ら [1]の報告と一致している．これより気温が高く積雪量が少ない気候において Degree-Day 法の精度が低下することが示唆された．この結果を気温と降水量を用いて定量的に評価すると，相関係数が 0.7 以下となる条件として式(3)が得られた．

$$Y - 4.5X \geq -1.6 \tag{3}$$

ここで降水量の変化率の値を X，気温の変化量(℃)の値を Y とした．ただし近似曲線を最小二乗法によ

キーワード；AMeDAS，Degree-Day 法，融雪係数，積雪水量モデル
〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06　Tel＆Fax　022-795-7455

り求めた．

また図-1 によると，気温を低下させた場合に相関係数が減少している．この結果を同様に評価すると，相関係数が 0.7 以下となる条件として式 (4)が得られた．

$$Y - 0.5X \leq -4.3 \quad (4)$$

次に，図-2 に気温と降水量の変化に対する融雪係数の分布を示す．図によると，気温が比較的高い条件において融雪係数のばらつきが大きい傾向にある．これにより，気温が高い地域において，融雪係数の決定は難しい可能性が示唆された．

また図-2 によると，気温が低い条件において融雪係数が高い値となることが示唆された．これは，寡雪寒冷地帯では融雪が低温状態のまま進行して早期に消雪し，融雪熱量に対して放射成分が卓越し，気温のみで融雪現象を表現することに無理があるため，融雪係数が高い値になるとした報告 [3]と一致している．これより気温が低い地域において，融雪現象を気温により表現する Degree-Day 法の適用性に問題があることが示唆された．

5．まとめ

本研究は熱収支法を用いて積雪水量を再現することにより，Degree-Day 法や融雪係数の，降水量と気温に対する感度分析を行った．その結果を以下に示す．

・降水量の減少と気温の上昇，および気温の低下が Degree-Day 法の精度に影響を与えることを確認し，その影響を式(3)，式(4)により定量的に評価した．

・気温の低下に伴う融雪係数の減少を確認し，寒冷な地域における Degree-Day 法の適用性の問題を示した．

・気温の増加に伴う融雪係数のばらつきを確認した．温暖な地域における融雪係数の決定の難しさを示した．

これらの知見は Degree-Day 法が使用可能な地域の判別方法や融雪係数の推定方法の確立，日本全域の積雪量データベースの作成などに役立つと思われる．今後様々な気候の地域で感度分析を行うことにより，Degree-Day 法のパラメータ補正法を定式化することが望まれる． ただし熱収支法を用いた積雪モデルには多様な気象データが必要であり，気象観測所の観測精度が分析結果に影響を与えやすいことに留意する必要がある．

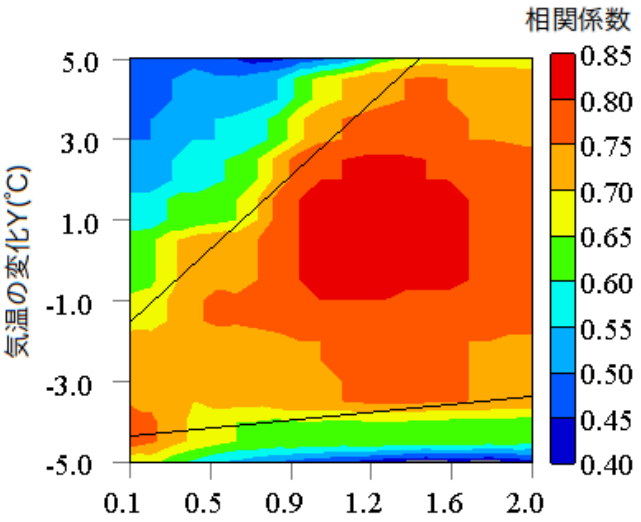

図-1　気温と降水量の変化に対する相関係数の分布

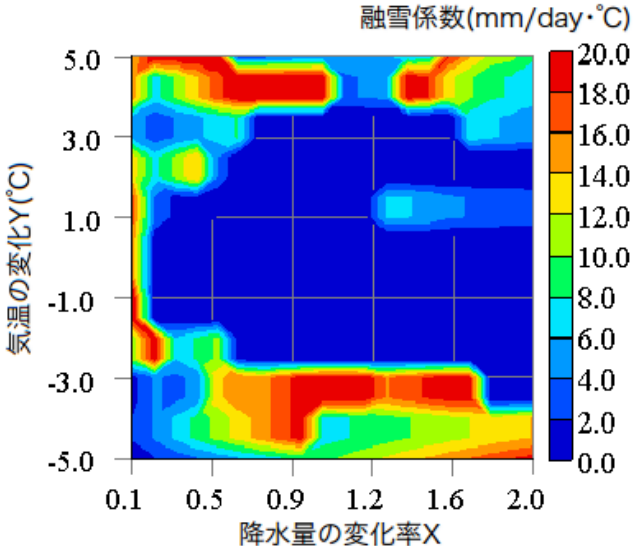

図-2　気温と降水量の変化に対する融雪係数の分布

謝辞：本研究の一部は，地球規模課題対応国際科学技術協力事業(SATREPS)の援助による「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発(GRANDE)」によって実施された．ここに記して，謝意を表する．

参考文献

1) 宮田俊介，朝岡良浩，風間聡：全国の AMeDAS 観測点における Degree-Day 法および融雪係数の検証，水工学論文集，2012（印刷中）．

2) 泉宏和，風間聡，沢本正樹：積雪水資源量評価における森林の影響について，水工学論文集，第50巻，pp.421-426，2006.

3) 朝岡良浩，小南裕志，竹内由香里，大丸裕武，田中信行：衛星観測に基づく積雪水量の広域推定と融雪係数の地域性，水文・水資源学会誌，第20巻，第6号， pp.519-529, 2007.