

## 気温変化に対する積雪融雪過程の感度が影響評価の不確実性に与える影響 Sensitivity Analysis of Climate Change Impact on Snow Processes: Amplification of Assessment Uncertainty through Impact Models

○工藤亮治\*・吉田武郎\*\*・増本隆夫\*\*

KUDO Ryoji, YOSHIDA Takeo, MASUMOTO Takao

**1.はじめに** 積雪融雪過程は水文過程の中で気候変動の影響を受けやすい過程の一つであり、その影響を評価することは水資源のみならず大気-陸面の相互作用といった観点からも重要な課題である。一般的に気候変動影響評価には不確実性が伴い、気候シナリオの推定に用いられる大気海洋大循環モデル（GCM）に最も大きな不確実性があるとされている。一方で、近年では単一要素のみならず複数要素による相互作用に起因する不確実性が注目されている。本報告では、積雪融雪過程で生じる不確実性の理解を深めることを目的とし、GCMによる不確実性（特にシナリオ間の気温変化の違い）と計算過程に閾値による非線形な過程を有する積雪融雪モデルの複合作用によって生じる不確実性について議論する。

**2.解析資料** CMIP5 より空間解像度が高い 5 つの GCM（MIROC5, CSIRO-Mk3-6-0, HadGEM2-ES, CNRM-CM5, MRI-CGCM3）による historical 実験, RCP 実験（RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5）から最大 3 アンサンブルメンバーを含む合計 11 通りのシナリオを排出シナリオごとに収集した。対象期間は historical 実験が 1981-2000, RCP 実験が 2081-2100 のそれぞれ 20 年間である。また、気温変化量が最も小さいと考えられる近未来予測として、RCP4.5 の 2021~2040（NF）を用いた。収集した気候シナリオの各気象要素は、逆距離内挿法（IDW）により 5km メッシュ化し、アメダス、気象官署のデータを 5km メッシュ化したデータを利用して CDF マッピング法によりバイアス補正を行った。

**3.積雪融雪モデルと評価指標** 降雨/降雪の判別は地上気温により両者の発生確率が線形的に変化する気温領域を設けて判別する。融雪水量の推定には水津の簡易熱収支法を用いる。このモデルに、44 の気候シナリオ（4 排出シナリオ×5GCM の 11 出力）を入力し積雪水当量を 5km メッシュ単位で算出した。影響評価指標は、1~3 月の平均 SWE の 20 年間の中央値の変化率（SWE<sub>change</sub>）とした。評価では全国を 5 地域（北海道、東北、北陸、中日本、西日本）に分割し、地域ごとに SWE<sub>change</sub> を平均化した。

**4.解析結果** （1）**気温変化に対する SWE 変化率の感度** 図 1 は、1~3 月の平均気温の変化量（横軸）と SWE<sub>change</sub>（縦軸）の 11 シナリオ間の予測幅を示したものである。東北以南の暖地積雪帯では、気温変化が小さい排出シナリオ（NF）で気温変化量の幅が小さいにもかかわらず SWE<sub>change</sub> の幅が最も大きくなり、気温変化の大きい排出シナリオほど SWE<sub>change</sub> の幅は小さくなる。逆に、北海道（寒冷積雪帯）では気温変化の大きい排出シナリオほど SWE<sub>change</sub> の幅が大きくなる。温度変化に対する SWE<sub>change</sub> の感度（回帰係数）をみると、暖地積雪帯の NF では 0.5 度の気温変化量の差に対して SWE<sub>change</sub> は 17-25 ポイントの変動、北海道の NF では 1.6 ポイント程度の変動となり、温度変化に対する SWE<sub>change</sub> の感度の違いが評価結果の不確実性の違いをもたらしていると考えられる。

（2）**モデル閾値と予測された気温分布の関係** 図 2 は、北海道、北陸における 1~2 月の日平均気温の分布（下段の濃淡図）とモデルの閾値の関係、および SWE<sub>change</sub>（上段の棒グラフ）である。閾値は、雨/雪の境界温度  $T_{s50}$ （両者の発生確率 50%ライン）、 $T_{s0}$ （積雪発

\*岡山大学大学院環境生命科学研究科 Graduated school of Environmental and Life Science, Okayama University

\*\*農研機構 農村工学研究部門 Institute for rural engineering, NARO

キーワード：不確実性、気候変動、複合作用、積雪融雪

生確率 0%ライン), 融雪開始温度 ( $T_{mfs}$ ) を示している. 北陸では, 平均気温が  $0^{\circ}\text{C}$  以上と比較的暖かく (historical), 気温変化の小さい排出シナリオ (NF) ほど予測気温が  $T_{s50}$  付近に分布しやすくなり, 冬季の平均気温 (図中のひし形) が  $T_{s50}$  を僅かでも超えると SWE は大きく減少するのに対し,  $T_{s50}$  未満では減少度合いが小さい. すなわち, わずかな気温変化の予測値の違いでも  $T_{s50}$  を前後して  $\text{SWE}_{\text{change}}$  の結果が大きく異なる.

一方, 北海道では気温が低いいため, NF では SWE の減少度合いがかなり小さい. 逆に, 気温変化が大きくなるほど (RCP26, RCP45) 予測気温分布の中心が融雪開始温度  $T_{mfs}$  に近づき SWE が大きく減少し始め, 評価のばらつき (不確実性) も大きくなる. RCP85 になると, 分布の重心 (平均値) が  $T_{mfs}$  を超えさらに分布の一部が  $T_{s50}$  を超え始めるため, SWE は急激に減少し不確実性は北陸と同様に小さくなった. このように, 積雪融雪過程における不確実性は, 積雪融雪モデルの非線形な応答と GCM の不確実性の複合作用によってもたらされ, その大きさは予測された気温とモデル閾値の関係に依存している. 特に, 予測された気温が評価モデルに設定されている閾値付近に分布する場合, モデルの非線形な応答により  $\text{SWE}_{\text{change}}$  の不確実性が増幅されると考えられる.

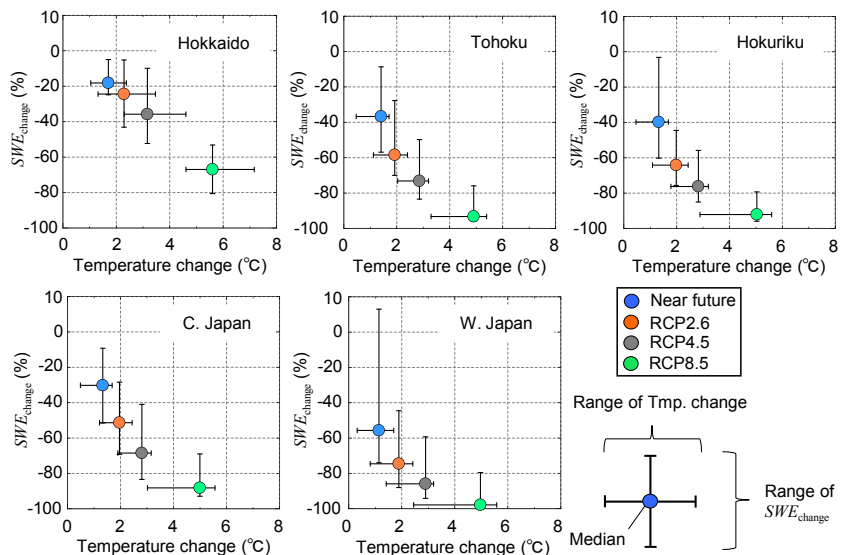
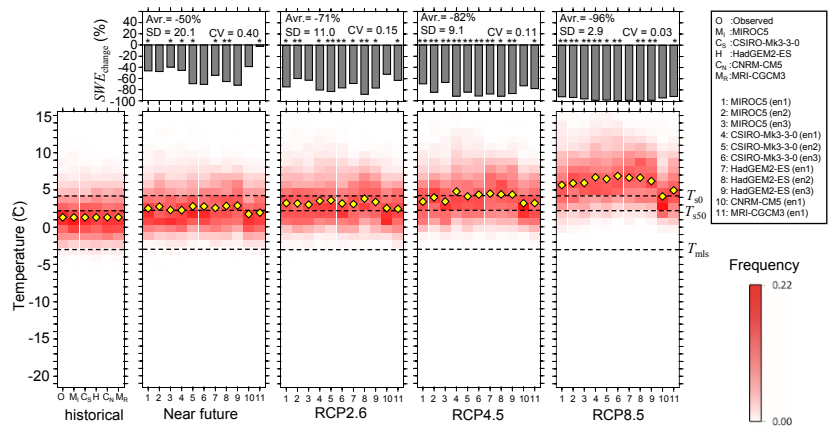
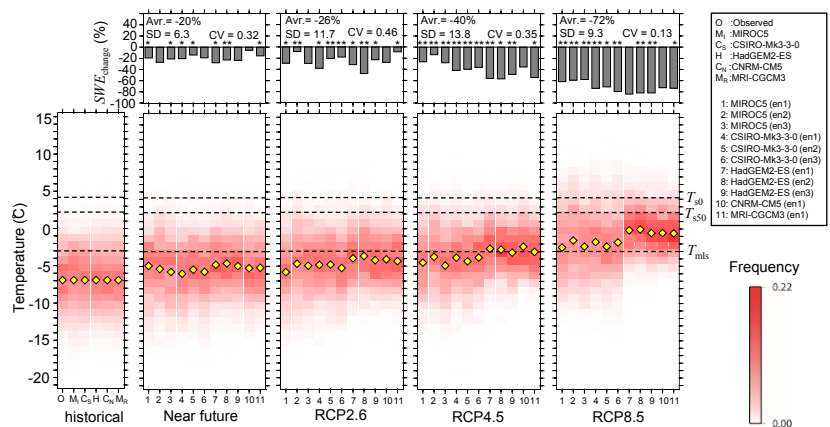


Fig.1 気温変化, SWE 変化率の予測幅の比較

Projection ranges of regionally averaged changes in winter-mean temperature and SWE (January–March).



(a) 北陸 (標高 500m 以下)



(b) 北海道 (標高 500m 以下)

Fig.2 予測された冬季の日平均気温の分布と積雪融雪モデルの閾値の関係 Comparisons of projected daily mean temperatures in winter (January and February) with projected percentage changes in SWE ( $\text{SWE}_{\text{change}}$ ) at elevations < 500 m in (a) Hokuriku and (b) Hokkaido

Avr : SWE 変化率の 11 シナリオ間の平均値

SD, CV : SWE 変化率の 11 シナリオ間の標準偏差と変動係数