雪質変質モデル SNOWPACK を用いた地球温暖化による雪質変化推定の 試み〜地球温暖化適応策検討の基礎データとして〜

中村一樹, 佐藤友徳, 山中康裕(北海道大学大学院地球環境科学研究院) 西村浩一(名古屋大学大学院環境学研究科)

1. はじめに

現在,大学,気象庁,環境省,文部科学省及び関連研究機関等は,地球温暖化による影響に対する適応について,数多くの研究をスタートさせているが,北海道のような積雪寒冷地では,特に,冬期の降雪,積雪に関わる影響予測が課題のひとつである.

これまで、温暖化後の降雪量や積雪深、積雪水量の予測に関するいくつかの研究例がある。例えば、気象庁は、地球温暖化予測情報 第7巻(2008)で大気・海洋結合地域気候モデル CRCM を用いて、A1B、B1 シナリオについて現在と将来の降雪量を月単位で比較している(A1B:すべてのエネルギー源のバランスを重視しつつ、高い経済成長となるシナリオ、B1:環境の保全と経済の発展が地球規模で両立するシナリオ)。井上、横山(1998)は、いくつかのシナリオについて、月平均気温と月降水量を入力として、経験的なモデルによって月降雪深を予測し、得られた降雪深と気温から統計的に最深積雪深と地域の代表的な雪質を予測した。

このように、これまで、温暖化を想定して、日本国内を対象とする月単位や冬期間 全体の降雪量や積雪深、積雪水量の推定、及びひと冬単位での代表的な雪質の推定は なされている。しかし、国内で数値モデルを用いて物理的に温暖化後の雪質の評価を した研究例はない。

本研究では、全球再解析データを $10 \, \mathrm{km}$ メッシュにダウンスケールすることによって 2005 年/06 年冬季の北海道の気象を再現した計算結果を基準年とした。また、全球モデルによる A1B シナリオの実験結果を用いて基準年の気象計算結果を擬似温暖化 (Sato *et al.*,2007、佐藤,2010) した後の気象計算結果を温暖化年とした.

この 2 つの気象計算結果をスイス雪・雪崩研究所が開発した雪質変質を再現する物理モデル SNOWPACK に入力して、札幌の温暖化後の雪質の評価を試みた.

なお 2005/06 年冬季は、札幌では平年より降雪量が少ない年(平年比 91%) に相当し、少雪年の評価という位置付けとなる.

2. 方法

(1)計算フロー

図-1 に示すフローで数値計算を行い, 温暖化後の積雪と現在の積雪の比較検 証を行った.

なお、NCEP/NCAR 再解析データは NCEP (National Center for

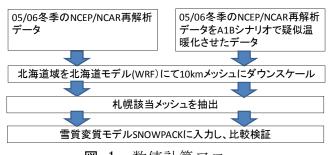


図-1 数値計算フロー

Environmental Prediction) 及び NCAR (National Center for Atmospheric Research) により作成されたデータで、世界各地で得られた気象観測値からスペクト

ルモデル (T62) を用いて 4 次元データ同化 (4DDA) を行い、全球の格子点上に編集したもので、空間分解能は水平方向が 2.5 度×2.5 度である.

(2) 擬似温暖化

全球気候モデル MIROC (東京大学気候システム研究センター,国立環境研究所,地球環境フロンティア研究センター)による A1B シナリオに対する計算結果 (気温,風向,風速,高度場)の現在 (1971-2000 年)と将来 (2060 年~2089 年)の差分を月ごとに計算した. 05/06 冬季の NCEP/NCAR 再解析データ (2005 年 10 月~2006 年 4 月) に先に求めた差分を加算したデータを作成し,擬似温暖化実験を行った.

この手法のメリットは、全球モデルで計算された温暖化後の変化を根拠に計算可能であること、そして、現在、温暖化後とも、再解析データをベースにしているので、全球気候モデルが持つバイアスの影響が低減されることがある。一方、デメリットとしては、低気圧のコースの変化など気圧配置の変化を評価できないことが挙げられる。

(3) ダウンスケール

図-2 のように、 2.5° メッシュの 05/06 冬季 NCEP/NCAR 再解析データから北海道域を抽出し、北海道モデル(WRF)を用いて力学的にダウンスケールした.

北海道モデルは、10 km メッシュ、鉛直 20 層(\sim 60hPa)の数値計算を行うことができるため、 2.5° メッシュの NCEP/NCAR 再解析データでは困難な北海道の地域評価が可能となる.

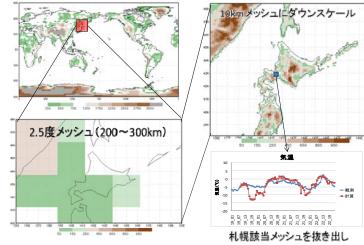


図-2 ダウンスケールの模式図

3. 気象計算結果

札幌における 05/06 冬季気象観測値(札幌管区気象台)と、NCEP/NCAR 再解析データをダウンスケールして札幌に該当するメッシュを抽出した 05/06 冬季気象再現値を比較した.

次に同じ年の観測値に対する再現値の特徴を把握した上で,05/06 冬季再現値と

05/06 冬季を擬似温暖化した計算値(擬似温暖化年)を比較した.

ここでは、雪質変質モデルへの入力項目のうち、代表的な気象要素である気温と降水量(降雪量)について検証する.

(1) 気温の比較検証

図-3 に、05/06 年冬季における札幌の気温観測値と再解析データをダウンスケールしたモデル再現値の比較を示す。図-3 から 0 \mathbb{C} 付近では、約 2 \mathbb{C} ほどモデル再現値よりも観測値が高いことがわかる。原因として、都市化の影響の再現性などが考えられる。

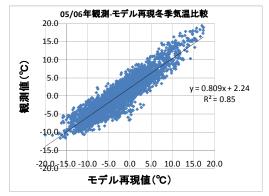


図-3 05/06 年冬季における札幌の気温観測値とモデル再現値の比較(縦軸:観測値,横軸:再現値)

図-4 に、05/06 年冬期における再解析データをダウンスケールした札幌の気温のモデル再現値と、再現値を擬似温暖化したモデル計算値の比較を示す.図-4 から 0 ℃付近では、約 4 ℃ほどモデル再現値よりも擬似温暖化計算値が高いことがわかる.

(2) 降水量(降雪量)の比較検証

図-5 に,札幌における 05/06 年冬季の観測値, モデル再現値,擬似温暖化モデル計算値の累積 降雪量(mm)の比較を示す.累積降雪量(mm)は, 降雪と考えられる気温 2℃以下の時刻の降水量 (mm)を累積するものと定義した.

1月末から 05/06 年冬季の観測値がモデル再 現値よりもやや多くなり最終的に 50mm 程度の

差となった.一方,擬似温暖化時は,2月末までは,05/06年冬季モデル再現値とあまり差がないが,その後,ほとんど増加せず,最終的なモデル再現値との差が100mmほどになった.温暖化時の2月末から3月にかけての降水が降雪ではなく降雨となるためであると考えられる.

図-4 05/06 年冬季における札幌の気温モデル再現値と再現値を擬似温暖化したモデル計算値の比較

(縦軸:擬似温暖化計算值,横軸: 再現值)



図-5 累積降雪量(mm)の比較:降雪と考え られる気温 2℃以下の降水量(mm)を累積

4. 積雪の評価

(1) 雪質変質モデルの評価

雪質変質モデル自体の再現誤差を評価するために,05/06 冬季に観測された北海道大学低温科学研究所での積雪断面観測結果で得られた雪質の変化と,低温科学研究所で観測された気象観測値を入力した雪質変質モデルの再現結果を比較した.その結果以下の特徴を見出すことができた.なお,SNOWPACKへ入力する気象要素は,気温,湿度,風向風速,日射量,入射する長波,降水量である.

- ・観測値の最深積雪深がモデルに比べ約 30cm 大きい等, モデルの積雪深が過小である.
- ・モデルのざらめ雪への変質は概ね再現されている.
- ・モデルの積雪期間と積雪の増減は概ね再現されている.

(2) 積雪の評価指標

地球温暖化適応策検討のための積雪の評価指標は、以下のようなものが考えられる.

・雪質(ざらめ雪比率),密度,最深積雪深,積雪期間,積雪安定度(雪崩発生危険度),ひと雪の積雪量,降雪強度,無積雪期間の気温差,融雪量,融雪時期

(3) 積雪の評価

前節で検討した評価指標のうち、雪質の変化の計算例を図-6に示す.温暖化時は、積雪初期からざらめ雪としまり雪の互層が認められ、温暖化時の消雪が1ヶ月ほど早いが、最深積雪深は両方とも約80cmで同じ程度となることがわかる.ひと冬の密度や表層雪崩発生の指標である積雪安定度の計算結果に対する考察は、次章にまとめた.

5. まとめ

物理モデルを用いた雪質の温暖化影響評価を国内で初めて行うことができた. A1B シナリオによる札幌の擬似温暖化実験の結果, 以下の結果を得た.

- ・温暖化時は、積雪初期からざらめ雪としまり雪の互層となった.
- ・温暖化時は消雪が約1ヶ月早いが,最深積雪深はほぼ等しかった.
- ・厳冬期の密度は、温暖化時の方が、やや大きな値を示した.

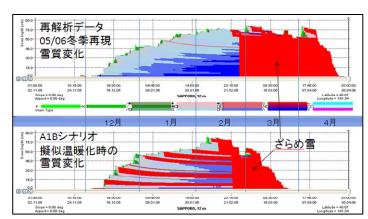


図-6 05/06 冬季と温暖化時の雪質の変化比較 (上: 気象モデル再現値から求めた 05/06 年のひ と冬の雪質,下: 擬似温暖化時のひと冬の雪質)

・表層雪崩発生の指標である積雪安定度が小さい層の数は、温暖化時の方が少なくなった.しかし、弱層や上載積雪が形成される過程についてさらに検討が必要である.

6. 今後の課題

(1) 気象モデルについて

- ・都市化の影響等を再検討し、観測値と再現値の誤差を小さくすることが必要である.
- ・局地的な現象や冬型時に発生する筋状の降雪雲を再現するには、さらに詳細な力学的ダウンスケールが必要(例えば 4km メッシュ)である.
- ・気象モデルの不確実性も踏まえた評価が必要である.

(2) 積雪モデルについて

- ・北海道の積雪に合わせた積雪モデルの再現精度向上が必要である.
- ・降雪結晶による弱層形成等新しい概念を加え、積雪安定度の精度向上を図る.

(3) 評価方法について

- ・評価指標を北海道全体の面に展開し、地域差、標高差などを検討する.
- ・05/06年は、降雪量が少ない年(札幌平年比91%)だったが、他の年でも検討する.
- ・生活や産業と直結する指標で評価する.

謝辞

北海道大学低温科学研究所と気象研究所が共同で取得した 05/06 北大低温研での積雪断面観測結果を検証データとして使用させていただきました. ここに感謝申し上げます. 本研究は,環境省環境研究総合推進費 (S-8),文部科学省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA),及び IFES-GCOE モデリングタスクフォースの一環として行われました.

【参考・引用文献】

- 1) 気象庁, 2007: 地球温暖化予測情報 第7巻, 59pp.
- 2) 井上聡・横山宏太郎, 1998: 地球環境変化時における降積雪の変動予測. 雪氷, **60**, 367-378.
- 3) Sato, T., F. Kimura, and A. Kitoh, 2007: Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. J. Hydrol., **333**, 144-154.
- 4) 佐藤友徳, 2010: 擬似温暖化実験. 天気, 57, 111-112.