

4.1 気象変動の影響による雪氷環境の変化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

研究担当者：松澤勝、上田真代、松下拓樹、
原田裕介

【要旨】

雪対策の長期的計画や施策の立案、防雪対策施設の設計に資するために、気候モデルの将来気候予測値を利用した雪氷気候推定技術を2通り提案し、それぞれの推定技術を用いて将来の雪氷気候値の分布図を作成のうえ、これらの変化を予測した。その結果、雪氷気候値の平均値は減少傾向であるが、本州・北海道の内陸部、北海道の東部での増加傾向も推定された。

キーワード：気候変動、吹雪量、視程障害頻度、分布図、将来予測

1. はじめに

近年、気温の乱高下、局地的な多量降雪や暴風、暖気の流入による異常高温の発生など気象変化が激しくなる中、大規模な雪氷災害が発生している^{1)・4)}。将来に亘って、雪氷災害の激甚化や発生形態の変化が懸念される。このため、気象変動の影響による雪氷環境の変化を明らかにすることは、雪氷災害に関する長期的な視点に立った研究に取り組む上で、基礎となるものであり重要である。また、現在の吹雪の度合いを表す統計値である雪氷気候値（一冬期吹雪量や視程障害発生頻度、表-1）の分布図⁵⁾には、近年の気象変動や将来の予測値が反映されておらず、雪対策の長期的計画や施策の立案、防雪対策施設の設計のため作成が強く望まれている。そこで、本研究では平成23年度までに、近年の気象変動を反映した雪氷気候の分布図を作成した。平成24年度は、将来気候予測値を利用した雪氷気候推定技術を2通り提案し、それぞれの推定技術を用いて、将来の雪氷気候値の分布図を作成した。

表-1 本研究での雪氷気候値の定義

項目	本研究での定義
一冬期吹雪量 (m^3/m)	吹雪量（単位時間に風向と直角な単位幅を通過する雪の質量）の一冬期の累計値を体積換算した値。
視程障害頻度 (日)	1年間のうち視程障害が発生する日数である。ここでは視程 200m を下回る日（視程障害発生日）の年間累計日数。

（注：雪氷気候値は直接計測が困難なため、気象条件から推定した値である。推算手法は上田ら⁶⁾を参照）

2. 将来気候予測値を利用した雪氷気候推定技術の提案

一冬期吹雪量や視程障害頻度等の雪氷気候値は、閾値が関係する統計量である。それらの変化は、気候モデルの出力値と現実の観測の出現頻度が十分に一致していないと、系統誤差が増幅されて変化量の算出に影響し、適切な予測値を得られない場合がある。このため、将来気候予測値を利用した雪氷気候の推定に際し、モデル出力値の系統誤差を補正する必要がある。ここでは、冬期の気象統計値を補正した推定技術と、雪氷気候値を補正した推定技術の2通りの手法を提案した。対象箇所は、北海道、東北地方および新潟県とした。なお、本研究で用いた気候モデルは、MRI-AGCM3.2S⁷⁾（気象研究所、解像度 20km 格子）である。この気候モデルは、現在気候（1979-2003年）、近未来気候（2015-2039年）、将来気候（2075-2099年）について演算し、1時間ごとの気象値を出力する。近未来および将来気候は、A1B シナリオ（大気中の温室効果ガス濃度が21世紀末頃に20世紀末の約2倍）⁸⁾による結果である。

2.1 冬期の気象統計値を補正した推定技術

平成23年度に、雪氷気候値を目的変数、観測値から与えられる冬期間（12月～3月）の平均気温、平均風速、最深積雪（以下、冬期の気象統計値という）を説明変数とする重回帰式を作成した。加えて、解像度 1km のメッシュ平年値⁹⁾などの気象統計値を説明変数として重回帰式に代入することで、現在の雪氷気候値の分布図を作成した。

本手法では、気象庁アメダスと道路テレメータ地

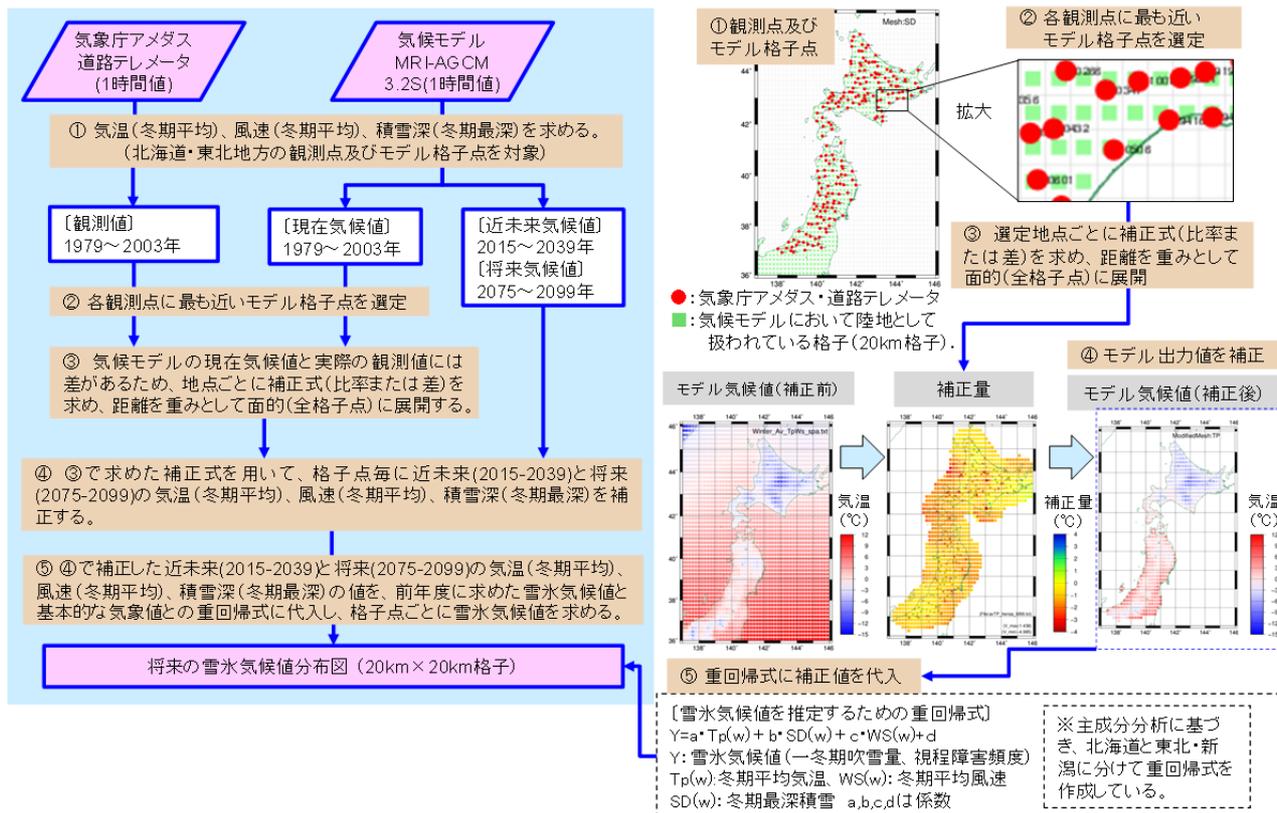


図-1 冬期の気象統計値を補正した将来の雪氷気候推定技術フロー及び概念図

点の観測値と各観測点に対応する気候モデル格子点の現在気候再現値を比較し、冬期の気象統計値の補正式(補正量および補正比)を求めた。次に、距離を重みとして補正量および補正比を面的(全格子点)に展開し、気候モデルの全格子点での冬期の気象統計値を補正した。補正後の冬期の気象統計値を、前年度に求めた重回帰式の説明変数に代入することで、将来の雪氷気候値を推定する手法を検討した(図-1)。以下に、本手法について詳述する。

2. 1. 1 補正対象モデル格子点の選定

補正対象とする気候モデルの格子点は、アメダスや道路テレメータの地点との距離が最も近い格子点とした。なお、格子点と観測地点の距離は、Hubenyの公式によって算出した。

$$D = \sqrt{(A_x M)^2 + (A_y N \cos P)^2} \quad (1)$$

ただし、

$$M = \frac{R_x(1 - E^2)}{(1 - E^2 \sin^2 P)^{3/2}}$$

$$N = \frac{R_x}{(1 - E^2 \sin^2 P)^{1/2}}$$

$$E = \sqrt{\frac{R_x^2 - R_y^2}{R_x^2}}$$

ここで、 A_x は2点の経度の差(rad)、 A_y は2点の緯度の差(rad)、 P は2点の緯度の平均(rad)、 M は子午線曲率半径(km)、 N は卯酉線曲率半径(km)、 E は離心率、 R_x は長半径(赤道半径=6,378,137.0km)、 R_y は短半径(極半径=6,356,752.314140km)である。

気候モデル格子点値と観測データとの差には、海域と陸域の違いに起因する系統誤差も含まれている場合がある。そこで、気温および積雪深の補正に使用する地点は、格子内の面積の半分以上が陸地であること、積雪に関する気候モデル出力値の妥当性を確認のうえ選定した。また、風速は観測地点の周辺状況によって特性が変化することから、このような影響の少ない地点を選定した。

その結果、気温は183箇所、風速は146箇所、積雪深は194箇所が選定された。

2. 1. 2 冬期の気象統計値の補正

1) 観測値の高さ補正

気候モデルの地表面および観測地点の標高に差があることから、観測された気温を式(2)のように修正した。

$$T = T_p - \frac{\alpha}{100}(z_m - z_p) \quad (2)$$

ここで、 T は標高 z_m における気温(°C)、 T_p は観測地点での気温(°C)、 z_m はモデル格子点の標高(m)、 z_p は観測地点の標高(m)、 α は気温減率(0.6°C/100m)である。

また、気候モデルの風速は地上高10mであるが、観測される風速は地点ごとに高さが異なる。ここでは、観測風速を対数分布則(式(3))に基づいて地上高10mの風速に換算した。

$$U_{z=10m} = \frac{u^*}{k} \log\left(\frac{10}{z_0}\right) \quad (3)$$

ここで、 $U_{z=10m}$ は地上高10mの風速(m/s)、 k はカルマン定数(=0.4)、 z_0 は粗度(=1.5×10⁴m)、 u^* は次式で求めた摩擦速度である。

$$u^* = \frac{k \times U_{z=h}}{\log(h/z_0)} \quad (4)$$

ここで、 $U_{z=h}$ は観測地点の風速(m/s)、 h は観測地点の風速計の地上高さ(m)である。

2) 補正量および補正比の設定

観測値と気候モデルの対応する格子点において、冬期の月平均気温の補正量¹⁰⁾、冬期の月平均風速の補正比¹¹⁾、冬期の月最深積雪の補正比¹²⁾を、次式によりそれぞれ算出した。

$$\Delta T = V_{model} - V_{obs} \quad (5)$$

$$R = \frac{V_{model}}{V_{obs}} \quad (6)$$

ここで、 ΔT は冬期平均気温の補正量、 R は冬期平均風速または冬期最深積雪の補正比、 V_{model} は気候モデル値(気温、風速、積雪深)、 V_{obs} は観測値(気温、風速、積雪深)である。

次に、各地点で得られた補正量および補正比を距離に応じた方法で内挿補間し、これらの面的な格子点データを作成することにした。内挿補間は、相馬ら¹³⁾を参考として逆距離加重平均法(式(7))を用いた。

$$I_j = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} v_i\right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2}\right)} \quad (7)$$

ここで、 I_j はモデル格子点 j の値(補正量または補正比)、 d_i はモデル格子点 j と地点 i との距離、 v_i は地点 i における値(補正量または補正比)、 n は算出対象の地点数である。なお、対象箇所各モデル格子点の算出対象地点は、モデル格子点 j から75km以内とした。

3) 気候モデル格子点の補正

現在気候再現値と観測値との補正量または補正比が、将来にわたって変化しないものと仮定し、現在気候、近未来気候、将来気候における冬期の月平均気温、月平均風速、月最深積雪の補正式を求めた。

$$D_j = V_{model,j} - I_j \quad (8)$$

$$D_j = \frac{V_{model,j}}{I_j} \quad (9)$$

ここで、 D_j はモデル格子点 j における補正後の値(月平均気温、月平均風速、月最深積雪)、 $V_{model,j}$ はモデル格子点 j の気候モデルの値(月平均気温、月平均風速、月最深積雪)、 I_j はモデル格子点 j の補正量または補正比である。

2. 1. 3 将来の雪氷気候値分布図の作成

気候モデルの冬期の気象統計値を補正した値を、重回帰式の説明変数に代入することで、将来の雪氷気候値分布図を作成した。これまでに検討した一冬期吹雪量と視程障害頻度を推定する重回帰式を式(10)～式(13)に示す。

$$I_1 = (-0.061Tp + 0.816Ws + 0.003Sd - 0.719)^4 \quad (10)$$

$$I_1 = (-0.101Tp + 0.632Ws + 0.001Sd - 0.067)^4 \quad (11)$$

$$I_2 = (-0.092Tp + 1.073Ws + 0.012Sd - 2.263)^{2.6} \quad (12)$$

$$I_2 = (-0.109Tp + 1.259Ws + 0.010Sd - 2.328)^{2.2} \quad (13)$$

ここで、 I_1 は一冬期吹雪量、 I_2 は視程障害頻度、 Tp は冬期の平均気温(°C)、 Ws は冬期の平均風速(m/s)、 Sd は冬期最深積雪(cm)である。ただし、北海道は式(10)と式(12)、東北地方と新潟県は式(11)と式(13)を用いる。

2. 2 雪氷気候値を補正した推定技術

北海道と東北地方および新潟県における気象庁ア

メダスと道路テレメータ計 161 箇所の観測値と、最も近い気候モデル格子点の現在気候を用いて雪氷気候値を推算し、その値を用いて回帰式（補正式）を箇所ごとに作成した。各々の補正式に気候モデルの将来気候値を代入することで、将来の雪氷気候値を推定する手法を検討した（図－2）。以下に、本手法について詳述する。

2. 2. 1 補正対象モデル格子点の選定

観測データと比較する格子点は、2.1 と同様にアメダスや道路テレメータの地点と距離が最も近い格子点とした。観測地点と格子点との距離の算出は、2.1.1 節で示した方法による。その結果、アメダスや道路テレメータ近傍の格子点 161 地点が補正対象として選定された。

2. 2. 2 雪氷気候値の補正

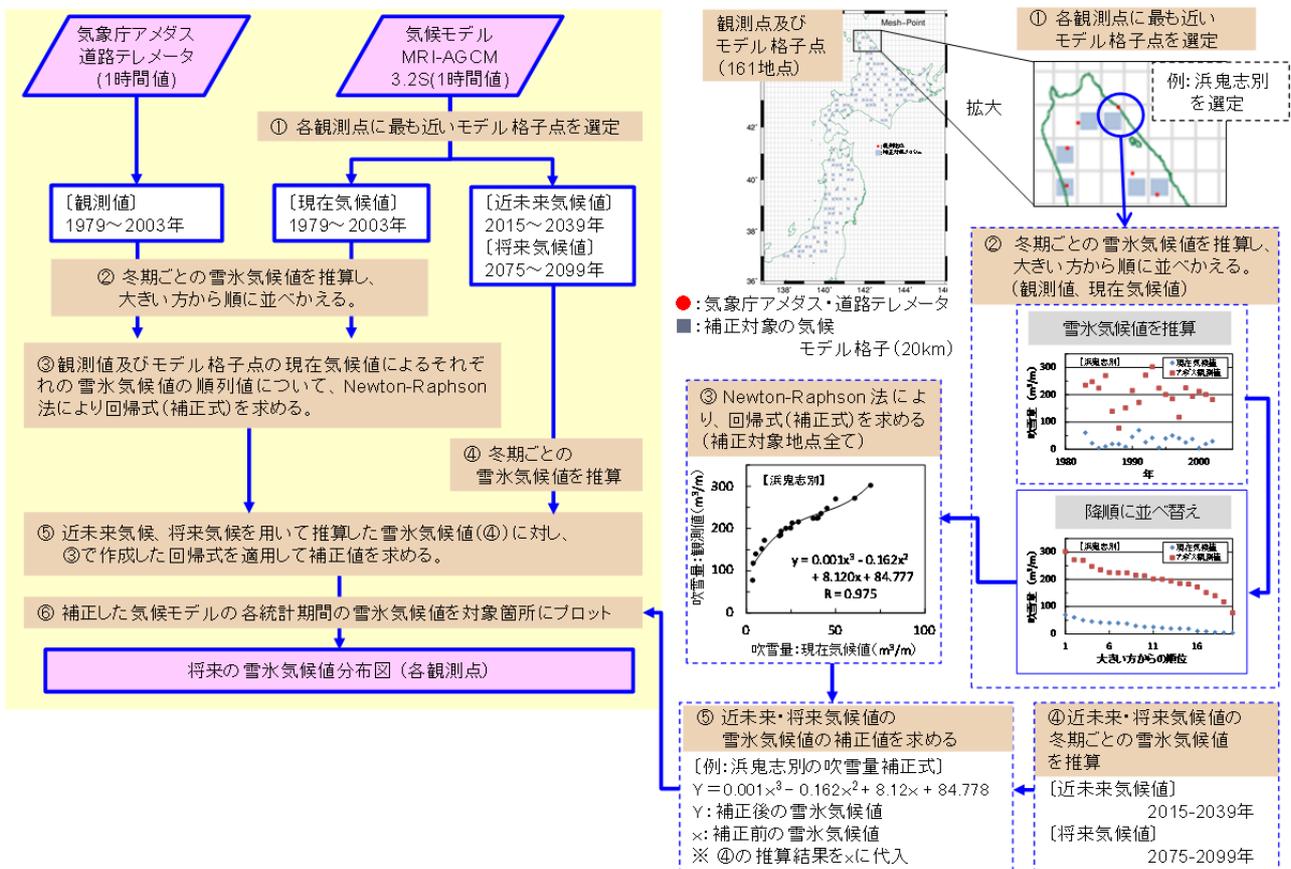
地上観測値より推算した雪氷気候値と、対応する格子点における気候モデルから算出した雪氷気候値の現在気候値について、Piani et al.¹⁴⁾を参考として以下の手順で補正した。

- 1) 地上観測値から推算した 1979～2003 年の冬期ごとの雪氷気候値を、地点別に大きい方から順

に並べかえる（図－2②）。

- 2) 各観測地点に対応する気候モデル格子点の現在気候再現値（1979～2003 年）から推算した雪氷気候値を、地点別に大きい方から順に並べかえる。
- 3) 観測値から推算した雪氷気候値と、モデル格子点の現在気候再現値から推算した雪氷気候値の順列値について散布図に示し、Newton-Raphson 法により誤差の二乗が最少となるように観測値から推算した雪氷気候値を目的変数、現在気候再現値から推算した雪氷気候値を説明変数とする回帰式（多項式や一次式）を求め、これを補正式とする。
- 4) 3) で求めた補正式を、近未来気候（2015～2039 年）、将来気候（2075～2099 年）より推算した雪氷気候値に対して同様に適用し、地点別に補正する。

一例として、北海道北部の浜鬼志別における吹雪量の補正について、図－2 の概念図に示した。



図－2 雪氷気候値を補正した将来の雪氷気候推定技術フロー及び概念図

2. 2. 3 将来の雪氷気候値分布図の作成

補正した気候モデルの雪氷気候値を対象箇所にプロットし、近未来および将来の雪氷気候値の分布図を作成した。

3. 将来の雪氷気候値分布図の作成

2章で検討した2通りの手法を用いて、推定される将来の雪氷気候値の分布図を作成した。図-3は、近未来気候または将来気候と、現在気候との差を算出し、年代ごとの一冬期吹雪量と視程障害頻度平均値の変化量を示したものである。その結果、1) 冬期の気象統計値を補正した推定方法では、将来の雪氷気候値の平均値は概ね減少傾向で、特に北海道の日本海側でその傾向が大きいことがわかった(図-3上)。また、2) 雪氷気候値を補正した将来の雪氷気候推定方法では、日本海側で減少傾向にあるが、近未来(2015-2039年)では北海道の内陸部と東部、本州の内陸部では増加傾向にあることがわかった(図-3下)。

得られた雪氷気候値について、推定手法により差が発生している。この理由として、1)の推定方法は、

面的に展開した冬期間の代表的な気象統計値を用いるため、北海道と東北地方および新潟県の全体的な変化傾向が反映されている。対して2)の推定方法は、対象地点ごとの吹雪発生時の気象値を用いているため、地域的かつ時間的に限定された影響が反映されているものと考えられる。今後、両方の手法について考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

変動が増大する雪氷気候値や雪氷災害の変化・特徴を解明し、雪氷災害対策の計画、設計等に資するハザードマップを提示するため、平成24年度は北海道、東北地方および新潟県を対象として、気候モデル(気象研究所MRI-AGCM3.2S 解像度20km 格子)の将来気候予測値を利用した雪氷気候推定技術を2通り提案し、それぞれの推定技術を用いて将来の雪氷気候値の分布図の作成のうえ、これらの変化を予測した。その結果、雪氷気候値の平均値は減少傾向であるが、本州・北海道の内陸部、北海道の東部での増加傾向も推定された。

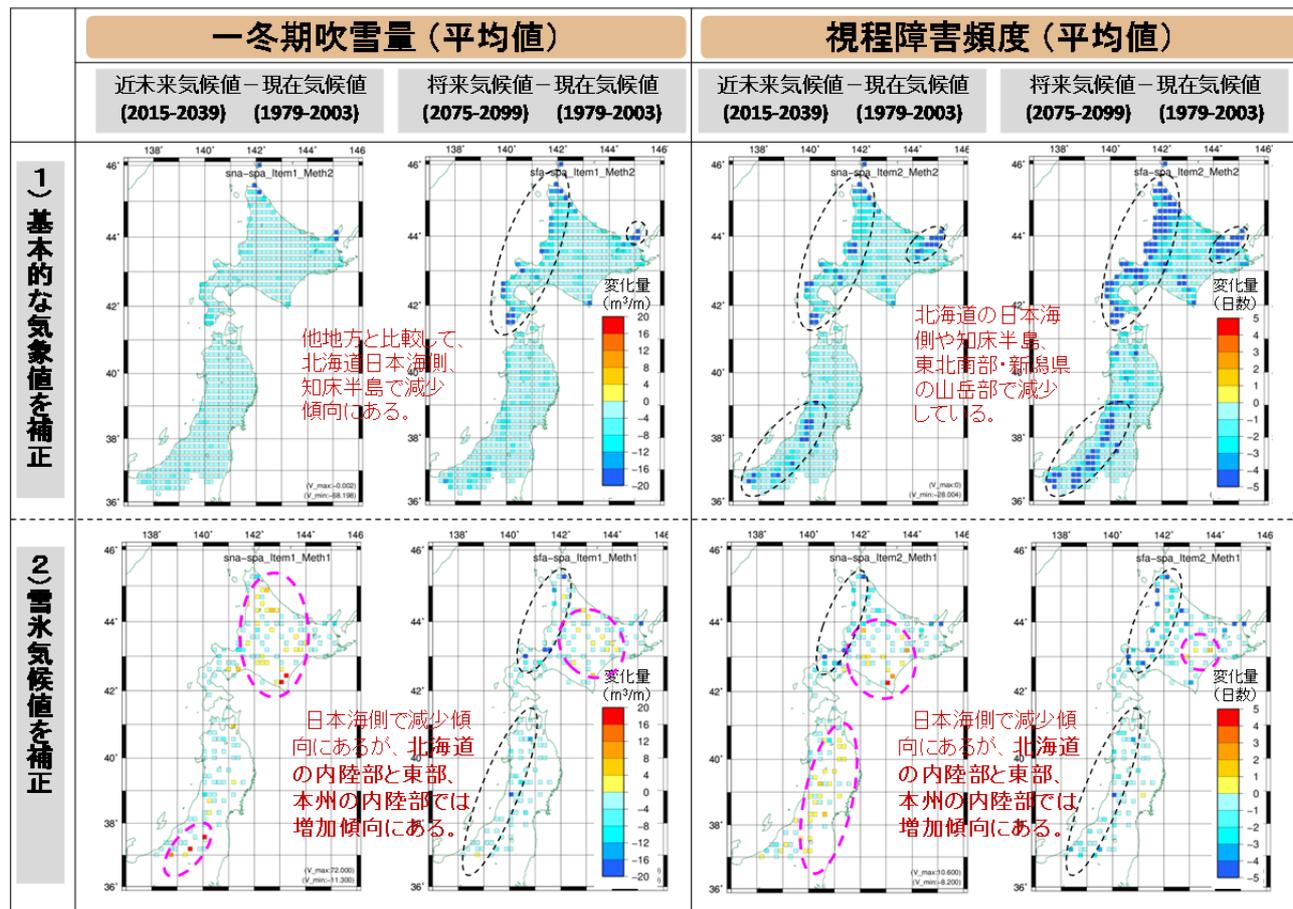


図-3 雪氷気候値の年代ごとの変化量 (近未来/将来-現在)

吹雪をはじめ雪氷現象は、局地的な地形の影響をうける場合が多い。今後、より細かい格子気候モデル（気象研究所 NHRCM 解像度 5km 格子）を用いて将来の雪氷気候値の分布図を作成し、将来の雪氷災害対策の計画、設計等に資するよう取りまとめる予定である。

hydrological models. *J. Hydrology*, 395, 199-215, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024

参考文献

- 1) 堤拓哉他：2011－2012年冬期に北海道岩見沢市を中心として発生した大雪について（その2）－大雪災害の被害－、北海道の雪氷、31、pp.119-122、2012.5
- 2) 尾関俊浩他：2010年1月17日に北海道石狩中部で局地的に発生した大雪（その1）－概要および雪氷災害調査－、北海道の雪氷、29、pp.81-84、2010.6
- 3) 滝谷克幸他：2008年冬期北海道を通過した爆弾低気圧と交通障害、及び視程の推定、北海道の雪氷、27、pp.95-98、2008.6
- 4) 榎本浩之他：2004年1月道東地方の大雪－北見市の積雪－、北海道の雪氷、23、pp.75-77、2004.7
- 5) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）、pp.1-4-19 - 1-4-21、2011.3
- 6) 上田真代他：近年における吹雪量と視程障害発生頻度の変動傾向について、寒地土木研究所月報、701、pp.32-39、2011.10
- 7) Mizuta, R. et al.: Climate Simulations Using MRI-AGCM3.2 with 20-km Grid, *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, pp.233 - 258, 2012.2
- 8) IPCC : Climate Change 2007 : The Physical Science Basis, pp.79, 2007.
- 9) 気象庁：メッシュ平年値（CD-ROM）、2012.9
- 10) 川村一人他：気候変動が積雪地域の水循環と水利用へ与える影響について、水工学論文集、54、pp.445-450、2010.2
- 11) 新田知子他：流量確率指数を用いた地球温暖化に伴う日本域洪水リスク変化の推定、水工学論文集、54、pp.451-456、2010.2
- 12) 中村和正他：北海道内の水田灌漑用ダムにおける将来の水収支の試算、寒地土木研究所月報、667、pp.12-19、2008.12
- 13) 相馬一義他：現業気象データと陸面過程モデルによる日本の地表面状態量の推定、京都大学防災研究所年報、49B、pp.617-624、2006.4
- 14) Piani, C. et al.: Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of

CHANGES IN SNOW AND ICE ENVIROMENTS ASSOCIATED WITH CLIMATE CHANGE

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Cold-Region Road Engineering
Research Group
(Snow and Ice Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru
UEDA Masayo
MATSUSHITA Hiroki
HARADA Yusuke

Abstract : In cold snowy regions of Japan, it is considered important to understand changes in winter climate conditions in order to enable contribution to the development of long-term snow and ice control plans and measures. In this study, a method of estimating snowy climate values for use in future projections with a global climate model was investigated and made future distribution maps showing snowy climate values in Hokkaido, Tohoku region and Niigata prefecture. Formulas to support the estimation of snowy climate values were initially created using past meteorological data, and future projection data were substituted into the formulas. The results indicated that the predicted means of snowy climate values were mainly lower than the present values, but estimated that increasing trends in eastern and inland Hokkaido and mountainous areas of northern mainland.

Key words : climate change, transport rate of drifting snow, frequency of poor visibility, distribution map, future projection