

## 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、近年の雪氷環境の変化を解析し、それらを反映した雪氷気候値の分布図を作成した。また、気候モデルの将来予測値を用いた雪氷気候推定技術と、将来の雪氷気候値の分布図の作成案を提示した。その結果、冬期ごとの降積雪量の変化傾向は、累積降雪量が対象地域の大部分で減少傾向にあるのに対し、最深積雪は北海道東部と東北地方山間部で増加傾向であった。現在までの雪氷気候値分布図は、概ね推定値と整合が取れていた。北海道 4 箇所における将来の雪氷気候値の平均は、現在よりも減少していた。

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、雪氷災害の激甚化や発生形態の変化が発生している。しかし、このような雪氷災害の発生条件などは不明な点が多い。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、現在の雪氷気候値（表-1）の分布図<sup>1)</sup>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施策、防雪対策施設の設計のため作成が強く望まれている。

本研究では、はじめに近年の雪氷環境の変化傾向と、雪氷気候値と基本的な気象値（表-1）との関係を分析し、雪氷気候値の分布図を作成した。次に、気候モデルの将来予測値を用いた雪氷気候推定技術と、将来の雪氷気候値の分布図の作成案を提示した。

表-1 本研究での雪氷気候値と基本的な気象値

項目	概要
雪氷気候値	1 冬期吹雪量、視程障害発生頻度などの吹雪の度合いを表す統計値。
基本的な気象値	気象庁で計測される積雪深、累積降雪量、気温、風向風速の値。

### 2. 近年の雪氷環境の変化傾向の解明

#### 2.1 研究方法

新潟県以北の気象庁アメダス 141 箇所を対象として、調査期間（1983～2008 年度）の各冬期（当年 11 月 1 日～翌年 4 月 30 日）について、既存の基本的な気象値を分析した。調査項目は、基本的な気象値である冬期ごとの最深積雪（cm）、累積降雪量（cm）、気温（℃）、風向風速（m/s）とした。本研究では、1 時間ごとの積雪深の増加量をその 1 時間の降雪量とした。各項目とも、年度ごとの変化が大きいため、大まかな変動傾向を捉えるために調査期間全体を線形近似する方法を用いた。線形近似は、式(1)に示す直線近似式を最小二乗法により求め、傾き  $a$  を変動傾向とした。ここでは、 $a$  が正の場合を増加傾向、負の場合を減少傾向であるものとした<sup>2)</sup>。

$$Y = ax + b \quad (1)$$

ここで  $Y$  は各調査項目、 $x$  は年度、 $b$  は定数である。

#### 2.2 研究結果

冬期の最深積雪は、北海道では日本海側の小樽以北、内陸部、オホーツク海側および太平洋側東部で、本州では北部太平洋側で増加傾向にある（図-1）。冬期累積降雪量は、対象地域の大部分で減少傾向にある（図-2）。降り始めからの 24 時間降雪量が 40cm 以上の事象の平均出現度数は、2001 年度以降北海道東部と東北地方の山間部で近年増加する傾向

が見られた。冬期の最低気温は、全地域において増加傾向にある。また、冬期の風向風速は、明瞭な増減傾向は見られなかった。

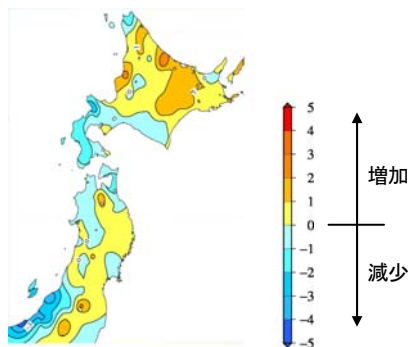


図-1 最深積雪の変化傾向

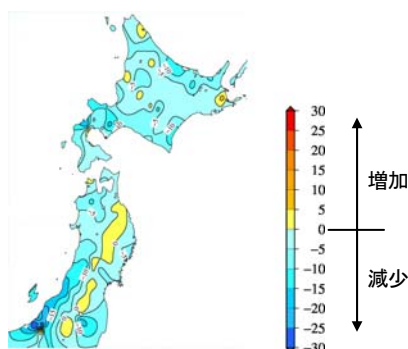


図-2 冬期累積降雪量の変化傾向

### 3. 近年の雪氷気候値の分布図の作成

はじめに、雪氷気候値と基本的な気象値との関係を重回帰分析により解明した。次に、その結果と1km格子ごとの気象値を整理したメッシュ気候値2000<sup>3)</sup>と風況マップ表示システム<sup>4)</sup>のデータを用いて、雪氷気候値の分布図を作成した。

#### 3.1 研究方法

##### (1) 雪氷気候値と基本的な気象値との関係解明

###### 1) 雪氷気候値の推定値の算定

2.1 で用いた気象庁アメダス 141 箇所と、北海道の道路テレメータ 20 箇所の気温、風速、積雪深の

表-2 雪氷気候値の概要と推定値の算定方法<sup>5)</sup>

雪氷気候値	概要	推定値の算定手法
1 冬期吹雪量 (m <sup>3</sup> /m)	単位時間に風向と直角な単位幅を通過する雪の質量で、吹雪量の年間総計を1冬期吹雪量と定義する。	観測箇所の降雪の有無、気温と風速による吹雪の発生条件を満たす場合、風速と吹雪量の関係式を用いて時間当たりの吹雪量を推定した後、1冬期分を積算。
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 を下回る日を視程障害発生日とし、その年間総計を視程障害発生頻度と定義する。	観測箇所の風速と降雪強度を用いて、高さ 1.2m の視程を推定し (前中期研究で開発した視程推定手法を用いる)、1冬期あたりの該当日数を積算。

(注：雪氷気候値は基本的な気象値から推定した値)

1 時間値を用いて、雪氷気候値を表-2 に示す算定手法で求める。

##### 2) 基本的な気象値の整理

1) で使用した気象要素は、メッシュ気候値 2000 および風況マップ表示システムでは、表-3 に示す統計データが収録されている。そこで、雪氷気候値と気象庁アメダスや道路テレメータの基本的な気象値を、表-4 のように整理した。

表-3 各資料の統計データ

資料	要素	統計データ
メッシュ気候値 2000 (統計期間 1971 年～2000 年の平年値)	平均気温 (°C)	月平均値 (12 ヶ月分) 年平均値
	最深積雪 (cm)	月最大値 (1,2,3,12 月) 年最大値
風況マップ表示システム (2000 年の平均値)	平均風速 (m/s)	地上高 30m の年平均値

表-4 各要素の整理結果の一覧

要素	整理データ
雪氷気候値	冬期平均 (1,2,3,12 月の平均)
平均気温 (°C)	冬期平均 (1,2,3,12 月の平均) 月平均 (1,2,3,12 月)
最深積雪 (cm)	冬期最大値 (1,2,3,12 月) 月最大値 (1,2,3,12 月)
平均風速 (m/s)	冬期平均値 (1,2,3,12 月の平均) 年平均値 (1-12 月の平均)

##### 3) 重回帰分析

雪氷気候値を目的変数、基本的な気象値を説明変数として多変量解析を実施した。ここで、対象とする目的変数および説明変数は全て量的データに該当するため、多変量解析手法は重回帰分析を適用した。重回帰分析では、雪氷気候値と基本的な気象値との単相関により妥当な説明変数を決定のうえ、重回帰式を作成した。

(2) 雪氷気候値の分布図の作成

(1) で得られた重回帰式と、メッシュ気候値 2000 と風況マップ表示システムのデータを用いて、雪氷気候値の分布図を作成した。

3. 2 研究結果

ここでは、代表として視程障害頻度の結果を示す。

(1) 雪氷気候値と基本的な気象値との関係解明

1) 説明変数の決定

基本的な気象値と視程障害発生頻度との単相関による決定係数を調べた結果、気温の決定係数は 0.02~0.07、積雪深は 0.13~0.18 と低い値であった。そのため、重回帰分析には月平均、冬期平均のどちらを選択しても大きな差を生じない。そこで、冬期間全てを説明している冬期平均気温、および最深積雪を重回帰分析に採用した。また、風速の決定係数は、冬期平均風速が 0.52、年平均風速が 0.17 であった。よって、より高い相関性が認められる冬期平均風速を、重回帰分析に用いることにする。

2) 重回帰分析

視程障害頻度を目的変数、1) で選定した説明変数を用いて、対象箇所全体で重回帰分析を実施した。その結果、決定係数は 0.68、各々の説明変数は  $P < 0.05$  であった。しかし、視程障害頻度が 20 日を越えると、北海道では解析値が過少に評価され、東北・新潟では過大に評価される傾向にあった。このため、北海道と東北・新潟に地域を分けて、重回帰分析を実施した。北海道は式(2)、東北・新潟は式(3)に示す。

$$Y = -0.890Tp(w) + 0.078SD(w) + 11.479WS(w) - 27.905 \quad (1)$$

$$Y = -0.581Tp(w) + 0.021SD(w) + 3.93WS(w) - 6.478 \quad (2)$$

ここで、 $Tp(w)$ は冬期平均気温、 $SD(w)$ は冬期最深積雪、 $WS(w)$ は冬期平均風速である。決定係数は北海道が 0.79、東北・新潟が 0.65 で、各々の説明変数は  $P < 0.05$  であった。北海道の決定係数が高くなったことから、北海道と東北・新潟に分離するものとした。また、各々の重回帰式の妥当性を確認したところ、概ね良好な精度が得られた(図-3)。

(2) 近年の雪氷気候値の分布図の作成

前項で得られた北海道および東北・新潟の重回帰式に、メッシュ気候値 2000 と風況マップ表示システムの 1km 格子ごとの気象値を代入して、視程障害頻度の分布図を地域ごとに作成した(図-4)。

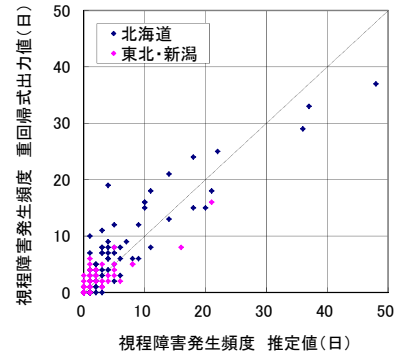


図-3 重回帰式の妥当性確認

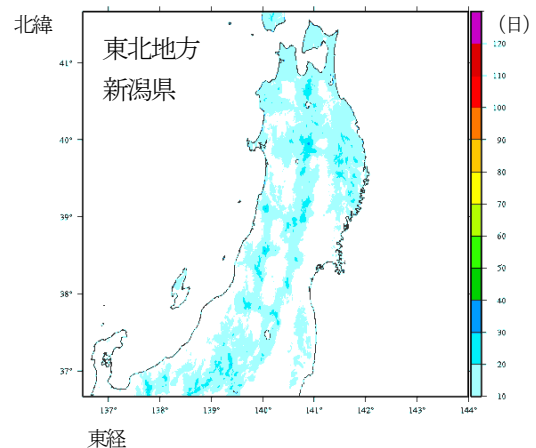
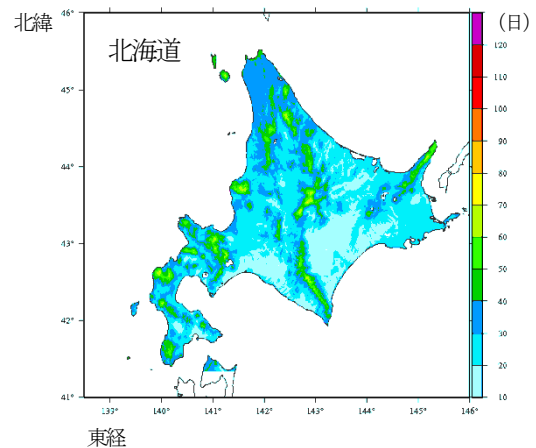


図-4 視程障害頻度の分布図

4. 将来気候予測値を利用した雪氷気候値の推定

平成 23 年度は、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の基礎的な検討、および将来の雪氷気候値の分布図作成(案)を作成した。

4. 1 研究方法

(1) 雪氷気候値と基本的な気象値との関係解明

本検討で使用した気候モデルは、「21 世紀気候変動予測革新プログラム」で使用された気象研究所の 20km 格子の気候モデル MRI-AGCM3.2S (以下、革新データ)

である。収集した気象要素は、高さ2mの気温(K)、降水量(kg/m<sup>2</sup>/s)および高さ10mの風速(m/s)の1時間値である。なお、気温は°Cに、毎時降水量は新雪密度80kg/m<sup>3</sup>を用いて降雪深(m)に換算した<sup>6)</sup>。積雪相当水量は、防雪施設設計時の単位体積重量350kg/m<sup>3</sup>を用いて積雪深(cm)に換算した<sup>7)</sup>。収集期間は、1979～2003年の現在予測値、2075年～2099年の将来予測値の各年1,2,3,12月とした。検討対象は、北海道北部の浜鬼志別、中部の新篠津、東部の太田、南部の今金の気象庁アメダス4地点とした。検討方法は、はじめに革新データの現在予測値と気象庁アメダスの各気象要素をもとに補正式を作成し、妥当性を確認した。次に、同様の補正式を適用した将来予測値の気象要素を用いて、将来の雪氷気候値を求めた(図-5)。

(2) 将来の雪氷気候値の分布図作成(案)

前項(1)の結果を考慮のうえ、将来の雪氷気候値の分布図作成(案)を検討した。

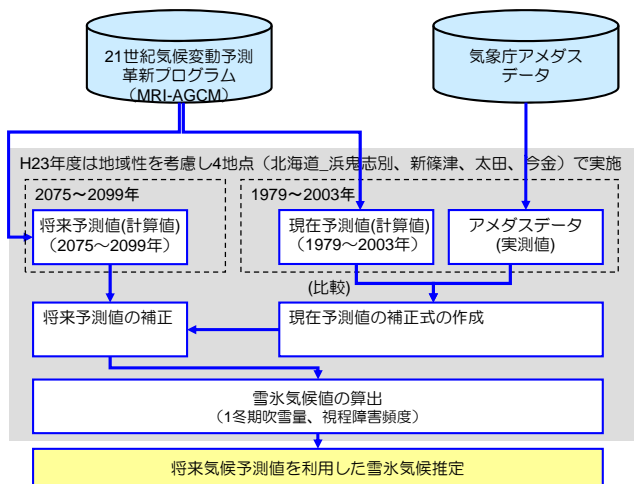


図-5 将来予測値を用いた雪氷気候値の推定フロー

4.2 研究結果

(1) 推定技術の基礎的検討

気候モデルの出力値は、該当範囲で出現すると想定される気象値を示している。そのため、対象箇所の革新データの現在予測値と、同期間のアメダスデータを用いて、各要素の階級別出現頻度を調べた。その結果、要素や地点により差があることが示唆された(表-5)。そこで、それぞれの地点と要素について、現在予測値と同期間の気象庁アメダスデータとの補正式を作成した。ここでは、各要素を大きな値から順にソートした後に、それぞれを比較する方法を採用した<sup>8)</sup>。その際、次年度以降の多地点での計算を考慮し、データの出現頻度を大きく変えな

いよう等間隔抽出方法により選んだ標本を用いて、全体のデータの分布形を推定する方法を採用した<sup>9)</sup>。本検討では、毎9時(UTC)のデータを抽出した。代表として、新篠津における各気象要素の革新データの現在予測値と気象庁アメダスとの散布図と、現在予測値の補正式を図-6に示す。各補正式は、実際の出現頻度に近くなるよう、多項式または一回帰式をそれぞれ選択した。気温は、吹雪量の発生有無を判断するために用いるため、0～10°Cの精度が向上するように補正式を設定した。

表-5 対象地点の階級別出現頻度のまとめ

革新データ	気象庁アメダスとの比較結果
風速	風速1m/s以下および10m/s以上の出現頻度が高い。
気温	浜鬼志別と今金は低い傾向、新篠津と太田はほぼ同様の傾向にある。
降水量	1mm以上の降水の出現頻度が50%以下になる。
積雪深	太田は10cm、その他の地点は20cm以下の出現頻度が2倍以上となる。

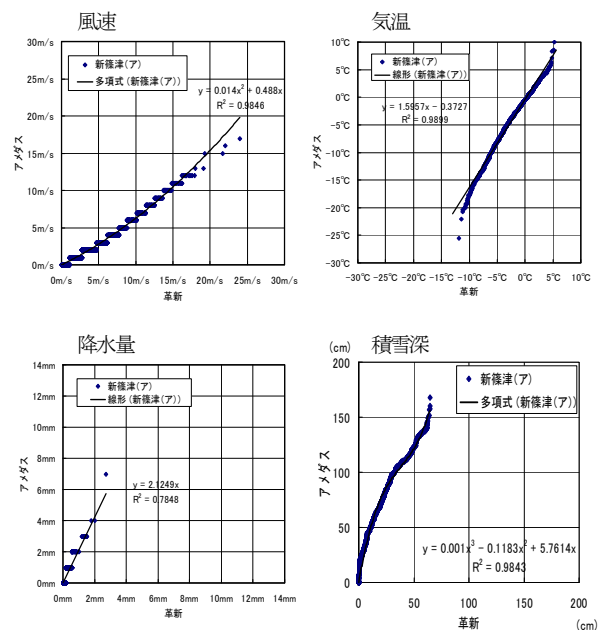


図-6 革新データと気象庁アメダスとの散布図

(於：新篠津)

図-6で示した式を用いて、革新データの現在予測値の各気象値を、気象庁アメダスを基準とした値に補正した。補正前後の革新データの現在予測値、および気象庁アメダスを用いた1冬期吹雪量の各冬期(12～3月)の算定結果を、図-7に示す。該当期間における補正前の革新データを用いた1冬期吹雪量の平均値は216.7m<sup>3</sup>/m、補正後の革新データでは54.1m<sup>3</sup>/m、気象庁アメ

ダスでは  $57.0\text{m}^3/\text{m}$  であった。ここでは、補正後の革新データと気象庁アメダスの平均値が概ね同様となったことから、これらの補正式を将来予測値の各気象値に適用して、各冬期の吹雪量を算定した(図-8)。該当期間における1冬期吹雪量の平均値は、 $17.0\text{m}^3/\text{m}$  となった。このことから、新篠津における21世紀後半の1冬期吹雪量は、現在の約30%に減少することが示唆された。

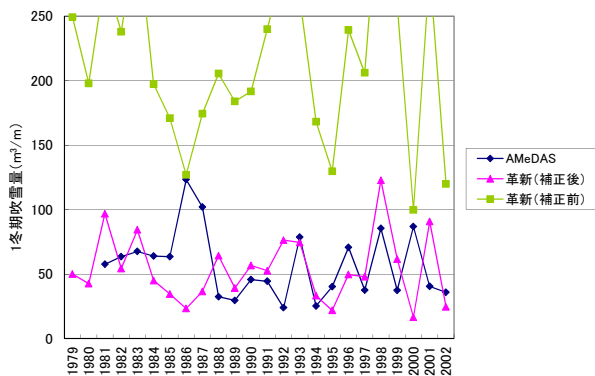


図-7 現在予測値と気象庁アメダスを用いた1冬期吹雪量の推定結果(於:新篠津)

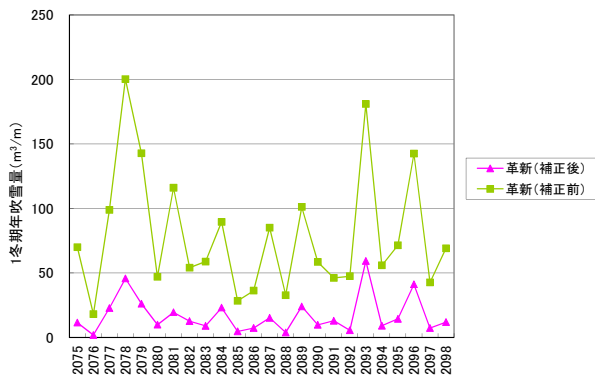


図-8 将来予測値を用いた1冬期吹雪量の推定結果(於:新篠津)

## (2) 将来の雪氷気候値の分布図作成(案)

将来の雪氷気候値の分布図の作成フロー(案)を、図-9に示す。前項(1)の実施内容と同様に、革新データの現在予測値と気象庁アメダスなどの実測値を用いて補正式を作成し、補正した将来予測値をもとに雪氷気候値を算出する。また、新たな補正手法として、雪氷気候値の補正係数( $\alpha_i$ )を算出し、将来予測値の雪氷気候値に乘じる工程を組み入れた。現在予測値補正後の革新データと、気象庁アメダスを用いた雪氷気候値の推定結果は、同一にはならない。そこで、 $\alpha_i$ を用いた補正を実施する

ことで、将来の雪氷気候値の精度向上を図るものである。

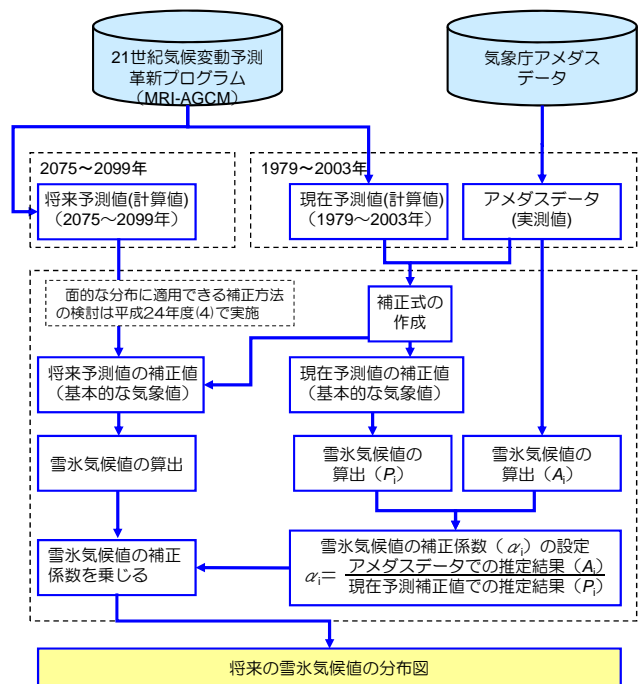


図-9 将来の雪氷気候値の分布図作成フロー(案)

## 5. まとめ

近年の雪氷環境の変化を解析し、それらを反映した雪氷気候値の分布図を作成した。また、気候モデルの将来予測値を用いた雪氷気候推定技術と、将来の雪氷気候値の分布図の作成案を提示した。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 冬期ごとの降積雪量の変化傾向は、累積降雪量が対象地域の大部分で減少傾向にあるのに対し、最深積雪は北海道東部と東北地方山間部で増加傾向であった。
- 2) 現在までの雪氷気候値分布図は、概ね観測値と整合が取れていた。
- 3) 気候モデルの将来気候予測値を用いて北海道4箇所の雪氷気候値を検討したところ、将来の雪氷気候値の平均値は減少していた。

今後は、将来の雪氷気候値の分布を作成するために、北海道、東北地方および新潟県で将来の雪氷気候値を推定する。そのため、以下の項目を実施する予定である。

- 1) 将来気候予測値を利用した雪氷気候推定技術について、面的な分布に適用できる現在および将来予測値の補正方法を検討する。
- 2) 将来の雪氷気候値の分布図の作成に際し、図-9に示した分布図作成フロー(案)の妥当性を検証し、雪氷気候値の出力結果により適宜修正を図る。

#### 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

##### 参考文献

- 1) (独) 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 年度改訂版)、pp.1-4-12-1-4-21、2011 年 3 月
- 2) 原田裕介、松澤 勝、伊東靖彦、上田真代、松下拓樹：積雪寒冷地における降積雪量の変動傾向について、雪氷研究大会 (2011・長岡)、pp.48、2011 年 9 月
- 3) (財) 気象業務支援センター：メッシュ気候値 2000 (CD-ROM)、2002 年 6 月
- 4) (財) 日本気象協会：風況マップ表示システム 平成 16 年度版 (DVD-ROM)、2005 年 8 月
- 5) 上田真代、伊東靖彦、武知洋太、松澤 勝：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、No.701、pp.32-39、2011 年 10 月
- 6) (社) 日本雪氷学会編：雪氷辞典、古今書院、pp.156、1990 年 10 月
- 7) (社) 日本建設機械化協会、(社) 雪センター：2005 除雪・防雪ハンドブック (防雪編)、342pp、2004 年 12 月
- 8) 飯泉仁之直、西森基貴、石郷岡康史、横沢正幸：統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門、農業気象、66(2)、pp.131-143、2010 年 6 月
- 9) 木村俊一、古澄英男、鈴木晶夫：確率と統計—基礎と応用—、朝倉書店、212pp、2003 年 9 月

## 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)

**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, trends of change in snowfall and snow cover over the last 26 years were surveyed, and distribution maps based on snowy climate information were made using past data. A method of estimating snowy climate data to use future projections with a global climate model was investigated, and a way of visualizing such data was also examined. The results indicated that the seasonal maximum snow depth showed a tendency of increase in eastern Hokkaido and in mountainous areas of northern mainland Japan, although the seasonal amount of snowfall exhibited an overall decreasing trend. It was found that previous distribution maps showing snowy climate data could be approximately adjusted in line with the assessment values. At four points in Hokkaido, the predicted means of snowy climate data were lower than the present values.

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