

# 地球温暖化がスキー場の積雪量や滑走可能日数に及ぼす影響予測—気象庁 RCM20 予測を用いて

## Estimating the Changes in Snowfall at Ski Resorts and the Number of possible skiing days Caused by Global Warming by Utilizing RCM20 Provided by the Meteorological Agency

中口 毅博\*

Takahiro NAKAGUCHI

**要旨**：本研究は、地球温暖化によるスキー場の将来積雪量の変化と、滑走可能日数の変化を予測したものである。気象庁の IPCC の A2 シナリオに基づく高解像度地球温暖化予測モデル RCM20 を用いた予測によると、有効データの得られた 275 のスキー場において、2031 年～2050 年にはほとんどのスキー場で積雪量が減少し、2081 年～2100 年になるとさらに減少することが明らかになった。また、電話アンケート調査で 2008 年シーズンの滑走可能日数を調査し、RCM20 の予測結果を当てはめたところ、滑走可能日数は 2031 年～2050 年になると現状の約 1 / 3 に減少し、2081 年～2100 年になると約 1 / 6 に減少することが明らかになった。

**キーワード**：地球温暖化、温暖化影響予測、スキー場

**Abstract** : This research aims to estimate the changes in snowfall at ski resorts and the number of possible skiing days caused by global warming in the future. According to the estimation by a high-resolution global warming predication model RCM20 based on A2 scenario, it was clear that the snowfall in most of the 275 ski resorts where valid data were available would decrease from 2031 to 2050, and would further decrease from 2081 to 2100. The number of possible skiing days and visitors during the 2008 ski season were surveyed by telephone interview, and the results predicted by RCM20 were applied to the survey results. As a result, it was revealed that the number of possible skiing days would decrease to 1/3 of present levels from 2031 to 2050 and 1/6 from 2081 to 2100.

**Key Words** : global warming, estimation of global warming effect and ski resort

### はじめに

現在、地球温暖化などの環境問題がますます深刻化している中、生物の生態系への影響、自然環境の変化に加え農林水産業、観光産業など産業界へさまざまな影響を及ぼしている（環境省、2009）。その中でも、スキー産業は温暖化の影響で年々積雪が減少し（気象庁、2005a）、地域経済に深刻な打撃を与えていると考えられる。しかし、スキー場における将来の積雪量の変化が明らかになっておらず、今後さらにどのような影響が出るのかは不明である。一方既往研究をみても、温暖化による気象予測データを用いて農林水産業、水資源、自然生態系、防災、健康への将来影響を予測したものはあるが、社会経済的側面における日本国内への将来影響を予測したものはほとんど見あたらない（環境省、2009）<sup>1)</sup>。

そこで本研究は、地球温暖化によるスキー場の将来積雪量の変化と、滑走可能日数の変化を予測し分析することを目的とする。このことにより、今後さらに進むと予測される温暖化の影響を緩和・適応するための諸方策を

検討する際の基礎的知見を得るものとする。

### 1. 研究の方法

#### 1. 1 研究の対象

全国のスキー場がどのくらいあるかを把握するため、全国のスキー場データベースが掲載されている tom-boy(2008)を使い<sup>2)</sup>、全国のスキー場を調べた。その結果、対象となるスキー場は 295 箇所であったが、データの制約により推計可能なスキー場は 275 箇所となった。また、その中から滑走可能日数を求める対象は、地域や積雪量のバランスを考慮して 23 箇所とした。

#### 1. 2 推計の方法

まず、各スキー場の経度と緯度を調べるために、マップファンと、地図閲覧サービスウォッチーズという地図のサイトを使い、地図サイトでスキー場の位置を確認し、地形図のサイトでその位置の経緯度を特定する<sup>3)</sup>。

次に、気象庁(2005b)の気候メッシュ値からスキー場の積雪量平年値を求める。気候メッシュ値には 1km メッシュごとに 1971 年～2000 年の 12 月～3 月の 4 ヶ月の平均

\*システム理工学部環境システム学科 Department of Architecture and Environment Systems

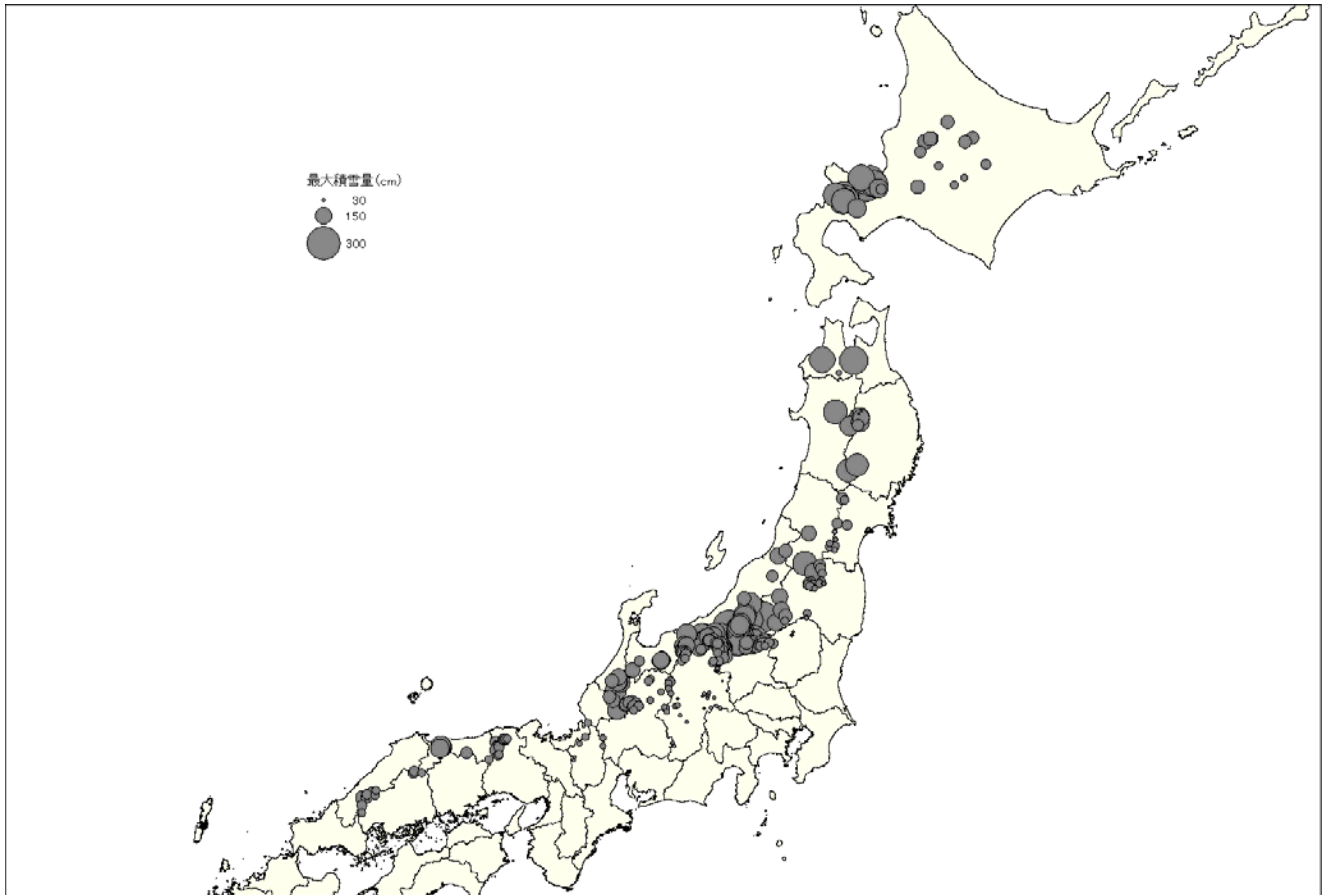


図1 スキー場ごとの最大積雪量(1971年～2000年の平年値)

積雪量がデータ化されている。そこで各スキー場の東経と北緯から3次メッシュコードを求め、そのメッシュの積雪量をもって、現状の積雪量とした。

次に、気象庁(2005c)の地球温暖化予測情報第6巻を用いて積雪量の将来予測を行う。これは、気象研究所が開発したIPCCのA2シナリオ(経済重視で地域志向が強まると仮定したシナリオ)に基づく水平解像度20kmの高解像度の地域気候モデル(MRI-RCM20、以下RCM20と称する)を用い1981～2000年、2031～2050年、2081～2100年の日本付近の日別の気候変化について予測したもので、積雪量は水当量<sup>4)</sup>として予測されている(気象庁、2005d)。そこで各スキー場のRCM20上の2081～2100年の積雪量平均値で2031年以降の積雪量を日別に除し、日別の増減率を求める。気候メッシュにおける積雪量にこの増減率を乗じ、各スキー場における年別積雪量を推計した。

さらに、スキー場への電話ヒアリング調査により2008年シーズン(2007年12月～2008年3月)の滑走可能積雪量の下限値(最低何cmの積雪があれば滑走可能か)を尋ねた結果をもとに、スキー場ごとの滑走可能日数を予測する<sup>5)</sup>。電話ヒアリング調査は23のスキー場に対して行い、15スキー場から回答を得た。2031～2050年、2081

～2100年の日ごとの積雪量が滑走可能下限値を上回る日を算出し、その合計に数をもってその年の滑走可能日数とした。さらに年ごとの滑走可能日数の20年間の平均値をとり、現状との比較を行った。

## 2. 結果

### 2.1 積雪量の平年値

図1にスキー場の位置と最大積雪量の平年値を○印で示した。スキー場は、北は北海道から西は島根・広島ま

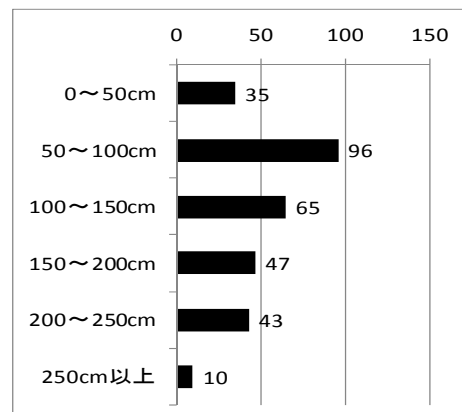


図2 最大積雪量 (1971年～2000年平年値)の度数分布

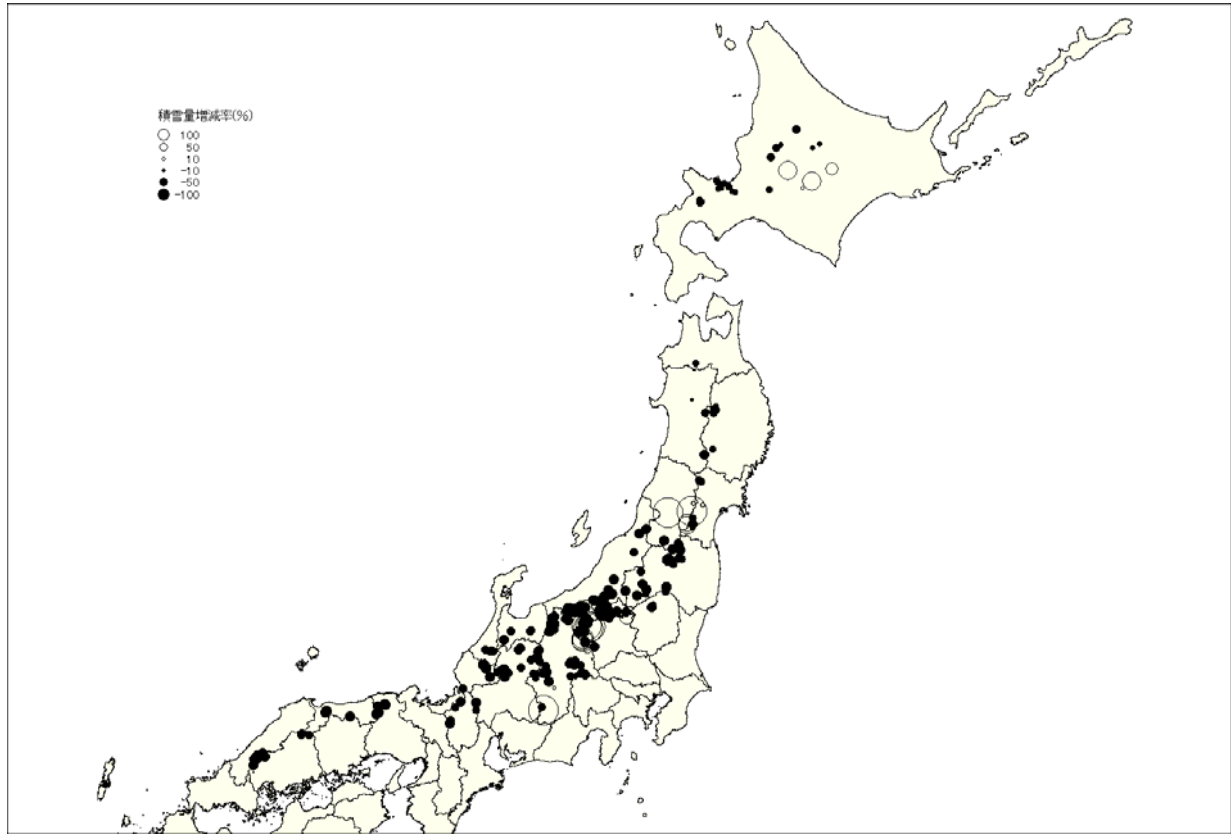


図3 スキー場ごとの積雪量増減率平均値(2031年～2050年)

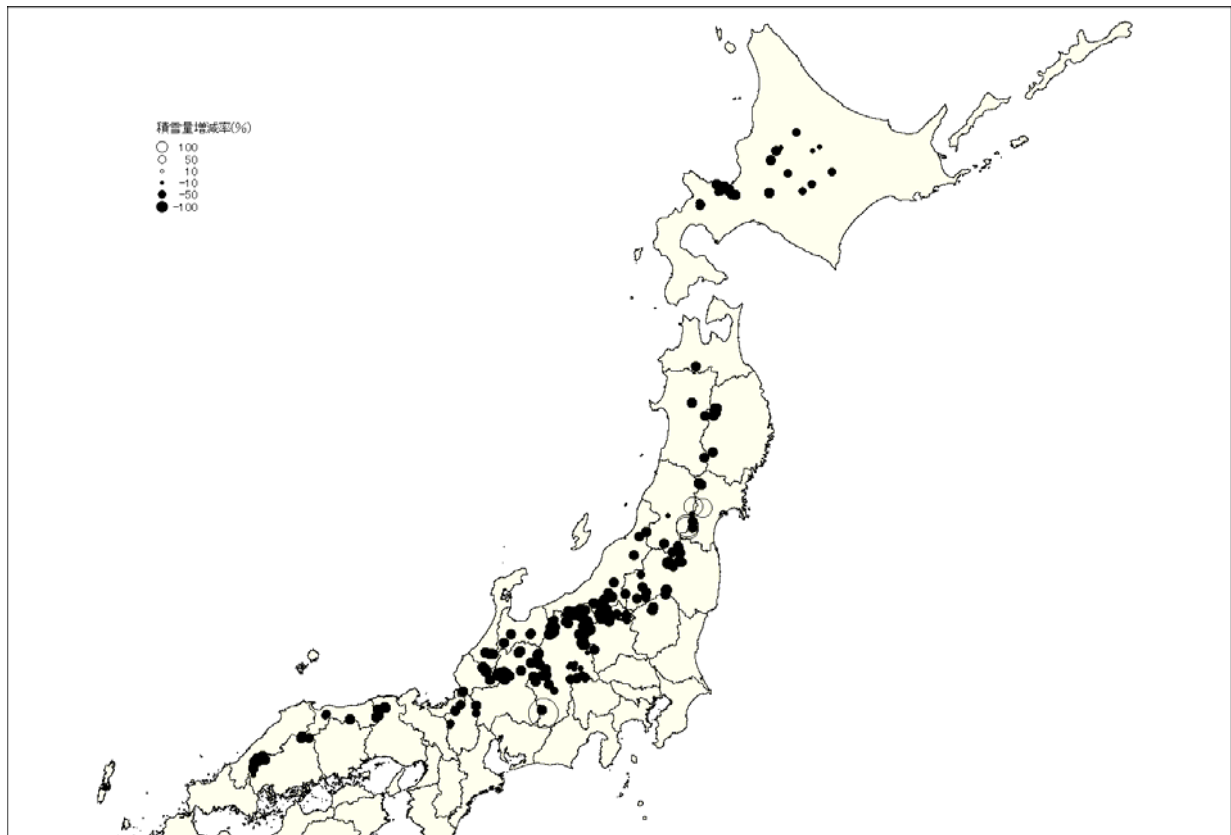


図4 スキー場ごとの積雪量増減率平均値(2081年～2100年)

での山間部に広く分布している。平年値の最大積雪量の度数分布を図2に示した。これによると、50~100cmのスキー場が96箇所でもっと多く、次いで100~150cmの65箇所となっている。図1に示す通り、北日本ほど積雪量が多いとは必ずしも限らないことがわかる。

## 2. 2 積雪量増減率の将来予測

まず、気象庁のRCM20の予測値(1981年~2000年の12月~3月の水当量)が、気候メッシュの各スキー場の積雪量平年値(1971年~2000年の12月~3月の積雪量)をどの程度再現できているかについて検証を行った。まず両者の関係を月別にみたところ、RCM20予測値は20kmのグリッドであり、スキー場の積雪量平年値は1kmメッシュデータであるため、高い相関関係は得られなかった。そこでRCM20の予測値とともに、標高、東経、北緯、地域ダミー(北海道東北、関東甲信越、中部北陸)の6つを説明変数として重回帰分析を行った結果を表1に示した。4つの月の重相関係数は0.59~0.63であり、説明力はそれほど高くないものの、一定の関係があるといえる。このことから、RCM20により積雪量そのものを将来予測するには無理があるものの、現状から将来にかけての積雪量増減率を予測することは可能と判断した。

そこで、気象庁のRCM20の予測値から各スキー場の2031年~2050年と2081年~2100年の積雪量増減率平均値を求めた。結果の度数分布を図5に示す。有効データが得られた275スキー場のうち、2031年~2050年において積雪量が増加するのはわずか24箇所であり、残りはすべて減少する。60%から80%減少するスキー場が108箇所と最も多くなっている。2081年~2100年になると積雪量はさらに減少し、増加するスキー場は3箇所のみであり、60%以上減少するところがさらに多くなることがわ

表1 スキー場の積雪量とRCM20等の重回帰分析結果

|     | RCM20推計値 | 標高   | 東経    | 北緯    | 地域ダミー北海道東北 | 地域ダミー関東甲信越 | 地域ダミー中部北陸 | 定数項  | 重相関係数 |
|-----|----------|------|-------|-------|------------|------------|-----------|------|-------|
| 1月  | 標準偏回帰係数  | 0.21 | -0.47 | -0.47 | 0.41       | 0.43       | 0.77      | 0.25 | 0.63  |
|     | t値       | 4.19 | -8.76 | -2.57 | 3.91       | 1.98       | 4.05      | 2.60 |       |
|     | 判定       | **   | **    | *     | **         | *          | **        | **   |       |
| 2月  | 標準偏回帰係数  | 0.23 | -0.37 | -0.70 | 0.58       | 0.53       | 0.84      | 0.26 | 0.63  |
|     | t値       | 4.60 | -6.97 | -3.76 | 5.61       | 2.43       | 4.37      | 2.69 |       |
|     | 判定       | **   | **    | **    | **         | *          | **        | **   |       |
| 3月  | 標準偏回帰係数  | 0.21 | -0.25 | -0.47 | 0.55       | 0.42       | 0.77      | 0.21 | 0.61  |
|     | t値       | 4.05 | -4.49 | -2.49 | 5.16       | 1.91       | 3.97      | 2.08 |       |
|     | 判定       | **   | **    | *     | **         |            | **        | *    |       |
| 12月 | 標準偏回帰係数  | 0.24 | -0.16 | -0.56 | 0.60       | 0.51       | 0.83      | 0.30 | 0.59  |
|     | t値       | 4.58 | -2.82 | -2.94 | 5.57       | 2.27       | 4.17      | 3.00 |       |
|     | 判定       | **   | **    | **    | **         | *          | **        | **   |       |

\*\*:1%有意 \* :5%有意

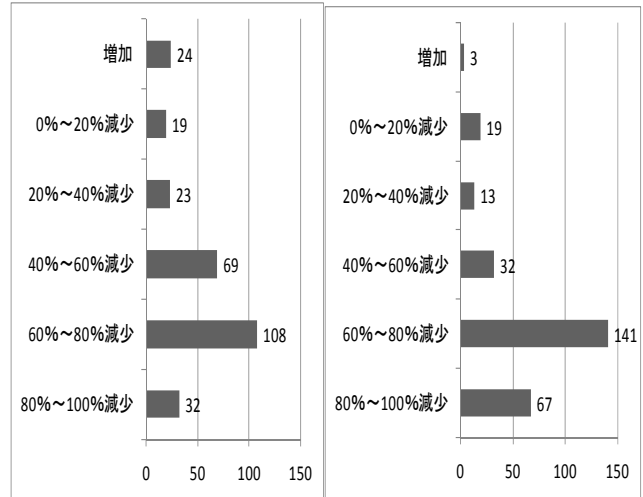


図5 積雪量増減率別スキー場数  
(左 2031年~2050年、右 2081年~2100年)

かる。前頁の図3に2031年~2050年のスキー場別増減率の空間分布を、前頁の図4に2081年~2100年のそれを示した。図中の白い丸が積雪量の増加を示し、灰色の丸が減少を示している。どの都道府県でも、おしなべて減少しているスキー場が多いのがわかる。増加しているスキー場は北海道、山形、長野にわずかにみられるが、2081年~2100年になると北海道ではすべてのスキー場が減少に転じているのがわかる。

事例として、北海道夕張市のFスキー場における積雪量の年別増減予測値を図6、図7に示した。2031年~2050年では、増加しているのは2031年、2034年、2041年、2048年、2050年の5ヶ年だけで、他の年は減少していることがわかる。2081年~2100年に至っては、増加している年が全くなく、すべての年で積雪量が減少しているこ

-100% -50% 0% 50% 100% 150%

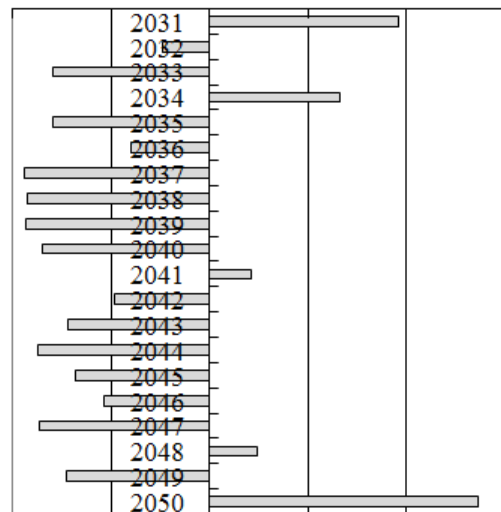


図6 Fスキー場における積雪量の年別増減予測値  
(2031年~2050年)

-100% -50% 0% 50% 100% 150%

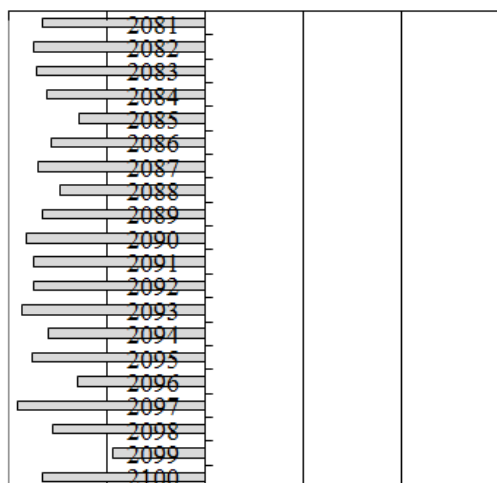


図7 Fスキー場における積雪量の年別増減予測値 (2081年～2100年)

とがわかる。他のスキー場においても、2031年～2050年では若干増加している年があるものの、2081年～2100年ではすべての年で減少している場合が多かった。

### 2.3 滑走可能日数の将来予測

次に、電話ヒアリング調査の結果から滑走可能日数の将来予測を行った。回答が得られたのは、北海道7、東北5、関東甲信越3の15スキー場にとどまった。滑走可能な積雪量下限値と2008年シーズンの滑走可能日数を表2に示した<sup>6)</sup>。これらから各年の滑走可能日数を推計した結果、15スキー場の2008年シーズンの滑走可能日数の平均は125日で、これが2031年～2050年になると平均で39日と約1/3に減少し、2081年～2100年になると平均で19日と約1/6に減少することが明らかになった。最後の頁の図8にスキー場ごとの滑走可能日数を示した。どのスキー場も滑走可能日数が減少しており、しかもA、B、Nスキー場を除き2081年～2100年の滑走可能日数が最も少なくなっていることがわかる。

また、図9と図10にFスキー場の2031年～2050年と2081年～2100年の滑走可能日数を示した。いずれの年も2008年シーズンの滑走可能日数の120日に満たないことがわかる。2031年～2050年では20日を超える年が12年であるのに対し、2081年～2100年では3年しかない。このように、将来の地球温暖化によって、スキー場の営業に深刻な影響を及ぼすものと考えられる。

### おわりに

本研究では、地球温暖化によるスキー場の将来積雪量の変化と、滑走可能日数の変化を予測した結果、次のことが明らかになった。

気象庁のIPCCのA2シナリオに沿った高解像度地球温

暖化予測モデルRCM20を用いた予測によると、有効データの得られた275のスキー場において、2031年～2050年にはほとんどのスキー場で積雪量が減少し、2081年～2100年になるとさらに減少することが明らかになった。また、電話アンケート調査で2008年シーズンの滑走可能日数を調査し、RCM20の予測結果を当てはめたところ、滑走可能日数は2031年～2050年になると現状の約1/3に減少し、2081年～2100年になると約1/6に減少することが明らかになった。

今後、このようにならないよう温暖化防止対策を一層強化するとともに、地域経済に影響を及ぼさないように雪の確保などの適応策を検討することが必要と思われる。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、芝浦工業大学環境システム学科当時4年生の原啓祐君にはデータ解析、電話ヒアリング調査などの作業に関し、全面的な協力を得た。ここに謝意を表する。

### 補注

1) 温暖化気候予測モデルによるデータ利用研究例として、以下のような研究がある。

杉浦俊彦、横沢正幸(2004)年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培一環境に対する地球温暖化の影響。園芸学会雑誌, 73, 72～78.

増沢武弘(2005)高山帯における山岳地形と高山植物の分布—富士山・白馬岳・ハケ岳・アポイ岳—. 植物地理分類研究, 53(2), 131～137.

以下は気象庁RCM20を用いた研究である。

和田一範(2006)地球温暖化に伴う洪水・渇水リスクの評価に関する研究。地球環境, 11(1), 67～78.

田中信行・松井哲哉ほか(2006)天然林の分布を規定する気候要因と温暖化の影響予測：とくにブナ林について。地球環境, 11(1), 11-20.

中村和正・多田大嗣ほか(2008)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, 12-19.

2)以下のサイトを用いた。

Tom-Boy(2008)全国スキー場情報データベース。

<<http://www.strim.or.jp/~tom-boy/snow-ski>>,2008.8.1/参照

3)以下のサイトを用いた。

インクリメント・ピー株式会社(2008)マップファン。

<<http://www.mapfan.com>>,2008.8.1/参照

国土交通省国土地理院(2008)地図閲覧サービスウォッチず。

<<http://watchizu.gsi.go.jp/>>,2008.8.1/参照

4) 水当量とは、積雪量を水換算したものであり、mmで表される。積雪量は雪質によって雪の厚さが異なることから、気象庁では水当量での予測を行っている。

5) 複数年の調査が不可能なこと、滑走可能な積雪量は年によってほとんど変わらないというヒアリング調査結果により、単年度の調査結果に基づき将来予測することは可能と判断した。

6) アンケート回答数が15にとどまり、しかも関東甲信越以西の回答が少なくなったのは、競合スキー場が多いため営業上の秘密として回答を拒否されたためである。また、滑走可能積雪量下限値がスキー場によって異なるのは、傾斜など地形条件の違いや圧雪などの措置を講じているか否かの違いによる。

引用文献

環境省地球環境局(2009) 地球温暖化の影響・適応情報資料集.80pp.  
 気象庁(2005a) 異常気象レポート 2005 近年における世界の異常気象と  
 気候変動～その実態と見通し～ (VII) 383pp.  
 気象庁(2005b) 気候メッシュ値.CD-ROM データおよびその解説.

気象庁(2005c) 地球温暖化予測情報第6巻.54pp.  
 気象庁(2005d) 地球温暖化予測情報第6巻 RCM 積雪量予測値. 2008年  
 気象庁提供ハードディスクデータ.

(2009年11月18日受付)

表2 スキー場のアンケート調査結果

| スキー場 | 地域    | 滑走可能積雪量下限値 (cm) | 2008年シーズンの滑走可能日数 (日) |
|------|-------|-----------------|----------------------|
| A    | 北海道   | 100             | 169                  |
| B    | 北海道   | 50              | 113                  |
| C    | 北海道   | 100             | 121                  |
| D    | 北海道   | 30              | 158                  |
| E    | 北海道   | 20              | 109                  |
| F    | 北海道   | 10              | 120                  |
| G    | 北海道   | 30              | 111                  |
| H    | 東北    | 30              | 100                  |
| I    | 東北    | 30              | 113                  |
| J    | 東北    | 20              | 96                   |
| K    | 東北    | 50              | 95                   |
| L    | 東北    | 50              | 110                  |
| M    | 関東甲信越 | 50              | 177                  |
| N    | 関東甲信越 | 50              | 119                  |
| O    | 関東甲信越 | 100             | 166                  |

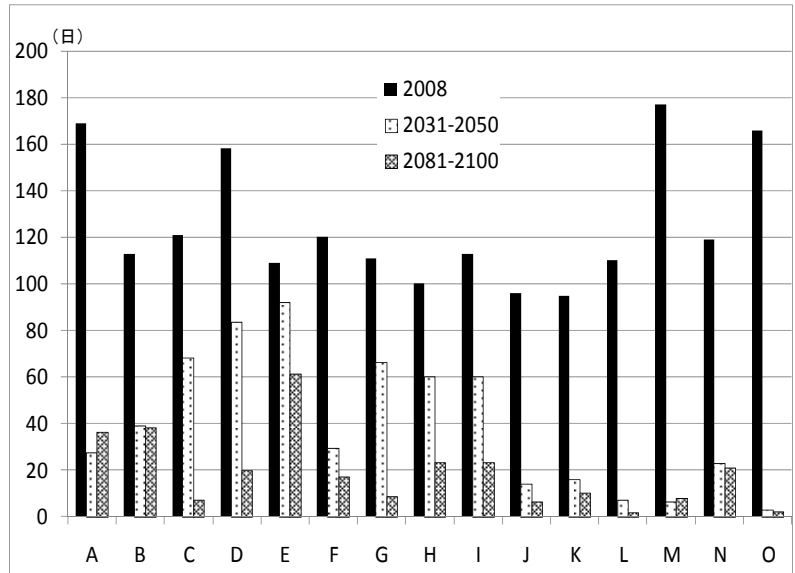


図8 スキー場別滑走可能日数の変化の予測

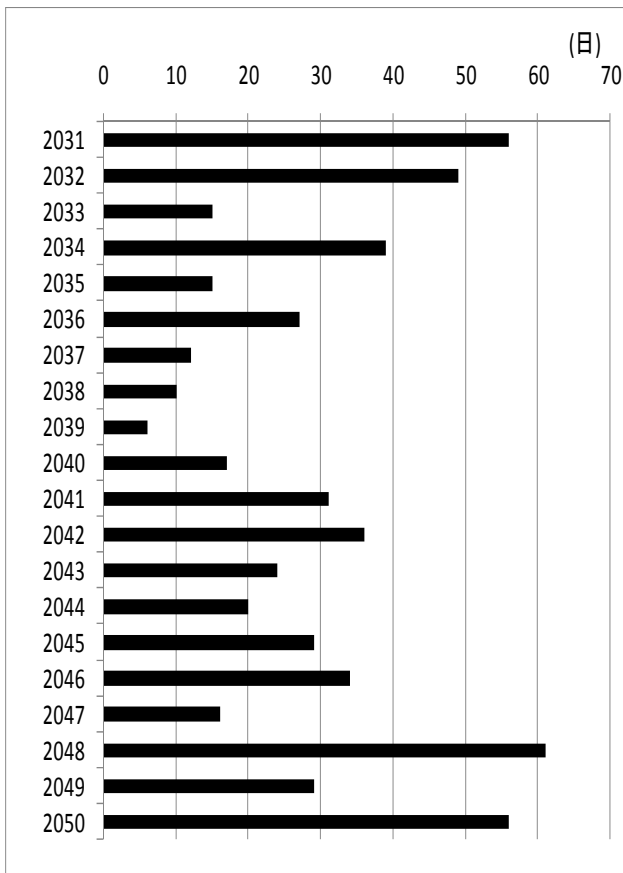


図9 Fスキー場の滑走可能日数 (2031年～2050年)

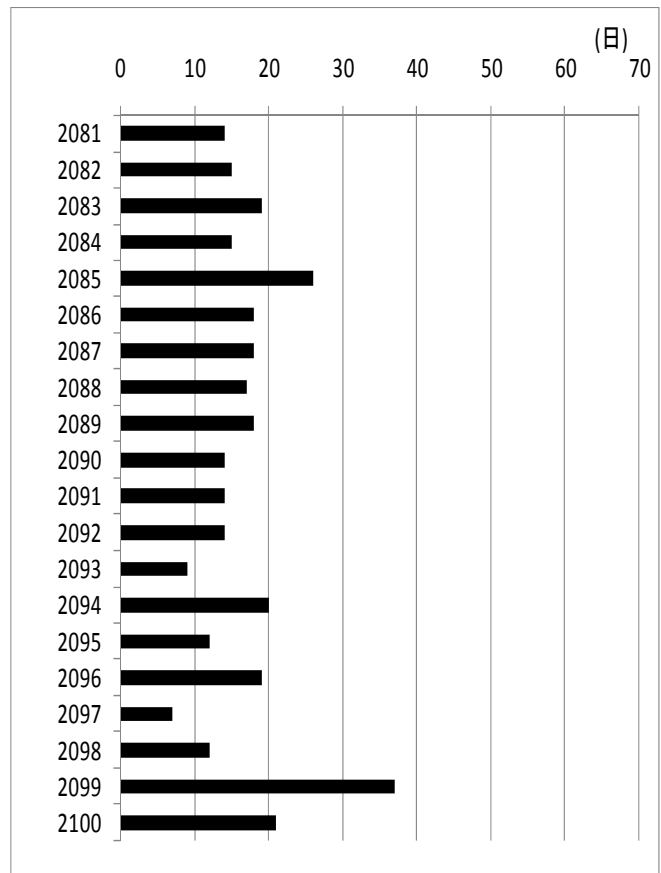


図10 Fスキー場の滑走可能日数 (2081年～2100年)