



報道発表

令和2年3月11日
気象研究所
東北大学大学院理学研究科
国立研究開発法人海洋研究開発機構
(一財)気象業務支援センター
長野県環境保全研究所

地球温暖化により極端化する北アルプスの降雪

～雪が降る年と降らない年との差がより明瞭に～

気象研究所などの研究グループは、高解像度の気候シミュレーションを行い、地球温暖化に伴う、中部山岳地域における将来の降雪の見通しを詳細に評価しました。この結果、今世紀末の北アルプスでの冬の降雪量は現在と比べて、雪が多く降る年はより多く、あまり降らない年はより少なくなる可能性があることが分かりました。

今回の研究成果は、北アルプスの水資源管理や生態系の研究に関連するものであり、今後、雪の多い北アルプスを有する自治体における気候変動適応計画の策定等に貢献していきます。

これまで、地球温暖化の進行とともに、ひと冬全体としての降雪量は減少する一方で、中部山岳地域や北陸の内陸部、北海道では短期間に降る稀な大雪の量が増加することが予測されていました。

今回、気象研究所、東北大学、海洋研究開発機構及び長野県環境保全研究所の研究グループは、将来の気候状態を対象に、水平分解能1kmという中部山岳地域の複雑な地形を再現できるような超高解像度の予測計算を行いました。この結果、雪の多い北アルプスでは、今世紀末（工業化以降の世界平均気温が4度上昇した気候状態を想定）、12月後半から2月前半にかけての降雪量が現在よりも多くなる年がある一方、冬の降雪量が現在より少なくなる年もある可能性が示されました。このことから、地球温暖化が進行すると、北アルプスの冬の降雪量は現在よりも極端化し、雪が多く降る年はより多く、あまり降らない年はより少なくなる可能性があることが示唆されます。

今回の研究成果は、豪雪に伴う雪崩等の雪害の観点だけでなく、北アルプスの水資源管理や生態系の研究にも関連するものであり、今後、雪の多い北アルプスを有する自治体における気候変動適応計画の策定等に貢献していきます。

本成果は3月11日付で日本地球惑星科学連合の国際誌「Progress in Earth and Planetary Science」に掲載されます。

<発表論文>

掲載誌 : Progress in Earth and Planetary Science

タイトル : Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan

著者名 : Hiroaki Kawase^{1*}, T. Yamazaki², S. Sugimoto³, T. Sasai², R. Ito⁴, T. Hamada⁵, M. Kuribayashi⁵, M. Fujita³, A. Murata¹, M. Nosaka¹, and H. Sasaki¹

所 属 : 1 気象庁気象研究所, 2 東北大学, 3 海洋研究開発機構, 4 気象業務支援センター, 5 長野県環境保全研究所

<関連情報>

本研究は文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)及び「統合的気候モデル高度化研究プログラム」の一般財団法人気象業務支援センターを主管機関とする領域テーマ C「統合的気候変動予測」課題(研究代表:高薮 出)の支援を受けて実施されました。

問合せ先 : 気象研究所 応用気象研究部 主任研究官	川瀬 宏明
電話 : 029-853-8620、E-mail : hkawase@mri-jma.go.jp	
東北大学大学院 理学研究科地球物理学専攻 教授	山崎 剛
電話 : 022-795-5781、E-mail : yamaz@tohoku.ac.jp	
海洋研究開発機構 環境変動予測研究センター 研究員	杉本 志織
電話 : 045-778-5619、E-mail : shiorisug@jamstec.go.jp	
長野県環境保全研究所 自然環境部 主任研究員	浜田 崇
電話 : 026-239-1031、E-mail : kanken-shizen@pref.nagano.lg.jp	
(広報担当)	
気象研究所 企画室 広報担当	電話 : 029-853-8535

1. 背景

気象庁「地球温暖化予測情報第9巻」(2017)では、地球温暖化が進行すると日本の広い範囲で総降雪量が減少すること、厳冬期に北海道内陸の一部地域では降雪量が増加することが予測されています。また、中部山岳地域や北陸地方の内陸部では、短期間に降る稀な大雪の量が増加することを指摘した研究もあります(引用文献①、③)。一方、複雑な地形をもつ山岳地域における、水資源としての積雪や高山生態系への影響評価の観点からは、短期間的大雪だけでなく、降雪・積雪の季節進行の変化や、寒冬・暖冬による影響の現れ方の違いを詳細に評価することが求められています。

そこで本研究では、中部山岳地域を対象として、超高解像度(1kmメッシュ)の地域気候シミュレーションを実施し、多雪年と少雪年の将来変化について分析しました。

2. 研究手法

本研究では、まず、日本域を対象とした「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」※¹の20kmメッシュのデータを用いて、「現在」、「2度上昇時」(今世紀半ば)、「4度上昇時」(今世紀末)※²の三つの時期の気候状態について、中部山岳の降雪状況を見るために、それぞれ5kmメッシュで予測計算しました(引用文献②、③)。この結果から次に、三つの時期それぞれにおいて、中部山岳地域の多雪年5年、少雪年5年を抽出し※³、北アルプスの降雪状況を見るために、気象研究所が開発した地域気候モデルを用いて1kmメッシュまでダウンスケーリング※⁴しました(図1)。

3. 研究成果

図2は、三つの時期について、北アルプス(図1(c))の標高2000m以上の地域における多雪年と少雪年の積雪深と降雪量の季節進行を示しています。

これを見ると、「4度上昇時」においては、以下のことが分かります。

- ・多雪年の降雪量は、10月から11月にかけて「現在」より少なく、12月後半から2月前半にかけて多くなっている。この結果として、多雪年の積雪深は、1月までは「現在」より小さいものの、2月になると「現在」に匹敵する程度にまで達している。ただし、年最大の積雪深は、「現在」に匹敵する程度にまで達していない(図2左)。
- ・少雪年の降雪量は、冬を通して「現在」より少ない傾向にある。少雪年の積雪深は、冬を通して「現在」より小さい(図2右)。

以上より、「4度上昇時」の北アルプスでは、降雪量が12月後半から2月前半にかけて「現在」を超えるような多雪年がある一方で、降雪量が「現在」より減少するような少雪年があることが示唆されます。この結果として、積雪深が「現在」より小さくなる

ような少雪年がある一方で、積雪深が「現在」の年最大の積雪深を超えないものの、温暖化するにも関わらず「現在」の2月の積雪深に匹敵するような多雪年があることも示唆されます。

図3は、三つの時期について、標高帯別に見た冬の平均気温と降水量及び降雪量を示しています。

これを見ると、「4度上昇時」においては、以下のことが分かります。

- ・多雪年においては、「現在」と比べて、全ての標高で降水量が増加するが、標高の低い地域の降雪量は減少する一方、標高の高い地域（2000m以上）の降雪量は増加している（図3左）。
- ・少雪年においては、「現在」と比べて、降水量の変化は小さく、ほぼ全ての標高で冬の降雪量が減少している（図3右）。

「4度上昇時」の多雪年においては、標高の低い地域では、気温上昇に伴って降雪が降雨に変わるため降雪量が減少し、標高の高い地域では、気温が上昇しても十分に寒冷であるため、降水量の増加がそのまま降雪量の増加に繋がるものと考えられます。

図4は、冬の海上風と気圧、降雪量、降水量の分布及び海上風と降水量の将来変化を示しています。「現在」の気圧の分布について見ると、多雪年は少雪年より等圧線が混み合い、北西の風が強い様子が分かります（図4上）。

「4度上昇時」の多雪年は、「現在」と比べて、海上風の変化は小さいものの、日本海の中中部や北陸地方から東北地方の山岳域で降水量が増加しています（図4左下）。これは、地球温暖化に伴う水蒸気量の増加により、脊梁（せきりょう）山脈の風上や日本海寒帯気団収束帯において冬型の気圧配置時の降水量が増加し、この結果として、標高の高い地域（2000m以上）において厳冬期に降雪量が増加するものと考えられます。

一方、少雪年は、北西風の弱まりや日本海側での降水量の減少が見られます（図4右下）。地球温暖化に伴い冬の季節風が弱まることは過去の研究やIPCC※⁵評価報告書ですでに指摘されていますが、少雪年はその影響を強く受けて、冬の季節風が弱まることによる降水量の減少と、気温上昇により降雪が降雨に変わるものの二つが重なって、降雪量が減少するものと考えられます。

4. まとめと今後の展望

本研究の結果、地球温暖化がこのまま進行した場合、北アルプスでは、冬型の気圧配置時の降水量が増加するため、十分に寒冷な標高の高い地域においては、厳冬期の降雪量が現在を超えるような年がある一方、冬の季節風の弱まりと気温上昇のため、降雪量が現在よりも減少し、積雪深も減少するような年があることが示されました。このこと

から、地球温暖化に伴い、北アルプスの冬の降雪量は現在よりも極端化し、雪が多く降る年はより多く、あまり降らない年はより少なくなる可能性があることが示唆されます。

今回の研究成果は、豪雪に伴う雪崩等の雪害の観点だけでなく、北アルプスの水資源管理や生態系（高山植物やライチョウなど）の研究にも関連するものであり、今後、雪の多い北アルプスを有する自治体における気候変動適応計画の策定等に貢献していきます。

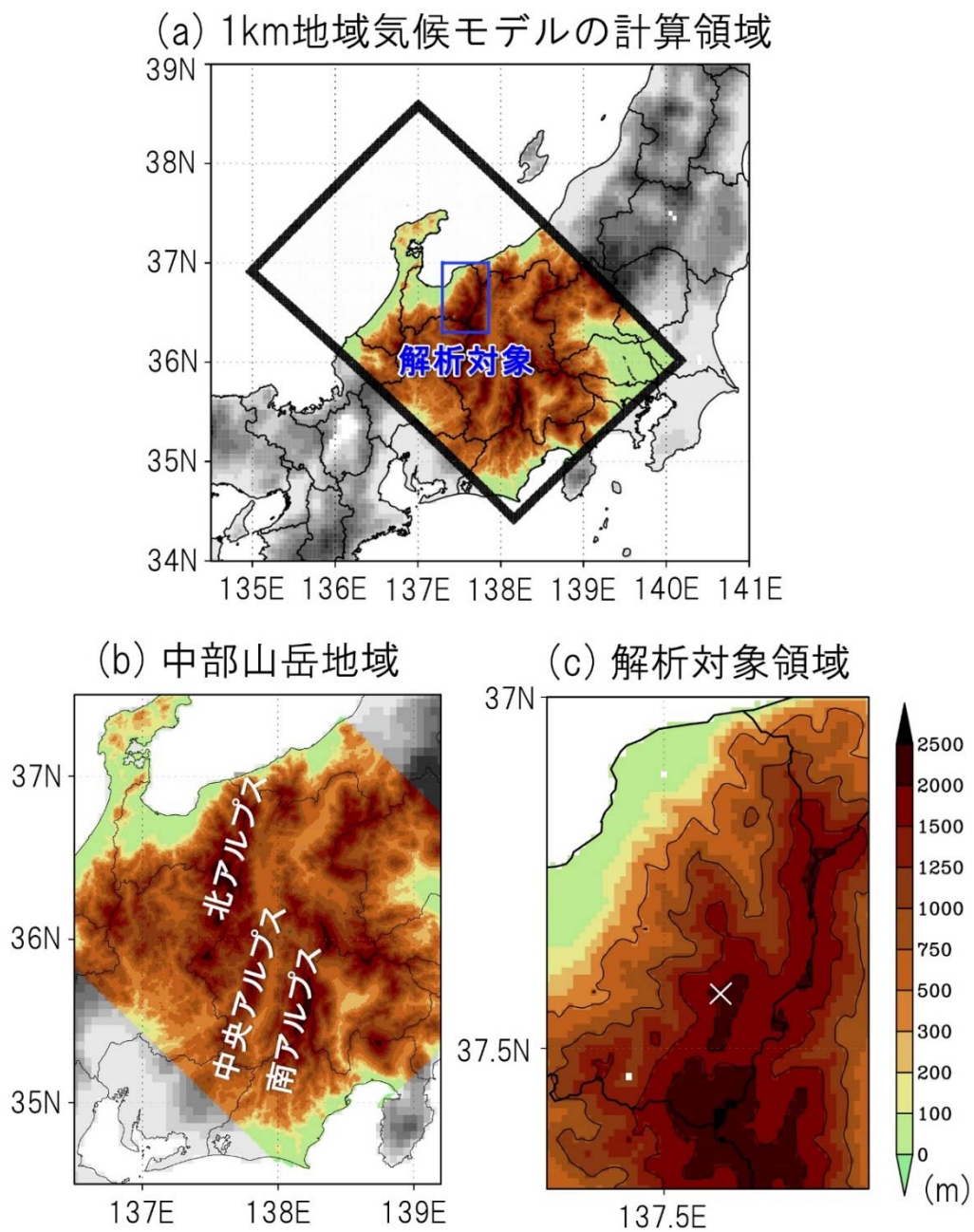


図 1. 地域気候モデルの計算領域と解析対象地域

(a) 黒枠内が 1km 地域気候モデルの計算領域と地形。(b) 中部山岳地域（北アルプス、中央アルプス、南アルプス）。(c) 解析対象領域（(a)の青枠内）の詳細な地形。カラーが標高を表す。白いバツ印は立山黒部アルペンルートの終点である立山室堂平の位置。

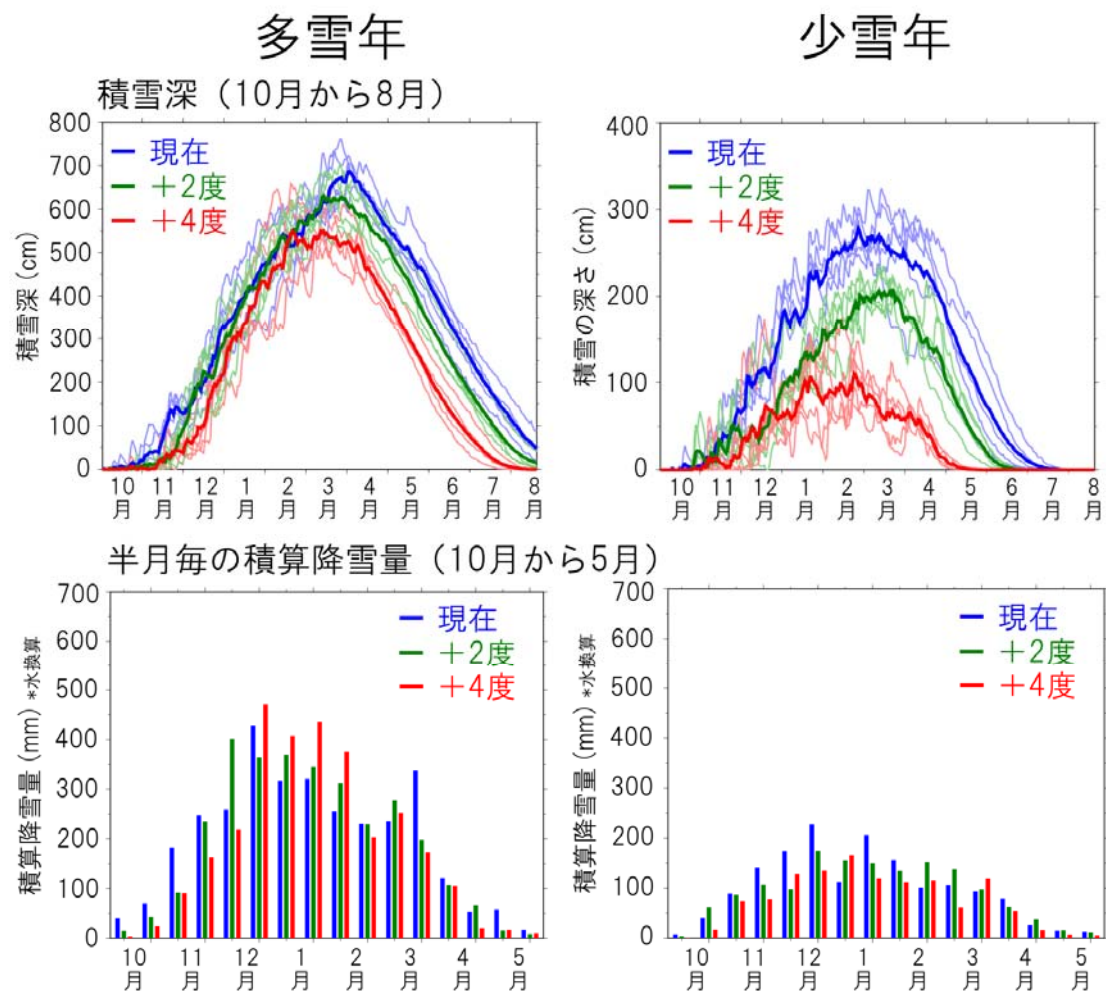


図2. 北アルプスの積雪深と降雪量の季節進行

北アルプスの標高 2000m 以上の山岳域 (図 1 c) で平均した積雪深 (上段) と半月毎の積算降雪量 (下段) の季節進行。積雪深は 10 月から 8 月、降雪量は 10 月から 5 月まで。左が多雪年、右が少雪年。青色線は「現在」、緑線が「2 度上昇時」、赤線が「4 度上昇時」。上段の細線は各年、太線は 5 年平均した値。下段は 5 年平均値のみを示す。半月毎の積算降雪量は地域気候モデルが計算した降雪量を水換算の量 (mm) で示している。

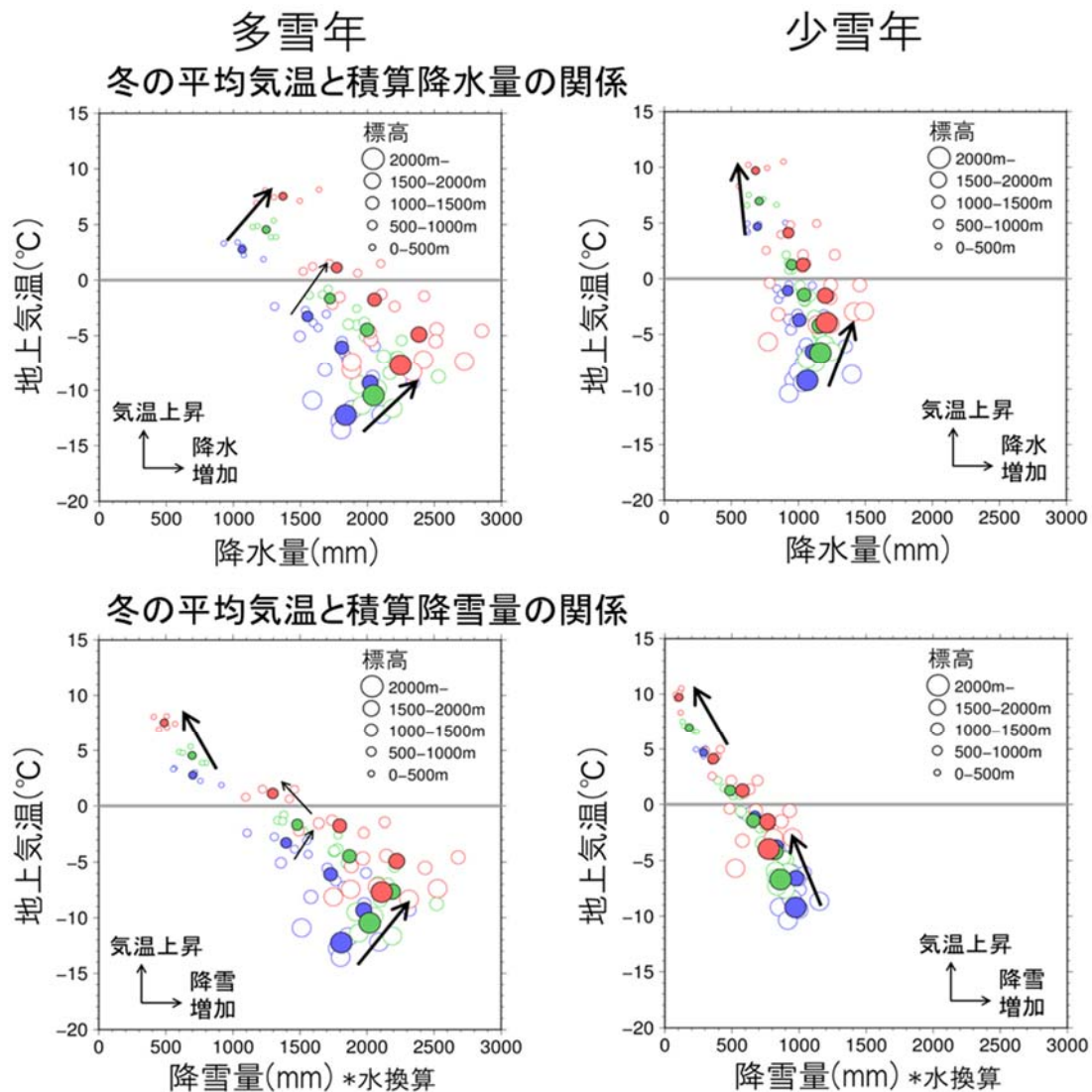


図3. 標高別に見た冬の平均気温と積算降水量及び積算降雪量の関係

北アルプス及び周辺域（図1c）を対象。丸の大きさは標高帯を示す。最も小さい丸が標高500m以下、最も大きい丸が標高2000m以上。青色は「現在」、緑色が「2度上昇時」、赤色が「4度上昇時」。白抜きの丸が各年の値、塗りつぶしが5年平均値。右上に移動すると、温暖化により降水（降雪）量が増加、左上に移動すると温暖化により降水（降雪）量が減少することを示す。

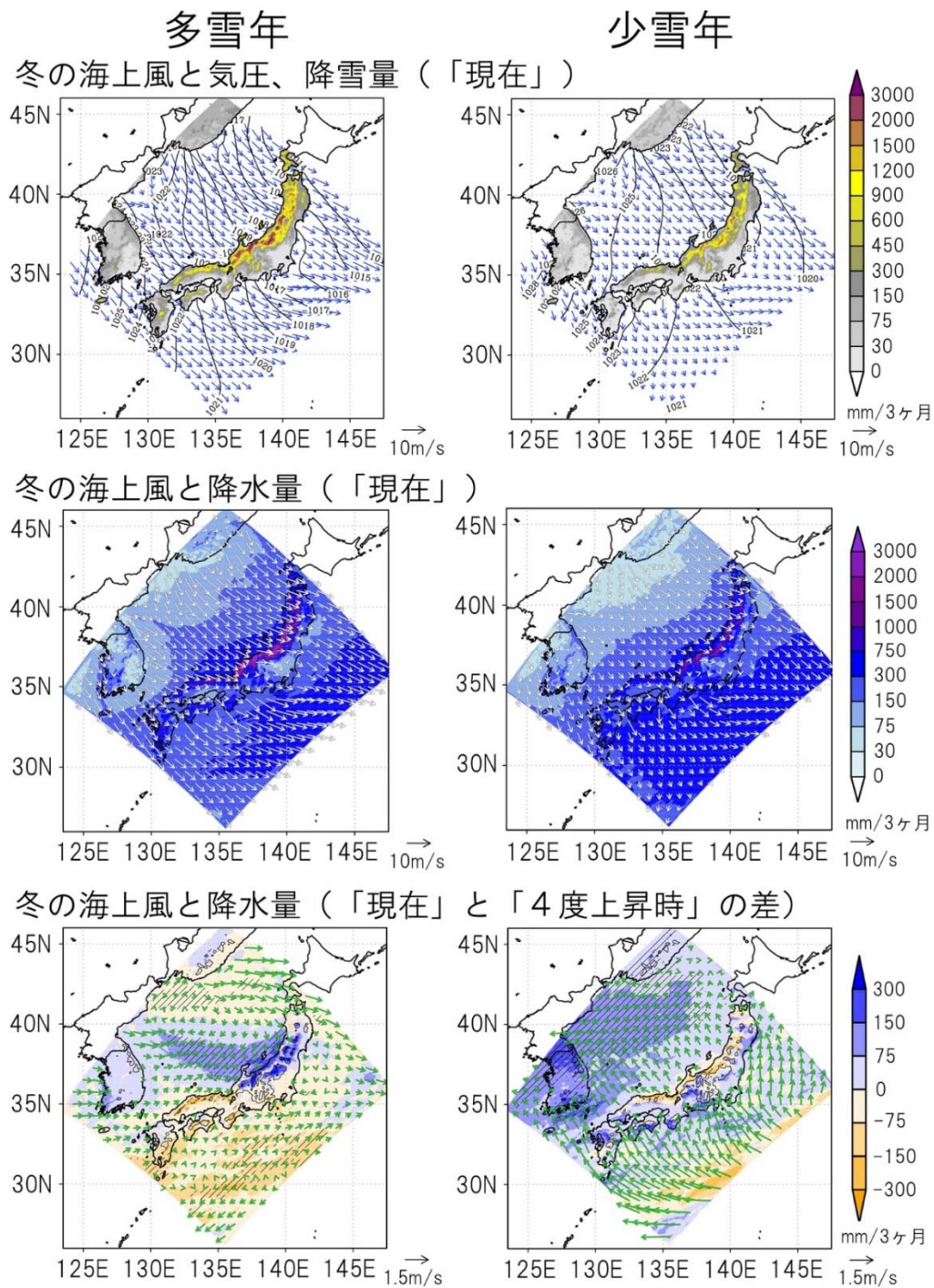


図4. 冬の海上風と気圧、降雪量、降水量の現在の分布及び海上風と降水量の将来変化
 （左側）多雪年、（右側）少雪年。上段は、「現在」の冬の海上風と気圧、降雪量、中段は
 「現在」の冬の海上風と降水量。下段は冬の海上風と降水量の「現在」と「4度上昇時」
 との差。下段の緑色の矢印は、「現在」と「4度上昇時」の風の差を示す。左上を向く矢
 印は北西風が弱まることを意味する。斜線のハッチは統計的に信頼できる(95%信頼区間)
 降水量の変化を示す。

用語の解説

※ 1 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF: database for Policy Decision making for Future climate change)

気象研究所が開発した全球大気モデルと地域気候モデル (20km メッシュ) を使用して作成した、地球温暖化気候シミュレーション実験結果のデータベース。後者は、日本域を対象として、過去 60 年 (1951~2010 年を対象) × 50 メンバー (のべ 3000 年分)、今世紀半ばに相当するデータ (のべ 3240 年分)、今世紀末に相当するデータ (のべ 5400 年分) の多数のシミュレーションから成る。

※ 2 「現在」、「2 度上昇時」、「4 度上昇時」

本研究では、d4PDF データのうち、過去計算期間 60 年分の中の 1980 年から 2010 年を「現在」、RCP8.5 シナリオ^{※6}に基づき工業化以降の世界平均気温が 2 度上昇した気候状態を仮定したとき (今世紀半ばに相当) を「2 度上昇時」、同様に 4 度上昇した気候状態を仮定したとき (今世紀末に相当) を「4 度上昇時」という。

※ 3 多雪年と少雪年

論文中で用いた多雪年と少雪年は、Kawase et al. (2018) 及び Sasai et al. (2019) で用いられた 5 km 格子間隔の 372 年分の計算において、中部山岳地域を含む中部地方の標高 1000m 以上の地域で平均した年最大積雪深の上位 5 年と下位 5 年を指す。「現在」、「2 度上昇時」及び「4 度上昇時」の三つの時期それぞれで定義している。

※ 4 ダウンスケーリング

気候モデルによって計算された気候データを、より高分解能の地域気候モデルを用いて再度計算することで、より詳細な気候データを作成すること。

※ 5 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル)

人為起源による気候変化とそれがもたらす影響、適応及び緩和に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988 年に世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) により設立された組織。

※ 6 RCP8.5 シナリオ

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第五次評価報告書における地球温暖化シナリオのうち最も温暖化が進む想定シナリオ。政策的な地球温暖化の緩和策が行われず、気温の上昇が今後も続くシナリオ。今世紀末に地球の平均気温が産業革命以前に比べて約 4℃上昇すると予測される。

引用文献

- ① Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, M. Ishii, and I. Takayabu, 2016: Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. *Climatic Change*, 139, 265-278.
- ② Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, 2018: Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. *J. Meteor. Soc. Japan*, 96, 161-178.
- ③ Sasai T., H. Kawase, Y. Kanno, J. Yamaguchi, S. Sugimoto, T. Yamazaki, H. Sasaki, M. Fujita, and T. Iwasaki, 2019: Future projection in extreme heavy snowfall event with 5-km large ensemble regional climate simulation, *J. Geophys. Res.*, 24, 13975-13990.