

# 日本の降積雪は今後どのように変化していくか

気象庁 気象研究所 応用気象研究部 主任研究官  
川瀬 宏 明

## 1. 進む地球温暖化

2022年に公表された国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）の第6次評価報告書では、人間活動が大気、海洋及び陸域を温暖化させたことは疑う余地がなく、既に大気、海洋、雪氷圏及び生物圏に急速な変化が現れていると指摘されている（IPCC, 2021）。産業革命以降、人間活動によって二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量が増加し、地球の気温は上昇し続けている。年々の変動はあるものの、100年あたり0.73度の割合で気温が上昇してきた（図1）。特に1980年頃から気温上昇が加速しており、2014年から2021年までの8年間で上位8年を占めている。2021年までの観測史上最

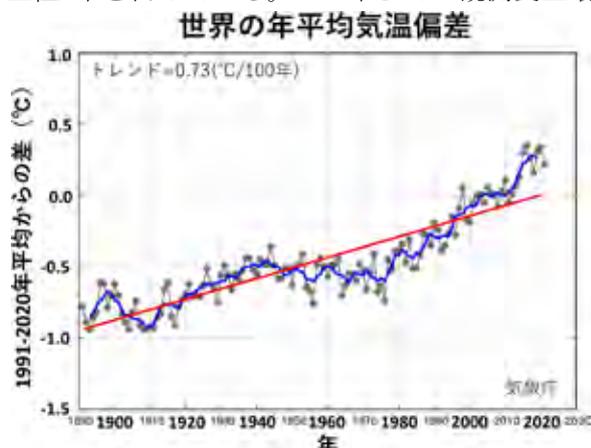


図1 世界の年平均気温の変化。1991年から2020年までの平均との差で示している。折れ線は5年移動平均、直線は長期変化傾向（線形トレンド）。気象庁 WEB ページの図に一部加筆。

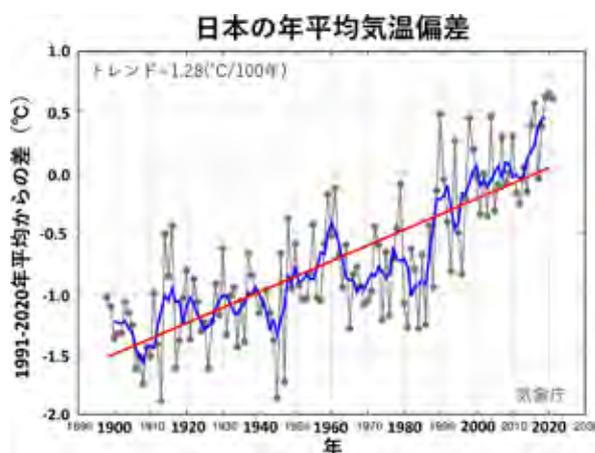


図2 図1と同様。ただし、1898年から2021年までの日本の年平均気温の変化。

高は2016年、2021年は6位であった。

気温の上がり方には地域差があり、気温の上昇量は海上より陸上の方が大きい。また、低緯度より中・高緯度で大きい傾向がある。中・高緯度で気温上昇が大きい要因の一つとして、雪や氷の存在が挙げられる。雪や氷は太陽の光を反射する割合（反射率：アルベドと呼ぶ）が大きく、特に新雪は太陽光の大部分を反射する。このため、雪面では気温が上がりにくい。しかし、地球温暖化に伴って雪や氷が融けると、地面や海面が露出する。地面や海面は太陽光の反射率が低い（30%程度）、地面や海面は太陽光を吸収して暖まる。その結果、地上の気温が上がり、周囲の雪や氷の融解がさらに進むことになる。このサイクルをアイス・アルベドフィードバックと呼ぶ。

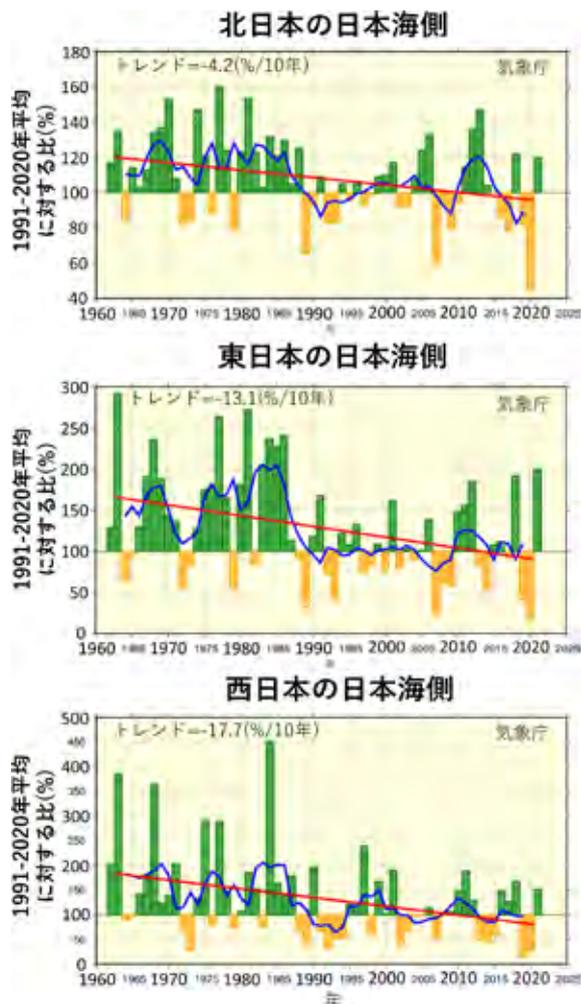


図3 過去の年最深積雪の変化。1991年から2020年平均に対する比で示す。折れ線は5年移動平均、直線は長期変化傾向。気候変動監視レポート2021(気象庁, 2022)に加筆。

日本の気温も上昇しており、100年あたりの上昇量は1.28度と世界平均より大きい(図2)。これは日本が中緯度に位置することが一つの要因である。なお、この図は都市化の影響が少ない地点の気温のみを用いて描かれている。都市域ではヒートアイランド現象の影響で、気温上昇量はさらに大きい。

## 2. 20世紀半ば以降の日本の雪の変化

気象官署等において観測された年最深積雪は、全国的に減少しており、特に東日本や西日本の日本海側で減少率が大きい(図3)。東日本では10年あたり13.1%、西日本では17.7%の割合で積雪が減

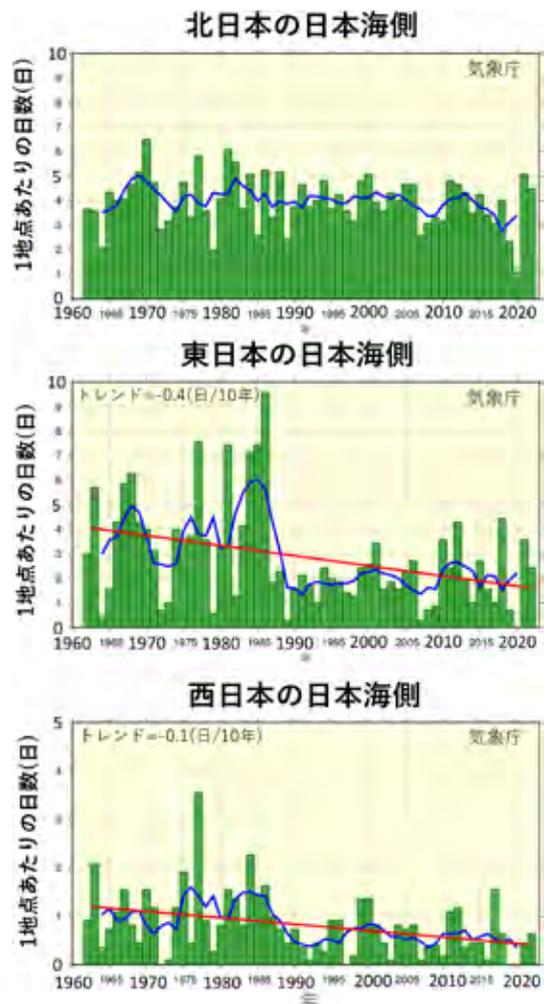


図4 日降雪量20センチ以上の日数(1地点あたり)。折れ線は5年移動平均、直線は長期変化傾向。北日本の日本海側は統計的に有意な長期変化がみられない。気象庁のWEBページの図に加筆。

少してきている。一方、2021年は全国的に寒冬となり、東日本では1986年以来の大雪となった。近年は多雪年と少雪年の差が大きい傾向がある。

次に、1961年以降の日降雪量20センチ以上の日数の変化に着目する(図4)。東日本や西日本では1960年代から80年代前半にかけて頻度が多く、1990年以降は大きく減少した。長期変化傾向も統計的に有意な減少を示している。一方、北日本では年々の変動が小さく、長期変化も不明瞭である。なお、気象官署や測候所の多くは、標高の低い地域に立地していることに注意する必要がある。山岳域は低標高域とは異なる変化傾向を示すことが指摘されている。

### 3. 地球温暖化に伴う将来の雪の変化

#### 3.1 将来の気候を予測する気候モデル

地球温暖化が進行した将来の気候を知るために、世界中の研究機関で気候変化予測が行なわれている。気候変化予測は、物理法則に基づいて地球の気温や大気の流れを計算する気候モデルを用いて行う。気候モデルは日々の天気予報を行う数値予報モデルと基本的には同じであるが、一つ大きな違いがある。明日や明後日の天気予報には、現在の大気の状態を知ることが最も重要である。一方、気候変化予測においては、過去から現在、将来にかけての二酸化炭素等の温室効果ガスや工場からのPM2.5等の排出量、土地利用の変化といった人為的な要素と、火山噴火や太陽活動の自然起源の要素が重要となる。過去の温室効果ガス濃度（あるいは排出量）は観測された値を用いるが、将来の温室効果ガスや大気汚染物質の量については、今後の人間活動の変化を想定したいくつかのシナリオを用意する。IPCC 第5次評価報告書では代表的濃度パス（RCP: Representative Concentration Pathway）、第6次評価報告書ではRCPと社会経済シナリオ（SSP: Shared Socio-economic Pathways）

がシナリオとして用いられている。

最新のIPCC 第6次評価報告書に示されたシナリオ別の将来の気温変化の予測が図5である。最も温暖化が進行するシナリオ（SSP5-8.5）では、産業革命前と比べて、21世紀末に4度以上気温が上昇することが分かる。また、パリ協定で定められた2度目標を達成するためには、SSP1-2.6あるいはSSP1-1.9のシナリオが必要であるが、これを達成するためには、21世紀半ば以降に二酸化炭素の排出量をゼロにし、さらにその後、マイナス（つまり大気から二酸化炭素を取り除く）にしなければならない。

図5aの気温変化を求めるためには、地球全体の大気や海洋を対象とした膨大な計算をする必要があるため、計算機資源の関係で、高解像度の計算をすることができない。地域詳細な日本の気候予測を行うためには、地球全体の大気の計算結果を基に日本域を高解像度化する必要がある。そこで気象庁では、気象研究所で開発した地域気候モデルを用いて、日本域を5kmあるいは2kmメッシュで再度計算し、その結果を地球温暖化予測情報第9巻（気象庁、2017）や日本の気候変動2020（気象庁、2020）の形にまとめ、WEBで公開している。

地球温暖化予測情報第9巻や日本の気候変動2020には、主にIPCC 第5次評価報告書の2つのRCPシナリオ（RCP2.6とRCP8.5）に基づく将来予測が示されている。RCP2.6とRCP8.5はそれぞれ、図5のSSP1-2.6とSSP5-8.5に近いシナリオと考えると差し支えない。21世紀末の日本の気温は、20世紀末と比べてRCP8.5では全国平均で約4.5度（冬は約5.0度）、RCP2.6では1.4度（冬は約1.8度）上昇すると予測されている。次節ではこれらのシナリオで予測される降積雪の変化を見ていこう。

#### 3.2 日本の雪の将来変化

まず、年最深積雪は全国的に減少する（図6）。減少率は東日本や西日本で大きく、RCP2.6で現

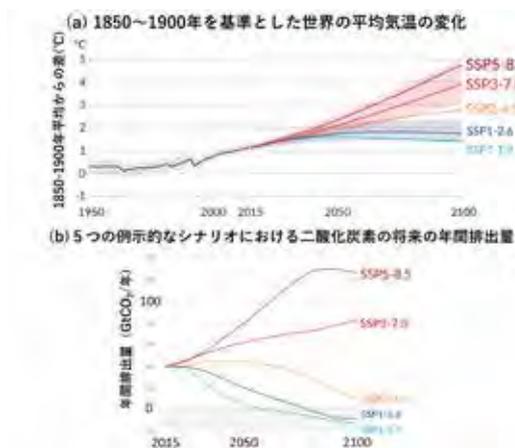


図5 シナリオ別の将来の世界平均気温の変化と二酸化炭素の年間排出量。(a)世界平均気温の変化。1850年から1900年の平均値からの差として表す。(b)二酸化炭素の年間排出量の予測。単位はギガトン(Gt)/1年。1ギガトンは10億トン。IPCC 第6次評価報告書「政策決定者向け要約」の図に日本語加筆。

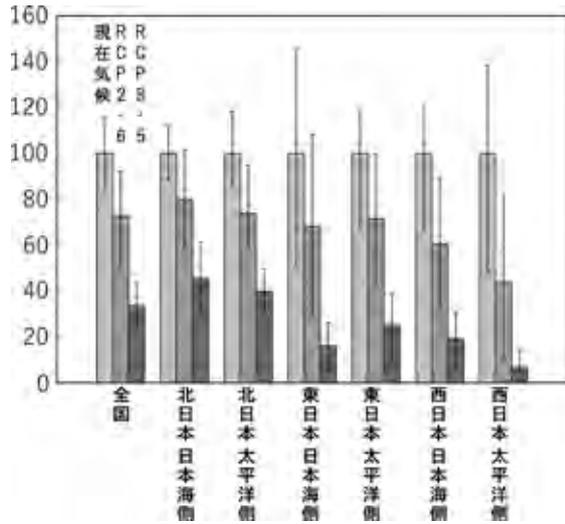


図6 全国及び地域別の年最深積雪の将来変化(%)。現在(20世紀末)を100とした時のRCP2.6とRCP8.5の値を示す(いずれも21世紀末)。縦線は年々変動の幅。「日本の気候変動2020」の図の色を加工。

現在の50%~70%、RCP8.5では現在の30%以下に減少すると予測されている。一方、北日本では減少率が小さく、RCP2.6で70%~80%、RCP8.5でも40%前後の減少に留まるとみられる。北日本では元々冬季の気温が0度をかなり下回っているため、多少気温が上昇したとしても降水は雪として降る。その結果、年最深積雪の減少率が小さくなると考えられる。一方、冬季の気温が0度に近い東日本や西日本では、気温上昇によって降雪が降雨に変わり、また積もった雪も解けやすくなるため、最深積雪が大幅に減少するとみられる。

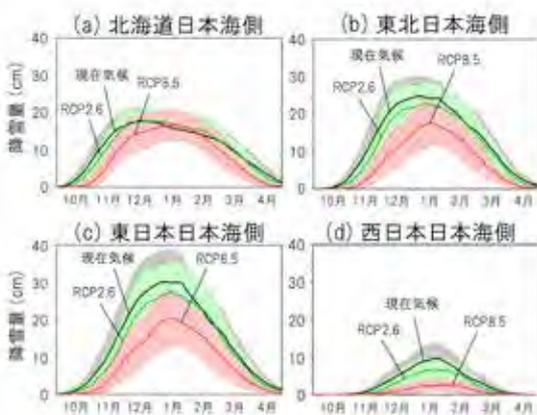


図7 半日(5日)積算降雪量の季節変化。現在気候は20世紀末、RCP2.6、RCP8.5(いずれも21世紀末)。陰影は年々変動を示す。Kawase et al. (2021)の図に西日本を追加、一部加筆。

次に、北海道と東北、東日本、西日本の日本海側における降雪量の季節変化に着目する。東北の日本海側と東日本の日本海側は傾向が非常によく似ている(図7b-c)。RCP2.6では若干降雪量は減るものの、現在と大きな違いはなく、2月は現在気候並みの降雪が予測されている。RCP8.5では一冬を通して降雪量が大幅に減少するほか、東北地方の日本海側では降雪量のピークがやや遅れる傾向も見られる。

北海道の日本海側ではやや傾向が異なる(図7a)。RCP2.6においては12月から3月以降の降雪量の減少はほとんど見られず、1月から2月は若干増加する予測となった。RCP8.5においても、1月から2月初めにかけて降雪量が現在と同等かやや増加する傾向が見られた。一方で、10月から12月、2月後半以降は降雪量が大きく減少しており、現在気候では12月であった降雪量のピークが、将来は1月下旬から2月上旬に移っている。もともと降雪量が少ない西日本の日本海側では、RCP8.5シナリオではほとんど降雪がなくなる予測となった(図7d)。

### 3.3 ドカ雪の将来変化

最後に短期間に降る大雪の変化に着目する。図8は、温暖化の進行とともに月最大日降雪量(その月の中で起こった最大の1日の降雪量)がどのように変化するかを示した図である。薄い灰色はRCP2.6で降雪量が現在よりも減少(つまり、温暖化が進むと降雪量が減少)、最も濃い灰色はRCP8.5で降雪量が現在より増加(つまり、温暖化が進むと降雪量が増加)することを示す。12月から2月にかけて、全国的には降雪減少を示す薄い灰色が広がっているが、北海道の日本海側や東北から北陸の内陸部や山沿いでは、濃い灰色の降雪量が増加する地域がみられる。これらの地域では、地球温暖化の進行とともに、1日に降るドカ雪の強度が増すことが懸念される。

本州の日本海側では、冬型の気圧配置が強ま

る時に山沿いで多量の雪が降る（山雪型）。一方、北西の季節風が朝鮮半島の山を迂回し、日本海でぶつかると、帯状に雪雲が発達する場所ができる（日本海寒帯気団収束帯：JPCZ）。これが山陰や北陸の沿岸にかかると、平野部でも大雪が発生することがある（里雪型）。地球温暖化が進むと、日本海の海面水温が上昇し、大気に供給される水蒸気の量が増加するため、強い冬型の時の降雪やJPCZに伴う降雪が強化され、ドカ雪が強まると考えられる。ただ、沿岸部については、気温上昇により降雪が降雨に変わる影響が大きく、降水量が増えても、雪ではなく雨として降ると予測される。

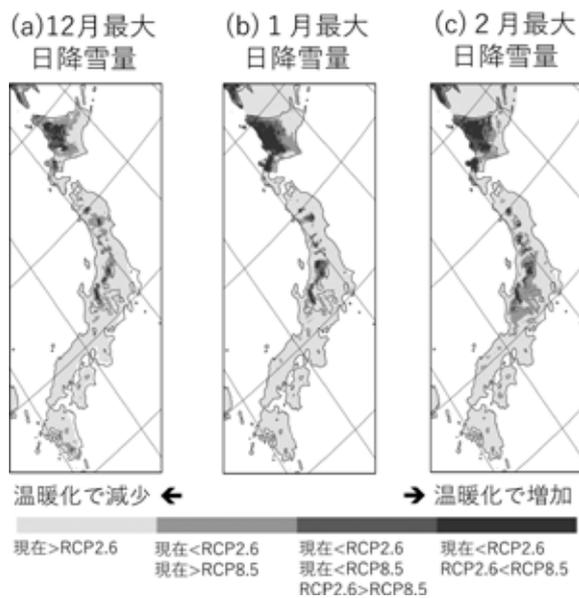


図8 月最大日降雪量の将来変化。色の濃淡が降雪量の将来変化傾向の違いを示す。薄い色から順に、「RCP2.6で減少」、「RCP2.6で増加、RCP8.5で減少」、「RCP2.6、RCP8.5ともに増加、ただしRCP8.5はRCP2.6より少ない」、「RCP2.6、RCP8.5ともに増加し、RCP8.5はRCP2.6より多い」。黒線は1000mの標高。Kawase et al. (2021) の図を改変。

#### 4. まとめ

観測データの分析から、年最深積雪は全国的に減少傾向であり、特に東日本や西日本の沿岸部で大きく減少していた。一方、日降雪量20センチ以上の日数は、東日本や西日本では減少しているが、北日本では変化が見られなかった。

将来、地球温暖化が進行すると、年最深積雪は全国的に減少し、過去の傾向と同様に東日本と西日本で減少率が大きいと予測されている。一方、北海道の日本海側では、厳冬期の降雪量が現在と同等あるいは増加する可能性がある。年最大日降雪量は、北海道だけでなく、本州の山沿いでも温暖化に伴い増加する予測となっている。地球温暖化で年降雪量が減少したとしても、厳冬期の短期間に降る大雪は依然として発生する可能性があることに留意する必要がある。

#### 参考文献

- 気象庁, 2017: 地球温暖化予測情報第9巻, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/>
- 気象庁, 2020: 日本の気候変動2020, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>
- 気象庁, 2022: 気候変動監視レポート, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>
- IPCC 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.
- Kawase, H., A. Murata, K. Yamada, T. Nakaegawa, R. Ito, R. Mizuta, M. Nosaka, S. Watanabe, H. Sasaki, 2021, Regional characteristics of future changes in snowfall in Japan under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, SOLA, 17, 1-7.