

北極域の広域積雪観測と気候影響

堀 雅裕¹、杉浦幸之助²、谷川朋範³、青木輝夫³、朽木勝幸³、庭野匡思³、榎本浩之^{4,5}、佐藤篤司⁶

¹JAXA/EORC

²富山大学

³気象研究所

⁴極地研究所,⁵総合研究大学院大学

⁶防災科学技術研究所

近年北極域では、地球温暖化の進行に伴う顕著な気温上昇や海水面積の減少が観測されており（IPCC/AR5, 2013）、北極域の気候・環境形成因子である積雪分布にも大きな変動が生じているとされている。しかしながら、衛星データ由来の積雪分布として最も代表的かつ最長期間のデータが記録されている米国海洋大気庁気候データセンター（NOAA/NCDC）の北半球の Weekly 積雪チャート（Armstrong and Brodzik, 2013）を用いると、秋期の積雪面積トレンドが地上観測の結果とは矛盾する傾向を示すことが指摘されている（Brown and Derksen, 2013）。NOAA の積雪チャートは、気象衛星が撮影した可視・近赤外域画像をもとに、訓練された運用担当者が数値天気予報向けに積雪分布を目視で手書きしたものがベースとなっており、人間による解析に頼っている点や時代とともに新たな衛星の追加が行われてきたこともあり、検出精度に変動が生じる可能性があることが懸念される（Frei et al., 2012）。また、空間分解能が 190km 程度と非常に粗く、今日の衛星データと比較する上では大変効率が悪い。したがって、長期トレンドを精度よく評価する上では、過去から現在までの衛星データを統一的な処理方法を採用して解析し、温暖化に伴う積雪分布の変動を改めて評価し直す必要である。また、宇宙航空研究開発機構では、2016 年度に気候変動観測衛星 GCOM-C（光学放射計搭載）を打上げ、気候変動の兆候をとらえるための長期衛星データセットの構築を目指している。GCOM-C の観測データを過去の観測データと接続し、更なる長期トレンドを評価していく上でも、より高い空間分解能で長期積雪分布データセットを構築しておく必要がある。

本研究は、1970 年代後半から現在までの期間で入手可能な極軌道衛星搭載光学センサのデータを用いて、30 年超の長期間積雪分布データを構築し、北半球の積雪面積、積雪被覆期間の長期変動傾向の特徴を評価することを目的とする。入力とする衛星データには、1978 年 11 月から 2000 年 2 月までは米国気象衛星 NOAA シリーズに搭載されている AVHRR センサの GAC（4 km 間引き放射輝度）データを、2000 年 2 月以降は米国地球観測衛星 Terra および Aqua 搭載の MODIS センサの MOD02SSH（5 km 間引き放射輝度）データを用いた。あらかじめ放射輝度を 0.05° 間隔の全球等緯度経度格子座標に投影したものを 1 日毎に作成し、地表面の分光反射率・輝度温度とその時間変動の情報をもとに積雪域の判定を行った。その際、異なるセンサ間の積雪検知性能を同一に保つため、AVHRR、MODIS 両データの解析には AVHRR が有する 5 つのチャンネルと同一波長帯の輝度データのみを使用した。積雪面積は、上記の 1 日単位の積雪域の判定結果を半月間単位で合成したものから算出した。また、積雪被覆期間は、1 月上旬から 12 月下旬まで半月単位で集計した積雪被覆日数割合を年毎に総計して求めた（以下、本研究で作成したデータを JAXA 版と呼ぶ）。積雪域の検出精度の評価には、NOAA/NCDC が公開している Global Historical Climatology Network-Daily（GHCND）（Menne et al., 2012）データに格納されている地上計測された積雪深（積雪深 2.5 cm 以上を積雪有り、日最高気温 2.5°C 以上を湿雪有り）と判定）を用いた。また、冒頭に述べた NOAA/NCDC の北半球 Weekly 積雪チャート（以下 NOAA 版と呼ぶ）を用いて同様に積雪検出精度を評価し、JAXA 版の性能と比較した。

GHCND の積雪深を用いて評価した結果、積雪域判定の正答率は JAXA 版、NOAA 版ともに 80% 程度であったが、検知率については、JAXA 版の方が 85% 前後で安定していたのに対し、NOAA 版は 80 年代～90 年代前半は 80% 前後で推移し、2000 年代以降は 85% を超える値をとるなど、年代により大きく変動している様子が見取れた。このことから NOAA 版では使用する衛星種類の増加や積雪域を判読する担当者の交代等により積雪判読基準にばらつきが生じているものと考えられる。また、季節毎の特徴を見ると、夏期に NOAA 版が過大評価する傾向が大きいことが分かった。これは、NOAA 版の空間分解能が粗いため、積雪域が小さくなる夏期に、積雪域を大きめに判定（少しでも可能性があれば積雪ありと安全側に判断）していることが原因と考えられる。

季節毎に平均した北半球の積雪域面積の経年変動を解析すると、北半球全体での積雪面積は、全ての季節において減少傾向を示していた。しかしながら、年間の積雪被覆期間を地域毎に見ていくと、世界中どの地域でも一様に短縮化が進んでいるわけではないことが見えてくる。図 1 は、北半球の積雪被覆期間の 30 年平均値および積雪被覆期間、積雪消失日、積雪開始日の 30 年トレンドを示している。北半球で最も短縮化が進行しているのは、欧州からロシア西部にかけてのユーラシア大陸西部地域で、例えば、ウクライナ周辺では 30 年間で 40 日以上短縮化が進行していた。図 2 に、スカンジナビア半島北部の Kevo の積雪被覆期間について、衛星データから切り出したものと地上での積雪深観測の結果に基づくものの比較を示す。期間は異なるが、衛星データから抽出した

積雪被覆期間の短縮傾向が地上観測でも裏付けられることが分かる。一方、東アジアや北米西部の山岳域においては短縮化よりむしろ長期化を示す地域が見られている。これらの要因を分解すると、ユーラシア西部の短縮化は、英国など一部の地域では積雪消失日の早期化が効いているが、それ以外の大部分は積雪開始日の遅延により生じていることが分かる。一方、アジアや北米西部山岳域での長期化については、積雪消失日の遅延化が寄与していることが分かる。このような大陸間あるいは大陸東西間での積雪被覆期間トレンドの不均衡は、温暖化に伴い近年縮小が著しい北極海氷の縮小、大気循環場や植生被覆の変動など、地球温暖化に伴う他の環境要因とも密接に関係していると考えられ、北極域の温暖化増幅メカニズムを解明する上で今後の研究課題として重要である。

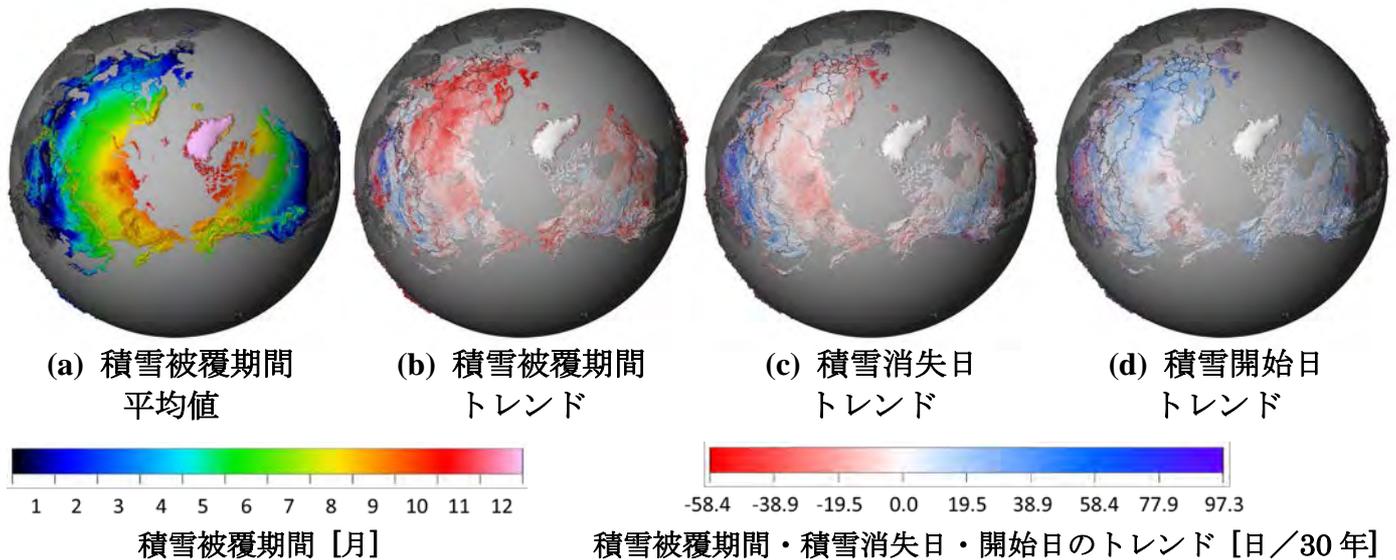


Figure 1. Spatial distribution of (a) 30-year averaged snow cover duration, (b) snow cover duration trend, (c) snow melt date trend, and (d) first snow date trend in the Northern Hemisphere.

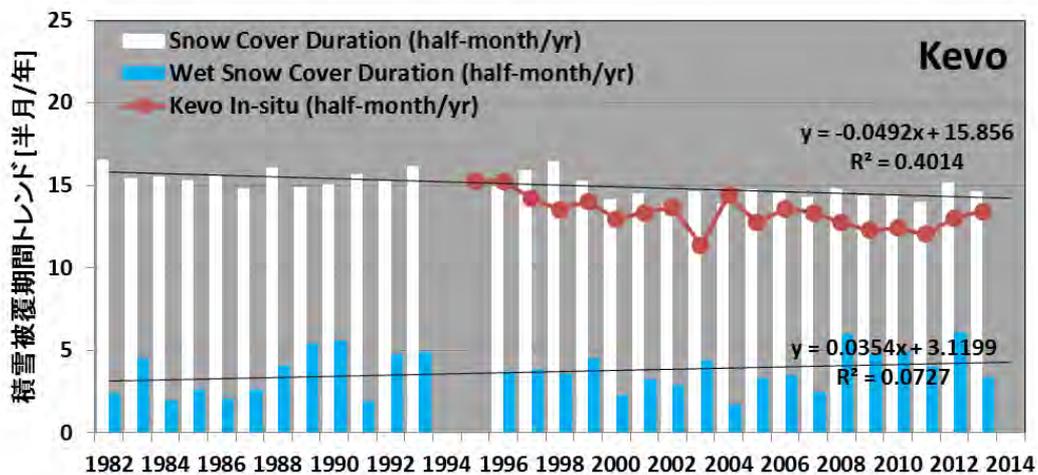


Figure 2. Year to year variations of snow cover durations at Kevo, Finland derived from satellite data (white bar) and in-situ snow depth (red solid line). Those of wet snow cover duration are also plotted as blue bars.

References

- Armstrong & Brodzik, Northern Hemisphere EASE-Grid 2.0 Weekly Snow Cover and Sea Ice Extent. Ver. 4. NSIDC, 2013.
- Brown, R. D., and C. Derksen, Is Eurasian October snow cover extent increasing? Environ. Res. Lett. 8 024006. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024006, 2013.
- IPCC/AR5 : Climate Change 2013. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2013.
- Frei et al, A review of global satellite-derived snow products, Advances in Space Res., doi:10.1016/j.asr.2011.12.021, 2012
- Menne, M.J., I. Durre, R.S. Vose, B.E. Gleason, and T.G. Houston, An overview of the Global Historical Climatology Network-Daily Database. J. Atmos. Oceanic Technol., 29, 897-910, doi:10.1175/JTECH-D-11-00103.1, 2012.