

公益財団法人国土地理協会 第 18 回学術研究助成

(地理学および関連する分野の学術的調査・研究)

過去 100 年の日本の雪の気候変動

研究代表者 高橋 洋 首都大学東京都市環境科学研究科

共同研究者 山崎 拓弥 首都大学東京都市環境科学研究科

星 亮輔 首都大学東京都市環境科学研究科

概要

日本の雪の長期気候変動については、あまり研究されていない。過去 50 年程度については、データがあるため、解析可能であるが、雪は一般的に減少していることが指摘されているものの、その実態についての調査は気温変動や降水量変動に比べて極めて少ない。また、気象観測資料としては、気象庁による 100 年間程度の雪データが存在するが、デジタル化されていないため、解析が進められていない。また、雪の減少の一方で、豪雪の頻発も指摘されている。そこで、本研究では、限られた地点での 100 年間の雪の気候変動を明らかにし、過去のデジタル化の重要性を指摘することを目指した。実際には、資料の搜索とその資料の整理、デジタル化に時間を要した。一つの例として、豪雪地帯であり、近年、雪が減少している地域として知られる新潟県の高田を対象に 100 年の雪の気候変動の一部を明らかにした。最近 50 年間の解析では、1980 年代後半から雪が急に減少し、現在も少ないままであるとされていた。実際には、2010 年代は比較的多いが、確かに最近 50 年間のデータからは、減少トレンドと見ることができそうである。しかしながら、100 年間のデータを見てみると、1980 年代が極大期と見られ、1960 年以前にも、雪が少ない時期が見られそうである。しかしながら、データの検証が十分にできていないため、今後も継続的に研究を続ける。データの検証自体は難しいので、複数の地点の長期変動を解析し、特定の地点だけの変動であるか、ある程度の空間スケールをもった変動なのかなどから、100 年の時系列の妥当性を検証したい。

このような大変興味深い結果が得られた。地球温暖化による近年の減少だけでは、雪の長期変動は説明できないかもしれないことを示唆している。この結果から、今後さらなる研究を続けるための初期解析の結果としては非常に貴重な結果が得られた。さらに、過去の古いデータは、一般的に品質に問題がある場合が多いので、本助成研究のようなデータと相互比較することにより、互いのデータの整合性を確認できる。これにより、今後、過去の気候変動をより詳しく解析できることが期待される。

1. 調査研究の目的

日本の雪が長期的に長期減少傾向にあることが知ら

れている。その一方で、近年には、突発的な豪雪事例を頻繁にニュースで目にする印象がある。気象庁のホームページなどを見ると、実際のデータでも長期的に雪は減少している地域が見られる。その一方で、近年は平成 18 年豪雪を皮切りに平成 23 年、24 年、25 年、26 年（関東）と 4 年連続で豪雪に見舞われた。さらには、平成 28 年（西日本）、平成 30 年の近年まれに見る低温と北陸・北海道での豪雪が挙げられる。また、東京での豪雪もあった。

このような状況においては、地球温暖化により、地球の平均気温が上昇している中で、平均的に雪は減少する一方で、豪雪が増えているのであろうか。また、都市部は都市化による温暖化（都市ヒートアイランド現象）により、地球平均での 100 年間で約 0.7 度の温暖化を大幅に上回り、さらに昇温が上乘せされるが、その状況下でも豪雪が増えているのだろうか。最近、雪のニュースがインターネットに流れると、SNS などのコメントに、「昔は東京も雪が多かった」などと、書いてあるのをよく見かけるが、本当なのだろうか？しかしながら、過去の豪雪の長期変動についての研究は、せいぜい気象庁の簡易的な解析レポート程度であり（内容もあまり詳しくない）、過去の観測データに基づく研究論文は見当たらないのが現状である。そのため、雪の気候変動について詳しく調査する必要がある。

関東地方などの雪が少ない地域の豪雪は、人々が不慣れなこともあり、被害が甚大になりやすい。例えば、平成 26 年の山梨を中心とした豪雪や平成 30 年の東京の豪雪は、大きな社会問題となった。また、平成 30 年の北陸地方での豪雪被害は甚大であった。最近では、北陸地方など比較的雪に慣れた地域でも、豪雪の被害が大きい印象がある。これは、長期的な雪の減少により、雪に不慣れになって来ていることが原因かもしれない。さらに、北陸地方では、長期的な雪の減少に伴い、自治体は除雪費を削減しており除雪能力も下がっている。自治体の除雪は、主に民間の業者に委託されるため、委託費の減少により、除雪能力を維持する民間企業が減少し、急な豪雪に対応できなくなっているようである。

さらに豪雪は、気象災害において、死亡者などがとても多い災害である（<https://www.nhk.or.jp/sonae/special/oyuki/index.html>）。多くは、屋根に積もった雪の「雪下ろし」による事故が多い。これは、日本海側などの積雪地域は、長期的な人口減少などの過疎高齢化

によるところも大きいと推測される。よって、雪の長期気候変動は、社会的な問題としても非常に重要である。

科学的な疑問として、「なぜ近年豪雪が頻発しているのか」は、まだ明らかになっていない。事例数が少ないので、偶然かもしれないが、太平洋側と日本海側の両方で、豪雪が増えている印象がある。一般的に、太平洋側の豪雪は、南岸低気圧と呼ばれる低気圧活動による。一方で、日本海側の豪雪は、冬季アジアモンスーンによる寒気の吹き出しによって引き起こされるため原因が異なる。それにも関わらず、太平洋側と日本海側の両方で豪雪が頻発していることは、注目に値する。

この研究テーマの最終的な目標は、過去約 100 年間の雪の気候変動を明らかにすることである。本助成研究では、いくらかの地点の雪の変動について、調べるために、一部のデータをデジタル化し、約 100 年間の雪の気候変動の解明に着手することである。ただし、作業が膨大なため、本助成研究の 1 年間では、いくつかの主要な地点に関する雪データのデジタル化と図化を行う。これらによって、100 年規模で見て、平均的な降雪の変化と、日本の豪雪が増えているのかを調査することを目指す。

2. データ・資料

2.1 過去 55 年間の雪の気候変動のための

気象庁データ

まずは、気象庁の WEB ページや気象業務支援センターなどより提供されている 55 年間（1961 年以降）の雪のデータについて、全国約 120 カ所を対象にして、データを使用した。これは本助成研究の研究以前から継続的に行ってきたものである。このデジタルデータは、気象庁が配布しているものであるが、すべての地点において、日降雪深は、1961 年以降のデータのみである。年最大積雪深データも、基本的に 1961 年以降である。一部、参考値として、過去のデータが入力されている場合があるが、品質管理で徐々に消えているようである。2019 年春にも一部のデータが欠測扱いに変更されている。

（気象庁ホームページ（網掛け部引用）：

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/pdf/20190401.pdf>、最終閲覧日:2019.08.30)

一部の地点において、1953 年の降雪の深さの年合計などを修正しました（修正対象の地点・期間・要素）。

(2019.4.1)

ただし、このような変更が、どの地点から気象庁のホームページで記載されているのかわからないため、過去には、一部のデータが掲載されていた場合もあったと思われる。

これらのデータが長期的に利用可能であれば、豪雪の長期変化の解析が比較的容易に行えるが、現時点では、使用可能データが限られている。それを少しずつ解析するのが、この研究テーマの最終的な目標である。本助成研究は、その一部を行った。

気象庁の WEB ページには、降雪深が降雪量と表示されているが、気象学などでは、降雪深と降雪量は別の意味を持つことが多い。降雪深は、ある単位時間内に積もった雪の深さである。観測方法は、基準となる単位時間の始めと終わりの差で定義される。そのため、単位時間内での、様々なプロセスによる降雪深の変化の結果となるが、日別値であれば、特別値の積分値との違いは比較的小さい。一方で、降雪量は、単位時間当たりの積雪を溶かした降水量である。つまり、ある単位時間の降水現象がすべて雪であれば、降雪量と降水量は一致する。このようなことから、気象庁は、より正確に記載すべきである。10cm の降雪深は、積雪地域ではよくあるが、10cm = 100mm の降水が、毎日のように降ったら大変なことである。積雪深は、定義は単純で、ある瞬間の積雪の深さである。雪の情報は、計測方法が単純なため、比較的古くから計測されている。あとで用いる 1960 年以前の雪のデータは、単位が「cm」ではなく、「尺」の場合もあるようである。

2.2 豪雪の解析のためのデータの現状

現状では、100 年規模の日本の雪の気候変動の研究はほとんどない。年最深積雪のみを調べたものは、新潟県に限りわずかに見られる。豪雪は 1 週間程度の時間規模で起こるので、年最深積雪や月積雪深だけでなく、日単位の降積雪深のデータが必要である。この日単位のデータを作成するために、毎日のデータが必要であり、デジタル化の作業に時間がかかる。

2.3 古い資料からのデジタル化作業

実際に古い資料からのデジタル化作業の概要を示す。実際に作業に使う資料を示す。

・各地点の画像のスキャン（もしくは写真撮影）を行

う。

- 画像の整理を行い、長期的に利用可能な観測データが、それだけあるのかを調べている。このときに、人間の目で確認するのが早い、画像がない年などがあり、その所在を確認するのに時間がかかる。
- 画像1や画像2などの画像からデータを読み取る。実際の作業では、以下の様なことがとても時間がかかった。漢数字はとても読みにくいので時間がかかる。単位が「尺」の場合がある。数字でも記録者によってはとても読みにくい場合がある。合計や最高値などの計算が合わない場合があるが、解決は難しい場合が多い。

以上のようなプロセスでデジタル化を行った。

2.4 データ解析の上での問題点

1961年以降のデジタル化されたデータと1960年以前のデータの整合性を確認したところ、一つ大きな問題が見つかった。気象庁のホームページでは、品質確認後のデータを公開していると思われるが、その方法が明らかではないようである。データについての詳しい情報は、簡単には得られず、品質確認の方法、具体的な

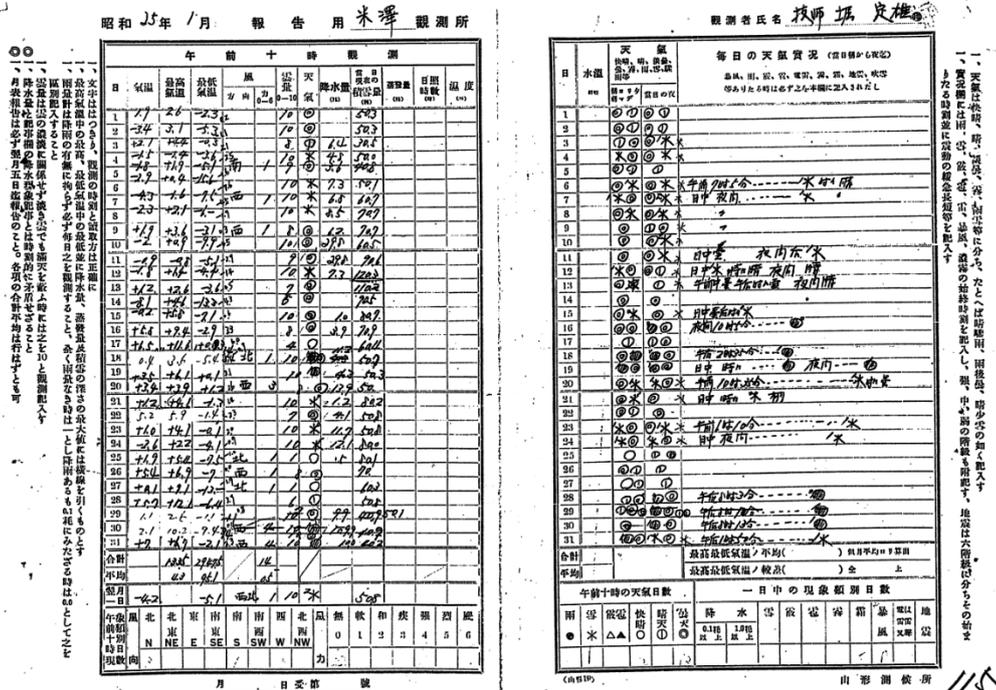
補正方法についての情報を集めることができなかった。

問題点は、帳簿の1962年以降の気象庁データとクロスチェックができる期間について、新潟県の数地点の値を確認したところ、値が違うケースが見られたことである。帳簿のデータは、1990年くらいまで確認したが、日降雪深にいくらかの違いがある。降雪のタイミングなど概ね一致しているものの、値に少し違いがある。詳しくは、あとに述べる。

このような問題があるため、帳簿から再現したデータと気象庁のホームページのデータを単純に比較するのは難しいと考え、単純比較はあきらめた。作図の際にも、継続的なデータと見なせるか現時点では判断ができていないため、別々のグラフとして、2つのグラフを作成し、比較することとした。

長期傾向などを見る上ではそれほど大きな問題ではない可能性もある。

また、データには常に間違えなどがつきものであるが、帳簿などを見ていると観測者が明らかに勘違いしているものや書く欄を間違っていると思われるものがそれなりに多く存在することが分かった。雪のデータに関しては、降雪深と積雪深を取り違えており、長い間



画像1: 山形県「米澤」観測地点での昭和25年(1950年)1月の観測記録の画像

比較的読みやすい画像であるが、日降雪深の記録がなく、積雪深の差分により降雪深を決める必要がある。このような場合は、積雪深に変化がなく、降雪があった場合や、途中から雨に変わったなどで積雪深が減少した日に雪が降った場合などに、降雪日数を過小評価する可能性がある。本助成研究では、ほかの地域との整合性が難しいと考え、デジタル化は断念した。

原稿
大杉気象月報 昭和六年一月分 観測者 巻靖直

日次観測	最高温度	最低温度	平均温度	湿度	風向	風力	天候	降雪量	積雪量	日照時間	雲量	霧	霜	氷	その他
1日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
2日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
3日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
4日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
5日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
6日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
7日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
8日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
9日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
10日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
11日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
12日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
13日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
14日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
15日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
16日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
17日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
18日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
19日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
20日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
21日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
22日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
23日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
24日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
25日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
26日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
27日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
28日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
29日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
30日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	
31日	10.0	0.0	5.0	75	北	1	晴	0	0	10	0	0	0	0	

全月各要素の平均値
 全月平均最高温度 10.0
 全月平均最低温度 0.0
 全月平均湿度 75
 全月平均風向 北
 全月平均風力 1
 全月平均天候 晴
 全月平均降雪量 0
 全月平均積雪量 0
 全月平均日照時間 10
 全月平均雲量 0
 全月平均霧 0
 全月平均霜 0
 全月平均氷 0

画像2: 富山県「大杉」観測地点での昭和6年(1931年)1月の観測記録の画像

漢数字で記録され、単位は「尺」のようであった。この画像はこの種類の中では比較的読みやすい部類である。

雪が降り続けていることになる事例などがある。

この問題については、修正不可能なものが多いため、利用可能なデータをそのまま使った。一部の問題については、あとの3.6節に結果の一部としてまとめた。

3. 結果と考察

3.1 日本の雪の気候学的な状況

まずは、日本の降雪の基本的な情報を示す。図1は、51年間(1962年から2012年まで)の北半球冬季(12

月、1月、2月)の積算降雪量の気候値である。気象庁では、30年間平均値を気候値としているが、気候学では一般的に、長期的な平均値を30年に限定せずに気候値と呼ぶのが一般的である。ただし、現在の様に30年間でも気候変化が現れるような状況において、30年間という期間が特別な気候学的な意味を有するとは考えにくい。基本的には、エルニーニョやラニーニャなどの年々の変動があるため、そのような年々の変動を含めてみた場合の平均値という意味合いで考えられている。

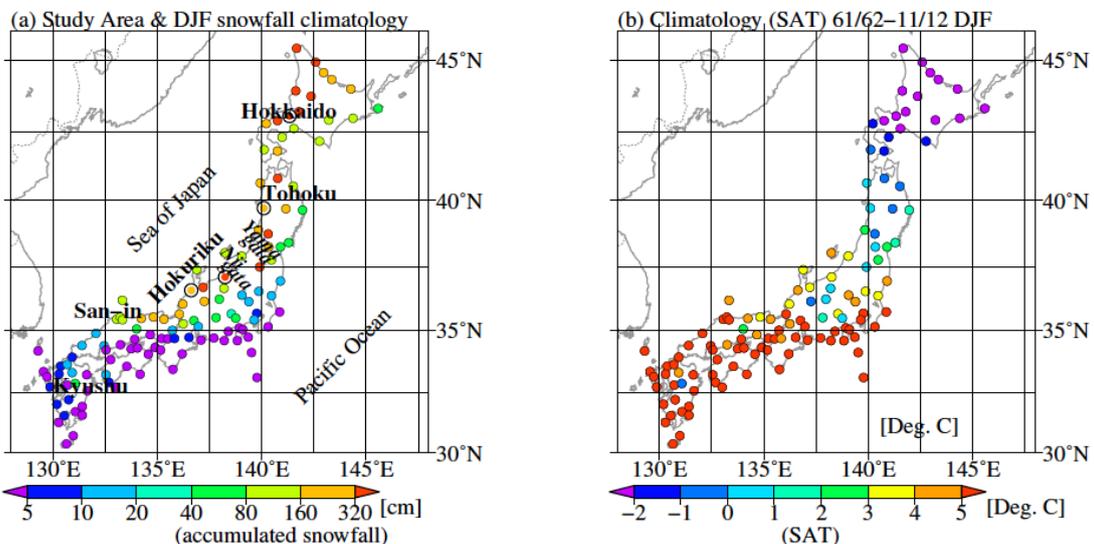


図1: (a) 気象官署の位置と積算降雪深の気候値。(b) 冬季平均気温の気候値。

本助成研究で扱う、雪の気候変動では、気温などに比べて様々な時空間スケールの統計分布が正規分布とは見なせない場合があることにより、理解が難しいという特徴がある。これは、雨についても同様であり、難しい問題である。

図1は3ヶ月間の積算降雪深である。積算降雪深の定義については、2.1節で述べたように、日々の降雪深の積算であり、積雪深とは異なる。地域分布はよく知られているとおりで、平均気温が低い地域で、多いという特徴があり、大雑把には、緯度によるが、日本は、地形の影響を強く受けており、日本海側(Sea of Japan side)で多く、太平洋側(Pacific Ocean side)で少ないという特徴が目立つ。平均気温に関しては、図1bに示した。また、山岳地域は雪が多いと考えられるが、このデータは気象官署(基本的に有人の気象観測所)のデータであり、その立地は人間がアクセスしやすい場所となっており、基本的に標高が低い。よって、実際の山岳地域を含めた降雪分布は、少し異なる可能性が高い。

3.2 冬季気候のシミュレーション

参考として、本助成研究で予備的に実施した領域気候モデルによる高解像度シミュレーションによる降雪量(単位はmm)の空間分布を示す。領域気候モデル物

理法則に基づいて定式化された方程式系をコンピュータ上で解き、気温や風、降水量など気象要素の時間変化を計算するためのソフトウェアを気候モデルや気象モデルと呼ぶ。これらのモデルは日々の天気予報や地球温暖化予測などに使用されているものである。領域気候モデルは対象とする地域のみを高い空間解像度で計算することが可能なモデルであり、本助成研究では、本州の日本海側の積雪地域の一部を含む領域を4.5kmの高解像度で計算した。高解像度シミュレーションは、シミュレーションの様々な不確実性やバイアスにより、実際の降雪量とは異なる可能性があるが、人間の都合によらずに、均質なデータをシミュレートできるという利点がある。シミュレーションには、Weather Research and Forecasting Model(WRF) version. 3.4.1を用いて、空間解像度4.5kmの高解像度実験を行った。計算コストの制約のために、1986年の1月を対象として、1ヶ月間の実験を行った。それ以外の詳しい設定は、Takahashi et al.(2013)を参考にしている。

図2を見ると、1ヶ月積算値にもかかわらず、山岳部では、400mmを超す降雪量がシミュレーションされており、海岸部や谷の観測点における観測値よりも大幅に大きな値がみられる。この大きな値については、別の限られた山岳部の観測値との比較によって、現実を

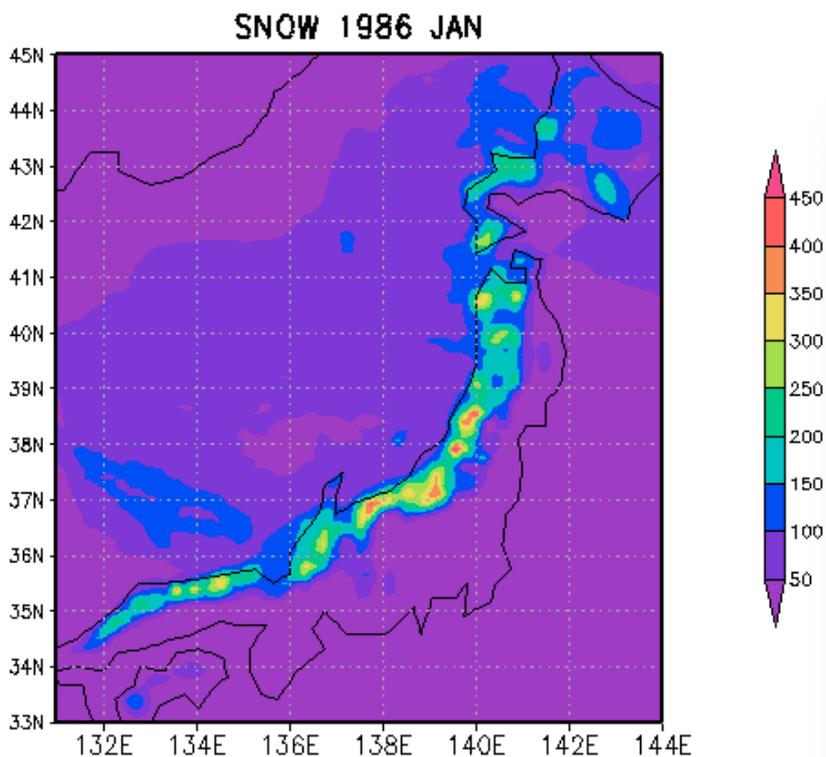


図2：WRFで計算された1か月間の積算固相降水量(降水量から、液相(雨)を除いたもの)

実験設定は、本文と、Takahashi et al. (2013)を参照のこと。

概ね良く再現していることを確認している。標高の高い地域では、多量の水蒸気が降雪となっている。ただし、詳しい検証のために、今後も既存の観測の継続が必須である。Ma et al. (2013) などでは、降雪や積雪を直接的に評価するのは難しいため、河川流量を用いて、降水量の再現性を確認し、大規模な河川では（流域面積が大きい場合には）、再現性が確認されている。

3.3 日本海側の雪と気象の時系列変化

まずは豪雪地域で有名な、新潟県の高田についての1962年以降のデータ解析結果を示す。基本的に冬季の

解析をする場合、1962年の冬季とは、1961年の11月、12月から1962年の1月、2月などを示すので、注意されたい。12月から2月までの降雪深の平均値の長期変動を見ると、よく知られているように、1990年あたりを境に降雪深が減少しているように見える。ただし、1960年代、1970年代、1980年代にも雪が少ない時期がある。また、1980年代がピークのため、1960年代から徐々に増え、1980年代でピーク、その後減少との見方もできるであろう。平均気温の変化を見ると、降雪深変動と概ね負の相関関係であり、気温が高い時に降雪深が浅いという変動をしている。

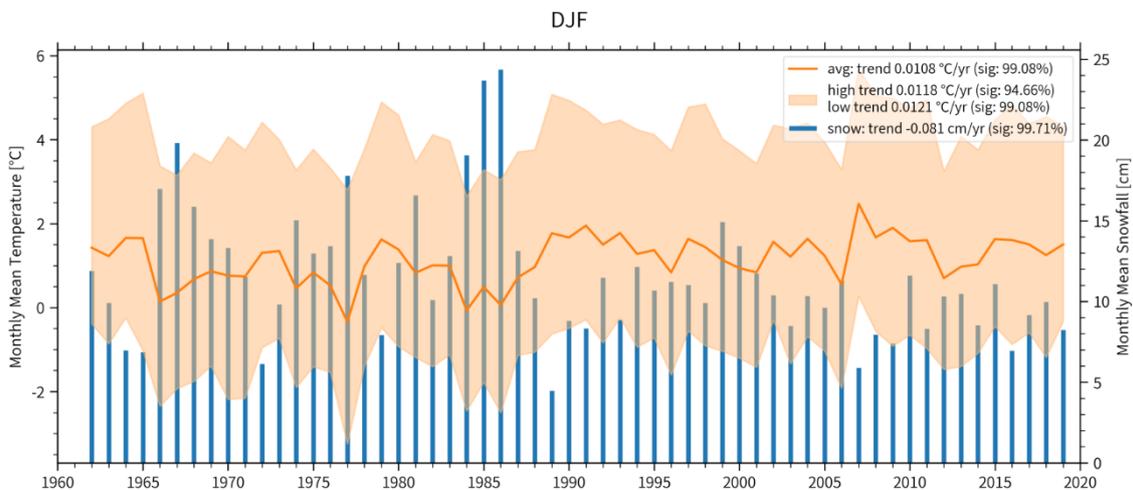


図3：気象庁のデータによる冬季（12月、1月、2月）についての
月平均気温と月平均降雪深の長期変化

棒グラフは、降雪深を示す。平均気温は濃いオレンジの実線で示されており、オレンジ色の範囲は、最低気温と最高気温の範囲を示す。

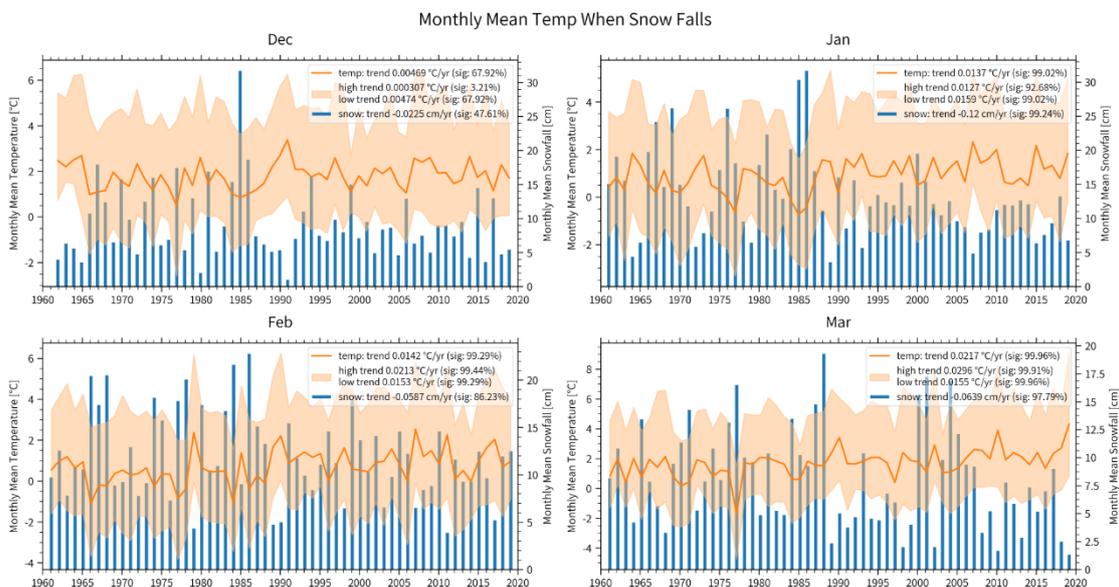


図4：図3と同様

ただし、月ごとに再計算したもの

平均気温の長期トレンドを計算すると、100年間で1.08度と概ね世界平均の100年間で0.73度に近い。高田の観測点は比較的街中にあることを考慮すると都市ヒートアイランドなどの影響はあまり受けずに、気温が世界平均と同等の速さで上昇していると見ることができる。また、最低気温の長期トレンドは、100年あたり、1.21度であり、関東地方などで知られているような、平均気温の上昇を最低気温の上昇が大幅に上回るという傾向は、見えていないようである。詳しいことは、今後、より多くの地点データを解析することによって結論つけるべきであるが、関東のような冬季の天候が良い地域と積雪地域、また日本海側のような気候でありながら、雪が積もらない地域などの長期気温トレンドを調べる必要があるようである。

次に、各月の時系列を確認する。12月、1月、2月とも1989年の小雪年あたりから、降雪深が少なくなっていることがわかる。これは、気温が上昇していることと対応しているようにみえるため、地球規模の温暖化の影響が考えられる。

3.4 気象場との対応

豪雪がどのような気象場の時に起こるのかについて、高田を対象として調べた。ここで、気象場として重要な要素は、主に気温である。より詳しい気象場は、これまでの研究でもよく知られているとおり、大陸からの寒気の吹き出しにより、気温が下がり、降雪がもたらされることと、日本海上で寒気の吹き出しが「気団変質」プロセスにより、加湿されることである。Takahashi and Idenaga (2013)やTakahashi et al. (2013)によると、似たような気象場の条件下であれば、日本海の海面の温度（海面水温: Sea Surface Temperature: SST）が高いほど、気団変質の度合いが大きく、降雪の元となる降水量が大きくなることが知られている。総合的にみると、寒気の吹き出しがないような気象場では、降雪現象はあまり見られないため、最も重要な要素は、寒気の吹き出しの強さであると考えられる。しかしながら、実際の現象はとても複雑であり、寒気の吹き出しとSSTの両方が双方に影響を及ぼしていると考えられる。このような、大気と海洋の関係に関しては、似たような状況が別の地域でも報告されており、やはり現象としては複雑であることが知られている。

降雪日の日降雪深と日平均気温との関係を見る（図

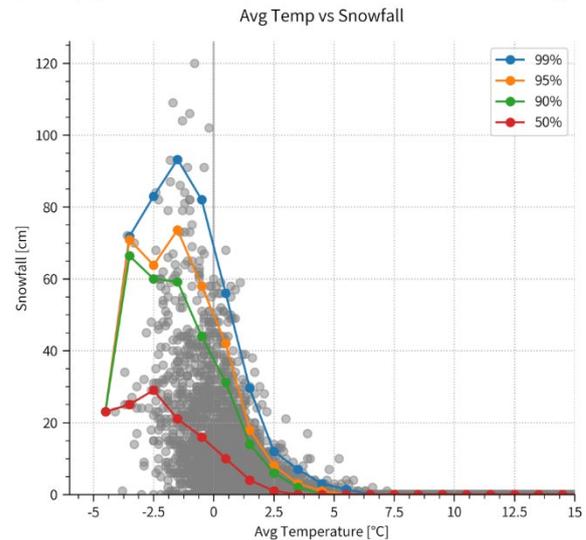


図5：降雪時の日降雪深と気温の関係

各パーセンタイル値は、1度のビンで計算したもの

5)。ただし、実際には、1日中降雪が見られたかどうかはわからない。平均的には、平均気温5°C程度まで、降雪が見られる。全体を見ると多くの点が、-2.5°Cから、1°C付近に分布しており、経験的によく知られているように、地上気温が約2°C付近まで降雪が見られること多いことと整合的である。また、0°Cあたりから、大きな降雪深の頻度は減少する傾向がみられる。よって、全体としては、気温が寒いほど豪雪イベントが起りやすい傾向が見られると考えられる。

地球温暖化の文脈では、気温の上昇とともに大気が保持できる水蒸気量（もしくは水蒸気圧）が、指数関数的に増えることが、豪雨が強まることと関連していると指摘されている。雪の場合にも、北海道の一部などで雪が増えていることは、これに対応しているのではないかという議論もある。

本助成研究の結果を見た限りでは、地球温暖化により豪雪イベントがさらに強化されるような傾向はあまり見られなかった。地球温暖化により平均的には降雪が減り、降水が増えると考えられる状況の中で、豪雪イベントがどのように変化するかは、非常に重要な情報であるため、今後も継続的な研究が必要である。

3.5 100年間の豪雪変化 -1962年以降の解析

51年間の雪の変化を確認するために、札幌、秋田、高田、福井の4地点の季節積算降雪深の時系列を作成した。高田については、スケールアウトしている部分については、数字を補っている。

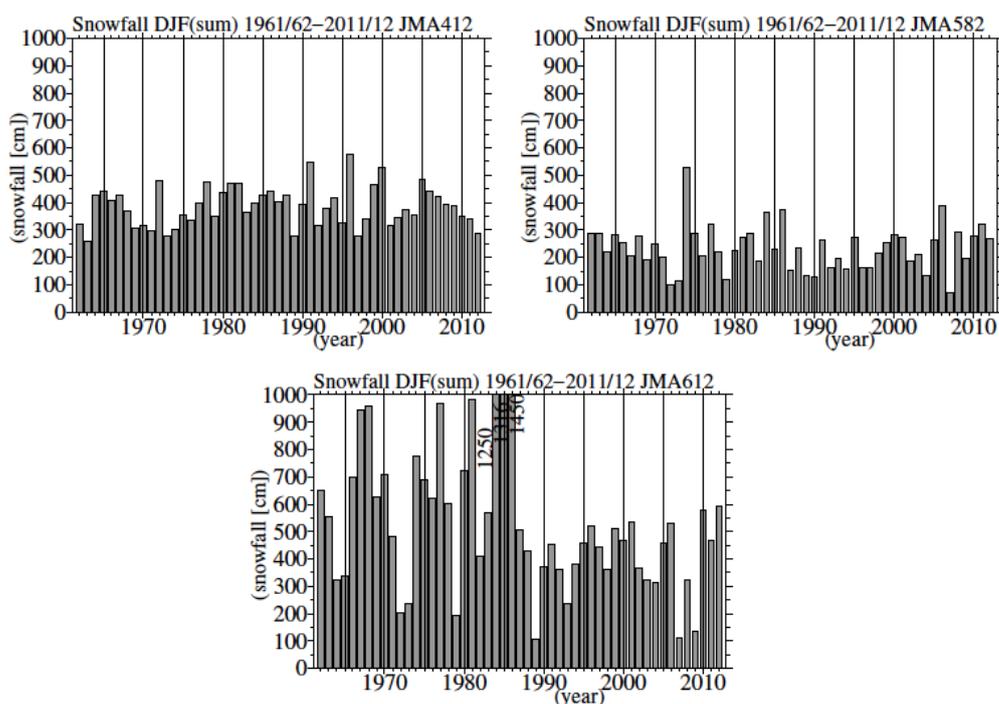


図6：季節積算降雪深の時系列

地点は、札幌 (JMA412)、秋田 (JMA582)、高田 (JMA612) である

図6を見ると、札幌 (JMA412) では、年々の変動はあるものの、長期的な変化傾向は見られない。秋田 (JMA582) でも長期的な変化傾向は見られない。一方で、高田 (JMA612) では、長期的に減少している傾向が見られる。高田については、一般的に言われているように、1990年付近から少雪傾向続いているように見える。また、1970年代、1980年代が多雪期間であったと見することもできる。ノンパラメトリックな統計的な検定(Man-Kendall-test, 95%の有意水準)を行うと、上で述べたように、高田だけが長期トレンドが統計的に有意であり、他の地域は、長期トレンドが統計的には有意でないという結果が得られた。

しかしながら、推察はできるものの、1960年以前の雪の変動を理解するのは難しい。また、雪が長期的に減少しているが、過去の変動がどのようなものだったのかを知ることにより、地球温暖化による長期的な減少傾向の一部を見ているのか、それとも長周期変動の一部であるのか、もしくは複数の変動がどのように構成しているのかについて、理解することは非常に難しい。

3.6 100年間の豪雪変化 -データの品質確認

1961年以降のデジタル化されたデータと1960年以前のデータの整合性を確認したところ、一つ大きな問

題が見つかった。気象庁のホームページによると、気象庁データは、品質確認 (Quality Check: QC)後のデータを公開しているようである。データについての詳しい情報は、簡単には得られず、品質確認の方法、具体的な補正方法についての情報を集めることができなかった。

降雪データ (積雪深の前日との差) について実際の紙上でのデータと、公開されているデジタルデータを比較すると、豪雪のタイミングなどは概ね一致している傾向が見られる。各月の最大降雪日などを調べると、1日のズレが多く見られるという特徴がある。気象庁ホームページにこれに関連すると思われる注意が掲載されている。

日界について (以下の網かけ部分は気象庁のホームページからの引用)

(気象庁ホームページ: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/man/nikkai.html>、最終閲覧日: 2019年8月30日)

「現在では日降水量や日最高気温・日最低気温などの日ごとの値は「日界」(一日の区切り・境界)を24時として観測しています。1960年頃までは自動的に観測データを記録する装置が少なかったため、人による観測を行わない真夜中の24時を日界とすることが容易ではありませんでした。このため、古い年代では24

時の他に、9時、10時、22時といった時刻を日界として日ごとの値を観測していた地点・要素があります。このように現在の基準とは異なる日界で観測したデータを他の地点や現在のデータと比較する場合、観測条件がそろっていることが望ましいことから、日界を可能な限り24時にそろえて統計しなおして掲載しています。このため、当時発行された出版物と日ごとの値や統計開始から1~10位の値が異なる場合があります。」

上述のように、日界の補正が施されているようである。

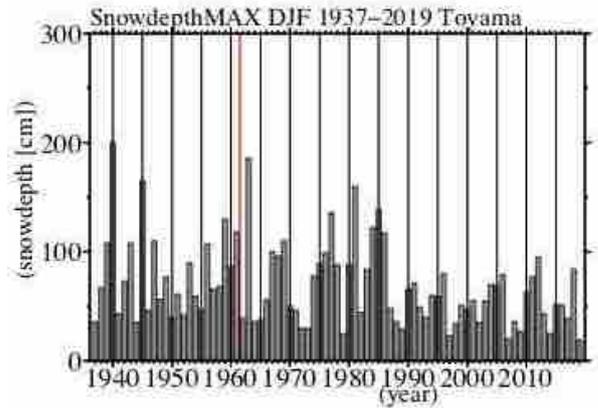
ここでの問題はこの日界補正が、どの期間に行われ、どの地点のどのデータ(気象要素)に、どの程度施されたのかなどがわからない状況である。よって、実際に日界補正による影響を定量化することは、現状では非常に難しい状況である。今後は、さらなる資料収集などを調査を行う予定である。ただし、気象庁の関係者の話では、品質補正の詳しい履歴を確認するのは困難ではないかと言う助言を得ている(personal communication)。理由としては、担当者の交代や、担当者が、どの程度長期データの重要性に着眼して補正したかなどの情報がないためである。

以上のように、1960年以前のデータに、気象庁のホームページで施されている補正を行うのは、困難であるため、本助成研究では、1960年以前と1961年以降のデータを含むような解析では、補正されていないデータを用いることが適当と思われる。ただし、図によっては、品質の異なるデータを連続データのように図化している場合があるので、その場合には図の説明などに記載することとする。

3.7 100年間の豪雪変化

-季節最深積雪データ解析

図7は、本助成研究で一部デジタル化した富山県の富山の季節最深積雪の時系列である。富山の時系列を見ると、1940年代、1960年代、1980年代に季節最深積雪のピークがあり、近年は少ないことがわかる。ただし、過去にも、同程度の水準の時期が、たびたび出現していることが興味深い。1980年中盤から減少し、最近、また増えてきているようにもみえる。いずれにしろ、今回のデジタル化による時系列の過去への延長により、雪の変動には、自然変動も大きく関与していそうで複雑であることがわかる。

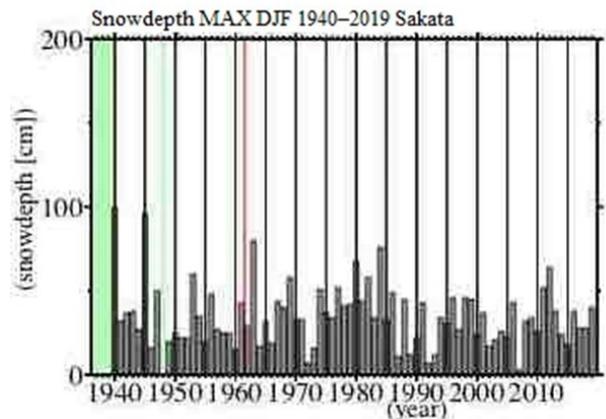


赤線の以前は、本助成研究でデジタル化したものである。一方で、赤線以後は、気象庁のホームページから取得したものである。そのため、赤線の前後で、データの品質が異なる可能性が高い。また、富山は、1937年からデータを確認できたので、それ以降を図示している。

図7：富山における季節最深積雪の時系列

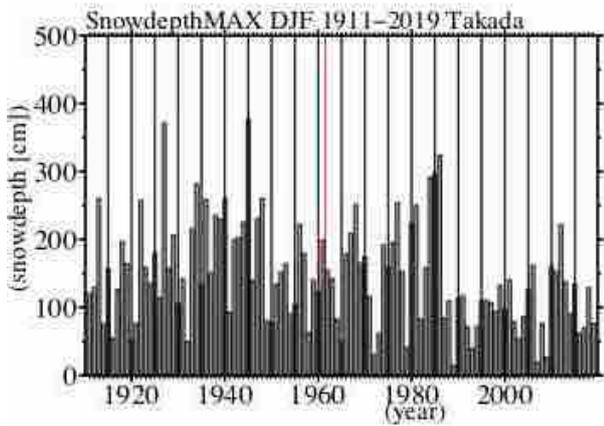
図8は、本助成研究で一部デジタル化した山形県の酒田の季節最深積雪の時系列である。酒田では、明瞭な減少傾向などはみられない、むしろ、赤線の以前の特定の年を除くと平均的に少ない傾向がある。

図9は、本助成研究で一部デジタル化した新潟県の高田の季節最深積雪の時系列である。他の地点よりもさらに長くデジタル化を行うことができた。あとにさ



赤線の以前は、本助成研究でデジタル化したものである。一方で、赤線以後は、気象庁のホームページから取得したものである。そのため、赤線の前後で、データの品質が異なる可能性が高い。また、酒田は、1940年からデータを確認できた。図中の薄緑色は、欠測期間を示す。ただし、欠測は、現時点で、本助成研究において、過去の帳簿が見つかっていないということであり、観測の有無は、よくわからない。

図8：酒田における季節最深積雪の時系列



赤線の以前は、赤線の以前は、本助成研究でデジタル化したものである。一方で、赤線以後は、気象庁のホームページから取得したものである。そのため、赤線の前後で、データの品質が異なる可能性が高い。また、高田は、1911年からデータを確か確認できた。

図9：高田における季節最深積雪の時系列

らに長い時系列（ただし、データの品質は低いと考えられる）を示す。この時系列では、1990年代と2000年代の少雪が確認できるが、2010年代は少し増えてきている。1962年以降のデータでは、1980年代が極大であったが、1930年代～1940年代にも1980年代よりも大きな、極大が見られる。また、長周期の変動のようにも捉えることもできそうで大変興味深い。

図10は、本助成研究で一部デジタル化した新潟県の高田の季節最深積雪の時系列である。1900年代では、欠測期間（データがみつからないだけの可能性もある）

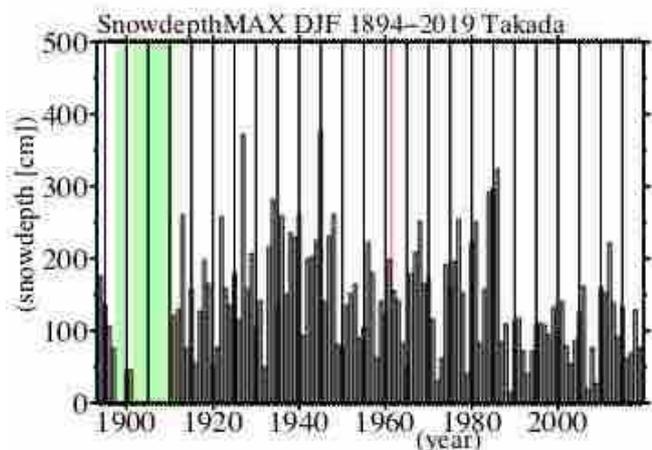


図9と基本的に同じであるが、さらに信頼度の低いデータを追加したもの。図中の薄緑色は、欠測期間を示す。ただし、欠測は、現時点で、本助成研究において、過去の帳簿が見つかっていないということであり、観測の有無は、よくわからない。

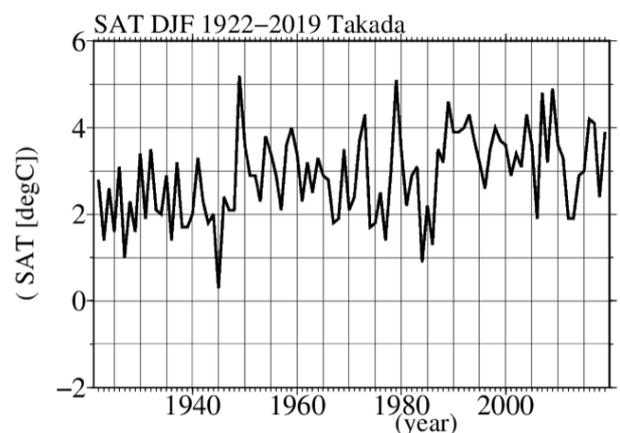
図10：高田における季節最深積雪の時系列

が、より増えてくる傾向がある。再度、気象庁の倉庫を探せば確認できる可能性もあるが、現時点では確認できていない。この一部だけの時系列をみると、1900年とそれ以前に少雪期間が存在する可能性がある。例えば、1900年では、40 cm程度であり、1990年代や2000年代の極小期に匹敵する少なさである。当時は、近年に比べて、地球温暖化の影響が少なく、寒冷であったと思われるが、雪は少なかった可能性があり、興味深いところである。繰り返しになるが、データの品質に問題がある可能性があるため、注意が必要である。

以上のように、これまで考えられてきた雪の気候変動が、時系列を延長することで、地球温暖化による雪の減少だけでは解釈できない部分が出てくる可能性がある。品質の問題があり、他のデータとの比較や、原本の再確認などが必要ではあるが、雪の気候変動をより深く理解するために、重要であることは否定できない。特に、過去の少雪期や、近年を大きく超える多雪期などが存在した可能性など、とても興味深い結果を得られつつある。

3.8 100年間の豪雪変化と長期気温変動との対応

気象庁の気温データは、1930年代まで品質管理後に公開されている。図11は、その気温データを用いた、冬季平均（12月、1月、2月）の高田における地上気温の時系列である。冬季の年々の変動を示している。図を見ると、先ほどの高田の雪の気候変動の図と対応して、



データは気象庁のホームページから取得したものであり、品質管理がされている。そのため、1961年以前は、雪のデータとの整合性は担保されない。

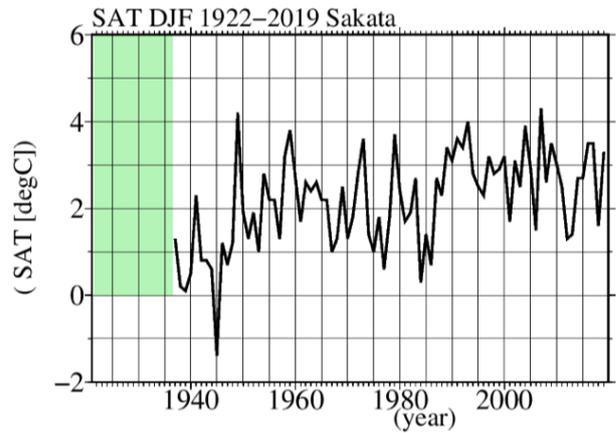
図11：高田における冬季（12月、1月、2月）平均地上気温の時系列

1980年代に気温が低くなっており、その後20年程度高い傾向があり、2010年代は、また下がりつつある。1960年以前では、1940年以前に気温が低い時代があり、この時期に、1970年代、1980年代よりも雪の多い極大期であったことに対応していると考えられる。一部で考えられているレジームシフトを時系列から捉えるのは難しい。

図12が示すように、富山の気温の時系列も高田と似ているが、1950年頃に気温が大きく上がった時期があるが、その後徐々に下がって1980年代を迎える。また1990年くらいに上昇後、現在は、ゆっくりと下がっていく時期であるとも捉えられる。富山に関しては、この気温変化が、雪の気候変動と良く合っているかどうかは議論があるところである。

酒田の気温の時系列も高田と似ているが、1950年頃に気温が大きく上がった時期があるが、その後徐々に下がって1980年代を迎える(図13)。また1990年くらいに上昇後、現在は、ゆっくりと下がっていく時期であるとも捉えられる。酒田に関しても、この気温変化が、雪の気候変動と良く合っているかどうかは議論があるところである。

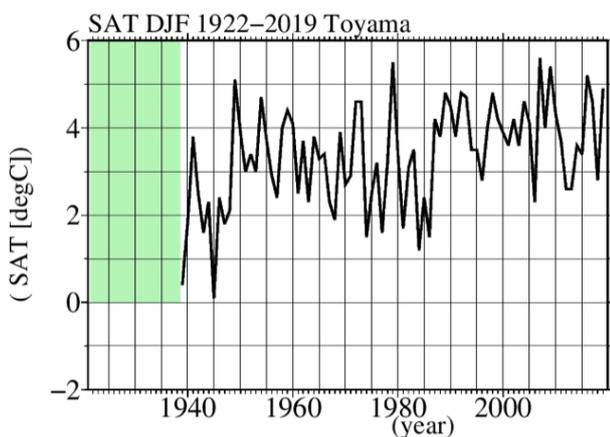
この節の最後に冬季モンスーンの指標であるモンスーンインデックス(Hanawa et al. 1988)を20世紀再解析(https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2c.html)から計算した。20世紀再解



データは気象庁のホームページから取得したものであり、品質管理がされている。そのため、1961年以前は、雪のデータとの整合性は担保されない。

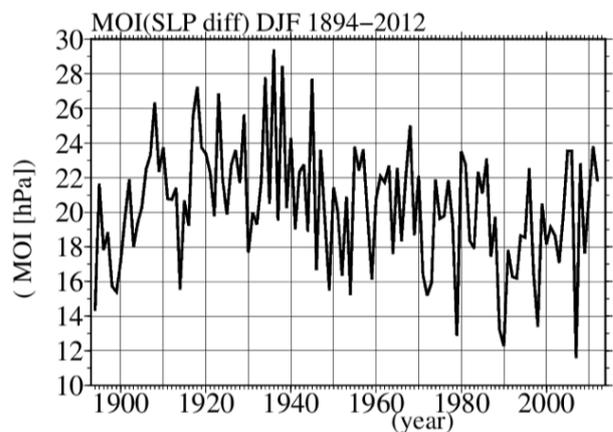
図13：酒田における冬季(12月、1月、2月)平均地上気温の時系列

析は、過去150年間の地上気圧データをもとにした長期再解析である。図14を見ると、1950年頃までに冬季モンスーン気流は弱まり、現在まで似たような強さで推移していることがわかる。このデータから、長期的な気候のレジームシフトのようなものを確認することはできなかった。また、近年の暖冬に対応して、インデックスが小さな値をとっている一方で、インデックスは高い値もとり、豪雪などの発生と関連している可能性もある。しかしながら、より詳しい調査が必要である。



データは気象庁のホームページから取得したものであり、品質管理がされている。そのため、1961年以前は、雪のデータとの整合性は担保されない。

図12：富山における冬季(12月、1月、2月)平均地上気温の時系列



イルクーツクと根室の気圧差をもとにした冬季モンスーンの強さを示す指標とされる。年々変動の対応は良さそうだが、長期変動をどれだけとらえられるのか不明な点が多い。

図14：モンスーンインデックス(Hanawa et al. 1988)の長期変化

3.9 100年間の豪雪変化

—季節最大日降雪深データ解析

本助成研究で部分的にデジタル化を試みた新潟県の高田の日降雪量の各月の最大値について、時系列を作成した。これは、降雪イベントはせいぜい2、3日であり、日最大降雪深を用いると、私たちが感じる豪雪に最も近いのではないかと考えたためである。

12月1月2月の時系列を見ると非常に興味深いことがわかる。1961年以前にも、降雪深がそれほど多くはない年が多数見られ、1970年代あたりが、全体のピークであるように見える。1月ではそれが非常に顕著である。2月も、1927年の一つの豪雪イベントの印象が強いが、それを除くと、1月と同様の傾向である。12月は、過去に極端な豪雪イベントが、数回見られ、それは少し減少傾向にあるようである。これらのことは、1961年以降の時系列で見られたような、1970年代もしくは1980年代から急激に進んだ全球規模の地球温暖化によって、降雪深が減少傾向にあるという簡単な説明だけでは、豪雪の変化を説明しにくいことを示唆している。

本解析では、過去の帳簿の確認作業や写真撮影・デジタル化に時間を要したため、解析については十分に時間がとれなかった。貴重なデータなので、今後さらなる解析を進めたい。

本助成研究で、過去の観測データを確認すると、1940年代などは、現在よりも多くの観測が存在していたことが確認できた。ただし、デジタル化の作業が膨大であり、1年間でデジタル化とデータ解析はできなかつたので、今後継続的な研究が必要である。

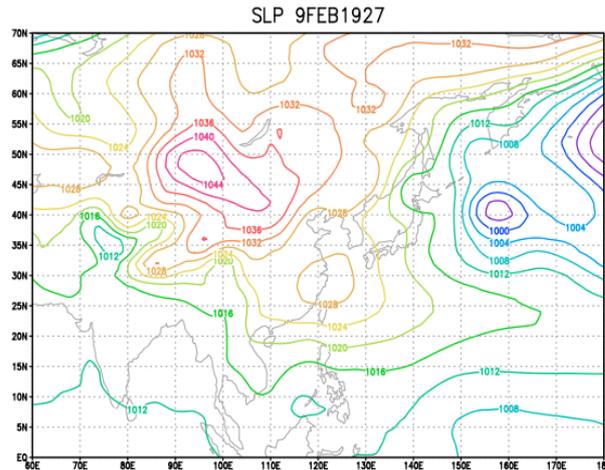


図16：1927年2月27日（豪雪日）の海面更生氣圧の分布図

最後に、デジタル化によって豪雪日と推定される日の気圧配置を作成した（図16）。データは、20世紀再解析データを用いた。基本的には、寒気が噴き出すような、西高東低の気圧配置にはなっているが、この日に豪雪イベントであったかどうかは、よくわからない。過去の長期データには、検証ができていないものが多数あるため、本助成研究のデータをアーカイブすることにより、データ間の相互比較を行い、相互のデータの信頼性の向上に役立てることができる可能性が高い。

参考文献

Hanawa, K., T. Watanabe, N. Iwasaka, T. Suga and Y. Toba, 1988: Surface thermal conditions in the western North Pacific during the ENSO events. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 445-456.

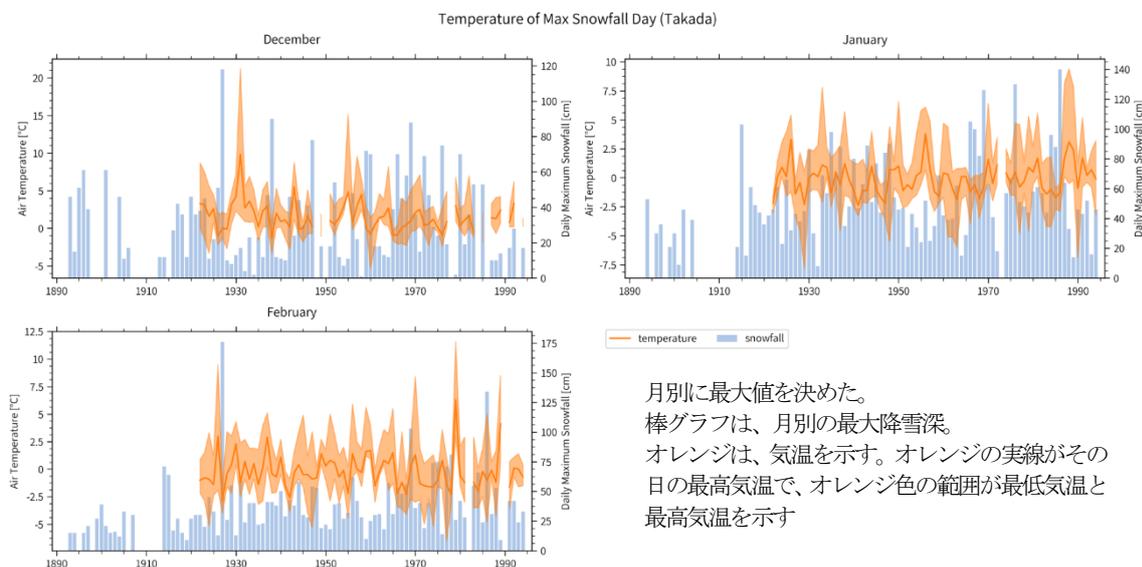


図15：研究でデジタル化した、月最大降雪深の時系列

月別に最大値を決めた。
棒グラフは、月別の最大降雪深。
オレンジは、気温を示す。オレンジの実線がその日の最高気温で、オレンジ色の範囲が最低気温と最高気温を示す

Ma, X., H. Kawase, S. Adachi, M. Fujita, H.G. Takahashi, M. Hara, N. Ishizaki, T. Yoshikane, H. Hatsushika, Y. Wakazuki, and F. Kimura, 2013: Simulating river discharge in a snowy region of Japan using output from a regional climate model. *Adv. Geosci.*, 35, 55-60, doi:10.5194/adgeo-35-55-2013.

Takahashi, H.G., and T. Idenaga, 2013: Impact of SST on Precipitation and Snowfall on the Sea of Japan Side in the

Winter Monsoon Season: Timescale Dependency. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91, 639-653, doi:10.2151/jmsj.2013-506.

Takahashi, H.G., N. N. Ishizaki, H. Kawase, M. Hara, T. Yoshikane, X. Ma, and F. Kimura, 2013: Potential impact of sea surface temperature on winter precipitation over the Japan Sea side of Japan: A regional climate modeling study. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91, 471-488, doi:10.2151/jmsj.2013-404.