

令和元年度 卒業論文

関東の降雪は近年の方が極端化しているのか？

Are snowfall events in Kanto area more extreme in recent years?

三重大学 生物資源学部 共生環境学科
地球環境システム教育学コース 地球環境学プログラム
気象・気候ダイナミクス研究室
516346 中村 祐貴
指導教員：立花 義裕 教授

目次

第 1 章	序論.....	3
第 2 章	使用データ.....	5
	2-1 JRA-55	
	2-2 HadISST	
	2-3 気象官署の観測データ	
	2-4 NOAA/GPCC	
第 3 章	解析手法.....	9
	3-1 降雪事例の定義	
	3-2 極端事例・普通事例の定義	
	3-3 合成図解析, t 検定	
第 4 章	解析結果.....	11
	4-1 事例数の比較	
	4-2 海面水温・ストームトラックの 1, 2 月月平均の変化と考察	
	4-3 1, 2 月月平均・降雪日での各気象場の変化と考察	
	4-3-1 1, 2 月月平均の環境場の比較	
	4-3-2 降雪日の環境場の比較	
第 5 章	議論.....	19
	5-1 降雪日の水蒸気フラックスの発散・収束	
	5-2 降雪日の気温	
第 6 章	まとめ.....	24
	謝辞.....	25
	参考・引用文献.....	26
	Appendix.....	27~28

第1章 序論

関東地方は東日本の太平洋側に位置し、日本国内では比較的温暖な気候となっているため、一冬を通してあまり雪は降らない。そのため、豪雪地帯である北陸地方をはじめとする日本海側に比べると雪への対策は脆弱であり、一度積雪が起きるとライフラインに大きな影響が出る。その一例として、2014年2月には、大雪の影響でブレーキの効かなくなった電車が駅で停車していた先行電車に衝突し、72名が負傷した事故も起きた (Fig. 1)。2014年は、北関東を中心に最深積雪の記録が大幅に塗り変わる記録的な多雪年であったが、2014年以外の年にも、関東地方で2014年のような多雪年があったのかを確認するために、1961～2018年の58年間での関東地方における各年の1, 2月の総降雪量の推移を見た。

関東地方では、少しの雪でも都市部を中心に交通等に影響が発生し、さらに一度大雪となると甚大な雪氷災害が起きる可能性があるが、各年の1, 2月の総降雪量が1, 2月の平年値（それぞれ50cm）の合計の倍となる200cm程度にまで達する多雪年は、期間全体を通して数回あった (Fig. 2)。また、全体的な分布としては、期間全体の中央に当たる1980年代～1990年代が多かった。そこで、総降雪量の多い年順に並べ替えてみると、1980年代後半に起こったレジームシフト (Tachibana et al., 1996) 以降の年が特に上位に目立った (Fig. 3)。レジームシフト (Regime shift) とは、気温や風などの気候要素が数十年間隔で急激に変化することであり、気候ジャンプとも言われる。(e.g., Tachibana et al., 1996) は、1988/89年を境にして大気場を比較すると、アリューシャン低気圧が弱まったことで北太平洋において海面更正気圧と500hPa面のジオポテンシャル高度が上がり、太平洋と日本周辺で500hPa面の気温が上昇したことを示した。

すなわち、多雪年は近年の方が多くなっているのは1980年代後半のレジームシフトの影響の可能性がある。しかし、関東の降雪に関する研究は事例解析 (e.g. Araki and Murakami, 2016, Honda et al., 2016) や統計解析 (e.g., Tachibana et al., 2007, Nakamura et al., 2012, Yamazaki et al., 2015) がなされているが、1980年代後半のレジームシフトの前と後で関東の降雪時の環境場を比較した研究はない。

よって、本研究の目的は降雪および積雪による社会的な影響が大きい関東地方において、1988/89年を境にして関東の降雪時の環境場を比較し、多雪年は最近の方が多い要因を考察することである。



Fig. 1 2014 年 2 月の積雪による鉄道事故

(a) 日経新聞 (2014 年 2 月 15 日

https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK15008_V10C14A2000000/) より引用

より引用

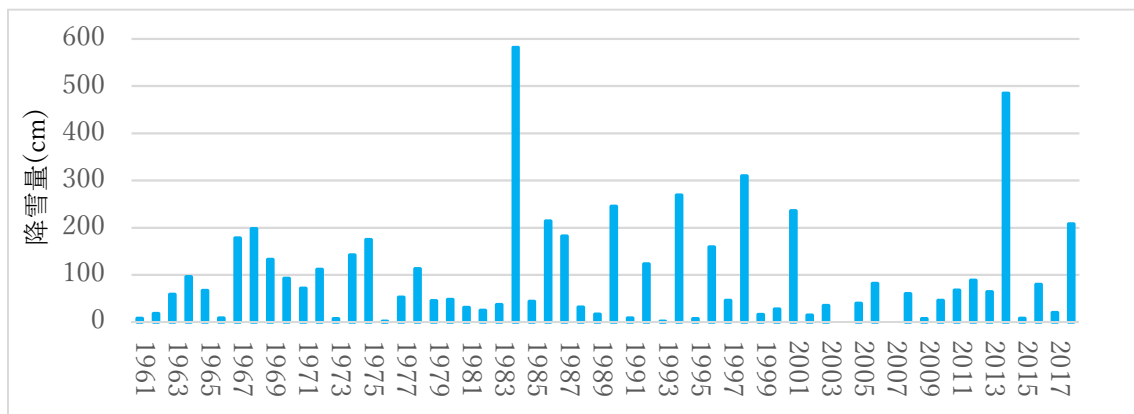


Fig. 2 1961~2018 年の 58 年間に於ける、関東地方の 1, 2 月の総降雪量, 縦軸は総降雪量 (cm), 横軸は年, (気象庁, 気象官署の観測データを用いた)

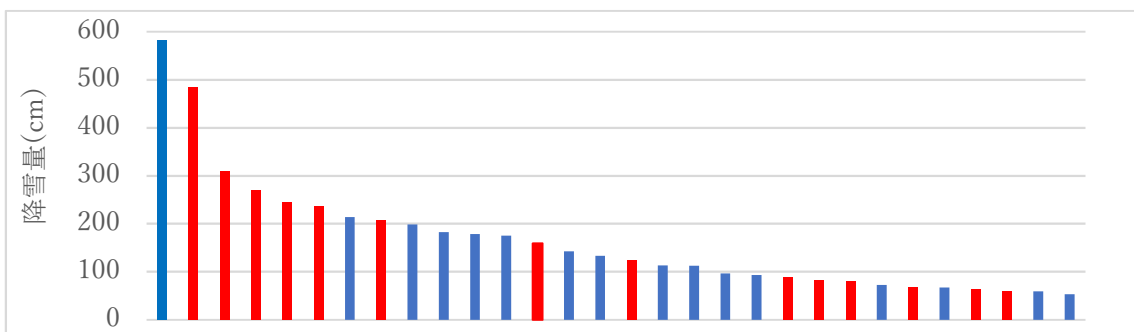


Fig. 3 Fig. 2 の総降雪量を, 多い年の順に 30 年分並べたもの 縦軸は総降雪量(cm) 横軸は年, 青い棒グラフは 1988 年以前の年, 赤い棒グラフは 1989 年以降の年を表す.

第 2 章 使用データ

2-1 JRA-55 再解析データ

大気場のデータには、気象庁 55 年長期再解析データ (JRA-55) (Kobayashi et al., 2015) を用いた。再解析データとは、観測データを同化し、同一の数値予報モデルとデータ同化手法により再計算され、長期間にわたりできる限り均質になるように作成されたデータセットである。このデータセットは気象庁によって提供されているデータである。本データの水平解像度は 1.25° (経度) $\times 1.25^{\circ}$ (緯度)。鉛直層は 37 等圧面であり、地表面データもある。使用した変数は、ジオポテンシャル高度 (m)、水蒸気フラックス ($\text{kg/kg} \cdot \text{m/s}$)、海面更正気圧 (hPa)、気温 (K) である。本研究では、これらの気象データのうち、対象期間が含まれる 1961 年から 2018 年までの 58 年分の 1 月、2 月の月平均データと日平均データ、00UTC からの 6 時間ごとのデータを使用した。

2-2 HadISST（海面水温データ）

海面水温（Sea Surface Temperature, 以下 SST）のデータには、イギリス気象庁（UKMO）の Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature（HadISST）（Rayner et al., 2003）を用いた。解像度は 1° （緯度） $\times 1^{\circ}$ （経度）である。本データは、1961 年から 2018 年までの 58 年分の 1 月、2 月の月平均データを使用した。

2-3 GPCC（降水量データ）

月降水量のデータはアメリカ大気海洋庁（NOAA）の Global Precipitations and Climate Change（GPCC）（Schneider et al., 2018）を用いた。解像度は 0.5° （緯度） $\times 0.5^{\circ}$ （経度）である。本データはデータが 2016 年までしか存在しないため、1961 年から 2016 年までの 56 年分（解析に用いた他の諸データは 58 年分）の 1 月、2 月のデータを使用した。

2-4 地上観測データ

気象官署（気象台や測候所）等では、気温や降水量などの観測を行っており、そのほとんどが自動化されている。観測データは決められた時間に国内外にリアルタイムに伝えられ、天気予報や気候変動の監視等に利用されている。本データは、1961年から2018年までの58年分の1月、2月の日降水量、日・月降雪量、月平均気温のデータを使用した。対象地点は、都県庁所在地の宇都宮、熊谷、千葉、東京、前橋、水戸、横浜と館野（茨城県）の8点である。

第3章 解析手法

3-1 降雪事例の定義

関東地方では本州南岸を通過する南岸低気圧という低気圧により降雪がもたらされる。そのため、天気図で確認して日本の南岸を通過した低気圧は南岸低気圧と判断し、南岸低気圧による降雪事例を抽出した。降雪事例日の定義は一度の降雪によって、宇都宮、熊谷、千葉、東京、前橋、水戸、横浜と館野（茨城県）の8地点のうち5地点以上で1cm以上の日降雪量を観測した日とした。日降雪量は気象官署の観測データを使用した。また、1980年代後半にレジームシフトがあったため、1988/89を境にして、抽出事例のうち1988年以前を過去、1989年以降を近年とした。

3-2 極端事例・普通事例の定義

多雪年は近年の方が多いため要因を考察するため、極端事例を抽出した。極端事例の定義は、関東の8地点の降雪量の1, 2月の平年値がそれぞれ50cmであるため、3-1で抽出した全事例の中で、8地点合計で関東地方の1, 2月の平年値の合計となる100cm以上の事例とした。また、極端事例以外の8地点合計で99cm以下の事例は普通事例とした。

3-3 合成図解析 t 検定

降雪日での過去と近年の環境場の差を議論するため、極端事例及び普通事例を **3-2** のようにそれぞれ抽出して合成図解析を行った。その後、環境場の差の有意性を、t 検定を用いて確かめた。t 検定については、Appendix3 の載せている

第4章 解析結果

抽出した事例数は過去 30 年で 40 事例，近年 28 年で 30 事例であった (Table. 1) (Fig. 4)．また，抽出した全事例の総降雪量は，宇都宮，熊谷，千葉，東京，前橋，水戸，横浜と館野の 8 地点での 1961 年～2018 年の 58 年間における 1，2 月の総降雪量の約 80%を占めていることが分かった．

次に，多雪年は近年の方が多し要因を考察するため，近年と過去で，極端事例の事例数と，普通事例の事例数の増減を比較する．その後，極端事例と普通事例の両事例において，一事例あたりの降雪量・降水量の増減も比較する．

Table. 1 抽出した全降雪事例数

1988 年以前（過去）	1989 年以降（近年）
40	30

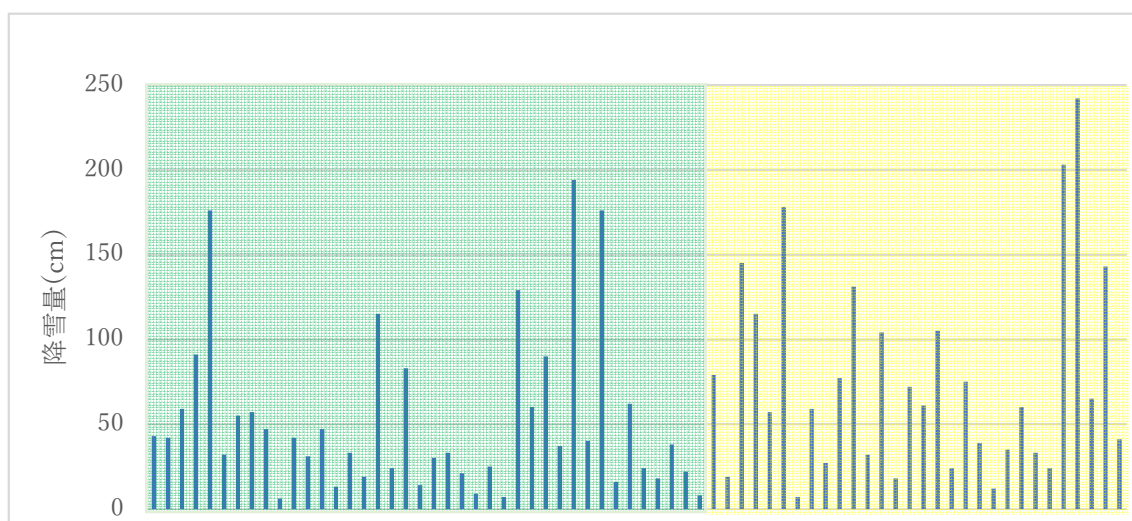


Fig. 4 抽出した全降雪事例の降雪量．色の境目が過去と近年の境目を示している．左の緑系が過去の事例，右の黄色系が近年の事例．

4-1 事例数の比較

多雪年は近年の方が多いう要因を考察するための一つとして、近年と過去での極端事例の回数の増減を比較した。結果として、極端事例の回数は過去 5 事例から近年 9 事例と近年の方が事例数は増加していることが分かった (Table. 2) (Fig. 5)。Appendix 2 に極端事例として抽出した事例日をまとめた。

一方で、普通事例の回数は過去 35 事例から近年 21 事例と近年の方が事例数は減少していた (Table. 3)。

まずは、極端事例の回数は近年の方が増加している要因を探った。

Table. 2 抽出した極端事例数，数字は抽出された事例数，() 内の数字はそれぞれの期間の全降雪事例数に対する割合を表す。

1988 年以前 (過去)	1989 年以降 (近年)
5 (12.5%)	9 (30%)

Table. 3 抽出した普通事例数，数字は抽出された事例数，() 内の数字はそれぞれの期間の全降雪事例数に対する割合を表す。

1988 年以前 (過去)	1989 年以降 (近年)
35 (87.5%)	21 (70%)

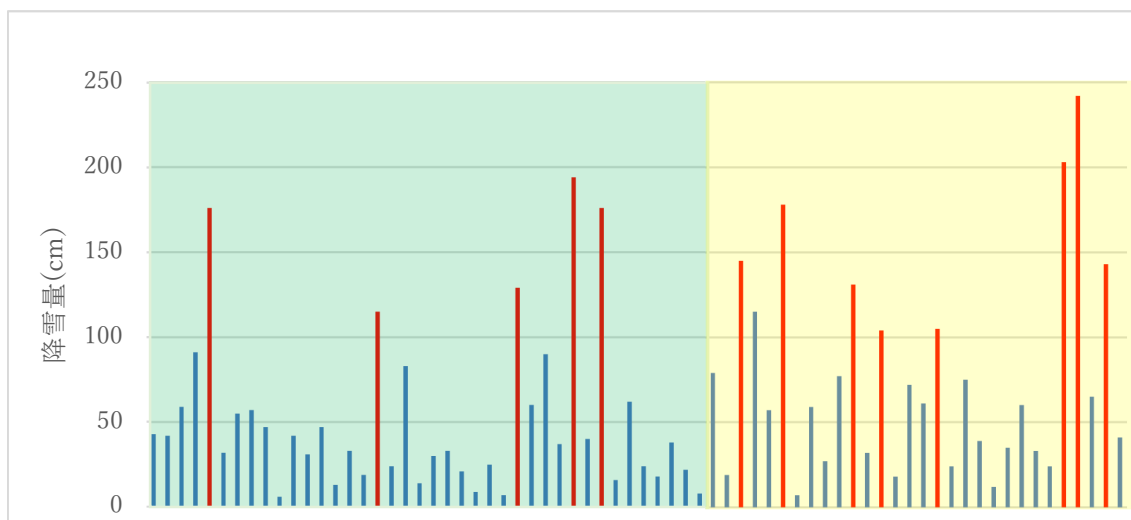


Fig. 5 Fig. 4 の中で極端事例として抽出した事例は棒グラフを赤で示している。色の境目が過去と近年の境目を示している。左の緑系が過去の事例，右の黄色系が近年の事例。

4-2 海面水温・ストームトラックの 1, 2 月月平均の変化と考察

多雪年は近年の方が多いため要因を考察するための 1 つ目として、近年と過去での極端事例の回数を比較した。結果、近年の方が極端事例の回数が増加しており、多雪年は近年の方が多いため要因になり得た。

そこで、近年の方が極端事例の回数が増加した要因を探るため、低気圧の個数の変化と関係のあるストームトラックの変化を確認した。ストームトラックは $\overline{v^2} - \bar{v}^2$ ($\overline{v^2}$ は日平均の南北風の 2 乗和の平均、 $\bar{v}^2$ は月平均の南北風の 2 乗) を用いた。1, 2 月月平均での 850hPa 面においては、日本の南海上から東海上にかけて正偏差であった (Fig. 6)。また、同じ領域の 1, 2 月月平均の海面水温の南北温度勾配も正偏差となっていた (Fig. 7)。よって、海面水温の南北温度勾配が大きくなったことで、下層の傾圧性が強まり、1, 2 月月平均の 850hPa 面のストームトラックが強化され、低気圧の個数が増加し極端事例の回数が過去 5 事例から近年 9 事例に増加したことが示唆された。

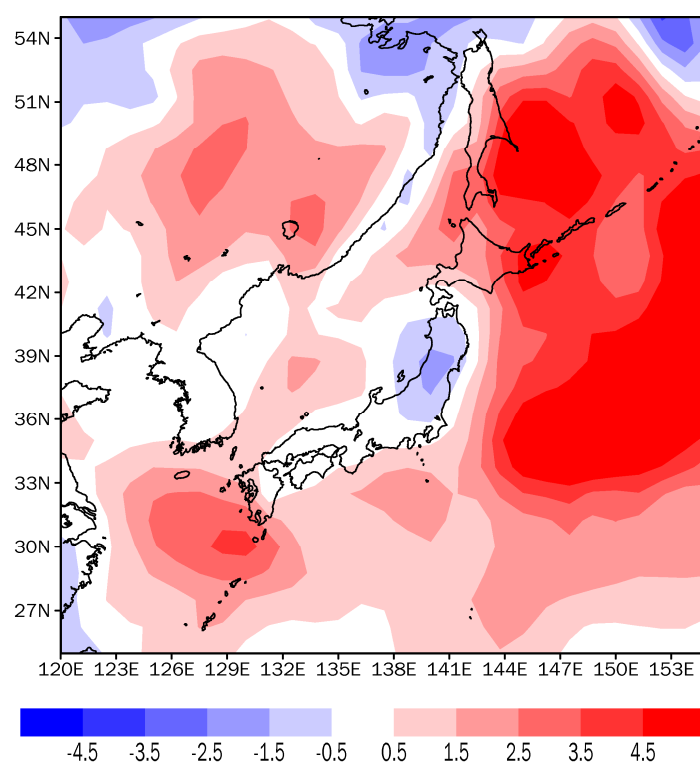


Fig. 6 1,2 月月平均の 850hPa ストームトラックの近年-過去の変化
 ストームトラックは $\overline{v^2} - \bar{v}^2$ ($\overline{v^2}$ は日平均の南北風の 2 乗和の平均, $\bar{v}^2$ は月平均の 2 乗)を用いた, 陰影は近年と過去の差[m²/s²], ドット域は信頼水準 90%以上の領域

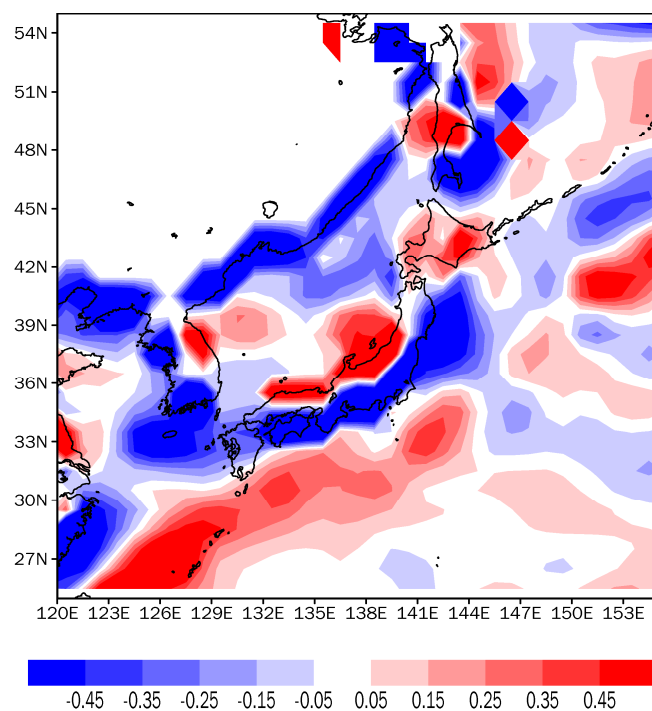


Fig. 7 1, 2 月月平均の海面水温の南北温度勾配の気候場の差, 陰影は近年と過去の差

次に、多雪年は近年の方が多し要因を考察するための2つ目として、過去と近年で極端事例・普通事例の両事例において、一事例あたりの降雪量・降水量の増減を比較した。

結果として、極端事例では、一事例あたりの降雪量には変化がなかったが、降水量は近年の事例の方が有意に増加していた。(Fig. 8a, 9a)。

また、普通事例では、一事例あたりの降雪量に有意な差はないが近年の方が増加しており、降水量は極端事例と同様に近年の事例の方が有意に増加していた。(Fig. 8b, 9b)

そこで、まずは、極端事例・普通事例の両事例で降水量が増加した要因を1, 2月月平均と降雪事例日の環境場の変化から探る。

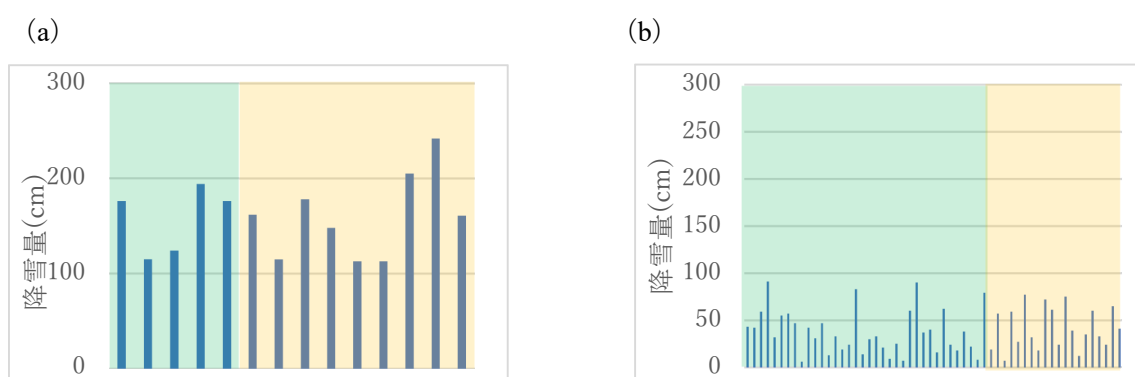


Fig. 8 (a), (b) 抽出した各事例の降雪量, (a) 極端事例の降雪量, (b) 普通事例の降雪量
色の境目が過去と近年の境目を示している. 左の緑系が過去の事例, 右の黄色系が近年の事例.

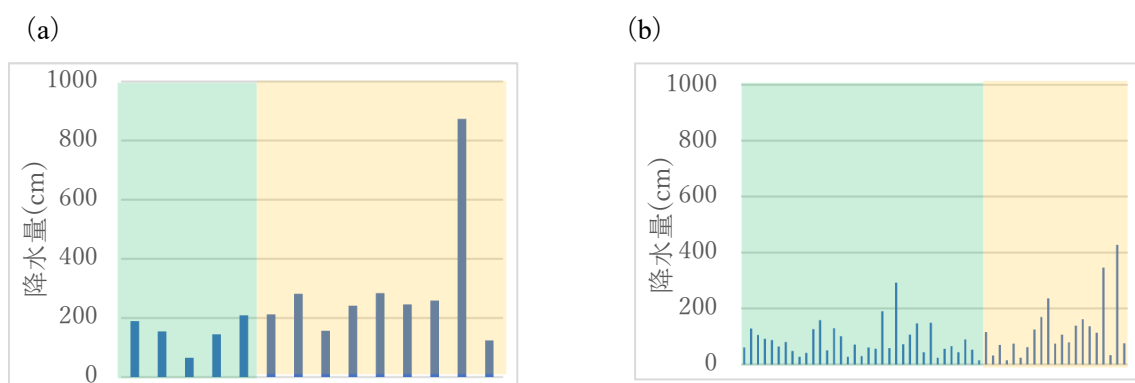


Fig. 9 (a), (b) 抽出した各事例の降水量, (a) 極端事例の降水量, (b) 普通事例の降水量
色の境目が過去と近年の境目を示している. 左の緑系が過去の事例, 右の黄色系が近年の事例.

4-3 1, 2 月平均・事例日の環境場の変化と考察

4-3-1 1, 2 月平均の環境場での比較

多雪年は近年の方が多いため要因を考察するための 2 つ目として、過去と近年で極端事例・普通事例の両事例において、一事例あたりの降雪量・降水量の増減を比較した。結果として、極端事例・普通事例の両事例で一事例あたりの降水量は近年の事例の方が増加していた。

そこで、近年の方が一事例あたりの降水量が増加した要因を探るため、1, 2 月月平均場での過去と近年の水蒸気フラックスの収束・発散の平均値の差を比較した。

結果として、水蒸気フラックスは、近年の方が日本付近で有意な収束場となっていた (Fig. 10)。また、1, 2 月月平均場での降水量も比較すると、太平洋側を中心に近年の方が有意に増加していた (Fig. 11)。よって、月平均的に、近年の方が太平洋側を中心に水蒸気が収束しやすくなり、降水現象が起こりやすい環境場になっていると考えられる。

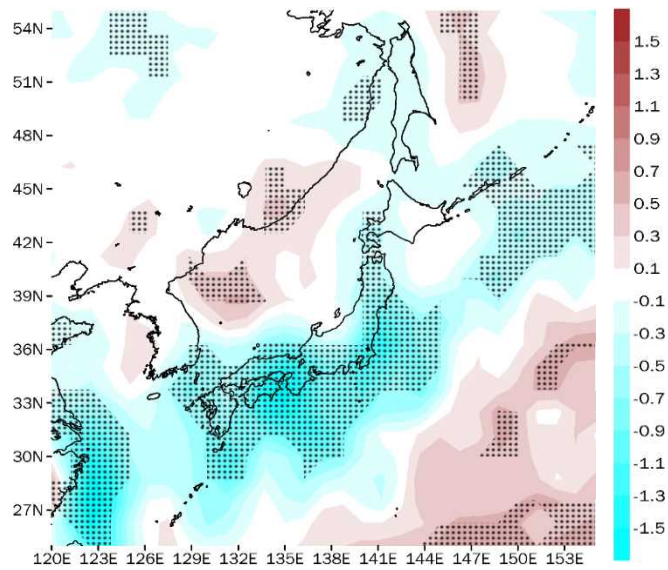


Fig. 10 1, 2 月平均の水蒸気フラックスの収束・発散の過去と近年の平均値の差 陰影は収束・発散の差を表す. 負偏差は収束, 正偏差は発散. ドット域は信頼係数 90%以上で有意な領域

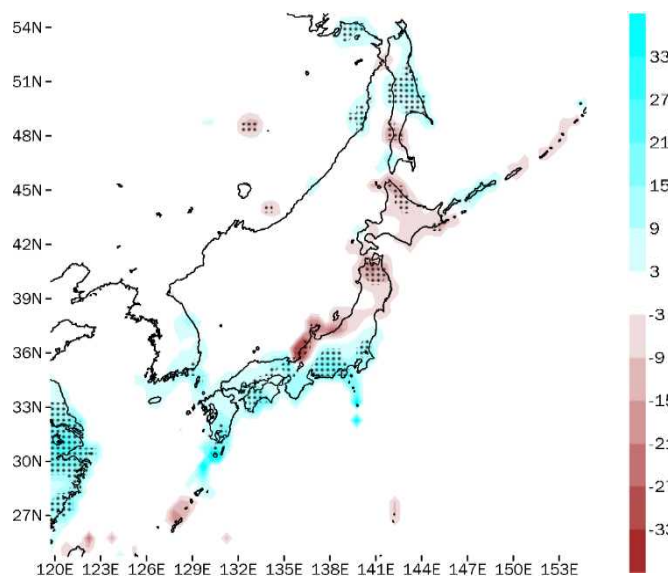


Fig. 11 1, 2 月平均の降水量の変化. 陰影は近年と過去の気候値の差, ドット域は信頼係数 90%以上で有意な領域

4-3-2 事例場での比較

次に、降雪事例日の環境場において、降水量が増加した要因を探るため、両事例における低気圧の強さを比較した。

結果、両事例ともに、近年の方が低気圧の中心付近で強さが大きくなっていた (Fig. 12a, 12b)。

よって、1, 2 月月平均場において、水蒸気フラックスが収束し降水現象が起こりやすい環境場となった。そこに、強まった低気圧が来たことで、降雪事例日の環境場では極端事例・普通事例の両事例ともに水蒸気フラックスの収束がより強まることで、降水現象が強化される環境場となったことが考えられる。

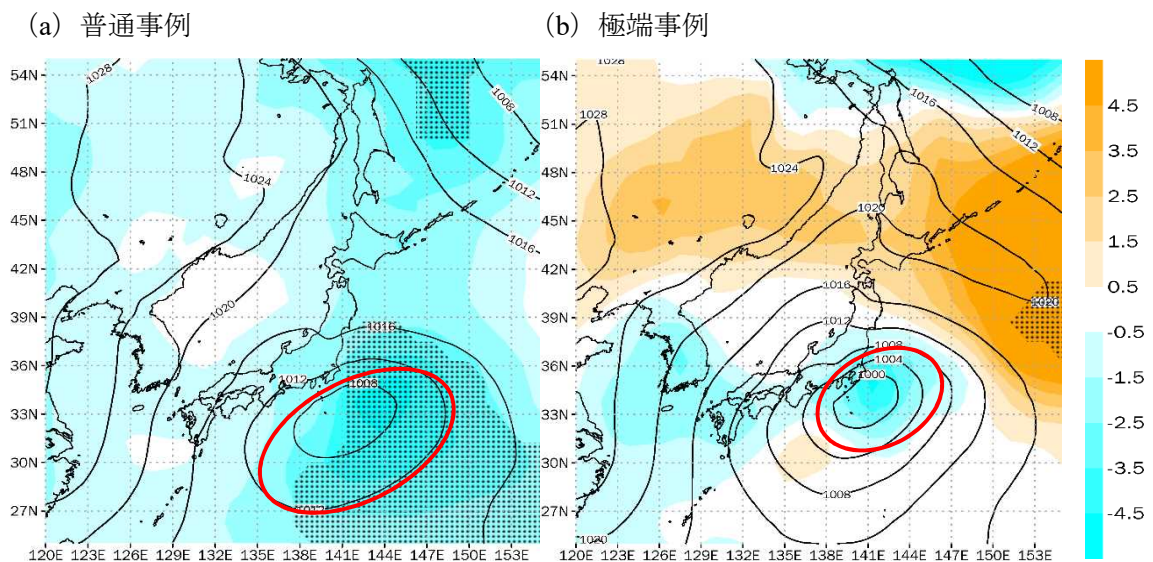


Fig. 12 (a), (b) 近年と過去の SLP の差, 等値線は近年の事例の低気圧[hPa], 陰影は近年と過去の偏差[hPa], ドット域は有意水準 90%の領域, 赤丸は低気圧の中心付近

第5章 議論

5-1 降雪日の水蒸気フラックスの発散・収束

近年の方が極端事例・普通事例の両事例において、一事例あたりの降水量が増加した要因を探るために、1, 2 月月平均、および降雪日の環境場を比較した。結果として、月平均と降雪日の両方で降水量の増加を示唆する環境場が形成されていた。そこで、実際に極端事例と普通事例の両事例において、降雪日前日から降雪日当日にかけての水蒸気フラックスの収束・発散の差を比較した。すると、極端事例と普通事例の両事例共に、近年の方が降雪日前日は本州の南海上で収束していた (Fig. 13a, 13b)。また、降雪日当日は本州の東海上にかけて収束していた (Fig. 14a, 14b)。そのため、降雪日前日から降雪日当日にかけて、強まった水蒸気フラックスの収束域が関東地方の付近を通過したことで、一事例あたりの降水量が増加したことが考えられる。

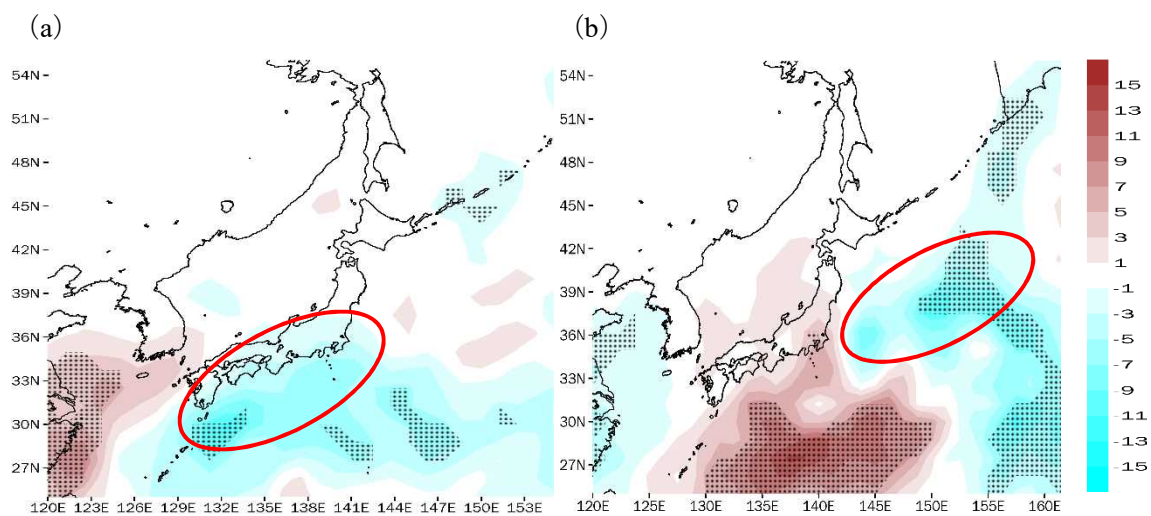


Fig. 13 普通事例における (a) 降雪日前日 (b) 降雪日当日
水蒸気フラックスの収束・発散の近年と過去の差

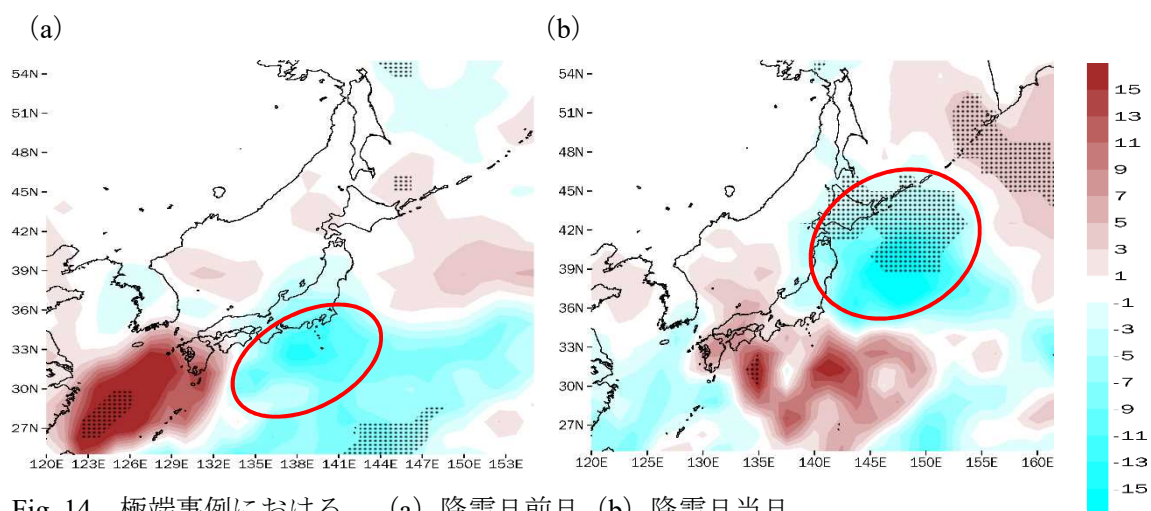


Fig. 14 極端事例における (a) 降雪日前日 (b) 降雪日当日
水蒸気フラックスの収束・発散の近年と過去の差

Fig. 13, Fig. 14 とともに、陰影は収束・発散の差を表す。

負偏差は収束、正偏差は発散。ドット域は有意水準 90%以上で有意な領域、赤丸は水蒸気フラックスの収束が強いところ。

5-2 降雪日の気温

次に、極端事例と普通事例の両事例で、過去と近年の一事例あたりの降雪量の変化を考察するために、両事例で 850hPa 面と 2m 気温の比較をした。結果として、両事例ともに降雪現象が起きている日の比較のため、関東で降雪が起きる目安となる 850hPa 面 -4°C 前後 (Fig. 15a, 15b)), 2m 気温 2°C 前後 (Fig. 16a, 16b) (気象庁, 2012) は満たしていた。

その中で、普通事例においては、過去も近年も 850hPa 面及び、2m 気温はほとんど変化がなく、降雪日の気温は同じように冷え込むことが分かった。一方、極端事例では、近年の方が 2m, 850hPa の両高度面で近年の方が過去の事例日より気温が上昇していた。

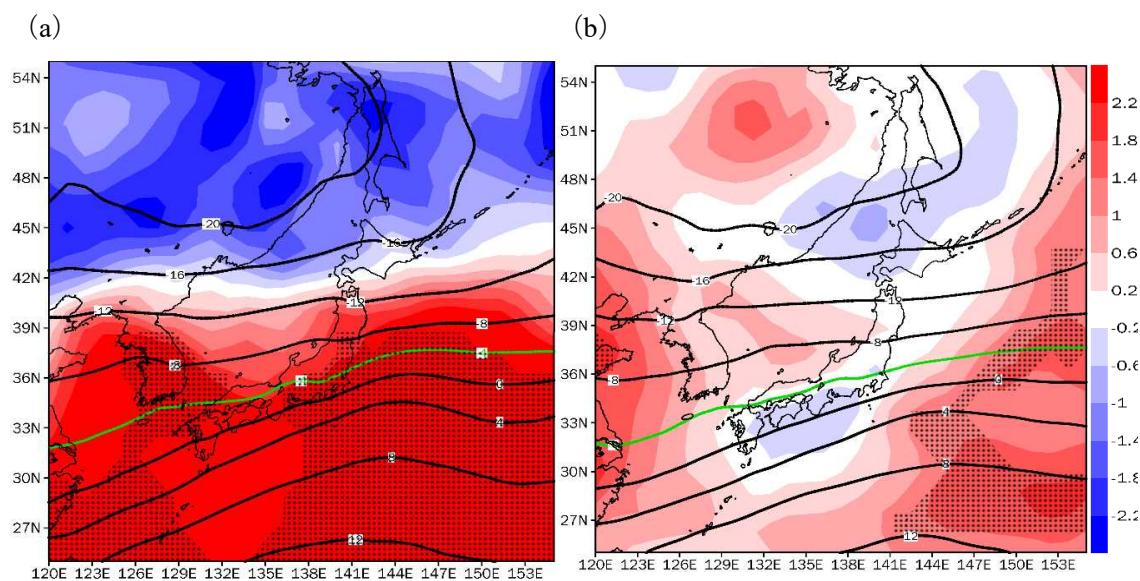


Fig. 15 850hPa 面気温, (a) は極端事例 (b) は普通事例, 陰影は近年-過去の偏差 ($^{\circ}\text{C}$), 等値線は近年の事例の平均 ($^{\circ}\text{C}$), 緑色の等値線は関東地方で雪の目安となる温度 ($^{\circ}\text{C}$), ドット域は信頼係数 90%以上で有意な領域.

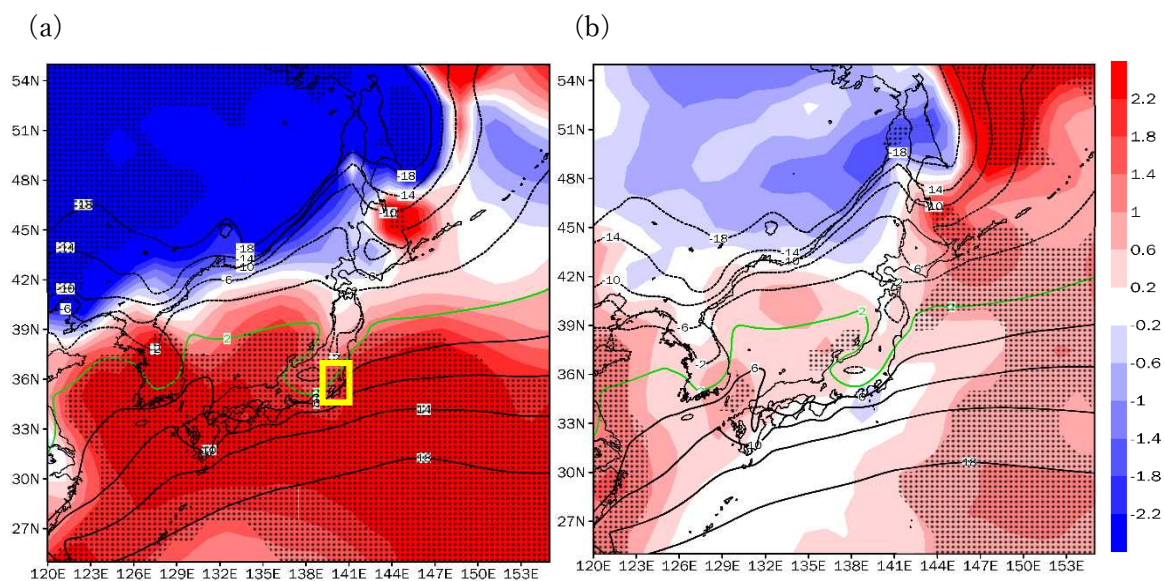
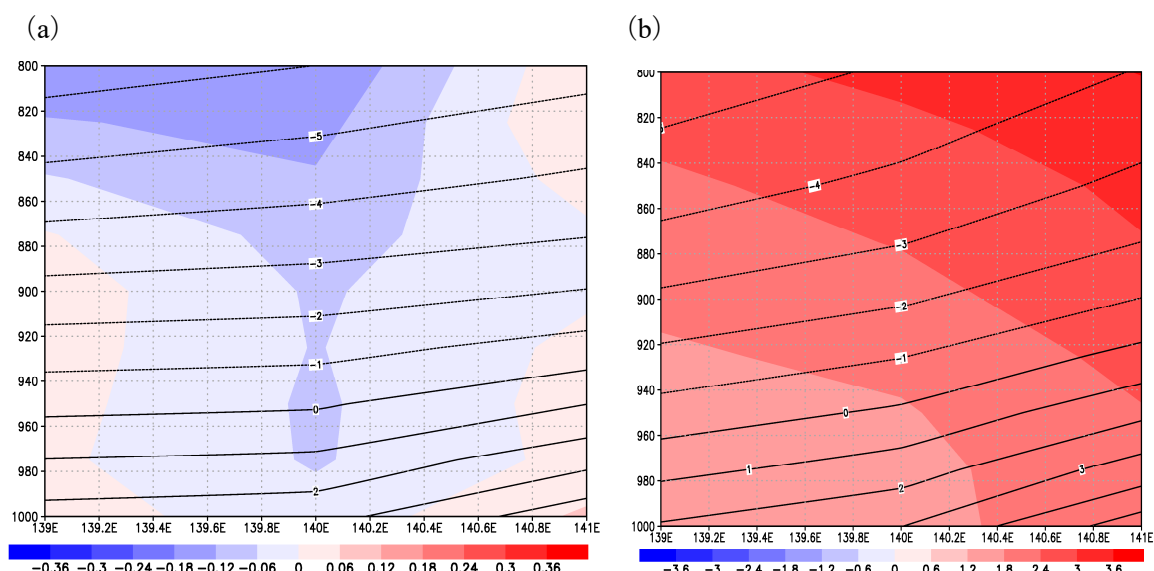


Fig. 16 2m 気温, (a) は極端事例 (b) は普通事例, 陰影は近年-過去の偏差 ($^{\circ}\text{C}$), 等値線は近年の事例の平均 ($^{\circ}\text{C}$), 緑色の等値線は関東地方で雪の目安となる温度 ($^{\circ}\text{C}$), ドット域は信頼係数 90%以上で有意な領域.

降雪日の気温は降雪現象を起こす目安のラインに達していたが、特定の気圧面において気温を比較すると、普通事例ではほとんど違いがなく、極端事例では近年の方が気温が上がっていることが分かった。そこで、普通事例および極端事例の両事例において、過去と近年での気温の鉛直断面を比較した。比較した領域は 139°E - 141°E , 34°N - 38°N (Fig. 16a の黄色で囲ってある領域) であり、800hPa~1000hPa の下層の温度を見た。結果、普通事例では、下層全体で近年と過去に温度差はほとんどなく、極端事例では上空に行くほど温度の上昇が見られた (Fig. 17a, 17b)。

よって、普通事例では、降雪日に降水量を増加させる環境場で鉛直の温度変化はあまりないため、降水量の増加 (Fig. 9b) が降雪量の増加にも寄与したと考えられる。逆に、極端事例は、下層全体で温度が上昇したため、降水量が増加 (Fig. 9a) しても、降雪量は増加しなかったと考えられる。



気温の鉛直断面の近年-過去の偏差, (a) は普通事例 (b) は極端事例, 等値線は近年の事例の平均の温度 ($^{\circ}\text{C}$), 陰影は近年-過去の偏差 ($^{\circ}\text{C}$), 水平方向は 139°E - 141°E , 34°N - 38°N で領域平均した。鉛直方向は 800hPa~1000hPa。

第6章 まとめ

本研究では、多雪年は近年の方が多き要因を、合成図解析により、過去と近年に分けて1,2月の月平均の環境場と、極端事例・普通事例の降雪日の環境場の差を比較することで考察した。その結果、極端事例の回数が過去5事例から近年9事例に増加したことが分かった。さらに、極端事例・普通事例の両事例で一事例あたりの降水量が増加し、普通事例においては一事例あたりの降雪量が増加したことが分かった。

よって、極端事例の回数が増加したこと、普通事例の一事例あたりの降雪量が増加したことが多雪年は近年の方が多き要因になっていることが分かった。

極端事例は近年の方が増加した要因としては、1,2月月平均の海面水温の南北温度勾配が日本の南海上から東海上で大きくなったことによって、下層の傾圧性が強まり、同様の領域で850hPa面のストームトラックが強められたことが考えられる。

また、極端事例・普通事例の両事例において、一事例あたりの降水量が増加した要因としては、水蒸気フラックスの収束の強まりが考えられる。1,2月月平均では、近年の方が日本付近で水蒸気フラックスの収束が強まったことで、近年は降水現象の起こりやすい環境場になっていた。降雪日には、そのような環境場に強まった低気圧が来ることによって、水蒸気フラックスの収束がより強まり、極端事例・普通事例の両事例で一事例あたりの降水量が増加したことが示唆された。これは、降雪日前日から降雪日当日の水蒸気フラックスの収束域の偏差からも確認できた。

さらに、普通事例においては、降雪日において関東付近での、大気下層の鉛直温度変化に過去と近年でほとんど温度変化がないため、降水量の増加が降雪量の増加にも寄与したと考えられる。

すなわち、近年の方が多雪年多き要因としては、海面水温の南北温度勾配が大きくなったことで、下層の傾圧性が強まり850hPa面のストームトラックが強まったことによる極端事例の増加と、水蒸気フラックスの収束が強まったことで降水現象の起こりやすい環境場に、強まった低気圧が来ることによる、両事例で一事例あたりの降水量の増加、普通事例での一事例あたりの降雪量の増加が影響していると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり，研究方針から解析に至るまで熱心なご指導をして頂いた指導教員である立花義裕教授に深く感謝申し上げます．また，地球環境学プログラムの先生方には，授業で多くの知識を学ばせて頂けただけでなく，合同ゼミで研究に対してのアドバイスをして頂いた事に深く感謝致します．

そして，同研究室の先輩方にも大変お世話になりました．論理展開や方針についての確なご指摘をくださった小松謙介研究員，多大な時間を割いて，気象物理の知識や結果の解釈についてご指導いただいた安藤雄太氏，研究内容に対する多くの助言やプログラミングの技術，多くの専門知識，文章の書き方，スライドの作り方についてご助言をいただいた，杉原直樹氏，永田桃子氏，松岡優輝氏，太田圭祐氏，中西友恵氏に深く感謝します．その他，研究生活を共に頑張ってきた4年生をはじめ，発表練習に最後まで付き合ってくれた3年生，同研究室の学生の皆様に改めて感謝致します．

引用文献

- Tachibana et al., 1996 : The Abrupt Decrease of the Sea Ice over the Southern Part of the Sea of Okhotsk in 1989 and Its Relation to the Recent Weakening of the Aleutian Low *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 579-584
- Honda et al., 2016 : Synoptic Conditions Causing an Extreme Snowfall Event in the Kanto-Koshin District of Japan on 14-15 February 2014 *SOLA*, **12**, 259-264
- Yamazaki et al., 2015 : Heavy Snowfall in Kanto and on the Pacific Ocean Side of Northern Japan Associated with Western Pacific Blocking *SOLA*, **11**, 59-64
- Rayner, N. A. et al., 2003 : Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature since the Late Nineteenth Century *J. Geophys. Res.*, **108** (D14), 4407
- Kobayashi et al., 2015 : The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48
- Schneider, U et al., 2018 : GPCC Full Data Monthly Product Version 2018 at 0.5° : Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historical Data.
- 気象庁 予報部予報課 2012 : 雪に関する予報と気象情報について 2. 降雪予想に関する予報作業等 (関東地方)

Appendix

1.抽出した極端事例

3-2 で定義した極端事例の事例日，及び 8 地点合計降雪量．古い事例から順に並べた．
過去の期間の事例は一番上から 5 事例まで，近年の事例は 6 事例目から一番下の事例まで．

年	月	日	量 (cm)
1968	2	16	176
1975	2	21	115
1984	1	19	129
1984	2	17	194
1986	2	19	176
1990	2	1	145
1992	2	1	115
1994	2	12	178
1998	1	8	131
1998	1	15	104
2001	1	27	105
2014	2	8	203
2014	2	15	242
2018	1	22	143

2.t 検定

t 検定とは，統計学において，2 標本が正規分布で等分散の集合同士の場合の差の検定，であり，2 つの母集団が等しい平均を持つという仮説を検定する為に用いられる．

最初に統計量 t を次式によって定義する．

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{(N_1 - 1) \times S_1^2 + (N_2 - 1) \times S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

X_1, X_2 : 標本平均， s_1, s_2 : 標本分散， N_1, N_2 : 標本数

t が計算されると，これらの統計量は，帰無仮説を検定する為に t 分布とともに用いる事ができる．