

新潟県とその周辺における大雪の出現頻度の 経年変化とその気温との関係

—鉄道駅構内の露場で観測された日降雪深データを用いた解析—

鈴木 博 人*

要 旨

新潟県とその周辺地域において13の鉄道駅構内の露場で観測された降雪の深さの観測データを用いて、1960/1961年冬期から2000/2001年冬期における再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度について経年変化を調べた。また、これらの大雪の出現頻度と地上および高層の冬期平均気温(12月～2月の平均気温)との関係を解析した。

再現期間が2, 5, 10年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は、1960/1961年冬期から1985/1986年冬期まで高く、1986/1987年冬期以降が低い傾向にある。また、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は、1985/1986年冬期と1986/1987年冬期の間において減少側に不連続的な変化(ジャンプ)したと考えられる。これらの出現頻度は、地上の冬期平均気温と負の相関が高く、地上における冬期平均気温が低い(高い)年ほど高い(低い)傾向にある。これらの出現頻度と高層の冬期平均気温との相関は、気温の観測高度が増すにつれて低くなるが、350hPa面程度の高度まで負の相関がある。また、これらの出現頻度は地上の冬期平均気温が1℃上昇(低下)した場合に、一冬期あたり0.4～0.5回程度減少(増加)するものと考えられる。

1. はじめに

新潟県とその周辺地域は、世界でも有数の豪雪地域である(日本雪氷学会 2005など)。このような地域に敷かれた鉄道では、降雪による線路の除雪を強いられるとともに、大雪の際には列車運行の停止といった影響をたびたび受けてきた。大雪は、鉄道以外でも道路を始めとする交通機関、電力などのライフラインや市民生活に大きな影響を及ぼしている。そのため、大雪の出現頻度の経年変化を明らかにすることは、社会的に重要な課題である。

一方で、新潟県とその周辺地域は地球規模で見ると雪氷圏(水が固体の状態分布する範囲)の縁辺部に

あたり、積雪期間中に気温がプラスになることや降雨が観測されることのある温暖積雪地域(日本雪氷学会 2005)である。このような地域では、気候変化に伴うわずかな気温の変化によって大雪の出現頻度が大きく変化することが予想される。20世紀は地球温暖化などに伴って気温が上昇し、今後も上昇するといわれている(IPCC 2007; 気象庁 2001など)。そのため、気温の変化が雪の降り方に及ぼす影響を明らかにすることは気候学・気象学的に興味深いことである。

降積雪量の経年変化に関する研究のほとんど(伊藤 1979; 田村 1988など)は、長期間の観測データを比較的入手しやすい年最大積雪深についての事例である。一方、大雪の出現頻度の経年変化に関する研究は少ないが、例えば鈴木(2006a)は再現期間が2年以上の1日降雪深を大雪と定義して、東北から北陸の日本海側地域における気象官署の観測記録を用いて大雪の出現頻度を解析した。これによると、大雪の出現頻度は1960年代から1980年代半ばまでが高い傾向にあ

* 東日本旅客鉄道株式会社千葉支社設備部。

h-suzuki@jreast.co.jp

—2009年8月18日受領—

—2010年3月1日受理—

り、1980年代後半以降が低い傾向にある。中村ほか(2004)では、日降水量30mm以上かつ日平均気温0℃未満を大雪と定義して、北海道における大雪の出現頻度を解析した。

降積雪量と気温の関係では、北海道などの寒冷地を除く多雪地域において、年最大積雪深は冬期の気温と負の相関があり、冬期の気温が低い(高い)年ほど年最大積雪深が大きい(小さい)ことが知られている(福田 1960; Nakamura and Shimizu 1996など)。大雪に関しては、鈴木(2006a)が東北から北陸の日本海側地域における気象官署の観測記録を用いて、一冬期における大雪の出現頻度と地上における冬期の平均気温に負の相関があることを示している。また、新潟県において大雪が出現した日の輪島における高層の気温構造を調べた小沢(1979)によると、大雪日(1日降雪深が平野部で11cmまたは21cm以上、山間部で31cm以上)は下層から中層までがきわめて低温で上層が温暖化しており、小雪日(1日降雪深が1cm未満)の高層気温はその逆の構造である。このように、新潟県とその周辺地域における大雪やその頻度は、地上や高層の気温の影響を大きく受けていると考えられる。

ところで、鉄道では鉄道駅構内の露場で降雪の深さの観測を行っている。新潟県とその周辺地域では、1960/1961年冬期(1960/1961年冬期の場合を1961年冬期とし、以下同様とする)から2001年冬期までの降雪の深さの観測記録が13箇所(駅)で残っているとともに、新潟県平野部の4箇所では現在も観測が続けられている。大雪などの極端な気象現象の経年変化を調べる場合には、長期間かつ多数の箇所の観測データを用いて解析することが望ましく、鉄道の降雪の深さの観測記録はこの要件を満たす貴重なデータセットの一つであると考えられる。

そこで、本研究では再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の場合を大雪と定義し、新潟県とその周辺地域において13箇所観測された降雪の深さの観測記録を整理することで、再現期間が2, 5, 10年以上の1, 3, 7日降雪深について出現頻度の経年変化を調べた。大雪の出現頻度の経年変化は、新潟県平野部とその周辺山間部に分けて解析するとともに、大雪の出現頻度の不連続的变化(ジャンプ)の有無について検定を行った。その上で、大雪の出現頻度に与える気温の影響を把握するために、大雪の出現頻度と地上および高層の気温との関係を解析した。

2. 資料と解析方法

2.1 降雪の深さの観測データ

多雪地域の鉄道では、冬期の列車運行を確保することを目的に、降雪の深さ、積雪の深さ、気温、および気圧などの気象観測を行ってきた(鈴木 2006b)。これらの観測は、鉄道駅構内の露場において、鉄道保線従事員によって1987年冬期までは8時と16時、1988年冬期からは8時30分と17時の1日2回行われてきた。降雪の深さの観測は雪板を用いて行われており、1日降雪深は前日の午後と当日の午前の降雪の深さの観測値の合計である。観測結果は冬期天候聴取表(第1図、1963年冬期当時の様式)に集計され、観測記録として保存・保管される。本研究では、この資料を整理・データベース化することで使用しており、現在のところこの資料は公開されていない。なお、観測時刻が1988年冬期から変更されているが、この変更による1日降雪深への影響はないものと考えた。また、これらの気象観測は鉄道駅構内の線路に沿った比較的細長い露場で行われているのが一般的である。

鉄道の駅構内における降雪の深さの観測記録は、新潟県とその周辺地域において1961年冬期が35箇所、2001年冬期が19箇所、2009年冬期が9箇所存在する。解析の対象箇所は、これらの箇所の中から対象にする期間中において毎日の降雪の深さの観測記録があること、および2.3節に記述する大雪の基準値を1箇所でも超過した日に周辺の箇所の観測値と比較して欠測または異常値と判断できる観測値がないことを条件に抽出した。その結果、1961年冬期から2001年冬期までの41年間の記録がある箇所が第2図に示すように新潟県平野部が9箇所、その周辺山間部が4箇所抽出された。また、新潟県平野部では9箇所のうち4箇所について1961年冬期から2009年冬期までの49年間の記録が残っている。そこで、本研究では1961年冬期から2001年冬期までの新潟県平野部9箇所、その周辺山間部4箇所、および1961年冬期から2009年冬期までの新潟県平野部4箇所を解析の対象にした。なお、鉄道の降雪の深さの観測記録は気象庁に比べて観測記録が残っている地域が限定されるものの観測箇所の密度が高いといった特徴がある。

2.2 大雪の時間スケール

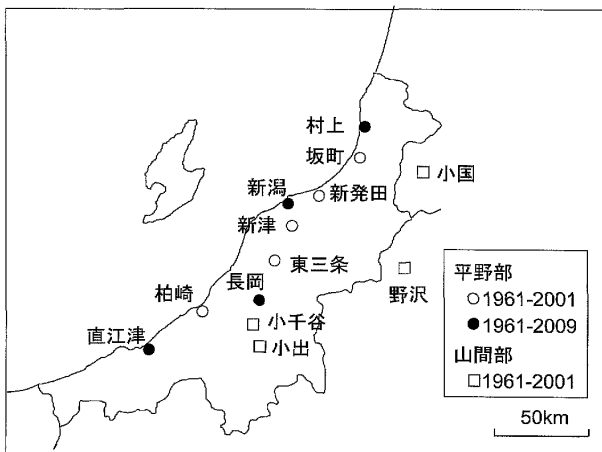
大雪の除雪への影響や大雪による災害の形態は、大雪の継続時間によって異なると考えられる。また、これらの地域における大雪は一般的に寒気の流入によってもたらされることから、大雪の継続時間は寒気の持

冬期天候聴取表

年 / 月 25 日

係線区	前日 16 時 現在								観測地	本日 8 時 現在								部長
	天候	凡	降雪	積雪	気圧	温度				天候	凡	降雪	積雪	気圧	温度			
						最高	最低	現在							最高	最低	現在	
水上	"レ	N1	0	75	945	-2	-10	-4	①水上	"レ	N1	0	75	948	-4	-13	-11	
	"レ	N1	0	140	978	-1	-10	-5	土合	"レ	S1	2	140	978	-5	-16	-10	
	"レ	N1	0	180	970	0	-9	-3	①土樽	"レ	S1	1	180	973	-3	-12	-8	
	"レ	N1	1	185	983	0	-9	-3	石打	"レ	S1	7	190	985	-3	-10	-6	
	"レ	NE	4	140	986	1	-11	-3	堀沢	"レ	N2	18	145	987	-4	-13	-6	
"レ	S2	7	120	988	0	-10	-4	五日町	"レ	N2	20	185	991	-4	-10	-7		
直江津	"レ	SW	0	140	1006	-0	-5	-5	田口	"レ	W	0	140	08	-5	-7	-7	
	"レ	NE	1	160	09	-1	-6	-3	⑤関山	"レ	SW	5	160	11	-3	-7	-5	
	"レ	NW	16	165	10	-1	-10	-2	高田	"レ	S	25	188	12	-2	-5	-4	
	"レ	SW	34	130	10	-1	-4	-4	⑥直江津	"レ	W	40	165	14	-3	-5	-4	
	"レ	SW	25	90	06	-2	-4	-3	米山	"レ	W	75	120	7	0	-5	0	
柏崎	"レ	SW	9	108	08	0	-4	-2	柏崎	"レ	SW	140	150	9	0	-4	0	
	"レ	SW	32	302	07	-4	-5	-4	①坂山	"レ	W	69	366	9	-4	-5	-4	
	"レ	SW	25	280	00	-5	-6	-2	小出	"レ	SW	150	310	999	-2	-3	-3	
	"レ	E	30	275	00	-2	-8	-4	川口	"レ	E	61	325	1001	0	-7	-5	
	"レ	S	29	224	01	-3	-6	-3	小千谷	"レ	E	165	298	4	-2	-3	-3	
長岡	"レ	SW	21	192	09	-2	-4	-3	長岡	"レ	SW	60	245	10	-3	-4	-4	
	"レ	N1	28	258	05	-1	-2	-2	長岡	"レ	S	65	280	7	-2	-4	-3	
	"レ	W	40	340	78	-2	-5	-5	入石瀬	"レ	W	100	400	980	-3	-4	-2	
	"レ	SW	33	238	04	1	-5	-3	見附	"レ	SW	60	280	02	1	-3	-3	
	"レ	W	24	258	15	-2	-3	-3	東三条	"レ	S	19	329	16	-3	-4	-3	
新津	"レ	S	13	135	08	-3	-3	-3	①新津	"レ	W	15	150	10	-3	-3	-3	

第1図 鉄道の気象観測記録（冬期天候聴取表）。「38豪雪」時の1963年1月25日の記録の一部。



第2図 解析の対象にする観測箇所（駅名）。

続性とも深く関係していると考えられる。そこで、本研究では大雪の時間スケールを複数設定することと

し、1, 3, 7日降雪深を解析の対象にした。なお、3, 7日降雪深はそれぞれ1日降雪深の前3日および前7日の積算値である。

2.3 大雪の基準と基準値の算出方法

本研究では、雪の降り方が異なる複数の地点の大雪の出現頻度の経年変化を解析することから、大雪の基準を規格化する必要がある。このような大雪の基準には、降雪深を多い方から並べた場合に一定の順位にあたる降雪深、年降雪深に対する一定の割合にあたる降雪深、および一定の再現期間の下で出現することが期待される確率降雪深などがある。これらの中から、本研究では大雪の基準の意味が明確である確率降雪深を大雪の基準として用いることにした。

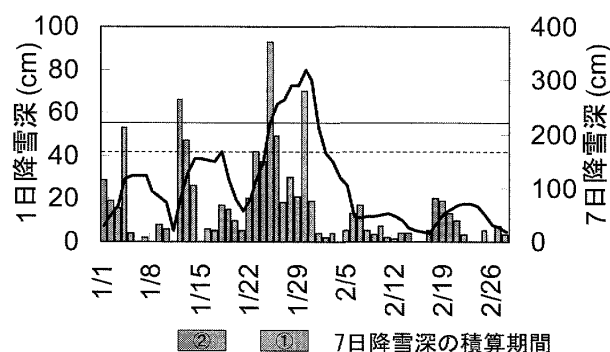
本研究では、再現期間が2年以上の場合を大雪とし、再現期間が2, 5, 10年の1, 3, 7日降雪深を大雪の基準とした。新潟県とその周辺地域における年

最大1, 3, 7日降雪深には, 3.1節に記述するように1986年冬期と1987年冬期の間を境にする不連続的变化(ジャンプ)がみられる場合が多い。水文量時系列にこのような非定常性がある場合には, 寒川・荒木(1986)などが指摘するように期間のとり方によって再現期間が変化すると考えられる。そこで, 本研究では確率降雪深を年最大1, 3, 7日降雪深にジャンプがみられる以前の1961年冬期から1986年冬期のデータを用いて推定することにした。

確率降雪深の推定に用いる確率分布は, 田中・宝(1999)が用いた確率分布の中から, 確率水文量と確率分布の適合度を評価する指標である標準最小二乗規準(Standard Least-Squares Criterion (SLSC), 高棹ほか 1986)を用いて選定した。対象にする確率分布は, 指数分布, Gumbel 分布, 平方根指数型最大値分布, 一般化極値分布, 対数 Pearson III型分布(実数空間法, 対数空間法), 対数正規分布(2母数, 3母数)である。SLSC は, その算出される値が小さいほど適合度が良いとされており, 田中・宝(1999)によると $SLSC \leq 0.04$ 以下が適当としている。対象にした13箇所の1, 3, 7日降雪深(合計39標本)に対してSLSCを計算すると, SLSCが0.04以下の頻度が最も高いのは一般化極値分布の36標本であった。よって, 本研究では一般化極値分布を用いて確率降雪深を推定することにした。

2.4 大雪の出現頻度の算出方法

第3図は, 1963年冬期において長岡で主な降雪が観測された1963年1月1日～2月28日の1日降雪深と前7日降雪深, およびそれぞれの再現期間が2年の降雪深を示したものである。一冬期における大雪の出現頻度は, 1日降雪深に関しては単純に基準値(再現期間が2, 5, 10年の降雪深)を超過した回数とした。3, 7日降雪深については1日降雪深の前3日間および前7日間の積算であり, 1日降雪深が大きい場合には1日の影響が最大で3日間および7日間及ぶことになる。そのため, 再現期間が2, 5, 10年の3, 7日降雪深の出現頻度は, 次の手順で求めることにした。第3図に示した7日降雪深について再現期間が2年の降雪深を基準値とした場合を例にすると, 初めに一冬期における最大7日降雪深を抽出し, その値が再現期間が2年の降雪深を超過していれば採用する(図中の①の期間)。次に, これと重複しない7日間に再現期間が2年を超過する7日降雪深があれば採用し(図中の②の期間), 以下同様に既に採用された期間と重複



第3図 長岡における1963年1月1日から2月28日の1日降雪深(棒グラフ)と7日降雪深(折線グラフ)。図中の実線は再現期間が2年の1日降雪深, 点線は再現期間が2年の7日降雪深。下段の横棒は7日降雪深の積算期間で, ①は再現期間が2年の7日降雪深を超過し, かつ一冬期における最大値の積算期間。②は①の期間と重複しない再現期間が2年の7日降雪深を超過した7日降雪深の積算期間。

しない7日間に再現期間が2年を超過する7日降雪深があれば順次採用する。このようにして採用された回数の合計を一冬期における再現期間が2年の7日降雪深の出現頻度とした。

2.5 地域ごとの大雪の出現頻度の算出方法

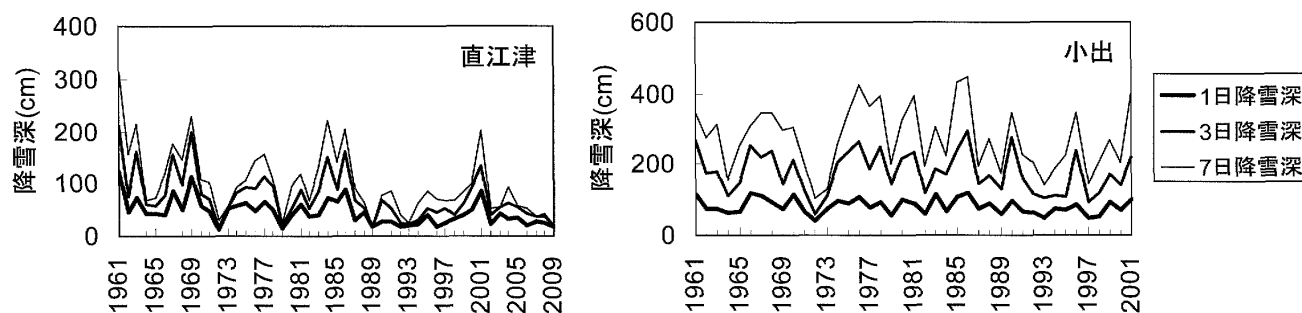
新潟県平野部とその周辺山間部における大雪の出現頻度の算出は, 次の手順で行った。初めに, 各箇所について再現期間が2, 5, 10年の1, 3, 7日降雪深を超過した回数を年毎に求めた。次に, 新潟県平野部とその周辺山間部に分けて, それぞれに属する全箇所の回数を年毎に積算した。最後に, それぞれの箇所数で除することで, 再現期間が2, 5, 10年の1, 3, 7日降雪深を超過した1箇所・1年あたりに規格化した出現頻度を求めた。

3. 大雪の出現頻度の経年変化とジャンプ

大雪の出現頻度について, 経年変化や月別の出現頻度を解析するとともに, 不連続的变化(ジャンプ)の有無について検定を行った。

3.1 年最大降雪深の経年変化とジャンプ

大雪の出現頻度の経年変化を解析するにあたって, 初めに年最大1, 3, 7日降雪深の経年変化を概観する。第4図には, 新潟県平野部の箇所の例として直江津, その周辺山間部の箇所の例として小出における年最大1, 3, 7日降雪深の時系列を示した。年最大

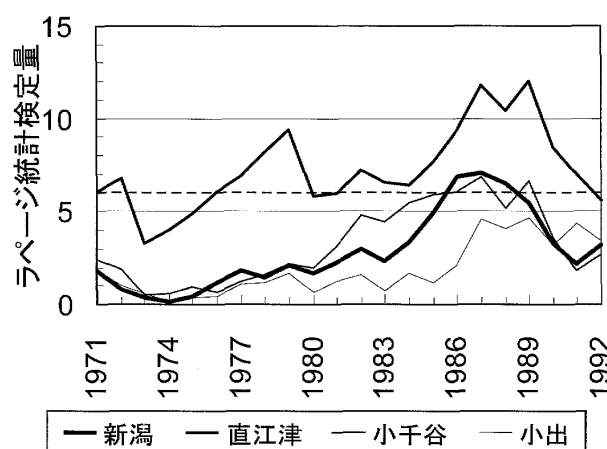


第4図 直江津（新潟県平野部）と小出（新潟県平野部の周辺山間部）における年最大1，3，7日降雪深。

1，3，7日降雪深は，図示を省略した箇所を含めて，1980年代半ばまでは数年間隔で大きい高い期間と小さい期間が現れているが，1980年代後半以降は低い傾向が強まっている．鈴木（2006b）では，新潟県とその周辺地域における年最大1日降雪深について，本研究より長い1927年冬期から2005年冬期の経年変化を調べている．これによると，この地域の年最大1日降雪深は数十年スケールの変動をしながら減少しており，1940年代半ばまでと1960年代から1980年代半ばまでが大きく，1940年代後半から1950年代までと1980年代後半以降が小さい傾向にある．そこで，ここでは1961年冬期から2001年冬期における年最大1，3，7日降雪深について，ジャンプの有無の検定を行った．

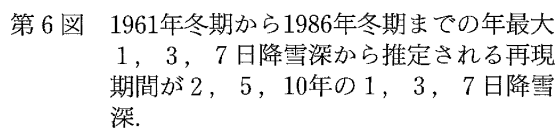
ジャンプの検定には，ノンパラメトリック検定の一つで，ある時期を境とする2つの標本の差の統計的な有意性を検定するLepage検定を用いた（松山・谷本2005など）．検定は，帰無仮説を「年最大1，3，7日降雪深に，期間の前半と後半の平均値に差がない」，対立仮説を「期間の前半と後半の平均値に差がある」と仮定して行った．Lepage検定では，Lepage検定統計量 ≥ 5.991 の場合に帰無仮説が有意水準5％で棄却されて，「期間の前半と後半の平均値に差がある」，つまり期間の前半と後半の境におけるジャンプが有意水準5％で有意となる．なお，ジャンプの検定は1961年冬期から2001年冬期を前半と後半に分けて，それぞれ最低でも10年間をとった上で，前半と後半の境を一冬期ずつ移動させて行った．例えば，1987年冬期を境にする場合は前半が1961年冬期から1986年冬期，後半が1987年冬期から2001年冬期である．

第5図は，新潟，直江津，小千谷，および小出における年最大1日降雪深について，Lepage検定統計量の計算結果を例示したもので，Lepage検定統計量が図中の点線より大きければ，その冬期を前半と後半の

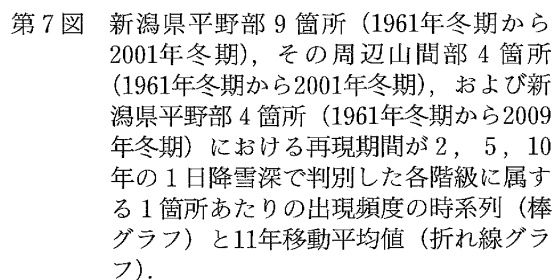


第5図 新潟，直江津，小千谷，および小出における年最大1日降雪深（1961年冬期から2001年冬期）に対して，任意の冬期を境にした場合の前半と後半の平均値の差についてLepage検定を施した結果．図中の点線は，前半と後半の平均値の差が有意水準5％で有意になるLepage検定統計量．

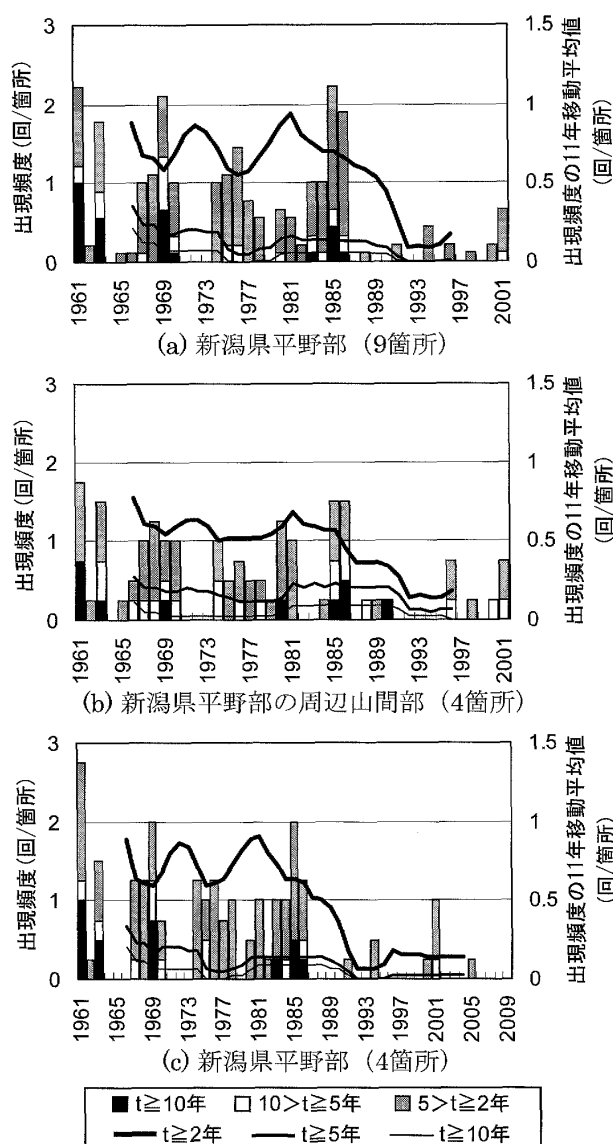
境とするジャンプが有意水準5％で有意である．全箇所について検定を行った結果，年最大1日降雪深が12箇所，年最大3日降雪深が13箇所，年最大7日降雪深が7箇所，1980年代後半から1990年代前半を境にして前半と後半の平均値に差があることが有意水準5％で有意である．また，Lepage検定統計量はこれらのうち年最大1日降雪深が6箇所，年最大3日降雪深が3箇所，および年最大7日降雪深が6箇所，1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合に最大値を示している．よって，多くの箇所における年最大1，3，7日降雪深が1980年代後半から1990年代前半において減少側にジャンプしたと考えられ，1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合の有意性が最も高い場合が多い．



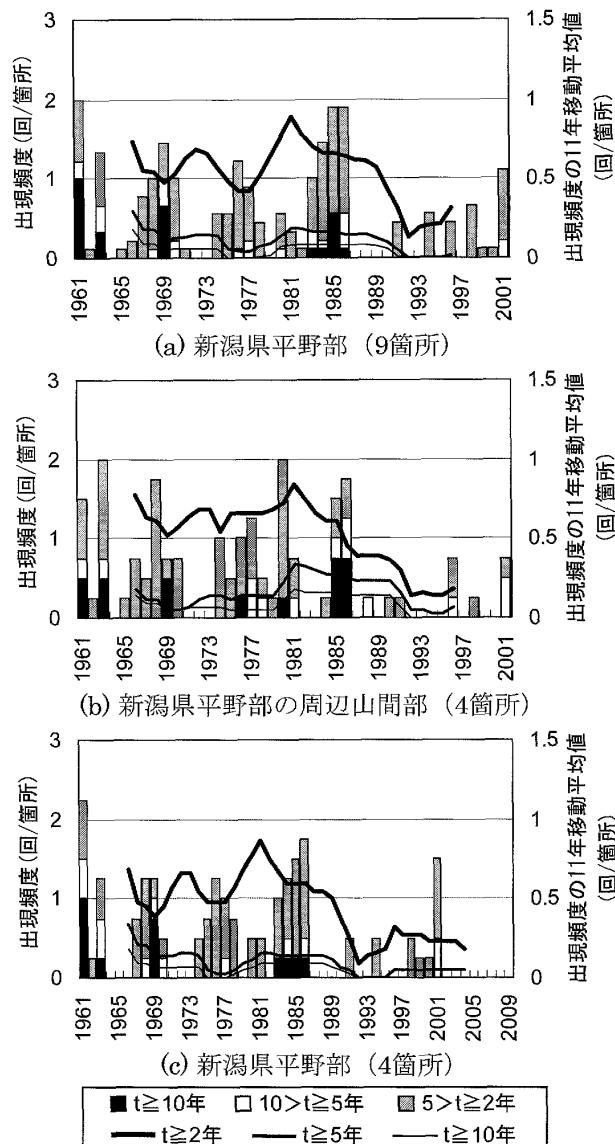
第7図は、1日降雪深の再現期間を t 年とした場合



NII-Electronic Library Service



第8図 第7図と同様。ただし、3日降雪深の場合。



第9図 第7図と同様。ただし、7日降雪深の場合。

動傾向をみるために、これらの出現頻度の11年移動平均値を示した。なお、第8図には3日降雪深の場合、第9図には7日降雪深の場合の各階級に属する1箇所あたりの出現頻度の時系列を示した。

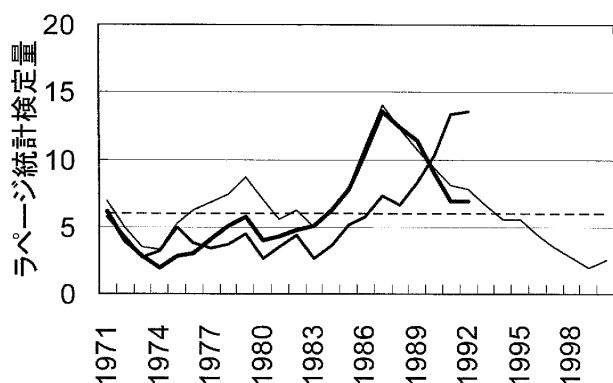
第7～9図によると、再現期間が2、5、10年以上の1、3、7日降雪深の出現頻度は、1980年代半ばまでは数年間隔で高い期間と低い期間が現れているとともに高い傾向にあるが、1980年代後半以降では低い傾向が強まっている。特に、再現期間が5年以上の1、3、7日降雪深は1980年代後半以降ほとんど出現していない。再現期間が2、5、10年以上の1、3、7日降雪深の出現頻度の11年移動平均値からも、この期間

の前半に比べて後半はこれらの出現頻度が低い傾向にある。なお、これらの出現頻度に降雪深の積算日数(1、3、7日)の違いによる大きな差はみられない。

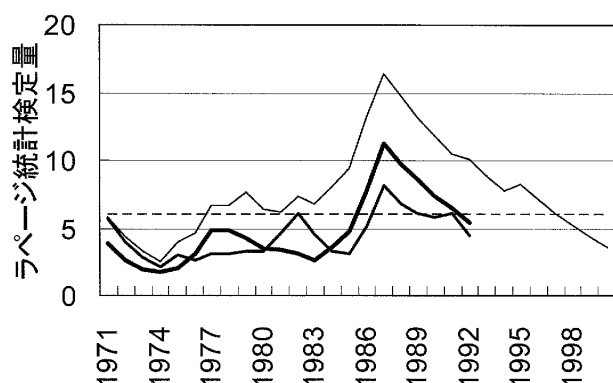
3.3 大雪の出現頻度のジャンプ

再現期間が2年以上の1、3、7日降雪深の出現頻度について、年最大1、3、7日降雪深と同様にジャンプの有無の検定をLepage検定を用いて行った。なお、対象期間は新潟県平野部の9箇所とその周辺山間部の4箇所が1961年冬期から2001年冬期まで、新潟県平野部の4箇所が1961年冬期から2009年冬期までである。

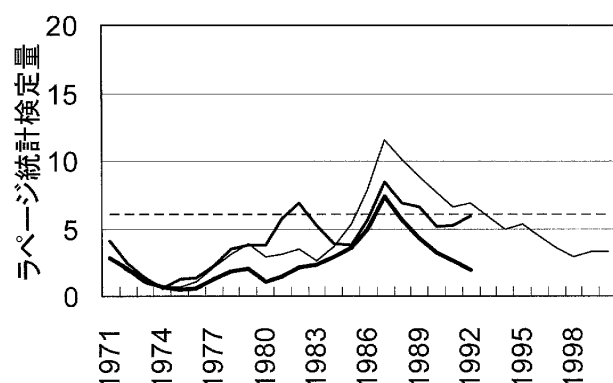
第10図は、再現期間が2年以上の1、3、7日降雪



(a) 1日降雪深



(b) 3日降雪深



(c) 7日降雪深

— 平野部9箇所 — 山間部 — 平野部4箇所

第10図 新潟県平野部9箇所(1961年冬期から2001年冬期), その周辺山間部4箇所(1961年冬期から2001年冬期), および新潟県平野部4箇所(1961年冬期から2009年冬期)における再現期間が2年の1, 3, 7日の出現頻度に対して, 任意の冬期を境にした場合の前半と後半の平均値の差についてLepage検定を施した結果. 図中の点線は, 前半と後半の平均値の差が有意水準5%で有意になるLepage検定統計量.

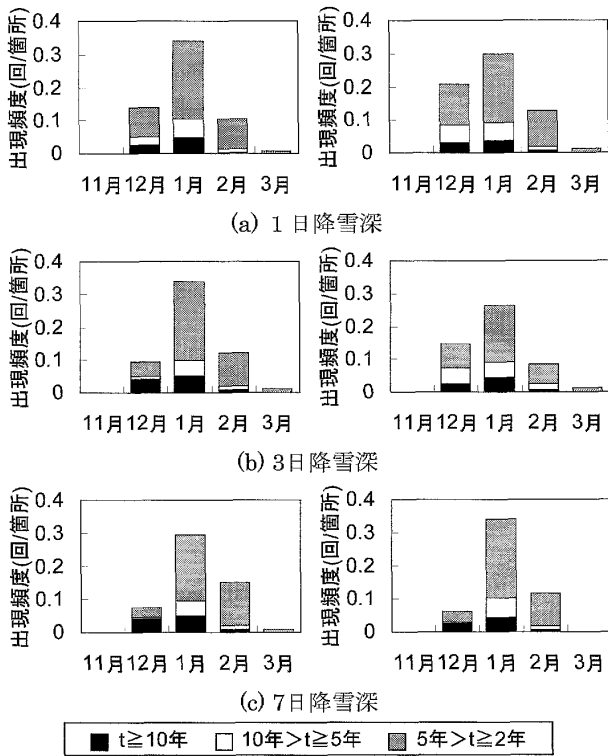
第1表 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度の前半と後半の平均値とその差. なお, 前半は1961年冬期から1986年冬期, 後半は新潟県平野部9箇所とその周辺山間部4箇所が1987年冬期から2001年冬期, 新潟県平野部4箇所が1987年冬期から2009年冬期.

降雪深	地域	前半(回)	後半(回)	差(回)
1日降雪深	平野部(9箇所)	0.96	0.14	-0.82
	山間部(4箇所)	0.84	0.32	-0.52
3日降雪深	平野部(4箇所)	0.93	0.14	-0.79
	平野部(9箇所)	0.85	0.13	-0.72
7日降雪深	山間部(4箇所)	0.67	0.18	-0.49
	平野部(4箇所)	0.85	0.10	-0.75
7日降雪深	平野部(9箇所)	0.73	0.23	-0.50
	山間部(4箇所)	0.74	0.17	-0.57
7日降雪深	平野部(4箇所)	0.70	0.15	-0.55

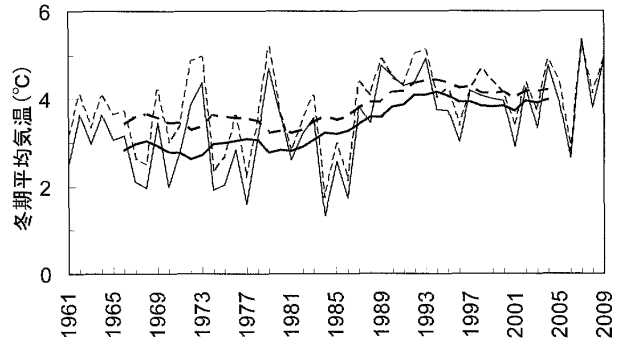
深の出現頻度について, Lepage検定統計量の計算結果を示したもので, Lepage検定統計量が図中の点線より大きければ, その冬期を境にするジャンプが有意水準5%で有意である. これらの出現頻度は, 1980年代後半から1990年代前半においてどの冬期を境にしても前半と後半の平均値に差があることが有意水準5%で有意である. また, Lepage検定統計量は1日降雪深の山間部を除いて1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合が最大である. よって, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は1986年冬期と1987年冬期の間を境にして減少側にジャンプしたと考えられる. 第1表には, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度について, 1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合の前半と後半の平均値とその差を示した. これから, これらの出現頻度は後半が前半に比べて大幅に減少していることが分かる.

3.4 大雪の出現月

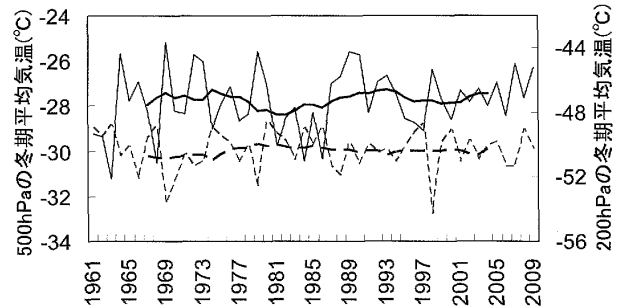
第11図は, 新潟県平野部の9箇所とその周辺山間部の4箇所における1961年冬期から2001年冬期までの期間において, 再現期間が $t \geq 10$ 年, $10 > t \geq 5$ 年, $5 > t \geq 2$ 年の各階級に属する1, 3, 7日降雪深の1箇所・1年あたりの月別の出現頻度である. 再現期間が2, 5, 10年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は1月が最も多く, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深のほとんどが12月から2月に出現している.



第11図 新潟県平野部9箇所(左側)およびその周辺山間部4箇所(右側)における再現期間が2, 5, 10年以上の1, 3, 7日降雪深で判別した各階級に属する1箇所・1年あたりの月ごとの出現頻度。



第12図 新潟(実線)および輪島(点線)における地上の冬期平均気温(細線)とその11年移動平均値(太線)。



第13図 輪島における500hPa面(実線)および200hPa面(点線)の冬期平均気温(細線)とその11年移動平均値(太線)。

4. 大雪の出現頻度と気温の関係

再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と地上および高層の気温との関係を解析した。

4.1 冬期の気温の経年変化

気温は、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深のほとんどが12月から2月にかけて出現していることから、12月から2月の平均値(以下、冬期平均気温とする)を用いることにした。地上の冬期平均気温には、新潟県とその周辺地域において1961年冬期から2009年冬期までの観測記録のある気象庁の新潟と高田の記録を用いた。高層の冬期平均気温には、これらの地域に最も近く、高層の気温がこれらの地域の大雪の出現と関係が深いといわれている気象庁の輪島の観測値を用いた。なお、輪島については地上の冬期平均気温も用いた。

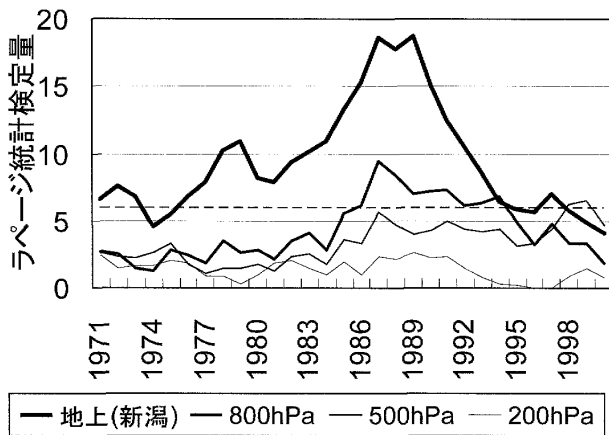
第12図は、新潟および輪島における地上の冬期平均気温の1961年冬期から2009年冬期までの時系列と11年移動平均値である。図示を省略した高田を含めて、地上の冬期平均気温は1980年代半ばまでは数年間隔で高

い期間と低い期間が現れているとともに低い傾向にあるが、1980年代後半以降は高い傾向が強まっている。冬期平均気温の11年移動平均値からも、この期間の前半に比べて後半が高い傾向にあることが分かる。

第13図は、輪島における高層の冬期平均気温の時系列の例として、中層の500hPa面および上層の200hPa面の冬期平均気温とその11年移動平均値を示した。500hPa面と200hPa面の冬期平均気温は、数年間隔で高い期間と低い期間がみられるが、新潟などの地上の冬期平均気温にみられる1980年代後半以降が1980年代半ば以前に比べて高い傾向がみられない。また、500hPa面と200hPa面では気温が高い年と低い年の位相が逆である。他の気圧面における冬期平均気温の図示は省略するが、気圧が高い気圧面(高度が低い)ほど1980年代後半以降の気温が1980年代半ば以前に比べて高い傾向がみられる。

4.2 冬期の気温のジャンプ

冬期平均気温について、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と同様に、ジャンプの有無



第14図 新潟における地上の冬期平均気温と輪島における800, 500, 200hPa面の冬期平均気温(1961年冬期から2009年冬期)に対して、任意の冬期を境にした場合の前半と後半の平均値の差についてLepage検定を施した結果。図中の点線は、前半と後半の平均値の差が有意水準5%で有意になるLepage検定統計量。

の検定をLepage検定を用いて行った。第14図は、新潟における地上の冬期平均気温と輪島における800, 500, 200hPa面の冬期平均気温について、Lepage検定統計量の計算結果を例示したものである。第14図に図示を省略した気圧面を含めて、新潟、高田、および輪島における地上の冬期平均気温と輪島における1000hPa面から700hPa面の冬期平均気温には1980年代後半から1990年代前半のどの冬期を境にしても前半と後半の平均値に差があることが有意水準5%で有意である。また、Lepage検定統計量は1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合が最大である。よって、地上から下層における冬期平均気温は1986年冬期と1987年冬期の間に上昇側にジャンプしたと考えられる。一方、輪島における70hPa面と50hPa面の冬期平均気温は1980年代後半を境にして前半と後半の平均値に差があることが有意水準5%で有意で、下降側にジャンプしたと考えられる。なお、輪島における他の気圧面における冬期平均気温にはジャンプはみられなかった。

第2表には、新潟における地上の冬期平均気温と輪島における1000, 800, 500, 200, 100hPa面の冬期平均気温について、1986年冬期と1987年冬期の間を境にした場合の前半と後半の平均値とその差を示した。冬期平均気温は、第2表に示さなかった箇所や気圧面を含めて、地上に近いほど後半が前半に比べて高く、

第2表 冬期平均気温の前半(1961年冬期から1986年冬期)と後半(1987年冬期から2001年冬期)の平均値とその差。

場所	高度	前半(°C)	後半(°C)	差(°C)
新潟	地上	2.86	4.04	1.18
輪島	1,000hPa面	2.80	3.66	0.86
	800hPa面	-9.19	-8.42	0.77
	500hPa面	-28.13	-27.36	0.77
	300hPa面	-47.30	-46.96	0.34
	200hPa面	-50.21	-50.46	-0.25
	100hPa面	-57.24	-58.97	-1.73

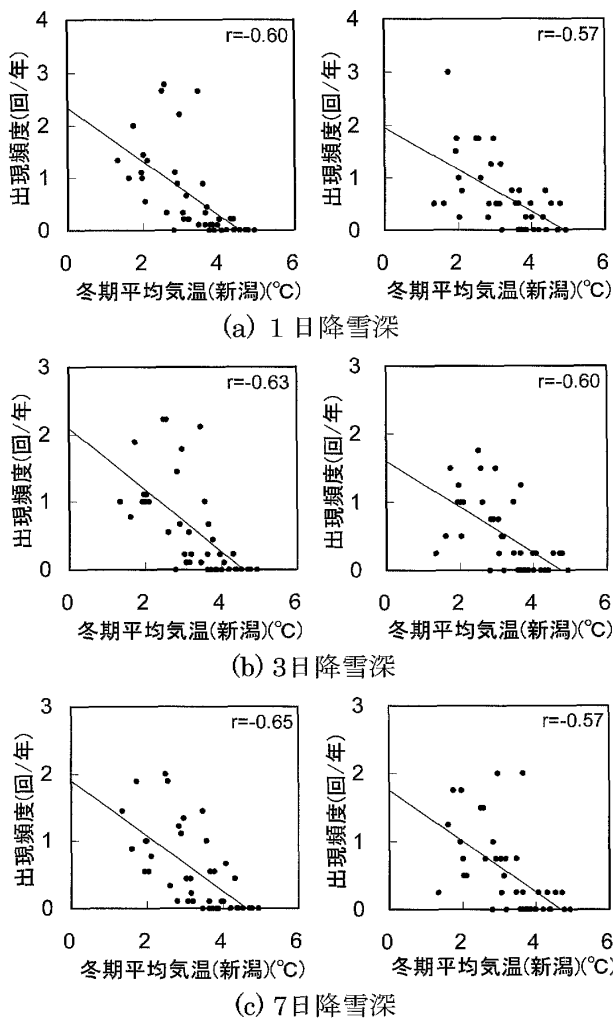
高度が高い(気圧が低い気圧面)ほど後半が前半に比べて低い傾向がみられる。

これから、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度が1986年冬期と1987年冬期の間に減少側にジャンプしたことには、地上や下層の冬期平均気温が上昇側にジャンプしたことや上層の冬期平均気温が下降側にジャンプしたことが関係していると考えられる。なお、この冬期平均気温のジャンプの原因の解明については今後の課題とする。

4.3 大雪の出現頻度と気温の関係

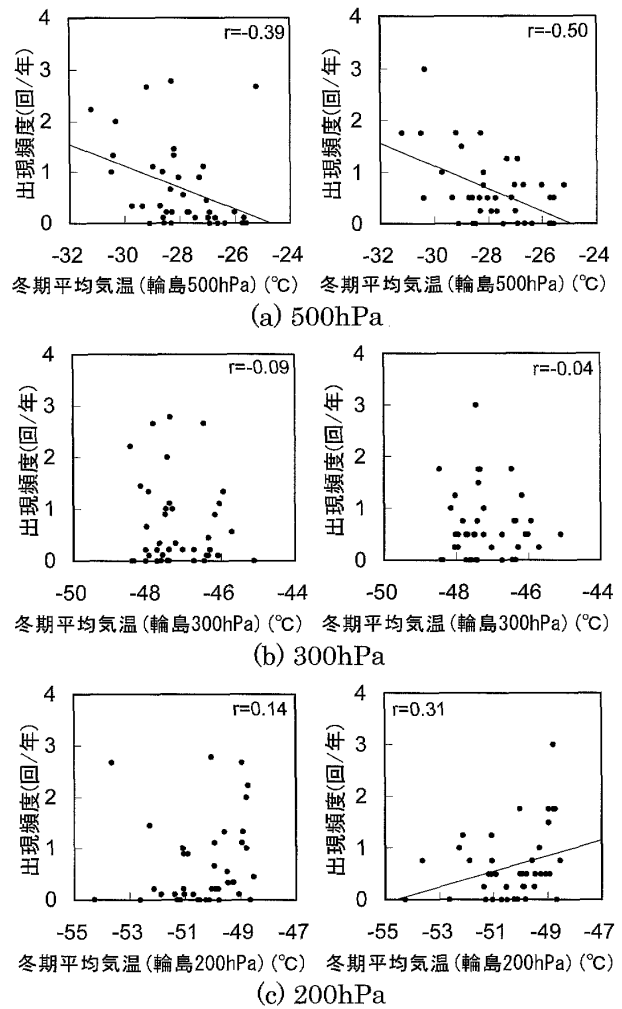
第15図は、新潟県平野部とその周辺山間部における再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温の各年の値をプロットしたものである。図中には両者の相関係数と最小二乗法により求めた回帰直線を示した。これらの相関係数を検定すると、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は、新潟における地上の冬期平均気温と負の相関が有意水準5%で有意である。よって、これらの出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温の関係は深く、これらの出現頻度は冬期平均気温の高い(低い)年が低い(高い)傾向にある。また、再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温との相関係数は、新潟県平野部とその周辺山間部、および降雪深の積算日数(1, 3, 7日降雪深)による差がほとんどない。よって、これらの出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温との相関は、地域や降雪深の積算日数による差がほとんどないと考えられる。

第16図は、新潟県平野部とその周辺山間部における再現期間が2年以上の1日降雪深の出現頻度と輪島における500, 300, 200hPa面の冬期平均気温の各年の値をプロットしたものである。図中には両者の相関係



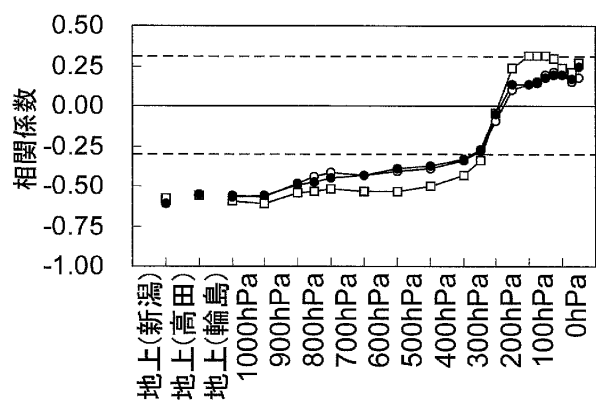
第15図 新潟県平野部9箇所（左側）およびその周辺山間部4箇所（右側）における再現期間が2年以上の1，3，7日降雪深の出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温の関係。図中の直線は最小二乗法により求めた回帰直線， r は相関係数。

数を示すとともに、これらの出現頻度と冬期平均気温の相関が有意な場合には最小二乗法により求めた回帰直線を示した。これらの出現頻度は、輪島における500hPa面の冬期平均気温と負の相関が有意水準5%で有意であるが、新潟における地上の冬期平均気温に比べて相関が低い。また、これらの出現頻度は300hPa面の冬期平均気温とは相関がみられなくなるが、新潟県平野部の周辺山間部においては200hPa面の冬期平均気温と正の相関が有意水準5%で有意である。なお、再現期間が2年以上の3，7日降雪深の出現頻度と輪島における500，300，200hPa面の冬期平均気温との関係の図示は省略するが、1日降雪深の場合と傾向は同様である。

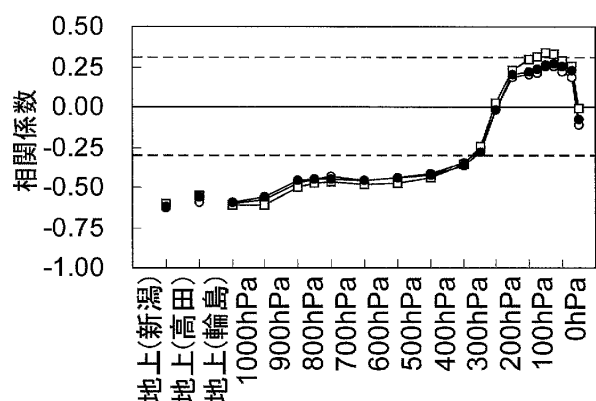


第16図 新潟県平野部9箇所（左側）およびその周辺山間部4箇所（右側）における再現期間が2年以上の1日降雪深の出現頻度と輪島における500，300，200hPa面の冬期平均気温との関係。再現期間が2年以上の1日降雪深の出現頻度と冬期平均気温の相関が有意水準5%で有意な場合は図中に最小二乗法により求めた回帰直線を示した。また、図中の r は相関係数。

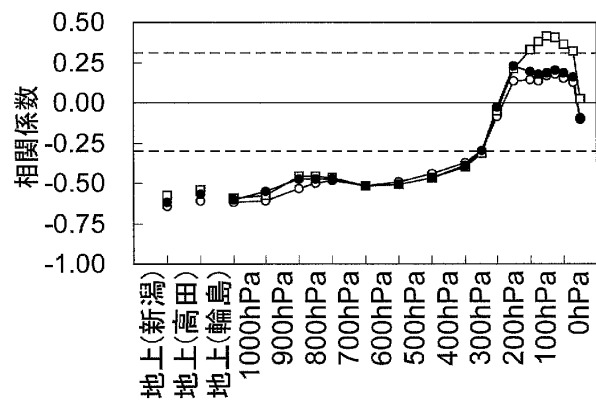
第17図は、新潟県平野部とその周辺山間部における再現期間が2年以上の1，3，7日降雪深の出現頻度と新潟，高田，輪島における地上，および輪島における高層の冬期平均気温との相関係数を示したものである。図中の点線は、再現期間が2年以上の1，3，7日降雪深の出現頻度と冬期平均気温との相関が有意水準5%で有意になる相関係数である。図中の上側の点線より相関係数が大きければ正の相関が有意水準5%で有意であり、下側の点線より小さければ負の相関が有意である。



(a) 1日降雪深



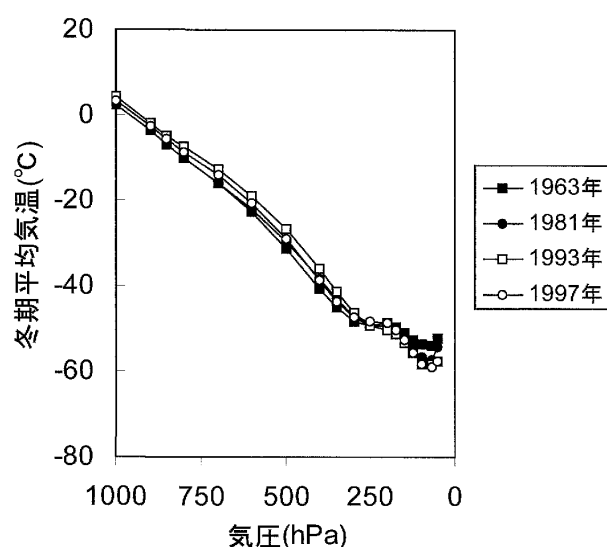
(b) 3日降雪深



(c) 7日降雪深

○—新潟県平野部(9箇所) ●—新潟県平野部(4箇所)
 □—新潟県平野部の周辺山間部

第17図 新潟県平野部9箇所(1961年冬期から2001年冬期), その周辺山間部4箇所(1961年冬期から2001年冬期), および新潟県平野部4箇所(1961年冬期から2009年冬期)における再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と新潟, 高田, 輪島における地上の冬期平均気温, および輪島における高層の冬期平均気温との相関係数. 図中の点線は, 1961年冬期から2001年冬期までの41年間における再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と冬期平均気温との相関が有意水準5%で有意になる相関係数.



第18図 輪島における高層の冬期平均気温の分布. 1963年冬期と1986年冬期は再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深が高い年, 1993年冬期と1997年冬期は低い年.

第17図によると, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は, 350hPa面程度の高度以下で冬期平均気温と負の相関が有意水準5%で有意であり, 新潟, 高田および輪島における地上や輪島における1000hPa面といった地表付近の冬期平均気温と負の相関が最も高い. なお, これらの出現頻度と地上の冬期平均気温との相関係数は, 新潟, 高田, および輪島でほとんど差がみられない. また, 新潟県平野部の周辺山間部では, これらの出現頻度は250hPa面から100hPa面程度の高度において冬期平均気温と正の相関が有意水準5%で有意である. よって, これらの出現頻度は地上付近から中層の冬期平均気温が低い(高い)年ほど高い(低い)傾向にあり, 特に地上付近の冬期平均気温が低い(高い)年ほど高い(低い)傾向にある. また, 新潟県平野部の周辺山間部ではこれらの出現頻度は上層の冬期平均気温が高い(低い)年ほど高い(低い)傾向にある.

長谷美(1991)によると, 新潟県とその周辺地域では降水が固体(雪, 霰, 霰)と液体(雨)になる割合が50%ずつになる気温は1~3°C程度である. 第12図によると新潟の冬期平均気温はこの気温と同等またはそれ以上である. 新潟県平野部の周辺山間部では標高が高くなるのに伴って地上の気温が低下することを考慮しても, これらの地域における地上の冬期平均気温はこの気温に近い状態にある. これらの地域におい

第3表 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と新潟における地上の冬期平均気温の相関係数, 気温が1℃変化した場合のこれらの出現頻度の変化率, およびこれらの出現頻度が0回になる気温.

地域	1日降雪深			3日降雪深			7日降雪深		
	相関係数	変化率 (回/℃)	出現頻度が 0回になる 気温(℃)	相関係数	変化率 (回/℃)	出現頻度が 0回になる 気温(℃)	相関係数	変化率 (回/℃)	出現頻度が 0回になる 気温(℃)
平野部(9箇所)	-0.60	-0.52	4.55	-0.63	-0.46	4.56	-0.65	-0.41	4.60
山間部(4箇所)	-0.57	-0.40	4.89	-0.60	-0.34	4.74	-0.57	-0.38	4.69
平野部(4箇所)	-0.61	-0.49	4.57	-0.62	-0.42	4.58	-0.62	-0.37	4.61

て, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度が地表付近の冬期平均気温と相関が最も高いのは, 降水が固体と液体になる割合が50%ずつになる気温と地上付近の冬期平均気温が近いことが影響していることが示唆される.

再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度の多寡と輪島の高層における冬期平均気温の構造との関係を見るために, 第18図にこれらの出現頻度が高い1963年冬期と1986年冬期, これらの出現頻度が低い1993年冬期と1997年冬期の輪島における高層の冬期平均気温を例示した. 第18図に図示していない冬期を含めて, これらの出現頻度が高い(低い)年の輪島における冬期平均気温は, 下層から中層が相対的に低く(高く), 上層が高い(低い)傾向にある. このような輪島における高層の気温構造は, 小沢(1979)が示した大雪日(小雪日)の気温構造と傾向が一致する. つまり, 輪島における高層の気温が, 下層から中層で低く, 上層で高いのは, 大雪の出現時だけでなく, 大雪の出現頻度の高い年の一冬期における傾向でもあると考えられる.

4.4 大雪の出現頻度の変化率

再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と冬期平均気温の相関が有意な場合には, これらの間の一次回帰直線の傾きは冬期平均気温が1℃変化した場合のこれらの出現頻度の変化回数に相当する. 第3表には, 新潟における地上の冬期平均気温が1℃変化した場合のこれらの出現頻度の1箇所あたりの変化回数を示した. これによると, 新潟県平野部とその周辺山間部では, 1961年冬期から1986年冬期までの年最大1, 3, 7日降雪深から計算される再現期間が2年以上の1日降雪深の出現頻度は, 新潟における地上の冬期平均気温が1℃上昇(低下)した場合に, 一冬期あたり0.4~0.5回程度減少(増加)するものと考えら

れる.

第3表には, 一次回帰直線から算出される再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度が0回になる新潟における地上の冬期平均気温を示した. この表によると, これらの出現頻度が0回になる冬期平均気温は, 4.5℃~5.0℃程度である. これから, 1961年冬期から1986年冬期までの年最大1, 3, 7日降雪深から計算される再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深は, 新潟における地上の冬期平均気温が4.5℃~5.0℃程度を超えると出現しなくなるものと考えられる. 新潟における地上の冬期平均気温が高い状態にある1987年冬期から2009年冬期までの23年間の冬期平均気温は第2表に示したように4.0度である. よって, 近年では再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深は出現しにくい気温状態にあると考えられる.

本研究では, 新潟県平野部において9箇所と4箇所の観測値を用いた解析を行った. 第17図および第3表などによると, 両者の解析結果はほぼ一致する. よって, 地域を代表する4箇所程度の観測値を用いた解析を行うことで再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度と冬期平均気温との関係に関する解析が可能であると考えられる.

5. まとめ

本研究では, 新潟県とその周辺地域において13の鉄道駅構内の露場で観測された降雪の深さの観測記録を用いて, 1, 3, 7日降雪深の大雪の出現頻度の経年変化を解析するとともに, 大雪の出現頻度と地上および高層の冬期平均気温との関係を解析した.

(1) 再現期間が2, 5, 10年の1, 3, 7日降雪深は, 新潟県平野部では山間部に近い長岡が最大であるが, 高緯度の箇所から低緯度の箇所に向かって大きくなる傾向にある. また, これらの降雪深

は新潟県平野部がその周辺山間部に比べて小さい傾向にある。

- (2) 再現期間が2, 5, 10年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は, 1986年冬期までが高く, 1987年以降が低い傾向にある。これらの出現頻度は, 1986年冬期以前と1987年冬期以降の平均値に差があることが有意水準5%で有意で, 1986年冬期と1987年冬期の間に減少側にジャンプしたと考えられる。
- (3) 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は, 新潟, 高田および輪島における地上の冬期平均気温と負の相関が高い。よって, これらの出現頻度は地上の冬期平均気温が低い(高い)年ほど高い(低い)傾向にある。また, これらの出現頻度と高層の冬期平均気温との相関は, 気温の観測高度が増すにつれて低くなるが, 350hPa 程度の高度まで負の相関が有意水準5%で有意である。
- (4) 新潟県平野部とその周辺山間部では, 再現期間が2年以上の1, 3, 7日降雪深の出現頻度は, 新潟における地上の冬期平均気温が1℃上昇(低下)した場合に, 一冬期あたり0.4~0.5回程度減少(増加)するものと考えられる。

本研究では, 鉄道の降雪の深さの観測データを用いて新潟県とその周辺地域における大雪の出現頻度の経年変化や冬期平均気温との関係を明らかにした。今後は, 気象庁の1日降雪深データを用いて他の地域における大雪の出現頻度の経年変化や冬期平均気温との関係, およびこれらの地域性を明らかにして行きたいと考えている。

また, 鉄道では新潟県平野部において1961年冬期から降雪の深さの観測記録が残る4箇所について, 現在も降雪の深さの観測が継続されている。この観測の目的は, 冬期における列車運行を確保することであるが, 今後もこの観測記録を気候変化の解析や監視に役立てて行きたいと考えている。

謝 辞

本研究で用いた鉄道の降雪の深さの観測データは鉄道で観測・保存していたものであり, この観測およびデータの保存に従事した鉄道保線従事員の方々に心より感謝致します。また, 本研究で用いた気温のデータは気象庁から提供を受けました。本論文をまとめるにあたり, 担当編集委員と2名の査読者から貴重なご意

見とご指摘を頂きました。ここに, 深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 福田喜代志, 1960: 日本の最深積雪について 第3部 気温との相関. 雪氷, 22, 55-57.
- 長谷美達雄, 1991: 冬季降水における降雪の発生割合と地上気温の関係(1) —発生割合の地域性と雨雪判別の的中率について—. 雪氷, 53, 33-43.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, 996pp.
- 伊藤 駿, 1979: 秋田市における積雪極値の時系列変動解析. 雪氷, 41, 267-275.
- 気象庁, 2001: 20世紀の日本の気候. 財務省印刷局, 116 pp.
- 松山 洋, 谷本陽一, 2005: UNIX/Windows を使った実践気候データ解析. 古今書院, 107pp.
- Nakamura, T. and M. Shimizu, 1996: Variation of snow, winter precipitation and winter air temperature during the last century at Nagaoka, Japan. J. Glaciol., 42, 136-140.
- 中村一樹, 谷口 恭, 齋藤正美, 山口浩司, 須藤哲寛, 2004: 北海道における大雪発生の長期傾向~2004年冬期の大雪の特徴~. 2004年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 7.
- 日本雪氷学会, 2005: 雪と氷の事典. 朝倉書店, 760pp.
- 小沢 正, 1979: 日降雪量の統計的推定に関する研究 (1). 気象研究所研究報告, 30, 43-59.
- 寒川典昭, 荒木正夫, 渡辺輝彦, 1986: 確率分布の推定母数の不確定性評価法. 土木学会論文集, (375), 133-141.
- 鈴木博人, 2006a: 東北と北陸地方の日本海側における降水と積雪の気温依存性. 水工学論文集, 50, 427-432.
- 鈴木博人, 2006b: 新潟県とその周辺における降積雪量の1927~2005年の経年変化—鉄道駅構内の露場で観測された降積雪量データを用いた解析—. 天気, 53, 185-196.
- 高棹琢馬, 宝 馨, 清水 章, 1986: 琵琶湖流域水文データの基礎的分析. 京都大学防災研究所年報, (29 B-2), 157-171.
- 田村伸夫, 1988: 新潟県の最深積雪について. 日本雪工学会誌, 4, 3-24.
- 田中茂信, 宝 馨, 1999: 河川流量の頻度解析における適合度と安定性の評価. 水工学論文集, 43, 127-132.

Long-term Changes in Frequency of Heavy Snow Events and Their Relation to Temperature in and around Niigata Prefecture : Analysis Using Data Observed at Railway Stations

Hiroto SUZUKI*

* Chiba Branch office, East Japan Railway Co., Chiba-shi, Chiba, 260-8551, Japan.

(Received 18 August 2009 ; Accepted 1 March 2010)

Abstract

This study analyzed the long-term changes in the frequency of heavy snow events, which are defined for three time scales (1-, 3-, 7-days) and three threshold values (2-, 5-, 10-year return periods), and their relation to winter (from December to February) temperature at the surface and in upper levels, in and around Niigata prefecture. This analysis is based on daily snowfall data observed at 13 railway stations from 1960/1961 winter to 2008/2009 winter.

The frequency of 1-, 3-, and 7- days snowfall events over the 2-, 5-, 10-year return periods was high from 1960/1961 winter to 1985/1986 winter and low after 1986/1987 winter. For the frequency of 1-, 3-, and 7- days snowfall events over the 2-year return periods, a discontinuous change between 1985/1986 winter and 1986/1987 winter is detected. This frequency shows a negative correlation with the winter mean temperature at surface, and becomes lower (higher) as winter mean temperature increases (decreases). Although it shows a negative correlation with winter mean temperature below the 350hPa level, the correlation becomes weaker with height. Furthermore, it decreases (increases) by 0.4-0.5 times/year, when winter mean temperature at Niigata increases (decreases) one degree.

日本気象学会英文レター誌 SOLA
(Scientific Online Letters on the Atmosphere)
<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/sola/>

第 6 巻 2010年 3 月 目次

Yasuhiro ISHIZAKI, Toshiyuki NAKAEGAWA and Izuru TAKAYABU : Comparison of Three Bayesian Approaches to Project Surface Air Temperature Changes over Japan Due to Global Warming	21-24
Shuichiro KATAGIRI, Nobuyuki KIKUCHI, Takashi Y. NAKAJIMA, Akiko HIGURASHI, Atsushi SHIMIZU, Ichiro MATSUI, Tadahiro HAYASAKA, Nobuo	