

論文

「しもぞらめ雪地域」の気候条件の再検討による 日本の積雪地域の質的特徴を表す新しい気候図

石坂 雅昭¹⁾

要 旨

日本の積雪地域の積雪の質的特徴に基づく気候区分の一つである「しもぞらめ雪地域」について、その気候的な意味をより明確にするため、定義及び区分条件の再検討を行った。そのため、日本の積雪地域のうち寒冷で相対的に積雪の少ない気象官署 21 地点の 1, 2 月の気象データから、平年値期間である 1971~2000 年の間に、何冬期「しもぞら雪地域」とみなせるようなしもぞらめ雪の著しい発達が見られたかを推定し、区分条件との関係を調べた。その結果、平年値算定期間である 30 年間にしもぞらめ雪が著しく発達したと推定される年数の割合で「しもぞらめ雪地域」を気候的かつ定量的に定義することができること、対応する区分条件はその地域の気候的な雪中温度勾配を反映したものであることなどがわかった。そして、上記で得られた新たな条件とその他の気候区の条件とを合わせ、最新のメッシュ気候値 2000 に適用して、積雪の質的特徴を表す新しい気候図を作成した。

キーワード：積雪、しもぞらめ雪、気候区分、メッシュ気候値

Key words: snow cover, depth hoar, climatic division, mesh climatic data

1. はじめに

表題に掲げた「しもぞらめ雪地域」は、筆者が先に日本の積雪地域を厳冬期の積雪の質的特徴に基づいて区分した気候区分概念の一つである（石坂, 1995・1996）。その名の示す通り、積雪層内に発達する「しもぞらめ雪」が厳冬期の積雪を特徴づける積雪地域を指している。このように広域の積雪分布からしもぞらめ雪が発達する地域を区分したのは、秋田谷・遠藤（1980, 1982）による北海道の積雪分布の研究である。彼らは数年間の調査から、しもぞらめ雪が発達する地域は、積雪層全体の硬度が小さく、しもぞらめ雪が充分に発達した厳冬期末の積雪の平均ラム硬度が一定の値より小さい地域として抽出できることを見出した。また、それにはその地域の積雪堆積時の気象環境が反映していると考え、先の平均ラム硬度と気温と積雪深を結びつける経験式を提案し、直接ラム

硬度を測らなくても、気象要素からしもぞらめ雪の発達を推定できることを示した。

筆者の気候区分はその推定式の変数を気候値に置き換えたものであった。その結果、北海道の道東、岩手県の北上盆地、長野の佐久盆地など、これまでの観測とも合う分布が得られ、気候値で置き換えたものでも、日本の「しもぞらめ雪地域」をよく表現できていることがわかった（石坂, 1995）。しかし、道東では、秋田谷・遠藤（1982）などの観測結果と比べて、その領域はやや狭く、区分条件がかなり限定的、すなわち厳しい方に設定されていることがわかり、条件の緩和についても検討された（石坂, 1996）。

条件が厳しい側になるのは、秋田谷・遠藤（1980, 1982）では、積雪深に月平均積雪が使われているのに対して、気候値（平年値）には平均積雪はなく、月最深積雪を使わざるを得なかったことに起因している。秋田谷・遠藤の式は、気温の絶対値を積雪深で除した値、すなわち平均的な積

1) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

〒940-0821 長岡市栖吉町前山 187-16

雪の温度勾配が大きいほどしもぎらめ雪が発達し易いことを反映しているが、平均積雪と最深積雪では一般に後者の方が大きいので、最深積雪を使うと温度勾配が小さく算出され、その地点が「しもぎらめ雪地域」となりにくいという事情を反映している。

そこで前に述べた検討では、道東の観測結果と比較しながら条件の緩和について議論したが、各年の観測結果はあくまでもその冬の気象的な特徴を反映したものであって、どの年の観測結果と比べるのが妥当かという点で恣意性が残ることは避けられず、明確性に欠けた(石坂, 1996; Ishizaka, 1998). すなわち、「しもぎらめ雪地域」がどのような地域なのか、その発生頻度が考慮されていないため、定量的に明瞭でないという問題点があった。

そこで、本稿では「しもぎらめ雪地域」の区分条件を再検討し、気候的な定義を定量的に示すとともに、それに対応した新たな区分条件を提示する。そして、新しく得られた「しもぎらめ雪地域」の気候条件とその他の区分とを合わせてメッシュ気候値 2000 (気象庁, 2002) に適用して、これまで古いメッシュ気候値 (気象庁, 1996) で作成されていた積雪地域の厳冬期の積雪の質的な特徴を表す気候区分図を更新することにした。

メッシュ気候値は日本の国土を 1 km メッシュの区画に分けて、各区画に対応づけて気温、降水量、積雪、日射量などの気候値が、気象官署や地域気象観測点 (アメダス) の観測値から地形因子を考慮して推定され求められている。観測点の少ない山地などでの誤差は少なくないものの、現状では未観測点を含む日本全体の国土を覆う均質で一定の精度を持ったデータだと考えられる。ただ、先に発表した区分図 (石坂, 1995) では、旧メッシュ気候値 (気象庁, 1996) を用いたので、その中には日本の国土うち雪の少ない、関東、東海、紀伊半島、四国、九州の積雪の気候値は含まれず、それら地域を除外したものであった。しかし、メッシュ気候値 2000 (気象庁, 2002) では、一部島嶼を除きほぼ全国の積雪データがそろったので、ここではじめて日本全国の積雪地域全域をカバーして、かつ「しもぎらめ雪地域」の気候的な条件を明瞭にした積雪の質の気候図が作成されたことになる。

なお、積雪深の単位については cm の単位を用いた。多くの気象資料で慣用的に用いられていること、またここで頻繁に使う秋田谷・遠藤 (1980, 1982) の式と単位をそろえ、形を変えずに使うことを考慮したからである。

2. 秋田谷・遠藤の式とこれまでの「しもぎらめ雪地域」の気候値条件について

秋田谷・遠藤 (1982) は北海道の積雪の広域調査から、しもぎらめ雪が発達する地域は 2 月末の平均ラム硬度 R_{av} (kg) が 8 kg より小さくなる地域であること、その平均ラム硬度は 1, 2 月の月平均気温 T (°C) と同じ期間の平均積雪 H_1 (cm)、そして 2 月末の積雪深 H_2 (cm) で表される次の式で関連づけられることを示した。彼らによるしもぎらめ雪が発達するための条件式は、

$$R_{av} = 0.339(H_1 / |T|)^{1.21} H_2^{0.21} \quad (1)$$

で表される R_{av} が、

$$R_{av} < 8(\text{kg}) \quad (2)$$

というものである。ただし、 T は負の場合に限定している。

筆者の提案した「しもぎらめ雪地域」は上記の条件のうち式 (1) の各変数を気候値で置き換えて、気候的な意味での「しもぎらめ雪地域」を定義したものである。ただし、 T には 1, 2 月の月平均気温の気候値 (平年値) を平均したものを適用したが、前節で述べたように平年値には平均積雪はないので、 H_1 には 1, 2 月で平均した月最深積雪を用いた。さらに、式 (1) の 2 月末の積雪深も気候値には存在しないので、2 月と 3 月の月最深積雪の平均に置き換えて上記の関係を利用した。そして、気温の条件は 1 月の月平均気温が -1°C より寒い地域とした。なぜなら、しもぎらめ雪は厳冬期に積雪がほぼ乾いた状態で推移する地域に限られるためである (石坂, 1995)。

式 (1) の $H_1 / |T|$ は 1, 2 月の平均的な積雪の温度勾配の逆数を表している。温度勾配が大きくなるとこの値は小さくなり (2) の条件を満たし易くなる。そこで、平均積雪ではなく月最深積雪を用い

ると、一般的に後者の方が大きい値になるので、先の温度勾配の逆数も、また H_2 に対応する部分も大きめに算出され、条件式(2)を満たしにくくなる。これが前節でも述べた気候区分が限定的、すなわち厳しい側になることの大きな要因である。

したがって、条件を緩和することは、例えば式(2)で $R_{av} < 9$ (kg) のように、 R_{av} が大きい地点も「しもざらめ雪地域」に含めていくことに対応し、実際先の緩和に関する検討もそのような観点から行われた(石坂, 1996; Ishizaka, 1998)。ここでも同様な観点から緩和の検討に入るが、その前に、これまでの研究から式(1)は、 H_2 を含まない 1, 2 月の値だけで表すことができることがわかっているの、まずそれについて述べ、条件の緩和に関する議論は、置き換えた後のより簡便な表現による条件式において行うことにする。

3. 1, 2 月の気候値のみを使った条件への置き換え

条件の式が 1, 2 月の気温と積雪に関係する要素からだけで表されることについては、既に旧メッシュ気候値を用いて(石坂, 1996; Ishizaka, 1998)、また最近では新しいメッシュ気候値 2000 を用いて(石坂, 2006b)述べてきたので繰り返しになるが、条件緩和の手法にも関わるので改めて一連の結果を述べることにする。

前節の式(1), (2)の区分条件を気候値に置き換えてメッシュ気候値 2000 に適用すると、積雪地域の中から「しもざらめ雪地域」の条件に適合する地点(メッシュ)を抽出することができる。ただし、ここでは積雪地域として、冬期いずれかの月の月最深積雪が 10 cm 以上である地点を対象にしている。このようにして求めた地点は 37377 メッシュで、それらの地点の 1, 2 月の値を平均した月最深積雪と月平均気温の関係を表したのが図 1 である。この図を見ると、「しもざらめ雪地域」が、やや上に凸の曲線的な境界より下にしかないことがわかる。気温で決まる積雪の上限より積雪が多いと積雪内の温度勾配が小さいということを反映しているわけである。この境界が得られれば、1, 2 月の積雪と気温との関係のみから「しもざらめ雪地域」とその他の地域とを区分する条件が得られることがわかる。

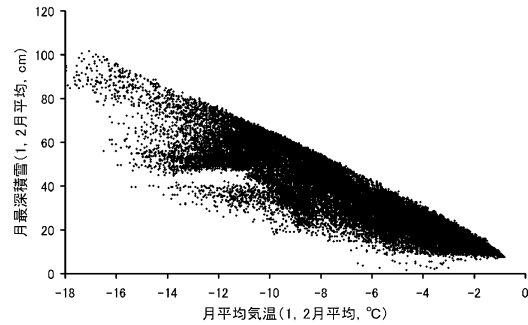


図 1 メッシュ気候値 2000 から $R_{av} < 8$ (kg) の条件で抽出された「しもざらめ雪地域」37377 地点の 1, 2 月平均の月平均気温と月最深積雪の関係。

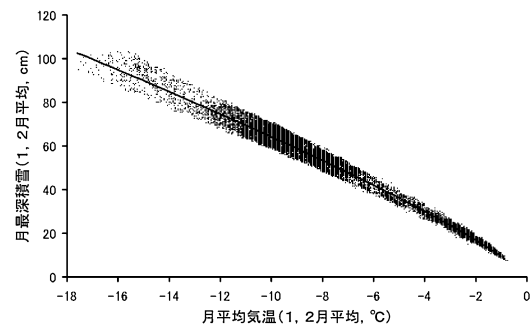


図 2 $R_{av} = 8$ の境界の値と考えられる $9 > R_{av} > 7$ を満たす地点の 1, 2 月平均の月平均気温と月最深積雪の関係と最適曲線。

そこでこの境界を求めることを考える。この場合の境界は $R_{av} = 8$ であるから、境界付近と考えられる $7 < R_{av} < 9$ を満たす地点を抽出して図 1 と同じ座標でプロットしたものが図 2 である。値が図 1 の境界付近に分布していることから、確かに境界を構成する地点であることがわかる。そこで、境界をこれらの点の近似曲線と考えて、それを求めると次の式で表される近似曲線が得られる。

$$H_{J,F} = 9.5 | T_{J,F} |^{0.83} \quad (3)$$

ここで、 $H_{J,F}$, $T_{J,F}$ はそれぞれ 1, 2 月平均の月最深積雪 (cm) と月平均気温 (°C) である。

境界の式が式(3)であるから、「しもざらめ雪地域」の条件は次の不等式で表されることになる。

$$H_{J,F} < 9.5 | T_{J,F} |^{0.83} \quad (4)$$

このように、3月の月最深積雪を用いなくとも、1, 2月の値のみで「しもざらめ雪地域」を区分する条件を表すことができる。また、この式は1, 2月の気候値を用いた平均的な積雪の温度勾配を反映しているので、その意味するところも明瞭である。ちなみに、境界の温度勾配 G を求めてみると、式(3)を利用して下記の式が得られる。

$$G = |T_{J,F}| / H_{J,F} \approx 0.11 |T_{J,F}|^{0.17} \quad (5)$$

この式は境界の温度勾配が気温によって変わることを表し、式(5)から -1°C では $0.11^{\circ}\text{C cm}^{-1}$ 、 -10°C では $0.16^{\circ}\text{C cm}^{-1}$ と気温が低くなるにしたがって、大きな温度勾配でないと「しもざらめ雪地域」になれないことを表している。気温が低くなると、地面の凍結が起り積雪接地面の温度が下がるので、接地面を 0°C と考えて気温から求める温度勾配に比べ実際の温度勾配は小さくなり、その分気温から算出される温度勾配の場合の条件を大きくしなければならないことに対応している。あるいは、気温の高い「しもざらめ雪地域」では温度勾配の条件を満たすために必然的に積雪深が小さくなければならない結果、雪のしまり方が弱いので、積雪内部の水蒸気が移動し易く、しもざらめ雪ができやすいということを反映していると考えられる(遠藤ら, 1976)。どちらも、低い気温の方が、大きな温度勾配を必要とすることを示唆していて、条件式の傾向と一致する。

なお、ここで得られた温度勾配は月最深積雪を

用いていることから、例えば秋田谷・遠藤(1977)で1月の平均的な温度勾配が $0.21^{\circ}\text{C cm}^{-1}$ 以上をしもざらめ雪の発達する地域としているのに比べ小さい値である。ただ、月最深積雪は月平均積雪に比べ1.5~2倍以上となることも多いので、それを考慮すると、得られた温度勾配は妥当な範囲にあると考えられる。

さて次に、式(4)の形で表される区分条件の緩和について検討することになるのだが、それは前節でも述べたように境界 $R_{av}=8$ を大きい方へ上げて行くことに対応する。そこで、ここで行ったことと同様のことを $R_{av}=9\sim 11$ について行くと、それぞれの R_{av} に対して式(4)に対応する緩和された条件式が得られる。表1はそれらの一覧で、それぞれ -1°C と -10°C に対応する温度勾配と合わせて載せたものである。なお、表の最後の欄の「しもざらめ年」の割合については、結果のところで触れることにする。

なお、最適曲線の近似式を求めるために、ここではデータ数が多いメッシュ気候値を用いたが、得られた結果を気象官署とアメダスのデータに適用したところ、従来の式(1)、(2)での区分と1, 2月の値だけの式(4)による区分とはほとんど一致することが確かめられた。実際のデータにおいても置き換えが可能であることがわかったわけであるが、それについてはここでは省略する。

4. 「しもざらめ雪地域」の定義の定量化

これまでの「しもざらめ雪地域」は、厳冬期に

表1 異なる境界 R_{av} (平均ラム硬度, kg) に対応した「しもざらめ雪地域」の区分条件と温度勾配、及びその境界で区分した場合に推定される「しもざらめ年」の割合。

境界の R_{av}	条件の式	温度勾配 ($^{\circ}\text{C cm}^{-1}$) $-1 \sim -10^{\circ}\text{C}$	「しもざらめ年」の割合
1. $R_{av}=8$	$H_{J,F} < 9.5 T_{J,F} ^{0.83}$	0.11~0.16	>~90%
2. $R_{av}=9$	$H_{J,F} < 10 T_{J,F} ^{0.83}$	0.10~0.15	>~80%
3. $R_{av}=10$	$H_{J,F} < 11 T_{J,F} ^{0.84}$	0.09~0.13	>~70%
4. $R_{av}=11$	$H_{J,F} < 12 T_{J,F} ^{0.84}$	0.08~0.12	>~60%

$H_{J,F}$: 1, 2月平均の月平均気温 ($^{\circ}\text{C}$), $T_{J,F}$: 1, 2月平均の月最深積雪 (cm)

しもざらめ雪が著しく発達する地域として定義され、定量的な部分については先の区分条件(1)(2)で示されてきた。その結果、確かに「しもざらめ雪地域」を定量的に抽出できるが、結果として得られた地域がどのような地域なのかがわからず、前に述べたように観測結果と比較して定量的な意味づけを検討しなければならないということが生じた。そこで、ここでは定義そのものの中で「しもざらめ雪地域」を定量的に表すことについて考える。

秋田谷・遠藤(1982)でもそうであるが、調査した年のすべての冬に彼らが定義した“しもざらめ雪地域”となった地域もあれば、うち何年かはそこまで発達しなかった地域もある。このようにその年の冬の有り様によって、しもざらめ雪が発達する年とそうでない年があることは容易に想像できる。温度勾配が大きい地域は、ほぼ毎年しもざらめ雪が発達するだろうし、境界線上にあるような地域では、発達する年もそうでない年もあるだろう。

そこで、「しもざらめ雪地域」を定量的に定義する方法の一つとして、気候的な期間、例えば平年値で一般的な30年の間のうち、何冬期で秋田谷・遠藤(1982)が言う“しもざらめ雪地域”となり得るかを一つの尺度とすることが考えられる。ここでは、そのような年を「しもざらめ年」と呼び、以下では寒冷な割に雪の少ない地点について、過去の気象データから「しもざらめ年」の年数を推定し、その頻度(30年における年数割合)と前節の区分条件との関係から、定量的な定義を検討することにする。

5. 過去の気象データからしもざらめ雪の発達を推定する方法

過去のデータにしもざらめ雪の発達が記録されているわけではない。そこで、ここでは和泉・秋田谷(1986)が本州におけるしもざらめ雪の分布の研究で行ったように、過去の気象データからしもざらめ雪の発達した年を推定することにした。発達の評価は彼らと同じく基本的には秋田谷・遠藤(1982)の式(1)、(2)を使うが、以下に述べるように期間の取り方などに修正を加えた。

気象データを調べて見ると、しもざらめ雪が発

達する地域は一般に雪が少ないので、積雪の中断や2月末日の積雪が無いことが多い。一方、しもざらめ雪の発達には、積雪内に温度勾配が存在する状態で一定の時間経過が必要である。もし、積雪の中断があると発達に必要な時間が不足して発達できない。また、2月末日という特定な日に積雪が無く、しもざらめ雪の発達を評価できないというのも問題である。例えば、その数日前まで積雪があり、しもざらめ雪が発達していた可能性を否定できないからである。積雪の継続については、和泉・秋田谷(1986)でも推定の過程で2月中に中断がある冬は除外するなどの条件を設定しているが、ここでは1月における積雪の中断にも配慮して、次のような条件を満たす時にしもざらめ雪の発達を評価することにした。

まず2月末と言う点は、厳冬期の末、まだ融雪が始まらない前の、しもざらめ雪が十分に発達したと考えられる時期に評価するということであるから、少し緩和して図3に示すように、2月15日から末日までに範囲を広げる。また、積雪の中断については、上記の期間の積雪が存在する日から遡って1ヶ月以上積雪が継続した場合にのみ評価を行うことにする(図3)。ただし、1月1日より前には遡らずに、そこまで積雪がある時は1月1日から計算する。そうして、式(1)の H_1 には継続期間の平均積雪、 T もその間の平均気温、 H_2 は継続最終日(2月末に積雪があれば2月末)の積雪深とした。このようにすると、厳冬期の最低でも一ヶ月間継続した積雪について、その間の温度勾配を反映した評価ができることになる。ただし、最終日の積雪が1、2cmと小さいと、べき乗の数が小さいとは言え、この項が効き過ぎるきらいがある。そこで、最終日積雪が5cm以下の場合は、2月15日から消日までで最も深い時の積雪を H_2 とした。

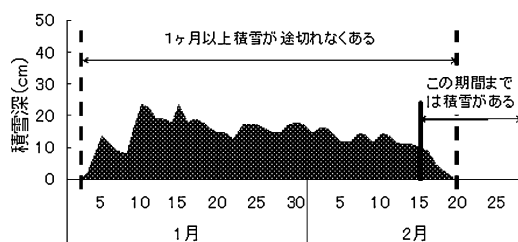


図3 計算の前提となる期間の条件。

6. 「しもざらめ年」となった年数の割合

30 年という長い期間の評価を行うので、対象となる地点を気象官署とし、これまでの基準で「しもざらめ雪地域」とされていた地点及び境界付近と考えられる地点、合わせて 21 の気象官署を対象とした。対象期間は現在の平年値期間である 1971 年から 2000 年の冬、1、2 月である。前節で述べた方法で、各地点の各年毎の積雪の継続状況を調べ、しもざらめ雪の発達具合を推定した。その結果を表 2 に平年値（気象庁、2001）の平均気温の低い順に掲げた。

前にも述べたように、しもざらめ雪が発達する地域は一般に積雪が少ない地域なので、厳冬期に 1 ヶ月以上積雪が連続するという条件を満たさないことも多い。特に気温が高めになると、積雪深がより小さくなければ、しもざらめ雪が発達するのに必要な大きな温度勾配とならない。そうになると、ますます積雪が連続しないことが多くなる。例えば諏訪はその典型的な例で、30 年の間に一冬も先の計算の前提となる条件（積雪が 1 ヶ月以上

継続）を満たさなかった地点である。阿蘇山、八戸、江差などに比べて温度勾配は大きく、「しもざらめ年」の割合が高くなる可能性があるにもかかわらずゼロとなったのは、積雪深が小さいため計算できる冬が無かったという事情が反映した結果である。その他の地点も気温が高めになると、計算対象にならない年が増え、計算した年に対する「しもざらめ年」の割合は高めであっても、「しもざらめ年」の絶対数は少なく、10 年にも満たないことが多い。気温の高い地域でのしもざらめ雪の発達の評価については、上記の難しさがある点に注意する必要がある。

7. 「しもざらめ年」の頻度と気候区分条件の関係

図 4 は先に求めた表 1 の各境界条件のグラフに「しもざらめ年」を推定した気象官署の値を載せたものである。地名の後の括弧の中の数字は、先頭から表 2 のしもざらめ雪が発達したと推定された年数、発達しなかったと推定された年数であ

表 2 気象官署 21 地点の気候値としもざらめ雪が発達したと推定された年数とその割合。

地点名	月平均気温 (1,2月平均) (°C)	月最深積雪 (1,2月平均) (cm)	温度勾配 (°Ccm ⁻¹)	しもざらめ雪 の発達した 推定年数	しもざらめ雪が 発達しなかつ た推定年数	計算できな かった年数	しもざらめ年 の割合 (%)
	A	B	A /B	C	D	E	C/(C+D) × 100
旭川	-7.5	85	0.09	3	27	0	10
帯広	-7.3	51	0.14	23	4	3	85
雄武	-7.0	62	0.11	18	12	0	60
網走	-6.3	47	0.13	22	8	0	73
紋別	-6.2	52	0.12	23	7	0	77
釧路	-5.3	29	0.19	19	1	10	95
稚内	-5.1	72	0.07	6	24	0	20
広尾	-4.8	71	0.07	7	22	1	24
根室	-4.4	25	0.18	18	2	10	90
奥日光	-4.2	32	0.13	13	4	13	76
苫小牧	-3.9	22	0.18	14	0	16	100
軽井沢	-3.5	22	0.16	11	1	18	92
浦河	-2.8	18	0.16	9	2	19	82
函館	-2.7	38	0.07	9	12	9	43
室蘭	-2.2	20	0.11	10	4	16	71
盛岡	-1.9	30	0.06	4	10	16	29
高山	-1.5	41	0.04	8	11	11	42
諏訪	-1.3	14	0.09	0	0	30	0
阿蘇山	-1.2	17	0.07	2	1	27	67
八戸	-1.1	23	0.05	2	4	24	33
江差	-1.0	30	0.03	6	14	10	30

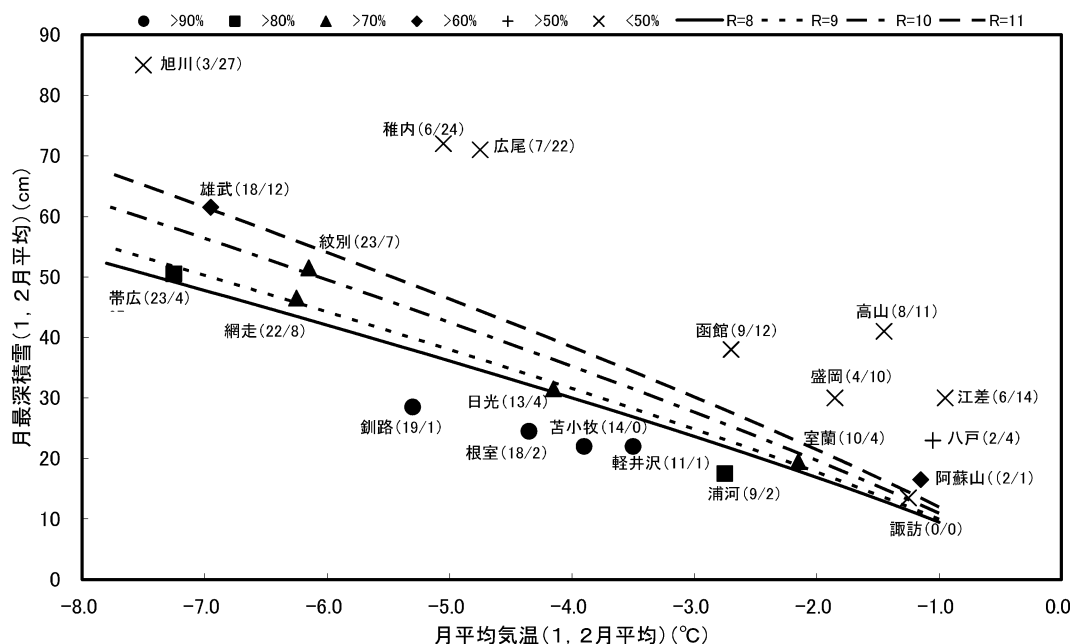


図 4 気象官署 21 地点の 1, 2 月平均の月平均気温と月最深積雪との関係と, $R_{av}=8, 9, 10, 11$ に対応する境界を表す曲線。地点名の記号は, 「しもざらめ年」の割合 (%) を階級別に表し, () 内は左から順に推定された「しもざらめ年」と非「しもざらめ年」を表す。

る。これらの和が評価の可能であった年数であり, 30 からこれらの和を引いた年数は計算できなかった年数となる。

地名に対応した異なる記号は「しもざらめ年」の頻度割合 (%) を階級別に表している。ただし, この割合は表 2 の最後の欄に掲げた, 計算できない年を除外して求めた割合, すなわち計算可能であった年に対する「しもざらめ年」の割合である。境界の線は一番下が, これまでの基準 $R_{av}<8$ に対応したもので, 上に行くに従って表 1 の緩和された条件, すなわちより小さい温度勾配 (より大きい R_{av}) に対応した境界線となっている。

図を見ると, これまでの基準の「しもざらめ雪地域」, すなわち一番下の曲線より下の領域は, 80% 台では 82% の浦河を含んでいるが, 85% の帯広を含まないのに対して, 90% 台のすべての地点を含んでいることから, ほぼ 9 割方「しもざらめ年」となる地域を区分する条件であったことがわかる。その意味では, 前に述べたように, これまでの条件が「しもざらめ雪地域」をより限定的に厳しく区分していることを改めて確認できたと言える。

同様にして寒い地域の計算対象年数の多い地域

に注目して検討すると, 対象の点が少なく荒い推定ではあるが $R_{av}<9$ はおよそ 80%, $R_{av}<10$ は 70%, $R_{av}<11$ は 60% の「しもざらめ年」の頻度割合に対応する区分条件であることがわかる。表 1 の最後の欄はその結果を載せたものである。-1°C 付近の気温の高い領域では, しもざらめ雪が発達するには積雪が小さすぎて, 1 ヶ月以上にわたって積雪が継続する年はまれであり, 境界線より下にあっても, 諏訪のようにゼロと表示するしかない地点や, わずか 3 年しか計算できず, そのうち 2 冬期が「しもざらめ年」となったために 60% 台となる阿蘇山など, 必ずしも先の検討結果と整合しない事情もかいま見られ, 先に述べたように, 高い気温帯では区分条件の難しさを反映した結果となっている。

8. 新しい気候区分とメッシュ気候値 2000 に基づく気候図

これまで述べてきたように, 「しもざらめ雪地域」を平年値算出期間 30 年の間における「しもざらめ年」の頻度 (年数の割合) で定義し, その割合に応じた区分条件を見出すことができた。この

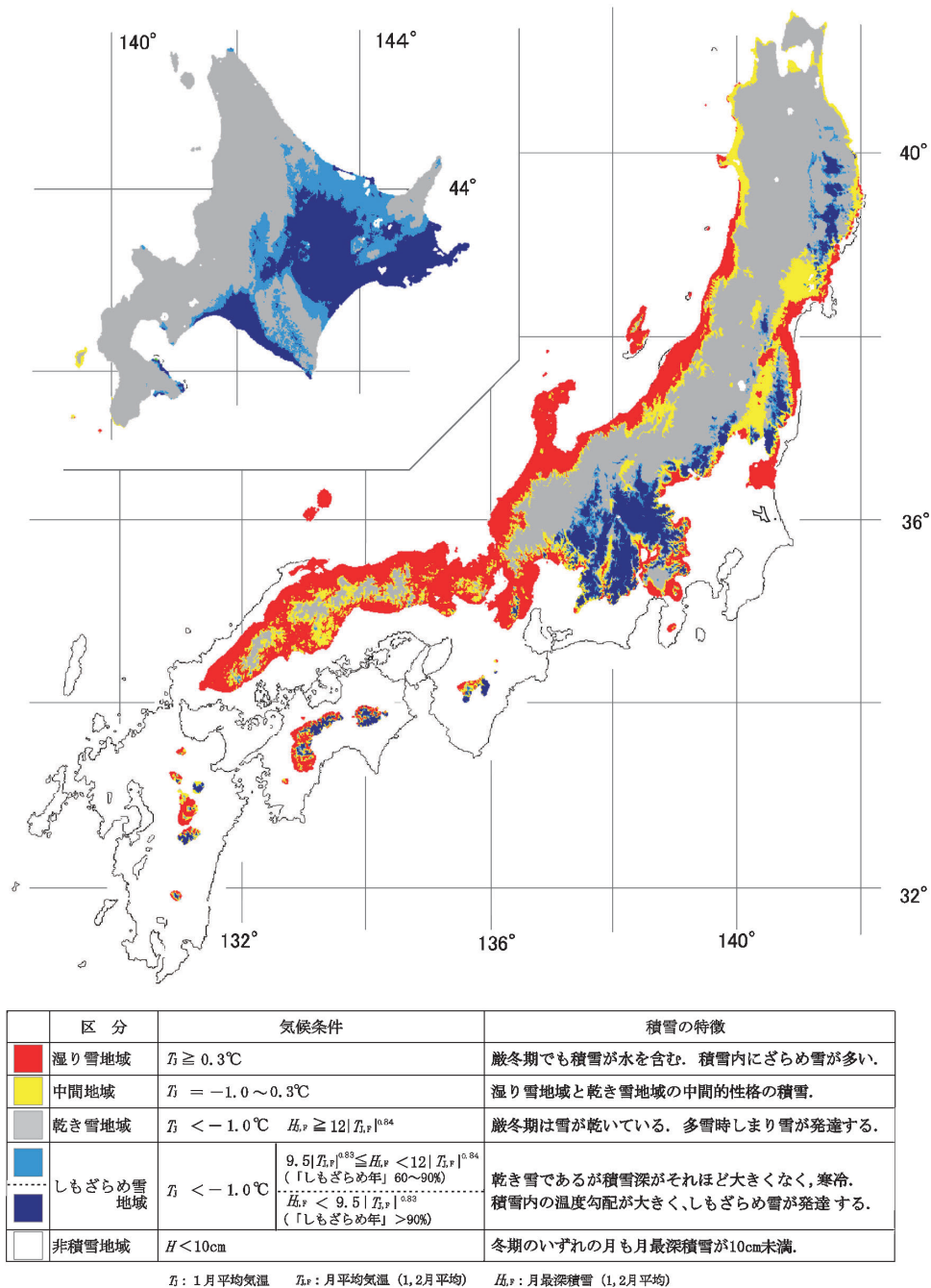


図 5 メッシュ気候値 2000 (気象庁, 2002) に区分条件 (表) を適用して作成した厳冬期の積雪の質的特徴に基づく日本の積雪地域の気候区分図。

新しい「しもざらめ雪地域」の定義を採用し、他のこれまでの区分と合わせ、かつ新しい気候値「メッシュ気候値 2000」(気象庁, 2002) に基づいた日本の積雪地域の積雪の質の気候図を図 5 に示

す。「しもざらめ年」の頻度をどの程度に設定するかは、必要とすることがらによっても変わってくると思われるので、図には「しもざらめ年」の年数割合が 6~9 割と 9 割以上の地域を分けて表現

した。すなわち、気候的に「しもざらめ雪地域」を指すには、6割以上が最大限に緩和した条件と考え、さらにそれ以上を二つに分けたものである。冬期いずれかの月の月最深積雪が 10 cm 以上の地点を積雪地域として区分対象とし、各区分条件と簡単に記した積雪の特徴は、図中の表に示したとおりである。区分の基本的な定義については変更がないので、その詳細な表現については前著(石坂, 1995, 1996)を参照されたい。

図 5 に示された分布は、対象域が拡大したこと、「しもざらめ雪地域」が増えた分「乾き雪地域」が減ったということはあるが、それ以外の気候区分については変更がないので、基本的には旧メッシュ気候値を用いたものと大きくは変わっていない。「湿り雪地域」と「乾き雪地域」の境界は北緯 40° 付近にあり、以南の平野は「湿り雪地域」となり、「乾き雪地域」はある程度標高がないと存在しない。図 6 はそれを「湿り雪地域」の緯度と標高との関係でみたものである。図 6 で示されている「湿り雪地域」の分布の高緯度、高標高側に「乾き雪地域」と「しもざらめ雪地域」が、低緯度、低標高側に「非積雪地域」が、それぞれ部分的に重なりながら存在していることになる。旧メッシュ気候値(積雪)(気象庁, 1996)では対象外であり、今回新たに加わった対象域、紀伊、四国、九州については、北緯 34° 以南から標高ゼロ付近の「湿り雪地域」が無くなることから、これらの平野部はすべて「非積雪地域」であることがわかる。そのことは図 5 の気候図からも明瞭で、これらの地域では、積雪地域はごく狭い山岳地域に限られている。ただ、その狭い中にこの後述べるように「しもざらめ雪地域」が存在していることが注目される。

「しもざらめ雪地域」は、道東、北上高地及び盆地、佐久盆地を中心とした長野県の中央部から南部山岳(この部分は新たに加わった部分が多い)にかけて存在している(図 5)。特に道東では緩和した場合の面積(明るい青色)が大きくなっている。これは図 4 のグラフで「しもざらめ年」の頻度が 6 割以上と 9 割以上に対応する境界の二曲線が、低温域側で次第に離れて両者の間隔が広がっていることと関係している。すなわち、道東の地点の多くがこの広がった間隔の間に入るので

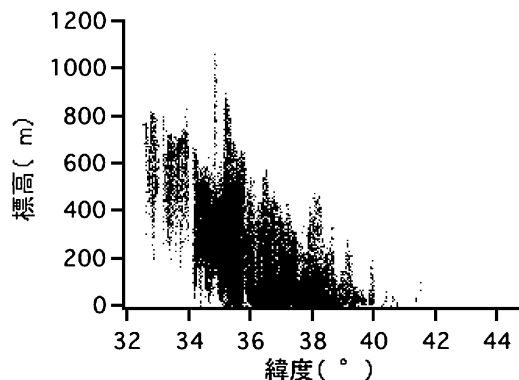


図 6 「湿り雪地域」に属する地点の緯度と標高の関係。

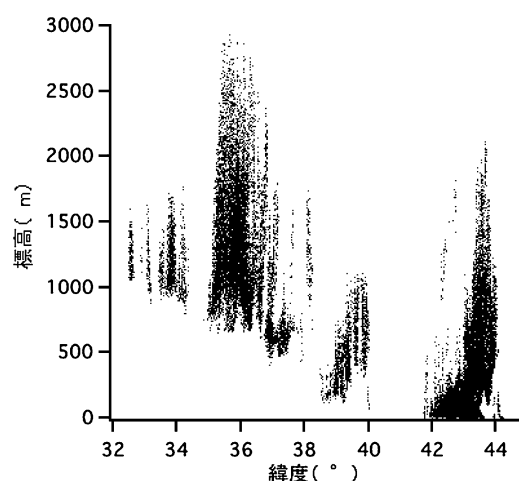


図 7 「しもざらめ雪地域」に属する地点の緯度と標高の関係。

ある。

さらに、上述したように、紀伊、四国、九州の山地のごく一部に「しもざらめ雪地域」が見られる。図 7 に「しもざらめ雪地域」の緯度と標高の関係を示したが、これらの地域の「しもざらめ雪地域」は、およそ 1000 m からそれ以上に分布していることがわかる。これら山域より北にある中国山地がなく、より南の山域にあることは興味深い。九州、四国の山域の方が中国地方のそれより標高が高いこともあるが、中国地方では標高の高い所では寒冷ではあっても一般的に積雪も多いことが一つの要因と考えられる。ただ、メッシュ気候値はあくまでも推定値であり、特に高標高域での誤差は大きいと考えられるので、実際について

はそれぞれ検証される必要がある。とはいえ、紀伊、四国、九州の「しもざらめ雪地域」は北海道などのそれと比べ相対的に気温が高く積雪深も小さいので、前に述べたように積雪の継続が困難な地域であり、検証自体が難しいことも否めない。ただ、図5の気候図でも示されている四国の剣山については、和泉・秋田谷(1986)がその存在の可能性に触れていることから、ここで得られた推定は大きく違ってはいないと思われる。

次に、日本全体の積雪地域の分布が明らかになったので、各積雪区分の占める面積比率を求めてみる。メッシュ数は厳密ではないがほぼ面積に対応していると考えられるので、メッシュ数の割合で占有面積を算出してみると、積雪地域がおおよそ65%に対して非積雪地域は約35%となり、日本の国土のおよそ三分の二を積雪地域が占めている。積雪地域の中での割合では、「湿り雪地域」は18%あまり、「中間地域」10%、残る約72%を「乾き雪地域」と「しもざらめ雪地域」が占めている。「しもざらめ雪地域」をここで示した年数割合が6割以上という緩和した条件で区分すると「しもざらめ雪地域」、「乾き雪地域」が積雪地域の中で占める割合は、それぞれ23%と49%となる。ちなみに従来の区分に近い「しもざらめ年」頻度9割以上の場合、それぞれ15%と57%となり、6割以上まで緩和することによって「しもざらめ雪地域」の面積が1.5倍となることがわかる。

その他、本気候図は数値情報を背景としているので、気候的あるいは地理的な情報を利用してさまざまことがわかるが、それについては改めて別に論じることにはしたい。

9. おわりに

日本の積雪地域の厳冬期の積雪の質的特徴に基づいた気候区分概念の一つである「しもざらめ雪地域」の定義および気候条件について再検討した。定義の気候的意味づけを明確にするため、しもざらめ雪の発達する地域とその境界付近の気象官署の30年間の冬期について、しもざらめ雪が発達する年である「しもざらめ年」の割合を推定した。そして、その結果と区分条件とを比較することによって、「しもざらめ雪地域」を気候的な期間(30年間)での「しもざらめ年」の一定以上の年数割合

で定義して、それに対応する区分条件を提案することができた。区分条件は、気候的な雪中温度勾配を反映したもので、「しもざらめ雪」の発達と関係する指標としては適切な表現と言える。

そして、新たな「しもざらめ雪地域」の定義と従来の気候区分とを合わせて、それらを最新のメッシュ気候値であるメッシュ気候値2000(気象庁, 2002)に適用して、積雪の質の気候図を作成した。積雪の量の気候図は既に、年最深積雪の分布図(気象庁, 2003)としてあるので、この両者によって、日本の積雪の堆積環境を表す質と量の両方の気候図が得られたことになる。これらの質と量とが全く無関係ではないことは、既に筆者が論じた気温、降水量、積雪深の関係(石坂, 2006a, 2007)や気候変動に対する応答(Ishizaka, 2004)の中に反映されていることからわかる。もちろん、変化の激しい雪を筆者が提案する比較的単純な区分だけで表すことは充分ではないと思われるが、雪国の生活、防災、雪と動植物の関係などの自然との関わりには、積雪の量と質の両面が反映していると考えられるので、それらのことを検討する時、ここで提案した気候図が役に立つはずである。

謝 辞

本研究過程の中で行われた各気象官署の30年間の毎年1, 2月の毎日の積雪データから、積雪の中断の有無を調べる作業は大変骨の折れるものであり、これについては防災科学技術研究所雪氷防災研究センターの三浦美枝子氏に負うところ大であった。また、気候図の作成の過程では、旧メッシュ気候値と同様、新しいメッシュ気候値についてもデータベース化し検索の利便性を高めたが、それについては富山コンピュータ専門学校の小林敏一氏にご指導いただいた。また、論文作成にあたっては、二人のレフリーおよび編集担当者から有益な助言をいただき論文に反映させることができた。ここに記して感謝申し上げる。

なお、本研究は科学研究費補助金(課題番号18500787)によるものである。

文 献

秋田谷英次・遠藤八十一, 1977: 石狩・空知地方の積雪調査. 低温科学, 35, 105-115.

- 秋田谷英次・遠藤八十一, 1980: 北海道平野における厳冬の積雪特性. 低温科学, **39**, 55-61.
- 秋田谷英次・遠藤八十一, 1982: 北海道内平地における積雪特性. 昭和 54-56 年北海道大学特定研究経費研究成果報告書, 1-17.
- 遠藤八十一・秋田谷英次・高橋 徹・和泉 薫, 1976: 石狩・勇払平野における積雪の特性. 低温科学, **34**, 133-145.
- 石坂雅昭, 1995: メッシュ気候値から推定した日本の雪質分布. 雪氷, **57**, 23-34.
- 石坂雅昭, 1996: 日本の冬の気候と積雪の地域性. 雪氷, **58**, 4, 329-338.
- Ishizaka, M., 1998: New categories for the climatic division of snowy areas in Japan. Ann. Glaciol., **26**, 131-137.
- Ishizaka M., 2004: Climatic response of snow depth to recent warmer winter seasons in heavy-snowfall areas in Japan. Ann. Glaciol., **38**, 299-304.
- 石坂雅昭, 2006a: 温暖な積雪地域「湿り雪地域」における月最深積雪の平年値の上限について. 雪氷, **68**, 179-190.
- 石坂雅昭, 2006b: メッシュ気候値 2000 における「しもざらめ雪地域」の気候条件について. 寒地技術論文・報告集, **22**, 12-15.
- 石坂雅昭, 2007: 日本の積雪地域の月平年値における積雪・気温・降水量間の関係. 雪氷, **69**, 591-599.
- 和泉 薫・秋田谷英次, 1986: 本州におけるしもざらめ雪の分布. 雪氷, **48**, 199-206.
- 気象庁, 1996: メッシュ統計値 (旧メッシュ気候値). 気象庁観測平年値 (CD-ROM), 気象業務支援センター.
- 気象庁, 2001: 平年値 統計期間 1971~2000 年 (CD-ROM). (財)気象業務支援センター.
- 気象庁, 2002: メッシュ気候値 2000 統計期間 1971~2000 年 (CD-ROM). (財)気象業務支援センター.
- 気象庁, 2003: 日本気候図 2000 年版 統計期間 1971~2000 年 (CD-ROM). (財)気象業務支援センター.

Reassessment of climatic conditions in “depth-hoar region” and new map for climatic division of snow-covered areas in Japan based on the new conditions

Masaaki ISHIZAKA¹⁾

*1) Snow and Ice Research Center, National Research Institute for
Earth Science and Disaster Prevention,
Suyoshi, Nagaoka, 940-0821*

Abstract: The depth-hoar region is one of the categories introduced by the author for the climatic division of the snow-covered areas in Japan based on the snow-cover character in mid-winter. In this study, to clarify the climatic implications of the definition of the depth-hoar region, we determined the number of winter seasons in which depth hoar developed to a significant level that was distinguishable as the “depth-hoar region.” Data were obtained from 21 official meteorological observation sites for the 30 years from 1971 to 2000, and were analyzed using the diagnostic formula introduced by Akitaya and Endo (1982). As a result, we could derive a new climatic condition that distinguishes the depth-hoar region from the others and that corresponds to a new definition, representing the frequency of “depth hoar developing significantly in the winter season” over the 30 years.

We also present a new digital cartographic map for climatic division that reflects the new definition for the depth-hoar region, using Mesh Climatic Data 2000, newly developed mesh climatic data published by Japan Meteorological Agency.

(2007 年 9 月 5 日受付, 2007 年 11 月 13 日改稿受付, 2007 年 11 月 19 日再改稿受付, 2007 年 11 月 20 日受理
討論期限 2008 年 7 月 15 日)