

日降雪深の発生頻度の簡易推定手法

松下 拓樹 高橋 渉

1. はじめに

大雪（図-1）などの災害に関わる現象の規模と発生頻度を把握することは、防災や減災の対策を計画する上で重要である。現象の発生頻度は、一般的には確率密度関数を用いた統計的手法^{1) - 5)}により推定されるが、この手法により頻度解析を行うためには、データのプロット方法の選定や各種パラメーターの設定、確率分布への適合性評価等が必要となる^{1) - 8)}。

一方、任意の間隔で発生する自然現象の規模と発生数は、指数分布やべき乗の関係で近似できることが古くから知られている^{例えは9) - 11)}。そこで、著者らは、この方法を応用して、ひと降り降雪事例^{12), 13)}や雪崩発生条件を満たす降雪事例^{14), 15)}の発生頻度に関して検討を行った。その結果、降雪深とその発生頻度の対数に対して回帰分析を行うことで、降雪深の発生頻度を推定する式を簡便に得る手法を示した。

本稿では、気象庁ホームページ¹⁶⁾より入手が容易であり、日々の生活や除雪等の対策に直結する日降雪深に対して同様の解析を行い、日降雪深の発生頻度の推定式を求めた結果を報告する。

2. データと解析方法

2. 1 データ

降雪深の頻度解析に用いたデータは、気象庁の73の気象観測地点¹⁶⁾（図-2）における日降雪深である。



図-1 大雪の事例（2012年2月13日、岩見沢）
2012年2月12日に最深積雪の観測史上1位（208cm）を記録。

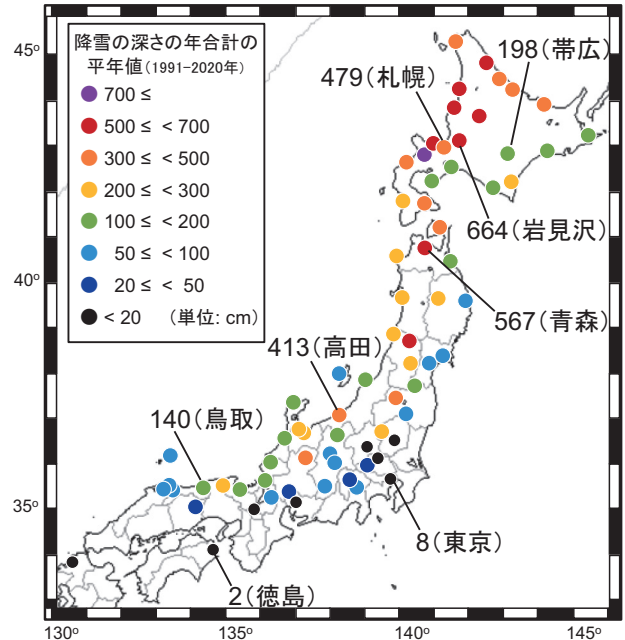


図-2 解析を行った気象観測地点の年降雪深の平年値
平年値とは、1991～2020年の30年間の平均値。

これらの地点は、少なくとも1961年11月1日から継続的にデータが存在する地点で、過去の最深積雪の最大値が30cm以上の地点から選んだ。

解析に用いたデータの期間は、11月から翌年4月までの期間を一冬季として、観測地点により異なるが2021年4月までの60冬季（年）～82冬季（年）である。なお、降雪深の観測方法は、この期間中、雪板を用いた目視観測から積雪深計による自動観測に変更されている¹⁷⁾。しかし、ここでは観測方法の違いは区別せずに、全期間の日降雪深に対して解析を行った。

2. 2 解析方法

解析には、日降雪深が1cm以上のデータを用いた。まず、各観測地点における日降雪深 S の5cmごとの階級（例えば、1cm以上5cm未満、5cm以上10cm未満など）の日数 n （度数）を求めた（図-3aの棒グラフ）。そして、日降雪深 S の大きい階級から日数 n を累積した値 N を求めた（図-3aの線グラフ）。この累積値 N を観測年数で除した値を、ここでは発生頻度 $F(s \geq S)$ （日

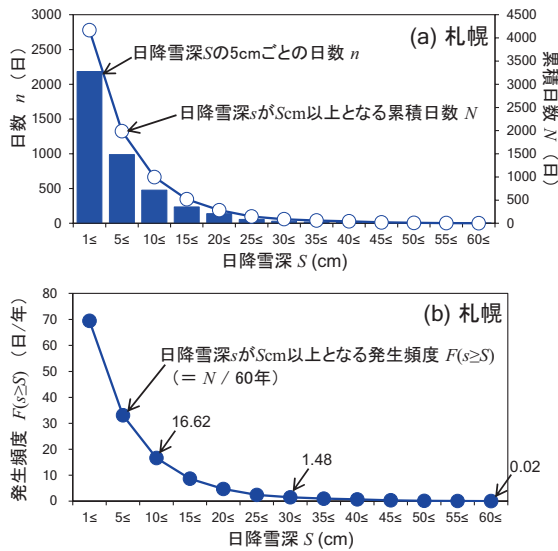


図-3 札幌における日降雪深の発生頻度の算出例

日降雪深 S の (a) 5cm ごとの日数 n と累積日数 N 、(b) 任意の日降雪深 s が S cm以上となる発生頻度 $F(s \geq S)$ 。

/年)とした(図-3bの線グラフ)。この発生頻度 $F(s \geq S)$ の意味は、任意の日降雪深 s が S cm以上となる1年あたりの日数である。次に、任意の日降雪深 s が S cm以上となる発生頻度を推定する式を得るため、発生頻度の常用対数 $\log F(s \geq S)$ と日降雪深 S の関係に対して回帰分析を行った。最後に、回帰分析により得た推定式(回帰式)の推定精度を調べた。

3. 結果

3.1 観測値から得た日降雪深の発生頻度

図-3bは、解析例として、札幌における60年間の観測値から求めた日降雪深の発生頻度 $F(s \geq S)$ を示す。日降雪深 S が大きいほど発生頻度 $F(s \geq S)$ は急激に低下し、日降雪深が10cm以上、30cm以上、60cm以上となる発生頻度は、それぞれ16.62(1年に約16日)、1.48(2年に約3日)、0.02(50年に1日)である。

図-4に、各観測地点の観測値から求めた日降雪深10cm以上および30cm以上の発生頻度を示す。発生頻度の高い地域は、北日本と本州の日本海側の地域であり、基本的には年降雪深の地域分布(図-2)に類似している。ただし、周囲に比べて局所的に発生頻度の高い地点(例えば、青森や高田など)がみられる。

3.2 日降雪深の発生頻度の推定式

図-5に、回帰分析結果の例として、8つの観測地点における日降雪深 S と発生頻度 $F(s \geq S)$ の関係を示す。

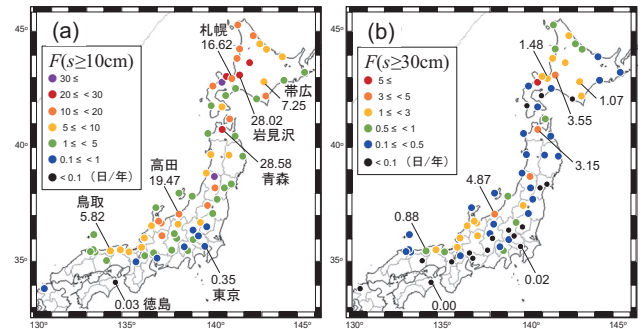


図-4 観測値から得られた日降雪深の発生頻度の分布
日降雪深 s が、(a) 10cm以上と (b) 30cm以上の場合。

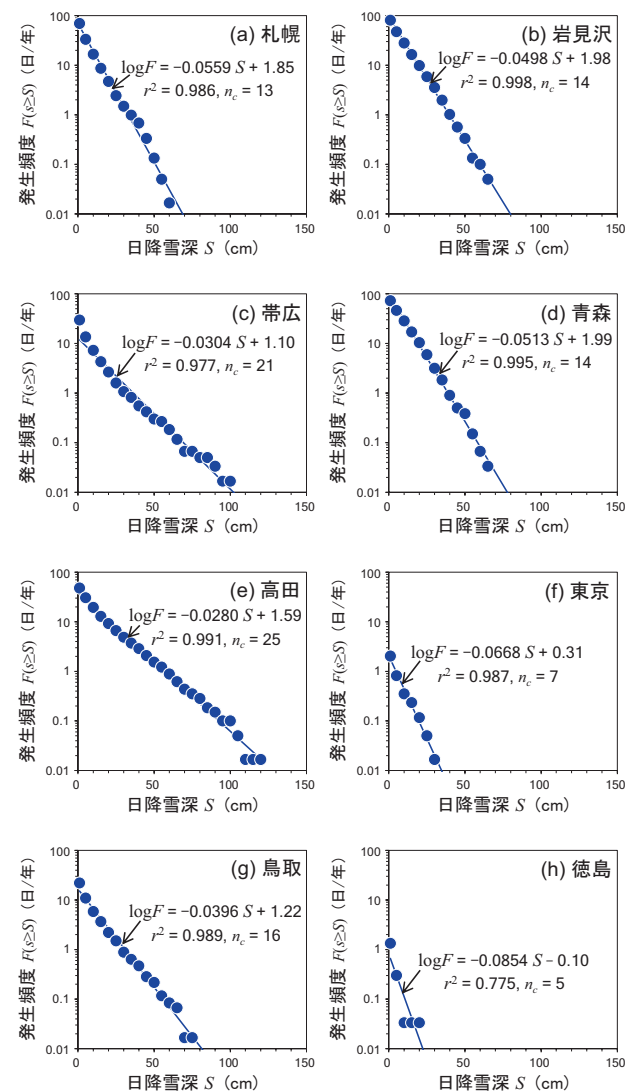


図-5 日降雪深 S と発生頻度 $F(s \geq S)$ の関係

プロット(●)は観測値、実線は回帰直線、 r^2 は決定係数、 n_c は日降雪深 S の5cm間隔の階級数。各観測地点(a)~(h)の位置は図-4aを参照。

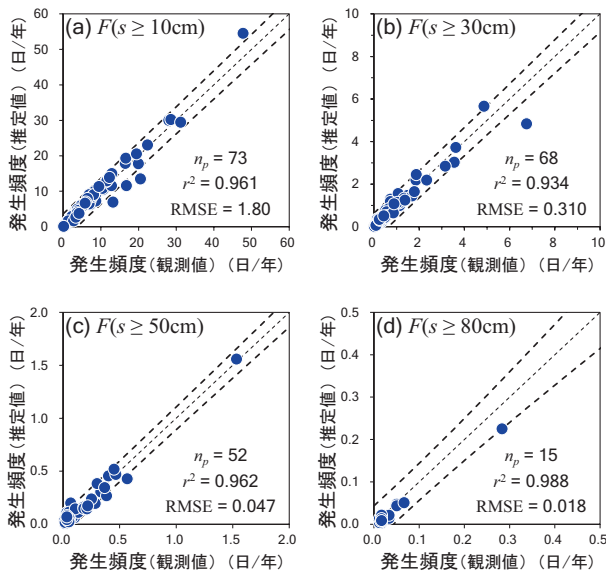


図-6 発生頻度の観測値と回帰式による推定値の比較

日降雪深 s が、(a) 10cm以上、(b) 30cm以上、(c) 50cm以上、(d) 80cm以上の例。 n_p は地点数、 r^2 は決定係数、RMSEは二乗平均平方根誤差、太破線は推定値の95%予測区間。

縦軸の発生頻度は対数スケールで示し、図中の実線は回帰直線、 r^2 は決定係数（相関係数 r の二乗）である。日降雪深の発生頻度を推定するための回帰式は、式(1)に示すように発生頻度の対数 $\log F(s \geq S)$ の形で示す。

$$\log F(s \geq S) = aS + b \quad (1)$$

ここで、 a と b は係数である。図-5より、各観測地点ともに日降雪深 S と発生頻度の対数 $\log F(s \geq S)$ の間に明確な直線関係がみられ、図中に示す回帰式(式(1))は観測値との対応が非常によいことがわかる。特に、日降雪深の小さい値から大きな値までの発生頻度を一つの直線で表すことができる。この関係は、徳島(図-5h)を除き、統計的に有意(いずれも有意水準1%)である。徳島は、極めて降雪の少ない地点(図-2)の一つであり、日降雪深1cm以上のデータ数が少ないため決定係数 r^2 は0.8を下回った。

図-6は、73地点の回帰式から求めた発生頻度の推定値と観測値を比較した結果である。観測値と推定値は概ね等値線上に分布しており、決定係数 r^2 は0.9以上で、発生頻度の推定値と観測値との対応は非常によい。図-7aに、発生頻度の推定値と観測値の決定係数 r^2 と二乗平均平方根誤差RMSEを日降雪深ごとにまとめた。日降雪深が大きくなるほど発生頻度の観測値が

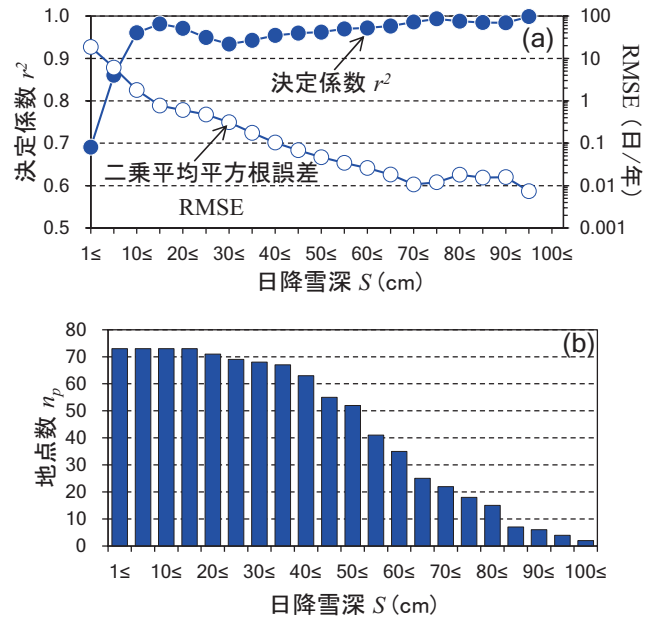


図-7 日降雪深と決定係数 r^2 とRMSE、地点数

日降雪深 S ごとに、(a) 発生頻度の観測値と推定値との決定係数 r^2 とRMSE、(b) 地点数 n_p を示す。

得られる地点数は少なくなるが(図-7b)、回帰式による発生頻度の推定値と観測値の決定係数 r^2 (図-7a)は全体的に高く、いずれも統計的に有意(有意水準1%)である。ただし、日降雪深が5cm以下の場合、決定係数 r^2 は0.9を下回る。二乗平均平方根誤差RMSEは、日降雪深が5cmの場合で6.16(1年あたり6日以上)と大きいですが、日降雪深が10cm以上の場合では2.0以下となる。よって、図-7aより、日降雪深が10cm以上の場合で $r^2 \geq 0.9$ 、 $RMSE \leq 2.0$ となり、特に高い精度で日降雪深の発生頻度を推定できるといえる。

以上、本稿で提案する方法により、簡便に日降雪深の発生頻度の推定式を得ることができる。表-1に、解析を行った各地点における日降雪深の発生頻度 $F(s \geq S)$ を推定するための式(1)の係数 a 、 b を示す。

4. 議論

4. 1 本手法の応用について

本稿で提案した手法は、連続したひと降りの降雪深や任意の期間の降雪深(例えば、12時間や36時間降雪深など)に対しても適用できる^{12), 13)}。また、この手法は、降雪時の気温などで条件分けした降雪事例に対しても成り立ち、雪崩発生条件を満たす降雪事例の発生頻度の推定においても活用することができる^{14), 15)}。

表-1 日降雪深の発生頻度 $F(s \geq S)$ の推定式の係数 a と b

各観測地点の式(1)の係数 a と b 、観測年数、解析日数、階級数を示す。決定係数 r^2 の“*”は、有意水準1%であること示す。

観測地点名	観測年数	解析日数	階級数	係数 a	係数 b	r^2
稚内	60	4630	13	-0.0597	1.773	0.987 *
北見枝幸	60	5545	15	-0.0557	1.807	0.986 *
旭川	60	5371	12	-0.0682	2.045	0.998 *
羽幌	60	5031	17	-0.0475	1.540	0.950 *
留萌	60	4628	12	-0.0601	1.853	0.998 *
札幌	60	4169	13	-0.0559	1.845	0.986 *
岩見沢	60	4841	14	-0.0498	1.976	0.998 *
小樽	60	5092	17	-0.0521	1.651	0.931 *
倶知安	60	6127	14	-0.0526	2.263	0.982 *
寿都	60	3991	11	-0.0732	1.794	0.995 *
雄武	79	5421	15	-0.0517	1.443	0.967 *
紋別	60	3793	12	-0.0611	1.608	0.990 *
網走	60	3562	10	-0.0615	1.571	0.982 *
根室	60	1732	12	-0.0558	1.114	0.962 *
釧路	60	1432	12	-0.0489	1.125	0.970 *
帯広	60	1781	21	-0.0304	1.104	0.977 *
広尾	60	2248	20	-0.0341	1.364	0.992 *
苫小牧	60	2029	10	-0.0740	1.390	0.983 *
室蘭	60	2329	10	-0.0699	1.254	0.952 *
浦河	60	1797	8	-0.0877	1.331	0.976 *
函館	60	3553	13	-0.0647	1.507	0.949 *
江差	60	2559	8	-0.0935	1.492	0.974 *
むつ	60	3968	19	-0.0385	1.227	0.891 *
青森	60	4345	14	-0.0513	1.994	0.995 *
深浦	60	3196	9	-0.0857	1.631	0.990 *
八戸	72	2217	13	-0.0540	1.166	0.979 *
秋田	67	3605	11	-0.0684	1.542	0.975 *
盛岡	68	2715	9	-0.0786	1.678	0.974 *
宮古	60	902	13	-0.0459	0.978	0.975 *
石巻	60	765	9	-0.0741	1.019	0.986 *
仙台	60	932	8	-0.0796	1.160	0.985 *
酒田	60	2621	11	-0.0656	1.473	0.988 *
新庄	60	4693	18	-0.0449	1.918	0.995 *
山形	60	3056	11	-0.0662	1.697	0.996 *
福島	60	1482	11	-0.0663	1.308	0.990 *
若松	60	3049	20	-0.0337	1.401	0.982 *
白河	60	1281	11	-0.0599	1.114	0.985 *

観測地点名	観測年数	解析日数	階級数	係数 a	係数 b	r^2
奥日光	60	2646	17	-0.0439	1.249	0.953 *
宇都宮	60	242	6	-0.0794	0.622	0.987 *
前橋	60	204	9	-0.0604	0.476	0.977 *
熊谷	60	180	9	-0.0593	0.383	0.982 *
秩父	60	435	12	-0.0456	0.655	0.972 *
東京	60	122	7	-0.0668	0.314	0.987 *
長野	60	1921	11	-0.0655	1.431	0.996 *
松本	60	847	13	-0.0472	0.931	0.983 *
諏訪	60	875	9	-0.0712	1.151	0.991 *
飯田	60	633	11	-0.0602	0.811	0.958 *
甲府	84	323	17	-0.0328	0.205	0.906 *
河口湖	84	1043	17	-0.0342	0.871	0.977 *
名古屋	60	189	5	-0.1135	0.621	0.982 *
高山	60	2787	13	-0.0488	1.592	0.966 *
岐阜	60	421	8	-0.0616	0.794	0.993 *
相川	60	1244	9	-0.0733	1.192	0.988 *
新潟	60	1693	13	-0.0530	1.307	0.991 *
高田	60	2879	25	-0.0280	1.593	0.991 *
伏木	60	2058	15	-0.0475	1.587	0.992 *
富山	60	2034	17	-0.0401	1.544	0.997 *
輪島	60	1748	11	-0.0620	1.317	0.993 *
金沢	66	2056	17	-0.0441	1.374	0.982 *
福井	81	2545	13	-0.0449	1.407	0.988 *
敦賀	60	1293	16	-0.0402	1.303	0.988 *
彦根	60	826	11	-0.0515	1.180	0.996 *
舞鶴	60	1288	13	-0.0513	1.354	0.995 *
京都	60	265	4	-0.1257	0.709	0.990 *
豊岡	60	1775	17	-0.0419	1.474	0.990 *
津山	60	650	9	-0.0683	0.895	0.988 *
西郷	60	1266	11	-0.0555	1.151	0.972 *
松江	60	964	19	-0.0327	0.547	0.865 *
境	60	1039	15	-0.0445	0.874	0.938 *
米子	60	1103	16	-0.0434	1.012	0.962 *
鳥取	60	1320	16	-0.0396	1.219	0.989 *
徳島	60	80	5	-0.0854	-0.095	0.775
福岡	60	104	4	-0.1203	0.290	0.991 *

また、期間を分けて解析を行うことにより、近年の降雪状況が過去に比べてどのように変化しているのかを調べることもできる。本手法は、降雪に関わる様々な現象の発生頻度の解析に広く応用できると考えられる。

4. 2 日降雪深の平均的な発生間隔

発生頻度 F の逆数 $(1/F)$ は、平均的な発生間隔 RP (年)である(確率統計では再現期間と呼ぶ)。図-8は、発生間隔 RP (年)に対して、発生頻度(図-5)と同様の解析を行った結果である。図-8より、高い精度で任意の間隔で出現する日降雪深を推定できる

ことがわかる。また、図-8のように、発生間隔を軸にとった方が、日降雪深の発生頻度をイメージしやすい。例えば、30年に1回の頻度で出現する日降雪深は、札幌で59.1cm、岩見沢で69.3cm、帯広で84.2cm、高田で109.3cm、東京で26.7cmなどであることが図から容易にわかる。図-8の回帰式は、 c と d を係数として、

$$S = c \log RP(s \geq S) + d \quad (2)$$

となり、 c と d は、式(1)の係数 a と b から次のように近似的に求めることができる。

$$c = -1/a \quad (3)$$

$$d = -b/a \quad (4)$$

よって、本稿で解析した73地点の日降雪深の平均的な発生間隔 RP は、表-1の係数 a と b を用いて求めることができる。

4. 3 解析上の留意点

本稿で示した方法は簡便だが、次の留意点がある。まず、データ数や突出したデータに応じた適切な階級幅を設定することが必要である。特に、降雪深の大きいデータ数が少ない場合や1つだけ突出して大きいデータがある場合に、細かい階級幅で解析すると、同じ発生頻度の階級が続くことになる。そのため、降雪深と発生頻度の関係図において、データが階段状に分布して(例えば、図-5hの徳島など)、回帰直線と観測値が外れる場合がある。

次に、可能な限り長い期間のデータを活用し、降雪深の大きいデータを十分に含むことが望ましい。もし、降雪深の大きいデータを含まない場合や、短い期間の観測データを使う場合は、大きい降雪深の発生頻度が外挿近似で求められたものであることに留意する必要がある。

以上、他の留意点について、著者らの既報^{12) - 15)}や極値統計に関する文献^{例えは1) - 3)}も参照していただきたい。

5. おわりに

本稿では、簡便に日降雪深の発生頻度の推定式を得る方法を提案した。この方法は、降雪や大雪に関連す

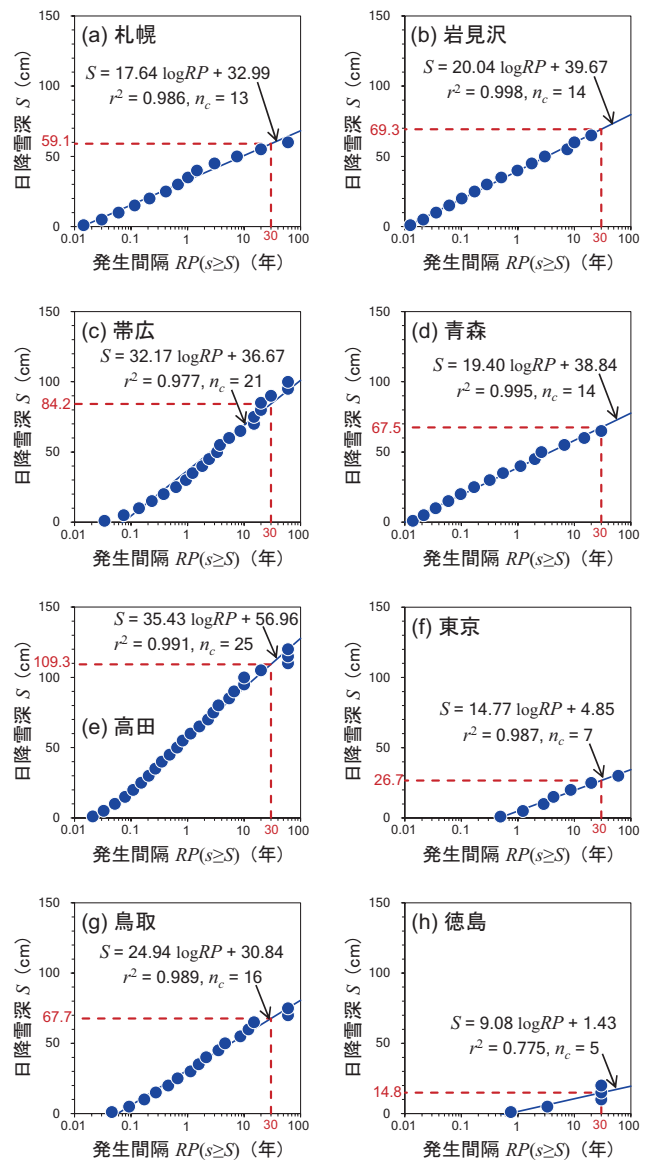


図-8 日降雪深 S と発生間隔 $RP(s \geq S)$ の関係

プロット(●)は観測値、実線は回帰直線、 r^2 は決定係数、 n_c は日降雪深 S の5cm間隔の階級数。図-5と同じ地点を示す。発生間隔 RP が30年の日降雪深 S を赤破線で示した。

る対策に広く活用することができると考えられる。例えば、除雪体制を計画するための降雪深とその頻度の推定や、融雪施設的设计降雪深の算出、建築物の屋根雪荷重の算定などにも活用することができる。また、予め降雪深とその発生頻度の関係式を求めておくと、今後予想される降雪深が、これまでに経験のない稀な降雪なのかを事前に把握することができる。これにより、大雪や雪崩などに対する予防的対策や事前準備の参考資料として用いることも、本手法の活用可能性の一つとして考えられる。

参考文献

- 1) Wilks, D. S. : *Statistical methods in the atmospheric sciences* (4th ed.) , Elsevier, p.818, 2019.
- 2) Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis : *Regional frequency analysis: An approach based on L-moments*, Cambridge University Press, p.224, 1997.
- 3) 藤部文昭、山田道夫 (編集) : 極値統計、気象研究ノート、第242号、p.79、2020.
- 4) 和泉正哲、三橋博三、高橋 徹 : 年最大積雪深の率統計的性質と再現期間値推定法、日本建築学会構造系論文報告集、第390号、pp.49-58、1988.
- 5) 大西雄基、水野 量 : L-momentsを用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における年最深積雪の再現期待値、気象庁研究時報、60巻、pp.35-74、2008.
- 6) Makkonen, L. : Plotting positions in extreme value analysis, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol.45, pp.334-340, 2006.
- 7) 藤部文昭 : 極値分布関数の適合度評価に関する検討、天気、Vol.58、pp.765-775、2011.
- 8) 藤部文昭 : 日本における降水量の極値パラメータの広域分布特性、天気、Vol.61、pp.81-90、2014.
- 9) Gutenberg, B., and C. F. Richter: Frequency of earthquakes in California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.34, No.4, pp.185-188, 1944.
- 10) 藤井陽一郎 : 豪雨による崩壊地の大きさの頻度分布、地震、22巻、3号、pp.244-247、1969.
- 11) Selvam, A. M. , : *Self-organized criticality and predictability in atmospheric flows: The quantum world of clouds and rain*, Springer, p.139, 2017
- 12) 松下拓樹、高橋 渉、高橋丞二 : 降雪の発生頻度に関する簡易評価手法、寒地技術論文・報告集、Vol.34、pp.147-152、2018.
- 13) 松下拓樹、高橋 渉、高橋丞二 : 降雪の発生頻度に関する簡易評価手法 (2) 、寒地技術論文・報告集、Vol.35、pp.73-78、2019.
- 14) 松下拓樹、高橋 渉、高橋丞二 : 雪崩発生条件を満たす降雪事例の頻度解析、寒地土木研究所月報、No.792、pp.2-10、2019.
- 15) 松下拓樹、高橋 渉、高橋丞二 : 気象データを用いた短時間多量降雪時の雪崩発生頻度の推定、寒地土木研究所月報、No.807、pp.2-9、2020.
- 16) 気象庁 : 過去の気象データ・ダウンロード、<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2021年7月1日閲覧) 、2021.
- 17) 気象庁 : 気象観測統計の解説、p.133、2021.



松下 拓樹
MATSUSHITA Hiroki

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
主任研究員
博士(理学)
気象予報士



高橋 渉
TAKAHASHI Wataru

寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
雪氷チーム
研究員
(現 北海道開発局
函館開発建設部
函館道路事務所
第2工務課
第1工務係長)