

短時間多量降雪事例の発生頻度評価手法について

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○松下 拓樹
高橋 渉
高橋 丞二

大雪の規模や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にあたり重要である。これまでに著者らは、数箇所の事例解析から降雪事例の規模（降雪深）と発生頻度を指数関係で近似して、簡便に発生頻度を推定する式を得る手法を提案した。本論文では、この手法を日本国内の積雪地域の降雪事例に応用させることを目的として、気象庁の270箇所のアメダスデータを用いて解析した結果を報告する。

キーワード：降雪深、多量降雪、短時間、発生頻度

1. はじめに

大雪などの災害に関わる現象の規模や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にあたり重要である。災害に関わ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学的手法により推定される場合が多いが、データのプロット方法の検討や各種パラメータの設定、確率分布への適合性評価などが必要となる⁹⁾。一方、ある閾値以上の自然現象の規模と発生頻度は、指数分布やべき乗の関係で近似することができ、例えば地震⁶⁾や降雨^{7,8)}、地すべり^{9,10)}、雪崩^{11,12)}などに対して適用できることが知られている。著者ら¹³⁾は、この手法を応用して数箇所の事例解析を行い、ひと降りの降雪深の発生頻度を簡易に評価する手法を提案した。さらに、この手法が雪崩発生条件を満たす降雪事例の発生頻度解析にも活用できることを示した。本論文では、この手法が全国の積雪地域における降雪事例に対して適用可能かを検討した結果について報告する。

2. データと方法

(1) 解析に用いたデータ

大雪などの降雪の発生頻度に関する調査では、日降雪深など日単位の観測値が用いられる場合が多い^{14,15)}。しかし、より短い時間（例えば、12時間）で降る大雪の発生頻度を評価するためには、時間単位の観測値を用いることが望ましい。また、2日にわたって降雪がある場合、日単位の観測値では一事象の降雪深が2日に分かれて集計されるため、降雪事例としての降雪深を過少評価する場合がある。そこで、本論文では、積雪深の1時間間隔の観測データから、連続した“ひと降り”の降雪深を求めることとする¹³⁾。以下で示す降雪の発生頻度解析に用

いるデータは、北海道から島根県にかけての積雪地域における270の気象庁観測地点（図-1）の1時間間隔の積雪深と降水量である。

(2) 降雪事例の抽出方法

降雪事例の抽出例を図-2に示す。降雪事例の抽出は、まず降雪開始後の1時間間隔の積雪深差の正値を累積して、これを降雪深 S (cm) とした。ここで、降雪の中断（積雪深差 ≤ 0 cm）が5時間未満であれば一つの降雪事例とした。以下では、降雪深 S を“ひと降り”の降雪深とする。本論文では、降雪深 S が30cm以上となる降雪事

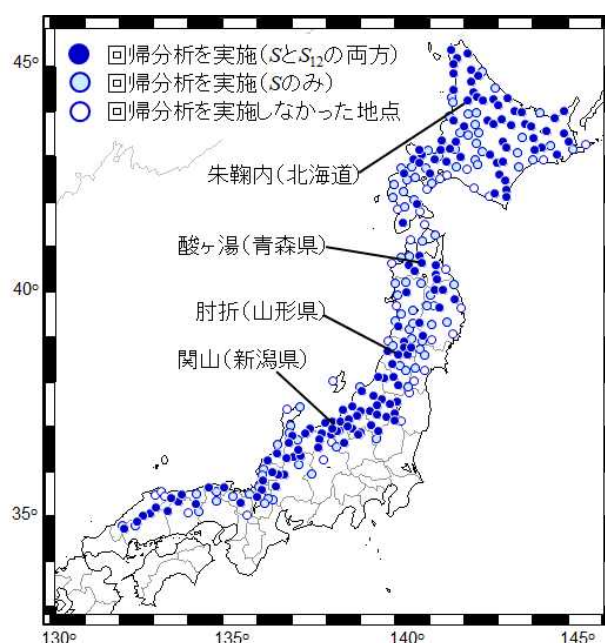


図-1 解析した気象庁観測地点の分布。●はひと降り降雪深 S と短時間降雪深 S_{12} の両方、○はひと降り降雪深 S のみ回帰分析を実施した地点。○は回帰分析の未実施地点。

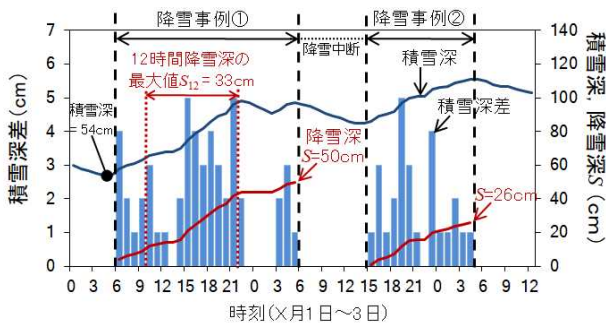


図-2 降雪事例の抽出とひと降り降雪深 S および短時間降雪深 S_{12} の算出の例

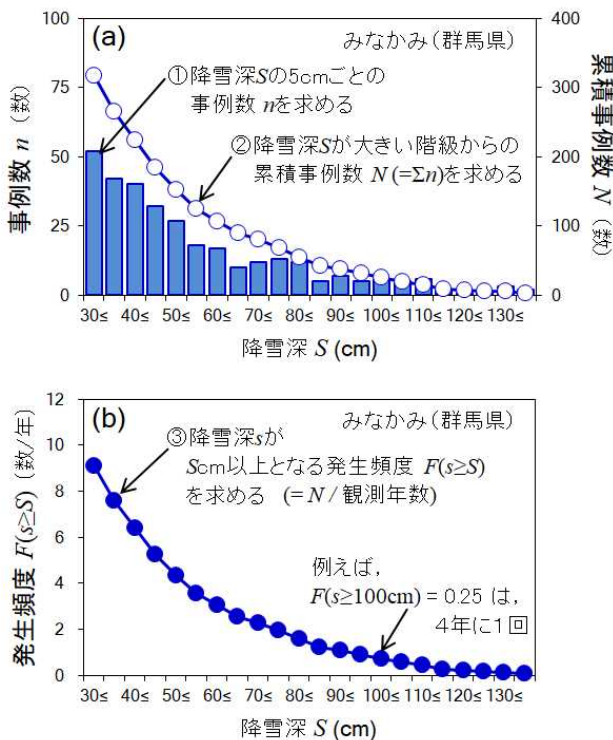


図-3 (a)降雪深 S の5cmごとの事例数 n と累積事例数 N 、(b)降雪深 s が S cm以上となる発生頻度 $F(S \geq S)$ の算出例。

例を対象とし、図-2に示す例では、2つの降雪事例のうち最初の事例①のみを解析の対象とした。

積雪深データに欠測がある場合は、連続する欠測期間が6時間までであれば、積雪深の増加分を1時間間隔の降水量データで按分することで欠測値を補間した。積雪深の欠測期間の降水量が0mmの場合は、線形で補間した。ただし、抽出した降雪事例のうち、積雪深の補間データが50%以上含まれる事例は解析から除外した。

降雪事例の抽出を行った期間は、積雪深の1時間間隔の観測開始以降の期間で、11月から翌年4月までを一冬季として、観測地点により異なるが16冬季(年)～35冬季(年)である。ただし、12月から2月の期間に240時間以上の連続した欠測がある冬季(年)は解析から除外した。ま

た、観測地点の移転等により積雪深の統計切断がある場合(8地点)、統計切断の前後で年数の多い期間を解析の対象とした。

(3) 短時間多量降雪事例の抽出方法

本論文では、上記(2)のひと降り降雪深に加え、より短い時間に集中的に降る短時間多量降雪事例についても同様の解析を行う。特に、短時間多量降雪時の雪崩発生条件^{13),17)}に着目して、降雪期間中の連続する12時間の降雪深 S_{12} を頻度解析の対象とした。通常、樹林内では雪崩は発生しにくい、降雪時の気温が低く12時間で45～50cm以上となる短時間多量降雪がもたらされると、樹林内でも雪崩が発生する傾向にある^{13),17)}。この雪崩発生条件には、他にも斜面勾配等の地形条件や立木間隔等の植生条件、降雪前の積雪深も重要な要素となるが、本論文では雪崩発生条件を満たす降雪事例の頻度解析への適用検討の試みとして、12時間の降雪深 S_{12} のみに着目する。12時間の降雪深 S_{12} は、(2)で抽出した各降雪事例の降雪期間内の連続する12時間の降雪深を調べ、その最大値とした。以下では、降雪深 S_{12} を“短時間”降雪深とする。図-2に示す降雪事例①では、 S_{12} は33cmとなる。

(4) 発生頻度の解析方法

各観測地点における降雪事例について、まず降雪深 S の5cmごとの事例数 n を求め(図-3aの棒グラフ)、降雪深 S の大きい階級から事例数 n を累積した値 N (図-3aの線グラフ)を求めた。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 $F(S \geq S)$ (数/年)とする(図-3b)¹³⁾。この発生頻度 $F(S \geq S)$ の意味は、任意の降雪深 s が S cm以上となる事例の1年あたりの発生回数である。発生頻度 F の逆数($1/F$)は、平均的な発生間隔 RP (年)となる。図-3bに示す群馬県のみなかみの例では、降雪深 s が100cm以上となる発生頻度 $F(S \geq 100\text{cm})$ は0.25であり、4年に1回の発生頻度となる。

次に、降雪事例の発生頻度を推定する式を得るため、発生頻度の常用対数 $\log F(S \geq S)$ と降雪深 S の関係に対して回帰分析を行った。ただし、事例数が10未満または降雪深 S の5cmごとの階級数が3以下となった地点は、回帰式を得るための十分なデータがないと判断して解析から除外し、残る237の観測地点(図-1の●と○)を対象に、降雪事例の発生頻度の推定式を得るための回帰分析を行った。

同様に、12時間の最大降雪深 S_{12} に対しても上記の解析を行い、短時間多量降雪に対しても上記手法が適用できるか検討を行った。ただし、発生頻度の推定式を得るための回帰分析は、短時間降雪深 S_{12} が30cm以上の事例を対象として行い、短時間降雪深 S_{12} の5cmごとの階級数が3以下となった地点は解析から除外した。よって、短時間降雪深の頻度解析は、149の観測地点(図-1の●)を対象に実施した。

3. 結果

(1) ひと降り降雪深の発生頻度

図-4に、ひと降り降雪深の頻度解析の例として朱鞠内（北海道）、酸ヶ湯（青森県）、肘折（山形県）、関山（新潟県）における降雪深 S と発生頻度 $F(s \geq S)$ の関係を示す。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。降雪事例の発生頻度を推定する回帰式は、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-4より、各地点ともに、降雪深 S と発生頻度の対数 $\log F(s \geq S)$ の間に、統計的に有意な直線関係（いずれも有意水準1%）があり、図中に示す回帰式は観測値との対応が非常によい。

図-5は、237の観測地点の回帰式から求めた発生頻度

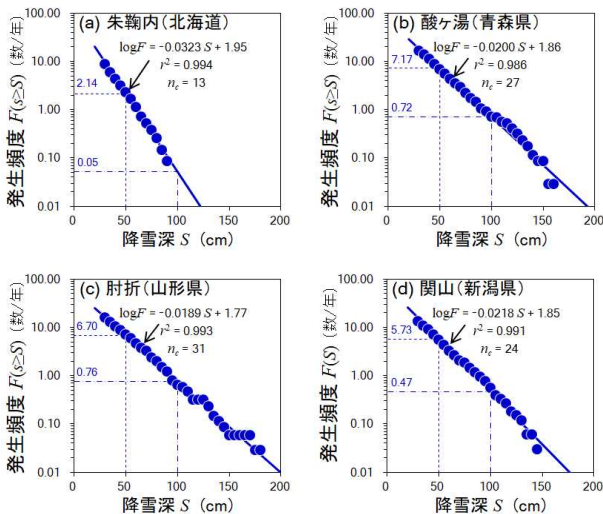


図-4 降雪深 S と発生頻度 $F(s \geq S)$ の関係。(a)朱鞠内(北海道)、(b)酸ヶ湯(青森県)、(c)肘折(山形県)、(d)関山(新潟県)の例。実線は回帰直線、 r^2 は決定係数、 n_c は降雪深 S の5cm間隔の階級数。

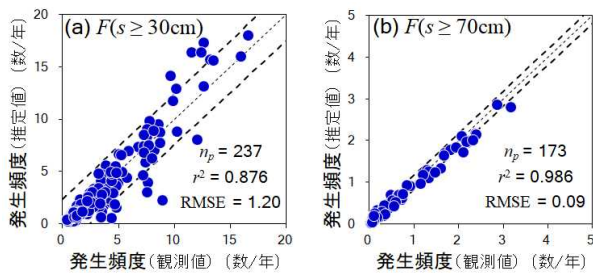


図-5 発生頻度 $F(s \geq S)$ の観測値と回帰式による推定値の比較。降雪深 S が(a)30cm以上と(b)70cm以上の例。 n_p は地点数、RMSEは二乗平均平方根誤差、太破線は推定値の95%信頼区間。

の推定値と観測値を比較した結果である。降雪深 s が30cm以上となる発生頻度 $F(s \geq 30\text{cm})$ (図-5a)は、地点により観測値と推定値に差が生じる場合があるが、概ね等値線上に分布しており、降雪深 s が70cm以上となる発生頻度 $F(s \geq 70\text{cm})$ (図-5b)ではさらに両者の対応がよい。

図-6a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を降雪深 S ごとに示す。降雪深 S が大きくなるほど発生頻度の観測値が得られる地点数は少なくなるが(図-6b)、決定係数 r^2 (図-6a)は全体的に高く、いずれも統計的に有意な水準にある。ただし、降雪深 S が110cmを越えると r^2 は0.9を下回る。二乗平均平方根誤差RMSEは、降雪深 S が30cmの場合で1.2とやや大きい、降雪深 S が大きくなると0.1以下となる。これらの傾向から、特に降雪深 S が40cmから100cmの範囲で $r^2 \geq 0.9$ 、 $\text{RMSE} \leq 0.5$ となり、高い精度で発生頻度 $F(s \geq S)$ を推定できるといえる。

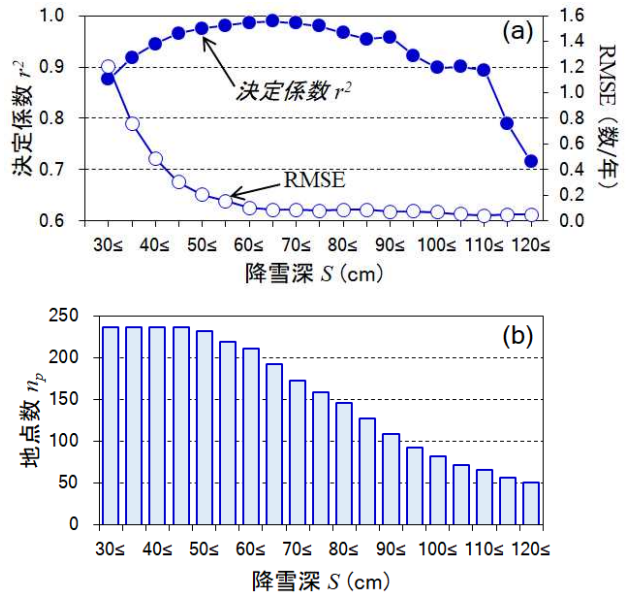


図-6 降雪深 S ごとの(a)発生頻度の推定値と観測値の決定係数 r^2 およびRMSE、(b)観測地点数。

(2) 短時間降雪深の発生頻度

図-7に、短時間降雪深の頻度解析の例として朱鞠内、酸ヶ湯、肘折、関山における降雪深 S_{12} と発生頻度 $F(s_{12} \geq S_{12})$ の関係を示す。ただし、回帰直線(実線)は、降雪深 S_{12} が30cm未満となる事例(図中の白抜き○)を除いて求めた。図-7より、各地点とも、降雪深 S_{12} が30cm以上の場合において、降雪深 S_{12} とその発生頻度 $F(s_{12} \geq S_{12})$ の間に統計的に有意な直線関係(有意水準1%)がみられる。なお、図-7で降雪深 S_{12} が30cm未満となる事例が回帰直線から外れることについて、降雨や地すべりなどの他の事象の解析でも、規模(値)の小さい現象の発生頻度は、直線関係から外れることが示されている⁸⁾¹⁰⁾。

図-8は、149の観測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。降雪深 S_{12} が

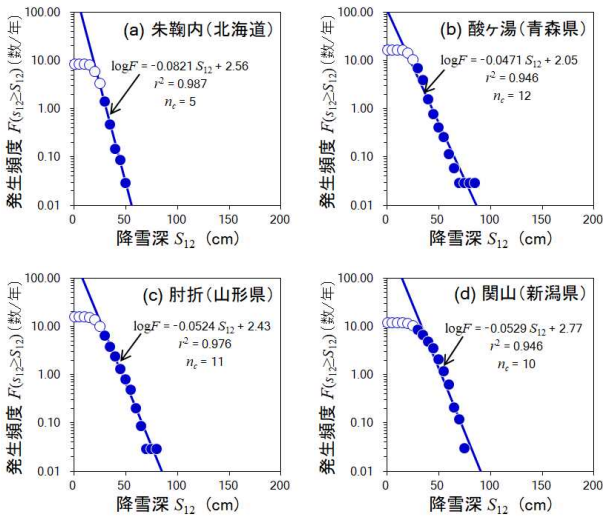


図-7 降雪深 S_{12} と発生頻度 $F(s_{12} \geq S_{12})$ の関係。実線の回帰直線は、降雪深 S_{12} が30cm未満の事例(○)を除いて求めた。

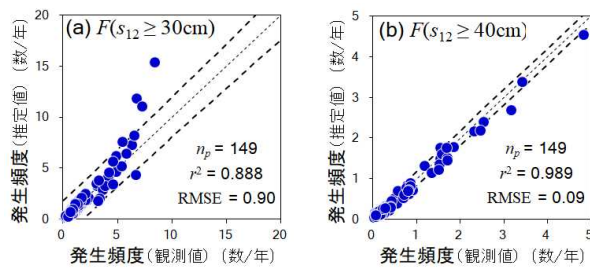


図-8 発生頻度 $F(s_{12} \geq S_{12})$ の観測値と回帰式による推定値の比較。降雪深 S_{12} が(a)30cm以上と(b)40cm以上の例。

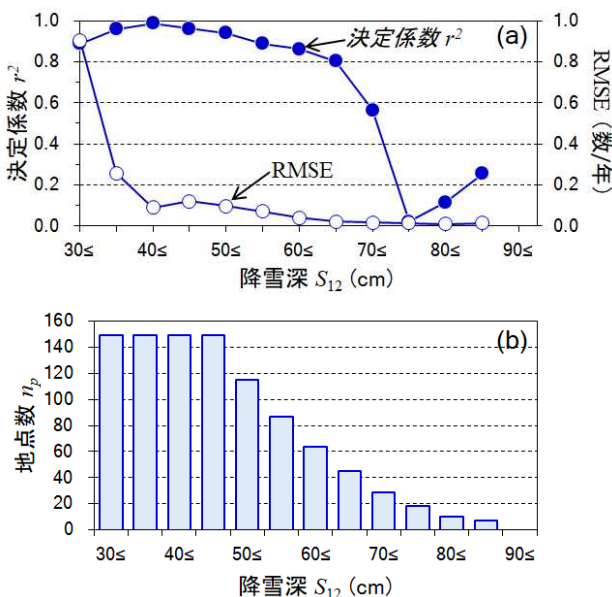


図-9 降雪深 S_{12} ごとの(a)発生頻度の推定値と観測値の決定係数 r^2 およびRMSE、(b)観測地点数。

30cm以上となる発生頻度 $F(s_{12} \geq 30\text{cm})$ (図-8a)は、数地点で観測値と推定値に差が生じているが、概ね等値線上に分布している。一方、降雪深 S_{12} が40cm以上となる発生頻度 $F(s_{12} \geq 40\text{cm})$ (図-8b)では両者の対応がよい。図-9より、降雪深 S_{12} が70cm以上になると発生頻度の観測値が得られる地点数が30以下と少なくなるが(図-9b)、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-9a)は、 S_{12} が65cm以下であれば0.8を上回り統計的に有意な水準にある。また、二乗平均平方根誤差RMSEは、降雪深 S_{12} が30cmの場合で0.9とやや大きいのが、降雪深 S_{12} が大きくなると0.1以下となる。よって、短時間降雪深 S_{12} が35cmから65cmの範囲で $r^2 \geq 0.8$ 、 $RMSE \leq 0.5$ となり、高い精度で発生頻度 $F(s_{12} \geq S_{12})$ を推定できるといえる。

(3) 結果のまとめ

本論文で示した手法により、確率密度関数を用いなくても簡便に降雪事例の発生頻度の推定式を得ることができるといえる。また、12時間の最大降雪深の発生頻度の推定式も得ることができることから、短時間多量降雪に伴う雪崩の発生頻度解析¹³⁾にも、本手法を応用できると考えられる。表-1に、今回解析を行った237地点におけるひと降り降雪深の発生頻度 $F(s \geq S)$ を推定するための回帰式の係数 a と b 、決定係数 r^2 、解析に用いた期間(年)を示す。短時間降雪深 S_{12} の発生頻度の回帰式の係数は、紙面の都合により省略する。

表-1 各観測地点におけるひと降り降雪深の発生頻度 $F(s \geq S)$ を推定するための回帰式の係数 a と b および決定係数 r^2

府県 振興局	観測所名	観測 年数	事例 数	階級 数	r^2	係数 a	係数 b
宗谷	浜泉志別	34	64	7	0.987	-0.0514	1.799
宗谷	稚内	20	20	11	0.889	-0.0268	0.588
宗谷	沿川	35	68	12	0.834	-0.0355	1.046
宗谷	豊富	35	49	8	0.974	-0.0504	1.713
宗谷	中頓別	35	129	22	0.935	-0.0187	0.788
宗谷	北見枝幸	23	29	8	0.985	-0.0441	1.382
宗谷	歌登	34	143	16	0.960	-0.0284	1.379
上川	美深	34	111	10	0.983	-0.0420	1.813
上川	音威子府	34	259	24	0.891	-0.0233	1.296
上川	名寄	35	96	11	0.955	-0.0460	1.855
上川	和寒	35	92	11	0.960	-0.0390	1.663
上川	上川	34	76	16	0.866	-0.0249	0.712
上川	下川	35	115	13	0.973	-0.0308	1.431
上川	旭川	20	29	5	0.989	-0.0554	1.817
上川	層雲峡	34	119	19	0.836	-0.0227	0.740
上川	美瑛	34	42	9	0.965	-0.0441	1.364
上川	富良野	35	25	7	0.939	-0.0489	1.367
上川	幾寅	35	28	10	0.966	-0.0363	1.020
上川	占冠	35	69	12	0.930	-0.0306	0.982
上川	朱鞠内	35	300	13	0.994	-0.0323	1.946
上川	幌加内	35	311	38	0.854	-0.0132	0.750
留萌	天塩	34	64	12	0.970	-0.0303	1.072
留萌	初山別	35	49	9	0.910	-0.0393	1.238
留萌	羽幌	26	26	13	0.746	-0.0211	0.182
留萌	古丹別	35	41	12	0.634	-0.0252	0.232
留萌	留萌	20	28	9	0.968	-0.0329	1.068
留萌	幌糠	33	222	13	0.993	-0.0375	1.991
石狩	厚田	35	91	15	0.959	-0.0308	1.240
石狩	石狩	31	43	7	0.984	-0.0419	1.395
石狩	新篠津	33	103	9	0.991	-0.0382	1.564
石狩	札幌	20	27	7	0.972	-0.0530	1.798
石狩	小金湯	34	128	12	0.974	-0.0350	1.621
石狩	恵庭島松	35	47	10	0.970	-0.0370	1.183
空知	深川	35	148	14	0.953	-0.0337	1.673
空知	芦別	35	52	8	0.980	-0.0527	1.755
空知	美瑛	35	92	8	0.998	-0.0490	1.918
空知	岩見沢	20	58	12	0.912	-0.0369	1.470
空知	夕張	35	156	13	0.983	-0.0295	1.469
空知	滝川	35	116	17	0.915	-0.0266	1.011
後志	赤井川	30	137	17	0.967	-0.0265	1.269
後志	小樽	26	41	9	0.914	-0.0463	1.541
後志	余市	35	127	13	0.987	-0.0375	1.659
後志	共和	33	82	11	0.979	-0.0423	1.668

表-1 つづき

府県 振興局	観測所名	観測 年数	事例 数	階級 数	r ²	係数a	係数b
後志	蘭越	35	67	9	0.987	-0.0480	1.705
後志	俱知安	20	101	9	0.959	-0.0522	2.389
後志	寿都	19	12	5	0.932	-0.0511	1.242
後志	喜茂別	35	139	14	0.982	-0.0351	1.574
後志	黒松内	35	134	14	0.952	-0.0283	1.227
オホーツク	西興部	33	65	15	0.966	-0.0188	0.711
オホーツク	雄武	26	22	5	0.928	-0.0385	1.037
オホーツク	紋別	20	23	12	0.939	-0.0262	0.705
オホーツク	滝上	34	85	20	0.980	-0.0197	0.916
オホーツク	遠軽	34	85	16	0.991	-0.0268	1.163
オホーツク	佐呂間	30	56	17	0.970	-0.0223	0.822
オホーツク	網走	19	16	11	0.944	-0.0249	0.563
オホーツク	北見	35	46	16	0.904	-0.0232	0.562
オホーツク	留辺蘂	34	53	13	0.960	-0.0253	0.871
オホーツク	宇登呂	30	64	12	0.996	-0.0278	1.209
オホーツク	斜里	33	70	14	0.946	-0.0278	1.137
オホーツク	津別	30	77	15	0.991	-0.0263	1.234
オホーツク	白滝	24	44	18	0.919	-0.0216	0.772
根室	中標津	33	39	6	0.900	-0.0555	1.794
根室	別海	29	28	5	0.934	-0.0685	2.144
根室	厚床	32	20	6	0.878	-0.0580	1.465
釧路	川湯	33	58	16	0.962	-0.0266	0.999
釧路	阿寒湖畔	32	81	17	0.965	-0.0255	1.080
釧路	標茶	31	26	11	0.897	-0.0307	0.698
釧路	鶴居	33	27	7	0.978	-0.0505	1.424
釧路	中徹別	30	30	8	0.994	-0.0419	1.308
釧路	太田	32	34	10	0.936	-0.0400	1.238
釧路	白糠	32	13	4	0.948	-0.0717	1.824
十勝	陸別	32	35	8	0.970	-0.0384	1.141
十勝	ぬかびら源泉郷	34	56	8	0.991	-0.0410	1.505
十勝	上士幌	31	20	8	0.923	-0.0331	0.692
十勝	新得	33	56	9	0.962	-0.0326	1.217
十勝	本別	33	14	5	0.970	-0.0544	1.282
十勝	芽室	31	45	13	0.896	-0.0327	1.107
十勝	帯広	20	24	7	0.955	-0.0448	1.541
十勝	浦幌	33	22	7	0.906	-0.0486	1.158
十勝	上礼内	34	99	14	0.985	-0.0267	1.233
十勝	大樹	31	102	19	0.965	-0.0219	1.015
十勝	広尾	26	72	11	0.968	-0.0414	1.763
胆振	安平	35	23	5	0.951	-0.0720	2.093
胆振	大滝	35	100	14	0.876	-0.0343	1.277
胆振	大岸	35	42	5	0.985	-0.0633	1.999
胆振	登別	30	25	5	0.938	-0.0794	2.336
日高	日高	34	34	7	0.996	-0.0514	1.559
日高	中村臼	34	17	8	0.977	-0.0270	0.464
日高	日黒	34	64	11	0.969	-0.0314	1.183
渡島	長万部	35	25	4	0.968	-0.0705	2.005
渡島	八雲	35	48	4	0.999	-0.0793	2.509
渡島	大沼	32	38	8	0.954	-0.0476	1.592
渡島	千軒	35	96	8	0.984	-0.0466	1.891
渡島	森	16	21	6	0.932	-0.0558	1.810
渡島	熊石	35	32	8	0.959	-0.0458	1.429
釧路	今金	35	46	6	0.979	-0.0679	2.236
釧路	鶺鴒	35	27	7	0.908	-0.0479	1.245
青森	むつ	26	25	9	0.923	-0.0369	1.004
青森	五所川原	35	39	6	0.924	-0.0486	1.477
青森	青森	21	58	12	0.905	-0.0343	1.252
青森	弘前	35	81	12	0.861	-0.0376	1.227
青森	酸ヶ湯	35	580	27	0.986	-0.0200	1.856
青森	碓ヶ関	35	60	8	0.985	-0.0479	1.635
青森	脇野沢	34	38	10	0.935	-0.0397	1.169
青森	簗ヶ沢	34	31	4	0.956	-0.0664	2.021
青森	十和田	35	33	8	0.996	-0.0345	1.007
青森	三戸	35	27	8	0.976	-0.0348	0.981
秋田	能代	35	15	7	0.986	-0.0388	0.860
秋田	鷹巣	34	36	7	0.977	-0.0403	1.187
秋田	鹿角	34	55	7	0.957	-0.0522	1.811
秋田	五城目	32	19	10	0.869	-0.0274	0.326
秋田	阿仁合	32	140	41	0.697	-0.0084	0.009
秋田	角館	33	81	10	0.977	-0.0406	1.690
秋田	大正寺	33	56	12	0.957	-0.0345	1.159
秋田	本荘	35	18	14	0.683	-0.0169	-0.219
秋田	横手	35	173	15	0.969	-0.0298	1.482
秋田	矢島	34	93	13	0.966	-0.0362	1.448
秋田	湯の岱	34	201	12	0.954	-0.0368	1.946
秋田	湯沢	33	145	17	0.865	-0.0291	1.186
岩手	二戸	34	21	10	0.960	-0.0280	0.603
岩手	岩手松尾	27	17	9	0.835	-0.0300	0.475
岩手	奥中山	35	42	11	0.800	-0.0336	0.767
岩手	葛巻	34	22	13	0.903	-0.0142	0.080
岩手	雫石	34	33	7	0.967	-0.0540	1.566
岩手	遠野	34	17	5	0.987	-0.0457	1.019
岩手	湯田	34	278	21	0.981	-0.0251	1.599
岩手	北上	34	25	5	0.993	-0.0707	2.001
岩手	祭時	34	246	16	0.979	-0.0310	1.800
岩手	区界	33	58	13	0.976	-0.0295	1.159
岩手	久慈	29	15	8	0.963	-0.0367	0.880
岩手	岩泉	27	25	10	0.958	-0.0344	0.959
宮城	川渡	34	47	9	0.977	-0.0416	1.422
宮城	駒ヶ湯	21	121	18	0.975	-0.0231	1.340
宮城	古川	30	14	7	0.768	-0.0396	0.641
宮城	新川	33	33	22	0.657	-0.0112	-0.313
山形	金山	35	167	28	0.816	-0.0167	0.686
山形	狩川	35	108	14	0.978	-0.0348	1.532
山形	新庄	26	89	12	0.967	-0.0376	1.602
山形	楡引	35	119	29	0.706	-0.0133	0.230
山形	尾花沢	34	245	26	0.966	-0.0206	1.286

府県 振興局	観測所名	観測 年数	事例 数	階級 数	r ²	係数a	係数b
山形	肘折	35	557	31	0.993	-0.0189	1.771
山形	大井沢	35	442	22	0.975	-0.0278	2.073
山形	山形	21	22	4	0.982	-0.0885	2.733
山形	長井	35	135	11	0.974	-0.0452	2.102
山形	小国	35	271	17	0.983	-0.0307	1.912
山形	米沢	34	162	13	0.994	-0.0378	1.868
山形	左沢	34	120	8	0.911	-0.0516	2.219
山形	向町	34	180	15	0.994	-0.0317	1.648
福島	西会津	35	121	21	0.987	-0.0196	0.990
福島	猪苗代	34	98	15	0.972	-0.0241	1.082
福島	只見	35	404	25	0.967	-0.0220	1.874
福島	金山	23	170	22	0.987	-0.0202	1.377
福島	若松	20	31	18	0.957	-0.0185	0.641
福島	南郷	34	256	25	0.993	-0.0202	1.526
福島	田島	35	120	17	0.949	-0.0310	1.541
福島	桧枝岐	35	344	22	0.971	-0.0185	1.625
福島	湯本	29	94	12	0.979	-0.0344	1.551
福島	茂庭	26	50	10	0.981	-0.0387	1.455
栃木	那須高原	29	30	6	0.979	-0.0611	1.855
栃木	土呂部	28	36	11	0.909	-0.0305	0.827
栃木	奥日光	20	26	10	0.766	-0.0313	0.723
群馬	藤原	28	270	25	0.965	-0.0228	1.834
群馬	みなかみ	28	227	18	0.990	-0.0215	1.595
群馬	草津	28	49	19	0.943	-0.0201	0.685
長野	野沢温泉	35	441	20	0.986	-0.0222	1.784
長野	信濃町	35	166	11	0.965	-0.0399	1.937
長野	飯山	34	257	15	0.940	-0.0284	1.807
長野	小谷	34	295	20	0.983	-0.0288	1.805
長野	白馬	34	142	19	0.933	-0.0256	1.150
長野	大町	34	63	7	0.961	-0.0557	1.931
長野	菅平	35	59	11	0.961	-0.0326	1.073
長野	開田高原	27	19	5	0.992	-0.0493	1.371
岐阜	河合	33	254	23	0.978	-0.0193	1.452
岐阜	神岡	34	139	23	0.967	-0.0219	1.191
岐阜	白川	35	356	25	0.987	-0.0205	1.726
岐阜	高山	20	26	11	0.930	-0.0267	0.927
岐阜	長滝	32	154	30	0.979	-0.0149	1.012
岐阜	樽見	35	94	20	0.987	-0.0225	1.125
岐阜	関ヶ原	21	15	10	0.952	-0.0288	0.731
新潟	下関	35	122	16	0.991	-0.0288	1.375
新潟	新潟	21	10	11	0.780	-0.0190	-0.018
新潟	新津	35	52	13	0.983	-0.0257	0.917
新潟	津川	35	153	21	0.989	-0.0234	1.316
新潟	長岡	35	127	21	0.977	-0.0194	1.040
新潟	柏崎	34	67	14	0.980	-0.0274	1.123
新潟	守門	33	396	40	0.938	-0.0151	1.357
新潟	小出	34	296	34	0.989	-0.0160	1.368
新潟	高田	20	65	14	0.964	-0.0246	1.274
新潟	塚原	34	257	47	0.904	-0.0108	0.802
新潟	十日町	34	347	32	0.972	-0.0170	1.456
新潟	能生	35	154	21	0.988	-0.0210	1.313
新潟	関山	34	447	24	0.991	-0.0218	1.848
新潟	湯沢	33	408	22	0.981	-0.0230	1.903
新潟	津南	28	377	28	0.975	-0.0222	1.858
富山	朝日	35	52	11	0.945	-0.0309	1.170
富山	魚津	34	74	11	0.985	-0.0361	1.490
富山	伏木	26	47	9	0.953	-0.0372	1.419
富山	富山	22	35	8	0.934	-0.0422	1.640
富山	砺波	35	93	12	0.991	-0.0359	1.563
富山	氷見	28	34	7	0.977	-0.0324	1.054
富山	猪谷	35	254	21	0.992	-0.0190	1.405
石川	珠洲	35	40	9	0.922	-0.0229	0.712
石川	七尾	35	18	7	0.981	-0.0409	0.982
石川	金沢	21	12	15	0.882	-0.0169	0.129
石川	白山河内	35	157	23	0.966	-0.0208	1.098
石川	加賀菅谷	35	117	25	0.952	-0.0187	0.904
福井	九頭竜	34	247	27	0.985	-0.0178	1.462
福井	福井	21	19	12	0.953	-0.0258	0.683
福井	大野	35	134	19	0.983	-0.0183	1.031
福井	今庄	35	123	20	0.973	-0.0200	1.053
福井	敦賀	20	18	13	0.919	-0.0208	0.360
福井	小浜	35	31	11	0.910	-0.0264	0.544
福井	武生						

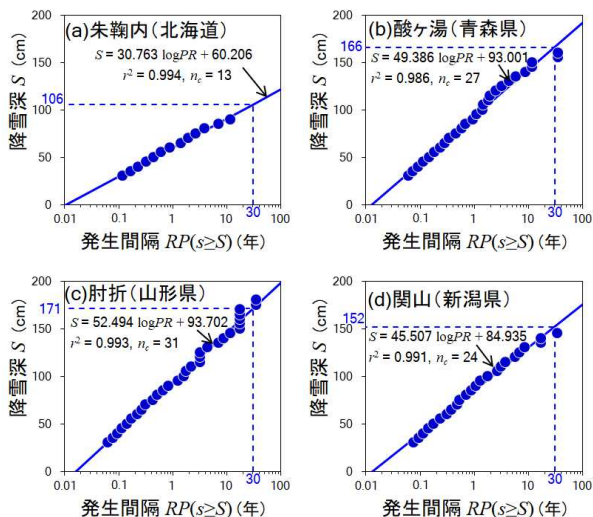


図-10 降雪深 S と平均的な発生間隔 $RP(s \geq S)$ (年)との関係

4. 議論

本論文では、ひと降り降雪深および短時間降雪深の発生頻度を例に、発生頻度の対数をとって回帰分析を行うことにより、その推定式を得ることができることを示した。本手法は、これらの降雪事例を降雪時間や降雪時の気温で条件分けした場合でも成り立つ¹³⁾¹⁸⁾。例えば、降雪時間が24時間以下や36時間以下の条件で分けた降雪深に対しても、発生頻度の対数と降雪深の関係は直線で表すことができ¹⁸⁾、雪崩発生条件を満たす降雪事例にも適用できる¹³⁾。また、入手が容易な日降雪深（降雪の深さの日合計）に対しても適用できる¹⁹⁾。

図-10は、発生頻度 F の逆数（ $1/F$ ）である平均的な発生間隔 RP に対して、同様の解析を行った結果の例である。発生頻度（図-4や図-7）と同様、高い精度で任意の平均的な間隔(年)で出現する降雪深を推定することができる。また、図-10のように、平均的な発生間隔(年)を軸にとった方が、事象の発生頻度を具体的にイメージしやすい。例えば、30年に1回の頻度で出現するひと降り降雪深は、朱鞠内では106cm、酸ヶ湯で166cm、肘折で171cm、関山で152cmであることが図からわかる。図-10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 から次の式(3)と式(4)のように求めることができる。

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

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

5. おわりに

本論文で提案した手法により、確率密度関数を用いなくても簡便に降雪事例の発生頻度の推定式を得ることが

できるといえる。この手法は、降雪や大雪に関連した対策、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、融雪施設の設計降雪深の算出などに活用することができると考えられる。また、予め降雪深とその発生頻度の関係（回帰式）を求めておくと、今後予想される降雪深が、対象箇所においてどのくらいの頻度で起こる降雪なのかを事前に把握することができ、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考えられる。

参考文献

- 1) 和泉正哲, 三橋博三, 高橋徹, 1988: 年最大積雪深の確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, 390, 49-58.
- 2) 大西雄基, 水野量, 2008: 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, 35-74.
- 3) 藤部文昭, 2011: 極値分布関数の適合度評価に関する検討. 天気, 58, 765-775.
- 4) 近森秀高, 永井明博, 2012: Peak over threshold理論による確率日雨量の推定. 農業農村工学会論文集, 278, 89-97.
- 5) Bezak, N., M. Brilly, and M. Šraj, 2014: Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis. Hydrol. Sci. J., 59, 959-977.
- 6) Gutenberg, B., and C. F. Richter, 1944: Frequency of earthquakes in California. Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185-188.
- 7) Andrade, R. F. S., H. J. Schellnhuber, and M. Claussen, 1998: Analysis of rainfall records: Possible relation to self-organized criticality. Physica A, 254, 557-568.
- 8) Peters, O., A. Deluca, A. Corral, J. D. Neelin, and C. E. Holloway, 2010: Universality of rain event size distributions. J. Stat. Mech. Theory Exp., 11, DOI: 10.1088/1742-5468/2010/11/P11030.
- 9) 藤井陽一郎, 1969: 豪雨による崩壊地の大きさの頻度分布. 地震, 22, 244-247.
- 10) Hergarten, S., 2003: Landslide, sandpiles, and self-organized criticality. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 3, 505-514.
- 11) Birkeland, K. W., and C. C. Landry, 2002: Power-laws and snow avalanches. Geophys. Res. Lett., 29, 49-1-49-3.
- 12) 秋山一弥, 2014: 映像観測で得られた雪崩の規模と発生数の関係. 雪氷, 76, 431-440.
- 13) 松下拓樹, 高橋渉, 高橋丞二, 2019: 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, 792, 2-10.
- 14) 山田知充, 立花義裕, 1988: 北海道における豪雪の気候学的研究II. 寒地技術論文・報告集, 4, 185-189.
- 15) 鈴木博人, 2012: 日本における大雪の経年変化とその環境場との関係 - 気象庁と鉄道の日降雪深データを用いた解析 -. 天気, 59, 333-350.
- 16) 松岡直基, 中林宏典, 谷口恭, 小松麻美, 2015: 北海道における近年の降雪特性. 北海道の雪氷, 34, 35-38.
- 17) 松下拓樹, 高橋渉, 松澤勝, 高橋丞二, 2018: 広葉樹林における乾雪表層雪崩の発生条件について. 日本雪工学会論文集, 34, 55-67.
- 18) 松下拓樹, 高橋渉, 高橋丞二, 2019: 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, 35, 73-78.
- 19) 松下拓樹, 高橋渉, 高橋丞二, 2018: 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, 34, 147-152.