

積雪重量計による降雪強度の推定

阿部 修*・木村忠志*・沼野夏生*・中村秀臣**

防災科学技術研究所

Estimation of Snowfall Intensity on Measurements of Total Snow Weight Using A Pressure Pillow

By

Osamu Abe, Tadashi Kimura, Natsuo Numano

*Shinjo Branch of Snow and Ice Studies, National Research
Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NIED)
Tokamachi, Shinjo-shi, Yamagata-ken, 996 Japan*

and

Hideomi Nakamura

*Air-Sea Interaction Laboratory, Atmospheric and Hydrospheric
Science Division, NIED
Nijigahama, Hiratsuka-shi, Kanagawa-ken, 254 Japan*

Abstract

Estimation of snowfall intensity on measurements of total snow weight using a pressure pillow is discussed. The snowfall intensity in this paper is described by a daily new snow weight. The daily new snow weight is estimated from increases on the total snow weight during each one day. The estimated value (ΔW) is compared with standard value(NW) measured directly by sampling the new snow on a snow board. Differences between ΔW and NW increased in rainy days or/and warm days. Except for these data, the estimation was improved. The standard deviation of the estimation was $1.8\text{kg m}^{-2}\text{ day}^{-1}$. On the other hand, snow melting at the bottom of the snow cover decreases the estimated value. The minimum values of the runout water in Shinjo were 1.1mm day^{-1} in winter of 1989/90 and 1.6mm day^{-1} in winter of 1990/91. Therefore this estimation should be used in cold regions where the snow melting is negligible.

Key words : Snow fall intensity, Snow load measurement

キーワード:降雪強度, 積雪重量測定

1. はじめに

降積雪に関する計測の中で, 積雪深については自動測定化がなされて広範に用いられてい

* 新庄雪氷防災研究支所 ** 気圏・水圏地球科学技術研究部

るが、ある時間間隔に新しく積もる雪の量、すなわち降雪強度についてはまだなされていない。そのため便宜的に、ある時間間隔の積雪深差をとり、これを代用する場合がある。しかし、雪面は積雪の圧密や融解により沈降し、そのため、積雪深差で表したものは真の降雪深より常に小さくなる。降雪深は、現在でも除雪車の出勤などの判断基準として用いられていることから分かるように、重要な測定項目の一つである。そこで、自動的にそしてより正確に降雪深を測定する手法の開発が求められているが、この直接測定は極めて困難である。ただし、用途によっては、降雪深ではなく、重量変化で表した降雪強度が知ればよい。

防災科学技術研究所では、1988年から3ヵ年計画で降雪強度の推定手法に関する研究を実施した。この中で、筆者らは積雪重量計から降雪強度を求める手法の開発を担当した。積雪重量計の受感部として用いられているメタルウェハー(Metal wafer)は、プレッシャーピロー(Pressure pillow)の一種であり、中に不凍液を満した幅1m×長さ2m×厚さ0.012mのステンレス製のピロー4個を互いに銅管で連結し、その一端に安定性の良い圧力センサーをつないだものである(木村, 1983)。この圧力センサーはまた応答速度に優れた性能をもつ。本研究の目的は、この測器による積雪重量の変化(以降これを積雪重量差と呼ぶ)から降雪強度の推定を行おうというものである。そこで、本報告では降雪強度を1日当たりの降雪の重量換算値(日降雪重量)で表す。

2. 測定結果

積雪重量の測定は、1989/90年および1990/91年の2冬期間、新庄雪氷防災研究支所の気象観測露場において行った(図1)。(最初の冬は調整が間に合わず測定できなかった。)

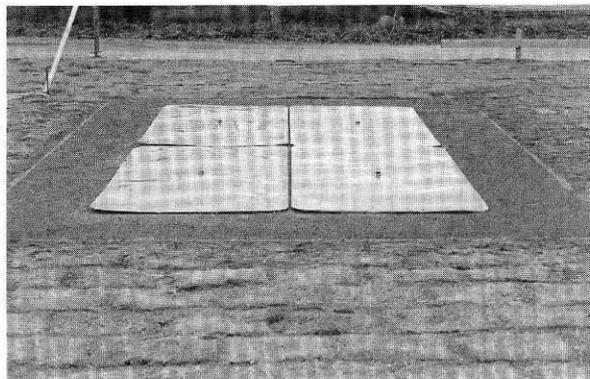


図1 積雪重量計

Fig. 1 Metal wafer type pressure pillow

各冬の積雪が始まる前に、水柱により圧力センサーの検定を行い、以降それに基づいて積雪重量を求めた。図2-a, bは、2冬期間における、日降雪深、積雪深、積雪重量および地面浸透量の測定結果である。それぞれの時間軸は、aは1989年11月01日、bは1990年12月01日を初日にした通し日数で表示してある。いずれの冬も最大積雪深は当地での平年値146cm（中村ほか：1983）より下回った。積雪重量は、積雪深の増加に伴いだいに増加し、その最大値は積雪深の最大出現時より遅れて出現し、融雪期になると下降し、0にもどっている。地面浸透量は、積雪重量計から約12m離れたところに設置してあるライシメーター（高橋博ほか編、1988）の測定によるもので、暖気や降雨により増加するが、それがなくとも地熱流による積雪底面での融解のためにわずかに存在する。この底面融雪量は水柱値で表すと、厳冬の最低値で1989/90年冬期は $1.1\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ 、1990/91年冬期は $1.6\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ であった。なお、水柱値1mmは水の密度を $1000\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ とすると積雪重量 $1\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ に相当する。

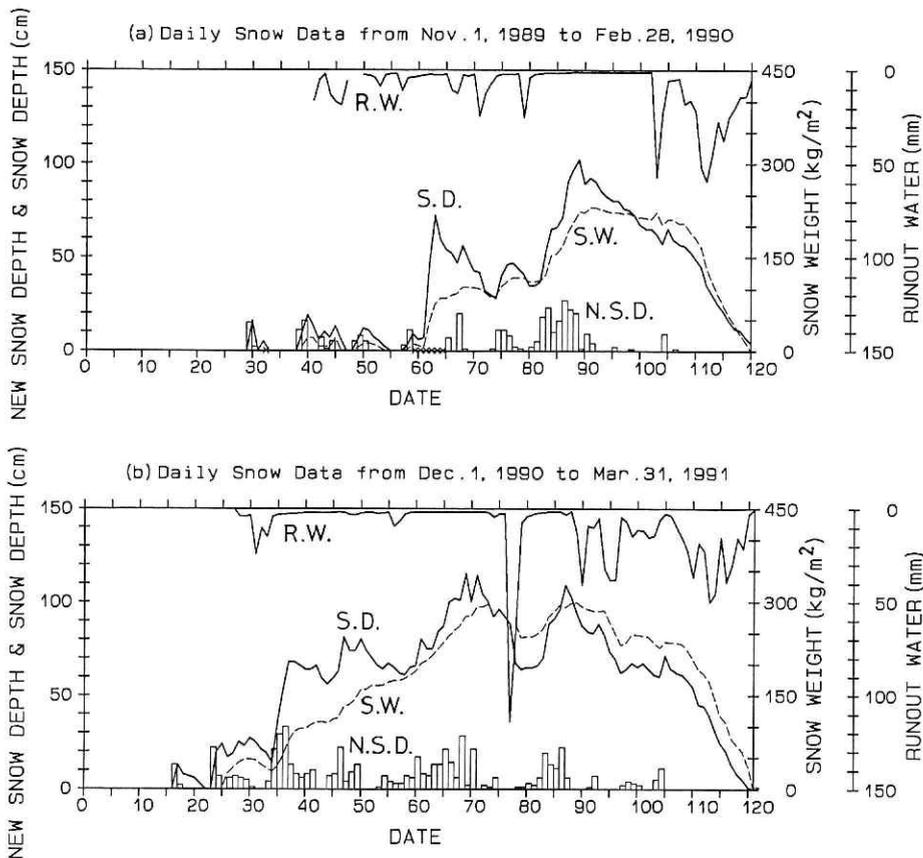


図2 日降雪深(N.S.D)、積雪深(S.D.)、積雪重量(S.W.)および地面浸透量(R.W.)の測定結果
 Fig. 2 Time variations of daily fallen new snow depth (N.S.D.), snow depth (S.D.), total snow weight (S.W.) and runout water on the ground surface (R.W.)

3. 降雪強度の推定

(1) 積雪重量差と日降雪重量の比較

積雪重量差 ΔW は、基準となる雪板による日降雪重量と比べる都合上、前日09時から当日09時までのものとした。すなわち、

$$\Delta W = W_i - W_{i-1} \quad (1)$$

である。これが推定値となる。ここで、 W_i は*i*日の午前09時の積雪重量である。ただし、 ΔW が0か負の数値になった場合は、無効とした。

一方、基準となる日降雪重量 NW は、同じ露場において前日09時から当日09時まで雪板上に積もった雪の日降雪深 NH とその平均密度 $\bar{\rho}$ とから次式で求めた。

$$NW = \bar{\rho} \times NH \quad (2)$$

表1および図3-a, bに冬期別に積雪重量差と日降雪重量の比較結果を示す。図3中の45°の点線上は両者が等しいところである。最小二乗法で求めた両者の相関直線の標準偏差 σ は、1989/90年冬期が $\pm 3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、1990/91年冬期が $\pm 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ となった。こ

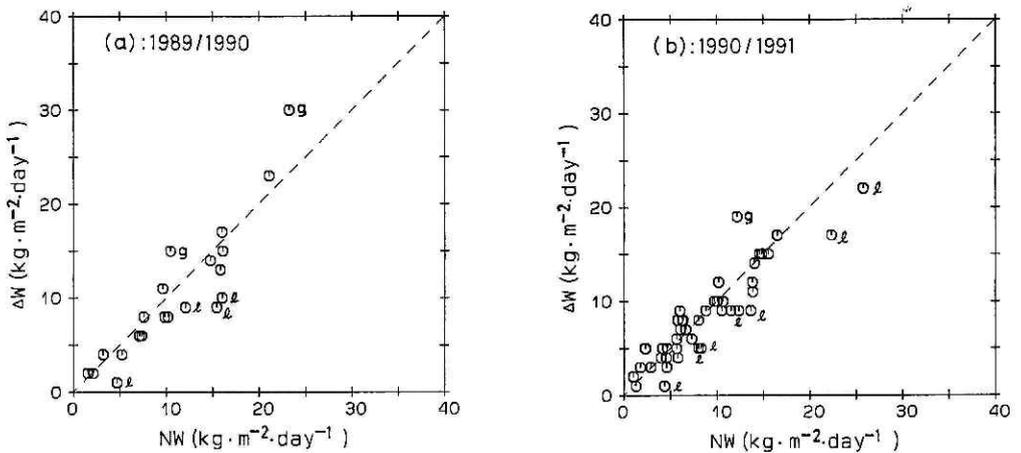


図3 日降雪重量(NW)と積雪重量差(ΔW)の比較
Fig.3 Comparison of ΔW with NW

表1 積雪重量差(ΔW), 日降雪重量(NW)および最高気温(T_{max})
Table 1 Increment of total snow weight in a day (ΔW), weight of daily fallen new snow (NW) and maximum air temperature (T_{max}). Mesh means that the value is $3\text{kg m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ larger as compared with the other value in the same day.

(a) 1989/90年冬期					(b) 1990/91年冬期				
D.N.	Date	ΔW	NW	T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)	D.N.	Date	ΔW	NW	T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)
		(kgm ² day ⁻¹)					(kgm ² day ⁻¹)		
39	Dec.9	13	15.8	0.9	26	Dec.26	9	12.4	2.3
44	14	14	14.7	1.0	27	27	8	8.1	2.5
49	19	6	7.1	0.5	28	28	5	8.3	2.0
50	20	1	4.7	0.1	34	Jan.3	9	13.6	-0.6
58	28	9	15.4	2.0	35	4	17	22.3	-0.9
65	Jan.4	4	5.2	1.4	36	5	22	25.7	-1.0
67	6	10	16.0	3.5	37	6	15	14.6	0.2
73	12	2	1.5	4.8	38	7	5	8.0	1.5
74	13	15	10.4	0.2	40	9	6	7.3	1.6
75	14	8	7.6	-0.6	41	10	4	5.8	3.0
76	15	6	7.4	-1.6	44	13	6	5.7	-1.9
81	20	2	2.1	-2.2	45	14	3	4.6	2.5
82	21	9	12.1	-3.7	46	15	17	16.5	-0.1
83	22	30	23.2	2.2	47	16	4	4.0	-0.5
84	23	4	3.2	-3.7	48	17	9	11.5	2.3
85	24	11	9.6	-4.3	49	18	14	14.0	-1.4
86	25	23	21.1	-5.3	53	22	1	1.3	3.1
87	26	15	16.1	-4.6	54	23	4	4.5	-1.5
88	27	17	16.0	-2.5	55	24	3	2.9	2.0
90	29	8	10.2	0.5	56	25	1	4.4	4.7
104	Feb.12	8	9.8	1.4	57	26	3	1.7	2.2
					58	27	5	5.7	0.3
					59	28	7	6.7	-0.4
					60	29	12	10.2	-1.2
					61	30	5	4.6	0.2
					62	31	8	6.3	2.0
					63	Feb.1	10	9.7	0.4
					64	2	10	10.0	-0.2
					65	3	11	13.9	0.0
					66	4	9	8.8	0.9
					67	5	8	6.4	0.0
					68	6	15	14.8	0.2
					70	8	15	15.5	-0.3
					72	10	5	4.1	2.3
					79	17	2	1.0	2.5
					81	19	5	2.2	1.4
					82	20	8	5.8	-0.7
					83	21	19	12.2	1.7
					84	22	9	10.5	0.0
					85	23	10	10.7	-3.1
					87	25	7	6.1	1.4
					97	Mar.7	5	2.3	1.0
					98	8	12	13.8	2.6
					104	14	9	6.1	0.8

網をかけた数字は相互の差が $3\text{kgm}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 以上ある場合で大きい方の数値である。

の図で、NWと ΔW の差が大きいものについて注目すると、最高気温が 0°C 以上で、降雨（みぞれを含む）がある場合がほとんどであった。 ΔW がNWより大きくなるのは（図中g）、降雨の後に降雪がある場合であり、この原因は次のように考えられる。すなわち、はじめに降雨があると、その分がNWでは雪板上には溜まらずに流出して除外されるが、 ΔW では積雪中に保水されることにより加えられるからである。この場合は積雪に保水能力があるときである。逆に ΔW がNWより小さくなったのは（図中1）、やはり降雨が介在するものが多く、これには雨→雪、雪→雨、雪→雨→雪の3種類があった。この場合は積雪に保水能力がなく、雨が浸透して流出してしまうので ΔW は小さくなるが、NWでは雪板上にあらかじめ雪が存在すると雨はそれに浸透し流出せずそのまま保存されるためと考えられる。

(2) 降雨の影響の除去

推定値が基準値とかけ離れるのは降雨が介在する場合がほとんどなので、次に降雨の影響を受けなかったと思われる、最高気温が 0°C 未満の日（いわゆる真冬日）のものだけで比較してみた。その結果を2冬期まとめて図4に示した。これによれば、全体的には ΔW とNWとでの大きな差があるものは除かれたが、 ΔW がNWよりかなり小さい点は依然としていくつか残っている（*印）。この原因について検討したが、地面浸透量が通常のものより特に

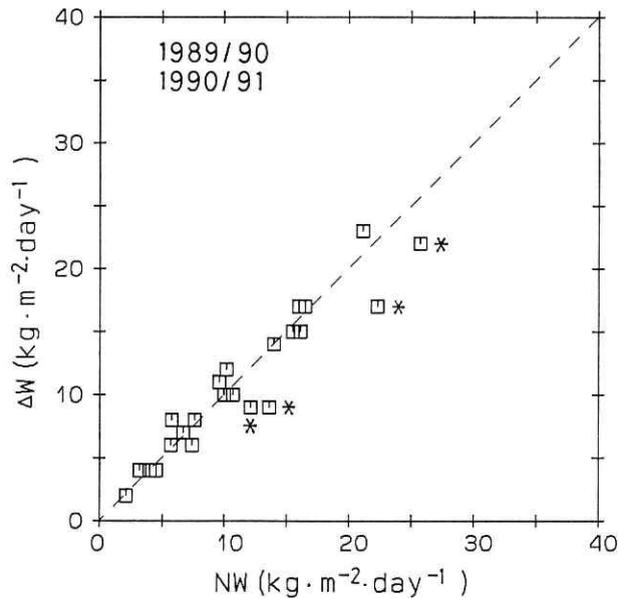


図4 真冬日における日降雪重量(NW)と積雪重量差(ΔW)の比較
 Fig.4 Comparison of ΔW with NW when maximum air temperature is lower than 0°C

大きいものが3点ある一方で、そうでないのも1点あり、断定するまでには至らなかった。 σ は $1.8\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ とやや改善された。

(3) 底面融雪量の影響

当地では2.で述べたように2冬期の積雪底面での最低融雪量は 1.1 および $1.6\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ であった。積雪重量差にはこの影響が含まれている。すなわち、底面融雪量の分だけ積雪重量は減少するので、日降雪重量に比べて積雪重量差は小さくなるはずである。この観点で図3, 4の ΔW とNWの相関関係を見ると、わずかではあるがこの傾向があることが分かる。すなわち両者の相関図の各点が全体的に 45° の点線よりやや下側にプロットされている。しかし、図2から分かるように底面融雪量は冬期間一定ではなく、積雪開始からしだいに減少し、しかも冬期によって若干異なっている。このため、これを正確に予測することは容易ではない。

4. 本推定手法の適用性

積雪重量差から求めた降雪強度は、降雨の影響を強く受け、これを補正することは、雨と雪の判別、積雪の保水能力の見積りなどの問題を解決しなければならず、現段階では困難である。ただし降雨補正の必要のない真冬日の場合は、基準値との標準偏差が $1.8\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ と推定精度が若干向上していた。積雪重量計の公称測定精度は $10\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ であるが、この計測器には、一旦積雪に覆われると動作が安定するという性質があるので、積雪重量差をとった場合には高精度の測定が可能となると考えられる。一方、当地での積雪重量差には底面融雪量による減少傾向が見られた。2冬期間の地面浸透量の測定によれば、底面融雪量は最低でそれぞれ 1.1 , $1.6\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ であった。これが寒冷地の北海道になると、札幌で $0.6\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 、母子里で $0.3\sim 0.8\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ という報告があり（小島, 1979）、当地に比べてかなり小さく、場合によっては無視できる。

以上のことから本推定手法は、降雨の影響をさほど受けず、しかも底面融雪量が小さい寒冷地において適用可能であり、この際の推定精度は $\pm 2\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ の程度であると考えられる。

5. おわりに

本報告において積雪重量差から降雪強度の推定を行う手法について検討した。本研究は、科学技術庁官民特定共同研究「交通路における雪氷防災情報システムの開発に関する研究」においてなされた。

謝 辞

本研究に用いた気温、積雪深、地面浸透量および日降雪重量は未公表のデータであるが、本報告への使用を許可された、新庄雪氷防災研究支所の東浦将夫雪氷防災第2研究室長および佐藤篤司、佐藤威両主任研究官に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 木村忠志 (1983) : Metal Wafer による積雪相当水量の観測, 国立防災科学技術センター研究報告, no.31, 203-217.
- 2) 小島賢治 (1979) : 融雪機構と熱収支, 気象研究ノート, no.136, 1-38.
- 3) 中村 勉・中村秀臣・東浦将夫・沼野夏生・阿部 修 (1983) : 都市雪害推定に関する研究, 昭和56年の豪雪に関する特別研究報告書, 科学技術庁研究調整局, 53-57.
- 4) 高橋 博ほか編 (1988) : 国立防災科学技術センター観測施設総覧—気象・水象・海象編—, 防災科学技術研究資料, no.127, p.263.

(1993年 7月13日 原稿受理)