

雪崩の危険度について(その1)

中 俣 三 郎*

Order of the avalanche danger (Part 1)

by

Saburō NAKAMATA

(Abstract)

Even now, there are so many avalanche danger sites in Japan, excepting the sites which have equipped the defence structures.

For this reason, it is necessary to make for the avalanche hazard map expressed the dangerous zone.

It must be contained that the order of hazard, starting zone, track, runout zone, magnitude of avalanche, etc.

First of all, it is very important to point out the dangerous slope probability of avalanche occurrence.

Next step, it will be determined the order of prevention method by the avalanche magnitude and kinds of disaster for the avalanche.

This report deals with the method to select the dangerous slopes for the avalanche through a statistical analysis of past avalanche activity (inclination, kind of plants, starting areas, frequency occurrence, etc.)

Furthermore, the physical and mechanical properties of deposited snow were measured at the starting zone soon after avalanche have occurred.

It indicated relationship among kind of plant, coef. of friction and adhesion.

い は し が き

毎冬、日本全国の積雪地域で雪崩による災害が発生しており、人命や建物、森林などに大きな損傷を与えている。

表-1にみるように百数十名の犠牲者を伴うような大規模の災害はみられなくなったが、雪崩防止施設や防災対策上の知識が普及した今日でも尚災害が繰り返されることは、改めて検討してみる必要があろう。

現在日本の積雪地域で雪崩危険地と想定される箇所はかなり大量の数に上っているが、これらがことごとく防災対策を施しているわけではない。

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

表-1 本州中部の主たる雪崩災害

Table.1 Main disaster of avalanches occurred in central district of HONSHŪ

順位	発 生 年 月 日	場 所	人 的 被 害	記 事
1	1918. 1. 9. 23° 30'	新潟県湯沢町三俣	158 (死) 22 (傷)	面発生乾雪表層雪崩
2	1922. 2. 3. 20° 頃	“ 親不知, 青海間 トンネル付近	90 40	土砂を含む雪崩
3	1938. 12. 27. 3° 頃	富山県黒部川仕合谷	68 多数	表層雪崩
4	1927. 2. 27	“ “ 柳川原	50	
5	1940. 1. 9. 14°	“ “ 阿曾原	28 33	表層雪崩
6	1956. 2. 10. 10° 55'	“ “ 猫又第二発電所	21 10	“
7	1927. 2. 10. 17°	新潟県刈羽郡野田村	21 10	雪崩, 火災
8	1940. 3. 5	米坂線玉川口, 荒川鉄橋	18 30	
9	1940. 1. 28. 3°	新潟県北魚沼郡越前今泉 北越水力飯場	15 11	
10	1956. 1. 31	入道山鉾山	14 4	雪崩, 地すべり
11	1927. 2. 14	磯部村大洞	12	
12	1927. 2. 7. 20°	新潟県西頸城郡能生谷村平西	11	
13	1961. 2. 16. 20° 40'	長野県下水落郡栄村青倉	11 3	
14	1934. 2. 10. 19°	新潟県北魚沼郡入広瀬村大白川	11	
15	1962. 1. 30	“ 新発田市赤谷 発電現場	9 5	
16	1917. 1. 23	磐越西線 徳沢	9 3	

昭和56年の豪雪時、新潟県北魚沼郡で発生した守門村大倉（死者8名）および湯之谷村下折立（死者6名）の二つの雪崩災害を契機に、新潟県で調査結果、雪崩発生危険箇所としてあげられた数は431箇所にと及んでいることが判明した。

これらを、管括部門別にみると林業関係268、土木関係83、その他80箇所に区分される。このうち80箇所は個人の住居、生活道路に対する危険箇所であり、その対策に当たっては市町村以外に救済の道が開かれていない箇所を意味する。

これら数多くの危険箇所に対して、各管括部門が直ちに雪崩防災対策を施すことは現実には不可能であり、殊に市町村の場合その防止工法が、かなりの経費を要する関係上思うように対策施設が行きわたっているわけではない。また災害に対する予防知識も現地に生活する各個人まで浸透しているとは限らない。従って危険な山奥で生活する建設企業や豪雪地帯を通り抜ける主要国道よりも市町村の集落に多くの被害が見られる実状にある。

いま改めて雪崩危険地を選定した場合、当然防災施行の優先順位が問題となり、危険度の階級表示が検討されなければならない。

Ⅱ 雪崩の危険度

人、建物、施設などが雪崩に対して安全であるかどうか確かめるため、次の各項が検討されなければならない。

1. 雪崩発生斜面の判定
2. 雪崩の種類、規模（マグニチュード）
 - i 発生源の大きさ
 - ii 進路、到達距離
3. 被災対称物と雪崩ルートとの位置関係
4. 降積雪と気象条件

1. 雪崩発生斜面の判定

斜面が雪崩を発生するかどうか判定することが先決条件である。その斜面がこれまでに少なくとも一回雪崩を発生した履歴をもつ場合、その地形条件が変わらぬ限り今後も発生し得るものと認定しなければならない。但しその斜面が雪崩防止工法を施された場合（よう壁、柵工、杭工、吊工、階段工など）、或いは雪崩防止林または自然林が成長して雪崩に耐える成木になった場合、雪崩対象から除いて差し支えない。

過去の雪崩歴については一般に全層なだれの場合確認しやすく、殊に常習地はふだんから良く知られている関係上災害は却って発生し難い。しかし出現回数の少ない雪崩地は、古い記録、古老、猟師などの証言を得ない限り、雪崩歴は不明で、時には未発生の斜面として取り扱われる場合が多い。従ってこのような箇所に対しては地形的な検討から、或いは積雪期の航空写真の解析などから判定しなければならない。

発生源の傾斜

雪崩発生源は地表の植生条件や粗滑条件に支配されるが傾斜はほぼ 25～60°附近までに示される。

国鉄の過去の発生例 777 件から雪崩の発生頻度の傾向を図-1～4 に示した。

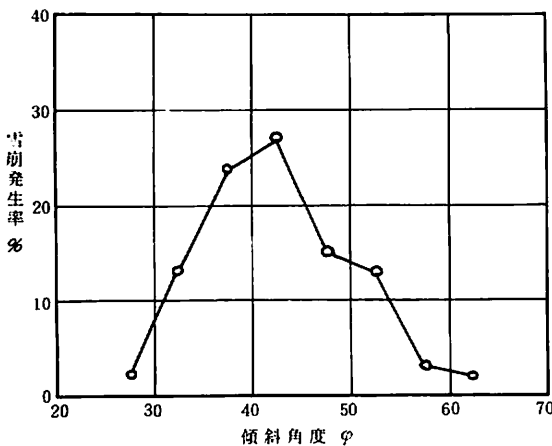


図-1 傾斜角度と雪崩発生率

Fig.1 Dependence of slope inclination on occurrence rate of avalanche.

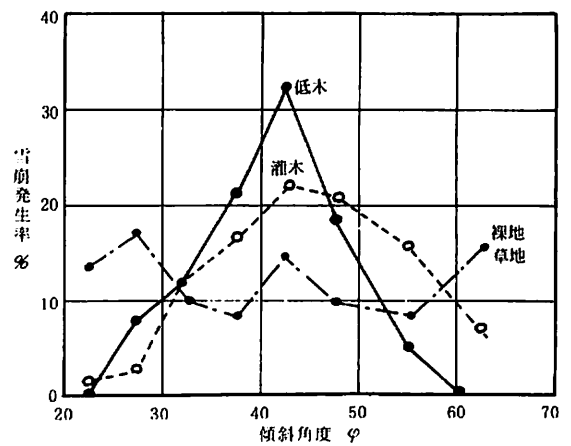


図-2 斜面の植生と雪崩発生率

Fig.2 Dependence of covering plant on occurrence rate of avalanche.

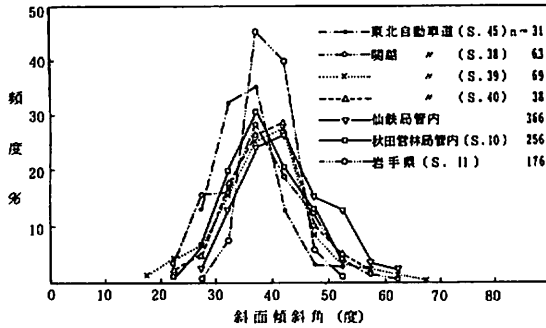


図-3 被害対象別の雪崩発生率と斜面傾斜
Fig.3 Relation between the occurrence rate of avalanche and the slope inclination, observed every where.

これらから雪崩発生源は40°～45°の傾斜地、植生は草地、裸地、低木帯などの滑りやすい斜面に多発していることが統計的にも立証している。

ここで雪崩発生源の傾斜を25°付近まで採った場合、対象となる斜面はおびただしい数量になり、例えば植生や、発生源の面積などの条件から規制してもなお、かなりの数になる恐れがある。

従って発生源として判定しても雪崩の規模、被災対象の種類など総合して判定しなければならない。

傾斜が50°以上になると降雪の都度崩落するか、クリープによる流動で斜面の積雪は著しく減少する。このため雪崩の規模は一般に小さくなり危険度は減少する。

従って危険度の取り扱いは33°～50°付近まで発生源の範囲と判定し40°附近に最頻値を示す正規分布とみなす。

発生源の植生

斜面の植生条件は雪崩発生源の大きな判定要素である。図-2に示したように草地、裸地、低木帯などに多発し、殊に常習地では毎冬雪崩発生を繰り返すことにより樹木、表土まで削りとられ、硬い岩盤が露出している例を多く見る。

発生源に多く見られる植生としてあげられるものは、草、低木、灌木類でヨシ、ススキ、スゲ類、クズ、ゼンマイ、ウド、ワラビ、クマザサ、アオキ、タニウツギ、ツバキ、マンサクなどその他があげられる。

低木は積雪荷重のため傾斜方向に揃って倒伏する。厳冬期は積雪底面に凍着して斜面積雪のすべりを阻止しているが、融雪期は積雪下部の雪強度が低下し、却って摩擦係数を減少させている点注意しなければならない。低木の場合伐採した跡地の方がむしろなだれ難いことを、これまでの実験結果から得た。

表-2に植生状態となだれ発生箇所数の関係を示した。鉄道、道路共に低木灌木の斜面に雪崩が多発していることがわかる。これは滑り易い条件をもった裸地や草地に雪崩発生が少ないということと異なり、交通路に面する斜面の多くが灌木地に占められているため、危険度は勿論、表中の上段ほど高い。

発生源の積雪深、雪質

積雪深が大きくなるほど、斜面積雪荷重の傾斜方向の分力が増大するため、地表との附着力や摩擦抵抗に打ちかってなだれ易くなる。

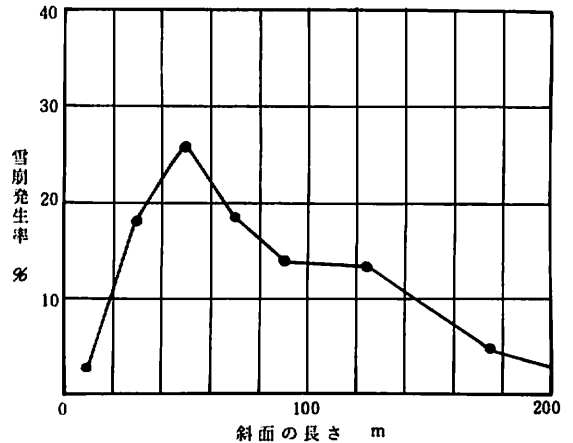


図-4 斜面長と雪崩発生率
Fig.4 Dependence of length at starting zone on occurrence rate of avalanche.

一方斜面の積雪は湿雪化した場合、地表への融雪水の浸透が容易になり、地表の摩擦係数を減少させなだれ易くなる。また、湿雪化により雪の強度（抗剪力、抗張力、硬度）が低下するので雪崩の誘因となり易い。

一般に積雪深が小さいほど高温、降雨、南風など外気の影響をうけ易く湿雪化が早い、積雪深が大きいと、表面だけの湿雪化にとどまり、内部への融雪水の浸透を遅らせる。

従って積雪深の増加は先にのべた斜面分力の増加によってなだれ易さを増す一方、湿雪化を遅らせ、なだれ難くするという相反する面をもつ点注意しなければならない。

以上の事柄から雪崩発生斜面の判定に対しては、地形的要素を主体として、積雪の深さや雪質は、むしろ発生する雪崩の規模、発生予知の手がかりとしてとり上げた方がよい。

ここで現実に雪崩を発生した斜面について、傾斜、植生、積雪深などの関連を検討した。

表-3に示すように、雪崩発生斜面の植生を裸地又は草地、低木、中木の3階級に大別し斜面の傾斜(φ)発生源近くの積雪重量(\overline{HW})を夫々測定した。

斜面の積雪重量は鉛直方向に採るため斜面単位長の重量に換算すると $\overline{HW}\cos\varphi$

表-2 　なだれ発生地の植生

Table.2 　Kinds of plant at starting zone of avalanche.

(日本鉄道施設協会)		(高速道路調査会)	
植生状態	箇所数	植生状態	箇所数
裸地	14	露岩	54
草地	27	カヤ地、草地	46
灌木地	410	草・灌木の中間	75
森林	幼齡林	灌木	321
	中齡林以上	高木	2
計	665	不明	15
		計	516

表-3 　雪崩発生源の傾斜と積雪重量

Table.3 　Measured values of slope inclination and weight of deposited snow per unit area at the starting zone.

発生源の植生	傾斜角度(φ)	積雪重量 \overline{HW} (kg/m ²)	傾斜方向の剪断力 τ_{max} (kg/m ²)	地面と直角方向の圧縮力 σ_N (kg/m ²)
裸地	42°	273	136	151
	50	338	166	140
カヤ	38	378	183	235
	40	378	186	222
	43	137	68	73
	43	166	83	89
	45	175	88	88
	48	149	74	67
雑草	50	204	101	84
	35	917	431	615
	36	440	209	288
	40	543	267	319
	42	254	126	140
低木 (灌木)	45	176	88	88
	35	396	186	266
	40	440	217	258
	40	370	182	217
	40	637	314	374
	42	191	95	106
	42	380	189	210
	43	330	165	177
	44	522	261	270
	45	281	141	141
45	500	250	250	
53	351	169	127	
中木	34	574	266	395
	43	347	173	186
高木	43	349	174	187
	50	871	429	360

で示される。いま斜面積雪の滑りを阻止する摩擦抵抗は一般に次式で示される。

$$R = C + \mu \cdot W \cos \varphi \quad \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで R : 積雪底面の摩擦抵抗 kg/m^2

C : 地表面との付着力 "

μ : 地表面の摩擦係数

W : 積雪荷重 $= \overline{HW} \cos \varphi \text{ kg/m}^2$

φ : 傾斜角度

斜面積雪の底面に働く剪断力の最大値 τ_{\max} は、 $W \cdot \sin \varphi = \frac{1}{2} \cdot \overline{HW} \cdot \sin 2\varphi$ で示される。雪崩を発生するためには一般に、 $\tau_{\max} \geq R$ 、即ち $\tau_{\max} \geq C + \mu \cdot W \cos \varphi$ が成立つものとする。表-3にもとづき各測定値の τ_{\max} と $\sigma_N = \overline{HW} \cos^2 \varphi$ の関係を図-5、図-6に示した。

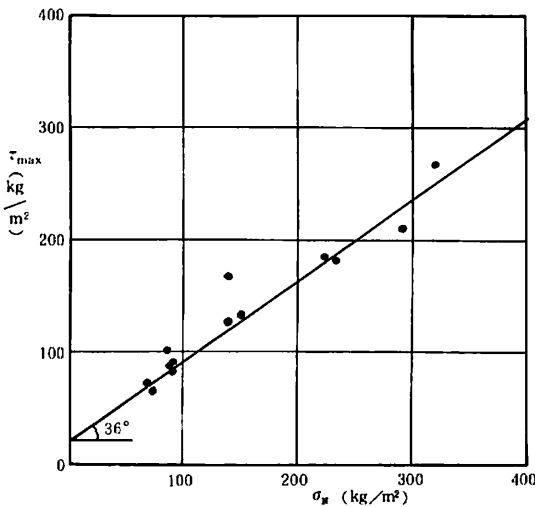


図-5 草地斜面の τ_{\max} 、 σ_N 関係

Fig.5 Dependence of τ_{\max} on σ_N on the slope covered with the grass.

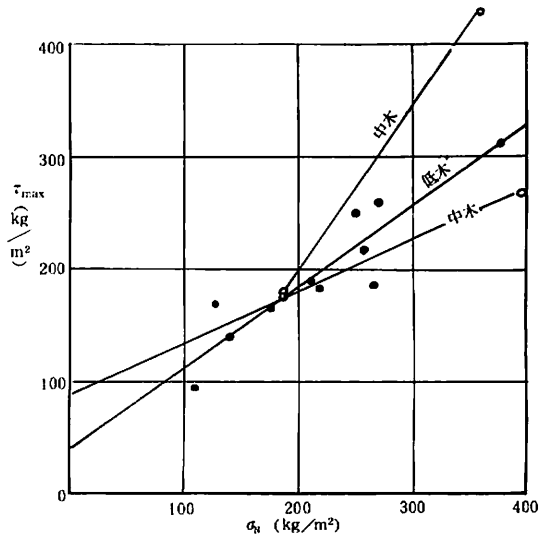


図-6 中、低木斜面の τ_{\max} 、 σ_N 関係

Fig.6 Dependence of τ_{\max} on σ_N on the slope covered with the tree.

図-5は滑り易い裸地や草地の雪崩発生源における関係ではば36°の傾斜をもった直線で代表され、Y軸との交点は約20kg/m²を示し、この種類の斜面の雪崩発生時の付着力(C)に相当する。また36°の傾斜から地表摩擦係数は $\mu \approx \tan 36^\circ \approx 0.73$ をうる。図-6からも同様C=40kg/m²、 $\mu \approx 0.73$ をうる。従って雪崩発生源の付着力Cは草地や低木帯で異なるだけで摩擦係数はほとんど変わらないという結果を得た。中・高木帯は資料の少なから傾向を示すのは困難であるが、付着力90kg/m²、摩擦係数0.42~1.5程度のみやすを得た。

ここで斜面の雪崩条件における傾斜と積雪重量を求めるため図-7を示した。

いま図-5、6で求めた τ_{\max} 、 σ_N 関係を示す直線をA、A、B、Bとし、X軸と45°の直線OMとの交点を夫々M₁、M₂とし、M₁からX、Y軸に下した垂線の足をF、Eとすると、

$$\overline{OE} = \overline{OA_0} + \overline{A_0E} = C + \overline{OF} \tan \phi = C + \mu \cdot \sigma_N = \text{阻止抵抗}$$

$$\text{また } \overline{OE} = \overline{OF} \tan \phi = \sigma_N \tan \phi = W \cos \phi \cdot \tan \phi = W \cdot \sin \phi = \tau_{\max}$$

従ってM₁点は斜面積雪の移動力と阻止抵抗が等しくなる点を示す。また、 $\overline{OM_1} = W = \overline{HW} \cdot \cos \varphi$ (但

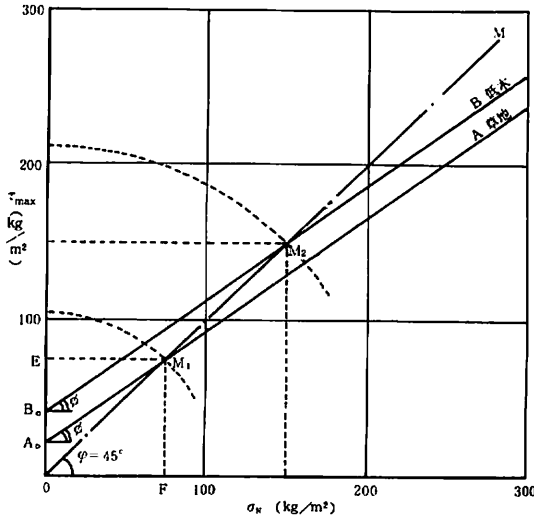


図-7 $(\tau_{\max}-\sigma_N)$ 曲線と雪崩発生源の積雪重量
 Fig.7 Relationship among kind of plant, coef of friction and adhesion.

沢町国鉄雪実験所構内における各冬の積雪深と積雪重量の経過を示したもので平地の観測例である。斜面はその構造(方位, 傾斜, 植生)により, 絶対値は多少異なるが, 一冬の経過は平地と変わらないので, めやすをうるため使用できよう。

ここで得た附着力や摩擦係数は, 新潟県南部の山間地で一冬観測した結果から求めたもので, この値を根拠に斜面の雪崩発生時の積雪重量を推定した。

結果から草地, 裸地, 低木帯の斜面は, 積雪量に関係なく 36° 以下の傾斜では雪崩を発生しないことを示した。

しかし, 年により降雪, 積雪経過や気象変化はかなり異なり, これに伴ない斜面積雪の層構造もかなり異なる。従って雪崩発生時の附着力や摩擦係数も多少異なることが推定されるので, 毎冬このような観測資料を積み上げていくことが必要であろう。

文 献

- 建設省河川局, 林野庁(1982): なだれ防災対策調査報告書, P 103.
- 高速道路調査会他(1970): 防雪植栽に関する研究報告書, P 130.
- 荘田幹夫, 中俣三郎(1960): 雪崩対策委託研究結果集, 鉄道技術研究所速報, No 60-75.
- 中俣三郎(1980): 雪崩予知の研究, 新潟大学災害研究センター研究年報, 第2巻,
- (1981): 雪崩災害の防止, 建設業労働災害防止協会指導書, P 49.
- 日本積雪連合(1981): 日本の雪害史, P 37-258.

しHWは斜面に鉛直方向に採った積雪重量とする。)

雪崩発生条件を単純に $\tau_{\max} \geq C + \mu \cdot \sigma_N$ とすると, 傾斜 45° の草地斜面では \overline{OM}_1 が W 以上の値に達した際に雪崩を発生する。従って図-7 から $OM_1 = 105 \text{ kg/m}^2$, $\overline{HW} = 148 \text{ kg/m}^2$ をうる。即ち斜面の積雪重量が 148 kg/m^2 以上から草地斜面では雪崩を発生することを示す。低木(灌木)斜面は $HW = 297 \text{ kg/m}^2$ を得る。

同様の方法で傾斜 40° の斜面について作図すると
 草地斜面の場合

$$\overline{HW} = 313 \text{ kg/m}^2 \text{ 以上で雪崩発生}$$

低木斜面の場合

$$\overline{HW} = 633 \text{ kg/m}^2 \text{ 以上で雪崩発生}$$

ここで斜面の積雪重量はどのような経過で増大するか, 何時頃雪崩発生の危険が示されるか, そのめやすを得るため図-8を示した。図-8は塩

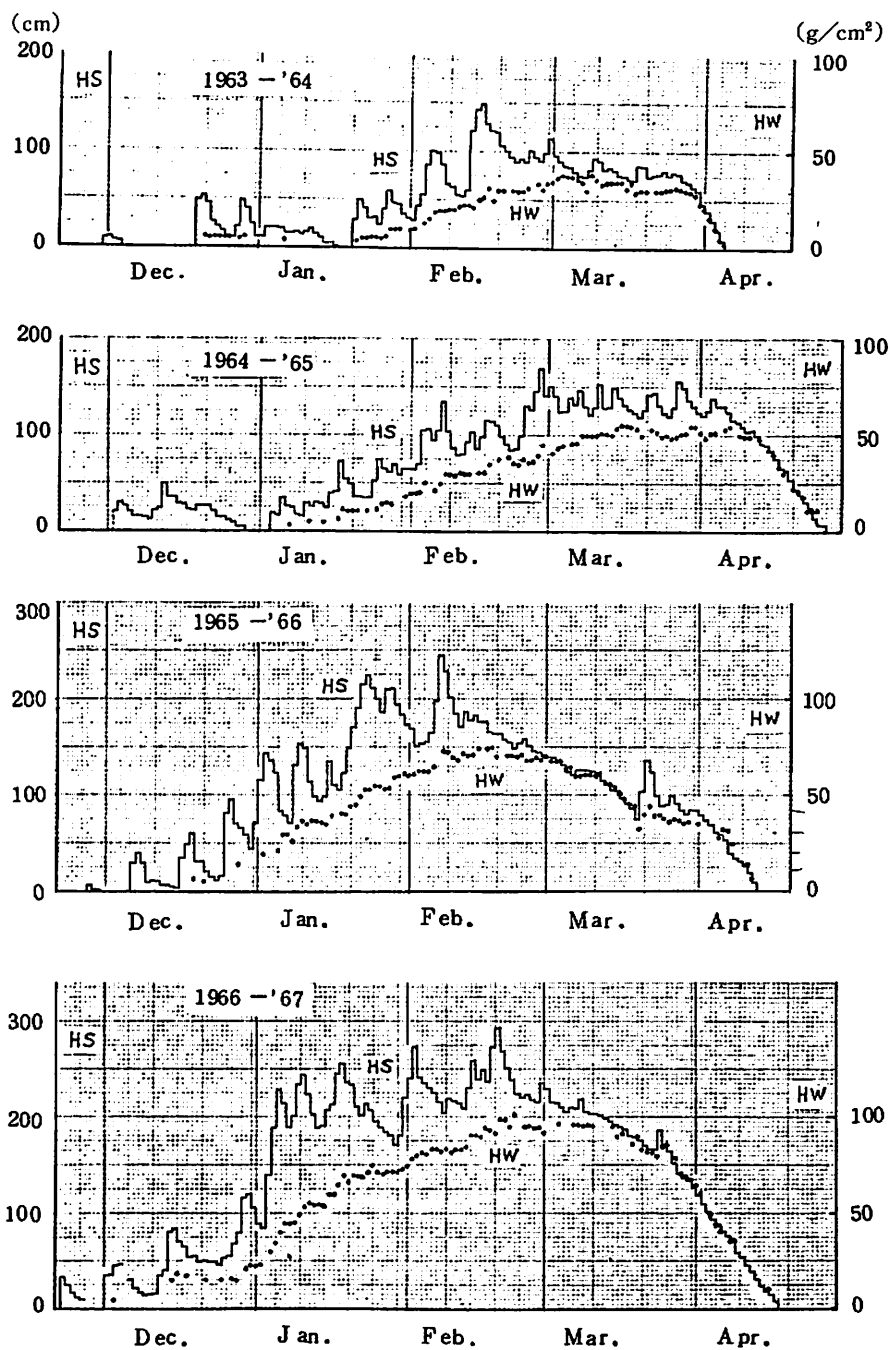


図-8 積雪深と積雪重量

Fig.8 Snow depth and weight of deposited snow per unit area.