

冠 雪 の 研 究 (第 1 報)

Laboratory of Snow Damage in Division of Forest Calamity Prevention:
Study of the Fallen Snow on the Forest Trees (The First Report)

防 災 部 雪 害 研 究 室

この報告は 1949 年 (昭和 24 年)～1950 年及び 1950 年～1951 年 (昭和 26 年) の両冬季にわたり、十日町試験地 (新潟県中魚沼郡) 及び秋田支場釜淵分場 (山形県最上郡及位村) の二場で、四手井、高橋 (敏)、片岡 (以上釜淵)、高橋 (喜) (十日町) が主となり、根津、渡辺、野上、大島 (十日町)、伊藤、小野、星川 (釜淵) が援助して行つた、主として林木の冠雪の成因に関する研究報告である。

林木の機械的雪害の原因は大別すると、次の 2 になることは既に報告した⁽¹⁾。

- | | | |
|---|----------|------------------|
| { | 1. 冠雪の荷重 | |
| | 2. 雪 | { 匍 行 力
沈 降 力 |
| | 圧 | |

この内、雪圧については、沈降力に関し一部報告⁽²⁾したが、冠雪については、未だ殆んど手をつけられていないので、本報告はこの研究に関しては初めてのものであるが、冠雪は地物えの着雪の一種であり、この種の現象に、鉄道や通信方面で重大な問題となつている、電線の着雪 (筒雪)、電柱の着雪がある。この方面では、かなり多数の報告がある⁽³⁾。林木の冠雪の成因にも、大略これと似たものもあるが、立体的な、複雑な形態をもつ樹冠では、それより更に複雑な着雪機構をもつている。本報告では、その全貌を明かに出来なかつたが、一応基礎的な諸因子を明かにし得たものと考えている。本報告は各研究者が分担した項目につき、その得た所を取纏め、全体としての決論的なものを導き出すことをやめたが、それは更に引続き行ふ予定の研究により成就し得られるものと考えている。

冠雪はそれ自体、樹冠の荷重を大ならしめ、林木の折損を起す原因となるばかりでなく、樹冠の冠雪荷重による屈曲、倒伏は第 2 次的に積雪下えの林木の埋没を早からしめ、雪圧による被害を惹起する原因ともなるもので、林木の機械的雪害の原因としては、重大なものの一つである。

(雪害研究室長 四手井綱英)

主 要 参 考 文 献

- (1) 幼令林の雪害 林試集報 58 号
- (2) 積雪の沈降力 (第 2 報) 林試報 44 号, (第 3 報) 雪氷 12 巻 2 号
- (3) 電線の着雪の研究とその雪害対策 荘田幹夫 雪氷 12 巻 3 号

目 次

I 基礎的研究	117
a 地物の大きさと冠雪	高橋 敏男 高橋 喜平 117
b 地物の形と冠雪	四手井 綱英 122
c 地物の匄配と冠雪	四手井 綱英 高橋 敏男 133
II 試験木による研究	140
a スギの冠雪に就て	高橋 喜平 140
b 枝葉の冠雪	片岡 健二郎 149

I-a 地物の大きさと冠雪 (雪が平板上に積る機構)

農林技官 高 橋 敏 男

農林技官 高 橋 喜 平

I ま え が き

冠雪の研究の中の基礎的研究の一つ，“積る機構”を，最も簡略化した模型によつて知らうとして，昭和 25～26 年冬より本冬（現在）にかけて，十日町及び釜淵で行つた実験の内，平板上に雪はどの様に積るかを調べた実験に就いて述べる。現在継続中であるから本報告は中間報告のつもりで読んで戴き度い。

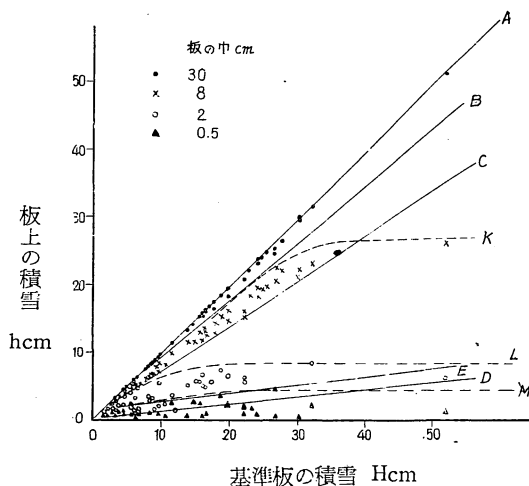
II 実験の方法

枝葉のモデルとして スギ板で 長板と円板その他をつくり，之を雪上のある高さに 水平に保ち，その上に積る雪の形と量を調べた。長板は長さ各約 50 cm，巾は 0.1, 0.3, 0.5, 0.6, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 15.0, 30.0 cm の 10 種，円板は直径 1, 2, 4, 8, 16, 20 cm の 6 種で，積つた高さ及び量を比較し，形の変化は写真によつた。尙出来るだけ外部条件を単純化する為，この測定場所を簀子でめぐらした場合もある。

III 成績—1 長 板

板の巾によつてどれだけの高さに雪が積るかを全観測 51 回について示すと，第1図のようになる。図中横軸の H は勾配の積雪試験に使われた巾約 90cm，長さ約 180cm の水平に置かれた板上に積つた量で之を標準板の積雪 H cm とした。 h は試験長板上の積雪 (cm) である。之から判ることは，板巾毎に帯（くさび）状の中に実測値があつて夫々相当な振りを持つてゐる。例へば 30, 8, 2 cm 巾の板は A—B, B—C, C—D 夫々 2 本の直線の間分散して，板巾の小さくなるにつれて， h が低くなると共に分散の帯巾が大きくなる。更に 8, 2, 0.5 cm の板巾の

第1図 各板の積雪



場合夫々 K, L, M の上限が認められる。即ち幾ら降つても之以上高く積らぬと云う K, L, M の頭打のあることが考えられる。

そこでこの頭打ちの値 h_M を見出す為に、各長板について h の最大の値を3ヶ宛採つて見ると第1表の通りになる。

第 1 表

板 の 巾 b cm	h_M (糎)				h_M/b
	実 測 値			計 算 値 h_M h_M	
100.0	—	—	—	140—130	1.4
50.0	—	—	—	89—77	1.8
30.0	52	—	—	64—52	2.1
15.0	41	37	—	41—31	2.7
8.0	26	23	23	27—19	3.8
4.0	16	15	11	17—11	4.2
2.0	8.5	7.0	6.5	11.0—6.5	5.5
1.0	6.5	3.6	3.5	7.0—6.0	7.0
0.5	4.5	2.5	2.3	4.5—2.3	9.0

今板巾を b cm として h の頭打ちの値 h_M cm は

$$h_M = k \cdot b^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

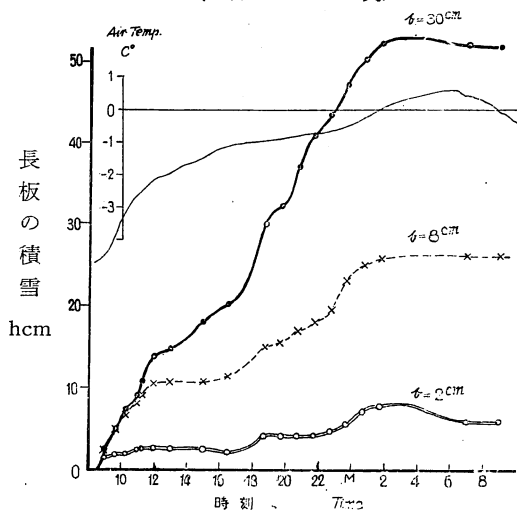
(但し $k=7\sim6$, $\alpha=0.95\sim0.66$)

として計算した値を同じ表に記した。若し之が正しいとすると 1m 巾の板は幾ら降つても 1m 30~40 を越さないことになる。勿論長期間積るにまかせて置けば、その積雪の比重も粘性も増加するから或は之を越すかも知らぬが、24時間内の新積雪としては之位の限界があると云ふことである。然し 24 時間以上に

なると (1) 式の常数が變つてもやはり限界値があることは想像出来る。又表中 h_M/b で示したように、板巾が狭くなると h_M は小さくなるが、巾の割合には高く積ることが判つた。之は b の小さいものは大きいのと較べて、法面が急勾配となるか、積つた雪の粘性が大きいことに因るものと推測せられる。然し一方狭い板程外圍の影響が大きく、又ねじれたり、だれたり、或はこわれたりし易く不安定である。

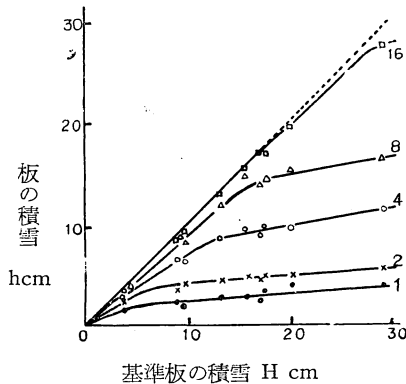
次ぎに或る日 (1 月 10~11 日) の実例を第2図に示す。之によると h の生長し方が刻々どう變つて行くかが判る。 b が 30cm のものは殆んど標準板の値と同じである。始めより狭いものでもこの標準並みに高くならうとするが途中でくつついて行けなくなつて、ゆるやかな増加或は減少をすこしながら経過し、夜半たまたま温暖となり雲の好条件で急昇するが再び落ち付き先述の“限界”の存在を示す。そこで、降雪のはげしい時と普通の降り方とに分けて調べると更に明瞭な傾向を知ることが出来る。

第2図 h の時間的变化
(1月10~11日の例)

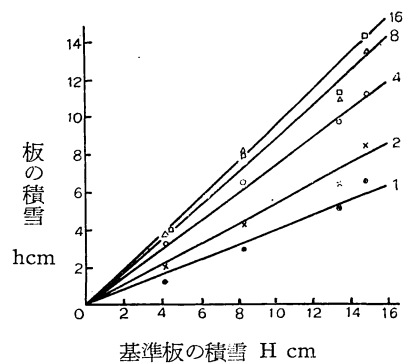


第3図は降雪のはげしい場合で、いずれの板もある所までは降雪に応じて急速に積るが、ある限界で増加の仕方が急に少くなる。そしてほぼ一定の増加を示す。この時気温は平均 -3.4°C で、降雪は樹枝状結晶に多量の霰状雪が混つたもので、粉体に近い。この新雪の密度は $0.039 \sim 0.057 \text{ g/cm}^3$ であつた。今このような雪質を念頭に置いて雪の積り方の変化の原因を考えると、或る点から除々に一定割合で積雪高が増すのは、雪の変態に基くものと考えられる。即ち雪自身の重さによる側方へのダレの為、時間と共に板巾が大きくなる結果を招き、そのためにこの増加が起きるものと想像される。従つて積雪高の増加率が変はる点が雪の変態のあまりない場合の「かわきゆき」の積り得る限界と見てよいであろう。そこでこの第3図 (a) よ

第3図 (a) 降雪多量るとき
数字は板の巾 cm



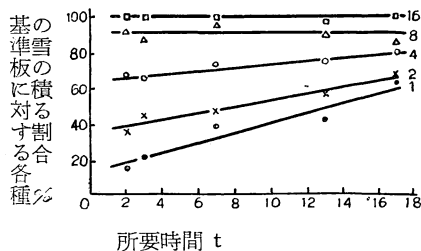
第3図 (b) 降雪普通るとき



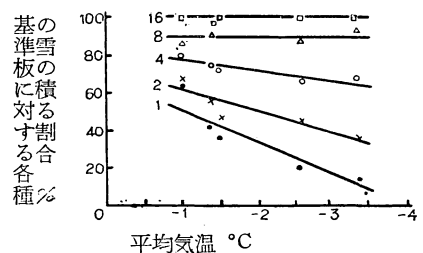
り之を求めてみると板巾の夫々約2倍の値であることが分る。次ぎに普通の降り方の場合を調べると、同図 (b) となる。(a) 図と相当異つてゐる。之は雪の粘性に原因するものであることは次のようにして判る。気温は $0.6 \sim -3.2^{\circ}\text{C}$ の降雪である。そこで降雪強度や気温差によつて、積り方がどのように影響されるかを調べよう。

その方法は全資料中より H が大体似たもので、その積るのに要した時間と平温気温とを調べ、更に H に対する各板の h の割合 % を求めて、第4図を作つてみると、板巾の小さい

第4図 所要時間と各板の積雪割合



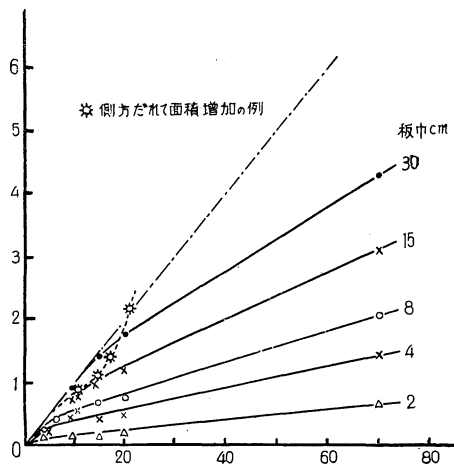
第5図 平均気温と各板の積雪割合



程、所要時間がのびるに従つて積る割合が大きくなる傾向が判る。次ぎに第5図は平均気温と各板の積る割合との関係を示したもので、板巾が小さい程、気温が高くなるにつれて雪の積る

割合が大きくなっている。そこでこの第4, 5図を一緒にして、気温が高い程（但し零度下）雪の粘性が増し、時間の経過に比例して変態が増大することを知ることが出来る。

第6図 最も大きく積った2例



之まで述べて来たのは積る高さであつたが、次ぎに重さの資料（甚だ少い）からも上と同様のことが云えるが異なる処は第6図によつて判断せられる。横軸に降雪量（mm）をとつて、縦軸に単位面積 cm^2 当りの長板上の雪量 g を採つてみると、巾の広いもの程多く積るし、増し方も一般に大きい。破線で示した特殊例は、側方にダレが大きかつた場合で急激な増加をして、個有の板面積以上の捕雪をすることが明示せられている。然しこれは屢々ある例であつて、その極端な場合として電線の筒雪が挙げられる。あの細い電線上に

積る雪は直上だけでは極めて僅かしか積り得ないものが、横或は直下へのダレによつて受雪面を増大して行く。然し樹木の枝葉では電線のように着雪が廻転する機会はその程多くはないから夫程のことは無いと考えられる。何れにせよ積雪の高さの方は頭打ち的であるが、重さの方は可なり積極的であることは注意しなければならぬ。

Ⅳ 成績—2 円板

次ぎに円板の観測について述べる。

円板と長板を比較すると第2表となる。即ち同じ直径と巾のものを比較すると、長板の方が高く積る。然し大きくなるとその差は小さくなる。

第2表

板の巾 又は直径	積雪 cm		(B) (A)
	長板(A)	円板(B)	
1cm	6.5	2.5	38%
2	8.5	5.3	62
4	11.2	8.5	76
8	13.5	11.5	85
16	14.4	13.0	90

備考 基準板の積雪 15.0 cm

第3表

円板の直径 (A)	積雪の限界* (B)	(B) (A)
1 cm	2.2	2.2
2	5.8	2.9
4	13.8	3.4
8	29.0	3.6
16	>41.0	

* 雪の変態が早い場合の「わたゆき」の例

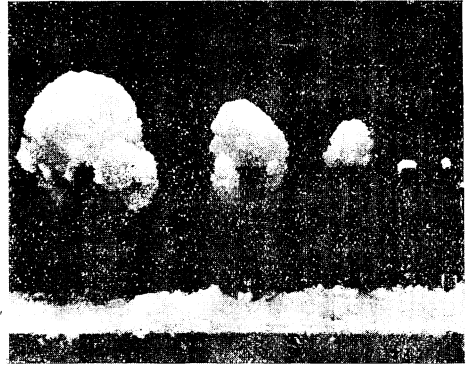
又3月4日円板に雪が積り得る限界を調べたが、之は第3表に示すように、先述の長板の場合と甚しく異なるのは、雪が大変粘性が大きかつたためである。気温は（ $-0.3 \sim -1.4^{\circ}\text{C}$ ）且つ

降雪も多く(降水量 0.9~3.7 mm/h), そのため面積の小さい円板上の雪は頭でつかちになり不安定で落下を繰返した。然るに面積が大きい方は, かえつて安定となり, bの大きいもの程今まで以上高くなつた。之は粘性が大きかつた例で, 小さい粘性のものに就いて現在調査中である。

V 結 び

冠雪の基礎実験として長板, 円板, 等模型を用いて雪の積る実験を行つた結果, 冠雪量は平板の形と大きさによつて明瞭な関係があり, 降雪の強度及び雪質に支配された限界のあることを知つた。昨冬は殆んど予備的実験に終つたが, 本冬現在続行中のものに, 平板だけでなく, 例へば, 放射状竹ヒゴや格子型や簀の子状のものに就いて研究中であるが, 之等は冠雪の機構を知る上に重要な示唆を与えることが次第に明らかにされつゝある。

第 7 図



I-b 地物の形と冠雪

農林技官 四手井 綱 英

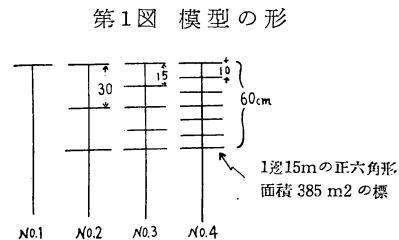
I 同一面積の板が垂直に重つた場合の冠雪量

これは樹木の形を模型化して、同一の形と面積をもつ板が垂直に重なつたものと考えた場合、その板の単位距離間の密度が、冠雪量にどんな関係を有するかを調査したものである。

1. 模型について

上記の樹木模型として、最も簡単な型を想像し、第1図の様な4種の同一大、同一型の板の重りの場合の冠雪量を測定した。これは一定の高さの間の板の数が多くなれば、その冠雪量が、投影面積上に降り積る雪量より、どれ丈多くなるかを調査するのが目的である。

板は便宜上正六角型木製板とし、一辺 15cm、面積 585 cm^2 とした。板と板との距離は、



No. 1	1 枚	—	—
No. 2	3 枚	距離 30 cm	全高 60 cm
No. 3	5 枚	距離 15 cm	全高 60 cm
No. 4	7 枚	距離 10 cm	全高 60 cm

即ち 60 cm の高さを 30, 15, 10 cm に分割して、板をはさんでいつたのである。

2. 測定結果

上記の4種類の模型を雪上に直立し、降雪のあつた日毎に、朝9~10時の間に一斉に総冠雪重量を測定、記録した。本実験は開始が遅れたため、資料は第1表に示す13回しか得られなかつた。此の資料により、各因子との関係を求めて見ると次の如くである。

a. 冠雪増加量と風速との関係

第1表に示した各日の3, 5, 7枚の冠雪総重量から其の日の1枚の場合の冠雪量を差引いたものは、各模型に対する冠雪の増加量を示すことになり、之の値を、各々の板の枚数、2, 4, 6で除せば、各模型の板の間隔差に対する1枚当りの冠雪増加量が求められる。此の値を、1枚の場合 (No. 1) の冠雪重量で除し、その商を冠雪増加率とした。

この冠雪増加率を、冠雪を生じた降雪時間中の平均風速別に図示したのが第2図である。

本図で分かる様に各種類共、風速の増加に比例して、冠雪量が増加している。ここに示した風速は、降雪時間中の風速全程より、平均風速を算定した値で、降雪時間はヘルマン雪量計よ

第 1 表 測 定 結 果

		No. 1 1枚 (A)		No. 2 3枚 (B)				No. 3 5枚 (C)				No. 4 7枚 (D)				平均 風速 m/sec
		冠雪 重量	同 %	冠雪 重量	増加量 B-A	1枚当 B-A/ 3	同 %	冠雪 重量	増加量 C-A	1枚当 C-A/ 5	同 %	冠雪 重量	増加量 D-A	1枚当 D-A/ 7	同 %	
II	12	64	100	140	76	38	59	—	—	—	—	—	—	—	—	0.60
	13	355	"	775	420	210	59	—	—	—	—	—	—	—	—	0.83
	16	75	"	155	80	40	53	—	—	—	—	—	—	—	—	0.40
	17	540	"	935	395	198	37	865	325	81	15	775	235	39	7	0.04
	18	115	"	250	135	68	59	280	165	41	36	300	185	31	27	1.16
	19	325	"	645	320	160	50	605	280	70	22	615	290	48	15	0.72
	26	540	"	690	150	75	14	610	70	18	3	645	105	18	3	0.10
III	3	955	100	1745	790	395	41	1725	770	193	21	1590	635	106	11	0.16
	4	155	"	300	145	73	47	—	—	—	—	300	145	24	15	0.16
	5	280	"	560	280	140	50	—	—	—	—	460	180	30	11	0.26
	6	320	"	550	230	115	36	555	235	59	18	515	195	33	10	0.36
	8	330	"	560	230	115	35	605	275	64	19	615	285	48	15	0.46
	21	720	"	1280	560	280	39	1390	670	168	23	1395	675	113	16	0.36

り、風速全程はロビンソン自記風速計より読みとつた。

各種類につき、冠雪増加率と風速との関係を直線関係と見做して、実験式を算出して見ると、

a. No. 2 (3枚の場合)

$$y_2 = 33.1 + 26.5 v_w \dots\dots\dots (1)$$

$$r = +0.69 \text{ (危険率 5\% の } r=0.55)$$

$$(y = \text{冠雪増加率, } v_w = \text{風速 m/sec})$$

b. No. 3 (5枚の場合)

$$y_3 = 11.1 + 20.2 v_w \dots\dots\dots (2)$$

$$r = +0.82 \text{ (危険率 5\% の } r=0.71)$$

c. No. 4 (7枚の場合)

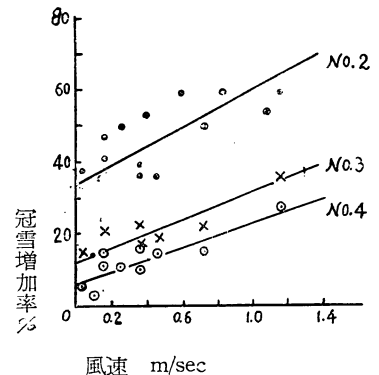
$$y_4 = 6.9 + 16.2 v_w \dots\dots\dots (3)$$

$$r = +0.87 \text{ (危険率 5\% の } r=0.63)$$

となり3種類共可成密な関係があり、枚数の増加に対し、一定の関係で冠雪量が増加することが認められる。

即ち、冠雪量は、この模型の様な形の地物に対しては、風速の増加と共に増加し、同一投影面積上の積雪量以上に冠雪することが知られる。但し、この試験を行つた、釜淵分場では冬季間、平均 2 m/sec を越える、風速は殆んど無く、此の場合にも 1.16 m/sec を最大としてい

第 2 図 冠雪増加率と風速との関係

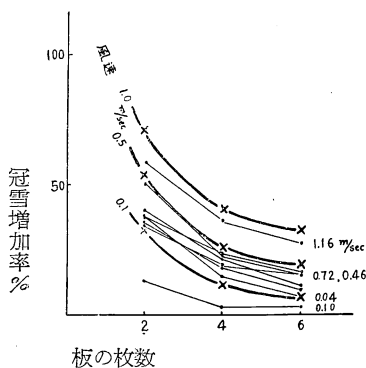


るため、これ以上の強風に対しては、どうなるか不明である。恐らく、風速が更に増せば吹雪が起り、冠雪量は激減するものと考えられる。

b. 冠雪量増加と板の密度即ち板の距離との関係

前項で求めた、各種類別の風速との関係より、板の密度との関係を求めてると第3図の様に $y = az^b$ で表し得る対数曲線関係を示すことを知つた。

第3図 冠雪増加率と板の枚数との関係



そこで、前項で求めた、冠雪増加率と風速との関係式 $y = a + bx$ の常数 a , b につき、別々に板の枚数との関係を求めて見ると、 a , b 共に枚数即ち板の密度との間に、甚だ密な対数曲線的な関係を有することが分かる。即ち

板の密度に関する常数 a の関係式

$$r = -0.998$$

$$a = 87.9N^{-1.45} \dots\dots\dots (4)$$

(N ……枚数)

風速に関する常数 b の関係式

$$r = -0.996$$

$$b = 56.4v_w^{-0.44} \dots\dots\dots (5)$$

即ち冠雪増加率は板の枚数に逆比例することが分かる。

(4) (5) 式を前項の風速との関係式に代入すると

$$y_n = 87.9N^{-1.45} + 56.4N^{-0.44} v_w \dots\dots\dots (6)$$

y_n ……冠雪増加率 (%)

N ……板の枚数

v_w ……風速 (m/sec)

となり、板の枚数 N は又板と板の距離を d cm とすると、此の場合全高 60 cm であるから、

$$N = \frac{60}{d} \dots\dots\dots (7)$$

となる。これを用いて、(6) 式を書き直すと、

$$y_n = 0.235 d^{1.45} + 9.384 d^{0.44} v_w$$

$$y_n = \frac{1}{4} d^{\frac{2}{5}} (d + 40 v_w) \dots\dots\dots (8)$$

となる。

本式は模型実験の結果であるから、一般にはそのまま適用出来ぬが、

冠雪量が、風速と、冠雪を生ずる板の密度とに関係して、同一投影面積上の積雪よりも増加する。即ち、本実験に用いた様な型の地物に対しては、板の重り方により冠雪量が増す。言い換えれば、降雪を捕捉する能力が増加する事が分かるであろう。

3. 此の実験より分かること。

本実験から見れば、冠雪量はそれを生じる或る面積上の降雪量、換言すれば、樹冠の投影面積上に降る雪の量よりも、枝葉の数、式は密度が関係して増大し、風速が或る範囲で強い程増加することが分かる。即ち樹冠は降雪を捕捉する作用のあること、その結果林分、林木の存在が積雪の分布を不均一にすること、或は、或る形の林木は特に多くの冠雪を持ち得ることが分かる。

一本の樹木にとつては、冠雪量が、気象因子或は樹冠形態により、甚しく増加する恐れがあり、従つて、冠雪による樹木の機械的な雪害は、降雪量の多寡のみならず、樹冠の形態、風速等の気象因子により、増大することになる。更にくわしく言えば、樹冠の疎密と言う点からは、密な程、各々の枝葉に附着する冠雪量は減少する、即ち各枝葉の負う冠雪荷重は減少するが、樹冠全体としては冠雪総量は増加することになり、逆に疎な樹冠では各枝葉の冠雪荷重は増すが、冠雪総量は或は範囲内では減少することになる。即ち、各枝葉の冠雪荷重に耐え得る範囲内で樹冠を伐りすかす方が冠雪量を減少し、冠雪による雪害を減少することになると考えてよいであろう。

樹種的に言えば、樹冠が疎であつて、着枝の少いものが、冠雪が少くなることになる。

風速の冠雪増加効果の極限值は求められなかつたが、強風となれば、吹雪になる外、樹冠の動揺を来し、冠雪を発生せしめぬことは明かであろう。

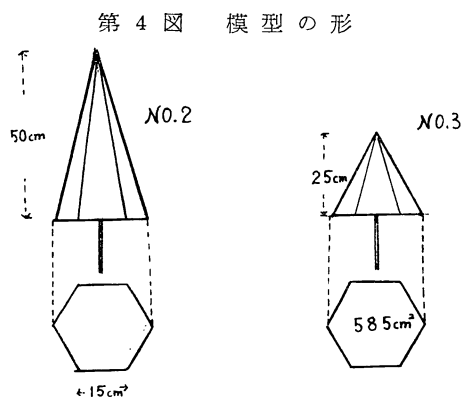
II 錐形の物体の冠雪量

これは樹木の樹冠を模型化して、錐形と考え、枝葉の間隙を無視した場合、その錐の尖り方が、冠雪量にどの様に作用するかを調査したものである。

1. 模型について

樹木の模型としては前記の様に、木製の錐形を用いたが、(1)の実験とあわせるため、第4図の様に、底面を一边 15 cm の正六角形とした錐を2個作つた。そして、同大の正六角形(1)の実験の No. 1)の冠雪重量と比較したのである。角錐高は図示した様に 25, 50 cm の二種である。従つて、各々の角錐の面の傾斜は、高さ 25 cm のものが約 $62^{\circ}40'$, 50 cm のものが $75^{\circ}40'$ である。

この2種類は、表面は荒けすりのまゝにして、摩擦を大にしたが、さらに冠雪が落下するおそれがあつたので、全面に約 2 cm 間隔で麻紐を巻き、滑落を防止した。



2. 測定結果

上記の模型を雪上に棒抗で支えて直立し、(I)の実験と同様に降雪のあつた日毎に、一斉に

第 2 表 測定結果

月 日	No. 1 (平板)		No. 2 h=25 cm		No. 3 h=50 cm		風 速 (m/sec)
	冠雪重量 g	同 %	冠雪重量 g	同 %	冠雪重量 g	同 %	
XII 17	1370	100	1420	104	1090	66	0.28
	790	"	260	33	220	28	4.28
	810	"	690	85	440	54	0.52
	400	"	150	45	20	5	1.36
	560	"	440	79	70	13	0.12
	24	1720	1960	114	860	50	0.06
	25	470	280	60	80	17	—
	26	810	750	93	520	64	0.18
	27	210	185	88	85	41	0.18
	28	490	320	65	200	41	0.96
I 30	472	"	311	66	171	36	0.34
	4	900	500	56	12	1	0.18
	5	160	120	75	—	—	0.42
	6	545	535	98	330	61	0.38
	7	520	380	73	260	50	0.48
	8	275	260	95	100	38	0.20
	9	315	270	86	160	51	0.24
	13	820	760	93	730	89	0.38
	14	570	250	44	120	21	0.74
	15	235	175	74	80	34	0.64
I 22	440	"	450	102	296	66	0.86
	23	250	125	50	20	8	1.88
	24	420	—	—	—	—	1.76
	25	840	610	73	365	43	0.36
	26	240	200	83	190	79	0.12
	27	470	330	70	165	35	0.70
	29	410	250	61	56	14	0.70
	II 3	615	400	65	320	52	0.64
	4	480	390	81	26	5	0.58
	5	540	490	91	380	70	0.20
II 6	365	"	310	85	245	67	0.12
	7	330	240	73	195	59	0.02
	8	695	425	61	180	26	0.82
	9	375	325	87	160	43	0.76
	10	660	240	37	1	—	0.66
	12	64	—	—	—	—	0.60
	13	355	240	68	180	51	0.84
	16	75	45	51	—	—	0.40
	17	540	495	92	395	73	0.04
	18	115	20	17	—	—	1.16
II 19	325	"	195	60	45	14	0.72
	20	540	410	76	180	33	0.10
	III 3	955	970	102	820	86	0.16
	4	155	135	87	90	58	0.16
	5	280	225	80	95	34	0.26
	6	320	162	51	50	16	0.36
	8	330	190	58	90	27	0.46
	21	720	510	71	375	52	0.36

冠雪重量を測定した。その結果は第2表に示す通りである。

此の資料より、各因子と冠雪重量との関係を求めよう。

(a) 冠雪重量と風速との関係

第2表に示した様に No. 1 の同大の平板の冠雪重量を 100 とした百分率で、各錐の冠雪重量を表し、この冠雪を生じた降雪時間中の平均風速と比較すると、第5図が得られる。本図でわかる様に、冠雪重量は、略平均風速に比例して減少している。只、風速以外に雪質が甚しく影響するためか、かなり、その関係は疎で、風が無く共、さほど積らない事もある。

尙第2表でもわかる様に、高さ 25 cm (No. 2) の角錐では、平板より多く積つたと見られることが4回あるが、これは恐らく、測定誤差で、大部分は積雪量の多い時に起つているから、一応例外と見做すべきものであろう。他の場合は総て、角錐の高さが高い程冠雪量が少くなっている傾向が見られる。

今両角錐につき、試に、冠雪重量と風速との関係式を直接関係と見做して求めて見ると次の様になる。

No. 2 ($h=25\text{cm}$ の場合)

$$r = -0.72$$

$$y_2 = 91 - 36 v_w \dots\dots\dots (9)$$

($y_2 \dots\dots$ 冠雪重量比 %, $v_w \dots\dots$ 風速 m/sec)

No. 3 ($h=50\text{cm}$ の場合)

$$r = -0.52$$

$$y_3 = 55 - 34 v_w \dots\dots\dots (10)$$

(9) (10) 式を比較すると、錐高が高い程冠雪量は減少するが、風の影響は殆んど差がない。之は角錐の面の傾斜か、前記の様に、両者で 13° 位しか差がない為で、之の位の傾斜を有する錐では、風の影響より、傾斜の影響の方が大であると見るべきであろう。

(b) 傾斜と積雪との関係

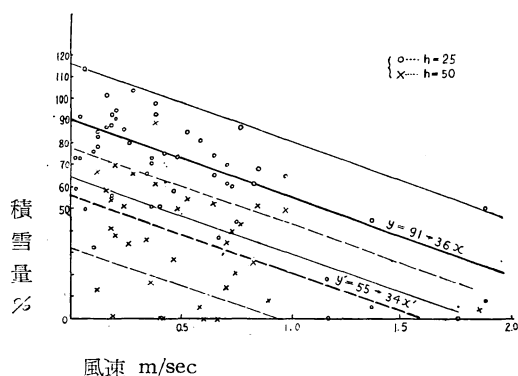
前項の (9) (10) 式によると、無風の場合、即ち $v_w=0$ の場合の各々の錐の冠雪重量は、

$$h=25\text{ cm} \quad y_2=91\% \quad (\text{傾斜角 } \theta \approx 62^\circ 40')$$

$$h=50\text{ cm} \quad y_3=55\% \quad (\theta = 75^\circ 40')$$

で、之の2例丈では面の傾斜が 70° 前後で急に落ちやすくなることが認められるにすぎない

第5図 風速と冠雪率との関係



が、更に「傾斜面の積雪」に掲げた3種の傾斜面に於ける積雪重量を参照し、5種類の傾斜面の積雪重量と水平面の積雪重量との比を列記すると下記の様になり、傾斜面では、一般に70°前後で急激に雪が積らなくなる傾向がうかがわれる。

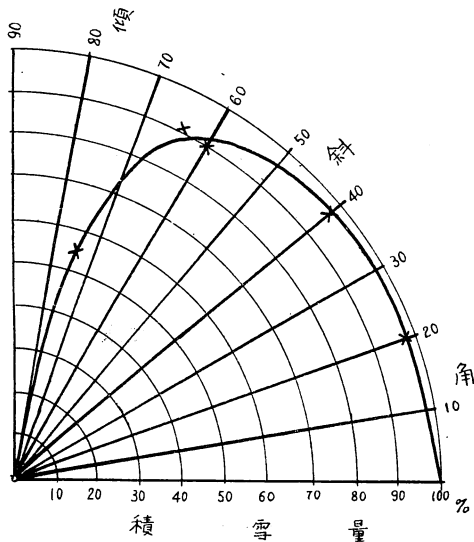
	平 板			角 錐	
傾 斜 角	20°	40°	60°	63°	75°
積雪重量比 %	98	96	89	91	55

但し表の20~60°は平板上の積雪で
他は角錐上のものであり、精確な比較
対照にはなり得ない。

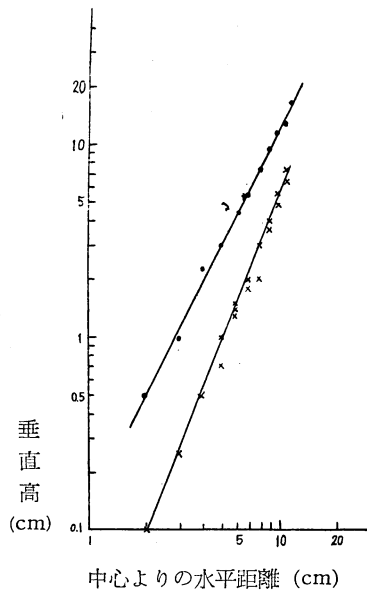
本表を角度別に図示すると第6図の

様になる。

第6図 傾斜と冠雪量との関係



第7図 冠雪面の形態



(c) 錐上の冠雪の形

冠雪の形については測定を行わなかつたが、写真により図上でその表面の曲線を測定して見た所、二種の角錐共に第7図に示した様に $y=ax^6$ で表し得る曲線をなす事が分かつた。即ち冠雪は錐表面を拋物線体に変える様な積り方をすると言う意味であるが、之は、一例についてのみであるから、今後の研究に待たねばならない。

3. 此の実験より分かること。

此の実験結果からは、樹冠を円錐体と見做した場合、錐が鋭くなる程、冠雪量が減少すること、特に錐面傾斜70°以上になると急につもらなくなる。風はこの場合、冠雪量を減少せしめる方向に作用することを知つた。

即ち、樹木ならば鋭い樹冠を有する程、冠雪量が減少し、樹冠外面の冠雪は、風により落下しやすいことになる。

Ⅲ（Ⅰ）（Ⅱ）の実験を組合せた結果（塔状の板の重りに対する冠雪）

（Ⅰ）（Ⅱ）に於て、枝の疎密、樹冠形態に対する冠雪の関係を略知り得たので、此の両者を組合した、4重に重なつた塔状の模型を作り、之に対する冠雪量の変化を測定したのが、この報告であるが、1951年2月中旬に始めたので、測定回数少く、その概要を知り得たのみである。

1. 模型について

模型としては第8図の様な4種類の4重の塔状の模型を作つた。即ち、実験（Ⅰ）に於ける板の重りを、上程小さくしたものである。

板は木製で、前者同様に正六角形とし、その大きさは下記の通りである。

最上層板、一辺 3.5 cm の正六角形

第2段板 " 8.0 cm "

第3段板 " 11.5 cm "

第4段板 " 15.0 cm "

又各塔の高さは夫々次の通りである。

No. 2: 高さ 13.5 cm

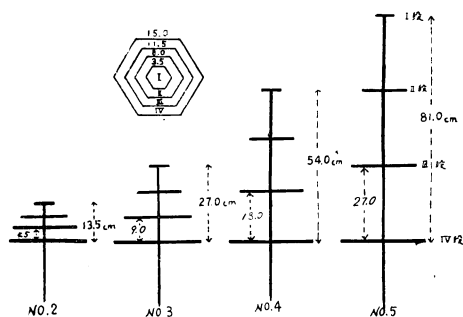
板と板の距離 4.5 cm

No. 3: 高さ 27.0 cm 板と杯の距離 9 cm

No. 4: 高さ 54.0 cm 板と板の距離 18 cm

No. 5: 高さ 81.0 cm 板と板の距離 27 cm

第8図 模型の形



此の4種類の塔状模型を雪上に直立し、これに積る冠雪重量を、同形、同大の平板上の冠雪量と比較した。此れ等の模型は高さが低い程、鈍形の角錐形外観を呈し、各板の距離が狭くなっているわけで、（Ⅰ）及び（Ⅱ）の実験の両者が組合つた形になる。

第3表 測定結果

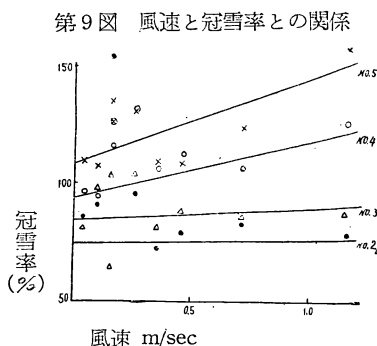
種類 区分 月日	No. 1 平 板		No. 2 高 13.5 cm		No. 3 高 27.0 cm		No. 4 高 54.0 cm		No. 5 高 81.0 cm		平均風速	
	冠雪量	%	冠雪量	%	冠雪量	%	冠雪量	%	冠雪量	%		m/sec
Ⅱ	17	540	100	460	85	440	81	520	96	590	109	0.04
	18	115	〃	90	78	100	87	145	126	180	157	1.16
	19	325	〃	270	83	280	86	345	106	400	123	0.72
	26	540	〃	545	101	530	98	505	94	580	107	0.10
Ⅲ	3	955	〃	1475	154	615	64	1100	115	1200	126	0.16
	4	155	〃	160	103	160	103	195	126	210	135	0.16
	5	280	〃	265	95	260	104	365	130	365	130	0.26
	6	320	〃	230	72	260	80	335	105	350	109	0.36
	8	330	〃	260	79	290	88	370	112	355	108	0.46

2. 実験結果

測定方法は実験(Ⅰ)及び(Ⅱ)と同様であるが、開始がおそかつた為、資料は第3表の9回しかない。此の資料により、他の実験と同様に諸因子との関係を求めると次の如くなる。

(a) 冠雪量と風速との関係

第3表に示した様に各種類の模型の冠雪重量を、同型の六角平板上の冠雪重量と比較し、その百分率を、風速と比較して見ると、第9図の様になる。



本図でわかる事はかなり点が分散してはいるが、各種類別の冠雪量は風速と大体直線的な関係を有していることである。唯一番低い No. 2 は点が一層ばらついていて、例えば、Ⅱ月17日、26日、Ⅲ月3日等は No. 3 よりも多くなっている。そこで、No. 2 以外のものにつき、風速との関係を直線と見做して、実験

式を求めて見ると、

a. No. 3 (高さ 27 cm の場合)

$$y_3 = 85 + 5 v_w \dots\dots\dots (11)$$

(y_3 ……冠雪率, v_w ……風速 m/sec)

b. No. 4 (高さ 54 cm の場合)

$$y_4 = 95 + 23 v_w \dots\dots\dots (12)$$

c. No. 5 (高さ 81 cm の場合)

$$y_5 = 108 + 36 v_w \dots\dots\dots (13)$$

となり、風速が冠雪量増加に影響し、しかも、高さの高いもの程、その影響が大であることが認められる。此の結果も実験(Ⅰ)と同様の傾向を示しているが、此の場合も風速 1.16 m 以上のものが求められなかつたので、それ以上の風速に対する冠雪量については論外である。

此の計算の場合除外した、No. 2 の最低のもの、過大な値のある理由は、この模型は高さが 13.6 cm しかなく、従つて、各板の距離が 4.5 cm に狭ばまつている為、降雪量が多く、冠雪深が、この距離以上になると、各板の距離が冠雪により完全に埋まつてしまい、(Ⅱ)の実験に用いた角錐と同様の形態を有することとなり、錐面が他の模型より鈍角であるため、(Ⅱ)に記した様に冠雪が他のものより増すことになる結果と思われる。上記した意外に多い日は共に、降雪量の多かつた日であることから、このことが想像出来よう。

結局、この実験で採用した模型は、各板の距離が、雪で埋まる迄は、(Ⅰ)の実験と同様に経過し、その後は、(Ⅱ)の実験と同様の経過をたどることとなり、特にⅢ月3日の様に多量の降雪のあつた時は、殆んど、全部の模型が例外的冠雪量を増加している。

No. 2 についても、前記の例外値を除いて、関係式を略算して見ると、

$$y_2 = 74 + 0.5 v_w \dots\dots\dots (14)$$

となる。

(b) 冠雪量と板の距離との関係

前項で求めた (11)~(14) の実験式 $y = a + b v_w$ の模型の大きさに関する常数 a と風速に関する常数 b との各々について、板と板との距離に対して相関を求めて見ると、第10図の様に、双方共実験 (I) と同様 $y = ax^b$ で表し得る関係のある事が分かる。4点しかないから、はつきりした事は言えないが、概数を算出すると、次の実験式が得られる。

$$a = 73 d^{0.2} \dots\dots\dots (15)$$

$$b = d^{1.9} \dots\dots\dots (16)$$

(d ...板と板との距離)

(15), (16) を (11)~(14) の一般式に代入すると、

$$y_n = 74 d^{0.2} + d^{1.9} v_w \dots\dots\dots (17)$$

となり、実験 (I) の実験式と相似した式になる。即

ち、本実験の模型では、錐形に配列した各板の距離が

冠雪で埋まる迄は、風速の増加と共に冠雪量を増し、しかも板の距離が大なる程冠雪量が多くなる傾向を有する。このことから、冠雪量は同一投影面積上の降雪量より増大する可能性があることが分かるのである。

3. 此の実験よりわかること。

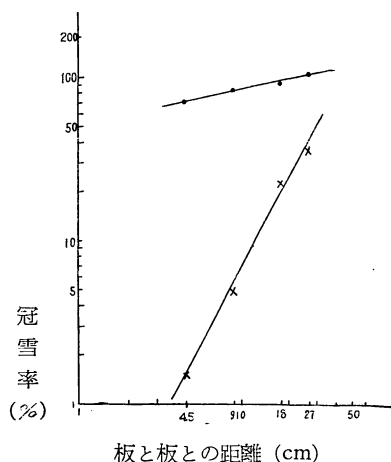
此の実験は、実験 (I) (II) を総合したものであるが、以上の3種の実験より、一応、樹冠の冠雪の概要が分かるであろう。

即ち、樹冠が全く埋まらない間は、枝葉の粗密に応じ、風による吹込み、或は、降雪自体の落下時の分散により、投影面上に降る雪以外に多くの降雪を捕捉し得る可能性があり、更に、樹冠内部が冠雪で埋まつた後は、樹冠形態に応じ、鈍形なもの程、冠雪を多く保持しやすくなる。この場合、風はむしろ、冠雪を減少せしめる様に働くから、風には2作用があり、或る時期には、風は冠雪を増し、或る時期には冠雪を減少せしめることが分かる。

以上の実験は小さな模型で行なつたものであり、そのまゝ実物の樹木には適用出来ぬが大略の冠雪の機構を把握出来るものと思う。

これ等の実験で欠けている点は、枝葉の風による動揺、枝葉の雪荷重に対する柔軟性、屈曲による、形態の変化等と、枝葉の形態による冠雪の発達の違いであり、又雪質と冠雪量、降雪の

第10図 冠雪率と板の距離との関係



強度と冠雪量等であるが、これ等は更に研究を続けて、解明に努力したい。

雪質、特に雪の粘性については、現在よい表現法がないので、数的につかみ得ないが、これは冠雪量を変化せしめる重要な条件であると思われる。

I-c 地物の勾配と冠雪

(傾斜面の積雪)

農林技官 四手井綱英

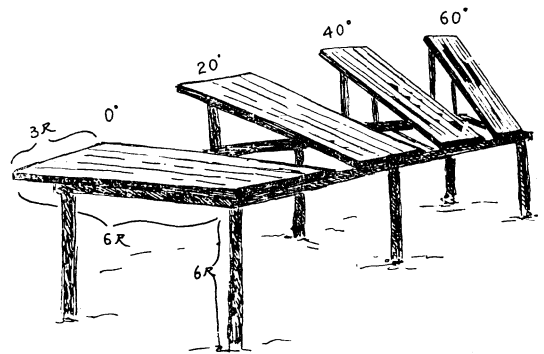
I ま え が き

1950～51年冬、冠雪の研究の一部として、傾斜面の積雪について観測した所、一回の降雪による積雪に於ては積雪深が傾斜度に関係して変化し、水平面の積雪深より深くなる傾向が認められた。この様な事象は、それ以前、十日町試験地に於て高橋喜平技官が屋根の勾配上の積雪に関し、早稲田大学木村教授の依頼により測定中既に認めていた所で、一般には傾斜面登高に際し、応々平地より深くもぐることがあり、傾斜面の雪が深いと言う感を持っていたものである。

II 測定方法

測定設備としては第1図に示した様に、地上約6尺の台上に巾3尺、長さ6尺の板戸4枚を夫々約3尺間隔に 0° 、 20° 、 40° 、 60° の傾斜をもたせて設置し、その板戸上の毎日の積雪を測定したのである。板戸の傾斜方向は略 NW で、設置箇所は釜淵分場(山形県、最上郡、及位村)の庁舎前広場で、四囲を鉄道防雪林、建物、及び小丘で囲まれた約0.5haの平坦地の略中央北西よりであつた。板戸の表面は摩擦を大にするため平滑でない素材のままとした。尚板戸の傾斜は精密測定によると、次表の様であつたので、測定値の計算には総てこの傾斜角を用いた。

第1図 測定設備



傾 斜	0°	20°	40°	60°
実 測 角	$2^\circ 15'$	$17^\circ 10'$	$40^\circ 15'$	$57^\circ 20'$

測定方法は降雪のあつた毎に翌朝9～10時に各板戸の中央附近数箇所を積雪厚を、板面に直角に測定する

第 1 表

傾斜角。		0			20			40			60			風 速	
月 日	積雪深 cm	重量 g	密度 g/cm³	積雪深	重量	密度	積雪深	重量	密度	積雪深	重量	密度	m/sec		
XII	20	5.5	315	0.15	5.3	294	0.15	2.6	190	0.19	0.9	74	0.21	1.36	
	21	7.5	370	0.13	7.9	336	0.12	7.9	308	0.10	10.2	315	0.08	0.12	
	24	27.5	1000	0.10	28.9	961	0.09	32.8	1009	0.08	37.9	1038	0.07	0.06	
	25	13.0	1005	0.22	14.2	1024	0.19	13.1	1094	0.22	9.3	1279	0.36	—	
	26	20.9	—	—	21.4	—	—	24.9	—	—	26.5	—	—	0.18	
	27	20.5	800	0.10	21.0	788	0.09	24.9	773	0.08	25.0	704	0.07	0.18	
	28	14.5	455	0.08	14.2	436	0.08	13.8	341	0.07	11.7	278	0.06	0.96	
	30	8.5	365	0.11	10.5	352	0.09	12.4	360	0.08	8.3	213	0.07	0.34	
I	5	4.2	142	0.09	4.2	126	0.08	4.6	115	0.07	3.3	107	0.08	0.42	
	6	23.0	458	0.05	24.7	452	0.05	28.2	478	0.04	31.5	463	0.04	0.38	
	7	17.0	330	0.05	17.9	326	0.05	19.1	328	0.05	19.4	287	0.04	0.48	
	8	11.0	240	0.06	11.0	200	0.05	13.1	223	0.04	11.3	158	0.04	0.20	
	9	11.0	220	0.05	11.0	205	0.05	12.4	210	0.05	13.0	209	0.04	0.24	
	13	18.2	505	0.07	19.4	486	0.07	21.6	473	0.06	25.3	472	0.05	0.38	
	14	11.5	290	0.07	12.1	284	0.07	11.8	282	0.06	8.3	240	0.08	0.74	
	15	9.5	185	0.05	10.0	182	0.05	11.1	168	0.04	9.3	107	0.03	0.64	
	22	14.0	490	0.09	14.7	467	0.08	14.4	367	0.07	13.5	314	0.06	0.86	
	23	12.0	—	—	10.5	—	—	6.6	—	—	1.9	—	—	1.88	
	24	7.0	355	0.13	7.4	331	0.12	8.0	256	0.08	4.4	240	0.14	1.76	
	25	22.5	1413	0.17	22.8	1466	0.17	25.7	1627	0.17	25.0	1906	0.20	0.36	
	26	9.0	705	0.21	9.5	740	0.21	10.5	878	0.22	12.0	1199	0.26	0.12	
	27	16.0	—	—	15.8	—	—	17.7	—	—	15.7	—	—	0.70	
	29	17.3	—	—	17.6	—	—	20.2	—	—	16.7	—	—	0.70	
	II	3	16.0	660	0.11	16.8	651	0.10	16.4	459	0.07	14.8	620	0.11	0.64
		4	13.8	370	0.07	14.7	389	0.07	18.3	371	0.05	12.0	250	0.05	0.58
		5	16.0	400	0.07	16.8	415	0.06	19.0	400	0.06	19.4	376	0.05	0.20
6		15.0	290	0.05	16.3	265	0.04	18.5	220	0.04	19.4	158	0.04	0.12	
7		16.4	265	0.05	17.0	268	0.05	19.9	282	0.04	24.2	386	0.04	0.02	
8		30.5	815	0.07	31.5	843	0.07	34.1	833	0.06	33.3	681	0.05	0.82	
9		4.3	223	0.14	4.3	242	0.15	5.0	242	0.13	4.1	241	0.16	0.70	
10		1.8	360	0.53	1.9	260	0.36	1.6	253	0.42	0.9	209	0.59	0.66	
12		2.7	—	—	2.5	—	—	2.6	—	—	2.6	—	—	0.60	
13		11.7	288	0.06	12.1	287	0.06	13.1	286	0.06	11.1	222	0.05	0.84	
	16	5.9	—	—	6.3	—	—	6.2	—	—	6.1	—	—	0.40	
	17	19.6	485	0.07	20.1	494	0.06	23.2	498	0.06	26.1	500	0.05	0.04	
	18	16.5	675	0.18	16.8	680	0.16	17.7	681	0.11	16.7	855	0.14	—	
	19	8.0	260	0.09	8.2	299	0.10	8.6	314	0.10	6.8	255	0.10	0.72	
	26	5.0	360	0.19	5.3	352	0.18	5.9	354	0.16	6.8	—	—	0.10	
	III	3	24.5	540	0.06	25.2	536	0.06	28.8	545	0.05	35.2	536	0.04	0.16
		4	5.6	128	0.06	5.8	116	0.05	7.2	122	0.04	6.5	130	0.05	0.16
		5	6.5	180	0.07	6.3	184	0.08	6.9	187	0.07	7.4	—	—	0.26
6		9.0	348	0.10	9.1	336	0.09	10.7	341	0.09	10.2	289	0.08	0.30	
8		9.5	353	0.10	9.5	347	0.10	9.8	338	0.09	7.4	222	0.08	0.46	
21	17.0	580	0.09	16.8	583	0.09	20.3	600	0.08	21.3	601	0.07	0.36		

と共に、直径 22 cm の積雪採取円筒により採雪し、その重量を測定して、密度を求め、各測値を、上記の角度により換算して、各々の傾斜角に応ずる積雪深、密度、積雪重量を求めた。測定値の最小単位は 0.5 cm, 5 g であつた。

本冬は当地では風間の降雪は極くまれで、積雪も夜間に限られ、本試験の測定も、その前夜の降雪によるものが大部分であつた。

気象要素としては、当場の露場の観測成績をそのまま使用した。しかし露場で観測した気象諸因子では、雪質を表はすことが出来ず、本稿では只、風速のみその関係が明かになつた丈である。長くとも一風夜、一般に一夜の降雪による新積雪であつた為か、気温、日照との関係は不明であつた。

Ⅲ 測定結果

観測は 1950.Ⅻ.20 より始め、Ⅻ月8回、Ⅰ月15回、Ⅱ月15回、Ⅲ月6回の計44回で全観測値を第1表に取括めた。

本表によると特に、傾斜が大なる程積雪深が増加している場合がある、風速の弱い場合にそれが多いたことが目立つている。

以下、これらに就て項を別けて述べよう。

a. 傾斜別の積雪量

傾斜別の単位面積当りの積雪量を知るため円筒で採雪した、積雪重量から同一底面積（底面積 380 cm²）当りの積雪重量を求めたのが第1表の重量である。これを傾斜 0° の場合の百分率で表したのが第2表であるが、両表によると、Ⅻ.25, Ⅰ.25, 26, Ⅱ.7 の4回は傾斜 60° の場合が著しく多くなつてゐる外は、大略誤差内で、何れの場合も水平のより多くなつてゐるとは認め難い。即ち、積雪重量は、傾斜には無関係で、傾斜が如何様であつても水平面より多くなる事はないと認めてよい様である。前記の特例は主として、積雪量の特に多い場合で、恐らく含水量が大で、傾斜上部よりの融雪水を吸収した場所等を測定した結果であらうと思はれるので、以下これらの場合は一応例外として除外することにしたい。

b. 傾斜別の積雪深

積雪重量は傾斜と関係なく、傾斜が大となる程、他の気象要素に支配されて、減少することが認められるが、積雪深の方は、第1表及び第3表の水平の場合に対する、各傾斜別積雪深の百分率を見るとわかる様に、傾斜が増す程増加している場合が多く認められるので、傾斜と積雪深との関係を調べて見ると以下述べる様な関係が認められる。

(i) 傾斜別積雪深と風速

第2図に傾斜別積雪深百分率 (h%) と風速 (v_{10}) との関係を示したが、図により明かな如く、積雪深は風速に逆比例し、風速の増大するに従い減少し、傾斜が増す程、風速の効果が増

第 2 表 傾斜別積雪重量百分率

月 日	0	20	40	60
XII 20	100	93	60	13
21	"	91	83	85
24	"	96	101	104
25	"	102	109	127
26	—	—	—	—
27	100	99	97	88
28	"	96	73	61
30	"	96	99	58
I 5	"	87	82	76
6	"	99	104	101
7	"	99	100	87
8	"	83	93	66
9	"	93	95	95
13	"	96	94	94
14	"	98	97	83
15	"	98	91	58
22	"	95	75	64
23	—	—	—	—
24	100	93	72	68
25	"	103	115	135
26	"	105	124	165
27	—	—	—	—
29	—	—	—	—
II 3	100	99	70	94
4	"	105	100	68
5	"	104	100	94
6	"	96	100	101
7	"	101	106	149
8	"	103	102	84
9	"	108	108	108
10	"	71	70	58
12	—	—	—	—
13	100	100	99	77
16	—	—	—	—
17	100	102	103	103
18	"	101	101	99
19	"	115	121	98
26	"	98	98	—
III 3	"	99	101	99
4	"	88	95	102
5	"	102	104	—
6	"	97	98	74
8	"	98	96	63
21	"	101	103	103

第 3 表 傾斜別積雪深百分率

月 日	0	20	40	60	風 速
XII 20	100	96	47	16	1.36
21	"	105	105	136	0.12
24	"	105	119	138	0.06
25	"	109	101	71	—
26	"	102	119	127	0.18
27	"	102	121	122	0.18
28	"	98	95	81	0.96
30	"	123	146	98	0.34
I 5	"	100	110	79	0.42
6	"	107	118	137	0.38
7	"	105	112	114	0.48
8	"	100	119	103	0.20
9	"	100	113	118	0.24
13	"	107	119	139	0.38
14	"	105	103	72	0.74
15	"	105	117	98	0.64
22	"	105	104	96	0.86
23	"	88	55	16	1.88
24	"	106	114	63	1.76
25	"	102	114	111	0.36
26	"	106	116	133	0.12
27	"	99	111	98	0.70
29	"	102	118	97	0.70
II 3	"	105	103	93	0.64
4	"	107	133	87	0.58
5	"	105	119	121	0.20
6	"	109	123	129	0.12
7	"	104	121	148	0.02
8	"	103	112	109	0.82
9	"	100	116	95	0.70
10	"	106	89	50	0.66
12	"	93	96	96	0.60
13	"	103	112	95	0.84
16	"	107	105	103	0.40
17	"	103	118	133	0.04
18	"	102	107	101	—
19	"	103	108	85	0.72
26	"	106	118	136	0.10
III 3	"	103	118	144	0.16
4	"	104	128	116	0.16
5	"	97	106	114	0.26
6	"	101	119	113	0.30
8	"	100	103	78	0.46
21	"	99	119	125	0.36

大することが認められる。各傾斜別の積雪深百分率と風速の関係は直線式 $y=a+bx$ が適用出来るから、その実験式を求めて見ると、

$$h_1\% = 108 - 10 v_{tw} \dots (1)$$

$$h_2\% = 123 - 35 v_{tw} \dots (2)$$

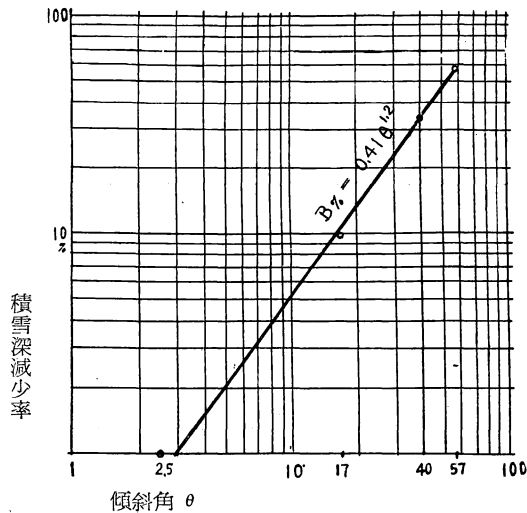
$$h_3\% = 133 - 59 v_{tw} \dots (3)$$

($h_1, h_2, h_3 \dots 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ の積雪深 %, $v_{tw} \dots$ 風速 m/sec)

となる。

(1)~(3) 式を見ると各傾斜に於ける風速による積雪減少度は、傾斜角に関する様に見えるので、其の関係を図示すると曲線が得られ、第3図の様に $y=ax^b$ の式が適用出来る様である。

第3図 傾斜角と風速による積雪深減少度との関係



4点しかないのでは不満足であるが、実験式を求めて見ると、0.02の危険率で、相関係数 $r=+0.99$ を以て次式が得られる。

$$B\% = 0.41 \theta^{1/2} \dots (4)$$

($B\% \dots$ 風速による積雪深減少度, $\theta \dots$ 傾斜角)

即ち風速による積雪深減少度は傾斜角 θ に比例するものと考えられる。

(ii) 積雪深と傾斜

(1)~(3) 式からも分かる様に無風の場合は、傾斜が増すにつれ、積雪深は増加する傾向があるが、改めて、第1表の各傾斜別積雪深を、 0° の場合の積雪深に比較して見ると第4図の様になり、本図の各傾斜度の積雪深の上限は前記の(1)~(3)式の風速0の場合を示すことになる。即ち

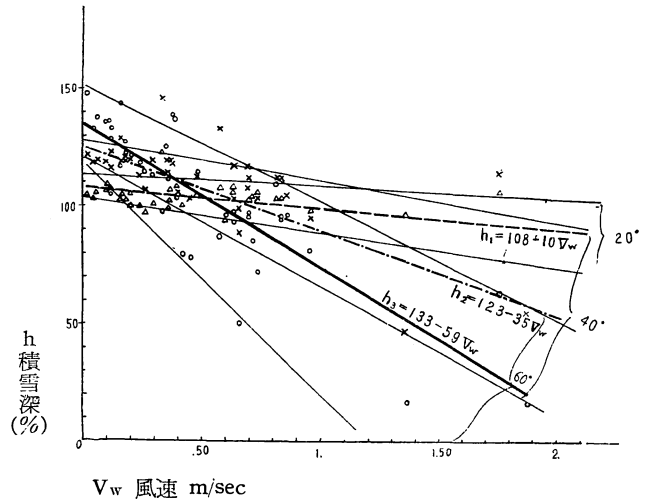
$$h_1 = 1.08 h_0 \dots (5)$$

$$h_2 = 1.23 h_0 \dots (6)$$

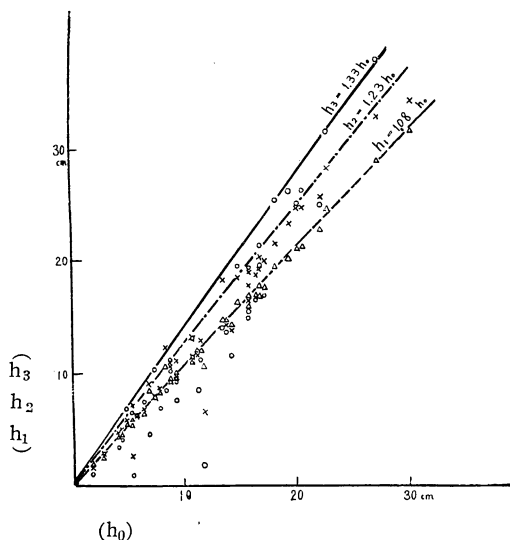
$$h_3 = 1.33 h_0 \dots (7)$$

($h_0, h_1, h_2, h_3 \dots 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ の傾斜の積雪深 cm)

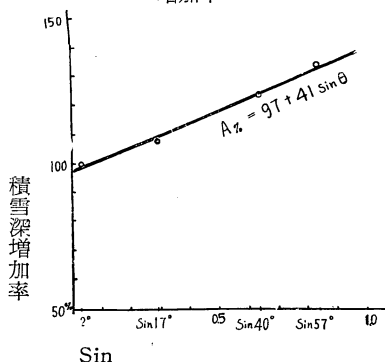
第2図 傾斜角別の積雪深と風速との関係



第4図 傾斜角と積雪深との関係



第5図 傾斜角による積雪深増加率



(5)~(7) 式を見ると、各常数值即ち傾斜による積雪深増加度は、傾斜が大なる程大となることが認められ、その関係を求めて見ると第5図の様に傾斜角 (θ) の正弦

($\sin \theta$) に正比例することが認められる、実験式を求めて見ると、下記の様になる。

$$A \% = 97 + 41 \sin \theta \dots\dots\dots (8)$$

($A \% \dots\dots$ 傾斜角による積雪深増加率 $\%$, $\theta \dots\dots$ 傾斜角)

本関係も危険率 0.02 で相関係数 +0.99 である。

(iii) 積雪深、風速、傾斜の関係

(i)~(ii) を総合し、積雪深と傾斜、風速の関係を求めて見ると、次式が得られる。

$$h_{\theta} = h_0 (a + b \sin \theta - c \theta^d v_{10}^e) \dots\dots\dots (9)$$

($h_{\theta} \dots\dots$ 或傾斜角に於ける積雪深 (cm), $h_0 \dots\dots$ 水平面上の積雪深 (cm),

$\theta \dots\dots$ 傾斜角, $v_{10} \dots\dots$ 風速 m/sec, $a, b, c, d \dots\dots$ 常数)

気象因子には此の他に気温、日射等があり、更に雪質の影響もあるが、前述した様に、此の試験が主として夜間の降雪による毎日の新積雪量のみについて観測したものであつた為と、雪質をあらわす適当な方法がなかつた為か、何れも、関係を求めることが出来なかつた。

(iv) 傾斜と密度

上記の様に傾斜が変化しても単位投影面積当りの積雪量 (w) には変化がなく、積雪深 (h) のみが変化するのであるから w/h で表し得る密度は、傾斜が大なる程小となるべきであつて、第1表でも無風に近い時は之の関係が認められる。風速の大な時、或は特異な時は、密度の増加していることもある。

IV 考 察

以上の観測結果による、積雪量、積雪深、密度及び風速の関係は、前記した様に、主として

一夜間の積雪に就てであつて、熱変化を殆んど受けていない状態のものであるが、積雪量は傾斜と無関係で、無風の時は積雪深が傾斜角 θ と共に増加し、その増加率が $\sin \theta$ に最も良く比例する事は、積雪時の雪片の運動状態、或はその後の沈下時の凝縮状態が、傾斜により差違があることを物語るものゝ様であるが、傾斜による積雪深の増加の原因については今後の研究にまたねばならない。

しかし、傾斜面の積雪が、平地より深さを増し、従つて密度が小となることは、傾斜面の積雪が所謂、かるく、ふわりと積るものであることを意味し、この事は又積雪の内応力が、傾斜が急な程小であることにもなり、傾斜面の積雪が頗る不安定なことを示すものであろう。その不安定さは、風速の影響が、傾斜角の 1.2 乗に比例して増加することからもうかがえる。

この事は、傾斜した地物例えば、樹冠上の積雪、屋根の雪、山腹の斜面の雪が、平面より、軽く、深く積り、不安定で落下しやすい性質を有することを表しているもので、例えば、新雪雪崩の原因の一部もこの積り方にあるのではないかと思はれるのである。

V 要 約

1950～51 年冬、新雪の傾斜面に於ける積り方を観測して次の結果を得た。

- a. 単位投影面積当りの積雪重量は傾斜により変化しない。
- b. 積雪深 (h) は傾斜角 (θ) の正絃 ($\sin \theta$) に比例して増加する。
- c. 従つて密度は傾斜と共に減少する。
- d. 積雪深は風速 (v_w) に比例して減少し、風速の減少効果は 傾斜角の何乗かに比例して増加する。
- e. 以上を綜合すると新雪の或る傾斜角における積雪深 (h_θ) と水平面の積雪深 (h_0) との関係は次式で表し得る。

$$\frac{h_\theta}{h_0} 100 = a + b \sin \theta - c \theta^d v_w$$

本測定では $a=97$, $b=41$, $c=0.41$, $d=1.2$ となつた。

II-a スギの冠雪に就て

高 橋 喜 平

I ま え が き

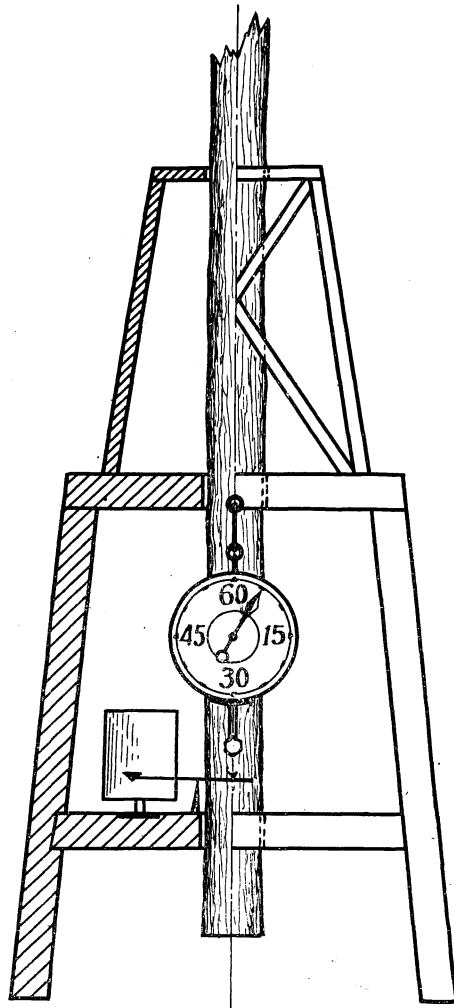
従来、冠雪の被害についてはあまり注意を払われなかつたが、われわれがスギの幼齡林の雪害を調査した結果、少くともスギに関する限り、冠雪の害が極めて大きいことを指摘した*。即ち冠雪はそれ自体の荷重により、幹や梢の折損を起し、又、これ等を屈倒し、或は、枝葉を垂下せしめて、埋雪を早からしめ、積雪の沈降力や移動力による被害を増大せしめる原因となつている。そこで、この冠雪の被害対策をたてるために、まづ、冠雪の実態を知る必要があるので、その一方法として、冠雪被害のもつとも多い杉の幼齡木を選び、一冬期間にわたつて、その冠雪を観測してみた。

本文はその成績の概要である。

II 観 測 の 方 法

昭和24年12月上旬、十日町試験地附近のスギの幼齡林地から、樹型の良好なものを1本選定し、之を根元から伐り取つて、樹冠の形態が生育中と殆んど同じ状態のまゝで、この荷重を測れるようにした。その装置は第1図に示す通りで、荷重の変化を自記々録出来るようにした。以下、この冠雪の荷重を便宜上冠雪量と呼ぶことにする。第2図はその自記々録の1例であり、又、写真はこの装置後のスギの状況を示すものである。このスギは樹令11年、胸高直径10cm、樹高580cm(下枝高236cm、樹冠部344cm)、枝の最長のもの120cm、樹冠の投影面積2.0m²、その側面積は方向によつて多少の差異はあるが、平均1.6m²のものである。

第1図 冠雪量自記装置

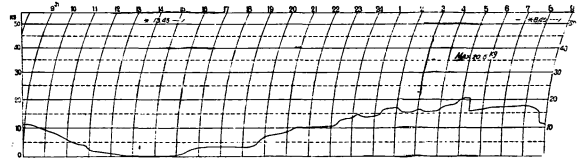


* 幼齡林の雪害 四手井、高橋、塩田 林業試験集報 第58号

こゝで、注意を要することは伐つために樹形その他が冬季の観測期間、生育中のものにくらべて変化を生じないかということであるが、休眠期であるため、樹形も

枝葉の色感も生育中のものと全く同一に観察された。但し、その荷重は代採直後に 23.5kg のものが、3月18日に 18.7kg となり、101 日間に 4.8kg だけ軽くなった。併し、之は休眠期のスギとしては当然予想されるところのもので、このことに就ては改めて報告したいと思っている。

第2図 冠雪量自記々録

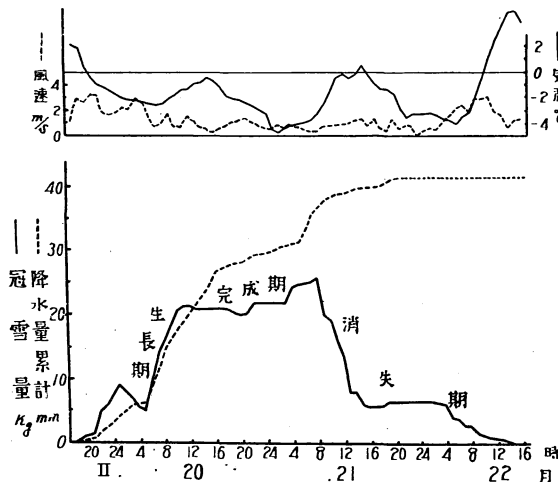


Ⅲ 成 績

(1) 冠雪の一般的な経過

第3図は代表的な冠雪の1例について、その消長経過を冠雪量によつて示したものである。冠雪は降雪が多い場合は大体こういう過程をたどるもので、その初期に於ては降雪量にほぼ

第3図 冠雪の消長経過の1例

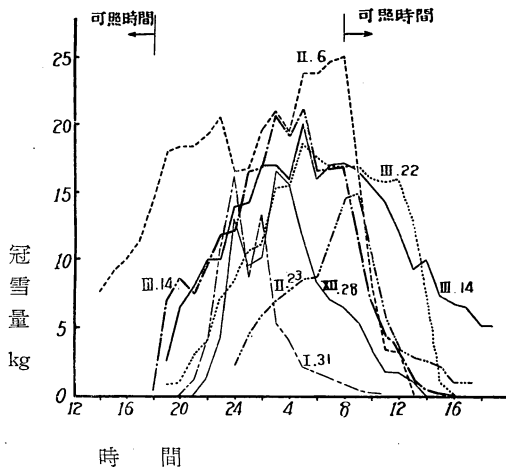


比例して冠雪量も増大するが、それが或る荷重に達すると、その後は増大の割合が急に減退してしまう。そして小さな増減をくりかえしながら少しずつ増加してゆくことが多い。それが、最後には落下又は融解して消失してしまう。このように、冠雪には三つの段階があるのが普通であつて、これを便宜上生長期、完成期、消失期と呼ぶことにする。この完成期は冠雪が或る荷重に達しなければ現われ

ないのであるから、降雪量が少ない場合には完成期は現われずに、生長期から消失期に移向する。こゝで、或る荷重という漠然とした言葉を用いたが、それは後述するように雪質及び気象条件に支配されて、その荷重が一定ではないからである。

次に、冠雪の消長期間であるが、これは降雪の継続期間に支配され、大体それに一致する。併し、気温が低いか、又は、次の降雪との期間が短い場合には冠雪は消失することなく継続することがある。そういう場合には雪質の変態により冠雪の一部分が長期にわたつて残留することがある。又、気温が日変化をする如く、冠雪の消長も日変化し、第4図に示す如く、冠雪量

第4図 冠雪量の消長と時間



点がかなりばらついてはいるが、大体点線Aの如き傾向を示していることが分る。即ち、降雪量が 10 mm 内外までは冠雪率（降雪量に対する冠雪量の割合）が比較的小さいが、大体 10~20 mm の範囲では冠雪率が急に増大し、更に、それ以上の降雪量になると冠雪量はほぼ一定になるから、逆に冠雪率は減退するということになる。もつとも、中には図中←印で示すような例外もあるが、こういう場合に冠雪による雪害を生ずるの

で、それについては後章で述べることにして、ここではとりあげないことにし、普通の場合これらの傾向は次のような原因によるものと考えられる。一般に雪とスギの枝葉との附着力は雪相互間の粘着力よりも小さい。従つて、スギの枝葉が現われている間は枝葉に降下した雪片は保持されずに落下してしまうものがあり、そのために、冠雪率が比較的小さく現われる。併し、枝葉が雪で覆われてしまうと、それらの雪がスギの枝葉の間に喰い込んで、逆に保持力を増し、冠雪の生長は雪相互間の粘着力によることになるので、雪片の落下は殆んど無くなり、冠雪率が急増する。スギの枝葉がほぼ全面雪でおおわれるのは冠雪量で 5 kg/m^2 内外のときで、そのときの降雪量はほぼ 10 mm 内外である。更に、この外に、冠雪に伴う樹冠投影面積の増減が影響しているであろう。即ち、冠雪量が増すに従つて、上向の枝葉が水平方向に広がり、本試験木の場合は冠雪量が 10 kg/m^2 内外のとき、最大の投影面積 2.4 m^2 に達し、冠雪前に較べて 20% だけ増加した。従つて、このような樹冠の投影面積の増大も冠雪率を増加せしめる原因となる。この外に、樹冠の雪がその投影面積以上にはみ出すことも考えられるが、その程度は不明である。今、この投影面積の増大が冠雪量に正比例するものとして計算してみると、

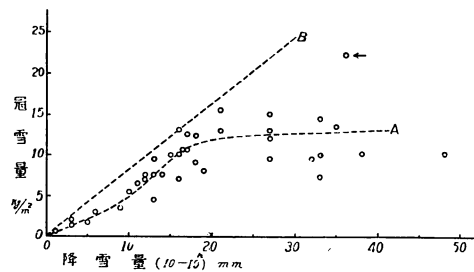
の極大は深夜から早朝にかけて出現し、極小は正午から夕刻にかけて出現する傾向がある。

(2) 降雪量と冠雪量

冠雪は着雪現象の一つであるから、最初に降雪量との関係を述べる。

冠雪の被害は冠雪量が最大に達した、ときにもつとも大きく現われるのが普通である。そこで、最大に達したときの冠雪量とその日の降雪量との関係を図示してみると第5図の如くになり、

第5図 冠雪量(極大)と降雪量との関係

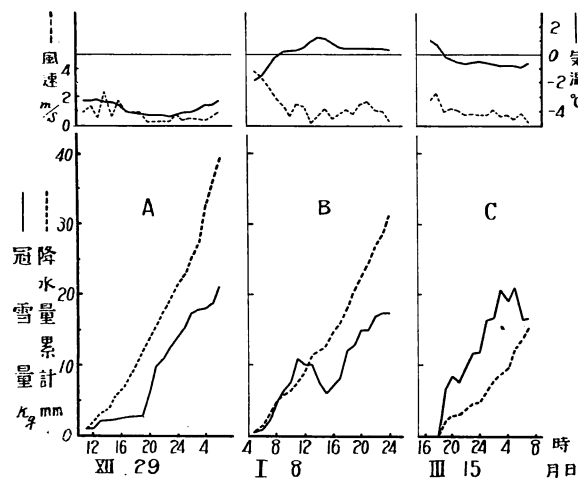


上記の場合に於ける冠雪率の増加は 10% となり、それ以上にはなり得ない。水平方向に達した枝葉に更に荷重を加えると枝葉は次第に垂下して、逆に樹冠の投影面積が減少してゆく。そして、冠雪の荷重による場合には或る角度に達するとそれ以上の垂下は殆んどなくなってしまう。それは、雪の安息角がほぼ一定で、その限界に達すると、雪はそれ以上には仲々積り得ないからである。このときの枝の角度は 45° 前後である。今、 45° として、投影面積の減少を計算してみると、この試験木では冠雪前の 64% となる。スギの幼齢木数本について冠雪による投影面積の増減を調べてみると、上記試験木と大体同じで変化の多いものでも 60~130% の範囲内であることが分つた。冠雪が完成期に達すると、降雪があつても仲々冠雪量を増さないのは枝葉の垂下による投影面積の減少と、枝葉の垂下による雪の自然落下の二作用によるものの外或る面積に対する冠雪量には極限があると言う事によるものであろう。第5図において、冠雪量が大体 10 kg/m^2 以上になると点のばらつきが多くなるのは主として雪質の相違によるものと考えられ、雪の粘着力が大きいほど冠雪率が增大するはずであるが、その限界は異常な雪質の場合を除き点線Bで示す通りで、その限界冠雪率は大約 80% である。

(3) 気温と冠雪

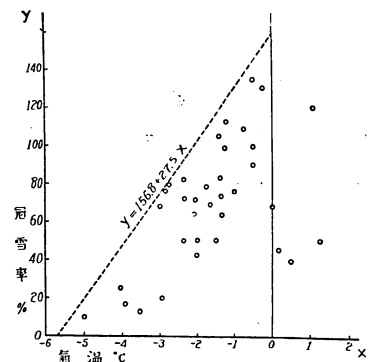
第6図は降雪時の気温が異なる場合、冠雪量がどのような影響を受けるかを示す実例で、Aは気温が低い場合、Bは気温が高い場合、Cはその中間に該当する場合のものである。これら

第6図 降雪中の気温別による冠雪の一例



をみると、気温が 0°C より僅かに低いときに、冠雪量が多くなる傾向が

第7図 気温と冠雪率との関係



あるらしいことが分る。そこで、降雪中の気温と冠雪率との関係を調べてみると、第7図のような関係があることが分つた。この資料は2時間当りの冠雪率によつて画いたものである。この図をみると、冠雪率が 100% 以上になつて、前章で述べた限界冠雪率の 80% を越して、更に、降雪量以上に達するということになるので、甚だ奇異に感じられると思うが、これは冠雪の生長期の途上に於ける二時間の資料であつて樹冠の投影面積が冠雪前の自然状態のときのも

のを採用したため、冠雪による投影面の増大及び雪の樹冠外えのはみ出しによる投影面積の増大は無視してあるためにこういう結果になったもので、数値のあやまりではない。雪の積る面が小さい場合には雪の粘着力のため、その面積以上にはみ出して積る場合が多いから、実際の場合短期間ならば冠雪率が100%以上になつてもよい訳である。とにかく、今回の観測では最高135%になった。併し、それが、上記の原因によつて生じたものか、それとも全く別の原因、例えば樹冠の如き立体的な形態のものはその投影面積以上の雪を捕捉する機能があるために生じたものかは今のところ分らない。これについては目下研究中である。それ故、こゝでは一応これらの数字を正しいものとして取り扱かうことにした。この図をみると、点がかなりばらつくが気温が0°C以下になるに従つて冠雪率が減少することが分る。おそらくこの点のばらつきは風の影響によるものと思われたので、無風のときのみをプロットしてみると割合よく直線上に並ぶことが分つた。併し、降雪中は無風のように思われても、実際は0.6 m/s以上の風があるのが普通である。そこで、一切風のことは無視して気温差による冠雪率の限界を知る方が実用上便宜と考えて、目分量でこの限界線を引いて、それによつて次の実験式を求めてみた。

$$y = 156.8 + 27.5x$$

但し、 y は限界冠雪率、 x は降雪中の平均気温で、本式は気温が0°C以下の場合に適用される。この実験式によると、気温が-5.7°Cになると冠雪量が0になるが、実際は樹冠上に雪片がひつかかり、或は、載つているから、不合理のようであるが、その量は極めて小量であつて、冠雪の被害を問題にする場合には実用上冠雪がないものとみてよいであろう。

次に、気温が0°C以上になると気温と冠雪率とは無関係となり、降雪量が少ない場合には冠雪率が大きく現われることもあるが、一般には50%内外で、それも短時間のうちに大部分が落下してしまう。

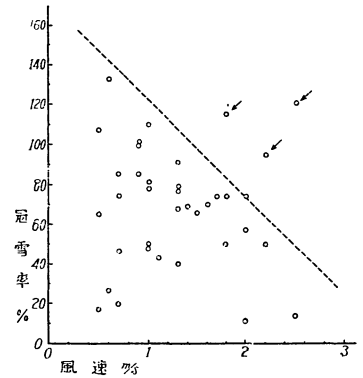
降雪中の気温差によつて、このように冠雪率が異なるのは、結局、気温が雪質と密接な関係があるからである。新雪の粘着力は主として含水量によつてその強さが定まり、その含水量は気温によつて支配される。気温が-0.3°C内外のとき、新雪の粘着力がもつとも大きくなるが、このときの含水率は大体5%内外のことが多い。そして、含水量が大体この程度よりも多くなるか、或は少なくなるに従つて、次第に粘着力を減じ、含水量が0か、或は、飽和に達したときに粘着力は最低に達する。観察した結果によると、冠雪に最適の気温は-0.3~-0.7°Cの範囲で、-0.1°C以上、及び-3.0°C以下の気温になると、冠雪は目立つて大きくなる分ことが分つた。従つて、冠雪の被害は降雪中の気温が、0°Cより僅かに低いまゝで持続するようなときに生じ易いということになる。

(4) 風速と冠雪

降雪中に風があると、冠雪の機構は仲々複雑になる。それは風の強さによつて、降雪の状態

も樹冠の形態も変化し、更に、樹冠の動揺による影響も現われてくるからである。併し、それらのことは考えないで、まづ、降雪中に風があつた場合、風速と冠雪率とはどういう関係があるかを図示してみると、第8図のようになる。この図は前章で述べたものと同じ資料によつて画いたものである。この図をみると、風速と冠雪率とはあまり関係がなさ相に思われるが、←で示した三点を特殊の場合として除外してみると、普通の雪質の場合は風速によつて冠雪率に限界があり、風速が大きくなるに従つて、冠雪率の限界が小さくなることが分る。点線はその限界を目分量で示したものである。併し、上記のことは矢印の三点が特殊の場合とみなしてのことであるから、この三点が普通の雪質でないとなれば大変都合が

第8図 風速と冠雪率との関係



よい訳である。そこで、考えられることは、矢印の場合のものが雪片に過冷却の水滴が含まれていたのではないかということである。ところが、そのときの気象状態からみるとそういう現象があつたらしい形跡はみあたらない。そこでこれを例外とみなし得るかどうかはきめられない。併し、←印の個数は全観測回数数の8%であるから、点線は冠雪率がそれ以上大きくなりにくい限界ということはいえるであろう。その限界をたどると大体風速が3.5 m/s内外で冠雪が無くなることになる。併し、実際は雪片が一部分樹冠にひつかかり、或は、凍結しているため不合理であるが、その量は極めて少なく、実用上は0とみなし得るであろう。

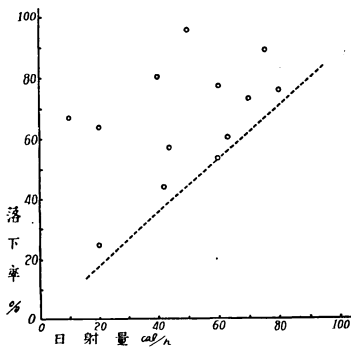
風速が大きくなるに従つて、冠雪率が減少する主なる原因は次の二つであろう。一つは風速が大きくなるに従つて樹冠が次第に流線型に近づいてゆき、それに伴つて、雪片が樹冠に捕捉される割合が減少してゆくことであり、他の一つは樹冠の動揺による冠雪のふり落しである。このふり落しは気温によつて異なるが、スギでは大体風速1.5 m/s位から目立つようになる。

(5) 冠雪の落下

冠雪の重力がそれ自身の内部摩擦角以上に達すると落下する。冠雪が完成期に増大しにくいのはこの作用によるものである。併し、冠雪の消失をもたらす急速な落下は主として、雪の変態によるもので、暖気と日射とは雪の含水量を増し冠雪と枝葉との附着力を減退せしめて落下を促進する。又、風は枝葉を動揺せしめて所謂「ふり落し」作用によつて落下を促進する。なお、冠雪の一部分の落下は他の部分に衝撃を与え、或は、その反動の伝播によりやはり「ふり落し」と同様な作用を与えて落下を促進する。普通の場合、上述の各因子は相互に関連して作用することが多い。従つて、冠雪の落下に及ぼす各因子の影響度を正確に抽出することは困難であるが、大体の傾向が分れば実用上満足し得るであろう。そこで、その方法として冠雪量に対する落下量の比を落下率とし、気温、日射、風速の三者について落下率との関係を調べてみ

た。以下述べる落下率はすべて一時間当りの資料による。まづ、気温と落下率について述べる。それには日射、風速、降雪の影響をとりのぞく必要があるので、日射がなく、無風、無降雪のときの資料を求めてみると、落下した場合は僅か2例あるのみで、気温差による冠雪の落下率は不明である。この2例の場合の落下率は -2.0°C のとき 8%, -0.7°C のとき 20% であった。併し、気温が 0°C 以上に達すれば冠雪は急速に落下する。この場合は日射があるのが常態であるから、この両者を分離して考えることはあまり意味がない。そこで、縦軸に気温、横軸に日射量をとつて、落下率の階級別にプロットしてみたが、日射量の多少にかゝらず気温が $0.4\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ に達すれば冠雪の大部分が3時間以内で落下してしまうことが分つた。

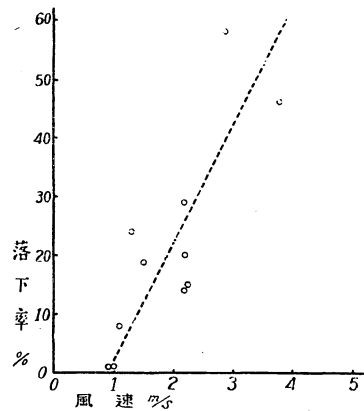
第9図 日射量と冠雪の落下率との関係
(気温 0°C 以下の場合)



但し、気温が高い程、又、日射量が多い程落下完了時間が短縮される。次に、日射量と冠雪の落下率との関係は第9図に示す通りで、この図は気温 0°C 以下で無風の場合の資料によつて画いたものである。図をみると、日射量によつて落下率の最小限界がほぼ予想出来るので、その限界を目分量で結んでみたのが点線である。これによると、気温が 0°C 以下の場合も日射量が多くなれば冠雪の落下が促進されることを示している。但し、この限界の適用範囲は気温が $0\sim -3.0^{\circ}\text{C}$ のときである。

次に、風速との関係について述べる。日射がなく、気温 0°C 以下の場合に於ける風速と落下率との関係は第10図に示す如くで、かなり点がばらつくが目分量で各点を満足せしめるように連ねてみると点線で示したようになる。即ち、風速が大きくなるに従つて落下率も大きくなる。併し、風速がほぼ 1 m/s 以下では落下は認められなくなる。その理由はそれ以下では冠雪のある樹冠を動揺せしめるだけの力を持ち得ないからであろう。又、一時間で冠雪を全部落下させるためには大体 6 m/sec 内外の風速が必要であるらしいことが推定される。なお、図の点のばらつきは雪質の相違によるものであろう。そこで、風によつて冠雪が落下を初めるときの気温を調べてみると、その限界は大体 -5.0°C のとき 1.0 m/s , -3.0°C のとき 2.0 m/s , -1.0°C のとき 2.3 m/s となり、新雪の凝集力が大きいときに落ちにくい傾向があることが分つた。併し、その差はごく僅かである。

第10図 風速と冠雪の落下率との関係
(気温 0°C 以下の場合)

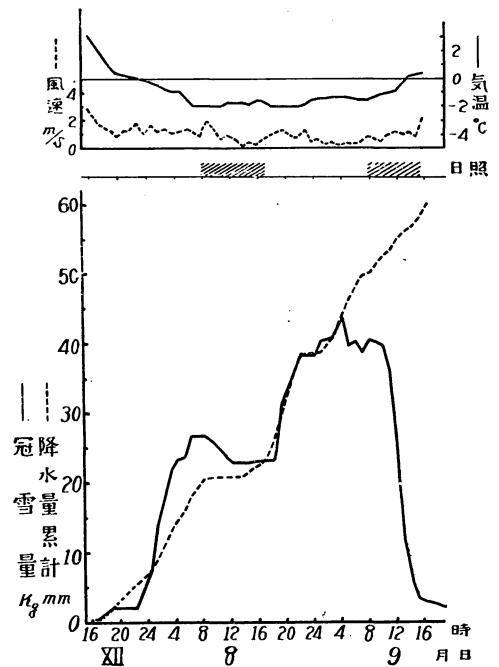


(6) 異常の冠雪

すでに述べた通り、普通の場合、冠雪は完成期に達すると、降雪が継続しても冠雪量はあまり増大しない。ところが、異常な気象状態のもとでは、冠雪量が完成期に達しても、更に冠雪量を増してゆくことがある。そういう場合に冠雪による被害が顕著になる。前に述べた第5図の←印の場合がこれに該当する。これは12月7日の夕方から冠雪し初め、12月9日の4時に最大に達したもので、その経過は第11図に

示す通りである。このとき、異常冠雪となった原因は降雪前に降雨があり、それが霰になり、雪になったことである。霰の継続時間は7日の17h 30m から21h 50mで、この間に霰はスギの枝葉を覆い、気温の低下に伴って、徐々に枝葉に凍結してゆき、その後の冠雪を容易なものにした。更に、降雪中の気温は冠雪量が最大に達するまでは $-1.4 \sim -2.0^{\circ}\text{C}$ の範囲で持続した。このように、気温の振幅が僅か 0.6°C 以内で、それが24時間も持続するということは全くの異常である。しかも、この程度の気温では雪の凝集力も大であるから、降雪さえ継続すれば樹冠が倒れるまで冠雪し得る訳である。このときは降雪量が継続

第11図 異常冠雪の1例



して60mmも降り、しかも風も少なかつたのであるから、気象条件としては冠雪を増大せしめるのにすべてが好条件にあつたといえる。それらが綜合されて、冠雪がこのように異常に発達したもので、最高44kgに達した。樹齢僅か11年の杉に44kgの荷重がかゝつたのである。然るに、この時の本試験木の状況は写真3に示す如く、単に枝葉を垂下せしめたのみで樹幹に何等の異常も認められなかつた。ところが、同じ日、同じ樹齢のスギがかなりの被害を受けた。大部分は幹が彎曲して、梢端が積雪面に達し、所謂倒伏の状態を示し、又、若干の幹折れと梢端折れを生じた。それらを観察した結果、倒伏したスギは大部分が片枝のもので、樹幹を中心にして円錐状に発達した枝葉を持つスギは殆んど被害を受けなかつた。そのことから、冠雪がある場合に、その重心が樹幹を通るような樹形ならばこの程度の冠雪量でも被害の大部分を防止出来ることが分つた。元来スギは先天的に円錐体の樹形をもっており、片枝になるのは後天的な原因によるものである。従つて、片枝になるのを矯正し、或は、除去することは技術的に困難ではないはずである。本研究の結果によれば均斉のとれた樹形に育てることが

スギの冠雪の害を防止し得る一手段であるように考えられる。

Ⅳ 結 言

昭和 24~25 年冬季、十日町に於て代表的なスギの幼齡木（樹令 11 年，樹高 580 cm，胸高直径 10 cm，樹冠投影面積 2.0 m²）を選び，その冠雪量を自記装置により観測した結果，次のことを知り得た。

- (1) 冠雪の消長は生長期，完成期，消失期の 3 段階を経る。
但し，降雪が少ない場合は完成期はあらわれない。
- (2) 冠雪の消長は日変化し，普通の場合極大は深夜から早朝にかけて出現し，極小は正午から夕刻にかけて出現する。
- (3) 普通の場合，降雪が継続しても冠雪が完成期に達すると，冠雪量の増加はあまり認められなくなる。
- (4) 冠雪によつて，スギの樹冠投影面積は大体 60~130% の範囲内で変化する。
- (5) 一降雪期間に於ける冠雪量の最大限界は降雪量の約 80% である。
- (6) 冠雪の生長期に於ける或る時間内に於ては冠雪率（冠雪量/降雪量）が 100% を越すことがある。
- (7) 気温と限界冠雪量（それ以上冠雪し得ない限界量）との関係は次の実験式で示し得る。

$$y = 156.8 + 27.5x$$

但し，x は気温，y は限界冠雪量で，本式は気温が 0°C 以下の場合に適用される。

- (8) 降雪中の気温が -6°C 以下，或は，0°C 以上に達すれば実用上冠雪は生長しないとみてよい。
- (9) 冠雪の生長に最適の気温は -0.3~-0.7°C のときである。
- (10) 普通の場合，降雪中の風速が大きくなるほど，限界冠雪率が小さくなり，大体 3.5 m/sec 以上に達すると冠雪は生長し得なくなる。
- (11) 気温が 0.4°C 以上に達すれば冠雪は短時間のうちに殆んど全部落下してしまう。
- (12) 気温が 0°C 以下であつても日射や風があれば，冠雪は落下する。但し，風速が約 1 m/sec 以下ではその影響は殆んど認められない。
- (13) 被害をもたらすような異常冠雪は気温が 0°C より僅かに低いまゝで持続し，風が少なく，多量の降雪がある場合に限られる。
- (14) 均斉のとれた樹形のスギは冠雪の被害を蒙ることは殆んどない。

なお，末筆であるが，本試験の観測を担当し，又，資料の整理に当つた野上光一君，及び実施に協力した渡辺成雄，大熊康之の両君，並びに本試験に深い理解と指導をいただいた雪害研究室長の四手井綱英氏に心から感謝の意を表するものである。

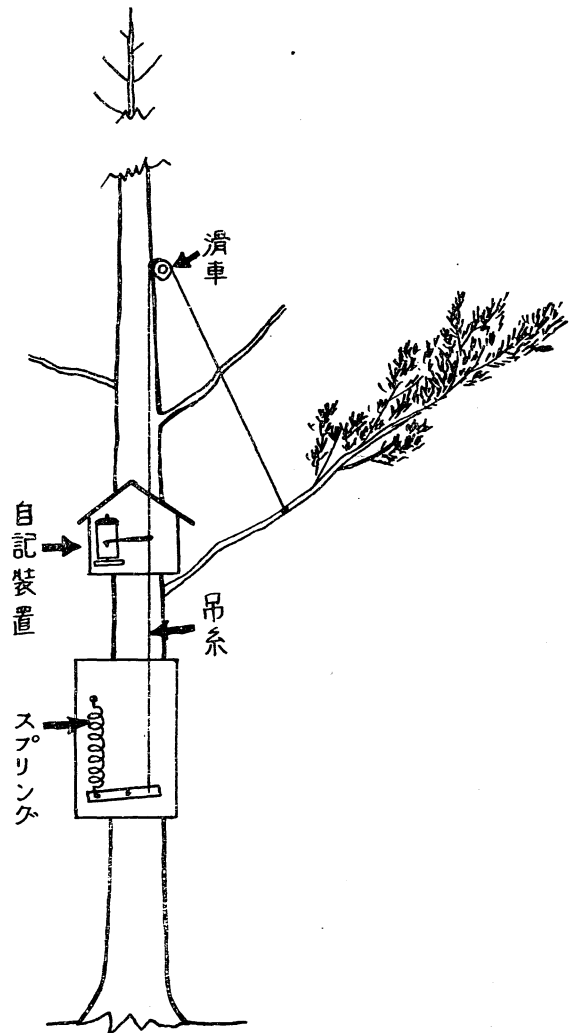
Ⅱ-b 枝 葉 の 冠 雪

農林技官 片 岡 健 二 郎

Ⅰ ま え が き

これは実際の樹木の1本の枝につく枝葉の様な複雑な形のものに対する冠雪の経過を観測したものである。枝葉は、例へば、スギの枝を見ると、幹から分岐した枝は、細かく小枝に、二次、三次枝と分かれ、その末端の方に針葉が附着している。この様な、分岐した枝葉に積る雪はどのような積り方をするかを見るために行つたので、その為、実際のスギの枝に対する冠雪の外に、模型的に考えた、枝を作り之に雪の代りに鉛屑を降り積らせたものも行つて見た。初めての試であつたため、不備な点は多かつたが、一応、樹木の枝葉への冠雪の経過が分かつたので、報告する。

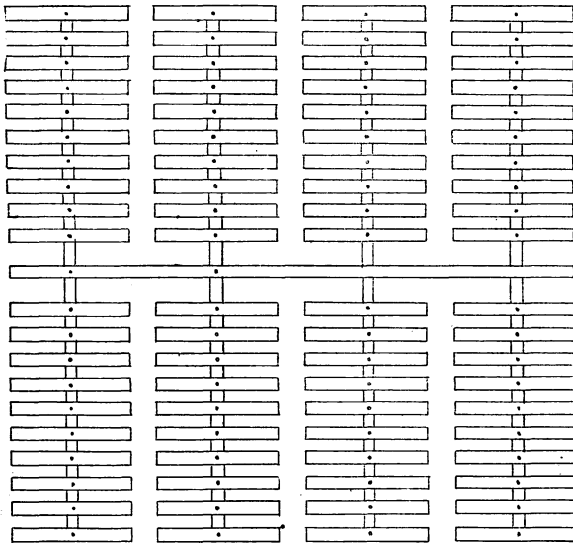
第1図 冠雪自記装置



Ⅱ 調 査 方 法

1950～51年冬期には、スギ立木の適当な枝(全長 355cm, 枝葉の中央 巾 85 cm, 枝葉部分の全長 100cm, 枝の太さは幹から 10 cm の所で 5.5 cm) 1 本を選定し、これに自記装置、即ち、第1図の様に立木の幹の上部に小さな滑車を付け、下部にスプリングを固定し、鋼鉄線で枝から滑車を通しスプリングに結び、その鋼鉄線の中に自記ペンを取付け、自記時計を利用し、スプリングの伸びの長さによつて枝に積る雪の重量を測定した。夏期には第2図の様な枝の模型、即ち、長さ 45 cm, 巾 1 cm, 厚さ 1.5 cm の板に長さ

第2図 枝葉の模型簀子



らせその重量変化をも測定した。

10 cm, 巾 1 cm, 厚さ 0.5 cm の板を中心から 1 枚目は 2 cm 離し片方に 10 枚ずつ付け, その間を 1 cm 間隔にしそれを 1 組とし, さらにそれを 2 cm 離し 4 組合せて縦 46 cm, 横 45 cm の簀子の様なものを作り, その上へ 1 分目の篩で鋸屑を静かに振り落とし, 振り落した鋸屑の重量と, その簀子の上に積る鋸屑の重量を測定しその堆積状態等を観測した。本実験では同時に実際のスギ枝にも鋸屑を積

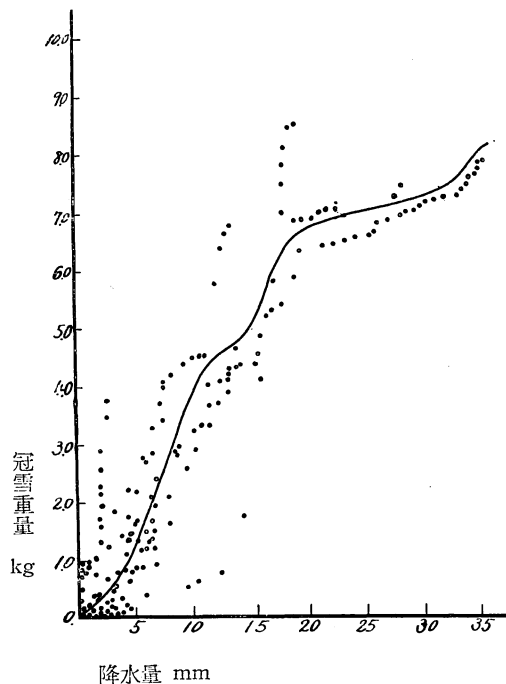
Ⅲ 実験結果

(a) 冬期の実験結果

スギの枝の冠雪量は, 風速や雪質, 気温等の諸因子が影響するためか, 測定結果の各点はかなりばらつくが, 全観測値をその時の降水量 (mm) と比較して見た所, 第3図に示した様に, 全般から見て, 大体実線で示した如く何回か蛇行しながら冠雪重量が増加して行くことがわかる。この蛇行の原因は種々な気象, 或は雪質の因子が関係するので確定的なことは云い得ないが, 大体次の様なことが主原因と考えられる。即ち 1 本の枝を分解して見ると前述した様に, 普通第4次枝から第5次枝葉位まで分かれてをり, (こゝで言う第1次枝とか第5次枝葉とかの区別は主枝を第1次枝とし, 之より分岐したものを第2, 3……枝と名付けた場合である) それに雪が積る場合には, 最小単位の葉に最初積り, 次いで葉と葉の間が埋まり, 更に第5次葉と第4次

第3図 降水量と冠雪量との関係

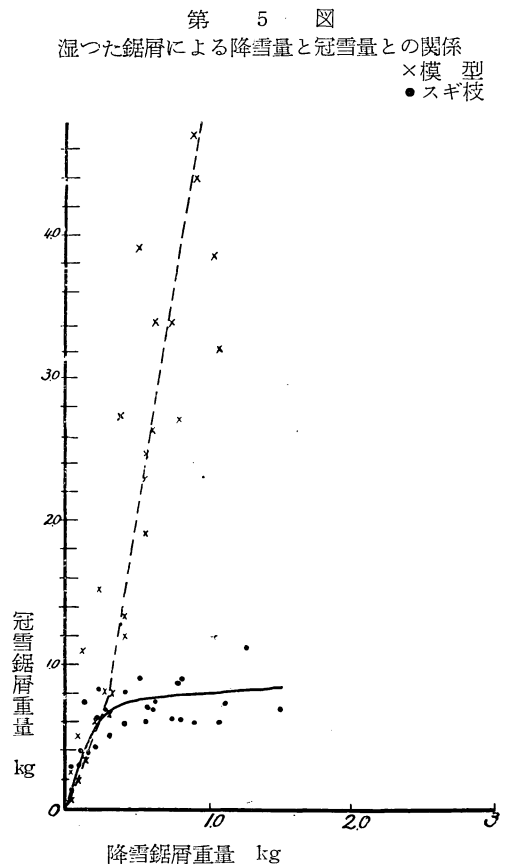
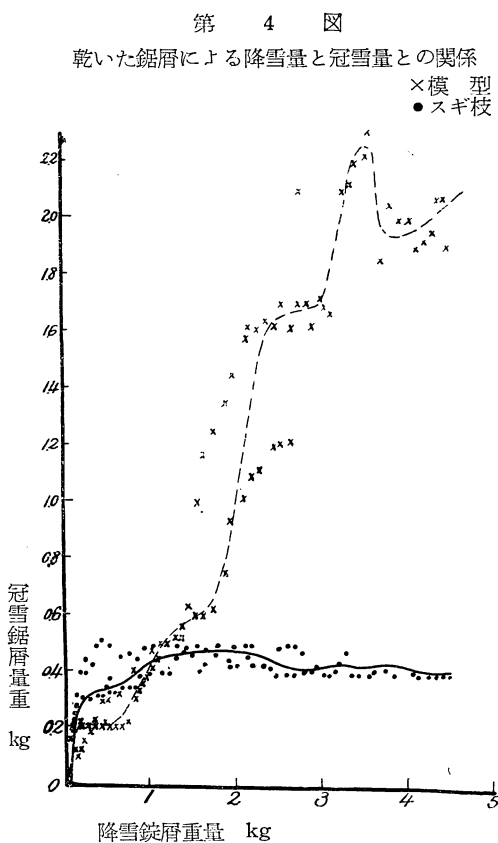
●スギ枝



枝葉とに積つた雪が結び合ふまでの間は、重量増加が一時停滞する。これが互に附着し合ふと、それ等の枝が一团となり冠雪面積が急に増大して一時的に冠雪量が増加し、その面積に対する最大の冠雪量に迄なる。すると次に第3次枝葉に附着するまでは又停滞する。この様なことを何回か繰返し遂に1本の主枝の枝葉全体が一塊になつた冠雪が完成される。その結果図の様な休止、発達を繰返した蛇行をするのではないかと思われる。更に又風の強い時には枝葉の動揺により冠雪が発達せず一層この蛇行を大ならしめ、弱い時にはこの蛇行が判然とせず急激に冠雪が増大する様な傾向も見受けられる。第3図の左の方によつた諸点は風速の弱い時で右の方によつた諸点は 反対に強いものが多いが、調査資料が不足のため、くわしいことは判明しない。このほか雪そのものの性質、つまり積り易い雪と、積りにくい雪、例へば、樹枝状結晶と、霰状結晶或は針状結晶等の差により、この様な蛇行の判然とする時としない時がある様である。例へば、湿り気の少い雪や分枝の少い雪では、枝葉の間隙が仲々埋まらず従つて蛇行が大となる様である。

(b) 鋸屑を用いた実験結果

第4図は前述した模型を使用し鋸屑を散布し、模型上に積つた鋸屑の重量と落した鋸屑の重



量(降水量測定と同様に採雪円筒に入つた量を測る)を比較実験した結果を示したものであ

る。此も第3図と同様に蛇行していることがわかる。この原因は前述した様に、最初に、最小単位の板の部分に積りそれに最大量積ると一時休止し次に板と板の間が埋まつて面積が大きくなりその面積に対する最大量に達すると言ふ順序で次々と増加していつた結果で、同時に行つたスギの枝ではこの経過が判然としないが、枝全体に対してはこれ以上積らぬ最大限のある事がうかがわれる。第5図は第4図と同じ方法で実験したものであるが、此場合は鋸屑を振り落とす時に落ちてくる鋸屑を途中で噴霧器を用い噴霧し鋸屑の湿度を多くした場合のものを観測した結果である。この図を見て気付くことは第3図、第4図の様に蛇行しないことである。結局鋸屑の場合でも水を噴霧し湿度を大にし粘性を増すと、積り易い条件になり、殆んど蛇行することなく、直線的に増加を示すことがわかる。即ち雪の場合でも無風で粘性の大きい積り易い雪であれば第5図の様に蛇行が少く直線的に増加するものであろう。

IV 結 言

今回の試験方法は最初の試みであつたため、不備な点が多いが、以上の結果からわかつたことは、雪が枝に積る時には、最初に、小さい枝葉の部分から積り出し、逐次枝葉と枝葉とに積つた雪が互に附着し合つて、その間、降雪量増加に対する冠雪量増加は休止、発達の変化を何回かくりかえして最後には全枝が一塊の冠雪になり、本実験に使用した様な枝では、8疋乃至9疋近くまで積ることになるわけである、又樹枝状結晶の様な積り易い雪で、しかも湿雪の場合、即ち粘性が大きい場合で無風であれば冠雪量増加にはこの様な休止期がなく、降雪量増加に対し直線に近い関係で増加するが、粘性の少い雪で、風のある場合等には、枝葉の間隙が仲々埋まらず、いちじるしく蛇行しながら徐々に増加するものであると言ふことが言い得よう。

[Résumé]

Study of the Fallen Snow on the Forest Trees (Snow Crown)

[The First Report]

By

Laboratory of Snow Damage
in
Division of Forest Calamity Prevention

Abstract

This report deals with studies on the mechanism of snow crown on forest trees carried on at Tōkamati Experiment Site and Kamabuti Subbranch Station between 1949—1951.

I —a. The fallen snow on the plane board

- (1) It seems to be a limit in the height of snow deposited on, and the limit height is expressed experimentally by a board of certain breadth

$$h_M = Kb^\alpha.$$

Here h_M is the maximum snow height that the snow may deposit on the board cm, b is the breadth of the board cm, and K & α are experimental constant.

- (2) As heigher (below zero) the air temperature, the cohesive power of snow is stronger.

The metamorphoses (transformation) of snow particles accelerated with time elapsed.

I —b. The fallen snow on the spatialy objects.

- (1) The snow on the boards of same size piled up one over the other.

The rate of increase of the mass of snow crown in % may be expressed.

$$y_n \doteq 88 N^{-1.4} + 56 N^{-0.4} V_w,$$

or

$$y_n \doteq \frac{1}{4} d^{2/3} (d + 40 V_w).$$

Here N is number of boards piled, V_w is wind velocity (below 1.5 m/sec) m/sec, and d is the interval of boards cm.

- (2) The snow on the pyramidal (same base-area) objects with hexagonal base.

The rate of the mass of snow on pyramidal objects is

$$y = c_1 - c_2 V_w$$

Here y is the ratio of snow mass on pyramid with that on hexagonal place of the same size, c_1 and c_2 are constants.

Thus, as heigher the pyramid c_1 is smaller.

- (3) Combination of (1) and (2) (the snow on the n-storied tower-like boards).

The rate of snow-crown is expressed by

$$y = 74 d^{0.2} + d^{1.9} V_w.$$

This empirical formula is correct before the spaces of boards are filled up by snow. After they are filled up, it is in accord with the pyramidal case (2).

I—C. The fallen snow on the inclined plane.

The weight of snow on the unit projection area has nothing to do with the angle of inclination. And the snow height on slope is larger than that on level plane, so the density is smaller in the former than the latter.

The height on slope is expressed by

$$h = h_0 (a + b \sin \theta - c \theta^d V_w)$$

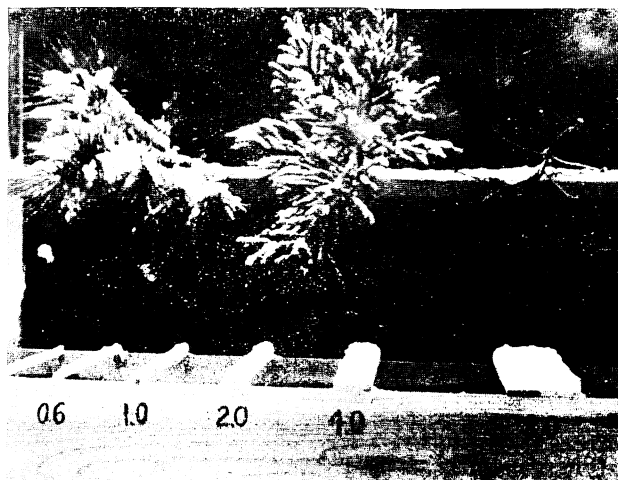
where h_0 is the snow height on the horizontal plane. θ is the angle of inclination, and a , b , c & d are constants.

II The snow-crown on the test tree.

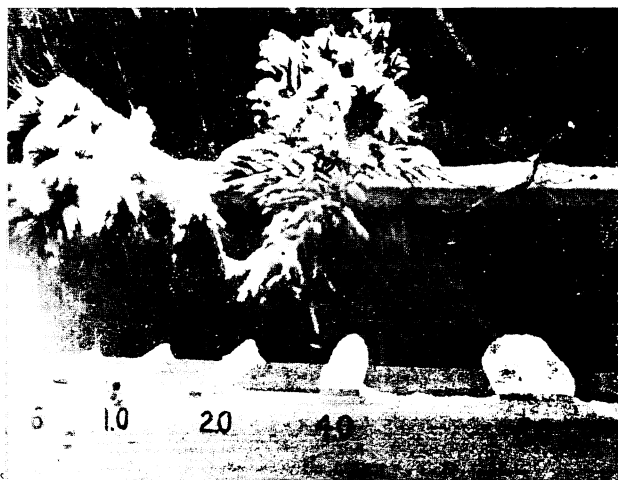
Many phenomena observed the snow-crown on a real tree [*Sugi* (*Cryptomeria japonica* D. DON)] are well explained from our results obtained on the model experiments which have been just stated.

I スギ、マツ及び落葉樹の枝の冠雪経過と巾の異なる平板上の冠雪経過 (本文 1-a)

(1) 降雪 2 時間 後



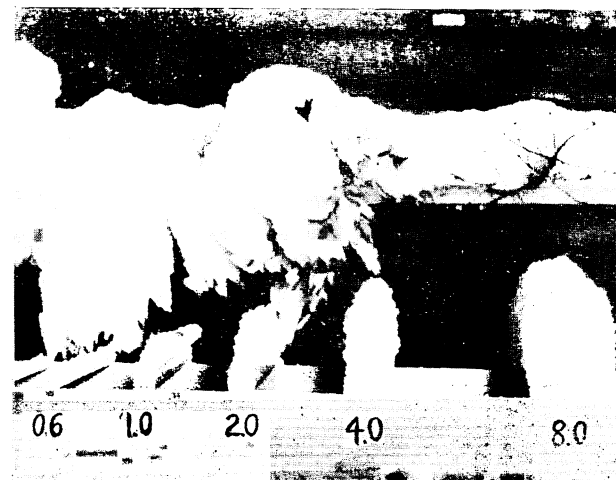
(2) 降雪 3 時間 後



(3) 降雪 5 時間 後

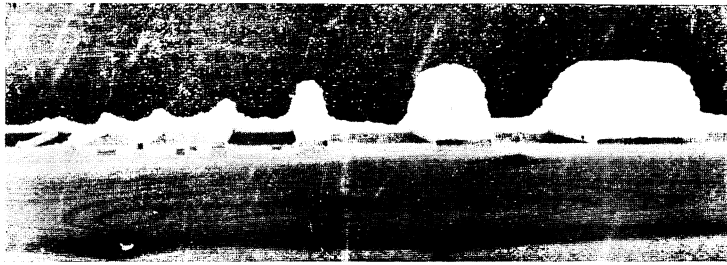


(4) 降雪 7 時間 後

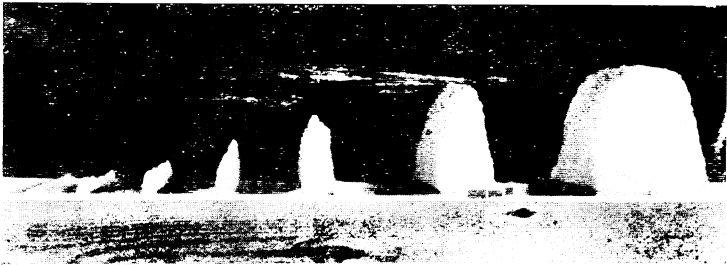


II 平板上の冠雪 (本文 I-a)

(1) 降雪 3 時間後



(2) 降雪 4 時間後

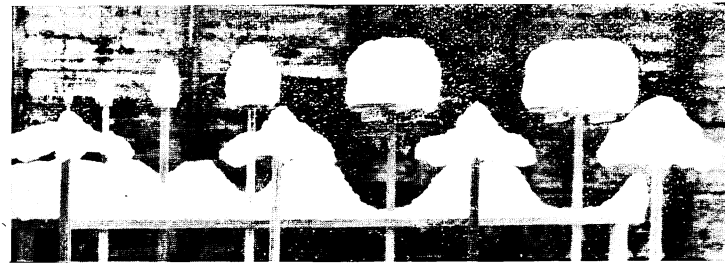


(3) 降雪 7 時間後



III 円板及傘状竹ヒゴ上の冠雪 (本文 I-a)

(1) 円板



(2) 竹ヒゴ



4

6

8

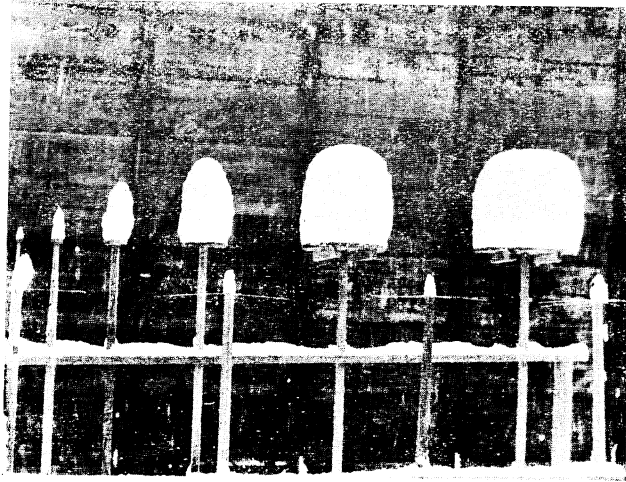
12



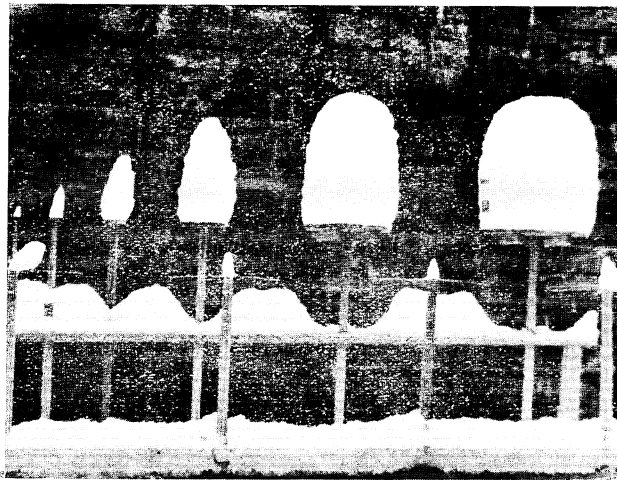
(3) 湿雪で側方にダレ雪面積が増大した例

IV 半径の異なる円板上の冠雪 (本文 I-a)

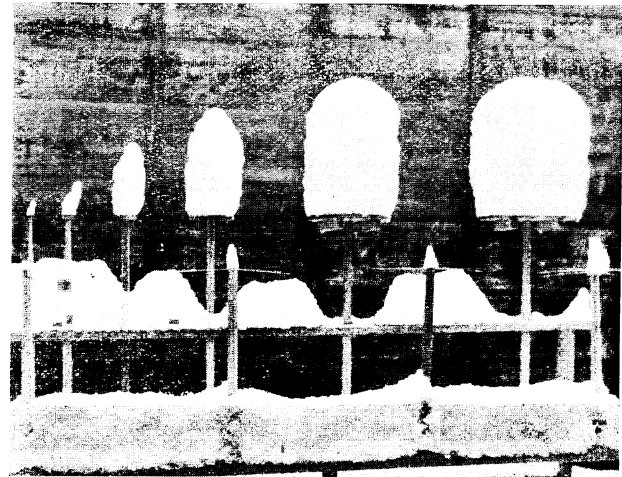
(1) 降雪 10 時間 後



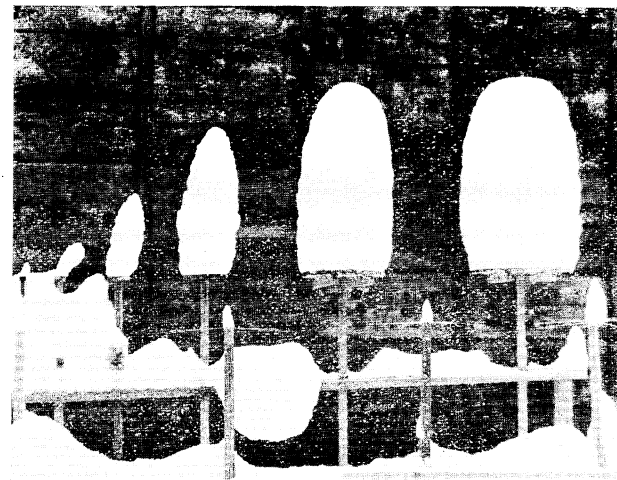
(2) 降雪 12 時間 後



(3) 降雪 14 時間 後

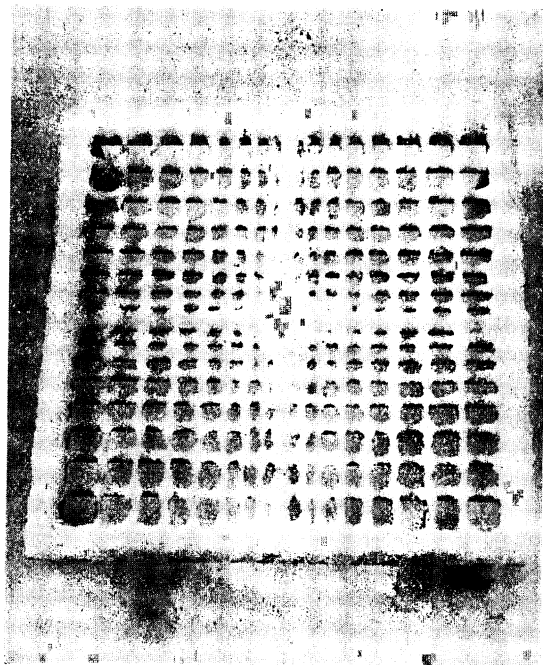


(4) 降雪 16 時間 後



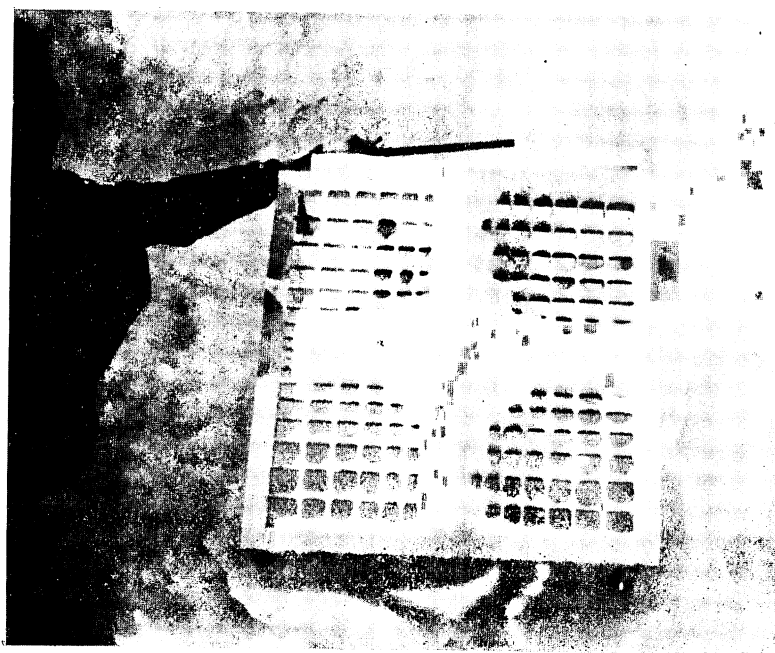
V 格子試験 (本文 I-a)

1 (冠雪弱)

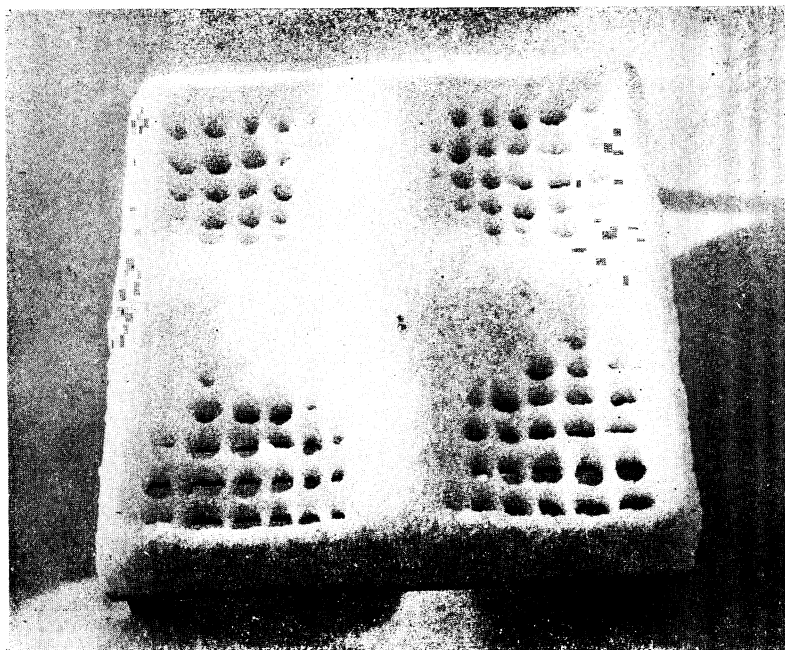


中心より外方に向つて徐々に間隔を増した格子を作り降雪の量及び質によりどの範囲迄積るかを観測したもの。

2 (冠雪中)



3 (冠 雪 強)



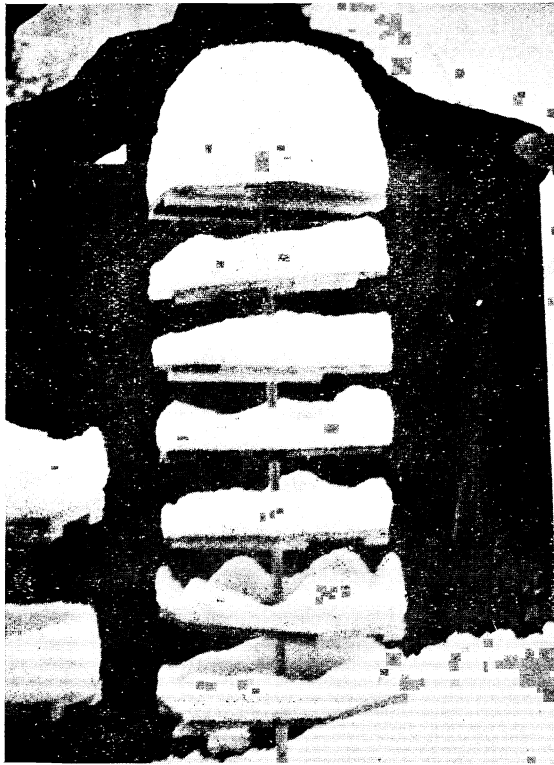
4 (冠 雪 断 面)



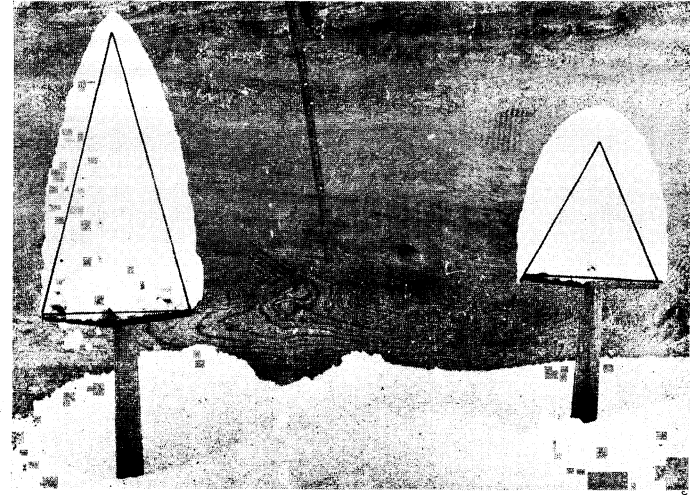
この断面で、格子の間の孔隙が冠雪の沈降によるダレで徐々に埋まつて行く過程が認められる1例。

VI 冠雪の模型実験 (本文 I -b)

(1) 同一形状の板の重り



(2) 高さの異なる角錐

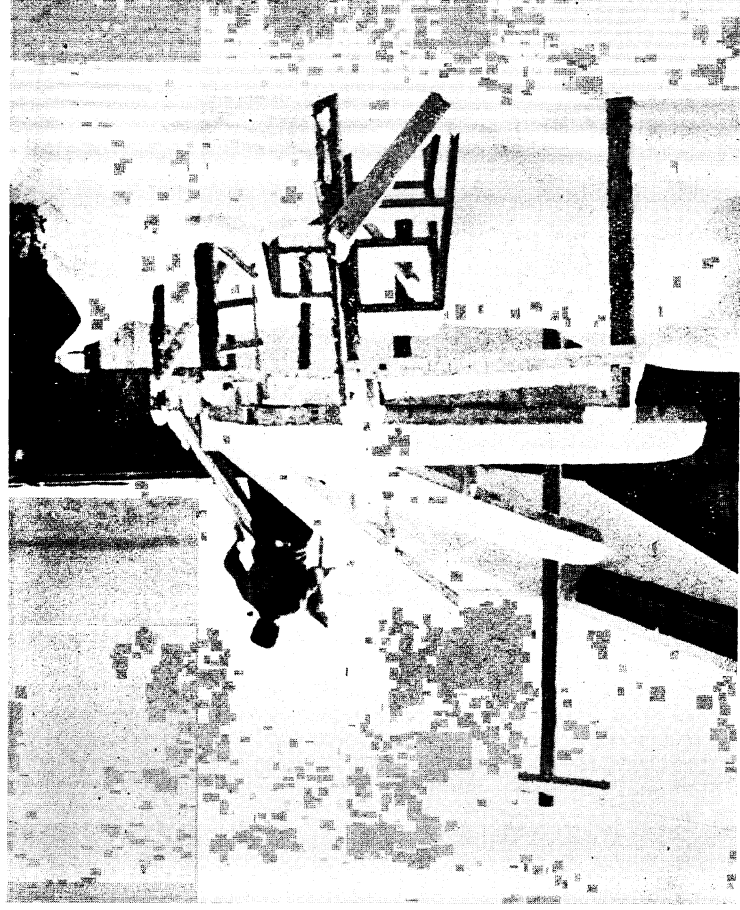


(3) 錐形の板の重り

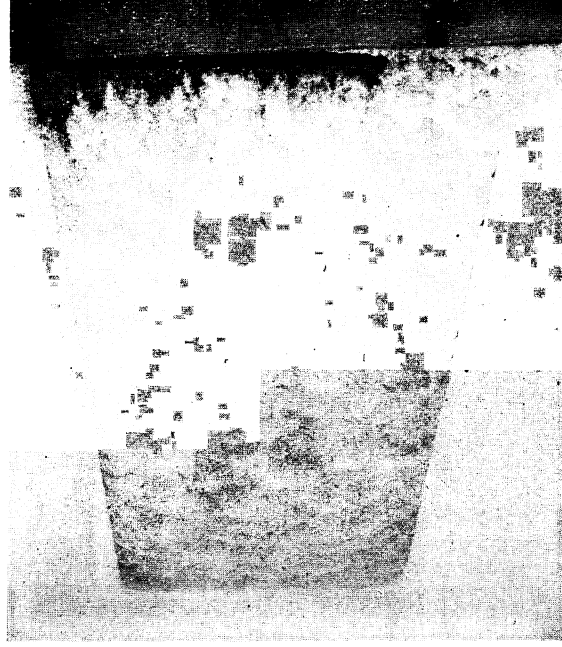


各板は完全に冠雪に埋まっている。

(1) 観測装置



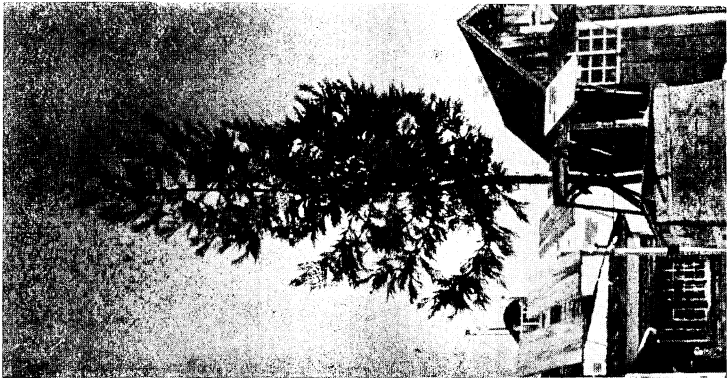
(2) 急斜面の積雪表面



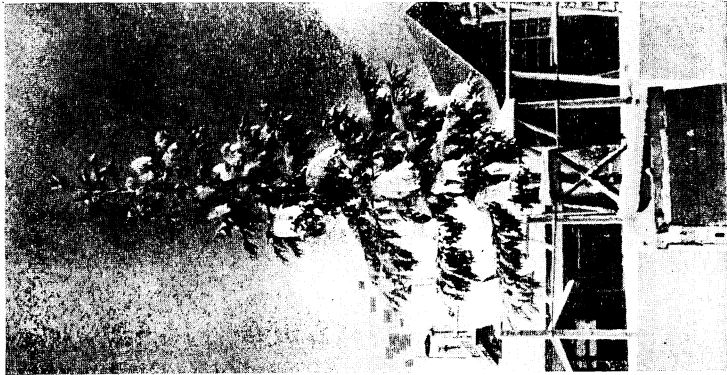
雪の積り方が一様でない。
横にシヤが出来、積雪の密度が方向により一様でない。このことが傾斜面の積雪深を深くする一因の様である。

Ⅷ 冠雪量自記装置付のスギとその冠雪状況 (本文Ⅱ-a)

1

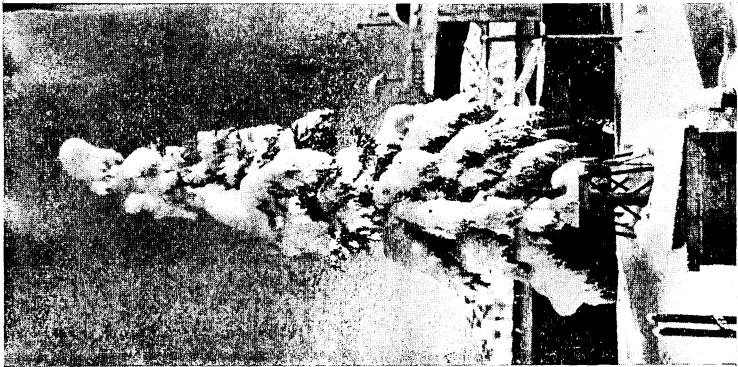


2



(冠雪量約 10 kg)

3



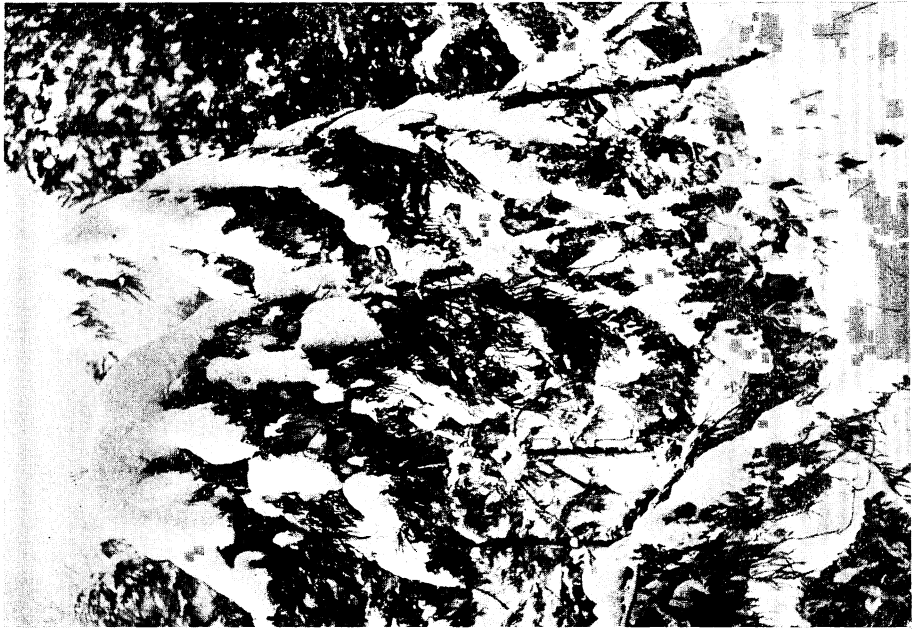
(冠雪量約 40 kg)

IX スギ枝葉の冠雪 (本文 II-b)



(1) 冠雪弱度

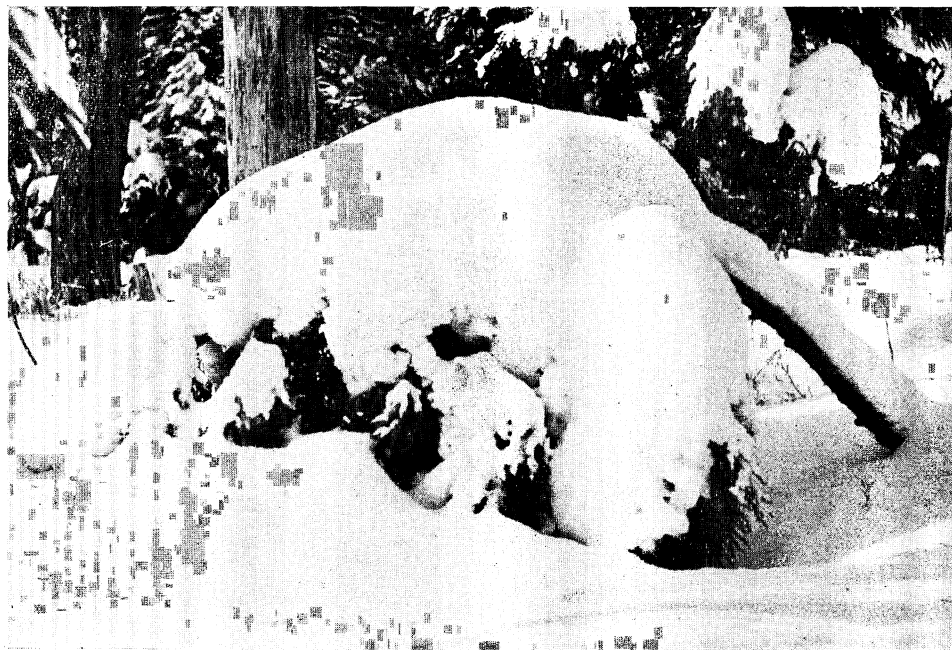
(下部のカラマツ若木には冠雪がない)



(2) 冠雪中度

(梢部が彎曲している)

(3) 冠 雪



（冠雪と積雪が増加し埋雪し始めたもの）

(4) 冠雪自記装置



(5) 鋸屑による冠雪模型実験装置

