

第3章 冠雪の発達に影響する要因と冠雪荷重の推定

樹木の冠雪害は多量の降雪が樹冠に付着・堆積し、この樹冠着雪量（冠雪荷重）が幹の耐力を越えた場合に発生すると考えられる。したがって、林木の冠雪害抵抗性を力学的な手法を用いて評価するためには、個体当たりの冠雪荷重や幹に作用する冠雪荷重の垂直的な分布状態などについての知見が不可欠である。しかし、造林地に生育している林木の冠雪荷重を直接測定することは困難であるため、冠雪荷重を精度良く推定するための手法の開発が必要である。そのためには、まず、冠雪荷重の増減にどのような気象要素が関係しているのか、あるいは冠雪荷重が樹冠要因や品種によってどの程度変化するかなどについて明らかにする必要がある。

そこで、本章では、スギの冠雪荷重と気象要素および樹冠形状の関係、スギ品種による冠雪荷重の比較などについて調査を行い、これらの結果をもとに冠雪荷重の推定法について検討を行った。

第1節 冠雪の発達と気象要素の関係

冠雪は降雪が樹冠に付着・堆積する現象であって、冠雪害が多量の降雪があった場合に発生する傾向があることから、降雪量は冠雪荷重を左右する最も重要な気象要因と考えられる。しかし、冠雪害は気温が+から-に移行し、ミゾレやヌレ雪が枝葉に付着して凍結するときに発生し易いといわれていることから（佐伯・杉山，1965；高橋，1977；新田，1987），例え降雪量が同じであったとしても冠雪荷重が他の気象要素の影響を受けて変化することが推測される。

そこで、これまでにスギ林木の冠雪荷重を測定したなかで、降雪量や降雪回数が比較的多くかつ降雪時の気温の変化が大きかった年度を対象に、冠雪の発達と気温、日照時間などの気象要素の関係について検討した。

1. 材料と方法

冠雪が発達するときの気象条件を検討する目的で、1982/83から1990/91年までの9冬期間にわたって、吉峰（標高230m）においてスギの冠雪荷重を測定した。これらの期間のなかで降雪が多くかつ気温の変動が最も大きかった1983/84年における測定資料を用いて、冠雪荷重と気象要素の関係について検討した。この年は56豪雪に次ぐ大雪となり、とくに1月15日から18日、1月22日から28日および2月5日から9日の3つの期間に多量の降雪があり、これらの積算降雪量はそれぞれ60、110および80kg/m²であった。以下、これらの降雪を、1月15日の降雪、1月22日の降雪および2月5日の降雪と呼ぶことにした。

冠雪荷重の測定には図-8に示す装置を用いた（嘉戸，1991）。この測定の手順は以下の通りである。まず、スギの梢端部を5～8mの長さに切り、下枝を除去した幹を冠雪測定台の中央にある垂直な鉄パイプに差込み、パイプの下部に固定したロードセルで冠雪した供試木の全重量を1時間毎に測定

記録した。この値から冠雪のない状態の重量を差し引いて冠雪荷重を算出した。1983/84年の供試木は16年生のボカスギ5本であり、その樹高は7～10mであった。また、冠雪荷重と葉量の関係について調べるために、下枝を除去して樹冠長を2～6mとした。したがって、葉量の小さな供試木では梢端部2mにだけ葉が着生していたのに対し、葉量の大きな供試木では梢端から6mの範囲に葉が着生していた。冠雪荷重の測定後、葉量を梢端から1m毎に切り分け、105℃で乾燥して絶乾重を求め

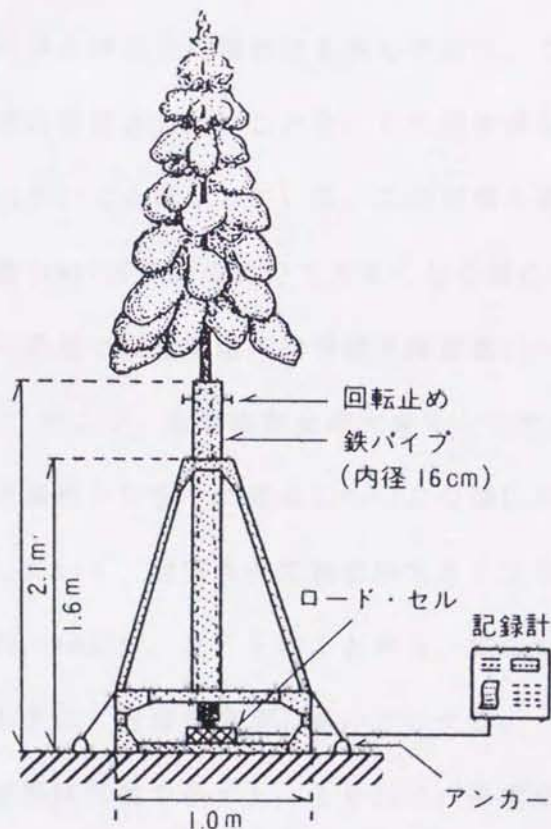


図-8 冠雪荷重の測定法

た。以後、葉量は全て絶燥重で表した。降雪量は90cm四方の水平な板に積もった雪の重量をロードセルで1時間毎に測定して、1 m²当たりの値に換算して得た。なお、日照時間は最寄りアメダス観測点であって、当林業試験場の東北約10mにある上市町東種（標高296 m）のデータを用いた。

2. 結果と考察

個体当たりの冠雪荷重は降雪量や樹冠の大きさ（葉量）によって大きく変化することから（松田，1981），冠雪の発達程度を比較する場合には同じ供試木または葉量の等しい供試木を用いることが望まれる。そこで、一例として葉量4.5kg（後日測定）の供試木をとりあげ、1月15日の降雪、1月22日の降雪および2月5日の降雪における積算降雪量と冠雪荷重、気温および日照時間の関係を2時間毎の値で示した（図-9）。なお、この図では冠雪荷重と気温および日照時間の関係を対比し易くするため、気温および日照時間の変化を時系列ではなく積算降雪量との関係で示した。

この図における積算降雪量と冠雪荷重の曲線の傾きは冠雪の増加比を表しており、この傾きが右上がりであつ傾きが急なほど冠雪の発達程度が大きいことを、また傾きが右下がりであつ傾きが急なほど冠雪の減少程度が大きいことを示している。この冠雪の増加比について注目すると、降雪開始から積算降雪量10kg/m²の間において大きくなる傾向が各降雪において認められた。さらに、1月22日の降雪では冠雪増加比が積算降雪量21~35および55~65kg/m²のときにも大きな値を示した。そこで、冠雪増加比が大きくなったときの気象要素を調べてみると、いずれの場合も気温が+から-に変化しかつこの間に日射がなかったことがわかった。このような条件下において、冠雪害の危険性が大きくなるのがこれまでも指摘されている（例えば、新田，1987）。これらのことから、気温が低下する傾向を示した後に、0℃付近で推移するときに、冠雪が発達し易いといえる。

これに対して、冠雪が著しく減少したときを積算降雪量で示すと、1月15日の降雪では60kg/m²のとき、1月22日の降雪では20、50および110kg/m²のときであった。これらのときの気象条件についてみると、いずれの場合も気温が-から+に上昇しかつ日照時間が

長かったことが判明した。これらの結果から、日射の影響で気温が0度以上に上昇すると冠雪の融解がすすむために、例え降雪があっても冠雪があまり発達しないものと考えられた。

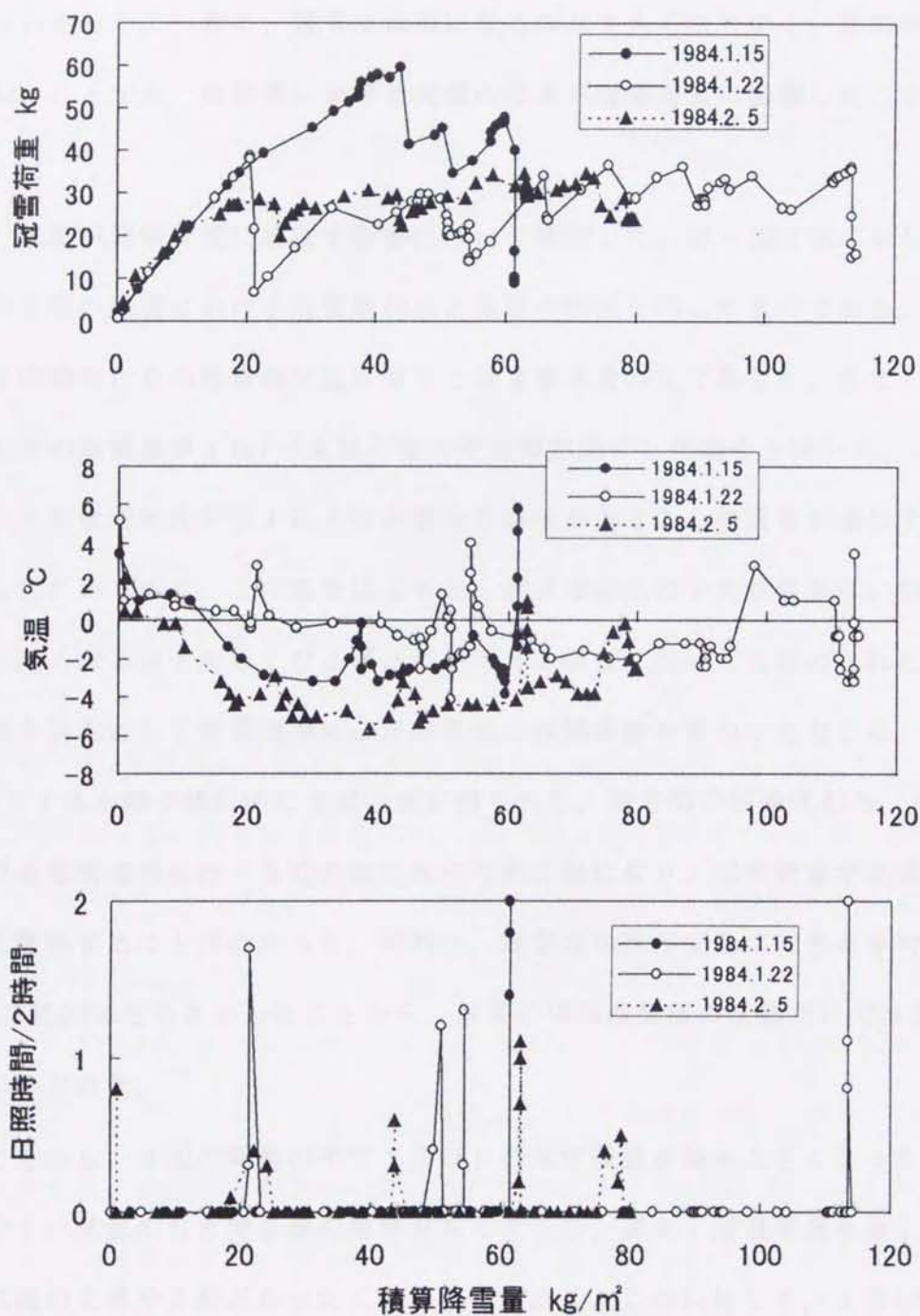


図-9 積算降雪量と冠雪荷重および気象要素の関係 (供試木葉量4.5kg)

ところで、2月5日の降雪における冠雪増加比は1月15日の降雪における値に比べて著しく小さくなる傾向が積算降雪量が $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上になったときに認められた。そこで、この降雪における気象要素を比較してみたところ、日照時間には著しい差異はなかったが、気温に違いが認められ、2月5日の降雪の平均気温は1月15日の降雪のそれよりも約2度低いことがわかった。一般に、冠雪は低温になるほど大きくなりにくい傾向がある（高橋喜平、1952）ことから、両降雪における気温の差異が冠雪荷重に影響したことが考えられた。

そこで、気温が冠雪荷重に及ぼす影響について検討した。図-10は先に示した葉量 4.5kg のスギの3回の降雪における冠雪増加比と気温の関係を示したものである。なお、冠雪増加比は2時間当たりの降雪増加量に対する冠雪増加量の比で表した。また、この図では2時間当たりの降雪量が $1\text{kg}/\text{m}^2$ 未満の場合や冠雪が減少した場合を除いた。これは降雪量が小さいと冠雪増加比が以上に大きな値なる場合があることや冠雪が増加する場合だけを対象としたためである。この結果によると、冠雪増加比は平均気温が低い場合に小さく、平均気温が高くなるほど大きくなる傾向がいずれの降雪においても認められた。そこで、3回の降雪を込みにして冠雪増加比と平均気温の相関係数を算出したところ、 0.466 (d. f. =61) となり1%水準で統計的に有意な値が得られた。両者間の回帰式から、平均気温が 0°C における冠雪増加比は -5°C の値に比べて約2倍になり、冠雪荷重が気温の変化によって大きく変動することがわかった。同時に、冠雪増加比の変動に対する平均気温の寄与率 (r^2) は約20%と小さかったことから、冠雪の増加は気温の変動だけでは説明できないことも示唆された。

以上のことから、3回の降雪の中で1月15日の冠雪荷重が最も大きくなったのは、冠雪の発達しやすい気温のもとで多量の降雪があったこと、加えて冠雪荷重を著しく減少させるような気温の上昇や日射があったことがあげられる。これに対して、1月22日の降雪において冠雪が大きくならなかったのは、冠雪の発達しやすい気温のもとで多量の降雪があったが、日射の影響を受けて冠雪が繰り返し減少したことがあげられる。また、2月5日

の降雪では、多量の降雪があったものの、降雪時の気温が低かったために、冠雪が発達しなかったことが考えられた。

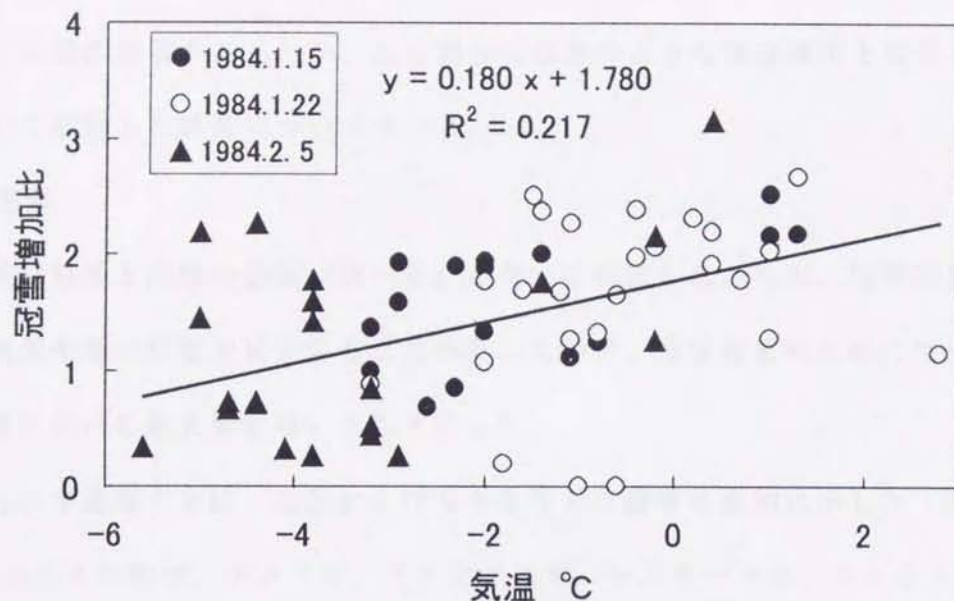


図-10 2時間当たり降雪量が1kg以上あるときの冠雪増加比
(冠雪増加量/降雪増加量)と気温の関係(供試木葉量4.5kg)

第2節 冠雪荷重と樹冠要因の関係および冠雪荷重の品種間比較

スギの冠雪害抵抗性は品種・系統によって異なり、富山県内に植栽されているスギ品種の中では、ボカスギがリョウワスギやマスヤマスギなどよりも冠雪害を受け易いことが報告されている(嘉戸ら, 1986; 杉山・佐伯, 1963; 矢野, 1982; 矢野, 1984)。このように冠雪害抵抗性に品種間差異が認められるのは、品種により冠雪荷重や林木の耐力に違いがあるためと考えられる。ボカスギはクマスギに比べて冠雪荷重が多い傾向が認められ、この原因が枝葉量や枝の垂下性の差異によることが指摘されている(渡辺・大関, 1964)。そして、ボカスギは単位葉量当たりの冠雪荷重がミョウケンスギやムラスギと等しいが、ボカスギの葉量が相対的に多いため個体当たりの冠雪荷重が他のスギに比べて多いことも報告されている(中島ら, 1989)。これらの結果から、ボカスギは冠雪荷重の大きい品種

と判断されるが、これまでの調査においては本数や品種も限られていることから、同様の傾向が他の品種間においても見られるものか検討する必要がある。

ここでは、富山県内に植栽されている主なスギ品種を対象に冠雪荷重の測定を行ない、冠雪荷重に品種間差異があるのか、ある場合にはどのような樹冠要因と関係しているのかなどについて検討した結果について述べる。

1. 材料と方法

冠雪荷重は前節と同様の装置（図-8）を用いて測定した。なお、冠雪荷重は降雪中であつても気温や風の影響で減少することがあつたので、冠雪荷重の比較に当たってはそれぞれの降雪における最大値を用いることにした。

供試木はスギ品種・系統、本数および大きさなどを調査年度別に示した（表-11）。1984/85年度から4年間は、ボカスギ、タテヤマスギ、マシヤマスギ、リョウワスギ、カワイダニスギのうちの2品種ずつの組合せで、各品種につき6本ずつ冠雪荷重を測定した。

表-11 冠雪荷重の品種比較に用いた供試木の概要

調査年度	品種	供試木数	樹齢 (年)	樹冠長 (m)	樹冠投影面積 (m ²)	葉量 (kg)	枝着生角 (度)	積算枝長 (m)
1984/85	ボカスギ	6	17	3.0-5.6	3.7-4.9	3.2-8.6		
	タテヤマスギ	6	22	3.3-5.3	3.7-10.2	2.4-13.3		
1985/86	マシヤマスギ	6	18	3.1-8.1	2.1-8.9	2.9-11.6		
	タテヤマスギ	6	18	5.0-6.6	4.0-10.1	5.3-14.7		
1986/87	ボカスギ	6	22	3.3-6.2	3.5-4.5	4.7-10.7		
	カワイダニスギ	6	14	3.5-4.6	5.3-7.5	4.5-10.6		
1987/88	タテヤマスギ	6	25	2.9-4.5	3.1-6.2	2.3-6.7		
	リョウワスギ	6	20	3.0-6.0	3.8-8.5	3.9-11.8		
1990/91	ボカスギ	2	25	4.8-4.9	3.7-4.4	8.2-10.5	64-66	35-37
	タテヤマスギ	2	26	4.8-5.0	5.1-6.2	7.9-10.3	63-66	43-49
	マシヤマスギ	2	22	4.5-4.7	2.7-3.0	9.2-10.0	64-65	35-39
	リョウワスギ	2	22	4.5-4.8	3.2-4.9	8.6-9.3	66-67	38-39
	座主坊1号	2	13	4.4-4.5	2.5-2.5	7.3-8.0	73-74	37-38

1990/91年度はボカスギ、タテヤマスギ、マシヤマスギ、リョウワスギおよび座主坊1号の5品種・系統について2本ずつ測定した。なお、タテヤマスギは実生で、他は全て挿し木で繁殖したものである。座主坊1号はタテヤマスギ系統の一つで、初期成長が良い特徴を有する。

冠雪荷重の測定後、各供試木の葉量および樹冠投影面積を測定した。葉量は梢端から1m毎に切り分け、105℃で乾燥して絶乾重を求めた。以後、葉量は全て絶乾重で表すことにした。1991年はこれらに加えて、枝の本数、全ての枝の長さとその枝の着生角度（枝の基部から20cmの位置における枝と幹の間の角度で、その値が小さいほど、枝が上向きなことを示す）も測定した。

3. 結果と考察

(1) 冠雪荷重と樹冠要因

冠雪荷重と葉量、樹冠投影面積、枝の着生角度および積算枝長などの樹冠要因の関係を検討した。各要因の変動をできるだけ大きくするため、ボカスギ、タテヤマスギ、マシヤ

表-12 冠雪荷重と林木の形質との関係 (1991年調査)

	平均	偏相関係数 (単相関係数)			重相関係数	
1月 7日	73(kg)	0.814*	0.010	0.302	0.410	0.888**
		(0.831**)	(0.456)	(-0.404)	(0.541)	
1月18日	57	0.444	0.703	-0.044	0.119	0.899**
		(0.606)	(0.854**)	(-0.568)	(0.640)	
2月24日	52	0.783*	-0.021	0.450	0.173	0.817*
		(0.744*)	(0.267)	(-0.212)	(0.353)	
1月 5日	51	0.789*	0.468	0.498	0.127	0.877**
		(0.767**)	(0.592)	(-0.341)	(0.535)	
1月14日	49	0.451	0.174	-0.021	0.062	0.662**
		(0.618)	(0.468)	(-0.451)	(0.387)	

注 *と**はそれぞれ5, 1%水準で統計的に有意性を表す。

マスギ、リョウワスギおよび座主坊1号の5品種を解析に用いた。冠雪調査を1990/91年に行い、積算降雪量が $15\text{kg}/\text{m}^2$ 以上であった降雪を対象に、重回帰分析を行った。表-12は個体当りの冠雪荷重と4つの樹冠要因との単相関係数、偏相関係数および重相関係数を示したものである。この結果によると、冠雪荷重の変動に対する4要因の寄与率は1月14日が44%と低かったものの、他は67~81%と高かった。葉量、樹冠投影面積、積算枝長などの樹冠の大きさに関わる要因と冠雪荷重の間に正の相関が認められた。これらのなかで葉量の間密接な関係があることはこれまでも報告されおり（松田，1981；片岡ら，1983a；嘉戸ら，1985），冠雪荷重は樹冠投影面積や積算枝長よりも葉量を基準に比較する方がより正確な結果が得られると考えられた。

中島ら（1989）は、枝の着生角度と降雪初期の捕捉率の間に関係があったこと、ボカスギは個体当りの冠雪荷重が大きく、かつ枝の着生角度も大きかったことを報告している。今回の調査でも冠雪荷重と枝の着生角度の偏相関係数は正の値を示し、冠雪荷重は枝のつき方が水平に近いほど大きい傾向を示したが、いずれも有意性は認められなかった。したがって、冠雪荷重に対する着生角度の影響は葉量や樹冠投影面積など樹冠の大きさに関わる要因に比べて小さいと考えられた。なお、ボカスギの枝の着生角度は他の品種のそれと比較して顕著な差異が認められず、中島ら（1989）の結果と異なっていた。この点に関しては、さらに供試木を増やして検討する必要があると思われる。

(2) スギ品種による冠雪荷重の比較

冠雪荷重は葉量や樹冠投影面積など樹冠の大きさの影響を受けることが確認された。そこで、各品種の冠雪荷重を比較するにあたっては樹冠の大きさの影響を考慮する必要がある。ここでは、葉量が等しい場合における冠雪荷重について比較した。

ボカスギ、タテヤマスギ、マシヤマスギ、リョウワスギおよびカワイダニスギにおける冠雪荷重と葉量の関係の一例を図に示した（図-11）。この図によると、個体当りの冠雪荷重は葉量と高い正の相関を示すが、葉量が等しい場合には各品種の冠雪荷重に顕著な差異が認められなかった。冠雪荷重は供試木数が少ないため明言はできないが、葉量が同じ

場合にはボカスギ、タテヤマスギ、マスヤマスギ、リョウワスギおよび座主坊1号の冠雪荷重には著しい差異が認められないようであった（図-12）。

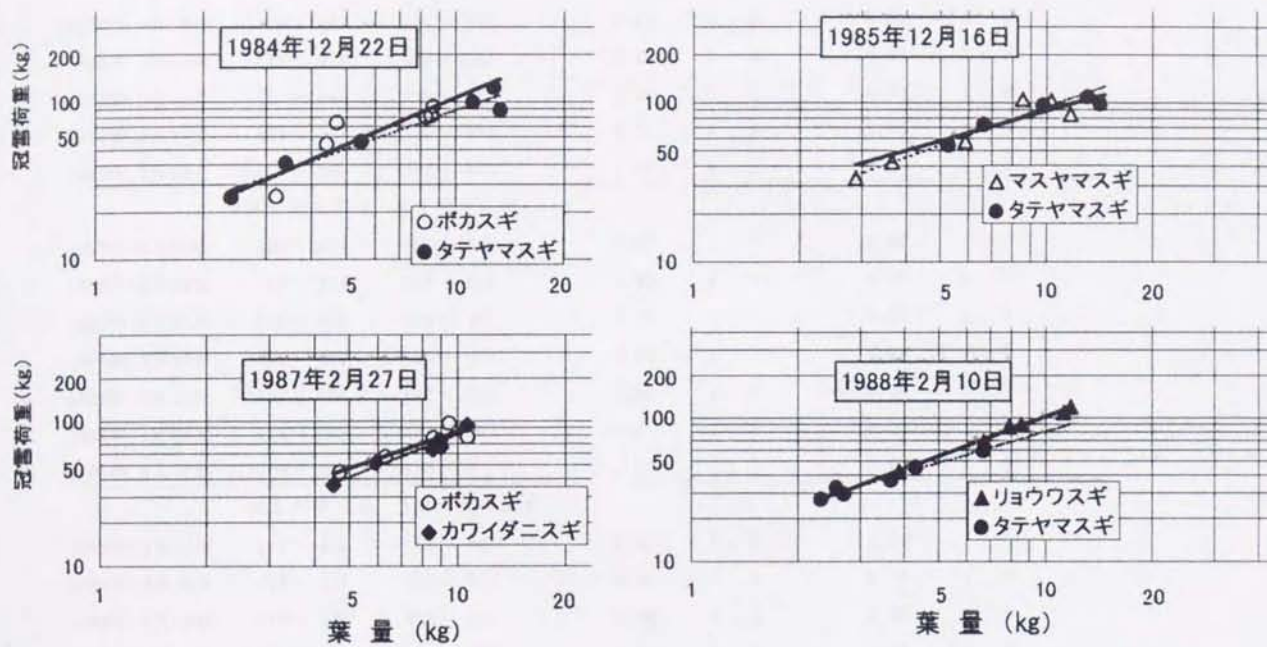


図-11 ボカスギ、タテヤマスギ、マスヤマスギ、リョウワスギおよびカワイダニスギの冠雪荷重の比較

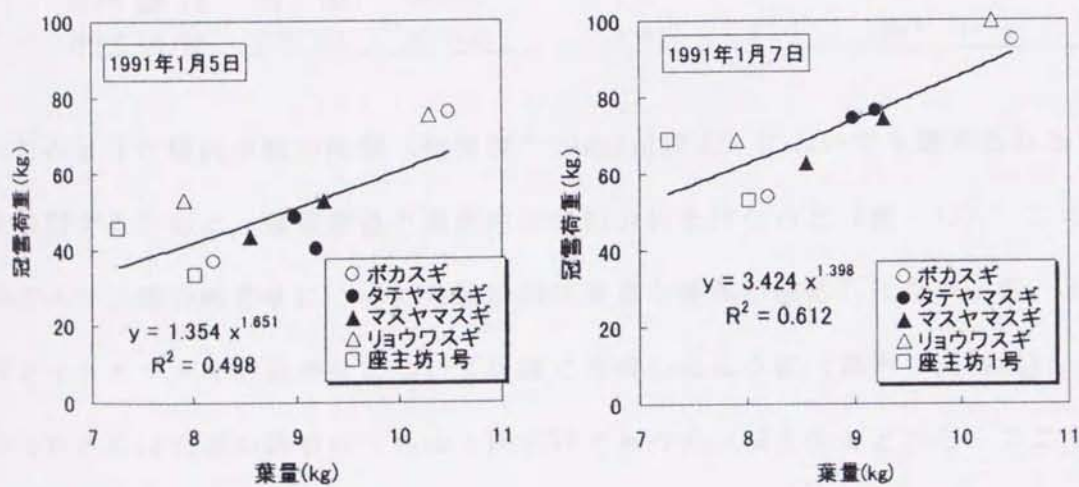


図-12 ボカスギ、タテヤマスギ、マスヤマスギ、リョウワスギおよび座主坊1号の冠雪荷重比較

表-13 スギ品種間における冠雪荷重と葉量の共分散分析の結果

調査年月日	調査品種 (冠雪荷重(kg))		回帰係数		修正平均	
			F-値	自由度	F-値	自由度
ボカスギ & タテヤマスギ						
1984年12月22日	(25~94)	(42~124)	0.32	1, 8	0.00	1, 9
1985年1月8日	(12~45)	(12~63)	0.11	1, 8	0.29	1, 9
1985年1月15日	(28~64)	(18~122)	0.29	1, 8	0.29	1, 9
1985年1月31日	(18~64)	(18~96)	0.05	1, 8	0.53	1, 9
1985年2月15日	(29~73)	(20~84)	0.27	1, 8	0.00	1, 9
1985年2月22日	(28~45)	(18~84)	0.00	1, 8	0.00	1, 9
マサヤマスギ & タテヤマスギ						
1985年12月16日	(34~104)	(55~109)	0.93	1, 7	0.00	1, 8
1985年12月18日	(19~52)	(27~62)	0.72	1, 7	1.97	1, 8
1985年12月20日	(16~52)	(25~78)	0.06	1, 7	0.40	1, 9
1985年12月24日	(17~57)	(33~86)	0.05	1, 7	1.29	1, 9
1986年1月24日	(19~75)	(42~80)	3.97	1, 8	0.00	1, 9
1986年1月26日	(11~58)	(24~74)	0.63	1, 8	0.02	1, 9
1986年2月17日	(19~60)	(37~71)	0.13	1, 8	1.94	1, 9
ボカスギ & カワイダニスギ						
1986年12月22日	(27~54)	(26~44)	3.27	1, 8	1.74	1, 9
1986年12月29日	(44~73)	(35~70)	0.02	1, 8	4.56	1, 9
1987年1月11日	(40~73)	(31~75)	0.00	1, 8	3.56	1, 9
1987年1月14日	(39~73)	(15~80)	1.94	1, 8	1.34	1, 9
1987年1月20日	(36~79)	(34~90)	0.18	1, 8	0.21	1, 9
1987年1月25日	(34~59)	(21~60)	0.73	1, 8	1.06	1, 9
1987年2月1日	(35~67)	(38~68)	0.64	1, 8	0.13	1, 9
1987年2月27日	(45~97)	(37~95)	0.02	1, 8	1.98	1, 9
リョウワスギ & タテヤマスギ						
1988年1月10日	(24~53)	(24~77)	0.22	1, 8	0.00	1, 9
1988年1月23日	(24~69)	(35~97)	0.85	1, 8	0.07	1, 9
1988年2月3日	(21~42)	(32~110)	2.37	1, 8	3.27	1, 9
1988年2月10日	(27~60)	(43~120)	4.38	1, 8	3.86	1, 9

このような傾向が他の降雪（積算値で20kg/m²以上）においても認められるものか否かを検討するために、冠雪荷重と葉量の共分散分析を行なった（表-13）。この結果、いずれのスギ品種の組合せについても統計的に有意な差異が認められなかった。また、ボカスギとマサヤマスギの組合せについては既に報告したように（嘉戸ら，1985），有意差が認められたのは11回の降雪のうちの1回だけであった。以上のことから、ここで取り上げた6品種・系統の冠雪荷重は、葉量が同じであればほぼ等しいものと考えられた。片岡ら（1983a）もボカスギとタテヤマスギの生枝葉量当りの冠雪荷重には顕著な差異が無かつ

たことを報告している。ただし、これらの品種の冠雪荷重よりもリョウワスギのそれの方が若干大きかったことも同時に指摘している点が今回の結果と異なっている。

渡辺ら（1964）はボカスギの冠雪荷重がクマスギのそれに比べて1.4～1.8倍であったことを報告している。この原因については本報でクマスギを取り上げなかったのが明かではないが、渡辺らは単位葉量当りの冠雪荷重ではなく樹冠投影面積当りの値を用いており、比較方法が異なることにも関係があると考えられた。

第3節 葉量の品種間比較

前節において、葉量が同じであれば冠雪荷重に顕著な品種間差異がないことが明らかになった。しかし、冠雪荷重は葉量の増加に伴って大きくなることから、葉量に品種間差異があれば、冠雪荷重にも品種間差異が認められることが考えられる。そこで、本節では、葉量の品種比較を行った。

1. 調査方法

葉量の各品種間差異について検討するため次の資料を用いた。

(1) 頼成調査地のスギ品種見本園（12年生時）において、タテヤマスギ、ボカスギおよびマシヤマスギそれぞれ6本ずつ計18本を伐倒し、層厚1mとして葉量を調べた。個体の葉量は D^2H （胸高直径の2乗×樹高）と密接な関係があるが、両者の関係式の係数は林分によって変化するのに対し、葉量と生枝下直径の関係は、林分の違いに関係なく一本の関係式で表すことができるとされている（吉良，1965）。そこで、以下の解析では個体の葉量を生枝下直径（ D_B ）を基準に比較することにした。

(2) 前節で冠雪荷重測定に用いたタテヤマスギ、ボカスギ、マシヤマスギ、リョウワスギ、カワイダニスギなどの供試木を対象に、個体当たりの葉量を生枝下直径との関係を用いて比較した。

(3) 富山県内におけるスギの葉の現存量調査はタテヤマスギ8林分（阪上，1982a；阪上，1982b；阪上，1984；阪上，1986）とボカスギ3林分（相浦，1988）で行われている。こ

れらに未発表の資料をくわえて、タテヤマスギ11林分とボカスギ6林分の葉量を個体当たりおよび林分当たりの重量を用いて比較検討した。

2. 結果と考察

頼成のスギ品種展示林における個体の葉乾重(W_L)と生枝下直径(D_B)の関係を両対数グラフに示した(図-13)。 $\log(W_L)$ と $\log(D_B)$ の間に線形の関係があり、両者の相関係数はタテヤマスギ0.957, ボカスギ0.987, マスヤマスギ0.986と高い値を示した。そこで、各品種の $\log(D_B)$ と $\log(W_L)$ の関係について共分散分析を行った結果、回帰係数($F=0.53, d. f. =3, 46$)および修正平均値($F=2.42, d. f. =3, 49$)にも品種間には有意な差異が認められなかった。したがって、この試験地では生枝下直径が同じ場合の葉乾重には品種間差異がなかったといえる。

冠雪荷重を測定した供試木の葉量と生枝下直径の関係を示した(図-14)。なお、これらは冠雪荷重を測定するために樹冠のサイズを調節した後の値で、いわば梢端部における葉量と生枝下直径の関係を示したものである。この図によると、生枝下直径が等しいならばボカスギ、タテヤマスギおよびマスヤマスギの葉量には顕著な違いが見られないようであった。リョウワスギは生枝下直径を測定した供試木が2本しかなかったため断定はでき



図-13 頼成における個体の葉量と生枝下直径の関係

ないが、これらの葉量はボカスギ、タテヤマスギおよびマスヤマスギとほぼ等しいようであった。これらに比べ、カワイダニスギの葉量は若干大きい傾向がみられた。そこで、このような葉量の違いが有意な差異といえるかどうかを検討するために、リョウワスギを除く4品種について、 $\log(D_b)$ と $\log(W_L)$ の共分散分析を行った。その結果、回帰係数($F=0.53, d. f.=3, 46$)および修正平均値($F=2.42, d. f.=3, 49$)にも有意な差異が認められなかった。したがって、梢端部に限ってみると、生枝下直径が等しいならばいずれの品種間においても葉量に顕著な差異がなかったといえる。

このような傾向が梢端部だけでなく全樹冠部を含めた場合にも認められるものか検討するため、タテヤマスギ11林分、ボカスギ6林分における個体当りの葉量と生枝下直径の関係を調べた(図-15)。この図によると、生枝下直径が同じであれば、ボカスギの葉量がタテヤマスギのそれよりも大きくなる傾向が見られた。そこで、両品種の葉量と生枝下直径について共分散分析を行った結果、回帰係数($F=0.79; n=1, 161; p<0.1$)には差異がなかったが、修正平均($F=52.32; n=1, 162; p>0.01$)に有意な差異が認められた。そして、図中の回帰式から、生枝下直径が5cmの場合にはボカスギの葉量はタテヤマスギのそれよりも約25%大きく、生枝下直径が20cmの場合にはボカスギの葉量がタテヤマスギのそれよりも約50%大きくなることがわかった。

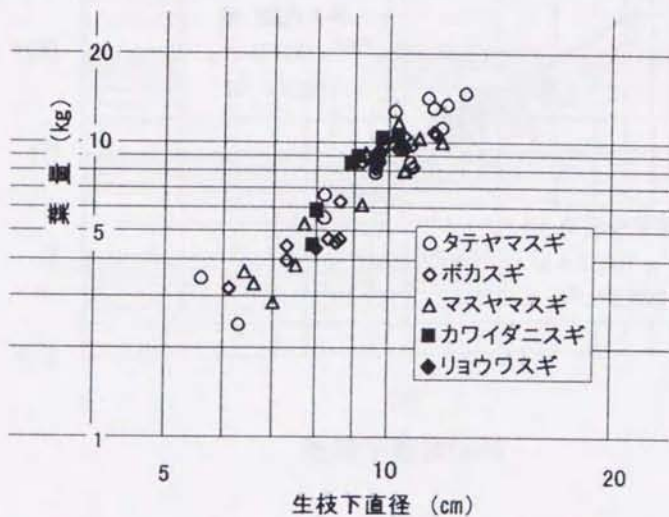


図-14 冠雪荷重測定木の葉量と生枝下直径の関係

一般に単位面積当りの葉量は収量比数の増大に伴って増加し、樹冠が閉鎖したと考えられている収量比数0.8以上の林分では密度や林齢、地位などに関係にほぼ一定の値を保つとされている（安藤，1968）。そこで、林分レベルで葉量を比較するため、ボカスギ6林分とタテヤマスギ11林分におけるha当りの葉量と収量比数の関係を調べた（図-16）。この図によると、収量比数が同じであればボカスギの方がタテヤマスギより大きくなり、このような傾向は収量比数が大きくなるほど顕著であった。そこで、林分葉量と収量比数について共分散分析を行った結果、修正平均（ $F=2.25; n=1, 14; p<0.1$ ）には有意な差異がなかったが、回帰係数（ $F=8.24; n=1, 13; p>0.01$ ）に有意な差異が認められた。そして、両品種の回帰式から収量比数0.8以上のha当り葉量を求めると、ボカスギは31~38ton/haであったのに対し、タテヤマスギは24~28ton/haとなり、両者間に大きな差異があることがわかった。

カワイダニスギの葉量の調査事例は少ないが、22年生の林分では約45ton/haであったことが報告されている（相浦，1997）。葉量が極めて多いのは閉鎖直後であること、さらに列状植栽されていたことなどの特殊な事情にもよると考えられるが、これらを考慮に入れても、カワイダニスギはボカスギと同等もしくはそれ以上の葉量を有すると考えられる。

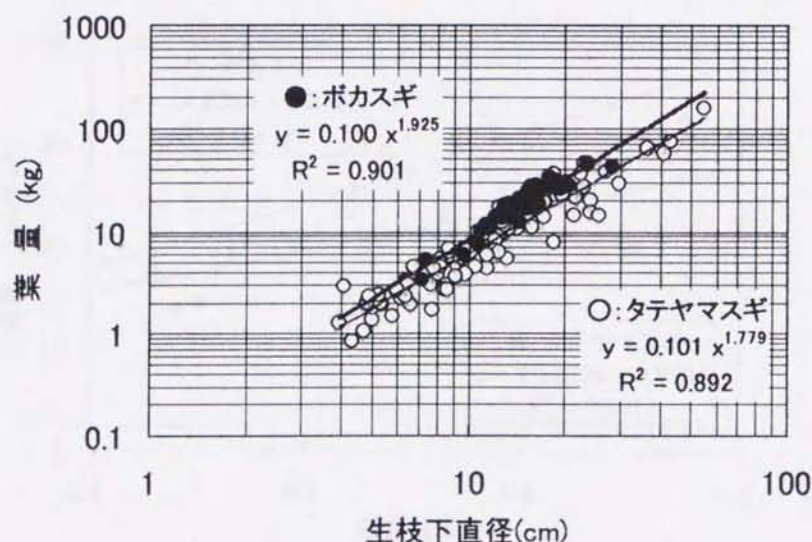


図-15 タテヤマスギ11林分とボカスギ6林分における個体の葉量と生枝下高の関係

マサヤマスギおよびリョウワスギの葉量については明らかになっていないが、これらの成長は一般にタテヤマスギよりも緩慢であることから、葉の生産性効率の品種による差異が小さいことを考慮すると（相浦，1997），マサヤマスギおよびリョウワスギの葉量はタテヤマスギと同じもしくは少し小さいものと推測される。

以上のように、葉量を個体当りの値およびha当りの値で比較しても、ボカスギはタテヤマスギよりも大きい傾向があり、さらに冠雪荷重は葉量に伴って増加することから、ボカスギの冠雪荷重はタテヤマスギのそれよりも大きくなると推測された。したがって、ボカスギはタテヤマスギよりも個体当りの冠雪荷重が大きく、冠雪害の危険性を高める一因になっていると考えられた。中島ら（1989）はボカスギの冠雪量が多いのは枝葉の構造や配置の差異よりも、個体当りの葉量が極端に多いことによるためと述べている。片岡ら（1983）も、ボカスギが個体当りの葉量の多い品種の一つであり、そのため個体の冠雪量も多くなることを指摘している。カワイダニスギはボカスギとほぼ同等の葉量を有することから冠雪荷重の大きな品種と考えられる。さらに、マサヤマスギおよびリョウワスギの冠雪荷重はタテヤマスギのそれとほぼ同程度ないし少し小さいと推測された。

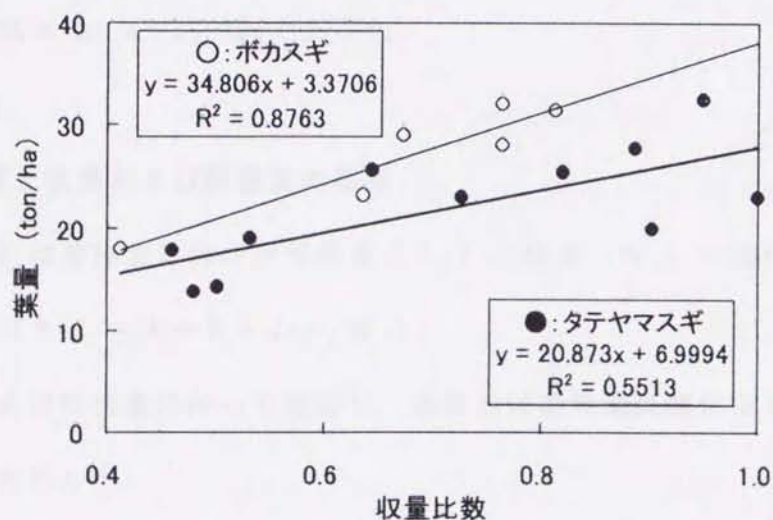


図-16 タテヤマスギ11林分とボカスギ6林分におけるha当たりの葉量と収量比数の関係

第4節 スギの冠雪荷重の推定

冠雪害に対する林木の抵抗性を力学的な手法で定量的に評価するためには冠雪荷重と樹幹の耐力の資料が不可欠である(中谷, 1991)。しかし、林木の冠雪荷重は直接測定することが困難であるため、冠雪荷重を降雪要因と樹冠要因から推定する方法が用いられている(松田, 1981, 武田, 1958)。ここでは、スギ樹冠に付着する冠雪荷重を降雪量および葉量の関係から推定する方法を検討し、さらにこの推定式の有効性をボカスギ被害林分において検証した。

1. 材料と方法

冠雪荷重の測定方法は本章1節と同じ装置(図-8)を用いて、吉峰(標高232m)において1982/83年から1989/90年の8ヶ年の間に行った。供試木数は1982/83年, 1988/89および1989/90年が各6本, 1983/84から1987/88年までは各12本である。なお、測定に用いたスギはボカスギ, タテヤマスギ, マスヤマスギ, リョウワスギ, カワイダニスギの5品種である。この5品種は葉量が等しい場合の冠雪荷重に品種間の差異が認められなかったので(表-13), ここでは全品種を一括して取り扱った。また、冠雪荷重測定の終了後、供試木を層厚1m毎に切断して葉量を測定した。葉量は1982/83年の供試木が1.2~5.5kgで、他の年度の供試木は2.4~14.7kgであった。

2. 結果と考察

(1) 冠雪荷重と葉量および降雪量の関係

松田(1981)は各降雪量毎の冠雪荷重(S_L)と葉量(W_L)の関係を次式で近似した。

$$\log(S_L) = A + B \cdot \log(W_L) \quad (3.4.1)$$

この式の係数Aは降雪量に伴って増加し、係数Bは降雪量に関係なくほぼ一定(0.97)の値を示すことを報告した。

そこで、これと同様の傾向が本調査においても認められるか否かについて検討した。降り始めからの積算降雪量が $15\text{kg}/\text{m}^2$ 以上であった51回の降雪を調査対象とし、各降雪における最大冠雪荷重と葉量を対数変換して、両者の間の相関係数および回帰係数を計算した。

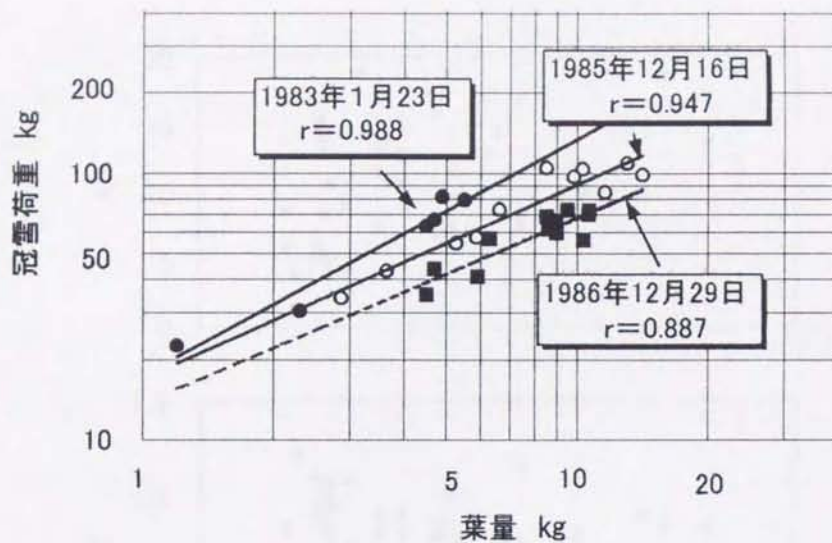


図-17 個体の葉量と冠雪荷重の関係

その結果、各降雪において最大冠雪荷重と葉量の間には正の相関が認められ、51回の降雪うちの47回について1%水準で統計的に有意性が認められた(図-17)。しかし、(3.4.1)式における係数Aの値は降雪量が同じ場合でも各降雪によってその差が大きかった(図-18)。また、係数Bも0.45~1.48の範囲にあり、変動が大きかった。ただし、その値の大部分が1未満であったことから、大半の降雪において、葉量が大きいかほど単位葉量当りの冠雪荷重は減少する傾向があったといえる。また、葉量の小さな供試木は梢端部のみに葉が着いているのに対し、葉量の大きな供試木は梢端部から樹冠下部まで葉が着いていたことから、単位葉量当たりの冠雪荷重は梢端部で大きく、樹冠下部ほど小さくなる傾向があったといえる。同様の傾向はこれまでもモデル実験により認められている(四手井, 1952)。

以上のことから、冠雪荷重と葉量の関係式の係数AとBは各降雪においてかなり変動するといえる。その原因は明らかではないが、雪質や雪の降り方などの違いに起因することも考えられた。

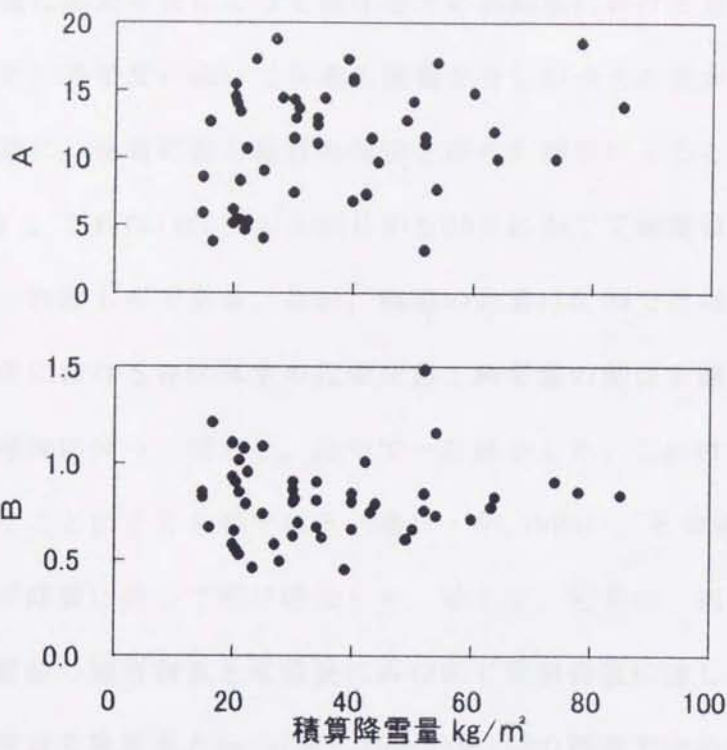


図-18 冠雪荷重と葉量の関係式の係数A, Bと降雪量の関係

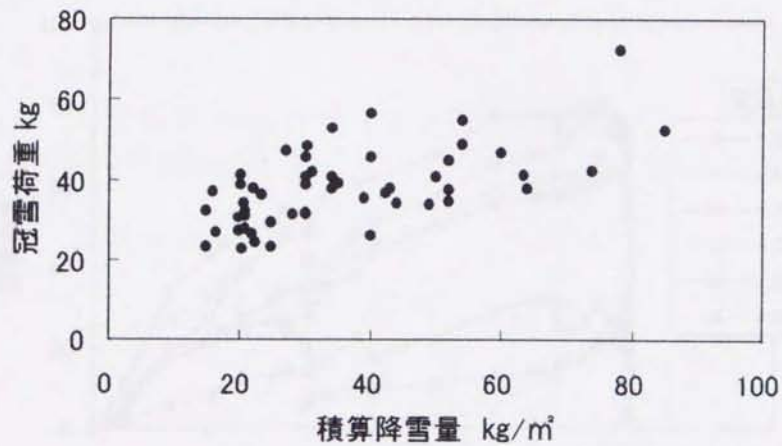


図-19 51回の降雪における葉量5kgの供試木の冠雪荷重の比較

つぎに、冠雪荷重と葉量の推定式を冠雪荷重が最も多かった降雪の資料を用いて検討した。供試木の葉量は測定年度によって異なるため各降雪における冠雪荷重をそのまま比較できない。そこで、各年度において共通の葉量を有しかつその値が最も大きかった葉量5kgの供試木を対象に、冠雪荷重と葉量の関係を調べた結果によると、その最大値は72kgであった(図-19)。これは1983年1月20日から23日にかけて積算値で78kg/m²の降雪があったときに測定されたものである。なお、降雪の比重は0.09で当地としては平均的な値であった。この降雪における各供試木の冠雪荷重と降雪量の関係を調べた(図-20)。冠雪荷重は降雪量の増加に伴って増大し、途中で一旦減少した。これは気温がプラス2℃まで一時的に上昇したことによるものである(嘉戸・平,1985)。その後は、気温がマイナスとなり冠雪荷重が降雪に伴って再び増加した。そこで、冠雪の一部が落下した影響を取り除くため、落雪直前の冠雪荷重と落雪後に再び同じ冠雪荷重に達したときの値を直接結び、各供試木の冠雪荷重を降雪量5kg/m²毎に10~55kg/m²の範囲で求めた(図-21)。

以上のようにして得られた冠雪荷重と葉量を対数変換して回帰式を求めた(表-14)。この結果によると、係数Bは平均0.86となり図-17の値よりもかなり変動が小さかった。

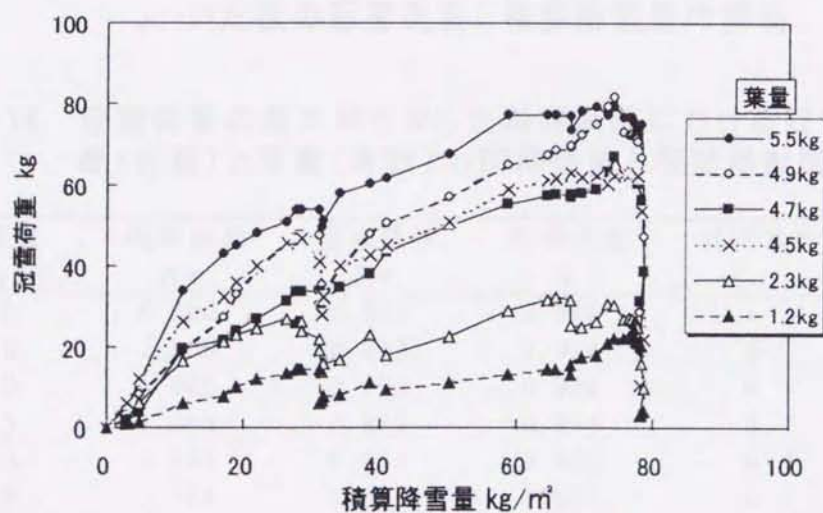


図-20 冠雪荷重が最大となった1983年1月の降雪における各供試木の冠雪荷重と降雪量の関係

また係数Aは降雪量に伴って増大する傾向があり、次の逆数式で近似された(図-22)。

$$1/A = 7.563/S_F + 0.663 \quad (3.4.2)$$

ここで、 S_F は降雪量(kg/m²)である。

そこで、係数Aを(3.4.2)式から、Bは0.86で一定として、冠雪荷重 S_L を次式から推定することとした。

$$S_L = 10^A \cdot W_L^{0.86} \quad (3.4.3)$$

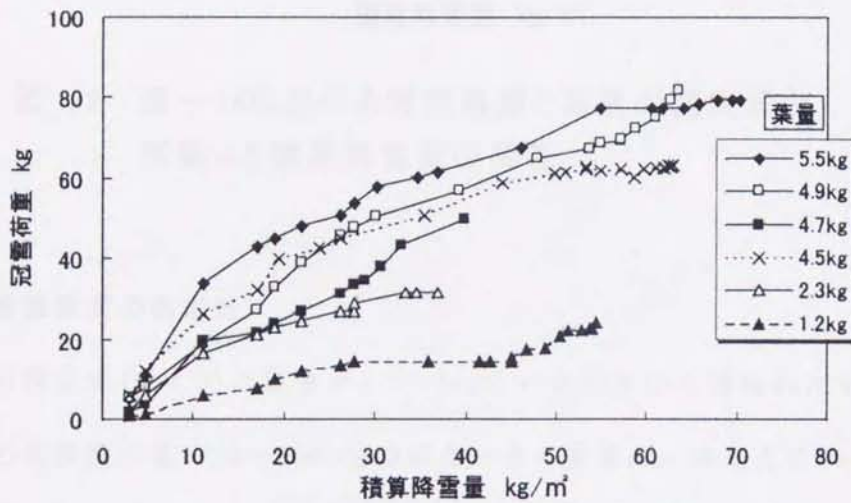


図-21 図-20において冠雪落下の影響を取り除いた後の冠雪荷重と積算降雪量の関係

表-14 冠雪荷重の最大値を示した降雪期間における冠雪量(対数)と葉量(対数)の回帰係数と相関係数関係

降雪量 (kg/m ²)	回帰係数 A*	回帰係数 B*	相関係数 r	供試木数 n
1.0	0.690	0.915	0.929	6
1.5	0.836	0.912	0.924	6
2.0	1.006	0.795	0.924	6
2.5	1.065	0.812	0.954	6
3.0	1.096	0.854	0.980	6
3.5	1.124	0.875	0.985	6
4.0	1.129	0.907	0.993	6
4.5	1.159	0.898	0.995	5
5.0	1.257	0.839	0.996	4
5.5	1.276	0.816	0.999	4

* : A, Bは次式の係数 $\log(S_L) = A + B \log(W_L)$

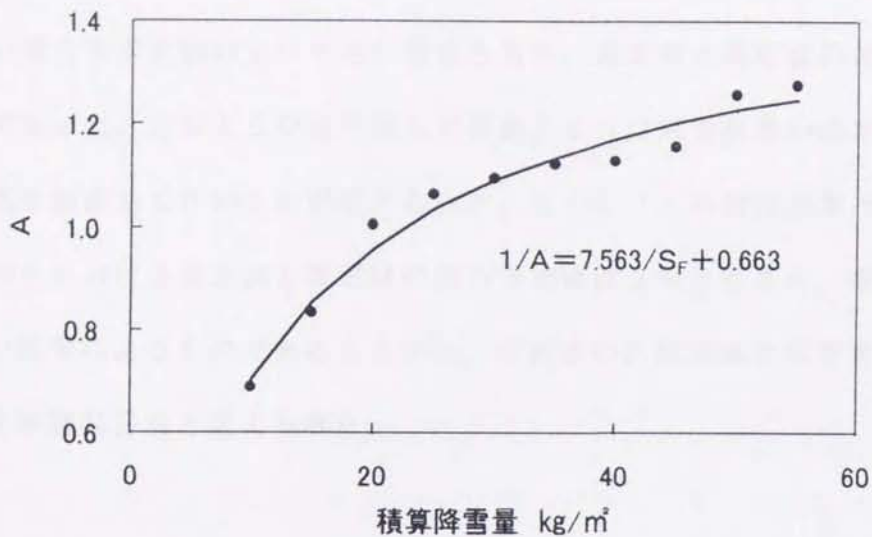


図-22 表-14における冠雪荷重と葉量の関係式の係数Aと積算降雪量の関係

(2) 冠雪荷重推定式の有効性

冠雪荷重の推定式(3.4.3)は葉量が1.5~5kgと小さな木から得られたものである。しかし、冠雪害の危険性が高い20~30年生のボカスギの葉量は一本当たりの平均で20~30kgである。そのため(3.4.3)式が20~30年生のスギにも適合できるものかどうか明らかにしておく必要がある。

そこで、この推定式の有効性について検討するため、図-8よりさらに大きな供試木の冠雪荷重も測定ができる幹を乗せる台を作成し、この台を含む荷重の変化を4個のロードセルで測定し、冠雪荷重を求めた。供試木は胸高直径24cm、樹高13mのボカスギで、この木の梢端から7.6mの長さ部分の樹冠に付着する冠雪荷重を測定した。この供試木の葉量を測定した結果、26kgであった。冠雪測定は、1993年12月から1994年3月まで4ヶ月間行った。この期間中で降雪が多かった1994年1月下旬における冠雪荷重と降雪量の関係の測定値と推定値を比較した(図-23)。なお、測定の途中で風などの影響を受けて、樹冠から冠雪が落下した場合には、落下直前の冠雪荷重と落下後に再び同じ冠雪荷重に達したと

きの値を直接結び、冠雪荷重と降雪量の関係を検討した。この結果、推定値の方が測定値より大きい場合や推定値の方が小さい場合もあり、推定値と測定値の差の平均値は-18%~+30%であった。このような差が生じた原因としては冠雪荷重の推定にあたって降雪の質的な要素を加味してないことが考えられた。しかし、この調査期間内で最も降雪が多かった1月28日における測定値と推定値の差の平均値は3%と小さく、冠雪害が起きるのは極めて多い降雪によるものであることから、今回求めた推定値を冠雪害と関連づけて解析を行うことが概ね妥当と考えられた。

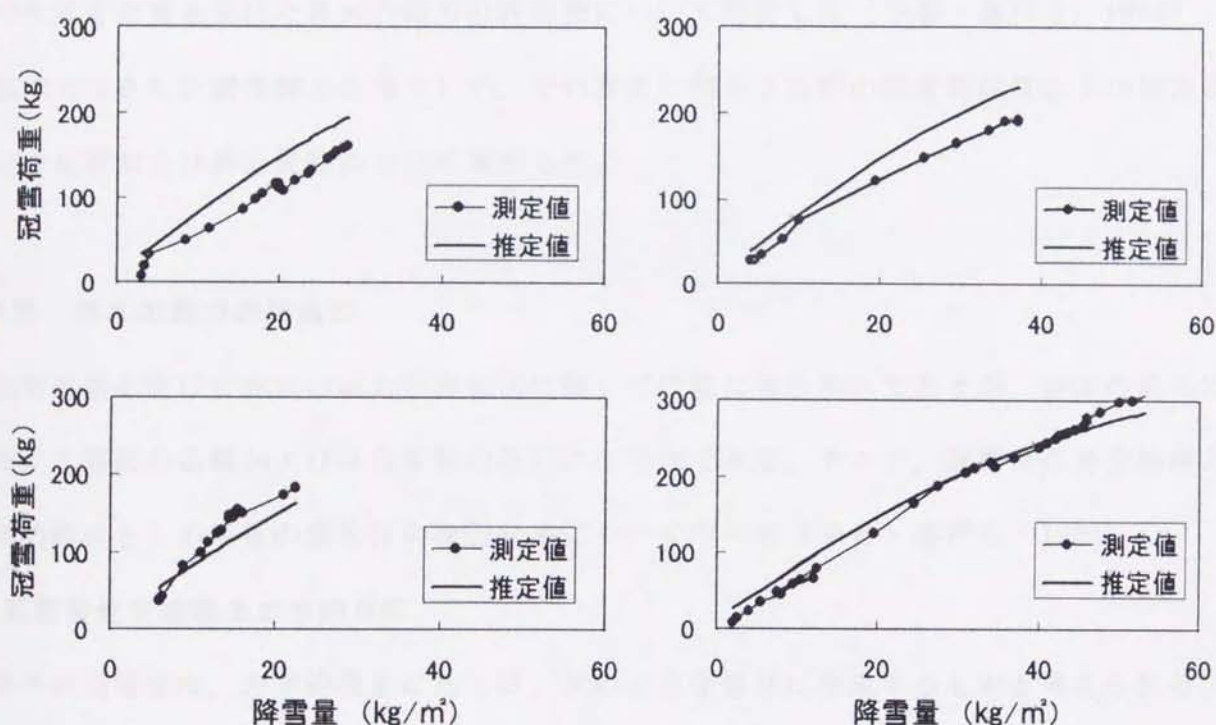


図-23 葉量26kgのスギの冠雪荷重の測定値と推定値の比較