

中部日本における亜高山性針葉樹の分布様式

逢沢 峰昭*・梶 幹 男*

The Natural Distribution Patterns of Subalpine Conifers in Central Japan

Mineaki AIZAWA* and Mikio KAJI*

目 次

第1章 序論

第2章 亜高山性針葉樹の同定上の整理と分布資料の作成

1. 調査対象樹種
2. 対象樹種の分布に関する既往の研究
3. 標本調査および同定上の整理
4. 実地踏査

第3章 亜高山性針葉樹の分布様式と山岳タイプ

1. 対象地域
2. 亜高山性針葉樹の分布様式によるタイプ分け
 - 2.1 構成樹種によるタイプ分け
 - 2.2 対象樹種の分布量の評価

第4章 山岳地域の積雪深の測定と推定

1. 最大積雪深図の問題点
2. 調査地および方法と結果
 - 2.1 標高別の積雪深測定
 - 2.2 単一地点の積雪深測定
 - 2.3 垂直的な積雪深傾度
3. 最大積雪深の推定と結果
 - 3.1 最大積雪深の推定式の作成
 - 3.2 水平的な積雪深傾度

第5章 亜高山性針葉樹の分布特性

1. 検討の視点

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学専攻

* Institute of Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo.

2. 山頂標高傾度の設定
3. 樹種の分布特性
 - 3.1 山頂標高および推定最大積雪深と各樹種の出現率の関係
 - 3.2 分布下限標高の位置関係
4. 山頂標高と分布下限標高の関係
 - 4.1 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群
 - 4.2 太平洋型と日本海型の山岳タイプ群における分布規定標高の比較
5. 各樹種の分布量および生育量と積雪深の関係
 - 5.1 評価方法
 - 5.2 各樹種の積雪に対する適応幅
6. 太平洋型と日本海型の山岳タイプ群におけるシラビソの分布規定標高の位置関係

第6章 総合考察

1. 山岳タイプの成因
2. 山頂標高により分布の有無が規定されることの地史的意味
3. 積雪が各樹種の生育に及ぼす影響
4. オオシラビソとシラビソの分布様式

謝辞

要旨

引用文献

Summary

第1章 序論

本州の亜高山性針葉樹林の主要構成樹種であるオオシラビソは青森県から静岡県まで、シラビソは福島県から紀伊半島、および四国に分布することが知られている(林 1960, 梶 1982)。そして両種の地理的分布域の重なる中部山岳においてはそれらの混生した森林が広がっている。この亜高山性モミ属2種は、両種に見られる垂直的な分布域幅の違いから、太平洋側の山岳ではシラビソが、日本海側の山岳ではオオシラビソがそれぞれ量的に多いといえる(図-1)。このような両種の分布量の違いは、冬季の日本海側から太平洋側に向かう積雪深傾度と一致することから、積雪深との関係が指摘され(今西 1937, 高橋 1960)、特に両種の積雪に対する機械的耐性の違いによって説明されてきた(百瀬 1975, 梶 1982)。一般的に、このモミ属2種を含んだ中部日本の南アルプスや奥秩父山地などの太平洋側における亜高山性針葉樹林は上下2帯に分かれている。すなわち、下部から中部にかけてコメツガの優占するコメツガ亜帯(前田・島崎 1951)がみられ、上部ではシラビソおよびオオシラビソの優占する針葉樹林が良く発達している(今西 1937, 前

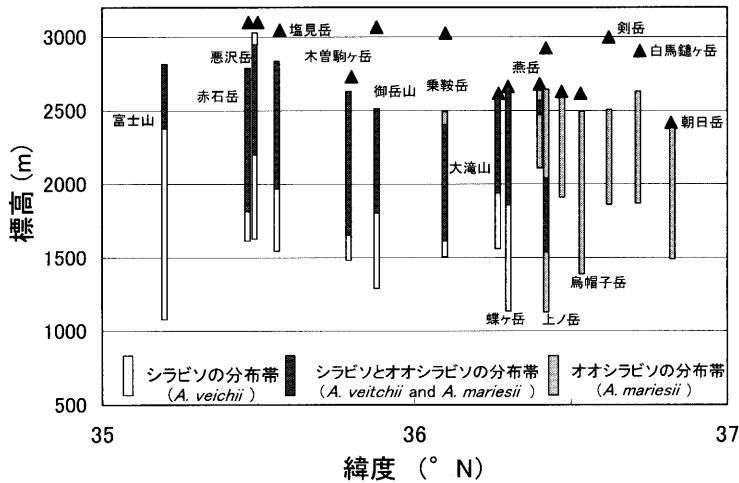


図-1 中部山岳における亜高山性モミ属2種の垂直分布様式

Fig. 1. Vertical distribution patterns of two subalpine firs (*Abies veitchii* and *A. mariesii*) in central Japan.

今西 (1937), 高橋 (1962), 土田・三木 (1974), 兼子・馬場 (1992) および遠山 (1966) を基に作成。

田・島崎 1951, 館脇ほか 1963, 遠山 1966, 植松 1967, 落合 1972, Franklin *et al.* 1979)。このモミ属2種の優占する針葉樹林は、下部にシラビソのみからなるシラビソ亜帯 (植松 1981) が見られ、その上部にオオシラビソとシラビソの混生帯がみられる (今西 1937, 高橋 1962, 土田・三木 1974) (図-1)。一方、日本海側の山岳では、亜高山帯下部から森林限界までオオシラビソ林によって占められ、地域によってはコメツガが岩尾根などに地形的極相 (今西 1937) を成す程度である。

東北地方の日本海側から上越地方の山岳では、針葉樹林の発達が悪く、ミヤマナラやミネカエデなどの低木林やチシマザサによって覆われた偽高山帯 (四手井 1952) が広がっており、この現象に対しては、梶 (1982) 以来、過去の気候変動、特に最終氷期から現在にかけての温暖化と多雪化といった地史的観点からその成立過程についての研究が行われてきた (杉田 1982, Sugita 1992, 守田 2000)。上記の点から、亜高山性針葉樹の現在の分布様式には、このような過去の気候変動の影響が内在されている可能性が予想される。したがって、現在における亜高山性針葉樹の分布様式を詳細に調査することによって、その成因や成立過程ならびに過去の気候変動や今後の温暖化による亜高山帯林の動態を予測する上で重要な知見を得ることができると考えられる。しかし、亜高山性針葉樹林の地域的な差異やその成立過程に関する既往の研究の多くは、偽高山帯の発達が顕著な日本海側の山岳を中心に議論されてきたものであり、その地域的な特性からしてオオシラビソの分布の有無に主眼が置かれてきたといえる。このことから、オオシラビソ以外の亜高山性樹種の多く見られる太平洋側の山岳を含めた、亜高山性樹種の分布および垂直的配列についての成因や成立過程の研究が必要であると考えられる。これによって、オオシラビソの分布特性を明確に位置づけることができるばかりでなく、より普遍的な亜高山性針葉樹の分布動態の解明が可能となると考えられる。

上記の視点から本研究は、その第一歩として太平洋側地域から日本海側地域への積雪深傾

度に沿って成立する亜高山性針葉樹の分布様式の地域的な差異を明らかにし、その成因を説明することを目的とした。

第2章 亜高山性針葉樹の同定上の整理と分布資料の作成

1. 調査対象樹種

本州の亜高山性針葉樹林の主要構成樹種には、オオシラビソ、シラビソ、コメツガ、トウヒ、チョウセンゴヨウ、イラモミ、クロベ、キタゴヨウなどが挙げられる。この中で特に常在性が高く、かつ垂直的な分布配列の指標となり得ると予想されたオオシラビソ、シラビソ、コメツガおよびトウヒの4樹種を本研究の調査対象樹種（以下、対象樹種と呼ぶ）とした。これにトウヒ属ハリモミ節 (*Picea* sect. *Picea* Farjon) に属し、特に太平洋側の山岳の亜高山帯下部において比較的高い常在性をもつイラモミを準対象樹種として加えた。そしてこれら5樹種について、まず全国的な分布域を確定するために、詳細な標本調査、実地踏査ならびに文献調査を行い、各山岳における分布の有無を整理した。

2. 対象樹種の分布に関する既往の研究

本研究の対象樹種の分布に関しては、林 (1951, 1952) の詳細な資料およびこれらを集大成した林 (1960) がある。林の報告以後は、倉田 (1971) および Horikawa (1972) の分布図があるが、これらの分布図は、いずれも針葉樹に関しては林の報告を「信頼できる記載」として引用している。また、梶 (1982) の分布資料は、林の記載およびそれ以後に新たに集積された分布資料を集大成したものである。このように、針葉樹の分布に関する研究の多くは、実質的には林の報告が用いられてきたといえる。しかし、梶 (1982) では、分布を再検証するという立場から、東北地方の山岳から北関東の山岳を中心に詳細な実地踏査が行われており、林の報告にある五葉山のオオシラビソ、焼石岳のオオシラビソ、磐梯山のシラビソなどが現地で確認できず、その後の報告もないことから、これらの樹種の分布を疑問視している。このように、林の報告に記載が見られる産地の中で、特に分布量の少ない地域や分布限界付近の産地に関しては、その後の調査で確認されず、分布を疑問視する産地も少なくない（神奈川県植物誌調査会編 1988）。したがって、本研究ではこれらの資料を再検討し、個々の山岳における分布の有無について整理を行った。近年では、新潟県植物同好じねんじょ会 (1980–2000)、神奈川県植物誌調査会編 (1988, 2001)、長野県植物誌編纂委員会 (1997) など、証拠標本に依拠した分布資料の有効性が認められている。本研究もこれに従い、対象樹種の分布に関する基礎資料として、証拠標本を基にした分布表を作成した。なお、分布資料に関しては本論文では割愛し、別途報告する。

3. 標本調査および同定上の整理

対象樹種に関して、標本調査は27の標本所蔵機関の標本を実視し、同定上の正誤を確認するとともに、産地等のラベルデータを記録した。この際に同定上の誤りがあった場合は訂正を行った。

4. 実地踏査

実地踏査は、主として文献上の記載はあるが標本の得られなかった山岳、標高からみて分布の

可能性はあるが標本および文献記載のみられなかった山岳、および標本は存在するが再確認の必要があると考えられた山岳について、2000年10月から2002年12月にかけて実施し、対象樹種の分布の有無、生育状況を記録した。また、対象樹種の分布下限標高を調べるとともに、山地帯上部の主要樹種であるブナおよびウラジロモミの分布上限標高を記録した。これまでの亜高山性針葉樹の研究は、北アルプス、南アルプス、中央アルプスなどの比較的高い山岳で行われており、調査報告も多い。一方、標高1,700 mから2,000 m前後のちょうど亜高山性針葉樹の分布下限附近に山頂標高をもつ山岳については、研究報告および標本数も少なく、本研究の標本調査からウラジロモミとシラビソ、イラモミとトウヒ、およびシラビソとオオシラビソの同定上の誤りが多く見られたのもこの標高域であることから、特にこの標高域に山頂標高をもつ山岳の調査に力を入れた。实地踏査は、関東周辺の中岳を中心に113山岳について行った。

第3章 亜高山性針葉樹の分布様式と山岳タイプ

1. 対象地域

作成した分布資料から、中部山岳地域は対象とする亜高山性針葉樹4種が分布し、これらの樹種によって特徴づけられる様々な分布様式が存在すると予想される。また、中部山岳地域は南アルプス、中央アルプス、北アルプスといった標高2,500 mを越える山岳が連なるとともに、白山山系、奥秩父山系、八ヶ岳、関東周辺山岳、越後山脈など、2,500 m以下の中級山岳も多く存在することから、高低様々な標高をもった山岳がこれらの地域内に密集しているといえる。また、北アルプス北部および越後山脈、上信越国境稜線などは多雪山地とされ、太平洋側から日本海側への積雪深傾度の存在も予想された。したがって、中部山岳地域は、太平洋側から日本海側の積雪深傾度に沿ってみられる亜高山性針葉樹の分布様式の違いとその成因を解明する上で、最適の地域であると考えられた。よって、本研究の対象地域として中部山岳地域を設定した。

2. 亜高山性針葉樹の分布様式によるタイプ分け

2.1 構成樹種によるタイプ分け

中部山岳地域の各山岳において、対象4樹種すべてに対して詳細な分布情報が得られた284の山岳について、種組成の違いによってaからhの8タイプに分類した（以下、山岳タイプと呼ぶ）（表-1）。なお、対象山岳は、いずれかの樹種が分布する最も低い山岳を基準として、それ以上の山頂標高をもつ山岳とした。

- a: 対象4樹種いずれも分布しない山岳
- b: コメツガのみが分布する山岳
- c: コメツガおよびトウヒの2種が分布する山岳
- d: コメツガ、トウヒおよびシラビソの3種が分布する山岳
- e: コメツガ、トウヒ、シラビソおよびオオシラビソの4種が分布する山岳

ただし、このタイプはシラビソとオオシラビソの分布下限標高の上下関係によってさらに以下の2つのサブタイプに分類した。

- e1: シラビソの分布下限標高がオオシラビソより低い山岳
- e2: オオシラビソの分布下限標高がシラビソより低い山岳
- f: コメツガ、トウヒおよびオオシラビソの3種が分布する山岳

表-1 各山岳に分布する亜高山性針葉樹の組成によって類型化された山岳タイプ

Table 1. Eight mountains types categorized by the floristic composition of subalpine conifers in each mountain.

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または W115 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または W115 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
a1	菰釣山	1,379	35.45	—	17.9				
a1	八風山	1,315	36.27	—	17.8				
a1	川苔山	1,363	35.85	—	17.8				
a1	石割山	1,413	35.45	—	17.7				
a1	兜岩山	1,368	36.18	—	17.6				
a1	御前山	1,405	35.77	—	17.6				
a1	竜ヶ岳	1,485	35.43	4	17.4				
a1*	愛鷹山	1,504	35.23	4	17.3				
a1	荒船山	1,423	36.20	5	17.3				
a1	大室山	1,588	35.50	17	16.8				
a1	大谷が丸	1,644	35.63	25	16.5				
a1*	御正体山	1,682	35.48	28	16.3				
a1	鼻曲山	1,655	36.40	34	16.1				
a1	ハマイバ丸	1,752	35.65	38	15.9				
a1	黒岳	1,793	35.33	39	15.8				
a1	浅間隠山	1,757	36.45	47	15.5				
a2	未丈ヶ岳	1,553	37.17	688	16.2				
a2	稲包山	1,598	36.73	313	16.2				
a2	荒海山	1,581	37.03	314	16.1				
a2	大源太山	1,598	36.90	427	16.1				
a2	阿能川岳	1,611	36.78	315	16.1				
a2	浅草岳	1,585	37.33	788	16.0				
a2	会津朝日岳	1,624	37.22	603	15.8				
a2	守門岳	1,537	38.38	793	15.8				
a2	小出俣山	1,749	36.78	331	15.4				
a2	八海山	1,778	37.10	620	15.1				
a2	笠ヶ岳	1,852	36.87	438	14.9				
a2	朝日岳	1,945	36.86	543	14.4				
a2	万太郎山	1,954	36.82	544	14.4				
b1	塔ノ岳	1,491	35.45	5	17.3	Td+			
b1	三頭山	1,531	35.73	13	17.0	Td+			
b1	丹沢山	1,567	35.47	14	16.9	Td+			
b1	三界山	1,600	35.65	20	16.7	Td			
b1*	熊伏山	1,653	35.25	22	16.6	Td1			
b1	本社ヶ丸	1,631	35.57	23	16.6	Td1			
b1*	戸中山	1,686	35.18	25	16.5	Td1			
b1	白草山	1,641	35.80	26	16.4	Td			
b1*	曲岳	1,642	35.80	27	16.4	Td1			
b1	蛭が岳	1,673	35.48	27	16.4	Td+			
b1	南木曾岳	1,679	35.58	29	16.3	Td			
b1	高樽山	1,673	35.73	29	16.3	Td			
b1	十枚山	1,726	35.25	31	16.2	Td			
b1*	茅が岳	1,704	35.78	34	16.1	Td1			
b1	富士見台	1,739	35.47	34	16.1	Td1			
b1*	節刀ヶ岳	1,736	35.52	35	16.0	Td2			

表-1 続き
 Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または W115 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または W115 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
b1*	天祖山	1,732	35.85	38	15.9	Td			
b1*	雨ヶ岳	1,772	35.43	38	15.9	Td2			
b1*	両神山	1,723	36.02	38	15.9	Td2			
b1	茂来山	1,718	36.10	39	15.9	Td			
b1*	七ツ石山	1,757	35.82	40	15.8	Td			
b1*	金ヶ岳	1,764	35.80	41	15.8	Td1			
b1*	白泰山	1,794	35.95	46	15.6	Td2			
b1*	三国山	1,830	35.98	50	15.4	Td2			
b1*	高登谷山	1,846	35.93	52	15.3	Td1			
b1*	天狗山	1,882	35.98	56	15.1	Td2			
b2	鬼ヶ面山	1,591	36.93	690	16.1	Td+			
b2	茂倉岳	1,978	36.83	547	14.2	Td+			
c*	蛇峠山	1,664	35.33	24	16.5	Td	Pj+		
c*	大西山	1,741	35.53	35	16.0	Td2	Pj+		
c*	三ツ峠山	1,785	35.53	40	15.8	Td1	Pj+		
c*	氏乗山	1,818	35.47	138	15.7	Td2	Pj1		
c*	高原山	1,795	36.90	56	15.1	Td2	Pj+		
c	赤城山	1,828	36.55	150	15.1	Td1	Pj+		
c*	三峰山	1,887	36.19	247	15.0	Td1	Pj+		
c*	黒法師岳	2,067	35.18	70	14.5	Td2	Pj2		
c*	丸盆山	2,066	35.20	70	14.5	Td2	Pj2		
d	権現山	1,750	35.80	39	15.9	Td2	Pj1	Av+	
d	奥三界岳	1,810	35.67	233	15.6	Td2	Pj1	Av1	
d*	横尾山	1,818	35.92	48	15.5	Td1	Pj+	Av+	
d	井出ノ小路山	1,840	35.70	237	15.4	Td2	Pj1	Av1	
d*	雁腹摺山	1,874	35.68	52	15.3	Td2	Pj+	Av+	
d	大川入山	1,908	35.37	147	15.2	Td2	Pj1	Av1	
d*	八紘嶺	1,918	35.32	54	15.2	Td2	Pj+	Av1	
d	千頭山	1,946	35.30	57	15.1	Td2	Pj	Av	
d*	毛無山	1,945	35.40	58	15.1	Td2	Pj2	Av1	
d*	白岩山	1,921	35.87	60	15.0	Td2	Pj1	Av1	
d	庚申山	1,892	36.67	159	14.7	Td2	Pj2	Av+	
d*	黒岳	1,988	35.68	66	14.7	Td2	Pj+	Av2	
d	高沢山	1,906	36.70	349	14.7	Td2	Pj1	Av2	
d*	小金沢山	2,014	35.70	69	14.6	Td2	Pj1	Av2	
d*	雲取山	2,017	35.85	71	14.5	Td2	Pj1	Av2	
d*	物見石山	1,985	36.22	259	14.5	Td2	Pj1	Av2	
d*	乾徳山	2,031	35.81	72	14.4	Td2	Pj1	Av2	
d	白石山	2,036	35.88	73	14.4	Td2	Pj1	Av2	
d*	大菩薩嶺	2,057	35.73	74	14.3	Td2	Pj1	Av2	
d*	王ノ頭	2,034	36.22	265	14.2	Td2	Pj1	Av2	
d*	不動岳	2,171	35.23	82	14.0	Td2	Pj2	Av+	
d*	御座山	2,112	36.03	84	13.9	Td2	Pj1	Av2	
d	五郎山	2,132	35.93	85	13.9	Td2	Pj+	Av2	

表-1 続き
 Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または W115 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または W115 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
e1	前黒法師岳	1,943	35.18	55	15.2	Td2	Pj1	Av1	Am+
e1	七面山	1,989	35.37	63	14.8	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	入笠山	1,955	35.88	158	14.8	Td2	Pj1	Av2	Am+
e1*	山伏	2,014	35.30	65	14.7	Td2	Pj+	Av+	Am+
e1	小秀山	1,982	35.78	254	14.7	Td2	Pj1	Av1	Am1
e1	三岳	1,945	36.80	72	14.4	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1	袈裟丸山	1,961	36.63	166	14.4	Td2	Pj2	Av2	Am1
e1*	茶臼山	2,006	36.20	261	14.4	Td2	Pj1	Av2	Am+
e1	宿堂坊山	1,968	36.73	168	14.3	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	雁坂峠	2,082	35.88	79	14.1	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1	小無間山	2,150	35.27	80	14.1	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	釜無山	2,117	35.85	271	14.0	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	摺古木山	2,169	35.60	274	13.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	恵那山	2,191	35.43	181	13.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	大根沢山	2,240	35.27	91	13.6	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	豊口山	2,231	35.55	187	13.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	皇海山	2,144	36.68	188	13.5	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1*	大山	2,220	35.93	95	13.4	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1	御飯山	2,160	36.62	284	13.4	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	鍋冠山	2,194	36.26	190	13.4	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	安房山	2,220	36.18	380	13.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	白岩岳	2,267	35.80	194	13.3	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1	大無間山	2,329	35.25	101	13.2	Td3	Pj1	Av2	Am1
e1	竈ノ塔山	2,227	36.42	195	13.2	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	信濃俣	2,332	35.30	196	13.1	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	易老岳	2,354	35.35	105	13.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	大岩岳	2,319	35.78	199	13.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	池口岳	2,392	35.32	107	12.9	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	加加森山	2,419	35.35	113	12.7	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	茶臼山	2,384	36.06	304	12.5	Td	Pj	Av	Am
e1	小真名子山	2,323	36.80	211	12.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	四阿山	2,354	36.53	305	12.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	温泉ヶ岳	2,333	36.82	212	12.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	縞枯山	2,403	36.08	306	12.4	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	甲武信岳	2,475	35.42	121	12.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	太郎山	2,368	36.82	216	12.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	錫ヶ岳	2,388	36.60	216	12.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	大真名子山	2,375	36.80	217	12.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	鉢盛山	2,446	36.08	311	12.2	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	焼岳	2,455	36.22	408	12.1	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	横岳	2,472	36.08	314	12.1	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	中山	2,496	36.01	317	12.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	光岳	2,591	35.33	121	11.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	女峰山	2,464	36.82	227	11.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	蓼科山	2,530	36.10	312	11.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	茶臼岳	2,604	35.37	128	11.7	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	男体山	2,484	36.77	229	11.7	Td2	Pj1	Av2	Am2

表-1 続き
 Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または W115 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または W115 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
e1	浅間山	2,542	36.20	90	11.7	Td2	Pj1	Av2	Am
e1	朝日岳	2,579	35.87	137	11.6	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	筑ヶ岳	2,629	35.42	232	11.6	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	国師ヶ岳	2,592	35.87	138	11.6	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	金峰山	2,595**	35.87	133	11.6	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	長塚山	2,582	36.27	420	11.5	Td	Pj	Av	Am
e1	本谷山	2,658	35.57	143	11.4	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	大滝山	2,616	36.27	420	11.3	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	日光白根山	2,578	36.78	219	11.2	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	天狗岳	2,646	36.02	317	11.2	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	烏帽子岳	2,719	35.33	233	11.2	Td	Pj	Av	Am
e1	蝶ヶ岳	2,677	36.30	433	11.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	将基頭山	2,736	35.80	327	10.9	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	硫黄岳	2,742	36.00	334	10.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	大沢岳	2,819	35.26	239	10.7	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	権現岳	2,786	35.95	222	10.6	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	鳳凰山	2,814	35.70	329	10.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	富士山	2,930**	35.37	251	10.1	Td2	Pj1	Av2	Am1
e1	常念岳	2,857	36.32	414	10.0	Td	Pj	Av	Am
e1	乗鞍岳	2,885**	36.01	317	10.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	赤岳	2,899	35.97	328	10.0	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	木曾駒ヶ岳	2,956	35.78	326	9.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	甲斐駒ヶ岳	2,966	35.75	326	9.8	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	聖岳	3,011	35.42	240	9.7	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	御岳山	3,006**	35.88	410	9.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	仙丈ヶ岳	3,033	35.67	337	9.5	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1	塩見岳	3,047	35.57	248	9.4	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	赤石岳	3,120	35.47	241	9.1	Td2	Pj1	Av2	Am2
e1*	悪沢岳	3,146	35.50	241	9.0	Td2	Pj2	Av2	Am2
e1*	北岳	3,192	35.67	243	8.7	Td2	Pj1	Av2	Am2
e2	戸隠岳	1,904	36.77	349	14.6	Td1	Pj+	Av+	Am1
e2	寺地山	1,996	36.42	544	14.3	Td1	Pj1	Av1	Am2
e2	三壁山	1,970	36.72	450	14.3	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	志賀山	2,037	36.70	270	14.0	Td2	Pj1	Av+	Am2
e2	袴腰山	2,042	36.90	367	13.9	Td1	Pj1	Av+	Am2
e2	赤石山	2,109	36.70	373	13.6	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	物見山	2,113	36.87	281	13.5	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	四郎岳	2,156	36.50	282	13.5	Td	Pj	Av	Am
e2	白砂山	2,140	36.73	470	13.5	Td1	Pj1	Av1	Am2
e2	鬼怒沼山	2,141	36.87	284	13.4	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	苗場山	2,145	36.83	754	13.4	Td1	Pj+	Av+	Am2
e2	黒岩山	2,163	36.90	381	13.3	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	燕巢山	2,222	36.85	293	13.0	Td1	Pj1	Av1	Am2
e2	岩菅山	2,295	36.73	395	12.7	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	横手山	2,307	36.67	301	12.7	Td2	Pj1	Av1	Am2
e2	根名草山	2,330	36.85	212	12.5	Td2	Pj1	Av1	Am2

表-1 続き
 Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または WI15 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または WI15 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
e2	裏岩菅山	2,341	36.75	494	12.5	Td1	Pj1	Av+	Am2
e2	燕岳	2,647	36.40	521	11.1	Td2	Pj1	Av+	Am2
e2	北ノ俣岳	2,661	36.42	503	11.0	Td1	Pj1	Av1	Am2
e2	薬師岳	2,886**	36.47	692	9.8	Td1	Pj1	Av+	Am1
f	僧ヶ岳	1,855	36.75	437	14.9	Td+	Pj+		Am1
f	日蔭山	1,860	36.87	721	14.8	Td1	Pj+		Am1
f	飯縄山	1,917	36.73	256	14.6	Td1	Pj+		Am+
f	笠法師岳	1,919	36.78	539	14.6	Td1	Pj1		Am2
f	大杉岳	1,921	36.98	447	14.5	Td+	Pj+		Am2
f	赤倉山	1,938	36.80	542	14.5	Td2	Pj+		Am2
f	田代山	1,971	36.97	547	14.2	Td2	Pj1		Am2
f	荷鞍山	2,024	36.88	364	14.0	Td	Pj		Am
f	鳥甲山	2,038	36.83	742	13.9	Td1	Pj+		Am2
f	黒姫山	2,053	36.70	460	13.9	Td1	Pj1		Am2
f	赤安山	2,051	36.92	368	13.8	Td1	Pj1		Am2
f	孫兵衛山	2,064	36.92	464	13.8	Td2	Pj1		Am2
f	帝釈山	2,060	36.97	464	13.8	Td2	Pj1		Am2
f	台倉高山	2,067	36.93	558	13.7	Td2	Pj1		Am2
f	佐武流山	2,192	36.77	571	13.2	Td1	Pj+		Am2
f	烏帽子岳	2,230	36.77	575	13.0	Td1	Pj1		Am2
f	別山	2,399	36.10	776	12.5	Td	Pj		Am
f	燧ヶ岳	2,356	36.95	498	12.3	Td1	Pj1		Am2
f	毛勝山	2,414	36.60	689	12.2	Td+	Pj+		Am1
f	烏帽子岳	2,625	36.48	510	11.1	Td1	Pj1		Am2
f	餓鬼岳	2,647	36.43	504	11.1	Td2	Pj1		Am2
f	爺ヶ岳	2,670	36.58	511	10.9	Td1	Pj+		Am2
f	南真砂岳	2,713	36.40	597	10.7	Td1	Pj1		Am2
f	蓮華岳	2,799	36.53	516	10.2	Td1	Pj		Am2
f	赤牛岳	2,864	36.45	698	10.0	Td	Pj		Am1
f	浄土岳	2,831	36.57	799	9.9	Td1	Pj+		Am1
f	鹿島槍ヶ岳	2,890	36.62	705	9.7	Td1	Pj+		Am1
f	野口五郎岳	2,918**	36.43	692	9.7	Td1	Pj1		Am2
g	七ヶ岳	1,636	37.12	322	15.8	Td+			Am+
g	三方岩岳	1,736	36.25	606	15.7	Td+			Am1
g	桑崎山	1,728	36.35	418	15.7	Td1			Am1
g	台倉山	1,695	37.02	515	15.6	Td+			Am1
g	高幽山	1,747	37.12	617	15.3	Td+			Am2
g	男鹿岳	1,777	37.08	244	15.1	Td1			Am1
g	坪入山	1,774	37.12	620	15.1	Td+			Am2
g	鹿又岳	1,817	37.05	248	15.0	Td1			Am1
g	丸山岳	1,820	37.17	626	14.9	Td+			Am1
g	窓明山	1,842	37.10	533	14.8	Td+			Am2
g*	日留賀岳	1,849	37.03	252	14.8	Td2			Am1
g	皿伏山	1,917	36.90	352	14.5	Td+			Am2
g	大佐飛山	1,908	37.05	259	14.5	Td2			Am2
g	白沢山	1,953	36.98	545	14.3	Td+			Am2

表-1 続き
Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または WI15 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または WI15 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
g	雨飾山	1,963	36.90	640	14.3	Td1			Am1
g	一ノ倉岳	1,974	36.83	546	14.3	Td+			Am+
g	谷川岳	1,978	36.83	547	14.2	Td+			Am+
g	巻機山	1,967	36.97	547	14.2	Td+			Am1
g	平標山	1,984	36.82	641	14.2	Td1			Am1
g	白山釈迦ヶ岳	2,053	36.15	736	14.2	Td			Am
g	三方崩山	2,059	36.17	642	14.1	Td1			Am1
g	仙ノ倉山	2,026	36.82	552	14.0	Td+			Am+
g	越後駒ヶ岳	2,003	37.12	741	14.0	Td+			Am+
g	笠ヶ岳	2,058	36.67	178	13.9	Td1			Am2
g	不帰岳	2,054	36.75	461	13.9	Td			Am
g	三ノ峰	2,128	36.08	744	13.8	Td+			Am1
g	中背岳	2,075	36.72	463	13.8	Td2			Am2
g	三岩岳	2,070	37.07	560	13.7	Td1			Am2
g	中ノ岳	2,085	37.08	750	13.6	Td			Am
g	会津駒ヶ岳	2,133	37.03	567	13.4	Td+			Am2
g	武尊山	2,158	36.80	285	13.3	Td+			Am2
g	平ヶ岳	2,141	37.00	567	13.3	Td1			Am2
g	天狗原山	2,197	36.88	667	13.1	Td1			Am1
g	黒沢岳	2,212	36.90	575	13.0	Td1			Am1
g	長柄山	2,267	36.83	580	12.8	Td			Am
g	高妻山	2,352	36.80	496	12.4	Td			Am
g	猫又山	2,378	36.67	592	12.3	Td			Am
g	朝日岳	2,418	36.82	598	12.0	Td1			Am1
g	妙高山	2,454	36.88	573	11.8	Td+			Am1
g	乗鞍岳	2,469	36.78	584	11.8	Td1			Am1
g	火打山	2,462	36.92	667	11.8	Td+			Am1
g	白山	2,620**	36.05	482	11.4	Td1			Am2
g	清水岳	2,590	36.72	589	11.2	Td			Am
g	鷲岳	2,617	36.53	516	11.2	Td1			Am1
g	小蓮華岳	2,769	36.77	589	10.3	Td			Am1
g	五龍岳	2,814	36.65	606	10.1	Td1			Am1
g	別山	2,880	36.58	705	9.8	Td1			Am1
g	白馬鍾ヶ岳	2,903	36.73	701	9.6	Td1			Am1
g	剣岳	2,938**	36.52	693	9.6	Td1			Am1
g	白馬岳	2,933	36.75	701	9.5	Td			Am1
h	大長山	1,671	36.08	597	16.1				Am+
h	赤兎山	1,691	36.06	693	16.0				Am+
h	大日ヶ岳	1,709	36.00	506	16.0				Am+
h	芦倉山	1,717	36.02	696	15.9				Am+
h	初糠山	1,744	36.23	607	15.7				Am1
h	妙法山	1,776	36.22	611	15.5				Am1
h	藤原山	1,709	37.03	611	15.5				Am+
h	銚子ヶ峰	1,810	36.05	707	15.4				Am+
h	野谷庄司山	1,797	36.23	613	15.4				Am1
h	猿ヶ馬場岳	1,875	36.22	622	15.0				Am1

表-1 続き
Table 1. continued

山岳 タイプ	山名	山頂標高 または WI15 面標高 (m) ¹⁾	緯度 (°)	推定最大 積雪深 (cm)	山頂または WI15 面の夏季 平均気温 ²⁾ (°C)	分布樹種と分布量 ³⁾			
h	丹後山	1,809	37.03	623	15.0				Am+
h	大水上山	1,831	37.05	626	14.9				Am+
h	灰ノ又山	1,852	37.07	628	14.8				Am1
h	越後沢山	1,861	37.02	629	14.7				Am+
h	二ノ峰	1,962	36.06	725	14.7				Am1
h	兎岳	1,926	37.05	637	14.4				Am+
h	小沢岳	1,946	36.98	638	14.3				Am+
h	大倉山	2,039	36.13	640	14.2				Am1
h	荒沢岳	1,969	37.10	642	14.2				Am1
h	剣ヶ倉山	1,998	37.00	551	14.1				Am+

* イラモミの分布する山岳

** WI15 面の標高

¹⁾ 山頂標高が WI15 面の標高より高い場合、岡 (1991) の WI15 面の標高を示した。

²⁾ 大森・柳町 (1990) の重回帰モデルより算出した山頂の夏季 (7-8 月) 平均気温。

³⁾ Td: コメツガ, Pj: トウヒ, Av: シラビソ, Am: オオシラビソをそれぞれ示し, (+, 1, 2) は分布量 (稀, 少, 多) をそれぞれ示す。

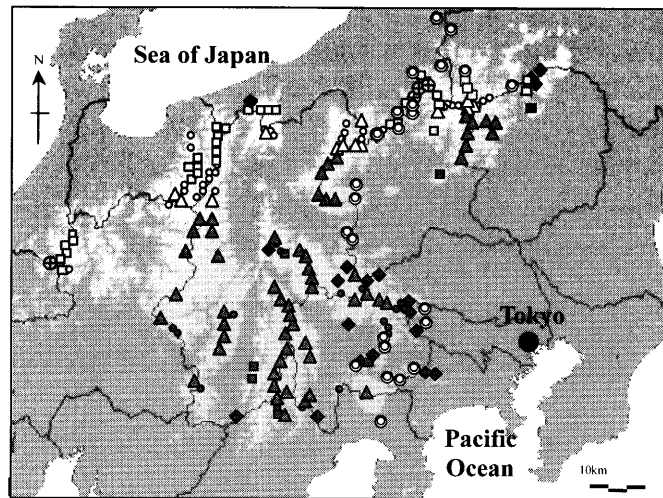


図-2 各山岳タイプの地理的分布

Fig. 2. Geographical distribution of the eight mountain types in central Japan.

凡例 (山岳タイプ);

a: ◎, b: ◆, c: ●, d: ■, e1: ▲, e2: △, f: ○, g: □, h: ⊕

g: コメツガおよびオオシラビソの2種が分布する山岳

h: オオシラビソのみが分布する山岳

図-1 から, e1 および e2 の分布域の違いが太平洋側および日本海側の山岳の指標となり得ることが予想された。したがって, まず e タイプの位置を図示した (図-2)。その結果, e1 および e2

の境界線は、北アルプスでは槍ヶ岳から薬師岳付近、上信越国境稜線では草津白根山付近、栃木県袈裟丸山―那須山系では、温泉ヶ岳付近にそれぞれ認められた。次いで、その他の山岳タイプを図示すると、両サブタイプの境界以北はa, b, f, g および h（ここではe2 タイプ群と呼ぶ）が、それ以南ではa, b, c および d（ここではe1 タイプ群と呼ぶ）の各タイプの出現が認められた（図-2）。そして各山岳タイプは、a および b タイプを除いて、両サブタイプの境界を挟んでいずれか一方にのみ出現した。したがって、これらの両タイプ群の間には、明瞭な地域性の差異が存在すると考えられる。また両タイプ群に共通するa および b タイプの山岳においても、森林の発達状況やイラモミの分布の有無から地域性の差異が存在すると予想されることから、この境界線の南にあるものをa1 および b1、北にあるものをa2 および b2 とした。そして白山山系の山岳がe2 タイプ群に属すること、およびe2 タイプ群の南端の山岳、すなわち白山山系の大日ヶ岳、北アルプス槍ヶ岳から薬師岳付近、上信越国境稜線の草津白根山付近、奥日光の温泉ヶ岳付近を結んだ線が、多少地理的な制約を受けながらも日本海の海岸線と並行的な関係にあることから、この両群をそれぞれ「太平洋型」および「日本海型」の山岳タイプ群と名づけた。よって、各山岳タイプは「太平洋型：a1, b1, c, d および e1」と「日本海型：a2, b2, e2, f, g および h」の両山岳タイプ群にまとめられた。但し、那須山系のa および b タイプについては、さらに検討を要すると考えられたため、ここではどちらの山岳タイプ群にも含めないことにした。

2.2 対象樹種の分布量の評価

タイプ分けされた284の山岳における、対象4樹種それぞれの相観的な分布量を以下の3段階に分けて評価した。

「+」：稀…標本は存在するが、実地踏査および文献資料等で再確認されていない、または実地踏査でごく稀にその生育が確認できた。

「1」：少ない…当該山岳全体で分布量は少ない。常在的に分布するが、部分的に混生、または局所的に優占林を形成する。

「2」：多い…当該山岳全体に分布量が多い。常在性が高く優占林を形成する。

この評価は、実地踏査を行った90の山岳以外については、各県や各地域の植物誌を参考にしておいて評価して表-1にまとめた。

第4章 山岳地域の積雪深の測定と推定

1. 最大積雪深図の問題点

これまで樹木の生育と積雪深との関係を論じる際には、各種の最大積雪深図（中央気象台編1949、気象協会1959、森林立地懇話会1972、村松ほか1990）が用いられてきた（石塚1978、石沢1978、梶1982、Kume1993、野手ほか1998など）。これらの最大積雪深図から、太平洋側から日本海側の傾度に沿って積雪深が増加する大局的な傾向が読みとれる。しかし、例えば気象庁編（2002）の最大積雪深図における中央アルプス将基頭山（2,730 m）の最大積雪深は30 cmであるが、原田ほか（1997）によると、最大となる3月においては森林限界付近で300 cm以上となり、標高2,000 m以上では100 cm以上の積雪深が認められる（図-3）。したがって、太平洋型の山岳における最大積雪深は過小評価されているといえる。また、この将基頭山の積雪深と日本海型の山岳である蔵王山刈田岳（矢野ほか1993）、西吾妻山（山形総合学術調査団1969）、立山天狗平（矢吹ほか1991）の積雪深を比較すると、実際は太平洋型の山岳においても、高標高域な

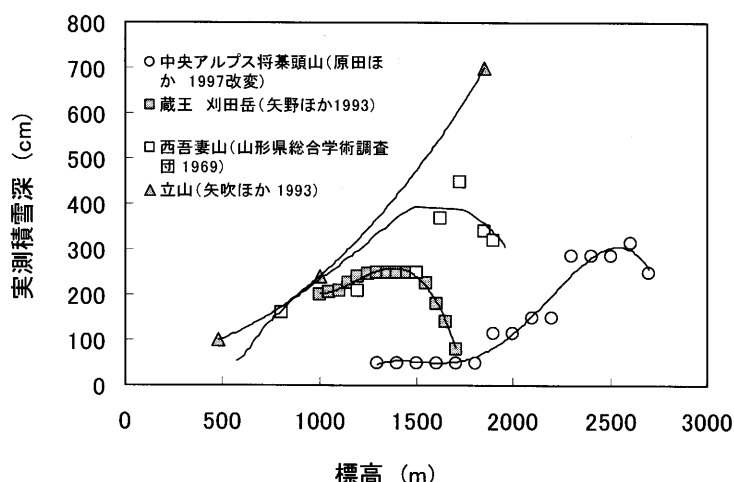


図-3 中部・東北地方の4つの山岳における標高に伴う積雪深の変化

Fig. 3. Vertical change of the snow depth of four mountains in Chubu and Tohoku district.

らば日本海型の山岳と同様に、300 cm を超える積雪深が認められることから (図-3)、太平洋型の山岳タイプ群における積雪深の違いは、実質的に山頂標高の違いとして認識できると予想される。そして、亜高山性針葉樹の分布域は、高標高域に限られていることを考慮すれば、亜高山性針葉樹種の分布と積雪深の関係を論考する際には、標高に沿った積雪深の違いが大きな意味をもつものと考えられる。

以上のことから、太平洋側の山岳間における積雪深の比較および、日本海側と太平洋側の山岳を比較して論議する際には、太平洋型および日本海型の山岳タイプ群における標高別の積雪深について実測調査を行い、両地域の標高と積雪の関係を把握することが重要であると考えられる。

2. 調査地および方法と結果

2.1 標高別の積雪深測定

上記の実測調査の対象となる山岳として、太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群の境界線をなすと推察された e1 および e2 タイプの山岳で、山頂標高がほぼ等しい山岳を選定した。そして、e1 タイプの山岳として、奥秩父山系金峰山、ハヶ岳天狗岳を、e2 タイプの山岳として、志賀高原の横手山と岩菅山をそれぞれ選定した。これらの山岳はそれぞれ別の山系に属しているため、両タイプが同じ山系に連続している山岳として、日光白根山および鬼怒沼山を選定した。以上6つの山岳について標高別の積雪深を測定した (表-2)。

測定ルートは日射量の差による融雪の違いを考慮して、山体の北から西側登山道に設定した。ただし、奥日光の山岳に関しては便宜上東側に統一した。測定は国土地理院発行 2万 5000 分の 1 の地図を基に、およそ登山道に沿って標高 50 m ごとに積雪深を測定した。これまでの報告によると、中部山岳地域における最大積雪深の出現時期は、中央アルプス将基頭山で 3 月 (原田ほか 1997)、北ハヶ岳縞枯山で 4 月初旬 (逢沢、未発表)、男体山で 4 月上旬 (田島 1948)、奥利根宝川で 3 月中旬 (村上ほか 1996) であることから、およそ 3 月中旬から 4 月上旬に最大積雪深に達すると考えて、この期間内に融雪の早いと予想される太平洋型の山岳から順に、実測調査を

表-2 標高別に積雪深を測定した山岳

Table 2. Mountains where the snow depth were measured along altitude.

山岳名	標高 (m)	緯経度	調査ルート	調査日
日本海型の山岳タイプ群				
長野県志賀高原周辺山岳				
横手山	2,307	36°40' 138°31'	熊ノ湯—旧草津峠—横手山	Apr. 4, 2001 Apr. 6, 2002
岩菅山	2,295	36°44' 138°33'	一ノ瀬—岩菅山	Apr. 5, 2002
太平洋型の山岳タイプ群				
長野県北ハヶ岳				
天狗岳	2,646	36°01' 138°21'	渋ノ湯—東天狗岳	Mar. 28, 2001 Mar. 24, 2002 Mar. 25, 2002
秩父山地				
金峰山	2,599	35°52' 138°37'	廻目平—金峰山 富士見平—金峰山	Mar. 20, 2002 Mar. 21, 2002
同山系に両タイプ群のある山岳				
奥日光（栃木—群馬県境）				
日本海型				
鬼怒沼山	2,141	36°52' 139°22'	日光沢温泉—鬼怒沼山	Apr. 13-14, 2002
太平洋型				
日光白根山	2,578	36°47' 139°22'	湯元—五色山—日光白根山	Apr. 19-20, 2002

行った。また、奥日光の山岳は、便宜上4月中旬に測定を行った。

2001年は3月下旬から4月上旬の積雪期に、林内の比較的均質な地形のところを選び、生立木の樹幹が積雪面と接する位置に目印となる赤テープを巻き、消雪後に樹高ポールを用いて測定を行った。しかし、この方法では特に志賀高原周辺の山岳のように、林床がチシマザサで密に覆われているところでは、消雪後にその目印を発見することが極めて困難な地点が多かったため、2002年からは積雪期に測定ができる方法として、金峰山やハヶ岳などの太平洋型の山岳では、測量ポール(200 cm)を積雪面に突き刺して積雪深を測定する方法を取った。そして、各測定点で少なくとも10回程度積雪面にポールを突き刺し、その値を1 cm単位で読みとった。この際、実際にポールの先端が地面に達しているかどうかは、ポールを抜く度に先端に土が付いていることで確認した。また日本海型の山岳では積雪が多いと予想されたため、ドイツ ORTOVOX 社のゾンデ棒(Avalanche probes 320)を用いて同様の測定を行った。このゾンデ棒は積雪深320 cmまで測定可能であるが、積雪深がこれを超えた場合は、積雪面に穴を掘って測定を行い、測定値に掘り取った深さの分を加算した。これらの測定は、亜高山性針葉樹が実際に生育している場所の積雪深を測定しているため、求められた積雪深値は生態的意味をもつ値と考えられる。ただし、Barbour *et al.* (1991)は、積雪密度は場所により異なることから積雪のもつ生態的意味を表す指標として、積雪(相当)水量が積雪深より適当であると指摘しているが、本研究ではこの点まで考慮するに至らなかった。

2.2 単一地点の積雪深測定

標高傾度に沿った積雪深測定とは別に、特に太平洋側の山岳のうち比較的標高の低い山岳を中心に、各山岳で若干の標高地点における積雪深測定を行った(表-3)。

表-3 数地点ないし単一地点で積雪深を測定した山岳

Table 3. Mountains where the snow depth were measured at a single or several altitudinal spots.

山岳名	山頂標高 (m)	測定位置 (m)	調査日
箕輪山 (福島県・安達太良連峰)	1,728	山頂 (1,728)	Feb. 17, 2002
物見山 (栃木・群馬県境)	2,113	山頂下 (2,050)*	Apr. 14, 2002
節刀ヶ岳 (山梨県・御坂山塊)	1,736	山頂 (1,736)	Mar. 23, 2002
黒岳 (山梨県・御坂山塊)	1,793	山頂 (1,793)	Jun. 31, 2002
北横岳 (長野県・北八ヶ岳)	2,480	2,400*	Apr. 7, 2002
縞枯山 (長野県・北八ヶ岳)	2,403	2,350*	Apr. 8, 2002
大西山 (長野県・伊那山地)	1,741	山頂 (1,741)*	Feb. 4, 2002
権現山 (長野県・中央アルプス)	1,750	山頂 (1,750)*	Feb. 5, 2002
横尾山 (秩父山地西部)	1,818	山頂 (1,818)*	Feb. 27, 2002
朝日岳 (秩父山地)	2,579	2,450*	Mar. 21, 2002
志賀山 (長野県・志賀高原)	2,037	山頂 (2,037)*	Apr. 4, 2001

*: 数地点で測定したうちの最大積雪深の出現標高

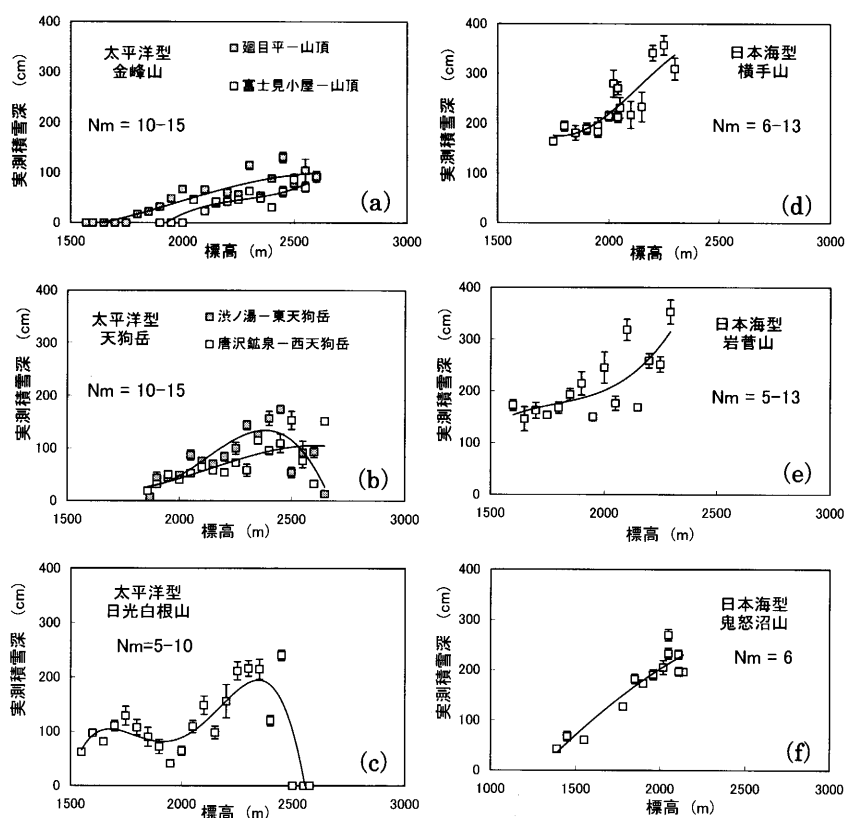


図-4 太平洋型と日本海型の山岳において実測した標高別の積雪深

Fig. 4. Vertical change of the snow depth measured in the mountains categorized as groups of Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

各点は平均値±標準偏差を, Nm は各標高地点の測定回数を示す。

2.3 垂直的な積雪深傾度

標高別の積雪深調査を行った結果、いずれの山岳においても標高の増加に伴って積雪深が増加する傾向が認められた(図-4)。なお、2001年および2002年の2積雪期に測定を行った天狗岳および横手山では、両年の各標高別の積雪深に差が認められなかった(Paired t-test, $p < 0.05$)ことから、図-4には2002年の測定結果のみを示した。

実測調査を行ったe1およびe2タイプの山岳を比較すると、最大積雪深および亜高山帯域全般の積雪深のいずれも、e2タイプの山岳で顕著に大きかった(図-4)。

3. 最大積雪深の推定と結果

3.1 最大積雪深の推定式の作成

本研究における積雪深調査および既往の資料から得られた42の山岳における実測による最大積雪深値と最大積雪深図の値を比較した。最大積雪深図は、梶(1982)が用いた気象協会(1959)および最新の気象庁編(2002)の2図を用いた。気象協会(1959)の最大積雪深値は、梶(1982)の分布資料中に50 cm間隔で読みとった値があるため、この値の上限値を用いた。気象庁編(2002)は、山岳の位置情報からその山頂の含まれる1 kmメッシュ内の値を読みとった。この結果、実測値と気象協会(1959)とは有意に高い相関($r = 0.89, p < 0.0001$)が、気象庁編(2002)とは弱い相関がそれぞれ認められた($r = 0.68, p < 0.0001$)(図-5)。このことから、気象協会(1959)の最大積雪深図の値と実測値を基にして、簡便な方法による積雪深値の推定が可能であると考えた。推定式の作成に当たって、特に太平洋型の山岳タイプ群を比較する際に重視すべきと考えられた最大積雪深の出現標高を変数として加え、以下の重回帰式を作成した。この際に用いた各変数の因子は表-4にまとめた。

なお、本研究の研究対象地である中部山岳地域は広域に亘るため、各山岳の緯度、経度などの位置情報がそれぞれ異なっている。したがって、絶対的な標高は必ずしも統一的な尺度と成り得ないと考えられる。大森・柳町(1991)は山岳地域の気温観測資料を用いて緯度、経度、標高、内陸度を変数として、山岳地域における任意地点の月平均気温をかなりの精度で推定できる重回帰モデルを作成し、これに当てはめる偏回帰係数を求めている。本研究では、これを用いて各山岳における標高を気温で表し、統一的尺度として用いることで比較を行った。この際に、気温としては最もばらつきが小さいとされる夏季(7・8月)平均気温(大森・柳町1990)を用いることにした(以下、夏季平均気温と呼ぶ)。

最大積雪深値推定式: $y = 313.54 - 23.24x_1 + 1.88x_2$

y: 当該山岳における推定最大積雪深, x_1 : 最大積雪深の出現標高を大森・柳町(1991)の重回帰モデルより夏季平均気温で表した値, x_2 : 気象協会(1959)から読みとった最大積雪深値の上限値(梶1982)

また、各山岳における推定最大積雪深を算出するにあたり、最大積雪深の出現標高は次のように定めた。標高別の積雪深測定の結果から、最大積雪深は①山頂まで森林の発達する山岳では山頂付近に、②明確な森林限界を持つ山頂標高の高い山岳では、森林限界付近あるいはそれより高い標高域に出現した(図-3, 図-4)。ここで①および②に該当する山岳を区分する値として、森林限界標高と山頂標高の検討から、大森・柳町(1991)の重回帰モデルによって算出された山頂の夏季平均気温の値が12.0℃より高い(山頂標高の低い)山岳は、①に該当する山岳としてその値

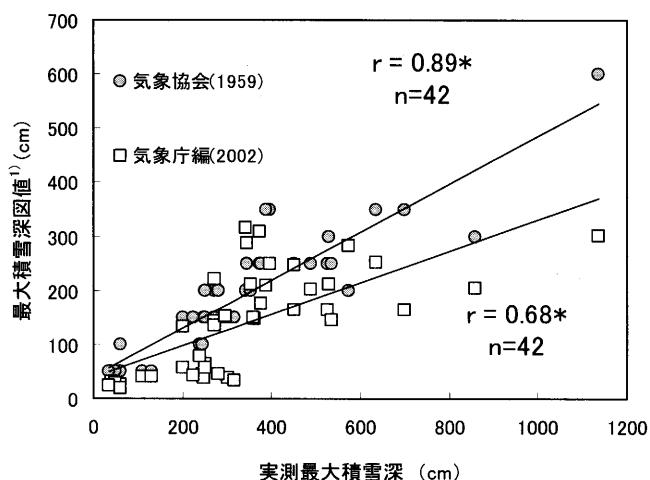


図-5 各山岳において実測した最大積雪深と2種類の最大積雪深図から読み取った値の関係
 Fig. 5. Relations between the maximum snow depth measured in each mountain and the max. snow depth interpreted from two sorts of data maps.

1) 気象協会(1959)および気象庁編(2002)の最大積雪深値。

* $p < 0.0001$

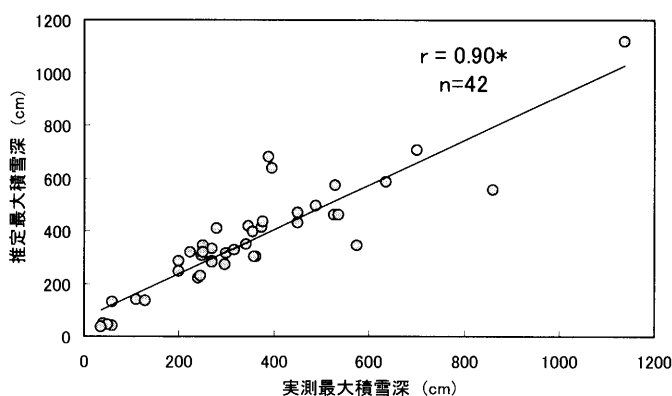


図-6 実測最大積雪深と推定最大積雪深の関係

Fig. 6. Relation between the maximum snow depth measured in each mountain and the max. snow depth estimated from multiple regression equation.

* $p < 0.0001$

を最大積雪深の推定式に変数 x_1 として採用し、 12.0°C より低い(山頂標高の高い)山岳は、岡(1991)にある当該山岳の森林限界標高の値を用いて夏季平均気温を再計算し、その値を最大積雪深の推定式に変数 x_1 として採用した。したがって、この推定式によって算出された最大積雪深は、個々の山岳における亜高山帯林の成立する範囲内での値を示している。換言すれば、この値以下の積雪深域に各樹種が分布しているといえる。

なお、上記の重回帰式の各回帰係数は、いずれも危険率5%以下で有意であり、これらの値を回帰係数として採用できると判断した。本研究では推定式作成に用いた実測値と、重回帰式に

表-4 最大積雪深を推定する重回帰式作成に用いた因子

Table 4. Factors used to obtain multiple regression equation for the estimation of maximum snow depth.

山名	緯度	最大積雪深 標高 (m)	最大積雪深 標高の夏季 平均気温 ¹⁾ (°C)	最大積雪深 図値 ²⁾ (cm)	実測最大 積雪深 (cm)	文献
田茂菰岳	40.67	1,324	15.8	250	345	ト蔵・福地 (1994)
乗鞍岳	40.58	1,340	15.8	250	450	福田 (1959)
焼山	39.95	1,240	16.6	250	373	福田 (1959)
茶臼山	39.95	1,570	14.9	200	575	福田 (1959)
八幡平	39.85	1,613	14.7	200	340	杉田 (2002)
岩手山	39.85	1,400	15.8	150	360	福田 (1959)
湯森山	39.75	1,472	15.5	200	270	Kajimoto <i>et al.</i> (2000)
早池峰山	39.55	1,280	16.5	150	200	杉田 (2002)
栗駒山	38.95	1,100	17.7	250	375	福田 (1959)
月山	38.53	1,830	14.2	600	1,137	福田 (1959)
刈田岳	38.12	1,500	16.1	200	250	矢野ほか (1993)
猿倉山	37.87	1,400	16.7	350	636	福田 (1959)
西吾妻山	37.73	1,720	15.1	250	450	山形総合学術調査会 (1969)
西大嶺	37.73	1,950	14.0	250	526	福田 (1959)
東吾妻山	37.70	1,700	15.2	250	537	福田 (1959)
箕輪山	37.63	1,728	15.1	150	200	逢沢 (2002)*
小沢岳	36.98	1,500	16.6	350	395	福田 (1959)
燧ヶ岳	36.95	2,200	13.1	250	489	福田 (1959)
黒沢岳	36.90	2,000	14.1	300	530	福田 (1959)
鬼怒沼山	36.87	2,050	13.9	150	270	逢沢 (2002)*
物見山	36.87	2,050	13.9	150	270	逢沢 (2002)*
日光白根山	36.78	2,400	11.9	100	240	逢沢 (2002)*
男体山	36.75	2,484	11.7	100	245	田島 (1948)
岩菅山	36.73	2,295	12.7	200	353	逢沢 (2002)*
志賀山	36.70	2,037	14.0	150	295	逢沢 (2001)*
横手山	36.67	2,250	12.9	150	357	逢沢 (2002)*
立山天狗平	36.57	2,320	12.6	350	700	矢吹ほか (1991)
太郎山	36.43	1,891	14.9	350	388	福田 (1959)
北横岳	36.08	2,400	12.5	150	299	逢沢 (2001)*
鍋枯山	36.07	2,350	12.7	150	248	逢沢 (2001)*
会津駒ヶ岳	36.03	2,050	14.2	300	860	福田 (1959)
天狗岳	36.02	2,450	12.2	150	224	逢沢 (2002)*
乗鞍岳	36.01	2,500	12.0	150	250	丸田, 私信*
横尾山	35.92	1,818	15.5	50	41	逢沢 (2002)*
御岳	35.88	2,300	13.0	200	280	福田 (1959)
朝日岳	35.87	2,450	12.3	50	110	逢沢 (2002)*
金峰山	35.87	2,450	12.3	50	131	逢沢 (2002)*
権現山	35.80	1,750	15.9	50	60	逢沢 (2002)*
将基頭山	35.80	2,600	11.6	150	315	原田ほか (1997)
黒岳	35.55	1,793	15.7	50	50	逢沢 (2002)*
大西山	35.53	1,741	16.0	100	60	逢沢 (2002)*
節刀ヶ岳	35.52	1,736	16.0	50	35	逢沢 (2002)*

¹⁾ 大森・柳町 (1990) の重回帰モデルより算出した夏季 (7-8 月) 平均気温。²⁾ 気象協会 (1959) の上限値。

* 未発表資料

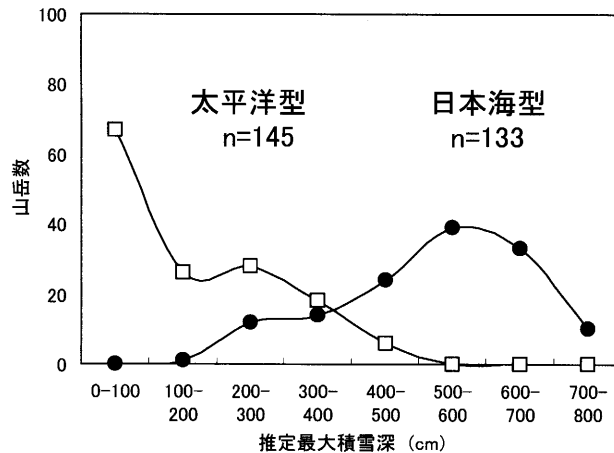


図-7 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群における推定最大積雪深と山岳数の関係

Fig. 7. Relation between the estimated maximum snow depth and the numbers of mountains of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

よって算出された推定値を比較するとおおむね一致する (図-6; $r=0.900, p<0.0001$) ことから、この重回帰式を最大積雪深の推定に用いた。そして、この重回帰式によって算出された値を、推定最大積雪深と名づけた。算出された各山岳の推定最大積雪深の値は表-1 にまとめた。ただし、この重回帰式は山頂あるいは森林限界高の夏季平均気温が 17.5°C 以下でないと用いることができないこと、また重回帰式の当てはまり具合を示す R^2 値は 0.829 と比較的低い値を示すなど問題点も少なくない。これは少ない資料数から中部日本という地理的にも、また積雪深の変動幅においても広い地域の最大積雪深を推定したこと起因すると考えられる。したがって、今後データ数を増やして推定式の精度を高める必要がある。

3.2 水平的な積雪深傾度

各山岳の推定最大積雪深を用いて、日本海型および太平洋型の山岳タイプ群を比較すると、日本海型の山岳タイプ群に推定最大積雪深の大きい山岳が数多く認められた (図-7)。このことから、「太平洋型」および「日本海型」両山岳タイプ群は積雪深の違いと対応し、両山岳タイプ群間に積雪深傾度が存在することを示唆しているとともに、積雪深が両山岳タイプ群を分かつ要因として重要であることが再確認された。

第5章 亜高山性針葉樹の分布特性

1. 検討の視点

各山岳タイプは各樹種の分布の有無によって分けたことから、山岳タイプの成因を論議するためには各樹種の分布特性に着目する必要があると考えた。そこで、太平洋型および日本海型の山岳タイプ群において、各樹種の出現率と山頂標高および推定最大積雪深との関係、また各樹種の分布下限標高の位置関係を検討した。

2. 山頂標高傾度の設定

山頂標高は、大森・柳町(1991)の重回帰モデルを用いて、各山岳における山頂標高を夏季平均気温で表し、統一的な尺度として用いた。ただし、その際に生態学的に意味をもつ山頂標高とは、最大積雪深の推定式に採用した山頂標高と異なり、少なくとも“森林が成立し得る”標高域内に限定する必要があると考えられた。山頂標高の低い山岳では、その山頂標高の絶対的な低さが森林をそれ以上成立させないが、標高 3,000 m を超す山岳では、森林限界標高は 2,700 m から 2,800 m 付近で頭打ちとなり、それ以上の山頂標高は森林限界の成立に意味をもたなくなる(岡 1991)。これは森林限界標高が温度的な上限に達したことを意味する。本研究では岡(1991)に従い、この温度的な森林限界標高を $WI15^{\circ}C \cdot M$ と定め、これ以上の山頂標高をもつ山岳に対しては、岡(1991)の表中の $WI15^{\circ}C \cdot M$ 面標高の値を山頂標高として代用した。各山岳の山頂あるいは $WI15^{\circ}C \cdot M$ における夏季平均気温は表-1 にまとめた。なお、これ以下の本文中で用いる“山頂標高”とは、実際の山頂標高および $WI15^{\circ}C \cdot M$ 面標高の両方の意味を含めて用いる。

3. 樹種の分布特性

3.1 山頂標高および推定最大積雪深と各樹種の出現率の関係

太平洋型の山岳タイプ群

太平洋型の山岳タイプ群では、山頂標高の夏季平均気温の低下、すなわち山頂標高の増加に対して、コメツガ、トウヒ、シラビソ、オオシラビソの順序で出現率が高くなり(図-8-1)、山頂標高がある一定の標高(夏季平均気温 $13.0^{\circ}C$ 以下)より高くなると、つねに 4 樹種が分布する e1 タイプの山岳となることが認められた。また、推定最大積雪深の増加に対しても、同様の出現順序が認められた(図-8-2)。このことから、太平洋型の山岳タイプ群においては、いずれの樹種も山頂標高あるいは推定最大積雪深が、それぞれの樹種の分布特性およびそれによって形成される山岳タイプの成因を規定していると推察された。また、太平洋型の山岳タイプ群の特徴として、イラモミがコメツガとほぼ等しい高さの山頂標高を持つ山岳から出現し、なかでも b1 および c タイプの山岳ではその出現率は 46% および 89% と高い点が特徴として認められた(表-1)。

日本海型の山岳タイプ群

日本海型の山岳タイプ群では、山頂標高の夏季平均気温の低下、すなわち山頂標高の増加に対して、オオシラビソ、コメツガ、トウヒ、シラビソの順序で出現が認められた(図-8-1)。そして、オオシラビソが山頂標高の低い山岳から出現するという現象は、太平洋型の山岳タイプ群と大きく異なっていた。一方、コメツガ、トウヒおよびシラビソの出現順序は太平洋型の山岳と同じであった。このことから、これら 3 樹種の出現順序を規定している要因は両山岳タイプ群間に普遍性を持つものと推察された。また、トウヒとシラビソは、一定の山頂標高まで出現率が増加する傾向を示すとともに、太平洋型の山岳タイプ群に比べて、山頂標高の高い山岳に分布が限られていた。しかし、それより高い山頂標高($12.0^{\circ}C$ 以下)をもつ山岳ではシラビソは減少し、トウヒはほぼ一定の傾向が認められた。一方、コメツガやオオシラビソは、一定の山頂標高をもつ山岳であればそこに分布することが認められた(図-8-1)。

各樹種の推定最大積雪深に対する出現率は、積雪深の増加に対して、オオシラビソでは 80% 前後に、コメツガでは 60% にほぼ保たれる傾向を示した(図-8-2)。このことは日本海型の山岳タイプ群においては、両種の分布は積雪深に依存しないことを示していた。太平洋型の山岳タイプ

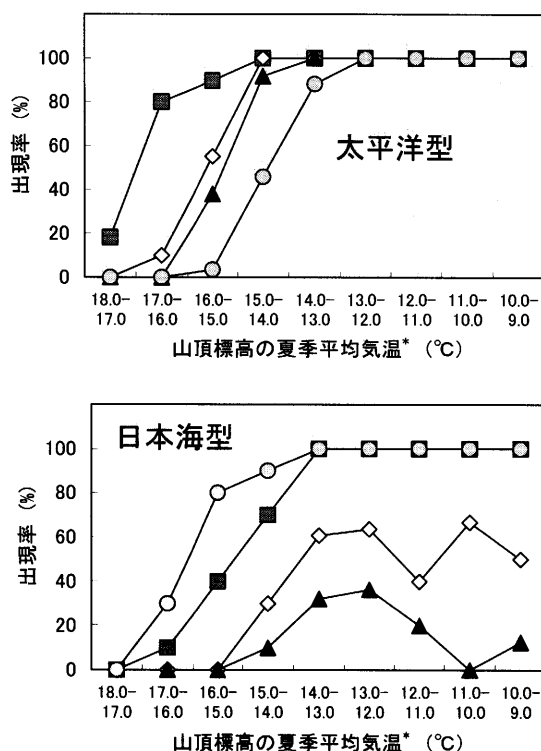


図-8-1 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群における各針葉樹の出現率と山頂標高（夏季平均気温で表示）の関係

Fig. 8-1. Relation between the relative number of mountains to which each conifer is indigenous and mean summer temperature at each mountain summit of the mountain groups in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

凡例；■：コメツガ，◇：トウヒ，▲：シラビソ，○：オオシラビソ

* 大森・柳町(1990)の重回帰モデルより夏季（7-8月）平均気温を算出。

群の結果と合わせて考えれば、推定最大積雪深 100 cm 以下の山岳では、オオシラビソの分布は積雪の少なさにより制限されていると推察された。また、トウヒとシラビソの出現率は、積雪の増加に伴って低下する傾向が認められた。このことから、両樹種の分布は積雪深によって制限されていることが示唆された。

3.2 分布下限標高の位置関係

第2章4節の実地踏査によって得られた各樹種の分布下限標高および、今西(1937)、高橋(1962)、梶(1982)、杉田(1988)などの調査資料(表-5)を援用し、それぞれの山岳における対象4樹種の分布下限標高の位置関係を検討した。

太平洋型の山岳タイプ群

太平洋型の山岳タイプ群における各樹種の分布下限標高を示す夏季平均気温の平均値(括弧内に示す)は、シラビソとトウヒの間に有意な上下関係は認められなかったが、コメツガ(16.7℃)、トウヒ(16.1℃)およびシラビソ(15.8℃)、オオシラビソ(14.9℃)の順序で分布下限標高の平均値が高くなり、これらの間に有意な上下関係が認められた(ANOVA; $p < 0.05$, post hoc test;

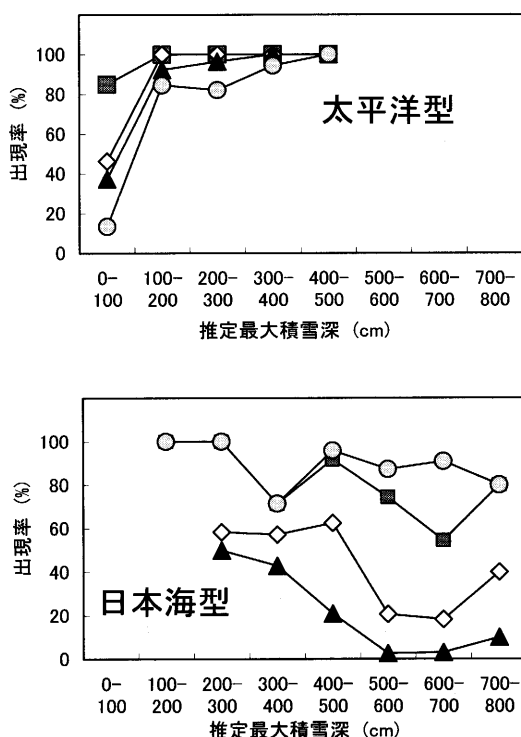


図-8-2 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群における各針葉樹種の出現率と推定最大積雪深の関係

Fig. 8-2. Relation between the relative number of mountains to which each conifer species is indigenous and the estimated maximum snow depth of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

凡例: ■: コメツガ, ◇: トウヒ, ▲: シラビソ, ○: オオシラビソ

scheffe's F ; $p < 0.05$).

トウヒとシラビソの上下関係に関しては、両種が分布して、かつその上下関係が把握できた 28 山岳のうち、トウヒがシラビソより下部から出現する山岳が 17 山岳、シラビソが下部から出現する山岳が 11 山岳と、トウヒが下部から出現する山岳が多少多く認められた。これらの山岳は、富士山、日光周辺山岳の他に、南アルプス南端部の不動岳、黒法師岳周辺山岳、および栃木県・袈裟丸山周辺山岳などのトウヒの分布量が比較的多い山岳において、トウヒがシラビソより下部から出現する傾向が顕著に認められた。また、実際にトウヒとシラビソの分布下限標高の頻度分布を見てみると、トウヒはシラビソに比べて高温側、すなわち低い標高域にずれていた (図-9)。これらのことからトウヒはシラビソに比べて、若干低い標高域に分布域をもっているといえる。

日本海型の山岳タイプ群

太平洋型の山岳タイプ群と同様に、各山岳における対象 4 樹種の分布下限標高の平均値と各樹種の分布する山岳の山頂標高の位置関係を検討した。各樹種の分布下限標高の平均値は、オオシラビソとトウヒの間で有意な上下関係は認められなかったが、コメツガ (16.8°C)、オオシラビソ (16.2°C) およびトウヒ (15.7°C)、シラビソ (14.7°C) の順序で下限標高が高くなり、それぞれには

表-5 亜高山性針葉樹4種の各山岳における分布下限標高

Table 5. Lower limit of vertical distribution for each of four subalpine conifer species in each mountain.

山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†
丸山岳	1,820	Am	1,710	12
高幽山	1,747	Am	1,600	2
坪入山	1,777	Am	1,550	2
窓明岳	1,842	Am	1,580	2
三岩岳	2,065	Am	1,580	2
平ヶ岳	2,140	Am	1,580	2
		Td	1,570	2
中ノ岳	2,085	Am	1,900	2
越後駒ヶ岳	2,003	Td	1,820	2
丹後山	1,809	Am	1,690	2
兔岳	1,926	Am	1,830	2
巻機山	1,962	Am	1,720	2
平標山	1,984	Am	1,660	2
		Td	1,720	2
武尊山	2,158	Am	1,600	1
		Td	1,400	2
日光白根山	2,577	Am	2,150	1
		Av	1,550	1
		Pj	1,530	1
温泉ヶ岳	2,333	Am	2,020	1
		Av	1,800	1
根名草山	2,329	Am	1,630	1
		Av	1,730	1
		Pj	1,650	1
		Td	1,550	1
女峰山	2,464	Am	1,950	3
		Av	1,600	3
		Pj	1,635	3
太郎山	2,368	Am	1,800	3
		Av	1,700	3
		Pj	1,635	3
男体山	2,484	Am	2,100	3
		Av	1,800	3
		Pj	1,750	3
		Td	1,670	3
袈裟丸山	1,955	Am	1,830	3
		Av	1,800	1
		Pj	1,610	1
		Td	1,500	1
皇海山	2,144	Am	1,860	1
		Av	1,840	1
		Pj	1,610	1
		Td	1,580	1

山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†
鬼怒沼山	2,141	Am	1,700	1
		Av	1,850	1
		Pj	1,550	1
		Td	1,500	1
物見山	2,113	Am	1,700	1
		Av	1,850	1
		Pj	1,550	1
黒岩山	2,163	Am	1,700	1
		Av	1,980	1
		Pj	1,660	1
アヤマ平	1,968	Am	1,400	3
		Td	1,500	3
沼山峠	1,790	Am	1,410	2
		Td	1,200	2
田代山	1,971	Am	1,450	3
		Td	1,300	3
大杉岳	1,921	Am	1,500	2
		Td	1,420	2
会津駒ヶ岳	2,132	Am	1,600	3
日留賀岳	1,848	Am	1,750	1
		Td	1,400	1
男鹿岳	1,777	Am	1,610	1
		Td	1,545	1
高原山	1,795	Td	1,510	1
赤城山黒檜山	1,827	Pj	1,750	1
		Td	1,700	1
白砂山	2,140	Am	1,750	1
		Av	1,775	1
		Pj	1,750	1
八間山	1,934	Am	1,750	3
		Av	1,870	1
		Pj	1,550	3
三壁山	1,970	Am	1,620	1
		Av	1,665	1
		Pj	1,800	1
		Td	1,675	1
岩菅山	2,295	Am	1,600	1
		Av	1,900	1
		Pj	1,700	1
		Td	1,650	1
裏岩菅山	2,341	Am	1,600	1
		Pj	1,710	1
		Td	1,600	1

表-5 続き
Table 5. continued

山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†	山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†
烏帽子岳	2,230	Am	1,600	1	剣岳	2,998	Am	1,400	5
		Pj	1,710	1			Td	1,280	4
		Td	1,600	1	浄土山	2,831	Am	1,400	5
笠法師岳	1,919	Am	1,600	1			Td	1,300	5
		Pj	1,710	1	薬師岳	2,926	Am	1,400	5
		Td	1,600	1			Pj	1,300	5
寺子屋峰	2,130	Am	1,650	8			Td	1,200	5
		Av	1,950	8	北ノ俣岳	2,662	Am	1,230	4
横手山	2,307	Am	1,700	1			Av	1,590	4
		Av	1,950	1			Pj	1,490	4
		Pj	1,950	1			Td	1,130	4
御飯山	2,160	Am	1,800	3	五龍岳	2,814	Am	1,700	5
		Av	1,700	3			Td	1,600	5
		Pj	1,700	3	爺ヶ岳	2,670	Am	1,900	5
志賀山	2,035	Am	1,700	1			Td	1,200	5
		Av	1,960	1	烏帽子岳	2,628	Am	2,020	4
		Pj	2,000	1			Pj	1,650	4
鉢山	2,041	Am	1,700	1			Td	1,550	4
		Av	2,000	1	野口五郎岳	2,924	Am	2,100	4
赤石山	2,109	Am	1,700	1			Pj	1,990	4
		Av	1,970	1			Td	1,570	4
高沢山	1,906	Av	1,665	1	餓鬼岳	2,647	Pj	1,790	4
鳥甲山	2,037	Am	1,815	1			Td	1,370	4
		Pj	1,940	1	燕岳	2,680	Am	1,900	5
		Td	1,850	1			Av	1,640	4
四阿山	2,354	Av	1,810	1			Pj	1,500	4
		Td	1,825	1			Td	1,200	5
苗場山	2,145	Am	1,550	2	蝶ヶ岳	2,664	Am	2,100	5
		Av	2,095	13			Av	1,500	5
		Pj	1,550	14			Pj	1,400	5
		Td	1,500	2			Td	1,100	5
黒姫山	2,053	Am	1,515	1	大滝山	2,616	Am	2,010	4
		Pj	1,895	1			Av	1,700	5
		Td	1,705	1			Pj	1,700	5
飯綱山	1,917	Am	1,775	1			Td	1,490	4
		Pj	1,785	1	鉢盛山	2,446	Am	1,900	5
		Td	1,775	1			Av	1,800	5
三田原山	2,446	Am	1,600	2			Pj	1,700	5
火打岳	2,462	Am	1,700	2			Td	1,500	5
雨飾山	1,963	Am	1,880	2	乗鞍岳	3,026	Am	1,710	4
		Td	1,560	2			Av	1,600	11
僧ヶ岳	1,855	Am	1,250	12			Pj	1,650	4
		Pj	1,600	12			Td	1,490	4
山の神	1,990	Am	1,600	4					
朝日岳	2,418	Am	1,610	4					
白馬鑓ヶ岳	2,903	Am	1,930	4					

表-5 続き
 Table 5. continued

山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†	山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†
御岳	3,067	Am	1,860	4	雁腹摺山	1,874	Av	1,870	1
		Av	1,400	4			Pj	1,874	1
		Pj	1,470	4			Td	1,740	1
		Td	1,330	4	金ヶ岳	1,764	Td	1,700	1
中尾峠	2,140	Am	1,720	4	入笠山	1,955	Av	1,780	1
		Av	1,560	4			Am	1,830	1
		Pj	1,530	4	釜無山	2,116	Am	2,010	1
野麦峠	1,672	Av	1,650	4			Av	1,780	1
		Pj	1,600	4			Av	1,890	1
八ヶ岳・中山	2,496	Av	1,600	5	櫛形山	2,051	Td	1,600	9
		Pj	1,900	5			Am	2,000	5
		Td	1,700	5			Av	1,600	5
八ヶ岳・天狗岳	2,646	Av	1,800	5			Pj	1,600	6
		Pj	1,600	5			Td	1,400	5
		Td	1,500	5	恵沢岳	3,100	Am	2,100	5
蓼科山	2,530	Am	2,060	1			Av	1,700	5
		Av	1,775	1			Pj	1,600	6
御座山	2,112	Av	1,820	1			Td	1,500	5
		Pj	1,870	1	赤石岳	3,100	Am	1,900	5
		Td	1,610	1			Av	1,700	5
物見石山	1,985	Av	1,650	1			Pj	1,500	5
三峰山	1,887	Pj	1,700	1			Td	1,600	5
大山	2,220	Am	2,080	1	鬼面山	1,889	Am	1,850	1
		Av	1,960	1			Pj	1,700	1
		Td	1,470	1			Td	1,480	1
十文字山	2,072	Av	1,910	1	大西山	1,741	Pj	1,730	1
五郎山	2,131	Av	2,070	1			Td	1,600	1
横尾山	1,818	Av	1,790	1	七面山	1,989	Am	1,920	1
		Pj	1,800	1			Av	1,850	1
		Td	1,600	1			Pj	1,680	1
高登谷山	1,846	Td	1,670	1			Td	1,600	1
天狗山	1,882	Td	1,760	1	山伏	2,013	Av	1,900	1
金峰山	2,598	Am	1,900	1			Pj	1,800	1
		Av	1,650	1			Td	1,690	1
		Td	1,510	1	大谷嶺	2,000	Am	1,970	1
両神山	1,723	Td	1,450	1			Av	1,900	1
乾徳山	2,031	Av	1,860	1	光岳	2,500	Av	1,930	7
小金沢山	2,014	Av	1,950	1			Pj	1,880	7
大菩薩嶺	2,057	Av	1,920	1	黒法師岳	2,067	Pj	1,560	1
		Pj	1,870	1			Td	1,530	1
		Td	1,740	1	権現山	1,750	Av	1,720	1
黒岳	1,987	Av	1,840	1			Pj	1,680	1
		Pj	1,840	1			Td	1,600	1
		Td	1,800	1					

表-5 続き
Table 5. continued

山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†	山岳名	山頂 標高	樹種*	分布下限 標高**	引用 文献†
将基頭山	2,730	Am	1,650	10	富士山	3,771	Am	1,800	16
		Av	1,550	10			Av	1,500	15
		Pj	1,700	10			Pj	1,280	15
		Td	1,500	10			Td	1,580	15
小秀山	1,981	Am	1,910	1	毛無山	1,945	Av	1,910	1
		Av	1,900	1			Pj	1,800	1
		Td	1,630	1			Td	1,740	1
奥三界山	1,810	Av	1,700	1	三つ峠山	1,785	Td	1,600	1
		Pj	1,780	1	十二ヶ岳	1,738	Td	1,550	1
		Td	1,680	1	大汝峰	2,684	Am	1,400	5
							Td	1,300	5
					白山御前峰	2,702	Am	1,600	5
							Td	1,700	5

* Am: オオシラビソ, Av: シラビソ, Pj: トウヒ, Td: コメツガ

** 各山岳で最も低い分布下限標高を示す。

† 1: 逢沢(未発表), 2: 梶(1982), 3: 杉田(1988), 4: 今西(1937), 5: 高橋(1962), 6: 斎藤(1967), 7: 浅見ほか(1987), 8: 渡辺(1977), 9: 山梨県巨摩高校(1976), 10: 兼子・馬場(1992), 11: 土田・三木(1974), 12: Nagai *et al.* (1979), 13: 大場(1973), 14: 関(1986), 15: 鈴木・手塚(1971), 16: 遠山(1966)

有意な上下関係が認められた(ANOVA; $p < 0.05$, post hoc test; scheffe's F; $p < 0.05$)。また、オオシラビソとトウヒの上下関係を検討したところ、両種が分布して、かつその上下関係が把握できた15の山岳のうち、オオシラビソが下部から出現する山岳が10、トウヒがオオシラビソより下部から出現する山岳が5と、オオシラビソが下部から出現する山岳数が多かった。実際にオオシラビソとトウヒの分布下限標高の頻度分布を見てみると、オオシラビソはトウヒに比べて高温側、すなわち低い標高域にずれていた(図-9)。

以上の結果から、太平洋型の山岳タイプ群においては、山頂標高および推定最大積雪深の増加にともなった各樹種の出現順序と、分布下限標高の垂直的な位置順序が、コメツガ、トウヒ、シラビソ、オオシラビソの順序で一致していた。また、日本海型の山岳タイプ群においても、各樹種の積雪に対する適応幅の違いが顕著に現れているが、山頂標高および推定最大積雪深の増加にともなった各樹種の出現順序と、分布下限標高の垂直的な位置順序が、コメツガ、トウヒ、シラビソ、あるいはオオシラビソ、トウヒ、シラビソの順序で一致していた。このことから、山頂標高と分布下限標高の間に何らかの関係があることが推察された。

4. 山頂標高と分布下限標高の関係

4.1 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群

太平洋型の山岳タイプ群

各樹種の分布する山岳の山頂標高と分布下限標高の平均値の位置関係を検討した(図-10)。調査対象となった151山岳のうち、それぞれの樹種が分布する山岳数は、コメツガ135、トウヒ109、シラビソ100、オオシラビソ77であり、このうち、山頂標高がそれぞれの分布下限標高の

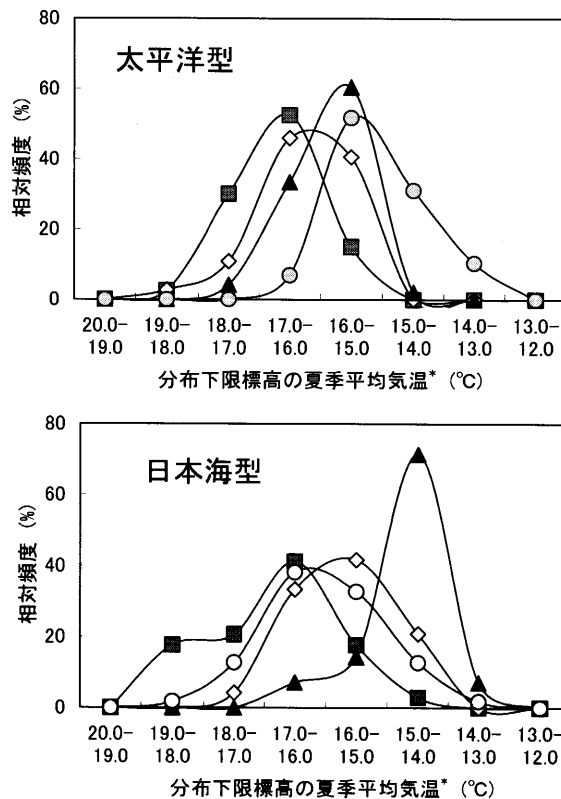


図-9 亜高山性針葉樹4種の分布下限標高(夏季平均気温で表示)の頻度分布

Fig. 9. Frequency distribution of the lower limit of vertical distribution for each of four subalpine conifer species in various mountains.

凡例; ■: コメツガ, ◇: トウヒ, ▲: シラビソ, ○: オオシラビソ

* 大森・柳町(1990)の重回帰モデルより夏季(7-8月)平均気温を算出。

平均値より高い位置にある割合は、コメツガ 97%、トウヒ 99%、シラビソ 99%およびオオシラビソ 99%と極めて高く、各樹種が分布する山岳の山頂標高はほぼすべて分布下限標高の平均値より高い位置にあった(図-10)。また、各樹種の分布の有無に拘わらず、各樹種の分布下限標高の平均値より高い標高域に山頂標高をもつ山岳数は、コメツガ 141、トウヒ 126、シラビソ 113 およびオオシラビソ 92 であり、このうち、各樹種が分布する割合は、コメツガ 93%、トウヒ 86%、シラビソ 88%およびオオシラビソ 83%とかなり高い割合を示した。

以上のことから、各樹種がある山岳に分布すること、およびその山岳の山頂標高が分布下限標高の平均値より高い位置にあることは、必要かつ十分な条件と考えられた。したがって、分布下限標高の平均値よりも山頂標高が高いか低いかにによって、各樹種の分布の有無が決まっていると考えられた。

日本海型の山岳タイプ群

太平洋型の山岳タイプ群と同様に、各樹種について分布下限標高と山頂標高の位置関係を検討した(図-10)。調査対象となった133の山岳のうち、それぞれの樹種が分布する山岳数は、コメ

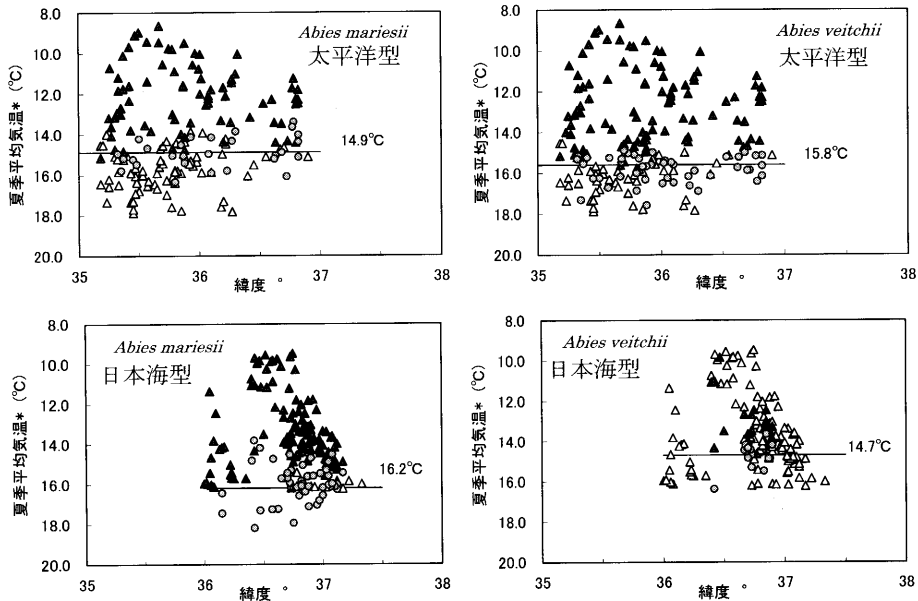


図-10-1 太平洋型と日本海型の各山岳タイプ群におけるオオシラビソおよびシラビソの分布下限標高と山頂標高（夏季平均気温で表示）の関係

Fig. 10-1. Relation between the mean summer temperature at lower limit of vertical distribution of two firs (*Abies mariesii* and *A. veitchii*) and that at mountain summit of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

凡例；▲：分布山岳，△：分布しない山岳，○：各山岳の分布下限標高，—：平均分布下限標高

* 大森・柳町 (1990) の重回帰モデルより夏季（7-8 月）平均気温を算出。

ツガ 100, トウヒ 48, シラビソ 20 およびオオシラビソ 118 であり, 各樹種の分布する山岳の山頂標高のすべてが分布下限標高の平均値より高い位置にあった。また, 分布の有無にかかわらず, 分布下限標高の平均値より高い山頂標高をもつ山岳数は, コメツガ 133, トウヒ 119, シラビソ 95 およびオオシラビソ 132 であり, これらのうち, それぞれの樹種が分布する割合は, コメツガ 75%, トウヒ 36%, シラビソ 21% およびオオシラビソ 89% と, 太平洋型の山岳と異なり, すべての山岳が高い割合を示すとは限らなかった。オオシラビソは山頂標高と出現率の関係 (図-8-1) からわかるように, 分布下限標高の平均値より高い山頂標高をもつ山岳にはほとんど分布する傾向が認められた。しかし, シラビソ, トウヒおよびコメツガに関しては, 分布下限標高の平均値より高い山頂標高をもつ山岳に必ずしも分布するとは限らなかった。そしてこの分布下限標高の平均値より高い標高に位置しながら分布しない山岳のほとんどが, 推定最大積雪深 500 cm 以上の山岳であった。このことから, 日本海型の山岳タイプ群においては, 山頂標高が分布下限標高の平均値よりも高いか低いかに加えて, 積雪の多寡が各樹種の分布の有無を規定していると考えられた。

なお, こまでの検討のなかで扱ってきた分布下限標高の平均値とは, その種の分布を規定している気温または積雪を保証する標高を表していると考えられる。したがって, この分布を規定している標高を以下“分布規定標高”と呼ぶ。

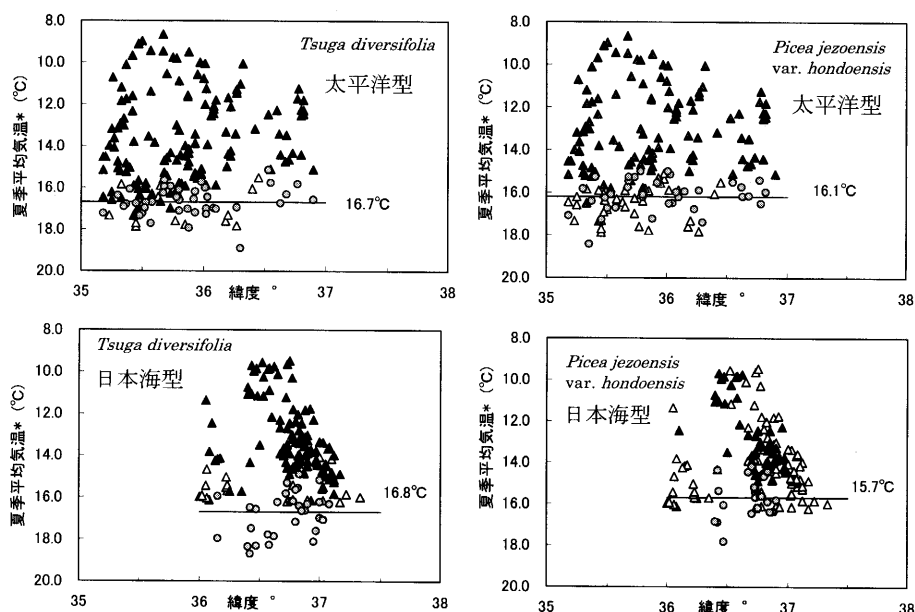


図-10-2 太平洋型と日本海型の各山岳タイプ群におけるコメツガおよびトウヒの分布下限標高と山頂標高（夏季平均気温で表示）の関係

Fig. 10-2. Relation between the mean summer temperature at the lower limit of vertical distribution of two subalpine conifers (*Tsuga diversifolia* and *Picea jezoensis* var. *hondoensis*) and that at mountain summit of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan.

凡例；▲：分布山岳，△：分布しない山岳，○：各山岳の分布下限標高，—：平均分布下限標高

* 大森・柳町 (1990) の重回帰モデルより夏季 (7-8 月) 平均気温を算出。

4.2 太平洋型と日本海型の山岳タイプ群における分布規定標高の比較

オオシラビソの分布規定標高は、太平洋型の山岳タイプ群では高い標高域に位置するが、日本海型の山岳タイプ群では、シラビソのそれより低く、たいていの山岳ではトウヒのそれより低い標高にあった (t -test, $p < 0.01$)。シラビソの分布規定標高は、太平洋型の山岳タイプ群に比べて日本海型のそれで有意に高かった (t -test, $p < 0.01$)。トウヒおよびコメツガは両山岳タイプ群で有意な差は認められなかったが、トウヒはシラビソと似た傾向にあった (t -test, $p = 0.056$)。

シラビソ、トウヒおよびコメツガの分布規定標高の垂直的な配列順序は、両山岳タイプ群の間で共通していたことから、これら 3 樹種の分布規定標高は各樹種の生育に適した温度域の違い、すなわち気温によって規定されていると考えられた。一方、オオシラビソの分布規定標高の垂直的位置関係は、太平洋型と日本海型の山岳タイプ群で著しく異なっており、太平洋型と日本海型の山岳タイプ群にみられる地域性の違い、すなわち積雪深との関係が示唆された。

5. 各樹種の分布量および生育量と積雪深の関係

5.1 評価方法

これまでの検討から、オオシラビソの分布規定標高の垂直的位置関係や各樹種の積雪深に対する適応幅の違いが、各山岳タイプの成因に関与していることが予想された。本節では積雪深の変

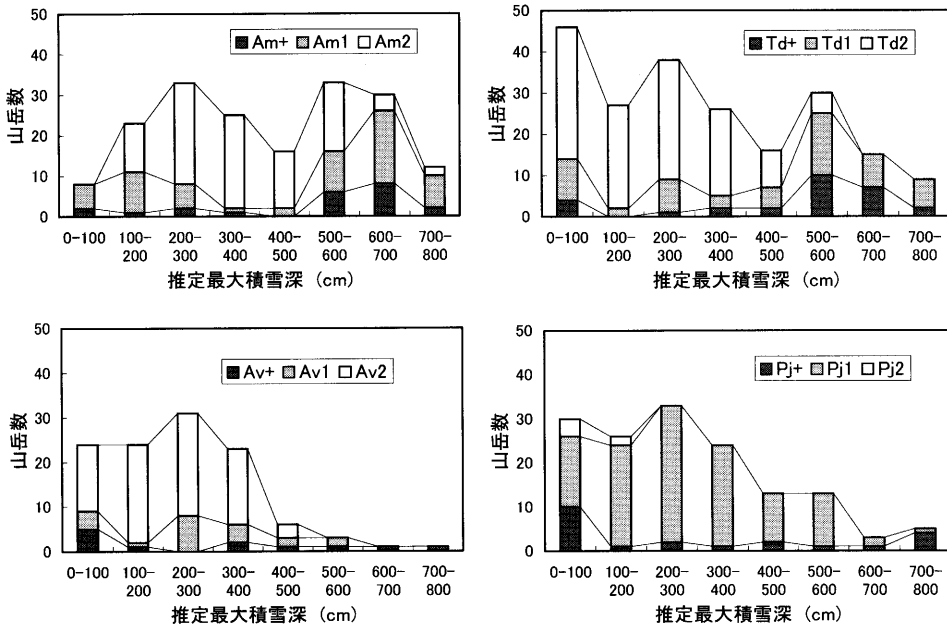


図-11-1 各山岳における亜高山性針葉樹4種の分布量と推定最大積雪深の関係

Fig. 11-1. Relation between the number of mountains to which each of four conifer species abundantly, slightly and rarely distribute and estimated maximum snow depth in each mountain.

分布量凡例：■：稀(+)，▨：少ない(1)，□：多い(2)

化に伴った各樹種の分布量および生育量の量的変化に着目し、各樹種の積雪に対する適応幅の違いをより具体的に評価する。この評価方法として、①表-1を用いて、各山岳における推定最大積雪深と各樹種の分布量の量的関係を各山岳レベルで評価した。ただし推定最大積雪深はあくまでも各山岳の代表値であるため、各山岳内で実際に各樹種が生育している場所の積雪深を必ずしも反映したものではない。そこで②第4章2.1節で標高別の積雪深を測定する際に、積雪深を実測した各標高地点周辺（以下、生育地と呼ぶ）の森林の構成樹種とその生育量を以下の3段階で評価を行い、各山岳内の各樹種の生育地レベルで評価した。

「+」：稀…森林内に稀に混生する。

「1」：少ない…常在性は高いが部分的に混生する。

「2」：多い…常在し、かつ優占する。

なお、以上の評価を、標高別の積雪深調査を行った6山岳（表-2）に加えて、積雪深調査（原田ほか1997）ならびに植生調査（兼子・馬場1992）が実施されている中央アルプス将基頭山、蔵王刈田岳（矢野ほか1993）、および西吾妻山（山形総合学術調査団1969）に対して行った。なお、生育地における積雪深とはいずれも実測の積雪深を指す。

5.2 各樹種の積雪に対する適応幅

オオシラビソ

オオシラビソの日本海型の山岳における推定最大積雪深に対する出現率は、積雪深の増加に対

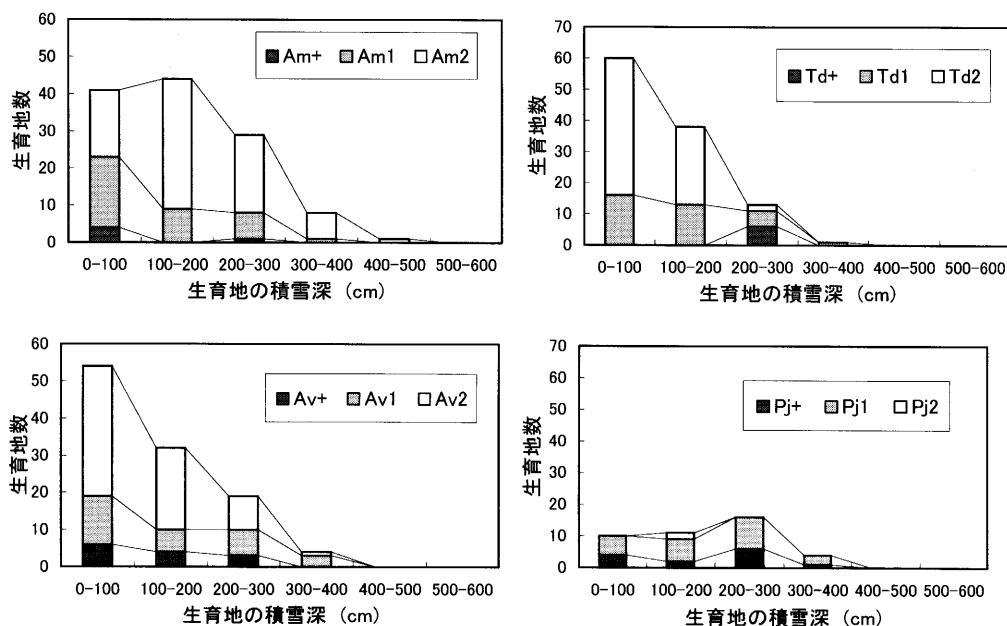


図-11-2 各生育地における亜高山性針葉樹4種の生育量と積雪深の関係

Fig. 11-2. Relation between the number of growth habitat to which each of four conifer species abundantly, slightly and rarely grow and snow depth in each growth habitat. 生育量凡例; ■: 稀(+), ▨: 少ない(1), □: 多い(2)

してほぼ一定に保たれる傾向を示しているが(図-8-2), 各山岳の分布量と推定最大積雪深の関係に着目すると, 推定最大深600 cmを超えると, 分布量は少なくあるいは稀になっていた。また, 推定最大積雪深100 cm以下の山岳においても分布量が少なくなっていた(図-11-1)。一方, 実際の生育地においては, 積雪深100 cmを超えると, 各積雪深クラスにおける生育量の多い(生育量2)生育地数の割合が, 生育量が少ない(生育量1)と稀(生育量+)の生育地数を併せた割合より大きくなり, 積雪深100 cm以下では小さかった(図-11-2)。このことからオオシラビソは積雪深100 cmから積雪深500 cmの積雪深域に生育量の中心があり, 対象4樹種の中で最も多雪環境に適応した樹種と考えられた。ここで, 本研究における標高別の積雪深測定の結果(図-4)および原田ほか(1998)から, 太平洋型および日本海型の山岳タイプ群における積雪深測定標高(夏季平均気温で表示)と積雪深の関係を検討したところ, 太平洋型の山岳タイプ群においては, 100 cm以上の積雪深域は高い標高域(夏季平均気温の低温側)に位置するが, 日本海型の山岳タイプ群においては, 低い標高域(夏季平均気温の高温側)においても100 cm以上の積雪深に達していた(図-12)。このことから, オオシラビソの分布規定標高は, 太平洋型の山岳においては, 100 cm以上の積雪深の保証される高い標高域に位置し, 日本海型の山岳においては, 低い標高域でも一定の積雪深が保証されているため, 温度的に分布可能な標高域まで分布を拡大したものと考えられた。そして, 同種が日本海型の山岳において, 低い標高域まで分布を拡大できたのは, 山地帯林の上限を形成するブナと共存できたこと(田中1986a, b, c)が関与していると考えられた。

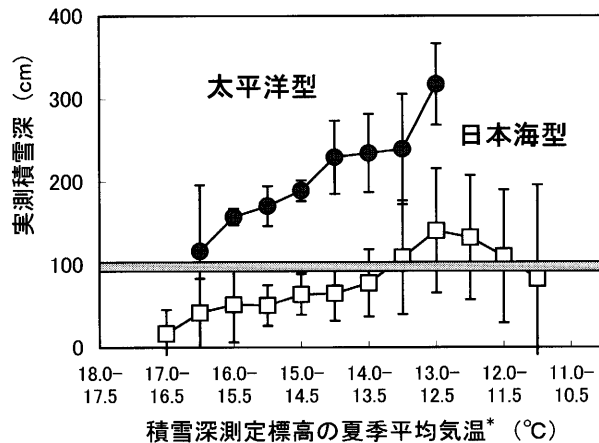


図-12 太平洋型および日本海型の各山岳タイプ群における積雪深測定標高（夏季平均気温で表示）と積雪深の関係

Fig. 12. Relation between the mean summer temperature at the spots where snow depth were measured and the snow depth of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

* 大森・柳町 (1990) の重回帰モデルより夏季（7-8 月）平均気温を算出。

各点は平均値±標準偏差を，陰影線はオオシラビソの生育量の増加する積雪深 100 cm を示す。

シラビソ、コメツガおよびトウヒ

シラビソは日本海型の山岳においては，推定最大積雪深 400 cm 以上の山岳では出現率が低下するとともに，分布量の顕著な低下が見られた（図-8-2，図-11-1）。また，積雪深 300 cm 以上の生育地では，生育量の顕著な減少がみられた。これらのことは推定最大積雪深 300 cm 以上の山岳にシラビソが分布する場合，実際には積雪深 300 cm 以下の場所に生育していることを意味している。

コメツガは推定最大積雪深 800 cm の山岳まで，分布量は少ないあるいは稀でありながら（図-11-1），オオシラビソと同様に比較的高い出現率を保っている（図-8-2）。しかし，実際の生育地において 200 cm 以上積雪深域では生育量が著しく減少する（図-11-2）。このことは，見かけ上コメツガは積雪に適応幅の広い樹種といえるが，実際は岩尾根など部分的に積雪の少ない立地環境にその生育地を選んで分布していることを示唆するものと考えられる。そして，このような積雪の少ない立地環境に生育することで，多雪山域でも分布が可能であると考えられる。

また，トウヒは推定最大積雪深 500 cm 以上では出現率の顕著な低下が見られるが，分布量は少ないながらも 600 cm 以上の推定最大積雪深をもつ山岳まで分布し，積雪深 400 cm までの生育地にみられた。

6. 太平洋型と日本海型の山岳タイプ群におけるシラビソの分布規定標高の位置関係

シラビソの分布規定標高（分布下限標高の平均値）は，太平洋型の山岳タイプ群に比べて日本海型ではより高い標高域にあった。北アルプスの e1 と e2 タイプの山岳におけるシラビソの分布下限標高に差が認められなかったことから，実質的にシラビソの分布規定標高に差を生じさせているのは，北アルプス以外の e2 タイプの山岳におけるシラビソの分布下限標高であるといえる。

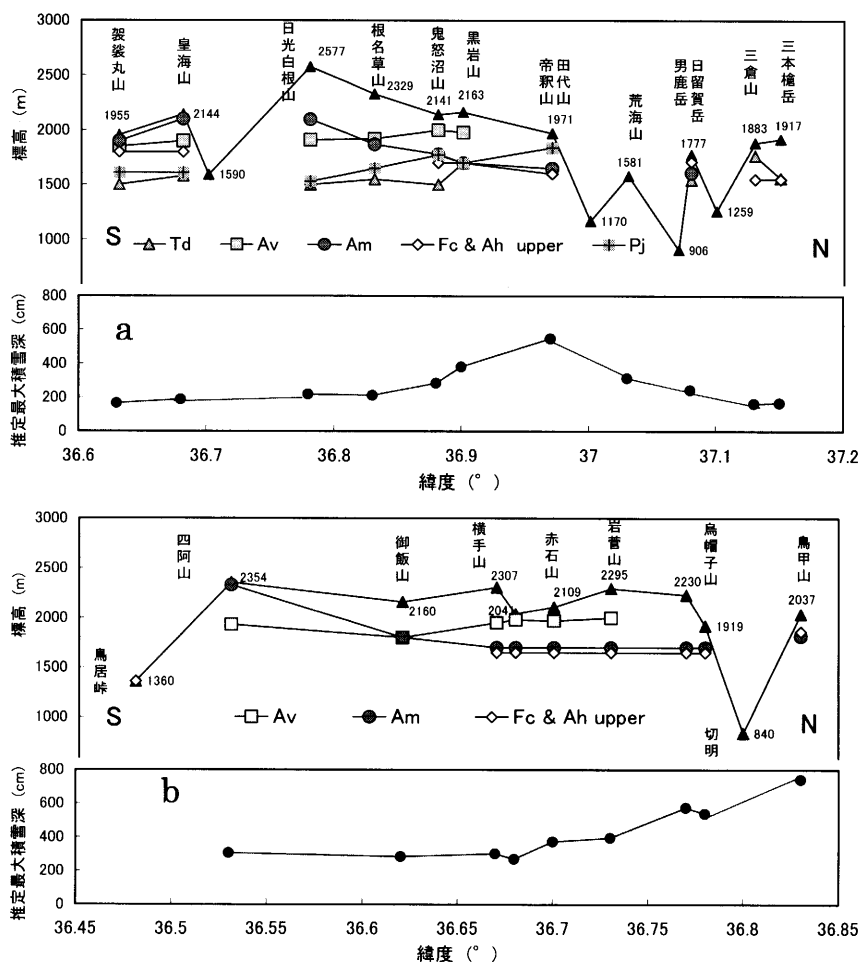


図-13a/b 主要樹種の山系別分布下限および上限と最大積雪深の関係

Fig. 13a/b. Relation between the lower and upper boundary of each main tree species and the maximum snow depth in various mountain ranges.

a. Mt. Kesamaru- Mts. Nasu, b. Mt. Azuma- Mt. Iwasuge

凡例; Td: コメツガ, Pj: トウヒ, Av: シラビソ, Am: オオシラビソ, Fc & Ah: ブナおよびウラジロモミ, S: 南, N: 北, upper: 各樹種の分布上限

これらの山岳が属している袈裟丸山—那須山系、四阿山—岩菅山山系、志賀高原一帯から野反湖および白砂山、苗場山に延びる稜線上といった、2,300 m 以下の比較的山頂標高の低い山岳においては、シラビソの分布はおよそ 1,900 m 以上の高い標高域に限られていた (図-13a, b)。本研究調査の結果、これらのシラビソ生育地における積雪深は 200–300 cm であり、多いところで 360 cm (横手山標高 2,250 m) あった。このような環境でシラビソが生育できるのは、暖地性のヤマグルマがその分布北限である飯豊山の高い標高域では、融雪の早い尾根部などにみられる (石沢 1970) ことを考慮すると、シラビソが分布している稜線部は積雪深が多いにもかかわらず融雪が早い可能性がある。ただし、北アルプス北ノ俣岳などでは日本海型の山岳タイプであって

もシラビソの分布下限が太平洋型の山岳のそれ同様に比較的低い標高域にある(表-5)。これは、北アルプスのように山頂標高が高く、かつ広い亜高山帯面積をもつことが分布下限標高を低下させる何らかの意味をもっているように思えるが、今後の検討を必要とする。

第6章 総合考察

1. 山岳タイプの成因

各樹種の分布特性を考慮して、太平洋型および日本海型の山岳タイプ群における山岳タイプの違いとその成因を考察する。

太平洋型の山岳タイプ群

コメツガ、トウヒおよびシラビソの分布規定標高は温度的に規定されており、標高の低いほうから順に、コメツガ、トウヒおよびシラビソの順に配列されている。また、太平洋型の山岳タイプ群は積雪深が小さいことから(図-4, 図-7), オオシラビソの分布に適した 100 cm 以上の積雪深の保証される標高域が高い標高域に出現する(図-12)。このためオオシラビソの分布規定標高は高い標高域に位置して、この標高域がシラビソの分布規定標高より高い標高にあるため、各樹種の分布規定標高は、標高の低い方から順にコメツガ、トウヒ、シラビソ、オオシラビソの順序で垂直的に配列されている。したがって、この分布規定標高と山頂標高の上下関係により、a1, b1, c, d, e1 の各山岳タイプが順序よく成立していると考えられる(図-14)。

日本海型の山岳タイプ群

日本海型の山岳タイプ群では、低い標高域ですでに 100 cm の積雪深が保証されているため、オオシラビソの分布規定標高は、温度的に生育できる範囲内で標高的に低い位置にある(図-14)。そして、これより高い標高では積雪深 800 cm の山岳まで広く分布している。このことか

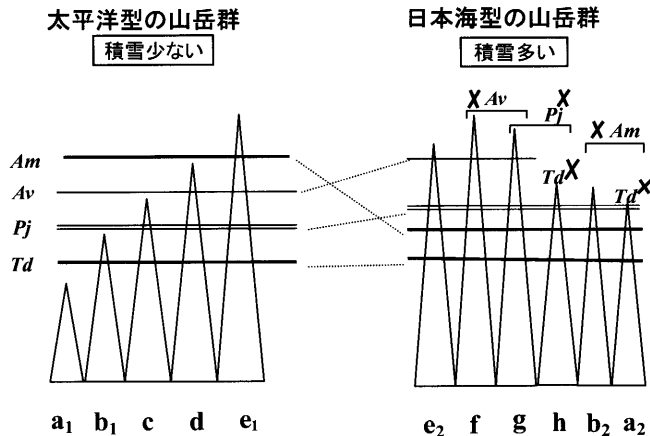


図-14 太平洋型と日本海型の各山岳タイプの成立に関する模式図

Fig. 14. Schema of the establishment of each mountain type and its relating factors of each mountain group in Pacific Ocean side and Sea of Japan side.

図中の山の形は各山岳タイプの平均的な山の高さの相対的な位置関係を示し、横線は各樹種の分布規定標高の相対的な位置関係を示す。

凡例; Td: コメツガ, Pj: トウヒ, Av: シラビソ, Am: オオシラビソ

X: 各樹種の分布規定標高より山頂標高が高いにも拘わらず、分布が制限されていることを示す。

ら、日本海型の山岳タイプ群では a2 タイプおよび数的に少ない b2 タイプを除いては、いずれのタイプにもオオシラビソが出現すると考えられる (図-14)。また、e2 タイプは温度的に規定されたコメツガ、トウヒ、シラビソの各分布規定標高より山頂標高が高く、かつ積雪による制限のないごく限られた条件を有する山岳に成立していると考えられる。e2 タイプの山岳は、そのほとんどが e1 タイプの山岳と連続していることから、e1 タイプの山岳が多雪地域になると、オオシラビソの分布規定標高がその他の 3 樹種の配列順序を保存したまま下降し、e2 タイプが成立する (図-14)。また、反対に e2 タイプから e1 タイプへの過程も考えられる。そして、日本海型の山岳タイプ群では、e2 タイプが成立する山頂標高をもつ山岳であっても、シラビソは積雪深 400 cm 以上、トウヒは 600 cm 以上の推定最大積雪深をもつ山岳では分布量が限定される (図-11-1) ために、両種の閾値の違いにより、f タイプが成立したと考えられる。また、g タイプは、トウヒの分布規定標高より山頂標高が高い山岳で、かつトウヒが分布しうる積雪深域 (図-11) であるにもかかわらず、トウヒが分布していない山岳が大部分を占めていた (表-1)。g タイプに相当する 50 の山岳のうち、14 山岳は北アルプス北部の山岳であり、実地踏査では確認できなかったが、白馬岳北方の乗鞍岳周辺にはトウヒが稀に分布する (羽田ほか 1972) との報告もあることから、f タイプの山岳でありながら、トウヒの分布量が極めて少ないことから見落としの可能性も考えられる。また、北アルプス以外の 36 山岳は、地理的に b あるいは h タイプの山岳とともにまとまりをもっている (図-2)。このことは積雪深の影響に加えて、現在トウヒの分布している e2 あるいは f タイプの山岳からの分断化や連続性といった要因が、トウヒの分布の有無に関与していると予想される。h タイプの山岳は、このようなトウヒの分布の有無に規定されるとともに、シラビソおよびコメツガの分布も積雪深が大きいことにより制限される山岳であり、多雪環境に適応したオオシラビソのみが分布することで成立していると考えられる。しかし、h タイプの積雪深は、推定最大積雪深 600 cm を超える山岳がほとんどであるため、オオシラビソの分布量自体も少ない (表-1、図-11-1)。

また、亜高山性針葉樹のみられない a2 タイプの山岳の特徴として、積雪深の多少にかかわらず、浅草岳、未丈ヶ岳、八海山などオオシラビソあるいはコメツガの分布規定標高付近に山頂標高をもつ比較的標高の低い山岳がほとんどである。このことは、これらの山岳に両樹種が分布しない要因として、山頂標高の低さが関与していることを示唆している。b2 タイプの山岳は数的に少ないながらもいずれも岩場をもつ山岳であることから、a2 タイプのうち岩尾根などの特殊な立地環境にコメツガが残存できた山岳と考えられる。また、このように多雪地域におけるコメツガの有無は、その立地環境の有無に依存する傾向が強いことから、コメツガが分布する場合、その立地環境の位置する標高により、その分布下限標高の高低が変化すると考えられる。このため日本海型の山岳タイプにおいては、コメツガとオオシラビソの出現順序 (図-8-1) と分布規定標高の位置順序が一致せず、オオシラビソより高温側 (低い標高域) にあると考えられる (図-10)。

以上の検討から、太平洋側から日本海側に向かう積雪深傾度に沿った亜高山性針葉樹の分布様式の違いは、①積雪深の多寡によって変異するオオシラビソの分布規定標高の下降上昇に起因している②その他 3 樹種の積雪深に対する適応幅の違いと、③各山岳の山頂標高の違いが、分布様式に差異を生じさせていると推察された。

2. 山頂標高により分布の有無が規定されることの地史的意味

梶 (1982) は後氷期の温暖期に上方に位置する植生帯の下限が山の高さを超える程度の上昇が

あった場合には、絶対高度が十分高くない山岳ではその植生帯は上方に押し出されてしまったと考えた（追い出し説）。この説は、地史的経緯により山岳の山頂高度自体がある樹種の分布の有無を規定している可能性を指摘したものといえる。しかし、守田(2000)は、詳細な花粉分析の結果から亜高山帯植生の変遷を検討し、山岳上部に針葉樹帯の存在を示唆するような結果が得られないことから、梶の考えた追い出し説の前提となる、森林帯の上昇は疑わしいとしている。

梶(1982)の提唱した追い出し説は、その“追い出し地点”として山頂を想定しているといえる。しかし、柳町(1984)は木曽駒ヶ岳において、最終氷期には森林限界標高は現在より900 m下降していたことを指摘し、貝塚・鎮西(1986)は最終氷期には中部山岳から東北地方の山岳にかけて、山岳上部は周氷河性地形が広くおおわれていたことを指摘している。これらの事実から、後氷期の温暖化の際に追い出し地点となったのは、山頂標高で代表される山頂ではなく、このような周氷河性地形の末端部や山頂効果の影響を受け始める標高域と針葉樹林帯の接点を追い出し地点に設定するほうが、実際に金峰山(清水・鈴木1994)、早池峰山(清水1994)、蝶ヶ岳(小泉1993)では現在において周氷河性斜面が森林限界を規定していることとの指摘を考慮すれば、より実際の意味をもつと考えられる。

したがって、梶(1982)が山頂標高に想定した追い出し地点は、丸田(2000)が、この追い出し地点を山頂効果の及ぶ標高、すなわち環境ストレスの影響を受けうる標高域であることを指摘したように、実質的にはこのような森林限界線に設定されるべきであると考ええる。そして、梶(1982)および本研究では山頂標高を代表値として、この値と亜高山性針葉樹の分布の有無との関係を捉えることができたのは、山頂標高と森林限界標高の間にはほぼ直線的な関係があること(岡1991)、貝塚・鎮西(1986)から山頂標高が周氷河性地形の規模をある程度決定していると判断されること、および山頂効果の影響を受ける標高幅が山頂標高に依存している(沖津1991)など、実質的な追い出し地点の位置が山頂標高に依存するため、結果として山頂標高が亜高山性針葉樹の分布の有無を規定する指標としての意味をもちえたものと考えられる。そして、このような追い出し地点が、後氷期の温暖化や周氷河性斜面の安定化につれて現在の位置まで上昇する(清水1994、守田2000)過程の中で、亜高山性樹種の消滅が起きていた可能性がある。

このように、日本列島において亜高山性針葉樹は山岳上部に生育することから、温度的な生育領域の消滅やその後の不連続性を経験しやすい位置にあるといえる(大森・柳町1991)。したがって、現在の分布の有無はこのような山頂標高の影響を内在している可能性がある。今後危惧される温暖化による、将来の亜高山性針葉樹の分布動態あるいは、過去の分布動態を復元するためには、森林限界の成立要因に関する地理学的あるいは生理生態学的な研究が重要な意味をもつものと考えられる。

3. 積雪が各樹種の生育に及ぼす影響

これまでの検討から、コメツガ、トウヒおよびシラビソの積雪深に対する閾値はそれぞれ異なるが、多雪環境下において分布が制限されることが指摘された(図-11)。これまでシラビソが多雪地域に分布しない理由は、積雪に対する機械的耐性の面から説明されてきた(百瀬1975、梶1982)。しかし、本研究の結果あるいは観察から、日本海型の山岳ではむしろ積雪の多い標高域に生育地が限られており、そこでは同所的更新が可能であろうと推定された。このことから、雪圧害だけによってシラビソの生育が阻害されるとは考えられない。

エゾマツやアカエゾマツの実生の定着は、暗色雪腐れ病菌の影響を強く受けるとされており(佐保・高橋 1974, 程 1989), コメツガに関しては、この影響を強く受けている可能性が推察されている(杉田 2002)。長野県横手山周辺ではシラビソが群状に生育することが多くみられた。このことから、同山域ではシラビソは群状あるいは根株上で更新している可能性が示唆され、多雪環境下における同種実生の定着に局所的な立地環境の違いが影響し、ひいては更新および分布の有無に関与している可能性が示唆される。ただ、佐藤ほか(1959)は、シラビソとオオシラビソの間に雪腐れ病の罹病性に差がないことを報告しており、シラビソの分布を制限している要因の特定は、前述の融雪の時期などを含めて今後の課題である。また、トウヒは同種が倒木更新に依存していること(浜尾・大沢 1984, 矢頭 1963, 1965)を考慮すると、実生の定着に適した立地環境の特異性が、分布量あるいは分布の有無に関与している可能性が示唆されるほか、同種の分布する山岳との連続性や分断化といった要因が、積雪深の多寡とともにトウヒの分布の有無に関与していると予想される。

4. オオシラビソとシラビソの分布様式

これまで亜高山性モミ属 2 種の垂直分布の上下関係に関しては、両種の水平分布の位置関係から、オオシラビソが垂直的にシラビソより上部に出現することが一般的な傾向とされてきた。しかし、大森・柳町(1991)の資料を基にすると、緯度の影響を考慮しても、東北地方におけるオオシラビソの分布域の方がむしろ中部日本のそれに比べて温度的に高い位置に分布していることがわかる。このことは、オオシラビソのほうがシラビソよりも寒さに対する耐性が低い(梶 1982)ことと整合性を持つ。したがって、太平洋型の山岳タイプ群においてオオシラビソがシラビソより高い標高域に出現する要因を、両種の水平分布から想定される寒さに対する耐性の違いによって説明するのではなく、オオシラビソの分布に適した積雪深を満たす標高域が、太平洋側の山岳では高い標高域に位置することにその要因を求めた本研究の結論は、オオシラビソが冬季の寒害や乾燥害を回避するため積雪が必要であると考えれば、より妥当性をもつと考えられる。

また、これまで地域や山の高さによってオオシラビソとシラビソの上下関係に定まった見解が得られないとされてきた(梶 1982, 中田 1989)が、本研究の検討結果からオオシラビソとシラビソの分布様式の違いに関して整理を行うと、両種が分布する e タイプの山岳は e1 および e2 の 2 つの山岳タイプがあることが認められ、両種の垂直的な分布域の上下関係は地理的な規則性をもって成立していることがわかった。したがって、梶(1982)の指摘したハヶ岳の天狗岳において低標高域にシラビソが優勢であるという現象は、e1 タイプの特徴であるシラベ垂帯の存在によると考えられる。また同山において高標高域になると再びシラビソが優占する傾向(梶 1982)は、ハヶ岳一帯の標高 2,400–2,600 m 付近の標高域に普遍的に見られるほか、金峰山山頂の北西斜面の標高 2,400–2,500 m, 日光白根山の森林限界付近, 温泉ヶ岳や女峰山頂(長谷川 1984), および中央アルプス将棊頭山(標高 2,740 m)の標高 2,500 m 以上の稜線部(戸田・新田 2002 林学会発表)などのように、太平洋型の山岳においては、特に稜線部にシラビソが優勢な傾向が見られる。逢沢ほか(2002)はこの現象を水分生理的な観点から、両種の春先の乾燥ストレスに対する耐性の違いによって説明した。また、甲斐駒ヶ岳や秩父山系において南よりの斜面でシラビソの優占する現象(中田 1987, 1989), 反対に富士山ではオオシラビソが局所的(遠山 1966)にしか見られない現象、および e1 タイプの特徴であるシラベ垂帯の成因、すなわちオオシラビソ

が 100 cm 以下の積雪深域では分布が制限されることも、水分生理学的な両種の耐乾性の違いによって説明できる可能性が示唆される。また、志賀高原周辺山岳では上部にシラビソが出現する現象（渡辺 1977）は、梶（1982）、中田（1989）の中で言及されてはいるが、十分な論議はなされていない。この現象は、本研究における一連の調査の結果、日本海型の山岳タイプ群においてシラビソの分布によって特徴づけられる e2 タイプの山岳と位置づけられた。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、東京大学大学院新領域創成科学研究科大森博雄教授からは、地理学的な解析方法について懇切なご教示をいただいた。また東邦大学丸田恵美子助教授からは、亜高山性針葉樹に関する生理生態学的な知見をご教示いただいた。さらに東京大学農学部森林植物学教室松下範久講師には、度重なる文献閲覧および標本室閲覧の際にさまざまな便宜を図っていただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

また分布資料作成のための分布に関する情報をご提供いただいた、森林総合研究所東北支所・杉田久志氏、同支所・池田重人氏、斎藤 慧氏、新潟県森林研究所・金子岳夫氏、新津地域学園・石沢 進氏、栃木県植物研究会・長谷川順一氏、森林総研多摩森林科学園・勝木俊雄氏、山梨森林総合研究所・清藤城宏氏、長野県植物研究会・清水建美氏、同会・浅野一男氏、同会・中山洸氏、石川県白山自然保護センター・野上達也氏、福井市自然史博物館・渡辺定路氏、富山大学理学部・鳴橋直弘氏、静岡大学農学部・角張嘉孝氏、愛知教育大教育学部・芹沢俊介氏、広島大学理学部・出口博則氏、荒金正憲氏、ならびに標本閲覧に種々の便宜を図っていただいた、秋田県立博物館、岩手県立博物館、山形県立博物館、東北大学大学院理学研究科、東北大学理学部植物園、宇都宮大学農学部、同大学農学部森林植物学教室、栃木県立博物館、群馬県立自然史博物館、千葉大学園芸学部、千葉県立中央博物館、埼玉県立自然史博物館、森林総研植物標本室、国立科学博物館筑波植物園、東京都立大学牧野博物館、東京大学小石川植物園、同大学農学部森林植物学教室、東京農業大学農業資料室、玉川大学農学部、神奈川県立生命の星・地球博物館、森林総研多摩森林科学園標本室、金沢大学理学部標本庫、同大薬学部附属薬用植物園、富山科学文化センター、福井市自然史博物館、長岡市立博物館、都留文化大学教育学部、信州大学理学部生物学科、岐阜県立博物館、京都大学総合博物館の関係者の方々に心より感謝申し上げます。

要 旨

亜高山性針葉樹の分布様式に関しては、特にオオシラビソを主体とした東北地方の山岳を中心に地史的観点から、その成因および成立過程について研究が行われてきた。このことから、オオシラビソ以外の亜高山性樹種の多く見られる太平洋側の山岳を含めた、亜高山性樹種の分布および垂直的配列についての成因や成立過程の研究が必要と考えられる。本研究は、中部山岳地域の太平洋側地域から日本海側地域への積雪深傾度に沿って成立する亜高山性針葉樹の分布様式の地域的な差異を明らかにし、その成因を解明することを試みた。

1) 亜高山性針葉樹の分布様式を把握するための基礎資料として、オオシラビソ、シラビソ、トウヒおよびコマツガの水平・垂直分布を明らかにした。その方法として東日本を中心に 27 の標本所蔵機関において標本調査を実施するとともに、中部山岳地域の 113 の山岳について実地踏査を行った。これに文献調査を加えて、標本に基づいた分布情報の整理と構築を行った。

2) 分布情報の得られた 284 の山岳は、各山岳における対象樹種の分布の有無によって a から h の 8 つのタイプに分けられた (山岳タイプと名付けた)。このうち e タイプはシラビソとオオシラビソの分布下限標高の上下関係から、さらに 2 つのサブタイプに分けられた。各山岳タイプは地図上で 2 つの地域に分けられ、それぞれを“太平洋型”と“日本海型”の山岳タイプ群と名づけた。

3) 太平洋型および日本海型の山岳タイプ群に属する各 3 つ、計 6 つの山岳において、標高別の積雪深を測定した。また、実測によって得られた最大積雪深値と気象協会 (1959) の最大積雪深図の値を比較したところ、両者の間に高い相関が認められたことから、この関係を用いて最大積雪深の推定式を作成して、個々の山岳における最大積雪深 (推定最大積雪深と名付けた) を求めた。これらの結果から、太平洋型と日本海型の両山岳タイプ群の間に水平・垂直的な積雪深の傾度が存在することが明らかになった。また、積雪深の違いが両型の山岳タイプ群を分かつ要因として重要であることが確認された。

4) 各山岳タイプの成因を明らかにするため、各樹種の分布下限標高と山頂標高の関係および各樹種の分布と積雪深の関係を検討した。その結果、各樹種は、分布下限標高の平均値 (分布規定標高と名付けた) より高い山頂標高を持つ山岳にのみ分布していた。このことから、各樹種の分布は分布規定標高より山頂標高が高いか低いかにによって規定されると考えられた。そして、各樹種の分布規定標高は樹種間で垂直的な配列順序が存在するため、それによって各山岳タイプが決まると考えられた。オオシラビソ以外の 3 樹種は両山岳タイプ群間で配列順序に変化が認められないことから、それらの分布下限標高は気温によって規定されていると考えられた。一方、オオシラビソは両山岳タイプ群間で分布下限標高が著しく異なっていたことから、積雪が大きく関与していることが示唆された。また、シラビソとトウヒは日本海型の山岳タイプ群においては、分布下限標高の平均値より高い山頂標高をもつ山岳であっても、その分布を欠く山岳が数多くあった。それらの山岳のほとんどは推定最大積雪深 500 cm を超える山岳であることから、積雪深によって分布が制限されていると考えられた。

5) 積雪に対する各樹種の適応幅の違いを、各生育地における生育量と積雪深の関係、および各山岳における分布量と推定最大積雪深の関係から評価した。この結果、コマツガは推定最大積雪深の大きい山岳にも分布するが、生育地は積雪深 200 cm 以下の部分的に積雪の少ない所に多く見られた。シラビソは推定最大積雪深 400 cm 以下の山岳および積雪深 300 cm 以下の生育地に多く分布していた。トウヒは推定最大積雪深 600 cm を超えると分布量が減少した。

オオシラビソの生育量と積雪深の関係を検討した結果、オオシラビソは 100 cm から 500 cm の積雪深域に生育量の中心があると考えられた。標高と積雪深の関係から、太平洋型の山岳タイプ群では 100 cm 以上の積雪深は高い標高域にあり、日本海型の山岳タイプ群では、低い標高域で 100 cm 以上の積雪深を満たしていた。このことから、オオシラビソの分布規定標高は、太平洋型の山岳タイプ群では高い標高域に位置し、日本海型の山岳タイプ群では、温度的に分布可能な低い標高域まで下降していると考えられた。

以上の検討から、太平洋側から日本海側に向かう積雪深傾度に沿った亜高山性針葉樹の分布様式の違いは、①積雪深の多寡によって変異するオオシラビソの分布規定標高の下降上昇に起因していること、②その他 3 樹種の積雪深に対する適応幅の違いと、③各山岳の山頂標高の違いが分布様式に差異を生じさせていることが明らかになった。

キーワード：亜高山性針葉樹，分布様式，積雪深，山頂標高，中部日本

引用文献

- 逢沢峰昭・丸田恵美子・梶 幹男 (2002) 北八ヶ岳における亜高山性モミ属樹種の分布に関する生理生態学的研究. 第113回日林学術講: 582.
- 浅見佳世・武田義明・服部 保 (1987) 亜高山帯針葉樹の分布と立地条件—正準相関分析を用いて—. (中西哲博士追悼植物生態・分類論文集, 神戸群落生態研究会). 325-336.
- Barbour, M. G., Berg, N. H., Kittel, G. F. and Kunz, M. E. (1991) Snowpack and the distribution of a major vegetation ecotone in the Sierra Nevada of California. *J. Biogeography* **18**: 141-149.
- ト蔵建治・福地恒夫 (1994) 八甲田の降積雪特性に関する研究. *雪氷* **56**(1): 57-62.
- 程 東昇 (1989) エゾマツの天然更新を阻害する暗色雪腐れ病菌による種子の地中腐敗病. *北大農演研報* **46**: 529-575.
- 中央気象台編 (1949) 雪の気候図. 日本積雪連合.
- Franklin, J. E., Maeda, T., Ohsumi, Y., Matsui, M., Yagi, H. and Hawk, G. M. (1979) Subalpine coniferous forests of Central Honshu, Japan. *Ecol. Mongr.* **49**(3): 311-334.
- 福田喜代志 (1959) 日本の最深積雪深について, 第1部 山岳地の積雪について. *雪氷* **21**(3): 65-70.
- 濱尾章二・大沢雅彦 (1984) 尾瀬におけるオオシラビソ林の更新. *森林立地* **26**(1): 20-24.
- 原田裕介・新田隆三・前原 徹・北村 淳 (1997) 中央アルプス山岳林における積雪—3寒候期—. *日本雪水学会全国講演予稿集*: 121.
- 長谷川順一 (1984) 日光の森林植生と気候. *植物と自然* **18**(6): 14-18.
- 羽田建三・平林国男・八幡泰平・小林圭介 (1972) 北アルプス乗鞍岳, 風吹岳周辺の植生. *信州大学教育学部志賀自然教育施設研究業績* **11**: 41-64.
- 林 弥栄 (1951) 日本産重要樹種の天然分布 1. *林試研報* **48**: 1-240.
- 林 弥栄 (1952) 日本産重要樹種の天然分布 2. *林試研報* **55**: 1-251.
- 林 弥栄 (1960) 日本産針葉樹の分類と分布. 194 pp, 農林出版, 東京.
- Horikawa, Y. (1972) *Atlas of the Japanese Flora*. GAKKEN, Tokyo.
- 今西錦司 (1937) 垂直分布の分ち方について. *山岳* **31**: 269-364.
- 石沢 進 (1970) 飯豊連峰の植物. *新潟農林研究* **22**: 153-166.
- 石沢 進 (1978) ユキツバキの分布と気候. (吉岡邦二博士追悼植物生態論集. 東北植物生態懇話会, 仙台). 296-308.
- 石塚和雄 (1978) 多雪山地亜高山帯の植生 (総合抄録). (吉岡邦二博士追悼植物生態論集. 東北植物生態懇話会, 仙台). 404-428.
- 貝塚爽平・鎮西清高編 (1986) 日本の山. 259 pp, 岩波書店, 東京.
- 梶 幹男 (1982) 亜高山性針葉樹の生態地理学的研究—オオシラビソの分布パターンと温暖気候の影響. *東大演報* **72**: 31-120.
- Kajimoto, T., Seki, T., Ikeda S., Daimaru, H., Okamoto, T. and Onodera, H. (2002) Effect of snow fluctuation on tree growth and establishment of subalpine *Abies mariesii* near upper forest-limit of Mt. Yumori, northern Japan. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* **34**(2): 191-200.
- 神奈川県植物誌調査会編 (1988) 神奈川県植物誌 1988. 1442 pp, 神奈川県立博物館.
- 神奈川県植物誌調査会編 (2001) 神奈川県植物誌 2001. 神奈川県立生命の星・地球博物館.
- 兼子嘉次・馬場多久男 (1992) 西駒演習林登山ルートの植物分布. *信州大演報* **29**: 97-129.
- 気象協会 (1959) 最深積雪深図 (I-IV).
- 気象庁編 (2002) メッシュ気候値 2000 (CD-ROM 版). 気象庁業務支援センター.
- 小泉武荣 (1993) 日本の山はなぜ美しい—山の自然学への招待. 228 pp, 古今書院, 東京.
- Kume, A. and Ino, Y. (1993) Comparison of eco-physiological response to heavy snow in two varieties of *Aucuba japonica* with different distribution area. *Ecological Research* **8**: 111-121.
- 倉田 悟 (1971) 原色日本林業樹木図鑑第1巻 (改定版). 331 pp, 地球出版, 東京.
- 前田禎三・島崎芳雄 (1951) 秩父山岳林植生の研究 (第1報) 亜高山帯及び高山帯群落に就いて. *東大演報* **39**: 171-184.
- 丸田恵美子 (2000) 森林限界のなりたち. (高山植物の自然史 お花畑の生態学. 工藤 岳編著, 北海道大学図書刊行会). 53-66.
- 百瀬行男 (1975) モミ属の特性と雪害. *林業試験場木曽分場年報*: 58-63.

- 守田益宗 (2000) 最終氷期以降における亜高山帯植生の変遷—気候温暖期に森林帯は現在より上昇したか?—, 植生史研究 **9**(1): 3-21.
- 村上茂樹・小川真由美・坪山良夫・志水俊夫・谷 誠・野口正二・山野井克己・大谷義一・吉野昭一 (1996) 森林流域における融雪流出の研究 (I) 試験地の概要と積雪水量の高度依存性, 日本雪水学会全国講演予稿集: 100.
- 村松郁栄・佐藤 茂・梅林 正・武田 徹・加藤 明 (1990) 衛星写真を考慮した本州の積雪分布図, 雪氷 **52**: 1-11.
- Nagai, S., Ohta, H. and Shoji, T. (1979) The Vegetation of Mt. Sogadake, The Japan North Alps. Bull. of the Toyama Science Museum **1**: 45-90.
- 長野県植物誌編纂委員会編 (1997) 長野県植物誌, 1735 pp, 長野県植物誌編纂委員会, 信濃毎日新聞社, 長野.
- 中田 誠 (1987) 本州中部亜高山帯における森林立地学的研究 (III) シラベとオオシラビソの分布特性について, 98 回日林講: 173-174.
- 中田 誠 (1989) 奥秩父亜高山帯における森林植生と立地特性に関する研究, 東京大学農学部博士論文, 111 pp.
- 新潟県植物同好じねんじょ会 (1980-2000) 新潟県植物分布図集, 1~20 巻, 新潟県植物同好じねんじょ会, 新潟.
- 野手啓行・沖津 進・百原 新 (1998) 日本のトウヒ属バラモミ節樹木の現在の分布と最終氷期の分布変遷, 植生史研究 **6**(1): 3-13.
- 大場達之 (1973) 清津川上流域の植生, (清津川ダム計画に関する学術調査報告, 日本自然保護協会), 57-126.
- 大森博雄・柳町 治 (1990) 東北地方山岳域における主要構成樹種垂直分布の上限, 下限の温度領域と古気温の推定に有効な樹種, 地理学評論 **63A**: 100-118.
- 大森博雄・柳町 治 (1991) 東北地方における主要樹種の温度領域からみた「偽高山帯」の成因, 第四紀研究 **30**(1): 1-18.
- 岡 秀一 (1991) わが国山岳地域における森林限界高度の規定要因について, 地学雑誌 **100**(5): 673-696.
- 沖津 進 (1991) ハイマツ群落の現存の分布と生長からみた最終氷期における日本列島のハイマツ帯, 第四紀研究 **30**: 281-290.
- 落合圭次 (1972) 亜高山帯の森林, 中部山岳のアオモリトドマツ群団域, みどり **24**(1): 36-51.
- 佐保春芳・高橋郁雄 (1974) エゾマツとトドマツの天然分布に関する菌類, 林業技術 **388**: 6-8.
- 斎藤全生 (1967) 大井川源流地帯の植物, 静岡大農学部研究報告 **17**: 103-151.
- 佐藤邦彦・庄田次男・太田 昇 (1959) 針葉樹の雪腐れ病に関する研究-II, 林試研報 **124**: 22-95.
- 関 省吾 (1986) トウヒ, 新潟県植物分布図集 **7**: 40-44, 新潟県植物同好じねんじょ会.
- 四手井綱英 (1952) 奥羽地方の森林帯 (予報), 日林東北支誌 **2**(2): 2-8.
- 清水長正 (1994) 早池峰山における斜面地形に規定された森林限界, 季刊地理学 **46**: 126-135.
- 清水長正・鈴木由告 (1994) 秩父山地金峰山における周水河性岩塊斜面と森林限界の関係について, 地学雑誌 **103**: 296-294.
- 森林立地懇話会編 (1972) 日本森林立地図, 19 pp+4 maps, 農林出版, 東京.
- 杉田久志 (1982) 亜高山帯針葉樹林の分布状態と積雪深および亜高山帯域の広さとの関係—上越山地を中心とする地域について—, 日生態誌 **37**: 175-181.
- 杉田久志 (1988) 本州中北部の亜高山帯針葉樹林に関する生態地理学的研究—特に東北地方におけるオオシラビソ林帯欠如の成因について—, 東京大学農学部博士論文, 107 pp.
- Sugita, H. (1992) Ecological geography of the range of *Abies mariesii* forest in northeast Honshu, Japan, with special reference to the physiographic conditions. Ecological Research **7**: 119-132.
- 杉田久志 (2002) 亜高山帯林の背腹性とその成立機構—コメツガとアオモリトドマツの実生定着と積雪環境—, (雪山の生態学 東北の山と森から, 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編著, 東海大学出版会, 東京), 106-122.
- 鈴木由告・手塚映男 (1971) 富士山の森林群落の構造特性と垂直分布, 富士山総合調査報告書, 富士急行.
- 田島節夫 (1948) 男体山山頂の積雪について, 雪氷 **10**: 80-83.
- 高橋啓二 (1960) 植物分布と積雪, 森林立地 **2**(1): 19-24.
- 高橋啓二 (1962) 本州中部森林における垂直分布の研究, 林試研報 **142**: 1-171.
- 田中信行 (1986a) ブナ・アオモリトドマツ混交林の立地, 東大演報 **75**: 119-140.
- 田中信行 (1986b) ブナ・アオモリトドマツ混交林の構造と更新, 東大演報 **75**: 141-197.

- 田中信行 (1986c) ブナ・アオモリトドマツ混交林の更新に関する環境要因. 東大演報 75: 197-212.
- 館脇 操・伊藤浩司・遠山三樹夫 (1963) コメツガ林の群落研究. 北大演報 23: 83-146.
- 遠山三樹夫 (1966) 富士山の亜高山帯針葉樹林—富士山の森林植生第 IV 報—. 北大農邦文紀 6(1): 1-34.
- 土田勝義・三木 昇 (1974) 乗鞍岳の森林植生の組成と構造. 長野県植物研究会誌 7: 57-79.
- 植松春雄 (1967) 南アルプスの植物. 585 pp, 井上書店, 東京.
- 植松春雄 (1981) 山梨の植物誌. 595 pp, 井上書店, 東京.
- 渡辺隆一 (1977) 志賀高原の植物分布 I, モミ属 (*Abies*) の分布. 信州大学教育学部志賀自然教育施設研究業績 16: 1-4.
- 矢吹裕伯・大畑哲夫・瀬古勝基・上田 豊・飯田 肇 (1991) 北アルプス立山山域の積雪分布の変動特性 (I). 日本雪水学会全国講演予稿集: 2.
- 柳町 治 (1984) 木曽山脈北部における最終氷期の地形形成帯・植生帯の垂直分布. 地理学評論 57: 110-121.
- 矢野勝俊・高橋 桂・土佐林正明・安部博之・稲永 宏・後藤大助・石田智久・伊藤義衡・田中佐智子・長澤一雄・沼澤喜一・佐藤篤司・矢部尚哉・奥山浩一 (1993) 蔵王山地域総合積雪調査 I. 日本雪水学会全国講演予稿集: 13.
- 山形県総合学術調査会編 (1969) 吾妻連峰. 山形県総合学術調査報告書.
- 山梨県立巨摩高校「楡形山の自然」編纂委員会 (1976) 楡形山の自然. 270 pp, 山梨県立巨摩高校, 山梨.
- 矢頭献一 (1963) 紀伊半島亜高山林の生態学的研究 (II). 三重大農学報 28: 101-126.
- 矢頭献一 (1965) 紀伊半島亜高山林の生態学的研究 (IV). 三重大農学報 32: 35-54.

(2003 年 4 月 30 日受付)

(2003 年 11 月 10 日受理)

Summary

Previous studies reported that the distribution pattern of subalpine conifers, especially *Abies mariesii* (*Am*) in the Tohoku district, has been affected by the climatic change following the last glacial period. Therefore, further research including the distribution pattern of other subalpine conifers, *Abies veitchii* (*Av*), *Picea jezoensis* var. *hondoensis* (*Pj*) and *Tsuga diversifolia* (*Td*), in the mountains located on the Pacific Ocean side is necessary in order to predict more general dynamics of subalpine coniferous forest resulting from climatic change. From the above-mentioned point of view, the differences and establishment of natural distribution patterns of subalpine conifers along the gradient of snow depth from the Pacific Ocean side to Sea of Japan side of central Japan are discussed.

1) Reliable distribution data of four subalpine coniferous species were obtained by examining specimens at 27 herbariums and by conducting field investigations over 113 mountains.

2) From the distribution data, 284 mountains were classified into eight mountain types (a to h) based on the composition of conifer species in each mountain. Among these types, type e was further divided into two subtypes based on the altitude of the lower boundary of two *Abies* species. Then 8 mountain types were mapped and categorized into two groups by their geographical distribution. One, Pacific Ocean group (G1), consisted of mountain types a, b, c, d, and e1 ranging from the Pacific Ocean side to central Honshu. The other was Sea of Japan group (G2) consisting of the mountain types a, b, e2, f, g and h located from central Honshu to the Sea of Japan side.

3) Actual snow depth in e1 and e2 was measured on six mountains along with altitude. Using these snow depth data with measured and maximum snow depth data maps (Japan Weather Association 1959), a multiple regression equation was obtained to estimate the maximum snow depth in various mountains. As the result, mountain groups G1 and G2 were clearly distinguished horizontally and vertically by differences in snow depth. The snow depth of the mountains in G1 was much less than that of the mountains in G2.

4) From the distribution data for each conifer species in each mountain and data of the

lower boundary of each conifer, the possible altitude of the mountain summit, which would allow each species to be indigenous to the mountain, was illustrated. As the result, with increasing altitude of mountain summits, conifer species appeared in the order; $Td \rightarrow Pj \rightarrow Av \rightarrow Am$ in G1 and in the order $Am \rightarrow Td \rightarrow Pj \rightarrow Av$ in G2. With increasing altitude in each mountain group, the lower boundaries of the conifers were arranged in the order; $Td \rightarrow Pj \rightarrow Av \rightarrow Am$ in G1 and $Td \rightarrow Am \rightarrow Pj \rightarrow Av$ in G2. Although the altitudinal ordering of the lower boundaries of Td , Pj and Av was the same in both mountain groups, the lower boundary of Am in G2 was significantly lower than it was in G1. This fact suggests that the differences in snow depth between the two mountain groups changed the lower boundary of Am . Since the lower boundary of each conifer species was constantly ordered, the mountain types were determined depending upon whether the altitude of the mountain summit was higher or lower than the lower boundary of the conifers in question. That is, with increasing altitude of mountain summits, the 8 mountain types were arranged in the order; $b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e1$ in G1 and in the order $h \rightarrow g \rightarrow f \rightarrow e2$ in G2. In G2, however, there were numerous mountains where Td , Pj and Av were not distributed in spite of the altitude of the summit being higher than the lower boundary of these species. These mountains correspond to those having snow depths of more than 500 cm. Thus in G2, the difference in adaptability to snow depth between the four species seemed also to be an important determinant factor for their distribution.

5) The differences of adaptability to the snow depth among four species were evaluated. It was found that Td was distributed widely in the mountains with heavy snow, but the actual snow depth in most of its growing habitat was restricted to less than 200 cm. In case of Av , the snow depth in the mountains and its growing habitats was less than 400 cm. Pj was not distributed abundantly in most of the mountains, but its distribution range was found in the mountains with snow depth up to 600 cm. On the other hand, Am was distributed abundantly in the mountains with heavy snow, but its growth was restricted in the habitats with snow depth less than 100 cm. From the relationship between altitude and snow depth, the lower altitude where the snow depth reaches more than 100 cm was much higher in G1 than in G2. Therefore, the distribution and growth of Av and Pj were conspicuously prevented from heavy snow environments in G2, while Am expanded its distribution range to the lower altitudinal regions in G2. On the other hand, the distribution range of Am was restricted to higher altitudinal regions in G1. Consequently, the following conclusions were reached. The natural distribution patterns of subalpine conifers were determined by ①the expansion of the vertical distribution range of *A. mariesii* with increasing snow depth, ②the differences of adaptability to snow depth among the other three conifers and ③the differences of the possible distribution altitudes of mountain summits.

Key words: subalpine conifer, distribution pattern, snow depth, altitude of mountain summit, central Japan

Abstract

Estimation of the Number of Tourists and the Characteristics of Tourism Demand on Yakushima Island —A Better Method of Estimating Tourism Statistics in the Case of Remote Islands—

Shigemitsu SHIBASAKI, Yusuke SAKATA and Shin NAGATA

This paper aims to find a better way of estimating tourism statistics by extracting a sample at a certain rate. A questionnaire survey was conducted to estimate the number of tourists on Yakushima Island. The percentage of visitors who were tourists was estimated to be between 65–69%, which was larger than the figure published by the Kagoshima prefectural office (60%). Most tourists during the off-season joined package tours, while most in the tourist season did not. There is a possibility that overuse of mountainous areas may cause depletion of environmental assets.

The Natural Distribution Patterns of Subalpine Conifers in Central Japan

Mineaki AIZAWA and Mikio KAJI

In order to investigate the relationship between natural distribution patterns of subalpine conifers and environmental factors along the gradient from the Pacific Ocean side to the Sea of Japan side in central Japan, 284 mountains were categorized into eight mountain types based on the composition and vertical distribution range of four conifers in each mountain. As a result, it was found that natural distribution patterns of subalpine conifers were determined by ①the expansion of the vertical distribution range of *Abies mariesii* with increasing snow depth, ②the differences of adaptability to snow depth among the other three conifers and ③the differences of the height of the mountains.