

高山帯・亜高山帯植生と気候条件の統計的関連性

清水 庸*・池 亀 泰 央*・名 取 俊 樹**・大 政 謙 次*

*東京大学大学院農学生命科学研究科

**国立環境研究所

Statistical analysis of relationships between alpine and subalpine vegetation and climatic conditions. Yo SHIMIZU (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan), Yasuhisa IKEGAME (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan), Toshiki NATORI (Environmental Biology Division, National Institute for Environmental Studies, Ibaraki 305-8506, Japan) and Kenji OMASA (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan). *Japanese Journal of Ecology* 52: 25-34 (2002).

Relationships between the distribution of mountain vegetation and climatic conditions in the Hokkaido region were analyzed using grid data and statistical analysis. Temperature, snow depth and precipitation conditions interactively affect the distribution of mountain vegetation, and changes in these conditions would influence it under climate change. In this study alpine and subalpine vegetation was analyzed in relation to climatic conditions, consisting of monthly temperature, snow depth and precipitation. Statistical analysis was done on the following groups: 1) alpine and subalpine vegetation types; 2) plant communities in the alpine vegetation; 3) plant functional types - evergreen coniferous and deciduous broad-leaved forest - in the subalpine vegetation. Based on results of histograms and discriminant analysis, the accumulated monthly maximum temperature in summer (AMTS) was statistically the most significant indicator influencing the distribution of the two vegetation types compared with other climatic conditions. The subalpine vegetation distribution was positively correlated with AMTS. For relationships between climatic conditions and the distribution of plant communities and plant functional types in the alpine and subalpine vegetation, the maximum snow depth (MSD) was more influential than other conditions. There was a significant positive correlation between the snow bed vegetation distribution and MSD in the alpine vegetation. The distribution of evergreen coniferous forest was negatively correlated with MSD in comparison with deciduous broad-leaved forest in the subalpine vegetation.

Key Words : Alpine and subalpine vegetation, Climatic conditions, Grid data, Plant community, Statistical analysis

はじめに

IPCC (1996) は、気候変化の影響評価のひとつとして、植生分布の変化に着目している。そのなかで、気温、降水量などの条件が山岳植生の分布に影響を与えること

を言及した上で、特に森林限界から高木限界にかけてのエコトーンにおいて、近年の温暖化に適応して分布を上方に移動させる種と、現植生のうち、適応が遅く残存した種との間での競争に、気候条件が影響を及ぼすことを指摘している。温暖化が日本の山岳植生の分布に及ぼす影響を予測するためには、気候条件との関連性に着目する必要がある。日本では十分な降水があるので、温度条

2001年5月21日受付, 2002年1月23日受理

件が植生分布を規定する条件となり、温量指数が植生分布と対応が良いとされ(吉良 1948), 増田(1972)は北海道地域におけるトドマツ, ハイマツなどの針葉樹林を対象として, 樹種ごとに異なる温量指数の分布幅を明らかにしている。また野上・大場(1991)や野上(1994)は近年, 整備が進んでいるメッシュデータを利用して, 温量指数と植生帯や植物群落との関連性を再検討しており, 気候変化を温量指数の増減により表現し, その際の植生分布の予測を行っている。積雪環境と植物の関連性については, 酒井(1982)が積雪の生理・生態学的な影響として, 冠雪害・雪圧害, 生育期間の短縮・生育温度の低下, 寒さと乾燥害からの保護, 積雪下の暗黒・多湿による病気の発生を挙げており, 石塚(1979)や杉田(1987, 1988)は, ブナなどの落葉樹, 亜高山帯針葉樹林, 高山帯植生の分布と積雪深の関係をまとめている。一方, 気温, 積雪深以外の条件の重要性も指摘されており, 沖津(1984a, b, 1985)は北海道のハイマツ帯を対象とした一連の研究のなかで, その分布が気温により一義的に決定せず, 季節風や岩塊斜面に影響を受けることを示し, 大角(1975)は北アルプスの調査から, 高山帯の植物群落と土壌との間に強い関連性があることを指摘している。このように山岳植生の分布と環境条件の関連性に着目して多くの研究が進められてきているが, 気候変化の影響がどのようなプロセスで植生分布に及ぶのかについては必ずしも明らかにされているわけではない。気候条件のみに着目した場合でも, 諸条件の複合性の検討は十分とはいえない。本研究では, 温暖化を主とする気候変化に最も直接的に関わる気温, 積雪深そして降水量条件の3種類の気候条件に着目する。メッシュデータを用いて, これらの気候条件と植生分布の統計的関連性を広域で検証し, 同時に, 複合的な気候条件により, 植生の分布が規定されるなかで, どの条件が最も影響を与えるかを明かにする。具体的には, 植生データのメッシュ数を基にして国内の高山帯・亜高山帯植生の約7割が分布している北海道地域を対象として, それら2つの植生帯の分布, ならびに, 高山帯植生を構成する植物群落, そして亜高山帯植生の植物群落をフェノロジーや葉の形態により区分した常緑針葉樹と落葉広葉樹の群集タイプ(以後, 群集タイプ)別の分布について, 気候条件との関連性を分析する。

分 析 方 法

メッシュデータ

実地踏査による研究では, 詳細なデータによる分析が

可能である一方, 広域を対象とすることは難しい。本研究では広域を対象とすること, 加えて植生と気候条件の関連性を統計解析により分析するため, メッシュデータを使用する。植生データは, 1983年から1987年を調査年次とする第3回自然環境保全基礎調査の植生調査データを環境省がメッシュデータ化したものを使用しており, 植生区分のうち, 寒帯・高山帯自然植生と亜寒帯・亜高山帯自然植生に分類されているものを, それぞれ, 高山帯, 亜高山帯植生として, 本分析に用いた。各植生帯は更に植物群落に分けられる。メッシュ単位は緯度30秒, 経度45秒にて区切られる基準地域メッシュサイズ(約1 km²)である。この植生データは, 小門選択法と呼ばれる一貫した手法に基づいて作成されており, 全国を網羅するデータである。気候データとの重ね合わせを含めて, 空間解像度のより高いデータは存在せず, 現在利用可能なものとして最も信頼のおけるデータであることから, 本分析に使用した。

高山帯植生の定義は増沢(1997)によりまとめられており, 木本限界以上を高山帯と定義する場合と高木限界以上でありハイマツなどの矮性低木林を含めて高山帯と定義する場合の2通りに分けられる。後者の定義は, 日本において, 木本種であるハイマツの群落内部および周辺部に多くの草本植物が同所的に生育していることを理由としている。本研究に用いた自然環境保全基礎調査の植生分類は後者の定義に従った分類となっている。

気候データは, 植生データと同じメッシュシステムを採用しているメッシュ統計値を使用した。メッシュ統計値は, 約30年間の平均値となる平年値をメッシュデータ化したものであり, 月別(平均, 最低, 最高)の気温, 月累積・年累積の降水量, 月別の最深積雪深データを収録している(詳しくは気象庁観測部産業気象課 1985, 1989; 岡村ほか 1989を参照のこと)。

本研究では自然植生を分析対象とするため, 人為的影響を受けた代償植生とは異なり, 近年, その分布に著しい変化はないと考えられる。したがって統計解析から得られる植生分布と気候条件の関連性は, 一時的なものではなく, 平均的な気候条件と植生分布に基づいたものとなる。

統計解析

気候条件との関連性の分析は, 以下の3つに分けて行った。

(1)高山帯植生・亜高山帯植生の植生帯と気候条件の関連性, (2)高山帯の植物群落と気候条件との関連性, (3)亜高山帯の植物群落を落葉広葉樹と常緑針葉樹に分類し

た群集タイプと気候条件の関連性である。

植生分布の温暖化影響評価において、分析単位は植生帯から植物群落までさまざまである。植物の生理生態学的プロセスを取り込んだプロセスモデル（例えば、HAXELTINE & PRENTICE 1996）では、常緑針葉樹や落葉広葉樹の群集タイプごとに純一次生産力の推定を行い、それらの大小に基づいて、植生分布の推定を行っている。群集タイプは、温暖化影響評価において考慮すべき植生の分類と位置づけられるため、気候条件との関連性を統計的に把握する必要がある。

気候条件は、寒暖をそれぞれ表すものとして、温量指数と夏季（5月～8月）積算最高気温、そして最寒月最低気温を用い、降水量条件は年間と季節的な降水量の偏りを考え、年間降水量と夏季（5月～8月）降水量を、積雪深条件は最深積雪深を用いて、各気候条件の代表値とした。以後、統計解析に用いるこれらのデータを気候データと表記する。単独の気候データを用いた分析では、各気候データの階級幅に対するメッシュ数の度数分布の比較を行い、また複数の気候データを用いた分析では、植生帯や植物群落の種類を分類する判別分析を用いた。線形判別関数に採用した気候データの係数の符号は、分類される植生帯や植物群落の種類別に対する関連性を示し、また標準化係数の絶対値を比較することにより、判別に対する気候データ間での相対的な影響力がわかる。なお判別分析において、線形判別関数を用いる前提として、判別する両群の等分散性が必要とされるが、各群の分散が2倍程度の差であるならば線形判別関数を用いてもよいことが指摘されており（杉山 1983）、本分析においても、判別される群ごとの分散の差は2倍程度であるため、線形判別関数を用いた。

分析結果

植生帯と気候条件の関連性

図1は、統計解析に使用した第3回自然環境保全基礎調査の植生調査データをGISにより空間分布図にしたものである。図中左部の斜線は黒松内低地を示している。この地域は冷温帯落葉広葉樹であるブナ林の北限とされており、植生分布における地域区分の境界として位置づけられている。例えば、野上（1994）は、植生分布と温量指数の関連性を分析する際、黒松内低地を境界として地域区分を行い、分析を行っている。本研究においても黒松内低地を境界として、境界線から北東部を対象としており、気候データが揃っているメッシュ（高山帯植生654メッシュ、亜高山帯植生11,072メッシュ）を分析対

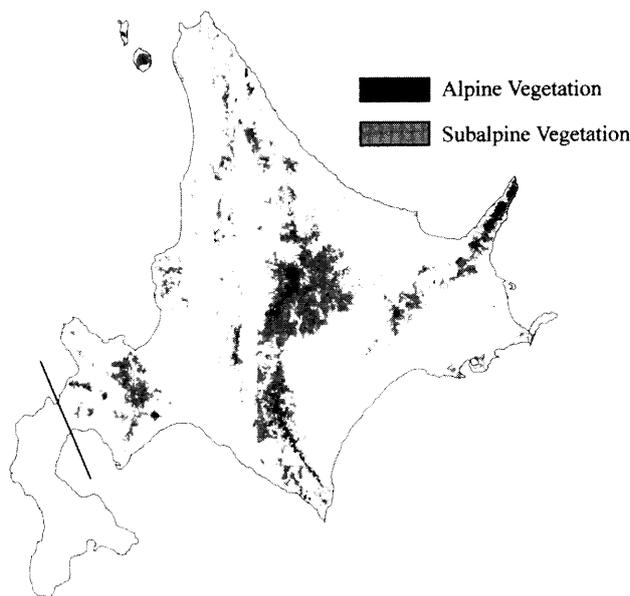


図1. 北海道地域における高山帯・亜高山帯植生の分布。オリジナルデータは環境省が編集した第3回自然環境保全基礎調査の植生調査データであり、高山帯植生と亜高山帯植生のメッシュ数は654メッシュと11,072メッシュである。

Fig. 1. Spatial distribution of alpine and subalpine vegetation types in the Hokkaido region. Original grid data were from the third vegetation survey by the Environment Ministry. Grid numbers of alpine and subalpine vegetation were 654 and 11,072 respectively.

象とした。

各気候データに対する高山帯植生と亜高山帯植生の度数分布を図2に示す。気温は1℃単位、積雪深は20cm単位、降水量については50mm単位の階級幅により、それぞれの図を作成している。気温条件では暖かさの指標となる温量指数と夏季積算最高気温から、亜高山帯植生が高山帯植生よりも温暖な地域に分布していること、寒さの指標となる最寒月最低気温から高山帯植生がより寒冷的な地域に分布していることがわかる。積雪深条件においても最深積雪深による分布の違いが見られ、積雪の多い地域に高山帯植生が分布する傾向が見られる。年間降水量と夏季降水量では、両植生間で累積割合の分布は類似しており、統計的にも平均値に差は見られない。

次に各気候データの相対的な影響の大きさを分析するために、高山帯植生と亜高山帯植生を分類する判別分析を行った。相関の高い気候データは、同時に線形判別関数に採択した場合、多重共線性が生じる場合がある。したがって、気候データの組み合わせを数通りに分けて、

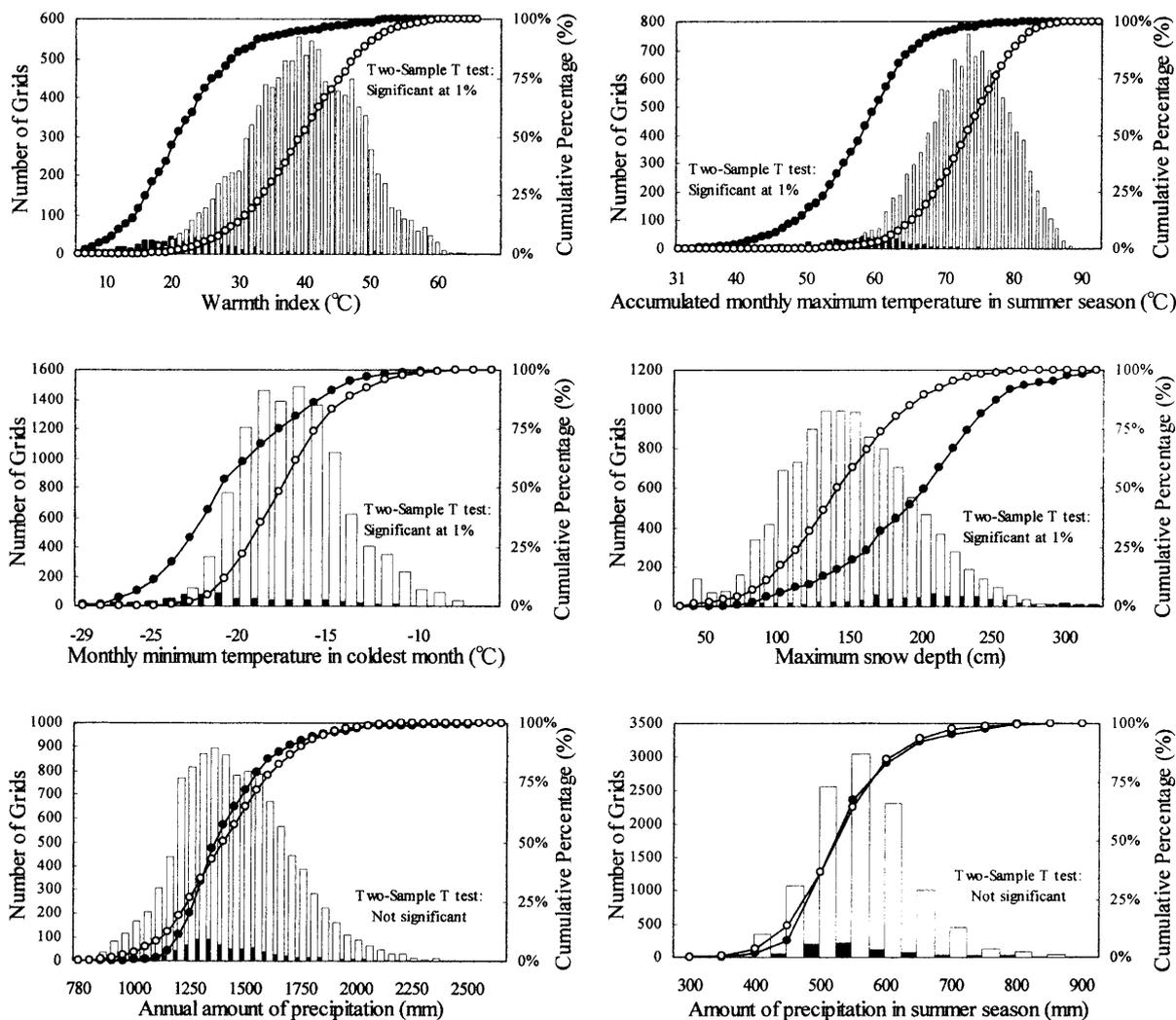


図 2. 植生帯ごとの気候データに関する度数分布。■、□はそれぞれ、高山帯植生と亜高山帯植生のメッシュ数を示し、—●—、—○—は、それぞれ高山帯植生と亜高山帯植生のメッシュ数の累積割合を表す。

Fig. 2. Histograms of climatic conditions for alpine and subalpine vegetation types. ■, Grid numbers of alpine vegetation; —●—, Cumulative percentage of grids of alpine vegetation; □, Grid numbers of subalpine vegetation; —○—, Cumulative percentage of grids of subalpine vegetation.

分析を行った。表 1 はその組み合わせを変えた 3 通りの判別分析の結果である。分析 1 は温量指数と夏季積算最高気温、分析 2 は夏季積算最高気温と最寒月最低気温、分析 3 は最寒月最低気温と最深積雪深を気候データとして用いている。年間降水量と夏季降水量は図 2 において、植生間で差が見られなかったため、分析に用いていない。2 つの係数と定数項により示される線形判別関数を用いて、各メッシュの判別得点が算出される。植生帯ごとに算出した判別得点の重心は、各分析において、統計的に正負の符号が決定するが、分析 1 から分析 3 において、高山帯植生はすべて負の値、亜高山帯植生が正の値である。分析 1 において温量指数と夏季積算最高気温の係数

はともに正の値であるため、両データの値が大きくなるほど、線形判別関数から算出される判別得点は大きくなり、亜高山帯植生と判別される確率が高くなる。したがって、度数分布の結果同様、亜高山帯植生は高山帯植生と比較して、より暖かい地域に分布する傾向にあることがわかる。また 2 つの標準化係数の絶対値を比較すると、夏季積算最高気温の方が温量指数よりも大きいため、夏季積算最高気温が高山帯植生と亜高山帯植生の判別において影響が大きい。高山帯植生、亜高山帯植生のそれぞれの判別率は 87% と 88% であり、判別率は高いと考えられる。

分析 2 において、標準化係数の絶対値の比較から、夏

表 1. 植生帯と気候データの組み合わせによる判別分析の結果. 上段と下段にそれぞれ, 高山帯植生と亜高山帯植生の判別率を示す. 植生帯ごとに算出した, 各気候データの分散の比率は1.1から1.7の間に収まっている.

Table 1. Results of discriminant analysis between vegetation types and combinations of climatic conditions. Classification rates for (a) alpine vegetation and (b) subalpine vegetation are shown in the upper and lower rows, respectively. Ratios of variances for variables in (a) to (b) were between 1.1 and 1.7: Warmth index 1.1; Accumulated monthly maximum temperature in summer 1.5; Monthly minimum temperature in coldest month 1.7; Maximum snow depth 1.4.

Coefficients of discriminant function/(Absolute values of standardized coefficients)						
Analysis No.	Warmth index (°C)	Accumulated monthly maximum temperature in summer season (°C)	Monthly minimum temperature in coldest month (°C)	Maximum snow depth (cm)	Constant	Classification rates
Analysis 1	0.012	0.142	—	—	-9.683	87%
	(0.120)	(0.914)	—	—		88%
Analysis 2	—	0.145	0.073	—	-8.158	86%
	—	0.932	(0.216)	—		89%
Analysis 3	—	—	0.187	-0.016	6.163	72%
	—	—	(0.554)	(0.700)		77%

夏季積算最高気温により示される暖かさの指標が, 最寒月最低気温により示される寒さの指標と比較して植生帯の判別により大きな影響を及ぼすことがわかる. 高山帯植生, 亜高山帯植生の判別率はそれぞれ86%と89%である.

分析3では, 最寒月最低気温と最深積雪深を採択している. 係数の符号から判断して, 寒冷かつ積雪の多い地域に, 高山帯植生が分布することがわかる. 標準化係数の比較では, 他の分析に比べ, 絶対値に大きな差はないものの, 最深積雪深が最寒月最低気温よりも大きく, 植生帯の判別に寄与していることが示された. 判別率は高山帯植生と亜高山帯植生においてそれぞれ72%と77%であり, 暖かさの指標を分析に用いた場合と比較して, 値は低くなった.

以上の分析結果をまとめると, 気温条件では暖かさの指標となる夏季積算最高気温の影響の方が, 同じく暖かさを示す温量指数, および寒さを示す最寒月最低気温よりも大きいことがわかった. 気候条件間の比較において, 夏季積算最高気温と最深積雪深は多重共線性により, 直接的な比較は出来なかったが, 各分析の判別率の大小より, 暖かさの指標は積雪深条件よりも影響は大きいと推察される.

高山帯の植物群落と気候条件の関連性

高山帯の主な植物群落である高山低木林(509メッシュ), 風衝草原(47メッシュ), 雪田植生(64メッシュ)の3種類を対象として, 気候データとの関連性を図3にまとめた. 温量指数と夏季積算最高気温から, 高山低木

林と風衝草原は, 雪田植生と比較して, より温暖な地域に分布する傾向が示される. また最寒月最低気温と最深積雪深から, 雪田植生が寒冷かつ積雪の多い地域に分布することがわかる. 降水量では, 雪田植生が他と比較して, 夏季降水量が少ないことが示されるが, 年間降水量では差が見られない. 高山低木林と風衝草原は気候データとの関連性において, 雪田植生ほど大きな違いが見られず, 類似していることが示されたため, 判別分析において, 高山低木林と風衝草原を1つのカテゴリーとしてまとめ, 雪田植生との2つのカテゴリーを分類する分析を行った. 植生帯レベルと同様に気候データの組み合わせを変えて, 判別分析を行った結果が表2である. 夏季積算最高気温と温量指数は多重共線性のため, 直接的な比較はできなかったが, 図3の度数分布を見ると, 温量指数のほうが高山低木林/風衝草原と雪田植生の違いが明瞭であるため, 暖かさの指標として温量指数を用いた. また年間降水量では度数分布において, 差が見られなかったため, 分析から除外している. すべての分析において, 判別得点の重心は高山低木林/風衝草原が正の値, 雪田植生が負の値となった. 各分析における気候データの係数の符号より, 雪田植生と比較して, 高山低木林/風衝草原は, 温暖かつ夏季降水量の多い地域, そして積雪の少ない地域に分布する傾向がある. これらの植物群落は, 山岳最上部においてモザイク状に混在して分布しているため, 図3の度数分布に示すように, 各気候データに対して植物群落が分布する範囲は重なる部分が多い. しかしながら, 図3のメッシュ数の累積割合に表されるよう

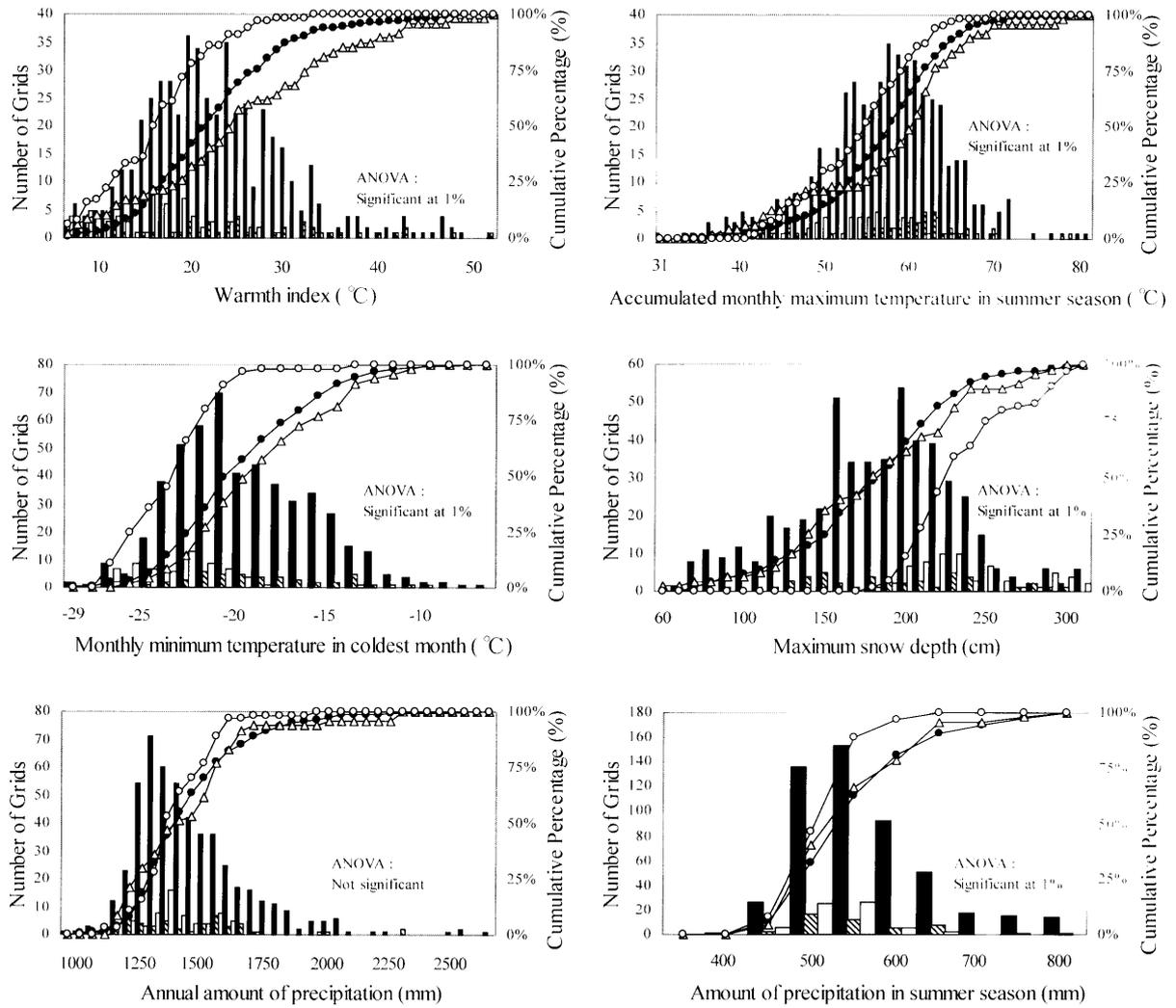


図3. 高山帯の植物群落ごとの気候データに関する度数分布. ■, ▨, □はそれぞれ, 高山低木林, 風衝草原そして雪田植生のメッシュ数を示し, —●—, —△—, —○—はそれぞれのメッシュ数の累積割合を表す.

Fig. 3. Histograms of climatic conditions for plant community types in alpine vegetation. ■, Grid numbers of shrub and dwarf forest; —●—, Cumulative percentage of grids of shrub and dwarf forest; ▨, Grid numbers of windward grassland; —△—, Cumulative percentage of grids of windward grassland; □, Grid numbers of snow bed vegetation; —○—, Cumulative percentage of grids of snow bed vegetation.

に, 各植物群落の総メッシュ数に対する分布傾向は植物群落ごとに差が見られる. 判別分析の結果は, これらの差を含め, 2種類の気候データに基づいて複合的にカテゴリーを判別したものである. 2つのカテゴリーの判別において, 分析1と分析2より, 暖かさの指標よりも, 寒さの指標および最深積雪深の影響が大きい. また最深積雪深は分析3と分析4に示されるように寒さの指標や夏季降水量よりも影響が大きい. 分析5と分析6から, 暖かさと寒さの指標と比較して, 夏季降水量はカテゴリーの判別に寄与していない. これらの結果をまとめると, 高山帯の主要な植物群落のうち, 高山低木林/風衝草原と

雪田植生の2つのカテゴリーの分類では, 積雪深条件の影響が最も大きく, 次いで寒さ, 暖かさという気温条件そして降水量条件の順となることが示された.

亜高山帯の群集タイプと気候条件の関連性

次に亜高山帯の植物群落のうち, 常緑針葉樹と落葉広葉樹というフェノロジーや葉の形態の異なる群集タイプとして, エゾマツトドマツ群集とアカエゾマツ群集(計3685メッシュ), そしてササダケカンバ群落とミヤマハンノキダケカンバ群集(計3426メッシュ)を取りあげた. 2つの群集タイプに分類できないエゾマツダケカンバ群落とササ自然草原群落は分析から除外している. 気

表2. 高山帯の植物群落と気候データの組み合わせによる判別分析の結果。上段と下段にそれぞれ、高山低木林／風衝草原と雪田植生の判別率を示す。カテゴリーごとに算出した各気候データの分散の比率はおおよそ2.0である。

Table 2. Results of discriminant analysis between plant community types in alpine vegetation and combinations of climatic conditions. Classification rates of (a) shrub and dwarf forest, and windward grassland, and (b) snow bed vegetation are shown in the upper and the lower rows, respectively. Ratios of variances for variables in (a) to (b) were 2.0 approximately: Warmth index 1.9; Monthly minimum temperature in coldest month 2.2; Maximum snow depth 2.3; Amount of precipitation in summer 3.4.

Analysis No.	Coefficients of discriminant function/(Absolute values of standardized coefficients)					Classification rates
	Warmth index (°C)	Monthly minimum temperature in coldest month (°C)	Maximum snow depth (cm)	Amount of precipitation in summer season (mm)	Constant	
Analysis 1	0.022	0.243	—	—	4.672	67%
	(0.175)	(0.870)	—	—		78%
Analysis 2	0.003	—	-0.020	—	4.061	70%
	0.021	—	(0.985)	—		77%
Analysis 3	—	0.108	-0.014	—	5.463	70%
	—	(0.386)	(0.689)	—		83%
Analysis 4	—	—	0.018	0.004	2.027	70%
	—	—	(0.893)	(0.273)		84%
Analysis 5	0.099	—	—	0.006	-5.535	64%
	(0.778)	—	—	(0.457)		77%
Analysis 6	—	0.246	—	0.004	3.157	66%
	—	(0.880)	—	(0.262)		78%

候データとの関連性を度数分布で示したものが図4である。温量指数、夏季積算最高気温および最寒月最低気温から、常緑針葉樹が落葉広葉樹と比較して、夏季に暖かく、冬季には寒い地域に分布する傾向が示される。また最深積雪深からは、落葉広葉樹は常緑針葉樹と比較して、積雪の多い地域に分布しており、降水量についても、年間および夏季ともに多い地域に分布する傾向がわかる。上記の関連性を踏まえて、判別分析を用い、群集タイプの判別と複数の気候データ間の関連性を分析した(表3)。暖かさの指標としては夏季積算最高気温を分析に用いている。すべての分析結果において、常緑針葉樹と落葉広葉樹の判別得点の重心は、それぞれ負の値と正の値となっている。分析1から、2つの群集タイプの分類において、寒さよりも暖かさのほうが影響が大きく、常緑針葉樹が落葉広葉樹と比較して、夏季において温暖であり、かつ冬季において寒冷な地域に分布する傾向が示される。分析2と分析3から、暖かさの指標と比較して、最深積雪深と夏季降水量の影響が大きいことがわかり、また分析4から夏季降水量より最深積雪深の影響が大きいことがわかる。分析5と分析6から、寒さの指標は最深積雪深と夏季降水量よりも、影響が小さいことが示された。したがって、2つの群集タイプの分類においては、積雪深

条件が最も影響が大きく、次いで降水量条件、暖かさそして寒さの指標という気温条件の順で影響を及ぼすと考えられる。

考 察

2つの植生帯と気候条件の関連性では、夏季積算最高気温や温量指数により表される暖かさの違いが、寒さの指標そして積雪深、降水量条件と比較して、より大きな影響を与えていることが示された。これは植生帯の区分において、吉良(1948)による温量指数のような暖かさを示す気温条件が、積雪深や降水量条件と比較して、有効な条件であることを統計的に裏付けたことになる。また夏季積算最高気温の影響が温量指数よりも大きいことは、特に夏季における気温上昇の違いが高山帯・亜高山帯植生の分布に影響を与えることを示す。沖津(1984a, b, 1985)は、北海道におけるハイマツ群落の下限を森林限界として、森林限界が特定の温量指数の値と一致しておらず、気温条件のみで一義的に規定されていないこと、冬季の北西季節風の影響や岩塊斜面の分布、土壌層の発達度合いが大きく影響を及ぼしていることを示している。本分析は気候変化と直接的に関わる気温、積雪深、降水量の3種類の気候条件のみに限定したこと、また約1

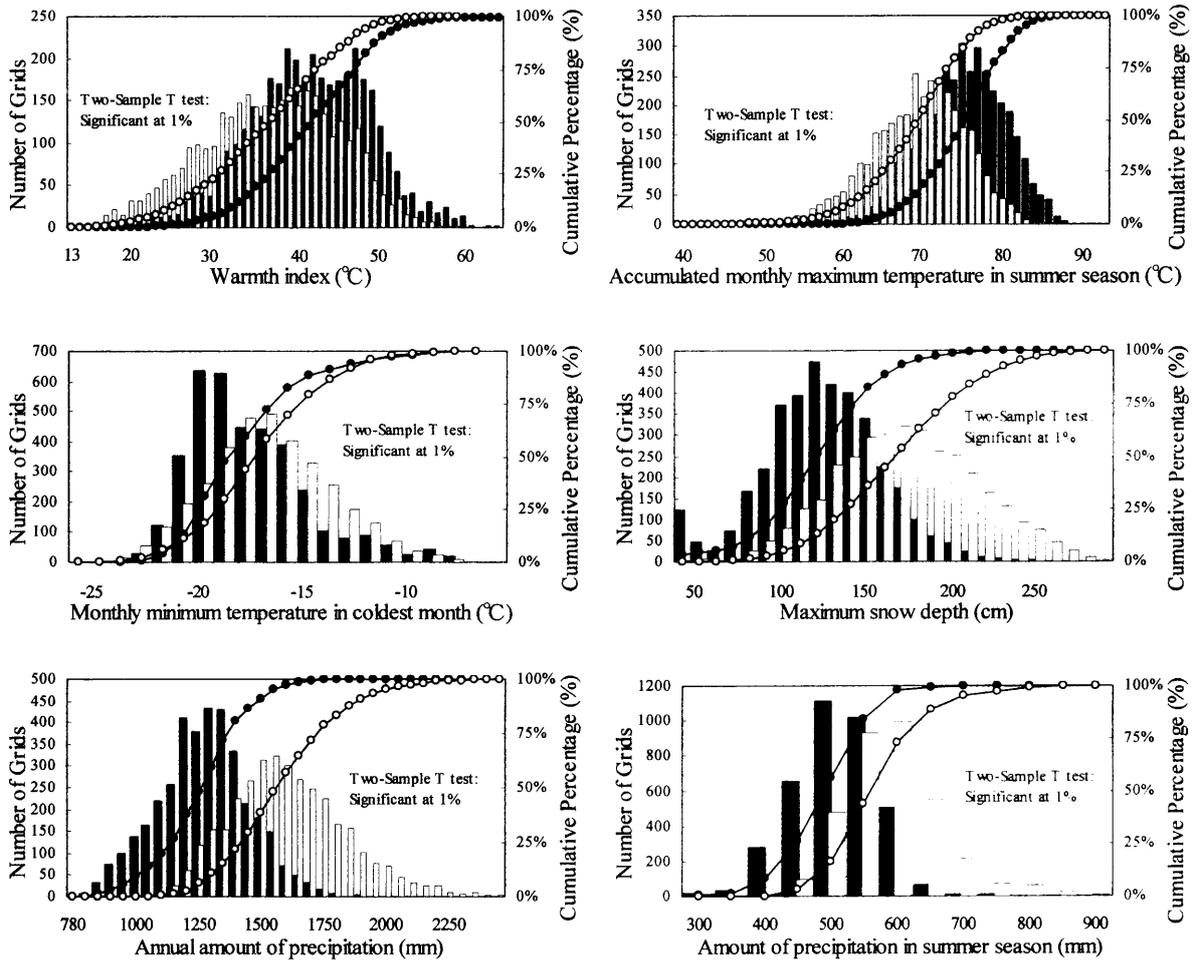


図4. 亜高山帯の群集タイプごとの気候データに関する度数分布。■、□はそれぞれ、常緑針葉樹と落葉広葉樹のメッシュ数を示し、—●—、—○—は常緑針葉樹と落葉広葉樹のメッシュ数の累積割合を表す。

Fig. 4. Histograms of climatic conditions for plant functional types in subalpine vegetation. ■, Grid numbers of evergreen coniferous forest; —●—, Cumulative percentage of grids of evergreen coniferous forest; □, Grid numbers of deciduous broad-leaved forest; —○—, Cumulative percentage of grids of deciduous broad-leaved forest.

km²のメッシュデータを分析単位としていること、そしてハイマツ帯のみでなく、雪田植生や風衝草原を含め、高山帯植生を対象としていることから、亜高山帯植生との分布の違いに影響を及ぼす気候条件を大局的に示す結果となった。また風の影響や土壌条件を分析に採用していないことから、ハイマツ帯の温度条件に対する非成帯的な特徴は示されなかった。今後、風の影響による山頂現象なども含め、植生分布と気候条件の解析を行うには、メッシュデータの空間解像度の向上と併せ、気候・植生データの整備が必要となる。

高山帯の植物群落そして亜高山帯の群集タイプの分布と気候条件の関連性では、寒暖の気温条件よりも、積雪深条件の影響が大きいことが示された。積雪深との関連

性では、雪田植生が高山低木林／風衝草原と比較して積雪の多い地域に、常緑針葉樹は落葉広葉樹と比較して、積雪の少ない地域に分布していることが示された。杉田(1988)は浅草岳を対象として、積雪が深くなるに連れて、ブナ高木林・ブナ矮生群落から低木群落、雪田植生などの草原が分布する傾向にあることを指摘しており、また石塚(1979)は日本海側地域を対象として、寡雪地帯に亜高山帯針葉樹が、多雪地帯には匍匐型の落葉低木林が多く分布する傾向にあることを示している。本研究の結果は、実地踏査に基づく積雪深と植生分布の関連性と同様の結果を、北海道における亜高山帯の群集タイプにおいて統計的に示した。また統計解析による気候条件間の相対的な比較から、植物群落や群集タイプの分布に

表 3. 亜高山帯の群集タイプと気候データの組み合わせによる判別分析の結果。上段と下段にそれぞれ、常緑針葉樹と落葉広葉樹の判別率を示す。常緑針葉樹と落葉広葉樹の群集タイプごとに算出した各気候データの分散の比率は0.7から0.9の間にはさまれている。

Table 3. Results of discriminant analysis between plant functional types in subalpine vegetation and combinations of climatic conditions. Classification rates for (a) evergreen coniferous forest and (b) deciduous broad-leaved forest are shown in the upper and lower rows, respectively. Ratios of variances for variables in (a) to (b) were between 0.7 and 0.9: Accumulated monthly maximum temperature in summer 0.7; Monthly minimum temperature in coldest month 0.9; Maximum snow depth 0.7; Amount of precipitation in summer 0.7.

Analysis No.	Coefficients of discriminant function/(Absolute values of standardized coefficients)					Classification rates
	Accumulated monthly maximum temperature in summer season (°C)	Monthly minimum temperature in coldest month (°C)	Maximum snow depth (cm)	Amount of precipitation in summer season (mm)	Constant	
Analysis 1	-0.172	0.139	—	—	14.882	75%
	(0.976)	(0.400)	—	—		70%
Analysis 2	-0.088	—	0.019	—	3.526	79%
	(0.496)	—	(0.715)	—		71%
Analysis 3	-0.105	—	—	0.010	1.730	79%
	(0.592)	—	—	(0.693)		75%
Analysis 4	—	—	0.019	0.010	-8.478	83%
	—	—	(0.719)	(0.662)		79%
Analysis 5	—	0.175	0.027	—	-1.120	79%
	—	(0.503)	(1.022)	—		73%
Analysis 6	—	0.113	—	0.014	-6.350	76%
	—	(0.327)	—	(0.975)		69%

おける積雪深条件の重要性を示した。気温条件のうち、寒暖の比較では、高山帯の植物群落において寒さの指標が暖かさよりも影響が大きく、一方、亜高山帯の群集タイプでは、暖かさの指標が寒さよりもそれらの分布に影響を及ぼすことが示された。

植生帯、高山帯の植物群落、亜高山帯の群集レベルでは、3種類の気候条件の相対的な影響の大きさは異なっており、植生帯の分布においては、気温条件、なかでも暖かさの指標が大きな影響を与えており、植物群落や群集タイプの分布では、気温条件と比較して局所的に変化する積雪深条件の影響の大きさが示された。今後、気候変化が植生分布に及ぼす影響を推定する場合は、分析の対象に応じた気候条件を考慮する必要がある。また本研究では、気温、降水量、積雪深といった3種類の気候条件のみを対象としたが、今後はデータの空間解像度の向上とともに、土壌や風などの条件も加えた分析が必要となる。

摘 要

1. 北海道地域を対象として、高山帯、亜高山帯という2つの植生帯、そしてこれらを構成する植物群落や群集タイプと気温、降水量、積雪深の3つの条件からなる気候条件との統計的関連性を、メッシュデータを用いて分析した。

2. 3種類の気候条件のうち、高山帯と亜高山帯植生の分布の違いに影響を与えるものとして、夏季積算最高気温が、同じく暖かさを示す雨量指数、そして寒さの指標よりも大きいことが示された。

3. 高山帯植生の植物群落である高山低木林、風衝草原、雪田植生と気候条件の関連性では、高山低木林と風衝草原の気候条件との関連性は比較的類似しており、高山低木林/風衝草原と雪田植生の2カテゴリーの分布においては積雪深条件の影響の大きさが示された。

4. 亜高山帯の常緑針葉樹と落葉広葉樹の群集タイプの分布と気候条件の関連性では、常緑針葉樹が落葉広葉樹と比較して、積雪が少なく、夏季に温暖かつ冬季に寒冷

な地域に分布する傾向が示され、また積雪深条件の影響が、他の2つの条件と比較して、大きいことがわかった。

5. 植生帯、高山帯の植物群落そして亜高山帯の群集レベルでは、それらの分布における気温、積雪深、降水量の3条件の相対的な影響の大きさは異なり、気候変化が植生分布に及ぼす影響を推定する場合に、対象に応じた気候条件を考慮する必要性を示した。

引用文献

- HAXELTINE, A. & PRENTICE I. C. (1996) BIOME3: An equilibrium terrestrial biosphere model based on eco-physiological constraints, resource availability, and competition among plant functional types. *Global Biogeochemical Cycles* **10**(4): 693-709.
- IPCC (1996) *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, New York.
- 石塚和雄 (1979) 雪と植生 —植物群落の大分布を中心として(雪)—. *地理* **24**(12): 39-48.
- 吉良龍夫 (1948) 温量指数による垂直的な気候帯のわかちかたについて—日本の高冷地の合理的利用のために—. *寒地農学* **2**(2): 143-173.
- 気象庁観測部産業気象課 (1985) 気候値メッシュファイル(降水量)作成調査の報告. *測候時報* **52**(6): 357-378.
- 気象庁観測部産業気象課 (1989) 気候値メッシュファイル(積雪)作成調査について. *測候時報* **56**(6): 297-305.
- 増田久夫 (1972) 樹種分布と温度気候 —北海道産主要針葉樹の天然分布と暖かさの指数—. *森林立地* **13**(2): 7-16.
- 増沢武弘 (1997) *高山植物の生態学*. 東京大学出版会, 東京.
- 野上道男 (1994) 森林植生帯分布の温度条件と潜在分布の推定. *地学雑誌* **103**(7): 886-897.
- 野上道男・大場秀章 (1991) 暖かさの指数からみた日本の植生. *科学* **61**(1): 36-49.
- 大角泰夫 (1975) 高山帯における植生—土壌を規定する因子—雪と植生との関係についての1具体例—. *森林立地* **17**(1): 6-12.
- 岡村敏夫・和田高秀・林泰彰 (1989) 気候値メッシュファイル(気温)作成調査について. *測候時報* **56**(1): 1-16.
- 沖津 進 (1984a) ハイマツ群落の生態と日本の高山帯の位置づけ. *地理学評論* **57**(11): 791-802.
- 沖津 進 (1984b) 大雪山地の森林限界支配要因. *日本生態学会誌* **34**: 439-444.
- 沖津 進 (1985) 北海道におけるハイマツ帯の成立過程からみた植生帯構成について. *日本生態学会誌* **35**: 113-121.
- 酒井 昭 (1982) 植物の耐凍性と寒冷適応 —冬の生理・生態学—. 学会出版センター, 東京.
- 杉田久志 (1987) 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—. *日本生態学会誌* **37**: 175-181.
- 杉田久志 (1988) 多雪山地浅草岳における群落分布に関わる環境要因とその作用機構 —ブナの生育状態に着目して— I. 積雪深と群落分布の関係. *日本生態学会誌* **38**: 217-227.
- 杉山高一 (1983) *多変量データ解析入門*. 朝倉書店, 東京.