

# ブナ林帯上限および下限の温度領域と更新世末期から完新世中期にかけての夏季気温変化<sup>1)</sup>

大森 博雄<sup>2)</sup>・柳町 治<sup>3)</sup>

## Thermal Conditions Both of the Upper and Lower Limits of the *Fagus crenata* Forest Zone, and Changes in Summer Temperature from the Latest Pleistocene to the Middle Holocene in Japan<sup>1)</sup>

Hiroo OHMORI<sup>2)</sup> and Osamu YANAGIMACHI<sup>3)</sup>

The *Fagus* forest zone dominated by *Fagus crenata* stretches over the Japanese Archipelago from the southwestern part of Hokkaido to Kyushu. The thermal conditions of its upper and lower limits of distribution are examined by a new method inferred from multiple regression analysis of mountainous meteorological data. The vertical distribution of the *Fagus* forest zone is strictly affected by the temperature during the summer, rather than by the warmth index and annual mean temperature. The summer temperature, which is represented by the mean of monthly mean temperatures for July and August, shows 16.8°C for the upper limit and 21.0°C for the lower limit of the *Fagus* forest zone.

Using both the thermal conditions of the *Fagus* forest zone described above and the history of migration of the *Fagus* forest zone indicated by pollen stratigraphies of many sites in Japan, the changes in summer temperature from the latest Pleistocene to the middle Holocene (from 12,000 y. B. P. to 3,000 y. B. P.) are discussed, as follows (Fig. 7);

The summer temperature during the latest Pleistocene from 12,000 y. B. P. to 10,000 y. B. P. was estimated to be between 3°C and 7°C lower than at present. Through the period from 9,500 y. B. P. to 6,000 y. B. P., the summer temperature at each site was higher than at present, showing the early phase of the Hypsithermal. Every site was warmer than at present during the period from 6,000 y. B. P. to 4,500 y. B. P.. Although the exact age of the warmest phase of each site could not be specified, the summer temperature during the climax phase of the Hypsithermal rose to 1° and/or 2.5°C higher than at present. The period between 4,500 y. B. P. and 3,000 y. B. P. was the end of the Hypsithermal, and a decrease in summer temperature was shown at every site, though some sites were still warmer than at present.

### I. はじめに

1970年代後半以降、地質断面やポーリングコアの垂

直方向における年代測定試料や、花粉分析用試料の採取間隔を短くとることによって、時間軸目盛りを細かくし、更新世末期以降の気候変化、特に気温変化が詳しく

1) 1987年7月31日受付。1988年5月28日受理。

2) 東京大学理学部地理学教室 Department of Geography, The University of Tokyo.

3) 法政大学第一教養部 Faculty of Science and Arts, Hosei University.

論じられるようになった。花粉分析から気温変化を検討する場合、特定の指標種の花粉出現率の変化に着目する場合(たとえば、SAKAGUCHI, 1982)もあるが、優占種や標徴種を用いて花粉帯を設定し、それらの花粉帯と植生との関係から、各層準の堆積時に、試料採取地点がどのような植生帯に位置していたかを特定し、植生帯の変化に基づいて気温変化を検討する機会が多い(NAKAMURA, 1952; TSUKADA, 1958; 塚田, 1967, 1981; 安田, 1973, 1974, 1982; YAMANAKA, 1978; 古谷, 1979; 黒田・畑中, 1979; 熊井ほか, 1981; 吉田ほか, 1981; 松岡ほか, 1983; SOHMA, 1984; MIYOSHI and YANO, 1986 など)。これらの気温変化の検討においては、現在と比べて、温暖であったか、寒冷であったかを定性的に表現する機会が多いが、現在と比べて何 $^{\circ}\text{C}$ 低い、あるいは高いという“相対的度数表現”、あるいは、当時何 $^{\circ}\text{C}$ であったという“絶対的度数表現”で示される場合も増加してきている。

度数表現をする場合には、一般に下記の二つの推定方法が用いられる。一つは、現在の植生帯と過去の植生帯との高度差および気温減率とを用いて、温度差を求める方法である(MIKI, 1956; TSUKADA, 1958, 1983; 藤, 1966; 塚田, 1967; 藤井, 1975; 黒田・畑中, 1979 など)。この場合には、必然的に“相対的度数表現”となる。他の一つは、現在みられる植生帯の温度領域と、花粉組成から知られる植生とに基づいて、分析対象とした層準の堆積時の気温を推定する方法である(SAKAGUCHI, 1976; TSUKADA, 1982 b, 1983, 1985 など)。算出した気温をそのまま用いれば“絶対的度数表現”となり、現在の気温との差を用いれば、“相対的度数表現”となる。

第一の方法は、「対象とした植生帯は、ある温度領域に対応する」という仮定さえ設ければ、植生帯の温度領域が知られていなくても、過去との気温差が算出できる。しかし、気候が大きく変化していく過程で、現在の気候下で成立している気温減率に従って、気温が変化してきたかは不明である。特に、海岸平野や盆地などの低地と山岳地域との気温変化が、平行的に変化してきたかどうかについては解っていないと言える。したがって、第一の方法は、第二の方法における相対的度数表現をする場合の簡便法的性格を持つと言えよう。

第二の方法を採る場合には、対象とする植生帯の温度領域が明示される必要がある。SAKAGUCHI (1976) は、*Pinus* と *Tsuga* との境界帯の温量指数を求め、その温量指数と年平均気温との関係を検討し、両植生の境界の年平均気温は約  $-0.6^{\circ}\text{C}$  になるとして、現在の気温と

の差で気温変化を検討している。また、TSUKADA (1982 b, 1983, 1985, 1986) は、多数の樹種 (*Fagus crenata*, *F. japonica*, *Picea polita*, *Abies firma*, *Tsuga sieboldii* など) の温量指数、最暖月、最寒月などの温度領域を検討し、それに基づいて気温変化を吟味している。これらの研究では、時系列的には、断片的な時期(たとえば、約 13,000 y.B.P. (SAKAGUCHI, 1976); 8,000, 7,000, 6,000 y.B.P. (TSUKADA, 1982 b); 約 20,000 y.B.P. (TSUKADA, 1983, 1985) など)であるが、気温が度数表現で推定されている。

しかし、こうした根拠を示さないまま、かつ、群系レベル以下の変化に基づいて、気温変化を度数表現している場合がみられる(YASUDA, 1978)。年代試料や花粉分析試料の採取間隔を細かくすれば、時間や植生に関しては詳細な情報が得られる。しかし、気温変化を詳細に論じようとするれば、それに応じて植生—気温に関する、より詳細な検討が必要であろう。

一方、日本の現在の自然植生帯のうち、山地帯(冷温帯)落葉広葉樹林は、北海道から九州にまたがって広がり、北海道黒松内低地帯以南から九州にかけては、ブナ(*Fagus crenata*)の優占することが多い。ブナは最終氷期の極相期の頃は、東北地方南部以南の低地に生育していたが、“林帯”は形成していなかったと推測されている(亀井・ウルム氷期以降の生物地理総研グループ, 1981; TSUKADA, 1982 a, b, 1983, 1985)。ブナは、後氷期の温暖・湿潤化にともなって、12,000 y.B.P. 頃に林帯を形成するようになり、同時に東北地方北部、北海道南部へと北上し、また山岳地域へと上昇し、本州中部で 9,000 y.B.P., 東北地方では 5,000 y.B.P. 頃に、現在と同様なブナ林が形成されたと考えられている(塚田, 1981; TSUKADA, 1982 a, b)。同時に、ブナ林の上方には亜高山帯(亜寒帯)針葉樹林が、下方には丘陵帯(暖温帯)常緑広葉樹林が分布することが多く、個々の山岳の垂直植生分布上、“ブナ林帯”として、一つの植生帯を形成していることが多い。

ブナ林帯の上限、下限のおよその高度は、それぞれ九州で 1,600 m, 1,200 m, 本州中部で 1,600 m, 600 m, 東北地方で 1,200 m, 300 m, 北海道南部で 900 m, 100 m を示し、植生学あるいは生態学の立場から、ブナ林帯の上限、下限の高度分布や温度領域について多くの検討がなされている(吉良, 1948; 堀田, 1974; 吉良ほか, 1976; 渡辺, 1987 など)にまとめられている。ブナ林帯の高度分布は、気温条件でみた場合、温量指数  $45^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$  から  $85^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$  の範囲にあり(吉良, 1948)、また、8

月の気温が 17.5~24.0°C, 1月の気温が -7.5~0°C, 年平均気温は 4.5~10.5°C の範囲にある (TSUKADA, 1982b) とされている。

以上のように, 更新世末期以降の花粉組成変化から, 植生の群系レベルの変化を復元し, それに基づいて気温変化を検討する場合, 広域的に資料が得られ, かつ温度領域の検討もなされているという点で, プナ林帯の上限, 下限は優れた指標の一つになると考える。しかし, これまでのプナ林帯と温度領域との関係の検討では, 気温減率として, “平均値” が用いられ, かつ, この平均値が研究者によって異なるなど, 上限, 下限の気温推定法上の問題がある。また, プナ林帯の温度領域を求めることを主目的としているため, 本稿で着目する上限および下限が, それぞれどのような温度領域にあるかについてはあまり検討されていない。

そこで本稿では, 山岳地域の気温推定法について吟味し, 次いで, プナ林帯上限, 下限がどのような温度領域にあるかを検討する。それらに基づき, 各地の花粉層序にみられるプナ林帯の上限あるいは下限の通過時期の気温を求め, 現在の気温との比較から, 更新世末期以降の気温変化を検討してみた。

## II. 山岳地域の気温推定法

### 1. 従来の方法と問題点

山岳地域の気温観測資料はごく限られている。そのため, 山岳地域の気温は主に二つの方法で推定されてきた。第一の方法は気温減率を適用するもので, 第二は重回帰モデルを用いる方法である。

気温減率によって山地の気温を推定する方法は簡便であることから, この方法によって気温を推定し, さらに温量指数の分布, 温量指数の高度分布と植生との関係などを論じた研究は多い (吉良, 1948, 1949; 吉良・吉野, 1967; 石塚, 1978; 安田・成田, 1981; 梶, 1982; 沖津・伊藤, 1984 など)。これらの研究では, 気温減率の値 (°C/100m) として, 0.55, 0.60, 0.61 などが使用されている。しかし, これらの値によって, 山岳気温がどの程度の精度で推定されるかについては, あまり検討されていない。

気温減率は, 地域, 季節, 地形, 標高, 斜面の方位などのさまざまな要因によって大きく変化することが指摘されている (関口, 1949; 吉野, 1961; 長谷川, 1970, 1974, 1977 など)。したがって, ある特定の気温減率によって, 広域的に気温を推定した場合, それらの値には上記の諸要因に起因する誤差が生ずると予想される。ま

た, 気温減率によって気温を推定する場合には, 対象地点の近辺に, 気温観測地点の存在することが要請されるが, このような条件が満たされない場合も多い。

一方, 上記の問題を改善する一方法として, 重回帰モデルがある。重回帰式は気象庁 (1960), 長谷川 (1970) などによって提案されており, 岡上 (1968) は, 気象庁 (1960) の重回帰式に基づいて, 温量指数と緯度および標高との関係を明らかにしている。これらの重回帰式の大きな特徴は, いずれも緯度, 標高などといった位置を表現する変数のみを説明変数としており, したがって, 気温の推定がきわめて容易である。しかし, これまでの重回帰式の検討においては, 重回帰式の適合度を示す尺度が記載されておらず, どの程度の精度をもつかが不明である。また, 気象庁 (1960) の方法では, 重回帰式で算出した値を, さらに等偏差図によって補正する必要があり, この点で作業が煩雑になる。さらに, 長谷川 (1970) の重回帰式では, 標高 1,000m 以上の山地を対象にしており, 標高 1,000m 未満の山岳地域の気温は推定できない。

そこで本稿では, 山岳気温観測資料 (Table 1) を用い, 簡便でかつ適用範囲の広い重回帰式を新たに作成し, その適合度を検討した。

### 2. 重回帰式とその適合度

月別平均気温を算出するための重回帰モデルの基本式を次の形で表した。

$$\tau_j = \beta_{0j} + \beta_{1j}\theta + \beta_{2j}\phi + \beta_{3j}\lambda + \beta_{4j}\epsilon + \epsilon_j \quad (1)$$

ここで,  $\tau_j$  ( $j=1, 2, 3, \dots, 12$ ) は  $j$  月の平均気温 (°C),  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$ , および  $\epsilon$  はそれぞれ標高 (m), 緯度 (°N), 経度 (°E), および内陸度 (海岸までの最短距離, km) である。 $\beta_{0j}$  は  $j$  月の定数であり,  $\beta_n$  ( $n=1, \dots, 4$ ) は,  $\tau_j$  の  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$  および  $\epsilon$  のそれぞれに対する偏回帰係数である。 $\epsilon_j$  は  $j$  月の残差 (誤差) である。

変数の選択は変数増減法で行い, その際, 偏回帰係数検定のための F 値の限界値としては, 慣例に従って,  $F_{in} = F_{out} = 2.0$  (奥野ほか, 1977) を採用した。分散比, 偏回帰係数の F 値, 分散拡大要因などによる検定によると, いずれの検定においても, 採りあげた従属変数は“有意”であり, 式 (1) が成立しうる (回帰関係がある) と認められる。求められた重回帰式の偏回帰係数は, Table 2 に示した。なお, Table 2 には, 後に使用する 7・8 月 2 月の平均気温および年平均気温の推定式の値も示してある。

本稿で求めた重回帰式が従来のものと大きく異なる点は, 適用範囲が広いこと (Table 1) のほか, 月によ

Table 1 Geographical elements, observation periods and references of mountain meteorological data analyzed in this study

Location	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Inland Index (Km)	Period (Year)	Reference
Sounkyo	620	43°46'	142°56'	74	1933-43	Asahikawa For. Office(1955)
Mt.Oakan	1,353	43°27'	144°09'	50	1944-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Tokach	1,000	43°27'	142°38'	97	1933-43	Asahikawa For. Office(1955)
Mt.Sahoro	1,053	43°10'	142°47'	89	1944-47	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Yotei	1,848	42°50'	140°48'	29	1944-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Iwate	1,771	39°51'	141°01'	76	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Zao	1,760	38°09'	140°26'	43	1943-46	Japan Met. Agency(1958)
Shimizugoe	1,585	36°54'	138°57'	64	1944-47	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Tanigawa	1,900	36°50'	138°56'	70	1966-70	Maebashi Met. Bureau(1972)
Mt.Nantai	2,480	36°48'	139°30'	104	1944-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Shirouma	2,830	36°46'	137°45'	28	1967-69	Kitaazumi Mag. Ed. Society(1971)
Shiga-maruike	1,500	36°43'	138°29'	52	1951-67	Shimotakai Edu. Society(1964)
Mt.Joudo	2,836	36°34'	137°37'	33	1940-46	Japan Met. Agency(1958)
Murodo	2,455	36°34'	137°37'	33	1947-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Yari	3,050	36°20'	137°38'	56	1967-69	Kitaazumi Mag. Ed. Society(1971)
Mt.Cho	2,650	36°17'	137°43'	62	1967-69	Kitaazumi Mag. Ed. Society(1971)
Mt.Tsukuba	869	36°13'	140°08'	40	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Hakusan	2,450	36°08'	136°45'	43	1968	Ishikawa Pref.(1970)
Mt.Kirigamine	1,925	36°06'	138°12'	107	1944-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Kisokoma	2,640	35°46'	137°49'	102	1968-70	YANAGINACHI (1987)
Mt.Senjo	3,032	35°43'	138°12'	64	1955	Kamiina Mag. Ed. Society(1962)
Mt.Inaba	339	35°26'	136°47'	44	1944-45	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Ibuki	1,376	35°25'	136°24'	41	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Daisen	765	35°24'	133°31'	12	1944-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Fuji	3,772	35°21'	138°44'	25	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Hyonosen	1,503	35°21'	134°31'	31	1944-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Hakone	936	35°11'	139°01'	11	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Hiei	832	35°03'	135°50'	48	1938-47	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Atago	863	35°03'	135°38'	47	1936-41	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Ikoma	625	34°40'	135°40'	26	1939-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Odaigahara	1,566	34°11'	136°06'	14	1936-45	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Tsurugi	1,944	33°51'	134°06'	35	1945-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Ishizuchi	1,958	33°51'	133°07'	18	1945-47	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Hiko	1,194	33°28'	130°55'	22	1945-46	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Seburi	1,055	33°26'	130°23'	18	1942-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Aso	1,142	32°54'	131°04'	44	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Onsen	849	32°44'	130°15'	4	1939-48	Japan Met. Agency(1958)
Mt.Kirishima	1,324	31°55'	130°51'	24	1944	Japan Met. Agency(1958)

The locations are widely distributed in Japan from Hokkaido to Kyushu, and from around 300 m to 3,000 m in altitude.

Table 2 Characteristics of multiple regression equation (1) to estimate monthly mean temperature, summer (July-August) temperature and annual mean temperature

Month	Sample number	Partial regression coefficients				Constant	Adjusted R	(R)	Adjusted R-Square	S <sub>e</sub> (°C)
		Altitude	Latitude	Longitude	Inland index					
1	28	-0.00644	-1.38514	0.15489		31.0946	0.9872	0.9886	0.9745	0.91
2	28	-0.00641	-1.30370	0.16218		27.1011	0.9843	0.9861	0.9689	0.97
3	28	-0.00623	-1.10945			46.0635	0.9846	0.9857	0.9694	0.97
4	28	-0.00803	-0.94804			46.2074	0.9820	0.9834	0.9644	0.97
5	29	-0.00613	-1.07532	0.19536	0.01598	28.2358	0.9875	0.9893	0.9752	0.74
6	29	-0.00558	-0.75365	0.09889	0.00912	34.1920	0.9886	0.9902	0.9774	0.63
7	37	-0.00498	-0.64847	0.16617		24.4450	0.9681	0.9708	0.9372	1.04
8	37	-0.00514	-0.61235	0.24025		14.1085	0.9728	0.9751	0.9463	0.96
9	33	-0.00519	-0.89498	0.26521		20.3866	0.9688	0.9718	0.9382	1.07
10	30	-0.00530	-1.13286	0.34915		8.6083	0.9599	0.9641	0.9214	1.23
11	29	-0.00597	-1.43971	0.33534		16.9345	0.9879	0.9892	0.9760	0.78
12	28	-0.00613	-1.21168			48.2871	0.9446	0.9488	0.8922	1.41
7·8	38	-0.00502	-0.63179	0.19923		19.8740	0.9760	0.9780	0.9526	0.91
Annual	28	-0.00586	-1.04573	0.16999		28.0659	0.9933	0.9940	0.9866	0.53

Note: Adjusted R, (R), Adjusted R-Square and S<sub>e</sub> are the multiple correlation coefficient adjusted for the degree of freedom, the multiple correlation coefficient, the coefficient of determination adjusted for the degree of freedom and the standard error of estimate, respectively.

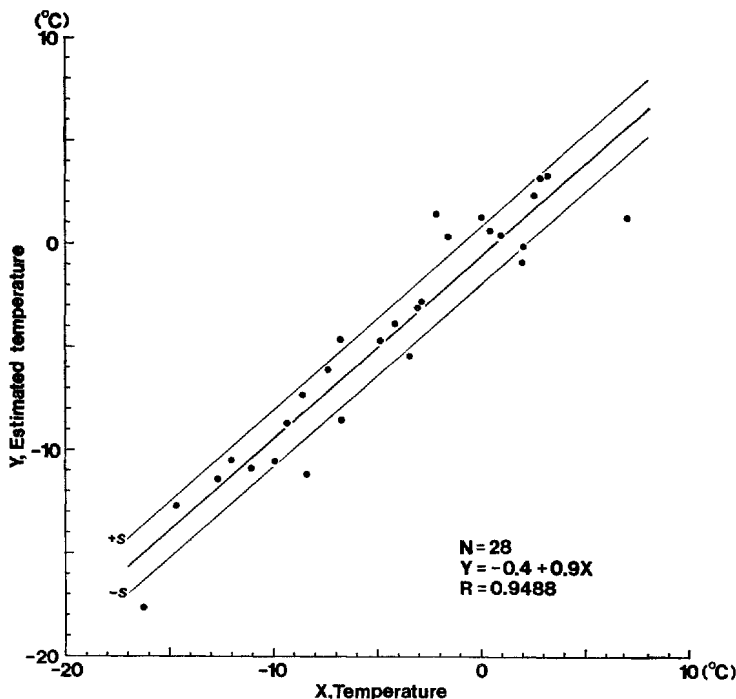


Fig. 1 Relation between observed temperature and that estimated from equation (1) for December, whose correlation coefficient shows the smallest value, but high precision. The *s* is standard error of estimate.

ては経度および内陸度も有意な説明（従属）変数になっていることである（Table 2）。

Table 2 には、自由度調整済み重相関係数、重相関係数、自由度調整済み決定係数などを月別に示してある。重回帰式の適合度を示す尺度として自由度調整済み重相関係数があげられるが、この尺度によると、最も問題があるのは 12 月の重回帰式である。しかし、値は 0.9446 と大きく、また実測値と重回帰式による推定値との関係を直接示す重相関係数でも、最も低い 12 月のそれは 0.9488 と大きい。

Table 2 から解るように、12 月の平均気温の推定値の標準誤差は 1.41°C と小さな値を示し、ほとんどの地点が標準誤差内に収まっている。他の月における標準誤差はいずれも 12 月のそれよりも小さく、1.0°C 前後以下を示す月がほとんどである。したがって、Table 2 の重回帰式はいずれの月においても高い適合度を持っているとみなすことができる。

### III. ブナ林帯上限および下限の温度領域

#### 1. 資 料

植生帯の上限や下限に関しては、研究者によって見解の異なる場合がある。本稿では、山岳地域の気温推定法として新たな数式を採用したので、これまで植生学や生

態学分野で、ブナ林帯の温度領域の検討に用いられてきた資料をそのまま採用することが、比較検討する上で合理的であると考えられる。この場合、資料は特定の地域に偏ることなく、経度・緯度に沿って均質に収集することが好ましく、また同質の資料であることが望ましい。そこで、大沢ほか（1986）が北海道から九州にかけて全国的に集計したブナ林の上限高度、下限高度の資料を使用することとした（Table 3）。集計された 30 のすべての山地で、上限および下限の双方ともが認定されているわけではないが、統計分析上の資料数は十分である。

一方、梶（1982）は、亜高山帯の下限に着目して、東北地方から四国にかけて、45 山地の亜高山帯と山地帯との境界高度の資料を集計している。いくつかの山地においては、山地帯側の樹種がブナでない場合もあり、境界高度は高度幅をもって示されている（Table 4）。大沢ほか（1986）の資料と重複する 12 山地のうちの 7 山地では、大沢ほか（1986）の上限高度は梶（1982）の示した高度幅内に入っている。そこで、比較参考のため、梶（1982）の資料からもブナ林帯上限（亜高山帯下限）の温度領域を算出し、検討してみた。なお、高度幅で示されている山地においては、高度の大きい方の値をブナ林帯の上限高度として採用した。

Table 3 Thermal conditions of the upper and lower limits of *Fagus crenata*

Location (*)	Altitude (m) (*)	Upper and lower limits of <i>Fagus</i> <i>crenata</i> forest zone (m)		Latitude (°N) (*)	Longitude (°E) (*)	Inland index (km)	Thermal condition of the upper limit			
							Mean temperature			
							The coldest month (°C)		The warm- est month (August) (°C)	
1. Mt. Ohira	1,191	900	100	42°45'	140°18'	2	-8.1	-12.2	Jan.	17.0
2. Mt. Hakkoda	1,585	1,200	500	40°40'	140°53'	21	-8.2	-11.1	Jan.	16.9
3. Mt. Iwaki	1,625	1,150	—	40°38'	140°18'	16	-7.9	-10.9	Jan.	17.0
4. Mt. Shirahige	1,232	1,200	300	40°30'	140°10'	6	-8.2	-11.0	Jan.	16.8
5. Mt. Hachimantai	1,613	1,100	500	39°58'	140°51'	72	-8.7	-9.5	Jan.	17.8
6. Mt. Hayachine	1,914	1,150	500	39°29'	141°31'	40	-8.5	-9.1	Jan.	18.0
7. Mt. Chokai	2,230	1,120	—	39°06'	140°04'	15	-5.6	-8.6	Jan.	18.1
8. Mt. Kurikoma	1,628	1,200	300	38°58'	140°49'	65	-7.1	-8.8	Jan.	17.9
9. Mt. Gassan	1,980	1,350	100	38°33'	140°02'	34	-6.5	-9.3	Jan.	17.2
10. Mt. Asahi	1,870	1,200	300	38°15'	139°56'	41	-7.2	-7.9	Jan.	18.1
11. Mt. Zao	1,841	1,375	250	38°09'	140°27'	43	-8.3	-8.8	Jan.	17.4
12. Mt. Iide	2,105	1,500	350	37°51'	139°43'	40	-9.0	-9.4	Jan.	16.8
13. Mt. Azuma	2,024	1,450	300	37°44'	140°09'	71	-8.7	-8.8	Jan.	17.2
14. Mt. Makihata	1,962	1,600	—	36°59'	138°59'	58	-9.0	-8.9	Jan.	16.6
15. Mt. Takahara	1,795	1,600	800	36°54'	139°48'	86	-7.0	-8.7	Jan.	16.9
16. Mt. Myoko	2,446	1,600	—	36°53'	138°53'	26	-7.6	-8.8	Jan.	16.7
17. Mt. Naeba	2,145	1,550	500	36°50'	138°41'	53	-7.8	-8.4	Jan., Feb.	16.9
18. Mt. Tateyama	3,015	1,600	400	36°34'	137°37'	33	-7.5	-8.5	Jan., Feb.	16.6
19. Mt. Hakusan	2,702	1,680	500	36°09'	137°46'	43	-7.0	-8.5	Jan., Feb.	16.4
20. Mt. Arakawa	3,146	1,700	600	35°30'	138°49'	57	-4.1	-7.6	Feb.	17.0
21. Mt. Tanzawa	1,567	—	750	35°28'	139°10'	21	—	—	—	—
22. Mt. Fuji	3,776	1,650	800	35°22'	138°44'	25	-3.8	-7.1	Feb.	17.3
23. Mt. Daisen	1,713	1,350	600	35°22'	133°33'	15	-5.1	-6.0	Feb.	17.6
24. Mt. Nakanoone	2,296	1,550	—	35°17'	138°01'	51	-3.7	-6.4	Jan., Feb.	17.7
25. Mt. Dougo	1,289	—	900	35°04'	133°14'	45	—	—	—	—
26. Mt. Hakken	1,915	1,600	800	34°15'	135°55'	30	-5.1	-5.8	Feb.	17.6
27. Mt. Ishizuchi	1,981	1,650	1,400	33°46'	133°07'	18	-4.6	-5.9	Feb.	16.9
28. Mt. Sobu	1,758	1,600	1,200	32°49'	131°22'	42	-4.7	-4.6	Feb.	17.3
29. Mt. Shirahige	1,417	—	1,300	32°27'	130°49'	46	—	—	—	—
30. Mt. Takakuma	1,237	—	1,100	31°29'	130°49'	9	—	—	—	—
Mean										
Standard deviation										
Coefficient of variation										

Note : (\*) Data from OHSAWA *et al.* (1986) (\*\*) Values estimated by OHSAWA *et al.* (1986).

## 2. ブナ林帯上限および下限の気温の季節変化

式(1)と大沢ほか(1986)の資料とを用い、各山地のブナ林帯の上限および下限の月平均気温を算出した(Table 3)。Fig. 2-aは、ブナ林帯上限における気温の季節変化を示したものである。最寒月平均気温は、低緯度側で2月に、高緯度側では1月に現れるが、 $-12.2^{\circ}\text{C}$  (大平山)  $\sim -4.6^{\circ}\text{C}$  (祖母山)の範囲にあり、レンジは $7.6^{\circ}\text{C}$ と大きな値を示す。最暖月平均気温は、いずれの山地も8月に現れ、 $16.4^{\circ}\text{C}$  (白山)  $\sim 18.1^{\circ}\text{C}$  (朝日岳、鳥海山)を示し、レンジは $1.7^{\circ}\text{C}$ ときわめて小さい。それぞれの山地の気温の変化曲線は、8月を除いては、最南部の祖母山の曲線と最北部の大平山の曲線との間に収まっているとみることができる。

Fig. 2-bは、ブナ林帯下限の気温の季節変化を示したものである。上限におけると同様に、最寒月平均気温は低緯度側で2月に、高緯度側で1月に現れ、 $-7.0^{\circ}\text{C}$  (大平山)  $\sim 0.2^{\circ}\text{C}$  (高隈山)を示し、レンジは $7.2^{\circ}\text{C}$ である(Table 3)。最暖月平均気温は8月に現れ、 $18.2^{\circ}\text{C}$  (石鎚山)  $\sim 23.6^{\circ}\text{C}$  (月山)を示し、レンジは $5.4^{\circ}\text{C}$

と上限のそれと比べると大きい。曲線群は、1~5月、11~12月の期間は高隈山と大平山の曲線の間に、6月から10月にかけては月山と祖母山の曲線の間に、分布しているとみることができる。

各山地におけるブナ林帯上限の年平均気温は、 $1.9^{\circ}\text{C}$  (大平山)  $\sim 6.7^{\circ}\text{C}$  (祖母山)を示し、全山地の平均値は $4.2^{\circ}\text{C}$ 、レンジは $4.8^{\circ}\text{C}$ となる。また、下限の年平均気温は、 $6.6^{\circ}\text{C}$  (大平山、八甲田山)  $\sim 11.0^{\circ}\text{C}$  (荒川岳、月山)を示し、全山地の平均値は $9.4^{\circ}\text{C}$ 、レンジは $4.4^{\circ}\text{C}$ である(Table 3)。

これらの値をブナ林帯の温度領域に読みかえると、最暖月平均気温は $16.4^{\circ}\text{C} \sim 23.6^{\circ}\text{C}$ の範囲に、最寒月平均気温は $-12.2^{\circ}\text{C} \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ の範囲に、年平均気温は $1.9^{\circ}\text{C} \sim 11.0^{\circ}\text{C}$ の範囲にあると言える。これらの値は、TSUKADA (1982b) とほぼ同様の値を示すが、本稿で求めた値の方が寒冷の側に幅が広がっている。また、大沢ほか(1986)の求めたブナ林帯上限の最寒月平均気温と比較しても、最低値は本稿で求めた値の方が低い気温を示している。

forest zones based on the altitudinal data of OHSAWA *et al.* (1986)

of the <i>Fagus crenata</i> forest zone				Thermal condition of the lower limit of the <i>Fagus crenata</i> forest zone						
Warmth index (Month·°C)	Annual mean temperature (°C)	mean summer temperature (°C)	temperature	The coldest month (°C)		The warm- est month (August) (°C)		Warmth index (Month·°C)	Annual mean temperature (°C)	mean summer temperature (°C)
				(註)	(註)					
31.8	34.2	1.9	16.3	-7.0	Jan.	21.1	61.0	58.7	6.6	20.3
38.8	35.2	2.5	16.2	-6.6	Jan.	20.5	66.6	57.8	6.6	19.7
40.5	36.1	2.7	16.4	—	—	—	—	—	—	—
38.8	35.0	2.5	16.2	-5.2	Jan.	21.4	75.0	64.9	7.8	20.7
48.6	43.3	3.8	17.2	-5.7	Jan.	20.9	71.1	68.0	7.3	20.2
40.2	44.3	4.1	17.4	-4.9	Jan.	21.4	64.8	66.1	7.9	20.6
45.4	44.8	4.4	17.5	—	—	—	—	—	—	—
44.8	45.1	4.2	17.3	-3.0	Jan.	22.5	81.7	77.9	9.5	21.8
36.4	40.6	3.6	16.6	-1.3	Jan.	23.6	88.2	87.8	11.0	22.9
46.5	47.1	4.8	17.6	-2.1	Jan.	22.8	83.5	81.3	10.1	22.1
41.3	42.7	4.0	16.9	-1.6	Jan.	23.2	85.9	85.2	10.6	22.5
36.0	39.2	3.4	16.3	-1.9	Jan.	22.7	81.1	81.7	10.2	22.0
37.7	42.7	3.9	16.7	-1.4	Jan.	23.1	83.5	86.3	10.7	22.5
46.4	39.9	3.6	16.2	—	—	—	—	—	—	—
39.2	42.1	3.9	16.4	-3.5	Jan.	21.0	70.5	70.3	8.6	20.4
36.1	39.5	3.7	16.2	—	—	—	—	—	—	—
46.7	41.8	4.0	16.5	-1.7	Jan.	22.3	91.6	81.4	10.2	21.7
43.2	39.7	3.8	16.2	-0.8	Jan., Feb.	22.7	94.8	85.6	10.9	22.2
37.2	39.7	3.8	16.0	-0.9	Jan., Feb.	22.5	86.8	84.8	10.8	22.0
42.6	44.2	4.6	16.6	-0.5	Feb.	22.6	94.2	87.4	11.0	22.1
—	—	—	—	-1.4	Feb.	22.0	81.0	80.7	10.2	21.4
44.4	45.5	5.0	16.9	-1.6	Feb.	21.7	83.5	78.6	10.0	21.2
57.8	48.2	5.9	17.4	-1.2	Feb.	21.5	92.7	78.7	10.3	21.1
47.8	49.0	5.5	17.3	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	-2.8	Feb.	20.0	78.3	67.9	8.8	19.7
56.4	49.4	6.0	17.3	-0.6	Feb.	21.7	93.9	82.6	10.7	21.3
50.6	46.3	5.7	16.8	-4.3	Feb.	18.2	60.9	55.2	7.2	18.0
51.8	51.6	6.7	17.3	-2.1	Feb.	19.4	69.7	68.5	9.0	18.3
—	—	—	—	-2.3	Feb.	19.0	73.1	66.1	8.8	18.9
—	—	—	—	0.2	Feb.	20.6	78.9	81.4	10.9	20.5
43.3	42.6	4.2	16.8	—	—	—	79.7	75.2	9.4	21.0
6.4	4.6	1.2	0.5	—	—	—	10.4	10.2	1.5	1.2
0.148	0.109	0.277	0.030	—	—	—	0.130	0.136	0.155	0.059

3. ブナ林帯上限および下限の7・8月の平均気温

ブナ林帯の分布範囲を規定する気温条件に関しては、吉良 (1948) が綿密な検討を行って以降、ブナ林帯の占める温量指数はおおむね 45°C・月~85°C・月であると言われている。特に、上限を規定する温度領域については、年平均気温よりも温量指数の方が強い関係を示すと指摘されている (吉良, 1976)。本稿では、新たな方法で気温を算出したので、ブナ林帯の上限、下限がどのような季節の気温を反映しているかを再吟味してみた。

Table 3 には、大沢ほか (1986) と本稿で求めたブナ林帯上限の温量指数を示してある。大沢ほか (1986) の温量指数は 57.8°C・月~31.8°C・月を示し、吉良 (1948) の指摘する 45°C・月よりかなり小さな値を示す山地のあることが指摘されている (大沢ほか, 1986)。本稿で求めた温量指数も 51.6°C・月~34.2°C・月の値を示す。

全山地の温量指数の平均値は大沢ほか (1986) のそれが 43.3°C・月を、本稿のそれが 42.6°C・月とほぼ同様の値を示す。しかし、大沢ほか (1986) のレンジ 26

°C・月に比べると、本稿のそれは 17.4°C・月で、レンジは大幅に小さくなる。ブナ林帯上限は、従来推定されていた温度領域の幅よりも狭い幅に収まっているとみることができる。ちなみに、梶 (1982) の資料で温量指数を算出すると、平均値は 41.8°C・月、レンジは 18.1°C・月となる (Table 4)。それゆえ、ブナ林帯上限の温量指数の平均値は、吉良 (1948) の示した 45°C・月とほぼ同じ 42°C・月前後とみなすことができる。

一方、ブナ林帯下限の温量指数は、大沢ほか (1986) では 60.9°C・月~94.8°C・月、平均値は 79.7°C・月、レンジは 33.9°C・月となる。大沢ほか (1986) の資料では、東北地方北部 (北緯 39° 以北) については、ブナ林帯下限の高度が 300~500 m 以上の山岳が収集されている。東北地方には、ブナ林帯下限高度が 100 m 内外あるいはそれ以下を示す山岳もあり、計算された温量指数は低めの値を示していると思われる。しかし、従来の方法で計算した大沢ほか (1986) の平均値 79.7°C・月は、吉良 (1976) が示した 82.3°C・月と大差はない。また、後述のように、東北地方北部のブナ林帯下限の高度が 100

Table 4 Thermal conditions of the lower limit of subalpine coniferous forest zones, which are equivalent to the upper limit of *Fagus crenata* forest zones, based on the altitudinal data of KAJI (1982)

Location (*)	Lower limit of subalpine zone (m) (*)	Latitude (°N) (*)	Longitude (°E) (*)	Inland index (Km)	Warmth index (Month·°C)	Annual mean temperature (°C)	Mean summer temperature (°C)
1. Mt. Hakkoda	1,000	40°38'	140°53'	21	41.8	3.6	17.2
2. Mt. Iwaki	900-1,100	40°39'	140°18'	15	37.6	3.0	16.6
3. Mt. Moriyoshi	1,100-1,150	39°58'	140°33'	47	40.7	3.4	16.9
4. Mt. Hachimantai	1,000-1,100	39°57'	140°51'	72	43.4	3.8	17.2
5. Mt. Waga	1,200-1,300	39°34'	140°45'	60	38.5	3.0	16.4
6. Mt. Hayachine	1,100-1,150	39°33'	141°30'	40	44.0	4.0	17.3
7. Mt. Goyo	900	39°12'	141°44'	12	53.4	5.9	18.8
8. Mt. Yakeishi	1,200-1,250	39°10'	140°50'	71	42.6	3.7	16.9
9. Mt. Chokai	1,050-1,200	39°06'	140°03'	15	42.1	4.0	17.0
10. Mt. Kurikoma	1,200-1,370	38°57'	140°48'	65	39.7	3.2	16.4
11. Mt. Gassan	1,300-1,440	38°33'	140°02'	35	37.7	3.1	16.2
12. Mt. Funagata	1,280	38°27'	140°37'	40	44.3	4.3	17.2
13. Mt. Oasahi	1,350	38°15'	139°56'	41	42.2	3.9	16.8
14. Mt. Katta	1,300-1,370	38°07'	140°27'	42	43.0	4.0	16.9
15. Mt. Iide	1,500	37°51'	139°43'	40	39.1	3.4	16.3
16. Mt. Nishiazuma	1,400	37°44'	140°09'	72	44.4	4.2	16.9
17. Mt. Adatara	1,350-1,400	37°37'	140°17'	63	44.9	4.4	17.0
18. Mt. Ojika	1,550-1,600	37°05'	139°49'	90	41.3	3.7	16.3
19. Mt. Mitsuiwa	1,550-1,580	37°05'	139°23'	79	41.1	3.7	16.3
20. Mt. Hiragatake	1,500-1,600	37°00'	139°11'	69	40.4	3.7	16.2
21. Mt. Makihata	1,560	36°59'	138°58'	58	41.2	3.9	16.4
22. Mt. Taishaku	1,600	36°58'	139°28'	92	41.5	3.7	16.3
23. Mt. Hiuchi	1,500-1,550	36°57'	139°17'	81	42.7	4.0	16.5
24. Mt. Amakazari	1,500-1,550	36°54'	137°58'	18	39.6	3.8	16.3
25. Mt. Myoko	1,600-1,700	36°53'	138°07'	26	35.3	3.0	15.6
26. Mt. Naeba	1,550-1,600	36°51'	138°42'	54	40.1	3.7	16.2
27. Mt. Tairappyo	1,650	35°49'	138°49'	64	39.1	3.5	16.0
28. Mt. Korohime	1,600-1,700	36°49'	138°08'	34	35.8	3.1	15.6
29. Mt. Asahi	1,600	36°49'	137°44'	19	38.1	3.6	16.0
30. Mt. Hotaka	1,650	36°48'	139°08'	82	40.1	3.6	16.1
31. Mt. Shirouma	1,500-1,600	36°45'	137°46'	26	38.7	3.7	16.1
32. Mt. Sogatake	1,600	36°45'	137°34'	16	38.2	3.6	16.0
33. Mt. Abo	1,650-1,700	36°11'	137°36'	70	39.4	3.7	15.9
34. Mt. Hakusan	1,500-1,600	36°09'	136°47'	43	41.0	4.1	16.3
35. Mt. Norikura	1,600	36°07'	137°33'	76	43.0	4.3	16.4
36. Mt. Tengu	1,700-1,750	36°01'	138°21'	102	40.4	3.7	15.9
37. Mt. Akadake	1,750	35°58'	138°22'	97	40.5	3.7	15.9
38. Mt. Ontake	1,600	35°53'	137°29'	88	44.7	4.5	16.6
39. Mt. Kinpu	1,780-1,820	35°52'	138°38'	82	38.8	3.5	15.7
40. Mt. Ena	1,500	35°36'	137°36'	74	48.9	5.4	17.3
41. Mt. Fuji	1,600	35°22'	138°44'	25	47.2	5.3	17.1
42. Mt. Hidegatake	1,600	34°11'	136°06'	15	49.7	6.1	17.4
43. Mt. Bukkyogatake	1,650-1,700	34°08'	135°50'	30	46.7	5.5	16.8
44. Mt. Tsurugi	1,700-1,800	33°51'	134°06'	37	42.8	4.9	16.2
45. Mt. Ishizuchi	1,700	33°46'	133°07'	18	44.7	5.4	16.5
Mean					41.8	4.0	16.5
Standard deviation					3.6	0.8	0.6
Coefficient of variation					0.086	0.191	0.036

Note : (\*) Data from KAJI (1982).

m 内外の山岳を資料として加えても、日本島全体を対象とした本稿の目的からは、大局的には影響を与えない。本稿の計算では、ブナ林帯下限の温量指数は  $55.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}\sim 87.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 、平均値は  $75.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 、レンジは  $32.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  となる。下限のレンジは、上限のレンジに比べて大きな値を示すが、平均値は、吉良 (1948) の示した値 ( $85^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ ) よりかなり小さく、 $75^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  前後とみなされる。

温量指数は、月平均気温が  $5^{\circ}\text{C}$  を超える月に関して、(月平均気温  $-5^{\circ}\text{C}$ ) の値の年間積算値であるから、Figs. 2-a, b のグラフにおいて、 $5^{\circ}\text{C}$  の横線と  $5^{\circ}\text{C}$  以上の曲線とに囲まれた部分の面積に対応する。グラフからみ

て解るように、上限、下限ともに、大局的には最寒月平均気温の低い山地は最暖月平均気温も低く、したがって温量指数も小さくなる。しかし、いくつかの山地の曲線は交差しており、厳密には上記の関係が成り立たず、温量指数が温度領域を示す独自の指標の一つとして重要な役割を果たすことになる。

ところで、気温の季節変化曲線に示される最も顕著な特徴の一つは、上限、下限ともに、最寒月平均気温の幅が大きいかかわりなく、7・8月の気温がきわめて狭い幅に収まっていることである。垂直植生帯と気温との関係をみる場合には、低地から山頂にかけての気温分布の中で、どのような気温を示す高度に植生帯が立地して



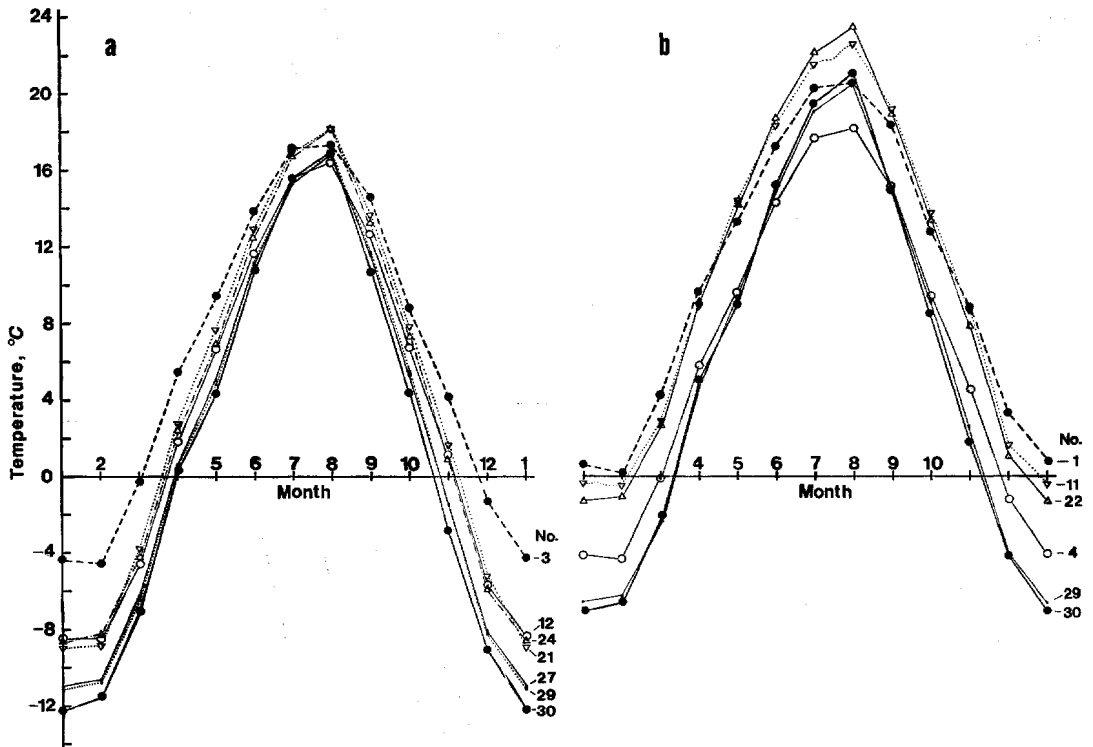


Fig. 2 Seasonal changes in temperature of a; the upper limit, and b; the lower one, of the *Fagus crenata* forest zone, showing the range of temperature distribution for each month Nos. of locations are shown in Table 3. The curves for other locations are put in the range of each month shown in the figures.

いるかという視点に立つが、前記の現象は以下のことを意味していると考えられる。

たとえば、1・2月の低地から山頂にかけての気温分布は、九州・四国では4～6°C、渡島半島では-4～-13°Cを示し、ブナ林帯上限は前者で-5°C前後、後者では-11°C前後を示す高度に位置している。一方、7・8月には、九州・四国では低地から山頂にかけて26～15°C、渡島半島では21～11°Cの気温分布になるが、ブナ林帯上限は両者でほぼ等しい16～17°Cを示す高度に位置している。

したがって、ブナ林帯上限は、低地から山頂にかけての広い気温分布条件の中で、夏季気温がほぼ等しくなる高度に選択的に位置しているとみなすことができる。すなわち、ブナ林帯の上限、下限を規定している気温条件は、夏季気温とも強い関係にあることを示唆している。そこで、夏季を代表する7・8月2ヵ月の平均気温を用いて、ブナ林帯の上限、下限の温度領域を統計的に検討

してみる。以下、7・8月2ヵ月の平均気温を“夏季平均気温”と呼ぶことにする。

ブナ林帯上限の夏季平均気温は16.0～17.6°Cと、きわめて狭い幅に収まる (Fig. 3)。平均値は16.8°Cである。下限の夏季平均気温は18.0～22.9°C (Fig. 3)で、平均値は21.0°Cとなる。レンジ (4.9°C) は上限に比べると大きい。8月だけのそれ (5.4°C) に比べると小さな値となる。

Table 3には夏季平均気温、年平均気温、雨量指数について、それぞれ平均値、標準偏差および変動係数とを示した。変動係数は、標準偏差を平均値で割った値であり、平均値に対する各種の気温や雨量指数の散らばりの大きさを示す指標である。すなわち、平均値の大きさが異なった場合の“標準化された散らばりの大きさ”を示すもので、この値が小さいほど、散らばりが小さいことを意味する。本稿の検討内容においては、変動係数が小さいほど、上限、下限の規定の仕方が強いと理解するこ

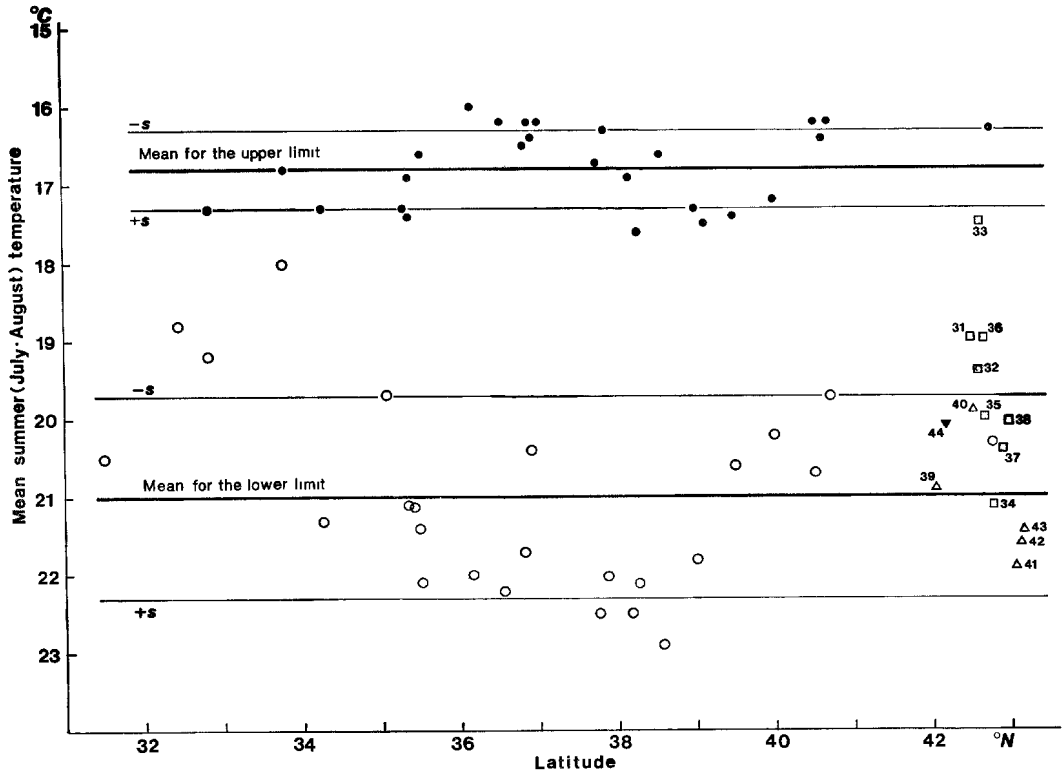


Fig. 3 Distribution of the mean summer temperature (the mean of July and August mean temperatures) for the upper (solid circle) and lower limit (open circle) of the *Fagus crenata* forest zone, and of the meteorological stations in the southern part of Hokkaido whose location nos. (with different symbols for different districts) are shown in Table 5. The mean temperature and standard deviation ( $s$ ) are  $16.8^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for the upper limit and  $21.0^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1.2^{\circ}\text{C}$  for the lower one.

とができる。

変動係数は、ブナ林帯の上限、下限ともに、夏季平均気温のそれが最も小さく、温量指数、年平均気温の順に大きくなる。特に、夏季平均気温の変動係数は温量指数、年平均気温のそれに比べて1桁小さく、きわめて狭い幅に収まっているとみなされる。ちなみに、梶 (1982) の資料に基づくと、上限の夏季平均気温は  $16.5^{\circ}\text{C}$ 、変動係数は  $0.036$  となる (Table 4)。

一方、ブナ林帯の下限は認定そのものがむずかしいとも言われるが、その位置からして人為の影響を受けやすい。特に、西日本の白髪岳、祖母山、石鎚山の夏季平均気温は低い値を示し、なかでも石鎚山の下限高度は、人為のために高くなっている可能性がある。したがって、個別地点では、ブナ林帯の下限高度は人為的に上昇し、いわば、“歯の抜けた櫛”状の分布をしているものと思

われる。

また、前述のように、東北地方北部のブナ林帯の下限高度は、高めのもが使用されている。しかし、北緯  $39^{\circ}$  以北において、下限高度が海拔  $0\text{m}$  となるような地点を新たに5地点加えたとしても、全体の平均値は  $21.2^{\circ}\text{C}$ 、また、ブナ林帯下限が海面によって規定されていないと考えられる北緯  $39^{\circ}$  以南だけの山岳について、夏季平均気温を求めると、 $21.1^{\circ}\text{C}$  となる。いずれの場合も、本稿で算出した値と大差ないことが解る。夏季平均気温の高い均一性からは、計算された夏季平均気温は、ブナ林帯下限を規定する温度領域の大局を示しているものとみなせよう。

以上の検討からは、ブナ林帯の上限、下限は夏季平均気温に最も強く規定されていると考えられる。また、数ヶ月の気温の積算値である温量指数は、現実には、夏季

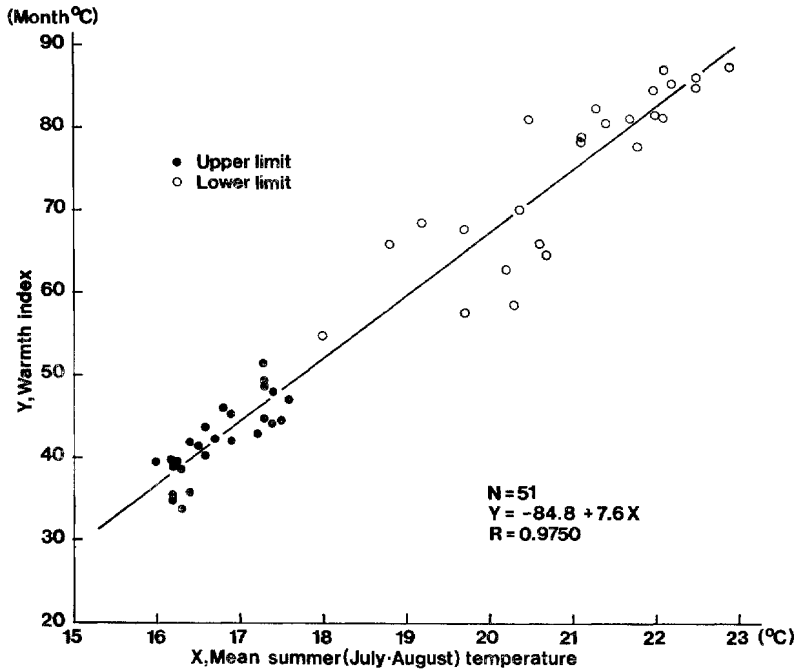


Fig. 4 Correlation between the mean summer temperature and the warmth index of the upper and lower limits of the *Fagus crenata* forest zone, showing high correlation

平均気温と高い相関関係を持つ (Fig. 4) が、同一温量指数でも、気温の季節変化において多様性を示し、気温状況を特定しがたいという性格を持つ。したがって、少なくとも日本においては、ブナ林帯の上限および下限に基づいて推測しうる温度領域のうち、夏季平均気温が最も限定しやすく、その値は上限については  $16.8^{\circ}\text{C}$ 、下限については  $21.0^{\circ}\text{C}$  を用いるのが適当であると言えよう。

#### 4. ブナ林の北限と気温との関係

ブナ林の北限は北海道黒松内低地帯とされ、なぜそこに北限があるかについては、古くから検討されてきた。その経緯については、吉良 (1948)、吉良ほか (1976) などにまとめられ、最近、渡辺 (1987) が体系的かつ詳細に論じている。

ブナ林北限問題の最も主要な問題点は、黒松内低地帯以北の北海道の低地から山麓部にかけては、温量指数が  $45^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  以上、 $85^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  以下の地域、すなわちブナの生育可能な地域が広く分布するにもかかわらず、そこにはブナ林がみられないという問題である。一般には、温度条件以外の条件によって、ブナ林の分布の北限が決まっていると考えられている。渡辺 (1987) によれば、ブナ林の北限を説明する仮説として、1. 山火事説、2. 種子分布歴史的沿革説、3. 羊蹄火山群阻害説、4. 降

水量制約説、5. 気候特性反映植生配置説などが、提示されている。

なお、青山 (1987) は、余市岳、恵庭岳を中心とする山岳地域とその太平洋側とは寒冷なため、日本海側は乾燥のため、ブナ林の北進が阻害されているとしている。青山 (1987) はブナ林の寒冷側限界の温量指数を  $55^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  とし、胆振後志山地に温量指数  $55^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  以下の地域が広がっていることから、上記の山岳地域の制限要因を指摘しているが、上限の温量指数は  $34^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}\sim 52^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  を示し、これ以上の温量指数があれば、ブナ林は成立しうるから、上記の結論は妥当とは思われない。

また、伊藤 (1982) は、ブナ林が分布域を拡大するためには、一定の大きさ以上の集団が必要である旨指摘している。集団の大きさの拡大に寄与する環境条件として、発芽期の気温や生長期の降水量が重要であると考えている。黒松内低地帯にブナ林の北限があることに關しては、現在の気候条件の総合的な気候パターンによると推察している。

渡辺 (1987) は、ブナ林の北限を説明する仮説として上記 1~5 を紹介・論評した後、湿量・乾湿・火山活動といった環境要因では、ブナ林の北限は説明できないとし、6. ブナ北限ニッチ境界説を提示した。すなわち、黒松内低地帯において、ブナと北方に広がる混交林帯構

Table 5 Thermal conditions of the Kuromatsunai and Ishikari Lowlands and the surrounding areas

Location	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Warmth Index (Month·°C)	Mean summer temperature (°C)	Period (Year)	Reference
31. Oshamanbe	10	42°31'	140°23'	55.6	19.0	1978-82	TAKAHASHI (1983)
32. Kuromatsunai	27	42°40'	140°19'	57.9	19.4	1978-82	TAKAHASHI (1983)
33. Makkari	430	42°46'	140°53'	48.9	17.5	1979-82	TAKAHASHI (1983)
34. Suitsu	16	42°47'	140°14'	88.2	21.1	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
35. Rankoshi	24	42°48'	140°32'	60.7	20.0	1978-82	TAKAHASHI (1983)
36. Kimobetsu	264	42°48'	140°57'	53.5	19.0	1978-81	TAKAHASHI (1983)
37. Kucchan	174	42°54'	140°45'	58.5	20.4	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
38. Iwanai	30	42°59'	140°32'	66.5	20.5	1978-82	TAKAHASHI (1983)
39. Murooran	43	42°19'	140°59'	68.0	20.9	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
40. Tomakomai	7	42°38'	141°35'	58.1	19.9	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
41. Sapporo	17	43°03'	141°20'	69.7	21.9	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
42. Otaru	24	43°11'	141°01'	69.8	21.6	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
43. Iwamizawa	33	43°13'	141°47'	75.0	21.4	1947-52	Agri.Tech.Assoc.(1954)
44. Imagane	19	42°26'	140°01'	62.7	20.5	1978-82	TAKAHASHI (1983)

Locations of meteorological stations are shown in Fig. 5.

成種との間で、一定の種間関係が成立し、棲み分けが行われていること、特に更新世末期以降の温暖・湿潤化に応じて、北方に移動し、それにもなつて変化したブナの種の特性と混交林帯広葉樹の種の特性とが類似してきたため、黒松内低地帯で両者の力がつりあい状態になって、両者は競争を排除する立場から、生育領域を分かち合っていると説明している。

ところで、南・北あるいは上・下において、他の植生帯と接している場合には、その植生帯の分布限界は構成種の生理的限界によって決まるのではなく、種間関係によって決まっていると考えられる。黒松内低地帯におけるブナ林北限は、7,000年間 (TSUKADA, 1982b)、あるいは7,000~4,000年間 (渡辺, 1987) 程度は維持されてきたと考えられている。このようにほぼ安定した植生帯の境界問題に関しては、境界そのものは種間関係で決まっているととしても、種間関係の境界帯 (平衡地帯) がなぜそこに存在するのか、すなわちニッチ境界が黒松内低地帯に成立する由縁の説明が次の課題となる。

種の生理的特性は、環境条件に応じて強、弱を持ち、この特性が種間でほぼ一致した地点で、種の分布の限界が現れると考えられる。生理的特性の強、弱は種によって異なり、その境界のあり方は多様である。黒松内低地帯に安定したニッチ境界が成立しているとすれば、そこにニッチ境界を成立させている環境要因があるのが合理的である。また、黒松内低地帯の東側に存在する胆振後志山地の黒松内低地帯側の斜面にブナ林がみられないことから、低地帯自体にブナ林北進 (東進) の阻害要因があると推察される。そこで本稿では、これまで検討されなかった夏季気温を用いて、温度領域の点から、この問題を再検討してみた。

黒松内低地帯の温量指数は約 50°C・月~70°C・月

(Table 5) を示し、温量指数的にはブナ林が十分に成立しうる範囲にある。一方、前節で述べたように、ブナ林帯の上限、下限は夏季気温に強く制約されているとみなされる。

Fig. 5 は渡島半島の標高 100 m 以下の低地の分布を示したものである。黒松内低地帯では 100 m 以下の低地が日本海から内浦湾 (太平洋) に抜けている (分水界高度; 90 m)。Fig. 3 には、黒松内低地帯内および石狩低地帯にあるいくつかの気象観測所における夏季平均気温をも示してある。

黒松内低地帯の標高 430 m の真狩では、夏季平均気温がブナ林帯下限の気温分布範囲より上側にあり、ブナ林帯中央部の温度領域を示す。喜茂別 (標高 264 m)、倶知安 (標高 174 m) をはじめ低高度にある観測地点では、すべて夏季平均気温が 19°C 以上を示し (Table 5)、ブナ林帯下限を規定する気温分布の範囲内にあるとみなされる。この気温状況は石狩低地帯でも同じである (Fig. 3, Table 5)。すなわち、黒松内低地帯や石狩低地帯では春・秋の気温が低いため、温量指数は 50°C・月~70°C・月というブナ林にとっては好適とも思える温量指数を示すが、標高 200 m 以下の低地帯における夏季平均気温は高温となり、ブナ林帯下限を制約する温度領域を形成してしまうことになる。

黒松内低地帯において、200 m 以下の低地を取り除くと、ニセコ山系や幌別岳山地は島状の高まりとなる (Fig. 5)。大平山のブナ林の下限高度は 100 m を示し、黒松内低地帯内においても、ブナ林の下限は標高 40 m を示す歌オブナ林を除き、ほとんどの地点で標高 100 m 以上、多くの場合は 200 m 以上を示し、上記の島状の山地の山麓から中腹にかけてパッチ状に分布している (渡辺, 1987)。すなわち、黒松内低地帯では、標高 900

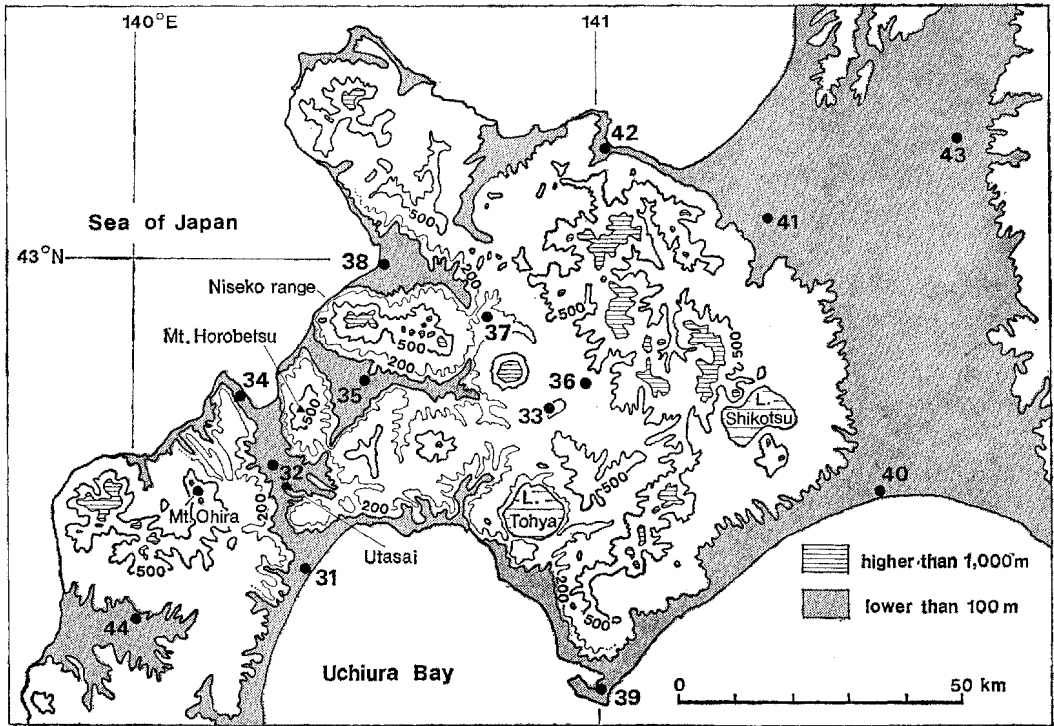


Fig. 5 Topography around the area of the northern limit of the *Fagus crenata* forest whose location is shown in Fig. 6  
Numerals indicate the meteorological stations in Table 5.

m (低地帯内にみられるブナ林上限高度は 620 m (渡辺, 1987)) 以下, 40 m 以上がブナ林にとっての分布領域ではあるが, 標高 200 m 以下の低地帯は, 夏季平均気温が高温となり, ブナ林帯下限の平衡地帯を形成する気温条件下になっているとみなされる。

さらに, 渡辺 (1987) は, 黒松内低地帯では北方ほどブナ林の分布高度が高くなることを指摘している。夏季平均気温は, 低地帯南部の長万部, 黒松内で低く, 寿部, 蘭越, 岩内など北部で高くなる。それゆえ, 黒松内低地帯のブナ林が北方に上昇するのは, このような夏季平均気温分布によるものと説明される。したがって, 黒松内低地帯のニッチ境界は, 標高 200 m 以下の低地帯が広く分布するという地形的背景と, その低地帯に出現する夏季の高温という温度条件とによって成立しているものと判断される。

一方, ブナ林が北進 (東進) するためには, 黒松内低地帯の低地帯を横断しなければならない。ブナの移動 (種子拡散) には鳥が関係していることが指摘されている (TSUKADA, 1982 b; 渡辺, 1987) が, 黒松内低地帯

内にパッチ状に存在する適地をとびとびに, かつ速やかに通過することは確率的には困難であったと推察される。

また, ヒブシサーマル期の現在より温暖な時期には, 黒松内低地帯内の低地帯における夏季気温は, 現在より高温化したものと考えられる。後氷期の温暖な時期に北進 (東進) していたものが, その後の寒冷化により押しもどされた (ブナ北限後退説) ことの可能性の指摘 (渡辺, 1987) とは逆に, ヒブシサーマル期には北進は一層困難であったと推察される。そのために, 長期間にわたってブナ林の北限が, 黒松内低地帯に維持されてきたものと思われる。

#### IV. 12,000 y. B. P. から 3,000 y. B. P. の間の夏季気温変化

ブナ林帯の上限および下限は, 温量指数や年平均気温よりも, 夏季 (7・8 月) の気温と密接な関係がある。また, この関係によって, ブナ林の北限が黒松内低地帯に存在することを説明しうることを示した。したがっ

Table 6 Summer temperatures, present and inferred,

Site	Altitude (m)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Change in vegetation
1. Tashiro Moor	570	42°42'	140°55'	<i>Quercus</i> ( <i>Lepidobalanus</i> ), <i>Carpinus-Ostrya</i> , <i>Juglans</i> , <i>Fraxinus</i> → <i>Fagus</i> , <i>Quercus</i> ( <i>Lepidobalanus</i> )
2. Yachi Moor	780	42°38'	140°56'	<i>Tilia</i> , <i>Quercus</i> ( <i>Lepidobalanus</i> )→ <i>Fagus</i> , <i>Quercus</i> ( <i>Lepidobalanus</i> )
3. Kushigamine Moor	1,220	40°37'	140°51'	<i>Betula-Pinus-Quercus</i> cool temperate forest→ <i>Quercus</i> cool-temperate forest
4. Yabitsuyachi Moor	1,080	40°36'	140°50'	<i>Betula-Quercus</i> zone→ <i>Fagus-Quercus</i> zone
5. Oyachi Moor	900	40°34'	140°52'	<i>Betula-Quercus</i> forest→ <i>Quercus</i> -cool-temperate forest
6. Gozaisho-numa Moor	890	39°57'	140°57'	<i>Betula</i> zone→Lower <i>Quercus</i> -cool-temperate forest
7. Hoshojiri Moor	530	37°33'	140°03'	Subalpine coniferous forest→temperate deciduous forest
8. Ozegahara Moor	1,400	36°56'	139°14'	<i>Picea</i> , <i>Abies</i> and <i>Tsuga</i> decrease→ <i>Fagus</i> , <i>Quercus</i> dominated
9. Kamino-shiba Moor	1,960	36°50'	138°41'	<i>Fagus</i> forest→ <i>Abies</i> forest
10. Lake Nozori	850	36°50'	138°14'	Subalpine coniferous forest(L zone)→temperate deciduous forest(R1 zone)
11. Nijikuma Moor	980	36°47'	137°54'	<i>Alnus-Quercus-Pinus</i> zone→ <i>Fagus-Quercus-Zelkova+Ulmus</i> zone
12. Mt. Hakuba-norikura	1,800	36°46'	137°50'	<i>Fagus</i> → <i>Abies</i> , <i>Tsuga</i> , <i>Betula</i>
13. Tsubogakure Moor	1,500	36°43'	138°30'	Subalpine coniferous forest(RI)→temperate deciduous forest(RII)
14. Karakemi Moor	950	36°29'	137°54'	<i>Betula-Picea-Abies</i> zone→ <i>Quercus-Zelkova+Ulmus</i> zone
15. Amo Moor	1,360	36°15'	136°58'	<i>Betula-Fagus-Lepidobalanus</i> period → <i>Fagus-Lepidobalanus</i> period
16. Kigo Moor	550	35°40'	135°11'	<i>Fagus-Lepidobalanus-Cryptomeria</i> period → <i>Cryptomeria-Fagus-Lepidobalanus</i> period → <i>Cryptomeria</i> period
17. Onuma Moor	610	35°25'	134°34'	Subarctic tax+cool temperate deciduous broad-leaved taxa→cool-temperate deciduous broad-leaved taxa+temperate deciduous broad-leaved taxa(B zone) B zone→temperate coniferous taxon( <i>Cryptomeria</i> )+cool-temperate deciduous broad-leaved taxa+temperate evergreen broad-leaved taxon( <i>Cyclobalanopsis</i> )(Cl zone) Cl zone→temperate coniferous taxon+cool-temperate deciduous broad-leaved taxa
18. Orogatawa Moor	700	35°20'	133°39'	<i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Ilex</i> period→ <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Carpinus</i> period
19. Makura Moor	720	34°45'	132°23'	<i>Tsuga-Pinus-Picea-Betula</i> period → <i>Cyclobalanopsis-Lepidobalanus-Alnus</i> period <i>Lepidobalanus</i> → <i>Cyclobalanopsis</i>
20. Ikenohira Moor	600	34°31'	136°11'	Cool-temperate broad-leaved deciduous forest →temperate coniferous forest
21. Ubuka Basin	390	34°29'	131°35'	<i>Pinus-Abies-Picea-Tsuga-Betula</i> period → <i>Betula-Quercus-Pinus-Tsuga</i> period <i>Fagus-Quercus-Tsuga</i> period→ <i>Cyclobalanopsis-Alnus-Abies</i> period
22. Nombara Moor	520	34°27'	131°49'	<i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , <i>Tsuga</i> → <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Celtis</i> , <i>Aphananthe</i> <i>Quercus</i> , <i>Fagus</i> →evergreen broad-leaved forest
23. Karaike Moor	1,220	33°36'	133°05'	<i>Fagus-Tsuga-Cryptomeria-Abies</i> period (warm temperate)→ <i>Fagus-Tsuga-Abies</i> period(cool-temperate)
24. Tamoyachi Moor	1,300	40°40'	140°52'	<i>Fagus-Quercus</i> stage
25. Oninosumoba Moor	1,960	36°42'	138°31'	<i>Fagus-Quercus</i> (broad-leaved deciduous forest)

The present summer temperature is estimated from equation (1). Locations of sites are shown in Fig.6.

and differences between them

Direction of migration of upper and/or lower limits of <i>Fagus</i> forest zone	Age (y B.P.)	Summer temperature (°C)		Difference in summer temperature (°C)	Reference
		Inferred	Present		
Upper limit:Upward	8,500	16.8	19.4	-2.6	TSUJI <i>et al.</i> (1983)
Upper limit:Upward	9,900-8,500 (9,200)	16.8	18.3	-1.5	TSUJI <i>et al.</i> (1983)
Upper limit:Upward	7,000	16.8	16.2	0.6	YAMANAKA (1978)
Upper limit:Upward	6,000	16.8	16.8	0.0	MORITA and AIZAWA (1986)
Upper limit:Upward	8,500	16.8	18.0	-1.2	YAMANAKA (1978)
Upper limit:Upward	8,800	16.8	18.2	-1.4	YAMANAKA (1977)
Upper limit:Upward	12,000	16.8	21.4	-4.6	KAWAMURA (1979)
Upper limit:Upward	10,000	16.8	17.2	-0.4	SAKAGUCHI (1978)
Upper limit:Downward	3,000	16.8	14.3	2.5	KAJI (1982)
Upper limit:Upward	11,000	16.8	20.9	-4.1	TSUKADA (1967)
Upper limit:Upward	8,300	16.8	19.2	-2.4	HIBINO and SASAKI (1982)
Upper limit:Downward	(*)4,500	16.8	15.0	1.8	TSUKADA (1958)
Upper limit:Upward	9,500	16.8	16.7	0.1	TSUKADA (1958,1967)
Upper limit:Upward	8,100	16.8	19.5	-2.7	HIBINO and SASAKI (1982)
Upper limit:Upward	9,000	16.8	17.4	-0.6	TAKEOKA (1983)
Lower limit:Upward	9,000-5,000 (7,000)	21.0	21.5	-0.5	TAKEOKA and SAITO (1983)
Upper limit:Upward	11,500	16.8	21.2	-4.4	MİYOSHI and YANO (1986)
Lower limit:Upward	8,000	21.0	21.2	-0.2	
Lower limit:Downward	4,000	21.0	21.2	-0.2	
Lower limit:Downward	4,000	21.0	20.6	0.4	MİYOSHI and HATA (1975)
Upper limit:Upward	9,000	16.8	20.6	-3.8	MİYOSHI and HATA (1977)
Lower limit:Upward	7,900-6,000 (7,000)	21.0	20.6	0.4	
Lower limit:Upward	8,400	21.0	22.2	-1.2	MATSUOKA <i>et al.</i> (1983)
Upper limit:Upward	10,000	16.8	22.3	-5.5	HATANAKA and MİYOSHI (1980)
Lower limit:Upward	7,000	21.0	22.3	-1.3	
Upper limit:Upward	10,000	16.8	21.7	-4.9	YASUDA (1978)
Lower limit:Upward	6,500	21.0	21.7	-0.7	
Lower limit:Downward	4,000	21.0	19.0	2.0	YAMANAKA and YAMANAKA (1977)
<i>Fagus</i> forest zone	—	16.8	15.7	1.1	YAMANAKA (1968)
<i>Fagus</i> forest zone	—	16.8	14.4	2.4	TSUKADA (1967)

Note : (\*) Age of site 12 is from SOHMA, H. (pers. comm.).

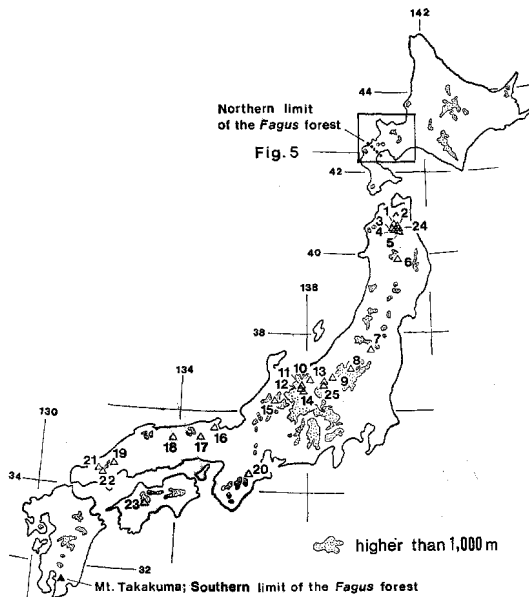


Fig. 6 Distribution of sites whose pollen stratigraphies are examined  
Site nos. are shown in Table 6.

て、先に示したブナ林帯上限の夏季平均気温  $16.8^{\circ}\text{C}$ 、下限の夏季平均気温  $21.0^{\circ}\text{C}$  という値は、植生帯から気温を推定する際に用いる妥当な値と考える。ここでは、花粉層序資料から知られるブナ林帯の上限および下限の変化から、更新世末期以降の気温変化を検討する。使用した花粉層序資料は Table 6 に、地点は Fig. 6 に示した。なお、資料は、ブナ林帯の移動が比較的明瞭に現れる山岳地域のものに限った。

各地から報告されている花粉分析結果では、ブナ林帯の上限あるいは下限が通過したことを、意識的に指摘しているものは少ない。花粉帯の設定と、それから推測される植生の種組成、および植生帯の変化とが、主として検討されている。この場合、試料採取地点がある植生帯に位置し、時間の経過とともに、別の植生帯に変化したとすれば、その間に境界が通過したと考えられる。

そこで、花粉層序および推定された植生の記載内容から、試料採取地点の植生が *Abies*, *Pinus*, *Picea*, *Betula* などを主とする亜高山帯(亜寒帯)植生から、*Fagus*, *Quercus* (*Lepidobalanus*) などを主とする山地帯(冷温帯・温帯)の植生に変化した場合には、ブナ林帯上限が上方へ、再びその地点の植生が亜高山帯植生に変化した場合は、上限が下方へ通過したと判断した。また、試料採取地点の植生が、ブナ林帯の植生から *Cyclobalanopsis* を

主とする丘陵帯(暖温帯)の植生へと変化した場合は、ブナ林帯下限が上方へ、その逆の場合は下方へ通過したと判断し、ブナ林帯の上限あるいは下限の通過時期と通過方向とを判定した。また、梶 (1982) の資料から算出した、亜高山帯下限の温度領域とブナ林帯上限の温度領域とは良い対応を示すので (Table 4)、亜高山帯植生が上方に移動したとみなされる場合は、気温的にはブナ林帯上限が上方へ移動したことに相当すると判断した。判断の根拠とした植生の変化は Table 6 に示した。

花粉帯の区分、特にその境界の位置の設定は研究者によって異なることがあるが、境界の設定基準は確立しておらず、花粉組成の総合的判断にゆだねられている。本稿では、引用文献の著者によって示された区分をそのまま用いた。また、絶対年代も境界そのものの年代が測定されているわけではなく、通過時期の年代に関しても、地点 21 を除いて、著者によって推定されている花粉帯の境界の年代を用いた。期間で示されているものもあるが、この場合、グラフ上での表現は中央値を採用した。本稿で扱った植生帯の境界の位置および年代は誤差を持ったものであることに留意する必要がある。

同一花粉層序においてブナ林帯の上限や下限が幾度も通過することは少なく、また試料の採取地点は経度・緯度および標高が異なっている。それゆえ、本稿では、試料採取地点の現在の気温との差を用いることによって気温を基準化し、相対的度数表現を用いて検討した。試料採取地点の現在の夏季平均気温は、標高および経度・緯度とを用いて、式 (1) から算出した。結果は Table 6, Fig. 7 に示す。

Fig. 7 では、同一層序から二つ以上の時期の気温が得られているものは線で結んだ。Fig. 7 から解るように、各年代において推定された夏季気温は  $4^{\circ}\text{C}$  前後の幅を持っている。この幅が、地域差を反映しているのか、花粉帯境界の設定における試料間の違いによるのかは、判断し兼ねる。しかし、 $6,000 \text{ y. B. P.}$  以前は夏季気温が上昇傾向を、 $4,500 \text{ y. B. P.}$  以降は夏季気温が下降傾向を示すという性格は各地で共通している。 $3,000 \text{ y. B. P.}$  以降については、ブナ林帯の下限あるいは上限の通過が明瞭で、かつ、絶対年代で示された資料はみられなかった。

資料数が少ないため、平均的な曲線を描くのは困難であるが、夏季気温の変化は次のような特徴を示す。 $12,000 \sim 11,000 \text{ y. B. P.}$  頃は、夏季気温は現在よりも  $3 \sim 7^{\circ}\text{C}$  ほど低かったと推定され、SAKAGUCHI (1976) の約  $13,000 \text{ y. B. P.}$  に年平均気温が現在よりも  $5^{\circ}\text{C}$  ほど



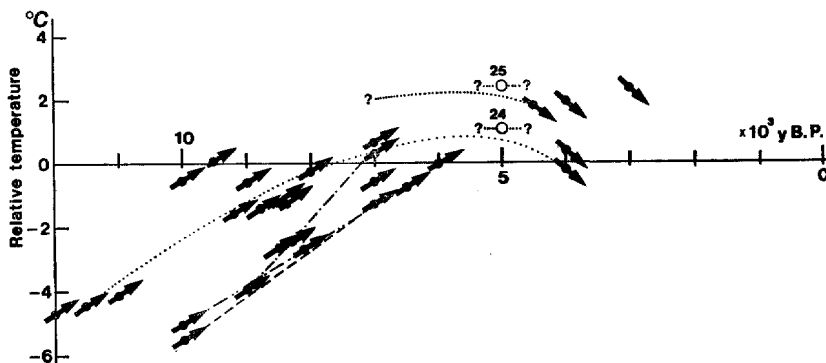


Fig. 7 Changes in the summer temperature inferred for the period from 12,000 y.B.P. to 3,000 y.B.P., showing the relative temperature and direction of change

When two or more points with different ages and temperatures can be inferred from the same pollen stratigraphy, they are connected by a line for each site. The open circles whose site nos. are shown in Table 6 indicate the maximum summer temperatures estimated through the whole pollen stratigraphies, but without absolute ages.

低かったという推定と矛盾しない値となっている。10,000~9,000 y.B.P. 頃、現在とほぼ同じ夏季気温に達した所もあり、一方では、5°C 前後低かった所もある。7,000 y.B.P. になると、低い所でも現在より 2°C 前後の低さである。6,000 y.B.P. には、すべての地点で現在と同じか、あるいは現在より高い夏季気温になっている。

TSUKADA (1982 b) は、8月の平均気温は 8,000 y.B.P. には現在より 2.5°C 低く、7,000 y.B.P. には現在より 0.3°C 高く、6,000 y.B.P. には現在より 1.1°C 高かったと推定している。本稿で求めたこの時期の夏季気温も、同様の推移を示している。現在より夏季気温の高くなった地点が現れる 9,500 y.B.P. から 6,000 y.B.P. の期間はヒブシサーマルの前期とみなせよう。

6,000 y.B.P. から 4,500 y.B.P. の間は、すべての地点で現在とはほぼ同じか、それ以上の夏季気温を示す。地点 12 は現在のブナ林帯よりも上方に位置するが、泥炭層基底の 7,200 y.B.P. の時には、すでにブナ林帯に入っており、4,500 y.B.P. に上限が下方に移動したと判断される(年代は相馬氏の私信による)。この間は、現在より 1.8°C、あるいはそれ以上の高い夏季気温であったことを示している。

このほか、現在のブナ林帯上限よりも上方の地点で、ブナ林帯を経験している代表的地点は地点 9, 24, 25 である。いずれの地点(地点 9 では標高 1,860 m の中之芝)においても、大局的に *Pinus · Abies* (オオシラビ

ソ)・*Tsuga · Betula*→*Fagus · Quercus*→*Pinus · Abies · Tsuga · Betula* と花粉組成が変化し、ブナ林帯の上昇とその後の下降を示していると考えられる。上記の3地点のうち、地点 24 では 1.1°C、地点 25 では 2.4°C、現在よりも夏季気温が高くなったことを示しているが、年代は不明である。Fig. 7 には 5,000 y.B.P. の線上に記しておいた。地点 9 は 3,000 y.B.P. にブナ林帯上限が下方に通過し、この時点で夏季気温は、現在よりも 2.5°C 高かったことを示している。中部山岳地域では、ブナ林帯が最も上昇した時でも標高 2,000 m 付近と推定されており(塚田, 1967)、地点 9 および 25 はほぼその高度に相当する。それゆえ、ヒブシサーマルの極相期には、1~2.5°C 前後の範囲で、現在より夏季気温が高くなったと判断される。

4,500 y.B.P. から 3,000 y.B.P. の間は、各地点で夏季気温が低下傾向にあることを示している。4,000 y.B.P. に現在より夏季気温が低下した地点もあるが、3,000 y.B.P. まで高温であった地点もある。全体の傾向からみると、4,500~3,000 y.B.P. の間は、ヒブシサーマルの減温期とみなせる。

## V. ま と め

ブナ林帯の上限、下限の温度領域を求め、それに基づいて更新世末期以降のブナ林帯の変化から、夏季気温変化を検討した。そのために、まず山岳地域の気温資料について重回帰分析を行い、従来よりも精度の高い推定式

を求めた。この式を用いて、ブナ林帯の上限、下限の気温を推定し、雨量指数、年平均気温、および7・8月2ヵ月の平均気温（夏季平均気温）を算出した。

上限および下限のそれぞれの温度領域の平均値に関しては、雨量指数は  $42.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 、 $75.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$  を、年平均気温は  $4.2^{\circ}\text{C}$ 、 $9.4^{\circ}\text{C}$  を、また、夏季平均気温は  $16.8^{\circ}\text{C}$ 、 $21.0^{\circ}\text{C}$  を示す。これらの値の散らばりの大きさを示す変動係数は年平均気温、雨量指数、夏季平均気温の順に小さくなる。すなわち、ブナ林帯の上限および下限は、夏季平均気温と最も密接な関係を持っているとみなされる。

また、この夏季平均気温を用いると、黒松内低地帯の標高 200 m 以下の低地帯は、ブナ林帯下限の温度領域に入り、植生の平衡地帯となっていることが解る。ブナ林が北進するためにはこの低地帯を横断せねばならず、この平衡地帯を通過することは確率的には厳しかったと推察される。現在より高温であったヒブシサーマル期には通過条件は一層厳しかったと考えられ、そのために黒松内低地帯にブナ林の北限が長期間にわたって停滞してきたと推察される。すなわち、ブナ林北限問題も夏季平均気温を用いると合理的に説明されうる。

上記の検討から、ブナ林帯上限の夏季平均気温を  $16.8^{\circ}\text{C}$ 、下限のそれを  $21.0^{\circ}\text{C}$  として、花粉層序から知られるブナ林帯上限、下限の変動に基づいて、12,000 y. B.P. から 3,000 y. B.P. の間の夏季気温の変化を推定してみた。各年代において、推定された夏季気温は  $4^{\circ}\text{C}$  前後の幅を持っているが、気温変化は以下のような傾向を示す。

10,000 y. B.P. 以前は、夏季気温はすべての地点で現在よりも低く、12,000 y. B.P. から 10,000 y. B.P. の間は、 $3\sim 7^{\circ}\text{C}$  低かったと推定される。現在と同じ夏季気温に達した時期は、地点によって異なるが、9,500 y. B.P. から 6,000 y. B.P. の間であり、この時期はヒブシサーマルの前期に相当すると考えられる。6,000 y. B.P. から 4,500 y. B.P. の間は、すべての地点で、現在と同じかあるいは現在よりも高い夏季気温を示す。

各地点における最高気温に達した時期やその時の夏季気温は、本稿では明らかにできなかった。しかし、ヒブシサーマルの極相期には、ブナ林帯の上限や下限が現在よりも高くなったことがあり、それらの資料からは、ヒブシサーマルの極相期には  $1\sim 2.5^{\circ}\text{C}$  前後の範囲で、現在よりも夏季気温が高かったと推定される。4,500 y. B.P. 以降、夏季気温は低下傾向を示す。全体の傾向からは、4,500 $\sim$ 3,000 y. B.P. の間はヒブシサーマルの極相

期が終り、減温期に入ったと言えよう。

謝辞 本稿作成に当たり御教示頂いた東京大学鈴木秀夫教授、佐々木昌子女史、信州大学柳町晴美講師、千葉大学大沢雅彦助教授、東京大学梶 幹夫助教授、奈良女子大学相馬秀広講師、自然保護協会滝口正三主任研究員にお礼申し上げる。

## 引用文献

- 青山高義 (1987) 東北日本の気候的水収支について。地学雑誌, **96**, p. 64-71.
- 旭川営林局 (1955) 石狩川源流原生林総合調査報告. 393p.
- 藤 則雄 (1966) 日本における後氷期の気候変遷. 第四紀研究, **5**, p. 149-156.
- 藤井昭二 (1975) 富山平野周辺の寒冷期を示す大型植物遺体と立山連峰の水期. 式 正英編著「日本の氷期の諸問題」, 205 p. : p. 146-158, 古今書院.
- 古谷正和 (1979) 大阪周辺地域におけるウルム氷期以降の森林植生変遷. 第四紀研究, **18**, p. 121-141.
- 長谷川 力 (1970) 本邦の山岳における気温の特性. 地球科学, **24**, p. 35-39.
- 長谷川 力 (1974) 本邦における気温減率について (補足). 地球科学, **28**, p. 41-46.
- 長谷川 力 (1977) 北アルプス槍ヶ岳付近における夏季の気温減率について. 地理評, **50**, p. 722-726.
- 畑中健一・三好教夫 (1980) 宇生賀盆地(山口県)における最終氷期最盛期以降の植生変遷. 日生態誌, **30**, p. 239-244.
- 日比野紘一郎・佐々木昌子 (1982) 長野県北西部における花粉分析の研究. 宮城県農短大報告, no. 30, p. 93-101.
- 堀田 満 (1974) 植物の分布と分化. 400 p., 三省堂.
- 石川 泉 (1970) 白山の自然. 207 p.
- 石塚和夫 (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, 532 p. : p. 404-428.
- 伊藤浩司 (1982) 北海道植生図説. 32 p., 日本造船振興財団.
- 梶 幹夫 (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期気候の影響——. 東大農学部演習林報告, no. 72, p. 31-120.
- 亀井節夫・ウルム氷期以降の生物地理総研グループ (1981) 最終氷期における日本列島の動・植物相. 第四紀研究, **20**, p. 191-205.
- 上伊那誌編纂会 (1962) 長野県上伊那誌(自然篇) 1, 052p.
- 川村智子 (1979) 東北地方における湿原堆積物の花粉分析的研究——とくにスギの分布について——. 第四紀研究, **18**, p. 79-88.
- 吉良竜夫 (1948) 雨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**, p. 143-173.
- 吉良竜夫 (1949) 日本の森林帯(林業解説シリーズ 17). 42 p., 日林協.
- 吉良竜夫 (1976) 陸上生態系. 166p. : p.35-45, 共立出

- 版.
- 吉良竜夫・吉野みどり (1968) 日本産針葉樹の温度分布——中部地方以西について——. 森下正明・吉良竜夫編「自然」, 497 p. : p. 131-161, 中央公論社.
- 吉良竜夫・四手井綱英・沼田 真・依田恭二(1976)日本の植生——世界の植生配置のなかでの位置づけ——. 科学, **46**, p. 235-247.
- 気象庁 (1958) 山岳気候表. 気象庁観測技術資料, no. 9, 27 p.
- 気象庁 (1960) 任意地点の月平均気温(累年平均値)の推定法. 気象庁技術報告, no. 2, 33 p.
- 北安曇誌編纂委員会 (1971) 北安曇誌 (第一巻自然), 1, 161 p.
- 熊井久雄・赤羽貞幸・野尻湖発掘調査団 (1981) 最終氷期における野尻湖の自然環境. 第四紀研究, **20**, p. 175-189.
- 黒田登美雄・畑中健一 (1979) 花粉分析よりみた北九州の過去二万年間の植生変遷. 花粉, no. 13, p. 3-8.
- 前橋気象台 (1972) 奥利根の気候. 69 p.
- 松岡数充・西田史朗・金原正明・竹村恵二 (1983) 紀伊半島室生山地の完新統の花粉分析. 第四紀研究, **22**, p. 1-10.
- Miki, S. (1956) Remains of *Pinus koraiensis* S. et Z. and associated remains in Japan. *Bot. Mag.*, **69**, p. 447-454.
- 三好教夫・波田善夫 (1975) 中国地方の湿原堆積物の花粉分析学的研究 I. 蛇ガ丸湿原. 第四紀研究, **14**, p. 161-168.
- 三好教夫・波田善夫 (1977) 中国地方の湿原堆積物の花粉分析学的研究 IV. 枕湿原. 日生態会誌, **27**, p. 285-290.
- Miyoshi, N. and Yano, N. (1986) Late Pleistocene and Holocene vegetational history of the Ohnuma Moor in the Chugoku mountains, Western Japan. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **46**, p. 355-376.
- 守田益宗・相沢俊二 (1986) 東北地方北部の亜高山帯の植生史に関する花粉分析的研究. 東北地理, **33**, p. 24-31.
- Nakamura, J. (1952) A comparative study of Japanese pollen records. *Res. Rep. Kochi Univ.*, **1**, p. 1-20.
- 農業技術協会 (1954) 本邦累年気候表. 679 p.
- 岡上正夫 (1968) 雨量指数と緯度・高度との関係. 森林立地, **9**, p. 22.
- 沖津 進・伊藤浩司 (1984) 北海道山岳の森林限界高度と WI 15. 日生態会誌, **34**, p. 341-346.
- 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉澤 正 (1977) 多変量解析法. 430 p., 日科技連.
- 大沢雅彦・滝口正三・達 良俊 (1986) 白神山地のブナ林の生態学的特性. 白神山地のブナ林の生態系の保全調査報告書, 日本自然保護協会, p. 88-105.
- SAKAGUCHI, Y. (1976) Characteristics of Ozegahara deposits and climatic changes since Lateglacial in Central Japan. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, **8**, p. 1-24.
- SAKAGUCHI, Y. (1978) Climatic changes in Central Japan since 38,400 y.B.P.—Viewed from palynological study on Ozegahara deposits. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, **10**, p. 1-10.
- SAKAGUCHI, Y. (1982) Climatic variability during the Holocene Epoch in Japan and its causes. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, **14**, p. 1-27.
- 関口 武 (1949) 日本各地の気温減率. 科学, **19**, p. 517.
- SOHMA, K. (1984) Two late-Quaternary pollen diagrams from Northeast Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 4 (Biol.), **38**, p. 351-369.
- 下高井教育会 (1964) 志賀高原の自然. 292 p.
- 高橋浩一郎監修 (1983) 日本気象総覧(下). 1,060 p., 東洋経済新報社.
- 竹岡政治 (1983) 岐阜県天生湿原周辺の森林変遷. 94 回日林論, p. 387-389.
- 竹岡政治・齊藤秀樹 (1983) 京都府宮津市木子湿原周辺の森林変遷. 94 回日林論, p. 395-396.
- 辻 誠一郎・宮地直道・吉川昌伸 (1983) 北八甲田における更新世末期以降の火山灰層序と植生変遷. 第四紀研究, **21**, p. 301-313.
- TSUKADA, M. (1958) Pollen analytical studies of Post glacial age in Japan II. Northern regions of Japan North-Alps. *Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ.*, Ser.-D, **9**, p. 235-249.
- TSUKADA, M. (1967) Pollen succession, absolute pollen frequency, and recurrence surfaces in Central Japan. *Amer. J. Bot.*, **54**, p. 821-831.
- 塚田松雄 (1967) 過去一万二千年間: 日本の植生変遷史. I. 植物学雑誌, **80**, p. 323-336.
- 塚田松雄 (1981) 過去一万二千年間: 日本の植生変遷史. II. 新しい花粉帯. 日生態会誌, **31**, p. 201-215.
- TSUKADA, M. (1982a) Late-Quaternary development of the *Fagus* forest in the Japanese Archipelago. *Jap. Jour. Ecol.*, **32**, p. 113-118.
- TSUKADA, M. (1982b) Late-Quaternary shift of *Fagus* distribution. *Bot. Mag.*, **95**, p. 203-217.
- TSUKADA, M. (1983) Vegetation and climate during the Last Glacial Maximum in Japan. *Quat. Res.*, **19**, p. 212-235.
- TSUKADA, M. (1985) Map of vegetation during the Last Glacial Maximum in Japan. *Quat. Res.*, **23**, p. 369-381.
- TSUKADA, M. (1986) Altitudinal and latitudinal migration of *Cryptomeria japonica* for the past 20,000 years in Japan. *Quat. Res.*, **26**, p. 135-152.
- YAMANAKA, M. (1968) Palynological studies of some peat moors in the sub-alpine zone of the Hakkoda mountains. *Ecol. Rev.*, **17**, p. 109-113.
- YAMANAKA, M. (1977) Palynological studies of Quaternary sediments in Northeast Japan. I. Gozaisho-Numa Moor in the Hachimantai Mountains. *Ecol. Rev.*, **18**, p. 251-262.
- YAMANAKA, M. (1978) Vegetational history since the

late Pleistocene in Northeast Japan. I. Comparative studies of the pollen diagrams in the Hakkoda mountains. *Ecol. Rev.*, **19**, p. 1-36.

山中二男・山中三男 (1977) 高知果カラ池湿原の植生および花粉分析的研究. 高知大学学術研究報告, **26** (自然科学, no.3), p. 17-30.

柳町 治 (1987) 氷河・周氷河地形からみた中部日本における最終氷期の気候. 第四紀研究, **25**, p. 295-303.

安田喜憲 (1973) 東北地方における後氷期後半の気候変化. 地理評, **46**, p. 107-115.

安田喜憲 (1974) 大阪府河内平野における過去一万三千年間の植生変遷と古地理. 第四紀研究, **16**, p. 211-226.

YASUDA, Y. (1978) Prehistoric environment in Japan-Palynological approach. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 7 (Geogr.), **28**, p. 117-281.

安田喜憲 (1982) 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究——最終氷期以降の日本海側の乾・湿の変動を中心として. 第四紀研究, **21**, p. 255-271.

安田喜憲・成田健一 (1981) 日本列島における最終氷期以降の植生回復元への一資料. 地理評, **54**, p. 369-381.

吉田 義・伊藤七郎・白瀬美智男・堀内俊男・真鍋健一・鈴木啓治・竹内貞子・野中俊夫・楡井良政・楡井典子 (1981) 阿武隈山地中央部における第四系と植物化石群——最終氷期における東北南部の植生変遷の一例——. 第四紀研究, **20**, p. 143-163.

吉野正敏 (1961) 小気候. 274 p., 地人書館.

渡辺定元 (1987) 北限のブナ林. 182 p., 北海道林業改良普及協会.

#### 編集委員会からのコメント

本論文はご覧のように、多分野に関わりがあり、編集委員会としては「第四紀研究」にふさわしい論文だと考えますが、レフェリーからは著者たちが基本資料として大沢ほか(1986)のデータそのものが、ブナ林の下限を高く設定しすぎているのではないか、というコメントが寄せられました。この点に関し、著者たちからは、大沢ほか(1986)が一定の基準で設定したものを著者たちが勝手に変更することはできない、この問題についてはむしろ植物生態学者間で議論を煮つめてほしい、という希望を含めた意見が出されています。

編集委員会としては、本論文の価値を認め、掲載を決定しましたが、この論文の刊行を機会に、上記の問題を含めた、生態学的、第四紀学的な誌上討論が行われれば、と考えています。この問題をめぐっての「討論」論文の投稿を期待します。