

## 屋久島の森林施業に関する研究

### I スギ人工林の生育立地解析

今永 正明・吉田茂二郎・湯之上 修\*

(森林経理学研究室)

## Studies on the Treatment of the Forest in Yaku-shima Island

### I. Multivariate Analyses on the Topographical Conditions of the Planted Sugi (*Cryptomeria japonica*) Forests

Masaaki IMANAGA, Shigejiro YOSHIDA and Osamu YUNOUE

(Laboratory of Forest Management)

### 緒 言

屋久島は九州最南端佐多岬の南方約 60km の洋上に位置し、東西 28km、南北 24km のほぼ円形の山岳島である。本島は標高 1,935m の宮之浦岳を中心とする標高 1,000m を越える山を 30 以上持ち、急峻、複雑な地形を示している。気候は亜熱帯海洋性気候で高温多湿である。とくに年間降雨量は多く、海岸部で 3,000 ~ 5,000mm、山岳部では 8,000 ~ 10,000mm に達する。こうした多湿な気候条件等がスギの生育に適し、樹齢数 1,000 年に達する高齢の天然スギが存在する世界的にも著名な島となっている。

現在この島にみられるスギを大別すると、樹齢 1,000 年を越える天然スギ（通称、ヤクスギ）、樹齢 350 年程度までの天然生スギ（通称、コスギ）、そして樹齢ほぼ 50 年以下の人工スギにわけられる。

こうしたスギ林に関する長期の施業計画をたてるためには、まず上述した分類の各々のスギ林に関して詳細な調査研究を行い、それらの結果を基に総合的な施業計画が樹立されなければならない。そこでここではまず、人工林について、現存する林分の生育立地を多変量解析の手法を用いて解析し、将来の森林施業のための基礎を与えるものとした。

### 研究の場所と方法

研究対象地域は Fig. 1 中に示す 2 地域である。この 2 地域を選んだ理由は、宮之浦地域は屋久島において最も早くから人工造林がすすんだ地域であること、これに対してヤクスギランド地域は比較的最近造林が行われた地域であること、また前者は海拔高の低い地域で海岸に近い場所に位置すること、これに対して後者は、海拔高の高い場所にあることなどの理由による。こうした対象的な両地域を調査することによって、スギ人工林と立地条件の広範囲な検討が可能となろう。なおここでいうヤクスギランド地域は国有林の自然休養林であるヤクスギランド周辺の地域を仮称するものであり、ヤクスギランドそのものは含まない。

研究対象とした宮之浦地域は、国有林の 24、25、26、27、38、39、40、41 林班に属している。対象プロットを中心点の標高をみると、海拔高 90m から、1,130m の範囲にある。対象とした

\*現在、鹿児島県森林組合連合会

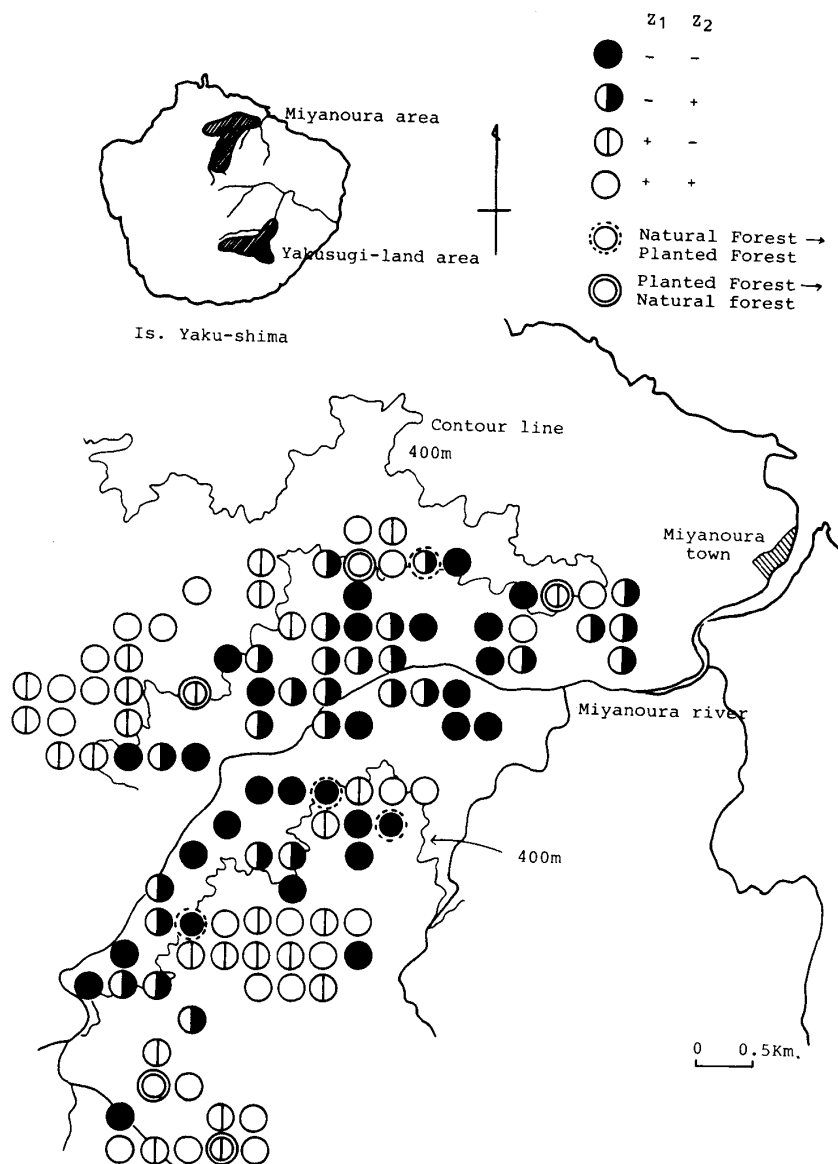


Fig. 1. Results of the Multivariate Analysis in Miyanouura area

スギ人工林の林齢は5～52年（昭和58年現在）となっている。

本地域を昭和6年に調査した浜岡<sup>4)</sup>は、この地域を標高によって3大別し、50～400mを常緑広葉樹混交林（無スギ帯）、400～700mを同（準スギ帯）、700～1,600mを針広混交林帯（スギ帯）と区分している。

一方、ヤクスギランド地域の研究対象地は、標高750～1,380mであり、国有林の63, 67, 68, 78, 80, 81林班に属している。林齢は3～27年である。この地域は針広混交林帯に属している。

まず宮之浦地域の縮尺2万分の1の地形図（熊本営林局昭和57年調整の事業図）上に、南北1.5cm、東西1.5cm（現地で300m×300m）の正方形のメッシュをかぶせ、その方形の中心部に直径1.0cm（現地で200m）の円を設定した。各円に関して、人工林の面積がその円面積の8割を越えるものを人工林、天然林の面積が8割を越えるものを天然林と区分した。その結果得られた人工林は40プロット、天然林は52プロットである。各円を対象に海拔高、傾斜角、地形曲率、褶曲頻度の4

地形要因を図上で測定した。ここで海拔高は円の中心点の海拔高を 10m 単位で求めたもの、傾斜角は最大傾斜線が水平面となす角度を 0.5 度単位で求めたもの、地形曲率は、円の中心をとる等高線がその円周を横切る時に、その両交点と中心点と結び得られる角のうち下方の角度を 1 度単位で測定したもの、褶曲頻度は円の中心を通る等高線の凹凸の数を数えたものである。

つぎにヤクスギランド地域については、前述した 2 万分の 1 の縮尺の地形図上、人工林の小班上に直径 1.0cm の円を 51 個設定した。またその周辺部分の天然林に 53 個のプロットを設定し、この計 104 個のプロットについて、海拔高、傾斜角、地形曲率、褶曲頻度の測定を行った。

こうして得た多くの測定結果から、スギ人工林の生育立地条件をさぐるため、多変量解析の手法を導入した。多変量解析<sup>1)</sup>とは「互いに相関のある多変量のデータのもつ特徴を要約し、かつ所与の目的に応じて総合するための手法」である。そこで本研究の目的には、こうした手法をとることが望ましいものと考えられる。

この多変量解析にも多くの手法を含むが、ここでは主成分分析と、判別分析を用いることとした。主成分分析は総合特性値を求めるための手法であり、これは多くの変量の次元を減少させるための方法であるから、地形要因についても、これを個々にみるのではなく、その変量の次元を減少させることによって、総合的に判断出来ることになる。また判別分析は予測に用いるための多変量解析であるから、ここでは地形要因にもとづき、人工林に属するか、天然林に属するかの判定（予測）に用いることが出来る。

なお主成分分析<sup>1)</sup>とは「P 個の特性値 (P 変量)  $x_1, x_2, \dots, x_p$  のもつ情報を、つぎの 2 つの条件を満足する m 個 ( $m < P$ ) の総合特性値  $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$  ——これを第 1, 第 2, …… , 第 m 主成分とよぶ——に変形する手法である。

$$\begin{aligned} Z_1 &= l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p \\ Z_2 &= l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p \\ &\vdots \\ Z_k &= l_{k1}x_1 + l_{k2}x_2 + \dots + l_{kp}x_p \\ &\vdots \\ Z_m &= l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p \end{aligned}$$

ただし  $\sum_{i=1}^p l_{ki}^2 = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, m)$

またここで用いた判別分析<sup>5)</sup>は「全サンプルを 1 と 2 のグループに分ける方法である。いま m 個のサンプルについて n 個の変数に関するデータ ( $m \times n$ ) があったとする。サンプルの各々にはあらかじめ、それが属するカテゴリー (仮に A) に属するか、属さないかがわかっているとす。このとき、この手法は、本来 A に属するサンプルを非 A と誤って判断する確率  $P(a/\bar{A})$  やその逆の確率  $P(a/A)$  を最小にするように、各変数に適当な重みをかけ、それを合成することによって判別関数の値を求めるものである。この関数は、

$$Z = X'S^{-1}(\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2}(\mu_1 - \mu_2)S^{-1}(\mu_1 - \mu_2)$$

という形で表現される。ただし、 $\mu_1 - \mu_2$  はグループ 1 のサンプルとグループ 2 のサンプルの各変数に関する平均値の差で、S は全サンプルに関する分散共分散行列である。」

## 結果と考察

## 1. 宮之浦地域

対象地域は Fig. 1 に示すとおりである。

まず主成分分析の結果を Table 1 に示す。この結果によると累積寄与率は第 2 主成分までで 67%

Table 1 Results of the principal component analysis in Miyanoura area

Factor	Mean	Factor Loading		
		P.C.1	P.C.2	P.C.3
Altitude	480.4 m	0.837	0.200	-0.198
Angle of Slope	31.8 °	0.825	-0.109	-0.319
C.C.*	179.8 °	0.015	0.975	0.161
F.C.**	3.74	0.506	-0.181	0.842
Eigenvalue		1.64	1.04	0.88
Accumulative Contribution		41.0	66.9	88.8

\* Curvature of the contour line passing on the center of a circle  
 \*\* Frequency of the convex and concave of the contour line

となり、ほぼ 7 割が説明されることがわかる。各主成分の因子負荷量は各要因との関係の深さを示すが、第 1 主成分は海拔高、傾斜角との関係が深く、第 2 主成分は地形曲率、第 3 主成分は褶曲頻度と関係が深いことがわかる。つぎに各プロットのスコアを計算し、その散布図を第 1、第 2 主成

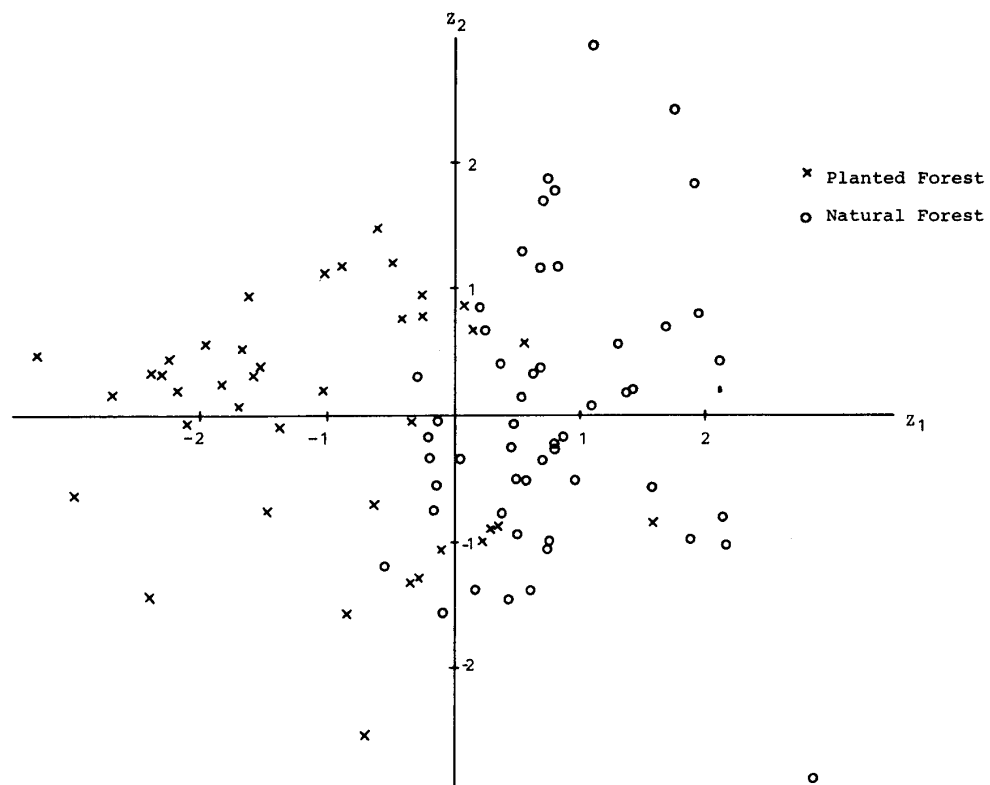


Fig. 2. Distributions of the Planted and Natural Forests on  $Z_1$  and  $Z_2$  axes in Miyanoura area

分について描いたものが Fig. 2 である。図上、人工林、天然林の分布にまとまりが認められ、人工林は第 1 主成分の負の場所に多く分布していることがわかる。第 1 主成分のスコアが負となるような場所は、海拔が低く、傾斜角の小さいところといえる。逆に天然林は海拔が高く、傾斜の急な場所に多くみられることになる。Fig. 1 では第 1 主成分 (Z<sub>1</sub>)、第 2 主成分 (Z<sub>2</sub>) の符号別にプロットをぬりわけている (資料一部追加)。図より、この符号別のプロットの分布状況をみると、海拔高のほぼ 400m を境として、宮之浦川右岸も左岸も Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub> が (-, -), (-, +) と (+, -), (+, +) にほぼわかれることがわかる。なおこの標高 400m は先述した浜岡の森林帯区分では無スギ帯と準スギ帯をわける線であった。ここで (-, -) の意味するものは、海拔が低く、傾斜角が小さく、地形曲率が小さい (凹地形) 場所であり人工林地帯といえ、(+, +) は逆の場所で天然林地帯といえよう。その中間として (-, +), (+, -) の組み合わせがあるが、散布図からみて、Z<sub>1</sub> の符号が負のものが人工林、正が天然林とわかれるため、(-, +) を準人工林地帯、(+, -) を準天然林地帯と考えると、宮之浦川の左岸では、人工林地より準人工林地が多く、右岸は人工林地が多くなる傾向にある。

つぎに判別分析を行った。

得られた判別式はつぎのとおりである。

$$Z = 0.09257 - 0.0010X_1 - 0.00144X_2 + 0.00004X_3 - 0.00294X_4$$

ここで、X<sub>1</sub> : 海拔高、X<sub>2</sub> : 傾斜角、X<sub>3</sub> : 地形曲率、X<sub>4</sub> : 褶曲頻度

この判別式によって判別を行うと、現在の人工林から天然林へ移るもの 5 個、天然林から人工林へ移るもの 4 個となる。この入れ替りのあったプロットも Fig. 1 に示した。ここで入れ替りのある前後の各要因の平均値を比較したものが Table 2 である。この表より、海拔高で判別前後に目立つ差が認められる。

## 2. ヤクスギランド地域

主成分分析の結果を Table 3 に示す。第 2 主成分までの累積寄与率は 64% で宮之浦地域とほぼ同

Table 2 Differences of the mean values before and after the discriminatory analysis in Miyanoura area

	Disc.	Alt.	A.S.	C.C.	F.C.
Planted Forest	before	284.3m	27.3°	181.9°	3.38
	after	260.5	26.4	182.5	3.41
Natural Forest	before	622.2	35.5	178.3	4.02
	after	642.3	36.0	178.0	3.91

Table 3 Results of the principal component analysis in Yakusugi-land area

Factor	Mean	Factor Loading		
		P.C.1	P.C.2	P.C.3
Altitude	1100.6m	0.859	0.072	-0.019
Angle of Slope	23.6°	-0.686	-0.590	-0.026
C.C.	166.1°	0.379	-0.582	0.703
F.C.	3.11	-0.408	0.604	0.654
Eigenvalue		1.52	1.06	0.92
Accumulative Contribution		37.9	64.3	87.4

じである。因子負荷量より、第1主成分は海拔高，傾斜角，第2主成分は，傾斜角，地形曲率，褶曲頻度，第3主成分は地形曲率，褶曲頻度と関係が深いことがわかる。Fig. 3に散布図を示す。こ

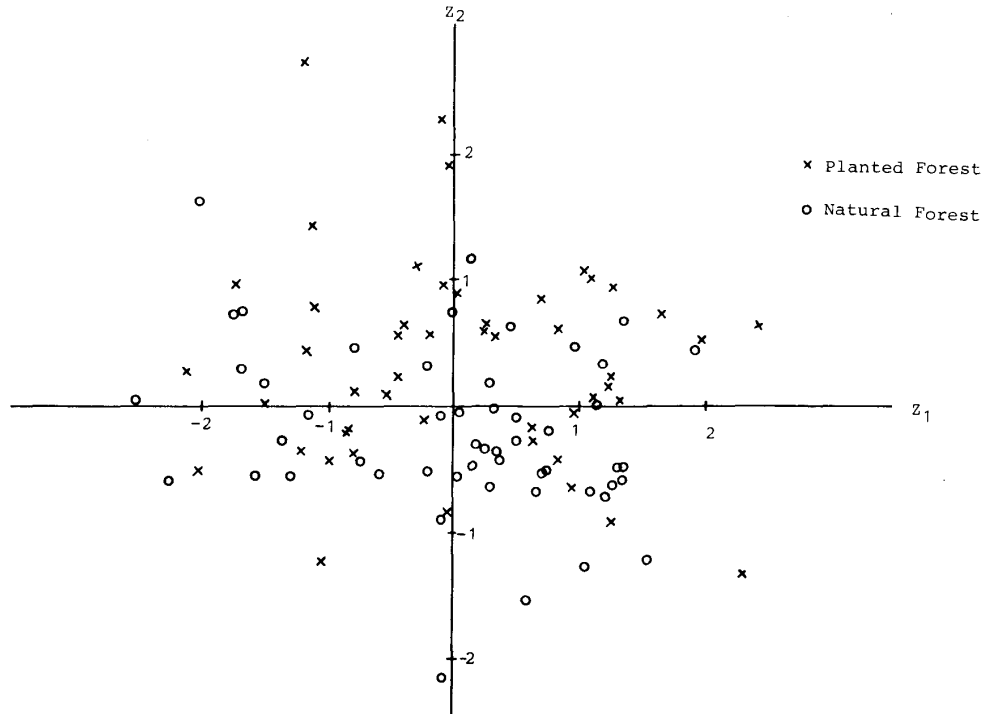


Fig. 3. Distributions of the Planted and Natural Forests on  $Z_1$  and  $Z_2$  axes in Yakusugi-land area

の図上の人工林，天然林の分散は Fig. 2 の場合ほど明確ではない。しかし全体的にみて，人工林は  $Z_2$  の正の部分に多く分布していることがわかる。このことより，人工林は，海拔が高く，傾斜角が小さく，地形曲率の小さい（凹地形），褶曲頻度の大きい（入りくんだ地形）場所にみられ，天然林はその逆の地形に多くみられることを示している。

つぎに判別分析を行った。

得られた判別式はつぎのとおりである。

$$Z = 0.03465 - 0.00001X_1 - 0.00075X_2 - 0.00007X_3 + 0.00080X_4$$

ここで， $X_1$ ：海拔高， $X_2$ ：傾斜角， $X_3$ ：地形曲率， $X_4$ ：褶曲頻度

この判別式によって判別すると，天然林の16プロットが人工林，人工林の18プロットが天然林と判別されることがわかる。このようにこの地域の場合には，104プロット中34プロットに入れ替りがみられるのである。なお判別前後の平均値を比較すると，Table 4にみるように，海拔高の変化

Table 4 Differences of the mean values before and after the discriminatory analysis in Yakusugi-land area

	Disc.	Alt.	A.S.	C.C.	F.C.
Planted Forest	before	1105.9m	20.7°	149.5°	3.29
	after	1115.5	18.6	127.2	3.63
Natural Forest	before	1095.5	24.5	182.1	2.98
	after	1087.3	26.2	200.7	2.63

は少なく、地形曲率の変化が大きいことがわかる。

### 3. まとめ

以上の結果を総括すると、まず宮之浦地域にあっては、人工林の分布が海拔高と傾斜角とに関係が深く、海拔が低く、傾斜のゆるやかな場所にまとまっていることがわかった。とくに海拔高の影響は大きい。ここで宮之浦川左岸地区について、さらに方位を加えた検討を行ってみた。その結果、人工林の分布は、海拔が低く、傾斜がゆるやかで、方位のやや西向きな斜面に多いことがわかった。この場合も特に海拔高の影響は大きい。こうした事実から、最も早くから造林のすすんだこの地域では、造林適地の選択はおおむね海拔高に依存し、他の地形要因を考慮に入れることが比較的少なかったものと思われる。

人工造林を行うにあたって適地の選択が特に重要であることは言をまたない。この地域においては今後よりきめの細かい造林適地の判定が重要となろう。そしてそのためには現在造林されている林分の生長経過を把握することが重要となる。従って今後の研究課題として、人工林をその生長状況を基に区分を行い、その地位区分と立地条件の関係をこうした手法を用いて解析することが有効であろう。

ヤクスギランド地域については、判別分析の結果、人工林、天然林間に多くの入れ替りがみられた。また主成分分析の結果も、人工林、天然林の分布に顕著な傾向が認められなかった。これらのことから、この地域の人工林、天然林の適地判定は簡単ではないことがわかる。しかし、主成分分析の結果得られた、傾斜がゆるく、凹型で複雑な地形に多くスギ人工林がみられることは、その水分条件からみて、スギ造林地として適切な選択を行っているともいえるのである。

以上今回は、スギ人工林の成立条件を地形をもとに解析した。用いた手法は総合特性値を求めるための主成分分析と、予測に用いる判別分析という多変量解析の手法であった。屋久島の2地域のスギ人工林に関して、こうした手法を用いて解析したが、その結果、スギ人工林の立地条件について地形要因の変量の次元を減少させた総合的な判断を行うことが出来たことと、そのプロットの地形によって具体的に、人工林に属するか、天然林に属するかの判定を行えたことは、今回の研究の大きな成果であるといえよう。

## 要 約

屋久島の2地域に関してスギ人工林の成育立地条件を多変量解析の手法を用いて解析した。

宮之浦地域では人工林40プロット(直径200mの円形プロット)、天然林52プロットを検討の対象とした。この地域はこの島の北部宮之浦川の流域に位置する。

一方ヤクスギランド地域では人工林51プロット、天然林53プロットを検討の対象とした。この地域は本島の中央南部に位置する。

サンプルプロットに関していくつかの地形要因を地形図上で測定し、主成分分析と判別分析によって解析した。結果は以下に示すとおりである。

1. 宮之浦地域では第1主成分の負の領域に人工林が多くみられる。(Fig. 2)
2. この地域で得られた判別式によって、天然林の4プロットが人工林、人工林の5プロットが天然林と判別される。(Fig. 1)
3. ヤクスギランド地域では第2主成分の正の領域に人工林が多くみられる。(Fig. 3)
4. この地域で得られた判別式によって、天然林の16プロットが人工林、人工林の18プロットが天然林と判別される。

## 文 献

- 1) 奥野忠一他：多変量解析法（改訂版），日科技連出版， pp430, 1983.
- 2) 柿木司：屋久杉の研究，鹿屋営林署， p1 ~ 44, 1954.
- 3) 熊本営林局：屋久島国有林の森林施業， pp140, 1982.
- 4) 浜岡透：屋久島天然生林におけるスギの更正状態について，林学会雑誌， 15(3), p2-14, 1933.
- 5) 渡正堯，岸学：多変量解析プログラム集（増補改訂版），工学図書株式会社， pp166, 1982.

## Summary

In the two areas of Yaku-shima Island, the topographical conditions of the planted Sugi (*Cryptomeria japonica*) forests were analyzed by means of the multivariate analyses.

The Miyanoura area is situated in the north of this island, lying in the valley of the Miyanoura-gawa river. In this area 92 sample plots – 40 in the planted Sugi forests and 52 in the natural forests – were selected for this research. The area of each sample plot covers 3.14ha. On the other hand, Yakusugi-land area is situated in the middle-south of this island.

Here 104 sample plots – 51 in the planted Sugi forests and 53 in the natural forests – were obtained.

Several topographic factors of these sample-plots were measured on the map and the obtained data were analyzed both by the principal component analysis and by the discriminant function.

The results obtained are as follows.

1. In the Miyanoura area it has been definitely shown that in the minus domain of the first principal component, a lot of samples of the planted forests are distributed. (Fig. 2)
2. By using the discriminant function obtained in this area, 4 plots in the natural forests are discriminated as those of the planted forests, while 5 plots in the planted forest are discriminated as those of the natural forests. (Fig. 1)
3. In Yakusugi-land area, it was in the plus domain of the second principal component that many planted forests are distributed. (Fig. 3)
4. In this area, 16 plots in the natural forests are discriminated as those of the planted forests, while 18 plots of the planted forest are discriminated as those of the natural forests.