

## 海岸防災林におけるクロマツの生長と土壌の 時系列的推移に関する研究

河崎 弥生\*・田中 一夫\*

### On the Growth of the Japanese Black Pine (*Pinus Thunbergii* Parl.) and the Time-serial Transition in the Soil Characteristics within the Coastal Sand-dune Fixation Forest

Yayoi KAWASAKI,\* Kazuo TANAKA\*

#### Summary

In order to clarify the transition of the soil characteristics and stand condition of the coastal sand-dune fixation forest consisted of Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* Parl.), the authors carried out the timber cruise, soil survey, soil analysis, stem analysis among some sample plots areaed 100m<sup>2</sup> individually. The results are as follows:

1) These stands were consisted of Japanese black pine before the invasion of the broad leaved trees. Since then, they change into compound storied forest, finally they would grow as the broad leaved forest.

2) Soil in the coastal sand-dune fixation forest has matured apparently both in chemical and physical aspects as the times goes on after afforestation. Development of the mycelium layer among the soil layer retards the fertilizing process.

3) The strong relation is recognized between the growth of the Japanese black pine and fertilization of soil.

The coastal sand-dune fixation forest studied is supposed not to be structured as a disaster prevention forest. Providing of the tending method should be needed to strengthen the stand structure. The most profitable method may be to lead the existing forest into the compound storied one. For the compound storied forest is very stable from a view point of ecology and have a desirable stand structure against the saline and sand entraining wind.

---

\* 鳥取大学農学部砂防工学研究室 ; Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University.

## I 緒 言

我が国において、海岸防災林の果す役割は、国土保全等の防災的見地から非常に重要である。

海岸防災林造成は、古くは慶雲年間(704年)<sup>1)</sup>より営々と続けられ、戦後(1953年)海岸砂地帯農業振興臨時措置法が制定されるに及び、飛躍的に造林面積が増大し、現在では最前線の一部を残して造成は一応完了したと言える状況である。そして、造成された海岸防災林の多くは良好な防災機能を果す林分として高い評価を受けるに至っている。しかし、一方では砂丘地開発の機運の高揚による伐採に加え、近年大発生したマツクイムシ被害による防災機能低下など、海岸防災林の保育、管理の面でかかえる問題は数多い。

この様なことから、海岸防災林の今後の保育、更新を含めた防災機能強化に対する再検討が強く望まれている。従来、海岸防災林においては、造成に関する研究が中心で、その保育管理さらには更新に関する検討は、ほとんどなされてこなかった。

保育管理を検討する場合、林分造成後の林況及び地況の推移を適確に把握することが前提となる。

そこで筆者等は、今回、造林年代の異なる林分を調査し、その結果を時系列的に考察することで海岸防災林の造成後の推移を明らかにし、今後の保育管理について若干の検討を試みたものである。

林分の生態的推移を把握するには、Ecosystemに関与する数多くの環境因子を調査する必要があるが、今回は、クロマツの生長と土壌の肥沃化に注目しその推移、関連性より検討を行った。

## II 調査地及び調査方法

鳥取県東部の造林された林齢の異なる海岸防災林をあらかじめ予備調査し、地形あるいは微気象等の環境条件が類似した林分に10×10mの標準地を28ヶ所設定した。標準地の面積は種数一面積曲線(Species area curve)から決定されるべきものであるが、海岸林の場合、おおむねクロマツ一斉林的林況を呈する林分が多く10×10mで標準化が可能であると判断した。

標準地を設定した林分の位置はFig.0-1に示すとおりであり、その概略は次の様である。

### 《浜 村》

前砂丘頂部を国道9号線が走り、その風上・風下両側の林分が飛砂防備保安林に指定されている。風下側の林齢40年の林分に標準地A・B、同じく風下側林齢45年の林分に標準地C・D、風上側林齢7年の林分に標準地E・Fを設定した。

### 《伏 野》

防風保安林に指定されている林齢60年の林分に標準地A・Bを設定した。汀線より約200m内陸寄りである。

### 《賀 露》

飛砂防備保安林に指定されている、汀線から内陸寄り150～200mの林齢20年の林分に標準地A・B、人工砂丘風下側約20～30mの林齢10年の林分に標準地C・Dを設定した。

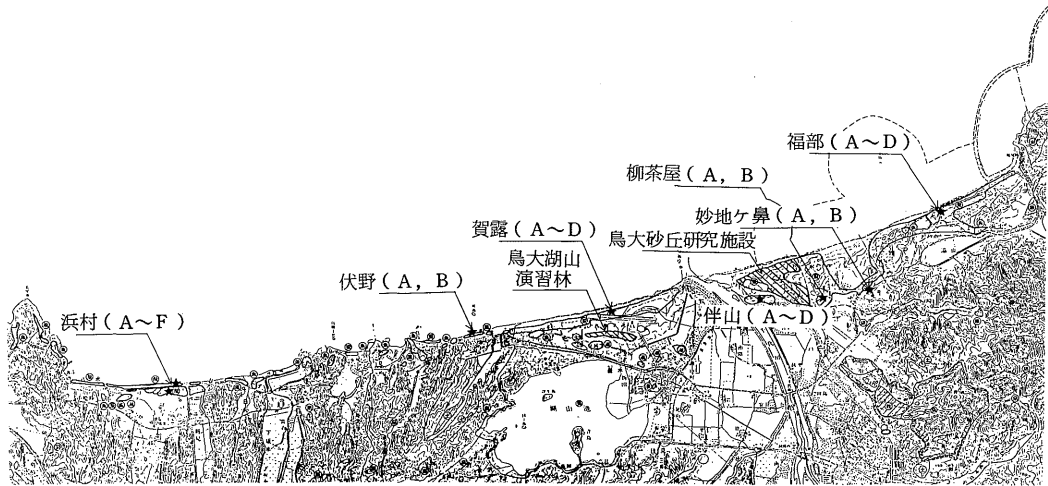


Fig.0-1 Locational map of sample plots

#### 《湖 山》

鳥取大学湖山演習林内の林齢30年及び29年の林分内に標準地A・Bを設定した。汀線より約500m内陸寄りである。

#### 《妙地ヶ鼻》

鳥取砂丘の砂丘湖である多鯰ヶ池北側の国有林で林齢90、120年の林分にそれぞれ標準地A・Bを設定した。

#### 《柳茶屋》

鳥取砂丘旧砲台跡付近の国有林で「子供の国」造成の為に多くは伐採されたが、一部歴史に残る古い林分が残存している。林齢130年の林分に標準地A・Bを設定した。

#### 《伴 山》

千代川河口右岸沿いの国有林で、古いものでは樹齢300年のクロマツが残存することを鳥取営林署が確認している。伐根より林齢180年前後と推定される林分に標準地C・D、林齢45年の林分に標準地A・Bを設定した。

#### 《鳥大砂丘利用研究施設》

鳥取大学砂丘利用研究施設砂防実験林内で同施設内の圃場を保護している林齢30、31年の林分内に、標準地A・Bを設定した。

#### 《福 部》

飛砂防備保安林に指定されている林分で、人工砂丘背後の林齢7年の林内に標準地A・B、観光道路をへだて内陸側林齢17年の林内に標準地C・Dを設定した。

設定した各標準地において次の様な調査を行った。

##### (1) 林況調査

一般的な手法により毎木調査を行ない、さらに林況の推移をとらえる際に環境条件を把握する指標

として使用可能であると思われる自然侵入植生について調査を行った。なお、自然侵入植生については木本類については正確に樹種把握可能であったが、草本及びコケ類については種の判別は明確ではない。

#### (2) 樹幹解析

主に保安林内に標準地を設定したため、すべての標準地においてクロマツの樹幹解析を行うことは不可能である。したがって、伐採可能な鳥取大学湖山演習林及び鳥取大学砂丘利用研究施設内の標準地において樹幹解析を実施し、海岸砂丘地クロマツの生長特性を把握することを試みた。国有林においては最近伐倒されたクロマツの伐根の一部を持ち帰り肥大生長のみについて解析を行った。解析方法は山田、村松<sup>2)</sup>の手法による。

#### (3) 土壌断面調査

森林土壌の肥沃化を把握するには、土壌生成論的立場に立脚し土壌の profile を調査することが有意義な方法として一般的評価を受けている。

各標準地内において標準木付近に1×1 mの調査枠を設けL層の有機物量を測定し、さらにその枠内に調査孔を掘り調査を行った。調査方法は河田、小島<sup>3)</sup>によるものとし、層位及びその厚さ、各土層の推移状態、腐植含有率、石礫の有無、土性、土壌構造、堅密度(山中式土壌硬度計による)、孔隙、水湿状態、根系、菌糸束等について調査を行った。土色については、砂丘地の場合、砂粒(石英、長石、雲母等)の色が強く影響し、マンセルの土色帳により粗腐植の分解混入の良否、溶脱状態等を把握することが困難な場合が多いため、今回は行わなかった。

砂丘地の森林土壌の profile を調査する際、horizonの分化をどうとらえるかということが基本的な事項として明示されなければならない。従来砂丘地の森林土壌は、森林土壌学においては砂質未熟土(Im-s)あるいは(A)-C型の層位を持つレゴゾル(regosol)と、あくまで未熟土として一括分類され、層位区分については消極的であった様に思われる。しかし一般の経済林土壌においては、かなり erodible で未熟土に近い場合でも層位区分を行っていること、従来層位区分は土壌生成論的視点に立って有機物混入による土壌の垂直的变化を表現する指標として使用されてきたのであり、砂丘地の森林土壌であっても有機物混入による変化が認められれば、一般の経済林同様層位区分を行うことに理論的矛盾はないこと、さらに現実にハイレベルな生態系である森林が砂丘地に存在するのであるから、それを生育せしめている母体はもはや風化堆積物ではなく土壌と判断でき得るという3つの観点から、砂丘地の森林土壌においても十分層位区分が可能であると考えられる。

今回は、明らかに有機物混入により土壌構造、土色等に変化が見られる層をA層とし、B層、C層の区分については砂丘地の場合母材がすでに風化堆積物であるため難しい面もあるが、根系が侵入しベクテン酸等により多少なりとも変化が生じている深さまでをB層とし、それ以下をC層とすることとした。又、必要に応じて各層をさらに細分化した。(ex. A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> ……等)

#### (4) 土壌の理化学性の分析

土壌断面調査の際に、各断面の層位別に芝本式採土管で採取した土壌について理学的性質の分析を

行い、また同時に別途採取した各断面の層位別の土壌について化学的性質の分析を行った。

#### 《理学的性質》

一般に、土壌の理学的性質は、透水性、通気性および保水性の良否に大きく作用される。今回はそれらが把握可能な林野庁土壌調査方法書<sup>4)</sup>に基づき、透水性、容積重、孔隙量、最大容水量、最小容気量等について分析を行った。さらに J I S-A-1204<sup>5)</sup>により粒土試験を行った。

#### 《化学的性質》

土壌の化学性を分析する場合、何を目的とするかでかなり方法が異なると思われる。従来砂丘地の森林土壌の研究はあまりなされてこなかったことを考えると、未だ分析方法が確立されているとは言い難い点もある。

したがって今回は、一般経済林において行われている方法<sup>3)</sup>により概略を把握することを目的に、次の様な分析を行った。

- pH (H<sub>2</sub>O), pH (kcl) ……抽出液と試料を 5 : 1 で抽出したものを、ガラス電極 pHメーターにより測定した。
- 置換酸度 (Y<sub>1</sub>) …… kcl で抽出後 NaOH により滴定を行った。
- 全炭素量 ……改良チューリン法による。
- 全窒素量 ……セレンウムを分解促進剤として使用するケルダール法による。
- 塩基置換容量 (CEC) ……中性 1N 酢酸アンモニウム抽出による Peech 法による。
- 置換性カルシウムおよびマグネシウム量 ……中性 1N 酢酸アンモニウム抽出による EDTA 法による。
- 全リン酸 ……過塩素酸により分解後、バナドモリブデンイエロー法による比色定量。
- 有機態リン酸 ……塩化第一スズ還元によるモリブデンブルー法 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>系) による比色定量。
- 無機態リン酸 ……全リン酸より有機態リン酸を差引いて求めた。

なお調査期間は、毎木調査は 1980 年 7～9 月、土壌調査は同年 11～12 月である。

### Ⅲ 結果及び考察

#### 1. 植栽後の経過年数別にみた造林地の状況

クロマツの生長、土壌の肥沃化等については、後に個別に時系列的考察を行うので、ここでは林況を中心に林齢の異なる造林地の概略について述べる。

##### (1) 林齢 10 年前後の状況

林齢 7 年の標準地浜村 - F および福部 - B、さらに林齢 10 年の標準地賀露 - D の現況は、Table 1 - 1 ~ Table 1 - 4 に示すとおりである。

これらの表から明らかな様に、浜村 - F においては他の 2 つの地区に比べクロマツの成立本数が半分以下で生長も非常に悪く、土壌状態を見ても層位の分化は見られず、理化学性も裸地ときほど差異がなく土壌とは言い難い状態である。このことは、この標準地が人工砂丘の風上側に位置し飛砂、飛

Table 1-1 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter of 0.2m (cm)		
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Hamamura-F	7	Japanese black pine	30	0.90	1.32	1.80	2	2.9	4
		Acacia	12	0.80	1.03	1.40	1	1.3	2
Fukube-B	7	Japanese black pine	64	1.20	2.44	3.84	2	3.1	14
		Acacia	12	1.25	1.78	2.70	1	1.7	5
Karo-D	10	Japanese black pine	71	0.70	1.70	3.15	2	3.4	6

Table 1-2 Situation of the soil profile

PLOT	Litter* kg/m <sup>2</sup>	Thickness of F·H layer	Horizon	Thickness (cm)	Texture	Structure	Hardness
Hamamura-F	0.05	undeveloped			S	sg	10
			C-(A)	(2)	S	sg	10
Fukube-B	0.28	undeveloped	C-(B)	(10)	S	sg	8
			C	↓	S	sg	8
			A	5	S	gr	6
			B <sub>1</sub>	30	SL	m	22
Karo-D	0.37	0.5	B <sub>2</sub>	30	S	sg	16
			C <sub>1</sub>	60	S	sg	8
			C <sub>2</sub>	↓	S	sg	3

\* 1 m<sup>2</sup>当りのL層Litter fallの絶乾重

Table 1-3 Physical property of soil

PLOT	Horizon	Water percolati- on rate (cc/min)	Bulk density	Porosity (%)			Water max. (%)		Air min. (%)	Moisture content of fresh soil	
				Coarse	Fine	Total	Weight	Volume		Weight	Volume
Hamamura-E	(5 cm)	147	159.9	32.9	6.7	39.6	23.8	38.0	1.7	5.1	8.1
Fukube-B	(5 cm)	82	150.0	34.5	9.3	43.8	21.6	32.0	11.7	9.2	13.6
	A	215	150.8	35.6	5.7	43.3	20.0	29.4	11.9	11.8	17.2
Karo-D	B <sub>1</sub>	85	152.0	31.9	7.0	38.9	19.5	27.7	11.1	11.0	15.6
	B <sub>2</sub>	147	159.9	32.9	6.7	39.6	23.8	38.0	1.7	5.1	8.1
	C	376	161.2	33.1	6.0	39.1	23.8	38.3	0.8	4.7	7.8
Control	Bare land	101	153.8	34.4	8.4	42.8	25.5	39.2	3.6	8.7	13.4

塩等の害をまともに受ける苛酷な環境条件にさらされるためであると考えられる。この様な所では、林地に付与された落葉落枝が樹幹周辺を除いては風により持ち去られ、自己施肥機能がスムーズに機能しないことがしばしば生じる。今後最前線部の海岸防災林造成にあたっては、一時的にでも防風垣を設置する等の措置が必要であると思われる。

福部-B、賀露-Dでは、クロマツの成立本数も多く比較的良好な生長をしている。このことは、両標準地が前砂丘の風下側にあるという点にあわせて福部-Bでは造林する際に造林地の風上側に5列のニセアカシア帯を造成したこと、賀露-Dにおいては造林時に客土を行ったことに起因するもの

Table 1-4 Chemical property of soil

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Ex-acidity (Y <sub>1</sub> )	T-C (%)	T-N (%)	CEC me/100g	Ca+Mg me/100g	Ca me/100g	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	org-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
Hamamura-F	(5cm)	7.00	6.40	0.23	0.096	0.035	3.0	2.04	tr.	10.6	3.1	7.5
Fukube-B	(5cm)	6.70	6.10	0.45	0.456	0.035	5.0	1.55	tr.	12.1	3.6	8.5
Karo-D	A	6.30	5.70	0.68	0.276	0.060	6.0	1.33	tr.	18.6	5.8	12.8
	B <sub>1</sub>	6.60	6.60	0.45	0.516	0.070	5.5	2.50	tr.	16.6	8.2	8.4
	B <sub>2</sub>	6.70	6.40	0.45	0.360	0.070	8.0	4.34	0.5	4.8	4.0	0.8
	(C <sub>1</sub> )	6.80	5.35	0.23	0.120	0.049	5.5	1.99	tr.	20.0	5.8	14.2
	(C <sub>2</sub> )	6.45	5.90	0.45	0.210	0.015	2.5	1.53	tr.	15.0	5.0	9.2
Control	Bare land	6.80	6.45	0.45	0.150	0.008	2.0	tr.	tr.	5.0	1.5	3.5

であると推察される。福部-Bと賀露-Dとを対比すると、客土区の賀露よりもニセアカシア帯造成区の福部の方がクロマツの生長は良好である。このことは単純に判断するならば、客土より肥料木混植の方が肥培効果が大きいことを示している。無論客土による効果も見逃せないものがあるが、その効果は保水性においては継続的であるが、化学的性質改善という点からみると、客土層中の可給態養分が溶脱されるまで有効でその後は効果が漸減することが予想される。このことはIII-4-(2)で後述するクロマツの樹幹解析の結果からも明らかである。それに対しニセアカシア帯を造成した場合は、植栽後年数を経るにしたがいニセアカシア自体の生長が良好となり林地肥培効果は漸増する。このことから継続的な肥培効果を得るためには、活物工法が有利であると思われる。

ここで福部-Bにおける肥料木の混植効果について検討を行う。Fig.1-1は、ニセアカシア帯からのクロマツの距離とその樹高生長および成立本数との関係を示したものである。なおこれは10m幅について検討したもので、枯損するものがなければ成立本数は10本となる。この図から、ニセアカシア帯から離れるにしたがいクロマツの樹高生長が悪くなり、ニセアカシアの肥培効果が顕著なのは約3m以内においてであることがわかる。一方クロマツの間に単列植栽されたニセアカシアは、ほとんど枯損してしまっていることがわかる。このことからニセアカシアの混植に際しては、なるべく単列は避け2列程度をまとめて植栽する、たとえば1m間隔の植栽の場合であれば、肥培効果が望める距離か

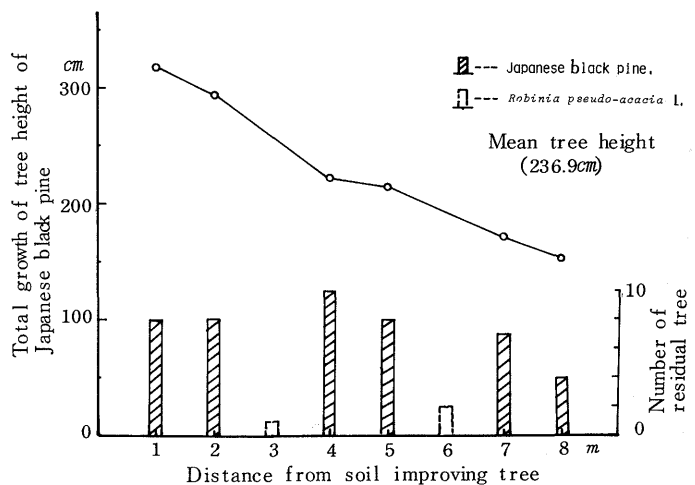


Fig.1-1 Relation between the growth of Japanese black pine and the distance from soil improving tree

ら判断して4列クロマツを植栽し2列ニセアカシアを混植するという方法をとれば、ニセアカシア自体の枯損防止もかねた効率的な林地肥培効果が望めると考えられる。このことは、田中<sup>6)</sup>が U. S. A. Vermont の飛砂地における造林方法として紹介したものと、よく一致する見解である。今後肥料木混植にあたっては、より効率的な手法の検討が望まれる。

## (2) 林齢20年前後の状況

林齢17年の標準地である福部-C, 林齢20年の標準地である賀露-Bの状況は, Teble 1-5 ~ Table 1-8に示すとおりである。

これらの表から造林後20年前後経過すると, A層が判別可能になり一応森林土壌として評価できる状態で, 理化学性も裸地に比べかなり良好となっていることがわかる。両標準地を比較すると, 福

Table 1-5 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter (cm)		
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Fukube-C	17	Japanese black pine	50	2.00	6.02	8.40	2	7.3	16
		Acacia	31	1.70	4.85	6.70	2	3.5	6
Karo-B	20	Japanese black pine	82	1.60	4.15	5.65	2	4.9	10
		Acacia	8	1.90	3.18	4.70	2	2.3	4

Table 1-6 Situation of the soil profile

PLOT	Litter kg/m <sup>2</sup>	Thickness of F-Hlayer (cm)	Horizon	Thickness (cm)	Texture	Structure	Hardness
Fukube-C	0.50	1.5	A	10	S	gr	6
			B	100	S	sg	7
			C	↓	S	sg	10
Karo-B	0.47	1.5	A	6	S	gr	7
			B <sub>1</sub>	40	S	sg	8
			B <sub>2</sub>	60	S	sg	9
			C	↓	S	sg	8

Table 1-7 Physical property of soil

PLOT	Horizon	Water percolation rate (cc/min)	Bulk density	Porosity (%)			Water max. (%)		Air min (%)	Moisture content of fresh soil (%)	
				Coarse	Fine	Total	Weight	Volume		Weight	Volume
Fukube-C	A	82	134.0	39.5	8.0	47.5	26.6	34.5	13.0	9.7	12.6
	B(20cm)	97	136.0	42.0	7.6	49.6	29.3	39.5	9.7	8.4	11.3
	B(70cm)	80	144.3	36.7	7.6	44.3	28.7	42.9	4.3	7.9	11.8
	C	77	147.0	38.1	7.2	45.3	21.1	38.3	7.0	7.7	11.3
Karo-B	A	75	159.7	31.2	6.8	38.0	18.2	27.9	10.0	7.1	11.0
	B <sub>1</sub>	158	160.0	33.5	6.1	39.6	23.5	37.4	2.3	6.7	10.7
	B <sub>2</sub>	71	165.2	32.1	5.5	37.6	14.3	23.2	14.5	5.5	9.0
	C	144	156.2	35.4	5.5	40.9	24.7	38.6	2.3	6.7	10.4



Table 1-8 Chemical property of soil

PLOT	Hori- zon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (kcl)	Ex. acidity (Y <sub>1</sub> )	T-C (%)	T-N (%)	CEC me/100g	Ca+Mg me/100g	Ca me/100g	T- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	org- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
Fukube-C	A	6.45	5.75	0.45	1.140	0.021	8.0	2.86	tr.	17.2	5.2	12.0
	B(20cm)	6.65	5.70	0.34	0.456	0.035	5.0	1.55	tr.	20.0	4.2	15.8
	B(70cm)	6.70	6.10	0.45	0.120	0.033	10.2	1.89	1.12	12.1	3.6	8.5
	C	7.25	6.40	0.45	0.480	0.053	5.0	2.50	tr.	15.4	5.0	10.4
Karo-B	A	6.15	5.30	0.79	0.576	0.060	3.0	1.79	tr.	16.6	2.3	14.3
	B <sub>1</sub>	6.30	5.65	0.45	0.444	0.102	10.0	2.81	0.5	12.0	2.8	9.2
	B <sub>2</sub>	6.50	6.20	0.45	0.162	0.064	3.5	1.48	tr.	13.0	3.2	9.8
	C	6.50	6.00	0.68	0.276	0.064	9.5	1.38	tr.	10.0	3.2	6.8

部の方が賀露に比べ土壌状態、クロマツの生長ともに良好である。地理的条件はほぼ同様であったから、ニセアカシアの肥培効果に差があることに起因するものと推察される。Table 1-5に示すニセアカシアの現在の成立本数をみると、福部31本に対し賀露ではわずか8本である。賀露においても植栽当時には20本前後のニセアカシアを混植しているはずであるから、その後枯損したと見てよい。このことから植栽後、肥料木であるニセアカシア自体の保育がまず前提として必要であることが推察される。

(3) 林齢30年前後の状況

本学湖山演習林および砂丘利用研究施設内の各標準地A, Bの状況は、Table 1-9~Table 1-11に示すとおりである。

これらの4つの標準地は環境条件および造林年次がほぼ同様であるにもかかわらず、クロマツの生長量および土壌状態にはかなりの差異が生じている。たとえば砂丘-Aと砂丘-Bを比べると、クロマツの樹高生長は4倍以上も違う。これらの差異を生じさせる原因を究明することは、現在全国的にかなり存在すると思われる不良林改良のために必要であると思われる。ここに示した4つの標準地の

Table 1-9 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter (cm)			Closed ratio	mixing rate of soil improving tree (%)
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.		
Sakyuken-A	31	Japanese black pine	24	7.2	11.2	13.2	8	13.8	20	136	30
		Acacia	29	1.8	3.1	4.5	2	2.1	4	118	
Sakyuken-B	30	Japanese black pine	40	0.8	2.5	3.6	2	3.2	6	94	10
		Acacia	4	1.2	1.4	1.6	2	2.0	2	6	
Koyama-A	30	Japanese black pine	44	5.1	8.2	13.0	4	8.3	14	123	10
		Acacia	6	2.3	2.9	3.3	2	2.0	2	20	
Koyama-B	29	Japanese black pine	68	1.0	4.6	6.3	2	5.0	10	139	10
		Acacia	8	3.2	3.8	4.6	2	3.0	4	16	

closed ratio = (Σ crown area of tree / area of plot) × 100

対比のみで解決のつく問題ではないが、一応考察を進める。まず肥料木の混植を行ったという点については、4つの標準地とも同条件である。しかし混植率および造林後の保育管理に差がある。すなわち砂丘-Aでは、3割と他の標準地に対して多くの肥料木混植を行い、さらにその後林齢14～23年にわたる10年間に継続的にニセアカシアの除伐を行っている。砂丘-Bでは、1割の肥料木混植を行い、その後保育作業は行っていない。湖山-Aでは、造林時に1割の肥料木混植を行い、さらにその後肥料木の補植および施肥を行っている。湖山-Bでは、

1割の肥料木混植を行っただけで、その後の保育は行っていない。これらの保育管理状態とクロマツの生長状況との関係から、次の様なことが明らかである。第1に、肥料木の混植率の低いものはクロマツの生長が不良である。しかし造林後肥料木の補植あるいは施肥をすれば、ある程度良好なクロマツの生長が望める。第2に、肥料木の混植率が高い場合には、ニセアカシアの生長特性からいってクロマツが被圧されることが予想されるが、適当な時期に適切な肥料木の除伐を行えば、クロマツの生長をさらに促進できる。

したがって今後不良林改良にあたっては、以下の様な保育作業が必要であろう。不良林になった原因が土壌の肥沃化が進まないことに起因するのであれば、肥料木の補植あるいは施肥を行う。不良林になった原因が混植したニセアカシアによる被圧に起因するものであれば、ニセアカシアの除伐を行

Table 1-10 Situation of the soil profile

PLOT	Litter (kg/m <sup>2</sup> )	Thickness of F-H layer	Horizon	Thickness (cm)	Texture	Structure
Sakyuken-A	0.65	1.0	A	15	SL	cr
			B	50	S	sg
			C	↓	S	sg
Sakyuken-B	0.32	2.0	A	4	S	sg
			B	70	S	sg
			C	↓	S	sg
Koyama-A	0.60	1.0	A	12	SL	cr
			B	40	S	sg
			C	↓	S	sg
Koyama-B	0.42	3.0	A	6	SL	cr
			B	50	S	sg
			C	↓	S	sg

Table 1-11 Chemical property of soil

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C <sup>*1</sup> (%)	T-N <sup>*2</sup> (%)	Water holding Capacity <sup>*3</sup> (%)
Sakyuken-A	A	5.5	1.002	0.075	64.9
	B	6.4	0.055	0.022	26.7
	C	6.5	0.022	0.019	26.5
Sakyuken-B	A	6.1	0.554	0.044	32.1
	B	6.6	0.022	0.016	26.6
	C	6.4	0.019	0.015	25.9
Koyama-A	A	5.9	0.892	0.068	52.8
	B	6.2	0.043	0.030	30.0
	C	6.3	0.019	0.022	24.9
Koyama-B	A	5.9	0.668	0.055	40.3
	B	6.5	0.029	0.021	25.5
	C	6.5	0.016	0.015	26.0

\*1,2……文献63による

\*3……日本農学会法による

う等の被圧解除のための保育を行う。不良林化には、その他気象条件に起因するものが考えられるが、この場合には改良が極めて困難であると思われる、今回の調査からではその対策は考察不可能である。

(4) 林齢40～60年前後の状況

林齢40年の標準地である浜村-A, 林齢45年の標準地である伴山-Aおよび林齢60年の標準地である伏野-Bの状況は, Table 1-12~Table 1-15に示すとおりである。

これらの表から, 造林後40～60年経過するとクロマツの生長状況は各標準地で差が見られるけれども, 一応海岸防災林の必要樹高であると一般に言われる10 m前後に達し, 防災林としての機能を果し得る林分となることがわかる。

地表は草本類が侵入し, かなり安定した状態となる。また土壌をみてもA<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>層の分化が生じ, A層全体の厚さはかなりのものとなる。A<sub>1</sub>層においては, 土性はSandからSandy loamへの移行が見られ団粒構造が発達する。土壌の理学性をみると, 孔隙量の増加にともない最大含水量が増大し容積重が低下する。また通気性, 透水性も良好である。土壌の化学性をみると, pHの低下にともない置換酸度の増大がみられ, 潜酸性が若干強くなる。その他, 全炭素含有率, 全窒素含有率等の増大が顕著にみられる。

Table 1-12 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter (cm)		
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Hamamura-A	40	Japanese black pine	19	5.00	9.26	11.00	6	12.11	20
		Acacia	23	2.00	4.85	9.60	6	5.13	12
Banzan-A	45	Japanese black pine	15	7.00	15.42	20.00	6	22.27	32
		Acacia	8	2.00	3.64	4.80	2	3.00	6
Fushino-B	60	Japanese black pine	22	7.70	12.63	15.50	6.2	12.55	22.0

Table 1-13 Situation of the soil profile

PLOT	Litter (kg/m <sup>2</sup> )	Thickness of F-H layer	Horizon	Thickness (cm)	Texture	Structure	Hardness
Hamamura-A	0.49	2.0	A <sub>1</sub>	5	SL	cr	3
			A <sub>2</sub>	15	S	gr	5
			B	60	S	sg	5
			C	↓	S	sg	12
Banzan-A	0.55	0.8	A <sub>1</sub>	10	SL	cr	6
			A <sub>2</sub>	20	S	gr	7
			B	70	S	sg	7
			C	↓	S	sg	8
Fushino-B	0.76	2.5	A <sub>1</sub>	5	SL	cr	7
			A <sub>2</sub>	15	S	gr	9
			B	60	S	sg	11
			C <sub>1</sub>	50	S	sg	14
			C <sub>2</sub>	↓	S	m	27

Table 1-14 Physical property of soil

PLOT	Horizon	Water percolation rate (cc/min)	Bulk density	Porosity (%)			Water max.(%)		Air min. (%)	Moisture content of fresh soil	
				Coarse	Fine	Total	Weight	Volume		Weight	Volume
Hamamura-A	A <sub>1</sub>	65	145.5	32.9	10.5	43.4	23.0	34.7	8.6	9.0	14.7
	A <sub>2</sub>	94	152.9	32.1	7.6	39.7	19.9	29.8	9.9	6.7	10.1
	B	108	154.7	35.6	6.8	42.4	22.9	34.7	7.7	6.7	16.2
	C	96	157.3	34.5	7.4	41.9	25.2	39.6	2.3	8.6	13.0
Banzan-A	A <sub>1</sub>	73	128.7	15.8	29.8	45.6	27.1	32.2	13.4	6.9	8.2
	A <sub>2</sub>	77	150.3	34.9	7.4	42.3	19.5	29.2	13.1	5.9	8.8
	B	138	161.0	33.3	7.2	40.5	26.0	41.8	-1.3	5.5	8.9
	C	114	142.9	39.5	6.4	45.9	26.6	38.0	7.9	6.1	8.7
Fushino-B	A <sub>1</sub>	40	114.6	37.8	8.3	46.2	35.4	33.5	12.5	9.4	8.9
	A <sub>2</sub>	148	137.1	38.8	7.3	46.1	22.7	30.3	15.9	5.1	6.9
	B	77	143.8	41.0	5.9	46.9	28.6	41.1	5.7	6.4	9.2
	C <sub>1</sub>	107	156.7	24.0	16.4	40.4	25.3	39.6	0.9	7.0	10.9
	C <sub>2</sub>	欠	153.9	4.6	36.2	40.8	29.1	44.7	-4.0	23.8	36.6

Table 1-15 Chemical property of soil

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Ex. acidity (Y <sub>1</sub> )	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca (me/100g)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	org-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
Hamamura-A	A <sub>1</sub>	5.95	4.80	0.90	1.524	0.126	17.5	1.74	tr.	17.6	4.2	13.4
	A <sub>2</sub>	6.30	5.00	0.90	0.890	0.084	5.5	1.84	tr.	17.4	5.6	11.8
	B	6.15	5.40	0.45	0.396	0.035	8.0	1.17	tr.	14.0	3.6	10.4
	C	6.45	5.90	4.50	0.072	0.025	10.6	1.79	0.5	11.8	2.4	9.4
Banzan-A	A <sub>1</sub>	5.70	4.70	3.38	1.452	0.109	10.0	2.60	tr.	21.6	2.8	19.8
	A <sub>2</sub>	5.85	5.15	2.63	0.916	0.123	8.5	2.20	tr.	11.4	4.2	7.2
	B	6.25	5.70	0.45	0.704	0.084	4.0	2.70	tr.	15.8	4.2	11.6
	C	6.55	5.65	0.34	0.456	0.049	5.0	1.79	tr.	14.4	4.6	9.8
Fushino-B	A <sub>1</sub>	5.80	4.70	4.95	1.968	0.091	4.8	1.84	tr.	25.5	5.4	20.1
	A <sub>2</sub>	5.80	4.90	3.83	0.996	0.077	7.0	0.82	tr.	20.1	6.3	13.8
	B	6.20	5.80	1.35	0.612	0.077	8.4	1.38	tr.	13.6	4.0	9.4
	C <sub>1</sub>	6.50	5.65	0.56	0.156	0.098	7.0	1.84	tr.	17.8	4.5	13.3
	C <sub>2</sub>	6.40	5.90	0.45	1.332	0.063	32.5	17.00	13.0	45.3	7.5	37.8

## (5) 林齢100年前後の状況

林齢90年の標準地である妙地ヶ鼻-A, 林齢120年である妙地ヶ鼻-Bおよび林齢130年である柳茶屋-Aの状況は, Table 1-16~Table 1-19に示すとおりである。

まず表には示していないが, 造林後100年前後経過するとクロマツの成立本数は非常に減少し, それにかわって数多くの広葉樹の侵入がみられ, 防災林として理想的である<sup>7)</sup>と言える針広混交の複層林的状況を呈するようになることが明確に把握できた。

地表は草本類により安定し, A層の厚さは柳茶屋-AにおいてはA<sub>1</sub>層, A<sub>2</sub>層を合計すると35cmに

Table 1-16 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter (cm)		
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Myozigahana-A	90	Japanese black pine	8	25.0	25.0	25.0	24.0	41.8	56.0
Myozigahana-B	120	Japanese black pine	6	24.0	25.0	26.0	32.0	36.3	48.0
Yanagichaya-A	130	Japanese black pine	9	10.0	18.9	23.0	14.0	31.2	50.0

Table 1-17 Situation of the soil profile

PLOT	Litter (kg/m <sup>2</sup> )	Thickness of F-H layer (cm)	Horizon	Thickness	Texture	Structure	Hardness
Myozigahana-A	1.12	1.0	A <sub>1</sub>	7	SL	cr	5
			A <sub>2</sub>	10	SL	gr	8
			B	30	SL	gr	12
			C	↓	S	sg	7
Myozigahana-B	1.11	3.0	A <sub>1</sub>	7	SL	cr	4
			A <sub>2</sub>	7	S	gr	7
			B <sub>1</sub>	12	S	sg	8
			B <sub>2</sub>	20	C	m	23
			B <sub>3</sub>	30	C	m	23
Yanagichaya-A	0.72	3.0	C	↓	C	m	32
			A <sub>1</sub>	10	SL	cr	4
			A <sub>2</sub>	25	SL	gr	11
			B <sub>1</sub>	35	S	sg	12
			B <sub>2</sub>	10	C	m	25
			B <sub>3</sub>	10	C	m	32
C	↓	C	m	28			

Table 1-18 Physical property of soil

PLOT	Horizon	Water percolation rate (cc/min)	Bulk density	Porosity (%)			Water max. (%)		Air min. (%)	Moisture content of fresh soil (%)	
				Coarse	Fine	Total	Weight	Volume		Weight	Volume
Myozigahana-A	A <sub>1</sub>	36	124.2	27.2	21.3	48.5	38.7	46.1	2.4	22.0	26.2
	A <sub>2</sub>	15	144.0	27.2	17.0	44.2	28.7	40.9	3.4	17.3	24.6
	B	29	112.6	26.6	24.9	51.5	15.6	39.0	12.4	21.8	24.9
	C	91	150.0	32.8	9.5	42.3	26.4	39.5	2.8	8.5	12.7
Myozigahana-B	A <sub>1</sub>	292	51.9	40.7	20.2	60.8	106.4	42.9	18.0	57.8	23.3
	A <sub>2</sub>	44	131.6	31.8	14.2	46.0	28.9	36.7	19.3	15.9	20.3
	B <sub>1</sub>	46	133.1	30.3	18.2	48.5	29.3	38.2	10.3	19.2	25.1
	B <sub>2</sub>	3	157.7	13.4	25.9	39.3	21.8	34.4	5.0	18.0	28.3
	B <sub>3</sub> C	11	107.5	24.6	34.1	58.7	41.4	44.2	14.5	33.7	36.0
Yanagichaya-A	A <sub>1</sub>	93	101.8	41.7	12.1	53.8	41.4	37.6	16.2	12.6	12.1
	A <sub>2</sub>	76	132.1	38.1	11.3	49.4	28.7	37.3	12.0	11.3	14.7
	B <sub>1</sub>	77	156.0	31.4	9.3	40.7	26.3	41.0	-0.4	7.6	11.9
	*B <sub>2</sub>	4	120.1	欠							

\* B<sub>2</sub>層の sample は実験中に crack が入り実験続行不可能になったためデータ欠如。  
B<sub>3</sub>及びC層の sample は採取せず (massive なため採取不可能)

Table 1-19 Chemical property of soil

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (kcl)	Ex. acidity (Y <sub>1</sub> )	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca (me/100g)	T- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	org- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
Myozigahana-A	A <sub>1</sub>	6.00	5.40	1.35	1.996	0.133	24.0	6.33	5.10	36.0	5.8	30.2
	A <sub>2</sub>	6.10	4.80	1.80	0.612	0.126	19.0	3.88	tr.	32.0	3.4	28.6
	B	5.75	4.60	20.70	0.828	0.098	27.8	6.50	2.50	34.8	5.2	29.6
	C	6.05	4.90	2.70	0.444	0.042	5.0	1.17	tr.	27.6	4.2	23.4
Myozigahana-B	A <sub>1</sub>	5.90	5.05	2.48	3.552	0.301	75.5	12.65	11.74	38.5	6.5	32.0
	A <sub>2</sub>	5.95	4.80	4.05	1.296	0.056	15.5	3.55	2.50	28.0	5.9	22.1
	B <sub>1</sub>	6.25	4.80	2.25	0.684	0.042	17.0	11.33	tr.	18.2	5.3	12.9
	B <sub>2</sub>	5.85	4.60	6.75	0.540	0.070	31.5	5.10	2.30	25.3	3.2	22.1
	B <sub>3</sub> C	6.20	4.65	10.80	0.948	0.042	48.0	8.57	tr.	33.5	4.6	28.9
Yanagichaya-A	A <sub>1</sub>	5.85	4.60	6.30	1.836	0.101	15.8	2.65	tr.	35.0	2.9	32.1
	A <sub>2</sub>	5.95	4.75	4.73	0.804	0.070	7.5	2.05	tr.	35.0	2.0	33.0
	B <sub>1</sub>	6.35	5.75	0.45	0.456	0.060	6.0	1.63	tr.	13.2	3.0	10.2
	B <sub>2</sub>	6.90	4.60	3.83	1.248	0.095	23.5	6.74	tr.	19.6	5.1	14.5
	B <sub>3</sub>	6.25	5.25	1.58	0.900	0.088	25.5	10.51	9.18	26.2	6.0	20.2
	C	6.20	5.10	2.25	1.374	0.126	45.5	8.01	tr.	19.8	6.6	13.2

にも達し、土性は Sand から Sandy loam へと移行がみられる。A<sub>1</sub>層においては、団粒構造の発達が顕著である。柳茶屋-A においては B<sub>3</sub>層が、溶脱された酸化鉄が砂粒とともに固結した砂丘地特有のオルトシュタイン (Ortstein) となっており、溶脱、集積のサイクルの一端がうかがわれる。また一般の経済林土壌においては、腐植の集積形態は典型的なモル (Mor) 型を示すことが多いとされている<sup>8,9)</sup>のに対し、これらの標準地においてはモダー (Moder) 型からムル (Mull) 型への移行型を示し、有機物の良好な分解が進んでいることが推察される。このことは、砂丘地は地温が高いため微生物の活性が大となり有機物の分解率が大であること、さらに砂粒であるため土壌中への腐植の混入が容易であるという砂丘地特有の環境条件に起因するものであると考えられる。

土壌の理化学性をみると、孔隙量の増大にともなう最大容水量の増加が顕著で、保水性が極めて良好となっていることがわかる。pH をみると、一般経済林における老齢林土壌に一部みられる様な低い値は示さず、腐植の分解にともなう Cation 系養分の無機化が良好に進行していることが推察される。全炭素含有率、全窒素含有率、全リン酸含有量、さらには塩基置換容量 (CEC) において顕著な増加が見受けられる。

この様に造林後 100 年前後経過すると、土壌の肥沃化が進み、林況も Climax に近い針広混交の複層林的様相を呈することがわかる。このような林況は、生態学的にみると動的ホメオスタシス (Homeostasis) の弾力性が大きく、外的障害に対する緩衝能が強い安定した Ecosystem であると考えられる。今後、海岸防災林の機能強化をはかる上で、一つの目標となると考える。

#### (6) 林齢約 180 年の状況

林齢約 180 年と推定される標準地である伴山-C および伴山-D の状況は、Table 1-20 ~ Table

1-23 に示すとおりである。

クロマツの成立本数は非常に少なく、自然侵入した広葉樹がかなり優勢であり地表も安定している。土壌をみるとA<sub>1</sub>層では、土性が完全に sandy loamとなり団粒構造も極めて顕著に発達している。A層の厚さも50cm以上に達し、一般の経済林土壌と比べても見劣りしない。理化学性をみても、もはや砂丘地の森林土壌とは思われない程肥沃化が進んでいる。

以上のことから、造林後180年前後経過した砂丘地クロマツ林は、Climatic climax への移行型を示していると判断できる。このまま放置すれば、おそらくクロマツが完全に消滅して常緑樹を主体とした広葉樹林へ遷移するであろう。植物生態学的視点に立脚した議論であるならば、まさにこのような Climax 的的林況は理想的である。しかし防災学的見地に立脚した議論となると、この限りではない

Table 1-20 Situation of the growth of planting trees

PLOT	Age	Species	n/100m <sup>2</sup>	Height (m)			Diameter (cm)		
				Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
Banzan-C	180	Japanese black pine	2	25.0	26.0	27.0	56.0	59.0	62.0
Banzan-D	180	Japanese black pine	1		23.0			56.0	

Table 1-21 Situation of the soil profile

PLOT	Litter (kg/m <sup>2</sup> )	Thickness of F·H layer (cm)	Horizon	Thickness (cm)	Texture	Structure	Hardness
Banzan-C	1.2	0.5	A <sub>1</sub>	25	SL	cr	4
			A <sub>2</sub>	40	SL	gr	3
			B	25	S	sg	7
			C	↓	S	sg	8
Banzan-D	1.4	0.5	A <sub>1</sub>	20	SL	cr	6
			A <sub>2</sub>	30	SL	gr	10
			B	40	S	sg	7
			C	↓	S	sg	7

Table 1-22 Physical of soil

PLOT	Horizon	Water percolation rate (cc/min)	Bulk density	Porosity (%)			Water max. (%)		Air min. (%)	Moisture content of fresh soil (%)	
				Coarse	Fine	Total	Weight	Volume		Weight	Volume
Banzan-C	A <sub>1</sub>	75	105.2	37.4	17.7	55.1	48.4	48.8	6.3	21.1	21.2
	A <sub>2</sub>	38	135.3	31.4	13.6	45.0	31.5	41.9	3.1	14.4	19.2
	B	43	130.1	40.8	9.3	50.1	23.7	30.8	19.3	9.3	12.1
	C	54	138.2	38.4	7.9	46.3	26.0	35.9	10.4	8.4	11.6
Banzan-D	A <sub>1</sub>	316	109.5	31.2	21.7	52.9	51.1	53.4	-0.5	24.7	25.8
	A <sub>2</sub>	71	132.2	33.2	12.1	45.3	28.9	37.8	7.6	12.6	16.5
	B	86	138.6	40.3	6.8	47.1	24.3	33.7	13.4	7.1	9.9
	C	72	138.7	37.0	7.0	44.0	25.0	34.7	9.4	8.0	11.0
Control	bare land	101	153.8	34.4	8.4	42.8	25.5	39.2	3.6	8.7	13.4

Table 1-23 Chemical property of soil

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	Ex. acidity (Y <sub>1</sub> )	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca (me/100g)	T- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	org- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
Banzan-C	A <sub>1</sub>	6.15	4.05	4.09	3.480	0.241	18.2	2.5	tr.	39.1	6.0	33.1
	A <sub>2</sub>	6.20	3.80	4.09	1.620	0.144	21.6	1.0	tr.	35.6	4.2	31.4
	B	6.40	4.25	1.72	0.780	0.051	4.2	0.5	tr.	31.6	2.6	29.0
	C	6.45	4.40	1.29	0.560	0.056	3.4	tr.	tr.	33.3	2.0	31.3
Banzan-D	A <sub>1</sub>	6.15	4.05	1.72	1.860	0.169	22.8	3.8	tr.	37.0	4.0	33.0
	A <sub>2</sub>	6.20	3.80	4.09	0.720	0.104	7.0	0.6	tr.	30.2	3.2	27.0
	B	6.25	4.20	1.29	0.300	0.072	3.4	tr.	tr.	16.5	6.0	10.5
	C	6.30	4.05	1.72	0.420	0.021	3.4	tr.	tr.	27.9	1.6	26.3
Control	Bare land	6.80	6.45	0.45	0.150	0.008	2.0	tr.	tr.	5.0	1.5	3.5

様に思われる。たとえ人工的に造成したものであっても、防災機能が強大であれば当然有効なものとして是認されるし、又それとは反対に自然なものであっても防災機能が弱小なものであれば、必ずしも native なものであるという点のみで有効なものとして是認するという議論にはならない様に思われる。常緑広葉樹林を海岸防災林として防災的見地から研究した例は未だほとんどみられないと考えられる現段階では、クロマツ林との対比が困難であり、ただちに海岸防災林として理想的林況であるかどうかの議論はここでは不可能である。

## 2. 自然侵入植生

Table 2-1 は、林内に自然侵入した草本類をまとめて示したもので、Table 2-2～Table 2-4 は、自然侵入した木本類が多かった妙地ヶ鼻、柳茶屋、伴山の各国有林に自然侵入した樹種を示したものである。

一般に砂丘地の森林に植生が自然侵入する時期は、林況および土壌状態によって非常に差がある。すなわちクロマツの生長が良好で土壌の肥沃化が早い林分においては、造林後20～30年で草本類が侵入し、50～60年で広葉樹を主体とした木本類がかなり侵入するという経過をたどるが、クロマツの生長が悪く土壌の肥沃化も遅い林分においては、造林後50～60年を経過しても木本類はおろか草本類もほとんど侵入し得ない状況である。したがって造林後の経過年数を基準に植生の侵入時期およびその量を単純に論議することはできない。

植生が自然侵入するには、生育環境が維持されなければならない。この様ないわゆる「主体一環境系」の概念<sup>10,11,12)</sup>が成り立つとすれば、自然侵入植生を環境把握のための Plant indicator としてみる事が可能であるということになる。1次的植生遷移(Primary succession)は、裸地→蘚苔類→1年生草本類→多年生草本類→陽性木本類→陰性木本類の順に侵入し、それにともない植物群落が推移していくのが一般的流れであるとされている。<sup>12)</sup>しかし今回の場合は、陽樹林の段階にまで人工的に作り上げてしまっている段階、すなわち Tansley の言う生物的極相(Biotic climax)<sup>13,14)</sup>の状



Table 2-1 Invasive Phanerophyta

和名	科	学名
アキノキリンソウ	キク	<i>Solidago virga-aurea</i> L. var. <i>asiatica</i> NAKAI; <i>S japonica</i> KITAM
セイタカアワダチソウ	キク	<i>Solidago altissima</i> L.
アキノノゲシ	キク	<i>Lactuca indica</i> L. var. <i>laciniata</i> HARA
アレチノギク	キク	<i>Erigeron linifolius</i> Willd; <i>E. bonariensis</i> L.
ハマアザミ	キク	<i>Cirsium maritimum</i> MAKINO
クサネム	マメ	<i>Aeschynomene indica</i> L.
クズ	マメ	<i>Pueraria lobata</i> OHWI
シロツメクサ	マメ	<i>Trifolium repens</i> L.
チガヤ	イネ	<i>Imperata cylindrica</i> P. BEAUV.
チヂミザサ	イネ	<i>Oplismenus undulatifolius</i> ROEM et SCHULT.
ギョウギシバ	イネ	<i>Cynodon dactylon</i> PERS; <i>Panicum dactylon</i> L.
ギシギシ	タデ	<i>Rumex japonicus</i> HOUTT.
イヌイ	イグサ	<i>Juncus yokoscensis</i> SATAKE; <i>J. fauriei</i> LÉV. et VAN.
オオマツヨイグサ	アケバナ	<i>Oenothera erythrosepala</i> BORB.; <i>O. Lamarckiana</i> SER.
カタバミ	カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i> L.
ハマスゲ	カヤツリグサ	<i>Cyperus rotundus</i> L.; <i>C. laevissimus</i> STEUD.
カヤツリグサ	カヤツリグサ	<i>Cyperus microiria</i> STEUD.
ネナシカズラ	ヒルガオ	<i>Cuscuta japonica</i> CHOISY

Table 2-2 Invasive trees in Myozigahana national forest

樹種	科	学名	常落	緑葉	高低	木性
シャシャンボ	ツツジ	<i>Vaccinium bracteatum</i> Thunb.	常	緑	低	木
カマツカ	バラ	<i>Pourthiaea villosa</i> Decne.	落	葉	低	木
スダジイ	ブナ	<i>Shiia Sieboldii</i> Makino.	常	緑	高	木
タブノキ	クスノキ	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. et Zucc.	常	緑	高	木
ゴランズイ	ミツバウツギ	<i>Euscaphis japonica</i> Kantiz	落	葉	高	木
ウラジロノキ	バラ	<i>Sorbus japonica</i> Sieb.	落	葉	高	木
イヌシデ	カバノキ	<i>Carpinus Tschonoskii</i> Maxim.	落	葉	高	木
シラカシ	ブナ	<i>Quercus myrsinaefolia</i> Blume	常	緑	高	木
アカメガシワ	トウダイグサ	<i>Mallotus japonicus</i> Muell Arg.	落	葉	高	木
ネズミサシ	ヒノキ	<i>Juniperus rigida</i> Sieb. et Zucc.	常	緑	低	木
タカノツメ	ウコギ	<i>Evoliapanax innovans</i> Nakai	落	葉	小高	木
ヒサカキ	ツバキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	常	緑	低	木
ハマヒサカキ	ツバキ	<i>Eurya emarginata</i> Makino	常	緑	低	木
ナツハゼ	ツツジ	<i>Vaccinium Oldhami</i> Miq.	落	葉	低	木
ナナカマド	バラ	<i>Sorbus commixta</i> Hedlund	落	葉	高	木
ネムノキ	マメ	<i>Albizia Julibrissin</i> Durazz.	落	葉	高	木
ソヨゴ	モチノキ	<i>Ilex pedunculosa</i> Miq.	常	緑	低	木
アケビ	アケビ	<i>Akebia quinata</i> Decne.	落	葉	つる性	低木
モチノキ	モチノキ	<i>Ilex integra</i> Thunb.	常	緑	高	木
ウワミズザクラ	バラ	<i>Prunus Grayana</i> Maxim.	落	葉	高	木
シデノキ	カバノキ	<i>Carpinus laxiflora</i> Blume	落	葉	高	木
コナラ	ブナ	<i>Quercus serrata</i> Thunb.	落	葉	高	木
ヤブニッケイ	クスノキ	<i>Cinnamomum japonicum</i> Sieb.	常	緑	高	木
ヤマハギ	マメ	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. var. <i>japonica</i> Nakai.	落	葉	低	木
カクレミノ	ウコギ	<i>Gilibertia trifida</i> Makino	常	緑	小高	木
サンショウ	ミカン	<i>Xanthoxylum piperitum</i> DC.	落	葉	低	木

Table 2-3 Invasive tree in Yanagichaya national forest

樹種	科	学名	
ハリギリ	ウコギ	<i>Kalopanax septemlobus</i> Koidz.	落葉高木
カクレミノ	ウコギ	<i>Gilibertia trifida</i> Makino	常緑小高木
ヌルデ	ウルシ	<i>Rhus javanica</i> L.	落葉小高木
ヤマウルシ	ウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i> Miq.	落葉高木
アカメガシワ	トウダイゲサ	<i>Mallotus japonicus</i> Muell Arg.	落葉高木
ネムノキ	メ	<i>Albizia Julibrissin</i> Durazz.	落葉高木
ウワミズザクラ	バラ	<i>Prunus Grayana</i> Maxim.	落葉高木
ヤマハギ	メ	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz var <i>japonica</i> Nakai.	落葉高木
ヒサカキ	ツバキ	<i>Eurya japonica</i> Thunb.	常緑低木

Table 2-4 Invasive trees in Banzan national forest

樹種	科	学名	
マユミ	ニシキギ	<i>Euonymus Sieboldiana</i> Blume	落葉低木
コマユミ	ニシキギ	<i>Euonymus alata</i> Sieb. forma <i>striata</i> Makino	落葉小低木
カシワ	ブナ	<i>Quercus dentata</i> Thunb.	落葉高木
ナラガシワ	ブナ	<i>Quercus aliena</i> Blume	落葉高木
エノキ	ニレ	<i>Celtis sinensis</i> Pers. var <i>japonica</i> Nakai.	落葉高木
ミマヤガマスミ	スイカズラ	<i>Viburnum Wrightii</i> Miq.	落葉低木
ムラサキシキブ	クマツヅラ	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.	落葉低木
コナラ	ブナ	<i>Quercus serrata</i> Thunb.	落葉高木
ヤブニッケイ	クスノキ	<i>Cinnamomum japonicum</i> Sieb.	常緑高木
ウワミズザクラ	バラ	<i>Prunus Grayana</i> Maxim.	落葉高木
マサキ	ニシキギ	<i>Euonymus japonica</i> Thunb.	常緑低木
クヌギ	ブナ	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	落葉高木
ヤマウルシ	ウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i> Miq.	落葉高木
モチノキ	モチノキ	<i>Ilex integra</i> Thunb.	常緑高木

態に近いクロマツ林への植生侵入についての論議であるという前提がある。したがって一般的Succession概念をもって論議を進めることが適切であるのか疑問な点もある。今回の調査では、一般的Successionの概念で森林として生態系をとらえるならば、高木群落であるからすでにSuccession後期にあると判断できるが、地表部をみると必ずしもそうではなく（裸地→草本類→木本類）というPrimary successionが順次進むことが観察できる。つまりPrimary successionを経ずして一度に完全な形のSuccession後期に相当する生態系を、人工的に造り上げることは不可能であるということになる。今後この点を、人工的に造成した防災林の管理を行う上で、十分に考慮しておかなければならないのではあるまいか。

今回の調査結果を詳しくみると、植生の自然侵入の順序が一般通念とはかなり異なる点がみられた。まず草本類についてみると、まず最初に侵入するのはラウンケア (*Raunkiaer*) の休眠型<sup>15)</sup> で示すな

らば、G型に相当する地下茎を有する越年生あるいは多年生草本類であり、その後Th型の1年生草本類が侵入するという逆行現象がみられる。すなわち砂丘地の森林においては、必ずしも従来言われている様な(1年生草本類→多年生草本類)という推移をするとは限らない。このことは、砂丘地特有の劣悪な環境条件下においては根系の軟弱な草本類の初期侵入は容易でなく、地下茎を有し、ある程度好砂性を有する草本類が先駆的役割を果し、その後環境改善にともない内陸性の草本類の侵入が可能になるということではないかと推察される。蘚苔類の侵入は、草本類侵入の時期とほぼ似かよっている。詳しく観察すると、乾燥型から湿性型への遷移がみられる。すなわち初期侵入を果すのはスナゴケ、ラッパゴケ等で、しだいにハイゴケ、シッポゴケへと遷移する。このことはすでに原<sup>16)</sup>が指摘しているが、砂丘地では環境傾斜にともなう蘚苔類と草本類の遷移は、並行して進むと考えられる。草本類、蘚苔類が侵入し環境改善が進行すると、木本類が侵入する様になる。木本類、とりわけ広葉樹の侵入樹種の推移は、鳥取県のような照葉樹林帯に入る環境下においては<sup>17)</sup>、落葉性広葉樹から常緑性広葉樹へ、陽樹から陰樹へというステップを踏むと考えるのが一般的であろう。しかし砂丘地の場合、耐塩性および耐乾性の問題が微妙に関与することに加え、今回の論議が陽樹であるクロマツ林内におけるものであるから、一般的1次遷移の概念とは多少異なる点が見られる。林分が完全に閉鎖している場合には、砂丘地クロマツ林特有の林分構造からみて光環境に侵入が影響を受け<sup>18,19,20)</sup>、林分が疎開されているか閉鎖が破れている場合には耐乾性および耐塩性が問題となろう。このように砂丘地では制限因子として作用する環境が複雑にからみあうために、落葉樹と常緑樹、陽樹と陰樹が同居する形態をとる場合が多く見受けられる。現在多く存在すると推察される過密な林分構造を有する林分においては、耐陰性の強いモチノキ、トベラ、ヤブニッケイ等が先駆的にまず侵入し、土壌を含めた環境改善がさらに進み林分が疎開する段階になると、ウワミズザクラ等陽性で環境要求度の高い樹種が進入し陽樹、陰樹、落葉樹、常緑樹が混然とした下層木層が形成されるという経過をたどると思われる。

以上の様に海岸砂丘地の森林における植生の自然侵入は、砂丘地特有な環境を反映してかなり複雑な経緯をたどると言える。

### 3. 土壌断面の形態

土壌断面調査の結果得られた各標準地の各断面の状況を一括して示したのが巻末のTable 3-1である。前述した林況説明の中のものの一部重複するものがある。又湖山演習林と砂丘研究施設内におけるデータはここには示していない。他にも一部欠損しているものがある。

土壌断面の形態を一括して示す指標に土壌型がある。現行の森林土壌の分類体系<sup>21)</sup>には、砂丘地の森林土壌を適確に表現するものがない様に思われる。前述した様に現行の分類体系においては、砂丘地の森林土壌は砂質未熟土(Im-S)という土壌型として一括されてしまうのだろうが、層位の分化が明確で、A層においては土性がSandからSandy loamへと移行し団粒構造も顕著に発達している場合においても、砂質未熟土という表現が果して適当であろうか。ある程度肥沃化が進んでいるもの

については、従来の分類体系にたとえば「砂質森林土群」の一項目をつけ加えて分類し、それなりに評価してみてもどうかと考える。しかしその際、土壌型、亜型の細分化に対し土壌のいかなる形態あるいは性質が Indicator となり得るのかは今回の調査だけでは判断できず、今後の課題である。

今回得られた調査結果の概略は、次のとおりである。

i) 層位の分化は、優良・不良の差はあるものの造林後10年前後から生じ始め、約20年を経過する頃より明確になる。この段階までくると、一応森林土壌と評価できる状態になると思われる。

ii) A層の厚さは、造林後の年数経過とともに増大するが、クロマツの生長状態、地形等の環境因子が複雑に関与し、その増加速度にはかなりの優良・不良がある。

iii) 各層位の推移状態は、一般的に明瞭であるが、造林後年数がかなり経過すると、A層とB層との間に漸移層であるA<sub>2</sub>層が形成される。

iv) 腐植の含有率は、一般的に表層のみにおいて高く、それ以下は極めて低い。しかしこれはHumificationの悪さを示すものではなく、クロノシーケンス(Chronosequence)<sup>22)</sup>の一端を表現しているにすぎないと考えられる。

v) 石礫は、一般的に火山噴出物が堆積したスコリア層以外では、ほとんど見受けられない。

vi) 土性は、一般的にSandであるが、造林後の年数経過とともに表層部においては、Sandy loamへの移行がみられる。

vii) 土壌構造は、一般的に単粒構造(Single grain)を示すが、造林後の年数経過とともに粒状構造(Granular)となり表層部では団粒構造(Crumb)が発達する。

viii) 堅密度は、一般的に山中式土壌硬度計による値で10以下を示すことが多く、非常に柔軟である。例外として火山灰層では、30前後の高い値を示す。

ix) 孔隙は、一般的に砂粒子が小粒であり単粒構造をなすため粗大なものは形成されにくい。

x) 水湿状態は、腐植層が形成されない場合には表層部において乾燥している場合が認められるが、それ以外はおおむねどの層においても潤である。

xi) 根系は、表層部に集中している。しかし一部の標準地では、深くまで侵入している場合が見受けられ、これは土壌の保水性あるいは地下水位との関係から論議されるべきものであろう。

xii) 菌糸束は、一般的に土壌の水分状態を表現する指標として重要視されるが、今回の調査では標準地によって発達状況にかなりの差異が認められる。地表近くに顕著な菌糸網層を形成し土中深くまで侵入する $\alpha$ 型、F層およびH層に菌糸網層を形成する $\beta$ 型および全体的に菌糸の量が少なく、とりたてて菌糸網層を形成しない $\gamma$ 型の宮崎<sup>23)</sup>の提案した3つの区分が、砂丘地においても可能である。このことから各標準地間で、土壌の乾湿状態にかなり差異が生じていることが推察される。

#### 4. クロマツの生長状況

各標準地のクロマツおよびニセアカシアの成立本数、平均樹高および平均胸高直径を一括して示したのが、Table 4-1である。なおこれらの一部は、第33回日本林学会関西支部大会<sup>25)</sup>および日本砂

Table 4-1 Situation of plant g trees in the plot

PLOT	stand age	species	$n/100m^2$ (※1)	$n'/100m^2$ (※2)	$\bar{H}$ (m)	$\bar{D}$ (cm)	
HAMAMURA	A	Pinus	19	19	9.26	12.11	
		Acacia	23	23	4.85	5.13	
	B	Pinus	24	24	7.09	9.92	
		Acacia	17	15	4.53	4.00	
	C	Pinus	15	15	11.39	15.07	
		Acacia	16	16	3.56	3.25	
	D	Pinus	21	20	9.21	11.52	
		Acacia	36	32	3.61	3.00	
	E	Pinus	35	35	1.41	4.17	
		Acacia	12	12	1.47	2.44	
	F	Pinus	30	30	1.32	2.86	
		Acacia	12	12	1.03	1.25	
FUSHINO	A	Pinus	21	21	11.11	13.55	
	B	Pinus	22	22	12.63	12.55	
KARO	A	Pinus	79	71	4.25	4.86	
		Acacia	21	19	4.15	4.29	
	B	Pinus	82	77	4.15	4.90	
		Acacia	8	8	3.18	2.25	
	C	Pinus	107	89	1.37	2.37	
	D	Pinus	71	62	1.70	3.40	
MYOJIGAHANA	A	Pinus	8	8	25.00	41.75	
		Acacia	2	2	5.78	6.00	
	B	Pinus	6	6	25.00	36.33	
	YANAGICHAYA	A	Pinus	9	9	18.89	31.11
B		Pinus	4	4	22.13	38.00	
		Acacia	1	1	3.40	4.00	
BANZAN	A	Pinus	15	15	15.42	22.27	
		Acacia	8	8	3.64	3.00	
	B	Pinus	12	12	14.63	21.83	
		Acacia	1	1	8.00	6.00	
	C	Pinus	2	2	26.00	59.00	
	D	Pinus	1	1	23.00	56.00	
	FUKUBE	A	Pinus	52	42	1.90	3.47
			Acacia	17	7	1.93	2.93
B		Pinus	64	56	2.44	3.13	
		Acacia	12	11	1.78	1.67	
C		Pinus	50	48	6.02	7.34	
		Acacia	31	26	4.85	3.48	
D		Pinus	54	48	4.51	6.26	
		Acacia	23	19	4.26	3.04	

(注1) 胸高以下で樹幹が分岐しているものについてはそれぞれ1本と算定した

(注2) 胸高以下で樹幹が分岐していても1株で1本と算定した

 Pinus = *Pinus thunbergii* PARL.

 Acacia = *Robinia Pseudoacacia* L.

丘研究会第29回全国大会<sup>26)</sup>において発表したものである。

(1) 標準地のクロマツの生長と鳥取県林分材積表<sup>24)</sup>との比較

海岸砂丘地クロマツ林におけるクロマツの生長状況および林分構造の推移を把握する際、同齡林であってもクロマツの生長にかなりの優良・不良があるため、単に林齡のみによって議論を進めることは適当ではない。さらに経済林のクロマツに比べ初期生長が極めて悪いという生長特性があるため、単純に一般の経済林における生長量と対比しても生長の優良・不良を的確には表現し得ない。

そこで、砂丘地のクロマツの地位別樹高生長曲線を、後述する樹幹解析の結果および現存の林分の状況を考慮しながら樹高生長の中央線を決定し、一般に用いられている手法<sup>2)</sup>により作成し、それに基づき考察を行った。作成した砂丘地クロマツ林の地位別樹高生長曲線が、Fig.4-1である。Best rankからWorst rankまで5段階に分類し、このうち1等地から3等地のものを鳥取県林分材積表に示されている経済林におけるクロマツの地位別樹高生長曲線と比較して示したのがFig.4-2である。この図から、砂丘のクロマツ林は経済林に比べ初期生長は極めて悪いが、造林後約50年を経過すると経済林と同等もしくはうまわる様な生長量に達することがわかる。

Fig.4-3およびFig.4-4は、地位区分された各標準地の平均胸高直径およびhaあたりの成立本数を経済林の場合(破線)とあわせて示したものである。

Fig.4-4にみられる様に、過密に植栽された砂丘地のクロマツ林は「自己間引き」による成立本数の減少はあるものの、経済林に比べ過密状態のまま推移していくことがわかる。その結果 Fig.4-3にみられる様に、肥大生長は非常に悪

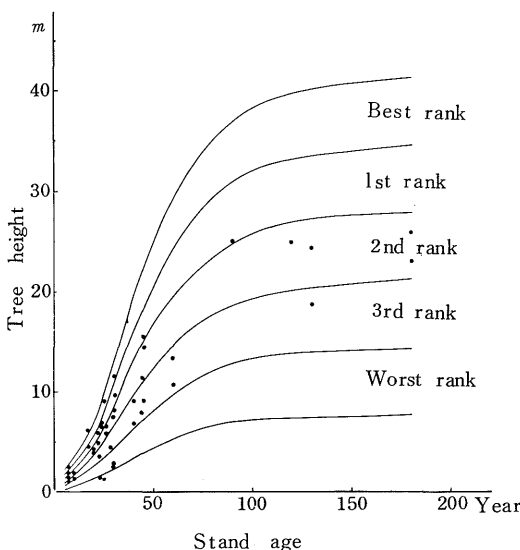


Fig.4-1 Height growth curve classified according site class

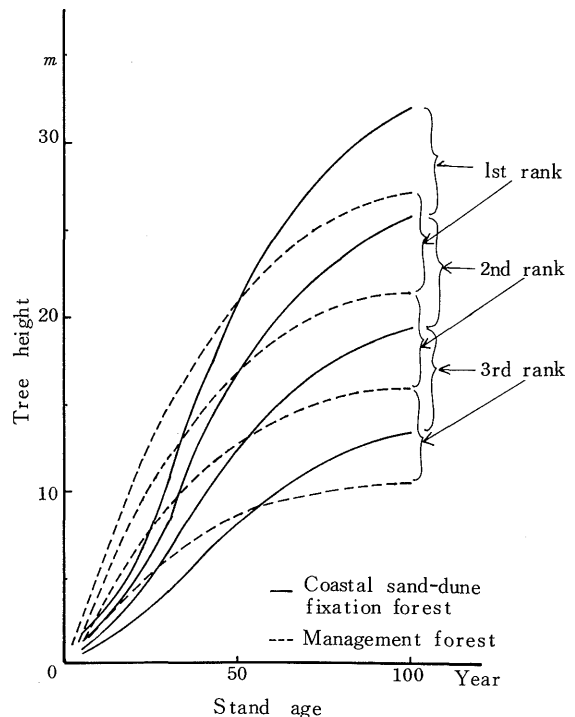


Fig.4-2 Comparison of height growth curve between coastal sand-dune fixation forest and management forest

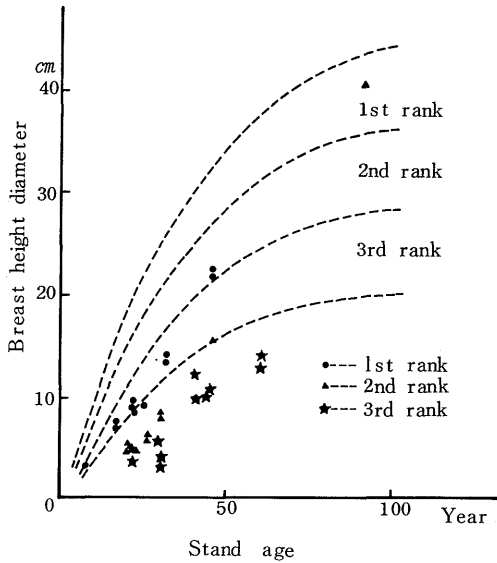


Fig.4-3 Comparison of mean breast height diameter between coastal sand-dune fixation forest and management forest

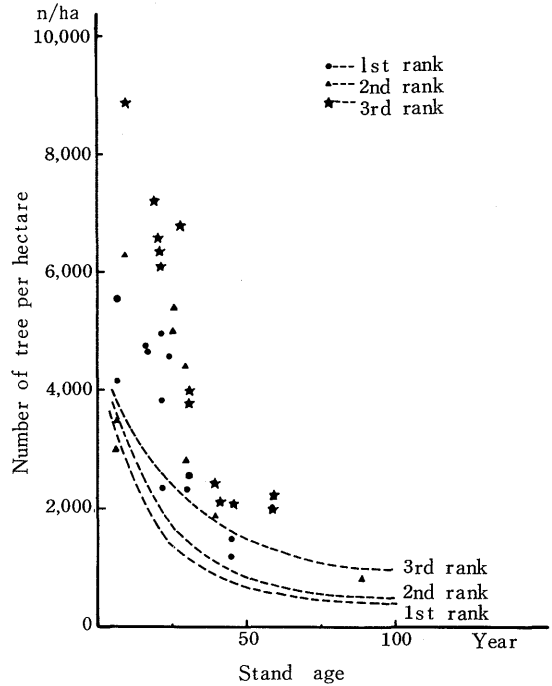


Fig.4-4 Comparison of stand density between coastal sand-dune fixation forest and management forest

くなかなか生長の立ち上がりを見せない。ただし造林後約15年を経過した頃より「自己間引き」が急速に始まり、経済林の2等地近くにまで成立本数が減少している砂丘地の1等地におけるクロマツ林は、経済林の2等地ないし3等地並の肥大生長量を示すことがわかる。

(2) 樹幹解析からみたクロマツの生長経過

鳥取大学湖山演習林および砂丘利用研究施設内の標準地におけるクロマツ標準木を、樹幹解析した結果得られた樹高総生長曲線および樹高連年生長曲線の一部を示したのが、Fig.4-5およびFig.4-6である。図中実線は肥料木混植区、破線は施肥区、さらに一点破線は何も保育を行わなかった区

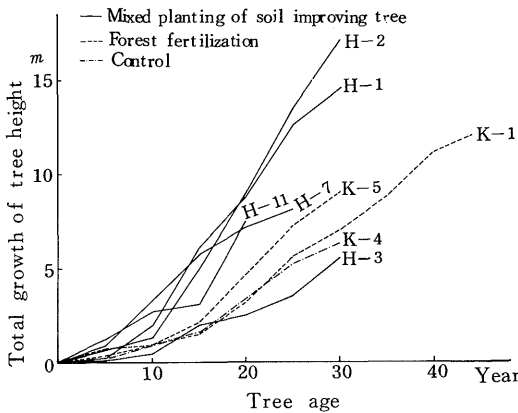


Fig.4-5 Total growth curves of tree height

(Control)である。

樹高総生長曲線を見ると、肥料木区とその他

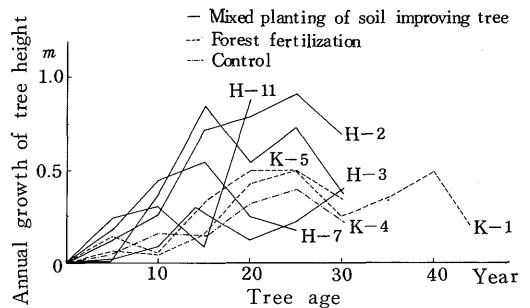


Fig.4-6 Annual growth curves of tree height

の区に生長状態が大まかではあるが区分される。このことは明らかに肥料木の肥培効果によるものと考えられ、造林後10年を経過した頃より顕著化する。又同じ肥料木を混植した区であってもH-3の様に非常に生長が悪いのは、林況の説明の中で指摘した様に、肥料木が枯損してしまい十分な肥培効果が発揮されていないためであると考えられる。H-7をみると最近生長の落ち込みが観察される。これを連年生長曲線でみると一層明確である。これは肥料木がクロマツを被圧し始めたことに起因するものであると考えられる。肥料木の除伐効果を示すものとして適切な例はH-11である。10年前後で一旦ニセアカシアによって被圧されたが、ニセアカシアを除伐し被圧を解除してやると、その後クロマツは飛躍的な生長を再び始めることがFig.4-5, 6からわかる。施肥区のクロマツの生長状況を見ると、施肥の効果が現われ、おおむね5年までの生長は良好であることが連年生長曲線から把握できるが、その後は極端に生長が悪くなり、施肥による林地肥培効果は継続的なものではないことが推察される。このことから砂丘地の様に特に溶脱がはげしい林地において施肥を行う場合には、緩効性肥料を使用することが不可欠であると思われる。

Fig.4-7およびFig.4-8は、先に示したクロマツの0.2 m直径総生長曲線、および0.2 m直径連年生長曲線を示したものである。これらの図から肥料木混植区が他区に比べ多少良好な生長を示していることがわかるが、樹高の場合ほど明確な差があるとは言えない様に思われる。又、肥大生長の立ち上がりは樹高に比べ5年ないし10年遅れて、造林後15年ないし20年を経過した頃よりみられる。この樹高と直径の生長の立ち上がりの時間的ずれは、III-5で後述する様に30年前後のクロマツ林の林分形状比が大となる一つの原因となるものであると考えられる。すなわち樹高連年生長は30年前後ですでにピークに達しきっているのに対し、肥大生長は立ち上がりきれていない。このような現象が30年前後で最大となり形状比の大きなクロマツ林となるという説明が可能である。その後は、肥大生長の立ち上がりにともない徐々にこのような状況が解消されていくと思われる。

Fig.4-9は、妙地ヶ鼻国有林および柳茶屋国有林において行った伐根によるクロマツの肥大生長解析の結果を示したものである。図中の破線は、前述した経済林におけるものである。この図から初期の段階から良好な肥大生長をするクロマツも存在することがわかる。このことは

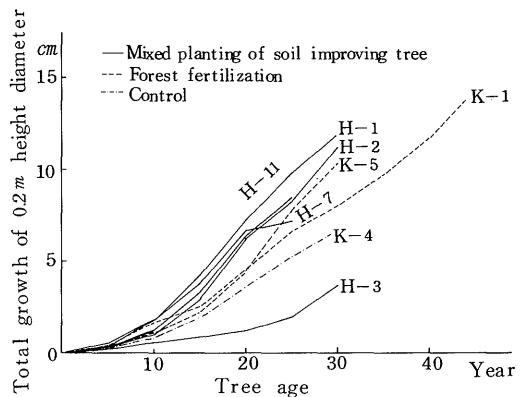


Fig.4-7 Total growth curves of 0.2 m height diameter

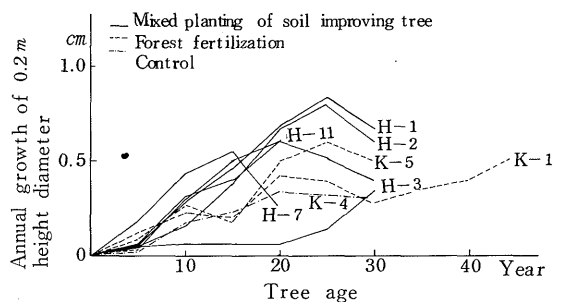


Fig.4-8 Annual growth curves of 0.2 m height diameter



前述した見解と矛盾するものであるが、おそらくこれらのクロマツが植栽された当時は現在の様に大面積にわたる林分造成をはかるという手法をとらず、単木植栽をして防風あるいは防砂並木を造るという考え方が主流であったため、1本1本に対して手厚い保育を行った<sup>1)</sup>ためであろう。このことから、今回調査した林分の多くが肥大生長が悪いという現象は、砂丘地クロマツのみに見られる生長特性と呼べるものではなく、造林方法によっては砂丘地においても十分肥大生長が望めることが明らかである。砂丘地におけるクロマツの肥大生長の劣悪さは、林分が過密状態であることに主に起因するものであると判断するのが妥当であろう<sup>18)</sup>。又この図で特徴的なことは、一般の経済林においては造林後100年以上も経過するとほとんど生長がみられないとされているのに対し、今回の調査区では100年を経過してもまだ良好な生長を続けたり、一度生長が衰えたものが100年を経過した頃より「若返り」を起し再び生長をし始めていることである。このことは、広葉樹侵入にともない土壌の肥沃化が一層顕著に進むことに起因する現象であると思われる。

### 5. 林分構造

各標準地のクロマツの樹高および胸高直径の分布を、スタージェス (Sturges) 式<sup>27)</sup>により階級分けを行い度数分布図を作成し、その分布の範囲、分散、標準偏差、相対的非対称度および相対的尖度をもとめ、総括して示したのがTable 5-1である。なお相対的非対称度は、偏差3乗平均3乗根法によるものである。

一般に、閉鎖した過密林分における樹高分布はJ型を示すために非対称度は負の値となり、胸高直径分布はL型を示すために正の値を示すといわれている。<sup>28)</sup>このことは砂丘地クロマツ林においても、小笠原<sup>29)</sup>によって確められている。

Fig.5-1およびFig.5-2は、樹高および胸高直径の分布の相対的非対称度の造林後の推移を示したものである。Fig.5-2から胸高直径分布の非対称度は一貫して正の値を示し、細い方へ直径のモードがずれていることがわかる。それに対し樹高の場合は、Fig.5-1から分布型に変動があることがわかる。たとえば1等地の場合、造林後約15年までは正の値を示し、その後負に転じ、約40年で再び正に転じる。胸高直径の分布のモードが一貫して細い方へかたよっていることを考えると、樹高のAsymmetryが負を示す時期は、非常に過密で、樹高が高い割に細くひ弱な立木によって林分が構成されていることが明らかである。又その時期はFig.5-1をみると、地位によって5~15年のずれがあることが明らかである。Fig.5-3は、樹高分布の相対的非対称度を平均樹高を軸に示したものであ

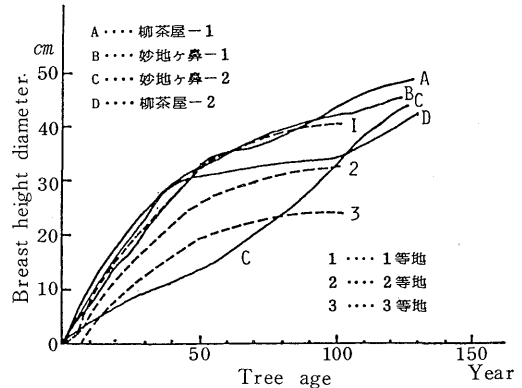


Fig.4-9 Diameter growth curves of Japanese black pine in the national forests

Table 5-1 Dispersion, asymmetry and Kurtosis of frequency diagram

	n	Height of Tree				Diameter at Breast Height								
		Range	Variance	Standard deviation	Asymmetry	Kurtosis	Mean	Range	Variance	Standard deviation	Asymmetry	Kurtosis	Mean	
HAMAMURA	E	35	1.0	0.089	0.298	0.736	2.129	1.47	4.0	1.240	1.113	0.341	3.109	4.17
	F	30	1.4	0.113	0.336	-1.086	4.437	1.34	4.0	1.267	1.125	0.455	2.284	3.00
FUKUBE	A	42	2.0	0.304	0.552	0.826	2.473	1.96	4.0	0.461	0.679	1.067	5.922	3.48
	B	56	3.0	0.531	0.729	0.572	2.632	2.41	6.0	1.472	1.213	0.757	3.319	3.39
KARO	C	89	1.5	0.148	0.384	0.589	2.926	1.41	5.0	1.221	1.105	0.738	2.740	2.64
	D	62	2.5	0.326	0.571	0.803	2.378	1.70	6.0	1.617	1.272	0.649	3.428	3.40
KARO	A	71	5.0	2.091	1.446	-0.525	1.456	3.92	8.0	5.049	2.247	0.426	1.869	5.24
	B	77	4.0	3.302	1.817	0.363	0.398	3.65	8.0	3.523	1.877	0.647	2.887	5.01
FUKUBE	C	48	6.0	3.312	1.820	-0.852	1.967	5.16	10.0	6.604	2.570	-0.387	2.319	6.25
	D	48	5.0	2.447	1.564	-0.136	1.834	4.81	12.0	11.518	3.394	0.745	2.314	6.83
SAKYU	A	24	6.0	1.904	1.380	-1.056	5.020	10.17	12.0	13.398	3.660	0.921	4.275	13.83
	B	40	3.0	0.828	0.910	-0.462	1.886	2.35	4.0	1.360	1.167	0.713	2.277	3.20
KOYAMA	A	44	5.0	3.119	1.766	-0.553	1.485	8.32	8.0	6.389	2.528	0.815	2.340	8.82
	B	68	5.0	0.967	0.984	-1.213	7.015	4.76	8.0	3.786	1.946	0.597	2.752	5.12
BANZAN	A	15	14.0	23.040	4.800	0.911	1.929	15.90	28.0	29.324	5.415	-0.993	11.628	25.33
	B	12	14.0	13.654	3.695	0.724	2.661	14.83	24.0	51.000	7.140	0.302	2.186	23.00
HAMAMURA	A	19	6.5	3.262	1.806	-0.863	2.887	9.29	12.0	13.957	3.736	0.772	2.355	12.63
	B	24	8.0	4.707	2.170	-0.552	2.323	7.08	16.0	25.083	5.008	0.783	2.351	10.50
FUSHINO	A	21	8.0	2.881	1.697	1.252	7.117	11.12	12.0	8.234	2.870	0.936	3.310	14.48
	B	21	8.0	6.565	2.562	0.752	1.849	12.07	16.0	22.162	4.708	0.773	2.244	13.52
MYOJI	A	8	0	0	0	0	0	26.5	30.0	98.438	9.922	0.330	1.886	41.25
GAHANA	B	6	6.0	2.250	1.500	0	0.333	25.0	10.0	13.644	3.694	1.208	4.318	36.67
YANAGI	A	9	15.0	23.716	4.870	-0.748	1.769	19.83	40.0	144.916	12.038	0.539	2.622	32.78
CHAYA	B	4	9.0	13.500	3.674	0.984	1.889	23.5	10.0	19.083	4.368	1.040	2.253	37.50

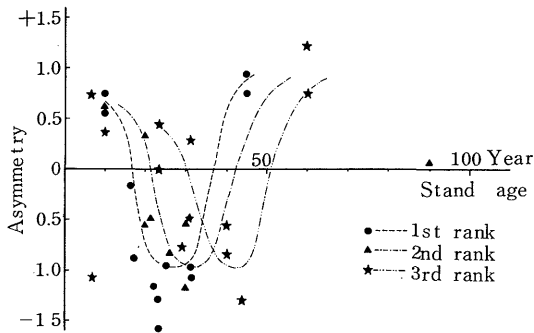


Fig.5-1 Transition of asymmetry of frequency distribution of tree height

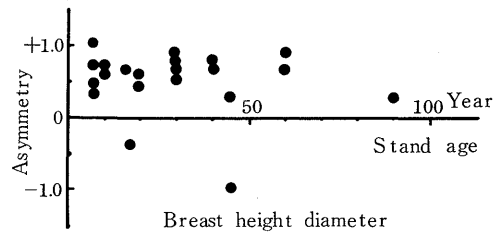


Fig.5-2 Transition of asymmetry of frequency distribution of breast height diameter

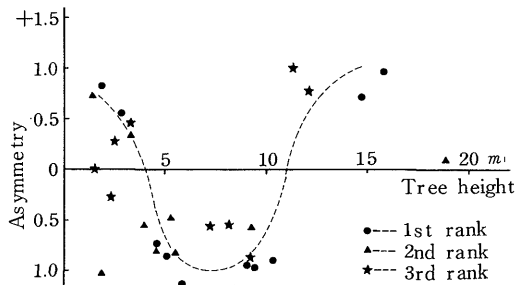


Fig.5-3 Asymmetry of frequency distribution of height in the different height stands

る。この図をみると、Asymmetry が負を示し軟弱な林分構造となるのは、地位を問わず平均樹高が約4~11 mの範囲であることがわかる。

次にクロマツ林を含め林分の災害に対する強度を示す一つの指標とされる林分形状比の推移を示したのがFig.5-4である。実線が砂丘地クロマツ林、破線が前述の鳥取県林分積表をもとに算出したクロマツ経済林の場合である。従来の研究<sup>30,31)</sup>によると、一般的に林分形状比が60ないし70以上の林分は風雪害を受けやすいとされている。Fig.5-4をみると、経済林の林分形状比は幼齢期において大きいですが、林齢約20~25年に達すると60前後にまで下がり、その後はほぼ一定している。それに対し砂丘地のクロマツ林では、経済林とは逆に造林後林分

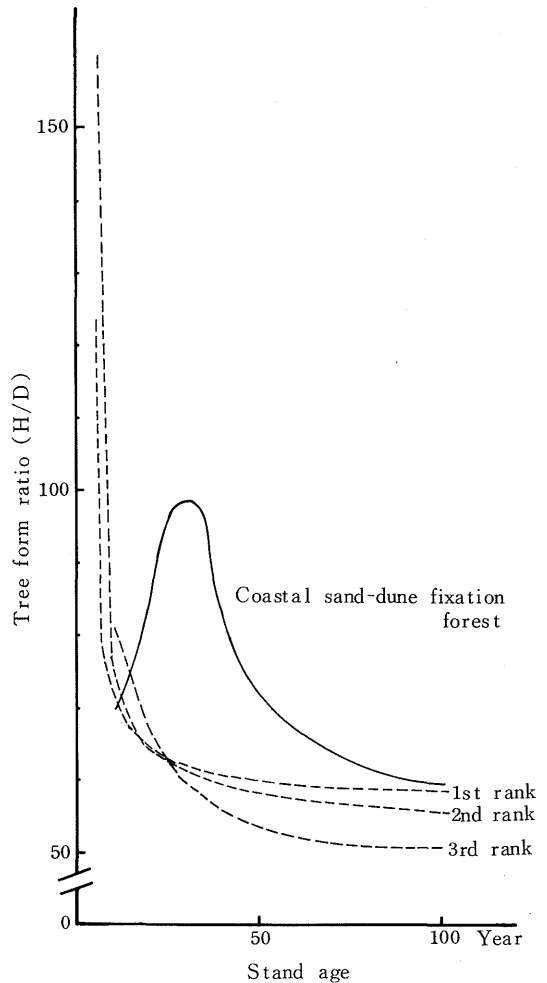


Fig.5-4 Comparison of the transition of tree form ratio between coastal sand-dune fixation forest and management forest

形状比は大きくなっていき、約30年でピークに達し100近い値を示す。さらに林齢60年に達しないと70以下にはならないことがわかる。この様に砂丘地のクロマツ林の林分形状比が大きくなるのは、前述した様に造林後ほとんど除間伐が行われないうまま放置されるため林分が非常に過密状態であり、伸長生長と肥大生長との間にギャップが生じることに起因するものと考えられる。

以上の結果と戦後海岸砂地帯農業振興臨時措置法により造林された砂丘地のクロマツ林のほとんどは林齢が30年前後であることをあわせて考えると、全国的に災害に対して弱い林分構造をもった海岸防災林が数多く存在すると推察され、防災上非常に憂慮すべき問題である。今後、海岸防災林としての機能を保持させながら適切な除間伐を行い、肥大生長を促進させることが必要であろう。

### 6. 造林後の経過年ともなう土壌の肥沃化

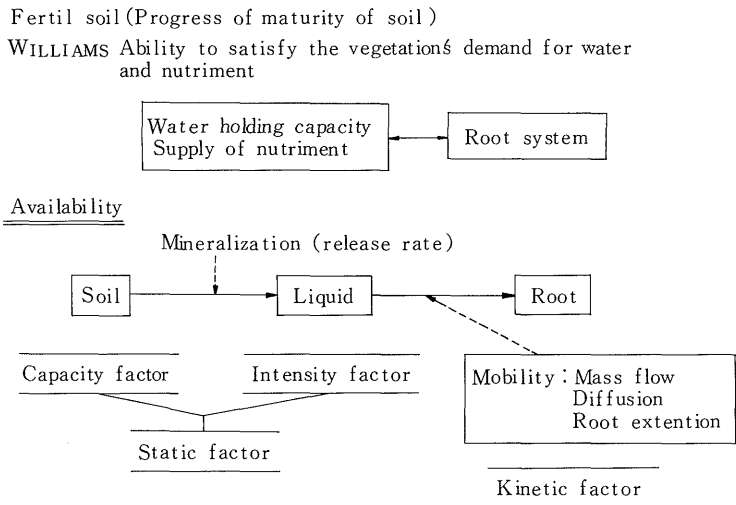
#### (1) 「肥沃化」の定義

土壌の肥沃化あるいは肥沃な土壌とは何かという点については、研究分野あるいは研究対象の相異により各々 Indicator が異なり、多種多様の見解がある。

たとえば純粋なペドロロジー (Pedology) 的視点に立つ研究者は、土壌断面の形態を重視し、いわゆる土壌生成論的に肥沃化を論じることが多い。それに対し土壌を作物栽培の培地としてとらえるエダホロジー (Edaphology) 的視点に立つ研究者は、土壌生産力を重視する立地土壌学的に肥沃化を論じる場合が多い。森林土壌の肥沃化を論じる場合においても、単に林木の生長に視点をおくにとどまらず、水源かん養あるいは防災的視点に立った議論<sup>32,33,34,35)</sup>が広く行われるに至り、肥沃化を把握することは一層複雑さを増している様に思われる。

したがって肥沃化を論じようとする場合、一応その定義づけを行う必要があると考える。今回は、岡島<sup>36)</sup>の「土壌肥沃度論」

を参考に、Fig.6-1に示す様なStepで肥沃化を把握しようと試みた。岡島博士は、土壌肥沃度論の中でWILLIAMSの「土壌肥沃度とは、水と養分に対する植物の要求を満足させ得る土壌の能力である」という考え方を引用し、土壌肥沃度を「作物の根の培地としての条件をそなえ、その根を通じて作物の生育に応じて養水分を作物に供給する能力であ



▶ Relation between capacity factor and root system

Fig.6-1 Progress of maturity of soil

る』と定義している。これをかみくだいてとらえるならば、土壌の保水力および養分供給能力とそれを吸収する根系のバランスが良好に維持されている土壌が、肥沃な土壌であるということになる。こうなると水あるいは養分の有効性(Availability)が重要な因子となる。養分の有効性をとらえる上で、まず土壌の固相部分にどれだけの量が含有されているかが、容量因子(Capacity factor)として重要である。さらにその養分がどれくらいの速さで無機化し液相中に放出されるか、その結果液相中の養分濃度がどの程度になるかという点が強度因子(Intensity factor)として問題となる。さらにその養分が水分を含めて根系吸収帯あるいは根圏吸収帯へ移動可能であるかということが重要なポイントになる。移動形態としては、液相の流れであるマスフロー(Mass flow)によるもの、濃度差による拡散(Diffusion)によって起こるものおよび根系自体が伸長し養分吸収域を拡げることにより相対的に移動したことになる形態の3つが考えられる。容量因子と強度因子は静的因子(Static factor)として、移動性は動的因子(Kinetic factor)として把握でき、これらの因子間の相互作用がスムーズなものであれば有効性のより高い土壌であり肥沃化が進んだ状態であるということになる。

しかしここまで考えてきて、実際これらの関係を現地調査から把握可能であろうかというテクニックの問題がある。今回の調査対象である森林土壌は、畑地土壌等とは異なり大面積にわたる自然土壌で、微地形等の環境因子に起因するばらつきが、そのまま保持されている。このことから森林土壌でMobilityを調査することは困難であり、また液相中濃度など強度因子を自然状態のままとらえることもかなり至難な作業となる。したがって今回は、割合把握が容易な養水分の含有量を示す容量因子と根系との関係から土壌の肥沃化を論じるのが限界であり、またある程度適当な手法であると考えている。

以上のことから本報告では、根群層に樹木が必要とする養水分がより多く含有されている土壌が肥沃化が進んだ状態であるということになり、土壌の肥沃化とは「土壌中において養水分の含有量、又は含有する能力が増大することをさす」という定義づけにならうかと思われる。

## (2) 土壌断面形態からみた肥沃化

容量因子と根系との関係から土壌の肥沃化を論じることを前述したが、その際土壌中のどの層位を調査すれば適確な把握が可能であるかという点がさらに問題となる。したがって根系および養分の分布状況を把握することが重要である。

Fig.6-2およびFig.6-3は、それぞれ土壌中の全炭素および全窒素の含有率の垂直分布を林齢別に示したものである。この図から全炭素量および全窒素量ともに林齢が高いもの程含有率が高いという違いはあるものの、表層部において極めて含有率が高く深さが増すにつれ極端に減少するという傾向において、すべて一致していることがわかる。つまり砂丘地クロマツ林の場合、土壌中の養分は表層部に極めて集中的に分布していると言える。Fig.6-4およびFig.6-5は、土壌400cc中に含有される根の絶乾重の垂直分布を林齢別に示したものである。これらの図から根系は土壌表層部に極めて集中的に分布し、それ以下は前述の全炭素および全窒素の含有率の場合よりもより極端に減少していることがわかる。この傾向は、林齢が高くなるにしたがってより顕著化する。

以上のことと、今回肥沃化を養水分の容量因子と根系との関係より把握するという手法とのかねあ

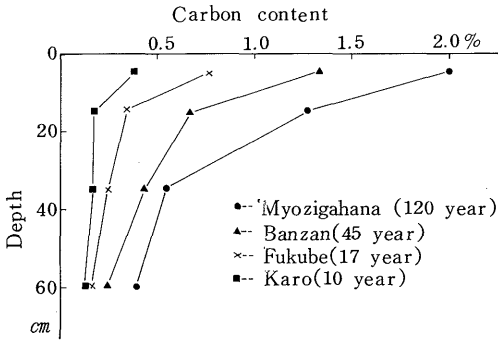


Fig.6-2 Vertical gradient in the percentage of carbon content of soil

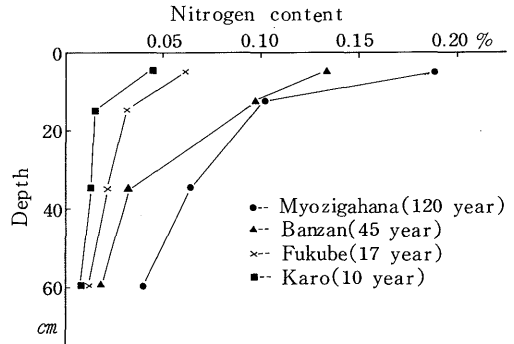


Fig.6-3 Vertical gradient in the percentage of nitrogen content of soil

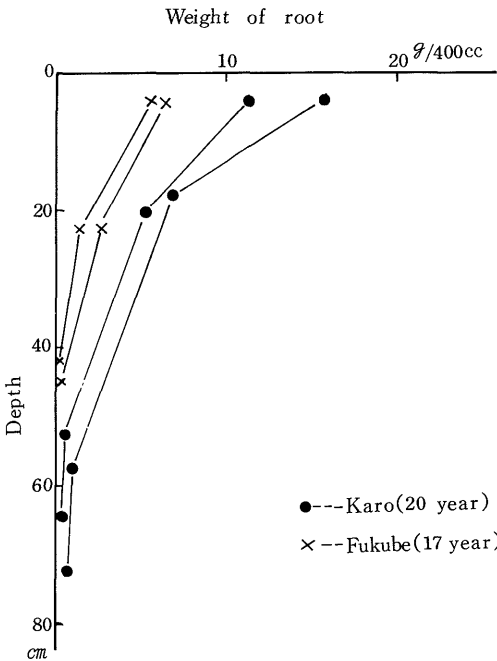


Fig.6-4 Vertical gradient of weight of root in soil

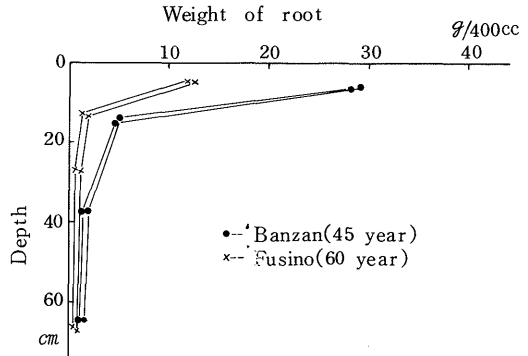


Fig.6-5 Vertical gradient of weight of root in soil

いを考えると、砂丘地の森林土壌の肥沃化を把握するには、養分および根系が極めて集中的に分布している表層部の状態を調査すれば、ある程度適切な議論が可能であると考えられる。したがって以下表層部の状態をとらえることにより、砂丘地防災林土壌の造林後の肥沃化について時系列的考察を行うものである。

### (3) 土壌表層部の物理性からみた肥沃化

今回の調査地の土壌の物理性については一括して巻末に示す (Table 6-1)。Table 6-1には層別のデータが示してあるが、ここでは前述した様に土壌表層部 (A層) について考察を行う。

容積重を林齢別にプロットしたのが Fig.6-6 である。この図から、造林後年数が経過するにしたがい容積重はおおむね減少する傾向があることがわかる。なお図中縦軸上にプロットした菱形は、Control として裸地の状態を示したものである。Control と標準地の値とを比較すると、おおむね標

準地の方が低い値を示すが、一部幼齡期でかえって裸地よりも高い容積重を示すものがある。このことは裸地の調査カ所がControlとして適当でなかったか、もしそうでないとするれば、石橋<sup>37)</sup>が山地の砂防林において明らかにしているいわゆる「土壌の締め固め」が、砂丘地の幼齡クロマツ林においても生じているということになる。もし締め固めが生じているものとする、造林後の年数経過とともに土壌の物理性改良が必ずしも順調に進むのではなく、造林当初よりもかえって条件が悪化している時期が存在する

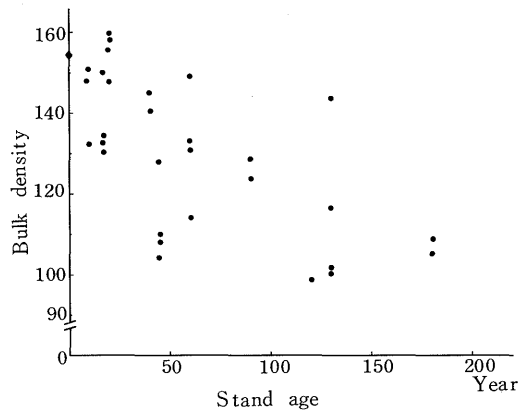


Fig.6-6 Bulk density of surface layer for different ages of stands

ことが推察され、植栽木の初期生長を考える上でキーポイントとなることが予想される。しかし今回の調査のみで正確な判断を下すことは不可能であり、今後の詳細な調査が必要である。さらにFig.6-6に示される値を経済林の場合と比較すると、一般に経済林土壌の表層部の容積重は高いものでも100前後、低いものでは30前後の値を示すといわれている<sup>38)</sup>ことを考えると、砂丘地の森林土壌は非常に高い値で推移していると言える。このことから単純に推察すると、砂丘地の森林土壌は非常にmassiveで透水性および通気性が悪いと思われがちであるが、Fig.6-7およびFig.6-8に示した透水指数および最小容気量の値からみると、通気性および透水性は良好である。このことは、砂丘地の土壌は砂粒として堆積するため固相部分が多く容積重は大となるが、Silt分が少なく締め固めには限界があり粗孔隙は常に確保されるということに起因するものと考えられる。又、Fig.6-7およびFig.6-8をみると、最小容気量においては林齢との相関関係は見出し難いが、透水指数においては林齢が高くなるにつれ減少する傾向が大まかにうかがえる。この透水指数が林齢が高くなるにつれ低下するという現象は、一見肥沃化と逆行するかの様であるが、この範囲の値では植物の生育に悪影響を与えるとは考えられず、砂丘地の特性を考えると「主要な根圏の分布域を移動する間は利用可能

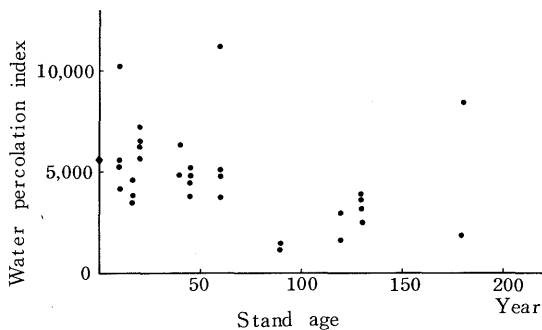


Fig.6-7 Water percolation index for different ages of stands

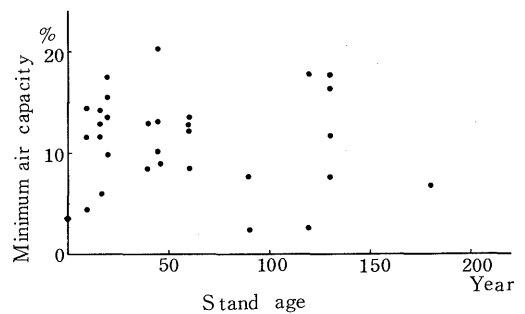


Fig.6-8 Minimum air capacity of surface layer for different ages of stands

である」<sup>38)</sup>とされる重力水の移動速度がむしろおさえられる形となり、ある意味ではむしろ好条件になっていると考えられるのではあるまいか。

Fig.6-9～Fig.6-11は、それぞれ全孔隙量、細孔隙量および細孔隙量が全孔隙量に占める割合の推移を示したものである。まずFig.6-9およびFig.6-10をみると、非常に値のばらつきが大きく、林齢との相関は見出し難く思える。しかしこれを土壌断面調査の際にα型あるいはβ型の顕著な菌糸

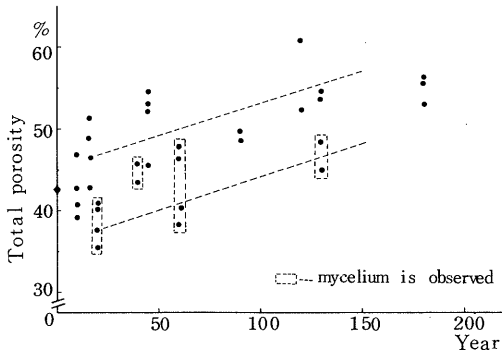


Fig.6-9 Total porosity of surface layer for different ages of stands

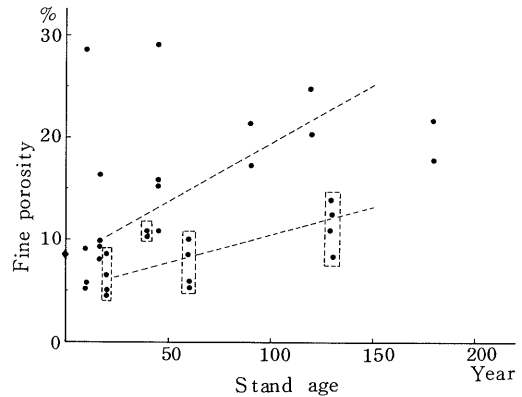


Fig.6-10 Fine porosity of surface layer for different ages of stands

網層が観察された標準地(破線で囲んだもの)と r型あるいは全く菌糸網層が観察されなかった標準地とに区分すると、大まかではあるが図中破線で示した様に2本の傾向線を引くことが可能となり、林齢が高くなるにつれ全孔隙量、細孔隙量ともに増加するという傾向が明らかとなる。又、菌糸網層が顕著でない土壌の方が顕著なものに比べ、常に高い値で推移することがわかる。Fig.6-11においても同様な傾向がうかがわれる。ただここで注目すべきことは、全孔隙に対する細孔隙の割合が増加するという事は粗孔隙の増加よりも細孔隙の増加の方が著しいということになる

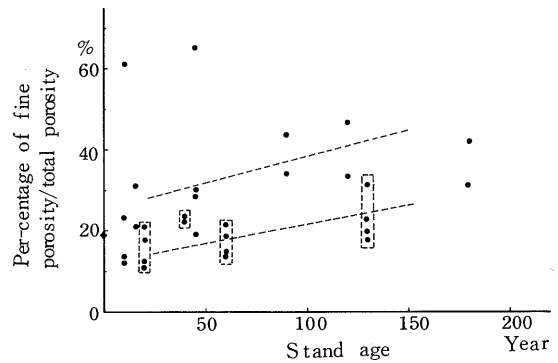


Fig.6-11 Percentage of fine porosity/total porosity of surface layer for different ages of stands

点である。このことは、ここでは示さないが、今回粗孔隙の増加は造林後年数を経ても非常に少なかったという結果を得ていることから裏付けされる。(Table 6-1参照) すなわち砂丘地の森林土壌における造林後の年数経過にともなう孔隙量の増加の大部分は、細孔隙の増加によるものであることが明らかである。このことはFig.6-12に示す最大容水量の増大に密接に関連しているものと思われる。この図から菌糸網層が顕著なもの、そうでないものに区分すると、造林後の年数経過にともない最大容水量が増大していることが明確に把握できる。このことから、造林後年数が経過するにつれ



土壌の保水性が着実に向上していると言える。この最大容水量の増大にともなう保水性の向上は、土壌中への有機物の混入、さらには一次鉱物のシアリット化およびDisintegrationによる微細粒子の増大に起因するものであると考えられる。このことは、田中<sup>39)</sup>がすでに明らかにしている。

Fig.6-13は、粒度分析の結果得られた74 $\mu$ 以下の土粒子の割合を示したものである。この図から明らかのように、造林後の年数経過とともに微細粒子が増加することが把握でき、前述した様に保水性向上の一つの因子となっていることが裏付けされる。

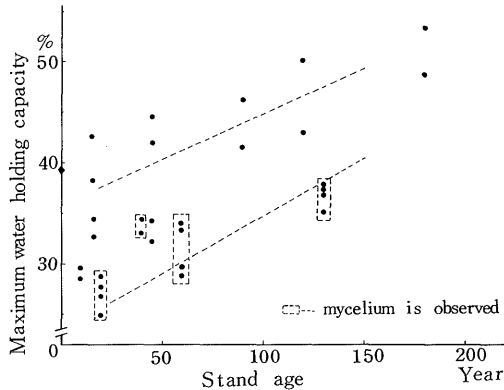


Fig.6-12 Maximum water holding capacity of surface layer for different ages of stands

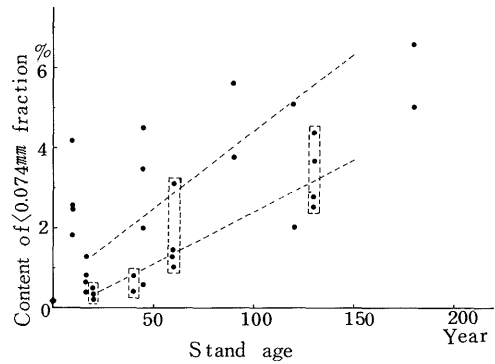


Fig.6-13 Contents of  $\langle 0.074\text{mm}$  fraction of surface layer for different ages of stands

#### (4) 土壌表層部の化学性からみた肥沃化

今回の調査地の土壌の化学性については、一括して巻末に示す (Table 6-2)。Table 6-2 には層位別のデータが示してあるが、前述した様にここでは土壌表層部 (A層) について考察を行う。

Fig.6-14~Fig.6-16は、それぞれpH ( $\text{H}_2\text{O}$ )、pH (kcl) および置換酸度 ( $Y_1$ ) の推移を示したものである。これらの図をみると、pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) およびpH (kcl) は造林後の年数経過とともに減少し、置換酸度は増加する傾向があり、活酸性および潜酸性ともに増加することがわかる。しかしその値は、pHではおおむね弱酸性の範囲で、置換酸度も極めて小さな値を示す。一般経済林の値<sup>38)</sup>と比べると、

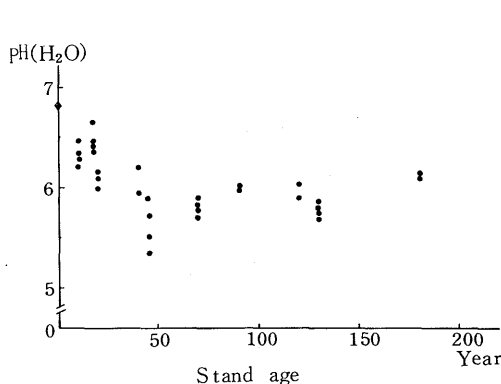


Fig.6-14 pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) of surface layer for different ages of stands

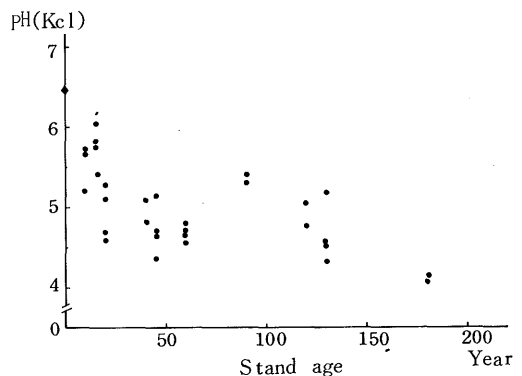


Fig.6-15 pH (kcl) of surface layer for different ages of stands

これらの値はかなり良好で砂丘地における微生物活性の高さが推察される。

Fig.6-17およびFig.6-18は、全炭素および全窒素の含有率の推移を示したものである。この図も一見すると非常にばらつきがあり傾向が把握し難い様に思われる。しかし物理性を考察する際に行った様に菌糸網層の状態により2大別すると、破線で示す様な増加傾向が明らかとなる。しかしその増加傾向は、最大含水量など物理性にみられた様な直線的なものではなく、造林後幼齢期においてはかなり顕著な増加がみられるが、壮齢期を過ぎ老齢期に入ると増加は非常に少なくなり、やがてそれ以上増加しなくなる。このことは造林後ある時期まではLitter fallによる養分還元により生態系の成長とともに土壤中の養分が増大していくが、生態系が成熟してくるとしだいに生産者(Producer)、消費者(Consumer)および分解者(Decomposer)の3者間に動的平衡状態が維持される様になるという点に起因するものであろう。このことは経済林においても堤ら<sup>40,41,42)</sup>によって明らかにされている。又、これらの図をみると上の破線よりも高い値を示すものであるが、これらの標準地は肥料木を多く混植した区、下層植生が非常に優勢である区および広葉樹が数多く侵入している区である。

このことから、クロマツ以外の植生が侵入することにより一層土壌の肥沃化が促され、クロマツ単純林における養分含有量の極限值よりもより高い値へ推移し、やがてハイレベルな平衡状態に達することが推察される。このことは、広葉樹あるいは草本類が林地にもたらすLitter中のCation含有率の方がクロマツのそれより高いということ<sup>37,43,44,45,46)</sup>に起因するものであ

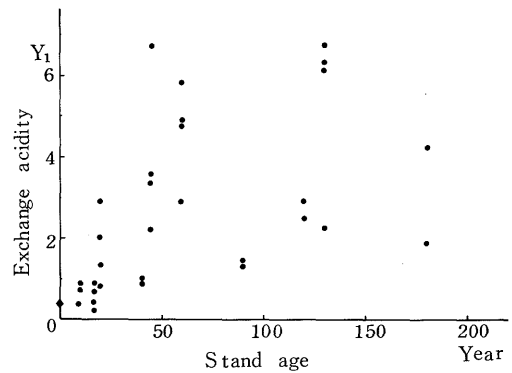


Fig.6-16 Exchange acidity of surface layer for different ages of stands

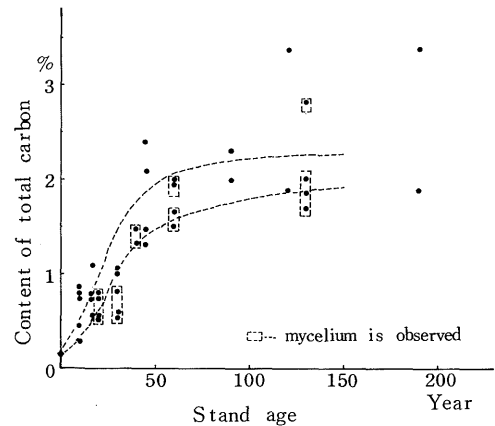


Fig.6-17 Contents of total carbon of surface layer for different ages of stands

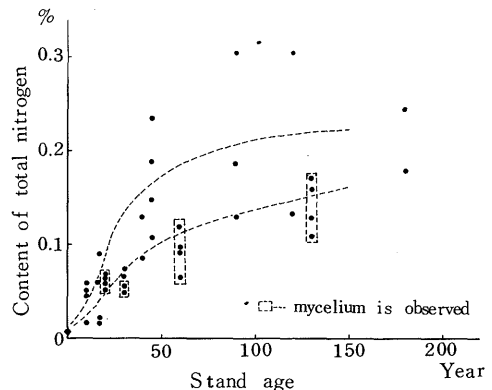


Fig.6-18 Contents of total nitrogen of surface layer for different ages of stands

ると考えられる。

Fig.6-19～Fig.6-21は、塩基置換容量、置換性カルシウムと置換性マグネシウムの合計量および置換性カルシウムと置換性マグネシウムの合計量の塩基置換容量に対する飽和度の推移を示したものである。これらの図をみると、CECおよびCa+Mg量は造林後年数が経過してもほとんど増加せず、老齢期に入り、ようやく増加する兆しが見えることがわかる。CECの増加と土壌中のコロイドある

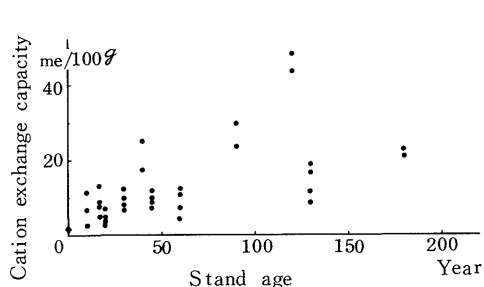


Fig.6-19 Cation exchange capacity of surface layer for different ages of stands

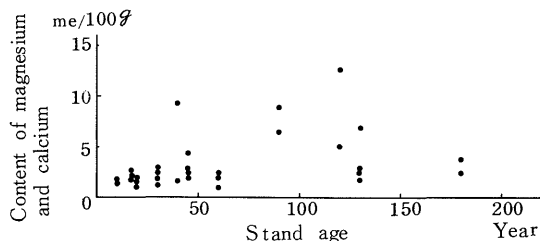


Fig.6-20 Contents of magnesium and calcium of surface layer for different ages of stands

いは腐植の増加とはかなり高い相関があると言われている<sup>3,8,38)</sup>。その際コロイドを形成する1次鉱物の性質が重要であるとされる<sup>8)</sup>。鳥取砂丘においては土壌中に含有される1次鉱物は、大部分がカオリナイト(Kaolinite)であることが細田<sup>47)</sup>によって明らかにされている。カオリナイト系コロイドのCECは、3~15me/100gと低い値を示す<sup>8)</sup>とされていることから、今回調査した土壌のCECが低い値を示す原因が一部理解できる。一方Ca+Mgが、腐植の分解量

がかなり増加していると考えられる壮老齢期に達してもなお低い値を示すのは、砂丘地では無機態養分とりわけCation系のものが溶脱されやすいということに起因するものであろう。またマグネシウムとカルシウムの飽和度をみると、大むね低い値にあることがわかる。このことから一般的に考えるならば、pHの低下をもたらすことが予想されるが、前述したとおりpHは弱酸性の範囲にあり一見矛盾するかの様に思える。しかしCEC自体が小さな値で、未飽和の部分にH<sup>+</sup>が置換するとしても総量としてはさほどでなく土壌の酸性化に影響を与えるほどではないのではないかとと思われる。

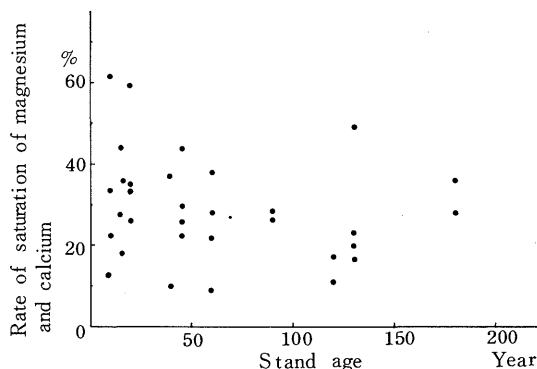


Fig.6-21 Rate of saturation of magnesium and calcium for different ages of stands

Fig.6-22～Fig.6-25は、土壌中の全リン酸量、有機態リン酸量、無機態リン酸量および有機態リン酸が全リン酸に占める割合の推移を示したものである。まずFig.6-22をみると、前述した全炭素含有率等にみられた傾向と同様な傾向を示す。すなわち菌糸網層の現われ方の違いにより2つに区分され、その増加傾向は壮齢期の50～60年までが著しく老齢期には極めて緩慢となりほぼ一定値を

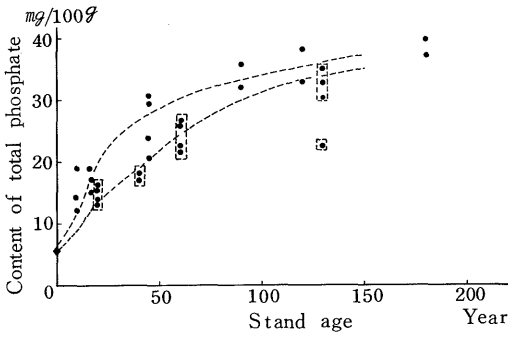


Fig.6-22 Contents of total phosphate of surface layer for different ages of stands

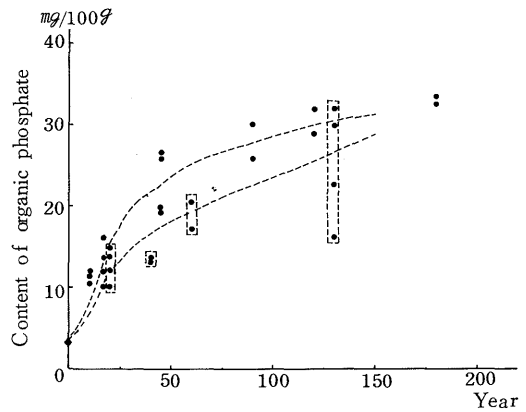


Fig.6-23 Contents of organic phosphate of surface layer for different ages of stands

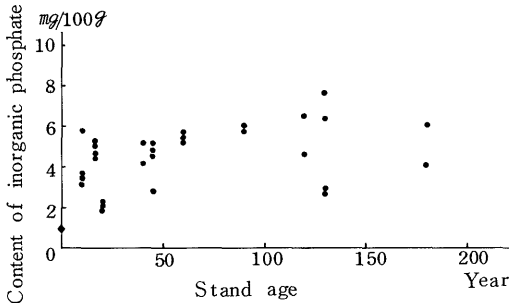


Fig.6-24 Contents of inorganic phosphate of surface layer for different ages of stands

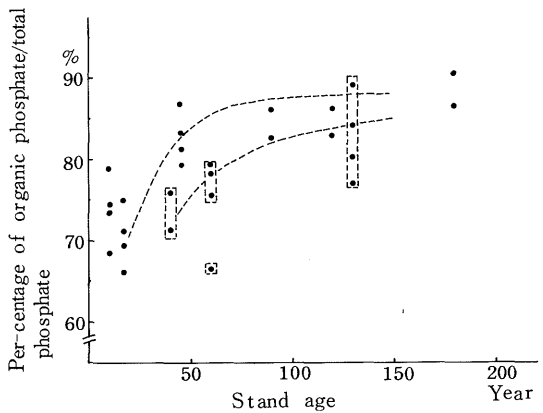


Fig.6-25 Per-centage of organic phosphate/total phosphate of surface layer for different ages of stands

示す様になると言える。このことは有機態リン酸についてもほぼ言える傾向である。Fig 6-25をみると、全リン酸に対する有機態リン酸の占める割合が、造林後50~60年までは非常に増加することがわかる。このこととFig 6-24に示した様に無機態リン酸が造林後年数を経過してもあまり増加しないという結果とをあわせて考えると、全リン酸の増加はほとんど有機態リン酸の増加に起因するものであることが明確に把握できる。このことから前述した全窒素量の増加なども、同様に有機態成分の増加によって占められる部分が多いのではないかと推察される。

以上表層部の化学性の推移について述べてきたが、これらの変化を生じさせるものは、主に

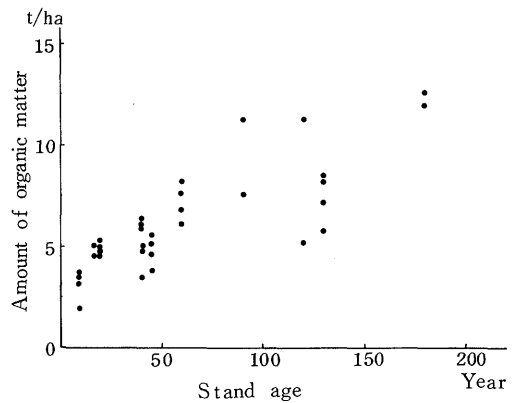


Fig.6-26 Amounts of organic matter of L layer for different ages of stands

林地に付与される落葉落枝によるところが大きいと考えられる。Fig.6-26はL層の有機物量（落葉落枝）の推移を示したものである。この図から、養分供給の容量因子としての林床有機物が、造林後の年数経過にともない増大していくことがわかる。このことは、小笠原<sup>48,49)</sup>による見解とよく一致する。

(5) A層の厚さを加味して考える土壌の化学性からみた肥沃化

前項では土壌表層部の化学性の推移について述べたが、砂丘地の様に層位が未分化で非常に劣悪な状態である裸地からしだいに肥沃化が進み、層位の分化が生じるという過程を考えると、層位の分化状況を加味して肥沃化を把握できないだろうかとの考えを持つに至る。すなわち表層部の化学成分含有率が同様であっても、その含有率を示す土層が厚ければ薄いものに対してその分、肥沃化が進んでいるものとして評価しようとする考え方である。

そこでA層の厚さをA層の養分含有率に単純にかけあわせることでWeight付けし肥沃化を表現するという方法を一つの試案として考えてみた。Fig.6-27は、造林後の年数経過にともなうA層の厚さの発達状況を示したものである。この図からばらつきはあるものの大むね造林後の年数経過とともにA層が発達していくことがわかる。これらのA層の厚さをA層の全炭素含有率、全窒素含有率および塩基置換容量にかけあわせ、その推移を示したのがFig.6-28～Fig.6-30である。これらの図をみると、かなりばらつきがあり明確な傾向は把握しがたいが、大まかにとらえるならば含有率が一定値をとる老齢期においてもA層を加味して表現するとなお肥沃化が進んでいる様にも思われる。

今後さらに詳細な研究が必要であるが、土壌生成論的視点に立脚し肥沃化をとらえるならば、この手法は砂丘地の防災林土壌の肥沃化把握においてある程度使用可能ではあるまいかと考える。

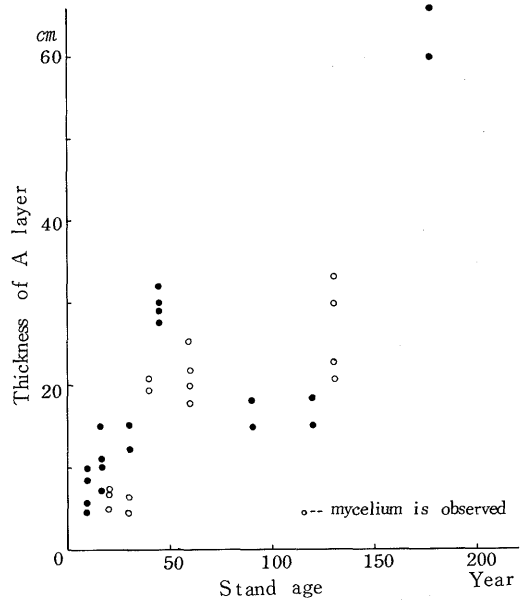


Fig.6-27 Thickness of A layer for different ages of stands

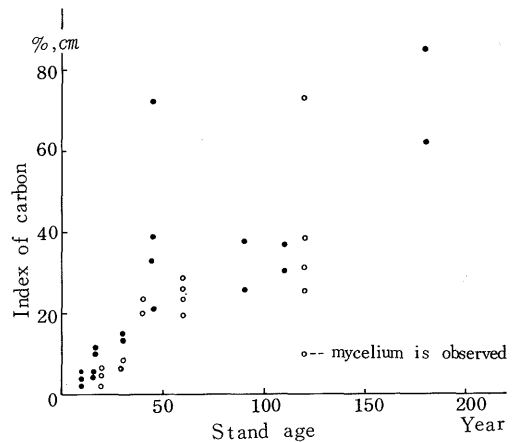


Fig.6-28 Index of carbon (content of carbon × thickness of A layer) for different ages of stands

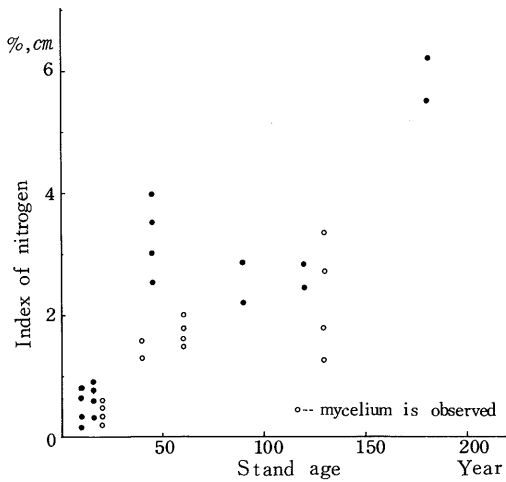


Fig.6-29 Index of nitrogen (content of nitrogen×thickness of A layer) for different ages of stands

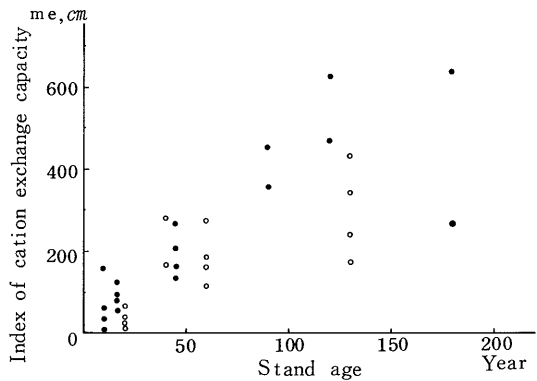


Fig.6-30 Index of cation exchange capacity (cation exchange capacity×thickness of A layer) for different ages of stands

(6) 表層から地下30cmまでに含有される土壌の化学成分の絶対量からみた肥沃化

Ⅲ-6-(3)では、重量%あるいはmg/100gという単位で、一定重量の土壌中に含有されている養分量、いわゆる含有率を用いて肥沃化をとらえた。ここでは視点をかえて、一定容積の土壌中に含まれる養分の絶対量を用いて肥沃化を把握しようと試みた。つまり根系が広がっている空間に、絶対量としてはどれだけの養分が存在するのかという点が、いわゆる容量因子を把握する上で必要な視点であると考へたためである。

Fig.6-31~Fig.6-33は、それぞれ地下30cmまでに含有されている全炭素絶対量および全窒素絶対量、さらに地下30cmまでに存在する土壌が有する塩基置換容量を示したものである。なお地下30cmという値を選んだのは、前述した根系および化学成分の垂直分布状態から、肥沃化を把握するのにほぼ妥当であると判断したことによる。これらの図をみると、全炭素量および全窒素量は

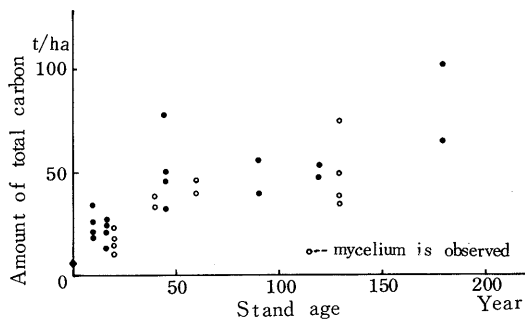


Fig.6-31 Amounts of total carbon in soil to 30cm from surface for different ages of stands

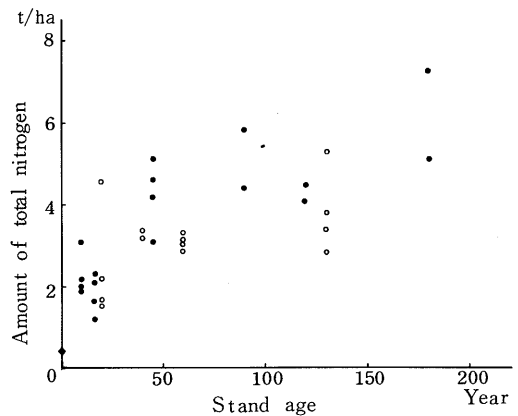


Fig.6-32 Amounts of total nitrogen in soil to 30cm from surface for different ages of stands

初期の増加が著しく老齢期にはほぼ一定値を保つようになるが、塩基置換容量はおおむね低い値で推移し、広葉樹が侵入する老齢期になってようやく増加するという傾向がみられる。この傾向は、表層部においてみられた傾向とよく一致する。このことから、土壌中の根群層に含まれる養分は、造林後の年数経過とともに濃度（重量%比）においても絶対量においても同様な増加傾向を示すと言える。

ただここで問題なのは、老齢期にはほぼ平衡状態に達した時に示すこれらの値である。これらの値がどの程度の肥沃化を示すものであるかを検討するために、一般の経済林における値との比較を試みた。Table 6-3は、砂丘地クロマツ林および経済林におけるA層の化学成分含有率および地下50cmまでに含有される化学成分の絶対量を示したも

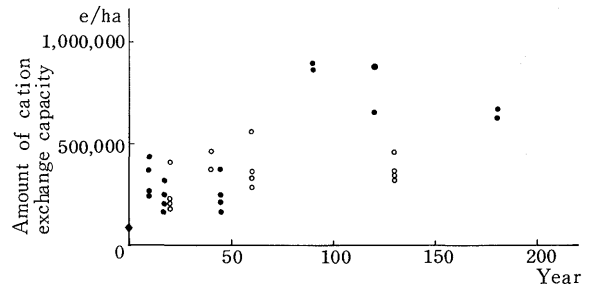


Fig.6-33 Amounts of cation exchange capacity in soil to 30cm from surface for different ages of stands

Table 6-3 Comparison of the chemical property of soil between coastal sand-dune fixation forest and management forest

Soil type	Plot	Content			Amount		
		C (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	C (t/ha)	N (t/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (t/ha)
Bd	Kawamoto	11.2	0.36	62.1	159.0	8.20	1.56
	Fukuyama	3.5	0.17	31.9	60.9	2.25	0.70
Im-s	Karo	0.7	0.06	15.6	37.4	3.40	0.86
	Fusino	1.5	0.06	22.2	66.1	5.12	1.19
	Myozigahana	2.3	0.19	32.5	62.7	7.04	1.60
	Banzan	3.5	0.24	39.1	146.3	11.21	2.40

のである。地下50cmとしたのは対比を行う便宜上のことであり、何ら特別の意味を持つものではない。なお表中、川本と福山のデータは、河田、西田<sup>50)</sup>による分析データを引用したものである。川本、福山ともに母材はGraniteで、それぞれヒノキ林およびアカマツ林である。この表において例えば全炭素含有率について比較を行うと、川本の11.2%に対し今回調査した砂丘地防災林土壌の中では最も肥沃化が進んでいるという結果を得た伴山においても3.5%と、1オーダー低い値を示している。このことは、従来森林土壌学において砂丘地の防災林土壌は肥沃化が進んだといえども所詮未熟土の域を出るものではないと判断され、未熟土として一括分類されてきた根拠となっているものである。確かに1オーダー違うことは事実である。しかし一方50cmまでに含まれる絶対量をみると、haあたり川本では159tに対し伴山では146tとかなり近い値となっている。このことから根群層に存在する全炭素の絶対量においては、ほとんど差がないということが明らかである。さらに全窒素および全リン酸の絶対量においては、むしろ伴山の方が大きな値を示している。すなわちある一定容積の土壌中に含有される養分の絶対量か

ら肥沃化をとらえるならば、砂質未熟土 (Im-S) として低い評価を受けてきた砂丘地の防災林土壌は造林後100年以上年数が経過すれば、経済林においてB<sub>D</sub>型として高い評価を受けている土壌に優るとも劣らない肥沃な土壌状態であると判断できる。この様な結果が生じた原因の1つとしては、砂丘地の防災林土壌は一般の経済林土壌に比べ容積重が非常に大きく、たとえ同体積の土壌中に含有される養分の絶対量が等しいとしても、養分含有率(重量%)で表示すると低い値を示す様になるという点が考えられる。樹木の養分吸収に際し、養分の含有率と含有絶対量のどちらが大きなFactorになるのかは今後の研究課題としても、今回の調査結果から砂丘地の防災林土壌が、視点をかえれば必ずしも未熟土ではなく、優良な経済林土壌と比較しても決して劣ることのない肥沃なものであることを示し得たと考える。

### 7. クロマツの生長と土壌の肥沃化との関係

Ⅲ-4およびⅢ-6においては、クロマツの生長過程および土壌の肥沃化について別々に述べたが、この節ではクロマツの生長過程と土壌の肥沃化との関連性について考察を行う。

まずクロマツの生長過程を平均樹高で代表させそれを横軸にとり、土壌の諸性質を縦軸にとるグラフを作成した。Fig.7-1~Fig.7-6は、それぞれクロマツの平均樹高と土壌の容積重、透水指数、74μ以下の土粒子含有率、全孔隙量、細孔隙量および最大容水量との関係を示したものである。Fig.7-1~Fig.7-3からクロマツの平均樹高が高い林分ほど土壌の容積重および透水指数は低く、74μ以下の土粒子は多いことが明らかである。又Fig.7-4~Fig.7-6から樹高が高い林分ほど全孔

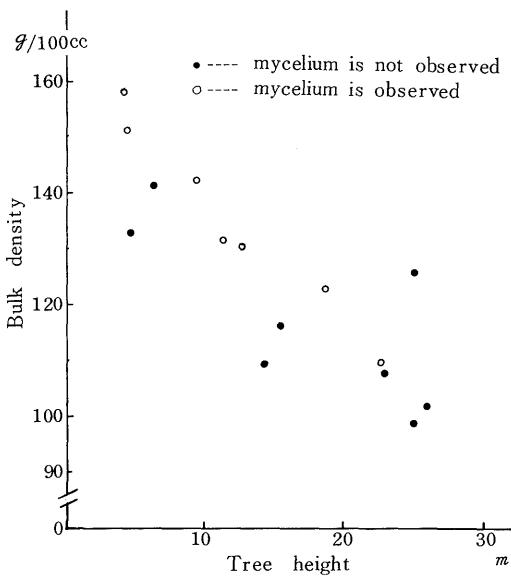


Fig.7-1 Relation between bulk density of surface layer and tree heights

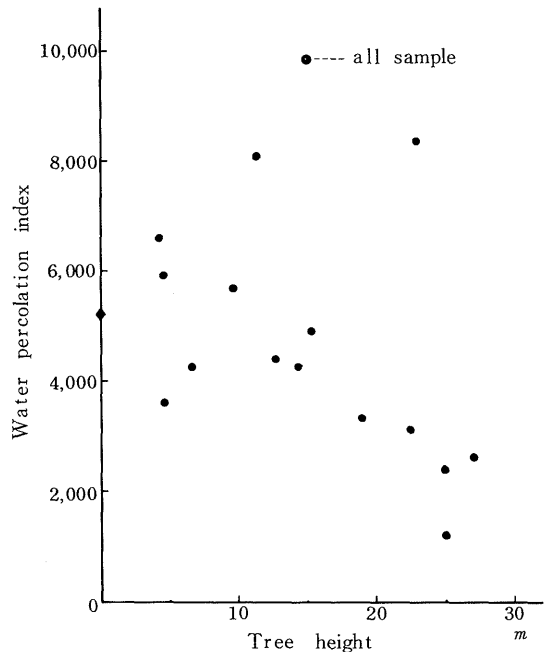


Fig.7-2 Relation between water percolation index and tree heights



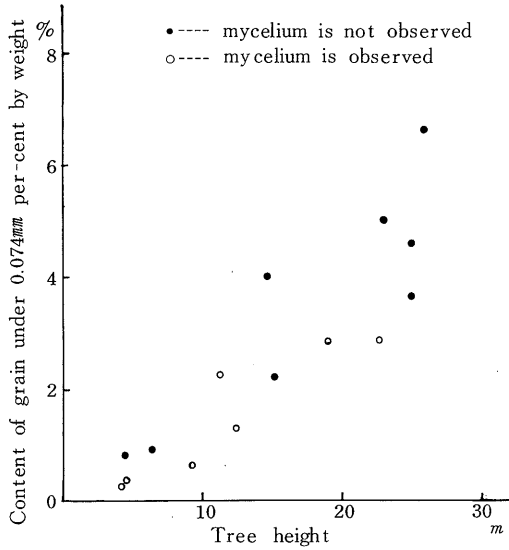


Fig.7-3 Relation between contents of grain under 0.074mm of surface layer and tree heights

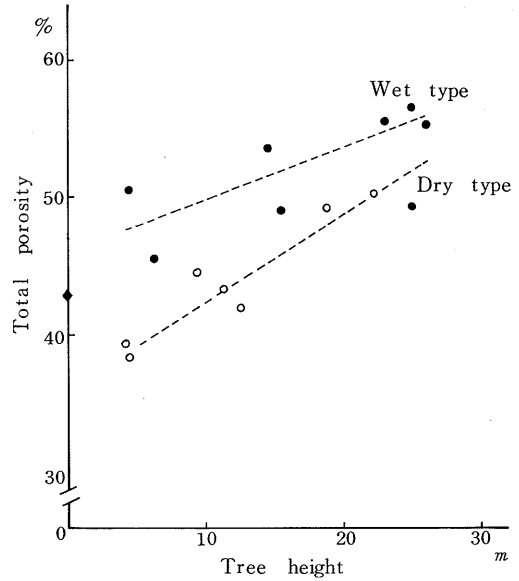


Fig.7-4 Relation between total porosity of surface layer and tree heights

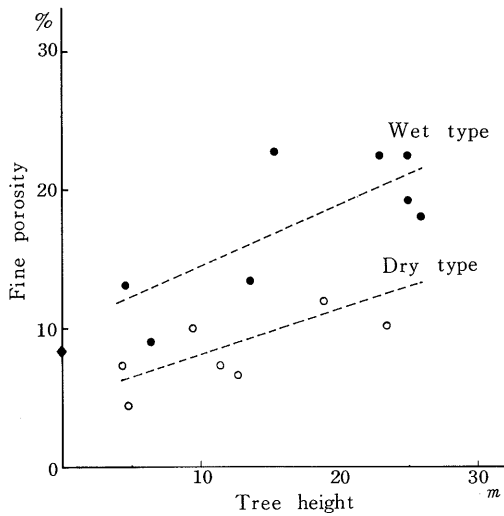


Fig.7-5 Relation between fine porosity of surface layer and tree heights

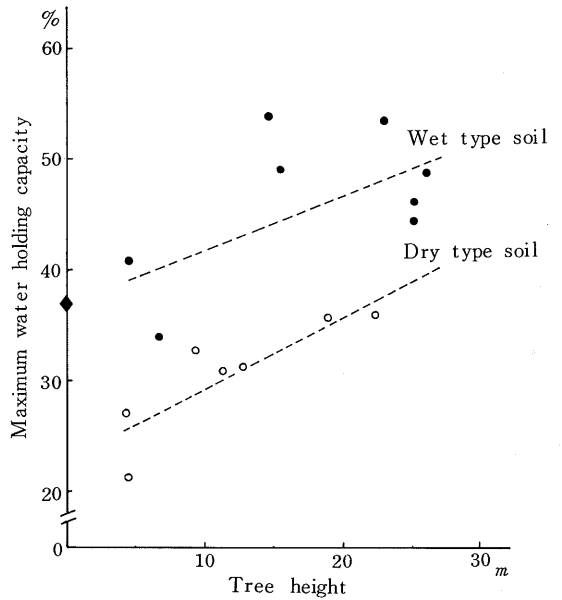


Fig.7-6 Relation between maximum water holding capacity of surface layer and tree heights

隙量、細孔隙量および最大含水量が大きな土壌であることがわかる。ここで注意すべき点は、同平均樹高を示す森林土壌であっても菌糸網層が顕著な土壌が、そうでない土壌に比べ保水性が悪いと推察されることである。このことはⅢ-6で造林後の年数経過にともなう保水性の推移を示した際にも指摘した点であるが、それを述べた時クロマツの生長状況を見逃した議論であったため、保水性の差異は

菌糸網層の有無によるものでなく単に地位の差による違いを表現したものにすぎないのではないかと  
の疑念も一方ではあった。しかし今回同樹高の林地においてなおかつ菌糸網層の有無による保水性の  
差異が明確に認められたということは、前述の林齢を軸とした場合における議論がある程度正しかっ  
たことを示すものであると考えられる。このことから砂丘地森林土壌の保水性を把握する際、菌糸網  
層の状態を一つの Indicator として使用できると思われ、菌糸網層のない適潤型 (Wet type) と菌糸  
網層のある乾燥型 (Dry type) の 2 大別が可能であると考えられる。

Fig.7-7~Fig.7-13は、土壌の化学性と平均樹高との関係を示したものである。これらの図から  
各養分の Total 量および有機量は、樹高が高くなるにつれ直線的に増加するが、塩基置換容量および  
カルシウムとマグネシウムを合計した量は樹高が高くなっても増加せず、樹高が 20 m を越える頃、すなわち  
広葉樹が数多く侵入する頃にならないと増加傾向がみられないことがわかる。樹高階が上昇しても、  
Cation 系無機態養分が低い値に低迷していることは、すでにその値でクロマツの生体量維持および  
生長に対し Critical concentration に達し、それ以上増加しても Luxury consumption を生じる  
だけであることを示すものであるかの様に見られるが、一般経済林のデータ<sup>51)</sup>から考えて、とても  
そうとは考えられない。こうなるとクロマツの生体量は複利的に増大していつているはずであるから、  
それにともない可給性の無機態養分も増加していかないと、生体を維持しかつそれ以上の生長が望め  
ないことになる。しかし現に Critical concentration に達していると思われなく状況で、なおかつ  
複利的に生体量の増大が生じている。このことは単純に考えるならば、リービッヒ (LIEBIG) の「最  
少養分律」およびミツェルリッヒ (MITSHERLICH) の「収量通減則」に矛盾する現象の様に思われ

る。しかしながら今回示した値は、土壌中に含  
有されている量を示したにすぎず、天然供給量の

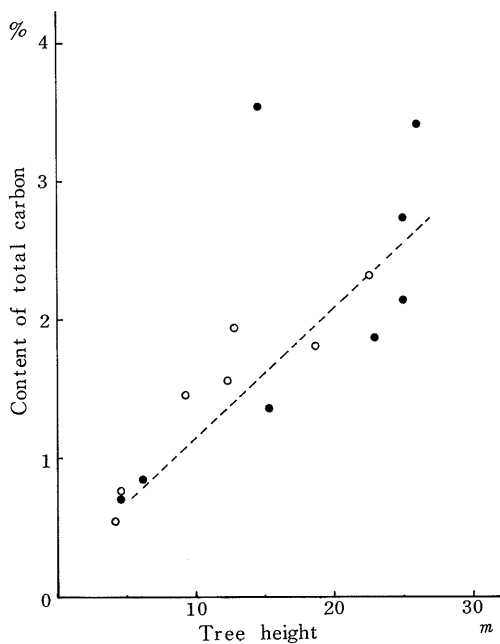


Fig.7-7 Relation between contents of total carbon of surface layer and tree heights

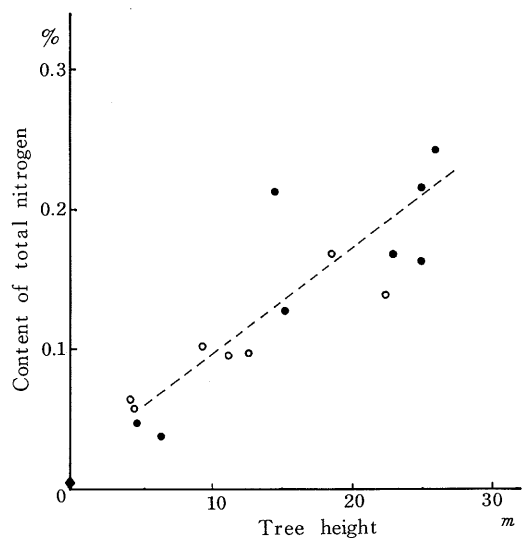


Fig.7-8 Relation between contents of total nitrogen of surface layer and tree heights

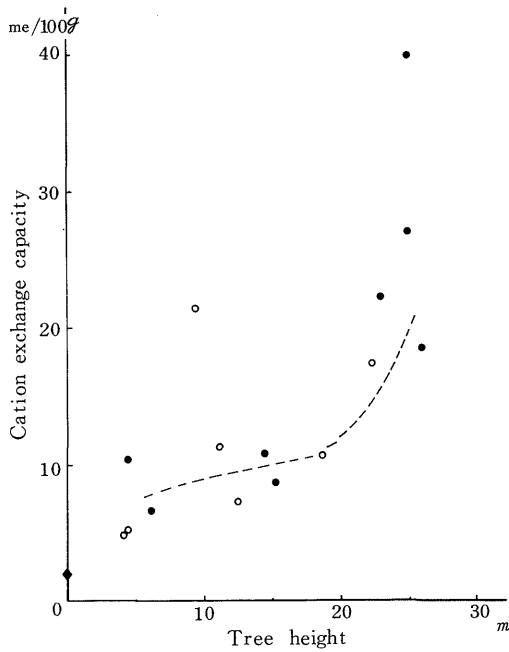


Fig.7-9 Relation between cation exchange capacity of surface layer and tree heights

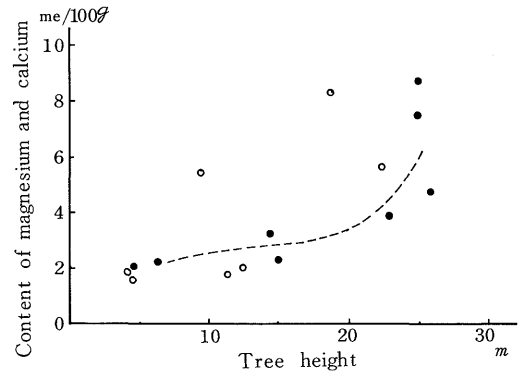


Fig.7-10 Relation between contents of magnesium and calcium of surface layer and tree heights

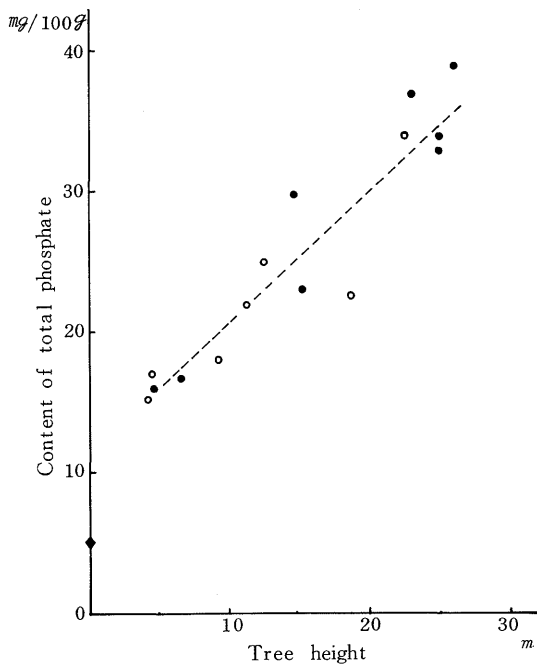


Fig.7-11 Relation between contents of total phosphate of surface layer and tree heights

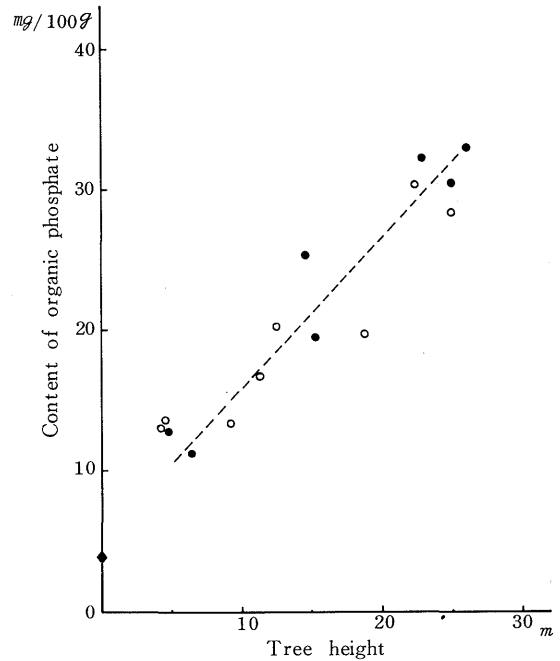


Fig.7-12 Relation between contents of organic phosphate of surface layer and tree heights

把握あるいは1年間を通しての収支計算を行った上での議論ではないため、このような現象が生じることも十分あり得ると思われる。降雨によるCation系養分もかなり多いことが明らかにされている<sup>52,53,54</sup>ことから考えても、砂丘地の土壌の様に溶脱がはげしくCation類を常時多量に保持できなくとも、天然供給により生長を

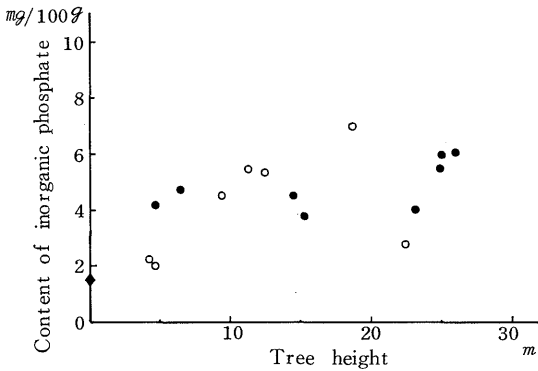


Fig.7-13 Relation between contents of inorganic phosphate of surface layer and tree heights

確保できるという現象の一断面を今回確認できたと考える方が妥当ではなかろうか。一方無機態リン酸量を見ると、広葉樹が侵入してくる樹高に達していても Cation系にみられた増加傾向がうかがわれず、Anion系無機態養分の動態がCation系のもとは異なることが推察される。これはAnion系養分の土壌への固定化等に主に起因するものではあるまいか。たとえばリン酸などは、コロイド粒子に陰イオンのままで吸着されることは少なく、AlあるいはFeと錯イオンを形成し固定されてしまうか、あるいはキレート物に吸着されるかいずれにせよ無機態のままでは存在し難いという性質があるとされている<sup>8,36)</sup>。

このことから微細粒子が増大しコロイドも当然増加していると思われる高樹高階の土壌中において、Anion系特に無機態リン酸が増大しにくいことが推察される。又化学性全般をみて注目されるのは、理化学性とりわけ保水性においては菌糸網層の状態によって適潤型土壌と乾燥型土壌に区分可能であったのに対し、化学性では区分ができない、すなわち同じ樹高である砂丘地の防災林土壌の化学性は非

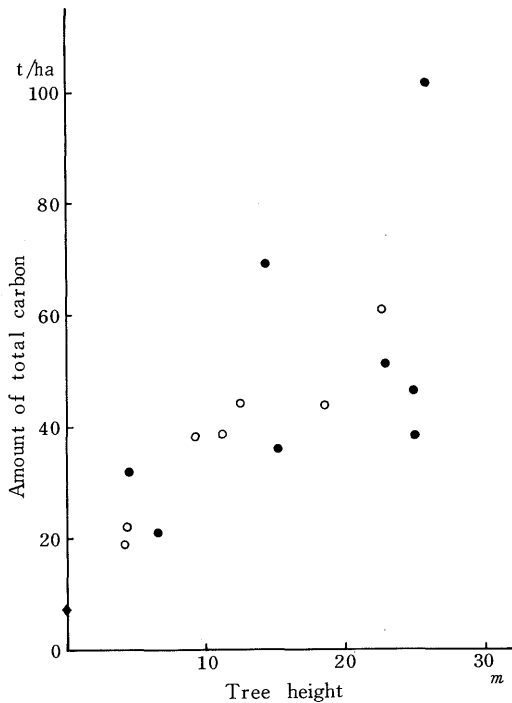


Fig.7-14 Relation between amounts of total carbon in soil to 30cm from surface and tree heights

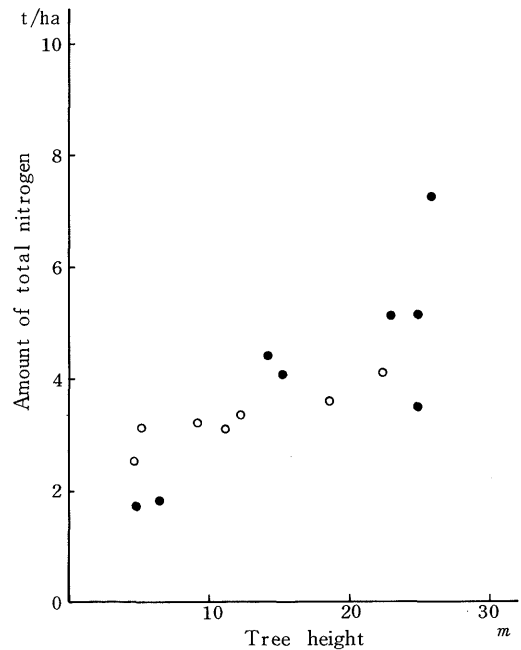


Fig.7-15 Relation between amounts of nitrogen in soil to 30cm from surface and tree heights

常に類似していると思われる点である。この化学性と理学的の間でみられた違いは、クロマツは保水性においてはある程度悪条件下にあっても化学性がそれなりに良好であれば生長が可能であることを意味し、クロマツの土壌の肥沃度への要求は、理学的よりも化学性においてより強く現われるのではないかと考えられる。

Fig.7-14およびFig.7-15は、土壌表層から深さ30cmまでに含有されている全炭素および全窒素の絶対量と樹高との関係を示したものである。絶対量においても、土壌養分と樹高との相関が高いことが把握される。

#### IV 総合考察

IIIで述べた調査結果および考察から明らかとなった海岸防災林の造林後の推移を、まとめて示したのがFig.8-1である。

まず土壌をみると、造林後よほど不良林でない限り約20年を経過する頃より層位の分化が生じ、一応森林土壌と呼べる状態になる。そしてさらに年数が経過して行くと、クロマツ自身の自己施肥機能あるいは混植したニセアカシアの肥培効果が一層高まり土壌の肥沃化が促進される。土壌の肥沃化がある程度進めば30年前後に達した頃より草本類が下層植生としてかなり侵入し、造林後50～60年を経過

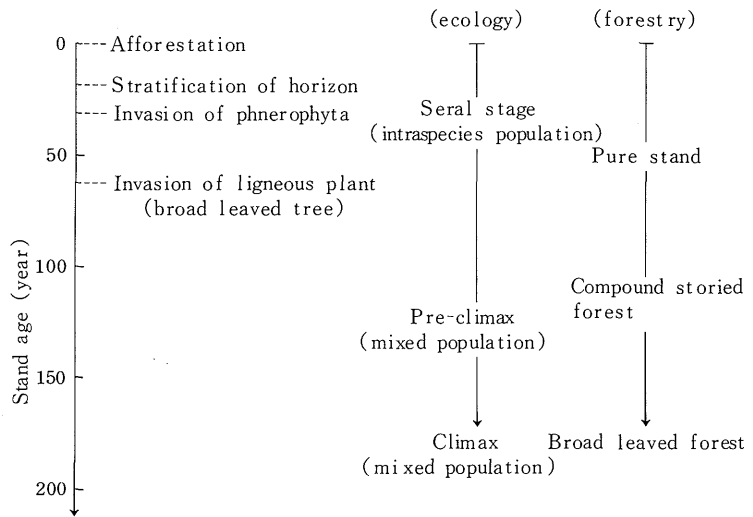


Fig.8-1 Time-serial transition of coastal sand-dune fixation forest

する頃になると、耐陰性の強い広葉樹を中心に木本類の侵入があり土壌はさらに肥沃化する。一方林況を植物生態学的にみると、広葉樹が侵入するまでは同種個体群による不安定な生態系である途中相のまま推移し、広葉樹が侵入することにより安定した生態系といわれる異種個体群による極相林に近くなり、さらに広葉樹の侵入が続きクロマツよりも優勢になるとやがて気候的極相林に達する。さらに林学的にこの推移をとらえるならば、広葉樹が侵入するまではほぼクロマツ単純林のまま推移し、広葉樹が侵入することにより針広混交の複層林へと移行し、やがて広葉樹林になると言える。

これらをまとめると、砂丘地の海岸防災林は、造林後年数経過にともない土壌の肥沃化が進むと言っても生態的には不安定なクロマツ単純林のまま推移し、広葉樹が自然侵入することにより土壌の肥沃化は一層促進され、林況は生態的に非常に安定していると言われる複層林へと移行すると言える。

針広混交の複層林の林況は、生態的にみて安定しているだけでなく、防災の見地に立ってもその3次元の深さ (Depth of forest)<sup>56)</sup>あるいは厚さ (Thickness)<sup>56,57)</sup>の点から、極めて理想的的林分構造であると考えられる。この様なことから、現在多くみられる生態的に不安定なクロマツ単純林の林況を呈する海岸防災林を、針広混交の複層林へ転換できないだろうかとの考えを持つに至る。

Fig.8-2は、針広混交の複層林への転換方法をも含めた、海岸防災林の造林時からそれ以後の保育方法の1モデルを示したものである。造林時には、まず肥料木の混植が必要である。また同時にクロマツ

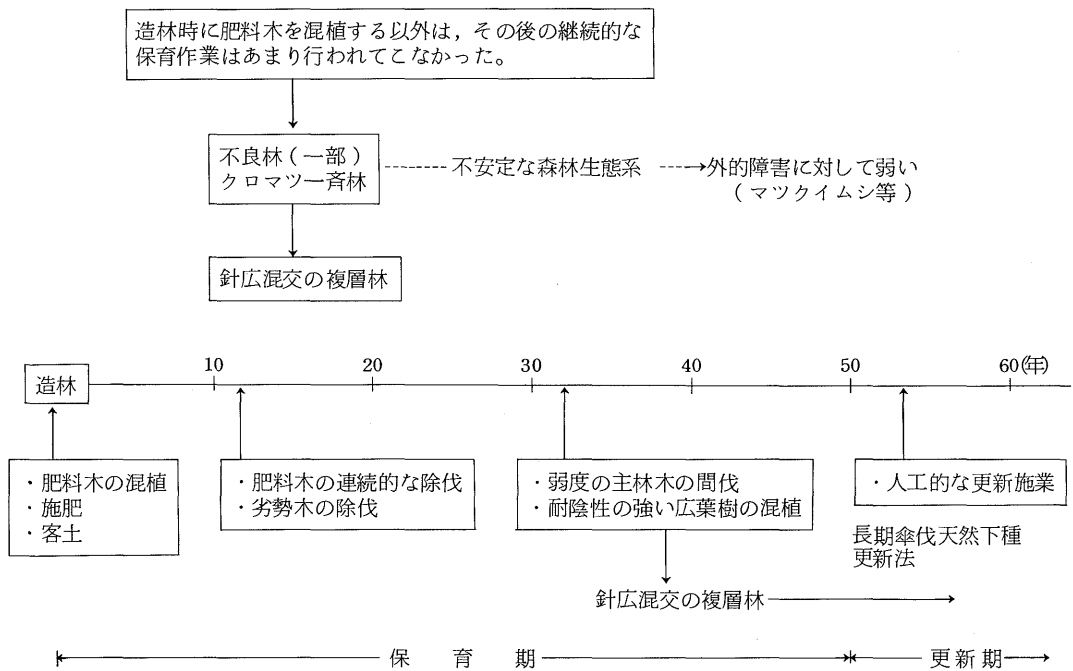


Fig.8-2 Tending method of coastal sand-dune fixation forest

の活着あるいは肥料木の初期生長を促すという意味で、客土、施肥等も場合に応じて必要であろう。これらの保育作業によりクロマツの初期生長向上を促す。やがて肥料木がクロマツを被圧し始める造林後10年前後経過した時点から、クロマツ劣勢木の除伐をも含めた肥料木の適切な除伐が必要となろう。この様な保育作業によりクロマツの生長をさらに促す。やがて良好な林分では、海岸防災林としての必要樹高を確保する様になる。この時期にすれば、今度は林分構造の強化および肥大生長を促すためにクロマツの間伐が必要である。ここでクロマツの間伐は、強度間伐を行うと風穴を生じることが考えられるから、弱度間伐を数度に分けて実施するのが妥当であろう<sup>18)</sup>。さらにクロマツの適切な間伐を行ったこの時期に、耐陰性の強い広葉樹導入をはかり、それを下層木として保育しクロマツ上層木とともにやがて針広混交の複層林を形成する様に継続的な保育管理を行う。この様な一連の保育管理により良好な防災機能を有する海岸防災林造成が可能であろう。しかしこれはあくまでも理論的

モデルにすぎず、今後広葉樹導入に際しての樹種選定<sup>7,17)</sup>、生長に大きな影響を与えられる林内照度<sup>19,20)</sup>等の詳細な検討が望まれるということは言うまでもない。

一方更新の問題であるが、原<sup>16,58)</sup>が海岸防災林の更新方法としてH. MÖLLERの恒続林思想(Dauerwaldgedanke)<sup>59)</sup>に基づき、造林後約50年までを保育期、さらにその後約50年間を更新期とする長期傘伐天然下種更新法をすでに明らかにしている。確かにこの更新方法は、防災的見地に経済性を加味した理想的なものであると考える。しかし陽樹であるクロマツ稚樹の林内での更新には、林内照度とのかねあいを抜きにしては考えられず、さらにFusarium<sup>60)</sup>や土壌糸状菌<sup>61,62)</sup>による被害の問題など解決しなければならない課題が山積している。さらに今回示した様な針広混交の複層林へと一度導いてしまえば、広葉樹が優勢となるためクロマツの上方天然下種更新はまず不可能であると思われる。したがっていったん針広混交の複層林へと導いてしまった場合は、ベルト状に更新帯をもうけ側方天然下種更新をめざすとか、あるいは新たにクロマツの植栽を行うという様な人工的更新方法をとる必要がある。しかしこれはあくまで試案であり、更新帯の設置方法やその規模等についての具体的研究が今後望まれる。

## V 結 言

今回、海岸防災林における造林後のクロマツの生長状況を含めた林況の推移状況および土壌の肥沃化について調査、検討を行った。

その結果、現存する海岸防災林の林分構造の弱さなどが明らかとなり、その改善策の一つとして針広混交の複層林へ導く方法について述べた。また土壌については、従来の森林土壌学における砂丘地の防災林土壌の概念より一歩進んだ検討をなし得たと信じるものである。

今後ますます海岸防災の重要性が高まることが予想される今日、防災機能強化のための保育管理体系の確立は急務である。今後詳細な検討がなされ海岸防災林がより強固なものとなり、砂丘地の環境保全に多大な効果を発揮し続けることを切望し結言とする。

最後に、本研究を行うに際し国有林における調査にあたって大変便宜をはかっていただいた鳥取営林署に対し謝意を表したい。また本研究を進めるにあたり、終始多大なる御指導をたまわった鳥取大学農学部 近藤芳五郎教授、小笠原隆三教授、奥村武信助教授の各位に、心から謝意を表す。さらに本学農学部 橋詰隼人助教授、大北英太郎助教授、古川郁夫助手の各位には、植生調査および土壌分析等において有意義なご助言をたまわり、現地調査にあたっては砂防工学研究室の専攻生諸氏に大変お世話になった。ここにあわせて心から謝意を表す。

## VI 摘 要

林齢の異なる海岸防災林においてクロマツの生長および土壌を中心に調査し、造林後の時系列的推移を明らかにすることを試みた。

その結果次の様な点が明らかとなった。

- 1) 海岸防災林の林況は、広葉樹が侵入するまではクロマツ一斉林の状況で推移し、その後広葉樹侵入により針広混交の複層林となり、さらに広葉樹林へと移行する。
- 2) 海岸防災林の土壌は、造林後の年数経過にともない理学的性質および化学的性質の両面において肥沃化する。また肥沃化する傾向は、菌糸網層の出現状況により2大別され、菌糸網層がほとんど見られない土壌が菌糸網層が顕著にみられる土壌よりも肥沃化は早く進む。
- 3) 海岸防災林において、クロマツの生長と土壌の肥沃化との結びつきは極めて強い。

現存する海岸防災林の林分構造は、防災的にみると災害に対して強いものとは言えず、今後早急な対策が望まれる。今後の保育方法として生態学および防災的にみて理想的と思われる針広混交の複層林へ導くことが考えられ、このことが防災機能の強化に強く効果をもたらすものであると考える。

### 引用および参考文献

- 1) 原 勝：海岸砂防の歴史について，砂丘研究 第6巻第2号，1960
- 2) 山田茂夫・村松保男：例解測樹の実務 地球社，1976
- 3) 河田 弘・小島俊郎：環境測定法IV，森林土壌，共立出版，1980
- 4) 林野庁：林野庁土壌調査方法書，1955
- 5) 土質工学会：土質試験法，1973
- 6) 田中一夫：海岸砂防造林における肥料木混植の問題点について，砂丘研究 第7巻第1号，1960
- 7) 河崎弥生・田中一夫：海岸防災林の機能強化に関する研究(3)，日林関西支講 第32号，1981
- 8) 川口桂三郎他：改訂新版 土壌学，朝倉書店，1976
- 9) 菅野一郎編：日本の土壌型，農文協，1979
- 10) 延原 肇：海岸植物群落の環境系把握の方法，砂丘研究 第4巻，1962
- 11) 丸山幸平・三浦貞親：海岸林の土壌一植生系への効果に関する研究，新潟大学演習林報告14，1981
- 12) 沼田 真：図説植物生態学，朝倉書店，1969
- 13) Tansley：Introduction to plant ecology, London, 1949
- 14) Tansley：The British Islands and their vegetation, Cambridge, 1953
- 15) Raunkiaer：Life-forms of plants and statistical plant geogrophy, Oxford, 1934
- 16) 原 勝：砂丘造林に関する研究，鳥取高農学術報告 第1巻3号，1932
- 17) 河崎弥生・田中一夫：老齡海岸砂防林におけるクロマツの生長と土壌の肥沃化について 砂丘研究 第28巻第2号，1981
- 18) 河崎弥生，田中一夫：海岸防災林の保育，更新に関する基礎的研究 第1報，砂丘研究 第30巻第2号，1983
- 19) 河崎弥生・山崎拓男・田中一夫：海岸防災林の保育，更新に関する基礎的研究 第2報 砂丘研究 第30巻第2号，1983



- 20) 河崎弥生・山崎拓男・田中一夫：海岸防災林の機能強化に関する研究(6)，日林関西支講 第34号，1983
- 21) 林試土壌部：林野土壌の分類(1975)，林試研報 No.280，1976
- 22) Jenny, H: Factors of Soil Formation, Mc Graw-Hill, 1941
- 23) 宮崎 榊：四国森林植生と土壌形態との関係について，興林会，1942
- 24) 鳥取県林務課：鳥取県林分林積表，1967
- 25) 河崎弥生・田中一夫：海岸防災林の機能強化に関する研究(4)，日林関西支講 第33号，1982
- 26) 河崎弥生・田中一夫：海岸防災林における地況および林況の時系列的推移について，日本砂丘研究会 第29回全国大会講演要旨集，1982
- 27) 岸根卓郎：統計理論，養賢堂，1977
- 28) 四手井綱英編：アカマツ林の造成，地球出版，1963
- 29) 小笠原隆三・埴田淳一・魚住侑司：砂丘地におけるクロマツ林の施業に関する基礎的研究(第1報)，鳥大演報No.11，1979
- 30) 池本 隆：冠雪害と胸高直径及び樹幹形状比の関係，鳥取林試研報19，1976
- 31) 松井光遥：造林地の雪の害，日林協，1977
- 32) 堤 利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2・3の性質に及ぼす影響について，第1報，京大演報 No.34，1963
- 33) 堤 利夫：森林の成立および皆伐が土壌の2・3の性質に及ぼす影響について，第2報，京大演報 No.35 1964
- 34) 中野秀章：森林の伐採および伐跡地の植被変化が流出に及ぼす影響，林試研報，No.240，1971
- 35) 中野秀章：森林の水土保持機能とその活用，日本林業技術協会，1973
- 36) 岡島秀夫：土壌肥沃度論，農文協，1976
- 37) 石橋秀弘：山腹工事施行跡地の土壌性質の回復，岩手大学演報 第4号
- 38) 農林水産省林業試験場土壌部監修：森林土壌の調べ方とその性質，林野弘済会，1982
- 39) 田中一夫：砂防樹種の落葉の保水機能について，鳥取農学会報 第13巻，1961
- 40) 四手井綱英・堤 利夫：林地の有機物集積量とその年分解率と気候との関係，日林誌44(11)，1962
- 41) 堤 利夫・河原輝彦・四手井綱英：森林生態系における養分の循環について(1)，日林誌50(3)，1968
- 42) 河原輝彦：Litter fallによる養分還元量について(II)，日林誌53(8)，1971
- 43) 片桐成夫・堤 利夫：森林の物質循環と地位との関係について，日林誌55(3)，1973
- 44) 片桐成夫・石井 弘・三宅 登：三瓶演習林の落葉広葉樹林における物質循環に関する研究(VIII)，島根大農研報 No.14，1980
- 45) 河原輝彦・堤 利夫：森林土壌中の無機態チッ素量に関する研究(I)，京大演報 No.42，1971

- 46) 河原輝彦・堤 利夫：Litter fallによる養分還元量について (I)，京大演報 No.42, 1971
- 47) 細田克己・丸山恭二：砂丘地土壤の熟畑化に就いて，鳥取農学会報 第10巻3号，1954
- 48) 小笠原隆三・曳地政雄：砂丘地におけるクロマツ林の物質生産力に関する研究，鳥大演報 No.11, 1979
- 49) Ryuzo OGASAWARA unt Yuuji UOZUMI: Das Gewicht des Organ des kiefer-forst (Pinus Thunbergii) auf der Sanddüne, Bull. Tottori, Uni. Forests. No.11, 1979
- 50) 河田 弘，西田豊昭：森林土壤のリン酸の形態について，林試研報 No.250, 1973
- 51) 河田 弘・西田豊昭・吉岡二郎：土壤および針葉の化学的性質とヒノキの成長との関係，林試研報 No.253, 1973
- 52) 丸山明雄・岩坪五郎・堤 利夫：森林内外の降水中の養分量について 第1報，京大演報 No.36, 1965
- 53) 岩坪五郎・堤 利夫：森林内外の降水中の養分量について，第2報，京大演報 No.39, 1967
- 54) 岩坪五郎・堤 利夫：森林内外の降水中の養分量について (III)，京大演報 No.40, 1968

## 付 表

Table 3-1 Situation of the soil profile in the sample plots

PLOT	層位	厚さ (cm)	推移	腐植	石礫	土性	構造	堅密度	孔隙	割目	水湿 状態	溶脱 集積
浜 村 A-1	A <sub>1</sub>	5	判	すこぶる富む		S L	cr	3	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	15	判	含 む		S	gr	5	含む		潤	
	B	60	漸	乏し		S	sg	5	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	12	乏し		潤	
A-2	A <sub>1</sub>	8	判	すこぶる富む		S L	cr	3	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	13	漸	含 む		S	gr	5	含む		潤	
	B	40	漸	乏し		S	sg	5	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	13	乏し		潤	
伏 野 A-1	A <sub>1</sub>	10	漸	すこぶる富む		S L	cr	7	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	12	判	含 む		S	gr	7	含む		潤	
	B <sub>1</sub>	40	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
	B <sub>2</sub>	20	判	乏し	あり	S	sg	16	乏し		潤	
	B <sub>3</sub>	20	判	乏し		Gに近いS	sg	14	あり		潤	
	C	↓	明	乏し		S	m	24	乏し		潤	
A-2	A <sub>1</sub>	5	漸	すこぶる富む		S L	cr	4	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	13	判	含 む		S	gr	7	含む		潤	
	B	25	漸	乏し		S	sg	12	乏し		潤	
	C	↓	明	乏し		S	pl	25	乏し		潤	

- 56) 田中一夫・宮田和夫：海岸防災林における林の深さに関する研究（第1報），砂丘研究実験所報告 第7号，1966
- 57) 飯塚 肇：防風林の幅（厚み）に就いて，林試研報 第56号，1952
- 58) 飯塚 肇：防風林の幅（厚み）の算定に関する研究，三重大演報 2，1954
- 59) 原 勝：砂防造林，朝倉書店，1950
- 60) MÖLLER, A：Der Dauerwaldgedanke, Berlin, 1922
- 61) 四手井綱英他：森林保護学，朝倉書店，1977
- 62) 池田 茂：砂丘造林地内林木落葉枝の腐植化に関する土壌糸状菌について（第1報），日林関西支講 第5号，1955
- 63) 池田茂：砂丘造林地内林木落葉枝の腐植化に関する土壌糸状菌について（第2報），日林関西支講 第6号，1956
- 64) 河崎弥生・三浦由洋・田中一夫：海岸防災林の機能強化に関する研究（1），日林関西支講 第31号，1980

生物	M層	根系		Litter (kg/m <sup>2</sup> )	L (cm)	F (cm)	H (cm)	火山 灰	備	考
		木本	草本							
あり	β型	極多 多 多	あり	0.48	1.0	0.5	2.0		ウシノケグサ アレチノギク	rootが下部まで密に入 っている。
あり	β型	極多 多 多	あり	0.49	1.0	0.5	2.0		ウシノケグサ アレチノギク	小動物多し
	β型	多 多 まれ あり あり	あり	0.62	1.0	2.5	→A <sub>1</sub>		H, A <sub>1</sub> に菌糸網層発達 90cm付近にスコリア層あり	
	β型			0.69	1.0	1.5	→A <sub>1</sub>		ハマスゲ + H, A <sub>1</sub> に菌糸網層発達	

PLOT	層位	厚さ (cm)	推移	腐植	石礫	土性	構造	堅密度	孔隙	割目	水湿 状態	溶脱 集積	
伏野 B-1	A <sub>1</sub>	5	漸	すこぶる富む		SL	cr	7	富む		潤		
	A <sub>2</sub>	15	判	含む		S	gr	9	含む		潤		
	B	60	漸	乏し		S	sg	11	乏し		潤		
	C <sub>1</sub>	50	漸	乏し		S	sg	14	乏し		潤		
	C <sub>2</sub>	↓	明	含む		C	m	21	乏し		潤		
	B-2	A <sub>1</sub>	10	漸	すこぶる富む		SL	cr	6	富む		潤	
		A <sub>2</sub>	15	判	含む		S	gr	9	含む		潤	
		B	30	漸	乏し		S	sg	11	乏し		潤	
		C <sub>1</sub>	60	漸	乏し		S	sg	14	乏し		潤	
		C <sub>2</sub>	↓	明	乏し		C	m	30	乏し		やや乾	
賀露 A-1	A	8	明	すこぶる富む		ややSLに近い	gr	5	含む		やや乾		
	B <sub>1</sub>	20	漸	乏し		S	sg	6	含む		潤		
	B <sub>2</sub>	70	判	乏し		S	sg	6	含む		潤		
	C	↓	漸	乏し		S	sg	7	含む		潤		
	A-2	A	7	判	含む		ややSLに近い	gr	4	含む		乾	
		B <sub>1</sub>	20	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
		B <sub>2</sub>	70	漸	乏し		S	sg	6	乏し		潤	
		C	↓	漸	乏し		S	sg	6	乏し		潤	
賀露 B-1	A	5	判	含む		S	gr	7	乏し		潤		
	B <sub>1</sub>	40	判	乏し		S	sg	8	乏し		潤		
	B <sub>2</sub>	60	判	乏し		S	sg	9	乏し		潤		
	C	↓	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤		
	B-2	A	10	判	含む		S	gr	5	乏し		潤	
		B <sub>1</sub>	20	漸	乏し		S	gr	6	乏し		潤	
		B <sub>2</sub>	80	漸	乏し		S	s	6	乏し		潤	
		C	↓	漸	乏し		S	s	7	乏し		潤	
賀露 C-1	A <sub>1</sub>	5	判	含む		S	gr	3	乏し		乾		
	A <sub>2</sub>	10	漸	含む		S	sg	6	乏し		潤		
	B <sub>1</sub>	20	漸	乏し	あり	Gに近いSL		22	乏し	あり	潤		
	B <sub>2</sub>	20	判	乏し		S	sg	9	乏し		潤		
	B <sub>3</sub>	30	判	乏し	あり	Gに近いSL		22	乏し	あり	潤		
	C <sub>1</sub>	30	判	乏し		S	sg	8	乏し		潤		
	C <sub>2</sub>	↓	明	乏し		S	sg	4	乏し		潤		
	C-2	A	5	判	含む		S	gr	3	乏し		乾	
		B <sub>1</sub>	20	判	乏し		S	sg	7	乏し		乾	
		B <sub>2</sub>	40	漸	乏し	あり	Gに近いSL		15	乏し		乾	
C <sub>1</sub>		70	判	乏し		S	sg	11	乏し		乾		
C <sub>2</sub>		↓	明	乏し		S	sg	5	乏し		乾		



PLOT	層位	厚さ (cm)	推移	腐植	石礫	土性	構造	堅密度	孔隙	割目	水湿 状態	溶脱 集積
賀露 D-1	A	5	判	含む		S	gr	6	乏し		乾	
	B <sub>1</sub>	30	判	乏し	あり	SL	m	22	あり		潤	
	B <sub>2</sub>	30	明	乏し		S	sg	16	乏し		潤	
	C <sub>1</sub>	60	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
	C <sub>2</sub>	↓	明	乏し		S	sg	3	乏し		潤	
D-2	A	10	判	含む		S	gr	3	乏し		乾	
	B <sub>1</sub>	20	判	乏し	あり	SL	m	12	乏し		潤	
	B <sub>2</sub>	20	漸	乏し		S	sg	3	乏し		潤	
	B <sub>3</sub>	80	判	乏し		S	sg	12	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	6	乏し		潤	
妙地ヶ鼻 A-1	A	15	明	含む		SL	cr	6	あり		潤	
	B	75	明	含む		SL	gr	13			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	14			潤	
A-2	A <sub>1</sub>	7	判	すこぶる含む		SL	cr	5	含む		潤	
	A <sub>2</sub>	10	漸	含む		SL	gr	8	含む		潤	
	B	30	漸	含む		SL	gr	12			潤	
	C	↓	明	乏し		S	sg	7			潤	
妙地ヶ鼻 B-1	A <sub>1</sub>	6	漸	すこぶる含む		SL	cr	5	含む		潤	
	A <sub>2</sub>	12	明	含む		S	sg	7	含む		潤	
	B	60	漸	乏し		SL	sg	10			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	11			潤	
B-2	A <sub>1</sub>	7	漸	すこぶる含む		SL	cr	4	含む		潤	
	A <sub>2</sub>	7	判	含む		S	gr	7	含む		潤	
	B <sub>1</sub>	12	漸	乏し		S	sg	8	あり		潤	
	B <sub>2</sub>	20	明	乏し		C	m	23			潤	
	B <sub>3</sub>	30	明	乏し		C	m	23			潤	
	C	↓	明	乏し		C	m				潤	
柳茶屋 A-1	A <sub>1</sub>	10	判	すこぶる含む		SL	cr	4	含む	あり	潤	
	A <sub>2</sub>	25	判	含む		SL	gr	11	含む		潤	
	B <sub>1</sub>	35	漸	含む		S	sg	12	あり		潤	
	B <sub>2</sub>	10	明	乏し		C	m	25			潤	
	B <sub>3</sub>	10	明	乏し		C	m	32			潤	集積層
	C	↓	判	乏し		C	m	28			潤	
A-2	A <sub>1</sub>	15	漸	すこぶる含む		SL	cr	4	含む	あり	潤	
	A <sub>2</sub>	20	判	含む		SL	gr	8	含む		潤	
	B <sub>1</sub>	55	漸	乏し		S	sg	9	あり		潤	
	B <sub>2</sub>	10	明	乏し		C	m	28			潤	
	C	↓	明	乏し		C	m	26			潤	集積層 ↓

生物	M層	根系		Litter (kg/m <sup>2</sup> )	L (cm)	F (cm)	H (cm)	火山 灰	備 考
		木本	草本						
	β型	あり 多 まれ	あり	0.36	1.0	1.5		客土	F層にM層発達 erodible な条件下では、H層欠如
	β型	多 多 まれ まれ	あり	0.37	1.0	0.5		客土	下層にM層発達 root はLoamをねらっ て侵入 ハマゴウ ネコノシタ
あり	r型	極多 まれ	多	1.12	1.5	1.5		○	
あり	r型	極多 多 まれ	多 多	0.75	1.5	1.0	→A <sub>1</sub>	○	H層A層上部にMyceliumと細根が、から み合う様に入り cr の成因となっている。
あり	r型	極多 多 まれ	多 まれ	0.52	1.5	1.0	1.0	○	Litter は、広葉樹多し
あり	r型	極多 多 まれ まれ まれ	多	1.11	1.5	3.5	→A <sub>1</sub>	○ ○ ○ ○	B <sub>1</sub> …… 火山灰混り B <sub>2</sub> …… 青色がかった灰色(還元層?) B <sub>3</sub> …… loam
あり	α→β型 α→β型	極多 多 まれ まれ	多 多	0.85	2.0	3.5	→A <sub>1</sub>	○ ○ ○ ○	B <sub>1</sub> …… loam混り H <sub>A1</sub> 層に小 B <sub>2</sub> …… 灰青色(還元層?)動物多し B <sub>3</sub> …… ortstein 「ササ」多し C …… 堅くしまった loam
あり	α→β型	極多 多 まれ まれ	多 多	0.82	2.0	5.0	1.0→A <sub>1</sub>	○ ○ ○	B <sub>2</sub> …… 灰青色 小動物 C …… 堅い loam 「ササ」多し 上層 ortstein

PLOT	層位	厚さ (cm)	推移	腐植	石礫	土性	構造	堅密度	孔隙	割目	水湿 状態	溶脱 集積
柳茶屋 B-1	A <sub>1</sub>	8	漸	すこぶる富む		S L	cr	4	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	15	判	含む		S	gr	9	あり		潤	
	B	60	漸	乏し		S	sg	11			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	13			潤	
B-2	A <sub>1</sub>	8	漸	すこぶる富む		S L	cr	5	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	15	判	含む		S	gr	12	含む		潤	
	B	60	漸	乏し		S	sg	15			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	15			潤	
伴山 A-1	A <sub>1</sub>	10	漸	すこぶる富む		S L	cr	6	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	20	漸	含む		S	gr	7	含む		潤	
	B	70	漸	乏し		S	sg	7			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	8			潤	
A-2	A <sub>1</sub>	10	漸	すこぶる富む		S L	cr	4	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	20	判	含む		S	gr	8	あり		潤	
	B	90	漸	乏し		S	sg	8			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	8			潤	
伴山 B-1	A <sub>1</sub>	12	漸	すこぶる富む		S L	cr	6	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	20	漸	含む		S	sg	7	あり		潤	
	B	60	漸	乏し		S	sg	7			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	12			潤	
B-2	A <sub>1</sub>	8	漸	すこぶる富む		S L	cr	5	富む		潤	
	A <sub>2</sub>	20	判	含む		S	sg	6	あり		潤	
	B	60	漸	乏し		S	sg	8			潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	13			潤	
福部 C-1	A	10	明	含む		S	gr	6	含む		乾性型	
	B	100	漸	乏し		S	sg	7	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	10	乏し		潤	
C-2	A	10	明	含む		S	gr	5	含む		乾性型	
	B	100	漸	乏し		S	sg	5	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
福部 D-1	A	7	明	含む		S	gr	3	乏し		潤	
	B <sub>1</sub>	30	漸	乏し		S	sg	6	乏し		潤	
	B <sub>2</sub>	70	漸	乏し		S	sg	6	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	7	乏し		潤	
D-2	A	15	明	含む		S Lに近い	gr	4	含む		潤	
	B <sub>1</sub>	20	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
	B <sub>2</sub>	60	漸	乏し		S	sg	8	乏し		潤	
	C	↓	漸	乏し		S	sg	12	乏し		潤	



生物	M層	根系		Litter (kg/m <sup>2</sup> )	L (cm)	F (cm)	H (cm)	火山 灰	備	考
		木本	草本							
		α→β型 多 多 あり	多 多 あり	0.58	2.0	0.5	1.0→A <sub>1</sub>		根系は、極く表面に集中する。	
		α→β型 多 多 あり	多 多 あり	0.72	2.0	0.5	→A <sub>1</sub>		根系は、まれな状態で深い。	
あり		弱いγ型 多 多 まれ	多 多 あり	0.55	1.0	0.5	→A <sub>1</sub>		細根+菌糸-(表面) 小動物 多	ウシノケグサ(5)
		弱いγ型 多 多 まれ	多 多 あり	0.46	1.0	0.5	→A <sub>1</sub>		小動物 多	ウシノケグサ ススキ(+)
		弱いγ型 多 多 まれ	多 多 あり	0.39	1.0	0.5	→A <sub>1</sub>		下草多し	
		弱いγ型 多 多 まれ	多 多 あり	0.57	1.0	0.5	→A <sub>1</sub>			
		弱いγ型 多 まれ	多 あり	0.43	1.0	1.5	→A		雑草が入って、林床安定	ニセアカシアのLitter 多
		弱いγ型 多 まれ	多 あり	0.50	1.0	1.5	→A		〃	
		弱いγ型 多 まれ	多 あり	0.44	1.0	2.0	→A		ハマゴウ(3) 雑 草(+)	
		弱いγ型 多 まれ	多 あり	0.50	1.0	2.0	→A		γ型に近いMycelium layer ハマゴウ(2) 雑 草(+)	



賀露 A-1	A	8	33	28	31	160.0	31.0	4.5	35.5	13.5	19.6	15.9	4.5	13.3	5,556
	B <sub>1</sub>	20	55	48	52	156.3	34.1	4.7	38.8	18.4	27.6	11.2	4.9	7.4	
	B <sub>2</sub>	70	208	180	194	166.1	33.0	4.7	37.7	22.6	37.4	0.4	4.4	7.3	
	C	↓	128	121	125	155.5	35.9	5.9	41.8	24.8	38.4	3.4	5.0	7.8	
A-2	A	7	74	49	62	147.4	36.5	4.8	41.3	17.1	23.4	17.8	6.1	8.4	6,130
	B <sub>1</sub>	20	44	38	41	158.6	32.7	5.7	38.4	15.8	24.3	14.1	5.9	9.0	
	B <sub>2</sub>	70	228	204	212	163.5	32.2	5.8	38.0	23.3	38.1	-0.1	11.8	7.8	
	C	↓	204	176	190	158.9	34.5	6.3	40.9	24.3	38.5	2.3	5.1	8.1	
賀露 B-1	A	5	83	66	75	159.7	31.2	6.8	38.0	18.2	27.9	10.0	7.1	11.0	7,050
	B <sub>1</sub>	40	165	150	158	160.0	33.5	6.1	39.6	23.5	37.4	2.3	6.7	10.7	
	B <sub>2</sub>	60	78	64	71	165.2	32.1	5.5	37.6	14.3	23.2	14.5	5.5	9.0	
	C	↓	154	133	144	156.2	35.4	5.5	40.9	24.7	38.6	2.3	6.7	10.4	
B-2	A	10	74	73	74	156.2	32.5	8.5	41.0	18.0	27.5	13.5	6.7	10.3	6,340
	B <sub>1</sub>	20	150	119	135	153.5	31.5	7.7	39.2	16.6	27.8	11.4	10.5	10.4	
	B <sub>2</sub>	80	155	134	145	146.2	30.0	15.4	45.4	29.5	43.1	2.3	13.4	19.6	
	C	↓	188	156	172	150.3	28.2	5.1	33.3	23.1	34.6	-1.3	4.4	6.6	
賀露 C-1	A <sub>1</sub>	5	104	76	90	148.7	36.9	5.7	42.6	19.4	28.3	14.3	7.7	11.2	10,580
	A <sub>2</sub>	10	52	46	49	154.8	33.1	6.4	39.5	21.5	31.4	8.2	9.8	14.3	
	B <sub>1</sub>	20	417	408	413	153.1	32.9	7.6	40.5	21.9	32.9	7.6	8.6	12.9	
	B <sub>2</sub>	20	96	88	92	163.1	28.7	6.9	35.6	22.0	34.1	1.5	6.3	9.7	
	B <sub>3</sub>	30	369	367	368	156.5	24.9	10.2	35.1	23.1	32.1	2.9	10.9	15.2	
	C <sub>1</sub>	30	51	48	50	144.4	36.3	8.8	45.1	25.9	37.0	8.1	8.7	12.4	
C <sub>2</sub>	↓	309	288	299	151.1	35.7	6.0	41.7	21.5	31.4	8.2	9.8	14.3		
C-2	A	5	129	88	109	欠									
	B <sub>1</sub>	20	46	53	50	153.5	30.2	9.0	39.2	24.2	34.9	4.3	7.1	10.3	5,145
	B <sub>2</sub>	40	154	133	144	152.5	26.4	10.4	36.8	25.8	34.3	2.5	8.9	11.8	
	C <sub>1</sub>	70	65	58	62	159.0	30.5	8.7	39.2	23.2	36.7	2.5	9.0	14.1	
	C <sub>2</sub>	↓	192	177	185	148.9	37.4	5.7	43.1	26.2	38.5	4.6	9.3	13.6	
賀露 D-1	A	5	65	59	62	132.4	18.5	28.8	47.3	42.0	52.1	-4.9	25.1	31.1	4,180
	B <sub>1</sub>	30	63	50	57	182.7	16.8	11.4	28.2	17.1	28.7	-0.5	11.7	19.6	
	B <sub>2</sub>	30				欠									
	C <sub>1</sub>	60	158	139	149	150.0	20.9	22.9	43.8	36.5	54.0	10.2	14.2	21.0	
C <sub>2</sub>	↓	413	339	376	163.4	31.4	6.4	37.8	24.1	39.3	-1.5	4.5	7.2		



A-2	A <sub>1</sub>	15	60	71	66	116.8	38.9	8.1	47.0	35.2	35.3	11.8	10.2	10.2	2,495
	A <sub>2</sub>	20	44	42	43	147.5	27.5	13.0	40.5	28.5	40.7	-0.3	11.7	16.7	
	B <sub>1</sub>	55	72	70	71	160.0	30.0	10.4	40.4	26.5	45.0	-4.6	8.2	13.1	
	B <sub>2</sub>	10	clay			欠									
	C	↓	clay			欠									
柳茶屋	B-1	A <sub>1</sub>	8	74	60	67	101.0	10.7	54.4	40.6	36.6	17.9	16.0	14.4	3,695
		A <sub>2</sub>	15	84	77	81	146.5	16.9	43.7	25.7	37.1	6.6	9.5	12.8	
		B	60	74	69	72	162.7	7.1	37.5	21.4	34.7	2.8	6.0	9.8	
		C	↓	82	81	82	162.6	11.7	38.7	22.4	36.4	2.2	5.7	9.3	
	B-2	A <sub>1</sub>	8	20	19	20	144.8	13.9	44.3	25.9	36.8	7.6	11.0	15.7	3,157
		A <sub>2</sub>	15	84	77	81	146.6	16.9	43.7	25.7	37.1	6.6	9.5	12.8	
		B	60	74	59	66	160.0	6.9	39.5	23.8	38.0	1.6	6.3	10.0	
		C	↓	96	83	90	151.3	6.2	42.3	25.5	37.9	4.4	6.5	9.7	
伴山	A-1	A <sub>1</sub>	10	78	68	73	128.7	15.8	45.6	27.1	32.2	13.4	6.9	8.2	4,760
		A <sub>2</sub>	20	82	71	77	150.3	34.9	42.3	19.5	29.2	13.1	5.9	8.8	
		B	70	145	132	138	161.0	33.3	40.5	26.0	41.8	-1.3	5.5	8.9	
		C	↓	117	111	114	142.9	39.5	45.9	26.6	38.0	7.9	6.1	8.7	
	A-2	A <sub>1</sub>	10	205	173	189	104.3	36.7	52.4	46.3	42.3	10.2	18.6	17.0	5,170
		A <sub>2</sub>	20	60	57	59	141.6	38.2	46.6	23.4	32.8	13.8	8.1	11.3	
		B	90	112	97	105	162.9	29.3	36.2	23.6	38.5	-2.4	6.1	10.0	
		C	↓	114	108	111	153.5	35.3	42.0	25.9	39.8	2.2	6.3	9.7	
伴山	B-1	A <sub>1</sub>	12	77	76	77	110.0	43.9	54.6	33.5	34.4	20.2	13.5	3.9	4,572
		A <sub>2</sub>	20	78	77	78	128.3	44.4	51.1	27.5	35.0	16.1	6.7	8.5	
		B	60	135	97	116	152.6	35.8	42.5	25.4	38.7	3.9	6.3	9.6	
		C	↓	143	138	141	138.7	40.8	47.9	39.2	52.3	-4.4	6.4	8.9	
	B-2	A <sub>1</sub>	8	50	44	47	108.9	37.8	53.2	43.6	44.2	9.0	19.6	19.8	3,926
		A <sub>2</sub>	20	83	82	83	149.3	36.0	43.5	20.4	30.3	13.2	7.4	10.9	
		B	60	83	91	87	152.4	36.6	43.8	28.2	43.0	0.8	5.8	8.9	
		C	↓	105	103	104	154.3	34.9	42.1	26.3	40.6	1.5	7.1	11.0	

PLOT	層位 (cm)	透水性 (cc/min)		容積重 (g/100cc)	孔隙量 (%)			最大含水量 (%)		最小 容水量 (%)	採取時含水量 (%)		透水指数	
		5分	10分		平均	粗孔隙	細孔隙	全孔隙	重量		容積	重量		容積
伴山 C-1	A <sub>1</sub>	25	77	72	75	105.2	37.4	17.7	55.1	48.4	48.8	21.1	21.2	2,825
	A <sub>2</sub>	40	40	36	38	135.3	31.4	13.6	45.0	31.5	41.9	14.4	19.2	
	B	25	44	42	43	130.1	40.8	9.3	50.1	23.7	30.8	9.3	12.1	
	C	↓	55	53	54	138.2	38.4	7.9	46.3	26.0	35.9	8.4	11.6	
伴山 D-1	A <sub>1</sub>	20	352	280	316	109.5	31.2	21.7	52.9	51.1	53.4	24.7	25.8	8,450
	A <sub>2</sub>	30	76	65	71	132.2	33.2	12.1	45.3	28.9	37.8	12.6	16.5	
	B	40	90	82	86	138.6	40.3	6.8	47.1	24.3	33.7	7.1	9.9	
	C	↓	72	72	72	138.7	37.0	7.0	44.0	25.0	34.7	8.0	11.0	
福部 C-1	A	10	86	78	82	134.0	39.5	8.0	47.5	26.6	34.5	9.7	12.6	4,700
	B(20cm)	100	99	94	97	136.0	42.0	7.6	49.6	29.3	39.5	8.4	11.3	
	B(70cm)	↓	85	74	80	144.3	36.7	7.6	44.3	28.7	42.9	7.9	11.8	
	C	↓	81	73	77	147.0	38.1	7.6	45.3	26.1	38.3	7.7	11.3	
	C-2	A	10	41	38	40	150.0	34.5	9.3	43.8	21.6	32.0	9.2	
福部 D-1	A	7	40	38	39	130.5	35.9	16.5	52.4	29.6	38.4	9.3	12.0	3,686
	B <sub>1</sub>	30	70	70	70	141.8	39.5	7.7	47.2	26.5	21.3	7.6	10.7	
	B <sub>2</sub>	70	102	100	101	134.4	14.5	35.4	49.9	36.1	48.4	1.5	12.3	
	C	↓	65	57	61	144.8	39.6	6.6	46.2	28.0	40.3	6.0	17.7	
	D-2	A	15	59	52	56	133.1	39.4	9.4	48.8	30.3	42.9	10.2	
裸地 5 cm	B <sub>1</sub>	20	87	85	86	144.8	37.2	7.9	45.1	28.6	43.0	7.3	10.5	5,050
	B <sub>2</sub>	60	75	65	70	138.2	40.6	7.8	48.4	30.6	42.3	6.1	10.9	
	C	↓	49	35	42	153.8	34.4	8.3	42.7	25.5	39.1	8.7	13.4	
Control			102	100	101	153.8	34.4	8.4	42.8	25.5	39.2	8.7	13.4	

Table 6-2 Chemical property of soil in the sample plots

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (kcl)	Y <sub>1</sub>	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca	Ca+Mg- T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	Ca+Mg- T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or- P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		T-C	
														or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-C
HAMAMURA	A-1	A <sub>1</sub>	5.95	4.80	0.90	0.126	17.5	1.74	tr.	9.9	17.6	4.2	13.4	23.9	76.1	113.7	
		A <sub>2</sub>	6.30	5.00	0.90	0.084	5.5	1.84	tr.	33.5	17.4	5.6	11.8	32.2	67.8		
		B	6.15	5.40	0.45	0.035	8.0	1.17	tr.	14.6	14.0	3.6	10.4	25.7	74.3		
	A-2	C	6.45	5.90	4.50	0.025	10.6	1.79	0.50	16.9	11.8	2.4	9.4	20.3	79.7		
		A <sub>1</sub>	6.20	5.10	0.90	0.085	25.5	9.49	tr.	37.2	18.2	5.2	13.0	28.6	71.4	104.3	
		A <sub>2</sub>	6.00	5.35	1.35	0.070	6.0	1.28	tr.	21.3	17.4	4.6	12.8	26.4	73.6		
	FUSHINO	A-1	B	6.25	5.20	0.68	0.084	5.0	1.20	tr.	24.0	14.1	3.6	10.5	25.5	74.5	
			C	6.45	5.75	0.68	0.028	2.0	1.34	tr.	67.0	11.6	2.2	9.4	19.0	81.0	
			A <sub>1</sub>	5.70	4.60	5.85	0.063	10.5	2.30	tr.	21.9	22.2	5.4	16.8	24.3	75.7	89.3
	FUSHINO	A-2	A <sub>2</sub>	6.00	5.00	1.80	0.079	4.5	1.48	tr.	32.9	19.6	6.4	13.2	32.7	67.3	
			B <sub>1</sub>	6.15	5.45	0.90	0.070	12.0	2.81	0.92	23.4	13.6	3.2	10.4	23.5	76.5	
			B <sub>2</sub>	6.20	6.05	0.68	0.084	17.8	2.70	tr.	15.2	17.8	4.0	13.8	22.5	77.5	
B-1		B <sub>3</sub>	6.15	6.00	2.25	0.049	13.0	1.68	tr.	12.9	20.4	5.6	14.8	27.5	72.5		
		C	6.40	6.05	0.56	0.014	6.5	1.74	tr.	26.8	18.0	4.0	14.0	22.2	77.8		
		A <sub>1</sub>	5.90	4.70	4.95	0.119	12.5	1.22	tr.	9.8	22.3	5.6	16.7	33.5	66.5	99.4	
B-2		A <sub>2</sub>	6.15	5.30	1.24	0.080	16.4	1.28	tr.	7.8	20.1	6.3	13.8	31.3	68.7		
		B	5.95	5.55	0.68	0.056	12.0	1.43	tr.	11.9	14.2	4.0	10.2	39.2	60.8		
		C <sub>1</sub>	6.20	6.30	0.45	0.042	4.5	1.63	tr.	36.2	17.8	4.4	13.4	24.7	75.3		
		C <sub>2</sub>	5.80	4.70	4.95	0.091	4.8	1.84	tr.	38.3	25.5	5.4	20.1	21.2	78.8	94.9	
		A <sub>1</sub>	5.80	4.90	3.83	0.077	7.0	0.82	tr.	11.7	20.1	6.3	13.8	31.3	68.7		
		A <sub>2</sub>	6.20	5.80	1.35	0.077	8.4	1.38	tr.	16.4	13.6	4.0	9.4	29.4	70.6		
B-2	B	6.50	5.65	0.56	0.098	7.0	1.84	tr.	26.3	17.8	4.5	13.3	25.3	74.7			
	C <sub>1</sub>	6.40	5.90	0.45	0.063	32.5	17.0	13.0	40.0	45.3	7.5	37.8	16.6	83.4			
	C <sub>2</sub>	5.80	4.80	2.93	0.095	7.5	2.09	tr.	27.9	25.6	5.4	20.2	21.1	78.9	96.8		
	A <sub>1</sub>	5.90	4.90	2.70	0.070	7.0	1.89	0.51	27.0	16.6	6.3	13.3	38.0	62.0			
	A <sub>2</sub>	6.25	5.70	0.45	0.062	3.0	1.38	tr.	46.0	14.4	4.1	10.3	28.5	71.5			
	C <sub>1</sub>	6.40	5.65	0.56	0.032	2.0	1.89	tr.	94.5	13.5	4.5	9.0	33.3	66.7			
C <sub>2</sub>	6.40	5.70	0.56	0.880	37.0	19.0	14.0	51.4	43.2	8.0	35.2	18.5	81.5				

PLOT	Horizon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (kcl)	Y <sub>i</sub>	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca	Ca+Mg/CEC (%)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	T-C	
																	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
KARO	A-1	A	6.10	4.70	2.03	0.063	5.0	1.74	tr.	34.8	15.6	1.8	13.8	11.5	88.5	57.4	
		B <sub>1</sub>	6.00	5.05	1.01	0.032	3.5	1.55	tr.	44.3	12.0	2.6	9.4	21.7	78.3		
		B <sub>2</sub>	6.75	6.00	0.45	0.070	6.0	1.68	tr.	28.0	10.4	2.2	8.2	21.2	78.8		
	A-2	C	6.10	0.45	0.45	0.252	0.042	5.0	1.84	tr.	36.8	13.4	2.0	11.4	14.9	85.1	
		A	6.00	4.60	2.93	0.782	0.053	4.5	1.53	tr.	34.0	16.6	2.2	14.4	13.3	86.7	54.3
		B <sub>1</sub>	6.00	5.30	1.24	0.360	0.032	4.0	1.53	tr.	38.3	12.0	2.6	9.4	21.7	78.3	
	B-1	B <sub>2</sub>	7.10	6.15	0.45	0.348	0.049	6.0	1.88	tr.	31.3	10.4	3.2	7.2	30.8	69.2	
		C	6.70	6.40	0.45	0.192	0.042	5.5	1.50	tr.	27.3	13.2	2.0	11.2	15.2	84.8	
		A	6.15	5.30	0.79	0.576	0.060	3.0	1.79	tr.	59.7	16.6	2.3	14.3	13.9	86.1	40.3
	B-2	B <sub>1</sub>	6.30	5.65	0.45	0.444	0.102	10.0	2.81	0.50	28.1	12.0	2.8	9.2	23.3	76.7	
		B <sub>2</sub>	6.50	6.20	0.45	0.162	0.064	3.5	1.48	tr.	42.3	13.0	3.2	9.8	24.6	75.4	
		C	6.50	6.00	0.68	0.276	0.049	9.5	1.38	tr.	14.5	10.0	3.2	6.8	32.0	68.0	
KARO	C-1	A	6.10	5.10	1.35	0.532	7.2	1.84	tr.	25.6	14.4	2.0	12.2	13.9	86.1	43.6	
		B <sub>1</sub>	6.05	4.95	1.13	0.228	0.039	3.0	1.79	tr.	59.7	11.2	1.8	9.4	16.1	83.9	
		B <sub>2</sub>	6.60	6.20	0.34	0.582	0.039	3.0	1.84	tr.	61.3	10.3	3.2	7.1	31.1	68.9	
	C-2	C	6.65	6.20	0.45	0.540	0.049	5.5	1.68	tr.	30.5	10.1	2.1	8.0	20.1	79.9	
		A <sub>1</sub>	6.20	5.20	0.45	0.888	0.049	11.4	1.48	tr.	13.0	14.5	3.2	11.3	20.6	79.4	78.5
		A <sub>2</sub>	6.50	5.70	0.45	0.132	0.056	10.5	2.04	tr.	19.4	12.8	3.6	9.2	28.1	71.9	
KARO	C-2	B <sub>1</sub>	6.60	6.30	0.45	0.792	0.045	5.5	1.99	tr.	36.2	16.5	6.0	10.5	36.4	73.6	
		B <sub>2</sub>	6.70	6.25	0.34	0.606	0.032	3.0	2.91	tr.	97.0	11.0	3.6	7.4	32.7	67.3	
		B <sub>3</sub>	6.75	6.65	0.45	0.222	0.021	7.5	3.67	tr.	48.9	14.8	2.6	12.2	17.6	83.4	
	C-2	C <sub>1</sub>	6.60	6.45	0.45	0.606	0.039	4.5	2.65	tr.	58.9	10.6	2.2	8.4	20.8	79.2	
		C <sub>2</sub>	6.70	6.35	0.45	0.360	0.020	5.5	1.69	tr.	30.7	12.6	2.0	10.6	15.9	84.1	
		A	6.45	5.65	0.68	0.426	0.014	2.5	1.53	0.51	61.2	13.8	3.6	10.2	26.1	73.9	41.8
C-2	B <sub>1</sub>	6.30	5.60	0.56	0.456	0.046	6.5	1.99	tr.	30.6	11.1	2.0	9.1	18.0	82.0		
	B <sub>2</sub>	6.40	6.00	0.68	0.890	0.084	7.5	1.58	tr.	21.1	13.2	2.6	10.6	19.7	80.3		
	C <sub>1</sub>	6.70	6.30	0.34	0.660	0.056	8.0	2.50	tr.	33.3	11.1	2.6	8.5	23.4	76.6		
	C <sub>2</sub>	6.70	6.30	0.45	0.360	0.015	10.8	1.58	tr.	14.6	12.1	2.0	10.1	16.5	83.5		





PLOT	Hor- zon	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (kcl)	Y <sub>1</sub>	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ca+Mg (me/100g)	Ca	Ca+Mg-T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> CEC (%)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	inor-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
													T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> or-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
YANAGICHAYA A-1																
	A <sub>1</sub>	5.85	4.60	6.30	1.836	0.101	15.8	2.65	tr.	16.8	35.0	2.9	32.1	8.3	91.7	57.2
	A <sub>2</sub>	5.95	4.75	4.73	0.804	0.070	7.5	2.05	tr.	27.3	35.0	2.0	33.0	5.7	94.3	
	B <sub>1</sub>	6.35	5.75	0.45	0.456	0.060	6.0	1.63	tr.	27.2	13.2	3.0	10.2	22.7	77.3	
	B <sub>2</sub>	6.90	4.60	3.85	1.248	0.095	23.5	6.74	tr.	28.7	19.6	5.1	14.5	26.0	74.0	
	B <sub>3</sub>	6.25	5.25	1.58	0.900	0.088	25.5	10.51	9.18	41.2	26.2	6.0	20.2	22.9	77.1	
	C	6.20	5.10	2.25	1.374	0.126	45.5	8.01	tr.	17.6	19.8	6.6	13.2	33.3	66.7	
A-2																
	A <sub>1</sub>	5.85	5.20	2.25	2.832	0.175	17.5	8.67	6.63	49.5	33.0	2.9	30.1	9.6	90.4	94.1
	A <sub>2</sub>	6.20	5.50	2.25	1.572	0.102	7.0	2.04	tr.	29.1	25.0	3.5	21.5	16.3	83.7	
	B <sub>1</sub>	6.30	5.90	0.45	0.420	0.074	6.0	1.94	tr.	32.3	17.0	5.5	11.5	32.4	67.6	
	B <sub>2</sub>	5.95	4.55	4.05	0.572	0.126	25.0	7.50	tr.	30.0	21.1	5.1	16.0	24.2	75.8	
	C	6.40	5.50	9.00	1.116	0.039	35.5	15.10	6.63	42.5	20.5	5.5	15.0	26.8	73.2	
YANAGICHAYA B-1																
	A <sub>1</sub>	5.80	4.55	6.75	1.692	0.175	12.5	2.50	tr.	20.0	30.5	7.6	22.9	24.9	75.1	73.9
	A <sub>2</sub>	5.80	4.70	5.06	0.804	0.081	7.5	2.30	tr.	30.7	19.9	5.0	14.9	25.1	74.9	
	B	6.30	5.20	1.35	0.542	0.055	7.0	1.58	tr.	22.6	12.5	4.8	7.7	38.4	61.6	
	C	6.20	5.65	1.35	0.120	0.034	7.0	1.28	tr.	18.3	14.4	3.8	10.6	26.4	73.6	
B-2																
	A <sub>1</sub>	5.70	4.30	6.30	1.908	0.160	8.0	1.84	tr.	23.0	22.6	6.4	16.2	28.3	71.7	117.8
	A <sub>2</sub>	6.85	4.70	4.50	1.068	0.033	7.5	0.66	tr.	8.8	12.4	4.8	7.6	38.7	61.3	
	B	6.50	5.50	0.68	0.312	0.081	7.0	1.70	tr.	24.3	11.6	2.0	9.6	17.2	82.8	
	C <sub>1</sub>	6.30	5.50	0.79	0.560	0.049	6.5	1.55	tr.	23.8	14.2	3.8	10.4	26.8	73.2	
	C <sub>2</sub>	6.50	5.45	0.79	0.444	0.032	6.0	1.58	tr.	26.3	34.6	2.6	32.0	7.5	92.5	
BANZAN																
	A-1	5.70	4.70	3.38	1.452	0.109	10.0	2.60	tr.	26.0	21.6	2.8	19.8	13.0	87.0	73.3
	A <sub>2</sub>	5.85	5.15	2.63	0.916	0.123	8.5	2.20	tr.	25.9	11.4	4.2	7.2	36.8	61.2	
	B	6.25	5.70	0.45	0.704	0.084	4.0	2.70	tr.	67.5	15.8	4.2	11.6	26.6	73.4	
	C	6.55	5.65	0.34	0.456	0.049	5.0	1.79	tr.	53.8	14.4	4.6	9.8	13.9	68.1	
A-2																
	A <sub>1</sub>	5.90	5.15	2.25	1.332	0.147	7.0	2.09	tr.	29.9	24.5	4.9	19.6	20.0	80.0	68.0
	A <sub>2</sub>	5.85	4.65	3.15	0.444	0.056	3.5	1.63	tr.	46.6	16.6	4.1	12.5	24.7	75.3	
	B	6.30	5.40	0.56	0.648	0.067	3.0	1.74	tr.	58.0	15.2	3.0	12.2	19.7	80.3	
	C	6.45	5.85	0.23	0.444	0.033	4.5	1.63	tr.	36.2	15.5	3.6	11.9	23.2	76.8	

BANZAN																
B-1	A <sub>1</sub>	5.50	4.35	6.75	4.660	0.189	12.0	2.70	tr.	22.5	29.6	4.8	24.8	16.2	83.8	187.9
	A <sub>2</sub>	6.10	4.55	3.38	0.768	0.084	3.0	1.89	0.51	63.0	25.4	7.2	18.2	28.3	71.7	
	B	6.20	5.65	0.45	0.633	0.032	3.0	2.09	tr.	69.7	22.4	7.0	15.4	31.3	68.7	
	C	6.45	5.90	0.68	0.198	0.016	4.5	2.60	tr.	57.8	20.4	7.4	13.0	36.3	63.7	
BANZAN																
B-2	A <sub>1</sub>	5.35	4.70	3.60	2.472	0.238	9.5	4.18	1.531	44.0	30.2	5.1	25.1	16.9	83.1	98.5
	A <sub>2</sub>	5.75	4.70	4.05	0.916	0.080	4.5	1.38	tr.	40.7	23.2	6.8	16.4	29.3	70.7	
	B	6.30	5.40	0.56	0.528	0.042	3.5	1.79	tr.	51.1	19.9	7.0	12.9	35.2	64.8	
	C	6.40	5.50	0.45	0.198	0.084	8.5	1.43	tr.	16.8	21.4	6.0	15.4	28.0	72.0	
BANZAN																
C-1	A <sub>1</sub>	6.15	4.05	4.09	3.480	0.241	18.2	2.50	tr.	13.7	39.1	6.0	33.1	15.3	84.7	89.0
	A <sub>2</sub>	6.20	3.80	4.09	1.620	0.144	21.6	1.00	tr.	4.7	35.6	4.2	31.4	11.8	88.2	
	B	6.40	4.25	1.72	0.780	0.051	4.2	0.50	tr.	11.9	31.6	2.6	29.0	8.2	91.8	
	C	6.45	4.40	1.29	0.560	0.056	3.4			33.3	2.0	31.3	6.0	94.0		
BANZAN																
D-1	A <sub>1</sub>	6.15	4.05	1.72	1.860	0.169	22.8	3.80	tr.	16.7	37.0	4.0	33.0	10.8	89.2	50.27
	A <sub>2</sub>	6.20	3.80	4.09	0.720	0.104	7.0	0.68	tr.	8.5	30.2	3.2	27.0	10.6	89.4	
	B	6.25	4.20	1.29	0.300	0.072	3.4	tr.	tr.	16.5	6.0	10.5	36.4	63.6		
	C	6.30	4.05	1.72	0.420	0.021	3.4	tr.	tr.	27.9	1.6	26.3	5.7	94.3		
FUKUBE																
C-1	A	6.45	5.75	0.45	1.140	0.021	8.0	2.86	tr.	35.8	17.2	5.2	12.0	30.2	69.8	95.0
	B(2cm)	6.65	5.70	0.34	0.456	0.085	5.0	1.55	tr.	31.0	20.0	4.2	15.8	21.0	79.0	
	B(7cm)	6.70	6.10	0.45	0.120	0.033	10.2	1.89	1.12	18.5	12.1	3.6	8.5	29.8	70.2	
	C	7.25	6.40	0.45	0.408	0.053	5.0	2.50	tr.	50.0	15.4	5.0	10.4	32.5	67.5	
FUKUBE																
C-2	A	6.35	5.40	0.68	0.564	0.091	5.5	2.45	tr.	44.5	16.2	4.6	11.6	28.4	71.6	48.6
	B(2cm)	6.75	5.75	0.68	0.180	0.034	3.0	1.33	tr.	44.3	14.1	3.8	10.3	27.0	73.0	
	B(7cm)	6.80	5.70	0.45	0.420	0.020	8.0	1.48	tr.	18.5	12.6	4.2	8.2	33.3	66.7	
	C	6.70	6.60	0.23	0.240	0.020	3.5	1.94	tr.	55.4	10.6	3.1	7.5	29.2	70.8	
FUKUBE																
D-1	A	6.45	5.80	0.90	0.756	0.085	13.6	2.34	tr.	17.2	18.4	4.6	13.8	25.0	75.0	32.0
	B <sub>1</sub>	6.40	6.00	0.34	0.420	0.035	5.5	1.53	tr.	27.8	20.0	4.0	16.0	20.0	80.0	
	B <sub>2</sub>	7.25	6.25	0.56	0.480	0.038	3.0	2.04	tr.	68.0	13.8	3.8	10.0	27.5	72.5	
	C	7.30	7.10	0.23	0.096	0.035	8.0	2.50	tr.	31.3	16.4	5.0	11.4	30.5	69.5	
FUKUBE																
D-2	A	6.65	6.05	0.23	0.804	0.060	8.5	2.30	tr.	27.1	15.6	5.2	10.4	33.3	66.7	77.3
	B <sub>1</sub>	6.80	6.00	0.56	0.300	0.045	2.0	1.68	tr.	84.0	21.2	4.0	17.2	18.9	81.1	
	B <sub>2</sub>	6.90	6.15	0.23	0.120	0.025	6.5	1.63	tr.	25.1	15.0	3.6	11.4	24.0	76.0	
	C	7.00	6.40	0.45	0.105	0.063	8.0	1.55	tr.	19.4	18.0	4.0	14.0	22.2	77.8	