

砂丘地におけるクロマツ林の 物質生産力に関する研究

小笠原 隆 三^{*}・ 曳 地 政 雄^{**}

Studies on Dry-Matter Productivity of Pine Forest (*Pinus Thunbergii*) on Coastal Sand Dunes

Ryuzo OGASAWARA^{*} and Masao HIKICHI^{**}

Summary

The dry-matter productivity of the pine forest (*Pinus Thunbergii*) on the sand dune was investigated.

(1) The total net production of the pine forest tends to increase with increasing mean tree height.

(2) The net assimilation rate, the amounts of total nitrogen (N), total phosphorus and Chlorophyll in the leaves, the amounts of total nitrogen (N), total phosphorus and Carbon (C) in the soils and the amount of litter on the ground tend to increase, but the amount of total carbohydrate (Ch), Ch/N ratio in the leaves and C/N ratio in the soils tend to decrease with increasing mean tree height.

(3) The amounts of total nitrogen and total phosphorus in the pine forest (tree, litter and soil) tend to increase with increasing mean tree height and those materials were distributed largely in the soils. The amounts of total nitrogen and carbon in the soils of climax forest were several times as large as those of the pine forest.

(4) From those results, it may be suggested that the dry-matter productivity of the pine forest on the sand dune is increased by the growth process and by the increase of this productivity. This shows that the pine and the environment are influencing each other in the growth process and the accumulation of the materials (N, P, C, etc.), the fertility of the soil and the photosynthesis of the leaves are promoted.

* 鳥取大学農学部森林計画学研究室; Laboratory of Forest Planning, Fac. of Agri., Tottori Univ., Tottori 680

** 現在, 鳥取大学名誉教授; Present, emeritus professor Tottori Univ., Tottori 680

I 緒 言

砂丘地は一般に養分条件、水分条件がわるく植物の生育に適さない。

従って砂丘地に植栽されたクロマツ林の生育もはじめは極めて不良である。

しかし、生育が進むにつれて次第に生産能力が回復していく。

本研究は砂丘地に植栽されたクロマツ林はどの程度の生産能力をもっているのか、それが生育がすすむにつれどのように変化するのか、また、その変化をもたらす機構について明らかにし、人為的改善の手がかりを得ることを目的として行ったものである。

II 材料および方法

調査林分として鳥取市の湖山にある鳥大湖山演習林に植栽されているクロマツ林を用いた。

1. 純生産量の推定法

非同化器官である幹、枝、根の生産量についてはすでに得られた各器官の現在量¹⁾と前報¹⁾と同じ方法で求めた現存量および生長率とによって求めた。

生長率は、幹の場合、各林分の標準地調査の結果をもとにして標準木を数本ずつ計 136 本選定し、その樹幹析解による幹材積生長率を計算し、それを用いた。

枝の生長率の場合各林分から数本ずつの標準木が選定され、それぞれの標準木の上部、中部、下部から 2~3 本ずつ枝をえらび、それを年次別に分けた後、断面積生長量を求め、断面積生長率を計算して用いた。

葉の場合は各林分から 1 本計 22 本の標準木をえらび、その全葉量に対する 1 年生葉の割合を求めた。さらに各林分から数本ずつの標準木をえらび、上部、中部、下部から枝 1~2 本ずつえらび、その 1 年生葉の割合を求めた。これらから 1 年生葉の割合を計算した。

根の生長率の測定は困難であるため、ヒノキ、カンレンボクで幹の生長率と根の生長率が同じということが知られていることから²⁾、本クロマツの場合も根の生長率を幹の生長率と同じものとして計算した。

2. 生葉の成分の定量法

① 全窒素の定量

粉末試料 0.3 g または 0.5 g をとり、数 ml の濃硫酸を加えて分解ろで分解した。分解後放冷し、これに水を加えて 100 ml とした。これをろ過後 Nessler 試薬による比色法で定量した。すなわち、0.5 ml の分解液をとり、これに 1 N 苛性ソーダ液 1 ml を加えた。これに水 30~40 ml を加えた後 Nessler 試薬 2 ml を加えて発色させ、さらに水を加えて合計 50 ml とした。これをよくかくはんし、20~25 分後に 420m μ で比色した。

② 全燐の定量

粉末試料 0.3 g または 0.5 g をとり、数 ml の濃硫酸を加えて分解した。分解後放冷し、水を加えて 100 ml とした。これをろ過後 GOMORI 法で定量した。すなわちモリブデン酸、硫酸混合液 5 ml、水 10 ml、試料 5 ml (または 10 ml)、EION 2 ml を順々に加え、最後に水を加えて合計 50 ml とした。これをよくかくはん後 45～90 分後に 660 mu で比色した。

③ クロロフィルの定量

クロロフィルの定量は SMITH-BENITEZ 法に準じて行った。すなわち、薄暗いところで採取直後の新鮮な葉 1 g をとり石英砂と共にすりつぶし、アセトンで数回抽出した。このアセトン液にエーテルを加えた後、分液ロートに移し、さらにこの分液ロートの下端をもう一つの水を入れた別の分液ロートにそう入し、溶液が少しずつ水中を上昇するようにした。この操作を 7～10 回くりかえし、アセトンと水溶性色素を除いた。エーテル溶液は総量 50 ml とした後、硫酸ナトリウムを少量加えて 30 分以上暗所に放置してから 660 mu と 642.5 mu で比色した。

④ 全炭水化物の定量

全炭水化物の定量は SOMOGI-NELSON 法に準じて行った。すなわち、粉末試料 0.2 g をとり 0.7 N 塩酸 10 ml を加え、長いガラス管を付して煮沸湯煎中で 150 分間加水分解した。加水分解後フラスコにろ別し、水で十分洗浄して中和してから除たんぱく操作を行った。除たんぱく後、試料液 2 ml をホリン管にとり、2 ml の銅試薬を加えて 10 分間沸騰湯煎中に入れた。これを流水で冷却後 NELSON 試薬 2 ml を加えてよくかくはんし、さらに水を加えて 25 ml とした後よくかくはんし 520 mu で比色した。

3. 土壌分析

① 全窒素、全燐

土壌中の全窒素、全燐の定量は葉の場合に準じて行った。

② 炭素

炭素の定量は TURIN 法に準じて行った。すなわち、乾燥土壌 5～6 g を圧砕して、その 1 g をフラスコに秤取する。これに N 重クロム酸カリウム溶液 10 ml、濃硫酸 10 ml を加えて 180°C に加熱してある油浴中に浸して 10 分間加熱した後、油浴から取り出して、フラスコの内溶液を 500 cc 磁性蒸発皿に移す。フラスコ内を水で洗い流し、洗液を皿に移して皿の中を約 250 ml として滴定に供する。

滴定には指示薬 5～6 滴と燐酸溶液 10 cc を加えてガラス棒で攪拌しながら 0.2 N 硫酸第 1 鉄アンモニウム溶液を徐々に加えて灰緑色に移った点で終点とした。

全 N、全 P、クロロフィル、全炭水化物等はすべて絶乾重量当りに換算して示した。

Ⅲ 結果および考察

砂丘地は養分、水分条件等が悪く一般に生産能力が低い。

砂丘地に植栽されたクロマツ林の生産能力は生育がすすむにつれてどのように変化していくかをみるため、樹高の異なる林分についてそれぞれ純生産量を求めた。その結果を示すと Fig.1 のようであった。純生産量は樹高の高い林分になると増加していく。

蒲谷等³⁾は千葉県海岸クロマツ林の生産量を21~23 ton/ha・年とし、小田⁴⁾も千葉県海岸クロマツ林で15.2~17.4 ton/ha・年としている。

一般にマツ林の純生産量は14.9 ton/ha・年⁵⁾とされている。

本砂丘地のクロマツ林の場合樹高の低い林分ではこれらの報告よりかなり低い値を示しているが、樹高の高い林分になると次第に増加していき平均樹高7.8 mをこえると15 ton/ha・年をこえるようになり生産能力が次第に回復していく。

生育がすすみ樹高の高い林分になると何故純生産量が高まっていくのであろうか。

一般に生育期間が同じなら林分生産量の増大する原因として林分葉量の増加と葉の効率の増大が考えられる。

しかし、林分葉量については既報¹⁾の如く、砂丘クロマツ林の場合閉鎖後は林分葉量に差が少ないことからみて林分葉量が純生産量の増大に大きく原因しているとは考えにくい。

砂丘クロマツ林の純同化率と林分の平均樹高との関係はFig.2のようで、樹高の高い林分になると純同化率が大きくなる。

純同化率は葉の効率を示す一つの尺度とみられていることから、本クロマツ林の場合樹高の高い林分で葉の効率が向上していることが考えられる。

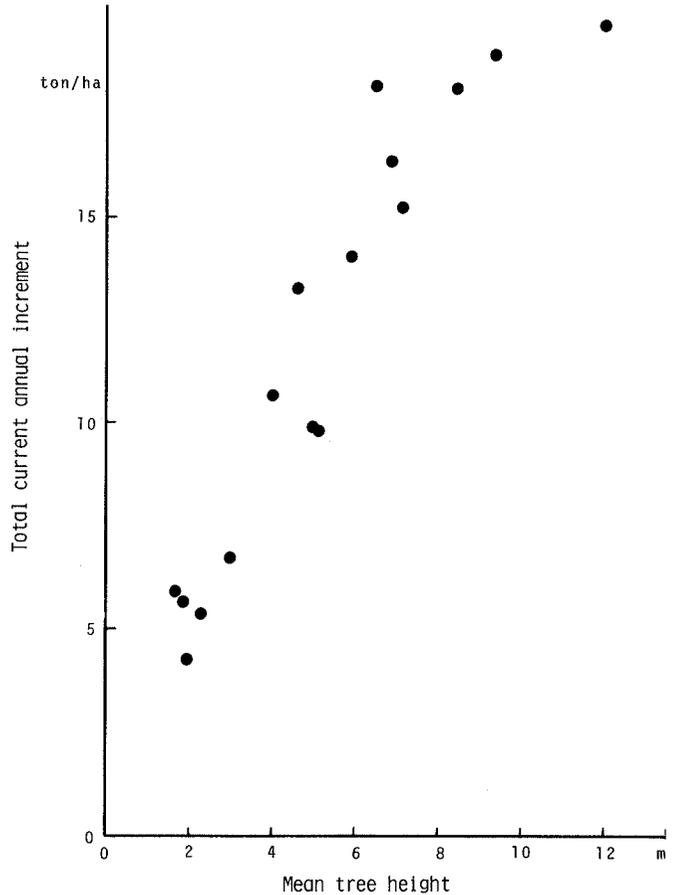


Fig. 1 Change of current annual increment (dry weight) of pine stands in relation to tree height

蒲谷等³⁾は千葉県海岸クロマツ林で純同化率を3.2 kg/kg・年とし、四手井⁶⁾はクロマツ苗で純同化率を3.2 g/g・年と2.3 g/g・年としている。一般にマツ林は1.3 ~ 2.9 ton/ton・年とみられている⁵⁾。

砂丘クロマツ林の場合樹高の低い林分ではこれらの報告よりもかなり低い値を示すが、樹高7.8 mをこえると2.0 ton/ton・年をこえるようになる。このことから本クロマツ林の場合生育がすすみ樹高の高い林分になると葉の効率が次第に回復していき、純生産量の増大にもたらしているものと考えられる。

生育がすすみ樹高の高い林分で葉の効率の高まる大きな要因の一つに葉内成分の充実が考えられる。

葉内成分の中には光合成能率に深い関係を有するものが多く、例えば葉内のクロロフィルやNはある濃度まで

は光合成能率と正の相関を示し、炭水化物は負の相関を示すことが知られている。

砂丘クロマツ林について葉内成分と平均樹高との関係を示すとFig. 3のようであった。

クロロフィル、全N、全Pは樹高の低い林分では普通林地のそれよりかなり低いが⁷⁻¹¹⁾樹高が高い林分になると次第に増加していく。炭水化物についてははじめははっきりしないが樹高7.8 mをこえる頃から明らかに減少していく。また、炭水化物に対する全Nの比率は次第に低下していく。

坂上¹²⁾はスギの葉内のN濃度が高まると光合成能力

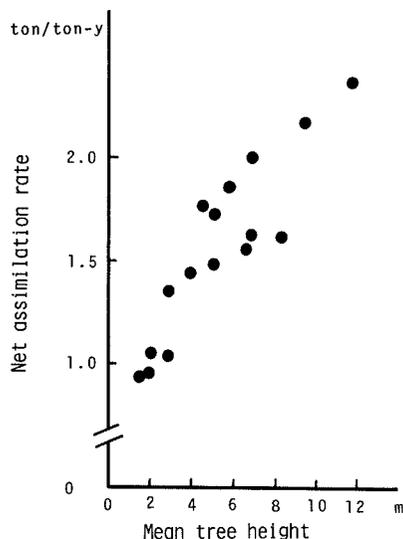


Fig. 2 Change of net assimilation rate of pine stands in relation to tree height

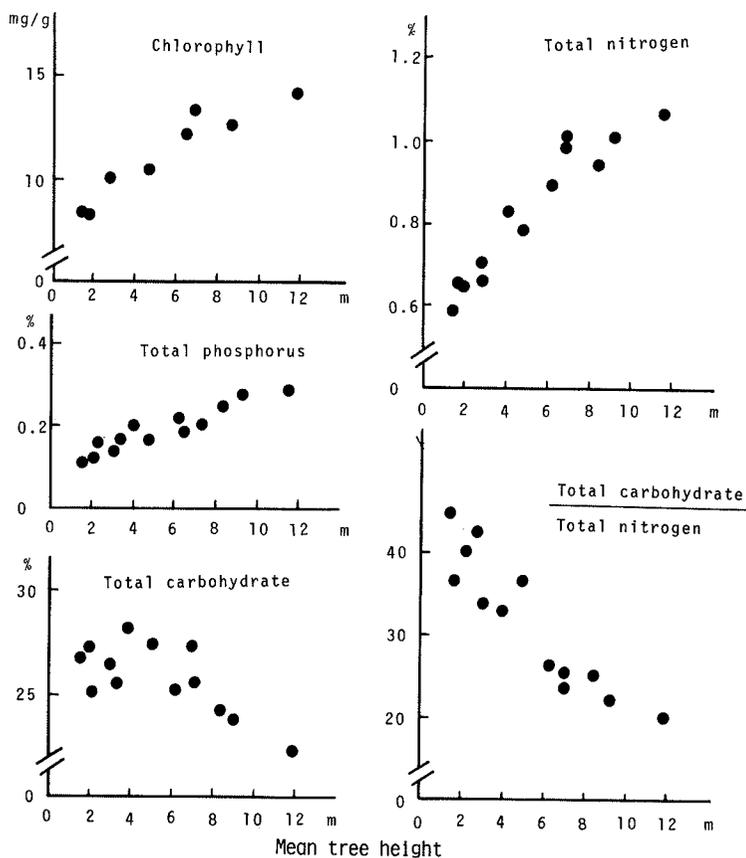


Fig. 3 Changes of chemical constituents in pine leaves in relation to tree height

が高まるとし、河田等⁸⁾はアカマツで葉内のN, P, K等は樹高生長の増大にともない増加している。その他、いくつかの針葉樹でも葉内のN, P等が樹高生長と正の相関を示すことが知られている^{13~19)}。

川又等²⁰⁾はブナで樹高の高いものが低いものにくらべてクロロフィル含量が多いとしている。

一般に砂丘クロマツ林の葉内のクロロフィル, 全N, 全P等は普通林地のそれよりかなり低く^{7~11,24)}, このような不足状態にある場合, これら成分の増加は葉の光合能率の向上をもたらしやすいものとみられる。

生長がすすみ樹高の高い林分になると何故葉内の全N, 全P等の成分が増加していくのであろう。

その原因の一つに林地の肥沃化が考えられる。砂丘クロマツ林地の土壤(深さ0~10cm)の全N, 全P, C等と林分の平均樹高との関係を調べた結果はFig.4のようであった。

樹高の高い林分になるほど土壤中の全N, 全P, Cが多くなり, Cに対する全Nの比率(C/N)は低下していった。

本クロマツ林の土壤中の全N, 全Pは普通林地のそれよりかなり低い。

河田等⁸⁾はアカマツで樹高生長とN含量は正の相関を示し, C/N比は負の相関を示すとしている。

一般に針葉樹においては土壤中のN, P含量と樹高生長とは正の相関を, C/N比とは負の相関を示すという報告が多い^{6, 13, 16, 21)}。

Ogasawara und et²²⁾は砂丘地に植栽されているクロマツについて施肥によって樹高生長が促進された場合の葉内成分の変化は砂丘クロマツで樹高が高まっていく場合にみられる葉内成分の変化の傾向と一致することをみとめた。Cは落葉落枝の

たちで林地にかえされ森林が発達する過程で蓄積され, 物質循環の面で重要な役割を果している。

一般にC/N比は肥沃化を示す一つの尺度とみられ, 肥沃地は10~20の値を示すことが多く, 砂丘クロマツ林の場合またかなり高い値を示すが次第に低下していることは肥沃化の方向にあるものかと考える。

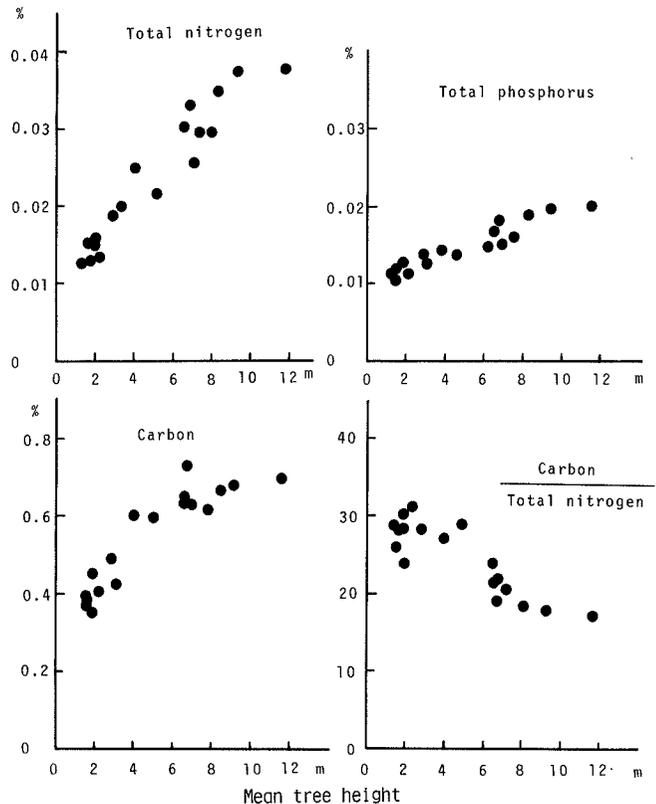


Fig.4 Changes of chemical constituents in soils of pine stands in relation to tree height

以上のことから砂丘クロマツ林は生育がすすみ樹高が高い林分になると林地の肥沃化がすすみ、それが葉内成分を充実させ、葉の効率をたかめているものと考えられる。

林木は毎年ほぼ一定量の葉や枝を林床に落すものである。この落葉落枝はやがて分解され無機化し土壤に還元され再び林木に利用されていく。

その過程で分解に関与する土壤生物の増加をもたらしていくもので落葉落枝は森林の物質循環上大きな意味をもっている。

砂丘クロマツ林の林床上の落葉落枝量についてはFig.5の如くで樹高の高い林分で多くなっている。

このことは、やがてこれらが分解され、また溶出などによって土壤中に供給される養分が多くなっていくことを示している。

砂丘地に植栽されたクロマツ林は生育する過程でNやP等の物質が蓄積されていくものである。

砂丘クロマツ林について林木および土壤(深さ50cmまで)に含まれる全N、全Pについて調べてみるとFig.6のよう樹高の高い林分でその蓄積量が大きくなっていく。

これらの蓄積の分布をみるとTable. 1~2の如くであった。全N、全Pの蓄積の大半は土壤にあり、次いで林木に多く存在した。これを褐色森林土に生育しているスギ林²³⁾

とくらべると1桁値が小さく、土壤中の蓄積の比率も小さい。

なお、林床植生についてはあまり存在せず、全体からみるとほとんど無視できる量であった。

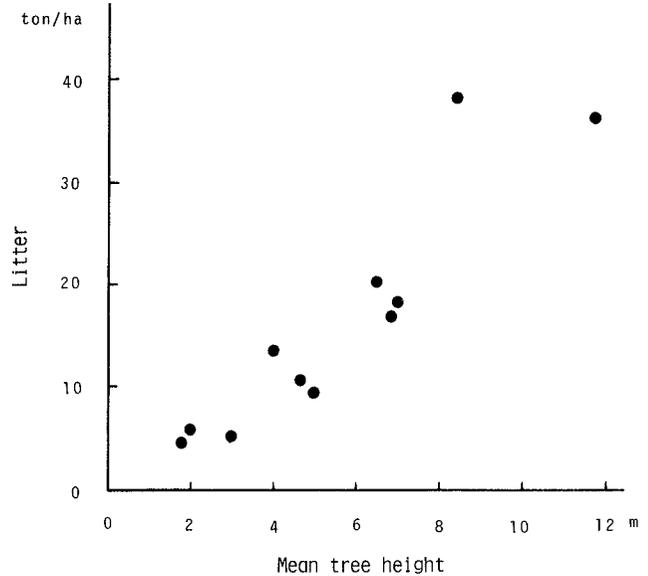


Fig. 5 Change of properties of litter on ground of pine stands in relation to tree height

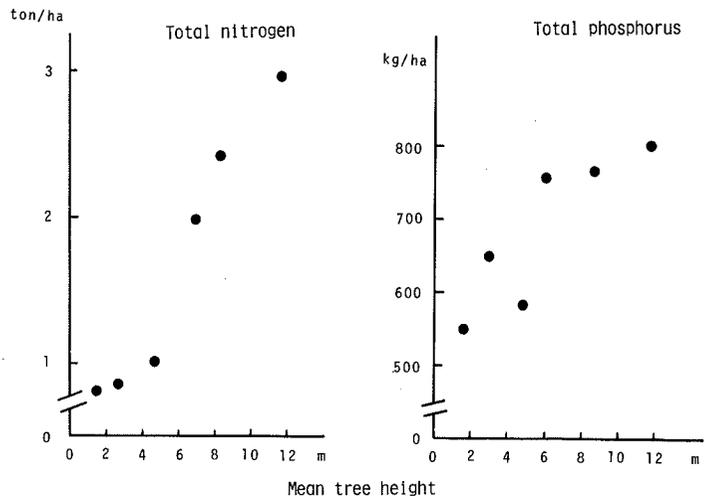


Fig. 6 Changes of total nitrogen and total phosphorus in trees and soil (0~50cm in depth) of pine stands in relation to tree height

以上のように砂丘地に植栽されたクロマツ林は生育がすすんでいく過程で物質が集積されていき、自己施肥機能などの森林としての機能も次第に高まっていくものとみられる。

また、このようなクロマツ林がさらに生育がすすんでいくと広葉樹等がまぎるようになり、やがて広葉樹を主体とした森林に変わっていくものと予想される。

砂丘地での極相とみられる広葉樹を主体とした原生林(白兔神社周辺)とクロマツ林および砂地の三者について土壤中の全N、C量を調べた結果は Fig. 7 のようであった。

クロマツ林の全N、C等は砂地よりは多いとしても原生林のそれにくらべると数分の一にすぎず、まだ、かなりのへだたりのあることを示している。

砂丘地では降雨や風化によってわずかに供給される無機塩類もそれを利用するものが少ないため多くは流亡してしまう。

そのようなところへマツが植栽されると、わずかに存在する無機塩類をマツが吸収し利用していく。そして毎年林床に葉を落していく。それから溶出されたものや分解されたものが再びマツによって利用されていく。しかし、はじめの頃は

Table 1. Distribution of total phosphorus in pine forest

Mean tree height (m)	7.0	5.4	3.0
Tree	56.5 kg (8.62 %)	55.4 kg (9.07 %)	20.0 kg (3.59 %)
Litter	26.8 (4.09 %)	26.8 (4.39 %)	7.9 (1.42 %)
Floor plants	-	-	-
Soil	572.0 (87.29 %)	528.5 (86.54 %)	528.5 (94.99 %)
Total	655.3 (100 %)	610.7 (100 %)	556.4 (100 %)

Table 2. Distribution of total nitrogen in pine forest

Mean tree height (m)	7.0	5.4	3.0
Tree	303.8 kg (16.27 %)	283.5 kg (17.84 %)	99.2 kg (10.71 %)
Litter	222.5 (11.91 %)	271.9 (17.11 %)	61.4 (6.63 %)
Floor Plants	-	-	-
Soil	1341.5 (71.82 %)	1033.5 (65.04 %)	765.5 (82.66 %)
Total	1867.8 (100 %)	1588.9 (100 %)	926.1 (100 %)

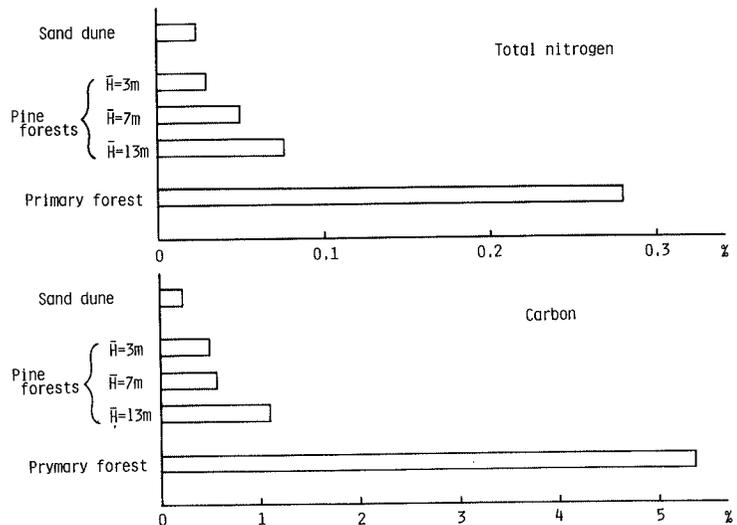


Fig.7 Amounts of total nitrogen and carbon in soils (0-10cm in depth) of bare land, pine forest stand and broad leaved forest stand on coastal sand dunes

その絶対量も少なく、他の生育環境が不良なためマツの生長は極めて不良であるのが普通である。

このようなことをくりかえしていくうちに林床上の落葉落枝も多くなり、マツも大きくなっていく。

マツの生長や林床上の落葉落枝の量が増加していくにつれ、光、温度、水分条件も変化し、落葉落枝の分解に関与する土壤生物や空中N固定菌のようなものも増加していく。

その結果、土壤中の養分の増加などマツの生育に好ましい方向に変わっていく。

砂丘地に植栽されたクロマツ林は生育の過程で生育環境との間で作用、反作用をくりかえし、相互に影響し合いながら変化していくものである。そうした過程で植栽されたクロマツ林も自己施肥機能等の森林としての機能が次第に高まっていくものと考えられる。

このような変化をみる尺度として年令は必ずしも適当ではなく、平均樹高を用いる方がより適当と思われる。

なお、それぞれの樹高の林分に至るにどれだけの年数を要するかを知るため、林令と平均樹高との関係を調べたが、その結果を示すと Fig. 8 のようであった。

同じ林令でも場所により生長に著しい差がみられた。林令20年の場合の平均樹高は3 mから10 mの巾があり、平均は大体6 m程であった。林令30年の場合では平均樹高は4~12 m程の巾があり、平均は大体8 m程であった。

砂丘地のように比較的かざられた区域でも場所により生長に著しい差がみられることから、物質生産能力その他の変化をみる尺度として年令よりも、むしろ平均樹高の方がより適当である。

IV 要 旨

砂丘地に植栽されたクロマツ林の物質生産力について調べた。

(1) 生育がすすみ樹高の高い林分になると純生産量が増加していく。

(2) 生育がすすみ樹高の高い林分になると、純同化率、葉内の全窒素、全燐、クロロフィル、土壤中の全窒素、全燐、炭素、および林床上のリター量が増大していくが、葉内の全炭水化物に対する全窒素の比率や土壤中の炭素に対する全窒素の比率は低下していく。

(3) 樹高の高い林分になるにつれ林分全体(林木、リター、土壤)に存在する全N、全Pが増大していくが、その大半は土壤中に存在する。また、クロマツ林の土壤中の全N、Cは原生林のそれの数

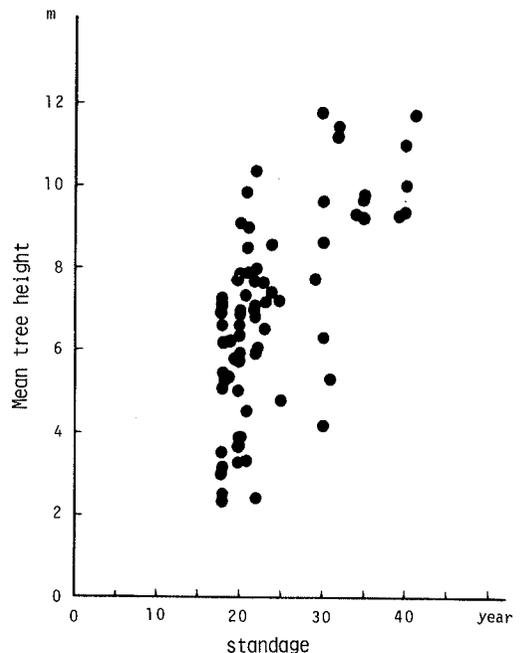


Fig. 8 The relation between the standage and the mean tree height.

分の一にすぎない。

(4) 砂丘地に植栽されたクロマツ林は生育がすすみ樹高の高い林分になると物質生産力が次第に回復していく。これは生育の過程でマツと環境との間で相互に影響し合い、その結果として物質の集積、土壌の肥沃化、葉の生産能率の向上等をもたらされることに大きく原因しているものと考えられる。

文 献

- 1) Ogasawara, R.: Bull. Tottori Uni. Forest. 11 1979
- 2) 四手井綱英他：ヒノキ林——その生態と天然更新——地球社 東京 1974
- 3) 蒲谷肇・生嶋功・沼田真：千葉大文学部銚子臨海研究分室 6 1964
- 4) 小田隆則：砂丘研究 23(2) 1977
- 5) 依田恭二：森林の生態学 築地書店 東京 1972
- 6) 四手井綱英編：アカマツ林の造成 地球出版 東京 1963
- 7) 四手井綱英・佐野宗一編：松と人生 明玄書房 東京 1973
- 8) 河田 弘・丸山明雄・衣笠忠司：林試研報 199 1967
- 9) 塘 隆男：林試研報 137 1962
- 10) 塘 隆男・原田 洸・及川伸夫：日林講集 69 1959
- 11) 小笠原隆三：日林誌 56 1974
- 12) 坂上幸雄：森林と肥培 37 1965
- 13) 河田 弘・衣笠忠司：林試研報 199 1967
- 14) 伊藤忠夫・植田正幸・宮内 宏：日林誌 54 1972
- 15) 芝本武夫・田島俊雄：日林誌 43 1961
- 16) 河田 弘・西田豊昭・吉岡二郎：林試研報 253 1973
- 17) 中村 健：信大農紀要 2 1961
- 18) 河田 弘：林試研報 162 1964
- 19) 山本 肇・真田悦子：林試研報 229 1970
- 20) 川又泰子・丸山幸平：新大演報 6 1972
- 21) 小笠原隆三・渡辺 孝：日林誌 56 1974
- 22) Ogasawara, R. and Hikich, M. : Jour. Fac. Agr. Tottori Univ. 10 1975
- 23) 橋本与良：林地生産力の維持、増進 日本林業技術協会 東京 1970
- 24) 小笠原隆三：未発表