

海岸砂丘のクロマツ林における微生物相

小 川 眞¹⁾Makoto OGAWA: Microbial Flora in *Pinus thunbergii*
Forest of Coastal Sand Dune

要 旨：高密度に植栽された林齢 12~13 年生の海岸クロマツ林において 土壤微生物相と菌類相の調査を行った。(1) 堆積腐植の量は林内で不均一となり、多いところでは菌糸層の発達が著しかった。(2) クロマツの細根は深さ 25 cm までに分布し、C 層で多かった。菌根を含む細根は深さ 5~10 cm で多く、土壤中の菌根菌の菌糸体量もこの深さで増加した。(3) 5×5 m のコードラート内に発生した菌はチチアワタケ、ハツタケなど 8 種で、いずれも外生菌根を形成してマット状に広がる生活型を示した。(4) これらの菌の子実体直下の土壤微生物相は種によって特徴的であった。(5) 表層土壤の微生物の水平分布は不均質で、その原因の 1 つはきのこ類の菌糸層に由来すると思われた。(6) 土壤断面における微生物の垂直分布は有機物の量に比例して深くなるほど減少したが、季節的変動も大きかった。(7) 落葉分解微生物は分解の進行にともなって変化し、新鮮落葉では糸状菌が優占し腐植化した部分では細菌と糸状菌とが増加した。(8) 根面の糸状菌相は根の老化にともなって増加し、*Trichoderma* や *Mortierella* の出現頻度が腐朽にともなって上昇した。菌根上の糸状菌は少なかった。

以上のことから、菌根菌はクロマツの生長を助けるだけでなく、砂の移動を止める働きをもっており、適度な落葉の堆積はこれらの菌根菌の繁殖を助ける。林内の微生物相の特徴はきのこに主導された形を示しており、植物根と落葉量によって分布が支配されている。

わが国の沿岸地帯にはクロマツが天然分布しており、古くから防潮防風林として利用され、海岸砂丘にはクロマツ林が造成されてきた。また、20 数年前まではこのようなクロマツ林で盛んに落葉かきなどの作業が行われ、燃料採取林としても、堆肥の素材を供給する林地としても多面的に利用されていた。しかし、近年、このクロマツ林も海岸線の開発、道路改修、都市化の拡大などによる破壊やマツノザイセンチュウなどによる枯損のためにその面積を減じ始めており、防災や風致の維持の上でも問題となってきた。事実、海岸クロマツ林の多くは、見かけからも汚染され、衰退し始めているように見える。林内に足を踏み入れると、燃料採取も行われないうえに、ササや草本植物が繁茂し、いたる所で汚物が散乱している。このように衰退しかかったクロマツ林を健全な林にかえ、枯損を防止し、適切に管理してゆくためには、この林の生態系の仕組みを土壤中の生物社会に至るまで深く理解しておく必要があると思われる。特に、貧栄養状態の土壤で、外生菌根を多量に形成しながら生育するクロマツの場合には菌根菌や根圏微生物の働きはかなり重要な問題となるであろう。落葉分解についても、クロマツ林の場合には有機物の供給と分解のバランスがとれなくなることが多く、落葉分解微生物や小動物の働きを重視しなければならない。

一方、森林の生態学にとって、分解者や消費者の主要な部分を占める土壤生物相についてその内容と働きとを知っておくことが必須となり始めている。しかし、実際問題としてわが国の林地では土壤条件や植生、微細気象などが複雑に変化しているために、生態系のこまかな機作を捕らえるのが容易でないことが多い。手近で対象として扱える単純な生態系といえば、海岸から砂丘に成林または造成されたクロマツ林と

ということになる。海岸のクロマツ林は植生を欠く砂浜から内陸へかけて、植物が群落を形成してゆく過程にともなう微生物の変化を見るのに適している。また、植生が単純で、土壌も未熟であるために植物と微生物のつながりや微生物同志のかかわりを見るのにも適している。このような自然条件の利点を生かして、植物群落の形成と微生物との関係を見た例が過去にもいくつかあった。斎藤 (1955)¹⁰⁾ は汀線の砂丘から草地、クロマツ幼齢林、湿地、クロマツ林へと生態系が変化するのに伴う微生物相の変化をとらえ、植物に随伴して微生物が増加するのを認めた。池田 (1954)¹¹⁾ も砂丘の微生物相を調査し、林地化することによって糸状菌が増加するのを認めた。WOHLRAB (1965)¹²⁾ らも植生に対応した糸状菌フロラが成立するといひ、WEBLEY (1952)¹³⁾ らは林地で糸状菌が増加し、その原因は根圏に微生物が増加するためであるとした。このように従来の研究はいずれも土壌微生物のサクセッションと植物群落のサクセッションの相互関係を見ようとしたものである。

この研究の目的は微生物相の成立過程をとらえるというよりむしろ、現在成り立っている微生物生態系の成り立ちの要因を理解しようとするのであった。また、これまでに調査を続けてきたアカマツ林 (小川, 1977b)⁶⁾、コメツガーオオシラビソ林 (小川, 1977c)⁶⁾、ダグラスファー—ヘムロック林 (小川, 1977d)⁷⁾、ブナ林 (小川ら, 未発表)、シイ林 (小川ら, 1978)⁹⁾ などの例と比較対照することによって、森林の微生物相の成り立ちを理解しようとした。結論からいえば、単純な生態系であれば、微生物相もその機能も単純であると思いがちであるが、やはりその成り立ちは複雑である。微生物社会の内部構造や微生物相成員の相互関係、その他の生物との相互関係などを洩れなくひろい上げることは不可能に近い。最少限、種組成や季節、年変動などをとらえ、現象の実験的証明の積み上げを続けられない限り、この種の仕事は群盲象をなでる結果になりかねないのである。

調査地の概況

この調査を行なったクロマツ林は神奈川県茅ヶ崎の湘南海岸に造成された砂防林である。この地点は相模湾沿岸に位置しており、汀線から 40~50 m の砂浜、コウボウムギやハマヒルガオなどの草地、4~5 年生のクロマツ植栽地がベルト状にならんでおり、国道をへだてて 12~13 年生 (調査当時) のクロマツ人工林となっていた。汀線から調査地点までは約 150 m、国道からは約 40 m へだたっていた。このような位置にあるため、飛砂や海水による塩害で葉の汚れや梢端の枯れが目立ち、排気ガスによる道路沿いのクロマツの衰弱はかなりひどくなっていた。林縁は汚物の投棄や攪乱によってかなり汚れていた。コードラートを設置した場所は飛砂防止柵にかこまれた比較的よく保護された地域であった。

コードラート周辺のクロマツは樹齢約 17~18 年で、1970 年当時平均樹高約 2.5 m、根元直径約 4 cm であった。樹幹は曲り、生長は悪かった。

生長は微地形によって異なり、凹地では生長良好で、樹高約 3~3.5 m であった。全般に着葉量多く、過密のため被圧木を生じていた。このクロマツは 17~8 年前 1 m 間隔に植栽され、植付時には黒色土を根元に客土し、その後定期的に施肥された。植栽後 7~8 年たって、5 m おきに 1 列を帯状間伐したり、所によっては補植を行った部分もあるという。また、アカシア類、ヤマモモ、ハンノキなどの肥料木を混植した区や施肥実験を行った区が隣接して設けられた。このように人手が加わっているために、疎林状態の場所ではニセアカシア、カモジグサ、メヒシバ、ハルノノゲン、アカザなどの雑草が、凸地形の場所では裸地にハマズゲやハマヒルガオが点在するなど複雑な状態となっていた。

土壌はシルトを含んだ砂からなる未熟土である。平坦地では所によってシルトが板状にかたまり、裸地化して藻類の繁殖が見られた。林内はクロマツの落葉とその分解物だけからできた A_0 層に厚くおおわれ、L, F_1 , F_2 の3層に区分できた。H層やA層の発達はほとんどなく、A-C層はマット状の菌糸体で固化していた。林内のどの地点でも A_0 層のある所ではA-C層が菌糸体でかためられており、林内のほぼ全域が菌糸体でおおわれているように思えた。 A_0 層とA-C層は乾燥しやすく、林縁や裸地化した場所での乾燥は甚しかった。ことに、帯状間伐された地点では A_0 層がなく、裸地化しており、A-C層の菌糸体もほとんど見られなかった。この間伐の影響は林内にも及んでおり、間伐の入らない地域にくらべて、夏の乾燥が著しかった。A-C層はいく分灰黒色、弱酸性 (pH 5.2) で砂の粒が細かく、シルトを含んでいたが、深さ 15 cm 以下のC層では pH 6.6 で、深くなるにつれて過湿となり、粗砂となった。深さ 50 cm 以下では時に水がたまることもあった。

なお、この地域の年平均気温は 14.8°C、年降水量は 1,600 mm でかなり温暖である。

調査の方法

1. A_0 層の分布と堆積腐植の分解型の測定

A_0 層、きのこ相、土壤微生物相の調査用コードラートを帯状間伐された区間に設定した。5×5 m のコードラートを1×1 m の小区画に切って調査を行った。 A_0 層の厚さをこのコードラート内の 50 cm ほどの交点で測定し、厚さを 0, 0~2 cm, 2 cm 以上の3段階にわけて、図上に等高線状に表わした。

コードラートに隣接する林分で標準的な地点を選び、 A_0 層の厚さ 5 cm の地点と 2 cm 程度の地点で A_0 層を 30×30 cm のワクで採取し、落葉を分解段階に応じて区分し、乾燥重量を測定した。また、 A_0 層の厚さ 2 cm 以上の地点と 2 cm 以下の地点からおのおの5点、堆積腐植を層別に 30×30 cm ワクによって採取した。風乾後、3.5, 10, 20 メッシュの篩を用いて分画し、見かけ上の分解段階が同じものを集めて1つの画分とし、乾燥重量を測定した。これをサイズの大きさに順に L, F_1 , F_2 , F_3 , H とした。各画分の5点の平均重量をもとめ、5点の平均重量を平均全重量で割ってパーセントとし、図化して分解型を表わした。

2. クロマツの根と菌体の分布測定

コードラートに隣接する林分で、立木から等距離にある地点を選び、土壤断面を作った。 A_0 層を除き、A-C層の表面から 10×10 cm のワクを用い、深さ 5 cm ごとにサンプルを採取した。篩上で流水で洗いながら根をとり出し、菌根、主根などは新鮮なうちに分類し、乾燥重量を測定した。

根のサンプルを採取するのと同時に深さごとに一定量の砂を採取し、その内の 500 g の砂をビーカーにとって砕き、超音波洗浄した。粘土を流し、砂を沈澱させ、攪拌しながら洗うと、菌糸体が得られた。これを風乾し、さらに砂や粘土を除き、絶乾して重量を測定した。

3. きんこ相の調査

この林内に発生するきのこを 1969 年秋から 1971 年秋まで採集記録し、土壌中での生態的性質の調査を行なった。コードラート内に発生したきのこ類は 1969 年秋から 1970 年秋までのものを採取し、その発生位置を図上におとした。梅雨季と秋には月 2 回程度調査を行ったが、春秋のきのこ狩が盛んであったためにすべてを記録することができず、発生時期や発生量の調査は中止した。

菌の生態的性質の調査はきのこ発生時に子実体の下の土壌を採取し、洗浄して菌体や菌根をとり出し、

詳細に検鏡を行なって記載した。

4. 土壤微生物の分布調査

A-C 層表層の土壤微生物の分布状態を見るための試料はコードラートの 1 m ごとの交点の奇数番目の点で採取した。A₀ と A-C 層の表層をはぎ、A-C 層の深さ 1~3 cm の砂を殺菌したガラス管で採集し、各点ごとに微生物の分離を行った。

土壤微生物の土壤中での垂直分布を見るための試料はコードラートに隣接した林分に作った土壤断面から採取した。断面の表面をけずり、層位ごとに殺菌したガラス管を挿入して砂を採集し、微生物分離用の試料とした。また、きのこ類の菌糸層、いわゆるシロと土壤微生物との関連を見るためには、子実体が発生した 10 月に子実体の石づきの下の土壤を殺菌したガラス管で採取し、微生物分離用の試料とした。

微生物の分離方法は平板希釈法である。細菌と放線菌の分離用培地としては調査地の A-C 層の砂の煎汁を加えた土壤煎汁培地 (JOHNSON et al., 1959)²⁾ を用い、糸状菌の分離用培地としてはローズベンガルを加えたワックスマンの改変培地 (小川, 1977a)⁴⁾ を用いた。25°C で 1~2 週間培養し、出現したコロニー数を計測した。

5. 落葉分解微生物の測定

クロマツの落葉の分解段階を見かけの質的な違いから 5 段階に分けた。新鮮で黄褐色の落葉を 1、濃い茶褐色のものを 2、菌糸が付着し、かなり分解した茶褐色の細かく折れた葉を 3、菌糸が粉体状になり、黒変してもろくなった針葉の断片を 4、動物の排泄物や粉状となった葉の断片を 5 とした。層位からいうと、1 と 2 が L、3 が F₁、4 と 5 が F₂ に相当した。

これらの葉や断片を水道水で十分水洗した後、超音波で 10 分間洗浄した。細片は篩上で洗浄した。針葉は約 2 mm の断片に切った後、再度、滅菌水で 10 回洗浄した。この断片を先述の糸状菌分離用培地を入れたプレートに 1 プレート当たり 6 片ずつうえつけ、1 試料のうえつけ点数を 30 点とした。培養温度は 25°C、培養期間は 10~14 日間とした。出現した微生物のコロニー数を計測し、出現頻度で表わした。出現頻度は総うえつけ点数に対するある種の菌の出現コロニー数のパーセンテージとした。

6. 根面および菌根に生息する微生物の測定

微生物分離用のクロマツの根はコードラート外の A-C 層から採取した。根は菌糸層の中にあって、細根には担子菌の菌糸と思われるものがまつわりつき、砂のかたまりが付着していた。根を水道水で洗った後、主根、側根、菌根および褐色の細根と枯死しかかった黒色の細根とに分けた。菌根はハツタケおよびヌメリイグチが作ったフォーク状の白色菌根であったが、その他の根もいくつか観察された。これらの試料を超音波で 5 分間洗浄し、ゴミや砂を除いた後、約 2 mm の長さに切断した。断片を滅菌水で 10 回洗った後、先の糸状菌分離用培地を入れたプレートに 1 プレート当り 5 片うえつけ、うえつけ点数を 40 点とした。結果は出現頻度で表わした。培養温度は 25°C、培養期間は 10~14 日間とした。なお、この実験で洗浄に用いた超音波洗浄器は小型で、細菌を殺すことはない程度のものである。

調 査 結 果

この調査では微生物相の成立要因を見るために、まず、微生物相の基質となる落葉、堆積腐殖、クロマツの根、菌根および菌糸体などの量と分布状態をとらえてみた。次いで、微生物群の中でも菌根菌や落葉分解菌として特異的な位置を占めている高等菌類、いわゆるきのこ類について、その分布とそれらに随伴

する土壌微生物相をしらべた。さらに、土壌微生物の水平分布と垂直分布をしらべ、それらの分布状態を決定する落葉分解過程の微生物と根面の微生物とを調査した。これらの諸項目を可能な限り同一時期、同一場所においてとり上げてみた。

微生物の相互作用や微生物と基質とのつながりなどについてはより詳細な研究が必要と思われる。ここでは調査研究を羅列することができるだけであり、微生物社会の因果関係を完全に説明することはとうてい不可能であった。

1. A₀ 層の分布と堆積腐植の分解型

コードラート内の A₀ 層の分布状態を Fig. 1 に示す。コードラート周縁部は間伐のために裸地化し、A₀ 層がうすかった。A₀ 層におおわれている部分は全面積のおよそ 2/3 で、その約 1/2 が 2 cm 以上の厚

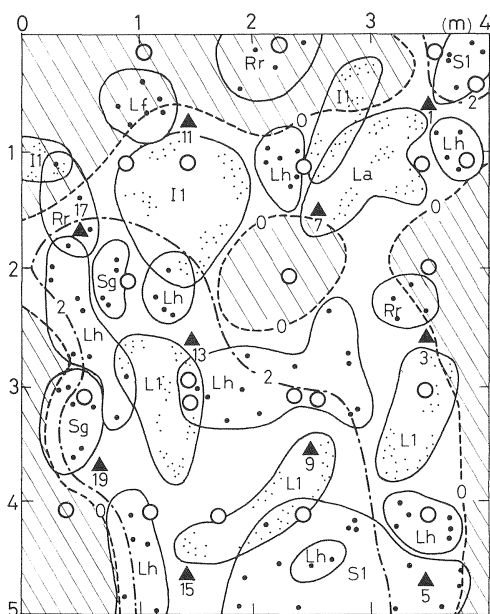


Fig. 1 Distribution of higher fungi in *Pinus thunbergii* forest on coastal sand dune. Sporocarps were collected from the plot twice a month from June to October in 1969 and 1970. Fruit body occurring positions were recorded on the map.

The occupied areas of each species were shown by lines on the figure. The marks of species name were represented in Table 2. ○ : *Pinus thunbergii* Small black points : fruit body occurring positions. Shaded part : no covering with litter. Dotted line : the boundary of litter accumulation. Line : the boundary of thick litter layer, more than 2 cm in thickness. ▲ 1~19 : the sampling points for the isolation of soil microbes.

Table 1. Composition of litter in *Pinus thunbergii* forest. Sampling, March, 25, 1969.

Litters	Sampling site	
	1 A ₀ layer, 5 cm DW, g	2 A ₀ layer, less than 2 cm DW, g
Brown needles	25 (7.3%)	5 (18.5%)
Dark brown needles	19 (5.5%)	4 (14.8%)
Twigs	7 (2.0%)	0 (0.0%)
Black fragments	91 (26.7%)	18 (66.7%)
Fragments with mycelial mass	195 (57.2%)	0 (0.0%)
Total	341	27

Samples were collected from ground surface at two sites by 30×30 cm square frame. DW : dry weight, g, in 30×30 cm square. Annual litter fall : 77 g/m².

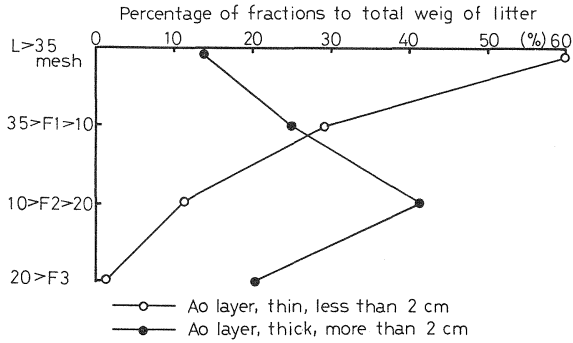


Fig. 2 Decomposition of litter in *Pinus thunbergii* forest. Sampling, March, 25, 1969.

Litters on the ground surface were sampled by means of 30×30 cm frame L and FH and divided into four fractions by sieving method. The litter decomposition patterns are shown in the figure.

した F 層がかなり厚かった。一方、裸地状の場所では F 層の形成がほとんどなかった。このように地上部の立木密度や葉量のちがいがいなどによって同一林内でも A₀ 層の厚さのちがいが著しく、分布も不均一となった。このような A₀ 層の不均一分布は微生物の生息環境と基質の分布の不均質さを意味しており、土壤微生物や菌類が不均一に分布する最大の原因となっている。A₀ 層の形成は植物の根を集め、動物に生息場所を与えることにもなり、生物相の成立要因の重要なものである。

A₀ 層が 2 cm 以上の場合と 2 cm 以下の場合とでは落葉の堆積のしかたも分解型も異なっていた。A₀ 層の厚い所では細片化した部分が多くなり、分解はおくれた。落葉の供給量の少ない場所では見かけ上順調に分解しており、F 層の異常なたまりは見られなかった (Fig. 2)。アカマツ林など、針葉樹林の場合にはこのような分解不良型がしばしば見られるが、クロマツの場合には立木密度、林齢などにも関係があり、

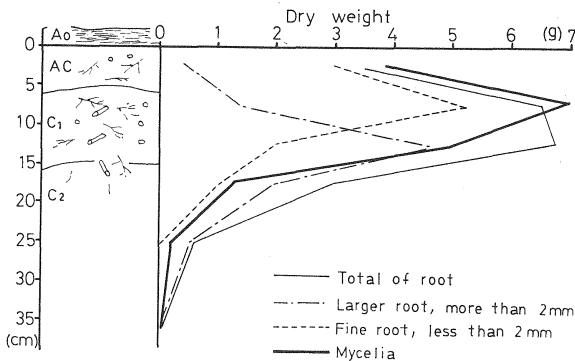


Fig. 3 Vertical distribution of roots of *Pinus thunbergii* and the mycelia in soil. Sampling, Nov. 4, 1970.

Soils including roots were collected by 30×30 cm frame every 5 cm in depth. Pine roots were extracted from the samples by washing and divided into two parts with their diameters; larger root more than 2 mm, fine root less than 2 mm. The mycelia in 500 g soil samples were isolated from sand by ultrasonic in water, and the dry weights were estimated after dessication.

きのこ類が堆積腐植におおわれていた。このような場所では土壌は湿潤で、きのこ類の発生も多く、F 層には白色の菌糸層が見られ、A-C 層には菌糸が充満していた。裸地状の場所では A₀ 層を欠き、乾燥しており、砂は移動しやすかった。

A₀ 層が厚さ 2 cm 以下の地点と厚さ 5 cm の地点からとった堆積腐植の内容を Table 1 に示す。A₀ 層が厚い地点では褐色と暗褐色の比較的新しい落葉が約 13%、分解して黒変した断片が 26.7%、菌糸が密に付着した葉の断片が 57% となった。きのこ類が落葉をつづって形成

した場合が多い (小川, 未発表)。クロマツの落葉の分解は遅く、堆積状態からみて数年かかっても完全に分解することはむずかしいと思われる。

2. クロマツの根と菌糸体の分布

クロマツの根と菌糸体の土壌中での分布を Fig. 3 に示す。A₀ 層がうすい地点で試料を採取したために深さ 0~5 cm に分布した根と菌糸体の量はかなり少なかった。根の総量は深さ 5~17 cm の C₁ 層に集中し、深さ 25 cm までに分布した。直径 2 mm 以上の太い根はかなり深く入り、深さ 10~15 cm で最大となった。直径 2 mm 以下の細根は 0~

5 cm の層にもかなり分布したが、深さ 5~10 cm で最大となり、深さ 25 cm より下の層では見られなかった。この細根の約 60% が黒色棒状あるいは白色フォーク状の菌根であった。菌根の形態から、黒色のものは *Cenococcum* の、白色のものはキツネタケまたはハツタケの菌根と思われた。太い白色の主根は深さ 0~5 cm の層で 2 本現われた。通常の林地では若い根の大部分が A₀ 層直下に集中する傾向があるが、ここでは乾湿の差が大きいため根が鉾質土層に深く入って生長していた。したがって、クロマツの細根が A₀ 層に上昇して堆積腐植と直接接することは少なかった。アカマツ林での例 (小川, 1975)⁹⁾ などとくらべて、表層土壌中の根の密度は低く、地上部の生長も根の生長もかなり悪いと思われる。根の量の少なさが後述する土壌微生物数の少なさの 1 つの原因ともなっている。

砂から取り出された菌糸体の分布傾向はクロマツの細根のそれと平行しており、深さ 5~10 cm で最大となった。分布域は広く、表層から深さ 35 cm になってもわずかに菌糸体がえられた。この菌糸体は表層近くではわたほこり状で、中に白色の菌糸束を含んでおり、何種類かの菌糸体がまじっていた。目立ったものは白色のクランプをもった細い菌糸体(キツネタケ)、褐色の厚い細胞膜をもった太い菌糸およびクランプをもち、菌糸の表面に突起をつけた白色菌糸などが主なものであった。深く入るにつれて白色の菌糸束が増加し、そのほとんどが根に沿って生長した。菌糸束の形態からショウロのものと思われた。

このように土壌中から多量に取り出される菌糸体はその大部分が担子菌や子のう菌のものであり、貧栄養状態の土壌内の菌糸の主なもの菌根菌の菌糸体である。これらの菌は堆積腐植の分解物を一方で利用しながら、クロマツの根と菌根を形成し、共生関係を保っていると思われる。菌根菌の菌糸体は寄主であるクロマツの生長を助ける一方で、砂を固く結合し、分解すると団粒化を促す効果をもち、砂の移動をおさえ、土壌化を促している。また、菌糸体は他の微生物や動物のエサともなり、クロマツ林の土壌生物社会を複合化する役割も果しているようである。

3. き の こ 相

2 年間にこのコードラート内で発生した菌類のリストと生活型を Table 2 に示す。種類数は少なかったが、子実体数ではキツネタケとハツタケが多く、ヌメリイグチ、チチアワタケ、ウラムラサキなども多かった。クロトマヤタケの子実体は小さく、本数は多かったが、測定できなかった。子実体本数と発生位置図 (Fig. 1) 上の占有面積からキツネタケとハツタケを一応優占種とすることができる。

生活型についてみると、これらの菌は互いに酷似しており、どの種も菌根菌で、表層生息性、菌糸のマットを形成する能力などを持っており、シロがあいまいである。

土壌中の菌糸の形態をみると、*Suillus* 属の 2 種は発達の良い白色菌糸束で根や有機物に接しており、子実体の石づき下では白色網状の菌糸束を形成することもあった。*Lactarius* と *Laccaria* 属の菌は灰白色のクモの巣状のマットを形成し、一見、砂をフェルト状にかためることがある。水をはじくことはなく、石の面などでは汚白色のマットをつくる。マットの周縁部でわずかに白色の菌糸束を作る。ショウロの菌糸束は土壌中ではかなり見分けにくい、根面や土壌中に発達の良い白色の菌糸束を作って広がる。この菌糸体は黒色土の周辺や砂が板状にかたまった地点に多く、砂の移動する場所にはなかった。クロトマヤタケの菌根も菌糸も土壌中では判別できなかった。

生息位置はアカマツ林その他の例をみると、どの種も H-A から A 層となっている。B 層や裸地の C 層であることも珍らしくない。いずれも未熟土壌を好む菌であり、有機物のほとんどない状態で発生する。なかでもヌメリイグチやチチアワタケ、ハツタケなどは普通、アカマツ林やクロマツ林の裸地状のと

ころに発生し、どちらかといえば若齢林に多い種である。キツネタケ、ウラムラサキも苗圃や若齢林に多く発生し、A₀層からA層上部に生息する。

いずれも外生菌根を形成する。菌糸は根に沿ってマット状にうすく広がるので、菌根は広範囲に分散して形成される。菌根の形態はマットが寄主であるためにフォーク状、棒、サンゴ状などになり、菌鞘を形成し、典型的な外生菌根の内部構造を示す。

これらの菌の生態的性質と培養上の性質(小川, 未発表)からみて、*Laccaria* 属以外の菌はおそらく、典型的な共生的菌根菌と思われる。いずれもセルロースやリグニンの分解能力を欠いており、炭素源に関しては寄主に依存しており、窒素、燐、その他のミネラルを土壤中やわずかな有機物から得て、寄主に与えているものと思われる。キツネタケは窒素肥料を与えると大量に発生することもあり、きわめて生長の速い菌である。おそらく、いずれの菌も貧栄養状態ではクロマツの生長にとって必要なものと思われる。

この林のきのこ相は上述のように菌根菌以外のものはほとんど見られなかったが、A₀層の厚い九十九里浜や館山市近辺のクロマツ林で調査した例では多くの腐生性菌がえられた(小川, 未発表)。A₀層のうすい所ではアマタケ、キシメジ、ショウロ、ハツタケなどが優占するが、放置状態のA₀層が厚くなったクロマツ林では腐生性菌であるハラタケモドキ、シロオオハラタケ、サクラタケ、アマタケなどが増加し、菌根菌でも菌糸束のよく発達したテングダケ、ドクベニタケなど *Russula* 属の菌や *Lactarius* 属、*Amanita* 属の菌が増加した。このようにクロマツ林のきのこ相は簡単に変るようである。A₀層の厚くなったクロマツ林の表層土壤にある菌根も量的に少なくなり、黒変したものが多くなるのが普通である。

コードラート内のきのこの分布状態を Fig. 1 に示す。2 年分のきのこの発生位置をおよそつないでみると、図のようにその占有面積を描くことができた。ただし、土壤中の菌糸を見分けることがむずかしか

Table 2. Ecological characters of higher fungi occurring in the quadrat.

Marks	Species name	Number of sporocarps, 1969	Function and substrate	Mycelium in soil and color	Habitat	Mycorrhiza
Sl	<i>Suillus luteus</i>	15	M	Strand and rhizomorph, white.	HA	Ecto, fork
Sg	<i>Suillus granulatus</i>	12	M	Strand and rhizomorph, white.	HA	Ecto, fork
Lh	<i>Lactarius hatsudake</i>	56	M	Mat with strand, white and grey.	AC	Ecto, fork and rod
Lf	<i>Lactarius flavidulus</i>	6	M	Mat with strand, grey.	AC	Ecto, fork and rod
Ll	<i>Laccaria laccata</i>	102	SM	Mat with strand, white.	HA	Ecto, fork and rod
La	<i>Laccaria amethystina</i>	46	SM	Mat with strand, white.	HA	Ecto, fork and rod
Il	<i>Inocybe lacera</i>	—	?	?	?	?
Rr	<i>Rhizopogon rubescens</i>	7	SM	Strand and rhizomorph, white.	HA to C	Ecto, fork

Sporocarps of higher fungi were collected from the beginning of July to the end of October in 1969 and 1970. Survey in rainy seasons were repeated several times in a month. Marks of species names are applied in Fig. 1. S-M: mycorrhizal fungi with saprophytic activities. M: mycorrhizal fungi. L, F, HA, AC and C mean the soil horizons where the mycelium was growing mainly. Mat: large and thick mycelial mass forming the specific mycelial layer. Strand: mycelial strand or undeveloped rhizomorph. Rhizomorph: developed rhizomorph with the organized internal structures. Ecto or Endo means the ectomycorrhiza or the endomycorrhiza. Color means the color of the mycelium in soil. Host plant of mycorrhizal fungi was *Pinus thunbergii*.

ったので、占有面積率などを求めることはできなかった。いずれの菌も大形のコロニーを作らず、小面積に群生し、互いの発生位置が近接することが多かった。とくにキツネタケやクロトマヤタケでは菌の生息域が小さく他の菌のシロと重なりやすかった。

きのこの発生は A_0 層のうすいところでは少なく、ショウロ、キハツタケ、クロトマヤタケなどだけであったが、 A_0 層の厚いところでは大形のきのこの発生が多かった。水分環境が良くなり、栄養源の量が増加すると、直ちに菌が繁殖するようである。このコードラート内は平均的に A_0 層がうすかったので、落葉を白色腐朽する腐生性菌の発生が全くなかった。しかし、同一林分の中でも A_0 層の厚い部分ではサクラタケ、アマタケ、*Agaricus* 属の菌による落葉の分解が見られた。

この海岸クロマツ林のように植生、土壌条件などが単純で菌類の生活に適していないところでは類似した生活型をもつ少数の種だけが適応して繁殖し、種組成が単純なために敵対者が少なく異常増殖することがしばしば起るものと思われる。また、異常増殖のくりかえしによるサクセッションがあると考えられる。

4. 土壌微生物の分布

a. 土壌微生物の水平分布

Fig. 1 に示したコードラート内の各点から採取した試料の微生物を分離すると、Fig. 4 のようになった。狭いコードラート内のわずかな距離の違いでも微生物数は極端にちがっていた。また、発達した土壌の例にくらべると、微生物数はかなり少なく、細菌では $1/1000 \sim 1/10000$ 、放線菌では $1/100 \sim 1/1000$ 、糸状菌では $1/10 \sim 1/100$ 程度にすぎなかった。一般の林地の場合でも土壌有機物が少なく、乾燥しやすい場所では放線菌が増加し、未分解有機物が多いと糸状菌が増加するのが常である。ここでも、細菌が少な

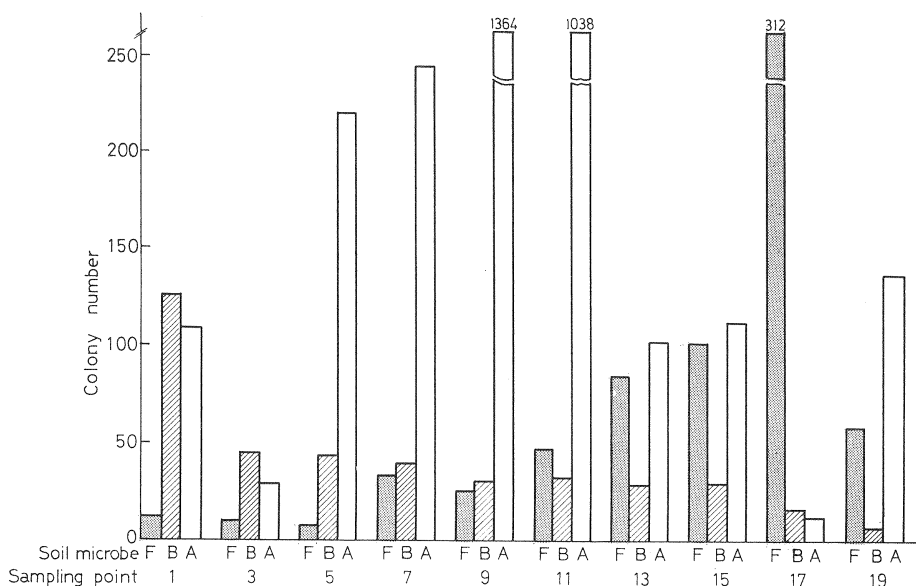


Fig. 4 Horizontal distribution of soil microbes in the plot.

Sampling date: Oct. 25, 1970.

Samples were collected from the surface soil by sterilized tubes at points 1 to 19 shown in Fig. 1. Soil microbes were isolated by dilution plate method on the media described in Fig. 5.

Bacteria, B and actinomycetes, A: $\times 10^3$ /dried soil. Fungi, F: $\times 10^2$ /dried soil.

く、放線菌と糸状菌とが比較的多かった。

細菌，放線菌，糸状菌の比を見ると，地点ごとで大きくかわっていたが，1と3，5，7，9および11，13，15および19などが互いに似た傾向を示した。17の点では糸状菌が異常に多かった。このような不均一な微生物分布はきのこ類の特定の種のシロがあったり（小川，1977a）⁴⁾，基質となる物質が局在した場合に起りやすい。表層土壌でのクロマツの根や植物の根などの分布がさほど不均一でなかったので，この場合の不均一分布の原因はきのこのコロニーによるものと思われた。

図示した結果は10月の例であるが，4月と6月に分離した結果をくらべるとかなりの変化が見られた。このような急激な変化は季節的なものであると同時にきのこ類の菌糸の急速な消長によるものと思われる。

b. きのこのシロの土壌微生物

土壌微生物の分布のばらつきがきのこのシロに起因すると思われたので，主な種のきのこの石づきの下の砂から土壌微生物を分離した。その結果を Fig. 5 に示す。この結果は Fig. 4 の微生物の水平分布と照合できるように10月に行ったものである。

分離用試料とした砂は担子菌の菌糸で固く結合していたが，これらの担子菌は分離培養によっては得られなかった。いずれの種も A-C 層にマット状の菌糸層を形成したにもかかわらず，土壌微生物の出現の

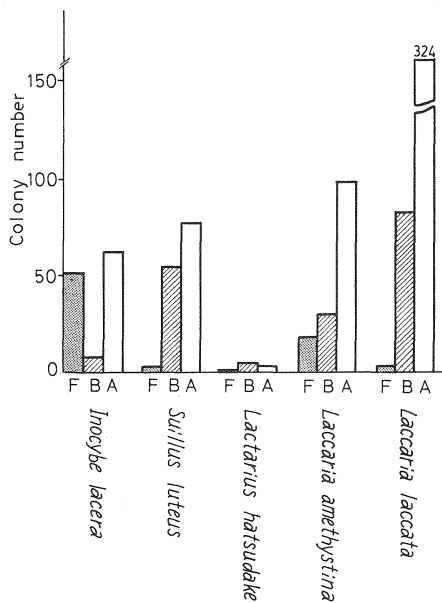


Fig. 5 Soil microbes in the territories of higher fungi. Sampling, Oct. 20, 1970.

Samples were collected from the surface soil layer under sporocarps, 0 to 3 cm in depth. Soil microbes were isolated by dilution plate method on the media; peptone-dextrose plus rose bengal medium for soil fungi and soil extract medium for soil bacteria and actinomycetes. Bacteria, B and actinomycetes, A: $\times 10^8/g$ dried soil. Fungi, F: $\times 10^2/g$ dried soil.

しかたは種ごとにかなり異っていた。秋に行った分離結果では常にこのような種に特異的な土壌微生物相が見られた。ただし，同一地点で4月に分離した場合にはまったく異なる結果となった。

種ごとの微生物相の特徴をみると，クロトマヤタケでは糸状菌と放線菌が多く，ヌメリイグチでは糸状菌が少なく，細菌と放線菌数が近似した。ハツタケではいずれもが少ない抑制型となった。ウラムラサキでは放線菌が比較的多く，同一属のキツネタケでは放線菌が異常に多くなった。

このような結果を Fig. 4 の結果にあてはめると，次のようになる。点1はヌメリイグチ型，点3はハツタケ型，点5と7はウラムラサキ型，点9と11はキツネタケ型，点13，15および19はクロトマヤタケ型となり，点17に該当するものはなかった。この結果をさらに Fig. 1 のきのこのシロの位置図と照合させると，きのこのシロと土壌微生物との関係が実際にとらえられる。点1と5はヌメリイグチのシロに近く，点7と9はウラムラサキとキツネタケのシロの中に，点3と11はきのこのシロからはずれていたが，点3はハツタケ型，点11はキツネタケ型であった。また，点13，15および19に

もきのこの発生はなかったが、クロトマヤタケ型となった。これらの地点にクロトマヤタケがあった可能性は高い。結局、子実体発生位置の下の微生物相ときのこの発生位置および機械的に調査した地点の微生物相とがかなり良く合致したのは10地点のうち、4点にすぎなかった。たしかにきのこのシロが特有の微生物群を持ちやすく、土壤微生物の分布を決定する原因になると思われるが、この他にも他の要素がからんでおり、結論づけるにはより詳細な検討が必要である。

c. 土壤微生物の垂直分布

同一地点の土壤断面で4月と10月に調査した微生物の垂直分布を Fig. 6 に示す。4月と10月では微生物数かなり動いており、季節的な変化の大きさと同時に、位置のずれによる違いの大きさも表わしている。4月には細菌、放線菌および糸状菌がともに表層に多く、土壤の深さに応じて漸減した。この地点ではA₀層が3~4 cm あったので、A-C層表層の微生物数が少なくなることはなかった。裸地状のところでは0~5 cmの深さの微生物数はかなり減少するのが常である。

10月には糸状菌と放線菌とが増加し、ことに放線菌の数は深さ10~20 cmの層でも多かった。この糸

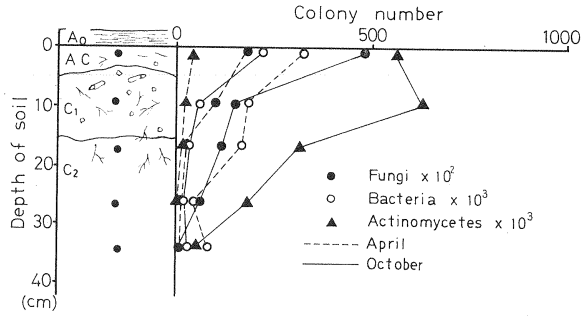


Fig. 6 Vertical distribution of soil microbes on the profile. Sampling, Apr. 1 and Oct. 25, 1970.

Samples were collected by sterilized tubes from the soil profile according to the horizons. Soil microbes were isolated by dilution plate method on the media as described in Fig 5.

Table 3. Fungal flora on the decomposing needles of *Pinus thunbergii*.
Sampling, Oct. 10, 1970.

Fungal species	Decomposing needles				
	1 light brown, fresh	2 dark brown	3 brown fragment	4 black fragment	5 humus
<i>Rhizopus</i> sp.	3.3	0	0	33.3	10.0
<i>Trichoderma</i> spp.	30.0	6.6	13.3	80.0	76.6
White sterile	37.5	83.3	83.3	0	10.0
<i>Penicillium</i> spp.	6.6	0	3.3	10.0	13.3
Others	6.6	9.9	3.3	30.0	26.6
Sterile fragments	0	0	0	0	10.0
Total frequency of fungi	106.6	100.0	70.0	153.3	146.6
Frequency of bacteria	33.3	23.3	66.6	83.3	86.6
Species number	6	4	4	6	6

Samples were divided into five grades according to the degree of decomposition and washed in water by ultrasonic for 10 minutes and by sterilized water 10 times in dishes. Thirty pieces of 2 mm in length of each sample were inoculated on the plates with peptone-dextrose plus rose bengal agar medium and incubated for 14 days 25°C. Frequency, %.

状菌の秋の増加は林地で一般的である(小川, 1978)⁹⁾。放線菌の分布は先の菌糸体の垂直分布のパターンと類似しており、菌糸体構成成分であるキチン質の分解をする放線菌群が菌糸体の死滅後に一時的に増加したものである。細菌や糸状菌の垂直分布の型は根の分布型と一致するというよりむしろ表層から供給され、浸透する有機物量に対応しているように見える。また、孔隙に富む砂のために、雨水などによる細菌や菌類の胞子の下層への移動が起っていることも十分考えられる。

5. 落葉分解微生物

この林分では担子菌による顕著な白色腐朽は認められなかったが、腐朽の進んだ落葉には多量の白色や黒色の菌糸が認められた。このような過程を持った落葉を分解段階ごとに分け、主に糸状菌について分離を行った結果を Table 3 に示す。

新鮮落葉からは *Rhizopus*, *Trichoderma* および白色菌などが分離され、その他のものも含め、種類数も多かった。分解の進んだ暗褐色葉では *Rhizopus* や *Trichoderma* が減少し、白色菌が優占した。この段階の葉には担子菌の菌糸も見られたが、分離されなかった。分解のかなり進んだ暗褐色の断片からも前段階とほぼ同じような糸状菌が得られたが、細菌の出現頻度が増加し、相対的に糸状菌の出現頻度は低下した。落葉分解微生物のフロラはこの段階で大きく異なった。次の黒色細片では担子菌の菌糸も粉体状にかわり、*Rhizopus* と *Trichoderma* が増加し、白色菌が減少した。糸状菌と細菌の出現頻度がともに増加し、微生物数の増加にともなって分解も急速に進行したと思われる。小動物の糞塊を含む粉末状の段階ではさらに微生物数が増加し、糸状菌、細菌ともに増加した。種類組成は A-C 層の土壌微生物相とほとんどかわらなくなっていた。

クロマツの落葉には分解能の高いものだけでなく、多くの微生物が生息しており、分離されるが、明らかに分解過程に伴ってフロラが変化し、きのこ類が優勢となるその段階を境として微生物相が大きく変

Table 4. Fungal flora on the root of *Pinus thunbergii*.
Sampling, Oct. 25, 1969.

Fungal species	Roots of pine			
	1 Root tip	2 Mycorrhizae	3 Young, brown	4 Older, black
<i>Trichoderma</i> spp.	5.0	0	17.5	40.0
<i>Mortierella</i> sp.	0	12.5	20.0	35.0
<i>Penicillium</i> spp.	15.0	12.5	55.0	47.5
<i>Aspergillus</i> sp.	0	0	0	2.5
<i>Fusarium</i> sp.	2.5	0	0	2.5
Basidiomycetes	0	0	5.0	0
Others	7.5	5.0	5.0	7.5
Sterile fragments	70.0	70.0	0	0
Total frequency	30.0	30.0	102.5	135.0
Species number	6	4	8	11

Samples were collected from the surface soil and washed by tapwater. Roots were divided into four kinds according to their external appearances and cut to 2mm length pieces after washing by sterilized water 10 times. Forty root pieces were inoculated on the plates with peptone-dextrose plus rose bengal agar medium and incubated for 14 days at 25°C. Frequency, %.

化した。細片化し、無機化が進むのに従って、 A_0 層で繁殖した微生物群が鉍質土層に移行し、土壤微生物フロラを作ってゆくものと思われる。

6. 根面および菌根に生息する微生物

クロマツの根面や菌根の表面に生息する微生物を分離した結果は Table 4 に示す。若い主根の白い根端には見かけ上も菌の付着がなく、分離培養をしてもほとんど菌が分離されなかった。分離されたのは根面に付着していたと思われる2・3の土壤生息性菌だけであった。フォーク状の若い菌根からも *Mortierella* や *Penicillium* その他2・3の菌が分離されただけで、菌鞘におおわれた細い菌根からは何も分離されなかった。このような若い菌根では根面から菌根菌以外のものがほぼ完全に除かれていると思われる。洗浄が不完全な場合には細菌が高頻度に出現することもあり、菌根面は通常の根と異なって特異的なフロラを持っていると思われる。

若い根でも表皮が褐変している部分からはかなりの数の菌が分離され、出現頻度、種類がともに高かった。老化して黒変した枯死直前の部分からは *Trichoderma*, *Mortierella*, *Penicillium* などの生長が速い土壤菌が数多く分離され、種類と出現頻度が上昇した。このような枯死根の断片からも数多くの糸状菌が分離された。

微生物の分離に用いた根は表層に分布する樹皮を形成していない若い根であったが、老化すると直ちに腐生性菌や病原性菌の攻撃をうけ急速に分解するようである。糸状菌の土壤中における垂直分布は根や落葉に由来する未分解有機物の分布にほぼ合致している。このクロマツ林のような貧栄養状態の処では鉍質土層の中でのクロマツの枯死根の量は直接微生物相の豊富さにつながっており、根とそれにとまなう菌糸体の増加は土壤の熟成に一役買っているといえる。

考 察

海岸砂丘にクロマツ林を造成する試みは江戸時代から行われてきたが、かなりの難事業であったという。自然状態で海岸砂丘が森林化するには測り知れない年月を要するが、それを短時日のうち成林させようとするのであるから困難な事業となるのは当然である。微生物から考えてもフロラの成熟は容易ではない。自然のサクセッションを重ねてでき上る林とことなり、その生態等には何がしかの無理があると考えられる。

一般のクロマツ林造成方法は次のようにして行われている。砂丘に海岸植生が生じ、植物群落によっていく分砂の移動が抑えられると、クロマツの苗を植栽する。植栽時には苗畑または林地から土壌を運び、植穴に肥料と共に入れる。時にニセアカシアを混殖したり、ワラなどで地表をおおったりすることもある。苗が生長し、枝が交差するころには草本植物もかなり繁茂するが、まだ落葉量は少なく、砂は移動しやすい。地表の温度、水分条件も変化しやすく、6～7年生のクロマツ林の微生物相は砂浜の微生物相にかなり近い(小川, 1978)⁹⁾。樹冠が重なる頃から急速に落葉がかたまり、厚い A_0 層が形成されることとなる。この調査を行った林は樹冠が重なって5～6年経過したクロマツ若齢林であるが、この頃から間伐を行って密度の調節がなされる。

汀線近い砂浜の微生物は斎藤(1955)¹⁰⁾によっても単純で、細菌と放線菌に占められており、糸状菌は少ない。著者ら(1978)⁹⁾によると硝化菌やセルロース分解菌なども少なく、偏った微生物相となっている。pHは中性である。セルロースを埋設しておいてもほとんど分解しないが、同じ砂浜でも植物群落の

ある所ではセルロースの分解も早い。砂浜に侵入する植物の根圏が土壤中の微生物の最初の基質となり、動植物の遺体や排泄物も同様に微生物の基質となる。

このような状態の場所にクロマツを持ちこんで育てなければならないが、先に述べた慣行的な方法は微生物学的にもよく考えられている。植栽されたクロマツの根はまず客土の中で生長する。この客土の中には微生物が豊富で、中でもクロマツの生長に必要な菌根菌が大量に含まれている。この調査地点に多かったキツネタケやクロトマヤタケは砂浜のきのこというより、むしろ苗畑のきのこである。また、客土によるものだけでなく、近くの林地から孢子が飛散してくるものもある。客土や苗についてきたものに外来者が加わり、フロラは豊かになる。細菌や放線菌が増殖し、窒素固定なども行う。

植栽後1～2年で細根の大部分に菌根が着生し、クロマツの根元近くの砂には菌糸が生長し、砂が安定し始める。客土から外へ広がる根にも菌根菌が菌糸束を作りながら随伴する。根からのびた菌糸は砂の中に広く生長し、栄養や水を根に送り、共生生活を始める。根が枯死すると、分解菌が増加し、土壤中の微生物相は多様化する。落葉が供給され、分解しはじめると、栄養源が増加するので、表層での微生物の繁殖が本格的となる。落葉を分解する菌は主に土壤中にいて、新鮮落葉に上昇し、つなぎとめて、分解するのが常である(小川, 1977d)”。

しかし、このクロマツ林のように表層土壤が未熟な場合には地表に分解菌がいないために落葉は腐朽せず、過剰に蓄積することとなる。施肥が盛んに行われると、地上部は落葉の分解能力におかまひなしに落葉を供給するので、A₀層が厚く堆積することとなる。海岸砂丘に造成されたこのようなクロマツ林では有機物を分解する微生物が少なく、放置した場合には落葉分解を順調に進行させるだけの微生物相や動物相が成立するのにかなりの時間がかかる。また、林内の温度や乾湿の変化もはげしいので、特定の微生物しか生存することができず、いきおい種組成が単純化することとなる。クロマツの単純林で土壤条件も単純であるために、元来菌根菌の種類が少なく、同じライフタイプを持つ菌根菌だけが増殖することとなる。

このように単純な微生物相は変化に対する適応力がなく、容易に変動する。このクロマツ林と対比して、林齢約25年生で長く放置状態にあった千葉県館山市近辺および九十九里浜のクロマツ林についてみると、林床の状態や微生物相の違いは大きかった(小川, 未発表)。A₀層は7～8 cmと厚く、F層は白色腐朽をする腐生性菌の菌糸によってフェルト状となり、水を透さず、不透水層が広く拡大していた。落葉分解性のシロオオハラタケ、ハラタケモドキ、サクラタケ、アマタケ、モリノカレバタケなどが多く、主にリグニンが分解され、酸性化が進む白色腐朽が優先していた。A₀層の土壤微生物相と鈹質土層の微生物相とがまったく異なり、不連続になって、C層では細菌や糸状菌のコロニー数が痕跡程度に減少した。菌根菌についてもこの調査のものとは異なり、菌糸の集合と分化が進んだ菌糸束を作って生長するテングダケ、ドクベニタケや、*Russla*属の菌が多くなり、アマタケ、ヌメリイグチなどの菌糸の分化がないマット状のコロニーを形成する菌は裸地状の場所に集中した。これらの林では実際にクロマツの樹勢が衰えており、枯損木が増加し、マツノザイセンチュウによる被害も見られた。A₀、A-C層などにあるマツの細根には黒色菌根が増加し、健全な菌根が減少した。この状態が持続すると病原微生物に対する抵抗力も下がり、おそらくクロマツ林は徐々に衰退してゆくものと思われる。さらに老齢化した林ではつる性植物やササが増加し、細菌と放線菌が優占する草地の微生物相に近づき、きのこ、とくに菌根性の菌が姿を消し、林地の特徴である菌が優占する微生物相が消える。放置状態におくと、衰退するクロマツ林を健全な

状態に止めておく作業が過去には落葉採取や除間伐などによって無意識のうちに行なわれてきた。うっぺい前後の若齢のクロマツ林での過剰に堆積した落葉の採取は有機物の過剰蓄積を抑え、腐生性菌や動物の異常増殖を制限し、逆に共生的な菌根菌の増殖を促してきた。地表を被覆する程度の A₀ 層によって細根は地表に上昇し、菌根菌が広がるのを助け、菌糸層の形成は砂の移動を抑える、いわば菌根菌主導型の微生物相が保たれていたものであり、このような状態はアカマツ林についても同様である (小川, 1977b)。

以上のように海岸砂丘に造成されるクロマツ林を健全に保つには、若齢時における間伐と A₀ 層の調節などによって、土壤中の微生物相を調節する必要があると思われる。間伐や落葉の除去が適切に行なわれれば、土壤の肥沃化が徐々に進行し、微生物相も急激に変化することなく、正常な遷移過程をたどることができるであろう。立地条件に合致した、植栽方法、管理方法、A₀ 層ひいては微生物相や動物相の調節が計画的に実施されるようになれば、クロマツ林の衰退を予防することも可能となるかもしれない。

謝 辞

この調査を実施するにあたり、調査地と調査のための便を与えられた神奈川県土木部湘南海岸整備事務所に謝意を表す。また、有益な助言や援助を与えられた現玉川大学教授 植村誠次博士、現北海道支場長 吉本 衛氏、林業試験場土壌微生物研究室 山家義人氏、校閲をいただいた土壌微生物部長 河田弘博士、土壌肥料科長 原田 洸博士に謝意を表す。

引用文献

- 1) IKEDA, S.: On the distribution of fungi in the sand dune soil. J. Jap. For. Soc. 36 : 221~224, (1954)
- 2) JOHNSON, L. F. et al.: Methods for studying soil microflora-plant disease relationships. Burges Pub. Co., (1959)
- 3) 小川 眞: アカマツ林における菌根菌—マツタケ—の微生物生態学的研究 II, マツタケの菌根, 林試研報, 278, 21~49, (1975)
- 4) ———: アカマツ林における菌根菌—マツタケ—の微生物生態学的研究 III, マツタケのシロ土壤と菌根における菌類相, 林試研報, 293 : 105~170, (1977a)
- 5) ———: アカマツ林における菌根菌—マツタケ—の微生物生態学的研究 IV, アカマツ林菌類社会におけるマツタケのシロ, 林試研報, 297, 59~104, (1977b)
- 6) OGAWA, M.: Ecology of higher fungi in *Tsuga diversifolia* and *Betula ermani*-*Abies mariesii* forests of subalpine zone. Trans. Mycol. Soc. Japan, 18 : 1~19, (1977c)
- 7) 小川 眞: 森林土壌におけるきのこ類の生態とその役割 (1) 生態研究法とその問題点, 土と微生物, 19 : 39~50, (1977d)
- 8) ———: 森林土壌の生態, きのこと, Urban Kubota, 14 : 2~8, (1977)
- 9) 小川 眞ら: 土地利用と微生物相, 森林立地, 19 : 10~21, (1978)
- 10) SAITO, T.: Soil microflora of a coastal dune I. Science reports of the Tohoku Univ. 4th series 21 : 145~151, (1955)
- 11) WEBLEY, D. M. et al.: Development of a soil microflora in relation to plant succession on sand dunes including the rhizosphere flora associated with colonizing species, J. Ecol. 40 : 168~178, (1952)
- 12) WOHLRAB, G. et al.: Distribution of fungi in early stages of succession in Indiana dune sand. Amer. J. Bot. 52 : 1050~1058, (1965)

Microbial Flora in *Pinus thunbergii* Forest of Coastal Sand DuneMakoto OGAWA⁽¹⁾

Summary

Pinus thunbergii is distributed along the coastal lines of Japan islands and has been planted in order to block sea wind, sand and tide. The forestation and preservation of the forests at sea coast have been an important problem for silviculture since historical days. Although most parts of the coastal sand dunes had been covered with pine forests for a long time, recently they have been attacked and damaged by harmful nematodes from the southern district gradually. So it is becoming an urgent problem to protect the pine forest from this destruction.

The purposes of this work were to obtain information on the soil microbial flora in the pine stand, and to clarify the causes of the heterogeneous distribution of soil microorganisms in simple forest ecosystem. SAITO (1955) reported the sequential changes of soil microorganisms from the open sand of the tidal line to inland pine forests. He recognized that the soil microbial flora changed according to the development of plant community, and soil fungi were dominant in the old pine stand. IKEDA (1954) studied the distribution of soil fungi in sand dune and reported the increase of the number of soil fungi in the forest.

WHOLAB (1965) reported that the soil microbial flora were developing with the plant succession in sand dunes. WEBLEY (1952) described the importance of rhizosphere microorganisms on the development of the microbial flora in sand dune. However, there is no available data on the ecological roles of the mycorrhizal fungi growing in the pine forest of sand dune, except for some lists of higher fungi collected from the forests. So, in this work the distribution of soil microorganisms including some mycorrhizal fungi and the relationships among them were studied.

The young pine stand, 12~13 year old, situates at Shonan beach in Kanagawa Pref., and it is about 200 m far from the tidal line. The saplings of *P. thunbergii* were planted densely, 10,000/ha, on the bare sand with fertile black soil and chemical fertilizer. The fertilization had been repeated through several years after planting, and the thinning was carried out at ten years after the planting. The pine trees were dwarf and exhibited poor growth; tree height 260 cm, the diameter of the bases 4.5 cm in average. Most of the area was covered with the crown of pine, but the density was reduced near the beach. The ground surface in the forest was covered with thick A₀ layer consisting of pine needles, and it could be divided to L and F layers. There was formed the thick mycelial layer in the upper horizon of sand, and it was 3 to 5 cm in depth below A₀ layer. Most of the forest floor in this stand seemed to have been occupied with such mycelial mat. Hydrogen ion concentration in A-C horizon was pH 6.5 to 7.2.

The methods of each experiment and survey are described in the tables and figures.

Received January 25, 1979

(1) Soil Survey Division

Results and discussion

1. Litter

The distribution of litter in the stand was heterogeneous according to the density of pine tree and microtopography. In the quadrat annual litter fall was 77 g/m², and 60% of the forest floor was covered with litter layer of more than 2 cm in thickness. Apparently the decomposition of needles progressed slowly, and the abnormal accumulation of undecomposed needles and the formation of thick mycelial mats were observed in F layer at the places covered with thick litter layer. The brown rot of needles was remarkable in this stand. Such a heterogeneous distribution of litter on the forest floor seems to be one of the major causes of the irregular distribution of soil microorganisms in pine stand.

2. Roots and mycelia in soil

Total amount of root was maximum in C horizon, and the fine roots including mycorrhizae increased in C₁ horizon, 5~10 cm in depth. The amount of mycelia and mycelial strands of some mycorrhizal fungi increased also in C₁ horizon in which the mycorrhiza formation was active. These mycelia of mycorrhizal fungi jointed sand and clay particles in mineral soil and improved the soil conditions. Under such a poor soil conditions as in sand dune, the mycorrhizal fungi seems to play the important ecological roles as one of soil microorganisms, not only on the nutrient supply for the host plants but also on the fixation of sand and soil.

3. Higher fungi

8 species of Hymenomycetes occurred in the quadrat; *Suillus luteus*, *S. granulatus*, *Lactarius hatsudake*, *L. flavidulus*, *Inocybe lacera*, *Laccaria laccata*, *L. amethystina* and *Rhizopogon rubescens*. Most of species formed their sporocarps mainly in autumn except for *Rhizopogon rubescens*, and the productivities of them were relatively high in the quadrat. From the occupied area the dominant species in this stand were *Laccaria laccata* and *Lactarius hatsudake*. The mycorrhizal fungi occurring in the quadrat exhibited the similar life types to each other. They preferred to inhabit from A-C to C horizons and formed the ectomycorrhizae of rod or fork shapes extending their mycelial strands from the fine roots through soil. Therefore, the territories of them were apt to overlap with each other, and the sporocarps occurred sporadically. It is sure that the heterogeneous distribution of soil microorganisms results partly from the occupancy of surface soil by some mycorrhizal fungi forming their mycelial mats, Shiro.

The mycorrhizal fungi such as *Laccaria laccata* and *Suillus granulatus* were introduced from nursery with the sapling's roots and black soil and became the dominant species at the early successional stage. According to the maturation of surface soil and the increase of fine roots in mineral soil, *Rhizopogon rubescens* and *Lactarius hatsudake* which were characteristic species in coastal pine forests joined to the fungal flora. At the more progressed stage where the forest floor was covered with thick litter layer, some saprophytes such as *Agaricus* and *Collybia* decomposing litter and forming F layer were covering the surface of soil, and the dominant species of mycorrhizal fungi were changing to *Russla* and *Amanita* (unpublished). It is probable that there is the succession of higher fungi progressing with the changes of soil conditions and plant community.

4. Soil microorganisms

The soil microbial flora in this stand was rather poorer than those in mountain areas with fertile soil, and the populations of fungi and Actinomycetes were relatively high com-

paring with that of bacteria. The horizontal distribution of soil microorganisms was heterogeneous, and the population of them varied with seasons. Moreover, the differences among the numbers of microorganisms were great at each sampling point in the quadrate. The microbial floras in the quadrate were divided into some patterns according to the compositions of microorganisms.

The compositions of microorganisms isolated from the soil of the bases of sporocarps were different from each other, and the specificities depending on the fungal species were recognized. For example, Actinomycetes was dominant in the territories of *Laccaria laccata*, and the similar trends were observed also in the ones of *L. amethystina*. In the mycelial mats of *Lactarius hatsudake* there was the strong depression of soil microorganisms, and the increase of soil microorganisms, and the increase of soil fungi was recognized in the one of *Inocybe lacera*.

These patterns of compositions of soil microorganisms at the bases of sporocarps coincided partly with the ones of horizontal distribution, and moreover with the territories of mycorrhizal fungi, when these results were checked with each other. Strictly speaking, there was no complete coincidence between the soil microbial flora of surface soil and the territories of mycorrhizal fungi, but it seems that the irregular distribution of mycelial mats of mycorrhizal fungi could become one of the causes of heterogeneous distribution of soil microorganisms.

The vertical distribution of soil microorganisms on the soil profile was regular, and the populations decreased according to the depth and the amount of organic matter. The patterns of distribution varied from season to season, and the numbers of fungi and Actinomycetes increased in October.

5. Litter decomposer

On the fresh needles of *P. thunbergii*, *Rhizopus* and *Trichoderma* were dominant, and bacteria and some microfungi increased on the dark brown needles according to the progress of decomposition. Soil fungi and bacteria became dominant in small fragments well decomposed, and the population in FH layer was almost similar to the one in A-C horizon. The soil microbial flora in mineral soil seems to be formed mainly by the litter decomposers moving downwards from litter layer.

6. Rhizoplane microorganisms

The frequencies which microorganisms were isolated from the root fragments were only 30% on the fresh root tips and the mycorrhizae respectively. This means the young fresh roots and mycorrhizae were free from soil microorganisms, and that the mycorrhizal fungi were one of the precursors of the rhizoplane microbial flora. On the other hand, the bacterial population around the fresh roots and mycorrhizae were rich and complex. These fine roots seems to attract some soil bacteria by the exudates from roots. On the older roots the population of soil fungi increased and the species composition became more complex than that on the fresh roots. The roots in soil are the important cause of the heterogeneous distribution and enrichment of soil microorganisms in mineral soil.

In the pine forests which were planted on the infertile soil such as sand dune, there are little microbial activities to decompose litter and only a few symbiotic fungi which have been introduced. So, under such a condition the accumulation of litter and the formation of undecomposed F layer progress rapidly, and the fungal flora become more simple than that in mountain area, being restricted by soil conditions. The soil microbial ecosystem in the forest is apt to change the unhealthy or unbalanced state, if it is not controlled. It may be necessary for the preservation of coastal pine forest to reduce the density of trees and to control the amount of litter and to maintain the nutrients in soil at the lower level according to forest age.