

Role of Ecology of Mushroom Types in Forest Soil

(I) Ecological research methods and their problems

M. Ogawa*

Fig. 1. Hypothesis of shape of rhizomorph, evolutionary development, from rhizomorph organized into fruiting body in nature.

Fig. 2. Site description. H.J. Andrews Experiment Forest, Oregon, USA, 1972
Position of trees and brush species in quadrat (20 x 30 m.)

Part of this figure inside the bold line are wet, the creeping brushes and mosses are not shown.

Ps: *Pseudotsuga menziesii*

Ts: *Tsuga heterophylla*

Be: *Berberis nervosa*

Ga: Ch: *Chimophila menziesii*

Fig. 3. Distribution of leaf litter. H.J. Andrews Experiment Forest, Oregon. 1972.

A₀ layer measured at edge of 50 cm thickness and draw level contour line and divided into 0-25 mm, 25-50 mm, 50-75 mm, 75-100 mm, 100 - mm.

Fig. 4. *Pseudotsuga-Tsuga* forest leaf litter decomposition in H.J. Andrews Experiment Forest, Oregon, U.S.A. 1972

*Soil Microbiology Laboratory, Government Forest Experiment Station.
Soil Microbiology, No. 19, p. 39-50 (1977)

NOTE: After March 1, 1978, the address will be - Forestry and Forest Products Research Institute, P.O. Box 2, Ushiku, Ibaraki, 300-12 Japan

Litter classified by sieve, decomposition of litter volume showed in percent. Samples were taken from 50x50 cm frame.

HJAI (litter thickness 3-5 cm)

HJAI (5-8 cm)

HJAIII (2-3 cm from falling logs)

HJAIV (0-2.5 cm)

Samples from four points in 450 year forest. MPI and MPII are from 150 year forest.

Fig. 5. Falling log distribution, J.H. Andrews Experiment Forest, Oregon, U.S.A. 1972.

450 year Pseudotsuga-Tsuga forest falling log distribution.

Black color - ancient advanced decomposing stage class

1 & 2 falling logs. White color - relatively new, no decomposition class 3 and above.

Table 1. Characteristics of process in decomposition of falling logs.

Fig. 6. Mushroom types distribution, H.J. Andrews Experiment Forest, Oregon, U.S.A. 1972.

From May to November, 1972, every 7-14 days collected and investigated and the location pinpointed. Part of the quadrat as shown in figure. Species names, see article.

Fig. 7. Distribution of mushroom in coast black pine forest.

Kanagawa prefecture, 1969-1970

△ Black pine

▲ 1-19: soil microorganism sampling location. Solid line A₀ layer over 2 cm, dotted line A₀ layer 0-2 cm, slant line open area. Estimated mushroom colonies only in solid line.

Sl. *Suillus luteus* (Fr.) Gray

Lh. *Lactarius hatsudako* Tanaka

Rr. *Rhizopogon rubescens* (Tul) Tul

Lf. *Lactarius flavidulus* Imai

Ll. *Laccaria laccata* (Fr.) Berk. et Br.

Sg. *Suillus granulatus* (Fr.) Kuntze

La. *Laccaria amethystina* (Fr.) Berk. et Br.

Table 2. Ecological characteristics of mushrooms found in quadrat

1969-1970 Kanagawa prefecture coast black pine forest

M mycorrhizal fungi

SM facultative saprophytes

HA, AC, C.. soil layers

Mat. fungal mat

Ecto. ectomycorrhizal

Fig. 8. Soil microorganisms in mushroom exudates (juice)

Kanagawa prefecture coast, October 20, 1970.

Sampling location as in Fig. 7 at depth 1-3 cm.

Isolation medium: soil extracts and rose bengal, peptone, glucose, Dilution plated method used. Bacteria and Laccaria type: $\times 10^3$ /g. dry soil, other fungi $\times 10^2$ /g. dry soil.

Fig. 9. Surface distribution of soil microorganisms in quadrat, Kanakawa prefecture coast, October 25, 1970.

Samples collected at Fig. 7 ▲ location by sterile tube. Use isolation medium as described in Fig. 8 with dilutions plate method. B. bacteria, A. Laccaria type: $\times 10^2$ /g. dry soil.

Fig. 10. Vertical distribution of soil microorganisms in coast black pine forest. April 1, and October 25, 1970.

Samples collected from soil profile previously described, dilution plate method used for isolation.

Fig. 11. Vertical distribution of black pine roots and fungal mycelium.

Kanakawa prefecture coast, November 4, 1970.

Distribution of black pine roots, use frame method to measure root size.

Fungal mycelium from 500 g. soil, use sonic bath to wash out and took measurement.

Literature Cited

1. Ogama, M. Forest Experiment Station Report 272:79-121 (1975)
2. ———. Forest Experiment Station Report (in print) (1977)
10. ———. Mycological Society of Japan. Special Seminar (1974)
11. ———. Urban Kubota, No. 14, 4-7 (1977)
12. ———. Forest Experiment Station Report (in print) (1977)
14. ———. 84th Proceedings of Japanese Forestry Association, page 114-116 (1973)

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

小 川 真*

はじめに

高等菌類、いわゆるきのこ類の自然界における役割は物質分解、共生、寄生現象などを通じて広範囲に及んでいる。自然生態系の中でも安定度の高い森林生態系はきのこ類にとって好都合なすみかを提供しており、材、落葉落枝、その他の植物遺体や動物排泄物の分解者および外生、内生菌根のパートナーとして物質循環や生物相のバランスの維持に貢献している。

森林の土壌微生物の役割の重要さやきのこ類の働きについては度々論じられてはいるが、現在までの所、論にとどまっているものが多く、フロラについての報告程度にとどまっている。物質分解や共生微生物について生態学的に取り扱ったものはごく僅かである。林業林学の歴史の中でも微生物の研究がまともに取り上げられたことは稀で、技術との結び付きもほど遠く、多分に感覚的であるといわざるをえない。

きのこ類の個生態から群生態におよぶ研究を始めたきっかけはいわゆる林業サイドからの必要によるものではなかった。1つはマツタケの土壌中における生態を知ることから始まり、林地でこの菌を増殖させるためにはきのこ類を含む微生物間の競合を知る必要に迫られたためである^{1),2)}。もう1つは植物生態学や動物生態学のサイドからの強制的ためであった。物質循環モデルの作成やIBPの一連の研究を推進させるためにはきのこ類を含む微生物に関する知見を必要としており、シミュレーションモデルのブラックボックスを充填する必要が生じたためである^{3),4)}。

きのこ類の個生態や森林内のフロラの調査例、樹種との対応関係をみた例などはかなりの数にのぼっている。しかし、一般には他の生態学分野と連結させるべきデータに欠いており、生態学の中にきのこを折り込んだ研究例はとぼしい。ここでは、一般的なきのこに関する解説は省略し、2つの例をあげて、きのこ類を

生態学の中にくみこんで研究しようとした試みを示すのにとどめる。1つの例はダグラスファー—ヘムロック天然林の複雑な生態学と、海岸砂丘のクロマツ人工林のもっとも単純な系における例とである。従来手がけてきた森林はブナ、シイ、コナラ、アカマツ、スギなどの林であるが、いずれの場合にも高等菌類はかなりの量に達し、種構成は樹種に対応し林内での分布は不均一になるという原則が見られた。ただし、生態学の中でどのようにこれらのきのこ類をとり扱い、データをどのように処理するかというのはまだ将来の問題である。一般化しうるほどに例は多くない。

この報告はきのこ類の生態とその役割についての一連の研究のはじめに当るものであり、落葉分解や材分解、共生などについては後に報告することとしたい。この報告内容はU.S.A., IBP(国際生物事業計画)および神奈川県 委託によるものである。Dr. J.M. TRAPPE, Dr. R. FOGEL, 植村誠次博士、神奈川県関係各位に謝意を表する。

I. きんこ類の個生態

個生態について比較的良く研究されている例はマツタケ¹⁾、シバフタケ⁵⁾、ヒダハタケ⁶⁾などである。種の生態的性質についてはBULLER⁷⁾の一連の報告があり、日本では増井⁸⁾、浜田⁹⁾、小川^{10),11)}などが幾種類かについて報告している程度である。

きのこ類を生態学的にとり扱い、その役割を理解するためには個々の種の生態的な性質を知る研究、いわゆる個生態学的研究が先行しなければならない。群生態学的な見方から、森林の微生物を扱おうと試みるなら、まづ目に見えるきのこを無視するわけにはゆかない。経験的に知られるようにきのこは毎年ほとんど同じ場所に出てくる。注意深く観察していれば、数年間、長ければ10年以上にわたって、場所を少しづつ動きながら、ほぼ同じ所にでる。きのこ狩の名人はいつ、どの山のどこへ行けば、どのきのこがとれるということを知っている。この辺りが研究の糸口になる。経験が

* 農林省林業試験場、土壌微生物研究室
土と微生物 第19号、39-50 (1977)

教えるようにきのこの大部分は多年性で、胞子に頼らなくとも、菌糸のまま土壌や材などの基質の中に生息して生存することができる。生活の本体は土壌中にあり、明らかに土壌微生物の1つである。菌体は比較的発達しており、環境の変化にも適応して耐えることができる。

土壌中の菌糸を追っかける研究は長い間敬遠されて来た。見ている本体が何物かを知る足がかりがないとされたからである。ところが、一見変哲のない菌糸や菌糸束にも特徴があり、生態的性質が土壌中でも見分けられるほど違っていることが、多くの例を知ることによって明らかになってきた。方法上には多くの問題もあり、推量の域を出ないことも多いが、菌類生態の一端を述べる。きのこ類の生態学的とり扱いを始めたのはこのきのこ類の種の生態的諸性質が安定していることを認めたためである。

1) 菌生態調査の方法

きのこの発生位置に数日間続けて観察するのが望ましい。菌糸の分布と菌糸束の数を数え、比較して生態的性質を推定する。野外で観察する場合は、土壌などを記

載し、きのこの発生位置図を作る。土壌中の菌体の布状態、シロの形態、菌糸束、生息位置、基質、判される野外での機能、寄主植物、菌根の形態などを載す。

室内では菌体もしくはシロの各部分からとった菌や菌糸束、菌根、分解している基質などを観察記録する。試料は洗剤や超音波を使って水洗し、適宜染色を使用し、顕鏡する。一方、可能な限り、子実体の組織、胞子などから菌糸を分離培養し、培養菌糸の形態、生理的性質なども必要に応じて記載する。使用する地はグルコース10g、ドライ・イースト5g、寒天g pH5.5、水1lのものがもっとも簡便で実用的である。分離方法や培地は菌によって異なり、菌根菌の分離はむづかしい。

2) きんこの生態的性質

これまでに著者自身で調査した約550例と他の報から、自然界でのきのこの菌糸集団、シロ、の形態図1のように画くことができるようである。菌類の初的なコロニーは放射状にのびる菌糸から成る円形で、繁殖器官が容易に形成されれば、このような

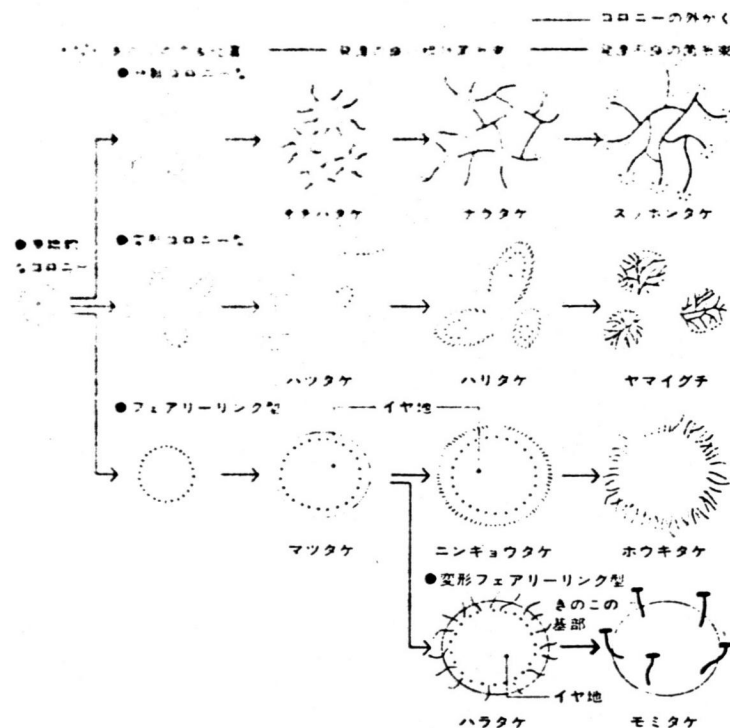


図1 自然界でのきのこ類の菌糸集団(シロ)の形と、発達過程進化するに従って、菌糸束などの組織化した器官ができると仮定して配列したもの

のコロニーで増殖することができる。かびもしくは進化していないきのこ類、担子菌のごく一部と子のう菌、ではこのような形が一般的である。

これから進んで、小コロニーが分散し、次第に菌糸束から根状菌糸束を作ってゆく分散コロニー型がある。この場合には基質の分布が不連続で、菌が特異な基質を利用する場合であり、最終的には根状菌糸束に内部分化が見られる。菌根菌であれば典型的な外生菌根を作る。

もう1つは菌糸が放射状にのびず、基質の分布に沿って、菌糸束を発達させないで広がる変形コロニー型である。この場合には根状菌糸束の形成はなく、よく発達したものでも短い未発達な菌糸束がホウキ状や樹枝状に広がる形となる。菌根菌の場合には根にそってホウキ状に菌根を形成するものが多く、擬菌根を作ることも多い。

菌糸束の形成が悪く、形成されても未発達で、コロニーの末端にのみ見られるフェアリーリング型がある。この場合にはいわゆるイヤ地がシロ内部にでき、コロニー内の微生物相に特徴のあるものが多い。腐生性菌の場合には一様に分布する草の根を利用したり、種類をとわず、落葉落枝を分解できるものが多い。菌根菌の場合には寄生的でテング巣状に連続的に生長する菌根をつくり、菌糸層は例外なく、A層以下となる。中には子実体を形成する場合にのみ根状菌糸束ができたり、子実体の“根”を作ったりするものがある。

上述のように土壤中や基質の中の菌糸の形態は基質のあり方とかなり相関があり、さらに他の微生物との関係とも相関が高い。特別の移動、輸送の器官をもたないシロを形成する菌では多くの場合他の微生物を排除する能力が認められる^{3), 12), 13)}。菌糸束や根状菌糸束を形成する能力のある菌は有機物が多く、競争相手の多い位置でも生長し、領域を拡大することが可能となり、物理的条件の悪いところへもナラタケの例に見るように広がることができる。

腐生、共生、寄生のように異なる性質、機能をもった菌類が自然界では基質となるものの存在形態や敵対者との関係で、高等な植物や動物に匹敵するほどの適応能力を示し、広く森林土壤中に分布し、生息する。菌糸体で拡大生長する一方、いく種類かの孢子、菌核などによる繁殖手段も発達しており、環境の悪化を逃れる多くのバイパスを具えている。菌糸体、繁殖器官、基質のとり方など主な性質の相互関係を追うことによってきのこ類の生活の進化を辿ることもあながち不可能ではないかも知れない。

上述のようなきのこ類の個生態についての知識をも

とにして、以下に述べるような調査を行った。

II. ダグラスファー—ヘムロック天然林

場所：カスケード山脈西斜面、標高約 500 m H.J. ANDREWS 実験林、ユージン市東郊、オレゴン州、U.S.A.

林令：約 450 年、ダグラスファー *Pseudotsuga menziesii* の古いものは樹令約 600 年、ヘムロック *Tsuga heterophylla* は約 150 年。

植生：クライマックス林ではなく、ヘムロック純林へと移行中。ダグラスファーは 100~150 本/ha、最大のもので胸高直径 155 cm、樹高約 80 m に達する。ヘムロックは 400~500 本/ha、胸高直径の平均 40 cm、樹高 34~40 m で中層を形成する。林内は暗く、かん木類は少ない。ジャクナゲ、ツツジの類、ヒイラギナンテン、*Vaccinium* などが主で、林床はコケ類やオウレン、スミレの類におおわれる。

気象：大陸型気候のために乾季が明瞭で、5月から10月初旬までの雨量は例外的なシャワーを除いて0になる。8月、9月の地表はA層上部で含水率18%まで低下する。秋から翌春までは雨が多く、12月から4月末まで雪におおわれることが多い。温度は真冬で-30°Cまで低下することがあり、夏には40°C近くに達する。夏の昼夜温度差は25°C程度になる。したがって、この地域の植生はきわめて単純となっており、山麓の大部分はダグラスファー林になる。植物の種類もきわめて少ない。

調査の方法

堆積腐植や植物の分布状態や植物の種組成を菌類と同一レベルで最終的に扱うことができるようにするため、すべてにわたって30×30 m 内、小区画2×2 m の方形ワクを使用し、マッピング法を採用した。

1) 樹木、かん木、草本性植物、蘚苔類などはすべて地図上におとし、同一縮尺で照合しうるとり扱った。立木は毎木調査を下層植生については草丈、本数、種類組成をできるだけ詳しく調査した。かん木類の根については堆積腐植の量的測定と同時にを行った。

2) 堆積腐植の厚さはコードラートの全面にわたって50 cm 毎に測定し、地図上に書き、等高線状に図示した。代表的な厚さの4~5点をえらび、50×50 cm のワクで堆積腐植を層別に採取し、A層については10 cm の深さまで採取した。有機物と根は水洗してとり出した。風乾後、堆積腐植はフルイ(10, 15, 20, 32 mesh)

でフルイ分け、全量に対する各画分の%を出して図化し、分解型として示した。

3) 倒木は地上にあるものから埋没しているものまで、くさり方の進行程度によって5段階にわけ、地図上に図示した。埋没したものは検土杖で調査した。

4) 根および菌根については堆積腐植測定の際に洗い出して測定したが、菌根、菌糸束、菌核、細根などについては10×10×10 cmの箱を用いて、2)の代表的地点で試料を採取した。洗浄後実顕微鏡下で抽出し、乾燥重量を測定した。この値をもとにして面積当りの量に換算した。

5) きこの類の発生量および発生位置のマッピングは雪どけと同時に1972年4月末に開始し、発生盛期には週1度、夏や冬には20日に1度程度行った。1973年3月上旬で調査を終った。1ヶ年では調査期間が短かく、この仕事は未完成である。子実体発生本数、種名、発生量は年間を通じて記録し、各種の生活型についてはIに述べたのと同様の方法によって記載した。未同定のものを数多く含んでおり、生態的性質の記述が不完全なものも多いので、この報告では概要を述べるのにとどめた。

落葉分解微生物や土壌微生物相についての調査は予備的に実施したが、完了していない。

調査の結果

1) 植物のコードラート内における分布は図2に示した。植生調査結果の詳細は主題を離れるので省略する。

2) 堆積腐植の分布と分解型

堆積腐植の厚さの分布は図3にその一部を示す。に等高線状に画くことができた。コードラートの%を0~25 mmのうすいA₀層がおおっており、そのような場所では藓類と草本性植物が多くなった。25~50 mmの厚さのA₀層はコードラートの56.2%をおった。50 mm以上の厚さのA₀層が分布する所はグラスファアの根元で、樹令450年以上に達するた1 mをこす厚さのバークの堆積がみられた。

区分された厚さの段階から古い倒木の上から代表的な地点でA₀層を採取し、その内容を分画した。面積とこの代表地点からのA₀層量とから概算すると、この林では乾燥重量で40 ton/haの堆積腐植量になることになった。

このような堆積腐植の分解型を示すと、図4のようになった。Lは10 mesh以上、F₁は10~15、F₂は16~20、F₃は20以下の粒子である。いづれの点でもの大きいものが高い比率を占め、F₂、F₃などの率昇することはなく、分解が順調に進行していると

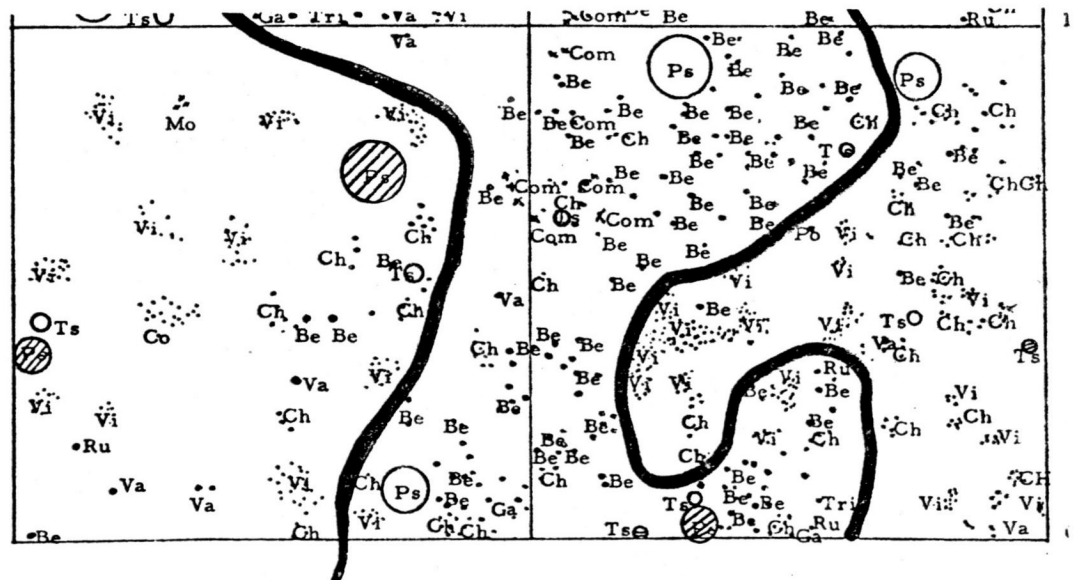


図2 植生図, H.J. ANDREWS 実験林, Oregon, U.S.A. 1972.

コードラート (20×30 m) 内の樹木とかん木の位置を画いた

図の一部, 太い線の内部は湿潤で, 地表をはうかん木におおわれた。藓苔類分布図は省略。Ps: *Pseudotsuga menziesii*, Ts: *Tsuga heterophylla*, Be: *Berberis nervosa*, Ga: Ch: *Chimaphila menziesii* など

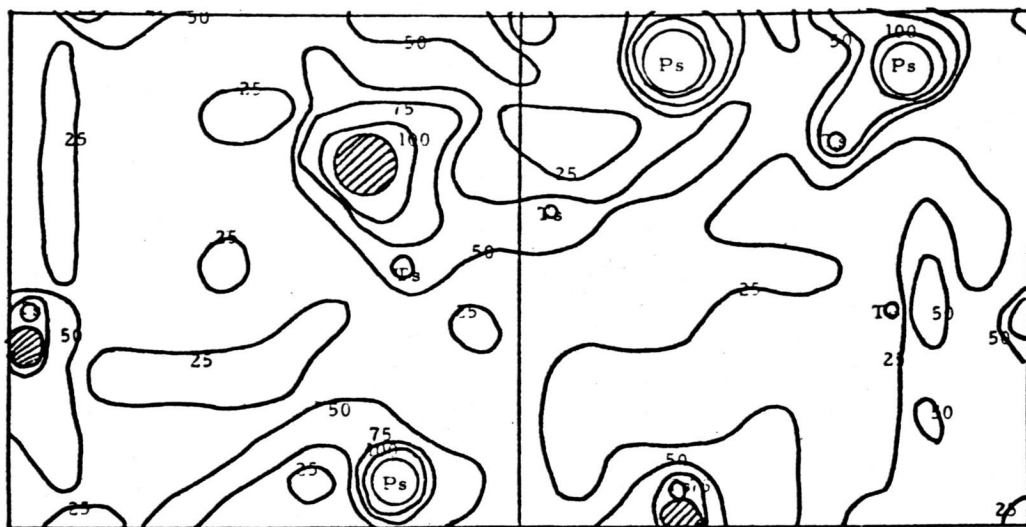


図3 堆積腐植の分布図, H.J. ANDREWS 実験林, Oregon, U.S.A. 1972.
Ao 層の厚さを 50 cm ごとの交点で測定し, 厚さごとに等高線状に分布を画いた。
0~25 mm, 25~50 mm, 50~75 mm, 75~100 mm, 100~mm にAo 層の厚さを区分した。

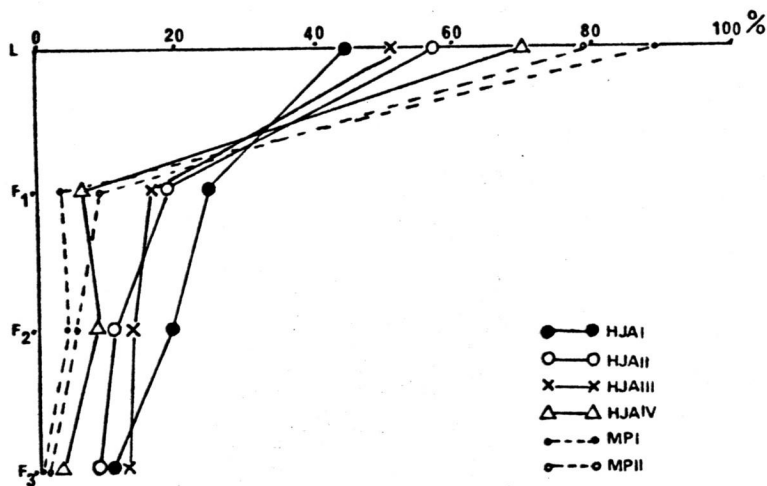


図4 Pseudotsuga-Tsuga 林における堆積腐植の分解型 H.J. ANDREWS 実験林, Oregon, U.S.A. 1972.
堆積腐植をフルイによって分画し, 分解型を堆積腐植の全量に対する各画分の%で示した。50×50 cm ワクによって試料を採取。
HJAI (堆積腐植の厚さ 3~5 cm), HJAI (5~8 cm)
HJAI (2~3 cm, 倒木上), HJAI (0~2.5 cm) の 4 点は 450 年生天然林から採取。MPI と MPII は 150 年生林から採取。

た。MPI と II は林令 150 年程度の若令林からとったもので、ここではさらに分解が良好であった。

堆積腐植の内容を細かく見ると、地表には褐色腐朽した材の断片、球果、バークなどの難分解物が多く、*Tsuga* の落葉のたまりが目立った。ダグラスファーの落葉量はすでに少なく、針葉樹の割には分解が早いと思われた。この林の A₀ 層では白色腐朽の大型コローニを作るような菌はほとんどなく、新鮮落葉につくきのこ類が目立ち、A₀ 層中の *Marasmius* などの菌糸束も少なかった。全般的に云って、きのこ主導の分解というよりむしろ、バクテリア、糸状菌による分解が盛んであると思われた。

3) 倒木の分布と分解過程

林令が高いために巨木の倒木が林床に目立つ。ヘムロックの若木は倒木上に列状に更新しており、我国の亜高山帯の針葉樹林の場合同様、根株や倒木上の更新が盛んであった。

倒木の分布状態は図 5 に画くように、23.6% とかなりの面積をおおっており、腐朽の進行した埋没材は A 層に完全にうずもれている場合もあり、表層土壌に大きな影響を与えている。倒木の下では土壌が酸性になり、材から B 層につづくこともあった。

分解過程は表 1 のように 5 段階に区分することができた。もっとも新鮮なものを class 5 とした。これは枝や倒木直後のヘムロックの材である。多くのダグラスファーは立枯れ後、倒れる。材の中はほぼ完全に褐色

腐朽しており、倒木後は辺材が腐朽するのが常であ class 4 も比較的新鮮な材のため、class 5 と同様、E にはバークがあり、木材腐朽菌以外の菌はつかず、物の生育もなかった。class 3 から材の腐朽は進み、ムロックの稚樹が材の上で育つ。大型の硬質菌やナタケなどが発生し、分解が進む。class 2 では材は壊し、くだくことができるようになり、木材腐朽菌の解がおわって、軟質菌や菌根菌が入り、ヘムロック育つ。class 1 はこれがさらに進んで、ほとんど土壌化したものである。

倒木の大きな特徴は土壌に比して極度に細菌、糸菌類が減少すること、酸性化が進むこと、含水率がく、年を通じてほぼ一定で、温度も冬季間高く保たることなどである。病害、乾燥、凍害などによわい葉樹稚樹の生育に好適な条件が倒木上にでき上る。

4) 根、菌根などの分布と量

根系の分布や根の全体量の測定と異なり、ここで題としたものは菌に関係が深いと思われる細根および菌根である。この林内でも通常の例と同様 A₀ 層内根量は A₀ 層の厚さと分解のされ方、ことに F~H の湿りに比例している。A₀ 層が厚くともバークがく、栄養分にとばしい所では細根量は減少した。

A₀ 層の厚さごとにサンプルをとり根量をはかり、当りに換算すると、A₀ 層から A₁ 層の深さ 10 cm まに分布するダグラスファーの 2.5~1.0 mm の太い根

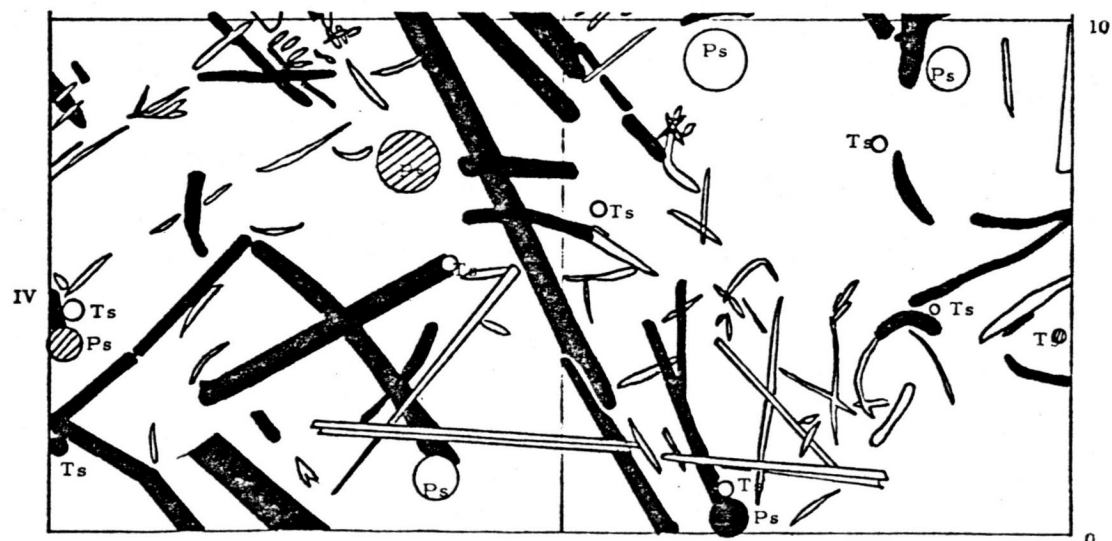


図 5 倒木分布図, JH.J. ANDREWS 実験林, Oregon, U.S.A. 1972

樹令 450 年の *Pseudotsuga-Tsuga* 林における倒木の分布を画いたもの。黒いものは、古く、腐朽が進んだ、class 1 と 2 の倒木。白いものは比較的新しく腐朽の進んでいない class 3 以上のもの。

表 1. 倒木の分解過程とその特徴

Class	1	2	3	4	5
Features					
Bark	absent	absent	absent partly	present	present
Rate of decomposition (%)	70~80	50	30	10	trace
Decomposed part	whole	whole	(sap wood) heart wood	(sap wood) heart wood	sap wood
Texture	soft, powdery	soft, blocky to small pieces	hard, larger pieces	intact, partly soft	intact
Color of decomposed wood	brown to dark brown (light brown)	reddish or light brown (reddish brown)	reddish brown or white (whitish brown)	white or fresh color	fresh color
Growing plants	shrub, herb, moss and saplings of conifers	shrub and seedlings of conifers, moss	seedlings of conifers	none	none
Invading roots	conifer and shrubs, larger to fine, mycorrhiza	conifer, fine root and mycorrhiza	conifer, fine root	none	none
Inhabiting fungi	<i>Cortinarius</i> <i>Collybia</i> <i>Cantharellus</i> <i>Marasmius</i>	<i>Cortinarius</i> <i>Mycena</i> <i>Marasmius</i> <i>Collybia</i>	<i>Polyporus</i> <i>Polyporellus</i> <i>Pseudohydnum</i> <i>Fomes</i> <i>Lentinus</i> <i>Armillariella</i>	<i>Cyathus</i> <i>Tremella</i> <i>Polyporellus</i> <i>Collybia</i> <i>Mycena</i> <i>Pseudohydnum</i> <i>Polyporus</i>	similar to 4
pH, 5~10 cm Depth	4.5 (3.5)	4.0 (3.5)	4.55 (3.75)	 (4.2)	 (5.7)
Water content % in dry season	30.5	48.1	69.8	24.6	25.0
Age, year	100~200 (~50)	50~100 (20~50)	25~50 (10~20)	5~25 (5~10)	0~5 (0~5)

() : ツガの場合

主として *Pseudotsuga menziesii* について、一部に志賀高原、*Tsuga diversifolia* の例を含む。もっとも腐朽が進んでいる倒木、class 1 とし、新鮮なものを class 5 として 5 段階にわけた。

1005.9 kg, 細根は 234.6 kg あり、枯死根の量が前者で 1923.8 kg, 後者で 100 kg となった。ヘムロックの根は太いもの 1740 kg, 枯死根 75 kg, 細根 405 kg, 枯死根 29.3 kg とダグラスファーに比して枯死根が少なく, A₀ 層に細根が集中した。他の植物根は 269.7 kg と少なかった。表層土壌の根の総量は 6837.2 kg/ha に達した。

菌根について詳しく見ると、菌根を直接発生させる程度の太さのダグラスファーとヘムロックの根の量は いずれも 1000 kg/ha にちかく、前者の菌根は 609.1 kg, 後者のものは 498.4 kg となった。これらの菌根をつくる菌は *Ramaria*, *Russlla*, *Cortinarius*, *Hydnum*, *Tricholoma* などであった。両樹種の根に黒色の菌根を形成し, A₀ 層内に多量に分布する *Cenococcum* の菌根

は 4145.7 kg/ha にも達し、その菌根は 209.2 kg, 菌糸束は 69.6 kg にもなった。

菌根の測定に当ってはランダムサンプリングによる方法は菌根菌や菌根の分布から考えて望ましくない¹⁴⁾。フェアリーリング型の菌根菌の場合にはリングに沿って、コロニーを作る菌の場合にはその位置と量をたしかめてとりかかる必要がある。根量や菌体量、落葉の分解型を見る場合にも高等菌類の分布状態をまづ知っておく必要がある。

5) きこの類の分布、生活型と量

分布：林内におけるきのこの発生位置は図 6 に示した。単年の調査であるために菌の生息領域を正確に画くことはできなかった。また、2, 3 の種は土壌中で腐ったり、小動物にくわれ、測定できなかったこともある。

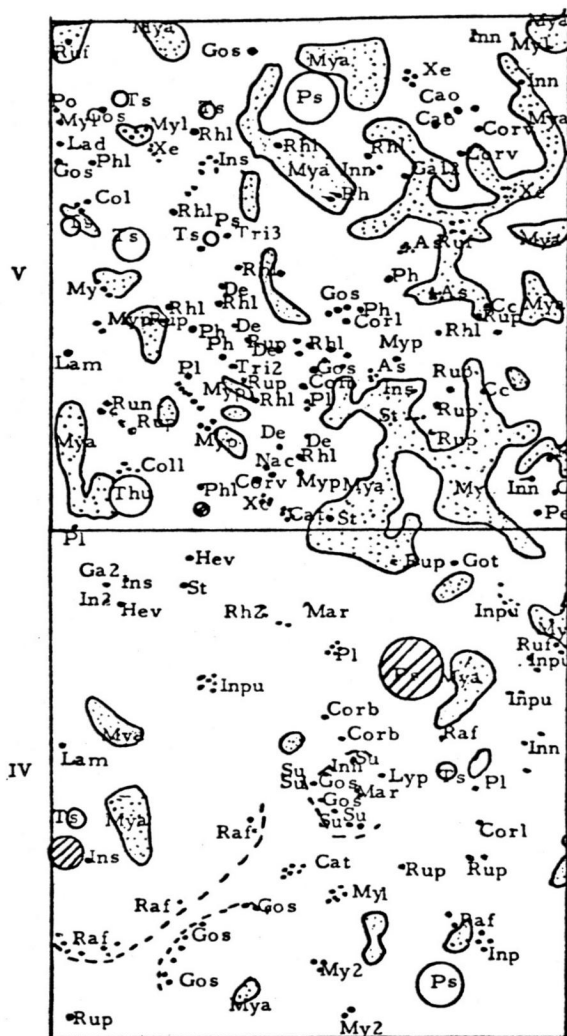


図6 きこの類の分布図。H.J. ANDREWS 実験林, Oregon, U.S.A. 1972.
1972年5月から同年11月まで、7~14日毎にきこの類を採集調査し、発生位置図を画いた。
30×30 m コードラードの一部を示す。主な種名は本文参照

図のように菌類の分布はその種の生態的性質によって不均一となる。とくに大型のコロニーやフェアリーリング、いわゆるシロを形成するものではその傾向が著るしかった。図の中に見られるこのグループの主なものには; *Raf*, *Ramaria flava*, *Gos*, *Gomphidius subroseus*, *Su*, *Suillus lakei* などであった。リッター分解をする *Mycena*, *Marasmius* などの小形の菌類で、一樣に分布する基質を分解するものや *Russla* のグループのように根状菌糸束を作りやすい菌根菌は比較的一様に分布した。材を分解する菌の生息位置は基質のある

所に限られ、菌は偏在した。図 6 に記した主なもの種名をあげると次のようになる。Mya, *Mycena atriboides*, Rup, *Russla placita*, *Russla flava*, Myp, *Ma pura*, Inpu, *Inocybe pucita*, Inn, *Inocybe manipi* である。他は省略する。

10 m×10 m のサブプロット 6 ケを対象として調査したが、全体で種類は 85 種、子実体本数で 3321 個。その他に小型のものの多数、重さで 4.9 kg/ha となったが、この量は同年の不良な気象条件のためにきわめて低い値であった。このうち 41 種が菌根菌、37 種が腐生菌であり、不明種が 7 種あった。重量では菌根菌のものが圧倒的に多く、3.8 kg/ha になった。菌根菌の中で実体の重量の多かったものは *Cantharellus cibarius*, *Gomphidius subroseus*, *Ramaria botrytis*, *R. flabellifera*, *Russula nigricans*, *R. placita*, *R. flava* であり、これらが優占種であった。いずれも大型のコロニー、シロコロ形成するが、広い領域を占める。腐生菌では木材腐敗菌が多かったが、地上性のものとしては *Mycena aestivae*, *Rhodophyllus* sp., *Xerompharina campocrepida*, *Mycena* species などが優占した。

生息領域では8種が材に、41種がA₀層に、36種は鉅質土層に生息し、A₀層に生息するものの大半は腐菌であった。このうち、落葉分解性菌は17種であった。地上性腐生菌と菌根菌の比率はほぼ1:1となり、互に示した様相を示した。根状菌糸束や菌糸束を作る菌は1種、シロを形成する菌は21種、小形のコロニーをつくるもの23種となり、この比率もほぼ1:1:1となった。詳細については省略するが、このフロラは長年の固定しており、分解も順調に進み、土壌条件がよいところに発達した典型的なものである。

一般に大型のきのこを生産する菌は土壌中でも大きなコロニーを持つが、広範囲に菌糸を広げるものである。小型の菌のコロニーは小さいかまたは短命で単性のものが多い。その年の気象条件によって発生量大きく左右されるので、むづかしいが、よく出た年子実体重量を見ると、ほぼ菌の占有面積率と一致するのが常である。本数はあてにならない。

きのこの発生は5月上旬に始まったが、すべて小の腐生菌で枝や葉や糞につくものであった。地中生 *Rhizopogon* などはリスやネズミにくわれ、小さな跡が目立った。7月から9月末までは全く菌の糸がなく、雨季と共にじまり、11月中旬にはほぼ終した。12月上旬まで残ったものは春にも発生したものであり、凍結寸前まで発生が続いた。日本の場合からべて、きのこの発生期間が明瞭であった。種数も物の種数にくらべると多かったが、単位面積当りの

は少なかった。

III. 海岸クロマツ人工林

場所：神奈川県湘南海岸、汀線より約150 m地点

林令：植栽後20年経過。クロマツ人工林。

植生：調査地点ではクロマツが1 m間隔で密植されており、植栽10年後に、約3割が間伐されている。樹高3~4 m、胸高直径は5~8 cmと生長は不良。道路沿いにニセアカシアが植栽されており、かほん科植物、ハマヒルガオ、ハマスゲなどが裸地に見られるが、密度は低い。クロマツの植栽時には根元に火山灰の黒色土壌と化学肥料が施用されたという。

風が強く、塩害、飛砂による害が見られ、道路がマツ林内を縦貫しているためにかなり被害木が見られる。天然林に比してきわめて単純である。排気ガスなどによる汚染もあると思われる。

調査の方法

植生や土壌の調査は通常の方法によった。

1) 林内に発生するきのこ類は1969年から1971年まで観察記録し、1969年と1970年の記録によってコードラート内の子実体発生位置とコロニーの位置のマッピングを行った。きのこの発生重量の測定は省略した。発生した種の生態的性質はIに述べたのと同様の方法で調査し、記録した。

2) 土壌微生物の分離は平板希釈法によって行った。子実体の基部の深さ約2 cmの砂を採取し、コードラート内の1 m毎の交点の奇数番目の点から深さ1~3 cmの砂をとり、微生物を分離した。コードラート外の土壌断面から層位毎に砂をとり、同様にして微生物の分離を行った。方法はいずれも平板希釈法である。培地は細菌、放線菌には砂の煮出し汁を入れた土壌煎汁培地を、糸状菌用にはローズベンガルを加えたワックスマン培地を用いた。

3) 落葉についてはワクを設け、年の落葉量をはかり、コードラート内ではA₀層の厚さをはかってマッピングした。2ヶ所で堆積腐植をとり、前述とはほぼ同様の方法で落葉の分解型を求めた。落葉の分解段階を4つに分け、細かく切断し、洗浄した後、直接培養法で糸状菌その他を分離した。

4) クロマツの根と菌根の量は先の土壌断面から50×50×5 cmのワクで採取し、測定した。ただし、菌体量は同一位置から500 gの砂を採取し、超音波洗浄で菌体を洗い出して測定した。クロマツの細根の根圏微生物は根端から枯死根まで生長の各ステージから分

離した。試料はていねいに水洗し、無菌水で洗い、切断後、小片を培地にうえつけて分離した。3) 4) に使用した培地は2) で述べたものと同じである。

調査の結果

植物相や土壌が単純な例として、主にきのこ相と土壌微生物との関係について述べることにする。詳細は後報告する。植生と落葉の分布は図7に記入した通りで、クロマツの密度は高い。落葉はクロマツのもののみで、分解は悪く、厚く堆積する所ではF層が数cmになり、H層やA層の発達ほとんどない。F層は白色の菌糸でつぶられ、A層の上層も落葉の下では菌糸によってかためられており、見かけただけからでもきのこ類が優占していることがわかる。落葉の分解は雨季に目立って進行する。

1) きこの種類

きのこの類の発生位置と推定される占有面積とを図7に、生態的特徴を表2に示した。発生した菌の種数はこの調査地全域でもわづかに18種にすぎなかった。こ

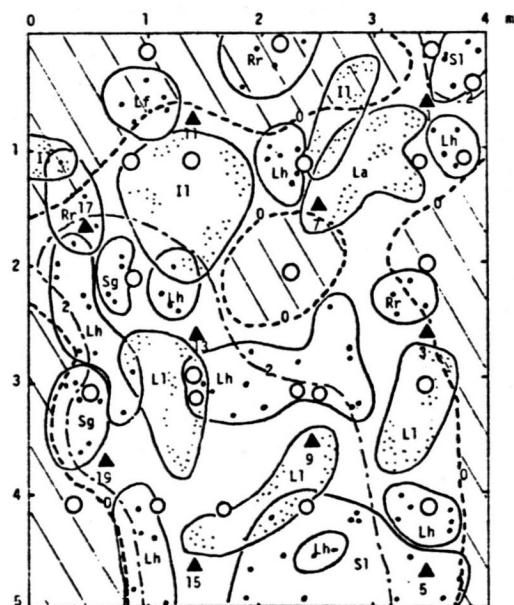


図7 海岸クロマツ林におけるきのこの分布 湘南海岸、1969~1970.

○クロマツ ▲1~19: 土壌微生物分離用試料採取位置、線でかこまれた部分はA₀層2 cm以上、点線でかこまれた部分はA₀層0~2 cm、斜線部分では裸地状態。きのこの推定コロニーは実線でかこんだ。
Si: ヌメリイグチ, Lh: ハツタケ, Rr: ショウロ, Lf: キハツタケ, L1: キツネタケ, Sg: チアワタケ, La: ウラムラサキ

表 2. コードラート内に発生したきのこ類の生態的特徴

Marks	Species name	Number of sporocarps	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

1969~1970, 湘南海岸クロマツ林, 種名略号は図7に用いた。M: 菌根菌, SM: 腐生的能力をもつと思われる菌根菌。HA, AC, Cは土壌層位, Mat: 大きい厚い菌糸層, Strand: 内部構造の発達しない菌糸束, Rhizomorph: 内部構造の発達した菌糸束, Ecto: 外生菌根, Fork, rod: 菌根の形, きのこの発生本数は1970年の分による。

のコードラート内には8種が発生した。各々の生活型はよく似ており, 多くのものが未発達な菌糸束をマット状のコロニーから発生させ, ある程度 A₀ 層内で腐生的生活をしていると思われる習性を示した。生息域は表層に集中し, 深い層へは根にそって菌糸を生長させる。すべて菌根菌と思われるが, 菌根の量は少なく, フォーク, 棒状などの菌根が分散形成される。このフロラはハツタケ-キツネタケに代表されるものであった。

類似の生活型を持っているために菌のコロニー, シロは比較的互いに重なり合わなかった。小形のきのこを作るキツネタケ, ウラムラサキ, などは他のシロの上に出ることもあり, ショウロのように菌糸が深く入るものもしばしば他の菌のシロと重なった。きのこ相と分布のしかたは先の例にくらべて, きわめて単純である。

2) 土壌微生物相ときのこ

きのこ類の菌糸が表層土壌にまんえんしているの, 当然その影響は他の土壌微生物にも及んでいるはずである。5種類のきのこの石づき(じくの下)から土壌をとって分離した結果を図8に示した。数度調査したが, ほぼ同じ結果がえられた。ただし, 採取位置の深さ, 上の落葉の状態などによっても大きくことなる。おのおの種は何となく独特の微生物相をもっているように見える。種の検討まではしていないが, 糸状菌, 細菌, 放線菌の組成には明らかなちがいがあった。均

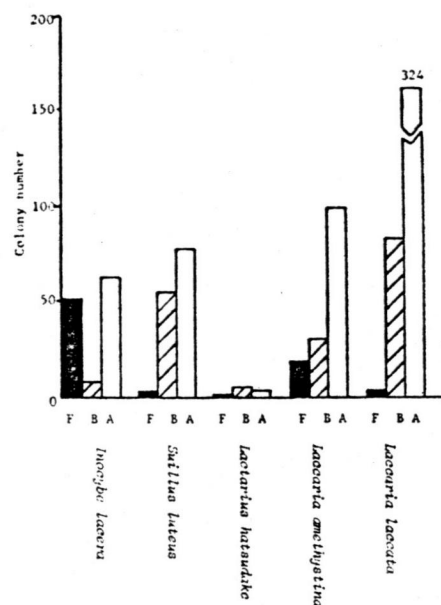


図8 きのこのシロの中の土壌微生物, 湘南海岸, 10月20日, 1970
試料は図7のきのこ発生位置の深さ1~3 cmの砂である。分離用培地は土壌煎汁培地およびローズベンガルを加えたペプトン, グルコース培地を用いた。平板希釈法による。バクテリア, 放線菌: $\times 10^3$ /g 乾土 糸状菌: $\times 10^2$ /g 乾土

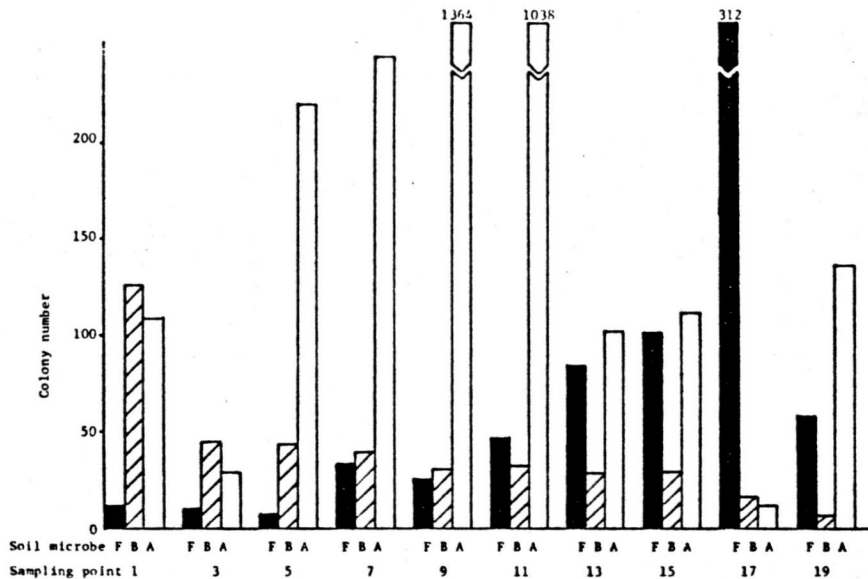


図9 コードラート内の土壌微生物の水平分布, 湘南海岸 19月25日, 1970
表層を図7の▲位置から殺菌チューブによって採取し, 図8に記した培
地で平板希釈法により微生物を分離した。バクテリア, B, 放線菌, A
: $\times 10^2$ /g乾土。

質な砂でこのような差があるのはやはりきのこの故と思われる。キツネタケは放線菌型、ウラムラサキも同様、ハツタケは抑制型、ヌメリイグチはこの場所の平均的なパターンに近く、クロトマヤタケは細菌抑制型と一応いえた。

一方、先の図7の1から19までの点できのこの発生に関係なく試料をとり、微生物を分離したのが図9に示す結果である。わづか10点でも微生物組成には大きな開きがあり、分布はひどく不均一であった。先の図8の結果と照合すれば、13, 15, 19はクロトマヤタケ型、1と5はヌメリイグチ型、7はウラムラサキ型、3はハツタケ型、9と11はキツネタケ型、17は該当するものがなかった。これをさらに図7と照合すると、1と5についてはヌメリイグチの発生位置に近く、7と9についてはおのおのウラムラサキとキツネタケの位置にあって一致した。11は不明、13, 15, 19はいずれもクロトマヤタケ型ではあったが、その位置にきのこの発生がなかった。この菌は菌糸層がわかりにくく、生態的性質が不詳のもので、これらの点にも菌体だけが分布していたかもしれない。

単純な系ではこのようにきのこによって土壌微生物相が特徴づけられ、不均一な微生物分布の大きな原因になっているともいえるが、この他にも落葉や根など微生物の基質となるものがあり、無視しえない。

3) 落葉や根の微生物と土壌微生物および菌体の垂直分布

落葉は厚いところで約 1.2 kg/m^2 になり、分解型は10~20メッシュのフラクションが多くなる分解不良型になった。落葉の分解過程は形態から褐色、暗褐色、暗褐色断片、黒色断片、腐植にわけることができた。この試料を水洗し、直接分離法で分離すると、糸状菌の出現頻度は分解が進むにつれてふえたが、この傾向は細菌ではさらに著しく、褐色葉で33.3%、腐植で86.6%と増加した。*Trichoderma*の増加も著しかった。落葉の分解過程に応じて、微生物の遷移が見られたが、このような落葉分解性または生息性微生物は鉱質土層の微生物やきのこ類にも影響を与えているはずである。

一方、クロマツの細根について見ると、葉と同様、根端、菌根、若い褐色の根、枯死前の黒色根とにわけられた。これから水洗と直接培養によって菌を分離すると後者ほど糸状菌数は多く、若い根と菌根で出現頻度が30% 黒い根で135%と変化した。*Trichoderma*は黒色根で増加した。このように表層土壌中に分布する細根も微生物相を決定する1つの要因となっており、枯死根量の増加は微生物量の増加をもたらす。

土壌微生物の垂直分布を見ると、図10のようになった。4月と10月ではかなり変化するが、表層10 cmまでにはほぼ分布が限られており、他の土壌に比してとく

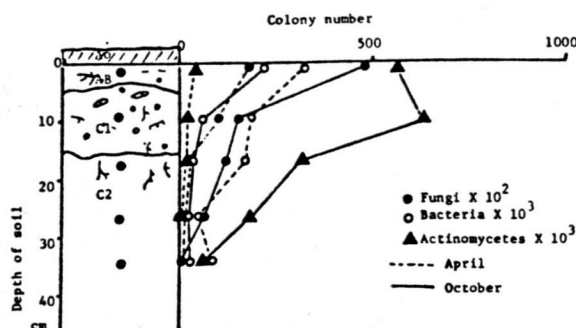


図10 海岸クロマツ林の土壌微生物垂直分布 4月1日, 10月25日, 1970.
試料は断面から採取し, 前記の培地で平板希釈法により分離した。

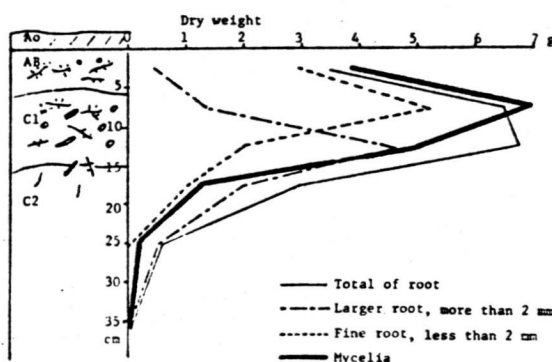


図11 クロマツの根および菌体の垂直分布, 湘南海岸, 11月4日, 1970
土壌中に分布するクロマツの根をワクドリ法によって採取し, 太さ別に測定した。菌体は500g中の土壌から, 超音波洗滌によってとり出し, 測定した。

に細菌は少くなり, 放線菌が増加する傾向が見られた。種類数も少く, フローラは変化にとぼしかった。このような分布のしかたは比較的厚いA₀層をもったところで一般的であったが, A₀層のない所では表層の微生物量が著しく減少した。

クロマツの根と菌体との垂直分布を見ると, 図11のようになる。この位置ではA₀層がうすかったために深さ5cmまでの根量が少ない。この砂浜ではA₀層が厚い場合でも, クロマツの根が多量にその中へ入ることはなかった。クロマツの太い根は深い層まで生長したが, 菌根を含む細根は深さ5から10cmまでに分布した。この分布は菌体量の分布と全く一致しており, 菌根菌の菌糸や菌糸束が細根に沿って深くまで生長す

ることがわかる。また, この菌体は表層土壌では比較的少なく, 図10に示した土壌微生物の量とちょうど交替しているかに見える分布を示した。ここでも土壌微生物ときのこ類との間には何らかのかかわりがあると思われる。

以上のように系が単純であれば, 生息するきのこ種も少く, 性質も類似したものが多く, 他の微生物とのかかわり合いも明瞭に現われやすい。複雑な系では微生物以外の生物, 無生物要因が複雑にからみ合っており, 微生物の種組成も働きも多様化することになる。

この仕事の目的は多様な環境要因のからみ合いを見ながら, 微生物, きのこ類を生態系の中でとらえようと試みることにあった。地上から地下に至るまで, 生態系を完全に解明し, その成り立ちを説明することは容易な業ではない。すべての要素を拾い上げることは不可能なことでもあり, 時として不必要でもある。現在では多くの調査項目のうち, その生態系, もしくは目的に必要な部分だけをとり出して仕事を進めている。森林生態系の中で微生物全般の役割を完全に洗い出せるまでにはまだかなりの時間と人が必要である。紙面の都合上, 多くの人によってなされたこれまでの研究成果をとりあげ紹介することができなかったことをおことわりしておく。

引用文献

- 1) 小川 真: 林試研報, 272, 79-121 (1975)
- 2) 小川 真: 林試研報 (印刷中) (1977)
- 3) FOGEL, R., M. OGAWA & J.M. TRAPPE: US/IBP Biome Int. Rep. 135 (1974)
- 4) OGAWA M.: Trans. mycol. Soc. Japan (in press) (1977)
- 5) WARCUP, J.H.: Ann. Bot. XV, 305-317 (1951)
- 6) LAIHO, O.: Acta For. Fennica 106, 5-67 (1970)
- 7) BULLER, A.H.R.: Research on fungi, Vol 1~6 (1934)
- 8) MASUI, K.: Mem. Coll. Sci. Kyoto Univ. B. III (2) 2: 149 (1927)
- 9) HAMAMA, M.: Jap. J. Bot., 10: 387-463 (1940)
- 10) 小川 真: 日本菌学会特別講演 (1974)
- 11) 小川 真: Urban Kubota, No. 14, 4-7 (1977)
- 12) 小川 真: 林試研報 (印刷中) (1977)
- 13) OHARA, H.: Proc. Japan Acad., 42, 5, 503~506 (1966)
- 14) 小川 真: 日本林学会講演集, 84回, 114-116 (1973)