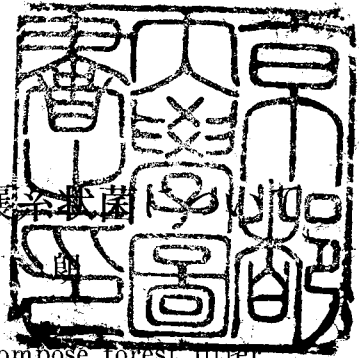
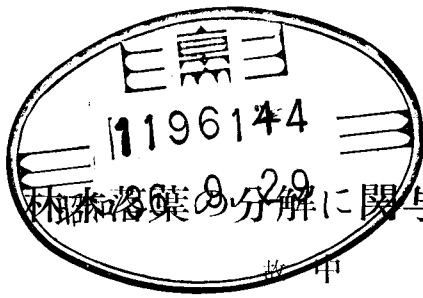




On the study of the soil fungi that decompose forest litter.

by

Late Jirō Nakayama

緒 言

森林土壤微生物に関する研究は従来かなりひろく行われてきたが、主として種々な条件下でどんな微生物がどの程度分布するかという点に注意が向けられていたようにみえる。

Cobb¹⁾ は北米での研究で森林土壤に分布する糸状菌のうち特に *Penicillium*, *Trichoderma* が優勢であることを認めたが、Jensen⁸⁾ はデンマークの森林土壤中には *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor* が多く認められたとのべ、また Niethammer¹²⁾ も中欧の各種森林土壤で同様の結果をえたほか、特に針葉樹林では *Fusarium*, *Cladosporium*, *Zygorhynchus* などが、広葉樹林ではさらに *Monilia* がしばしば認められたと報告している。Fehér³⁾ は北欧の森林土壤について微生物を調べた結果、一般に *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* の 3 属が主体をなすが *Trichoderma* は比較的少なかったと報告している点は上記の諸結果と異なっている。

わが国での研究結果は多くはないようであるが、中根、佐々木¹¹⁾ は北海道の森林土壤中では *Trichoderma*, *Penicillium* が多く *Mortierella*, *Mucor* がこれにつき他の菌種は少なかったことを明らかにしたほか、大政、河田、永島¹⁷⁾ は東北地方でアカマツ、ヒバ、ブナ、スギ林土壤の糸状菌のうち一般に *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor* が主要な地位を占めているようで *Aspergillus* その他は比較的少なかったと報告した。沖永¹³⁾ もまた岩手県下ではほぼ同様の結果をえた。最近池田¹⁴⁾ は鳥取県に於て砂丘土壤中では *Penicillium*, *Aspergillus* が多く *Mucor* がこれについだと報告した。なお特殊の土壤について齊藤²¹⁾ の結果がある。

Waksman³²⁾ は最近 30 年間の研究を一括し、その当時までに分離された 42 属 200 種以上に及ぶ糸状菌のうちで *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*, 及び *Trichoderma* の 4 属が最も普遍的であるが森林土壤では特に *Penicillium*, *Trichoderma* が優勢であつたとのべた。

このように種々の結果が報告されているが、森林土壤で一般に *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma* は普遍的な分布を示し、主要な地位を占めているものといえよう。

微生物の数及び種類は種々の土壤条件によつて変化することについては Waksman²⁴⁾, Jensen²⁵⁾ その他多数の研究があるが、さらに気温、降水量などの影響をうけることは Fehér⁸⁾ らによる微生物の季節的変動に関する実験結果より明らかである。従つて森林土壤の微生物の分布、数量的消長に影響する因子は多数に上り相当複雑な関係にあると思われる。Waksman³⁾ はある一つの土壤に生育する糸状菌はその地方の気候条件と同時に土壤条件、すなわち構造、酸度、湿度、有機物含有量、土壤に対する処理方法などの諸条件によつて左右され、これらの影響の下に明確な菌分布が存在すると考えられるとのべ、さらに土壤が肥沃である程糸状菌の種類及び数が多くなることを報告している。

その後多数の人々によつて糸状菌と土壤の諸条件との関係について実験が行われてきたがこれらの間に判然とした関係が確立されるまでには到っていないようである。

土壤水分量と糸状菌の分布とについて Cobb¹⁾ は概して含水量の大きいとき糸状菌数も多いとのべているが、Waksman は含水量と微生物の分布との間に特別のはつきりした関係はないようであるとした。これはおそらく土壤の水分量の変化は通気性や地温などにも変化をひきおこし、またその変化の程度は有機物含有量や土性など種々の条件によつて違ふなど他の因子の影響を同時にうけることによるのであろう。大抵は乾燥、高温の土壤では放射状菌や糸状菌類の作用が旺盛であり、多湿の土壤では比較的細菌の作用が著しいものと考えられるとのべ、また特に皆伐の影響をとりあげて調査した。Dubos²⁾ によると好気性細菌の最も生育のよいのは土壤容水量の50~80%のときであり糸状菌は50~90%、放射状菌は50%であつて放射状菌が比較的乾燥に耐えることが示されている。Fehér³⁾ もまた地温の上昇とともに微生物数は増加するが降水量が少ないときは土壤水分が制限因子として作用することを認めた。

土壤の pH 値の影響についても多くの結果がありある程度のあることが知られているが、これが常に決定的な影響を与えているかどうかは疑問のようである。Fehér は pH 値と糸状菌の消長とは密接に関係するが、しかしこれは糸状菌の活動によつて有機物が分解をうけ従つて pH 値が変化することによつてひきおこされることが多いようで、pH 値によつて糸状菌数が左右されるというよりもむしろ糸状菌の活動によつて pH 値が変化すると考えられるとのべた。有機物の分解によつて pH 値が変化することは Waksman²⁷⁾ その他によつても明らかである。Cobb もまた pH 値の関係ははつきりせず糸状菌の pH 値に対する適応範囲は相当広いとのべている。しかし pH 値は糸状菌分布に全く影響がないとはいえない。Waksman²⁴⁾⁽²⁵⁾⁽²⁷⁾ は糸状菌の生育を左右する重要な因子として pH 値をあげ Jensen は原始林土壤で pH 値と糸状菌分布との間に関係は少ないが pH 値が 5.8 以下になると糸状菌に対する細菌及び放射状菌の割合と pH 値に高い正の相関関係が存在することを認めた。Fehér³⁾ もまた緯度が高くなるにつれて粗腐植の堆積が多く pH 値が低下するがこのことは糸状菌の生育に有害な作用を与えないようで、従つて北方の林地では全微生物の中で糸状菌の占める割合が増大するとのべた。しかし同時にこのような現象のおこるのは pH 値の低下のみによるのではなくて低温のために細菌数が減少するため、細菌数の減少と同様に糸状菌数が増加するためではないとした。このように pH 値と糸状菌の生育との間にはある程度のある関係が認められたとしても明瞭さを欠く場合が多く、野外での観察結果では温度、水分などの諸因子の影響によつて打消されてしまうことが多いようで、特に個々の糸状菌との関係についての報告は少ないようである。

土壤糸状菌の分布についてはさらに養分関係が重要である。有機物含有量はそれ自身が微生物に対するエネルギー源及び自体の構成物質源であると同時にそれが土壤条件を変化せしめる点でも微生物の分布に影響を与える。

土壤の深さを増すと微生物数は減少し糸状菌も同様に減少することはよく知られた事実であるが、Cobb¹⁾ はこの現象は有機物含有量の変化と関係のあることを指摘した。しかし深さの違いによる変化は単に有機物含有量の相異のみではなく、通気性など種々の因子を含むと思われるが、一般に有機物含有量の多いところで糸状菌数も多くなることは Cobb のほか Waksman、沖永その他多くの研究で認められ、また土壤にセルローズその他の有機物を加えると糸状菌数が増加することはよく知られた事実である。有機物分解の進むにつれて微生物の数、種類は変るが、有機物分解による CO₂ 発生量と微生物数量の両者の最大値のあらわれ方に差異があるようで扁平法で微生物数を算定するとその最大値のあらわれる時期は CO₂ 発生量の最大値のそれより約 2~3 週間おくれることを Vandecaveye and Katznelson²³⁾ が見出しているが、一般に概略的には土壤からの CO₂ 発生量と微生物の活動性とはほぼ平行すると考えてよいようで、Waksman²⁶⁾ かもこの両者の間に平行的な関係のあることを見出している。

この他無機養分量もまた微生物の生育に影響するようで Waksman、Jensen も肥料を施した土壤に

糸状菌の増加することを認め、その他種々の施肥の効果を調べている。Power and Bollen¹⁸⁾ もまた土壌中の塩基、窒素含有量によつて糸状菌の flora が変ることを認めた。しかし Jensen⁸⁾ も指摘するように肥沃地よりも瘠悪地で微生物数が多い場合もある。

この他なお多数の研究はあるにしても造林学的に極めて重要な落葉落枝の分解及びその腐植化と関連した森林土壌糸状菌の組織だった研究には乏しいようである。この研究はアカマツ落葉を主として林木落葉の分解に関与する糸状菌の分析を、先づ実験室的に一定された条件の下で行い落葉の分解と相関連せしめながら糸状菌の作用、変化の様相を知ろうとしたものである。

本実験で糸状菌の分類には主として Gilman,⁴⁾ Niethammer,¹²⁾ Raper and Thom¹⁹⁾²⁰⁾ 及び小原⁹⁾ の文献を参考とした。なお糸状菌の所属位置が不確実のものは属、種名に(?)を附しておいたが、後に所属位置のはつきりしたものは本報告では(?)を除いた。

この実験は森林土壌の微生物に関してさらに大きく発展させるべきものであるが、中山治朗助教授は1954年8月急逝されたので現在までの業績を堤利夫がとりまとめ報告することにした。故人の実験結果に対する考察、その他詳細については既に林学会等に発表された報文などに頼るより他に方法がないのでこれらの結果を詳しく考察して故人の考えを忠実にまとめあげることは甚だ困難である。従つて既に発表された報文、すなわち

(1) 林木落葉の分解に関与する土壌糸状菌について 第1報 日本林学会関西支部四国大会研究講演集

(2) 同上、第2報、62回日本林学会大会講演集

(3) 同上、第3報、日本林学会関西支部大会講演集第3号

(4) 同上、第4報、63回日本林学会大会講演集

の原稿を参考とし実験結果を主体とした。この他古谷竜男(京大卒論483号)、滝川勝弘(京大卒論511号)の業績は故中山助教授の計画指導の下で行われたもので本研究の一環をなすものであるから、これらをあわせて、ここに同氏らの協力を得とりまとめ報告することにした。これらの結果がこの方面の研究に何らかの参考となれば望外の幸いである。

なおこの研究を広く指導された沼田名誉教授、発表の機会を与えられた梶田、上田両教授、とりまとめに有益な助言を下さつた四手井教授及び実験に協力した古谷竜男、岡田滋、滝川勝弘の諸氏に深く感謝の意を表する。

第I章 京都附近二、三林分の土壌糸状菌の種類について

林地または落葉層で生育する土壌糸状菌は土壌の性質や Waldstreu の性質によつて著しい影響を受けその種類や数量が変化するばかりではなく、温度、水分、通気等の環境条件によつても大きな作用を受けるので、色々な林地で相当糸状菌の分布の様相が違ふのみでなく1つの林地についても土壌層や季節が違ふと数的に大きな差異があつたり全く別種のもが見出されたりすることが多い。

ここでは先づ本学附近のアカマツ林、アカシデ林、スギ林、ヒノキ林の土壌でどのような糸状菌が分布し、季節的にどのように変動するかを求め落葉落枝の分解がほぼどのような糸状菌によつて行われているかを知ろうとした。

1. 試 験 地 概 要

試料を採取したのはつぎの7林分である。

(1) 銀閣寺アカマツ林 (1)

傾斜 15~20°, 方位 W, 平均樹高約 20m, 閉鎖度中, 地床植物としてクロバイ, カナメモチ, カクミノスノキ, モチツツヂ, ネジキ, ヤマウルシ, ササなどを伴う。基岩, 花崗岩, Ao 層 0~2.5 cm,

A₁ 層 2.5～5 cm, A₂ 層 5～8 cm, A₀ と A₁ との界に一部菌糸網層が認められた。

(2) 銀閣寺アカマツ林 (Ⅱ) 傾斜 0～5°, 方位 NW, 平均樹高約 25 m, 閉鎖度疎, 地床植物としてエゴノキ, イヌシデ, クロバイ, タラノキ, コゴメウツギ, ササなどを伴う。基岩花崗岩, A₁ 層 0～3 cm (H層も含む) A₂ 層 3～9 cm。

(3) 大文字アカマツ林

傾斜 20°, 方位 SW, 平均樹高約 10 m, 閉鎖度密, 地床植物は少ない。基岩角岩, A₀ 層 0～2 cm (H層下部に菌糸網層が認められた。) A₁ 層 2～3 cm, A₂ 3～8 cm。

(4) 大文字アカシデ林

傾斜 3～10°, 方位 NW, 平均樹高 6～8 m, 閉鎖度中, アカマツを約 20%混ざるほかササを伴う基岩花崗岩, A₁ 層 0～2.5 cm, A₂ 層 2.5～7.5 cm。

(5) 鞍馬スギ林 (Ⅰ)

傾斜 25°, 方位 W, 平均樹高約 15 m, 閉鎖度中, 地床植物としてムラサキシキブ, ウツギなどを伴う。基岩砂岩, A₁ 層 0～3.5 cm, A₂ 層 3.5～8 cm。

(6) 鞍馬スギ造林地 (Ⅱ)

傾斜 15°, 方位 NE, 伐採後直ちに 3 年生苗木が造林され 6 カ月を経た林地。下刈りによつて地床植物は消失したがササの切株が多い。基岩砂岩, A₁ 層 0～2.5 cm, A₂ 層 2.5～7 cm。

(7) 鞍馬ヒノキ林

傾斜 22～25°, 方位 W, 平均樹高約 20 m, 閉鎖度密, 地床植物としてコウヤボウキ, ムラサキシキブ, ウツギ, イタドリなどを伴う。基岩砂岩, A₁ 層 0～2 cm, A₂ 層 2～5 cm。

2. 実 験 方 法

これら 7 林分にそれぞれ春季, 夏季, 秋季の 3 回土壌層別に無菌的に試料を採取し plate 法で糸状菌の検定を行つた。時期に関しては全林分を同じ日に行えなかつたので, 林分毎に多少違う。すなわち, 各林分を前述の番号で示すと, 林分 1, 2 はそれぞれ 5 月 21 日, 9 月 17 日, 11 月 27 日に, 林分 3, 4 は 6 月 18 日, 9 月 24 日, 12 月 6 日, 林分 5, 6, 7 は 6 月 11 日, 11 月 20 日に試料を採取した。便宜上, 5 月 21 日, 6 月 11 日及び 6 月 18 日を春季, 9 月 17 日, 9 月 24 日を夏季, 11 月 20 日, 11 月 27 日, 12 月 6 日を秋季として以下記載する。

日数で相当の差異があるとしても各季節の差異の方が大きくあらわれるであろうと考えられたからである。培養基として Waksman, 馬鈴薯寒天を用いた。なお糸状菌の数は採取した後の変化が著しいので採取当日直ちに接種した。

3. 実 験 結 果

えられた結果を一括して第 1 表に表示した。

これらの結果を簡単に要約すると

(1) ここで分離された糸状菌は 27 属である。(この中 3 属は不確実であつた。)

この他所属すべき科及び属名が不明のもの数種と *Mycelia Sterilia* とがある。

(2) アカマツ林には一般に糸状菌が多く, 特に大文字アカマツ林で著しかつた。その最大数は 1 g 当り約 1,940,000 に達した。スギ, ヒノキ 林地はいずれも糸状菌数が少なかつた。これは A₀ 層を欠いたことも関係あるように思われる。

(3) 季節的には一般に春季に最大で秋季に最小となる傾向があつた。

(4) 土壌層別にみると下層程糸状菌数は減少した。A₀ 層では特に多く A₁, A₂ 両層の差は A₀, A₁ 両層の差に比して少ないようであつた。

(5) 試験区のすべての林分を通じて比較的普遍的に認められたものはつぎの5属であつた。すなわち *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Aerostalagmus* である。この他アカマツ林には *Mucor*, *Cunninghamella*, *Chaetocladium*, *Mortierella* (?), *Oospora*, *Cephalosporium*, *Monosporium* (?), *Torula* などが出現した。

なお、鞍馬スギ林、ヒノキ林では糸状菌の数が少ないのみでなく、種類も少なく *Penicillium* のみが常に認められその割合も著しく大で、*Trichoderma*, *Spicaria* がこれについだ。

(6) これら糸状菌の出現の様相を各菌についてまとめるとつぎのようである。なお菌数は第1表と同様 10^3 単位で示した。

(a) *Rhizopus* 属

アカマツ林、アカシデ林では5~12月の間常に検出されたが大文字アカマツ林 A₀ 層春季に 60.6 が数えられた例外を除いてその数は多くはなく 14.0~1.0 であつた。スギ、ヒノキ林では1回の例外を除いて殆んど検出されなかつた。

(b) *Mucor* 属, *Mucor* 属(?)

アカマツ林、アカシデ林では5~12月の間でおおよそ常に認められた。その数は少なく 30.3~1.0 の間で銀閣寺アカマツ林 (I) 秋季 A₀ 層で 113.1 を数えたのは例外的に多い。夏季の調査では2カ所で検出されたのみでその数も極めて少なくこの時期には活動が低下するようである。

スギ林、ヒノキ林では少数が検出されただけで1年を通じ殆んど存在しなかつたといえよう。なおここでは *Mucor* に代つて *Absidia* が認められ春季に多い傾向があつた。

(c) *Mortierella* 属 (?)

アカマツ林、アカシデ林ではかなり恒常的に認められたがスギ、ヒノキ林では殆んど認められなかつた。

(d) *Cunninghamella* 属

アカマツ林、アカシデ林にのみ認められスギ、ヒノキ林では認められなかつた。夏季に多く他の季節では少なかつたがいつれにせよともにその数は少ない。

(e) *Chaetocladium* 属

Cunninghamella と同様の傾向を示したが秋季には全く認められなかつた。

(f) *Oospora* 属

アカマツ林、アカシデ林ではかなり恒常的に認められたが、スギ林、ヒノキ林では全く認められなかつた。一般に表層に多く夏季には全く認められなかつた。

(g) *Cephalosporium* 属

アカマツ林、アカシデ林で認められたが、スギ林、ヒノキ林では全く認められなかつた。なお秋季には検出されていない。

(h) *Trichoderma* 属

すべての林地で検出することができたがその数は著しくはなく大文字アカマツ林春季 A₀ 層の 121.6 を数えたのを除くと 36.2~1.0 の間にあつた。A₂ 層では著しく減数し全く検出されない林分もあつた。一般に春季に最大数を示したといえよう。

(i) *Aspergillus* 属

すべての林地で認められたがその数は多くはなく 31.8~1.0 の間にあり、スギ造林地 (II), ヒノキ林ではアカマツ林、アカシデ林よりその数が少ないようでありスギ林 (I) では全く認められなかつた。

(j) *Penicillium* 属

検出されたすべての糸状菌の中で最も優位を占めていた。数は林地によつて相当異なるが大文字ア

アカマツ林春季 A₀ 層では 651.2 に達した。スギ林、ヒノキ林では糸状菌の種類がアカマツ林に比して少ないので本菌の占める割合が大きくなったようである。

(k) Monosporium 属 (?)

アカマツ林、アカシデ林ではある程度認められ特に大文字アカマツ林では A₁、A₂ 層に多く A₂ 層では大略全糸状菌数の半分を占める点は著しい。銀閣寺アカマツ林でも夏秋共に A₂ 層に多く秋季には全糸状菌数の 70.8% に達した。スギ林、ヒノキ林では全く検出されなかった。

(l) Acrostalagmus 属

すべての林分を通じてかなり普遍的に分布していたが数は多くはなく 18.2~1.0 の間であつた。ただ大文字アカマツ林 A₀ 層春季に 90.9 を示し例外的に著しく多い値を示した。

(m) その他の糸状菌は出現に一定の傾向が認められず数もまた多くはなかった。

(n) Mycelia Sterilia 及びその他

胞子を形成せず識別できないものを含みすべての林地で相当数認められた。多いものでは全糸状菌数の 47.4% に達する場合があつた。しかしすべての林地でいつも同じ種類のものを含むとは考えられない。

第 I 章 アカマツ落葉の分解に関与する土壤糸状菌について

前章の結果から林地が異なりまた季節、土壤層が違うとそこに生育する主たる糸状菌の種類、及び数が相当変わることが示された。このような林地別、季節別または土壤別の違いによる糸状菌生育状態の変化は、前述したように温度、水分、通気性、pH 値、有機物の性質など多数の因子の総合的な影響によつてひき起こされそれぞれの条件に最も適した種類が優勢となり、これら糸状菌の作用の下で落葉の分解が行われたと考えられよう。しかしその各々について最も支配的な因子及びそれらの影響のあらわれかたについては前章の結果からは判然としない。一方落葉の分解は従来の結果から明らかなように多数の因子によつて影響をうけるとしても環境条件として水分、温度、通気状態などがあげられるほか、窒素量、塩基含有量、作用する微生物の数及び種類が主たる因子として考えられている。従つてこれらの条件の変化に応ずる落葉の分解速度を求めその機構に関与する糸状菌を知ることが林地で行われる有機物の変転とそれに応ずる糸状菌の分布及び変化の様相を解明する 1 つの資料となるであろう。ここでは条件を一定にしやすい実験室的な研究を主としアカマツ落葉を材料として無機養分、水分、落葉の pH 値を変えたとき優勢となる糸状菌、及び日数の経過に伴う変化の様相について調べた。

第 1 節 アカマツ落葉に脱脂、養分添加、2, 3 樹種落葉の混合を行つたときの 分解糸状菌について

従来アカマツその他針葉樹落葉が広葉樹落葉に比べて分解し難い 1 因として含有する樹脂成分の多いことがあげられてきたが、アカマツ落葉から樹脂成分を除去すること、また落葉の分解を促進する窒素、リン酸、加里、石灰などの無機養分の添加が分解に関与する糸状菌にどのような影響を与えるかを明らかにしようとした。また針葉樹落葉に広葉樹落葉を混ぜると分解に有利となるといわれているが落葉混合の割合が糸状菌に与える影響を調べた。落葉混合の問題は結局分解されるべき有機物の組成を変えることでこれに応ずる糸状菌の変化が示されるであろう。

1. 実験方法

アカマツ落葉の樹脂成分の除去はエーテルでソックスレー抽出器を用い充分行つた。落葉材料は粉

碎して1mm目円孔篩を通過するようにしたものである。アカマツ落葉5g（絶乾基準）及びその脱脂したものに対し各々に基準養料を定め、それぞれ養料添加を行わない Control、基準養料添加、基準養料から CaCO_3 を除いたもの、脱脂したものに抽出物を灰分として再びこれを加えたもの、各5組を設けた。これを一括して表示したものが第2表である。

第2表 無機養分添加量

	無処理	樹脂除去
	mg	mg
$(\text{NH}_4)\text{HPO}_4$	474	420
K_2HPO_4	100	100
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	30	30
CaCO_3	250	250

以上は基準養料を示し以下これを「Nu」と略示する。例えば+Nu-Caは基準養料から CaCO_3 を除いたもの、+2Nuは基準養料の2倍量を加えたものを示す。なおアカマツ落葉のC/N比が20となるように $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を加えたものを基準養料とした。

また落葉混合の実験ではアカマツ落葉に対し落葉広葉樹としてクリ、肥料木としてヤマモモを用い

第3表 接種液に於ける土壤糸状菌*

菌の種類		調査日時			
		3月13日	5月19日	7月24日	12月4日
Phycomycetes	Mucor	2種	2種	2種	1種
	Rhizopus				1種
Fungi Imperfecti	Aspergillus				2種
	Penicillium	9種	7種	5種	8種
	Paecilomyces	1種			
	Geotrichum		1種		
	Trichoderma	2種(?)	2種(?)	2種(?)	2種(?)
	Botrytis		1種		
	Verticillium(?)		1種		
	Acrostalagmus		1種		
	Pullularia	1種		1種	
	Dematium(?)	1種		1種	1種
	Sclerotium(?)	1種		1種	1種
	Myceria Sterilia	+		+	+

* 以上の菌類の他に附近のアカマツ林（大文字）から Amblyosporium；シイ林（銀閣寺）から Alternaria, Acremonium, 落葉広葉樹林（クマシデを主とす）から, Phoma, Gliocladium 等が見られたから、第3表以外の菌類も存在する可能性がある。

それぞれ合計量 5g となるようつぎの割合で混合した。(絶乾基準)

アカマツ：ク　　リ		アカマツ：ヤマモモ	
100	：	0	
83	：	17	83　：　17
72	：	28	73　：　27
52	：	48	52　：　48
32	：	68	32　：　68
0	：	100	0　　：　100

これらの資料 5g を石英砂 100g とよく混じ、これに滅菌蒸留水 19cc と接種用土壌浸出液 1cc とを加えピンチコック付 500cc 容マイエルフラスコにいれ恒温器中で 25°C に保ち、毎日一定時間 CO₂ を除いた空気を通じて発生した CO₂ 量を定量した。接種用土壌浸出液はアカマツを主林木としアラカン、シイ、ヒサカキなどを下木として混在する林分の数カ所から落葉及び表層土壌を採取してよく混じその 10g を 1000cc の滅菌水で振盪して得たものでこの林分における土壌糸状菌の flora は第 3 表に示す通りである。

各区分毎に 2 個のフラスコを一组とし、30日後 plate 法によつて繁殖した糸状菌の種類と数とを記録した。なお糸状菌数は直接法によつても調査した結果胞子を形成しているものもあるのでここに示された数が直ちに糸状菌の量を正確に示すものとはいえないが一つの傾向を示すものとして記載した。

Plate 法には Czapek, Waksman の寒天を用い稀釈度は 20,000 倍、各資料毎に 6 枚(各区分に対し 12枚)のペトリー皿を用いこれを平均した。

2. 実験結果及び考察

以上の結果を表示すると第 4 表、第 5 表の通りである。

第 4 表 樹脂除去及び養料添加の影響

区 分		28日間 の発生 CO ₂ の 合計 (mg)	30日後 の pH 値	分解30日後の資料 1 g に対する糸状菌数 (単位10 ³)									備 考
				Mucor	Penicillium	Paeicilomy- ces	Aspergi- llus	* Trichoder- ma	Botrytis	Pullularia	Dematium	他 の 其	
無 処 理	Control	328.9	4.70	10.0	26.7			+			15.0		
	+ Nu	697.8	5.85	63.3	8.3							1.7	Actinomyces 多し
	+ Nu - CaCO ₃	658.7	4.80		131.7			+++ ++				3.3	
	+ 2Nu	685.5	6.95	1.7	31.7		35.0		3.3	3.3	3.3	1.7	Actinomyces 多し
	+ CaCO ₃	350.3	5.60								1.7		Bacteria 極めて多し
樹 脂 除 去	Control	315.7	5.25	30.0	20.0			+++ ++					
	+ Nu	526.8	5.85	1.7	8.3	1.7		+				3.3	
	+ Nu - CaCO ₃	581.1	5.05	25.0	106.7			+	1.7			8.3	
	+ 2Nu	605.2	6.45	43.3	16.7		43.3	+			1.7	1.7	
	+抽出灰分	332.1	4.85	30.0	20.0			++ ++				1.7	

* 概数算定の場合培養基上で胞子を初めの間余り形成せず充分蔓延の後形成するので数的に表すのが困難であるから+による表現をとつた。(10以下+, 10~20++, 20~35+++, 35~60++++, 60以上+++++).

第 5 表 樹 種 混 合 の 影 響

樹 種 混 合 割 合	28日間 の発生 CO ₂ の 合計 (mg)	30日後 の pH 価	分解後30日の資料 1g に対する糸状菌数 (単位10 ³)									備 考
			Mucor	Penicillium	Paeclomyces	Aspergillus	Trichoderma	Botrytis	Pullularia	Dematium	他の 其	
ク リ 100	513.7	5.10	41.7	61.7			++ ++					
ク リ : アカマツ 68 : 32	504.0	5.05	8.3	98.3	1.7		++ +				3.3	
ク リ : アカマツ 48 : 52	471.2	5.05	6.7	11.7	26.7		++ ++					
ク リ : アカマツ 28 : 72	478.7	5.00	1.7	10.0	18.3		++ ++				3.3	
ク リ : アカマツ 17 : 83	405.1	5.15		10.0	38.3		++ ++			1.7		
アカマツ 100	413.1	5.20	3.3	18.3	1.7		+++ ++				8.3	
ヤマモモ : アカマツ 17 : 83	432.2	5.05		25.0	20.0		++ +	1.7				
ヤマモモ : アカマツ 27 : 73	477.2	5.10		50.0							5.0	
ヤマモモ : アカマツ 48 : 52	464.3	5.15		15.0	3.3				3.3		10.0	
ヤマモモ : アカマツ 68 : 32	484.9	5.15	1.7	20.0	8.3	1.7			1.7		1.7	
ヤマモモ 100	508.1	5.20	1.7	45.0			++ +				16.7	

これを要約すると

(1) 第3表によると *Mucor*, *Penicillium* 及び *Trichoderma* の3属はどの季節にも認められ特に *Penicillium* は種類も多くこの林地で恒常的にアカマツ落葉の分解に関与していたと思われ第1章の結果でもこのことは明らかであろう。第4, 5表においても多くの資料で上記3属は相当数が検出され、本条件の下で30日間の分解に主としてこれらの糸状菌が関与していたと考えられる。

(2) アカマツ落葉に無機養分を添加すると CO₂ 発生量は著しく大となり分解速度は促進されたが、第4表から明らかなように +Nu 区と Control 区とでは糸状菌の種類に大差はなく特殊の糸状菌の著しい発育によつて分解が促進されたとは考えられない。基準養料の2倍量を与えても基準養料区と CO₂ 発生量は殆んど変らないが、2Nu 区では糸状菌の種類が多くなる傾向があり特に *Aspergillus* はこの区にのみ検出された。²⁵⁾ Waksman も温暖肥沃地で *Aspergillus* の多いことを認めたが、ここでも同様の傾向が見られた。

CaCO₃ の CO₂ 発生量に与えた影響は明瞭ではないが糸状菌の発育に与える影響は著しいようで +Nu-Ca 区では *Penicillium* の増加が著しく、また CaCO₃ のみを加えると Control と CO₂ 発生量で著しい差異がないのに糸状菌は *Dematium* の1種が検出されただけで *Bacteria* が優勢となつた。なおこの場合 pH 価は 5.60 であつたに対し糸状菌が多数認められた +2Nu 区では 6.95 であるので、この区で *Bacteria* が優勢となり糸状菌が検出されなかつたのは pH 価のみの影響ではなく養分の配

分関係が相当影響するように思われる。⁸⁾ Jensen は *Trichoderma* の生育は pH 4.0 附近で最もよく pH 値 4.5 から 7.0 の間では pH 値に反比例するとしたが、ここでは pH 値または CaCO_3 の添加とある程度関係があるようで、 CaCO_3 を加えると減数したがなおその関係は明確ではない。

(3) 樹脂を除去しても CO_2 発生量による分解速度は促進されない。また糸状菌の数、種類に特殊のものがあらわれなかった。従つて本実験ではアカマツ落葉を脱脂してもその分解速度や生育する糸状菌に殆んど変化を与えなかったといえよう。

(4) クリ、ヤマモモの CO_2 発生量はアカマツのそれに比べて多く分解はより速かに行われたものと考えられるが第 5 表より明らかなように特殊の糸状菌の発育によつておこされたものとはいえないようである。2 種の落葉を混合するとその CO_2 発生量は両者の混合割合にほぼ比例するようで、クリとアカマツと混ざるとアカマツに対しクリの量が減ずるにつれて CO_2 発生量も漸次減少してアカマツ落葉の CO_2 発生量に近づく。クリ落葉の分解には、*Penicillium* の他に *Mucor*, *Trichoderma* が相当重要性をもつようで、クリ落葉上で *Mucor* の生育はアカマツ、ヤマモモに比べて著しく、アカマツ、クリ混合材料でもアカマツに対しクリの量が減少するにつれ *Mucor* の数も減少する傾向が認められた。

(5) *Paecilomyces* sp. は第 4 表ではただ 1 区にだけ少数検出されたが、混合材料の分解にはかなり多くあらわれ、クリ、アカマツ 17:83 の区ではこの菌が主体をなしたといえよう。これは分解されるべき有機物、すなわち落葉の組成が変つたためと考えられるが、この菌がよく生育しても上述したように分解速度に著しい変化、特異性は認められなかった。

第 2 節 含水量を異にするアカマツ落葉の分解糸状菌について

土壤水分の如何に応ずる糸状菌の変化はあまり明瞭でなく多くの人々がその関連性を指摘するのみではつきりした究明はおこなわれていないようである。Waksman も土壤含水量と微生物との間に特別の相関を認めていないが糸状菌は低い含水率に対して比較的抵抗性が大であるとのべている。夏季微生物数が却つて減少する傾向の多いことに対しては高温の他に乾燥が関係するらしいこともよく報告されている。しかし一方落葉の分解には水分は相当重要な因子であり、しかもこの過程に糸状菌が主として関与するものとすれば、水分と分解糸状菌との間の関係を求めておくことは重要であろう。

1. 実験方法

昭和 26 年 12 月に吉田山で採取したアカマツ落葉（新鮮なもの）を粉碎して 1 mm 以下の粉末とし、その絶乾基準 10 g に対して内径約 1.2 mm の硝子管を約 8 mm の長さに細断したもの 140 g を加え 1 l 容マイエルフラスコ中で両者を均等に混じた後、落葉に対して水分がそれぞれ 100 %, 200 %, 300 % 及び 400 % となるように接種水各 1 cc 宛を含んだ殺菌蒸留水を加えた。

¹⁰⁾ Melin は落葉を落葉重量の 4 倍の水、すなわち 400 % の水分の下で分解せしめており、²⁸⁾ Waksman は 200 %, 400 % の水分を与えて Oat straw を分解せしめた結果、両者の分解量に大きな差異はなかったが含水量の大きいときは幾分分解量が多かつたと報告している。アカマツ落葉を用いて 100 %, 200 %, 400 %, 600 % の下で CO_2 発生量を調べた結果によると、²²⁾ 水分量による分解の速度には著しい差異はなかったが 200 % で最も分解がはやいようであつた。600 % では明らかに過湿であるようで CO_2 発生量も最も少なかった。従つて 200 % 附近が最適と考えられるが 100 % から 400 % の間で著しい差異は認め難い。ここでは落葉に対する水分の状態を肉眼的に 100 % を乾、200 ~ 300 % を適湿、400 % を湿潤として記載する場合がある。

接種水を調整した吉田山アカマツ林土壤 A₀ ~ A₁ 層に存在すると考えられる糸状菌の種類及び数は第 6 表の通りである。

第 6 表 吉田山アカマツ林 (Ac-A1) 属糸状菌 (12月25日)

菌 の 種 類			土壌 1 g 中の数 (単位 10 ³)	全糸状菌数に 対する比率%	備 考
Phycomycetes	Mucoraceae	<i>Mucor ramannianus</i>	8.0	2.5	(1) 稀釈度は20,000
		<i>M. hiemalis</i> (?)	10.0	3.1	(2) ペトリー皿10枚平均
	Mortierellaceae(?)	<i>Mortierella</i> sp. (?)	4.0	1.3	(3) その他には発育遅く、純粋分離困難のもの、培養困難なもの等を含む
Basidiomycetes に属するもの			I 46.0	14.6	
			II 2.0	0.6	
Fungi Imperfecti	Melanconiaceae	<i>Pestalozzia</i> sp.	4.0	1.3	
	Moniliaceae	<i>Trichoderma koningi</i>	38.0	11.9	49.6
		<i>Penicillium restrictum</i>	36.0	11.3	
		<i>P. waksmani</i>	16.0	5.0	
		<i>P. decumbens</i>	14.0	4.4	
		<i>P. implicatum</i>	2.0	0.6	
		<i>P. citreo-viride</i> (?)	2.0	0.6	
		<i>P. velutinum</i> (?)	14.0	4.4	
		<i>P. aculeatum</i>	62.0	19.5	
		<i>P. aurantio-candidum</i> (?)	12.0	3.8	
		<i>Monosporium</i> sp. (?)	2.0	0.6	
		<i>Myceliophthora</i> sp. (?)	4.0	1.3	
	Dematiaceae	<i>Papularia sphaerosperma</i> (?)	6.0	1.9	
Mycelia Sterilia			12.0	3.8	
其 の 他			24.0	7.5	
合 計			318.0	100.0	

7月21日に接種しフラスコには緩く棉栓を施して京都大学農学部地下室の暗所に放置した。10月8日まで80日間適宜の期間毎に各フラスコより1g相当の一定容量の資料及び硝子管をとり plate 法によりそれらの糸状菌を調査した。この際菌の繁殖の多少に応じて稀釈度は4,000~32,000倍とし、各フラスコに対しペトリー皿3枚宛を用いたから各組に対してはペトリー皿6枚ずつの平均数値を示すこととなる。

2. 実験結果及び考察

各含水率毎の分解糸状菌の種類及び数の時間的変化を表示すれば第7表の通りである。

この実験方法によるときは培養中に孢子を形成する度合は自然状態におけるよりも多くなると考えられ、従つて数の算定が不正確になる危険が多く、またある種の糸状菌が極めて多量に繁殖するため

第 7 表 分解糸状菌の種類及び数の時間的变化 (資料 1g 相当量に対するもの, 単位 10^3)

調 査 月 日		7月24日	7月28日	8月1日	8月7日	8月15日	8月26日	9月10日	10月8日
菌 の 種 類									
含 水 率 100 %	Trichoderma koningi		+++++	+++++	+++++	+++	+++	++	+
	Apergillus versicolor	1.3							
	Penicillium waksmani		40.0	141.3	73.3	198.4	314.7	144.0	160.0
	P. decumbens		8.7	12.0	38.7	28.8	120.0	96.0	96.0
	P. implicatum							16.0	
	P. aculeatum	5.3							
	Botrytis pyramidalis (?)	1.3							
	Pullularia pullulans	1.3							
合 計		9.2	48.7 +++++	153.3 +++++	112.0 +++++	227.2 +++	434.7 ++++	256.0 ++	256.0 +
含 水 率 200 %	Mucor hiemalis (?)	2.7	46.7	81.3	42.7	44.8	37.3	5.3	5.3
	Trichoderma koningi		+++++	++	+++	++	++	++	+
	Aspergillus versicolor	2.7							
	Penicillium waksmani	4.0	21.3	52.0	36.0	99.2	117.3	112.0	149.3
	P. decumbens	1.3	129.3	120.0	52.0	73.6	208.0	133.3	176.0
	P. implicatum					6.4		32.0	16.0
	P. aculeatum	5.3				6.4			
	P. aurantio-candidum (?)								21.3
含 水 率 300 %	Pullularia pullulans	17.3							
	Dematiaceae の一種	1.3						5.3	
合 計		34.6	197.3 +++++	253.3 ++	130.7 ++++	230.4 ++	362.6 ++	287.9 ++	367.9 +
含 水 率 400 %	Mucor hiemalis (?)		14.7	14.7	24.0	29.3	5.3	5.3	
	Trichoderma koningi	+	++	+	++	++	++	+	+
	Aspergillus luchuensis (?)					10.7			
	Penicillium waksmani	2.7	9.3	38.7	26.7	53.3	90.7	80.0	101.3
	P. decumbens	14.7	124.0	46.7	64.0	88.0	202.7	160.0	176.0
	P. aculeatum	1.3				13.3		10.7	
	P. aurantio-candidum (?)						26.7	5.3	16.0
	Pullularia pullulans	2.7							
含 水 率 400 %	Dematiaceae の一種	1.3				16.0	10.7		21.3
合 計		22.7 +	148.0 ++	100.1 +	114.7 ++	210.6 ++	336.1 ++	261.3 +	314.6 +
含 水 率 400 %	Mucor hiemalis (?)	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0		5.3	2.7
	Trichoderma koningi		+		+	+	+	+	+
	Penicillium waksmani			14.0	10.7	14.7	32.0	29.3	32.0
	P. decumbens	9.3	23.3	23.3	15.3	18.7	61.3	53.3	37.3
	P. implicatum							2.7	2.7
	P. aculeatum	1.3				5.3			
	P. aurantio-candidum (?)								16.0
	Dematiaceae の一種			2.0	2.7	8.7	8.0	2.7	10.7
合 計		11.9	24.6 +	40.6	30.0 +	49.4 +	101.3 +	93.3 +	101.4 +
培 養 温 度 (C)		24.8~ 25.6	24.8~ 26.7	24.9~ 27.2	25.9~ 28.0	24.9~ 26.4	25.2~ 27.2	23.4~ 27.3	17.9~ 25.6

註: 培養温度は前回の調査から, その調査日までの期間の最低及び最高の温度の範囲を示す。

含水率400%のものには Bacteria の繁殖が多い。

に稀釈度を非常に増さねばならないが、そのため少数しか繁殖しない菌数を数えることができないなどの不備を伴うものであるが大体の傾向を示すものとしてこれらの結果をとりまとめるとつぎのようである。

(1) アカマツ落葉のみの分解には *Penicillium waksmani*, *Penicillium decumbens*, *Trichoderma koningi* 及び *Mucor hiemalis* (?) の 4 種が主として関与し、特に *Penicillium* 属の 2 種類は含水量の如何を問わず大多数を占め恒常的に分解に関与していたことを示した。

(2) 上述のように含水量を 100 % から 400 % まで変化させても CO_2 発生量には大差はなかつたがアカマツ落葉の分解に与る糸状菌の種類にもあまり大きな差異はなかつた。すなわち数において最も優勢となる菌は含水量が異なつても常に *Penicillium waksmani* と *Penicillium decumbens* とであつた。

(3) 含水量の差異によつて生育する糸状菌の種類に大差はなかつたが数は相当差異があつた。すなわち含水量の多いもの (400 % 区) では適湿のもの (200 %, 300 % 区) に比して糸状菌は種類において殆んど変化はなかつたが、数において相当減少し、逆に *Bacteria* の発生が多くなつた。含水量の最も少ないもの (100 % 区) では数の減少は著しくはなかつた。

(4) すべての材料で接種後約 1 カ月で最大の糸状菌数に達し、その後はやや減少するかまたはほぼその数を持続した。一方分解速度は CO_2 発生量で測定すると少くとも 10 日目以内に CO_2 発生量の最大があり、その後は当初のそれに比べて相当低下している²²⁾ので糸状菌数の増減の傾向と CO_2 発生の経過とは必ずしも一致した変動を示すものではないようである。

(5) 接種土壌であるアカマツ林土壌 $A_0 \sim A_1$ 層には少なくとも 10 属 18 種の糸状菌が存在しており、第 3 表によればこの附近アカマツ林土壌にはさらに多数の種類が認められているが、本実験のようにフラスコ内でアカマツ落葉のみを分解せしめると接種後急速に糸状菌の淘汰が行われ約 4 属 8 種に減少した。これは限定された条件の下で各糸状菌相互の養分の競争、菌相互の拮抗作用など多くの因子の総合的な結果と考えられるがその詳細は不明である。これら糸状菌の中で *Penicillium* 属の 2 種類、すなわち *P. decumbens*, *P. waksmani* は 80 日を経過してもなお減少する傾向がみられず、本実験条件の下でアカマツ落葉の分解にこれらの菌が相当永続的に関与するように思われる。

(6) *Penicillium decumbens* と *Penicillium waksmani* の両者を比較すると *Penicillium waksmani* はむしろ含水量の少ない区に多く、逆に *Penicillium decumbens* は含水量の多いとき優勢となるよう²²⁾で含水量の多少によつて両者の数的割合が変化する傾向が認められた。

(7) *Mucor hiemalis* (?) は 200 %, 300 % 区でのみ多数認められたが 400 % 区では極めて少数で 100 % 区では全く認められなかつた。しかも約 1 カ月後には減少する傾向がみられた。従つて本菌はアカマツ落葉分解の初期に、しかも水分条件が良好な場合にのみ分解に関与したと考えられる。

(8) *Trichoderma koningi* は 100 %, 200 % 区で多く 300 %, 400 % 区では少なく含水量の少ない区の方が優勢であつた。また日数の経過とともに減少する傾向があつた。

(9) *Dematiaceae* のある種のもの²²⁾は含水量の多くなる程多く認められ 400 % 区ではほぼ恒常的に検出することができた。

(10) *Penicillium implicatum*, *Penicillium aurantio-candidum* (?) は分解開始後 1 カ月を経て検出されるようになった。

(11) *Aspergillus versicolor*, *Botrytis pyramidalis* (?), *Pullularia pullulans* は接種後 3 日目の検定で認められただけで他では全く認められなかつた。また *Mucor ramannianus*, *Mortierella* sp. (?), *Pestalozzia* sp., *Penicillium restrictum*, *Penicillium citreo-viride* (?), *Penicillium velutinum* (?), *Monosporium* sp. (?), *Myceliophthora* sp. (?), は接種土壌中で存在していたが本実験条件の下では全く検出されなかつた。従つてこれらは自然状態ではある程度アカマツ落葉の分解に関与していると

しても、本実験の如き条件の下での新鮮なアカマツ落葉の分解に対しては上述の他の4種類に比べ少くともその作用は劣ると考えてよいであろう。

第3節 酸度 (pH値) を異にするアカマツ落葉の分解糸状菌について

土壤の酸性状態は糸状菌の発育に有利であるとされているが、しかし糸状菌はいつも酸性条件の下でのみ生育し、また生育の Opt. を酸性側で有すると判断することは正しくはないようで、発育する範囲はかなり広いようである。しかし糸状菌は酸性に対して他の微生物より極めて強い抵抗性を有するので、酸性条件下では他の微生物より優勢となる傾向があり、一般に森林土壤は酸性で林木落葉特に針葉樹落葉の pH 値も酸性を示すことが多いため有機物の多いこととともに糸状菌数が畑地などより多くなるといわれている。一方腐植形成に対しては Hesselman が落葉組成分の酸性緩衝物質と塩基性緩衝物質の含有量の重要性を指摘し Mattson らもこの点を強調したが、古くから落葉落枝の分解が妨げられるときは粗腐植を堆積し酸度を強くし土壤、林木生育に悪影響を与えることが知られている。すなわち酸度は落葉の分解、腐植形成の過程と密接に関係しているので、酸性条件下で生育のよい糸状菌との間にも何らかの関係があるのではなからうか。ここではアカマツ落葉に対し前節と同じ方法により、その酸度を変化せしめて分解に関与する糸状菌を調査した。

1. 実 験 方 法

資料及び実験方法は前節の場合と同様である。落葉の pH 値規整はつぎのようにした。

- (1) n/20 CaCO_3 液 19 cc + 滅菌蒸溜水 5 cc
- (2) 緩衝液 (n/20 CH_3COOH 液 12 cc + n/20 CH_3COONa 液 12 cc)
- (3) 緩衝液 (" 15 cc + " 9 cc)

第 8 表 接種土壤に於ける糸状菌 (g 当り)

菌 の 種 類			数 (単位 10 ³)
藻菌類	Mucor ramannianus		30.0
	M. hiemalis (?)		2.5
担子菌類の一種			25.0
不完全菌類	Sphaeropsidales の一種		2.5
	Moniliaceae	Monosprium sp. (?)	20.0
		Myceliophthora sp. (?)	2.5
		Trichoderma koningi	22.5
		Aspergillus fumigatus	2.5
		Penicillium decumbens	57.5
		P. waksmani	55.0
		P. steckii (?)	2.5
		P. citreo-viride (?)	15.0
		P. implicatum	2.5
		Paecilomyces sp.	2.5
	Scopulaliopsis sp.	2.0	
	Dematiaceae		Hormodendrum sp. 2.5
	Tuberculariaceae		Fusarium sp. 2.5
合 計			252.5

(4) 滅菌蒸溜水 24 cc (Control)

これにいずれも接種水 1 cc (1/100 稀釈) ずつを加え合計 25 cc ずつを加えた。この時の pH 値はそれぞれ (1) 6.27, (2) 4.54, (3) 4.22, (4) 3.81 となった。水分は前節では適湿と認められた 200%, 300% を標準とし 250% になるように落葉重量の 2.5 倍の水を加えた。なお糸状菌は炭水化物などの分解によつて有機酸を形成し、また有機酸を分解し Protein より NH_3 を形成するなど種々の変化をおこさせることによつて培養基の反応を著しく変化せしめるもので、特に分解されやすい成分を多く含有する新鮮な落葉の場合には著しいと思われる。前述したように Fehér³⁾ もこの点に注意し pH 値と糸状菌の消長と密接に関係するとしてもそれは pH 値によつて糸状菌が変化をうけるというよりも糸状菌の活動によつて pH 値が変化すると考えたが、このような変化が逆に pH 値と糸状菌の作用との関係を不明瞭にしてきた一因といえよう。従つてここでは同一材料を用い最初の pH 値を緩衝液で規整し、実験中蒸発による水分減少量をそれぞれ上記の添加液で補給することによつて pH 値維持に努めた。しかしなお 40 日後の pH 値はかなりの変化を示した。

これらのフラスコに緩い綿栓を施して 1953 年 8 月 31 日から 10 月 10 日までの 40 日間培養し適宜の日数において 5 g ずつの資料をとり Plate 法で糸状菌の種類及び数量を調べた。その方法は前節の場合と同様であるが稀釈度は 8,000—56,000 倍とした。

本実験の接種水をつくつたアカマツ林表層土壤に存在した糸状菌の種類及び数は第 8 表に示した。

2. 実験結果及び考察

上述したように培養中の pH 値はかなりの変化を示し、pH 6.27 のものは 6.20, pH 4.54 は 5.34, pH 4.22 は 4.92, pH 3.81 は 4.89 へそれぞれ変化した。すなわち pH 6.27 のものだけがやや低下したが pH 4.54 以下では分解とともに pH 値が大きくなった。この変化は実験期間中いつ、どの程度おこつたかは判らないが、不規則な変化をしたとは考えられないので、結果を表示する便宜上つぎのようにとりまとめた。

弱酸性区 pH 6.27~6.20

酸性区 pH 4.54~5.34

強酸性区 pH 4.22~4.92

対照区 pH 3.81~4.89

この区分に従つて実験結果を表示したのが第 9 表である。

これをまとめると

(1) 対照区を除くと酸度の強い方が糸状菌数多く酸度の弱いときは細菌の発生が多くなつた。

(2) 糸状菌のうちで分解の主体をなすと考えられるものは

弱酸性区では *Penicillium* の 3 種、すなわち *P. decumbens*, *P. waksmani*, *P. steckii*(?) など、酸性区では *Paecilomyces* sp., と *Penicillium* の 2 種すなわち *P. roqueforti*(?), *P. restrictum* であり、*Mucor hiemalis*(?), *Trichoderma koningi* がこれについだ。強酸性区では *Paecilomyces* sp., *Penicillium restrictum*, *Aspergillus fumigatus*(?) の順であり、対照区では *Penicillium* の 3 種, *P. decumbens*, *P. waksmani* 及び *P. steckii*(?) であつた。

各種無機養分を加えた場合(特に +2Nu, CaCO_3 の効果)と同様、このときにもアカマツ落葉の分解に主体をなす糸状菌は酸度によつて種類が変つた。これは含水量を変えると菌の種類に変化が少なくその数的割合のみが変化したことと全く対称的な傾向といえよう。

(3) 接種後約 4 週間で菌数は最大となり、その後はやや減少するかまたはその数を維持した。

(4) 接種材料中に少なくとも 12 属 17 種が存在したと考えられる土壤糸状菌は接種後約一週間で極めて少数の種類に淘汰されてしまい、その後はおおむね残つた糸状菌が消長を示した。

第 9 表 酸度別, 分解糸状菌の時間的变化 (単位 10³)

区分	開始時 pH.	菌 の 種 類	9月3日	9月7日	9月14日	9月24日	10月10日	終了時 pH.	備 考
弱 酸 性	6.27	<i>Mucor ramanianus</i>	1.3	2.5				6.20	Bacteria 多 し
		<i>Monosporium</i> sp. (?)		2.5	7.0	9.3			
		<i>Trichoderma koningi</i>	1.3				8.0		
		<i>Penicillium decumbens</i>	56.0	192.5	280.0	541.3	592.0		
		<i>P. waksmani</i>	22.7	22.5	112.0	9.3	24.0		
		<i>P. steckii</i> (?)	6.7	7.5	105.0	196.0	40.0		
		<i>P. citreo-viride</i> (?)					24.0		
		<i>P. restrictum</i>					8.0		
		<i>Hormodendrum</i> sp.	1.3	15.0					
		合 計	89.3	242.5	504.0	756.0	696.0		
酸 性	4.54	<i>Mucor hiemalis</i> (?)	1.6		35.0	56.0	74.7	5.34	
		<i>Monosporium</i> sp. (?)	4.8						
		<i>Myceliophthora</i> sp. (?)		7.5					
		<i>Trichoderma koningi</i>	1.6		14.0	9.3	18.7		
		<i>Aspergillus niger</i> group の一種		2.5					
		<i>A. versicolor</i>	1.6						
		<i>Penicillium decumbens</i>				9.3	37.3		
		<i>P. steckii</i> (?)	3.2						
		<i>P. roqueforti</i> (?)		67.5	301.0	448.0	597.3		
		<i>P. citreo-viride</i> (?)	3.2						
		<i>P. restrictum</i>	1.6	377.5	483.0	140.0	18.7		
		<i>Paecilomyces</i> sp.	1.6	82.5	424.0	438.7	420.0		
		<i>Hormodendrum</i> sp.	3.2		42.0				
		<i>Pullularia pullulans</i>			7.0				
		<i>Dematiaceae</i> の一種	1.6						
		合 計	24.0	537.5	1316.0	1101.3	1166.7		
強 酸 性	4.22	<i>Monosporium</i> sp. (?)	2.0					4.92	
		<i>Myceliophthora</i> sp. (?)				37.3			
		<i>Trichoderma koningi</i>		2.5					
		<i>Aspergillus fumigatus</i>		65.0	574.0	140.0	46.7		
		<i>Penicillium decumbens</i>				28.0			
		<i>P. steckii</i> (?)				18.7	37.3		
		<i>P. citreo-viride</i> (?)	14.0			47.7			
		<i>P. restrictum</i>	2.0	105.0	77.0	1708.0	961.3		
		<i>Paecilomyces</i> sp.		260.0	1120.0	1474.7	1390.7		
		<i>Hormodendrum</i> sp.	8.0		56.0	9.3			
		<i>Dematiaceae</i> の一種	4.0						
		合 計	30.0	432.5	1827.0	3462.7	2436.0		
対 照	3.81	<i>Mucor ramannianus</i>	2.7		7.0			4.89	Bacteria 多 し
		<i>M. hiemalis</i> (?)			14.0	9.3			
		<i>Myceliophthora</i> sp. (?)				18.7			
		<i>Trichoderma koningi</i>	4.0	12.5					
		<i>Penicillium decumbens</i>	40.0	150.0	140.0	186.7	72.0		
		<i>P. waksmani</i>	12.0	20.0	198.0	140.0	8.0		
		<i>P. seckii</i> (?)	44.0		7.0	308.0	288.0		
		<i>P. citreo-viride</i> (?)			70.0				
		<i>P. restrictum</i>		2.5					
		<i>P. aurantio-candidum</i> (?)			7.0				
		<i>Hormodendrum</i> sp.	1.3			9.3	8.0		
		合 計	104.0	185.0	441.0	672.0	376.0		

(5) 酸性及び強酸性区で優勢となつた *Penicillium roqueforti*(?), *Penicillium restrictum* は接種材料中には検出されていない。これは接種材料中で極めて少数のため plate 法で検出されなかつたことによるか、またはアカマツ落葉に附着していたことによると思われるが、いずれにせよこれらの菌が極めてよく生育するのにこの条件がよく適していたといえよう。

第4節 総 括

落葉の分解とこれに関与する土壌糸状菌の関係は甚だ複雑であるうえにその分離及び数の算定などの実験にもある程度の不備を伴うので、これだけの結果から総合的な結論を求めることは危険で、さらに実験を繰返す必要があると思う。従つてここでは以上の実験を通じて共通している事実を抽出し、さらにアカマツ落葉の分解に関与する各糸状菌別に条件の変化に応ずる出現の様相をまとめることにとどめたい。従つてすでに述べたことと重複する点が多いであろう。

以上の実験に共通していた事実は

(1) アカマツ落葉の分解に関与する糸状菌は *Penicillium* 属, *Mucor* 属, *Trichoderma* 属が主体をなすようで, *Paecilomyces* 属, *Aspergillus* 属のある種も条件によつては優勢となることがあつた。アカマツ落葉を原材料のまま分解させたときは *Penicillium* 属のうちで *P. decumbens*, *P. waksmani* が主となり *Mucor hiemalis*(?), *Trichoderma koningi* がこれについて分解に関与した。

(2) 種々の条件によつてアカマツ落葉の分解に関与する糸状菌は変化するが、条件には種類をも変えるものと、種類は殆んど変えないで数的割合を変えるものとの二つの型があつた。前者には酸度(pH値)、無機養分が属し、後者には水分条件が属した。

(3) 分解に関与する糸状菌の数は接種後約1ヶ月で最大となり、その後はやや減少するかまたはほぼその数を維持した。接種材料の中に多数多種類の糸状菌があつても接種後約一週間で種類の淘汰が行われ少数の種類ののみが引続き分解に関与した。

つぎに各々の糸状菌について条件の変化に応ずる出現の様相をまとめると

(1) *Mucor* 属

自然土壌ではアカマツ林で普遍的に認められた。本実験では *M. ramannianus* と *M. hiemalis*(?) の2種が認められたが、このうち *M. hiemalis*(?) はアカマツ落葉の分解に関与する主たる糸状菌の一つと考えられた。本菌は水分条件の影響を相当うけるようで適湿の条件下でのみよく発育した。自然土壌中でも夏季は極めて少数で高温のほかに乾燥が影響しているようである。分解開始後約一ヶ月を経過すると減少しはじめる傾向があつたので分解当初にのみ活動的であるように思われる。*M. ramannianus* は第9表に示したように酸度を変えたとき弱酸性区と対照区で認められたが、いずれも少数で出現に一定の傾向を示さない。*M. hiemalis*(?) に比べて重要性が少ないように思われる。

(2) *Trichoderma* 属

本実験では *T. koningi* が一種類検出されただけであつた。この菌はアカマツ落葉の分解に関与する主な糸状菌の一つと考えられ自然土壌でも常に検出できた。本菌の生育は pH 4.50~7.00の間では pH 値に反比例するといわれるが、本実験では CaCO_3 の添加量と関係があるようで(第4表) CaCO_3 を加えると減数したが、第9表によると pH 値と本菌生育との関係は明瞭ではなく酸性区ではほぼ恒常的に検出されたが他では少数認められたのみであつた。本菌の生育には単に pH 値のみでなく、養分の配分関係や共存する他の糸状菌との相互作用について究明する必要がある。

(3) *Aspergillus* 属

本実験ではつぎの4種が検出された。すなわち *A. versicolor*, *A. luchuensis*(?), *A. niger* group の一種, *A. fumigatus* である。

自然土壌ではかなり普遍的に分布するけれども本実験条件の下でアカマツ落葉の分解に関与した主な

糸状菌とは考えられない。本属は一般に温暖肥沃地に多いといわれるが、ここでも基準養料の2倍量を添加したとき(2 Nu)相当数出現した(第4表)。しかし養料を添加せず pH 値を強酸性(pH 4.22~4.92)とした場合でも *A. fumigatus* が優勢となり(第9表)アカマツ落葉の分解に関与した。しかし実験の範囲内ではこの区でだけ検出されたのは特異であつて、本菌種がこの条件下で常にアカマツ落葉の分解に主として関与しうかどうかについてはさらに実験を重ねる必要がある。

A. versicolor は少数で実験当初4日目に検出されただけでその後は消滅したようである。

A. luchuensis (?), *A. niger* group の1種はともに極めて少数が稀に検出されたのみで出現に一定の傾向は認められなかつた。

(4) *Penicillium* 属

本属は含水量及び酸度の如何にかかわらず常に旺盛に發育しアカマツ落葉の分解に主体をなしたもので、自然土壤中でも多数が恒常的に検出されその数も全糸状菌数の約半分を占める場合があつた。ここで認められた種類は他の糸状菌に比して多く9種類に達した。すなわち *P. waksmani*, *P. decumbens*, *P. implicatum*, *P. aculeatum*, *P. aurantio-candidum* (?), *P. steckii* (?), *P. citreo-viride* (?), *P. restrictum*, *P. roqueforti*(?) である。

(a) *P. decumbens* これは養分の乏しい所や乾湿の交互に繰返す所に多いといわれるが含水量100~400%の間で常に出現した。しかし *P. waksmani* に比べるとむしろ含水量の多いときにより優勢となる傾向があつた。酸度に対しても pH 6.27~3.81の間で常に出現されたが、特に弱酸性区、対照区で最も優勢であつた。これに対し酸性区、強酸性区では少数で実験期間の終期にはじめて検出されるようになったことは著しい対称を示したといえよう。いずれの場合でも実験期間の終りになお数が増加する傾向を示すことが多く、この期間の後にも分解に重要な役割を果すものと思われる。

(b) *P. waksmani* これは *P. decumbens* と同様含水量100~400%の間で常に認められたが、むしろ乾燥した環境で優勢となる傾向があつた。pH 値の影響は *P. decumbens* より明らかにあらわれたようで酸性区、強酸性区では全く検出されなかつた。しかし弱酸性区、対照区では *P. decumbens* とともに優勢となつた。

(c) *P. steckii*(?) 酸度を変化せしめたときはすべての条件下で認められ、弱酸性区と対照区で生育旺盛で前2者とともにアカマツ落葉の分解に積極的に関与したものと認められる。しかし強酸性区では実験期間の終りにやや増加の傾向を示し、酸性区では4日目に少数が検出されたのみである。なおこの対照区は水分250%で含水量を変えた実験の200%と300%との間にあり他の条件は全く同一であつたが対照区で發育のよかつた本菌が含水量を変化させた実験では全く検出されていない。これは接種材料中に存在しなかつたことによると考えられるが、同時に共存する他の糸状菌の作用をうけることも考慮する必要がある。

(d) *P. restrictum* 酸度を変えたとき酸性区、強酸性区で著しく旺盛に發育しここでは分解に関与する主な糸状菌となつた。弱酸性区、対照区ではそれぞれ一回だけ少数が検出されただけで殆んど生育し得なかつたものといえよう。同時に水分を変えた実験でも全く認められなかつた。この菌種はいずれの場合も接種材料中では検出されていないが、土壤中から分離されたという多くの報告があるので、空中雑菌として混入したのではなく接種材料中には少数しか存在せず plate 法では検出されなかつたか、またはアカマツ落葉に附着した形で存在したものと解される。

(e) *P. roqueforti*(?) これは強酸性の酸素に不足した環境に多く見出され、自然界では醗酵中の乾草に多いといわれている。ここでは酸性区でのみ検出され(第9表)しかもよく生育して分解に関与する主な糸状菌となつており40日後もなお増加する傾向を示している。しかしこの他の区では全く認められなかつた。これは *Aspergillus fumigatus* の場合とよく似た傾向である。なお本菌種も *P. restrictum* と同様接種土壤中では認められなかつた糸状菌である。

(f) *P. implicatum*, *P. aculeatum*, *P. citreo-viride*(?), *P. aurantio-candidum*(?), これらの菌はよく検出されるがいずれも少数で出現にも一定の傾向がなく本実験条件の下ではアカマツ落葉の分解に関与するとしてもその作用は大きくはなかつたといえよう。

(5) *Paecilomyces* sp.

自然界の極めて多種類の物質から分離されるというが、強酸性区、酸性区でのみ検出されしかも生育旺盛で特に強酸性区で著しくアカマツ落葉分解に主体となる糸状菌であつた。しかしこの他では全く認められていない。なおアカマツ落葉にクリ、ヤマモモ落葉を混じたとき相当数が検出された。

(6) この他 *Pullularia pullulans*, *Hormodendrum* sp., *Monosporium* sp. (?), *Myceliophthora* sp. (?), *Dematiaceae* の一種が検出されたがその数も少なく出現に一定の傾向が認められず、本実験条件の下で恒常的にアカマツ落葉の分解に関与していたとは考えられない。ただ *Dematiaceae* の一種は含水量の多くなる程増加する傾向が認められた。

Aspergillus fumigatus, *Penicillium restrictum*, *Penicillium roqueforti*(?) のようにある特定の条件下で優勢となるが他では著しく減少または全く認められなくなるなど各糸状菌の出現状態はなお不明瞭な点が多い。今後さらにこれらの結果から研究を進める必要があると考える。

第Ⅲ章 アカマツ落葉分解の主体をなす各種糸状菌の有機物分解力について

上述の実験はアカマツ落葉の分解に関与する土壤糸状菌を分析することによつてどのような糸状菌が主として分解に与るか及び条件の変化によつてどのように変るかについて調べたものである。これらの結果をよりよく理解するためにはこれら糸状菌がアカマツ落葉の如何なる組成成分をどの程度分解しうるかについて知る必要がある。そのうえ落葉の分解は条件によつて変化し、腐植形成の過程にも直接影響するといわれるが、落葉の分解にあずかる土壤糸状菌の変化がこれらの過程にどれ程の関係をもっているかを知るためにも、これら糸状菌の有機物分解力を調べる必要があろう。自然状態での落葉の分解はそれぞれ有機物分解力の異なる多種類の糸状菌が相互に相関係しあいながら行われているものであるからその様相は甚だ複雑といえよう。

ここでは以上の実験からアカマツ落葉の分解にあづかつている土壤糸状菌について単一の物質（セルロース、リグニン）の分解力を測定し、これらの問題を解明する一つの資料にしようとした。

第1節 各種糸状菌のセルロース分解力について

セルロースは林木落葉中でかなりの部分を占めほぼ10~20%にあたる場合が多い。その分解によつて生活エネルギーをえている森林土壤微生物の生育に対しても、さらに腐植の生成、変化に対しても最も重要な林地有機物変化の一つと考えられ土壤のセルロース分解力はその肥沃度と見なしうるともいわれている。

土壤中でのセルロース分解に関しては古くより多数の研究があり、植物遺体中で種々の糖類、Protein などについて分解されやすくそのうえ土壤中では殆んど完全に分解をうけてしまうことが示されている。またセルロースの分解に関与する糸状菌についても研究され、Waksman²⁷⁾ は糸状菌は一般にセルロース分解力が強く特にある種の *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Botrytis*, *Dematiaceae* では著しいことを認め、普通土壤中ではセルロースの分解に重要な役割を占めておりとし、酸性土壤では *Trichoderma* 属の作用が大きいと報じているがその他山本、大谷も *Penicillium* 属にセルロース分解力が最も強いことを認め、また橋本らも森林土壤微生物のセルロース分解力について実

験した。

1. 実 験 方 法

セルローズ材料として濾紙を用いこれを1 mm 以下の粉末とし、その絶乾基準2 g に対して石英砂40 g を混じオートクレーブで120°C で20 分間滅菌した。水分としてセルローズ重量の2 倍、すなわち4 cc の滅菌水に接種菌の胞子を十分に懸濁させたものを加え200 %とし、無機養料として第二磷酸アンモニウム $(\text{NH})\text{HPO}_4$: 200 mg, 第二磷酸カリ K HPO_4 : 100 mg, 硫酸マグネシウム MgSO_4 : 30 mg を滅菌した後無菌的に加えた。これらの資料を容れた500 cc 容フラスコは各接種菌毎に2 個1 組としゴム栓を施して28°C で培養し、毎日一定時間ずつ CO_2 を除去し無菌状態にした空気を通じてフラスコ内空気を置換し、発生した CO_2 を水酸化バリウム水に吸収せしめ蓚酸で滴定して CO_2 量を求めC の量 (mg) に換算し、 CO_2 発生量を分解速度の指標とした。

本実験に用いた接種糸状菌はつぎの9 種類と対照として用いたアカマツ林土壌浸出液 (Soil Emulsion) の10種である。用いた糸状菌については上述の実験で生育のよかつた培養条件をも併せ第10表に表示した。

第 10 表 接 種 糸 状 菌 及 び そ の 最 適 条 件

菌 の 種 類	含 水 率 (%)	酸 度 (pH値)
<i>Mucor hiemalis</i> (?)	200~300, 分解初期にのみ優勢	4.5~5.3
<i>Penicillium decumbens</i>	各含水率 (100~400)	6.2~6.3
<i>P. waksmani</i>	各含水率 (100~400)	6.2~6.3
<i>P. restrictum</i>		4.2~5.3
<i>P. steckii</i> (?)	200~300	6.2~6.3
<i>P. citreo-viride</i> (?)		各酸度に少量宛遍在
<i>Paecilomyces</i> sp.		4.2~5.3
<i>Aspergillus fumigatus</i>		4.2~4.9
<i>Trichoderma koningi</i>	各含水率特に 100~200	4.5~5.3
Soil Emulsion		

連日の CO_2 発生量が最盛をこえてから後適宜の時期に実験を打ち切り、Contaminate の有無を調べ他の糸状菌によつて汚染されたものは除外した。

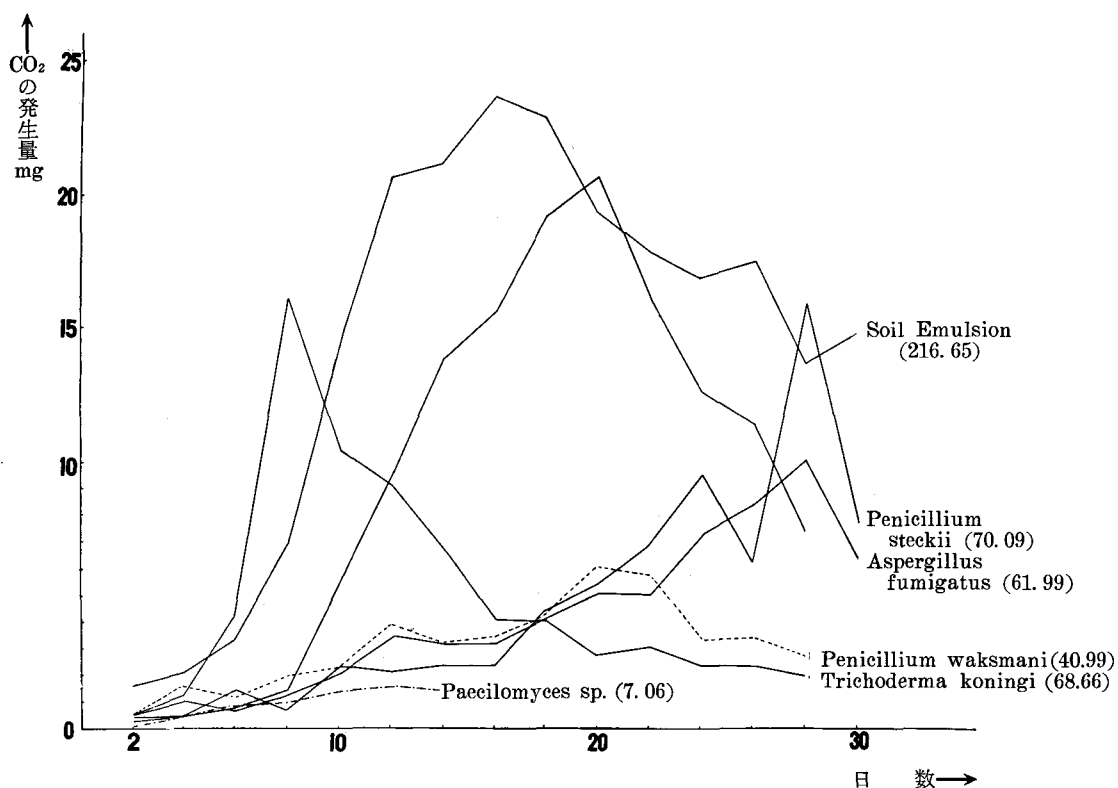
2. 実 験 結 果 及 び 考 察

毎日の CO_2 発生量を接種糸状菌毎に表示したものが第11表であり、これを2 日間毎にまとめ図示したものが第1図である。

これらの各菌種が実験打ち切りの日までに発生したC 量の総量を mg で示し、多いものから示すと、Soil Emulsion(30日) 216.65, *Penicillium decumbens*(28日) 134.19, *Penicillium steckii*(?) (30日) 70.09, *Trichoderma koningi* (28日) 68.66, *Aspergillus fumigatus* (30日) 61.99, *Penicillium waksmani* (28日) 40.99 mg ; *Paecilomyces* sp, (14日) 7.06 mg でこの他の4 種類のセルローズ分解力は極めて微弱なものようで、第1図より省略し *Paecilomyces* sp. の結果のみを図示した。

第 11 表 各種糸状菌のセルローズ分解力 (CO₂ 発生量を C の mg で示した。)

日	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	合計
菌の種類																
<i>Penicillium decumbens</i>	0.40	0.46	0.80	1.43	5.35	9.50	13.80	15.52	19.15	20.61	16.07	12.56	11.30	7.24		134.19
<i>P. waksmani</i>	0.28	0.50	1.44	0.69	2.33	3.94	3.20	3.44	4.17	6.01	5.65	3.27	3.37	2.70		40.99
<i>P. steckii</i> (?)	0.48	1.60	1.19	1.93	2.33	2.12	2.31	2.32	4.39	5.36	6.85	9.48	6.11	15.86	7.76	70.09
<i>Trichoderma koningi</i>	0.49	1.24	4.35	16.09	10.43	9.13	6.73	4.05	4.00	2.68	3.00	2.30	2.28	1.89		68.66
<i>Paecilomyces</i> sp.	0.09	0.47	0.84	1.05	1.46	1.65	1.50									7.06
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.48	1.02	0.65	1.27	2.07	4.49	3.11	3.13	4.05	4.96	4.89	7.22	8.33	10.02	6.30	61.99
Soil Emulsion	1.60	2.09	3.36	6.97	14.30	20.60	21.12	23.67	22.80	19.30	17.78	16.78	17.43	13.59	14.76	216.65

第 1 図 各種糸状菌のセルローズ分解力
(CO₂ 発生量を C の mg で示した)

このように CO₂ 発生量には各種類によつて相当大的な差異が認められるが、第 1 図からも明らかに分解の行われる速さも異なるようで、連日の CO₂ 発生量の最大値のあらわれ方にこの差異がよくあらわれている。すなわち *Trichoderma koningi* は CO₂ 発生量の最大値が 8 日目にあらわれ最も早く極めて迅速にセルローズの上で生育しえたものといえよう。

Penicillium decumbens, *Penicillium waksmani* はこれにつぎいづれも 20 日目に認められたが、*Penicillium steckii*(?), *Aspergillus fumigatus* はいづれも 28 日目に最大値を示し、セルローズ上

で充分生育するのにかなりの日数を必要としたことを示すものといえよう。Soil Emulsion は *Trichoderma koningi* と *Penicillium decumbens* との中間の 16 日目に最大値を示した。

すなわち、これら糸状菌の CO₂ 発生量によつて示される分解力は必ずしも生育の遅速とは一致しないようで、*Trichoderma koningi* のように生育が早く迅速に分解するものでも CO₂ の総発生量は 68.66 mg であり、これよりおくらせて CO₂ 発生量の最大値を示した *Penicillium decumbens* の約半分で、CO₂ 発生の最大値がさらにおくらせてあらわれる *Penicillium steckii*(?) や *Aspergillus fumigatus* と大差がなかった。同様に *Penicillium waksmani* の CO₂ 発生量の最大値は *Penicillium steckii*(?) より 8 日間も早くあらわれたが CO₂ 発生の総量は 28 日間で *Penicillium steckii*(?) の約半量にすぎなかった。

Mucor hiemalis(?), *Penicillium restrictum*, *Penicillium citreo-viride*(?), *Paecilomyces* sp. はセルローズ分解力が極めて微弱であるか、またはその能力を殆んど有しないと考えられ、これらが他の菌種に対する拮抗力も余り強くないという今日までの実験結果と併せ考えると自然界でのセルローズ分解には大して意義を有していないと考えて差支えないようである。なお *Mucor hiemalis*(?) は実験を数回重ねたがいづれもセルローズ分解力が認められなかった。*Mucorales* はセルローズ分解能力をもたないという Waksman, Fehér²⁷⁾らの実験結果とよく一致した。また植物遺体の分解では先ず可溶性の炭水化物など分解されやすい有機物が分解をうけるといわれているが、すでにのべたように本菌種が適湿の場合、しかも分解初期にのみ優勢であつたことは *Mucor* 属が分解されやすい可溶性炭水化物の分解に主として関与することを示すものといえるであろう。

Soil Emulsion による CO₂ 発生量はその速さと量及びそれらの拮抗力などから考えて、初期の経過は *Trichoderma koningi* と *Penicillium decumbens* とによるところが大きいと考えられる。これは林地でのセルローズ分解が主として *Penicillium* 属、*Trichoderma* 属その他数属の糸状菌によつて行われるという従来の結果と一致したが、*Penicillium* 属、*Trichoderma* 属の中でも特定の種類がセルローズ分解に主として関与するもののようで、分解力の極めて弱い種類も同一の属の中に多数含まれていることは注意する必要がある。なお 2 種ないしそれ以上の糸状菌が共存する場合は単一の糸状菌による場合と異つた分解の様相を示すことを Waksman³⁰⁾は示した。

酸度を変えた実験で強酸性下で優勢を示した菌類は本実験ではいづれもセルローズ分解力が微弱であつたかまたは殆んど分解力をもっていないと考えられたことは興味ある事実である。強酸性条件下の有機物分解の過程が酸性、弱酸性の場合と違つた形をとるのではないかと考えられるが、これらの糸状菌の分解力についてはさらに反応などの条件を変えて実験する必要がある。

セルローズ分解による一日の CO₂ 発生量の最大値はいづれの場合にも実験開始後約 30 日以内で認められその後は次第に減少した。実験期間内の CO₂ 発生の総量は単独の糸状菌の場合 *Penicillium decumbens* で最も多く 28 日間に 134.19 mg の C を発生したがセルローズ 2 g の中には 888 mg の C を有するので、これに比較すると約 1/6 が分解されたのみで全量が分解をうけてしまうにはなおかなり日数を必要とするようである。

第 2 節 各種糸状菌のリグニン分解力について

リグニンを分解しうる土壤微生物は少なく、ある種の糸状菌特に *Basidiomycetes* がその能力を有するといわれているが、土壤中でリグニンが速やかに分解をうけることは少ないようで土壤微生物の分解に対して極めて抵抗的なものであることが知られており有機物分解の過程で分解に抵抗して残存し腐植の母体となるとされている。リグニンは落葉材料中에서도およそ 20~30% を占め落葉の分解、腐植形成の過程に重要な役割をもつといえよう。

ここでは前節同様アカマツ林土壌で検出された各種糸状菌のリグニン分解力を調べた。

1. 実験方法

アカマツ落葉より Urban-Wenzel のリグニン、すなわち混酸リグニンを分離した。このリグニンの収量はリグニンの風乾重で 28.3 % で、灰分の含有量は 0.83 % であった。

このリグニンを 3 g (絶乾基準) とり石英砂 60 g と混じオートクレーブにて 120°C で 20 分間滅菌した。接種方法は前節の方法と同様である。これに (NH₄) HPO₄ : 300 mg, K₂HPO₄ : 100 mg, MgSO₄ : 30 mg を無菌的に加え、水分はリグニン重量の 3 倍の水を加えて 300 % とし、28°C で培養した。分解力測定の方法も前節と同様である。用いた糸状菌はつぎの 7 種である。すなわち *Phoma hibernica*, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aculeatum*, *Pullularia pullulans*, *Torula alii*, *Paecilomyces* sp. 及びアカマツ林表層土壌浸出液 (Soil Emulsion) である。

2. 実験結果及び考察

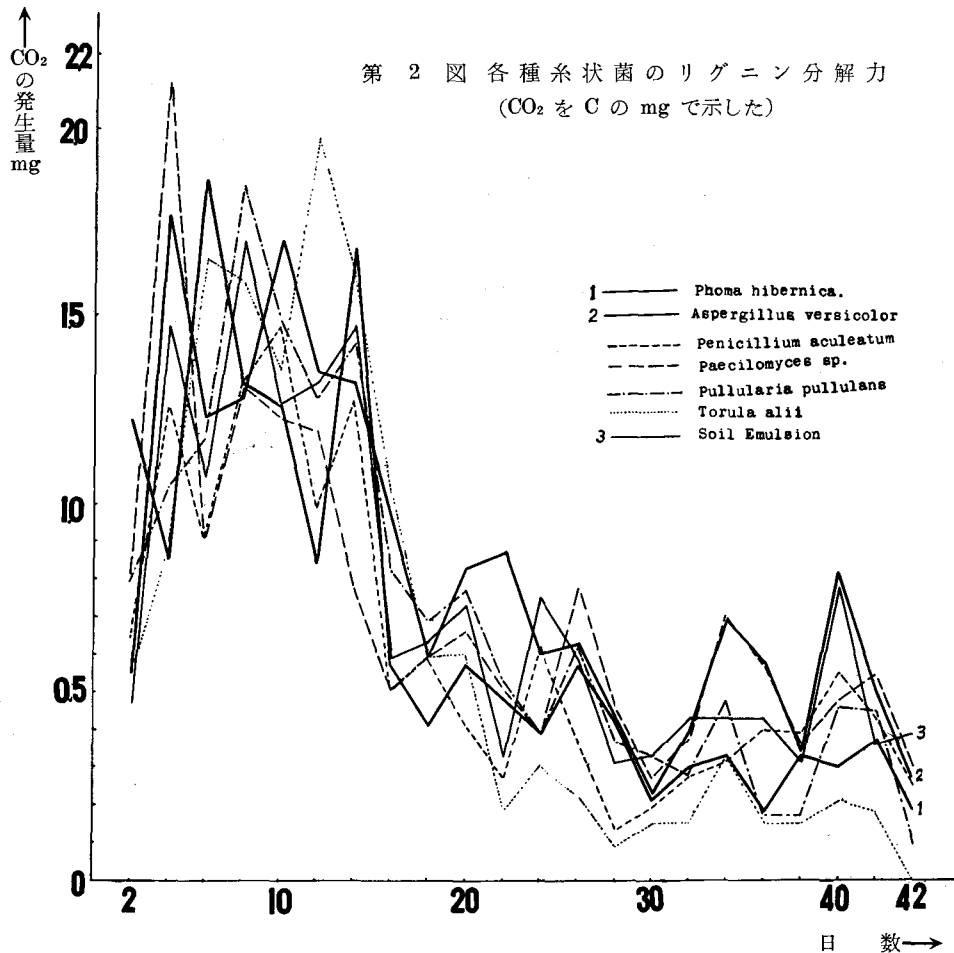
その結果は第 12 表、及び第 2 図に示した。

この結果によればリグニン材料からの CO₂ 発生量は著しく少なく、44 日間で C の mg で示すと最も少ない *Penicillium aculeatum* で 13.22 mg, 最も多かつた *Aspergillus versicolor* で 17.92 mg にすぎず前節セルローズの分解に比べて著しく分解量が少なかった。

すでにのべたようにリグニンが植物材料中で最も分解され難いことは Waksman²⁹⁾³¹⁾ その他によつて認められ、特に単離されたリグニンは植物材料中にある場合よりもなお分解に抵抗的となるといわれて

第 12 表 各種糸状菌のリグニン分解力 (CO₂ 発生量を C の mg で示した。)

菌の種類 日	<i>Phoma hibernica</i>	<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Penicillium aculeatum</i>	<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Pullularia pullulans</i>	<i>Torula alii</i>	Soil Emulsion
2	1.22	0.55	0.64	0.81	0.80	0.55	0.47
4	0.85	1.77	1.26	2.13	1.04	0.89	1.47
6	1.86	1.23	0.90	0.90	1.18	1.65	1.07
8	1.32	1.28	1.32	1.31	1.85	1.59	1.70
10	1.26	1.70	1.47	1.23	1.49	1.35	1.26
12	0.84	1.35	0.99	1.19	1.28	1.98	1.32
14	1.68	1.32	1.28	0.77	1.43	1.59	1.47
16	0.57	0.95	0.50	0.50	0.83	1.02	0.59
18	0.41	0.59	0.59	0.59	0.69	0.63	0.63
20	0.57	0.83	0.41	0.66	0.77	0.60	0.73
22	0.48	0.87	0.27	0.51	0.53	0.18	0.33
24	0.39	0.60	0.62	0.39	0.39	0.30	0.75
26	0.57	0.63	0.36	0.78	0.62	0.22	0.59
28	0.42	0.43	0.13	0.46	0.37	0.09	0.31
30	0.21	0.23	0.19	0.27	0.33	0.15	0.33
32	0.30	0.39	0.27	0.37	0.28	0.15	0.43
34	0.33	0.69	0.31	0.70	0.48	0.33	0.43
36	0.18	0.58	0.40	0.57	0.27	0.15	0.43
38	0.33	0.34	0.39	0.36	0.27	0.15	0.31
40	0.30	0.82	0.55	0.48	0.46	0.21	0.78
42	0.37	0.51	0.43	0.55	0.45	0.18	0.36
44	0.18	0.28	0.25	0.31	0.10	0.00	0.39
合 計	14.64	17.94	13.53	15.84	15.92	13.96	16.15



いる。本実験でもセルローズの分解に比べると同一 Soil Emulsion による分解についてセルローズでは 30 日間で CO₂ 量 (C mg) で 216.65 mg であつたに対しリグニンでは 44 日間に 16.15 mg にすぎず、30 日間では 13.02 mg でセルローズの分解量はリグニンのそのの 16.64 倍に達した。この他各糸状菌による分解量も少なくセルローズなどに比してリグニンが微生物によつて分解され難いことを示すものといえよう。

各糸状菌による CO₂ 発生量も微量でこれらの糸状菌にはリグニン上でよく生育しリグニンを分解する能力を有していたと認め難いようである。なおここで用いたリグニンにはセルローズその他易分解性の炭水化物も幾分随伴しているものと思われる。第 2 図でも明らかなように CO₂ 発生量は実験期間の初期約 2 週間で多いのはリグニンの分解によるというよりもむしろこれら随伴する易分解性物質の分解によるものと考えられる。従つて各糸状菌に CO₂ 発生量で多少の差異があつたとしてもこれが真にリグニン分解力の差異によるものかどうかは疑問で、一樣にリグニン分解力は微弱または殆んどなかつたと判断して差支えないと考える。

この他 *Trichoderma koningi*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium decumbens*, *Penicillium waksmanni* についても同様分解力を測定したが、リグニン材料の不備のためいづれも 35mg 前後の CO₂ 量 (C mg) を発生し上述の結果の約 2 倍に相当した。これはリグニンの単離不充份であつたためと考え

られるが、セルローズの分解と比較していづれも少なくこれらの糸状菌にもリグニン分解力の著しいものはなかったといえよう。

摘 要

(1) 京都市近郊の林地糸状菌の種類、概数及び季節的変動を求め、さらにアカマツ落葉の分解は主としてどのような土壌糸状菌によつて行われているかについて条件を変えて調査し、同時にまたこれら糸状菌の有機物分解力について調べた。

(2) 京都市近郊のアカマツ、アカシデ、スギ、ヒノキ林で分離された糸状菌は27属に達した。季節的には本実験の範囲内で一般に春季に最大で秋季に最小となる傾向があり、また土壌層別にはAo層に最も多く下層程糸状菌数は減少した。これらの試験区を通じて比較的普遍的に認められたものは *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Acrostalagmus* の5属であり、この他アカマツ林には *Mucor*, *Cunninghamella*, *Chaetocladium*, *Mortierella* (?), *Oospora*, *Cephalosporium*, *Monosporium* (?), *Torula* などが認められた。なお鞍馬スギ林、ヒノキ林では糸状菌の数が少なかつたのみでなくその種類も少なく、*Penicillium* が著しく大きな割合を占めた。

(3) アカマツ落葉の分解に関与する主な糸状菌は *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma* の3属でありこの他 *Aspergillus*, *Paecilomyces* も条件によつては優勢となつた。

糸状菌の種類、数はアカマツ落葉の分解が行われるときの条件によつて変化するが、水分条件は種類を変化せしめるよりも数量的に著しい変化をおこし、養分、酸度条件は種類をも変化せしめる。水分条件のみを変えるといづれの場合にも *Penicillium waksmani*, *Penicillium decumbens* が優勢となり、これらは実験期間(80日間)を経過しても減少する傾向はなく相当永続的にアカマツ落葉の分解に関与するようである。*Mucor hiemalis* (?) は200%~300%の水分条件でのみあらわれ、*Trichoderma koningi* は水分の比較的少ないときにあらわれた。酸度を変えると弱酸性区(pH 6.27~6.20)と対照区(pH 3.81~4.89)では *Penicillium* の3種、すなわち *P. decumbens*, *P. waksmani*, *P. steckii* (?) が優勢となり、酸性区(pH 4.54~5.34)では *Paecilomyces* sp., *Penicillium roqueforti* (?), *Penicillium restrictum* が優勢となり *Mucor hiemalis* (?), *Trichoderma koningi* がこれについだ。強酸性区(pH 4.22~4.92)でも *Paecilomyces* sp., *Penicillium restrictum* があらわれ、この他 *Aspergillus fumigatus* も同時に優勢となつた。

いづれの場合も接種後約1週間経過すると糸状菌の種類が当初の接種材料中のそれに比べ著しく減少したが、一方糸状菌数は約1ヶ月後に最大となつた。

(4) これら糸状菌のセルローズ分解力をCO₂発生量を指標としてCのmgで示すとSoil Emulsion(30日間) 216.65, *Penicillium decumbens* (28日間) 134.19, *Penicillium steckii* (?) (30日間) 70.09, *Trichoderma koningi* (28日間) 68.66, *Aspergillus fumigatus* (30日間) 61.89, *Penicillium waksmani* (28日間) 40.99であり *Paecilomyces* sp. は14日間で7.06mgにすぎなかつた。この他 *Mucor hiemalis* (?), *Penicillium restrictum*, *Penicillium citreo-viride* (?) も *Paecilomyces* sp. と同様セルローズ分解力は極めて微弱であるかまたは全くその能力をもたないと考えられた。なお分解の速さは糸状菌によつて異なるようで、*Trichoderma koningi* はCO₂発生量の最大が8日目にあらわれ最もはやかつたに対し *Penicillium decumbens*, *Penicillium waksmani* はいづれも20日目に、*Penicillium steckii* (?), *Aspergillus fumigatus* は28日目に漸く最大を示した。すなわちCO₂発生量で示される分解の全量とセルローズの上に生育する早さとは必ずしも一致しなかつた。

アカマツ落葉から単離したリグニンの分解力を *Phoma hibernica*, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aculeatum*, *Pullularia pululans*, *Torula alii*, *Paecilomyces* sp. について調べると、いづれも微弱でリグニン分解の能力があつたとはいえないようである。

文 献

- 1) Cobb, M. J. A quantitative study of the microörganic population of a Hemlock and a deciduous forest soil. *Soil Sci.*, Vol. 33, 1932.
- 2) Dubos, R. J. Influence of environmental conditions on the activities of cellulose decomposing organisms in the soil. *Ecology*, Vol. 9, 1928.
- 3) Fehér, D. Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. 1933.
- 4) Gilman, J. C. A manual of Soil Fungi. 1950.
- 5) 橋本与良, 野原勇太, 木村八郎 森林土壤微生物に関する研究 (第一報) 纖維素分解菌に就いて. 日. 林. 誌., Vol. 26, No. 10, 1944.
- 6) 池田茂 砂丘土壤中の糸状菌分布について 日. 林. 誌., Vol. 36, No. 8, 1954.
- 7) 板野新夫 土壤微生物学 1948.
- 8) Jensen, H. L. The fungus flora of the soil. *Soil Sci.*, Vol. 31, 1931.
- 9) 小原巖 応用微生物学各論 1948.
- 10) Melin, E. Biological decomposition of some types of litter from North American forests. *Ecology*, Vol. 11, 1930.
- 11) 中根正行, 佐々木西二 森林土壤の微生物学的研究 第一報 日. 農. 化. 誌., Vol. 19, No. 9 1943.
- 12) Niethammer, A. Die Mikroskopischen Boden-Pilze. 1937.
- 13) 沖永哲一 森林土壤の微生物学的研究 I スギ人工林の土壤微生物相に就いて 日. 林. 誌., Vol. 34, No. 5, 1952.
- 14) 沖永哲一 森林土壤の微生物学的研究 II ヒバ林の土壤微生物相 日. 林. 誌., Vol. 34, No. 7, 1952.
- 15) 大政正隆 土壤の温度と水分が土壤微生物に及ぼす影響に就いて 日. 林. 誌., Vol. 18, No. 6, 1936.
- 16) 大政正隆, 森経一 森林の土壤微生物とその環境因子——特に皆伐の土壤微生物に及ぼす影響について 農学, 1, 1947.
- 17) 大政正隆, 河田弘, 永島明子 森林土壤の糸状菌に関する研究 各種森林土壤の糸状菌群落について (第一報) 日. 林. 誌., Vol. 32, No. 5, 1950.
- 18) Powers, W. L. and W. B. Bollen The chemical and biological nature of certain forest soils. *Soil Sci.*, Vol. 40, 1935.
- 19) Raper, K. B. and C. Thom Manual of the Aspergilli. 1945.
- 20) Raper, K. B. and C. Thom Manual of the Penicillia. 1949.
- 21) 斉藤紀 含塩沼地とその附近の土壤糸状菌 生態学研究 Vol. 13, No. 2, 1952.
- 22) 堤利夫 温度湿度が落葉の分解に及ぼす影響について 日. 林. 講., 第62回, 1953.
- 23) Vandecaveye, S. C. and H. Katznelson Microbial activities in soil: V. Microbial activity and organic matter transformation in palouse and helmer soils. *Soil Sci.*, Vol. 46, 1938.
- 24) Waksman, S. A. Soil fungi and their activities. *Soil Sci.*, Vol. 2, 1916.
- 25) Waksman, S. A. Is there any fungus flora of the soil? *Soil Sci.*, Vol. 3, 1917.
- 26) Waksman, S. A. and R. L. Starkey Microbiological analysis of soils as an index of soil fertility. VII, Carbon Dioxide evolution. *Soil Sci.*, Vol. 17, 1924.
- 27) Waksman, S. A. Principles of Soil Microbiology. 1927.
- 28) Waksman, S. A. and F. C. Gerretsen Influence of temperature and moisture upon the nature and extent of decomposition of plant residues by microorganisms. *Ecology*, Vol. 12, 1931.
- 29) Waksman, S. A. and I. J. Hutchings Decomposition of lignin by microörganisms. *Soil Sci.*, Vol. 42, 1936.
- 30) Waksman, S. A. and I. J. Hutchings Associative and antagonistic effect of microorganisms: III. Associative and antagonistic relationships in the decomposition of plant residues. *Soil Sci.*, Vol. 43, 1937.
- 31) Waksman, S. A. and T. C. Cordon A method for studying decomposition of isolated lignin, and the influence of lignin on cellulose decomposition. *Soil Sci.*, Vol. 45, 1938.
- 32) Waksman, S. A. Three decades with soil fungi. *Soil Sci.*, Vol. 58, 1944.

Résumé

This report deals with a study of the flora and the activity of the forest soil fungi.

(I) The decompositions-rate of forest litter influences greatly the humification processes and soil fungi play an important role in decomposition, so the fungous flora of forest soil has an important relation to forest soil fertility. On the other hand, the decompositions-rate of forest litter is influenced by climatic and edaphic conditions, and fungous flora is also varied by same conditions. Therefore, the relation between the decomposition of forest litter and the decomposing fungous flora is very complex.

In order to make this relation clear the following experiments were made ;

(a) about the fungous flora, its seasonal and its soil horizontal variations of some forest soils near Kyoto-city,

(b) about the typical fungi that decompose Akamatsu litter under various nutrients contents (N. P. K. Mg. Ca), various moisture contents (100 %, 200 %, 300 %, 400 %) and various acidity of Akamatsu litter,

(c) about the decomposing ability of the soil fungi with cellulose and lignin.

(II) The numbers of genus of soil fungi was 27, that were isolated from soils of Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.), Akaside (*Carpinus laxiflora* Blume.), Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* S. et Z.) forest. It was found by this experiments that the maximum number of soil fungi exists in spring, and minimum in autumn, and the highest in A₀ layer and decreased with the depth of soil layer. The most common fungi in test forest soils were *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium* and *Acrostalagmus*. In addition to them, *Mucor*, *Cunninghamella*, *Chaetocladium*, *Mortierella*(?), *Oospora*, *Cephalosporium*, *Monosporium*(?) and *Torula* were found in Akamatsu forest. The isolated fungi in Sugi and Hinoki forest were few in number and in genus, and *Penicillium* was dominant among them.

(III) When Akamatsu litter was decomposed, the most common decomposing fungi were *Mucor*, *Penicillium* and *Trichoderma*, and in some special conditions, *Aspergillus* and *Paecilomyces* were also found. (i. e., they were found in all conditions tested.)

When the Akamatsu litter was decomposed under the 100, 200, 300 and 400% (% of litter weight) moisture contents, *Penicillium decumbens* and *Penicillium waksmani* were found in all test conditions, and they did not decrease at the end of the experiment period (80 days), therefore, they decompose the Akamatsu litter during a considerable long time. *Mucor hiemalis* (?) was found only at 200 and 300 % moisture content, *Trichoderma koningi* under drier condition. When the Akamatsu litter was decomposed under various acid conditions, the species of the typical decomposing fungi varied with the grade of acidity. The grades of acidity were following 4 conditions ; (1) weak acid (pH. 6.27~6.20) (2) acid (pH. 4.54~5.34) (3) strong acid (pH. 4.22~4.92) (4) control (pH. 3.81~4.89). The typical fungi found on these conditions were following ;

- (1) weak acid—*Penicillium decumbens*, *Penicillium waksmani*, *Penicillium steckii* (?) ;
- (2) acid—*Paecilomyces* sp., *Penicillium roqueforti* (?), *Penicillium restrictum* and *Mucor hiemalis*(?), *Trichoderma koningi*, followed them ;
- (3) strong acid—*Paecilomyces* sp., *Penicillium restrictum*, *Aspergillus fumigatus* ;
- (4) control—*Penicillium decumbens*, *Penicillium waksmani*, *Penicillium steckii*(?).

Therefore, it seemed that the decomposing fungous flora were scarcely influenced in species, but greatly in number by moisture conditions. The nutrients contents and the acidity varied also the species greatly.

The decomposing fungus flora varied with incubating period. Over about a week, the number of the species of the decomposing fungi decrease compared with those of inoculating material. On the other hand, the maximum number of fungi was found after about a month.

(IV) The cellulose decomposing ability of these fungi were following (CO₂ evolution as C mg.) :

- Soil Emulsion (30 days) 216.65 mg.
- Penicillium decumbens* (28 days) 134.19 mg.
- Penicillium steckii* (?) (30 days) 70.09 mg.
- Trichoderma koningi* (28 days) 68.66 mg.
- Aspergillus fumigatus* (30 days) 61.99 mg.
- Penicillium waksmani* (28 days) 40.89 mg.
- Paecilomyces* sp. (14 days) 7.06 mg.

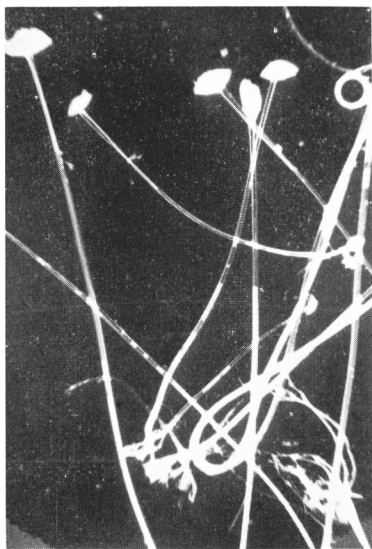
It seems that cellulose decomposing ability of *Mucor hiemalis* (?), *Penicillium. restreutum* and *Penicillium. citreo-viride* (?) was as poor as *Paecilomyces* sp..

The decomposingrate of cellulose was different with the species of fungi. *Trichoderma koningi* grew most rapidly on cellulose and its maximum CO₂ evolution was found on the 8th day. On the other hand, *Penicillium decumbens* and *Penicillium waksmani* on 20th day, *Penicillium steckii* (?), *Aspergillusfumigatus* on the 28th day ; i. e., the total amount of the decomposed cellulose indicated by CO₂ evolution had not always relation with the rapidity grew on cellulose.

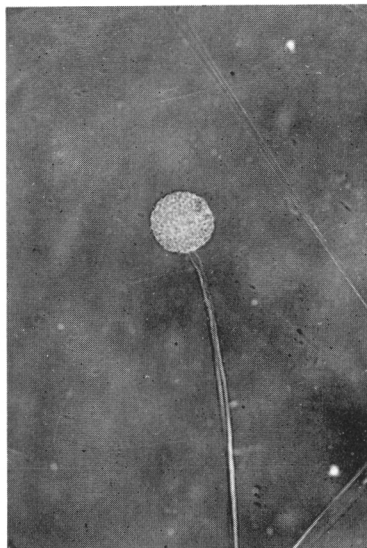
It seemed that lignin decomposing ability of test fungi was always poor or not existed

The test fungi were following ;

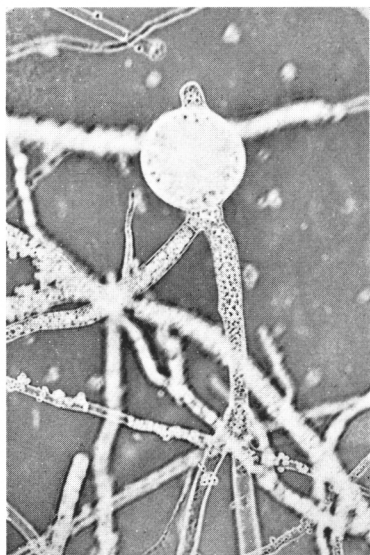
Phoma hibernica, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aculeatum*, *Pullularia pullulans*, *Torula alii*.
Paecilomyces sp..



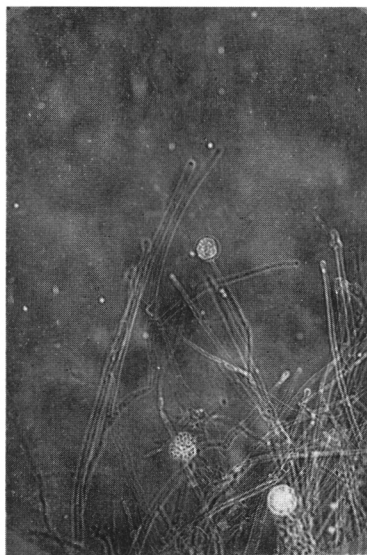
× 35 *Rhizopus* sp.



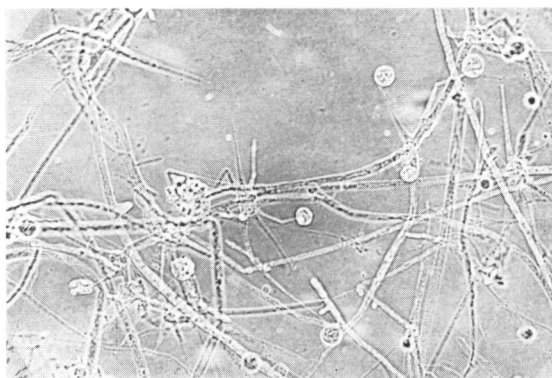
× 190 *Mucor hiemalis* Wehmer(?)



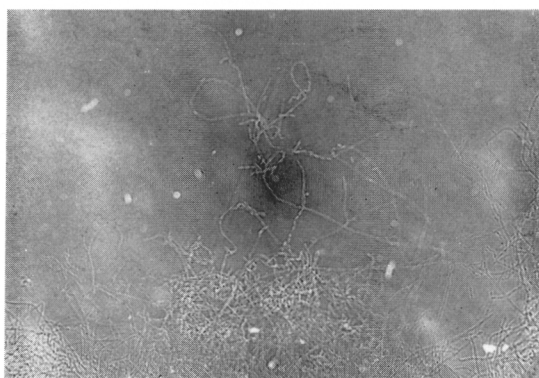
× 210 *Mucor ramannianus*
A. Moeller. (zygospore)



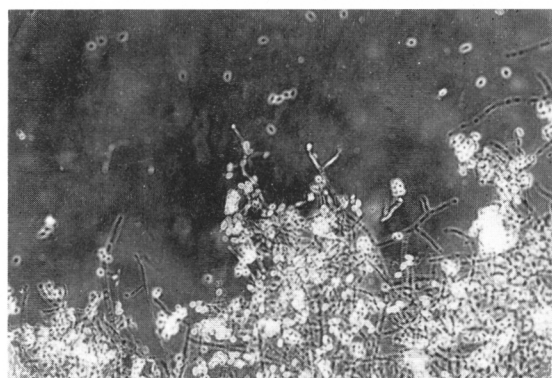
× 190 *Mortierella pusilla*
Oudemans. (?)



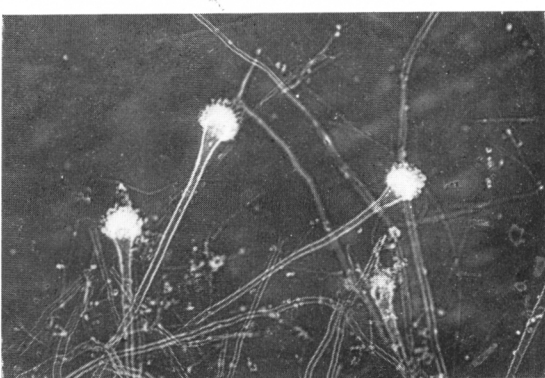
× 210 *Chaetocladium* sp.



× 190 *Oospora* sp.



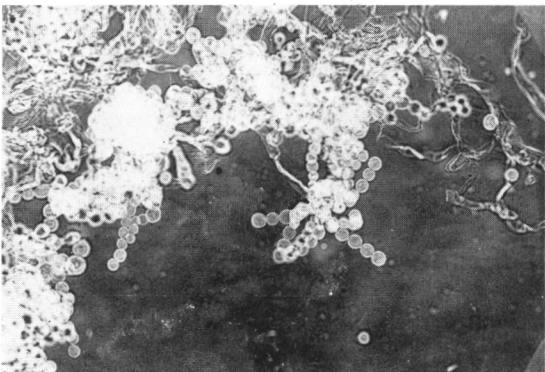
× 190 *Trichoderma koningi* Oudemans.



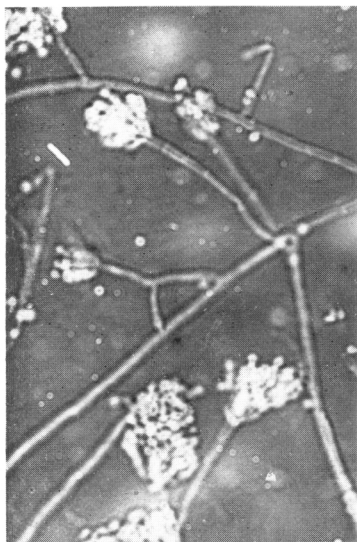
× 190 *Aspergillus fumigatus* Fresenius.



× 190 *Aspergillus versicolor* Tiraboschi.



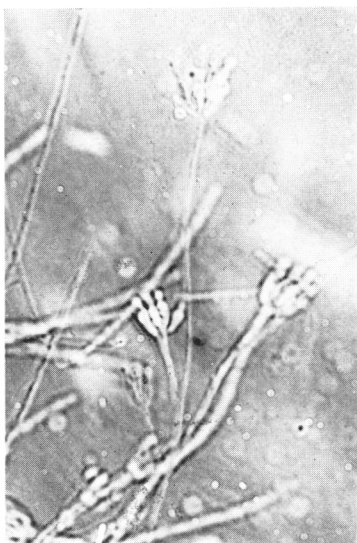
× 190 *Amblyosporium* sp.



× 400 *Penicillium restrictum*
Gilman and Abbott.



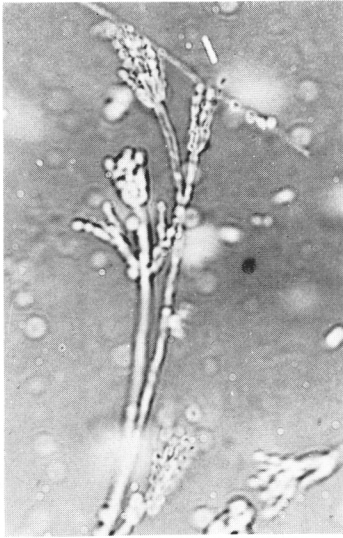
× 800 *Penicillium decumbens*
Biourge.



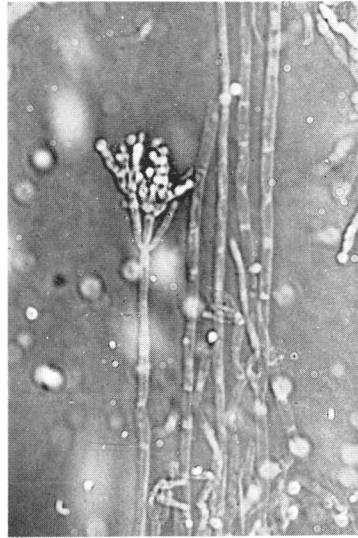
× 400 *Penicillium waksmani*
Zaleski.



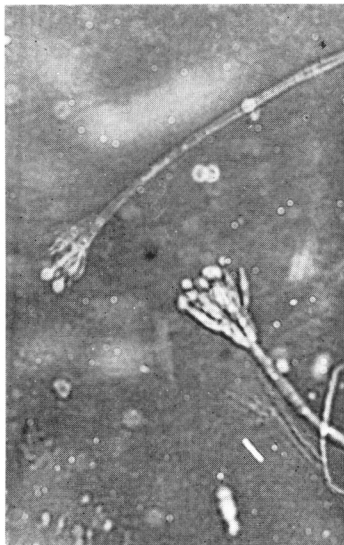
× 400 *Penicillium implicatum*
Biourge.



× 400 *Penicillium velutinum*
van Beyma (?)



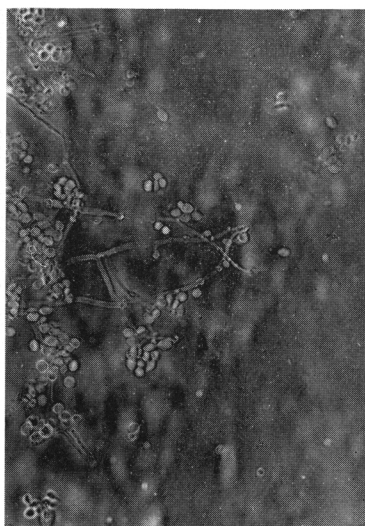
× 400 *Penicillium aurantio-*
candidum Direkx (?)



× 400 *Penicillium aculeatum*
Raper and Fennell



× 190 *Monosporium acuminatum* var.
terrestre Saccardo. (?)



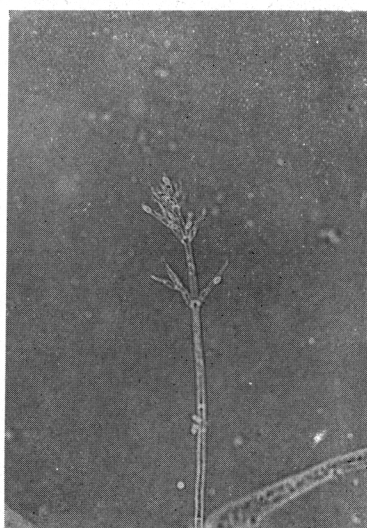
× 190 *Botrytis* sp.



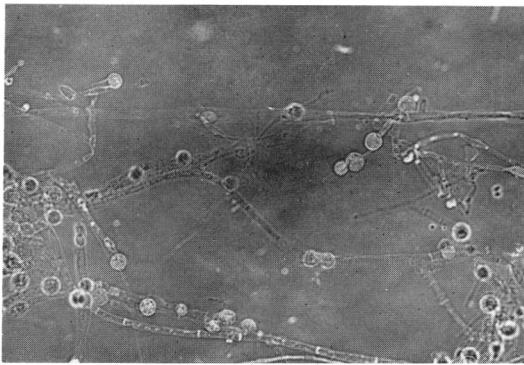
× 190 *Acrostalagmus* sp.



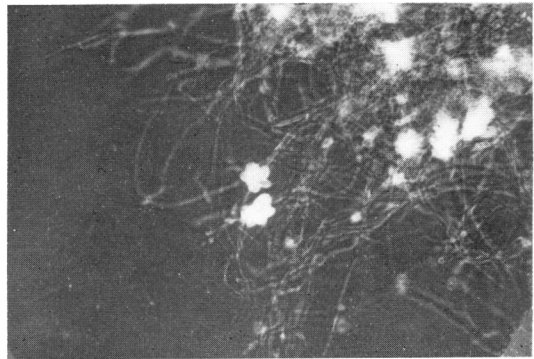
× 190 *Spicaria* sp.



× 210 *Paecilomyces* sp.



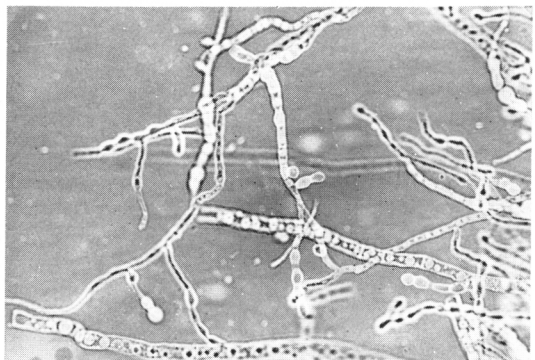
× 190 *Sporotrichum* sp.



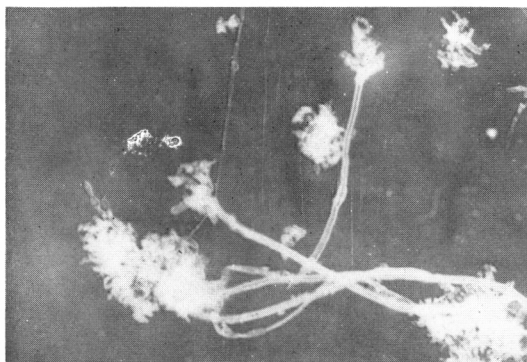
× 190 *Papularia sphaerosperma* von Höhnelt.



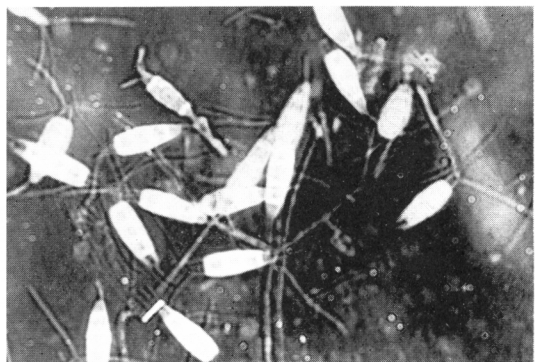
× 190 *Pullularia pullulans* Berkhout.



× 170 *Torula allii* Saccardo.



× 190 *Hormodendrum* sp.



× 400 *Pestalozzia* sp.