

「北アルプスの自然災害および環境保全とりわけ絶滅危惧生物の生態と保全に関する研究」(生物編)のセミナー活動報告

藤山静雄

〒390-8621 松本市 3-1-1 信州大学理学部生物科学科

Reports on Biological Seminar: Studies on Nature Disaster in Northern Japan Alps and on Environmental Conservation Methods with Special Reference to Ecology and Preservation of Organisms.

Shizuo FUJIYAMA

Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto 390-8621 Japan

Key words: 環境保全、生態、菌類、生物指標、昆虫

はじめに

長野県は中部山岳地帯に位置する。ここには豊富な自然が存在し、豊かな生物相の形成が見られる。また、一方ではそれは険しい自然環境を形作っており、自然災害の多い地域としても知られる。

このような背景のもとに 1999 年度、上記研究課題が学長裁量経費として採択された。この研究は、この地域の特色を生かして 1998 年度に発足した大学院博士後期課程地球環境システム科学専攻の教育研究の充実をはかる目的で採択されたものである。予算的には大変小額なものであるが、前述の目的で課題が採択されたことは、新たに発足したこの専攻の一層の充実に向けた取り組みを促すことにつながり大変有意義なことである。これを契機に一層活発な研究教育活動が展開できるよう努力して行きたいと考えている。

この報告はその研究の中で生物系の研究活動のうち、セミナーやシンポジウムとして講演された活動の要旨を中心に概要を簡単にまとめたものである。この研究教育活動に快くご協力いただき、講演を引き受けて頂いた農学部及び教育学部の先生方に研究班を代表して感謝申し上げます。

なお、今号、及び前号には、これらの課題以外に菅原敬、佐藤利幸、の両氏及び筆者がそれぞれこの研究活動に関係する邦文あるいは報告を投稿しておりますのでそれらについても御参照頂きたい。

研究会活動

これに関連した研究会を年間 6 回開催した。これは、学内外の 5 名の関連教官を招いて講演会及びセミナーを行った。うち、2 回は生物科学教室の研究会との共催の形で開催したものであり、他の 4 回は上記研究班が主催したものである。そのうちの 3 名の演者と発表テーマ、要旨及び資料を以下に収録する。

なお、本研究活動は来年度も引き続き行っていく予定ですので、皆様の一層の御支援ご協力をお願い申し上げます。

中村寛志 (信州大学農学部食料生産学科): チョウ類群集の構造解析による環境評価。

環境評価手法の課題点

昆虫類を含めた生物群集の調査データをもとに、環境やその自然度を評価する試みはさまざまな手法を使って研究されてきた。その方法は大きく分けて 2 つある。

1 つは昆虫の環境指標性を利用して、種名目録などの定性調査によって得られる種構成から、環境を評価する方法である。もう 1 つは多様性指数や類似度指数など数量化によって群集構造を解析・比較する方法である。前者では、研究者によって種の評価値が異なる場合があり、また地理的分布が異なる種では普遍性に乏しいなどの問題点がある。一方、後者では、種構成の識別や種の出現比率が表現できない点や、種数と個体数の厳密な定量調査が要求されるなどの問題点がある。

***実施した調査**

授業科目の関心度の分析 (養護教育学・秘書学)
 タイプA行動パターン of 心理テスト
 香川県自然環境保全指定策定調査 (1980年—1987年)
 香川県自然環境保全調査 (1992年—1997年)
 大滝・大川県立自然公園基礎調査 (1992年—1995年)

調査条件のばらつき (調査時期・調査ルート・気候)

RI 指数 (個体数を順位変数に変換した多様度指数)

(2) 多様度指数で種識別性を表現させる

***研究のアウトライン**

(1) 定量的にとらえにくいデータを数量化して多様度を表現する。

(3) 環境評価に対応した種の客観的なグループ分け生物の群集構造の内的構造を解析する手法

多変量解析手法 (クラスター分析・因子分析)

表1 レッドデータブックに掲載された昆虫種

カテゴリー	種数	目	内 訳
絶滅種	2種	コウチュウ目	カドタメクラチビゴミムシ、コゾノメクラチビゴミムシ
絶滅危惧種	23種	トンボ目	ヒヌマイトトンボ、ベッコウトンボ
		チョウ目	ゴイシツバメシジミ、オオウラギンヒョウモン、ミツモンケンモン、ノシメコヤガ
		その他	17種
危惧種	15種	トンボ目	ミヤジマトンボ
		チョウ目	ギフチョウ、ルーミスシジミ、ヒョウモンモドキ、タカネヒカゲ
		その他	10種
希少種	166種	トンボ目	38種
		チョウ目	42種 (うちガ類5種)
		その他	86種
地域個体群	1個体群	カメムシ目	宮古島のツマグロゼミ

表2 環境庁が実施している自然環境保全基礎調査 (緑の国勢調査) における指標昆虫類*

調査年度	対象昆虫種	内 容
昭和48年度 (第1回)	日本特産種や希産種などの生息地	野生生物で6096件の報告
昭和53年度 (第2回)	指標昆虫10種及び都道府県ごとに選定された昆虫種	指標昆虫 ムカシトンボ、ムカシヤンマ、ハッチョウトンボ、ガロアムシ目、タガメ、ハルゼミ、ギフチョウ、ヒメギフチョウ、オオムラサキ、ゲンジボタル 香川県選定種 トンボ目シコクトゲオトンボなど10種、バッタ目3種、ゴキブリ目1種、カメムシ目13種、カゲロウ目1種、チョウ目ヘリグロチャバネセセリなど18種、コウチュウ目ルイスハンミョウなど13種の合計50種
昭和59年度以降 (第3, 4, 5回)	全種調査 (種の多様性調査) 環境指標調査 (身近な生き物調査)	トンボ・チョウ・セミ類の全種及びガ・コウチュウ類の一部 第3回調査 ハッチョウトンボ、キリギリス、ハネナガキリギリス、タガメ、ヒグラシ、ミンミンゼミ、オオミノガ、オオムラサキ、ハンミョウ、カブトムシ、ゲンジボタル 第4回調査 (夏の虫コース) ギンヤンマ、オニヤンマ、アオスジアゲハ、オオムラサキ、カブトムシ (虫の声コース) クマゼミ、ヒグラシ、ミンミンゼミ、アオマツムシ、マツムシ (水辺コースの一部) ゲンジボタル、ヘイケボタル 第5回調査 セミのぬげがら調査 (対象32種)

*: 環境庁自然保護局生物多様性センターURL(<http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd-f.html> 1999年7月9日)による

表3 生物群集の多様性を表現するさまざまな指数

指数	多様度の種類	理論基礎	内容*
Shimpson(1949)の多様度指数(1/λ)	平均多様度	確率論	$\lambda = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1)$ の逆数
森下(1967)のβ指数	平均多様度	確率論	Shimpsonの1/λと同じ形で定義
McIntosh(1967)の多様度指数	平均多様度	個体間距離	$(N - \sqrt{\sum (n_i)^2}) / (N - \sqrt{N})$
McNaughton(1967)の優占度指数(DI)	平均多様度	優占度	$(n_1 + n_2)/N$
元村(1932)の1/α	平均多様度	種数個体数関係	等比級数則 $\log n + \alpha x_n = b$ の傾きαの逆数
Fisher(1943)の多様度指数(α)	平均多様度	種数個体数関係	対数級数則 $S = \alpha \log(1 + N/\alpha)$ のα
Shannon-Wiener 関数のH'	平均多様度	情報量理論	$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$ ($p_i = n_i/N$)
(Margalef, 1958)			
Sheldon(1969)のe ^{H'}	平均多様度	情報量理論	Shannon-Wiener 関数のH'を使う
Pielou(1969)の均衡性指数(J)	相対多様度	情報量理論	$J = H'/\log_2 S$
Preston(1948)の1/σ ²	相対多様度	種数個体数関係	オクターブ法によってまとめられた対数性規則の分散σ ²
森下(1967)の繁栄指数(Nβ)	全多様度	確率論	N×β指数
HN(Pielou, 1966)	全多様度	情報量理論	(Shannon-Wiener 関数のH')×N

*: 式中の記号は、S=種数、N=Σni=総個体数、ni=i番目の個体数、ni=1位の優占種の個体数、ni=2位の優占種の個体数を示す。

表4 生物群集の類似性を表現する様々な指数

指数	データの種類の	内容*
Jaccard(1902)の共通係数 CC	種数	$CC = c/(a+b-c)$
Sørensen(1948)の Qs 指数	種数	$Qs = 2c/(a+b)$
野村(1940)・Shimpson(1960)指数(NSC)	種数	$NSC = c/b(a>b)$
百分率相関法 (加藤, 1954)	種数、個体数	2 地域の出現比率の信頼限界を図示
Morisita(1959)の C _A 指数	種数、個体数	$C_A = 2 \sum n_{Ai} \cdot n_{Bi} / \{ (\lambda_A + \lambda_B) N_A \cdot N_B \}$ $\lambda_A = \sum n_{Ai} (n_{Ai} - 1) / N_A (N_A - 1)$, $\lambda_B = \sum n_{Bi} (n_{Bi} - 1) / N_B (N_B - 1)$
Kimoto(1967)の C _λ 指数	種数、個体数	$C_\lambda = 2 \sum n_{Ai} \cdot n_{Bi} / C (\sum \pi_A^2 + \sum \pi_B^2) N_A \cdot N_B$ $\pi_A^2 = \sum n_{Ai}^2 / N_A^2$, $\pi_B^2 = \sum n_{Bi}^2 / N_B^2$
Pianka(1973)の α 指数	種数、個体数	$\alpha = \sum p_{Ai} \cdot p_{Bi} / \sqrt{\sum p_{Ai}^2 \cdot \sum p_{Bi}^2}$ ($p_{Ai} = n_{Ai} / N_A$, $p_{Bi} = n_{Bi} / N_B$)

*: 式中の記号は、a=地域Aの種数、b=地域Bの種数、c=地域A,Bの共通種、N_A=Σn_{Ai}=地域Aの総個体数、n_{Ai}=地域Aのi番目の種の個体数、N_B=地域Bのi番目の種の個体数を示す。

表5 構造の異なったモデルのチョウ群集による多様度指数の比較

対象種	巢瀬の指数	モデル 群 集					
		A	B	C	D	E	F
アゲハ	1	30	100	180	0	3	18
モンシロチョウ	1	30	80	100	0	3	10
ベニシジミ	1	30	60	30	0	3	3
イチモンジセセリ	1	30	40	20	0	3	2
イチモンジチョウ	2	30	30	10	0	3	1
ミズイロオナガシジミ	2	30	20	10	10	3	1
ミドリヒョウモン	2	30	10	10	10	3	1
オオムラサキ	2	30	10	0	10	3	0
イシガケチョウ	2	30	5	0	20	3	0
ムラサキツバメ	2	30	5	0	30	3	0
ミカドアゲハ	2	30	0	0	100	3	0
クロノマチョウ	3	30	0	0	180	3	0
総個体数		360	360	360	360	36	36
種数		12	10	7	7	12	7
巢瀬の EI 指数		21	16	10	15	21	10
RI 指数		1.000	0.639	0.472	0.472	0.333	0.250
Simpson の多様度指数(1/λ)		12.379	5.671	2.962	2.962	17.500	3.119
Shannon-Wiener 関数の H'(単位ニット)		2.485	1.918	1.369	1.369	2.485	1.369
Pielou の均衡性指数(J)		1.000	0.772	0.551	0.551	1.000	0.551
森下の繁栄指数		4457	2042	1066	1066	630	112

別府桂（信州大学教育学部附属志賀自然教育施設）：
ショウジョウバエの群集構造と標高差移動

ショウジョウバエという名前は、高等学校の生物の教科書の遺伝の項目に登場するため、一般に良く知られている。しかし、多くの人はショウジョウバエというと突然変異体をはじめとする奇形体をイメージしていることが多く、我々の見の周りにごく普通に生息するハエのうちの何種かの総称だという印象は少ないように思う。そこで、ショウジョウバエ科のハエ（ショウジョウバエというのはこの科に属するハエの総称）の分類体系について最初に概説し、その後で長野県東北部におけるショウジョウバエの生息状況や、さまざまな環境内におけるその群集構造について報告する。加えて、こうした群集を構成するショウジョウバエの内の何種かは、季節による標高差移動を行っていることが最近明らかになってきたのでその適応上の意義について述べる。

ショウジョウバエ科に属するハエは、現在までに世界で約 3,000 種、日本では 270 種程が記載されている。しかし、その数は現在急速に進んでいる熱帯及び亜熱帯の調査によって急増しつつあり、その数がどこまで増加するかはまだ未知である。長野県下では、現在のところ約 100 種のショウジョウバエの分布が確認されているが、その調査地域が東北部に限られていることや、トラップ採集が中心でスウィーピング等による調査がまだ不十分なことを考慮に入れれば、120～130 種ぐらいのショウジョウバエが生息している可能性は十分考えられる。

今までの調査から、ショウジョウバエの生息環境としては“森林”“水辺”“草地・草本群落”及び“人家ないしは人家周辺”の 4 つに大別することが妥当であり、これらの環境ないの微環境の違いに基づくショウジョウバエの群集構造の違いが、いろいろな地域から報告されている。

長野県下の代表的な植生である落葉広葉樹林及び亜高山性針葉樹林においては、ショウジョウバエ群集は林冠集団と林床集団に大きく区分される。落葉広葉樹林内では春先や晩秋など林の階層構造が崩壊したり、あいまいになったりしている時期には林床にほとんどのハエが集中しているが、常緑の針葉樹林ではこうした春先や晩秋の林床集中傾向が少なく、春先から林の階層構造に基づくある程度明確な群集構造が見られた。季節によってショウジョウバエ群集を形作る構成種も変化するが、基本的には春先に越冬からさめ

たショウジョウバエに低地からの移動個体加わり、8 月頃の盛夏にショウジョウバエ群集は種数が最も多くなり、完成された状況を呈するように思われた。季節の進行に伴って低地から移動してくるショウジョウバエには、全ての個体が移動してくる種と、低地の集団の個体数が増加し、集団が膨張するような形で高地へ一部の個体が移動してくる場合があった。

水辺においては、その河川周囲の環境の違いによって、ショウジョウバエ群集の構成種も異なっていた。本流のようなやや広い河川ではクロショウジョウバエ種群のハエが多く支流のような川面が木々の梢で覆われるような水辺ではオオクロショウジョウバエ種群に属するハエが多く見られた。これらの水辺性ショウジョウバエにも季節によって標高差による移動を行っているものがあつた。

ショウジョウバエの生息する草地・草本群落としては、道端や川辺の植物による群落や湿原などがあげられる。人里付近の田畑の畦などにおいては、人為的な草刈りにより植物群落の状況が変化し、その変化に伴ってショウジョウバエ相も個体数も変化した。また、ササなどが密生するような場所ではショウジョウバエはほとんど生息していなかった。

人家及びその周辺では、汎世界的に分布するショウジョウバエを中心にショウジョウバエ群集が構成される。長野県北部においても 1980 年代まではキイロ、クロ、カスリといった典型的な人家性ショウジョウバエによってこうした集団が形成されてきたが、これらの人家性ショウジョウバエに加えて、1990 年代になるとオナジショウジョウバエがあちこちでかなり数多く見られるようになった。オナジショウジョウバエは 1973 年以降日本の太平洋側を中心に分布を拡大しているショウジョウバエだが、長野県北部へも侵入してきたようである。今まで生息していたショウジョウバエ各種との生態的な関係が気になるところである。

山田明義（信州大学農学部応用生命科学科）：外生菌根菌の生態と利用

外生菌根菌は、マツ科、ブナ科、カバノキ科、フタバガキ科、フトモモ科など、多くの樹木植物と共生（外生菌根形成）する真菌類である。実験的証拠から、それら樹木の多くが菌根形成なしには生長できず、菌根菌も樹木（宿主）なしに生長できないと考えられている。また、外生菌根菌は森林土壌中で最大の微生物バイオマスを有している。日本においては、これら菌根

菌の種数、分布、季節変化、植物生長への影響など、多くの点でほとんど明らかにされていない。

日本人なら誰でも知っている秋の味覚“松茸”やヨーロッパの高級食材“トリュフ”などのきのこは、じつは外生菌根菌である。シイタケやエノキタケなどの腐生菌と違い、人工栽培にはほとんど成功していない。

演者は、これまでアカマツと共生する外生菌根菌の生態とその利用に関する研究を主に行ってきたので、そこで明らかになった知見を紹介したい。

1、アカマツ林内における外生菌根菌の群集解析

アカマツ人工林に調査区を設定し土壤中の菌根を調査した結果、単位面積当りでは、これまでに知られている同菌群集のいずれよりも種数ならびに種多様性が高かった。同菌類群集の優先種はベニタケ科ならびにイボタケ科に属し、前者は子実体(きのこ)を発生させたが、後者に該当する子実体は見つからなかった。採取した土壌を用いた実験から、同菌群集は基本的な共存様式と攪乱耐性の違いをもとに幾つかのサブグループに区分でき、また、その高い種多様性がある程度説明できると考えられた。

2、外生菌根菌(きのこ)の人工栽培

アカマツ林内で食用菌根菌の子実体を収集し、培養菌糸とアカマツ無菌実生との二員培養(菌根合成)を行った結果、マツタケ、ホンシメジ他多数の種が外生菌根を形成した。人工気象室内でそれら菌根苗をポット土壌に移植し順化を行った結果、多くの苗ではさらに菌根が発達し、ショウロ、アカハツ、シモフリシメジでは子実体が形成された。したがって、アカマツ実生と培養菌糸を用いた菌根合成をもとに、将来多くの菌根菌種で人工栽培が可能と考えられた。

*1、菌根とは

菌根(mycorrhiza)とは、植物根と糸状菌からなる特徴的な共生体構造の一つである。菌根を自然条件下、あるいは実験条件下で形成する菌類を菌根菌(mycorrhizal fungi)と呼ぶ。このうち、多くの担子菌ならびに子のう菌類のきのこが関与する菌根は、“外生菌根(ectomycorrhiza)”と呼ばれる。外生菌根以外にも、V-A菌根、ラン菌根、ツツジ菌根、アルプトイド菌根、ジャクジョウソウ菌根など様々なタイプの菌根があり、それぞれ基本構造と機能ならびに菌種が異なる。本授業では、きのこの関与する外生菌根について話を進め、その他の菌根については詳しく触れない。なお、菌根の定義ならびに諸概念の詳細については、Smith and Read (1997)やアレ(1995)等の成書を参照されたい。

実験材料として見た場合、外生菌根菌(ectomycorrhizal fungi)は、単体としての“きのこ”と共生体としての“菌根”の2つの側面を合わせ持つ。前者に関しては、種々のきのこの説明と共通するところが多い。一方、後者に関しては、むしろ植物寄生菌や植物病原菌の概念や実験方法との共通点も多いことから、それらの文献も十分に利用価値がある。また、菌根共生系の実験を組む場合、入手あるいは培養の容易なきのこを選ぶことと、入手あるいは発芽や無菌苗作成の容易な植物種を選ぶことが重要になってくる。

2、外生菌根の基本構造

外生菌根は、菌鞘(マントルまたはシース)(fungal mantle または fungal sheath) とハルティヒネット(Hartig net)を持つことで形態的に定義される(図1から9)。両構造は、顕微鏡下で初めて確認できる。菌鞘は、文字通り植物細根の表面を全面に渡って覆う菌糸組織であり(図4から7、及び9)、ハルティヒネットは、同根皮層部の細胞間隙に侵入し発達した菌子体である(図6から9)。さらに菌根の表面には、外部菌糸や菌糸束など、土壌空隙中に広がる菌糸体の認められる場合が多い(図2)。外生菌根が形成されるのは、側根や主根(長根)の先端など、いわゆる細根と呼ばれる根部であり、それらが観察の主な対象となる。菌根菌自体は根系を伝わって伸長する場合もあることから、上記の他の根部や二次的な肥大成長をし樹皮を形成している根部でも菌糸の付着(定着)が見られる場合もある。

菌根形成に際し、根の表皮細胞はしばしば萎縮・崩壊する(図9)、皮層細胞が肥大し菌鞘が層化することから、菌根は非菌根に比べて直径が大きくなる。根に感染した外生菌根菌の菌糸は、表皮細胞を除いて細胞内に侵入することは希で(連続的に侵入する場合には別の菌根タイプとみなされる)、内皮細胞層ならびにその内側(維管束系)においては、細胞間侵入も認められない。物質の相互輸送は、おもに皮層細胞とハルティヒネットの間で行われており、これらが細胞レベルでの共生体の所以である(共生については後述)。

また、菌根菌の感染に際して根部の分岐ならびに伸長が誘導されることから、菌根は分岐を繰り返して発達する(図1及び3)。このことから、良く発達した外生菌根は、実体顕微鏡下においてそうでない根と区別することが可能であり、マツ属の場合などは慣れてくると肉眼でも菌根を大まかに確認できる。

菌根根糸の形態、菌鞘の色、菌糸組織の外観、ハルテ

イヒネットの発達程度などは、菌と植物の組み合わせにより様々に変化し、菌根の発達過程においても変化する。

3、外生菌根菌ならびに宿主植物の分類群

外生菌根菌の多くは地表あるいは地中にきのこを形成し、分類群は、担子菌類のハラタケ目、ヒダナシタケ目、ニセショウロ目、メラノガステル目、スッポインタケ目、ヒメノガステル目、子のう菌類のツチダング目、チャワインタケ目、塊菌目、接合菌類のアツギケカビ目など、極めて広範囲に及んでおり、世界中では少なくとも数千種程度と試算されている (Molina et al., 1992)。そのうち、菌根菌が占める科ないし属は、ある程度限定されている。しかし、同属中にも菌根菌と腐生菌が混在する場合もあることから、単に分類学的情報をもとに菌根菌か否かを即断するのは必ずしも妥当でない。これまで日本では、外生菌根の研究が必ずしも盛んでなかったことから正確な数字は示せないが、今関・本郷(1987;1989)などを参考に推定すること、少なくとも千種程度は分布しているものと思われる。今後新たな分類群の関与が明らかにされる可能性も多分に残されている。

陸上植物の大部分の種が菌根を形成し、そのうち外生菌根菌の宿主 (host) となる種は全体のわずか3パーセント程度と見られている (それでも数千種)。しかし、それらの種の多くは木本性の高木で、北半球暖温帯以北の森林の多く、熱帯の多雨林や半乾燥地疎林の一部、あるいは南半球のユーカリ林やナンキョクブナ林など広範な植生とバイオマスを有し、地球規模の生態系においても重要な位置を占めている。

日本での外生菌根菌の宿主となる代表的な分類群として、マツ科 (マツ属、モミ属、ツガ属、トウヒ属、カラマツ属)、ブナ科 (ブナ属、コナラ属、クリ属、シイ属)、カバノキ科 (カバノキ属、ハンノキ属)、ヤナギ科 (ヤナギ属、ハコヤナギ属) などが挙げられる。また、外来樹種でも公園の各種マツ類や街路樹のユーカリ類などは外生菌根を形成し、きのこの発生も普通に見られる。

4、菌根共生の概念

共生(symbiosis)とは、異なる生物 (または独自の遺伝情報を持つ特定の生物単位) どうしが共存し生理・生態的に密接な関係を持ち生活することを言うが、狭義には共存する生物が互いに恩恵を被る場合のみをさすことがある。共生を物理的な結合の程度から見ると、生物群集などでしばしば用いられる“個体群の同所的共存”から、菌根に見られる異種生物

個体間の“組織的結合”、さらには真核細胞内の核とミトコンドリアの遺伝子間相互作用のような“不可分な生体の基本単位”にわたるきわめて幅広い関係が含まれる。これら結合の程度は、しばしばそれら生物の生活様式の共生への依存度と関連しており、進化的側面からすると共生に至ってからの時間の長さに比例しているとも言える。

菌根共生(mycorrhizal symbiosis)において、菌根菌は成長に必要な炭素エネルギーを宿主植物(host plant)の生きた根の細胞から得ており、一般に宿主植物なしでは増殖・生存できない。一方、植物は、成長に必要なリンや窒素をはじめとする栄養素を菌根菌の菌糸を介して得ており、菌根菌なしでは増殖・生存できない種 (絶対菌根性植物=obligate mycorrhizal plant) から必ずしもそうでない種までかなり幅がある。菌根性植物で見られるような菌類依存の栄養摂取様式を mycotrophy(菌栄養)または mycoheterotrophy(菌従属栄養)と言う。

外生菌根の場合、宿主植物の多くが木本性のため世代を通じての菌根依存度の判定が困難であるが、実生個体ではその判定が容易であり多くの研究が行われている。マツ属の場合、発芽直後の幼実生が大きく成長する過程では絶対菌根性と思わせることから、世代を通じて菌根形成 (共生) が必須と考えられる。この菌根形成に関与する菌類は、マツタケ、ショウロ、アマタケをはじめとする多数のきのこ類である。それら菌類も栄養成長と子実体形成の双方で菌根形成が必須あと考えられている。

外生菌根が最初に生じたのは少なくとも5千万年前程度であり (化石証拠)、担子菌などのきのこ類が生じたと考えられている1億3千万年前程度 (分子系統解析) まで遡る可能性がある。しかし、この共生体がなぜ生じたのか、そして、今日その共生体がどのような分子的機構で維持・制御されているのかについては、まだほとんど分かっていない。

参考文献

- Agerer, R. (1987-1996) Color Atlas of Ectomycorrhizae. 1st-9th delivery, Einhorn-Verlag, Schwabisch Gmünd.
- Agerer, R. (1991) Characterization of ectomycorrhiza, In: Method in Microbiology Vol. 23 (eds, Norris, J.R., Read, D.J. and Varma, A.K.), Academic Press, London.
- Agerer, R. (1995) Anatomical characteristics of identified ectomycorrhizas: An attempt towards a

- natural classification, In. Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology (eds, Varma, A. and Hock, B.), Springer, Berlin.
- アレン, M.F. 著 (中坪孝之・堀越孝雄 訳) (1995) 菌根の生態学、共立出版、東京。
- 青島清雄・椿啓介・三浦宏一郎(1983) 菌類研究法、共立出版、東京。
- Bridge, P.D., Arola, D.K. Reddy, C.A., and Elander, R. P. (1998) Applications of PCR in Mycology, CAB International, Wallingford.
- Brunderett, M., Bougher, N., Dell, B., Grive, T. and Malajczuk, N. (1997) Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture, ACIAR, Canberra.
- Goodman, D.M., Durall, D.M., Trofymow, J.A., and Berch, S. M. (1996) Concise Descriptions of North American Ecotomycorrhizae, Mycologue Publication, Sidney.
- 今関六也・本郷次雄(1987) 原色日本新菌類図鑑 (I), 保育者、大阪
- 今関六也・本郷次雄(1989) 原色日本新菌類図鑑 (II), 保育者、大阪。
- Ingleby, K., Mason, P.A., Last, F.T. and Fleming, L.V. (1990) Identification of Ectomycorrhizas, HMSO, London.
- 伊藤武・岩瀬剛二(1997) マツタケ、農産漁村文化協会、東京
- Kawai, M. (1997) Artificial ectomycorrhizal formation on roots of air-layered *Pinus densiflora* samplings by inoculation with *Lyophyllum shimeji*. Mycologia 89:228-232.
- Molina, R., Massicotte, H. & Trappe, J.M. (1992) Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: Community-ecological consequences and practical implications, In. Mycorrhizal Functioning (ed. Allen, M.F.), Chapman & Hall, New York.
- 小川真 (1992) 野生きのこの作り方、全国林業改良普及協会、東京。
- Ohta, A. (1994) Production of fruit-bodies of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*, in pure culture. Mycoscience 35: 147-151.
- 岡部宏秋(1997) 森づくりと菌根菌、林業科学技術振興所、東京。
- Peterson, R.L. and Chakravarty, P. (1991) Technique in synthesizing ectomycorrhiza, In Method in Microbiology Vol. 23 (eds. Norris, J.R., Read, D.J. and Varma, A.K.), Academic Press, London.
- Smith, S. and Read, D.J. (1997) Mycorrhizal Symbiosis (2nd ed.), Academic Press, San Diego.
- Varma, A. (1998) Mycorrhiza Manual, Springer, Berlin.

図の説明

- 図 1. アカマツの外生菌根。白色に見える部分が外生菌根に相当する。
- 図 2. 外生菌根から土壤中に広がる菌糸。アカマツにチチアワタケを接種しポット中で形成された外生菌根。矢印は菌糸束を示す。
- 図 3. シラカシの外生菌根。菌根の分岐パターンはアカマツの場合と異なる。
- 図 4. 外生菌根 (アカマツ+チチアワタケ) の横断切片。各記号は図 9 に同じ。写真は微分干渉顕微鏡像を撮影。
- 図 5. 外生菌根 (アカマツ+マツタケ) の縦断切片。各記号は図 9 に同じ。写真は微分干渉顕微鏡像を撮影。
- 図 6. 外生菌根 (アカマツ+マツタケ) の横断切片。各記号は図 9 に同じ。写真は微分干渉顕微鏡像を撮影。
- 図 7. 外生菌根 (アカマツ+未同定担子菌) の縦断切片。各記号は図 9 に同じ。写真は透過光型光学顕微鏡像を撮影。菌根はコットンブルーで短時間染色した。
- 図 8. 外生菌根 (アカマツ+マツタケ) の縦断切片。各記号は図 9 に同じ。写真は微分干渉顕微鏡像を撮影。皮層細胞間に薄く層状に発達する菌糸組織であるハルティヒネット(H)を平面的に見ると、迷路あるいは網目(=ネット)状に見える。
- 図 9. アカマツ外生菌根の切片模式図。左: 横断切片, 右: 縦断切片, 各記号は, F: 菌鞘, Ep: 表皮細胞, H: ハルティヒネット, C: 皮層細胞, En: 内皮細胞, S: 中心注, a: 根細胞間隙への菌糸の侵入が見られない先端領域, b: 菌鞘ならびにハルティヒネット発達領域



图1

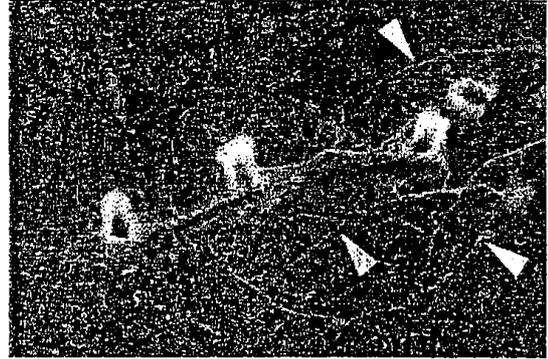


图2

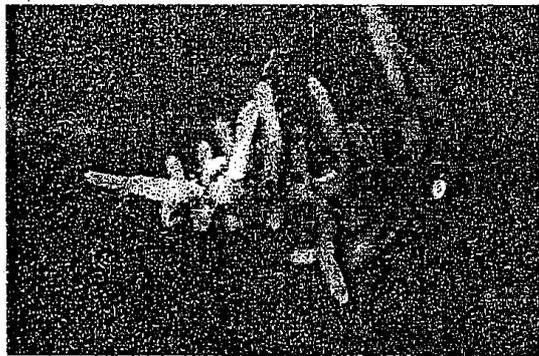


图3

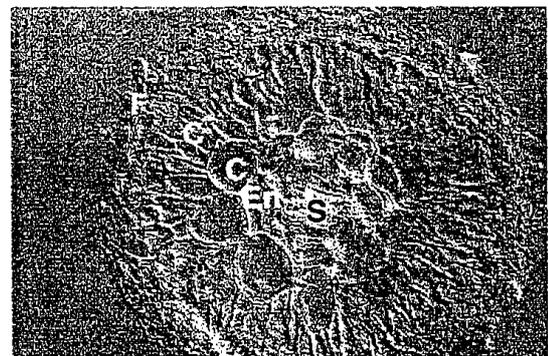


图4

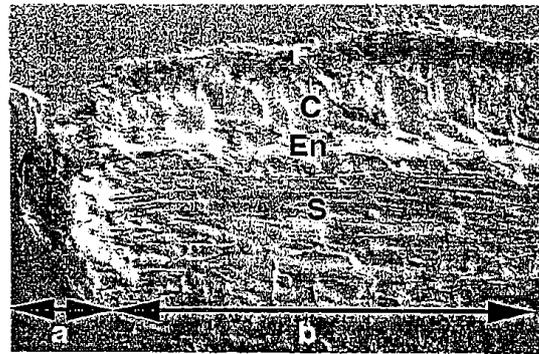


图5

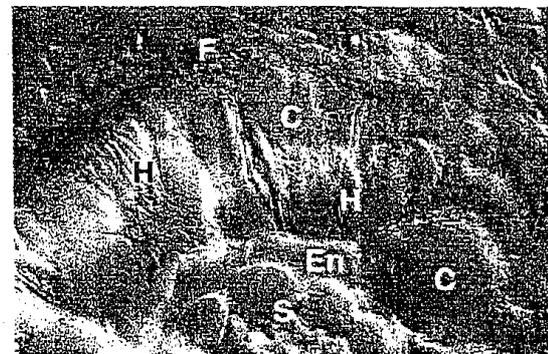


图6

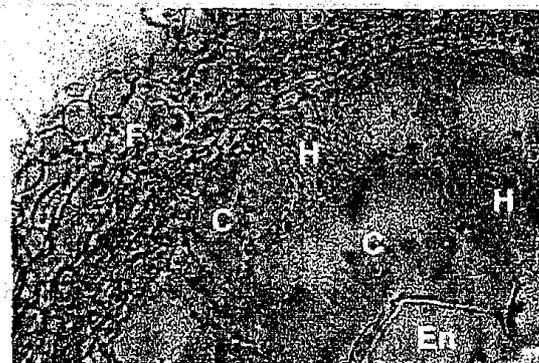


图7

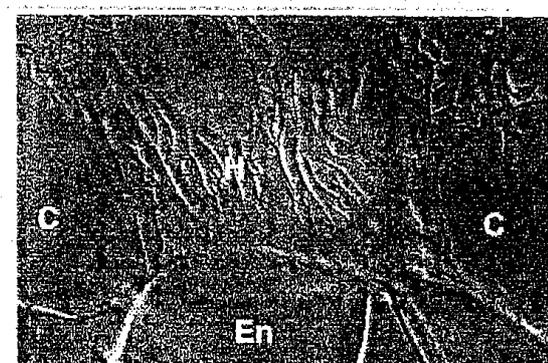


图8

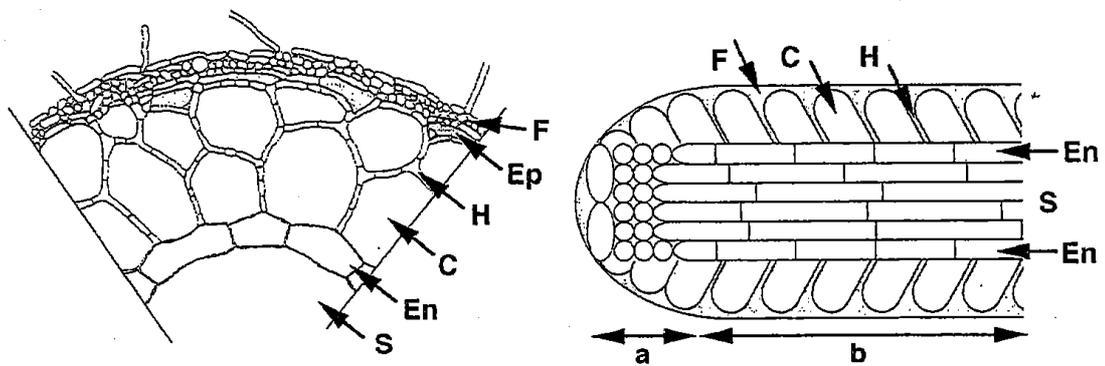


图9