マ ッ タ ケ の 話

——その研究方法から——

小 原 弘 之 Hiroyuki OHARA

同志社女子大学生物学教室

浜 田 稔 Minoru HAMADA

京都大学農学部応用植物学研究室

マツタケほど食用菌として重宝がられている菌は他に類をみない。しかし、実際はシイタケ、エノキタケ、西洋マツタケ（つくりたけ）などのほうが頻繁にわれわれの食卓に上る。言い換えれば、人工的に生産できないからそれだけ稀少価値をもっているのであって、たとえばアミノ酸、ビタミン含量などの点からみれば、食品材料としてのマツタケの価値は低い。ただ、マツタケには、古来“マツタケ狩り”というレジャー的要素もあり、日本人のロマンチズムをくすぐる、秋の自然そのものであるところが珍重されるゆえんであろう。

近年、マツタケ生産量（正確には採取量）は減少の一途をたどっている。原因は種々考えられるが、まず第一に、マツタケ菌生育の場である“山”が荒廃していることを挙げねばならない。元来、マツタケは里山で多く採取されている。ところが、いわゆる宅地ブームは、都市近郊の里山に目をつけ、これを削り落とし、マツタケをさらに奥へ追いやりようとしている。しかし、マツタケはどのような林でも生育できる菌ではなく、マツ科の針葉樹、本州では主としてアカマツを寄主とする性質がある。しかも、アカマツは陽樹であって、放置すればやがては他の林に遷移してしまう危険がある。燃料を山に頼っていた時代には定期的に人手が入り、結果的には無意識のうちにマツタケ山を保護する形になったが、昨今ではこれも期待できない。また、合理主義的現代人は、材として価値の低いアカマツに金をかけることを極度に嫌い、宅地造成という力学的強迫と人手をかけないという経済的強迫との二重の苦痛をマツタケに与えておきながら、

他方では、マツタケの減少がマツタケ自身の責任であるかのように嘆いているのである。そして、マツタケから奪った自然の場の代りに、冷たいガラスや金属の環境での生活を強いるようとしている。しかし、マツタケが自然で悠々と増殖できる環境をこしらえてやることこそ、本当の意味での人類とマツタケの共存ではなかろうか。

マツタケの生態学に関しては、本誌4巻9号で小川⁽¹⁾が詳細に述べているので、本稿ではマツタケ研究のその後の進歩と研究法を中心に考えてみたい。

マツタケの研究には、2つの流れがある。1つは自然界におけるマツタケの姿を把握、そこから演繹される理論を基盤に、減少しつつあるマツタケを人工増殖しようとする試みであり、他の1つは、マツタケ菌の純粋培養を基礎にして、*in vitro* で子実体を得ようとする試みである。

I. “マツタケ病”の疫学

マツタケは寄主樹との菌根化、すなわち“根”に感染することにより生活史が始まる。したがって、マツタケの発生条件を調べる方法として、医学や植物病理学でいう疫学的手法がその一つとして挙げられる。疫学の主目的は、疾病の分布とその分布を規定する環境因子との因果関係を究明することにある。基本的には、他の自然科学の分野の研究法と何ら変わるところはないが、情報の収集活動が死命を制する。すなわち、既存の仮説と事実を徹底的に調べあげ、その結果から演繹された新しくより明確な仮説をもとに、この新しい定説の検定に必要な

事実を集め、確かめられた新仮説を基盤に、さらにより詳しい研究をするサイクルである。

“マツタケ病”の疫学では、次の2点を主眼に、情報の収集が行なわれている。

- 1) マツタケはどこに発生するか
(空間的因子)。
- 2) マツタケはいつ発生するか
(時間的因子)。

空間的因子に関しては、さらに
i) 物理的因子(地質、地形および土性などの立地条件)、ii) 化学的因子(無機ならびに有機化学的環境)、iii) 生物的因子(寄生樹の種類、寄生樹以外の他の植生、マツタケと生

態的地位を同じくする担子菌、特に菌根菌、およびマツタケ発生環境の微生物の動態など)に分けられる。また、時間的因子に関しては、暦上の時間はいうまでもないが、時間の変化に伴う気象条件の変化、地域差すなわち空間の変化に伴う気象も充分考慮すべきであろう。しかも、マクロな気象だけでなく、微細気象も、対象が対象だけに重要な因子となる。また、以上の調査に当って、常に次のことを念頭に置いている。

a) 2つの異なる条件下でのマツタケ発生状態に大きな差がある場合、ある因子が一方の条件では認められ、他方では認められないとすれば、この因子の存在あるいは欠如が発生の原因の一つである可能性がある。

b) ある共通の因子が、マツタケの発生しているいろいろな状態で見いだされる場合、その因子は発生の条件の一つであろう。

c) 発生頻度が変化するにつれて、頻度や強さが変わる因子を探し出す。

さらに、直接的に関連する因果関係だけでなく、連鎖機構を通して関連してくる、いわば間接的な因子も無視しないことである。以下、事例を挙げて考えてみたい。

1. 歴史的事実の収集(マツタケ山の前歴調査)

——古文書を資料として

過去におけるマツタケの発生状況を知ることは、現在のマツタケ研究に種々な示唆を与えてくれる。しかし、

図1 隔葉記のマツタケ

日記に記録されたマツタケから、当時の傾向を類推する。
縦軸はマツタケの本数。〔浜田：日菌報、13、229 (1972)〕

現代のような統計的資料があるわけではなく、正確さは期し難い。しかも、栽培を意図しだしたところからは、“秘訣”となり公開されていないことが多いので、なおさら正確な資料が得られない。そこで目をつけたのが、貴族または僧侶などの日記である。古い時代から、マツタケは貴重な贈答品であったし、自分の持山あるいは近くの農民が屈けてくれたものを、上位の人に贈っている。そのときの日記に何本何某に贈ったという記録が残っている。しかも、採取時期が早ければ早いほど贈物としての価値が高いから、季節になると気にしていよう。したがって、発生の時期はほぼ記録と一致しているとみて差しかえなからう。また、同時に記録されている天候も参考になる。図1は隔葉記*に表わされた記録をもとに、マツタケ量をグラフ化したものである。これは絶対量ではないが、当時の発生量の傾向は充分知ることができる。

これだけまとまった記録は、少なくとも出版された他の古文書のうちにはみられず、大多数は断片的記事のみであって、産地すらわからない例が多い。この図に表わした金閣寺の裏山は、明らかにマツタケについて“登山”である。

この他に、古地図、薪炭量あるいは製塩、製陶、製鉄量などの古い記録も有効であろうと考えられる。古地図の場合、現在京都近郊の江戸時代以降の地図を入手して

* 京都北山金閣寺の住職、鳳林承章禪師の日記。当時金閣寺の裏山で採れたマツタケの本数が克明に記録されている。

いるが、時代の経過につれて同一地域が塗り分けられる色が異なることと、樹種を示していると考えられる記号が変化していることの2点に注目している。もし、これらの地図からはっきり樹種がわかれば、山の変遷が把握され、現在の知識と総合することにより、おおよそ、いつからいつまで“マツタケ山”であったか理解できるであろう。薪炭量や製塩量などに関しては、原料ないしは燃料としての樹木とこれらの生産量がほぼ比例的であろうから、生産量を継続的に知ることにより、たとえば雑木林からマツ林への移行が類推され、結果的には、マツタケ山化の時期を決めることができる。したがって、各地の各時代におけるデータが入手できれば、数理歴史学的手法を用いて、マツタケ量の推定も可能である。“水争い”と同じく、“山（燃料）争い”の記事も散見される。

2. 地理的分布と寄主樹の決定

a) 情報集めと“介入”

日本国内はもとより、海外におけるマツタケの実態を調べることは、マツタケと因果関係のある因子を求める上で重要である。この作業は、多くの人々の協力なくしては考えられない。調査対象には、マツタケだけでなく、マツタケと分類・系統学的に近い仲間も入る。「マツタケを採っている」あるいは「採ったことがある」、「採ったことのある人を知っている」または「マツタケと同じ香りのあるキノコを知っている」などの情報を得ると、直接連絡し、状況を詳細に知らせてもらう。しかし、地域によっては、キノコ全般をマツタケと称したり、食べられるキノコの総称であったりして、ときどき別種と混同されることがあるので、実際に現地へ赴くことが大切である。海外調査の場合は、現地に永年居住している人、あるいは出張などをする人に最小限の必要な情報収集を依頼する。その結果と現地の気象条件とを総合し、われわれが“介入”する時期を決める。

b) 発生位置のマークづけ

もう一つ、寄主樹の決定、というよりマツタケ研究全般に欠くことのできないこととして、マツタケ子実体の発生位置を正確にマークする作業がある。なんでもないのであるが、人間の記憶は正確なようで、自然科学的には不正確である。マツタケ狩りを楽しむときには、10 cm や 20 cm の誤差は問題ではないが、科学と

しての 10 cm の誤差は致命的でもある。

情報を得ると現地に赴き、採取者に案内を頼み位置を教えてもらう。ところが、人にもよるが、採取後わずか1週間ぐらいいでも、明らかに発生位置からずれているところを指示するが多い。まして、1年以上経ると、1 m や 2 m の誤差も不思議ではない。この誤差を防ぐため、子実体採取後、抜きとった跡に竹坑を打ち込む方法が考えられた。この方法は、標識を種別して数年間続けると、マツタケの進行速度 (fairy ring の拡がり) や一つのシロ (p. 628 参照) の子実体生産量、あるいはシロの発達、崩壊、消滅などを知る上で有効であるばかりでなく、マツタケと周囲の植物 (当然寄主樹を含む) や他の菌類との関連なども把握できる。また、後述のシロの微生物生態学的研究の基盤にもなっている。

c) 寄主樹と分布

寄主樹の決定は、純林であれば問題はないが、クロマツとアカマツ、ヒメコマツとアカマツ、コマツガとシラビソ、*Pseudotsuga* と *Tsuga* など、寄主樹になりうるものが混合している場合が多く、注意がいる。この場合、シロのマークづけが基礎になるとともに、菌根の状態が決め手になる。もし、寄主樹根がトレースできれば簡単であるが、実際には困難であり、目下、蛍光抗体法で試みている。この方法はまだ問題点も多く残っているが、将来有力な武器になることは確実である。

さて、以上の点を考慮して、今までに得た資料を総合してみると、マツタケとその近縁種の寄主および分布は次の通りである。

国 内：

まず、いわゆるマツタケ香のあるものとして、マツタケ (*Tricholoma matsutake*) は、本邦では関東の一部を除いてほぼ全土に分布し、寄主樹はアカマツ、クロマツ、ハイマツ、ヒメコマツ、ツガ、コマツガ、アカエゾマツなどである。また、バカマツタケ (*Tricholoma* sp.) は、青森県地方のカシワ-ミズナラ、コナラ-ミズナラ林に発生する。ニタリ (*Tricholoma* sp.) は京都府下のコナラ林に、さらに最近では、佐多岬のマテバシイ林で、強力なマツタケ香を有するキノコ (恐らく新種であろう) が鹿児島大学の馬田英隆氏により発見されている。また、未確認情報ではあるが、種ヶ島のイタジイ林で、同様のマツタケ香のあるキノコが例年採取されている。さらに、香りはないがマツタケに近縁のキノコとして、ニセマツ

図 2 海外のマツタケの仲間たち

(a) *Tricholoma ponderosum* (ブリティッシュ・コロンビア州, カナダ), (b) *T. caligatum* (ワシントン州, アメリカ), (c) *Armillaria zelleri* (ワシントン州, アメリカ), (d) *T. caligatum* (Chra 山, アルジェリア)

タケ (*Tricholoma fluvocastaneum*) が、京都府下のシイコナラ林、高知県下のシイ林、奄美大島のシイ林に発生し、これらは確認されている。オパサン、オジボウズなどと俗称されているマツタケモドキ (*Tricholoma robustum*) もマツタケと同様な寄主樹を選択し、ほぼマツタケの分布と一致するが、培養所見からすれば、たとえば京都府下のアカマツ林で得られたものと、雌阿寒岳のハイマツ林で得られたものとの間には差がみられる。

海外：

海外では、サハリン、朝鮮半島、台湾の玉山（新高山）などでマツタケの存在が確認されており、近年の情報ではフィリピン群島のPulog 山にもあるらしく、サハリン、日本列島、台湾、フィリピンを結ぶ東アジアの太平洋沿岸に分布図を描くことができる。また、米国シアトル在住の日系の方々からの 20 年にわたる報告と、昨年筆者らが調査した結果から、北米大陸の太平洋沿岸（カナダのブリティッシュ・コロンビア州、アメリカのワシントン州、オレゴン州などの *Pseudotsuga Tsuga* 林で *Tricholoma ponderosum* (*Armillaria ponderosa*) が確認さ

れ(図 2)、アメリカマツタケと称しているが香りもあり、現地の日本人がマツタケ狩りを楽しんでいる。また、幸運にも、*ponderosum* よりはやや小型で、色も本邦のマツタケに近く、香りもある *Tricholoma caligatum* (*Armillaria caligata*) が同一林で確認できた(図 2)。さらに、近縁のものとして、香りはないが *Armillaria zelleri* (図 2) も見いだされている。この他、未確認ではあるが、コロラドあるいはカナダのノヴァ・スコシアなどにも分布しているらしい。恐らく、より詳細な調査を行えば、分布および樹種は広がるであろう。

以上のように、アメリカ太平洋沿岸地域にはマツタケの仲間たちが広く分布しており、特に *caligatum* の分布は、今後のマツタケの系統学的研究に重要な示唆を与えてくれるものと思われる。

欧州地域においても、先年、筆者らのグループがアルジェリア国の Chra 山の *Cedrus* 林（ヒマラヤスギの仲間）中で多量のマツタケ [*Tricholoma caligatum* (図 2)] を確認することができた。しかも、ほぼ純林であるため寄主を疑う余地はない。*Cedrus* が寄主であったこ

とは、はじめは少なからず意外であった。しかし、マツタケの分布の連続性を考える場合、寄主に *Cedrus* がでてくことは意外どころか、欧州とアジアを結ぶ上できわめて意味がある。欧州地域ほぼ全域にわたって *Tricholoma caligatum* の分布が知られており、しかも、*Pinus sylvestris* などが広く分布している (Mirov⁽²⁾)。したがって、地中海沿岸の *Cedrus* 林で *caligatum* が確認されたことは、*Pinus* 属と *Cedrus* 属とを介して、東アジアのマツタケとヨーロッパのマツタケをつなぐ論拠を与えてくれる。Schweinfurth⁽³⁾によれば、アフガニスタンを中心とした地域に *Pinus* と *Cedrus* が混合しているようであって、どうやらこの地域に、マツタケに関してのヨーロッパとアジアの接点を求めることができそうである。

3. マツタケ山の診断カルテ

以下の事項を中心に、マツタケ山の診断カルテができる。すなわち、気温、地温、降雨量、地質、地形、土壌の性質（土性、土壌型、乾湿状態）、Ao 層*の状態、寄主樹の状態（樹令、生長度合、胸高直径、樹高、樹冠幅、立木密度）、下部植生の種類と密度、林床植生の種類と密度、シロの分布状態（密度、茸輪直径、深さ）、子実体の発生様式など、できる限り詳細に調べ、後述のシロの微生物学的解析とあわせて、“マツタケ病”の共通因子を探りだそうとするものである。また、生物現象を取り扱う上で、時間のファクターが重要であることはいうまでもなく、ある時点の記載のみでは不十分で、少なくとも月別調査が望まれているし、数年間の継続調査が必要である。

今までに収集されたデータから、樹令が若い林ではマツタケの発生がみられていないことが明らかであり、15～20年生の林で子実体の初期発生が観察されている。しかし、子実体がつくられないからといって、マツタケ菌が生育していないわけではなく、むしろ子実体発生以前に相当量の菌根量（すなわち菌糸量）の蓄積が必要であるから、一種の潜伏期間が存在すると考えてよい。発生初期には子実体が群生している例が多く、シロが尾根筋ないしは起伏のある地形に多いことも、マツタケ菌の感染初期を想像するとうなずける。いわゆる、fairy ring

（妖精の輪、菌環、茸輪）が円形をなすのは、発生が最盛期に向かっている時期である。関西地方に例をとると、直径が3mのfairy ringの場合、年平均15cm拡大するものとすれば、ほぼ10年前に発生し始めたものと考えられるが、感染はその数年以前であろう。

今一つ大切な要因は、温度と降雨量である。同じ雨でも、子実体を支える菌糸の生育を規定する4月から8月にかけての降雨と、子実体発生期の降雨とで働きが分けられそうである。温度、特に地温の変化は、子実体原基形成期に欠くことのできないものである。衣川⁽⁴⁾の研究によると、人工的に地中温度を19℃以下に低下させると、原基形成が認められ、この原基が順調に生育すれば約2週間で子実体が地上に現われ、さらに約1週間で傘が完全に開く。もし、原基形成後地温の再上昇が起れば、原基自身が脱分化ないしは腐敗し、子実体が得られない。

ここで問題になるのは、この“19℃”という数字が関西地方で得られたものであり、地中温度の下降によって起こっていることである。鹿児島県の南部では12月から1月にかけて採取した例があり、同地方では時によって5月から6月の時期のほうが、秋より採取量が多い。富士山では、7月から9月まで発生がだらだらと続く。したがって、“19℃”が全国共通の数字であるのか、あるいは“低下する”ことが必要であるのかは未解決である。多雨地帯、乾燥地帯、地形の差、土質の種類などの地域差によってある幅があり、必ずしも低下だけでなく上昇が必要な場合もあろう。変化することに意味があるのである。

また、この実験は別の意味でも価値がある。マツタケの人工栽培に成功したという報告はかなりあるが、いずれの場合も科学性を欠いており、再現性がない。しかし、上述の研究は、観察による仮説を *in situ* で実験的に証明できたばかりでなく、人が手を加えて子実体を得た数少ない例でもある。

以上のように、寄主の状態、温度、降雨量などは地域によって異なっており、これらはどれも固定して考えることができず、それぞれが変数である。しかし、生物現象は大なり小なり恒常的であるから、大まかな数として扱えられるはずである。筆者らは目下、手元に集まった資料をコンピューターに託し、マツタケの発生条件のシミュレーションを得ようとしている。

* 堆積層ともいう。地表の上部に堆積する有機物の層。

II. マツタケの培養

1. 分離・培養

マツタケの分離には、孢子、未分化のラメラ組織片、子実体の軸組織などが用いられるが、つばみのラメラから分離する場合は雑菌混入率が低く、成功の確率が最も高い。まず、ペールの切れていない子実体表面を充分消毒し、ペールをはぎとり、内部の汚染されていないラメラ組織をとり出して寒天培地に移植する。培地の組成はブドウ糖 20 g, 乾燥酵母 5 g, 寒天 20 g, 水道水 1,000 ml であり、1N の塩酸を 1.6 ml 添加すれば pH 5.0 に落ち着く。20~25°C で培養すると、早いものでは1週間で組織片が褐変し、けば立ってくる。一種の脱分化が起こる。マツタケの場合、1カ月くらいで直径約1cmの白色集落が得られる。この方法は他の担子菌の分離・培養にも用いられ、成功率は高い。ただし、すべてのキノコに有効なわけではなく、総じて菌根性菌は困難な場合が多い。1cmの集落を得るのに約1カ月を要することは、雑菌を識別する上で役に立つが、やはり、何らかの欠点を有していると考えざるをえない。種々の角度から修正を試みているが、目下、これ以上の培地がなく、人工栽培する上で不可欠の、多量の菌糸を速やかに得るという点から、抜本的な改良が望まれる。

2. 生長量の測定

—菌糸が1mm伸びるのに要する日数

カビ類の生長量は、菌叢直径、乾燥重量、一定時間遠心後の菌体容積などを測定することにより調べる。マツタケの場合も例外ではないが、特に生長が遅いことを利用して、菌糸が1mm伸びるのに要する日数を生長速度とすることができる。この方法を使って至適温度を測定してみると、系統によってわずかの差はあるが、適温は22~23°Cで、5°Cから28°Cの範囲で生育可能である。また、死滅温度は31.5°Cである。さらに、顕微鏡を使って生長量を測定する方法も考えられ、同様の生長パターンを示す他の担子菌にも有効であろう。

培養微生物の生育を規定するもう一つの因子は pH である。マツタケの場合、pH 5 前後に至適域を有する。しかし、培養一般における共通の問題として、培地の滅菌の仕方による pH の変化など、考えなければならない問題は多い。たとえば、オートクレーブ滅菌の場合、加圧

前後の pH に少なからず差がでてくる。しかも、培地の組成、加圧の度合、加圧の時間などによって微妙な変化がある。特に、寒天を含む際には、加圧後種々の物質が新たに生成するという報告があり、ただ単に pH が変化するだけという問題ではない。したがって、培養できないものを、とにかく培養すればよいというとき（この場合も当然再現性があることが条件である）以外は、培地調製には特に留意すべきである。最近、濾過法が発達して、幾分不安も解消したが、まだオートクレーブの世話になる場合が多い。栄養生理学的研究には、むしろオートクレーブ滅菌は差し控えるべきであろう。

3. 資化性試験の問題点

現在までの研究成果では、マツタケが資化できる糖類は、グルコース、マンノース、フラクトース、ガラクトース、マルトースなどである。以上は濾過滅菌によるものであるが、サッカロースを含む培地でも、オートクレーブした場合は生育が観察される。これは、明らかに加圧滅菌中における培地の変性の結果である。図3は細菌を使って培地滅菌法が生長に与える影響を調べたものである。微生物の種類によってパターンが異なるが、加圧が「意味をもつ」こと、「誤解を招く」ことなどが理解できよう。

培養条件という言葉はあるが、培地調製条件も注意が必要である。たとえば、サッカロースは NH_4Cl または K_2HPO_4 とともに加熱した場合、*Saccharomyces cerevisiae* の生長を促進し⁽⁵⁾、グルコースを分離して加圧滅菌した培地では、ある種の乳酸菌の生長が阻害される⁽⁶⁾。加圧滅菌時にグルコースと磷酸塩が共存すると、その培地は *Vibrio cholerae* の生長を阻害するという報告もある⁽⁷⁾。このような例は他にも多く、枚挙すればきりが無い。グルコースに限って考えても、オートクレーブ前の pH が酸性であるかアルカリ性であるかによって、また培地中にアミノ酸が含まれているか否かによって、阻害的であったり、促進的であったりする。ましてや天然物を加えた培地では、加圧中に何が起きているかまったくわからない。

以上は培地の滅菌法の一つを例にしたにすぎないが、それでも問題は多く、培養全般にわたって疑問が集積している。確かに、細菌学における“純粹培養法”の確立は、原因菌の究明、疾病の治療ならびに防疫上大きな貢

図3 培地減菌法と細菌の生長

キシロース (X), アラビノース (Ar), ラムノース (Rh), グルコース (G), マンノース (Man), フラクトース (F), ガラクトース (Gal), サッカロース (S), マルトース (Mal), マンニット (Mnt), デキストリン (D).

□ 糖を他の培地成分と分離して加圧減菌し、後に無菌的に添加する。
 ▨ 糖を含んだまま加圧減菌する。■ 糖は濾過減菌し、無菌的に培地に添加する。供試細菌は *Agrobacterium tumefaciens*

献をした。最近では、微生物ばかりでなく、高等動植物の細胞、組織が同じ技法で純粋培養され研究に供されている。しかし、“純粋”への努力は、ややもすれば、“純粋培養生物”，換言すれば試験管内における生物の行動がそのままその生物の自然界における姿であると思ひ込む弊害もひき起こしている。ただし、*in vitro* の生物の行動は、その生物のある環境下での行動であるという認識さえ失わなければ、純粋培養が有力な生物学上の武器であることに変わりはない。本来、分離できない微生物はその生理がわからないはずであるし、生理のわからない微生物は培養できないはずである。それにもかかわらず、分離・培養できるということは、たまたまつくった培地に微生物がつかまったという偶然性に培養が頼っていることを意味する。培養法の発展は、微生物学のみならず、現代の生物系科学に欠くことができないのであるから、基礎培養学なる分野をつくり、「宝探し」から脱却して、理論的統一を計る時期にきているのではないかと考えられる。

III. マツタケの微生物学

多くの担子菌がそうであるように、マツタケも子実体をつくるのは1年のうち、ごく短期間である。その他の期間は、地中で菌糸状態で生活している。正確に言えば、寄主樹と菌根をつくり、これを生活の場としている。菌根は寄主の同化物質移送のパイプであると同時に、これ

に含まれる物質を基質として寄生者に与えている。子実体形成に利用された菌根は、脱落、枯死など消耗が激しく、根を中心に考えれば、共に益するどころか、一方的に寄生された状態である。他方、マツタケにとって、菌根化することは、空間的にも、物質的にも、安定生活圏を得ることにつながる。したがって、いったん菌根をつくり、さらに感染、定着を繰り返して菌根を増加し集団をつくると、無制限に増加もしないし、また他の生物に一方的に侵略されるわけでもなく、周囲の植物根や微生物との間にバランスが保たれ、恒常性が得られるようになる。筆者らは、

マツタケが寄生樹根や他の微生物との間でつくるこのようなシステムを“シロ”と称して、総合的に取り扱うことにしている。このシロという概念は、微生物系を解析する上で有効であり、マツタケのみならず、類縁菌ならびに他の非菌根菌にも広く応用できる⁽¹⁾。

マツタケのシロは、一般に、生理的に活性な菌根、枯死しないしは脱落しつつある菌根、忌地が回復しつつある部位および未菌根化部位に大別でき、それぞれの部位における理化学的性質、根の状態、ならびに微生物の動態に大きな差が認められる。特に、活性菌根部位の微生物、なかでも細菌の動態は面白い⁽⁸⁾。また、各部位を微生物生態学的に比較すると遷移が起こっており、このことは、微生物相を調べることににより、シロの診断ができることを意味する。

研究方法は土壤微生物の取り扱い方に準拠しているが、最終的には、“分離培養”という *in vitro* で増幅された情報が中心である。微生物を一種の酵素の袋と考えて特殊な有用物質生産菌を探索する場合は、とにかく分離できればよいであろうが、自然系の微生物を取り扱う（しかもその生態を研究する）ものに共通の悩みとして、*in situ* でどのような生活をし、どれだけいるのかを確実に知る一般的な方法は、現在までのところないと思って差しつかえなからう。

分離の方法は進んだが計測法の開発が遅々としている。直接検鏡法、スライド埋没法、ナイロンガーゼ埋没法、

土壌断面スライド接触法，螢光抗体法，孢子浮遊法，弗化水素酸抽出法，土壌切片法など広く使われているが，いずれも一長一短ありで，改良が必要である．最近，走査型電子顕微鏡が自然科学の広い分野に進出しており，これなどは使い方によっては強力な武器となろう(図4)．

IV. マツタケの人工増殖

古来，マツタケを人工的に増殖しようとする試みは多い．最近では，制御環境下でマツタケを得ようとする

努力が始まった．しかし，先にも述べた通り，確実な方法(=科学的に証明できたもの)は現在のところ少ない．マツタケの生活史を考慮すれば，図5のような人工増殖の計画ができる．第1段階はシロをつくること，第2段階はシロを拡大すること，第3段階はシロを機能分化させ，子実体を発生させることである．

1. シロをつくる

自然界においては，主として若令林が対象となる．人工増殖の第1段階は，まずシロの基本である菌根形成を促進させることであろう．つまり，マツタケ菌が寄主樹

(a) (b)
図4 シロの走査型電子顕微鏡像の一例
菌根周辺部を220倍(a)，2,200倍(b)で観察したもの

根に感染しやすいように，環境を制御することである．理論的には，i) 寄主を感染されやすいような生理状態にする，ii) 感染の場である無機環境を調節する，iii) 感染が阻害されないよう微生物相をコントロールする，iv) 同じく周囲の植物相を調節する，などが考えられる．従来行なわれている方法には，落葉層，腐植層を除去したり，機械的に寄主根を地表に引っぱり出す“地かき”，寄主樹であるアカマツの手入れ，雑木の除伐などがある．

一方，菌根形成のメカニズムが明白でないため，アカマツ根端を培養し，種々の生理状態でマツタケの培養菌

図5 マツタケ人工増殖の模式図

糸を感染させようとする研究もある⁽⁹⁾。これは、菌根のもつ構造と機能を知る上できわめて重要であるだけでなく、マツタケ菌を林地に接種する場合の条件を決める上で種々の示唆を与えてくれそうである。その他、シロづくりの試みとしては、アカマツのみを平地に密植し、これにマツタケ菌を感染させ一種の集約化を計ろうとするもの、アカマツ幼苗にあらかじめマツタケを感染させ、これを移植しようとする試みなどがある。また、林地接種法としては、孢子接種法、培養菌糸接種法、活性菌根移植法などがあり、特に菌糸接種法では、*in vitro* のマツタケをいきなり林地に移植しても、いわゆる“馴れ”がないため、試験管と林地の中間的性質をもつ土壌培養法で菌糸を土壌に馴化させ、これを移植しようとしている。

2. シロを拡大させる

いったん形成されたシロは、特に環境が悪化しない限り、寄主樹の衰退とほぼ行を伴にする。したがって、増殖のためには、できる限りシロを拡大させる、言い換えれば、菌根を増殖させることが重要となる。すなわち、まだ菌根化していない寄主根を、できるだけシロの拡がりに沿うように導くことであろう。この場合、林地にはマツタケと同様な生活法を行なう菌根菌が多いので、これらとの拮抗を阻止するような努力が必要である。先に述べた“地かき”などは、機械的に害菌を除去するのに有効であろう。また、コナラなどの外生菌根樹種は、いわゆる害菌の巣となりかねない。さらに、環境条件の悪化に備え、温度調節装置や灌水装置などがシロの保育上必要であろう。シロの拡大は主として 20~40 年のいわゆる壮令林が対象となる。

3. シロの機能分化

衣川の実験⁽⁴⁾、小川の実験⁽¹⁰⁾では、ともに子実体を支えるのに十分な菌糸量になったとき、温度を 19°C 以下に調節して、子実体ないしは子実体原基を得ている。また、筆者らの観察では、子実体発生期のシロの構造は他の季節とやや異なり、実際に子実体を支える菌根、菌糸と、翌年への拡がりのために残される菌根、菌糸とに分化している。つまり、生殖生長と栄養生長とに機能が分かれているようである。マツタケ増産とは、ある拡がりをもつシロのこのような機能分化を促進することである。

このパターン変化は、地温と降雨量が限定要因となっている。人為的に温度を調節することによって、たとえば、氷などで温度を下げ（地域と季節によっては逆もありうる）、普通より早く子実体を得たり、干ばつ時に多量の灌水を施すことにより、不作を免がれた例がある。いわば、シロが本来有する機能を正常に発揮させるための努力がこの時期に必要なのである。

4. *In vitro* で子実体を得る

先にも述べた通り、培養菌糸から試験管内で子実体原基が得られている。しかし、その後の研究でも、“キノコ”までには至っていない。菌根のもつ構造と機能が *in vitro* で正確に再現されていないからであろう。寄生性の強い性質であればあるほど、菌根に依存する度が高い。もし、若干でも腐生性の系統が探索できれば、試験管内での条件が単純化されよう。この意味でも、腐生化へ育種する方法の開発が待たれる。さらに、他の担子菌（しかも培養が容易なキノコ）の子実体形成機構を比較研究することも有効であろう。幸いにも、ここ数年、形態形成研究の材料あるいは新しい酵素の袋としてキノコ類に関心が向けられている。機は熟しているようである。

文 献

- 1) 小川真：化学と生物，4，450（1966）。
- 2) N. T. Mirov："The Genus *PINUS*", The Ronald Press, New York, 1967.
- 3) U. Schweinfurth："Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya", Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn, 1957.
- 4) 衣川堅二郎：“マツタケ”，浜田稔ら編，1964，p. 127.
- 5), 6), 7) H. H. Ramsey & C. E. Lankford：J. Bacteriol., 72, 511（1956）より引用。
- 8) 小原弘之，浜田稔：生物科学，23，87（1972）。
- 9) 杉村広：日本菌学会講演要旨集，p. 18（1971）。
- 10) 小川真：“マツタケ”，浜田稔ら編，1964，p. 115.

本誌前号（Vol. 11, No. 9）p. 557 の左上段の構造式（31~35）に誤りがございましたので、下記のように訂正させていただきます。