

# 外生菌根の共生菌バイオマスの定量

木 下 晃 彦

広島大学大学院生物圏科学研究科

## Estimation of symbiotic fungal biomass in ectomycorrhiza

Akihiko KINOSHITA

Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University

### Abstract

Ectomycorrhizal (ECM) fungi are major symbiotic microorganisms with the roots of many forest tree species and play an important role in forest carbon cycling. In estimation of the role of ECM fungi in forest carbon cycling, fungal content of ECM tips is an important parameter. Therefore, I investigated the proportion of fungal content of ECM tips and discussed about factors affecting them. ECM tip samples were collected from subalpine and temperate forests in Japan. The proportion of fungal content of ECM tips was estimated by three methods. The proportion of fungal content of ECM tips ranged from 18-84%, and these values differed among tree species and fungal species. My finding suggested that it is necessary to consider tree species composition as well as fungal species composition in each forest ecosystem, when using the fungal content of ECM tips in the estimation of forest carbon dynamics.

### 1. 序論

外生菌根は、温帯から亜寒帯の森林生態系を代表する樹木の根と担子菌や子のう菌などの高等菌類との間に形成され、菌鞘とHartig netの二つの構造を併せ持つことによって定義づけられる。この菌根を形成する共生菌類（菌根菌）は森林生態系の炭素循環において重要な炭素のシンクと考えられており、そのバイオマスの定量は炭素循環における菌根菌の役割を解明するためにも必須の課題である。しかし、生態系における共生菌バイオマスの定量に関する研究は緒についたばかりである。

外生菌根が含む共生菌の割合（共生菌含有率）

は、Harley & McCready (1952) が *Fagus sylvatica* の菌根の菌鞘を剥がして秤量することによって求めた40%という値が一般に用いられる。しかしこの値は一つの植物種に対して一つの手法で求められた値にしかすぎない。外生菌根の共生菌含有率は、測定方法、植物種やそれらの発育段階、共生する菌類種などの違いによって異なるものであると予想される。

そこで、本研究では、森林生態系の炭素循環における共生菌類の役割を解明するために、外生菌根の共生菌含有率を正確に評価することを目的に、共生菌含有率と測定手法や植物種、発育段階の違いの関係について解析したものである。

## 2. 菌根横断面に占める菌鞘の面積割合 (F S A) の樹種間での比較

まず、簡便で多数の試料も処理できることから、菌根の横断切片を作成し、横断面積に占める菌鞘の面積割合 (F S A) を求める方法によって、F S Aに及ぼす樹種、樹齢、菌根の形態タイプの関係について調べた。菌根には菌鞘の他にHartig netも存在するが、バイオマスとしては菌鞘に比べてはるかに少ないと考えて、他の研究者と同様にまず菌鞘部分のみを測定対象にした。

まず、樹種によるF S Aの違いを明らかにすることを目的とし、日本の亜寒帯から温帯において針葉樹1科4属6種、広葉樹2科3属7種の計13樹種の実生を採取し、F S Aを求めた。その結果、針葉樹のF S Aの平均値は $23.2 \pm 0.6\%$ であったのに対し、広葉樹は $26.4 \pm 0.5\%$ であり針葉樹よりも有意に高かった。また、針葉樹のF S Aは近縁の樹種で近い値を示したが、広葉樹は近縁種でも有意に異なっていた (one-way ANOVA,  $P < 0.001$ )。広葉樹のF S Aが針葉樹よりも大きかった理由として、針葉樹では菌根半径、菌鞘の厚さ、ともに広葉樹よりも大きかったが、針葉樹の菌鞘の厚さが菌根半径ほど広葉樹よりも大きくなかったことにあると思われた。また、菌根半径と菌鞘の厚さのどちらがF S Aを規定しているのか解析した結果、針葉樹では主に菌根半径の大きさが (菌根半径が大きくなるほどF S Aは小さくなるが)、広葉樹では菌鞘の厚さがF S Aを規定している、つまり菌鞘が厚くなるほどF S Aは大きくなることが分かった。このように、菌根の共生菌含有率は樹種によって異なり、それを左右する要因は針葉樹、広葉樹によって異なることが明らかになった。

## 3. F S Aの成木と実生間での比較

樹齢によって菌根の共生菌含有率は異なるかどうかを明らかにするため、第2章で調査を行った樹種のうち針葉樹のモミ、アカマツ、広葉樹のブナ、コナラ成木についてF S Aを比較した。モミとコナラ成木のF S Aは、それぞれ $22.8 \pm 1.1\%$ 、

$34.0 \pm 0.8\%$ であり、実生のそれぞれの値 $18.3 \pm 0.9\%$ 、 $20.8 \pm 0.8\%$ に比べて有意に高かった。アカマツとブナの成木の値はそれぞれ $24.6 \pm 1.1\%$ 、 $24.7 \pm 1.7\%$ であり、実生のそれぞれの値 $25.6 \pm 2.0\%$ 、 $27.8 \pm 1.3\%$ との間で有意な差はみられなかった (t-test,  $P < 0.05$ )。モミとコナラにおいて樹齢の増加とともにF S Aが増加したのは、共生菌の種類や種類数の変化にともない菌鞘の厚さが増加したことが主に関係しているものと考えられたが、今後の検討課題である。

## 4. Hartig netが外生菌根縦断面に占める割合

菌根の共生菌含有率の指標として第2、3章ではこれまで「菌鞘」に焦点を当てて検討してきた。Hartig netは菌根の細胞間隙に形成され、外生菌根を定義するための重要な菌糸構造であるが、これについては、量的にわずかであると考えられたことや方法の困難さからこれまで定量的な評価がされていなかった。また、Hartig netをつくる菌糸の根内への侵入の程度が針葉樹と広葉樹で異なることが分かっているため、針葉樹と広葉樹での違いについても興味ある問題である。野外から採取したアカマツとブナそれぞれについて、F S Aを求めたのと同様の方法により縦断切片を作成し、縦断面に占めるHartig netの面積割合を求めた。アカマツのHartig netは、表皮細胞層とその内側の皮層細胞層の2層目まで形成されていたのに対して、ブナでは表皮細胞層の1層までにしか形成されていなかった。アカマツとブナのHartig netが菌根縦断面に占める面積割合は、それぞれ $2.4 \pm 0.3\%$ 、 $2.2 \pm 0.3\%$ であり、両樹種間に有意な差はみられなかった (t-test,  $P < 0.05$ )。また、菌鞘とHartig netの面積割合はアカマツとブナでそれぞれ $5.1 : 1$ 、 $5.0 : 1$ であった。これらの結果から、Hartig net形成による共生菌含有率は決して無視できないものであることが明らかになった。

## 5. 菌根の群集構造と共生菌バイオマス

従来、生態系レベルでの菌根の共生菌バイオマ

スは、菌根量に単一の樹種で単一の共生菌種について求められた含有率 (Harley & McCready (1952) の0.4が最も一般的) を乗じることにより求められていたが、このような値は、たとえある一つの林分を対象とした場合でも、多様な形態タイプの菌根菌種が共存しているという事実を反映したものではない。本章では、優占する共生菌種の含有率のみを用いた場合と、存在する共生菌の全形態種の含有率を求めてそれらを用いて共生菌バイオマスを算出した場合について比較した。広島県廿日市市吉和村のモミ林で深さ10cmまでの鉱質土壌から採取した菌根重量は $106.9 \text{ g m}^{-2}$ であり、全部で17の形態タイプに分類された。そのうち、重量あたり68.1%を *Cenococcum geophilum* の菌根チップが占めていた。各タイプのFSAは7.8–29.0%の範囲にあり、*C. geophilum* 菌根は20.3%であった。さらに、菌鞘と菌根コア部分の比重が同一であると仮定して、優占する*C. geophilum* 菌根のみのFSAを用いて全菌根重量から単位面積あたりの菌根菌鞘を形成する共生菌バイオマスを求めると $21.7 \text{ g m}^{-2}$ であり、一方、各形態タイプのFSAの値を用いて共生菌バイオマスを求めると $22.0 \text{ g m}^{-2}$ であり、*C. geophilum* が優占するこの森林では、*C. geophilum* のFSAからバイオマスを求めてもほぼ同一の値が得られることが明らかになった。

## 6. バイオマス定量法の比較検討

FSAをバイオマスに換算するために、アカマツ・ヌメリイグチ菌根を用いて、FSAと、菌根チップに対する菌鞘の重量比を求めた。その結果、FSAは $28.1 \pm 3.1\%$ 、菌根チップに対する菌鞘の重量比は $41.9 \pm 3.0\%$ であり、FSAに1.49を乗ずれば重量ベースのバイオマスが推定できることが分かった。ついで、秤量したヌメリイグチの菌鞘と菌糸マット中のエルゴステロール含量を求め、エルゴステロール量を共生菌バイオマスに変換する係数を得た。つぎに、実際に菌根とコア植物組織中のエルゴステロール含量を求め、変換係数を用いてそれぞれの共生菌バイオマスの割合を算出したところ、 $70.5 \pm 3.9\%$ 、 $28.8 \pm 3.3\%$ となった。菌

根チップ全体の共生菌バイオマスの値70.5%からコア植物組織の値28.8%を差し引いた41.7%は菌鞘中の菌類バイオマスということになるが、この値は重量ベースの値とほぼ一致していた。菌根コア組織中のエルゴステロール含量から求めたバイオマス28.8%とHartig netの面積割合から求めた値3.6% ( $\text{FSA}2.4 \times \text{FSA}$ から重量ベースへの変換係数 $1.49 = 3.6\%$ ) が大きく異なっていたのは、前者では共生菌以外の内生菌類の値を含んでいる可能性のあること、そもそもHartig netの面積を求める方法自体に問題のあったことなどの可能性が考えられたが、今後の検討課題である。

## 7. 総合考察

本研究は、外生菌根の共生菌含有率を正確に評価することを目的とし、それに影響を及ぼす要因について解析したものである。本章では、第2–4章の研究で求めたFSAを重量ベースのバイオマスに換算した値に基づいて議論を行う。

共生菌含有率は異なる樹種、樹齢、菌根の形態タイプで18–84%の値を示し、これらの要因に応じて異なることが明らかになった。このことから、単一の共生菌含有率を用いてある生態系の共生菌バイオマスを算出することは、共生菌バイオマスひいては森林生態系の炭素循環における菌根菌の役割を評価する際に大きな誤差を生じさせることが示唆された。たとえば、広葉樹林では優占する共生菌種に配慮する必要があるが、針葉樹林では共生菌種とともに、樹種構成についても配慮する必要があることが分かった。またHartig netも、量的に無視できないことが示唆された。これらのことから「Harley & McCready (1952) の40%」は菌根の共生菌含有率としておよそ中間的な値であるが、全ての森林生態系の共生菌バイオマスの算出に用いることは適切ではないと考えられた。