コウヤマキ (*Sciadopitys verticillata*) にみられた *Paris-type* のアーバスキュラー菌根

山原美奈^{*1}・河合昌孝¹・大場広輔²

山原美奈・河合昌孝・大場広輔：コウヤマキ (*Sciadopitys verticillata*) にみられた *Paris-type* のアーバスキュラー菌根 日林誌 87: 157~160, 2005 コウヤマキのアーバスキュラー菌根の感染形態を明らかにするために、短根の切片を光学顕微鏡で観察した。その結果、宿主の細胞から細胞へと直接伸長する菌糸とコイル状樹枝状体、嚢状体が認められ、*Paris-type* の感染形態であることが判明した。比較観察したスギとヒノキの菌根は、それぞれ *Paris-type* と *Arum-type* であった。

キーワード：アーバスキュラー菌根, *Arum-type*, 感染形態, コウヤマキ, *Paris-type*

Yamahara, M., Kawai, M., and Oba, H.: **Characterization of *Paris-type* Arbuscular Mycorrhizas of *Sciadopitys verticillata*.** J. Jpn. For. Soc. 87: 157~160, 2005 The root tips of *Sciadopitys verticillata* were observed light-microscopically to know their morphological type of arbuscular mycorrhizas. They had vesicles, intracellularly coiled arbuscules and hyphae spreading directly from cell to cell, which are the characteristics of *Paris-type* arbuscular mycorrhizas. The mycorrhizas of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* were also observed, and their morphological types were *Paris-type* and *Arum-type*, respectively.

Key words: arbuscular mycorrhiza, *Arum-type*, morphological type, *Paris-type*, *Sciadopitys verticillata*

I. はじめに

陸上植物の約80%は根において菌根菌と呼ばれる真菌類と共生して、菌根と呼ばれる構造を形成している (van der Heijden and Sanders, 2002)。菌根共生する植物の多くは菌根菌が存在しなければ正常に生育できない。そのため、半乾燥、半砂漠地帯といった菌根菌のほとんど存在しない場所では樹木単独での造林は失敗が多く、菌根菌の導入が重要であることが知られている (Kessel, 1927; Marx *et al.*, 1977)。このような菌根の重要性は比較的古くから認識されていたものの、その性質については未だ説明されていない点が多い。

菌根は、形態や宿主と菌の組み合わせによって複数に分類される。この内、アーバスキュラー菌根と呼ばれるものは、*Glomeromycota*門の菌により形成される内生菌根で (Schüßler *et al.*, 2001)、多くは宿主根内に嚢状体 (vesicule) と樹枝状体 (arbuscule) の二つの構造を形成することから、従来 VA 菌根と呼ばれてきた。しかし、VA 菌根菌として扱われてきた菌の中には嚢状体を形成しないものが存在するため、最近では共通する器官として樹枝状体を作る菌根という意味でアーバスキュラー菌根 (arbuscular mycorrhizas) と呼ばれることが多く、本報告でもこの名称を採用した。

アーバスキュラー菌根菌の感染形態は主に *Arum-type*

と *Paris-type* の二つに分けられる (Gallaud, 1905; Smith and Smith, 1997)。*Arum-type* では、菌根菌の菌糸は宿主植物の根の皮層細胞間を伸び、その細胞間菌糸から枝分かれした菌糸が皮層細胞内に貫入して栄養交換器官とされる樹枝状体を形成する。一方 *Paris-type* では、菌根菌が宿主の皮層細胞内に菌糸コイルを形成しつつ、細胞壁を貫いて細胞から細胞へと直接的に伸長する。

以前は、アーバスキュラー菌根菌の利用に関する研究に用いられる草本性作物のほとんどが *Arum-type* のアーバスキュラー菌根を形成していたことから、*Paris-type* に比べ、*Arum-type* の方がより一般的だと考えられていた。しかしその後、*Paris-type* のアーバスキュラー菌根もかなり広範な植物群にみられることが明らかになってきた (Smith and Smith, 1996, 1997; Yamato and Iwasaki, 2002)。

これら二つの感染形態間の生理的、あるいは機能的差違については未だ説明されていないが、Brundrett and Kendrick (1990a) は、*Paris-type* が *Arum-type* に比べて菌根形成速度が遅く、森林下層に生育する草本植物に優占することを示した。そこから、*Paris-type* の感染速度が遅いという特徴は、森林下層で少ない光を利用して成長する植物にとって、共生菌へのエネルギー供給が少なくてすむという点で望ましいという考えを提唱した (Brundrett and Kendrick, 1990b)。Yamato and Iwasaki (2002) は、こ

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: minapon@narinshi.pref.nara.jp

¹ 奈良県森林技術センター (635-0133 奈良県高市郡高取町吉備1)

Nara Forest Research Institute, Kibi-1, Takatori-cho, Takaichi-gun, Nara 635-0133, Japan.

² 横浜国立大学大学院環境情報研究院 (240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7)

Yokohama National University, Graduate School of Environment and Information Science, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501, Japan.

(2004年12月3日受付; 2005年1月21日受理)

の仮説を検証するため、日本の落葉広葉樹林3カ所について調査を行い、光条件が悪い場所で生育する森林の下層植物では *Paris-type* の菌根が優占していることを明らかにした。また、森林下層とは対照的に、十分な日光を浴びて素早く成長する裸地の草本植物では *Arum-type* が優占していることも示された (Yamato, 2004)。これらの結果は、成長の速い植物には *Arum-type* が、成長の遅い植物には *Paris-type* が有利であるという仮説を支持している。しかし、これらの検証は主に裸地の草本植物や森林の下層植物といった植物について行われており、未だ観察例が少ない森林上層を形成する木本植物まで含む植物全体について上の仮説が当てはまるかどうかは不明である。そのため、木本植物のアーバスキュラー菌根の形態について観察事例を増やすことは、感染形態間の性質の違いを明らかにする上で重要である。そこで今回、日本特産の針葉樹であるコウヤマキ (*Sciadopitys verticillata* (Thunb.) Sieb. et Zucc.) について、菌根の感染形態を調べた。コウヤマキの根にはアーバスキュラー菌根菌が感染することが報告されているが (Maeda, 1954)、感染形態に関する詳細な記録はなく、菌根の感染形態を明らかにしたのは本研究が初めてである。一方、日本産針葉樹では、スギ (*Cryptomeria japonica* (L. fil.) D. Don) とヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) のアーバスキュラー菌根タイプが既に報告されている (Yamato and Iwasaki, 2002)。今回は比較対照として、スギとヒノキについても同様な調査を行い、既報の形態タイプと一致しているか確認するとともに、アーバスキュラー菌根菌の感染形態の生態的意義を考察する一助とした。

II. 材料と方法

観察材料は、奈良県吉野郡下市町 (34°21'N, 135°47'E) において、水田跡地に切り花用として栽培されていたコウヤマキ (1 個体) の根を用いた。水洗して土やゴミを除いた根の外観を実体顕微鏡下で観察 (7.5~64 倍) した後、短根だけを切り取り、カミソリの刃を用いてそれらの縦断およ

図-1. コウヤマキの根

び横断切片を作成した。この切片を乳酸コットンブルーで染色し、微分干渉顕微鏡 (200~1,000 倍) で観察した。また、短根を 10% KOH で 10 分間煮沸した後、3% H₂O₂ で 20 分間脱色し、トルイジンブルーで染色後、押しつぶして観察した (齋藤, 1992 を改変)。これらの観察には 10 以上の短根を用いた。

スギとヒノキの観察材料は、東京農工大学奥多摩演習林 (35°48'N, 139°05'E) の林床土壌を用いて横浜国立大学敷地内 (野外) (35°28'N, 139°35'E) でポット栽培した当年生実生苗を各 2 個体用い、それぞれ短根 10 以上について、コウヤマキと同様の観察を行った。

III. 結果と考察

コウヤマキの短根は、長さ約 1 mm、幅約 0.5~1 mm の丸みを帯びた卵型で、全体が長根と同じ褐色であった (図-1)。また、先端が乳白色の短根もみられた。

褐色で丸みを帯びた短根の皮層細胞内にはコイル状の菌糸がみられ、その菌糸は根の細胞内から直接次の細胞へと

図-2. 細胞から細胞へ直接伸びるコイル状菌糸 (コウヤマキ)
矢印は細胞壁を貫いている部分。コットンブルー染色。

図-3. 樹枝状体 (コウヤマキ)
トルイジンブルー染色。

図-4. 嚢状体 (コウヤマキ)
コットンブルー染色。

図-5. 菌根上の付着器 (コウヤマキ)
コットンブルー染色。

図-6. 細胞から細胞へ直接伸びる菌糸 (スギ)

伸びており(図-2)、細胞間隙に伸びる菌糸は、侵入部と思われる部分以外では観察されなかった。これらの根の細胞には壊死や色素の沈着は認められず、この菌はコウヤマキの根に内生的に共生していると考えられた。また、樹枝状体(図-3)や嚢状体(図-4)、付着器(図-5)と思われる構造も認められた。このように細胞間菌糸がみられず、宿主の細胞から細胞へと菌糸が直接伸長している点、および樹枝状体が形成されているという特徴は、Gallaud (1905) が示した2種類のアーバスキュラー菌根感染形態のうち、*Paris-type*と一致していた。また、先端が乳白色の短根は、褐色のものに比べ新しい根と考えられ、これについても同様の特徴が観察された。

一方、スギについてはコウヤマキと同様の感染形態(*Paris-type*)が認められた(図-6)。

ヒノキでは、細胞間隙を走る内生菌糸と、そこから細胞内への樹枝状体の形成(図-7)が観察され、Gallaud (1905)

が示したもう一つの感染形態である *Arum-type* の菌根が形成されていた。ヒノキ、スギの短根に形成されたアーバスキュラー菌根の形態は、Yamato and Iwasaki (2002) に示された結果と一致していた。

Gerdemann (1965) や Jacquelinet-Jeanmougin and Gianinazzi-Pearson (1983) などの研究により、アーバスキュラー菌根の感染形態は菌根菌の種によってではなく宿主植物によって決まっていることが示されてきた。わずか2例では断言できないが、今回の観察結果が既報(Yamato and Iwasaki, 2002) のスギ、ヒノキの感染形態と一致していたことは、宿主が同じであれば同じ感染形態になることを示す事例といえるだろう。従って今回観察に用いたコウヤマキは、水田跡地という本来の生育環境(尾根筋)とは著しく異なる場所で栽培されていたが、この樹種は *Paris-type* の菌根を形成するものと考えられた。

現在、成長の速い植物には *Arum-type* が、遅い植物に

図-7. 細胞間隙を走る内生菌糸と樹枝状体（ヒノキ）

は *Paris-type* が生存戦略的に有利であるという仮説が提唱され (Brundrett and Kendrick, 1990a), 裸地の草本植物や木本を含む森林の下層植物を中心にその説を支持する事例が集まりつつあるが (Yamato and Iwasaki, 2002; Yamato, 2004), 森林上層を形成する木本植物に関しては観察事例が少なく, この説がどの程度当てはまるか不明である。今回アーバスキュラー菌根の感染形態が *Paris-type* であることがわかったコウヤマキは, 若木の耐陰性が高く, 成長が遅い樹種であり, これが *Paris-type* であることは上の説を支持する例とみなせる。また, スギも先駆樹種ではなく, 極相林を形成する樹種であり, これが *Paris-type* であることも上説を支持している。しかし, 一般にスギより成長が遅く, 耐陰性も高いヒノキが *Arum-type* の菌根を形成していることはこの説に反しており, これが例外的なものなのか, そもそも森林上層を形成する木本植物にはこの説が当てはまらないのかを知るには, さらに多くの調査が必要である。

コウヤマキの根の試料をご提供頂いた奈良県南部農林振興事務所の田中正臣氏と, 文献検索にご協力頂いた森林総合研究所木曽試験地の溝口岳男氏に心から感謝いたします。

引用文献

- Brundrett, M. and Kendrick, B. (1990 a) The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants I. Quantitative aspects of morphology. *New Phytol.* 114: 457-468.
- Brundrett, M. and Kendrick, B. (1990 b) The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants II. Structural aspects of morphology. *New Phytol.* 114: 469-479.
- Gallaud, I. (1905) Études sur les mycorrhizes éndotrophes. *Rév. Gen. Bot.* 17: 5-48, 66-85, 123-136, 223-239, 313-325, 423-433, 479-500.
- Gerdemann, J.W. (1965) Vesicular-arbuscular mycorrhizae formed on maize and tulip tree by *Endogone fasciculata*. *Mycologia* 57: 562-575.
- Jacquelinet-Jeanmougin, S. and Gianinazzi-Pearson, V. (1983) Endomycorrhizas in the Gentianaceae. I. The fungus associated with *Gentiana lutea* L. *New Phytol.* 95: 663-666.
- Kessel, S.L. (1927) Soil organisms. The dependence of certain pine species on a biological soil factor. *Empire For. J.* 6: 70-74.
- Maeda, M. (1954) The meaning of mycorrhiza in regard to systematic botany. *Kumamoto J. Sci. Ser.B.* 3: 57-84.
- Marx, D.H., Bryan, W.C., and Cordell, C.E. (1977) Survival and growth of pine seedlings with *Pisolithus ectomycorrhizae* after two years on reforestation sites in North Carolina and Florida. *Forest Sci.* 23: 363-373.
- 齋藤雅典 (1992) VA菌根菌の観察と感染率の測定. (土壤微生物実・ 験法. 土壤微生物研究会編, 411 pp, 養賢堂, 東京). 298-301.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., and Walker, C. (2001) A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421.
- Smith, F.A. and Smith, S.E. (1996) Mutualism and parasitism: diversity in function and structure in the "arbuscular" (VA) mycorrhizal symbiosis. *Adv. Bot. Res.* 22: 1-43.
- Smith, F.A. and Smith, S.E. (1997) Tansley review no. 96. Structural diversity in (vesicular)—arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 137: 373-388.
- van der Heijden, M.G.A. and Sanders, I.R. (eds.) (2002) *Mycorrhizal ecology*. 469 pp, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- Yamato, M. (2004) Morphological types of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of weeds on vacant land. *Mycorrhiza* 14: 127-131.
- Yamato, M. and Iwasaki, M. (2002) Morphological types of arbuscular mycorrhizal fungus in roots of understory plants in Japanese deciduous broadleaved forests. *Mycorrhiza* 12: 291-296.