

論文

海岸砂丘のクロマツ枯損林地に生育するクロマツ稚樹 における菌根の出現頻度と根内ミネラル含有量について

赤松保行*・古川郁夫**

Mycorrhizal frequency and mineral content in the roots of young Kuromatsu (*Pinus thunbergii*) growing at a wilted Kuromatsu forest of a coastal sand dune

Yasuyuki AKAMATSU * and Ikuo FURUKAWA **

Summary

Annually, large numbers of Kuromatsu (*Pinus thunbergii* Parlatores) have wilted in the forest of the coastal sand area in Tottori Prefecture. In order to clarify the role of mycorrhiza in wilted forests, the mycorrhizal frequency and the amount of eight kinds of minerals contained in the roots of young mycorrhizal Kuromatsu growing at a wilted Kuromatsu forest of this coastal sand dune were investigated.

It was found that the mycorrhizal frequency was lower for healthy forests than for wilted forests and so mycorrhiza might not be concerned with wilt disease of Kuromatsu. With respect to mineral content, mycorrhiza ameliorated Ca absorption, which is necessary for meristem growth. The aluminum content, which inhibits the physiological mechanism of plants, was also high in the roots of mycorrhizal Kuromatsu.

I 緒言

樹木を含む多くの高等生物は、それを支えているさらに多くの下等生物、あるいは菌類と密接なつながりを持って生存していることが多い。この1つの例として植物と微生物の相利共生が挙げられるが、自然条件下で高等植物の根と特定の菌が共生関係にあることは、一世紀前から知られている。この共生関係にある菌糸と根の細胞組織は菌根 (Mycorrhiza) といわれる。菌根の一形態である外生菌根は森林樹木の多くにみられ、樹木の無機栄養の吸収に重要な役割を果たしている。

我国の海岸砂丘地には、古くより飛砂および潮害の防備や防風のためにクロマツ (*Pinus thunbergii* Parlatores) が植栽されてきた。クロマツ林地は土壌中の養分が少なく、林内の生態系が概して単純であるために菌根の働きは重要であり、クロマツは外生菌根を多量に形成しな

*鳥取大学大学院 農学研究科 農林環境科学専攻

Department of Environmental Science, Graduate School of Agriculture, Tottori University

**鳥取大学農学部 農林総合科学科 生環境科学講座

Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

がら生育している。このため、樹木と菌根の関わりについて調べるのに、このクロマツの菌根を用いることが最適と考え、取り扱いが容易なクロマツの稚樹を対象とし、以下の点について調査を行った。

樹木と菌根との共生関係をミネラル動態の観点から調べた研究は、多くみられる(1,2,5,6,7,18)。しかし、N, P, Kを除く他のミネラル成分が、菌根着生により受ける影響については未だ明らかではない。そこで本研究では、まず第1点として、クロマツ根内のミネラル含有量が菌根着生によってどのように変化するかを調べた。第2点は、近年問題となっている森林の衰退減少と菌根との関わりについてである。以前より欧米では樹木の集団枯損がみられる。この森林の衰退のメカニズムについては現在でも多く議論されているが、酸性降水物と関係していることは確かである。菌根の活性と多様性は、汚染のもとで減少することが言われている(1)。例えば、TermorshuizenとSchaffers(17)の報告によれば、大気汚染の影響を受けている林地では、菌根菌がつくる子実体の多様性と出現頻度が減少している。したがって、我国のマツ林の集団枯損に大気汚染等の環境ストレスが関わっているのであれば、枯損林地では菌根着生も減少していると考えられる。そこで、砂丘クロマツ林の枯損林地と健全林地(枯損のみられない林地)の各林地を対象として、菌根の出現頻度を調べた。

これらの点から本研究では、樹木と菌類との共生関係についてクロマツ—クロマツ着生菌—ミネラルの関連性および、クロマツ枯損との関連性について検討した。

II 材料と方法

試料の採取は、鳥取県東部の鳥取砂丘、中部の北条砂丘に広がるクロマツ林地で1996年8月～12月および1997年7月～9月にかけて行った。鳥取砂丘のクロマツ林地では、毎年大量のクロマツが枯損している。鳥取砂丘では鳥取大学乾燥地研究センター周辺のクロマツ林地を試料の採取地としたが、この林地は枯れたクロマツが多くみられた。また、林内の稚樹にも枯損したものがみられた。北条砂丘のクロマツ林地では、北条町が防風林のマツクイムシ防除のために、薬剤の空中散布を念入りに行っており、枯損したクロマツはほとんどみられなかった。そのため北条砂丘の林地を鳥取砂丘の対照地域(健全林地)とした。各林地より針葉が緑色であった、

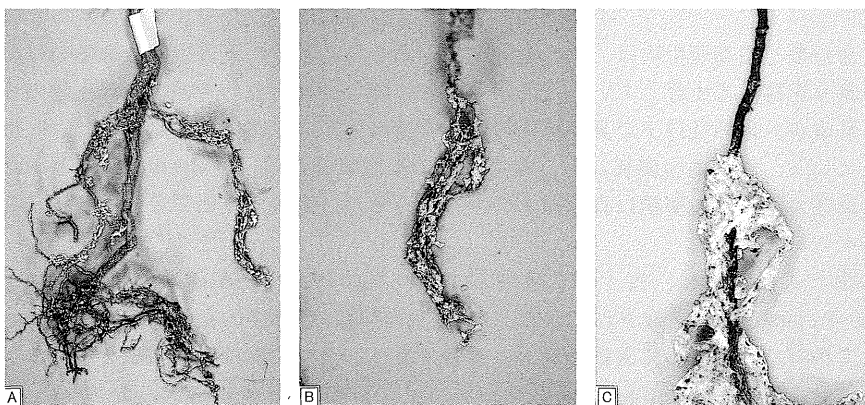


写真1. クロマツの菌根

A. 菌根着生稚樹 B. Aの拡大写真 C. 菌根の拡大写真

樹齢1～2年生のクロマツ稚樹を掘り取り、根に付着した砂を水で丁寧に落としてから、菌根の着生状況を調べた。

菌糸と菌鞘の影響を避け、菌根着生による根内へのミネラル吸収の変化を調べるため、菌根着生個体では細根に関して、菌根より上部および菌糸除去部分を取り、試料とした。着生のみられない個体では細根を試料とした。各試料中のミネラル含有量の測定をICP発光分析法で行った。乾燥粉末試料50mgに濃硝酸3mlを加え、テフロン容器付きステンレス製高压分解容器を用いて150℃で8時間加熱分解し、試料を完全に溶解した。この溶解液を50mlに希釈してからICP S-5000（島津製作所製）で分析した。測定元素は植物にとって必須元素であるK, Mg, Ca, Fe, Cu, 砂丘砂中に多く含まれるTi, 土壤溶液中の濃度が高いと植物にとって有害であるAlおよび海水中に多く含まれるNaを対象とした。

Ⅲ 結果と考察

1. 菌根の着生状況

小川(11,12,13)はアカマツ林と広葉樹林、それぞれの枯損林地で土壤中の菌類相を調査し、枯損林地において菌根の消失、黒色菌根の出現が起こることを報告している。表1に各林地における菌根の出現頻度を示した。これによると、枯損林地である鳥取砂丘のクロマツ林地では、小川の報告にある健全な広葉樹林よりも菌根の出現頻度は低く、黒色菌根が多く出現していたものの、枯損木のみられない北条砂丘の林地よりも菌根の出現頻度は高くなっていた。多くの報告が示しているように、大気汚染によって樹木が枯死した林地では、菌根菌による子実体形成や菌根着生の減少がみられるなど、林地における菌根の活性と多様性は減少する。鳥取砂丘のクロマツ林地では、クロマツ稚樹の菌根着生個体が北条砂丘より多いにもかかわらず、クロマツの枯損木が大量にみられた。したがって、クロマツの集団枯損の原因は大気汚染というよりはむしろ、マツクイムシによって枯れたために、クロマツの菌根形成には何ら影響を受けていないものと推測される。しかし、Rudawskaら(15)が汚染の影響を受ける地域に2年生Scots pineを植え、その菌根を観察した結果では、コントロールとの間に有意な差はみられていない。これに対して、TermorshuizenとSchaffers(17)が成木林地で菌根の子実体を観察した結果では、汚染の影響が明確に現れていることから、影響を受ける程度は樹齢によっても異なる可能性がある。

大気汚染以外の理由で菌根形成に影響する因子としては、土壤中の窒素濃度、菌の生産するオーキシシン、林内の照度、温度、土壤の水分と通気性等が挙げられる(8)。しかし、鳥取砂丘と北条砂丘のクロマツ林地の林内環境に大きな違いがあるようには思われぬ。また、土壤が肥沃であると菌根形成が抑制されると言われているが、この説についての否定的な報告が現在多くなされている。さらに、鳥取砂丘のクロマツ林地にはクロマツとニセアカシアが混交しており、北条砂丘のクロマツ林地よりも土壤は肥沃であると考えられる。したがって北条砂丘の

表1 菌根着生状態

	試料本数	菌根の頻度	黒色菌根の頻度
鳥取砂丘	81	69 %	54 %
北条砂丘	50	10 %	4 %

クロマツ林地における菌根の異常に低い出現頻度は、マツクイムシ防除剤の空中散布など、何らかの土壤汚染が関わっているように思われる。

2. 根内ミネラル含有量と菌根

各林地におけるクロマツ根内ミネラル含有量の測定結果を表2に示した。これによると、菌根が着生した根内のCa含有量が有意に高くなっており、吸収が促進されていると推測された。Kについては、菌根着生により樹木の吸収が促進されることが報告されているが(1,18)、今回の調査では、根内含有量の菌根着生による有意な変化はみられなかった。Mg, Fe, Cu, Ti, Naについても、菌根着生による根内含有量の変化はみられなかった。したがって、菌根は微量成分の吸収促進に関与していないと思われる。しかしながらCaが分裂組織の成長、とくに根の先端の発育と機能維持に必要なものに対し、K, Mg, Tiは光合成に、Fe, Cu, Naは植物の呼吸作用にそれぞれ関与しているため、蓄積される器官も異なっていることが推察される。また、LangloisとFortin(10)は黒色菌根のリン酸イオン吸収量が菌根の着生していない根と同等であり、白色菌根に比べて少ないことを報告しているが、本研究で用いた枯損林地のクロマツ細根には黒色菌根が多く認められ、このために着生菌根によるミネラル吸収の促進効果は、ほとんどなかったと考えられる。

また、Alの根内含有量が菌根着生個体で有意に高くなっていった。植物根に取り込まれたAlは、細胞間層あるいは細胞壁におけるフリースペースに侵入し、一部は $[Al(OH)_3]_n$ となって細胞内壁に沈着し、一部は壁のヘミセルロースやペクチンの-COOH基などの置換座に結合してとどまる(9)。またリン酸イオンが存在すれば、これと反応してリン酸アルミニウムとして沈着する。このようにAlは通常根部分にとどまり、その表面、とくに細胞壁や細胞膜部分と分裂増殖の盛んな組織や核の部分に多く集積する。CummingとWeinstein(3)はpitch pineに菌根菌を接種することによりAlの毒性が改善されることを報告しているが、今回の分析結果では菌根によってAlの吸収が促進されていた。DennyとWilkins(4)によれば、菌は内部にAlイオンを貯め込む働きがあるが、菌根のハルティヒネット内にAlを蓄積したために、菌根着生個体の根内Al含有量が高くなった可能性がある。

そのほかに、北条砂丘のクロマツ細根内のK含有量が有意に低くなっていた。Kは植物に吸収されやすい元素であるが、それは根が健全な場合に限られ、根に何らかの害を受けると吸

表2 クロマツ根内のミネラル含有量 (ppm)

	鳥取砂丘		北条砂丘
	菌根着生あり	菌根着生なし	菌根着生なし
K	2796.8±1258.6	3670.2±1654.8	1616.1± 374.9
Mg	1311.3± 315.4	1431.7± 401.2	1441.1± 386.3
Ca	2880.0± 892.3	1871.4± 876.7	2938.0±1624.5
Fe	3065.3± 645.8	2340.7±1012.3	3007.2± 806.0
Al	6912.0±1599.0	4838.9±1551.1	6306.3±1273.8
Na	1057.5± 268.3	1334.1± 376.9	1247.1± 559.6
Cu	28.7± 12.0	22.2± 15.5	—*
Ti	112.8± 27.3	72.0± 58.2	100.4± 40.8

*未検出

収が著しく悪くなる(16)。したがって、マツクイムシ防除のため行われている薬剤の空中散布の影響が現れているものと推察される。また、菌根菌は除草剤等の薬剤によってその繁殖が抑えられることから(14)、北条砂丘のクロマツで著しい菌根の消失が起こっていることもこのためと考えられる。

IV 結 論

鳥取砂丘と北条砂丘のクロマツ稚樹について、菌根の出現頻度と8元素について根内の含有量を測定した結果、以下のことが明らかになった。

第1にクロマツの枯損が激しい鳥取砂丘よりも枯損木がみられない北条砂丘において、菌根の出現頻度が低かった。これは、クロマツの枯損を防ぐための薬剤散布がクロマツ林地内の菌根の形成を阻害している可能性がある。さらに、菌根が形成されることによりクロマツが衰弱しにくくなる、またはクロマツが衰弱して根の活性が低くなったために菌根の着生が悪くなるというような、菌根とクロマツ枯衰との関わりは認められなかった。第2に菌根が着生することにより、クロマツ根内のCa、Al含有量が増加していたため、菌根着生はこれらの元素の吸収を促進しているものと推測される。第3に微量成分であるMg、Fe、Cu、Ti、Naでは、菌根着生による根内含有量の有意な変化はみられなかった。したがって、微量成分の吸収の改善に菌根は関わっていない可能性がある。

文 献

- (1) Allen, M. F. 著, 中坪孝之・堀越孝雄 訳 (1995) 菌根の生態学. 208pp, 共立出版株式会社, 東京. 117-145, 170-172.
- (2) Bolan, N.S. (1991) A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134 : 189-207.
- (3) Cumming, J.R. and Weinstein, L.H. (1990) Aluminum-mycorrhizal interactions in the physiology of pitch pine seedlings. *Plant and Soil* 125 : 7-18.
- (4) Denny, H.J. and Wilkins, D.A. (1987) Zinc tolerance in *Betula* spp. IV . The mechanisms of ectomycorrhizal amelioration of zinc toxicity. *New Phytol.* 106 : 543-553.
- (5) Eltrop, L. and Marschner, H. (1996) Growth and mineral nutrition of non-mycorrhizal and mycorrhizal Norway spruce (*Picea abies*) seedlings grown in semi-hydroponic sand culture I . Growth and mineral nutrient uptake in plants supplied with different forms of nitrogen. *New Phytol.* 133 : 469-478.
- (6) Harley, J.L. and McCreedy, C.C. (1952) The uptake of phosphate by excised mycorrhizal roots of the beech II . Distribution of phosphorus between host and fungus. *New Phytol.* 51 : 56-65.
- (7) Harley, J.L. and McCreedy, C.C. (1952) The uptake of phosphate by excised mycorrhizal roots of the beech. III . The effect of the fungal sheath on the availability of phosphate to the core. *New Phytol.* 51 : 342-348.
- (8) 石沢修一 (1977) 微生物と植物生育 植物をめぐる微生物的環境. 324pp, 博友社, 東京. 225-228.
- (9) 小島邦彦 (1989) 植物根におけるアルミニウム障害と耐性. *生化学* 61 : 34-38.
- (10) Langlois, C.G. and Fortin, J.A. (1984) Seasonal variations in the uptake of [³²P]phosphate ions by

- excised ectomycorrhizae and lateral roots of *Abies balsamea*. *Can.J.For.Res.*14 : 412-415.
- (11) 小川 真 (1972) マツ林, マツクイムシとマツタケと. *森林立地* 13(3) : 23-29.
- (12) 小川 真 (1995) 広葉樹が枯れてゆく. *現代林業* 10 : 32-37.
- (13) 小川 真 (1996) ナラ類の枯死と酸性雪. *環境技術* 25(10) : 31-39.
- (14) 小川 真・山家義人 (1980) 除草剤がアカマツの菌根と土壤微生物に与える影響. *林試研報* 311 : 93-102.
- (15) Rudawska, M. *et al.* (1995) Mycorrhizal status of a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantation affected by polluted from a phosphate fertilizer plant. *Water, Air and Soil Pollut.*85 : 1281-1286.
- (16) 高橋英一・吉野 実・前田正男 (1980) 作物の要素欠乏・過剰症. 288pp, 社団法人 農山漁村文化協会 ., 東京. 98-107.
- (17) Termorshuizen, A.J. and Schaffers, A.P. (1987) Occurrence of carpophores of ectomycorrhizal fungi in selected stands of *Pinus sylvestris* in the Netherlands in relation to stand vitality and air pollution. *Plant and Soil* 104 : 209-217.
- (18) 渡部 巖 (1971) 農業と土壤微生物. 302pp, 社団法人 農山漁村文化協会 ., 東京. 277-284.