

遷移過程のアカマツ二次林における 植物種間の根系分布の差異

Difference in Root System among Co-occurring Plants
in a Secondary Pine Forest Undergoing Succession

山中 勤^{*}・松尾 大悟^{**}・矢野 翠^{**}・角張 順一^{***}・
飯田 真一^{****}・涌井 久司^{***}・清水 亮介^{***}・田中 正^{*}

Tsutomu YAMANAKA^{*}, Daigo MATSUO^{**}, Midori YANO^{**},
Jun'ichi KAKUBARI^{***}, Shin'ichi IIDA^{***}, Hisashi WAKUI^{***},
Ryosuke SHIMIZU^{***} and Tadashi TANAKA^{*}

I はじめに

「日本は松柏科植物に富むこと全世界第一なり」という『日本風景論』(志賀, 1894)の記述を引用するまでもなく, アカマツは我が国で最もポピュラーな樹種の一つである。古来より人々は貧栄養の悪地に成育するこの樹木を愛し, また下草とともに伐採して薪炭材や用材として日々の暮らしに供してきた。しかしながら, こうした行為はむしろアカマツ林の維持に必要なものでもあった。なぜならアカマツは耐陰性の低い典型的な陽樹であるため, 下草やアカマツ成木が生い茂って林床面の受光量が低下すると稚樹が育たず, 世代更新が困難となるためである。すなわち, 我が国のアカマツ林のほとんどは天然のものではなく, 人為の加わった二次林である。ところが, 電気・ガスなどの社会基盤整備や外材の輸入が進むにつれて,

アカマツや下草の伐採といった森林管理が放棄されるようになり, 多くの地域でアカマツ林から陰樹林への二次遷移が進み始めた(藤井・陣内, 1979)。山下・林(1987)によれば, 関東地方では一般的にアカマツ林はシラカシ林へと遷移する。こうした二次遷移の進行は, 水収支要素の変化を引き起こす(Iida, 2003; Iida *et al.*, 2005)と同時に, 水や養分をめぐる競合を通じてアカマツの衰退をさらに加速させているとの報告もある(Kume *et al.*, 2003)。

Yamanaka *et al.* (2004)は同位体トレーサー手法を用いて, 先行植生であるアカマツが地下水もしくは深層土壤水を利用するのに対し, 侵入植生であるシラカシはより表層付近の土壤水, 同じくアズマネザサはその中間領域の土壤水をそれぞれ利用していることを明らかにした。こうした水源分化(water source separation)の事実は, 植物

* 筑波大学陸域環境研究センター

** 筑波大学第一学群自然学類

*** 筑波大学生命環境科学研究科大学院生

**** 筑波大学生命環境科学研究科

種間の競合・共存や遷移のメカニズムを明らかにする上で重要な知見であると言えるが、植物種ごとの根系分布との関係については実測データがないために深い議論はなされていない。一般に、アカマツはシラカシやアズマネザサと比較して深い根（垂下根）を持つとされ（荻住，1979）、深層から吸水しているという Yamanaka *et al.* (2004) の結果と整合的であるが、表層に根がないわけではなく、むしろ根量は浅層ほど多いという報告もある（杉田ほか，1986）。

以上のような背景から、本研究では Yamanaka *et al.* (2004) の観測サイトと同一の場所において根系調査を実施し、アカマツとシラカシならびにアズマネザサの間で根系分布にどのような差異があるかを明らかにする。

II 調査方法

1. 調査林分概要

対象とする林分は筑波大学陸域環境研究センターの南側に隣接するアカマツ二次林であり、その南東部の一画において 2005 年 5 月 7 日に根系調査を実施した。同一の区画ではないが、対象林分におけるアカマツ毎木調査は 20 年前から実施されており、1985 年前後から急激にその数を減じていることが明らかとなっている（山下・林，1987；宇佐美・及川，1993；飯田ほか，2001）。また、シラカシをはじめとする低木が近年生長しつつあることも報告されている（飯田ほか，2003）。

調査地点の表層土壌は黒ボク土であり、その下位に常総粘土層が位置している。こうした特徴は周辺部と変わりがないが、林分中央部や観測圃場における粘土層上限深度がおおよそ 2 m であるのに対し、本調査地点では 1.5 ～ 1.3 m 程度でしかなく、このため不圧地下水面も 1 m 内外とかなり浅い。

調査対象区画にはアカマツ（*Pinus*

densiflora Sieb. et Zucc.）とシラカシ（*Quercus myrsinaefolia* Blume）がやや距離において点存在するほか、コナラ（*Quercus serrata*）・ヤマウルシ（*Rhus trichocarpa* Miq.）などの低木が存在し、その間を埋めるように草本植生であるアズマネザサ（*Pleioblastus chino*）が密生している。そこで、根系調査はアカマツとシラカシの近傍 2 地点（両地点の距離はおおよそ 15 m）で実施した。以下では、この 2 つの調査地点をそれぞれアカマツサイト（Pine site）およびシラカシサイト（Oak site）と呼ぶことにする。

2. 根系調査法

濱田ほか（1997）はトレンチ断面において根の本数（根量）を計測することにより根系分布の把握を試みた。この方法は比較的広い範囲の根系分布の概観を掴むのに適している。一方、根系の分布特性を評価する指標としては根量のほかに根密度（単位体積土壌中に含まれる根の総延長）やバイオマス（乾物重量）などがあるが、その測定には定容積の土壌コアを採取するなど、より大きな労力を必要とし、空間代表性の高い値を得るのは容易でない。そこで本研究では、広範囲の断面調査と部分的なコア採取を併用した。なお、根密度は根系の吸水抵抗をモデル化する際に用いられるパラメータの一つであり、バイオマスは生態系の地下部現存量を示す直接的指標である。以下に調査手順を簡潔に記す。

まず、対象木（アカマツもしくはシラカシ）の地際から距離 1 m の地点にトレンチを掘削し、法線方向の幅 1 m、深さ 1 m の土壌断面を露出させる。つづいて調査断面に 1 辺 20 cm の方形格子 25 個（5 × 5）からなる 1 辺 1 m の木枠をあてがい、各格子内の根の本数を計測した。この際、根の直径によって細根（2 mm 未満）・小根（2 ～ 5 mm）・中根（5 ～ 10 mm）・大根（10 mm 以上）の 4 つに区分した。また、細根以外については対象木とそれ以外の根を識別し、個別に記録し

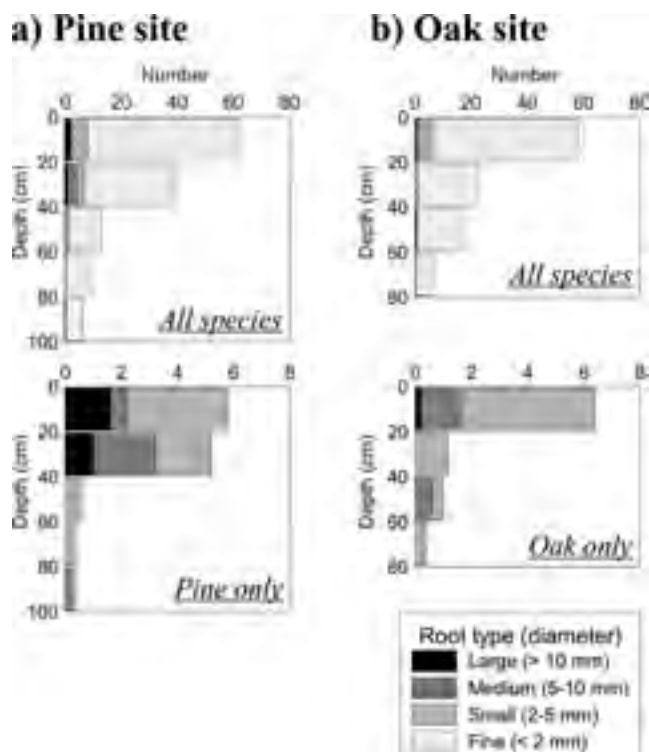
た．なお，二重計測を防ぐためカウント済みの根は切断した．根量の計測後，中央列の5個の格子それぞれについて，奥行き5 cmの直方体土塊（ $20 \times 20 \times 5 = 2000 \text{ cm}^3$ ）を包丁で切り出した．採取した土塊は篩の上で水洗いし，生きた根を選別しながらアカマツ，シラカシ，アズマネザサ，および識別不能の4つのカテゴリーに区分した．得られた根のサンプルは土塊・カテゴリーごとに総延長を計測した後，紙製の封筒に入れて恒温乾燥機（80℃）で48時間乾燥させたうえで重量（バイオマス）を電子天秤で測定した．

III 結果と考察

1. 根量

第1図にアカマツ・シラカシ両サイトにおける

根量の鉛直分布を示す（上段は総根量，下段はアカマツもしくはシラカシのみの根量）．なお，値は 400 cm^2 の鉛直断面あたりの本数で，同じ深度帯の5つの小区画の平均値である．また，シラカシサイトでは地下水面深度が1 mに満たなかったため，80～100 cmの深度帯は欠測となっている．両サイトとともに総根量の鉛直分布は類似しており，表層部で60本程度，深度60 cm以深で10本以下である．また，総本数のおよそ90%以上を細根が占めるという特徴も同じである．直径2 mm以上の根の大部分はアカマツもしくはシラカシであるが，アカマツの大根・中根は20～40 cmの深度帯にも多いのに対して，シラカシの根は表層部に集中しており大根は少ない．しかし，中根が40～60 cmの深度帯に存在するなど，根系が表層のみに限定されているわけではない．



第1図 アカマツ・シラカシ両サイトにおける根量（鉛直断面 400 cm^2 あたりの平均本数）の鉛直分布（上段は総根量，下段はアカマツもしくはシラカシのみの根量）

各深度帯で根径毎に求めた変動係数 (Coefficient of Variation; CV) を第1表に示す。細根の変動係数は大径の根と比較して小さく、また深層ほど大きくなる傾向が読み取れる。このことは、細い根ほど水平方向の均質性が高いことを意味し、少数 (小範囲) のデータでも空間的代表性が高いと言える。また、深層では根の出現頻度が低いため、データの代表性を高めるためにはより広い範囲で計測を行う必要があることを示唆する。さらに重要なことは、種の識別が可能な小根以上のカテゴリーで変動係数が大きくなる傾向があるという点であり、種毎の根系分布を評価する際にはその代表性に注意を払う必要がある。

2. 根密度

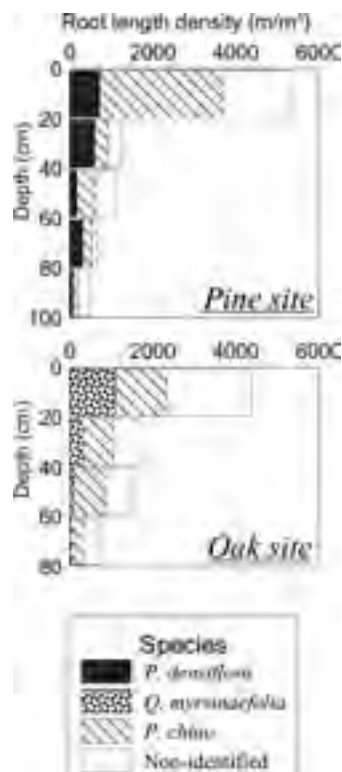
第2図に根密度の鉛直分布を示す。まず、アカマツは表層から深層に向けて徐々に根密度が減少しているのに対して、シラカシの根は表層に集中し、深層に向けた減少の程度も甚だしいという特徴が指摘できる。しかし、種の別を問わない総根密度ではその傾向はむしろ逆であり、アカマツサイトよりもシラカシサイトの方がプロファイルの曲率が小さい。なお、アカマツサイトではシラカシの根は見出せず、シラカシサイトでもアカマ

ツの根は検出されていない。また、識別不能な根の密度はシラカシサイトでやや大きいものの、鉛直分布としては両サイトで顕著な差がない。つまり、前述した樹種ごとの根密度プロファイルと総根密度プロファイルの相違は、両サイトにおけるアズマネザサの根系分布の違いに起因している。これは、Yamanaka *et al.* (2004) が見出した水源分離の観測事実と考え合わせると大変興味深い結果と言える。すなわちアズマネザサは、深層水源を利用するアカマツと近接する場合には表層付近の根系を充実させ、表層水源を利用するシラカシと近接する場合には根系を深部へと伸長させている、との推測が成り立つ。同一種 (アズマネザサ) の根系分布が他の種 (アカマツやシラカシ) との位置関係によって変化するという事実は、根系の形成・発展過程において何らかの種間相互作用 (interspecific interaction) が働いている可能

第1表 深度帯・根径毎に求めた根量の変動係数 (Coefficient of Variation; CV)

(a) Pine site							
Depth (cm)	All species				Pine only		
	Large	Medium	Small	Fine	Large	Medium	Small
0-20	0.42	1.33	0.24	0.22	0.31	1.33	0.57
20-40	0.63	0.80	0.71	0.20	0.63	0.78	1.05
40-60	N/A	2.00	0.63	0.33	N/A	N/A	0.82
60-80	N/A	N/A	1.22	0.25	N/A	N/A	1.22
80-100	N/A	2.00	2.00	0.56	N/A	2.00	2.00

(b) Oak site							
Depth (cm)	All species				Oak only		
	Large	Medium	Small	Fine	Large	Medium	Small
0-20	2.00	1.32	0.31	0.18	N/A	1.46	0.97
20-40	N/A	N/A	0.33	0.15	N/A	N/A	0.33
40-60	N/A	0.82	1.22	0.25	N/A	0.82	2.00
60-80	N/A	N/A	1.22	0.41	N/A	N/A	N/A

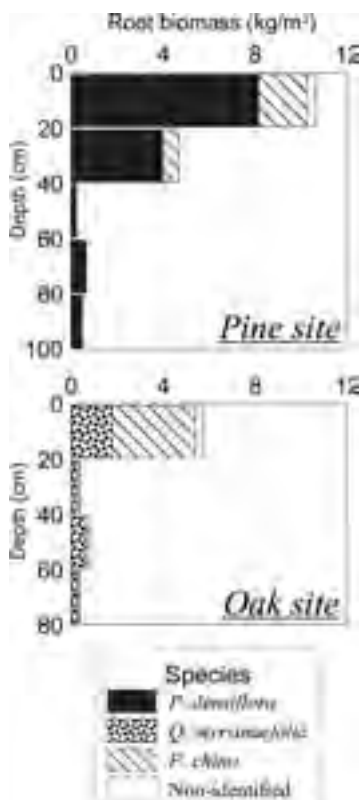


第2図 根密度の鉛直分布

性を示唆しているが、水をめぐる競合関係の回避のために植物が能動的にとった戦略の結果であると断言するためには今後より多くの調査事例を集積する必要があるだろう。

3. バイオマス

第3図に根密度の鉛直分布を示す。表層で大きく深層で小さいというプロファイル形状は、根量や根密度の鉛直プロファイルと類似したものだが、幾つかの点で大きく異なる。まず、バイオマスに占める識別不能の根の割合がきわめて小さいことである。これは、それらの根のほとんど全てが直径1 mmにも満たないものであったことから当然の結果ではあるが、バイオマスという点ではアカマツ・シラカシの占有率が高いことが改めて浮き彫りになった。次に、アカマツは深度40 cm



第3図 バイオマスの鉛直分布

以浅、シラカシは深度20 cm以浅のバイオマスが際立って大きく、それ以深はほぼ一定の値を示すという特徴が挙げられる。このような結果は小根以上の根量（第1図）の分布と整合的である。つまり、地下部バイオマスの大半は表層部に存在する少数の太い根によって占められている。しかしながら、これらの根は吸水機能というよりもむしろ地上の樹幹を支持する機能や光合成産物を貯留するという機能において重要なものであろう。

4. 根密度およびバイオマスと根量の関係

第2表に根密度およびバイオマスと根量の間の相関係数を示す。根量については同じ深度帯の平均値 (N_{ave}) のほか、土壌コアを採取した中央列の値 (N_c) も用いた。根密度・バイオマス共に、全種を対象とした場合と、アカマツ・シラカシそれぞれに限定した場合の双方において、根量と高い相関を示している。また、根量データとして N_{ave} を用いた場合と N_c を用いた場合で大きな差異は見出せない。したがって、わずかに一部分の土壌コアから得られたデータであっても、それはより広範囲の土壌断面全体の平均的な特徴を反映していると判断できる。

IV まとめ

シラカシやアズマネザサなどの陰性植物の侵入が著しいアカマツ二次林において、種毎の差異に

第2表 根量 (N) と根密度 (L) およびバイオマス (B) の間の相関係数 (根量については同じ深度帯の平均値 (N_{ave}) と土壌コアを採取した中央列の値 (N_c) の双方を用いた)

	Pine site		Oak site	
	All	Pine	All	Oak
L vs N_{ave}	0.90	0.95	1.00	0.93
L vs N_c	0.90	0.96	0.99	0.96
B vs N_{ave}	0.98	0.93	0.96	0.82
B vs N_c	0.99	0.99	0.96	0.84

注目した根系調査を実施した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) アカマツ・シラカシ共に、根系は深度 1 m 程度にまで及ぶが、根量・根密度・バイオマスのいずれもが表層部（深度 20 cm 以内）で最も高い値を示す。
- (2) 根の吸水機能と密接に関わる根密度に注目すると、シラカシの根が表層部に集中しているのに対して、アカマツは深度方向の変化率が小さい。またアズマネザサは、アカマツ近傍では表層部の根系が充実しているのに対してシラカシ近傍ではより深部にまで拡張されており、他の植物種との位置関係によって異なる根系分布特性を持つ。

今後は、種間相互作用の実態と水源分化のメカニズムを明らかにすべく、遷移段階が異なる林分における根系調査や吸水深度調査の事例を増やしてゆく必要がある。

文献

- 飯田真一・濱田洋平・田中 正 (2001)：筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の胸高直径と立木密度の変化について。筑波大学陸域環境研究センター報告, **2**, 1-6.
- 飯田真一・濱田洋平・安部 豊・田中 正 (2003)：筑波大学陸域環境研究センターに隣接するアカマツ林の下層植生について。筑波大学陸域環境研究センター報告, **4**, 1-9.
- 宇佐美哲之・及川武久 (1993)：アカマツ林内の光微環境とシラカシ稚樹の成長特性。筑波大学水理実験センター報告, **17**, 79-89.
- 荻住 昇 (1979)：「樹木根系図説」誠文堂新光社, 1121 p.
- 志賀重たか (1894)：「日本風景論」(近藤信行校訂, 1995, 岩波書店, 395 p.)
- 杉田倫明・山下孔二・古藤田一雄 (1986)：アカマツの形態構造。筑波大学水理実験センター報告, **10**, 47-52.
- 濱田洋平・小林義和・田中 正 (1997)：カラマツおよびミズナラ林土壌における根系分布。筑波大学農林技術センター演習林報告, **13**, 103-118.
- 藤井英二郎・陣内 巖 (1979)：関東地方におけるマツ平地林の林床管理と植生遷移 (I) 種組成と生活型組成 (種数による) について。日本林学会誌, **61**, 76-82.
- 山下寿之・林 一六 (1987)：茨城県筑波におけるアカマツ林からシラカシ林への遷移過程の解析。筑波大学農林技術センター演習林報告, **13**, 59-82.
- Iida, S. (2003): Change of water balance in Japanese red pine forest under the successional process. Doctoral Thesis, Univ. of Tsukuba, 206 p.
- Iida, S., Tanaka, T. and Sugita, M. (2005): Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak. *Journal of Hydrology*, (in press).
- Kume, A., Satomura, T., Tsuboi, N., Chiwa, M., Handa, Y. T., Nakane, K., Horikoshi, T. and Sakugawa, H. (2003): Effects of understory vegetation on the ecophysiological characteristics of an overstory pine, *Pinus densiflora*. *Forest Ecology and Management*, **176**, 195-203.
- Yamanaka, T., Iizuka, S. and Tanaka, T. (2004): An isotope-ecohydrological study on water use strategy of plants in a suburban secondary forest. *EOS Trans. AGU*, **85**, West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract B12A-05.
- (2005 年 5 月 31 日受付, 2005 年 7 月 20 日受理)