

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007-2008

課題番号：19700673

研究課題名 (和文) 植物の水利用様式と植生遷移の関係に関する比較研究

研究課題名 (英文) Comparative Study on the Relationship Between Water Use Pattern of Plants and Vegetation Succession

研究代表者

山中 勤 (YAMANAKA TSUTOMU)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：80304369

研究成果の概要：植生遷移の進行に伴う水獲得競争の激化が植物の水利用様式を変化させ、その結果として水源の使い分けが生じるということを、同位体トレーサー手法を用いた現地調査によって明らかにした。その際、吸水量プロファイル推定のための逆解析手法を開発した。また、異種間の水獲得競争を考慮できる水輸送モデルを構築し、これを用いた数値シミュレーションによって、水源変更のパターンやその要因を分析した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	240,000	2,840,000

研究分野：水文学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：植物、生態学、水循環、水資源、国土保全、植生遷移、種間相互作用、同位体

1. 研究開始当初の背景

(1) 様々な植物種の吸水深度を同位体トレーサー手法によって明らかにしようとする研究が、近年、精力的に行われている。例えば、Dawson and Ehleringer (1991, Stream side trees that do not use stream water. *Nature* 350: 335-337) は、半乾燥域の河畔に生育する樹木が河川水ではなく地下水を利用しているという意外な実態を見出し、植物による能動的な水源選択の可能性を指摘した。Flanagan et al. (1992, Differential uptake of summer precipitation among co-occurring trees and shrubs in a

pinyon-juniper woodland. *Plant Cell Env.* 15: 831-836) は、半乾燥気候下の群落に共存する樹木と灌木が異なる深度の水を利用していることを明らかにし、植物種ごとの耐乾性の差異や水獲得競争の回避行動として考察を加えている。

(2) 同一群落に共存する植物種間で水源を分け合う“水源分化”という現象は、水の絶対量に乏しい乾燥・半乾燥地域で数多く報告されてきたが、我が国の様な湿潤地域においても生じることが明らかにされている。また、植生遷移が水獲得競争の激化を通じて水源分化をもたらすという見解も提出されてい

る。しかしながら、その直接的な証拠は得られておらず、また物理的・植物生理学的メカニズムの詳細も明らかではなかった。

2. 研究の目的

植生遷移の進行に伴う水獲得競争を緩和するために先行植生が根系の形態および機能を変化させることによって水源分化が達成される、との仮説を立て、これを検証することを目的とした。具体的には、遷移段階の異なる複数の林分における植物の水利用様式を同位体トレーサー手法によって明らかにし、これらを比較することで遷移の進行と水源分化の因果関係を明らかにする。また、種間相互作用を考慮した植物根系・土壌水輸送過程のモデル化を行い、根系分布および土壌水理特性の調査結果にもとづく根系吸水シミュレーションを行うことにより、水源分化のメカニズムを明らかにする。特に、林分間に根系の形態的变化があるか、種間の吸水深度の差異が再現できるか、根の形態的变化だけでなく透過抵抗といった機能的変化が影響するか、などの点を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) アカマツ林を対象として、種組成・遷移段階が異なる6つの試験区を設定した。各試験区において、吸水ゾーンを同定するために数種類の植物（それぞれ複数個体）の導管水を採取し、土壌水（複数深度）および地下水とともにその同位体組成を測定した。導管水の抽出には真空蒸留法、土壌水の採集にはサククションライシメーターを用いた。また、土壌水分条件や水ストレスが水利用様式に及ぼす影響を把握するため、テンシオメーターによる土壌水ポテンシャル測定、プレッシャーチャンバーによる植物水ポテンシャル測定、およびポロメーターによる気孔抵抗測定を併せて行った。各試験区において、こうした調査を暖候期に4~5回実施した。さらに、数値シミュレーションの入力データとするため、各試験区の根系分布および土壌水理特性の調査も実施した。

(2) 同位体データを用いて吸水量の深度プロファイルを推定する逆解析手法を新たに開発した。これは、吸水量プロファイルが近似的に正規分布に従うことを仮定し、土壌水と地下水の同位体組成を相対吸水量分布で加重平均することで得られる導管水同位体組成の推定値と実測値を比較し、吸水ピークおよび吸水ゾーン幅の最適値を逆推定するものである。ここでは、深度2 mまでの範囲で5 cm 間隔で吸水ピークおよび吸水ゾーン幅を変化させ、全期間を通じて誤差を最小化す

るパラメータ値の組み合わせを系統探索法によって求めた。この手法を用いて各試験区で樹種ごとの吸水量プロファイルを推定し、同一試験区における樹種間の比較、および同一樹種の試験区間の比較を行った。

(3) 根系分布が異なる異種間の水獲得競争を考慮できる植物根系・土壌水輸送過程のモデル化を行った。これは、土壌、土壌-根表面、根系内部のそれぞれにおける水輸送抵抗を直列に接続する従来のモデルをベースとして、二種の植物根系を並列的に接続したものである。実測された根系分布と土壌水理特性を入力として、このモデルによる根系吸水シミュレーションを実施した。その際、土壌水分や蒸散量の条件を変化させ、出力の応答を詳細に解析した。

4. 研究成果

(1) 新たに開発された吸水量プロファイルの逆解析手法は、適用上の制約条件が少なく、解の安定性が高く、また推定結果も従来の研究と整合的かつ合理的であり、極めて有用性の高いアプローチであることが判明した。

(2) この手法による推定結果（図1）によれば、他種との競合がないアカマツ（*P. densiflora*）の単純林（B試験区；筑波大学農林技術センター）においては、調査対象とした5個体全てが深度50 cm以内から吸水していた。一方、遷移段階後期のA試験区（筑波大学陸域環境研究センター）においては、先行植生であるアカマツは深度50 cmより深い土層の水を主に利用しており、侵入植生であるシラカシ（*Q. myrsinaefolia*）は浅層、アズマネザサ（*P. chino*）は中層の水源にそれぞれ依存していた。アカマツの吸水ゾーンには若干の個体差が認められたが、他種との間の差は統計的に有意であった。A・B両試験区での結果の比較から、遷移の進行に伴って生じる水資源獲得競争を緩和するために、先行植生のアカマツが吸水ゾーンを深層に移動させることで水源分化が達成されたとの解釈が導かれ得る。しかしながら、遷移の初期段階にあるC1~C4試験区（筑波大学菅平高原実験センター）においては、共存するクマイザサ（*S. senanensis*）との間に潜在的な水獲得競争が存在するにもかかわらず、アカマツの吸水ゾーンは単純林の場合と同様に深度50 cm以内に限定されていた。他方、本来は浅根性であるはずのヤマナラシ（*P. sieboldii*）やズミ（*M. sieboldii*）は、アカマツよりも深層から吸水している傾向が認められた。以上の結果から、水獲得競争を緩和するための水源変更は必ずしも先行植生だ

けが行うわけではなく、競争上劣位にある種が行うという新たな知見が得られた。こうした知見は、植生遷移に伴う水・物質循環の変化や植物活性の変化を予測する上で貴重な情報であると同時に、森林生態系における生物多様性保全を考える上でも有用であると考えられる。なお、本研究で見られた程度の土壌水分状態の変化では、吸水ゾーンの変化に及ぼす影響は僅少であった。また、水源を変更したと思われる A 試験区のアカマツ、C3 試験区のヤマナラシ、および C4 試験区のズミの全てに関して、水ストレスの影響は検出できなかった。

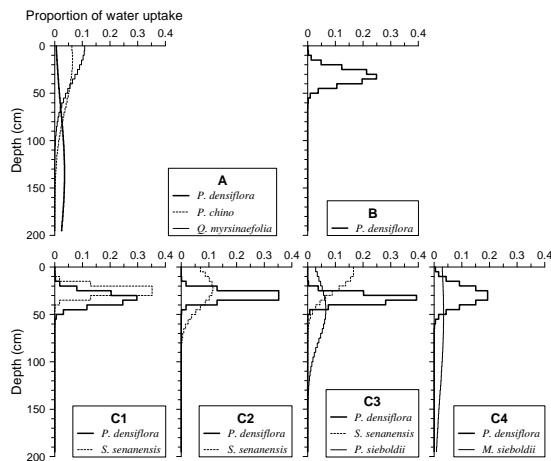


図1 吸水量プロファイルの推定結果

(2) 明瞭な水源分化が認められた A 試験区での調査結果によれば、アカマツ・シラカシ・アズマネザサの全てについて、深層の根密度は小さく、浅層に向けて指数関数的に増加する傾向が認められた。しかしながら、シラカシの根は表層部に特に集中し、アカマツの根密度の深度変化は相対的に緩やかであった。こうした根系分布を入力データとして、アカマツ・シラカシ共存系の吸水シミュレーションを実施したところ、土壌が湿潤な条件では両樹種ともに吸水量プロファイルは根系分布と相似的であったが(図2)、土壌が乾燥した条件ではアカマツの吸水ピークが下方に移動するという結果(図3)が得られた。また、アカマツの蒸散量がシラカシよりも大きい場合は吸水ピークの下方移動が生じにくい、そうでない場合は水源分化が生じやすくなるという傾向も見出された。以上の結果は、前述した調査結果と整合的である。しかしながら、シミュレーションによって得られたアカマツの吸水ゾーンは同位体トレーサー手法によって推定された単純林における吸水ゾーンと同程度の深度にあり、A 試験

区で見出されたような著しい下方移動は再現できていない。このことは、根系の形態的变化だけでなく、透過抵抗などの機能的変化が植生遷移によって生じていることを示唆しているが、その定量的評価は今後の課題である。とはいえ、本モデルによって再現された異種共存条件下における複雑な根系吸水過程が定性的に実測結果と一致したという事実は、グローバルな熱・水・物質循環モデルの改良を考えるうえで重要な視座を与えてくれる。すなわち、従来のモデルでは根系吸水過程のパラメタリゼーションの不適切さから、熱・水フラックスの季節変化が正確に再現できない場合があるなどの問題が生じていたが、本モデルのように共存植物種間の競合やその緩和行動を考慮できるパラメタリゼーションを導入することによって、より複雑な生態系の応答を再現できる可能性が開けてきたと言える。こうした改良は、温暖化予測等に用いられる気候モデルにも適用可能なものであり、数値予測結果の信頼性向上に大いに資するものと期待される。

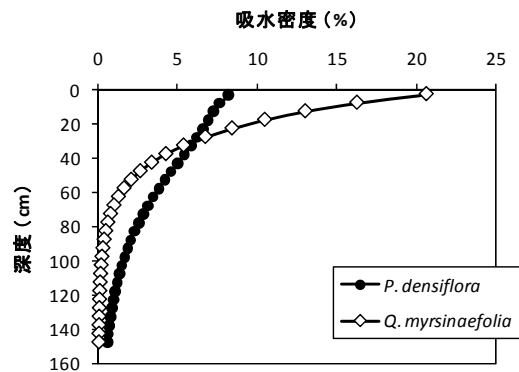


図2 アカマツおよびシラカシの相対吸水量プロファイルのシミュレーション結果(土壌が湿潤な場合)

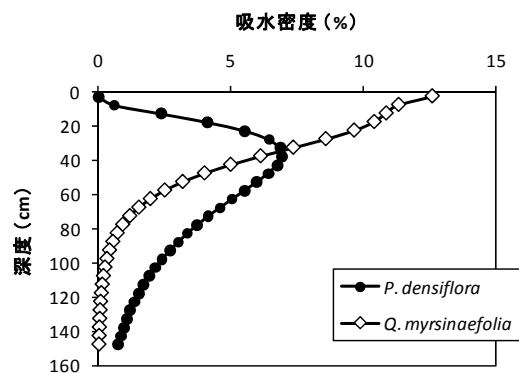


図3 図2と同じ(ただし、土壌が乾燥している場合)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① YAMANAKA Tsutomu、Application of Normal Distribution Model to Estimate Root Water Uptake Profile by an Isotopic Approach、American Geophysics Union 2008 Fall Meeting、2008 年 12 月 15 日、The Moscone Center (San Francisco)
- ② 山中 勤、共存植物種間の水源分化に関する比較研究、水文・水資源学会 2008 年度研究発表会、2008 年 8 月 27 日、東京大学 (東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山中 勤 (YAMANAKA TSUTOMU)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授
研究者番号：80304369

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし