

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540508

研究課題名(和文)植物種間の水の吸い分けはなぜ生じるか

研究課題名(英文)Why water source separation is achieved between coexisting species?

研究代表者

山中 勤(YAMANAKA, Tsutomu)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80304369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：異なる植物種間で吸水深度が異なるという「水の吸い分け」メカニズムの解明と、信頼性の高い吸水密度プロファイル推定手法の確立を目的として、ヒノキ単純林とアカマツ・シラカシ混合林を対象とした調査を行った。その結果、同位体トレーサー手法と数値モデル手法を補完的に用いることで信頼性の高い吸水密度プロファイル推定が可能となることが示された。また、水の吸い分けは土壤水分が不足する場合に種間競合による生態系全体としての水利用効率減少を回避するために生じ、競合種の初期根系分布と蒸散量の多寡が吸い分けのパターンを左右すると結論づけられた。

研究成果の概要(英文)：In order to reveal mechanisms of "water source separation" between coexisting species and to establish a method to obtain reliable estimate of water uptake profile of plants, investigations were made at a pure forest of Japanese cypress and a mixed forest of Japanese red pine and Japanese white oak. As a result, it was shown that a combined use of isotopic tracer and numerical model enables us to reliably estimate water uptake profile. In addition, it is concluded that water separation is achieved to avoid reduction of water use efficiency as a whole ecosystem when soil water is not enough to meet demand of plants. Initial profiles of root density and transpiration rates of competing species affect patterns of water separation.

研究分野：同位体水文学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：生態水文学 同位体 数値シミュレーション 根系吸水 水源分化 種間競合

### 1. 研究開始当初の背景

天然水中の環境同位体トレーサーを用いた植物の水利用戦略に関する研究が、過去20年近くにわたり精力的に行われてきた。例えば、Dawson and Ehleringer (1991, 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、植物による能動的水源選択の可能性を指摘した。Flanagan et al. (1992, Cell Env. 15: 831-836) は、半乾燥気候下の同一群落に共存する樹木と灌木の間で吸水深度が異なることを示し、水の吸い分け(水源分化あるいは水利用におけるニッチ分化とも表現される)が生じていることを明らかにした。このような水の吸い分け現象は我が国のような湿潤気候下においても生じることが近年の研究で分かってきたが、単に根系分布の相違だけでは説明できないことが多い。にもかかわらず、そのメカニズムに関する詳細な検討は未だ十分になされていない。もしこうした知見が得られたならば、生物多様性の保全や気候・水循環・生態系モデルの改善、あるいは農地における適切な水管理などを図る上で有意義である。

### 2. 研究の目的

本研究では、植物種間の水の吸い分けのメカニズムを明らかにすることを目的とする。特に、水の吸水深度の規定要因として従来考えられてきた根系分布および土壤水分分布のほかに、種毎の蒸散速度の違いが水源分化の成立に決定的な影響を及ぼしているとの仮説を立て、これを検証する。また、吸水密度分布を推定するための複数の方法を比較し、信頼性の高い推定手法を確立することを副次的な目的とする。

### 3. 研究の方法

個体間競合のみで種間競合のないヒノキ単純林(栃木県佐野市;東京農工大学 FM 唐沢山)と種間競合のあるアカマツ・シラカシ混合林(茨城県つくば市;筑波大学陸域環境研究センター)を試験地として設定し、土壤水(複数深度)・植物体内水(複数個体)の同位体組成ならびに土壤水分量・蒸散量等のモニタリングを行った。これらのモニタリング結果をもとに、同位体データを用いた逆解析手法(図1;ただし正規分布を仮定)によって吸水密度プロファイルの推定を行った。また、森林キャノピーと土壤面の水・熱収支および根系吸水過程を結合させた新たな数値モデル(図2)を開発し、これを用いた吸水密度プロファイルの推定も併せて行った。これらの比較を通じて両者の妥当性を検証すると共に、様々な条件下での試行的計算を通じて、水の吸い分けメカニズムを検討した。

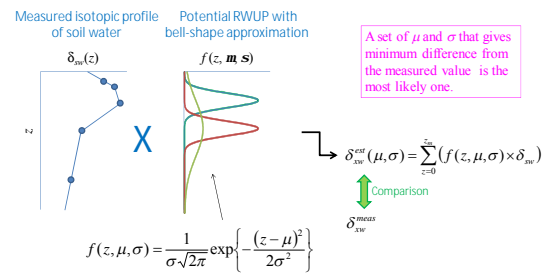


図1 同位体を用いた吸水密度プロファイル推定手法の模式図

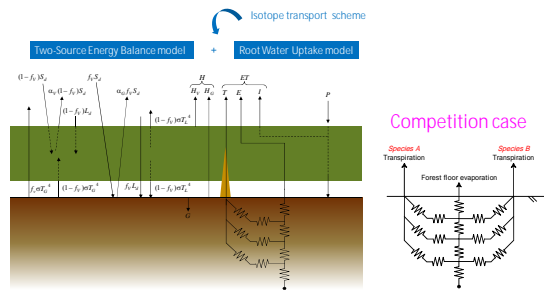


図2 吸水密度プロファイル推定のための数値モデル概要

### 4. 研究成果

まず種間競合のない単純林について同位体トレーサーと数値モデルによる吸水密度プロファイル推定結果を比較したところ、数値モデルによって推定された吸水深度が同位体手法による推定値よりも小さい(浅い)傾向が認められた。この原因について多方面から検討した結果、根密度プロファイルの実測値を用いた数値シミュレーションでは土壤水および植物体内水の同位体比を正確に再現できないことが分かった(図3)。すなわち、根系の吸水機能は必ずしも見かけ上の根密度と相関しないということである。

そこで、吸水に寄与する根密度プロファイルを、同位体データの再現性が高くなるよう逆推定し、これを用いて吸水密度プロファイルを改めて推定した。同位体手法は正規分布を仮定している一方、数値モデルではそのような仮定がないという違いがあるにも関わらず、両推定結果は良く一致した(図4)。

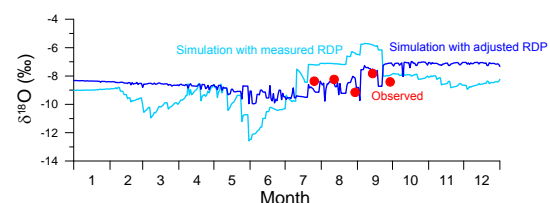


図3 ヒノキ単純林における植物体内水同位体組成( $\delta^{18}\text{O}$ )の実測値と計算値

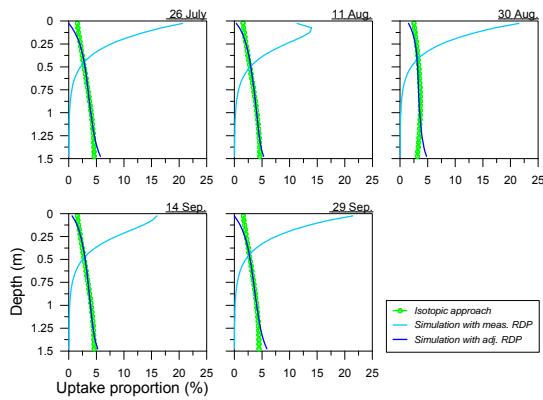


図4 ヒノキ単純林における吸水密度プロファイル推定結果の比較

以上のことから、同位体と数値モデルを補完的に用いることで信頼ある吸水密度プロファイル推定が可能であると言える。

次に、種間競合がある混合林のケースであるが、単純林の場合と同様に、根密度実測値を用いた数値モデルでは吸水深度を過小評価してしまう傾向が認められた。そこで、実際に吸水に寄与する根密度をアカマツとシラカシそれぞれについて逆解析し、これを用いて再計算を行った。得られた結果を同位体手法による推定結果と比較したところ、両樹種について良い一致が認められた(図5)。

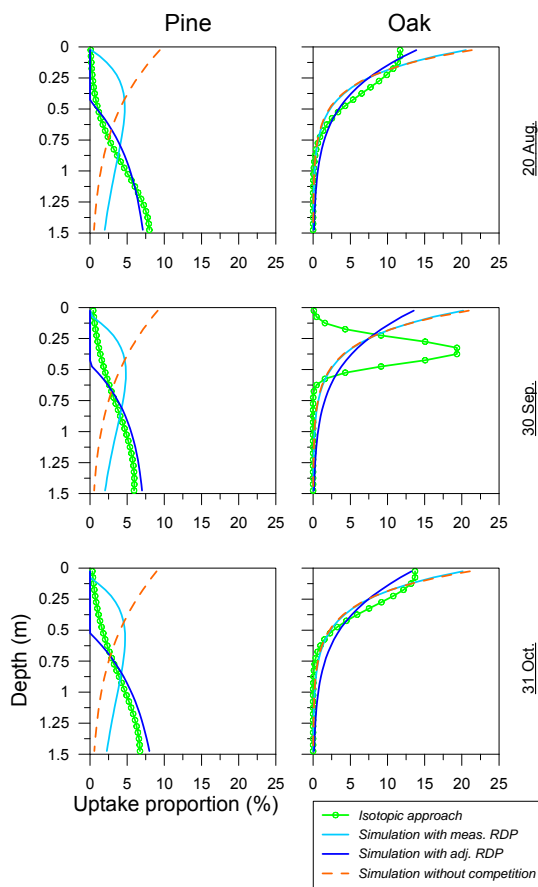


図5 アカマツ・シラカシ混合林における吸水密度プロファイル推定結果の比較

以上の結果から、本研究で提案された手法は種間競合の存在する混合林にも適用可能であると言える。ここで興味深い点は、根密度実測値を用いた場合と補正值を用いた場合の計算結果の差異が、シラカシで小さく、アカマツで大きいという点である。つまり、アカマツはシラカシとの競合を回避するため深部根系の吸水機能を能動的に強化した可能性が考えられる。アカマツとシラカシの根系分布はともに表層で最も密であり、深くなるほど指数関数的に減少する。しかしながら、アカマツの根系はシラカシと比較して表層部での集中の度合いが低く、深部の根系が相対的に多い。これが水の吸い分けをもたらす一因と考えられるが、土壌水分が多い場合はともに浅層での吸水が最も活発となるため、根系分布と土壌水分状態の双方が水の吸い分けの成立に必要な条件と言える。

一方、さらに興味深い点として、吸水深度が蒸散量に依存し、蒸散が少ない季節に深部からの吸水が相対的に増加することが示された。加えて、種間競合が存在しない場合は吸水深度が比較的小さく維持されるのに対し、種間競合が存在する場合は蒸散量の少ない樹種の吸水深度が増大する傾向が認められた。このことは、根系分布と土壌水分状態だけでなく、蒸散量もまた水の吸い分けを制御する因子であることを強く示唆している。

以上の結果を総合すると、水の吸い分けメカニズムとして以下のようなプロセスが考えられる。土壌水分が少なくなると植物群落全体として水の吸水抵抗を最小化するため、深い根を相対的に多く有する種は深部での吸水が活発となる。そのような状態が頻出するようになると、さらなる効率化のため深根の吸水機能が浅根よりも増加する。深根を有する種の蒸散量が少ない場合は、この傾向がより助長される。つまり、水の吸い分けは土壌水分が豊富に無い場合の種間競合の結果生じ、初期根系分布と蒸散量の多寡が吸い分けのパターンを左右すると結論づけられる。

## 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)

Yamanaka, T. (2013) : Integrated use of isotopic tracers and numerical simulation for analyzing water source separation between coexisting plant species. 10<sup>th</sup> Applied Isotope Geochemistry Conference, Budapest, Hungary, 23-27 Sep. 2013.

Yamanaka, T., T. Kimura, X. Sun and Y. Onda (2012) : Comparative study on methods for estimating root water uptake profile. The 3rd International Conference on Forest & Water in a

Changing Environment, Fukuoka, Japan,  
20 Sep. 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

山中 勤 (YAMANAKA, Tsutomu)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80304369