

氏 名 張 琪欽

本籍（国籍） 中華人民共和国

学位の種類 博士（農学）

学位記番号 連研第 776 号

学位授与年月日 令和 2 年 3 月 2 3 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士

研究科及び専攻 連合農学研究科 生物環境科学専攻

学位論文題目 **Tree water use strategy in a heavy precipitation region by means of stable isotopes, Japan（同位体を用いて豪雨地域の樹木の水利用戦略を評価する）**

学位審査委員 主査 山形大学教授 Lopez Caceres Maximo Larry

副査 吉村 謙一(山形 准教授), 加藤 千尋(弘前 助教), 武藤 由子(岩手 准教授)

論文の内容の要旨

〇〇〇〇〇（2,000 字程度。英文の場合は 1,200 語程度とし、和訳を添付する）

Stable isotopes of xylem water (^{18}O and D) have been successfully used to determine sources of soil water for plant transpiration, but mainly in drought-prone environments. The water uptake strategies of three representative tree species in Japan, namely cedar (*Cryptomeria japonica*), larch (*Larix kaempferi*) and beech (*Fagus crenata*), were investigated using $\delta^{18}\text{O}$ and δD of water (precipitation, soil and xylem), together with wood α -cellulose $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, along one growing season. The study was carried out in the research forest of Yamagata University (Shonai region), a high precipitation area in Japan, which exceeds 3,000 mm per year. Precipitation water $\delta^{18}\text{O}$ and δD increased along the summer growing season, but oxygen and hydrogen isotopic composition of soil water remained essentially unchanged. In general, xylem water isotopes of cedar and larch followed the Local meteoric water line, but beech xylem water was decoupled from soil and precipitation values in July and August. For this tree species, the xylem water isotopic records are more depleted than cedar and larch xylem water isotopic values and the precipitation water isotopic records, indicating that beech used more water from soil layers during July-August than the other two species, which mainly used newly-fallen precipitation. Wood $\delta^{18}\text{O}$ showed an opposite seasonal trend to the one found for xylem water, likely because of leaf water isotope enrichment, which was in turn controlled by seasonal transpiration rate. The higher $\delta^{13}\text{C}$ values of cedar during summer suggested that this species had enhanced water-use efficiency during the growing season compared with the deciduous species larch and beech. Our results highlight different water use strategies among forest tree species even in areas where the annual water balance is far from limiting plant performance.

樹木の水の安定同位体 ($\delta^{18}\text{O}$ および δD) は、植物の蒸散のための土壌水の源を決定するために使用されるが、これまでは主に干ばつが起りやすい環境で使用されてきた。日本における3つの代表的な樹種、すなわちスギ (*Cryptomeria japonica*)、カラマツ (*Larix kaempferi*) およびブナ (*Fagus crenata*) の吸水戦略について、 ^{18}O および δD (降水、土壌および木部) とともに成長期の α -セルロース中の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{18}\text{O}$ を調査した。この研究は山形大学 (庄内地域) の演習林で行われた。この森林は、年間 3,000 mm を超える降水量の多い地域である。降水中の $\delta^{18}\text{O}$ と δD は夏の成長期に増加したが、土壌水の酸素と水素の同位体組成は本質的に変化しなかった。一般に、スギとカラマツの木部の水同位体は Local meteoric water line に従ったが、ブナの木部の水は7月と8月に土壌と降水量から切り離された。これらの樹種では、木部の水同位体はスギおよびカラマツの木部の水同位体および降水同位体よりも枯渇しており、ブナは7月から8月に他の2つの種よりも多くの土壌層からの水を使用したことを示していた。木部の $\delta^{18}\text{O}$ と降水とは逆の季節的傾向を示したが、これはおそらく葉の水同位体濃縮が原因であり、これは季節的蒸散速度によって制御されたためと思われる。夏のスギの $\delta^{13}\text{C}$ 値が高いことは、落葉性のカラマツやブナと比較して、この樹種が成長期の水利用効率を高めたことを示唆している。これらの結果から、年間の水収支は極地から離れた地域であっても森林樹種では様々な水利用戦略を展開していることを明らかにした。

以上により、本審査委員会は、同人を大学院連合農学研究科博士課程修了者としての学力と識見を有する者と認め、博士 (農学) の学位を与えるのに十分な資格を有するものと判定した。

論文審査の結果の要旨

〇〇〇〇〇 (1,000 字程度)

張が実施した研究では、独創的な方法論の組み合わせにより、土壌から樹木への水の移動について、植物内への一時的な水分の移動に関する明確な結果が得られた。これらすべての方法論では、土壌水、植物組織水、および年輪安定同位体 (炭素、酸素、水素) 元素を使用した。本研究では、庄内の豪雪地域だけでなく、他の地域でも広く分布している主要な3樹種 (スギ、カラマツ、ブナ) に焦点を当てた。土壌水分の安定同位体比分析により、非生物的要素 (土壌テクスチャー、標高、傾斜角度等) の違いにもかかわらず、 $\delta^{18}\text{O}$ と δD の値はすべての森林の各林分で同様であることが明らかとなった。各樹種の枝から得られた木部の水の分析では、土壌水分の同位体にリンクしており、時間的要素、水の種類 (降雨または土壌水)、および水分を吸収した根系の深さに関係があることを証明した。この研究の最も顕著な結果は、木部と年輪内の $\delta^{18}\text{O}$ の間でみられる相反する傾向であった。これらの結果は、葉の水の同位体濃縮が植物内同位体濃縮に影響する最も重要なプロセスであること、そしてこの現象が3つの樹種すべてで同様に観察され、最後にこの現象がこれらの木の蒸散速度の違いに関係なく発生することを明らかにした。森林内の水に関する安定同位体を使用する過去数十年の多くの研究は乾燥した環境で行われたが、張の研究は湿った環境に焦点を合わせた数少ない研究の一つである。これまで、庄内地方の様に降水レジームが極端に変化する環境では、土壌と植生の間の水の交換は明確ではなかった。この研究の結

果から、極端な降水とそれに伴う気孔の閉鎖が、水摂取に及ぼす負の影響が確認された。さらに、降雨 $\delta^{18}\text{O}$ 分析によって降水の起源を特定することが可能と考えられた。

以上により、本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

Zhang Q, Lopez CML, Brandt AC, Voltas J, Nakatsuka T, Agileras M, 2019. Using water stable isotopes to trace water sources of three typical Japanese tree species under heavy rainfall conditions. *Open Journal of Forestry* 10:7-21.