

学 位 論 文 題 名

Studies on oxygen isotope ratios
of tree-ring cellulose in northern Japan

(北日本における樹木年輪セルロース酸素同位体比に関する研究)

学位論文内容の要旨

これまで古気候の復元には、樹木の持つ年輪の幅や密度の情報が、広く利用されてきた。気候因子が、生理生態学的因子に比べてより強く年輪の形成に影響する場合、古気候の指標となり得る。しかし、日本を含むモンスーン多雨地域では、年輪による古気候復元研究はあまり発展しなかった。このような地域では、年輪成長において隣接他個体との競争などの気候因子以外の影響が強いことによって、直接的な古気候の指標として使いにくかったことが挙げられる。そこで、日本を含めた多雨地域において、古気候復元研究を進展させることを目的に、年輪セルロースの酸素同位体比に注目した。年輪セルロースの酸素同位体比は、相対湿度と土壤水（降水起源）の酸素同位体比と単純な一次関数の関係にある。他の変動要因として、樹種の違いや生理学的要因などがある。しかし、樹種の違いや樹齢効果の影響を詳しく調査した例は、ほとんどない。また、モンスーン地域のような多雨地域において、年輪セルロースの酸素同位体比の気候の指標としての検討も不十分である。従来セルロースの抽出とその酸素同位体比の測定は、非常に手間がかかるものであった。しかし、近年、測定装置の開発やセルロース抽出の効率の向上によって、一度に多くの試料の測定が可能になり、古気候復元研究の環境が整いつつある。これらのことから、年中降水量の多い北海道北部において、樹種ごとの年輪セルロースの酸素同位体比の変動要因の違いを調査するとともに、ここで得られた関係から過去 227 年にわたる水循環の復元を試みた。

北海道北部の日本海側に位置する北海道大学天塩研究林にて 3 種類の樹種、深根性で落葉広葉樹のミズナラ (*Quercus mongolica* var. *crispula*) と浅根性で常緑針葉樹のエゾマツ (*Picea jezoensis*)、浅根性で落葉広葉樹のダケカンバ (*Betula ermanii*) の年輪盤を採取した。それぞれ樹齢の異なる 5 個体の 10 年分の年輪セルロースの個体間相関を調査し、樹齢効果があるかどうか調べた。ミズナラとエゾマツは互いに個体間相関がよかったが、ダケカンバは相関がよくなかった。ミズナラやエゾマツの年輪セルロース酸素同位体比が、成長とともに、根の深さや樹高を変化させる樹齢効果などの影響をほとんど受けず、外的要因に強く支配されたためと考えられる。一方ダケカンバは、外的要因以外の樹齢効果などに支配されたためと考えられる。以上より、気候因子の指標として、エゾマツ、ミズナラの年輪セルロース酸素同位体比がふさわしいことを示した。

エゾマツとミズナラの過去 50 年分 (1953-2002 年) のそれぞれ 2 個体の年輪セルロースの酸素同位体比の個体間相関と樹種間相関を調べた。エゾマツ、ミズナラともに個体間相関が良かったが、エゾマツとミズナラの酸素同位体比の 2 個体平均値との樹種間の相関は弱いことがわかった。これらの結

果から、エゾマツとミズナラの酸素同位体比の変動要因が異なっているためと考えられる。実際に、どのような気候因子が関わるか、過去 40 年分 (1963-2002) の 2 種の年輪セルロース酸素同位体比と気候因子との関係をそれぞれ調査した。ミズナラは、主に 7-8 月の相対湿度と負の相関を示し、エゾマツは、主に 7-8 月の降水量と負の相関を示した。これらの結果から、深根性のミズナラの酸素同位体比は、専ら葉内水の変動の影響を、一方浅根性のエゾマツは、専ら降水量効果を受けた降水の酸素同位体比の変動の影響を受けていたと考えられる。このように、北日本において 2 つの樹種のミズナラ、エゾマツの年輪セルロース酸素同位体比は、それぞれ夏の相対湿度、夏の降水量の指標となりうるということがわかった。これは、多雨地域において年輪セルロース酸素同位体比は、過去の水循環の変動を復元する有力な手段になり得ることを示唆するものである。

次に、実際にミズナラの年輪セルロース酸素同位体比をもちいて、過去 227 年 (1776-2002 年) にわたる夏の相対湿度を復元し、大気循環の指標との関係を調べた。北海道北部は、夏から秋にかけて寒冷前線の南下の影響で降水がもたらされる地域として知られている。また AO (北極振動) や PDO (北太平洋 10 年規模振動) の影響がある地域である。2 個体のセルロース酸素同位体比の個体間相関を調べたところ、弱い相関を示した。これは、一方に、減少する長期的なトレンドが見られ、他方に見られなかったことによる。樹齢効果などが一方の酸素同位体比に影響を与えていたためと考えられる。そこで、(対象年数である 227 年を超える) 250 年以上の変動をハイパスフィルターによってそれぞれから取り除いて、個体間相関を調べたところ、よい相関を示した。以後、250 年以上のハイパスフィルターをかけた上でデータの比較を行った。2 個体の年輪セルロースの平均酸素同位体比と札幌、旭川の平均 7-9 月相対湿度 (1889-2002 年) との関係において、負の相関がみられた。この関係の式から、夏の相対湿度の復元を行った。この復元した夏の相対湿度の周期解析をおこなったところ、明確な周期は、50-100 年にはっきり示された。この周期の変動は、主に AO (北極振動) や PDO (北太平洋 10 年振動) を通じた変動と考えられる。ほかに、2-3 年、4-5 年、12.9 年において有意な周期を示した。それぞれ、アジアモンスーンの変動、ENSO (エルニーニョ/南方振動)、北極振動を通じた太陽周期の影響が関わっていると考えられる。今回は、数十年スケールの変動要因を調べるために、夏の復元相対湿度と、夏の復元 AO 指標 (D'arrigo et al., 2003)、復元 PDO (D'arrigo et al., 2001) は 11 年移動平均を行った上で関係を調べた。夏の復元相対湿度と夏の復元 AO 指標との関係をみると明確な関係が見られた。1930 年代以前では、正の相関、1940 年代以後では、負の相関を示した。(ハイパスフィルターをかけてない) 観測による夏の AO 指数は、1930 年代を境に、負から正にシフトを示していた。このことは、ジェット気流の平均位置の北上とともに夏の相対湿度と夏の AO との関係を変えた可能性が考えられる。次に PDO との関係を調べた。夏の復元相対湿度と復元 PDO 指数との関係は、一貫して負の相関があった。PDO 指数が負の時、西部北太平洋から湿った空気が東風によって吹き込み、PDO 指数が正の時、西風によって乾燥した空気が吹き込むことによると考えられる。北海道北部の相対湿度の数十年変動は、AO の変動に伴うジェット気流の変動と、PDO の変動に伴う水蒸気量との関係によると考えられる。

これらの研究成果は、降水量の多い大部分のモンスーン地域においてこれまで行うことができなかった年輪による過去の水循環の変動の復元が年輪セルロースの酸素同位体を解析することで可能であることを示唆している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	乗木	新一郎
副査	教授	吉川	久幸
副査	教授	杉本	敦子
副査	教授	山崎	孝治
副査	助教授	中塚	武
副査	助教授	安江	恒 (信州大学農学部)

学位論文題名

Studies on oxygen isotope ratios of tree-ring cellulose in northern Japan

(北日本における樹木年輪セルロース酸素同位体比に関する研究)

樹木の持つ年輪の幅や密度の情報が古気候の復元に広く利用されてきた。しかし、日本を含むモンスーン多雨地域では、年輪による古気候復元研究はあまり発展しなかった。その大きな理由として、このような地域では、年輪成長において隣接した個体との競争などの気候因子以外の影響が強いことによって、直接的な古気候の指標として使いにくかったことが挙げられる。そこで、申請者は、日本を含めた多雨地域において、古気候復元研究を進展させることを目的に、年輪セルロース酸素同位体比に注目した。年輪セルロース酸素同位体比は、相対湿度と土壌水（降水起源）の酸素同位体比と単純な一次関数で表すことができるが、樹種の違いや生理学的要因などの影響を受ける。年輪セルロース酸素同位体比の研究は、降水量の少ない欧米で活発に行われているが、降水量の多い地域ではほとんど行われていない。そこで、申請者は、年間を通して降水量の多い北海道北部において、樹種ごとの年輪セルロース酸素同位体比の変動要因を調査した。そして、同位体の変動と気候因子との関係から、過去 227 年にわたる北海道北部の水環境の変動の復元を行った。

申請者はまず、北海道北部の日本海側に位置する北海道大学天塩研究林にて 2 種類の樹種、深根性で落葉広葉樹のミズナラ (*Quercus mongolica* var. *crispula*) と浅根性で常緑針葉樹のエゾマツ (*Picea jezoensis*) を用いて、過去 42 年分 (1961-2002) のそれぞれ 2 個体の年輪セルロース酸素同位体比の平均値と気候因子との関係を調べた。ミズナラは、主に 7-8 月の相対湿度と負の相関を示し、エゾマツは、主に 7-8 月の降水量と負の相関を示した。樹種間の違いは、主に樹種の根の深さの違いによって説明できる。すなわち、

深根性で落葉広葉樹のミズナラ (*Quercus mongolica* var. *crispula*) に比べて浅根性で常緑針葉樹のエゾマツ (*Picea jezoensis*) の酸素同位体は降水量の影響を強く受けている。そして、北日本において2つの樹種のミズナラ、エゾマツの年輪セルロース酸素同位体比は、それぞれ相対湿度と降水量の指標となりうることを見出し、年間を通して降水量の多い地域において年輪セルロース酸素同位体比は、過去の水循環の変動を復元する有力な手段になり得ることを示した。

次に、申請者は、過去227年(1776-2002)間のミズナラの年輪セルロース酸素同位体比を測定して、北海道北部の夏(7-9月)の相対湿度の復元をおこなった。中長期変動における大気循環指標との関係を調べるために、250年以上のハイパスフィルターによって超長周期変動を除去し、11年移動平均値で比べた。復元した夏の相対湿度と夏(6-8月)の復元AO指数(北極振動、D'Arrigo et al., 2003)との関係は、1930年代以前では、正の相関、1930年代以後では、負の相関を示した。1930年代以前のAO指数が負の時代において、AOが高い(低い)時、太平洋高気圧とアジア大陸部の低気圧が強(弱)まることを示し、南寄りの湿った風が強(弱)まり、相対湿度が高(低)くなったと考えられる。一方、1930年代以後のAOが正の時代において、AO指数が高い(低い)時、中国東北部あたりの低気圧が弱(強)まることを示し、南寄りの湿った風が弱(強)まり、相対湿度が低(高)くなったと考えられる。この関係は、復元された夏の相対湿度と夏の復元AOとの中長期的な変動における関係と一致しており、1930年代のAO指数の上昇は、夏の相対湿度とAO指数との関係に変化を与えたと考えられる。

復元された夏の相対湿度と復元PDO指数(北太平洋10年規模振動、D'Arrigo et al. 2001)との関係は、一貫して正の相関があった。夏のAO指数と夏の海面気圧場の経年変動の相関係数の分布(1948-2002)より、PDO指数が負(正)の時、太平洋高気圧とアジア大陸の低気圧が強(弱)まることを示し、南寄りの湿った風が強(弱)まり、相対湿度が高(低)になると考えられる。この関係は、復元された夏の相対湿度とPDO指数との中長期変動との関係と一致している。以上により、申請者は過去227年にわたる北海道北部における夏の相対湿度の中長期変動は、夏のAO及びPDOの変動によって大きく影響されていることを明らかにした。

審査員一同はこれらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士(地球環境科学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。