

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19854

研究課題名（和文）降水量を高時間分解能で復元するための、樹木髄の酸素・水素同位体比モデルの構築

研究課題名（英文）Construction of an Oxygen and Hydrogen Isotope Ratio Model of Tree Pith for High Time-Resolution Reconstruction of Precipitation History

研究代表者

香川 聡（Kagawa, Akira）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：40353635

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、1）苗木の髄の同位体比測定、2）髄の同位体比を説明するモデルを構築し、どの程度の精度で降水量を復元することができるかを検証することが目的であった。初期の計画で予想した、降水イベントを反映すると思われる酸素同位体比のピークは頂端から7cm程度の部分のみで観測され、それ以下の部分では明瞭には観測できなかったため、酸素同位体比からの復元は困難であることが分かった。一方で、髄の炭素同位体比については、日射量の日周期を反映すると思われる規則的な変動が見られたので、年輪ならぬ日輪が存在する可能性を発見した。髄の炭素同位体比により、過去の天気を高時間分解能で復元できる可能性が明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

髄の炭素同位体比分析により、日～週単位という高時間分解能での過去の天気を復元する可能性があることを示せたという点では、学術的意義および社会的意義は高いと思われるが、実際に過去の天候（晴天・曇天・雨天）を日～週単位という高時間分解能で復元するまでには、複数の個体で炭素同位体比の変動が同調することを確認し、髄の形成時期を正確に推定できるようになることが必要であり、さらなる研究の継続が必要である。

研究成果の概要（英文）：In this study, the objectives were: 1) to measure the isotope ratios in the pith of seedlings, and 2) to construct a model explaining the isotope ratios in the pith and verify the accuracy with which precipitation can be reconstructed. The initially predicted peaks in the oxygen isotope ratio, which were expected to reflect precipitation events, were only observed at approximately 7 cm from the apex. They were not clearly observed in the parts below this, indicating that reconstruction from oxygen isotope ratios is difficult.

研究分野：安定同位体年輪年代学

キーワード：酸素同位体比 炭素同位体比 水素同位体比 日輪

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

過去の降水量の復元は、樹木年輪や鍾乳石・年縞堆積物の安定同位体分析等により行われてきたが、最も復元の時間分解能が高い樹木年輪でも、季節～年単位の時間分解能が限界である。樹木は水平方向に肥大成長する速度の100～200倍の速度で垂直方向に伸長成長するため、「水平方向に(年輪の)安定同位体比を分析するよりも、垂直方向に(髄の)分析をしたほうが高い時間分解能で降水量復元ができるのでは?」、という着想を代表者(香川聡)は得た。この着想を検証するため、同位体水文学を専門とする分担者(久保田多余子)とともに、樹木の「萌芽」とも言える頂端の梢で形成される髄(樹幹の中心に見られるやや白色の組織)の酸素同位体比を0.5mm刻みで分析してみたところ、日単位の時間分解能で降水量を復元できる可能性が高いという予備結果が得られた。本研究の目的は、年輪の同位体比による古気候復元で用いられている年輪の酸素・水素同位体比と降水量・湿度を関連付けるモデル(Roden et al. 2000)をベースに、髄の酸素・水素同位体比と降水量・湿度を関連付ける同様のモデルを構築し、高精度・長時間分解能で降水量を復元するための体制を整えることである。

一年輪を細かく分割して酸素同位体比を測定することにより、相対湿度の季節変化の復元が可能であることが分かっている(野田&庄, 2017)。樹木の伸長成長量はその肥大成長量に対して約100倍程度大きく、成長の良いスギの場合、頂端の一日当たりの伸長成長量は5mm以上に達する。髄の細胞壁は木部の細胞壁より形成期間が短いと予想されるので、髄(または髄付近の木部)を伸長方向に細かく分割して安定同位体比を測定することにより、胸高部年輪を半径方向に細かく分割するよりも時間分解能の高い古気候復元が実現できる可能性がある。降雨期間中に形成された葉・表皮の有機物の場合、葉面吸収水起源の酸素・水素が約7割で、根吸収水起源の酸素・水素が約3割であることが最近明らかにされた(Dawson2022, Kagawa 2022a, Kagawa 2022b)。この実験的事実から我々は、降雨期間中に頂端分裂組織で形成された髄の場合、葉面や表皮から吸収された酸素・水素同位体比の低い水起源の酸素・水素の割合が非降雨時のものにおける割合より大きいので、降雨期間中に形成された髄は、非降雨時に形成された髄に比べて酸素・水素同位体比が低くなると予想した(久保田&香川 2022)。また、頂端分裂組織付近の水については、晴天時には緑色の当年シュート表皮からの連続的な蒸散濃縮により頂端で重い同位体が多くなり、また降雨時・結露時には頂端分裂組織付近の水が葉面・表皮より吸収された同位体比の低い水に置き換えられる結果、髄と胸高部年輪の酸素・水素同位体比の変動を比較した場合、前者の変動の振幅がより大きくなると予想した。また、我々は髄の炭素同位体比は髄形成直前に行われた光合成の水利用効率を反映するため、髄の炭素同位体比は放射量の日変動を反映している可能性があるとも予想した。

### 2. 研究の目的

以上の背景から、本研究では、森林総合研究所苗畑において生育した、髄の形成時期を推定できるように定期的に頂端の位置をマーキングした比較的成長の良いスギ苗木の髄の安定酸素・水素・炭素同位体比を0.5mm程度の空間分解能(2-3時間の時間分解能に相当)で分析し、髄が形成された時期の気象条件と比較する。スギ苗木の天然の髄の酸素・水素同位体比と降水量等の観測データから、髄の同位体比を説明するモデルを構築し、どの程度の精度で降水量を復元することができるかを検証すること、複数個体で同位体比の変動が一致するかを確認する、髄の同位体比と降水量・湿度・放射量等の気象データとの対比を進めることを目的として設定した。

### 3. 研究の方法

森林総合研究所苗畑(つくば市)に生育する樹高1.5-5m程度のスギ苗木の頂端の位置を2020年6月から10月まで定期的にマーキングした。マーキング後、苗木を伐採し、頂端から厚さ0.5mm程度の連続木口面切片を作成した。切片の一部は抽出成分除去のために、トルエン・エタノールによるソックスレー抽出、蒸留水中での超音波ホモジナイザー処理、温水抽出を行った後、実顕微鏡下で髄をくり抜いて、安定酸素・水素・炭素同位体比を熱分解または燃焼による方法(Hekatech HT0+Delta VまたはNC2500+MAT252)で測定した。ホロセルロース抽出を行うと、髄の組織が崩壊してしまうため、髄のホロセルロース抽出処理は断念した。伸長成長の測定データおよび針葉上のマーキング位置から、髄の形成時期を推定し、髄の酸素・水素・炭素安定同位体比データと、髄の形成時期に対応する気象データ(降水量、相対湿度、気温、放射量等)とを比較した。

### 4. 研究成果

スギ苗木の髄の酸素・水素同位体比は、降雨イベントに対応すると思われる、同位体比が低くなる現象が見られた。一方、髄の炭素同位体比は、放射量の日周期に対応すると思われる周期的変動が観測されたが、気象データとの比較により、炭素同位体比の「日輪」の形成日時を推定することは困難であった。

今まで得られたデータから葉、複数個体で変動が一致する傾向はみられなかった。一方で、炭素同位体比に日周期を反映すると思われる変動が見られたので、最終年度はさらに髄の分析を

進めた。また、初期の計画で予想した、降水イベントを反映すると思われる酸素同位体比のピークは明瞭には観測できなかった。髄の炭素同位体比については、日射量の日周期を反映すると思われる規則的な変動が見られたので、年輪ならぬ日輪が存在する可能性を示せた点では、予想しない成果が得られた。

髄の酸素・水素同位体比は、成長期を通じて連続的に上昇し、秋に形成された髄が最も高い同位体比を示した。これは、当年のシュートの表皮は緑色でスベリン化していないために、当年シュートの伸長とともに緑色の表皮の総面積が増加し、その増加に応じて重い酸素同位体・水素同位体の蒸散濃縮の効果も増大した結果、成長期を通じて髄の酸素・水素同位体比が単調に増加したものである。頂端から 10cm 程度の部分では、酸素・水素同位体比が極端に低くなるピークが見られたが、それ以下の部分ではそのようなピークの頻度は少なくなり、また同位体比の低下の幅も小さくなった。これらの酸素・水素同位体比の低下が降雨イベントと対応するか、また個体間でピーク出現のタイミングが同調するかについては、発表時までには解析を行う予定である。髄の炭素同位体比においては、特に夏から秋の初めに形成されたと思われる部分で、規則的な周期的変化が観測された。炭素同位体比の極大値については、サインカーブの極大部分のようになだらかに増加して極大値を示したあとになだらかに減少する、という変動が見られたが、極小値部分では、急激に値が減少した後、急激に増加する鋭い下向きのピークが観測された。このような周期的な変動が観測された理由としては、昼間は頂端でできる髄の伸長速度が速く、光合成の水利用効率が上がるため、光合成生産物の炭素同位体比が高くなり、昼間に形成された髄の炭素同位体比も高くなる一方、夜間は髄の伸長速度が遅く、でんぷんなどの貯蔵物質が糖に変換されたものが髄の形成に用いられたため、夜間に形成された髄の炭素同位体比が低くなったと推定されるが、この点も、放射量や他の個体との比較などの解析を発表日までに行う予定である。最近の技術的ブレークスルーにより、樹木の葉・表皮および根それぞれに、重い酸素同位体を多く含む重水および重水素を多く含む重水のどちらか一方を吸収させた後、液体窒素により凍結して頂端分裂組織周辺の水の同位体比を調べることが、同位体の専門家でもなくても行えるくらいに簡便になったが（相ら 2023）、今後はこれらの方法と組み合わせることにより、降雨時および非降雨時に形成される髄の葉面吸収水起源および根吸収水起源の酸素・水素の割合を明らかにし、これらの割合の変動（すなわち降水量・相対湿度の変動）が、髄（および髄付近の木部）の酸素・水素同位体比の変動とどう対応するのかを明らかにしていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 香川聡、久保田多余子、張春花
2. 発表標題 スギ苗木髓の酸素・水素・炭素同位体比分析による高時間分解能での気象情報復元の試み
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	久保田 多余子  (Kubota Tayoko)  (70353670)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等    (82105)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------