

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 1 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06133

研究課題名（和文）樹木の髄付近の酸素・炭素・水素同位体比分析による日単位の降水量復元

研究課題名（英文）Daily precipitation reconstructions based on oxygen, carbon, and hydrogen isotope ratio of tree pith

研究代表者

久保田 多余子（Kubota, Tayoko）

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：70353670

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：樹木の中心にある髄を伸長方向に分割して酸素・水素・炭素安定同位体比を分析することにより、日単位で降水量を復元することを試みた。スギ苗木の頂端の位置を定期的にマーキング後、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。伸長成長の観測データから、髄の形成時期を推定し、2020年7月8日から9月30日に形成されたと推定される髄について、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。髄の同位体比は部分的には数時間単位で気象データとの同調が見られるが、長期にわたり連続して気候復元できるかは判断できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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、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分析を行うことにより、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。年輪気候学ではこれまで年単位という時間スケールで気候を復元することを可能にしてきたが、本研究では、数日単位で気候を復元することを目指している。

研究成果の概要（英文）：We attempted to reconstruct daily precipitation by analyzing oxygen, hydrogen, and carbon stable isotope ratios for pith in the elongation direction. After measurements of the growth rate of cedar saplings, the saplings were cut down, and cross sections were made continuously from the apical end to the root direction with a thickness of about 0.5 mm. The timing of pith formation was estimated from the observed data of elongation growth, and the stable isotope ratio data of oxygen, hydrogen, and carbon for the pith estimated to have formed between July 8 and September 30, 2020, were compared with meteorological data (precipitation, relative humidity, temperature, radiation, etc.) corresponding to the timing of pith formation. Although the isotopic ratios of the pith were partially synchronized with the meteorological data on a few hours basis, it was not possible to determine whether a continuous climatic reconstruction could be made over a long time period.

研究分野：森林水文学

キーワード：髄 降水量復元 酸素同位体比 水素同位体比 炭素同位体比 スギ 年輪気候学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日降水量が 100mm を超えるような大雨の酸素・水素同位体比は著しく小さな値を示すことが多く、その値は日単位で年輪に記録されていると考えられている。年輪年代学では年輪のセルロース中の酸素・水素同位体比を用いて、過去 2 千年以上の降水量が 1 年単位という高い時間分解能で復元されている。降水の観測記録が存在するのは過去 100 年間ほどであり、それ以前から現在までに災害を引き起こすような大雨の発生頻度が増加しているかどうかといった解明には年輪による降水量の復元が期待される。しかし、1 年という時間分解能であっても、その間に降った雨の同位体比が平均化されて、年輪の中に大雨の記録を見つけることは難しい。そこで、1 年輪をさらに細かく切って分析することも行われているが、年輪幅が狭い場合は難しい。

最近の研究で、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・水素の割合が約 7 割で、根吸収水起源の酸素・水素の割合が約 3 割であることが明らかにされた(Dawson2022, Kagawa 2022)。このことから、スギのような針葉樹の場合、樹木のてっぺんにあるシュートは常に新しい雨を受ける場所にあり、降雨中あるいは降雨の直後に樹木の先端部(頂端分裂組織)で形成された髄は、葉面や表皮から吸収された降雨の酸素・水素同位体比を、樹冠の中にあるシュート(樹冠での雨水の蒸発により同位体比が変化した雨水を吸収している)よりも良く反映していると考えられる。一方、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。このことから、髄(または髄付近の木部)を伸長方向に細かく分割して同位体分析を行うことにより、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。

### 2. 研究の目的

髄の細胞の顕微鏡による観察と、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て成長量を観察することで、日単位の気候復元に適した樹種の選別を行う。日単位の気候復元に適していると判断した樹木を伐採し、髄を 0.5mm 程度の空間分解能(2-3 時間の時間分解能に相当)で分析する。そして、髄が形成された時期の気象条件と比較することにより、「日輪」を見つけ、さらに日単位で降水量を復元することを目的とする。

### 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、ヒノキ、アカマツ苗木およびオニグルミ、サワグルミの頂端の位置を 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、スギ苗木を伐採し、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、実体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。伸長成長の観測データから、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、日射量等)とを比較した。

### 4. 研究成果

スギ、ヒノキ、アカマツ苗木およびオニグルミ、サワグルミの髄の成長量および髄の細胞を比較した結果、本研究ではスギで気候復元を試みることにした。これは、スギは成長が良く、かつ同位体分析に必要な量の髄試料を得られると考えられたためである。オニグルミとサワグルミは 5 月から 6 月初旬までの髄の伸長成長が大きかったが、7 月以降髄がほとんど伸長成長しなかったため、降水量復元に向かないと判断した。ヒノキは髄が小さく、分析に必要な髄試料の量が得られないと考えられ、アカマツの髄も夏季にあまり成長しなかったため除外した。

髄の酸素・水素同位体比は、2 個体で比較したところ、いずれも成長期を通じて、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することにより、重い酸素同位体・水素同位体の濃縮が増加し、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と思われる。頂端から 10cm 程度の部分(2020 年 9 月 16 日から 9 月 30 日に形成された髄と推定)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(図-1)が、それ以下の部分(9 月 16 日より過去に形成された髄)ではそのようなピークの頻度は少なくなった。また、2020 年 9 月 16 日から 9 月 30 日の期間は髄の酸素同位体比と相対湿度の変動が比較的良く一致していたが、それ以前に形成された髄ではあまり一致しなかった(図-1)。

髄の炭素同位体比は、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高くなるため、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、夜間に形成された髄の炭素同位体比は低くなると推定される。このため、日射量の日

周期に対応する髄の炭素同位体比の日周期が観測されると推定した。例えば、2020年8月29日から9月7日の期間では、8月31日から9月2日かけて日射量が小さい日が続き、2個体のスギでとも髄の炭素同位体比が低くなっていた(図-2)。しかしながら、「日輪」を特定することは困難であった。

以上のように、部分的には髄の酸素・水素・炭素同位体比と気象データの変動が数時間単位で一致し、個体間でも変動が同調しており、雨の日を特定できそうであった。しかし、全期間を通しては髄の同位体比と気象データの数時間から日単位の変動は一致せず、日単位で降水量を復元するには至らなかった。

Dawson, T. E. (2022) Sourcing the water that makes up tree biomass. *Tree Physiology*, 42(11), 2149-2152. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpac109>

Kagawa, A. (2022) Foliar water uptake as a source of hydrogen and oxygen in plant biomass. *Tree Physiology*, 42(11), 2149-2152. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpac055>

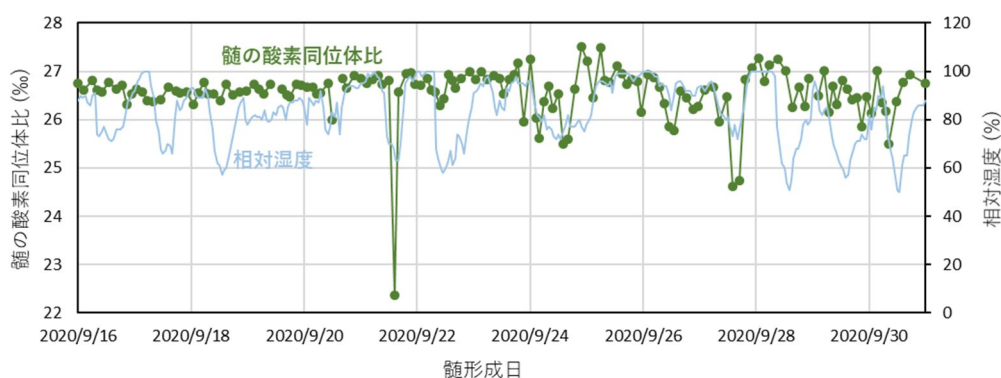


図-1 スギ苗木の髄の酸素同位体比と相対湿度の変動の比較

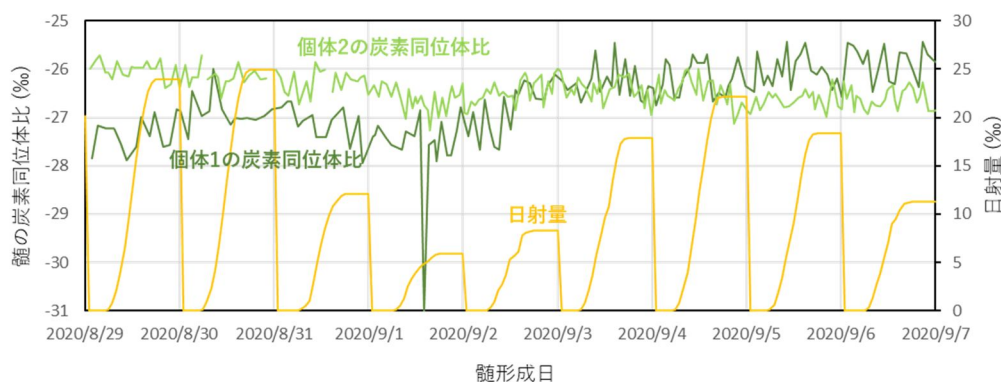


図-2 スギ苗木の髄の炭素同位体比と日射量の変動の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tayoko Kubota, Akira Kagawa, Koji Shichi, Kenji Ono	4. 巻 Latest articles
2. 論文標題 The promotional effect of increased growth on transpiration exceeds the inhibitory effect of increased water use efficiency over the life history of Fagus crenata trees	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/13416979.2022.2035903	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 久保田多余子、香川聡	4. 巻 73
2. 論文標題 年輪の炭素同位体比から復元したスギとブナの水利用効率および蒸散量の比較	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 関東森林研究	6. 最初と最後の頁 89-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久保田多余子、香川聡
2. 発表標題 年輪の炭素同位体比から復元したスギとブナの水利用効率および蒸散量の比較
3. 学会等名 関東森林学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保田多余子、香川聡
2. 発表標題 スギの髄の酸素同位体比から日単位で降水量を復元する試み
3. 学会等名 日本森林学会
4. 発表年 2022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	香川 聡  (Kagawa Akira)  (40353635)	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
---------	---------