

樹木年輪セルロース同位体比による享保の飢饉の解析

指導教員 庄建治朗 助教

荒神勇太

1. はじめに

私たち人類の生命活動は、水の動きと密接に関わっており、水害の発生や気候を理解するため、水循環の傾向を理解することが重要である。将来の予測というものは、これまでの記録に基づいてたてられるが、過去の気候については実際に測定器を用いて記録されたのは、日本ではここ 100 年程度のものしかない。そういった中で過去の気候を代理データを用いて解析する学問を古気候学という。樹木の年輪細胞を形成するセルロースに含まれる同位体は、年輪の特性ゆえに形成時期の特定が容易であり、これまでも樹木の年輪から過去の気候変動が解析されている。

本研究では、樹木年輪細胞に含まれる酸素の同位体比を手掛かりに、温暖湿潤で、発生原因が明確でない享保の飢饉（1732 年）の原因について検討するとともに、前後の時期の水文気候環境を解析し、気候と人間生活のつながりを考える。より細かい変動を確認するため、1 年輪を 12 分割し、検討する。

2. 研究理論

樹木は地中から水を吸い上げ、また、大気から葉内に酸素を取り入れる。取り込んだ水は蒸散によって気孔を通じて大気中に放出される。酸素には主に 2 つの同位体 ^{16}O と ^{18}O があるが、このために、水 H_2O も細かく分ければ、ほんのわずかに質量が異なる数種類が存在する。同位体の性質上、質量の軽いほうが活発に移動し、葉内の水は、 ^{16}O からなるものから気孔を通じて多く排出される。よって、蒸散が活発に行われれば葉内には ^{16}O が ^{18}O に対して少なくなり、同位体比（簡略化のため $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ とする）は大きくなる。また蒸散は、大気中の相対湿度が低いほど活発に行われ、相対湿度が高いほど行われなくなる。よって大きい酸素同位体比が検出された細胞を形成した時期の相対湿度は低かったということになり、逆もまた同様に酸素同位体比が小さければ当時の相対湿度は高かったと推測することができる。

以上から、樹木年輪細胞を形成するセルロースに含まれる酸素同位体の比は、重要な気候因子である相対湿度を推測する上で重要な指標となることが分かる。

3. 実験方法

試料は近年の気候観測実測値と比較するためのもの TNK-F11-2-1（1980～1992 年）と、対象とする期間の年輪を含むもの TNK-F11-2-2（1712～1757 年）とする。ここで試料は滋賀県の太神山で同一個体から採取されたヒノキを用いて、比較用の実測値は彦根で観測

された相対湿度と降水量を用いる。酸素同位体比を測定するため、樹木の木口面に平行に薄板を取り出し、塩素漂白、アルカリ処理を施し、セルロース板を抽出する。セルロース板は顕微鏡下で眼科用ナイフを用いて各年輪を 12 のセグメントに分割し、総合地球環境学研究所に設置の同位体比質量分析計によって炭素、水素、酸素の安定同位体比を測定した。本研究では、3 種の安定同位体比のうち、個体によるばらつきが少なく、気候に対し鋭敏に反応する酸素同位体比に重点を置く。

4. 過去の水文データの復元

樹木年輪細胞セルロースから検出された酸素同位体比と年輪細胞形成時期の相対湿度の関係は水の移動フラックスや気孔通過時に行われる同位体の分別を加味した単純な連立方程式を解くことにより、理論的に以下の一次関数で表すことができる。

$$\delta^{18}\text{O}_{in} = \delta^{18}\text{O}_{soil} + (\epsilon_e + \epsilon_k)(1 - F2/F3)$$

ここで、 $\delta^{18}\text{O}_{in}$ ：葉内水の酸素同位体比、 $\delta^{18}\text{O}_{soil}$ ：土壌水（降水）同位体比、 ϵ_e 、 ϵ_k ：同位体分別係数 $F2/F3$ ：相対湿度として与えられる。

上記のモデルを Craig-Gordon の式と呼ぶ。

Craig-Gordon の式を変形することで検出したセルロース酸素同位体比から降水酸素同位体比を引算すれば形成当時の相対湿度が推定できる。

降水同位体比は 1961～1979 年に東京で、1979 年～1986 年、1997 年～2007 年に綾里で 1 月ごとに観測が行われているが、享保期には観測が行われていないため、各月で全観測期間での平均値をとり、その値で代用する。

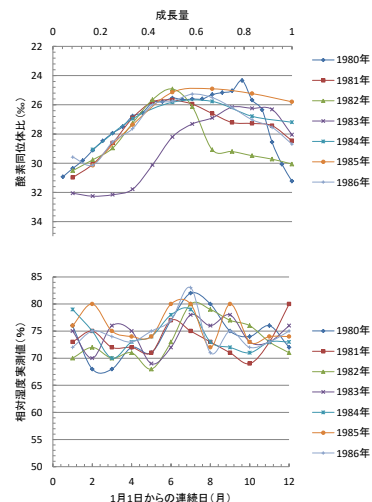


図 1 季節変動特性による成長期の特定

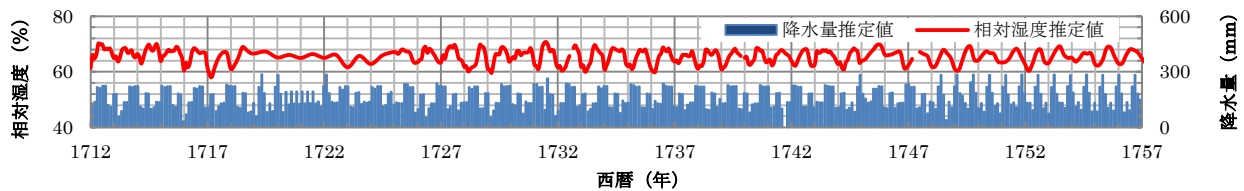


図2 水文データの復元

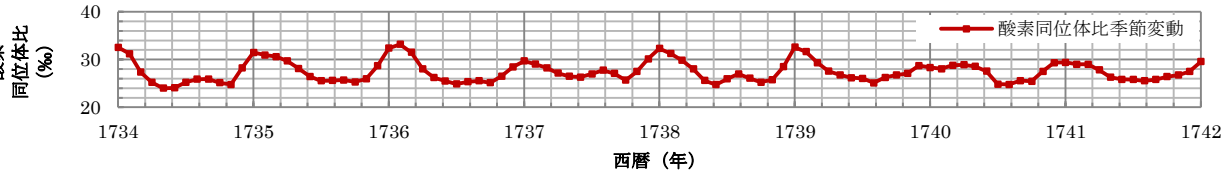
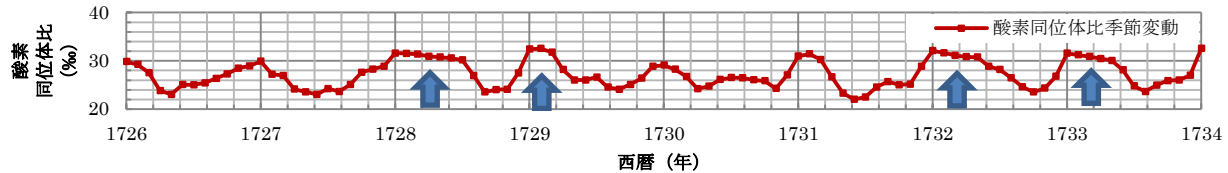


図3 酸素同位体比季節変動（1726～1741年）

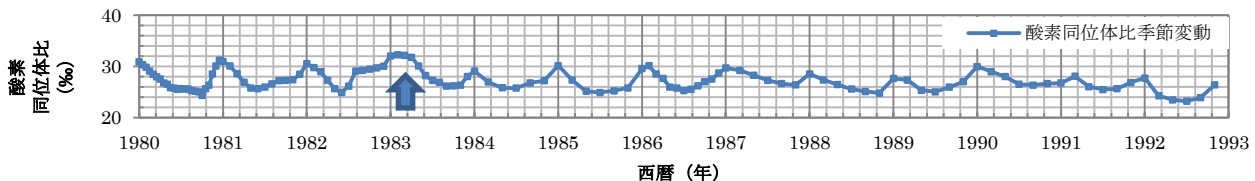


図4 酸素同位体比季節変動（1980～1992年）

分割した年輪のうち、1分割ごとの塊を1セグメントとした場合、どこのセグメントがいつごろ形成されたものか、酸素同位体比変動グラフと相対湿度実測値の変動グラフを図1のように変動特性を比較することで特定する。

図1の検討と過去の研究を参考にした結果、本研究では樹木は5月から10月に成長期を迎えるものと仮定した。TNK-F11-2-2は1年ごとに12分割されているため、第1セグメントは5月前半、第2セグメントは5月後半、第11セグメントは10月前半、第12セグメントは10月後半と当てはめて相対湿度の推測値を算出し、結果を図2に示す。なお、降水量はTNK-F11-2-1から得られた酸素同位体比と、同時期の降水量の実測値を、酸素同位体比を変数とした1次関数の回帰式を毎月ごとに求め、その回帰式を1712～1756年の酸素同位体比測定データに適用して推定した結果をグラフに示した。

5. 享保の飢饉の原因の検討

図2が示す復元した相対湿度の変動傾向と、図3で示した酸素同位体比季節変動グラフから、1728年、1729年、1732年、1733年の初夏にあたる部分で、例年に比べて酸素同位体比が高い期間が持続しており、成長期前半に対応する梅雨期に乾燥状況が続いていたことがうかがえる（図中の水色矢印）。図4はTNK-F11-2-1から得た酸素同位体比の変動グラフであるが、1983年も、1732年等と同様に、成長期前半

で高い値を維持していることが読み取れる。1983年は梅雨前線が南偏して不活発で、梅雨前期の湿度が低かったことが分かっている。享保期にはこのような年が頻繁に現れた可能性が考えられる。イネ等作物が成長するはずの初夏に湿度が低かったために十分な育成が行えず、また、1720年代末から始まった断続的な初夏の水不足により徐々に蓄えや種もみが減少していき、1732年について深刻な食糧不足に落ちいった、という背景があったと提案する。

6. まとめ

本研究では、樹木年輪細胞に含まれる酸素の同位体比から、実測値のない時期の水文データを復元し、当時の気象についての検討を行った。樹木年輪を1年よりも細かい期間で分割することで、季節変動特性から新しい可能性を導くことができると示された。今後の課題としては、享保の飢饉発生年の東アジアの前線や気団の分布を明確にするため、多くの地域から試料を採取し、同様の研究を行うことがあげられる。

参考文献

- 1) 中塚武：樹木年輪セルロース酸素同位体比による古気候の復元を目指して、低温科学, Vol65, 北海道大学低温科学研究所, pp. 49-56, 2006.
- 2) 大門美穂：樹木年輪セルロース酸素同位体比による過去の水文環境における季節変動の検討, 名古屋工業大学卒業論文, 2015.