

名古屋工業大学システムマネジメント工学科 庄 建治朗
名古屋大学大学院理学研究科 高橋 浩
名古屋大学年代測定総合研究センター 中村 俊夫

1. はじめに

過去の気候環境を復元するために樹木年輪を利用する研究が多く行われてきた(e.g., Fritts, 1976)。著者らは、琵琶湖流域の過去の気候復元を目的に琵琶湖南岸地域のヒノキ現生木の年輪幅解析を行い、この地域の年輪幅が2～4月平均気温と正の相関、5～7月降水量と負の相関を有することを見出した(庄・池淵・宮井, 1996)。しかし、年輪幅が上記2つの気象要素で説明されるものとすれば、年輪幅のデータからある特定の気象要素のみを推定することは容易ではなく、それぞれの気象要素を復元するには年輪幅以外の種類の指標を見出す必要がある。また、その新たな指標は2～4月平均気温か5～7月降水量と高い相関を持つ必要がある。著者らはそうした観点から、樹木年輪から得られる年輪幅以外の情報としてセルロース中の安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)に着目した。セルロースは他の化学成分とは異なり、年輪形成時に樹木の細胞壁として合成され、年輪間を移動しない。従って、高い時間分解能を持ち、古環境解析のための試料として適している。さらに、光合成における $\delta^{13}\text{C}$ の分別を左右する樹木の生理条件(Farquhar *et al.*, 1982)が日照、湿度といった気象条件により大きく変動することや、樹木の水利用効率との相関が多く、研究により報告されている(e.g., Livingston and Spittlehouse, 1996)。

ここでは、まず年輪幅解析について概略を述べた後、年輪セルロースの安定炭素同位体比の測定方法とデータの分析結果についてまとめてみる。

2. 年輪幅データの解析

試料は、琵琶湖南岸に位置する太神山、長命寺、朝宮の3地域から円盤標本として採取した(Fig. 1)。個体数はそれぞれ41、12、1の計54であり、年輪数はそれぞれ約150～300、70～80、325である。また樹種は大多数がヒノキ(*Chamaesparis obtusa*)である。採取した円盤標本は、できるだけ年輪形状の整った部分を通るように各個体2～4本の測線を設定し、木工用サンダーで表面を研磨した後、マイクロスコープを用いて1/100～1/50mmの精度で年輪幅を測定した。

樹木の成長速度は年齢によって大きく変化するため、得られた年輪データを他の試料や気象データと比較するためには、まずデータから個体的特徴を除去し、基準化しておく必要がある。ここでは、基準化に移動平均法を用い、当該年の測定値をその年と前後を含む n 年間の平均値で除することにより基準化値を求めた。移動平均の年数 n には5、11、21、41の4通りを試みたが、結果的にはいずれを用いても大きな差異はなかった。ここでは $n=11$ を主として用いることにした。なお、本研究で用いた標本の中には、年輪境界が不明瞭なものなど、年輪と形成年との対応の不明確なものが存在する。これらの年代を確定するため、次に基準化したデータを他の年代の確実な他の年輪パターンとの相互相関関数を取り、照合(crossdating)を行った。こうして得た年代の確定した年輪幅パターンは、相互に相関係数及び t 値を計算して検定し、他と比べ異常な変動を示すと考えられるものを除去した後、地区毎に平均して、太神地区(朝宮地区含む)及び長命寺地区を代表する標準年輪パターンを求めた。

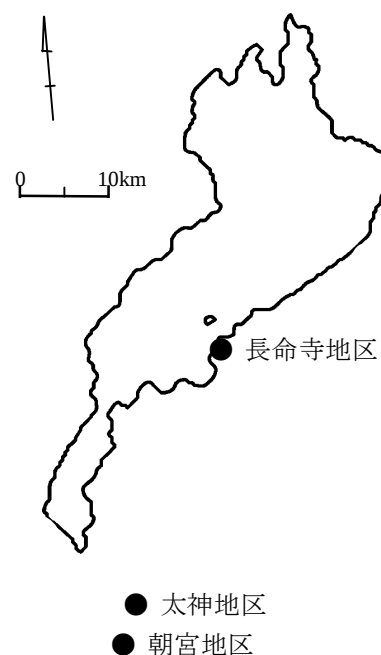


Fig. 1 Location map of the sampling site

このようにして得られた太神地区、長命寺地区それぞれの標準年輪パ

ターンと様々な気象要素との相関係数を計算した。ここでは、気象要素として月毎に集計した気温、降水量、降水日数のデータ（大津及び彦根）を用いた。分析の結果、気温との相関では、太神地区は2～4月平均気温($r=0.43$)、長命寺地区は2～3月平均気温($r=0.40$)が標準年輪パターンと最も高い相関を示した。また、降水については、太神地区は5～7月降水量($r=-0.260$)、長命寺地区は6～7月降水量($r=-0.27$)が最も高い相関を示した。但し、これら気象要素との相関を個体毎に見ると、気温と高い相関が見られるものから降水と高い相関を示すものまで、個体によりかなりばらつきのあることがわかった。**Fig. 2** は、基準化年輪幅と気温及び降水量との相関係数を個体毎にプロットしたものである。

3. 安定炭素同位体比データの解析

安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}$)の測定は現時点で4個体の測定が終了しており、うち3個体は太神地区(それぞれ TNK-A3、TNK-C8、TNK-C9と表記)、1個体は長命寺地区(CHM-B22と表記)である。本研究では、マイクロームでスライスした木材の柁目面切片(100～200 μm)を顕微鏡下で1年輪ごとに分割し、各々亜塩素酸ナトリウムを用いた処理とアルカリ処理によりセルロースを単離した。セルロースは酸化銅とともにガラス管に真空封入し、850 $^{\circ}\text{C}$ で2時間燃焼させた。その後発生したガスを真空ラインへ導入し冷媒(ethanol slush: -100 $^{\circ}\text{C}$)を用いて二酸化炭素に精製し、名古屋大学年代測定資料研究センターの質量分析計(Finnigan MAT-252)により $\delta^{13}\text{C}$ を測定した(青木, 1997)。

4つの試料について測定した $\delta^{13}\text{C}$ の経年変動を、同じ測線における対応する期間の年輪幅の変動とともに**Fig. 3**に示す。

TNK-A3の1970～1979年の期間は、約135度方向の異なる他の測線(TNK-A3-1とTNK-A3-2)についても $\delta^{13}\text{C}$ を測定し、同一個体内での測線間の相関を調べた。その結果、相関係数0.85と高い値が得られ、データ数は少ないがある1方向を測定することでその個体の $\delta^{13}\text{C}$ 変動を代表させてよいことが確かめられた。

Table 2は、4個体全ての測定値が得られた1936～1987年の期間について個体間での $\delta^{13}\text{C}$ 値の相関係数を計算したものである。各個体の $\delta^{13}\text{C}$ 変動は、地域の個体に共通して見られる広域的な環境要因と、個体差による影響とが重ね合わさったものと考えることができるが、本研究で測定した個体間相関は、どの組み合わせについても0.6前後の値を示しており、 $\delta^{13}\text{C}$ 変動が主として広域的な環境要因(気象条件もこれに含まれると考えられる)に支配されていることがわかる。また、長命寺地域と太神地域の個体間での相関係数は、太神地域の個体相互間でのそれと同程度に高く、このことから $\delta^{13}\text{C}$ 変動と密接な関係をもつ環境要因は少なくとも30km程度の空間スケールをもっていることが推測される。よって、本研究では4個体の測定値を平均して得た変動パターンを研究地域を代表する変動パターンと考えた。但し、長命寺地域の1個体(CHM-B22)は太神地域の3個体に比べ全体に値が小さいため、測定値の全期間にわたる平均値が太神地域3個体の対応する期間の平均値と等しくなるよう補正を加えた(具体的には、CHM-B22の各測定値に1.21‰を加算した)上で、平均することとした。また、TNK-A3-2は1932年と1933年の間で急激な値の増加があり、それ以前では他の2個体とは異なる変動傾向を示している(**Fig. 2 a**)。この期間は近接地における倒木等の個別的要因による影響が大きいと考えられるため、代表パターンの計算には用いないこととした。4個体全ての測定値が得られない期間については測定値の得られる個体のみで平均をとった。

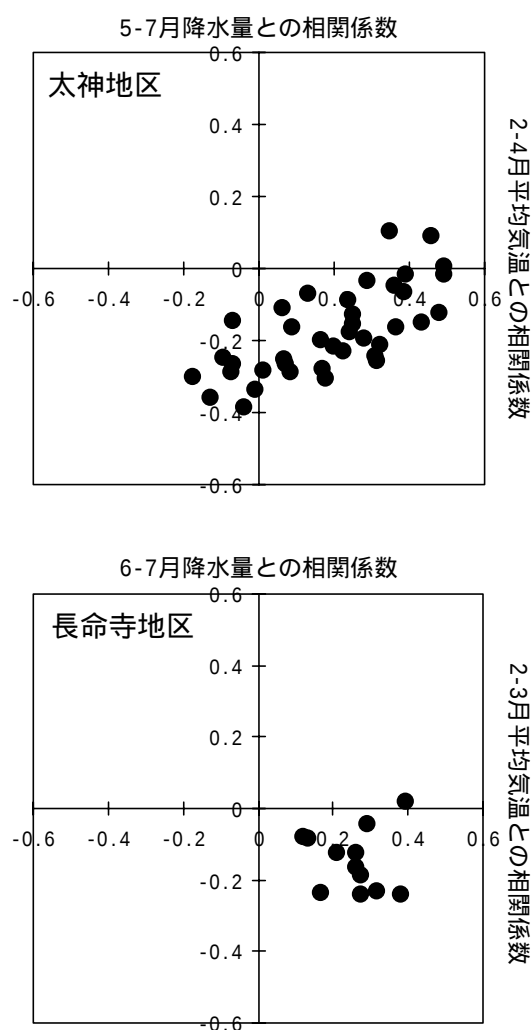


Fig. 2 Correlation coefficients between ring-width indices and climate factors

4. 気象要素との相関

Fig. 2 (a)を見ると、樹木年輪の $\delta^{13}\text{C}$ 変動は、年々の変動よりも10年程度以上といった長期的な変動が比較的大きく、この長期変動成分は近年の大気汚染といった気象条件以外の環境要因による影響が大きいと考えられる(Sakata *et al.*, 1998)。それ故、 $\delta^{13}\text{C}$ についても年輪幅と同様、移動平均法による基準化を行い、長期変動成分を除去した上で気象データと比較することにした。具体的には、 $\delta^{13}\text{C}$ の代表パターンの11年移動平均(当該年と前後5年ずつを含む11年間の平均値)をとり、これを当該年の値から差し引いた。一方、比較する気象要素には、月毎に集計した気温(大津)、降水量(大津)、降水日数(近江八幡)、日照時間(彦根)のデータを用いた。なお、樹木年輪は、単一の気象要素のみでなく複数の気象要素やその他の要因が複雑に影響して形成されるため、年輪データと気象データとの相関をとると数多くの要素との間に不明瞭な相関が表れ、その相関が気象条件によるものなのか、他の要因によって偶然に相関が表れたのか判断しにくい場合が多い。そこで、 $\delta^{13}\text{C}$ の基準化代表パターンを奇数年と偶数年とに分け、それぞれについて気象データとの相関分析を行った。そしてその結果を比較し、一致して相関の見られた気象要素を抽出した。ここで、期間を前半と後半とに分割せず奇数年と偶数年とに分けたのは、時期による条件の違いを含まないできるだけ同質なデータの組を2つ作る必要があると考えたためである。

奇数年と偶数年のそれぞれについて計算した $\delta^{13}\text{C}$ と各気象要素との相関係数を、全年を対象に計算した場合とともに**Fig. 4**に示す。樹木年輪の $\delta^{13}\text{C}$ は、その年輪が形成された年の前年の10月から当該年の9月までの気象データと比較している。ヒノキの年輪形成時期が3月初旬から9月の終わりまでであるため、このような区切りでのデータ比較を行った。図の上部に*等の記号を付したものは、相関係数に95%水準で有意性の認められた要素である(*: 奇数年、†: 偶数年、‡: 全年)。分析の結果、奇数年、偶数年ともに95%有意なのは5月日照時間のみであった。2ヶ月以上4ヶ月までを集計した気象要素についても同様に分析をしたところ、総合して最も高い相関を示したのは4~6月日照時間($r=0.44$)であった。このように、樹木年輪の $\delta^{13}\text{C}$ 値と春から初夏の日照時間とが高い相関を示した結果は、Farquhar *et al.* (1982) が提唱した光合成における同位体分別を表すモデルから予想される結果とよく合致している。また、有意性は必ずしも明瞭でないが、年輪幅と同様、 $\delta^{13}\text{C}$ 値にも初夏の降水量や降水日数との間に負の相関が見られた。これはこの時期の日照不足による $\delta^{13}\text{C}$ への影響が負の相関として表れたと見ることができる。

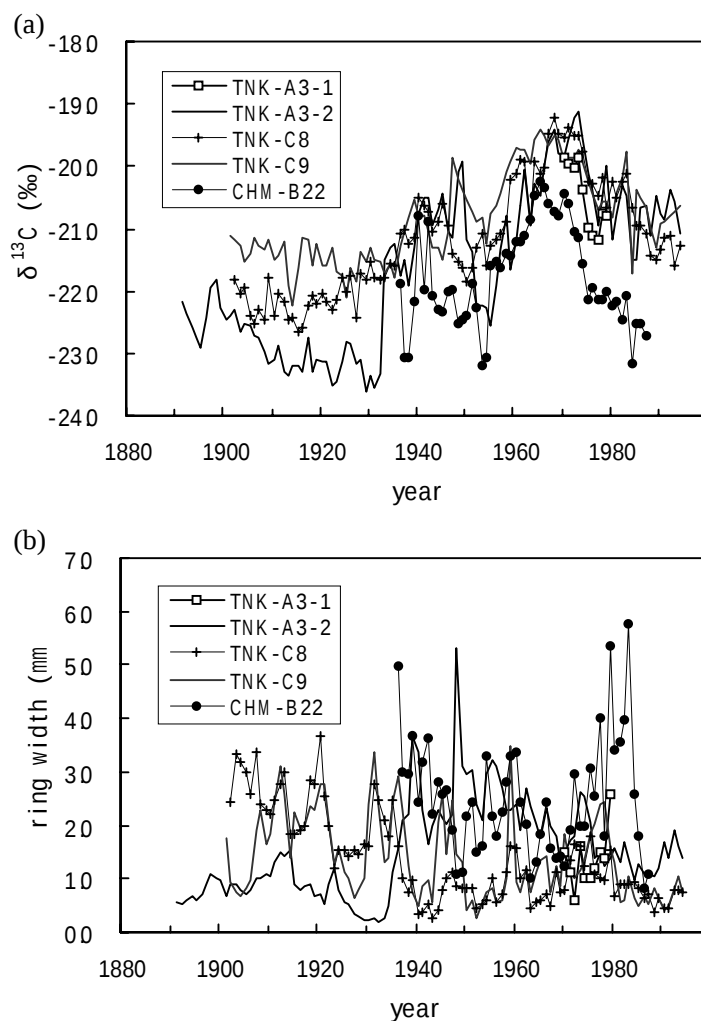


Fig. 3 $\delta^{13}\text{C}$ and tree-ring width records of the sample trees
(a) Measured $\delta^{13}\text{C}$, (b) Tree-ring width

Table 1 List of cross correlation coefficients for each of the measured $\delta^{13}\text{C}$ series (1936-1987)

	TNK-A3-2	TNK-C8	TNK-C9
TNK-C8	0.70		
TNK-C9	0.57	0.62	
CHM-B22	0.52	0.66	0.69

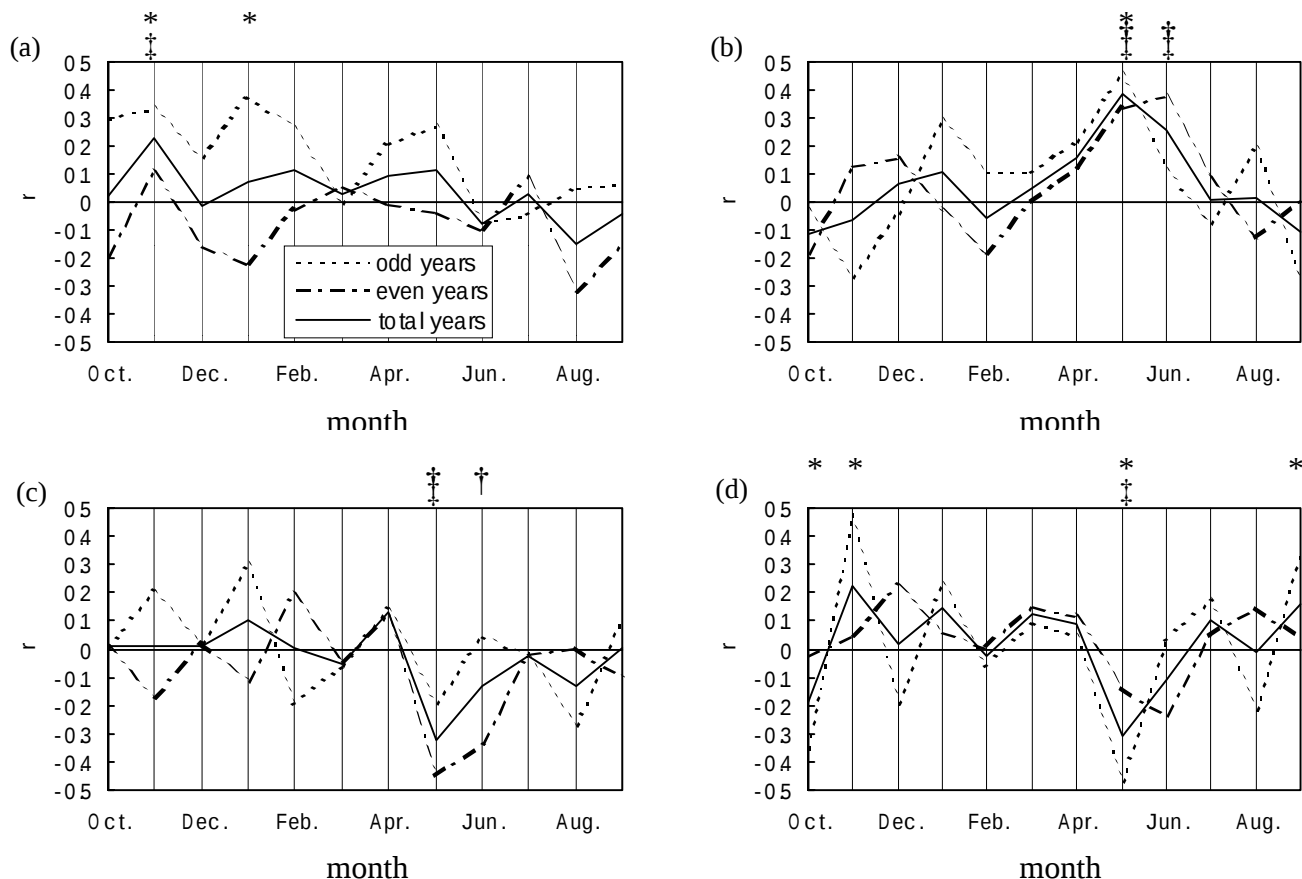


Fig. 4 Correlation between standardized $\delta^{13}\text{C}$ and monthly climatic factors (a : Mean temperature, b : Sunshine duration, c : Precipitation, d : Number of precipitation days)

"*", "†" and "‡" indicate significant correlation at 95% level (*: odd years, †: even years, ‡: total years)

5. おわりに

琵琶湖南岸のヒノキ年輪の年輪幅及び $\delta^{13}\text{C}$ 値を測定し、様々な気象要素との相関を調べたところ、年輪幅については春先の気温と初夏の降水量、 $\delta^{13}\text{C}$ については初夏の日照及び降水量・降水日数との間に相関が見られた。但し、年輪幅については個体により相関性にかかなりのばらつきがあり、一方 $\delta^{13}\text{C}$ 変動は個体間及び地区間での相関が年輪幅に比して非常に高いことがわかった。今後は、さらにデータ量を増やし、代表パターンの信頼性を向上させるとともに、年輪最大密度等、他のデータの利用や、古日記の天気記録との照合なども試みたい。

<参考文献>

- 青木 浩 (1997) 名古屋大学年代測定資料研究センター・MAT-252 における炭素・酸素の安定同位体組成測定について. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **8**, 68-80.
- Farquhar, G. D., O'Leary, M. H. and Berry, J. A. (1982) On the relationship between carbon isotope discrimination and intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Aust. J. Plant Physiol.*, **9**, 121-137.
- Fritts, H. C. (1976) *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 567pp.
- Livingston, N. J. and Spittlehouse, D. L. (1996) Carbon isotope fractionation in tree ring early and late wood in relation to intra-growing season water balance. *Plant, Cell and environment*, **19**, 768-774.
- Sakata, M. and Suzuki, K. (1998) Assessment method for environmental stresses in trees using $\delta^{13}\text{C}$ records of annual growth rings. *Geochem. J.*, **32**, 331-338.
- 庄建治朗・池淵周一・宮井 宏 (1996) 根元付近の年輪データによる古気候再現の試み. 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集第 2 部, 662-663.