

〈論文〉

古代ケヤキの年輪幅変動による古気候の推定

古川 郁夫*・渡部 里奈*

Estimation of Old Climate Change based on an Ancient Tree-Ring
Chronology of *Zelkova serrata*

IKUO FURUKAWA * and Rina WATANABE *

Summary

Using a tree-ring chronology obtained from a present-day large Keyaki tree (*Zelkova serrata*), that was grown in Tokyo and felled in 1989, the ring-width and climate relationship was elucidated.

Especially, there was fairly high linear correlation ($r = -0.59$) between July-temperature and latewood-width within the present-day Keyaki tree. The ancient July-temperature was estimated based on the established relationship between the July-temperature and the latewood-width in a present-day tree. The average temperature and amount of sunshine in ancient July season (or the corresponding July season in the ancient era) were estimated by using the ancient ring chronology instead of the present-day ring chronology in the established climate ring-width formula. The ancient ring chronology was obtained from a large excavated Keyaki tree grown about two or three thousands years ago in the suburbs of Tottori. As a result, it was found that both the ancient July-temperature and the amount of sunshine were almost the same as in the present time. The amount of variance between these was fairly small and stable compared to the present. This means that the present climate is becoming unstable compared with ancient times due to the effects of global warming or global pollution.

I 緒 言

樹木の年輪幅の経年変動（クロノロジー）にはその樹木が生育した期間の気候変動が記録されている。樹木に記録されたこのような情報を、年輪幅の経年変動と関連づけて解析する手法が樹木年輪解析法 (dendrochronology) であり、とくに気候変動との関連性を調べる研究は樹木気候学 (dendroclimatology) と呼ばれている。近年、環境科学の一手法として再び注目を集めている。ところがこの研究領域においても、従来から針葉樹が研究対象となることが多く、広葉樹について調べられた例は少ない (1,2)。

本研究では、日本の温暖地域に生育する代表的な広葉樹であるケヤキを対象とした。ケヤキは

*鳥取大学農学部生存環境科学講座：Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

その材が硬く、強靱で、耐久性に優れ、しかも大径木となることから、高級用材としての市場性が高い。そのため研究用として大径木の樹幹円板を入手することは、極めて困難である。1989年に東京都内の旧家の屋敷内で、樹齢100年以上のケヤキの巨木が伐倒されることになった。その時、運よく胸高部位の円板を入手することができた。また、同じころ鳥取市郊外の山ヶ鼻遺跡（約2000年前の遺構）の砂質土層中から、縄文晩期から弥生時代にける土器や木器類とともに当時のケヤキ自然木の巨木が完形で出土した。このケヤキの樹幹からも円板試料を入手することができた。

本研究は、これらの限られた試料による解析ではあるが、現存木からは年輪幅変動と気候変動との関連性を求め、また古代木では現存木から求められた関係を用いて当時の気候要素の大まかな変動傾向の復元を試みた。なお、現存木ケヤキについては安田（5）がすでに、樹幹内6方向での年輪幅変動パターンの類似性について検討している。また、環孔材であるコナラの年輪幅や孔圏外幅の変動と気候要素（気温と降水量）の変動との相関性については古川（4）が検討し、報告している。これらの成果を踏まえて、本試料の解析を行った。

Ⅱ 供試材料と解析方法

1. 供試木

（1）現存木

東京都渋谷区内の旧家屋敷内に生育していた樹齢約100～150年生のケヤキ（*Zelkova serrata* Makino）を1989年11月に伐倒した。この胸高部位から厚さ約10cmの円板を採取した。採取円板での年輪は103本確認できた。この円板の短径方向、長径方向、さらに北側、南側方向の計6方向について年輪幅の変動傾向を安田（5）が調べた結果、これらの年輪幅指数値クロノロジーはいずれの方向においてもその変動傾向は統計的に同一とみなしてよいことが分かった。そのため、本研究では比較的偏心成長の少なかった方向に測線を一本設定し、その測線に沿った放射組織の走行方向を基準として、各年輪の肥大成長量（年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅）を測定した。

（2）古代木

鳥取市郊外（古海本高地区）の山ヶ鼻遺跡（縄文晩期から古墳時代にかけての自然河川跡遺構）の河川床跡から天然木の巨木が出土した。なお、この巨木の樹種は樹齢150年以上のケヤキであることが判明している（3）。この出土木の通直な幹部より厚さ約10cmの円板を採取した。辺材部はかなり劣化していたが、心材部は木部組織の劣化も少なく、年輪幅等を測定するうえでは全く問題なかった。心材部において偏心成長がほとんど見られなかったことから、このケヤキは通直な樹幹をした巨樹であったことがわかる。

2. 各年輪ごとの肥大成長量の測定と指数値クロノロジーの作成

（1）解析期間の設定

設定した測線に沿って連続木口切片を作製し、これらから各形 成年ごとの年輪幅、孔圏幅および孔圏外幅を測定した。コナラでは、年輪幅よりもむしろ孔圏外幅が年輪形成期間の気象要素と強

い相関のあることが見いだされているため(4)、環孔材であるケヤキにおいても同様な傾向が存在するかもしれないと考え、本研究においても年輪内を孔圏部と孔圏外部に区分してそれぞれの幅を測定した。

なお、現存木ケヤキは1964年以降約10年にわたって異常に肥大成長が悪くなっていた。その後もしばしば異常に成長の悪い年輪が認められた。この原因は、東京オリンピック開催(1964)にともなう都市開発整備による道路拡張工事でケヤキが生育していた敷地の一部を提供した際に、根部に損傷を受けたためであり、その折に枝も一部伐り落とされたとのことであり、これらが肥大成長を減少させたのであろう。さらにそれ以降の年輪においてしばしば見受けられる極端に狭い年輪部は、その後の大気汚染等の影響かもしれない。これらの成長不良の原因解析も重要であるが、本研究の目的とは異なるため、本研究ではこれらの影響の少なかった時期で、しかも気象データの完備している期間を解析対象期間とした。そこで、現存木ケヤキでは1941年から1963年の22年間を解析期間とした。

古代木ケヤキの各年輪の形成年を確定することは今のところ不可能なので、この試料では測定可能な部分で、しかも連続した127年輪分を解析対象期間とした。

(2) 年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅の測定

現存木ケヤキでは、測線に沿って接線幅約5mmの半径ブロックを切り出した。つぎに木口切片を作製するために、半径ブロックをさらに小さなブロックに切り分けた。この際、切り分けたところで晩材幅の計測が分断することのないように、接線方向に対して約45度の角度でブロックを切り分けた。切り分けた小ブロックを煮沸軟化した後、ミクロトームで約30 μ m厚さの木口切片を切削し、サフランインで染色してから、永久プレパラートにした。プレパラートを万能投影機で50倍に拡大投影し、スクリーン上で解析対象期間に該当する各年輪部の年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅を0.1ミリの精度で計測した。こうして各形成年毎の肥大成長量についての実測値クロノロジーを作成した。なお、孔圏と孔圏外の境界は孔圏道管の直径が急激に減少するところとした。古代木ケヤキも現存木ケヤキとほぼ同様にして孔圏幅、孔圏外幅を測定した。なお、古代木では半径ブロックを煮沸軟化する必要はなかった。

(3) 指数値クロノロジーの作成(標準化処理)

実測値クロノロジーには形成層の加齢効果による経年変動が含まれているため、これを除去する目的で標準化(もしくは規準化)処理を行った。標準化の方法にはいろいろな手法があるが本研究では、3年移動平均法、5年移動平均法およびローパスフィルタ法の3方法を用いた。

3. 気候要素クロノロジーと指数値クロノロジーとの相関性

現存木ケヤキの解析には東京都渋谷区内で観測された気象庁の気象データ(1941年から1963年までの22年間)を用いた。とくにケヤキの肥大成長と直接関わりが深いと考えられる、年輪形成当年の3月から10月の間(8ヶ月)の月別総降水量と月別平均気温を用いて、これらと年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅の指数値クロノロジーとの単相関関係を調べた。さらに、これらに高い(あるいは有意な)相関性が見い出された場合には、それらの相関性を表す単回帰式を求めた。

4. 古気候の推定

前項によって年輪幅指数値クロノロジーと気象要素クロノロジーとの間に比較的高い相関性が認められた場合は、それによって作成された回帰式に古代木ケヤキで求めた年輪幅指数値クロノロジーを代入することによって、古代の気象要素の推定を試みた。

Ⅲ 結果と考察

1. 現存木ケヤキの年輪幅指数値クロノロジーと月別気象要素との相関性

(1) 月別平均気温との関係

各形成年輪の年輪幅、孔圏幅および孔圏外幅の指数値と3月から10月の各月別平均気温との単相関係数を図1に示した。年輪幅および孔圏外幅と気温の間には負の関係が認められ、とくに7月の気温が最も強く ($r = -0.59$) これらの成長に関与していることが分かった。気温の影響は図1からも明らかなように、5月、6月、7月と当年の年輪形成（とくに孔圏外部の形成）が盛んになるにつれて、負の相関性が強くなった。このように気温は肥大成長の期間、抑制的に作用していた。すなわち、この時期、気温が高い程、肥大成長は少なかった。また年輪形成の晩期である8月には全く影響しないことが分かった。なお、孔圏幅すなわち孔圏道管のサイズは、気温とは全く関係なく、孔圏部が形成されていることが分かった。すなわち、孔圏道管は光合成による肥大成長に先立って形成されるのであろう。

コナラでは、孔圏外部の形成初期には気温が強く負に作用し、形成晩期では逆にかなり明瞭に正に作用する現象が見られたが、ケヤキでは年輪形成期間を通じて気温は負に作用し、しかも作用の強さは年輪形成の晩期になるにつれて強くなり、それが8月になると途端に、そのような作用が認められなくなった。このように、コナラとケヤキにおいて、気温の肥大成長への影響の仕方は若干異なっていた。いづれにおいても、気温があまり高くなると肥大成長は抑制されるようである。日本の夏場の気温はケヤキのバイオマス生産（光合成生産）にとって、十分な強度と光量があり、むしろ少し強いぐらいかもしれない。このことが、気温の増加が肥大成長を抑制した一因と考えられる。

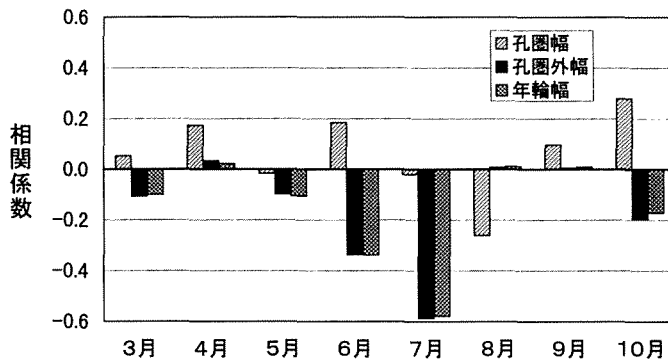


図1 月別平均気温と現存木ケヤキの年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅クロノロジーとの単相関関係

(2) 月別日照時間との関係

気温変動と関係の深い日照時間と各形成年輪の年輪幅、孔圏幅および孔圏外幅の指数値との単相関係数を図2に示した。ほぼ気温で見られたのと同様の関係が日照時間においても認められた。すなわち、日照時間も3月以外の月では負に作用し、しかも7月の日照時間の影響が最も大きかった ($r = -0.52$)。肥大成長に負に作用するのは、気温と同じメカニズムが作用したのであろう。ただし、3月の日照時間は正に、また孔圏幅も日照時間とは年輪幅等と同様に負の関係が認められたことは興味深い。3月は年輪形成の直前であり、まだ開葉していないが、樹液流動はすでに始まり、形成活動の始動時期にあたることから、この時期に日光が幹にあたることで、その年の肥大成長を促す作用のあることがうかがえる。さらに、孔圏道管の形成にも日光はやや抑制的に作用しているようである。

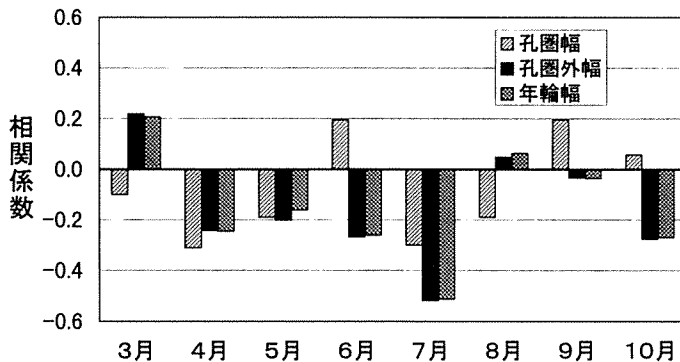


図2 月別日照時間と現存木ケヤキの年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅クロノロジーとの単相関係

(3) 月別総降水量との関係

各形成年輪の年輪幅、孔圏幅および孔圏外幅の指数値と3月から10月の月別総降水量との単相関係数を図3に示した。降水量の場合は、肥大成長に及ぼす作用が気温や日照時間などの気候要素と異なっていた。すなわち、それ程強く影響しているわけではなかったが、おおむね正に作用していた。すなわち、東京のケヤキでは、降雨量の多いほうが、肥大成長も大きかった。

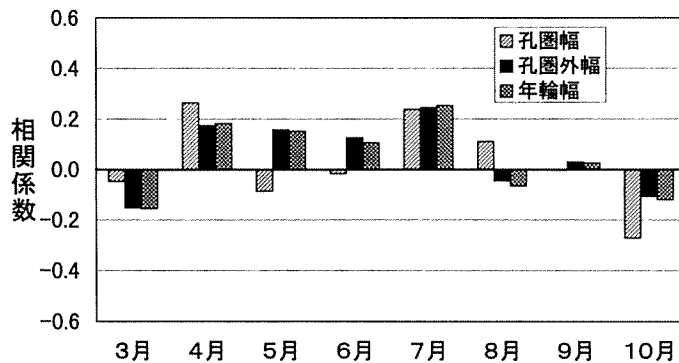


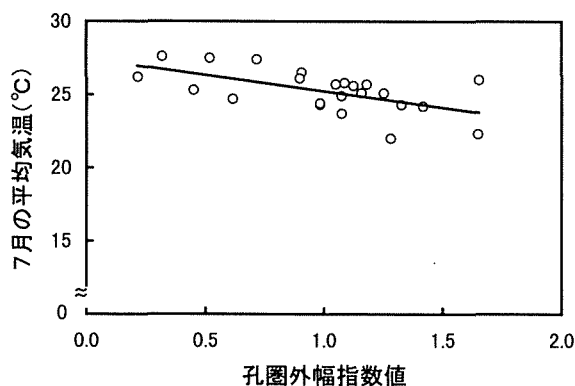
図3 月別総降水量と現存木ケヤキの年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅クロノロジーとの単相関係

(4) 考察

コナラもケヤキも典型的な落葉性の環孔材であり、いずれも暖温帯を代表する広葉樹である。しかし、これらの肥大成長に対する気象要素の影響は対照的であった。コナラは、その年輪形成期間内において気温は形成初期では強く負に作用していたのが、後期にはかなり明瞭に正へと変化した。一方、降水量はコナラの年輪形成初期では強く負に作用し、形成後期にはその作用が弱るかあるいはやや正に作用していた。ところが、ケヤキでは、気温は形成初期では僅かに負に作用していたのが、形成後期で強く負に作用した。一方、降水量はコナラとは逆におおむね形成期間中、正に作用していた。このように、広葉樹では、樹種によって、あるいは生育環境によって、気象要素の影響の仕方に違いのあることが分かった。広葉樹に関するこれらの現象論的なデータの集積が必要である。

2. 古代木ケヤキによる古代気候の推定

図1に見られたように、現存木ケヤキにおいては7月の平均気温あるいは日照時間と孔圏外幅指数値との間には -0.59 あるいは -0.52 と、樹木気候学的解析例にないような高い相関関係が認められた。図4に7月の平均気温および日照時間と孔圏外幅指数値との関係を示した。両者の間の関係は次のような単回帰式で表すことができる。



$$\text{7月平均気温 (}^\circ\text{C)} = -2.2 \times \text{孔圏外幅指数値} + 27.4 \quad (r = -0.59) \quad (1)$$

$$\text{7月日照時間 (hr)} = -63.8 \times \text{孔圏外幅指数値} + 237.8 \quad (r = -0.52) \quad (2)$$

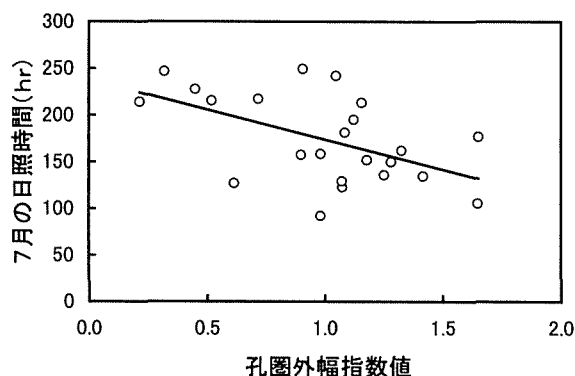


図4 現存木ケヤキにおける7月平均気温および7月日照時間と孔圏外幅指数値との関係

現存木ケヤキと古代木ケヤキでは、生育環境が同じでなく、また遺伝的特性も異なり、そのうえ年間の気候変動パターンも現在と同じでないかもしれないなど、多くの問題点があるものの、この(1)式と(2)式の孔圏外幅指数値のところに古代木ケヤキから得られた127年輪分の孔圏外幅指数値を代入することによって、当時(古代木ケヤキが生育していた約2000年前)の7月(もしくは7月に相当する時期)の気温と日照時間の大きかな変動を算出した。その結果を図5と図6に示した。図5と図6には比較のために、最近50年分(1946年から1995年まで)の気温変動と、その平均値も示してある。平均気温は古代で 25.3°C であり、現在も 25.4°C とほぼ同じであったが、

その変動幅は図5にも示されているように、現在の方がかなり大きいようである。

日照時間においても、気温で見られたのと同じような傾向が認められた。平均日照時間は現在の方がやや長いですが、日照時間の変動は現在の方がかなり大きく、現在の気候（ここ50年の気候）は非常に不安定であることが分かる。この原因は不明であるが、地球温暖化や大気環境の変化が関与しているのかもしれない。いずれにしても、現在の気候変動は極めて大きく、不安定であることが、

この復元データからも読み取れるであろう。

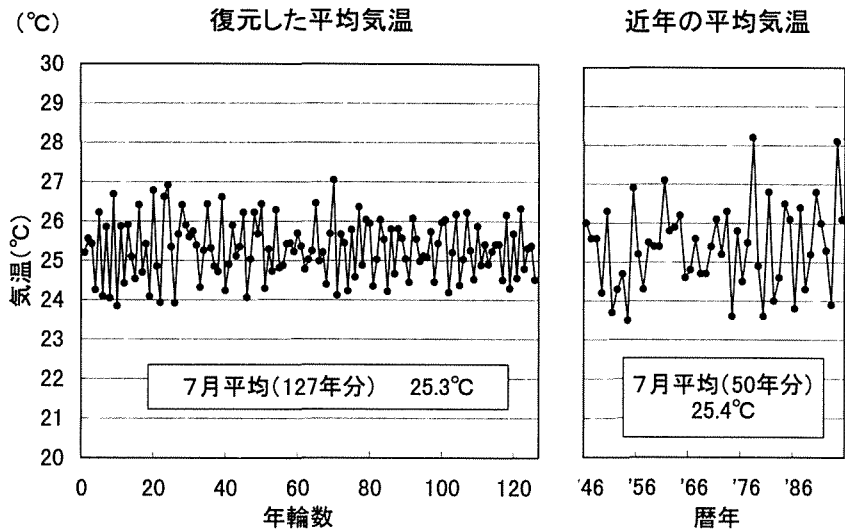


図5 古代における7月期の推定平均気温の経年変動（127年分）

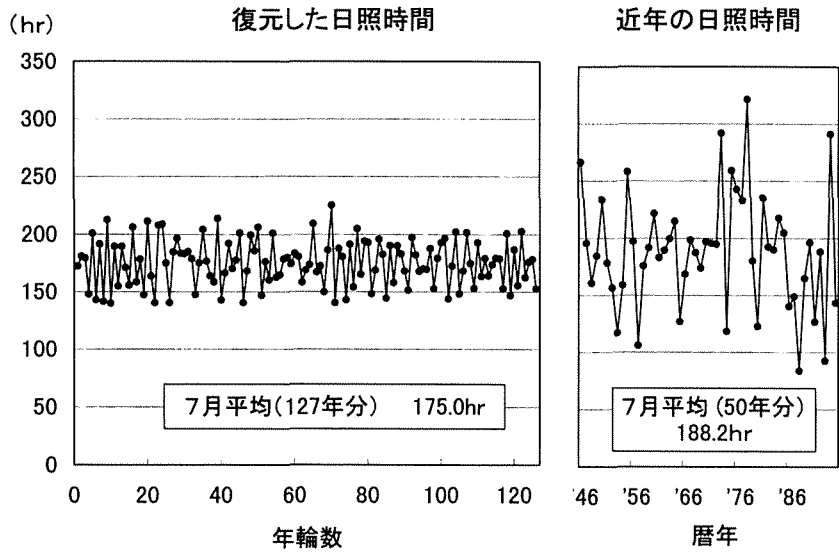


図6 古代における7月期の推定日照時間の経年変動（127年分）

IV 結 論

現存および古代のケヤキ大径木から切り出した円板を用いて、それらの年輪幅指数値クロノロジーと気候変動との関連性を調べ、古代の気候変動の推定を試みた。現存木ケヤキからは肥大成長（年輪幅、孔圏幅、孔圏外幅）と気候変動との関連性を、また古代木ケヤキからは古代の気候推定を、年輪気象学的手法を用いて検討した。

現存木ケヤキにおいては、年輪幅や孔圏外幅と7月の平均気温（あるいは7月の日照時間）との

間には -0.59 （あるいは -0.52 ）という高い相関が認められた。しかし、降水量とこれらの間には有意な相関は認められなかった。現存木ケヤキで見出された7月平均気温と孔圏外幅指数値との関係式に、古代木ケヤキの孔圏外幅指数値を代入することにより、古代の7月ごろの平均気温や日照時間を算出し、現在と比較したところ、古代ケヤキが生育していた頃（約2000年前）と現在とは大差のないことが分かった。しかし、現代の方が平均気温にしても、日照時間にしても各年ごとの変動幅は古代よりかなり大きかった。このことは、現代の気候が非常に不安定であることを示唆しており、地球温暖化や大気環境の汚染などはこの不安定要因の一因かもしれない。

引用および参考文献

- (1) 土井靖雄・安田武史・古川郁夫（1992），広葉樹の肥大成長に及ぼす気性因子の影響，日本木材学会・第42回大会研究発表要旨，p.37
- (2) 古川郁夫・土井靖雄・安田武史（1994），本邦産数樹種の年輪気候学的特性，樹木年輪，6号，12-17
- (3) 古川郁夫（1995），山ヶ鼻遺跡，中小河川改修事業大井出川改良工事に係わる埋蔵文化財発掘調査報告書，(株)鳥取市教育福祉振興会，p.98
- (4) 古川郁夫・藤本多恵子（1998），コナラ晩材幅の経年変化と気候変動との関連性，鳥取大学広葉樹研究，8号，37-43
- (5) 安田武史（1993），気候変動に対する樹木肥大成長の応答性に関する研究，鳥取大学農学研究科修士論文