東京都奥多摩地域に生育する樹木の気候応答に関する 樹木年輪年代学的解析 (第2報)[†]

7 樹種の樹木年輪情報と気候情報との関係^{*1}

桃井尊央^{*2}, 大林宏也^{*2}, 栃木紀郎^{*2}, 小林 純^{*2}, 故塩倉高義^{*2}

Dendrochronological Study on Tree Growth Responses to Climate in Okutama, Tokyo II.[†] Relationships between climate and tree-ring information for seven tree species^{*1}

Takao MOMOI^{*2}, Hiroya OHBAYASHI^{*2}, Toshiro TOCHIGI^{*2},
Jun KOBAYASHI^{*2} and the late Takayoshi SHIOKURA^{*2}

The relationships between various climate parameters and previously constructed tree-ring indices (annual ring width index, IW_{ar} ; annual ring density index, ID_{ar}) for seven tree species found in Okutama, Tokyo were examined. Significant correlations between tree-ring indices and climate parameters were observed. The four major correlations were: 1) a positive correlation between IW_{ar} and monthly mean temperature from January to March of the current year; 2) a positive correlation between ID_{ar} and monthly mean temperature from May to August of the current year; 3) a negative correlation between ID_{ar} and monthly mean temperature from May to July of the previous year; and 4) a negative correlation between ID_{ar} and number of days with precipitation from June to September of the current year. These four relationships also demonstrated the varying responses of different tree species to variations in climate. The significant correlation coefficients obtained from the relationships between the tree-ring indices and a) monthly maximum temperature were greater than those obtained from the relationships between the tree-ring indices and b) monthly mean temperature and c) monthly minimum temperature.

Keywords: dendrochronology, tree-rings, tree growth response, climate.

前報で構築した東京都西多摩郡奥多摩町に生育する7樹種の樹木年輪指数(年輪幅指数: IW_{ar} , 年輪内平均密度指数: ID_{ar})と同町で観測された気候変数との関係を検討した。その結果、樹木年輪指数と気候変数との間で認められた有意な相関関係の中には、多くの樹種間に共通した相関関係が、① IW_{ar} と当年1月から3月の月平均気温との間、② ID_{ar} と当年5月から8月の月平均気温との間、③ ID_{ar} と前年5月から7月の月平均気温との間、④ ID_{ar} と当年6月から9月の月降水日数との間で確認された。さらに、上記した4つの相関関係には樹種による違いも確認で

[†] Report I: This journal 59, 13-21 (2013).

^{*1} Received February 23, 2013; accepted July 1, 2013. 本研究の一部は第53回日本木材学会大会(2003年4月, 福岡)および2008年度「樹木年輪」研究会(2008年9月, 東京)において発表した。

^{*2} 東京農業大学地域環境科学部, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture, Tokyo 156-8502, Japan

Corresponding author: T. Momoi (t3momoi@nodai.ac.jp)

きた。また、月平均気温と月最高気温、月最低気温は、樹木年輪指数との相関関係において似た傾向が認められたが、月最高気温の方が月平均気温や月最低気温よりも樹木年輪指数との間に有意な相関関係が多く、その相関係数の絶対値は大きかった。

1. 緒 言

本研究の目的は、生育環境がほぼ同一であるような一定地域内に生育する複数樹種を対象として、樹木年輪情報に含まれる樹木の気候応答に関する情報について、樹木年輪年代学的手法を用いて明らかにすることである。前報¹⁾では樹木年輪情報の中から個体間に共通した経年変動をできるだけ抽出する方法を検討した。そして、この方法で構築した年輪幅指数と年輪内平均密度指数の両クロノロジーには、それぞれ同一樹種内だけではなく複数樹種間にも共通した経年変動があることがわかった。また、近縁種の樹木年輪クロノロジーは、遠縁の種よりも共通した変動成分を有している傾向があることがわかった。

樹木の気候応答を検討するために樹木年輪情報と気候情報との関係を検討した報告は多数あるが、日本においては同一生育地域における複数樹種を対象としてその関係の解析やその関係の樹種間での比較をした報告が少ない²⁻⁴⁾。樹木年輪情報と気候情報との関係を複数樹種間で比較した報告では、針葉樹と広葉樹に関わらず、樹木年輪指数と気候変数との間には有意な相関関係が複数樹種で共通して認められたこと⁵⁾や、その相関関係が近縁種では類似していたこと⁶⁾が記されており、また、樹種による樹木年輪情報と気候情報との関係の特徴と木部形成を行っている時期との関連性³⁾が論じられている。そのため樹木年輪に含まれる樹木の気候応答に関する情報をより明らかにするには、樹木年輪情報と気候情報との関係を検討した報告を日本においてさらに蓄積していく必要がある。

そこで本報では、前報¹⁾で構築した7樹種の樹木年輪情報と供試木の生育地付近で観測された気候情報との関係を検討した。さらに、その関係について7樹種間の共通点や相違点から樹木の気候応答について考察を行った。

2. 方 法

2.1 樹木年輪情報

樹木年輪情報として、前報¹⁾で構築した東京農業大学奥多摩演習林（以下、「演習林」）に生育するアカマツ（*Pinus densiflora*）とモミ（*Abies firma*）、ツガ（*Tsuga sieboldii*）、スギ（*Cryptomeria japon-*

ica）、ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）、サワグルミ（*Pterocarya rhoifolia*）、ミズナラ（*Quercus crispula*）の年輪幅指数（ IW_{ar} ）および年輪内平均密度指数（ ID_{ar} ）のクロノロジーを用いた。標準化にはプログラム ARSTAN⁷⁾を用い、フィルタ長10年の3次平滑化スプライン関数を標準化平滑関数として適用した。プログラム ARSTANでは、標準化したクロノロジー（standardized chronology）と標準化後に自己相関を取り除いたクロノロジー（residual chronology）の2つのクロノロジーを算出できるが、本報告では前者のみを対象とした。

各樹木年輪クロノロジーの概要を Table 1 に示した。また、その詳細やそれらの間の関係は前報¹⁾に記した。

2.2 気候情報

樹木年輪情報と気候情報との関係を検討する際には、長期間記録された気象資料の入手が解析結果の信頼性を高めるために重要となる。演習林の研修センター（標高650 m）で記録されている気象資料は観測期間が短いため、樹木年輪試料の採取地から東方2~4 km 離れた位置にある東京都水道局水源林管理事務所奥多摩出張所（標高約355 m、以下、「奥多摩出張所」）の気象資料を用いた。奥多摩出張所の気象資料は、日降水量が1925年1月から、日平均気温と日最高気温と日最低気温が1953年10月から、日平均相対湿度が1959年8月から記録されている。なお、演習林の研修センターでの年平均気温は11.4

Table 1. Basic statistics of tree-ring chronologies.

Species code	Number of trees	Number of radii	Time span	MS	
				IW_{ar}	ID_{ar}
PIDE	20	48	1901-2001	0.14	0.05
ABFI	29	76	1826-2001	0.13	0.06
TSSI	14	20	1843-2001	0.12	0.03
CRJA	23	47	1846-2001	0.23	0.05
CHOB	23	42	1887-2001	0.14	0.02
PTRH	12	20	1888-2001	0.14	0.03
QUCR	15	30	1936-2001	0.11	0.02

Legends: PIDE: *Pinus densiflora*, ABFI: *Abies firma*, TSSI: *Tsuga sieboldii*, CRJA: *Cryptomeria japonica*, CHOB: *Chamaecyparis obtusa*, PTRH: *Pterocarya rhoifolia*, QUCR: *Quercus crispula*, MS: mean sensitivity, IW_{ar} : annual ring width index, ID_{ar} : annual ring density index.

℃、年平均相対湿度は76.7%、年降水日数は145日、年降水量は約1548 mmであった(1995~2000年の平均)。一方、奥多摩出張所における同期間で平均した年平均気温は12.8℃、年降水量は約1547 mmであった。また、研究地域に最も近い(約19 km)気象庁の観測所(秩父)と奥多摩出張所の両気象資料間で各月の時系列間(1954~2000年)の相関係数を平均すると、月平均気温では0.84、月降水量では0.92であったため研究地域の気象資料として扱うことにほぼ問題ないと考えた。

2.3 樹木年輪指数と気候変数との単相関分析

樹木年輪情報と気候情報との関係を検討するために、樹木年輪指数のクロノロジーと気候変数の時系列との間の単相関分析を行った。形成層の活動期は、本研究地域から約25 km 北西の秩父地域に生育するモミでは、およそ4月中旬から10月初旬の6ヶ月間であると報告されている⁸⁾。そこで気候変数には前年3月(前年の形成層活動開始直前)から当年10月(当年の形成層活動停止)までの計20ヶ月分の月平均気温($T_{\text{mean(m)}}$)と月最高気温(日最高気温の月平均値: $T_{\text{max(m)}}$)、月最低気温(日最低気温の月平均値: $T_{\text{min(m)}}$)、月平均相対湿度($H_{\text{mean(m)}}$)、月降水量($P_{\text{total(m)}}$)、月降水日数(0.1 mm以上: $P_{\text{days(m)}}$)を用いた。また、単相関分析の統計期間は、 $H_{\text{mean(m)}}$ 以外の5種類については記録が存在する1954年から樹木年輪資料が得られた2000年までの計47年間とした。 $H_{\text{mean(m)}}$ については1960年から2000年までの計41年間とした。

3. 結果および考察

3.1 樹木年輪情報と気候情報との関係の概要

樹木年輪指数のクロノロジーと気候変数の時系列との間の単相関分析の結果をFig. 1に示した。相関係数(r)は有意水準5%以上の場合に「有意」としたが、 r の大きさの違いを表すために10%、5%、1%、0.5%、0.1%水準の5段階で示すことにした。樹木年輪指数と気候変数との間で有意な相関関係であった数は、スギ以外では IW_{ar} よりも ID_{ar} の場合に多く、サワグルミとミズナラの IW_{ar} では他の樹種の IW_{ar} よりも少なかった。前報¹⁾で記した同一樹種内における個体間総当たりの r の平均値($\bar{r}_{\text{bt}}$)が小さかったツガの IW_{ar} や ID_{ar} 、ミズナラの ID_{ar} においても他の樹木年輪クロノロジーと比べて有意な相関関係の数に変わりなかった。よって、 $\bar{r}_{\text{bt}}$ が多少小さい樹木年輪クロノロジーであっても樹木年輪情報と気候情報との間には関連性があると考えた。

$T_{\text{max(m)}}$ と $T_{\text{min(m)}}$ と $T_{\text{mean(m)}}$ とは樹木年輪指数と

の相関関係が似た傾向であったため(Fig. 1, 上3段)、まずは $T_{\text{mean(m)}}$ を気温に関する気候変数の代表とみなして考察した。多くの樹種間に共通した有意な相関関係が、① IW_{ar} と当年1月から3月までの $T_{\text{mean(m)}}$ との間(特に当年3月が5樹種と)、② ID_{ar} と当年5月から8月までの $T_{\text{mean(m)}}$ との間(特に当年7月が6樹種と)、③ ID_{ar} と前年5月から7月までの $T_{\text{mean(m)}}$ との間(特に前年5月が6樹種と)、④ ID_{ar} と当年6月から9月の $P_{\text{days(m)}}$ との相関関係との間(特に当年6月が5樹種)で確認された(Fig. 1)。この4つの相関関係について、それぞれ r の絶対値が大きい3樹種における相関関係を散布図で示した(Fig. 2)。どの散布図においても特に外れ値はなく、分布の形はほぼ線形であったため、それぞれの r はそれらの分布状態を適正に示していると考えた。

3.2 IW_{ar} と休止期の $T_{\text{mean(m)}}$ との相関関係

針葉樹5樹種の IW_{ar} と当年1月から3月までの $T_{\text{mean(m)}}$ との間に有意な正の r が認められたが、有意な相関関係が認められた樹種数および r の絶対値が1月から次第に増え、特に3月において顕著であった(Fig. 1, 左1段目)。3月においては有意ではないが10%水準の r がミズナラでも確認された。一方、 IW_{ar} と前年3月の $T_{\text{mean(m)}}$ との相関関係について見ると、当年の場合より絶対値は小さいが、マツ科3樹種の IW_{ar} と有意な正の r が認められ、 r の符号(正負)は前年と当年とで同じであった。また、有意ではないが10%水準の r がスギとサワグルミにおいても確認された。

休眠期を休眠導入期、冬休眠期、休眠解除期、休止期と分けた場合⁹⁾に1月から3月の形成層活動の状態は休止期に当たる。この休止期には形成層始原細胞の細胞質がゲル状態からゾル状態となり、細胞壁の可塑性が増すこと^{10, 11)}が知られている。また、Oribеら¹²⁾は休止期においてスギの樹幹に局所加温処理を行うことにより形成層活動が再開することを報告している。つまり、休止期は形成層活動再開への準備を行っている期間であると考えられる。年輪幅は主に放射方向に並んだ木部細胞の数とその放射径によって決まるが¹³⁻¹⁵⁾、休止期の気温が細胞径の拡大に直接影響しているとは考えにくい。したがって、休止期の気温によって、形成層活動再開への準備状態が影響を受け、その準備状態によって形成層活動の再開時期が早期化あるいは晩期化し、そのため細胞分裂が活発に行われる期間が長期化あるいは短期化することで、分裂回数が増減するため、年輪幅の広狭に影響が生じている可能性がある。そして、

Fig. 1. Simple correlation coefficients between tree-ring indices and climate parameters.

Legend: See Table 1.

Note: $0.05 < p < 0.1$ (tangential figure) is not significant in this paper, but it was marked for reference.

この準備状態への影響は、休止期に入ってから形成層活動の再開直前にかけて次第に大きくなる可能性がある。

一方で、形成層活動再開の早期化あるいは晩期化が翌年の年輪幅の広狭に直接影響するとは考えにくい。東京都田無市に生育するスギ、ヒノキ、アカマツの光合成速度は2月で最も低く、3月以降は上昇すること¹⁶⁾が報告されている。つまり、休止期の気温によって、常緑針葉樹の場合は形成層活動再開のみならず光合成活動の活発化が早期化あるいは晩

期化することで、光合成産物の貯蔵量が増減し、当年だけでなく翌年の年輪幅の広狭にも影響が生じている可能性がある。

3.3 ID_{ar} と当年活動期の $T_{mean(m)}$ との相関関係

全7樹種の ID_{ar} と当年5月から8月までの $T_{mean(m)}$ との間に有意な正の r が認められたが、特に7月において顕著であった (Fig. 1, 右1段目)。また、この相関関係は5月から8月の期間において、針葉樹5樹種ではヒノキ、スギ、モミ、ツガ、アカマツの順に、広葉樹2樹種ではミズナラ、サワグル

Fig. 2. Correlation between tree-ring indices and climate parameters.

Legends: See Table 1, $T_{\text{mean(c_March)}}$: Monthly mean temperature of March in the current year, $T_{\text{mean(c_July)}}$: Monthly mean temperature of July in the current year, $T_{\text{mean(p_May)}}$: Monthly mean temperature of May in the previous year, $P_{\text{days(c_June)}}$: Monthly number of days with precipitation of June in the current year.

ミの順に有意な r が認められた時期が遅くなっていた。一方で、 IW_{ar} では当年活動期の気候変数との間に有意な r がほとんど認められなかった。

秩父地域に生育するモミでは、4月中旬から細胞分裂が再開し、6月末までには新生木部細胞総数の80%が形成され、6月下旬以降に形成された新生木部細胞は晩材細胞となり、7月には多数の新生木部細胞で二次壁の堆積が行われている⁸⁾、と報告されている。また、岐阜県荘川村に生育するミズナラを含む落葉広葉樹25樹種の成長速度が極大となる時期は環孔材樹種と散孔材樹種とは環孔材樹種の方が早い、ともに6月から7月であったことが観測されている¹⁷⁾。針葉樹と広葉樹とは組織構造が異なるため、組織構造の違いに合わせた検討が必要であるが、どの樹種も年輪幅は主に木部細胞の数と径に、年輪内平均密度は主に木部細胞の数と径と壁厚によって決まる¹³⁻¹⁵⁾。上記したように当年活動期の気候変数との間に IW_{ar} は有意な r がほとんど認められなかったことから、年輪幅と年輪内平均密度の両方を規定する木部細胞の数や径の増減よりも年輪内平均密度のみを規定する木部細胞の壁厚が当年活動期

の気温によって増減することで、年輪内平均密度の大小に影響が生じている可能性がある。そしてこの細胞壁の堆積量への影響は、堆積される細胞壁の量が多い時期に大きくなっている可能性がある。

また、樹種によって有意な r が認められた時期に違いがあることについて、Fujiwara ら³⁾ は樹種特有の成長特性である木部形成の再開時期や木部の形成活動を行っている期間などの違いと関連付けて考察している。本研究地域における各供試樹種の形成層活動の季節変化は把握できていないため、今後明らかにしたい。

3.4 ID_{ar} と前年活動期の $T_{\text{mean(m)}}$ との相関関係

サワグルミ以外6樹種の ID_{ar} と前年5月から7月までの $T_{\text{mean(m)}}$ との間に有意な負の相関関係が認められたが、特に5月において顕著であり、5月以降は次第に r の絶対値が減少するとともに有意な負の相関関係が認められた樹種数も減っていた (Fig. 1, 右1段目)。この相関関係について、マツ科3樹種では前年5月以外に前年6月または前年7月でも有意な r が認められたが、他の樹種は前年5月のみであった。また、ツガとヒノキ科2樹種では、同じ気候変数である前年7月と8月の $T_{\text{mean(m)}}$ は IW_{ar} との間に有意な負の r が確認された。

Kagawa ら¹⁸⁾ は、人為的に吸収させた $^{13}\text{CO}_2$ が翌年に形成された木部内にも含まれていたことを報告している。つまり、前年に貯蔵された光合成産物は翌年の木部形成に利用されていることがわかる。また、 ID_{ar} は当年活動期の $T_{\text{mean(m)}}$ との相関関係が正の関係であったのに対して、前年活動期の $T_{\text{mean(m)}}$ とで負の関係であったことから、翌年に利用可能な光合成産物の貯蔵量を増減させるのが前年活動期の生産量ならば前年と当年とで同じ符号 (正負) の r が確認されるはずである。したがって、前年活動期の消費量が気温によって増減し、光合成産物の貯蔵量が変動することで翌年の年輪内平均密度の大小に影響が生じている可能性がある。

また、樹種によって有意な r が認められた時期に違いがあったが、前年に生産された光合成産物の貯蔵と利用について、樹種ごとの違いは不明であるため、今後検討したい。

3.5 ID_{ar} と当年活動期の $P_{\text{days(m)}}$ との相関関係

スギ以外6樹種の ID_{ar} と当年6月から9月の $P_{\text{days(m)}}$ との間に有意な負の相関関係が認められたが、特に6月において顕著であり、アカマツ以外の5樹種は6月以降9月に至るまで r の絶対値は減少するとともに有意な相関関係が認められた樹種数も次第に減っていた (Fig. 1, 右6段目)。この相関関

係は ID_{ar} と当年活動期の $T_{mean(m)}$ との相関関係とほぼ同じ時期であるが、6月においては明らかに $P_{days(m)}$ との方が $T_{mean(m)}$ との間の r より大きかった。一方で、この時期の $H_{mean(m)}$ や $P_{total(m)}$ と ID_{ar} との間には有意な r がほとんど認められなかった。また、同時期の $P_{days(m)}$ と IW_{ar} との間に有意な r は認められなかった。

奥多摩では、6月から9月の $P_{days(m)}$ は約16日と、年間で最も多くなる時期であり、特に、6月初旬から7月中旬までは梅雨である。雨天は日射量を減少させるだけでなく、雨滴によって葉が濡れることで光合成が抑制されるとの報告がある¹⁹⁾。さらに、降雨によって樹幹表面の温度や林内の気温が低下することで形成層や新生木部細胞の温度も低下するだろう。形成層や分化中の仮道管は温度の変化に直接的に反応すると論じた報告²⁰⁾ があることから、形成層や新生木部細胞の温度低下によって木部形成の効率が低下する可能性がある。

一方、上記したように同時期の $P_{days(m)}$ と IW_{ar} との間に有意な r は認められないため、木部細胞の数や径の増減による年輪内平均密度の影響が、この相関関係の主要な制限要因ではないと考える。したがって、 $P_{days(m)}$ の多寡は、水分の多少ではなく光合成や木部形成の効率を左右させることで、木部細胞の壁厚に影響が生じている可能性がある。そのため、特に雨天や曇天が多い6月においては $T_{mean(m)}$ とよりも $P_{days(m)}$ との方が ID_{ar} との間の r が大きかったと考える。

3.6 気温に関する気候変数と樹木年輪指数との関係

気温に関する気候変数 ($T_{max(m)}$, $T_{min(m)}$, $T_{mean(m)}$) に着目するとこれら3者と樹木年輪指数との相関関係にはそれぞれ似た傾向が確認できた (Fig. 1, 1~3段目)。また、それぞれの月や樹種において認められた有意な r の中で絶対値が最も大きかった相関関係の数は IW_{ar} , ID_{ar} とともに $T_{max(m)}$ で最も多かった (Fig. 3)。 $T_{min(m)}$ は有意な相関関係が少なく、 r の絶対値は小さかった。そして、 $T_{mean(m)}$ はそれらの中間的な傾向であった。一方で、 IW_{ar} と休止期の気温との相関関係や ID_{ar} と当年活動期の気温との相関関係においては有意な r が認められた時期が $T_{min(m)}$, $T_{mean(m)}$, $T_{max(m)}$ の順に遅れている傾向が確認され、 $T_{mean(m)}$ と $T_{min(m)}$ が、 $T_{max(m)}$ よりも大きい絶対値の r が認められた相関関係もあった。

$T_{mean(m)}$ よりも $T_{max(m)}$ や $T_{min(m)}$ の方が樹木年輪変数との間に絶対値の大きい r が認められた報告がある²¹⁻²⁵⁾。その中では $T_{max(m)}$ との r の絶対値が大

Fig. 3. The number of significant correlation coefficients that are greatest for $T_{max(m)}$, $T_{mean(m)}$, and $T_{min(m)}$ for each month and each species. These coefficients were calculated between tree-ring indices and climate parameters.

Legends: IW_{ar} : annual ring width index, ID_{ar} : annual ring density index, $T_{max(m)}$: monthly maximum temperature, $T_{mean(m)}$: monthly mean temperature, $T_{min(m)}$: monthly minimum temperature.

きいと報告が多く、本報告も同様な結果といえる。つまり、傾向が似ているとはいえ $T_{min(m)}$ や $T_{mean(m)}$, $T_{max(m)}$ にはそれぞれ異なった情報が含まれている可能性がある。

日最高気温 ($T_{max(d)}$) と日最低気温 ($T_{min(d)}$) について、気象庁秩父観測所 (埼玉県) の1時間ごとの気象資料 (2007年) を見ると、 $T_{max(d)}$ は、1年を通して14時に最も多く観測され、11時から18時の間に観測されていた。 $T_{min(d)}$ は、日の出の時間が季節により異なるため冬は7時、春と秋では6時、夏では5時に最も多く観測され、3時から7時の間に観測されていた。つまり、 $T_{max(d)}$ や $T_{min(d)}$ は1日の最高値や最低値を示すだけでなく、それぞれ「日中の気温」や「明け方から早朝の気温」を示しているともいえる。

休眠期における $T_{max(d)}$ や $T_{min(d)}$ に対する樹木の成長応答について、本報では用いていないポプラの冬芽についての報告ではあるが、冬休眠を解除するためには一定期間の低温が必要になり、そして $T_{max(d)}$ が開芽可能温度を上回る日が続くようになると、冬芽の中にある葉原基が開芽に向けて成長を始める⁹⁾ とされている。一方で、形成層活動期における $T_{max(d)}$ や $T_{min(d)}$ に対する樹木の成長応答については不明であるが、成長期の細胞壁成分の堆積には日周期性があること²⁶⁾ が報告されている。また、

形成層や分化中の仮道管は温度の変化に直接的に反応すると論じた報告²⁰⁾や、 $T_{\max(d)}$ や $T_{\min(d)}$ と樹木年輪指数との関係を検討し、 $T_{\max(d)}$ を昼間の気温、 $T_{\min(d)}$ を夜間の気温として考察した報告²⁵⁾がある。また、光合成は日射のある昼間に行なわれており、光合成速度は気温によっても影響を受けることが知られている²⁷⁾。

$T_{\min(m)}$ と $T_{\max(m)}$ に対する成長応答の違いが、「明け方から早朝の気温」と「日中の気温」に対する成長応答の違いであるかどうか樹木年輪年代学的手法を用いた研究事例を蓄積するとともに、他の方法での検討が必要である。しかし、そのようなことが明らかにになれば“形成層活動の再開に及ぼす休止期の気温の影響”や“細胞壁の肥厚に及ぼす当年活動期の気温の影響”は1日の中でも「日中の気温」に関連していると同時に、その影響が表れ始める時期には「明け方から早朝」に生じる最低気温に関連していると、本報での結果を考察できる。

4. 結 論

東京都西多摩郡奥多摩町に生育する7樹種の樹木年輪指数と気候変数との間の相関関係について検討し、以下の結論を得た。

1. 多くの樹種間に共通した有意な相関関係が、① IW_{ar} と当年1月から3月の月平均気温との間、② ID_{ar} と当年5月から8月の月平均気温との間、③ ID_{ar} と前年5月から7月の月平均気温との間、④ ID_{ar} と当年6月から9月の月降水日数との間で確認され、異なる樹種が共通した気候応答を行っている可能性があることが分かった。

2. 上記した樹種間に共通した4つの相関関係には樹種による違いも確認できた。どの樹種がより気候変数との間に有意な相関関係が表れやすいということはなく、その違いは樹種による特徴が表れている可能性があることが分かった。

3. $T_{\max(m)}$ と $T_{\min(m)}$ と $T_{\text{mean}(m)}$ は、樹木年輪指数との相関関係が似た傾向であったが、 $T_{\max(m)}$ は $T_{\text{mean}(m)}$ や $T_{\min(m)}$ よりも樹木年輪指数との間に有意な相関関係が多く、その r の絶対値は大きかった。そして、 $T_{\min(m)}$ を「明け方から早朝の気温」、 $T_{\max(m)}$ を「日中の気温」として樹木の気候応答を考察することは有用であると考ええる。

以上のように、同一地域に生育する複数樹種を同時に扱い共通点を検討することで、樹木年輪情報と気候情報との関係を明確にでき、樹木年輪年代学解析による樹木の気候応答に関する研究結果の信頼性や意義を高めることができると考える。一方で、

樹木年輪と気候との関係を考察するにあたって生育地における木部形成過程や光合成産物の利用などの情報を把握することが重要である。

謝 辞

樹木年輪の測定には、独立行政法人森林総合研究所組織材質研究室のX線撮影装置および測定装置などを使用させていただいた。また、同研究室の藤原健博士には多くの助力と助言をいただいた。気象資料は東京都水源地局水源地事務所から提供していた。ここに記して深く感謝する。

文 献

- 1) 桃井尊央, 大林宏也, 栃木紀郎, 小林 純, 塩倉高義: 東京都奥多摩地域に生育する樹木の気候応答に関する樹木年輪年代学解析(第1報) 7樹種における樹木年輪クロノロジーの構築. 木材学会誌 59(1), 13-21 (2013).
- 2) Takahashi, K., Okuhara, I.: Comparison of climatic effects on radial growth of evergreen broad-leaved trees at their northern distribution limit and co-dominating deciduous broad-leaved trees and evergreen conifers. *Eco. Res.* 27, 125-132 (2012).
- 3) Fujiwara, T., Okada, N., Yamashita, K.: Comparison of growth response of *Abies* and *Picea* species to climate in Mt. Norikura, central Japan. *J. Wood Sci.* 45, 92-97 (1999).
- 4) Tardif, J., Brisson, J., Bergeron, Y.: Dendroclimatic analysis of *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, and *Tsuga Canadensis* from an old-growth forest, southwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* 31, 1491-1501 (2001).
- 5) Watson, E., Luckman, B. H.: The dendroclimatic signal in Douglas-fir and ponderosa pine tree-ring chronologies from the southern Canadian Cordillera. *Can. J. For. Res.* 32, 1858-1874 (2002).
- 6) Graumlich, L. J.: Response of tree growth to climatic variation in the mixed conifer and deciduous forests of the upper Great Lakes region. *Can. J. For. Res.* 23, 133-143 (1992).
- 7) Cook, E. R., Peters, K.: The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bull.* 41, 45-53 (1981).
- 8) 島地 謙: 樹木の形成層活動. 木材研究・資料

- No. 13, 35-46 (1979).
- 9) 永田 洋: 樹木の季節適応. “樹木環境生理学”, 永田 洋, 佐々木恵彦編, 文永堂出版, 東京, 2002, pp. 4-45.
 - 10) Priestley J. H.: Studies in the physiology of cambial activity I. Contrasted types of cambial activity. *New Phytol.* **29**, 56-73 (1930).
 - 11) 渡辺治人: “木材理学総論”, 農林出版, 東京, 1978, p. 20.
 - 12) Oribe, Y., Funada, R., Shibagaki, M., Kubo, T.: Cambial reactivation in locally heated stems of the evergreen conifer *Abies sachalinensis* (Schmidt) Msaters. *Planta* **212**, 684-691 (2001).
 - 13) Wang, L., Payette, S., Begin, Y.: Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec. *Can. J. For. Res.* **32**, 477-486 (2002).
 - 14) Momoi, T., Ohbayashi, H., Kobayashi, J.: Effects of climate variation on radial growth of *Pinus densiflora* in Okutama, Tokyo, Japan. *Phyton* **45**, 451-455 (2005).
 - 15) 桃井尊央, 大林宏也, 青山美土里, 小林 純: 東京都奥多摩におけるサワグルミの年輪構造と気象との関係. 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 札幌, 2004, p. 498.
 - 16) Negisi K.: アカマツ・スギ・ヒノキ1年生ナエのCO₂同化・呼吸・生長. 東京大学農学部演習林報告 No. 62, 1-115 (1966).
 - 17) 小見山章, 井上昭二, 石川達芳: 落葉広葉樹25種の肥大生長の季節性に関する樹種特性. 日本林学会誌 **69**(10), 379-385 (1987).
 - 18) Kagawa, A., Sugimoto, A., Maximov, T. C.: ¹³CO₂ pulse-labelling of photoassimilates reveals carbon allocation within and between tree rings. *Plant, Cell & Environ.* **29**, 1571-1584 (2006).
 - 19) Ishibashi, M., Usuda, H., Terashima, I.: The loss of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase caused by 24-hour “rain” treatment fully explains the decrease in the photosynthetic rate in bean leaves. *Plant Physiol.* **111**, 635-640 (1996).
 - 20) Begum S., Nakaba S., Yamagishi Y., Yamane K., Islam M. A., Oribe Y., Ko J. H., Jin H. O., Funada R.: A rapid decrease in temperature induces latewood formation in artificially reactivated cambium of conifer stems. *Ann. Bot.* **110**, 875-885 (2012).
 - 21) 齊藤達也: 年輪指標の計測方法について. 第2回「樹木年輪」研究会 専門研究報告会報告書 55-66 (1989).
 - 22) Youngblut, D., Luckman, B.: Maximum June-July temperatures in the southwest Yukon over the last 300 years reconstructed from tree rings. *Dendrochronologia* **25**, 153-166 (2008).
 - 23) Yu, D., Wang, G. G., Dai, L., Wang, Q.: Dendroclimatic analysis of *Betula ermanii* forests at their upper limit of distribution in Changbai Mountain, Northeast China. *For. Ecol. Management* **240**, 105-113 (2007).
 - 24) Pederson, N., Cook, E. R., Jacoby, G. C., Peteet, D. M., Griffin, K. L.: The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia* **22**, 7-29 (2004).
 - 25) Wilson, R. J. S., Luckman, B. H.: Tree-ring reconstruction of maximum and minimum temperatures and the diurnal temperatures range in British Columbia, Canada. *Dendrochronologia* **20**, 257-268 (2002).
 - 26) Yoshida, M., Hosoo, Y., Okuyama, T.: Periodicity as a factor in the generation of isotropic compressive growth stress between microfibrils in cell wall formation during a twenty-four hour period. *Holzforschung* **54**, 469-473 (2000).
 - 27) Larcher, W.: 炭素の利用と物質生産. “植物生態生理学 第2版”, Larcher, W., (佐伯敏郎, 館野正樹監訳), シュプリンガー・フェアラーク 東京, 東京, 2004, pp. 17-125.