

2017 年度

組織と材質研究会

秋季シンポジウム・

「樹木年輪」研究会

講演要旨集

2017 年 11 月 18 日（土）～ 20 日（月）

名古屋工業大学

主催 日本木材学会 組織と材質研究会
日本樹木年輪研究会

2017 年度 組織と材質研究会秋季シンポジウム・「樹木年輪」研究会

日時：2017 年 11 月 18 日(土)－20 日(月)

場所：名古屋工業大学 2 号館 1 階 0211 講義室 (合同シンポジウム)、
4 号館 1 階ホワイエ (ポスター発表)、4 号館 2 階会議室 3 (口頭発表)
東京大学生態水文学研究所赤津研究林 (エクスカーション・講習会)
主催：日本木材学会 組織と材質研究会、日本樹木年輪研究会

11 月 18 日 (土)

13:00－17:00 樹木年輪研究会・組織と材質研究会 合同シンポジウム
－大気水環境の変動が年輪として記録されるまで－
17:30－19:30 懇親会 「カフェ・サラ」(名古屋工業大学 校友会館 1 階)

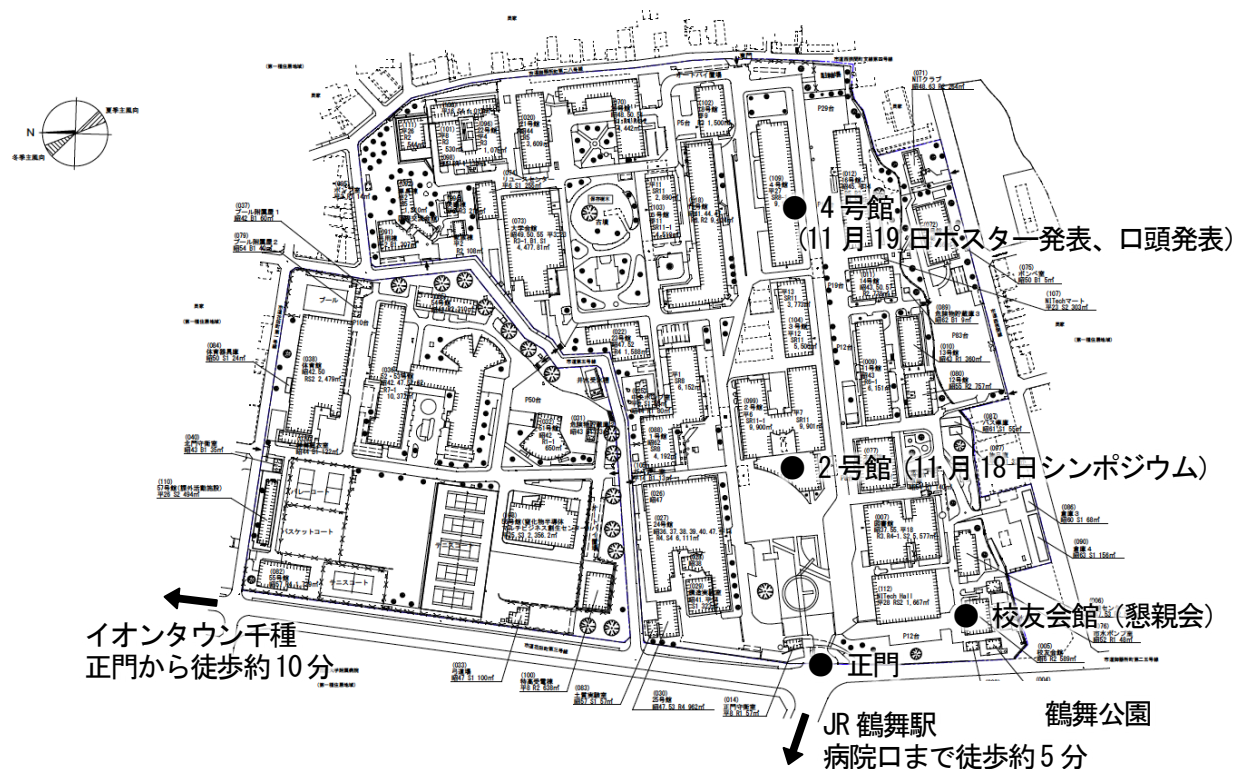
11 月 19 日 (日)

10:30－12:00 「樹木年輪」研究会 ポスター発表コアタイム
13:00－15:10 「樹木年輪」研究会 口頭発表
15:30－16:00 日本樹木年輪研究会総会

11 月 20 日 (月)

10:00－12:00 エクスカーション 東京大学生態水文学研究所赤津研究林 (愛知県瀬戸市)
13:00－15:00 「成長錐コア自動採取装置」講習会 同研究林内 (森林総研 香川聡氏主催)

会場案内図



プログラム

11月18日（土） 樹木年輪研究会・組織と材質研究会 合同シンポジウム 「大気水環境の変動が年輪として記録されるまで」

12:30-13:00 受付

13:00 開会挨拶

（座長：庄 建治朗）

13:00-13:40 S-1

年輪内の酸素同位体比変動と気候変動および肥大成長フェノロジー

○庄建治朗¹・飯島友²・植村立³・佐野雅規⁴・對馬あかね⁵・中塚武⁵

1 名古屋工業大学大学院工学研究科、2 南大東村地域おこし協力隊、3 琉球大学理学部、4 早稲田大学人間科学学術院、5 総合地球環境学研究所

13:40-14:20 S-2

森林群落内外の微気象

○中井太郎¹

1 名古屋大学宇宙地球環境研究所

14:20-15:00 S-3

森林における水の動きと土壌水・植物体内水の酸素・水素安定同位体比

○小杉緑子¹・勝山正則²

1 京都大学農学研究科、2 京都大学学際融合教育研究推進センター

15:00-15:20 休憩

（座長：安江 恒）

15:20-16:00 S-4

樹幹における水移動経路の多様性

○内海泰弘¹

1 九州大学北海道演習林

16:00-16:40 S-5

¹³Cラベリングによる光合成生産物の樹幹内転流の把握

○檀浦正子¹

1 京都大学大学院地球環境学堂

16:40-17:00 総合討論（司会：安江 恒）

17:30-19:30 懇親会 カフェ・サラ（名古屋工業大学構内）

11月19日(日) 2017年度「樹木年輪」研究会

10:00-10:30 受付

ポスター発表

10:30-12:00 「樹木年輪」研究会ポスター発表コアタイム

P-1

立山に生育するキタゴヨウの年輪幅、年輪内最大密度を用いた気候復元

○下里瑞菜¹・Zhang Chong²・平英彰³・中塚武⁴・佐野雅規⁴・安江恒⁵

1 信州大学大学院総合理工学研究科、2 信州大学農学部、3 タテヤマスギ研究所、4 総合地球環境学研究所、5 信州大学山岳科学研究所

P-2

立山美女平のオンバスギ落枝の食害痕の解析

○加藤輝隆¹・石黒友里¹・松浦崇遠²

1 横浜薬科大学、2 富山県森林研

P-3

食葉性昆虫による食害がカラマツの年輪構造に及ぼす影響

○丸山賢一¹・内海泰弘²・中村琢磨²・大野泰之³・安江恒⁴

1 信州大学農学部、2 九州大学農学部北海道演習林、3 北海道林業試験場、4 信州大学山岳科学研究所

P-4

休眠期コナラ樹幹に対する局所的加温処理が孔圏道管形成に与える影響

○工藤佳世¹・織部雄一朗²・鍋嶋絵里³・Shahanara Begum⁴・山岸祐介⁵・半智史⁶・安江恒⁷・高田克彦¹・船田良⁶

1 秋田県立大学木材高度加工研究所、2 森林総合研究所東北育種場、3 愛媛大学農学部、4 Bangladesh Agricultural University、5 北海道大学農学部、6 東京農工大学農学部、7 信州大学農学部

P-5

¹³CO₂ ラベリングを用いたヒノキ樹幹における光合成生産物の転流の追跡 -セルロース抽出の有無による比較-

○猪野紫穂¹・庄司岳¹・香川聡²・檀浦正子³・小林元⁴・平野優⁵・齊藤智寛⁵・安江恒⁶

1 信州大学農学部、2 森林総合研究所、3 京都大学大学院地球環境学堂、4 信州大学農学部 AFC、5 信州大学大学院総合工学系研究科、6 信州大学山岳科学研究所

P-6

年輪に見られる宇宙線イベント：単年以下の精度の ¹⁴C データ

○三宅美沙¹・増田公明¹・中村俊夫¹・箱崎真隆²・木村勝彦³

1 名古屋大学宇宙地球環境研究所、2 国立歴史民俗博物館、3 福島大学共生システム理工学類

12:00-13:00 昼休み

口頭発表

(座長：加藤 輝隆)

13：00－13：30 T-1

年輪セルロース酸素・水素同位体比の統合による中部日本の長期降水量変動の復元

○中塚武¹・佐野雅規²・李貞¹・對馬あかね¹・重岡優希³

1 総合地球環境学研究所、2 早稲田大学人間科学、3 名古屋大学環境学研究科

13：30－13：50 T-2

日本各地に生育するブナの年輪幅に影響する気候要因

○沈昱東¹・涌井幸子²・竹原優子²・星野安治³・内海泰弘⁴・鎌田直人⁵・野堀嘉裕⁶・市栄智明⁷・村岡裕由⁸・齋藤琢⁸・平野優¹・安江恒⁹

1 信州大学大学院総合工学系研究科、2 信州大学農学部、3 奈良文化財研究所、4 九州大学大学院農学研究院、5 東京大学北海道演習林、6 山形大学農学部、7 高知大学農林海洋科学部、8 岐阜大学流域圏科学研究センター、9 信州大学山岳科学研究所

13：50－14：10 T-3

モンゴル永久凍土地帯の斜面上部・下部に生育するカラマツ・ゴヨウマツの肥大成長の気候応答

○安江恒¹・福島航希²・松浦陽次郎³・志知幸司³・Nachin Baatarbileg⁴・城田徹央²

1 信州大学山岳科学研究所、2 信州大学農学部、3 森林総合研究所、4 Mongol National University

14：10－14：40 T-4

ヒノキアスナロの偽年輪

○箱崎真隆¹

1 国立歴史民俗博物館

14：40－15：10 T-5

新しい成長錐コア自動採取装置の仕様および性能

○香川聡¹・藤原健¹

1 森林総合研究所木材加工・特性研究領域組織材質研究室

15：10－15：30 休憩

15：30－16：00 日本樹木年輪研究会総会

11月20日（月） エクスカーション・講習会

10：00－12：00 エクスカーション 東京大学生態水文学研究所赤津研究林（愛知県瀬戸市）

12：00－13：00 昼休み

13：00－15：00 「成長錐コア自動採取装置」講習会 同研究林内

エクスカーション・講習会について

実施場所：東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林 生態水文学研究所 赤津研究林
(愛知県瀬戸市北白坂町 1-1)

集合日時：11 月 20 日（月）9:30 名鉄瀬戸線 尾張瀬戸駅 改札口付近（現地集合の場合は 9:50）

尾張瀬戸駅までの交通手段：

(JR 中央線) 名古屋 8:21 発→鶴舞 8:29 発→大曽根 8:34 着（乗り換え）
名古屋 8:30 発→鶴舞 8:38 発→大曽根 8:43 着（乗り換え）
名古屋 8:35 発→鶴舞 8:43 発→大曽根 8:48 着（乗り換え）
(名鉄瀬戸線) 栄町 8:37 発→大曽根 8:46 発→尾張瀬戸 9:14 着
栄町 8:47 発→大曽根 8:56 発→尾張瀬戸 9:24 着

- ※ エクスカーションは、東京大学生態水文学研究所の広嶋卓也先生（所長）、田中延亮先生（所長補佐）、梁瀬桐子様（技術職員）に、研究林内の量水堰や長期生態系プロットをご案内いただく予定です。
- ※ 現地までの公共交通機関が無いため、尾張瀬戸駅からタクシーに分乗して移動する予定です（タクシー代は参加費に込み）。尾張瀬戸駅までの交通費は各自でご負担下さい（大曽根－尾張瀬戸 片道 400 円）。
- ※ 午後の講習会に参加の場合、昼食は各自でご持参下さい。現地研究林の周辺には食堂やコンビニはありません。

年輪内の酸素同位体比変動と気候変動および肥大成長フェノロジー
**Relationships between intra-ring variation of tree ring oxygen isotope and climate,
 and phenology of the thickening growth**

庄建治朗^{1*}・飯島友²・植村立³・佐野雅規⁴・對馬あかね⁵・中塚武⁵
 Kenjiro Sho^{1*}, Yu Iijima², Ryu Uemura³, Masaki Sano⁴, Akane Tsushima⁵, Takeshi Nakatsuka⁵

¹名古屋工業大学 (Nagoya Institute of Technology)

²南大東村地域おこし協力隊 (Minamidaito Village Local Vitalization Cooperator)

²琉球大学理学部 (Faculty of Science, University of the Ryukyus)

²早稲田大学人間科学学術院 (Faculty of Human Sciences, Waseda University)

²総合地球環境学研究所 (Research Institute for Humanity and Nature)

*Correspondence to: Kenjiro Sho; E-mail: show@nitech.ac.jp

1. はじめに 年輪内セルロースの酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は、年輪幅等と比較して個体間の相関が高く、湿度や気温など過去の気候変動を復元する資料として多く用いられている。また近年では、同位体比分析装置と試料作製技術の進歩により、1年輪ごとの値だけでなく、年輪内の細かな変動まで連続的に測定することも可能になった。ここでは、沖縄と本州中部の比較的年輪幅の広い樹木試料を用い、年輪内の詳細な酸素・炭素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$) を測定した結果と、その気候環境との関係、樹木生理・肥大成長について示唆されることを述べる。

2. 試料と方法 沖縄島の名護及び与那において2012年夏に採取したリュウキュウマツ (*Pinus luchuensis*) 現生木各1個体(それぞれ“N104”、“YD”とする)と、滋賀県南部の太神山中で1994年に採取したヒノキ (*Camaecyparis obtusa*) 現生木2個体(“F11”、及び“A5”とする)を用いた。N104はコア標本、他は円盤標本である。それぞれ成長方向に細長い木口面の薄板に加工し、「板ごと抽出法」(Kagawa *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2011)によりセルロースを抽出した後、実体顕微鏡下で眼科用ナイフを用いて測定用試料を切り出した。沖縄のリュウキュウマツについては、形成層下から0.5 mm (N104)又は0.25 mm (YD)成長量ごとに分割し、太神山ヒノキについては、年輪幅に応じて、2、6、12、又は24セグメントに各年輪内を等分割した。同位体比測定は、熱分解元素分析計—オンライン同位体質量分析システム(Thermo Fisher TCEA-Delta V Advantage)を用いて各試料2回ずつ行った。また、沖縄島南部の大里において、2008年4月以降、週毎の降水サンプルを採取し、降水量と降水の酸素安定同位体比を測定した。

3. 結果と考察 N104についての $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の測定結果を図1(上)に示す。この標本は長さ7.3cmのコアに7個の成長輪が見られ、最外部を除いて成長輪境界は不明瞭である。 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ ともに周期的な変化が見られ、 $\delta^{18}\text{O}$ のピーク(グラフでは上下反転)が晩材から早材に移行する箇所(グラフ下部の横軸上に表示)に概ね対応している。これと名護における相対湿度と日照時間の観測データ(21日移動平均、図1下)を比較すると、 $\delta^{18}\text{O}$ は相対湿度と、 $\delta^{13}\text{C}$ は日照時間と良く対応していることが分かる。特に $\delta^{18}\text{O}$ については、月単位以下の時間スケールでの細かな変動まで対応関係が明瞭に認められる。N104とYDの間にも、 $\delta^{18}\text{O}$ の変動に密接な対応関係が見られた。

滋賀県太神山のヒノキについても、24分割で測定した年輪については、年輪内の $\delta^{18}\text{O}$ 変動と成

長期の相対湿度(21 日移動平均)との間に密接な対応関係が認められた。12 以下の分割数では、年輪内変動の個々のピークまで相対湿度の変動と対応づけるのは困難であった。また、 $\delta^{13}\text{C}$ については、N104 のような日照時間の変動との密接な関係は見出されなかった。これは、沖縄のリュウキュウマツ、特に N104 では、休眠期が非常に短く炭素貯蔵の効果が小さいためと考えられる。

沖縄リュウキュウマツ(N104)について、 $\delta^{18}\text{O}$ と相対湿度の変動のピークを照合することにより、標本を 0.5mm 毎に分割した各セグメントが形成された時期(正確には、木部セルロース形成に使用された水が葉内で同位体分別を受けた時期)の推定を試みた。その結果、試料木の成長期は 2 月頃から翌年 2 月頃までで休眠期はほとんど無いこと、成長速度は年間を通してあまり変化せず、季節成長パターンは年により 1~2 カ月程度前後する場合があることが分かった(図 2)。さらに、樹木セルロースの $\delta^{18}\text{O}$ と相対湿度、降水の $\delta^{18}\text{O}$ を関連づけるモデル式(Anderson *et al.*, 2002)を用いて、週単位の降水 $\delta^{18}\text{O}$ と気象観測データから N104 のセグメントごとのセルロース $\delta^{18}\text{O}$ をフォワードモデルにより再現することを試みたところ、再現値と実測値の変動に非常に良い対応が見られた。その際、降水 $\delta^{18}\text{O}$ の 3 週間平均値を入力データとして与え、セルロース合成時に混合する葉内水と土壌水の時間差を 3 週間と設定した時にモデルの再現性が最も高くなったことから、年輪内には数週間程度の平均的な環境変動が記録されていると考えられる。

太神山ヒノキについては、分割数 6~24 の年輪について、6 分割の $\delta^{18}\text{O}$ 値に換算した上で、年輪内 $\delta^{18}\text{O}$ 測定値と相対湿度観測データの重複する期間(F11 では 1958~1993 年、A5 では 1935~1994 年)について、 $\delta^{18}\text{O}$ 値と旬単位での期間の平均相対湿度との相関が最も強くなるかをセグメントごとに求めた。その結果、最も早材側のセグメント(第 1 セグメント)については、F11 では 6 月上~中旬($R=-0.66$)、A5 では 5 月上~6 月上旬($R=-0.78$)、最も晩材側のセグメント(第 6 セグメント)については、F11 では 7 月上旬($R=-0.52$)、A5 では 9 月下~10 月中旬($R=-0.76$)の平均相対湿度との相関が最も強く、同一サイト内でも個体間で成長期の終期が大きく異なることが示唆された。

4. まとめ 以上から、セルロース酸素同位体比の年層内変動データは、月単位ないしそれ以上の高時間分解能で過去の湿度変動を復元するツールとして有用である。特に、熱帯・亜熱帯地域では、休眠期が短いか全く無いため、温帯地域では休眠期となる冬の気候環境に関する情報が得られるとともに、貯蔵炭素の効果が小さいことから、年輪内炭素同位体比データを過去の日照時間を復元するツールとして利用できる可能性がある。さらに、詳細に測定した年輪内 $\delta^{18}\text{O}$ データは、近接した地点で相対湿度の観測データが得られる場合、その変動パターンと照合することで、長期にわたる肥大成長のフェノロジーを推定する「過去に遡るデンドロメータ」として利用できる可能性がある。

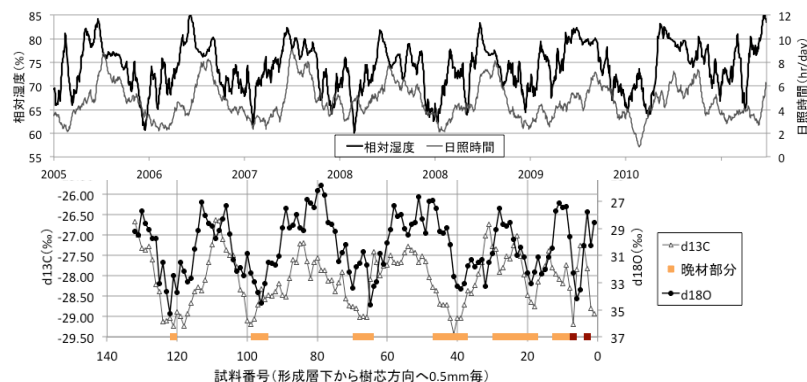


図 1 酸素・炭素安定同位体比測定値(下)と名護における相対湿度・日照時間(21 日移動平均、上)

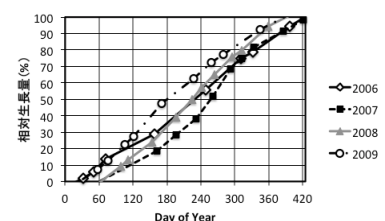


図 2 推定した N104 の季節成長パターン

Keywords: 樹木年輪セルロース;酸素同位体比;年層内変動;相対湿度;リュウキュウマツ

森林群落内外の微気象 Micrometeorology within and above forest canopies

中井 太郎^{1*}

Taro Nakai^{1*}

¹ 名古屋大学宇宙地球環境研究所(Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya Univ.)

**Correspondence to: Taro Nakai; E-mail: taro.nakai@gmail.com*

1. 森林内外の気象状態量の鉛直分布と熱・物質交換の特徴

森林は、大気との間で熱・水・炭素などを交換し、その過程で群落内外に独特の微気象を形成しています。森林は大小様々な樹木によって構成されており、鉛直方向に複雑な構造を持っています。日中は日射によって森林群落上端が最も加熱されるため、一般に日中の気温の鉛直分布は葉が密集する林冠部分で最も高くなり、夜間は逆に林冠部分が最も低くなります。また水蒸気の鉛直分布は、日中に蒸散が盛んに起きる林冠部分で極大が現れるほか、湿った林床付近が最も高くなることが多いです。これらの鉛直分布は、森林の群落構造によっても変わってきます。

森林は、裸地や草地に比べて群落表面の凹凸が大きく、それによって空気の流れに対して「粗い」表面を作っています。この粗さによって、空気の乱れ(機械的乱流)が作られて空気の「渦」が生じ、その渦が森林群落に入り込むことで、周辺の空気を森林群落内部に輸送し、群落内部の空気を外に排出します。このメカニズムにより、熱や水蒸気は森林群落内部から外に輸送され、大気と混合されます。また、周辺大気中の二酸化炭素が群落内部に送られます。森林ではその空気力学的な「粗さ」によって、効率よく周辺の空気が群落内部に送られるため、葉は群落上の周辺大気に近い条件の空気との間で蒸発散や光合成を行うことができます。つまり、森林は周辺大気との「カップリング」が強いのです。これは、草地のように表面が滑らかな群落では上を流れる空気は乱れが小さいため、周辺大気とのカップリングが弱いのと対照的です。

2. 短い時間スケールでは、森林群落内外の温度分布に何が起きているのか？

一般的に、温度や湿度、二酸化炭素の空間(鉛直)分布を見るときには、例えば30分といった時間で平均した値を用います。ところが、森林群落の内外ではダイナミックな空気の動きによって、この30分間という短い間にも様々な変化を見せます。このことは、森林と大気との熱・水・物質交換を測定して理解する際に、重要になってきます。私は以前、北海道大学附属雨龍研究林のダケカンバ林と針広混交林でフラックス(熱・水・炭素収支)の観測を実施しており、その一環で細線熱電対を用いて群落内外の気温鉛直分布の短時間変動を調べましたので、その結果をお示しします。温度変動は10Hzで測定しました。そのため、日変化よりさらに短い、空気の動きにともなう短時間の温度変動を見ることができます。

森林において、日中に大気との熱交換が起きるときには、森林群落内の空気塊がまず加熱されます。そして一定時間が経過すると、森林群落上にある比較的低温の空気塊と群落内の加熱された空気塊を入れ替える大きな気流が発生します。このとき、低温と高温の空気の境目に、局所的に温度勾配が大きくなる微細前線(microfront)が見られます。こうして群落内の空気塊は低温にリセットされ、また加熱が始まります。この現象が連続することによって、森林群落内部から大気に向けて顕熱

(空気を暖めるする熱)が輸送されます。

観測対象の一つであるダケカンバ林(落葉広葉樹林)は、1979年に重機による掻き起こしが行われた後に成立した一斉林で、樹高が比較的そろっており、葉の分布は林冠部に集中し、林冠はほぼ閉じて表面がなめらかです。この森林で上述の気温鉛直分布観測を行った結果、微細前線をともなう組織的な温度環境変化が確認されました(図1)。また、着葉期の観測結果では、最も温度の高い位置、つまり顕熱輸送の熱源となる高さは、林冠の厚さの中央付近から林冠表面(頂部)に見られました。この熱源の高さは、落葉期には地表面付近になり、春先の融雪期には幹の中央付近に見られました。この融雪期には、雪に覆われた地表面付近で強い逆転(下に行くほど温度が低い鉛直分布)が確認されました。このことは、顕熱の一部が融雪の熱源に利用されていることを示唆しています。この森林ではまた、もう一つの特徴的な温度変動パターンの相違が見られました。着葉期において、風が強い条件では、空気塊の交換現象は群落全体で起こっていたのに対して、風が弱い条件では群落(林冠)より上のみで交換が行われ、群落内の空気はあまり輸送されていないようでした。このことから、風の強さ(特に「乱れ」の強さ)が群落内外の空気の交換や熱・物質輸送を支配し、ひいては林内の温度、湿度等の環境に強く影響することが示唆されました。

もう一つの森林である針広混交林では、細線熱電対による温度の鉛直分布測定に加えて、超音波風速計を用いて森林上と林床における顕熱フラックス(鉛直輸送量)も測定しました。その結果、日中の30分平均の気温鉛直分布には、春の融雪期と夏期で同様な鉛直分布の形状が見られ、森林群落高の半分ほどの高さに温度のピークがあり、地表面付近に逆転が見られました。ところが、同時に測定した林床の顕熱フラックスを見ると、融雪期には負の値(下向きの顕熱輸送)でしたが、夏期には正の値(上向きの顕熱輸送)でした。融雪期においては、気温の勾配と顕熱フラックスの向きは一致しており、温度勾配に沿った熱の流れによって幹の加熱による顕熱の一部が融雪の熱源として消費されていたと考えられます。一方、夏期の顕熱フラックスは温度勾配の向きに逆らっており、逆勾配(counter-gradient)フラックスが発生していたことが分かりました。このとき、気温鉛直分布の変動をみると、森林群落の中程の高さを中心に空気が加熱された後に、群落全体の空気塊が交換され、再び低温にリセットしていました。そのため、このときの顕熱輸送は、局所的な温度勾配ではなく、群落全体の空気塊を入れ替える大きな気流によって行われていたことが分かりました。

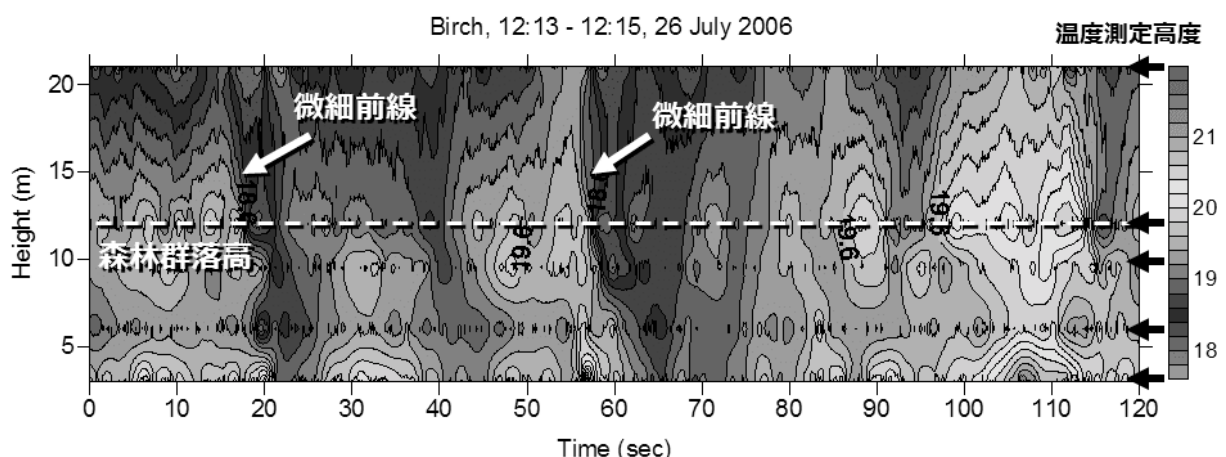


図1:ダケカンバ林の森林群落内外で2分間に起きた温度変動の時間-高さ断面図。

Keywords: 森林群落構造;カップリング;気温分布;微細前線

森林における水の動きと土壌水・植物体内水の酸素・水素安定同位体比 Water movement in the forest and $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ of soil and plant water

小杉緑子^{1*}・勝山正則²

Yoshiko Kosugi^{1*}, Katsuyama Masanori²

¹ 京都大学農学研究科 (Graduate school of Agriculture, Kyoto University)

² 京都大学学際融合教育研究推進センター (Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University)

**Correspondence to: Yoshiko Kosugi; E-mail: ykosugi@kais.kyoto-u.ac.jp*

本講演では、まず森林に降った降水の行方について、森林水文学における知見を概説する。

森林樹冠上に降った降水は、まず樹冠でその一部が捕捉され、降雨中および降雨直後に「遮断蒸発」として濡れた葉面上から蒸発する。残りは樹冠を通過あるいは枝葉から滴下する「樹冠通過雨」となるか、樹幹を伝って地表に到達する「樹幹流」となって、地面に到達する。地表面に到達する降雨が地中への浸透速度よりも大きい場合、浸透しきれない成分が「浸透余剰地表流(ホートン型地表流)」となって斜面を流下する。一般的に森林土壌では、浸透能が大きくホートン型地表流が発生しないとされているが、間伐遅れヒノキ林などで発生することがあり近年問題視されている。土壌に浸透した成分は、「不飽和浸透」によって深部へと浸透し、水文学的基盤面と呼ばれる透水性の低い場所で飽和帯を形成し、「飽和側方流」となって斜面下方に移動し、流出する。斜面の下部で飽和面が地表に出て「飽和余剰地表流(復帰流、飽和地表流)」として川道に流出する場合もある。また一部の水は水文学的基盤面の下へ浸透し、山体深部の地下水を涵養する成分となる。降雨後にも水は側方流として流出したり、深部に浸透を続ける。土壌の保水性と透水性の兼ね合いによってこのような一連の水の動きが決まる。また無降雨時には、植物根が主に不飽和土壌中に存在する水を吸収し、「蒸散」がおこる。また土壌の表面からも「土壌面蒸発」がおこるが、樹冠が閉鎖した森林ではこの成分は多くない。「蒸散」「遮断蒸発」「土壌面蒸発」の3つの成分を併せて「蒸発散」と呼ぶ。一例として、滋賀県の桐生水文試験地では、年間の降水量が 1660 ± 270 mm、このうち量水堰での流出量は 872 ± 241 mm、蒸発散量は 681 ± 81 mm、深部浸透量は 104 ± 44 mm と見積もられている(1972年~2016年の平均値)。また蒸発散量のうち蒸散量はおよそ62%程度と見積もられている(425 ± 37 mm, 2001-2007, Tsuruta et al 2016)。

土壌水・植物体内水の酸素・水素安定同位体比を考える上で重要なのは、不飽和土壌中の水が、その保持力によって、速やかに流下して地下水を涵養し流出に寄与する成分(=植物は使えない)、植物の蒸散活動に使われる水、土壌中に強く保持されて動かない水(=植物は使えない)、に分かれる点である。これらを決めるのは土壌の保水性および透水性の特性である。これに蒸散の多寡が加わって、植物の蒸散活動に使われる水がいつの降雨を起源とし、どれくらいの間不飽和土壌中にとどまり他の成分と混合していたものかが決まる。また、植物体内水の同位体比を考える上では、貯留水の寄与も考慮しなければならない。森林におけるこのような水の動きを念頭において、降水・土壌水・渓流水・植物体内水などの水の各成分における水素・酸素同位体比がどのように形成されるか、また森林の諸特性が違ふことによってどのような違いが生まれるかについて、我々の研究室でこれまでにいくつかのサイトで行われた観測結果に加えて、広く文献レビューも交えて紹介する。

Keywords: 森林水文学、蒸散、遮断蒸発、地表流、土壌水、地下水、渓流水、植物体内水

樹幹における水移動経路の多様性

内海泰弘¹

Yasuhiro Utsumi¹

¹九州大学農学研究院 (Graduate School of Agriculture, Kyushu University)

*Correspondence to: Y. Utsumi; E-mail: utsumi@forest.kyushu-u.ac.jp

はじめに

樹木にとって水は生存に不可欠な物質である。土壌から根に吸収された水は樹幹の木部を經由して葉まで移動し、蒸散により大気中に放出される。これは土壌から大気への鉛直方向の移動であり、陸域における水循環過程の一部ととらえることができる。一方、成長した樹木では二次木部内を水が水平方向にも移動し得る。一般に二次木部の中では辺材が根から樹冠方向への水分通道に関与していると考えられているが、木部の組織構造は不均一であるため、辺材内でも水の移動部位や移動速度には偏りが存在する。

水移動経路の種間差

組織レベルでの水移動の解析については木部に染色液を一定時間注入した後に、目的とする部位を採取し、その移動経路を顕微鏡により観察する染料注入法が広く用いられており、この手法により針葉樹と広葉樹それぞれで水分通道を行っている通水組織が解析されている。

針葉樹では一般に辺材の複数年輪の仮道管が水分通道に関与し、各年輪の全体ではなく早材で主に水分通道が行われていることが報告されている^{1,2)}。図1は蒸散しているモミの立木に酸性フクシン水溶液を胸高部位から吸引させた例である。光学顕微鏡像においても早材仮道管と放射系細胞間の細胞壁に染料の分布が認められるが(図1A 矢印)、蛍光像(図1B)ではより明瞭に前年の晩材仮道管に年輪境界部の数細胞を除いて染料の分布が認められないことがわかる³⁾。

一方、広葉樹ではその組織構造がより複雑になり、水の移動経路も多様になる。図2は環孔材樹種のコナラの樹幹に立木染色を実施した例である。注入部から10cm上では最外年輪の全体と2年輪目以降の孔圏外部が染色され、いずれの年輪でも水分通道を行っていることが分かる(図2A)。これに対して50cm上になると染色領域は最外年輪の孔圏部に限定される(図2B)。100cm上では染色強度は減衰するものの、染色範囲が最外年輪の孔圏部のみであることから(図2C)、コナラの主要な通水経路は最外年輪の孔圏道管であり、孔圏外道管は観察された範囲のすべての年輪において水分通道に補助

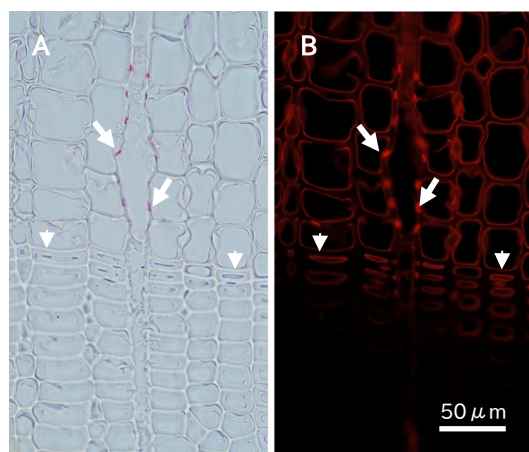


図1 モミ樹幹横断面における酸性フクシンの分布。
A 光学顕微鏡像, B 蛍光顕微鏡像。矢印は染色部位,
矢頭は年輪境界。

的な役割を持つことが示されている。

散孔材樹種では環孔材樹種のように最外年輪の孔圈道管が通水系路として卓越することではなく、辺材の複数年輪で水分通道が行われる。年輪内での通水経路は樹種により異なり、年輪全体の道管で通水を行う樹種、年輪前半部の道

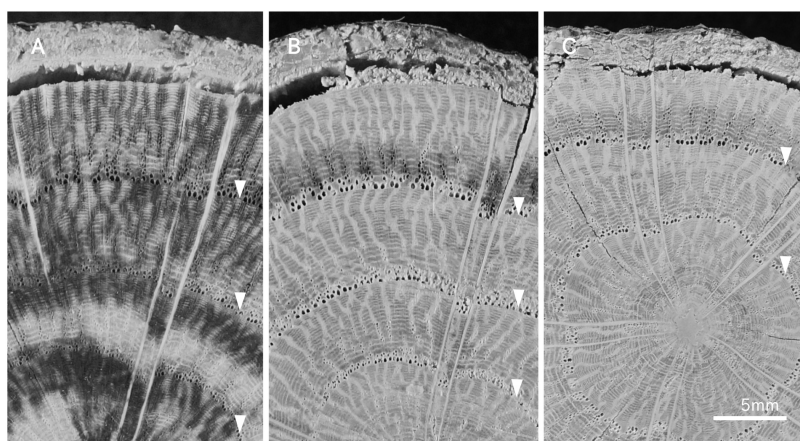


図2 コナラ樹幹横断面における酸性フクシンの分布. A 注入位置より 10cm 上部, B 注入位置より 50cm 上部, C 注入位置より 100cm 上部. 矢頭は年輪境界.

管で主に通水を行う樹種、年輪後半部の道管で主に通水を行う樹種が存在する^{4,5)}。

ストレス応答による水移動経路の個体内変化

同一樹種においても生育してきた環境に応じて樹幹の水移動経路が変化する場合もある。図3は冬期の樹幹凍結・融解頻度が異なる試験地におけるヤマウルシの立木染色の結果である。採取前年の冬に凍結・融解イベントが77回(図3A)および33回(図3B)起きた地域では、

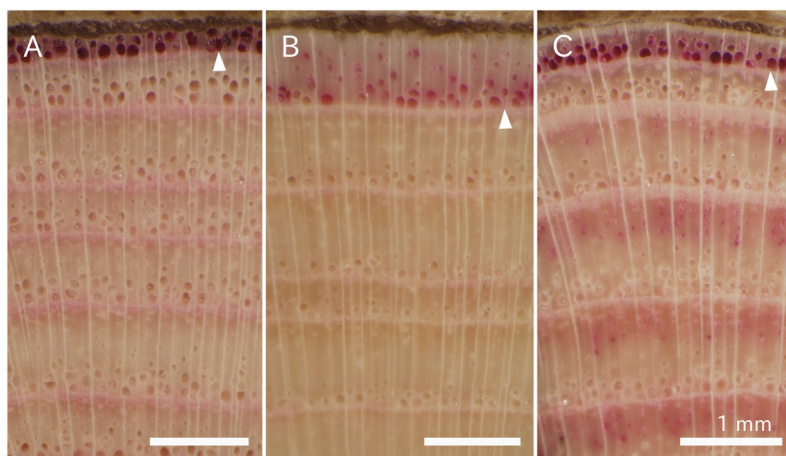


図3 採取地の異なるヤマウルシ樹幹横断面における酸性フクシンの分布. A 北海道足寄町, B 宮崎県椎葉村, C 福岡県篠栗町. 矢頭は年輪境界.

当年の孔圈道管だけでなく前年以前の孔圈外道管の通水機能もほとんど失われていた。一方で6回の凍結イベントが起きた地域(図3C)では複数年輪の多くの孔圈外道管が通水機能を維持していた⁶⁾。一般に水ストレスと凍結ストレスが通水要素から通水機能を消失させる主要因だとされており、これらの環境ストレスの頻度と強度に応じて同一樹種でも異なる通水様式を持つことが示唆される。

引用文献

- 1) Kozlowski, TT, Leyton L, Hughes JF (1965) Nature 205:830. 2) Kozlowski TT, Hughes, JF, Leyton L. (1966) Biorheology 3: 77-85. 3) 内海泰弘 (2013) 木材学会誌 59:1-12. 4) Umebayashi T, Utsumi Y, Koga S, Inoue S, Fujikawa S, Arakawa K, Matsumura J, Oda K (2008) IAWA J 29: 247-263. 5) Umebayashi T, Utsumi Y, Koga S, Inoue S, Matsumura J, Oda K, Fujikawa S, Arakawa K, Otsuki K (2010) Trees 24: 571-583. 6) Umebayashi T, Utsumi Y, Koga S, Murata I, Fukuda K (2016) Planta 244: 753-760.

Keywords: 通水経路; 環孔材; 散孔材; 水ストレス; 凍結ストレス

^{13}C ラベリングによる光合成生産物の樹幹内転流の把握
Photosynthate transfer in the tree using ^{13}C labeling technique

檀浦 正子^{1,2*}
Masako Dannoura^{1*}

¹ 京都大学地球環境学堂 (Graduation School of Global Environmental Studies, Kyoto University)

² 京都大学大学院農学研究科 (Graduation School of Agriculture, Kyoto University)

**Correspondence to: Masako Dannoura; E-mail: dannoura@kais.kyoto-u.ac.jp*

森林は、陸地面積の3分の1を占め、地球炭素循環において大きく複雑な機能をもつ。森林を構成する樹木は光合成によって大気から二酸化炭素を吸収し、光合成産物として樹体内に蓄え成長する。同時にエネルギーを得るために呼吸を行って二酸化炭素を大気に放出している。

ここで、森林を構成する木本植物の師部は、植物個体の中の炭素配分においても、森林生態系炭素循環の視点からも、重要な部分である。森林生態系においては、樹木によって得られた光合成産物を樹木を介して大気へと、また根を通して土壌へと送り込む働きがある。従来は光合成産物移動を説明するために、単純なシンクとソースの圧力差で物質が駆動されるという Münch (1930) の圧流説が唱えられてきたが、樹高が 10m を超えるような高木については、これまでの師液輸送モデルでは説明することができない (De Schaper, J. Exp. Bot. 2013)。そこで、この 10 年間でさまざまな物理的要素を組み込み理論的に改良された師部輸送モデルが提唱され始めている (Juske and Holttä, New Phytol., 2015, Woodruff, Tree Physiol., 2013)。問題は、これらの理論モデルは、実測値を用いて検証がされていないことである。

講演者は、これまで炭素安定同位体 (^{13}C) を光合成を利用して樹木に取り込ませ、それをトレースして炭素が運ばれる速度を測定する ^{13}C パルスラベリング手法を用いて樹体内炭素循環を測定してきた (檀浦ら、生態学会誌 2016)。ラベリング後の各部位の ^{13}C 同位体比を測定することで、樹体内に蓄積し成長に使われる炭素を、また呼吸中の ^{13}C 同位体比を測定することで、呼吸として放出される炭素を追跡することができる。その結果、裸子植物と被子植物では炭素輸送速度が大きく違うこと、炭素輸送速度には季節変動があること、乾燥ストレスによって輸送速度が低下することなどを明らかにしてきた。

これらの知見は、師部を通る炭素移動速度が様々な要因で変化することを示している。炭素移動速度をシンクとソースの圧力差による駆動力と、師部の形状や師液の粘性からなるコンダクタンスに規定され则认为ると、森林樹木内の光合成産物の移動をより詳細に考えることができる。本講演では、 ^{13}C ラベリングの概要、 ^{13}C ラベリングにより測定された師液輸送速度を、シンプルな師部輸送モデルと共に紹介する。

Keywords: carbon dynamics ; ^{13}C pulse labelling ; phloem transport

立山に生育するキタゴヨウの年輪幅、年輪内最大密度を用いた気候復元
Past climate reconstruction from tree-ring width and maximum density of
Pinus parviflora growing in Tateyama.

下里瑞菜^{1*}・Zhang Chong¹・平英彰²・中塚武³・佐野雅規⁴・安江恒⁵
Mizuna Shimozato^{1*}, Zhang Chong¹, Hideaki Taira², Takeshi Nakatsuka³, Masaki Sano⁴, Koh Yasue⁵

¹ 信州大学農学部(Faculty of Agriculture, Shinshu University)

² タテヤマスギ研究所(Tateyama Sugi Research Institute)

³ 総合地球環境学研究所(Research Institute for Humanity and Nature)

⁴ 早稲田大学人間科学学術院(Faculty of Human Sciences, Waseda University)

⁵ 信州大学山岳科学研究所(Institute of Mountain Science, Shinshu University)

*Correspondence to: Mizuna Shimozato; E-mail:17as408j@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

気候変動を予測する気候モデルの向上のためには、過去の気候復元を行い、データを充実させることが重要である。本研究では立山に生育するキタゴヨウ(*Pinus parviflora*)の年輪幅(RW)、年輪内最大密度(MXD)を用いて日本の中部地方における気候復元の可能性を検討した。

2. 方法

富山県中新川郡立山町ブナ坂(標高 1500 m)において 2015 年に 23 個体、2016 年に 22 個体、2017 年に 50 個体、合計 95 個体を供試した。腐朽した個体を除き 1 個体につき 2~3 方向よりコアを採取した。軟 X 線デンストメトリーにより RW 及び MXD を測定し、目視や統計学的手法(COFECHA プログラム)を用いてクロスディティンギングを行った。フィルター長 120 年のスプライン関数を用いて標準化を行い(ARSTAN for Win プログラム)、生育地を代表するクロノロジーを構築した。クロノロジーと気候要素(気温、降水量等)との単相関分析を算出した。相関が認められた気候要素の中から復元対象を選択し、重回帰式の作成、統計的検証を行った。

3. 結果と考察

RW、MXD のクロノロジーを構築したところ、最も年輪数の多い個体では 1367 年まで 648 年間遡った。気候要素との単相関分析の結果、RW クロノロジーは当年 12 月の平均気温、当年 5 月、12 月の最高気温、前年 7 月、当年 4 月の降水量と有意な負の相関、前年 7 月の日照時間、前年 5 月の降水量と有意な正の相関を示した。また、2016 年以前に採取した 27 個体の MXD クロノロジーは、当年 8~9 月の平均、最高、最低気温、当年 4 月の平均、最低気温、前年 11 月の最低気温と有意な正の相関を示した。さらに、当年 8 月の日照時間、前年 5 月の降水量と有意な正の相関、前年 7 月、当年 8 月の降水量と有意な負の相関を示した。

そこで、直線回帰した伏木特別気象観測所での 8~9 月の平均気温を気候復元の対象とし、①キタゴヨウの RW、MXD クロノロジーのみを用いた復元、②キタゴヨウの RW と MXD と立山スギの RW、仙丈岳コメツガの RW、MXD クロノロジーを用いた復元を試みた。キタゴヨウのみを用いた復元式は検証できなかった。キタゴヨウの RW、MXD のクロノロジーに加え、既存のクロノロジーを独立変数とした復元式を作成した結果、過去 380 年間の 8~9 月の平均気温を復元することができた。

Keywords: 年輪年代学;ゴヨウマツ;気候復元

立山美女平のオンバスギ落枝の食害痕の解析 Analysis of feeding damage of a fallen branch of “Ombasugi” (Granny cedar) standing at Bijodaira, Mt. Tateyama.

加藤輝隆¹・石黒娑友里¹・松浦崇遠²

Terutaka KATOH¹, Sayuri ISHIGURO¹, Takatoh MATSUURA

¹ 横浜薬科大学 (Yokohama University of Pharmacy)

² 富山県農林水産総合技術センター森林研究所 (Toyama Prefectural Agricultural, Forestry & Fisheries Research Center, Forestry Research Institute)

*Correspondence to: Terutaka KATOH; E-mail: t.katoh@hamayaku.ac.jp

Keywords: 食害痕; 穿孔性昆虫; フラス; オンバスギ; 樹木年輪年代学

1. はじめに

中部山岳国立公園立山地区の弥陀ヶ原溶岩台地の西端の美女平～上ノ小平にはタテヤマスギの巨木が多数存在する[富山森林管理署(2004)]。このうち、オンバスギと命名された樹高 22 m, 胸高直径 220 cm の個体の地上約 10 m の枝が 2014 年の残雪期に雪上で確認された。この落枝から採取した円盤試料には多数の食害痕が認められた[立山植生研究会(2017)]。

2. 試料の採取と年輪幅の測定, 年代決定

2016 年 8 月に採取した円盤試料の木口面をカンナがけし, サンドペーパーで磨いた後に画像をスキャナで取り込み, WinDENDRO 2002 で 72 方向の年輪幅を測定した。年輪年代の決定には COFECHA を用い, 中部山岳国立公園立山地区のほか富山県内の山系のスギの年輪幅にもとづいて解析した。

3. 円盤試料の概要および樹皮直下の食害痕

研磨後の円盤の枝先側で 359 層, 幹側で 362 層の年輪が確認された。樹皮直下には最大幅約 3 cm の不定形の食害痕が認められた。この食害痕の付近には傷害組織が形成されていないので, 枝が落ちた後に穿孔性昆虫の幼虫による食害を受けたと考えられる。

4. 木口面の食害痕

木口面には両面とも多数の食害痕が見られた。図 1 の 15 mm×7 mm の食害痕 ① の中には糞と木屑の混合物(フラス)が詰まっている。周囲の傷害組織の巻き込みから, 1924 年に形成層を含む材が食害されたことがわかる。食害痕 ② には生活反応が認められないことから, 食害痕 ① または他の食害部位から内部に侵入した跡と推定される。フラスが見られないので蛹室の可能性もある。

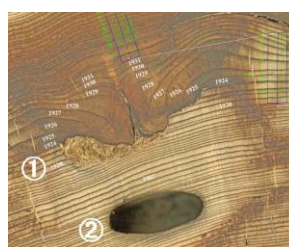


図 1 2種類の食害痕



図 2 4種類の食害痕

図 2 では 4 種類の傷害部位がみられる。樹皮側の“A”は直径約 1 mm の小さな食害痕で, 形成層は被害を受けていない。“B”は傷害組織が巻き込んでいることから, 樹皮直下の食害。“C”は 1926 年に 80 mm の範囲で形成層が傷害され 38 年後に完全に癒合した。“D”は直径 3 mm の孔。3 か所ともフラスは見られない。



図 3 食害孔の中に形成された異常な組織

図 3 では 18 mm×7 mm の食害孔をカバーするように右上から傷害組織が巻き込んでおり, 食害孔の中には, 画面の奥に残った形成層に由来する通常とは逆方向の年輪が認められる。

食害痕の大部分は 200 層目以降(1850 年代以降)の木材組織に見られた。なお, この円盤試料の採取部位より約 3 m 上部の木口面(約 200 年生)には, 食害痕がほとんど認められなかった。この位置の樹皮表面には腐朽や損傷が比較的少ないことや, 穿孔性昆虫の主な活動空間より上部に位置することが背景にあると推定される。

食葉性昆虫による食害がカラマツの年輪構造に及ぼす影響

The effect of larch budworm outbreaks on tree ring structures of *Larix kaempferi*.丸山賢一^{1*}・内海泰弘²・中村琢磨²・大野泰之³・安江恒⁴Kenichi Maruyama^{1*}, Yasuhiro Utsumi², Takuma Nakamura², Yasuyuki Ohno³, Koh Yasue⁴¹ 信州大学農学部(Faculty of Agriculture, Shinshu University)² 九州大学農学部北海道演習林(Hokkaido Experiment Forest, Kyushu University)³ 北海道林業試験場(Forestry Research Institute, Hokkaido)⁴ 信州大学山岳科学研究(Institute of Mountain Science, Shinshu University)

*Correspondence to: Kenichi Maruyama; E-mail: 14a2049e@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

日本の中部から北海道まで生育しているカラマツは、針葉樹のなかでも成長が早く密度も高い。カラマツを対象とした研究で年輪幅変動において、多数の個体で年輪幅実測値が共通して大きく減少場合がある。その要因のひとつに虫害があると考えられる。しかし、国内では虫害を受けたカラマツの年輪構造に注目した研究は少ない。本研究では、カラマツハラアカハバチによる虫害記録のある林分のカラマツを対象に、虫害が年輪幅や年輪内密度にどのような影響を及ぼすかを調べる。

2. 方法

北海道足寄町の九州大学北海道演習林の30林班(激害地)にて31個体、11林班(微害地)にて32個体を供試木とし1個体より2方向の年輪コアを採取した。

試料を熱湯およびトルエンエタノール混合液で抽出し、軟X線デンストメトリーにより年輪幅と年輪内密度を計測した。目視および統計的手法によりクロスデイトイングを行い、クロノロジーを作成した。

3. 結果および考察

虫害発生年(2014年)の翌年の2015年に激害地では、年輪幅実測値が急激に減少していた。一方微害地ではこのような現象は認められない。カラマツハラアカハバチの幼虫が主に8、9月に食葉するため年輪がほぼ形成された当年の年輪幅には影響が出ておらず、翌年の年輪幅が減少すると考えられる。

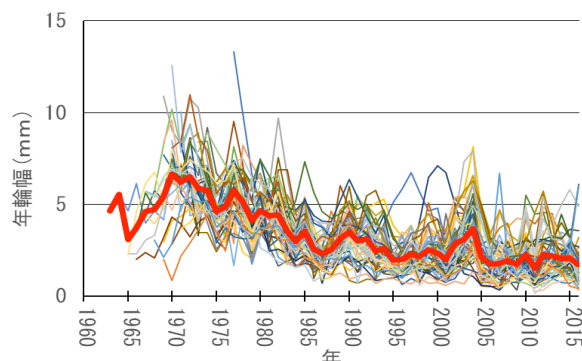


図1 11林班(微害地)の年輪幅実測値

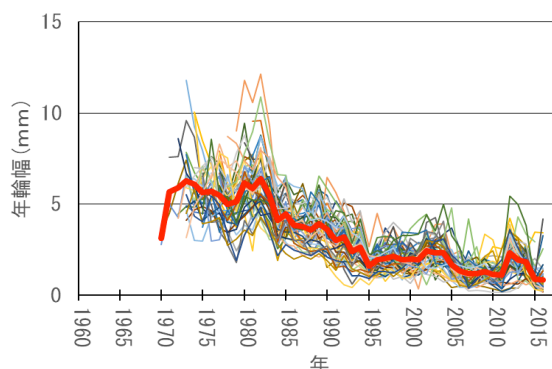


図2 30林班(激害地)の年輪幅実測値

Keywords: 年輪幅;カラマツ;虫害;カラマツハラアカハバチ

休眠期コナラ樹幹に対する局所的加温処理が孔圏道管形成に与える影響

工藤佳世^{1,2*}・織部雄一朗³・鍋嶋絵里^{2,4}・Shahanara Begum^{2,5}・山岸祐介^{2,6}・
半 智史²・安江 恒⁷・高田克彦¹・船田 良²

¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所 ² 東京農工大学農学部

³ 森林総合研究所東北育種場 ⁴ 愛媛大学農学部 ⁵ Bangladesh Agricultural University

⁶ 北海道大学農学部 ⁷ 信州大学山岳研究所

*Correspondence to: 工藤佳世; E-mail: kayokudo@iwt.akita-pu.ac.jp

【背景と目的】 落葉広葉樹環孔材では、春先に形成された大径の孔圏道管が当年の主な水分通道経路となるため、孔圏道管が毎年形成されることが環孔材樹種の成長にとって非常に重要である。これまで春先の形成層活動再開には、伸長中の当年シュートで主に合成される植物ホルモンのひとつであるオーキシンが重要な役割を担っているといわれてきた。一方、休眠期の落葉広葉樹散孔材ポプラの樹幹を局所的に加温すると加温部において開芽前に早期に形成層活動が再開することが報告されており、樹幹周囲の温度上昇が形成層活動再開の直接的な引き金であると考えられている⁽¹⁾。本研究では、環孔材における形成層活動再開および道管形成開始の要因を特定するために、休眠期のコナラ (*Quercus serrata*) 樹幹に対する局所的加温処理と摘芽処理が形成層活動および孔圏道管形成に与える影響を解析した。

【実験方法】 休眠期コナラ成木 2 個体の樹幹に対し 2014 年 1 月 28 日から局所的加温処理を行った。加温部およびコントロール部から形成層帯を含むブロック試料を 2 週間おきに採取した。また、休眠期コナラ苗木に対し 2012 年 2 月 1 日から局所的加温処理および摘芽処理を行い、2 週間おきに苗木を伐採した。採取した試料を包埋し、光学顕微鏡を用いてそれぞれ道管形成過程を観察した。

【結果と考察】 コナラ成木樹幹へ加温処理を行ったところ、加温開始 16 日目に加温部において分裂中の形成層細胞が認められ、加温開始 27 日目には分化中道管要素が認められた(図)。いずれの日もコントロール部の形成層帯は休眠状態であり、樹幹への加温処理によって早期に形成層再活動と道管形成が誘導されたといえる。また、苗木樹幹に対し加温処理および摘芽処理を行ったところ、処理開始 54 日目には加温処理のみ行った個体および加温+摘芽の複合処理を行った個体の加温部において、分裂中の形成層細胞および分化中道管要素が認められた。一方、加温処理を行わなかった個体では、形成層帯は休眠状態であった。これらの結果から、樹幹周囲の気温上昇が形成層活動再開および道管形成開始の直接的な引き金であると考えられる。また、コナラにおいて春先の形成層活動再開および道管形成開始には芽や芽の成長は必要ないといえる。

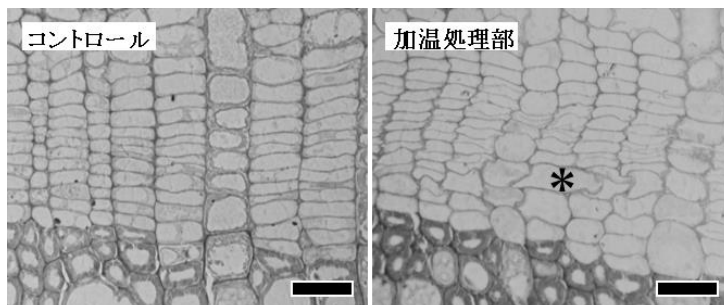


図 加温処理開始 27 日目の形成層帯付近の様子 (横断面)
*: 分化中道管要素 Bars = 25 μm.

(1) Begum *et al.* (2007) Ann. Bot. 100:4399-447.

Keywords: 環孔材; 孔圏道管; 形成層活動; 局所的加温処理; 摘芽処理

**$^{13}\text{CO}_2$ ラベリングを用いたヒノキ樹幹における光合成生産物の転流の追跡
-セルロース抽出の有無による比較-**

**Tracing the translocation of photosynthetic products in *Chamaecyparis obtuse* tree stem
using $^{13}\text{CO}_2$ labeling- Comparison with or without cellulose extraction -**

猪野 紫穂^{1*}・庄司 岳¹・香川 聡²・檀浦 正子³・小林 元⁴・平野 優⁵・斎藤 智寛⁵・安江 恒⁶
Shiho Ino^{1*}, Gaku Syouji¹, Akira Kagawa², Masako Dannoura³, Hajime Kobayashi⁴,
Yu Hirano⁵, Tomohiro Saito⁵, Koh Yasue⁶

¹ 信州大学農学部(Faculty of Agriculture, Shinshu University)・² 森林総合研究所(Forestry and Forest Products Research Institute)・³ 京都大学大学院地球環境学学(Graduate School of Environmental Studies, Kyoto University)・⁴ 信州大学 AFC(Research Center of Alpine Field Science, Shinshu University)・⁵ 信州大学大学院(Shinshu University graduate school)・⁶ 信州大学山岳科学研究所(Institute of Mountain Science, Shinshu University)

*Correspondence to: 猪野紫穂; E-mail: 14a2006a@shinshu-u.ac.jp

1.はじめに

樹木の気候応答の仕組みを理解するにあたり、肥大成長に用いられる光合成産物の転流について明らかにする必要がある。本研究では炭素安定同位体パルスラベリング実験によってヒノキの光合成産物の木部への配分の季節変動を細胞壁成分に着目して明らかにすることを試みた。

2.方法

信州大学手良沢山演習林において9年生のヒノキ(*Chamaecyparis obtuse*)2個体に、2016年4月6日、7月14日に各1個体(S1、S7)ラベリングを行った。樹体を囲ったチャンバー内に99% $^{13}\text{CO}_2$ を注入、光合成により取り込ませた。10月11日にS1、11月10日にS7を伐倒し地上高0mより幹の円盤を採取した。当年と前年年輪から連続板目面切片を25 μm おきに切削した。放射方向に隣り合う連続切片を順に無抽出、細胞壁成分抽出、セルロース抽出サンプルに分け、抽出処理を行った。質量分析計を使用して切片の同位体比を測定し、炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ 値を用いて表した。

3.結果および考察

S1では当年年輪の最内部で最も高い $\delta^{13}\text{C}$ 値が示され、その後徐々に低下した。さらに細胞壁成分抽出サンプルがセルロース抽出サンプルより低い値を示した。 ^{13}C がセルロース合成に直接使用された一方で、リグニンが生合成される過程で ^{13}C の濃度が薄まった可能性があると考えられる。また、前年年輪最外部の細胞壁成分抽出サンプルとセルロース抽出サンプルにおいて高い $\delta^{13}\text{C}$ 値だった。これにより年輪最外部では、翌年春においても細胞壁へのセルロース堆積と木化が行われていたことが示唆された。S7ではラベリング日の形成層位置より内側において高い $\delta^{13}\text{C}$ 値を示したことから、ほとんどの光合成産物が当年年輪の肥厚と木化に使われたと考えられる。またセルロース抽出サンプルの $\delta^{13}\text{C}$ 値の急激な増加は、ラベリング後短期間で光合成産物がセルロース堆積として使われたためであると考えられる。

Keywords: ヒノキ; $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング; 光合成産物; 細胞壁成分

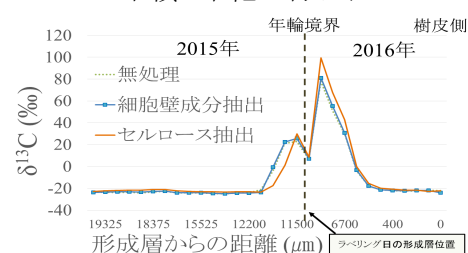


図. S1 における $\delta^{13}\text{C}$ 値の放射方向変動

年輪に見られる宇宙線イベント: 単年以下の精度の ^{14}C データ Cosmic ray event in tree-rings: carbon-14 data with < 1 year resolution

三宅芙沙^{1*}・増田公明¹・中村俊夫¹・箱崎真隆²・木村勝彦³

Fusa Miyake^{1*}, Kimiaki Masuda¹, Toshio Nakamura¹, Masataka Hakozaiki², Katsuhiko Kimura³

¹ 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 (Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University)

² 国立歴史民俗博物館 (National Museum of Japanese History)

³ 福島大学共生システム理工学類 (Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University)

*Correspondence to: Fusa Miyake; E-mail: fmiyake@isee.nagoya-u.ac.jp

地球外からの宇宙線によって大気中で炭素 14 (^{14}C) が生成され、 ^{14}C は二酸化炭素として樹木に取り込まれるため、年輪中の ^{14}C 濃度は到来宇宙線強度を記録している。近年、AD774-775 年と AD993-994 年にかけて 1 年での ^{14}C 濃度の急増加が日本産樹木により確認され[1][2]、その後世界各地の樹木を用いて 2 つのイベントの再現性が確認されている[3][4]。これらのイベントの原因は、大規模な Solar Proton Event (SPE: 太陽フレアやコロナ質量放出により発生する) と考えられている。現在の太陽観測から、SPE による地球への粒子流入は数日以内の非常に短い期間に起きることが分かっている。そのため、年輪を 1 年以下に分けて測定を行えば、イベントが発生した時期 (^{14}C 濃度が増加を始める時期) に対して、新たな情報が得られる可能性がある。

我々は、AD775 年周辺の年代に対して、屋久杉サンプルを早材 (春～夏)・晩材 (夏～秋) に剥離し、 ^{14}C 濃度測定を行った。その結果、AD774 年の晩材から AD775 年の早材にかけて濃度増加していることが明らかになった。得られた ^{14}C データについて炭素循環モデルを用いて地球へ宇宙線が入射した時期の特定を行ったところ、AD774 年 9 月～AD775 年 5 月 ($p \geq 0.05$) という結果が得られた。これは、南半球の樹木を使用した測定による推定 (AD774 年 9 月～AD775 年 9 月: 南北半球の樹木の生育時期の違いを利用[5]) と調和的である。

AD994 年イベントについての早・晩材に分けた測定も、A. Fogtmann-Schulz[4]らによって行われ、イベントが発生した時期を AD994 年の 4-6 月と結論付けている。このように、早・晩材に分けた議論からイベント発生時期を推測できるが、これは大気中の炭素を年輪に固定する期間を仮定した場合である。大規模 SPE が発生すると低緯度でも観測できるオーロラが現れるが、2 つの宇宙線イベントに対応するオーロラの歴史記録が見つかっておらず、イベント発生時期について問題点が残されている。発表では、イベントの時期について紹介するとともにこのような問題点について議論する。

[1] F. Miyake et al., Nature, 486: 240-242, 2012.

[2] F. Miyake et al., Nat. Commun., 4:1748, 2013.

[3] J. Park et al., Radiocarbon, 59(4): 1147-1156, 2017.

[4] A. Fogtmann-Schulz et al., Geophys. Res. Lett., 44, doi:10.1002/2017GL074208, 2017.

[5] D. Gütler et al., EPSL, 411: 290-297, 2015.

Keywords: 放射性炭素; 単年宇宙線イベント; Solar Proton Event; 早材; 晩材

年輪セルロース酸素・水素同位体比の統合による中部日本の長期降水量変動の復元
**Reconstruction of long-term precipitation variation in central Japan by integrating of
 tree-ring cellulose oxygen and hydrogen isotope ratios**

中塚武^{1*}, 佐野雅規², 李貞¹, 對馬あかね¹, 重岡優希³

Takeshi NAKATSUKA^{1*}, Masaki SANO², Zhen LI¹, Akane TSUSHIMA¹, Yuki SHIGEOKA³

¹ 総合地球環境学研究所, ² 早稲田大学人間科学部, ³ 名古屋大学環境学研究科

*Correspondence to: 中塚 武 (Takeshi Nakatsuka); E-mail: nakatsuka@chikyu.ac.jp

【はじめに】 樹木は一般に数百年以下の寿命しかもたないため、堆積物などとは異なり、樹木年輪から数千年以上の気候変動を復元することは通常は難しい。実際には現生木に埋没木等をつなぎあわせることで、数千年間の気候変動の復元も行われているが、その場合も年輪に顕著な樹齢効果の影響から、長周期の気候変動の復元には課題が多かった。年輪に含まれるセルロースの酸素同位体比には樹齢効果が余り見られず、長周期変動の復元が可能な場合があるが、中部日本の代表的な長寿命樹種であるヒノキの年輪酸素同位体比には顕著な樹齢効果(成長効果)があり、長期間の気候復元の際の大きな障害となっていた。本研究では、セルロースの水素同位体比が、「気候変動によって酸素と同じ方向に、樹齢効果によって酸素と逆の方向に変化する」ということに着目して、酸素と水素の同位体比を統合することにより、中部日本における夏季降水量の変動を、長周期を含むあらゆる周期に対して、過去 2600 年間に亘って復元することに成功したので、報告する。

【試料と方法】 分析した試料は中部・近畿の広域で得られた現在から弥生前期までの様々な時代の現生木、建築古材、遺跡出土材、自然埋没木の約 70 個体であり、各試料の年輪から Kagawa et al (2015)の方法に従いセルロースを抽出し、TCEA/Delta V を用いて酸素・水素同位体比を測定した。酸素同位体比の変動パターンは、2600 年間のほぼ全ての期間で EPS が 0.85 を越え、十分な地域代表性を示すが、標高や海からの距離の違いを反映して、その絶対値は個体毎に大きく異なる。それゆえ、まず個体毎に酸素と水素の同位体比の全データを上下に自由に平行移動させる「反復平均移動法」ともいうべき新しい手法で、酸素・水素同位体比をそれぞれ全区間で滑らかに接合した。その後、接合した酸素・水素同位体比の短周期成分の相関から、気候変動に対する酸素と水素の同位体比の感度比を計算し、さらに約 70 個体の生データの時間分布トレンドを再現できるように、樹齢効果に対する酸素と水素の同位体比の感度比を計算して、最終的に過去 2600 年間に及ぶ中部日本の年輪酸素同位体比の気候変動のみに伴う変動パターンを、あらゆる周期に亘って復元した。

【結果と考察】 得られた復元時系列データを、20 世紀以降の気象観測データと対比したところ、本州中部の南岸を中心に、関東から揚子江下流域までの 6~7 月の降水量と顕著な負の相関があり、アジアの温暖湿潤域における既存研究と同様、中部日本でも樹木年輪酸素同位体比が夏の降水量の広域の指標になることが確認できた。時代を遡り、日本の歴史史料や考古資料と比較すると、近世の古日記天候記録から復元された大坂の梅雨期の降水量の変動(水越、1993)や、中世の古文書に記された気象災害記録年表(藤木、2007)における近畿・中部の干ばつと洪水の報告数比、先史・古代における淀川右岸の集落遺跡の標高変化(若林、2016)など、さまざまな記録との一致が認められ、これが日本の歴史を理解していく上で、全く新しい重要なデータになることが分かった。データには BC200 年と AD1000 年頃に極大値を示す約 1200 年の周期性があり、これはグローバルな気温変動に関する既存の知見とも良く一致していて、日本と世界の間の気候変動、さらにはそれと関連した社会変動の連動性を、あらゆる時間スケールで議論していける可能性が開けたといえる。

Keywords: セルロース; 酸素同位体比; 水素同位体比; 気候変動; 長周期復元

日本各地に生育するブナの年輪幅に影響する気候要因

Effects of climate on the radial growth of Japanese beech at various sites in Japan

沈 昱東^{1*}, 涌井幸子², 竹原優子², 星野安治³, 内海泰弘⁴, 鎌田直人⁵,
野堀嘉裕⁶, 市栄智明⁷, 村岡裕由⁸, 斎藤 琢⁸, 平野 優¹, 安江 恒⁹

Yudong Shen^{1*}, Sachiko Wakui², Yuko Takehara²,

Yasuharu Hoshino³, Yasuhiro Utsumi⁴, Naoto Kamata⁵, Yoshihiro Nobori⁶,
Tomoaki Ichie⁷, Hiroyuki Muraoka⁸, Taku M. Saitoh⁸, Yu Hirano¹, Koh Yasue⁹

¹ 信州大学大学院総合工学系研究科(Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University)

² 信州大学農学部(Faculty of Agriculture, Shinshu University)

³ 奈良文化財研究所(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

⁴ 九州大学大学院農学研究院(Ashoro Research Forest, Kyushu University)

⁵ 東京大学北海道演習林(The University of Tokyo Hokkaido Forest)

⁶ 山形大学農学部(Faculty of Agriculture, Yamagata University)

⁷ 高知大学農林海洋科学部(Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University)

⁸ 岐阜大学流域圏科学研究センター(River Basin Research Center, Gifu University)

⁹ 信州大学山岳科学研究所(Mountain Research Institute, Shinshu University)

*Correspondence to: Yudong Shen; E-mail: 16st402e@shinshu-u.ac.jp

はじめに

ブナは日本の冷温帯における代表的樹種であり、天然林(面積およそ 1300 万 ha) (林野庁)のうち、約 17%をブナ林が占めている。年輪年代学的手法を用いて日本各地に生育するブナの年輪幅変動の類似性について検討し、肥大成長に制限する気候要素との関係を論じる。

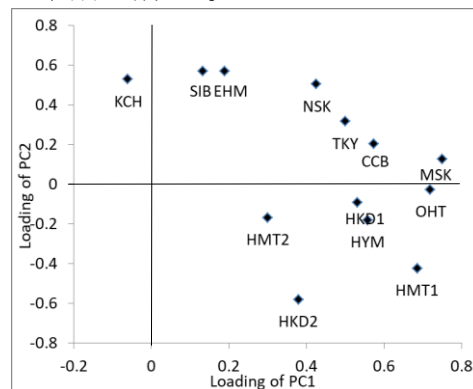
方法

日本各地の 13 地点に生育するブナを対象に、年輪幅を測定した。目視および統計的手法(COFECHA プログラム)を併用してクロスデイトイングを行った。標準化を行い、生育地を代表する年輪幅残差クロノロジー(以下、クロノロジー)とした。各生育地のクロノロジー間で単相関分析および主成分分析を行い、生育地間クロノロジーの類似性について調べた。クロノロジーと気候要素(月平均気温、月降水量)との間で相関解析を行った。

結果と考察

生育地間の単相関分析および主成分分析を行なった結果、東北、北海道の生育地間(八幡平 2, 八甲田 2 を除く)の年輪幅変動に共通性があった。高知、椎葉、愛媛では共通して第 2 主成分の値が高かった。年輪と気候要素との単相関分析の結果、東北と北海道一部の組み合わせでは共通する気候応答が認められたが、多くの生育地間に共通する気候応答がなかった。その他の地域では高知、愛媛の組み合わせを除き、共通した気候応答は認められなかった。生育地間の年輪幅変動の類似性が空間的に分類できることが示唆されたが、制限する気候要素に地域的な共通性が確かめられなかった。

Keywords: Dendrochronology; Japanese beech; Climate response.



図：各生育地クロノロジー間の主成分分析

モンゴル永久凍土地帯の斜面上部・下部に生育する カラマツ・ゴヨウマツの肥大成長の気候応答

安江 恒^{1*}, 福嶋航希², 松浦陽次郎³, 志知幸司³, Nachin Baatarbileg⁴, 城田徹央²

¹信州大学山岳科学研究所, ²信州大学農学部, ³森林総合研究所, ⁴ Mongol National University

*Correspondence to: 安江 恒; E-mail: yasue@shinshu-u.ac.jp

【はじめに】

周極域の森林では、永久凍土の存在が森林の成立や成長制限要因として重要な要因となっている。本研究では、モンゴル北部の不連続永久凍土分布南限の北向き斜面に成立するカラマツ (*Larix sibirica*) ゴヨウマツ (*Pinus sibirica*) の混交林において、年輪年代学的手法を適用して成長制限要因をあきらかにした。

【方法】

北向き斜面下部(標高 1427m)と斜面上部(標高 1628m)にそれぞれ 50m×50m のサイトを設置し、斜面下部でカラマツ 24 個体ゴヨウマツ 31 個体、斜面上部でカラマツ 28 個体ゴヨウマツ 24 個体を供試木とした。1 個体につき幹では 2 方向、根では 1 方向より、成長錐によりコア試料を採取した。年輪幅を測定し、統計学的手法(COFECHA プログラム)と目視によってクロスデイトィングを行った。フィルター長 32 年のスプライン近似曲線を当てはめ、非気候因子に伴う変動を減衰させる標準化を行った。生育地を代表する時系列であるクロノロジーを作成し、主成分分析を行った。クロノロジーと気候要素(気温・降水量)との単相関分析を行った。

【結果および考察】

第 1 主成分について、主成分負荷量は斜面下部で大きかった。第 1 主成分と気候要素の関係について、前年 5 月、当年 2 月、当年 5 月の平均気温、前年 5 月の降水量と有意な負の相関、前年 8 月の降水量と有意な正の相関を示した。年輪幅クロノロジーと気候要素との相関分析の結果において、斜面下部は前年 5 月の降水量、ゴヨウマツの根は前年 8 月の降水量と有意な相関を示した。これらのことから、第 1 主成分は、両サイト・両樹種・幹と根に共通するとともに、特に斜面下部において卓越する前年 5 月、前年 8 月の降水量の負の影響を大きく反映する変動成分といえる。5 月は気温上昇に伴い、凍結していた地表面の融解が起き、それに加えて、斜面上部における降水および表層土壌水分は永久凍土面を伝って、斜面下部へと流出していると考えられる。そのため、斜面下部では水分が過剰な状態になり、根の水分吸収に何らかの負の影響を与えるのではないかと考えられる。

従来のモンゴルにおいては、樹木の肥大成長は乾燥ストレスに制限を受けると報告されているが (Dulamsuren et al. 2011, De Grandpré et al. 2011), 本調査地では春の斜面下部において水分過剰な状態になると示唆された。この地域において、永久凍土の存在や永久凍土深が樹木の成長に深く関わることを示唆された。

ヒノキアスナロの偽年輪 False rings of *Hiba arborvitae* (*Thujopsis dolabrata* var. *hondae*)

箱崎真隆^{1*}
Masataka Hakozaiki^{1*}

¹ 国立歴史民俗博物館 (National Museum of Japanese History)

*Correspondence to: Masataka Hakozaiki; E-mail: hakozaiki@rekihaku.ac.jp

偽年輪 (false ring) は、早材部のなかに晩材類似の帯ができたもので (島地・伊東 1982)、場合によっては1年輪が2年輪 (ないしそれ以上) あるように見える部分を指す (図1)。偽年輪は、欠損年輪 (missing ring) とともに、正確な年輪年代測定を妨げる厄介な存在である。偽年輪を正確に判別し、検出することは、年輪年代解析の重要なプロトコルのひとつである (English Heritage 2004)。

偽年輪は、例えばアメリカ南西部の山岳地帯に生育するポンデローサマツ (*Pinus ponderosa*) では、成長季節中の乾燥が引き金となって形成される (Schweingruber 1993)。しかし、偽年輪の形態、出現頻度、形成要因等は樹種によって異なる。日本産樹木では偽年輪に関する研究が少なく、年輪年代測定の成功率や精度を向上させるためにも、その基礎的知見の蓄積が重要である。

筆者はこれまで北日本産の有用樹「ヒノキアスナロ (*Thujopsis dolabrata* var. *hondae*)」の年輪年代学的研究を行ってきた (箱崎 2012; 箱崎ほか 2016 など)。そのなかで、ヒノキアスナロは、他の日本産樹種に比べて、偽年輪を形成しやすいこと、ときにそれは正常な年輪界との判別が困難であることを見出してきた (図1)。本報告では、ヒノキアスナロの偽年輪の特徴についてまとめ、ヒノキアスナロを対象とした年輪年代解析における偽年輪の判別と検出の方法等について述べる。

Keywords: 偽年輪; 年輪年代学; ヒノキアスナロ; クロスデーティング

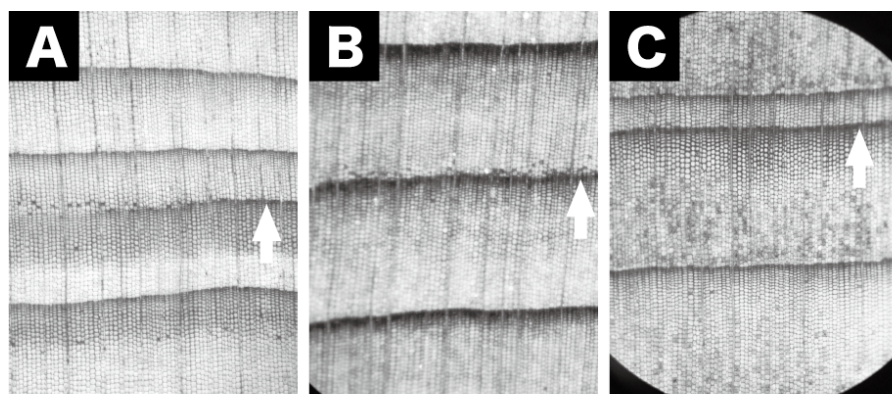


図1 ヒノキアスナロの偽年輪 (白矢印)

A: 晩材類似の帯からその外側の早材への変化が緩やかなタイプ。ヒノキアスナロに限らず多くの日本産ヒノキ科樹木で観察される偽年輪の一般的な形態。ヒノキアスナロでは偽年輪に樹脂細胞が伴う場合が多い。**B:** 晩材類似の帯からその外側の早材への変化が急なタイプ。ヒノキアスナロを除くヒノキ科樹木ではほとんど観察されない形態。年輪界との判別が困難であるが、樹脂細胞を伴うこと、晩材類似の帯から変化した直後の早材の細胞壁の厚さが年輪界の早材に比べて厚いことなどを手がかりに判別することができる。**C:** 晩材類似の帯からその外側の早材への変化が急で、樹脂細胞を伴わないタイプ。年輪界との判別が困難で、特に幅の狭い年輪との判別が極めて困難。細胞壁の厚さを手がかりに判別することも可能だが、確実に検出するには測線間、試料間のクロスデーティングが必要。

<引用文献>

- English Heritage. 2004.
Dendrochronology Guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates.
English Heritage.
箱崎真隆. 2012. 完新世後期針葉樹埋没林の年輪年代学的研究. 東北大学大学院博士論文.
箱崎真隆ほか. 2016. 西暦774-775年の¹⁴Cイベントと酸素同位体比年輪年代法に基づく青森市新田(1)遺跡アスナロ材の暦年代の検証. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 XXVII.
Schweingruber FH. 1993.
Trees and wood in dendrochronology. Springer.
島地謙・伊東隆夫. 1982.
図説木材組織. 地球社.

新しい成長錐コア自動採取装置の原理と樹木年輪・組織材質研究への応用

香川 聡^{1*}・藤原 健²

¹(国研)森林機構 森林総合研究所 木材加工・特性研究領域 組織材質研究室

**Correspondence to: Akira Kagawa; E-mail: akagawa@ffpri.affrc.go.jp*

1. はじめに 年輪年代学で用いられる長樹齢の大径木は、伐採することが困難な場合が多い。成長錐は、樹木を枯死させることなしに比較的少ないダメージでコア試料を採取することができるので、年輪年代学や組織・材質学の分野の研究者に広く用いられている。年輪幅・密度測定の場合、小径の成長錐コア(φ 5mm)が用いられているが、マスタークロノロジー構築のためには研究サイト 1 か所あたり十数個体以上の採取が必要であり、さらに樹幹の 2~4 方向からの採取が必要なため、合計 30~60 本と多数のコア採取が必要となる。φ 5mm コアの場合、成長錐のハンドルを回すのに必要なトルクは比較的小さいが、多数のコア採取を必要とするため、作業者の疲労が大きい。年輪の安定同位体比や放射性炭素同位体比を測定する場合、より多量の試料が得られる大径のコア採取(φ 12mm)が望ましいが、φ 12mm コアはφ 5mm のものに比べ成長錐のハンドルを回すのに大きなトルクが必要となり、作業者が疲労するだけでなく、回転力が不十分で試料が採取できない場合もある。

2. 従来の装置 この問題の解決のため、成長錐を自動で採取する試みは 1960 年代頃からさかんに行われ、電動モーター、ガソリンエンジン、油圧モーターなどの動力源を持つものが考案されている。樹幹や地面に固定された水平なレールに沿わせてモーターを移動させて成長錐のねじ込みを行う装置や、台車に搭載した水圧ポンプとホースで接続された水圧モーターにより成長錐を回転させる方式があり、φ 5mm~φ 12mm のコア採取に成功している。1980 年代になると、チェーンソーを改造したφ 5mm コア用の装置が開発され、数多くのコア採取が必要な山火事研究等に役立てられている。最近になって、非常に硬い熱帯の巨木からφ 15mm、長さ 135cm のコアを抜くことができる持ち運び可能な装置(23kg)が発表されている。成長錐と異なり、先端に木材を切削する鋸歯が付いた刃を用いて木材を円柱状に切削することにより、硬い熱帯材でも長いコア採取が可能である。この装置は、装置の総重量が数十キログラム以上と重く、持ち運びに不便であるという問題や、試料採取木への装置の設置に時間がかかり、成長錐コアの採取に時間がかかるという問題があった。

3. 森林総研で開発された新しい装置 そこで我々は、電動レンチ等を動力源として用いることにより、(1) φ 5mm 成長錐コア採取用に、総重量 6.5kg 以下で 1 分間に 50cm 程度成長錐をねじ込むことができる装置、(2) φ 12mm 成長錐コア採取用に、総重量 9.5kg 以下で 1 分間に 12cm 程度成長錐をねじ込むことができる装置を開発した(Kagawa & Fujiwara 2017)。同装置により、大径で材の堅いミズナラでも、φ 5mm・φ 12mm コア共に長さ 60cm 以上のコア採取に成功している。現在、フィールドワークでの持ち運びに便利のように、さらに軽量化した改良版を開発中であり、これらの装置の普及により、年輪年代学や組織・材質学研究における将来の成長錐コア採取作業の効率化に大きく貢献できることが期待される。

4. 引用文献 Kagawa, A. & Fujiwara, T. (2017) Smart increment borer: a portable device for automated sampling of tree-ring cores. J Wood Sci DOI: 10.1007/s10086-017-1668-6

※「成長錐 3 分」で検索すれば、装置によるコア採取の動画を見ることができます。

Keywords: 成長錐、放射能、含水率、繊維長、育種

