

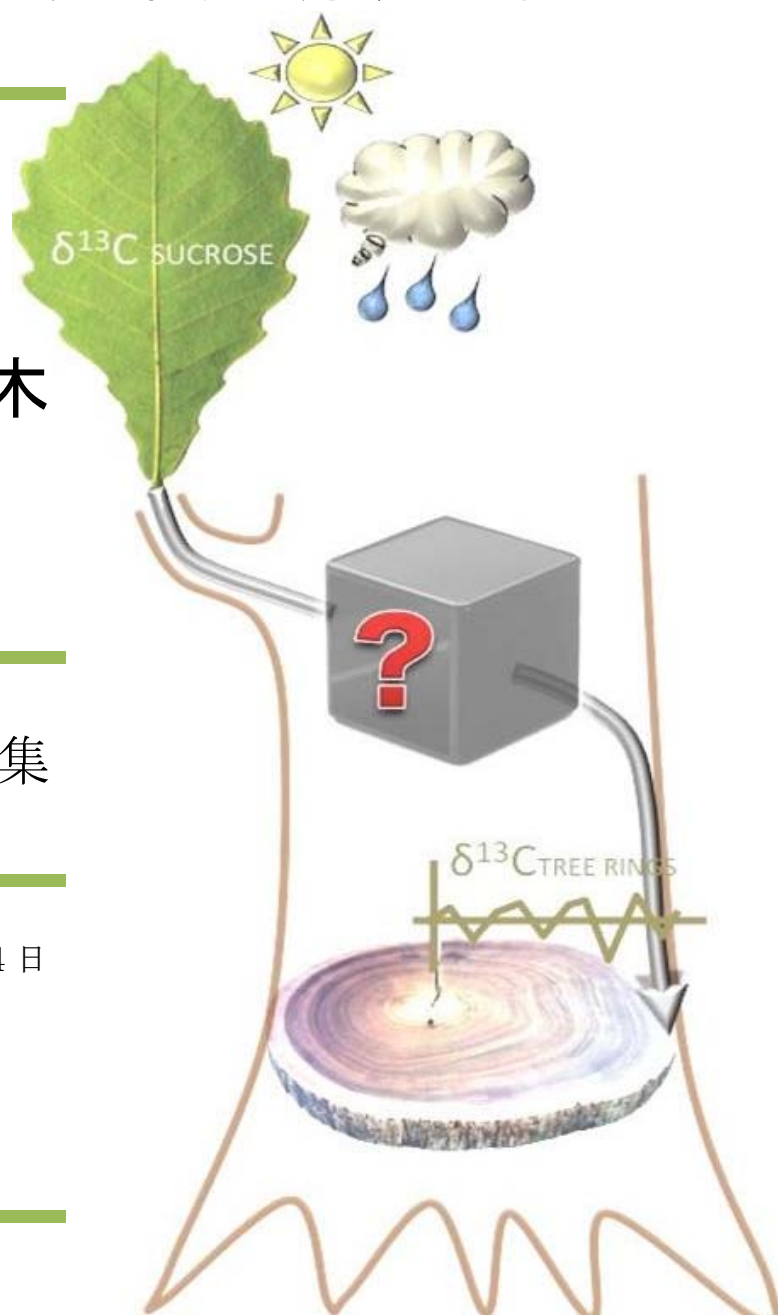
葉から年輪までの同位体シグナル 伝達プロセス

— 光合成・呼吸・転流・貯蔵・年輪形成 —

2009 年度
組織と材質
研究会・樹木
年輪研究会

講演・発表要旨集

2009 年 9 月 12 日～14 日
森林総合研究所 本所



2009年度「組織と材質・年輪」研究会 要旨集

○ 開催場所

森林総合研究所 本所 2階 大会議室 (つくば市松の里1)
(牛久駅からは関東鉄道バス13:03 発谷田部車庫行きが便利です)

○ プログラム

9月12日(土) 組織と材質研究会

13:30 幹事挨拶

13:40~14:00 シンポジウムの趣旨説明

「葉から年輪までの同位体シグナル伝達プロセス」 ----- 1
香川聡 (森林総合研究所組織材質研究室)

講演

14:00~14:40 **呼吸**「樹木の呼吸 -実生から巨木へ-」 ----- 3
森 茂太 (森林総合研究所・植物生態研究領域)

休憩 14:40-15:00

15:00~15:40 **転流・貯蔵1**「窒素および炭水化物の貯蔵機能の評価に基づく
ブナ林堅果豊凶作のメカニズムの解明」 ---- 5
韓慶民 (森林総合研究所・物質生産研究室)

15:40~16:20 **転流・貯蔵2**「光合成同化産物の転流・貯蔵・繁殖器官への分配
-¹³C トレース法による追跡」 ---- 7
北海道大学 宮崎祐子

休憩 16:20~16:40

16:40~17:20 **年輪形成**「季節一年レベルの樹木年輪同位体比が語る過去の気候
-樹木年輪同位体比の季節変動の気候学的・生理学的規定要因-」 ----- 9
中塚武 (名古屋大学大学院環境学研究科)

木材標本庫見学

17:20~18:00 森林総合研究所 生物多様性別棟 2F

懇親会

18:30~21:00 [ラ・テラス・ドゥ・オエノン](#) (農林研究団地宿泊施設への送迎バス有)
送迎バス 森林総研本館南口 18:30 発 農林団地宿泊施設 21:00 着

9月13日(日)

(農林団地中央からは8:23 発牛久駅行き、牛久駅からは8:00 発谷田部車庫行きバスが便利です)

基調講演

8:50~9:30 **光合成**「光合成の水利用効率と炭素同位体比
-小笠原乾燥尾根部に生育する植物の機能的多様性-」 ----- 11
石田厚 (森林総合研究所・樹木生理研究室)

樹木年輪研究会

研究発表

(発表 15 分、質疑 5 分の計 20 分間)

9:30~9:50 「異なる標高に生育する信州カラマツにおける形成層活動再開時期」----- 14
和田鉄平他 (信州大学森林環境学研究室 他)

9:50~10:10 「秩父におけるブナの肥大成長の季節変化」 -----16
涌井幸子 (信州大学森林環境学研究室 他)

休憩 10:10~10:30

10:30~10:50 「琵琶湖岸のエノキに見られた 1896 年琵琶湖大洪水の「洪水輪」 ----- 19
庄 建治朗 (名古屋工業大学都市社会工学科 他)

10:50~11:10 「ハリエンジュ living wood fiber におけるデンプン貯蔵」 ----- 21
山田祐記子 京都大学樹木細胞学分野 他

休憩 11:10~11:20

11:20~12:00 総会

今後の同位体年輪気候学研究が進むべき方向について 2 つの話題提供の後、
共同プロジェクト申請について等、討論を予定

◎中塚武「東アジアにおける Millenium スケールの古気候研究の
現状と今後の方向性」

◎香川聡・中塚武「安定同位体による木材の産地識別」 ----- 23

◎教科書の編集について

◎他、提案のあった話題

昼食 12:00~13:00 和風レストラン桂、珍来、ドライブイン牧園等

同位体講習 13:30~

炭素同位体年輪気候学の基礎 (香川聡)

酸素同位体年輪気候学の基礎 (中塚武)

炭素・酸素同位体比の分析法 (香川聡)

元素分析計の立ち上げ (以後全て香川聡)

9月14日(月)

年輪試料の切り分け、粉碎

炭素同位体比分析

(装置の調子にもよりますが、午後 2 - 3 時頃には終わると思います)

森林総合研究所

○交通案内



つくば牛久ICより約2 km



○構内案内



○周辺地図



○関鉄バス時刻表【土日祝日】

牛久駅	森林総研	農林団地 中央	谷田部 車庫	谷田部 車庫	農林団地 中央	森林総研	牛久駅
8:00	8:10	8:19	8:23	8:22	8:23	8:32	8:50
9:10	9:20	9:29	9:30	9:40	9:41	9:48	10:03
10:10	10:20	10:29	10:33	10:08	10:09	10:16	10:31
10:40	10:50	10:59	11:03	10:32	10:33	10:42	11:00
11:10	11:20	11:29	11:33	11:37	11:38	11:45	12:00
12:05	12:15	12:24	12:28	12:37	12:38	12:45	13:00
13:05	13:15	13:24	13:28	14:05	14:06	14:13	14:28
14:00	14:10	14:19	14:23	14:40	14:41	14:48	15:03
14:40	14:50	14:59	15:03	15:17	15:18	15:25	15:40

講演・研究発表要旨

葉から年輪までの同位体シグナル伝達プロセス －光合成・呼吸・転流・貯蔵・年輪形成－

香川聡¹ (akagawa@ffpri.affrc.go.jp) 1 : (独) 森林総合研究所組織材質研究室

緒言) 年輪気候学は、年輪幅・密度・安定同位体比等を用いて過去の気候(温度・降水量等)を復元する分野である。光合成産物の炭素同位体比は主に光合成時の水利用効率に依存するため、光合成時の温度・降水量・湿度等の環境条件を反映する(Farquhar *et al.* 1989)。この炭素同位体比シグナルはその後、呼吸・転流・貯蔵プロセスを経て年輪に記録されるので、年輪の同位体分析により古気候復元が可能になる。年輪の同位体比・年輪幅・密度と気候因子との間に有意な相関があることが多数報告されているが、その相関の背後にある樹木生理学的な因果関係は依然ブラックボックスのままである。そこで本シンポジウムでは、年輪気候学に関係した光合成生産から年輪形成までのプロセス、すなわち光合成・呼吸・転流・貯蔵・年輪形成に焦点を当て、年輪形成過程の統一的理解を目指す。

試料と方法) ブラックボックスとなっている葉－年輪形成間のプロセスを解明するために、¹³C O₂ パルスラベリングを行った。樹木に透明な袋をかけ、光合成産物を¹³C で短期間(数時間～数日間)標識することにより、図1上のようなパルス状の入力シグナルを生成することができる。この入力シグナルがどのように年輪上に¹³C の分布として出力されるかにより(図1下)、光合成時の環境情報を反映する炭素同位体比シグナルが年輪にどのように記録されるかを解明することができる。たとえば、2つのピークが識別できる最小の時間インターバルとして、環境情報記録媒体としての年輪の時間分解能が推定できる(図1左)。また、¹³C 濃度の減衰から貯蔵物質プールの炭素の滞留時間を推定できる(図1右)。また、各器官・地上部・地下部呼吸・貯蔵物質への¹³C 配分・濃度減少から、各部のカーボンアロケーション・炭素の滞留時間を推定することができる。

結果と考察) 年輪の時間分解能は1ヶ月程度と推定された(図1左)。早材は主に、形成年の春の光合成産物と形成前年の夏・秋の光合成産物からなる貯蔵物質を使ってできていたが、晩材は主に形成年の春・夏の光合成産物を使ってできていた(図2)。年輪気候学は成木を用いるため、将来は成木で¹³C O₂ パルスラベリング実験を行う必要がある

参考文献

- Kagawa A., Sugimoto A., Maximov T.C. (2006) ¹³C₂ pulse-labeling of photoassimilates reveals carbon allocation within and between tree rings. *Plant, Cell and Environment* **29**, 1571-1584.
- Kagawa A., Sugimoto A., Maximov T.C. (2006) Seasonal course of translocation, storage, and remobilization of ¹³C pulse-labeled photoassimilate in naturally growing *Larix gmelinii* saplings. *New Phytologist* **171**, 793-804.
- Kagawa A., Sugimoto A., Yamashita K., Abe H. (2005) Temporal photosynthetic carbon isotope signatures revealed in a tree ring through ¹³C₂ pulse-labeling. *Plant, Cell, and Environment* **28**(7), 906-915.

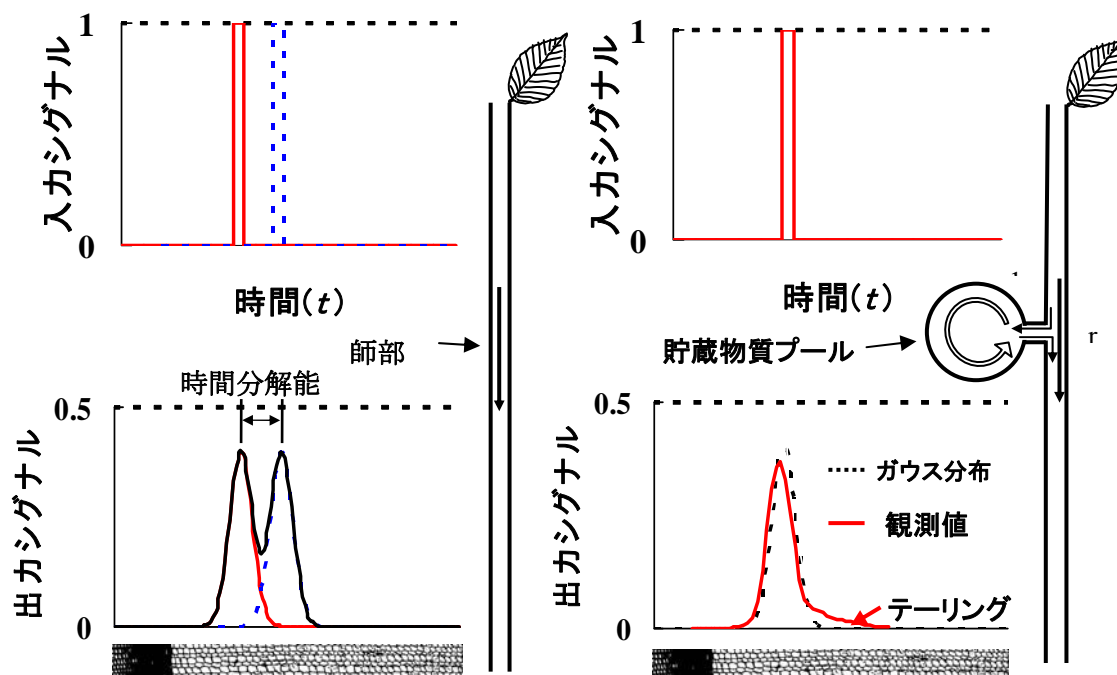


図1 環境情報記録媒体としての年輪の時間分解能と貯蔵物質の滞留時間の推定 葉から年輪形成までのプロセスを解明する手法として、葉からパルス信号を入力し、年輪への出力曲線を可視化する $^{13}\text{C}\text{O}_2$ パルスラベリング法がある (Kagawa et al. 2005 を改変)。

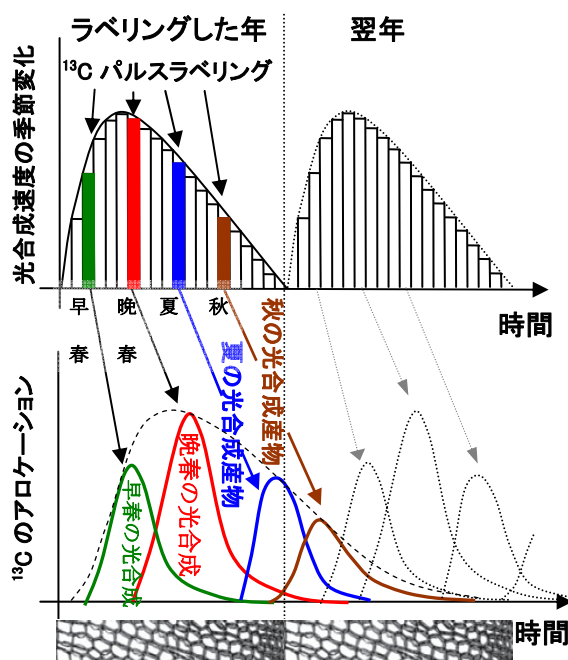


図2 春・夏・秋の光合成産物の年輪形成への利用 光合成産物を ^{13}C で標識することにより、早材・晩材がいつ同化された光合成産物により形成されるかを調べる事ができる (Kagawa et al. 2006a, 2006b を改変)。

樹木の呼吸

－実生から巨木へ－

森茂太（森林総研、植物生態）

現在、一般的に樹木個体の成長は光合成と呼吸の年ごとの炭素収支で説明される。光合成と呼吸を、それぞれ「収入」「支出」として、「収支」として成長を計算する。しかし、本当に成長は単純な「年毎の収支」だけで計算してもよいのだろうか？樹木は長期間に渡り数ミリグラムの実生から、数十トンの巨木まで 10^{12} 倍の成長を遂げる。この間、強風や気象害などで被害を受けながらも自己修復するが、その成長修復力に関する個体生理学的概念は無い。

こうした、幅の広い成長は樹木に特徴的であり、上記単純な収支計算から定義される「従来の成長概念」だけでは、様々な攪乱を乗り越え成長継続するには不十分に思える。そのため、人間社会同様「貯蓄」が復元力を伴う生物学的成長に不可欠だろう。こうした知見は激変する環境への適応能評価としても重要である。

樹木個体レベルの「貯蓄の評価」は安定同位体を用いた Kagawa A et. al(2006) の研究により途についたばかりであるが、樹木の「環境適応力評価」には極めて重要な手法である。本発表では、樹木個体の「安定同位体による貯蓄研究」の重要性を、我々の提案する「個体レベルの呼吸法則」から検討したい。

インドネシアからシベリアに至る幅の広い環境で64種271個体、樹齢1ヶ月以下の実生から240年生まで、数ミリグラムの実生からDBH1mの巨木まで個体重量幅 10^9 倍で野外に生育する全樹木個体の呼吸を比較・検討した。個体呼吸には従来殆ど無視されてきた根の呼吸も含む。



図 樹木個体呼吸の非破壊的、破壊的測定の様子

左：シベリア永久凍土地帯で焚き火と永久凍土の熱を利用して内部温度をプログラム制御して行う個体呼吸測定。 上：切断した材料で行う巨木（樹高3.2 m）の個体呼吸測定。根も掘り出した。切断で個体呼吸は影響を受けなかった。

長年、「樹木個体呼吸と個体重量の関係」は両対数軸上の「単純べき関数」によるアロメトリー式で表現されると考えられて来た。しかし、現在、支持されている両対数軸上の傾き 1 (Reich PB et al. (2006) *Nature* 439) と $3/4$ (West GB (1997) *Science* 276) の「単純べき関数」とは有意に異なる結果となった。この理由は、小さな個体間では傾きは高く重量比例の 1 に近くなり、大きな個体では内部の低呼吸活性部位が増え、葉の割合が減少することで傾きが $3/4$ に近くなる。このため、全体として上に凸の傾向があるため従来の単純べき乗式では表現できない。

そこで、2つの異なる傾きの単純べき関数を漸近線とした「混合べき式」で近似し、従来の「単純べき関数」や「二次関数」と比較して統計的モデル選択を行ったところ、「新式」が最適モデルであった。我々の式では、従来相互排他的と考えられていた上記2主要仮説を、生物学的に合理的な相補関係として統合した。非線形性の高い新式は、個体呼吸が「機能と構造の動的平衡状態」の上にあることを意味した。この生物学的な意義について、「安定同位体」を用いた樹木個体の「貯蓄」研究と関連づけ「樹木の環境適応能力評価研究」として言及したい。

窒素および炭水化物の貯蔵機能の評価に基づく ブナ林堅果豊凶作のメカニズムの解明

韓慶民¹ (qhan@ffpri.affrc.go.jp) 1 : (独) 森林総合研究所物質生産研究室

はじめに

樹木の結実豊凶（マスティング）は古くから広く知られている現象である。この現象を究明するために、捕食者飽食、送受粉効率、資源適合などの仮説が提示されたが、どの仮説も結実豊凶現象を完全に説明し切れていない。そうした中で、豊作年の多量の結実が、樹体内に蓄積した同化産物（資源）の過剰消費を促し、その再蓄積に長期間を要するという資源適合仮説が最もメカニズム的に有力な説である (Isagi et al. 1997)。近年、枝や幹など各器官に貯蔵された非構造的炭水化物 (NSC) が繁殖時に消費されるという仮定のもとで資源適合仮説を検証する試みがなされたが、これを裏付けるデータは得られていない。むしろヨーロッパブナでは、NSC は、豊作年の堅果成熟期においても一定量が枝に存在し続け、幹では減少が確認されなかった (Hoch et al. 2003)。しかしながら、繁殖に必要なのは炭水化物だけではなく、タンパク質などの窒素化合物も重要な資源として考えられる。窒素は自然界で不足しがちな元素であり、成長につれて、樹木は土壌からの吸収よりも樹体内に貯蔵された窒素の再利用を重視するようになる (Millard 1996)。そのため繁殖に伴う樹体内窒素の過剰消費は樹木にとって深刻であり、樹体内窒素量の減少—再貯蓄のサイクルが、繁殖の隔年性をもたらしている可能性がある。本研究では、ブナにおいて、樹体内窒素の貯蔵器官を判明したうえで、結実が貯蔵窒素および非構造的炭水化物の貯蔵量に与える影響を明らかにすることを目的とした。

材料および研究方法

新潟県苗場山に分布している 83 年生のブナ林 (36°51'N, 138°46'E、海拔 900 m) を対象に、2005 年の豊作年に結実した 3–5 個体を供試木とした。高枝鉋で樹冠上部から枝を採り、年次枝毎に分けた (Han et al. 2008)。また、成長錐で幹及び裸出根からコア採集後、1cm ごとに分割した。サンプリングは、2005 年の落葉前から 3 年間かけて展葉期、成熟期、落葉前及び落葉後の 10 回行った。NC アナライザーを用いて、乾燥粉碎後のサンプルの窒素濃度を測定した。同サンプルの可溶性糖分・デンプン濃度を Ono et al. (1996) の手法に従って抽出・比色定量し、その和を NSC 濃度とした。

結果及び考察

当年生シュートを除けば、すべての年次枝において (1–9 年生) その窒素濃度は同じ季節変化パターンを示した: 展葉期に葉への転流による低下と、成長期後期に土壌からの吸上げまたは葉からの回収による増加が見られた。また、休眠期における枝の窒素濃度は枝の加齢に伴い低下した。更に、同じ年に伸長した枝の間で休眠期の窒素濃度を比較した結果、豊作年以降年々増加する経年変化が見られた。一方幹と根では、窒素濃度は師部や形成層を含む表層で高く、中心に向かうにつれて窒素濃度が低くなった。また幹と根の窒素濃度には、顕著な季節変化及び経年変化パターンがみられなかった。胸高直径とのアロメトリ一式を用いて計算した各器官のバイオマスと、休眠期、展葉期における各器官の窒素濃度から、個体レベルの窒素貯蔵量を推定した。その結果、枝がブナの主要な窒素貯蔵器官であることが明らかになった。休眠期から展葉期にかけて転流した窒素量は樹体の全窒素量の 2 割にすぎなかったものの、転流量は豊作年の翌年に最小になり、それ以降増加した。

これらの結果から、ブナ結実の豊凶作が樹体内の窒素貯蔵量に深く関わっていると考えられた。

NSC 濃度は、サンプリング時期によらずに枝、根、幹の順で高かった。幹・根では、可溶性糖分濃度はコアの深度間で差がないのに対して、デンプンは最外層で顕著な貯蔵がみられたことから、根・幹では、辺材の外層が主な炭水化物貯蔵部位であることが示唆された。調査期間をとおして、枝・幹のデンプン濃度は成長期に上昇するものの、落葉－休眠期かけて春先のレベルにまで低下した。このため枝・幹では、デンプン濃度の経年変化は観察されなかった。一方、根では、調査期間をとおしてデンプン濃度の生育期間中の上昇が生育期間終期の低下を上回っていたために、デンプン濃度は年々増加した。このことからブナにおいては、地上部は比較的短期の炭水化物貯蔵器官として機能し、年をまたぐような長期の貯蔵器官としては、根を利用していることが示唆された。いずれの器官においても、休眠期の NSC 濃度は豊作年以降に年々上昇する傾向をみせたことから、豊作年には貯蔵炭水化物が炭素源として重要な役割を果たすことが示唆された。また高標高サイトにおいては、2007 年に中程度の結実が観察されたものの、幹・根の NSC 濃度の低下がみられなかったことから、結実の貯蔵炭水化物への影響は、結実量や当年の光合成生産量などが関与していると考えられた。

引用文献

- Han, Q., Kabeya, D., Iio, A. & Kakubari, Y. (2008) Masting in *Fagus crenata* and its influence on the nitrogen content and dry mass of winter buds. *Tree Physiology* **28**, 1269-1276.
- Hoch, G., Richter, A. & Körner, C. (2003) Non-structural carbon compounds in temperate forest trees. *Plant, Cell and Environment* **26**, 1067-1081.
- Isagi, Y., Sugimura, K., Sumida, A. & Ito, H. (1997) How does masting happen and synchronize? *Journal of theoretical biology* **187**, 231-239.
- Millard, P. (1996) Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **159**, 1-10.
- Ono, K., Terashima, I. & Watanabe, A. (1996) Interaction between nitrogen deficit of a plant and nitrogen content in the old leaves. *Plant and Cell Physiology* **37**, 1083-1089.

光合成同化産物の転流・貯蔵・繁殖器官への分配 -¹³C トレース法による追跡

宮崎祐子¹ (miyazaki@cris.hokudai.ac.jp) ¹ : 北海道大学・創成研究機構

緒言) 多年生植物の繁殖様式の特徴の一つとして、開花と結実の豊凶が個体群で同調して起こる、マस्टィングと呼ばれる現象がある。豊作年には大量の種子生産を行うことで大量の個体内資源(炭水化物、窒素等)の消費が行われ、成長との競合や繁殖後の生存率の低下を引き起こす可能性が考えられる。そのため、固着性である植物が個体の適応度を最大にするためには、有限な資源を花や果実等の繁殖器官の生産および成熟に対し、効率よく分配する機構を種の繁殖様式に応じて発達させているものと考えられる。そこで、¹³C トレース法により、開花と結実に明瞭な豊凶がみられるハクウンボク (*Styrax obassia*) およびスギ (*Cryptomeria japonica*) の光合成同化産物の輸送様式について明らかにし、樹木の繁殖に伴う資源消費特性について考察を行った研究を紹介する。

ハクウンボク (*Styrax obassia*) を用いた研究

試料と方法) 〈実験 1〉繁殖枝 (¹³C 処理) と隣接する非繁殖枝、〈実験 2〉非繁殖枝 (¹³C 処理) と隣接する繁殖枝、〈実験 3〉繁殖枝 (¹³C 処理) と隣接する繁殖枝、の 3 つの異なる条件で ¹³CO₂ を取り込ませた。¹³CO₂ 処理する枝は透明のビニール袋で密閉し、大気中の CO₂ をソーダライムで除去した後 ¹³CO₂ を注入した。8 日間放置した後、¹³C 処理を行った枝とそれに隣接する枝を直ちに切除し、それぞれ器官(葉、果実、果実枝、枝)ごとに粉碎し、赤外分光法 (¹³C アナライザー、EX-130S) を用いて ¹³C atom% を測定した。

結果と考察) 繁殖枝の葉で同化された炭素 (¹³C) はほとんど全て果実へ転流し、さらに、非繁殖枝の葉で同化された ¹³C も大部分が隣接する繁殖枝の果実へ転流することが分かった。このことから、繁殖枝は繁殖器官に対する炭素資源分配において独立して機能しているのではなく、非繁殖枝からの炭素資源の補充も行われていることが示された。

参考文献

- Miyazaki Y, Hiura T, Kato E and Funada R. (2002) Allocation of resources to reproduction in *Styrax obassia* in a masting year. *Annals of Botany* 89: 767-772.
Miyazaki Y, Hiura T and Funada R. (2007) Allocation of photo-assimilated ¹³C from reproductive and non-reproductive shoots to fruits in *Styrax obassia*. *Plant Species Biology* 22: 53-57.

スギ (*Cryptomeria japonica*) を用いた研究

試料と方法

雄花生産量が多い個体は、雄花生産量が少ない個体と比較して、雄花生産に資源を消費するため、成長が抑制される可能性が考えられる。このことを明らかにするため、雄花生産

量の多い（ジベレリンにより雄花を誘導）および雄花生産量の少ない（ジベレリン生合成阻害剤により雄花を抑制）奈良県産精英樹のさし木クローン苗木（吉野 8 号、吉野 10 号、宇陀 27 号、宇陀 34 号）を用いて、それぞれに樹体内部で光合成同化産物の分配がどのように行われているのかを ^{13}C トレース法により調べた。

結果と考察 雄花生産量の多い個体では、分化中の雄花に最も多くの ^{13}C が転流していた。一方、雄花生産量の少ない個体では、梢端部分に最も多くの ^{13}C が転流していた。このことから、雄花分化期においては雄花生産量が多い個体では他の器官への光合成同化産物の分配割合が相対的に減少することが示唆された。

参考文献

Miyazaki Y, Osawa T and Waguchi Y. (in press) Resource level as a proximate factor influencing fluctuations in male flower production in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Journal of Forest Research*.

季節一年レベルの樹木年輪同位体比が語る過去の気候
(樹木年輪同位体比の季節変動の気候学的・生理学的規定要因)

中塚 武 (nakatsuka.takeshi@f.mbox.nagoya-u.ac.jp) 名古屋大学

●はじめに

年輪幅の変化を用いた伝統的な古気候復元法では、1つの年輪から1つのデータしか取得できないため、必然的に1年につき1つの特定の気候因子の経年変動のみが議論されて来た。しかし、実際には年輪は内から外に向けて季節的に徐々に形成されるため、全ての樹木には成長の止まる冬季を除いて、無限に細かい連続的な気候の時間変化の情報が、何らかの形で記録されている可能性がある。近年、元素分析計/同位体質量分析計 (EA/IRMS) や熱分解元素分析計/同位体質量分析計 (TCEA/IRMS) の登場により、有機物試料に含まれる炭素・酸素・水素の安定同位体比が迅速・簡便に測定できるようになり、樹木年輪の一年層内での詳細な同位体比の季節変化を分析して、その気候学的・生理学的な規定要因を探る研究が世界中で進められている。本研究では、苫小牧国有林のカラマツと北海道大学構内のアカナラ、ヤマナラシを対象に、年輪内での酸素・水素・炭素同位体比の季節変動パターンを詳細に分析し、それがどのような気候学的・生理学的因子の季節変動を記録しているか、について検討した。

●試料と方法

分析に用いた年輪円盤は、2004年1月に間伐された、苫小牧国有林内のカラマツの切り株、および2004年9月の台風で倒壊した、北大構内のアカナラ、ヤマナラシの幹から得られたものである。両サイト共に、2003年の4~10月に土壌水や樹木導管水の酸素・水素同位体比の季節変化を既に測定しており、本研究で得られた結果との比較により年輪同位体比、特に酸素・水素同位体比の季節変動の規定要因の解析が可能になる。年輪円盤(カラマツ2個体、アカナラ、ヤマナラシ各1個体ずつ)から、まず過去数年間分の年層(各々5-10mmの厚さ)を含む木部をブロック状に切り出し、それをマイクロトームにて年輪面に平行に20 μ m間隔で薄片化し、7~10枚をまとめて1試料とした(1年層当たり、20-50試料に分割)。木部の薄片は、有機溶媒、亜塩素酸ナトリウム溶液、水酸化ナトリウム溶液で、順番に処理し、それぞれの工程で脂質、リグニン、ヘミセルロースを除去して、最終的に、 α セルロースを得た。 α セルロースは、TCEA/IRMS (Delta-plus XL)にて、その酸素(炭素)同位体比を測定し、更に発煙硝酸で処理してニトロ化し、交換性のOH基の水素を除去した後、同装置でその水素同位体比を測定した。

●結果と考察

1. 酸素・炭素同位体比の季節変動パターンの個体間相関

得られた同位体比の季節変動パターンが、「外部気候因子」の変動を記録しているのか、それとも「個体毎にバラバラの要因(隣接個体による被陰状況など)」の変化を表しているに過ぎないのかを確認するため、同一林内のカラマツ2個体から得られた酸素・炭素同位体比の季節・経年変化パターンを比較した。炭素同位体比は経年・季節変化共に、個体間でバラバラのパターンを示したが、酸素同位体比の変化は2個体間でほぼ完全に一致し、それが外部気候因子の季節変化を忠実に記録している可能性を、示唆した。

2. 酸素同位体比の季節変動の規定要因

酸素同位体比は、基本的に春に(春材で)高く、夏に(秋材で)低くなる傾向を示した

が、細かく見るとそのパターンは、年毎に大きく異なっていた。年輪の酸素同位体比は、一般に、〈1〉土壌水の同位体比、〈2〉相対湿度（葉面での蒸散に伴う同位体濃縮）によって決まると考えられている。そこで、各年の酸素同位体比の季節変化を、その年の相対湿度の季節変化と比較してみたところ、非常によく一致（逆相関）し、年輪の酸素同位体比の短期変動（月・週単位）は、基本的に相対湿度の短期変動を記録していると結論できた。一方で、その長期変動（年・季節単位）には、土壌水の同位体比の変動成分が含まれていることが予想されるため、〈1〉と〈2〉の因子を分離することが、古気候を定量的に復元していく上での課題になる。

3. 酸素と水素の同位体比の季節変動パターンの関係(カラマツの場合)

カラマツの水素同位体比は、しかし、酸素同位体比と全く異なる季節変動、即ち春材で低く、秋材で高くなるパターンを示した。土壌水や導管水の水素同位体比は、その酸素同位体比とほぼ同じ季節変化を示すため、年輪における酸素と水素の同位体比の季節変化パターンの相違は、環境水の変化では説明できない。水素は酸素と異なり、植物体内での生化学反応の進行に伴って巨大な同位体分別を引き起こすので、この変化は、生理学的な要因の季節変化、即ち、春材と秋材の間でのセルロース合成に至るまでの生合成経路の長さの違いを反映していると思われる。

4. 酸素・水素同位体比の季節変動パターンの樹種間相関

北大構内で得られたアカナラ、ヤマナラシの年輪の酸素同位体比は、その材の性質が全く異なる（アカナラは環孔材、ヤマナラシは散孔材）にも拘らず、極めてよく似た季節変動パターンとその同位体比の絶対値を示し、酸素同位体比が樹種によらず、気候の季節変化を等しく記録していることを示唆していた。しかし、水素同位体比については、両種間で季節変動のパターンは一致するものの、変動の振幅および同位体比の絶対値はアカナラ側で遥かに大きく、生理学的因子の季節変化の大きさがアカナラにおいて極めて大きいことを意味している。

5. 春材部に見られる酸素・水素同位体比の顕著な逆相関

興味深いことに、アカナラの導管部（春材）の水素同位体比は、他の部分と比べて、80%程度も高い値を示す。一方、同じ層の酸素同位体比は、周囲の層よりも、2-4%も低い。一般に植物体の内外を問わず、水分子の酸素・水素同位体比は、同じ方向に変化するのが常であり、こうした環孔材の導管部における酸素・水素同位体比の「逆方向」への顕著なシフトは、その導管のセルロース合成に使われる有機分子の由来が、秋材の部分と大きく異なっていることを意味している。こうした結果は、環孔材の導管が、前年の光合成によって生成された産物を利用して形成される、という良く知られた事実と一致するが、実のところ、年輪境界付近における酸素と水素の同位体比の顕著な逆方向へのシフトは、ヤマナラシにおいても見られ、樹幹部のセルロース合成の生化学的条件が、環孔材のみならず、散孔材においても、明確に季節変化していることを示唆している。こうしたセルロースの酸素・水素・炭素同位体比の季節変動を、詳しく解析することで、今後、木材形成の季節進行のメカニズムが、新たな角度から、明らかになってくるものと期待できる。

光合成の水利用効率と炭素同位体比 —小笠原乾燥尾根部に生育する植物の機能的多様性—

石田 厚¹ (atto@ffpri.affrc.go.jp) 1 : (独) 森林総合研究所 植物生態研究領域

緒言) 植物は、種類によって様々な形態や生理特性をもち、1980 年代より、葉寿命の長い葉は、高い LMA (Leaf mass ratio: 葉乾重/葉面積比) や低い光合成速度を持つことが示されてきた。これは地球上のバイオーム間で共通の特性であり、炭素や栄養塩の利用のトレードオフの関係があることが示されてきている (Reich *et al.* 1997)。また 2000 年代に入り、葉の水ポテンシャルが低くなる樹種ほど茎密度が高くなる関係が見いだされ、水利用にもトレードオフの関係があることが示唆されている (Bucci *et al.* 2004, Santiago *et al.* 2004)。植物は、葉の気孔を通じて大気より二酸化炭素を吸収し、水を大気へと失っている。このことから、もし葉の光合成と水分特性との間に関連があるならば、植物器官の生理的形態的特性に相互関係があり、また植物の機能タイプ (functional type) ごとに一定の特性があると予測される。この仮説を検証するため、小笠原の乾燥尾根部に共存する様々な機能タイプの植物種について、葉や茎の生理的・形態的な特性の相互関係を調べた

場所と方法) 小笠原は、東京より約 1000km 南の太平洋上にあり、第 3 期に海底火山が隆起して出来た島嶼であり、木本種の約 75% は固有種と言われている。小笠原は、有史以来大陸とつながった歴史の無い海洋島で、また江戸時代末期までは無人島であった。小笠原島嶼で一番大きな島である父島でも、その面積は 24 km² と比較的小さい。年平均気温は 23.1°C、年降水量は 1277mm (1969 年から 2005 年までの平均値) で、亜熱帯気候にあたる。ほぼ同じ緯度に位置する沖縄では、年平均気温は 22.4°C、年降水量は約 2000mm であることから、沖縄と比べ小笠原の降雨量は極端に少ない。また火山島であることから土壌の発達も悪く、特に尾根部では、樹高が 1~3 m 以下の乾性低木林が発達している。

小笠原の父島 (27° 04' N, 142° 13' E) の乾燥低木林に生育する 32 の被子植物について、葉寿命と、LMA、材密度や道管構造といった形態特性、光合成速度、気孔コンダクタンス、葉の浸透ポテンシャルなどのガス交換機能を測定した (Ishida A. *et al.* 2008、石田ほか 2008)。また木本種に関しては、道管の形態観察を、光学顕微鏡下で行った。

結果と考察) 葉寿命の長い植物種ほど、高い LMA、低い N 含量、低い光合成能、高い $\delta^{13}\text{C}$ 値、低い葉の浸透ポテンシャル、低い葉の含水率、高い茎密度を持った (図 1)。すなわち葉寿命は、葉の形態、光合成や水分特性、茎密度、葉の C 安定同位対比と関連をもった。しかし葉の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、葉の浸透ポテンシャルや茎密度といった水分特性とは、直接関連していなかった。主成分分析の結果、草本・灌木種、先駆性樹種、地面をはう木、立木、ヤシ、CAM 植物といった各機能タイプをよく仕分けた (図 2)。第 1 軸は 41.8%、第 2 軸は 22.3%、全体の分散を説明し、第 1 軸は光合成に関連したパラメータ、第 2 軸は水に関連した軸であった。そのことから茎密度を X 軸に、乾重当たりの光合成速度を Y 軸に

とって各機能タイプをよく仕分けることから(図3)、茎密度と乾重当たりの光合成速度が、各機能タイプの特性を仕分けるキーパラメータであることがわかった。また木本樹種の中だけでみても、材比重の思い樹種ほど、葉寿命は長く、光合成能力は低く、N含量は少なく、葉の浸透ポテンシャルや含水量は低かった。一方木部面積当たりの道管面積比は、光合成速度や葉の水分特性とは相関を示さなかった。しかし1本の道管が太い樹種ほど、光合成能力、葉のN含量、葉の浸透ポテンシャル、葉の含水率も高くなった。また道管が太い樹種ほど、木部面積当たりの道管数は減少した。また葉の浸透ポテンシャルが低い樹種ほど、道管複合率(連結した道管の割合)が少ない、すなわち1本の孤立した道管が多くなっていた。もし葉の浸透ポテンシャルが低い樹種ほど、日中の水ポテンシャルが低い値まで低下しているならば、高密度の材や孤立した道管の割合が高くなることによって、木部キャビテーションの拡大をふせぎ、低い水ポテンシャルに耐えることのできる樹種であると考えられた。これからのデータから、葉寿命、葉の光合成能力やN含量、材密度、道管構造はお互いに密接な関係をもっていることを示す。さらに各機能タイプは、これらの生理や形態特性のある組み合わせ(セット)を共通に持った種群であることもわかった。今後植物の機能的な多様性を理解していくためには、CやOの安定同位体比から、主にどの深さの土壌からの水を利用しているのか、また長期的に見た光合成の水利用特性と形質との関連を調べ、根系と地上部との関連を調べていく必要がある。

参考文献

- Bucci S. J. *et al.* (2004) Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. *Tree Physiol* **24** 891-899.
- Ishida A. *et al.* (2008) Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms. *Oecologia* **156** 193-202.
- 石田厚ほか(2008)小笠原乾燥尾根部に生育する植物の葉と茎の生理生態学的特性 *小笠原研究(Ogasawara Research)* **34** 9-31.
- Reich P. B. *et al.* (1997) From tropics to tundra: global convergence in plant function. *Proc Natl Acad Sci USA* **94** 13730-13734.
- Santiago L. S. *et al.* (2004) Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecologia* **140** 543-550.

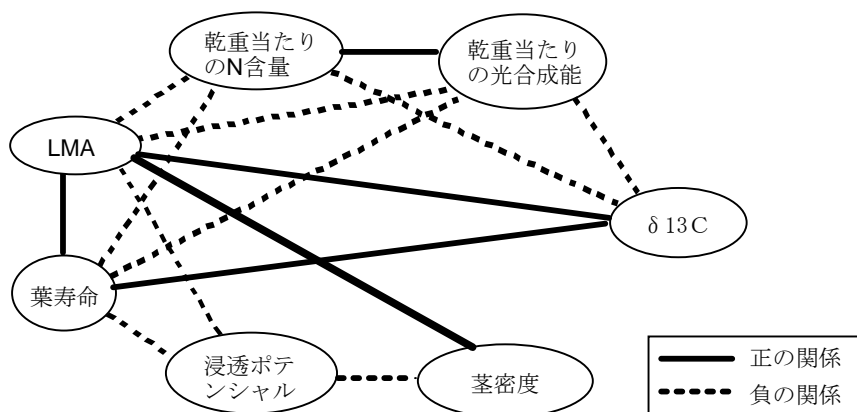


図1 葉寿命、葉の安定C同位対比、葉や茎の生理・形態特性との関連。

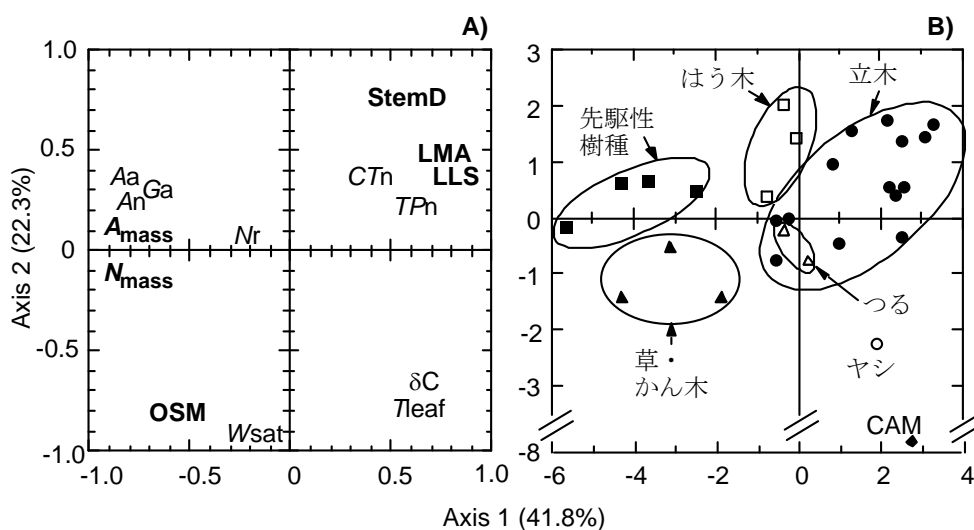


図2 15個（道管構造は除く）の形質をもとにした主成分分析の結果。A) は形質の、B) は機能タイプごとの種のプロット。

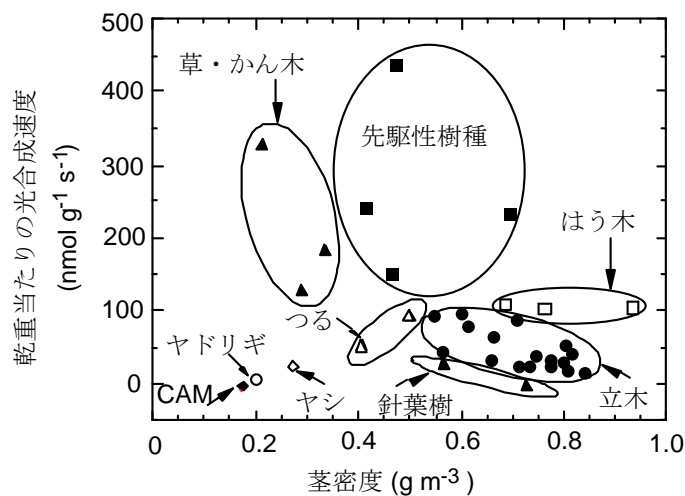


図3 葉の乾重当たりの光合成速度と茎密度を、それぞれY軸、X軸にとった時の種の位置のプロット。ここでは針葉樹（リュウキュウマツ、シマムロ）もデータとして含めた。

樹木年輪研究会要旨

異なる標高に生育する信州カラマツの形成層活動再開時期

(信大農) 和田鉄平、安江 恒

緒言) カラマツ (*Larix kaempferi* (Lamp.)Carr) は信州を代表する樹種であり、肥大成長量が多いことから優良な二酸化炭素固定源として注目されている。形成層活動期間は肥大成長量に大きく関与しており、形成層活動期間の制限要因を解明することは、肥大成長量の制限要因を明らかにするという観点からも重要である。ナイフマーキング法を適用した和田 (2008) の調査によって、標高 770~1650m に生育する信州カラマツにおける形成層活動の活発な期間が明らかになったが、ナイフマーキング法の方法上の限界のため、形成層の細胞分裂が再開する正確な時期については明らかにされていない。また形成層活動の活発な期間の開始は、標高の上昇にともなって遅くなる傾向にあることが明らかになった (和田 2008) が、その直接的な原因や、標高上昇にともなう遅延の程度については明らかにされていない。そこで本研究では、打ち抜き法を用いて、大きな標高差を持つ信州大学演習林に生育するカラマツの形成層活動再開時期を標高別に特定し、標高および葉の開葉との関係性を明らかにすることを目的とした。

実験方法) 調査地は、信州大学農学部構内演習林 (長野県上伊那郡南箕輪村、標高 770m) および信州大学農学部西駒演習林 (長野県上伊那郡南箕輪村、標高 1250、1430、1650m) とした。調査地に生育している樹齢 43~57 年のカラマツについて、各標高につき生育良好な 3 個体 (それぞれ No.1、No.2、No.3) を供試木とした。各供試木について、2009 年 3 月 30 日から 5~7 日おきに、直径 2mm のポンチを用いて形成層を打ち抜いた。試料は採取後直ちにグルタルアルデヒド溶液で固定し、エタノールシリーズで脱水し、エポキシ樹脂で包埋し、ロータリーミクロトームを用いて厚さ 2~5 μ m の切片を作成した。常法により顕微鏡プレパラートを作成し、光学顕微鏡およびデジタルカメラを用いて形成層の木口面を写真撮影し、形成層活動の開始 (新しい細胞分裂面の形成) に注目して観察した (写真 1)。また打ち抜きと同時に、各供試木の樹冠の様子を定点固定カメラで撮影し、葉の開葉 (葉の緑色または葉の針状のシルエットの確認) に注目して観察した (写真 2)。

結果と考察) 形成層活動再開時期は、開葉時期より遅れたものが 7 個体、開葉時期と同時に確認されたものが 4 個体、開葉時期より早かったものが 1 個体であった (図 1)。このことから、カラマツの開葉が形成層活動再開の直接的な引き金になっているとは言えない。形成層活動の再開は、標高 770m では 4 月 17 日と 4 月 22 日に、1250m では 5 月 5 日に、1430m では 5 月 9 日と 5 月 13 日に、1650m では 5 月 5 日と 5 月 13 日に初めて観察され、同標高内での差異は 8 日以内だった。また開葉は、標高 770m では 4 月 13 日と 4 月 17 日に、1250m では 4 月 30 日と 5 月 5 日に、1430m では 5 月 5 日と 5 月 9 日に、1650m では 5 月 9 日に初めて観察され、同標高内での差異は 5 日以内だった。どちらも標高の上昇にともなう遅れる傾向を示し、標高が 100m 上昇するごとに、形成層活動再開時期は 3.0 日、開葉時期は

3.2 日遅くなった。

参考文献)

和田鉄平 (2008) 異なる標高に生育するカラマツの形成層活動期間. 第 59 回日本木材学会
大会研究発表要旨集 (CD-ROM) A15-0930

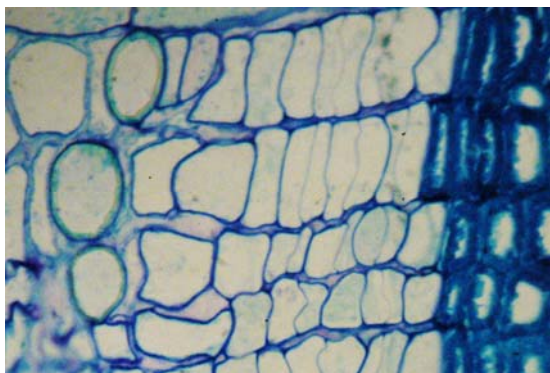


写真 1 1430m No.3 の形成層帯の様子
(5 月 9 日、400 倍光学顕微鏡写真)
形成層活動の再開を初めて確認した日。

写真 2 1430m No.3 の樹冠の様子
(5 月 9 日、定点固定写真)
初めて開葉を確認した日。

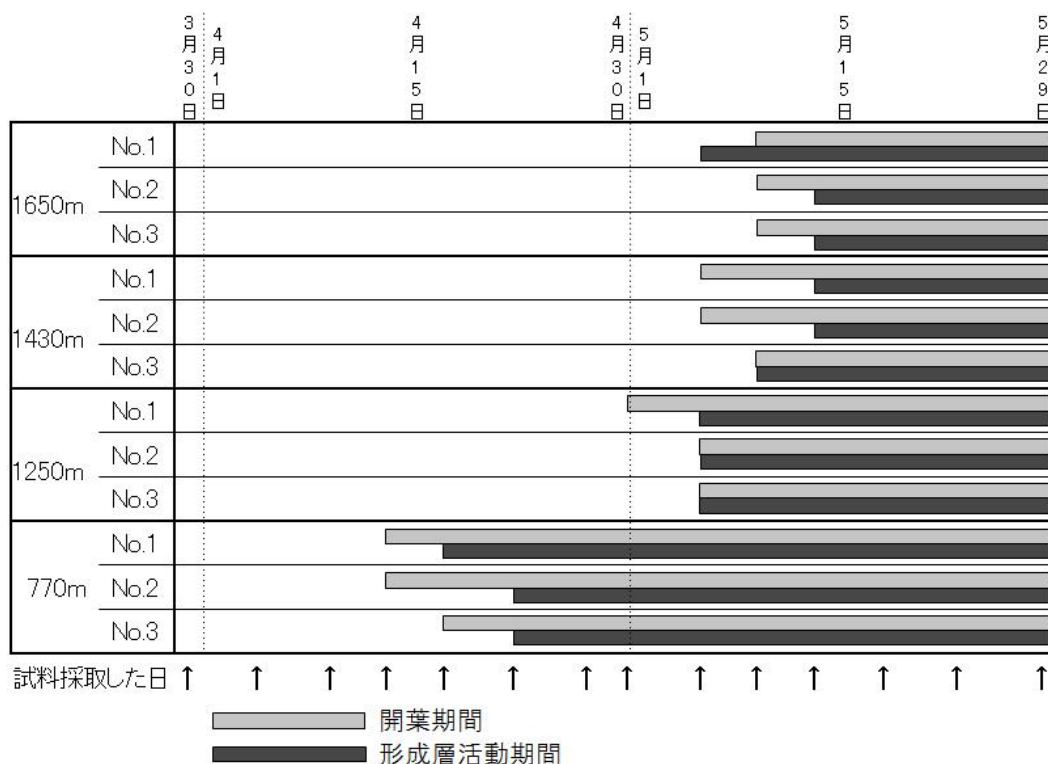


図 1 各供試木の形成層活動再開時期および開葉時期

秩父におけるブナの肥大成長の季節変化

(信大農) 涌井幸子、安江 恒、(東大演) 鎌田直人

1. はじめに

ブナ (*Fagus crenata* BLUME) は、日本の冷温帯林を代表する落葉広葉樹の 1 つである。近年、地球温暖化の影響で、ブナの生育域の減少が予測されており、多様な森林生態系への影響が危惧されている。また増加し続ける二酸化炭素を吸収し、貯蔵する (炭素固定機能) 機能を持つ面から注目されている。これまで、秩父でのブナの肥大成長に影響する気候要素について、年輪幅や年輪内密度と気象データとの間で相関解析をしてきたが、実際のブナの肥大成長期間をふまえた考察が出来ていない。そこで、本研究は刺針法 (樹幹に傷をつけ、それによって木部にできた傷害組織を指標とし成長期間を推定する測定方法) 及びワイヤデンドロメータを用いてブナの肥大成長の季節変動を明らかにし、肥大成長と気候との関係を考察することを目的とした。

2. 方法

東京大学秩父演習林 (埼玉県秩父市) 内のブナ・イヌブナ林 (標高 1200m 付近) においてブナ 5 個体を選木し、2006 年 5 月～2008 年 10 月の期間中、ほぼ 2 週間に 1 回の間隔で千枚通しを用いて樹幹に傷をつけた。2008 年 10 月 27 日に傷害部を含めたブロック試料を採取し、試料の木口面切片を作成した。その後、光学顕微鏡で観察し、傷害部までの幅、当年の年輪幅を測定した。測定値を元に、傷害時の成長率 (%) (=傷害部までの幅/当年年輪幅×100) を算出した。また同時期にワイヤデンドロメータを同様の個体に装着、データを記録し、指針法の結果と比較した。肥大成長と気候との相関関係については、涌井(2008)における年輪幅及び年輪内密度と月別気象データとの単回帰分析の結果に加え、旬別気象データとの単回帰分析の結果も合わせて考察を行った。

3. 結果と考察

傷がうまくつかなかった場合やマーキングの間隔が 3 週間近くあいてしまった場合もあったため、時間分解能が低くなってしまった。刺針によるマーキングの結果 (図 1)、肥大成長の開始は、2006 年は 5 月 13 日と 6 月 13、24 日、2007 年は 5 月 27 日と 7 月 18 日、2008 年は 6 月 19 日、7 月 14 日に確認できた。また終了は、2006 年は 7 月 6 日、8 月 11、26 日と 9 月 13 日、2008 年は 8 月 11、24 日まで細胞の分裂が確認できた。2007 年は林道が集中豪雨で決壊したため指針ができなかった。一方デンドロメータの結果 (図 2) では、開始は、2006 年は 6 月中旬、2007 年は 5 月初旬、2008 年は 5 月中旬、6 月中旬であった。終了は、2006 年は 10 月上旬、2007 年は 8 月中旬と 10 月中旬、2008 年は 10 月中旬までであった。マーキングの結果と比較すると、開始期はおおよそ似ているが、終了期は 1 ヶ月程度遅い個体があった。

3 年間に渡るマーキングの結果から最も早い肥大成長開始の確認が 5 月 13 日、最後に分裂が確認されたのが 9 月 13 日であることから、ブナの肥大成長期間はおおよそ 5 月下旬か

ら 9 月中旬までであると考えられる。デンドロメータは肥大成長の壮盛期を示すには適しているが、追随性に欠けるため、肥大成長期間を厳密に特定するにはあまり適していないと考えられる。

ブナの肥大成長と気候の相関分析の結果、年輪幅では、当年 7 月下旬の日平均気温との間に有意な正の相関関係が認められた (図 3)。また年輪内平均密度では、当年 8 月の降水量との間に有意な負の相関関係、日照時間とは正の相関関係が認められ、特に当年 8 月上・中旬の降水量との間で有意な負の相関関係が認められた (図 4)。肥大成長の一番活発な時期である 7 月に気温が高いと光合成活動が活発化し細胞分裂が活発になることで年輪幅が広くなり、肥大成長終了期に降水が多いと光合成活動が弱まり、平均密度を低下させていると考えられる。

参考文献) 涌井幸子 (2008) 秩父演習林のブナ肥大成長と気候要素及び結実との関係解析 第 58 回 日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM) A19-1030

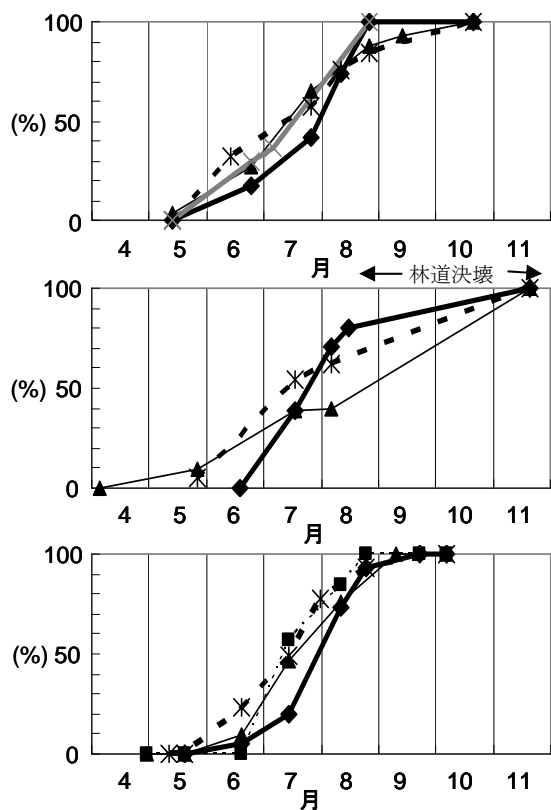


図1 マーキングによって測定された肥大成長の季節変動

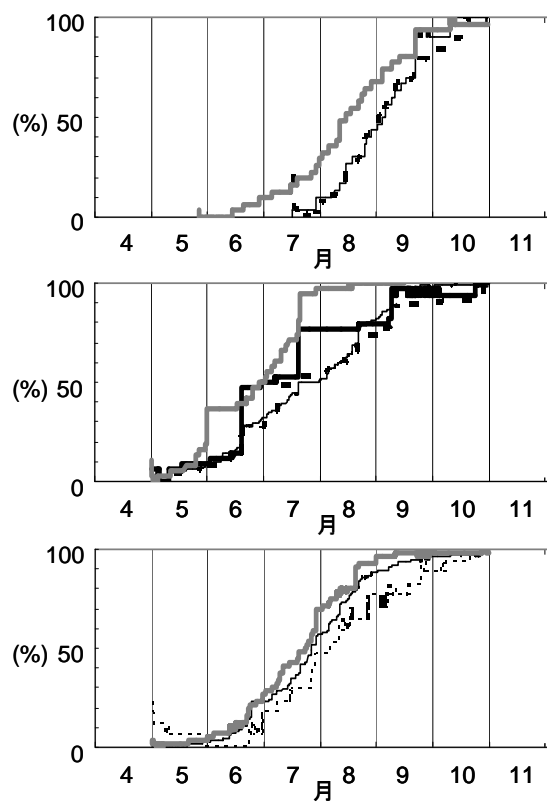


図2 ワイヤデンドロメータによって測定された肥大成長の季節変動

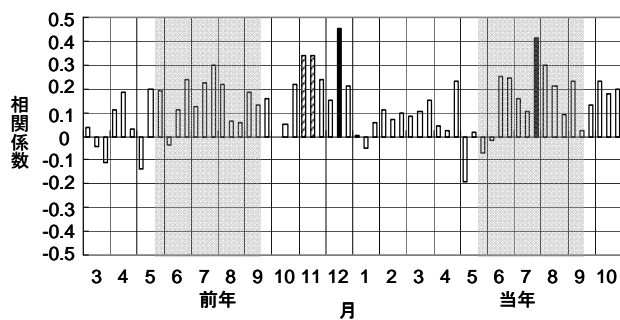


図3 年輪幅と旬別日平均気温との相関関係（左から上旬、中旬、下旬。また灰色の範囲は一年の肥大成長期間）。塗りつぶしが $p < 0.01$ 、斜線が $p < 0.05$ で有意。

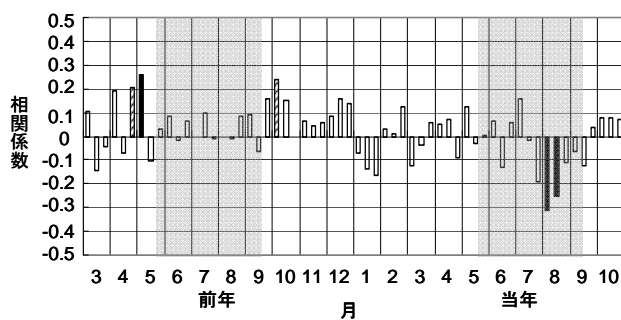


図4 年輪内平均密度と旬別降水量との相関関係（左から上旬、中旬、下旬。また灰色の範囲は一年の肥大成長期間）。塗りつぶしが $p < 0.01$ 、斜線が $p < 0.05$ で有意。

琵琶湖岸のエノキに見られた 1896 年琵琶湖大洪水の「洪水輪」

庄 建治朗¹ (show@nitech.ac.jp) 1 : 名古屋工業大学都市社会工学科

Miklós Kázmér² (mkazmer@gmail.com) 2 : Dept. of Palaeontology, Eötvös Univ. (Hungary)

緒言 著者らは、琵琶湖を対象として、古記録や古日記等により江戸時代中期以降の洪水ピーク水位や降水量等を復元する研究を行ってきたが、文献記録は比較的豊富に得られる反面、記録者の主観が介在しやすいという問題もあり、復元結果を他の客観的資料によりクロスチェックすることが望まれる。本研究では、その資料として樹木年輪に着目した。

琵琶湖からの唯一の流出河川であった瀬田川は、20 世紀初頭に大改修が行われるまでは疎通能力が小さく、大雨により湖水位が上昇すると周辺地域はしばしば長期に亘り冠水した。特に 1896 (明治 29) 年は、初夏から天候不順が続き湖水位が上昇していたところへ、9 月 4 日から 7 日にかけて台風と前線の影響により記録的豪雨となり、琵琶湖水位 +3.76m (平常時の水位は+0.83m) という未曾有の高さに達した。著者らは琵琶湖岸周辺の低地を踏査し、この洪水による長期冠水が原因と思われる特徴的な年輪を有する樹木を見出したため、本稿ではその概要を報告する。

試料と方法 対象試料は、滋賀県大津市本堅田の琵琶湖岸に近い伊豆神社境内に生育していたエノキ (ニレ科エノキ属, *Celtis sinensis* Pers.) である (図 1)。樹齢約 120 年、胸高径は 70cm あり、水準測量を行ったところ、生育地点の地盤高は琵琶湖基準水位 +2.63m であった。従ってこの樹木は、1896 年洪水時には 9 月 9 日~10 月 1 日の 23 日間程度根元が冠水していたと考えられる (図 2)。この樹木は 2002 年 7 月に伐倒され、切り倒された樹幹が現地に残されているため、地上高 1, 2, 3, 4.5m に相当する部位からチェーンソーにより円盤標本を採取し、双眼実体顕微鏡下で観察するとともに年輪幅を測定した。

結果と考察 1896 年洪水前後の期間に対応する年輪の拡大写真を、地上高 1m (a)、3m (b) の標本について図 3 に示す。

地上高 1m の標本 (図 3a) では、通常の年では孔圏は複~多列の径の大きい導管からなるのに対し、大洪水翌年の 1897 年には比較的小径の導管が 1 列に疎らに並ぶのみとなっていた。また、年輪幅も 1897 年で最小であった。地上高 3m の標本 (図 3b) についても、地上高 1m ほど顕著ではないが、やはり 1897 年に通常よりも導管径がやや小さく、幅が狭い (2~

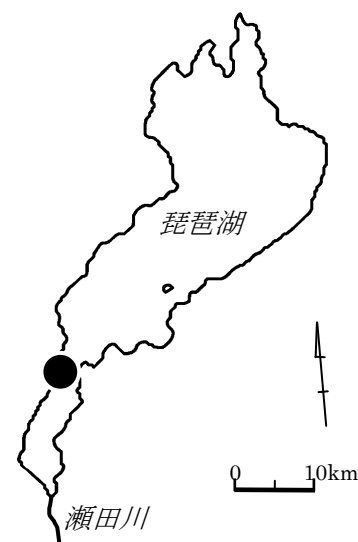


図 1 標本採取地 (●印)

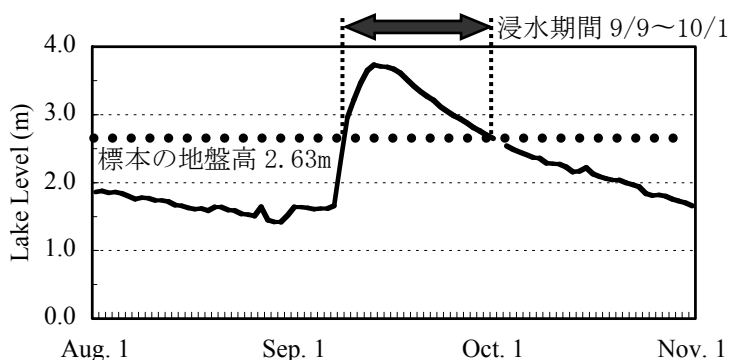


図 2 1896 年琵琶湖大洪水時の水位変化

3 列) 孔圏が見られた。地上高 2m と 4.5m についても 3m とほぼ同様で、低い部位ほど上記の特徴は顕著に見られた。また、通常の年では晩材部についても径の小さい導管が散在しているが、1897 年から 2~3 年間はこれがほとんど見られず、この特徴は何れの高さでも共通であった。

また図 4 は、1896 年洪水前後の年輪幅の変化をそれぞれの高さについて示したものである。洪水翌年の 1897 年に年輪幅が最小となっているのは何れの高さでも共通であるが、低い部位では翌年から徐々に年輪幅が回復しているのに対し、地上高 3m、4m では回復が始まるまで 3~4 年程度要するという違いが見られた。

上記と似た特徴の年輪は、カナダ・マニトバ州のレッド川畔のイガガシワ (*Quercus macrocarpa* Michx.) 等でも報告されている。St. George & Nielsen (2003) は、これらの試料木を用いて数百年に亘る古洪水の水位復元を行い、長期冠水時に道管が発達しない理由としてオーキシンの転流阻害を挙げている。しかし、彼らが対象としているのは孔圏道管が形成されている最中である春季の洪水（融雪洪水）であり、本研究のように秋季の長期冠水が翌年形成された道管に影響を及ぼした事例は他に見あたらない。冠水で土壌内が酸欠状態になったことによる根の細胞の壊死など、休眠期前の傷害が翌生長期まで影響を残すような要因が関係していると考えられる。何れにせよ、同様の事例をさらに収集する努力が必要であろう。

参考文献

崎尾均・山本福壽編 (2002) : 水辺林の生態学, 東京大学出版。
 山本福壽 : 樹木の耐水性をはかる (森をはかる その 31), 森林科学 : 日本林学会会報, No. 47 (20060601), p. 65.
 St. George, S., Nielsen, N. (2003) Paleoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring signatures. *The Holocene* 13, 547-555.



図 3 1896 年大洪水前後の年輪拡大写真 (スケールの 1 目盛は 1 mm)

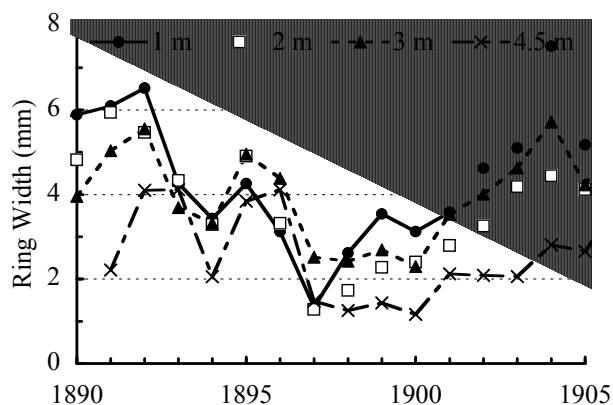


図 4 1896 年大洪水前後の年輪幅の変化

ハリエンジュ living wood fiber におけるデンプン貯蔵

山田祐記子¹, 栗野達也¹, 藤田稔¹, 高部圭司¹

(clarinet@kais.kyoto-u.ac.jp) 1 : 京都大学大学院農学研究科

緒言) 樹幹木部での光合成産物の貯蔵は、主に放射柔組織が担っていると考えられている (Witt *et al.* 1994)。しかし一部の樹種では柔細胞の他、living wood fiber (以下 LWF と略) も貯蔵を担うことが知られている。LWF は原形質を保持する“生きている”木部繊維である。一般に広葉樹木部繊維は二次壁肥厚後に細胞死を起こすが、LWF は二次壁肥厚後も数年にわたり生き続けるとされている。高木ではハリエンジュ、ネムノキ、カエデ属などで LWF の存在が知られている。本研究ではこれまでに、ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*) における LWF の分布、LWF 中のデンプン量、LWF の形態を調べてきた。

試料と方法) 大津市比叡平に生育するハリエンジュを年間を通して伐採し、胸高部位正常材部分の当年に形成された木部を試料として用いた (表 1)。試料ブロックを 2.5%グルタルアルデヒド 25mM リン酸緩衝液で固定し、20 μ m 厚木口面およびまさ目面切片を切り出した。DAPI (4'-6-diamidine-2-phenylindole-2HCl) 染色した切片の蛍光顕微鏡観察により核の有無を、PAS (Periodic Acid Schiff) 染色した切片の光学顕微鏡観察によりデンプンの有無を調べた。核またはデンプンを貯蔵する木部繊維を LWF とした。試料小片を 1%四酸化オスミウム 2.5%グルタルアルデヒド 4%ショ糖 25mM リン酸緩衝液で固定し、エポキシ樹脂に包埋した。PAS 染色した 1 μ m 厚木口面切片の光学顕微鏡から、組織ごとの断面積当たりのデンプン量を測定した。また、超薄切片を作製し、透過電子顕微鏡観察した。

結果と考察) 当年輪樹皮側のほぼ全ての木部繊維が、LWF として二次壁肥厚後も生き続けデンプンを貯蔵した (図 1)。LWF は夏から翌春までデンプンを貯蔵し、デンプンの分解後に細胞死を起こすことがわかった。LWF 中のデンプンは夏から冬にかけて蓄積した。まず、LWF 領域の髄側で蓄積し、その後形成層側で蓄積した。冬の間は、デンプン量の変化はほとんど見られなかった。春先からデンプン分解が開始した。部位間での分解速度の差や、開葉・開花前後の劇的なデンプン量の変化は確認されなかった。初夏にはほとんどのデンプンが分解され、ほぼ全ての LWF が細胞死を起こした (図 2, 3)。休眠期に見られる当年輪中のデンプンのうち LWF に貯蔵されているものの割合は 74%に達した (表 2)。LWF におけるデンプン貯蔵の模式図を図 4 にまとめた。

ハリエンジュの特徴として、成長の速さ、旺盛な萌芽更新、高い光合成能力、高い花蜜濃度、早い心材形成、重い比重、などが挙げられる。蜜源植物として重用されながら生物多様性を脅かす恐れのある要注外来生物に指定されており、林の管理方法や木材の利用法のさらなる改良が求められている。本研究で LWF が木部でのデンプン貯蔵に大きく寄与することが明らかになった。今後、光合成産物の転流・貯蔵・分配の追跡をすることで上記の特徴と LWF のデンプン貯蔵能力との関連が明らかになり、ハリエンジュの生態及び LWF への理解が進むことが期待される。

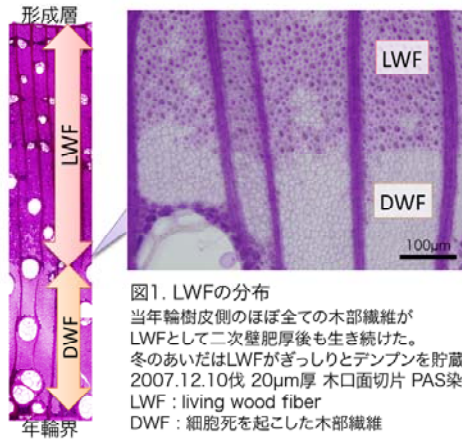


図1. LWFの分布
 当年輪樹皮側のほぼ全ての木部繊維がLWFとして二次壁肥厚後も生き続けた。冬のあいだはLWFがぎっしりとデンプンを貯蔵していた。2007.12.10伐 20µm厚 木口面切片 PAS染色
 LWF : living wood fiber
 DWF : 細胞死を起こした木部繊維

表1 実験に用いたサンプル

伐採日	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	樹体の様子
2007.7.25	9.5	10.0	
2007.7.31	9.7	11.0	
2007.10.18	-	8.0	形成層活動停止
2007.12.10	8.0	10.2	落葉
2008.1.26	9.0	9.0	
2008.2.21	8.3	8.2	
2008.3.22	9.5	9.2	
2008.4.15	8.7	9.2	
2008.4.28	8.8	6.7	開葉、形成層活動開始
2008.5.27	9.8	8.9	
2008.6.12	9.9	8.7	開花、落花
2008.7.17	10.5	11.5	
2008.8.15	10.3	10.5	
2008.9.28	9.1	10.0	
2008.11.3	8.8	10.5	形成層活動停止

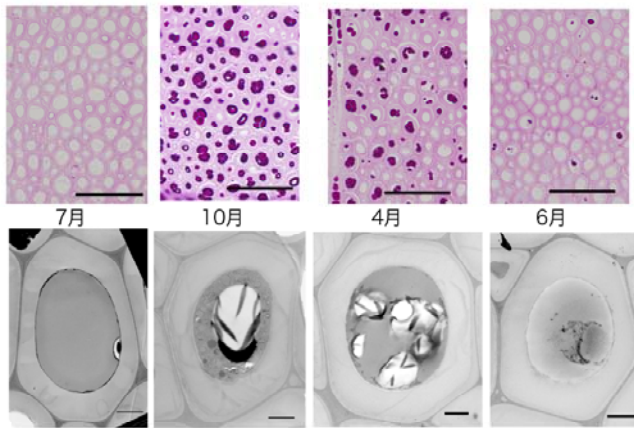


図2. LWF領域(髄側)におけるデンプンの様子
 7月の当年輪LWFでは、ほとんどデンプン粒が見られなかった。その後冬にかけてデンプン粒の大きさと数ともに増加し、LWF内腔にぎっしりとデンプン粒が見られるようになった。4月頃からデンプンが減少した。6月にはほとんどデンプンが見られなくなり、それと同時にほぼ全てのLWFで核が見られなくなった。

上段: 1µm厚木口面切片 PAS染色 光学顕微鏡像 scale=50µm
 下段: 超薄木口面切片 酢酸ウラニル&Reynolds'鉛染色 透過電子顕微鏡像 scale=2µm

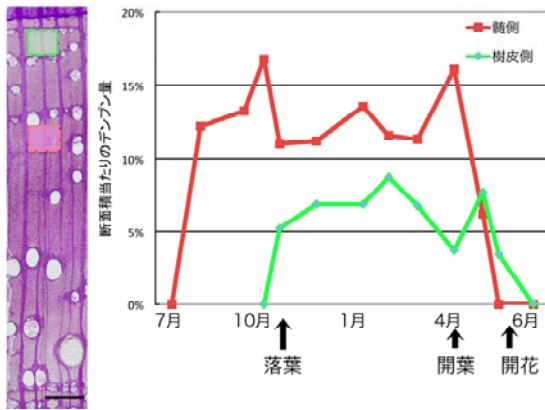


図3 LWFにおけるデンプン量の季節変動
 緑で示した部分はLWF領域のうち樹皮側の部分、赤はLWF領域のうち髄側の部分。樹皮側では、髄側と比べてデンプンの蓄積開始が遅かった。冬の間は、デンプン量の変化はほとんど見られなかった。部位に因る分解速度の差や、開葉・開花前後の劇的なデンプン量の変化は確認されなかった。全体的に髄側よりも樹皮側で断面積当たりのデンプン量が低いのは、樹皮側のLWFの方がより細胞直径が小さく細胞壁が厚く、内腔断面積が小さいからである。

表2 年輪内での各細胞の占める割合とデンプンの分配

	LWF	細胞死を起こした木部繊維	放射状組織	軸方向組織	道管 (チロース)
各細胞の占める割合	60%	8.9%	5.3%	8.0%	18%
各細胞へのデンプン分配割合	74%	0%	8.6%	17%	1.3%

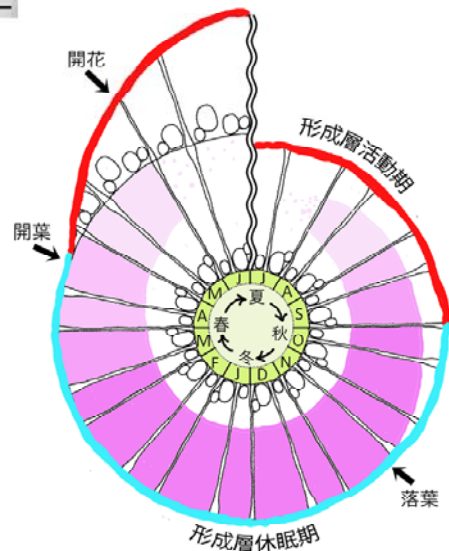
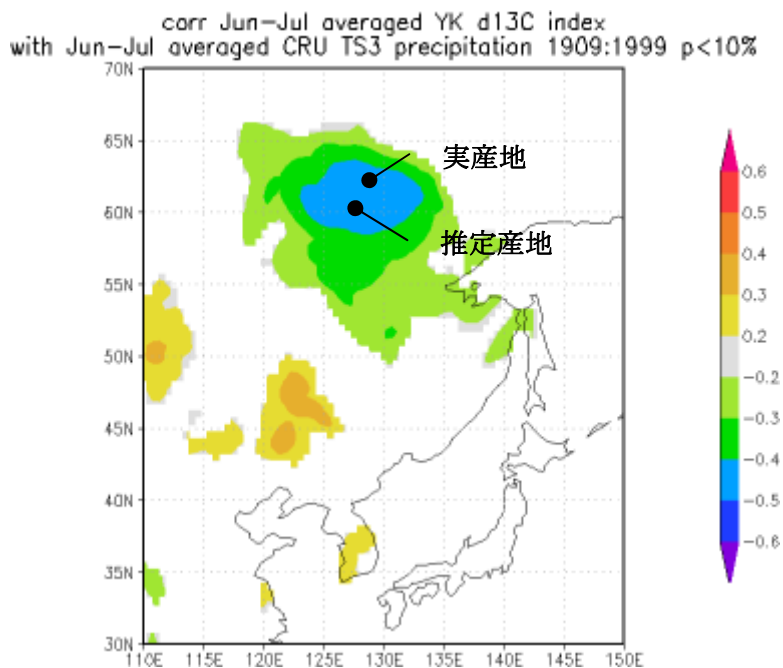
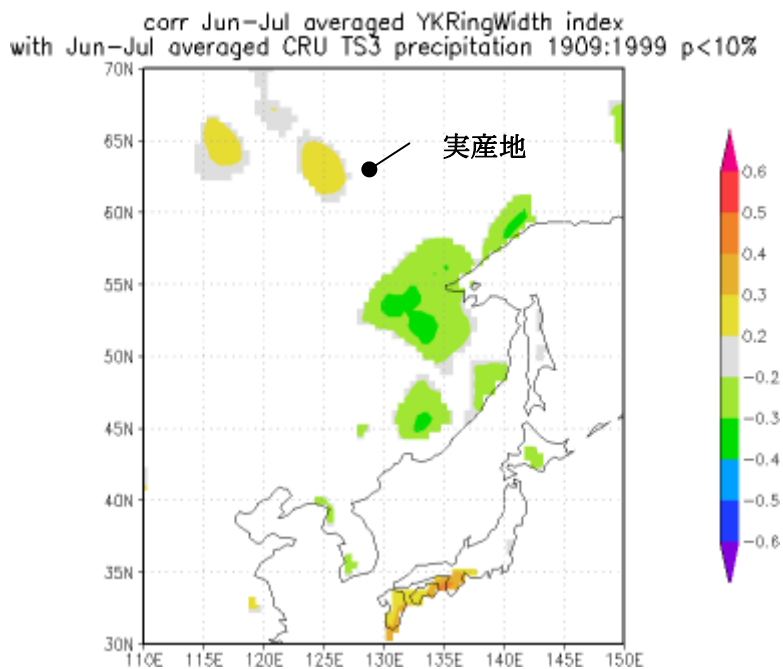


図4 LWFにおけるデンプン貯蔵 模式図
 LWFが分化し、デンプンを貯蔵し、細胞死を起こすまでの1年間を時計回りに示す。
 赤: 活動中の形成層
 青: 休眠中の形成層
 粉: デンプン貯蔵(濃淡はデンプン量の多寡を示す)

安定同位体比による木材の産地識別（総会で紹介）



極東ロシア（ヤクーツク）産のアカマツ 1 個体の年輪の炭素同位体比を 1 年毎に分析し、世界中の降水量データとの相関を計算し、相関が最大になる地点として産地を推定した例。



同じ個体の年輪幅を 1 年毎に測定し、世界中の降水量データとの相関を計算した例。

2008年度 組織と材質研究会・樹木年輪研究会
講演・発表要旨集

編集・発行 組織と材質研究会・樹木年輪研究会
協力 森林総合研究所

発行年月日 2009年9月11日

開催日 2009年9月12日～14日

開催地 森林総合研究所 本所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1
森林総合研究所 木材特性研究領域 組織材質研究室
香川 聡 (akagawa@ffpri.affrc.go.jp)
Tel:029-829-8301, Fax: 029-874-3720