

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00522

研究課題名(和文) 短期・長期的な環境変動に対する通導系の制御機構が森林の蒸発散に与える影響の解明

研究課題名(英文) Evaluation of controlling mechanism of conductive tissue for water flow and storage in trees in relation to short- and long-term environmental changes

研究代表者

鎌倉 真依 (Kamakura, Mai)

京都大学・農学研究科・研究員

研究者番号：40523840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、幹サイクロメータを用いて、樹体内の通水性の制御機構を明らかにすることを目的とした。土壌-根-幹-枝-葉の水ポテンシャルと蒸散速度から、ヒノキ樹体内の通水抵抗は、土壌-幹および幹-主枝で大きく、側枝-葉で小さかった。また、幹上部(20m)と幹下部(1m)では水ポテンシャルと樹液流の日変化にタイムラグが見られた。このことから、ヒノキでは、前日に樹体内に貯留した水を翌朝の蒸散に利用していることが示唆された。同様に、水分特性曲線を用いたヒノキの樹体内貯留量と蒸散への寄与度の評価の結果、樹体内貯留水は午前の蒸散要求に応じて消費され、蒸散低下後から明け方にかけて再充填されていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed to examine controlling mechanism of conductive tissue for water flow and storage in trees using a stem psychrometer. By measuring soil-root-trunk-branch-leaf water potential, hydraulic resistance between soil and trunk or between trunk and primary branch was larger than that between lateral branch and leaf in a cypress tree. A time lag occurred in the diurnal course of water potential and sap flow between upper stem (1m) and lower stem (20m). This suggests that water stored in the previous day is used for transpiration next morning. Similarly, the relationship between fresh mass and water potential of the whole tree indicates that replenishment of stored water occurs late in the day when low leaf water potentials resulting from daytime transpiration drive water uptake.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：水利用 ガス交換 水ポテンシャル 貯水能

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化を含む気候変動が生態系や生物多様性に異変をもたらすことは確実視されており (IPCC AR5)、森林生態系のガス交換機能の実態把握は喫緊の課題である。ここ十数年の間に、タワーフラックス観測によって、森林 大気間の CO_2 ・水蒸気交換量の長期的な把握が進んでいる。しかし、環境変動に対する森林の応答や機能を明らかにするには、フラックス観測と同時に、森林生態系の営みを詳細に観測し、それに基づいたモデル化、未来予測を行う必要がある。

これまでに本研究の研究代表者らは、東南アジアおよび日本のフラックスサイトにおいて、 CO_2 ・水蒸気交換を規定するキー・ファクターである樹木の生理生態学的応答に注目して研究を行ってきた。その結果、半島マレーシア熱帯常緑広葉樹林 (パソサイト) の林冠構成種では、木部キャピテーション回避のために、根から吸収した水を葉柄に貯蔵して日中の葉の水ポテンシャル低下を抑えている可能性が示唆され (福井、未発表)、また急激な乾燥が起こると、気孔を不均一に閉鎖して過剰な蒸散を防いでいることを実証した (Kamakura et al. 2011)。また、日本の暖温帯常緑針葉樹林 (桐生サイト) のヒノキでは、葉細胞の浸透調節が行われず、乾燥に対して敏感に気孔を閉鎖することで失水を最小限に抑えていることが分かった (福井ら、2007)。このような樹種による水利用様式の違いは、気候変動後の樹木および森林全体の蒸発散特性の変化に影響を与えると予測されるが、これまで、短期・長期的な環境変動に対する樹木の通導系の制御機構の実態を連続的に把握する手段はなかった。

そこで研究代表者らは、近年新しく開発されたサイクロメータ (PSY) を用いて、桐生サイトの 54 年生ヒノキの幹および枝の水ポテンシャル連続観測を行うことにした。この

観測を通じて、自然条件下での水ストレスの大きさの違いにより、樹木の通導系のどの部分に、どの程度の通水性の変化が生じるのかを詳細に把握することができる。また同時に、樹木の貯水組織とそれが水ストレスの緩和に果たす役割についても量的推定が可能になる。

森林のガス交換機能の評価とは、すなわちガス交換の動的平衡・可塑性および限界を知ることであるが、そのためには森林の蒸発散量を制御する内部メカニズムのさらなる解明が急務である。そこで本研究では、研究代表者・連携研究者らによって生態系スケールでの CO_2 ・水蒸気フラックスの長期観測が行われている森林において、樹木の水利用特性の環境適応性と気象変動に対する応答性を同時に解明したいとの着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、森林の水循環過程に大きな影響を及ぼすと考えられる林冠構成種を対象に、気候や樹種による樹木の水利用特性の違いを比較解析する。これにより、個葉から生態系スケールの森林の水利用に関して次の目的を達成する。

1. 樹木体内のどの部分に通水抵抗がかかっているのか、またどの部分に貯水 (タンク) 組織が存在しているのかといった、通導系の制御機能の実態を明らかにする。
2. 気象条件の年変動が、蒸発散量に与える影響を個体から生態系スケールで解析すると同時に、その生理的要因を詳細に明らかにする。

3. 研究の方法

自然条件下での水ストレスの大きさの違いにより、樹木の通導系のどの部位に、どの程度の通水性の変化が生じるのかを詳細に把握するために、滋賀県大津市の桐生水文試

験地 (34°58'N, 136°0'E) に生育する 54 年生ヒノキ個体 (樹高 23 m, DBH15 cm) を対象に、幹下部 (1 m 高)、幹上部 (20 m 高) および主枝 (20 m 高) にサイクロメータ (PSY1; ICT International, Armidale, NSW) を設置し、2014 年 7 月より水ポテンシャル測定を開始した。並行して、テンシオメータ法による土壌水ポテンシャル測定、グラニエ法による幹下部、幹上部および主枝の樹液流速の測定も行った。また、二週に一度、樹冠内三高度で LI6400 による個葉ガス交換速度測定、プレッシャーチャンバー法による側枝および葉の水ポテンシャル測定を行った。2016 年 6 月からは、二週に一度、プレッシャーチャンバー法により細根の水ポテンシャルを測定した。

また、桐生サイト内の樹高 6.5~8 m のヒノキ 3 個体を用いて、葉および幹における樹体内貯水量と蒸散への寄与率を評価するために、2017 年 10 月の晴れた日に、針葉および幹の木部圧ポテンシャル、蒸散速度、幹の伸縮量、樹液流量の日変化を測定した。その後、立木吸水法により樹液流速から吸水量への換算式を得た。また、単木および針葉の水分特性曲線から木部圧ポテンシャルにともなう各々の貯留水変化量を、幹の収縮量から幹の貯留水変化量を算出した。

尚、サイクロメータを用いた幹・枝の水ポテンシャル観測は、タイ北部の落葉性チーク林 (18°25'N, 99°43'E) においても行った。

4. 研究成果

水ポテンシャル値は、水の流れに従い土壌 > 幹下部 > 幹上部 > 主枝 > 側枝 > 葉となった。幹および主枝の水ポテンシャルの日変化は VPD の変化とよく一致し、降雨時にはゼロ付近を示した。もっとも長期間測定した幹の水ポテンシャルの季節変化をみると、夏から秋にかけて上昇傾向が見られた。

土壌 - 幹 - 枝 - 葉の水ポテンシャル差と個葉蒸散速度を用いて、樹体内の通水コンダ

クタンスを計算すると、土壌 幹および幹葉の通水コンダクタンスは同程度であった一方で、側枝 葉の通水コンダクタンスは比較すると非常に大きく、この部位には水輸送抵抗が殆どかかっていないことが示された。従って、樹体内の水輸送抵抗は、土壌から幹へ、また幹から主枝へと水が輸送される際に大きいと考えられる。また、幹と樹冠内三高度 (上・中・下層) における葉の通水コンダクタンスを比較すると、上層ほど通水コンダクタンスが大きかった。これは、光が良く当たる上層の葉ほど高い通水性を維持しながら高い光合成速度および気孔開度を実現していることを示している。

一方、晴天日の朝方に、幹上部の水ポテンシャルは、幹下部よりも約□時間遅れて低下を開始し、夕方の水ポテンシャルの回復も遅れた。同様のタイムラグは樹液流速の観測結果からも確認された。このことから、ヒノキでは、前日に樹体内に貯留した水を翌日の蒸散に利用していることが示唆された。同様に、水分特性曲線を用いたヒノキの樹体内貯留量と蒸散への寄与度の評価の結果、樹体内貯留水は午前の蒸散要求に応じて消費され、蒸散低下後から明け方にかけて再充填されていることが分かった。また、単木の日積算蒸散量に対する貯留水量の寄与率は約 20%であった。この貯留水量の約 50~80%は葉における貯留水であったことから、葉の貯水性は日変化スケールの単木の水輸送体系に重要であると考えられる。

樹体内貯留水の実測データを基に、貯留を考慮した土壌 - 植物 - 大気連続体 (Soil-Plant-Atmosphere-Continuum) モデルを構築し、さらにフラックスデータと照合して森林生態系スケールでの水利用評価を行う点については今後の検討課題である。

<引用文献>

Kamakura M., Kosugi Y., Takanashi S., Matsumoto K., Okumura M. and Philip E.,

Patchy stomatal behavior during midday depression of leaf CO₂ exchange in tropical trees, *Tree Physiology*, Vol. 31, 2011, 160-168

福井佑介, 小杉緑子, 松尾奈緒子, 高梨聡, 谷誠, 生育地, 生活形態の多様な樹種における水利用様式の比較, *水文・水資源学会誌*, Vol. 20, 2007, 265-277

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

仙福雄一, 小杉緑子, 岩田拓記, 鶴田健二, 鎌倉真依, 坂部綾香, エンクローズドパス式渦相関法を用いた降雨中および降雨直後の蒸発散・光合成の実態把握, *水文・水資源学会誌*, 査読有, Vol. 31, No. 3, 2018, 190-199

松尾奈緒子, 落合拓朗, 梅村匠, 鎌倉真依, 吉藤奈津子, チャチャイ・タンタシリ, 田中延亮, 田中克典, タイ北部の落葉性チークの個葉ガス交換特性に土壤水分が及ぼす影響, *中部森林研究*, 査読有, Vol. 65, 2017, 39-42

[学会発表](計 12 件)

中島健志, 東若菜, 鎌倉真依, 立石麻紀子, 鶴田健二, 吉村謙一, 小杉緑子, 水分特性曲線法を用いたヒノキの樹体内貯留量と蒸散への寄与度の評価, 第 129 回日本森林学会大会, 2018 年 3 月 27 日, 高知大学朝倉キャンパス

仙福雄一, 小杉緑子, 田中克典, 鶴田健二, 鎌倉真依, 東若菜, 葉の濡れ方が降雨中直後におけるヒノキ林の生態系 CO₂・潜熱フラックスに及ぼす影響, 2018 年 3 月 27 日, 高知大学朝倉キャンパス

井上直樹, 東若菜, 鎌倉真依, 小杉緑子, ヒノキ細根の水ポテンシャル及び含水率日変化の現地観測, 第 129 回日本森林学会大会, 2018 年 3 月 27 日, 高知大学朝倉キャンパス

小杉緑子, 鎌倉真依, 東若菜, 立石麻紀子, 高橋けんし, ヒノキの葉および幹内貯水量と蒸散への寄与度の評価, 第 367 回生存圏シンポジウム-生存圏ミッションシンポジウム-, 2018 年 2 月 22 日, 京都大学宇治キャンパス

井上直樹, 小杉緑子, 東若菜, 吉村謙一, 鶴田健二, 鎌倉真依, プレッシャーチャ

ンバー法を用いたヒノキ根の水分特性の測定, 第 128 回日本森林学会大会, 2017 年 3 月 27 日, 鹿児島大学

東若菜, 野口結子, 鶴田健二, 鎌倉真依, 小杉緑子, Marryanna Lion, *Dipterocarpus sublamellatus* の高所における葉の水分生理特性, 第 64 回日本生態学会大会, 2017 年 3 月 15 日, 早稲田大学早稲田キャンパス

落合拓朗, 松尾奈緒子, 吉藤奈津子, 田中延亮, 鎌倉真依, チャチャイ・タンタシリ, 田中克典, タイ北部において乾季の水ストレスがチークの落葉時期と葉の生理特性に及ぼす影響, 第 64 回日本生態学会大会, 2017 年 3 月 15 日, 早稲田大学早稲田キャンパス

落合拓朗, 松尾奈緒子, 吉藤奈津子, 田中延亮, 鎌倉真依, チャチャイ・タンタシリ, 田中克典, タイ落葉性チークの乾季における光合成能力の低下, 日本生態学会中部地区大会, 2016 年 12 月 04 日, 三重大学

松尾奈緒子, 落合拓朗, 梅村匠, 鎌倉真依, 吉藤奈津子, チャチャイ・タンタシリ, 田中延亮, 田中克典, タイ北部の落葉性チークの個葉ガス交換特性に土壤水分が及ぼす影響, 第 6 回中部森林学会大会, 2016 年 10 月 23 日, 三重大学

鎌倉真依, 小杉緑子, 鶴田健二, 山本浩之, 仙福雄一, 谷誠, 幹の水ポテンシャル連続測定によるヒノキの水利用評価, 第 127 回日本森林学会大会, 2016 年 3 月 29 日, 日本大学藤沢キャンパス

小杉緑子, 高梨聡, 植山雅仁, 岩田拓記, 鶴田健二, 鎌倉真依, 安宅未央子, 坂部綾香, 谷誠, 桐生水文試験地ヒノキ林における生態系フラックスの長期トレンド, 第 127 回日本森林学会大会, 2016 年 3 月 29 日, 日本大学藤沢キャンパス

仙福雄一, 小杉緑子, 岩田拓記, 坂部綾香, 鶴田健二, 鎌倉真依, 山本浩之, エンクローズドパス式渦相関法を用いた降雨中および降雨後の蒸発散・光合成の実態把握, 第 127 回日本森林学会大会, 2016 年 3 月 28 日, 日本大学藤沢キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鎌倉真依 (KAMAKURA, Mai)
京都大学、農学研究科・研究員

研究者番号：40523840

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

小杉 緑子 (KOSUGI, Yoshiko)

京都大学、農学研究科・教授

研究者番号： 90293919

村岡 裕由 (MURAKAA, Hiroyuki)

岐阜大学、流域圏科学研究センター・教授

研究者番号： 20397318