

令和 5 年 5 月 22 日現在

機関番号：82104

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15554

研究課題名(和文) 乾燥ストレス下で葉の通水性はなぜ低下するのか？

研究課題名(英文) Why does leaf hydraulic conductance decline under drought stress?

研究代表者

河合 清定 (Kawai, Kiyosada)

国立研究開発法人国際農林水産業研究センター・林業領域・任期付研究員

研究者番号：50846334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：夏季に乾燥する小笠原諸島父島において、葉の生理・形態特性が大きく異なる6樹種を対象に、葉の通水性の日変化を調べ、樹種間でのパターンの違いをもたらす要因を調べた。葉通水性の日変化パターンは樹種によって大きく異なり、午前中に上昇し、午後に低下する種、午後にピークを迎える種、日中を通じてあまり変化しない種が存在した。日中を通じた最大通水性は、通水欠損度と正の相関を示し、最大水輸送能力と通水維持能力にはトレード・オフの関係があることがわかった。通水欠損度は、葉の浸透調節能力とも正に関係しており、葉肉細胞の膨圧維持が、葉における水輸送の維持に重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

葉の通水性は、植物個体全体の水輸送を律速する要因であり、物質生産や環境適応にも影響する。葉の通水性は乾燥ストレスや光強度などの環境要因に反応して変化することが知られているが、樹種による反応の違いやそのメカニズムについては、特に野外においてよくわかっていない。本課題では、野外の樹木における葉通水性の環境反応には大きな種間差があり、その反応性は、葉の特性と密接に関係していることを見出した。これらの結果は、変動環境における樹木ならびに森林の生理機能の反応予測に貢献する。

研究成果の概要(英文)：On the Chichi-jima, which experiences strong dry stress during the summer season, we investigated the diurnal variation of leaf hydraulic conductance and examined the factors that contribute to the differences in patterns among six tree species with diverse leaf physiological and morphological characteristics. The diurnal patterns of leaf hydraulic conductance varied greatly among tree species, with some species showing an increase in the morning followed by a decrease in the afternoon, some peaking in the afternoon, and others exhibiting little variation. The maximum hydraulic conductance throughout the day showed a positive correlation with the percentage loss of conductance, indicating a trade-off between maximum water transport capacity and its maintenance ability. The percentage loss of conductance was also positively related to the capacity of osmotic adjustments in leaf, suggesting that the maintenance of cell turgor is crucial for sustaining water transport in leaves.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：亜熱帯気候 海洋島 気候変動 固有種 植物解剖学

1. 研究開始当初の背景

樹木は気孔を開けることで光合成の基質である二酸化炭素を吸収するが、その際必然的に水が失われる。したがって、土壌から葉に至る水輸送は、個体が適切な水分含量を保ちつつ光合成を行うのに必須であり、樹木における物質生産と環境適応に大きく影響する(Sperry et al. 2007, Brodribb 2009)。実際に、水輸送における安全性(乾燥や低温などのストレス環境下でも輸送を続けられる能力)と効率性(流れ易さ)は樹木の成長や生存、分布に影響することが示されている(Brodribb et al. 2007, Blackman et al. 2012)。樹木は異なる器官から構成されるが、葉は個体全体の通水抵抗の大部分を占め(>30%)、最も乾燥に弱い(Sack and Holbrook 2006)。したがって、葉における水輸送様式(理解は)は個体全体の水利用の理解に必須である。中でも、葉における水の流れ易さ(通水性)は光合成や蒸散といった葉の生理特性に大きく影響している。これまでの研究から、葉の通水性は環境や種によって大きく異なるが、乾燥ストレスに対して一様に低下することがわかっている(Scoffoni and Sack 2017)。しかし、特に野外において、そのメカニズムはよくわかっていない。本課題では葉の通水性が乾燥下で低下するメカニズムを明らかにし、樹木の乾燥応答の理解と予測に繋げる。

2. 研究の目的

小笠原諸島は、太平洋高気圧の発達により、夏季に強い乾燥ストレスがかかる場所である(Yoshimura et al. 2016)。そこに生育する樹木は、様々な生理・形態特性を示すことから(Ishida et al. 2008)、乾燥に対する葉の通水応答の種間変異とその要因を調べるのに適した野外系である。本研究では、葉の生理・形態特性が大きく異なる6樹種を対象に、夏季の日中において葉の通水性の低下を調べ、関連する形態・生理特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

小笠原諸島父島の乾性低木林において、6樹種を対象に、葉の蒸散速度および葉と木部における水ポテンシャルを調べることで、葉の通水性の日変化を明らかにした。本測定は、日中を通じて好天であった2021年の7月3日と4日に行った。そして、乾燥下における葉の水輸送能力を規定する要因として、飽水時の葉の浸透ポテンシャル、葉の硬さ、葉面積、葉面積当たりの乾燥重量(LMA)などの生理・形態特性を評価し、通水性の低下度合いとの関係を相関分析により検討した。

4. 研究成果

葉の通水性は、ハウチワノキとテリハハマボウを除き、9~11時にピークを示し、その後緩やかに減少し、15時以降に再び増加する傾向を示した(図1)。ハウチワノキは13時頃にピークを迎える一山型の傾向を示し、テリハハマボウでは日中を通じて明瞭な変化が見られなかった。日中を通じた葉通水性の最大値は、高い順にハウチワノキ、テリハハマボウ、シマイスノキ、シマシャリンバイ、シマモクセイ、シマカナメモチであり、最大通水欠損度((葉の最大通水性 - 最小通水性)/最大通水性)は、シマイスノキ、テリハハマボウ、ハウチワノキ、シマカナメモチ、シマモクセイ、シマシャリンバイの順に低くなった。水ポテンシャルの低下にしたがい、葉の通水性が低下すると予想したが、水ポテンシャルと通水性に負の相関が見られた種はシマイスノキのみであった。一方、シマイスノキやシマモクセイ、シマシャリンバイにおいては、大気飽差と光合成有効放射の増加に対し、葉通水性が増加することがわかり、種によって通水性の環境応答が異なることがわかった。

葉の最大通水性と通水欠損度は葉の生理・形態特性と有意な相関を示した。最大通水性は、最大光合成速度と飽水時の浸透ポテンシャルとは正の、LMAならびに葉寿命とは負の相関を示した(図2)。ここから、通水性が高い葉ほど、面積あたりの構成コストが少なく、光合成能力は高いが、着葉期間が短いことがわかった。葉の通水欠損度の平均値は、飽水時の葉浸透ポテンシャルと正の相関を示した(図3)。飽水時の葉浸透ポテンシャルが低いほど、浸透調節能力が高く、乾燥下においても葉肉細胞の膨圧を維持できるとされる(Bartlett et al. 2016)。これらを踏まえると、乾燥下においても膨圧を維持できる種は、日中を通じた通水欠損を低く抑えられている可能性がある。実際に、葉肉細胞の膨圧低下は、乾燥下での葉通水性の低下の主要因だと考えられており(Scoffoni et al. 2014)、本結果はこの仮説を支持するものである。一方で、先述のように、本研究では、光強度など乾燥ストレス以外の要因も葉通水性の日変化に影響していたため、要因の分離には更なる研究が必要である。葉の最大通水性は、通水欠損度と弱い正の相関を示した。ここから、葉における最大水輸送能力と日中を通じた通水維持能力にはトレード・オフの関係があることが示唆された。

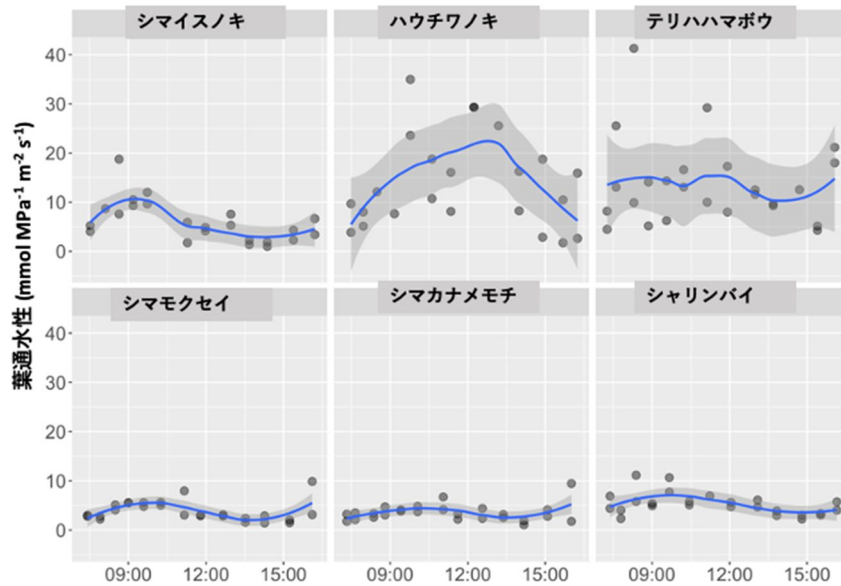


図 1 小笠原諸島父島の乾性低木林に生育する 6 樹種における葉通水性の日変化。横軸は時刻、青線は 2 次多項式による平滑化曲線を、灰色で示した領域は 95%信頼区間を表す。

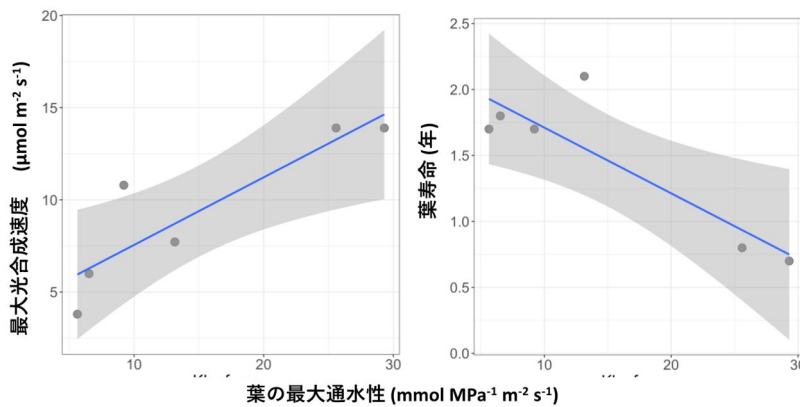


図 2 小笠原諸島父島の 6 樹種における葉の最大通水性と最大光合成速度ならびに葉寿命との関係。青線は直線回帰の結果を、灰色で示した領域は 95%信頼区間を表す。

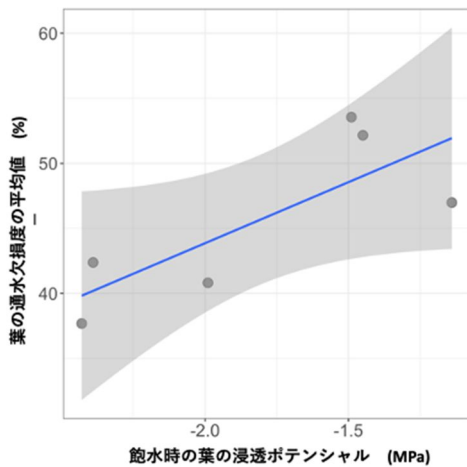


図 3 小笠原諸島父島の 6 樹種における葉の通水欠損度の平均値と飽水時の葉の浸透ポテンシャルの関係。青線は直線回帰の結果を、灰色で示した領域は 95%信頼区間を表す。

<引用文献>

- Bartlett MK, Klein T, Jansen S, Choat B, Sack L (2016) The correlations and sequence of plant stomatal, hydraulic, and wilting responses to drought. *Proc Natl Acad Sci* 113:13098–13103.
- Blackman CJ, Brodribb TJ, Jordan GJ (2010) Leaf hydraulic vulnerability is related to conduit dimensions and drought resistance across a diverse range of woody angiosperms. *New Phytol* 188:1113–1123.
- Blackman CJ, Brodribb TJ, Jordan GJ (2012) Leaf hydraulic vulnerability influences species' bioclimatic limits in a diverse group of woody angiosperms. *Oecologia* 168:1–10.
- Brodribb TJ (2009) Xylem hydraulic physiology: The functional backbone of terrestrial plant productivity. *Plant Sci* 177:245–251.
- Brodribb TJ, Feild TS, Jordan GJ (2007) Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. *Plant Physiol* 144:1890–1898.
- Ishida A, Nakano T, Yazaki K, Matsuki S, Koike N, Lauenstein DL, Shimizu M, Yamashita N (2008) Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms. *Oecologia* 156:193–202.
- Sack L, Holbrook NM (2006) Leaf hydraulicis. *Annu Rev Plant Biol* 57:361–381.
- Scoffoni C, Sack L (2017) The causes and consequences of leaf hydraulic decline with dehydration. *J Exp Bot* 68:4479–4496.
- Scoffoni C, Vuong C, Diep S, Cochard H, Sack L (2014) Leaf shrinkage with dehydration: coordination with hydraulic vulnerability and drought tolerance. *Plant Physiol* 164:1772–1788.
- Sperry JS, Hacke UG, Feild TS, Sano Y, Sikkema EH (2007) Hydraulic consequences of vessel evolution in angiosperms. *Int J Plant Sci* 168:1127–1139.
- Yoshimura K, Saiki ST, Yazaki K, Ogasa MY, Shirai M, Nakano T, Yoshimura J, Ishida A (2016) The dynamics of carbon stored in xylem sapwood to drought-induced hydraulic stress in mature trees. *Sci Rep* 6:24513.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kawai Kiyosada, Minagi Kanji, Nakamura Tomomi, Saiki Shin-Taro, Yazaki Kenichi, Ishida Atsushi	4. 巻 42
2. 論文標題 Parenchyma underlies the interspecific variation of xylem hydraulics and carbon storage across 15 woody species on a subtropical island in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 337 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpab100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Tomomi, Ishida Atsushi, Kawai Kiyosada, Minagi Kanji, Saiki Shin Taro, Yazaki Kenichi, Yoshimura Jin	4. 巻 27
2. 論文標題 Tree hazards compounded by successive climate extremes after masting in a small endemic tree, <i>Distylium lepidotum</i> , on subtropical islands in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 5094 ~ 5108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.15764	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 河合清定	4. 巻 126
2. 論文標題 樹木における木部形態の多様性と機能	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本熱帯生態学会ニューズレター	6. 最初と最後の頁 4 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 河合清定, 田中憲蔵, 漢那賢作, 石田厚	4. 巻 74
2. 論文標題 亜熱帯樹木群集における葉形質の乾燥応答: 種の置き換わりと種内変異に着目して	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 関東森林研究	6. 最初と最後の頁 77 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 K. Minagi, K. Kawai, S.-T. Saiki, K. Yazaki, A. Ishida
2. 発表標題 Hydraulic failure and carbon starvation between extreme and mild drought events across 20 drought-tolerant woody plants in the Ogasawara Islands
3. 学会等名 The 9th EAFES International Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河合清定、田中憲蔵、石田厚
2. 発表標題 降水量が異なる地域に成立した亜熱帯樹木群集における生理生態学的特性の比較
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 皆木寛治, 河合清定, 才木真太郎, 矢崎健一, 石田厚
2. 発表標題 材密度の異なる小笠原乾性低木林樹木の糖と水の利用戦略
3. 学会等名 第69回日本生態学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河合清定, 香川聡
2. 発表標題 葉面吸収水の樹体バイオマスへのアロケーション
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村友美、皆木寛司、河合清定、才木真太郎、矢崎健一、中野隆志、石田厚
2. 発表標題 台風攪乱とマस्टィングの同時発生は小笠原諸島のシマイスノキの被害を拡大する
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 皆木寛司、河合清定、中村友美、才木真太郎、矢崎健一、石田厚
2. 発表標題 小笠原諸島における夏の極端な乾燥条件下での通水欠損障害の進行と木部の通水欠損耐性
3. 学会等名 第68回日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河合清定、石田厚、才木真太郎、檀浦正子、中村友美、皆木寛司、矢崎健一、吉川彬
2. 発表標題 柔細胞の種間多様性は木部の機能とどう関係しているか? : 冷温帯林と亜熱帯林における検証
3. 学会等名 組織と材質研究会 2020秋の研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 皆木寛司、河合清定、中村友美、才木真太郎、矢崎健一、石田厚
2. 発表標題 小笠原乾性低木樹種の道管の水切れのしやすさと樹形の結びつき
3. 学会等名 第84回日本植物学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村友美, 河合清定, 皆木寛司, 才木真太郎, 矢崎健一, 石田厚
2. 発表標題 種子生産と台風攪乱の交互作用がシマイスノキの衰退に及ぼす影響
3. 学会等名 第84回日本植物学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河合清定, 田中憲蔵, 漢那賢作, 石田厚
2. 発表標題 亜熱帯樹木群集における葉形質の乾燥応答: 種の置き換わりと種内変異に着目して
3. 学会等名 関東森林学会2022年度東京大会
4. 発表年 2022年~2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関