

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年 6月 9日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19780129

研究課題名 (和文) 乾燥からの回復過程における島嶼生態系移入樹種の水利用特性の解明

研究課題名 (英文) Characteristics of water use under the recovery from prolonged drought in invasive species in the island ecosystem.

研究代表者

矢崎 健一 (YAZAKI KENICHI)

独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・主任研究員

研究者番号：30353890

研究成果の概要 (和文)：乾燥・降雨に対する小笠原移入樹種の水利用特性を木部構造や機能から明らかにするため、実験的および野外において、乾燥・灌水 (降雨) に対する樹幹木部道管内の水分状態および樹幹流速の変化を調べた。また、木部構造と生態的地位との関連性を複数樹種で主成分分析により解析した。その結果、湿性地向の移入種であるアカギは、突発的な降雨を利用できない一方、乾性地向の移入種であるキバンジロウは、突発的な降雨を在来種に比べて有効に利用していることがあきらかになった。また、このような水利用特性の違いを決定するのは、木部組織のネットワーク構築が要因の一つである可能性が示された。

研究成果の概要 (英文)：

The changes in water distribution of vessels and sap flow velocity under continuous drought and following irrigation were examined in the invasive species in the Bonin Island. The relationships between wood anatomical parameters and functional types were also tested using analysis of principal component in several species which grow in the mesic or xeric site in the islands. Water use in *Bischofia javanica*, which invade mesic site, was not effective to sudden water supply. In contrast, *Psidium cattleianum*, which invade xeric site, could use water more effective than indigenous species in sudden precipitation. The construction of network across xylem conduits and rays is one of the contributing factor to determine the traits of water use of these species.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	300,000	3,800,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：生理生態学、環境変動、生態系修復・整備、樹木解剖学、電子顕微鏡

## 1. 研究開始当初の背景

小笠原諸島は亜熱帯に属するが乾燥しやすいため、多樹種からなる乾燥低木林という特異で固有な植生を有する。一度も大陸と地続きにならなかったことがない小笠原は固有の生態系を有しているが、人為的に持ち込まれたアカギ、モクマオウ、キバンジロウなどの外来樹種が分布を拡大し、問題となっている。

小笠原のような乾燥性の立地に侵入・定着する外来樹種は在来樹種に比べて水を効率的に利用している可能性がある。具体的には、(1)乾燥時に樹体内の水を逃がさないようにする(乾燥耐性)か、あるいは(2)乾燥後の突発的な降水時に素早く水を利用して機能を回復する(回復能)の2点である。

(1)の乾燥耐性を樹木が得るための反応としては、気孔閉鎖や落葉による蒸散面の減少、浸透調節や根系の発達による吸水能の増加、水切れ(エンボリズム)を起こしにくい形状の通水系の構築、などがあげられる。このような特性を乾燥地への移入種が保持する必要がある。この特性は小笠原の在来樹種でも、同等に高いと予想される。一方、(2)の回復能に関する樹木の生理・形態特性の評価は、国内外でもほとんど着目されていない。降雨に対して素早く通水を回復するためには、効率的に水を輸送することが必要となる。すなわち、十分な面積の葉の保持、輸送能力の高い(すなわち広い面積の)通水系などが必要となる。

樹木木部の通水組織や支持組織は強固に木化するため、一度形成された後は形状が大きく変わらない。すなわち乾燥耐性を高めるために水を移動しにくい構造と、効率よく水を移動させることとで、木部構造にトレード・オフが生じることが考えられる。とりわけ、通水系内の気泡の発生(キャビテーション)への耐性と木部構造とは綿密な関係があることが多く報告されているが、機能の回復と木部構造との関係性はほとんど明らかになっていない。従って、乾燥・回復過程における木部内の水分挙動を明らかにする必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、乾燥およびその後の突発的な灌水に対し、小笠原在来種に比べて移入樹種は「乾燥耐性が高い」のか「素早く機能を回復できる」のか、あるいは「両特性に適度なバランスがある」のかといった水利用特性を明らかにすることである。具体的には、以下の3点を検証する。

(1) 道管・仮道管のキャビテーション耐性および回復の過程を、在来種および移入種間で比較する。

(2) 小笠原で生育している個体の樹幹流速をモニタリングし、室内実験で得られた結果と照合する。

(3) 道管・仮道管の機能回復に関わると考えられる各器官におけるパラメータ(通導組織の配列、柔細胞の割合、葉の蒸散速度や浸透調節など)を調査し、複数樹種において、どのような生理・形態的特性が生態的地位に寄与しているのか、統計学的に明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) cryo-SEMによる乾燥・回復時の木部内水分挙動の観察

### ①材料

小笠原父島において、比較的土壌の厚い立地に生育する種と土壌の薄い立地に生育する種のポット苗を森林総合研究所内の自然光利用型環境制御室(ファイトロン、小糸工業社)で育成した。樹種は以下の通りである。

生育地	在来種	移入種
湿性高木林	ウラジロエノキ	アカギ
乾性低木林	シマイスノキ	キバンジロウ

ファイトロン内の温度は28/23℃(昼/夜)に設定した。

### ②環境処理

それぞれの苗木に乾燥・灌水処理を施した。乾燥時には灌水を控え、ファイトロン内の湿度を40%/50%(昼/夜)に設定した。13-15日間の乾燥後に十分な灌水をし、湿度を60%/70%に設定して二日間おいた。

### ③水ポテンシャルの測定

乾燥処理および灌水処理において経時的に葉の水ポテンシャルをプレッシャーチャンバー(Soilmoisture Equipment社)で測定した。測定は日中12:00-15:00の間に行った。

### ④cryo-SEMによる木部内水分状態の観察

乾燥処理1日目、5-7日目、15日目および灌水処理2日後に、苗木木部を立木のまま液体窒素で凍結させ、地際より2-3cm上部から木部サンプルを採取した。サンプルを凍結ミクロトームで切削し、低温走査型電子顕微鏡(cryo-SEM、JSM-840(日本電子社)、S-4500(日立ハイテク社)およびJSM6510(日本電子社))で木口面を観察した。

(2) 野外成育個体の樹幹流速モニタリング

### ①調査地

土壌の厚い湿性高木林として、小笠原父島の森林総合研究所コーヒー山試験地を、土壌の薄い乾性低木林として、同時雨山国有林21林班を設定した。

### ②供試木

供試木として以下の樹種を用いた。

調査地	在来種	移入種
コーヒー山 (湿性高木林)	ヒメツバキ (樹高約8-10m)	アカギ (樹高約10-12m)
時雨山 (乾燥低木林)	テリハハマボウ、アカテツ (樹高約1m)	キバシロウ (樹高約1m)

光条件や土壌条件がほぼ同様とみなせる、隣接した個体を用いた。個体数はコーヒー山調査地では2個体ずつ、時雨山調査地では3個体ずつであった。

### ③測定

グラニエ型樹幹流速センサー (TDP-10 および TDP-30、メイワフォーシス社) によって測定を行った。地熱の影響の少ない胸高部位あるいは樹幹中央部にセンサーを設置した。コーヒー山調査地の樹種には、樹幹頂端部より3~4m 下部にもセンサーを取り付けた。測定は2007年10月~2008年8月(コーヒー山)および2008年9月~2009年9月(時雨山)に行った。電源として太陽電池およびディープサイクルバッテリーを用い、一年近く連続してデータを収集した。気象データとして、気象庁のホームページ

(<http://www.jma.go.jp/>) の小笠原父島観測所の公開データを用いた。

### ④解析

測定期間中に連続的な乾燥(15日以上)後に降雨があった期間を解析の対象とした。コーヒー山では2008年5月24日~6月23日、時雨山では2009年4月29日~6月9日の間の樹幹流データを解析した。

(3) 生理特性・木部構造が生態的地位に及ぼす寄与度の解析

#### ①供試木

小笠原父島の乾性低木林から湿性高木林に生育する樹種21種を選択した。この中には(1)(2)の対象樹種も含まれる。

#### ②生理特性

生理特性として、石田ら(2008)の、光合成速度、窒素含量、葉の寿命などのパラメータを利用した。

#### ③木部構造の解析

対象樹種の木部の木口面観察像から、道管要素面積、単位面積あたり道管数、道管複合度(Vessel Group Index)、放射組織面積率などを画像解析で測定した。

#### ④統計解析

得られた生理および解剖学的パラメータ間で主成分分析を行い、第一主成分、第二主成分を抽出した。

## 4. 研究成果

(1) cryo-SEMによる乾燥・回復時の木部内水分挙動の観察

①比較的土壌の厚い地に生育する種においては、在来種のウラジロエノキは乾燥に対して道管内にキャビテーションおよびエン

ボリズムが発生したが、灌水によって全てそれらは解消された(図1)。ウラジロエノキは乾燥に伴い、離層を形成し落葉した。移入種のアカギにおいても乾燥に対してキャビテーションが発生した(図2)が、その程度はウラジロエノキよりも少なかった。しかしながら、落葉せず地上部のほとんどが著しくしおれ、地上部が枯死した個体もあった。また、灌水によってもキャビテーションは解消されなかった(図2)。

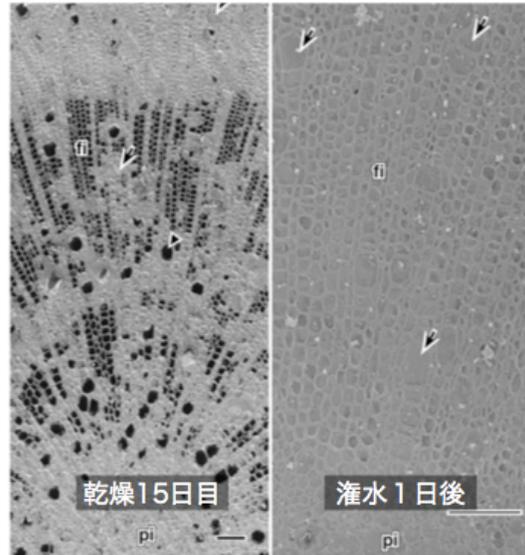


図1 ウラジロエノキの木口面cryoSEM観察像  
矢印は道管を示す。スケールバーは100 $\mu$ m。

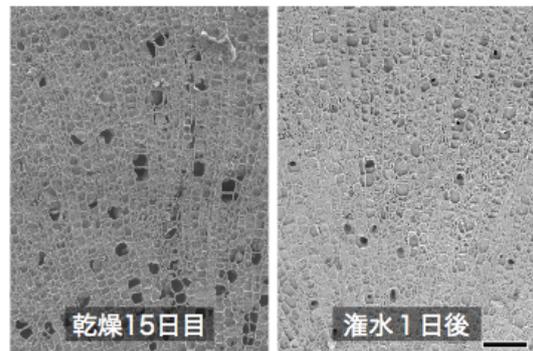


図2 アカギの木口面cryoSEM観察像

乾燥が進行した時点(処理開始15日目)において、アカギはウラジロエノキに比べて水ポテンシャルが高かった(ウラジロエノキ  $-1.23 \pm 0.32$  Mpa、アカギ  $-0.34 \pm 0.12$  Mpa)。

このことから、アカギは乾燥時には樹体内に水を貯蓄したまましおれるものの、葉の水ポテンシャルが高いままなことから地面とのポテンシャル勾配がウラジロエノキに比べて少なく十分な吸水を行えないといえる。従って、降雨を素早く利用することが出来ないことが、アカギが乾燥地に侵入できない理由であることが示唆された。

②比較的土壌の薄い地に成育する種において、在来種のシマイスノキは乾燥に対してキャビテーションが発生した。また、灌水後もキャビテーションは完全には解消されなかった（図3）。一方、移入種のキバンジロウは乾燥中にキャビテーションを起こさなかった（図4）。また、乾燥が進行した（処理開始15日目）時点の葉の水ポテンシャルは、キバンジロウでより低下した（シマイスノキ  $-1.88 \pm 1.58\text{MPa}$ 、キバンジロウ  $-2.24 \pm 1.04$ ）。

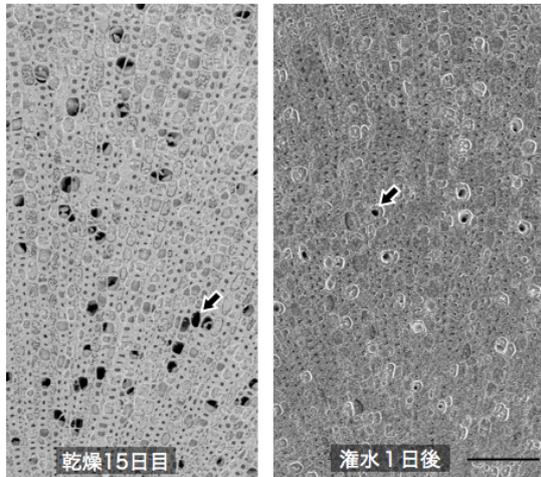


図3 シマイスノキの木口面cryoSEM観察像  
矢印は道管を示す。スケールバーは100 $\mu\text{m}$ 。

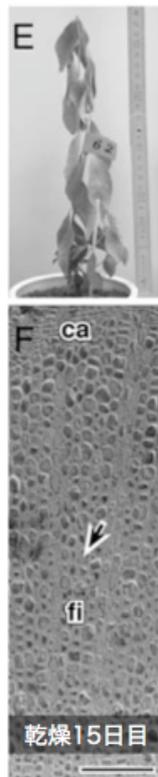


図4 キバンジロウの木口面cryoSEM観察像  
矢印は道管を示す。スケールバーは100 $\mu\text{m}$ 。

このことから、キバンジロウはキャビテーション耐性が高く、また浸透調節を行うことから、乾燥耐性と突発的な降雨の利用特性を兼ね備えているといえる。この点から、乾燥地への侵入が可能であると考えられる。

## (2) 野外成育個体の樹幹流速モニタリング

### ①湿潤地（コーヒー山試験地）

解析対象期間における、樹幹下部の平均樹幹流速は移入種のアカギで  $1.5 \pm 0.4 \times 10^{-3} \text{mm/h}$ 、在来種ヒメツバキで  $2.0 \pm 0.3 \times 10^{-3} \text{mm/h}$  であった。樹幹上部の平均樹幹流速は、アカギで  $3.1 \pm 0.3 \times 10^{-4} \text{mm/h}$ 、ヒメツバキで  $6.2 \pm 0.5 \times 10^{-4} \text{mm/h}$  であった。いずれもヒメツバキで流速が大きい傾向にあるが、これは樹幹上部でより顕著であった。いずれも降雨前後で大きな変化は認められず、比較的湿潤な立地においては、突発的な降雨に対する反応性は少ないといえる。樹幹上部と下部との関係において、樹幹下部の流速に対する樹幹上部の流速が、ヒメツバキに比べてアカギで小さかった（図5）。従ってヒメツバキに比べてアカギで水が樹体内を通過するのにより時間を要するといえる。これは（1）の室内実験の結果と適合する。

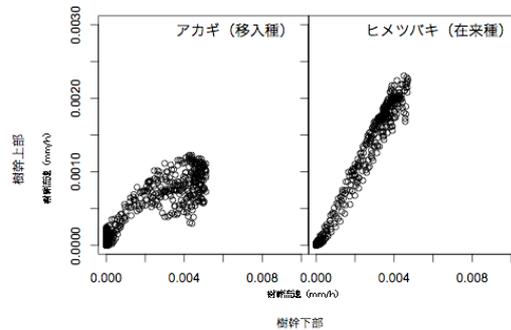


図5 樹幹上部と下部の樹幹流速

以上より、移入種であるアカギは、吸水性を高めないまま樹体内から水を失わないようにする、保持型 (conservative) な水利用特性であるといえる。従って乾燥尾根部のような立地では、樹体内に十分水を保持できず、アカギが生育する事ができないと考えられる。

### ②乾燥地（時雨山試験地）

乾燥時の平均樹幹流速はテリハハマボウ > ヒメツバキ > キバンジロウ > アカテツの順であり、在来種であるテリハハマボウで  $3.7 \times 10^{-4} \text{mm/h}$  だったのに対し、移入種キバンジロウは  $2.5 \times 10^{-4} \text{mm/h}$  であった。一方、突発的な降雨後の平均樹幹流速はテリハハマボウ  $\approx$  キバンジロウ  $\approx$  ヒメツバキ > アカテツの順であり、テリハハマボウが  $3.5 \times 10^{-4} \text{mm/h}$  だったのに対し、キバンジロウは  $3.2 \times 10^{-4} \text{mm/h}$  であった（図6）。このことは、

在来種の樹幹流速は水環境変動に対して恒常性を保つのにに対し移入種のキバンジロウは降雨によって樹幹流速を増加あるいは回復できることを示している。

これらの結果より、水が制限要因となる乾性低木林において、キバンジロウは突発的な降雨に対して反応性を高めることができるといえる。室内実験において、キバンジロウは乾燥時に木部通水系のキャピテーションを起こしにくい一方、浸透調節能力が他樹種に比べて高いことが示されている。従って、移入種であるキバンジロウは在来種と比較してより水消費型 (consumptive) な特性を持ち、この特性によって乾燥地への移入を可能にしていることが明らかになった。

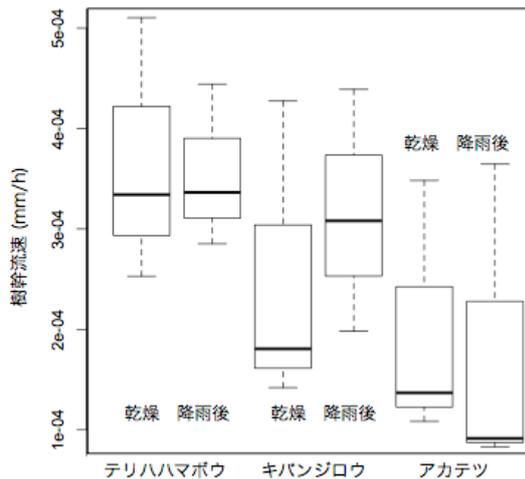


図6 降雨前後の平均日樹幹流速

(3) 生理特性・木部構造が生態的地位に及ぼす寄与度の解析

主成分分析の結果を図7に示す。第一主成分の正方向に容積密度が含まれ、負方向に道管平均断面積、光合成速度、葉の浸透ポテンシャルが含まれた。従って第一主成分は「木部の鉛直方向の通導性の指標」と解釈できた。一方、第二主成分の正方向に道管複合指数 (= 道管総数/道管群数) や放射組織面積率が含まれ、負方向に道管数が含まれた。従って第二主成分は「木部の水平方向のネットワーク構築の指標」と解釈できた。第二主成分までの累積寄与率は 68.2%であり、この二成分で各機能タイプを分類することができた。

このことから、木部構造のネットワーク構築が種の生態的地位を決定する可能性が示された。

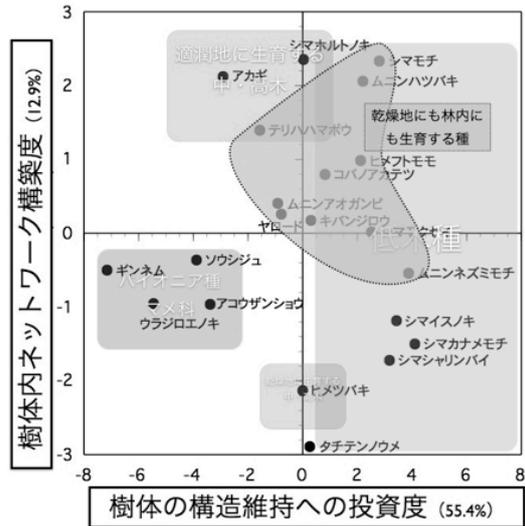


図7 各樹種の主成分得点

### 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4件)

① Yazaki, K., Sano, Y., Fujikawa, S., Nakano, T., Ishida, A. (2010) Response to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. *Tree Physiology*, 30:597-607 (査読あり)

② 石田 厚、矢崎 健一、大曾根 陽子、山下 直子 (2009) 小笠原外来樹種の生理生態. *地球環境* 14(1): (査読なし)

③ 石田 厚、中野 隆志、矢崎 健一、松木 佐和子、山路 恵子、清水 美智留、山下 直子 (2009) 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* 34(1): 9-31 (査読なし)

④ Ishida, A., Nakano, T., Yazaki, K., Matsuki, S., Koike, N., Lauenstein L. D., 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(1):193-202 (査読あり)

[学会発表] (計4件)

① 矢崎 健一、石田 厚. 突発的な降雨に対する小笠原移入樹種の水利用特性. 日本生態学会 (2010年3月16日、東京大学(東京都))

② 石田 厚、矢崎 健一 小笠原に生育するキバンジロウ (移入樹種) とウラジロエノキ (在来樹種) の水分通導の比較. 日本生態学会 (2009年3月17日、岩手県立大学)

(岩手県滝沢村))

- ③石田 厚、矢崎 健一、中野 隆志. 小笠原乾燥尾根部に成育する植物の茎組織と葉の生理特性とのリンケージ. 日本熱帯生態学会大会 (2008年6月22日、東京大学(東京都))
- ④矢崎 健一、石田 厚、中野 隆志. 小笠原父島の樹木 21 種の機能タイプによる樹幹木部構造の収斂. 日本木材学会 (2008年3月18日、つくば国際会議場(つくば市))

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢崎 健一 (YAZAKI KENICHI)

独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究  
領域・主任研究員

研究者番号：30353890