

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00625

研究課題名(和文)小笠原諸島固有森林生態系修復のための在来樹木植栽に関する基礎的研究

研究課題名(英文)Basic research on native species plantation for recovery of natural forest ecosystems in Bonin Islands

研究代表者

相川 真一(Aikawa, Shin-ichi)

首都大学東京・理工学研究科・客員研究員

研究者番号：10713943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：強光と庇蔭木下での植栽試験の結果、強光環境下では植栽稚樹の生存率や成長速度が小さかった。特に先駆性樹種の稚樹は移植による根系へのダメージが大きく、生存率や成長速度は低かった。また、乾燥ストレスによる衰弱・枯死の生理過程の調査の結果、初期は根系のダメージによる通水障害、後期は貯蔵糖の欠乏によって枯死に至ることがわかった。また幹基部の糖貯蔵が乾燥ストレスを測る指標になることが判明した。これらの結果から、裸地化した場所の緑化には野生の先駆性樹種の保護を行い、それらの稚樹が生育し林冠を形成したのちに、弱光環境下に目的とする在来種種の稚樹を植栽し、森林の再生を進めるのが効果的であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Transplanted trees in two areas with different light environments were observed during 3 years. The survival and growth rates of the transplanted trees was higher under the low light environment. The survival and growth rates in transplanted pioneer trees were lower than in non-pioneer trees, probably because of severe damage in their root systems by transplanting. We investigated the physiological processes of drought-induced tree death of the pioneer tree. The carbohydrate reserves at the stem bases increased at the beginning of the wilting process because of phloem transport failure, and the reserves decreased at the end of the process. The concentrations of non-structural carbohydrates at the stem bases are a good indicator of tree damage caused by lethal drought. We suggest that nursing of wild pioneer trees is effective for reforestation of bare lands, and the saplings of late-successional trees should be planted under shaded environments caused by the canopies of pioneer trees.

研究分野：植物生態学、林学

キーワード：生態系修復 森林再生 脱水ストレス 乾燥枯死 糖欠乏 道管の水切れ 篩部輸送 先駆性樹種

1. 研究開始当初の背景

小笠原諸島は大陸と一度も繋がったことのない海洋島であり、多くの固有動植物が生息している。この高い固有種率をもつ貴重な生態系が評価され、2011年6月にユネスコの世界自然遺産に登録された。しかしその生態系は外来種の脅威に絶えずおかされており、外来種の制御は世界自然遺産の継続の必要条件になっている。

現在、小笠原では林野庁、環境省、東京都などによる外来植物の駆除事業が実施されている。しかしながら、一度外来種植物の純群落が形成された場所では、しばしば外来植物駆除後の二次遷移で再び外来植物が優占するため、人為的に在来植物の森林へ置き換えていかなければ固有の森林生態系への回復が難しい状況となっている。

そこで、在来樹種の植栽試験が行われ始めているが、その定着率や成長率はきわめて悪い状態である。そのような状況から、在来樹種の稚樹の死亡や成長を阻害している要因の解明と、稚樹の定着、成長を促進するための技術開発は急務であると考えられている。

2. 研究の目的

この研究では現在、特に海岸線付近を中心に外来樹木の侵入が拡大している小笠原諸島兄島において、植栽した稚樹の定着初期の生死に大きな影響を及ぼすと考えられる生理ストレスの解明と、生理ストレスを回避させ、定着率や成長率を上げるための技術開発を行う。

1) 裸地化した場所に稚樹が植栽されるため、乾燥とそれと結びついた光阻害が最も大きな稚樹の枯死要因と仮説づけられる。その仮説に基づき、植栽された在来樹種の稚樹がどのように乾燥や光阻害ストレスを受けているか、その生理メカニズムの解明を行う。特に樹木の乾燥枯死の生理メカニズムとして、近年「木部の水切れによる通水欠損仮説」と、「気孔閉鎖に伴う光合成産物である糖欠乏仮説」の二つがあげられている (Davis S.D. et al. 2002; McDowell N. et al. 2008)。特に稚樹では「糖欠乏仮説」を (O'Brien M.J. et al. 2014)、成木では「通水欠損仮説」が強く支持されており (Anderegg W.R.L. et al. 2012; Rowland L. et al. 2015)、決着がしていない。そこで、小笠原の稚樹から成木にかけてのステージにあるウラジロエノキを用いて、乾燥による衰弱過程における「糖欠乏」と「通水欠損」の進展を調べる。

2) 調査地は国立公園内の無人島でもあり、灌水や施肥処理は適切ではない。そこで外来樹種であるモクマオウの林冠が作り出す自然の被陰および同種のリター被覆による土壌表層の保湿効果を利用し、モクマオウの林冠下に在来樹種の稚樹を植栽することによって、在来稚樹の定着や成長を促進させる技術開発を行う。乾燥地では、樹木が被陰を作り、そこを起点として多くの樹木の生育を可

能にしている現象はよく知られており、そういった被陰を作れるような樹木を「ナースプラント(看護植物)」と呼ぶ。また荒廃地にも生育できる樹木をナースプラントとして活用する手法は、荒廃熱帯林の修復にも使われている技術でもあり、それを小笠原に合った形での適用と手法の開発を行う。

3. 研究の方法

兄島滝之浦で外来灌木であるランタナが繁茂し上層に樹木のない場所において、ランタナ駆除を行い、裸地を造成する。造成した裸地及び近隣の林冠木樹冠下に試験地を設定し、以下の通り試験を行った。

1) 在来樹種の稚樹の植栽による、稚樹定着過程の解明

降雨量が多く乾燥の弱い11月に、試験地近辺に多くみられる在来樹種(ウラジロエノキ、アカテツ、シャリンバイ)の稚樹を、裸地(open)および林冠下(closed)の試験地に各樹種40本植栽した。植栽後は植栽木の成長を毎年、追跡調査した。

2) 在来樹種ウラジロエノキの乾燥ストレスによる衰弱・枯死の生理機構の解明

ウラジロエノキの2年生の樹木290個体について、幹基部の辺材面積と総葉面積を測定し、その比(Huwer value)を乾燥による衰弱度合いの指標とした。衰弱度合いの指標に対し、1年間(2から3歳の期間)における、幹面積の相対成長量、枝長の相対成長量、樹木個体の枯死率を測定した。またウラジロエノキの場合、3歳で種子繁殖を開始した。生理特性の測定として、2年生の樹木10個体について、乾燥の最も厳しい夏に、葉の水ポテンシャル、葉の光合成速度や気孔コンダクタンス、幹や枝呼吸速度、茎や幹基部、根基部の、木部内の糖含量を測定した。また通水欠損の測定項目として、土壌から葉への通水性、及び、枝の木部の通水性と水切れ度を測定した。

4. 研究成果

1) 在来樹種の稚樹の植栽による、稚樹定着過程の解明

2015年11月に在来種3種を2つの試験地に植栽し、その後の消長(死亡過程)を追跡調査した。その結果、庇蔭を受けたclosed試験地では先駆性樹種のウラジロエノキ、非先駆性樹種のアカテツ、シャリンバイの順に、植栽した苗木の死亡率が高かった。特にどの種においても、植栽直後の死亡が多くみられた(図1)。一方より明るいopen試験地では、全種ともclosed試験地よりも死亡率が10~30%程度高く、植栽直後と、植栽後初めての夏季に死亡率が増加する傾向が見られた(図2)。樹種間差においては、当初の予測に反し、成長の大きな先駆性樹種であるウラジロエノキ稚樹の死亡率が最も高かった。このことは、open試験、closed試験地共に同様の傾向であった。

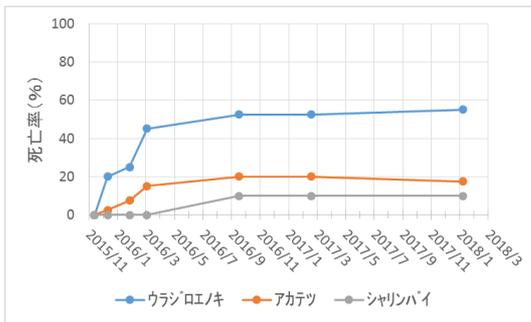


図1 庇蔭を受けた closed 試験地における植栽木の死亡率の推移

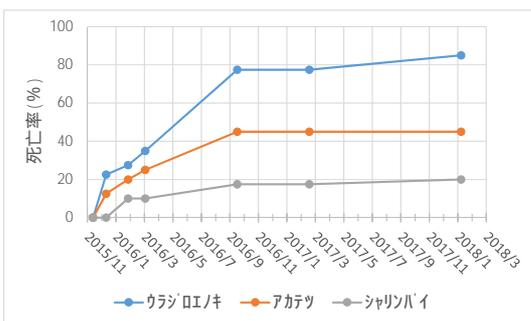


図2 open 試験地における植栽木の死亡率の推移

また、植栽から約 2 年後の樹高成長を比較すると、3 種共により弱光環境である closed 試験地で樹高は大きく、特に現地の代表的な先駆種であるウラジロエノキでその傾向は顕著であった (図3)。

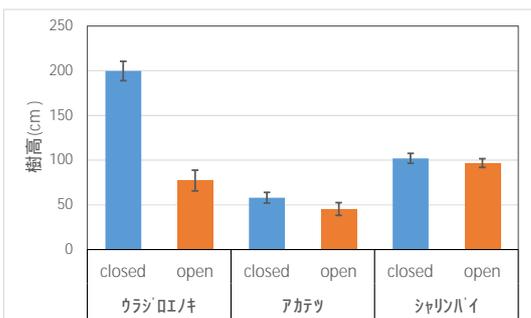


図3 植栽から約 2 年後の樹高成長の比較

これらの植栽木の死亡率については、植栽直後の死亡率の増加は主に移植時の根系のダメージによるもの、夏季の死亡率の増加については乾燥等のストレスによるものと考えられた。これは、先駆性樹種は根系が大きく、移植時の根系のダメージが不可逆的な損傷に繋がることを示す。従って、先駆性樹種の稚樹は、植栽には不向きと考えられる。

2) 在来樹種ウラジロエノキの乾燥ストレスによる衰弱・枯死の生理機構の解明

290 個体の 2 歳のウラジロエノキの各樹木

個体の幹基部の辺材面積/総葉面積比 (Huver value: 以下 HV と呼ぶ) が大きくなるほど、年間の相対成長率、及び死亡率は増加した (図4)。特に、 $\log(HV)$ が 3.18 の時に高さの相対成長率が 0 に、 $\log(HV)$ が 3.38 の時に幹太さの相対成長率が 0 になった。また $\log(HV)$ が 3.38 を超える (すなわち落葉を起こす) と、1 年後の生存率は 0 になった。死亡要因においては特に病虫害などは見られなかった。これらのことから、少なくともウラジロエノキにおいては、HV は乾燥による樹木衰退の良い指標であることがわかった。

さらに HV の異なる 10 個体について、その生理過程を調べた。その結果、HV が高い (落葉が進んでいる) 個体ほど、葉の光合成速度、気孔コンダクタンス、幹の呼吸速度、土壌から葉への通水コンダクタンスは低下していた。このことは、乾燥衰弱が進むほど、通水性が低下していた (図5A, C, E)。しかし、枝の通水コンダクタンスは HV 値とは関係がなかったため (図5D)、枝の道管の水きれの進行よりは、根系の衰弱が水利用の低下に強く関わっていることを示す。

幹木部の可溶性糖は、 $\log(HV)$ の増加と共に直線的に増加した (図5F)。しかし木部内に貯蔵されたデンプンや総糖量は、最初は $\log(HV)$ の増加と共に増加し、 $\log(HV)$ が 3.38 の付近で低下した (図5G)。すなわち貯蔵されたデンプンは、 $\log(HV)$ 値に対し山なりのカーブを示した。これらのことは、乾燥による脱水ストレスによって貯蔵糖の可溶性化が進むこと、しかし貯蔵デンプンは、脱水ストレスの進行によって増加し、死亡過程に入ると低下していくことがわかった。また HV の異なる 3 個体について、葉から安定同位体の二酸化炭素ガスを吸わせたところ、HV の高い個体では、篩部輸送が制限されていることがわかった。

これらの 2) の調査より、「糖欠乏」と「通水欠損」の関係が以下のように明らかになってきた。乾燥により脱水ストレスを受けると、落葉の促進、呼吸の低下、貯蔵糖の可溶性化が進行する。ここで生産された可溶性糖は、浸透調節や根系や新葉の展開に使用されると使用されると思われる。その結果、脱水ストレスを回避できた個体は、生存、成長を続けることができる。しかしその過程でうまく脱水ストレスを回避できなかった個体は、特に根系が衰退し、脱水ストレスがさらに進行し、最後は糖が欠乏していき死に至る過程が明らかになった。すなわち、通水障害、特に根系の通水障害が進行し、その後、糖欠乏によって死に至る生理過程が明らかになった。

特に興味深い点として、幹基部のデンプンの増加は、樹木の乾燥衰退を捉える指標として使えることもわかった。

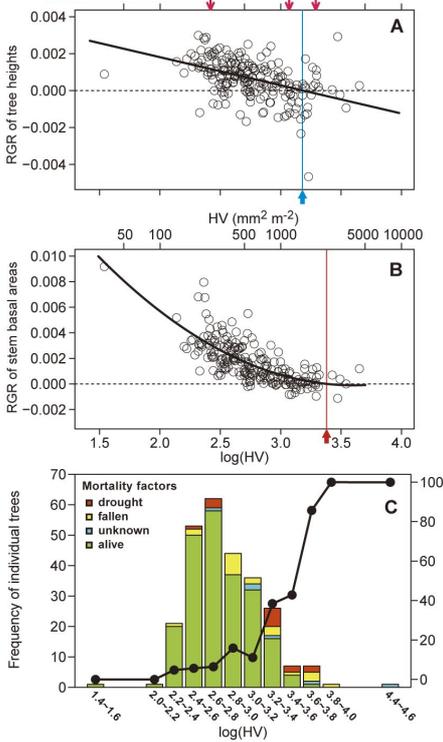


図4 2歳のウラジロエノキ290個体の幹基部の辺材面積/総葉面積比 (Huver value : HV) と、2から3歳に至るまでの、(A)樹高の相対成長速度、(B) 幹基部面積の相対成長速度、(C)死亡率。青矢印は樹高の相対成長速度が0に、赤矢印は幹基部面積の相対成長速度が0になるポイントを示す。

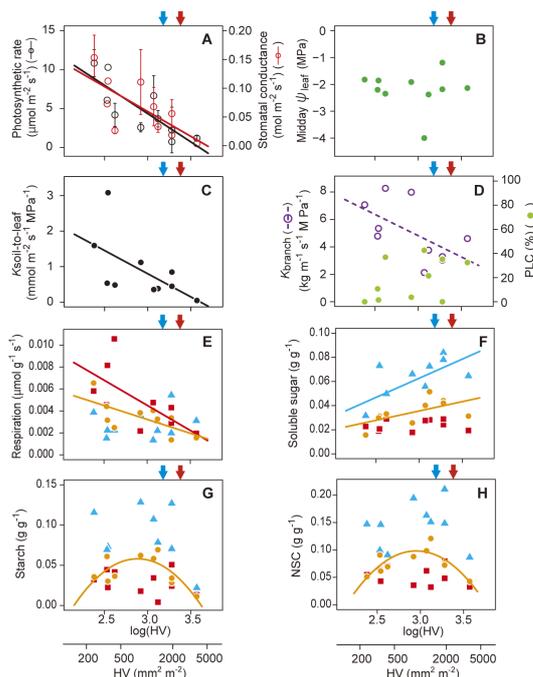


図5 HVの異なる2歳のウラジロエノキ10個体の生理特性。(A)葉の光合成速度と気孔コンダクタンス、(B)日中の葉の水ポテンシャル、(C)土壌から葉への通水コンダクタンス、(D)枝の通水性、(E)呼吸速度、(F)木部の可溶性糖濃度、(G)木部のデンプン濃度、(H)非構造系の総糖濃度。E、F、G、Hにおいては、オレンジ色は幹基部、赤は枝、青は根基部の部位を示す。

このように、1)による実際の植栽実験、2)による樹木の乾燥枯死の生理過程の調査を行い、上記のような明瞭な結果を得ることができた。これらの結果を統合すると、裸地化した場所の緑化には野生の先駆性樹種の保護を行い、それらの稚樹が生育し林冠を形成したのちに、弱光環境下に目的とする在来種種の稚樹を植栽し、森林の再生を進めるのが効果的であると考えられた。特に先駆性樹種の植栽は難しいため、ナースプラントとしての庇蔭木の育成が、植栽稚樹を用いた森林再生の鍵となることがわかった。

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 5件)

1. Epron D., Dannoura M., Ishida A., Kosugi Y. (2018) Estimation of phloem carbon translocation belowground at stand level in a hinoki cypress stand. Tree physiology (in press). 査読有. DOI: 10.1093/treephys/tpy016
2. Yazaki K., (中7名), Ishida A. (2017) Pine wilt disease causes cavitation around the resin canals and irrecoverable xylem conduit dysfunction. Journal of Experimental Botany 69: 589-602. 査読有. DOI: 10.1093/jxb/erx417
3. Saiki S., Ishida A., Yoshimura K., Yazaki K. (2017) Physiological mechanisms of drought-induced tree die-off in relation to carbon, hydraulic and respiratory stress in a drought-tolerant woody plant. Scientific Reports 7: 1-7. 査読有. DOI: 10.1038/s41598-017-03162-5
4. Harayama H., Ishida A., Yoshimura J. (2016) Overwintering evergreen oaks revers typical relationships between leaf traits in a species spectrum. 査読有. Royal Society Open Science 3: No. 160276. DOI: 10.1098/rsos.160276
5. Yoshimura K., (中4名), Nakano T., Yoshimura J., Ishida A. (2016) The dynamics of carbon stored in xylem sapwood to drought-induced hydraulic

stress in mature trees. Scientific Reports 6: No. 24513. 査読有. DOI: 10.1038/SREP24513

〔学会発表〕(計 6件)

1. 松山泰(中4名)、中野隆志(中4名)、石田厚(2018) ポリアミンによる光合成への寄与とその日変化の種間比較. 日本生態学会第65回全国大会
2. 吉村謙一(中5名)、石田厚(2018) 乾燥後の樹木水分生理機能にみられる履歴効果: 強度乾燥から1年経過した父島乾性低木林樹木において. 日本生態学会第65回全国大会
3. Ishida A., Kono Y., Saiki S., Yoshimura K., Aikawa S.(2017) Phloem function and physiological mechanisms of sapling survival and mortality during drought. 第125回国際森林研究連合(IUFRO)大会
4. 甲野裕理(中6名)、相川真一、石田厚(2017) ウラジロエノキ稚樹の乾燥枯死の生理メカニズム. 日本生態学会第64回全国大会
5. 甲野裕理(中7名)、中野隆志、相川真一、石田厚(2016) 乾燥による樹木枯死の水分欠損仮説と糖制限仮説の検証. 日本生態学会第63回全国大会
6. 甲野裕理(中7名)、中野隆志、相川真一、石田厚(2016) 小笠原のウラジロエノキ稚樹の乾燥枯死の生理機構. 第127回日本森林学会大会

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

相川 真一(AIKAWA, Shin-ichi)

首都大学東京・理工学研究科・客員研究員

研究者番号: 10713943

(2) 研究分担者

石田 厚(ISHIDA, Atsushi)

京都大学・生態学研究センター・教授

研究者番号: 60343737

(3) 連携研究者

中野 隆志(NAKANO, Takashi)

山梨県富士山科学研究所・自然環境研究部・主幹研究員・部長

研究者番号: 90342964

可知 直毅(KACHI, Naoki)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号: 30124340

(4) 研究協力者

甲野 裕理(KONO, Yuri)

京都大学・生態学研究センター・修士課程

才木 真太郎(SAIKI, Shin-Taro)

京都大学・生態学研究センター・博士課程

吉村 健一(YOSHIMURA, Kenichi)

山形大学・農学研究科・准教授

檀ノ浦 正子(DANNOURA, Masako)

京都大学・農学研究科・助授

矢崎 健一(YAZAKI, Kenichi)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所植物生態研究領域・主任研究員