

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 4 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21380087

研究課題名（和文） 湿地林を構成する希少木本種の繁殖と更新に及ぼす異型交配弱勢の影響の解明

研究課題名（英文） Studies on effects of the outbreeding depression on reproduction and regeneration of rare tree species grown in wet lands.

研究代表者

石田 清（ISHIDA KIYOSHI）

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：10343790

研究成果の概要（和文）：湿地林を構成する希少樹種を対象に、集団間交配や集団内遠距離交配が生活史初期段階の適応度成分に及ぼす影響を調べた。ハナノキについては、集団間交配子孫の適応度成分（授粉花の結実率・結果率）に異型交配弱勢が現れることを示した。さらに、ハナノキ集団内の交配距離と子孫の成長量との間に負の相関関係があることも明らかにした。シデコブシについてみると、結実率・結果率ともに集団間交配による異型交配弱勢は認められなかった。また、シデコブシの孤立小集団では、集団間交配によるプラスの効果（ヘテロシス）がマイナスの効果（異系交配弱勢）を上回るケースがあることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We examined effects of outbreeding depression due to long-distance crossing and inter-population crossing in rare tree species grown in wet lands. *Acer pycnanthum* trees exhibited outbreeding depression due to inter-population crossing in fitness components at the early life stage (fruit/flower ratio and seed/ovule ratio) and negative correlation between distance between mates and growth increment for its seedlings within a population. On the other hand, *Magnolia stellata* trees did not exhibit outbreeding depression due to inter-population crossing at the early life stage. The inter-population crossing resulted in positive effects (i.e., heterosis) rather than negative effects (outbreeding depression) on the fitness components of trees in an isolated *M. stellata* population.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2010 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学、林学・森林工学

キーワード：森林生態・保護・保全・生態遺伝学

## 1. 研究開始当初の背景

孤立した小集団は、世代を重ねるごとに近交弱勢（遺伝的荷重）が増加して繁殖と更新が困難となるため、長期的な維持管理のため

には近交弱勢の軽減と更新補助を図るための移植や植栽が有効と考えられている。このため、孤立小集団が生じやすい湿地性希少木本種の保全管理指針を確立するためには、移

植や植栽にともなって生じる可能性がある異系交配弱勢についての情報が不可欠である。

東海地方を中心とする周伊勢湾地域に点在する湿地に分布する希少木本種の集団の多くは小規模であり、実生更新が困難となっている。これらの集団を長期間維持していくためには、植栽による更新補助が必要となる場合がある。特に、この地域に自生するシデコブシやハナノキは、街路樹などとして自生地付近に他地域から持ち込まれた苗木が植栽されることがあり、植栽木と野生個体の交雑子孫に生じる異系交配弱勢が問題となる。シデコブシについては、近交弱勢のために繁殖力が減少している小集団を長期的に維持するための保全管理法として移植も提案されている。これらのことから、湿地林構成種の個体群を長期的に維持していくための保全管理法を確立するためには、植栽や移植にともなって生じる可能性がある異系交配弱勢についての研究が必要となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、湿地林構成樹種であるシデコブシ・ハナノキ・ヤチヤナギについて交配実験（集団内交配・集団間交配）・発芽栽培実験、およびマイクロサテライトマーカーなどを用いた集団遺伝構造の推定を行う。これらの結果に基づいて、繁殖と更新に関わる生活史初期段階の適応度成分（次代の胚段階の生存率、発芽率、実生生存率、成長量）と交配距離（物理的距離および遺伝距離）との関係を明らかにし、異系交配弱勢の有無と程度を推定する。シデコブシについては、姉妹種のコブシとの交雑による雑種崩壊（交雑子孫の適応度低下）が生じる可能性も検討した。雑種崩壊は、しばしば共通適応遺伝子複合体の崩壊により生じると考えられており、広義の異系交配弱勢とみなすことができる。

## 3. 研究の方法

### （1）ハナノキにおける異型交配弱勢

①集団間交配が生活史初期段階の適応度に及ぼす影響

人為的な遺伝子移入による遺伝的かく乱が異系交配弱勢を介して繁殖に及ぼす影響を推定するため、岐阜県中津川市のハナノキ集団を母樹として、同一集団及び瑞浪市・多治見市の集団の花粉を用いた人工交配を行い、人工授粉花の結果率と結実率を測定した。

②集団遺伝構造の推定

集団内遠距離交配による異系交配弱勢の可能性を検討するため、岐阜県中津川市のハナノキ集団におけるハプロタイプの空間分布を葉緑体 SSR（菊地、未発表）を用いた多型解析によって調べた。

③集団内遠距離交配が生活史初期段階の適

応度に及ぼす影響

集団内の遠距離交配によっても異型交配弱勢が起こるかどうかを検討するため、岐阜県中津川市のハナノキ集団を対象とした人工交配を実施し、得られた実生を圃場で栽培し、その成長量を測定した。

（2）シデコブシにおける異型交配弱勢の解析

①集団間交配が生活史初期段階の適応度に及ぼす影響

岐阜県土岐市・中津川市・瑞浪市の4集団（大集団）と三重県四日市市の1集団（小集団）を用いて集団間交配と集団内交配を行い、得られた子孫の生活史初期段階の適応度成分（結実率）を測定し、集団間交配による異系交配弱勢の可能性を検討した。

②近縁種との交雑による雑種崩壊の可能性

岐阜県中津川市のシデコブシ集団を対象に、岐阜県瑞浪市のシデコブシ集団と多治見市のコブシ集団の花粉を用いた人工交配を行い、コブシとの交雑によって雑種崩壊（交雑子孫の適応度低下）が生じるかどうかを検討した。

（3）ヤチヤナギの集団遺伝構造

愛知県田原市黒河湿地に生育するヤチヤナギ 63 個体から採取した葉から DNA を抽出し、マイクロサテライトマーカー 6 遺伝子座（井上、未発表）を用いて各個体の遺伝子型を特定し、これに基づいて本湿地における個々のジェネットの分布を推定した。

## 4. 研究成果

（1）ハナノキにおける異型交配弱勢

①集団間交配が生活史初期段階の適応度に及ぼす影響

岐阜県中津川市のハナノキ集団を母樹として、集団内交配と集団間交配を行った結果、結果率と結実率については、集団間交配の方が集団内交配よりも小さな値を示す傾向が認められた（図1、図2）。

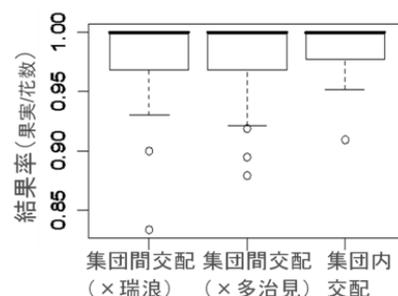


図1 ハナノキの結果率に及ぼす交配タイプの影響

集団間交配の結果率は有意に低い（一般化線形モデル； $P=0.057$ ）

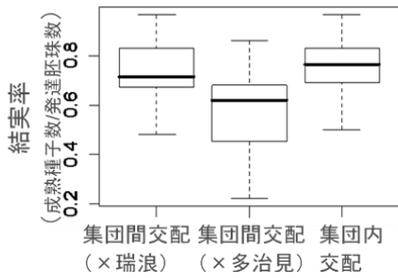


図2 ハナノキの結実率に及ぼす交配タイプの影響  
多治見市集団との交配子孫の結実率は有意に低い（一般化線形モデル； $P < 0.001$ ）。

特に、多治見市の花粉による集団間交配の影響は大きく、この交配による結実率は集団内交配の値に比べて25%低くなることを明らかにした。葉緑体DNAのハプロタイプには集団間変異があることから（菊地、未発表）、この結果は集団間交配子孫の生活史初期段階に異型交配弱勢が現れることを示している。

### ②集団遺伝構造の推定

中津川市のハナノキ集団における葉緑体DNAハプロタイプの分布を調べた結果、集団内において同じハプロタイプが長さ50m程度の集中班を形成する傾向が認められた（図3）。この結果は、集団内の遠距離交配が遺伝構造のかく乱を起こすことを示している。

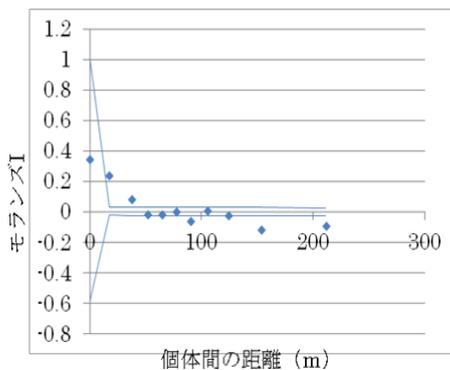


図3 ハナノキ岩屋堂集団におけるハプロタイプ分布の自己相関（モランズI）

### ③集団内遠距離交配が生活史初期段階の適応度に及ぼす影響

岐阜県中津川市の集団を対象とした人工交配で得られた種子を栽培した結果、交配距離と交配子孫の成長量（実生の苗高と乾燥重量）との間に有意な負の相関があることが明らかとなった（図4、図5）。この集団には葉緑体DNAのハプロタイプに集団内変異があり、同じハプロタイプが50m程度の集中班を形成していることから（前項の成果）、この

結果は、同一集団内での遠距離交配（50mを超える交配）によっても異型交配弱勢が生じることを示唆するものといえる。

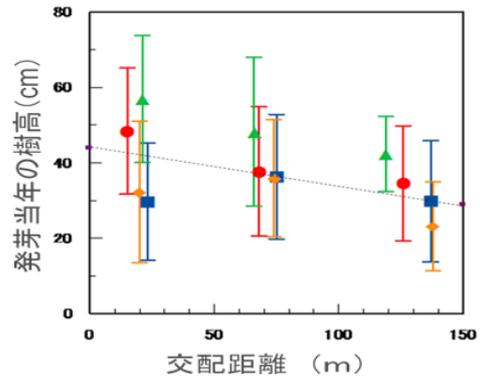


図4 発芽当年のハナノキの樹高と交配距離の関係  
各シンボルは母樹が同じであることを示す。点線は交配距離の効果を示す（線形混合効果モデル）。

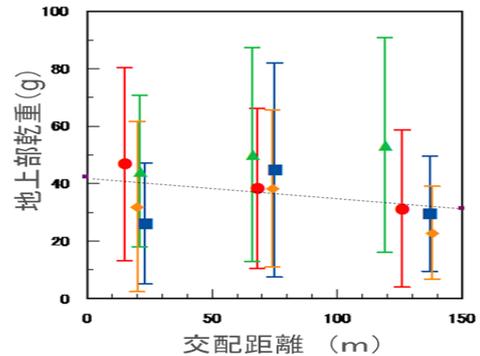


図5 ハナノキ2年生個体における地上部乾重と交配距離との関係

### (2) シデコブシにおける異型交配弱勢の解析

#### ①集団間交配が生活史初期段階の適応度に及ぼす影響

岐阜県中津川市と土岐市の二集団（大集団）を母樹集団および父樹集団として、集団間交配と集団内交配を行った結果、結実率・結果率ともに集団間交配花と集団内交配花に有意な差は認められなかった（図6）。シデコブシの大集団の生活史初期段階については、明瞭な異型交配弱勢が現れないものといえる。一方、三重県四日市市の孤立小集団を母樹として同一集団（集団内交配）および岐阜県瑞浪市と中津川市の集団を父樹とする交配（集団間交配）を行った結果、結実率・結果率ともに集団間交配花の値の方が集団内交配花の値よりも高くなる傾向が認められた（図6）。この結果は、シデコブシの小集団に関しては、集団間交配によるプラスの効果（ヘテロシス）がマイナスの効果（異系

交配弱勢)を上回るケースがあることを示している。

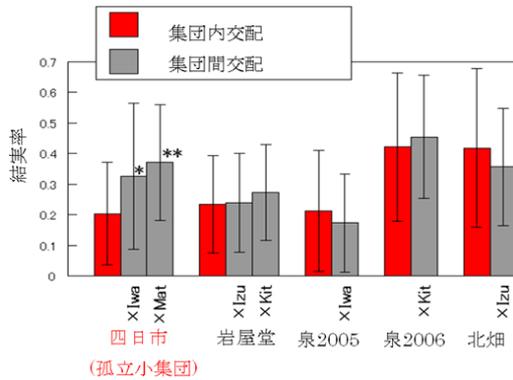


図6 シデコブシの人工授粉花における結実率

図中のアスタリスクマークは集団内交配と集団間交配の間に有意差があることを示す(\*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ )。

### ②近縁種との交雑による雑種崩壊の可能性

交配実験の結果、シデコブシとコブシの交雑子孫は、非交雑子孫と同程度の初期生存率(人工授粉果の結実率; シデコブシ=  $0.12 \pm 0.02$ 、コブシ=  $0.21 \pm 0.04$ )を示すことが明らかとなった。このことから、少なくとも生活史初期段階に関しては、これら2種間の交雑子孫に雑種崩壊は現れないものといえる。この結果は、シデコブシと自然分布域が重複しないコブシをシデコブシの自生地近隣に植栽すると、浸透交雑が生じる可能性があることを示している。

### (3) ヤチヤナギの集団遺伝構造

黒河湿地のヤチヤナギ集団におけるジェネットの分布を推定した結果、当該集団は4ジェネットで構成されており、集団遺伝構造が形成されていることが明らかとなった。ジェネットあたりの個体数は、最大で53個体、最小で1個体であった。これらの個体は4地点に集中分布しており、そのうちの1地点には3ジェネットが認められた(図7)。

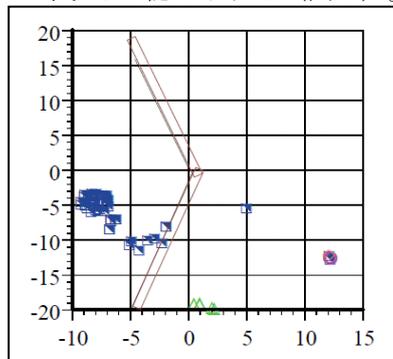


図7 黒河湿地のヤチヤナギ集団におけるジェネットの分布

異なるシンボルは異なるジェネットを示す。縦軸・横軸の数字は距離(一目盛り1メートル)を示す。右下(X軸12m, Y軸-12mの位置)には3ジェネットが分布している。

### 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 鈴木節子、永光輝義、石田清、戸丸信弘、シデコブシの訪花昆虫と雌性繁殖成功との関係、中部森林研究、60:37-42、2012、査読有
- ② Mizuki, I., Kume, A., Chiwa, M., and Uehara, Y., and Ishida K. Impact of soil water chemistry on the apparent sex ratio of the dioecious plant *Myrica gale* var. *tomentosa*. Journal of Plant Research. In press. (DOI 10.1007/s10265-012-0481-y), 2012, 査読有
- ③ Suzuki W., and Kanazashi, A. Tree composition and stand structure in the habitats of a rare tree species, *Acer pycnanthum*, with special reference to the human impact. Bulletin of FFPRI 10:73-84., 2011, 査読有
- ④ Mizuki I., Ishida K., Tani N., and Tsumura Y. Fine-scale spatial structure of genets and sexes in the dioecious plant *Dioscorea japonica*, which disperses by both bulbils and seeds. Evolutionary Ecology 24, 1399-1415. 2010, 査読有
- ⑤ Tamaki I., Ishida K., Setsuko S., and Tomaru N. Inter-population variation in mating system and late stage inbreeding depression in *Magnolia stellata*. Molecular Ecology 18, 2365-2374. 2009, 査読有

[学会発表](計5件)

- ① Ishida K., and Hirayama, K. Genetic load reduces reproductive success in a small population of a threatened tree, *Magnolia stellata*. EAFES International Congress, 2012年3月20日 龍谷大学
- ② 石田清、鈴木節子、玉木一郎、肥後睦輝、木佐貴博光、平山貴美子、戸丸信弘、準絶滅危惧種シデコブシの現状と今後、日本生態学会大会、2011年3月11日、札幌コンベンションセンター
- ③ 井上みずき、久米篤、智和正明、上原佳敏、石田清、性比・開花率の集団間変動に影響を与える湿地の栄養塩環境：雌雄異株クローナ

ル植物ヤチヤナギ、日本生態学会大会、2011年3月11日、札幌コンベンションセンター

- ④ 石田清、平山貴美子、植物の繁殖に及ぼす二親性近親交配の影響：推定方法と適用事例、日本生態学会大会、2010年3月16日、東京大学
- ⑤ 井上みずき、石田清、雌雄異株ヤチヤナギのオス化した小集団のクローン構造、日本生態学会大会、2010年3月16日、東京大学

〔図書〕（計3件）

- ① 鈴木節子、戸丸信弘、石田清、希少樹種の現状と保全：保全のための課題と対策、森林総合研究所第2期中期計画成果23:20-2、2011、ISBN:978-4-902606-79-9
- ② 石田清、ホオノキ（「日本樹木誌」、日本樹木誌編集委員会）、pp. 591-610、日本林業調査会、2009、ISBN978-4-88965-192-8
- ③ 石田清、近交弱勢、異系交配弱勢（「森林大百科事典」、森林総合研究所編）、pp. 268-271、2009、朝倉書店

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石田 清 (ISHIDA KIYOSHI)  
弘前大学・農学生命科学部・准教授  
研究者番号：10343790

### (2) 研究分担者

金指 あや子 (KANAZASHI AYAKO)  
森林総合研究所・企画部・室長  
研究者番号：60353645

菊地 賢 (KIKUCHI SATOSHI)  
森林総合研究所・森林遺伝研究領域・研究員  
研究者番号：10353658

井上 みずき (INOUE MIZUKI)  
秋田県立大学・生物資源科学部・助教  
研究者番号：80432342

### (3) 連携研究者

杉山修一 (SUGIYAMA SHUICHI)  
弘前大学・農学生命科学部・教授  
研究者番号：00154500