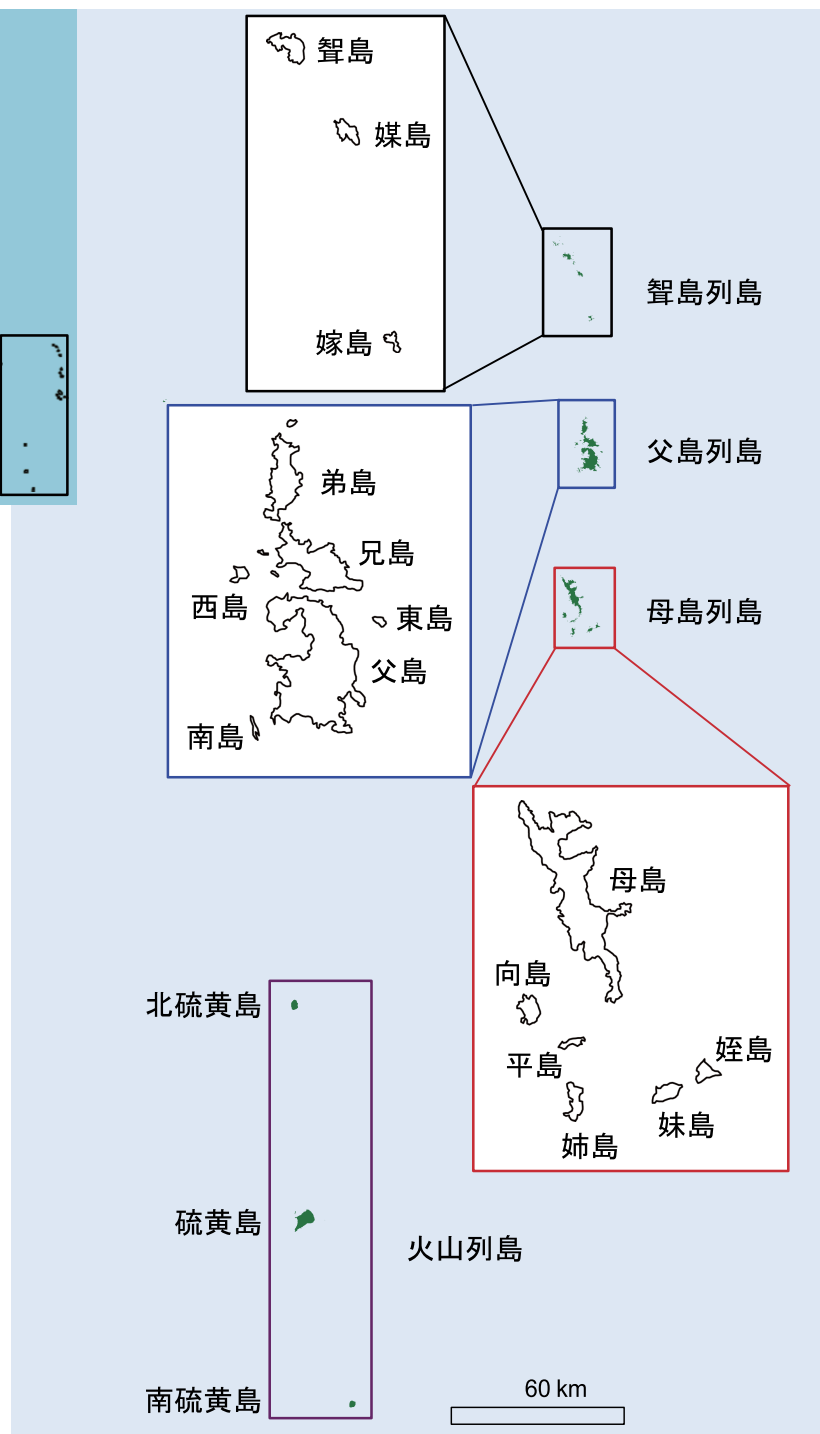
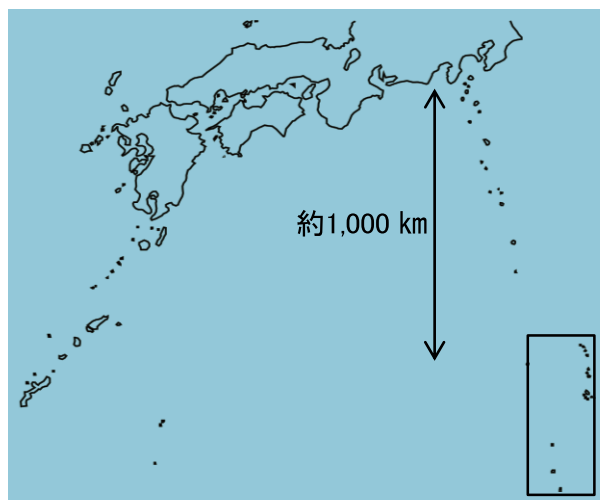


小笠原諸島における植栽木の 種苗移動に関する遺伝的ガイドライン



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute
(協力: 首都大学東京・牧野標本館)



小笠原諸島の位置



目次

はじめに ～小笠原の固有生態系と外来種問題～	1
固有生態系の再生	2
植栽のリスクと対応策	3
遺伝的ガイドラインの基本的な考え方	4
タコノキ（代表担当者：鈴木節子）	5
モモタマナ（代表担当者：鈴木節子）	7
ムニンヒメツバキ（代表担当者：加藤英寿）	9
シマホルトノキ（代表担当者：須貝杏子）	11
オガサワラビロウ（代表担当者：大谷雅人）	13
テリハボク（代表担当者：鈴木節子）	17
おわりに	18
謝辞	19
引用文献	20
参考文献	20

はじめに ～小笠原の固有生態系と外来種問題～

小笠原諸島(以下、小笠原)は、これまでに他の陸地と一度も繋がったことのない海洋島で、主に4つの列島(北から順に聳島・父島・母島・火山列島)で構成されます。動物・植物ともに独自の進化を遂げた固有種が数多く存在し、今なお進行中の種分化の過程を目の当たりにできます。また、多数の絶滅の恐れのある動植物の生育・生息地となっており、生物多様性を保全する上で、大変重要な地域です¹。

小笠原に生育・生息する多くの固有種は、強力な捕食者や競争者が存在しない環境下で進化を遂げたため、外来種に対して極めて脆弱です。近年、小笠原では様々な外来種が、固有の生態系に対して大きな影響を与えていることが明らかになっています。特に、食用として持ち込まれたヤギは野生化し、その結果、樹木を含めた地上植生を食べつくし、さらには土壌を踏み固め、陸域の生態系を破壊しています²。一部では激しい土壌浸食が生じ、陸域のみならず海域の生態系にも大きな影響を及ぼしています。また、薪炭用等の目的で持ち込まれたアカギ、モクマオウ、リュウキュウマツ、ギンネムなどの外来樹木が分布を拡大して繁茂し、小笠原在来種の生育地を奪っています。これは、小笠原固有の植物や絶滅危惧植物が失われるだけでなく、それらの植物を利用していた在来の動物の生存にも影響を及ぼす恐れがあり、早急な対策が必要です。

本ガイドラインは、植生回復のために在来種の植栽がどうしても必要となった場合、小笠原の生態系、特に世界遺産の価値として認められている生物進化を妨げない事業とするために、複数の組織の研究者が行った研究プロジェクトの成果を森林総合研究所が取りまとめ、関係者のご意見を頂いた上で作成しました。



野生化したヤギの群れ

固有生態系の再生

外来種の影響を緩和するために、ノヤギの駆除やアカギやモクマオウの枯殺等の対策が行われています。しかし、ノヤギの駆除が完了した媒島では、ノヤギの被食圧がなくなったため、外来種のギンネムが急速に繁茂しつつあります³。また、アカギの成木を駆除しても、かえってアカギの前生稚樹や落下したアカギの種子の更新が促進されてしまう場合があります⁴。小笠原の固有生態系を再生するためには、外来種の駆除だけでは不十分なことが多く、場合によっては在来植物種の植栽によって、在来植生の更新の手助けをする必要があるのです。



固有種オオハマギキョウ



固有種ワダンノキ



植栽のリスクと対応策

生物種は長い時間をかけて分布の拡大や気候変動など生育環境の変化に遭遇してきたため、多様な遺伝的変異をもっています。そのため、1つの種として扱われていても、地域や生育環境によって遺伝的に異なることがあります。特に、植物は自ら動くことができないため、それぞれの生育環境に適した遺伝子を持つことがしばしば見られます。このような特定の環境に適した個体は、異なる環境に置かれると、生存率や繁殖力が低下してしまいます⁵。このことから、固有生態系を再生するために用いる種苗を選ぶ際には、その種の遺伝的変異のパターンを把握し、植栽地域の集団と遺伝的に近縁な苗や種子を用いれば良いと言えます⁶。

小笠原のような多数の島々からなる島嶼地域においては、列島間や列島内の島間、あるいは島内の集団間で遺伝的な違いが生じている可能性があります。列島間では、海によって種子の移動が妨げられるため遺伝子の交流(遺伝子流動)が起こりにくく、列島ごとに遺伝的な違いが生じやすくなります。また、列島内や島内でも種子や花粉を通じた遺伝子流動は生じていますが、その程度は距離に依存するため、地理的に離れるほど遺伝的な違いが大きくなります。

一方で、距離は近くても異なる生育環境に生育する同種の植物の間で遺伝子流動が妨げられている場合もあります。海洋島では島に辿り着くことができた種数が少ないため、1つの種が様々な環境に進出して分化する現象(適応放散)がよく見られます。このような場合、生育環境が異なることで花期がずれ、交配が起こりにくくなります。また、異なる環境に適応した個体間の交配によってできた子孫は、生育環境に適した遺伝子の組み合わせが交配によって壊れるため、生存率や繁殖力が低下することがあります。このように、異なる環境の集団間でも、遺伝子流動が限られる場合があるのです⁷。よって、小笠原における遺伝的変異のパターンを把握するためには、小笠原における分布域を広く網羅し、さらに父島や母島などの大きな島では多様な環境の集団を含めて解析を行った上で、植栽の可否を決める必要があります。

ただし、植栽の可否や方法は、遺伝的変異だけを考慮して決めれば良いというわけでは無く、植栽が引き起こす他の様々なリスクや、植栽をしない場合のデメリットなどを、様々な視点から検討する必要があります。詳しくは『小笠原諸島の生態系の保全・管理の方法として「植栽」を計画するにあたっての考え方(小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会、2011) <http://ogasawara-info.jp/pdf/shokusai.pdf>』を参照して下さい。

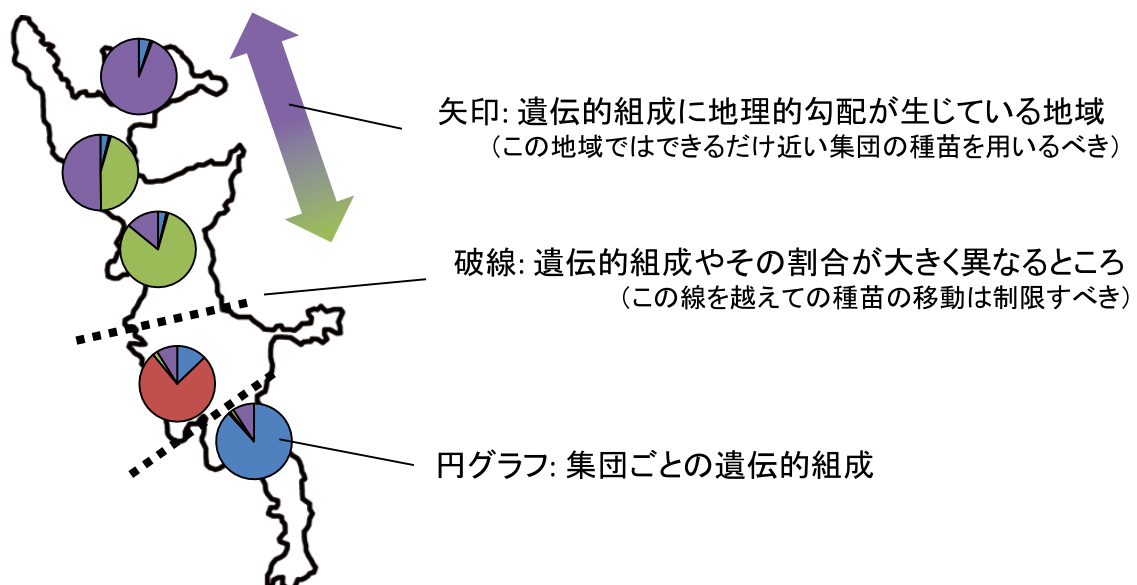
遺伝的ガイドラインの基本的な考え方

本ガイドラインは、小笠原において在来樹木種の植栽を検討する際に必要な情報を提供することを目的としています。そこで、小笠原において広域に分布する樹種を植栽候補種として選定し、諸島内における分布域を網羅するように集団サンプリングを行いました。そして、核遺伝子上の環境による選択を受けにくいと考えられる10～17遺伝子座を用いて、小笠原全体および列島内の遺伝的多様性と変異のパターンを調べました。それにより、小笠原全体および列島内がいくつかの遺伝的なグループに分かれるのか、またその遺伝的組成がどのように分布しているのかを明らかにしました。

遺伝的組成やその割合が大きく異なるところでは、種苗の移動を制限すべきです。また、遺伝的組成の割合が地理的な距離とともに徐々に変化する(地理的勾配が生じている)地域については、その地域内には明確な境界は存在しませんが、できるだけ近い集団に由来する種苗を用いるべきです。

図の見方

円グラフは各集団の遺伝的組成を示しています。隣接する集団で遺伝的組成とその割合が大きく異なるところに、種苗の移動を制限するという意味の破線を引きました。また、遺伝的組成に地理的勾配が生じている地域については矢印で示しました。



タコノキ

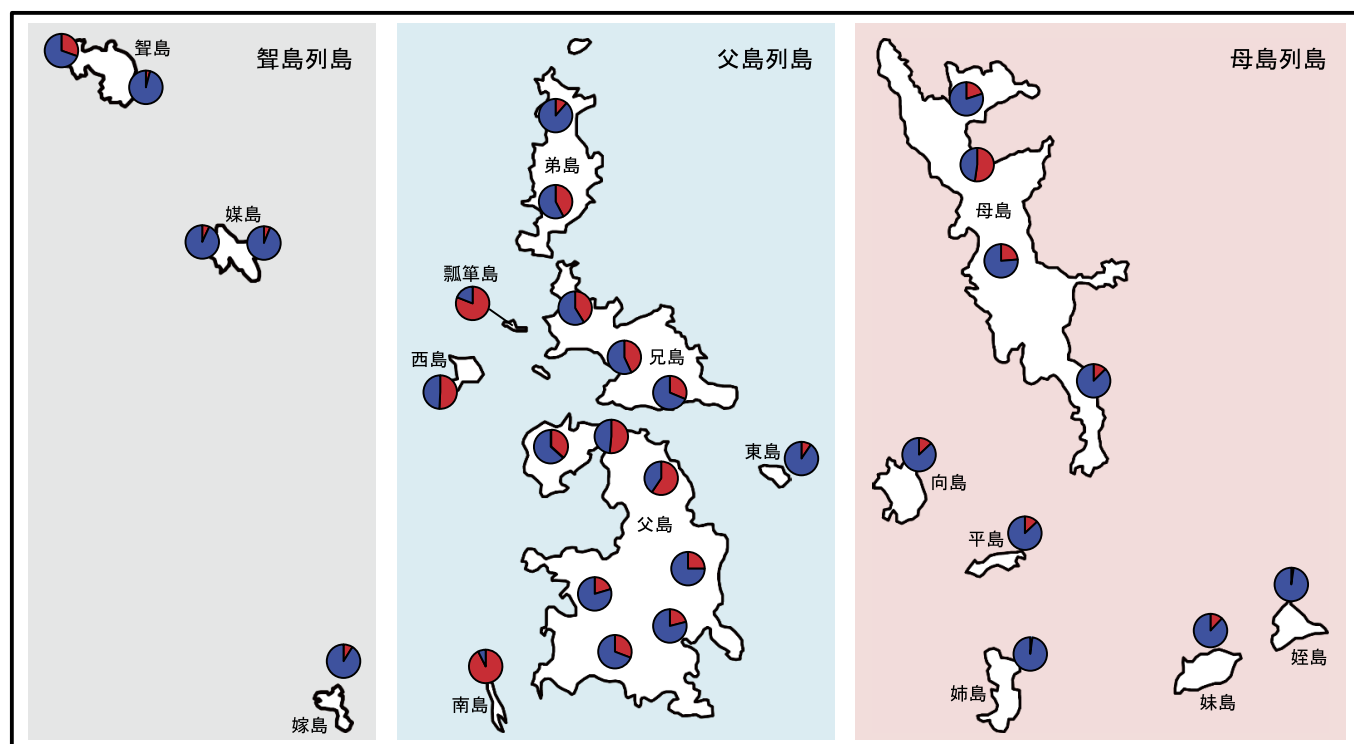
分布： 小笠原全域
環境： 海岸～山域
花粉： 虫媒
種子： 海流散布・動物散布

全体

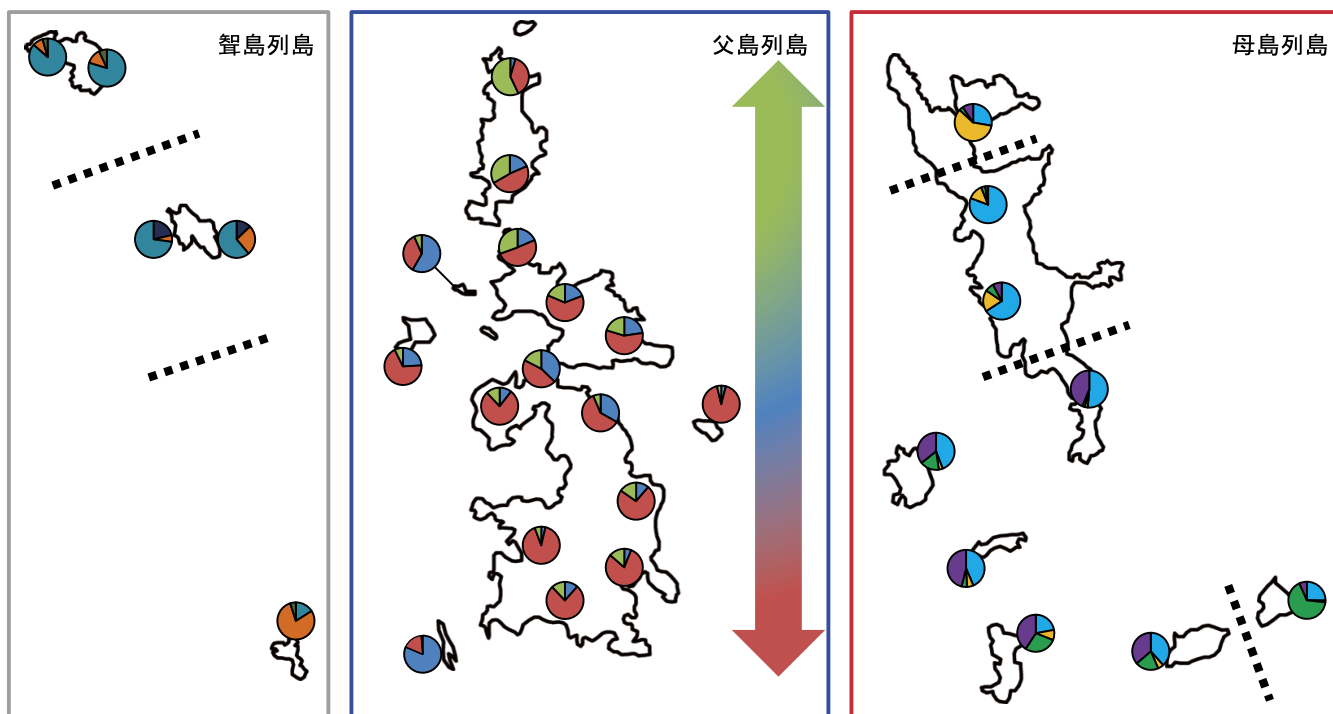
- ・ 2つの遺伝的グループに分けられましたが、各グループの分布にはっきりとしたまとまりはありませんでした。

列島ごと

- ・ 聳島列島では、島ごとに異なる3つのグループが優占していました。
- ・ 父島列島では、3つのグループに分けられ、南北で連続的に変化していました。
- ・ 母島列島では、4つのグループに分けられました。特に母島島内では、南北で異なるグループが優占していました。



小笠原全体の遺伝的グループの分布



列島ごとの遺伝的グループの分布

- 聶島列島の島間、母島の北部・中部・南部の間、姪島と母島列島の他の島の間においては、現状では種苗の移動は控えましょう。
- 父島列島では、できるだけ近い集団の種苗を用いることが推奨されます。



崖の上のタコノキ

- ✓ 父島列島の南島の集団は、父島列島の他の集団と比べてグループの組成が大きく異なりました。しかし、この遺伝的組成の偏りはノヤギの食害により個体数が大きく減少したことが原因であり、長い進化の過程の中で生じたものではないと考え、移動制限の破線を引いていません。

モモタマナ

分布： アフリカ、北オーストラリア、ニューギニア、
東南アジア、ミクロネシアなど
小笠原全域

環境： 海岸～山域

花粉： 虫媒

種子： 海流散布・動物散布

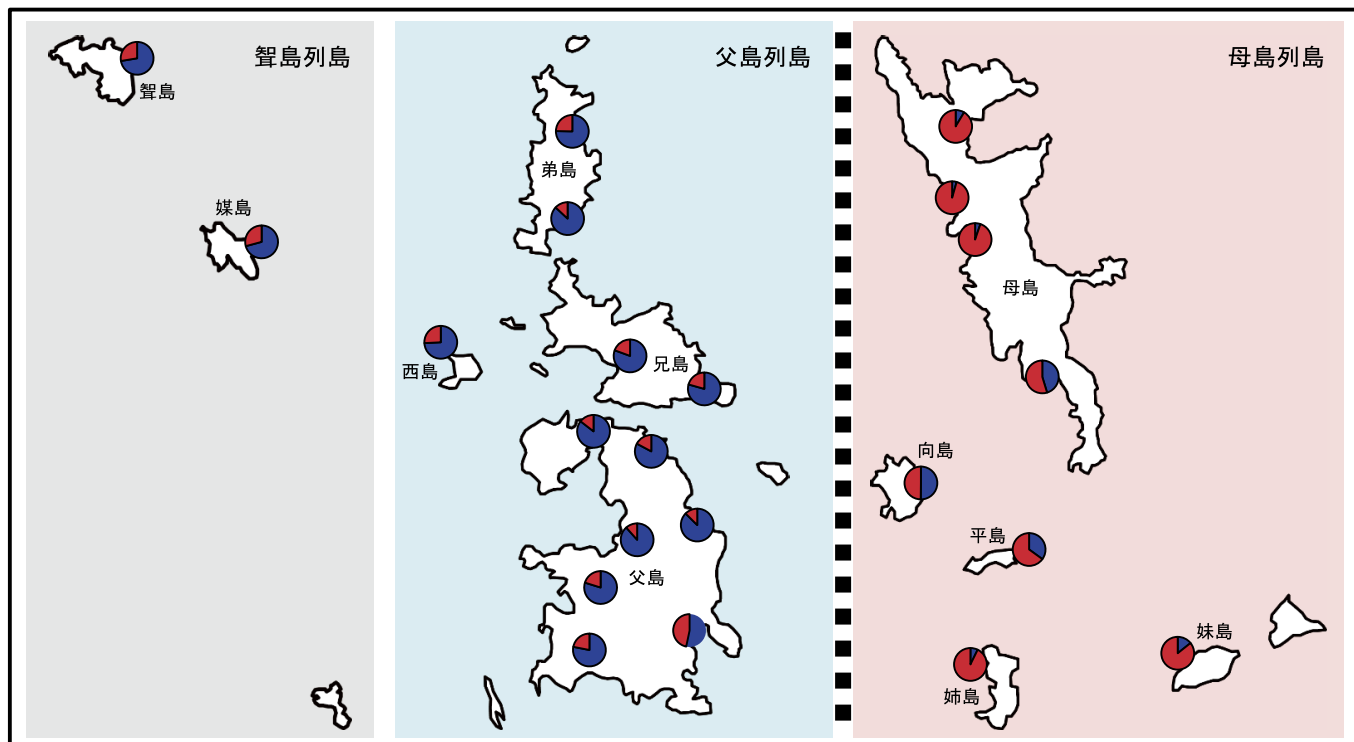


全体

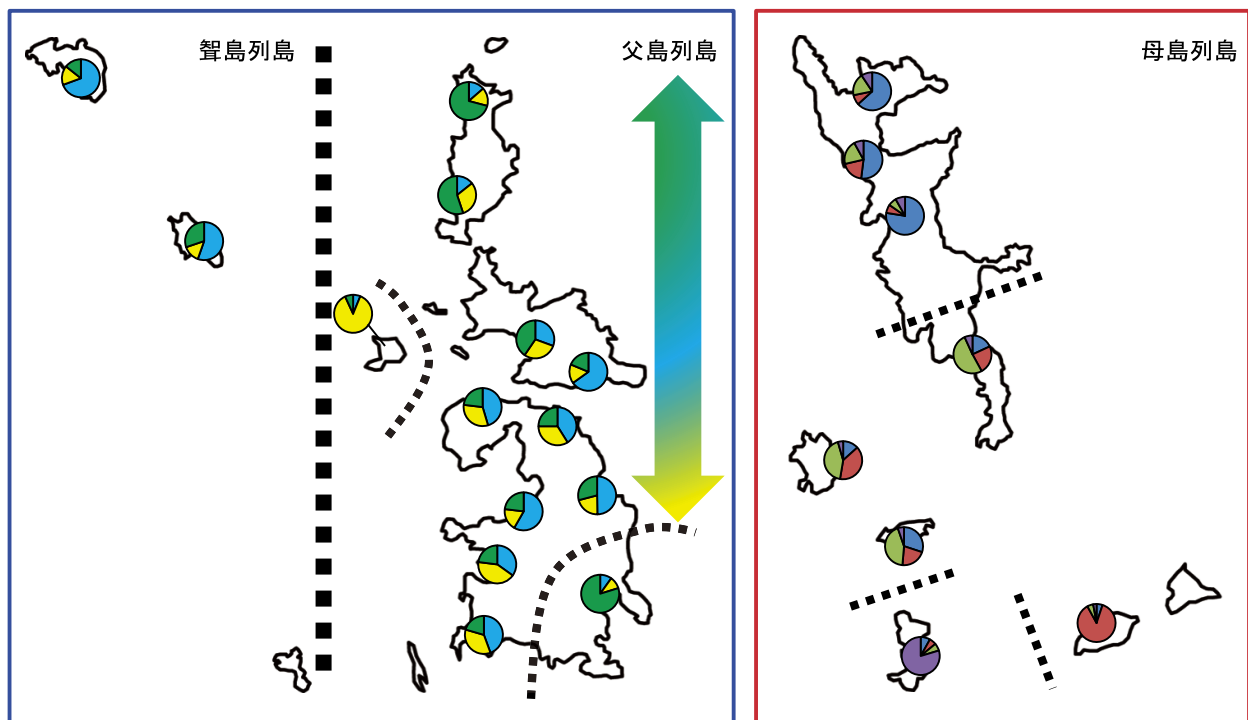
- ・ 2つの遺伝的グループに分かれ、「聟島・父島列島」、「母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

- ・ 聟島・父島列島では3つ、母島列島では4つのグループに分けられました。
- ・ 父島列島では、グループの組成が南北で連続的に変化していました（父島南東部、西島を除く）。
- ・ 母島では、北と南で、異なるグループが優占していました。
- ・ 西島、姉島、妹島では、特定のグループが優占していました。



小笠原全体の遺伝的グループの分布



地域ごとの遺伝的グループの分布

- 父島列島と聳島列島の間では、遺伝的組成が似た集団もありますが、地理的に離れているため、安全を期して、種苗の移動は控えましょう。
- 父島の南東部・西島と父島列島の他の場所の間、母島の北部・南部の間、姉島・妹島と母島列島の他の島の間においては、現状では種苗の移動は控えましょう。
- 父島の南東部と西島以外の父島列島では、できるだけ近い集団の種苗を用いることが推奨されます。



モモタマナの花序

- ✓ 小笠原全体では、2つの遺伝的グループがそれぞれ優占する「聳島・父島列島」と「母島列島」の2つの地域に分かれたので、地域ごとに解析を行いました。

ムニンヒメツバキ

分布： 父島列島(弟・兄・父島)と母島
環境： 山の中腹～山地帯
花粉： 虫媒
種子： 風散布

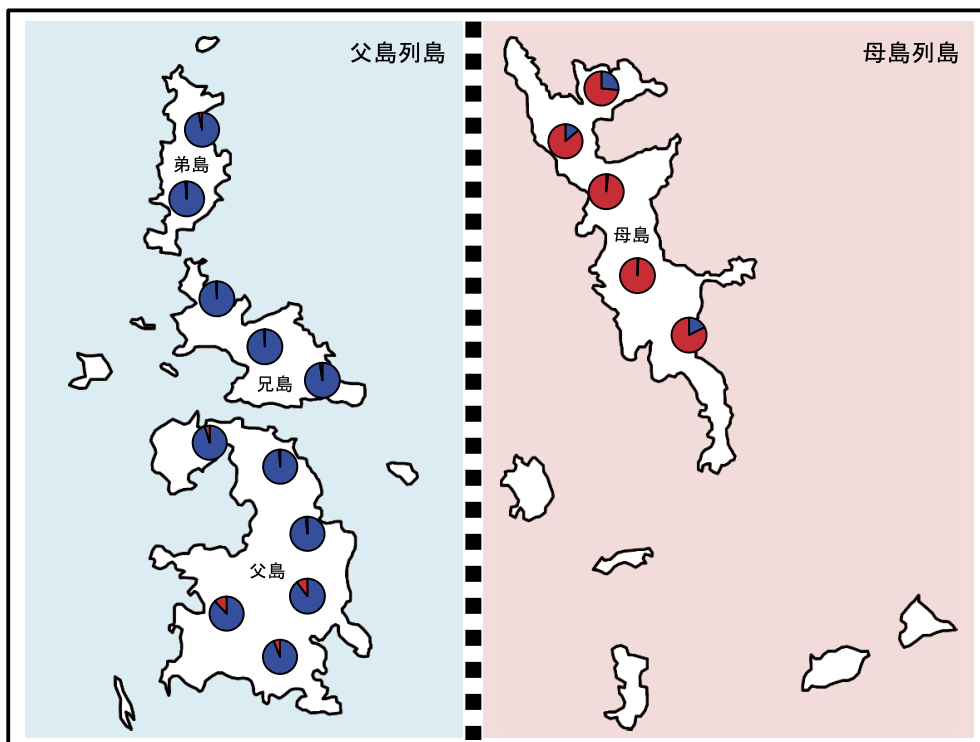


全体

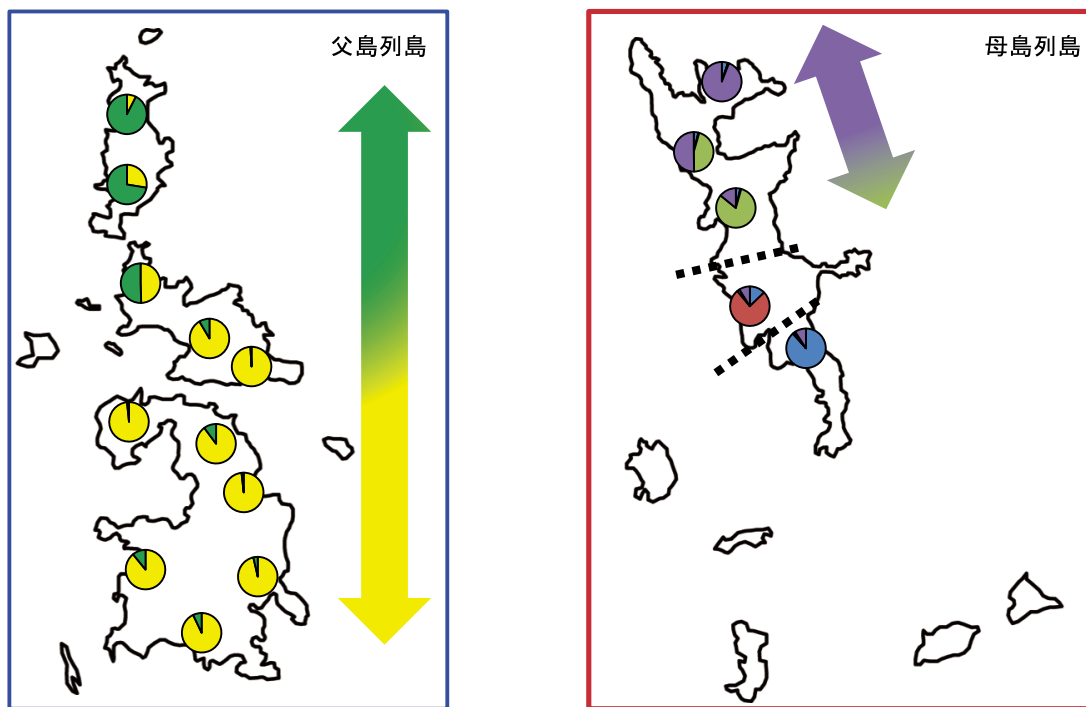
- 2つの遺伝的グループに分かれ、「父島列島」と「母島」で各グループが優占していました。

地域ごと

- 父島列島では、2つのグループに分けられ、南北で連続的に変化していました。
- 母島では、4つのグループに分けられ、北部においては連続的に変化していました。



小笠原全体の遺伝的グループの分布



地域ごとの遺伝的グループの分布

- 母島の北部・中部・南部の間においては、現状では種苗の移動は控えましょう。
- 父島列島と母島の北部では、できるだけ近い集団の種苗を用いることが推奨されます。



ムニンヒメツバキに訪花するオガサワラクマバチ

シマホルトノキ

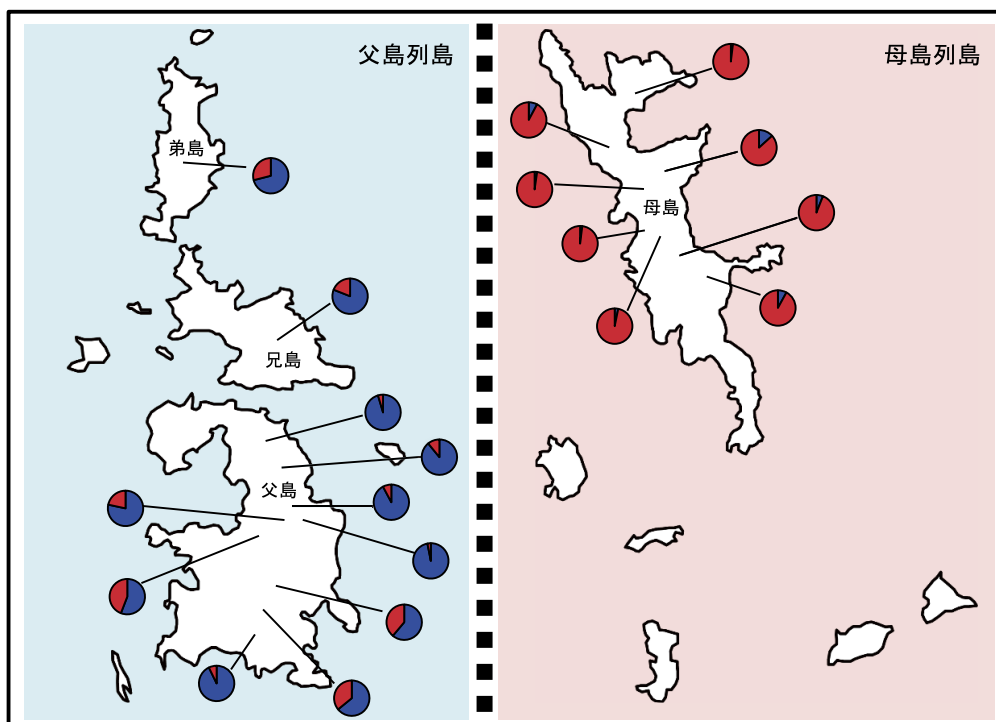
分布： 父島列島(弟・兄・父島)と母島
環境： 乾性林～湿性林
花粉： 虫媒
種子： 鳥散布
開花期と樹高に差

全体

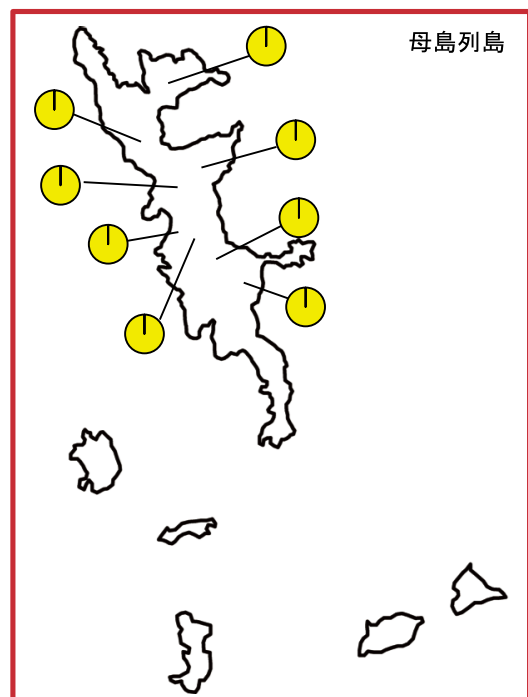
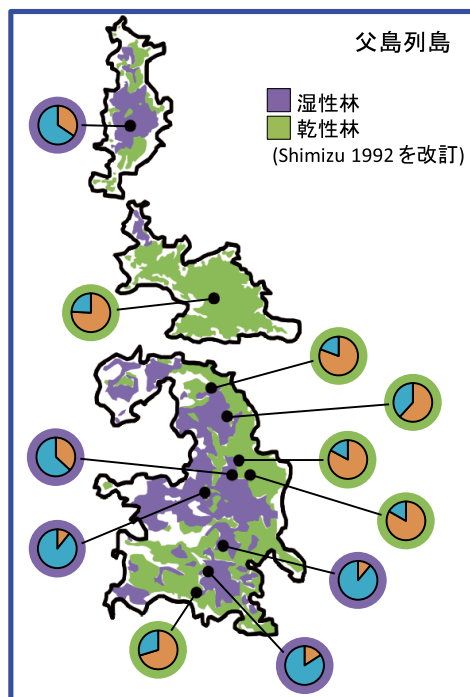
- 2つの遺伝的グループに分かれ、「父島列島」と「母島」で各グループが優占していました。

地域ごと

- 父島列島では、2つのグループに分けられ、それらは湿性林と乾性林という植生タイプの違いに対応していました。さらに、両者の間では開花期がずれていることも明らかになっています。
- 母島においては、島内での分化はみられませんでした。



小笠原全体の遺伝的グループの分布



地域ごとの遺伝的グループの分布



こぶ状になったシマホルトノキの樹幹

- 父島列島では、たとえ近隣の集団の種苗であっても、生育環境が異なる地域間では種苗の移動は控えましょう。

- ✓ 父島列島では、個々の島の中でも環境が異なる植生タイプがモザイク状に配置しているため、種苗の移動を制限する区域を設定することは困難です。そのため、移動制限の破線は引いていません。

オガサワラビロウ

分布： 小笠原全域
環境： 海岸～山域
花粉： 虫媒、コウモリ媒
種子： 重力散布、海流散布
個体サイズ、葉の形に変異あり、開花期にずれ

オガサワラビロウとメイジマビロウ

オガサワラビロウ(広義)の中には、メイジマビロウと呼ばれるタイプが存在するという見解があります²。以下の表現型、遺伝解析の両方の結果から、2つのタイプの存在が支持されるため、今回のガイドラインでは、オガサワラビロウ(狭義)とメイジマビロウの2タイプがあるものとみなして扱っています。なお、以後の文章ではオガサワラビロウは狭義のオガサワラビロウを指しています。

表現型

オガサワラビロウは、葉柄に鋭いトゲをもちますが、メイジマビロウのトゲは目立ちません。そして、メイジマビロウの方が個体サイズが小さい、地際の膨らみの程度が弱い、葉の裂片が短いという傾向があります。



オガサワラビロウ



メイジマビロウ



幹の地際(左:オガサワラビロウ、右:メイジマビロウ)



葉柄(上:オガサワラビロウ、下:メイジマビロウ)

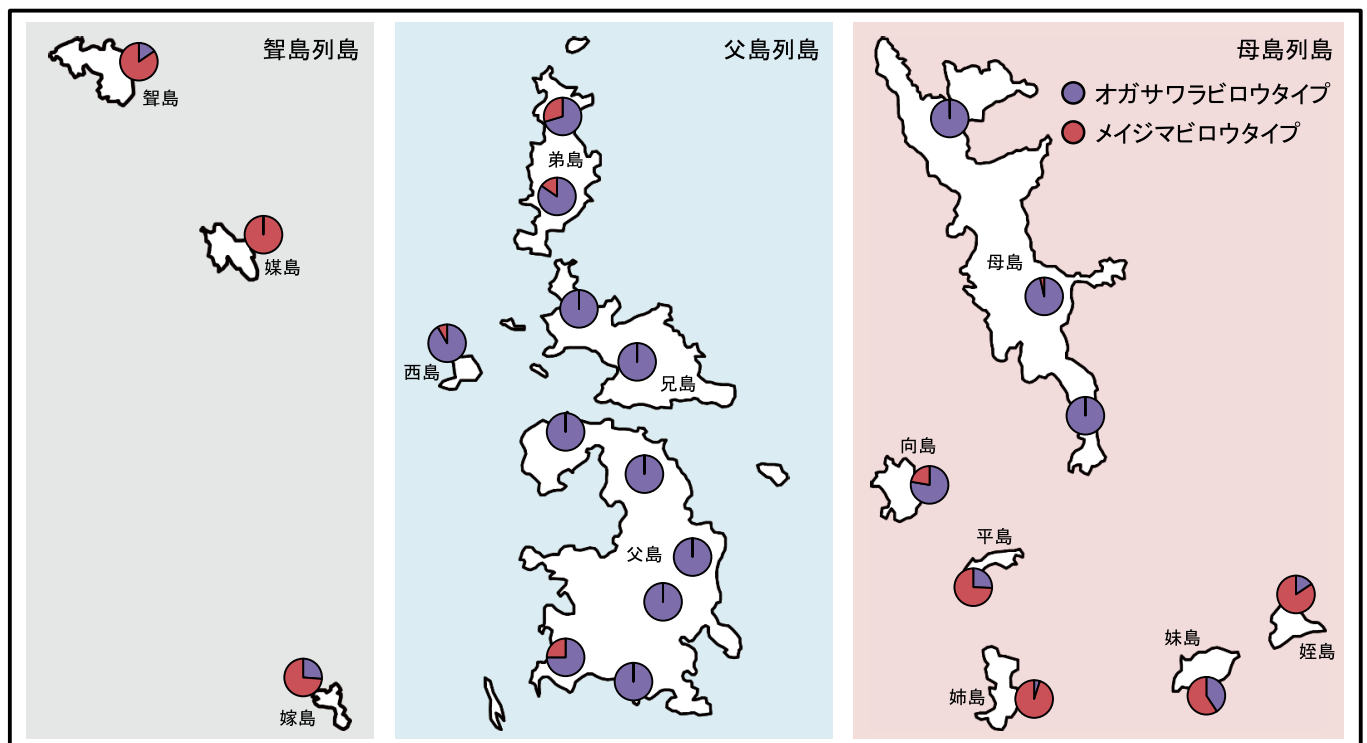
オガサワラビロウ

全体

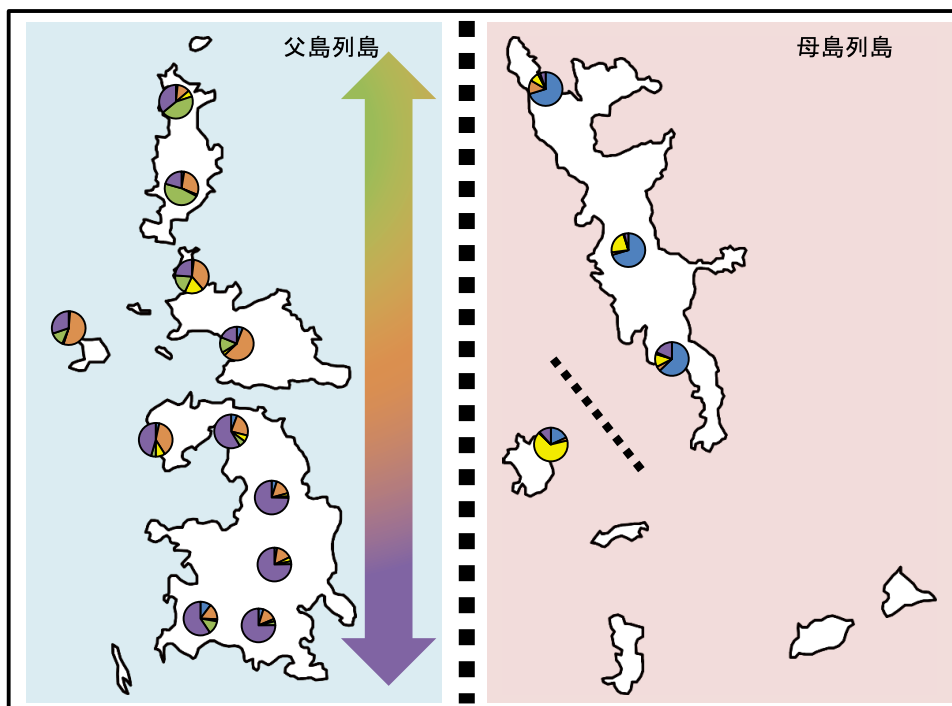
- 遺伝解析では、明瞭な2つのグループに分けられました。それらは、表現型の2つのタイプとも一致していました。
- 中間的な遺伝的組成を持つ個体は稀なため、交雑はほとんど生じていません。
- 父島列島と母島、向島ではオガサワラビロウタイプが、聳島列島と向島を除く母島属島ではメイジマビロウタイプが多く分布していました。

タイプごと

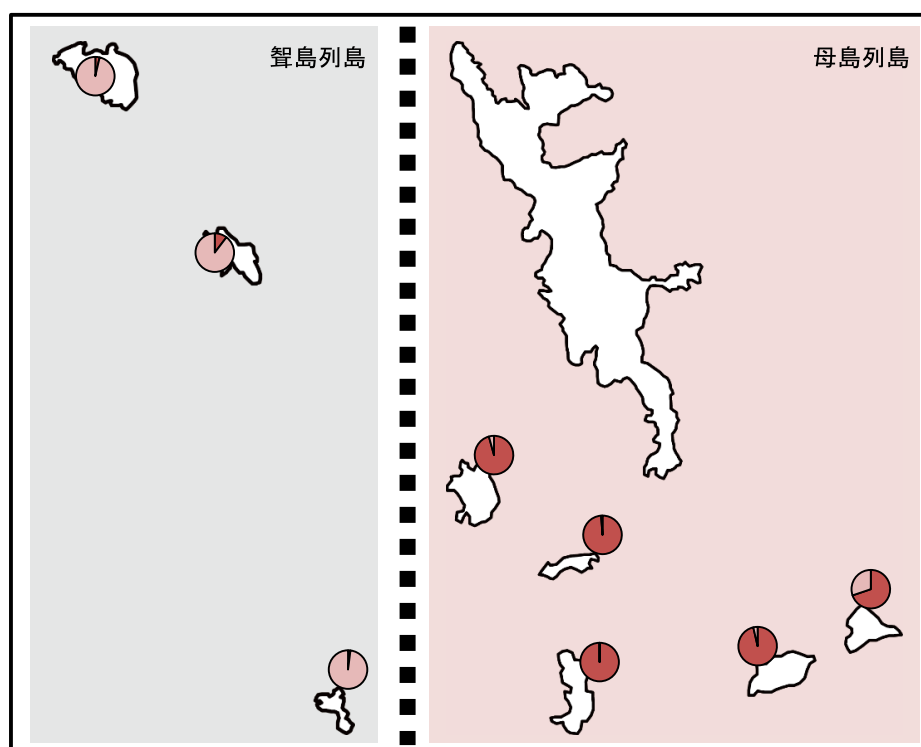
- オガサワラビロウタイプは、5つのグループに分けられました。父島列島では、グループの構成が南北で連続的に変化していました。母島と向島では異なるグループが優占していました。
- メイジマビロウタイプは、2つのグループに分けられました。聳島列島と母島属島では異なるグループが優占していました。



小笠原全体の遺伝的グループの分布



オガサワラビロウタイプの遺伝的グループの分布



メイジマビロウタイプの遺伝的グループの分布

- オガサワラビロウタイプとメイジマビロウタイプは、島によってそれらの割合は異なるので、より多く分布しているタイプを用いることが推奨されます。
- オガサワラビロウタイプ・メイジマビロウタイプ共に、現状では列島間で種苗の移動は控えましょう。
- オガサワラビロウタイプは、現状では母島と向島の間で種苗の移動は控えましょう。また、父島列島では、できるだけ近い集団の種苗を用いることが推奨されます。

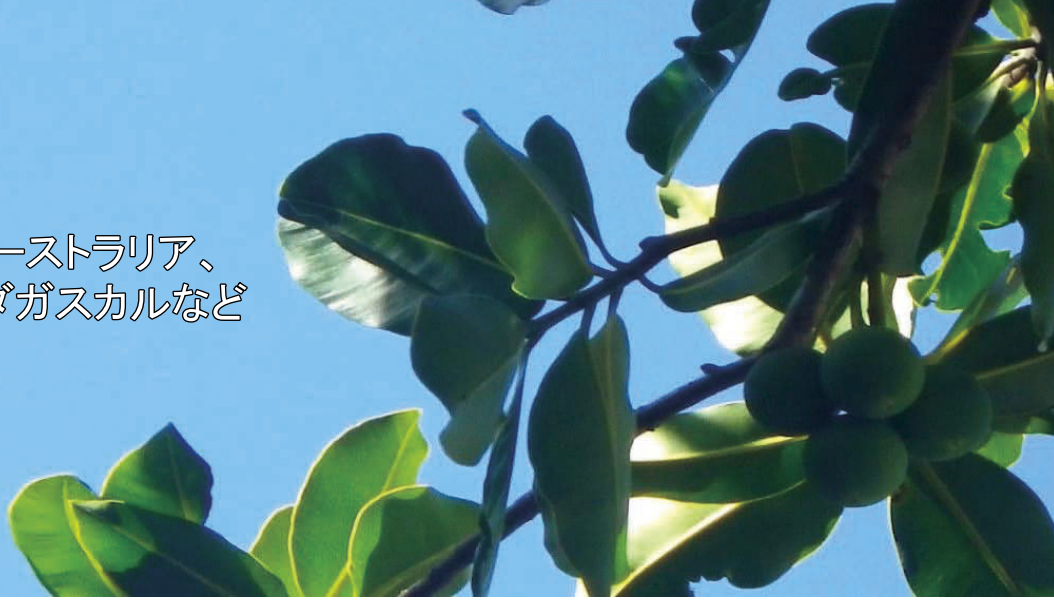
テリハボク

分布： 太平洋諸島、オーストラリア、
東南アジア、マダガスカルなど
小笠原全域

環境： 海岸

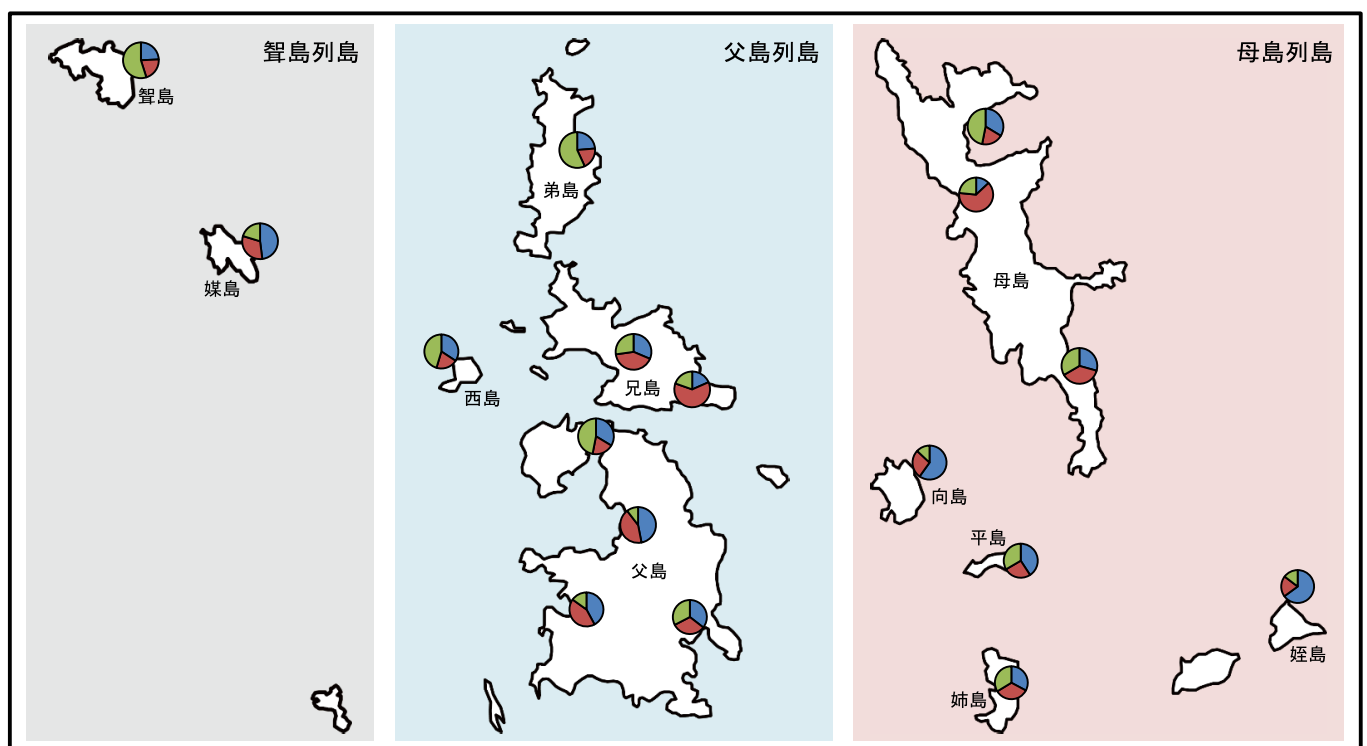
花粉： 虫媒

種子： 海流散布



全体

- 3つの遺伝的グループに分けられましたが、各グループの分布は地理的な関係を反映していませんでした。
- 各個体はいずれか1つのグループに高い確率で割り当てられ、1つの集団の中にそれらが混在していました。



小笠原全体の遺伝的グループの分布

- 遺伝的攪乱の観点からは、種苗の移動を制限する必要はありません。

✓ この結果は、種子散布様式が同じ海流散布のタコノキ、モモタマナとは大きく異なりました。過去の植栽によってすでに遺伝的変異のパターンが攪乱されていると考えられます。そのため、移動制限の破線は引いていません。

おわりに

種苗の移動制限のガイドラインを構築する場合、本来は両性遺伝する核遺伝子だけでなく、母性遺伝する葉緑体遺伝子の解析も併せて行うことが望ましいです。しかし、今回は進化に対して中立で両性遺伝する核遺伝子のみを用いた解析に基づいてガイドラインを作成しました。今後は、種子を通じて母性遺伝する葉緑体遺伝子の解析や中立でない適応に関連した遺伝子の解析を通じて、より詳細に遺伝子の分化、種の適応の知見を集積していく必要があります。その際には、改めて種苗の移動制限を検討することが望まれます。

また、小笠原では中立な遺伝子を解析して遺伝的分化がないように見えても、将来、非中立な遺伝子を解析できるようになった場合、環境に応じた遺伝的分化が検出される可能性は高いと推測されます。よって、現時点では今回のガイドラインで示した移動が容認される区域内であるというだけでなく、その中でもできるだけ環境が類似した場所から種子を得るよう配慮するべきです。

種子を採取する際の母樹数にも注意が必要です。非常に少数の母樹から種子を採取して苗を生産すると、集団の遺伝的多様性が低下してしまいます。血縁関係にない多くの個体(母樹)から採種するために、母樹間の距離を20-30m以上離して、かつ30個体以上の母樹から採種することが望ましいでしょう。

また、植栽がもたらす影響の大きさは地域によって異なります。市街地、道路沿いに対して、本ガイドラインを適用するか否かは個々の事業で判断して下さい。

謝辞

本研究は、環境省関東地方環境事務所「平成22年度小笠原諸島広域分布種に関する遺伝的変異の解析調査」、「平成23年度小笠原諸島広域分布種に関する遺伝的変異の解析調査」、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B)23310167)「小笠原諸島の自然再生における保全遺伝学的問題に配慮した植栽手法の研究」の助成を受けて行われました。

なお、清水善和教授※(駒澤大学)、伊藤元己教授(東京大学)、可知直毅教授※(首都大学東京)、津村義彦教授(筑波大学)、森林総合研究所の大河内勇博士※、田中信行博士※、川上和人博士※、河原孝行博士、永光輝義博士には本稿の作成にあたり貴重なご意見を頂きました。環境省、林野庁、東京都の各担当者の方々には、調査または入林の許可を頂くだけでなく、貴重なご意見も頂きました。安井隆弥氏、星善男氏をはじめとする野生生物研究会の皆さま、および京都大学の山本良介氏には植物採集をお手伝い頂きました。森林総合研究所の川又泰子氏、久松章子氏には一連の遺伝実験をお手伝い頂きました。また、同研究所の和田慎一郎博士には写真を提供して頂きました。これらの方々のご協力に深く感謝の意を表します。

(※小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会委員)



野生化したヤギの食害により草地化した嫁島

引用文献

1. 日本政府. 世界遺産一覧表記載推薦書 小笠原諸島. (2010).
2. 清水善和. 小笠原諸島聳島列島の植生-モクタチバナ型低木林の生態と野生化ヤギの食害による森林の後退現象-. 駒澤地理 **29**, 9-58 (1993).
3. 畑憲治、可知直毅. 小笠原諸島における野生化ヤギ排除後の外来木本種ギンネムの侵入. 地球環境 **14**, 65-72 (2009).
4. 独立行政法人森林総合研究所. 小笠原の生態系の再生を図るための小笠原生態系管理マニュアル. (2006).
5. Hufford K.M. & Mazer S.J. Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends in Ecology & Evolution* **18**, 147-155 (2003).
6. 独立行政法人森林総合研究所. 広葉樹の種苗の移動に関する遺伝的ガイドライン. (2010).
7. Whittaker R.J. & Fernández-Palacios J.M. *Island biogeography: ecology, evolution, and conservation*, Oxford University Press (2007).
8. Shimizu Y. Origin of *Distylium* dry forest and occurrence of endangered species in the Bonin Islands. *Pacific Science* **46**, 179-196 (1992).
9. 村田弘之. ビロウ属. 園芸植物大事典(総監修: 塚本洋太郎), 小学館 **5**, 114-115 (1989).

参考文献

- 独立行政法人 森林総合研究所 平成23年度小笠原諸島広域分布種に関する遺伝的変異の解析調査業務報告書 (2012).
- Setsuko S., Uchiyama K., Sugai K., Hanaoka S. & Yoshimaru H. Microsatellite markers derived from *Calophyllum inophyllum* (Clusiaceae) expressed sequence tags. *American Journal of Botany* **99**, e28-e32 (2012).
- Setsuko S., Uchiyama K., Sugai K. & Yoshimaru H. Isolation and characterization of EST-SSR markers in *Schima mertensiana* (Theaceae) using pyrosequencing technology. *American Journal of Botany* **99**, e38-e42 (2012).
- Setsuko S., Uchiyama K., Sugai K. & Yoshimaru H. Rapid development of microsatellite markers for *Pandanus boninensis* (Pandanaceae) by pyrosequencing technology. *American Journal of Botany* **99**, e33-e37 (2012).
- Sugai K., Setsuko S., Nagamitsu T., Murakami N., Kato H. & Yoshimaru H. Genetic differentiation in *Elaeocarpus photiniifolia* (Elaeocarpaceae) associated with geographic distribution and habitat variation in the Bonin (Ogasawara) Islands. *Journal of Plant Research*, **126**, 763-774 (2013).
- Sugai K., Setsuko S., Uchiyama K., Murakami N., Kato H. & Yoshimaru H. Development of EST-SSR markers for *Elaeocarpus photiniifolia* (Elaeocarpaceae), an endemic taxon of the Bonin Islands. *American Journal of Botany* **99**, e84-e87 (2012).
- Ohtani M., Tani N. & Yoshimaru H. Isolation of polymorphic microsatellite loci in *Livistona chinensis* (Jacq.) R. Br. ex Mart. var. *boninensis* Becc., an endemic palm species of the oceanic Bonin Islands, Japan. *Conservation Genetics* **10**, 997-999 (2009).

このガイドラインは「平成23年度小笠原諸島広域分布種に関する遺伝的変異の解析調査業務報告書」で報告されたものを、広く一般の方々に理解しやすい形でまとめたものです。詳しいデータは報告書に記載されています。

担当者

森林総合研究所 吉丸博志、鈴木節子、須貝杏子、大谷雅人
首都大学東京 加藤英寿、加藤朗子



兄島の乾性低木林

独立行政法人森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

編集・発行 森林遺伝研究領域

発行日 2015年(平成27年)2月

お問い合わせ先 編集刊行係

電話: 029-829-8135

E-mail: kanko@ffpri.affrc.go.jp

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。

この印刷物は印刷用の紙にリサイクルできます