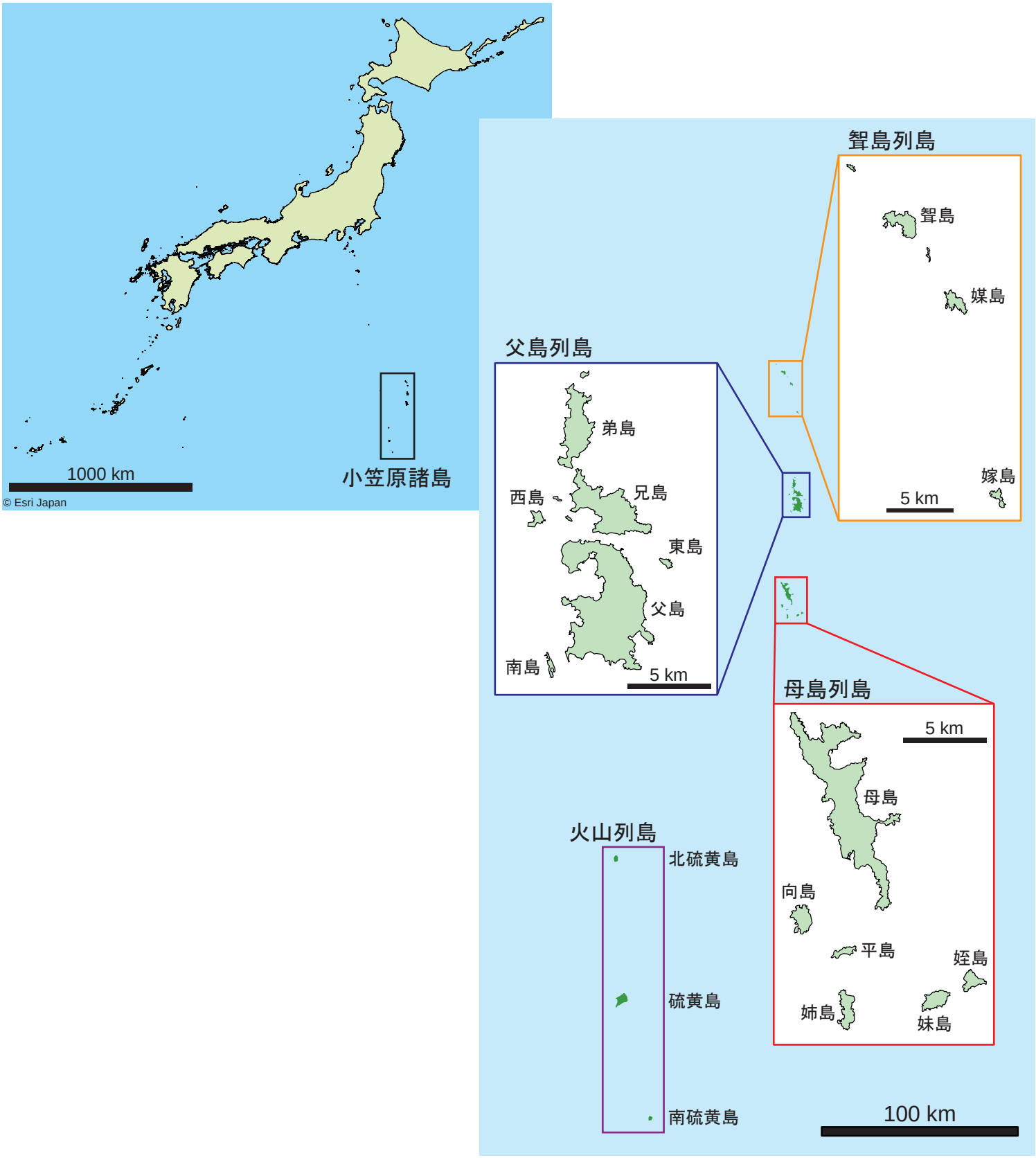
ISBN 978-4-905304-73-9

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 2

国立研究開発法人
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所　第4期中長期計画成果3（森林管理技術 -3）


1000 km
小笠原諸島
© Esri Japan
聟島列島
聟島
媒島
嫁島
5 km
父島列島
弟島
西島
兄島
東島
父島
南島
5 km
母島列島
5 km
母島
向島
平島
姪島
姉島
妹島
火山列島
北硫黄島
硫黄島
南硫黄島
100 km

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
植栽のリスクとその対応策　2
本ガイドラインで対象とした種　3
本ガイドラインの基本的な考え方　4
アカテツ・コバノアカテツ　・・・　鈴木節子・須貝杏子・加藤英寿　5
アコウザンショウ　・・・　須貝杏子・鈴木節子　7
キンショクダモ・ムニンシロダモ　・・・　鈴木節子・須貝杏子・加藤英寿　9
シマイスノキ　・・・　須貝杏子・鈴木節子　11
シマモチ・ムニンモチ　・・・　鈴木節子・須貝杏子・加藤英寿　13
シャリンバイ　・・・　須貝杏子・山本良介・加藤英寿・井鷺裕司　15
ムニンノキ　・・・　鈴木節子・須貝杏子・加藤英寿　17
ヤロード　・・・　須貝杏子・山本良介・加藤英寿・井鷺裕司　19
おわりに　21
謝辞　22
引用文献　23
参考文献　23

表紙の写真／ドローンから撮影した旭山南峰と兄島

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（北から順に聟島・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、野生化したヤギ（ノヤギ）は、樹木を含めた地上植生を食べつくし、土壌を踏み固め、在来植生を消失させています[2]。一部では激しい土壌浸食が生じ、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、トクサバモクマオウ、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、在来樹種を排除しています。これらの外来種の影響により、小笠原の固有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も脅かしており、早急な対策が必要です。

これまでにノヤギやアカギ、トクサバモクマオウ等の駆除事業が行われてきました。駆除が実施された地域では、在来植物の再生、鳥類や陸産貝類の回復などの成果が得られています。一方で、ある外来種が別の外来種の増加を抑えていた側面も明らかになってきました。媒島では、駆除されたノヤギの採食圧がなくなったため、外来樹木であるギンネムが急速に繁茂しつつあります[3]。また、アカギやトクサバモクマオウ等の外来樹木が駆除されても、再び外来種の更新が進んでしまう事例も報告されています[4]。

このように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で、場合によっては在来植物の植栽によって、在来植生の更新の手助けをする必要があると考えられます。

植栽のリスクとその対応策

生物種は長い時間をかけて分布の拡大や気候変動などの環境の変化に遭遇してきており、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応した遺伝子をもつ個体が選択されていくことがしばしば起こります。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、固有生態系の再生のための種苗を選ぶ際には、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種苗を用いることが推奨されます[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で遺伝的な違いが生じている場合があります[7]。それは、海によって種子の分散が妨げられ、遺伝子の交流（遺伝子流動）が起こりにくくなるためです。また、同じ列島内や島内でも、種子や花粉による遺伝子流動の頻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ることが予想されます。

一方で、距離は近くても異なる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[8]。空きニッチが多い海洋島では、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。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、生育環境に適応した遺伝子の組合わせが交配によって崩れるため、生存率や繁殖力が低下することがあります[5]。

よって、地理的距離による遺伝的な違い、あるいは環境による遺伝的な違いに考慮した植栽ガイドラインの策定が望まれます。そのために、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た解析を行い、小笠原における遺伝的変異のパターンを把握する必要があります。

ただし、植栽の可否や方法は、遺伝的変異だけではなく、植栽が引き起こすリスクや、植栽をしない場合のデメリットなど、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（http://ogasawara-info.jp/pdf/shokusai.pdf）』[9]を参照して下さい。

本ガイドラインで対象とした種

本ガイドラインは、小笠原において何らかの理由で植栽候補種となっている在来樹木種の遺伝情報を提供することを目的としています。2015 年に発行したガイドライン[10]では、小笠原において広域に分布し、海岸域や山域で主要構成種となっている6種（オガサワラビロウ、シマホルトノキ、タコノキ、テリハボク、ムニンヒメツバキ、モモタマナ）を対象にしました。続編となる本ガイドラインでは、主要構成種に加え、植生回復の初期段階で必要なパイオニア種、絶滅危惧動物が食物や住処として利用している種を対象とし、8種（アカテツ、アコウザンショウ、キンショクダモ、シマイスノキ、シマモチ、シャリンバイ、ムニンノキ、ヤロード）の結果を示しました。

		主要構成種		パイオニア種	絶滅危惧動物の利用
		海岸域	山域		
ガイドライン①	オガサワラビロウ	○	○		陸産貝類・オガサワラオオコウモリ
	シマホルトノキ		○		アカガシラカラスバト・オガサワラオオコウモリ
	タコノキ	○	○		陸産貝類・アニジマイナゴ・オガサワラオオコウモリ・オガサワラヒメミズナギドリ
	テリハボク	○			オガサワラオオコウモリ
	ムニンヒメツバキ	○	○	○	オガサワラオオコウモリ
	モモタマナ	○			オガサワラオオコウモリ
ガイドライン②	アカテツ・コバノアカテツ VU	○	○		アカガシラカラスバト
	アコウザンショウ		○	○	アカガシラカラスバト
	キンショクダモ・ムニンシロダモ		○		アカガシラカラスバト
	シマイスノキ		○		アニジマイナゴ
	シマモチ・ムニンモチ EN	○	○		
	シャリンバイ	○	○		アカガシラカラスバト・オガサワラオオコウモリ
	ムニンノキ EN		○		オガサワラオオコウモリ
	ヤロード	○	○		オガサワラオオコウモリ

EN：絶滅危惧 IB 類、VU: 絶滅危惧 II 類

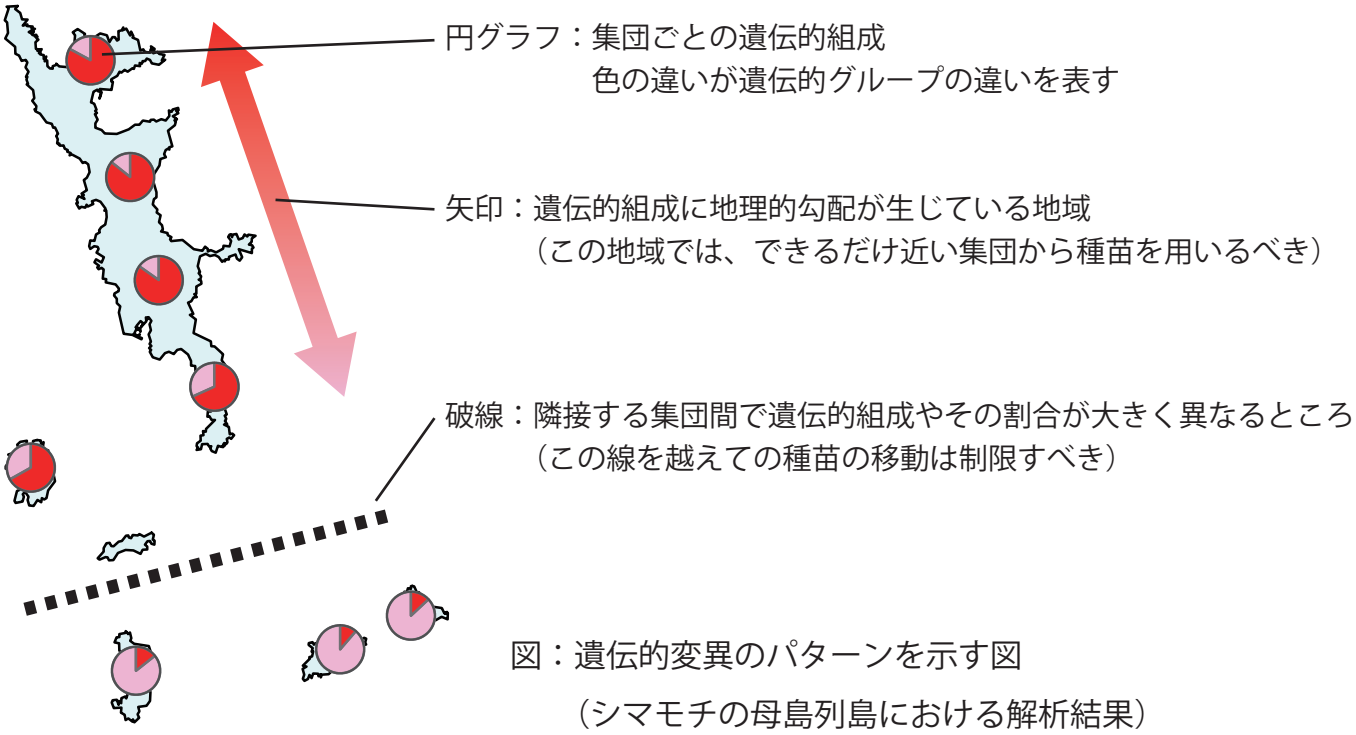
なお、アカテツ、キンショクダモ、シマモチは、小笠原にそれぞれの近縁種コバノアカテツ、ムニンシロダモ、ムニンモチが分布しています。今回、それらを識別するために葉の形態などを計測しましたが、いずれも連続的で分類できませんでした。また、それぞれの分類群が異なる遺伝的グループに分かれることもありませんでした。よって、今回はこれら3種についてはそれぞれの近縁種も含めて解析しました。

本ガイドラインの基本的な考え方

各植栽候補種について、小笠原における分布域を網羅するようにサンプルを採集しました。そして、核遺伝子上の進化に対して中立な（適応に関係しない）遺伝マーカー（8～23 遺伝子座）を用いて、小笠原全体および各列島内の遺伝的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あると考えます。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ないものの、できるだけ近い集団から種苗を用いることが推奨されます。

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は、種苗の移動を制限すべきであ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、その地域が分かるようにグラデーションの双方向の矢印で示しました。



図：遺伝的変異のパターンを示す図
（シマモチの母島列島における解析結果）

アカテツ・コバノアカテツ

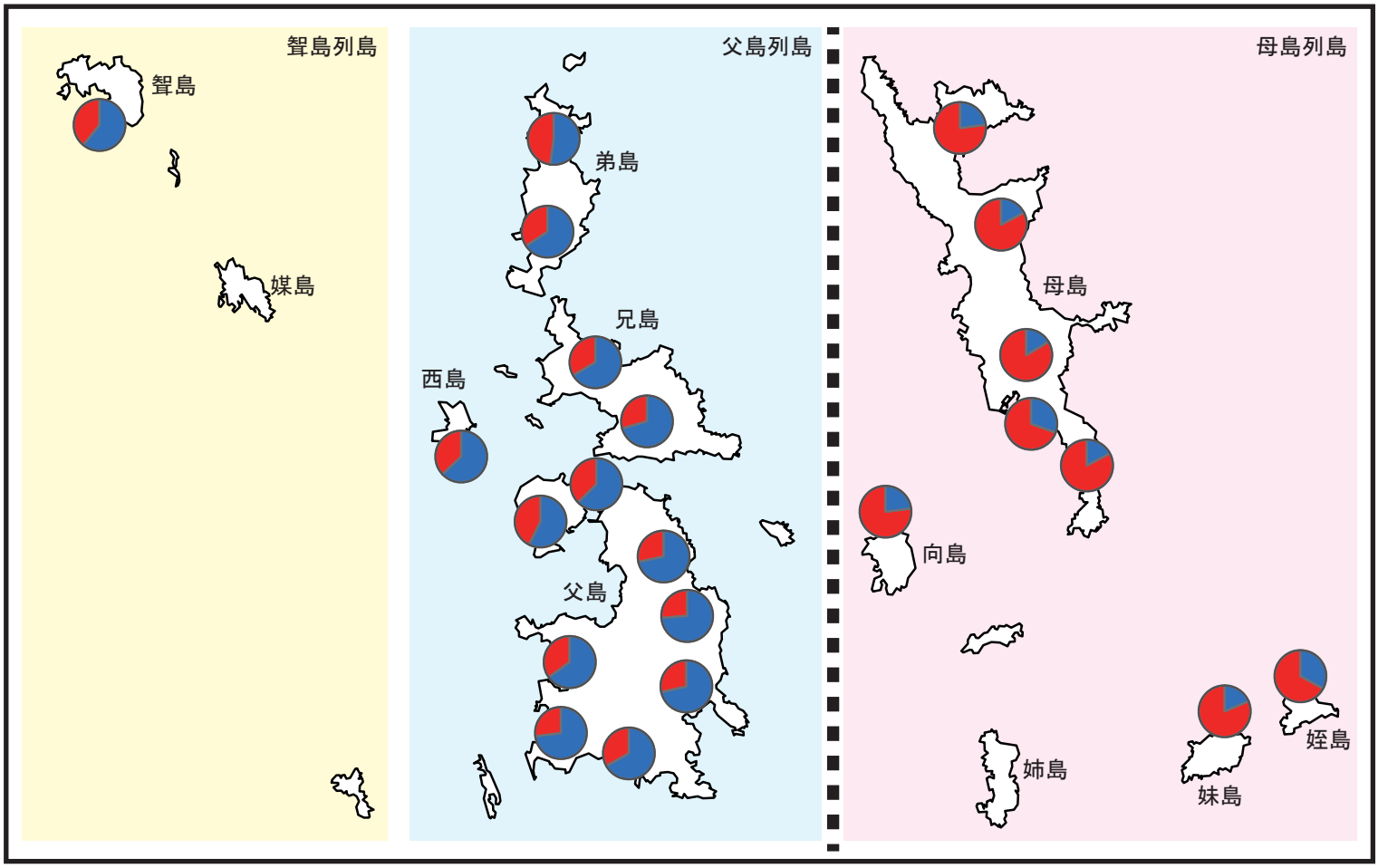
分布：琉球～台湾、フィリピン、マレーシアなど
　　小笠原全域
環境：海岸～山域
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

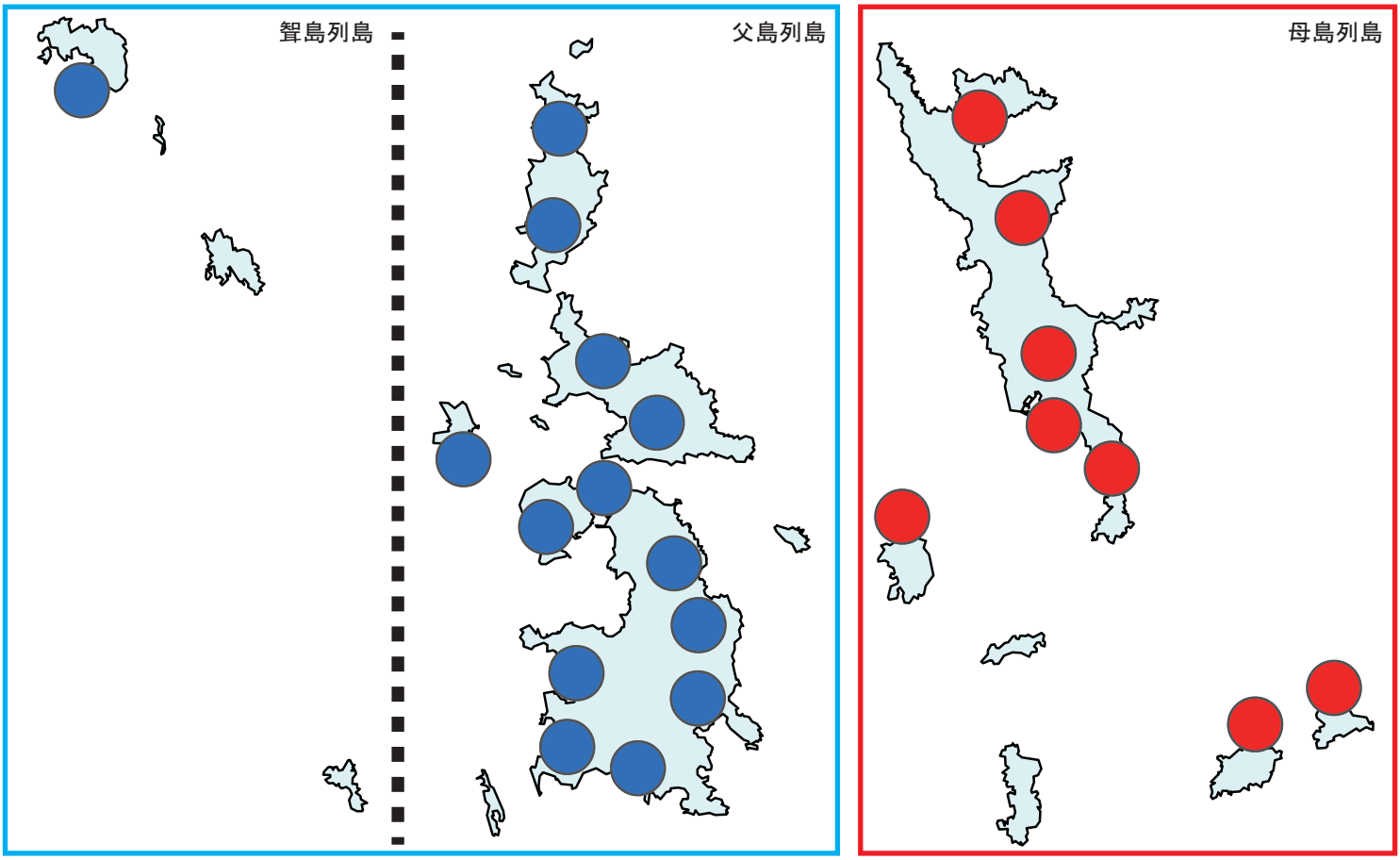
・2つの遺伝的グループに分かれ、「聟島・父島列島」と「母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・聟島・父島列島内、および母島列島内で分化はみられませんでした。



小笠原群島全体で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

- 父島列島と聟島列島の間では、遺伝的組成が似ていますが、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。

アカテツの果実

✓小笠原全体では、「聟島・父島列島」と「母島列島」の2つの地域に分かれたので、それぞれの地域で解析を行いました。

✓アカテツとアカテツの変種とされるコバノアカテツの両者を含めて遺伝解析を行いましたが、アカテツとコバノアカテツの間に遺伝的分化はみられませんでした。また、葉の形態も2つの分類群間で連続的であり、両者を明確に識別できませんでした。

アコウザンショウ

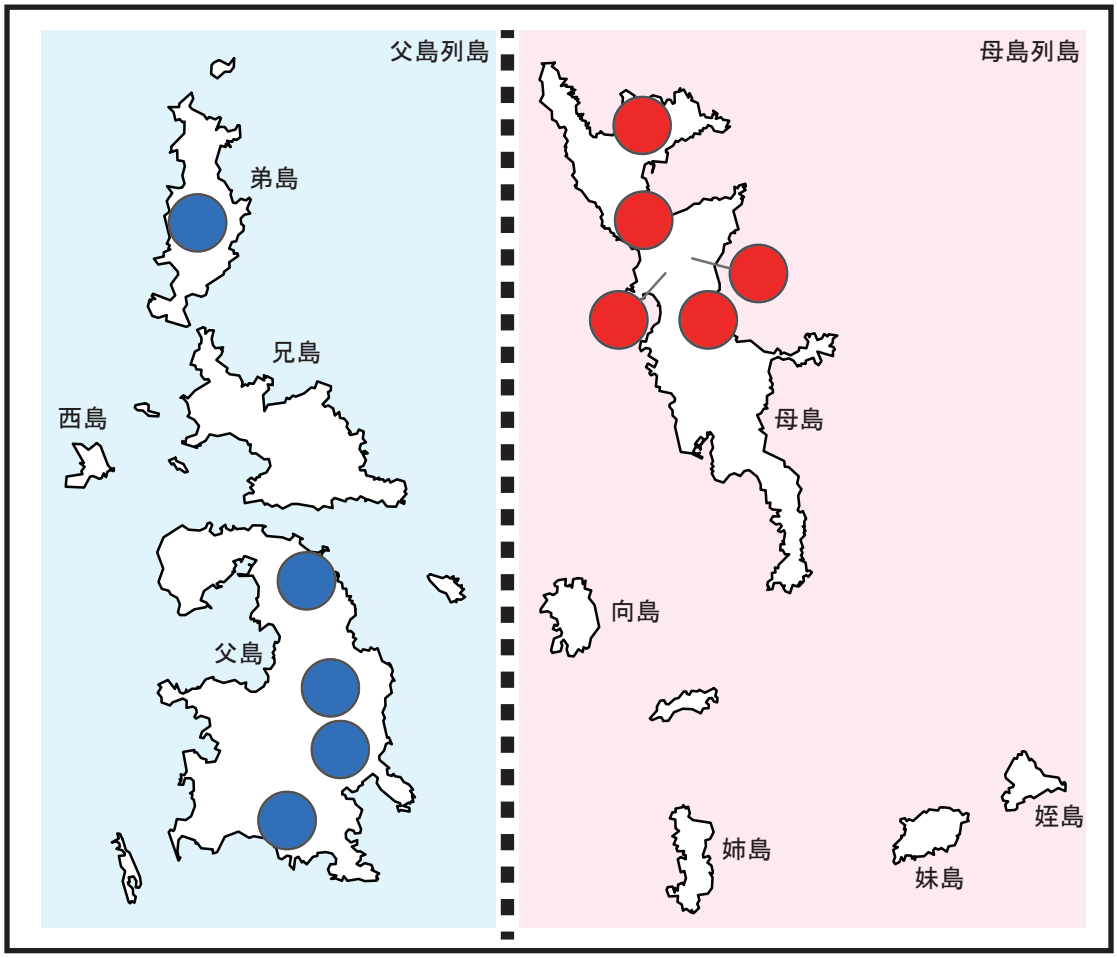
分布：弟島・父島・母島・向島
環境：山域、明るく開けた場所
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

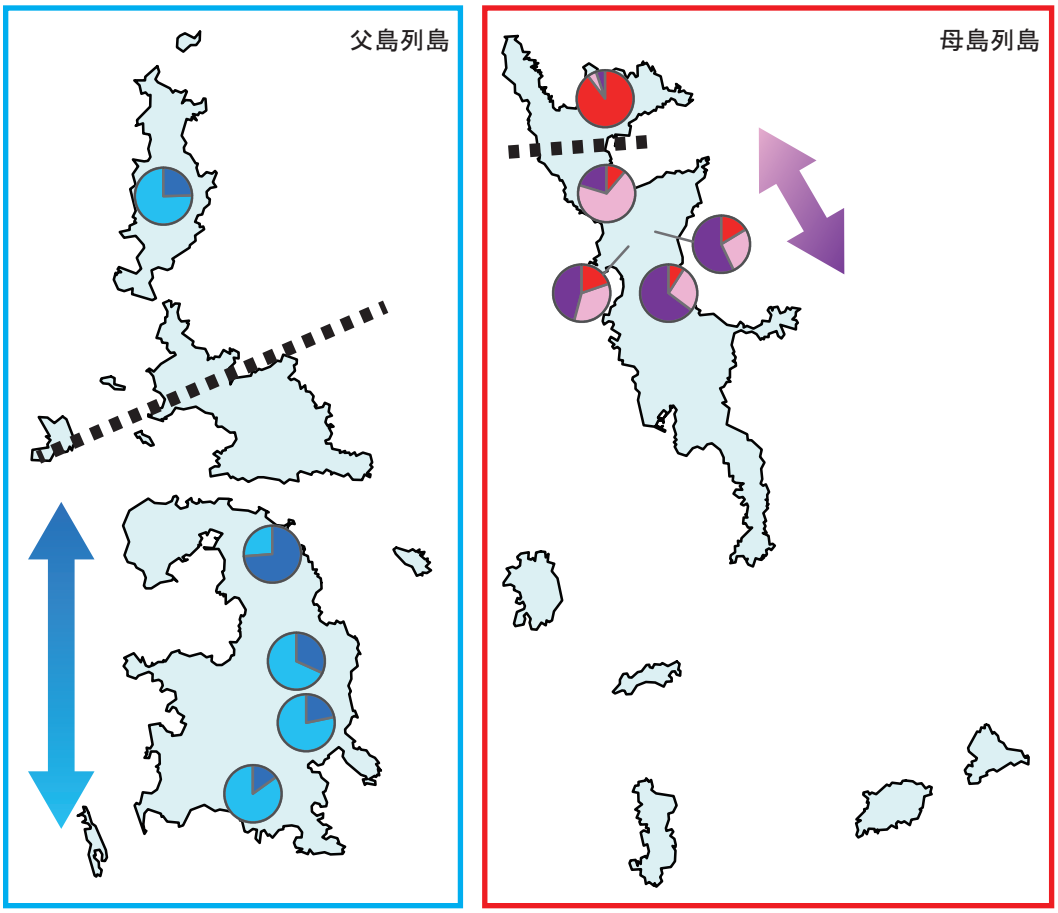
・2つの遺伝的グループに明瞭に分かれ、「父島列島」と「母島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・父島列島では2つ、母島列島では3つのグループに分かれました。
・「父島」と「母島の中部」では、それぞれグループの組成が南北で連続的に変化していました。



小笠原群島全体で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

- 父島と弟島の間においては、 種苗の移動は控えましょう。
- 母島の北部と中部の間においては、 種苗の移動は控えましょう。
- 父島と母島の中部では、 それぞれ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。

アコウザンショウの果実を好むアカガシラカラスバト

キンショクダモ・ムニンシロダモ

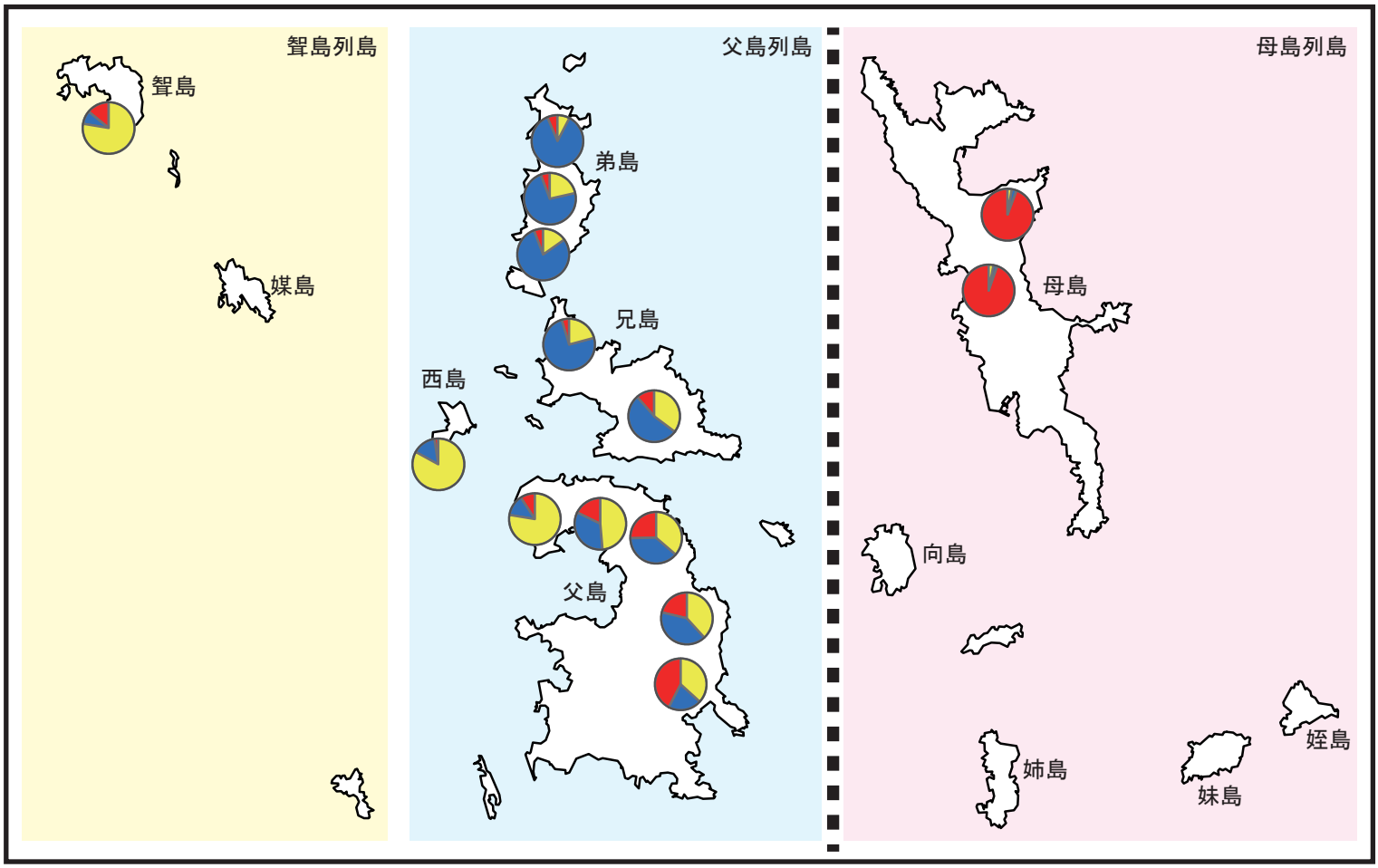
分布：琉球～台湾、中国
　　聟島・父島列島・母島
環境：山域
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

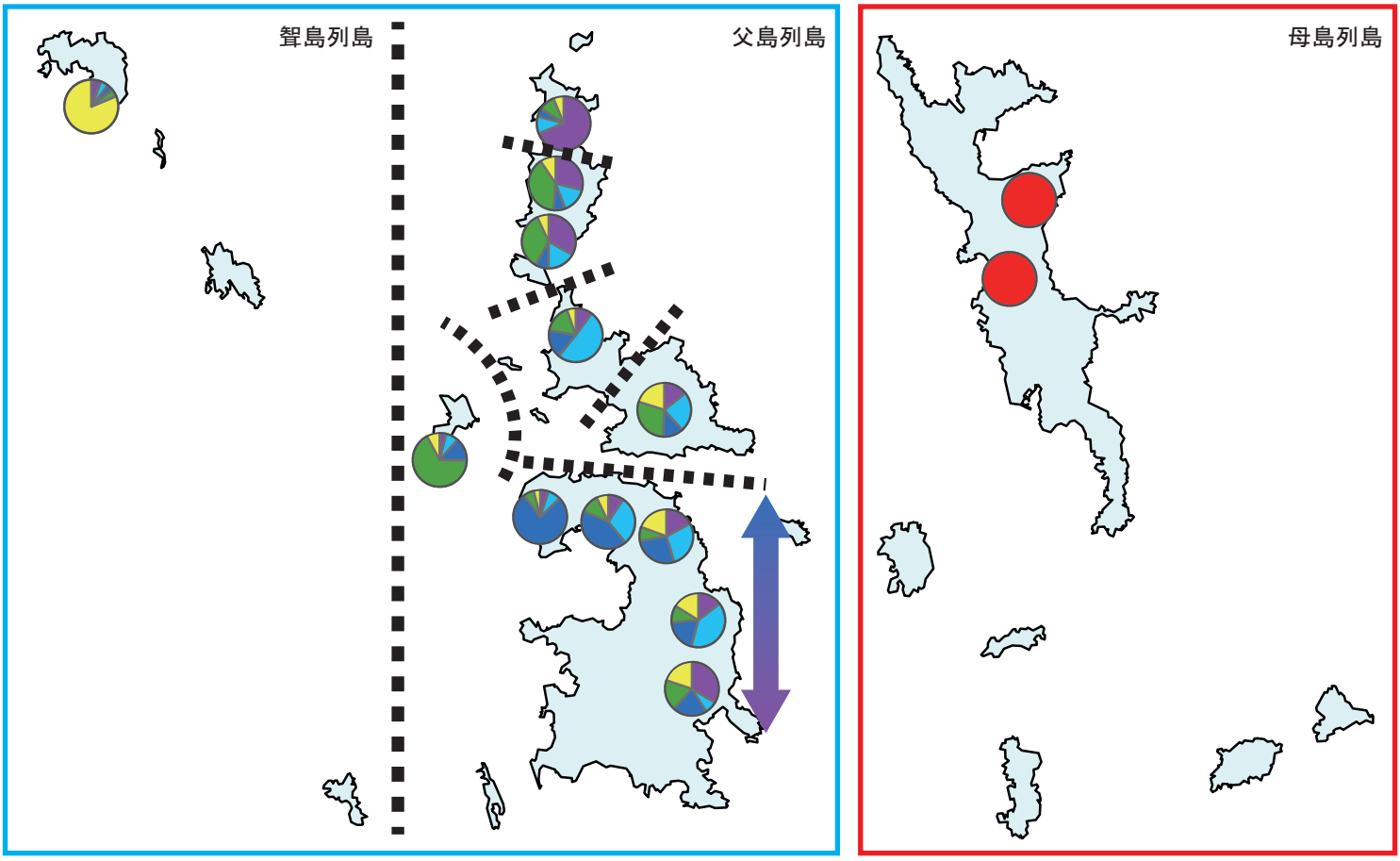
・3つの遺伝的グループに分かれ、「母島」は「聟島・父島列島」とは異なる1つのグループが優占していました。

地域ごと

・聟島・父島列島では5つのグループに分かれ、聟島は父島列島と異なるグループが優占していました。
・父島列島では、弟島の南北、兄島の南北、西島で異なるグループが優占し、父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。
・母島においては、島内での分化はみられませんでした。



小笠原群島全体で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

- 聟島と父島列島の間では、 種苗の移動は控えましょう。
- 父島列島では島間の種苗の移動は控えましょう。 また、 弟島・兄島ではそれぞれ南北での移動は控えましょう。
- 父島では、 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。

キンショクダモの花

✓小笠原全体では、「聟島・父島列島」と「母島」の2つの地域に分かれたので、 それぞれの地域で解析を行いました。

✓父島列島と母島に分布する同属のムニンシロダモも含めて遺伝解析を行いましたが、 キンショクダモとムニンシロダモの間に遺伝的分化はみられませんでした。 葉の裏側の毛の色（黄金色・粉白色）と遺伝的組成に関連はなく、 形態的にも遺伝的にも両者を明確に識別できませんでした。

シマイスノキ

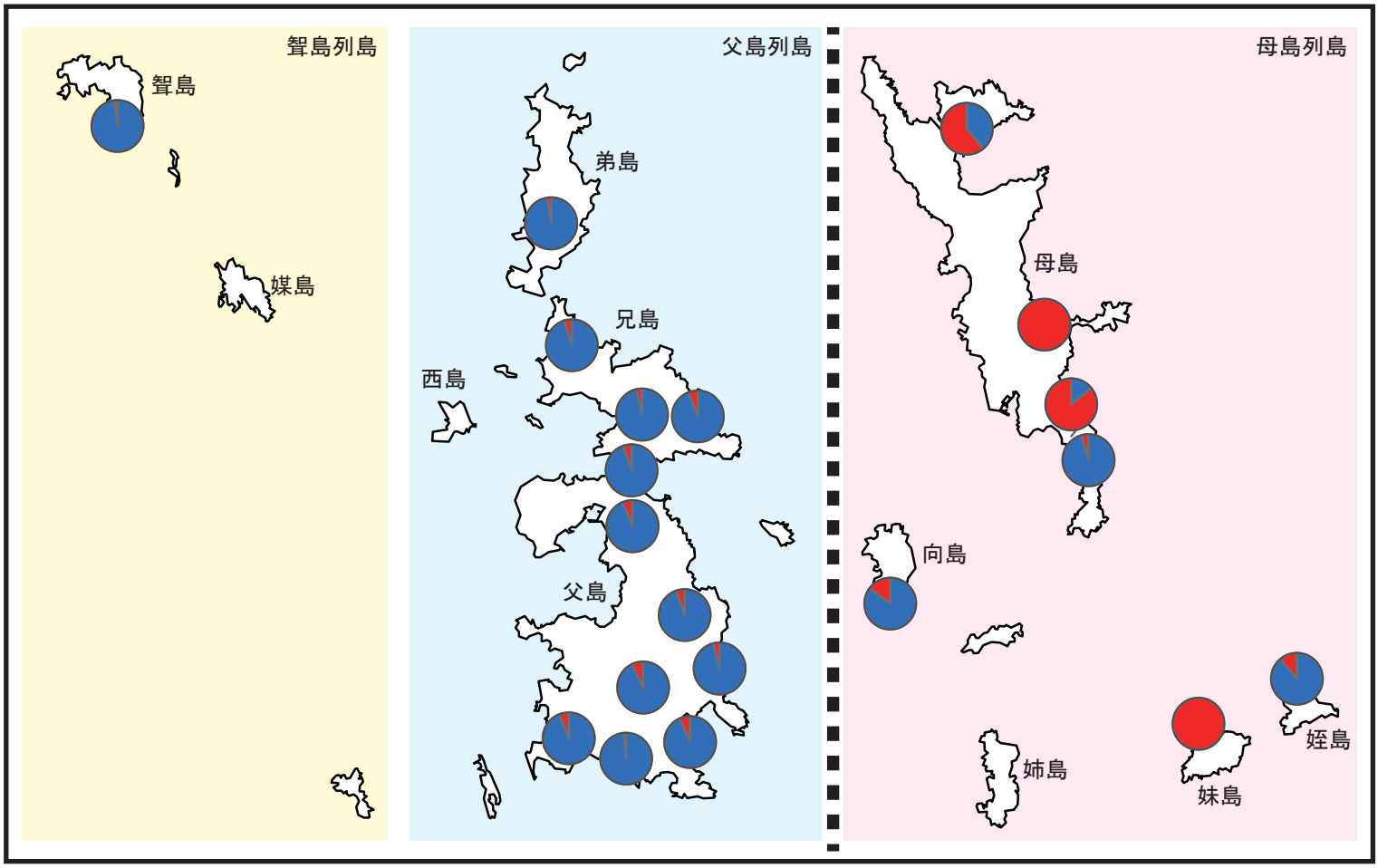
分布：聟島・父島列島・母島列島
環境：山域、乾性林
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

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

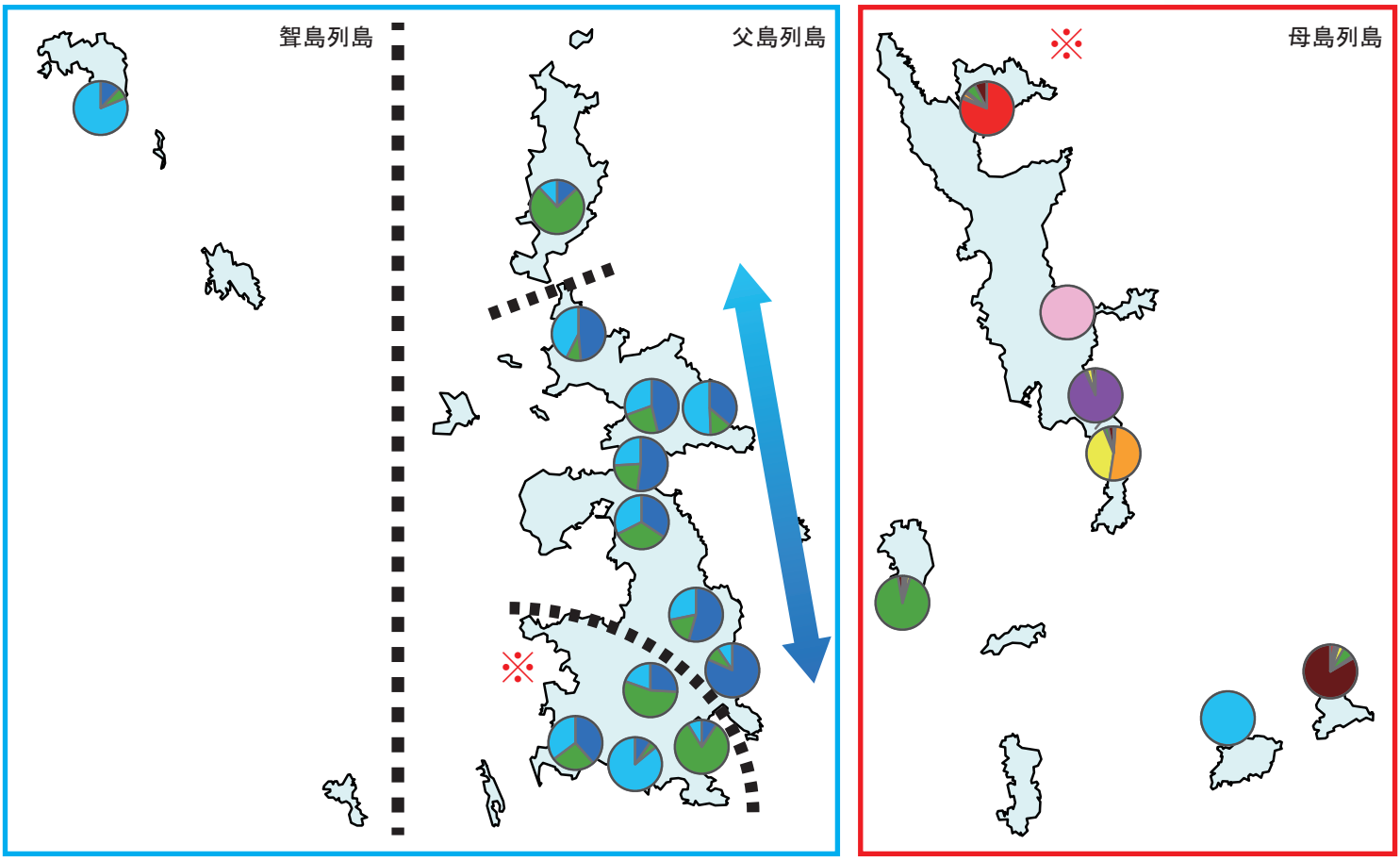
地域ごと

・聟島・父島列島では3つ、母島列島では8つのグループに分かれました。
・聟島・父島列島では、聟島と弟島でそれぞれ1つのグループが優占し、兄島と父島北・中部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。
・父島南部では、各集団で異なるグループが優占していました。
・母島列島内では、各集団で異なるグループが優占していました。



小笠原群島全体での遺伝的グループの分布

シマイスノキの果実



地域ごとの遺伝的グループの分布

- 弟島と父島列島の他の島の間では、 種苗の移動は控えましょう。
- 兄島と父島の北・中部では、 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。
- 父島の南部と母島列島では、 集団間での種苗の移動は控えましょう。

シマイスノキのみを食物とするアニジマイナゴ

✓小笠原全体では、「聟島・父島列島」と「母島列島」の2つの地域に分かれたので、 それぞれの地域で解析を行いました。

※父島の南部と母島列島では、 各集団間で遺伝的に分化していましたが、 集団がパッチ状に分布しているためだと考えられます。 種苗の移動を制限する個々の破線を引いていませんが、 この地域では集団間の種苗の移動は控えましょう。

シマモチ・ムニンモチ

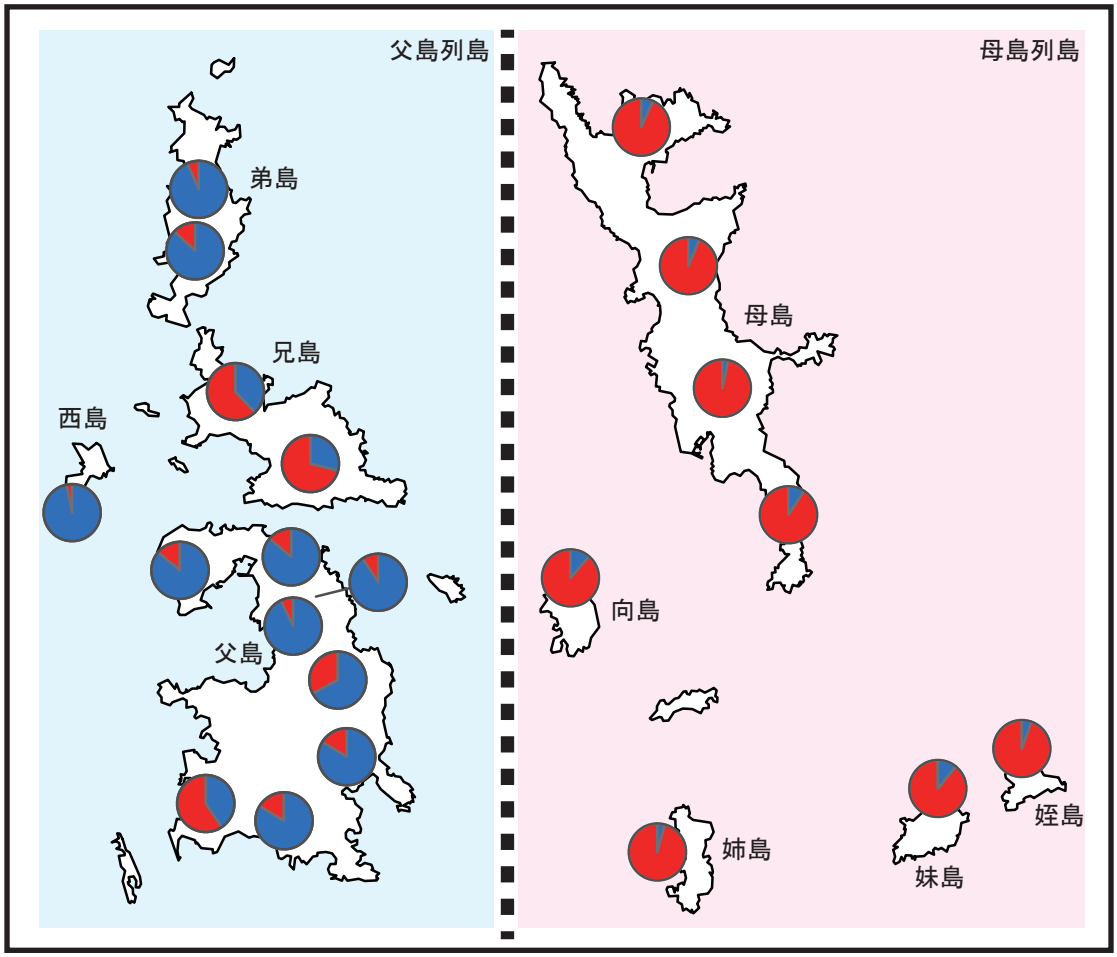
分布：父島列島と母島列島
環境：海岸～山域
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

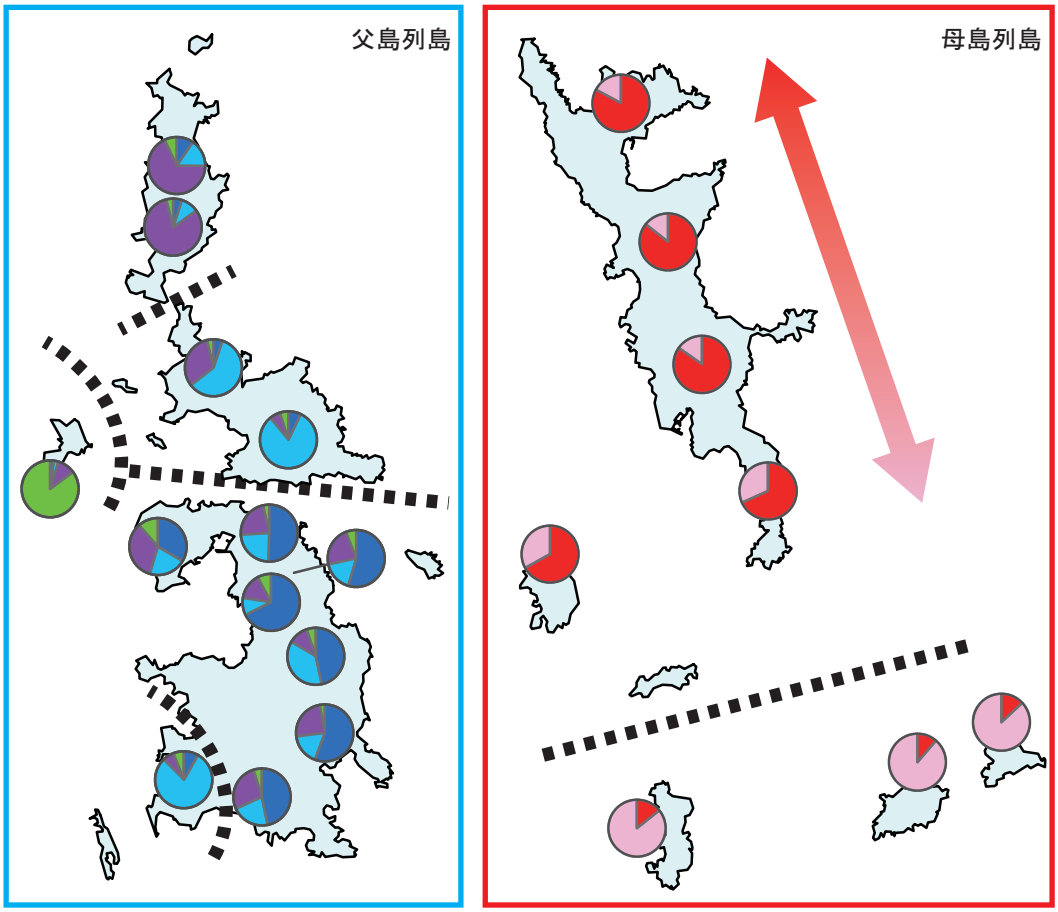
・2つの遺伝的グループに分かれ、「父島列島」と「母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・父島列島では4つ、母島列島では2つのグループに分かれました。
・父島列島では、父島南西部を除き、島ごとに異なるグループが優占していました。
・母島列島では、「母島・向島」と「姉島・妹島・姪島」で異なるグループが優占していました。



小笠原群島全体で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

- 父島列島では島間の種苗の移動は控えましょう。 また、 父島の南西部と父島の他の場所の間では、 移動は控えましょう。
- 「母島・向島」と「姉島・妹島・姪島」の間においては、種苗の移動は控えましょう。
- 母島では、 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。

シマモチの新葉

✓シマモチとシマモチの変種とされるムニンモチの両者を含めて遺伝解析を行いましたが、 シマモチとムニンモチの間に遺伝的分化はみられませんでした。 また、 葉の形態も2つの分類群間で連続的であり、 両者を明確に識別できませんでした。

シャリンバイ

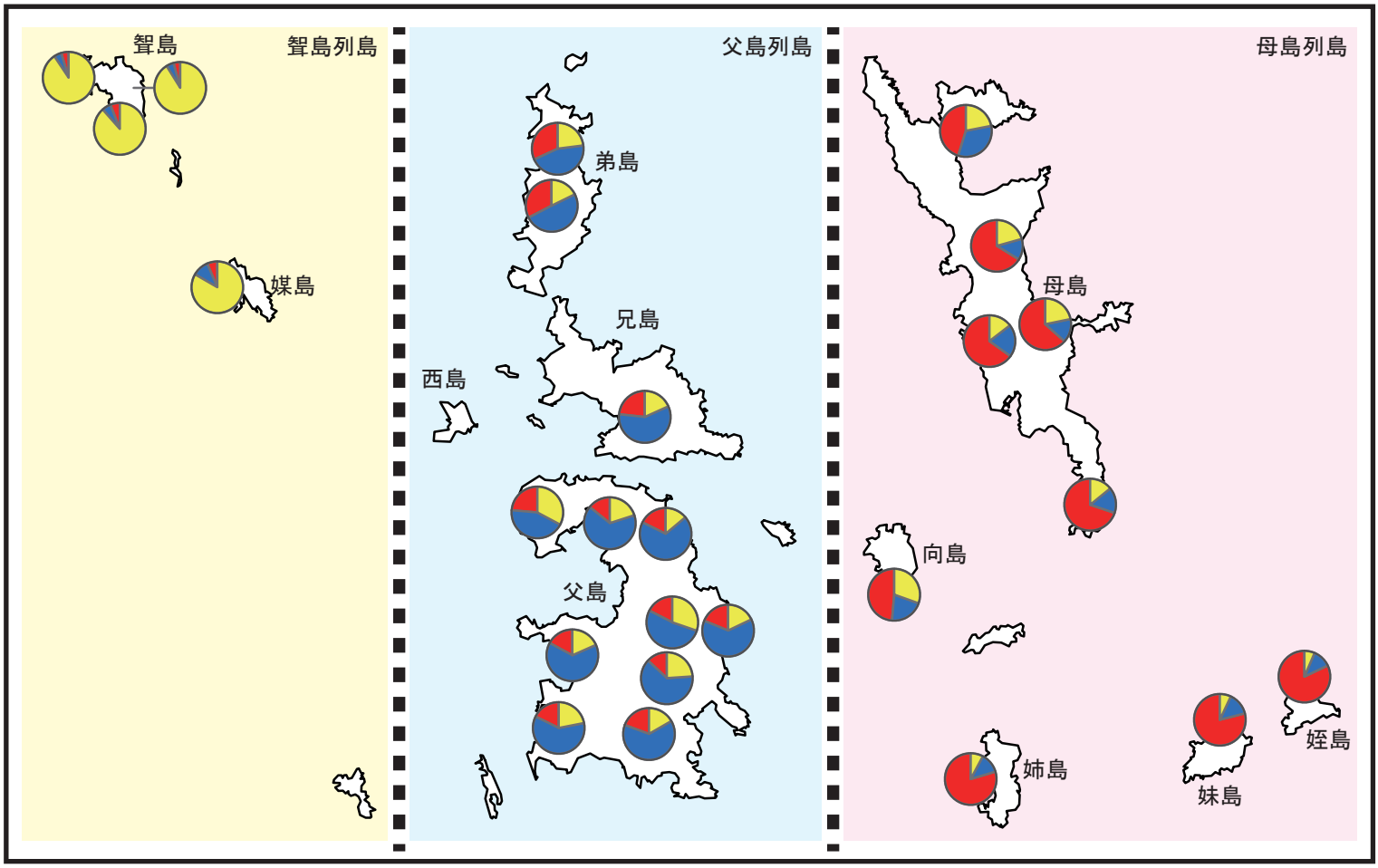
分布：小笠原全域
環境：海岸～山域
花粉：虫媒
種子：鳥散布

全体

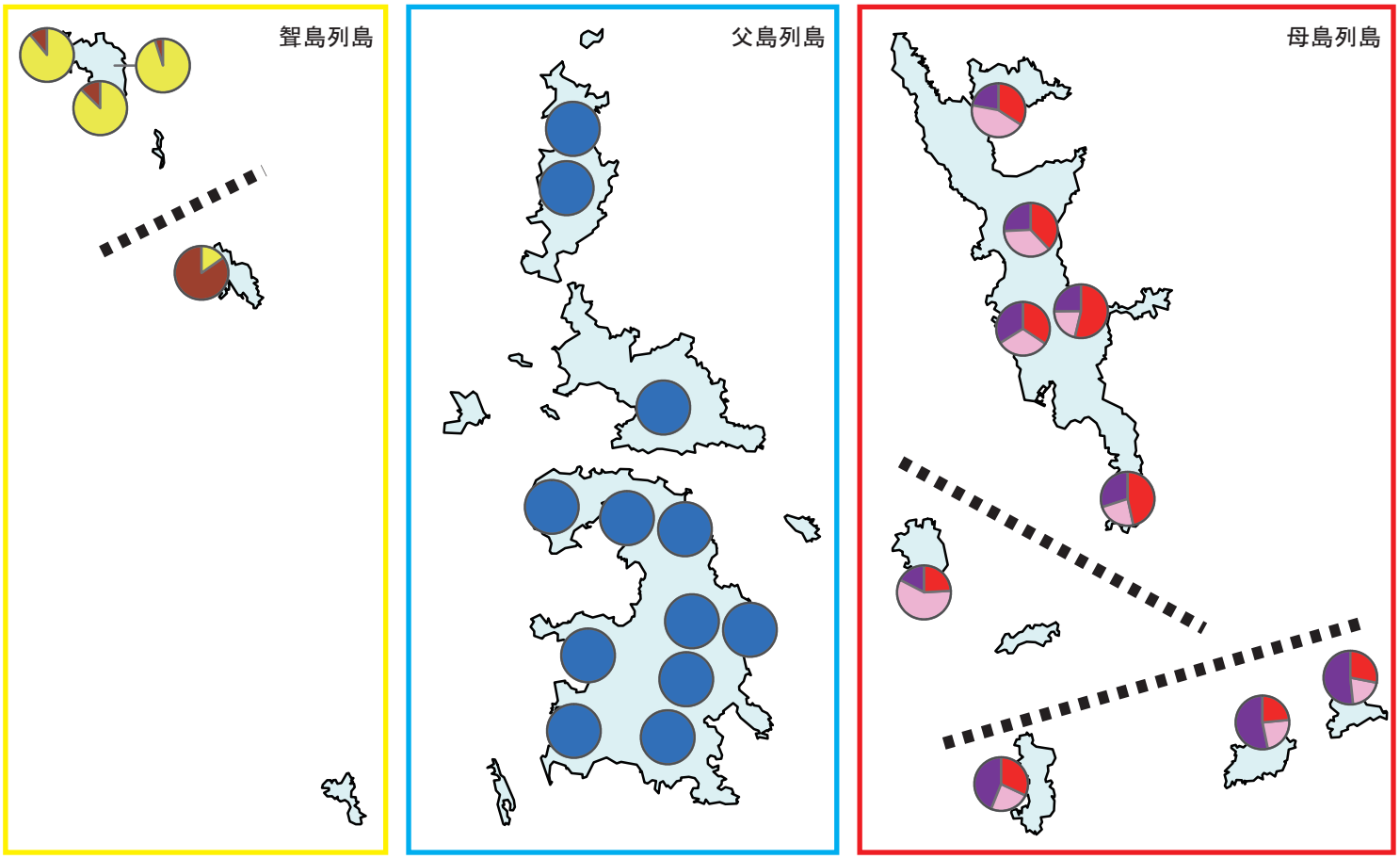
・3つの遺伝的グループに分かれ、「聟島列島」と「父島列島」と「母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・聟島列島で2つ、 母島列島で3つのグループに分かれました。
・聟島列島では、 聟島と媒島で異なるグループが優占していました。
・父島列島内で分化はみられませんでした。
・母島列島では、「母島」と「向島」と「姉島・妹島・姪島」でそれぞれ異なるグループが優占していました。



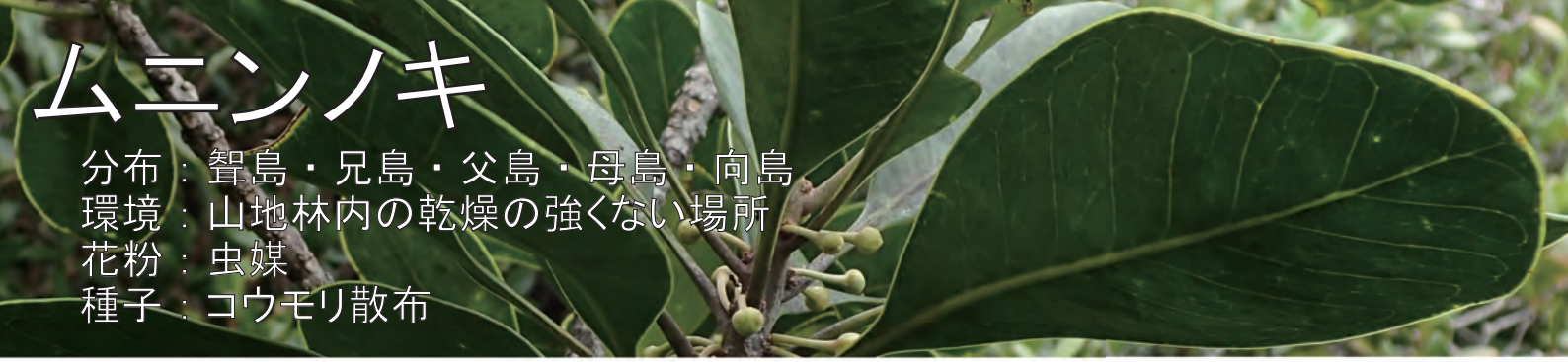
小笠原群島全体での遺伝的グループの分布



地域ごとの遺伝的グループの分布

- 聟島と媒島の間においては、 種苗の移動は控えましょう。
- 母島と母島列島の他の島の間、 向島と他の母島属島の間では、 種苗の移動は控えましょう。

シャリンバイ



ムニンノキ

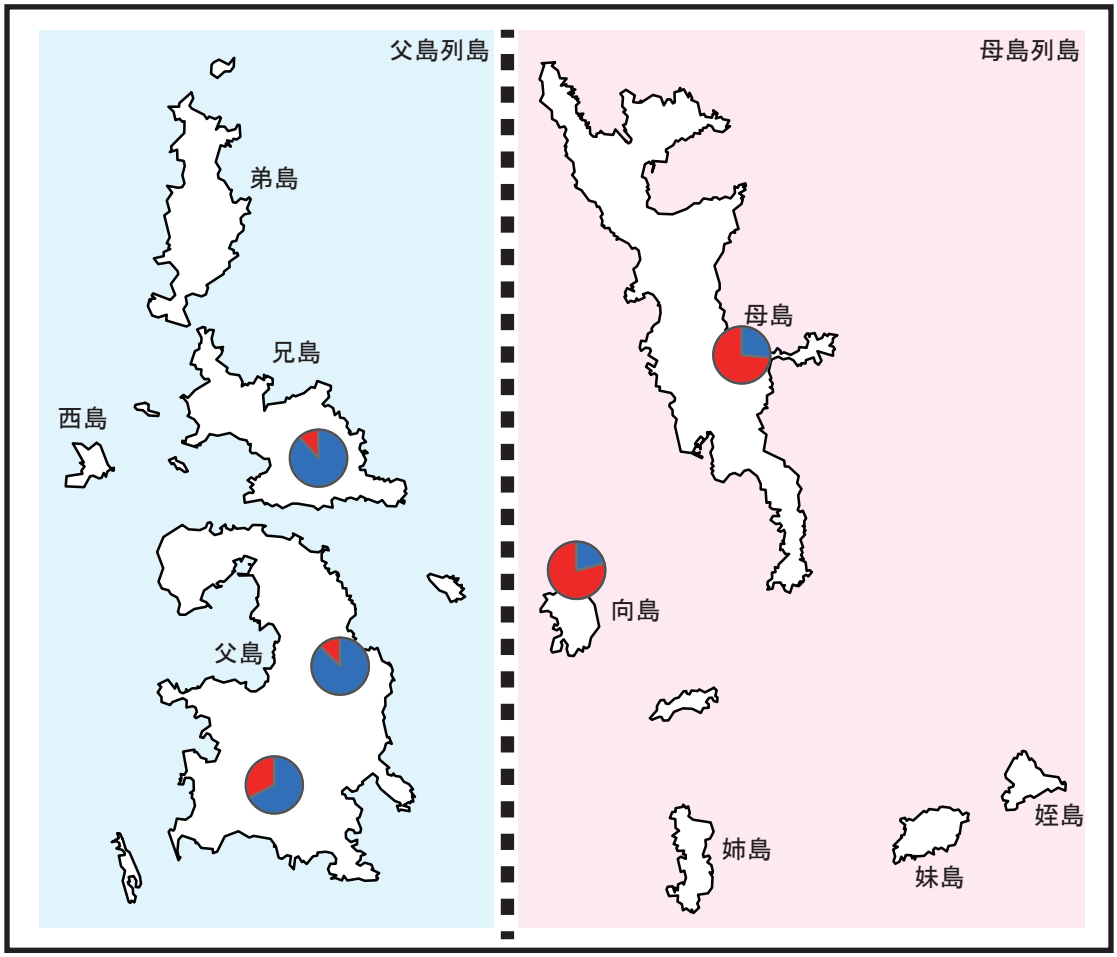
分布：聟島・兄島・父島・母島・向島
環境：山地林内の乾燥の強くない場所
花粉：虫媒
種子：コウモリ散布

全体

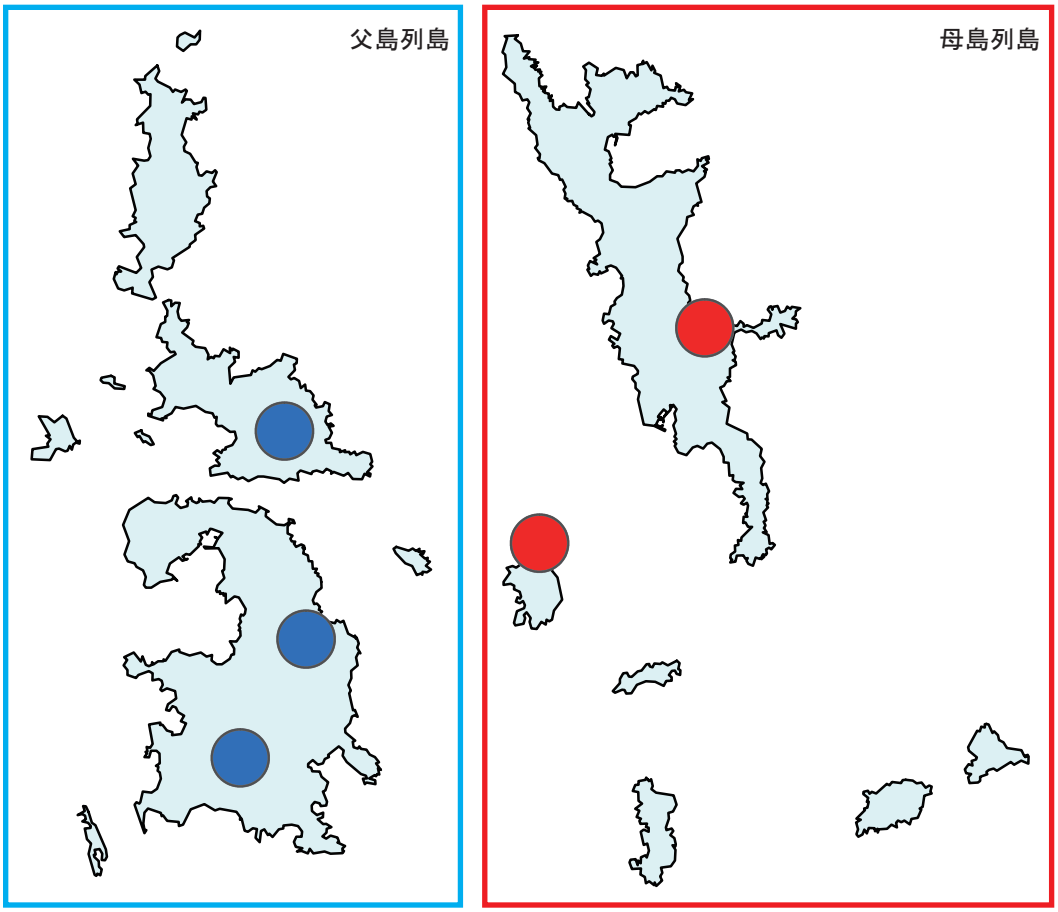
・2つの遺伝的グループに分かれ、「父島列島」と「母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・父島列島内、および母島列島内で分化はみられませんでした。



小笠原群島全体で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

- 父島列島と母島列島の間においては、 種苗の移動は控えましょう。

ムニンノキの果実

ヤロード

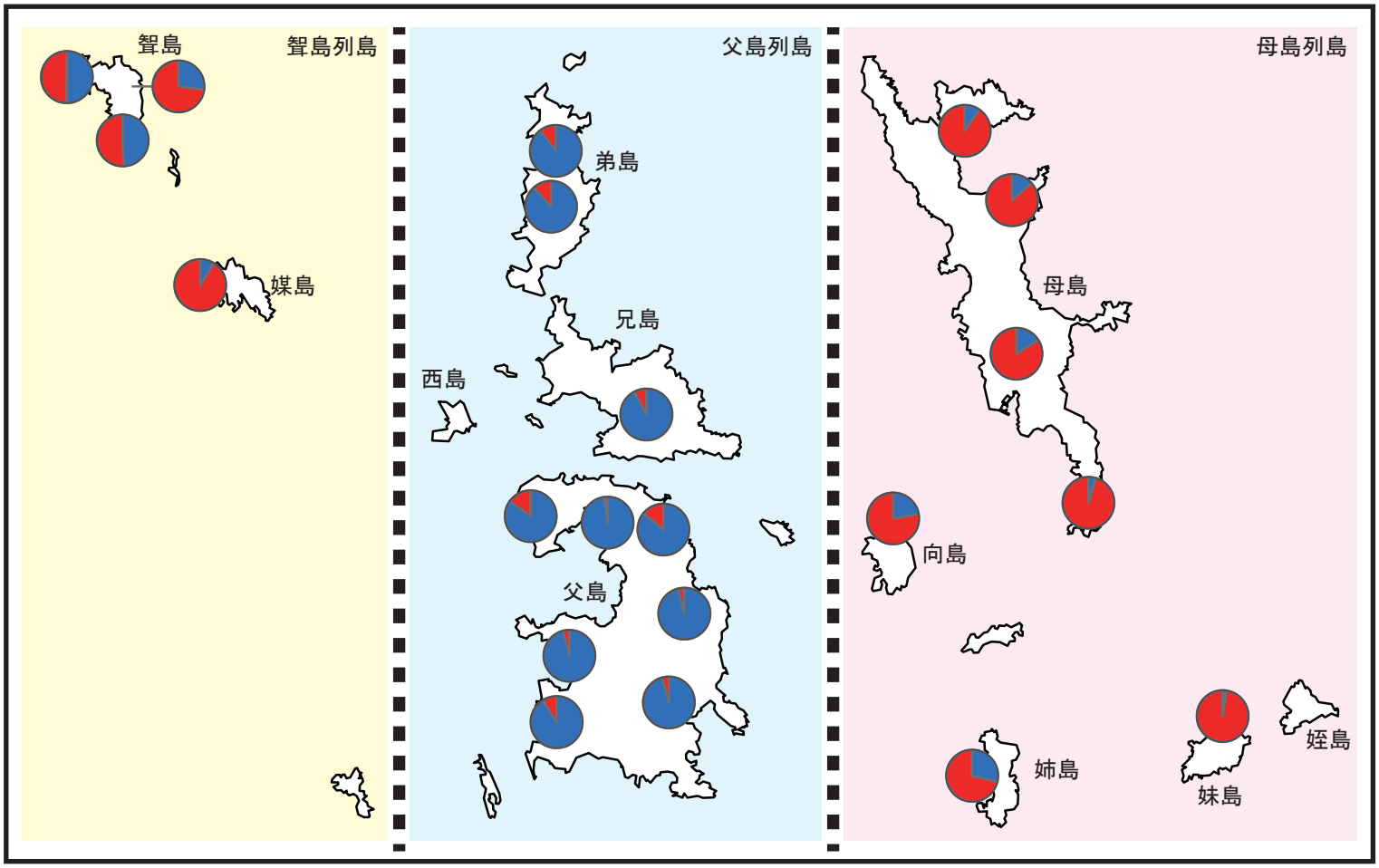
分布：小笠原全域
環境：海岸～山域
花粉：虫媒
種子：コウモリ散布

全体

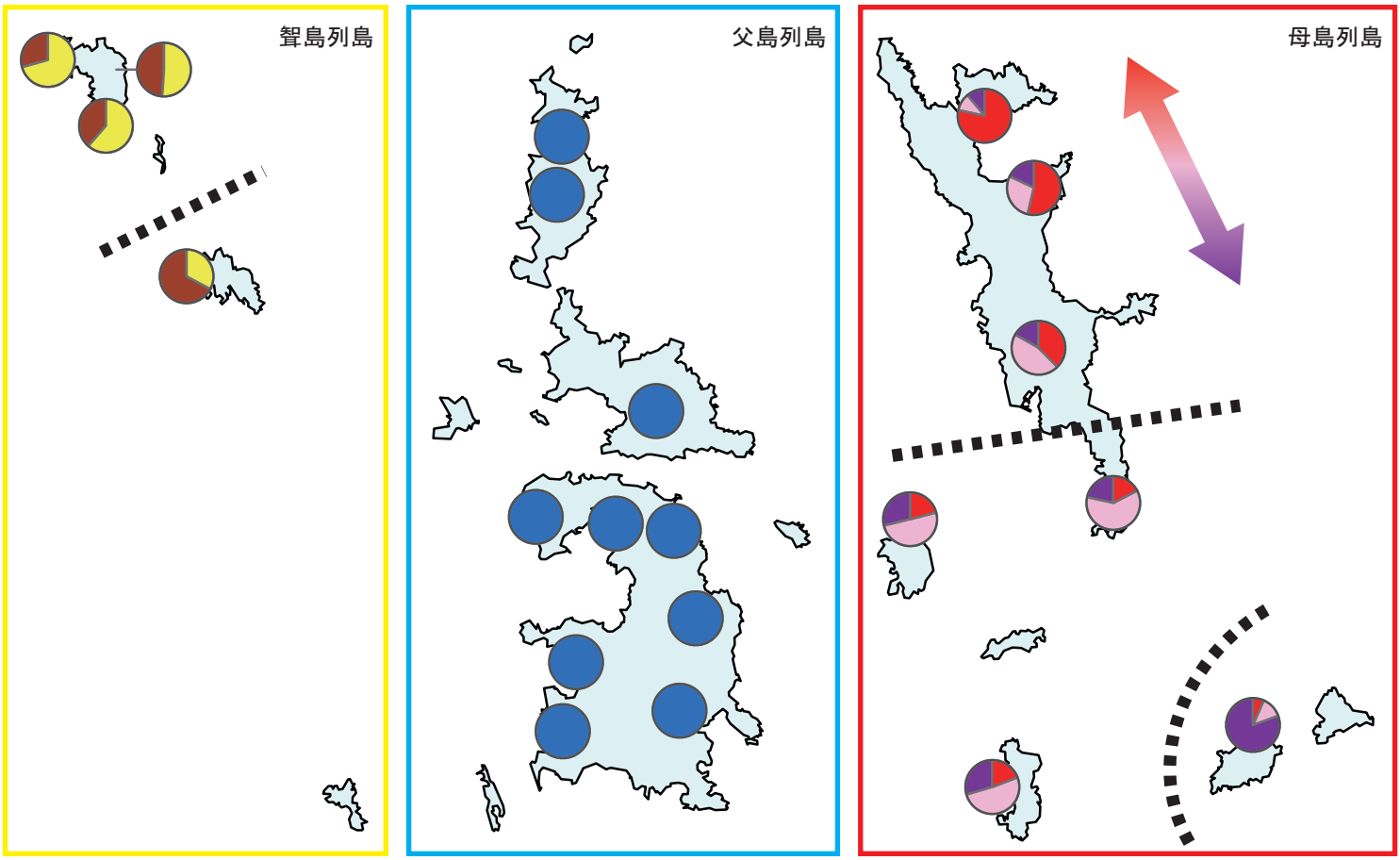
・2つの遺伝的グループに分かれ、「父島列島」と「聟島・母島列島」で各グループが優占していました。

地域ごと

・聟島列島で2つ、 母島列島で3つのグループに分かれました。
・聟島列島では、 聟島と媒島で異なるグループが優占していました。
・父島列島内で分化はみられませんでした。
・母島列島では、「母島北・中部」と「母島南部・向島・姉島」と「妹島」でそれぞれ異なるグループが優占していました。。



小笠原群島全体で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

- 聟島と媒島の間においては、 種苗の移動は控えましょう。
- 母島北・中部と母島列島の他の地域の間、 妹島と他の母島属島の間では、種苗の移動は控えましょう。
- 母島北・中部では、 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。

ヤロードの花

おわりに

・小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会の助言を受けて下さい。

本ガイドラインは、小笠原の固有生態系の再生に際して在来植物の植栽が必要となった場合に、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ようにするために作成しました。ただし、植栽がもたらす影響の大きさは、植栽を行う地域によって異なります。市街地、道路沿いの事業等、個々の事業で本ガイドラインを適用するか否かは、科学委員会の判断を仰いでください。

・植栽地域と環境が類似した集団から種苗を得ることも重要です。

今回の遺伝的ガイドラインは、核遺伝子上の進化に対して中立な遺伝マーカーを用いた解析に基づいて作成しました。将来的に、適応的な遺伝子の解析が進んだ場合には、それらの情報も加味したガイドラインを作成することが期待されます。なぜなら、環境適応的な遺伝子を用いれば、中立的な遺伝子による解析では認識されなかった遺伝的分化が検出される可能性もあるからです。そのため、種苗の移動が容認される区域内であるというだけでなく、できるだけ環境が類似した集団から種苗を得るよう配慮しましょう。

・多くの母樹から種子を採取し、母樹間の距離も十分に確保しましょう。

少数の母樹から多数の種子を採取して苗木を生産すると、集団の遺伝的多様性が低下してしまいます。遺伝的多様性の低下を防ぐためには、血縁関係にない多数の個体を母樹として選択する必要があります。そのため、母樹間の距離を 20 ～ 30m 以上離し、かつ 30 個体以上の母樹から種子を採取することが望ましいでしょう。

このガイドラインは、広く一般の方々に理解しやすい形でまとめたものです。
個々の種の詳しいデータについては、お問い合わせ下さい。

謝辞

本研究は、環境省環境研究総合推進費「小笠原諸島の自然再生における絶滅危惧種の域内域外統合的保全手法の開発（4-1402）」、日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（B））「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（23310167）」の助成を受けて行われました。

なお、本ガイドラインに関わる全ての調査においては、環境省、林野庁、東京都の各関係部署より、植物採取、入林、保安林内作業許可を受けました。清水善和教授※（駒澤大学）、可知直毅教授※（首都大学東京）、堀越和夫博士※（小笠原自然文化研究所）、河原孝行博士、吉丸博志博士、伊原徳子博士（森林総合研究所）には本稿の作成にあたり貴重なご意見を頂きました。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、小笠原環境計画研究所の葉山佳代氏、シュガーウェイブの富岡伸夫氏、Islands care の向哲嗣氏、川口大朗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、松浦俊也博士、和田慎一郎博士（森林総合研究所）、苅部治紀氏（神奈川県立生命の星・地球博物館）、森英章博士（自然環境研究センター）、大谷雅人博士（兵庫県立人と自然の博物館）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）

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． 小笠原諸島聟島列島の植生―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. 津村義彦、 陶山佳久． 地図でわかる樹木の種苗移動ガイドライン．文一総合出版． (2015)
7. Setsuko S, Ohtani M, Sugai K, Nagamitsu T, Kato H & Yoshimaru H. Genetic variation of pantropical *Terminalia catappa* plants with sea-drifted seeds in the Bonin Islands: Suggestions for transplantation guidelines. Plant Species Biology, DOI: 10.1111/1442-1984.12121 (2016)
8. 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)
9. 小笠原諸島世界自然遺産地域科学委員会． 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． (2011)
10. 独立行政法人森林総合研究所． 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． (2015)

参考文献

Sugai K. & Setsuko S. Novel microsatellite markers for *Distylium lepidotum* (Hamamelidaceae) endemic to the Ogasawara Islands. BMC Research Notes 9, 332 (2016)

乳房山のオトメカタマイマイ

担当者

（研）森林総合研究所　鈴木節子、須貝杏子、川上和人

首都大学東京　加藤英寿

京都大学　井鷺裕司、山本良介

タコノキの果実を食べるオガサワラオオコウモリ

国立研究開発法人　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　樹木分子遺伝研究領域
発行日　2017 年（平成 29 年）1 月
お問い合わせ先　編集刊行係
電話 : 029-829-8373
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。