

【学位論文審査の要旨】

1 研究の目的

海洋島とは海底火山活動によって形成され、大陸と一度も陸続きにならなかったことがない島々のことを指す。ハワイ諸島、ガラパゴス諸島、カナリー諸島などが海洋島として有名である。海洋島には、一般的にそこでしか見られない陸生の固有生物種が多く見られる。それゆえに生物多様性の保全の観点からも、とても重要な地域である。

東京都の最南端に位置し、都心から約 1,000km 南にある小笠原諸島（以下、単に小笠原と呼ぶ）は海洋島の一つである。北から聳島列島、父島列島、母島列島、硫黄島列島の 4 つの群島からなり、いずれも亜熱帯気候下にある。現在、小笠原諸島には 441 分類群の陸上維管束植物が確認されているが、その約 37%に当たる 161 分類群が小笠原固有である。このように小笠原も生物多様性の保全上、とても重要な海洋島であり、2011 年に世界自然遺産の一つとして登録されている。

一方で、小笠原を含む世界の海洋島では、侵略的外来生物種 (IAS, Invasive Alien Species) が問題になっている。IAS は高い繁殖能力と環境耐性を持ち、急速に分布を拡大しながら個体数を増やして自生種を圧迫している。特に海洋島では、固有種の生存まで脅かす存在になっている。IAS は種間競争によって固有種を抑圧するだけでなく、自生種と交雑することによって遺伝子汚染を引き起こし、それによっても固有種を脅かしている。小笠原でも、例えば固有植物種のおがさわらぐわ (*Morus boninensis*) の生育が、人為的に持ち込まれた IAS のシマグワ (*M. australis*) の勢力拡大によって脅かされる、さらにこれらの種間交雑によって純粋なおがさわらぐわが激減している可能性まで示唆されている。すなわち、小笠原でも IAS は大いに問題となっている。

シマグワは世界中の様々な地域で個体数を激増させつつある IAS の一つであり、上述したように小笠原でも問題になっている。小笠原では、戦前に養蚕業のため琉球列島や伊豆諸島から大量に移植され、戦後、養蚕業のために使われなくなって野生化したと考えられており、近縁種のおがさわらぐわをはじめ様々な小笠原産固有植物種の生存も脅かしている。シマグワの増殖と悪影響を抑えることは、小笠原の固有植物種を保全する上でも非常に重要であると考えられる。

一方で、小笠原に現在、生育しているシマグワがどこに起源したものか、どのくらい遺伝的多様性を保持しているかはよくわかっていない。琉球列島や伊豆諸島、あるいは日本本土から大量にシマグワの苗木が小笠原に持ち込まれたことは、歴史的記録によってほぼ間違いないが、現在、小笠原の各地に生育しているシマグワの由来は調べられていないからである。また、小笠原固有種のおがさわらぐわについても、個体数が少なくなっていること、ならびに外来種のシマグワとの種間交雑による遺伝子汚染が危惧されているものの、その野外集団の遺伝的多様性がどのくらいあるのか、さらにシマグワとの交雑がどのくらい進行しているのかはよくわかっていない。

そこで、小笠原の父島と母島の様々な産地のシマグワとおがさわらぐわの集団について、

その遺伝的多様性を詳しく調査研究し、小笠原の IAS の一つであるシマグワの種内の遺伝的多様性の程度とその由来を明らかにして、その対策に有用な情報を提供すること、ならびに絶滅が危惧される小笠原固有種のオガサワラグワについても、その遺伝的多様性がどのくらい維持されているかを明らかにすると共に、小笠原においてシマグワとの交雑が成木と実生・稚樹の集団で、どの程度進んでいるかを解明することを本研究の目的とした。

2 研究の方法と結果

まず本博士論文の第一章においては、侵略的外来種 (IAS) であるシマグワについて、小笠原の父島と母島の 12 集団、さらには琉球列島・伊豆諸島・日本本土 (本州、四国、九州) の 20 集団、合計 32 集団から植物体のサンプルを採集した。植物サンプルは標本として牧野標本館の標本庫に収蔵する一方、その葉の一部から DNA を抽出した。そして、14 遺伝子座のマイクロサテライト領域 (短い塩基配列が多数繰り返されている領域) について PCR 法を用いて増幅させ、領域 (遺伝子座) ごとに存在する短い塩基配列の繰り返し数が異なるものを対立遺伝子として、植物サンプル個体ごとにその遺伝子型を決めた。これらのデータを元にして、小笠原を含む日本列島におけるシマグワの集団遺伝学的解析を行った。具体的には、各集団の遺伝的多様度 (対立遺伝子多様度 A_R や平均ヘテロ接合度 H_E など) を計算し、集団間の Nei の遺伝的距離に基づく UPGMA デンドログラムの作成、pairwise F_{ST} 値に基づく正準相関分析、さらに STRUCTURE というソフトを用いたサンプル個体レベルの遺伝的構造の解析を行った。

その結果、小笠原のシマグワは琉球列島のものと遺伝的に類似しており、伊豆諸島や日本本土のものとは遺伝的に大きく分化していることが明らかになった。集団内の遺伝的多様性についても、小笠原のシマグワの遺伝的多様性は $A_R = 4.24$ 、 $H_E = 0.60$ と、その起源地と考えられた琉球列島の遺伝的多様性 $A_R = 4.70$ 、 $H_E = 0.66$ とほとんど変わらなかった。このことは琉球列島の様々な産地から大量に小笠原に持ち込まれた苗木の子孫が小笠原で現在、IAS となっていると考えられた。一方で、伊豆諸島や日本本土の個体と遺伝的に類似したシマグワの個体は一個体も小笠原では検出されず、これらの地域に由来した個体は死滅したと考えられた。小笠原と琉球列島は共に亜熱帯域に属し、暖温帯域の伊豆諸島や日本本土の集団とは気候が大きく異なっていたことが、このような結果を生み出したのではないかと考えられた。また、シマグワは人為的に小笠原に持ち込まれた外来種としては、その集団内の遺伝的多様性が高く、そのことも小笠原での IAS としての繁殖能力の高さなどを生み出すことにつながっているのではないかと考えられた。

次に本博士論文の第二章では、小笠原固有種のオガサワラグワについて、成木の 2 集団と実生・稚樹の 3 集団から植物サンプルの採集を行い、第一章で行ったのと同じマイクロサテライト領域の解析を行った。そして、第一章で解析したシマグワの 12 集団のデータと合わせて、第一章と同様の集団遺伝学的解析を行った。その結果、UPGMA デンドログラムと正準相関解析では、シマグワとオガサワラグワが明確に遺伝的分化を維持しているこ

と、すなわち小笠原において IAS であるシマグワの小笠原固有種オガサワラグワへの遺伝子汚染は、ほぼ起きていないことが明らかになった。さらに、オガサワラグワの遺伝的多様度は、 $A_r = 3.27$ 、 $H_e = 0.53$ と、小笠原に定着しているシマグワの集団とはもとより、その起源地となった琉球列島の集団の遺伝的多様度と比較しても同程度の多様性を保持していることが明らかになった。また、STRUCTURE 解析の結果、小笠原ではシマグワとオガサワラグワの雑種第一代 (F_1) の個体も稀であることがわかった。これは、シマグワが 2 倍体なのに対してオガサワラグワは 4 倍体で、これらの種間雑種は 3 倍体となり、さらに後代 (F_2 など) の子孫を残せないことが、オガサワラグワにおいてシマグワによる遺伝子汚染が引き起こされていない原因の一つではないかと考えられた。いずれにしても、オガサワラグワはまだ、その遺伝的多様性を失ってはならず、個体数を回復させれば絶滅を回避することが可能な段階にあることも明らかになった。絶滅危惧種のオガサワラグワについては、急いで適切な保全策を講じる必要がある。

3 審査の結果

小笠原において固有種を含む多数の自生植物種に脅威を与えている IAS のシマグワを適切に制御するためには、まずはその理解を深めることが不可欠である。逆に、絶滅が危惧されている小笠原固有種のオガサワラグワについての理解を深めることは、それを適切に保全することに直結すると考えられる。本博士論文では、これら 2 種の遺伝的多様性を明らかにし、それを集団間で比較することによって、小笠原のシマグワが琉球列島起源のものであること、その遺伝的多様性は人為的移入種としては非常に高いことを明らかにした。また、小笠原の固有種であるオガサワラグワについてもその遺伝的多様性を明らかにして、シマグワによる遺伝子汚染がほとんど起きていないこと、種内の高い遺伝的多様性を保持していることも明らかにした。本論文で得られたこれらの成果は、小笠原における生物多様性の今後の保全に大いに役立つ情報であり、高く評価できる。

また本研究については、学位申請者が第一著者の論文 1 報が *ActaPhytotaxonomica et Geobotanica* 誌に既に受理されている。以上、本研究は本学の博士 (理学) の学位に十分値するものと判断した。

4 最終試験の結果

本学の学位規定に従って、試験および試問を行った。公開の席上で論文発表を行い、生命科学専攻の教員による質疑応答をもって試験にあてた。また、論文審査委員が本論文および関連分野について試問を行った。その結果、専門科目および外国語についても十分な学力があることを認め、合格と判定した。