

オガサワラシジミ生息域外個体群の繁殖途絶に関する検証

2021年12月23日
環境省自然環境局
野生生物課

1. はじめに

環境省及び東京都が飼育下繁殖の実施等により生息域外での増殖に取り組んできた国内希少野生動植物種オガサワラシジミ（チョウの一種で小笠原諸島固有種）について、2020年8月下旬に飼育下の全ての個体が死亡し、繁殖が途絶えた。種の保存法に基づく保護増殖事業として実施している生息域外個体群が途絶えたのは初めてのことだった。現在唯一の生息地とされている母島においても、公的機関による生息状況調査では2018年6月を最後に個体が確認されていない状況が続いており、種の存続が深く憂慮される状況が続いている。

今般、オガサワラシジミ生息域外個体群が途絶えた原因について科学的に分析し、今後の絶滅危惧種の保全対策に活かすべき教訓について考察した。

なお、オガサワラシジミに関して取られた施策は、その時点における様々な議論と背景を踏まえて判断、実施されたものであり、これまでオガサワラシジミの保全に尽力された多くの方々には改めて敬意を表す。本報告は、過去の個々の施策について批評する意図はなく、得られた教訓をそのほかの絶滅危惧種の保全対策に活かしていくためにまとめたものである。

（参考：2020年8月27日環境省報道発表資料（別紙1）から一部抜粋）

オガサワラシジミの生息域外個体群の繁殖途絶について

4 今後の対応について

- ・これまでの保護増殖事業の内容について、有識者を交えて科学的に検証し、生息域外個体群が途絶えた原因について分析を実施します。
- ・生息域内における本種のモニタリングの継続に努め、生息が確認されれば、生息域外保全をはじめとする保護対策に速やかに取り組みます。
- ・このたび早期の保護増殖事業の策定・実施の重要性が再認識されたことを踏まえ、そのほかの絶滅危惧種についても、今回の件を教訓とし、関係機関等と連携しながら、絶滅危惧種の保全対策に取り組んでまいります。

2. オガサワラシジミの生息域外個体群における遺伝的多様性の損失

生息域外個体群が繁殖途絶した際に、新宿御苑において死亡した雄個体及び死亡直前の雄個体について、専門家（小長谷達郎博士、当時基礎生物学研究所研究員）が精子数を計測した結果、有精卵を産んだペアの雄と比較して、無精卵を産んだペアの雄の精子数が少なかった（図1）。特に、無核精子（受精能力はないものの何らかの役割を持つとされる）について無精卵を産んだペアの雄の方が有意に少なくなっており、平均値で有精卵を産んだペアの雄の1/4程度の無核精子数となっていた。また、受精能力を持つ有核精子についても無精卵を産んだペアの雄の方が少ない傾向が見られた。この結果は、チョウ類の近交弱勢において近親交配が雄の生殖能力に影響する、という既往の知見と符合するものであった。

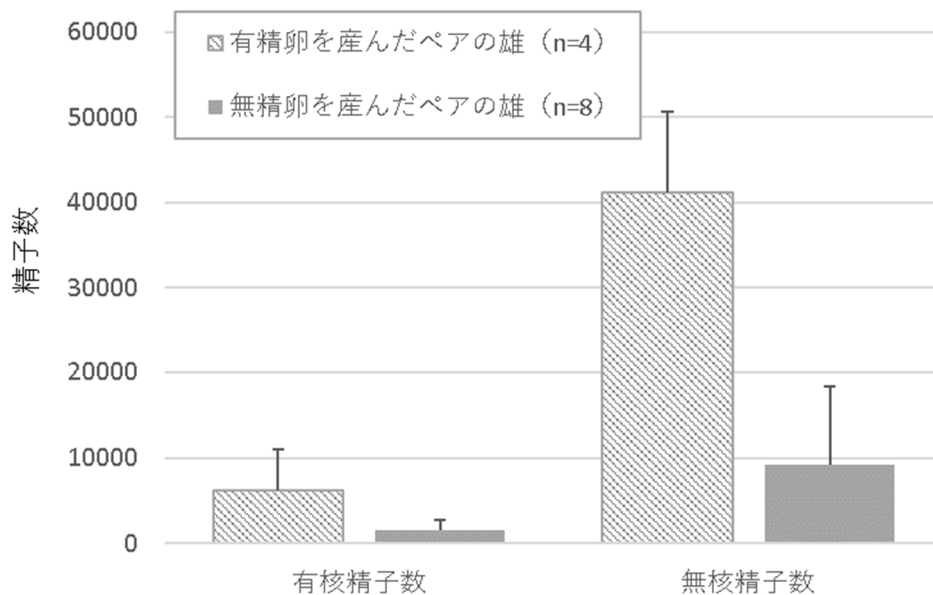


図1 新宿御苑の生息域外保全個体群における精子数の計測結果

(小長谷未発表データ)

その後、2001年の野生個体サンプル、2008～2015年の野生個体由来の1～2世代の飼育個体サンプル、2016年以降の1～19世代の飼育個体サンプルを用い、環境研究総合推進費「ゲノム情報に基づくテラメイド生物多様性保全策の構築と検証」（研究代表者：京都大学・井鷲裕司教授、2019～2021年度）において、MIG-Seq法（Multiplexed ISSR genotyping by sequencing）を用いて解析を行った。解析の結果、縮約ゲノムライブラリから見いだされた一塩基多型（SNP）153座から計測されたヘテロ接合度の推移を図2に示す。

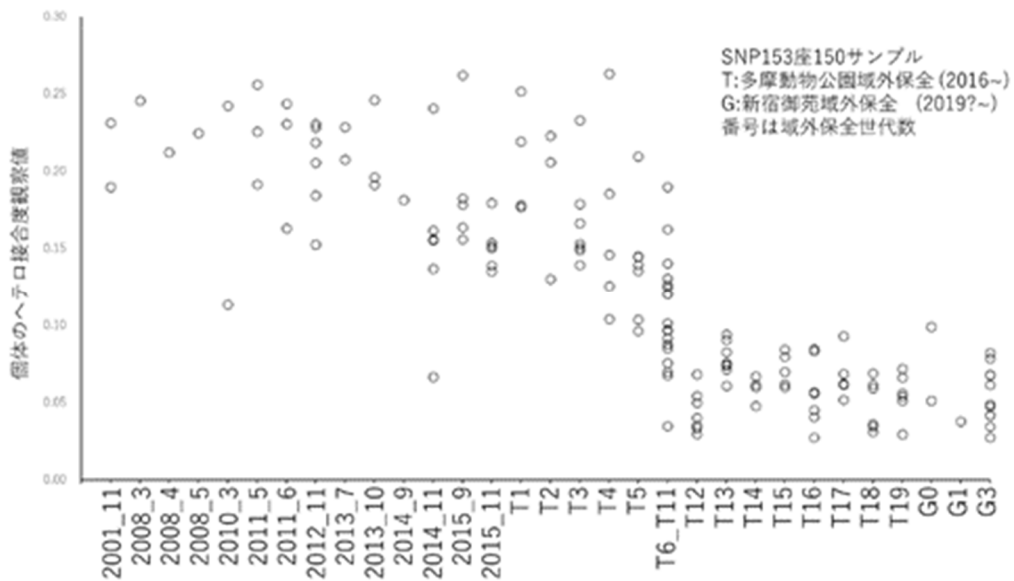


図2 オガサワラシジミ生息域内個体群／生息域外個体群のヘテロ接合度の推移
(中濱、井鷲ほか未発表データ)

ヘテロ接合度から推定される遺伝的多様性の変遷は、下記の通りであった。

- 2001～2015年の個体群で横ばい又はわずかに低下傾向であった。(2001年の野生個体サンプル、2008～2015年の野生個体由来の1～2世代の飼育個体サンプル(2014_11と2015_11は2世代目、それ以外は1世代目に相当))
- 2016年10月にその後の生息域外個体群のファウンダーとして導入された個体(T1)は当時の生息域内個体群の中の平均的な遺伝的多様性を有する個体と言える。
- 2016年以降の生息域外個体群(T1～19及びG0～3、2016～2020)の遺伝的多様性は世代を経るごとに低下し、12世代頃までに大きく低下した。
- 12世代頃まで(T1～T12)の遺伝的多様性の低下から生息域外個体群の有効サイズを計算すると約4頭となった。つまり、生息域外個体群の見かけの個体数は多くても、4頭で交配を繰り返していたのと同じ速度で遺伝的多様性が低下していた。

※オガサワラシジミの生息域外個体群は2016年に母島で捕獲され飼育下に導入された野生個体由来の創始個体(ファウンダー)(交尾済みのメス2頭)から採卵し増殖した個体から形成されている。

また、多摩動物公園の生息域外保全個体群の13サンプルについて、孵化率とヘテロ接合度の関係を調査したところ、図3の通り相関関係が見られた。

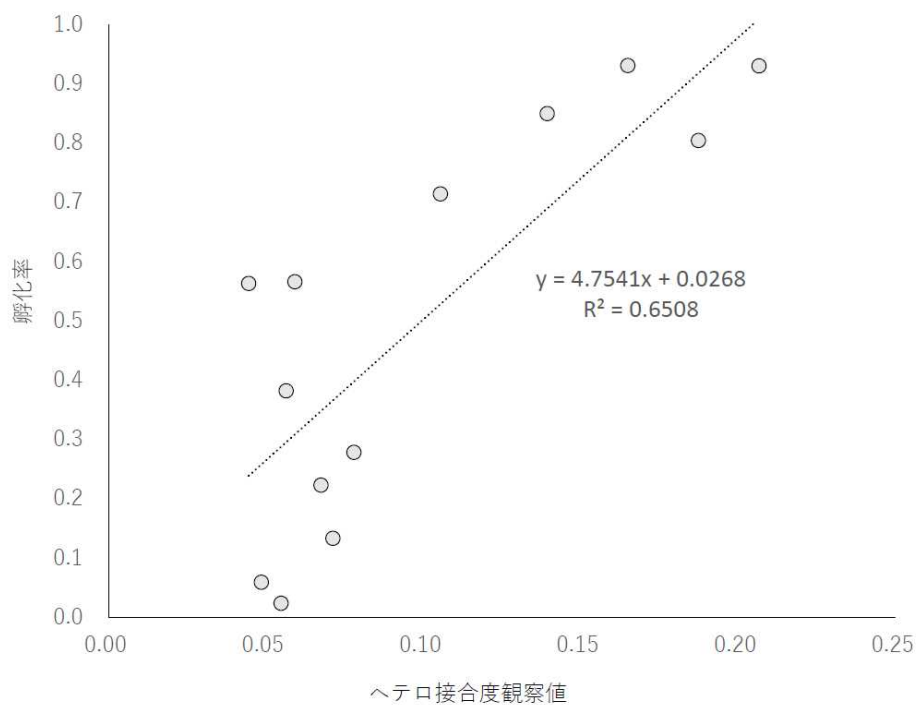


図3 多摩動物公園の生息域外保全個体群における孵化率とヘテロ接合度の関係
(中濱、井鷲ほか未発表データ)

以上から、生息域外個体群において近親交配による遺伝的多様性の損失が確実に進行し、有害な遺伝子の蓄積（近交弱勢）によって繁殖途絶に至ったと考えられる。

これらのデータのさらなる分析については、各世代の個体群の形質（産卵数、生存率等）との比較解析、過去のオガサワラシジミ野生個体群の動態の解析なども含め実施される予定であり、さらなる知見が得られることが期待される。

3. 絶滅危惧種の生息域外保全に活かすべき教訓

オガサワラシジミ保護増殖事業を所管する関東地方環境事務所では、保全関係者や専門家等へのヒアリングを実施し、オガサワラシジミの生息域外個体群の途絶に至った経緯や要因を分析し記録する作業を行った（別紙2）。

別表1にヒアリング等を通して得られた主な指摘事項を記載するとともに、今後の絶滅危惧種の生息域外保全に係る対策に活かすべき教訓については下線で示す形とした。

オガサワラシジミを取り巻く特有の事情があったため全てを一般化して教訓とすることは困難ではあるが、総じて下記の点について再認識する必要があると考えられた。

- ・種の生息状況に応じた早期の生息域外保全（飼育繁殖技術・体制の確立を含む）の着手
- ・適切なファウンダーの確保・導入、十分な遺伝的多様性の維持
- ・リスク回避のための計画的な分散飼育体制の早期の確立
- ・凍結細胞等の活用方策の整理、保存体制の確立・強化、研究開発の推進
- ・野生復帰等による生息域内個体群の再構築を見据えた生息域外保全の戦略的な実施

4. 種の保全全般に活かすべき教訓

オガサワラシジミの生息域外個体群の繁殖途絶に際しては、関係者や専門家等から、生息域外保全分野に限らず、保護増殖事業の実施体制や絶滅危惧種の保全対策全般について多岐にわたる指摘があった。参考となる指摘については別表2に抜粋して記載した。これらを踏まえ、種の保全全般に対しては下記3点を教訓とすべきと考えた。

(1) 生息域内保全の重要性を強く再認識する

生息域外保全については種の絶滅リスクが高まった場合に取られる場合が多いが、生息域外保全のみで種の保全を図っていくことには限界がある。だからこそ、保全関係者は生息域内保全が重要であることを強く再認識する必要がある。

特に、個体群サイズ・分布域が限定される離島や高山帯等の個体群や、多化性のチョウなどの個体数変動の大きい種（世代交代の早い種）については、外来種や気候変動等の影響に対して脆弱であり、急激な個体数の減少などが生じうるため、定期的なモニタリング、影響要因の把握とそれに対する重点的かつ迅速な対策が求められる。

その際、生息域内保全に投入できるリソース（人員、予算）にも限りがあることを念頭に、いくつかの対策メニューの中でも、種の絶滅の回避又は個体数・分布域等の回復に真につながる取組に優先的に取り組むことが重要である。

(2) 効果的な生息域外保全のあり方・手法について整理する

生息域外保全個体群の確立に当たっては、適切なファウンダーの確保・導入や分散飼育体制の整備によって、十分な遺伝的多様性を確保することが重要となる。

また、生息域外保全を実施する場合、その必要性・有効性を整理した上で、生息域内保全に関わる主体を含む関係者に十分な説明により理解を得つつ意思決定を行う。さらに、近い将来に生息域内個体群の補強・再生を図る計画をあらかじめ策定するなど、生息域内保全のための生息域外保全個体群の活用や維持の目的を明確にすることが重要である。

さらに、生息域外保全には多くのリソース（人員、予算、スペース等）が必要となることを踏まえ、絶滅危惧種全体で効果的な生息域外保全を進めるため、遺伝的多様性や行動様式等を維持するための飼育方法、個体の飼育繁殖か種子・生殖細胞の保存にするかの判断の考え方、そもそも域外保全に取り組む必要があるかどうかなど、域内保全の各種手法（捕獲流通規制、保護区の設定、外来種対策、生息環境改善など）との優先度の付け方を含め、分類群ごとに整理し議論していく必要がある。

(3) 保護増殖事業の目標の設定と共有、具体的な実施計画の策定と柔軟な見直し、関係者間の連携の強化、体制整備を徹底する

当然のことではあるが、あらためて保護増殖事業の目標の設定と共有、具体的な事業計画の策定と柔軟な見直し、体制整備の重要性を再認識することが重要である。

この際、「保護増殖事業のあり方について」（令和2年3月、希少種保全推進室。別紙3）で指摘しているように、定量的な目標設定とそれを踏まえた事業の構築・実施、関係者間の連携体制の確立・強化が重要である。

また、個体群サイズ・分布域が限定される離島や高山帯等の個体群や、多化性のチョウなどの個体数変動の大きい種（世代交代の早い種）については、事業の立ち上げの段階で生息域内個体群の生息数が極めて少なく取りうる対策が限定されていたり、緊急避難や飼育繁殖技術開発としての飼育下繁殖から事業設計が開始されるケースがある。また、事業の途中段階で種をとりまく状況が著しく悪化する場合もある。これらの場合は、その時点での状況やその後の変化も踏まえ、取組の優先度付けや取捨選択を含めて、合意形成と科学的な判断に基づく迅速な政策決定、柔軟な計画の見直し及び体制整備に取り組むことが重要である。

同時に、国内希少野生動植物種や絶滅危惧種の増加を踏まえ、リソース（人員、予算等）の拡充にも努める。この際、新たなリソースの確保に当たっては、既存の保護増殖事業のさらなる効率化と、事業の目標達成及び完了事例の創出（1993年の制度開始以降、保護増殖事業の完了事例はない）が必要となるとともに、長期的には保全に関わる専門的人材を育成し確保する視点が重要となることに留意する必要がある。

別表1 関係者ヒアリング等により得られた主な指摘事項

※ 特に今後の対策に活かすべき指摘事項については下線

状況	主な指摘事項
生息域外保全の開始時期	
<ul style="list-style-type: none"> オガサワラシジミの飼育下繁殖は2005年以降、多摩動物公園を中心に取り組みられてきた。2020年に繁殖途絶した生息域外個体群は2016年に母島で捕獲され飼育下に導入された野生個体由来の創始個体（ファウンダー）（交尾済みのメス2頭）から採卵し増殖した個体から形成された。 2016年以降もファウンダーの確保は試みられたものの野外の個体数が大幅に減少したこともあり、新たなファウンダーの導入はできずに、生息域外個体群の遺伝的多様性の損失を防ぐことができなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> 結果的に、生息域外保全に取りかかる時期が遅くなりファウンダーの確保が十分にできなかった。 このことから、<u>生息域内保全のみによる種の保全の困難性が予見される場合であって、将来的な生息域外保全の必要性と実現可能性が高いと判断される場合には、生息域内に十分な個体数が確保されている段階で、近縁種の活用も含め早期に飼育繁殖技術を確立し、生息域外個体群を形成する必要がある。</u> ただし、生息域外保全に投入できるリソース（人員、予算、スペース等）が限られていること等を踏まえ、個体数変動の大きい種や個体数の小さい種について優先的に早期の生息域外保全への着手を検討することが妥当。
<ul style="list-style-type: none"> オガサワラシジミの生息域内個体群は、グリーンアノールの捕食圧、外来植物による植生の変化、干ばつや台風などの気象要因などの脅威にさらされ、かつ、その影響による生息状況の変化が急激に起きたことから、とるべき施策の判断が難しかったことがうかがえた。 	<ul style="list-style-type: none"> <u>とりわけ個体群サイズ・分布域が限定される離島や高山帯等の個体群や、多化性のチョウなどの個体数変動の大きい種（世代交代の早い種）については、定期的なモニタリングにより生息域内の個体数変動等を定期的に把握、その結果を踏まえて、真に危機的状況になる前に、できるだけ早期に飼育・栽培下での繁殖技術の確立を図り、生息域外個体群を確立する必要性を認識すべきである。</u>
ファウンダーの導入・確保	
<ul style="list-style-type: none"> 多摩動物公園の生息域外個体群の位置づけに関する変遷はあったものの、2016年以降の生息域外個体群への新たなファウンダーの導入に関する必要性は認識されており、ファウンダーの導入のための調査はなされたが結果的に新たなファウンダーは導入できなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> <u>生息域外個体群を形成する際には、生息域内に十分な個体数が確保されている段階で、初期から十分なファウンダーを確保した上で複数系統を飼育するか、又は定期的に生息域外個体群へ野生個体を追加するなど、十分な遺伝的多様性を確保することが求められる。</u>
<ul style="list-style-type: none"> 実際にファウンダーの導入も計 	<ul style="list-style-type: none"> <u>生息域内個体群からのファウンダーの確保に関し</u>

<p>画されていたものの、その方針・体制が必ずしも十分に徹底されていなかったのではないかと、という指摘も見られた。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ファウンダーの確保に際しては、生息域内個体群に及ぼす影響を最小限に留めるよう配慮する必要があるが、その科学的な判断だけでなく、保全に関わる関係者や地域の中での合意形成が極めて難しかったこともうかがえる。 	<p>ては、引き続き、科学的な検討の積み重ねや情報共有、丁寧な合意形成を進める必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 社会的な状況等によって地域住民や地元の保全関係者の合意が得られない場合も考えられることを踏まえ、<u>時間的余裕をもって、丁寧な説明、関係構築に努めることが重要</u>である。
分散飼育の体制	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境省が多摩動物公園から個体を譲り受け新宿御苑でオガサワラシジミの分散飼育を開始したのは2019年10月（生息域外個体群の16世代目）であり、その開始の時期は早期とは言い難い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複数の施設で複数の生息域外個体群を維持することによって、飼育繁殖技術の交流・向上が効果的に図られるほか、近交弱勢や病気、感染症、その他の飼育下環境由来の生息域外個体群の存続リスク・悪影響に早く気がつくことができる、又は回避することができる。こういった分散飼育による危険分散の効果を再認識した上で、<u>計画的に分散飼育の体制を確立することが重要</u>である。 ・ また、<u>遺伝的多様性維持のため生息域外個体群を複数施設で分散飼育し、定期的な遺伝的交流を図ったり、きょうだい間交配を避ける循環飼育等の取組もすでに一部の種で進められており、種の特性に応じてリスク軽減を図る飼育手法の開発も望まれる。</u> ・ なお、<u>絶滅危惧種の分散飼育の体制の確立・拡大を含む域外保全の推進に当たっては、引き続き、（公社）日本動物園水族館協会、（公社）日本植物園協会、全国昆虫施設連絡協議会、大学・研究機関等との協力体制の強化が求められる。</u>
個体や生殖細胞等の凍結保存の実施	
<ul style="list-style-type: none"> ・ オガサワラシジミの生息域外個体群の存続が極めて難しい状況となった際、幼虫個体等の凍結保存を行うかどうか保護増殖事業検討会の場で議論されたが、その実施に際して、合意形成・実行に時間を要した。また、予想以上に急激に個体が減少した 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現時点では希少種の凍結細胞等からの個体の再生技術は多くの分類群で確立されていないが、主に産業動物で研究開発が進んでおり、近縁種を活用した生殖細胞の移植等も含めて将来的に可能となる可能性があることから、<u>個体や生殖細胞等の凍結保存について、凍結保存の実施の可否、タイミング、体制などについてあらかじめ整理がされていることが望ましい。</u> ・ 特に小笠原諸島のように外来種等による影響によ

<p>ことから、タイミングを逸した感もあった。</p>	<p>って<u>生息域内の状況の悪化が著しく、その改善が極めて困難な場合であって、野生復帰等による個体群再生も困難であり、かつ、生息域外保全個体群の確立・維持が非効率であると判断される場合には、種の保存戦略として、生殖細胞等の凍結保存を選択することもあり得る。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> また、これらについては希少種全体でまとまった考え方が整理されていないことから、<u>希少種施策全般における凍結細胞等を用いた個体の再生、遺伝的多様性の回復の方策について整理を進めるとともに、保存体制の確立・強化（国立環境研究所が進めるタイムカプセル事業や（公社）日本植物園協会と連携して進めている希少植物の種子の冷凍保存・超低温保存事業等の既存の事業の整理を含む）や、凍結細胞等からの個体の再生技術の研究開発の推進が望まれる。</u>
<p>生息域内個体群の再生との連携</p>	
<ul style="list-style-type: none"> オガサワラシジミの場合、母島個体群への補強やグリーンアノールの侵入していない弟島への再導入などが比較的早い段階で議論されてきたが、十分な遺伝的多様性を有する生息域外個体群が確保できなかったこと、放チョウ場所における生息環境の課題（食樹の確保など）等もあり、具体的な実施には至らなかった。 当初の飼育繁殖技術の確立という目的を達成した時点で、保険個体群の維持やその活用等について、次の段階への方向性が明確に示されなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> 生息域外保全が基本的には生息域内保全の補完として実施されるものであること、生息域外保全に投入できるリソース（人員、予算、スペース等）が限られていること等を踏まえ、<u>生息域外保全を開始する段階から野生復帰（補強、再導入）等による域内個体群の再構築を見据えた上で、具体的な行程を定めた上で戦略的に実施していくことが重要である。</u> また、飼育繁殖の過程で得られる生態的知見等を生息域内保全や野生復帰に積極的に活用することや、<u>分類群ごとの汎用性の高い野生復帰技術を確立し事例を蓄積していくことも必要である。</u> ただし、現状では生息域内個体群の生息状況が機動的な状況になってから、<u>緊急避難や飼育繁殖技術開発として生息域外保全に着手することが多いため、あらかじめ野生復帰等による域内個体群の再構築を見据えて生息域外保全に取り組むケースは多くない。</u>こういった場合には、<u>飼育繁殖技術を確立した後に、できるだけ早期に野生復帰等による域内個体群の再構築を見据えた生息域外保全の計画・体制に柔軟に更新していくことが重要となる。</u>

別表2 関係者ヒアリング等により得られた指摘事項のうち、種の保全全般に係るもの

- ・ オガサワラシジミの保護増殖事業は多くの関係機関・団体等が参画しており合意形成に多くの時間を要した。また、各種の計画は策定されていたものの、その実施に係る認識の共有、体制の整備が不十分だった。さらには、状況が変化する中で、種の絶滅回避のために何を優先するか、限られたリソースを何に充てるべきかが明確ではなく、柔軟な方針の整理、計画の見直し、合意形成が追いついていなかった。
- ・ 一方で、保全活動の初期の連絡会議の発足と関係者の連携などがその後の対策に繋がっており、この間の関係者の尽力を含め、良かった点も評価されるべき。
- ・ 希少種保全においては、多くの保全関係者や地域住民の考えや思いをくみ取って実施することが基本ではあるが、種の保存を命題に掲げている以上、種の絶滅リスクに直面した際には、情緒的な思いに反する形での選択をせざるを得ないことについて、理解・認識を共有する必要もある、という意見も出た。
- ・ 今回の遺伝子解析は、本種の標本や生体サンプルの保存・管理が適切なされてきたことではじめて可能となった。標本の生体サンプル、それらの遺伝情報が有する保全上の重要性を認識したうえで、標本（個体の器官等を含む）及び生体サンプルの適切な保管に努めるべきである。
- ・ オガサワラシジミの場合は、生息域内の状況が厳しさを増すとともに、生息域外保全の位置づけ・重要性が変わっていった。今回の生息域外個体群の繁殖途絶は安易に反省すべきことではなく、技術的な問題や社会構造上の課題により生息域外保全には限界があり、だからこそ、生息域内保全が重要であることを再認識すべき。
- ・ 小笠原諸島では外来種の影響で多くの種が絶滅の危機に瀕しており、個別の対策での対応では追いつかなくなっている。遺産価値の壊滅的な損失の前に、小笠原固有の生態系の保全策を抜本的に強化する必要がある。
- ・ 同様に固有種が多い特徴的な生物相が見られる島嶼地域は、外来種や気候変動による影響を受けやすい脆弱な地域でもあることから、島嶼地域での生態系の保全の強化がより一層求められる。
- ・ 国は規制的手法にとどまることなく、保護増殖事業計画の策定やその実施に一層の人的・予算的資源を早期に投じる必要性を認識すべき。あわせて、国内希少野生動植物種の増加に伴う保全対策への予算・人員の増加が何よりも重要。
- ・ ただし、大規模な予算・人員の増加が難しいことから、専門的な知見・技術を有する専門家が主体的に長期に関わることができる体制を確保することで、現地での希少野生動植物種の保全施策・体制を強化する事業等の強化を図ることが効果的ではないか。
- ・ 今回の教訓は保全生物学の教科書に書いてあるような内容も多く、既存の方針等（「絶滅のおそれのある野生動植物種の生息域外保全に関する基本方針（2009年1月）」、「絶滅のおそれのある野生動植物種の野生復帰に関する基本的な考え方（2011年3月）」、「絶滅のおそれのある野生動物種の保全戦略（2014年4月）」等）にも記載されているものの、その実践の難しさを感じた。今後の種の保存施策に活かせるよう、今回の経緯・分析結果を可能な範囲で公開し関係者が共有することが重要である。