

京都大学	博 士（理 学）	氏名	戸部有紗
論文題目	Ecological genetics of the Crested Serpent-eagle in the Ryukyu Arc, Japan: Toxin Resistance, Diet, and Diversity（日本の琉球弧に生息するカンムリワシの生態遺伝学：毒耐性、食性、多様性の解明）		
（論文内容の要旨） 島嶼生態系は、長期間の地理的隔離によって固有種が生じやすく、生態系が脆弱になりやすいことから、生物多様性保全における重要な優先対象であると同時に、生態学的・進化学的プロセスを理解するための貴重な研究対象である。琉球弧の南部に位置する西表島および石垣島の固有亜種であるカンムリワシ（<i>Spilornis cheela perplexus</i>）の生態は、その典型例である。本論文では、本種と外来種との相互作用がもたらしうる進化的・生態学的影響、および小島嶼における個体群の分化と存続を支える個体群動態を遺伝的背景から解明することを目的に、3つの課題に取り組んだ。 第1に、石垣島に近年定着した外来種オオヒキガエル（<i>Rhinella marina</i>）に対する毒耐性の遺伝的基盤を解析した。毒耐性への関与が知られる3つのNa⁺/K⁺-ATPase（<i>ATP1A</i>）パラログを対象とした解析の結果、<i>ATP1A1</i>においてアミノ酸置換が確認された。この形質により、カンムリワシは強い毒を持つオオヒキガエルを、中毒を起こすことなく餌資源として利用できたと考えられる。オオヒキガエルは琉球列島において過去に存在しなかったにもかかわらず、これらの島に生息するカンムリワシは、進化的に獲得した毒耐性を保持していることが示された。 第2に、カンムリワシの食性が、外来種であるオオヒキガエルにどの程度依存しているかを評価した。石垣島で採取した糞試料のDNAメタバーコーディング解析と採食行動の直接観察を組み合わせた結果、カンムリワシの食性の約30%をオオヒキガエルが占めることが明らかになった。オオヒキガエルの密度が高い場所ほど捕食率が増加する傾向が見られたが、一部の低密度地点においても捕食率が高い場合があり、95%信頼区間は広い値を示した。これらの結果は、カンムリワシの食性の柔軟性を示すと同時に、外来種のオオヒキガエルの駆除を進める際には、カンムリワシの食性および生態系に急激な変化を及ぼさないよう配慮が必要であることを示唆している。 第3に、西表島と石垣島におけるカンムリワシの歴史的な個体数動態、個体群分化、遺伝的多様性および近親交配の程度を解析した。ゲノム解析の結果、両島の地理的距離がわずか20 kmであるにもかかわらず、個体群の間には、弱いながらも明確な分化が認められた。石垣島の個体群は、数百年前に発生した自然災害に起因すると考えられるボトルネックを経験しており、西表島の個体群と比較して有意に低い遺伝的多様性と高い近交度を示した（それぞれ $p = 6.4 \times 10^{-4}$、$p = 8.2 \times 10^{-5}$）。これらの結果は、地理的要因や歴史的事象が個体群分化に果たす重要な役割を示すとともに、石垣島個体群の保全優先度が西表島個体群よりも高いことを示唆している。 以上の研究により、カンムリワシの生態および進化に関する新たな知見が得られ、本種の顕著な独自性を明らかにすることで、保全に不可欠な科学的基盤を提示することができた。きわめて有毒な獲物を捕食できる能力と、柔軟な採食戦略を併せ持つという特性は、資源が限られた島嶼環境において捕食者がどのように存続しうるのかという問いに重要な示唆を与える。一方で頂点捕食者であるカンムリワシの食性の柔軟性は、島嶼における食物連鎖に大きく影響する可能性もあり、外来種の除去は慎重に対処する必要があると考えられる。さらに本研究は、毒耐性の進化、捕食者と外来種との相互作用、小島嶼における個体群の長期的存続といった、より一般的な生態学的・進化学的課題についても、重要な知見を提供するものである。			

(論文審査の結果の要旨)

島嶼生態系は高い固有性と脆弱性を併せ持つため、保全上きわめて重要である。カンムリワシはアジアに広く分布し、多数の島嶼亜種を含むことから、進化的分化を理解する上で有用な種である。琉球列島南部の西表島および石垣島に生息する亜種は、頂点捕食者として生態系の重要な位置を占めるが、個体数が少なく絶滅の危険性が高い。石垣島では侵入外来種、とくに強い毒をもつオオヒキガエルの影響が懸念されているが、カンムリワシはこれを捕食可能である。この論文では、カンムリワシのゲノム解析にもとづき、毒耐性に関わる遺伝子変異の検出、および2つの島の個体群動態を明らかにした。

本論文は5章からなっている。1章では、侵入種への適応、食性の生態的影響、ならびに個体群動態と遺伝構造に焦点を当て、小島嶼における頂点捕食者の存続機構を解明する目的について説明し、カンムリワシの生態・進化および保全に関わる課題を提示した。2章では、石垣島に定着した外来種オオヒキガエルに対する毒耐性の遺伝的基盤を解析し、ATP1A1におけるアミノ酸置換を確認した。この結果、カンムリワシは強毒性のオオヒキガエルを、中毒を起こすことなく捕食・利用できる進化的形質を保持していることが示された。3章では、DNAメタバーコーディングと行動観察により食性を評価したところ、オオヒキガエルが食性の約30%を占めていた。捕食率は外来種密度に依存する傾向を示したが、地域差も大きく、食性の柔軟性が示唆された。これらの結果は、外来種の駆除が上位捕食者の餌資源に与える影響を考慮する必要性を示している。4章では、ゲノム解析により西表島と石垣島の個体群を比較した結果、近距離にもかかわらず弱い個体群分化が認められた。石垣島個体群は過去のボトルネックを反映し、遺伝的多様性の低下と高い近交度を示した。以上から、石垣島個体群はより高い保全優先度を有すると結論づけられた。5章では、カンムリワシの進化的適応についての知見を総括し、外来種対策と生息地回復を両立させた保全戦略の重要性について強調した。

本論文は、日本産カンムリワシを対象に、分子進化から生態系レベルまでを統合した包括的研究により、島嶼環境における適応・分化・保全の理解を大きく前進させた。毒を持つ外来種オオヒキガエルに対する Na^+/K^+ -ATPaseの遺伝的耐性が、種内に保持されていたことを示し、猛禽類における毒耐性の進化という生物学的に極めて稀な事例を初めて報告した。さらに、外来種を捕食する行動が島嶼生態系に及ぼす影響を、食性解析により定量的に示した点は、生態学的にも重要である。特に、オオヒキガエルが主要な餌資源となっている現状を明らかにし、無計画な駆除が上位捕食者に悪影響を及ぼしうることを示して、外来種対策と在来種保全を両立させる必要性を提案した。加えて、西表島と石垣島という近接した島嶼間で生じた個体群分化を明らかにし、島嶼という環境が進化に果たす重要性を示唆した点も意義が大きい。本研究は、フィールドワーク、DNAメタバーコーディング、全ゲノム解析を統合した学際的手法により、希少猛禽類の保全研究に新たな枠組みを提示している。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、その結果をもって令和8年1月22日に系会議で合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日：令和 年 月 日以降