

課題名 4-1302 再導入による希少鳥類の保全手法の確立に関する研究

課題代表者名 永田尚志（新潟大学 研究推進機構 朱鷺・自然再生学研究センター 教授）

研究実施期間 平成25～27年度

累計予算額 78,347千円（うち平成27年度：26,116千円）  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 絶滅危惧種、再導入、生存率、飼育下繁殖、個体群管理、繁殖成功、遺伝的多様性、トキ、コウノトリ、ヤンバルクイナ

#### 研究体制

- (1)トキの繁殖成功に影響を与える要因の解明と希少鳥類の再導入手法の確立に関する研究（新潟大学 研究推進機構）
- (2)コウノトリの再導入とメタ個体群形成に関する研究（兵庫県立大学自然環境科学研究所）
- (3)ヤンバルクイナの飼育繁殖と再導入のための予備的研究（公益財団法人山階鳥類研究所）
- (4)希少鳥類の遺伝子プロファイルと再導入に関する研究（新潟大学自然科学系（農学））

#### 研究協力機関

京都大学、NPO法人どうぶつたちの病院

### 研究概要

#### 1. はじめに（研究背景等）

2010年、名古屋で開催された生物多様性条約締結国会議（COP10）で合意された愛知目標では、絶滅危惧種の絶滅や減少を防ぐことが5つの戦略目標のひとつとされている。野外でいったん絶滅した場所に個体を放して野生生物を復活させることを再導入とよんでいる。生物多様性を回復させるために、世界中で最近20年間に約500種の動物で再導入が実施されているが、再導入の成功率は飼育繁殖個体では15%と低く、試行錯誤に頼っているのが現状で、技術として確立されているとはいえない。日本国内でも、種の保存法で国内希少野生動物種に指定された82種のうち15種の鳥類で保護増殖事業計画が策定されている。希少鳥類の飼育個体群を適切に管理し確実な再導入技術を確立することは、劣化した生物多様性を回復し保全する重要な手法のひとつと考えられ、愛知目標を達成する我が国の主要行動目標の一つとして、希少種の生息域外保全と野生復帰の推進が掲げられている（生物多様性国家戦略2012-2020）。

#### 2. 研究開発目的

2005年に兵庫県豊岡市でコウノトリが、2008年には新潟県佐渡島においてトキの再導入が開始され、2010年にはヤンバルクイナの再導入のための飼育繁殖施設が建設された。コウノトリは野外での近親交配の問題が顕在化し、トキは野外での繁殖成功率が低く放鳥によって個体群がかりうじて維持されている状況にある。そこで、本研究では、再導入の途上にあるヤンバルクイナ、トキ、コウノトリを対象として、飼育下の個体の履歴、行動、遺伝子プロファイルが、放鳥後の個体の定着および繁殖成功にどのように影響を与えているかを明らかにすることで、対象種の再導入を成功に導く最善の手法を提案することを目的としている。

個体が持つ行動様式や性質が、生存や繁殖成功などの個体差は、飼育下繁殖における育ち方の違いや、個体が有する遺伝子型の差異によって個体差が生じ、再導入の成功に大きく影響を与える要因を明らかにすると考えられる。再導入が行われているトキ及びコウノトリにおいて、野外および飼育下の個体・繁殖情報をデータベース化するとともに、これらが再導入の適応度に与える影響を解明することで、再導入の成功に影響を与える要因を特定する。また、希少鳥類の中立遺伝子と適応度遺伝子の遺伝子解析手法を確立し、対象個体群の遺伝的多様性を評価すると同時に、これらの遺伝子多型が再導入の成功に与える影響を評価する。また、コウノトリにおいては、再導入個体群がメタ個体群を形成する条件について解析し、飼育および野外の個体群管理方法を明らかにする。ヤンバルクイナでは、減少要因を特定し、再導入に注意すべき項目を整理する。また、飼育個体を用いて、捕獲・追跡技術を開発し再導入後のモニタリング手法を検討する。近縁クイナ（グアムクイナ、ニュー

ジーランドクイナ等)の再導入事例を詳細に調査し、ヤンバルクイナに適用可能な飼育、再導入技術を抽出する。トキ、コウノトリの成果と近縁クイナ類、希少鳥類の再導入事例の比較研究により、希少鳥類の再導入の成功率を高めるのに最適な飼育個体群の管理手法を提案することを目的としている。

### 3. 研究開発の方法

#### (1) トキの繁殖成功に影響を与える要因の解明と希少鳥類の再導入手法の確立に関する研究

環境省佐渡自然保護官事務所を通して放鳥トキについての飼育情報を入手し、放鳥トキの個体情報、飼育履歴、飼育繁殖のデータベース、マイクロサテライト多型情報をもとに遺伝子データベースを構築し、野外の繁殖・生息状況をもとにした繁殖成績、生存状況データベースと結びつけることで、放鳥トキの生存に影響を与える要因、および、繁殖成功に影響をあたえる要因を解析した。また、第9回～13回放鳥個体の訓練中の行動を順化ケージに設置したセンサーカメラを使って解析した。さらに、放鳥から3ヶ月間、新規放鳥個体を追跡し、各個体の採餌行動、警戒行動を記録した。

希少鳥類の再導入が実施されているグアム島、ロタ島、ニュージーランド、モーリシャス島において、希少鳥類の再導入状況を調査した。希少鳥類ごとに、減少要因、最小個体群サイズ、放鳥ソース、再導入実施年、放鳥個体数、放鳥後のモニタリング法を担当者に聞き取り調査した。また、同時に放鳥場所の生態系管理手法についての情報も収集した。さらに、飼育個体群からの再導入が実施されている場合には、増殖方法、近交弱勢の程度、飼育時の問題点、飼育個体と野生個体の繁殖・行動等の差異についても聞き取り調査を実施した。これらに文献情報を加えて、トキやコウノトリとの相違点について比較した。

#### (2) コウノトリの再導入とメタ個体群形成に関する研究

既存および新規加入した個体の飼育情報および遺伝情報等を整理し、コウノトリの郷公園等の飼育個体情報データベースを作成した。馴化訓練の成績と放鳥後の行動から飛行能力、採餌能力、同種対応能力(社会性)、および、異種対応能力(捕食回避、競争)を評価する手法を開発した。飼育下の18個体、および、放鳥された13個体の血液試料からDNAを抽出して、マイクロサテライトの12遺伝子座についてタイピングを行い、遺伝的多様性を評価した。複数のマイクロサテライト遺伝子座のタイピング結果から、多次元尺度法により解析対象個体間の遺伝的距離を視覚化、および、算出した。また、家系情報を用いて、個体数の増加にともなう野外集団の創設個体のゲノム相当量(FGE)の年次推移を計算すると同時に、現存ペアが子を1個体の増やしたときの飼育、野外それぞれの集団の遺伝的多様性への影響効果を算出し、JAZAのデータベースから放鳥候補個体を絞り込む手法を開発した。放鳥方法を評価するために、4種類の異なる方法で放鳥した個体の放鳥後の滞在位置、放鳥地点への飛来状況、繁殖期の個体間距離と行動範囲を解析した。放鳥個体と野生生まれ個体の年齢別生存率、野外の繁殖成功率をもとに豊岡個体群の個体群存続可能性分析を行った。徳島県鳴門市に定着したペアの生息状況からメタ個体群の成立条件を調べた。

#### (3) ヤンバルクイナの飼育繁殖と再導入のための予備的研究

ヤンバルクイナの減少の主要な要因としては、移入された哺乳類であるマングース、ネコ、クマネズミの存在が考えられ、環境省や沖縄県の実施している移入種駆除事業の結果と、山階鳥類研究所と環境省が実施しているヤンバルクイナの調査結果をもちいて、それぞれの分布域とその経年変化との相関関係を検討し、ヤンバルクイナの減少要因を解析した。また、国頭村安田にある環境省ヤンバルクイナ飼育施設で飼育されている飼育個体を用いて、飼育個体での発信機の装着方法の検証、並びに、野外における誘引効果の実験を行い、捕獲、及び追跡技術を開発した。次に、飼育下で繁殖した個体に発信機を装着し、安田家畜改良センターにあるヤンバルクイナ保護シェルターにおいて、実際に野外放鳥実験を行い、追跡結果をその結果を野生個体と比較した。さらに、グアムクイナ、ロードハウクイナ、ニュージーランドクイナおよびカラヤクイナの保全と再導入状況について現地で調査し、ヤンバルクイナに適用可能な技術を検討した。

#### (4) 希少鳥類の遺伝子プロファイルと再導入に関する研究

##### 1) 野外サンプルを用いた遺伝子解析手法の確立

白色レグホーン系採卵鶏(ジュリア)のヒナから3本の胸部の羽髄をもつ幼羽を採取しDNA抽出を行った後、分光光度計にてDNA収量を測定した。次に、トキ保護センターで飼育されているトキの雛の胸部および、背部より羽髄をもつ幼羽を採取し、DNA抽出し、DNA収量の測定および品質確認を行った。

##### 2) マイクロサイトの多型情報およびその遺伝的多様性の評価

19個のマイクロサテライトマーカーを用いて、2000年から2012年に孵化したトキ188個体のDNAマーカー型タイピングを行った。個体レベルでの遺伝的類縁関係を推定するために、MICROSATELLITE ANALYZER version 4.05により共有アリル率に基づく個体間の遺伝距離(Dps)を計算し、PHYLIP version 3.69のNEIGHBORプログラムにより樹形図を作成した。

##### 3) MHC領域のゲノム構造の解明、多型情報の収集および遺伝的多様性の評価

ラムダファージベクターを使用してゲノムライブラリーを作製し、MHC-IIB遺伝子のエクソン2を増幅するプライマーを用いてPCR法によるスクリーニングを行い、トキMHCクラスII領域を解析した。得られた陽性クローンの両端

の配列を基に新たなプライマーを合成し、ゲノムウォーキングによりコンティグを作製し、その全塩基配列を決定し、ゲノム構造を明らかにした。PCR-RFLP法およびサザンブロット法により、トキ始祖5個体のMHCクラスII領域の多様性を解析した。トキと同様にして、コウノトリMHC-IIB遺伝子を含む領域をPCRで増幅したのち、特異的プライマーを使用して各MHC-IIB遺伝子座のエクソン2配列を決定することでハプロタイプを解析した。

#### 4) DRD4のゲノム構造の解明、多型情報の収集、遺伝的多様性の評価

トキ死亡個体の脳から抽出されたDNAおよびRNAを用いて、PCR、RT-PCR、RACEを行った後、ダイレクトシーケンスによりトキDRD4配列を決定した。次に、始祖5個体のDRD4の保存配列領域のシーケンスにより得られた波形データを用いて、多型検出を行い、これに基づき、日本産トキ集団が保有しているDRD4のハプロタイプを決定した。サブテーマ1から提供された生存率、採餌効率、移動分散距離データを用いてDRD4ハプロタイプとの関連を解析した。

## 4. 結果及び考察

### (1) トキの繁殖成功に影響を与える要因の解明と希少鳥類の再導入手法の確立に関する研究

#### 1) トキの再導入成功に影響を与える要因解析

再導入の成功には、まず、放鳥個体が生存し、生存個体が番い形成をして繁殖成功して子孫を残し自立的な個体群を形成する必要がある。放鳥トキ215個体を対象として、どのような飼育履歴、個体特性をもつ個体が生き残れたかを解析した。まず、生存時間に影響を与える従属変数として、発信機の有無、放鳥年齢、性別のほか、飼育履歴から、育雛形態、孵化形態、一腹雛数、クラッチ順、クラッチ内孵化順、飼育時の捕獲回数、傷病治療歴の有無、エンゼルウィング発症歴、チアミン欠乏症の発症歴を検討した。放鳥後の生存に影響を与えていた共変量は、年齢、性別、発信機(PTT)、育雛形態、エンゼルウィング発症歴、チアミン欠乏症発症歴、一腹雛数であった。発信機装着個体、エンゼルウィング発症個体、チアミン欠乏症発症個体、および、放鳥時の年齢が高いほど放鳥後の生存率が低くなり、自然育雛個体、♂個体、兄妹の多い個体ほど生存率が高くなる傾向があった(図1)。

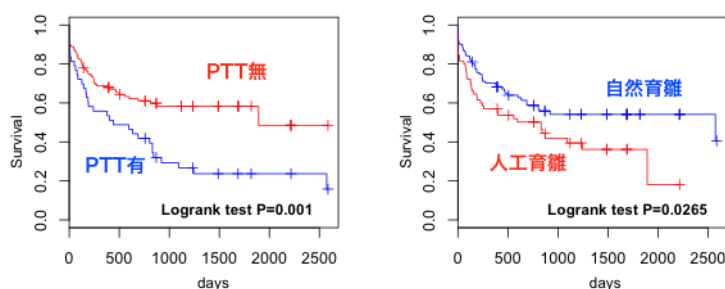


図1.放鳥個体の生存に影響を与える要因(左)発信機(PTT)、(右)育雛形態

佐渡は、2015年繁殖期までにのべ169巣で産卵が記録されている。雌雄の孵化形態、育雛形態、年齢、野外での成功履歴、初卵日などが繁殖成功にどのような影響を与えているかを一般化線形モデルで解析した結果、繁殖成功にもっとも大きな影響を与えているのは初卵日と過去の繁殖履歴であり、繁殖開始の早い繁殖成功履歴がある番いほど繁殖成功率が高かった。繁殖履歴がない場合、繁殖成功度は初卵日と雌親が自然育雛で初卵日が早い番いが人工育雛の番いより繁殖成功が高まった。

順化訓練中に餌のない池を最初に訪問する個体は新規探索性の強い個体であると仮定し、給餌しないG池の訪問順と個体の性質の関連を解析した。G池を早く訪問する個体は、年齢の若い個体、あるいは、自然育雛個体であった(図2、図3)。

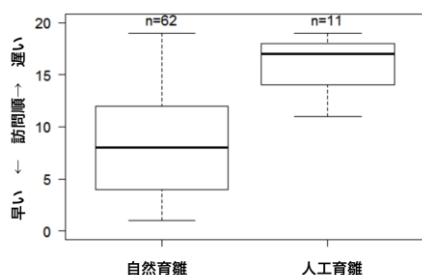


図2. 育雛形態とG池訪問順位

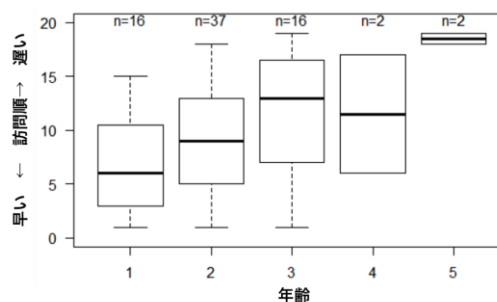


図3. 年齢とG池訪問順位

群れに合流した個体は観察されやすくなるため、群れへの合流の指標として放鳥後100日間の各個体の観察日数を解析した。放鳥後100日間の観察日数と年齢の間には負の相関が認められ、若い個体ほど観察日数が多く、早く群れに合流していると考えられた(図4、GLMM: $p < 0.001$ 、ランダム効果:放鳥回)。

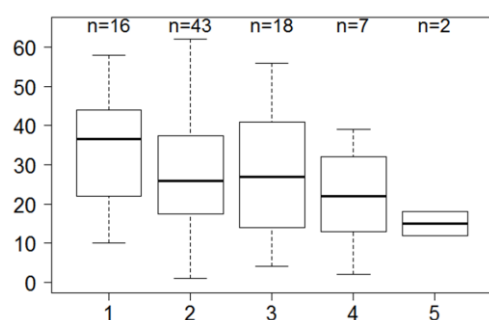


図4.年齢と放鳥後100日間の観察日数

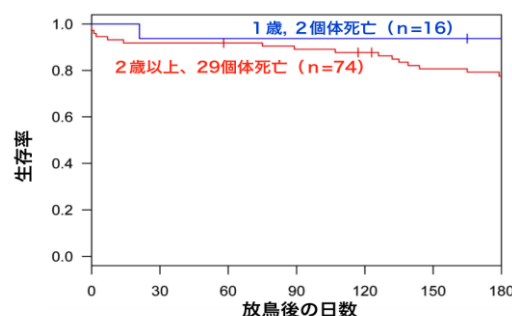


図5.年齢群と生存時間

親鳥に育てられた自然育雛個体は、順化ケージや放鳥後の野外で新規探索性が強いので新しい環境に早く順応できるため、結果として、生存率も高かったと考えられた(図5)。また、若い個体ほど新規開拓性が強く放鳥直後にすぐに群れに合流するため、環境の順応性が高く、生存率も向上すると考えられた。トキの再導入の成功を高めるには、放鳥個体の生存率を上げることが重要である。エンゼルウィングやチアミン欠乏症発症個体、老齢個体は放鳥後の生存率を低いため、病歴のない1~2歳の若い自然育雛個体を優先して放鳥したほうが望ましい。

## 2) 希少鳥類の再導入手法の比較研究

海洋島での希少種の再導入による基本的な保全戦略は、まず、保護区として島嶼を確保し、次に、侵入捕食者や外来植物を駆除して生息可能な環境を準備し、最後に希少種を他所から移植して島嶼保護区に再導入個体群を確立するという手法である。同様にして(島嶼)保護区を増やしていくことで、複数の再導入個体群が設立され、環境変動やカストロフが生じて一度に絶滅する危険性を分散できる。飼育下繁殖が困難な中小型鳥類にとって2~20km<sup>2</sup>程度の島嶼に自然個体群を確保することは、大規模な飼育施設を複数基建設して、島嶼保護区と同規模の個体群を維持するよりも経済的である。モーリシャスやニュージーランドの希少鳥類で行われていた再導入手法は、既存個体群からの「移植」、野外で採卵し孵化させて人工育雛個体を放鳥する「採卵育雛」、トキやコウノトリのような「飼育下繁殖」個体の放鳥の3つに分類される。飼育期間が短いほど再導入の成功率は高くなるので、一般的に、再導入の成功率は、移植>採卵育雛>飼育下繁殖の順に低くなり、逆に、事業コストは、飼育下繁殖>採卵育雛>移植の順で高くなると考えられる。

## (2) コウノトリの再導入とメタ個体群形成に関する研究

### 1) 飼育個体情報データベースの作成と順化訓練の評価手法の確立

兵庫県立コウノトリの郷公園で飼育履歴のある計237羽について、個体情報、飼育情報および遺伝情報を整理しデータベースを構築した。このシステムの運用により、個々の個体の飼育履歴や遺伝情報を一元的に管理できるようになり、必要に応じて取り出すことができるため、個体の飼育方法、すなわち配偶計画や繁殖計画、同居個体の選定、飼育ケージの選定などの立案が容易になった。放鳥後の経験と学習で採餌能力、同種対応能力、異種対応能力はすぐに向上するため、コウノトリの野生馴化訓練では、飛行訓練が最も重要であった。

### 2) 飼育・野生集団の遺伝的多様性の解析

コウノトリのマイクロサテライト遺伝子座当たりの平均アリル数は5.08であり(最小-最大:2(Cbo133)~13(Cc04))、中国の野生個体群の平均アリル数と違いはなかった。異なる母系(ハプロタイプ)個体同士でペア形成するという方針で飼育個体群の繁殖計画が立てられ、放鳥個体ペアでもハプロタイプの組み合わせに注意してきた。その結果、マイクロサテライト遺伝子座のタイピングに基づく遺伝的距離からみても、遺伝的距離が離れた個体間でペア形成をしていた。父性解析の結果、これまでは3歳以上で性成熟すると考えられていたが、2歳雄の繁殖参加事例が判明し、婚外交尾も確認された。家系情報に基づく遺伝的評価の結果、再導入以降、個体数はほぼ一貫して増加傾向にあるのに対して、集団の遺伝的多様性総量の指標となる創設個体のゲノム相当量の値は、緩やかに低下する傾向が認められ、野外の巣立ち個体が増加するに伴って野外の平均近交係数が上昇していることが明らかになった。家系情報解析によりJAZAで飼育されているペアの中にコウノトリの郷公園で飼育されているペアよりも繁殖の優先度が高いペアが存在することが明らかになり(図6)、集団の遺伝的多様性を高める繁殖計画を策定することが可能となった。

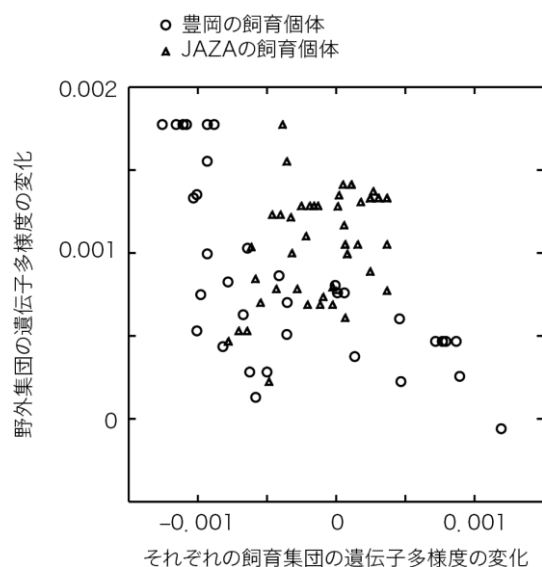


図6. 個体の放鳥が飼育集団および野外集団の遺伝的多様性に及ぼす効果.

### 3) メタ個体群管理方法の研究

放鳥個体の産卵数は平均 $4.0 \pm 0.6$  (SD) 卵、孵化数は平均 $2.1 \pm 0.9$  (SD) 羽、巣立ち雛数は平均 $1.5 \pm 0.7$  (SD) 羽であった。放鳥個体の年生存率は、雄が平均 $0.91 \pm 0.07$  (SD)、雌が平均 $0.93 \pm 0.09$  (SD) で性差はなかった。また、野外で巣立った個体の年生存率は、雄が平均 $0.90 \pm 0.13$  (SD)、メスが平均 $0.90 \pm 0.10$  (SD) で性差はなかった。この個体群パラメータを用いて個体群存続可能性分析 (PVA) を行った。PVAにより、現状の個体群パラメータが維持される限り、但馬地方個体群は絶滅する可能性は低いことが推定された。野外では個体数が増えるにしたがって移動個体数の割合が有意に高くなっていった (図7.  $r=0.91$ ,  $P<0.01$ )。この結果、再導入が実施された但馬地方では既に密度効果が生じており、現在の環境収容力は約50羽と推定された。

但馬地方から南に約130km離れた徳島県鳴門市に、2015年、新しいペアが定着し、電柱で造巢した。この地域に定着できた要因として、周年、餌動物が生息できるレンコン田と増水時にレンコン田に水生動物を供給する浅い水路が存在していたためと考えられた。コウノトリの再導入の最終目標は、ロシアと中国北部の繁殖個体群をソースとする極東地域のメタ個体群構造の復活である。そのためには、配偶ペアによるソフトリリース、放鳥拠点の飼育個体による誘引、周年採餌可能な環境の整備をして定着を促進するとともに、放浪個体数の増加により定着地での配偶を促進し、近親婚の回避、大陸からの渡来個体の定着促進により高い遺伝的多様性を維持することが有効であると考えられた。

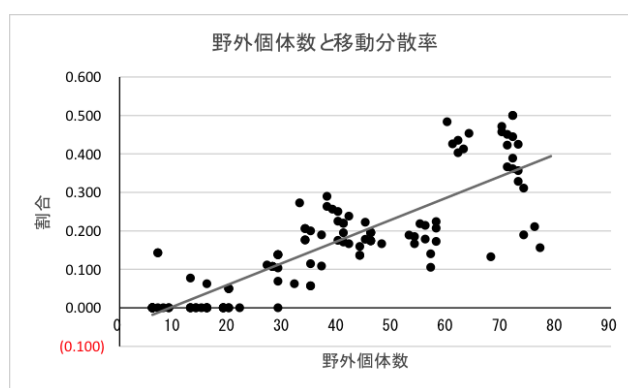


図7. 但馬地方における野外個体数と移動個体数の割合の関係

### (3) ヤンバルクイナの飼育繁殖と再導入のための予備的研究

#### 1) ヤンバルクイナの減少要因

マングース、ネコ、ネズミの存在確率を独立変数、ヤンバルクイナの存在確率を従属変数としたロジスティック回帰モデルの解析結果、2000年から2008年まですべての年で、マングースの存在のみがヤンバルクイナの生息に負の影響を及ぼしていることが明確となった ( $\chi^2=5.02 \sim 24.95$ ,  $p<0.001$ )。一方、ネコとクマネズミの影響は検出できなかった。ただし、2004年のみ、ネコもヤンバルクイナの生息に負の効果を示した ( $p=0.013$ )。この結果から、再導入時にもっとも注目すべき条件として、マングースの排除が重要であることが判明した。



## 2) ヤンバルクイナの誘引捕獲・追跡技術の開発

天敵であるハブの剥製を使った誘引捕獲技術を導入した。これは鳥類の天敵に対するモビング行動を利用したもので、長時間の誘因効果があることが判明した。クイナの警戒音声とハブの剥製による誘因で、ヤンバルクイナを効率良く捕獲することが可能となった。金網のかご罠の扉が両面のものは片面のものに比べて捕獲効率が優れていた。ポウネットは開けた場所での捕獲に適していることが分かった。ヤンバルクイナは直接観察して個体識別することが困難であり、個体の生存確認や行動圏の把握には、小型発信機による追跡が不可欠である。ハーネス型の発信機装着は、一部個体に脱羽がみられるものの軽度であり、2年ほど経過しても良好な状態を保っている個体もいる。一方、首輪型発信機は、装着後間もなく下嘴を首輪部分に挟み込み、自力では外せない状態となった。このことから、ヤンバルクイナへの発信機の装着方法としては適さないと考えられる。

## 3) 飼育下繁殖個体の放鳥実験

飼育下で繁殖した個体に発信機を装着し、野外(シェルター)に放鳥する実験を行った。その結果を同時期に周辺地域で実施した安田野生個体の追跡結果および、過去に西銘岳で実施した調査結果と比較した。野外への放鳥実験の結果、捕食による初期死亡率が高いことが判明し、改善には、放鳥個体の選択(若齢、自然ふ化、自然育雛など)、放鳥前の順化訓練、訓練とソフトリリースのための広い施設の必要性などが明確になった。

## (4) 希少鳥類の遺伝子プロファイルと再導入に関する研究

### 1) 野外サンプルを用いた遺伝子解析手法の確立

ニワトリ雄雛から、幼羽1本あたり、15日齢で $20.3 \pm 1.2 \mu\text{g}$ 、20日齢で $19.9 \pm 1.9 \mu\text{g}$ 、25日齢で $9.9 \pm 1.8 \mu\text{g}$ 、30日齢で $13.8 \pm 5.4 \mu\text{g}$ というDNA収量が得られた。雌についても、15日齢で $15.1 \pm 4.2 \mu\text{g}$ 、20日齢で $23.3 \pm 6.4 \mu\text{g}$ 、25日齢で $16.3 \pm 4.6 \mu\text{g}$ 、30日齢で $10.0 \pm 3.5 \mu\text{g}$ という収量が得られた。PCR増幅をした結果、いずれのサンプルにおいて期待長の明瞭なバンドが検出された。ニワトリヒナから3本の幼羽を取った場合、1000回以上のPCR反応に利用できる高収量の高品質DNAが得られることが示された。次に、トキヒナの胸部の幼羽を採取した場合、幼羽1本あたり雄では $9.6 \pm 2.2 \mu\text{g}$ のDNAが、背部の幼羽については、 $10.2 \pm 2.5 \mu\text{g}$ (雄では $9.735 \pm 3.300 \mu\text{g}$ 、雌では $10.79 \pm 1.245 \mu\text{g}$ )のDNAが抽出された。また、胸部あるいは背部のどちらでもPCR増幅により高品質のDNAが抽出されることが示された。

### 2) マイクロサイトの多型情報の収集および遺伝的多様性の評価

後代188個体からなる全集団について解析を行ったところ、始祖5個体にも関わらずA(アレル数)の最大値は3であった。A、ne、HE、HoおよびPICはボトルネックを受けた動物と同様の低いレベルの値を示し、遺伝的多様性は低いと考えられ、佐渡島トキ集団もボトルネックを受けていることが示唆された。後代188個体からなる全集団を飼育下集団、放鳥下集団に分け、同様の解析を行ったところ飼育下集団と全集団の遺伝的多様度は似たような値を示したが、放鳥下集団では始祖個体のアレルがすべて後代に伝わっていなかった。中国集団との比較では、遺伝的多様性の尺度である、A、ne、HE、HoおよびPICのいずれも、佐渡島トキ集団は中国集団より低かった。一方、始祖5個体と後代188個体からなる全集団において、Aは同じ値を示し、始祖個体で検出されたすべてのアレルが後代に伝達していることが判明した。PHYLIPによる樹形図解析では、始祖個体のいずれにも偏ることなく放射状に分布していた(図8)。これは、始祖ゲノムが様々な混合パターンで後代個体に伝達していることを示していて、佐渡島トキ集団におけるこれまでの計画交配は遺伝的多様性の維持に対して有効に機能していると考えられた。

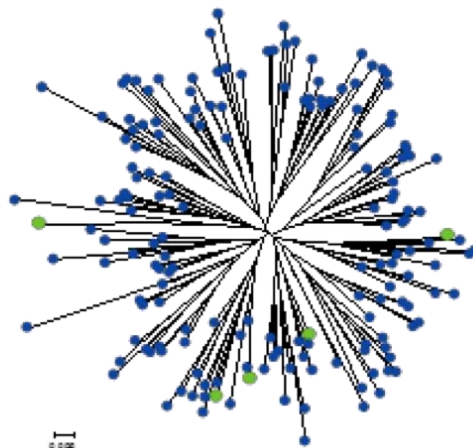


図9. PHYLIPによる全集団の個体関係をプロットした樹形図(始祖5個体および全体集団)

### 3) MHC領域のゲノム構造の解明、多型情報の収集および遺伝的多様性の評価

トキMHCクラスII領域の解析では、MHC IIA/IIB遺伝子ペア数が異なる3つのMHCクラスIIハプロタイプのゲノム構造(COL11A2-1~3コピーのMHC IIA/IIBペア-BRD2)を決定した。始祖5個体を対象として、PCR-RFLP法とサザンブロット法によりMHCクラスII領域の多様性を解析した結果、3種類のハプロタイプのみが検出され、日本トキ集団のMHCクラスII領域の多様性が極めて低いことが示された。

コウノトリMHC領域については、クラスII領域とクラスI領域を含む約160kbのコンティグが作製された。各クローンの一部の塩基配列を決定し、ホモロジー検索によるアノテーションを実施して、コウノトリMHC領域のおおよそのゲノム構造(COL11A2-2コピーのMHC IIA/IIBペア-BRD2-DMA-DMB1-DMB2-MHC I-TAP1-TAP2-2コピーのMHC I-TNXB)を明らかにした。MHCクラスII領域の多様性の解析では、始祖6個体から9種類のMHCクラスIIハプロタイプが検出され、トキ集団に比べコウノトリ集団の遺伝的多様性が高いことが示された。

### 4) DRD4のゲノム構造の解明、多型情報の収集、遺伝的多様性の評価

トキDRD4の5'フランキング領域の1228bp、エクソン1の1652bp、イントロン1の12118bp、エクソン2の113bp、イントロン2の365bp、エクソン3の548bp、イントロン3の734bpおよびエクソン4の278bpの配列を決定した。この配列は385アミノ酸をコードする1155bpの翻訳領域を含んでいた。相同性解析の結果、プロモーター領域、エクソン領域、イントロン領域の全ての領域においてニワトリ・トキ・シジウカラの3種間で保存されている配列が存在した。佐渡島トキ集団の始祖5個体におけるDRD4保存配列領域の多型検出を行ったところ、7か所の一塩基多型と2か所の縦列反復配列数多型が検出された。さらに、検出された多型に基づいて、始祖5個体におけるDRD4のハプロタイプの決定を行ったところ、4種類のハプロタイプ(I~IV)が決定された。決定したDRD4のハプロタイプと生活史形質である生存率、行動特性である移動分散行動、採餌行動との関連性について解析したところ、DRD4遺伝子のハプロタイプIVが短距離分散行動、低採餌行動および低生存率と関連する傾向がみられた。これらの結果から、DRD4遺伝子は、移動分散行動、採餌行動を介して、生存率に影響すると考えられた。本研究の成果は、野生下再導入による日本産トキの保全に貢献すると考えられる。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

いったん絶滅した希少種の再導入を行うためには、飼育下繁殖による放鳥個体の確保が必要であるが、飼育下での行動の発達や遺伝子プロファイルが再導入後の個体の適応度にどのような影響を与えているかを解明することで、遺伝と学習が鳥類の繁殖行動にそれぞれ、どのような効果をもつかを明らかにできる。このようなアプローチは、動物(特に、鳥類)の適応度コンポーネントに環境・遺伝の要因がどのように寄与するかを明らかにし、野生動物の行動遺伝学の発展に大きく寄与すると考えられる。エンゼルウィングやチアミン欠乏症の発症履歴や育雛形態などのトキの飼育履歴が、放鳥後の生存率に大きく影響することを証明し、飼育下の環境要因が適応度に影響を与えることを示した。また、個性の候補遺伝子であるDRD4遺伝子が、実際に放鳥後のトキの行動や生存率と直結していることを示した。海外では、DRD4多型形質と行動の関連性の研究が始まっているが、国内の野生生物でのDRD4と適応度の関連性を明らかにした研究例はない。

トキの保全および野生復帰事業においては、集団の遺伝的多様性の維持は重要な課題であり、その実現のためには飼育下や放鳥個体のみならず野外で誕生した個体に対してもDNA多型マーカーを利用した遺伝的管理を実施することが望ましい。本研究でえられた解析手法やデータは、トキ集団の遺伝的管理を実施するための基礎を成すものであり、今後の交配計画の策定や放鳥個体の選抜に対しても有用な情報となると期待される。

また、トキと同様に日本国内において保全および野生復帰事業が進められているコウノトリのMHCクラスII領域のゲノム構造は、トキのものとはほぼ一致しており、ニワトリを含むキジ目のものとは大きく異なっていた。これらのデータは、鳥類のMHC領域の進化の研究に対しても重要な情報になると期待される。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

- 1) トキでは自然育雛個体の番形形成確率が高いことから、既に、環境省トキ飼育繁殖小委員会では、飼育下繁殖からの放鳥候補にはなるべく親鳥(里親)が育てた自然育雛個体を供するという方針となっている。今回、自然育雛個体が放鳥後の適応度に与える影響が予想していた以上に大きいことが明らかになったので、今後は、この方針を徹底することが見込まれる
- 2) 野外で標識する幼鳥から羽毛を2-3枚抜くことで、遺伝的多様性の解析に十分なDNAが採取できることが確認されたことにより、既に、放鳥トキのヒナ捕獲時に性別・遺伝子情報を得るためのDNA試料採取に用いられている。

- 3) 環境省の野生生物保護対策検討会トキ保護増殖分科会の野生復帰技術と分散飼育ワーキンググループ、およびシマフクロウ保護増殖事業ワーキンググループの委員会では、先行するコウノトリの再導入の進め方や解析結果を参考に計画の立案がなされている。
- 4) 国土交通省と兵庫県による円山川水系自然再生計画の検討と推進において、事業に対する評価のひとつとしてコウノトリの行動・生態情報が使われている。
- 5) 環境省ヤンバルクイナ保護増殖事業で、小型発信機の装着方法はすでに野生復帰個体の追跡に用いられている。

### ＜行政が活用することが見込まれる成果＞

- 1) これまで、トキ野生復帰事業では3歳以上の個体やエンゼルウィング・チアミン欠乏症の発症履歴のある個体も放鳥候補としていた。しかし、今後は、トキの再導入成功率を高めるために、2歳以下の病歴のない自然育雛個体のみを放鳥するのが望ましい。また、DRD4多型ハプロタイプIVが放鳥後の生存率を低くすることが判明した。このため、将来的にはDRD4多型情報に基づきハプロタイプIVをホモ接合で持たない個体を放鳥することが望ましい。トキの野生復帰事業において放鳥個体選択の新たな指針作成のための基礎資料となる。
- 2) 日本のトキの飼育個体群の遺伝的多様性は、中国個体群の6割強程度しかないことが確認できた。この研究成果に基づいて、分子マーカーを利用した継続的な遺伝的多様性評価を行っていくことで、繁殖能力や生存能力の低下阻止につながる近親交配の回避および遺伝的多様性の最大限の維持と拡大を目指した遺伝的管理を行うことが可能となる。
- 3) 環境省の種の保存法で国内希少野生動植物種に指定されている絶滅危惧種の保護増殖計画や野生復帰計画において、最も困難な課題は人との共生による保全である。コウノトリやトキの再導入計画は、持続可能な開発の基での絶滅危惧種の保全を目指した取り組みであることから、今回、得られたデータや解析結果、および管理の方法は、その参考になると見込まれる。
- 4) 環境省ヤンバルクイナ保護増殖事業で、今後、野生復帰個体の選択に、若齢、自然ふ化、自然育雛個体等を用いる手法、野生順化訓練の実施の参考になる。
- 5) 希少鳥類の再導入事例の比較研究より作成した、希少鳥類の再導入実施方法のフロー図は希少種の再導入施策を立案するための参考資料となる。希少種の再導入事例の比較からいえることは、再導入は、絶滅危惧種に至った減少要因を取り除いてから実施しないと成功しない。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

#### ＜査読付き論文＞

- 1) Y. TANIGUCHI, H. MATSUDA, T. YAMADA, T. SUGIYAMA, K. HOMMA, Y. KANEKO, S. YAMAGISHI and H. IWASAKI: PLoS One, 8, e72781 (2013), "Genome-wide SNP and STR discovery in the Japanese crested ibis and genetic diversity among founders of the Japanese population."
- 2) K. URANO, K. TSUBONO, Y. TANIGUCHI, H. MATSUDA, T. YAMADA, T. SUGIYAMA, K. HOMMA, Y. KANEKO, S. YAMAGISHI and H. IWASAKI: Zoolog. Sci, 30, 432-438 (2013), "Genetic diversity and structure in the Sado captive population of the Japanese crested ibis."
- 3) K. KANEKO, E. UEMATSU, Y. TAKAHASHI, B. TONG, S. TAKINO, Y. WAJIKI, T. KIMURA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. IWASAKI, T. SUGIYAMA, T. YAMADA and S. YAMAGISHI: Reprod. Domest. Anim, 48, 1001-1005 (2013), "Semen collection and polymerase chain reaction-based sex determination of black-headed and straw-necked ibis."
- 4) K. TSUBONO, Y. TANIGUCHI, H. MATSUDA, T. YAMADA, T. SUGIYAMA, K. HOMMA, Y. KANEKO, S. YAMAGISHI and H. IWASAKI: Anim. Sci. J, 85, 356-364 (2014), "Identification of novel genetic markers and evaluation of genetic structure in a population of Japanese crested ibis."
- 5) Y. WAJIKI, Y. KANEKO, T. SUGIYAMA, T. YAMADA and H. IWASAKI: Jpn. J. Zoo Wildl. Med, 19, 57-67 (2014), "Demographic Analyses in the Japanese Captive Population of Japanese Crested Ibis (Nipponia nippon)."
- 6) Y. TANIGUCHI, K. MATSUMOTO, H. MATSUDA, T. YAMADA, T. SUGIYAMA, K. HOMMA, Y.



- KANEKO, S. YAMAGISHI, and H. IWASAKI: PLoS One, 9, e108506 (2014), "Structure and polymorphism of the MHC class II region in the Japanese crested ibis (*Nipponia nippon*)."
- 7) Y. KOMATSU, M. YAMASHITA, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA, and H. IWASAKI: J. Anim. Genet, 42, 3-9 (2014), "The nucleotide sequences for the dopamine receptor D4 gene in the Japanese crested ibis."
  - 8) M. YAMASHITA, Y. KOMATSU, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA and H. IWASAKI: J. Anim. Genet, 42, 65-69 (2014), "Polymorphisms of the dopamine receptor D4 gene in the Sado population of the Japanese crested ibis."
  - 9) 越田智恵子, 上野裕介, 中津弘, 永田尚志, 山岸哲: 山階鳥学雑誌 13:1-14(2014), 「放鳥されたトキの造巢・抱卵期における雌雄の繁殖行動」
  - 10) Y. KOMATSU, M. YAMASHITA, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA, and H. IWASAKI: Journal of Animal Genetics, 42, 3-9 (2014), "The nucleotide sequences for the dopamine receptor D4 gene in the Japanese crested ibis"
  - 11) M. YAMASHITA, Y. KOMATSU, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA and H. IWASAKI: Journal of Animal Genetics, 42, 65-69 (2014), "Polymorphisms of the dopamine receptor D4 gene in the Sado population of the Japanese crested ibis"
  - 12) S.Mochizuki, D.Liu, T.Sekijima, J.Lu, C.Wang, K.Ozaki, H.Nagata, T. Murakami, Y.Ueno, and S.Yamagishi: Journal of Nature Conservation, 28, 45-55 (2015), "Detecting the nesting suitability of the re-introduced Crested Ibis *Nipponia nippon* for nature restoration program in Japan"
  - 13) A. NICOLA, C.Y. CHOI, K. OZAKI, C.A. LEPCZYK.: J.Ornithology, Vol.156, Supplement 1:199-207 (2015) "Invasive species and Pacific island bird conservation: A review of recent research featuring case studies on Swinhoe's Storm Petrel and Okinawa and Guam Rail."
  - 14) 大迫義人: 野生復帰, 4, 69-73(2016), 「コウノトリの10羽の集団による長距離移動の例」
  - 15) 田和康太, 佐川志朗, 内藤和明: 野生復帰, 4, 75-86(2016), 「9年間のモニタリングデータに基づく野外コウノトリ *Ciconia boyciana* の食性」
  - 16) Y. WAJIKI, Y. KANEKO, T. SUGIYAMA, T. YAMADA and H. IWASAKI: J. Poult. Sci, 53, 1-7 (2016), "Genetic analyses in the Japanese captive population of Japanese crested ibis (*Nipponia nippon*) using pedigree information."
  - 17) T. YAMADA, H. NAGATA, D. IKENORI, Y. TANIGUCHI, H. MATSUDA, T. OHTA, T. SUGIYAMA, K. HOMMA, Y. KANEKO and H. IWASAKI: Ornithol. Sci, (2016), "Molecular assessment of genetic diversity in the Japanese population of the Japanese crested ibis." (in press)
  - 18) H.NAGATA and S.YAMAGISHI: Ornithological Science, 15, (2016), "Which factors did crested ibis, *Nipponia nippon*, affect post-release settlement in Sado Island, Japan?" (in press)
  - 19) 中津弘, 永田尚志, 山岸哲: 野生復帰, 5, (2016), 「新潟県佐渡島における放鳥トキ *Nipponia nippon* の非繁殖期の行動パターン」(印刷中)

## (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 永田尚志: 日本動物行動学会第32回大会(2013)  
「放鳥方法がトキの定着・分散にどのような影響を及ぼしたか？」
- 2) 内藤和明, 大迫義人: 第61回日本生態学会大会(2014)  
「放鳥コウノトリの採餌行動に及ぼす人為給餌の影響」
- 3) H.Nagata: 26th International Ornithological Congress, Tokyo, Japan, 2014  
"Avian reintroduction into socio-ecological production landscapes: lesson from case studies"
- 4) Y. OHSAKO and N. KIKUCHI: Poster session, International Ornithological Congress, Tokyo (2014)  
"Local exploitation of the Oriental White Stork as a natural resource for coexistence with humans in Japan"
- 5) K.OZAKI & S.MEDINA: 26<sup>th</sup> International Ornithological Congress, Tokyo, Japan, 2014  
"Impact of Invasive Predators on Okinawa and Guam Rails."
- 6) H. IWASAKI, H. MATSUDA, Y. TANIGUCHI, T. YAMADA, T. SUGIYAMA, Y. KANEKO: The 10th

Asia Pacific Poultry Conference (2014)

“Genomic relatedness among founders assessed using putative SNP data in the Japanese population of the Japanese crested ibis”

7) 永田尚志、中津弘、高橋雅雄：第62回日本生態学会大会（2015）

「放鳥トキの繁殖成功に影響を与える要因について」

8) 永田尚志：日本鳥学会2015年度大会（2015）

「再導入されたトキの繁殖成績に影響を与える要因の予備解析」

9) K. NAITO: The 5th NIE Forum: International Symposium on Ecological Research in Consilience, Seocheon (2015)

“Mutli-disciplinary approach to the reintroduction of Oriental White Stork”

10) H.Nagata, H.Nakatsu, N.Yamamura: The 5th International Wildlife Management Congress, Sapporo, (2015).

“Management of Reintroduced Population of Crested Ibis in Sado Island, Japan”

11) 松本啓佑、谷口幸雄、松田洋和、山田宜永、杉山稔恵、本間航介、金子良則、山岸哲、祝前博明：日本畜産学会第119回大会（2015）

「トキMHCクラスI領域のゲノム構造の解析」

12) 永田尚志、山田宜永、中津弘、油田照秋：第63回日本生態学会大会（2016）

「何が放鳥トキの生存に影響をあたえるのか？」

13) 内藤和明：第63回日本生態学会大会（2016）

「コウノトリの持続的な野外個体群の確立に向けた取り組み」

14) 池乗及智、永田尚志、高橋雅雄、杉山稔恵、金子良則、祝前博明、山田宜永：日本畜産学会第121回大会（2016）

「日本産トキ集団におけるDRD4遺伝子と生存率、行動特性との関連解析」

## 7. 研究者略歴

課題代表者：永田 尚志

九州大学理学部卒業、理学博士、国立環境研究所主任研究員、現在、新潟大学・研究推進機構・朱鷺・自然再生学研究センター教授

研究分担者

1) 大迫義人

京都大学理学部卒業、理学博士、福井県自然保護センター企画主査、現在、兵庫県立大学・自然・環境科学研究所、准教授

2) 内藤和明

広島大学総合科学部卒業、博士(学術)、姫路工業大学講師、現在、兵庫県立大学・自然・環境科学研究所、准教授

3) 尾崎清明

東邦大学理学部卒業、理学博士、現在、公益財団法人山階鳥類研究所、副所長、保全研究室長(兼務)

4) 山田 宜永

京都大学農学部卒業、医学博士、徳島大学助手、京都大学農学研究科准教授、現在、新潟大学農学部、教授

5) 杉山 稔恵

新潟大学農学部卒業、博士(学術)、新潟大学農学部助教、現在、新潟大学農学部、准教授

#### 4-1302 再導入による希少鳥類の保全手法の確立に関する研究

##### (1) トキの繁殖成功に影響を与える要因の解明と希少鳥類の再導入手法の確立に関する研究

新潟大学

研究推進機構・朱鷺自然再生学研究センター 永田尚志

##### <研究協力者>

新潟大学・朱鷺自然再生学研究センター 高橋雅雄（平成25～26年）

新潟大学・朱鷺自然再生学研究センター 中津 弘（平成27年）

新潟大学・朱鷺自然再生学研究センター 油田照秋（平成27年）

平成25～27年度累計予算額：39,423千円（うち平成27年度：14,116千円）

予算額は、間接経費を含む。

##### [要旨]

トキの再導入を成功させるには、まず、野外で放鳥個体が生存定着し、生存個体が番いを形成し、繁殖を成功させて子孫を残し自立的な個体群を形成する必要がある。環境省から提供されたトキの飼育下の情報をもとに個体情報データベース、飼育履歴データベースを構築した。また、2010-2015年の野生下の生存・繁殖状況をもとに野外繁殖状況データベース、生存状況データベースを構築した。このデータベースを使って、個体特性・飼育履歴が飼育下の放鳥個体の生存率に与える要因を解析した。発信機の装着個体、エンゼルウィング・チアミン欠乏症の発症履歴は放鳥後の生存率が低いものに対して、自然育雛個体、および、若い個体が放鳥後の生存率が高いことが明らかになった。また、自然育雛個体、および、若い個体は、飼育訓練下でもすぐに新しい餌場を利用し、放鳥後、早い時期に既存の群れに参加でき、放鳥後半年間の生存率が高いことが明らかになった。若い自然育雛個体は新規開拓性が強く順応性も高いため、放鳥後の生存率が高いと考えられた。野外・飼育下とも初卵日が早いほど、繁殖成功率が高く、飼育下では巣立ち雛数も多くなっていた。また、雌親が自然育雛の番いでは、人工育雛の番いより繁殖成功率が高まる傾向が見られた。このため、トキの再導入成功率を高めるには、チアミン欠乏症・エンゼルウィングの発症履歴のある個体、3歳以上の個体、人工育雛個体の放鳥を止めて、2歳以下の自然育雛個体を放鳥するのが望ましいといえる。また、グアム、ニュージーランド、モーリシャスで希少鳥類の再導入事例を調査し比較することで、希少鳥類の再導入実施方法の手順をフロー図に整理した。希少種の再導入事例の比較からいえることは、絶滅危惧種に至った減少要因を取り除いてから実施しないと再導入の成功は見込めない。また、フロー図は希少種の再導入の参考にできるが、対象種の生態情報をもとにした調整が必要になる。

##### [キーワード]

絶滅危惧種、再導入、生存率、飼育履歴、個性

## 1. はじめに

2010年、名古屋で開催された生物多様性条約締結国会議（COP10）で合意された愛知目標では、絶滅危惧種の絶滅や減少を防ぐことが5つの戦略目標のひとつとされている。野外でいったん絶滅した場所に個体を放して野生生物を復活させることを再導入とよんでいる。生物多様性を回復させるために、世界中で最近20年間に約500種の動物で再導入が実施されているが、再導入の成功率は飼育繁殖個体では15%と低く<sup>1)</sup>、試行錯誤に頼っているのが現状で、技術として確立されているとはいえない。日本国内でも、種の保存法で国内希少野生動植物種に指定された82種のうち15種の鳥類で保護増殖事業計画が策定されている。希少鳥類の飼育個体群を適切に管理し確実な再導入技術を確認することは、劣化した生物多様性を回復し保全する重要な手法のひとつと考えられ、愛知目標を達成する我が国の主要行動目標の一つとして、希少種の生息域外保全と野生復帰の推進が掲げられている<sup>2)</sup>。

## 2. 研究開発目的

2005年に兵庫県豊岡市でコウノトリが、2008年には新潟県佐渡島においてトキの再導入が開始され、2010年にはヤンバルクイナの再導入のための飼育繁殖施設が建設された。コウノトリは野外での近親交配の問題が顕在化し、トキは野外での繁殖成功率が低く放鳥によって個体群がころうじて維持されている状況にある。そこで、再導入の途上にあるヤンバルクイナ、トキ、コウノトリを対象として、飼育下の個体の履歴、行動・生理状況、遺伝子プロファイルが、放鳥後の個体の定着および繁殖成功にどのように影響を与えているかを明らかにすることで、対象種の再導入を成功に導く最善の手法を提案することを目的としている。さらに、世界中で行われている希少鳥類の再導入事例の比較研究により希少鳥類の再導入の成功率を高める手法の一般性を抽出することで、希少鳥類の再導入の成功確率を高める飼育個体群の管理手法を確認することを目的としている。

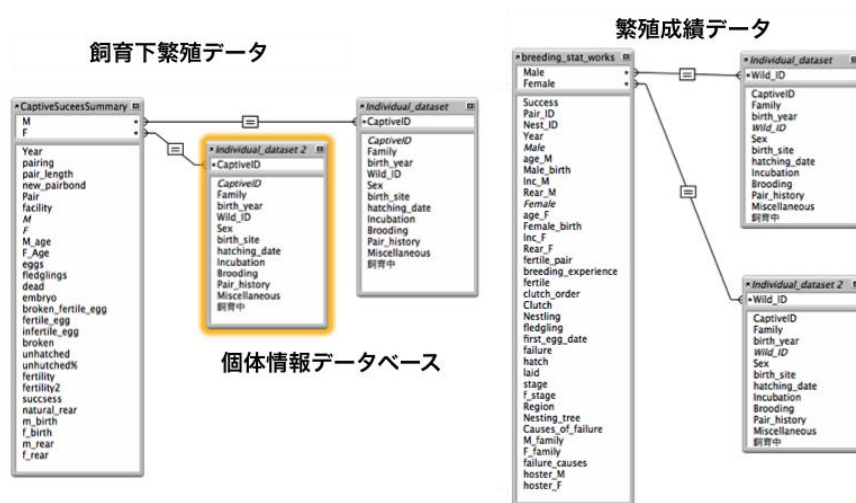
個体が持つ行動様式や性質が、生存や繁殖成功などの個体差は、飼育下繁殖における育ち方の違いや、個体が有する遺伝子型の差異によって個体差が生じ、再導入の成功に大きく影響すると考えられる。本サブテーマでは、トキにおいて、既放鳥個体の飼育下の情報（飼育履歴）、および、放鳥後の生存日数、繁殖状況のデータベースを構築した。また、新規放鳥個体の放鳥訓練中の行動、放鳥直後の行動を定量的に評価し、これらの個体差の検出を試み、個体差が再導入の成功に与える影響を解明した。また、飼育下および放鳥個体群の個体差を生み出す遺伝的変異を解析するために、放鳥直後の行動を定量化し、中立なマイクロサテライトDNA多型多型のプロファイルとの関連を解析し、適応性形質であるDRD4遺伝子に関わる行動・生態的形質を整理した。

## 3. 研究開発方法

### 1) トキの再導入成功に影響を与える要因解析

トキの飼育増殖を行っているトキ保護センターでは、飼育管理カード、個体管理カード、繁殖ペアモニタリング記録、自然孵化・育雛記録、孵卵記録・人工育雛記録、飼育日誌など様々な種類の記録がとられている。このうち、個体管理カード、繁殖状況概要は電子データであるが、その他の大部分の情報は紙ベースで蓄積されている。放鳥トキについての情報について、環境省佐渡自然保護官事務所を通して入手し、トキの再導入個体の飼育情報を個体情報データベース、飼

育履歴データベースを、トキ保護増殖事業報告書（2004-2015年）をもとに飼育繁殖データベースを構築した。また、2010-2015年の繁殖状況をもとに放鳥個体の繁殖成績データベースとサブテーマ4から提供されたマイクロサテライト多型情報をもとに遺伝子データベースを構築した。発信機の有無、放鳥年齢、性別、体重、跗蹠長、嘴峰長などの個体情報のほか、育雛形態、孵化形態、一腹雛数、クラッチ順、クラッチ内孵化順、エンゼルウィングとチアミン欠乏症の発症履歴、傷病履歴、捕獲回数などの飼育履歴情報をデータベース化した。野外の繁殖成績情報としては、巣ごとに、雌雄の情報、クラッチ順、初卵日、巣位置、一腹卵数、一腹雛数、失敗日、受精卵の有無、失敗要因等をデータベースに組み込んだ。各データベースは、Filemaker Pro™を用いてリレーショナル構造で結びつけることで、放鳥したトキの飼育履歴と野外での生存率、繁殖成績を結びつけることができる（図(1)-1）。



図(1)-1 データベース間のリレーショナル構造例

トキの再導入の成功には、まず、放鳥個体の生存し、次に、生存個体が繁殖に成功することが重要である。そこで、構築したデータベースを用いて、最初に、放鳥トキの飼育履歴、家系や遺伝特性が野外での生存率に与える要因を統計モデルで解析し、次に、繁殖成績に与える要因を統計モデルで解析した。個体の飼育履歴では、親鳥が抱卵して孵化させた個体を「自然孵化」、同様に親鳥（または、里親）が巣立ちまで育て上げた個体を「自然育雛」とした。逆に、孵卵器で孵化させた個体を「人工孵化」個体、飼育員が育て上げた個体を「人工育雛」個体とした。育雛途中で保護された個体の場合、巣立ち時に親鳥（里親も含む）が育てていたか、人の手で育てていたかで人工育雛か自然育雛かを判別した。

## 2) 放鳥訓練中の行動特性の解析

放鳥訓練中の個体の行動特性を評価するために、3ヶ月の訓練期間（10～13回放鳥、表(1)-1）に、赤外線センサー付の自動撮影装置（センサーカメラ）（SG560P-8M）計8台を順化ケージ内に設置して、本研究期間に実施された第9回～第13回放鳥個体の3ヶ月の訓練期間中の採餌行動を記録した。順化ケージに配置された計9つの池のうち放鳥口から近いG池及びA池にセンサーカメラを設置した（図(1)-2）。

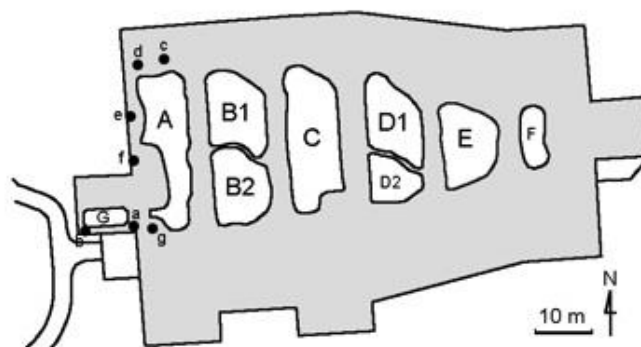
9つの池のうちA、B1/B2、Cの各池には、餌のドジョウが訓練初期から投入されるのに対して、



放鳥口に近いG池には放鳥直前になるまでドジョウは投入されない。また、飼育員は順化訓練中期までC池よりも奥へ立ち入らないため、訓練中のトキは、主に、放鳥口から離れた順化ケージの上部で生活している。このため、早い時期から放鳥口に最も近く訓練初期に餌が無いG池やA池を頻りに利用する個体ほど新規開拓性（好奇心）が高いと仮定した。そこで、採餌のためG池を訪問するまでの訓練開始からの日数、順番、及び、利用頻度（確認回数）、また、次に放鳥口に近いA池についても訪問するまでの日数及び利用頻度を撮影動画から解析した。訓練開始日以降、全ての個体が、G池とA池を少なくとも1回、訪問するまでの期間のセンサーカメラの映像データを解析した。

表(1)-1 第9回～第13回放鳥の実施時期、個体組成、および調査項目

放鳥回	順化訓練	放鳥日	羽数	オス数	メス数	順化ケージ	採餌行動	警戒行動
						内カメラ	観察	観察
9	2013/6/25～9/26	2013/9/27～29	17	3	14	—	実施	—
10	2014/3/7～6/5	2014/6/6	17	11	6	有	実施	—
11	2014/6/24～9/25	2014/9/26～28	18	4	14	有	実施	—
12	2015/3/5～6/4	2015/6/5	19	15	4	有	実施	実施
13	2015/6/25～9/24	2015/9/25	19	2	17	有	実施	実施



図(1)-2 順化ケージ内の池（A～F）とセンサーカメラ（a～g）の配置

### 3) 放鳥直後の行動特性の解析

第9回～第13回に放鳥された90個体を対象として、放鳥後の採餌行動を記録した。放鳥回ごとに放鳥後の調査実施期間は異なるが、原則として夏放鳥（第10、12回）では放鳥後2ヶ月間（6月初旬～8月初旬）、秋放鳥（第9、11、13回）では放鳥後3ヶ月間（9月末～12月末）、採餌行動を記録した。また、第12、13回放鳥では、各個体の採餌行動に加えて警戒行動も記録した。毎朝、埒から飛び立つ個体を追跡し、また、見失った時は生息域内を広範囲に探索することで、採餌場所を特定し、10倍程度の双眼鏡または20-60倍の望遠鏡を用いて発見した個体を識別し、1回の観察では3分間の採餌・警戒行動を記録した。各観察において、観察時刻・個体番号・群れサイズ・採餌環境、採餌内容（種類及びサイズ）別の採餌回数（餌飲み込み回数）を記録し、採餌場所を1/5000の地図上に記した。実際には、イベントレコーダーソフト（ODLog™, Macropod Software）を用いて、採餌、警戒、歩行、休息、飛翔の5つの行動の回数と持続時間を記録した。これらのデータから、各個体の警戒頻度や採餌効率などを算出した。

環境省、市民ボランティア、および新潟大学で構成されるトキモニタリングチームによって第9回～13回放鳥個体の放鳥後の観察位置情報が蓄積している。この情報を用いて、放鳥後100日間の位置情報、観察状況を整理して、放鳥場所からの分散行動と群れへの合流状況を調べた。放鳥場所からの直線距離、地理的要因、および野外に生息する既存群の分布を考慮して、分散行動を4つのカテゴリーに分類した。全ての放鳥個体について、放鳥日から1ヶ月間の情報を確認し、群れへの合流が確認されない個体では最大2ヶ月間の記録を確認し、既放鳥個体との合流日を特定した。なお、放鳥から2ヶ月を過ぎても群れに合流しない個体も存在した。また、放鳥後の行動特性に関する情報はサブテーマ4に提供し、DRD4遺伝子多型情報との関連性についてはサブテーマ4で解析した。

#### 4) 希少鳥類の再導入事例の比較調査

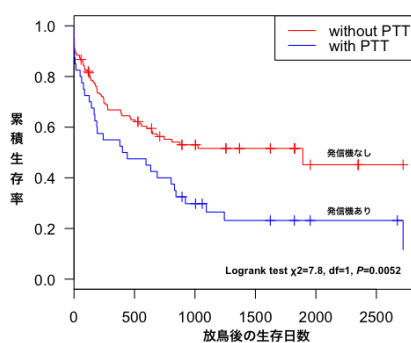
希少鳥類は、国際自然保護連合（IUCN）のレッドリスト2015絶滅危惧カテゴリー<sup>3)</sup>に基づき、野外絶滅（EW）、危機的絶滅寸前種（CR）、絶滅寸前種（EN）、危急種（VU）、準絶滅危惧種（NT）に分類した。本報告書で使う用語は、再導入ガイドライン<sup>4)</sup>に準拠し、現在絶滅している過去の分布域に当該種個体群を確立しようとする企てを「再導入」といい、人為的に個体や個体群を移動させることを「移植」、現存する個体群に個体を追加することを「強化（補強）」、保全目的で過去の分布域外に個体群を確立することを「保全導入」と定義する。今後は、地球規模の温暖化により生息地の消失が増加するため、「保全導入」の増加も予測される<sup>5)</sup>。

希少鳥類の再導入が実施されているグアム島、ロタ島、ニュージーランド、モーリシャス島において、希少鳥類の再導入状況を調査した。グアム島とロタ島でグアムクイナとグアムショウビンの飼育下繁殖とグアムクイナの再導入状況を2013年9月27日～10月3日にかけて調査し、2014年11月19日～28日にかけてニュージーランドの再導入事例を、また、2016年1月11日～16日にかけてモーリシャスの再導入事例を調査した。ニュージーランド（NZ）においてクロセイタカシギ、タカヘ、ニュージーランドクイナ、キウイ、スズメ目固有鳥類の再導入事例を北島4箇所、南島2箇所の計6箇所で調査した。複数種の再導入が実施されている2ヶ所の島嶼保護区（Tiritiri Matangi島、Kapiti島）、NZ北島の2ヶ所の保護区（Tawharanui自然保護区、Karori自然保護区）、そして、NZ南島Tweizel近郊のMacKenzie氾濫原にあるクロセイタカシギ飼育繁殖センターとTe Anau近郊にあるタカヘのBurwood飼育場で調査した。モーリシャスでは、複数種の再導入が実施されているIle aux Aigrettes保護区、モモイロバトの再導入が実施されているBlack River Gorges国立公園、モーリシャスショウゲンボウが再導入されているLe Vallée de Ferney保護区で調査を実施した。希少鳥類ごとに、減少要因、最小個体群サイズ、放鳥ソース、再導入実施年、放鳥個体数、放鳥後のモニタリング法を担当者に聞き取り調査した。また、同時に放鳥場所の生態系管理手法についての情報も収集した。さらに、飼育個体群からの再導入が実施されている場合には、増殖方法、近交弱勢の程度、飼育時の問題点、飼育個体と野生個体の繁殖・行動等の差異についても聞き取り調査を実施した。これらに文献情報を加えて、トキやコウノトリとの相違点について比較を行った。

## 4. 結果及び考察

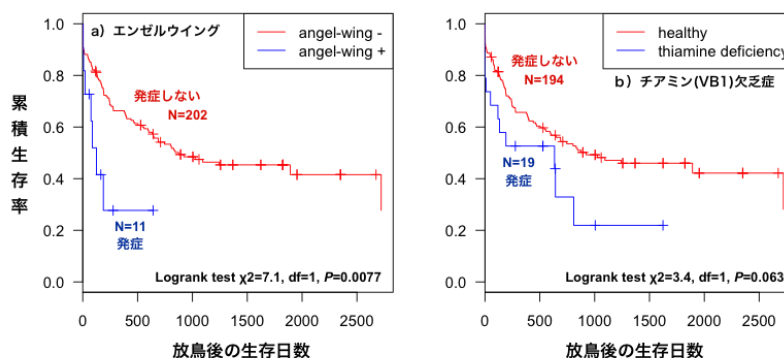
### 1) トキの再導入成功に影響を与える要因解析

再導入の成功には、まず、放鳥個体が生存し、生存個体が番い形成をして繁殖成功して子孫を残し自立的な個体群を形成する必要がある。まず、これまで放鳥した215個体を対象として、どのような飼育履歴、個体特性をもつ個体が生存できたかの生存時間解析を実施した。まず、生存時間に影響を与える従属変数として、発信機の有無、放鳥年齢、性別のほか、飼育履歴から、育雛形態、孵化形態、一腹雛数、クラッチ順、クラッチ内孵化順、飼育時の捕獲回数、傷病治療歴の有無、エンゼルウィング発症歴、チアミン欠乏症の発症歴を検討した。これらの変数が生存率に与える効果をKaplan-Meierモデルでみていくことにする。最初に、GLMによる予備解析で生存率に最も有意な影響を与えていた、発信機の効果の生存時間を解析した。これまで、放鳥から1年目、および、2-3年目で発信機の有無で生存率に有意差がなかったため、発信機が生存に影響を与えていないと考えられていた (Fisher正確確率検定：放鳥後1年間、 $P=0.36$ 、2-3年の1年間、 $P=0.36$ )。



図(1)-3 発信機装着が生存に及ぼす影響

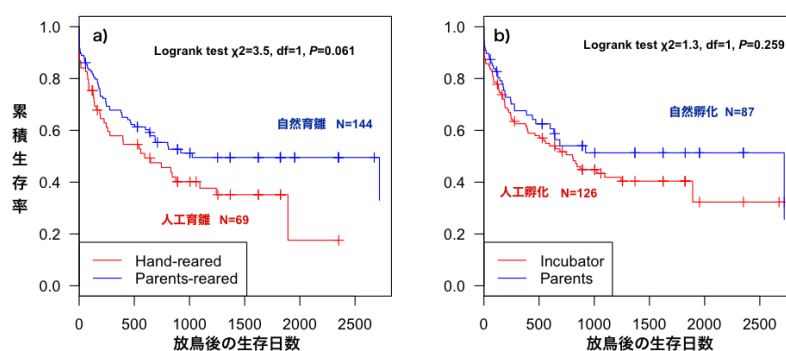
しかし、生存時間解析の結果、放鳥から時間が経つにつれて差が開いてきて生存時間の差が有意になっていた (図(1)-3; Logrank test,  $P=0.005$ )。2012年1月に一つの場で2羽がオオタカに襲われて負傷し、2週間以内に1羽が行方不明になっている。実際、死亡した発信機装着個体の半数(33羽中17羽)は冬期の11月から2月にかけて死亡、あるいは、行方不明になっている。また、野外では猛禽類に襲われたと考えられる発信機のない負傷個体も確認されている。発信機装着個体は発信機をバンドで背負っているため、猛禽類に襲われた時に趾がかかりやすく大型猛禽類が多く越冬している年には捕食される危険が高くなるのかもしれない。



図(1)-4 エンゼルウィング、チアミン欠乏症の発症履歴が生存時間に与える効果

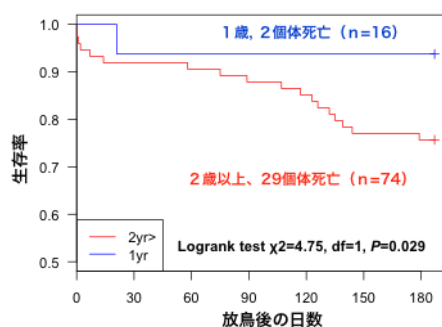
飼育下でエンゼルウィングとチアミン欠乏症の発症履歴がある個体は放鳥後の生存時間が短くなっている（図(1)-4；Logrank test, エンゼルウィング  $P=0.008$ , チアミン欠乏症  $P=0.06$ ）。エンゼルウィングとチアミン欠乏症の両方とも発症した個体は1個体しかいず交互作用はなかったが、飼育下においてエンゼルウィングはタンパク質の摂取が過多でビタミンD・EやMgが不足したときに発症すると考えられているので関連があるのかもしれない。いずれにせよ飼育下でこれらの症例がある個体は放鳥に適さないといえる。

次に、育雛形態、および、孵化形態が放鳥個体の生存にどのような影響をあたえるかを生存時間解析した。その結果、自然育雛個体のほうが人工育雛個体よりも生存率が高い傾向がみられた（図(1)-5a；Logrank test,  $P=0.06$ ）。放鳥後1000日を経過した後では、自然孵化個体のほうが人工孵化個体より生存率が高くみえるが有意差はない。自然孵化個体は親鳥によって育雛されるため、育雛形態の影響が出ていると考えられる。



図(1)-5 (a)育雛形態、および、(b)孵化形態が放鳥後の生存に及ぼす効果

性別、一腹雛数（＝兄妹の数）、放鳥年齢の効果は弱く、Kaplan-Meierモデルにおいて各変量の生存時間に及ぼす効果はいずれも有意ではなかった。しかし、放鳥時の年齢の効果は、0歳、および、5歳以上の個体は各年齢階級で1-4個体しかいないため、効果が検出できない可能性があるため、第9-13回放鳥個体の年齢階級を2歳以上と1歳個体の2つに分類しなおして放鳥後半年間の生存率を比較した。その結果、1歳個体の放鳥後半年間の生存率は、2歳以上の個体より有意に高かった（図(1)-6；放鳥年齢 Logrank test,  $P=0.029$ ）。



図(1)-6 年齢群が放鳥後の生存に及ぼす効果

最後に、これらの生存率に効果のある変量が共変量として生存時間にどのように影響を与えているかを次式のCox比例ハザードモデルで解析した。

$$h(t | \mathbf{x}) = h_0(t) \exp(\beta \mathbf{x}) = h_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^m \beta_i x_i\right)$$

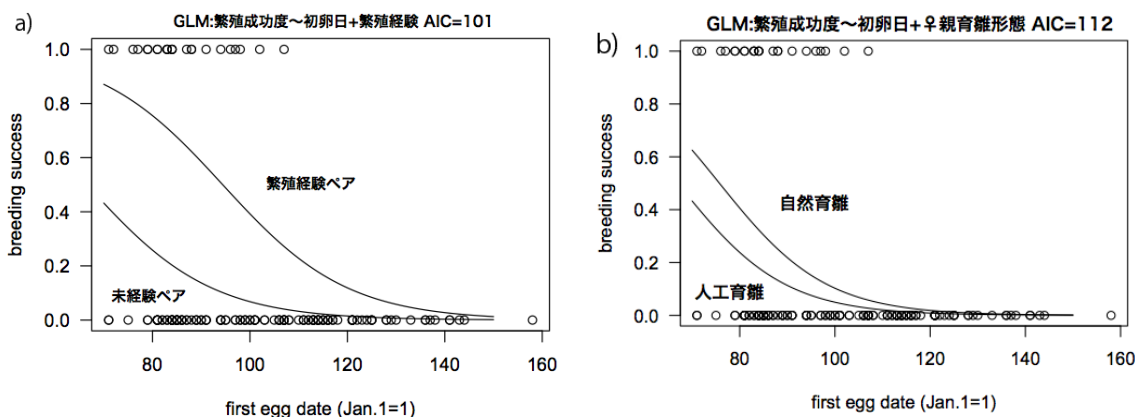
Cox比例ハザードモデルでは、生存時間を目的変数とし、すべての従属変数及びその交互作用を取り込んだモデルから変数減少法で回帰モデル（右端の項）を使ってモデル選択を行い、生存時間に影響を与える従属変数（共変量）を抽出した。放鳥後の生存時間に影響を与えている共変量は、年齢、性別、発信機（PTT）、育雛形態、エンゼルウィング発症歴、チアミン欠乏症発症歴、一腹雛数であった。発信機装着個体、エンゼルウィング発症個体、チアミン欠乏症発症個体、および、放鳥時の年齢が高いほど放鳥後の生存率が低くなり、♂個体、兄妹の多い個体ほど生存率が高くなる傾向があった（表(1)-2）。

表(1)-2 放鳥後の生存時間を説明するCox比例ハザードモデル

従属変数	係数β	SE	Z	P
年齢	0.154	0.086	1.785	0.0743 .
性別♂	-0.419	0.206	-2.032	0.0422 *
PTT	0.769	0.226	3.394	0.0007 ***
自然育雛	-0.47	0.216	-2.172	0.0298 *
エンゼルウィング	0.898	0.410	2.192	0.0284 *
チアミン欠乏症	0.752	0.325	2.312	0.0208 *
一腹雛数	-0.132	0.077	-1.721	0.0853 .

サブテーマ4で解析されたマイクロサテライト17遺伝子座の各アリルと生存率の関係を解析したところ、NnNF5をホモ接合で、PM228、PM220をヘテロ接合で持つ個体の生存率が高くなり、PM117をヘテロで持つ個体の生存率が低下することが示された。マイクロサテライト遺伝子は中立であるので近傍の遺伝子が関連していると思われるが詳細は不明である。DRD4遺伝子型IVをもつ個体は採餌効率が低く、生存率も低い傾向が見られた（図(4)-13）。詳細については、サブテーマ4を参照してほしい（P. 87参照）。

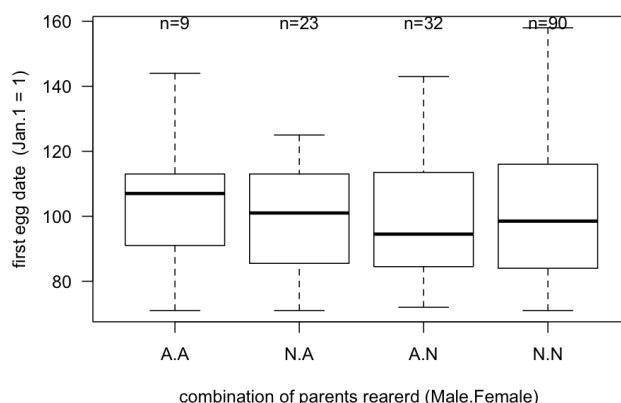
佐渡の放鳥トキでは、これまでに2010年～2015年にかけてのべ169巢の繁殖成績が記録されている。このうち、すくなくとも1羽の雛を巣立たせた繁殖成功巣は14.7%（25巢）しかなく、11羽の雄と16羽の雌が雛を巣立たせているに過ぎない。雌雄の孵化形態、育雛形態、年齢、野外での成功履歴、初卵日などが繁殖成功にどのような影響を与えているかを一般化線形モデルで解析した。その結果、繁殖成功にもっとも大きな影響を与えているのは初卵日と野外での繁殖履歴であり、早く繁殖開始した繁殖成功履歴がある番いほど繁殖成功率が高かった（図(1)-7a）。



図(1)-7 繁殖成功率を説明する一般化線形モデル a)best model, b)雌親の育雛形態の効果  
 繁殖履歴が不明の場合、繁殖成功率は初卵日と雌親の育雛形態で説明され、雌親が自然育雛の



番いが人工育雛の番いより繁殖成功が高まる傾向が見られた（図(1)-7b）。飼育下での繁殖成績についても同様の解析を行ったが、親鳥の飼育下では育雛形態は繁殖成績に影響せず初卵日と番



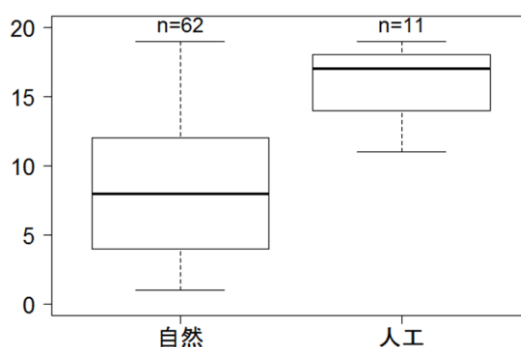
図(1)-8 初卵日と番いペアの育雛形態の組み合わせと初卵日の関係。(A=人工育雛、N=自然育雛)

いの維持期間が巣立ち雛数に影響していた。飼育下では、繁殖ケージ内に他個体や捕食者が存在しないうえ、竹籠などの巣架台も用意されているので学習なしでも繁殖が可能であるが、野外において、繁殖成績が親鳥の育雛形態に影響を受けるのは、造巢行動や捕食者・他個体への対応等を巣内で親鳥の行動から学習する必要があるためと考えられる。自然育雛個体同士の番いの初卵日のばらつきが大きいいため、有意差は認められないが雌が自然育雛個体のペアでは初卵日が早くなる傾向がある（図(1)-8）。極端な例では、ペアの両方とも人工育雛個体の場合、巣が完成できない例もあった。雌は、造巢の際に雄から巣材を受け取り、枝を積み上げていくため、巣内育雛中で親の造巢行動を学習している自然育雛の雌のほうが早く巣を作ることが可能なためかもしれない。

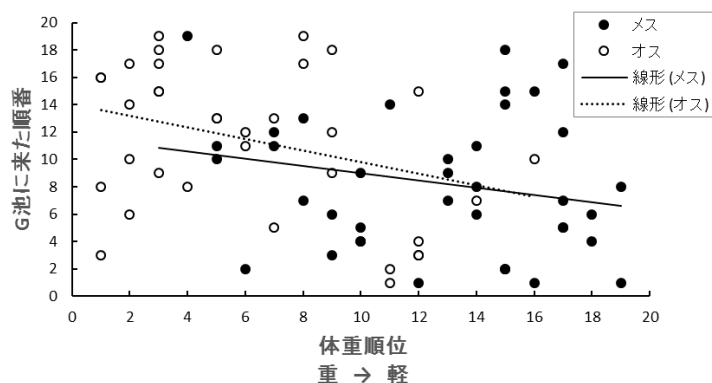
## 2) 放鳥訓練中の行動特性の解析

自動撮影カメラを使って第10回から第13回放鳥の訓練中の順化ケージ内での採餌行動を解析した。放鳥訓練開始後、G池を利用するのに要した日数は平均 $4.7 \pm 8.2$  (SD) 日で、A池はさらに短く平均 $2.8 \pm 1.9$  (SD) 日であった。すべての個体が訓練開始後7日以内にA池を利用していた。訓練個体がA池利用まで要した日数とG池利用までに要した日数の間には正の相関が認められた

( $r_s=0.580$ ,  $p<0.001$ ,  $n=38$ )。そこで、G池を利用する早さに影響をあたえる個体の特性を解析した。放鳥訓練中のG池訪問順番と育雛形態には関連があり、人工育雛個体に比べて自然育雛個体が有意に早くG池に来ていた（図(1)-9、GLMM:  $p<0.001$ 、ランダム効果=放鳥回）。

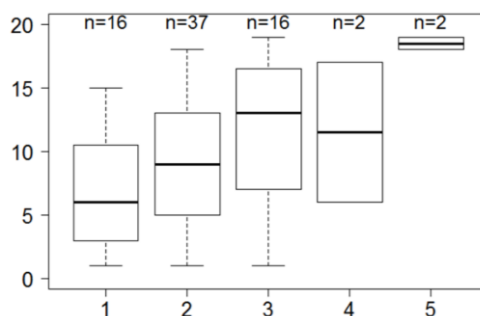


図(1)-9 育雛形態とG池に来た順番（縦軸）の関係



図(1)-10 体重とG池に来た順番（縦軸）の関係

成鳥雌は繁殖期直前に捕獲すると体調を崩しやすいので、毎年3月に順化訓練が開始する夏放鳥では成鳥雌を処理できない。そのため、訓練個体の性比は夏放鳥（10、12回）ではオスに、秋放鳥（11、13回）ではメスに偏っている（表(1)-1）。トキは体サイズに雌雄差があり、オスの体重は雌より約15%重いため、体の大きいオスが餌場やとまり木での争いでメスよりも優位になる傾向がある。第10～13回の放鳥回をまとめて体重の効果をみるために、各放鳥回でG池訪問順、体重順位を決定し、体重の順位と訪問順の相関関係を解析した。また、雌雄どちらも体重順位が低い個体がG池を利用する順番には負の相関関係がみられ、相対的に体重の軽い個体ほどG池利用が早いという傾向が見られた（図(1)-10）。



図(1)-11 放鳥個体の年齢とG池に来た順番

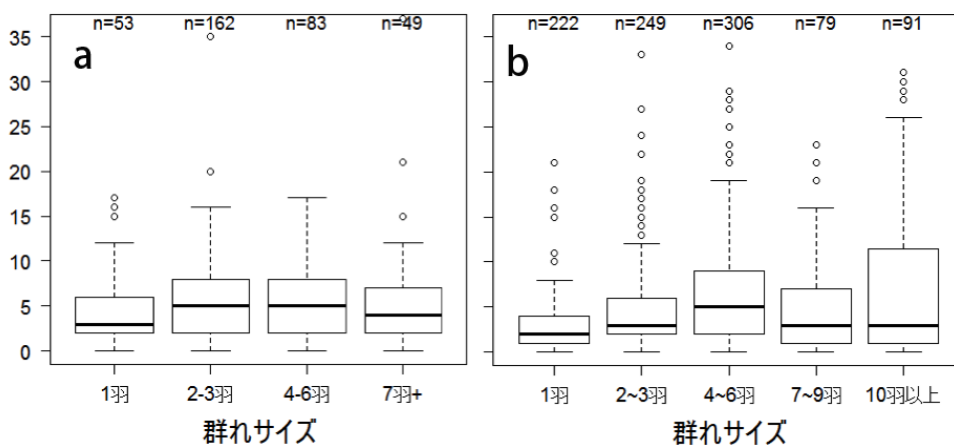
次に、各個体の訓練開始時の年齢とG池に来た順番との関係を調べた。年齢が若い個体ほどG池の訪問が早いという有意な傾向が認められた（図(1)-11、GLMM:  $p < 0.05$ 、ランダム効果＝放鳥回）。特にメスでその傾向が強く、訓練時に3歳以上の多くの個体がG池に飛来したのは訓練の後半になってからであった。多くの生物で若い個体ほど新規開拓性（exploratory behavior）が高いと報告されている<sup>10</sup>。当初、G池に早く来る個体の個性は新規開拓性の強い個体と考えていたが、訓練中で体重の相対的に軽い個体や若い個体が早く利用していたことから、群れの中劣位個体が餌場から押し出されて利用している可能性もある。いずれにせよ、餌のないG池を早い時期から利用する個体は、新規開拓性の強く順応性が高い個体と考えられ、人工育雛個体より自然育雛個体のほうが、順応性が高いと考えられる。

### 3) 放鳥直後の行動特性の解析

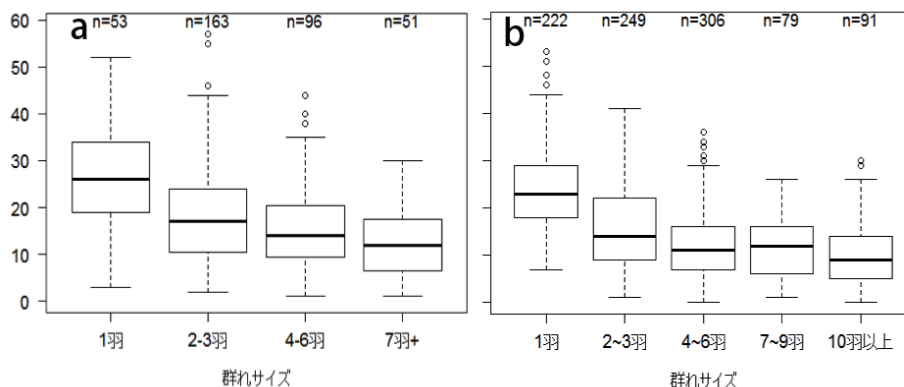
研究期間中の2013年の9月から2015年12月にかけて収集した採餌行動観察データは、第9回放鳥13個体（ $n=730$ ）、第10回放鳥12個体（ $n=168$ ）、第11回放鳥18個体（ $n=929$ ）、第12回放鳥17個体（ $n=353$ ）、

第13回放鳥17個体(n=947)の合計3,427個のデータセットを収集した。また、第12、13回放鳥に関しては、同時に警戒行動観察データも収集した。個体間のサンプル数の偏りを減らすため、出来る限り多くの個体を複数の日に複数回観察したが、放鳥後数日しか確認されなかった個体や群れに合流するまでに時間を要した個体もいたため、観察回数は個体によって大きく異なっていた。

放鳥直後に観察された餌内容は、主にドジョウ、ミミズ類、昆虫類、カエル類、アメリカザリガニなどであった。中でもドジョウは全体の16.5%以上と確認された餌種の中で最も多かった(解析期間:2013年9月~2014年2月)。しかし、餌種が同定できた採餌イベントは、全体の25%程度にすぎず、正確な内容、摂取量などを野外観察から推定することは非常に難しい。採餌効率は平均 $3.3 \pm 3.7$ 回(範囲:0-34回;最頻値:2回)だった。たとえば、第9回放鳥では放鳥直後は既放鳥個体よりも採餌効率が低い傾向が認められたが、放鳥回間での有意差は認められなかった。新規放鳥個体は放鳥直後には既放鳥個体より採餌効率が悪い傾向があるものの個体ごとのばらつきが大きいため有意差はなく、放鳥後1ヶ月を経過すると差は認められなくなる。また、採餌効率(飲み込み回数)は個体によっても異なるが、季節、場所、時間帯、群れサイズ(単独か複数)などにも大きく影響する(図(1)-12)ため、個体間だけでなく、個体内でもばらつきが大きかった。その結果、採餌効率(単位時間の採餌量、または個体の採餌能力)を正確に評価するには、これらの要因やサンプル数の違いを考慮したうえで再検討する必要がある。



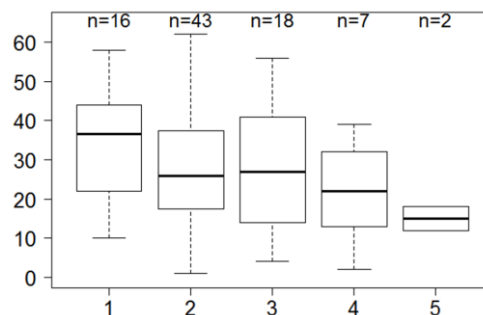
図(1)-12 群れサイズと飲み込み回数(/3分間)の関係。(a)第12回放鳥、(b)第13回放鳥



図(1)-13 群れサイズと警戒回数(/3分間)の関係。(a)第12回放鳥、(b)第13回放鳥

単位時間における警戒頻度や警戒行動が占める割合も、採餌行動同様、季節、場所、時間帯、群れサイズなどによって異なっていた。しかし、警戒行動は採餌効率に比べ個体の性格や置かれている状況を反映しやすいと考えられた。特に、群れサイズは警戒行動に強く影響した。12回、13回放鳥ともに警戒回数と群れサイズには負の関係が見られ、群れサイズが小さいほど1羽が警戒行動を示す頻度が多くなった（図(1)-13）。これは、一般的に考えられている群れ行動の機能の一つである捕食者などの危険を発見する効率が群れサイズが大きくなると向上することが理由と考えられる。警戒行動を減らすことができれば、その時間を採餌や繁殖行動に費やせるなど個体にとって利点は大きいと考えられる。放鳥直後は多くの個体が単独または新規放鳥同士の少数の群れで行動し、その後既存の群れに合流していたことから、放鳥個体にとってすばやく既存個体の群れに合流し群れ行動をすることが生存には重要となることが示唆された。

放鳥後の既存群への合流にも個体によって大きな差が観察された。第9-13回放鳥個体90羽のうち、40羽（44.4%）は放鳥後1週目で既存群れに合流し、19羽（21.1%）は2週目で合流した。したがって、放鳥後2週目の段階で3分の2（65.6%）が群れに合流するといえる。11回および12回放鳥では、全ての個体で既存個体の群れへの合流が観察されている。最も遅かったのは、2羽が合流した9週目であった。群れに合流した個体は観察されやすいと予想されるため、各個体ごとに放鳥後100日間で観察された日数を解析してみた。年齢と放鳥後100日間に観察された日数の間には負の相関が認められ、若い個体ほど観察日数が多かった（図(1)-14、GLMM:  $p < 0.001$ 、ランダム効果=放鳥回）。さらに、有意な関係は見られなかったが、放鳥時の年齢と既存群れへの合流が確認されるまでにかかった期間も若い個体ほど早いという傾向が見られた。これらの結果は、全体として、若い個体の方が新しい環境に慣れて順応するのが早いということを示唆している。

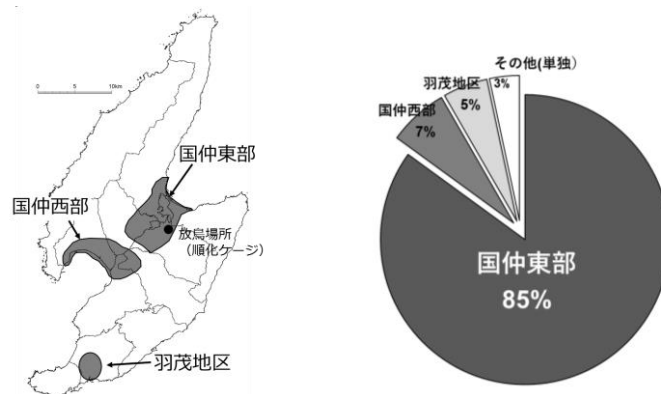


図(1)-14 年齢と放鳥後100日間の観察日数

次に、既存群への合流が一度も観察されなかった個体に注目した。9回放鳥では、1羽が放鳥後短期間を小佐渡東部で過ごした後、新潟市内に出現し、群れに合流することなく死亡が確認された。また、1羽は放鳥直後から全く観察されていなかった。10回放鳥では、1羽が放鳥後短期間で小佐渡丘陵南東側の豊岡方面へ移動したことがGPSで判明しているが、その後、合流が確認されることはなかった。13回放鳥では、トキふれあいプラザに飼育されていた1羽が放鳥後短期間で小佐渡北東部の前浜地域へ移動し単独で生活していた（最終確認は、2016年1月）。また、13回放鳥では、放鳥直後から2羽が一度も観察されていない。

さらに、第9-13回放鳥個体の放鳥後1ヶ月の放鳥地点からの分散状況について整理した。放鳥個体90羽中59羽（65.6%）は、放鳥地点の環境省佐渡トキ保護センター野生復帰ステーションから5km範囲内に留まっていた。他の個体の放鳥地点からの分散状況は、26羽（28.9%）が5km以上10km

未満で、2羽（2.2%）が10km以上20km未満であった。放鳥地点から1ヶ月間で20km以上分散したのは、約25羽の群れが生息する羽茂地区の群れに合流した3羽であった。9-13回放鳥で佐渡島から離れ、本州への飛来が確認されたのは、10回放鳥と13回放鳥の雌1羽ずつであった。そのうち、10回放鳥の1羽はその後佐渡に戻り羽茂地区の群れに合流した。13回放鳥の1個体は本州で確認された後は確認されていない。



図(1)-15 佐渡島の放鳥トキの分散状況 (N=60)

2015年12月時点で生存を確認されている9～13回放鳥個体、計60羽の定着先は、国中東部に51羽（85.0%）、国中西部に4羽（6.7%）、羽茂地区に3羽（5%）がそれぞれの地域で既存群に加入し、2羽は単独で生活していた（図(1)-15）。同じく2015年末時点での定着地域の距離は、放鳥場所から5km以内地域に48羽（80.0%）、5km以上10km未満の地域に8羽（13.3%）、20km以上40km未満が3羽（5.0%、いずれも羽茂地区の個体）、40km以上が1羽であった。第9回から13回で放鳥された全90個体のうち、2016年3月31日現在、野外で生存が確認されている（半年以内に確認されている）のは、9回放鳥6羽、10回放鳥11羽、11回放鳥9羽、12回放鳥17羽、13回放鳥16羽の計59個体である。8個体では死体が回収されている（1羽は傷病個体として収容後、死亡）、他の23個体は行方不明となっている。

繁殖成功に直接影響を与えている要因は特定できなかったが、放鳥個体の生存に育雛形態と放鳥時の年齢が影響を与えていることが明らかになった（図(1)-5a, 6）。育雛形態と年齢は、順化ケージ内での餌の探索行動（G池利用の速さ）や放鳥直後の既存群への合流の速さにも関連していた（図(1)-9, 11）。若い個体が早く既存の群れに合流できることが放鳥直後の生存率を高めていると考えられる。まだ、ベストモデルには選択されなかったが、自然育雛雌の方が繁殖成功を高い傾向が認められた（図(1)-7b）。すなわち、人工育雛でなく親鳥に育てられた個体は、順化ケージや放鳥後の野外で新しい環境に早く順応できるため、生存率が高くなると考えられる。野外で自然育雛個体のほうが早く番いを形成できるため、自然育雛個体を優先して放鳥するという現在の放鳥個体選択の方針は、放鳥後の生存率を高めるという観点からも支持される。また、放鳥時に年齢の若い（性成熟に至っていない）個体ほど環境の順応性が高いという事例は、多くの動物でも確認されている。放鳥されたトキは生後2年目から繁殖を開始するので、繁殖期を迎える前の2歳未満の個体が比較的高い順応性を持っていると予想される。トキの飼育スペースの確保や飼育コストの観点からみても、前年生まれの1歳個体を放鳥することは、トキの再導入の成功率を高める良い戦略と考えられる。第3回（2010年）で放鳥した当歳個体4羽は、雄2羽は放鳥後すぐに本州に渡り、12月～1月に行方不明になった。雌2羽も放鳥直後に、島内で消息が途絶



えて確認されていない。テンの訓練個体殺戮事故のため、第3回放鳥は延期され11月初旬に実施された。野外で降雪まで十分な時間がなかったため、放鳥個体は野外へ順応できず第3回放鳥の生存率が低かったと考えられる。2010年当時、佐渡に生息していた既存個体は15羽と非常に少なく、現在の150羽以上が生息している状況とは大きく異なる。一般的に、若い個体ほど環境への順応性が高いと考えられるため、今後、巣立ち直後の個体の放鳥を再検討しても良いかもしれない。トキの再導入の成功を高めるには、まず、放鳥個体の生存率を上げることが大切である。エンゼルウィングやチアミン欠乏症発症個体、老齢個体は生存率が低いため、病歴のない健康な1~2歳の自然育雛個体のみを放鳥すべきであろう。ハーネスタイプの発信機装着個体もまた生存率を低下させるので、今後、発信機を装着する際には、使用可能期間は1年未満と短くなるものの、ハーネスでなく直接背中に接着するか、尾羽根にマウントするタイプの装着方法に変える必要がある。本研究で対象にした9~13回放鳥の個体の多くは、佐渡島内に生息しているが未だ繁殖に参加できていないため、今後、繁殖・生存状況のモニタリングを継続していくことで繁殖成功要因や生涯繁殖成功率を明らかにすることが必要となる。

4) 希少鳥類の再導入事例の比較研究

グアム島では、ベトナム戦争中に米軍の資材に紛れて東南アジアから侵入した、ミナミオオガシラというヘビが侵入したため、グアム(Guam)島に生息していた森林性鳥類12種のうち10種が絶滅した。1987年に生き残っていた21羽のグアムクイナと29羽のグアムショウビンをすべて捕獲し、現在は飼育下で保護している。グアムクイナは、1989年からロタ(Rota)島で保全導入が、1998年にグアム島の保護区に再導入が実施され、また、2011年からグアム島南端に位置するココ

表(1)-3 希少種の再導入事例の比較(その1)

地域	グアム島				ニュージーランド				
和名	グアムショウビン	グアムクイナ	グアムクイナ	グアムクイナ	コマダラキウィ	タカヘ	タカヘ	クロセイタカシギ	スズメ目鳥類
学名	<i>Todiramphus cinnamominus</i>	<i>Hypotaenidia owstoni</i>	<i>Hypotaenidia owstoni</i>	<i>Hypotaenidia owstoni</i>	<i>Apteryx owenii</i>	<i>Porphyrio hochstetteri</i>	<i>Porphyrio hochstetteri</i>	<i>Himantopus novaezelandiae</i>	複数種(後述)
IUCN絶滅ランク	EW	EW	←	←	NT	EN	←	OR	-
個体数(現在)	124	300	←	←	1500	227	←	130	-
最小個体数	29	21	←	←	5	150	←	23	-
減少要因	侵入捕食者	侵入捕食者	←	←	侵入捕食者	侵入捕食者 シカの環境改変	←	侵入捕食者 近縁種との交雑	侵入捕食者 環境改変
保全策	飼育下繁殖、 捕食者駆除	飼育下繁殖、 捕食者駆除、 再導入	←	←	捕食者根絶、自然 植生回復後、 島嶼保護区へ移植	シカ・オコジョ駆除 飼育下繁殖 島嶼保護区へ移植	←	捕食者の駆除、対捕 食者フェンス設置、卵 の保護・雛の人工飼育	捕食者根絶 自然植生回復 島嶼保護区へ移 植
飼育下繁殖事業 再導入プログラム	実施中	実施中	←	←	×	実施中	←	実施中	-
開始年	計画中	1998-2002	1989-現在	2011-現在	1980s以降	1987-1992	1991-現在	2007-現在	-
個体ソース	飼育個体群	飼育個体群	飼育個体群	飼育個体群	Kapiti島個体群	飼育個体群	飼育個体群	野生個体	Kapiti島個体群
方法	再導入(予定)	再導入	保全導入	保全導入	移植	再導入	補強	採卵・育雛後放鳥	移植
場所	グアム島	グアム島	ロタ島	ココス島 (グアム島属島)	Red Mercury, Hen, Long, Tiritiri Matangi 島	Stuart Mountain, 南島, NZ	Murchison Mountain, 南島, NZ	Lale Tekapo, Mckenzie delta, 南島, NZ	Tiritiri Matangi島, Karori N.R., Maud島, Breaksea島、など
生態系管理	捕食者根絶、防 護フェンスで生息 地隔離	捕食者駆除	ノネコ駆除	捕食者除去	捕食者除去 植生回復	シカ・オコジョ捕殺	←	捕食者駆除 防護フェンス設置	捕食者除去 植生回復
現状	-	失敗	約100羽生存	16羽放鳥、30羽	6個体群、1500個体	微増傾向	増加傾向	微増傾向	複数個体群
問題点	ミナミオオガシラ 根絶が不完全	-	1000羽以上放鳥 するも増加しない ノネコ・ミスオト カゲ等の捕食者	大型台風で冠 水する小島	低い遺伝的多様性 南北NZ本島では捕 食者根絶は不可能	低い定着率 困難なモニタリング	Burwood飼育場 設立(1985)	捕食者根絶が困難 近縁種との交雑進行	本島では侵入捕食 者の根絶困難

ス(Cocos)島で保全導入が実施されている。グアム島内保護区の再導入個体群は4年で絶滅し、これまで1000羽以上を放鳥しているロタ島でも100羽程度が定着しただけである。捕食者を根絶できたココス島での保全導入は成功しているが、何十年かに1回接近する大型台風で洗われてしまう

サンゴ礁の小島であるココス島では長期間にわたって個体群を維持することは困難と考えられている。グアムショウビンは飼育下繁殖技術の確立に時間を要したが、飼育個体数が100羽を超えるまで増加し、ミナミオオガシラを除去した地区に再導入することが計画されている（表(1)-3）。グアムクイナは一腹卵数が大きく年に複数回も繁殖するので、短時間で飼育個体数を増加させ放鳥個体を確保することは容易であるが、一腹卵数が小さく年1回しか繁殖できないグアムショウビンでは放鳥個体を確保するのも難しい。いずれにせよ、侵入捕食者が根絶できない限り再導入の成功は難しい。

ニュージーランド、モーリシャス島のような大洋島には捕食者となる哺乳類が生息していないため、捕食者回避行動が発達していない鳥類が多かった。このため、大航海時代以降に定着したヨーロッパ人によって持ち込まれた動植物や環境改変によって、これまでドードーをはじめとする数多くの島嶼性鳥類が絶滅し、現在でも多くの種が絶滅に瀕している。ニュージーランドに定着したヨーロッパ人によって持ち込まれたオコジョやポッサムは捕食者として、狩猟目的で導入されたシカやヤギは大規模な植生改変者として、故郷を懐かしんでヨーロッパから持ち込まれた鳥類は競争者として、ニュージーランド固有鳥類相に大きな影響を与えた。ニュージーランドでは、Kapiti島（19.7km<sup>2</sup>）やTiritiri Matangi島（2.2km<sup>2</sup>）のように捕食者を根絶しやすい島嶼を自然保護区に設定し、リングテイルポッサムやクマネズミなどの侵入捕食者を島から根絶した後に、固有鳥類を移入し再導入（保全導入）個体群を確立するという手法が取られている。1890年代から1910年代にかけてKapiti島にはブラウンキウィとコマダラキウィが本島から導入されたが、コマダラキウィのみが生き残った。希少スズメ目鳥類の多くは1980年代にKapiti島に導入されたが、ネズミの根絶を実現した1998年以後、個体数が増加した。現在では、Kapiti島に定着したニュージーランド固有鳥が再導入のための個体の供給源となっている。また、近年では、ニュージーランド本島（北島や南島）で捕食者が侵入しないように防護柵で囲い捕食者を除去した保護区を設置し固有鳥類の再導入が実施されている。ウェリントン郊外の貯水池にあるKarori自然保護区（2.25 km<sup>2</sup>）の周囲8.6 kmを1999年に防護フェンスで完全に囲い、保護区内のネズミ、ヤギ、ブタ、ウサギ、ハリネズミ、シカ、ポッサムなどの外来種をすべて駆除し、Zealandia野生動物保護区を設置した<sup>6)</sup>。Tiritiri Matangi島からセアカホオダレムクドリを、Kapiti島からコマダラキウィとその他のスズメ目各種鳥類を一度に40-100羽移植して再導入を実施している。保護区から分散してしまい個体群が確立できなかったニュージーランドヒタキを除き、今のところ定着成功率は高い。タカへはMana島から、カカは動物園の飼育個体を再導入している（表(1)-4）。

表(1)-4 Zealandia（Karori）野生動物保護区への希少鳥類の再導入

種名	学名	IUCNカテゴリー	再導入年	放鳥数	ソース個体群	現状(2014年現在)	モニタリング
コマダラキウィ	<i>Apteryx owenii</i>	NT	2000	40	Kapiti島	定着	
タカヘ	<i>Porphyrio hochstetteri</i>	EN	2011	2	Mana島	囲いの中で放し飼い	○
ニュージーランドクイナ	<i>Gallirallus australis</i>	VU	2000	9	飼育個体群	2010年までに消失	
アオハシインコ	<i>Cyanoramphus novaezelandiae</i>	NT	2010-2011	107	Kapiti島	定着	○
カカ	<i>Nestor meridionalis</i>	EN	2002-2006	14	動物園	300-400羽定着。	○
キタジマコマヒタキ	<i>Petroica longipes</i>	LC	2001	76	Kapiti島	定着	○
モフアムシクイ	<i>Mohoua albicilla</i>	LC	2001	50-100	Kapiti島	定着	×
ニュージーランドヒタキ	<i>Petroica macrocephala</i>	LC	2001	50-100	Kapiti島	失敗:保護区外へ分散	×
シロツノミツスイ	<i>Notiomystis cincta</i>	VU	2005	30	Kapiti島	定着	○
ニュージーランドミツスイ	<i>Anthornis melanura</i>	LC	2001	50-100	Kapiti島	定着	×
セアカホオダレムクドリ	<i>Philesturnus carunculatus</i>	NT	2009	39	Tiritiri Matangi島	定着	×

かつては、ニュージーランド全土に分布していたクロセイタカシギも侵入捕食者により23羽ま

で減少した。1981年より保護プログラムが開始され、侵入捕食者の駆除と飼育下繁殖技術の開発を行ってきた。狭い禽舎で飼育することの難しいセイタカシギは、野外から卵を集めてきて孵卵器で孵化させて、飼育下で2-3ヵ月齢になるまで育てて放鳥することで個体数の回復が行われているが、捕食圧が高いため個体数の回復速度は遅い。最近、オーストラリアから分布を拡大してきたオーストラリアセイタカシギとの交雑による遺伝子侵食も問題となっている。クロセイタカシギでは、日齢の近い雛を10数羽でまとめて一つの部屋で飼育することで「刷り込み」による同種認識の問題を回避していた。

絶滅したと考えられていたタカヘが、1948年に南島のフィヨルド地方Murchison Mountainで再発見されてから保護・研究が開始された。狩猟のため導入されたアカシカが植生を改変し、タカヘにとって好適な生息地が減少してしまったことが、減少の主要因と考えられたため、1960-70年代には徹底的なシカの駆除が実施されている<sup>7)</sup>。Murchison Mountainでタカヘの巣から1卵を採集して補充卵を生ませて、採集した卵を孵卵器で孵化させて若鳥になるまで飼育後、Stuart Mountainで放鳥し新たな個体群を創設する再導入の試みが1981年～1993年にかけて行われたが、放鳥個体の定着率が低くモニタリングが困難なため中止された。Murchinson Mountainでの人工育雛個体の放鳥は1991年より毎年行われている。人工育雛個体と野外生まれ個体の生存率には差はないが人工育雛個体の配偶成功率、繁殖成功率が自然育雛個体より低いことが判明したため、Burwood飼育場では2010年に人工育雛は中止された。現在では、Burwood飼育場に1ペアあたり2ha（100m×200m）のフェンスで囲まれた放飼場を19基と小さい放飼場4基が設置され23番いの繁殖ペアにより、毎年、25-35羽が巣立ち放鳥されている。Mt. Bruceの飼育下繁殖センターで生まれた人工育雛個体は、捕食者のいないMana, Maud, Kapiti, Tiritiri Matangi等の島嶼保護区での放鳥に供されている。

表(1)-5 希少種の再導入事例の比較（その2）

地域	モーリシャス島					日本		
和名	モーリシャスチョウゲンボウ	モモイロバト	モーリシャスインコ	モーリシャスベニノジコ	モーリシャスメジロ	トキ	コウノトリ	ヤンバルクイナ
学名	<i>Falco punctatus</i>	<i>Nesoenas mayeri</i>	<i>Psittacula eques</i>	<i>Foudia rubra</i>	<i>Zosterops chloronothus</i>	<i>Nipponia nippon</i>	<i>Ciconia boyciana</i>	<i>Hypotaenidia okinawae</i>
IUCN絶滅ランク (環境省ランク)	EN	EN	EN	EN	CR	EN(EW)	EN(CR)	EN(CR)
個体数(現在)	250-300	240-260	300-350	240-330	190-296	160	100	1500
最小個体数	4	9~10	8~12	100	200	4	3000(12)	650
減少要因	侵入捕食者 生息環境破壊 ・採卵・雛飼育	侵入捕食者 生息環境破壊 ・飼育下繁殖による再導入	侵入捕食者 生息環境破壊 ・飼育下繁殖による再導入	侵入捕食者 生息環境破壊 ・近縁種除去 ・飼育下繁殖 ・個体群創設	侵入捕食者 生息環境破壊 ・近縁種除去 ・外来植生除去 ・卵・雛保護 ・人工給餌	乱獲 生息地破壊	乱獲 生息地破壊	侵入捕食者
保全策	・採卵防止 ・捕食防止巣箱の設置	・捕食者駆除 ・自然植生回復	・捕食者駆除 ・自然植生回復			・環境保全型農業 ・生息地保護 ・再導入	・環境保全型農業 ・生息地保護 ・再導入	・マングース駆除 ・防護フェンス設置
飼育下繁殖事業 再導入プログラム	人工孵化・育雛	実施	実施	実施	×	実施	実施	実施
実施年	1985-93 2012-現在	1987-現在	1993-2008	2011	2006-2008	2008-現在	2005-現在	計画中
個体ソース 方法	採卵・飼育個体 再導入	飼育個体群 再導入	飼育個体群 再導入	飼育個体群 保全導入	野生個体 保全導入	飼育個体群 再導入	飼育個体群 再導入	飼育個体群 強化
場所	モーリシャス島 2箇所	モーリシャス島 Ile aux Aigretes	モーリシャス島 Black River 国立公園	Ile aux Aigretes	Ile aux Aigretes	佐渡島	豊岡、野田	沖縄本島 (山原地域)
生態系管理	捕食者の除去 捕食防止巣箱 自然植生回復	捕食者の除去 放鳥後給餌 自然植生回復	繁殖個体群創設 自然植生回復	捕食者根絶 自然植生回復	捕食者根絶 自然植生回復	里山環境保全 環境保全型農業	里山環境保全 環境保全型農業	捕食者駆除事業
現状	減少傾向	減少傾向	増加傾向	定常状態	減少傾向	増加傾向	増加傾向	増加傾向
問題点	生息地不足 捕食者駆除	生息地不足 感染症	生息地不足 感染症	近縁種と交雑 雌性比偏り	生息環境劣化 捕食者駆除	繁殖成績低い 放鳥により維持	強い縄張り性 雌性比偏り	ノネコ・ノイヌの増加

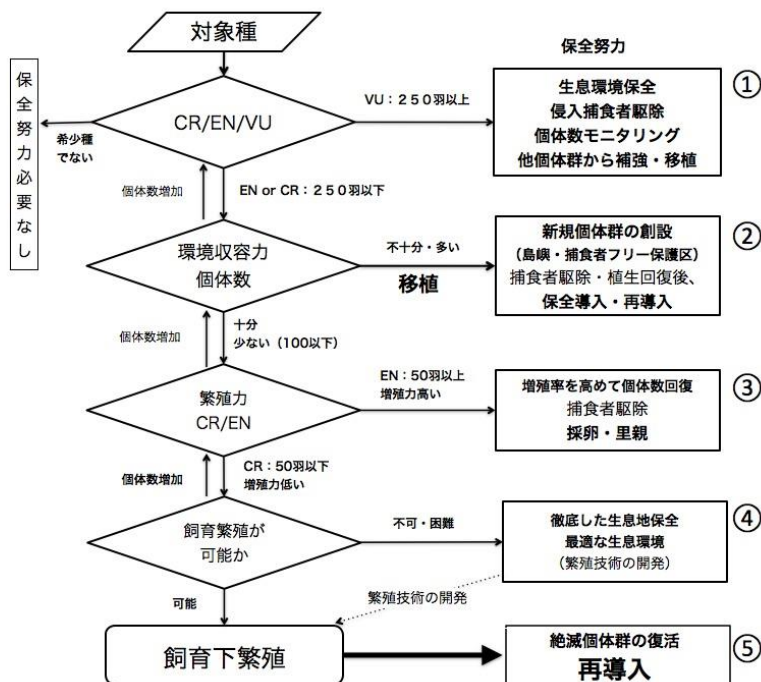
モーリシャスにおいても大航海時代にヨーロッパ人が入植してからドードーをはじめとする15種の鳥類が絶滅している。モーリシャスには3%の面積の原生林が残っているに過ぎず、多くの固有鳥類が絶滅し、または、絶滅に瀕している要因は、乱獲、クマネズミ、ノブタなどの侵入捕食者に加えて、森林破壊であったと考えられている<sup>8)</sup>。モーリシャスチョウゲンボウは、1974年に2番い(4羽)にまで減少した。このため、採卵して人工育雛で雛を育て上げて巣箱から放鳥するという事業が1985年から1994年まで実施され、346羽の若鳥が放鳥され、一時期、700羽近くまで個体数が回復した。現在、島内の3箇所に250-300羽のチョウゲンボウが生息しているが、樹洞や崖などの自然の営巣環境が限られていて、カニクイザル、クマネズミなどによる巣の捕食で繁殖成績が低く、個体数は減少傾向にある。そのため、再び、採卵して若鳥を放鳥することが計画されている。同様に、モモイロバトは9~10羽まで減少したが、飼育施設で育てた個体をAigrettes島(Ile aux Aigrettes)とBlack River Gorges保護区で放鳥し、470羽まで回復している。モーリシャスチョウゲンボウでは近交弱勢はないが、モモイロバトでは近交弱勢と感染症が問題となっている。

皆伐され外来種が分布する小島であったAigrettes島(27ha)では、まず、外来植物を除去し固有植生を回復すると同時に、クマネズミなどの侵入捕食者を根絶することで自然保護区につくり替える取り組みが1965年から行われている。ブッシュ植生まで回復した時点で、絶滅したモーリシャスゾウガメの生態的代替種としてアルダブラゾウガメを導入し、固有生態系を維持している。固有植生の回復後に、モモイロバト、モーリシャスノジコ、モーリシャスメジロなどの固有の希少鳥類をBlack River国立公園から移植し、再導入個体群を確立している(表(1)-5)。モーリシャス南東に位置するRound島(215ha)でもAigrettes島と同じ手順で自然保護区が計画されている。

グアム、ニュージーランド、モーリシャス等の海洋島での希少種の再導入による基本的な保全戦略は、まず、保護区として島嶼を確保し、次に、侵入捕食者や外来植物を駆除して生息可能な環境を準備し、最後に希少種を他所から移植して再導入個体群を確立するという方法である。同じ手順で(島嶼)保護区を増やしていくことで、複数の再導入個体群が設立され、環境変動やカタストロフが生じて一度に絶滅する危険性を分散できる。飼育下繁殖が困難な鳥類では2~20km<sup>2</sup>程度の島嶼に自然個体群を確保することは、大規模な飼育施設を複数基建設して、島嶼保護区と同規模の個体群を維持するよりもはるかに経済的かもしれない。再導入に用いられる手法は、モーリシャスやニュージーランドのスズメ目鳥類で行われている既存個体群からの「移植」、野外で採卵し孵化させて人工育雛個体を放鳥、あるいは、里親に托す「採卵育雛」、トキやコウノトリのように「飼育下繁殖」で増やした個体を放鳥する3つの方法に分類される。飼育期間が短いほど再導入の成功率は高くなるので<sup>9)</sup>、一般的に、再導入の成功率は、移植>採卵育雛>飼育下繁殖の順で低くなり、逆に、事業コストは、飼育下繁殖>採卵育雛>移植の順で高くなると考えられる。しかし、対象種によって取りうる保全策は異なってくるため、対象鳥種によってどのような保全努力を行っているかを類型化してフローチャートを作成した(図(1)-16)。IUCNの絶滅危惧カテゴリーの個体数基準<sup>3)</sup>では、危機的絶滅寸前種(CR)が50個体以下、絶滅寸前種(EN)が250個体以下、危急種(VU)が1000個体となっているので、便宜上、この個体数を用いている。

対象種が危急種の場合、ヤンバルクイナ、ニュージーランドクイナのように捕食者の駆除や生息環境の改善で個体数の増加を試みる事が可能と考えられる(図(1)-16 ①)。個体数が多く残っている絶滅寸前種では、島嶼部など捕食者がいない保護区に一部を移植して新規個体群を創

設する手法が採用されている（図(1)-16 ②）。



図(1)-16 希少鳥類の再導入を実施するまでのフロー図

ニュージーランドやモーリシャスのスズメ目鳥類、コマダラキウイ、アカハシインコ、カカなどがこの例に相当する。クロセイタカシギやモーリシャスチョウゲンボウのように飼育下繁殖が困難な絶滅寸前種で一腹卵数やクラッチ数が多い種では、採卵することで増殖率を高めることが可能なので、採卵・育雛（里親）による強化（補強）が実施されている（図(1)-16 ③）。カカポのように危機的絶滅寸前種で個体数が少なく、飼育下繁殖が困難な場合は、生息地を徹底的に管理して自然回復を待つしかない（図(1)-16 ④）。トキ、コウノトリ、グアムショウビンのように飼育下繁殖の技術が確立できれば、飼育下繁殖个体を使った再導入が実施可能となる（図(1)-16 ⑤）。日本で野生絶滅したトキやコウノトリはフロー図⑤でスタートした再導入プログラムが、コウノトリでは②の段階にまで、トキは③の段階への移行途中にあると考えられる。マングースの侵入で危機的状況に陥ったヤンバルクイナはマングース駆除事業と防護フェンスの設置で個体数増加へ転じ、フロー図①の段階で踏みとどまっている。タカへは、ボトルネックサイズはトキより大きいいため遺伝的多様性は高いと予想されるが、人工育雛个体の再導入後の繁殖率が低く個体数の回復が遅いため、飼育下でも自然育雛に切り替えて飼育下繁殖を継続している共通点がある。飼育下での近交弱勢の影響と感染症の問題に直面しているモーリシャスのモモイロバトは、今後、トキの飼育下繁殖で参考にする場面があるかもしれない。希少種の再導入事例の比較からいえることは、再導入は、絶滅危惧種に至った減少要因を取り除いてから（多くの場合、侵入捕食者対策であるが）実施しないと成功しない。また、フロー図（図(1)-16）は希少種の再導入を考える上で参考になるが、実際、どの保全策が有効であるかは対象種の生態を掘り下げて理解したうえで考える必要がある。



## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

いったん絶滅した希少種の再導入を行うためには、飼育下繁殖による放鳥個体の確保が必要であるが、飼育下での行動の発達や遺伝子プロファイルが再導入後の個体の適応度にどのような影響を与えているかを解明することで、遺伝と学習が鳥類の繁殖行動にそれぞれ、どのような効果をもつかを明らかにできる。このようなアプローチは、動物（特に、鳥類）の適応度コンポーネントに環境・遺伝の要因がどのように寄与するかを明らかにし、野生動物の行動遺伝学の発展に大きく寄与すると考えられる。本サブテーマでは、エンゼルウィングやチアミン欠乏症の発症履歴や育雛形態などのトキの飼育履歴が、放鳥後の生存率に大きく影響することを科学的に証明した。また、サブテーマ4と共同して個性の候補遺伝子であるDRD4遺伝子が実際に放鳥後のトキの行動や生存率と直結していることを示した。海外では、DRD4多型形質と行動の関連性の研究が始まっているが、国内での野生鳥類での研究例はない。本研究では、サブテーマ4と共同して、遺伝子、飼育履歴、飼育下行動、野外での生存率の関連性をもとに、遺伝子（DRD4）→行動発達（育雛）→行動（採餌行動）→適応度（生存率）の道筋を解明できたと同時に、放鳥後の定着率を高める方法を提案可能にしたといえる。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

自然育雛個体の番い形成確率が高いことから、既にトキ飼育繁殖小委員会では、飼育下繁殖からの放鳥候補には親鳥（里親）が育てた自然育雛個体を供するという方針となっている。今回、自然育雛個体が適応度に与える影響が予想していた以上に大きいことが明らかになったので、今後は、この方針を徹底することが見込まれる。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) これまで、放鳥個体が足りない時には3歳以上の個体やエンゼルウィング・チアミン欠乏症の発症履歴のある個体も放鳥候補として使われていた。しかし、今トキの再導入成功率を高めるには、健康で2歳以下の自然育雛個体のみを放鳥するのが望ましいことが明らかになった。トキの野生復帰事業において放鳥個体選択の新たな指針作成のための基礎資料となる。
- 2) 希少鳥類の再導入事例の比較研究より作成した、希少鳥類の再導入実施方法のフロー図は希少種の再導入施策を立案するための参考資料となる。しかし、希少種の再導入事例の比較からいえることは、絶滅危惧種に至った減少要因を取り除いてから実施しない限り、再導入の成功は困難である。

## 6. 国際共同研究等の状況

Dual Degree Program between Niigata and Kansas State Universities, Kansas State University, Prof. Fred Sundercock, U. S. A., Cooperative Research. （カンサス州立大学との共同研究）

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 越田智恵子, 上野裕介, 中津弘, 永田尚志, 山岸哲: 山階鳥学雑誌 13:1-14 (2014), 「放鳥されたトキの造巢・抱卵期における雌雄の繁殖行動」
- 2) Y. KOMATSU, M. YAMASHITA, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA, and H. IWAISAKI: Journal of Animal Genetics, 42, 3-9 (2014), “The nucleotide sequences for the dopamine receptor D4 gene in the Japanese crested ibis”
- 3) M. YAMASHITA, Y. KOMATSU, T. YAMADA, B. TONG, T. OHTA, T. SUGIYAMA, H. YAMASHIRO, Y. KANEKO, H. NAGATA and H. IWAISAKI: Journal of Animal Genetics, 42, 65-69 (2014), “Polymorphisms of the dopamine receptor D4 gene in the Sado population of the Japanese crested ibis”
- 4) S. Mochizuki, D. Liu, T. Sekijima, J. Lu, C. Wang, K. Ozaki, H. Nagata, T. Murakami, Y. Ueno, and S. Yamagishi: Journal of Nature Conservation, 28, 45-55 (2015), “Detecting the nesting suitability of the re-introduced Crested Ibis *Nipponia nippon* for nature restoration program in Japan”
- 5) H. Nagata and S. Yamagishi: Ornithological Science, 15, 1-9 (2016), “Which factors did crested ibis, *Nipponia nippon*, affect post-release settlement in Sado Island, Japan?” (in press)
- 6) 中津弘、永田尚志、山岸哲: 野生復帰、5, (2016), 「新潟県佐渡島における放鳥トキ *Nipponia nippon* の非繁殖期の行動パターン」 (印刷中)

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

「特に記載すべき事項はない」

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 永田尚志: 電子情報通信学会技術研究報、113, 6, 25-28 (2013)  
「佐渡島でのトキの野生復帰と再導入への展望」
- 2) 永田尚志: 区画整理、2013, 12, 12-15 (2013)  
「佐渡島でのトキの野生復帰の展望」
- 3) 永田尚志: 兵庫県コウノトリの郷公園、コウノトリと共生する地域づくりフォーラム等報告書、10-15 (2013)  
「トキの野生復帰の現状と展望」
- 4) H. Nagata, S. Yamagishi: Global Re-introduction Perspectives: 2013, Soorae, P. S. (ed.), IUCN/SSC, pp58-62 (2013)  
“Re-introduction of crested ibis on Sado Island, Japan.”
- 5) 永田尚志: 水辺と人の環境科学 (中)、小倉紀雄・竹村公太郎・谷田一三・松田芳夫編、朝倉書店、61-63 (2014)  
「トキ」

- 6) 大脇淳, 高橋雅雄, 本間穂積, 金子良則, 柴田直之, 永田尚志 : Strix, 193-200(2015)  
「野外で死亡したトキの胃内容物」

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 永田尚志 : 電子情報通信学会 (通信方式・コミュニケーションクオリティ研究会) (2013)  
「佐渡島でのトキの野生復帰と再導入への展望」 (招待講演)
- 2) 永田尚志、中津弘 : 日本鳥学会第2013年度大会 (2013)  
「幼鳥トキの採餌行動の発達と行動圏の拡大」
- 3) 永田尚志 : 第39回土地区画整理全国大会 (2013)  
「トキの野生復帰の現状」 (記念講演)
- 4) 永田尚志 : 日本動物行動学会第32回大会 (2013)  
「放鳥方法がトキの定着・分散にどのような影響を及ぼしたか？」
- 5) H. Nagata : 26th International Ornithological Congress, Tokyo, Japan, 2014  
“Avian reintroduction into socio-ecological production landscapes: lesson from case studies”
- 6) 永田尚志、中津弘 : 日本動物行動学会第33回大会 (2014)  
「野外におけるトキ幼鳥の採餌行動の発達過程」
- 7) 永田尚志、中津弘、高橋雅雄 : 第62回日本生態学会大会 (2015)  
「放鳥トキの繁殖成功に影響を与える要因について」
- 8) 高橋雅雄, 中津弘, 永田尚志 : 日本鳥学会2014年度大会 (2014)  
「放鳥トキの婚姻色への変化時期の個体差とその要因」
- 9) 山村則男、二股栄莉、前川勇貴、永田尚志 : 第62回日本生態学会大会 (2015)  
「トキの再導入個体群の存続可能性分析」
- 10) 熊田那央、後藤由香、中津弘、永田尚志 : 第62回日本生態学会大会 (2015)  
「放鳥されたトキの採食場所選択とトキ認証水田の利用」
- 11) 越田智恵子、上野裕介、中津弘、永田尚志、山岸哲 : 第62回日本生態学会大会 (2015)  
「トキの抱卵放棄における雌雄の行動の違い : 先に音を上げるのはどっち？」
- 12) Nagata H, Nakatsu H, Yamamura N. : The 5th International Wildlife Management Congress, Sapporo, 2015.  
“Management of Reintroduced Population of Crested Ibis in Sado Island, Japan”
- 13) 永田尚志 : 第2回東アジア農業遺産学会 (2015)  
「佐渡島において認証米システムがトキの野生復帰に与えた影響」
- 14) 永田尚志 : 日本鳥学会2015年度大会 (2015)  
「再導入されたトキの繁殖成績に影響を与える要因の予備解析」
- 15) 尾崎清明・永田尚志 : 日本鳥学会2015年度大会 (2015)  
「ヤンバルクイナとその近縁種の保全状況」
- 16) 永田尚志, 山田宜永, 中津弘, 油田照秋 : 第63回日本生態学会大会 (2016)  
「何が放鳥トキの生存に影響をあたえるのか？」
- 17) 油田照秋, 中津弘, 永田尚志 : 第63回日本生態学会大会 (2016)

「野生トキの群れと単独行動の比較」

- 18) 池乗及智、永田尚志、高橋雅雄、杉山稔恵、金子良則、祝前博明、山田宜永：日本畜産学会第121回大会（2016）

「日本産トキ集団におけるDRD4遺伝子と生存率、行動特性との関連解析」

### （3）出願特許

「特に記載すべき事項はない」

### （4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 朱鷺の島環境再生リーダー養成ユニット、環境教育実習「トキの餌場環境」における特別授業（2013年6月15日、聴講者約25名）
- 2) 朱鷺の島環境再生リーダー養成ユニット、トキ行動観察演習における特別授業「トキとはどんな鳥か？放鳥トキの生活史」（2013年10月11日、聴講生約50名）
- 3) シンポジウム「朱鷺とともに生きる～トキをシンボルとした自然再生と超域朱鷺プロジェクトのあゆみ～」（主催：新潟大学・朱鷺・自然再生学研究センター、2013年12月11日、新潟大学ライブラリーホール、観客約100名）にて講演
- 4) H26年度新潟大学テレビ公開講座「佐渡を極める」（2015年1月31日、再放送2月6日、BSN新潟放送で放送）にて成果紹介
- 5) 自然再生学研究セミナー（主催：新潟大学研究推進機構、2015年10月27日、佐渡市、トキ交流会館大ホール、観客：約60名）
- 6) トキ野生復帰2015シンポジウム（主催：環境省・佐渡市、2015年11月22日、佐渡市、あいぼーと佐渡大ホール、観客約250名）にて講演
- 7) 佐渡市立理科教育センター小中学校教員研修会における特別授業「トキの生態観察実習」（2015年11月7日、聴講生約20名）
- 8) 生態学会第63回大会自由集会「希少鳥類の再導入生物学：現状と問題点」（2016年3月21日、仙台市、仙台国際センター展示棟会議室、観客約80名）にて本プロジェクトの成果紹介。

### （5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞（2013年4月1日、全国版、「トキ第2章 野生定着への道（上）ヒナの産声もつと繁殖率5割超めざす」）
- 2) 新潟日報（2013年5月13日、地方版、「放鳥トキふ化1ヶ月ひなは5羽に 繁殖目標達成困難か兄妹ペア、巣の放棄…『予想外』相次ぐ」）
- 3) 朝日新聞（2013年6月15日、全国版、「佐渡・放鳥トキ繁殖期、まもなく終了 14羽誕生、巣立ちは4羽」。
- 4) 新潟日報（2014年5月14日、地方版、「新米ペア『頑張った』トキ巣立ち、野生定着期待膨らむ」）。
- 5) 産経新聞（2014年6月11日、全国版、「佐渡のトキ 1年早く『野生で60羽』定着」）
- 6) 新潟日報（2014年6月27日、地方版、「放鳥トキ繁殖3年目の飛躍 近親交配」）
- 7) 新潟日報（2014年12月28日、地方版、「国内トキの遺伝的多様性 低さ証明」）

- 8) 産経新聞 (2014年2月22日、全国版、「再婚もあり？恋の季節 新潟・佐渡の放鳥トキ」)
- 9) 日本経済新聞 (2014年5月7日、全国版、「野生トキにひな誕生、放鳥3世初確認 自然繁殖が軌道に」)
- 10) 読売新聞 (2014年5月31日、全国版、「トキ繁殖の課題 カラスの捕食対策が必須」)
- 11) TeNYテレビ新潟 (2015年4月8日、新潟一番、「分散飼育地でのトキの公開について」)
- 12) 新潟日報 (2015年6月21日、地方版、「野生下トキ 繁殖伸び悩む 巣立ち16羽昨季の半分」)
- 13) 産経新聞 (2016年3月13日、全国日曜版、「自然児ペアの2世に期待」)
- 14) 毎日新聞 (2016年4月22日、Web版、「「純野生」ひな、生育順調…親鳥からエサもらう」)

## (6) その他

「特に記載すべき事項はない」

## 8. 引用文献

- 1) P. J. Seddon, D. Armstrong, R. E. Maloney (2007) :Developing the science of reintroduction biology., Conservation Biology 21:303-312.
- 2) 環境省 (2012) : 生物多様性国家戦略2012-2020. p 252, 東京.
- 3) IUCN (2015) :2015 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland. Available at: <http://www.iucnredlist.org> (accessed 31 March 2016)
- 4) IUCN/SSC (1998): Guidelines for re-introductions. Prepared by the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, Gland, Switzerland and Cambridge.
- 5) IUCN/SSC (2013): Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, 57 pp.
- 6) D. Campbell-Hunt (2002):Developing a Sanctuary:The Karori Experience. Department of Conservation, Astra Print Ltd., Wellington.
- 7) W. G. Lee, I. G. Jamieson (2001) :The Takahe. Fifty years of conservation management and research. Otago University Press. Dunedin.
- 8) A. Grihault (2005) :Dodo, The bird behind the legend. Imprimerie & Paeterie Commerciale, Cassis.
- 9) J. G. Ewen, D. P. Armstrong, K. A. Parker, P. J. Seddon (2012) :Reintroduction Biology. Integrating Science and Management. Wiley-Blackwell.
- 10) L. M. Biondi, M. S. Bó, A. I. Vassallo (2010) : Inter-individual and age differences in exploration, neophobia and problem-solving ability in a Neotropical raptor (*Milvago chimango*) Animal Cognition 13 (5): 701-710.

## (2) コウノトリの再導入とメタ個体群形成に関する研究

兵庫県立大学

地域資源マネジメント研究科 大迫 義人

地域資源マネジメント研究科 内藤 和明

平成25～27年度累計予算額：12,727千円（うち平成27年度：4,000千円）

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

兵庫県立コウノトリの郷公園を含む全国の園館のコウノトリの飼育個体群の飼育繁殖データベースを構築し、ハプロタイプ・マイクロサテライト（MS）遺伝情報を組み込めるように拡張した。それらの情報を基に、野外での飛行能力、採餌能力、同種対応能力、異種対応能力を比較したところ、飛行訓練の重要性が明らかとなった。また、MS 遺伝子座による個体間の遺伝的距離を比較することで、ハプロタイプによる従来のペアリングの妥当性が明らかとなり、家系分析により集団の遺伝的多様性の観点から個々のペアの貢献度の序列化と飼育および野外の個体群での移動個体と放鳥個体の選定が可能となった。再導入地である兵庫県豊岡盆地の野外個体群の個体履歴や繁殖情報も収集し、生態データベースを整備・構築した。それらの情報を基に解析した結果、コウノトリは、周年、多種多様な動物種を餌とし、その餌動物の季節的な分布の変化に応じて河川、水路、湿地、湿田、乾田、草地などを利用する鳥類であり、一夫一妻による周年なわばり制の社会構造を持ち、毎年、同じ巣を利用して繁殖していることが明らかとなった。個体群存続可能性分析により、現在の繁殖成績と年生存率を保てば再絶滅することはないことも推定された。また、幼鳥は出生地を離れて全国へ移動・分散・滞在を繰り返しており、その情報から、日本でのメタ個体群を成立させるための前提となる再導入地外での局所個体群の成立可能な地域の特定ができた。コウノトリの再導入個体群の管理として、飼育個体群では、個体の遺伝的解析による、遺伝的多様性を維持・向上させる個体の選定が有用であり、また、野外個体群では、配偶ペアによるソフトリリース、野外飼育による誘引、局所個体群形成の候補地での、周年、採餌可能な環境整備と再導入地での繁殖を維持することによる移動・分散個体の増加による定着・配偶の促進が有効であることが明らかとなった。

### [キーワード]

コウノトリ、再導入、データベース、メタ個体群、個体群管理

## 1. はじめに

コウノトリは (*Ciconia boyciana*) ロシアの極東地方と中国の東北部で繁殖し、中国の主に揚子江の中流域や韓国、台湾などで越冬する<sup>1)</sup>。日本へは、大陸から秋冬期に1、2羽が飛来・越冬し、ときには周年滞在することもある<sup>2)</sup>。本種は、内陸にある湿地を主な生息環境とする周年動物食の鳥であり、主な餌は魚類・両生類・甲殻類などで、他にも昆虫類・爬虫類・小型鳥獣など多様な



動物を餌としている。本種は餌の豊富な湿原・湖沼・河川、ときに水田、遊水池、養魚地などにも生息する<sup>3)</sup>。

日本の個体群は、江戸時代には東北地方から九州地方まで広く繁殖していたと考えられている<sup>4)</sup>。ところが、明治時代に狩猟による乱獲で次々と姿を消し、兵庫県の但馬地域と福井県の若狭地域に分布は限られてしまった。但馬地域では、非狩猟鳥や天然記念物に指定されて、一時個体数が回復したものの、生息環境の消失や悪化などにより再び減少し、近親婚の増加と有機水銀を含む農薬の体内蓄積などによって、1971年に日本産コウノトリは野生下で絶滅してしまった<sup>5)</sup>。

大陸でも営巣木の減少、餌動物の減少、環境汚染、人間活動による攪乱、および狩猟・密猟などによって、コウノトリの生息状況は悪化していると言われている。このように本種は絶滅のおそれがあることから、IUCN（国際自然保護連合）のレッドリストでEndangeredに、ワシントン条約（絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）で付属書Iにリストされている<sup>1)</sup>。日本では、在来個体群は絶滅したものの、大陸から野生個体が飛来することから、環境省レッドリストの絶滅危惧IA類であり、特別天然記念物（文化財保護法）、国内希少野生動植物種（絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律）として保護されている。

## 2. 研究開発目的

コウノトリでは、飼育下の履歴・行動が、放鳥後の個体の利用環境、繁殖行動にどのように影響を与えているかを明らかにするために野外個体の生態データを収集するとともに、遺伝子プロファイルの解析を進める。コウノトリの飼育下の履歴・行動、および、放鳥後の繁殖成績等の生態情報に遺伝子情報を組み込んだデータベースを作成する。このデータベースをもとに、コウノトリの野外での定着・繁殖成績と関係する遺伝子プロファイルを特定し、再導入の確率を高めるための飼育個体群管理手法を提案する。また、コウノトリの放鳥個体の分散、定着、配偶、繁殖の情報を整理・分析して、現在の生息地、豊岡盆地以外での繁殖地の確立の可能性を評価し、再導入メタ個体群の存続可能性分析モデルを提示し、野外個体群の管理法も提案することを目的とする。

## 3. 研究開発方法

### (1) 兵庫県立コウノトリの郷公園等の飼育個体情報のデータベース化

2013年度に構築した飼育管理システムのデータベースを用いて、既存および新規加入した個体に関する、飼育情報および遺伝情報等を整理・入力した。また、コウノトリの郷公園（豊岡）および日本動物園水族館協会加盟園館で確立しているペアの繁殖優先度合いの算出結果と新たに作成した多型検出用のプライマーを用いて解析したコウノトリの飼育個体群の遺伝的多様性の結果をも追加・入力した。

### (2) 飼育個体情報の解析

#### 1) 野生馴化訓練の評価

放鳥後の行動を基に、馴化訓練の成績と対比して飛行能力、採餌能力、同種対応能力（社会性）、

異種対応能力（捕食回避、競争）の 4 つの能力を評価した。飛行能力については、長距離移動の頻度と距離、衝突事故の有無との関係、採餌能力については、採餌環境と餌動物の多様性との関係、同種対応能力については、配偶、繁殖の役割分担、攻撃と回避との関係、異種対応能力については、捕食者と競争者との関係について記載・解析した。

### 2) マイクロサテライト遺伝子座による集団の遺伝解析

飼育下の 18 個体および、かつて飼育下にあり後に野外に放鳥された 13 個体を対象に、血液試料から DNA を抽出して、マイクロサテライトの 12 遺伝子座についてタイピングを行った。その結果から、対立遺伝子の数、ヘテロ接合度の期待値、ハーディー・ワインベルグ平衡からのヘテロ接合度のずれなどの集団遺伝学的パラメーターを計算した。

### 3) 遺伝的関係を考慮したペア形成の検証

上述のマイクロサテライト遺伝子座による集団の遺伝解析で得たタイピング結果を用いて、個体間の遺伝的距離を算出し、多次元尺度法により解析対象個体間の遺伝的関係を視覚化した。その結果に基づき、解析対象個体の中に含まれる繁殖ペア（9 ペア）の遺伝的関係について検討し、ミトコンドリア DNA のハプロタイプに基づいて行われていた繁殖ペアの組合せの決定方法の妥当性を検証した。

### 4) マイクロサテライト遺伝子座による父性解析

行動観察による繁殖ペアの動態把握と野外巣立ち個体への足環の装着によって、放鳥個体およびその子孫からなる野外集団の家系情報は、ほぼ完全に記録されているが、遺伝的なオス親が特定できない事例が少数存在した。そこで、つがい外交尾が確認された 2 繁殖例について、子個体および親個体（可能性のあるオス親候補を含む）の血液試料から DNA を抽出し、マイクロサテライト遺伝子座のタイピングを行い、父性解析を実施することで遺伝的なオス親を特定した。

### 5) 家系情報に基づく集団の遺伝解析

飼育下のコウノトリについては、創設個体を除き家系情報が記録されており、豊岡で飼育されている個体については、飼育情報管理システムの一部としてその情報が管理されている。また、野外個体についても前述の通り、繁殖ペアの動態把握と野外巣立ち個体への足環の装着によって、ほぼ全ての個体の家系情報が記録されている。飼育集団の遺伝的多様性を考慮した繁殖計画の策定、および将来想定される飼育集団と野外集団の遺伝的多様性のバランスを考慮した飼育-野外間の個体の移動のためには、家系情報に基づく解析が有用である。そこで、記録されている家系情報を用いて、野外集団の FGE（創設個体のゲノム相当量）の年次推移を計算し、個体数の増加との関係を明らかにした。また、豊岡と JAZA（日本動物園水族館協会）各々で飼育している集団、および豊岡の野外集団の 3 集団に分けて、各々の飼育集団から野外集団に 1 個体を移動した場合の、移動元および移動先集団の遺伝的多様性の変化を算出した。

### 6) 家系情報に基づくペアの遺伝的評価

飼育集団の繁殖計画を立案する際に、どのペアを繁殖させるかを決定するための参考資料として、前述した家系情報に基づいて、現存する各々のペアについて 1 個体の子を増やしたときの飼育集団の遺伝的多様性への影響効果、また、その個体を野外に放鳥したときの野外集団の遺伝的多様性への影響効果を算出した。同様に、野外で成立しているペアの評価を、子 1 個体が集団の遺伝的多様性に及ぼす効果、ペア個体の集団内他個体との間の平均血縁度の差、近交係数の観点から行った。

### (3) 豊岡盆地の再導入個体情報のデータベース化

2005年からの放鳥個体37羽、野外巣立ち個体111羽および移入個体3羽を含む再導入個体の履歴を、孵化年月日、放鳥（巣立ち）の年月日、放鳥（巣立ち）の場所、年齢、放鳥（巣立ち）後の死亡、救護、行方不明の年月日、繁殖開始の年月日と年齢、現況等について整備・入力した。

移動・分散については、2005年度から2015年度に寄せられた、計2,952件のコウノトリの目撃情報（サギ類の誤認も含む）を収集し、その年月日と場所（緯度、経度）を個体別に整理し、移動先、移動距離、滞在期間、移動方角および群れサイズ等について整理・解析した。

2007年から2015年の野外ペアの繁殖について、産卵開始年月日、産卵数、孵化数、巣立ち数および減少要因を整理し、繁殖履歴のデータベースを整備した。さらに、放鳥個体、野外巣立ち個体および移入個体の死亡・収容時の年齢、親ペア等、死亡に関する情報も追加・入力し、死亡要因に関するデータベースを補完した。

### (4) 野外個体情報の解析

#### 1) 放鳥方法の評価

2005年から行われた4種類の放鳥方法は、方法1が個体を適切な場所に移動しすぐに放鳥されるハードリリース、方法2が放鳥場所に拠点を設置し、そこで生れ育った幼鳥が放鳥されるソフトリリース、方法3が放鳥拠点で雌雄の個体を3ヶ月以上飼育した後に放鳥されるソフトリリース、方法4が放鳥拠点でメスのみを飼育し野外にいるオスとの配偶を目的とするソフトリリースであった。放鳥個体にはすべて位置のわかる発信器が装着されていたので、方法別に10日ごとに放鳥場所からの滞在場所の距離を算出し集計した。また、放鳥拠点には毎日給餌のために飼育員が訪問するので、その際に確認された飛来個体を記録した。

#### 2) 配偶過程

位置情報のわかる発信器の装着された放鳥個体の中で、放鳥後ペアとなった個体を抽出し、同時刻のオスとメスの距離を算出し、行動範囲の移動について解析した。

#### 3) 繁殖成績

2007年から2015年までの野外での繁殖について、巣内の観察できる場所または営巣場所の近くで定点観察を行い、産卵開始日、産卵数、孵化雛、巣立ち数を記録した。産卵開始日については、高所作業車を使って直接、確認するか、親鳥が巣を空けることがなく伏せた時間の割合が50%を越えた日で推定した。

#### 4) 社会構造

繁殖期（2～7月）と非繁殖期（8～翌1月）に分けて、繁殖ペアの個体追跡を行い、着地地点を地図に記入し行動を記録した。また、侵入個体があった場合、ペアのオスとメスによる排他行動の起こった、その個体の位置を地図に記入した。これらの位置情報は、すべてGISに入力し、Biotasを使って解析した。また、2007年から2015年までに営巣した場所をペアごとに記録し集計した。

#### 5) 生存率と個体群存続可能性分析

放鳥場所である兵庫県但馬地方内では定期的にセンサスを行って生存している個体を確認し、また、目撃情報を収集し、但馬地方外で生存している個体の特定を行った。さらに、怪我・疾病等による収容・死亡の情報も収集し、個体の特定、年月日、原因等を記録した。これらの情報をもとに、年齢別の生存率を算出した。

## 6) 幼鳥の移動と分散

人工衛星追跡と但馬地方外での目撃情報をもとに、但馬地方から移動した個体の性とその時の年齢、移動した方角および移動先の場所と滞在期間を特定し集計した。

## 7) 餌生物と採餌環境

個体追跡の記録から、種の特特定できた餌生物と採餌環境を集計し、それらの季節ごとの傾向を解析した。

## 8) 局所繁殖個体群の形成

再導入個体のオスとメスが2015年2月から定着した徳島県鳴門市へ行き、2羽の行動を観察記録し採餌場所に関する聞き取りを行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 飼育個体情報のデータベース化

飼育管理システムのデータベースプログラムを構築し、兵庫県立コウノトリの郷公園で飼育履歴のある計237羽について、個体情報、飼育情報および遺伝情報を整理・入力した(図(2)-1)。

飼育番号	性別	名	生年月日	在籍期間	入力者ID
飼育番号 2483	不明	2013-AO	2013-05-21~	2013-05-21~	3
飼育番号 2482	不明	2013-AO(R)	2013-05-19~	2013-05-19~	3
飼育番号 2481	オス	青待-富貴	2013-05-16~	2013-05-16~2013-07-25	3
飼育番号 2480	メス	青待-富貴	2013-05-16~	2013-05-16~2013-07-19	3
飼育番号 2479	不明	2013-AK(AP)	2013-05-14~	2013-05-14~	3
飼育番号 2478	オス		2013-04-05~2013-04-10	2013-04-05~2013-04-10	3
飼育番号 2477	メス	青待-星示	2013-04-05~	2013-04-05~2013-06-13	3
飼育番号 2476	メス	青待-星示	2013-04-05~	2013-04-05~2013-06-22	3
飼育番号 2475	不明				

図(2)-1 コウノトリの飼育管理システム

このシステムの運用により、個々の個体の飼育履歴や遺伝情報を一元的に管理できるようになり、必要に応じて取り出すことができるため、個体の飼育方法、すなわち配偶計画や繁殖計画、同居個体の選定、飼育ケージの選定などの立案が容易になった。また、このシステムへのデータ入力は、獣医や飼育員など複数の担当者がそれぞれで自ら行うことができる仕様になっているため、データの更新による最新状態の維持が容易に行えるようになった。

### (2) 飼育個体情報の解析

得られた情報から、野生馴化訓練の評価、マイクロサテライト遺伝子座による集団の遺伝解析、

遺伝的関係を考慮したペア形成の検証、マイクロサテライト遺伝子座による父性解析、家系情報に基づく集団の遺伝解析、家系情報に基づくペアの遺伝的評価を行った。

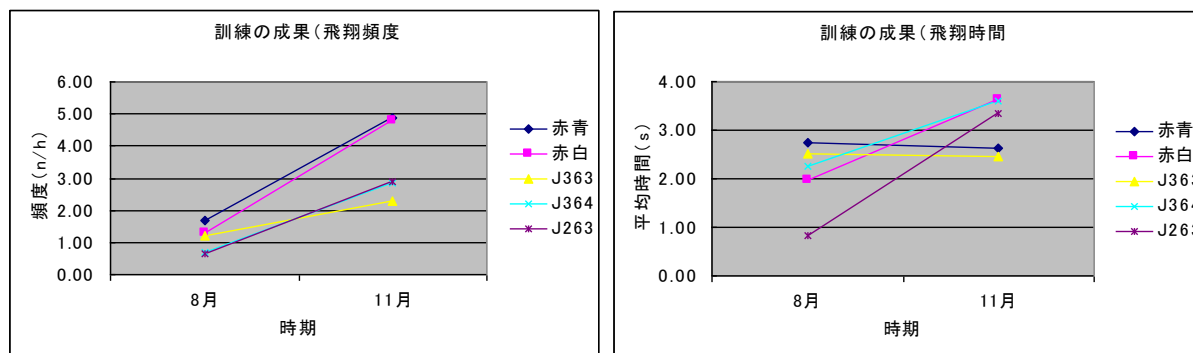
表(2)-1 野生馴化訓練の項目、方法、評価内容と評価方法

訓練項目	訓練方法	評価内容	評価方法
1) 飛行訓練	高さの異なる3種類の巣台や止まり木を複数基設置し、飛行を促す。	・長距離飛行	飛行時間・頻度の記録
		・障害物回避	1 ぶつかることなく回避できる。 2 時々、衝突する。 3 回避できない。
2) 採餌訓練	野外で存在する様々な生き餌をケージ内に投入する。また、魚類の場合、隠れる場所を設ける。	・餌生物の認知	採餌した餌生物のリスト
		・捕食能力	1 餌生物の習性に応じた捕獲と摂食ができる。 2 捕獲しようとする。 3 拾い食いしかできない。
3) 社会性(同種対応)訓練	集団で飼育し、異家系、異性や優劣のある個体との生活(認知、攻撃・防御、配偶)に馴れさせる。	・威嚇や攻撃	1 適時に行ない、限度がある。 2 適時に行なうが限度がない。 3 全く行なわないか、逆に過剰に行なう。
		・攻撃の回避	1 いつも回避できる。 2 回避できる場合とできない場合がある。 3 回避できずに傷害を受けてしまう。
		・友好行動	1 他個体と友好的で同居できる。 2 しばらく経つと友好的になる。 3 同居できない、または他個体を寄せ付けない。
		・繁殖行動	1 ペアの相手と協調して行なえる。 2 適時に行なうが、ペアの相手の意向を理解できない。 3 協調せず何も行なわない。
4) 異種対応訓練	捕食者、競争者などの認知と対応を学習させる。	・捕食者への対応	1 警戒し、接近を回避できる。 2 警戒する。 3 無関心である。
		・競争者への対応	1 排除できる。 2 相手に影響されない。 3 排除される。

### 1) 野生馴化訓練の評価

野生馴化訓練として、飛行訓練、採餌訓練、同種対応訓練、異種対応訓練を行った(表(2)-1)。

飛行訓練として、馴化訓練用ケージ内に高さの異なる3種類の巣台や止まり木を複数基設置し、自由に飛行をさせた。約3ヶ月の訓練により、飛翔頻度と飛翔時間とも向上したことが確認された(図(2)-2)。



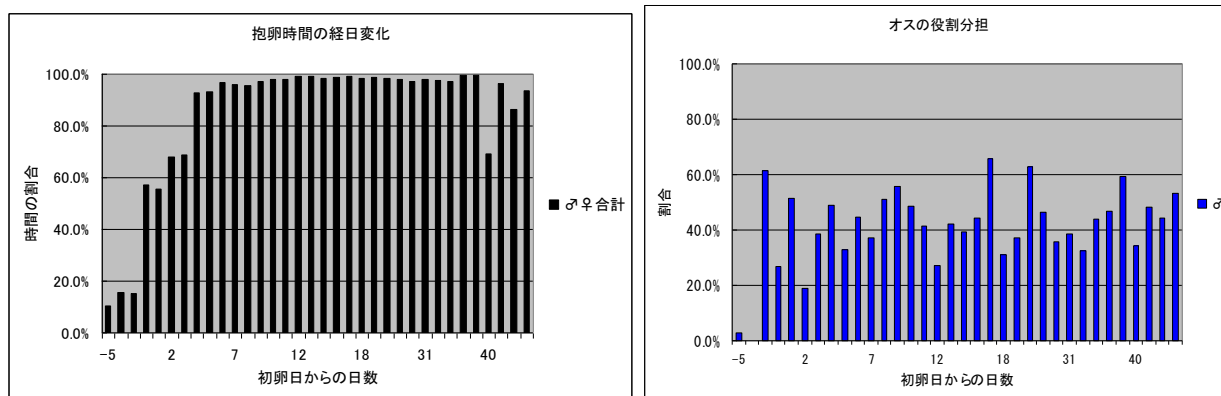
図(2)-2 飛行訓練における飛翔頻度(左)と飛翔時間(右)の変化

採餌訓練として、馴化ケージ内に人工的な小川と水田を設置し、そこに野外で餌となる魚類を投入し、自由に採餌をさせた。放鳥された後、これらの個体は、水田、水路、河川、草地などで魚類、両生類、昆虫類等の動物を採餌することが確認された。コウノトリは、猛禽類と違って特殊なハンティング行動がないため、餌の認識ができさえすれば採餌は可能であると考えられる。

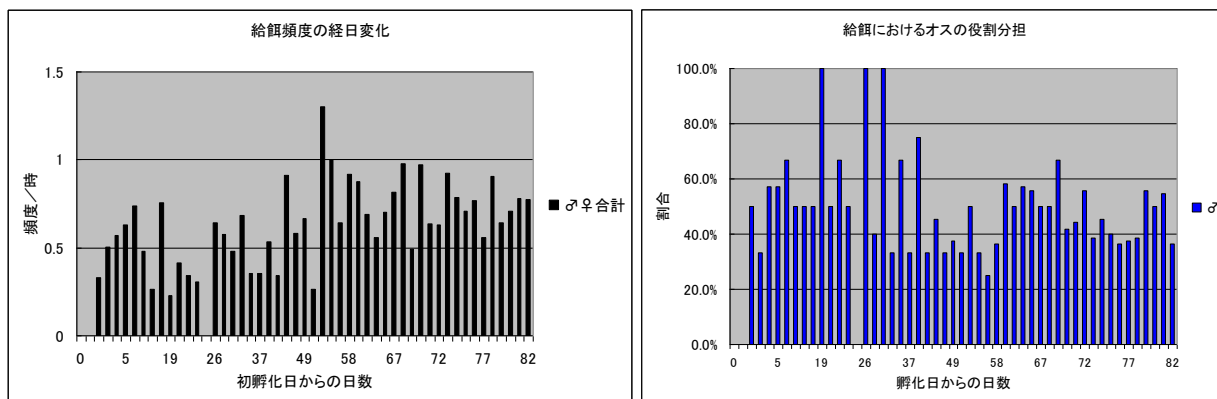
同種対応訓練として、年齢、性別の異なる複数(5羽以上)での同居を行った。群れ飼いの中で、攻撃、回避、闘争、クラタリング等の社会行動が発現し、優劣関係、融和関係、配偶関係などが

生じた。放鳥後 1 年で、オスとメスによるペアが成立し繁殖を開始することができ、その後もペアが成立した。ただし、メス・メスで造巢、産卵、抱卵を行うペアが 2015 年度までに 2 組出現した。この要因が、同種対応訓練の不足であるのか種の遺伝的特性であるのかは不明である。

繁殖行動においては、巣材運び（造巢）、抱卵、雛への給餌を行い、雌雄での役割分担も存在した（図(2)-3、4）。



図(2)-3 抱卵時間とオスの役割分担の経日変化の例



図(2)-4 給餌頻度とオスの役割分担の経日変化の例

繁殖における雌雄の役割分担がほぼ半々であったことは、コウノトリが一夫一妻の鳥であることの至近要因となっている。

異種対応訓練として、馴化ケージの周囲と屋根に、野外で捕食者になりえるカラス類と競争者となりえるサギ類と接近・対峙させた。放鳥後、コウノトリの成鳥の捕食者は存在しなかったが、卵と初期の巣内雛の捕食者として、カラス類とトビが確認された。繁殖経験の浅いペアでは、巣を空けることで卵や雛を捕食されたりしたが、経験を積むと、オスとメスが交代で抱卵、抱雛を分担し、捕食されることがなくなった。

コウノトリの再導入に伴う野外生活への馴化訓練としては、飛行訓練が最も重要であり、採餌訓練、同種対応訓練等は、飼育下でも経験できかつ特別な訓練を要しなかった。また異種対応訓練は、飼育下では経験させることが困難であったが、放鳥後の経験で対応することができるようになった。

## 2) マイクロサテライト遺伝子座による集団の遺伝解析

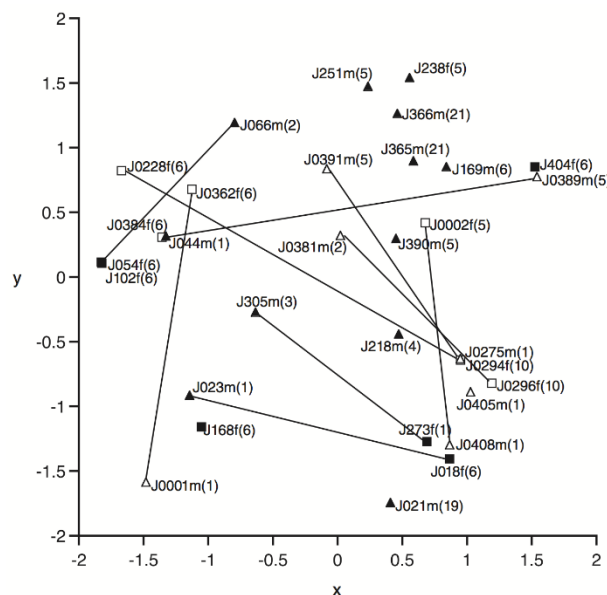
使用したマイクロサテライト 12 遺伝子座の解析結果は次の通りである。まず、遺伝子座当たり



の対立遺伝子の数は、最大 13 (遺伝子座 Cc04) 最小 2 (Cbo133) で、平均 5.08 であった。ヘテロ接合度の期待値は、最大 0.87 (Cc04)、最小 0.29 (Cbo133) で、平均 0.60、観察値は、最大 0.900 (Cc04)、最小 0.226 (Cbo133) で、平均 0.628 であった。いずれの遺伝子座においても、ハーディ・ワインバーグ平衡からの有意なヘテロ接合度のずれは確認されなかった。中国の野生個体群 (n=23) での解析結果<sup>6)</sup>が存在する 6 遺伝子座について比較したところ、全ての遺伝子座において、対立遺伝子の数は同数または中国の野生個体群の方が多かった。この違いは日本の飼育個体群の創設個体の数が限られていることを反映していると思われたが、対立遺伝子数の平均値は中国の野生個体群で 6.2 に対して本研究でのサンプル集団では 5.0 であり際立った違いではなかった。ヘテロ接合度の期待値の平均は、中国の野生個体群で 0.72 に対して本研究でのサンプル集団では 0.60 であった。

### 3) 遺伝的関係を考慮したペア形成の検証

個体間の遺伝的距離を視覚化して 図(2)-5 に示した。個体の分布パターンから読み取れる特徴として、図の右下の互いに近い位置に、J0275、J0294、J0296、J0405、J273、J0408 の 6 個体がプロットされ、相対的にまとまったグループを形成していた。これらのうち J0294 と J0296 は G ペア (成立したペアに付けられている固有の名称。以下同様) の、J273 と J0275 は N ペアの、J0405 と J0408 は W ペアの子であった。W ペアのメス個体は N ペアの子であるので、J0294、J0296 以外の 4 個体は血縁関係にあった。一方、J0294、J0296 の親個体である G ペアは雌雄ともに中国で飼育されていた個体を導入したものであった。ペアのオス個体が同様に中国で飼育されていた個体を導入したものであるという点で共通していたが、これらの個体の血縁関係の有無は明らかでなかった。解析対象とした個体のうちペアになっている個体を図(2)-5 の中で実線で繋いで示した。



図(2)-5 次元尺度法による個体の遺伝的関係の視覚化<sup>7)</sup>。雌雄間を結んだ実線により繁殖ペアを示した。

飼育下ではハプロタイプが同じ個体同士をペアにしない方針で繁殖計画が立てられていた。放鳥個体を起源として形成された野外の個体群においても、近交弱勢が生じる危険性をできるだけ低下させるように、放鳥個体のハプロタイプの組合せに留意してきた。その結果、野外でペアを形成した

個体も含め、全てのペアはハプロタイプが異なる個体の組合せとなっていた（図(2)-5で個体名の後ろに括弧で示されたハプロタイプ番号を参照）。ペアを形成している個体は図上で互いに比較的離れた場所にプロットされた。すなわち、マイクロサテライト遺伝子座のタイピングに基づく遺伝的距離で見ても、遺伝的に離れた個体によってペアが形成されていたことが確認された。

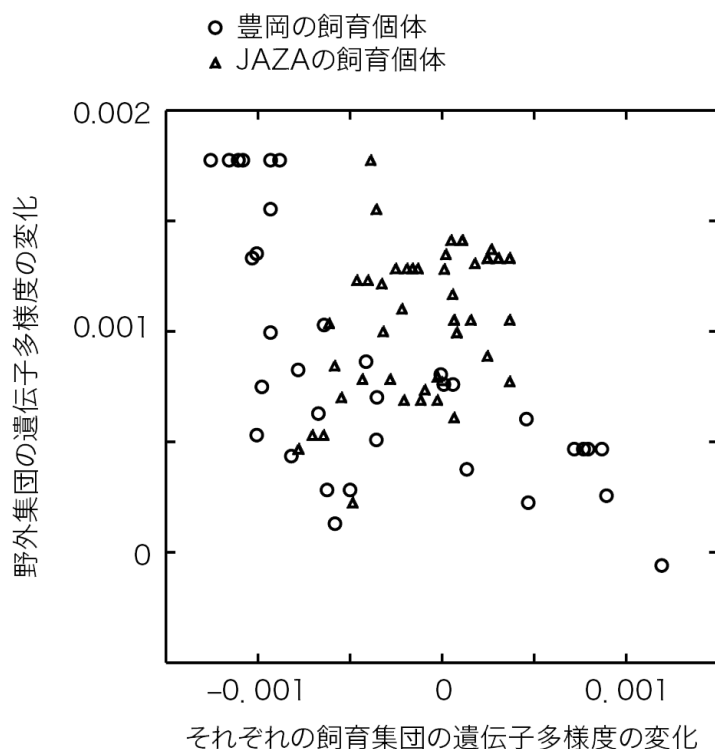
#### 4) マイクロサテライト遺伝子座による父性解析

2例のうち一方は、繁殖ペアのオスが明け2歳であり、コウノトリの性成熟年齢として一般に考えられている3-4歳よりも明らかに若齢であった事例であった。このペアのメスは、明け4歳になった2007年2月に、2005年に一緒に放鳥されていた、当時明け7歳のオスと繁殖行動を開始したが、この組み合わせが年齢の違う兄妹であったため、近親婚を避ける目的で、兵庫県立コウノトリの郷公園によってオス個体が一時的に飼育下に回収された。繁殖期を過ぎて、この個体は再び野外に放鳥されたが、翌年、繁殖行動を再び開始し交尾行動も確認されたため、再び捕獲され飼育下に収容された。2回目の捕獲から8日経ったころより、メスの近くに明け2歳のオスが飛来するようになり、この組み合わせによる交尾が観察され、そしてヒナが孵化し巣立ちしたものである。父性解析の結果、ヒナは後からペアになった明け2歳のオスであることが判明した。

他方の例は、メス個体が同時期に2個体のオス（この2個体は兄弟であった）と交尾行動を行い、その一方のオスと共に造巢、抱卵、育雛したもので、遺伝的なオス親が特定できなかったものであった。父性解析の結果、ヒナのオス親は育雛したオスではなく、もう一方のオスであることが判明した。これは、再導入後の個体群において育ての親と遺伝的な親が異なることが確認された唯一の例である。

#### 5) 家系情報に基づく集団の遺伝解析

再導入以降の集団の遺伝的多様性の推移については、個体数がほぼ一貫して増加傾向にあるのに対して、集団の遺伝的多様性の総量を指標する創設個体のゲノム相当量の値は、個体が追加された年に若干の増加はあったが、ごく緩やかな低下傾向にあることが明らかになった。また、野外個体の近交係数の平均値は、2010年まではほぼ0であったが、その後は野外で巣立ちした個体の増加に伴い上昇していることが明らかになった。これらの結果は、個体数だけでなく、集団の質的狀態を表す遺伝的多様性の推移をモニタリングすることの重要性を示しており、遺伝的多様性を維持するために個体の補強的導入が必要になり得ることを示唆している。また、3集団間の個体の移動に伴う移動元集団および移動先集団の遺伝的多様性の変化を算出した結果からは、豊岡の飼育集団では、野外集団に高い効果をもたらす個体は飼育集団に負の影響をもたらす傾向があるが、JAZAの飼育集団の中には、移動により飼育下にも野外にも正の効果をもたらす個体が存在することが示唆された（図(2)-6）。すなわち、野外集団の遺伝的多様性を維持するためには、豊岡の飼育集団のみを遺伝子資源として考えるのではなく、JAZAとの連携体制を構築し、遺伝的多様性の維持管理を飼育集団全体として実施していくことの重要性が示された。



図(2)-6. 飼育下の個々の個体を野外に移動した場合の、飼育集団および野外集団の遺伝的多様性に及ぼす影響効果

### 6) 家系情報に基づくペアの遺伝的評価

飼育集団において現存する各々のペアの評価を行った結果、豊岡で飼育されているペアよりもJAZAで飼育されているペアの中に繁殖の優先度が多く存在することが明らかになり、集団の遺伝的多様性の及ぼす効果の観点から、繁殖計画を決定する際に有効な根拠となり得ることが示された。これらの成果を実際の計画に適用できるように、コウノトリの遺伝的多様性の確保や生息環境の復元創出などを目的に2013年に設立されたコウノトリの個体群管理に関する機関・施設間パネル（IPPM-OWS）において、飼育施設間の意見交換と方針決定ができる協力体制が構築された。野外で成立しているペアについては、再導入の比較的早い段階で成立したペアは、近交係数（F）、集団内の各個体との間の血縁度の平均値の差（MKdiff）、子1個体による集団の遺伝子多様度の変化（ $\delta GD$ ）の指標が全て比較的良好な値であるのに対し、近年成立したペアではいずれかの指標で評価が低い値を示すものが多いことが明らかになった。

### (3) 野外個体情報のデータベース化

エクセルを使ったデータベースとして、放鳥（巣立ち）個体の履歴（表(2)-2）、死亡要因、野外個体数の変動、長距離移動の記録等が整備され、必要な解析に用いることができるようになった。

表(2)-2 放鳥個体の履歴に関するデータベースの一部

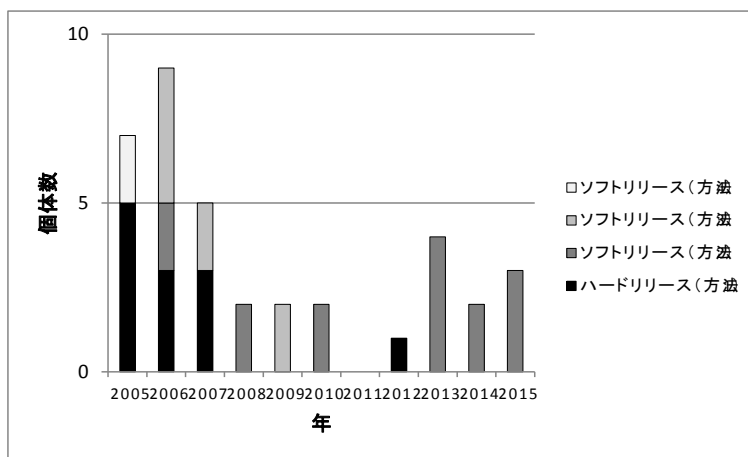
ID	個体番号	区分	野外世代	放鳥年月日又は巢立ち年月日	放鳥年又は巢立ち年	捕獲方法	標識年月日	放鳥(巢立)時年齢	足環(右脚)上より	足環(左脚)上より	放鳥場所又は巢立ち場所	性別	家系
R1	J0232	放鳥個体	第1世代	2005/9/24	2005		2005/9/24	7.4	黄・黒	緑・黄・赤	祥雲寺	オス	B
R6	J0242	放鳥個体	第1世代	2005/9/30	2005		2005/9/30	7.4	黄・黒	緑・青・赤	野上	メス	I
R7	J0262	放鳥個体	第1世代	2006/3/21	2006		2006/3/21	6.8	赤・黒	黒・赤・赤	野上	メス	G
R2	J0290	放鳥個体	第1世代	2005/9/24	2005		2005/9/24	5.4	赤・黒	黄・青・黒	祥雲寺	オス	L
R10	J0363	放鳥個体	第1世代	2006/9/23	2006		2006/9/23	3.4	赤・黒	緑・赤・青	立野	メス	R
R16	J0382	放鳥個体	第1世代	2006/9/24	2006		2006/9/24	2.4	青・黒	黒・黄・赤	河谷	メス	R
R24	J0398	放鳥個体	第1世代	2009/10/31	2009		2009/10/31	4.6	青・黒	黒・緑・青	唐川	メス	V
R21	YM-J0399	放鳥個体	第1世代	2007/9/23	2007		2007/9/23	2.5	青・黒	黒・緑・緑	山本	メス	V
R25	J0400	放鳥個体	第1世代	2009/10/31	2009		2009/10/31	4.5	青・黒	黄・黒・黒	唐川	オス	T
R17	J0403	放鳥個体	第1世代	2007/9/22	2007	ネットランチャー	2007/9/22	2.4	黒(ふしよ骨)	青(ふしよ骨)	楽々浦	メス	V
R23	A-J0428	放鳥個体	第1世代	2008/7/28	2008		2008/7/28	0.2	青・黒	赤・黒・黄	三木	オス	R
R22	HZ-J0428	放鳥個体	第1世代	2008/7/30	2008		2008/7/30	0.2	青・黒	赤・黒・青	三木	メス	W
R26	J0442	放鳥個体	第1世代	2010/7/4	2010		2010/7/4	0.2	青・黒	赤・青・赤	山本	メス	T
R27	J0443	放鳥個体	第1世代	2010/7/5	2010		2010/7/5	0.2	青・黒	赤・青・青	山本	メス	T
R3	T-J0294	放鳥個体	第1世代	2005/9/24	2005		2005/9/24	4.5	赤・黒	黄・青・緑	祥雲寺	メス	G
R20	T-J0391	放鳥個体	第1世代	2007/9/23	2007		2007/9/23	3.4	青・黒	黒・青・黄	山本	オス	T
R11	J0384	放鳥個体	第1世代	2006/9/23	2006	簡易ケージ	2006/9/23	2.4	青・黒	黒・黄・緑	立野	メス	R
R12	J0389	放鳥個体	第1世代	2006/9/23	2006		2006/9/23	2.4	青・黒	黒・赤・緑	立野	オス	T
R8	J0002	放鳥個体	第1世代	2006/7/14	2006		2006/7/14	0.2	黒・黒	黒・黒・赤	祥雲寺	メス	T
R19	J0408	放鳥個体	第1世代	2007/9/22	2007		2007/9/22	1.3	青・黒	黄・黄・青	楽々浦	オス	W
R9	N-J0001	放鳥個体	第1世代	2006/7/21	2006		2006/7/21	0.2	黒・黒	黒・黄	祥雲寺	オス	W
R5	N-J0362	放鳥個体	第1世代	2005/9/24	2005		2005/9/24	2.5		赤・赤	祥雲寺	メス	L
R18	J0405	放鳥個体	第1世代	2007/9/22	2007		2007/9/22	1.4	青・黒	黄・黄・黒	楽々浦	オス	W
R13	J0228	放鳥個体	第1世代	2006/9/24	2006		2006/9/24	8.4	黄・黒	緑・黒・青	河谷	メス	L
R14	J0273	放鳥個体	第1世代	2006/9/24	2006		2006/9/24	6.5	赤・黄	黒・黒	河谷	オス	N
R4	I-J0296	放鳥個体	第1世代	2005/9/24	2005		2005/9/24	4.5	赤・黒	黄・緑・黄	祥雲寺	メス	G
R15	I-J0381	放鳥個体	第1世代	2006/9/24	2006		2006/9/24	2.4	青・黒	黄・黄	河谷	オス	B
R28	J0411	放鳥個体	第1世代	2012/9/27	2012		2012/9/27	6.5	青・黄	赤・気	袴狹	オス	U
R30	SZ-J0476	放鳥個体	第1世代	2013/6/22	2013		2013/6/10	0.2	青・緑	黒・黄	伊佐	オス	AP
R29	J0477	放鳥個体	第1世代	2013/6/13	2013		2013/6/10	0.2	青・緑	黒・赤	伊佐	オス	AP
R31	N-J0480	放鳥個体	第1世代	2013/7/19	2013		2013/7/8	0.2	青・緑	黄・黒	三保	メス	AP
R32	J0481	放鳥個体	第1世代	2013/7/25	2013		2013/7/8	0.2	青・緑	黄・黄	三保	オス	AP
R33	HZ-J0500	放鳥個体	第1世代	2014/7/1	2014		2014/6/13	0.2	緑・黒	黒・黒	三保	オス	AR
R34	J0501	放鳥個体	第1世代	2014/7/2	2014		2014/6/13	0.2	緑・黒	黒・黄	三保	メス	AR
R35	J0110	放鳥個体	第1世代	2015/6/29	2015		2015/6/10	0.2	黒・緑	赤・黒	三保	メス	W
R36	J0111	放鳥個体	第1世代	2015/6/23	2015		2015/6/11	0.2	黒・緑	赤・黄	伊佐	オス	AT

(4) 野外個体情報の解析

得られた情報から、放鳥方法の評価、配偶過程、繁殖成績、社会構造、生存率と個体群持続可能性分析、幼鳥の移動と分散、餌生物と採餌環境、局所繁殖個体群の形成について解析した。

1) 放鳥方法の評価

ハードリリースと3種類のソフトリリースで、2015年までに計37羽が放鳥された(図(2)-7)。



図(2)-7 2005年から2015年までの方法別の放鳥個体数

放鳥後の放鳥場所からの個体の滞在距離を集計したところ、方法1では、放鳥後、その場をすぐに離れてしまい、時に長距離移動を行う個体も存在した。逆に放鳥場所の周辺に滞在しやすいか

った方法は、拠点で育った幼鳥を放鳥する方法 2 であった (図 (2)-8)。ただし、これは、里親の近くに留まる幼鳥の習性であり、放鳥場所への執着があったとは判断できない。また周辺環境を学習できた成鳥での放鳥である方法 3 でも、すぐには放鳥場所を離れにくい傾向があったが、3 ヶ月も経つと方法 1 と同じほどの距離を離れるようになった。そして、方法とは関係なく放鳥場所への定着においては個体差が大きかったため評価が困難である (図 (2)-8)。

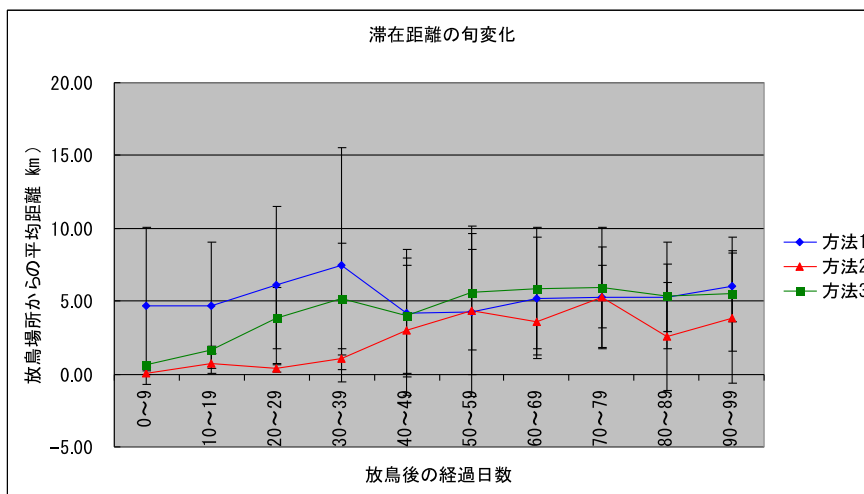


図 (2)-8 放鳥方法別の放鳥場所からの個体の滞在距離の推移

その後、繁殖まで生存した計 16 羽の放鳥個体は、放鳥方法に関わらず、2014 年までで放鳥地点から 14.7km 以内に定着し繁殖を開始した。その中で放鳥地点から最も近くで定着・繁殖した例は、2006 年に方法 3 で行った既配偶ペアの放鳥であり、繁殖場所は放鳥場所から 1.1km であった (図 (2)-9)。一方、未配偶のオスとメスを放鳥した場合、配偶することなく個別の場所に定着した。

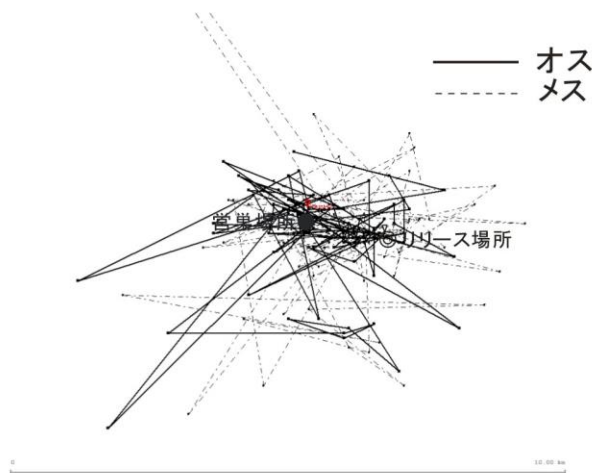
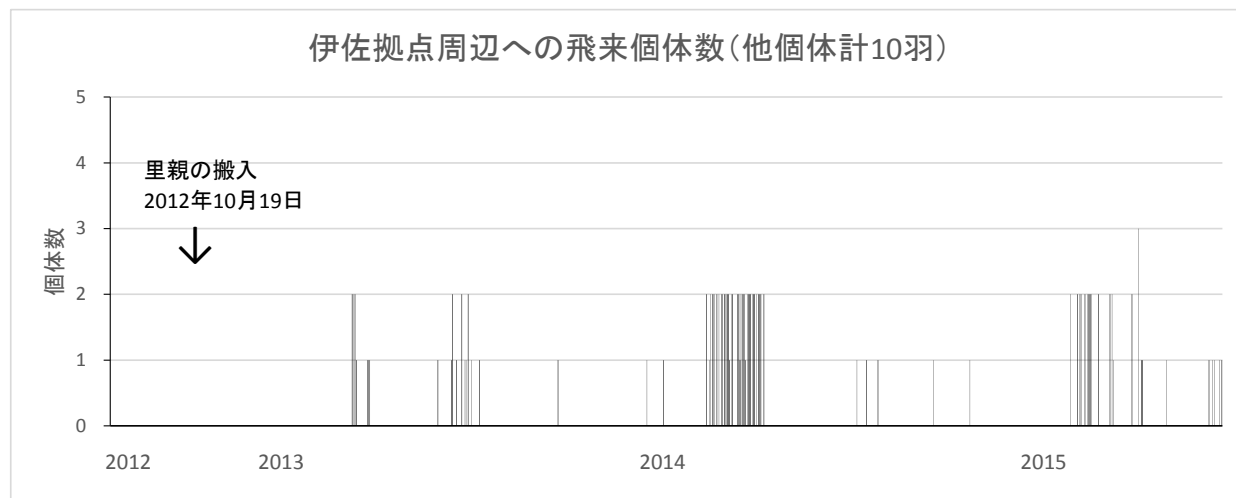


図 (2)-9 放鳥場所から最も近距離で定着・繁殖したペアの移動例

方法 2 のために設置された拠点で個体が飼育されていたことで、他個体の飛来が観察されるようになった (図 (2)-10)。兵庫県養父市伊佐拠点では、方法 2 を実施するために 2012 年 10 月に育ての親となる飼育ペアを搬入し翌 2013 年に 2 羽の幼鳥を育てた。この幼鳥は拠点から自然に放鳥されしばらく里親のいる拠点の周辺に留まっていたものの 8 月初旬に拠点を離れていった。飼

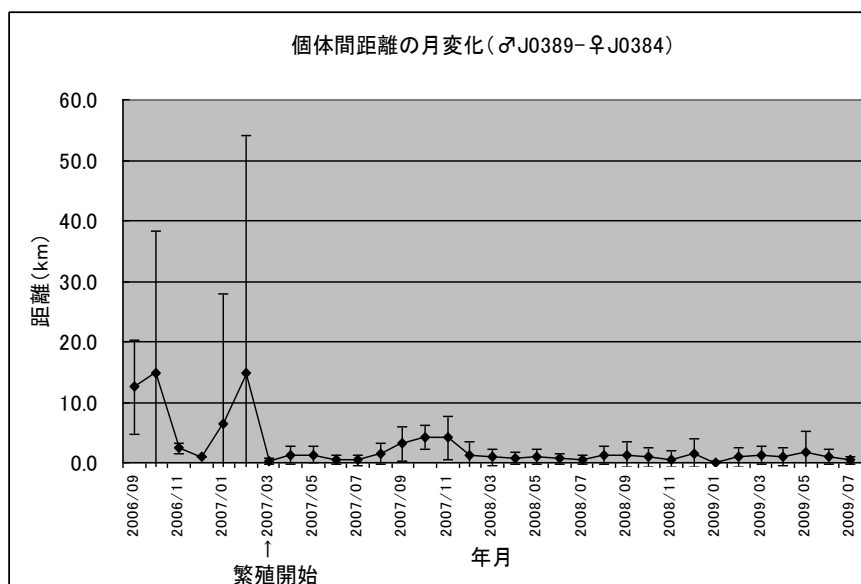
育個体だけとなった拠点にも関わらず、1～3羽が入れ替わって拠点に飛来し、計10個体が記録された。つまり、野外に同種個体が存在すると、それに誘引されて他個体が接近・飛来する効果があることがわかった。この行動は、目的の場所への定着を促進する上で有用であると考えられる。



図(2)-10 放鳥拠点での個体の飼育開始からの他個体の飛来

## 2) 配偶過程

2006年に放鳥されたオスとメスで配偶過程を追跡することができた。放鳥後、11月28日頃まではそのオスとメスは別々に行動していたため個体間距離は平均約13kmと離れていたが、11月末から12月にかけて接近し連れ添い行動が観察されるようになった(図(2)-11)。しかし、その後、再び別行動を行い、オスは、2007年1月31日～2月5日に長距離移動を行った。帰還した後、メスがオスの行動圏に移動し、再び連れ添うようになった。そして2007年3月に入るとこの2羽で行動し、営巣場所へ移動していった。つまり、コウノトリの配偶過程は、オスの定着→メスの接近による連れ添い(配偶)→ペアで移動→ペアの定着→造巢(繁殖)という経過を経ていた。



図(2)-11 放鳥から配偶までのオスとメスの個体間距離の推移



### 3)繁殖成績

2007年から2015年までの野外での繁殖に関する情報を集計した結果、放鳥された個体の野外での産卵は、やり直し産卵を除き、2月2日～4月14日の平均3月17日±14日(SD)に開始された。産卵数は平均4.0±0.6(SD)卵(3～6卵)(表(2)-3)であり、野外で人為給餌を受けていたYペア(♂J0275-♀J0228)の産卵数は、他のペアに比べ平均5.3±1.0(SD)卵と高い傾向にあった。また、孵化数は平均2.1±0.9(SD)羽(0～5羽)(表(2)-4)、巣立ち数は平均1.5±0.7(SD)羽(0～3羽)であった(表(2)-5)。

表(2)-3 野外コウノトリのペア毎の産卵数

表. 産卵数																				
年		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		平均
営巣場所	ペア個体	第1	第1	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2			
T	♂J0391- ♀J0294		3	4	4			4		3		4	4	3	4					3.7
A	♂J0389- ♀J0384	3		4	1+															3.5
N	♂J0001- ♀J0362		4	4	4+			4		1+	4	4	4			4				4.0
H	♂J0408- ♀J0002					4														4.0
SZ	♂J0426- ♀J0017									4										4.0
S	♂J0405- ♀エヒメ				4			4				3+	4							4.0
Y	♂J0275- ♀J0228	3	5	6	6	6	6	6	6	5		4+	2+	1+	5	1+				5.3
I	♂J0381- ♀J0296		3	4	2+			4		2+		4+	1+			3+	1+			3.7

表(2)-4 野外コウノトリのペア毎の雛の孵化数

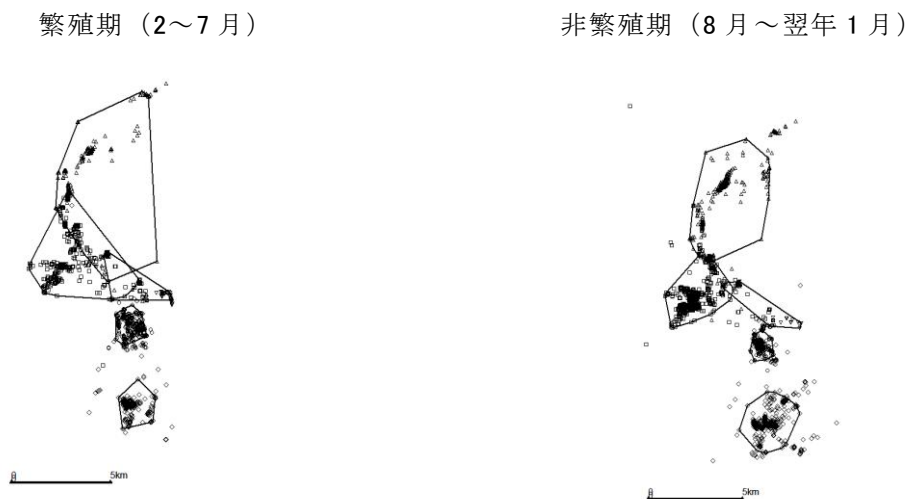
表. 孵化雛数																				
年		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		平均
営巣場所	ペア個体	第1	第1	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2			
T	♂J0391- ♀J0294		3	4	2			4		2		3	3	3	3					3.0
A	♂J0389- ♀J0384	0	1	0	1+															0.3
N	♂J0001- ♀J0362		1	3	1			4		0	4	4	3			4				2.7
H	♂J0408- ♀J0002					2														2.0
SZ	♂J0426- ♀J0017									0						2				1.0
SZ	♂J0405- ♀エヒメ			0	3			4				3	4							2.8
Y	♂J0275- ♀J0228	2	5	4	3	5	0	4+	1		4	0	1	2	0					2.3
I	♂J0381- ♀J0296		3	3	1			3		2		4	1			0	1			2.0

表(2)-5. 野外コウノトリのペア毎の雛の巣立ち数.

表. 巣立ち雛数																				
年		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		平均
営巣場所	ペア個体	第1	第1	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第1	第2	第1	第2	第1	第2			
T	♂J0391- ♀J0294		3	2	2			2		2		1	0	3	2					1.9
A	♂J0389- ♀J0384	0	1	0	1															0.5
N	♂J0001- ♀J0362		1	3	0			1		0	3	2	1		1					1.3
H	♂J0408- ♀J0002					1														1.0
SZ	♂J0426- ♀J0017									0					2					1.0
SZ	♂J0405- ♀エヒメ			0	2			2				3	3							2.0
Y	♂J0275- ♀J0228	1	2	1	0	3	0	2	0		3	0	1	0	0					1.0
I	♂J0381- ♀J0296		1	3	0			2		2		2	1			0	1			1.3

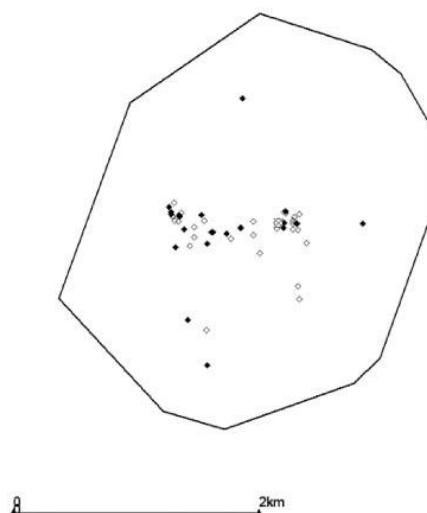
孵化数や巣立ち数が減少する要因として、未受精、捕食者による被食、他個体と親による子殺しが確認された。他個体による子殺しは、繁殖に失敗したペアの襲撃に伴って起こったことから、条件の良い繁殖場所を乗っ取る行動と考えられ、親による子殺しは、共倒れを防ぐために雛の個体数を調整して、親の繁殖成功度を下げない行動と考えられる。

#### 4) 社会構造

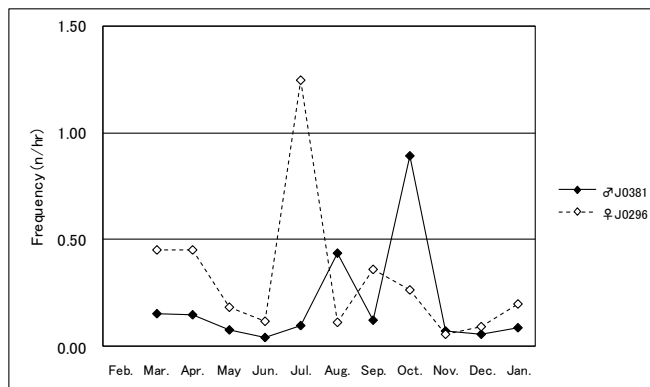


図(2)-12 ペアの繁殖期と非繁殖期の行動圏(95%MCP)の配置(黒:♂,白:♀)

定着した個体は、繁殖期で平均  $8.5 \pm 7.6$  (SD)  $\text{km}^2$ 、非繁殖期で平均  $12.6 \pm 14.2$  (SD)  $\text{km}^2$  の行動圏(95%MCP)を持ち、その行動圏は間おき分布をしていた(図(2)-12)。さらに営巣場所を中心とする平均  $1.5 \pm 0.6$  (SD)  $\text{km}^2$  の範囲(直径約 1.4km)では、ペアで侵入者を排除し、周年、なわばりとして防衛していた(図(2)-13、14)。



図(2)-13 ペア(♂J0381-♀J0296)の行動圏と排他行動の観察された地点(黒:♂,白:♀,丸バツ印:巣場所)



図(2)-14 行動圏ペアのオス (J0381) とメス (J0296) の排他行動の頻度の季節変化

表(2)-6 繁殖ペアの営巣場所の経年変化

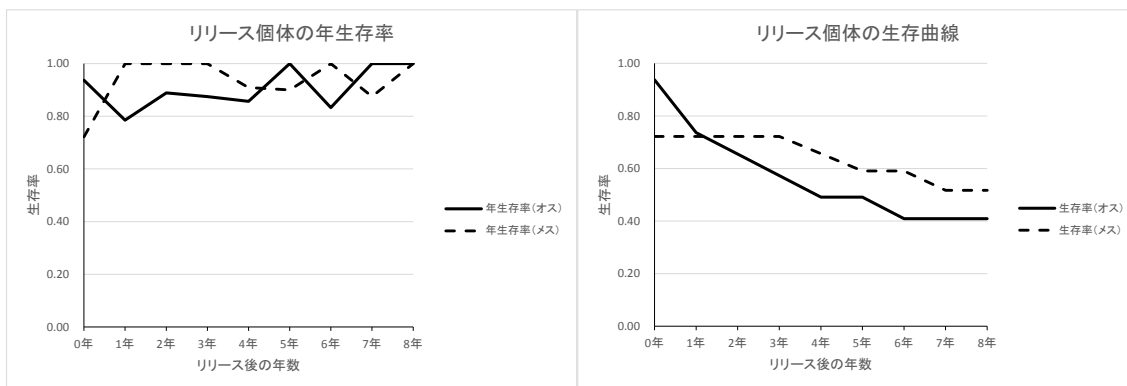
営巣地	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
戸島巣塔		♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294	♂J0391- ♀J0294
赤石巣塔	♂J0389- ♀J0384		♂J0389- ♀J0384	♂J0389- ♀J0384		♂J0020- ♀J0384	♂J0426- ♀J0384	♂J0426- ♀J0017	♂J0426- ♀J0017
福田巣塔		♂J0389- ♀J0384				♂J0058- ♀J0004	♂J0020 ♀J0004	♂J0020 ♀J0004	♂J0020 ♀J0010
野上電柱			♂J0001- ♀J0362						
野上巣塔3				♂J0001- ♀J0362	♂J0001- ♀J0362	♂J0001- ♀J0362	♂J0001- ♀J0362	♂J0001- ♀J0362	♂J0001- ♀J0362
庄境巣塔						♂J0426- ♀J0017	♂J0021- ♀J0012	♂J0021- ♀J0012	♂J0021- ♀J0012
祥雲寺巣塔2			♂J0405- ♀エヒメ	♂J0405- ♀エヒメ	♂J0405- ♀エヒメ				
祥雲寺巣塔5							♂J0405- ♀エヒメ	♂J0405- ♀エヒメ	♂J0086- ♀エヒメ
百合地巣塔	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228	♂J0275- ♀J0228
伊豆巣塔		♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296	♂J0381- ♀J0296
山本巣塔					♂J0011- ♀J0399	♂J0011- ♀J0399	♂J0011- ♀J0399	♂J0011- ♀J0399	♂J0011- ♀J0399

♂J0001-♀J0362、♂J0405-♀エヒメは、管理のために営巣場所を撤去したために、やむなく他の営巣場所で繁殖したが、♂J0389-♀J0384のペアを除き、1度、繁殖を開始すると営巣場所を変えることはなかった(表(2)-6)。コウノトリは、同じ場所で営巣する種であるといえる。

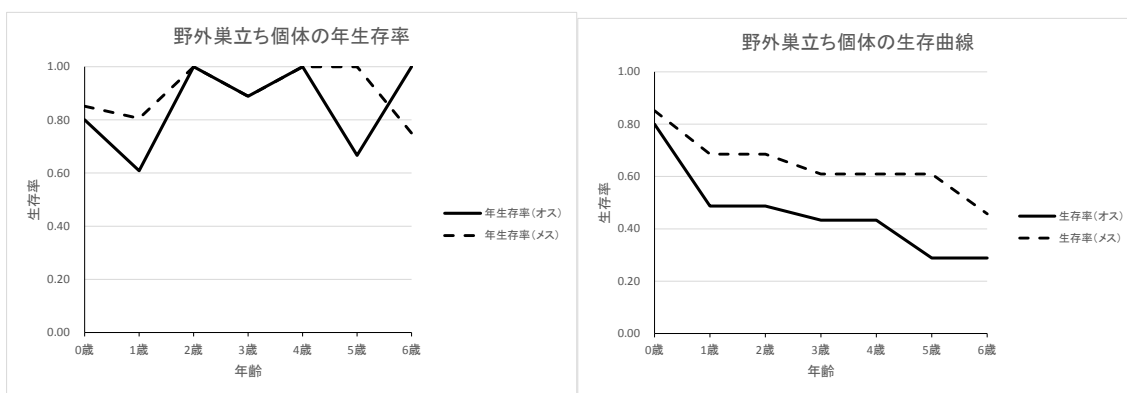
### 5) 生存率と個体群存続可能性分析

放鳥個体の放鳥後8年までの年生存率は、オスで平均0.91±0.07(SD)、メスで平均0.93±0.09(SD)であり性差はなかったが、放鳥後4年までの生存率はオスの方が低い傾向があった。そのため生存曲線を描くと放鳥後2年以降ではオスの個体数が少なくなった(図(2)-15)。

野外巣立ち個体の6歳までの年生存率は、オスで平均0.90±0.13(SD)、メスで平均0.90±0.10(SD)であり性差はなかったが、0歳と1歳で年生存率がオスの方が低かった。そのため生存曲線を描くと巣立ちの年からオスの個体数が少なくなった(図(2)-16)。



図(2)-15 放鳥個体の年生存率 (左) と生存曲線 (右)

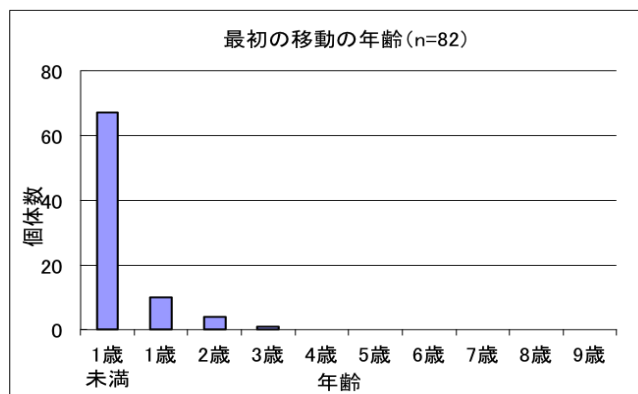


図(2)-16 野外巣立ち個体の年生存率 (左) と生存曲線 (右)

生存している放鳥個体と巣立ち個体をあわせた野外個体数は、年々、増加し、2015年10月時点で82羽となった。また個体群存続可能性分析により、但馬地方個体群は、現状の個体群パラメーターが維持される限り、存続の危機に陥る可能性は低いことが推定される。

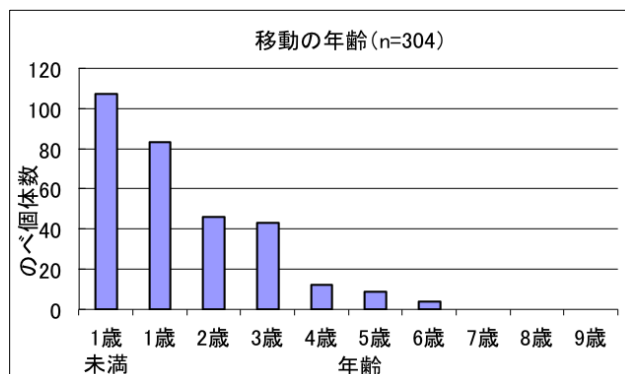
### 6) 幼鳥の移動と分散

野外で巣立った幼鳥は、最も早い例で巣立ち後43日で親から離れ長距離を移動した。幼鳥時に最初に移動する場合、ほとんどが1歳未満の年齢であり、4歳以上の年齢で移動した例はなかった(図(2)-17)。



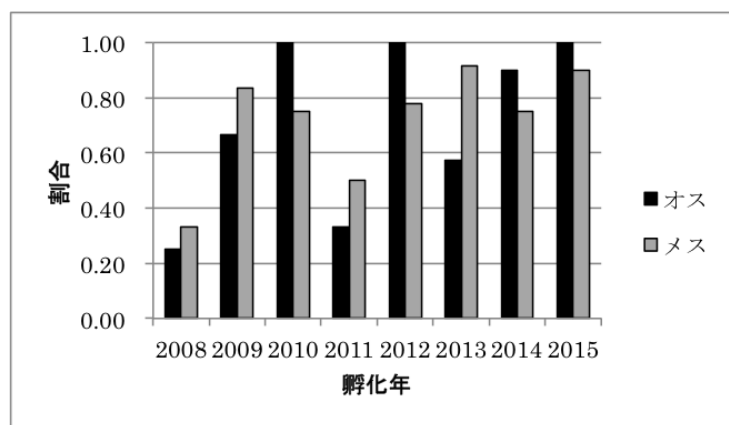
図(2)-17 最初の長距離移動を行った時の年齢

また、長距離移動をする幼鳥のほとんどは出生地である但馬地方に戻り、そして移動と帰還を繰り返した。この行動は年齢と共に減少し、最長6歳での移動も確認された（図(2)-18）。



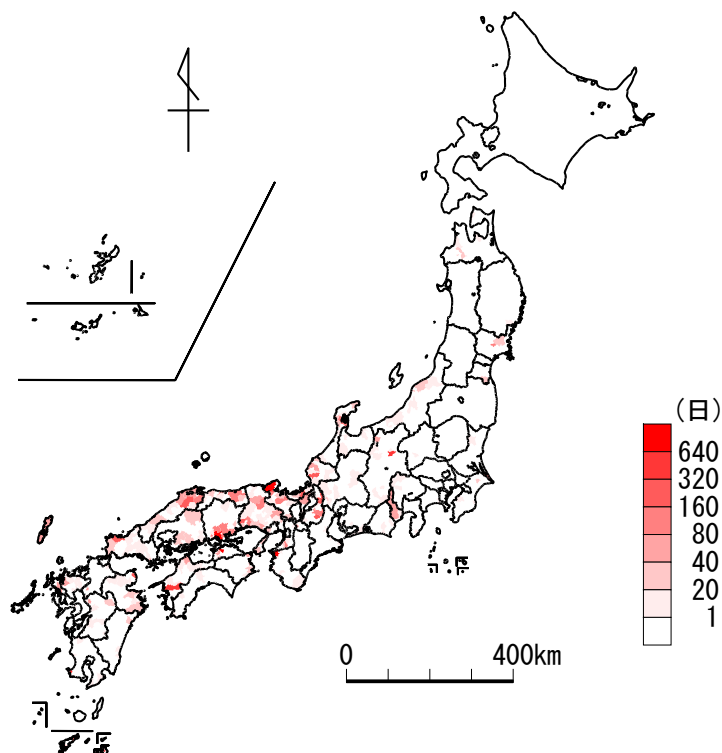
図(2)-18 繰り返しを含む長距離移動を行った時の年齢

孵化後1年以内に移動した性別の割合は、オスで平均  $0.72 \pm 0.31$  (SD)、メスで平均  $0.72 \pm 0.20$  (SD) で性に偏った移動はなかった（図(2)-19）。



図(2)-19 孵化後1年以内に移動した個体の性別の割合

長距離を移動し飛来した場所は、2016年3月24日時点で計43府県、計292市町村におよんだ。また、のべ滞在日数を全国の市町村別に集計したところ、京都府京丹後市、愛媛県西予市、岡山県倉敷市、鹿児島県南さつま市で最も長期に滞在していた（図(2)-20）。この情報を収集することで、日本におけるコウノトリの分布におけるメタ個体群構造を確立する上で潜在的に生息可能な地域の選定が可能となる。



図(2)-20 長距離移動した個体の、市町村ごとののべ滞在日数の分布

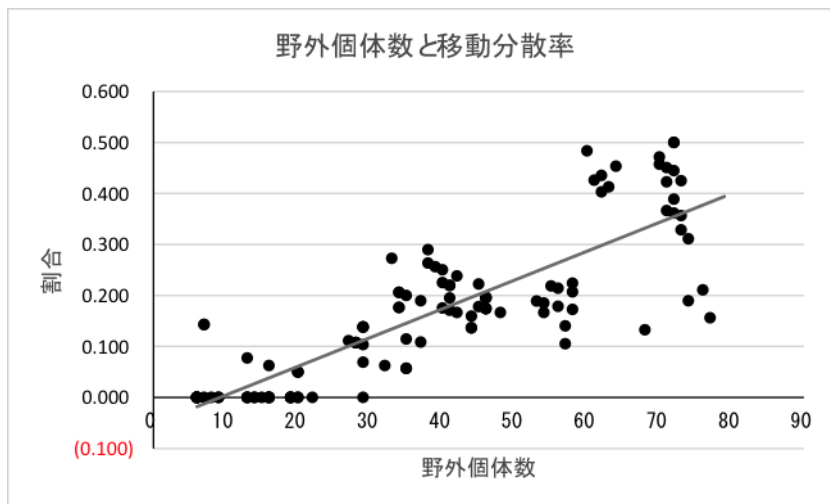
また、移動の方角が、有意に、秋期には南へ、春期には東へ向かっていた（図(2)-21）。但馬地方の北部は海であることを考えると、東は北へ向かったことを示す。この動きは、渡りの方角と一致しており、但馬地方で巣立った個体も渡りの習性を持っていることが推定される。



図(2)-21 長距離移動の豊岡からの方角. 左：秋期、右：春期.

2005 年に開始された再導入により野外に生息する個体数は増加してきた。その野外個体数とその時の移動個体数を集計したところ、野外個体数が増えるほど有意に移動個体数の割合が高くなることがわかった（相関係数 0.91、 $P < 0.01$ ）（図(2)-22）。つまり、再導入地の但馬地方ですでに密度効果が発現しており、現在の環境収容力は約 50 羽と推定される。



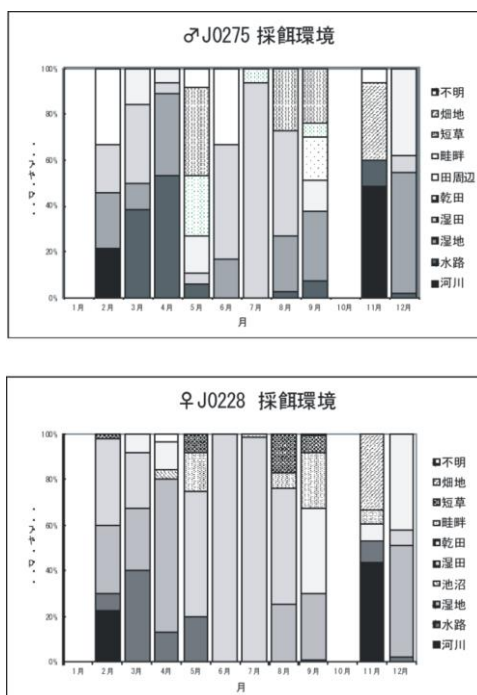


図(2)-22 但馬地方における野外個体数と移動個体数の割合の関係

### 7) 餌生物と採餌環境

野外コウノトリの餌生物として、計 40 種類が確認された。最も採餌された動物として、ドジョウ科魚類、フナ科魚類、その他魚類、アメリカザリガニ、昆虫類、カエル類が周年に採餌され、オタマジャクシ類、バッタ類、ヘビ類はある時期に集中して採餌された。季節によって餌生物が変化することは、各動物群の生活史を反映しているものと考えられる<sup>8)</sup>。

採餌に利用する環境として河川、水路、湿地、湿田、乾田、草地などが確認され、中でも湿田が最も重要な環境であった(図(2)-23)。また、季節によって、その利用環境は変化し、餌動物の分布の変化に応じた環境選択と考えられる。



図(2)-23 オス (J0275) とメス (J0228) の採餌環境の季節変化

## 8) 局所繁殖個体群の形成

2015年には但馬地方から約130km離れた徳島県鳴門市で新しいペアが定着し、産卵にまでは至らなかったものの造巣と交尾が行われた。現地調査の結果、定着の要因として、周年、餌動物の生息するレンコン田と増水時にそのレンコン田に水生動物の侵入と封じ込めが起こる浅い水路の存在が考えられる(写真(2)-1)。



写真(2)-1. 兵庫県但馬地方以外で定着・造巣が開始された徳島県鳴門市の生息環境。  
左：周年、採餌可能なレンコン田、右：そのレンコン田と増水時に繋がる浅い水路。

コウノトリの再導入の生態学的目標は、ロシアと中国北部の繁殖個体群をソースとする極東地域のメタ個体群構造の復活・確立である(図(2)-24)。そのための定着の促進として、配偶ペアによるソフトリリース、放鳥拠点の飼育個体による誘引、周年採餌可能な環境の整備、配偶の促進として、移動個体の増加による定着地での配偶、遺伝的多様性の維持として、近親婚の回避、大陸産野生個体の渡来・定着化が有効であると考えられる。



図(2)-24 想定するコウノトリのメタ個体群構造の復活

## 9) コウノトリの再導入の方法

### a. 飼育下での遺伝的管理

飼育個体、野外個体の遺伝的解析により、遺伝的多様性を維持または向上させる個体の特定が可能となったことより、コウノトリの飼育施設および再導入に関わる自治体などで構成される「ニホンコウノトリの個体群管理に関する機関・施設間パネル(略称: IPPM-OWS)」における繁殖計

画の立案、決定の根拠を提示することができるようになった。

#### **b.野生馴化訓練と放鳥方法**

飼育下で増殖されたコウノトリを野外へ放鳥するための野生馴化訓練としては、飛行訓練がもっとも重要であり、採餌能力、同種対応能力、異種対応能力は放鳥後の経験と学習で補える。

放鳥場所への定着において、ハードリリースとソフトリリースとで明確な差異はなかったが、既配偶ペアのソフトリリースが放鳥場所の近くに定着・繁殖する可能性があった。また、放鳥拠点で繁殖させる個体を飼育することで他個体を誘引する効果があった。

#### **c.定着の促進**

再導入されたコウノトリは、一夫一妻のペアによる周年なわばりを持ち、同じ営巣場所で継続して繁殖する種である。つまり、1度定着・繁殖するとそこに繁殖個体群が形成されると考えられる。

繁殖年齢に達するまで幼鳥は、出生地を離れ長距離移動を行い、繁殖年齢に達すると放鳥場所や出生地（すなわち兵庫県但馬地方）に戻ってくる。これは、現在、配偶相手が存在するのが、再導入地である兵庫県但馬地方だけであるためである。今後、但馬地方での生息個体数が増加するにつれて長距離移動する個体も増えるであろうから、定着するような周年、採餌可能な生息環境を整備することが必要である。同時に大陸から渡来した野生個体が同種のいる但馬地方に定着・繁殖した事例から、定着個体が存在する場所には、野生個体の定着も起こり遺伝的多様性を向上させることができる。

## **5. 本研究により得られた成果**

### **(1) 科学的意義**

国際自然保護連合が発表しているGuidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations<sup>9)</sup>によると、野生動物の導入計画における飼育個体群と野外個体群の、遺伝学的、行動学的、生態学的管理は、計画を成功させるために不可欠な取組みである。そのためには、科学的なデータ収集と解析が必要である。ところが、コウノトリにおいては、ミトコンドリアDNAのハプロタイプによる解析<sup>10)</sup>を除いて飼育個体の遺伝学的解析はなされてこなかった。また、野外での行動学的・生態学的解析も日本産個体群が絶滅しているなかでは、調査・研究が不可能であった。

今回の飼育個体の研究において、兵庫県立コウノトリの郷公園を含む日本全国の動物園で飼育されている個体の飼育履歴や遺伝情報を収集しデータベース化することで情報を一元的に管理できるようになり、必要に応じて取り出すことができるようになった。その結果、個体の飼育方法、すなわち配偶計画や繁殖計画、同居個体の選定、飼育ケージの選定などの立案が容易になった。さらに、マイクロサテライト遺伝子情報や家系情報を使った解析の結果、飼育個体群と野外個体群の遺伝的多様性を維持または向上させるような国内での個体の移動と放鳥個体の選定が可能となった。

野外個体の研究においては、放鳥または野外で巣立った個体をモニタリングすることで得られた野外での行動や生態の情報をデータベース化することで基礎情報が整理・一元化された。その結果、野外での行動の特性が解明され、訓練、放鳥、管理等の方法の評価と計画の立案や修正にフィードバックできるようになった。つまり、アダプティブマネジメントによる手法を確立できた。

以上の飼育個体群と野外個体群の科学的なデータベース化とそれに基づく解析は、コウノトリの再導入計画の成功を高めることにつながる。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

環境省の野生生物保護対策検討会トキ保護増殖分科会の野生復帰技術と分散飼育ワーキンググループ、およびシマフクロウ保護増殖事業ワーキンググループの委員会では、先行するコウノトリの再導入の進め方や解析結果を参考に計画の立案がなされた。

また、国土交通省と兵庫県による円山川水系自然再生計画の検討と推進において、事業に対する評価のひとつとしてコウノトリの行動・生態情報が使われた。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

環境省の種の保存法で国内希少野生動植物種に指定されている絶滅危惧種の保護増殖計画や野生復帰計画において、最も困難な課題は人との共生による保全である。コウノトリの再導入計画は、持続可能な開発の基での絶滅危惧種の保全を目指した取組みであることから、今回、得られたデータや解析結果、および管理の方法は、その参考になると見込まれる。

## 6. 国際共同研究等の状況

### 1) 「コウノトリの保全および野生復帰」に関する共同研究プロジェクト

Shi-Ryong PARK 教授、韓国教員大学コウノトリ復元センター、韓国、通年を通じた相互の進捗状況の報告・交流、北東アジアにおけるコウノトリの保全における国際共同戦略（→参考）

### 2) 「兵庫県－ハバロスフク地方のコウノトリの保全」に関する共同研究

Vitaly TYAGUNIN 所長、ボロン自然保護区、ロシア連邦、通年を通じた相互の進捗状況の報告・交流、北東アジアにおけるコウノトリの保全における国際共同戦略（→参考）

参考) Yoshito OHSAKO: Reintroduction 1, 81-85 (2011)

「Establishing an international cooperative strategy for the conservation of Oriental White Storks in Northeast Asia」

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 大迫義人：野生復帰, 4, 69-73 (2016)、コウノトリの10羽の集団による長距離移動の例
- 2) 田和康太、佐川志朗、内藤和明：野生復帰, 4, 75-86 (2016)、9年間のモニタリングデータに基づく野外コウノトリ *Ciconia boyciana* の食性

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 大迫義人、尹鐘旻、郭承國：日本ツル・コウノトリネットワーク彙報 たづ, 6:11-13. (2014)  
「再導入により日本で生まれたコウノトリの韓国への初めての移動」

- 2) Y. Ohsako, J. Yoon and S. Kwak : Tazu, Bulletin of the Japan Cranes and Storks Network 6:13-15. (2014)  
 「The first movement to South Korea of an Oriental White Stork wild-born in the reintroduction project in Japan」
- 3) 小倉紀雄・竹村公太郎・谷田一三・松田芳夫編水辺と人の環境科学（中）、朝倉書店、47-48（2014）  
 「コウノトリ：田園生態系のアンブレラ種（執筆担当：大迫義人）」
- 4) 環境省自然環境局野生生物課編：レッドデータブック2014、ぎょうせい、36-37（2014）  
 「コウノトリ（執筆担当：大迫義人）」

## （2）口頭発表（学会等）

- 1) 大迫義人：日本鳥学会 2013 年度大会公開シンポジウム『鳥類がもたらす生態系サービス』（2013）  
 「コウノトリの野生復帰計画－希少鳥類の地域資源化による人との共生－」
- 2) 大橋直哉、内藤和明、佐藤 稔：公益社団法人日本動物園水族館協会第 18 回種保存会議（2013）  
 「ニホンコウノトリの個体群管理に関する機関・施設間パネル（略称：IPPM-OWS）の設置について」
- 3) 内藤和明、大迫義人：第 61 回日本生態学会大会（2014）  
 「放鳥コウノトリの採餌行動に及ぼす人為給餌の影響」
- 4) 辻 浩基、谷口幸雄、松田洋和、内藤和明、祝前博明：日本畜産学会第 118 会大会（2014）  
 「コウノトリ MHC クラス II 領域のゲノム構造の解析」
- 5) 辻 浩基・石塚真太郎・谷口幸雄・松田洋和・内藤和明・祝前博明：日本動物遺伝育種学会第15回大会（2014）  
 「コウノトリMHC領域のゲノム構造および多様性解析」
- 6) K. NAITO and S. SAGAWA: Korea-Japan Network Forum on Oriental White Stork Protection (2014)  
 「Scientific implementation based on network strategy for true resettlement – Current status and future of the Oriental White Stork in Japan –」
- 7) 内藤和明、大迫義人：第61回日本生態学会大会（2014）  
 「放鳥コウノトリの採餌行動に及ぼす人為給餌の影響」
- 8) Y. EZAKI, Y. OHSAKO and S. YAMAGISHI: Symposium on avian reintroductions in changing environments, International Ornithological Congress, Tokyo (2014)  
 「Reintroduction and ecology of the Oriental white stork *Ciconia boyciana* - Coexistence between humans and birds in Japan」
- 9) Y. OHSAKO and N. KIKUCHI: Poster session, International Ornithological Congress, Tokyo (2014)  
 「Local exploitation of the Oriental White Stork as a natural resource for coexistence with humans in Japan」
- 10) 佐川志朗、田和康太、大迫義人：日本応用生態工学会第19回大会（2015）  
 「兵庫県北部円山川におけるコウノトリの河川内周年利用」
- 11) K. NAITO: The 5th NIE Forum: International Symposium on Ecological Research in Consilience,

Seocheon (2015)

「Mutli-disciplinary approach to the reintroduction of Oriental White Stork」

12) 大迫義人：第39回鳥類内分泌研究会（2015）

「コウノトリの野生復帰と人との共生（2015）」

13) 内藤和明、大橋直哉：第39回鳥類内分泌研究会（2015）

「野外および飼育下のコウノトリの遺伝的多様性の現状と課題」

14) 辻浩基、石塚真太郎、谷口幸雄、松田洋和、内藤和明、祝前博明：日本畜産学会第119回大会（2015）

「コウノトリMHC領域のゲノム構造の解析および次世代シーケンサーを用いた全塩基配列決定の試み」

15) 内藤和明：コウノトリ保全フォーラム野生復帰 10 年そして新たな旅立ち-全国へそして世界へ-(2015)

「DNA マーカーを用いたコウノトリの遺伝的解析」

16) 内藤和明：第 63 回日本生態学会大会(2016)

「コウノトリの持続的な野外個体群の確立に向けた取り組み」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

1) 内藤和明企画：サイエンスカフェ「鶴見カフェ」、豊岡市（2013） 12 回（毎月開催）

2) 内藤和明企画：サイエンスカフェ「鶴見カフェ」、豊岡市（2014） 12 回（毎月開催）

3) 内藤和明企画：サイエンスカフェ「鶴見カフェ」、豊岡市（2015） 12 回

（毎月開催、参加者のべ 175 名）

4) 山室敦嗣、大迫義人企画：コウノトリ茶話会、豊岡（2015） 9回開催

5) 江崎保男、大迫義人企画：日本鳥学会2015年度大会 公開シンポジウム，神戸（2015）

「官民学の連携によるコウノトリの野生復帰の推進」

### (5) マスコミ等への公表・報道等

1) 記者会見（2014年3月20日、「豊岡の野外巣立ちコウノトリの韓国での確認について」）

神戸新聞、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、産経新聞、新日本海新聞、NHK、関西テレビ、朝日放送、毎日テレビ、読売テレビ、サンテレビ

2) 産経ニュース（2014年3月20日、西日本版、「コウノトリ、韓国で確認 初の国境越え」）

3) ソウル聯合ニュース（2014年3月20日、「兵庫県・豊岡で放鳥されたコウノトリ 韓国に初めて飛来」）

4) 夕刊読売新聞（2014年6月26日、地方版科学欄、「野生コウノトリ次々誕生」）

5) NHKテレビ（2015年、「ダーウィンがきた！生き物新伝説」取材協力）

## (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) BIRDLIFE INTERNATIONAL: Threatened Birds of the World, Lynx Edicions and BirdLife International, 85 (2000), Oriental stork *Ciconia boyciana*.
- 2) 大迫義人、三橋陽子：日本ツル・コウノトリネットワーク彙報 たづ 5、1-4 (2011)、日本における野生コウノトリの飛来・滞在記録 (2005~2009年)。
- 3) S.W. WINTER: Biology and Conservation of the Oriental White Stork *Ciconia boyciana*(Eds. M.C. COULTER, Q.-S. WANG and C.S. LUTHIN), Savannah River Ecology Laboratory, 31-45 (1991), Diet of the Oriental White Stork (*Ciconia boyciana* Swinhoe) in the Middle Amur Region, USSR.
- 4) 安田 健：江戸諸国産物帳—丹羽正伯の人と仕事、晶文社、139pp (1987).
- 5) 池田 啓：科学 70、569-578 (2000)、コウノトリの野生復帰をめざして。
- 6) H. WANG, X. LOU, Q. ZHU, Y. HUANG, L. ZHOU and B. ZHANG: Zoological Science, 28:606-608 (2011), Isolation and Characterization of microsatellite DNA markers for the Oriental White Stork, *Ciconia boyciana*.
- 7) 内藤和明、西海功、大迫義人：野生復帰、2、57-62 (2012)、豊岡の飼育下および野外のコウノトリの遺伝的多様性と繁殖計画への示唆。
- 8) 田和康太、佐川志朗、内藤和明：野生復帰、4、75-86 (2016)、9年間のモニタリングデータに基づく野外コウノトリ *Ciconia boyciana* の食性。
- 9) IUCN/SSC: Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations, Version 1.0, IUCN Species Survival Commission, viiii + 57 pp (2013).
- 10) Y. YAMAMOTO, K. MURATA, H. MATSUDA, T. HOSODA, K. TAMURA and J. FURUYAMA: Genes Genet Syst., 75, 1, 25-32 (2000), Determination of the complete nucleotide sequence and haplotypes in the D-loop region of the mitochondrial genome in the Oriental white stork, *Ciconia boyciana*.