

オガサワラカワラヒワの存続可能性分析

南波 興之^{1*}

Population Viability Analysis of Ogasawara Greenfinch in Ogasawara Islands

Tomoyuki NAMBA^{1*}

1. 日本森林技術協会 (〒102-0085 東京都千代田区六番町7番地)

Japan Forest Technology Association, 7 Rokuban-cho, Chiyodaku, Tokyo, 102-0085, Japan.

* t-namba@jafta.or.jp (author for correspondence)

要旨

オガサワラカワラヒワが減少している要因の抽出と保全計画の検討を行うため、存続可能性分析を行った。感度分析の結果、本種の個体数減少に関わっている可能性のある要因として、繁殖する属島のドブネズミによる卵等の捕食、母島のノネコによる捕食、気候変動による繁殖期の餌不足が考えられ、現状15年程度で絶滅することが予測された。本種の保全策としてドブネズミの駆除、ノネコの管理強化、生息域外保全で人工繁殖させた幼鳥を生息域内に戻す方法を検討した。その結果、保全策の単体としては個体群の減少速度を緩和させるものの、絶滅を回避することは難しかったが、これらの保全策を並行して行うことで絶滅を回避できる可能性があった。

キーワード

Chloris kittlitzii、PHVA、個体数、地域個体群の絶滅、保全計画

1. はじめに

オガサワラカワラヒワ *Chloris kittlitzii* の個体数は近年減少を続けており、繁殖可能個体数の推定数が2011年に120~280羽程度とされ(関東森林管理局、2011)、2020年には100羽程度と推定されている(川上・川口、2022)。オガサワラカワラヒワの個体数減少の原因は特定されていないが、外来のノネコ *Felis catus* やネズミ類による捕食等の影響が大きな要因の一つになっていると考えられている(川上、2019)。近年の急激な個体数の減少により、オガサワラカワラヒワの絶滅が危惧されており、保全計画の検討が必要とされている。そのため、オガサワラカワラヒワの個体数減少の脅威および保全計画の効果の定量的な評価をする必要性が求められている。そこで、存続可能性分析(Population Viability Analysis: PVA)を行った。

存続可能性分析は、人口統計学的手法を用いたモデルに環境的変数を組み込んで個体群の存続と絶滅リスクを予測するものである。個体数減少リスクの複合的な分析が可能であるが、求められる絶滅確率は絶対的な評価としてはやや限られる。しかし、感度分析によるパラメーターの相対的な重要性を検証することができるため、保全計画の効果を相対的に比較し、効果的に個体群を回復させるための保全計画の優先順位を特定できることが有用である (Reed *et al.*, 2002; Brook *et al.*, 2000)。

日本において存続可能性分析を用いて保全計画を検討した例として、IUCN の下部組織である CBSG (Conservation Breeding Specialist Group) の支援のもとに有志団体が実施した保全計画作り国際ワークショップ (Population and Habitat Viability Assessment: PHVA) が挙げられ、ツシマヤマネコ *Prionailurus bengalensis euptilurus* (ツシマヤマネコ PVA 実行委員会、2006)、ヤンバルクイナ *Gallirallus okinawae* (ヤンバルクイナ PVA 実行委員会、2006)、アカガシラカラスバト *Columba janthina nitens* (アカガシラカラスバト PHVA 実行委員会、2008) で実施された。これらの取り組みと同様に具体的な保全計画を検討するためのツールとして存続可能性分析を行い、オガサワラカワラヒワの絶滅の脅威の評価および保全計画の検討とその効果の検証を行った。

2. 材料と方法

2-1. 使用ソフトと解析の流れ

存続可能性分析のソフトとして、PHVA で使用実績のある VORTEX ver 10.3.6 (Lacy & Pollak, 2017) を使用した。本ソフトウェアは、個体ベースのシミュレーションモデルであり、ユーザーが入力したパラメータと確率に従って、各個体の出生から死亡に至るまでの確率的な人口統計学的、遺伝的、環境的プロセスを各年にわたってシミュレートして、個体群の存続可能性を分析する。

分析の流れは、以下の通りである。

(1) ベースモデルの作成

個体群動態の基本となるモデルを作成する。本稿では、2011 年時に個体数が平衡な状態を仮定して個体数が維持されるか緩やかな増加傾向になるように調整し、感度分析でどの要因が強く絶滅要因として影響があるか検証するためのベースモデルを作成した。

(2) 感度分析

個体群動態に関わるパラメーター (死亡率や繁殖率等) を変化させ、個体数減少に影響を与える要因を探る作業である。今回は、オガサワラカワラヒワの減少要因を仮定し、それらがオガサワラカワラヒワの生態的な要素 (死亡率、繁殖率等) に及ぼす影響を推定し、パラメーター設定を行った。

(3) 保全シナリオとその効果の検証

現状考えられる最悪の現状予測モデルを作成し、それに対して個体数減少を緩和するための保全計画を実施した場合、今後 30 年間の個体群維持にどの程度寄与するか複数の保

全策を比較した。

なお、Vortex の分析結果を R ver 4.0.3 (R Core Team, 2020) のパッケージ vortexR (Pacioni & Mayer, 2017) を用いて読み込み作図等の分析を行った。

2-2. ベースモデルの作成

オガサワラカワラヒワは、母島列島と火山列島の南硫黄島に生息しており、列島間の移動については不明である。主に種子食性で草本および木本植物の種子を餌資源として利用する (川上・川口, 2022)。繁殖は、3月下旬頃から造巣を始め、ヒナは5月下旬までに巣立ちをする。一腹卵数は、3~4個である (Nakamura, 1997)。寿命は、野生化で最長5年間、生存していることがわかっている (関東森林管理局, 2019)。これらの生態情報をもとにベースモデルを作成した。

ベースモデルは、100年後の平均個体数が初期値と比較して平衡または漸増状態になるように既存の調査から明らかになったオガサワラカワラヒワの生態情報をパラメーターにあてはめ、情報がないパラメーターは仮定で設定した (表 1)。シミュレーションで個体群成長モデルの指標である内的自然増加率 r の決定論的な自然増加率と確率論的な自然増加率を求め、さらに世代時間と安定齢分布を推定した。内的自然増加率 r がプラスを示すと個体数が時間の経過とともに増加し、値が大きいほど増加速度が高い。逆にマイナスであると減少する。Vortex では、決定論的な自然増加率を生命表を用いて標準的な人口学的手法で計算する。そのあとに入力した環境要因等の偶然起こる個体数変動要因を加味して確率論的な自然増加率を計算する。そのため、感度分析といったシナリオ間の効果の比較には確率論的な内的増加率を使用する。

シナリオ設定では、反復回数を 1,000 回とし、絶滅の定義は雌雄のどちらかの性別が消失することを条件とした。個体群の数について、オガサワラカワラヒワは母島個体群と南硫黄島個体群の2個体群が存在するが、モデルの単純化のため個体群の数を1とした。初期の個体群サイズは、2011年の個体数 (関東森林管理局, 2011) をベースに200羽を想定した。性比は、1:1で安定した年齢分布と仮定し、各性別の初期の年齢構成は後述する死亡率で Vortex が自動的に計算する (表 1)。環境収容力として、島に生息できる個体数の上限を設定するが、環境収容力の情報はないため仮に 3,000 羽とし、その個体数以上になったときは自動的に切り捨てることとした。

繁殖については、一夫一妻制とし初めてヒナを生産する年齢は雌雄ともに1歳からとした。オガサワラカワラヒワではメスが1歳から繁殖する事例が標識調査と繁殖調査の結果から確認されている (関東森林管理局, 2020)。雌雄ともに、繁殖可能な個体はほとんどが繁殖に参加することを仮定し、100%とした。つがいの繁殖は、1年で1回繁殖することを仮定し、つがいの80%が繁殖をし、20%がなんらかの理由で営巣放棄をすることを仮定した。ヒナの生産数は、平均値と標準偏差を指定する正規分布か、孵化するヒナ数の頻度分布を指定する方法があるが、孵化するヒナ数の頻度分布は不明である。そこで、一腹卵数が3

～4 であることから (Nakamura, 1997)、孵化するヒナ数を平均 3 個体程度になると仮定し、平均 3、標準偏差 (SD: Standard Deviation) 1 の正規分布とした。

死亡率は、オガサワラカワラヒワの生存率の情報がないため、近縁種のアオカワラヒワ *C. chloris* の生命表を参考とした (Pikula, 1989)。アオカワラヒワの成鳥の死亡率は 50% 程度であったが、小笠原は島であるため、成鳥の死亡率は大陸の鳥より高くないと想定し、それよりも低い 30% としヒナ (0-1 齢) は同程度の死亡率 60% とした。近交弱勢は離島であるため、過去にボトルネックを経験していると考えられ、致死遺伝子はほとんどないと想定した。寿命は 5 齢とし繁殖可能年齢も同様と想定した。標識調査により、最低 5 年間は生きていることがわかっている (関東森林管理局、2019)。環境変動 (EV: Environmental Variation) は、環境条件のランダムな変動によって生じる、繁殖と生存の確率の年間変動のことである。環境変動は、集団内のすべての個体に同時に影響を与える。この環境変動の原因は集団の外部にあり、例えば、天候、捕食者や餌の個体密度、寄生虫の負荷などが挙げられる。これらの要因は、繁殖と生存に独立して、または同時に影響を与える。0% で繁殖と生存の影響は完全に独立し、100% で完全に一致する。オガサワラカワラヒワの環境変動による繁殖率と生存率について連動しているかどうかは不明であるため、デフォルト値を使用した。

カタストロフとして、アカガシラカラスバト PHVA では台風が潜在的な大災害として採用され、年ごとの発生率は 5% (40 年間に 2 回) とされた。アカガシラカラスバトでは、すべての年齢クラスの生存率が 30% 減少するが、繁殖率には影響がないとした。しかし、その後の観察結果から台風は個体の死亡にほぼ影響がなく、繁殖に影響があることが推測されている。以上のことを参考とし、オガサワラカワラヒワの台風による生存率や繁殖率による影響は明らかではないが、台風の被害として餌木の風倒や営巣木とするモクマオウ林の風倒被害が観察されている (関東森林管理局、2020)。そこで仮の値として生存率には影響がなく、繁殖率が 30% 減少することを想定した。さらに、近年干魃が高い頻度で発生しており、植物の果実形成に影響がみられている。具体的な記録はないが、繁殖期に餌資源となる種子が減少すると繁殖に悪影響があると懸念されるため、仮の値として年ごとの発生率を 20% (5 年間に 1 回) とし、生存率には影響がなく繁殖率が 30% 減少することを想定した。

表 1. ベースモデルの各変数

SD は、標準偏差 (standard deviation)、EV は、環境変動 (environmental variation) を示す。

Table 1. Parameters of base model

SD means standard deviation; EV means environmental variation.

メニュー Menu	項目 Item	値 Value	出典 Reference
シナリオ設定 Scenario settings	反復回数 Number of iterations	1,000	
	年数 Number of years	100	
	絶滅の定義 Extinction definition	雌雄どちらかの性別の個体しか残らない Only 1 sex remains	
	個体群の数 Number of populations	1	
種特性 Species description	近交弱勢 Inbreeding depression	なし none	
繁殖システム Reproductive system	配偶システム Mating system	一夫一妻制 Monogamous	
	初めてヒナを生産する年齢 Age of first offspring	オス1齢、メス1齢 Male: age1, Female: age1	関東森林管理局 (2020)
	最大繁殖齢 Maximum age of reproduction	オス5齢、メス5齢 Male: age5, Female: age5	
	最高齢 Maximum lifespan	5	関東森林管理局 (2019)
	年繁殖数 Maximum number of broods per year	1	
	最大クラッチサイズ Maximum number of progeny per brood	4	
	ヒナの雌雄率 Sex ratio at birth	50%	
	密度依存性繁殖 Density dependent reproduction	なし none	
	繁殖率 Reproductive rates	成鳥メスの繁殖率 Breeding rates of adult females	90% EV=20%
つがいの繁殖率分布 Distribution of broods per year		繁殖しない=20% 0 brood 1回繁殖=80% 1 brood	
つがいあたりのヒナの生産数 Number of offspring per female per brood		mean=3 SD1	Nakamura (1997)
死亡率 Mortality rates	0-1齢の幼鳥死亡率 (雌雄) Mortality from age 0 to 1 (male and female)	60% EV=10%	
	1齢以上の成鳥死亡率 (雌雄) Mortality after age 1 (male and female)	30% EV=10%	
カタストロフ Catastrophes	大災害 (台風) Typhoon	年率5%の確率で発生し、繁殖率が30%減少 Annual frequency: 5%, decline 30% reproduction	
	大災害 (干魃) Drought	年率20%の確率で発生し、繁殖率が30%減少 Annual frequency: 20%, decline 30% reproduction	
	繁殖独占 Degree of monopolization of breeding opportunities	100%	
初期個体数 Initial population size	初期個体数 Initial population size	200 Male (age1: 38, age2: 26, age3:17, age4: 11, age5: 8) Female (age1: 38, age2: 26, age3:17, age4: 11, age5: 8)	関東森林管理局 (2012) 川上・川口 (2022)
環境収容力 Carrying capacity	環境収容力 Carrying capacity	3,000	
捕獲 Harvest	捕獲 Harvest	なし none	
個体の補強 Supplementation	個体の補強 Supplementation	なし none	

2-3. 感度分析のモデル作成

オガサワラカワラヒワの生態のパラメーターの変化が存続確率に与える影響を検証するため、感度分析を行った。脅威となる要因および保全計画の実施によって改善するパラメーターを仮定し、ベースモデルからそれぞれのパラメーターを一定の範囲で、表2に示すように変化させてシミュレーションを行った。

初期個体数は、関東森林管理局（2011）が行った繁殖可能個体数の推定値の範囲より広い範囲を想定して、50~300 個体の範囲で検討した。成鳥死亡率および幼鳥死亡率は、ノネコの捕殺により成鳥または幼鳥が死亡することを想定して、死亡率を増加させた。さらに、なんらかの方法で成鳥および幼鳥を保護して個体の死亡率が減少した場合を想定した。なお、成鳥および幼鳥の5%の死亡率増加は、個体数が200 個体のときに年あたり約10羽がノネコに捕殺されることを意味する。つがいあたりのヒナの生産数は、孵化したヒナのことを意味し、これはメスの産んだ卵の数と孵化率に影響を受ける。これらの与える条件として親鳥の栄養状態が影響することを想定し、繁殖期前の餌資源の条件が悪くなる場合、つがいあたりのヒナの生産数が低下することを想定した。つがいの非繁殖割合は、オガサワラカワラヒワのつがいが営巢中に外来のネズミに卵等が捕食され営巢を放棄することを想定した。さらにベースモデルで検討しなかった近交弱勢を考慮した。近交係数と死亡率は、Vortex のデフォルトを使用した。シミュレーションを行ったそれぞれのモデルについてベースモデルとの確率論的自然増加率（Stochastic r）を比較した。

オガサワラカワラヒワは、母島の個体群と南硫黄島の個体群が存在しており、実証はされていないが、それぞれの個体群が分散・交流している可能性が考えられる。そこで、母島の個体群と南硫黄島の個体群が移動していることを想定し、ベースモデルと比較して、母島個体群、メタ個体群の絶滅確率を推定した。各パラメーターは、母島個体群、南硫黄島個体群ともにベースモデルを使用した。南硫黄島の生息地の大きさを考慮して初期個体数を100、環境収容力を500とした。分散パラメーターは、分散する個体の齢を1~5 齢、分散する性別は、雌雄両方、分散する個体の分散時の生存率を80%、分散する個体の割合を1%でシミュレーションを行った。シミュレーションの結果について、母島個体群、南硫黄島個体群、両方を合わせたメタ個体群の絶滅確率を検討した。なお、カタストロフについては、母島個体群および南硫黄島個体群ともに同じ確率で発生し影響も同様とした。カタストロフが各個体群に同調して発生する場合と独立して起こる場合では個体群存続確率は後者の方が高くなる。今回は発生確率を同じにしているため、結果的に同調してカタストロフが発生していることになる。以上の想定をオガサワラカワラヒワの生態的なパラメーターと要因の関係性を簡略化したスキームを図1に示す。

表2. 感度テストに用いたパラメーター

下線部はベースモデルの値。

Table 2. Parameters of sensitivity test

The underlined parts indicate the values of the base model.

項目 Item	略名 Term	値 Value
初期個体数 Initial population size	P	50, 100, 150, <u>200</u> , 250, 300
成鳥死亡率 (%) Mortality after age 1	AM	20, 25, <u>30</u> , 35, 40, 50
幼鳥死亡率 (%) Mortality from age 0 to 1	JM	50, 55, <u>60</u> , 65, 70, 80
つがいあたりのヒナの生産数 Number of offspring per female per brood	FD	2.0, 2.5, 2.8, <u>3.0</u>
つがいの非繁殖率分布 (%) Distribution of non-breeding broods per year	NB	<u>20</u> , 25, 30, 35, 40, 50
近交弱勢 Inbreeding depression	ID	<u>なし</u> 、あり

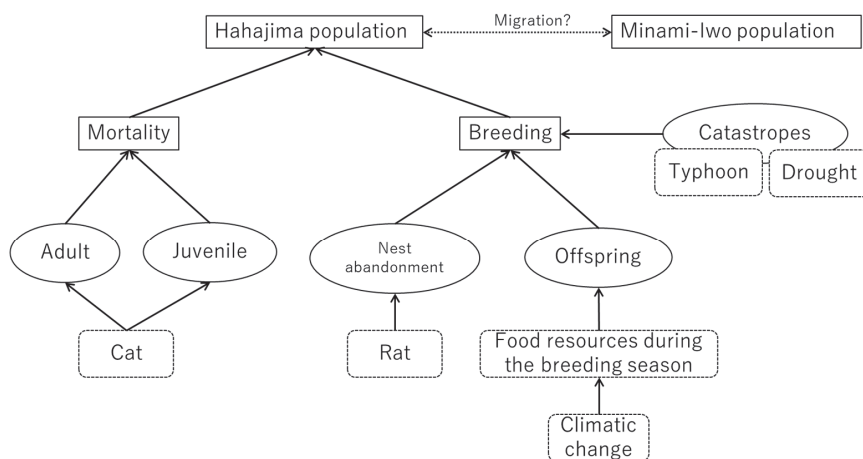


図1. オガサワラカラヒワの個体群に影響する要因の関係図

Figure 1. Relationship diagram of factors affecting Ogasawara Greenfinch's population

2-4. 現状モデルの作成と保全計画の検証

現在母島列島でオガサワラカワラヒワが置かれている状況を踏まえて、現状モデルを作成した。初期個体数を川上・川口 (2022) の推定値である 100、成鳥の繁殖参加割合を雌雄ともに 100%、ノネコに成鳥・幼鳥ともに捕殺されることを想定して、死亡率を幼鳥が 65% とし、成鳥は 35% とした。つがいの非繁殖率は、ネズミに営巣地を襲われ 40% が営巣放棄をすることを想定した。また、近年干魃が続いていることから、気候変動に餌条件が悪くなることが連続して発生することが懸念される。そこで、確率的に干魃が起きて繁殖率に影響が起こるのではなく、今後は以前よりも餌条件が悪くなり繁殖に影響を及ぼすことを想定して、カタストロフとしての干魃の発生を削除し、平均ヒナ生産数を 2.8 とした。さらに、今後個体数が減少すると近交弱勢も発生しうることを想定して、近交弱勢をモデルに加えた。近交弱勢は、Vortex のデフォルト設定値を使用した。

以上の現状モデルから保全計画を行い実行することを想定して、5 つのシナリオを想定した。

(1) シナリオ 1 : 属島でのネズミ対策

オガサワラカワラヒワの繁殖が確認されている母島の属島の 5 島 (向島、姉島、妹島、姪島、平島) のうち、母島からのアクセス性がよく島の環境条件から繁殖数が比較的多いと考えられる向島と姉島でネズミの駆除事業を行い、オガサワラカワラヒワの巣への捕殺圧力がなくなったことを想定し、つがいの非繁殖率が 20% となることを想定した。

(2) シナリオ 2 : 母島のノネコの管理強化

母島では現在ノネコを捕獲して、内地へ送り順化させたあとペットとしてボランティアが飼養する活動を行っている (堀越、2007; 中山、2009; 有川、2018)。その捕獲圧を高めることにより、母島内のオガサワラカワラヒワの飛来地に生息するノネコを排除することでオガサワラカワラヒワの死亡率が低下することを仮定し、幼鳥および成鳥の死亡率が 5% 低下することを想定した。

(3) シナリオ 3 : 最大限の域内保全対策の実施

シナリオ 1 とシナリオ 2 の対策を両方行い、生息域内における最大限の保全対策を行うことを仮定し、つがいの繁殖率が 20% 上昇し、幼鳥および成鳥の死亡率が 5% 低下することを想定した。

(4) シナリオ 4 : 生息域外保全による飼育の開始と人工繁殖による個体群補強の実施

母島でオガサワラカワラヒワをファウンダーとして捕獲し、飼育下で繁殖させる。飼育開始 (シミュレーション開始) 後 5 年後から毎年 10 羽 (オス 5 羽、メス 5 羽) ずつ幼鳥を 15 年間母島個体群へ補強することを想定した。なお、今回のシミュレーションでは捕獲に

よる母島個体群の減少は想定していない。

(5) シナリオ5：全ての保全対策の実施

シナリオ1、シナリオ2、シナリオ4を全て行うことを仮定し、つがいの繁殖率が20%上昇し、幼鳥の死亡率が10%低下し、シミュレーション開始後5年目から毎年10羽（オス5羽、メス5羽）ずつ幼鳥を20年間母島個体群へ補強することを想定した。

3. 結果

3-1. ベースモデル

シミュレーションの結果、100年間の個体群の推移は、概ね一定状態から漸増を保ち、決定論的自然増加率 $r=0.045$ となり、確率論的自然増加率 $r=-0.002$ となった。世代時間は雌雄ともに2.28年と推定され、安定齢分布（構成比）は雌雄ともに当齢0.250、1齢0.096、2齢0.064、3齢0.043、4齢0.029、5齢0.019となった。また、絶滅確率は0.36で、平均絶滅年は57.1年であった。

3-2. 感度分析

(1) 各パラメーターの検討

初期個体数(P)、成鳥死亡率(AM)、幼鳥死亡率(JM)、つがいあたりのヒナの生産数(FD)、つがいの非繁殖率分布(NB)、近交弱勢(ID)のそれぞれのシミュレーション結果の確率論的自然増加率について図2に示す。 $r=0$ の平行線は、ベースモデルを示す。初期個体数の変動は、ベースモデルの200よりも個体数が大きいと確率論的自然増加率はプラスになり、ベースモデルより下回ると確率論的自然増加率は、マイナスとなるが他の変数と比較すると変動幅は小さい傾向にあった。成鳥死亡率と幼鳥死亡率は、値の変動による確率論的自然増加率の変動が大きく、死亡率がベースモデルよりも小さくなるとプラスになった。成鳥死亡率と幼鳥死亡率を比較すると死亡率低下による確率論的自然増加率の増加量と死亡率増加による減少量ともに幼鳥死亡率の方が変動幅は大きい傾向にあった。つがいあたりのヒナの生産数およびつがいの非繁殖率分布は、ベースモデルがそれぞれ3.0および20よりも小さくなると確率論的増加率 r は減少する傾向にあった。近交弱勢があると仮定した場合、ベースモデルよりも確率論的増加率 r が減少する傾向にあった。

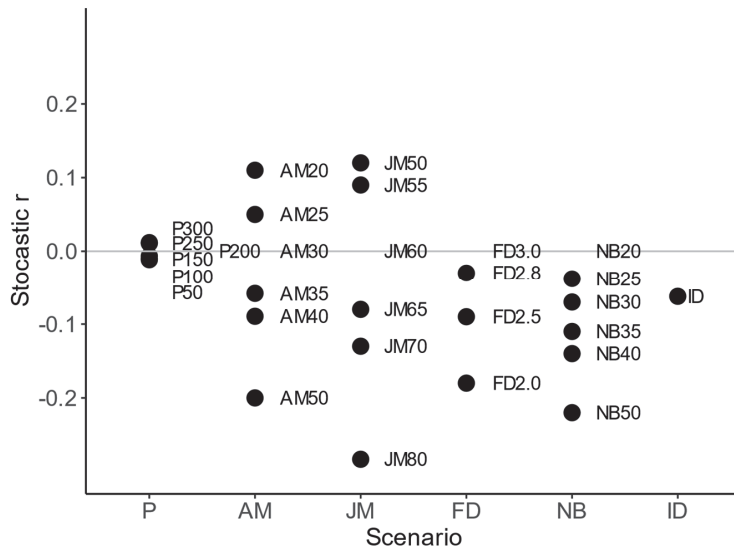


図2. 感度分析による確率論的自然増加率 r の比較

平行線 ($r=0.0$) は、ベースモデルを示す。P：初期個体数、AM：成鳥死亡率、JM：幼鳥死亡率、FD：つがいあたりのヒナの生産数、NB：つがいの非繁殖率分布、ID：近交弱勢。

Figure 2. Comparison of stochastic- r by sensibility analysis. Horizontal line ($r=0.0$) indicates base line model.

P: Initial population size, AM: Mortality after age 1, JM: Mortality from age 0 to 1, FD: Number of offspring per female per brood, NB: Distribution of non-breeding broods per year, ID: Inbreeding depression.

(2) 2島個体群を仮定した場合

母島個体群 (Haha)、南硫黄島個体群 (Minami-Iwo)、両方の個体群を合わせたメタ個体群 (Metapopulation) の100年間の絶滅確率を図3に示す。ともに20年程度から絶滅確率が上昇をはじめ、100年後の絶滅確率はメタ個体群で0.29であった。母島個体群、南硫黄島個体群がそれぞれ0.32となり、ほぼ同様となったが絶滅確率の推移は南硫黄島個体群の方が母島個体群よりも高い傾向にあった。

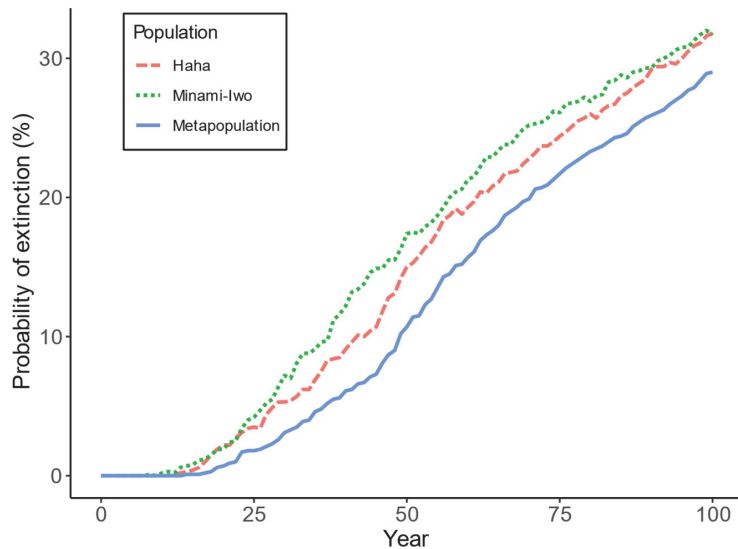


図3. 母島個体群（Haha）と南硫黄島個体群（Minami-Iwo）の100年間の絶滅確率の推移
 メタ個体群（Metapopulation）は2島の個体群を合わせた場合を表す。

Figure 3. Probability of extinction during 100 years about Hahajima population and Minami-Iwo population

Meta population represents the combined populations of the two islands.

3-2. 現状モデルの作成と保全計画の検証

現状モデル（Present situation）およびシナリオ（Scenario）1～5のオガサワラカワラヒワの30年間の個体数変動のシミュレーション結果を表3に示し、個体数の推移を図4に示す。現状モデルではオガサワラカワラヒワの個体数が5年で半減し、約15年で絶滅することが推定された。シナリオ1（属島でのネズミ対策）とシナリオ2（母島のノネコの管理強化）では、現状モデルよりも確率論的自然増加率 r が大きくなった結果、個体数の減少速度が遅くなり15年程度で個体数が半減し、30年程度で絶滅するほぼ同様な推定がなされた。一方で、属島でのネズミ対策と母島のノネコの管理強化を両方行うシナリオ3においては、確率論的自然増加率 r がプラスに転じたことで個体数の緩やかな上昇が見られ、30年後に400個体程度になると推定された。さらにシナリオ4（生息域外保全による飼育の開始と人工繁殖による個体群補強の実施）では、個体群補強が始まる5年目から個体数の減少は一時的に止まるが補強をやめる25年目からは個体数の減少が始まると推定された。全ての保全対策を組み合わせたシナリオ5では、個体数の上昇が起り、15年目に1,000個体を越えることが推測され、図4では示していないがその後も個体数の上昇が続き、30年目には2,708個体に達すると推定された。

表3. 現状モデルと各シナリオのシミュレーション結果

シナリオ1：母島属島でのネズミ対策、シナリオ2：母島のノネコの管理強化、シナリオ3：ネズミ対策とノネコ管理の両方、シナリオ4：生息域外保全による飼育開始と人工繁殖による個体群補強、シナリオ5：全ての保全対策。SDは、標準偏差を示す。

Table 3. Simulation result of present situation and scenarios

Scenario 1: Rat control on islands where Ogasawara Greenfinch breeding. Scenario 2: Strengthening management of stray cats in Hahajima Island. Scenario 3: Carrying out both of rat control and stray cats control. Scenario 4: Initiation of breeding by *ex-situ* conservation and population reinforcement by artificial breeding. Scenario 5: Carrying out the three conservation actions. SD means standard deviation.

シナリオ Scenario	決定論的 r Deterministic r	確率論的 r Stochastic r	SD (Stochastic r)	絶滅確率 Probability of extinction	30年後の個体数 Number after 30 years	SD (Number)
Present situation	-0.14	-0.25	0.29	1.00	0	0
Scenario 1	0.02	-0.12	0.27	0.70	16	59.5
Scenario 2	0.01	-0.11	0.25	0.68	13	44.4
Scenario 3	0.18	0.01	0.21	0.08	410	586.9
Scenario 4	-0.08	-0.05	0.24	0.01	27	20.7
Scenario 5	0.26	0.14	0.18	0.00	2708	517.4

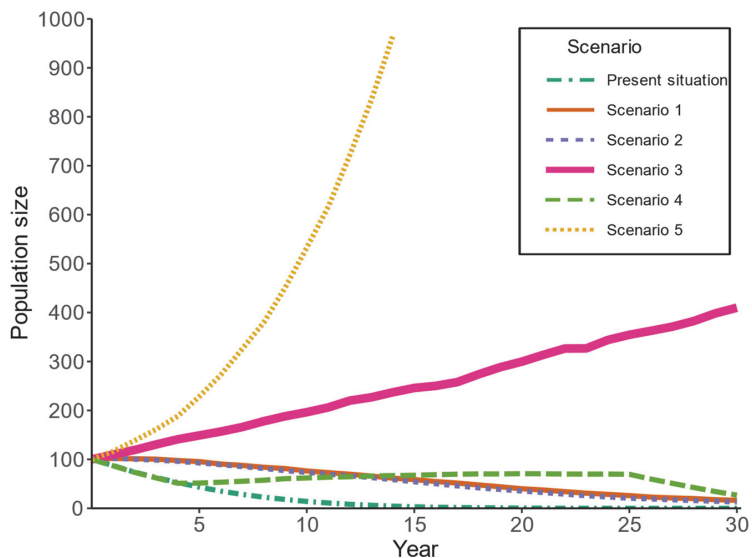


図4. 現状モデルと各シナリオのシミュレーション結果

シナリオ5では個体数は上昇を続け、30年目には2,708個体に達すると推定された。

Figure 4. Simulation result for present situation and each scenario

In Scenario 5, the population size continued to rise until it was out of the figure frame, and after 30 years, it was 2,708 individuals.

4. 考察

4-1. 感度分析

感度分析の結果から初期の個体数、成鳥死亡率、幼鳥死亡率、つがいの幼鳥生産数、つがいの非繁殖率の全てが確率論的自然増加率に影響するが、その影響度合いは異なる。初期の個体数は、ベースモデルの200から数値を前後させると確率論的自然増加率も前後に変動するが、ほとんどベースモデル付近であることから、初期個体数が50~300程度ではほとんど自然増加率には影響がなく他の要因が自然増加率に影響すると考えられた。成鳥死亡率と幼鳥死亡率は、他の要因と比較して大きく変動し、特に幼鳥の死亡率が変動の範囲がもっとも大きかった。ベースモデルよりも死亡率を抑えることができれば、自然増加率は上昇しオガサワラカワラヒワの個体数が増加することが期待できるため、何らかの方法によって成鳥、幼鳥の死亡率を下げるのが重要である。特に幼鳥の死亡率は、もともと成鳥よりも高いため、死亡率減少の伸び代は高いと推測される。

母島におけるオガサワラカワラヒワの死亡要因のうち、外来種由来として考えられるものとしてノネコによる捕食が考えられる。母島に生息しているノネコのオガサワラカワラヒワへの捕食は、糞分析によって確認されており、108サンプルで2例確認されている(川上・益子, 2008)ことから、相当数のオガサワラカワラヒワがノネコに捕食されていることが推測できる。成鳥および幼鳥の死亡率の5%上昇は個体数が200個体と想定したときのノネコによる年間10個体、100個体と想定した時の5個体の捕食に相当する。川上・益子(2008)の結果から年間のノネコによるオガサワラカワラヒワの捕食数は推定できないが、1年で5~10個体程度捕食されている可能性は十分考えられる。そのため、ノネコの管理によるオガサワラカワラヒワの捕食圧を抑えることはオガサワラカワラヒワの保全上有効であると考えられる。

繁殖期における餌資源減少について、小笠原諸島においては近年の大型台風の通過による倒木の発生や干魃の発生により餌資源である種子の生産が少なくなる可能性が考えられる。繁殖期のオガサワラカワラヒワの重要な餌資源としてムニンアオガンピ *Wikstroemia pseudoretusa* が挙げられており、繁殖期のヒナへの給餌のほとんどが本種と考えられた(Nakamura, 1997)。ムニンアオガンピの花期は主に7月から9月とされ、花や未熟果が台風には飛ばされるといった被害により、オガサワラカワラヒワの繁殖期である4月に餌資源となる果実が減少することが推測される。また、気候変動によって異常気象等の影響で餌資源となる種子の供給が減少した場合、オガサワラカワラヒワの生存率や繁殖率等様々な影響が予測される。繁殖率は、一腹卵数、つがいの非繁殖、幼鳥(ヒナ)の生存率といった様々な要因がある。また、カタストロフとして台風や干魃をモデルとして想定しているが、それら以外の気候変動による要因として今回はモデルの単純化のため、餌不足によってつがいの栄養状態が悪くなり一腹卵数の減少等により孵化する卵数の減少が起こることを仮定し、ベースモデルの3.0から2.0までのモデルをシミュレーションした。孵化する卵

数が減少するほど自然増加率は減少する結果となった。この仮定では外来種等による影響ではなく、気候変動による影響が予測されているため、保全策等による短期的中期的な影響緩和策を取することは難しいと考えられる。今後の保全策を検討するうえでつがいの生産するヒナ数が減少する影響を加味した上で、今後のオガサワラカワラヒワの保護増殖に向けて検討する必要がある。

つがいの非繁殖率の上昇は、ドブネズミ *Rattus norvegicus* による営巣地の卵の捕食によって、つがいとその年の営巣を放棄することを想定している。オガサワラカワラヒワの繁殖が確認されている母島属島では、外来種であるドブネズミによるオガサワラカワラヒワの卵の捕食圧による繁殖への影響が懸念されている(川上、2019)。ベースモデルに対して5%の非繁殖率の上昇は、繁殖可能個体数が雌雄ともに100個体であった場合、100つがいのうち1年間で5つがいがドブネズミによる卵の捕食で営巣放棄することを示している。繁殖期におけるドブネズミによるオガサワラカワラヒワの営巣地の卵の捕食頻度は不明であるが、人工巣にウズラのゆで卵を使用した実験ではドブネズミ優占区における人工巣の卵の設置翌日の捕食率は9%であった(川上、2019)。近縁のカワラヒワの抱卵期間は、平均12.75日である(羽田・中村、1970)。単純に10%の確率で毎晩捕食されることを仮定すると12日間のうちに約7割のドブネズミが到達できる巣が襲われる可能性が考えられる。そのため、現状はドブネズミが到達できない通直な樹形のトクサバモクマオウ *Casuarina equisetifolia* 営巣木で繁殖したつがいのみ繁殖に成功している状況(関東森林管理局、2021)であると考えられる。さらにネズミの影響は、今回のモデルでは非繁殖率にまとめているが、ネズミは卵の捕食、ヒナの捕食、餌資源の競争と複合的に抱卵期～育雛期に影響する可能性があるため、幼鳥の死亡率にも影響することが予測される。そのため、属島におけるネズミの排除の影響は、今回のモデル以上に影響が大きい可能性がある。

母島列島のオガサワラカワラヒワ個体群と南硫黄島個体群が移動していると仮定した場合、100年後の絶滅確率は0.32であり、ベースモデルの0.36よりも絶滅確率は低い結果となったため、母島個体群と南硫黄島個体群が移動しているのであれば、母島個体群の個体群減少と絶滅の可能性は若干過大評価の可能性はある。また、メタ個体群の絶滅確率は0.29と低くなっているが、これは母島個体群と南硫黄島個体群の両方をあわせたことで初期個体数が大きくなったことが要因であると考えられる。一方で、このシミュレーション結果は、南硫黄島個体群が維持されていれば、オガサワラカワラヒワの種の絶滅の可能性が低いということではなく、南硫黄島個体群のみでは個体数が少なすぎるため、偶発的な確率で絶滅する可能性をはらんでいることを示唆している。そのため、南硫黄島個体群が維持されているということでオガサワラカワラヒワの種の保存がされていると楽観視することはできない。

4-2. 現状モデルの作成と保全計画の検証

繁殖可能個体数の推定値が2011年で120~280とされているため、中間値の200で考え

ると2020年で繁殖個体数が約100羽と推定され約10年で個体数が半減している。一方で、母島列島のオガサワラカワラヒワをとりまく状況を総合的に想定した現状モデルにおいて、現状が100個体であると5年程度で50個体程度に半減し、15年程度で絶滅すると推定された(図4)。個体数が半減する期間が200個体であった2011年当時よりも100個体を初期値とした今回のシミュレーションの方が短く推定された。シミュレーションで推定される絶対値は、モデルの特性上完全に信用がおけるとは言えないものの、もとの個体数が少ないことで個体数の減少速度が増している可能性が示唆された。野外における寿命が2.3年程度で最長5年程度である小鳥にとって50~100個体は種の存続に非常に厳しい個体数であり、遺伝的な多様性が保てずに個体数が減少方向に吸い込まれていくような絶滅の渦(嶋田ほか、2005)に入り個体群の維持に支障がでてくる可能性がある。

属島における外来ネズミ類を駆除する環境緩和策は、小笠原諸島において聳島列島、父島列島で実施されており(自然環境研究センター、2021; 東京都小笠原支庁、2021a、2021b)、外来ネズミ類が食害をしていたと考えられる鳥類、甲殻類、在来植生の稚樹等の個体群が増加する傾向が見られている(川上、2019; 東京都小笠原支庁、2021a)。オガサワラカワラヒワの個体群減少の要因の一つとして、母島属島に生息する外来のドブネズミがオガサワラカワラヒワの卵等を食害している可能性が考えられている(川上、2019; 川上・川口、2022)。今回のドブネズミによる営巣地の卵の捕食を想定した感度分析の結果もそれを支持した結果となった。保全計画のシナリオ1のシミュレーション結果からドブネズミの駆除作業によって母島属島から根絶させることは個体群の保全に有効であると考えられる。しかしながら、母島個体群が100個体程度まで減少している状況では、ドブネズミの根絶だけでは個体数の減少速度(個体数の半減)を現状モデルの5年から15年にまで抑える程度であることが推測された。

母島に生息しているノネコの捕獲作業は、母島の南部地域で実施されている(小笠原自然文化研究所、2021)が、ノネコがオガサワラカワラヒワの飛来地域で確認されている状況は続いており(関東森林管理局、2021)、さらに捕獲作業を進めることが期待される。ノネコによるオガサワラカワラヒワの捕食の恐れがなくなった場合を想定したときに、シナリオ2のように個体数の減少速度がシナリオ1と同程度の緩和がされると推測された。シナリオ1とシナリオ2では、いずれもオガサワラカワラヒワの保全効果は認められるが、それぞれいずれかのみを実施した場合には個体数の減少を止めることはできず、将来的な絶滅は回避できないが、両方の保全計画が実施されると個体数は上昇傾向を示し将来的な絶滅が回避できる可能性が示された。しかしながら、個体数回復速度は緩やかで確率論的自然増加率 $r=0.01$ で30年後の個体数は400個体程度となるため、安定した個体数の増加にはさらなる保全策が必要となる。

オガサワラカワラヒワを捕獲し飼育する生息域外保全により繁殖させた個体を母島で放逐する母島個体群への補強は、シナリオ4のシミュレーションのとおり、母島個体群に補強を行う5年目から25年目の20年間は個体数の減少が抑えられるが、補強を中止した25

年目以降は、現状モデルと同様の個体数減少をしてしまうため、単体としての個体群の維持効果はそれほど大きくない。しかし、他の保全策と組み合わせることで効果を発揮し、属島におけるドブネズミの駆除と母島におけるノネコの管理を強化することと組み合わせたシナリオ5では、オガサワラカワラヒワの個体数が急速に回復し、確率論的自然増加率 $r=0.14$ 、30年後の個体数は2,708となり、絶滅が回避できる可能性が非常に大きくなった。域外保全に用いる個体の齢は、幼鳥であることが望ましい。幼鳥の保護による死亡率の低下は、オガサワラカワラヒワの保全上効果が高いことが感度分析で推測できた。また、今後の繁殖可能な個体をできるだけ長期間維持する上でも若い個体の方が有利であると考えられる。今回のシミュレーションでは、幼鳥の死亡率の変化はノネコによる捕食による死亡率の変化を主な要因として想定している。域外保全の一環として、幼鳥を一時飼養して、ある程度成長してから放鳥することが幼鳥の死亡率を低減させることにつながるのであればオガサワラカワラヒワの絶滅確率が減少することが期待できる。

今回のシミュレーションにおいて、オガサワラカワラヒワの保全に関わる生態で不明なこととして、繁殖が挙げられる。オガサワラカワラヒワは、4月～5月に繁殖期であることが知られているが、年2回繁殖は記録されておらず、ドブネズミに卵を食べられ営巣放棄したつがい再度繁殖するかどうか不明である。寿命は、最大寿命が5年で今回のベースモデルのシミュレーションでは世代時間が2.3年程度とされた。アカガシラカラスバトは、2008年のPHVA当時のPVAによるシミュレーションでは最高齢が13年と想定され、年繁殖数も2回が想定され、2008年当時の推定個体数は、40個体程度とされた（関東森林管理局、2006；アカガシラカラスバトPHVA実行委員会、2008）。しかし、父島および母島でノネコの管理が進んだことで、ノネコからの捕食圧から解放されたアカガシラカラスバトは、生息環境が改善したあとに急速に回復した。父島では個体数推定はされていないが、2013年に最大数の600個体が観察され（堀越ほか、2020）、母島では個体数推定により2018年に最大値の317個体が推定された（関東森林管理局、2021）。そして、年に4回繁殖したオスが父島の東平で確認されており（堀越和夫、私信）、環境条件次第で周年の繁殖が可能であることがわかってきた（堀越ほか、2020）。以上より、オガサワラカワラヒワの繁殖条件はアカガシラカラスバトよりも限定されるため、保全計画が実行されて環境改善を行ってもアカガシラカラスバトよりも回復速度が遅い可能性が考えられる。そのため、個体数の回復のためには、相対的に域外保全による人工繁殖と個体群への補強の重要性は高いと考えられる。

5. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、Kathy Traylor-Holzer氏にPHVAの本大会に向けてシミュレーションモデルについて助言を受けた。本大会では、川上和人氏、堀越和夫氏、米田久美子氏、富田恭正氏とモデルの結果について議論した。黒沢令子氏には原稿について助言を受けた。ここに深い感謝の意を申し上げたい。

6. 引用文献

- アカガシラカラスバト PHVA 実行委員会 (2008) アカガシラカラスバト保全計画作り国際ワークショップ最終報告書. アカガシラカラスバト PHVA 実行委員会, 156p.
- 有川 美紀子 (2018) 『小笠原が救った鳥』 緑風出版, 193p.
- Brook B, O'Grady J, Chapman A, Burgman MA, Akçakaya, HR & Frankham R (2000) Predictive accuracy of population viability analysis in conservation biology. *Nature* 404: 385-387.
- 羽田 健三・中村 浩志 (1970) カワラヒワの生活史に関する研究. 鳥 20: 41-59.
- 堀越 和夫 (2007) 鳥類保護とネコ問題. 生物の科学 遺伝 61: 68-71.
- 堀越 和夫・鈴木 創・佐々木 哲朗・川上 和人 (2020) 小笠原諸島父島における外来ネコ対策後のアカガシラカラスバトの個体数増加. 日本鳥学会誌 69: 3-18.
- 関東森林管理局 (2006) 希少野生動物種(アカガシラカラスバト)保護管理対策調査報告書. 林野庁関東森林管理局, 94p.
- 関東森林管理局 (2011) 平成 23 年度希少野生動物種オガサワラカワラヒワ等保護管理対策調査報告書. 林野庁関東森林管理局, 118p.
- 関東森林管理局 (2019) 平成 30 年度小笠原諸島希少鳥類保護管理対策調査報告書. 林野庁関東森林管理局, 111p.
- 関東森林管理局 (2020) 平成 31 年度小笠原諸島希少鳥類保護管理対策調査報告書. 林野庁関東森林管理局, 106p.
- 関東森林管理局 (2021) 令和 2 年度小笠原諸島希少鳥類保護管理対策調査報告書. 林野庁関東森林管理局, 88p.
- 川上 和人 (2019) 小笠原諸島における攪乱の歴史と外来生物が鳥類に与える影響. 日本鳥学会誌 68: 237-262.
- 川上 和人・川口 大朗 (2022) オガサワラカワラヒワの生態と個体群の現状. 小笠原研究 48: 3-15.
- 川上 和人・益子 美由希 (2008) 小笠原諸島母島におけるネコ *Felis catus* の食性. 小笠原研究年報 31: 41-48.
- Lacy RC & Pollak JP (2017) Vortex: A stochastic simulation of the extinction process, Version 10.2.6. Chicago Zoological Society.
- Nakamura H (1997) Ecological adaptations of the Oriental Greenfinch *Caruelis sinica* on the Ogasawara Islands. *Japanese Journal of Ornithology* 46: 95-110.
- 中山 隆治 (2009) 小笠原の外来種対策事業: 行政・島民・研究者の協働. 地球環境 14: 107-114.
- 小笠原自然文化研究所 (2021) 小笠原地域自然再生事業生態系保全のためのノネコ対策調査業務報告書. 環境省関東地方環境事務所, 116p.
- Pacioni C & Mayer F (2017) vortexR: an R package for post Vortex simulation analysis. *Methods in*

Ecology and Evolution 8: 1-5.

Pikula J (1989) The age structure, mortality and natality of populations of selected bird species belonging to families Fringillidae and Emberizidae. *Folia Zoologica* 38: 167-182.

R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Reed J, Mills L, Dunning J, Menges E, Kelvey C, Frye R, Beissinger S, Anstett M & Miller P (2002) Emerging issues in population viability analysis. *Conservation Biology* 16: 7-19.

嶋田 正和・山村 則男・粕谷 英一・伊藤 嘉昭 (2005) 『動物生態学新版』海游社, 614p.

自然環境研究センター (2021) 令和 2 年度小笠原地域自然再生事業外来ほ乳類対策調査業務報告書. 環境省関東地方環境事務所, 93p.

東京都小笠原支庁 (2021a) 令和 2 年度聳島列島植生回復調査委託報告書. 東京都小笠原支庁, 324p.

東京都小笠原支庁 (2021b) 令和 2 年度南島自然環境調査委託報告書. 東京都小笠原支庁, 138p.

ツシマヤマネコ PVA 実行委員会 (2006) ツシマヤマネコ保全計画づくり国際ワークショップ最終報告書. ツシマヤマネコ PVA 実行委員会, 106p.

ヤンバルクイナ PVA 実行委員会 (2006) ヤンバルクイナ個体群存続可能性分析に関する国際ワークショップ報告書. ヤンバルクイナ PVA 実行委員会, 40p.

SUMMARY

Population Viability Analysis of Ogasawara Greenfinch in Ogasawara Islands

Tomoyuki NAMBA^{1*}

1. Japan Forest Technology Association, 7 Rokuban-cho, Chiyodaku, Tokyo, 102-0085, Japan.

* t-namba@jafta.or.jp (author for correspondence)

I conducted a population viability analysis to identify factors contributing to the decline of the Ogasawara Greenfinch population and examined conservation plans for the species. The results of the sensitivity analysis indicated that the predation of eggs by black rats on the breeding habitat, predation of Greenfinches by stray cats on the Hahajima Island, and the lack of food resources during the breeding season due to climate change were potential factors responsible for the decline in the population. Furthermore, assuming that the current population on the Hahajima Island is predicted to go extinct in about 15 years. As conservation measures for the Ogasawara Greenfinch, I considered rat control on the breeding habitat, strengthening the management of stray cats on the Hahajima Island, and returning artificially bred juveniles to the habitat as *ex-situ* conservation. As a result, although each measure will not be enough to mitigate the rate of decline of the Ogasawara Greenfinch population, the simultaneous implementation of all of these conservation measures will avoid the extinction of the species by increasing the population.

Key words

Chloris kittlitzii, Conservation measures, Extinction of local population, PHVA, Population