

新潟県佐渡島におけるトキの再導入個体群の存続可能性

* 永田尚志¹・山岸 哲¹

Probability of persisting re-introduced population of Japanese Crested Ibis, *Nipponia nippon*, for 50 years on Sado Island, Niigata

* Hisashi Nagata¹ and Satoshi Yamagishi¹

¹ Center for Toki and Ecological Restoration, Center for Transdisciplinary Research, Niigata University, 8050 Ikarashi-Ninocho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan

* Phone/fax: +81-(0)25-262-7639

E-mail: hnagata@gs.niigata-u.ac.jp

Abstract The Japanese crested ibis (*Nipponia nippon*) used to be widespread in Japan, but the species was extinct in the wild in 1981. In order to re-establish a wild population, a reintroduction programme has been implemented on Sado Island since 2005. This programme aims to reintroduce 60 ibises to Japan by 2015. To date 10 ibises were hard-released in 2008, and 68 were soft-released between 2009 and 2011. In order to evaluate whether re-introduced population will persist for 50 years on Sado Island, population viability analysis (PVA) was conducted by using population parameters of wild population in China and captive one in Japan. Re-introduced population will persist for 50 years if it has the same population parameters as Chinese ones exposed to less than 25% environmental fluctuation. After 2016, continuous releases of a minimum number of individuals will be necessary to maintain more than 60 ibises on Sado Island, if breeding success will not reach to Chinese level. To establish re-introduced population of the ibis, it is necessary to improve the breeding success and survival rate at first year.

Key words Japanese crested ibis, Environmental fluctuation, Extinction, Mortality, Population Viability Analysis (PVA), Re-introduced population

はじめに

トキ (*Nipponia nippon*) は、江戸時代まで日本全国で普通に見ることのできた鳥であった。明治維新によって銃猟が庶民に解禁されたことで多くの中大型鳥獣が受難の時代をむかえ、トキも日本全国で激減し、一時は絶滅したと考えられていた。大正15(1926)年に河口孫次郎により佐渡島での生息の可能性が伝えられ、昭和4(1929)年に能登半島で、昭和5(1930)年に佐渡島で生息が確認された(山階・中西 1983; 池田 2011)。1940年代には隠岐島、能登半島、佐渡島に100羽程度残っていたトキも1960年代には能登と佐渡に生息する10羽程度までに減少し、1979年には佐渡島に5羽が生息するのみになった(山階・中西 1983)。当時、環境庁は野生下での個体数回復は難しいと判断して、1981年に佐渡島に残っていた最後の5羽すべてを捕獲し、飼育下での増殖を試みた。佐渡島で捕獲されたトキの5羽のうち雄が1羽しかいなかったこと、飼育下で高齢になってしまったため、飼育下繁殖による日本産トキの増殖計画は失敗に終わった(近辻 2002)。奇しくも日本産トキが野生絶滅した1981年に中国陝西省で7羽のトキが再発見され、1989年に中国で飼育下繁殖が成功し、その後、飼育下での増殖が軌道に乗った。日本でも、1998年に中国から贈呈された2羽のトキと、その後に供与された3羽を始祖個体として増殖が順調に進み、飼育下個体群が増加していった。

環境省(2001年に環境庁より改組)は、2003年3月に佐渡島小佐渡東部地域に60羽を定着させることを目標とした佐渡地域環境再生ビジョンを策定し、2004年1月に種の保存法に基づく「トキ保護増殖事業計画」を改定した(環境省 2003; 農林水産省ほか 2004)。環境再生ビジョンは、国際自然保護連合の再導入ガイドライン(IUCN 1998)に準拠して作成されている。まず、放鳥個体を確保するために、遺伝的多様性に配慮したトキの飼育増殖を行ない、放鳥個体の供給源としての飼育個体群を維持し、放鳥のための順化訓練施設を設置する。次に、トキが生息できる自然環境をつくるために、棚田を復元し、ビオトープを設置すること、環境保全型農業を推進し餌生物を増やすこと、営巣木を保全すること、等が盛り込まれている。そして、最後にトキとの共存に向けた地域

¹ 新潟大学・超域学術院・朱鷺・自然再生学研究センター
950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050番地

* Phone/fax: +81-(0)25-262-7639

E-mail: hnagata@gs.niigata-u.ac.jp

社会づくりのため、社会環境を整備し、環境教育を行なうことなどが盛り込まれている (環境省 2003)。

佐渡島で、2008年9月25日に10羽 (♂5羽, ♀5羽) がハードリリース法で一斉に放鳥され、トキの再導入は実行段階に移された。2次放鳥は、2009年9月29日～10月3日に行なわれ、仮設放鳥ケージから19羽 (♂8羽, ♀11羽) が放鳥された (永田 2010)。3次放鳥以降は、直接、順化ケージからソフトリリース法で放鳥されている。2010年11月1日～6日に行なわれた3次放鳥で13羽 (♂8羽, ♀5羽) が、2011年3月10日～13日に行なわれた4次放鳥では18羽 (♂10羽, ♀8羽) が、2011年9月27日～28日に行なわれた5次放鳥では18羽 (♂11羽, ♀7羽) が放鳥された。これまで、1次放鳥から5次放鳥まであわせて、合計78羽のトキが放鳥されている。

本論文では、これまでに判っている個体群パラメータを用いて放鳥されたトキの再導入個体群の定着予測をシミュレーションして個体群存続可能性分析を行ない、今後、トキの再導入を成功に導くためにどのような放鳥・管理計画が必要かを提言する。

解析方法と個体群モデル

トキの個体数変動を予測するためには、生存率、クラッチサイズ、巣立ち率等の個体群パラメータが必要となる。佐渡島で放鳥されたトキは繁殖成功に至っていないため、生存率を除き、これらの個体群パラメータは得られていない。そこで、中国のトキの研究から得られている個体群パラメータ (丁 2004) を利用する。陝西省洋県で行なわれた野生個体群の研究から、一腹卵数は 2.73 ± 0.86 ($N=219$)、産卵数に対する孵化率は0.801、同巣立ち率は0.676であり、陝西省個体群の当歳個体生存率は 0.49 ± 0.026 ($N=94$) で、2歳以上の個体の年平均生存率は0.71であった (丁 2004)。

佐渡島で放鳥されたすべての個体には、個体番号を刻印したリングと2～3個のカラーリングが装着されていて、個体識別が可能であった。放鳥個体のうち、実際に死亡を確認できたのは3羽だけであったが、環境省では、半年以上消息がない個体を行方不明、1年以上消息のない個体を死亡として扱っている。これまで半年以上消息がなくて生存していた個体はいないので、本研究では、半年以上消息のない個体を死亡として取り扱い、生存率を推定した。また、2009年～2011年にかけての飼育下個体群での平均孵化率 (h) (= 孵化数/総産卵数) は0.403で、平均有精卵率 $\{ = \text{有精卵} / (\text{無精卵} + \text{有精卵}) \}$ は0.63であった (佐渡トキ保護センター 2010, 2011)。

年齢別の詳細な個体群パラメータが得られていないため、年齢構造は1年目個体 (R) と2年目以降の個体だけの簡便化した個体群動態モデルを使い、1年目の生存率 S_1 と2年目以降の生存率 S_a を当てはめた。また、繁殖ペア数 (n) を推定するために、放鳥後、あるいは、巣立ち後、2年経たなければ繁殖に参加しないこと、性比は1であることを仮定している。

$$n_t = \frac{1}{2} \cdot N_{t-1} \cdot s_a$$

モデルには、捕食のない場合の巣立ち率を (f) とし、捕食圧 ($p = \text{捕食巣} / \text{繁殖巣}$) の項と環境変動要因 (E) を組み込んでいる。 t 年における2年目以降の個体の集団サイズを N_t で表すと、翌年の2年目以降の個体の手段サイズとして次式を得る

$$N_{t+1} = N_t \cdot s_a + R_t \cdot s_1 \cdot E$$

ここで、 t 年における1年目の個体の集団サイズ R_t は、次式のように放鳥個体数 r と総巣立ち雛数の和で表される。総巣立ち雛数は、繁殖ペア数 (n)、一腹卵数 (c)、巣立ち率 (f)、捕食回避確率 ($1-p$) の積で表される。

$$R_t = r + n_t \cdot c \cdot f \cdot (1-p)$$

このモデルでは、1年目の個体の生存率や繁殖成功は環境変動に大きな影響を受けるが、2年目以降の生存に環境変動が大きな影響を与えないことを仮定している。順化ケージで1回に訓練可能な個体数は20羽であるが、傷病個体により放鳥数は1割ほど少なくなるため、このモデルでは放鳥数 r は、放鳥しない (0羽)、年1回最大18羽、年2回最大36羽を仮定している。毎年、与えた変動率の最大幅以内でランダムに生存率と繁殖率が変化するように設定し、2060年までの50年間の個体群動態のシミュレーションを1,000回行ない、2060年時点での個体群の存続確率、絶滅までの平均年数、及び、個体群サイズを求めた。初期条件として、2011年10月時点での2010年以前の放鳥個体の生存数 $N_0 = 18$ 、2011年の放鳥個体数 $R_0 = 36$ を設定した。すべてのシミュレーション計算は、Microsoft Excel 上でコーディングした VBA プログラムを用いて行った。

断らない限り、本文中で示した統計量は平均 ± 標準誤差 (SE) で示してある。

結果

放鳥個体の生存率の推定

放鳥後半年以上を経過している1次から4次までの放鳥した成鳥個体の生存個体数を元に年生存率を推定すると、1次と2次放鳥個体で0.73～0.74で、3次と4次放

Table 1. Fates of released individuals and estimates of survival rates.

Release order	Number of surviving birds after					Annual Survival rate ²⁾
	0 month	half yr	1 yr	2 yrs	3 yrs	
1st 2008 Sep.	10	8	7	5	4	0.74
2nd 2009 Sep.	19	14	12	10	–	0.73
3rd 2010 Nov.	9 ¹⁾	5	4	–	–	0.44
4th 2011 Mar.	18	12	–	–	–	0.54
Mean ³⁾		0.70	0.61	0.79	0.80	0.61

¹⁾ Yearlings were excluded from analysis.

²⁾ Annual survival rates were estimated by geometric mean.

³⁾ Mean was calculated from binomial distribution except for annual survival rates.

鳥個体は0.44~0.54で4回を平均すると 0.61 ± 0.07 (N=4)となる (Table 1). ここでは生存率が明らかに低い当歳個体の4羽を除いて解析している. 放鳥後の最初の1年の生存率は, 0.44~0.7とばらつき, 平均 0.58 ± 0.06 (N=4)となる. 放鳥後2年を経過した1次, 2次放鳥個体の2年目以降の年生存率は 0.79 ± 0.06 (N=19, 二項分布による標準誤差)となる.

中国の野生個体群パラメータを持つ場合

環境再生ビジョンに基づき野外個体群の目標個体群サイズを60個体とし, 2012年に年2回36羽放鳥し, 目標個体数60羽を越えた後は2015年まで年1回18羽を放鳥するシナリオと, 2013年以降は年1回最大18羽を放鳥して目標個体数を維持するシナリオを仮定している. いずれの

場合でも2016年以降は放鳥を中断して再導入個体群がどのように変化するかを予測した.

まず, 佐渡島の再導入個体群が中国の野生個体群と同じ個体群パラメータ, $S_1=0.49$, $S_a=0.71$, $f=0.67$, $c=2.73$ を持つ場合を考えてみる. 捕食圧がゼロの場合 ($p=0$), 再導入個体群は右肩上がりで成長を続け, 個体群絶滅の恐れは考えにくい. (Fig. 1a). しかし, 再導入個体群が中国の野生個体群と同じパラメータを持っていたとしても, 巣の捕食圧のような余分のリスク要因がかかると個体数は減少していき, やがて絶滅する. 捕食圧0.1の場合, 再導入個体群は50年以上存続可能であるが, 60年過ぎに絶滅が起こる (Fig. 1b). また, 捕食圧 (p)が0.25になると再導入個体群は34年後に, 捕食圧0.5では20年後に絶滅する (Fig. 1c, d).

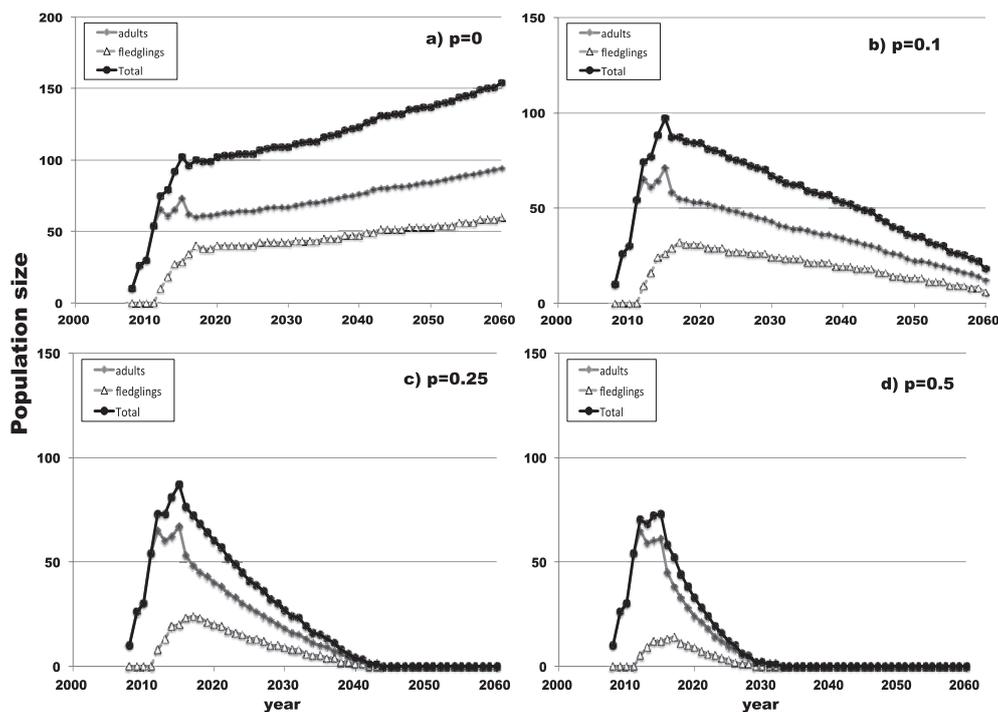


Fig. 1. Projections of population dynamics of released ibis with Chinese parameters under different predation pressure p (Where, $S_1 = 0.49$, $S_a = 0.71$, $c = 2.73$, $f = 0.67$).

佐渡島の個体群パラメータを持つ場合

佐渡島で得られていない平均一腹卵数と当歳個体の生存率は中国陝西省の野生個体群パラメータ, $S_1=0.49$, $c=2.73$ を用い, 放鳥個体から得られた2年目以降の成鳥個体の年生存率 $S_a=0.79$ と飼育個体群の孵化率を最大巣立ち率とみなして $f=0.40$ を個体群動態モデルに代入すると, 2016年以降放鳥しない場合は捕食圧がなくても2060年以降に再導入個体群は絶滅する (Fig. 2).

野外でトキの巣は常にテンヤカラスの捕食圧に曝されるため, 再導入個体群を60羽以上で安定して保つには, 2016年以降も最低限の個体数を放鳥する必要がある. 2011年に営巣した7つがいのうち2つがいだけで巣が捕食さ

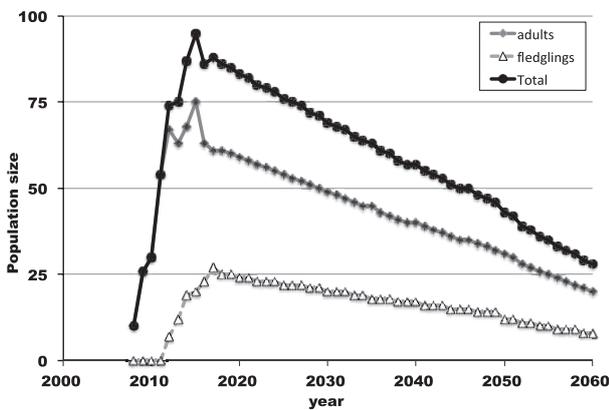


Fig. 2. Projection of population dynamics of released ibis with some Japanese parameters (Where, $S_1=0.49$, $S_a=0.79$, $c=2.73$, $f=0.40$, bold parameters are ones from Chinese population).

れたと考えられるため, 捕食圧 $p=0.25$ を用いる. また, 孵化した雛が全て巣立つわけではないので巣立ち率 (f) は孵化率 (h) より小さくなるため, ここでは $h \leq 0.40$ と仮定する. そこで, この個体群モデルを使って巣立ち率 $f=0.4, 0.2, 0.1$ の3通りで個体数が60羽を越えて安定するための放鳥数を推定した. 巣立ち率が最大の0.4の場合, 毎年8羽を放鳥し続けることで, 巣立ち率が0.2の場合, 毎年16羽を放鳥することで, 巣立ち率が0.1しかない時でも毎年18羽を放鳥し続けることで60羽以上の個体群を維持することができる (Fig. 3a, b, c).

環境変動の影響

再導入個体群が中国陝西省の個体群パラメータを持ち個体群が成長している時に (Fig. 1a), 環境のゆらぎの大きさを10%, 25%, 50%の3つの場合を考えてみる. 環境変動がある場合でも, 定性的な傾向は環境変動がない場合と大きくは変わらず, 放鳥個体群は微増ながら成長を続ける. 環境のゆらぎが10%以下の場合, 50年後まで再導入個体群は絶滅しない (Fig. 4a). しかし, 25%の環境のゆらぎがある場合, 50年後の再導入個体群の存続確率は $99.5 \pm 0.2\%$ であり (Fig. 4b), 環境のゆらぎが50%の時, 50年後の再導入個体群の存続確率は $79.8 \pm 1.3\%$ と小さくなる (Fig. 4c).

2015年まで年2回, 毎年, 36羽を放鳥し, 2016年以降放鳥しない場合, 環境のゆらぎが25%あっても放鳥個体

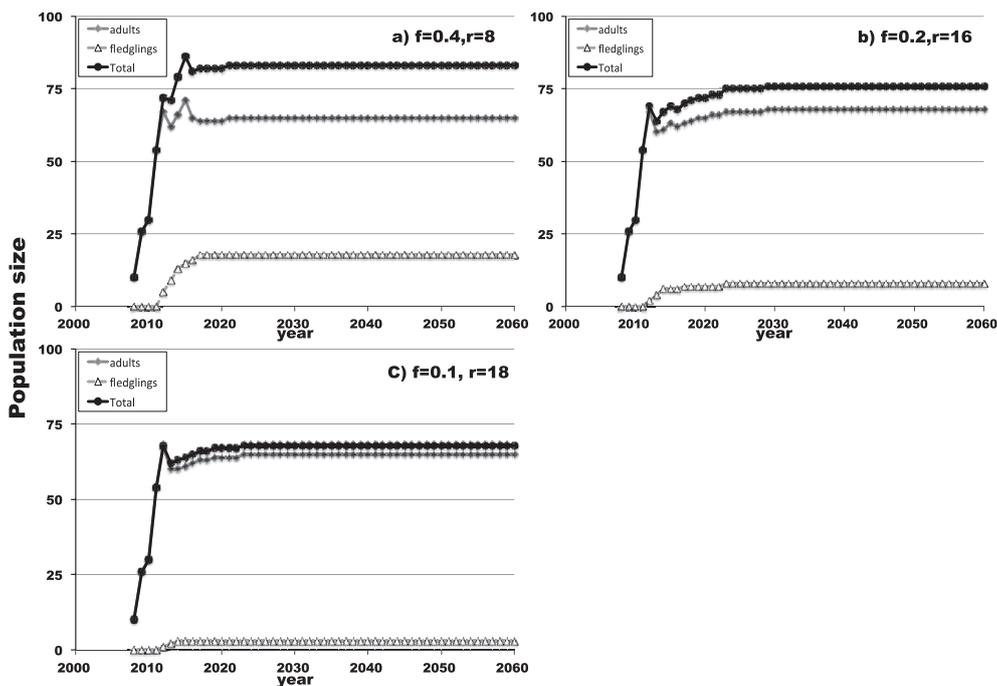


Fig. 3. Projections of population dynamics of released ibis with Japanese parameters under different fledging success ($f=0.4, 0.2, 0.1$), when the release will last after 2016 to compensate for reduced breeding success (Where, $S_1=0.49$, $S_a=0.79$, $c=2.73$, $p=0.25$, bold parameters are ones from Chinese population).

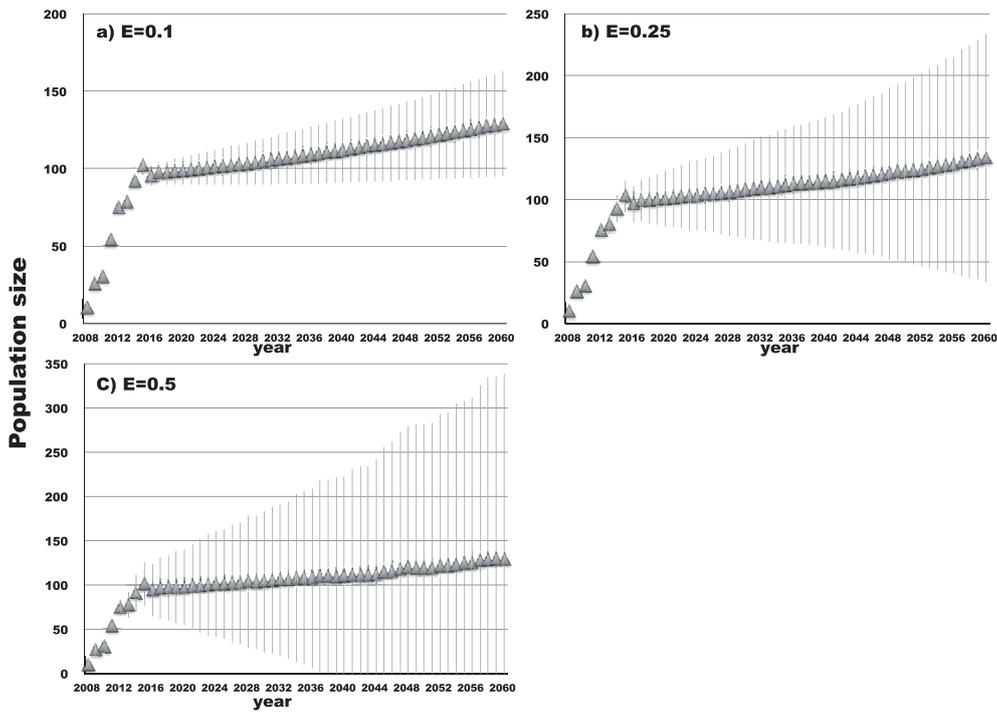


Fig. 4. Projections of population dynamics of released ibis with Chinese parameters under different environmental fluctuations (Where, $S_1 = 0.49$, $S_a = 0.71$, $c = 2.73$, $f = 0.67$). Vertical lines show standard errors (SE) for estimated populations.

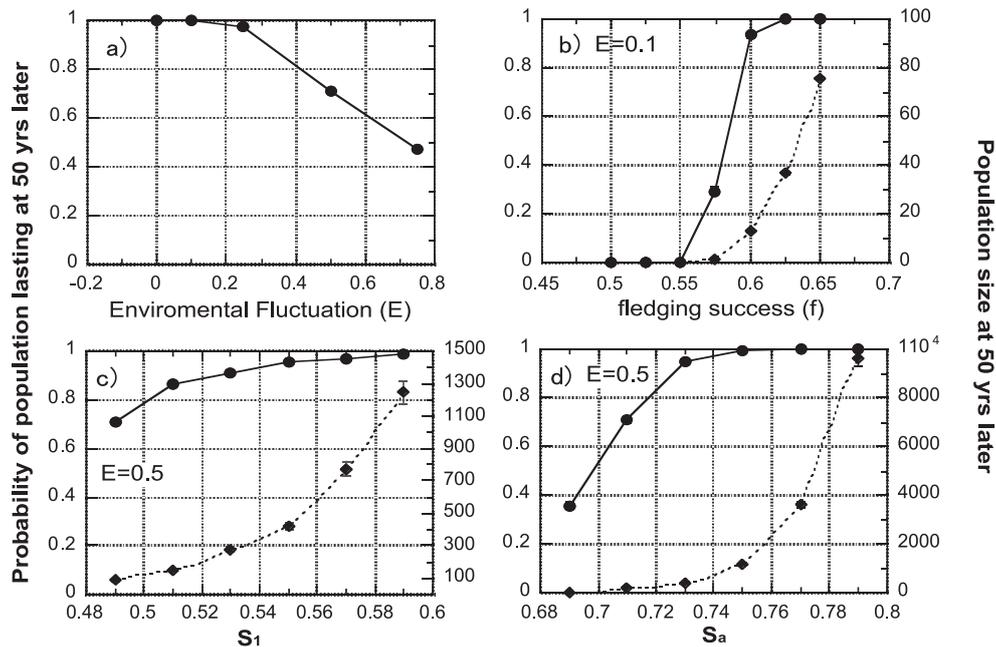


Fig. 5. Sensitivity analysis for originally self-sustained population condition ($S_1 = 0.49$, $S_a = 0.71$, $c = 2.73$, $f = 0.67$). Closed circles and solid lines show the response of population viability in 50 years, and closed diamonds and broken lines show those of population size by changing given single parameters.

群は50年後までは絶滅せず、環境のゆらぎが50%のとき、50年後の個体群の存続確率は $96.0 \pm 2.0\%$ となる。

PVA モデルによる感度分析

個体群のもつ変数や環境条件の変化に個体群がどのように反応するかを明らかにするために個体群存続可能性

分析モデルを用いて感度分析を行なった。環境変動がない時 ($E=0$) 個体群が安定する個体群パラメータとして $S_1=0.49$, $S_a=0.71$, $c=2.7$, $f=0.65$ を想定する。放鳥は2015年まで行ない、2016年以降は行なわないと仮定する。このとき、環境変動がなければ、個体群サイズは93羽に収束する。環境変動が10%の場合、50年後まで個

体群は絶滅せず、 75.6 ± 0.68 羽で維持される。しかし、25%の環境変動がある場合、50年後の個体群は 81.1 ± 2.06 羽で存続確率は $97.6 \pm 0.5\%$ となり、50%の環境変動がある場合、50年後の個体群は 90.3 ± 6.60 羽で存続確率は $70.0 \pm 1.4\%$ となる。つまり、環境変動が大きくなるにつれて50年後に個体群が存続している確率は小さくなる (Fig. 5a)。

次に、この個体群において環境変動率が10% ($E = 0.1$)の時に、50年後の個体群の存続確率が巣立ち成功率 (f) の変化にもなるとどのように変化するかを確かめた。巣立ち率が0.6から0.55に落ちることで個体群の存続可能性は急激に0に落ち込んでしまい、再導入は成功しない (Fig. 5b)。さらに、50%の環境変動がある条件下で、初期生存率 (S_1) と成鳥生存率 (S_a) が個体群の存続と成長に及ぼす影響をシミュレーションしてみた。この条件下では、初期生存率が0.55、成鳥生存率が0.73を超えると50年後の個体群の存続確率は95%をこえる。また、成鳥生存率 (S_a) の改善が50年後の個体群サイズに与える影響が大きいこともわかる (Fig. 5c, d)。

考 察

環境省は2015年までに佐渡島に60羽のトキを定着させることを目標として放鳥事業を行なっている (環境省2003)。佐渡島で放鳥されたトキは営巣・産卵は観察されているが、巣立ちはまだ確認されていない。再導入個体群が中国陝西省の野生個体群と同じ個体群パラメータを持つと仮定すると、個体群は絶滅せず、成長できると考えられる。実際、中国陝西省洋県では、1981年に発見された7羽から個体群が成長し、750羽を超えるまで増加している (丁2004; 劉私信)。しかし、放鳥個体群が洋県と同じ個体群パラメータを持っていても捕食圧がかかると、再導入個体群はいずれ絶滅する予想される (Fig. 1)。ただし、25%の巣が捕食されても、成鳥の生存率 (S_a) が0.76まで改善されることで、約90羽の個体群を維持できる。捕食圧と巣立ち率が繁殖成功率を決定する要因となるため、捕食の効果は巣立ち率が低下することと同義となる。今回のモデルでは巣の捕食圧 (p) として定義しているが、変数 p は繁殖を阻害するあらゆるリスク要因の総体と考えることも可能であり、佐渡島において再導入を成功させるためには繁殖に関するリスク要因を小さくする必要があると考えられる。1次放鳥および2次放鳥で再導入した個体の2年目以降の生存率は陝西省個体群より高いものの、飼育下個体群の総産卵数当たりの巣立ち率が0.4以下と中国の野生個体群の60%以下しかないた

め (佐渡トキ保護センター2010, 2011)、佐渡島個体群の持っている変数では個体群を維持できない (Fig. 2)。ただし、Fig. 2と同じ条件下でも、2016年以降も毎年6羽を放鳥し続けることで61羽の個体群を50年後まで維持できる。そのため、2012年に年2回、36羽の放鳥を行うと再導入個体群は60羽に達するが、再導入個体群を60羽以上に保つには2016年以降も放鳥を続ける必要がある。2015年まで毎年2回、最大36羽の放鳥を続けると個体数が150羽近くまで増加するため、個体群の存続年数は長くなるが、絶滅までの待ち時間が増加するにすぎない。

個体群存続可能性分析 (PVA) を用いることで、トキのような希少生物の個体群管理において、個体群存続の脆弱性に影響を与える要因の重要性を評価することができる (Caughley and Gunn 1996; Li and Li 1998; Akcakaya et al. 1999)。Li and Li (1998) は、シェアウェア (VORTEX) を用いて PVA を行ない、カタストロフ、環境変動と環境収容力が陝西省のトキの野生個体群存続に大きな影響を与えると報告している。今回用いた PVA モデルにはカタストロフは組み込まれていないが、再導入個体群の維持に、初期生存率 (S_1)、成鳥生存率 (S_a)、巣立ち率 (f)、環境変動率 (E) の効果を変えながら感度解析したところ、環境変動や巣立ち率は個体群の存続確率に影響を与えるが、個体群の成長には大きく寄与しない。一方、生存率の改善は、個体群の存続確率の向上と個体群の成長に大きく寄与し、生存率が約2%向上することで50年後の個体数は約2倍以上に増加する (Fig. 5d)。4巣に1巣が捕食される状況 (捕食圧 $p = 0.25$) であったとしても、陝西省個体群パラメータのうち初期生存率が3%改善し ($S_1 = 0.52$)、成鳥生存率が4%改善すれば ($S_a = 0.75$)、個体群は安定し維持できる。特に、成鳥の生存率 (S_a) を改善することが、個体群の成長率に大きく寄与するが、1次、2次放鳥個体の成鳥生存率は0.79~0.80と洋県個体群の0.71より大きい改善は難しいかもしれない。2016年以降も毎年、放鳥する限り、個体群の絶滅は起こらないが、佐渡島において再導入が成功するためには、繁殖成功率が陝西省個体群と同等になることが必要である。捕食圧を低く抑えるには、佐渡島全域においてテンの駆除が必要となり、膨大な労力が必要となる。野生繁殖が軌道に乗った場合、初期生存率を上げることで放鳥個体群を長く維持し、成鳥生存率を高めることで高い個体群成長も可能となる。1次、2次放鳥に比べて順化訓練期間の短い3次、4次放鳥では初期生存率がかなり低くなっている (Table 1)。放鳥個体群が60羽に達した後は、繁殖成功率が低くても年18羽放鳥することで個体群は維持できる (Fig. 3c)。3次、4次放鳥個体の生

存率に影響を与える要因が他にある可能性もあるが、2016年以降も放鳥を継続できるとすれば、訓練期間を長くして放鳥個体の初期生存率をあげることが得策と考えられる。野外での繁殖成功率が、中国陝西省の個体群並に回復した時点で放鳥を中止すれば、再導入個体群は維持できるはずである。

本論文で示した個体群モデルには、環境収容力と個体群サイズが小さい時に問題となる人口学的確率性は組み込まれていない。環境収容力が定義されていないので、個体群の成長初期の状況しか記述できない。また、人口学的確率性が組み込まれていないため、絶滅確率が過小評価されている可能性はあるが、放鳥個体によって新規加入個体の性比を調節することで人口学的確率性の影響は軽減できるであろう。長期間にわたる個体群の存続可能性を予測するためには、今後の研究により、佐渡島の環境収容力を明らかにすると同時に、人口学的確率性を組み込んだモデルが必要となるかもしれない。

謝 辞

本論文で用いたデータの一部は、環境省佐渡自然保護官事務所、および、新潟県トキ保護センターから提供されたものを含んでいる。また、毎日、放鳥トキを追跡しているトキモニタリング専門家チームの方々に深甚の謝意を表す。初稿原稿に適切な助言していただき、本論文を完成に導いてくれた2人の匿名査読者にも深甚の謝意を表す。本研究は、日本学術振興会科研費基盤研究(B) 課題番号21310149の補助を受けて行なわれた。

摘 要

トキの野生復帰個体群が50年間存続可能かどうかについて、中国の野生個体群から得られている個体群変数と佐渡島で利用可能な変数を用いて個体群存続可能性分析(PVA)を行なった。佐渡島においても、中国の野生個体群と同等の個体群変数が達成できれば個体群を維持し成長できるが、捕食圧等の繁殖を阻害する要因があると再導入個体群はいずれ絶滅する。また、野生個体群の巣立ち率が飼育下の孵化率と同等であれば、捕食がなくても個体群はいずれ絶滅する。そのため、再導入個体群を維持するには、個体群変数が中国の野生個体群と同等にな

るまで放鳥を継続する必要がある。PVAモデルを使って感度分析を行なった結果、環境変動や巣立ち率は再導入個体群の存続確率に影響を与え、生存率は個体群の成長率に大きな影響を与える。巣立ち率が閾値を超えている場合、生存率が向上することで、ある程度の捕食圧をカバーし個体群が存続できることがわかった。

キーワード トキ、環境変動、絶滅、生存率、個体群存続可能性分析、再導入個体群

引用文献

- Akçakaya HR, Burgman MA, Ginzburg LR (1999) Applied population ecology using RAMAS Ecolab, 2nd ed. Applied Biomathematics. (邦訳：楠田尚史・小野山敬一・紺野康夫(訳)(2002) コンピュータで学ぶ応用個体群生態学。文一総合出版、東京、325 p.)
- Caughley G, Gunn A (1996) Conservation biology in theory and practice. Blackwell Science, Cambridge, Massachusetts, 459 p.
- 近辻宏典 (2002) トキ：永遠なる飛翔、野生絶滅から生態・人工増殖までのすべて。ニュートンプレス、東京、184 p.
- 池田哲夫 (2011) トキ保護と鳥類研究者川口孫次郎—野生トキの発見の旅から—。新潟史学、66: 38–54.
- IUCN (1998) IUCN Guidelines for Re-introductions. Prepared by IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 10 p.
- 環境省 (2003) 佐渡地域環境再生ビジョン、4 p. [http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=4440&hou_id=4017]
- Li X, Li D (1998) Current state and the future of the crested ibis (*Nipponia nippon*): A case study by population viability analysis. Ecol. Res., 13: 322–333.
- 永田尚志 (2010) 佐渡島における放鳥トキの移動分散と採食行動。環境研究、158: 69–74.
- 農林水産省・国土交通省・環境省 (2004) トキ保護増殖事業計画。告示第1号、3 p. [<http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/toki2.pdf>]
- 佐渡トキ保護センター (2010) 平成21年度トキ増殖事業報告。新潟県民生活・環境部環境企画課、123 p.
- 佐渡トキ保護センター (2011) 平成22年度トキ増殖事業報告。新潟県民生活・環境部環境企画課、158 p.
- 丁 長青 (2004) 朱鷲研究。上海科技教育出版社、上海、388 p. (邦訳：山岸 哲(監)・蘇 雲山・市田則孝(訳)(2007) トキの研究。新樹社、東京。)
- 山階芳麿・中西悟堂 (1983) トキ *Nipponia nippon* 黄昏に消えた飛翔の詩。教育社、東京、302 p.

(2011年12月15日受理)