

解 説

## コウノトリとトキの野生復帰事業における近親交配への対処について

\* 山村則男<sup>1,2</sup>

**Considering measures for inbreeding in the reintroduction programs of Oriental White Stork *Ciconia boyciana* and Crested Ibis *Nipponia nippon***

\*Norio Yamamura<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Center for Toki and Ecological Restoration, Center for Transdisciplinary Research, Niigata University, 8050 Ikarashi-Nincho, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan

<sup>2</sup> Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University, 1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe-shi, Kyoto 610-0394, Japan

\* E-mail: nyamamur@mail.doshisha.ac.jp

**Abstract** Measures to exclude inbreeding pairs or inbred offspring are put into operation in the reintroduction programs of Oriental White Stork *Ciconia boyciana* and Crested Ibis *Nipponia nippon*. These do not contribute to the population growth rate unless disturbed pairs newly form outbreeding pairs to make offspring. As for the genetic effect, they contribute to maintenance of genetic diversity but not to decrease of the frequency of deleterious genes.

**Key words** Reintroduction program, Inbreeding depression, Inbreeding mating, Deleterious gene, Genetic diversity

### はじめに

コウノトリ (*Ciconia boyciana*) とトキ (*Nipponia nippon*) は、江戸時代まで日本全国の広い地域に分布繁殖していたが、明治時代以降の狩猟や農薬使用による餌不足のために、1981年までに相次いで野生絶滅した。コウノトリは、ロシアから譲り受けたペアを飼育増殖し2005年から豊岡で野生放鳥を始めて現在までに豊岡地域にはほぼ定着したと見られているが、周辺地域への分散が課題となっている (高須・大迫 2012; 兵庫県立コウノト

リの郷公園 2011)。トキは、1999年に中国から贈呈されたペアとその後供与された3羽をもとにして飼育増殖し、2008年から佐渡島で野生放鳥を行い野生繁殖するまでに至ったが、繁殖成功率が低く放鳥をやめれば減少していく状態であるので野生定着したとは言えない (永田・山岸 2011; 永田 2012)。

これらの放鳥によって創設した野生集団は個体数が少なく、しばしば繁殖にあたって兄妹ペア、姉弟ペア、または親子ペアが形成される。一般に、近親交配からは生存力や繁殖力が弱い子が産まれる、つまり適応度が下がるという近交弱勢の現象が知られている。そのため、遺伝的な悪影響を考慮して、コウノトリでは近親婚の繁殖ペアを捕獲して引き離す、巣に障害物を設置して営巣を妨害するなどの対策が講じられ、トキでは近親交配で産まれた子を捕獲し、施設に保護するという対策がとられている。

これらの対策には労力や費用がかかることから、近親交配の遺伝的悪影響とは何なのか、近親交配から産まれる子を集団から排除することでどのような効果があるのかを慎重に検討する必要がある。

### 近親交配の遺伝的影響

個体間の遺伝的違いは、遺伝子座における対立遺伝子の差に起因する。通常の動物の遺伝システムは2倍体であり核の各遺伝子座には2つの対立遺伝子が存在する。ある遺伝子座に同じ対立遺伝子が存在するときにはホモ接合体と呼ばれ、異なる対立遺伝子が存在するときにはヘテロ接合体と呼ばれる。近交弱勢が起きるメカニズムを説明する仮説には、超優性説と有害突然変異説があった。いずれも近親交配によるホモ接合度の増加が原因であるということでは共通しているが、近年では、弱い有害効果をもつ突然変異の率がかなり高いこと、超優性を示す遺伝子座は少ないことが明らかになり、有害突然変異の効果が近交弱勢の主要な原因であると理解されている (鷲谷・矢原 1996)。

有害突然変異説では、正常な表現型を表す対立遺伝子 (A) と適応度を低下させる有害な対立遺伝子 (a) があると考えられる。有害な対立遺伝子はヘテロの状態 (Aa) の場合は有害さが現れず、ホモの状態 (aa) でのみ有害

<sup>1</sup> 新潟大学・研究推進機構超域学術院・朱鷺・自然再生学研究センター

950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地

<sup>2</sup> 同志社大学・文化情報学部

610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3

\* E-mail: nyamamur@mail.doshisha.ac.jp

さが現れる場合が多い。つまり、有害対立遺伝子 (a) は正常対立遺伝子 (A) に対して劣性である。有害対立遺伝子の集団中の頻度が小さいとき、有害対立遺伝子 (a) はほとんどがヘテロ (Aa) で存在し、Aa がランダムに交配すると交配相手は AA になることが多く、それらのペアの子の遺伝子型は、AA または Aa となり、有害効果は表れない。しかし、この産まれた子どうしが近親交配すると、可能なペアのうち、Aa と Aa のペアが 1/4 の確率で生じ、その子が aa となる確率が 1/4 となるので、かなりの確率で有害効果が表れる。親子ペアについても同様に、aa の子がかなりの確率で表れる。個々の遺伝子座における有害効果が小さいとしても、多数の遺伝子座でホモ接合が生じれば全体として大きな適応度の低下となる。これが、近親交配が適応度を下げるメカニズムである。個々の効果が微弱である有害遺伝子の遺伝子座の数はショウジョウバエのみで推定されていて、140 程度である (Lynch 1996)。

個体群の存続可能性に近交弱勢がどの程度影響するかを調べた研究がある (O'Grady et al. 2006)。18 種のは乳類と 12 種の鳥類の自然個体群のデータを解析したところ、かなりの劣性有害遺伝子が存在し (致死遺伝子に換算すると 12 個程度)、それによる近交弱勢が検出された。このデータにもとづいたパラメータを使って存続可能性分析を行ったところ、近交弱勢を考慮したシミュレーションでは、考慮しない場合よりも絶滅時間の中央値を 37% 短縮したので、野外集団では近交弱勢の絶滅確率に与える影響は大きいとした。しかし、一般に小集団や過去に小集団を経験した集団では、近親交配によるホモ接合体の淘汰により有害遺伝子の頻度が低くなる。現在の日本のコウノトリやトキの集団はきわめて少ない個体数から出発しているため、この可能性がある。ただし、飼育下の増殖では野外では淘汰されたはずの個体が生き残ることが考えられるので、飼育増殖期間における有害遺伝子頻度の減少は大きくないのかもしれない。

### 近親交配の排除の効果

コウノトリとトキにおいて、近交弱勢がどの程度のものかが不明な点があるが、少なくとも兄妹ペア、姉弟ペア、または親子ペアの子に、遠縁ペアの子よりも適応度の低下が表れやすいことは確かである。野生復帰プログラムにとって個体群増殖率の向上は重要であるから、近親ペアや近親ペアの子を個体群から排除することは意味がある。ただし、この対策の結果、近親ペアがペアを解消してその年に新たな遠縁ペアを作り繁殖を成功させる

必要がある。近親ペアの繁殖を妨害しただけで新たな繁殖に寄与しなければ個体群の増殖には貢献しない。

個体群の増殖に貢献しなくても、近親交配の子を集団中に残すと集団の遺伝的劣化が促進されるので排除すべきだという議論があるかもしれない。しかし、この議論は誤りである。先に述べたように、Aa と AA のペアからは Aa と AA が 1/2 の確率で生まれ、子同士がペアを作ったときそのペアのタイプの確率は、Aa と Aa, Aa と AA, AA と AA が、それぞれ 1/4, 1/2, 1/4 であり、これらの子世代での a の平均頻度は  $1/4 \times 1/2 + 1/2 \times 1/4 + 1/4 \times 0 = 1/4$  であるので、遠縁の Aa と AA の子世代での遺伝子頻度 1/4 と変わりが無い。つまり、近親交配の子にとくに有害遺伝子が多く含まれているということはない。近親交配の子に有害遺伝子がホモ接合になる確率が増すだけである。このため、近親交配の子をすべて集団中から排除したとしても集団中の有害遺伝子の頻度は下がらない。むしろ、手を加えずに自然淘汰に任せた方が有害遺伝子は除去されてその頻度が下がっていく。

### 遺伝的多様性の維持

生物集団の保全にあたって遺伝的多様性の維持が重要だと言われている (鷲谷・矢原 1996)。遺伝的多様性が減少すると集団としての病原体への抵抗性が低下するし、環境の変化に対して適応する能力が低下するのである。遺伝的多様性は、ある遺伝子座におけるヘテロ接合の割合 (ヘテロ接合度) で測られる。対立遺伝子の数が多くそれらの頻度が均等なほどこの値は大きくなる。N 個体からなるランダム交配する集団では、ヘテロ接合度は 1 世代あたり  $1/(2N)$  だけ減少していく。これは、各家系の子孫の数が均等ではないために、対立遺伝子の頻度に確率的变化が生じるために起き、遺伝的浮動と呼ばれる。突然変異や外部からの流入によって供給されなければ、遺伝的浮動によって対立遺伝子が徐々に消失していく。とくに、小集団においては N が小さいので遺伝的多様性の減少速度が速い。

近親交配が存在する集団では、ホモ接合体の頻度が増すので、ランダム交配集団よりもヘテロ接合度の減少速度が速くなる。ホモ接合の割合が多い分だけ同じ対立遺伝子の確率的増減が増幅されるからである。このため、コウノトリとトキにおいて近親交配を排除する対策は、遺伝的多様性を維持する上で一定の効果があると思われる。

---

## おわりに

ここでは、コウノトリとトキにおいて近親交配を排除する対策がどのような効果があるのかについて理論的な考察を試みた。有害遺伝子の頻度を下げる効果はないものの、遺伝的多様性を維持する効果があると考えられた。しかし、近親交配を排除することによって集団の増殖率が低下するならば、このことと遺伝的多様性の維持のどちらを重く考えるかの選択の問題となる。ここでは、定量的な考察ができなかったため、その選択の判断をするのは難しいかもしれない。また、この対策には多くの労力と費用がかかっているため、費用対効果の考察も必要になるだろう。今後、専門家間でさらに深い議論をしていただくことを期待したい。

## 摘 要

コウノトリとトキの野生復帰事業において、近親交配のペアあるいは子を排除する対策がとられている。これらの対策は、排除されたペアが新たに遠縁のペアを形成し繁殖に成功しなければ個体群の増加率に寄与しない。遺伝的効果としては、有害遺伝子の頻度を下げることに

はならないが、遺伝的多様性の維持に効果がある。

キーワード 再導入事業, 近交弱勢, 近親交配, 有害遺伝子, 遺伝的多様性

---

## 引用文献

- 兵庫県立コウノトリの郷公園 (2011) コウノトリ野生復帰グラウンドデザイン. 兵庫県教育委員会, 豊岡, 36 p.
- Lynch M (1995) A quantitative-genetic perspective on conservation issues. In Avise JC, Hamrick JL (eds) Conservation genetics. Chapman & Hall, London, pp. 471–501.
- 永田尚志 (2012) トキの野生復帰と展望. 野生復帰, 2: 11–16.
- 永田尚志・山岸 哲 (2011) 新潟県佐渡におけるトキの再導入個体群の存続可能性. 野生復帰, 1: 55–61.
- O'Grady JJ, Brook WB, Reed DH, Ballou JD, Tonkyn DW, Frankham R (2006) Realistic levels of inbreeding depression strongly affect extinction risk in wild populations. Biological conservation, 133: 42–51.
- 高須夫悟・大迫義人 (2012) 日本におけるコウノトリの再導入個体群の存続可能性分析. 野生復帰, 2: 37–42.
- 鷲谷いずみ・矢原徹一 (1996) 保全生態学入門. 文一総合出版, 東京, 129 p.

(2014年3月4日受理)

