

## トキの保護と研究

丁長青<sup>1</sup>・李峰<sup>2</sup>

1 中国科学院動物研究所

2 中国科学院研究生院

**摘要**；トキ (*Nipponia nippon*) は世界絶滅危惧鳥類で、国家一級重点保護動物であり、現在わずかに中国の陝西省洋県およびその周辺地域に分布している。我が国では1981年に野外で生息するトキを再発見して以来、保護事業が顕著に効果をあげている。本文は近年トキの保護と研究作業の進展によって得られた成果を総合して述べ、今日我が国がトキの保護に直面している問題、および急を要する保護と管理の作業について科学的な提案を行なうものである。

トキ (*Nipponia nippon*) はコウノトリ目 (Ciconiiformes) トキ科 (Threskiornithidae) に属し、かつてはアジア東部、北はシベリアのブラゴエチェンスクから南は台湾まで、東は日本の岩手県から西は中国の甘肅省に至る広範囲に分布していた。20世紀の50年代以後、環境汚染によって繁殖成功率の低下、食物資源の欠乏、狩猟、採卵、営巣木の倒壊、湿地面積の減少等の原因で、トキの生息は次第に衰退に向かい、ロシア、朝鮮半島、日本などでは絶滅に至った。1985年5月、中国科学院動物研究所の劉蔭増先生は3年間をついやし、5万kmを越える調査の結果、陝西省洋県において7羽のトキが生息しているのを再発見した<sup>[2]</sup>。世界で稀に見られる野性のトキを救うために、中国の各級政府と研究機関等が一つになって保護救済処置をとった。以来25年の長きにわたり、この絶滅に瀕していたトキの保存のために壮大な努力が払われた。中国のトキ救出作業は著しい成果を成し遂げ、すでに世界の絶滅危惧種保護の成功例<sup>[3]</sup>として、全世界の関心事となっている。

野性トキの個体数増加を、Birdlife International(2001)はIUCN (レッドデータブック) の危急評価基準 (IUCN/SSC, 2001) により (CR) から (EN) に下げた<sup>[4]</sup>。しかし、現在も依然として世界でわずかこれだけが、野性のトキ個体群であり、丁長青等によれば《中国レッドデータブック》中のトキは現在も、今後も潜在的絶滅の危機に曝されており、絶滅の危機 (CR) という評価基準は変わらないのである<sup>[5]</sup>。

### 1. トキの保護

野性動物保護には主に以下の三つの方法があり、生息地での保護する (*In-situ conservation*)、場所を移して保護する (*Ex-situ conservation*)、再導入して保護する (*Re-introduction*)。中国各級の政府と研究機関はこの絶滅危惧種トキの事態を重視し、相次で保護処置にのりだし、同時に科学的研究作業に力を入れ、研究と保護を緊密に連絡して、トキの個体数を回復し、さらに増加を達成した。最新の調査結果によると、1981年、7羽であった野性のトキ個体群は2005年末の450羽 (図1) に発展し、分布範囲も洋県から周辺の城固、西

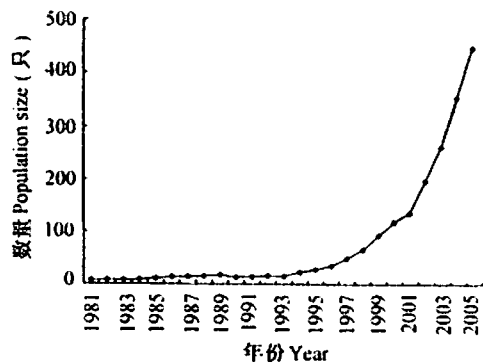


図1 1981-2005年トキの野生個体数変化

漢中、南鄭、勉県など多くの県や市に、その分布面積は3000km<sup>2</sup>に広がっている。その他、

我が国には3つの人口繁殖個体群があり、総数は425羽に達している。

1.1 生息地での保護 生息地での保護は、自然生息地内において保護作業を展開し、その野性個体群を救い、回復させる、絶滅危惧種に最も重要な、また最も有効な方法である。トキの保護活動中、保護しようとする野性個体群およびその生息地はとりわけ重要である。1981年、野性のトキ個体群が新たに発見されて後、我が国が主に採用したのは、以下の生息地での保護措置で、顕著な成果を得た。

1.1.1 保護管理機構の成立 1981年、時を経ずして陝西省洋県林業局に、担当4名よりなるトキ保護係を置き、トキの有効な保護作業を行ない、あわせて、劉蔭増先生によるトキの保護研究を進めた。1983年、洋県に県立トキ保護観察ステーション成立。1983年、陝西省立トキ保護観察ステーションに昇格。2001年、観察ステーションを陝西省トキ保護自然保護区に変更。2005年、国務院により陝西省漢中トキ国家級自然保護区が成立した。

#### 1.1.2 野性個体群の保護、監視

(1) 繁殖期の監視、保護；トキは水田や農家近くの林を多く選択して営巣し、その繁殖は容易に人の活動の影響を受けたり、天敵の危害に曝される。1981～2003年の間、トキの育雛期における雛の死亡は野性トキ死亡総数の60.7%を占める<sup>[1]</sup>。これにより、繁殖期におけるトキの巣、卵、雛などの監視、保護作業は重要な作業と言える。具体的には各巣の昼夜監視、農民や家畜が巣へ近づくのを禁止し、営巣木の下に網を張り、雛の落下による傷害を防止する。またヘビやイタチの進入を防止するために、営巣木の幹に粘着剤を塗布したり、針金、鉄板で進入できないように工作する。2000年後は、トキの営巣数が増加するに従いトキ保護ステーションの限られて人員で、各営巣木の昼夜監視が難しくなったが、現在では保護ステーションの人員と農民の請負人と農家自身がトキを監視するようになり、作業効率が高くなった。

(2) 人口給餌；繁殖期の食物欠乏は繁殖成功率に大きな影響を与える<sup>[1]</sup>。トキ保護ステーションの作業員は毎年繁殖期にトキの営巣地域の水田に対してドジョウを放流し、食物を補充することで、繁殖成功率を高めることを保証している<sup>[6]</sup>。

(3) 標識、巡視と個体群観察；監視員は常時トキの採食地やねぐらなど、行動範囲を観察し、行動と個体群動態を掌握し、傷病トキを発見したならば、時を移さず救済する。野生トキを正確に個体識別し、即座に年齢と群の構成を理解するために、保護ステーションでは1987～1999年の間、赤、黄、青、緑、白、黒6色の組み合わせた脚環で、幼鳥に標識を行なってきた。これにより、トキの個体数は次第に増加し、色別標識の組み合わせも飽和状態になり、2000年から数字の入った彩色環を使用し、望遠鏡観察による個体識別を行なっている<sup>[1]</sup>。詳細なトキの分布、個体群構成と生息地の状況を解明するために、適時に野生トキ個体数を毎年春と秋冬季に2回、トキの分布区域の個体数調査を行なっている。

(4) 野生トキの救護；席咏梅等<sup>[7]</sup>による1990年の個体数調査以来57例の傷病トキ(放棄された卵と雛を含む)が保護され、その内訳は、栄養不良13例、寄生虫症5例、腸炎6例、眼疾5例、肺炎4例、親の遺棄した卵、雛9例であった。晏培松等<sup>[8]</sup>と周宏超等<sup>[9]</sup>による9例の死亡トキに対する剖検結果によれば寄生虫感染疾病、結核感染、中毒死などが主要な死因であることがわかった。範光麗等<sup>[10,11]</sup>は大腸菌感染とnewcastle病に感染したトキの病理学的観察を行なっている。傷病野生トキの救急、診断、治療を保証するために、陝西省トキ保護ステーションは地域の医師、獣医師と協力し、トキ医療救護チームを組織した。過去23年間に、このチームは57羽の傷病トキの治療に当たってきた。トキ救護飼育センターは1990年設立以来、25羽

ムは57羽の傷病トキの治療に当たってきた。トキ救護飼育センターは1990年設立以来、25羽の野外における傷病個体の救護を行なった。

### 1.1.3 生息地の保護と改善

(1) 冬季水田の改善；冬季における水田はトキの主要な採食地である<sup>11)</sup>。近年来、気象の乾燥と農家の耕作方式改良による、冬季の水田が乾田化、あるいは小麦、蔬菜などへの転作が進み、現在当地の水田面積は20世紀80年代初頭の約200km<sup>2</sup>から減少して、60km<sup>2</sup>足らずとなっている。冬季水田の減少による食物不足はトキの個体数減少を招き、絶滅危惧の主要な原因の一つと考えられている<sup>11,12)</sup>。これにより、冬季のトキの保護措置として十分な水田を保存することが重要となる。トキの冬季における食物を十分に獲得できるように、トキ保護ステーション(保護区)とトキの行動圏の農家と冬水田確保のため収穫後の水田を耕起し、湛水した水田に、奨励金を支払う協定を結び、毎年11月から翌年5月までの間、トキの理想的な採食地として水深10~15cmを保つ水田を保証した。現在協定補償水田は25hm<sup>2</sup>に達している。

(2) 森林保護；トキの好いコロニーとねぐらを保護するためトキ保護ステーションは域内の樹木の伐採を厳重に管理し、重要な営巣木には番号をつけ、営巣木周辺1hm<sup>2</sup>の樹木保護のため当地の農民に一定額の補償金を支払っている。誘致すべきトキの主要なねぐらの樹木保護をさらに厳しくし、当地の農民が、薪伐り、放牧等の人間活動によるねぐらへの攪乱を禁止した。このほかねぐらの保存保護を交換に、道路の改修、教育の援助、資金援助等を当地の農民と交わしてきた。近年、トキの拡散が明らかとなったが、新しい繁殖地とねぐらの樹木の保護による成果である。

(3) 環境の調査；トキ生息地の環境の質と野生トキ個体群の命運は相関があり、研究者たちは1998年、1990年、2002年とトキ生息地の環境汚染の状況を調査してきた。1981年新たに野生トキの発見後、洋州政府は“トキの行動圏において農業、化学肥料の使用を禁止する”規制を定めた。1982年と1990年の調査結果、トキの分布域の環境状況は総体的に良好であると発表した<sup>12)</sup>。20世紀90年代以来、洋県の農、工業生産は迅速に発展し、化学肥料工場、セメント工場等が相次いで興り、農業においても大量の化学肥料が使用されるようになり、当地の環境状況にも大きな変化が起こった。2002年の調査で、トキの営巣、採食などの行動圏の土壌、地表水中の農業、ヒ素、アンモニア態窒素の含量が高いことがわかった。野外で採集したトキの食物中に高い農薬が残留し、高い有毒物質が存在していることがわかった<sup>13)</sup>。

1.1.4 住民生活区との共同管理 トキと人類との関係は密接で、村落付近の大樹や林縁にトキは多く生息し、水田や河川の浅瀬、ダム湖の岸辺などで採食している。これらの地域は人の活動の頻繁なところで、したがって生息環境は破壊されやすい。初期のトキ保護作業は、当地の経済発展のための制限を受けていたが、洋州政府は原則として、以下の4つの禁令を発した。

農業、化学肥料の使用禁止、鉱石、岩石の発掘禁止、汚染の危険がある企業の建設禁止、樹木の伐採禁止。これによりトキは次第に分布範囲を拡大したが、トキの保護と当地の経済発展との矛盾が日増しにあらわれ、保護作業は難しくなった。以前は小範囲内の措置(たとえば補償等)で有効であったが、今では保護関係の負担が次第に重くなっている。近年、保護区では少しづつ、住民生活区とトキとの基礎的な一連の共同管理の持続的発展様式を模索している。

(1) トキの保護に人々の積極性をひき出す；住民生活区でトキ保護の重要性の教育、宣伝を展開。当地の農民を雇用して育成し、常時巡視員として参加させ、トキ保護にあたらせる。トキの消息報告制度を立案し、新営巣地やねぐら、傷病個体の発見を奨励し、現在のトキの営巣地、

較して高低を定め、約束を実行し、さらに詳細に、速やかに、トキの保護作業を増強したことにより効果を上げた。

(2) 社会経済の発展を助ける；トキの保護と当地の経済発展間の矛盾を、国家と地方政府は資金を投入し、用材となる樹木や茸の栽培、薬草栽培など多くの経済活動、経営を支援するなど、妥当な解決をはかり、人々の経済的収入を増加させた。この他、当地の政府はトキの繁殖地域の人々に、租税、労役の減免、優先的な生活資金の発給などの優遇政策を行った。保護区は道路、橋梁の建設管理、農用機器の購入の他、小型水力発電所の提供・出資等人々の生活の現実問題を解決することにより、当地の住民から保護区が信頼と支持を得ることができる。

(3) “緑のお米”販売展開；2002年から保護区は当地の住民が無公害、無汚染の“トキ印、緑のお米”の生産、加工したものを検査、承認して販売を行った。これにより農産品の付加価値が一層上がり、単位面積あたりの水稻収入が増加し、トキの行動圏の環境汚染問題は解決した。また、当地の住民が農薬や化学肥料を使用せず、減産したとしても、これを補って余りあるものだった。

**1.2 新地域への移転保護** 新地域への移転保護とは、飼育増殖させた絶滅危惧種の一部個体を、自然条件あるいは人工的に優れた環境を備えた地域へ再導入し、十分な規模の健康な個体群を保護・保存する方法である。しかし、絶滅危惧種あるいは安定した生息が期待できないといわれる個体群を移転保護することはきわめて難しいことで、しかも成功の保証はきわめて限られている。ただ速やかに移転保護を展開するならば、飼育個体群がこの種の絶滅進行を伸ばすことができる。

**1.2.1 中国におけるトキの飼育繁殖** 1981年再びトキの野生個体群が発見されて、同時に、わが国の科学研究者がこの地域の保護と移転保護の救済方法を確定した。1981年5月、この時、一羽のトキのヒナが北京動物園で人工飼育が始まろうとしており、これがまさにトキの人工飼育個体群の第1羽であった。1989年、北京動物園において世界最初にトキの人工繁殖に成功したのである。1990年、陝西省洋県に“トキ保護飼育センター”が設立し、これが第2の飼育個体群となった。2002年3月、洋県の“トキ保護飼育センター”は次第に飼育個体が増え、飼育圧力、疾病防止、自然災害等による影響を懸念し、国家林業局は陝西省周至に楼観台を設立し、洋県より30対のトキを移すことになり、これが第3の飼育個体群となった<sup>11)</sup>。この他、再

び理想的な人工飼育種を導入すべく、今、各飼育基地でトキの自然繁殖実験を展開している<sup>114)</sup>。親鳥は育雛能力をそなえるが、しかし、その育雛行動は周囲の環境条件の影響を受けて、結果をあらわす<sup>15)</sup>。Xi等の推測ではトキはある種の些細な環境要因を、敏感に判断することができ、抱卵の開始と維持、孵化後の育雛行動を決定している。繁殖ケージ周辺環境の安静はトキの繁殖を完成させるためにはきわめて重要である<sup>115)</sup>。2005年6月までの、中国における人

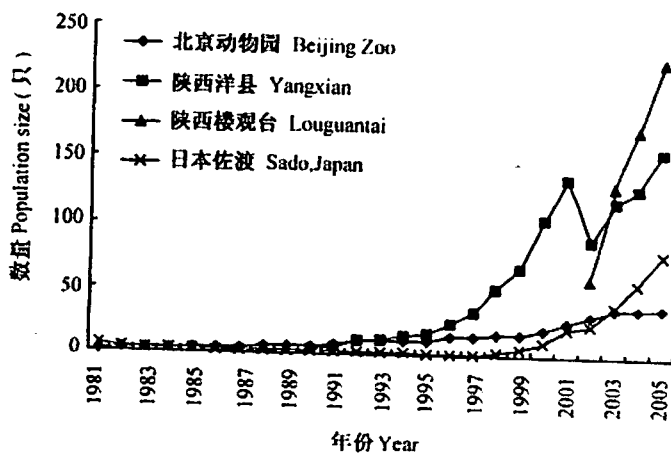


図2 1982-2005年人工繁殖個体数の変化

工飼育トキの個体数は424羽に達した(図2)。

1.2.2 日本での人工繁殖群の援助 わが国ではトキの完全な飼育繁殖技術を模索しながら人工繁殖群は拡大し、日本のトキ人工繁殖個体群の再建を援助することとなった。1998年と2000年に前後して3羽のトキが日本へ送られた。これと同時に中国の技術者が派遣され、日本の佐渡トキ保護センターに新しい人工繁殖群が作られた。2005年6月現在、日本の飼育トキ個体は80羽<sup>2)</sup>となった。絶滅を危ぶまれたトキが日中両国の努力により安定した飼育個体群を作ることができたのは、世界の絶滅危惧種保護と国際協力の模範的成功例である。

1.3 再導入 再導入とは歴史的に分布し、今は分布していない地域 (historical reange) に新たに再び該当する個体群を導入し、かつ、安定的に生息が維持できるかを試みる手法であり、アメリカでは広く用いられ、314の絶滅危惧種の復元計画<sup>3)</sup>中64%について再導入が実施されている<sup>11)</sup>。

トキの生態、保護などについて生物学的研究が進み、トキの人工飼育個体群が日増しに充足している今日、わが国におけるトキの再導入すべき時期は成熟しているものと考えられた。2004年国の林業局はトキの再導入地域の選択作業を行い、河南省信陽、安徽省黟県、浙江省安吉と湖南省常德等の地域を検討した。

飼育個体の野生環境に対する適応能力の詳細を知るために、2004年10月、陝西省洋県の華陽鎮で飼育個体の野生化放鳥実験を試みた。12羽の飼育トキを野外へ放鳥し、そのうち5羽に発信機を装着し、行動追跡を行った。2005年6月、3羽のトキが失踪し、残る9羽が野生のトキの個体群に適応、合流していた。観察によりわかったことは、放鳥個体の行動範囲はきわめて大きく重なっており、強い群れ行動をとっていた。野生個体に比較して採食行動が顕著に低く、休息時間が長い。しかし、野生化放鳥を実施し、実験区在来の野生トキと繁殖させるこの実験は、実験区に属する個体群の復活 (re-enforcement、現存の野生個体群中へ同種の個体を加えることを指す) の範疇に属し、トキの再導入実施に対して、飼育個体放鳥前の野生馴化訓練と放鳥後の追跡観察は、必要な参考資料となる。

## 2. トキの研究

トキの最も古い研究は1835年 Temminck がトキの標本の記載と命名から始まった。中国におけるトキの研究は1981年、野生トキの個体群再発見の後に集中している。25年来、わが国の研究者はトキについて長期にわたり、系統的、学際的に研究を行い、多くの研究成果が得られた。その内容は、トキの分布、個体数、生息地選択、食性、繁殖生態、育雛と幼鳥の発育、羽色と換羽、卵殻の超微細構造、染色体、標識調査、個体群生態、個体群生存力分析、生息地評価、無線追跡、行動域と行動性、遺伝、飼育繁殖、疾病治療と保護、組織解剖、病理、寄生虫と保護対策等である。史東仇と曾永漢編の《中国のトキ》で1981～1995年間のトキの研究の総括を行った<sup>12)</sup>。丁長青編の《トキの研究》では1995年以後の最新研究を総括した<sup>13)</sup>。これら大量の研究はトキの科学的保護の基礎を築き、実践的、理論的に重要な意義がある。

2.1 生息地の研究 トキの性質に適合した現地での保護は、野生トキの生息地特性および生息地として選択された要因を十分に理解することが必須である。トキの行動のあり方と生息地の特性により、その生息地内の全てが繁殖、採食、越冬の場所となっている<sup>14)</sup>。

2.1.1 繁殖地の研究 繁殖地は秦嶺山脈の南斜面で標高700～1200mの低中山帯で人の生活が少なく、植被が十分、気候温暖湿潤な地域である。

(1) 繁殖期の生息地利用；トキは樹上に営巣し、繁殖前期は巣のある樹林に集まってね

ぐらをとる、したがってこの時期は繁殖域の樹木に強い依存性を示す。また劉冬平等<sup>117)</sup>がGPSとGISの技術を応用して各種生息地の利用可能な成分(生息地成分の繁殖域比)と実際のトキの利用率(トキの行動域内の各生息地成分との比)を分析した。結果、トキは針葉・広葉混交林の利用率は低く、乾燥した荒地と水田の利用率が顕著に高かった。丁長青等<sup>118)</sup>が行った無線探索によるトキの雛が巣立ち後、利用する生息環境の研究によれば、利用する生息環境を時間順に並べると乾燥した耕地→水田→水田と河辺であった。6月下旬に入ると(雛の巣成ちは25~30日)繁殖地付近の水田はイネが豊かに生長しており、トキはそこで採食するが、やがて繁殖地域から離れて標高の低い地域へ広がっていく。

(2) 営巣場所の選択; 王中裕等<sup>119)</sup>、李欣海等<sup>120)</sup>と劉冬平<sup>3)</sup>は主成分分析(PCSA)、資源選択函数(RSFs)とMann-Whitney Uを応用してトキの営巣場所選択の研究を行った。トキの営巣場所選択には4種類の主要な要因が影響している。地形要因(標高は相対的に低く、斜面の中部あるいは下部、日陰斜面、石切り場より遠く、小川に近い)、植被要因(樹木の高さが高い)、営巣樹の要因(樹高高く、大きい)、巣の位置の要因(樹冠から中程、あるいは下部の水平に伸びた横枝、巣の向きは樹の日陰側)<sup>11)</sup>。最近では明らかに中山帯(標高約1200m)から低山帯(標高約700m)へトキの営巣は移っているが、1巣卵数孵化率、巣立ち率には明らかな変化はない。馬志軍等<sup>120)</sup>は営巣地の変化は中山帯の営巣条件が悪化し、低山帯の樹林が改善されたことに関係があるとしている。丁長青<sup>11)</sup>による多年の観察から、トキの営巣が中山帯から低山帯へ移ってきたことには中山帯の樹林の収容量に関わりがあると推定している。劉冬平はトキの営巣場所選択に標高は関わりなく、繁殖に適した山の斜面を選択していると認めている。

2.1.2 冬季の採食地の選択 トキは毎年12月から翌年の2月まで場所を移して越冬する。越冬場所は繁殖地域より低山帯の丘陵地を利用しており、主な採食地は水田49.4%、河岸39.9%、ダム湖岸5.8%<sup>11)</sup>である。主成分分析の結果では、トキは比較的標高が低く、見通しがよく広い冬水田で、土壌は柔らかく、植被が希な、しかも、近くに人の活動が比較的頻繁な地域が採食地として好まれている<sup>11, 20)</sup>。

2.1.3 生息地の評価 保護区の企画と管理に正確さを備えた衛星情報を参考に利用して、地理情報システムで生息地の質の評価を行なった。李欣海等<sup>121)</sup>はGISを用いて、数式化されたトキの生息地の植被情報、地形情報と里地の河川や水域などの生息環境の適応度を評価し、トキが集中的に分布する適応度の高い(>0.6)域内を発見し、地形、植生、河川の状況、人為的干渉、景観等の要因がトキに対して非常に明確な制限要素となっていることを明らかにした。しかし、この研究はトキの生息地の質を説明するには十分ではなく、食物の豊かさや気象の要因の考慮が欠けている<sup>11)</sup>。

2.2 繁殖行動と行動範囲 史東仇等<sup>122)</sup>はトキの繁殖習性、営巣、抱卵孵化、育雛、雛の成長発育、年間行動様式、季節による移動等、行われてきた主な研究とをまとめている。

3.2.1 なわばり トキは繁殖期において強いなわばり行動があり、通常1対のトキが一つの谷を占有し、他のトキの侵入を赦さない<sup>122)</sup>ことを、早期の研究において発表している。近年、トキの個体群密度が増加し、明らかになわばりの主張が低下し、営巣密度が高まり、往々にして一つの谷に数対のトキが繁殖し、あたかもコロニーのごとき有様を見ることがある。941.0hm<sup>2</sup>の花園繁殖地内で、1991年にはわずかに1対であったトキの営巣が、2001年には23巣に発展し、平均営巣密度は1巣/40hm<sup>2</sup>に達し、最も近い巣間距離は10mに満たないものまで現れ<sup>117)</sup>、トキのなわばり行動が、ただ営巣樹周辺のごく小域に限られるようになった。丁

長青川は近年トキのなわばり行動に現れている変化は正常な現象で、トキの個体群の拡大により正常な繁殖習性が回復したものと認めている。

2.2.2 繁殖期の行動 劉冬平等<sup>[17]</sup>は標識、GPSとGISの応用により成鳥のトキの繁殖期における行動、採食地との距離、行動範囲などの研究を行なった。結果は、越冬期のトキは、繁殖期とその後の時期により採食場所との距離が異なる。ただし同一時期のそれぞれの個体間で採食場所との距離は明らかに異なる。異なる年度内の越冬期と繁殖期の採食地との距離は顕著な差がないが、繁殖期後の採食地との距離は顕著な差が見られ、気候的な要素も関係している。MGP法と90%Kernel法による計算でトキの繁殖期の平均行動域の面積はそれぞれ $100.8 \pm 49.8 \text{hm}^2$ と $175.6 \pm 91.3 \text{hm}^2$ であった。核心区の面積は $43.8 \pm 21.5 \text{hm}^2$ (50% Kernel法)である。トキの個体間における繁殖行動圏は大きく重なり、親鳥間の行動圏の重なり度合いは、他の個体の重なり度合いと顕著に異なり、トキの営巣が比較的密集していることが明らかである。

2.2.3 幼鳥の行動 丁長青等<sup>[18]</sup>無線行動追跡により巣立ち後の野生のトキの幼鳥の追跡調査を行なった。その結果は、最初の5~10日間は主に巣の付近の地面で行動し、行動範囲は $3.096 \text{hm}^2$ であった。日が経つ毎に次第に巣から離れ、行動範囲が広くなり、最も遠くでは2kmにおよび、行動面積は $75 \text{hm}^2$ に達した。巣立ち後25~30日で、親鳥と同行して、低標高の採食地(16~20km)へ移動し、夜は営巣地付近でねぐらをとった。

### 2.3 個体群の構成と動態研究

2.3.1 個体群構成 1981~1997年の間に野生のトキは7羽から50羽に増えた。その自然増加率は $\gamma = 0.124/\text{羽} \cdot \text{年}$ 、全増加率 $\lambda = 1.1328/\text{年}$ で、これにより1998年から2003年にかけて繁殖個体の基数が増加し、保護管理対策が有効に働き、明らかに出生率が死亡率より大きくなり( $\gamma = 0.2794/\text{羽} \cdot \text{年}$ 、 $\lambda = 1.3571/\text{年}$ )、安定的に個体群は増大した<sup>[11]</sup>。現在野外の個体群は0~2歳の幼鳥は、全個体群の53%、2歳を超え13歳までの繁殖可能な成鳥は43.8%を占め、13歳以上および繁殖不可能と思われる個体が3.2%と、全個体群の年齢構成はさらに増加の態勢にある<sup>[11]</sup>。個体群の性比も顕著な差はなく( $p > 0.05$ )基本的に1:1を示している<sup>[11]</sup>。

2.3.2 生命表分析 王中裕等<sup>[22]</sup>と路宝忠等<sup>[23]</sup>それぞれのトキの雛に付けた標識個体識別により死亡ならびに生活の状況などを表にまとめた<sup>[11]</sup>。洋県における野生トキの個体群の1歳未満の幼鳥の死亡率は比較的高く、51.06%に達し、加齢とともに死亡率は次第に低下し、2~9歳では生残率は65%以上となる。研究の結果、育雛期と巣立ち直後までの保護管理作業が個体群増加にとって重要であることが明らかとなった。

2.3.3 繁殖成功率 1981~2003年の間に孵化した野生のトキは495羽で、孵化率は80.1%であった。巣立ちした幼鳥は404羽、巣立ち率84.3%、繁殖成功率67.6%。雛の10日齢以前の死亡率は高く、死亡した雛の総数の65%であった。分析によりトキの繁殖成功率に影響する要因は次の2つと考えられる。(1)若い未熟な親の雛は、体質が弱く、食物も不十分で発育も悪く、10日齢以前の死亡率が高い。(2)気候条件、天敵の危害、不慮の外的干渉による親の離巢など、雛が放棄され死亡する<sup>[11]</sup>。最近トキのクラッチサイズが次第に少なくなっている。1981~1990年間の3.23卵に対し1981~2000年間では3.04卵である。かつてクラッチサイズ4卵のものが全体の38.46%であったものが、最近では17.35%に低下している。近年トキが増加して、繁殖密度も大きくなり、営巣環境や食糧資源が不足がちとなり、これがクラッチサイズに影響を与え、現在では多くの巣が1~3卵にとどまっている<sup>[11]</sup>。

2.3.4 個体群生存力の分析 李欣海等<sup>[24,25]</sup>はVORTEXによりトキの個体群存続可能性

分析を行い、1981~1994年と1981~1996年のトキの個体数により個体群動態の予測を行ったところ、50年以内に絶滅の可能性は98.5%、平均絶滅時間は15.72年<sup>[24]</sup>である。100年以内のトキの絶滅の可能性を推断すると19.7%で、100~120羽の変動幅がある<sup>[25]</sup>。トキの個体群の生死は意外に環境の変動に敏感で、個体群の存否は生息地の環境容量と近親繁殖による活力に依存していることがわかる。李欣海等<sup>[25]</sup>は1995~1996年のデータに基づき個体群存続可能性分析を行った結果、大きな差があり、現在のトキの野生個体群(現在の個体数約450羽で安定的に増加している)実状と明らかな開きがある。我々はこの数字の設定がVORTEXの解析結果に大きく影響を与えていると考えている。トキの個体群研究は今日なお十分とはいえない状況のもと、人が設定したある数値により導かれた主観的、可変的な結果と考えている。

## 2.4 遺伝学的研究

トキの遺伝関係の研究で主なものは染色体および核型分析を含む、増幅断片多型(RAPD)、ミトコンドリアDNAの多型性および系統発生、マイクロサテライトDNAの多型性と分子性別鑑定等について幾つかのを行なった。

張徳興等<sup>[11]</sup>はトキの特殊な歴史的状況が決定した、その現在の遺伝的多様性レベルは理論上から推測して、如何なる遺伝子の位置においても個体群中の対立遺伝子数が8より大きくなることはない指摘している。

多型性レベルの低い遺伝子マーカーもしくは判別率の低い研究方法を採用してもトキ個体群の遺伝的多様性を正確に評価することは非常に難しく、RAPD, RFLP, ISSR等は全てトキに対する理想的な系統マーカーとはいえない。

ここに掲げてあるいずれの(現在トキ個体群が有する)遺伝的多様性研究も、すべて必ず十分に大きいサンプル(数の)分析を行えば意義があります。

**2.4.1 遺伝的多様性の研究** Han<sup>[26]</sup>と李軍林等<sup>[27]</sup>はそれぞれ別にRAPD法による研究結果を報告し、張徳興等<sup>[11]</sup>もこの方法では安定性が悪く、判定率が低く、トキの遺伝的多様性を研究するには不相当であると認めた。かつてZhang等は10羽の野生トキと26羽の飼育個体のmtDNA制御領域IIとIIIの部分配列においては、わずかに2個のハプロタイプが発見されたのみで、トキの遺伝的多様性が非常に低いことを示した。マイクロサテライトDNAによる共優性遺伝、多様性の高さ、実験操作が簡単で結果が信頼できる等の長所は、絶滅危惧種の研究では最も優れた手法である。吉亜杰等<sup>[29]</sup>によってトキの遺伝子ライブラリーをスクリーニングして13個の遺伝子分析用のマイクロサテライトDNAが得られた。

劉玉娣は130羽の野生トキと飼育個体の遺伝子型の解析をおこない、スクリーニングされた8個の特異的マイクロサテライトDNAでは、トキの対立遺伝子の多様性が非常に低く、どの座位も平均対立遺伝子数はわずかに2.13で、ヘテロ接合度の期待値と観察値はそれぞれ0.118と0.186で、現在のトキ個体群の遺伝的多様性が極度に乏しい状態であることを表している。これはトキの個体群が歴史上深刻な「ボトルネック効果(=瓶首効果)」と「近親繁殖」による遺伝を経験していることの反映である。トキ個体群では深刻な近親交配が存在し、その近交係数は $F_{IS}=0.665$ で、著しく0より大きい。ただし、トキの個体群は、過去に近親交配による衰退期を経ているにもかかわらず、個体群の安定した発展に対する、近親交配による衰退効果の影響はすでにきわめて小さくなっている。

**2.4.2 分子性別鑑定** トキは雌雄同色であり、形態特徴から雌雄を識別することは困難である。劉凌雲等<sup>[30]</sup>は羽鞘の細胞の短期培養を利用して、空気乾燥片をギムザ染色し、染色体



レベルで雌雄鑑定を行った。Li等<sup>13)</sup>はPCR法により雌個体のW性染色体上にある性別と相関する遺伝子を増やし3羽のトキの性別鑑定に成功した。菊池と石井はCHD法に改善を加え、制限酵素 *Mbo* II の代わりに *Hae* III を用いて確実にトキの成鳥、幼鳥、雛と卵殻内壁の胚胎組織<sup>4</sup> で正確に性別鑑定を行なった。

## 2.5 飼育繁殖研究

**2.5.1 自然繁殖** 人工飼育下のトキは環境の変化に対して非常に敏感で、繁殖期に人の干渉があると、卵を踏み壊してしまい、ひどいときには雛を嘴で突き殺して巣の外へ放り出すことさえある。1989年と1992年に北京動物園でトキの自然孵化、育雛実験を行っていたが、いずれも雛の傷害で死亡し、失敗に終わっている。2000年と2001年には飼育舎を自然環境に模して設備したことにより洋泉、北京動物園共に自然繁殖に成功した<sup>14)</sup>。実験期間のトキの繁殖行動は正常で、繁殖成功率も非常に高かった。席咏梅等は、適当でないケージ環境での飼育は雛や幼鳥の斃死をもたらすのみで、このような飼育方法に終止符を打ち、後世に残すべきでないと指摘している<sup>11)</sup>。

**2.5.2 クロトキ (*Threskiornis melanocephalus*) 代用育雛実験** 2002年と2003年に北京動物園で、すでに絶えているトキの渡りタイプの個体群を回復する目的でクロトキの代理親による代用育雛実験を行った。トキの自然状態での育雛期間は約40日、しかしクロトキの育雛期間は約30~35日で短い。トキとクロトキでは育雛時における給餌回数の最高峰が異なる。30~35日齢での給餌回数は両種ともに同様であるが、35日齢以後はトキの給餌回数は次第に低下していくが、このときクロトキでは全く給餌を行わなくなり、雛の体重は軽減し、雛巣が促される。クロトキの代理親による育雛では最後の5日間は人工給餌をしなければならない<sup>11)</sup>。クロトキとトキの育雛期間の異なる5日間は、トキの渡り習性を回復させる実験構想に大きな問題となっている。

## 3. 問題提起

**3.1 トキの増加、拡散による生態学的研究** 最近野生トキの個体群増加にともない、その繁殖地の食糧、営巣樹の欠乏が心配されており、繁殖期後に起こる拡散とその保護の問題が難しくなる。1999年からの我々の調査結果より、今日に至るトキの営巣範囲は、1999年では19281hm<sup>2</sup>であったが、2004年には206514hm<sup>2</sup>に増加した。もし、採食地、繁殖地の保護範囲を広げなければ、トキは農業の汚染や人為的干渉の影響を受け、繁殖成功率が低くなり、繁殖に失敗するものが多くなるだろう。トキの分散状況が分っていない現状ではどのように拡散するのか予想するのが難しく、保護対策は常に後手になっている。加えて行政上の時間的、人的制限から有効な保護の実施には至っていない。現在、トキの野生個体群における拡散状況の調査、拡散をきたした原因の解明、トキの拡散の仕方や能力を明らかにし、個体群の構造、繁殖行動に対する保護活動の影響等の生態的研究は急務である。調査と生息地の質的量的な評価、分布の方式、トキの野生個体群の拡散趨勢と地域の予測、的確な保護対策などによって拡散した生息地の保護と回復を行わなければならない。

**3.2 再導入の展開** 現在トキの絶滅危惧状態からやっと救済の1歩を踏み出した、しかし、その回復はただ1個の孤立した野生個体群で、一旦突発的な伝染病の発生や自然災害に遭遇したならば、その存在に壊滅的な結果をもたらすことになる。近年来、洋泉においても時々トキの中毒死亡事件が発生することがある。また、繁殖期に早魃による河川、湿地の乾固することが年と共に多くなり、トキは採食場所を失い、食物不足に到ることがある。当地の養鶏業にニュー

カッスル病や鳥インフルエンザの流行はトキの飼育群、野生個体群共に大きな脅威となる。これにより最も必要なことは適当な生息環境を選択し、トキの再導入を行い、第2、第3と継続的に安定した個体群の生息地を作らないと、とうていこの危機状態から抜け出すことはできない。

**3.3 近親交配を防ぐための遺伝譜系の保存** 劉玉娣の研究によると、トキの近親交配の影響による衰退は、今までのところ非常に少ない。トキ個体群全体の遺伝子純度は非常に高いことにかんがみ、将来、比較的長い時間内にこれ以上、各個体群間の遺伝子交流はしない方がよい。

各飼育個体群間の個体交換は単に遺伝子多様性の増加の手助けを提供するだけでなく、これは新しい病原物質を持ち込み、新しい飼育個体群に危害をもたらすことにもなる。しかし、これは現在、正確な各個体群の遺伝子譜系の記録保存が必須で、多くの世代を経て遺伝子多様性が一定の基準に回復してから、個体群間の遺伝子交流を行うべきである。

#### 訳注

\*2 山階鳥類研究所による。

\*3 中国林業科学研究院修士論文

\*4 原文に合わせて「胚胎組織」としましたが、日本語では、あまり一般的でない表現です。しかし、適当な表現が見つかりません。実際には「孵化した後に卵殻内側に残った胚組織の一部」を使っています。

本文の2.4. 遺伝学的研究の項については梶田学さんの訳によるものです。