

トキの野生復帰と生息地保護の課題

—衛星リモートセンシング分析の試み—

野口 憲一^{*1)} 蘇 雲山^{*2)} 河合 明宣^{*3)}

A Remote Sensing Evaluation of Natural Habitat for releasing of the Crested Ibis (*Nipponia nippon*)

Kenichi NOGUCHI, Yunshan SU, Akinobu KAWAI

ABSTRACT

Due to the series of restrictive protection measures taken by Chinese Government for protection of the endangered species Crested Ibis (*Nipponia nippon*), its population in Yang County increased from 7 at the time of its rediscovery in 1981 to over 500 in 2003.

On the other hand, the last bird born in Japan died on the 10th October 2003 at Sado Ibis Conservation Center. However, the number of captive population originated from the couple born in China increased to 39 birds in 2003. This success in increasing the captive population in Sado Ibis Conservation Center encouraged an intensification of releasing of the crested ibis into the Sado island. Some of the endangered birds, such as California Condor, Hawaiian Goose and Bald Eagle in United States, have succeeded in reintroduction of the species in the wild.

This preliminary report aims to evaluate the capacity of the region for reintroduction of crested ibis applying geographic information systems (GIS). The report compares landscape of the habitat between Sado and Yang County in China.

要 旨

佐渡におけるトキ野生復帰には大きな課題がある。第一は、トキが野外で生活しうるために野性を回復するためのプログラムを作成しなければならないことである。人工飼育では、採餌、営巣、産卵、抱卵、育雛などのトキの生活全ては、飼育・増殖目的での人の補助によって成り立っている。トキ自身の個体維持から個体の再生産すなわち繁殖に至る生活史全てに対する人為的補助（介入）を段階的に縮小する計画が必要である。中国では野生化の研究は数年前から始まったばかりである。これまでの実験を通して、ケージ内で

*1) 茨城県西農業共済組合

*2) 環境文化創造研究所主任研究員

*3) 放送大学助教授（産業と技術）

の産卵、抱卵、孵化は順調であったが、育雛と採餌、天敵対策などが今後の課題であることが分かった。トキ野生化は世界でも前例がないため、多くの実験、研究が必要とされる。

第二は、トキの生息地である里山と水田からなる二次的自然の修復作業である。本稿は、中国のトキ保護活動との比較を通して、佐渡における野生復帰事業の課題から生息地環境修復についての予備的な解析結果を述べる。衛星データ解析と現地調査からは最後の生息地の一つである生椿には水田が維持されているが、周辺の間山には水田が観察されない。トキの生息地としては採餌場となる谷地田が点在していることが望ましい。水環境について言えばダムを含め大小の湖沼が点在しており、冬季の餌を確保するには条件が良いと言える。これは、トキが野生の状態で見守られている中国洋県の水環境と類似している。

1. 佐渡におけるトキ野生復帰

2003年10月10日、『新潟日報号外』は、黒字に白抜きの見出しで「トキのキン死ぬ」を伝えた。見出しは「国産種ついに絶滅 36歳、生存期間は世界最長」とある。キンは幼鳥だった1967年8月に佐渡真野町の水田に迷い出てきた。故宇治金太郎氏が餌付けに成功し、キンは近寄って手から餌を貰うまでなついていた。翌年3月、金太郎氏の手によって捕獲され、人工増殖の目的でトキ保護センターに収容された。金太郎氏の名をとって「キン」と名付けられた。その後、81年1月に野生として残存していた最後の5羽が一斉捕獲され、キンとともに人工増殖の努力が強化された。

しかし、収容したトキからは新たな個体は生まれず、相次いで死亡した。国産種最後のトキは、ケージ人工飼育では世界最長35年7カ月の間佐渡トキ保護センターで生きてきた。人工増殖の願いは叶わず、日本を象徴する国際保護鳥、特別天然記念物、絶滅危惧種で新潟県民の鳥だった国産種のトキはキンで全滅した。

国産種トキの人工増殖の望みは失われたが、キンの生存中、中国から贈られたペアで佐渡トキセンターにおけるトキ人工増殖は1999年成功した。この年を契機に、近親交配を避けるための繁殖ペアになるトキの貸出など中国の協力の下、2003年の繁殖後には個体数が合計39羽と増加している。

自然環境研究センター理事が座長となった環境省の「環境再生ビジョン」検討会は、2003年3月26日までに、トキ野生復帰を目指した佐渡の「環境再生ビジョン」をまとめた。環境省は2000～2年度の3年間、佐渡を対象に「共生と循環の地域社会づくりモデル事業（佐渡地域）」を実施し、この事業の一環として「環境再生ビジョン」が作成された。①トキの野生復帰目標、②トキの個体数増加策、③トキが生息できる自然環境づくりの目標と具体的な実践策、④トキが生息できる地域社会づくりの目標と具体的な実践策がこのビジョンの主要な内容となっている。「約10年後の2015年頃までに小佐渡東部に60羽のトキを定着」させる野生復帰目標を掲げ、数値化された事業計画を提示した^{註1)}。

この数値目標の下、準備段階として順化施設の建設予定地を両津市久知河内から田野沢東部の里山に絞り込んだ^{註2)}。2003年度に用地調査及び設計が行われ、2004、05年度に建設、06年度から順化訓練が始まる計画である。同最終報告書では、フライングケージを含む野生復帰のための施設の予定地が決まった。2004年度から着工予定であり、トキの野生復帰計画が急速に動き出したと言える。

佐渡でのトキの放鳥計画に関しては、81年の全鳥捕獲時に地元でトキ保護と生息地保全を続けていた新穂とき保護会が増殖したら野に放つことを強く要望していた事実が注目される^{注3)}。この地元の要望は叶わず、野生復帰はトキ保護に関心を持つ地元でも長く話題にのぼらなくなった。

中国から贈られたトキが人工繁殖で増えた結果、野生復帰が話題となったのは新しい。99年5月21日に生まれた「優優（ユウユウ）」生誕を記念したシンポジウム「トキと人の未来を語ろう」（新潟県・日本鳥類保護連盟・新潟日報社主催）において、野生復帰の夢が具体性をもって熱心に語られた（「豊かな環境再生追求 野生復帰への夢熱く」『新潟日報』1999年7月30日）。

佐渡におけるトキ野生復帰には2つの大きな課題があると考えられる。第一は、野外で生活しうるトキが野性を回復するためのプログラムを作成しなければならないことである。人工飼育では、採餌、営巣、産卵、抱卵、育雛などのトキの生活全ては、飼育・増殖目的での人の補助によって成り立っている。トキ自身の個体維持から個体の再生産すなわち繁殖に至る生活史全てに対する人為的補助（介入）を段階的に縮小する計画の立案が必要である。これは中国でも始まったばかりであり、前例がない。

第二は、トキの生息地である里山と水田からなる二次的自然の修復作業である。本稿の目的は、中国のトキ保護活動との比較を通して、佐渡における野生復帰事業の二つの課題の中、生息地環境修復について述べる。

2. 大型水鳥・トキ野生復帰の課題

2-1. 先行事例としてのコウノトリ野生復帰

兵庫県豊岡市「コウノトリの郷公園」ではコウノトリの野生復帰の試みが1999年から始まった。トキは、トキ亜科とヘラサギ亜科の二つの亜科からなるトキ科の大形水鳥でコウノトリ目に属する。日本産コウノトリの絶滅は71年で、トキの全鳥捕獲81年に10年先立つ。保護・増殖活動が開始された時期は早かった。しかし、コウノトリの絶滅、そして増殖及び野生復帰計画は、トキに比べて国民の目を引かなかつた。しかし地道な活動を続けている。

63年に採卵・人工孵化が試みられている。64年には保護増殖センターが設置され兵庫県がその保護増殖に力を入れた。しかし日本産コウノトリは71年に絶滅した。以後、空白の期間があり85年にハバロフスク（ロシア）から6羽幼鳥の寄贈を受け、本格的な人工増殖が開始された。寄贈されたコウノトリは89年に人工繁殖に成功し、それらが創設ペアとなり後個体数は増加している。トキの場合は、85年に中国産雄トキ「ホアホア」が日本産トキ「キン」とペアリングする目的で3年間の期限で貸与されたが、産卵には至らなかった。ケージ内人工飼育の個体数が増加を始めたのは幾多の試行錯誤の後、99年に中国から贈呈された1ペア「ヨウヨウ」と「ヤンヤン」による「ユウユウ」の誕生をもって始まった。国産種野生トキの捕獲が81年である。トキとコウノトリの絶滅の時期と人工繁殖の成功した時期は、各々丁度10年間差がある。コウノトリは野生復帰に関して、トキより10年程度早く始めていると言える。

97年に着工された「コウノトリの郷公園整備」計画が99年に完成し、野生復帰のための具体的試みが始まった。繁殖による個体数の増加の目標を100羽としている。まずこの数値目標達成を目指し、野生化のために段階を追った事業を展開している。

生息地修復では、次のような地図情報処理（GIS）を用いた生息地全体の把握が基礎作業として不可欠であるとされる。「コウノトリが生息していた地域の地形図、植生図、土地利用図、航空写真、それに地域の人々から得たコウノトリの生息情報、例えば巣の位置、採餌場所、ねぐら、行動範囲等をGIS上で関連づけ、コウノトリの環境要求のモデルを構築する。さらにこのモデルに、ロシアの生息地での自然環境、コウノトリの生態についても調査結果を加えて、現在の自然環境と比較し、コウノトリが野生で生きていくために必要な生息環境と現在の環境の隔たり（ギャップ）を求める」[池田：14]²⁴⁾。

トキの野生化は先行事例であるコウノトリの経験を学ぶ必要がある。コウノトリは渡りをする鳥であり、トキは営巣期間はツガイで山間部、雛の巣立ち後は群れをなし平野部で広域に活動する。このようにトキは狭い地域内に限定された生息地の広がりにおいて季節移動を行う。佐渡島東部、小佐渡地域が野生復帰のための生息地であるとされている。生息地の修復や保護のためのGISによる環境要求モデル作成がコウノトリと比較して容易であると考えられる。

営巣地、広域活動時期でのトキの活動範囲や採餌場所として頻繁に利用していた場所を取り上げて衛星データ情報の解析を行う。中国洋県のトキ生息地におけるトキの生活史に沿って利用する土地については詳細な情報が洋県のトキ保護センターに蓄積されている。GISを用いてトキが現在利用している土地の位置を確定し、現地調査（グランドトルース）を行えば、植生の数量的把握や植生指数が得られる。中国トキ生息地のGIS解析の結果と佐渡野生復帰予定地の現況のGIS解析結果を比較することで、トキが必要な環境要求を数値化して把握できると考えられる。

2-2. 水田・里山における生物多様性

トキの生息地である二次的自然の環境要求が満たされた場合の状況は、地上で観測される生息地の生物多様性の構成要素が豊かであると考えられる。環境省の『新・生物多様性国家戦略』では次のように述べられている²⁵⁾。「二次林や水田、水路、ため池等がモザイク状に混在する環境が、絶滅危惧種を含む多様な生物の生息・生育空間となっており、都市近郊では都市住民の身近な自然とのふれあいの場としての価値が高まってきています。同時に人間の生活・生産活動の場でもあり、多様な価値や権利関係が錯綜する多義的な空間」であると言える。

里地、里山などの中間地域では、地形、土壌、水分条件などの自然環境基盤の違いや人間活動の干渉の程度に応じて、多様で比較的小さな単位の生息空間が、モザイク状に存在している点が注目される。こうした空間を有機的に関連づけることにより、この地域の生物多様性の質は飛躍的に向上する。山あいの谷間に細長く分布する谷地田地形は、微妙に異なる水分条件に対応して、多様な生物が分布するポテンシャルを持っている。こうした谷地田のポテンシャルを活かして、多様な生息、生育空間を設けることができる。水田、水路、河川などとの段差を解消しコリドーとして生物の行き来ができるようにすることは、

特に水生生物の生息にとって重要である。住居、生け垣、屋敷林、社寺林、水路なども含む集落居住地は重要な生息空間になりうる。

3. 衛星リモートセンシングによる佐渡トキ生息地の分析

3-1. 広域データ解析の目的：集落の広がりにおける多様性

生物多様性が生み出される要因は、集落に住む人々の生活と生産を通しての人為的攪乱によるため、その多様性のパッチは集落を含む二次的自然の広がりとは重なる。GISによる広域調査によって、この集落単位の分散と各集落の生物多様性に関わる質の両面を捉えることが可能となる。パッチの存在とそれらを結びつける河川と湖沼の存在が重要である。

Richard E.等（2001）は、野生動物のための農地管理についていくつかの重要な点を指摘している。すなわち、①野生動物にとって魅力的なパッチの数を増加させること。②ソース生息地のような対象動物の繁殖や生存に貢献する魅力的なパッチの構成割合を高くすることが必要である^{注6)}。

二次的自然における適正な生息地管理の目的は、「野生動物に対し、四季を通じて各植生パッチの価値を最大化することである。河辺の植生、植林地、湿地、天然水路の土手、そして質それら以外の永続性のある植生は、農業ランドスケープにおける野生動物の多様性を維持するための生息地パッチとなっている」[Richard：784]。

各パッチは、水環境によって強固に結びつけられている。それ故河川と小川の廊下、それら河川の水質は特別な配慮に値するのである。

衛星画像により、こうしたパッチとそれを結ぶ廊下を取り出す。次いでいくつかのパッチにおける生物相の相互関連の構造（生物多様性）を把握することで、GIS解析と地上での適切なパッチの生態調査が結びつけられると考えられる。

こうして環境修復の具体的な目標が得られる。ソース生息地が減るのは、「あるパッチでは死亡率を十分に上回る子孫が残せなかったからである。このような生息地は『シンク』生息地と呼ぶ。これらの変化は、一般的な農業の政策、プログラム、技術に関係しており、さらに詳しく見ると、植生の構造、カバーの配置、農業が野生生物に与える攪乱の特性とそのタイミングなどに関係している」[Richard：780-1] のである。

本稿では、人工衛星によるリモートセンシングによって解析する手法を試みた^{注7)}。

3-2. 解析方法と解析データ

衛星リモートセンシングの利点は、①広域を短時間で観測できること、②繰り返し観測が可能であること、③上空からの観測であるので人間が立ち入れない場所でも観測できることなどがあげられる。こうした方法であるため、トキが自然復帰した後の検証調査においても、人間の接触や航空機の騒音など臆病なトキを刺激することなく観測することが可能である。

(1) 地球観測衛星とセンサ

人工衛星による本格的な地球観測は米国NASAが1972年に打ち上げたERTS-1号（後にLANDSAT 1号と改称）が最初で、搭載された観測装置MSS（Multi Spectral Scanner）

表1 SPOT・Terraの諸元

| 衛星名 | SPOT-5 | Terra |
|-------|--|---|
| 軌道 | 太陽同期準回帰軌道 | 太陽同期準回帰軌道 |
| 高度 | 822km | 705km |
| 回帰日数 | 26日 | 16日 |
| 軌道傾斜角 | 98.7度 | 98.2度 |
| 運用期間 | 5年 | 6年 |
| センサ名 | HRG 2系統 | ASTER |
| 観測波長帯 | パナクロ 0.48-0.71 μ m B1 0.50-0.59 μ m B2 0.61-0.68 μ m B3 0.78-0.89 μ m B4 1.58-1.75 μ m | VNIR1 0.52-0.60 μ m VNIR2 0.63-0.69 μ m VNIR3N 0.78-0.86 μ m VNIR3B 0.78-0.86 μ m SWIR4 1.600-1.700 μ m SWIR5 2.145-2.185 μ m SWIR6 2.185-2.225 μ m SWIR7 2.235-2.285 μ m SWIR8 2.295-2.365 μ m SWIR9 2.360-2.430 μ m TIR10 8.125-8.475 μ m TIR11 8.475-8.825 μ m TIR12 8.925-9.275 μ m TIR13 10.25-10.95 μ m TIR14 10.95-11.65 μ m |
| 分解能 | パナクロ 5m, 2.5m B1 10m B2 10m B3 10m B4 20m | VNIR 15m SWIR 30m TIR 90m |

※VNIR3Bは27.6度後方視

は915km上空の宇宙空間から80m四方の物体を1つの点として識別することができた^{注8)}。

また、光の波長域（スペクトル）の中から緑と赤そして近赤外線2波長の計4波長の反射を識別できたので、人間の目では識別できない情報をもたらしてくれた。LANDSATは継続して打ち上げられ、現在は7号が運用中である。地球観測衛星は複数の国と民間企業が相次いで打ち上げており、フランスのSPOTやインドのIRS、日本のADEOS、スペースイメージング社のIKONOS、デジタルグローブ社のQuickbirdなどが打ち上げられている。

地球観測衛星の開発は、より小さな物体を識別できるよう空間分解能を向上させることと、観測したい時期に観ることができるよう時間分解能を上げること、そして物質の特徴を細かく抽出できるようにスペクトルの分解能を向上させることが方向性としてある。

(2) 解析データ：SPOTとTerra

トキの野生復帰調査のために利用できる衛星画像の条件としては、比較的空間分解能が良く広域観測ができることである。今回使用した衛星画像はアメリカの衛星Terra・

ASTERセンサとフランスのSPOT 5号・HRGセンサの画像を使用した^{注9)}。表1に諸元を載せた。

(3) 佐渡地方の衛星画像

使用した衛星画像はSPOTの2003年5月13日に観測した佐渡島4分の1サブシーンとASTERの2001年5月17日に観測した佐渡北部と南部2シーンを使用した。いずれも5月の水稻移植期直後であるので水田は灌水状態であり、森林は新緑の季節である。ASTERデータは快晴で雲はほとんど見られないが、SPOTデータでは山間部にやや雲がかかっている。ASTER画像の分解能15mに対してSPOT画像の分解能は10mであるので面積比で約2倍精細に識別することができる。

(4) 現地調査（グラントルース）

リモートセンシング画像の分類や解釈をするためには地上の実態に関する情報を収集しなければならない。これをグラントルースと呼んでいるが、筆者達は2002年11月と2003年10月に小佐渡地域で現地調査を行った。2002年の現地調査は2001年のASTERデータのVNIRを用いて小佐渡東部鳥獣保護区（1971年制定）を中心に水稻作付けや水域を調査した。2回目の2003年はSPOTデータを用いて2班に分けて小佐渡全体まで調査域を拡大し、トキの餌ともなる水生生物等の調査と水質調査を併せて行った。調査ポイントの位置合わせはGPS受信機（ポケナビmap21EX）で緯度経度を計測して衛星画像と位置合わせを行った。SPOTデータ、ASTERデータともに幾何補正後のユニバーサル横メルカトル図法（UTM）、世界測地系（WGS-84）のプロセスモデルである。GPS受信機のモードは2003年調査は世界測地系であったが、2002年調査はカーナビゲーションシステムを使用し、日本測地系で計測したため、基準点を設定して世界測地系に変換した。

3-3. 現地調査

(1) グラントルースの結果

2003年の調査地点は23地点であった。表2に調査地点の緯度経度、VNIRの各波長（バンド）毎の輝度値を示す。調査地点のGPS位置と衛星データ位置の誤差は、GPSはデファレンシャルしなければ数十m、SPOTは公称値50mであるのでやむを得ない誤差であると考え^{注10)}。

ただし調査ポイント⑥は地図上の位置ずれが大きく、ポイント⑭は衛星観測時に雲がかかっていたために解析からは除外した。2002年の調査は27地点であった。表3に各地点の緯度経度、各波長毎の輝度値を示す。

(2) 水生昆虫生息調査 [掛川]

リモートセンシングによる調査地点の水辺の現況を知るために、水質の簡易測定と水生昆虫生息調査を行った。

1) 調査地点

- ・畑野・八瀬松（表2 調査地点番号⑪）
- ・両津市立間（⑬）
- ・両津市両尾（⑮）

表2 2003年リモートセンシング現地調査 調査ポイントのデータ値

| 調査地点番号 | 地名 | GPS受診機測位の緯度 | GPS受診機測位の経度 | SPOT画像の緯度 | SPOT画像の経度 | BAND1輝度値 | BAND2輝度値 | BAND3輝度値 | 調査点現況 |
|--------|-----------|-------------|-------------|------------|-------------|----------|----------|----------|------------------------|
| ① | 畑野・栗野江 | 37.59.474 | 138.24.222 | 37.59.4409 | 138.24.1937 | 59 | 128 | 115 | 野球場グラウンド |
| ② | 高平林道 | 38.01.027 | 138.27.031 | 38.01.0263 | 138.27.0310 | 97 | 95 | 105 | トキ野生化訓練センター候補地・雑木林 |
| ③ | 正明寺 | 38.01.130 | 138.26.548 | 38.01.1316 | 138.26.5495 | 64 | 131 | 124 | 水路・草地 |
| ④ | 正明寺 | 38.01.203 | 138.27.005 | 38.01.2010 | 138.27.0086 | 88 | 100 | 106 | 雑木林・わき水 |
| ⑤ | 田野沢 | 38.02.052 | 138.27.143 | 38.02.1489 | 138.27.1413 | 97 | 118 | 120 | 水田・作付あり |
| ⑥ | 瓜生屋(中村) | 38.00.556 | 138.26.509 | 38.00.5555 | 138.26.5064 | 105 | 146 | 122 | トキ野生化訓練センター候補地・水田・作付あり |
| ⑦ | | 38.00.467 | 138.27.216 | 38.00.4649 | 138.27.2129 | 86 | 102 | 104 | 森林・伐採後の林道 |
| ⑧ | 青木山牧場 | 38.00.387 | 138.28.249 | 38.00.3877 | 138.28.2470 | 103 | 104 | 111 | 青木山牧場入口・ススキ林 |
| ⑨ | 清水平 | 38.00.316 | 138.28.395 | 38.00.3164 | 138.28.3972 | 89 | 125 | 116 | 草地・湿地帯 |
| ⑩ | 生椿 | 38.00.445 | 138.29.456 | 38.00.4472 | 138.29.4568 | 89 | 119 | 114 | 水田・立毛状態 |
| ⑪ | 畑野・八瀬松 | 37.57.122 | 138.26.156 | 37.57.1226 | 138.26.1577 | 91 | 138 | 126 | ダム直下の沢 |
| ⑫ | 畑野・駒上 | 37.56.335 | 138.27.053 | 37.56.3376 | 138.27.0503 | 72 | 127 | 118 | 棚田・峠直下の道路 |
| ⑬ | 両津市立間 | 37.59.094 | 138.30.438 | 37.59.0930 | 138.30.4425 | 117 | 143 | 141 | 棚田・作付あり周囲は杉林・落葉樹 |
| ⑭ | 両津市立間 | 37.59.170 | 138.31.050 | 37.59.1688 | 138.31.0530 | 127 | 188 | 168 | 棚田・作付あり周囲は杉林・落葉樹 |
| ⑮ | 両津市・両尾 | 38.08.407 | 138.30.530 | 38.03.4033 | 138.30.5232 | 70 | 134 | 125 | 広い棚田・作付あり、10ヘクタール |
| ⑯ | 両津市・真更川上流 | 38.02.370 | 138.31.167 | 38.02.3661 | 138.31.1621 | 67 | 128 | 118 | 水田・作付あり 周囲はカラ松 |
| ⑰ | 両津市・真更川上流 | 38.02.440 | 138.30.586 | 38.02.4127 | 138.30.5144 | 88 | 156 | 131 | 水田・作付あり |
| ⑱ | 品ノ浦 | 38.02.413 | 138.26.402 | 38.02.4167 | 138.26.3752 | 87 | 215 | 162 | 道の野駐車場・アスファルト |
| ⑲ | | 38.01.523 | 138.27.347 | 38.01.5232 | 138.27.3542 | 101 | 107 | 111 | トキ野生化訓練センター候補地近く・森林 |
| ⑳ | | 38.02.024 | 138.27.404 | 38.02.0286 | 138.27.4285 | 104 | 103 | 113 | トキ野生化訓練センター候補地近く・森林 |
| I | 両津港 | 38.04.498 | 138.26.164 | 38.04.4803 | 138.26.1588 | 76 | 207 | 169 | 両津港駐車場・アスファルト |
| II | 下新穂 | 38.00.558 | 138.24.232 | 38.00.5401 | 138.24.5548 | 61 | 107 | 107 | ハス田 |
| III | 下新穂 | 38.00.541 | 138.24.285 | 38.00.5401 | 138.24.5548 | 61 | 107 | 107 | 新穂城跡 |

表3 2002年度リモートセンシング現地調査 調査ポイントのデータ値

| ポイント番号 | ASTER | | | | | | 調査地点の状態 | R | G | B |
|--------|-------|----|-------|-----|----|-------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| | 緯度 | | | 経度 | | | | 0.807 μ m | 0.661 μ m | 0.556 μ m |
| 1 | 37 | 59 | 47.76 | 138 | 24 | 23.32 | ホテル駐車場アスファルト | 64 | 72 | 103 |
| 2 | 37 | 59 | 26.84 | 138 | 26 | 20.9 | ドジョウ養殖場付近の山林針葉樹 | 101 | 36 | 65 |
| 3 | 37 | 59 | 6.74 | 138 | 26 | 26.01 | 大野川ダム広葉樹 | 122 | 38 | 70 |
| 4 | 37 | 59 | 45.17 | 138 | 26 | 20.73 | 清水寺付近大豆あと水田 | 98 | 53 | 77 |
| 5 | 37 | 59 | 55.17 | 138 | 26 | 16.73 | 清水寺付近水田耕作放棄地 | 93 | 50 | 81 |
| 6 | 38 | 0 | 20.55 | 138 | 26 | 58.43 | 新穂ダム 草地 | 87 | 63 | 87 |
| 7 | 38 | 1 | 17.17 | 138 | 25 | 46.73 | 斉藤リング園 | | | |
| 8 | 38 | 2 | 14.17 | 138 | 27 | 14.73 | 田野沢水田不耕起栽培 | 57 | 61 | 83 |
| 9 | 38 | 1 | 47.05 | 138 | 26 | 26.65 | 正明寺貯水池と工場 | 29 | 44 | 88 |
| 10 | 38 | 2 | 40.34 | 138 | 26 | 37.79 | 道の駅前駐車場 | 45 | 62 | 88 |
| 11 | 38 | 1 | 44.05 | 138 | 29 | 8.76 | 知久川ダムの下広葉樹 | 99 | 40 | 71 |
| 12 | 38 | 0 | 55.68 | 138 | 30 | 5.81 | 生椿水田 | 65 | 67 | 82 |
| 13 | 38 | 0 | 52.17 | 138 | 29 | 59.73 | 生椿水田棚田 | 79 | 51 | 76 |
| 14 | 38 | 0 | 52.17 | 138 | 29 | 59.73 | 生椿広葉樹 | 126 | 35 | 71 |
| 15 | 38 | 0 | 41.17 | 138 | 29 | 46.73 | 生椿水田棚田 | 68 | 68 | 87 |
| 16 | 38 | 0 | 37.17 | 138 | 29 | 35.73 | 生椿水田棚田 | 72 | 31 | 59 |
| 17 | 38 | 0 | 29.17 | 138 | 31 | 12.73 | 四十八ヶ所越峠広葉樹 | 124 | 34 | 70 |
| 18 | 37 | 59 | 55.17 | 138 | 31 | 13.73 | 赤玉水田棚田 | 71 | 54 | 78 |
| 19 | 38 | 1 | 13.54 | 138 | 32 | 59.92 | 野浦海岸近くの駐車場 | 56 | 52 | 78 |
| 20 | 38 | 2 | 54.17 | 138 | 33 | 41.73 | 片野尾水田 | 68 | 64 | 92 |
| 21 | 38 | 2 | 54.17 | 138 | 33 | 41.73 | 片野尾畑地 | 97 | 53 | 84 |
| 22 | 38 | 2 | 54.17 | 138 | 33 | 21.73 | 片野尾水田 | 64 | 53 | 75 |
| 23 | 38 | 2 | 58.17 | 138 | 32 | 59.73 | 片野尾広葉樹 | 111 | 42 | 76 |
| 24 | 38 | 2 | 58.17 | 138 | 32 | 59.73 | 片野尾水田 | 56 | 59 | 77 |
| 25 | 38 | 3 | 57.17 | 138 | 32 | 4.73 | 羽二生針葉樹 | 100 | 32 | 65 |
| 26 | 38 | 3 | 52.17 | 138 | 32 | 9.73 | 羽二生水田棚田 | 65 | 49 | 77 |
| 27 | 38 | 3 | 24.17 | 138 | 31 | 53.73 | 羽二生ため池水田 | 61 | 58 | 80 |

- ・両津市・真更川上流 (⑩)
- ・高平林道 (トキ野生化訓練センター候補地) 下の沢 (②)
- ・田野沢 (不耕起水田) (⑤)
- ・清水平 (「トキ保護センター」の跡地) の湿地と水路 (⑨)
- ・生椿の沢と水路 (⑩)

2) 調査方法

全地点で、DO (溶存酸素)、pH、COD (化学的酸素要求量) を測定した。測定には以下の計器を使用した。

- ・DO (溶存酸素) - 溶存酸素測定用キット
- ・Ph - パックテスト
- ・COD (化学的酸素要求量) - パックテストD・低濃度用

水生昆虫生息調査は高平林道下の沢、田野沢、清水平、生椿で行った。採集は調査者一

人のみで行った。清水平はタモ網を使用し定性調査を行った。他の地点は25cm×25cmコドラート（方形枠）を使用し、0.25m²（25cm×25cm×4回）の定量調査を行った。高平林道下の沢は細流のためコドラート1回の採集をして0.25m²に換算した。出現した水生昆虫はエビヤヒルの底生動物も含めて全て採集し、現場でアルコールで固定した。種の同定は『日本産水生昆虫検索図説1』に従った。検鏡には20倍実態顕微鏡、双眼顕微鏡を使用した。

湿重量の測定は、固定してある検体を1個体ずつピンセットで取り上げキッチンペーパー上に置き、背側、腹側の水分を1度ずつ吸収させた後、測定し湿重量を求めた。殻高の測定はデジタルノギス（最小目盛0.1mm）を使用した。

3) 水質調査結果

結果を表4に示した。DO（溶存酸素）は田野沢、清水平の湿地、生椿の沢で4 mg/Lと低く、低酸素であった。その一因として、田野沢は、流れが遅かったこと、清水平、生椿の沢については、地下で低酸素であった湧水が流れ込んでいることが考えられる。この地点は低酸素に耐えるヨコエビ2が優占種であった。

Phは高平林道下の沢が4.5と普通の川としては強い酸性を示した。両津市・真更川上流も6.8と弱い酸性を示した。原因は今回の調査では明らかにできない。他の地点は7～8で普通であった。

CODは両津市立間、生椿の沢が2 mg/L、他派4 mg/L～6 mg/Lで全体に低い数値ではなかった。

4) 水生昆虫生息調査

結果は表5に示した。

i) 高平林道（トキ野生化訓練センター候補地）下の沢

この地点は、開発されていない小高い山腹にあり、雑木林の中を林道が通っていた。周辺には水辺がないため、山を下り最初にあった沢で調査した。

この沢は周囲に雑木が鬱蒼と茂り、水面上に枝や草本が張り出していた。流路幅は45cm、水深10cm程の細流で、河床勾配があり、小さな瀬と淵が階段状に連続していた。底質は砂に拳大程度までの礫であった。

出現した水生昆虫は、種数、個体数ともに、多いとはいえなかった。カゲロウ1種、トビケラ2種、ヨコエビ、サワガニが出現した。殻高6.0mmのカワニナの稚貝の空殻もあった。優占種はヨコエビであった。川床の多くの礫面にクダトビケラの巣が見られた。

水質は、Ph4.5で河川水としては強い酸性であった。DO（溶存酸素）は8.0mg/Lで普通であったが、COD（化学的酸素要求量）は6 mg/Lあり、やや高い値であった。

この地点の水生昆虫群集が、環境に比して豊かとは見えないことから、河川水が恒常的に強い酸性であることは考えられる。

ii) 田野沢

不耕栽培を行っている水田で調査した。水田は刈り取りが終わり、水はなく小さな水溜りがある程度であったので、田の周囲の水の流れていた水路で採集した。水路はまっすぐな3面コンクリートで、幅45cm、水深約1 cm、底は平坦で薄く泥がのっており、山側では一部草が覆い被さっていた。流量が少なく流れは遅かった。山側の水路の曲がり角あ

表 4 佐渡環境調査 (2003年10月12日)

| 地 点 | 畑野・八瀬松 | 両津市立間 | 両津市両尾 | 両津市・真更川 上流 | 高平林道下の沢 |
|----------------|-----------------------|-------|--------|---------------|------------------|
| 時 刻 | 10:30 | 12:00 | 14:00 | 15:00 | 10:00 |
| 天気・曇量 | 曇り | 曇り | 曇り | 曇り | 曇り |
| 水温 (°C) | — | — | — | — | 15 |
| 流路幅 (m) | 3.5 | 2 | 1 | 0.3 | 0.45 |
| 水深 (生物を採集した地点) | 0.2 | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.1 |
| 底 質 | 砂、礫 | 砂 | コンクリート | コンクリート | 砂、礫 |
| 水生生物 採集方法 | — | — | — | — | 定量 (0.25m×1回) |
| 水 | DO (mg/L) | 10 | 8 | 6 | 8 |
| | pH・水素イオン濃度 | 7.5 | 7 | 6.8 | 4.5 |
| 質 | COD・生物化学的酸素要求量 (mg/L) | 4 | 6 | 5 | 6 |

| 地 点 | 田野沢 (田圃用水) | 清水平 (湿地) | 清水平 (水路) | 生椿 (沢) | 生椿 (田圃用水) |
|----------------|-----------------------|-------------|-------------|------------------|------------------|
| 時 刻 | 11:30 | 2:30 | 3:00 | 4:00 | 4:30 |
| 天気・曇量 | 曇り | 曇り | 曇り | 曇り | 曇り |
| 水温 (°C) | 18 | 17 | 17 | 14.8 | 16 |
| 流路幅 (m) | 0.25 | — | 0.2 | 0.85 | 0.3 |
| 水深 (生物を採集した地点) | 0.04 | 測定不可 | 0.05 | 0.05 | 0.02 |
| 底 質 | 三面コンクリート | 水草、藻類 | 三面コンクリート | 砂、礫 | 砂、礫 |
| 水生生物 採集方法 | 定量 (0.25m×4回) | 定性 | 定性 | 定量 (0.25m×4回) | 定量 (0.25m×4回) |
| 水 | DO (mg/L) | 4 | 5 | 4 | 6.5 |
| | pH・水素イオン濃度 | 8 | 7 | 7.5 | 7.2 |
| 質 | COD・生物化学的酸素要求量 (mg/L) | 6 | 5 | 2 | 4 |

調査日時：2003年10月12日
 調査場所：佐渡
 調査方法：定量 (0.25m²)：定性 (○印)
 単位：個体、g/0.25m²

表 5 水生昆虫生息調査

| 綱 | 目 | 種名 | | 高平林道下の沢 | 田野沢(田園用水) | 清水平(湿地) | 清水平(水路) | 生椿(沢) | 生椿(田園用水) | |
|-------|---------|--------------------|-----------------------------------|---------|-----------|---------|---------|-------|----------|-------|
| | | 和名 | 学名 | | | | | | | 個体数 |
| 昆虫 | カゲロウ | ヒメタオカガゲロウ属 | Ameletus sp | | | | | | | |
| | | タニガワカゲロウsp | Ecdyonurus Eaton sp | 4 | 0.000 | | | | | |
| | トンボ | フタスジモンカゲロウ | Ephemera orientalis | | | | | 8 | 0.210 | |
| | | オニヤンマ | Anotogaster Sieboldii Selys | | 2 | 0.43 | | 3 | 0.597 | |
| | カワガヤ | トワダカワガヤ | Scopura longa | | | | | 1 | 0.036 | |
| | | ミドリカワガヤ科 | Chloroperlidae sp | | | | | 1 | 0.006 | |
| | 半翅目 | アメンボ科 | Gerridae sp | | | | | | | |
| | | コムスムシ | Sigara Substriata | | | | | | | |
| | | マツモムシ | Notonectidae sp | | | | | | | |
| | | クロツツトビケラ | uenalakanagai | | | | | 7 | 0.000 | |
| | トビケラ | オオカクツツトビケラ | Neoseverinia Crassicornis | 4 | 0.720 | | | | | |
| | | コカクツツトビケラ属 | Coerodes Ulmer sp | | | | | 1 | | |
| | ハエ | クダトビケラ科 | Psychomyiidae sp | 8 | 0.000 | | | | | |
| | | ガガンボ属 | Tipulidae sp | | | | | 2 | 0.162 | |
| コウチユウ | コウチユウ科 | Coleoptera sp | | | | | | | | |
| | ヒメゲンゴロウ | Rhantus Pulverosus | | | | | 1 | 0.000 | | |
| 環形動物 | 咽蛭 | Chusiyel | | 10 | 1.83 | | | | | |
| 軟体動物 | 中腹足 | カワエナ | Semisulospira libertina Libertina | 4 (空殻) | 36 (空殻) | | | | 1 (空殻) | |
| | 端脚 | ヨコエビ科 | Gammaridae sp | 20 | 0.024 | | | | 91 | |
| 節足動物 | 十脚 | サワガニ | Eriochir Japonicus | 4 | 0.052 | | | | 3 | |
| | | 合計(種数) | | 40(5) | 12(2) | 2.26 | (5) | (4) | 118(10) | 1.927 |

たりにはメダカが群れていて、泥の中に大小のドジョウが豊富に確認できた。ドブ貝の古い空殻が1個あったので、付近をタモ網を使いすくったが、ドブ貝については生貝も空殻もそれ以外は見つからなかった。田んぼの中の小さな水溜りにタイコウチを1個体確認した。

調査は水路の曲がり角で定量採集した。底は30cmほど低くなっていて、泥が溜まり、水深は約4cmであった。

チスイビルとオニヤンマのヤゴが出現した。カワニナの空殻が36個あった(図1)。生貝は1個体もなく不自然であったが、理由としてこの地点は底が低くなっているため、空殻が水路上手から流れてきた場合はトラップとなり溜まりやすいこと、また捕食者となるチスイビルが多いことが考えられる。この空殻は大きさから成貝が多く、稚貝が少なかった。殻高25mm以上のカワニナとしては最大サイズが18個で56%、中間サイズの15mm前後が11個体で34%、10mm未満の稚貝は10%であった(図2)。稚貝は5~10月頃に年間で

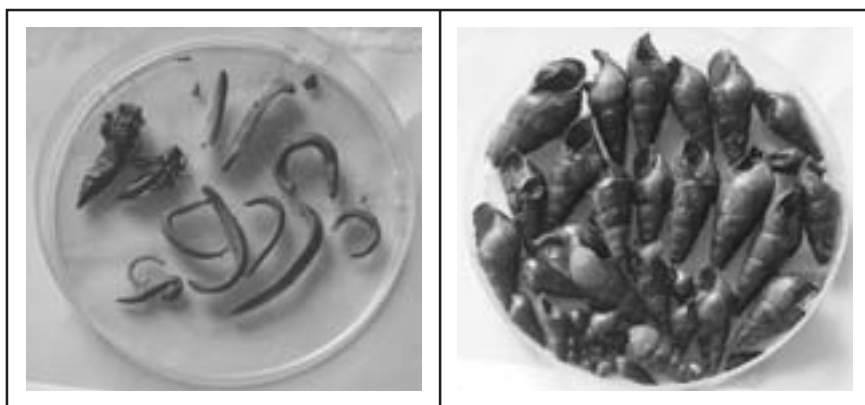


図1 田野沢水路で0.25m²内に出現したヒル、ヤゴ、カワニナ空殻

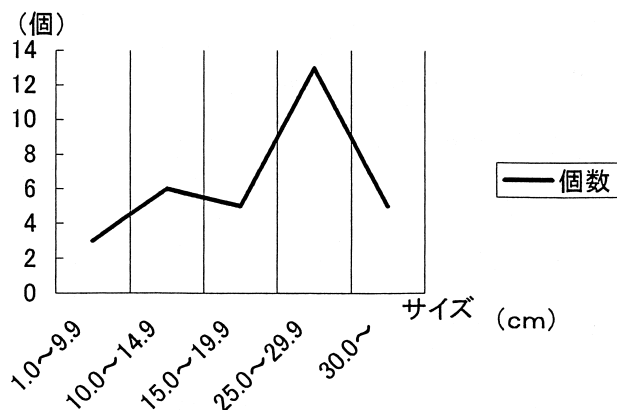


図2 カワニナ空殻の殻高階級別分布

50～100個ほど産まれること、空殻は状態からあまり古いものではないと推定できることから、調査時の10月半ばという時期としては稚貝の割合が非常に低いといえる。原因として、3面コンクリート張りの水路は砂礫質の川床を好むカワニナの生育環境としては不適のため、生まれた稚貝が少なかったこと、また成貝が多いのは養殖されたものが放流されていることも考えられる。生殖バランスが崩れていると見える。

③清水平

「トキ保護センター」の跡地である。山際から出ている湧水が流れ込んでいるコンクリート水路と中央の湿地で採集した。

●水 路

幅20cmの3面コンクリート張りで、水深は約5cm、一部にはミゾソバやメドハギなどが覆い被さっていた。

水路幅が狭かったため、約10m間をタモ網を使用し定性調査を行った。その結果、ヨコエビ、マツモムシ、オニヤンマのヤゴ、ヒメゲンゴロウが出現した。優占種はヨコエビであった。他にカエルも多かった。

●湿 地

水草やシャジクモなどの藻類が密生し、踏み込むと沈むので、タモ網を使用し定性調査を行った。

結果、ヨコエビ、ヒメフタオカゲロウ、アメンボ、コミズムシ、マツモムシが出現した。優占種はヨコエビであった。この地点のヨコエビは平均体調が15.3mmあり、他地点に比べ大きかった。種が違うと思われる。また、ドジョウが豊富に生息していた。タモ網ですくったものは体長が30mm程度で今年孵化したものが主であった。自然繁殖していることが分かる。カエルも多かった。

④生 椿

山側の沢と棚田の水路で行った。

●沢

上流部の沢である。雑木が水面上に覆い被さり山際を流れている。流路幅85cm、水深5cmほどで、河床は砂礫上に拳大程度の礫があった。小さな板の橋が架っているだけの、人工構造物はない自然河川であった。

結果は、フタスジモンカゲロウ、オニヤンマ、トワダカワゲラ、ミドリカワゲラ、クロツツビケラ、ガガンボ、コウチュウ、ヨコエビ、サワガニの10種118個体が出現した(図3左)。優占種は91個体出現したヨコエビであった。

●水 路

心休まる景観を見せる棚田の周りの水路で採集した。水田に水はなかったが、水路は通水されていた。土水路で川床は砂泥質に拳大程度の礫で構成され、小さな階段状の勾配があり、水生昆虫にとって微生息場所は豊富に見えた。流路幅30cm、水深2cmであった。

結果は、オニヤンマのヤゴ、コウチュウが各1個体ずつしか出現しなかった。カワニナの空殻が1個あった。殻高は25.5mmあり成貝であった(図3右)。

5) まとめ

今回の調査でみた限りでは、平野部の河川や水路については3面コンクリートで直線化



図3 生椿の沢（左）と水路（右）0.25m²内に出現した水生昆虫

され自然河川はないように見えたが、山間部は林道以外には開発されておらず、生椿や高平下の沢は自然のままに流れていた。生椿の沢は水生昆虫も多様であった。しかし高平下の沢は河川水としては強い酸性を示し、周囲の環境が類似している生椿の沢と比較して多様性は低かった。

清水平はドジョウが自然繁殖していて、マツモムシやヨコエビなど水生生物が豊かであった。

水田の水路は、田野沢も生椿も水生生物群集は貧弱であった。

田野沢不耕起田の水路は、ヒルとヤゴの2種12個体しか出現せず、カワニナは空殻ばかりで自然繁殖が少ないと思われた。

生椿の水路は、土水路で通水も恒常的にあると思われるにもかかわらず、ヤゴとコウチュウの2種2個体しか出現しなかった。

3-4. 画像解析結果

(1) フォールスカラー画像

画像解析にはリサーチシステム社のENVI3.6 Run Time版（The Environment for Visualizing Images）を使用した。図4はSPOTサブシーンの全画像を単バンド表示したもので佐渡島のほぼ全体が見られる。大佐渡山地の山頂部、小佐渡丘陵の東側に雲がかかっている。

本調査の関心領域である小佐渡地区をフォールスカラー画像で図5に示した。現地調査のポイントを黄色で表示している。フォールスカラー画像は緑の波長の反射に青のフィルター、赤の波長の反射に緑のフィルター、近赤外波長の反射に赤のフィルターをかけて合成した。2%のリニアストレッチをかけてコントラストを調整した。フォールスカラーは植生や水域の特徴が良く判別できる。小佐渡の森林部は鮮やかな赤で表示されている。水田は田植え直後であるため稲そのものの反射ではなく灌水した水面が反射しているので黒

っぽい緑色となっている。雲はすべての波長で反射輝度が高いので白く見えるが雲の陰と山脈の陰影部は共に反射輝度が低いので黒っぽく写っている。

(2) NDVI

フォールスカラー画像では森林部は一様に鮮やかな赤で表示されているが植物の活性は植生指数を調べることによって分かる。正規化植生指数（NDVI：Normalized Differential Vegetation Index）を計算して図6に表示した。NDVIの計算式は次式の通りである。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

NIR：近赤外のバンド

R：赤のバンド

植生が多いとNDVIは高くなり、水面では近赤外線を吸収して反射量が少ないのでマイナスになる。森林内の道路や川筋、水田等はNDVIがはっきり低下するので明瞭に判別ができる。NDVIが高いと明るく、低いと暗く階調表示したので白が強いほど植物量が多い。図では小佐渡の中央部が明るく小佐渡東部鳥獣保護区がくすんだ色に出ている。斜面補正等を行っていないので実態の反射量ではないが相対的に小佐渡の北部は中央部より植生指数は低い。松枯れ等の影響がでているのか、かつてのトキの最後の楽園であった保護区での指数低下は、営巣地機能の低下につながるのか、今後も四季を通して継続的にNDVIを計測していく必要がある。

(3) 土地被覆分類

教師付き分類法（supervised classification）で土地被覆分類を行った^{註11)}。

土地被覆を代表するトレーニングエリアを指定しレベルスライス（セル法、parallel piped classification）で画素を分類し、図7に表示した。森林の赤が一番多く、次いで水田の黄色が目立つ。SPOT画像では小佐渡の東側にある雲の陰や雲の東側の薄雲が解析に影響を与えた。雲の陰が水田に誤分類された。かつてトキが生息していた地域では、生椿には水田の反射が確認されたがその周辺では水田の反射は見られない。生椿だけが象徴的に水田復活を遂げたがトキの餌環境とすれば山間部に水田が点在していることが望ましいのではないか。人間の生活があってはじめてこのような里山の環境を維持していくことができるのである。

水環境ではダムを含め大小の湖沼が点在しており、トキにとって冬季の餌を確保するには良い条件と言える。これは後で述べるが世界で唯一、トキが野生生息する中国洋県の水環境に似ている。

2001年のASTER画像による水田分類を図8に示した。ASTERデータは佐渡島中部を境に南北に分割され、2シーンにまたがっていたのでそれぞれをENVIで解析し、結果の画像データをアドビ社のPhotoshop Elementsで接合し境目のない一つの画像に表示した。ASTER画像では水田、棚田又は水深の浅い河川のみに着目して解析した。輝度値はVNIR3Nが50～70前後、VNIR2は30～70前後、VNIR1は60～90前後であった。VNIR3NとVNIR2のバンド間演算を行い水田の特徴を黄色で表示した。

2001年と2003年の水田の変化は全体的には差異はないものの山間部では2001年の画像に点在が多く見られる。北部の羽二生上流では2001年にはわずかに水田の反射が見られたが2003年には見られなかった。ただし雲の陰になって誤分類された可能性も否定でき

ないが、2003年の現地調査のポイントからはずれたので未検証である。かつてのトキ保護センターのあった清水平周辺は2001年も2003年も水田の反射は見られなかった。しかし現地調査では湿地や雑草地であったので水田への復元・維持が困難でも湿地としての多様な生物環境が保たれるならばトキの餌場としての条件を満たすことができると思われる。

3-5. 今後の課題

SPOTとASTERを使って解析したが、いくつかの課題がでてきた。SPOTは解像度が良く詳細に見ることができたので元画像で山間部の道路や棚田も確認できた。しかし解析地域に雲がかかり分類に影響を与えてしまった。大気補正を行えば薄雲の影響を除去できるかもしれない。ENVIに大気補正プラグインツールを追加することも検討したい。

雲の影響のなかったASTER画像は細かい情報は判読できなかったが、水田の分類は困難ではなかった。

今回のデータは佐渡島は5月、小括で述べるように、中国洋県は7月であったので水田は灌水されておりトキにとっては活動期なので採餌には条件の良い時期の解析となった。しかし、冬季に雪で閉ざされた時期での画像データも必要である。日本海側は冬季に天候が悪く良いデータが得にくい。冬季には解像度は低くても相対的に観測頻度の高いLANDSAT 7号の利用も検討したい。

ランドスケープの変化を見るためには長期間の観測が必要であるが、リモートセンシング衛星の歴史はまだ浅い。航空写真は古くからあるが、デジタルデータではないので目視判読が主である。解像度の良いリモートセンシングデータでランドスケープの変化を見ようとすれば過去に遡らず今後の変化を見ていくことになる。佐渡島のランドスケープエコロジーを中国洋県のそれとリンクさせて考えていく必要がある。同時に時系列のデータを得るために双方で観測を続けていくことが重要である。

4. 小括—結びにかえて—

予備的な作業と考察であったが、比較を通してGISによる生息地把握の精度を高めたい。また良好な生息地を維持するための農業経営及び地域経営の課題を明らかにしたい。そのために二点を述べて小括とする。

4-1. 中国洋県との比較

本稿の目的は、リモートセンシングによって世界で唯一、野生のトキが生息する中国洋県と佐渡島のランドスケープから見た共通点及び相違点を把握することであった。しかし、洋県側でのグランドトゥースが今後の課題となっている。今回は洋県については2000年7月31日観測のASTERデータをフォールスカラー画像で表示し特徴を推定し、図9にマップ表示した。

観測月が7月であったため、稲が作付けされている水田は稲葉の反射で赤く表示される。漢江に沿って赤くフラットに出ている部分が水稻であると考えられる。水田から丘陵部に

かけて所々黒くはつきりと描画されているのが湖沼である。この水環境の良さがトキの生息に適しているのではないか。さらに北部には秦嶺山脈につらなる豊かな森林の赤が見られるので営巣地としても恵まれているのではないかと推測できる。今後、洋県において最新の画像データを基に現地調査が実施できれば佐渡島の解析に有益である。

4-2. 環境保全型農業の推進

ランドスケープエコロジーの観点から、トキの生息する農村環境がいかに取り戻せるかについてリモートセンシング技術でマクロの見地からアプローチした。圃場の中身についてはミクロの見地から環境保全型の農業を推進していかなければならない。言い換えればドジョウやタニシが生息できる水田、冬季でもトキが採餌できる水田を整備していかなければならない。ここでは視点を換え、環境保全型農業を推進していくうえで農業政策からの取り組みについて述べる。

環境保全型農業の実現には減農薬や無農薬栽培、農法の変更によって水田環境を保全していかなければならないが、環境保全型農業が普及すれば収穫量の減少や品質の低下からもたらす経営リスクの増大が懸念される。

リスク増大に対する施策として新穂村では、独自の減収補填制度を実施している。これは2001年から2003年までの期限付きであるが有機農法などの環境保全型の稲作経営を実施して病虫害などで減収した場合、10a当たり最高66,000円までを補償するものである。新穂村長の英断であるが1つの自治体で行うには限界がある。今後継続できるかは、市町村合併後の新市の農業政策に期待しなければならない。

リスク軽減の政策としては農業共済制度があるが、環境保全型の農業経営には配慮されているとは言い難い。農業共済では確立されていない農法については、減収リスクが大きいとして引き受けしない。また、引き受けしても病虫害防除や雑草防除が適切ではないなどの理由から、その減収分を共済金から差し引く分割評価が行われる。

どのように農業経営を環境保全型に転換しうるか。紺屋（2001）は次のように指摘する。外部不経済の費用は農産物価格に反映されないので、効率的な資源配分ができず市場の失敗となる。水質汚染や土壌汚染、湿地の乾燥化や大気汚染などが外部不経済となり、これらを削減する方法が環境保全型農業技術である。農業自身が持つ公益的機能を追求しつつ、環境への負荷を減らす技術開発やその普及方法を追求すべきである。

環境保全型農業は新技術を伴うために生産が不安定になりリスクを生じる。これまでの農業共済制度は標準化された技術を前提としたリスク軽減策であったが、環境保全型農業を推進するには新技術による生産不安定についても補償する必要がある。具体的には農薬に代替するような防除技術にも農業共済を認めるならば、環境に配慮した農業技術を採用するインセンティブとなりうる。

新穂村での取り組みは農業共済でカバーできなかった部分を取った施策である。環境保全型農業の推進は佐渡に限らず全国で行われるべきである。そのためには1つの自治体での取り組みではなく国全体の農業環境政策を確立し、環境保全型農業技術普及の支援を行っていく必要がある。

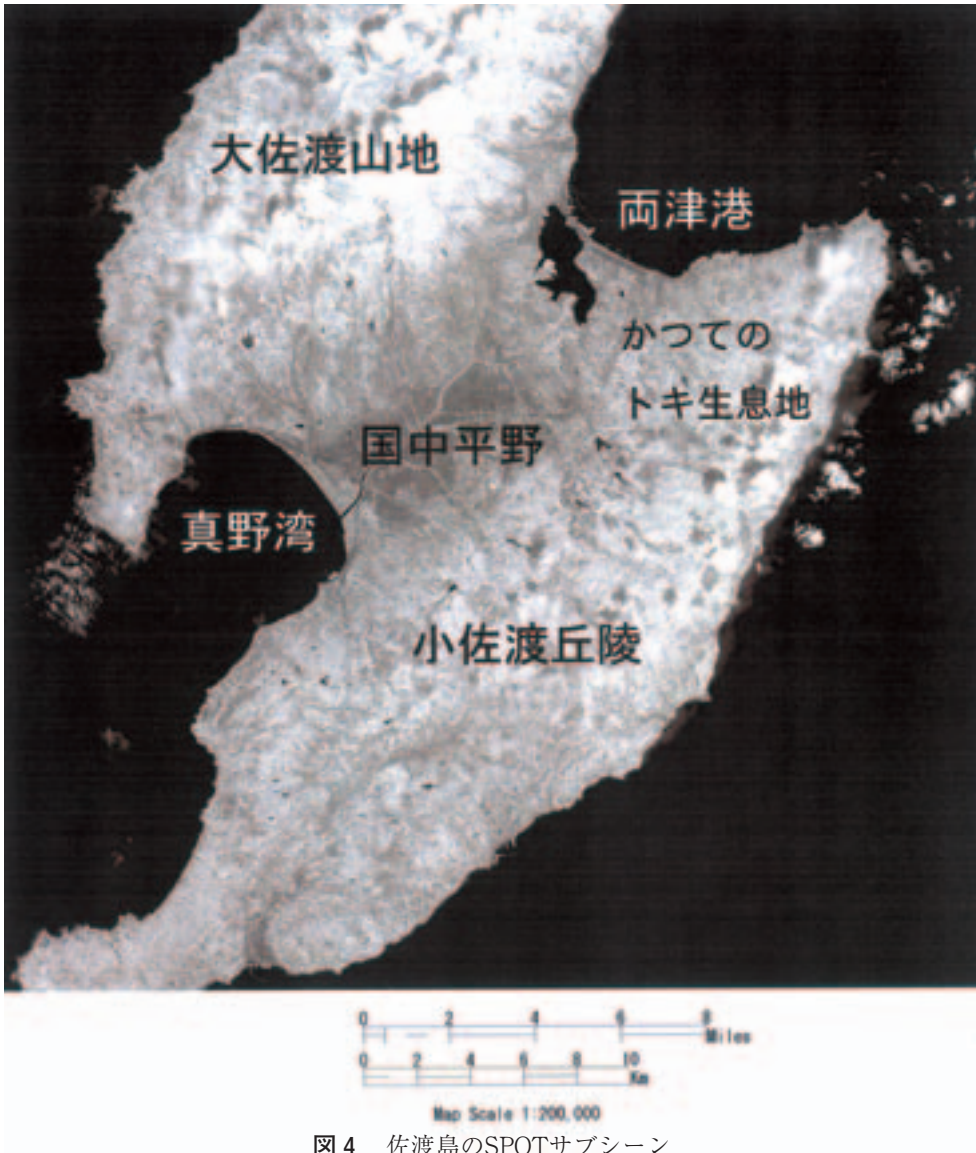


図4 佐渡島のSPOTサブシーン



図5 小佐渡地区の調査ポイント

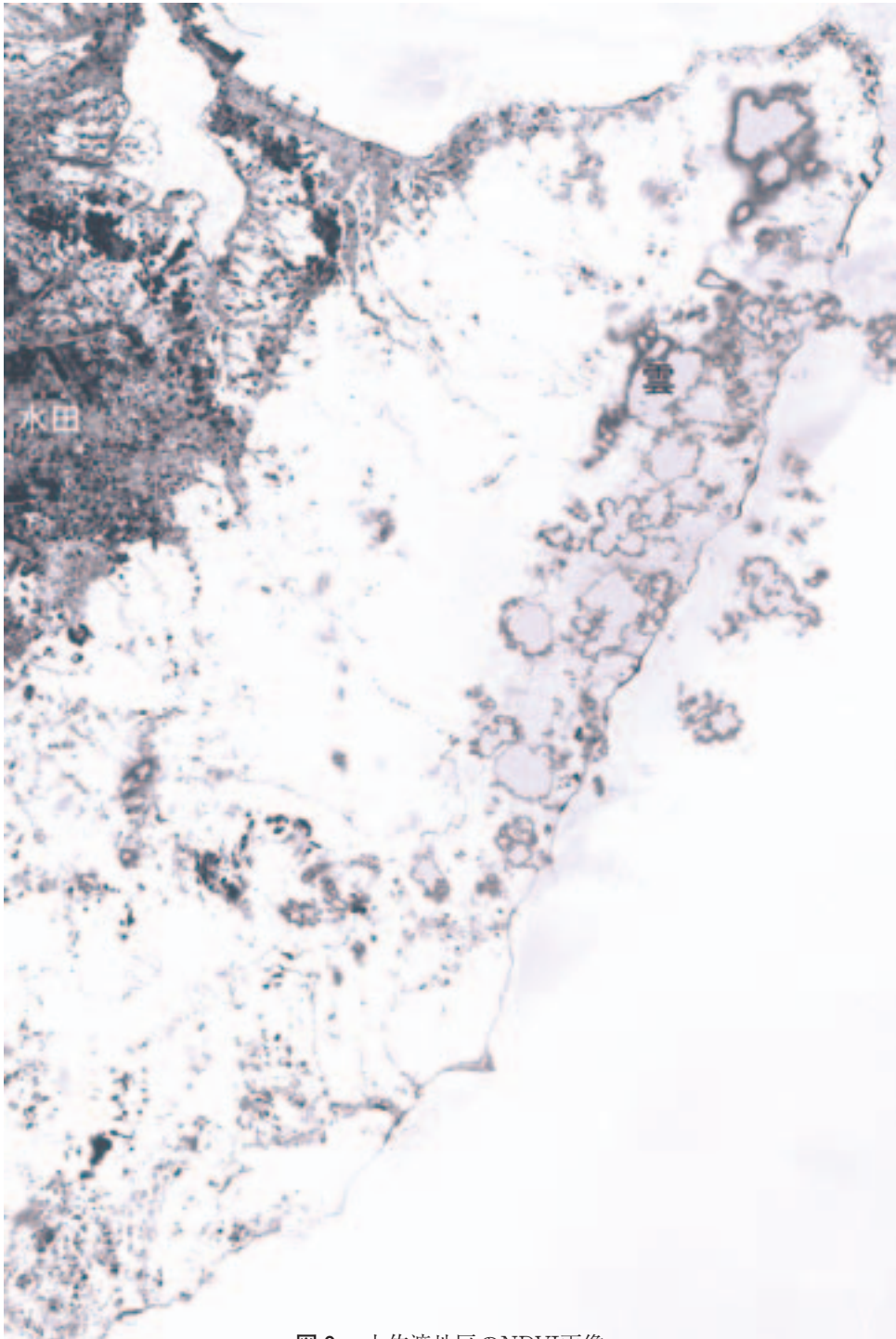


図6 小佐渡地区のNDVI画像

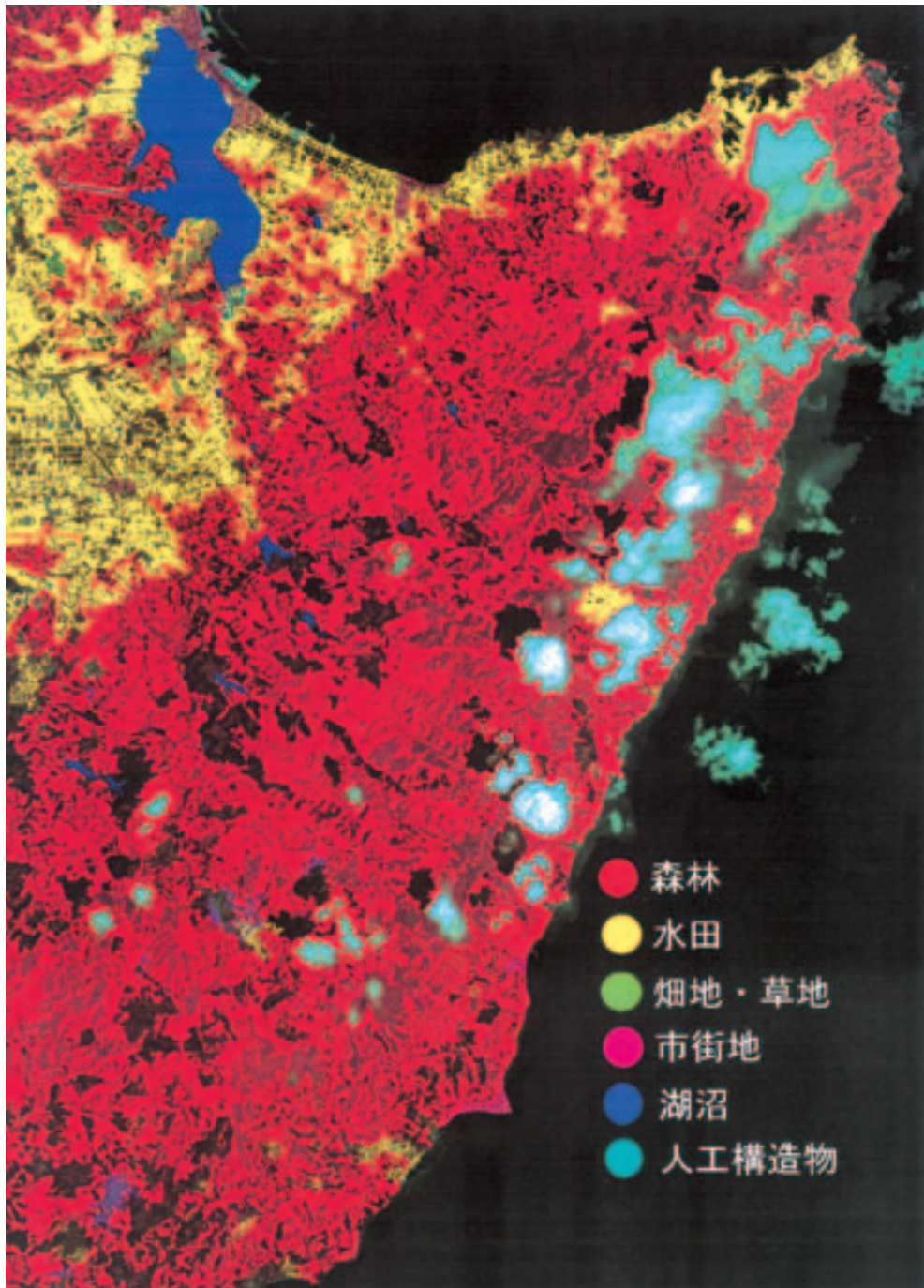


図7 小佐渡の土地被覆分類

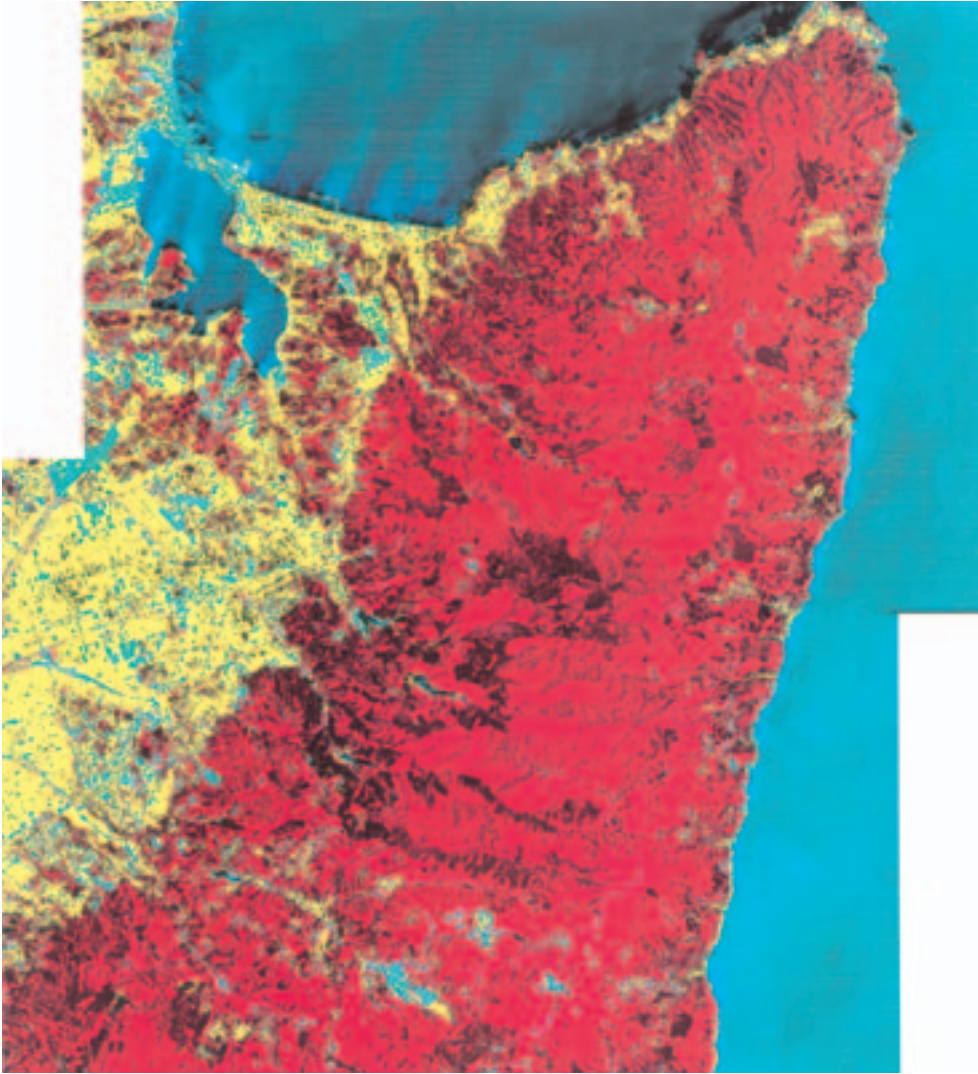


図8 佐渡東部水田作付合成図 2001年ASTER画像

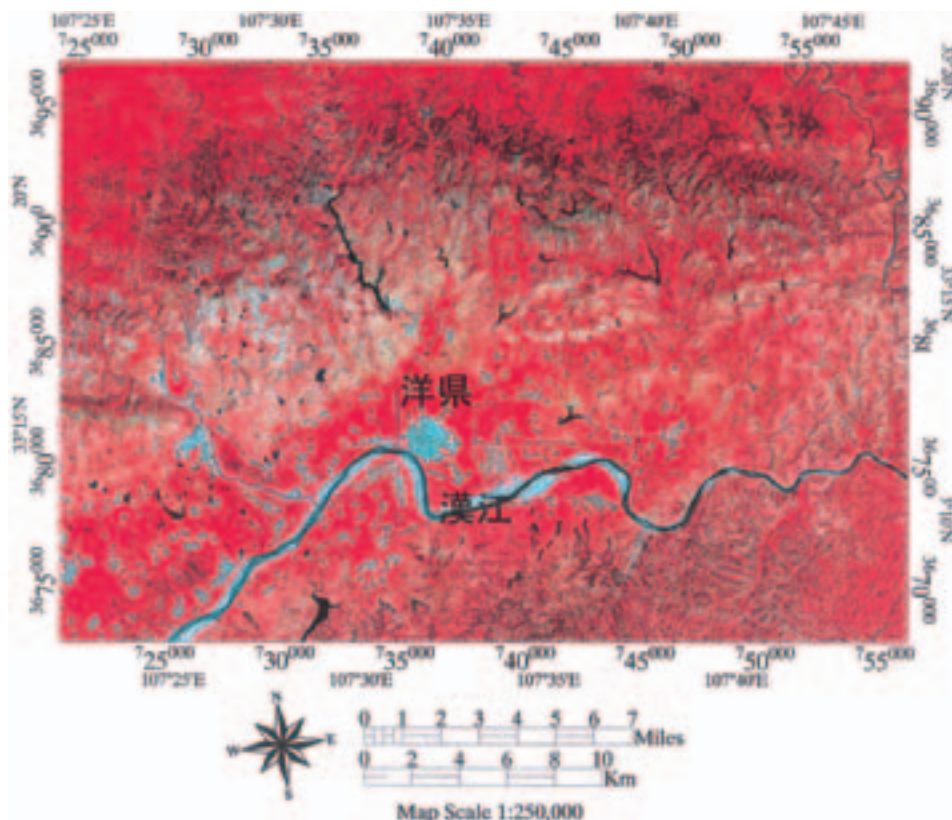


図9 中国洋県のASTER画像

注

- 1) <http://www.eic.or.jp/news/detail>. 2003年11月15日。近辻宏婦前佐渡トキ保護センター長は、「トキよ自然へ羽ばたけ」で「センターのトキが百羽を超えれば、自然に返す段階に入る。国は2013年をメドに佐渡に野生のトキ60羽を定住させる計画を打ち出している。決して困難な数字ではない。」(『日本経済新聞』2003年11月11日)と述べている。
- 2) 平成14年10月19日両津市開催、主催環境省・新潟県・佐渡市町村会・トキシンポジウム実行委員会/佐渡青年会議所『シンポジウムⅢ～トキを軸にした鳥づくり～報告集』2002年、43頁。
- 3) 新穂とき愛護会の緊急陳情書(川上久敬文書)なお、現地での野生トキ保護活動に関しては、日中朱鷺保護研究会編集による資料集『朱鷺の現在・過去・未来—朱鷺と生息地の保護研究資料集—』(2001年)を参照のこと。

「昭和56年6月

特別天然記念物

国際保護鳥 トキ保護上の緊急陳情

新潟県民の鳥

新潟県佐渡郡新穂村
新穂とき愛護会

国際保護鳥トキの

人工保護増殖についての緊急陳情

貴庁におかれては、今春大英断を以て世界注視の的であり、生滅の境いを彷徨する国際保護鳥トキの全羽捕獲の快挙に成功され、周到な管理下に於て目ざす人工飼育を実現されましたことは、我々トキをこよなく愛護し続けてきた関係者にとって誠に感謝に堪えないところであります。

これまでに至る間、貴官をはじめトキ保護増殖分科会、全増殖技術検討会並びに新潟県自然保護課当局の御心労如何ばかりであったかと、改めてお礼申し上げます。

その後、手厚い人工飼育下におかれたトキは餌付きも早く、環境順化のきざしも濃厚になってきたやに承り、愛護関係者一同喜んでおりましたところ、捕獲後半年を迎えんとし、突如として一羽のかけ替えのない尊い生命が失われたことは、返す返すも断腸の思いであります。

早速我々同志は協議懇談の結果、将来の生息環境の保全をも含めて、左記の如き見解を得ましたので御報告し、この実現について貴官の御熱情溢るる御配慮を賜るよう懇願申し上げます。

記

(一) トキ保護センターの飼育姿勢についてお願い（略）

(二) 特別鳥獣保護区についてお願い

トキの活動舞台は、自然の恵まれた山野にあることは言うまでもなく、将来の自由な飛翔に具えて特別鳥獣保護区の設定も必要であり、現有国設鳥獣保護区を中心に成るべくトキ保護センター周辺を加え、最小限度の確保をされることが現時点における緊急にして、且つ適切な措置と考えられますので、御高配をお願いします。

(三) トキの餌場についてお願い

トキ人工増殖の成果を期して今から餌場を確保し、是が維持の実を上げるため、新穂村生椿と全白ヶ滝（共に村有）の現有二ヶ所の餌場を将来のため継続管理されるよう、御配慮をお願いします。

昭和56年6月25日

新潟県佐渡郡新穂村

新穂とき愛護会

会長 後藤幸作

国務大臣

環境庁長官

鯨岡 兵輔 殿

- 4) これをギャップ分析と言う。生態系や生物資源の管理・保全計画を策定するため、その生息分布域をGISを使って解析し、実際の生息分布域と保護区域との隔たり＝ギャップを明らかにするという手法。1988年にアメリカで提唱された。
- 5) 環境省『新・生物多様性国家戦略』ぎょうせい、2002年、56、57頁。
- 6) 野生動物がおおむね平均死亡率を十分に埋め合わせるほどの子供を出産することのできる生息地のことを「ソース」生息地と呼ぶ。このモデルに基づいて考えると、20世紀の農業ランドスケープで、個体数や種の多様性を高めるパッチが少なくなる傾向が見られる。すなわちソースとして機能する魅力的なパッチが減少したということが出来る [Richard : 780]。
- 7) リモートセンシング (remote sensing) は、ある物体や現象に関する情報を直接触れたり破壊

することなく、検知装置（センサ）によって取得する方式で、主に物体からの光の反射による電磁波のエネルギーを画像解析によって地表面に関する情報を得る技術である。特に人工衛星からの地球観測を衛星リモートセンシングという。

- 8) 解像度又は分解能という。分解能80mでは80m四方の対象物を1つの点で表示することができるという意味で、対象物の特徴を認識できるということではない。対象物を認識できるのは一般に対象物の広がりの中に走査線が3本以上引ける広がりが必要とされる。分解能80mでは縦横240m以上の広がりがある大きさがなければ認識しづらい。
- 9) SPOT5号は2002年5月4日、アリアン4型ロケットで打ち上げられた。高度822km上空の宇宙を赤道と98.7度で交差する準回帰太陽同期軌道を飛ぶ。地球を南北方向に飛び、26日周期で地上の同一地点の上空に戻ってくる。衛星の向きを変えて回帰日数以下でも任意の地点を観測することができる。搭載するHRGセンサは緑・赤・近赤外・短波長赤外の4波長で観測する。4波長で観測する分解能は10m、白黒の波長で観測するモードでは2.5mないし5mの分解能を持つ。一度に観測できる範囲は60km四方である。

Terraは1999年12月18日、米国のバンデンバーグ空軍基地より打ち上げられた。LANDSAT7号と同じ軌道で飛び、同機の後方を30分遅れで飛行している。高度705kmを16日周期で準回帰太陽同期軌道を飛ぶ。搭載するセンサは5種類だがなかでもASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) は我が国の通産省（現：経済産業省）が開発した光学センサである。ASTERはVNIR (Visible and Near-Infrared Radiometer 可視・近赤外放射計)、SWIR (Short Wave Infrared Radiometer 短波長赤外放射計)、TIR (Thermal Infrared Radiometer 熱赤外放射計) の3つの機器から構成される。VNIRは3バンド（波長域）で観測するが、近赤外域では直下と後方の2方向を観測するので立体視が可能である。分解能は15mである。SWIRは6つのバンドを観測して分解能は30mである。TIRは5つのバンドを観測して分解能は90mである。SPOTと同様60km四方を一度に観測し、機器を傾けて回帰日数以下で観測するポインティング機能も備えている。1画素当たり情報量はVNIRとSWIRがSPOTと同じ8ビット、TIRが12ビットである。ビット数は量子化数のことで、連続的な物理量（濃度変化）を離散量（デジタル量）に変換する容量で、8ビットは2の8乗つまり256の階調に分離することができる。最新の高分解能衛星IKONOSやQuicbirdでは11ビット（2048階調）で階調表現できる。

- 10) 高性能のGPS受信機であれば国土地理院が設置している電子基準点と位置合わせを行って誤差を修正することができる。これをデファレンシャルという。誤差は数センチまで修正できる機器もある。
- 11) 土地被覆分類には大きく分けて「教師付き分類」と「教師なし分類」の2つの方法がある。教師付き分類は土地被覆を代表する場所（トレーニングエリア）を指定してその情報に基づいて分類を行う。手法としては多次元レベルスライス（セル法）、最短距離法、最尤法などがある。「教師なし分類」は、そのような情報なしに画像データの数学的類似性のみに基づいて分類を行う。

引用文献

- 池田 啓・菊地直樹. 2002「コウノトリの野生復帰とその課題」『環境と公害』31巻4号.
 加賀屋隆. 1994『動物たちの地球』朝日新聞社.
 掛川優子. 2003.「03.10.12佐渡水生昆虫調査のまとめ」(2003.11.16付け未定稿).
 川合禎次. 1985『日本産水生昆虫検索図説』東海大学出版会.
 紺屋直樹. 2001『農業共済の経済研究』（長谷部正・吉井邦恒編著）農林統計協会.
 沼田 眞. 1996『景相生態学』朝倉書店.

Richard E. 他「野生動物のための農地管理」日本野生動物医学会・野生生物保護学会監修・鈴木正嗣編訳『野生動物の研究と管理技術』文永堂出版、2001年（原著、1996年）。

参考文献

- 本多嘉明. 1995「リモートセンシングによるグローバル・モニタリング」村井俊治・宮崎 昭・柴崎亮介編『リモートセンシングからみた地球環境の保全と開発』東京大学出版会.
- 山本勝利. 2001「里地におけるランドスケープ構造と植物相の変容に関する研究」『農業環境技術研究所報告』第20号.
- ・SPOT関連
『地球観測データ利用ハンドブックSPOT編』財団法人リモート・センシング技術センター、1989年.
『The catalogue of SPOT products and services』SPOT IMAGE、2003年.
- ・ASTER関連
『ASTERリファレンスガイド』財団法人資源・環境観測解析センター、2003年.
『DAR Guideline ASTER共同研究者のデータ取得要求提出のための手引き』財団法人資源・環境観測解析センター、2001年.

謝 辞

中国洋県人民政府、陝西省トキ保護センター、中国野生動物保護協会及び新穂村の須田中夫氏をはじめとする佐渡調査にご協力を頂いた方々に対して感謝いたします。

本稿は、平成15年度科学研究費補助金（基盤研究（C）（2））研究代表者・河合明宣「農業の生物多様性保全機能を活用した山村経済振興に関する日中比較研究」の成果の一部である。

（平成15年11月18日受理）