

平成 22 年 5 月 26 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19570014

研究課題名(和文) サギ類コロニー・集団塹の形成要因としての歴史性についての研究

研究課題名(英文) Historicity as a factor of determining locations of heronries and winter roosts of Ardeidae species

研究代表者

徳永 幸彦 (TOQUENAGA YUKIHIKO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号：90237074

研究成果の概要(和文)：茨城県南部周辺のサギ類6種から構成されるコロニーは、空撮などによる調査から、絶滅危惧種であるチュウサギがむしろ優先し、コロニー数や種構成に顕著な年変動がないことが明らかになった他、近年アオサギ単独からなる規模の小さなコロニーの数の増加が顕著に見られた。各サギ種の食性には、コロニー間における種内変異が見られ、これは餌をめぐる競争によってもたらされていることが示唆された。TX などの大規模な人為攪乱よりも、営巣木の伐採のような小規模の攪乱によってコロニーの存続は左右され、新規のコロニー形成には冬塹の分布が重要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Aerial and ground census revealed population dynamics of heronries that consist of six Ardeidae species. There was no significant changes in species compositions and endangered *Egretta intermedia* dominated in the study area. The number of small colonies often occupied only by *Ardea cineraria* had increased recent years. Competition for common resources generated intra-specific but inter-colonial variation in food preferences among Ardeidae species. Relatively small human perturbations by cutting trees of heronries rather than large perturbations, such as the TX development, affected continuity of heronries, and they tended to be reconstructed next year when there were relatively large winter roosts nearby the location.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：生態・環境

キーワード：local enhancement、地理情報システム、採餌環境、営巣環境

1. 研究開始当初の背景

古く江戸時代、広大な関東平野のど真中に、

何万羽ものサギ類から成るコロニー(集団営巣地)が存在した。第2次世界大戦をも乗り越えたそのコロニーは、1970年代後半、農耕

地の宅地化や市街化によって消滅してしまい、その末裔達は散り散りになりながら、周辺に移住して行ったと考えられている。著者は1980年中ごろから、茨城県南部周辺のサギ類の6種から構成されるコロニーおよび集団罫を調査し続けて来た(徳永 1986)。現在までのべ100を超えるコロニーや集団罫を観察・記録し、各コロニーや罫の変遷を明らかにして来た。その結果、20年以上同じ場所に形成されるコロニーや罫が少数ある一方で、多くのコロニーや罫が、営巣場所となる木の伐採などの影響を受けて、数年で場所を変えて形成されていることが明らかになった。しかしその一方で、場所を点々と変遷するコロニーや罫は、かつての形成場所から数キロほどの範囲の中に新たに形成されるという、コロニーあるいは罫レベルでの高い帰巢性があることも明らかになった。

サギ類のコロニーにおける個体レベルの帰巢率は高くてもせいぜい40%ほどで、日本においては、帰巢率はもっとずっと低いと考えられている(藤岡正博氏私信)。では、どうして同じ場所、あるいは同じような場所にサギ類のコロニーや集団罫は形成されるのだろうか?このような問題に対して、従来研究の多くは地理情報システム(GIS)などを使い、餌場条件が活動中心の位置を決めているという前提に立った回帰モデル的な説明を試みて来た。しかしながら、茨城県南部周辺のサギ類のコロニーの分布は、コロニー周辺における餌場となる河川や水田、ハス田の面積などでは容易に説明できないことが明らかになっている。

著者は2002年～2004年に空中撮法を用いたサギ類のコロニーの個体数調査を行い、当該3年間の各コロニーの個体数が、過去20年間そのコロニーの場所が使われて来た年数によってほとんど説明されることを明らかにした。すなわち、歴史性こそが、コロニーの規模を決定する要因であると示唆されるわけである。しかしながら、個体レベルの帰巢率が低い生物集団が、どのようにしてこの歴史性を獲得できるのだろうか?

2. 研究の目的

茨城県南部において、冬場は主にコサギ、ダイサギ、ゴイサギ、アオサギの4種が集団罫を構成する。3月の終わり頃、アオサギがまずコロニーを形成し始め、5月の黄金週間頃までに新たにチュウサギとアマサギも加わり、コロニーが最盛期に入る。コロニーは9月終わりまで続き、その年生まれの個体やアマサギ、チュウサギは南方に渡り、個体数が激減した状態で集団罫が形成される。単純に考えると、冬場の集団罫を形成している個体が、事前に餌場情報を持っている意味で、コロニー形成の核になっていると考えられ

るが、予備調査の結果からは、必ずしも集団罫の構成員が近隣のコロニーの構成員になってはいないことが示唆されている。このことは、1990年まではコロニーと集団罫の両方に使われたところが8箇所あった(Anzai 1990)が、近年はコロニーと集団罫が同一の場所に形成されることは無いという事実からも示唆される。そこで、冬場の集団罫の個体を遠隔的に染色し、個体識別を行うことによって、冬場の集団罫からコロニーへの個体の動きを追跡する。また、コロニー内で個体を捕獲し、各種個体識別標識をつけ、コロニーから集団罫への個体の動きを追跡する。この2方向の動きを把握することにより、コロニー形成、あるいは集団罫形成の主体を明らかにする。

2005年8月末のつくばエクスプレス(TX)の開通に伴い、TX沿線は目まぐるしいほどの開発ラッシュが続いている。TXの走る線路上における開発ラッシュは、20余年におよぶサギ類のコロニーおよび集団罫形成の研究にとって、またとない「野外実験」の機会を与えている。既に確立した歴史性によって動きようのなかったコロニーや集団罫が、大いなる人工の力で動くことを余儀なくされるわけである。現在少なくともTX沿線の開発によって、影響を受けることが予想されるコロニーが2つある。これらコロニーの崩壊過程と、新たなコロニーの形成過程、およびそれに付随する冬場の集団罫の形成過程を追跡することによって、コロニーや集団罫形成における歴史性の効果を、直接的に検証することができる。

申請者は環境省地球環境研究総合推進費研究「地理的スケールにおける生物多様性の動態と保全に関する研究」(1999年～2001年)の中で、学習機能を持ったGIS上で動く餌場探索個体ベースモデルのプロトタイプを構築した。しかし、当時はまだ国土情報がネット上で公開されておらず、モデルの評価をすることができなかった。また、当時の多くのGISを使った生態学的研究は、あくまでも回帰モデルの延長線上のものでしかなかった。本研究では、既存の個体ベースモデルを改変し、新たに歴史性を考慮するモデルを構築し、GISをインターフェースとして使いながら、インターネット上で公開されている国土情報を使い、コロニーや集団罫形成の変遷を予測するモデルを構築する。

3. 研究の方法

(1) コロニーおよび集団罫の個体数および種構成調査

Skysurferを用いた空撮技術により、該年に形成されたコロニーおよび集団罫の個体数を調査する。コロニー内の個体数調査は、

各年における成鳥数のみを把握するために、5月中頃～6月一杯までに撮影を行う。種構成については6月以降、雛への給仕が頻繁になってからのコロニーへの出入りから推定する。また、より客観的にコロニーの種別構成を把握するために、コロニー内に遠隔操作のできる監視カメラシステムを設置する。一方、非繁殖期の集団時に変動が激しいため、個体数および種数調査は、月1回の頻度で行う。

(2) 集団時における個体識別法の確立

短期(1～2週間)で消失するマーキング塗料(新規購入)を用いて、3月中頃から4月初めにかけての崩壊寸前の集団時内のサギ個体に噴霧、または塗料玉投げつけによるマーキングを行う。マーキングされた個体はマーキングパターンを目視によって個体識別し、その後のコロニー形成時の移動を追跡する。また、コロニー内、および集団時内に設けた遠隔操作のできる監視カメラシステム(新規購入)によって、マーキング個体の監視を行う。この監視カメラは無線LANによって画像をコロニー外にストリーミングしており、観察者は車内に設置された監視システム(新規購入)を使って無線LANを通じて監視カメラにアクセスし、コロニー内部の映像を獲得できるようにする。集団時からコロニーへの移動は急激に起こるため、2日置きに各コロニーおよび集団時にて観察を行う。

(3) コロニーにおける個体識別法の確立

コロニー内で捕獲したサギ個体(種類は問わず)に、応用生物株式会社製のチップを用いた50MHz帯ラジオタグを装着する。コロニー内には定時記録の行える受信システムを構築し、監視カメラシステムと同様、コロニー外部からタグ個体の有無が判断できるような記録システムを構築する。また、採餌個体を追跡するために、軽量八木アンテナと小型受信機(新規購入)から構成される受信システムを構築する。採餌個体の追跡に際しては、地形と電波の飛び方の関係を詳細に検討し、いわゆる「フォックスハンティングマップ」を構築し、調査領域特有の電波の歪みを把握する。

(4) 空撮によるTX沿線の開発状況の把握

Skysurfer(既存機材)を用いた空撮技術により、TX沿線の開発状況をリアルタイムで撮影する。撮影された空撮映像は、フリーソフトであるGRASSによって地理情報システムに組み込む。インターネットで公開されている国土情報と連動させて、個体ベースモデルを実行する上で基盤となる地理情報を構築する。そのために、R:GRASSパッケージを用いたGRASSとフリーの統計ソフトRとの連動や、

国産でフリーのスクリプト言語RubyとRの連動させ、GRASS-R-Rubyという有基的なシミュレーション基盤を構築する。

(5) 歴史性を考慮した個体ベースモデルの構築

上記項目(4)によって整備された地理情報上を飛び回る個体ベースの仮想サギ個体群を構築する。構築のベースとするのは、軽量学習システムであるRUMを装備したモデル(Toquenaga 2001)である。これは現在C++言語で書かれているため、これをまずRubyに書き換え、GRASS-R-Ruby連動システムに組み込めるようにする。次に歴史性を具現化する学習モデルを構築する。ヒントとするのは、ツバメ類における古巣の再利用とコロニー形成過程のプロセスである(Asakura 2002)。既存のコロニーあるいは集団時に対して新規コロニーあるいは集団時よりも大きな重み付けを行うことによって、歴史性を表現する。計算は全てApple社のG5クラスターシステムによって行う。個体ベースモデルによって表現されたコロニー形成を一種のランダムイゼーションと捉えることによって、実在した、あるいは実在するコロニーや集団時の位置の決定に際する、歴史性の重要性を検討する。統計的比較にはRを利用する。

4. 研究成果

(1) コロニーおよび集団時の個体数および種構成調査

1980年から2008年までに、茨城県南部との周辺を含む調査地において、80個を超えるコロニーが形成された。その中で20年を超えるコロニーは大変少なく、存続年数の短いコロニーの数が大半をしめていた。空間分布を見ても、存続年数の大きなコロニーの周りには、多くの存続年数の短いコロニーが存在しているという構造が検出できた。存続年数とコロニーサイズの間には正の相関が検出された。このことから、少数のコアとなる存続年数の長いコロニーの周辺に、多数の存続年数の短いサテライト的なコロニーができていたという構造が明らかになった。この研究成果については、2008年3月に日本生態学会(福岡)において発表を行った(APPENDIX 1参照)。

2007年～2009年の3年間、Sky Surferを用いた空撮によって、調査値に形成されたコロニーすべてについての総個体数を調査することができた。また、同時に地上で行った種構成調査によって、3年間の全コロニーの種構成も明らかになった。2002年～2009年のコロニーの個体数、および種構成の変化のパターンから、各年で各コロニーの種構成間

に大きな違いはなく、また調査地全体を見ても、8年間でサギ種構成に大きな変化は認められなかった。しかし、2007年から顕著に小規模のコロニーが形成されてきており、しかもそのほとんどがアオサギがコアになっていることが明らかになった。一方、8年以上続いているコロニーの数には大きな増減は見られなかった。この研究成果については、2009年10月の個体群生態学会（京都）にてポスター発表を行った。

(2) 集団罫における個体識別法の確立

集団罫については、地上からのカウントによって個体数と種構成を明らかにした。今までの調査と同様、2007年～2009年冬期の罫の利用はコサギとダイサギ、ゴイサギ、およびアオサギに限られ、チュウサギやアマサギが越冬するという事はなかった。

冬罫を利用する個体に遠隔で着色する方法として、コンビニなどで犯人追跡に使われるマーカガンなどの使用を考えたが、日本においては様々な法律に抵触することから、結局実行に移すことができなかった。

(3) コロニーにおける個体識別法の確立

2007年より睡眠薬を用いた成鳥の捕獲方法を導入した。これにより、確実に繁殖個体を個体識別できるようになった。捕獲個体にはウィングタグと小型発信器を装着した。応用生物製の発信器にも様々な改良を加えたが、電波法の縛りが厳しくなったのと昨今の電波事情のせいから、野外で実際に電波の届く距離が300mと非常に短くなってしまっていた。

2007年と2008年は、冬罫とコロニーの両方を利用する個体を追跡する目的で、捕獲をダイサギとコサギに絞った。2007年には2つのコロニーで捕獲を行い、40個体ほど捕獲ができたが、2008年には片方のコロニーが移動したため、コロニー1カ所での捕獲しかできず、十分な個体数の捕獲が不可能になった。それでも、神奈川県で発信器をつけたコサギが再発見されるなど、渡り期間の未知の移動経路が明らかになった。

2009年も捕獲可能なコロニーが1カ所になってしまったため、最も個体数の多いチュウサギにターゲットを絞り、40個体を捕獲し、発信器をつけた。10個体ほどの個体があるところから10kmの範囲内で採餌しているところを発見できたが、2009年冬の渡りの時期とともに全ての個体の追跡が不可能になった。

鳥の愛好家からの報告などは総じて、ウィングタグによるものであった。捕獲による個体識別では捕獲個体数が母数に対して圧倒的に少なくなってしまうため、やはり遠隔着色などによる、より大量の個体識別方法の開

発が急務であると考えられた。

(4) 空撮によるTX沿線の開発状況の把握

当初予定された2つのコロニーはTX周辺の開発の影響をそれほど受けずに、2007～2009年間は同じところに存続した。一方、毎年動き回る石岡のコロニーや、TXから遠くはなれているものの、やはり圏央道周辺のコロニーには動きがあり、移動、あるいは消失するものがあった。

TXの開発によって変わったものはおもに雑木林であり、そこを利用しているコロニーがなかった点が、サギ個体群へのTX開発の影響が検出できなかった理由だと考えられる。一方、水田などを横切る圏央道は、餌場面積を大きく変えることはないが、ランドマークとして、コロニーの分布に大きな変化を及ぼす可能性があると考えられる。

TXや圏央道ほどの大規模な「自然の実験」とはいかないものの、サギのコロニー駆除のために人間が行う木の伐採という「自然の実験」に対するコロニーの移動と規模の変化を検討した。これはむしろ一回発生してしまった歴史性を排除した状態で、新たなコロニーをどこに作るのかを検討できることになる。その結果、林の伐採の後、コロニーを再構築できる場合には、大きな冬罫が側にある傾向があることが分かった。また、伐採の影響で個体数が減少すると餌場面積が連動して低下するのは、最も遅く日本に渡ってくるアマサギだけであった。このことから、アマサギは渡りを遅くすることによって、ある程度歴史性の呪縛から解放されている可能性が示唆された（APPENDIX 2 参照）。

(5) 歴史性を考慮した個体ベースモデルの構築

歴史性と餌場分布のどちらが、サギ類のコロニーや罫の形成場所の決定に依存するかを議論する時に、もっとも大切なのは、餌場の評価がきちんとできているかということである。GISを使って土地利用情報と餌場の評価の間に任意の関数をもうけ、シミュレーションに急ぐことは容易であるが、結果は餌場の評価の如何に左右されることは明白である。そこで、2008年には4つのコロニー内部の複数種の巣の下に採集ネットを設け、そこに落下する雛の吐瀉物やペレットを分析した。また、2009年にはコロニーの中に小型カメラとコンピューターを連動させた長時間録画システムを構築し、直接観察も交えてサギ類の餌を評価した。

その結果、従来言われてきたようなサギ種ごとの餌の選好性よりは、大きなコロニーほど同一種内部で餌の多様性が大きくなる傾向が検出された。これはコロニーの規模が大きくなるにつれて激しくなる餌をめぐる競

争に対して、各種が柔軟に対応していることを示している。そのため、従来の研究でも示唆された通り、コロニーの周りの餌分布によってコロニーサイズや種構成が説明されにくいことになる。この成果の発表は2008年3月に行われた日本生態学会(岩手)でポスター発表を行った。

小型カメラを用いた連続撮影手法は、2-3個のカメラを1巣に設置し、複数フレームからの撮影を可能にした。また、自動動態検知システムを導入することによって、長時間の連続撮影を可能にするだけでなく、インターネット技術を導入することによって、データをコロニー外部から自動的に取り出せるように改良を行った。その結果、孵化後10日目までの雛への給餌内容の8割の同定が可能であることが分かった。10日以降は親鳥が雛に口移して餌を与えるため、カメラによる撮影では餌内容を識別することが不可能になることも分かった。よって、営巣初期は連続撮影によって、営巣中期以降はネットによる落下物から餌を識別する必要があることが分かった。これらの研究成果は2009年11月の日本動物行動学会(茨城)にてポスター発表を行った。

以上の餌分析の結果から、多くの既存のGISを用いたモデルが仮定しているように、餌の空間分布がコロニーや埒の形成を一義的に決めていると考えるよりは、サギ個体群あるいは群集が、一旦決めてしまったコロニーや埒周辺の餌場環境に柔軟に対応しながら、毎年のコロニーや埒の場所を決定しており、そのためにコロニーの大きさや存続年数を説明する変数として、歴史性が色濃く出てしまうのだと考えられる。これはいわば非遺伝的な集団による長期記憶、あるいは学習の問題であり、モデルの手法としては、個体ベースモデルだけでなく、ベイズ的な視点からも理論的に考えていく価値のある問題だと考えられる。今後は集団による非遺伝的な学習という枠組みで、モデルの再構築を行う予定である。

また、本研究で得られた3年分のデータを含め、過去25年あまりにわたる茨城県南部のサギ種コロニーと埒のデータベースを、Google Mapと連動したRailsシステムを使って現在構築中であり、近年中の公開を目指している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

1. Dulee Tamirei Munidasa and Y. Toquenaga (2010) Do pollen diets vary among adjacent

bumble bee colonies?, *Ecol. Res.*, in press (査読有)

2. Toquenaga, Y. and N. Kokuvo (2010) Full-sib reconstruction in haplodiploid populations, *Appl. Entomol. Zool.*, 45: 59-64. (査読有)

3. Suzuki-Ohno, Y. L. Kawaguchi, D. Munidasa, and Y. Toquenaga (2010) Do bumble bee queens choose nest sites to maximize foraging rate? -Testing models of nest site selection, *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63: 1353-1362. (査読有)

4. Otsuka, Y. and Y. Toquenaga (2009) The Patch Distributed Producer-Scrounger Game, *J. Theor. Biol.*, 260: 261-266. (査読有)

5. Kokuvo, N., Y. Toquenaga, and K. Goka (2009)

Effective paternity in natural colonies of Japanese native bumble bees, *Ecol. Res.*, 24: 1111-1116. (査読有)

6. Otsuka, Y. and Y. Toquenaga (2009) Pioneer-Follower dilemma game in *Aanthoscelides obtectus* (Coleoptera Bruchidae), *J. Ethol.*, 27: 131-136. (査読有)

[学会発表] (計7件)

1. 宮崎寧子・徳永幸彦 (2010) コロニーの今日の献立はどう決まる?—マルハナバチが個体ごとに集める花粉に注目して—, ポスター発表、日本生態学会(東京)3月16日

2. 真野浩行・徳永幸彦・石田健太郎 (2009) 勝ち抜き型の共倒れ, ポスター発表、日本動物行動学会(つくば)11月28日

3. 香月雅子・徳永幸彦・宮竹貴久 (2009) ヨツモンマメゾウムシにおける戦略的射精と資源獲得競争タイプとの関係, ポスター発表、日本動物行動学会(つくば)11月28日

4. 益子美由希・徳永幸彦 (2009) ネットブックで動物行動学(驚編), ポスター発表、日本動物行動学会(つくば)11月28日

5. 益子美由希・徳永幸彦 (2009) 空から見たサギ群集の長期個体群変動, ポスター発表、個体群生態学会(京都)10月17日

6. 益子美由希・徳永幸彦 (2009) 田で喰う驚も好き好き:サギ類植生のコロニー間種内変異, ポスター発表、日本生態学会(岩手)3月18日

7. 越田智恵子・徳永幸彦 (2008) 茨城県南部とその周辺におけるサギ類のコロニー消長, ポスター発表、日本生態学会(福岡)3月15日

[その他]

ホームページ等

現在準備中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳永 幸彦 (TOQUENAGA YUKIHIKO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・
准教授

研究者番号：90237074