

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26440233

研究課題名(和文) 集合知がもたらすサギ類群集の時空間分布についての研究

研究課題名(英文) Collective brains for spatiotemporal distributions of herons and egrets

研究代表者

徳永 幸彦 (TOQUENAGA, YUKIHIKO)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：90237074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000 円

研究成果の概要(和文)：茨城県およびその周辺に生息するサギ類のコロニーの形成要因について、30年以上の長期データにRandom ForestやCorrelated Random Walkなどの手法を用いて解析し、集合知として場所に固執することを明かにし、その固執性が構成種の変化によってもたらされたことを明かにした。また、Fasola博士の協力の下、同様の解析を北イタリアのサギ類のコロニーについても試みたところ、やはり時間と共に場所への固執性が高まる集合知を見出した。これらの発見は、サギ類コロニーの分布が餌などの環境要因で単純に決まるとする従来の見解に、歴史的な側面を軽視してはならないという警鐘を鳴らすものである。

研究成果の概要(英文)：We analyzed heronry dynamics around Ibaraki prefecture with random forest and correlated random walk. Increasing site fidelity was detected as a collective decision of colony members, and such decision was highly correlated with changes in species composition. We used the same technique for Dr. Fasola's data in northern Italy and found a similar tendency of increasing site fidelity. Our findings warn a previous interpretation that colony distributions were mainly determined by distributions of available foraging sites. More attention should be paid for historicity of colony formation.

研究分野：理論生物学

キーワード：Collective site fidelity Random forest Habitat selection Long term data Ardea cinerea Bayesian Evidentialist Fisherian

様式 C-19、F-19、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 集合性鳥類において、繁殖コロニーの形成場所の選択は、コロニーを共有する個体が一蓮托生になるという点においても、単独性の鳥類に比べて非常に重要であると考えられる。コロニー形成場所は、単独性の鳥類の場合と同様、従来は単純に周辺の餌場や営巣場所を提供する樹木の分布の仕方に依存していると考えられてきた。しかしながら、重回帰分析などを用いた解析結果は、多くの場合、コロニーの分布のばらつきの半分も説明できていない。その理由として2つのことが考えられる。1つは重回帰などの統計手法が非線形現象に対して非力なため、十分な相関が得られない点、もう1つは、そもそもコロニー形成の要因には、餌場や営巣場所以外の要因が存在するかも知れないという点である。

(2) 鳥類の繁殖コロニーの中には、何十年も続くものがある。中でも海鳥のコロニーのように、比較的コロニーを形成する場所が制限されている場合、その存続には、営巣場所の基質の分布が重要になる。一方、サギ類のように、様々な樹種の林に営巣できる場合、調査地においてそれら林の分布が比較的均一な場合、営巣場所とそれ以外の要因が複合的に、コロニーの分布を決めると考えられる。

(3) 営巣可能な場所が普遍的に広がっている場所で、集合性を示す鳥類の長期データが存在すれば、この複合的なコロニーの場所選択の過程を解析することができる。幸いなことに、報告者の研究室には、約30年におよぶ、茨城県およびその周辺のサギ類のコロニー分布のデータと、10数年にわたる個体数データが蓄積されていた。また、北イタリアには Mauro Fasola 博士によって、さらに長い40年にわたるサギ類コロニーの分布や個体数データが蓄積されていた。

2. 研究の目的

茨城県およびその周辺のサギ類コロニーの長期データを用いて、集合性を示す鳥類のコロニー場所選択の要因を明らかにする。

(1) 重回帰に代わる、より柔軟性の高い「分類」手法を確立する。

(2) コロニー選択の要因のスケール依存性を明らかにする。

(3) コロニー選択の要因の年次変化を明らかにする。

(4) 集合知としての土地固執性を明らかにする。

(5) (1)-(4) が北イタリアのデータに対しても成立するか調べる。

3. 研究の方法

(1) 重回帰よりも柔軟な分類手法である、neural net や random forest を単年のコロニー分布データと土地利用図に適用し、様々な探索スケールについてコロニー形成の要因を明らかにする。

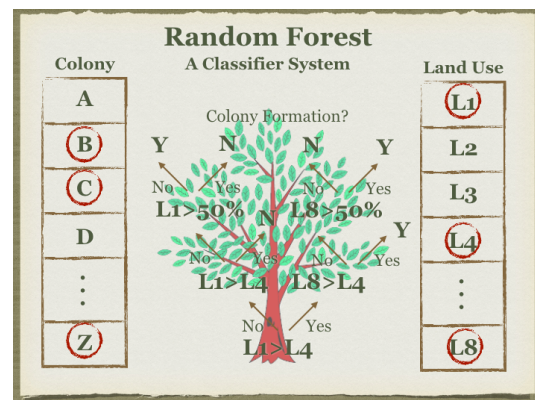


図 1: Random Forest のアルゴリズム。コロニーと変数の両方についてランダムサンプルして分別し、多数決ルールで最も説明力のあるモデルを選出する。

(2) サギ類コロニー内部の種構成の変化が、コロニーの形成や存続に与える影響を明らかにする。

(3) 相互に出入りが頻繁にある茨城県と千葉県のサギ類個体群について、(1) の解析を行い、2つの生息地の複雑性の違いがコロニー選択に及ぼす影響を明らかにする。

(4) 茨城県周辺における30年以上におよぶサギ類コロニーの動態について、Landsat イメージと JAXA の土地利用データから再構築した過去の土地利用図を使って、コロニーの形成要因を明らかにする。

(5) 北イタリアにおける40年以上におよぶサギ類コロニーの動態について、Landsat イメージと Corine Land Cover のデータから再構築した過去の土地利用

図を使って、コロニーの形成要因を明らかにする。

4. 研究成果

(1) Neural Network を使った解析では、要因と結果の関係が往々にして多対多になってしまい、要因の特定が難しかったため、解析には random forest を使った。2011 年の JAXA の土地利用図により、コロニー形成要因を抽出したところ、4km という小さなスケールでは営巣に必要な常緑樹の面積の大きな場所を選んでいる一方、10km のスケールでは市街地を避けていることが分かった。また、従来言われてきた餌場としての水田や浅い水域の面積は、いずれのスケールにおいても、コロニー形成に関しては影響していなかった。この結果は、餌場の分布でコロニーの分布を説明しようとする、従来の立場に警鐘を鳴らすものである (Carrasco et al. 2014)。

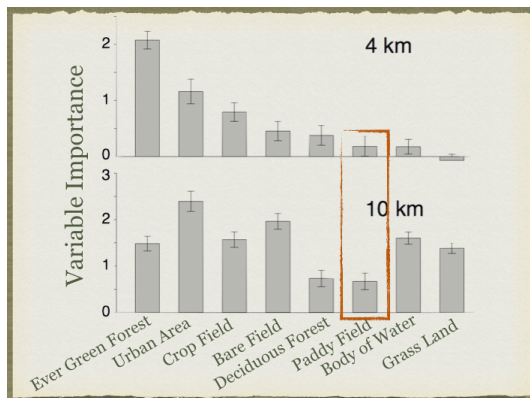


図 2: 4km と 10km における変数の重要性。餌場として重要な水田の重要性が低いことに注意。

(2) 茨城県周辺では、2005 年近辺からアオサギの個体数の急激な増加が見られた。アオサギは日本産のサギ類の中で最も大型で、繁殖開始が早く、単独でも集団でも繁殖できる。そこで、アオサギの増加が茨城県周辺のサギ類のコロニー形成に及ぼす影響を調べたところ、アオサギがコロニーの形成により多く関与するようになっただけでなく、アオサギが居るコロニーは、アオサギの居ないコロニーに比べて、存続率が高いことが明らかになった。これは、従来アオサギ以外のサギ類が行っていたコロニー形成の役割を、アオサギが担うことによって、サギ類コロニーの安定性を増したことを意味する (Mashiko and Toquenaga 2014)。

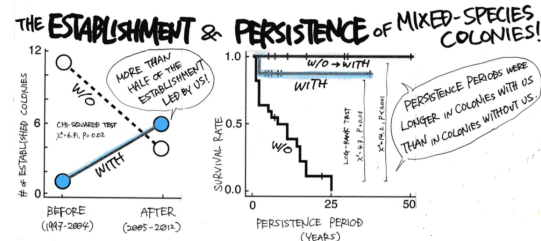


図 3: アオサギの数が増加した後、アオサギによるコロニー形成頻度が増え、コロニーの存続率が劇的に上がった。

(3) 茨城県と千葉県のサギ類個体群は、相互に出入りが頻繁にあると考えられる。一方で茨城県と千葉県では都市開発の進展の違いのため、水田や市街地の分布の複雑さに違いがある。(1) で用いた random forest の解析で得られたモデルを、茨城県と千葉県で cross-validation した結果、コロニー形成においてサギ類は、同じような土地利用をスケールに応じて誘引・忌避要因として選ぶものの、より土地利用複雑な千葉の方が、より小さなスケールでコロニー形成を判断していることが明らかになった (Carrasco et al., 2015)。

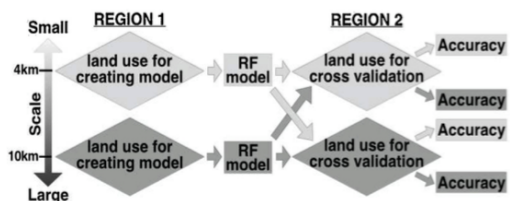


図 4: 茨城と千葉の土地利用マップ上で行った random forest の結果を cross-validation する方法

(4) 茨城県周辺における 30 年以上におよぶサギ類コロニーの動態について

2011 年の JAXA の精度の高い土地利用データと、1970 年代から続く Landsat イメージを用いて、過去の土地利用図を再構築した。その上で 1960 年代から続くサギ類コロニーの位置データに (1) や (3) で用いた random forest を適用することによって、サギ類がどのような土地利用情報をコロニー形成に利用してきたのか、その経時変化を明らかにした。土地利用の他に、同一またはその近隣にコロニーを形成する効果を、最近接距離で評価することによって、土地への固執性がコロニー形成に及ぼす影響も調べた。

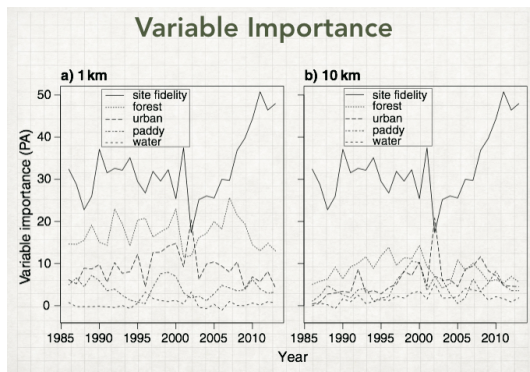


図 5: 茨城県周辺におけるサギ類コロニーの形成要因の変化。探索スケールが1kmの時も10kmの時も、2002年頃から急激に土地への固執 (site fidelity) が増加している。

その結果、コロニー形成時に土地への固執性をより信用する傾向が、2002年以降から急激に増加することが明かになった。これは(2)で述べたアオサギの増加と呼応しており、(2)で明らかにしたアオサギのコロニー形成における役割を反映しているものと考えられる (Carrasco et al. 2017)。

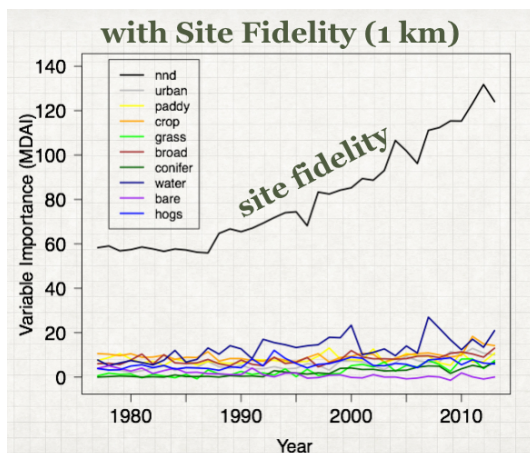


図 6: 北イタリアにおけるサギ類コロニーの形成要因の変化。1980年代後半からコンスタントに土地への固執 (site fidelity) が増加している。

(5) Corine Land Cover と Landsat イメージを用いて、(4)と同様に過去の土地利用図を再構築し、Mauro Fasola 博士が1970年代から記録しているサギ類のコロニーの分布データを使って、北イタリアにおけるコロニー形成の要因を明らかにした。その結果、1980年代後半からコンスタントに土地への固執性への依存が高まっていることが明かになった。現在この固執

性の増加と連動する要因を解析中である (Toquenaga et al. 2015, 2017 国際会議にて発表)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

- 1) Carrasco, L., Y. Toquenaga, and M. Mashiko (2017) Balance between site fidelity and habitat preferences in colony site selection by herons and egrets, *J. Avian Biol.*, in press. (査読有)
DOI: 10.1111/jav.01255
- 2) Sakai, S., S. Metelmann, Y. Toquenaga and A. Telschow (2016) Geographical variation in the heterogeneity of mutualistic networks, *Royal Soc. Open Sci.*, 3: 150630. (査読有)
DOI: 10.1098/rsos.150630
- 3) Toquenaga, Y. (2016) How to walk on statistical mandalas as a population ecologist, *Popul. Ecol.* 58(1): 3-8. (査読有)
DOI: 10.1007/s10144-015-0532-z
- 4) Carrasco, L., Y. Toquenaga, and M. Mashiko (2015) Extrapolation of random forest models shows scale adaptation in egret colony site selection against landscape complexity, *Ecol. Complexity*, 24: 29-36. (査読有)
DOI: 10.1016/j.ecocom.2015.08.002
- 5) Mashiko, M. and Y. Toquenaga (2014) Grey Heron (*Ardea cinerea*) expansion promotes the persistence of mixed-species heron colonies, *Waterbirds*, 37(4): 362-370. (査読有)
DOI: 10.1675/063.037.0403
- 6) Tuda, M., K. Kagoshima, Y. Toquenaga, G. Arnqvist (2014) Global Genetic Differentiation in a Cosmopolitan Pest of Stored Beans: Effects of Geography, Host-Plant Usage and Anthropogenic Factors, *PLOS one*, 9(9): e106268. (査読有)
DOI: 10.1371/journal.pone.0106268
- 7) Carrasco, L., M. Mashiko, and Y. Toquenaga (2014) Application of random forest algorithm for studying habitat selection of colonial herons

and egrets in human-influenced landscapes.
Ecol. Res., 29: 483-491. (査読有)
DOI: 10.1007/s11284-014-1147-0

[学会発表](計 9 件)

- 1) Y. Toquenaga, Carrasco, L., M. Mashiko and M. Fasola, Collective colony formation algorithm, Workshop on Herons of the World at Waterbird Society Meeting (招待講演)(国際学会), 2016 年 09 月 20 日～2016 年 09 月 23 日, New Bern, North Carolina, USA
- 2) Mashiko, M. and Y. Toquenaga, Ghost of an egret colony, 第 63 回日本生態学会大会, 2016 年 03 月 20 日～2016 年 03 月 24 日, 宮城県・仙台市, 仙台国際センター
- 3) Toquenaga, Y., Impact of climate change on waterbirds populations, The impact of climate changes on animal populations(招待講演) (国際学会), 2015 年 11 月 09 日～2015 年 11 月 13 日, Erice, Sicily, Italy
- 4) Mashiko, M. and Y. Toquenaga, Collective memory of an abandoned egret colony, 第 31 回個体群生態学会大会, 2015 年 10 月 10 日～2015 年 10 月 12 日, 滋賀県・彦根市, 滋賀県立大学
- 5) Toquenaga, Y., Statistics and Population Ecology, 第 30 回個体群生態学会, 2014 年 10 月 11 日～2014 年 10 月 11 日, 茨城県・つくば市, 筑波大学, (Symposium Organizer)
- 6) Toquenaga, Y., Rice, bugs, and egrets, 第 30 回個体群生態学会, 2014 年 10 月 11 日 2014 年 10 月 11 日, 茨城県・つくば市, 筑波大学, (Symposium Commentator)
- 7) Carrasco, L. and Y. Toquenaga, p03- 008: Using Inexpensive satellite images and long-term census data to evaluate the evolution of habitat selection, 26th International Ornithological Congress, 2014 年 08 月 18 日～2014 年 08 月 24 日, 東京都・豊島区, 立教大学
- 8) Toquenaga, Y. and M. Mashiko, p12- 005: Reconstructing networks between winter roosts

and summer colonies in Ardeidae species, 26th International Ornithological Congress, 2014 年 08 月 18 日～2014 年 08 月 24 日, 東京都・豊島区, 立教大学

- 9) Mashiko, M. and Y. Toquenaga, p12- 006: Collective philopatry in heron colonies, 26th International Ornithological Congress, 2014 年 08 月 18 日～2014 年 08 月 24 日, 東京都・豊島区, 立教大学

[その他](計 1 件)

URL: www.biol.tsukuba.ac.jp/toque

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳永 幸彦 (TOQUENAGA, Yukihiro)
筑波大学・生命環境系・准教授
研究者番号: 90237074

(2) 研究協力者

FASOLA, Mauro
Pavia 大学・Zoology・教授, Italy

益子 美由希 (MASHIKO, Miyuki)
農業環境技術研究所・生物多様性研究領域・
農環研特別研究員 (2014-2015)
野生動物保護管理事務所・計画策定支援室・
研究員 (2016)

CARRASCO, Luis
Centre for Ecology and Hydrology,
Research Associate, UK