— 原 著 論 文 —

アユの大量放流はカワウのねぐらやコロニーの分布に影響するか

熊田那央^{1,2,*}・藤岡正博¹・本山裕樹^{3,4}

¹ 筑波大学生命環境科学研究科生物圏資源科学専攻 〒305-8572 つくば市天王台 1-1-1

² 佐渡自然保護官事務所 〒952-0105 新潟県佐渡市新穂正明寺 1277

³ Nature worship 有限会社 〒190-0011 東京都立川市高松町 2-26-3-201

⁴ 〒201-0015 東京都狛江市猪方 4-13-4

(2013 年 3 月 21 日受付；2013 年 12 月 4 日受理)

キーワード：カワウ，アユ，ねぐらやコロニー，放流，分布。

日本鳥学会誌

Japanese Journal of
Ornithology

© The Ornithological Society
of Japan 2014

Nao KUMADA^{1,*}, Masahiro FUJIOKA¹, Yuki MOTOYAMA^{2,3}. 2014. Does the mass stocking of fish affect the size and distribution of Great Cormorant roosts and colonies? Jpn J Ornithol 63: 23–32.

Abstract. To evaluate the effect of mass stocking of fish on the distribution of communal roosts or breeding colonies of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo*, we examined the relationship between the size of cormorant roosts or colonies and the amount of Ayu *Plecoglossus altivelis* released within 20 km of each cormorant aggregation site in the Kanto region of Japan for three years (2006–2008). Approximately 14,000 Great Cormorant occur in the Kanto region and about 120,000 kg of Ayu are released in the region each year. This quantity of fish represents a substantial potential food resource for cormorants. Assuming that a cormorant consumes 500 g of fish per day, the Ayu stock is equivalent to the food requirements of all the Cormorants in the Kanto region for 17 days. Two hypotheses were examined by using generalized linear mixed models: first we tested whether the size of cormorant roosts or colonies in March was affected by the amount of Ayu released within their foraging range (20 km); and second we tested whether changes in the size of cormorant roosts or colonies from March to July were affected by the amount of Ayu released per cormorant. No relationship was observed between the size of cormorant roosts or colonies and the amount of Ayu released, suggesting that cormorants do not select the location of their roosts or colonies according to the amount of Ayu released. The rate of increase in cormorant roost or colony size from March to July was significantly greater in areas with larger quantities of Ayu per cormorant, suggesting that cormorants may increase their roost or colony sizes during the breeding season either through enhanced reproductive success or immigration.

Key words: Great Cormorant, Ayu, Roosts or colonies, Fish stocking, Distribution.

¹ Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan.

² Sado ranger office, Ministry of the Environment, Government of Japan, 1277, Niibo Shomyoji, Sado, Niigata, 952-0105, Japan.

³ Nature worship Ltd., 2-26-2-201, Takamatsu, Tachikawa, Tokyo, 190-0011, Japan.

⁴ 4-13-4, Inogata, Komae, Tokyo, 201-0015, Japan.

はじめに

鳥類には，同種または近縁種の複数個体が 1 カ

所に集まり夜間休息を行う集団ねぐらや，集団繁殖を行うコロニーを形成する種がいる．集団ねぐらやコロニーを形成する要因には，パッチ状に分布し，場所が予測しにくい食物資源への適応や (Ward & Zahavi 1973)，集団採食する個体の集合場所になること (Richner & Heeb 1995; Richner &

* E-mail: Okumau0@gmail.com

doi:10.3838/jjo.63.23

JOI:JST.JSTAGE/jjo/63.23

Heeb 1996) などがあげられる。

ねぐらやコロニー形成に食物資源が影響しているのであれば、食物資源が豊富な場所ではその採食場所を利用する個体が増加し、ねぐらやコロニーを利用する個体の総数（雛を除く、以下ねぐら・コロニーサイズとする）も大きくなる。一方で、ねぐら・コロニーサイズが大きくなれば、食物資源をめぐる個体間競争も強くなる可能性がある。コロニー性の海鳥では、周囲のコロニーで繁殖する個体数が多いほど、あるコロニーで繁殖する個体の数は少なくなった (Furness & Birkhead 1984)。また、周囲に他のコロニーがなく、そのコロニーの個体のみが採食に利用できる海の面積が広いほどコロニーサイズが大きかった (Cairns 1989)。同じくコロニー性鳥類であるサギ類では、周囲 5 km 以内の水田面積が大きいコロニーほどコロニーサイズの増加率が高かった (Tourenq et al. 2004)。このように、コロニー性鳥類のねぐら・コロニーサイズは周辺の採食環境に強く影響を受け、採食環境の面積が広いか、質の良い環境（餌資源の豊富な環境）ではねぐら・コロニーサイズが大きくなる事例が知られている。

ねぐら・コロニーサイズは一定ではなく、コロニーでの繁殖による若鳥の増加や、ねぐらやコロニー間の個体の移出入によって短期間の間にも変動する。また、ねぐら・コロニーサイズの変動の一因である繁殖成績には周辺の採食環境が大きく影響する (Aebischer et al. 1990; Doligez et al. 2003; Durant et al. 2003)。例えば、40 年間にわたってミツユビカモメ *Rissa tridactyla* の繁殖成績と周囲の食物資源量を評価した研究では、資源量と繁殖成績の変動がリンクしていた (Aebischer et al. 1990)。もう 1 つのねぐら・コロニーサイズの変動要因となる個体の移出入についても、周辺の採食環境が影響するだろう。質の良い採食場所を求めて移動することで、利用するねぐらやコロニーも変わる。そのため、周辺の採食環境は、ねぐら・コロニーサイズの変動を決定する重要な要因であるといえる。

日本国内に広く分布しているカワウ *Phalacrocorax carbo* は、夜間には水辺の林などにねぐらをとって休息し、一部のねぐらをコロニーとしても利用するコロニー性鳥類である。日本に生息するカワウの個体数は長期的に大きく変化しており、1950–1970 年代にかけて個体数が急激に減少した後、1980 年代から急激な増加に転じている (福田ら 2002)。個体数の増加に伴い、アユ *Plecoglossus*

altivelis やウグイ *Tribolodon hakonensis* などの放流魚への食害 (成末ら 1999)、ねぐらやコロニーでの樹木の枯死や水質汚染、騒音、悪臭 (石田 2002) が問題とされるようになった。

このような軋轢の解消のために様々な対策が行われているが、カワウが広域を移動する種であるため、都道府県の境界を越えた連携を行うことが求められる。福島県と山梨県、静岡県富士川以東を含む関東地域（以下、同様）では都県関係者や関係省庁、漁業関係団体などを構成員とする関東カワウ広域協議会が 2005 年に設立され、調査や対策が行われてきた。この協議会によって 2006 年以降、関東地域のすべてのねぐら・コロニーサイズのデータが 3 月、7 月、12 月の年 3 回収集されている。また、それ以前の、分布と個体数が減少した 1970 年代から、関東地域では日本野鳥の会などの働きかけによって多くの人々の手によって継続的にねぐら・コロニーサイズが調べられている (成末ら 1997)。これらの調査から、近年では関東地域全体の個体数は安定し、15,000–20,000 羽程度で推移していることがわかっている (バードリサーチ 2009a)。

カワウの個体数増加に伴う人との軋轢の中でも、アユへの食害は特に問題とされており、多くの対策や研究が行われている (成末ら 1999; 環境省 2004; 山本 2009; 水産総合研究センター 2010; 坪井 2010; 坪井・芦澤 2012)。アユは、秋に河川の下流部で孵化し、冬の間は海の沿岸部で過ごし、春になると河川を遡上して夏の間は河川の珪藻類などを食べて生長する 1 年生回遊魚である。結果で後述するように、多くの河川において、地域の内水面漁業協同組合によって主に 4 月から 6 月にアユの稚魚が放流されている。カワウの繁殖期にはコロニー間で違いがみられる (福田 2002) が、関東地域の多くのコロニーでは、繁殖期は 2 月から 7 月であり、カワウの育雛期とアユ放流の時期が重なっている。カワウの繁殖期の食物資源として放流アユが重要であれば、アユ放流量はカワウのねぐら・コロニーサイズやその変動に影響を及ぼす要因となるかもしれない。実際に、山梨県富士川水系では、カワウの繁殖期に河川でとれた魚の総重量に占めるアユの割合は 7 割近くになり、アユ放流が行われた区間にカワウが集まるという、カワウの採食場所選択へのアユ放流の影響がみられた (Kumada et al. 2013)。カワウのねぐらやコロニーの分布にアユ放流が及ぼす影響を明らかにすることが出来れば、放流量や放流地点を変えるこ

とで被害を抑えることが可能になるかどうかを判断する資料ともなる。また、放流アユはカワウの利用可能な食物資源を人間が与えるというカワウへの給餌となっている可能性もある。

そこで本研究では、カワウのねぐら・コロニーサイズや、短期間でのサイズ変動に周囲のアユ放流量が影響しているかどうかを明らかにすることを目的として以下の2つの仮説を立てた。1つめの仮説は、カワウの各個体が放流アユの多い地域を繁殖期のねぐらやコロニー場所として選択するというものである。この仮説が成り立つなら、周囲でのアユ放流量が多いねぐらやコロニーほど、そのサイズが大きいと予測される。2つめの仮説は、放流されたアユがカワウにとって実質的で継続的な食物資源となっており、放流アユの量が多いとカワウの繁殖成績や移出入に影響し、アユ放流期間中のねぐら・コロニーサイズの増加を引き起こすというものである。この仮説が成り立つなら、周囲にアユ放流量が多いねぐらやコロニーほど、個体の移入や繁殖成功率の向上によって繁殖期のサイズ変化率が正に大きいと予測される。この2つの仮説を検証するために、関東カワウ広域協議会が収集したカワウのねぐら・コロニーサイズのデータと、関東地域のアユ放流量のデータを用いてモデルを作成した。

方 法

カワウのねぐらやコロニーの位置とサイズのデータは、関東カワウ広域協議会が行った2006年から2008年の3月と7月の一斉モニタリングの調査結果を利用した。この調査結果は同協議会の「情報の共有と公開の規則」(http://www.biodic.go.jp/kawau/d_hogokanri/johokyoyu_kisoku.pdf)に基づくデータ利用申請を行うことで入手することができる。一斉モニタリングとは、関東地域のすべてのねぐらやコロニーを対象に、そのサイズを調査月の任意の日に調べる調査である。ねぐら・コロニーサイズは、ねぐらやコロニー内にとどまっている個体の数を日没の2時間半前くらいに記録し、その後日没後20分を目安にねぐらに帰ってくる個体数とねぐらから出て行く個体数をカウントし、その差を最初の個体数に加算したものである(バードリサーチ2011)。この調査では巣の外にいる当年生まれの幼鳥から成鳥までを区別せずにカウントしている。以下、この調査方法で求められたねぐらやコロニーの利用個体数のことをねぐら・コロニーサイズとする。茨城県について

は3月のデータが得られなかったため、解析から除いた。解析期間である2006年から2008年の3月と7月の調査データがあり、関東地域の個体数が回復してきた1980年代以降に営巣が1度でも確認された地点はコロニー、それ以外はねぐらと定義すると(バードリサーチ2011)、解析対象となったねぐらやコロニーの数は1都7県の合計110カ所で、うちコロニーが27カ所、ねぐらが83カ所であった。

2006年から2008年に行われたアユ放流の地点と日付、量の情報については、内水面漁業協同組合や都県の水産担当部署、水産試験場を対象とした資料請求と聞き取りによって収集した。カワウの一斉モニタリングが行われた地域の全ての河川を対象に情報を収集した。アユ放流量は重量で評価し、アユ放流量が個体数で回答された場合には1匹10gとして重量に換算した。アユの放流は3月から9月まで行われたが、後述するモデル1では全ての時期の放流量を、モデル2では7月までの放流量を解析に用いた。7月までに総量の89.2%が放流された。

カワウのねぐら・コロニーサイズに影響すると仮定した各ねぐらやコロニー周囲のアユ放流量については以下のように集計した。カワウの採食範囲が15–25 km (Platteeuw & Van Eerden 1995; Paillisson et al. 2004; 日野・石田2012)であることから、採食環境がねぐら・コロニーサイズに影響する可能性のある範囲を20 kmとして放流量の集計を行った。各ねぐらやコロニーを中心に半径20 km圏内に含まれる放流地点のアユ量を単純にそれぞれのねぐらやコロニーで合計すると、複数のねぐらやコロニーで重複して集計されてしまう放流地点が生じる。そのため、以下のように補正した放流量を集計した。各アユ放流地点にはそこから周囲20 kmに位置するねぐらやコロニーのカワウが採食に来る可能性があるとして仮定し、放流地点を中心に周囲20 km以内に含まれるすべてのねぐらやコロニーについて、各年の3月のねぐら・コロニーサイズの比率で中心地点の放流量を分配した。その分配したアユ放流量をねぐらやコロニー毎に集計した。この集計にはESRI社のArcGIS (Ver. 9.1)を用いた。

各ねぐら・コロニーサイズに採食範囲のアユ放流量が影響しているかを調べるために、一般化線形混合モデルを作成し、2つの仮説に基づく予測を検証した。1つめの、「周囲でのアユ放流量が多いほど、ねぐら・コロニーサイズが大きい」とい

う予測を検証するために、応答変数を3月のねぐら・コロニーサイズ、説明変数を採食範囲に含まれる放流地点の前年のアユ放流量合計、ランダム効果に年を入れたモデルを作成した（モデル1）。3月のねぐら・コロニーサイズは繁殖開始時期のカワウ（非繁殖個体を含む）の分布を反映しているが、この時期にはまだ当年のアユ放流は始まっていない。したがって、本研究では3月のねぐら・コロニーサイズが前年のアユ放流量に影響されていると仮定した。応答変数は負の二項分布を仮定した。アユ放流量が影響しているかどうかを検証するために、放流量を説明変数に含めない Null モデルと AIC を比較した。

2つめの、「周囲でのアユ放流量が多いほど、個体の移入や繁殖成功率の向上によって繁殖期のサイズ増加率が大きい」という予測を検証するために、以下のようなモデルを作成した。アユ放流の多くが行われる4月から6月にかけての影響を最も検知しやすいと考えられる3月から7月のねぐら・コロニーサイズ変化に着目した。それぞれのねぐらやコロニーにおいて7月のねぐら・コロニーサイズを3月のねぐら・コロニーサイズで除した値を繁殖期間のサイズ変化率とした。サイズ変化率に影響するアユ放流量は、各ねぐらやコロニーのカワウ1個体あたりのアユ放流を考慮する必要がある。なぜなら1個体あたりが利用できるアユ放流量が多いねぐらやコロニーほど繁殖成績が上がったり、周囲からの個体の移入がおこったりすると考えられるからである。また、ねぐら・コロニーサイズの変化率は、3月の時点でのねぐら・コロニーサイズや、その場所がねぐらかコロニーかにも影響される。なぜなら、元々のサイズが大きいねぐらやコロニーであった場合はその環境収容力により増加しにくい可能性があるからである。また、3月から7月の変化率には、繁殖に参加しなかった個体や繁殖が終了して移動した個体などの成鳥の移動によるサイズ変化に加えて、コロニーでは3月から7月の間に当年幼鳥についても、巣の外にいる場合はカウントされ、この期間の増加に寄与する。そこで、ねぐら・コロニーサイズの変化率が3月のサイズと個体あたりのアユ放流量、ねぐらかコロニーかによって決まるとした。その時、ねぐら・コロニーサイズの変化率とそれに影響する要因の関係は以下の式で表せる。

$$N_{(July)} = N_{(March)} \times \exp(\alpha \cdot N_{(March)} + \beta \cdot Ayu + \gamma \cdot RorC + \delta)$$

ここで、 α , β , γ , δ は定数、 $N_{(July)}$ は7月のねぐら・コロニーサイズ、 $N_{(March)}$ は3月のねぐら・コロニーサイズ、 Ayu はそれぞれのねぐらやコロニーにおけるカワウ1個体あたりのアユ放流量（採食範囲に含まれるアユ放流量を3月のねぐら・コロニーサイズで割った値）、 $RorC$ は対象地点の集合地タイプ（ねぐらかコロニーか）を示す。集合地タイプはコロニーとねぐら、2つのカテゴリカル変数を与え、ねぐらであった場合に対してコロニーであった際に目的変数に違いがみられるかを調べた。この式を対数変換し、左辺を変化率に変形したうえで一般化線形混合モデルにあてはめた。

$$\ln\left(\frac{N_{(July)}}{N_{(March)}}\right) = \alpha \cdot N_{(March)} + \beta \cdot Ayu + \gamma \cdot RorC + \delta$$

すなわち、応答変数を3月から7月の変化率の対数、説明変数を3月のねぐら・コロニーサイズ、1個体あたりのアユ放流量、集合地タイプとし、年をランダム効果として入れたモデルを作成した（モデル2）。割り算で分母がゼロにならないように3月と7月のねぐら・コロニーサイズにそれぞれ0.5を足した。応答変数は正規分布を仮定した。どの説明変数が応答変数に影響しているかを検討するために、モデルを総当たりで作成し、AICを基準に比較した。解析にはR ver.2.15.2のglmmADMBパッケージに含まれるglmmadmb関数を用いた（R Core Team 2012）。

結 果

関東地域全体でのカワウの個体数は、「はじめに」で述べたように安定してきており、それぞれのねぐらやコロニーによってそのサイズ変動には細かな違いがみられるものの、そのサイズと空間分布は調査期間を通して大きな変化はなかった。代表して図1Aに2007年3月のねぐらやコロニーの位置とそのサイズを示した。ねぐらやコロニーは東京湾岸に多く分布しているものの、内陸部にも比較的大きなサイズのねぐらやコロニーが少なくなかった。最も多かったのは50個体以下の小さいねぐらやコロニーで、ほとんどのコロニーが500個体以下であった（図2）。一方で、最大で約3,000個体が利用する場所もみられた。3月と7月でねぐら・コロニーサイズの頻度分布に有意な差はみられなかった（two-sample Kolmogorov-Smirnov test, $p=0.405$ ）。関東地域の年平均総個体数は3月が13,600個体、7月が15,162個体であった。

図1. 2007年3月の関東地域のカワウのねぐらやコロニー計110地点の分布(A)と、2007年のアユ放流地点計329地点の分布(B)。灰色で示した茨城県ではデータがない。

Fig. 1. The distribution of Great Cormorant roosts and colonies in March 2007 (A), and that of Ayu release sites in 2007 (B), in the Kanto region. No data were available for Ibaraki Prefecture (shown in grey).

カワウのねぐらやコロニーの分布と同様にアユ放流の分布についても大きな年変動はみられなかったため、代表して2007年のアユが放流された地点と放流量を図1Bに示した。調査対象地を流れる1級河川10河川中7河川と、1級河川以外の54の河川で放流が行われていた。埼玉東部から千葉北部の都市部を除く各地の河川で複数回放流されていた。1回の放流量は50 kg以下のことが最も多く、ほとんどが200 kg以下であった(図3)。一方で、最大で1度に1カ所で4,000 kg以上放流されたこともあった。関東地域で放流された総量

は年平均120,078 kgであった。

カワウのねぐらやコロニーの分布とアユの放流地点の分布を対比すると、大きなねぐらやコロニーが集中する東京湾沿岸ではアユ放流はみられず、ねぐらやコロニーとアユ放流地点の分布には大きな重なりはみられなかった。ただし、内陸部ではねぐらやコロニーとアユの放流地点との重なりがみられた(図1)。

3月のねぐら・コロニーサイズを応答変数、前年のアユ放流量を説明変数としたモデル1の結果を表1に示した。アユ放流量の係数は負であった

図2. 関東地域のカワウのねぐら・コロニーサイズのヒストグラム。上が3月、下が7月のサイズを示す。2006年から2008年の3年分のデータを統合。この間に使われなかった地点は除いた。

Fig. 2. Great Cormorant roost/colony sizes in the Kanto region (data from 2006 to 2008 combined). Roosts and colonies that were not used during the three-year period were omitted.

図3. 1回1地点あたりのアユ放流量のヒストグラム。1,000 kg以上の地点は少なかったため、縦軸のスケールを変えて右上に小さく示した。3年分のデータを統合。
Fig. 3. The amount of Ayu released at each site (data from 2006 to 2008 combined). Releases of 1,000 kg or more are shown in the upper-right graph with smaller Y-axis values.

表1. 2つの一般化線形混合モデルの結果。各モデルの内容については本文参照。

Table 1. Results of generalized linear mixed models for testing two predictions. See text for details.

	説明変数 Explanatory variable	係数 Estimate	標準誤差 S.E.	Wald 統計量 Wald z value	P 値 P value
モデル 1 Model 1	切片 Intercept	4.8262	0.1747	27.63	<2e-16
	前年のアユ放流量 Amount of Ayu released in the previous year	-0.0008	0.0007	-1.21	0.23
モデル 2 Model 2	切片 Intercept	0.0374	0.1949	0.19	0.85
	7月までの1個体あたりのアユ放流量 Amount of Ayu released between March and July per Cormorant	0.0019	0.0005	4.10	<0.000017
	ねぐらかコロニーか ¹ Roost or colony	0.8271	0.3457	2.39	<0.00795
	3月のねぐら・コロニーサイズ Roost or colony size in March	-0.0019	0.0005	-3.54	<0.00026

¹ ねぐらを基準としてコロニーであった時の係数を示す。

が、そのばらつきは大きく、Wald検定のP値は0.23であった。また、このモデルのAICの値2,050.98に対して、アユ放流量を含まないNullモデルのAICが2,050.2であり、2つのモデル間に説明力の違いはなかった。図4に前年のアユ放流量

と3月のねぐら・コロニーサイズの関係性を散布図で示した。2つの変数間に関係はみられず、3月のねぐら・コロニーサイズに前年のアユ放流量は影響しているとはいえなかった。

3月から7月のねぐら・コロニーサイズの変化

図4. 前年のアユ放流量と3月のねぐら・コロニーサイズの関係. 両軸とも対数. 対数で0まで示すために全ての値に1を足した. 白丸が2008年, 十字が2009年を示す.

Fig. 4. Relationship between roost/colony size in March and the amount of Ayu released in the previous year around each roost/colony. In order to show zero data on the logarithmic scale, 1 was added to all values. White circles indicate 2008 data; crosses indicate 2009 data.

図5. 3月から7月までのカワウ1個体あたりのアユ放流量と各ねぐらやコロニーの3月から7月のサイズ変化率の関係. x軸は対数. 0まで示すために全ての値に1を足した. 黒丸がコロニー, 十字がねぐらを示す. モデル2 (表1) に基づく回帰線を, コロニーについては実線で, ねぐらについては点線で示した. ねぐら・コロニーサイズによってアユ放流量に対するサイズ変化率が異なるが, 本図では, ねぐら・コロニーサイズが調査データの中央値である9の場合の回帰線を示した. 予測値の係数は表1を参照.

Fig. 5. Relationships between the amount of Ayu released from March to July per cormorant and the ratio of roost/colony size in July to that in March. To show zero data on the logarithmic scale (x-axis), 1 was added to all values. Black circles indicate colonies; the regression line of model 2 (corresponding to Table 1) is shown as a solid line. Crosses indicate roosts; the regression line of model 2 is shown as a dashed line. Both regression lines are shown for the median value (9) of the roost or colony size.

率と当年の7月までのアユ放流量との関係を見ると, すべての説明変数を含んだモデルのAICが最も低く1,500.8であった. その次にAICが低かったモデルは集合地タイプをのぞいたモデルであったが, そのAICは1,504.3であり, 2つのモデル間のAICの差は3.53であった. AICの差が2以上のモデル間には説明力に違いがあると考えられるので (Burnham & Anderson 2002), もっとも説明力があるすべての説明変数を含んだモデル2の結果を表1に示した. 1個体あたりのアユ放流量の影響の傾きは正であり, そのWald検定のP値は0.05以下であった. このことから, 1個体あたりのアユ放流が多い地点ほど, 3月から7月にかけてねぐら・コロニーサイズが増加したといえる. 図5に1個体あたりのアユ放流量と3月から7月のねぐら・コロニーサイズの変化率の関係を散布図で示した. 対象とする場所がねぐらかコロニーかによって変化率の違いを比較したところ, ねぐらに比べてコロニーのほうが変化率が正に大きい傾向がみられた (表1). このことから, コロニーのほうがねぐらよりも増加しやすいといえた. 3月のねぐら・コロニーサイズの影響の傾きは負であり, そのWald検定のP値は0.05以下であった. このことから, ねぐら・コロニーサイズが3月に大きかった地点ほどその後減少しやすかったといえる.

考 察

関東地域のカワウのねぐらやコロニーの分布とアユ放流の関係について, 前年のアユ放流量によって繁殖期前のねぐらやコロニー場所の選択が影響されるかどうか, 繁殖期間のアユ放流量がその間のねぐら・コロニーサイズの変動に影響するかどうかを検証した. ねぐらやコロニーを形成する鳥類において, その分布と食物資源量との関係を調べた研究についてみると, 食物資源量にねぐらやコロニーのサイズが影響することを示す研究 (Furness & Birkhead 1984) がある一方で, はっきりとした関係があるとはいえないとする例もあった (Butler 1994). 本研究は, カワウの利用する食物資源のうちの放流されたアユの量についてしか検討できていないが, 放流アユがカワウにとって重要な食物資源であれば, その関係を示すことはコロニー性鳥類のねぐらやコロニーの分布と資源量の関係について新たな知見を提供できると考えられる. また, これまでの研究の多くは, ねぐらやコロニーのサイズと食物資源の関係を1時点で調べる (Furness & Birkhead 1984; Cairns 1989) か

年変動を調べた (Tourenq et al. 2004) 研究であるが、本研究では人為的なアユ放流の量という、場所や資源の変動を詳細に把握することが可能な資源を対象とする利点を生かしさらに細かい時空間スケールにおいて両者の関係を検討することができた。

関東地域で放流されたアユは年間約 120 トンであったが、これはカワウが 1 日に 500 g 採食するとした場合 (佐藤ら 1988)、関東地域の 3 月のカワウの総個体数である約 14,000 個体のおよそ 17 日分の食料にあたる量であった。カワウはすべてのアユを捕食できるわけではないが、アユは放流後から急速に生長するため、カワウが潜在的に利用できるアユの量はさらに多いと考えられる。山梨県富士川水系の例では、放流直後の 4 月中旬には 8 g 前後であったアユは 7 月上旬にはその 3 倍以上の 29 g までに生長しており、1 回の調査で捕獲された量もその間に 3 倍になった (Kumada et al. 2013)。また、前述したように河川でのアユの比率が大きくなり、カワウの採食場所選択へもアユ放流の影響がみられた。カワウにとってこの時期の放流アユは重要な食物資源であることから、採食場所選択だけでなく、ねぐらやコロニー分布にもその影響がみられる可能性は十分考えられる。

一方で、カワウの胃内容に占める放流アユの量は 7–67% (戸井田 2002; 鳥居・高野 2005; Takahashi et al. 2006; 芦澤・坪井 2011) と地域によって様々であり、全ての場所で放流アユがカワウにとって重要な食物資源であるとは一概にはいえない。先ほどの山梨県富士川水系の例よりも河川長あたりのアユ放流量が少なかった栃木県の鬼怒川水系では、アユ放流にカワウが集まっていなかったという報告もある (藤岡・松家 2006; 松家・藤岡 2006)。今回のように広域スケールで、アユ放流量とカワウの分布に関して定量的に評価することは、このような異なるパターンを理解する上でも重要であると考えられる。

1 つめの、3 月のねぐら・コロニーサイズを前年のアユ放流量で説明するモデルでは、アユ放流量とカワウのねぐら・コロニーサイズには正負どちらの関係もみられなかった (表 1, 図 4)。このことから、カワウが放流アユの多い地域を繁殖期のねぐらやコロニー場所として選択するという仮説は支持されなかった。カワウがアユ放流量の多い地域を選ばなかった理由はいくつか考えられる。まず、カワウにとってアユ放流量の情報が古い点である。今回の分析では繁殖開始時期のカワウの

分布として 3 月のねぐら・コロニーサイズを使ったが、その時期には河川にアユは存在しない。前年のアユ放流量という過去の情報は、カワウがねぐらやコロニー場所を選択する際の指標には利用されなかったのかもしれない。次に、カワウのねぐらやコロニー場所選択の指標とアユ放流量の不一致である。カワウがねぐらやコロニー場所を選択する際に利用する採食環境の指標としては、採食地である河川の面積が考えられる。しかし、漁協が面積に合わせて放流量を調整することは少なく、その経済状況などから量が決められている (高橋 2006, 2009) ために、河川面積とアユ放流量には不一致が生じているのかもしれない。最後に、関東地域には沿岸部にも多くのねぐらやコロニーがあり (図 1A)、ねぐらやコロニー選択には海の影響も大きいと考えられるが、沿岸部のねぐらやコロニーのカワウにとってアユは重要な食物資源ではない点も挙げられる。例えば、中部地方の海からの距離が異なる複数のコロニーで食性を調べた研究では、アユの餌重要度指数は海から 15 km 以上離れた内陸部のコロニーで沿岸部のコロニーよりも高かった (土屋ら 2013)。しかし、沿岸部で捕獲されたカワウの胃内容物に占めるアユの割合が 66.7% を占めた例 (鳥居・高野 2005) もあり、単純化することはできない。また、本研究ではアユの放流量のみとの関係を調べたが、ねぐら・コロニーサイズを決定する要因にはカワウが関東地域で分布を拡大した時の履歴や、河川におけるアユ以外の魚類の資源量なども影響すると考えられる。

2 つめの、3 月から 7 月のねぐら・コロニーサイズの変化率をその間に放流されたアユの量で説明するモデルでは、アユ放流量が多い地点ほど、サイズの変化率が正に大きい傾向がみられ (表 1, 図 5)、仮説が支持された。3 月から 7 月は、アユ放流の 9 割近くが行われた時期であり、関東地域のカワウの繁殖期でもある。この期間にコロニーでは雛が生長し、早いコロニーでは出生分散が行われる。この間のねぐら・コロニーサイズの変動には、繁殖に参加しなかった個体の移出入や、幼鳥の増加、出生分散などが影響していると考えられる。

移出入や、幼鳥の増加、分散へのアユ放流の影響が検出された理由は、カワウが 3 月までの場所選択では予測しなかった資源増加のためであると考えられる。1 つめの仮説が否定されたことから、カワウがねぐらやコロニーを選択する際にはアユ放流量とは無関係に場所を選んでいるのだろう。

アユ放流によって3月のねぐらやコロニーの分布が決定した時点では予測できなかった食物資源が供給されたコロニーでは、雛の巣立率が向上する可能性がある。また、カワウの移動能力は高く、繁殖していないと考えられる個体は短期間に移動分散を繰り返してねぐら場所を変えている（バードリサーチ 2009b；日野・石田 2012）ので、3月から7月という期間中に、アユ放流によってより採食条件のよくなったねぐらやコロニーへと個体が移動したと考えられる。この期間の河川でのアユの急激な増加は、放流だけでなく、天然遡上によっても引き起こされる。天然遡上によるアユの増加量は流量や河川面積などと相関しやすいと考えられるため、カワウはそれらを指標にアユの増加量を予想できる可能性がある。しかし、関東地域ではダムなどによりアユが遡上できない河川が多数あるため、河川面積などとはあまり関係がない放流アユの量が河川のアユの量の多くを占める場合もある。放流アユの量はカワウにとっては予測しにくい資源であると考えられるため、3月の時点のねぐらやコロニー分布には影響せず、その後の変化率との相関がみられたのだろう。

アユの放流を行うということは、意図したわけではないにしろ、魚食性鳥類に対して給餌を行っていることになる。このような非意図的な給餌には、カラス類のゴミ利用や、農水産物残渣の利用などがある。魚食性鳥類に関していえば、海鳥による漁船からの漁業残渣の利用について様々な研究が行われており、漁業残渣を利用することで、海鳥の採食場所が変わる（Arcos & Oro 1996）、繁殖期の食物資源量の増加により出生分散に影響がある（Oro et al. 2004）といったことが知られている。しかし、本研究のように、非意図的な給餌場所とねぐらやコロニー場所の両方を同時に広域スケールで把握し、その影響を検討した例はない。アユを放流することで、病原菌の拡散、人為的な分布域の拡大、過剰放流による天然魚の駆逐（片野ら 2006）、遺伝子汚染（井口・武島 2006）などの生態系への影響（内田 2006）が指摘されてきたが、本研究によって、アユ放流が魚食性鳥類への非意図的な給餌となり、採食場所だけでなくそのねぐらやコロニーの分布にも影響し、変化させる可能性があることを示すことが出来た。

関東カワウ広域協議会にはカワウ一斉モニタリング調査の情報公開に協力して頂いた。データ収集の際には、バードリサーチの加藤ななえ氏と高木憲太郎氏に便宜をはかって頂いた。筑波大学生命環境科学研究科の有馬智

子氏、富永 光氏にはデータ入力にご協力頂いた。農業環境技術研究所の片山直樹氏には解析について貴重なコメントを頂いた。また、植田睦之氏、二人の匿名の査読者には原稿改訂に際して大変有意義なご意見を頂いた。以上の方々や、放流の情報収集に協力して頂いた内水面漁業協同組合、都県の水産担当部署、水産試験場の方々には深く感謝したい。本研究の一部は、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」により実施した。

摘 要

カワウ *Phalacrocorax carbo* のねぐらやコロニーの分布にアユ *Plecoglossus altivelis* の放流が与える影響を明らかにするために、2006年から2008年の関東地域のカワウのねぐら・コロニーサイズと、その周囲20 kmの採食範囲でのアユ放流量の関係を調べた。3月のカワウの総個体数は約14,000個体であった。アユ放流量は約120,000 kgで、これは、カワウ1個体あたり1日500 g採食するとした場合の約17日分の資源量であった。このことからアユがカワウにとってある程度重要な食物資源になりうると考えられた。3月のねぐら・コロニーサイズを前年のアユ放流量で説明する一般化線形混合モデルを作成したところ、両者には関係がみられなかった。一方、3月から7月のねぐら・コロニーサイズの変化率と、ねぐらやコロニー毎の1個体あたりのアユ放流量との関係を説明するモデルを作成したところ、アユ放流量が多いねぐらやコロニーほどサイズが有意に増加した。以上の結果から、カワウはアユ放流量が多かった地域をねぐらやコロニー場所として選択しているわけではないが、繁殖期間中に周囲で多量のアユが放流されたねぐらやコロニーでは繁殖成績が向上したり移入個体が増加したりすることが示唆された。

引用文献

- Aebischer NJ, Coulson JC & Colebrookl JM (1990) Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature* 347: 753–755.
- Arcos JM & Oro D (1996) Changes in foraging range of Audouin's Gulls *Larus audouinii* in relation to a trawler moratorium in the western Mediterranean. *Col Waterbirds* 19: 128–131.
- 芦澤晃彦・坪井潤一 (2011) 魚類食害軽減のための繁殖抑制によるカワウ個体群管理。山梨県水産技術センター事業報告書 38: 38–43.
- Burnham KP & Anderson DR (2002) *Model Selection and Multi-Model Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Springer, New York.
- Butler RW (1994) Population regulation of wading Ciconi-

- iform birds. Col Waterbirds 17: 189–199.
- バードリサーチ (2009a) 関東カワウモニタリング調査 (2009 年報告). (オンライン) http://bird-research.jp/1_katsudo/kawau/kanto2009.html, 参照 2013-1-29.
- バードリサーチ (2009b) 平成 20 年度魚食性鳥類であるカワウの移動実態の解明に関する研究委託業務報告書. 環境省, 東京.
- バードリサーチ (2011) カワウ生息状況調査マニュアル—ねぐら・コロニー編—. (オンライン) http://www.bird-research.jp/1_katsudo/kawau/countmanuala.html, 参照 2013-8-3.
- Cairns DK (1989) The regulation of seabird colony size: a hinterland model. Am Nat 134: 141–146.
- Doligez B, Cadet C, Danchin E & Boulinier T (2003) When to use public information for breeding habitat selection? The role of environmental predictability and density dependence. Anim Behav 66: 973–988.
- Durant JM, Anker-Nilssen T & Stenseth NC (2003) Trophic interactions under climate fluctuations: the Atlantic Puffin as an example. Proc Royal Soc Lond Ser B 270: 1461–1466.
- 藤岡正博・松家大樹 (2006) 栃木県内のアユ遊漁区域と非遊漁区域における夏期のカワウとサギ類の採食分布. 日鳥学誌 55: 78–82.
- 福田道雄 (2002) 日本におけるカワウの繁殖生態. 日鳥学誌 51: 116–121.
- 福田道雄・成末雅恵・加藤七枝 (2002) 日本におけるカワウの生息状況の変遷. 日鳥学誌 51: 4–11.
- Furness RW & Birkhead TR (1984) Seabird colony distributions suggest competition for food supplies during the breeding season. Nature 311: 655–656.
- 日野輝明・石田 朗 (2012) GPS アルゴス追跡による東海地方のカワウの行動圏と季節移動. 日鳥学誌 61: 17–28.
- 井口恵一朗・武島弘彦 (2006) アユ個体群の構造解析における進展とその今日的意義. 水産総合研究センター研究報告 別冊 5: 187–195.
- 石田 朗 (2002) カワウのコロニーや集団ねぐらによる森林生態系への影響. 日鳥学誌 51: 29–36.
- 環境省 (2004) 特定鳥獣保護管理技術マニュアル (カワウ編). 環境省, 東京.
- 片野 修・阿部信一郎・中村智幸 (2006) アユと河川生態系における他生物との関係. 水産総合研究センター研究報告 別冊 5: 203–208.
- Kumada N, Arima T, Tsuboi J, Ashizawa A & Fujioka M (2013) The multi-scale aggregative response of cormorants to the mass stocking of fish in rivers. Fish Res 137: 81–87.
- 松家大樹・藤岡正博 (2006) 利根川水系鬼怒川中流域におけるアユの放流がカワウの採食分布に与える影響. 日鳥学誌 55: 67–77.
- 成末雅恵・福田道雄・福井和二・金井 裕 (1997) 関東地方におけるカワウの集団繁殖地の変遷. Strix 15: 95–108.
- 成末雅恵・松沢友紀・加藤七枝・福井和二 (1999) 内水面漁業におけるカワウの食害アンケート調査. Strix 17: 133–145.
- Oro D, Cam E, Pradel R & Martínez-Abraín A (2004) Influence of food availability on demography and local population dynamics in a long-lived seabird. Proc Royal Soc Lond Ser B 271: 387–396.
- Paillisson J-M, Carpentier A, Le Gentil J & Marion L (2004) Space utilization by a Cormorant (*Phalacrocorax carbo* L.) colony in a multi-wetland complex in relation to feeding strategies. Comp Rend Biol 327: 493–500.
- Platteeuw M & Van Eerden MR (1995) Time and energy constraints of fishing behaviour in breeding Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* at Lake IJsselmeer, the Netherlands. Ardea 83: 223–234.
- R Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria.
- Richner H & Heeb P (1995) Is the information-center hypothesis a flop? Advances Study Behav 24: 1–45.
- Richner H & Heeb P (1996) Communal life: honest signaling and the recruitment center hypothesis. Behav Ecol 7: 115–118.
- 佐藤 孝・皇甫 宗・奥村 純 (1988) カワウの採食量と基礎代謝率. 応用鳥学集報 8: 58–62.
- 水産総合研究センター (2010) カワウによる漁業被害防除技術の開発 研究総括報告書. 水産総合研究センター, 上田.
- 高橋勇夫 (2006) ここまでわかったアユの本. 築地書館, 東京.
- 高橋勇夫 (2009) 天然アユが育つ川. 築地書館, 東京.
- Takahashi T, Kameda K, Kawamura M & Nakajima T (2006) Food habits of Great Cormorant *Phalacrocorax carbo hanedae* at Lake Biwa, Japan, with special reference to ayu *Plecoglossus altivelis altivelis*. Fish Sci 72: 477–484.
- 戸井田伸一 (2002) 相模川水系におけるカワウ *Phalacrocorax carbo hanedae* の食性. 神奈川県水産総合研究所研究報告 7: 117–122.
- 鳥居春己・高野彩子 (2005) 三重県で有害捕獲されたカワウ *Phalacrocorax carbo* の胃内容物. 奈良教育大学紀要 54: 57–60.
- Tourenq C, Benhamou S, Sadoul N, Sandoz A, Mesléard F, Martin J-L & Hafner H (2004) Spatial relationships between tree-nesting heron colonies and rice fields in the Camargue, France. Auk 121: 192–202.
- 坪井潤一 (2010) できることから始めよう! Let's カワウ対策. 全国内水面漁業共同組合連合会, 東京.
- 坪井潤一・芦澤晃彦 (2012) 山梨県におけるカワウ繁殖コロニー管理. 日鳥学誌 61: 38–45.
- 土屋健児・風間健太郎・井上裕紀子・藤井英紀・新妻靖章 (2013) 中部地域におけるカワウの育雛期の食性の繁殖地および年による違い. 日鳥学誌 62: 57–63.
- 内田 和 (2006) アユの種苗放流が生物の多様性に与える影響. 水産総合研究センター研究報告 別冊 5: 175–177.
- Ward P & Zahavi A (1973) The importance of certain assemblages of birds as “Information-centres” for food-finding. Ibis 115: 517–534.
- 山本麻希 (2009) カワウに立ち向かう～基礎から実践へ～. 全国内水面漁業共同組合連合会, 東京.