

上田一夫は、渡り中の方向定位に関わるマグネタイトの量を調べた結果を公表している（山階鳥研報 14: 166-170）。

一方、近年では、新妻靖章が、海鳥のエネルギー代謝、同化率、潜水時の体温調節について（山階鳥研報 29: 83-90, 日鳥学誌 47: 49-53, *Can. J. Zool.* 80: 1549-1555, *Comp. Biochem. Physiol.* 139A: 97-101, 147A: 438-444），野本茂樹がウズラ、伝書バトの体温調節機構について（*J. Comp. Physiol.* 149B: 519-525, *Pflügers Arch.* 404: 337-341, 431: 987-989, *Jap. J. Physiol.* 53: 253-258, *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 287: R556-R561, *J. Thermal Biol.* 29: 307-313），研究成果を数多く公表している。また、岡奈理子は、海鳥の栄養状態や原油汚染についての研究成果を数多く公表しており（山階鳥研報 17: 57-65, 29: 67-72, 30: 106-116, 31:

1-15, 31: 108-133, *Mar. Poll. Bull.* 40: 340-347, *Condor* 103: 874-878），田中博之、井関直政は、海鳥やカワウの有機塩素化合物の蓄積・代謝についての研究成果を公表している（*Mem. Natl. Inst. Polar. Res.* 40: 434-442, 山階鳥研報 21: 1-41, 日鳥学誌 51: 37-55）。

鳥類の生理学研究は、飼育環境下の家禽種を対象とした古典的研究から、野生種を自然条件下で測定する研究へと近年発展した。また、これは他の分野でも言えることだが、古くは、「発見」や「謎解き」を主眼とする基礎学問の内容が主流であったが、近年は、世情を反映してか、応用学問的な内容が大幅に増え、*Conservation Physiology* という言葉に代表されるように、野生種のストレス応答を測定し、保全管理に活用する研究が盛んになりつつある。

日本における数理的手法を用いた鳥学研究の歩み

高須夫悟（奈良女子大学理学部）

数理的な手法を用いた研究が鳥学を含む生物学の幅広い分野で用いられるようになって久しい。ここで言う数理的手法とは、対象物をよりよく理解するための「道具」としての手法である。言うまでもなく、どのような「道具」を用いるかは、我々が何を理解したいのかによって様々である。複雑なデータから偶然によるノイズを除去して何らかの意味を抽出することを試みる統計学的手法や、現象の背後に潜む法則や規則性を数式として表現し、その帰結を数理の言葉で明らかにする事を目指すいわゆる数理生物学的な手法など、道具としての数理的な手法の中身は目指す目的に応じて多岐にわたる。

生物学で用いられる数理的な手法を大胆に分類するとすれば、個別の現象から普遍的な法則性を見いだすことを試みる帰納的な作業に重点をおいた統計学的手法と、現象に関する仮説・仮定から導かれる帰結を明らかにすることを試みる演繹的な作業に重点をおいた数理生物学的な手法の二つの両極を挙げることができるかもしれない。厳密な区別は無意味であるけれども、数理的な手法を用いた研究は程度の差こそあれ、帰納・演繹の二つの両極の間のどこかに位置すると言えるだろう。

本稿では、数理的手法を用いた日本の鳥学研究の歩みについて概観したい。私は鳥学会会員暦が10年に満たない新参者であり、また、数理的手法を用いた日本の鳥学研究のすべてを網羅し、俯瞰して取りまとめる能力もない。けれども、鳥学に20年近く関わってきた数理生物学者として、100年にわたる長い歴史を持つ日本鳥学会の歩みの中で数理的な研究が果たした役割と、今後果たすであろう役割について取りまとめることは、これからの日本の鳥学全般の発展にとって決して無益ではないだろう。自分が辿った道りを時々振り返って確認する作業が個々の人生において有益であるように、我々日本の鳥学者が辿った歴史に目を配りその活動歴を再認識することは、鳥学会の今後の指針の一助となると考えるからである。

以下に、日本鳥学会が発行する日本鳥学会誌（前身は鳥）ならびに英文誌 *Ornithological Science* に掲載された研究論文を初めとして、日本における数理的手法を用いた鳥学研究の歩みを概観してみたい。私は個体群動態・進化動態を専門とする数理生物学者であり、評価は数理生物学的な手法にどうしても偏りがちであるが、後に述べるように、統計学的手法も重要であることは明白である。

世界の鳥学においては、David Lack の最適ク

ラッチサイズの理論に始まり、最適採餌理論、配偶者選択、生活史の進化など、鳥類が研究対象となり、かつ、数理的な側面に裏打ちされた先駆的な研究例は欧米を初めとして枚挙にいとまがない。こうした世界の潮流と比べれば、日本における鳥学の数理的な研究例は層が薄いと云わざるを得ない。

しかし、数理的な観点から鳥学に取り組んだ日本の研究例が皆無であるわけでは決していない。意外にも、その先駆けとも言える研究例は、蠟山朋雄氏による「鳥類個体群の場所的分布について」(1958)にさかのぼることができる。この論文は、鳥類の繁殖縄張りの空間分布から個体数を推定することを目的とした理論仮説の検証を行った研究である。統計的な研究の一面を持っているが、蠟山氏は後に、個体群動態の一般理論に関する名著 *Analytical population dynamics* (1992) を著された方でもあり、統計的な手法と共に数理生物学的手法を鳥学に持ち込んだ当時では希有な研究である。

時代は下って90年代に入ると、計算機の利用が普及したこともあり、採餌における場所選択性仮説をシミュレーション解析によって検討した研究が発表されている(松岡 1991)。また、繁殖戦略としての鳥類の育児寄生に関する数々の数理的な研究が発信されるようになる。種内托卵に関する一連の理論モデル(Yamauchi 1993, 1995)や種間托卵に関する研究(Takasu *et al.* 1993, Takasu 2005)である。また、海鳥の最適潜水行動に関する理論的研究(Mori 1998)など、仮説検証を目的としたシミュレーション・数理モデル解析研究が徐々にではあるけれども日本の鳥学に根付き始めた時代である。

近年では、さえずりの歌文法 *song syntax* に関わる神経ネットワークモデル研究(Nishikawa & Okanoya 2006)や、育児寄生における宿主の雛排除行動に関して新たな仮説を打ち出したモデル研究(Sato *et al.* 2010)など、日本鳥学会員が手がけた数理的な研究が世界に向けて発表されている。

これらの研究は、数理的な「思考実験」なくしては得られない研究成果であり、鳥学の発展に寄与したことは明白である。数理生物学が生物学全般にわたって浸透して数々の成果を上げてきたように、日本の鳥学でもこの潮流が継続することを期待する。

一方、統計的な手法に関しては、近年、生物学全般において、従来の検定に対するモデル選択やベイズ統計といった新しい手法が普及しつつある。実証データから法則性を帰納するためには、何ら

かの統計的な取り扱いが不可欠となる。統計的手法そのものの研究は統計学者が取り組む範疇であるが、「道具」としての統計学はすべての鳥学者が必要とするものである。

日本の鳥学における数理的な研究の進展の妨げとなる主要因に、統計学を含む数理的な手法を体系的に学ぶ機会の少なさが挙げられるだろう。この問題は、鳥学に限らず生物学一般に見られることだが、「道具」としての統計学の一般会員への普及を目指した活動が2000年代中頃から日本鳥学会大会の自由集会などで若手研究者を中心に活発に行われている。このような若手を中心にした活動は、「道具」を効果的に使いこなせる研究者層の増加に繋がると期待できる。

鳥学は鳥類を対象とする研究全般を含む非常に幅広い研究分野であり、遺伝学、生理学、行動学、生態学、分類学など、注目するスケールも様々である。様々な細目分野において用いられる研究手法も多様である。多様な視点に基づく学究を展開することこそが、鳥学の発展に繋がると考える。環境問題や絶滅危惧種の保全など、鳥学が今まで以上に社会的に注目される中、数理的な手法はそれぞれの細目分野においてますます重要度を増すと思われる。数理的な思考が観察・実験といった実証研究とうまく連携することで日本の鳥学はさらに発展できるだろう。鳥学をより発展させる「道具」としての数理的な手法のさらなる発展を願ってやまない。

引用文献

- 蠟山朋雄 (1958) 鳥類個体群の場所的分布について。鳥学 **15**(71): 40–44.
- 松岡 茂 (1991) 2 皿選択実験における場所選択性の影響: モンテカルロ法によるシミュレーション。日鳥学誌 **39**: 83–92.
- Mori Y (1998) The optimal patch use in divers: optimal time budget and the number of dive cycles during bout. *J. Theor. Biol.* **190**: 187–199.
- Nishikawa J & Okanoya K (2006) Dynamical neural representation of song syntax in Bengalese Finch: a model study. *Ornithol. Sci.* **5**: 95–103.
- Royama T (1992) *Analytical population dynamics*. Springer.
- Sato NJ, Mikami OK & Ueda K (2010) The egg dilution effect hypothesis: a condition under which parasitic nestling ejection behaviour will evolve. *Ornithol. Sci.* **9**: 115–121.
- Takasu F, Kawasaki K, Nakamura H, Cohen JE & Shigesada N (1993) Modeling the population dynamics of a cuckoo-host association and the evolution of host defenses. *Am. Nat.* **142**: 819–839.
- Takasu F (2005) A theoretical consideration on co-evolution-

ary interactions between avian brood parasites and their hosts. *Ornithol. Sci.* **4**: 65–72.
Yamauchi A (1993) Theory of intraspecific nest parasitism in

birds. *Anim. Behav.* **46**: 335–345.
Yamauchi A (1995) Theory of evolution of nest parasitism in birds. *Am. Nat.* **145**: 434–456.