技術報告

オオミズナギドリの給餌生態研究への自動体重計及び出入り記録装置の利用

越智大介^{1,*}・松本 経¹・綿貫 豊¹・岡 奈理子²

¹ 北海道大学大学院水産科学院資源生態学研究室 〒041-8611 北海道函館市港町3-1-1

² 山階鳥類研究所研究部 〒270-1145 千葉県我孫子市高野山115

(2005年5月13日受付; 2005年12月2日受理)

アホウドリ類では繁殖期に繁殖地から遠く離れた採餌海域までの間を、総移動距離にして数千から一万数千kmの長距離移動(トリップ)をおこなうことが、最近の衛星対応発信器を用いた追跡から知られるようになった(Jouventin & Weimerskirch 1990, Weimerskirch *et al.* 1993)。これらアホウドリ類や類縁のミズナギドリ類の一部の種では、育雛期に親が1週間前後の長期トリップ、1-3日程度の短期トリップを織り交ぜて繰り返すという特徴的な間欠給餌をおこなう(岡 1991, Weimerskirch *et al.* 1994, Granadeiro *et al.* 1998b, Gray & Hammer 2001; Reviewed in Baduini & Hyrenbach 2003)。親がトリップの長さをどのように決定するのか、その詳しい要因はわかっておらず、興味深い問題である。なぜ、アホウドリ類やミズナギドリ類でこのような特異な給餌パターンが進化したのか知るためには、給餌生態に関する基礎的情報が不可欠である。

ミズナギドリ類の給餌生態を調べるためには、従来、何度も親を捕獲して計測をおこなったり、餌を吐かせたり、夜間に何度もヒナの計重をしたりする必要があった(Granadeiro *et al.* 1998b, Weimerskirch 1998, Phillips & Hamer 2000)。しかし、こうした調査手法には繁殖に対して攪乱を引き起こすという問題がある。例えば、夜間の親捕獲により親が出巢できずに日中も巣に留まってしまふおそれがある(越智大介 未発表)。また、前述のようにトリップは長期間に及ぶこともあり、

多くの種で親は夜間に帰巢するため(Warham 1990)、継続的な調査をおこなうことは困難である。これらの問題を解決するため、帰巢した親の識別および親の計重についてそれぞれを自動的に検出する試みがなされてきた(Granadeiro *et al.* 1998a, 1998b, Reid *et al.* 1999)。しかし、個体識別しつつ同時に体重を計るシステムを適用した例は少ない(Kerry *et al.* 1993, Baduini 2002)。そこで、巣穴営巣する海鳥を対象として、帰巢した個体を捕獲せずに自動で識別し、連続的に重量を記録する装置を開発した。

オオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* は主に日本周辺海域の離島で繁殖し(岡 2004)、他のミズナギドリ類と同様に索餌海域まで長距離移動を行い(岡 未発表)、間欠給餌をおこなうことが示唆されている(Oka *et al.* 2002)。本報告では、オオミズナギドリの給餌生態を知るため、自動記録計を用いて親の帰巢タイミングと親の体重、給餌量のデータを収集できるか検討した。

オオミズナギドリを含むミズナギドリ類の多くは土中に巣穴を掘り、その中で抱卵、育雛する(治田ら 1987, Warham 1990)。この習性を利用し、電子ばかり(EK-12Ki, エー・アンド・デー製)を産座の下に取り付けた人工巣箱を作成した(図1)。産座部にはプラスチック製のコンテナ(内寸: 幅468×奥行320×高さ250 mm)を用い、中に土や巣材を移して、電子ばかりと共に一回り大きいプラスチック製のコンテナ(内寸: 620×430×340 mm)に格納した(図1c)。鳥の移動による箱のぐらつきをなくすため、電子ばかりは脚部を外側のコンテナに、上皿部を内側のコンテナの底部にそれぞれ金具で固定した。出入口には塩化ビニール製のダクトホース(φ125 mm)

* E-mail: dochii@fish.hokudai.ac.jp

本報執筆に当たって文部科学省の科学研究費補助金(特定奨励費(山階鳥類研究所), No. 16108002)および21世紀COEプログラム(新・自然史科学創成, 代表: 岡田尚武)の支援を受けた。

図1．調査に用いた自動記録計の (a) 模式図と、(b) 全体、(c) 産座内部、(d) 入口および磁気センサーの写真．

Fig. 1. An illustration of the recording system (a), and photographs of a whole system (b), a chamber (c) and an entrance with hall sensors (d).

を用いた．電子ばかりは、1 g 単位で産座部のコンテナを計重して1.6秒間隔でデータをASCII形式で出力し、そのデータを巣箱外部の電子手帳（E-2000, CASIO製）に記録した．それぞれの体重計は事前に重量のわかっている個体を内部に入れてキャリブレーションを行い、誤差が無いことを確認した．内部の個体が動いている場合にはデータに細かな振幅が見られるため、連続した3点（4.8秒）間の重量変化が10 g 以内だった場合、その間の平均値を安定値と見なして解析に利用した．また、巣箱にヒナも親も入っていない状態での記録時間中（12時間）の重量減少は0 g ($n=3$) だったため水分蒸発による記録中の巣箱重量の減少は無視した．

巣箱内に入った親の識別をおこなうため、磁界変化を検出して出力電圧を変化させるホール素子（HW-300A, 旭化成電子製）を利用したセンサーをダクトホースの入口から20 cm 奥の下面部に互いを20 cm ほど離して二ヶ所設置し、巣箱外部にあるデータロガー（AKI-Logger, 秋月電子通商製）と接続して1秒間隔で出力を記録した（図1d）．このセンサーの上を磁石を装着した親が通過した

場合、電圧変化により近接した磁石の磁極を識別して記録することができる．鳥の通過方向は二つのセンサーの電圧変化の順番から知ることができる．調査前に磁石を装着した個体にセンサーの上を通過させるテストを行い、通過時には ± 5 mV 以上の変化が見られたことから、電圧出力に ± 5 mV 以上の電圧変化が見られた場合に、親が通過したと見なした．これら自動記録計の電源はすべてDC12V40AhのカーバッテリーからDC-ACインバーターで変換したAC100V電源を使用した．

記録計の設置と運用はオオミズナギドリの育雛期にあたる2004年9月～10月に、東京都御蔵島村南郷地区の繁殖地で、東京都から鳥獣捕獲許可を得ておこなった．2003年の繁殖終了時に人工巣箱（黒木ら1998）を埋設し、2004年にその中で繁殖した4巣に自動記録計を設置した．記録計を設置した4巣のうち、1巣でヒナが巣箱から消失したため、残る3巣の両親6個体について、夜間に帰巢した際に捕獲し、脚にプラスチックリング（5g, 高さ2.5 cm）を装着した．リングには、脚の軸に平行になるように棒磁石（ $\phi 1$ mm, 長さ2.5 cm）を取り付けた．リングの重量は、いずれも装着し

図2. 10月15–16日に記録計設置巣のうち1巣で記録された (a) 体重データ, (b) 出入り記録データの経時変化. (c) は親の帰巣時の重量変化を拡大したもの. 給餌前と後の親体重とその差である餌重量を示す.
Fig. 2. Weight (a), and attendance (b) data obtained from nest #1 for a night of 15–16 Oct. (c) shows enlarged records during the stay of a parent at chamber. Parental mass before and after feeding, and meal mass are indicated.

た親の体重の1.5%以下であった。装着の際、センサーが感知する磁極の向きで個体を識別するために、同じ巣のつがいにはそれぞれ磁極の向きが逆になるようリングを装着した。なお、リング装着巣のうち2巣の片親については、事前に捕獲され衛星対応発信器が装着されていたが、リング装着時にこれらを取り外した。巣内容を毎日17:00に確認し、ヒナの体重を300および600 gばねばかり (Pesola社, スイス製) によって1 g単位で測定し、そのつどヒナを巣箱から取り出して電子ばかりの重量の0点補正をおこなった。

親にリングを装着した後、10月1日～10月24日の間に毎日夜間 (17:30～翌日6:00) に記録計を作動させ、データを収集した。記録計を設置した3巣は調査終了までヒナが生存し、3巣合わせて計32回の帰巣データの記録に成功した。一方、親が体重計を設置した産座部まで入らず、産座外で給餌をおこなう現象が調査期間中に3度見られた。これは、ヒナが給餌を受けるためにホース部分まで移動してしまったためであると考えられる。なお10月9–10日は台風接近による悪天候のため調査を行わなかった。

記録計を設置した3巣のうち1巣の、1羽の親が

帰巣した10月15日から翌日未明にかけての重量と出入りデータの変化を図2に示した。21:10に、出入りセンサーの出力電圧に+16 mVの変化があり、その直後には、重量が648 g増加した。このことから片親が帰巣し、プラスチックリングの重量5 gおよび持ち帰った餌を含めた親の重量が648 gであったことが判別できた。もう一方の磁極が逆向きのリングを装着したもう片親が帰巣した場合、磁気センサーによる電圧変化は正負が逆転した波となって現れた。21:52には重量が609 g減少したものの、出入りセンサーに反応が無かったことから、親は産座部分からホース部分に移動して巢内に留まっていたと推定された。親が産座から出た際の重量減少量609 gはリングの重量5 gを含む親の給餌後の体重 (空胃体重) である。その後2:07に再び産座内に入って重量が増加し、その直後2:08に産座側の出入りセンサーの+44 mVの反応に続いて10秒後に入口側のセンサーが+21 mV反応したことから巣外に出て行ったことが判別できた。昼に親が巣に留まったことは1例もなく、出入り装置による記録と矛盾は無かった。給餌量は親が出た直後の重量から親が入る前の重量の差をとることで求めることができ、この場合648–

図3. 記録計設置巣のうち1巣の (a) 17:00におけるヒナの体重, (b) ヒナへの給餌量 (積み上げ棒), (c) 帰巣時の給餌量を除いた親の体重の日変化 (円および折れ線) およびトリップの間隔 (横棒, 数字はトリップ日数). 灰色および白抜きはそれぞれ別個体の給餌量・体重を表している. 星印は親の帰巣を検知したものの, 体重の計測に失敗したものを表す. 10月9, 10日は台風接近のために調査を行わなかった.

Fig. 3. (a) Chick mass measured at 17:00 every day, (b) meal mass and (c) parental mass without food (circles), and trip durations made by the parents (horizontal bar, numbers show trip duration in days) at attendance of parents in the nest. In (b) and (c), gray and open markers/bars show each parent. The star in (c) shows failure in recording parental mass. The system did not work on 9–10-Oct. because of a typhoon.

609=39 gである (図2c). 記録計と同時に親の体重をばねばかりで計った例が4例あり, いずれも体重計による記録との差は0 gであった.

本装置により得られたデータの例として, 記録計を設置した巣のうち, 1巣の親の帰巣時空胃体重と給餌量, 給餌前のヒナの体重の日変化を図3に示した. ヒナの体重は記録開始当初は増加したものの, その後は給餌量, 頻度ともに低下したため単調減少し, 10月15–19日には毎日給餌を受けて増加したことがわかる.

本報のように識別に磁石を用いた記録装置は数例 (Granadeiro *et al.* 1998a, 1998b) 報告されているが, いずれも尾羽に磁石を接着するものであった. 2003年に同調査地でおこなった予備実験ではオオミズナギドリの尾羽に接着した2 gの磁石は数日~2週間程度で脱落した (越智大介 未発表).

今回は, 足輪に磁石を接着することで脱落の問題を解決できた. また, 本装置を利用することにより, 前述のような親が採餌に出かけられず巣に停滞する現象はみられなかった. 磁気センサーと磁石による識別では, 2個体分の識別しか行えないが, 赤外線センサーのような通過記録センサーを組み込むことでその他の個体の出入りを記録することも可能である. 識別のために非接触式IDタグ (トランスポンダ) を用いた装置 (Baduini 2002, 馬場孝雄ら 未発表) と比較すると, 据え置き型のトランスポンダ記録装置の価格が一台\$2,750 (Biomark社製USA) であるのに対して, 出入り記録装置作成に必要な費用は1巣につき9,000円程度と安価に検出装置を作成することができ, より多くの巣のデータを収集することが可能である. 一方で, 今回作成した装置は消費電力が約15 W (体重記録計14 W, 出入り記録装置0.9 W) と比較的大きいため, 40 Ahのバッテリーでは連続稼働するために2日に一回程度のバッテリー充電が必要であり, 充電が可能な環境でなければ長期間の運用は困難である. また, 今回の調査ではヒナが移動してしまったために親の体重が計測できない例が見られた. この問題を解決するためにヒナが容易にダクトハウス部分へ移動しないように産座部を2部屋に分割するなどの改良をおこなう必要がある.

今回使用した自動記録計によってオオミズナギドリの給餌生態を知るために十分な長期間のデータを収集可能であり, 従来の捕獲による調査よりもより正確な給餌量, 親の体重, 帰巣時間のデータを得られることが示された. 今回は事前に捕獲が行われた個体を利用したため, その攪乱の影響を考慮しなければならないが, 今後はこの装置をより攪乱の小さい状況で利用することでオオミズナギドリの給餌生態を詳細に明らかにすることが期待される.

本報の執筆にあたり, 様々な方からの協力と助言を頂いた. 国立極地研究所の高橋晃周氏, Claremont大学のC. L. Baduini氏には記録装置開発に当たり, 有用な助言を頂いた. 北海道大学水産学部の廣津 尚氏には記録装置作成の作業を補助して頂いた. 野外調査では梶田あまね氏, 竹内尚子氏, 山階鳥類研究所の出口智広氏, 北海道大学大学院水産科学院の井上裕紀子氏, 風間健太郎氏, 神谷民夫氏に補助して頂いた. また, 東京都御蔵島村役場, 島民の方々, 特に栗本節夫氏には, 御蔵島滞在時に全般にわたり多大なご支援を

頂いた．ここに厚くお礼申し上げます．

引用文献

- Baduini CL (2002) Parental provisioning patterns of Wedge-tailed Shearwaters and their relation to chick body condition. *Condor* **104**: 823–831.
- Baduini CL & Hyrenbach D. (2003) Biogeography of Precel-lariiform foraging strategies: does ocean productivity influence provisioning? *Marine Ornithology* **31**: 101–112.
- Granadeiro JP, Burns MD & Furness RW (1998a) Patterns of activity and burrow attendance in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* as revealed by a novel logging technique. *Ibis* **140**: 458–466.
- Granadeiro JP, Nunes M, Silva MC & Furness RW (1998b) Flexible foraging strategy of Cory's Shearwater, *Calonectris diomedea*, during the chick-rearing period. *Anim. Behav.* **56**: 1169–1176.
- Gray CM & Hamer KC (2001) Prefledging mass recession in Manx Shearwaters: parental desertion or nestling anorexia? *Anim. Behav.* **62**: 705–709.
- 治田則男・丸山直樹・岡 奈理子・黒田長久 (1987) 御蔵島のオオミズナギドリのコロニー構造．*山階鳥研報* **19**: 56–76.
- Jouventin P & Weimerskirch H (1990) Satellite tracking of Wandering Albatrosses. *Nature* **323**: 746–748.
- Kerry K, Clarke J & Else G (1993) The use of an automated weighing and recording system for the study of the biology of Adélie Penguins (*Pygoscelis adeliae*). *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* **6**: 62–75.
- 黒木麻希・加藤明子・綿貫 豊・高橋晃周 (1998) ウトウの繁殖生態の研究における人工巣箱の利用．*山階鳥研報* **38**: 40–45.
- 岡 奈理子 (1991) ハシボソミズナギドリの雛の成長と親鳥の給餌．ハシボソミズナギドリの個体群変動に及ぼす生態学的要因 ハシボソミズナギドリの大量死発生機構の解明，pp. 100–141．北海道大学博士論文．
- 岡 奈理子 (2004) オオミズナギドリの繁殖島と繁殖個体数規模，および海域，表層水温との関係．*山階鳥学誌* **35**: 164–188.
- Oka N, Suginome H, Jida N & Maruyama N (2002) Chick growth and fledgling performance of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* on Mikura island for two breeding seasons. *J. Yamashina Inst. Ornithol.* **34**: 39–59.
- Phillips RA & Hamer KC (2000) Periodic weighing and the assessment of meal mass and feeding frequency in seabirds. *J. Avian Biol.* **31**: 75–80.
- Reid K, Liddle GM, Prince PA & Croxall JP (1999) Measurement of chick provisioning in Antarctic Prions *Pachyptila desolata* using an automated weighing system. *J. Avian Biol.* **30**: 127–134.
- Warham J (1990) *The Petrels: Their ecology and breeding systems*. Academic Press, London.
- Weimerskirch H (1998) How can a pelagic seabird provision its chick when relying on a distant food resource? Cyclic attendance at the colony, foraging decision and body condition in Sooty Shearwaters. *J. Anim. Ecol.* **67**: 99–109.
- Weimerskirch H, Chastel O, Ackermann L, Chaurand T, Cuenot-chaillet F, Hindermeyer X & Judas J (1994) Alternate long and short foraging trips in pelagic seabird parents. *Anim. Behav.* **47**: 472–476.
- Weimerskirch H, Salamolard M, Sarrazin F & Jouventin P (1993) Foraging strategy of Wandering Albatrosses through the breeding season: a study using satellite telemetry. *Auk* **110**: 325–342.

Automated weighing and nest attendance recording systems for the study of the feeding ecology of the Streaked Shearwater. Daisuke Ochi, Kei Matsumoto, and Yutaka Watanuki (Laboratory of Marine Ecology, Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University, 3–1–1 Minato-cho, Hakodate, Hokkaido, 041–8611 Japan), Nariko Oka (Yamashina Institute for Ornithology, 115 Konoyama Abiko, Chiba, 270–1145 Japan)