

# 卒業研究論文

## ビデオロガーと GPS ロガーを用いた カツオドリ幼鳥の個体間相互作用に関する研究

情報文化学部自然情報学科

筒井 康太

2011 年 3 月

### 要約

動物は他個体と様々な相互作用を持ちながら成長するが、成長期の個体の個体間相互作用を記録することは難しい。本研究では、カツオドリ幼鳥を飼育し、ビデオロガーと GPS ロガーを装着した。その結果、幼鳥は他の飼育個体と遭遇時の約 90%で行動を同調させていた。また、遭遇したカツオドリ、特に成鳥を追跡して長時間飛翔したり、採餌中のカツオドリやクロアジサシの周辺で採餌を試みたりしていた。このような個体間相互作用が、採餌能力の低い幼鳥に採餌場所に関する情報をもたらすことや、飛翔・採餌技術発達の一助となることが示唆された。

## 目次

1. 序論	1
2. 方法	
2.1 調査対象	3
2.2 調査地	3
2.3 保護・飼育	3
2.4 ロガーの装着	4
2.5 解析	6
2.5.1 総トリップ長	6
2.5.2 ビデオ解析	6
2.5.3 GPS 解析	7
3. 結果	
3.1 雛の成長	9
3.2 ロガーの装着、データの取得	9
3.3 解析結果	
3.3.1 総トリップ長	10
3.3.2 移動経路・行動圏	11
3.3.3 他のカツオドリとの遭遇	11
3.3.4 追跡飛翔	11
3.3.5 飛び込み潜水地点付近での遭遇物	12
4. 考察	
4.1 飼育・機器装着による飼育個体への影響	13
4.2 飛翔技術・採餌技術の発達	13
4.3 個体間相互作用と技術発達の関係	14
5. 謝辞	16
6. 引用文献	17
7. 図表	19

## 1. 序論

多くの鳥類は同種もしくは他種の鳥類と集団を形成する。集団での行動は、共同による効率的な採餌、捕食者からの攻撃に対する防御、捕食者の発見を早めて逃避を容易にするといった効果がある(Krause & Ruxton, 2002)。また、集団で行動することで、他の個体から採餌場所に関する有益な情報がもたらされることもある。例えば、サンショクツバメ *Hirundo pyrrhonota* の集団繁殖地では、採餌に成功した個体が再び採餌に出かけるとき、採餌に失敗した個体がついていくという傾向がみられている(Brown, 1986)。このように、ねぐらや集団繁殖地で情報を共有し、成功者の後を追って採餌場所に行くことで、餌探索を効率的に行うことができる(information center hypothesis ; Ward & Zahavi, 1973)。さらに、離巢中にも、採餌中の個体を探して移動することで、直接餌を探すよりも簡単に餌を見つけることができる(local enhancement ; Fauchald, 2009)。

特に、幼鳥は成鳥に比べて経験が少なく能力が低いため、情報を得ようとして他の個体に近づいていく傾向が強いと考えられる。例えば、ハネビロノスリ *Buteo platypterus* の幼鳥は、渡りの際に同種の成鳥についていく傾向があり、これによって上昇気流を早く発見できたり、越冬地まで誘導してもらえたりすることが示唆されている(Maransky & Bildstein, 2001)。このように、集団で行動することでもたらされる情報や経験は、幼鳥の技術発達や生存率を高めることにつながりうる。しかし、幼鳥は広範囲を移動するため、その個体間相互作用を観察することは難しい。また、長期間に渡る成長期に、どのような個体間相互作用を行っているのか記録することも難しい。

1960 年代より、動物装着型のデータロガー(以下、ロガー)が開発され、行動や生態などに関する様々な定量的データが得られるようになってきた(日本バイオリギング研究会, 2009 ; 高橋 & 依田, 2010)。こうしたロガーは個体に装着するため、原理的には個体の行動を記録するが、静止画を撮影できるカメラロガーや動画を撮影できるビデオロガーの使用、あるいは複数個体へのロガーの同時装着によって、個体間相互作用の記録が可能になってきた。例えば、マユグロアホウドリ *Thalassarche melanophrys* に対してカメラロガーを装着することで、アホウドリが同種の他個体と遭遇した時に頻繁に採餌したり、シャチ *Orcinus orca* によって海面近くまで追いあげられた深海魚を狙って採餌したりして、同種・他種の他個体と連携することによって効率的な採餌を行っていることが示唆された(Sakamoto *et al.*, 2009)。さらに、複数のアデリーペンギン *Pygoscelis adeliae* に対して深度ロガーを同時に装着することで、アデリーペンギンが潜水行動を同調させて、捕食の危険を減らしていることが示唆された(Takahashi *et al.*, 2003)。また、複数のカワラバト *Columba Livia* に GPS ロガーを同時に装着することにより、2羽で帰巢するときの帰巢経路の選択(Biro *et al.*, 2006)や、群れの中に階層的な先導者・追従者関係があること(Nagy *et al.*, 2010)が明らかとなった。

こうした技術により、鳥類の個体間相互作用を研究することが可能となりつつあるが、成鳥よりも経験が少なく、集団行動により得られる利益が大きいと予測される幼鳥の個体間相互作用に関する研究はまだない。この原因の一つとして、ロガーの回収が困難であることが挙げられる。ロガーは機器の内部にデータを蓄積するため、回収しないとデータが得られない。雛を世話するために巣に戻ってくる繁殖中の成鳥のように、決まった場所に戻ってくる習性があればロガーを回収することは容易だが(日本バイオリギング研究会, 2009)、巣立ち後の幼鳥は自由に飛び回るため、ロガーを回収することは困難である。さらに、GPS ロガーは軽量化が進んだものの、カメラロガーやビデオロガーはほとんどの飛翔性鳥類に対して装着するにはまだ重く、大型である(Moll *et al.*, 2007)。海鳥類では、装着機器の重量が装着する個体の 5%未満であることが望ましいといわれているが(Croll *et al.*, 1992)、今までに用いられた最も軽量のカメラロガーは 73 g(Takahashi *et al.*, 2004)、最も軽量のビデオロガーは 240 g(Grémillet *et al.*, 2006)であり、ほとんどの鳥類に対してはカメラロガーやビデオロガーを適用することができなかった。

カツオドリ *Sula leucogaster* は、巣立ち(初飛翔)後も親からの世話を受けながら飛翔技術や採餌技術を習得する期間(巣立ち後世話期間 ; Ashmole & Tovar, 1968)を持つ。この習性を利用し、カツオドリを雛から飼育することによって、巣立ち後、幼鳥へ繰り返しロガーを装着・回収することができる(Yoda *et al.*, 2004)。例えば、巣立ちした飼育カツオドリの幼鳥に深度・加速度ロガーを装着することによって、滑空技術を徐々に習得することにより、長時間の離巢が可能となったことが示された(Yoda *et al.*, 2004)。また、飛び込み潜水時に到達できる潜水深度や潜水時間が、成鳥には及ばないものの、巣立ち後経過日数に伴って最大到達深度 0.7 m、最大潜水時間 3 秒にまで増加することが示された(Yoda *et al.*, 2007)。さらに、GPS ロガーを用いた研究により、巣立ち後経過日数に伴う 1 日の総飛翔距離の増加や行動圏の拡大が明らかとなった(Kohno & Yoda, in prep.)。このように、飼育したカツオドリの幼鳥へロガーを装着することにより、カツオドリの幼鳥の技術習得が明らかになってきている。

本研究では、沖縄県仲ノ神島で繁殖するカツオドリの雛を同時に 3 羽保護・飼育し、巣立ち後に、小型ビデオロガー(約 22 g)と GPS ロガーを装着した。ビデオロガーによって、カツオドリの幼鳥が離巢中に経験している周囲の環境を撮影し、得られた映像から他の飼育個体や野生のカツオドリ、他種の鳥類と遭遇時の行動を記録した。また、複数の飼育個体に GPS ロガーを同時装着することにより、飼育個体同士で遭遇している時の移動経路を比較し、遭遇時の行動を定量的に記録した。これらのデータを用いて、同種他個体や他種の鳥類との相互作用がカツオドリの幼鳥の意思決定にどのように影響しているのかを議論した。

## 2. 方法

### 2.1 調査対象

カツオドリは亜熱帯～熱帯域に生息し、日本では沖縄県仲ノ神島、小笠原諸島など外洋の孤島で繁殖しているペリカン目カツオドリ科 *Sula* 属の海鳥である。幼鳥は腹や下雨覆に褐色斑があるが、成鳥の腹や雨覆は白い(図 1)。数 m～数十 m 上空から餌めがけて海水面へ突入する飛び込み潜水と呼ばれる採餌方法により、主にトビウオやトビイカを捕食する(Nelson, 1978)。産卵後、卵は約 45 日間の抱卵期間を経て、孵化する。カツオドリは通常 2 個の卵を産むが、孵化後の兄弟間の争いにより、1 雛は巢外に追い出され、寒さと飢えにより死んでしまう(兄弟殺し；Nelson, 1978)。残った雛は親鳥から世話を受け、約 100 日で巣立ちする(Nelson, 1978)。巣立ち後、日中は親子で別々に行動するが、夕方に幼鳥は巢の近辺に帰り親から給餌を受ける(巣立ち後世話期間；Nelson, 1978)。仲ノ神島に生息するカツオドリの巣立ち後世話期間は、1～3 ヶ月間といわれており、その後、幼鳥は 9～11 月に仲ノ神島から渡去し、フィリピン周辺海域へ渡る(沖縄県, 2005)。

### 2.2 調査地

本研究は、カツオドリの集団繁殖地のひとつである沖縄県仲ノ神島にてカツオドリの雛の保護を行い、沖縄県西表島の東海大学沖縄地域研究センター網取施設(以下、網取)にて保護した雛の飼育を行った。仲ノ神島は西表島から南西 15 km(北緯 24°11', 東経 123°34')に位置し、南北の長さ約 300 m、東西の長さ約 1550 m の無人島である(図 2)。仲ノ神島では 1980 年頃まで島で繁殖する鳥類に対して大規模な卵や鳥の採取が行われ、深刻な攪乱を受けていたが(河野ら, 1986)、1972 年に海鳥の繁殖地として国の天然記念物に指定され(仲ノ神島海鳥繁殖地)、島への上陸が制限されることで、個体数が増加・安定している(沖縄県, 2005)。現在では、カツオドリは約 500 巢の繁殖が確認されている(Kohno & Ota, 1991)。仲ノ神島ではカツオドリの他にも、クロアジサシ *Anous stolidus*、セグロアジサシ *Sterna fuscata*、マミジロアジサシ *Sterna anaethetus*、アナドリ *Bulweria bulwerii*、オオミズナギドリ *Calonectris leucomelas* が繁殖を行っている。

### 2.3 保護・飼育

本研究では、2009 年 5 月 17 日と 2010 年 5 月 5 日に、仲ノ神島にて巢外に追い出されたカツオドリの雛を各年 3 羽ずつ(2009 年：Taigo、Masaki、Taketo；2010 年：Shou、Tomoya、Miu)保護した。保護した雛は、それぞれの嘴峰長と自然翼長から 4～19 日齢と推定し(河野, 未発表)、渡去するまで網取にて飼育を行った。飼育を行うことによって、飼育個体は飼育者を親と認識した。なお、著者は 2010 年 5 月から 11 月に飼育および調査を行った。

保護直後の雛は体温調節ができないため、綿羽が生えそろうまでの間、屋内で段ボール製ケージにて、保温マットとひよこ電球により温度管理を行った。綿羽の生え具合によって徐々に屋外ケージに出す時間を増やし、また、屋内では成長に合わせてケージの大きさを変えていった。2009 年は飼育開始から 1 ヶ月目以降、2010 年は飼育 27 日目以降に、終日屋外ケージにて飼育を行った。また、2009 年は飼育開始から 1 ヶ月半以降、2010 年は飼育 34 日目以降の日中は、屋外ケージの入口を開放し自由に行動できる環境を作った。なお、台風接近による悪天候時には室内に移した。

飼育期間中、飼育地周辺のサンゴ礁域でノコギリダイ *Gnathodentex aureolineatus* やニジハタ *Cephalopholis urodeta* 等のサンゴ礁性魚種を捕獲し、餌として与えた。仲ノ神島で繁殖するカツオドリは、仲ノ神島の北東 15 ~ 30 km、西表島の沖合 3.5 ~ 5.5 km 付近や仲ノ神島周辺と西表島・仲ノ神島間の海峡の中で採餌している様子が観察されている(岸本 & 河野, 1989)。そこで、カツオドリが本来給餌しているだろう沿岸域に生息する魚種として、市販の冷凍ムロアジ *Decapterus muroadsi* も 3 日に 1 回程度与えた。2009 年は飼育 35 日目まで、2010 年は飼育 45 日目までは、朝・昼・夕の 1 日 3 回、2009 年は飼育 36 日目から巣立ち日まで、2010 年は飼育 46 日目から巣立ち日まで、朝・夕の 1 日 2 回給餌した。巣立ち後は 1 日 1 回、夕方のみ給餌した。飼育期間中は、カツオドリが求めるだけの餌量を与えた。ただし、機器装着終了後から渡去までの期間は、幼鳥の渡去を促すために 2 日に 1 回程度、給餌量を制限する日や絶食日を設けた。

雛の体重および嘴峰長、自然翼長をそれぞれ定期的に計測した。体重は電子天秤(最小目盛 2 g、1600 g 以上は最小目盛 5 g)を使用し、給餌前後と毎朝活動前、毎夕活動後に計測した。また、巣立ち後は幼鳥が自力で採餌を行っている可能性があるため、朝の活動前体重に対する夕方の活動後体重の増減率(以下、体重増減率)を求め、その日に採餌が行われたかどうかを調べた。嘴峰長と自然翼長は、ノギス(最小目盛 0.1 mm)と折り尺(最小目盛 1 mm)を使用し、巣立ち前は毎日、巣立ち後は 5 日に 1 回測定した。

## 2.4 ロガーの装着

幼鳥の巣立ち後、プラスチック製のビデオロガー用台座を頸椎基部に台座の端が位置するように、GPS ロガー用台座を幼鳥の背中中央に、それぞれ接着剤(LOCTITE454, Henkel Japan, 東京)で取りつけた(図 3)。

2009 年飼育個体に対しては、ビデオカメラ LY30(22 g, 19 × 68 mm, Benco, 台湾 ; 図 4-1)を使用した。ビデオロガーの性能は、最大録画時間約 3 時間、解像度 320 × 240 ピクセルで、映像フレーム数は 1 秒毎 25 コマである。また、2010 年飼育個体に対しては、LY30V(22 g, 19 × 68 mm, Benco, 台湾)を使用した。最大録画時間約 2 時間、解像度 736 × 480 ピクセルで、映像フレーム数は 1 秒毎 30 コマである。ビデオロガーの防水性能を高めるために、キャップと本体の隙間にマスティックテープ(強力両面テープ, Holts, 東京)を巻き、その上

から防水テープ(No.4651, 4657, tesa, Germany)を巻いて加工した。その後、結束バンド(INSULOK AB150-W, ヘラマンタイトン, 東京)を用いて台座にビデオロガーを固定するために、電源ボタンと LED ランプの間と、電源ボタンとリセットボタンの間の 2 か所に防水テープを平行になるように巻きつけ、その端に直径 1 cm の円形プラスチック板を挟み、穴をあけた(図 4-2)。

また、2010 年飼育個体に対しては、GPS ロガー、GiPSy(25 g, TechnoSmArt, Italy; 図 5-1)を使用した。本研究では 1 秒間隔で位置情報を記録した。この設定では、約 1.5 日間の記録が可能である。GPS ロガーを保護するため、ロガーをラップフィルムで包み、その後ポリシーラー(P-200, 富士インパルス, 千葉)を用いてポリ袋(それぞれ厚さ 0.1 mm, 0.2 mm)で 2 重に密封した。さらに、幼鳥が GPS ロガーをつつくことによってポリ袋が破れるのを防ぐため、表面部をプラスチック板で覆い防水テープで固定した。また、プラスチック板を固定する際に、防水テープの端に直径 1 cm の円形プラスチック板を挟み、結束バンドで台座に GPS を固定するための穴をあけた(図 5-2)。

ビデオロガー、GPS ロガーは、機器装着日に結束バンドを用いて、それぞれの台座の上に固定した。また、ロガーの回収は結束バンドを切ることで行った。ビデオロガーは、幼鳥の前方の様子を撮影するために、レンズを前方にむけて装着した。この装着方法によって装着個体が飛翔中や飛び込み潜水時には前方の様子を撮影できる(図 6-1)。しかし、着陸中や着水中はレンズ部分が装着個体の後頸により覆われてしまい撮影できない(図 6-2)。

台座、結束バンド、および防水処理を行ったビデオロガーの総重量は 2009 年、2010 年でそれぞれ 23 g、27 g であり、これは 2009 年のビデオ装着日におけるカツオドリの幼鳥の朝活動前体重に対して 1.5 ~ 2.1%、2010 年のビデオ装着日におけるカツオドリの幼鳥の朝活動前体重に対して 1.7 ~ 2.4%の重量であった(表 1-1)。また、台座、結束バンド、および防水処理を行った GPS ロガーの総重量は 32 g であり、これは GPS 装着日におけるカツオドリの幼鳥の朝活動前体重に対して 1.9 ~ 2.8%の重量であった(表 1-2)。機器の重量が体重の 5 %未満であれば、機器装着による影響はないと考えられており(Croll *et al.*, 1992)、本研究で使用したビデオロガー、GPS ロガーはこの条件を満たしていた。

2009 年は巣立ち後 54 ~ 75 日目の幼鳥に対して、ビデオロガーを毎日 1 回または 2 回装着した。装着日は 8 ~ 9 時にビデオロガーを装着してケージを開放し、自由に行動させた。2010 年は巣立ち後 14 ~ 61 日目の幼鳥に対して、ビデオロガーの装着は 2 日に 1 回、GPS ロガーの装着は 5 日に 1 回行い、ビデオロガーと GPS ロガーの装着日が重ならないようにして行った。また、3 羽とも同じ日時に同じ種類のロガーを装着した。装着日は朝のケージ開放前にロガーを装着し、ビデオロガーは撮影中に離巢した場合は帰巢時に、離巢しない場合は装着から 1 時間 30 分後に回収し、GPS ロガーは夕方の給餌前に回収した。2009 年、2010 年とも機器装着期間終了後、渡去する前にそれぞれの台座周辺の羽を切り除き、羽ごと台座を取り外した。

## 2.5 解析

成長に伴う行動発達を調べるため、各解析は巣立ち後月数ごと(巣立ち後 1 ヶ月目：巣立ち後 1～30 日目；巣立ち後 2 ヶ月目：巣立ち後 31～60 日目；巣立ち後 3 ヶ月目：巣立ち後 61～90 日目)で比較を行った。

行動圏面積の計算は、MATLAB7.7.0 (R2008b) Student version(Mathwork)を用いて行い、それ以外の統計解析は、R version 2.9.0(R Development Core Team 2009)を用いて行った。

### 2.5.1 総トリップ長

飼育個体が離巢しているかどうか確認するため、2009 年は、巣立ち後 1 ヶ月目はケージ開放時間中常時、巣立ち後 2 ヶ月目以降は 30～60 分毎に観察を行った。2010 年は、飼育 100 日目まではケージ開放時間中常時、飼育 101 日目以降は 15～60 分毎に観察を行った。さらに、ビデオロガーや GPS ロガーから得られたデータを補足的に用いて 1 回の離巢の長さ(以下、トリップ長)と、1 日に離巢していた合計の時間(以下、総トリップ長)を求めた。巣立ち後経過日数と総トリップ長の関係を調べるために、巣立ち後 2 ヶ月目までのデータで、個体ごとにそれぞれ Pearson の相関係数検定を行った。また、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目、巣立ち後 2 ヶ月目と巣立ち後 3 ヶ月目の総トリップ長を比較するために、個体ごとにそれぞれ Mann-Whitney の U 検定を行った。なお、これらの解析では、離巢しなかった日やその日のうちに帰巢しなかった日のデータは用いなかった。

### 2.5.2 ビデオ解析

ビデオロガーに蓄積されたデータは、ビデオロガー本体にある USB コネクタからパソコンに取り込んだ。取り込んだビデオデータは、2009 年は 3GP 形式、2010 年は AVI 形式で保存した。

記録された映像において 5 分間以上飼育地を離れていたときを離巢とし、離巢中のみを解析対象とした。ビデオロガー装着個体の行動は飛翔・着水・着陸に分け、装着個体の行動とその時刻を 1 秒毎に記録した。また、装着したビデオロガーによって撮影された物体とその時刻を 1 秒毎に記録した。カツオドリが撮影されたときは、撮影された個体が網取で飼育している個体か野生の個体かを判別し、野生の個体の場合は可能な限り、腹部の羽の色から幼鳥か成鳥かを判別した。各離巢について、ビデオロガー装着個体が飛翔していた時間のうちのカツオドリが撮影された時間の割合を求め、さらに、飼育個体が撮影された時間割合と野生個体が撮影された時間割合を求めた。

ビデオロガー装着個体が、着水もしくは着陸している状態から飛翔し、次に着水もしくは着陸するまでの時間を飛翔時間と定義した。また、1 回の飛翔中に、飛翔中のカツオドリが 1 回でも撮影されたときは、撮影されたカツオドリをビデオロガー装着個体が追跡して



いたものとし、このときを追跡飛翔、飛翔中のカツオドリが撮影されなかったときを単独飛翔と定義した。また、追跡飛翔時に撮影された個体を先導者と定義した。そして、巣立ち後月数ごとの単独飛翔時と追跡飛翔時の飛翔時間を比較するために、Mann-Whitney の U 検定を行った。さらに、得られた全データを合わせたときの単独飛翔時と追跡飛翔時の飛翔時間を比較するために、Mann-Whitney の U 検定を行った。また、追跡飛翔時で先導者が幼鳥の時と成鳥の時の飛翔時間を比較するために、Mann-Whitney の U 検定を行った。なお、ビデオ装着個体が飛翔中にビデオ映像が途切れた場合、その飛翔は解析に含めなかった。

2010 年のビデオデータにおいて、飛び込み潜水時とその前後各 5 秒間に撮影されたものを、カツオドリ、他種鳥類、浮遊物、魚類に分けて記録し、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目で比較した。他種鳥類は可能な限り、種の同定を行った。

また、2010 年のビデオデータにおいて、撮影された陸や立標などから装着個体が行動していた位置を推定し、行動圏を推定した。推定した行動圏は、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目に分けて比較した。

### 2.5.3 GPS 解析

GPS ロガーに蓄積されたデータは、ソフトウェア GiPSy(TechnoSmArt, Italy)を用いて、パソコンに取り込んだ。その後、移動経路を Google Earth 5.2.1.1588 (Google, USA)の地図上に表示するため、データを KML ファイルに変換した。

飼育ケージの周辺 300 m 四方から 5 分以上継続して離れていたときを離巢と定義し、離巢中のみを解析対象とした。また、得られた位置情報から離巢中の 1 秒毎の平均速度を求め、求めた全ての速度の頻度分布をヒストグラムに表すと図 7 のようになった。このヒストグラムにおいて、離巢中の速度の頻度分布には 10 km/h 未満と 30 ~ 40 km/h 付近を極大値とした 2 つの山がみられ、これらはそれぞれ、海面もしくは陸上に滞在しているときと飛翔しているときの速度であると考えられる。そこで本研究では、速度が 10 km/h 未満のときを着水もしくは着陸、10 km/h 以上のときを飛翔とし、GPS ロガー装着個体の行動を飛翔と着水・着陸に分けて 1 秒毎に記録した。

各 GPS ロガー装着日における 1 日の行動圏面積を個体ごとに求めた。行動圏面積は、全ての位置情報からそれらの分布様式を凸型多角体で囲む最外郭法により求めた。本研究では外れ値として外側の 5%に含まれる点は用いず、内側の 95%に含まれる点のみを用いた。巣立ち後経過日数と行動圏面積の関係を調べるために、Pearson の相関係数検定を行った。

また、同時刻における GPS ロガー装着個体の位置情報を他の GPS ロガー装着個体のものと比較し、50 m 以内に他の GPS ロガー装着個体がいたと推定されたときを互いに遭遇していたと定義した。そして各離巢で、トリップ長のうちの他の飼育個体と遭遇していた時間の割合(以下、遭遇時間割合)を求めた。遭遇時間割合と巣立ち後経過日数、遭遇時間割

合とトリップ長の間係を調べるため、それぞれ **Pearson** の相関係数検定を行った。さらに、飼育個体 2 個体間で遭遇していた時の各個体の同時刻での行動を 1 秒毎に比較し、各離巢で遭遇時間のうちの行動が一致していた時間の割合(以下、行動同調率)を求めた。なお行動同調率の計算は、遭遇時間が 5 分間以上の離巢のみを用いた。

### 3. 結果

#### 3.1 雛の成長

2009年5月17日に保護した3羽は、それぞれTaigo：2009年7月26日、Masaki：8月4日、Taketo：8月11日に巣立ちし、それぞれTaigo：2009年10月12日、Masaki：10月30日、Taketo：11月5日に離巢後、飼育地に戻ることがなかったため、渡去したと判断した。また、2010年5月5日に保護した3羽は、それぞれShou：2010年7月25日、Tomoya：7月30日、Miu：8月3日に巣立ちし、それぞれShou：2010年10月29日、Tomoya：11月3日、Miu：11月5日に渡去した(表2)。

保護した6羽のうち、最も若い状態で保護したMiuの綿羽から正羽への生え換わりや成長の様子を図8に示した。

飼育個体6羽の給餌量は、保護後は日ごとに増加し、44～78日齢で極大量に達した後、巣立ちに向かって減少傾向を示した(図9)。巣立ち後の給餌量は、再び増加傾向を示した後、6羽とも200～400gの間で日ごとに変動がみられた(表3)。飼育個体6羽の体重は、給餌量により変動がみられ、保護後は日ごとに増加し、58～69日齢で極大値に達した後、巣立ちに向かって減少傾向を示した(図10)。巣立ち後の体重は、給餌量によって日ごとの変動が大きく、巣立ち日の体重に対して、-18.4～28.1%の増減がみられた(表3)。

また、飼育個体6羽の体重増減率は、巣立ち後1ヶ月目は平均 $-9.6 \pm 3.0\%$ ( $n = 167$ )、2ヶ月目は平均 $-8.2 \pm 2.7\%$ ( $n = 174$ )、3ヶ月目は平均 $-5.5 \pm 3.9\%$ ( $n = 149$ )であり、巣立ち後2ヶ月目は巣立ち後1ヶ月目よりも有意に減少率が低く( $U = 10131$ ,  $p < 0.01$ )、巣立ち後3ヶ月目は巣立ち後2ヶ月目よりも有意に減少率が低かった( $U = 7111$ ,  $p < 0.01$ ; 図11)。Taigoが巣立ち後63日目(増減率1.0%)と66日目(13.2%)と69日目(8.1%)、Masakiが81日目(0.5%)、Taketoが67日目(1.9%)、Tomoyaが71日目(4.4%)と76日目(8.7%)には、朝体重に比べて夕体重が増加していたが、それ以外の日では6羽とも夕体重が朝体重を上回ることにはなかった。

飼育個体6羽の嘴峰長と自然翼長は、巣立ちまでに成長が終了した(図12、図13)。巣立ち後の嘴峰長の平均値は、Taigo： $100.6 \pm 0.9$  mm( $n = 21$ )、Masaki： $96.1 \pm 0.7$  mm( $n = 19$ )、Taketo： $104.3 \pm 1.0$  mm( $n = 16$ )、Shou： $107.2 \pm 0.6$  mm( $n = 27$ )、Tomoya： $99.5 \pm 0.9$  mm( $n = 23$ )、Miu： $107.6 \pm 0.7$  mm( $n = 21$ )であった(表3)。また、巣立ち後の自然翼長の平均値は、Taigo： $417.1 \pm 7.7$  mm( $n = 21$ )、Masaki： $392.4 \pm 6.4$  mm( $n = 19$ )、Taketo： $436.5 \pm 12.6$  mm( $n = 15$ )、Shou： $404.4 \pm 4.6$  mm( $n = 27$ )、Tomoya： $387.6 \pm 5.8$  mm( $n = 23$ )、Miu： $404.3 \pm 4.6$  mm( $n = 21$ )であった(表3)。

#### 3.2 ロガーの装着、データの取得

2009年の飼育個体に対するビデオロガーの装着は、Taigoへ巣立ち後64～69日目に4

回、Masaki へ巣立ち後 54 ~ 75 日目に 12 回、Taketo へ巣立ち後 56 ~ 71 日目に 17 回、計 33 回行った(表 4-1)。2010 年の飼育個体に対するビデオロガーの装着は、Shou へ巣立ち後 14 ~ 61 日目に 21 回、Tomoya へ巣立ち後 9 ~ 56 日目に 17 回、Miu へ巣立ち後 14 ~ 55 日目に 17 回、計 55 回行った(表 4-1)。2009 年は全 33 回分のデータ(約 69.9 時間分)から、計 23 回の離巢中の一部もしくはすべてのデータ(約 15.5 時間分)が、2010 年は全 55 回分のデータ(約 69.6 時間分)から、計 31 回の離巢中の一部もしくはすべてのデータ(約 20.8 時間分)が得られた(図 14)。

2010 年の飼育個体に対する GPS ロガーの装着は、Shou へ巣立ち後 17 ~ 41 日目に 6 回、Tomoya へ巣立ち後 12 ~ 46 日目に 8 回、Miu へ巣立ち後 16 ~ 42 日目に 6 回、計 20 回行った(表 4-2)。また、GPS ロガーを装着した全 20 回から、計 40 回分の離巢データが得られた。

### 3.3 解析結果

#### 3.3.1 総トリップ長

本研究では早朝にケージを開放し、夕方給餌後に幼鳥をケージ内に収容したため、離巢可能な時間は日の出から日没までの約 12 時間に限られる。ただし、Taketo が巣立ち後 11 日目と巣立ち後 30 日目、Shou が巣立ち後 35 日目の日中に離巢した後、その日の日没までに帰巢せず、翌日の日中に帰巢したことがあった。このときのトリップ長は、それぞれ 29.0 時間、32.0 時間、22.3 時間であった。

観察、ビデオロガーと GPS ロガーから求めた巣立ち後経過日数に伴う各飼育個体の総トリップ長の変化を示した(図 15)。巣立ち後 2 ヶ月目までで、2010 年に飼育した 3 羽は巣立ち後経過日数に伴い総トリップ長が増大する傾向がみられた(Shou :  $t = 3.66$ ,  $df = 48$ ,  $p < 0.01$  ; Tomoya :  $t = 1.79$ ,  $df = 52$ ,  $p < 0.05$  ; Miu :  $t = 4.51$ ,  $df = 51$ ,  $p < 0.01$ )。一方、Taketo は巣立ち後経過日数に伴い総トリップ長が減少する傾向がみられた( $t = -2.02$ ,  $df = 44$ ,  $p < 0.05$ )。また、Taigo と Masaki は巣立ち後経過日数と総トリップ長の間に相関がみられなかった(Taigo :  $t = 1.44$ ,  $df = 45$ ,  $p = 0.16$  ; Masaki :  $t = 1.32$ ,  $df = 46$ ,  $p = 0.19$ )。

Shou と Miu は、巣立ち後 2 ヶ月目の総トリップ長が巣立ち後 1 ヶ月目より有意に長かった(Shou :  $U = 145.5$ ,  $p < 0.01$  ; Miu :  $U = 163$ ,  $p < 0.01$ )。一方、2009 年に飼育した 3 羽と Tomoya は、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目の総トリップ長に有意な差がみられなかった(Taigo :  $U = 245.5$ ,  $p = 0.54$  ; Masaki :  $U = 218$ ,  $p = 0.16$  ; Taketo :  $U = 298$ ,  $p = 0.44$  ; Tomoya :  $U = 315$ ,  $p = 0.40$ )。また、2009 年に飼育した 3 羽は巣立ち後 3 ヶ月目の総トリップ長が巣立ち後 2 ヶ月目より有意に短かった(Taigo :  $U = 303.5$ ,  $p < 0.01$  ; Masaki :  $U = 415$ ,  $p < 0.01$  ; Taketo :  $U = 300$ ,  $p < 0.01$ )。一方、2010 年の 3 羽では巣立ち後 2 ヶ月目と巣立ち後 3 ヶ月目の総トリップ長に有意な差がみられなかった(Shou :  $U =$

242.5、 $p = 0.51$  ; Tomoya :  $U = 222$ 、 $p = 0.62$  ; Miu :  $U = 196.5$ 、 $p = 0.69$  ; 表 5)。

### 3.3.2 移動経路・行動圏

GPS ロガーにより得られた巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目の移動経路を図 16 に示した。また、2010 年に装着した離巢中のビデオデータから推定した行動圏を図 17 に示した。GPS データから最外郭法により求めた行動圏面積は、巣立ち後 1 ヶ月目には平均  $10.8 \pm 6.7 \text{ km}^2$  ( $n = 10$ )、巣立ち後 2 ヶ月目には平均  $41.5 \pm 30.3 \text{ km}^2$  ( $n = 9$ ) となり(表 6)、巣立ち後経過日数に伴い行動圏面積が拡大する傾向がみられた( $t = 2.58$ ,  $df = 17$ ,  $p < 0.01$ )。

### 3.3.3 他のカツオドリとの遭遇

2009 年の飼育個体に装着したビデオロガーから得られた 23 回の離巢データのうち 18 回、2010 年の飼育個体に装着したビデオロガーから得られた 31 回の離巢データのうち 25 回で、他の飼育個体や野生のカツオドリを追跡飛翔していたり、着水中や立標などの人工物で休息中のカツオドリが撮影された。得られたビデオデータから求めたカツオドリが撮影された時間割合は、2009 年の飼育個体から得られたデータでは、巣立ち後 2 ヶ月目では平均  $5.4 \pm 5.0\%$  ( $n = 5$ )、巣立ち後 3 ヶ月目では平均  $3.1 \pm 3.8\%$  ( $n = 18$ ) であった。2010 年の飼育個体から得られたデータでは、巣立ち後 1 ヶ月目では平均  $9.8 \pm 17.3\%$  ( $n = 12$ )、巣立ち後 2 ヶ月目では平均  $6.8 \pm 5.6\%$  ( $n = 18$ )、巣立ち後 3 ヶ月目では  $22.0\%$  ( $n = 1$ ) であった(図 18、表 7)。また、2010 年のビデオデータで映ったカツオドリは、巣立ち後 1 ヶ月目には飼育個体のみであったが、巣立ち後 2 ヶ月目は 18 データ中 13 回で野生のカツオドリが撮影された(図 19、表 8-1、表 8-2)。

GPS データから得られた 3 羽の移動経路を装着日ごとに示した(図 20-1 ~ 図 20-8)。GPS から得られた 40 回の離巢データのうち 23 回において、離巢中の一部または離巢中全体で、飼育個体同士で遭遇して行動している様子が記録された。GPS ロガーによって記録された各離巢における飼育個体同士での遭遇時間割合は、巣立ち後 1 ヶ月目では平均  $25.8 \pm 37.1\%$  ( $n = 23$ )、巣立ち後 2 ヶ月目では平均  $36.7 \pm 35.9\%$  ( $n = 17$ ) であった(表 9)。巣立ち後経過日数と遭遇時間割合の間に相関はみられなかったが( $t = 1.18$ ,  $df = 38$ ,  $p = 0.25$ )、トリップ長が長いほど遭遇時間割合が低くなる傾向がみられた( $t = -2.37$ ,  $df = 38$ ,  $p < 0.05$ )。また、飼育個体 2 個体間での遭遇が確認された GPS データから求めた行動同調率は、平均  $88.1 \pm 7.5\%$  ( $73.0 - 98.1\%$ ,  $n = 16$ ) であり、遭遇時には高い割合で行動を同調させていた(図 21)。

### 3.3.4 追跡飛翔

2009 年、2010 年のビデオデータで、巣立ち後月数ごとの単独飛翔時と追跡飛翔時の飛翔時間はそれぞれ、巣立ち後 1 ヶ月目には平均  $36.9 \pm 78.3$  秒( $n = 196$ )と平均  $45.7 \pm 93.9$  秒( $n = 48$ )、巣立ち後 2 ヶ月目には平均  $54.0 \pm 163.7$  秒( $n = 357$ )と平均  $174.5 \pm 303.0$  秒( $n = 95$ )、

巣立ち後 3 ヶ月目には平均  $35.4 \pm 90.0$  秒 ( $n = 290$ ) と平均  $133.6 \pm 214.5$  秒 ( $n = 92$ ) であった。巣立ち後 1 ~ 3 ヶ月目の全ての期間で、追跡飛翔時の方が単独飛翔時よりも有意に長かった (巣立ち後 1 ヶ月目 :  $U = 3837.5$ ,  $p < 0.05$  ; 巣立ち後 2 ヶ月目 :  $U = 10466.5$ ,  $p < 0.01$  ; 巣立ち後 3 ヶ月目 :  $U = 6466$ ,  $p < 0.01$ )。また、巣立ち後 1 ~ 3 ヶ月目の全データでは、単独飛翔時の飛翔時間は平均  $43.6 \pm 124.9$  秒 ( $n = 843$ )、追跡飛翔時の飛翔時間は平均  $132.2 \pm 242.5$  秒 ( $n = 235$ ) であり、追跡飛翔時は単独飛翔時よりも飛翔時間が有意に長かった ( $U = 60190.5$ ,  $p < 0.01$  ; 図 22)。

2010 年のビデオデータで、野生個体が映ったのが巣立ち後 2 ヶ月目になってからだったことから、成鳥と遭遇したのは巣立ち後 2 ヶ月目以降であると仮定した。2009 年、2010 年の巣立ち後 2 ヶ月目以降のビデオデータで、先導者が幼鳥のときの飛翔時間は平均  $150.2 \pm 216.1$  秒 ( $n = 45$ )、先導者が成鳥のときの飛翔時間は平均  $408.3 \pm 477.8$  秒 ( $n = 14$ ) であり、先導者が成鳥のときの方が幼鳥のときよりも飛翔時間が有意に長かった ( $U = 163.5$ ,  $p < 0.01$  ; 図 23)。

### 3.3.5 飛び込み潜水地点付近での遭遇物

2010 年のビデオデータで、巣立ち後 1 ヶ月目に 186 回、巣立ち後 2 ヶ月目に 275 回、巣立ち後 1 ~ 3 ヶ月目で 461 回の飛び込み潜水が記録された。飛び込み潜水時に撮影された物は、巣立ち後 1 ヶ月目ではカツオドリ 53 回 (全遭遇物の 27.5%)、カツオドリ以外の鳥類 15 回 (7.8%)、海藻・木の葉・枝などの浮遊物 19 回 (9.8%)、魚類 3 回 (1.6%) であり、103 回 (53.4%) は何も撮影されなかった。巣立ち後 2 ヶ月目ではカツオドリ 73 回 (24.2%)、カツオドリ以外の鳥類 38 回 (12.8%)、浮遊物 40 回 (13.5%)、魚類 5 回 (1.7%) であり、137 回 (46.1%) は何も撮影されなかった。巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目で飛び込み潜水時に撮影されたものの割合に大きな変化は見られなかった (図 24-1)。

2010 年の全ビデオデータで飛び込み潜水時に撮影されたものは、カツオドリ 126 回 (25.8%)、カツオドリ以外の鳥類 53 回 (10.8%)、浮遊物 59 回 (12.1%)、魚類 8 回 (1.6%) であり、243 回 (49.7%) は何も撮影されなかった (図 24-2)。また、カツオドリ以外の鳥類が撮影された 53 回のうち、32 回はクロアジサシ、4 回はオオミズナギドリ、1 回はエリグロアジサシ *Sterna sumatrana* であり、19 回は同定できなかった。なお、オオミズナギドリが撮影された 4 回のうち 2 回とエリグロアジサシが撮影された 1 回の計 3 回は、同時にクロアジサシも撮影された。

## 4. 考察

### 4.1 飼育・機器装着による飼育個体への影響

飼育個体 6 羽の体の各部位は自然繁殖下におけるカツオドリの雛の成長様式(Nelson, 1978)と同様に成長した。また、飼育個体の 88 ~ 96 日齢での巣立ち、167 ~ 192 日齢での渡去は、仲ノ神島における野生下の巣立ち日齢、渡去日齢(それぞれ約 100 日齢、巣立ち後約 1 ~ 3 ヶ月 ; 沖縄県, 2005)と同様であった。よって、飼育個体は野生下のカツオドリと同様に成長したと考えられる。巣立ち後の飼育個体は、飼育地において飼育者以外の人に自ら近づいたり、2009 年の飼育個体から得られたビデオデータで、船舶に滞在したり、船舶上で魚をもらっている様子が撮影された。これらのことから、長期の飼育により人に慣れてしまった可能性があり、野生のカツオドリの幼鳥とは異なる行動をとった可能性がある。しかし、一般にカツオドリの幼鳥は警戒心が弱いため、この問題については議論しがたい。

ビデオロガーや GPS ロガーは装着日の各個体の体重の 1.6 ~ 2.7% であり、装着個体の体重の 5% 未満であった。よって、各機器の装着による飼育個体の行動への影響は小さかっただろうと考えられる。

### 4.2 飛翔技術・採餌技術の発達

2005 年、2006 年、2008 年に本研究と同様の方法で飼育したカツオドリの幼鳥 7 羽のうち 6 羽は、巣立ち後経過日数に伴って総トリップ長を伸ばす傾向がみられた(菅原, 未発表 ; 秋間 & 久須美, 未発表)。本研究で 2010 年に飼育した 3 羽も、これと同様に、巣立ち後経過日数に伴って総トリップ長を伸ばした。しかし、Taigo と Masaki は、巣立ち後経過日数と総トリップ長の間に相関はみられず、Taketo は巣立ち後経過日数に伴って総トリップ長が減少する傾向がみられた。また、2009 年に飼育した 3 羽は、巣立ち後 3 ヶ月目の総トリップ長が、巣立ち後 2 ヶ月目よりも有意に短かった。このように 2009 年に飼育した 3 羽は、先行研究の 6 羽や 2010 年に飼育した 3 羽とは異なる傾向がみられた。これは 2009 年に飼育した 3 羽が、先行研究の 6 羽や本研究の 2010 年に飼育した 3 羽よりも早い段階で長時間の離巢をするようになったことによると考えられる。巣立ち後 1 ヶ月目の総トリップ長の最大値は、先行研究の 6 羽と 2010 年に飼育した 3 羽では平均  $7.3 \pm 2.1$  時間(3.8 - 10.0,  $n = 9$ )であった。これに対して、2009 年の 3 羽では平均  $10.2 \pm 1.0$  時間(9.6 - 11.3,  $n = 3$ )であり、巣立ち後 1 ヶ月目にはすでに、総トリップ長がほぼ最大(約 12 時間)となった。また、2009 年に飼育した 3 羽にとって巣立ち後 2 ヶ月目の後半から巣立ち後 3 ヶ月目に当たる 10 月は、台風の接近や北寄りの強い季節風が吹き、離巢しない日や短時間の離巢しかしない日が頻繁にあった。2009 年に飼育した 3 羽は、これらの原因により先行研究の 6 羽や 2010 年に飼育した 3 羽とは異なる傾向がみられたのだろうと考えられる。

2010 年の飼育個体 3 羽は、巣立ち後経過日数に伴い行動圏面積が拡大し、先行研究(菅原, 未発表; 秋間 & 久須美, 未発表)と同様の結果を示した。また、2010 年の飼育個体から得られたビデオデータで、巣立ち後 1 ヶ月目に映ったカツオドリは他の飼育個体のみであったのに対し、巣立ち 2 ヶ月目以降は野生個体とも遭遇するようになった。これは行動圏の拡大によるものだと考えられる。

体重増減率は、飼育個体 6 羽ともほとんどの日で負の値をとり、巣立ち後 1、2 ヶ月目には夕体重が朝体重を上回る日はなかったことから、巣立ち後世話期間中には十分な量を採餌することができていないことが示唆される。このような傾向は先行研究でも示されており(菅原, 未発表; 秋間 & 久須美, 未発表)、仲ノ神島に初帰還するカツオドリの生残率(約 30%)が成鳥の年生残率(約 90%)と比べて低い(河野, 1995)ことの原因であると考えられる。また、2010 年にビデオカメラを装着した個体の飛び込み地点付近で魚が撮影されたのは飛び込み潜水をした 461 回中 8 回だけであり、飛び込み時に餌生物が映ることはほとんどなかった。また、この 8 回で採餌した様子は見られなかった。これらのことから、巣立ち後世話期間中のカツオドリの幼鳥は、餌生物を見つけられていない、もしくは見つけられても採餌できていないことが示唆される。しかし、巣立ち後 3 ヶ月目以降には夕体重が朝体重を上回る日もあり、また、巣立ち後月数を経るに伴い体重減少率は低くなったことから、採餌技術が発達した可能性がある。約 4 ヶ月間の巣立ち後世話期間を持つアカアシカツオドリ *Sula sula* の幼鳥は、巣立ち後 2 ヶ月目までの期間はほとんど採餌できていないが、巣立ち後 3 ヶ月目以降になると自力で採餌できることが多くなり、その後独立することが知られている(Guo *et al.*, 2010)。本研究で飼育したカツオドリは、成鳥にははるかに劣るものの、飛翔技術や採餌技術を発達させ、独立したのだろうと考えられる。

#### 4.3 個体間相互作用と技術発達の関係

2009 年、2010 年の飼育個体から得られたビデオデータと GPS データで、飼育個体のうち 2 羽、もしくは 3 羽で一緒に離巢し、行動する様子が記録され、飼育個体同士で遭遇した時の行動同調率は高かった。GPS データから求めた飼育個体同士での遭遇時間割合はトリップ長が長いほど低くなる傾向があり、また、飼育個体同士で遭遇している場所は飼育地の周辺であることがほとんどだった。つまり、飼育個体同士での同調行動は、飼育地周辺で短時間の離巢時に行われていたことが多かった。仲ノ神島で繁殖するカツオドリの採餌場所(岸本 & 河野, 1989)は、本研究の飼育個体同士での同調行動がみられた海域よりさらに沖合であることから、採餌場所についての情報を共有して一緒に離巢したり、共同採餌をしようとしているわけではないだろうと考えられる。飼育個体同士で一緒に離巢し、行動を同調させた理由として考えられるのが、採餌練習と危険回避である。セグロアジサシやベニアジサシ *Sterna dougallii* の幼鳥は、繁殖地のそばで採餌練習をする様子が頻繁に観察されており、これによって飛翔に必要な筋肉を発達させたり、採餌技術を発達させた



りすると考えられている(Feare, 1975 ; Shealer & Kress, 1994)。また、一般に幼鳥は捕食される危険性が高く(Nelson, 1978 ; Davis & Fisher, 2009)、集団を形成することで捕食者対策ができるだろうと考えられる。アデリーペンギンの成鳥の同調潜水(Takahashi *et al.*, 2003)が捕食者対策となることが示唆されているように、本研究で見られたカツオドリの幼鳥同士の同調行動も、集団を形成することでサメなどの大型肉食魚からの危険を回避しつつ、採餌練習を行っているのだろうと考えられる。

また本研究では、カツオドリの幼鳥が単独飛翔している時より他のカツオドリを追跡している時の方が長時間の飛翔をし、さらに幼鳥を追跡している時よりも成鳥を追跡している時の方が長時間の飛翔することを示した。海鳥では若い個体が年長の個体を追跡して採餌場所に行くという行動が知られており(Löfgren, 1985)、他のカツオドリ、特に経験が豊富な成鳥を追跡することにより、採餌場所に関する情報を得ることができるのだろうと考えられる。また、他のカツオドリを追跡して採餌場所に行くことで、長距離の飛翔をするのに必要な筋肉が発達し、効率的な飛翔技術の発達(Yoda *et al.*, 2004)や行動圏の拡大(Kohno & Yoda, in prep.)の一助となっているのかもしれない。

2010年のビデオデータで、他のカツオドリやクロアジサシが撮影された周辺で飛び込むことが多く、このことからカツオドリの幼鳥は、他のカツオドリやクロアジサシを採餌の手掛かりとしていることが考えられる。クロアジサシは仲ノ神島での繁殖が確認されており(河野ら, 1986)、撮影されたクロアジサシは仲ノ神島で繁殖している個体だろうと考えられる。カツオドリとクロアジサシはともに、カツオ *Katsuwonus pelamis* などの大型回遊魚に追い上げられた小魚を飛び込み潜水により捕食し(Nelson, 1978 ; 河野ら, 1986)、さらに、仲ノ神島で繁殖するカツオドリとクロアジサシの採餌種の中には共通しているものがある(岸本 & 河野, 1989)。前述したように、巣立ち後世話期間中のカツオドリの幼鳥はほとんど採餌できていないだろうと思われるが、他のカツオドリやクロアジサシを手掛かりとすることで、間接的に餌を発見することができ、さらに、採餌技術を発達させる一助となるのかもしれない。海鳥では他の個体を手掛かりとすることで、採餌技術や餌選択を学習する機会となると考えられている(Löfgren, 1985)。採餌能力の低い幼鳥にとって、同種他個体や他種の個体を手掛かりとして採餌することは、採餌成功率を高め、採餌技術を発達させることにつながると示唆される。

## 5. 謝辞

本研究の機会を与えてくださり、研究計画から論文作成に至るまで、ご教示とご鞭撻を賜りました名古屋大学環境学研究科、依田憲准教授、また、西表島や仲ノ神島でのフィールドワークの実施や長期間の滞在をサポートしてくださりました東海大学沖縄地域研究センター、河野裕美准教授に心から感謝いたします。

本研究は、西表島の東海大学沖縄地域研究センターにおける長期滞在によって行うことができました。滞在中、東海大学沖縄地域研究センター技術員、崎原健氏、水谷晃氏には研究面、生活面において多くの助言を頂きました。

東海大学海洋学研究科の村越未来氏、東海大学海洋学部の山岸洋樹氏とは、ともにカツオドリの親として飼育を行い、互いに意見を出し合いながら研究を行いました。また、西表島での滞在中に出会った多くの方々から様々なご意見を頂きました。飼育やロガー装着にあたり、ご理解・ご協力頂きました西表島の皆様、西表島で共に生活し研究活動を行った皆様、卒業論文作成にあたり有益な助言、サポートを賜りました名古屋大学環境学研究科の諸先輩方に心より御礼申し上げます。

最後に、本研究での飼育によって野生復帰を果たした 6 羽のカツオドリ、Taigo、Masaki、Taketo、Shou、Tomoya、Miu が厳しい野生生活を乗り越え、再び仲ノ神島に帰還することを願っています。

## 6. 引用文献

- Ashmole, N.P. & Tovar, H. (1968) Prolonged parental care in royal terns and other birds. *Auk* **85**, 90-100.
- Biro, D., Sumpter, D.J.T., Meade, J. & Guilford, T. (2006) From compromise to leadership in pigeon homing. *Current Biology* **16**, 2123-2128.
- Brown, C.R. (1986) Cliff swallow colonies as information centers. *Science* **234**, 83-85.
- Croll, D.A., Gaston, A.J., Burger, A.E. & Konnoff, D. (1992) Foraging behavior and physiological adaptation for diving in thick-billed murres. *Ecology* **73**, 344-356.
- Davis, S.K. & Fisher, R.J. (2009) Post-fledging movements of Spargue's pipit. *Wilson Journal of Ornithology* **121**(1), 198-202.
- Fauchald, P. (2009) Spatial interaction between seabirds and prey : review and synthesis. *Marine Ecology Progress Series* **391**, 139-151.
- Feare, C.J. (1975) Post-fledging parental care in crested and sooty terns. *Condor* **77**(3), 368-370.
- Gémillet, D., Enstipp, M.R., Boudiffa, M. & Liu, H. (2006) Do cormorants injure fish without eating them? An underwater video study. *Marine Biology* **148**, 1081-1087.
- Guo, H., Cao, L., Peng, L., Zhao, G. & Tang, S. (2010) Parental care, development of foraging skills, and transition to independence in the red-footed booby. *Condor* **112**(1), 38-47.
- 岸本浩和 & 河野裕美 (1989) 仲ノ神島(琉球列島)で繁殖中の海鳥類の食餌動物. 東海大学海洋研究所研究報告 **10**, 43-64.
- 河野裕美, 安部直哉, 真野徹 (1986) 仲の神島の海鳥類, 山階鳥類研究報告 **18**, 1-27.
- Kohno, H. & Ota, H. (1991) Reptiles in a seabird colony : herpetofauna of Nakanokamishima Island of the Yaeyama group, Ryukyu Archipelago. *Island Studies in Okinawa* **9**, 73-89.
- 河野裕美 (1995) 仲ノ神島の海鳥をみつめて 特にカツオドリの繁殖と個体群の現状について, 沖縄生物学会第 32 回講演要旨集, 16.
- Krause, J. & Ruxton, G.D. (2002) *Living in groups*. Oxford University Press, Oxford.
- Löfgren, L. (1985) オーシャンバード 海鳥の世界, 旺文社, 東京.
- Maransky, B.P. & Bildstein, K.L. (2001) Follow your elders: age-related differences in the migration behavior of broad-winged hawks at Hawk Mountain Sanctuary, Pennsylvania. *Wilson Bulletin* **113**(3), 350-353.
- Moll, R.J., Millsbaugh, J.J., Beringer, J., Sartwell, J. & He, J. (2007) A new 'view' of

- ecology and conservation through animal-borne video system. *Trends in Ecology and Evolution* **22**, 660-668.
- Nagy, M., Akos, Z., Biro, D. & Vicsek, T. (2010) Hierarchical group dynamics in pigeon flocks. *Nature* **464**, 890-893.
- Nelson, J.B. (1978) *The Sulidae : gannets and boobies*. Oxford University Press, Oxford.
- 日本バイオロギング研究会 (2009) バイオロギング—最新科学で解明する動物生態学. 京都通信社, 京都.
- 沖縄県 (2005) 改訂・沖縄県の絶滅のおそれのある野生生物 (動物編) レッドデータおきなわ, 沖縄県文化環境部自然保護課, 那覇.
- Sakamoto, K.Q., Takahashi, A., Iwata, T. & Trathan, P.N. (2009) From the eye of the albatrosses: a bird-borne camera shows an association between albatrosses and a killer whale in the Southern Ocean. *Plos One* **4(10)**, e7322.
- Shealer, D.A. & Kress, S.W. (1994) Post-breeding movements and prey selection of roseate terns at Stratton Island, Maine. *Journal of Field Ornithology* **65**, 349-362.
- Takahashi, A., Sato, K., Nishikawa, J., Watanuki, Y. & Naito, Y. (2003) Synchronous diving behavior of Adélie penguins. *Journal of Ethology* **22**, 5-11.
- Takahashi, A., Sato, K., Naito, Y., Dunn, M.J., Trathan, P.N. & Croxall, J.P. (2004) Penguin-mounted cameras glimpse underwater group behavior. *Proceedings of the Royal Society London B* **271**, S281-S282.
- 高橋晃周 & 依田憲 (2010) バイオロギングによる鳥類研究. *日本鳥学会誌* **59(1)**, 3-19.
- Ward, P. & Zahavi, A. (1973) The importance of certain assemblages of birds as 'information-centres' for food finding. *Ibis* **115**, 517-534.
- Yoda, K., Kohno, H. & Naito, Y. (2004) Development of flight performance in the brown booby. *Proceedings of the Royal Society London B* **271**, S240-S242.
- Yoda, K., Kohno, H. & Naito, Y. (2007) Ontogeny of plunge diving behaviour in brown boobies : application of a data logging technique to hand-raised sea birds. *Deep-Sea Research part II* **54**, 321-329.

## 7. 図表

### 図 1 カツオドリ *Sula leucogaster*

腹に褐色斑があるのが幼鳥（左）。斑がなく、腹が白いのが成鳥（右）。

### 図 2 調査地周辺地図

### 図 3 台座取り付け後のカツオドリ幼鳥

丸で囲った部分にあるのが取り付け台座。ビデオロガー用台座（左）は、頸椎の基部に台座の端が来るように取り付けた。GPS ロガー用台座（右）は、背中の中央に位置するように取り付けた。

### 図 4-1, 4-2 ビデオロガー

2010 年に使用したビデオロガー。ビデオロガーは防水加工した後、結束バンドを用いて台座へ装着するための加工をした。

### 図 5-1, 5-2 GPS ロガー

2010 年に使用した GPS ロガー。GPS ロガーは防水加工した後、結束バンドを用いて台座へ装着するための加工をした。

### 図 6-1, 6-2 ビデオロガーを装着したカツオドリとその時の映像

飛翔時や飛び込み潜水は装着個体の頭の一部が撮影画面に映ることもあるが、前方の様子を撮影できる。一方、着陸時や着水時はカメラのレンズ部分が装着個体の後頸により覆われてしまい、撮影できない。

### 図 7 離巢中 1 秒間毎の平均速度分布

離巢中の連続する 2 点から 1 秒間の平均速度を求め、求めた全ての速度の頻度分布をヒストグラムに表した。（ $n = 224697$ ）

### 図 8 飼育カツオドリ(Miu)の成長の様子

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の中で、最も若い状態で保護した Miu の体の各部位の成長の様子と綿羽から正羽への生え換わりの様子を示した。

### 図 9 日齢に伴う給餌量の変化

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の日齢に伴う 1 日の総給餌量の変化を示した。

### 図 10 日齢に伴う体重の変化

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の日齢に伴う朝活動前体重の変化を示した。

### 図 11 巣立ち後経過日数に伴う体重増減率の変化

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の巣立ち後経過日数に伴う体重増減率の変化を示した。体重増減率は、朝活動前体重に対する夕方給餌前の体重の増減率を表す。つまり、体重増減率が正の値を取れば、その日の朝体重より夕体重が増えたことを、負の値を取れば、その日の朝体重より夕体重が減ったことを表す。

### 図 12 日齢に伴う嘴峰長の成長

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の日齢に伴う嘴峰長の変化を示した。

図 13 日齢に伴う自然翼長の成長

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の日齢に伴う自然翼長の変化を示した。

図 14 ビデオロガーによって撮影された映像

(a)他のカツオドリとほぼ同時に飛び込み潜水をしたとき。(b)追跡飛翔中、先導者が飛び込み潜水を行ったとき。(c)着水中に撮影された他のカツオドリ。着水時や着陸時であっても、羽づくろいなどのために頭をさげた瞬間に前方の様子が撮影されることもある。(d)追跡飛翔時。先導する 2 羽は背中にビデオロガーが装着されており、飼育個体であることが分かる。(e)追跡飛翔時。腹の羽の色から先導者は成鳥であると判断できる。(f)クロアジサシの採餌群。(g)クロアジサシ。(h)着水中のオオミズナギドリの群れ。

図 15 巣立ち後経過日数に伴う総トリップ長の変化

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の巣立ち後経過日数に伴う総トリップ長の変化を示した。総トリップ長は観察、GPS ロガー、ビデオロガーにより得られたデータから求めた。なお、離巢しなかった日とその日のうちに帰巢しなかった日のデータは除いた。

図 16 GPS データから求めた移動経路

2010 年に飼育した 3 羽に装着した GPS ロガーのデータから移動経路を求め、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目で比較した。移動経路は赤線で表した。

図 17 ビデオデータから推定した行動圏

2010 年に飼育した 3 羽に装着したビデオロガーの映像で、映った陸や人工物から装着個体の位置を推定し、行動圏を推定した。推定した行動圏は、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目で比較した。行動圏は黄線で囲った部分。

図 18 ビデオデータから求めた巣立ち後経過日数に伴うカツオドリが映った時間割合の変化

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽に装着したビデオロガーの映像から各離巢ごとに他のカツオドリが映った時間割合を求めた。赤い正方形の点は 2009 年飼育個体、青い菱形の点は 2010 年飼育個体から得られたカツオドリが映った時間割合を表す。

図 19 ビデオデータから求めた巣立ち後経過日数に伴う野生カツオドリ、飼育カツオドリが映った時間割合の変化

2010 年に飼育した 3 羽に装着したビデオロガーの映像から、撮影されたカツオドリが飼育個体か野生個体に分けて、各離巢で飼育個体が映った時間割合と野生個体が映った時間割合を求めた。青い菱形の点は飼育個体と遭遇時間割合、赤い正方形の点は野生個体との遭遇時間割合を表す。

図 20-1 ~ 20-8 GPS ロガー装着日ごとの移動経路

2010 年に飼育した 3 羽に装着した GPS ロガーにより得られた各個体の移動経路を、装着日ごとに比較した。青線、黄線、赤線はそれぞれ、Shou、Tomoya、Miu の移動経路を表す。

図 21 飼育個体同士で遭遇時の同調行動

2010 年に飼育した 3 羽に装着した GPS ロガーから得られたデータで、飼育個体同士での遭遇が確認されたものについて、1 秒毎に行動（飛翔と着水・着陸）を記録し、同時刻での他の飼育個体と行動を比較し、行動同調率を求めた。行動の 1 は飛翔を、0 は着水もしくは着陸を表す。青い正方形の点が Shou の行動、黄色の菱形の点が Tomoya の行動を表し、遭遇時には同時刻で点が重なっていることが多いことから、同調率が高いことが分かる。なお図は、2010 年 8 月 15 日の Shou と Tomoya の行動を 10 秒毎に比較したものである。

図 22 単独飛翔時・追跡飛翔時の飛翔時間

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽に装着したビデオロガーの映像から、単独飛翔時と追跡飛翔時の飛翔時間を比較し、箱髭図に表した。

図 23 先導者が幼鳥の時、成鳥の時の飛翔時間

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽に装着したビデオロガーの映像から、追跡飛翔時の先導者が幼鳥の時と成鳥の時の飛翔時間を比較し、箱髭図に表した。

図 24-1, 24-2 飛び込み潜水地点付近で撮影された物

2010 年に飼育した 3 羽に装着したビデオロガーの映像から、飛び込み潜水する前後 5 秒に撮影されたものを記録した。映ったものの総数のうちカツオドリ、カツオドリ以外の鳥類、浮遊物、魚類が映った割合と何も映らなかった割合をそれぞれ求め、巣立ち後 1 ヶ月目と巣立ち後 2 ヶ月目で比較した。また、2010 年の全データ(巣立ち後 1 ~ 3 ヶ月目)での総数と映ったものの割合を記録した。添え字はそれぞれのものが映った割合を表す。



カツオドリ幼鳥



カツオドリ成鳥

図 1 カツオドリ *Sula leucogaster*



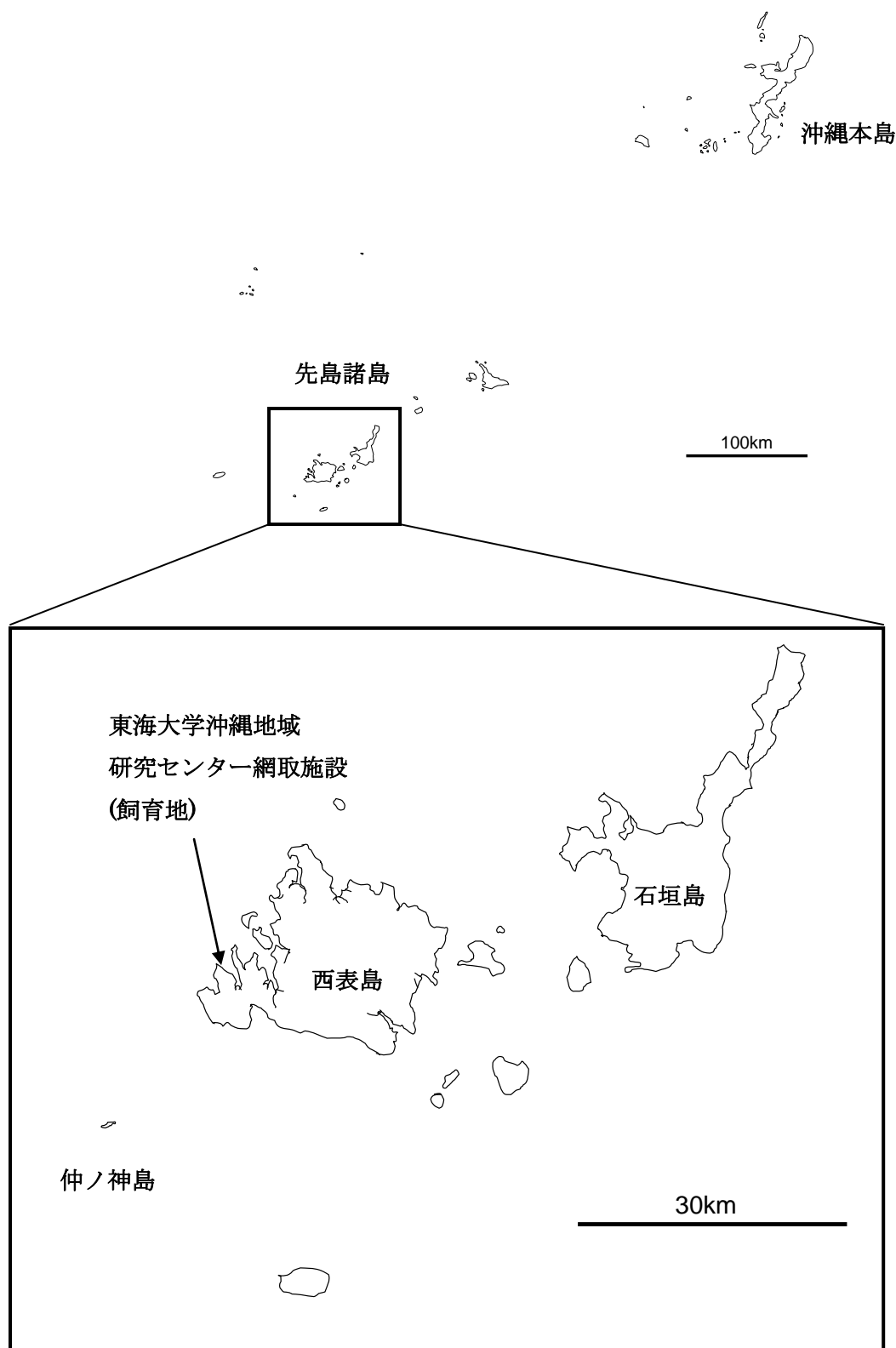


図 2 調査地周辺地図

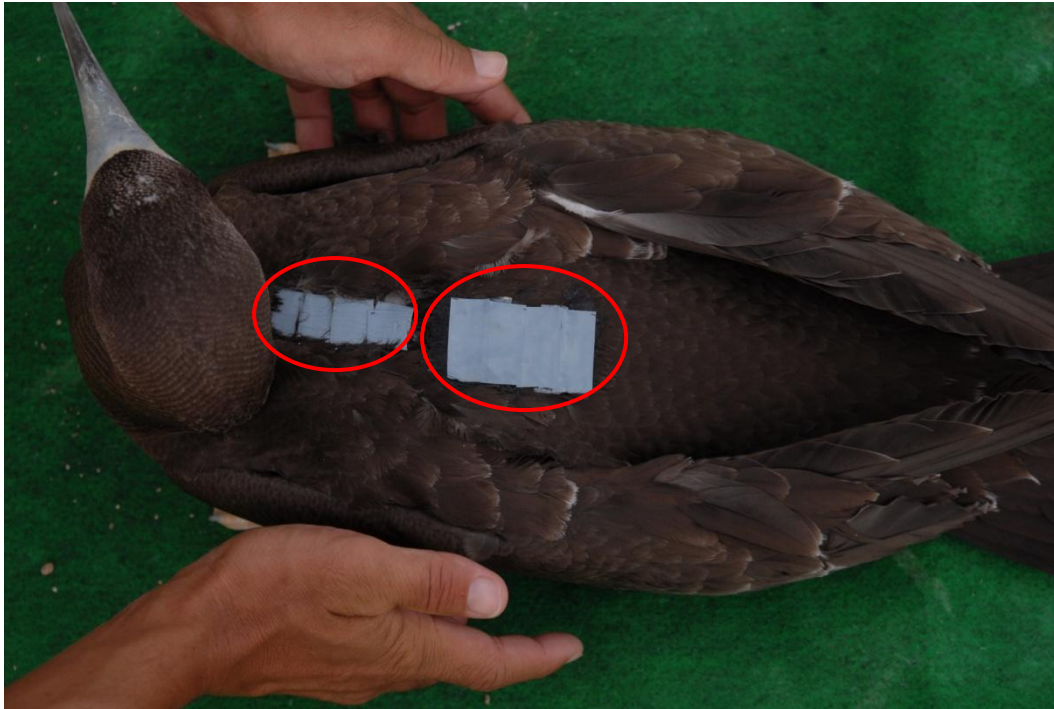


図 3 台座取り付け後のカツオドリ幼鳥



図 4-1 ビデオロガー



図 4-2 加工後のビデオロガー

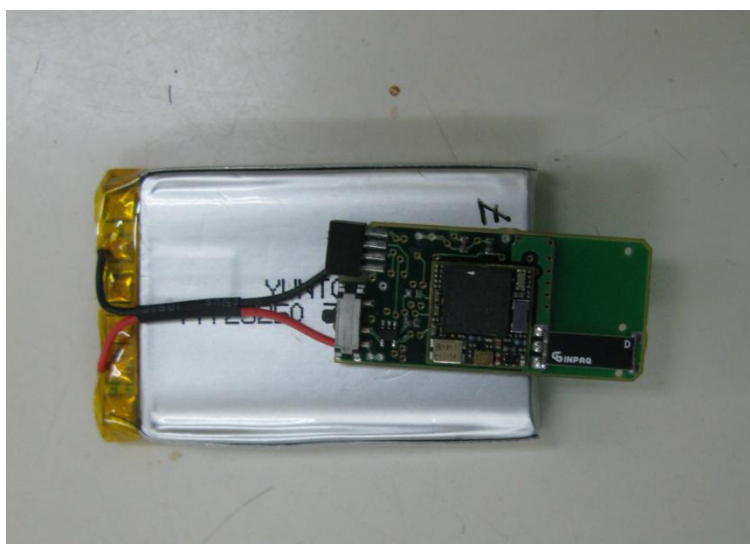


図 5-1 GPS ロガー



図 5-2 加工後の GPS ロガー



図 6-1 ビデオロガーを装着したカツオドリ幼鳥(飛翔時)とその時の映像



図 6-2 ビデオロガーを装着したカツオドリ幼鳥(着陸時)とその時の映像

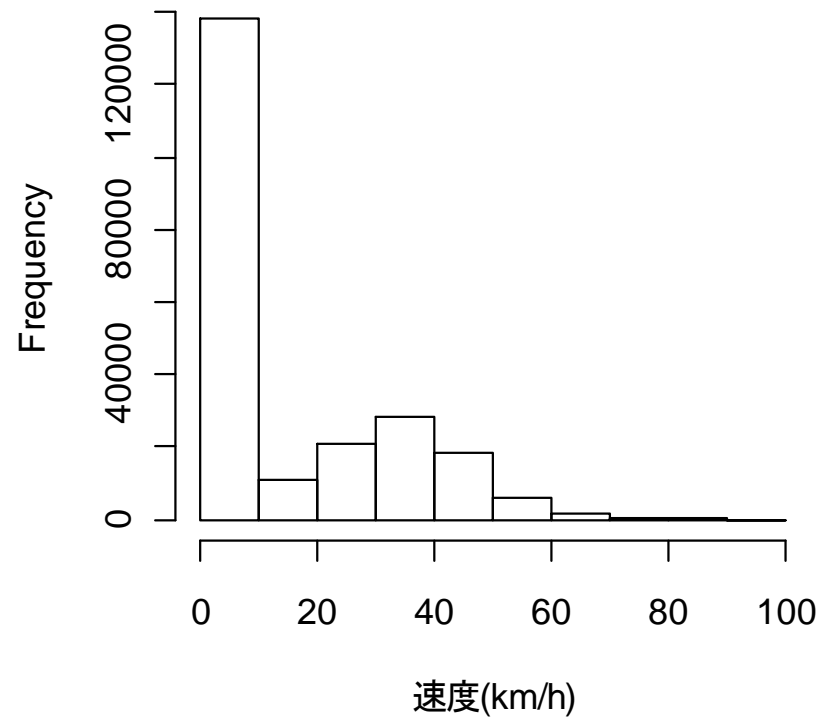


図 7 離巢中 1 秒間毎の平均速度分布





2010年5月6日  
(推定5日齢)



2010年5月17日  
(推定16日齢)



2010年5月28日  
(推定27日齢)



2010年6月21日  
(推定51日齢)



2010年7月13日  
(推定73日齢)



2010年8月13日  
(推定104日齢, 巣立ち後11日目)

図8 飼育カツオドリ(Miu)の成長の様子

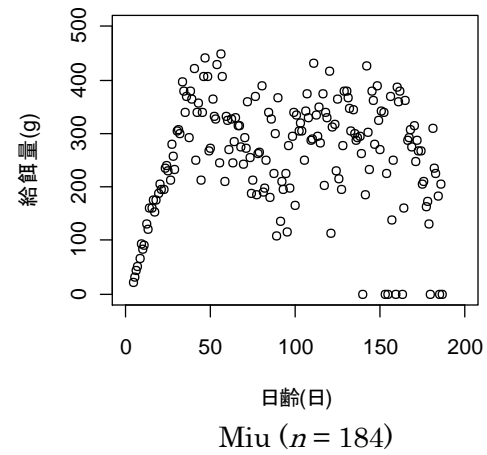
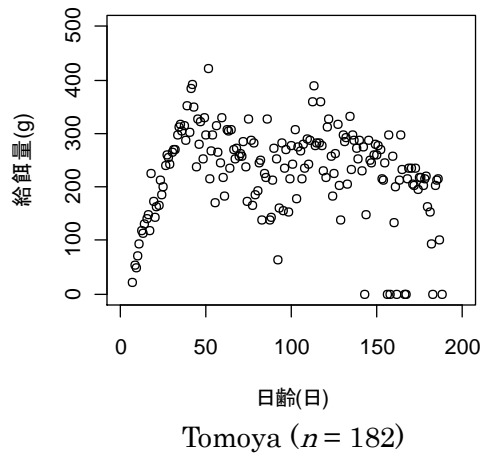
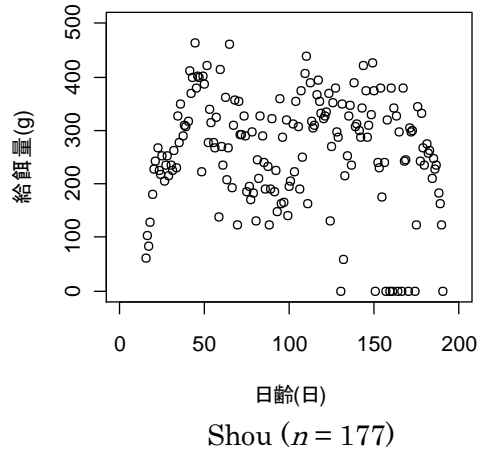
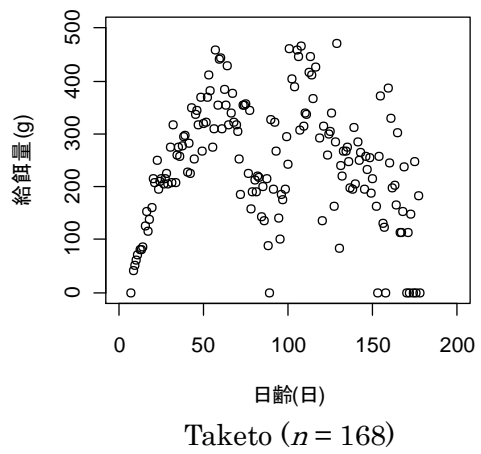
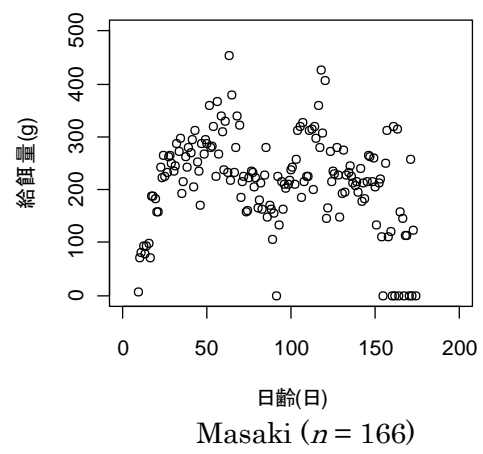
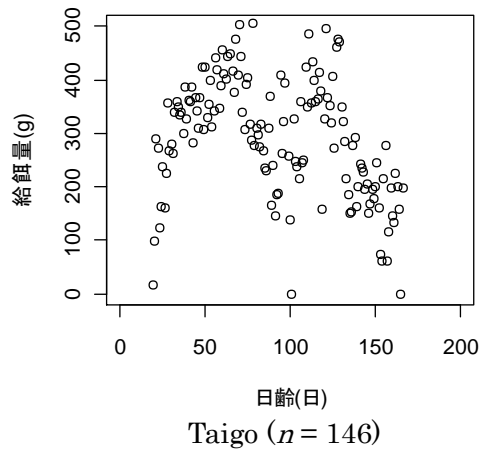


図 9 日齢に伴う給餌量の変化



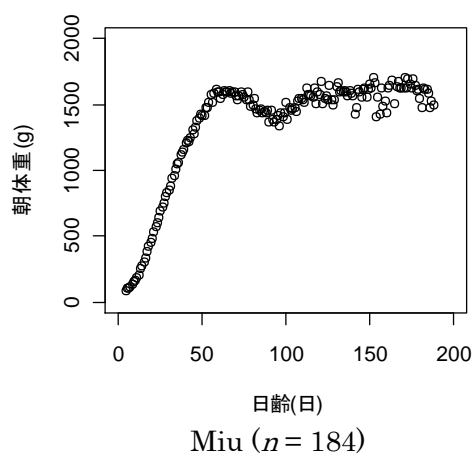
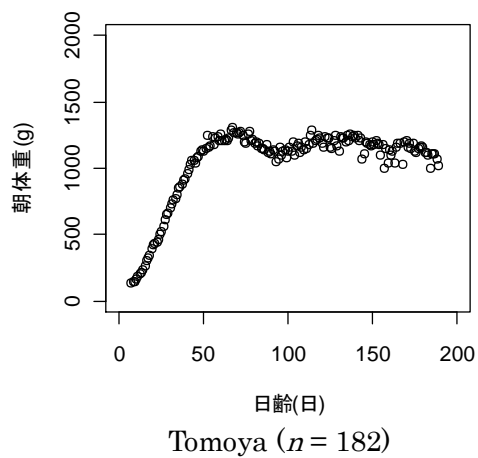
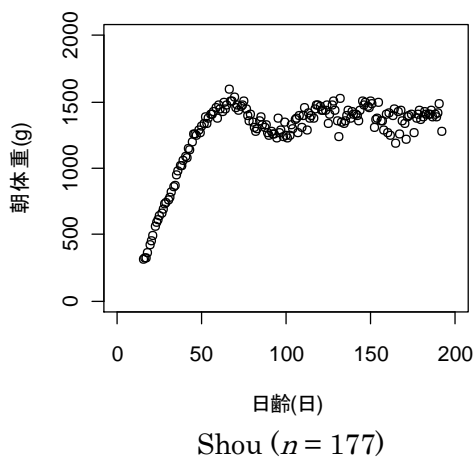
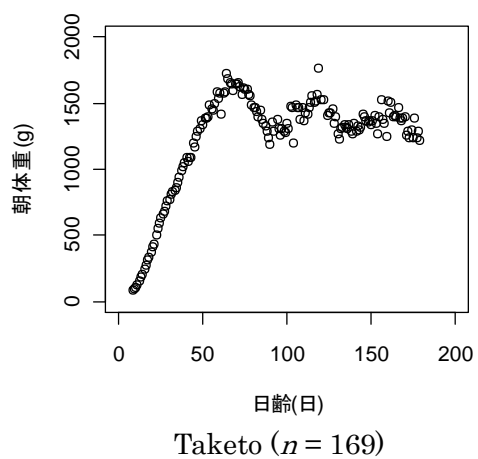
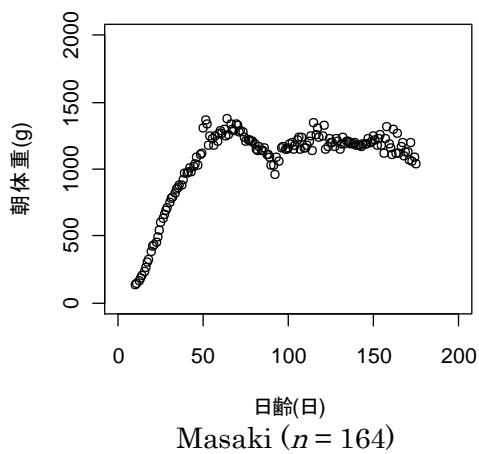
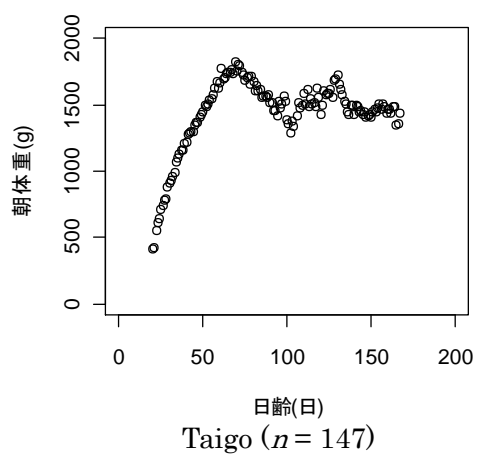


図 10 日齢に伴う体重の変化

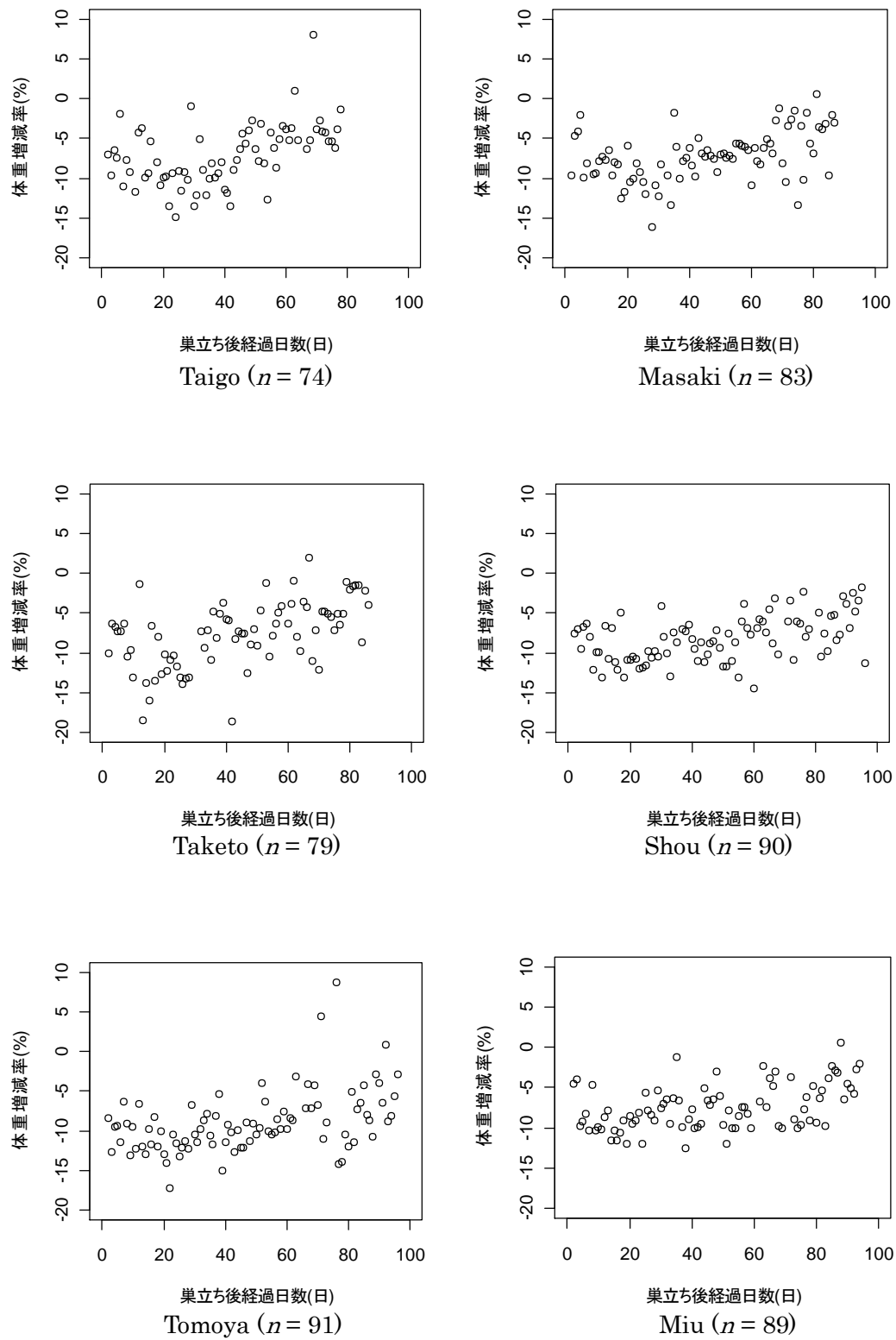


図 11 巣立ち後経過日数に伴う体重増減率の変化

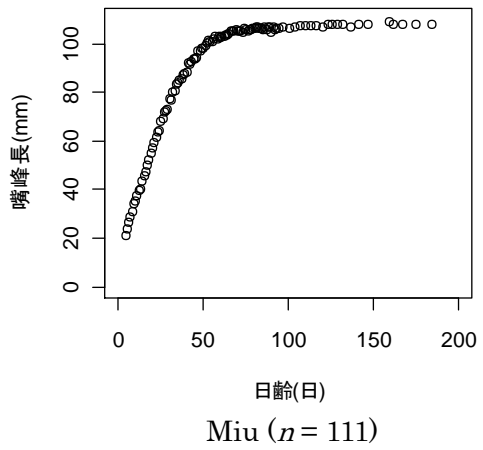
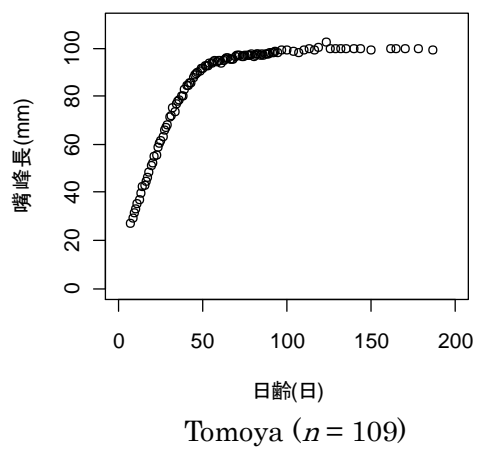
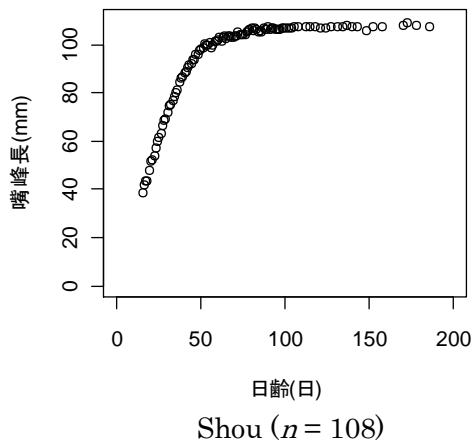
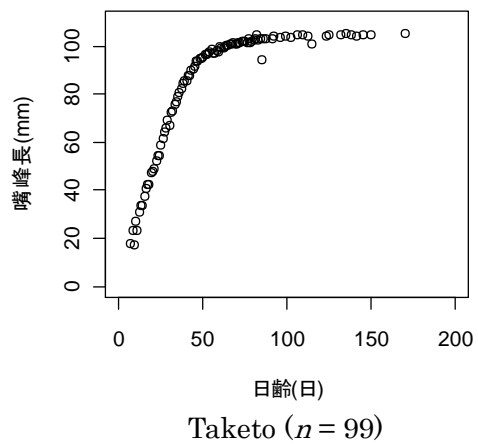
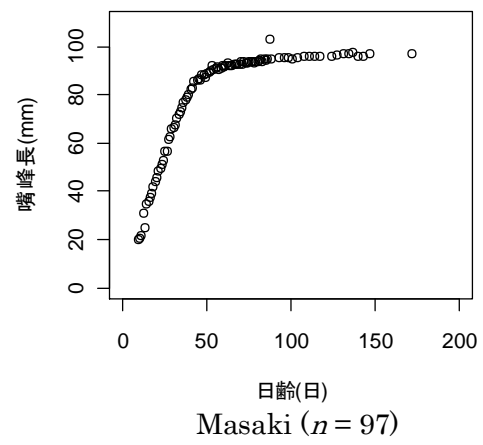
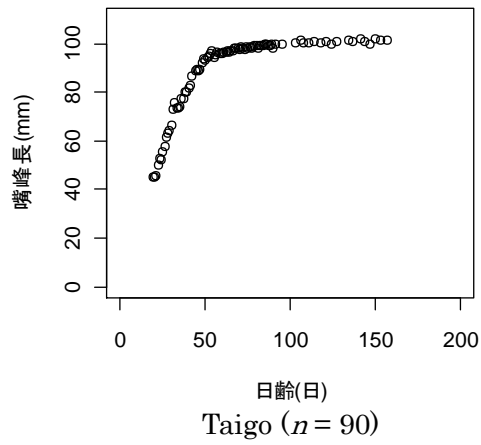


図 12 日齢に伴う嘴峰長の変化

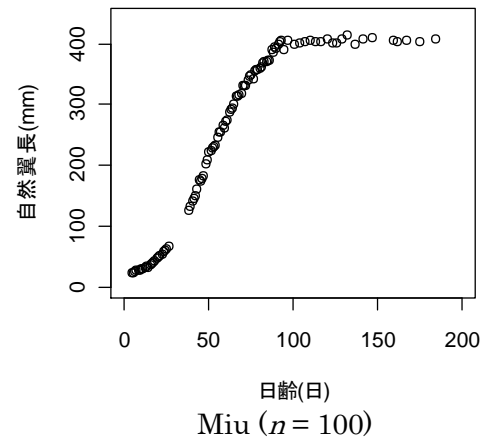
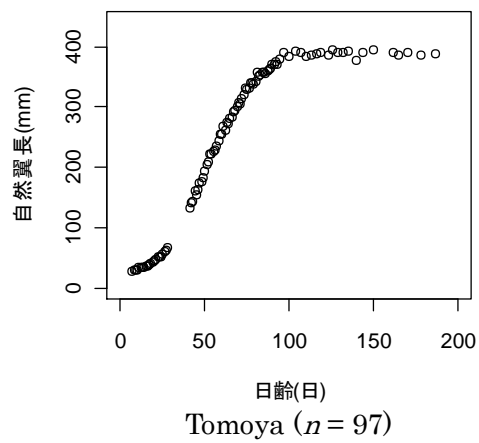
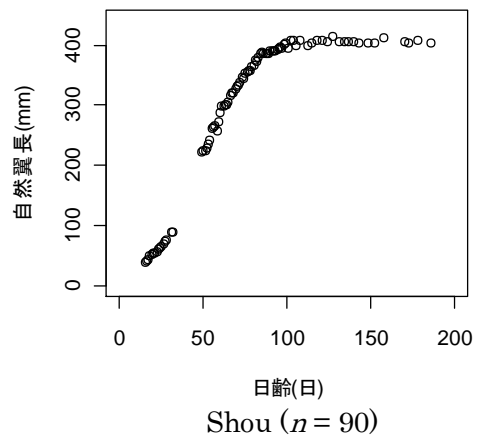
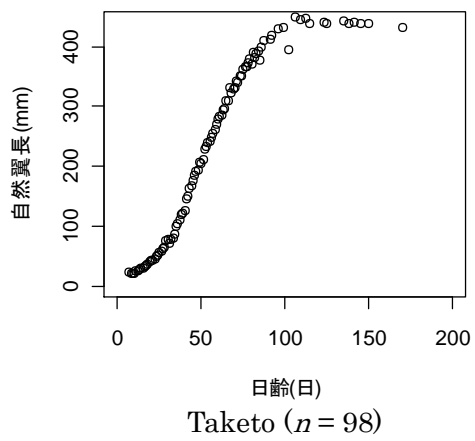
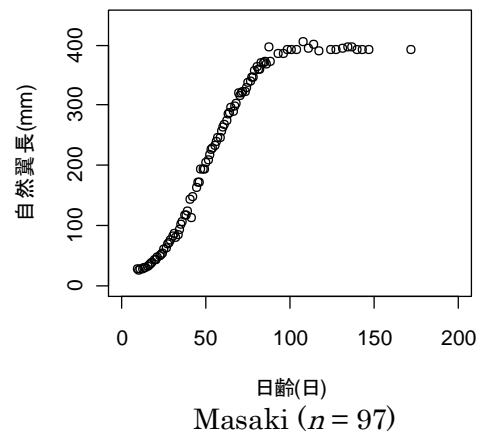
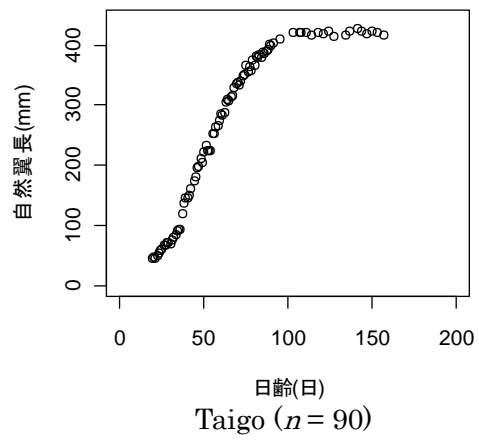


図 13 日齢に伴う自然翼長の変化



図 14 ビデオロガーによって撮影された映像

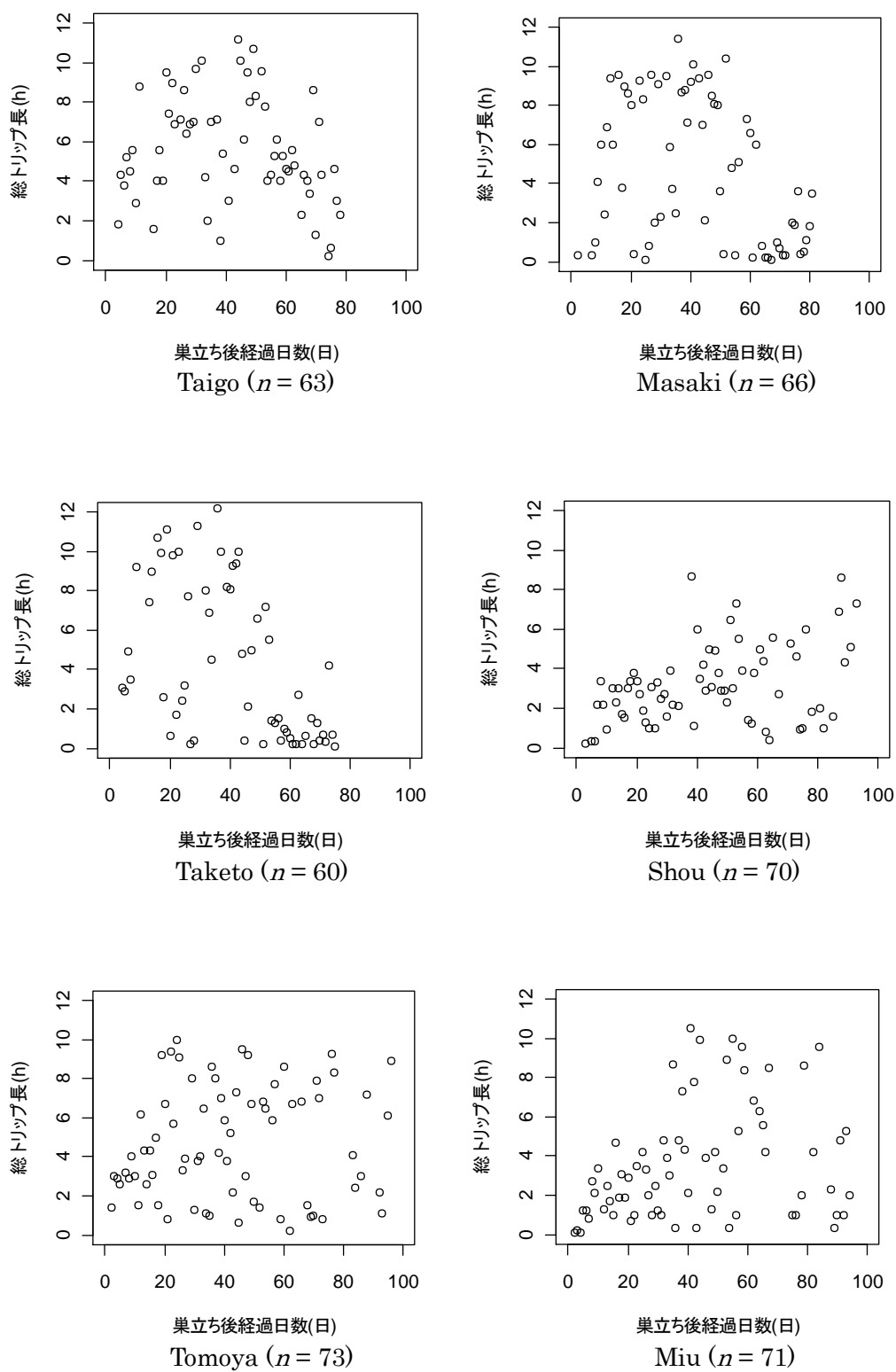


図 15 巣立ち後経過日数に伴う総トリップ長の変化

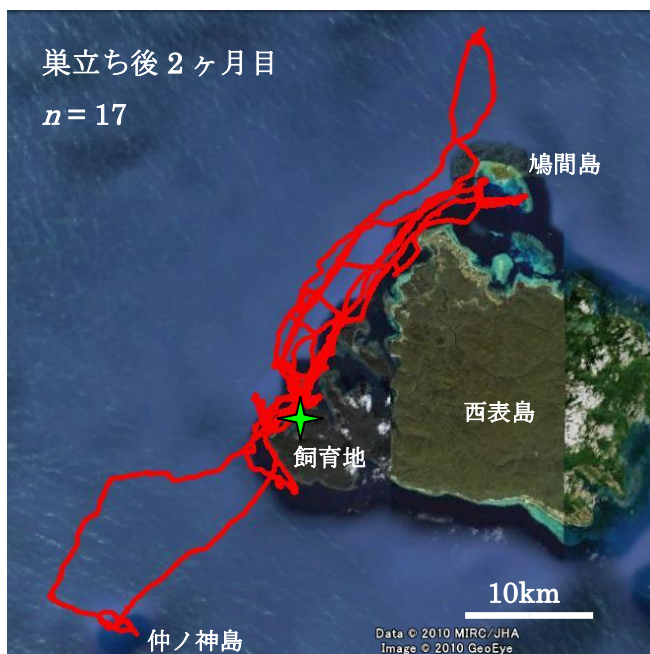
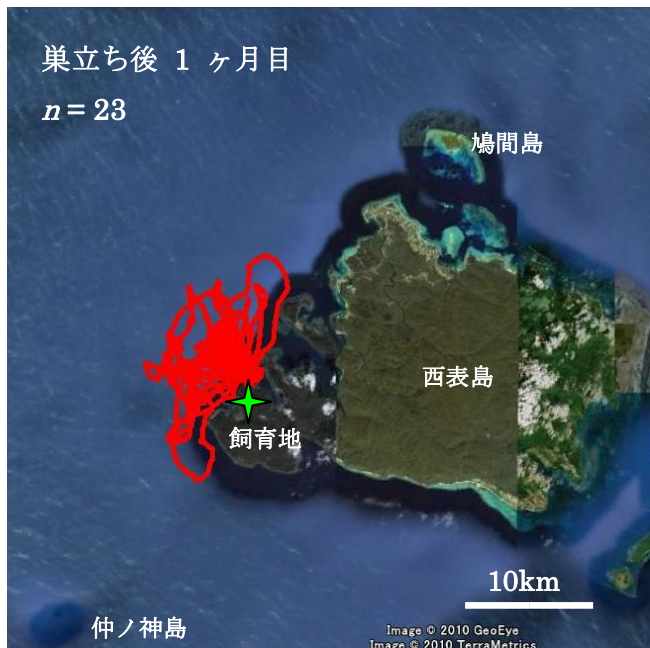


図 16 GPS データから求めた移動経路



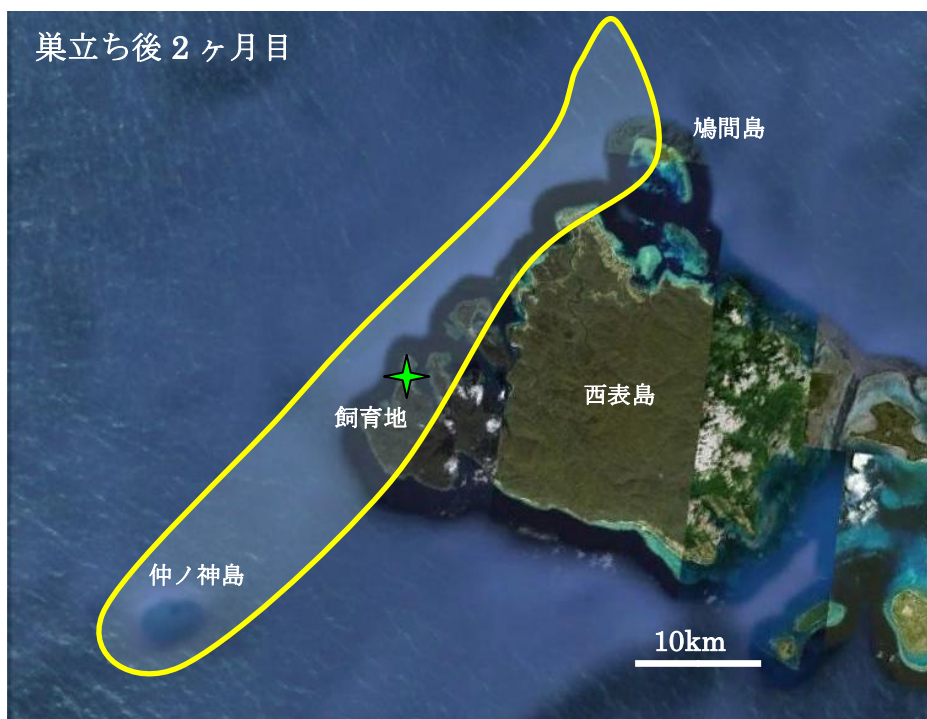
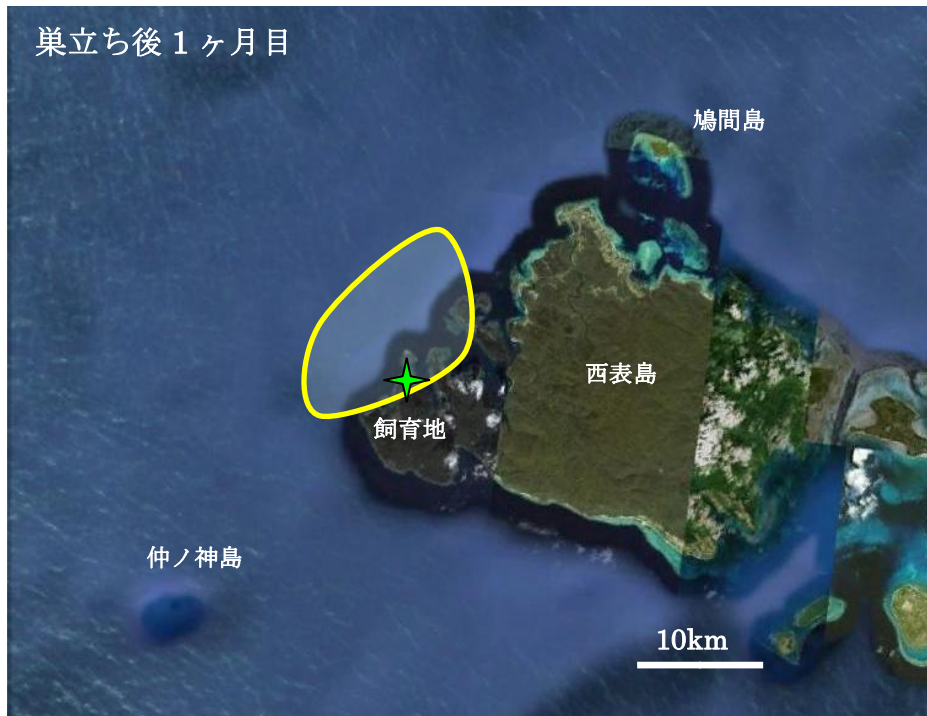


図 17 ビデオデータから推定した行動圏



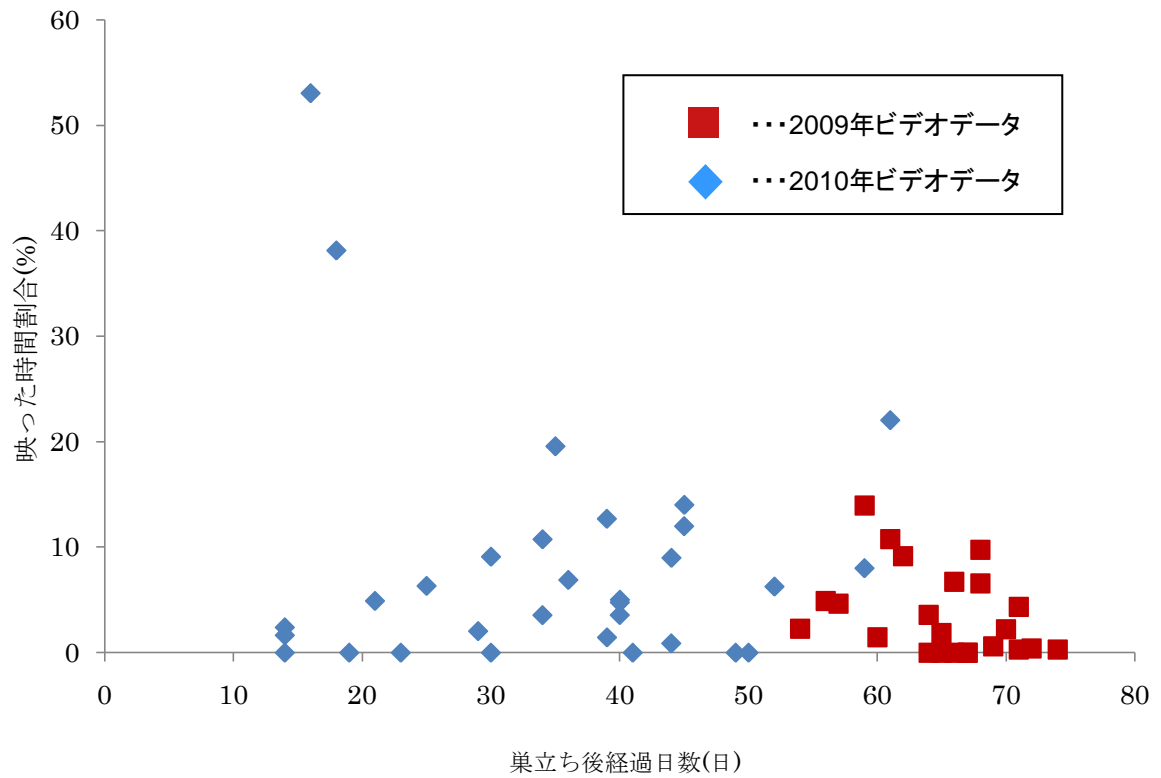


図 18 ビデオデータから求めた巣立ち後経過日数に伴うカツオドリが映った時間割合の変化

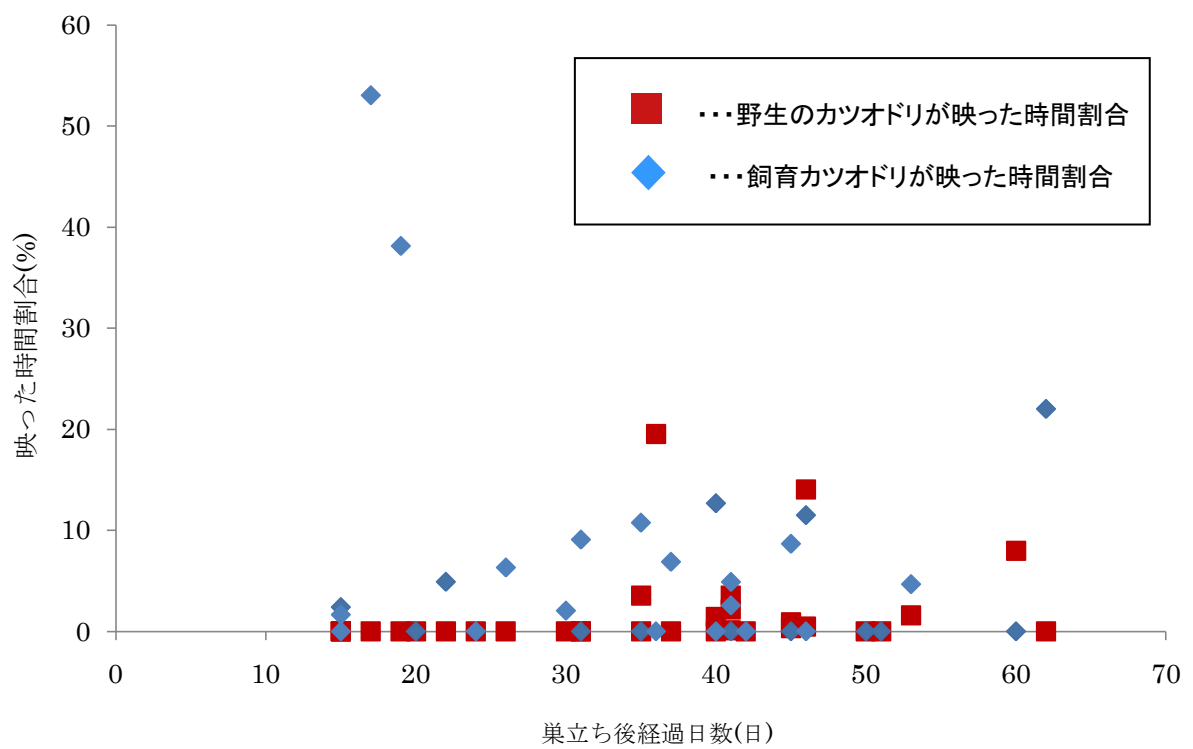


図 19 ビデオデータから求めた巣立ち後経過日数に伴う野生カツオドリ、飼育カツオドリが映った時間割合の変化



図 20-1 2010 年 8 月 11 日の移動経路

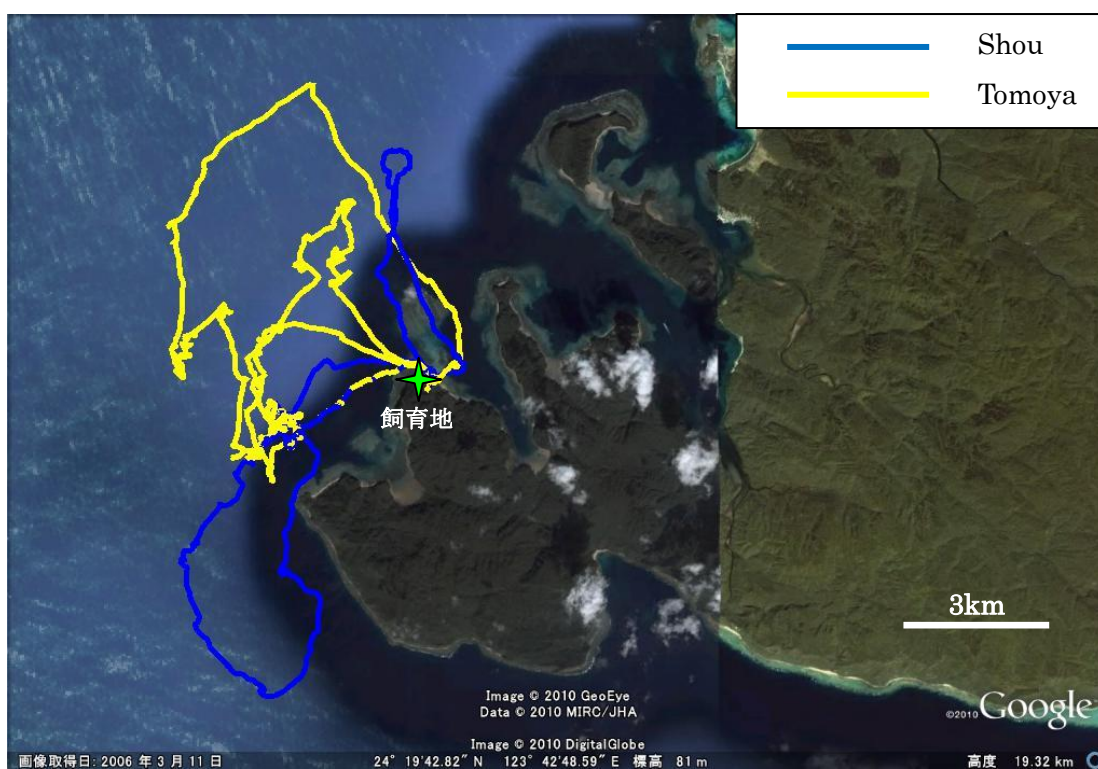


図 20-2 2010 年 8 月 15 日の移動経路

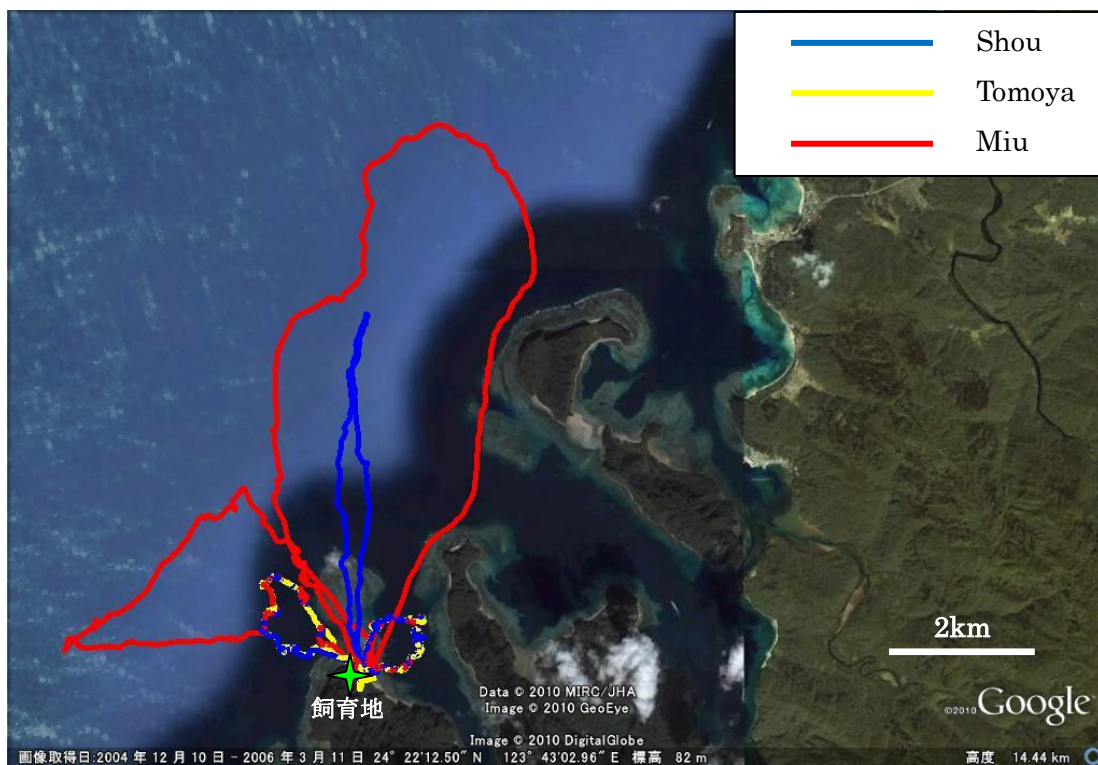


図 20-3 2010 年 8 月 19 日の移動経路

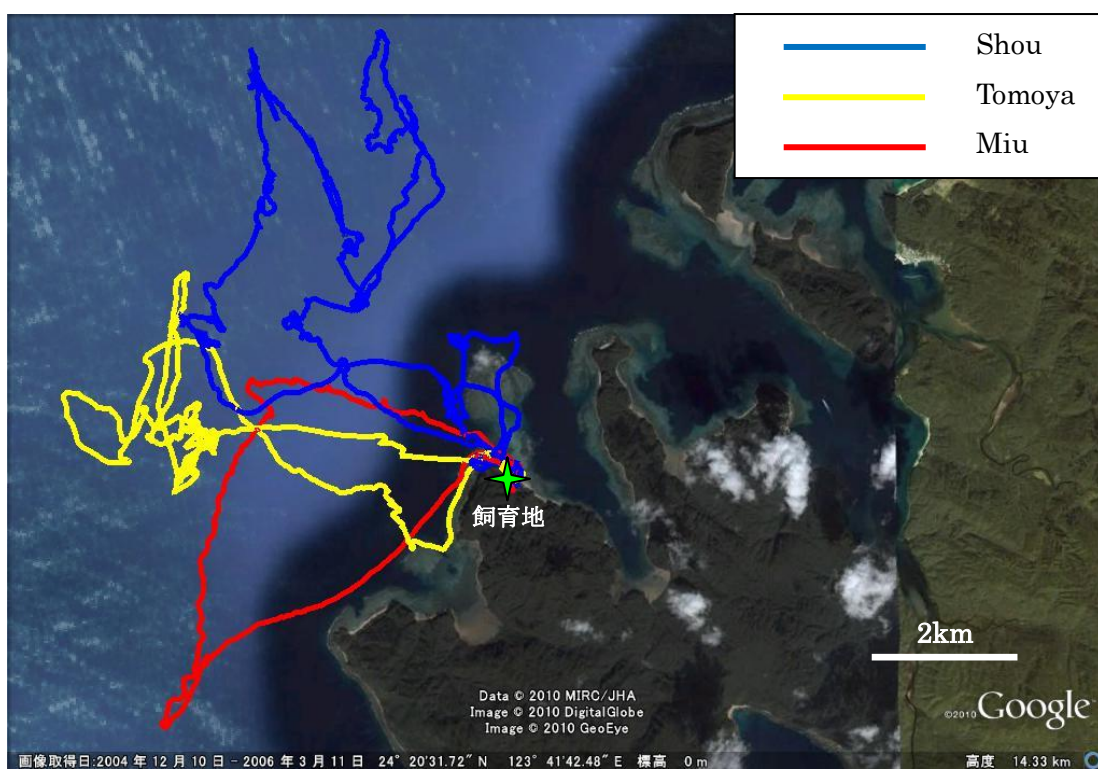


図 20-4 2010 年 8 月 24 日の移動経路



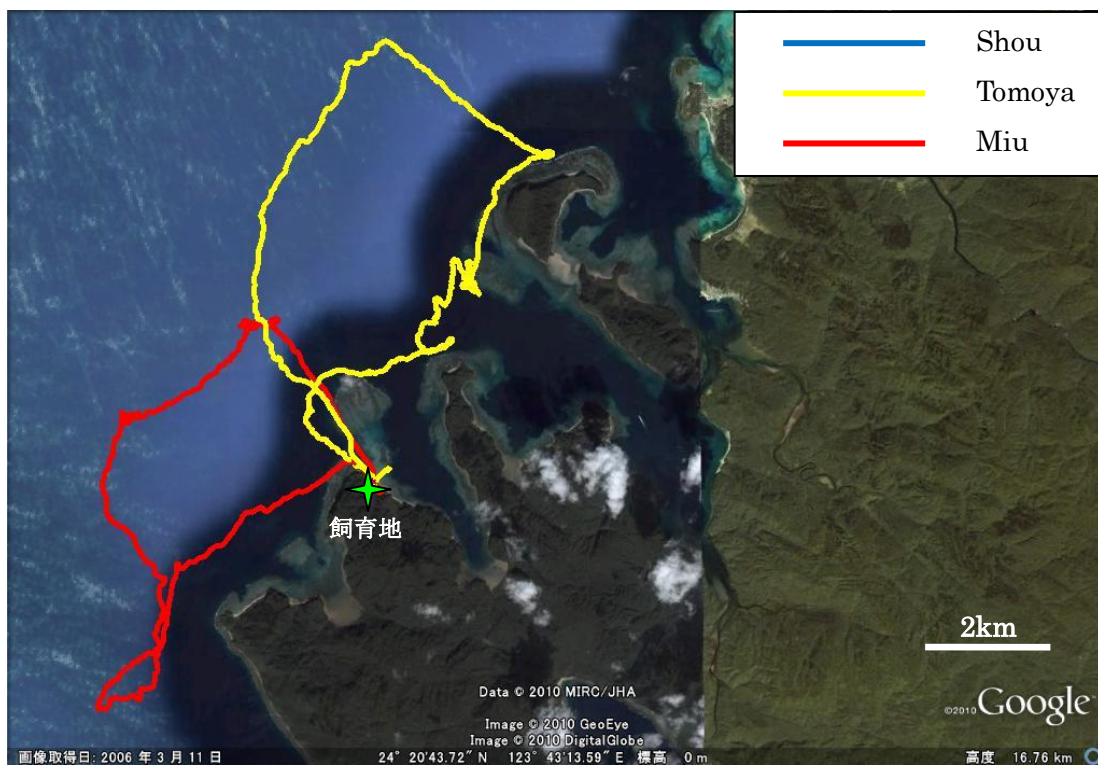


図 20-5 2010 年 8 月 30 日の移動経路

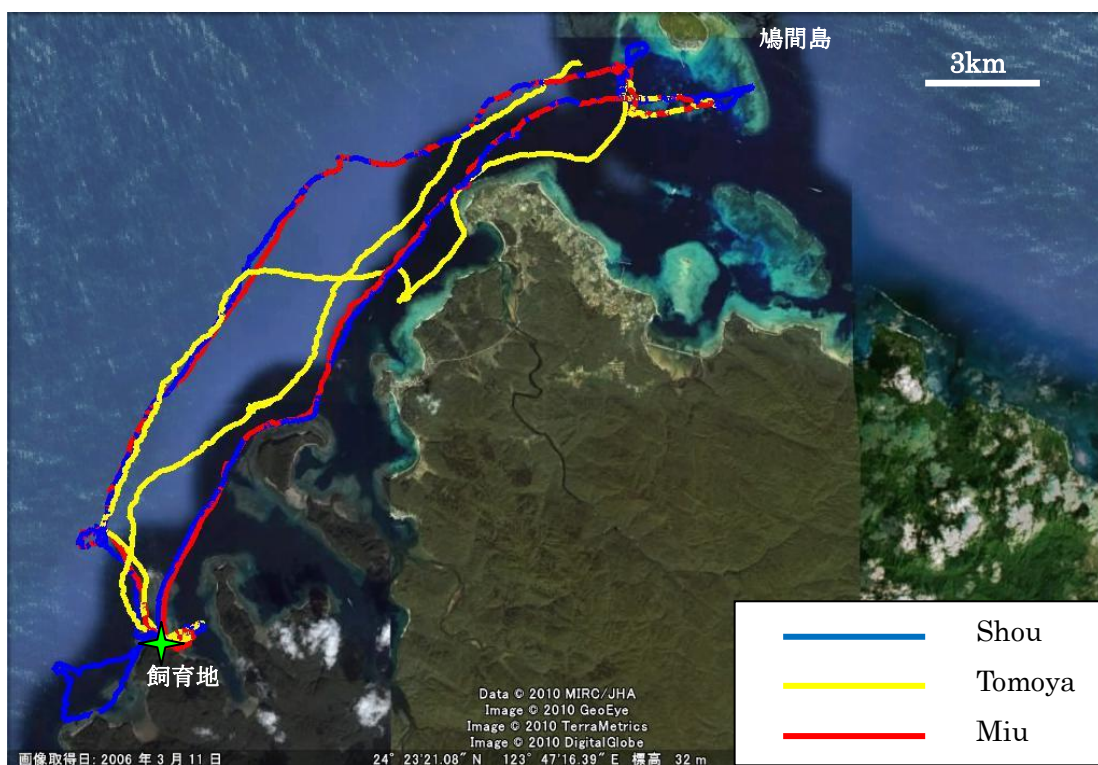


図 20-6 2010 年 9 月 4 日の移動経路

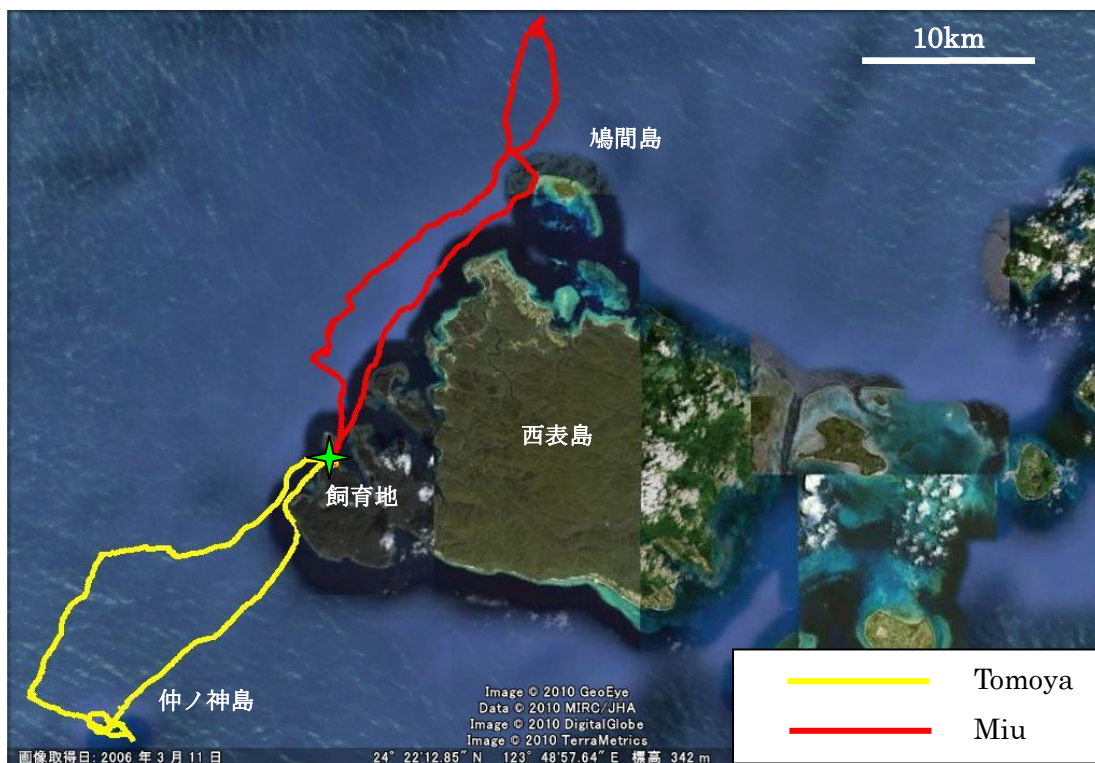


図 20-7 2010 年 9 月 9 日の移動経路

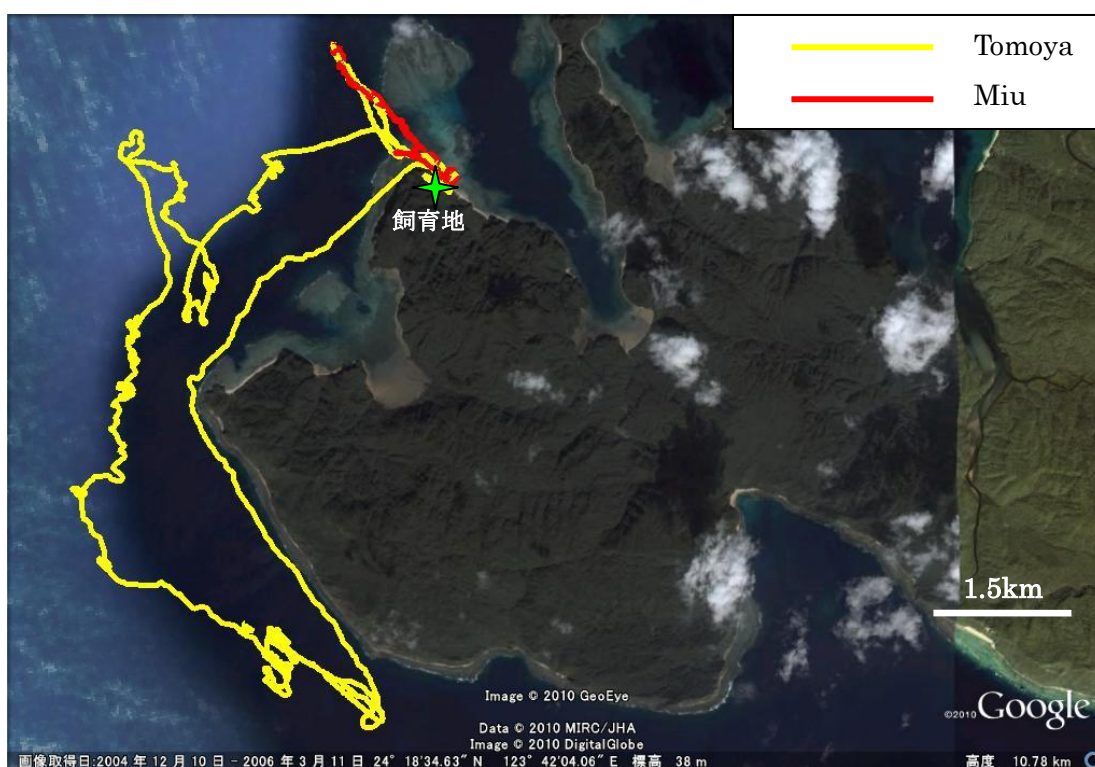


図 20-8 2010 年 9 月 14 日の移動経路

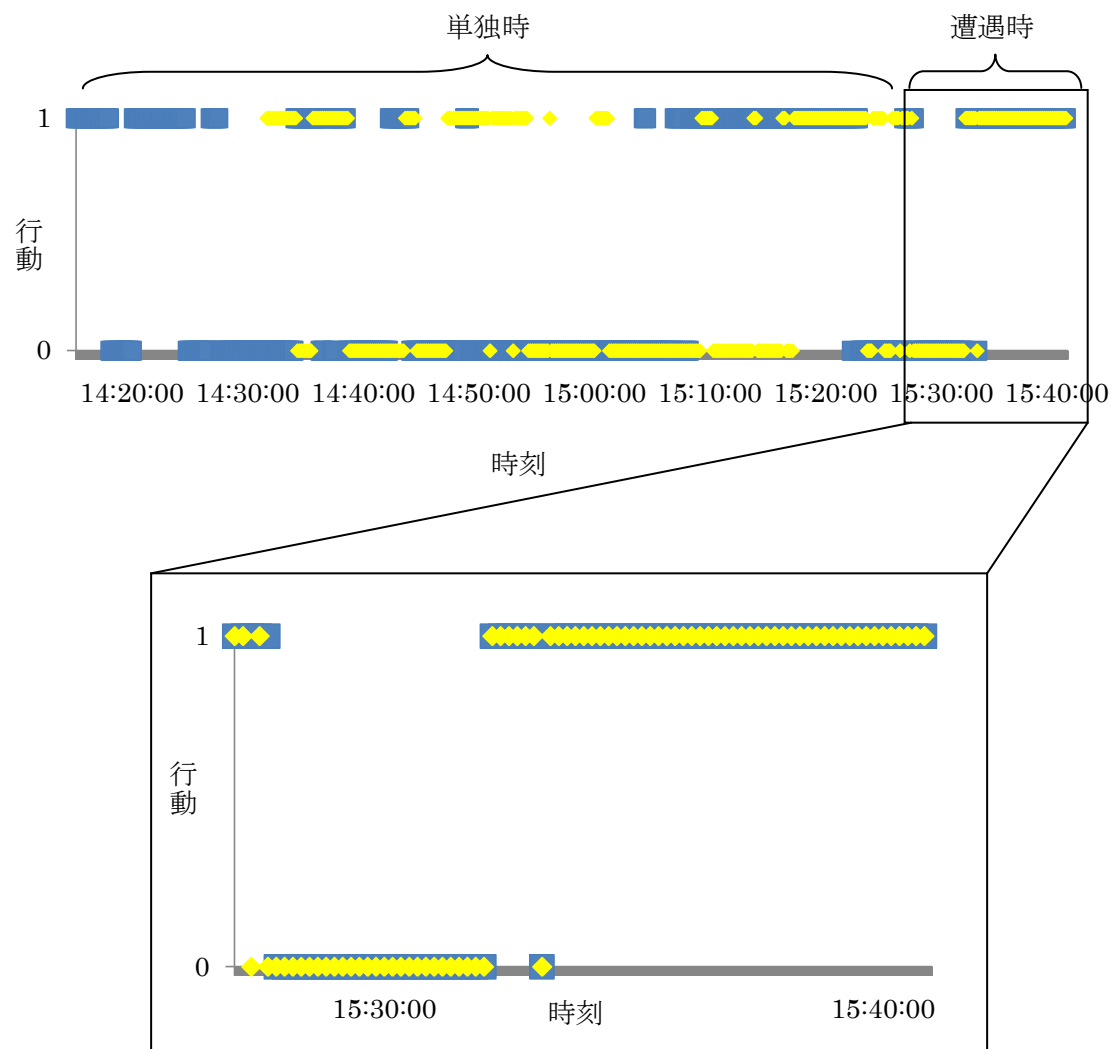
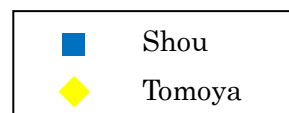


図 21 飼育個体同士で遭遇時の同調行動



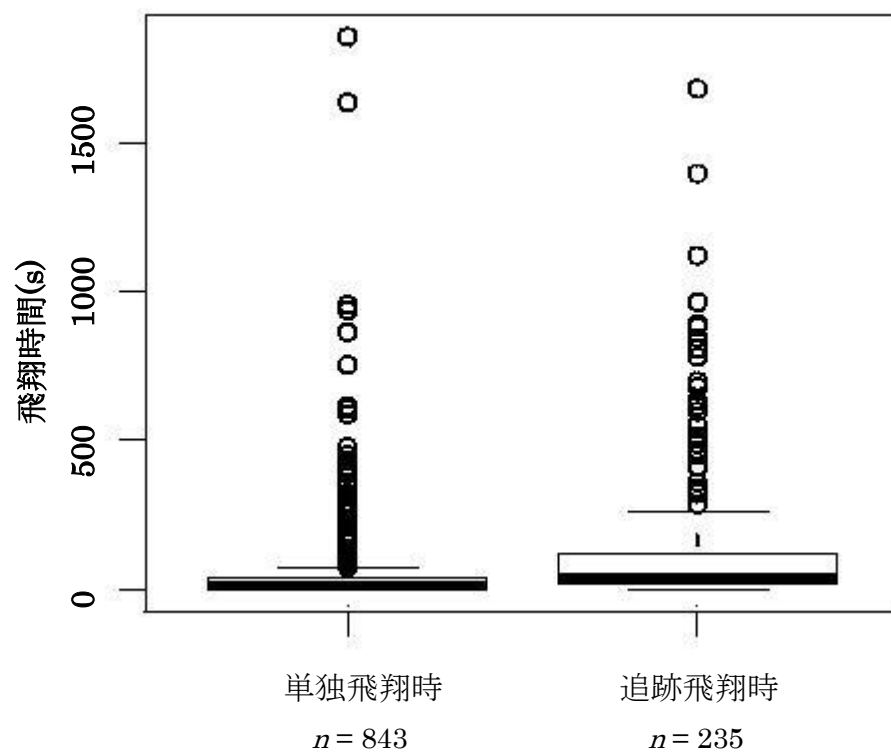


図 22 単独飛行時・追跡飛行時の飛行時間



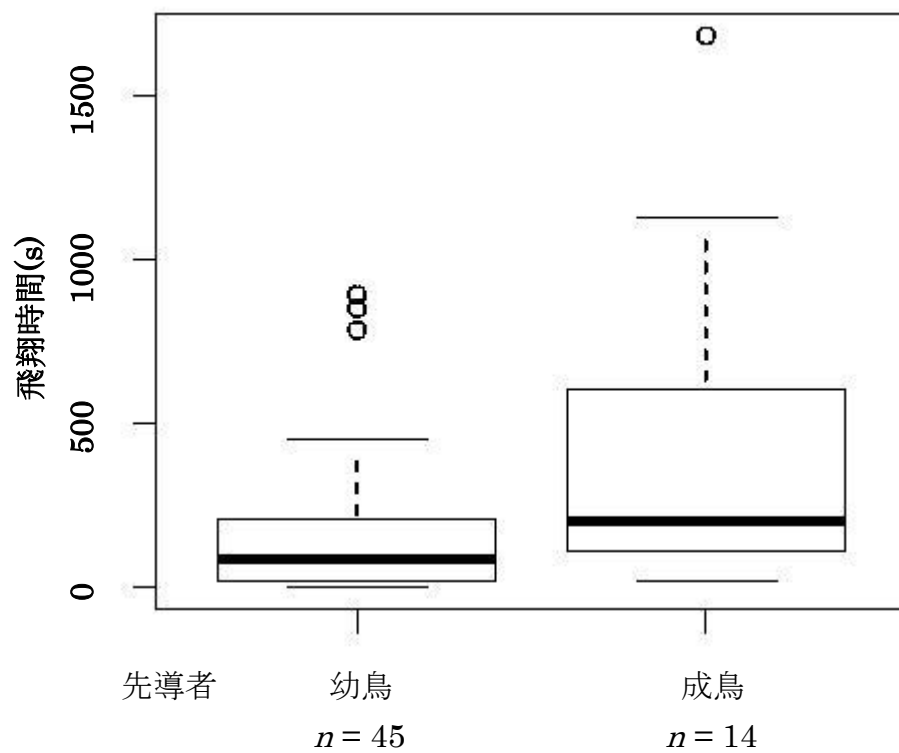
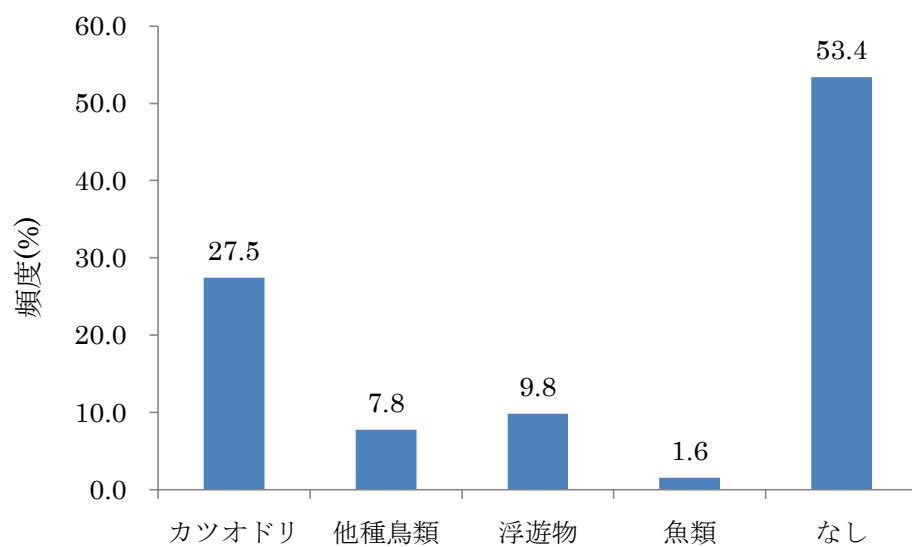
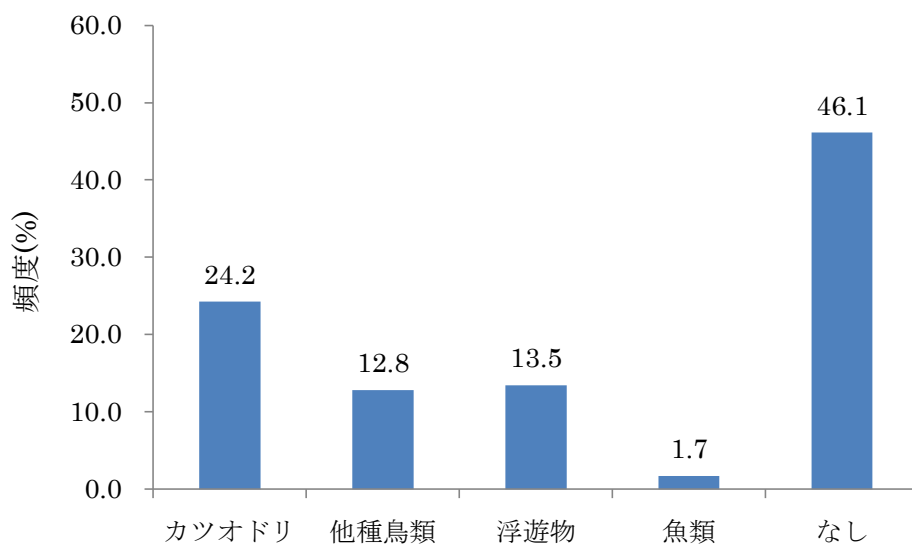


図 23 先導者が幼鳥の時、成鳥の時の飛翔時間



巣立ち後 1 ヶ月目



巣立ち後 2 ヶ月目

図 24-1 飛び込み潜水地点付近で撮影された物（巣立ち後月数別）

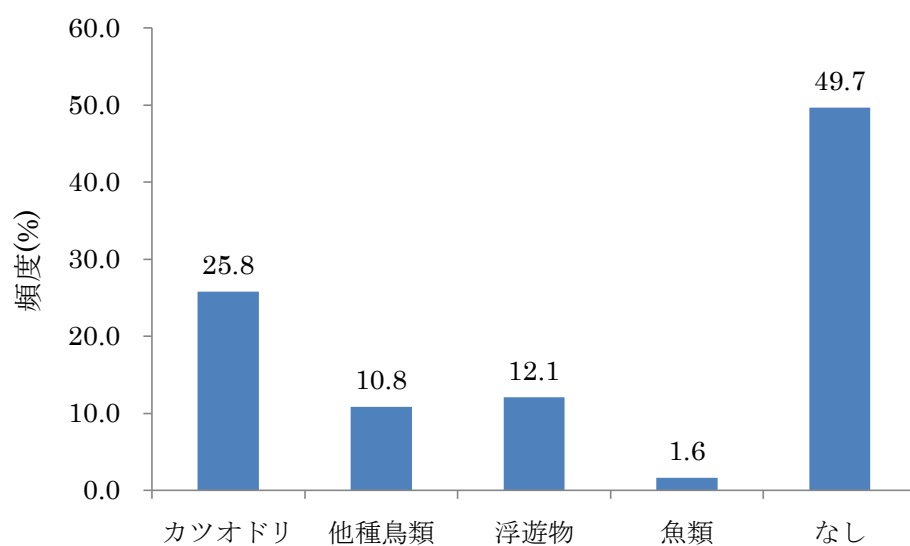


図 24-2 飛び込み潜水地点付近で撮影された物 (2010 年全データ)

表 1-1 体重に対するビデオロガーの重量割合

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値)

体重は、各日とも朝活動前に計測した値を用いた。2009 年に使用したビデオ重量は加工済みビデオおよび台座を含め、23 g であった。2010 年に使用したビデオ重量は加工済みビデオおよび台座を含め、27 g であった。

		ビデオ装着時の平均体重(g)	ビデオ重量の割合(%)	装着回数(回)
2009 年	Taigo	1473.5 ± 26.4	1.6 ± 0.0	4
		(1444 - 1508)	(1.5 - 1.6)	
	Masaki	1207.7 ± 64.4	1.9 ± 0.1	12
		(1108 - 1318)	(1.7 - 2.1)	
2010 年	Taketo	1393.7 ± 82.8	1.7 ± 0.1	17
		(1250 - 1528)	(1.5 - 1.8)	
	Shou	1409.9 ± 57.1	1.9 ± 0.1	21
		(1308 - 1502)	(1.8 - 2.1)	
	Tomoya	1200.0 ± 33.3	2.3 ± 0.1	17
		(1148 - 1258)	(2.1 - 2.4)	
	Miu	1567.6 ± 38.5	1.7 ± 0.0	17
		(1498 - 1630)	(1.7 - 1.8)	

表 1-2 体重に対する GPS ロガーの重量割合

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値)

体重は各日とも早朝に計測した値を用いた。GPS 重量は加工済みの GPS および台座を含め、32 g であった。

		GPS 装着時の平均体重(g)	GPS 重量の割合(%)	装着回数(回)
Shou		1443.7 ± 43.5	2.2 ± 0.1	6
		(1402 - 1526)	(2.1 - 2.3)	
Tomoya		1206.8 ± 43.1	2.7 ± 0.1	8
		(1142 - 1250)	(2.6 - 2.8)	
Miu		1614.7 ± 54.2	2.0 ± 0.1	6
		(1540 - 1675)	(1.9 - 2.1)	

表 2 飼育個体の保護日、巣立ち日、渡去日

		保護日	巣立ち日	渡去日
2009 年	Taigo		2009 年 7 月 26 日 (89 日 齢)	2009 年 10 月 12 日 (167 日 齢, 巣立ち後 79 日 目)
	Masaki	2009 年 5 月 17 日	2009 年 8 月 4 日 (88 日 齢)	2009 年 10 月 30 日 (175 日 齢, 巣立ち後 88 日 目)
	Taketo		2009 年 8 月 11 日 (93 日 齢)	2009 年 11 月 5 日 (179 日 齢, 巣立ち後 87 日 目)
2010 年	Shou		2010 年 7 月 25 日 (96 日 齢)	2010 年 10 月 29 日 (192 日 齢, 巣立ち後 97 日 目)
	Tomoya	2010 年 5 月 5 日	2010 年 7 月 30 日 (93 日 齢)	2010 年 11 月 3 日 (189 日 齢, 巣立ち後 97 日 目)
	Miu		2010 年 8 月 3 日 (94 日 齢)	2010 年 11 月 5 日 (188 日 齢, 巣立ち後 95 日 目)
6 羽 平均			92.2 ± 3.1 日 齢	181.7 ± 9.7 日 齢 巣立ち後 90.5 ± 7.1 日 目

表 3 巣立ち後の飼育個体の給餌量、体サイズ

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2009 年、2010 年に飼育した各個体の巣立ち後の給餌量、体重、嘴峰長、自然翼長の平均値を示した。

		給餌量(g)	体重(g)	嘴峰長(mm)	自然翼長(mm)
2009 年	Taigo	256.0 ± 114.5 (0 - 495, $n = 77$ )	1493.3 ± 83.5 (1286 - 1720, $n = 78$ )	100.6 ± 0.9 (98.4 - 102.2, $n = 21$ )	417.1 ± 7.7 (400 - 426, $n = 21$ )
	Masaki	202.0 ± 94.1 (0 - 426, $n = 87$ )	1177.8 ± 68.4 (960 - 1350, $n = 86$ )	96.1 ± 0.7 (95.0 - 97.7, $n = 19$ )	392.4 ± 6.4 (373 - 405, $n = 19$ )
	Taketo	249.5 ± 132.4 (0 - 652, $n = 82$ )	1377.1 ± 97.4 (1198 - 1765, $n = 84$ )	104.3 ± 1.0 (100.8 - 105.3, $n = 16$ )	436.5 ± 12.6 (395 - 450, $n = 15$ )
2010 年	Shou	258.3 ± 115.5 (0 - 438, $n = 96$ )	1384.0 ± 76.4 (1190 - 1526, $n = 96$ )	107.2 ± 0.6 (105.9 - 109.0, $n = 27$ )	404.4 ± 4.6 (395 - 415, $n = 27$ )
	Tomoya	222.6 ± 85.6 (0 - 388, $n = 96$ )	1162.5 ± 62.2 (998 - 1284, $n = 96$ )	99.5 ± 0.9 (98.0 - 102.5, $n = 23$ )	387.6 ± 5.8 (370 - 395, $n = 23$ )
	Miu	263.3 ± 107.1 (0 - 432, $n = 94$ )	1564.5 ± 82.8 (1340 - 1705, $n = 94$ )	107.6 ± 0.7 (106.4 - 109.0, $n = 21$ )	404.3 ± 4.6 (391 - 415, $n = 21$ )

表 4-1 ビデオロガー装着回数・装着期間

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽に対してビデオロガーを装着した回数と期間を示した。  
また、巣立ち後月数別に各個体の装着回数を示した。

		装着 回数	装着期間 (巣立ち後)	巣立ち後 1 ヶ月目 装着回数	巣立ち後 2 ヶ月目 装着回数	巣立ち後 3 ヶ月目 装着回数
2009 年	Taigo	4 回	64 - 69 日目	—	—	4 回
	Masaki	12 回	54 - 75 日目	—	1 回	11 回
	Taketo	17 回	56 - 71 日目	—	4 回	13 回
2010 年	Shou	21 回	14 - 61 日目	8 回	12 回	1 回
	Tomoya	17 回	9 - 56 日目	8 回	9 回	—
	Miu	17 回	14 - 55 日目	8 回	9 回	—
計		88 回		24 回	35 回	29 回

表 4-2 GPS ロガー装着回数・装着期間

2010 年に飼育した 3 羽に対して GPS ロガーを装着した回数と期間を示した。また、巣立ち後月数別に各個体の装着回数を示した。

	装着回数	装着期間 (巣立ち後)	巣立ち後 1 ヶ月目 装着回数	巣立ち後 2 ヶ月目 装着回数
Shou	6 回	17 - 41 日目	3 回	3 回
Tomoya	8 回	12 - 46 日目	4 回	4 回
Miu	6 回	16 - 42 日目	3 回	3 回
計	20 回		10 回	10 回

表 5 巣立ち後月数ごとの総トリップ長の変化

(平均±標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽の各個体における、各巣立ち後月数での総トリップ長の平均値を示した。

		総トリップ長(h)		
		巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目	巣立ち後 3 ヶ月目
2009 年	Taigo	$5.9 \pm 2.4$ (1.6 - 9.7, $n = 22$ )	$6.4 \pm 2.8$ (1.0 - 11.2, $n = 25$ )	$3.8 \pm 2.2$ (0.2 - 8.6, $n = 16$ )
	Masaki	$4.9 \pm 3.8$ (0.1 - 9.6, $n = 23$ )	$6.7 \pm 3.1$ (0.3 - 11.4, $n = 25$ )	$1.4 \pm 1.6$ (0.1 - 6.0, $n = 18$ )
	Taketo	$5.8 \pm 4.0$ (0.2 - 11.3, $n = 21$ )	$5.0 \pm 3.8$ (0.2 - 12.2, $n = 25$ )	$0.9 \pm 1.2$ (0.1 - 4.2, $n = 14$ )
2010 年	Shou	$2.1 \pm 1.1$ (0.1 - 3.8, $n = 26$ )	$3.8 \pm 1.9$ (1.1 - 8.7, $n = 24$ )	$3.5 \pm 2.4$ (0.4 - 8.6, $n = 18$ )
	Tomoya	$4.4 \pm 2.7$ (0.8 - 10.0, $n = 27$ )	$5.1 \pm 2.8$ (0.6 - 9.5, $n = 27$ )	$4.5 \pm 3.2$ (0.2 - 9.3, $n = 15$ )
	Miu	$1.9 \pm 1.2$ (0.1 - 4.7, $n = 27$ )	$4.9 \pm 3.4$ (0.3 - 10.5, $n = 26$ )	$4.4 \pm 3.2$ (0.3 - 9.6, $n = 14$ )
6 羽計		$4.1 \pm 3.1$ (0.1 - 11.3, $n = 146$ )	$5.3 \pm 3.1$ (0.2 - 12.2, $n = 152$ )	$3.0 \pm 2.7$ (0.1 - 9.6, $n = 95$ )



表 6 巣立ち後月数ごとの行動圏面積の変化

(平均  $\pm$  標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2010 年に飼育した 3 羽に装着した GPS ロガーから得られた位置情報から、内側 95% に含まれる点のみを用いた最外郭法により、行動圏面積を求めた。求めた行動圏面積は、巣立ち後 1 ヶ月目、巣立ち後 2 ヶ月目で比較した。なお、GPS ロガーを装着したが離巢しなかった日のデータは除いた。

	行動圏面積(km <sup>2</sup> )	
	巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目
Shou	11.7 $\pm$ 7.1 (4.78 - 18.9, $n = 3$ )	40.4 $\pm$ 36.9 (14.3 - 66.4, $n = 2$ )
Tomoya	8.2 $\pm$ 7.9 (1.5 - 18.9, $n = 4$ )	40.4 $\pm$ 31.8 (14.4 - 79.1, $n = 4$ )
Miu	13.3 $\pm$ 6.1 (7.9 - 20.0, $n = 3$ )	43.8 $\pm$ 38.4 (0.25 - 73.0, $n = 3$ )
計	10.8 $\pm$ 6.7 (1.5 - 20.0, $n = 10$ )	41.5 $\pm$ 30.3 (0.25 - 79.1, $n = 9$ )

表 7 ビデオデータから求めた巣立ち後月数ごとの他のカツオドリが映った時間割合の変化

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2009 年、2010 年に飼育した 6 羽に装着したビデオロガーの映像から他のカツオドリが映った時間割合を求め、個体別に巣立ち後月数ごとでの映った時間割合の変化を表した。

		他のカツオドリが映った時間割合(%)			
		巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目	巣立ち後 3 ヶ月目	計
2009 年	Taigo	—	—	3.0 ± 3.4 (0 - 6.7, $n = 3$ )	3.0 ± 3.4 (0 - 6.7, $n = 3$ )
	Masaki	—	2.3 ( $n = 1$ )	2.0 ± 3.7 (0 - 9.8, $n = 7$ )	2.0 ± 3.3 (0 - 9.8, $n = 8$ )
	Taketo	—	6.2 ± 5.4 (1.4 - 14.0, $n = 4$ )	4.2 ± 4.2 (0 - 10.7, $n = 8$ )	4.9 ± 4.5 (0 - 14.0, $n = 12$ )
	3 羽計	—	5.4 ± 5.0 (1.4 - 14.0, $n = 5$ )	3.1 ± 3.8 (0 - 10.7, $n = 18$ )	3.6 ± 4.1 (0 - 14.0, $n = 23$ )
2010 年	Shou	1.8 ± 2.3 (0 - 4.9, $n = 4$ )	5.1 ± 5.2 (0 - 12.7, $n = 8$ )	22.0 ( $n = 1$ )	5.4 ± 7.3 (0 - 22.0, $n = 13$ )
	Tomoya	18.7 ± 25.2 (0 - 53.1, $n = 5$ )	8.0 ± 4.9 (1.5 - 14.0, $n = 5$ )	—	13.4 ± 18.0 (0 - 53.1, $n = 10$ )
	Miu	5.7 ± 3.8 (1.7 - 9.1, $n = 3$ )	7.5 ± 7.3 (0 - 19.5, $n = 5$ )	—	6.8 ± 5.9 (0 - 19.5, $n = 8$ )
	3 羽計	9.8 ± 17.3 (0 - 53.1, $n = 12$ )	6.8 ± 5.6 (0 - 19.5, $n = 18$ )	22.0 ( $n = 1$ )	8.3 ± 11.7 (0 - 53.1, $n = 31$ )
6 羽計		9.8 ± 17.3 (0 - 53.1, $n = 12$ )	6.3 ± 5.4 (0 - 19.5, $n = 23$ )	4.1 ± 5.7 (0 - 22.0, $n = 19$ )	6.3 ± 9.4 (0 - 53.1, $n = 54$ )

表 8-1 ビデオデータから求めた巣立ち後月数ごとの飼育個体が映った時間割合の変化

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2010 年に飼育した 3 羽に装着したビデオロガーから求めた飼育個体している他のカツオドリが映った時間割合を巣立ち後月数ごとで比較した。

	飼育個体が映った時間割合(%)		
	巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目	巣立ち後 3 ヶ月目
Shou	1.8 ± 2.3 (0 - 4.9, $n = 4$ )	3.0 ± 5.6 (0 - 12.7, $n = 8$ )	22.0 ( $n = 1$ )
Tomoya	18.7 ± 25.2 (0 - 53.1, $n = 5$ )	4.8 ± 4.9 (0 - 10.8, $n = 5$ )	—
Miu	5.7 ± 3.8 (1.7 - 9.1, $n = 3$ )	2.8 ± 3.0 (0 - 6.9, $n = 5$ )	—
3 羽計	9.8 ± 17.3 (0 - 53.1, $n = 12$ )	3.5 ± 4.6 (0 - 12.7, $n = 18$ )	22.0 ( $n = 1$ )

表 8-2 ビデオデータから求めた巣立ち後月数ごとの野生個体が映った時間割合の変化

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2010 年に飼育した 3 羽に装着したビデオロガーから求めた野生のカツオドリが映った時間割合を巣立ち後月数ごとで比較した。

	野生個体が映った時間割合(%)		
	巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目	巣立ち後 3 ヶ月目
Shou	0 ( $n = 4$ )	2.1 ± 2.8 (0 - 3.7, $n = 8$ )	0 ( $n = 1$ )
Tomoya	0 ( $n = 5$ )	3.2 ± 6.1 (0 - 14.0, $n = 5$ )	—
Miu	0 ( $n = 3$ )	4.7 ± 8.4 (0 - 19.5, $n = 5$ )	—
3 羽計	0 ( $n = 12$ )	3.1 ± 5.5 (0 - 19.5, $n = 18$ )	0 ( $n = 1$ )

表 9 GPS から推定した巣立ち後月数ごとの飼育個体同士の遭遇時間割合の変化

(平均 ± 標準偏差, 最小値 - 最大値,  $n$  数)

2010 年に飼育した 3 羽に装着した GPS ロガーにより得られた各個体の同時刻の位置情報を比較し、50m 以内にいることが推定された場合、遭遇していたとみなし、各離巣で遭遇時間割合を求めた。求めた遭遇時間割合は、巣立ち後月数ごとに比較した。

	飼育個体との遭遇時間割合(%)		
	巣立ち後 1 ヶ月目	巣立ち後 2 ヶ月目	巣立ち後 1~2 ヶ月目
Shou	25.7 ± 40.2 (0 - 95.4, $n = 9$ )	31.8 ± 42.4 (0 - 90.0, $n = 5$ )	27.9 ± 39.5 (0 - 95.4, $n = 14$ )
Tomoya	25.5 ± 37.6 (0 - 93.0, $n = 9$ )	29.0 ± 35.6 (0 - 76.3, $n = 7$ )	27.0 ± 35.5 (0 - 93.0, $n = 16$ )
Miu	26.5 ± 38.9 (0 - 88.9, $n = 5$ )	52.2 ± 31.8 (0 - 79.6, $n = 5$ )	39.4 ± 36.2 (0 - 88.9, $n = 10$ )
3 羽計	25.8 ± 37.1 (0 - 95.4, $n = 23$ )	36.7 ± 35.9 (0 - 90.0, $n = 17$ )	30.1 ± 36.5 (0 - 95.4, $n = 40$ )