技術・研究ノート

GPS 搭載位置追跡システムによる鳥類の個体移動経路の取得 Application of GPS Tracking System to Moving Path Acquisition of Birds

西尾真由子 ^{*1}	井上美樹 ^{*2}	藤野陽三 ^{*3}	樋口広芳 ^{*4}
Mayuko NISHIO	Miki INOUE	Yozo FUJINO	Hiroyoshi HIGUCHI
	時田賢一 ^{*5}	今井金美 ^{*6}	矢澤正人 ^{*7}
	Ken-ichi TOKITA	Kanemi IMAI	Masato YAZAWA

SUMMARY

This study examined the applicability of a GPS tracking system for birds in prospect of future requirements to consider the symbiosis with the bird life in the construction and operation of wind turbines on the coastal area or on the ocean. The target here to apply the GPS tracking system was the crow in the Yokohama-city, which was expected to show complex moving paths in the urban area. Six crows were caught in the Yokohama National University campus, and the GPS device was put on each of their backs before releasing. The positional data were then acquired every 30 minutes for 14 days with the success rate of 90% or more in five out of six crows. The data were applicable to understand the characteristic moving path of each crow.

key words: bird life symbiosis, wind turbine, GPS tracking sensor, crows, moving path

-
- *1 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 准教授 nishio@ynu.ac.jp
Associate Professor, Department of Civil Engineering, Yokohama National University
- *2 横浜国立大学理工学部 (研究当時在籍)
Undergraduate Student, Department of Civil Engineering, Yokohama National University
- *3 横浜国立大学先端科学高等研究院 上席特別教授
Distinguished YNU Professor, Institute of Advanced Sciences, Yokohama National University
- *4 東京大学名誉教授, 慶應義塾大学訪問教授
Professor Emeritus of the University of Tokyo, Visiting Professor, Keio University
- *5 岩手大学/NECoRA *6 株式会社 シー・アイ・シー
Iwate University / NECoRA Civil International Corporation
- *7 株式会社 数理設計研究所
Mathematical Assist Design Laboratory

(原稿受理年月日: 2018 年 1 月 24 日, 採用決定年月日: 2018 年 7 月 16 日)

1. まえがき

人間が社会生活を営む上で必要不可欠であるインフラ構造物の建設は、周囲の自然環境とりわけ野生動物の生態とも共生を行うべきものである。筆者らが特に着目しているのが、自然エネルギーへの関心の高まりを背景として建設が進められる風力発電施設と野生鳥類との共生である。風車の建設台数が増加していくことが予想される一方で、その主な建設場所となる沿岸部や洋上地域が渡り鳥をはじめ多種多様な鳥類の飛行経路の一部、もしくは餌場やすみかとなる場所でもあり得ることから、それらの生態が施設の建設や運用に与える影響が懸念されている。風力発電の導入が進む欧州では、風車への衝突により死亡する鳥類の総数は数百羽と推定されている¹⁾。国内の風車における鳥類衝突事故は2001年から2014年の報告で年間平均50件に満たないが、タカ科やカモメ科、カラス科の鳥類の衝突事故数が特に多く、特にタカ科の中で天然記念物および絶滅危惧種に登録されているオジロワシの事故が多いことが報告されている²⁾。その他、ミサゴやイヌワシなどの希少種も含まれており、死亡事故による個体数の変化が種の存続に影響を及ぼしかねず問題視されている³⁾。さらに風車建設が鳥類の生息地放棄や移動ルートへの障壁となることも調査報告されており²⁾、鳥類生態への影響は無視できないといえる。また発電施設の運用という観点でも鳥類衝突事故によって事業が滞ることは損失も大きい。生態学分野の既往研究では、鳥類生態と共存するための風力発電施設稼働モデル構築も行われている⁴⁾。この問題に対して有効な対策の1つが、風車の建設段階で鳥類の活動拠点や移動経路に関する客観的なデータを取得し、鳥類生態への影響の大きい地域を避けて風力発電施設を建設することである¹⁾²⁾。英国では、風車建設が鳥類生態に与える影響評価を実施してマッピングを行い、事業策定段階から検討に用いることが紹介されている⁵⁾。ただし、このような風力発電施設と鳥類生態の共生への検討はこれまで主に生態学分野にて実施されてきている。施設を建設して運用する事業者側、それに関わる土木分野でもこのような鳥類生態に関する客観的なデータを取得して、建設段階から共生を考えていくことが重要となる。そこで本研究では、鳥類衝突問題の検討で有用な情報となる移動経路追跡技術に着目した。

鳥類の移動経路データの取得方法として、まず挙げられるのがレーダーを用いる方法である。レーダーの作動面に鳥の群れが飛ぶと電波を散乱させてエコーが発生し、それを解析して飛行経路を推定できる。欧米では渡り鳥

のモニタリング手法として既に積極的に採用され、成果をあげている⁶⁾⁸⁾。日本でもこのレーダーによる観測手法の適用事例がある。例えば、気象レーダー「ウィンドプロファイラ」による渡り鳥の夜間追跡調査などの既往研究や⁹⁾、船舶レーダーを垂直方向に適用して鳥の飛翔高度と移動方向と速度を計測した事例¹⁰⁾などが挙げられる。ただしこの方法は鳥類の群れとしての動きを捉えるのに適切であるが、個体の行動追跡はできない。これに対して、個体に端末を装着し発信電波を受信して移動経路を追跡する方法も注目される^{11) 12)}。電波受信方法にはいくつかあり、例えば、観測者がデータ受信用アンテナを持って電波の到来方向を測定するラジオテレメトリー法、固定アンテナで受信して位置を推定する方法がある。これらの方法は、狭い範囲内での個体移動経路の追跡に適している。一方、広範囲での移動経路を把握することができる手法として、PHS (Personal handy-phone system) 端末装着による手法が登場し、これを適用してカラスの移動経路追跡を実施した既往研究がある¹³⁾。この研究では、東京都内で PHS 発信機を装着したハシブトガラス計 66 羽の追跡を行いカラスの移動パターンを導き出すことに成功し、その追跡手法としての有用性も示された。近年では GPS (Global positioning system) の端末小型化や位置情報高精度化が進み、これを利用した野生動物の移動経路追跡が可能となっている。土木分野でも風力発電施設の建設・運用と鳥類生態との共生を検討するための客観的なデータとして、このような位置追跡システムによる個体移動経路を取り扱えば非常に有用である¹⁴⁾。

本論文では、特に動物移動経路追跡用に開発された GPS 搭載位置追跡システムを用いて横浜都市部に生息するハシブトガラス（以下、カラス）の移動経路追跡を実施した結果を報告する。電波送受信の難易度が高い大都市部で本システムを適用し、複雑な行動パターンを有するカラスを対象として移動経路の取得を行った。土木分野の研究者・技術者が将来、風力発電施設などの建設と運用で動物生態との関連を検討する際に、個体移動経路追跡技術を活用できる足掛かりを築くことを狙いとした。

2. GPS 端末装着によるカラス個体移動経路取得

2. 1 GPS 搭載位置追跡システムの概要

本研究では、横浜国立大学構内に生息するカラスを対象として移動経路データの取得を行った。動物のリアルタイム移動経路追跡用に開発された GPS 搭載位置追跡システム (GPS-TX, (株) 数理設計研究所製) を使用した。このシステムは動物個体に装着する GPS 搭載装置と、そ

こから送信される電波を受信する基地局からなる。GPSの測位精度は6m (CEP, 50%), 25m (2dRMS, 95%) の仕様である。基地局で受信した緯度経度の位置情報は、GPS-TX システム専用の地図可視化システム TMS (Trace Mapping System) によってスマートフォンやタブレット端末からリアルタイムで確認できる。このシステムは既往研究において、岩手県盛岡市のカラスを対象に個体の移動経路特性の把握に用いられた実績があった¹⁵⁾。本研究は横浜市のカラスを対象としたことで、高層ビル群を含む大都市部での初めての適用事例となった。

GPS-TX 個体装着装置の内蔵バッテリーの性能では計500 回程度の位置情報発信が可能である。ただし、基地局側でデータ受信に失敗しても端末側では1 回分の送信としてバッテリーは消耗されるため、基地局からの電波状況が悪ければ取得データ数は減少する。また個体がGPS測位の困難な箇所、例えば建物等の陰に滞在していると、1 回のデータ取得で位置情報発信を2-3 分間継続するため、通常1 分未満で完了する開けた場所での測位と比較して2-3 倍のバッテリー消耗となる。本研究では、大学構内で最も高い標高に位置して横浜市街地も広く見通せる高層建物(9 階建て)の屋上に基地局を設置した。図1 は、この基地局設置箇所でのデータ受信性能を事前確認するために実施した電波伝搬シミュレーションの結果である。基地局から15km 範囲のほぼ全域が着色範囲、すなわちGPX-TX 仕様上での電波受信可能範囲であった。都市部に生息するカラスの移動距離はおおよそ10 km までの報告もあり¹⁶⁾、この基地局設置箇所で大学構内を拠点とするカラスの行動経路を概ね捉えられることを確認した。ただし、このシミュレーション結果は建造物の影響を考慮しおらず、目安としての受信性能把握に用いた。

2. 2 対象個体の捕獲と装着

GPS 搭載装置を装着するカラス個体の捕獲は、2014 年12 月18 日から2015 年1 月14 日の期間に行った。横浜国立大学構内でカラスが特に多くみられるエリアの建物の屋上に、一旦外から入ると出られない仕掛けのある木製小屋(約3.0 m×3.9 m×2.7 m)を設置し、小屋の内外に餌を撒いて小屋内に誘い込んだ。捕獲できた10 羽のうち平均的な体長50-60 cm の6 羽のカラスに、個体装着装置をテフロン加工された布製のハーネスで背中に取り付け(図2)、放鳥した。ハーネスは肩ひも同士の縫い合わせ方を調整することにより、1-2 か月後には鳥体から脱落するようになっている。機器とハーネスは合わせて約30g であり、平均的なカラスの体重550-750g¹⁶⁾の5%程度におさまる重量であった。

2. 3 データ取得状況

本研究ではGPS-TX システムのデータ取得間隔を30 分に設定し、2 週間程度の追跡期間を目指した。表1 に、放鳥した6 羽各個体(ID-1~ID-6)のデータ取得状況をまとめる。「開始日時」は放鳥を行った日時であり、「終了日時」は最後のデータが得られた日時である。実際に得られたデータ数を「総受信数」とし、この中で明らかにエラーと認められたデータを除いたデータの数「有効データ数」とした。「有効データ取得率」は、「総受信データ数」に対する「有効データ数」の割合である。

図1 横浜国立大学建物屋上に基地局を設置した際の電波伝搬シミュレーション

図2 ハシブトガラス個体へのGPS 搭載装置の装着

表1 各個体のデータ取得状況

	ID-1	ID-2	ID-3	ID-4	ID-5	ID-6
開始日時	1/14 13:45	1/14 13:49	1/14 13:53	1/14 13:58	1/14 14:05	1/14 14:09
終了日時	1/21 18:15	1/18 1:25	1/22 20:01	1/23 18:04	1/28 4:03	1/27 22:13
総受信データ数	343	169	378	436	632	638
有効データ数	301	66	336	424	615	620
有効データ取得率	88%	39%	89%	97%	97%	97%

図3 5個体のデータ取得期間中移動経路プロット (ID-1: 黄色, ID-3: 薄青, ID-4: 赤紫, ID-5: 緑, ID-6: 薄紫)

個体の移動を追跡できた期間は、最短が ID-2 での約 4 日間、ID-5 と ID-6 は目標通り 14 日間で総数 600 を超える位置情報データが受信できた。一方、ID-1 から ID-4 の 4 台は、センサの仕様上可能な 500 回の受信に届かないまま途切れてしまった。これは、個体が GPS 測位の困難な箇所に滞在する頻度が多く位置情報発信を繰り返したことで、著しくバッテリーを消耗したことが主な原因と考えられる。また受信できた位置情報の中にも、カラスの生態から考えて明らかに移動できないような箇所の緯度経度データ、例えば遠方の海洋上の緯度経度が数点受信される、というようなエラーが認められた。この原因にも、個体が GPS 測位環境の悪い地点に滞在したことによる測位不良が主に考えられる。特にデータ取得率が 39% と他の個体と比較して極端に低かった ID-2 は、このようなエラーデータの割合も多かった。しかし、本研究で初めて GPS-TX システムを大都市部の鳥類移動経路計測に適用したなかで、横浜市の中心部（保土ヶ谷区・横浜駅周辺など）を行動範囲に含むカラス 6 個体のうち 5 個体で移動経路の分析に用いることができるデータが取得できた。ID-2 以外の 5 羽では 1 週間以上のリアルタイム行動追跡に成功しており、また有効データ率も 90% 程度であった。そこで次章の移動経路分析は ID-2 を除く 5 羽について行うこととした。なお、分析では上記の明らかなエラーデータを生データから取り除いて用いた。

3. 取得データからの個体移動経路の分析と考察

3.1 個体ごとの移動経路特性

本研究で GPS-TX システムにて取得したデータは、各個体から送られてきた各時間の緯度経度である。はじめに、5 個体で得られた計測期間中の移動経路データを全て

(a) ID-1 (赤: YNU 構内, 薄緑: 羽沢町, 薄青: 横浜駅周辺, 橙: 三ツ沢公園周辺)

(b) ID-3 (赤: YNU 構内, 薄緑: 羽沢町, 濃青: 東神奈川駅周辺, 橙: 三ツ沢公園周辺, 薄紫: 三ツ沢下町)

(c) ID-4 (緑: 公園緑地, 赤紫: 鶴ヶ峰・今宿, 赤: YNU 構内, 薄緑: 羽沢町)

(d) ID-5 (薄橙: 三ツ沢上町, 薄紫: 三ツ沢下町, 濃青: 東神奈川駅周辺, 赤: YNU 構内, 薄緑: 羽沢町)

(e) ID-6 (赤: YNU 構内, 薄緑: 羽沢町, 緑: 公園緑地, 赤紫: 鶴ヶ峰・今宿)

図4 5個体 (ID-1/3/4/5/6) の滞在エリアと滞在時間

航空写真上に重ねて、図 3 に示した。まず、全ての個体の行動範囲が大学構内の基地局から 10km の範囲に概ねおさまっていたことがわかった。そしてデータ取得期間中で 5 個体のうち最も行動範囲が広がったのは ID-6 であり、一方、ID-1 は横浜国立大学周辺の比較的狭い範囲で決まった地点を行き来していた。また、ID-4 は計測期間中大学周辺にはほとんど滞在せず、西側の今宿エリアを拠点に活動していた。このように緯度経度のプロットか

ら各個体の行動パターンを視覚的に把握できた。さらに、各個体の滞在地点と移動経路を時系列で把握するため、取得データを図4のように整理した。30分毎のデータから滞在しているエリアを分類し、色に分けて記した。すると各個体のねぐらや、日中特に長い時間滞在する地点、そして日中の平均移動距離と時間を把握することができた。各個体の移動経路の特徴を、以下にまとめる。

ID-1: ねぐらは大学構内の中央広場の樹林であり、日中は羽沢エリアで過ごしていた。1/17, 19, 20 には、必ず朝に横浜駅周辺を訪れる行動がみられた。1日の滞在地点数は日によってばらつき、2-4箇所であった。

ID-3: 日中多くの時間を羽沢エリアで過ごしており、ねぐらは大学構内の樹林であった。計測期間全体を通して、1日に移動する距離が長い傾向にあった。1/19以降には必ず朝に東神奈川駅周辺に行く行動がみられた。1日の滞在地点数は、平均3箇所であった。

ID-4: 大学近辺に滞在していたが、1/17以降は西側の今宿エリアから公園緑地エリアを活動圏としており、ねぐらも同エリアの樹林としていた。1日の滞在地点数は平均で2箇所と、他の個体より少なかった。

ID-5: ねぐらを三ツ沢上町、日中の活動場所を三ツ沢下町としていた。またID-3と同様に東神奈川エリアを活動圏に含むが、訪れるのは朝ではなく、必ず昼前から午後であった。この個体も1日の滞在地点数は日によってばらつき、2-4箇所であった。

ID-6: 行動パターンはID-3と類似しており、ねぐらは大学構内の樹林、日中は羽沢エリアで過ごすことが多かった。しかし時折、5km以上の長距離移動を行う日もあった。1日の滞在地点数は2-3箇所であった。いずれの個体も、1日にねぐらを含めて2から4か所程度の地点を移動していた。日中の滞在地点は個体ごとにある程度決まっており、各地点を訪れる時間帯や順番にも個体ごとのパターンがみられた。

3. 2 特徴的な滞在地点における現地調査

GPS-TX 位置追跡システムのリアルタイムデータ表示機能を活用して、各個体の位置情報を確認しながら滞正在している地点の特徴を調べる現地調査を行った。以下に、各個体がねぐらと日中の活動地点としていた主要な5地点について、その特徴をまとめる。

(a) 横浜国立大学周辺エリア

構内には樹林がしげっている箇所が多く、夜間にねぐらとなっていることが確認できた。さらに滞滞在地点を詳細にみると、大学構内でも、ねぐらとしている地点は個体毎にほぼ決まっていた。

(b) 羽沢町エリア

ID-1, ID-3, ID-6の日中の活動拠点で、畑とまとまった樹林が多かった。またいずれの個体も特に頻繁に訪れていたのがこのエリアにある家畜小屋であり、現地調査でも多くのカラスが出入りする様子を確認した。施設管理者の話から、カラスは概ねトウモロコシなど牛の餌を目当てに小屋の中に入ってくるのことであった。

(c-1) 鶴ヶ峰・今宿町、(c-2) 公園緑地エリア

このエリアを活動拠点としていたのはID-4である。滞滞在地点は住宅地やゴルフ場で、周辺に樹林が茂っていた。また、ねぐらとしての利用があった北側の公園緑地は、比較的規模の大きな公園が集中していた。

(d-1) 三ツ沢上町、(d-2) 三ツ沢下町エリア

このエリアには樹林が広く広がる寺院があり、ID-5はここをねぐらとしていた。さらに住宅地の中にも採食が可能な畑が存在している他、ゴミ収集場もカラスにより荒らされている箇所があった。

(e) 東神奈川駅周辺エリア

このエリアには公園と寺院が多くあり、住宅や駅周辺に商業施設が立ち並ぶ一方で自然も多く存在する地域であった。特筆すべき点がゴミ収集場の状況で、収集日に現地調査に赴くと多くの収集箇所がカラスに荒らされていた。ID-3とID-5の訪れる頻度が高かったが、2個体ともそれぞれ早朝と正午前後の決まった時間帯に訪れていた。滞滞在地点を詳細にみると、エリア内で多数の地点を転々と移動する傾向が見られ、ゴミ収集前後での採食目的であったことが推察された。

以上のようにGPS位置データ取得と合わせて現場調査を実施した結果、各個体が頻繁に訪れるエリアには共通する特徴があることがわかった。1つ目は「まとまった樹林」の存在であり、特にねぐらとしての利用が多かった(a)大学周辺エリアや(d-1)三ツ沢上町、(c-2)公園緑地エリアには、広範囲での樹林があった。2つ目が畑や家畜小屋、ゴミ収集場といった「餌を確保できると考えられる地点」の存在であり、これらは日中の滞滞在地点となっていた。

このように、GPS搭載位置追跡システムを用いて行動経路分析を実施することで、各個体の行動パターンを把握でき、現地調査を合わせて実施することでその行動パターンの誘因要素となる各地点の特徴を分析できた。

4. 結論

本研究では、風力発電施設の建設や運用において鳥類生態との共生を検討する際に用いるデータとして、個体へのGPS搭載装着で得られる移動経路に着目し、カラス

を対象としてその適用性への検討を行った。得られた知見を以下にまとめる。

- GPS 搭載装置を装着し放鳥した 6 羽のうち 5 羽で、行動分析に有効な位置情報データを取得できた。うち 3 羽では 10 日間以上にわたって 30 分毎の緯度経度データが受信成功率 97% で得られた。
- 6 羽のうち 1 羽は、データ取得率 34% で受信が停止した。これは GPS 測位および基地局へのデータ送信でエラーが何度も発生し、個体装着装置のバッテリーを著しく消耗したためであると考えられる。
- 取得データから各個体の行動範囲、ねぐら、日中の滞在地点や滞在時間など、行動経路のパターンを定量的に把握できた。データと合わせて現地調査を実施した結果、各個体が頻繁に滞在するエリアには、ねぐらや休息場所となる樹林、および畑や家畜小屋など採食行動が可能な場所があることが把握された。

本研究で用いた GPS-TX システムのように、個体装着型の動物位置追跡システムではデバイスの小型化や位置情報の高精度化が進み、鳥類の個体移動経路把握に適用可能なデータ取得が可能であることがわかった。このようなシステムでは装着デバイスのバッテリー性能でデータの通信回数と容量が決まることから、対象とする鳥類の生態に応じて基地局の設置箇所やデータ取得間隔を策定する必要がある。例えば、データ取得間隔を長くして月・年単位の長期データを取得できれば、季節変化や気象条件の移動経路への影響も分析できる。また本研究では、緯度経度のみを取得して通信容量を押さえ、データ取得期間と安定性を確保した。これらに加えて高度データも取得すれば、滞在地での行動や飛行ルート of の分析をより詳細に行うことができる。風力発電施設の建設時や運用時に鳥類生態把握に用いるデータとして、より有用なものとなることが期待できる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、東京大学名誉教授であられる板生清先生に、ウェアラブルセンサを用いた移動体位置情報データ取得についてご指導ご助言を賜りました。ここに記し、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本野鳥の会, 「風力発電の鳥類に与える影響に関する評価」, pp. 111-161, (2004)
- 2) 浦達也, 「風力発電が鳥類に与える影響の国内事例」, 野外鳥類学論文集, 31, pp. 3-30, (2015)
- 3) 松田裕之, 「日本における風力発電の可能性と鳥衝突問題」, 風力エネルギー, 32(2), pp. 31-37, (2008)
- 4) 島田泰夫, 松田裕之, 「風力発電事業における鳥類衝突リスク管理モデル」, 保全生態学研究, 12, pp. 126-142, (2007)
- 5) 松本真由美, 「生物多様性と両立を図る風力発電の開発」, 風力エネルギー, 38 (1), pp. 24-28, (2014)
- 6) Gauthreaux Jr, S. A., Belser, C. G., "Radar ornithology and biological conservation," The Auk, 120 (2), pp. 266-277 (2003)
- 7) Gasteren, H. V., Holleman, I., Bouten, W., Loon, E. V., Shamoun-Baranes, J. U. D. Y., "Extracting bird migration information from C-band Doppler weather radars," Ibis, 150 (4), pp. 674-686, (2008)
- 8) Dokter, A. M., Liechti, F., Stark, H., Delobbe, L., Tabary, P., Holleman, I., "Bird migration flight altitudes studied by a network of operational weather radars," Journal of the Royal Society Interface, 8 (54), pp. 30-43 (2011)
- 9) 植田睦之, 島田泰夫, 有澤雄三, 樋口広芳, 「気象レーダー「ウィンドプロファイラ」により明らかになった全国的な渡り鳥の移動状況」, Bird Research, 5, A9-A18, (2009)
- 10) 藤吉康志, 「ライダーやレーダーを利用した鳥の高度飛行・経路の調査研究紹介」 北海道大学低温研究所低温研ニュース, 2009年1月 No.26, <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/newsletter/news26a.pdf>, (2017. 7)
- 11) 板生清, 「ウェアラブルへの挑戦」, 工業調査会, (2001)
- 12) 樋口広芳, 「高度情報通信技術を利用した野生動物の移動追跡」, 日本生態学会誌, 51, pp. 205-214, (2001)
- 13) 森下英美子, 樋口広芳, 「都市におけるハシブトガラスの局地移動」, カラスの自然史 (樋口広芳 編, 北海道大学出版), pp. 53-69, (2010)
- 14) 井上美樹, 藤野陽三, 西尾真由子, 樋口広芳, 時田賢一, 矢澤正人, 「土木構造物と生物の共生に向けた生体観測としての GPS センサによるカラス行動経路追跡」, 平成 27 年度日本風工学会年次研究発表会梗概集, pp. 95-96, (2015)
- 15) 藤田紀之, 服部俊宏, 東淳樹, 尾上舞, 矢澤正人, 瀬川典久, 「ハシブトガラスの行動圏特性の把握と個体数調整対策のための計画圏域の検討」, 農村計画学会誌, 34 (2), pp. 160-166, (2015)
- 16) 環境省自然環境局, 「自治体担当者のためのカラス対策マニュアル (基礎・現状編) (資料編)」 (2001)