

北海道根室落石で繁殖するオオセグロカモメを対象とした 洋上風力発電センシティブティマップ

佐藤 夕夏¹・赤坂 卓美^{1,*}・藪原 佑樹²・風間 健太郎³・河口 洋一^{2,**}

¹ 帯広畜産大学大学院保全生態学研究室

² 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

³ 早稲田大学人間科学学術院

Sensitivity mapping for seabirds and offshore wind power farms: A case study of Slaty-backed gulls in Hokkaido

Yuka Sato¹, Takumi Akasaka^{1,*}, Yuki Yabuhara², Kentaro Kazama³ and Yoichi, Kawaguchi^{2,**}

¹ Lab. Conservaion Ecology, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

² Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences

³ Faculty of Human Sciences, Waseda University

要旨：洋上風力発電は陸上風力発電よりも極めて大きな発電量を持つことから、近年気候変動問題の緩和策としても有力視されている再生可能エネルギーのひとつである。その一方で、風車への海鳥の衝突等、野生動物への影響も懸念されている。このため、海鳥の生息に配慮した風力発電事業計画のための実用的なセンシティブティマップが求められるが、多くの国で作成されていない。本研究は、海鳥類への影響を最小限にとどめることを目的に、オオセグロカモメ *Larus schistisagus* をケーススタディとし、本種の生息場選択に関わる要因を明らかにし、センシティブティマップを作成した。2018年6–8月に、北海道道東地方に生息するオオセグロカモメ6個体にGPSロガーを装着し5分間隔で利用場所を特定した。オオセグロカモメの利用頻度は海水面温度、クロロフィルa、および営巣地からの距離が関係しており、海水面温度やクロロフィルaの上昇に伴い増加し、営巣地からの距離に応じて減少した。しかし、営巣地からの距離が25 kmを越えた辺りからは横ばいとなった。これらの結果を用いてセンシティブティマップを作成したところ、営巣地に近接した海域だけでなく、遠方であっても潜在的に餌資源量が多い海域であれば、本種が風車に衝突する可能性が高くなることが示唆された。国内での洋上風力発電事業が計画されつつある今日では、本研究で示された手順で緊急にセンシティブティマップを作成し、事前の開発地選択に活用する必要がある。

キーワード：海鳥、環境影響評価、再生可能エネルギー、GPS

Abstract: Offshore wind energy is a renewable energy source that offers an opportunity to reduce greenhouse gas emissions while increasing energy security. However, many ecologists have suggested that offshore wind farms may have severe negative impacts on wildlife, especially seabirds. Thus, balancing seabird conservation with human energy demands is necessary when developing wind farms. Bird sensitivity mapping is a powerful and practical tool that can determine turbine collision risk within specific areas; however, sensitivity maps have seldom been generated for seabirds. Focusing on the Slaty-backed gull (*Larus schistisagus*), a red-listed species that often collides with wind turbines, we determined factors affecting habitat selection with the goal of reducing negative impacts of offshore wind farms. We then generated a sensitivity map using habitat modeling. GPS loggers set to record at 5-minute intervals between June and August 2018 were attached to six Slaty-backed gulls residing in

* 〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11 帯広畜産大学大学院保全生態学研究室

Lab. Conservaion Ecology, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Nishi 2-sen 11, Inadacho, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan

e-mail: mail2taq@gmail.com 2019年7月11日受付、2020年6月15日受理、2020年11月10日早期公開 (J-STAGE)

** 〒770-8506 徳島市南常三島2丁目1番地 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, 2-1, Minami-Josanjima, Tokushima 770-8506, Japan

e-mail: kawaguchi@ce.tokushima-u.ac.jp

Ochiishi Bay, Nemuro Prefecture, Japan. A Gaussian mixed model indicated that habitat selection was related to food availability (as determined by sea surface temperature and chlorophyll a content) and distance to the nest site. Sea surface temperature and chlorophyll a content were positively related area visitation frequency of Slaty-backed gulls, whereas distance to nest site was negatively correlated. Moreover, area visitation frequency was unchanged when the distance from the nest site was > 25 km. The sensitivity map indicated that areas both near and far from nest sites with potentially abundant food resources were high-risk areas with respect to turbine collisions for Slaty-backed gulls. Based on these results, we advocate the use of sensitivity mapping to reduce interactions between offshore wind farms and seabirds, especially for species that often forage far from their nest sites.

Keywords: Collision risk assessment, seabird conservation, renewable energy, wind turbine

はじめに

気候変動問題による種の多様性への影響は地球全体で深刻な問題であり、2050年までに全世界の種の15-37%が絶滅すると予想され(Thomas et al. 2004)、温室効果ガスの削減が求められている。再生可能エネルギーは二酸化炭素の排出が少ない発電方法であり(Ardente et al. 2008)、全世界で急速に普及が進んでいる(Jones et al. 2018)。日本においても、国外に比べると遅れているものの、2030年までに国内のエネルギー生産の22-24%を再生可能エネルギーに転換することを目標に定めている(経済産業省 2018)。このうち風力発電は、価格やCO₂排出量、効率および社会的影響等を総合的に考慮した結果、他の再生可能エネルギーである太陽光発電、水力発電、地熱発電よりも利用可能性が高いとされる(Evans et al. 2009)。近年、陸上風力発電の導入量は世界規模で増加しており、現在では539,123 MWに達している(Global Wind Energy Council 2018)。陸上での風力発電事業は、土地の有限性や建設適地の不足、騒音(Pedersen and Waye 2007)、および景観破壊(Wolsink 2007)などの課題があるとされる。これらの課題は、風車の大型化に伴い深刻化すると考えられ(Møller and Pedersen 2011)、大型風力発電の導入を停滞させている主要因のひとつとなっている(Bilgili et al. 2011)。これらの課題に対し、人間の生活圏内から離れた海域に風車を設置できる洋上風力発電事業は、前述した陸上での騒音や景観への課題は軽減される(Bilgili et al. 2011)。海上の風況は陸上よりも発電に適している場所が多く(Kühn 2001)、潜在的な設置可能面積も広大といわれている(Kim and Jin 2013)。建設コストや維持管理コストは陸上よりも高いものの(Sun et al. 2012; Center 2020)、輸送コストの面からは陸上よりも大型風車の導入が比較的容易であるため(Bilgili et al. 2011)、大規模な発電が生産可能となる(Kim and Jin 2013)。これらの利点から、

洋上風力発電は近年急速に普及しており、全世界の洋上風力発電による発電量は2011年で412万kWであったのに対し、2017年では1881万kWまでに達しているおり(Global Wind Energy Council 2018)、今後更なる導入が見込まれている。

その一方で、風力発電への鳥類の衝突事故(バードストライク)は、洋上でも報告されている(Everaert and Stienen 2007)。たとえば、北海南東部の沖合に建設されている観測塔(高さ130 m)において、2003年から2007年まで月に平均3回程度(合計160回)、ヘリコプターを用いた巡視を行ったところ、ブレードの存在しない研究塔であっても767個体の死亡個体(頭部等に衝突により生じたと思われる骨折があった個体)が回収された(Hüppop et al. 2016)。また、実際の洋上風力発電所であるゼーブルッヘ(Zeebrugge、ベルギー)の沿岸における洋上風力発電施設(200 kW:10台、400 kW:12台、600 kW:3台)では、2004年と2005年に週に1-2回(ただし繁殖期は少なくとも週に3-4回)の頻度で調査を実施したところ、2004年は121個体、2005年は105個体の風車衝突個体(ブレードへの接触によって生じたと考えられる裂傷等の外傷または、衝突による内部損傷が確認された個体)がそれぞれ回収された(Everaert and Stienen 2007)。さらに、Everaert and Stienen (2007)は、回収された衝突死亡個体の数を基準に、調査者の発見率や腐食動物により持ち去り率等を考慮して年間の衝突個体数を推定し、年間523個体にも達する海鳥が風車により死亡している可能性を示唆した。このように、衝突死亡個体の発見および回収が困難な洋上では(Drewitt and Langston 2006)、実際の衝突件数は回収される個体数よりもはるかに多いと推測される。このような海鳥への風車の直接的な影響に加え、デンマークでは、発電施設の建設により海鳥の利用可能な採餌場所や休息場所が消失することも報告されているほか(Fox et al. 2006)、多くの海鳥が洋上の風車を避けて飛んでいるのが観測されて

いる (Desholm and Kahlert 2005)。風車施設の回避に伴うエネルギーロスが個体に与える影響は、回避により増加する飛翔距離に依存するが、たとえば、風車の回避により 1 トリップ (巣を出てから巣に戻ってくるまでを 1 トリップと呼ぶ) あたり 1 km 飛翔距離が増加するとニシツノメドリ *Fratercula arctica* の繁殖率や適応度に大きな影響を与えるとされている (Masden et al. 2010)。このように洋上風力発電事業は、設置海域や稼働条件等によっては、海鳥の個体群に影響を及ぼす可能性が懸念されている (Wilson et al. 2010)。海鳥は、性成熟が遅く、年間の産卵数が少なく、そして長寿であるため、いったん個体群サイズが縮小すると回復が困難であるとされる (Drewitt and Langston 2006; Everaert and Stienen 2007)。このため、洋上風力発電事業計画は、設置海域や稼働の条件次第では、海鳥個体群の存続に影響を与えるかも知れない。このため、洋上風力発電事業計画にあたっては、海鳥等、貴重な海洋生物にも配慮しうる情報収集や整備が求められる。アメリカやイギリスなど、いくつかの国では洋上風力発電の影響を評価する手法は確立し、実際の現場で使用されているものの (United States Department of the Interior 2012; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie 2013)、日本を含む多くの国では洋上風力発電の影響を評価する手法はまだ検討途中である。特に、排他的経済水域に世界の海鳥の約 3 分の 1 の種が飛来する日本近海においては (Birdlife International 2017)、環境省が中心となり議論検討がなされているものの環境アセスメントデータベース (EADAS) の公開にとどまっており、洋上風力発電事業の海鳥への影響評価手法の開発は、急務といえる。

現在、風力発電事業の計画立案において、鳥類のセンシティブティマップ (Sensitivity map) の利活用が注目されている (例えば Bradbury et al. 2014)。センシティブティマップとは、風力発電等の開発事業を計画する場合、貴重な動植物への影響を回避あるいは低減可能な立地の選定を支援することを目的にしており、鳥類の分布情報や繁殖地、渡りルートなどに基づいて、開発事業による影響を受けやすい地域、海域を整理したものである (Bright et al. 2008)。イギリスでは、風力発電事業の需要が高まるとともに、鳥類の保全のために環境影響の評価手法の一環としてセンシティブティマップの使用が義務付けられている (Bright et al. 2008)。

本研究では、洋上風力発電事業の海鳥に及ぼす影響を緩和するために 1) オオセグロカモメ *Larus schistisagus* の餌場や分布情報と物理環境との関係を明らかにし、2)

その結果をもとに、オオセグロカモメのセンシティブティマップを作成することを目的とした。

方 法

調査地

調査地は、北海道道東地方とした。道東地方沿岸部には、環境省が風力発電の事業性が確保される最低風速として設定している (導入ポテンシャル有)、年平均風速 7.5 m/s 以上の海域が分布している (環境省 2011; 長井ほか 2011)。

本研究地の 2018 年における年平均気温は 7.0℃、月最高気温は 30.1℃ (8 月)、月最低気温は -12.3℃ (2 月) であった (「各種データ・資料 (気象庁 根室観測所)」、<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>、2019 年 4 月 11 日確認)。オオセグロカモメの繁殖期 (6 月から 8 月) の 3 ヶ月の平均気温は 14.1℃ ±4.9 であり、平均降水量は 190.5 mm ±45.5 であった。北海道道東地方周囲の海域では、海鳥の餌資源ともなるマイワシ *Sardinops melanostictus*、サンマ *Cololabis saira*、ミズダコ *Enteroctopus dofleini*、コマイ *Eleginus gracilis* などのタラ類、カラフトマス *Oncorhynchus gorboscha* などのサケ類などが、6 月 - 8 月にわたって約 4.8 万トン水揚げされる (北海道水産林務部 2020)。

GPS ロガーの装着は、北海道根室市の落石漁港で営巣するオオセグロカモメを対象とした。本調査の実施中に落石漁港周辺で 300 巣以上の繁殖巣を確認している (佐藤 観測データ)。同じ北海道道東地方においてオオセグロカモメの主要な繁殖地の一つとされている釧路港周辺で確認された繁殖数が 160 であることを考慮すると (矢萩 2016)、本調査地は北海道道東地方でも最も大規模な営巣地であると考えられる。

オオセグロカモメの生態

オオセグロカモメはシベリアおよびカムチャツカ半島から北海道に生息し、冬季になると越冬のために本州に飛来する海鳥である (Hoyo et al. 1996)。食性は魚類だけでなく、海産無脊椎動物や海鳥の卵、雛、成鳥、貝類、頭足動物、棘皮動物、齧歯動物および昆虫などを採食する (Watanuki 1988)。抱卵期間は 28 - 30 日間、巣立ちまで 40 - 45 日間であり (Hoyo et al. 1996)、北海道の繁殖期は 6 - 8 月にあたる。本種は、繁殖期になると営巣地と採餌場所を頻繁に往復するため (Hamer et al. 2002)、経路上に洋上風力発電施設が存在および稼働している場

合、衝突リスクは高くなる可能性がある。本種は北海道において風車への衝突による死亡例が他の鳥類よりも多い (Kitano and Shiraki 2013)。本種は、環境省のレッドデータリスト (ランク NT) にも記載されており、2015 年現在、その個体数は 1980 年と比較して 65% 減少したと推定とされている (Senzaki et al. 2019)。

対象種の捕獲、GPS 装着およびデータの取得

本種は、その繁殖期に、落石漁港の営巣地において、かご罟により捕獲した。捕獲個体は体重、跗蹠長、嘴峰長、嘴峰高および、全頭長を計測するとともに、雌雄を判別し、背面にソーラー発電式 GPS ロガー 2 種 (Technosmart 社製、Remote GPS (12 g)、Gipsy GSM (9 g) のいずれか) を装着した。ロガーの測位間隔は 5 分毎とし、緯度、経度、および、高度を取得した。

GPS 装着個体の追跡データは、営巣地の近傍に設置した基地局において自動で収集し、月に一度回収した。回収時には、営巣地を目視観察することにより、追跡個体の繁殖状況 (繁殖の継続の有無および、雛の存在の有無など) を記録した。

利用頻度の算出と空間解像度

各追跡個体が利用した海域における高頻度利用域を推定するために、位置情報からカーネル密度を算出した。カーネル密度推定法は、野生動物の行動圏推定方法として Worton (1989) が提唱した手法であり、得られた分布データを用いて周辺域を含む全対象域の分布確率を推定するものである。算出にあたっては地理情報システム (Arc GIS Version 10.3.1, Environmental Systems Research Institute, Redlands, California, USA) を用いた。カーネル密度は、任意の空間解像度で算出が可能であり、多くの研究では用いる物理環境データの空間解像度を考慮して決定される (たとえば、Ceia et al. 2015; Avalos et al. 2017; Dehnhard et al. 2019)。本研究では後述する物理環境 (海面水温およびクロロフィル a 濃度) の最小空間解像度が 4 km×4 km であったことから、4 km×4 km の空間解像度でカーネル密度を推定した。

海鳥は営巣地周辺の海域および海岸において休息行動等をとるため (Wilson et al. 2008; Kazama et al. 2018)、営巣地近傍ではカモメ類の環境利用は採餌トリップとは大きく異なる (Kazama et al. 2018)。本研究では営巣地を中心として半径 2.5 km の海域 (営巣地から落石岬まで) に多くの GPS 位置情報が存在しており、海岸や防波堤での休息を含め一定時間連続して滞在することが判

明した。この範囲を含めて解析を行ってしまうと営巣地付近の利用頻度が過大評価される懸念があることから、Kazama et al. (2018) に従い、この範囲内の GPS 位置情報を除外してカーネル密度を算出した。

物理的環境要因

一般的に多くの海鳥が頻繁に利用する空間は、餌資源量の影響を受けるため (たとえば、Arcos et al. 2012)、植物プランクトン等による一次生産性が高く、なおかつ動物プランクトンや魚類などが集群する海域の分布に依存する (Coyle et al. 1992; Hunt et al. 1996; Mackas et al. 2012)。多くの研究では、一次生産性の分布に着目して海鳥の分布を解析予測している (たとえば、Hunt and Schneider 1987; Becker and Beissinger 2003; Ainley et al. 2005; Hyrenbach et al. 2007; Thomas et al. 2012)。海洋の植物プランクトン量は様々な要因によって変化する。たとえば、沿岸域の植物プランクトン量は、河川水など陸域からの栄養塩の流入量や海底地形の影響を受け (たとえば、Hunt and Schneider 1987; 新井ほか 2007)、一般的に沖合に比べて多くなる (たとえば、荻島 1991)。一方で、沖合においては、海底地形の他に水温などが大きく影響する (Thomas et al. 2012)。特に、三陸海岸から北海道道東地方にかけては、冷温な親潮の中に局所的に分布する黒潮から分離した暖水塊との水温差が極めて重要な植物プランクトン供給の場となる (たとえば、荻島 1991)。このように、植物プランクトン量は、海底構造や河川水の流入などの定常的な要因のみでなく、海流等の流動性を有する要因によっても決定するため、ある特定の時間の植物プランクトンの分布が必ずしも一定期間同じとは限らない。しかし、夏季に海霧が多い道東地方においては (Sugimoto et al. 2013)、植物プランクトン量を代替するクロロフィル a 濃度 (Behrenfeld and Falkowski 1997) や海表面温度の短時間ごと (たとえば毎日) の詳細な分布変化を、衛星データから把握することは困難であった。このため、本研究では、オオセグロカモメの空間利用に関わる環境要因として、水深のほか、オオセグロカモメの追跡期間の 7 - 8 月の月別平均海面温度とクロロフィル a 濃度を収集した。海表面温度およびクロロフィル a は Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology から、解像度の 4 km の値を取得した (Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology 「Physical Oceanography Distributed Active Archive Center」 <https://podaac.jpl.nasa.gov/> 最終確認日 2019 年 4 月 11 日)。水深データは、日本海洋データセ

表 1. 物理的環境要因。+ は本研究のフルモデルに含まれた変数を示す。

変数	最小値	最大値	解析に用いた変数
海水面温度 (°C)	6.77	15.62	+
クロロフィル a (mg/m ³)	0.72	3.90	+
水深 (m)	0.00	2611.15	+
営巣地からの最短距離 (m)	1003.87	78415.58	+
海岸からの最短距離 (m)	14.12	70407.02	
漁港からの最短距離 (m)	0.00	61013.00	

ンターが所有する 500m メッシュ水深データから得た (海上保安庁海洋情報部「日本海洋データセンター」http://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/info/JEGG_j.html 最終確認日 2019 年 4 月 11 日)。水深データの空間解像度は 500 m であるが、クロロフィル a および海面水温データ解像度とあわせるための平均化 (ArcGIS フォーカル統計ツール, Esri ArcGIS Spatial analysis tool) により 4 km の空間解像度に合わせた。さらに各メッシュにおいて、営巣地、海岸および漁港までの最短距離も利用空間に関わる要因として集計した。すべてのデータの収集範囲は、GPS 追跡個体のうち最大採餌トリップ長 (平均到達距離 \pm SD = 43.1 \pm 22.0 km) を考慮して、営巣地から半径 80 km 以内の海域とし、これを本研究における解析範囲とした。

統計解析と解析海域

オオセグロカモメの空間利用に関係する要因を明らかにするために、目的変数を各メッシュ (4 km \times 4 km) のカーネル密度、説明変数を海水面温度 (°C)、クロロフィル a、水深 (m)、営巣地からの距離 (m)、海岸および漁港からの最短距離 (m) としたフルモデルを、一般化加法混合モデル (GAMMs) を用いて構築した (表 1)。なお、漁港および海岸からの最短距離は、それぞれ水深と営巣地からの最短距離と強い相関関係を示したことから ($r > |0.7|$)、多重共線性を考慮してすべての解析から除外した (表 1)。得られたフルモデルを元に補正赤池情報量規準 (AICc) を基準とした総当たり法によりモデル選択を行い、AICc が最も低いモデルをベストモデルとした (Δ AICc > 2)。解析には、統計ソフト R version3.4.2 (R Core Team 2017) と、R パッケージ “MuMIn” および “mgcv” を用いた。

本研究で用いた GPS ロガーの精度では、詳細な飛翔高度を得ることが出来なかった。オオセグロカモメの飛翔高度に関する情報はないものの、近縁種であるセグロカモメ *Larus argentatus* やカモメ *L. canus* ではそれぞれ

35% および 23% の飛行が風車ブレード高 (30 - 150 m) の範囲であり、他の海鳥種よりも衝突の危険性が高いとされている (Furness et al. 2013)。そのため、今後の大型風車を用いた洋上風力発電においては、オオセグロカモメの多くの飛行が衝突の危険性を有することになると考えられる。そのため、本研究においては、実際の飛行高度や飛翔割合は不明であるものの、オオセグロカモメが滞在しやすい場所を本種と風車との衝突が潜在的に発生しやすい場所とみなした。

センシティブティマップの作成

得られたベストモデルを用いて、前述した物理環境データから、各メッシュの利用頻度を推定した。このとき、マップの作成範囲は、営巣場所から追跡対象個体の最大飛翔距離を半径とする海域 (半径 80 km) とした。得られた各メッシュの推定利用頻度のうち上位 1/3 を高リスク、次の 1/3 を中リスク、そして、最後の 1/3 を低リスクとして GIS を用いて可視化し、これをセンシティブティマップとした。尚、本研究におけるリスクとは、Cleasby et al. (2015) を参考に、利用頻度が相対的に高い場所 (すなわち衝突可能性が高い場所) と定義した。

結 果

2018 年 6 月 24 日に繁殖期のオオセグロカモメを雄 3 個体、雌 3 個体、計 6 個体捕獲した (表 2)。6 月 24 日から 8 月 31 までに得られた GPS 位置情報およびトリップ (巣を出てから巣に戻ってくるまでを 1 トリップと呼ぶ) の数は、6 個体合計 62,912 点 (個体平均 \pm SD = 10,484.7 \pm 3,701.3 点)、2,690 トリップ (個体平均 \pm SD = 493.3 \pm 139.3 トリップ) であった。道東地方の夏季は海霧が多いのが特徴であり (Sugimoto et al. 2013)、本調査期間においてもいくつかの日時で日照不足に起因する充電不足によるデータの欠損がみられた。飛翔は、陸地側を除き特定の方位に限定されていなかった (図 1)。また、

表 2. 追跡対象個体情報と追跡データ数。

個体 ID	体重 (kg)	性別	取得データ数	取得トリップ数
1229	1.13	♀	16392	446
1230	1.35	♀	14797	775
1231	1.23	♀	7185	437
1232	1.45	♂	9259	542
1233	1.53	♂	7125	384
1234	1.52	♂	7520	356

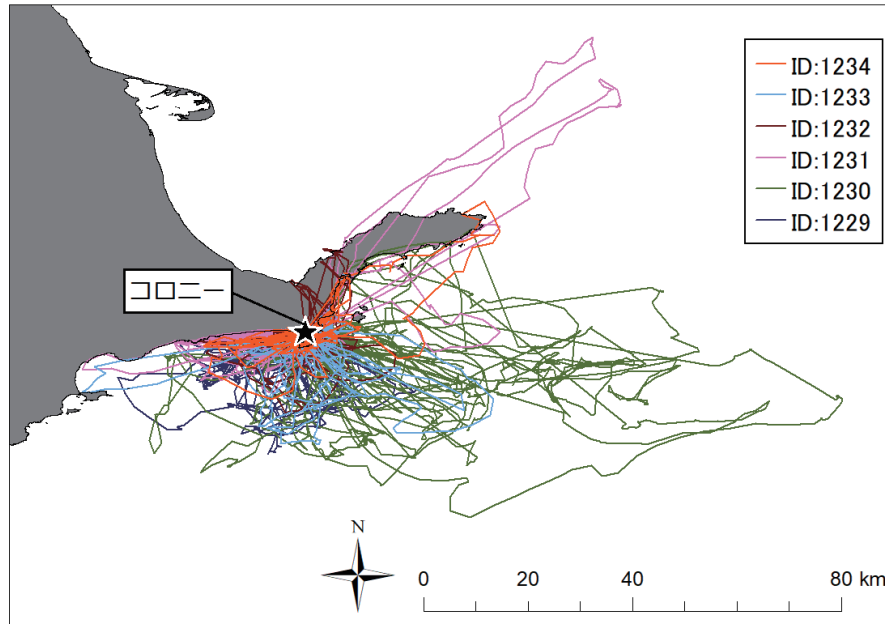


図 1. 各個体の飛翔軌跡。ID は各個体番号を示す。

最長で歯舞群島北西部の海上まで飛翔していた。

目視観察時に追跡個体は巣を離れていることが多かったため、全追跡 6 個体が繁殖を継続していたかどうかは、直接確認できなかった。しかしながら、GPS データから、全追跡個体が調査期間を通じて、営巣地に頻繁に戻ってきたことが確認されたことから、追跡対象 6 個体は追跡期間中を通じて、繁殖を継続していたと判断した。

前述したとおり、飛翔は特定の方位に限定されていなかったが、カーネル密度推定により利用頻度は、特に東部の沖合や海岸線沿いで高い傾向が認められた (図 2)。GAMMs の結果、説明変数として、海水面温度、クロロフィル a、そして、営巣地からの距離が含まれたモデルがベストモデルとして採択された (表 3)。海水面温度およびクロロフィル a の増加に伴いオオセグロカモメの利用頻度は増加した。営巣地からの距離は、オオセグロカモメの利用頻度の増加に伴い減少したが、営巣地から

の距離が 25km を越えた辺りからは横ばいであった (図 3)。また、得られたベストモデルを解析範囲の海域に外挿し、センシティビティマップを作成したところ、営巣地の周囲だけでなく、営巣地からおよそ 40 km 離れた場所にも高リスクの場所が存在していた (図 4)。また、ほとんどの中リスクおよび高リスクの場所は大陸棚 (水深 200 m 以内) に存在していた (図 4)。

考 察

本研究は、洋上風力発電が海鳥類へ及ぼす影響を緩和することを目的に、GPS ロガーを用いたオオセグロカモメの分布情報と餌場や物理環境との関係を明らかにした。その結果、海水面温度、クロロフィル a の物理環境が関係しており、営巣地から近い場所だけでなく、距離に関わらず潜在的に餌資源量が多い場所でオオセグロカ

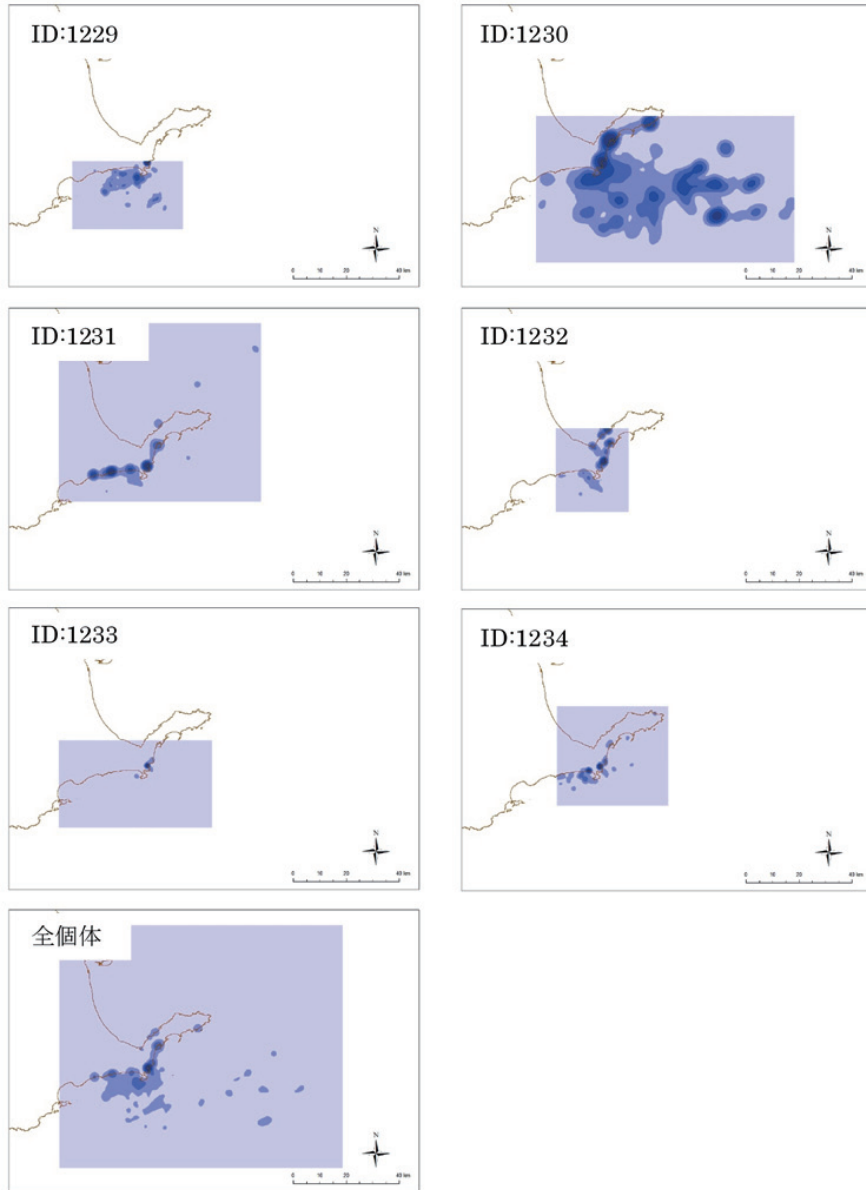


図2. 各個体および全個体のカーネル密度。地図の半島は根室半島である。IDは各個体番号を示す。

モメの利用確率が高くなることが明らかになった。このことから、オオセグロカモメに配慮した洋上風力発電事業計画の立案に際しては営巣地の近傍だけではなく、餌資源量の多い海域も考慮する必要があると考える。オオセグロカモメの分布は極東の一部に限られており、世界的に見ると非常に分布の狭い種であることから (Hoyo et al. 1996)、北海道の根室半島の繁殖個体群の維持管理 (保全) は重要である。本研究により得られたセンシビリティマップは、洋上風力発電事業計画においてオオセグロカモメとの共存を可能にする知見のひとつになる

と思われる。

餌資源は様々であるものの、餌資源の分布に利用空間が集中する海鳥種は他にも多く存在する (たとえば、Coyle et al. 1992 ; Hunt et al. 1996)。本研究と同様に、これらの種においても餌資源の分布を考慮したセンシビリティマップを緊急に作成し、立地計画前の開発地選択に利用する必要がある。

オオセグロカモメの海上における利用頻度は、海水面温度およびクロロフィル a が大きい場所で高くなった。海水面温度は植物プランクトンの成長に関わり、温度が

表 3. モデル選択の結果の上位 5 モデル。+ は各モデルに含まれる変数を示す。

model ID	クロロフィル a	営巣地からの距離	水深	海水面温度	ΔAIC_c
1	+	+		+	0.00
2	+	+			2.03
3		+			3.90
4	+	+		+	3.95
5	+	+	+	+	4.10

高いほどプランクトンの成長が速く、その分増殖速度も速くなる (Thomas et al. 2012)。また、植物プランクトン量の指標であるクロロフィル a の濃度の高さは (Behrenfeld and Falkowski 1997)、魚の餌となる植物プランクトンや動物プランクトンが多く存在していることを示している (Hays et al. 2005)。したがって、高い海水面温度およびクロロフィル a 濃度は、プランクトン量の増加を介して、オオセグロカモメの餌となる魚量が増加することを意味する。先行研究において、海鳥は一次生産性が高く、動物プランクトンや魚類などが集中する海域であるフロント (Ocean Front: 異なる 2 つの水塊の境界) に多くの海鳥が集中することが報告されている (Coyle et al. 1992; Hunt et al. 1996)。利用頻度が東部の沖合や海岸線沿いで高い傾向が認められたという本研究の結果も、これらの知見により説明できる。

オオセグロカモメは、営巣地から 25 km 以内の場所で利用頻度が高くなった。繁殖中の多くの海鳥は営巣地と採餌場所を頻繁に往復しなければならないため、採餌範囲が制限される (たとえば、Hamer et al. 2002)。たとえば、アオツラカツオドリ *Sula dactylatra* では、繁殖中はショートトリップ (8 - 24 km) や中程度のトリップ (50 - 142 km) を多く行うことが報告されている (Weimerskirch et al. 2008)。本研究では、オオセグロカモメの往復のコストと餌資源確保の関係を証明するデータはないが、25 km という距離は、飛翔距離が制限される繁殖期にもオオセグロカモメが頻繁に往復することが可能な距離の可能性もある。

本研究では、今後広く導入が見込まれる洋上風力発電に対して、鳥類衝突リスクや回避行動によるエネルギーロスなど、様々な影響を回避するためのセンシティブティマップを作成した。

洋上風力発電は、地球温暖化が進む昨今欠かせない発電方法であるだけでなく、多大な経済効果をもたらす (Snyder and Kaiser 2009)。特に、日本のように所有する海域面積 (排他的経済水域) が大きく (United States Department of State 1972)、洋上風力発電の導入ポテンシ

ヤルが高い国では洋上風力発電に対する期待は大きい (たとえば日本風力発電協会では 2030 年に 10 GW の目標を達成と予想している (日本風力発電協会 2018))。実際に日本における洋上風量発電の導入ポテンシャルは 15.7 億 kW と見積もられており、これは陸上風力発電の 2.8 億 kW や太陽光発電の 1.5 億 kW と比較しても極めて大きなポテンシャルである (環境省 2011)。海外においても導入ポテンシャルは大きく、導入数は急速に増加し続けている (Global Wind Energy Council 2018)。本研究で作成したセンシティブティマップは、海鳥の繁殖地に配慮した洋上風力発電の立地条件の一助となることを期待したい。

本研究の結果から、オオセグロカモメに対する風車への衝突リスクは、営巣地の近くだけでなく、距離に関わらず潜在的に餌資源の多い場所で高くなる可能性が危惧される。これはオオセグロカモメだけでなく、餌資源の分布に行動が左右される多くの海鳥種に対して当てはまることだろう (Hunt et al. 1996)。洋上風力発電施設は、建設費用や労働力の問題から水深 200 m の建設海域での建設が妥当とされており、着床式の風車は水深 0 m - 50 m、浮体式は水深 50 m - 150 m までが建設適地とされている (Myhr et al. 2014)。現在は、着床式が主な建設方法であり、商用の浮体式洋上風力発電は 2017 年に稼働を開始したスコットランドの施設のみであるが (StatOil 2015)、技術革新により更に水深の深い場所にも浮体式洋上風力発電は建設されうる。魚類が多く集まる大陸棚上で (Hunt and Schneider 1987)、オオセグロカモメの衝突のリスクが高くなることを考慮すると、着床式だけでなく、浮体式もまたオオセグロカモメには衝突のリスクがあることになる。このため、離岸距離が長い場所においてもセンシティブティマップを活用し、慎重に風車設置場所を計画することで風車導入の迅速化を図れるだろう。

最も頻繁に同じ海域を利用する繁殖期に着目した本研究の結果は、今後の洋上風力発電の設置計画において有用な知見となるであろう。本研究は、衝突事例が多く

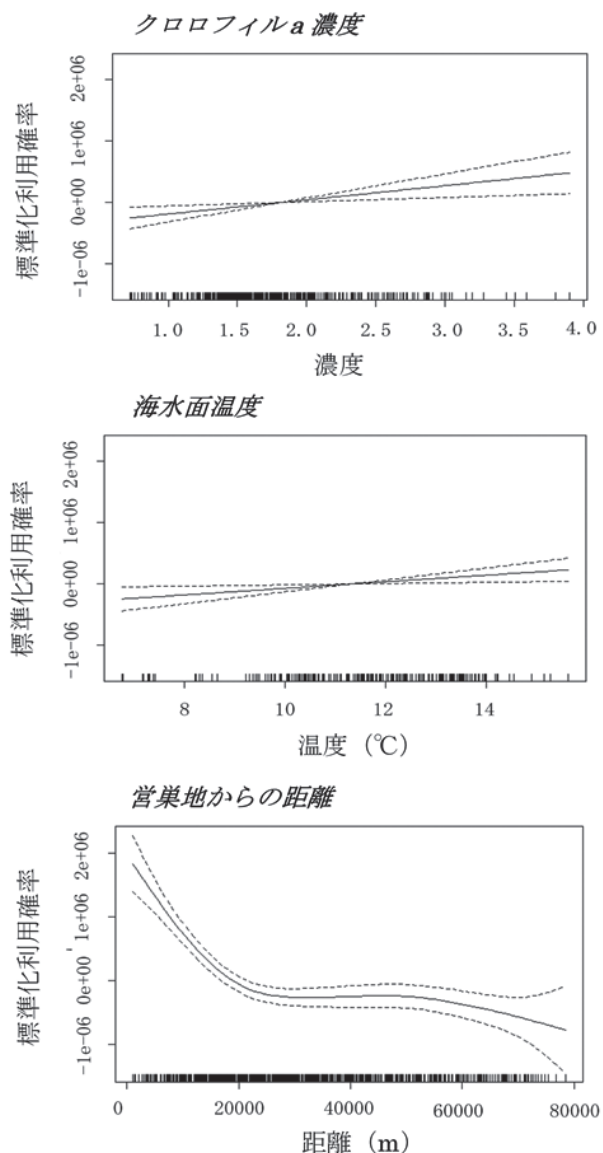


図3. ベストモデルにおけるオオセグロカモメの利用頻度に対する物理的環境要因（クロロフィル a、海水面温度および営巣地からの距離）の応答曲線。実線は推定線、破線は95%信頼区間を表す。

(Kitano and Shiraki 2013)、急激な個体数減少により絶滅の危機にある (Senzaki et al. 2019) オオセグロカモメを対象にしたが、風力発電施設の影響は本種以外でも懸念される。このため、他種も対象としたセンシティビティマップの作成が求められる。しかし、現在の風力発電施設の建設速度を考慮すると、海鳥全種の生態的情報を蓄積するのに十分な時間がない。Senzaki et al. (2019) は、オオセグロカモメ以外にも特に個体数の減少が著しい種として、ウミネコ *Larus crassirostris*、ウミガラス *Uria*

aalge、そして、エトピリカ *Fratercula cirrhata* を挙げている。こうした種については優先的に本研究のようなセンシティビティマップの作成が急がれるだろう。また、Gove et al. (2016) は、風力発電施設に対する高リスク種の選定のために、政府が定める絶滅危惧等のランクの他に、個体群サイズや成鳥の生存率等の生物情報を統合したスコアである SSS (Species Sensitivity Scores) を提唱し各種の風車施設へ危険度を順位付けした。我が国においても、希少種かどうかに加え、同様の手法を用いた対象種の優先順位付けも有効な手法になるかもしれない。

また、本研究で作成した予測モデルは、他地域でも取得が比較的可能な変量のみにより構築されているため、他地域でも適用することが潜在的に可能である。しかし、現段階では、モデルの精度向上のためにいくつかの課題がある。たとえば、海鳥の行動範囲はコロニーの規模によって変化することである (Soanes et al. 2016)。本調査地に存在するオオセグロカモメのコロニーは2018年で301巣であり、他の地域よりも非常に大きい（たとえば、焼尻島ではおよそ60巣（長谷部 2014）、釧路港周辺ではおよそ160巣（矢萩 2016））。また、採餌場所に個体差が見えらる海鳥では、ひとつの個体群の特性を把握するために少なくとも25 - 50個体のデータが必要であるとされている (Lascelles et al. 2016)。オオセグロカモメにおいても食性の個体差、性差が報告されていることから (Watanuki 1989)、本研究で追跡した6個体のみでは、個体群全体を把握できていない可能性がある。加えて、海鳥の採餌場所は、海洋における環境の季節的な変化や年次変化によって変動する (Yamamoto et al. 2011)。これは、餌資源の分布が、海流などの動的要因によって頻繁に変化することにも由来する。このため、主な高利用域（高リスク）が沖合に分布する種を対象に汎用なセンシティビティマップを作成するためには、過去の物理環境データを用いて水塊の分布の時空間変化を予測することが必要となるかもしれない。しかし、オオセグロカモメの高利用領域のほとんどが水深200m 以内の沿岸域であったことから (図4)、本種の好適な餌場（高利用域）の分布は、海流よりも地形や陸域由来の栄養塩の影響といった定常的な要因に支配されやすい。したがって、対象地域内のクロロフィル a 濃度や海水面温度の季節変化を把握し、対象地域内の相対値として用いることで、確率的な評価が容易であろう。今年度の結果に加え、新たに場所と個体数を加えて継続的に調査することで、対象個体群の特性を年変化も含めて把握することができるだろう。また、多くの鳥類は飛翔する際に風を利用し (Safi

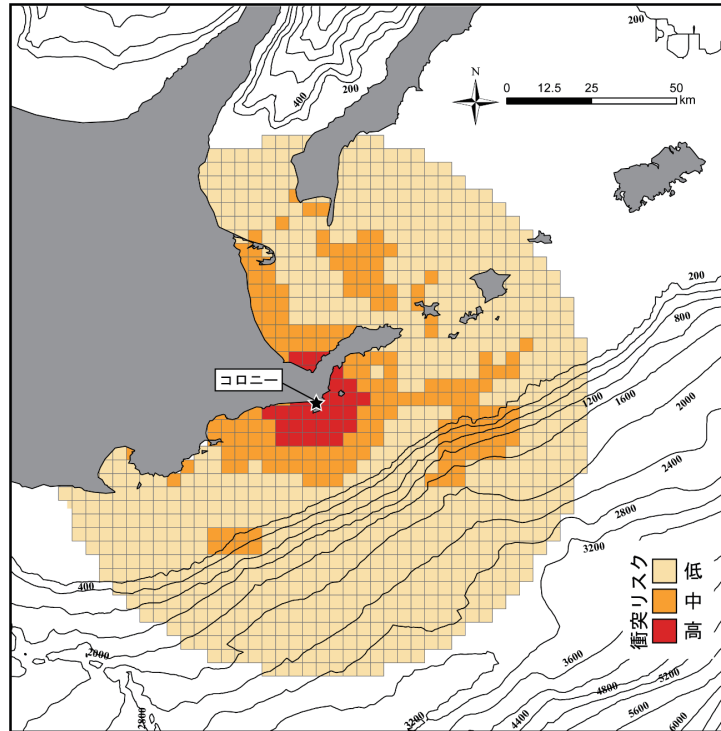


図4. 作成されたセンシティブティマップ。等高線は水深を示す。

et al. 2013 ; Tarroux et al. 2016)、オオセグロカモメを含むチドリ目においては追い風よりも向かい風を利用して飛翔することが明らかになっている (Spear and Ainley 1997)。本研究では風向風速などの風況条件を考慮していないが、風車も風況と強くかかわっている以上、今後センシティブティマップを実用化していくためには、風況をめぐる風車設置適地とオオセグロカモメの利用適地のトレードオフを解明していく必要があるだろう。上記課題の解決に加え空間解像度の向上が、生物多様性に配慮した風力発電事業の普及のために急務であろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、本研究の趣旨を理解しご協力していただいた落石漁業協同組合の坂井敦氏をはじめとする皆さまに感謝いたします。また、捕獲や調査地域の選定にご協力いただいた根室市歴史と自然の資料館の外山雅大氏、北海道大学の風間麻未女士に心より御礼申し上げます。本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (4-1803) により実施されたものである。

引用文献

- Ainley DG, Spear LB, Tynan CT, Barth JA, Pierce SD, Ford RG, Cowles TJ (2005) Physical and biological variables affecting seabird distributions during the upwelling season of the northern California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 52:123-143. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.08.016>
- 新井 雅之, 中山 哲蔵, 足立 久美子, 齊藤 肇, 奥西 武 (2007) 黒潮・親潮統流の影響が強い開放性沿岸域での一次生産に及ぼす河川水の影響. *海岸工学論文集*, 54:1176-1180. <https://doi.org/10.2208/proce1989.54.1176>
- Ardente F, Beccali M, Maurizio CM, Brano LV (2008) Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12:200-217. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.013>
- Arcos JM, Bécares J, Villero D, Brotons L, Rodríguez B, Ruiz A (2012) Assessing the location and stability of foraging hotspots for pelagic seabirds: An approach to identify marine Important Bird Areas (IBAs) in Spain. *Biological Conservation*, 156:30-42. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.011>
- Avalos MR, Ramos JA, Soares M, Ceia FR, Fagundes AI, Gouveia C, Menezes D, Paiva VH (2017) Comparing the foraging strategies of a seabird predator when recovering from a drastic climatic event. *Marine Biology*, 164:48.

- <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3082-4>
- Becker BH, Beissinger SR (2003) Scale-dependent habitat selection by a nearshore seabird, the marbled murrelet, in a highly dynamic upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 256:243-255. <https://doi.org/10.3354/meps256243>
- Behrenfeld MJ, Falkowski PG (1997) Photosynthetic rates derived from satellite - based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, 42:1-20. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.1.0001>
- Bilgili M, Yasar A, Simsek E (2011) Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 905-915. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.006>
- Birdlife International (2017) Japan is home to one third of all seabirds - so we mapped its waters. <https://www.birdlife.org/asia/news/japan-home-one-third-all-seabirds-so-we-mapped-its-waters>, 2019年4月15日確認
- Bradbury G, Trinder M, Furness B, Banks NA, Caldow WGR, Hume D (2014) Mapping Seabird Sensitivity to Offshore Wind Farms. *PloS one*, 9:e106366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170863>
- Bright J, Langston R, Bullman R, Evans R, Gardner S, Higgins PJ (2008) Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: A tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation*, 141:2342-2356. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.06.029>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2013) Standard Investigation of the Impacts of Offshore Wind Turbines on the Marine Environment. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
- Ceia FR, Paiva VH, Ceia RS, Hervías S, Garthe S, Marques JC, Ramos JA (2015) Spatial foraging segregation by close neighbours in a wide-ranging seabird. *Oecologia*, 177:431-440. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3109-1>
- Center BP (2020) Annual Energy Outlook 2020. Energy Information Administration, Washington, D.C.
- Cleasby IR, Wakefield ED, Bearhop S, Bodey TW, Votier SC, Hamer KC (2015) Three - dimensional tracking of a wide - ranging marine predator: Flight heights and vulnerability to offshore wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 52:1474-1482. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12529>
- Coyle KO, Hunt GL, Decker MB, Weingartner TJ (1992) Murre foraging, epibenthic sound scattering and tidal advection over a shoal near St-George Island, Bering Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 83:1-14. <https://doi.org/10.3354/meps083001>
- Dehnhard N, Achurch H, Clarke J, Michel LN, Southwell C, Sumner MD, Eens M, Emmerson L (2019) High inter - and intraspecific niche overlap among three sympatrically breeding, closely related seabird species: Generalist foraging as an adaptation to a highly variable environment?. *Journal of Animal Ecology*, 89:104-119. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13078>
- Desholm M, Kahlert J (2005) Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters*, 1:296-298. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0336>
- Drewitt LA, Langston HWR (2006) Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis*, 148:29-42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- Evans A, Strežov V, Evans JT (2009) Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13:1082-1088. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008>
- Everaert J, Stienen WME (2007) Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). *Biodiversity and Conservation in Europe*, 16:3345-3359. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9082-1>
- Fox AD, Desholm M, Kahlert J, Christensen TK, Petersen, IBK (2006) Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Ibis*, 148:129-144. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00510.x>
- Furness RW, Wade HM, Masden EA (2013) Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management*, 119:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>
- Global Wind Energy Council (2018) Global Wind 2017 Report-Annual Market Update 2017. Global Wind Energy Council, Brussels
- Gove B, Williams LJ, Beresford AE, Roddis P, Campbell C, Teuten E, Langston RHW, Bradbury, RB (2016) Reconciling biodiversity conservation and widespread deployment of renewable energy technologies in the UK. *Plos One*, 11:e0150956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150956>
- Hamer CK, Schreiber EA, Burger J (eds) (2002) Breeding Biology, Life Histories, and Life History-Environment Interactions in Seabirds. *Biology of Marine Birds*. Crc Press, Florida
- 長谷部 真 (2014) 2010-2013年の焼尻島における海鳥の巣数. *山階鳥類学雑誌*, 46:29-33. <https://doi.org/10.3312/jyio.46.29>
- Hays GC, Richardson AJ, Robinson C (2005) Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution*, 20:337-344. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004>
- 北海道水産林務部 (2020) 北海道水産現勢. 北海道水産林務部, 札幌
- Hoyo DJ, Elliott A, Sargatal J (1996) Handbook of the Birds of the World: Volume 3: Hoatzin to Auks. Lynx Edicions, Barcelona
- Hunt GL, Coyle KO, Hoffman S, Decker MB, Flint EN (1996) Foraging ecology of short-tailed shearwaters near the Pribilof Islands, Bering Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 141:1-11. <https://doi.org/10.3354/meps141001>

- Hunt GL, Schneider DC (eds) (1987) Scale-Dependent Processes in the Physical and Biological Environment of Marine Birds. Seabirds Feeding Biology and Role in Marine Ecosystems, Cambridge University Press, Cambridge
- Hüppop O, Hüppop K, Dierschke J, Hill R (2016) Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. Bird Study, 63:73-82. <https://doi.org/10.1080/00063657.2015.1134440>
- Hyrenbach KD, Veit RR, Weimerskirch H, Metzl N, Hunt Jr GL (2007) Community structure across a large-scale ocean productivity gradient: Marine bird assemblages of the southern Indian Ocean. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 54:1129-1145. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.05.002>
- Jones D, Sakhel A, Buck M, Graichen P (2018) The European Power Sector in 2017. Agora Energiewende and Sandbag, Berlin and London
- 環境省 (2011) 平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書. 環境省, 東京
- Kazama K, Nishizawa B, Tsukamoto S, Gonzalez JE, Kazama MT, Watanuki Y (2018) Male and female Black-tailed Gulls *Larus crassirostris* feed on the same prey species but use different feeding habitats. Journal Ornithology, 159:923-934. <https://doi.org/10.1007/s10336-018-1565-9>
- Kim N, Jin WJ (2013) Sensitivity analysis of offshore wind turbine tower caused by the external force. KSCE Journal of Civil Engineering, 17:859-864. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-1584-2>
- Kitano M, Shiraki S (2013) Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan. Wildlife Society Bulletin, 7:41-48. <https://doi.org/10.1002/wsb.255>
- 経済産業省 (2018) エネルギー基本計画. 経済産業省, 東京
- Kühn MJ (2001) Dynamics and Design Optimisation of Offshore Wind Energy Conversion Systems. Delft University Wind Energy Research Institute, Delft
- Lascelles GB, Taylor RP, Miller GRM, Dias PM, Oppel S, Torres L, Hedd A, LeCorre M, Phillips AR, Shaffer AS, Weimerskirch H, Small C (2016) Applying global criteria to tracking data to define important areas for marine conservation. Diversity and Distributions, 22:422-431. <https://doi.org/10.1111/ddi.12411>
- 長井 浩, 安藤 生大 (2011) 日本の風力エネルギーポテンシャルと導入目標についての考察. 風力エネルギー利用シンポジウム, 33:221-224.
- 日本風力発電協会 (2018) 洋上風力発電の導入促進にむけてー特に洋上風力新法に係る課題と要望ー. 日本風力発電協会, 東京
- Mackas DL, Pepin P, Verheye H (2012) Interannual variability of marine zooplankton and their environments: Within-and between-region comparisons. Progress in Oceanography, 97:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.11.002>
- Masden EA, Haydon DT, Fox AD, Furness RW (2010) Barriers to movement: Modelling energetic costs of avoiding marine wind farms amongst breeding seabirds. Marine Pollution Bulletin, 60:1085-1091. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.01.016>
- Møller H, Pedersen CS (2011) Low-frequency noise from large wind turbines. The Journal of the Acoustical Society of America, 129:3727-3744. <https://doi.org/10.1121/1.3543957>
- Myhr A, Bjerkseter C, Ågotnes A, Nygaard TA (2014) Levelised cost of energy for offshore floating wind turbines in a life cycle perspective. Renewable Energy, 66:714-728. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.017>
- 萩島 隆 (1991) 北海道南東海域におけるマイワシ餌料としてのクロロフィル a 分布 (親潮水域における海洋環境と飼料生物生産維持機構の解明). 北海道区水産研究所研究報告, 55:173-184.
- Pedersen E, Waye KP (2007) Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. Occupational and Environmental Medicine, 64:480-486. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2006.031039>
- R Core Team (2017) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Available at: <http://www.r-project.org>. Last accessed June 2017
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2018) Renewables 2018 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris
- Safi K, Kranstauber B, Weinzierl R, Griffin L, Rees CE, Cabot D, Cruz S, Proaño C, Takekawa YJ, Newman HS, Waldenström J, Bengtsson D, Kays R, Wikelski M, Bohrer G (2013) Flying with the wind: Scale dependency of speed and direction measurements in modelling wind support in avian flight. Movement Ecology, 1:4. <https://doi.org/10.1186/2051-3933-1-4>
- Senzaki M, Terui A, Tomita N, Sato F, Fukuda Y, Kataoka Y, Watanuki Y (2019) Long-term declines in common breeding seabirds in Japan. Bird Conservation International, 1-13. <https://doi.org/10.1017/S0959270919000352>
- Snyder B, Kaiser MJ (2009) Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. Renewable Energy, 34:1567-1578. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.015>
- Soanes LM, Bright JA, Angel LP, Arnould JPY, Bolton M, Berlincourt M, Lascelles B, Owen E, Simon-Bouhet B, Green JA (2016) Defining marine important bird areas: Testing the foraging radius approach. Biological conservation, 196:69-79. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.007>
- Spear BL, Ainley GD (1997) Flight behaviour of seabirds in relation to wind direction and wing morphology. Ibis,

- 139:221-233. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1997.tb04620.x>
- Statoil (2015) Hywind Scotland Pilot Park Environmental Statement. Statoil, Stavanger
- Sugimoto S, Sato T, Nakamura K (2013) Effects of synoptic-scale control on long-term declining trends of summer fog frequency over the Pacific side of Hokkaido Island. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52:2226-2242. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0192.1>
- Sun X, Huang D, Wu G (2012) The current state of offshore wind energy technology development. *Energy*, 41:298-312. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.054>
- Tarroux A, Weimerskirch H, Wang HS, Bromwich HD, Cherel Y, Kato A, Coudert RY, Vaepe, Ø, Yoccoz GN, Descamps S (2016) Flexible flight response to challenging wind conditions in a commuting Antarctic seabird: Do you catch the drift?. *Animal Behaviour*, 113:99-112. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.12.021>
- Thomas DC, Cameron A, Green ER, Bakkenes M, Beaumont JL, Collingham CY, Erasmus FN B, Siqueira FM, Grainger A, Lee H, Hughes L, Huntley B, Jaarsveld SA, Midgley FG, Miles M, Ortega-Huerta AM, Peterson AT, Phillips LO, Williams ES (2004) Extinction risk from climate change. *Nature*, 427:145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Thomas MK, Kremer CT, Klausmeier CA, Litchman E (2012) A global pattern of thermal adaptation in marine phytoplankton. *Science*, 338:1085-1088. <https://doi.org/10.1126/science.1224836>
- United States Department of State (1972) Theoretical Areal Allocations of Seabed to Coastal States. Limits in the Seas 46. United States Department of State, Washington, D.C.
- United States Department of the Interior (2012) Environmental Impact Statement for the Proposed Cape Wind Energy Project. United States Department of State, Washington, D.C.
- Watanuki Y (1988) Regional difference in the diet of Slaty-backed Gulls breeding around Hokkaido. *Journal of the Yamashina Institute for Ornithology*, 20:71-81. <https://doi.org/10.3312/jyio1952.20.71>
- Watanuki Y (1989) Sex and individual variations in the diet of Slaty-backed Gulls breeding on Teuri Island, Hokkaido. *Japanese Journal of Ornithology*, 38:1-13. <https://doi.org/10.3838/jjo.38.1>
- Weimerskirch H, Le Corre M, Bost CA (2008) Foraging strategy of masked boobies from the largest colony in the world: Relationship to environmental conditions and fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 362:291-302. <https://doi.org/10.3354/meps07424>
- Wilson JC, Elliott M, Cutts ND, Mander L, Mendão V, Perez-Dominguez R, Phelps A (2010) Coastal and offshore wind energy generation: Is it environmentally benign?. *Energies*, 3:1383-1422. <https://doi.org/10.3390/en3071383>
- Wilson LJ, McSorley CA, Gray CM, Dean BJ, Dunn TE, Webb A, Reid JB (2008) A rafting behaviour of Manx Shearwaters *Puffinus puffinus*. *Seabird*, 21:85-93
- Wolsink M (2007) Wind power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of 'backyard motives'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1188-1207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.10.005>
- Worton BJ (1989) Kernel methods for estimating the utilization distribution in home - range studies. *Ecology*, 70:164-168. <https://doi.org/10.2307/1938423>
- 矢萩 樹 (2016) 釧路市の港におけるオオセグロカモメの営巣状況. 釧路市立博物館紀要, 36:31-34
- Yamamoto T, Takahashi A, Oka N, Iida T, Katsumata N, Sato K, Trathan PN (2011) Foraging areas of streaked shearwaters in relation to seasonal changes in the marine environment of the Northwestern Pacific: Inter-colony and sex-related differences. *Marine Ecology Progress Series*, 424:191-204. <https://doi.org/10.3354/meps08973>