

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510037

研究課題名(和文) 風力発電施設によるオジロワシ個体群への影響の評価と悪影響軽減に向けた基礎的研究

研究課題名(英文) A basic study for the assessment of the impact of wind farms on the White-tailed Eagle population and for avoiding bird collisions with wind turbines

研究代表者

白木 彩子 (SHIRAKI, Saiko)

東京農業大学・生物産業学部・准教授

研究者番号：20434011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：風車衝突事故によるオジロワシ個体群への影響評価で対象とすべき集団について、遺伝的側面から検討した。北海道北部とロシア極東の地域繁殖集団間には遺伝的な分化傾向が認められ、ロシアでの繁殖(越冬)個体が渡来する越冬期に北海道北部で風車に衝突死したオジロワシの多くは、北海道北部地域の繁殖集団に帰属する可能性が高いことが示された。本研究の結果から、北海道北部で多発している風車衝突事故による影響評価は、インバクトがとくに大きいと考えられる同地域の繁殖集団と、渡り個体が越冬するロシアの繁殖集団とを対象に実施される必要があると考えられた。

研究成果の概要(英文)：The targeting population for the impact assessment of collisions of White-tailed Eagles with wind turbines in Hokkaido was examined by genetic analysis. A genetic differentiation between the breeding populations in the northern part of Hokkaido and in the Far East Russia was revealed. Mitochondrial DNA sequence data showed the most of eagles killed by wind turbines in the northern part of Hokkaido probably originated from the breeding population in the same region. These results suggested that the impact assessment should be carried out for both of breeding populations in the northern part of Hokkaido and in the Far East Russia which was the summering area of the eagles wintering in Hokkaido.

研究分野：鳥類生態学

キーワード：風車衝突事故 地域繁殖集団 遺伝解析 北海道 極東ロシア 立地特性

1. 研究開始当初の背景

風力発電施設による野生生物に対する影響のうち、とくに鳥類や蝙蝠類の風車衝突事故が大きな問題となっている。事故の発生状況は正確に把握できていないが、日本で風車衝突事故による死亡が報告されている鳥類種のうち、オジロワシ *Haliaeetus albicilla* は 2011 年度までに 27 件の事故が確認されており、最も影響の懸念される種である。オジロワシは環境省保護増殖事業の対象種で、同省釧路自然環境事務所によれば、風車への衝突死は近年死体回収された本種の最も主要な死亡原因となっており、個体群の保全上無視できない要因である。また、27 件の事故のうち 17 件は二ヶ所の施設で発生しており、特定の風車(群)に衝突する傾向がみられている。

我が国では平成 24 年度から、一定規模以上の風力発電施設建設において野生生物を含む環境への影響評価が義務付けられた。鳥類への影響評価では個体群へのインパクトについての評価が含まれるべきであるが、そのために必要な、個体群に関わるデータが蓄積されている鳥類種はほとんどない。また、個体群への影響を評価する上で「どの集団を評価の対象とするか」は重要である。たとえば、オジロワシの場合、日本では北海道にのみ少数が留鳥として繁殖しているが、越冬期にはロシア極東地域で繁殖する集団が冬鳥として渡来し、北海道には留鳥と渡り鳥の両方が混在する。北海道で確認されているオジロワシの風車衝突事故の多くは 12 月から 4 月の越冬期に発生しており、死亡個体が北海道産の留鳥なのか渡り鳥であるのかの判別はできていない。北海道の風力発電施設におけるオジロワシへの影響評価では、それぞれの施設の周辺に生息する(つまり各施設の影響を受ける)個体、またはそれぞれの施設で衝突事故に遭遇した個体がどの地域集団に属するのかを明らかにした上で、影響評価の対象とする集団を決定する必要がある。

一方、大型の希少猛禽類などではわずかな死亡率の低下が個体群に大きな悪影響をもたらすことが指摘されており、欧米では風車衝突事故による、イヌワシやシロエリハゲワシなどの個体群の衰退が報告されている。今後、国内において風力発電施設はさらに増設される方向にあることから、衝突事故の対策が急がれる。事故の回避に向けた現実的な対策の一つとして、衝突事故の発生率が低い場所に風車を建設することが挙げられる。先述したように、オジロワシは特定の風車(群)に複数回衝突していることがわかっており、事故を引き起こしやすい立地条件が存在する可能性がある。そのような条件の立地を避けて風車を建設することで、事故の発生を回避・軽減できると考えられる。そのためには、で

きる限り定量的に、衝突率の高い風車の立地特性を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では以下の 2 つを主な目的とした。

(1) 極東地域に生息するオジロワシ個体群を対象とし、各地域の繁殖集団の遺伝構成および地域集団間の遺伝的な関係を明らかにする。その結果に基づき、風車に衝突死した個体の帰属集団(繁殖地域)を推定し、北海道の風力発電施設において影響評価の対象とすべき集団について検討する。

(2) 衝突事故が発生した風車の立地する地形や環境特性との関係を解析し、事故の起こりやすい風車の立地特性の解明を試みる。

3. 研究の方法

(1) 野外調査

DNA サンプルの採集

極東ロシア地域のオジロワシの主要な繁殖地域のうち、カムチャッカ半島南部、サハリン南部、沿海州およびアムール川下流部において繁殖期に巣を探索し、営巣木の周辺や繁殖つがいのとまり木の下でつがいや巣内雛の羽を採集した。北海道内においても営巣木の周辺で羽を採集したほか、巣内雛を捕獲して少量の血液を採取した。

風力発電施設における死骸探索調査

風車衝突事故によるオジロワシの死亡個体の DNA サンプルを得ることと、衝突事故発生風車を特定するために、北海道内の風力発電施設で死骸探索調査を行った。この調査の方法は、Kitano & Shiraki (2013) に準じた。定期的な死骸探索調査の一部は 2009 年から実施しており、本研究では日本海側北部にある三ヶ所の施設で実施した。これらの定期的な調査以外に、雪解け時期を中心にした不定期な調査を北海道各地の施設で実施した。

(2) 実験と解析

DNA 解析

解析には野外調査で採集したサンプルのほか、環境省釧路自然環境事務所から提供された北海道内で保護または死体収容されたオジロワシの羽、血液、筋肉組織のサンプルを用いた。これらのサンプルから DNA を抽出し、ミトコンドリア DNA 調節領域の前半部分 469bp の塩基配列を決定して多型解析を行った。また、マイクロサテライト DNA の 17 の遺伝子座についてフラグメント解析を行い、遺伝子型判定を行った。なお、ロシア極東の各繁殖地域で採集したサンプル数が少なかつたため、今回は 4 地域のデータを合わせてロシア極東の繁殖集団として解析した。すべて

の解析において、同一個体の可能性が考えられる複数のサンプルや、親子・兄弟など血縁関係にある可能性が考えられる複数のサンプルについては、一個体分のデータのみを用いた。また、ミトコンドリア DNA 多型解析においては、先行研究 (Hailer et al. 2007) で公表されているデータも使用した。

ミトコンドリア DNA の塩基配列データを用い、各地域の繁殖集団ごとに遺伝子多様度 (ハプロタイプ多様度) h と塩基多様度を算出した。また、ミトコンドリア DNA の塩基配列およびマイクロサテライト DNA の 17 遺伝子座の遺伝子型に基づき、各地域の繁殖集団や、越冬期に生息している個体の集団および風車衝突事故により死亡した個体の集団について、集団間の遺伝的分化係数 F_{st} を算出したほか、ミトコンドリア DNA のハプロタイプの出現頻度を比較した。また、繁殖集団間の遺伝的な交流の程度をみるために、マイクロサテライト DNA のデータに基づき、北海道と極東ロシアの繁殖集団間の世帯当たり移住個体数 N_m を算出した。

衝突事故発生風車の立地特性の解析

衝突事故が発生した風車と発生していない風車が比較的明らかになった、日本海側北部にある三施設の風車を対象に解析を行った。解析は合計 42 基の各風車の半径 300m 範囲を対象とし、標高や起伏、斜面の多様性や景観要素との距離など、地形や立地環境の特性を表現するための指標を作成した。これら指標値の作成には、国土地理院刊行の「数値地図 10 m メッシュ (UTM DEM (標高))」と「数値地図 25000 海岸線データ」を使用した。解析には 10m のセル (格子) で区切られたラスターデータを用い、風車から半径 30 セルまでに 4 通りの解析範囲を設定した。そして、オジロワシのほか衝突事故の確認件数が多かったトビ、ノスリ、カモメ類、カラス類の種ごとに事故の発生に関わる可能性がある指標を選択し、また、それらの指標値から衝突事故の発生しやすい立地特性をどの程度説明できるのかを検討するために、事故が一回以上確認された風車 (衝突風車) と一回も確認されていない風車 (非衝突風車) とを目的変数、各指標を説明変数としたロジスティック回帰分析を試みた。しかし、2 つ以上の説明変数を用いた場合、過小分散により適切な解析ができなかった。そこで今回は単一の説明変数のみを用いたモデルを作成し、AIC (赤池情報量規準) により各モデル (ここでは各指標) の適合度を評価した。また、AUC (Area Under Curve) を評価の指標として、モデル精度の検証を行った。

4. 研究成果

(1) オジロワシ極東個体群の遺伝構成と風車衝突個体の帰属集団の推定

地域繁殖集団の遺伝的多様性

ミトコンドリア DNA の遺伝子多様度 h から、北海道で繁殖するオジロワシの遺伝的多様性は低い (0.4 以下) 傾向にあると考えられた。また、塩基多様度は北海道およびロシア極東の繁殖集団ともに 0.002 以下で低かった。

地域繁殖集団間の遺伝的分化と移入

ミトコンドリア DNA の塩基配列から算出した F_{st} 値から、北海道全域とロシア極東地域の繁殖集団間に有意な分化傾向が認められたものの、その程度は大きくなかった。一方、北海道東部と北部地域の繁殖集団間にはやや強い遺伝的分化が示された。そこで、北海道北部と東部の各地域とロシア極東地域の繁殖集団間でそれぞれ F_{st} を算出したところ、前者の組み合わせではやや強い分化が、後者の組み合わせでは中程度の分化が示された。これらのことから、北海道東部地域と北部地域の集団ではロシア繁殖集団との遺伝的な交流の程度に違いがあり、とくに北海道北部とロシア極東地域の繁殖集団は遺伝的に独立である傾向にあることが示唆された。また、北海道全域とロシア極東の繁殖集団間の世代あたり移入数は 1 個体未満と算出されたことから、風車衝突事故などによる死亡率の増大は、北海道で繁殖するオジロワシの絶滅率に対する影響が大きい可能性が考えられた。

繁殖集団と越冬個体との遺伝的な関係

極東ロシアの繁殖集団と北海道東部および北部の越冬個体の集団間でハプロタイプ出現頻度を比較したところ、北部地域の越冬集団とは有意差があった。また、ミトコンドリア DNA に基づく F_{st} 値からは、ロシア極東の繁殖集団と北海道東部および北部の越冬集団間にそれぞれ中程度の分化が示された。一方、北海道北部と東部地域の越冬集団とそれぞれ同じ地域の繁殖集団間ではハプロタイプの出現頻度に差はなく、遺伝的な分化も示されなかった。以上のことから、越冬期に、とくに北海道北部地域に生息しているオジロワシの多くは同地域の繁殖集団に帰属する留鳥であると考えられた。

風車衝突事故による死亡個体の帰属する繁殖集団の推定

オジロワシの風車衝突事故の大半は越冬期に発生し、とくに北部地域にある施設で確認件数が多かった。越冬期に北部の風車に衝突して死亡したオジロワシと、北海道北部、東部およびロシア極東の各地域の繁殖集団について、ミトコンドリア DNA のハプロタイプ

の頻度分布を図 1 に示した。

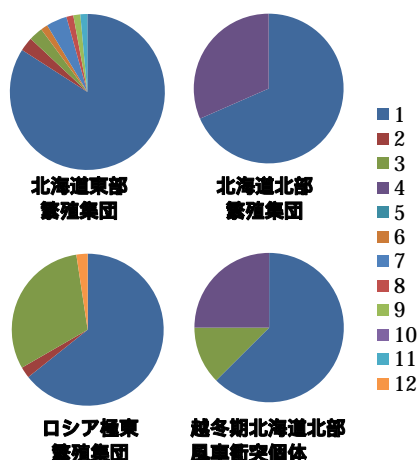


図 1 北海道およびロシア極東地域におけるオジロワシ繁殖集団と、越冬期に風車に衝突死した個体のミトコンドリア DNA ハプロタイプの出現頻度
*円グラフ内の色は凡例に示したハプロタイプの種類 (1~12) を示す。

図 1 のハプロタイプ 4 は、世界的にみて北海道北部の繁殖集団でしか確認されておらず、今回調査した極東ロシアの繁殖集団でも確認されなかった。したがって、このハプロタイプ 4 は北海道北部の繁殖集団に固有のタイプである可能性がある。すべての集団でハプロタイプ 1 が最高頻度だったが、北海道北部の風車衝突個体ではハプロタイプ 4 が 2 番目に多く出現しており、これらは同地域の繁殖集団由来の個体である可能性が高い。一方、風車衝突個体から確認されているハプロタイプ 3 は、北部地域の繁殖集団では確認されておらず、極東ロシア地域では 2 番目に多く出現していることから、この地域から渡来した個体である可能性が示唆された。

越冬期に北海道北部地域で風車に衝突した個体の集団と、ロシア極東地域および北海道東部地域の各繁殖集団ではハプロタイプ出現頻度に有意差があったが、北海道北部地域の繁殖集団とは差がなかった。また、これら風車衝突個体の集団とロシア繁殖集団および北海道東部繁殖集団間にはそれぞれミトコンドリア DNA に基づく分化がみられたが、北海道北部の繁殖集団間には分化が示されなかった。

以上のことから、北海道北部地域で風車に衝突死したオジロワシの一部はロシア極東地域から渡来した個体であるが、多くは北海道北部地域の繁殖集団に由来する留鳥である可能性が高い。したがって、風車衝突事故によるオジロワシ個体群への影響評価は、北海道の繁殖集団とロシアの繁殖集団の両方を対象とし、さらに北海道東部と北部の繁殖集団に分けてそれぞれに対する影響を検討する必要

性が考えられた。

本州以南で越冬するオジロワシの帰属集団の推定

越冬期には、北海道以外の全国各地で生息するオジロワシが確認されている。このうち、長崎県対馬の越冬個体のミトコンドリア DNA のハプロタイプを調べたところ、北海道や極東ロシア地域で繁殖するオジロワシからは発見されていない、ユーラシア大陸北西部で確認されているタイプだった (Sugimoto & Shiraki 2014)。このため、越冬期に日本に渡来するオジロワシには、ロシア極東地域以外の繁殖集団に帰属する個体もいる可能性が考えられた。北海道以外でも風力発電施設の建設が進んでいることから、各地で越冬するオジロワシの繁殖地域についても今後明らかにする必要がある。

(2) 衝突事故発生風車の立地特性の解析

単一の説明変数 (指標) のみを使用してロジスティック回帰分析を行った結果、オジロワシの衝突風車において AIC による適合度が最も高かったモデルの指標は、海からの距離だった。AIC による適合度が高く、かつ AUC > 0.7 である指標から導かれた衝突率の高い風車の主な立地特性は以下のように示された。

まず、オジロワシでは海岸から近く、風車のごく周辺の標高の変異が大きく、周辺にある急斜面の面積が大きいことだった。トビではやはり海岸から近く、風車周辺の標高が全体に低いこと、ノスリでは風車周辺の地上開度が小さいこと、すなわち広めの谷地形やそれに類似した地形であることが考えられた。カモメ類ではさまざまな水域から近く、風車周辺の標高が低いこと、カラス類では風車周辺の標高の変異が大きいことなどが示された。

現在、今回の解析結果を踏まえて説明変数を選択・改善するとともに、風況やオジロワシの餌場条件など新たな指標も加え、複数の説明変数を用いたモデルの作成が可能な手法で再解析を試みている。

< 引用文献 >

Hailer, F. et al., Phylogeography of the white-tailed eagle, a generalist with large dispersal capacity, *Journal of Biogeography*, vol. 34, No.2, 2007, 1193-1206
Doi:10.1111/j.1365-2699.2007.01697.x

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

白木 彩子・猪野 雅史・金岩 稔、定点観察調査による鳥類飛翔頻度の推定精度向上に

向けた検討、Strix、査読有、Vol.31、2015、77-86 (印刷中)

Sugimoto T and Shiraki S、Origin of a wintering White-tailed Eagle found in Tsushima Island, Japan, examined by mitochondrial and nuclear DNA analyses、Ornithological Science、査読有、Vol. 13、2014、117-120、DOI: 10.2326/osj.13.117

Kitano M and Shiraki S、Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan、Wildlife Society Bulletin、査読有、vol. 37、No.1、2013、41-48、DOI: 10.1002/wsb.255

白木 彩子、風力発電施設による鳥類への影響評価 北海道におけるオジロワシの風車衝突事故の現状をふまえて一、北海道自然保護協会会誌 北海道の自然、査読無、vol.51、2013、19-30

[学会発表](計 4 件)

Shiraki S、Genetic analyses of white-tailed eagles in Far east region for understanding of the population structure and dynamics、The Japan-Russia 3rd Workshop on Cooperation on the Preservation of the Ecosystem in the neighboring areas of Japan and Russia、Feb. 16-17、2015、Khabarovsk (ロシア)

猪野 雅史・白木 彩子、風力発電施設における鳥類の風車衝突数および利用率の推定方法の再検討、日本鳥学会 2013 年度大会、2013 年 9 月 13 日-16 日、名古屋市

白木 彩子、北海道で繁殖するオジロワシの生息状況と風車衝突事故による影響の解明と回避に向けて、環境省北海道地方環境事務所主催「風力発電施設の環境影響評価と海ワシ保護に関するフォーラム」、2013 年 3 月 9 日、札幌市

白木 彩子・猪野雅史、オジロワシの風車衝突事故の現状、日本鳥学会 2012 年度大会、2012 年 9 月 14-17 日、東京都

[図書](計 2 件)

白木 彩子、東京大学出版、16 章 風力発電用風車への衝突事故とその回避、樋口 広芳(編)日本のタカ学 - 生態と保全、2013、pp. 300-323、354

白木 彩子、北海道大学出版、北海道におけ

るオジロワシの繁殖の現状と保全上の課題、桜井泰憲ほか(編著)オホーツクの生態系とその保全、2013、pp. 319-324、484

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白木彩子 (SHIRAKI, Saiko)
東京農業大学生物産業学部・准教授
研究者番号：20434011

(2) 研究協力者

杉本太郎 (TARO, Sugimoto)