

平成 27 年度 海ワシ類における
風力発電施設に係るバードストライク
防止策検討委託業務
報 告 書

平成 28 年 3 月

環境省 自然環境局

目次

1.業務の目的	.....1-1
2.業務の基本方針	.....2-1
3.検討結果	
3.1 バードストライク防止策案の検証	.....3-1
3.1.1 視認性(色)や可聴性(音)の検証調査	.....3-1
3.1.1.1 視認性(色)の検証調査	.....3-1
3.1.1.2 可聴性(音)の検証調査	.....3-19
3.1.2 餌資源の検証調査	.....3-23
3.1.3 衝突感知センサの開発・検証調査	.....3-27
3.1.4 監視システムの開発・検証調査	.....3-41
3.2 衝突状況のモニタリング調査	.....3- 68
3.3 衝突個体の医学的解剖による衝突状況解明と飛翔状況からの原因考察	.....3-79
3.4 手引きの更新等に資する最新の知見等の収集	.....3-92
4.検討会	
4.1 平成 27 年度海ワシ類における風力発電施設に係る バードストライク防止策検討会(第 4 回)	.....4-2
4.2 平成 27 年度海ワシ類における風力発電施設に係る バードストライク防止策検討会(第 5 回)	.....4-42
4.3 平成 27 年度海ワシ類における風力発電施設に係る バードストライク防止策検討会(第 6 回)	.....4-67
5.資料編	
5.1 視程計による視程変化および風向風速	.....資-1
5.2 海ワシ類の死骸発見時の状況	.....資-40
5.3 セオドライトによる追跡データ(電子データのみ)	

[業務目的]

風力発電施設の設置については、猛禽類をはじめとした鳥類が風力発電施設のブレードに衝突し死亡する事故(バードストライク)が生じており、この課題に円滑に対応するためのデータ等が整備されていないため、風力発電施設設置の適否判断が長引く問題が生じ、野生生物保全と風力発電推進の両立を目指す上での課題となっている。

環境省においては平成19年度から平成21年度まで、風力発電施設に係る適正整備推進事業を進め、風力発電施設の立地を検討していく上で、環境影響評価等の実施のポイントとその際に配慮すべき各種事項を「鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き(平成23年1月)」(以下「手引き」という。)としてとりまとめた。しかし、風力発電施設の立地を検討していく上でバードストライクに関する知見等は十分とはいえず、さらなる知見の収集を行うことが必要である。特に環境省が作成しているレッドリストで絶滅危惧Ⅱ類に分類されるオジロワシの死因については、判明している限り風力発電施設へのバードストライクが最も多く、海ワシ類に関する知見を収集することは希少種保全上重要である。このことから、平成22年度から平成24年度まで、特に海ワシ類を対象として、バードストライク防止策検討事業を進め、衝突状況の解明、その原因や効果的な防止策案を検討した。

本業務は、これまでの業務を踏まえ、平成25年度～27年度の3ヶ年をかけて、オジロワシ、オオワシ等の希少な海ワシ類に係る風力発電施設におけるバードストライクの防止策案の検証を行い、手引きの更新等にも資する、さらなる知見の収集も含め、特に海ワシ類を対象とした効果的なバードストライク防止策を策定するものである。

(1)バードストライク防止策案の検証

①視認性(色)や可聴性(音)の検証調査

風車ブレードへの彩色、風車タワー下部への目玉模様の彩色(当初、地表面へのマーカーの設置も検討したが、タワー下部への目玉模様の彩色の方が視認性の効果が高いと考えられ、また、維持管理も容易であると考えられたことから、目玉模様の彩色を実施した。)、音の発生の効果の検証を行うものである。本年度はブレードへの彩色と目玉模様の彩色を北海道の苫前町の風力発電施設で行ない、海ワシ類の飛翔状況をセオドライト等で追跡した。

また、3年間の調査のまとめとして、これらの対策を実施する前の海ワシ類の飛翔状況と対策を実施した後の海ワシ類の飛翔状況の比較を行った。本年度については、海ワシ類が越冬のために飛来したと考えられる11月末から、長期間にわたり風車が停止していたため、これまでに取得したデータと併せて分析をすることができなかったが、ブレード彩色をしていない平成20、23、25年度の調査結果とブレード彩色をした平成26年度の調査結果(セオドライトによる観測)を比較すると、彩色後に風車への接近距離が遠くなる傾向が認められ、彩色による視認性向上とバードストライクリスクを低減させる一定の効果が確認された。

音の発生による効果は根室半島で調査を行なった。運動会で使われるスタータピストルと、ホイッスルに対するワシの反応を試験したが、ピストルの効果が高く、羽ばたいてスピードを落とし、音の方向

をみるという反応が多かった。音によりワシを追い払うことはできないが、風車に気づかせる効果が期待できると考えられた。

②餌資源の検証調査

海岸線の餌資源をコントロールし、餌資源の有無に伴う海ワシ類の飛行行動を把握するものである。本年度は昨年度に続き根室半島付近において調査を実施した。その結果、オジロワシ、オオワシともに餌のある場合の方がより長い割合下を向いて飛ぶことが多くなり、他個体のワシやカラス類による干渉が多くなり、バードストライクの危険性が高まると考えられた。

③衝突感知センサの開発・検証調査

本年度 6 月、7 月、10 月の 3 回にわたって動作試験を行い、感知センサの改良を行った。11 月から本運用としたが、2015 年 12 月 25 日に 3 つのセンサを設置後、2016 年 1 月 10 日にセンサ No2 が脱落、1 月 14 日にセンサ No3 が電池切れ、2016 年 2 月末まで稼働したセンサは No1 のみであった。情報データに頻繁に記録が書き込まれていることから閾値設定が低すぎたこともあるが、センサの設置状態に原因があったと考えられた。これらの原因を整理し、改良(案)を整理した。

④監視システムの開発・検証調査

海ワシ類の風車への接近を検知する光学システムの開発と検証を行うものである。本年度は、東京大学先端科学技術研究センターに一部再委任し、鳥類を識別するアルゴリズムの開発を行った。

鳥の専門家が種別を判別する方法は、形状で判別する以外に鳥の飛翔パターン(羽ばたき方、動き方、速さ、軌跡)も補足情報として活用していることがわかっている。また、近年の急速な撮像技術高度化により、4K クラスの解像度を有するカメラが手ごろな価格で民生用として利用できるようになってきた。数年前の Web カメラには適用が困難であったこれまで開発してきた静止画種別判定アルゴリズムが、近い将来高解像度ビデオカメラと連携することで実現できると期待できることから、静止画の種別判定アルゴリズムを活用し、さらにパーティクルフィルターを導入した動画軌跡検出機能の開発を進めた。その結果、誤差 2ピクセル未満での軌跡検出が可能となる軌跡検出機能を実現し海ワシの飛翔パターンの検出、学習教師データの取得が可能となった。また、鳥分類の手法として、CNN を基にした検出器と Fully Convolutional Network と Super Parsing を Support Vector Machine を用いて組み合わせることで、大きな画像の中から小さい物体を検出する課題に対して高い性能を示すことが示された。同時に提案手法が高精度に鳥を検出出来ることが示された。今後、実用的なシステムへの実装を行うことで、バードストライクの低減が期待できる。

(2)衝突状況のモニタリング調査

海ワシ類の衝突リスクが高いと思われる時期において、ビデオカメラを2台設置し3ヶ月間程度特に鳥類の衝突に関する動画を撮影し、衝突メカニズムの検証に資する映像を記録した。観測期間中に衝

突事故は発生しなかった。前年度の衝突映像から他個体との相互作用が重要との指摘をうけ、海ワシの出現しやすい気象条件下(2016年1月29日)を精査したところ、2個体以上が映っている事例は、全43事例中、4事例であった。

(3)衝突個体の医学的剖検による衝突状況解明と飛翔状況からの原因考察

株式会社猛禽類医学研究所に再委任し、釧路湿原野生生物保護センターで保管する風力発電施設に衝突したとみられるオジロワシ等の死亡個体について、医学的剖検を行い、海ワシ類の衝突状況の解明等を行い、衝突した風力発電施設の立地環境、衝突時の気象情報などの情報から衝突原因について考察するものである。本年度は2個体の剖検結果の報告があった。

(4)手引きの更新等に資する最新の知見等の収集

風力発電施設の計画段階から鳥類等に与える影響を軽減できるよう配慮すべき各種知見・資料、防止策等を取りまとめた手引きについて、その情報の更新に資する知見等について収集、整理を行うものである。本年度は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)で進められている順応的管理手法の開発プロジェクト、日本野鳥の会による「風力発電と野鳥の脆弱性マップ作り検討会」、日本鳥学会2015年度大会でのポスター発表に対する意見を整理した。

(5)検討会の設置、運営

鳥類及び風力発電施設の専門家を含む検討会を設置、運営し、(1)～(4)において実施した業務内容について結果のとりまとめ内容も含め検討会の意見を求めるものである。平成27年5月13日と11月11日、平成28年3月11日に開催され、これまでの調査結果の報告を事務局等から説明し、検討委員による議論が交わされた。

Summary

[Project purpose]

Bird strike is an accident in which birds, such as raptor, collide and die on the blade of wind power generation facility, and has been increasing. However, basic data for this type of accident has not been collected to address the problem appropriately. Thus, for installation of wind power generation facility, propriety judgment may take longer time and it has become a challenge in aiming to achieve both of promoting wildlife conservation and wind power generation.

From FY 2007 to FY 2009, the Ministry of the Environment has been promoting the proper maintenance promotion project in accordance with the wind power generation facilities. For consideration of the location for the wind power generation facilities, point of implementation of environmental impact assessment and individual items to be consider were compiled as “Guidance

of facility location optimization for wind power generation related to birds (January 2011)” (hereinafter referred to as “guidance”). Due to the lack of information on bird strikes, we cannot continue to consider the location of the wind power generation facilities. Therefore, we must collect additional information.

As far as we know, bird strike to the wind power generation facility is the top cause of death of white-tailed eagle, which is classified as endangered II class in the Red List created by the Ministry of the Environment. Thus, it is important to collect knowledge about the sea eagle for conservation of rare species. From fiscal year (FY) 2010 to FY 2012, bird strike prevention project was promoted for sea eagle as a main subject. We have tried to understand the collision situation, and examined the causes and effective measures to prevent the accident.

This project, which was based on the past project, was three-year project (FY2013–FY2015), and aimed to create effective bird strike measures for bird especially for sea eagle. In the project, we verified the draft measures to prevent the bird strikes in wind power generation facility for the rare sea eagle such as white-tailed sea eagle and steller’s sea eagle. We also collected knowledge and information to update existing guideline.

(1) Verification of proposed bird strike prevention measures

① Validation study of visibility (color) and audibility (sound)

Effect of painting to the wind turbine blade, installation of eyespot at the bottom of windmill and audibility sound were intended to examine. Survey of effect of paint to the blade and eyespot were carried out in Tomamae-cho in Hokkaido. In this year, the wind turbine had been stopped over a long period of time, so we couldn’t adopt the data for analyzing tendency that the distance between bird and the windmill after painting. When we compared the approach distance to the windmill in FY2008, 2011 and 2013 when installation of painting to wind turbine blade was not carried out with in FY 2014 when installation of painting to wind turbine blade was carried out. Then we found a tendency that the distance between bird and the windmill became farther after painting, which suggests that the painting is effective countermeasure.

Survey of the effect of sound generation was carried out in the Nemuro Peninsula. Starter pistol used in athletic meet and whistle were tested for the reaction of the eagle. The pistol was effective. The birds reduced the speed and looked at the direction of the sound in many cases. It is not possible to get rid of the eagle by the sound. However, the sound was considered to be effective to make them to be aware of the windmill.

②Validation study of food resources

This is to understand the flight behavior of sea eagle due to the presence or absence of food resources by controlling the food resources of the coastline. In this fiscal year, we conducted a survey in the vicinity of the Nemuro Peninsula following the last fiscal year. Our result suggests that since both white-tailed sea eagle and steller's sea eagle often flew pointing down for longer time when food was available, interference by other eagles or crows increased and the risk of bird strike was increased.

③Development and validation study of the collision detection sensor

We performed three operation tests in June, July and October in this fiscal year, and improved the detecting sensor. Three sensors were installed and the observation was started from December 25, 2015. However, the sensor No2 fell off on January 10, 2016 and battery life was exhausted in sensor No3 on January 14. The sensor running until the end of February 2016 was only No1. Since the data had been written frequently, the threshold setting might be too low and installation method of the sensor might not be appropriate. We summarized these causes and ideas for improvement (draft).

④Development and validation study of a monitoring system

This is intended to perform a development and validation of an optical system that detects the access of sea eagles to the windmill. We have developed an algorithm to identify the birds. Part of the project was re-delegated to the Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo.

Method to determine the type of birds by experts is found to use flight pattern of birds (flapping, movement, speed, trajectory) as supplementary information in addition to discrimination in the shape. In addition, with the rapid imaging techniques sophisticated in recent years, cameras with a resolution of 4K classes have become available for consumer at affordable price. It was difficult to apply the determination algorithm of still type image for the Web camera a few years ago. Since this algorithm is now expected to link to the high resolution video camera in near future, we have been developing a function of video trajectory detection by using the determination algorithm of still type image, and introducing the particle filter. As a result, we successfully created a trajectory detection function that enables to detect trajectory within 2 pixels error. With this function, it became possible to detect the flight pattern of the sea eagle and to acquire the training data. Further, as a method of bird classification, it has been shown to exhibit high performance for detecting small objects out of the big picture by combining the detector based on a CNN, Fully

Convolutional Network and Super Parsing with the Support Vector Machine. At the same time, the proposed method was shown to be capable of detecting a crow with a high degree of accuracy. In the future, by performing an implementation of the practical system, it can be expected to reduce the bird strike.

(2) Monitoring survey of the collision situation

In the time that seems to have a high collision risk of sea eagles, we installed two video cameras for three months to shoot videos for collision of birds. These video recorded was hoped to contribute to the validation of collision mechanism.

Collision accident did not occur during the observation period. We have been told that interaction with other individuals was important from the collision video taken last year. Thus, we carefully reviewed the video taken under the weather in which sea eagles were likely to appear (1/29/2016). In 4 of 43 cases, we found 2 or more individuals were on the video.

(3) Cause investigation from flight status and collision situation clarified by the medical autopsy of collision individuals

This project was re-delegated to the Institute of Raptor Biomedicine Japan Co., Ltd. For death individuals of white-tailed eagles that were believed to have collided to wind power generation facilities managed by the Kushiro Shitsugen Wildlife Center, medical autopsy was performed to understand the collision situation of sea eagles. Combining with autopsy information, location environment of wind power generation facilities where collision occurred and weather information at the time of collision, we tended to discuss the crash cause. There were autopsy results of two individuals in this year.

(4) Collection of the latest findings that contribute to update the guidance

Care should be taken so that we can reduce the impact on the birds from the planning stage of a wind power generation facility. For a guidance containing knowledge, materials and preventive measures related to bird strike, we collected and summarize the knowledge that contributes to the update the guidance. In this year, we summarized the opinions expressed from following 3 projects.

·Development project of adaptive management approach that has been promoted by the NEDO (National Research and Development Institute of the New Energy and Industrial Technology Development Organization)

·“ Vulnerability map-making review meeting of wind power generation and the birds ” by the Wild Bird Society of Japan

·Poster presentation at the Ornithological Society of Japan 2015 Annual Meeting

(5) Installation and operation of study group.

We installed and operated the study group, which included experts of birds and wind power generation facility. We also summarized the contents of the result that were carried out in (1) to (4), and sought the opinion of the study group, including the summary of the result. Members of the study group met on 5/13/2015, 3/11/2016 and 3/11/2016. The administrative office described the findings that had been acquired, and the member of the study group discussed the findings.

1. 業務の目的

風力発電施設の設置については、猛禽類をはじめとした鳥類が風力発電施設のブレードに衝突し死亡する事故（バードストライク）が生じており、この課題に円滑に対応するためのデータ等が整備されていないため、風力発電施設設置の適否判断が長引く問題が生じ、野生生物保全と風力発電推進の両立を目指す上での課題となっている。

環境省においては平成 19 年度から平成 21 年度まで、風力発電施設に係る適正整備推進事業を進め、風力発電施設の立地を検討していく上で、環境影響評価等の実施のポイントとその際に配慮すべき各種事項を「鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き（平成 23 年 1 月）」（以下「手引き」という。）としてとりまとめた。しかし、風力発電施設の立地を検討していく上でバードストライクに関する知見等は十分とはいえず、さらなる知見の収集を行うことが必要である。特に環境省が作成しているレッドリストで絶滅危惧 II 類に分類されるオジロワシの死因については、判明している限り風力発電施設へのバードストライクは多く、海ワシ類に関する知見を収集することは希少種保全上重要である。このことから、平成 22 年度から平成 24 年度まで、特に海ワシ類を対象として、バードストライク防止策検討事業を進め、衝突状況の解明、その原因や効果的な防止策案を検討した。

本業務は、これまでの業務を踏まえ、平成 25 年度～27 年度の 3 ヶ年をかけて、オジロワシ、オオワシ等の希少な海ワシ類に係る風力発電施設におけるバードストライクの防止策案の検証を行い、手引きの更新等にも資する、さらなる知見の収集も含め、特に海ワシ類を対象とした効果的なバードストライク防止策を策定するものである。

（1）バードストライク防止策案の検証

①視認性（色）や可聴性（音）の検証調査

風車ブレードへの彩色、地表面マーカーの設置、忌避性や可聴性の高い音の発生の効果検証を行うものである。調査地は北海道の苫前町（彩色、マーカー）、根室市落石岬付近（可聴音）とし、本年度は対策後（事後）調査として、海ワシ類の飛翔を目視とセオドライト計測により実施した。

②餌資源の検証調査

海岸線の餌資源をコントロールし、餌資源の有無に伴う海ワシ類の飛行行動を把握するものである。本年度は小平町付近において調査を実施した。

③衝突感知センサの開発・検証調査

衝突を感知するセンサの開発・検証を行うものである。過年度業務において開発された成果に基づき、風車ブレードに接着するものを開発し検証を行う。本年度は、株式会社アコーに一部外注、試作品を苫前町の風車に実装し試験観測を実施した。

④監視システムの開発・検証調査

海ワシ類の風車への接近を検知する光学システムの開発と検証を行うものである。本年度は、東京大学先端科学技術研究センターに一部再委任し、鳥類を識別するアルゴリズムの開発を行った。

(2) 衝突状況のモニタリング調査

海ワシ類の衝突リスクが高いと思われる時期において、ビデオカメラを2台設置し3ヶ月間程度特に鳥類の衝突に関する動画を撮影し、衝突メカニズムの検証に資する映像を記録した。

(3) 衝突個体の医学的剖検による衝突状況解明と飛翔状況からの原因考察

株式会社猛禽類医学研究所に再委任し、釧路湿原野生生物保護センターで保管する風力発電施設に衝突したとみられるオジロワシ等の死亡個体について、医学的剖検を行い、海ワシ類の衝突状況の解明等を行い、衝突した風力発電施設の立地環境、衝突時の気象情報などの情報から衝突原因について考察した。

(4) 手引きの更新等に資する最新の知見等の収集

風力発電施設の計画段階から鳥類等に与える影響を軽減できるよう配慮すべき各種知見・資料、防止策等を取りまとめた手引きについて、その情報の更新に資する知見等について収集、整理を行った。

(5) 検討会の設置、運営

鳥類及び風力発電施設の専門家を含む検討会を設置、運営し、(1)～(4)において実施した業務内容について、バードストライクの防止策として策定する「海ワシ類の風力発電施設バードストライク防止策の検討・実施手引き」の内容も含め検討会の意見を求めるものであり、本年度は平成27年5月13日、11月11日、平成28年3月11日に実施した。

2. 業務の基本方針

風力発電施設の設置にあたって、鳥類、特にオジロワシ、オオワシ等の希少な海ワシ類が風力発電施設のブレードに衝突し死亡する事故（バードストライク）が問題となっており、バードストライクの効果的な防止策を策定する必要がある。

海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策を策定するにあたり、平成22～24年度の課題と成果を整理した。その上で、①現状のバードストライク防止策における課題を明らかにした上で、②バードストライク防止策に関する課題解決に向けた基本方針を以下に示す。

(1) 現状のバードストライク防止策における課題

① 衝突メカニズムの解明

環境省がこれまで行なってきた調査で衝突リスクの高い風力発電施設の立地条件がわかってきており、「手引き」で注意すべき点がまとめられている。

しかし、立地条件から、バードストライクの危険性の極めて高い場所は避けられるが、それ以外の場所でも衝突の危険性がある一方で、なぜ海ワシ類が風力発電施設に衝突するのかは明らかでない。そのため、それらの場所でバードストライクが生じるのかどうかを予測することは難しい。この問題を解決するためには、なぜ海ワシ類が風力発電施設に衝突するのかというメカニズムを明らかにすることが急務である。

② 衝突死骸を効率的に確認できるツールの開発

衝突メカニズムと併せてどの程度の海ワシ類が衝突しているのか、という衝突実態を明らかにする必要がある。しかし、そのため必要とする適切な事後調査が実施されているとは言い難い状況である。衝突事故は稀な事象であるとともに、それが起きた場合、死骸が遠方に飛ばされて見つけることができなかつたり、死骸がキツネ等の捕食者に持ち去られたり、雪に埋まったりするためである。このため風力発電施設供用後の衝突状況の調査に係る作業効率がきわめて低く、その実態が明らかにされにくいことが障害となっている。

③ 効果的な再発防止対策

設置後に衝突が起きていることが判明した場合には、その後事故が起こらないようにする必要があり、衝突原因を十分に踏まえた手法の開発も必要である。

(2) バードストライク防止に関する課題解決に向けた基本方針

① 衝突メカニズムの解明

衝突時にどのようなことが起きているのかがわかれば、衝突の原因を明らかにすることができるので、あわせてビデオモニタリングを実施し（衝突状況のモニタリング調査）、死体の剖検を行なう（衝突個体の医学的剖検による衝突状況解明と飛翔状況からの原因

考察)。

② 衝突死骸を効率的に確認できるツールの開発

風力発電施設設置後のバードストライクのモニタリングのためには、事故発生を把握できる仕組みを作ることが有効である。そのため、本事業では衝突感知センサを開発し、検証を行う。

③ 効果的な再発防止対策

風力発電施設にワシが衝突する原因は、有力な原因として、ブレードの回転速度が速くなった場合にワシがブレードを認識できなくなるモーションスミア現象や、吹雪などにより視程が悪化し、コントラスト比が低下してブレードを認識できなくなることが考えられる。このような場合等に視認性を向上させる方法として、風力発電施設のブレードの彩色を行なう(視認性(色)検証調査)。また、食物の探索のために下を向いていて、風力発電施設を見ていなく衝突する可能性も考えられる。実際にそのようなことが生じているのかを餌資源の検証調査により明らかにし(餌資源の検証調査)、下を向いていても風力発電施設を把握させるために視認性を向上させるための目印を地表面付近につけることや音で風力発電施設の存在を知らせることの効果の検討を行なう(視認性(色)や可聴性(音)の検証調査)。また、原因がわからない場合でも行うことができる対策として、風力発電施設にワシが近づいたことを感知する監視システムの開発を行なう(監視システムの開発・検証調査)。

表 2- 1 バードストライク防止策における現状課題と課題解決の方向性

	No	H22-24 の課題		H22-24 の成果		H25-27 の課題		その解決方向
解明	1	衝突リスクの高い立地条件	→	海岸に近いほど衝突発生数が多い、風力発電施設は端に近いほど発生数が多い	}	衝突メカニズムの解明に迫る	→	餌資源、ビデオモニタリング、視程計、剖検
	2	衝突リスクの高い地域	→	渡り中の個体よりは越冬中の個体や留鳥個体への対策を考えるべき				
	3	衝突リスクの高い時期	→	越冬時期に集中				
	4	衝突リスクの高い気象条件	→	気象条件の可能性も示唆されたが、すべてではない				
	5	衝突のメカニズム	→	モーションスミアをはじめいくつかの仮説を整理				
検証	6 (新課題)					運用前・後における効果的な防止対策	→	衝突防止策の検証(視認性、音、餌資源)監視システムの開発
	7 (新課題)					死骸調査に基づく衝突数の実態解明、事後調査の推進	→	衝突感知センサの開発

3.1 海ワシ類の諸条件による衝突リスクの検証

3.1.1 視認性(色)や可聴性(音)の検証調査

3.1.1.1 視認性(色)の検証調査

1. 効果の検証手法の検討

(1) 視認性の向上に関する防止策の考え方

海ワシ類は通常風車を避けて飛翔しているが、これまでの調査からは、モーションスマリア現象(Hodos 2003、環境省 2009)、下方への注目(環境省 2011)、視程悪化(コントラスト比の低下)(環境省 2011)、個体同士の相互作用(環境省 2014)といった要因で、風車に気づくことができず、避けられない場合に、バードストライクが発生すると考えられる。

これに対応するためには、視認性を高める防止策を行うことにより、海ワシ類の視覚を通じて少しでも早く風車の存在を気づかせることが重要である。視認性を高める防止策としては、ブレードを彩色すること、タワー下部に目玉模様を彩色することが考えられる(環境省 2015)。

そこで、本調査では、ブレードの彩色と風車タワー下部への目玉模様の彩色の効果の検証を行った。

(2) 効果の検証方法

ブレードの彩色や目玉模様の彩色による視認性向上の効果を検証するためには、海ワシ類が自らの飛行ルートの方に風車が存在していることをいつ認識し、飛行ルートを変えずに飛行し続けることによりいつ衝突すると考え、いつ回避するのかという海ワシ類の認識の状態を明らかにする必要がある。しかし、実際に野外で飛行している海ワシ類の認識の状態を明らかにすることは困難である。

一方、海ワシ類が回避を行う距離まで近づいた場合、風車の存在を早く認識すればするほど、その分、風車からより遠くの位置で回避すると考えられる。そのため、彩色する前と彩色した後における、海ワシ類の風車に対する最接近距離を比較することで効果を検証できると考えられる。

このため、本調査では、彩色する前の海ワシ類の風車に対する最接近距離と、彩色した後の海ワシ類の風車に対する最接近距離を観測し、それぞれを比較することとした。

(3) 平成 26 年度までに実施した効果検証試行の検討

1) 最接近距離の観測手法の検討

海ワシ類の風車に対する最接近距離を観測する手法として、セオドライトによる観測が考えられる。セオドライトにより海ワシ類の飛行軌跡を観測し、飛行軌跡上の任意の点と風車の中心地点を結んだ線の距離が最も短い場合における両者の距離を最接近距離として

記録するものである。

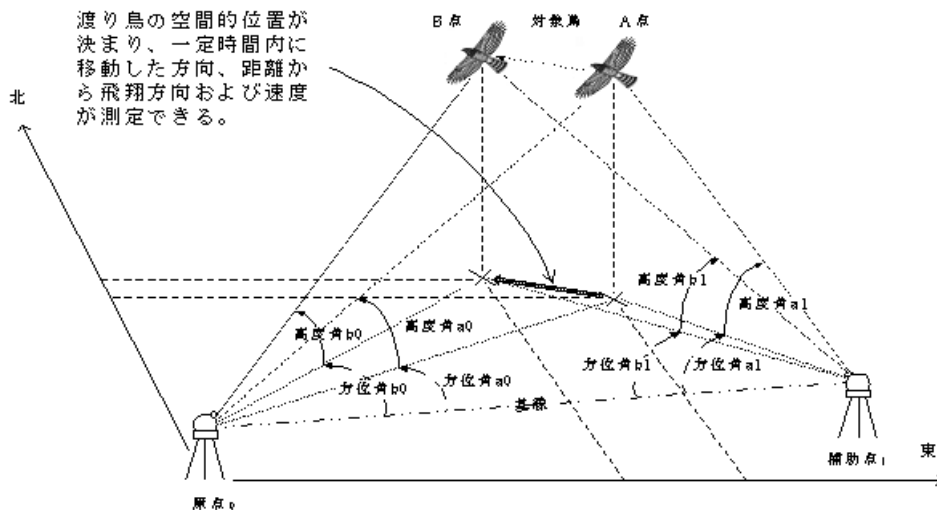
(参考) セオドライトによる観測

2地点（原点、補助点）に設置したセオドライトから同時に同じ対象鳥類を捕捉することで、空間座標（東西方向、南北方向、高度）を求めるものであり（概略図参照）、その仕組みは次のとおりである。

原点と補助点の両地点からセオドライトで同一個体を観測する。このとき、両地点における高度角(β)と両地点を結ぶ線(基線と呼ぶ)からの方位角(α)とを測定できれば、個体は空間の1点上に位置することになり、水平面位置(X、Y)と高度(H)を求めることができる。これを連続的に繰り返せば、点群は、三次元(X、Y、Z)の飛翔軌跡情報として得られる。また、隣接する点の移動距離と測定時間間隔から飛翔方向および飛翔速度等を求めることができる。

なお、原点と補助点の両地点からセオドライトで同一個体を観測した場合、両地点から対象物に延ばした直線が完全に交差することはまれで、ほとんどの場合は高度差が生じる。平成26年度業務で実施した、セオドライトによる観測結果では、観測した各地点の高度差の平均距離は約3mであった。

同一個体を観測するためには個体識別が重要になる。両地点の観測者が trasparenバを用いて、羽ばたき、滑翔、旋回等を相互確認しながら、同一個体と判断された後に、捕捉作業を開始した。捕捉した場合のセオドライトの測定間隔は1秒間隔とした。



セオドライトによる鳥類の飛翔経路測定概略図

また、レーザー距離計（Nikon レーザー550AS）を用いて、海ワシ類の飛行位置との風力発電施設との距離を計測することができる。風力発電施設内の風車の付近に観測員を配置

し、その地点から海岸線に対して垂直方向に引いた直線上を海ワシが通過した際、海ワシ類の位置と観測地点との位置との間の距離を計測するものである。レーザー距離計では250m以内の距離を計測することができ、高さや水平距離の測定の誤差は±1m程度で、角度測定の誤差も加えても±2m程度以下であると考えられる。

セオドライトは、2地点から同時に海ワシ類を追跡する必要があり、吹雪などで視界が悪い時に片方の地点から追跡をすることが難しい場合は観測ができないため、レーザー距離計に比べて観測の機会が少ないことが想定される¹。一方で、レーザー距離計では風車の前を海ワシ類が通過した時の距離を観測するため、それが必ずしも風車に対する最接近距離であるとは限らない。また、少なくともレーザー距離計で計測した結果よりも、セオドライトで観測した結果の方が、風車への最接近距離を対象にしているため海ワシ類が風車それ自体を認識して挙動を選択した行動の結果を、より反映していると考えられる。

以上を踏まえ、彩色効果を検討するという観点からは、セオドライトによる観測に基づく、最接近距離を用いることが妥当であると考えられる。

2) 効果の検証手法

平成 20、23、25 年度に北海道の苫前夕陽ヶ丘発電所において取得した海ワシ類の風車に対する最接近距離の観測値と、平成 26 年度に同発電所で取得した海ワシ類の風車に対する最接近距離の観測値を用いて、平成 26 年度に彩色効果の検証に向けた試みの解析として、箱ひげ図による整理と一般化線形モデルによる解析を行った（環境省 2015）。

箱ひげ図は、外れ値と考えられる値を除去した上で、データを昇順に並べて4等分し、総数の1/4番目に当たる値を第1四分位、真ん中に当たる値を第2四分位（＝中央値）、3/4番目に当たる値を第3四分位として整理したものである。箱ひげ図上には中央値が表示されるとともに、別途平均値及び標準偏差も計算することができ、彩色前と彩色後の最接近距離の変化の状況を考察することができるようにも思える。

しかし、箱ひげ図はデータの散らばりを示すものであり、観測期間中に遠方において海ワシ類の飛行が確認されなかった場合は、散らばりが風力発電施設の近傍に寄ることとなる。この際、箱ひげ図により整理した結果が、その時たまたま取得できたデータの散らばり具合によるものであるのか、彩色の効果であるのか判別することは困難である。このため、海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策検討会での議論を踏まえ、箱ひげ図による検証手法は採用しないこととした。

また、一般化線形モデルについては、最接近距離を目的変数とし、彩色の「あり」「なし」の他、海ワシ類の飛行と関係すると考えられる要素として、海面気圧、気温、湿度、平均風速、風向、降水量および日照時間を説明変数として、統計モデルの構築を行った。一般

¹ ただし、本調査においては、レーザー距離計とセオドライトによって取得できた海ワシ類と風車との距離のデータ数に大きな違いはなかった。

化線形モデル構築の結果、最接近距離が 1000m やそれ以上となる観測値を含めて構築すると、彩色はプラスの効果（すなわち彩色によって遠ざける効果）が認められた。ただし、風力発電施設から遠ければと遠いほど、風車の見込み角は小さくなり、風力発電施設から遠い場所を飛行している海ワシ類がブレードや目玉模様の彩色の有無に影響を受けて飛行しているものとは考えられず、そのような遠距離データを含む一般化線形モデル構築によって判断するのは危険であると考えられる。

これに対して、最接近距離が近いデータのみでモデル構築をした場合、例えば、100m 以内の最接近距離の観測値を用いると「彩色は選択されない」という結果になり、150m 以内の最接近距離の観測値を用いると「彩色にはプラスの効果がある」という結果になり、さらに 200m 以内の最接近距離の観測値を用いると「彩色は選択されない」という結果になった（いずれも AIC によるモデル選択を実施。）。このように、最接近距離の観測値の分析対象をわずかに変更しただけでも大きく結果が異なるのは、一般化線形モデルを構築するにはサンプル数が十分ではなく、このデータ数の少なさに依存して結果が安定しないためと考えられる。このため、海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策検討会での議論を踏まえ、一般化線形モデル構築による検証手法は採用しないこととした。

（3）効果の検証手法に関する方針

ブレードの彩色や目玉模様の彩色による視認性の向上の効果を検証する場合に重要であると考えられることは、①海ワシ類は通常風車を避けて飛翔しているが、風車に気づくことができず、避けられない場合に、バードストライクが発生すると考えられること、また、②特にオジロワシは複雑な動きで飛翔することが可能なためか、風車の近くで避ける行動をとるといった飛翔特性があることである（環境省資料）。つまり、風車の相当近くにおける海ワシ類の飛翔の状況の変化を分析する必要がある。そのためには、彩色を行う前と後で風車に最も近づいた例がどの程度あるのか、また、風車の近くを対象として風車の最接近距離がどの程度後退したのかという点が分かるような検証手法が必要である。

以上を踏まえ、セオドライトにより観測した彩色する前と彩色した後における最接近距離を、風車から 10m 単位に頻度として数値化してとりまとめるとともに、その相対度数をグラフ化したものにより、比較、評価することとした。

以下、「2. 効果検証のためのデータ取得」により、本年度のデータの取得状況を示し、それを踏まえて、頻度及び相対度数をとりまとめて分析することとした。

2. 効果検証のためのデータ取得

（1）彩色効果の検証準備

1) ブレード彩色

ブレードの彩色については、平成 26 年度に北海道苫前町の夕陽ヶ丘風力発電所の 1 号機

に黒色のフィルムを貼付することにより行った。詳細については、環境省（2015）の p3-2～9 ページを参照。

2) 目玉模様の彩色

目玉模様の彩色について、昨年度は瀬棚臨海風力発電所 6 号機で実施したが、せたなは苫前の調査地点に比べ、海ワシ類の観測事例数が少なく、また、平成 26 年度の調査期間は発電機不具合により 2～3 月にかけて風車が停止していた。このため、瀬棚臨海風力発電所の 6 号機における目玉模様は平成 27 年度夏期に撤去し（資料編「資料 4. 瀬棚臨海風力発電所の 6 号機における目玉模様の撤去」を参照）、苫前町夕陽ヶ丘風力発電所 2 号機で目玉模様の彩色効果の検証することとした。

苫前町夕陽ヶ丘風力発電所 2 号機には、平成 27 年 6 月に目玉模様の彩色を貼付した。貼付にあたっては、密着性の評価を行った上で実施した（資料編「資料 5 北海道苫前町の夕陽ヶ丘風力発電所 2 号機におけるタワー下部への目玉模様の彩色」のとおり。）。

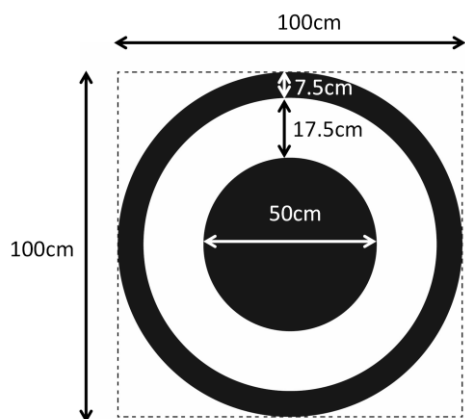


図 3-1- 1 目玉模様彩色状況

以上から、平成27年度においては、図3-1-2に示すとおりに彩色を行い、海ワシ類の飛行状況を観測することとした。



図3-1-2 ブレード彩色、目玉模様彩色実施位置

(2) 海ワシ類の行動調査（飛翔軌跡の観測）

調査は平成 28 年 1 月 8 日から 12 日、1 月 25 日から 29 日及び 2 月 8 日から 12 日に実施することとした。各日程初日は予備調査とし、海ワシ類の飛行状況を見ながら調査定点を定めた。その結果、図 3-1-3 の A 地点と B 地点にセオドライトを設置して飛翔軌跡を観測し(図 3-1-4)、また、参考として C 地点からレーザー距離計を使った調査を行った。

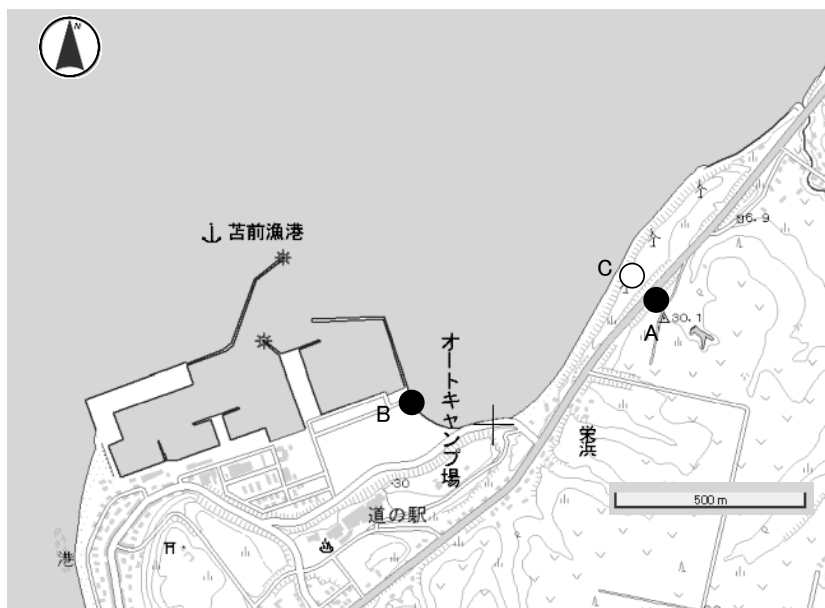


図 3-1-3 調査地点図（苫前町夕陽ヶ丘発電所）



図 3-1-4 セオドライト追跡状況

1) 平成 27 年度の苫前夕陽ヶ丘発電所の風車 1 号機の稼働停止

北海道苫前夕陽ヶ丘発電所の 1 号機と 1 号機のブレードに彩色をする前の平成 20、23、25 年度に取得した海ワシ類の最接近距離、また、1 号機と 1 号機のブレードに彩色をした後の平成 26、27 年度に取得した海ワシ類の最接近距離を比較するとともに、2 号機と 2 号機のタワー下部に目玉模様を彩色する前の平成 20、23、25 年度に取得した海ワシ類の最接近距離、また、2 号機と 2 号機のタワー下部に目玉模様を彩色した後の平成 27 年度に取得した海ワシ類の最接近距離を比較するため、平成 27 年度においてもセオドライトにより飛行軌跡を観測して、1 号機と 2 号機それぞれの最接近距離を明らかにする必要がある。

しかし、苫前夕陽ヶ丘発電所の 1 号機は、不具合により、平成 27 年 11 月 21 日から完全に復旧した平成 28 年 1 月 13 日までの間、特に風が強い時間帯で風車が停止していた。故障原因は、軸受の温度を下げるモーターの故障であった（故障期間中は、風が強いと回転速度が速くなり軸受が高温となるため、対応として、風が強い場合（風速 10m/秒以上）や軸受が 100℃以上になると、ブレードが停止するように設定された。）。

停止していたのは、故障してから復旧するまでの 55 日間で、832 時間 36 分（全体の約 63%）、特に 1 月 2 日からは 1 月 13 日 11:29 に復旧するまでは約 88%と高い割合で停止していた。調査期間中の 1 月 9 日～11 日の各日 9:30 頃から 15:00 頃は全て停止していた。つまり、本年度については、海ワシ渡来開始時期から故障が発生していたこととなる。

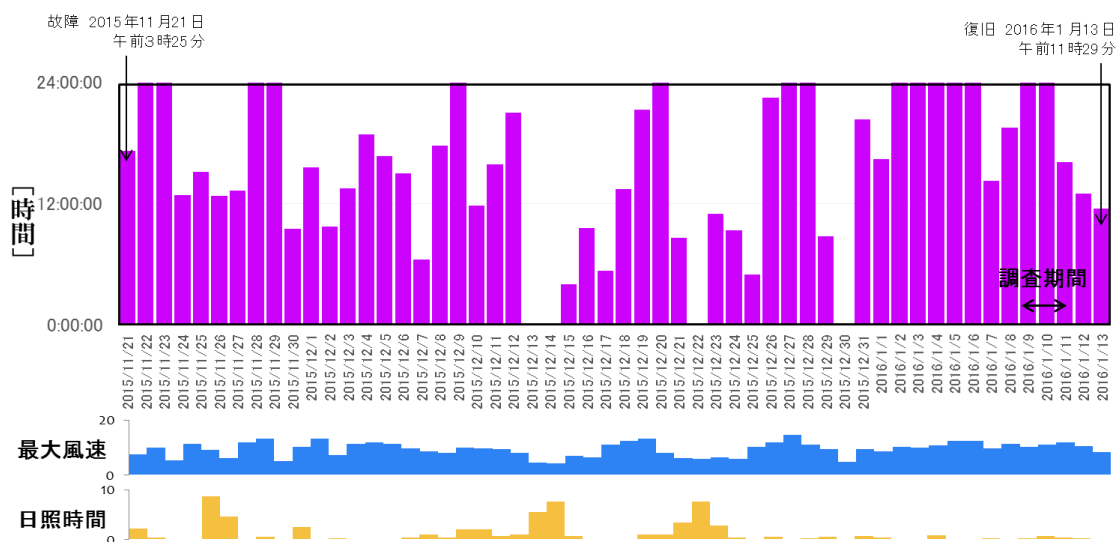


図 3-1- 5 1 日のうちブレードの回転が停止していた時間

海ワシ類は、海岸線沿いに、水際線から内陸 100m 以内の範囲を飛翔することが多いが、風車がある区間は、海側に避けて飛翔する傾向にある（「平成 26 年度海ワシ類における風力発電施設バードストライク防止策検討委託業務報告書」 p3-23 参照）。

平成 28 年 1 月 8 日から 12 日までに実施した本年度第 1 回目の調査では、風車 1 号機が停止していたためか、風車 1 号機に 14m まで近づくものが 2 例あり、風車が停止していることを認識して、できる限り、本来飛翔したいルートを飛翔していたものと考えられる（図 3-1- 6）。

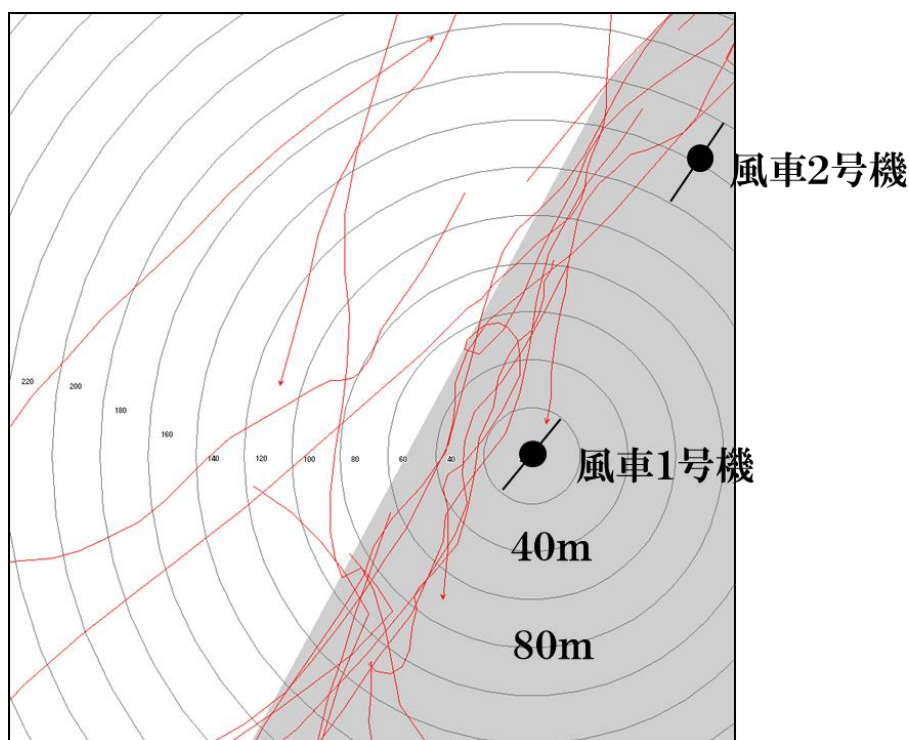


図 3-1- 6 調査期間中の海ワシ類の飛翔軌跡

(調査は平成 28 年 1 月 8 日から 12 日まで実施。風車 1 号機停止中)

平成 28 年 1 月 25 日から 29 日まで実施した本年度第 2 回目の調査では、風車 1 号機の復旧後も、飛翔軌跡の傾向は、第 1 回目の調査時と同様であった。当該地で越冬する海ワシ類は、風車 1 号機が停止している間に、風車にどの程度まで安全に近づくことができるかを把握（少なくとも 20m 前後にまでは近づけることを学習）し、風車復旧後もその学習経験を生かして、できる限り、本来飛翔したい区域を飛翔していると考えられる。

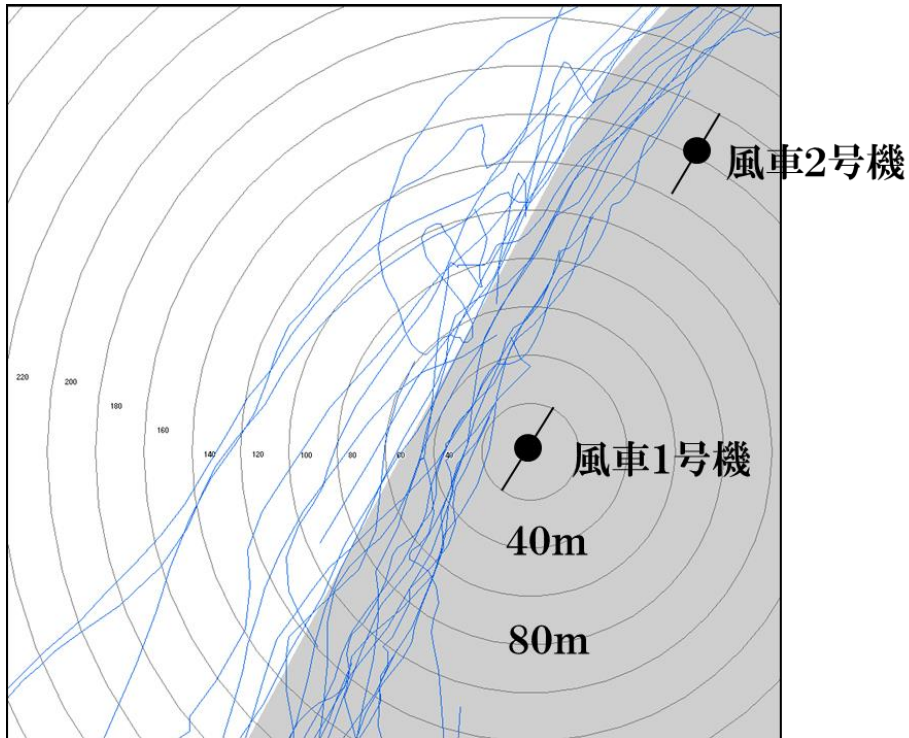


図 3-1- 7 調査期間中の海ワシ類の飛翔軌跡

(調査は平成 28 年 1 月 25 日から 29 日まで実施。風車 1 号機再稼働後)

また、2月8日から12日までに実施した調査では、2月10日を除き、風向は東より、もしくは無風（静穏）だったため、海ワシ類の飛翔頻度は少なかった（図3-1-8）。なお、風車の近くを通った軌跡（2例）はいずれも、高度約100～120m程度で風車よりも十分に高い位置であった。

以上をまとめると、海ワシ類は、できる限り、海岸線より内陸100m以内の範囲を飛翔したいため、停止していた1号機の風車を回避することなく接近していた。また、1号機の風車の停止期間中に、安全に飛翔できる範囲を確認したためか、風車復旧後も、飛翔軌跡の傾向は同様であった。セオドライトにより平成27年度に観測した軌跡数は、オジロワシが57例、オオワシが6例、合計63例であった。

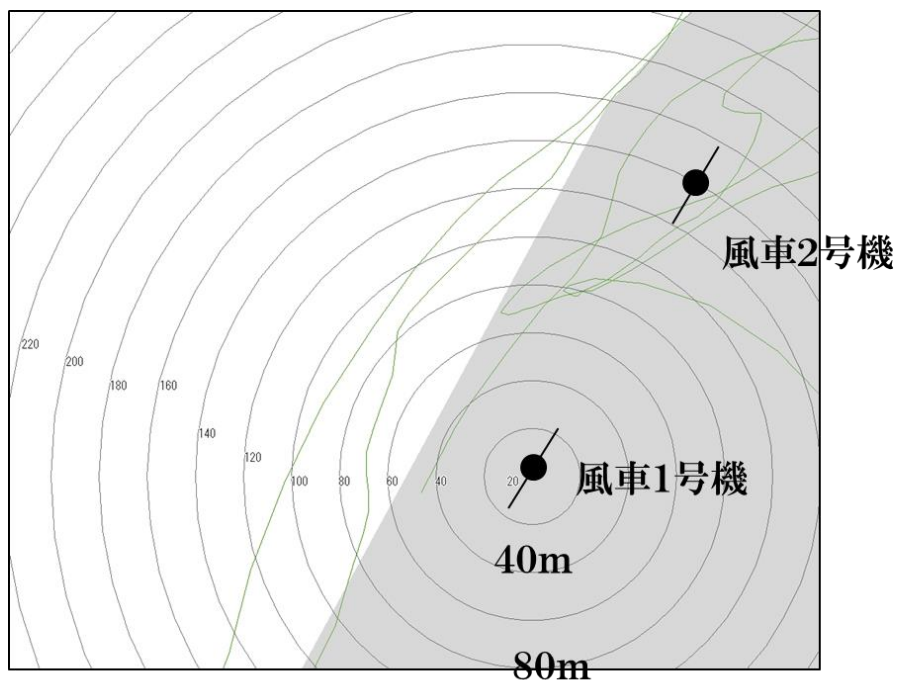


図3-1-8 調査期間中の海ワシ類の飛翔軌跡

（調査は平成28年1月25日から29日まで実施。風車1号機再稼働後）

2) 平成27年度の観測結果の取扱

以上を踏まえると、本年度のデータは、昨年度以前と条件が大きく異なるため、海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策検討会での議論を踏まえ、採用しないこととした。昨年度までは、海ワシ類の渡来期から、風車が稼働し続ける状況下において、風車のブレードを彩色する、しない際の最接近距離の変化を考察したものであり、本来であれば同様の条件でのデータが必要である。

また、目玉模様の彩色を実施した2号機は1号機に隣接しているため、1号機の停止に

よる影響を受けて、飛翔状況が変化したと考えられたため、本年度のデータを採用することはできない。

そこで、ブレードの彩色については、彩色無し（平成 20, 23, 25 年度）と彩色あり（平成 26 年度）の飛翔軌跡をもとに、風車との最接近距離の変化で効果を考察する必要がある。また、目玉模様の彩色については、変化を比較することは困難となった。

（3）彩色効果の検証

上記 1（3）で示したとおり、北海道苫前郡苫前町の夕陽ヶ丘発電所において、ブレードに彩色をしていない（平成 20, 23, 25 年度）風車周辺と、黒色に彩色した（平成 26 年）風車周辺の海ワシ類の飛翔軌跡をセオドライトで把握し、風車に対する最接近距離について、風車から 10m 単位に頻度として数値化するとともに、相対度数としてグラフ化した。その結果、オジロワシでは（図 3-1- 9）、オオワシでは（図 3-1- 10）のとおりとなった。

オジロワシの風車に対する最接近距離の頻度を見ると、風車から 50m 以内の区域に入っただのは、彩色なしが 9 事例であるのに対し、彩色ありは 1 事例となった。彩色なしとありでのサンプル数の違い（彩色なし n=44、彩色あり n=22）を考慮せずに比較できるよう、相対度数を見ると、最接近距離が 20～50m において彩色ありの相対度数が低下し、50～60m、100～160m の部分で彩色ありの相対度数が増加している。このことから、彩色ありでは、最接近距離が全体的に後退したことが分かる。

オオワシも同様の傾向を示しており、頻度では彩色ありの 50～70m が 5 事例から 1 事例に減少している。相対度数でも、彩色ありの 50～70m で相対度数が低下し、120～160m の部分で彩色ありの相対度数が増加し、オジロワシと同様のことが確認できる。

以上から、ブレードを彩色し、ブレードと背景とのコントラスト比が増すことで、海ワシ類のブレードの視認性が向上し、モーションスミアが発生する領域に海ワシ類が進入するよりも前に、風車を回避させることが期待され、バードストライクのリスクを低減させる一定の効果を確認したこととなる。

また、これらの結果は、オジロワシは風車近傍まで接近するものの、危険領域直前で回避することが多く、オオワシはオジロワシに比べ遠方から風車を避けるように飛ぶという観察で指摘された海ワシ類の風車回避行動の特性（環境省資料）とも合致している。

一方、目玉模様の彩色については、データが取得できなかったため、効果を検証することができなかった。しかし、背景とのコントラスト比が高い色を風車のタワー下部に彩色する、目玉模様を鳥類を忌避させる効果がある（城田 1985、1998）ことを利用して風車タワー下部の彩色を目玉模様とすることにより、海ワシ類に風車を視認させやすくなると考えられるため、海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策検討会での議論を踏まえ、海ワシ類に風力発電施設を気づかせる効果が期待できる。

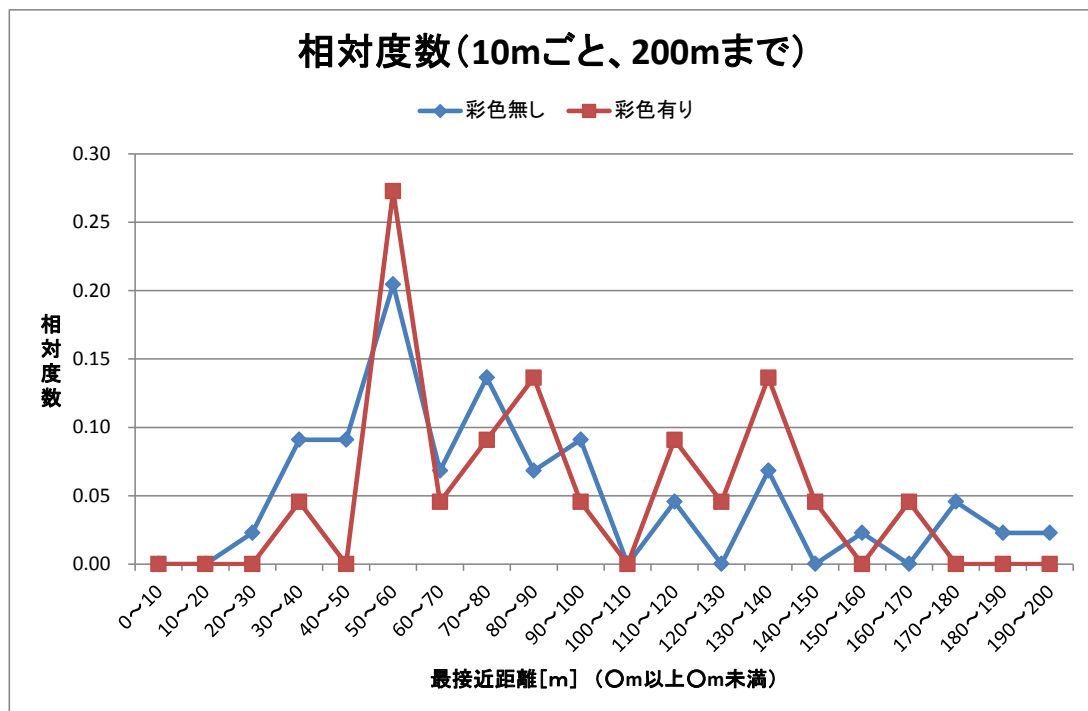
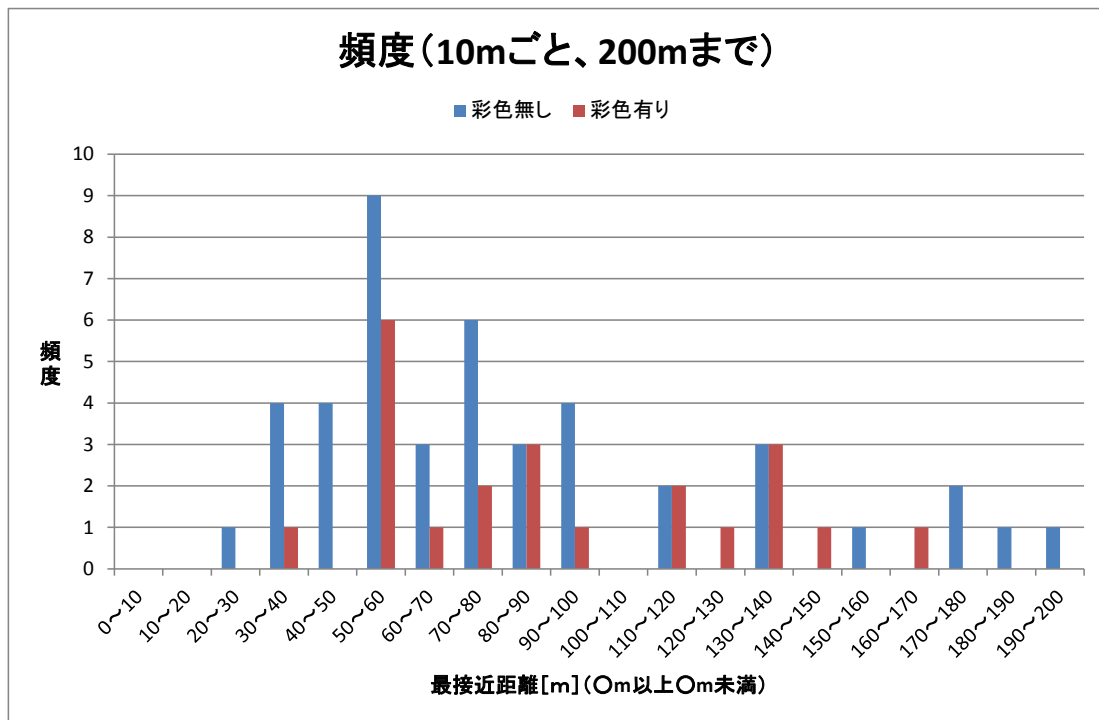


図 3-1- 9 ブレード彩色の有無によるオジロワシの風車の最接近距離の変化

調査場所：北海道苫前郡苫前町の夕陽ヶ丘発電所 1号機

彩色なし (平成 20, 23, 25 年度)：サンプル数 n=44

彩色あり (平成 26 年度)：サンプル数 n=22

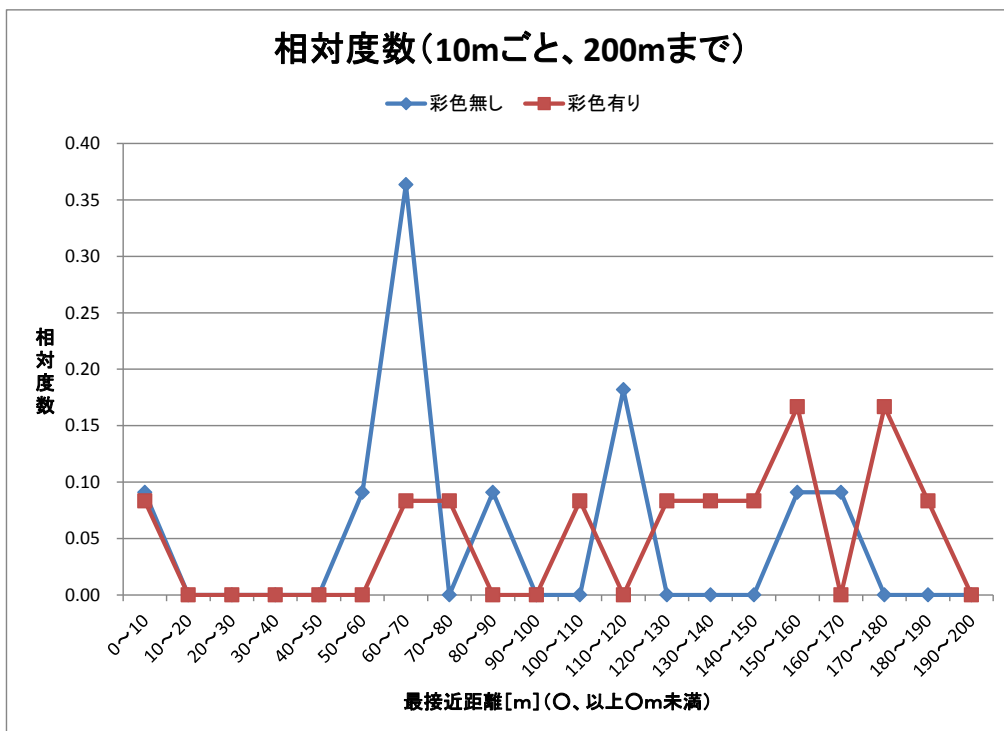
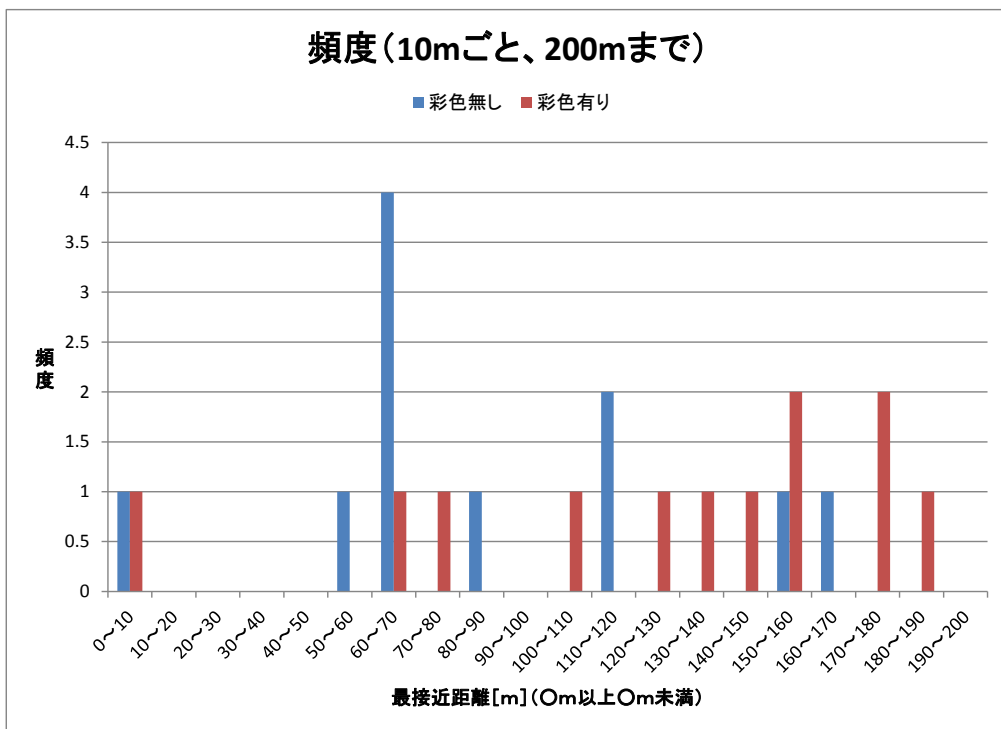


図 3-1- 10 ブレード彩色の有無によるオオワシの風車の最接近距離の変化

調査場所：北海道苫前郡苫前町の夕陽ヶ丘発電所 1号機

彩色なし（平成 20, 23, 25 年度）：サンプル数 n=11

彩色あり（平成 26 年度）：サンプル数 n=12



図 3-1- 11 海ワシ類の飛翔軌跡(苫前：-平成 20 年度、●：風力発電施設)



図 3-1- 12 海ワシ類の飛翔軌跡(苫前：-平成 23 年度、●：風力発電施設)



図 3-1- 13 海ワシ類の飛翔軌跡(苫前：-平成 25 年度、●：風力発電施設)

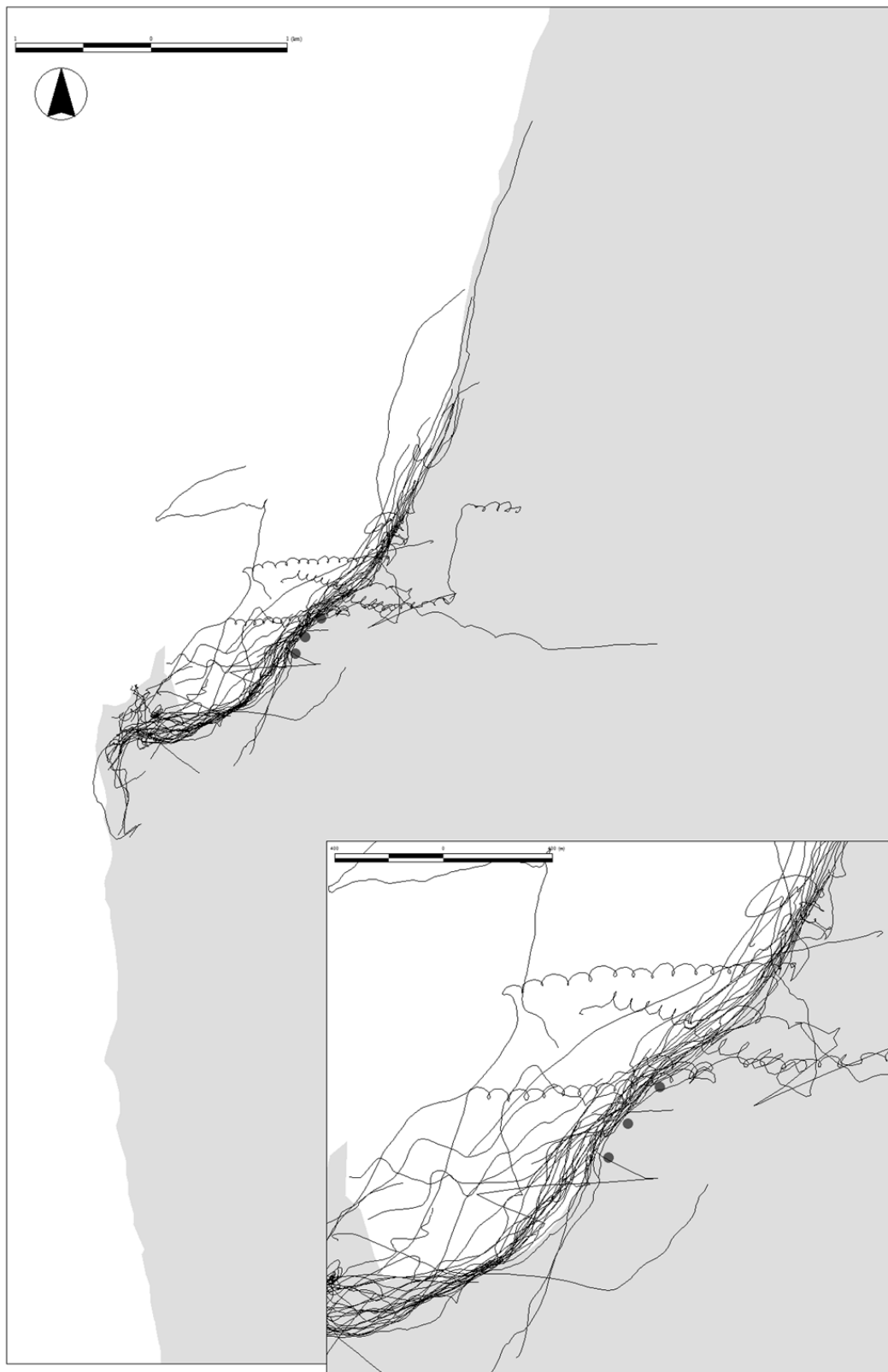


図 3-1- 14 海ワシ類の飛翔軌跡(苫前：-平成 26 年度、●：風力発電施設)

3.1.1.2 可聴性(音)の検証調査

[調査方法]

本調査は風車に海ワシ類が近づいてしまった時の対策として、音による追い払いや注意の喚起ができるかどうかを検証することを目的として実施した。調査は平成 28 年 2 月 21 日と 22 日根室の落石岬で行った(図 3-1-15)。オオワシおよびオジロワシが接近したときに、運動会のスタートの合図に用いられるスターターピストルおよびオジロワシの声を鳴らし(図 3-1-16)、その反応(引き返すか、羽ばたく反応をするか、何もしないか)を記録した。また、鳴らした瞬間のビデオ撮影ができたものについては、鳴った時にワシが、こちらを見たかどうかについても記録した。



図 3-1-15 調査地点図(落石岬)



図 3-1- 16 音を鳴らすのに使ったスターターピストルと鳴き声再生に使用したスピーカー

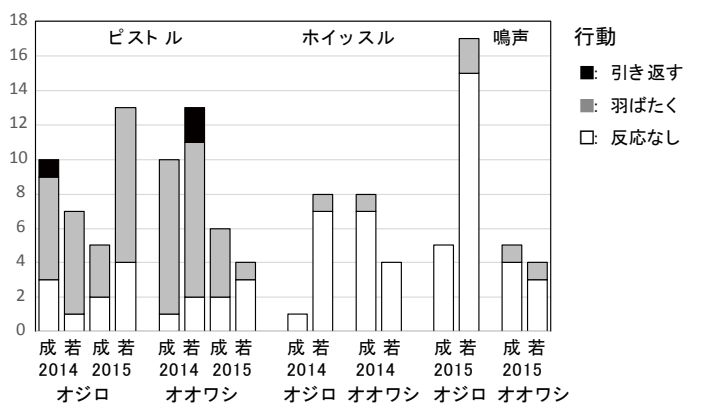
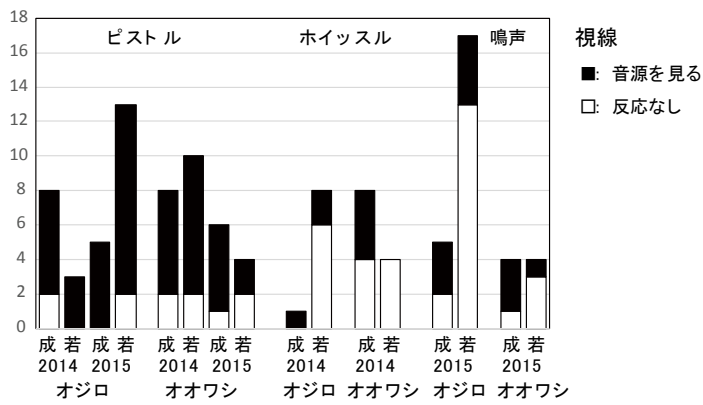


図 3-1- 17 音に対するオジロワシとオオワシの反応

[結果および考察]

スターターピストルの音に対する行動の記録をオジロワシ 18 羽、オオワシ 10 羽についてとることができ、鳴き声に対する行動の記録をオジロワシ 23 羽、オオワシ 9 羽についてとることができた。また、スターターピストルの音に対する視線の記録をオジロワシ 18 羽、オオワシ 10 羽について、鳴き声に対してオジロワシ 23 羽、オオワシ 8 羽について得ることができた。

最初にピストルの音と鳴き声について比較すると、ワシの反応はピストルの方が強かった。ピストルでは、28 回中、17 回はばたいてスピードを落としたり上昇したりするような行動が観察されたが、鳴き声の場合は、32 回中、4 回のみだった。

音に対して視線を向けた割合についても同様で、ピストルでは、28 回中 23 回、音の方向を見たが、鳴き声では、31 回中 12 回だった。

反応にはワシから音源までの距離が影響していた。ピストルの場合は 100m が 1 つの反応の有無の閾値になっており、100m より近い場所で音を鳴らした場合は、反応が見られなかったのは 1 回のみで、反応しなかった 1 例は、ワシの後方から音を鳴らしたものだ。昨年度の調査でも反応のなかったもののうち 7 回中 6 回はワシの後方からピストルを鳴らしたもので、距離と音の方向が反応に影響すると考えられた。

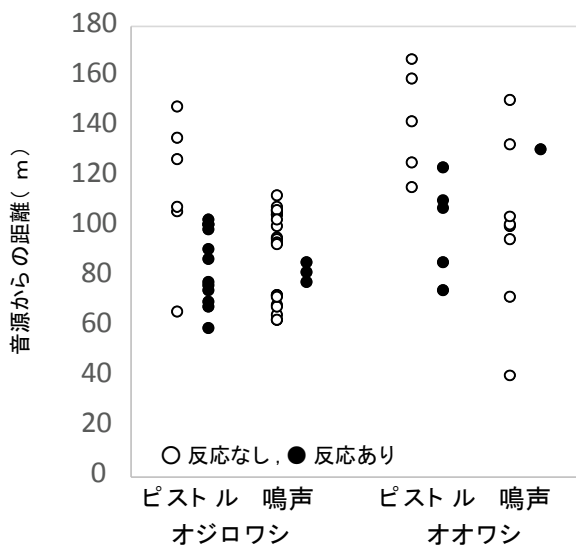


図 3-1- 18 音に対するオジロワシとオオワシの反応

以上の結果から、海ワシ類には、反応しやすい音と、しにくい音があることが示唆され、これまでに試したスターターピストル、ホイッスル、警戒声のなかではピストルが一番適しているといえた。また、反応の大きかったピストルの音にしても、ワシが引き返すような反応は少なく、多くはスピードを緩めたり、上昇して、音の方向を見たりというものだった。したがって、少なくとも、今回実験に使用した程度の大きさの音については、ワシを風車から追い払う

ような効果は期待できないが、反面、音によってパニックを起こし事故を誘発する危険もないといえる。

これまでの調査でワシは風車を認識して、風車を避けて飛ぶことがわかっている。今回の調査結果から、海ワシ類は音によりスピードを落としたり、音の方向を見たりした。したがって、視界が悪かったり、ほかの方向を向いていたりして、風車に気づいていない個体に対して、音を使うことで風車に気づかせることは期待できるので、それによって衝突を減らすことができると思われる。

100m以上離れた場合や後方から音を鳴らした場合は、ワシが反応しないことが多かった。ピストル音が大きくなれば、反応距離は長くなることが期待できるが、実際に、ワシに風車の位置を音で知らせる際は、これらの点を考慮して音源の配置に工夫が必要かもしれない。