

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（案）

平成 28 年 x 月

環境省 自然環境局 野生生物課

目次

第1章 目的	1
第2章 バードストライクの発生とそのメカニズム	3
1 海ワシ類のバードストライク発生状況	3
2 海ワシ類のバードストライク発生メカニズム	10
第3章 バードストライク防止策の考え方	15
1 立地検討時における防止策	15
2 風力発電施設に対する防止策	16
(1) 風力発電施設における防止策	16
1) ブレードの彩色	16
2) タワー下部の彩色	16
3) 警戒音	16
4) 案山子	17
(2) 風力発電施設の運用における防止策	17
1) 飛翔予測による運転コントロール	17
2) バードストライク監視システムと運用管理	17
3 風力発電施設の周辺環境の管理による防止策	18
(1) 餌資源のコントロール	18
(2) 死骸等調査	18
第4章 今後の課題	19
1 バードストライク発生メカニズムの解明	19
2 防止策の実施による効果検証	19
3 技術開発の推進	19
4 センシティブマップの整備	19
5 その他	19
(1) 風力発電施設による海ワシ類に対する障壁影響	20
(2) 海ワシ類以外におけるバードストライクの課題	20
資料編	21
資料(1) 立地検討時における防止策	22
資料(2) ブレードの彩色	25
資料(3) タワー下部の彩色	30
資料(4) 警戒音	32
資料(5) 案山子	37

資料（６） 飛翔予測による運転コントロール.....	38
資料（７） バードストライク監視システムと運用管理.....	39
資料（８） 餌資源のコントロール.....	41
資料（９） 死骸等調査.....	43
参考文献	44

第1章 目的

風力等を活用した再生可能エネルギーは、地球温暖化対策に大きく貢献すると言われており、その導入を最大限推進することが国の目標とされている（「地球温暖化対策計画（案）」平成〇年〇月）。その一方で、風力発電施設については、「風車への衝突（バードストライク）をはじめとする鳥類への影響、希少野生動植物の生息・生育地への影響」等もあることから、導入には自然環境保全との両立が必要である（「風力発電施設と自然環境保全に関する研究会論点整理」平成19年8月、環境省及び資源エネルギー庁）。

このような中、環境省は平成23年1月に風力発電施設設置に係る環境影響評価の実施のポイント、保全措置等の設定にあつて参考とすべき事項、関連資料等を「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」としてとりまとめており、広く活用されてきたところである。

しかし、風力発電施設におけるバードストライク防止に関する知見は未だ十分ではないことから、依然としてオジロワシ等の希少な海ワシ類のバードストライクが発生している。また、バードストライクをはじめとする鳥類への影響に対する懸念から、自然保護団体等により風力発電施設の設置反対の動きが生じたり、環境影響評価の配慮書や準備書において、設置回避を求める環境大臣意見が出された計画もある（平成26～27年度11件）。

このような中、地球温暖化対策に加え、東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所での事故をうけて、平成27年7月に経済産業省が策定した「長期エネルギー需給見通し」では、2030年までに再生可能エネルギーを最大限拡大することとし、総発電電力量の22～24%を再生可能エネルギーとすることが目標とされた¹。このことから、今後、風力発電施設建設計画がさらに増加することが確実であることから、円滑に風力発電施設が建設されるためにも、効果的なバードストライク防止策が明らかにされることが、喫緊の課題であると言える。

そこで、「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」に記載された内容のうち、特に保全措置に関して、最新の知見を加えて、特に事故のリスクが高い海ワシ類を中心として²再構成したものを環境省が「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」としてとりまとめた。

本手引きは、「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」とあわせて活

¹ 我が国の風力発電施設は、平成26年(2014年)度時点で2,034基、総設備容量で約293.6万kW(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構資料 <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/state/1-01.html>)。2030年度における風力発電の導入見込み量は、再生可能エネルギー22～24%中1.7%(風力発電以外の再生可能エネルギーは20.3%～22.3%との見込み)、設備容量で1,000万kW(発電量で182億kWh)(資源エネルギー庁長期エネルギー需給見通し小委員会資料 http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_02.pdf)。現在の約3.4倍の導入が見込まれている。

² 風力発電施設の設置回避に至るような重大な軋轢は、海ワシ類等の希少猛禽類について生じることが多い。また、これらが多く生息する北海道及び東北地方において風力発電施設の導入が進むことが見込まれる。このため、海ワシ類に着目したバードストライク対策を検討した。なお、本手引きは海ワシ類に限らず応用が期待できる。

用し、風力発電施設によるバードストライクの防止に役立てることが望まれる。本手引きは、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検討会の意見を聞いて環境省が作成したものである。なお、本手引きは、現時点で明らかにされている知見をもとにとりまとめたものであり、今後の知見の蓄積により必要に応じて本手引きの内容を見直していく必要がある。

＜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検討委託業務検討会＞

石原 茂雄 一般社団法人 日本風力発電協会 環境部会 副部会長

浦 達也 日本野鳥の会 自然保護室 主任研究員

関山 房兵 猛禽類生態研究所 所長

齊藤 慶輔 株式会社 猛禽類医学研究所 代表

中川 元 斜里町立知床博物館 元館長

由井 正敏 岩手県立大学 名誉教授（座長）

（五十音順）

第2章 バードストライクの発生とそのメカニズム

1 海ワシ類のバードストライク発生状況

オジロワシはユーラシア大陸に広く分布するが、極東個体群はロシアのカムチャッカ、千島列島、日本の北海道等で繁殖し、冬期にはロシアで越冬したと考えられる個体が北海道等で越冬する。越冬個体数は1985年以降緩やかな増加傾向が示されており、近年では700～900羽前後、また、北海道の繁殖つがい数は150程度と推定され、絶滅危惧Ⅱ類に位置づけられている（環境省編 2014）。また、オオワシはロシア極東のベーリング海沿岸部、ハバロフスク地方の沿岸部等で繁殖し、冬期には、北海道、北方四島、本州北部・中部、ロシア沿海地方等で越冬する。北海道における越冬個体数は漸減傾向にあり、近年では1,000～1,500羽程度と推定され、絶滅危惧Ⅱ類に位置づけられている（オジロワシ・オオワシ合同調査グループ 2015、環境省編 2014）。

これらオジロワシ及びオオワシ（以下「海ワシ類」という。）の傷病個体の収容の要因は、主に交通事故、風車衝突、列車事故、感電事故、鉛中毒に大別される。平成12年から平成27年度に環境省が把握した、これらの傷病収容個体数をとりまとめたデータからは（表-1、2及び図-1、2）、オジロワシの風車衝突は交通事故に次いで2番目に多く、平成20年度以降は毎年最も多い傷病の要因となっている（ただし、不明は除く）。また、オオワシの風車衝突は平成21年度に1件あった。

平成16年（2004年）以降、風力発電施設周辺で発見された海ワシ類の死骸の一覧は、表-3のとおりであるが、発見された状況から、これらの死因はバードストライクと考えられる。平成28年3月時点で、死骸等の報告がなされた風車は25基で、うち北海道に位置する風車は23基である³。北海道に建設された風車は、平成27年3月末で稼働中のもので289基、これまで撤去され又は休止しているものを含めた総数は323基⁴であるため、北海道でバードストライクが報告された23基は、稼働中の風車全体の8.0%、撤去され又は休止しているものも含めた総数全体の7.1%にあたる。また、死亡等個体は43個体で、うちオオワシは1事例、残りは全てオジロワシであり、海ワシ類の渡来が始まる10月から渡去が終了する翌年4月までにおける死骸発見数は43件中35件（81%）と多い。苫前町の風力発電施設が全体の6割近くに達しており、発見事例数の約4割は3基の特定の風車に集中している⁵。

環境省（2011b）の調査によると、バードストライクが報告された風車、及びその風車が含まれる風車群に属する他の137基の風車を解析すると、海岸との距離が近いほど衝突が多いという傾向が認められた（図-4）。なお、図-4において複数の衝突が起きた

³ 表-3の合計43件中衝突した風車が不明であるNo.21を除く41件について見ると、風車の数は26基で、都道府県別では北海道24基で青森県が2基となる。実際に衝突が発生していても死骸が発見されていない等の理由による最低数であることに留意が必要。

⁴ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構資料、平成27年3月末現在
http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/case/pdf/pref_01.pdf

⁵ 表-3のうち衝突した風車が不明である表-3のNo.21を除く42件中、風車E-1、E-2及びE-3の衝突件数16件であり、その割合は38%、約4割となる。

風車の多くは海岸段丘上に位置していた。これは、海ワシ類が海岸を飛行する際、斜面上昇風を利用している（植田・福田 2010）ことによるものと考えられる。また、風車群の外縁又は両端に近い風車に対する衝突が多いという傾向も認められた（図-5）。一方で、風車の大きさ（出力サイズ）と事故数には明確な関係は認められなかった。

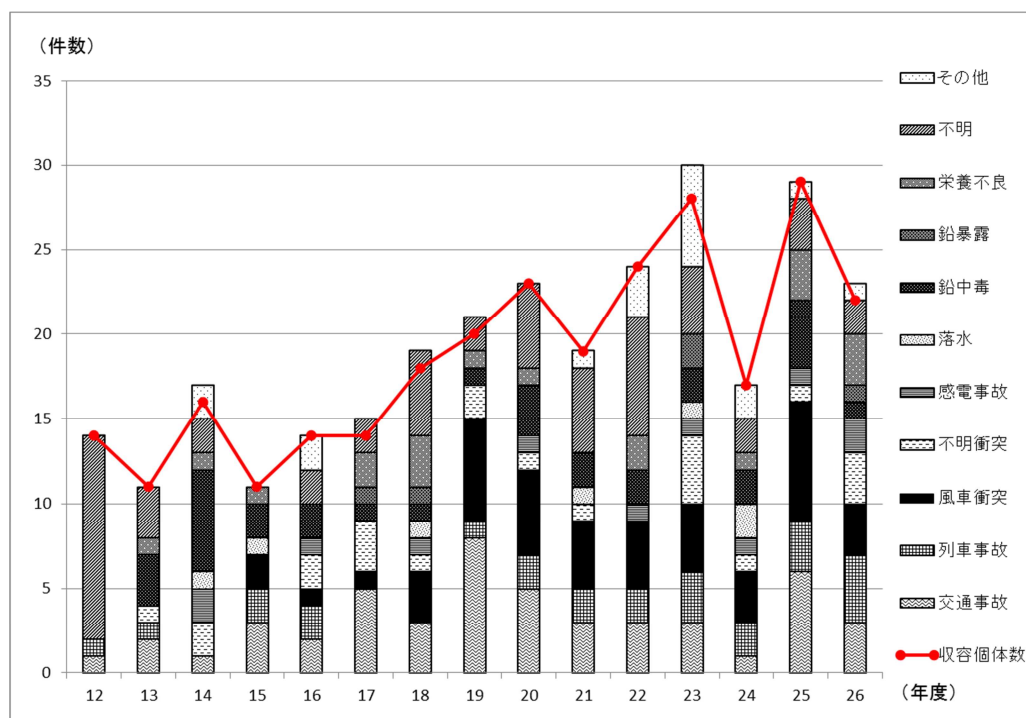
なお、オジロワシのバードストライクは海外でも発生している。Espen 他 (2015) 「Repowering Smøla wind-power plant An assessment of avian conflicts」によれば、ノルウェーのスモラ諸島の風力発電施設において、2002年から2005年に建設された68基の風車を対象に、2005年8月～2013年11月の約8年間維持管理と併せてバードストライクの発生状況の調査が行われた結果、バードストライクによるものと考えられるオジロワシの死骸又は傷病個体が54羽発見された⁶。このうち、成鳥は29羽、亜成鳥・幼鳥は25羽であった。風車毎の死骸数と相関する要因を分析したところ、風車から最も近い営巣場所までの距離が500m以内の場合、その距離が近ければ近いほど、死骸数が増えるという相関関係がみられた。

⁶ 2013年現在、ノルウェーでは、356基の風車が稼働している（在ノルウェー日本国大使館資料 <http://www.no.emb-japan.go.jp/files/000039467.pdf>）

表－1 オジロワシの傷病收容个体数（環境省資料、平成27年3月現在）

年度 (平成)	(件)											收容个体数
	交通事故	列車事故	風車衝突	不明衝突	感電事故	落水	鉛中毒	鉛暴露	栄養不良	不明	その他	
12	1	1								12		14
13	2	1		1			3		1	3		11
14	1			2	2		6		1	2	2	16
15	3	2	2			1	2		1			11
16	2	2	1	2	1		2			2	2	14
17	5		1	3			1	1	2	2		14
18	3		3	1	1	1	1	1	3	5		18
19	8	1	6	2			1		1	2		20
20	5	2	5	1	1		3		1	5		23
21	3	2	4	1		1	2			5	1	19
22	3	2	4		1		2		2	7	3	24
23	3	3	4	4	1	1	2	2		4	6	28
24	1	2	3	1	1	2	2		1	2	2	17
25	6	3	7	1	1		4		3	3	1	29
26	3	4	3	3	2		1	1	3	2	1	22
計	49	25	43	22	11	7	32	5	19	56	18	280

※ 各要因別の收容件数の合計が收容个体数を上回る年がある（平成14、17～19、23及び26年度）が、これは複数の要因が考えられる收容个体があるため。



図－1 オジロワシの傷病收容个体数（環境省資料、平成27年3月現在）

表-2 オオワシの傷病収容個体数（環境省資料、平成27年3月現在）

年度 (平成)	(件)											収容個体数
	交通事故	列車事故	風車衝突	不明衝突	感電事故	落水	鉛中毒	鉛暴露	栄養不良	不明	その他	
12	1						12			4	1	18
13				1	2		7		1	4	1	16
14		1		4	1	2	5			2	1	16
15				3	2		9		2	2	1	19
16	4			1	5		8		3	3	2	24
17	3			1	4		1				2	11
18	3	3			2		2	1	4	1	4	17
19		3		2			8		2			15
20		1			2		7			7		16
21	3		1	5		1	1			2		13
22	2	2			2		2				1	9
23	2				1	1	5			2		11
24	4	1			1	1	2	1	1	1	1	12
25	2	4		3	4	1	2		1	6	1	24
26	1			2	2		3		2	2		12
計	25	15	1	22	28	6	74	2	16	36	15	233

※ 各要因別の収容件数の合計が収容個体数を上回る年がある（平成16、18、20及び24年度）が、これは複数の要因が考えられる収容個体があるため。

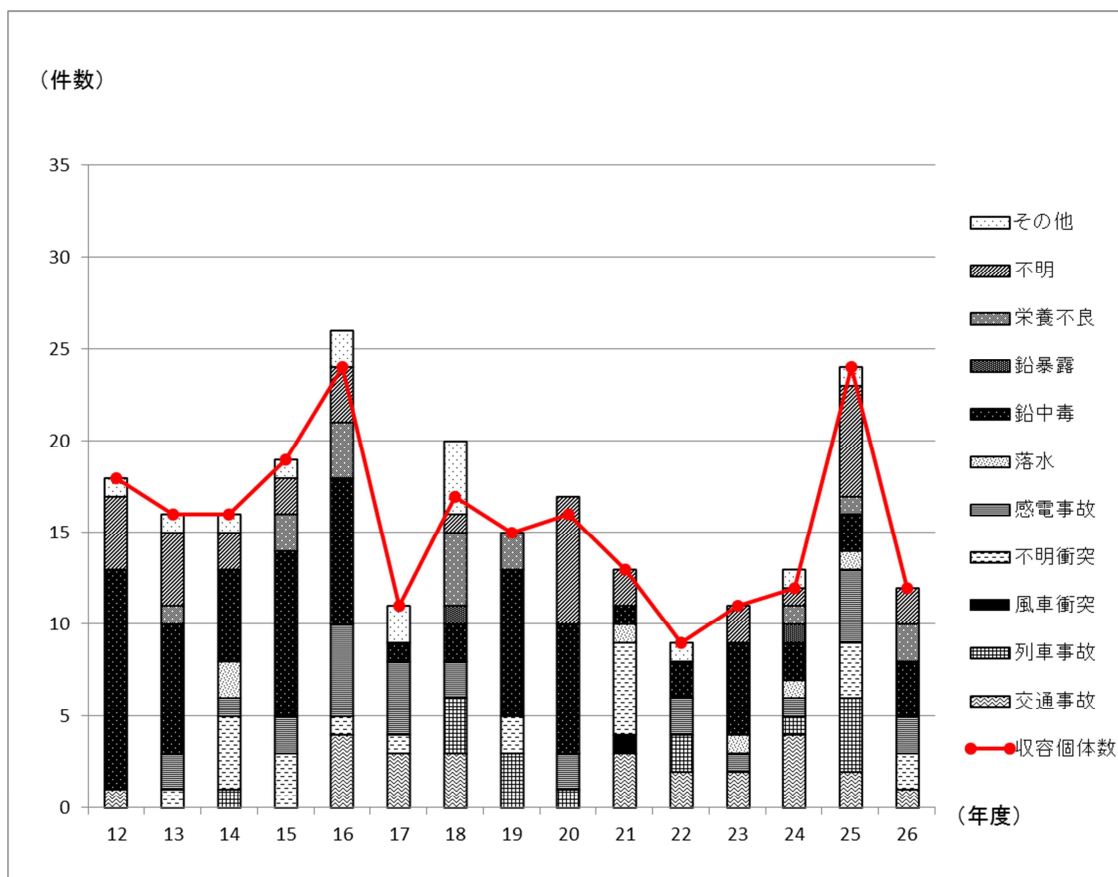


図-2 オオワシの傷病収容個体数（環境省資料、平成27年3月現在）

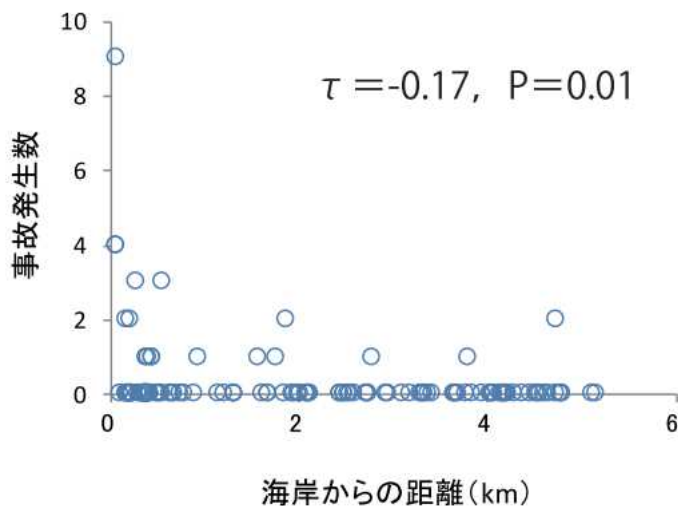
表ー3 風力発電施設周辺で発見された海ワシ類の死骸等一覧

No	発見日	衝突推定時	発見時の 天候	市町村	ウィンドフ ーム名	風車 No	種類	性別	成長 段階	発見状況
1	2004/2/5	記載なし	吹雪	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	亜成鳥	記載なし
2	2004/3/15	記載なし	晴れ	苫前町	F 発電所	F-19	オジロワシ	不明	幼鳥	点検中
3	2004/12/10	当日	曇り	根室市	A 発電所	A-4	オジロワシ	メス	成鳥	訪問者 (偶然)
4	2005/12/19	記載なし	曇り	石狩市	G 発電所	G-1	オジロワシ	オス	成鳥	記載なし
5	2006/4/13	記載なし	曇り	苫前町	F 発電所	F-20	オジロワシ	不明	亜成鳥	点検中
6	2006/6/8	前日～当日	曇り	幌延町	D 発電所	D-5	オジロワシ	不明	幼鳥	点検中
7	2007/1/25	前日～当日	雪	苫前町	E 発電所	E-1	オジロワシ	不明	幼鳥	点検中
8	2007/4/4	記載なし	記載なし	稚内市	C 発電所	CW-13	オジロワシ	不明	亜成鳥	調査員
9	2007/4/28	当日	晴れ	根室市	A 発電所	A-4	オジロワシ	不明	亜成鳥	点検中
10	2007/11/26	数日前	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	亜成鳥	調査員
11	2007/12/26	前日～当日	晴れ	苫前町	E 発電所	E-3	オジロワシ	不明	幼鳥	記載なし
12	2008/1/14	記載なし	雪	幌延町	D 発電所	D-南端 風車	オジロワシ	不明	幼鳥	記載なし
13	2008/2/26	不明	不明	根室市	I 発電所	I-1	オジロワシ	不明	成鳥	不明
14	2008/10/19	数日前	曇り	浜中町	B 発電所	B-1	オジロワシ	不明	成鳥	訪問者 (偶然)
15	2009/1/6	不明	記載なし	苫前町	E 発電所	E-3	オジロワシ	不明	不明	記載なし
16	2009/2/19	当日	晴れ	苫前町	F 発電所	F-9	オジロワシ	不明	不明	調査員
17	2009/3/23	不明	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	不明	記載なし
18	2009/3/23	不明	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	不明	記載なし
19	2009/4/4	不明	晴れ	苫前町	E 発電所	E-3	オジロワシ	不明	亜成鳥	訪問者 (偶然)
20	2009/4/27	不明	晴れ	稚内市	C 発電所	CW-2	オジロワシ	不明	幼鳥	調査員
21	2009/5/17	不明	不明	苫前町	E 発電所	E-不明	オジロワシ	不明	不明	記載なし
22	2009/5/25	少々時間経過	晴れ	稚内市	C 発電所	CW-8	オジロワシ	不明	不明	記載なし
23	2009/11/24	不明	晴れ	せたな町	H 発電所	H-1	オオワシ	不明	幼鳥	点検中
24	2010/5/12	不明	曇り	稚内市	C 発電所	W-4	オジロワシ	不明	不明	不明
25	2011/1/12	前日	曇り	苫前町	F 発電所	F-10	オジロワシ	不明	不明	点検中
26	2011/1/17	当日	雪	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	不明	点検中
27	2011/3/20	前日～当日	雪	苫前町	E 発電所	E-1	オジロワシ	不明	不明	調査員
28	2011/5/11	不明?	晴れ	苫前町	F 発電所	F-9	オジロワシ	不明	不明	訪問者 (偶然)
29	2011/12/29	前日～当日	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	成鳥	点検中
30	2012/1/27	当日	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	成鳥	住民
31	2012/3/16	前日	曇り	青森県野 辺地町	J 発電所	J-24	オジロワシ	不明	亜成鳥	点検中
32	2012/4/16	不明	晴れ	稚内市	C 発電所	C-9	オジロワシ	不明	成鳥	点検中
33	2012/4/16	不明	曇り	苫前町	F 発電所	F-12	オジロワシ	不明	幼鳥	点検中
34	2013/6/3	不明	曇り	稚内市	C 発電所	CW-15	オジロワシ	不明	不明	点検中
35	2013/6/3	不明	曇り	稚内市	C 発電所	CW-15	オジロワシ	不明	不明	点検中
36	2013/10/7	不明	晴れ	稚内市	C 発電所	CW-6	オジロワシ	不明	不明	点検中
37*	2014/1/23	当日	晴れ	苫前町	E 発電所	E-3	オジロワシ	不明	幼鳥	訪問者 (偶然)
38	2014/1/29	当日	曇り	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	不明	成鳥	点検中
39	2014/3/13	当日	晴れ	苫前町	E 発電所	E-3	オジロワシ	不明	亜成鳥	点検中
40	2014/3/28	当日	晴れ	青森県 北野沢	K 発電所	K-6	オジロワシ	不明	不明	調査中

41	2014/5/9	記載なし	記載なし	稚内市	C 発電所	W-5	オジロワシ	不明	幼鳥	点検中
42	2014/10/31	前日	晴れ	苫前町	E 発電所	E-2	オジロワシ	オス	亜成鳥	点検中
43	2015/3/2	不明	不明	留萌市	L 発電所	入口-5	オジロワシ	不明	不明	巡視中

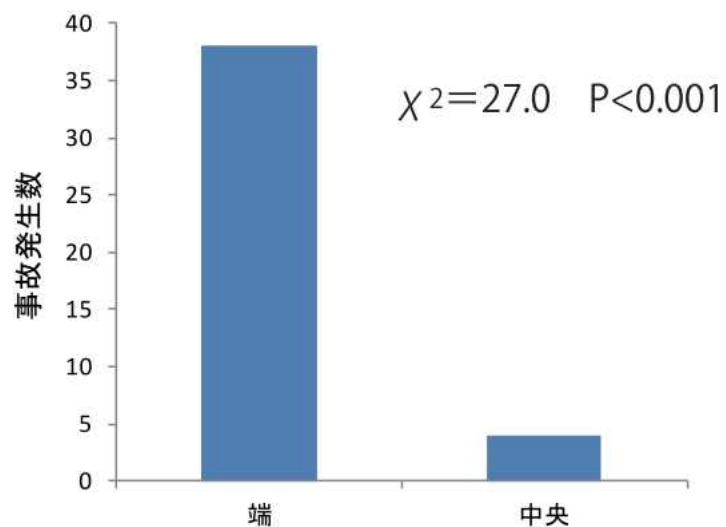
・ ウィンドファーム名は、実名を避け、A～L 発電所をあてた。

・ No37 の個体は生きた状態で保護された。



図－４．海ワシ類の風車への衝突事故の件数と各環境要素との関係
(海岸からの距離)

- ・ 平成 28 年 3 月末時点での 43 事例を対象としたが、青森県の 2 件は風車位置が不明なため除いた。
- ・ 海岸からの距離がほぼ同じ風車では、○が重複して見える場合がある。
- ・ 検定は順位相関係数 τ (タウ) を用いた。これは二つの変数の間で単調増加・減少関係を示すものである。



図－5．海ワシ類の風車への衝突事故の件数と各環境要素との関係
(風車群における風車の位置)

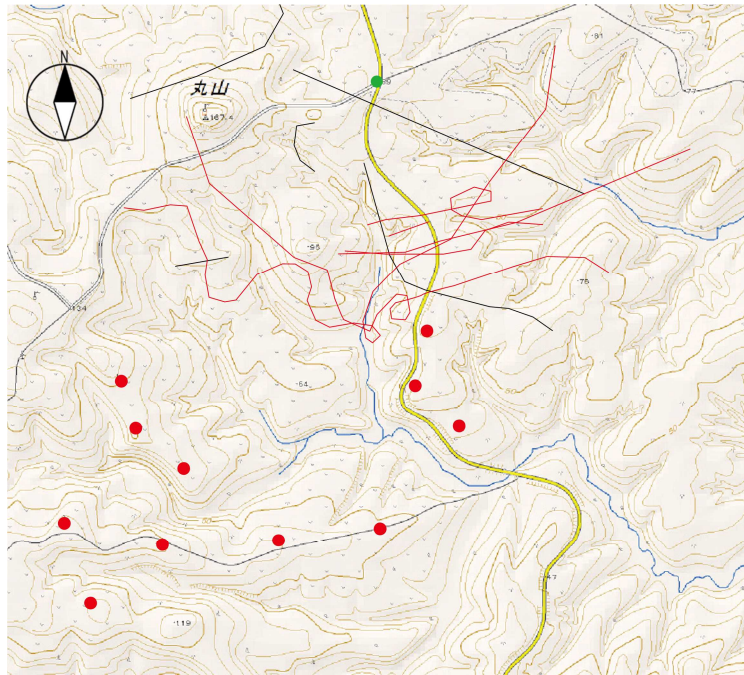
図において、「端」は「風車が1列に並ぶ場合はその両端から2つ目まで、風車が群状の場合は外縁から2つめまでの風車」と定義した。また、「中央」は「端以外の風車」と定義した。平成28年3月末時点での43事例を対象としたが、青森県の2件は風車位置が不明なため除いた。検定は χ^2 検定を用いた。

2 海ワシ類のバードストライク発生メカニズム

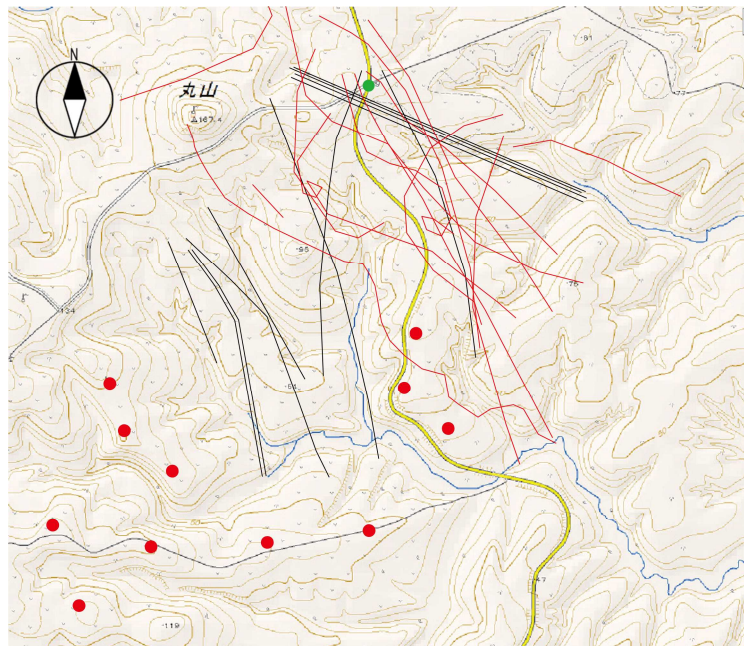
海ワシ類は、風力発電施設の存在を認識した後、風力発電施設を水平方向に避けて飛行するか、又は飛行高度を上げることにより垂直方向に避けて飛行しているものと考えられる（植田他 2015、環境省 2012、（公財）日本野鳥の会 2015）。

ただし、その避け方については、オジロワシとオオワシとでは若干異なっていることが示唆されている。（公財）日本野鳥の会（2015）が宗谷岬ウィンドファームにおいて実施した、風車群の存在が海ワシ類の渡り経路や飛翔に対して与える影響調査の結果（図-6）では、オジロワシは飛行高度が風車よりも高い場合、飛行高度が風車の高さ以下の場合のいずれでも風車の存在を認識し、避けるように飛ぶ。一方で、オオワシは飛行高度が風車の高さ以下の場合には風車北側を東西方向に風車を避けるように飛び、風車群に近づかない。また、飛行高度が風車よりも高い場合は、風車群を避けずにその上空を飛行していることがわかる。

さらに、各地の観察記録からも、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り、オオワシは飛翔時に小回りがきかないためか、風車の相当程度手前から風車を避けるように飛ぶことが報告されている（環境省資料）ことから、種毎に風車回避の行動特性は異なっていると考えられる。



オジロワシの飛行経路



オオワシの飛行経路

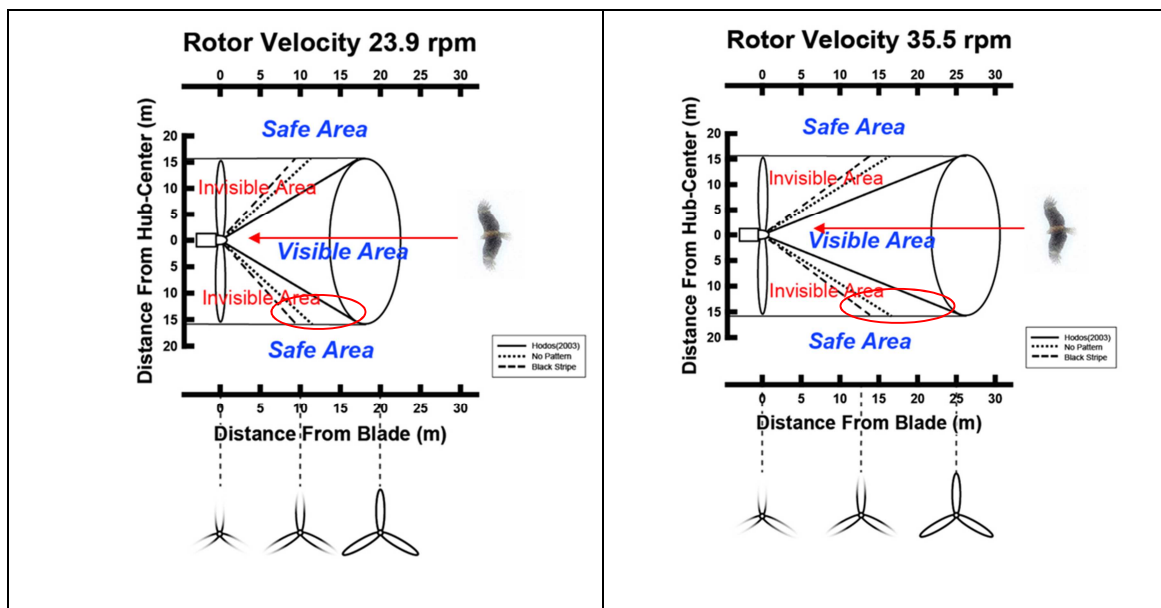
図一六 風車群の存在と海ワシ類の渡り経路や飛翔に対して与える影響調査結果で得られた飛翔軌跡（飛翔軌跡はいずれも北から南向き）（野鳥 2015年2・3月号より転載）

- ：風車
- ：飛行高度が風車の高さ以下の場合の飛行経路
- ：飛行高度が風車の高さよりも高い場合の飛行経路
- ：レーダー位置

以上のように、海ワシ類の風力発電施設の避け方は、種によって違いがあるものの、通常は風車を避けて飛翔している。バードストライクが発生するのは、風車を避けることのできない事態が生じている時であると考えられるが、これまでの調査の結果からは、次の4点がその要因であると考えられる。

第一がモーションスミア現象である (Hodos 2003、環境省 2009)。これは、風車のブレードは一定の角速度 (単位時間あたりの回転角度) で回転することから、ブレード先端部であるほど速度が高速となるが、高速で移動する部分は視覚では認知できず、透明に見えることからブレードの存在に気づかなくなるというものである。トビを用いた室内実験では、移動速度が速ければ速いほど、また近ければ近いほどブレードの先端からモーションスミア現象が生じることが確認された (図-7)。このことから、海ワシ類がモーションスミア現象によりブレードを認知できない場合、バードストライクの要因になっていると考えられる。

ローター直径 : 31m



閾値 (網膜上のスピード (1秒当たりの移動視野角度))

No Pattern: 200dva/S Black Stripe: 240dva/S

余裕を見込んだ安全値 (Hodos, 2003) : 130dva/S

図-7. 風車中心部に向かって直進飛翔するトビからみた風車の視認性に関する模式図

それぞれ Rotor Velocity : 風車回転速度、Visible Area : ブレード先端からモーションスミアが始まって視認可能な空間、Invisible Area : モーションスミアにより視認不可能な空間、Safe Area : 安全空間、Distance From Hub-Center : 風車中心からの離隔距離。トビは右側から風車の中心部に向かって直進することを仮定している。赤○印に着目すると、実線は、Hodos (2003) が余裕を見込んだ安全値として示した網膜速度 (130dva/S) から算出された視認可能な空間、点線は彩色なしでの閾値 (200dva/S) から推察された視認可能な空間、破線は黒色のストライブを彩色した閾値 (240dva/S) から算出された視認可能な空間である。黒色のストライブを添付することにより視認可能な空間が拡大することがわかる。

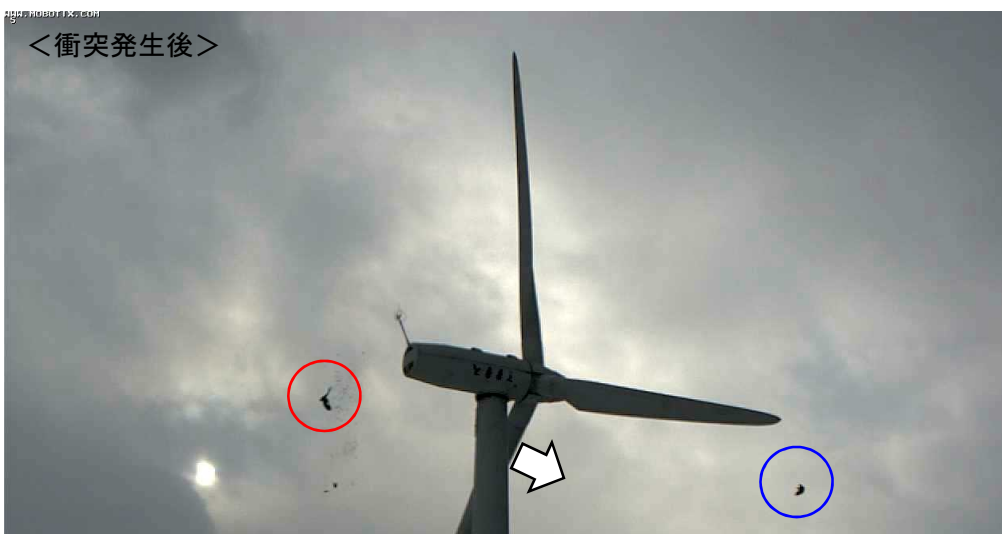
第二に、下方への注目が考えられる（環境省 2011b）。海ワシ類は、その体躯構造から上方視野が見えにくい。さらに、餌を探索している際は、特に下方に注目することで、周囲への警戒心は下がることから、回転するブレード、特に上方向から下方向に向かうブレードに気づきにくくなる。バードストライクにより死傷したと判断されたオジロワシ 19 事例の剖検所見を整理したところ、打撃方向が上方からのものは 13 事例⁷あったことから、上方を視認していない又はできていないために、上方向から下方向に向かうブレードに衝突しやすくなっているものと考えられる。

第三に、悪天候による視程悪化（コントラスト比の低下）が考えられる（環境省 2011b）。海ワシ類の越冬場所のひとつである北海道の日本海側は、冬季には曇天が多く、地表面は積雪に覆われる。また風車のブレードも白色系であることから、吹雪などの発生により風車と背景の色が一体となることで、コントラスト比が低くなり、ブレードの視認性が低下すると考えられる。海ワシ類の死骸が釧路野生生物保護センターに収容された（表-3）時の記録によると、衝突時に天候が急変したと思われる事例があったことから、視程悪化によるバードストライクの可能性が考えられた。

第四に、個体同士の相互作用があげられる（環境省 2014a）。平成 25 年度に、環境省が行った風力発電施設近傍に Web カメラを設置してビデオ観測をした際に、バードストライクが記録されている（図-8）。このバードストライクでは、後方の別個体（おそらくオジロワシと思われる）に追跡されたオジロワシは、前方に十分な注意を払うことができずに衝突したように見える。なお、後方から追跡してきた個体は、衝突で風車又は回転するブレードの存在に気づいたためか、飛翔方向を反転させている。

これまでに得られた知見では、バードストライクは上記に挙げた単独又は複数の要因により発生しているものと考えられる。

⁷ 残り6件については、不明（死骸の状況から打撃方向を特定することは困難であった。）。



図－8．他個体に追跡されブレードに衝突したオジロワシ

第3章 バードストライク防止策の考え方

海ワシ類のバードストライクが発生するリスクは、事業区域における海ワシ類の飛翔頻度及び飛翔距離に比例して高まると考えられる。そのため、風力発電施設による海ワシ類のバードストライクを防止するためには、海ワシ類のバードストライクのリスクが低い場所に風車を立地させることが重要となる。

また、海ワシ類は通常風車を避けて飛翔しているが、モーシヨンスミア現象、下方への注目、視程悪化（コントラスト比の低下）、個体同士の相互作用といった要因で、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、海ワシ類が風車の存在に気づきやすくするため、視認性を高める防止策及び音の発生による防止策により、海ワシ類の視角又は聴覚を通じて風車の存在を気づかせることが重要である。また、発生要因そのものを除去することも重要である。さらに、海ワシ類に風車の存在を認識させるのではなく、風力発電施設の運転を制御することでバードストライクの発生を回避するという運用による防止策もある。

これまで実施されたバードストライク防止策の検証の結果からは（環境省 2014、環境省 2015、環境省 2016）、一定の効果が確認できる防止策はあるものの、確実にバードストライクが回避できる防止策、又は回避効果が極めて高いと考えられるバードストライク防止策は、現状ではないものと考えられる。しかし、単独では一定の効果にとどまる防止策でも、複数のものを組み合わせることにより、相乗的な効果が期待できる⁸ことから、バードストライクが発生するリスクや防止策のコストを比較しつつ、複数の対策を組み合わせることが適当である。

また、バードストライクの防止策を検討するにあたり、景観保全を併せて考慮することが必要となる場合もある。この場合は、事業を実施する区域の地域特性に応じて適切な対策を選択することが重要である。

1 立地検討時における防止策

バードストライクの発生を防止するためには、バードストライクが発生するリスクが低い場所に立地させることが最も重要である（「資料（1）立地検討時における防止策」参照）。

事業区域の選定にあたっては、海ワシ類を含む鳥類の保護上重要な区域を特定し、海ワシ類のバードストライクのリスクが高いと考えられる場合は事業区域から除外することが重要である。また、海ワシ類の飛翔頻度が高い、頻繁に利用する渡りルート、水際、海岸段丘、断崖を特定し、これらからある程度離隔させるように検討することが望ましい。なお、事業区域を選定するための海ワシ類の生息状況調査の手法については、文献調査、現地調査、有識者等へのヒアリング等がある。

選定した事業区域内においては、目視やセオドライトにより事業区域及びその周辺の

⁸ 野生生物による農林産物被害対策における総合防除の考え方と同様。

海ワシ類の飛翔状況を把握した上で、事業区域内でメッシュごとに衝突確率モデルによる衝突回数の推計を行い、相対的に衝突回数が高いメッシュにおける立地回避を検討することを通じて、風車の配置を工夫することにより、バードストライクのリスクを一層低減することが可能である。なお、既存の風力発電施設をリプレースする際に、バードストライクの発生状況を踏まえて、風車の位置を再検討することが重要である。

2 風力発電施設に対する防止策

(1) 風力発電施設における防止策

1) ブレードの彩色

<期待される効果>

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することが期待される。これまでの調査からは、バードストライクのリスクを低減させる一定の効果が確認されている。

<具体的な実施方法>

風車の背景（青色（快晴の空）、灰色又は白（曇天）等）とのコントラスト比が高い赤色や黒色等で、ブレードを彩色することが効果的である。彩色のパターンや模様は、3枚のブレードにそれぞれの中心からの距離が同じにならないように互いに塗り分ける、1枚のブレードを根元まで彩色すること等が考えられるが、風車の仕様や彩色した場合のブレード重量のバランス等を考慮して決定する（「資料（2）ブレードの彩色」を参照。）。

2) タワー下部の彩色

<期待される効果>

海ワシ類は餌の探索のために下方を向いて飛翔していることが多く、遠方からの識別能力も高いことから、風車のタワー下部への彩色は海ワシ類に風力発電施設を気付かせる効果が期待できる。

<具体的な実施方法>

タワー下部の彩色は、背景（白色（雪が積もった地面）等）とのコントラスト比が高い黒色等でタワー下部を彩色することが効果的と考えられる。彩色のパターンや模様は、鳥類の忌避効果があるとされる目玉模様等が考えられる（「資料（3）風車タワー下部の彩色」を参照。）。

3) 警戒音

<期待される効果>

海ワシ類が餌の奪い合い等、様々な理由により他の個体と競合して周囲への警戒を怠っている場合や、霧で視認性が低下している場合等、前方にある風車に気づきにくい状況の場合は、警戒音の発生が風車の存在を気付かせる方法として期待できる。

<具体的な実施方法>

国内では、警戒音の発生を対策として取り入れた事例は確認されていないが、海外には防止策として警戒音を取り入れている事例がある。警戒音による防止策を導入する場合は、警戒音を発生させるためのシステムや警戒音の種類について検討する必要がある（「資料（４）警戒音」を参照。）。

4) 案山子

<期待される効果>

案山子には、ワシ類を脅かし寄せ付けない効果があるということが、海外の文献において記載されている（Scott et al 2005）。バードストライクの防止策は、複数のものを組み合わせることにより、相乗的な効果が期待できることから、防止策の選択肢の1つとして案山子を設置することがあり得る。

<具体的な実施方法>

案山子を風車の近傍に設置する。設置後、効果が薄れた際はシェルクラッカーを併用することが望ましい。なお、案山子は金網や木材を利用して風に強く安価なものを作成できる。（「資料（５）案山子」を参照。）。

(2) 風力発電施設の運用における防止策

1) 飛翔予測による運転コントロール

<期待される効果>

バードストライクのリスクが高い気象条件等が現れる時期・時間帯の運転を制御することにより、バードストライクを回避できる可能性がある。

<具体的な実施方法>

風車周辺で海ワシ類の飛翔頻度が高くなり、バードストライクが発生するリスクが高まる気象条件等（風速、風向、視程等）を特定し、当該気象条件等が現れる時期や時間帯に運転制御（当該時期、時間帯における停止等）を実施する（「資料（６）飛翔予測による運転コントロール」を参照。）。

2) バードストライク監視システムと運用管理

<期待される効果>

海ワシ類が風車に過度に接近し、バードストライクの危険が予測される場合に、ブレードの減速等の運転制御を行うことができれば、バードストライクを回避できる可能性がある。

<具体的な実施方法>

風車周辺で海ワシ類の飛翔頻度が高くなることが考えられる場合、風車周辺の海ワシ類を監視し、海ワシ類が風車に過度に接近した時に、自動的に風車の運転制御を行うシステムを導入する等、風車を弾力的に運用管理するような検討が望まれる。システムは開発途上であるため、今後実用化が必要（「資料（７）バードストライク監視シ

システムと運用管理」を参照。)

3 風力発電施設の周辺環境の管理による防止策

(1) 餌資源のコントロール

<期待される効果>

風力発電施設を管理する際の巡回や、死骸等調査等を行っている時に、海ワシ類の餌資源となる動物の死骸等を事業区域内から除去することで、海ワシ類が餌となる死骸に注目することを避け、風車の認識を促す効果が期待できる。

<具体的な実施方法>

事業区域内にサケやエゾシカの死骸等の海ワシ類の餌が存在する場合は、餌資源を除去する（「資料（8）餌資源のコントロール」参照。）。

(2) 死骸等調査

<期待される効果>

海ワシ類の死骸等調査によりバードストライクの実態を把握することで、バードストライクの防止策の効果を検証することが可能となる。それにより、バードストライクの防止対策の追加や、より効果的なバードストライクの防止策の検討が可能となる。

<具体的な実施方法>

推奨される方法（期間：最低1年間、対象：事業区域内の全風車、実施間隔：ひとつの風車につき月1回以上、調査半径：地上からブレード先端部までの長さを半径とする円内）で死骸等調査（負傷個体を含む。）を実施する（「資料（9）死骸等調査」参照。）。

なお、海ワシ類のバードストライク防止策は、視認性を高める防止策、音による防止策、運用による防止策、周辺環境の管理による防止策に区分できる。それぞれの防止策を整理すると表-4のとおりとなる。

表-4 防止策の区分

防止策の内容		ブレードの 彩色	タワー下部の 彩色	警戒音	案山子	飛翔予測による 運転コント ロール	バードストライ ク監視システ ムと運用管理	餌資源コント ロール	死骸等調査
視認性を高める防 止策	風車本体	○	○	-	-	-	-	-	-
	風車周辺	-	-	-	○	-	-	-	-
音による防止策	風車本体	-	-	○	-	-	-	-	-
	風車周辺	-	-	○	-	-	-	-	-
運用による防止策		-	-	-	-	○	○	-	-
周辺環境の管理による防止策		-	-	-	-	-	-	○	○

第4章 今後の課題

1 バードストライク発生メカニズムの解明

第2章において、バードストライクの発生要因として考えられる事項を4つ挙げたが、それぞれについてさらなる要因の解明が必要である。

モーションスミア現象については、海ワシ類が風車に斜めからの侵入した場合や、ブレードの中心に近い部分ではなく、先端部に近い部分に侵入した場合におけるモーションスミアの発生状況を明らかにすることが望まれる。また、下方への注目、視程悪化（コントラスト比の低下）及び個体同士の相互作用については、ビデオカメラによりバードストライクの瞬間を記録することを含め、観察例の蓄積と検証が望まれる。

2 防止策の実施による効果検証

バードストライク防止策の有効性は、現在のところ一部を除き、必ずしも明らかではない。防止策の有効性を確認し、より効果的なものにしていくためには、バードストライクの数やその状況を継続的に把握することが必要である。そのためには、長期にわたって死骸等調査が実施される体制の構築が必要である。

3 技術開発の推進

バードストライクの防止策は、様々の主体が創意工夫しながら実施しているところであるが、風力発電施設の設置や環境影響評価に係る調査に関する技術の中には、バードストライク防止策に有効な技術や応用可能な技術もありうるため、防止策への適用や応用が期待される。また、防止策の実施状況に関する情報を集約し、その情報をもとに防止策の改良や精度向上を図ることが重要である。バードストライク監視システムによる運用管理については、実用化に向けたさらなる技術開発が期待される。

4 センシティブマップの整備

海ワシ類をはじめ鳥類のバードストライクを回避するために最も効果的な方法は、鳥類が多く生息している区域や、移動のルート以外に風車を建設することである。しかし、現在、鳥類に対して影響が大きいと考えられる区域に関する情報（センシティブマップ）は整理されていない。

環境影響評価の結果、鳥類への影響が大きいとして建設の回避が求められること等により、一定程度事業が進捗したにもかかわらず、その後の推進が困難になる事例もある。センシティブマップの作成は、このような事例を減らし、円滑に風力発電施設を導入することにつながると考えられる。

5 その他

風力発電施設の導入と自然環境保全との両立は喫緊の課題で、これを達成するために

は海ワシ類に限らずバードストライクの防止策を進展させる必要があり、その参考とするため、以下にバードストライク防止策に関連する課題を幅広く挙げる。

(1) 風力発電施設による海ワシ類に対する障壁影響

第2章「2. 海ワシ類のバードストライク発生メカニズム」の「図-6 風車群の存在と海ワシ類の渡り経路や飛翔に対して与える影響調査結果で得られた飛翔軌跡」により、風力発電施設が建設されたことにより、海ワシ類が渡り中にそのルートを変えて飛ぶようになる障壁影響の発生が示唆されている（公益財団法人日本野鳥の会 2015）。なお、洋上風力発電施設の障壁影響により、鳥類の個体が本来利用する最短の移動ルートを飛翔できないことにより余計な飛翔コストを被り、より餌密度が低い環境や捕食者の多い環境を利用せざるを得なくなることで、生残率や繁殖成功率が低下する等の影響があるのではないかという議論もある（Wilson et. al 2010）。障壁影響が海ワシ類の渡りに与える影響の評価については、今後の課題である。

(2) 海ワシ類以外におけるバードストライクの課題

近年、海ワシ類等の大型猛禽類以外にも、風車に衝突する動物が報告されている。例えば、ヒタキ科等小型鳥類のバードストライクも報告されている（環境省 2010）。これらの小型鳥類は夜間に渡りを行うため、これまで飛翔状況は把握されていなかった。しかし、近年レーダーを用いることにより飛翔状況が把握されつつあるため、今後、小型鳥類への影響についての知見を収集、整理する必要がある。

また、ヨーロッパや北アメリカにおいてはコウモリ類の風車への衝突が多く確認され、風力発電施設の環境影響に係る諸課題のうちバットストライクが大きな課題であるとの認識が広まり始めている。バットストライクが懸念されるのは、コウモリ類が長距離の季節移動を行う秋期及び春期であり、我が国でも8～9月の秋期に事故が集中しているという。また、コウモリ類は風が弱い時に飛翔するが、風車も2～3m/s程度の微風時でも回転を始めるため、風車のブレードに衝突したり、巻き込まれたりして事故が発生するものと思われる。そのため、想定される対策としては、フルスペクトラム方式のバットディテクターを併設して事業区域及びその周辺を利用するコウモリの種や飛翔状況と気象条件との関連を明らかにし、バットストライクが懸念される時期に運転コントロールをすること等が考えられる（コウモリの会 2015）。なお、我が国のコウモリ類の生態等について不明な点も多く、今後の調査、研究の進展が望まれる。

資料編

資料（１）立地検討時における防止策

1 海ワシ類を含む鳥類の保護上重要な区域

（１）法令等により指定等された地域

1) 鳥獣保護区

鳥獣の保護を図るため、鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律に基づき鳥獣保護区が指定されている。鳥獣保護区は環境大臣が指定する国指定鳥獣保護区と、都道府県知事が指定する都道府県指定鳥獣保護区の２種類があり、鳥獣保護区内は鳥獣の狩猟が禁止されている。また、鳥獣保護区の中に指定された特別保護地区では工作物の設置、水面の埋め立て、立木の伐採といった行為を行うためには、環境大臣又は都道府県知事の許可を受けなければならない（「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」の「3-1-2 既存の鳥類関係情報（鳥類の保護上重要な区域）」の項を参照。）。

なお、国指定鳥獣保護区の最新の指定状況は、環境省ホームページ<<http://www.env.go.jp/nature/choju/area/area2.html>>に掲載されている。

2) ラムサール条約湿地

条約の正式名称は、「特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約」(Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat)であり、その一般名称を1972年の最初の開催地（イラン、ラムサール）にちなみ、「ラムサール条約」と呼ぶ。この条約は、特に水鳥の生息地等として国際的に重要な湿地およびそこに生息・生育する動植物の保全を促進することを目的とし、各締約国がその領域内にある湿地を1ヶ所以上指定し、条約事務局に登録するとともに、湿地およびその動植物、特に水鳥の保全促進のために各締約国がとるべき措置等について規定している（「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」の「3-1-2 既存の鳥類関係情報（鳥類の保護上重要な区域）」の項を参照。）。

なお、ラムサール条約湿地の最新の登録状況は、環境省ホームページ<<http://www.env.go.jp/nature/ramsar/conv/2-3.html>>に掲載されている。

3) その他自然環境保全等の観点から指定された地域

絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律に基づく生息地等保護区、自然公園法に基づく国立公園、国定公園及び都道府県立自然公園、自然環境保全法に基づく原生自然環境保全地域及び自然環境保全地域、文化財保護法に基づく天然記念物、都市緑地保全法に基づく緑地保全地区、森林法に基づく保安林のうち自然環境保全上の観点から指定されたもの、国有林野の保護林制度、自治体の条例に基づく区域があり、これらの一部は海ワシ類を含む鳥獣の保護上重要な役割を果たしている（「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」の「第5章資料（１）鳥類保

護対策の現状」を参照。)

(2) 民間団体等により選定された地域

1) 重要野鳥生息地 (IBA)

IBA (重要野鳥生息地: Important Bird and Biodiversity Area) とは、国際的な鳥類保護組織であるバードライフ・インターナショナルの活動で、鳥類を指標として重要な自然環境や生物多様性の高い場所を選定して、それらを国際的なネットワークとして持続的な保全や管理を実現しようとするものである(「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」の「3-1-3 その他の既存資料」の「重要野鳥生息地 (IBA)」の項を参照。詳細については、日本野鳥の会 (2010) を参照。)

(3) 鳥類の生息調査で明らかにされた地域

「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」の「3-2-1 渡り経路」のうち「[海ワシ類 (オジロワシ・オオワシ)]」の項を参照。また、環境省 (2014b) には、北海道における海ワシ類の生息情報が掲載されているので、併せて参照されたい。さらに、環境省 (2015b) には、宗谷地域における海ワシ類の渡りに関する現地調査結果が掲載されている。

2 水際、海岸段丘、断崖等からの隔離

海ワシ類は北海道の沿岸部を渡りルートとして利用していること、海に面した段丘や断崖で発生する上昇気流を利用して飛翔高度を得ることから、頻繁に利用する渡りルート、水際、段丘、断崖の周辺では海ワシ類の飛翔頻度が高くなる。そのため、立地検討の際は、頻繁に利用する渡りルート、水際、段丘、断崖からある程度離隔させるように検討することが望ましい(「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」の「3-4 衝突リスクの高い地形条件」及び「3-7-1 風車の配列」を参照。)

3 事業区域内における立地 (風車配置) 検討

「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」の「参考資料 (12) 衝突確率モデルを用いた衝突回数推定の試み」では、事業区域をメッシュで分割して、メッシュ毎に衝突回数を推定する手法が示されている⁹。これを利用して、衝突回数が相対的に多いと推定されるメッシュの風車を、衝突回数が少ないと推定されるメッシ

⁹ 「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 月策定、平成 27 年 9 月修正版、以下この注で「手引き」という。) の「第 5 章 参考資料」における衝突確率モデルを用いた衝突回数の計算方法は、野鳥が直線飛行することを前提としており、旋回や曲線飛行の場合の予測衝突回数は異なることが想定されていたが、この点について由井・江頭(2016)により検討がなされた。その結果、旋回時の衝突数は旋回半径 20m 以下を除き、直線飛行時の衝突回数と同一飛行距離当たりの数値に大きな違いは無いことが示された。ただし、ミサゴ(Gary & Hellack 1978)で報告されているように、旋回時の飛翔速度は通常の直線による巡航速度の半分程度になると想定されることから、その際の衝突回数は、由井・島田(2013)で示された変換接触率(手引き p5-35 下段)で計算すると 2 倍になることに留意する必要がある。今後、各鳥種別の旋回・曲線飛行の実態、例えば旋回半径、旋回頻度、旋回時の飛行速度などを把握し解析することが重要である。

ユに移す¹⁰等、風車の配置計画や変更計画を検討することができる。

4 その他

(1) センシティブマップ

海ワシ類をはじめとする鳥類の渡りルートや繁殖地に関するデータを重ね合わせて、鳥類にとって重要な区域を特定し、評価するセンシティブマップを作成し、風力発電事業者に活用してもらおう取組が海外では進められている。

海外におけるセンシティブマップの事例としては、バードライフ・インターナショナルによる「Soaring Bird Sensitivity Map」¹¹、アメリカ鳥類保護協会（ABC）による「Bird Risk Map」¹²、オーデュボン協会による取組¹³等がある。また、2014年11月に開催されたボン条約第11回締約国会議において、再生可能エネルギーと移動性の野生動物種に関する決議（UNEP/CMS/Resolution 11.27）¹⁴がなされたことを背景として、今後、さらに、センシティブマップの作成と、それを活用した立地検討が進むといわれていることから、我が国においてもセンシティブマップの作成が望まれる。

(2) レーダー調査の実施とその結果

近年、船舶で利用されるレーダーを、水平方向及び垂直方向に運用して、鳥類の渡り状況を把握することが試みられている。レーダーでは、鳥類の種類を特定することができない、正確な個体数を把握することができない等の課題はあるものの、データを蓄積することにより、日本列島及び周辺海域の渡り鳥ルートの全体像が明らかになる可能性もある。これらの渡りルートの調査結果が統合されれば、(1)のセンシティブマップにも反映できる可能性もあることから、今後、レーダーやその調査手法に関する技術開発が望まれる。

¹⁰衝突回数が少ないと推定されるメッシュに移す際、そのメッシュが衝突回数が相対的に多いと推定されるメッシュと環境条件が同様であれば、本来海ワシ類が多く飛翔する可能性があるため、注意が必要である。

¹¹ <http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/en/sensitivity-map>

¹² http://www.abcbirds.org/abcprograms/policy/collisions/wind_developments.html

¹³ センシティブマップは非公表

¹⁴ http://www.cms.int/sites/default/files/document/Res_11_27_Renewable_Energy_E.pdf

資料（２）ブレードの彩色

1. ブレードの彩色で期待される効果

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る。これまでの調査からは、バードストライクのリスクを低減させる一定の効果が確認されている。

2. ブレード彩色の例

(1) 彩色の色

環境省(2008、2009、2010)が行ったトビ等を用いた室内実験では、背景とのコントラスト比が高い色ほど、視認性が高くなるという結果が得られた。そのため、風車の背景となる青色（快晴の空）、灰色又は白（曇天）等に対してコントラスト比が高い、赤色や黒色等で彩色することが、バードストライクの防止策として効果的であると考えられる。

環境省が北海道苫前郡苫前町の苫前夕陽ヶ丘風力発電所（日本海側）で実施した海ワシ類を対象とした彩色効果の検証実験（環境省 2015a、2016）では、黒を採用している。

(2) 彩色方法（パターン、模様）

彩色方法については、モーションスミアが起きやすいブレードの先端に近い場所を3枚それぞれ彩色する方法（図-9）、3枚のブレードにそれぞれ中心からの距離が同じにならないように互い違いに塗り分ける方法（図-10）、1枚のブレードを根元から先端まで彩色する方法（図-11）等がある。

モーションスミア現象は移動速度の早いブレードの先端部分から生じ、ブレードの移動速度が遅い根元部分には風車に近づかない限り生じないこと（「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」の「3-7-2 風車ブレードの彩色」の「閾値に基づいた視認性の予測マップの試み」を参照。）ことから、先端から一定部分を彩色することでも効果があるものと考えられる。

なお、仕様の古い風車では、先端部分が可動となっている場合があり、可動部分の彩色に適さず、彩色しないこともやむを得ない。環境省が実施した海ワシ類を対象とした彩色効果の検証実験（環境省 2015a、2016）では、図-12のとおり、彩色した。

また、1枚のブレードのみを根元まで彩色すると、彩色の素材によってはブレード3枚の重量のバランスが崩れ、運転に支障を来す場合もあることから、注意することが必要である。

現段階では、どのような彩色方法が適切かについての知見はないが、様々な彩色方法が試みられていることから、今後、効果的な彩色方法が明らかになることが期待さ

れる。

なお、航空法に基づき、昼間において航空機からの視認が困難である認められる物件で地表又は水面から 60m 以上の高さのものには、昼間障害標識を設置しなければならないこととされているが、これをバードストライク防止策の彩色として利用できる場合がある。



図-9 3枚のブレードの彩色例
(赤色、先端部彩色)

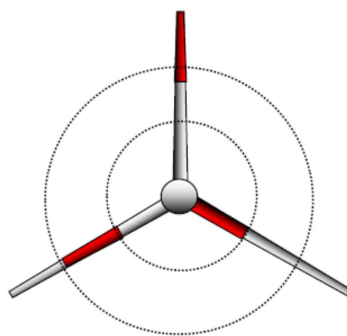


図-10 3枚のブレードの彩色例
(赤色、互い違い塗り分けによる彩色)

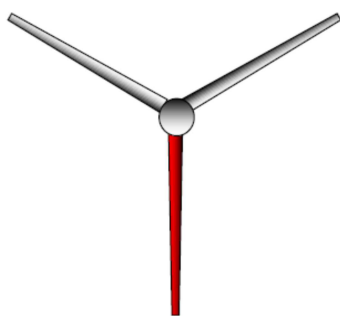


図-11 1枚のブレードの彩色例
(赤色、根元から先端部彩色)

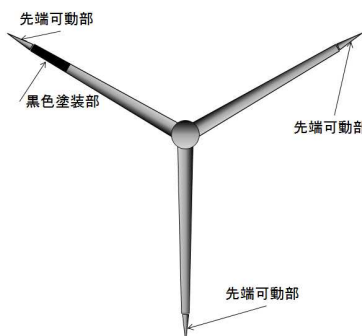


図-12 検証実験におけるブレードの彩色例
(黒色、先端部彩色)

(3) 素材

素材については、塗装又はフィルム貼付が考えられる。風車建設前にブレードを黒色又は赤色に彩色することができれば効率的である。なお、フィルムは塗装よりも軽量であるという特徴がある。

3. ブレード彩色効果の検証

(1) 彩色効果検証実験

環境省では、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から、彩色

の効果の検証実験を行った。

検証実験で、最接近距離を風車から 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-13）、オオワシでは（図-14）のとおりとなった。

（2）分析の結果

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。

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。

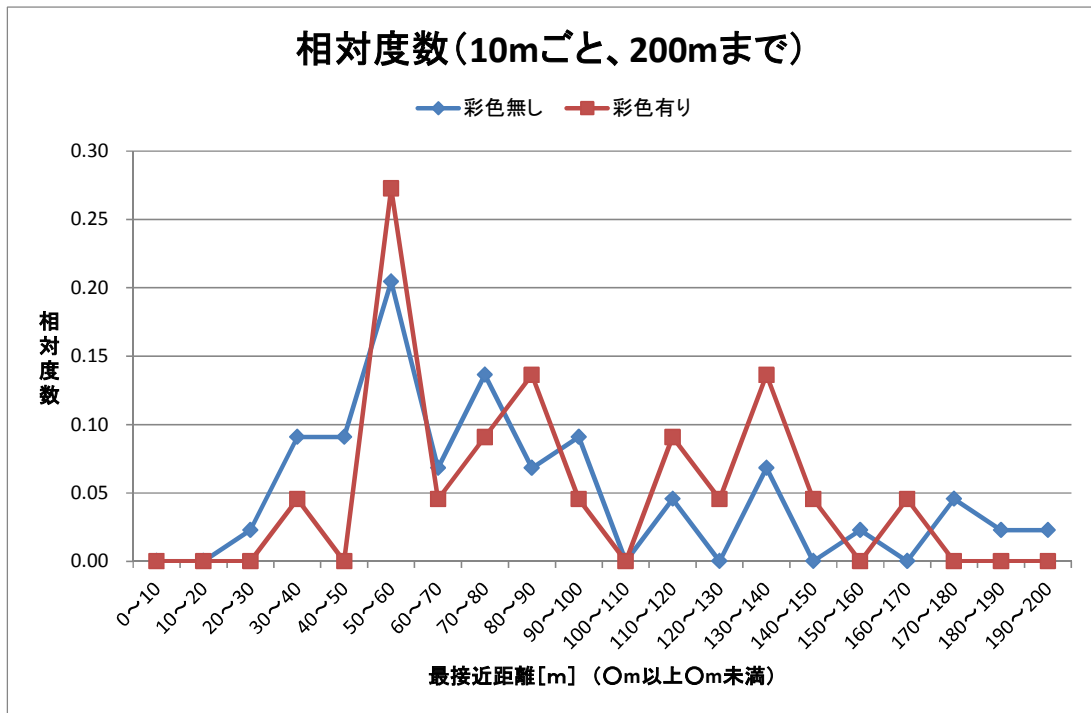
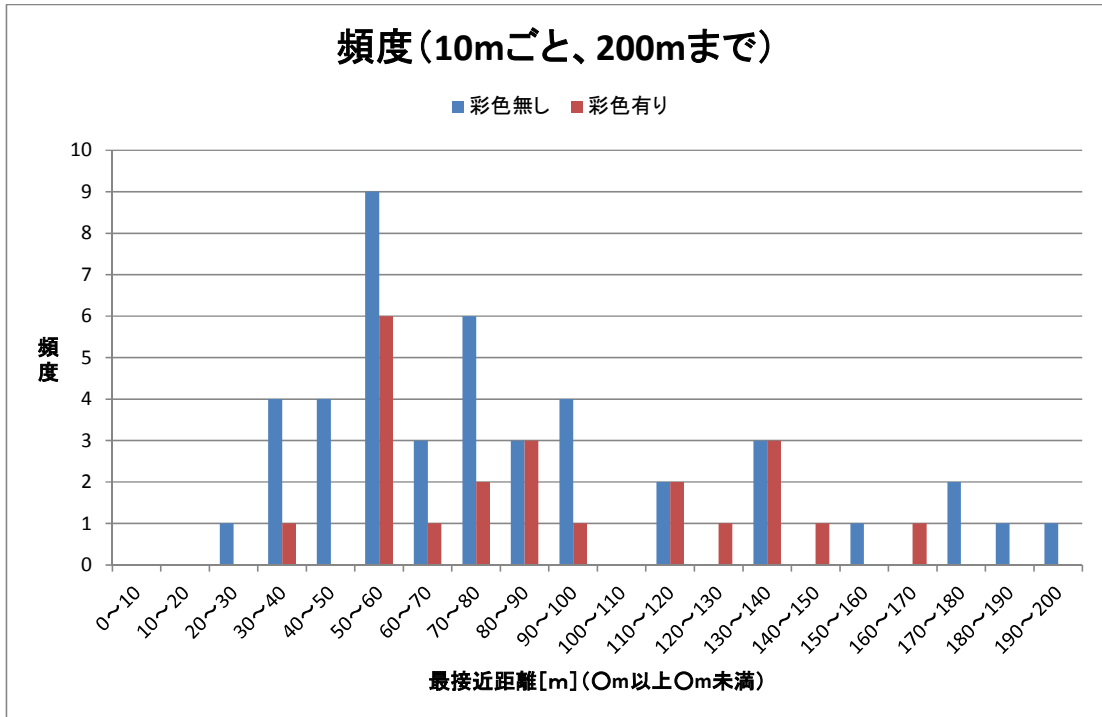


図-13 ブレード彩色の有無によるオジロワシの風車の最接近距離の変化

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

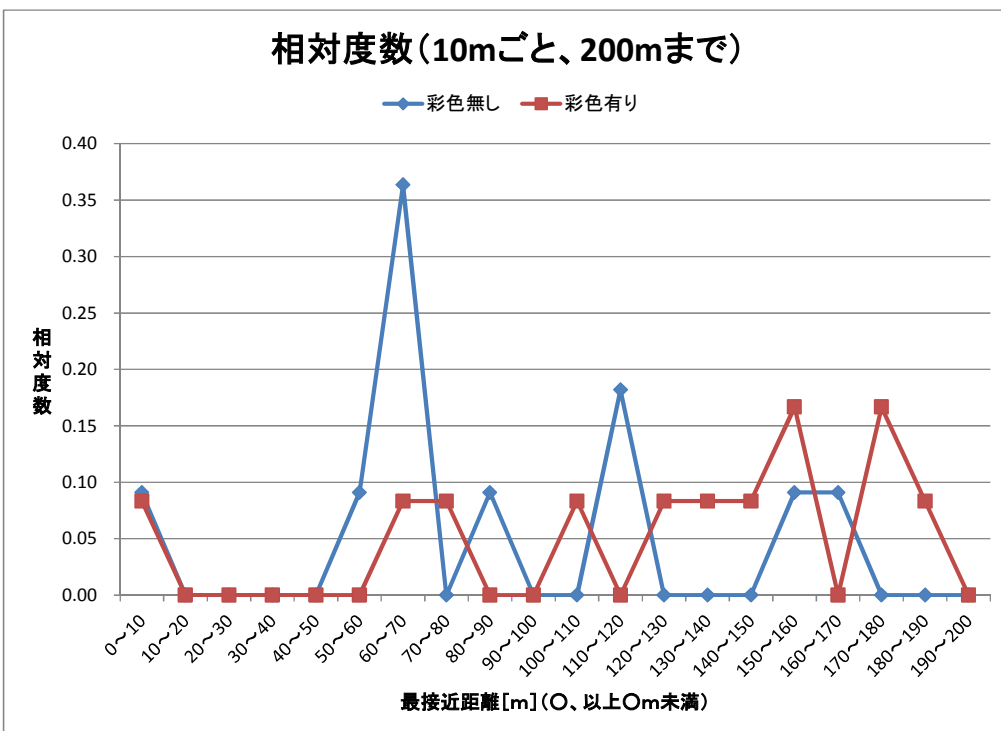
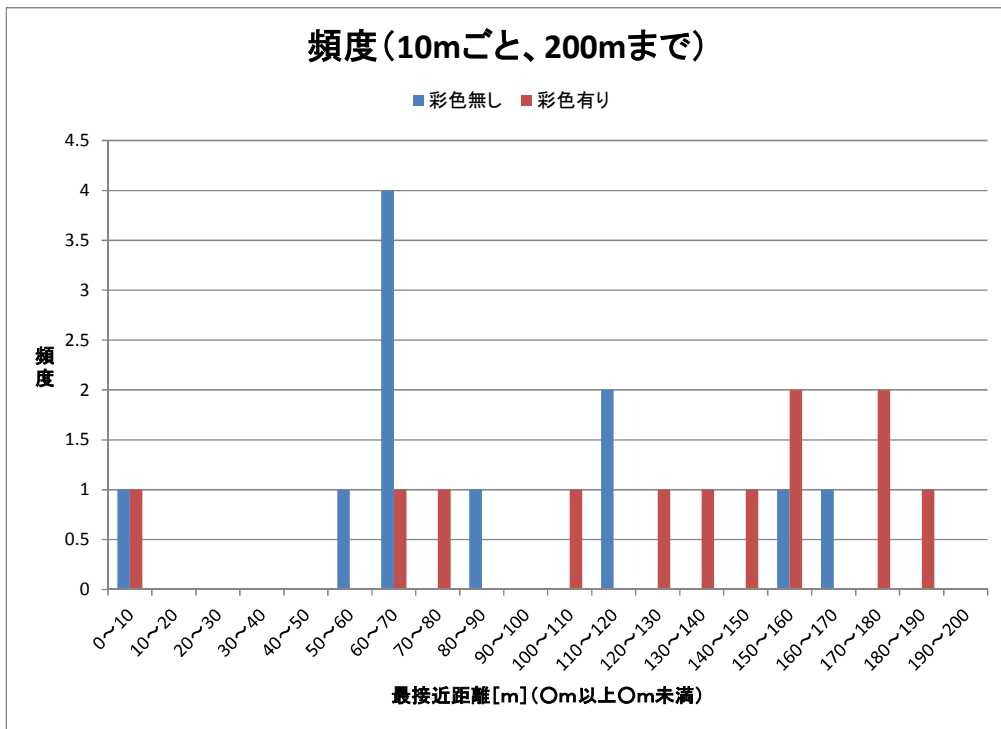


図-14 ブレード彩色の有無によるオオワシの風車の最接近距離の変化

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

資料（3）タワー下部の彩色

1. タワー下部の彩色で期待される効果

海ワシ類は餌の探索のために下方を向いて飛翔していることが多く、遠方からの識別能力も高いことから、風車のタワー下部への彩色は海ワシ類に風力発電施設を気付かせる効果が期待できる。

2. タワー下部の彩色の例

（1）彩色の色

色の選択については、背景とのコントラスト比が高い色を選択することが適当である（図-15）。海ワシ類が冬期に上空から地面を見た場合、風車タワー下部の背景は雪の積もった地面（白色）であることが多いこと、風車の色が白色であることから、白色に対するコントラスト比が高い黒が効果的であると考えられる。環境省が北海道久遠郡せたな町の瀬棚臨界風力発電所（平成26年度）及び北海道苫前郡苫前町の苫前夕陽ヶ丘風力発電所（平成27年度）で実施した、海ワシ類を対象とした彩色効果の検証実験（環境省2015a、2016）では、黒色を採用している。

（2）彩色の方法

彩色の方法はノルウェーでの事例のように、風車タワー下部の一定の高さまでをコントラスト比が高い色で塗りつぶす方法（図-15）と、目玉模様（鳥類を忌避効果がある）（城田1985、1998）ことを利用して、風車タワー下部に目玉模様を貼付する方法がある。

環境省（2015a、2016）では目玉模様の効果の検証を行っているが、この検証実験では、海ワシがどの方向から風車のタワー下部を見ても目玉模様が目立つように、タワー下部を二段の目玉模様が一回りするよう、図-16のとおり彩色している。



図-15 : ノルウェーにおける風車タワー下部への彩色の事例

(<http://www.tu.no/kraft/2014/02/25/kan-uv-lys-brukes-som-usynlig-fuglegjerde-rundt-vindparker> より転載)

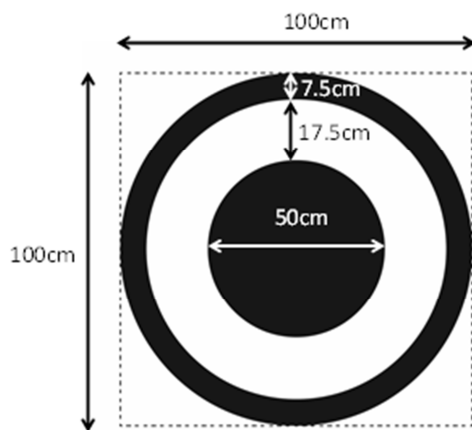


図-16 : 目玉模様彩色の例

(3) 素材

素材については、塗装又はフィルム貼付が考えられる。

資料（４）警戒音

1. 警戒音で期待される効果

海ワシ類が餌の奪い合い等により他の個体と競合して周囲への警戒を怠っている場合や、霧で視認性が低下している場合等、前方にある風車に気づきにくい状況では、警戒音の発生が風車の存在を気付かせる方法として期待できる。

なお、他の視認性を高める防止策と併用することで、風力発電施設の存在を効果的に気づかせる可能性がある。また、これまでの調査からは警戒音により海ワシ類を忌避させたり、追い払ったりする効果までは期待できないと考えられる点に注意が必要である。

2. 警戒音の効果の検証

環境省（2015）では、警戒音の発生による海ワシ類の反応について、平成 27 年 2 月に北海道根室市の落石岬において調査を実施した。

落石岬においてスターターピストルをもった調査員を配置し、海ワシ類が 50m 程度の距離に接近した時にピストル音を発生させ、その反応を観察した。

調査では、海ワシ類に対してピストル音を 40 回鳴らしたが、そのうち 33 回についてスピードを緩める、上昇する、音の方向を見る等の反応があった。また、追い払いにつながるような強い反応（引き返す）は、反応があった 33 回中 3 回であった（図-17）。

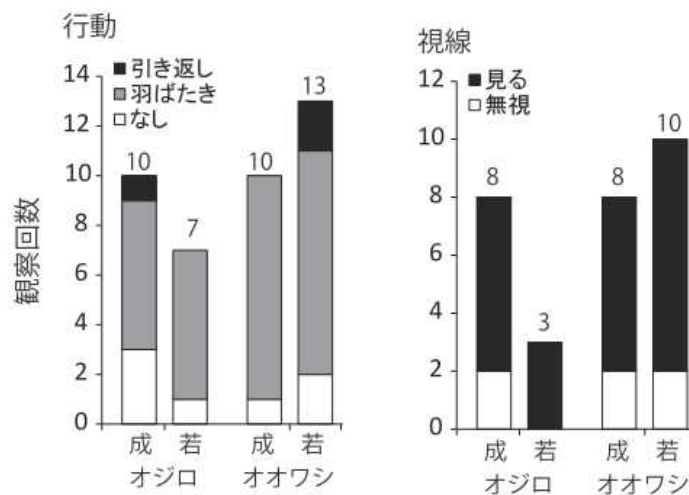


図-17 海ワシ類に対するピストル音反応結果

以上から、警戒音を発生させることで、風車の存在を気づかせる一定の効果があるものと考えられる。なお、海ワシ類においては音の種類によって反応が異なり、ホイッスルでは反応が悪かったことから（環境省 2015）、警戒音の発生による対策を行う場合は、事前に音の効果を検証することが必要である。

3. 警戒音の発生システムの例

我が国では、警戒音によるバードストライク防止策の導入事例はないことから、今後の技術開発が望まれる。警戒音による防止策を採用する場合、①警戒音を発生させるためのシステム、②警戒音の種類について検討する必要がある。

警戒音を発生させるシステムについては、風車に対する鳥類の接近を自動的に感知して一定範囲内に侵入した場合に警戒音を鳴らす方法や、鳥類の接近にかかわらず一定時間帯に一定の音を鳴らす方法等が考えられる。

警戒音の種類については、ピストル音や電子音等が考えられるが、スペインでは、バードストライクの危険が高い区域を飛翔する鳥に対して警告信号や諫止信号（不快な信号）を発するシステムを開発している事例がある（参考参照）。

<参考>

DTBird システムにおける警戒音の発生による防止策

1. DTBird システムと警戒音の発生による防止策

DTBird は、ウィンドファームにおける野生生物保護対策を提供する、スペインの会社である Liquen 社の商標である。風車にカメラを設置して周囲の鳥類の飛翔を自動的に検出し、風車に設置したスピーカーから、警告信号や諫止信号（不快な信号）を発することが可能である。

参考 URL: <http://www.dtbird.com/index.php/en/>

2. 警戒音の発生のための鳥類の飛翔モニタリングシステムについて

風車タワーに4台のHDカメラを設置し、各風車の周囲360°を監視する。高解像度の画像解析により、自動的にリアルタイムで鳥類を検出する。対象の鳥類の種類により、風車から50~250mの範囲を最大検出距離としている。日中(50lux以上)の連続監視が可能である。2012年のNINA(The Norwegian Institute for Nature Research)の報告によると、本システムは風車から半径150m以内では86~96%、半径300m以内では76~92%の鳥類を検出した。

データは、飛翔ごとに、映像と音、時間(開始時刻、飛翔時間)、環境情報(気温、降雨、風向風速、日照)等を記録する。



図-18 フランスでの導入例。4台のHDカメラのうちの2台。

出典: DTBird Datasheet Eagles And Vultures Protection Read more at: <http://www.dtbird.com/index.php/en/downloads>



図-19 衝突リスクのあるオジロワシのビデオイメージ

出典 : DTBird Datasheet Eagles And Vultures Protection Read more
at: <http://www.dtbird.com/index.php/en/downloads>

3. 警戒音の発生について

風車タワーに4台のハイパワースピーカーを設置し、衝突の危険が高い区域を飛翔する鳥に対しては警告信号を、衝突の危険が非常に高い区域を飛翔する鳥に対しては諫止信号（不快な信号）を発する。各領域の範囲は鳥の大きさによって設定されている。鳥を検出してから、2秒以内に信号を発する。信号の強さは法的要件や鳥の感受性に合わせて調整可能である。

音声参考動画 : https://youtu.be/qFF9_ZEt6CU



図-20 ギリシャでの導入例。4台のハイパワースピーカーのうちの2台

出典：DTBird Datasheet Eagles And Vultures Protection Read more

at: <http://www.dtbird.com/index.php/en/downloads>

衝突の危険が高い領域及び衝突の危険が非常に高い区域については、以下のように設定されている。

表5 Dtbird システムにおける区域の設定

対象	最大検出距離	衝突の危険が高い区域	衝突の危険が非常に高い区域
コンドル	300m	250～150m	150m以下
ワシ及びハゲワシ (翼長 170cm 以上)	250～150m	200～100m	100m 以下
小型～中型の猛禽類 (翼長 170cm 以下)	150～50m	75～150m	75m 以下
渡り鳥(大型)	400～50m	200m 以下	100m 以下
渡り鳥(中・小型)		150m 以下	70m 以下

注：表中の数値は風力発電機からの半径距離を示す。

資料（５）案山子

1. 案山子で期待される効果

Scott et al (2005)は、アメリカにおいてイヌワシやハクトウワシといったワシ類を脅かし寄せ付けないために有効な対策の1つとして案山子を挙げている。これによれば、案山子の効果は設置後から3週間程度持続し、その後は効果が薄れるので、低空で現地に近づくワシ類に対してはシェルクラッカー¹⁵を併用することが望ましいとしている。また、金網や木材を利用して、風に強く安価な案山子の作成事例が紹介されている。

案山子にワシ類を脅かし寄せ付けない効果がある旨記載されているのは、上記の海外における事例にとどまるものの、バードストライクの防止策は複数の対策を組み合わせることが有効である場合も考えられるため、防止策の選択肢の1つとして案山子を本手引きにおいても紹介する。

¹⁵ 鉄砲から発射され、上空で炸裂して音を発生させるもの。我が国での使用例は少ないが、同様の効果があるものとして、煙火、花火爆音機が考えられる。

資料（6）飛翔予測による運転コントロール

1. 飛翔予測による運転コントロールで期待される効果

海ワシ類は鳥類のなかでも体重が重く、エネルギーの消費を最小限に抑える必要があるため、特定の風や上昇気流等の気象条件が出現した際に飛翔が活発になる性質がある。このため、この性質を利用してバードストライクの高リスクな気象条件等が現れる時期・時間帯の運転を制御すれば、バードストライクを高確率で回避できる可能性がある。

2. 飛翔頻度の高くなる気象条件の事例に基づく運転コントロールの考え方

環境省（2012）では、北海道苫前郡苫前町において平成23年（2011年）12月20日～22日及び平成24年（2012年）1月24日～27日に、オジロワシ及びオオワシの飛行頻度と、風向、風速、気温、湿度及び視程との関係を調査している。

その結果、オジロワシ及びオオワシともに、北西方向の風が強い時に飛行頻度が高いことが明らかにされた¹⁶。理由としては、北西の風により海岸段丘に上昇気流が生じ、それを海ワシ類が利用するために調査地へ飛来するためであると考えられる¹⁷。

この調査結果に基づき、運転コントロールを実施することを想定した場合、海ワシ類が飛来する1～2月の日中（6～18時）に、①風速が6.0m/s以上¹⁸、②風向が北～西、③視程が風車を視認しにくい50m以下又は100m以下の3条件を満たす場合に、風車を停止又はブレードの回転速度を減少させる対策が考えられる。

例えば、平成23年1月の調査地における気象観測結果から、観測時間全体（平成23年1月の毎日6～18時、合計22,320分）のうち3つの条件が満たされた時間の割合を算出すると、視程が50m以下を条件とした時は1.0%、視程が100m以下を条件とした時は4.7%となる。

なお、上記の気象条件は北海道苫前郡苫前町の調査地点における事例であり、地域によって状況が異なるので、風力発電施設ごとに検討することが重要である。リスクが高い気象条件等を設定して運転コントロールを実施する場合、その後のバードストライクの発生状況や飛翔状況を踏まえ、必要に応じてリスクが高い気象条件等を検証、見直しをすることが望ましい。

¹⁶ それ以外の要素と飛行頻度との間に、明確な相関関係はなかった。

¹⁷ 調査地の海岸線及び海岸段丘は北東から南西方向にのびており、北西の風は海側から海岸及び海岸段丘に対して垂直に吹き、上昇気流が生じることとなる。

¹⁸ 現地調査の結果から、風が強い時を風速が6.0m/s以上とした。現地調査の結果の詳細は環境省(2012)を参照。

資料（7）バードストライク監視システムと運用管理

1. バードストライク監視システムと運用管理で期待できる効果

海ワシ類が風車に過度に接近し、バードストライクの危険が予測された場合に、ブレードの減速等の運転制御を行うことができれば、バードストライクを回避できる可能性がある。

2. バードストライク監視システムと運用管理の事例

(1) レーダーによる監視システム

「風力発電施設の立地適正化のための手引き」の「3-7-4 弾力的な運用管理」の項では、レーダーで風車周辺の鳥類の飛翔状況をリアルタイムで把握し、観測対象区域内における鳥の数が一定以上となった場合等、あらかじめ設定した条件を満たした際に、風力発電施設の管理者に対して警報や運転制御を行うシステムを紹介している。これらシステムのうち、環境省(2008、2009、2010)で設計・開発されたシステムの概要は図-21のとおりである。

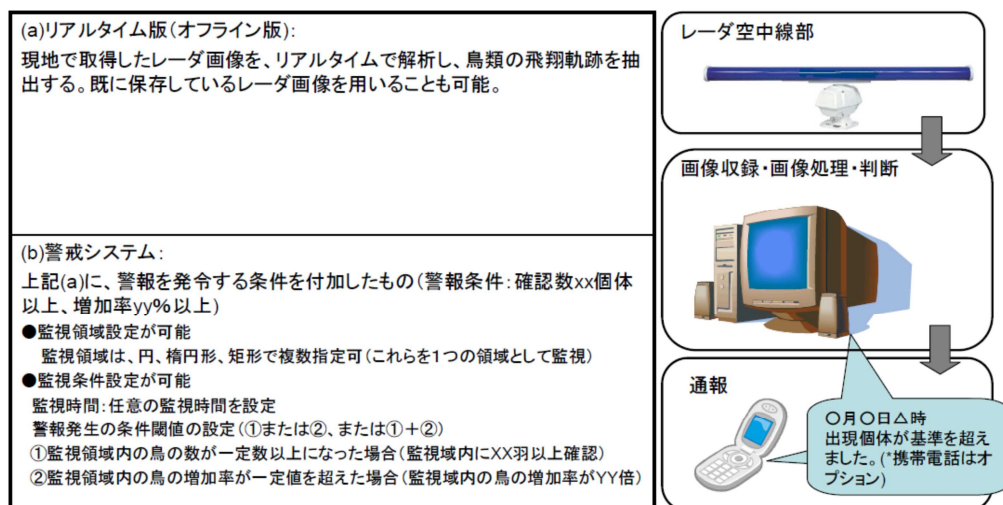


図-21 レーダーによる監視システムの運用管理の例（概要）

ポルトガルの南西に位置するバラオ・ジョアオ・ウィンドファーム（風車25基）では、ハゲワシやその他希少種が滑翔（ソアリング）して風車に接近するのをレーダーで監視し、バードストライクが生じるリスクが高いと判断される場合、風車の運転を停止させるシステムを運用している（Ricardo et. al (2015)）。この例では、レーダーで鳥群を捕捉した後に、目視監視員が観察により鳥類種を判別して停止の必要性を判断するため、人件費が高くなることが課題である。しかし、システム運用開始以降、このウィンドファームにおいて秋季の渡り期にバードストライクが発生した事例はな

く、確実なバードストライク回避効果が認められる。また、システム運用を開始した年度の風車の停止時間は年間 105 時間であったのに対し、2013 年には年間 44 時間（年間風車稼働時間の 0.5～1%以下）に低下する等、システム運用の熟練度が向上することによって、発電損失が減少している。

この他、高精度の 3D レーダーを監視システムに応用する試みも行われている（環境省の CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業、平成 26 年度～平成 28 年度予定）。これは、レーダーで風車周辺の鳥群の飛翔状況をリアルタイムで把握することに加えて、風車に接近する鳥類個体を特定して、旋回やはばたき等から種の識別と衝突リスクの分析を自動的に行い、衝突リスクが高いと推定される場合に風車の運転制御等を行うものである。

なお、本システムについては、運転制御による風車の機能に対する影響やその対処を明らかにする必要がある等課題があり、引き続き技術開発が望まれる。

（２）画像による監視システム

レーダーによる監視システムには、霧や雨等の悪天候による精度の低下や、レーダー専用の設備の設置、電波利用のための免許や許可が必要等、課題も多い。このため、環境省（2014a, 2015a, 2016）では、比較的安価で運用が簡便な、画像による監視システムの開発を試みている。

資料（８）餌資源のコントロール

1. 餌資源のコントロールで期待できる効果

海ワシ類は、地上に餌が存在すると下方により注目しやすくなる性質がある。また、地上に餌が存在すると、餌の奪い合いや争いが生じて、海ワシ類は前方への注意が散漫になる可能性がある。このような場合に、風力発電施設が近傍にあると衝突のリスクが高まると考えられる。

風力発電施設を巡回する際や、死骸等調査時に、海ワシ類の餌資源となる動物の死骸等を事業区域内から除去することで、海ワシ類が風車を認識しやすくする効果が期待できる。

2. 餌資源のコントロール手法

風力発電施設の巡回の際に、海ワシ類の餌資源となる動物（サケ、エゾシカ等）の死骸等がある場合は、これを除去する。風力発電施設の周囲に、漁港や魚類の漂着が多い海岸、エゾシカ等の可猟区域等、餌資源となる動物の死骸等がより多く存在する区域がある場合は、可能な範囲で餌資源の管理をすることが求められる。

3. 餌資源コントロールの効果の検証

環境省は、平成 25 年度及び平成 26 年度に、北海道根室市落石岬において、海ワシ類の餌となるものを除去した場合と、餌を設置した場合の海ワシ類の行動の違いを調査した（環境省 2014a, 2015a）。

その調査結果では、20 秒以上海ワシ類が見ている方向を把握できたのは、地上に餌のない状態ではオジロワシ 52 例、オオワシ 49 例、餌のある状態ではオジロワシ 53 例、オオワシ 43 例であった。

これらの記録について下を見て飛んでいる時間の割合を、餌のない場合とある場合で比較すると、餌のある場合の方が、より長く下を見て飛んでいる個体が多かった（図-22）。多くの場合は下を見たり、正面を見たりをくりかえして飛んでいたが、下を向いたまま長距離飛ぶこともある。餌が存在することにより、海ワシ類が風車に気づかず、バードストライクが生じる可能性もある。

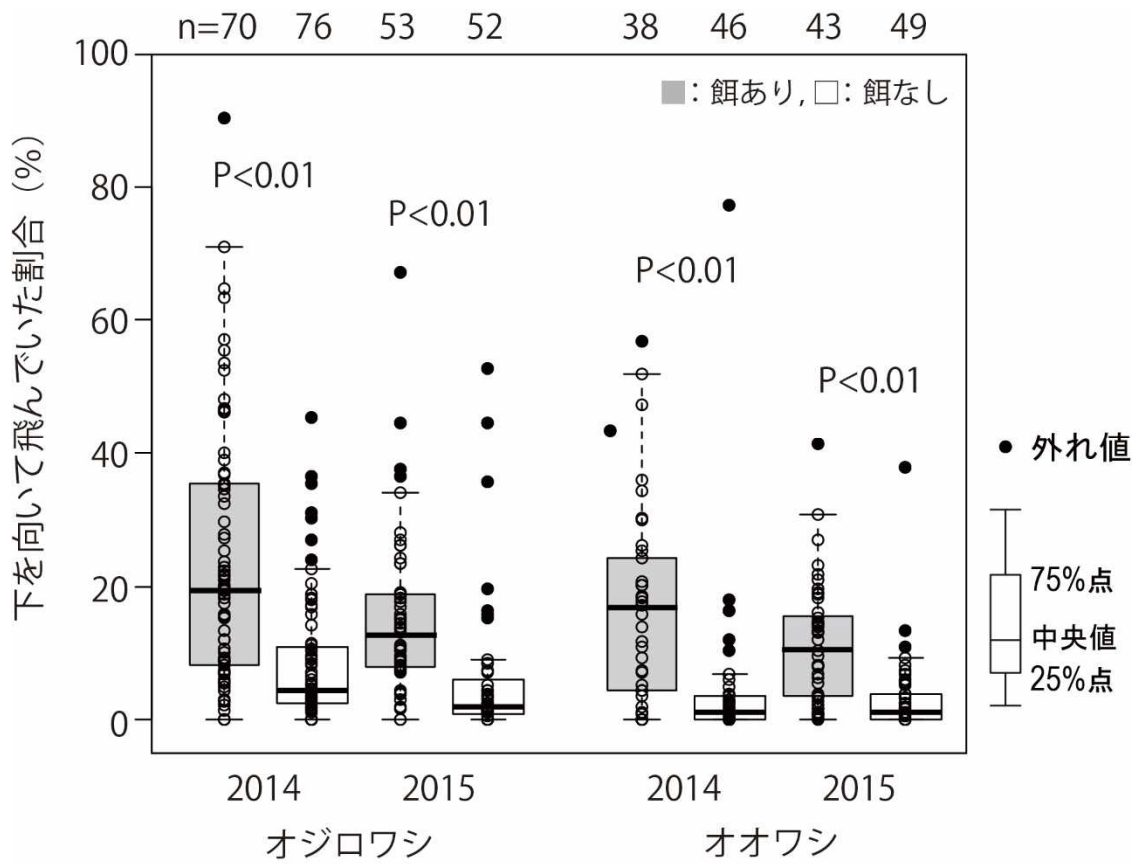


図-22 海ワシ類が下を向いて飛翔していた割合

資料（9）死骸等調査

1. 死骸等調査で期待される効果

海ワシ類の死骸等調査によりバードストライクの実態を把握することで、バードストライク防止策の効果を検証することが可能となる。それにより、バードストライクの防止対策の追加や、より効果的なバードストライク防止策の検討が可能となる。

2. 死骸等調査の実施内容

「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」の「3-8-2 死骸調査」では、最低1年間の期間、事業区域内の1つの風車につき月1回以上の実施間隔で、地上からブレード先端部までの長さを半径とする円内で、死骸等調査を実施することを推奨している。なお、死骸等調査の実施中に、負傷個体を発見した場合は、死骸を発見したときと同様に記録をとることが望ましい。

参考文献

- Espen Lie Dahl 他 2015 「Repowering Smøla wind-power plant. An assessment of avian conflicts.」 NINA Report 1135. 41pp.
- Gary D. and J. Hellack(1978) Flight speeds of Brown Pelicans, Chimney Swifts, and other birds. Bird Banding. 49 108:112.
- 環境省 2008 「平成 19 年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書」
- 環境省 2009 「平成 20 年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書」
- 環境省 2010 「平成 21 年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書」
- 環境省 2011a 「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」
- 環境省 2011b 「平成 22 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」
- 環境省 2012 「平成 23 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」
- 環境省 2014a 「平成 25 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」
- 環境省 2014b 「平成 25 年度風力発電施設に係る渡り鳥海ワシ類の情報整備委託業務報告書」
- 環境省編 2014 「レッドデータブック 2014—日本の絶滅のおそれのある野生生物— 2 鳥類」
- 環境省 2015a 「平成 26 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」
- 環境省 2015b 「平成 26 年度風力発電施設に係る渡り鳥海ワシ類の情報整備委託業務報告書」
- 環境省 2016 「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」
- 公益財団法人日本野鳥の会 2015 「宗谷岬ウインドファーム周辺で海ワシの渡りをレーダーで調査」『野鳥』2015 年 2・3 月号通巻 792 号
- コウモリの会 2015 「風力発電施設がコウモリ類に与える影響—評価手法と対策 2015 年版」
- 日本野鳥の会 2010 『IBA 白書 2010』野鳥保護資料集 第 27 集
- オジロワシ・オオワシ合同調査グループ 2015 「2015 年のオオワシ・オジロワシ一斉調査結果について」
- Ricardo et. al (2015):Radar assisted shutdown on demand ensures zero soaring bird mortality at a wind farm located in a migratory flyway. CWW2015 summary, Berlin.
- Scott EH, Robert MT, Gary EL (2005) Wildlife damage management: Eagle Internet Cenet for Wildlife damage management.
<http://www.icwdm.org/handbook/birds/Eagles.asp> 及び

<http://icwdm.org/wildlife/Eagle.aspx>

城田安幸 1998 『目玉かかしの秘密』筑摩書房

城田安幸 1985 『仮面性の進化論—目玉模様に乗かれた人たち』海鳴社

植田睦之他 2015 「オジロワシとオオワシは風車を避けて飛ぶ？」『Strix』vol.31

植田睦之・福田佳弘 2010 「オジロワシおよびオオワシの海岸飛行頻度と気象状況との関係」『Bird Research』vol.6

Wilson et. al(2010) Coastal and Offshore Wind Energy Generation: Is It Environmentally Benign? Energies3:1383-1422.

由井正敏・島田泰夫 2013 「球体モデルによる風車への鳥類衝突数の推定」岩手県立大学総合政策学会編『総合政策』15-1:1-17.

由井正敏・江頭優 2016 「球体モデルに基づく区画法による風車への鳥類衝突数の推定」『山階鳥類学雑誌』47:95-121.

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・実施の手引き
平成 28 年●月

環境省自然環境局野生生物課

〒100-8975 東京都千代田区霞が関 1-2-2

電話 03-3581-3351 (代表)