

第 3 章 参考とすべき事項

参考とすべき事項を四角で囲み、その下に解説を付した。なお、各事項が、計画段階、調査段階、解析段階、保全措置段階、事後調査段階のどこに含まれるのかを示すために、四角の右端に …計画・調査・解析・保全・事後 を付け、該当項目を外枠で囲んだ(例、計画)。

3-1 既存文献等による生息概況把握

3-1-1 国、自治体の関係法令

.....**計画**・調査・解析・保全・事後

国、地方自治体の関係法令などの状況を把握する必要がある。

国、地方自治体の関係法令は、第5章資料(1)鳥類保護対策の現状において記載している、直接的に鳥類の保護を目的とし得る制度と、直接的な保護対象とはならないが多様な自然環境の保全等の形で結果的にもしくは間接的に鳥類の保護にも役立っている制度がある。関係法令は改正されることなどもあることから、適宜関係機関の確認をとることが望ましい。

3-1-2 既存の鳥類関係情報(鳥類の保護上重要な区域) ..**計画**・調査・解析・保全・事後

既存の鳥類関係情報(鳥類の保護上重要な区域)としては、次に示す資料等を活用されたい。「希少猛禽類の生息地(イヌワシ、クマタカ、オオタカ生息分布図)」、「鳥獣保護区」、「シギ・チドリ類渡来湿地目録・シギ・チドリ類重要渡来地域」、「ラムサール条約湿地」

希少猛禽類の生息地(イヌワシ、クマタカ生息分布図)

猛禽類は生態系の食物連鎖の最上位に属するものが多く、個体数が少ない種も多いことから、国や都道府県のレッドデータ・リストでも多くの種が指定されている。「日本のレッドデータ 検索システム」(<http://www.jpnrdb.com/index.html>)によれば、全国の都道府県で28種が指定されている。「風力発電施設バードストライク防止策実証業務」(環境省 2008a、2009a、2010a)、「立地適正化業務」(環境省 2008b、2009b、2010b)や環境省資料等によると風力発電施設周辺での猛禽類の発見死骸数は、平成21年7月時点で28種35個体である(表3-1)。

このうちイヌワシ、クマタカについては、平成9年度から、環境省・経済産業省・国土交通省が実施(林野庁協力)した希少猛禽類調査(イヌワシ・クマタカ)、オオタカについては環境省が実施した希少猛禽類保護指針策定調査により分布情報が公表されており、調査実施以前には不足していた生息分布、個体数、生態等に関する新たな知見の収集が図られたことから、これら3種の生息分布図を参考とすべき事項として紹介する(図3-1～図3-2、オオタカについては環境省報道発表資料「オオタカ保護指針策定調査の結果」(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=6660>)。

日本における風力発電設備・導入実績(独立行政法人新エネルギー・産業総合開発機構 2009)および国土地理院地形図から風車の位置情報を読み取り、それを2次メッシュ*に整理して、これら2種の分布との重複の程度を調べた(風車の2次メッシュデータ整備は、日本猛禽類研究フォーラム提供)。2次メッシュのレベルで見ると、イヌワシとクマタカが風車と重複しているのは、いずれも3%弱(イヌワシ2.9%、クマタカ2.9%)である(表3-2)。これら2次メッシュレベルでのイヌワシ、クマタカおよび風車の分布は付表Aに掲載している。

* 2次メッシュ(約10km×10kmの2万5千分の1地図の図郭割に相当)

表 3-1 猛禽類のレッドデータ指定状況と風車付近での死骸等発見事例

番号	種名	指定 都道府県数	環境省カテゴリ	死骸等 発見数
1	ミサゴ	45	準絶滅危惧	1*
2	ハチクマ	46	準絶滅危惧	
3	トビ	3	—	4*、4**
4	オジロワシ	27	絶滅危惧IB類	20***
5	オオワシ	24	絶滅危惧II類	1***
6	オオタカ	46	準絶滅危惧	
7	チョウセンオオタカ	1	—	
8	ツミ	35	—	
9	リュウキュウツミ	2	絶滅危惧IB類	
10	ハイタカ	45	準絶滅危惧	
11	ケアシノスリ	4	—	1*
12	ノスリ	19	—	2*
13	オガサワラノスリ	1	絶滅危惧IB類	
14	ダイトウノスリ	1	絶滅危惧IA類	
15	サシバ	39	絶滅危惧II類	
16	サシバの渡り群（伊良湖岬）	1	—	
17	クマタカ	44	絶滅危惧IB類	
18	イヌワシ	34	絶滅危惧IB類	1***
19	カンムリワシ	1	絶滅危惧IA類	
20	ハイイロチュウヒ	24	—	
21	チュウヒ	43	絶滅危惧IB類	
22	シロハヤブサ	1	—	
23	ハヤブサ	46	絶滅危惧II類	
24	オオハヤブサ	1	—	
25	シマハヤブサ	1	絶滅危惧IA類	
26	チゴハヤブサ	11	—	
27	コチョウゲンボウ	17	—	
28	チョウゲンボウ	17	—	1*
小計				35個体

*:平成 19～21 年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務、風力発電施設立地適正化業務

**：井上・籠嶋（2004）、阿部・宮脇（2006）および松田（2007）

***：環境省 報道発表資料

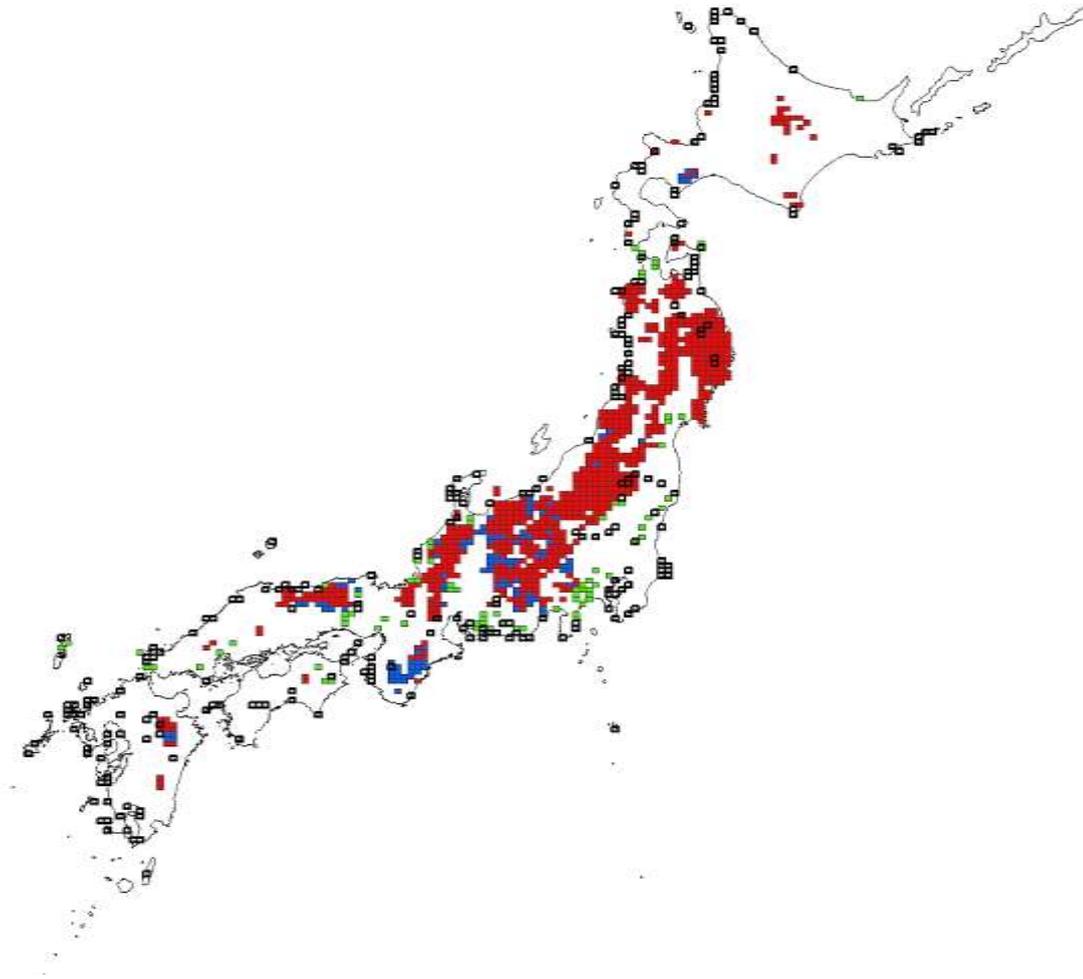


図 3-1 2次メッシュにおけるイヌワシの生息分布(赤:生息確認、青:生息推定、緑:一時生息)と風力発電設備の分布(太字・黒枠)

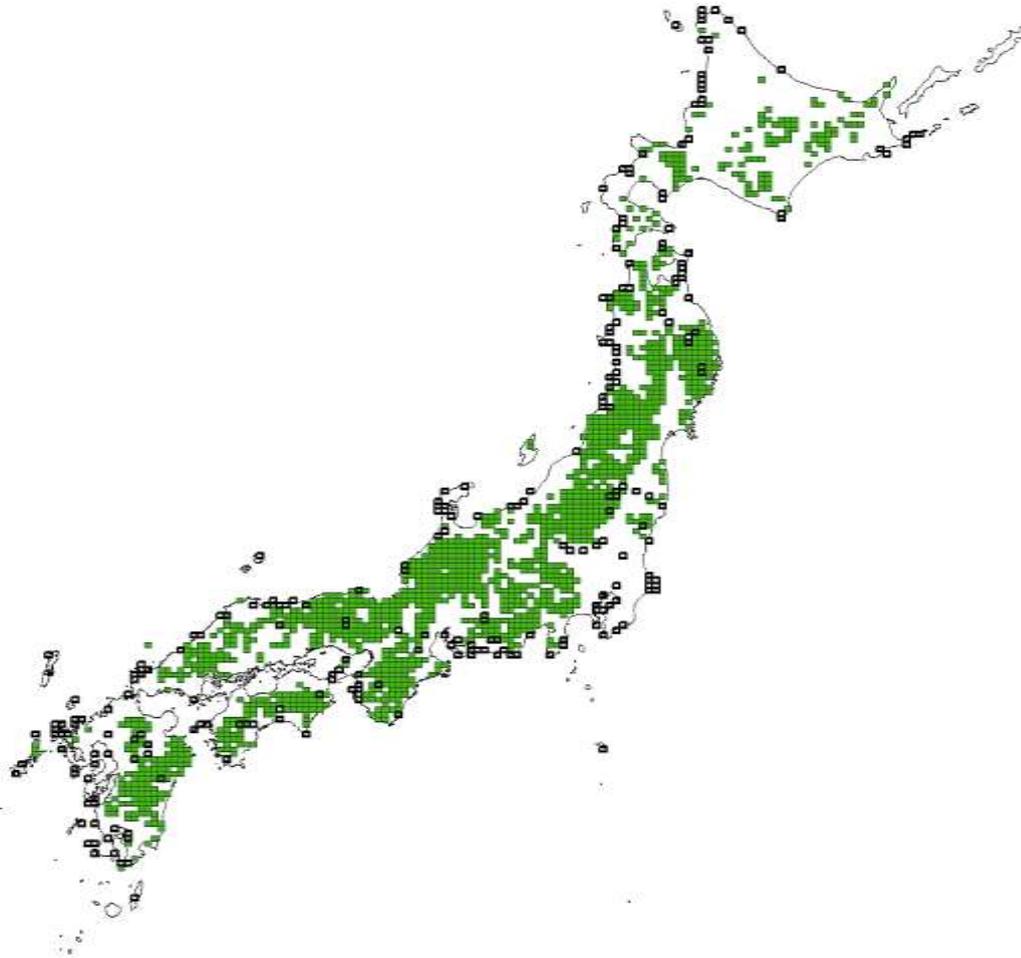


図 3-2 2次メッシュにおけるクマタカの生息分布(緑:生息確認)と
風力発電設備の分布(太字黒枠)

表 3-2 2次メッシュレベルにおけるイヌワシ、クマタカの生息分布と
風力発電施設設備の重複程度

[イヌワシ]

	生息 メッシュ数 A	該当風車 メッシュ数 B	比率 (B/A)	該当メッシュ 風車基数 (計)
生息確認	735	18	0.024	129
生息推定	112	2	0.018	4
一時滞在	83	7	0.084	72
生息小計	930	27	0.029	205
重複しない		240		1277
小計		267		1482

[クマタカ]

	A.生息 メッシュ数	B.該当風車 メッシュ数	比率 (B/A)	該当メッシュ 風車基数 (計)
生息確認	1470	42	0.029	264
重複しない		225		1218
小計		267		1482

鳥獣保護区

鳥獣の保護を図るため、鳥獣保護法に基づき鳥獣保護区が指定されている(国指定のものを図 3- 3、表 3- 3～表 3- 4)。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。

なお、都道府県指定のものは、本書に掲載してないため、各都道府県担当部局に問い合わせられたい。

国指定鳥獣保護区指定状況 (2009(平成21)年11月1日現在)

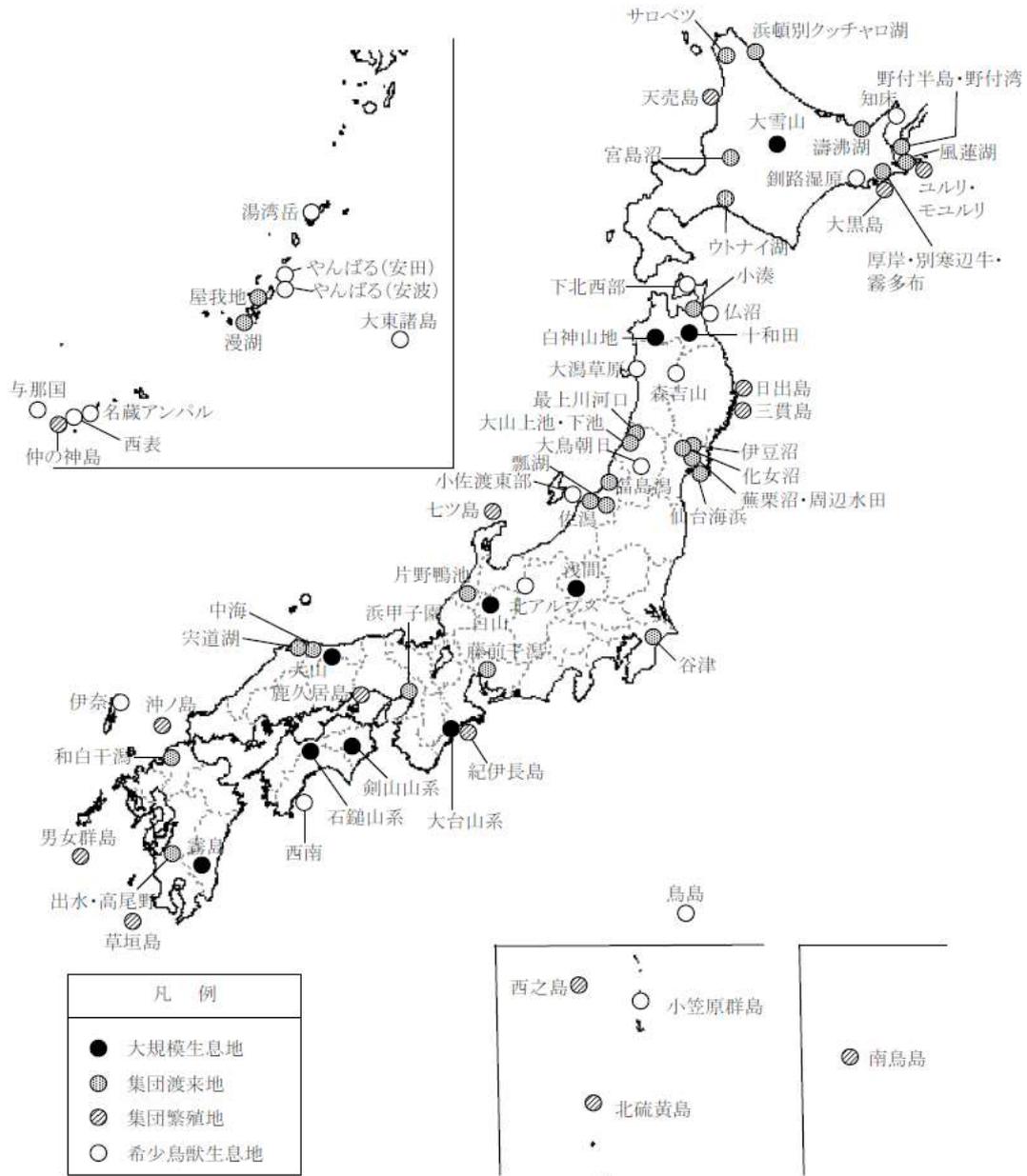


図 3-3 国指定鳥獣保護区位置図

表 3-3 国指定保護区設定状況(平成 21 年 11 月 1 日現在)

NO	類別	名称	面積(ha)			当初指定年月日	存続期間	所在地
			鳥獣保護区	特別保護地区	特別保護指定区域			
1	大規模生息地	大雪山	35,534			H 4. 3. 1	H 4. 3. 1 ~ H 23. 9.30	北海道
2		十和田	37,674	19,366		S 28.10.10	H 19.11. 1 ~ H 29.10.31	青森県、秋田県
3		白神山地	17,157			H 16. 3. 1	H 16. 3. 1 ~ H 25.10.31	青森県、秋田県
4		浅間	32,218	947		S 26. 5. 1	H 13.11. 1 ~ H 23.10.31	群馬県、長野県
5		白山	38,061			S 44. 3.31	H 20.11. 1 ~ H 30.10.31	石川県、岐阜県
6		大台山系	18,054	1,403		S 47.11. 1	H 4.11. 1 ~ H 24.10.31	三重県、奈良県
7		剣山山系	11,817	1,200		H 1.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	徳島県、高知県
8		大山	5,156	2,266		S 32.12. 1	H 19.11. 1 ~ H 29.10.31	鳥取県
9		石鎚山系	10,858	802		S 52.11. 1	H 19.11. 1 ~ H 29.10.31	愛媛県、高知県
10		霧島	11,390	1,932		S 53.11. 1	H 20.11. 1 ~ H 30.10.31	宮崎県、鹿児島県
1	集団渡来地	浜頓別クツチャロ湖	2,803	1,607		S 58. 3.31	H 15. 3.31 ~ H 35. 3.30	北海道
2		サロベツ	2,560	2,560		H 4. 3. 1	H 4. 3. 1 ~ H 23. 9.30	北海道
3		濤沸湖	2,051	900		H 4.10.16	H 4.10.16 ~ H 24. 9.30	北海道
4		野付半島・野付湾	6,146	6,053		H 17.11. 1	H 17.11. 1 ~ H 37.10.31	北海道
5		風蓮湖	7,806	6,139		H 5. 7.24	H 5. 7.24 ~ H 25. 7.23	北海道
6		厚岸・別寒辺牛・霧多布	11,271	7,781		H 5. 6. 1	H 5. 6. 1 ~ H 24. 9.30	北海道
7		宮島沼	41	41		H 14.11. 1	H14.11.1 ~ H34.10.31	北海道
8		ウトナイ湖	510	510		S 57. 3.31	H 3.11. 1 ~ H 23. 9.30	北海道
9		小湊	4,518			S 46.11. 1	H 13.11. 1 ~ H 33.10.31	青森県
10		伊豆沼	1,455	907		S 57.11. 1	H14.11.1 ~ H 34.10.31	宮城県
11		仙台海浜	7,596	213		S 62. 4. 1	H19.4.1 ~ H 39. 3.31	宮城県
12		蕪栗沼・周辺水田	3,061	423		H 17.11. 1	H17.11. 1 ~ H27.10.31	宮城県
13		化女沼	78	34		H 20. 8. 1	H20.8.1 ~ H 29.10.31	宮城県
14		最上川河口	1,537			H 17.11. 1	H 17.11. 1 ~ H 27.10.31	山形県
15		大山上池・下池	39	39		H 20.10.21	H 20.10.21 ~ H 39.10.31	山形県
16		福島潟	163			S 49.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 26.10.31	新潟県
17		瓢湖	281	24		H 17.11. 1	H 17.11. 1 ~ H 27.10.31	新潟県
18		佐潟	251			S 56. 3.31	H 2.11. 1 ~ H 22.10.31	新潟県
19		谷津	41	40		S 63.11. 1	H 20.11. 1 ~ H 40.10.31	千葉県
20		片野鴨池	10	10		H 5.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 35.10.31	石川県
21		藤前干潟	770	323		H 14.11. 1	H14.11.1 ~ H24.10.31	愛知県
22		浜甲子園	30	12		S 53.11. 1	H 20.11. 1 ~ H 30.10.31	兵庫県
23		中海	8,724	8,043		S 49.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 26.10.31	鳥取県、島根県
24		宍道湖	7,851	7,652		H 17.11. 1	H 17.11. 1 ~ H 27.10.31	島根県
25		和白干潟	254			H 15.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 25.10.31	福岡県
26		出水・高尾野	842	54		S 62.11. 1	H 19.11. 1 ~ H 29.10.31	鹿児島県
27		屋我地	3,224	1,001		S 51.11. 1	H 18.11. 1 ~ H 28.10.31	沖縄県
28		漫湖	174	58		S 52.11. 1	H 19.11. 1 ~ H 39.10.31	沖縄県

表 3-4 国指定保護区設定状況(続)(平成 21 年 11 月 1 日現在)

NO	類別	名称	面積(ha)			当初指定年月日	存続期間	所在地
			鳥獣保護区	特別保護地区	特別保護指定区域			
1	集団繁殖地	天売島	546	117		S 57. 3.31	H 3.11. 1 ~ H 23. 9.30	北海道
2		ユルリ・モユルリ	200	31		S 57. 3.31	H 3.11. 1 ~ H 23. 9.30	北海道
3		大黒島	107	107		S 47.11. 1	H 4.11. 1 ~ H 24. 9.30	北海道
4		日出島	8	8		S 57.11. 1	H 14.11. 1 ~ H 34.10.31	岩手県
5		三貫島	25	25		S 56.11. 1	H 13.11. 1 ~ H 33.10.31	岩手県
6		西之島	29	29		H 20. 8. 1	H20.8.1 ~ H 39.10.31	東京都
7		七ツ島	24	24		S 48.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 35.10.31	石川県
8		紀伊長島	6,131	71		S 44.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	三重県
9		鹿久居島	662			S 28.10. 1	H 15.11. 1 ~ H 35.10.31	岡山県
10		沖ノ島	97	94		S 59. 3.31	H 16. 3.31 ~ H 35.10.31	福岡県
11		男女群島	416	416		S 48.11. 1	H 5.11. 1 ~ H 25.10.31	長崎県
12		草垣島	21	21		S 48.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 35.10.31	鹿児島県
13		仲の神島	18	18		S 56. 3.31	H 10.11. 1 ~ H 30.10.31	沖縄県
14		北硫黄島	860	557		H 21.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	東京都
15		南鳥島	395			H 21.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	東京都
1	希少鳥獣生息地	知床	44,053	23,630	1,156	S 57. 3.31	H 13.11. 1 ~ H 33.10.31	北海道
2		釧路湿原	11,523	6,962		S 33.11. 1	H 20.11. 1 ~ H 30.10.31	北海道
3		下北西部	4,946	1,068		S 59.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 26.10.31	青森県
4		仏沼	737	222		H 17.11. 1	H17.11. 1 ~ H 27.10.31	青森県
5		大湯草原	135	48		S 52. 3.31	H 19.11. 1 ~ H 29.10.31	秋田県
6		森吉山	6,616	1,573		S 48.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 25.10.31	秋田県
7		大島朝日	38,285	8,611		S 59.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 26.10.31	山形県、新潟県
8		鳥島	453			S 29.11. 1	H 6.11. 1 ~ H 26.10.31	東京都
9		小笠原群島	20,058	1,345		S 55. 3.31	H 21.11. 1 ~ H 31.10.31	東京都
10		小佐渡東部	12,620	734		S 57. 3.31	H 19.7. 1 ~ H 23.10.31	新潟県
11		北アルプス	110,306	25,350		S 59.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 26.10.31	富山県、長野県、岐阜県
12		西南	1,533			S 54.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 31.10.31	高知県
13		伊奈	1,173			H 1.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	長崎県
14		湯湾岳	320	103		S 40.11. 1	H 17.11. 1 ~ H 37.10.31	鹿児島県
15		名蔵アンバル	1,145	157		H 15.11. 1	H 15.11. 1 ~ H 35.10.31	沖縄県
16		大東諸島	4,251	234		H 16.11. 1	H 16.11. 1 ~ H 36.10.31	沖縄県
17		与那国	187			S 56. 3.31	H 12.11. 1 ~ H 22.10.31	沖縄県
18		西表	3,841	2,306		H 4. 3. 1	H 13.11. 1 ~ H 23.10.31	沖縄県
19		やんばる(安田)	1,279	220		H 21.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	沖縄県
20		やんばる(安波)	465			H 21.11. 1	H 21.11. 1 ~ H 41.10.31	沖縄県
73		合計	565,471	146,421	1,156			

シギ・チドリ類渡来湿地目録・シギ・チドリ類重要渡来地域

環境省では、シギ・チドリ類の全国の主な渡来地において、観察調査を1988年から継続的に実施してきており、平成9年(1997年)は、1996年までの調査結果をとりまとめ、シギ・チドリ類の観察数が一定基準以上の調査地点を抽出して「シギ・チドリ類渡来湿地目録」を作成した(表3-5)。さらに、シギ・チドリ類の渡来数が多い、あるいは渡来種数が多いという観点から重要性の高い地域を選定した(シギ・チドリ類重要渡来地域:表3-6)。

詳細については、環境省ホームページ(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=993>)を参照されたい。

表3-5 シギ・チドリ類渡来湿地目録*

湿地名	都道府県	主な渡来種
サロマ湖	北海道	キツツギ
野付湾	北海道	キツツギ、ダ イロ
風蓮湖	北海道	キツツギ、ダ イロ、ミヤドリ、ダ イロ、ツルギ、アオツギ、キョウ ヨシ、ハマギ
コムケ湖	北海道	ダ イロ、チウヤクギ、アヒルビツギ、ハマギ、ミヤドリ、ムナギ、ツルギ
能取湖	北海道	キツツギ、ダ イロ
瀬沸湖	北海道	ダ イロ、ミヤドリ、キツツギ
霧多市	北海道	ダ イロ、キョウ ヨシ
砂原町砂崎	北海道	ミナギ、ダ イロ
尾駸沼	青森県	ダ イロ
高瀬川河口	青森県	ツルギ
蒲生干潟	宮城県	ツルギ
鳥の海干潟	福島県	ミナギ
宇田川河口周辺	福島県	ダ イロ
波崎	茨城県	ツルギ、ミナギ、ミヤドリ、ダ イロ、ハマギ
神栖	茨城県	ダ イロ、ツルギ
矢田部西前宿	茨城県	ミナギ、ツルギ、ダ イロ、ハマギ
利根川河口(銚子大橋上流)	茨城県	ダ イロ、ミナギ
大久保農耕地	埼玉県	ムナギ
与田浦周辺	千葉県	キョウ ヨシ、ムナギ
干潟八万石	千葉県	チウヤクギ
一宮川河口	千葉県	ミナギ、ダ イロ
江戸川河口	千葉県	キツツギ
旧江戸川河口	千葉県	ダ イロ、キョウ ヨシ
船橋海浜公園	千葉県	ダ イロ、ダ イロ、キョウ ヨシ、ハマギ、ミヤドリ、キツツギ、ミナギ
谷津干潟	千葉県	ダ イロ、ダ イロ、ハマギ、ソコト、キツツギ、チウヤクギ、セウカギ、オウソギ、キョウ ヨシ、ミナギ
小櫃川河口	千葉県	ソコト、ダ イロ、キツツギ、ミナギ、ハマギ、チウヤクギ、キョウ ヨシ
塩浜	千葉県	キョウ ヨシ、ミヤドリ、ダ イロ、ハマギ、ダ イロ
葛西臨海公園	東京都	ミヤドリ、セウカギ、ソコト、ダ イロ、ハマギ
多摩川河口	東京都 神奈川県	ダ イロ、ムナギ、ソコト、キツツギ
河北潟	石川県	チウヤクギ、ツルギ、ケリ
高松海岸	石川県	キツツギ、ミナギ、ハマギ
日野川	福井県	ツルギ
海津町農耕地	岐阜県	ケリ
伊自良川周辺	岐阜県	ケリ
御前崎海岸	静岡県	ダ イロ

太田川河口	静岡県	ソロト`リ、メ`イト`リ、ミヅ`シ`
内浦湾	静岡県	アエリヒラツシ`
汐川河口	愛知県	ケリ、ダ`イ`ン、メ`イト`リ、ハマシ`、ミヤト`リ、チュウヤクシ`、ツルシ`、キアツシ`、キョウ`ヨシ`、トウネ`
藤前干潟（庄内～日光川河口）	愛知県	ケリ、ダ`イ`ン、ソロト`リ、メ`イト`リ、キアツシ`、ハマシ`、オオリハシシ`、チュウヤクシ`、ダ`イ`シヤクシ`、ツルシ`、アアツシ`、ソリハシシ`、キョウ`ヨシ`、トウネ`
矢作川河口	愛知県	ケリ、ハマシ`、メ`イト`リ、チュウヤクシ`、ツルシ`、キョウ`ヨシ`
朝明川河口	三重県	ハマシ`
巨椋池干拓田	京都府	ケリ
甲子園浜	兵庫県	ハマシ`
和歌川河口	和歌山県	チュウヤクシ`
八幡川河口	広島県	ハマシ`
千鳥浜～木屋川河口	山口県	チュウヤクシ`
阿知須干拓地	山口県	ソロト`リ、チュウヤクシ`、ハマシ`
南岩国尾津	山口県	チュウヤクシ`、ツルシ`
田布施川河口	山口県	ツルシ`
厚狭川河口	山口県	ダ`イ`ン、チュウヤクシ`、ソリハシシ`、ハマシ`
嘉川北ノ江開作	山口県	チュウヤクシ`
吉野川河口	徳島県	ソロト`リ、ダ`イ`ン、メ`イト`リ、ハマシ`
那賀川河口	徳島県	ミヤト`リ
重信川河口	愛媛県	ソロト`リ、メ`イト`リ、チュウヤクシ`、キアツシ`、キョウ`ヨシ`、ハマシ`
曾根干潟	福岡県	ソロト`リ、ダ`イ`シヤクシ`、ミヤト`リ、ダ`イ`ン、オオリハシシ`、チュウヤクシ`、キアツシ`、ハマシ`
和白干潟	福岡県	ミヤト`リ、ソロト`リ、ハマシ`
今津干潟	福岡県	ソロト`リ、ミヤト`リ、チュウヤクシ`
新籠	佐賀県	ダ`イ`ン、メ`イト`リ、チュウヤクシ`、ソリハシシ`
国造干拓	佐賀県	ムカ`ロ、ダ`イ`ン、ソリハシシ`、キアツシ`、ハマシ`
六角川河口	佐賀県	ハマシ`
諫早湾	長崎県	ダ`イ`ン、チュウヤクシ`、ダ`イ`シヤクシ`、アアツシ`、ハマシ`、ソリハシシ`、ソロト`リ、メ`イト`リ、オオリハシシ`、ホウロクシ`、アアツシ`
球磨川河口	熊本県	ソロト`リ、ソリハシシ`、キアツシ`、ダ`イ`ン、メ`イト`リ、チュウヤクシ`、ハマシ`
白川河口	熊本県	ソロト`リ、ソリハシシ`、ハマシ`
菊池川河口	熊本県	ソロト`リ、メ`イト`リ、チュウヤクシ`、ソリハシシ`、キアツシ`
自見川河口	大分県	ダ`イ`ン、ソロト`リ、チュウヤクシ`、ハマシ`
八坂川河口	大分県	ダ`イ`ン、メ`イト`リ、ハマシ`
一ツ瀬川河口	宮崎県	ミヅ`シ`、ハマシ`
沖田川河口	宮崎県	ミヅ`シ`
出水干拓	鹿児島県	キアツシ`
万之瀬川河口	鹿児島県	ミヤト`リ
屋我地干潟	沖縄県	ダ`イ`ン
漫湖	沖縄県	ムカ`ロ、メ`イト`リ、ダ`イ`シヤクシ`、キアツシ`、ハマシ`
与那覇湾	沖縄県	メ`イト`リ、チュウヤクシ`、ダ`イ`シヤクシ`、キアツシ`

*環境省 <http://www.env.go.jp/houdou/gazou/993/612/2539.xls> より作成

表 3-6 シギ・チドリ類重要渡来地域*

重要渡来地域	関係都道府県	主な湿地
道東湖沼群	北海道	風蓮湖、コムケ湖、濤沸湖
利根川河口周辺	茨城県、千葉県	波崎、神栖、矢田部西前宿
東京湾	千葉県、東京都、神奈川県	船橋海浜公園、谷津干潟、小櫃川河口、塩浜、葛西臨海公園、多摩川河口
河北潟周辺	石川県	河北潟、高松海岸
遠州灘海岸	静岡県	太田川河口
伊勢湾／三河湾	愛知県、三重県	汐川河口、庄内川・新川・日光川河口、矢作川河口
吉野川河口	徳島県	吉野川河口
重信川河口	愛媛県	重信川河口
周防灘周辺	山口県、福岡県、大分県	阿知須干拓地、厚狭川河口、曾根干潟、自見川河口、八坂川河口
博多湾	福岡県	和白干潟、今津干潟
有明海／八代海	福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県	新籠、国造干拓、諫早湾、球磨川河口、白川河口、菊池川河口
漫湖	沖縄県	漫湖
与那覇湾	沖縄県	与那覇湾

*環境省シギ・チドリ類渡来湿地目録の作成等について http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=2681&hou_id=993 より作成

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。

日本の湿地登録数は2008年10月現在、37か所で合計面積は131,027 haである(表3-7、図3-4)。

表 3-7 ラムサール条約湿地(2008年10月現在*)

No	湿地名		面積
1	釧路湿原	北海道	7,863ha
2	クッチャ口湖	北海道	1,607ha
3	ウトナイ湖	北海道	510ha
4	霧多布湿原	北海道	2504ha
5	厚岸湖・別寒辺牛湿原	北海道	5277ha
6	宮島沼	北海道	41ha
7	雨竜沼湿原	北海道	624ha
8	サロベツ原野	北海道	2,560ha
9	濤沸湖	北海道	900ha
10	阿寒湖	北海道	1318ha
11	風蓮湖・春国岱	北海道	6,139ha
12	野付半島・野付湾	北海道	6,053ha
13	仏沼	青森県	222ha
14	伊豆沼・内沼	宮城県	559ha
15	蕪栗沼・周辺水田	宮城県	423ha
16	化女沼	宮城県	34ha
17	大山上池・下池	山形県	39ha
18	瓢湖	新潟県	24ha
19	佐潟	新潟県	76ha
20	尾瀬	福島、群馬、新潟県	8,711ha
21	奥日光の湿原	栃木県	260ha
22	谷津干潟	千葉県	40ha
23	三方五湖	福井県	1,110ha
24	片野鴨池	石川県	10ha
25	琵琶湖	滋賀県	65,984ha
26	藤前干潟	愛知県	323ha
27	串本沿岸海域	和歌山県	574ha
28	中海	鳥取県、島根県	8,043ha
29	宍道湖	島根県	7,652ha
30	秋吉台地下水系	山口県	563ha
31	くじゅう坊ガツル・タテ原湿原	大分県	91ha
32	蘭牟田池	鹿児島県	60ha
33	屋久島永田浜	鹿児島県	10ha
34	慶良間諸島海域	沖縄県	353ha
35	名蔵アンパル	沖縄県	157ha
36	久米島の溪流・湿地	沖縄県	255ha
37	漫湖	沖縄県	58ha
合計 37カ所			131,027ha

*環境省 ラムサール条約と条約湿地

http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=12317&hou_id=10338 より作成

○ラムサール条約湿地 位置図



図 3-4 ラムサール条約湿地(日本)

環境省 ラムサール条約と条約湿地 <http://www.env.go.jp/nature/ramsar/conv/img/sitemap.jpg>

3-1-3 その他の既存資料

.....**計画**・調査・解析・保全・事後

自然保護団体等によって作成された資料があり、必要に応じて活用することが望まれる。

重要野鳥生息地(IBA)

IBA(Important Bird Areas) 重要野鳥生息地プログラムは、国際的な鳥類保護組織である BirdLife International(<http://www.birdlife.org/>)が、世界 100 ヶ国以上の加盟団体と共同実施している事業である。「鳥類を指標とした重要な自然環境」を選定し、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。2005 年現在、日本には 167 ヶ所が指定されている(詳細は日本野鳥の会 2007 を参照)。

3-2 配慮すべき重要な地域

3-2-1 渡り経路

.....**計画**・調査・解析・保全・事後

本書に示した渡り鳥の経路図群は、観察情報と個体の衛星追跡の結果に基づく。観察情報については、付表Bの2次メッシュコード**を参照されたい。

渡り経路上・その周辺においては、十分な調査を実施し、渡り特性を把握した上で、衝突リスクを予測・評価し、その結果に応じてリスクを回避・低減させる保全措置を実施し、渡り経路の機能維持を図ることが重要である。

経路図には、空白地域も存在し、これ以外にも渡り経路が存在する可能性は十分考えられる。このような場合、地元の鳥類に関わる有識者、団体からの情報収集等を通じて、経路の有無を確認する必要がある。秋季と春季の渡り経路が一致する場合もあれば、地理的・気象的な要因により一致しない場合もあるので、渡り特性を考慮した調査計画が必要である。さらに春季の渡りはその多くが繁殖個体であることに対して、秋季の渡りは巣立ち個体が含まれる。衝突リスクは、年齢によって異なる可能性も考えられることから、渡り個体群の構成も考慮することが望ましい。

[タカ類]

図3-5～図3-11に1989年からの過去20年の記録に基づく渡りを行うタカ類の主要経路を、図3-12にタカ類の集結地を示す。タカ類については、主要な種としてサシバ、ハチクマ、ノスリ、アカハラダカを示した。前3種の図中、左図は各観察地点で記録された出現期間中の最大出現数(1日当たり)を、右図は衛星追跡によって個体を追跡した経路*を示す。アカハラダカについては衛星追跡を行っていないため、最大出現数のみを示す。なお最大出現数は、その地点の総出現数との間に強い相関関係があり(参考資料(5))、出現規模を表す指標として適している。

サシバ

秋季の渡りは主に2つの経路が見て取れる。第一に、東北地方南部の日本海側から中部山岳地域を越えて岐阜県～滋賀県から兵庫県の淡路島を經由して四国へ入る経路、第二に、関東南部から太平洋岸に沿って西へ向かい、奈良県から和歌山県を通過して四国へ入る経路である。四国へ入った2つの経路はその後、おもに高知県を通過し、愛媛県の高茂岬や由良半島から九州へ渡り、鹿児島県南端から南西諸島へと向かっている。出現のピークは、主要な経路のうち中部山岳地域を通過する経路では9月中旬から下旬にかけて、太平洋岸を通る経路では9月下旬から10月上旬とされる。

春季の情報は少ないものの、観察地点の記録からは概ね秋季と逆方向の経路が見て取れる。衛星追跡の記録によると、四国から本州へと入った経路は太平洋岸に沿った個体から中部山岳地帯を越える個体まで様々であり、その後、関東から東北南部の繁殖地域へと向かっている。出現のピークは4月上旬から中旬にかけてである。遅い地域では5月下旬まで出現が続くようである。

**2次メッシュ(約10km×10kmの2万5千分の1地図の図割に相当)

*衛星追跡における位置データは、個体に装着したソーラバッテリーの充電状況、衛星位置により変化し、必ずしも毎日記録されないことから、毎日連続してとれたものを実線で、間隔のあいたデータは点線で図示した。

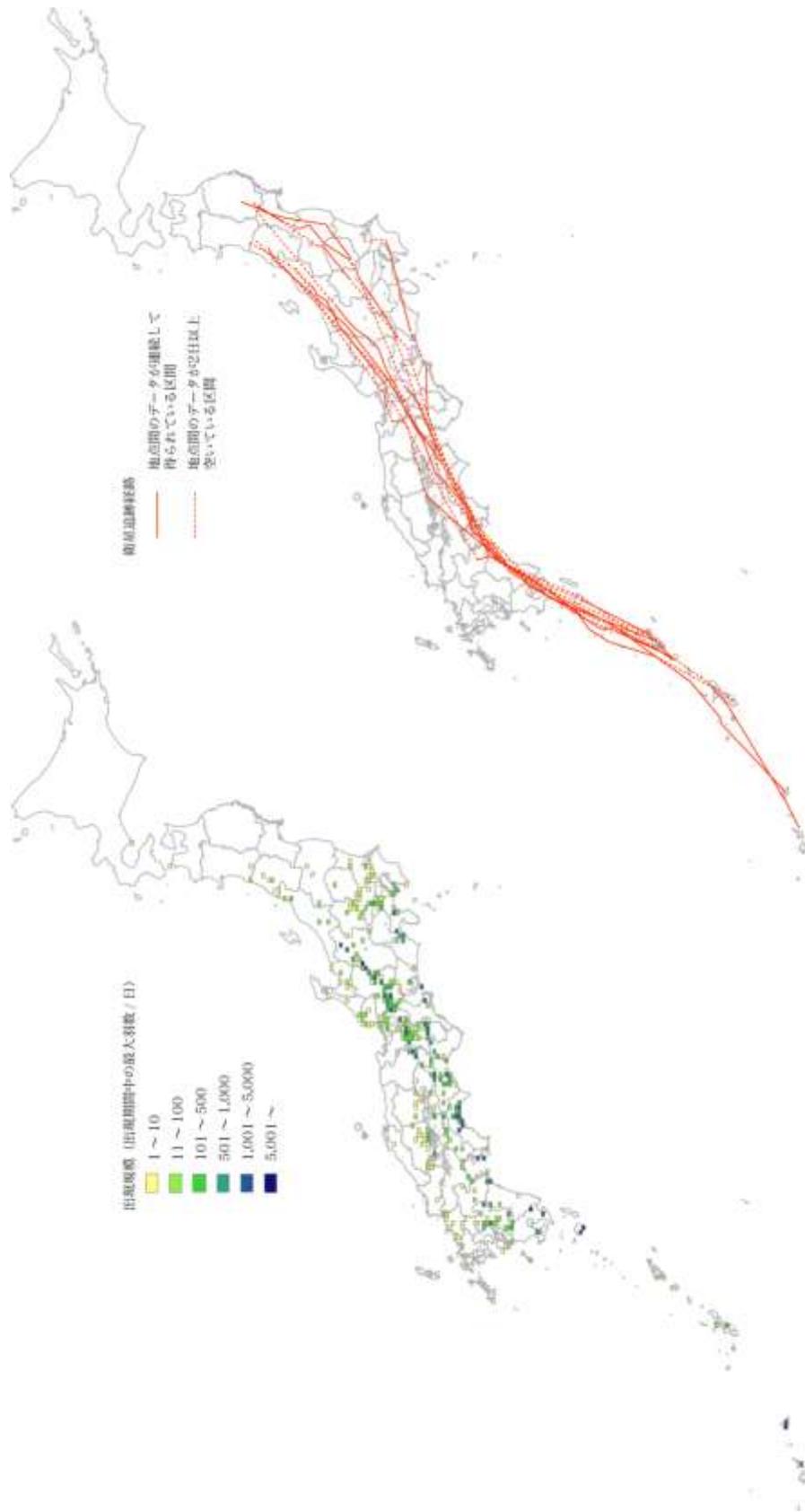


図 3-5 サシバの秋季の渡り経路(衛星追跡経路図は 12 個体の結果に基づく)

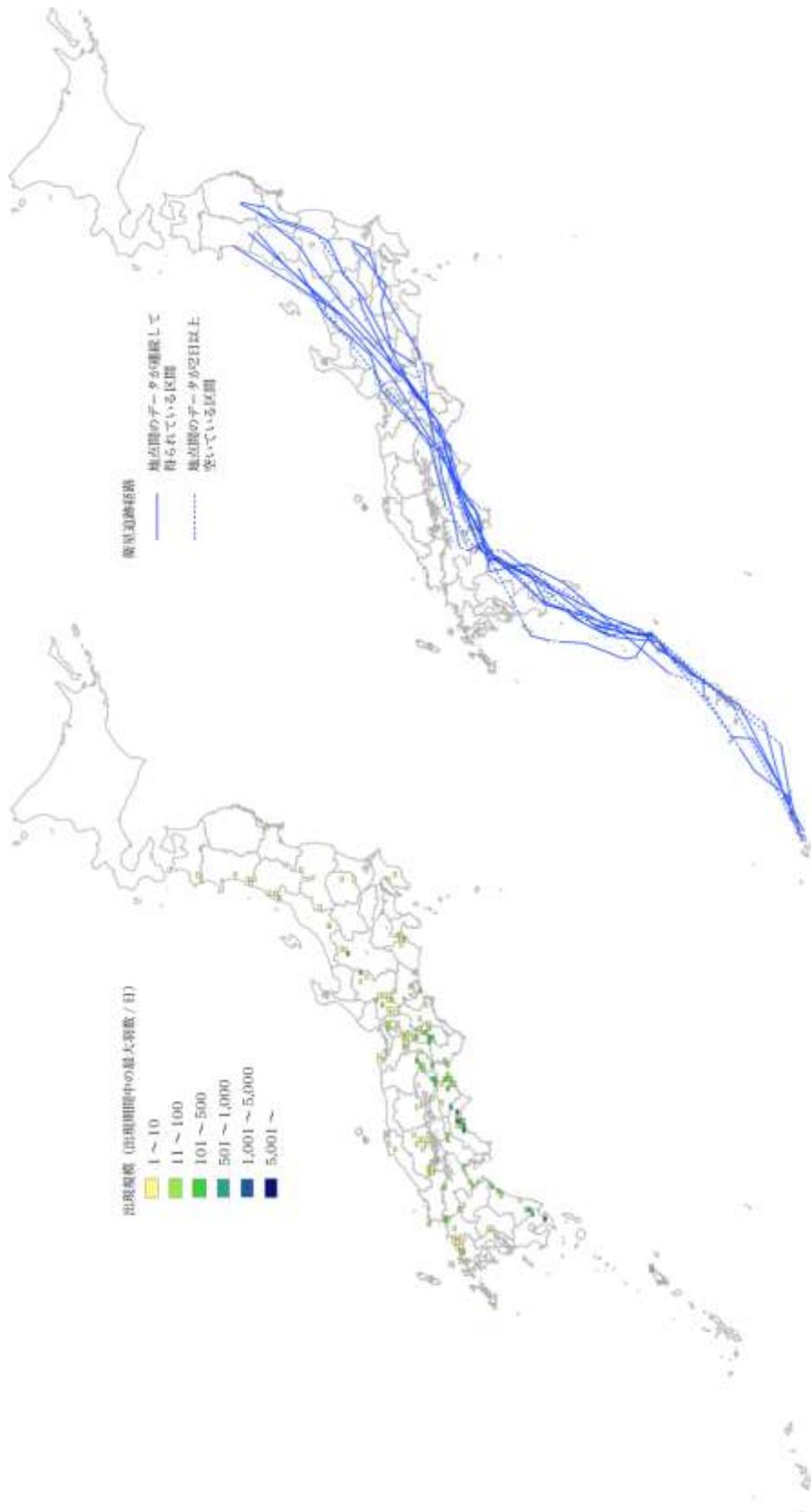


図 3-6 サシバの春季の渡り経路(衛星追跡経路図は 12 個体の結果に基づく)

ハチクマ

秋季は主に東北の日本海側から中部山岳地域を越えて西日本へ入り、その後、山陽地域を通過して九州北部へ入り、長崎県の福江島から東シナ海へ向かっている。また、数は少ないものの、秋季のサシバのように関東南部の太平洋岸に沿って西へ向かい、四国へ入った後に九州へと渡り、鹿児島県付近から東シナ海へと向かう経路も存在するようである。出現のピークはサシバと同様であり、主に9月中旬から下旬にかけて、太平洋岸を通過する経路では9月下旬から10月上旬にかけてである。

春季は概ね秋季の逆方向であり、九州北部からへ入り、山陽地域を東へ移動して北陸地方や中部山岳地域を通過した後に、主に東北の日本海側を北上している。出現のピークは5月中旬頃である。

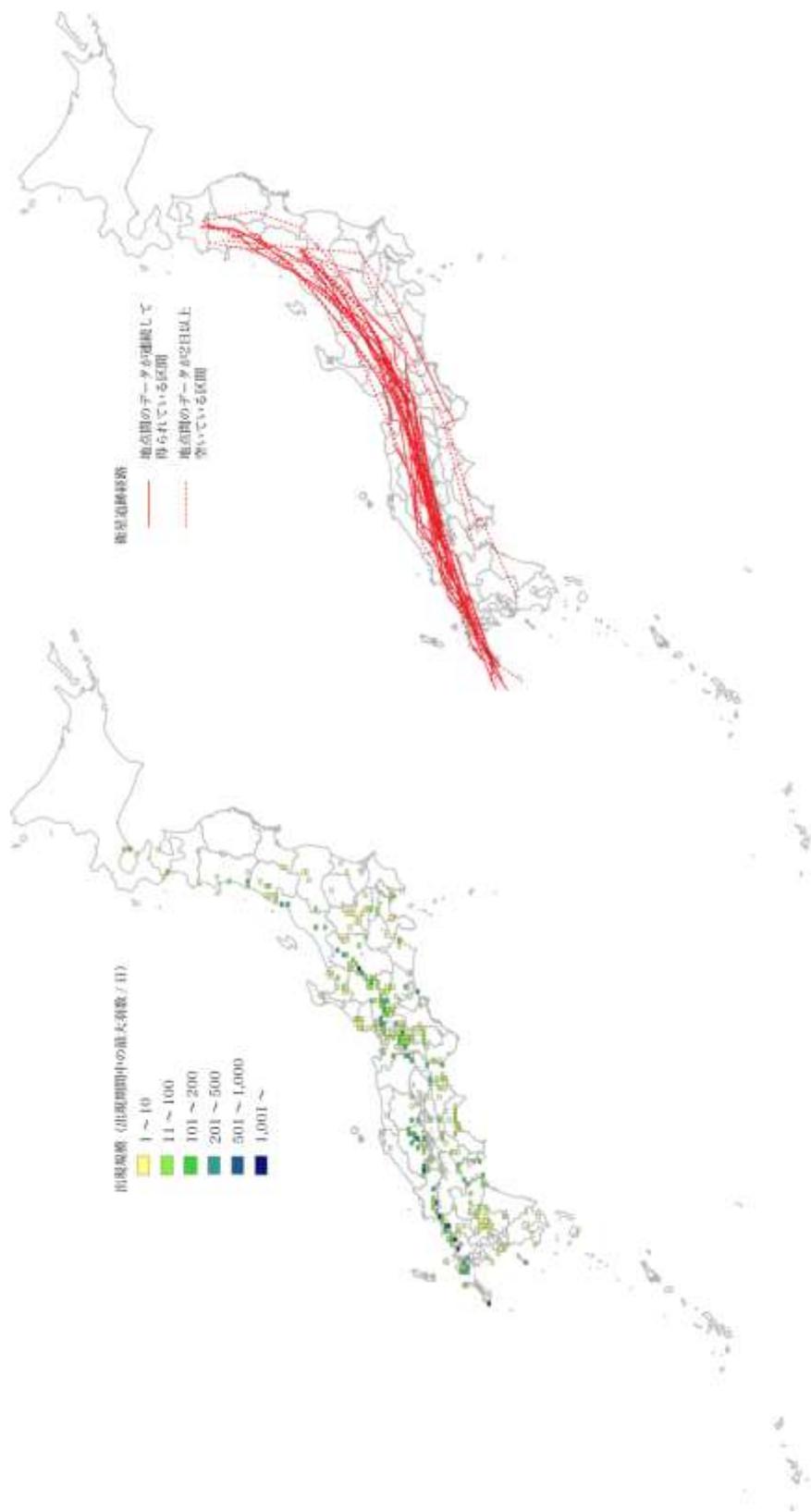


図 3-7 ハチクマの秋季の渡り経路(衛星追跡経路図は 20 個体の結果に基づく)

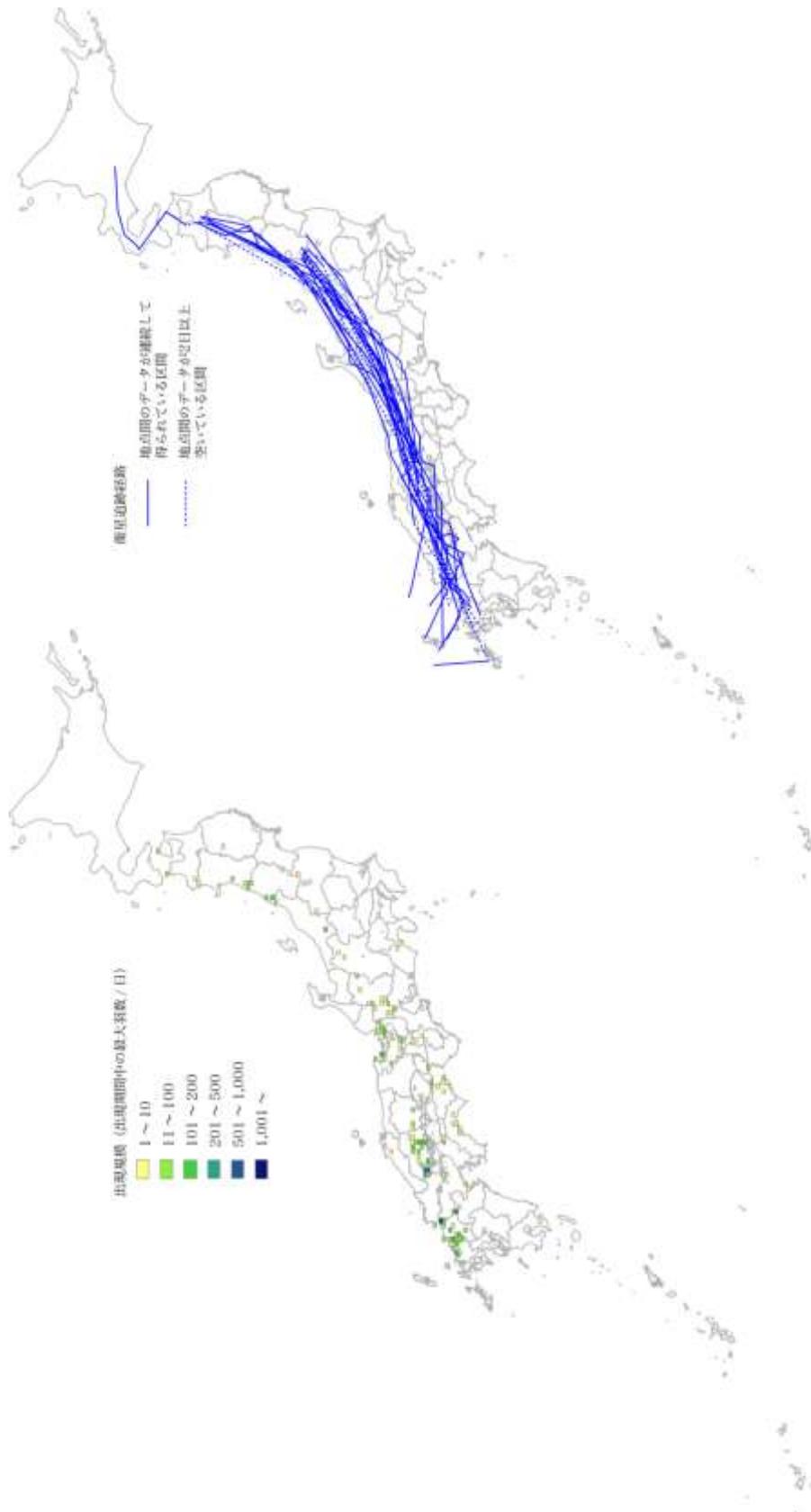


図 3-8 ハチクマの春季の渡り経路(衛星追跡経路図は 20 個体の結果に基づく)

ノスリ

秋季は、主に北海道の宗谷岬から日本海側に沿って南下し、本州へ渡った後に東北の日本海側から中部山岳地域を越えて西日本へ向かっている。その後の経路は明瞭でないものの、徳島の鳴門海峡付近から四国、九州へと移動する経路、山陽地域を西へ向かう経路があるとされる。なお衛星追跡の結果からは、北海道から本州へ渡った後、東北の太平洋側を移動する個体も存在している。出現のピークはサシバやハチクマのように明確ではなく、10月から11月にかけてとされているが、比較的多く出現するのは10月中旬である。

春季の経路は観察地点の情報からは明確ではないが、秋季とほぼ同じ地域で比較的規模の大きな渡りが記録されている。一方、衛星追跡の結果を見ると、山陽地域から北陸地域を通過した後に東北の日本海側を北上する個体、山陽地域から近畿圏へ入り、中部山岳地域を通過した後に東北の太平洋側を北上する個体が存在している。両者はその後、北海道へ渡り、日本海側に沿って宗谷岬に達する。出現のピークは秋季と同様に明確ではないが、3月中旬から4月中旬ないし下旬にかけてと考えられる。

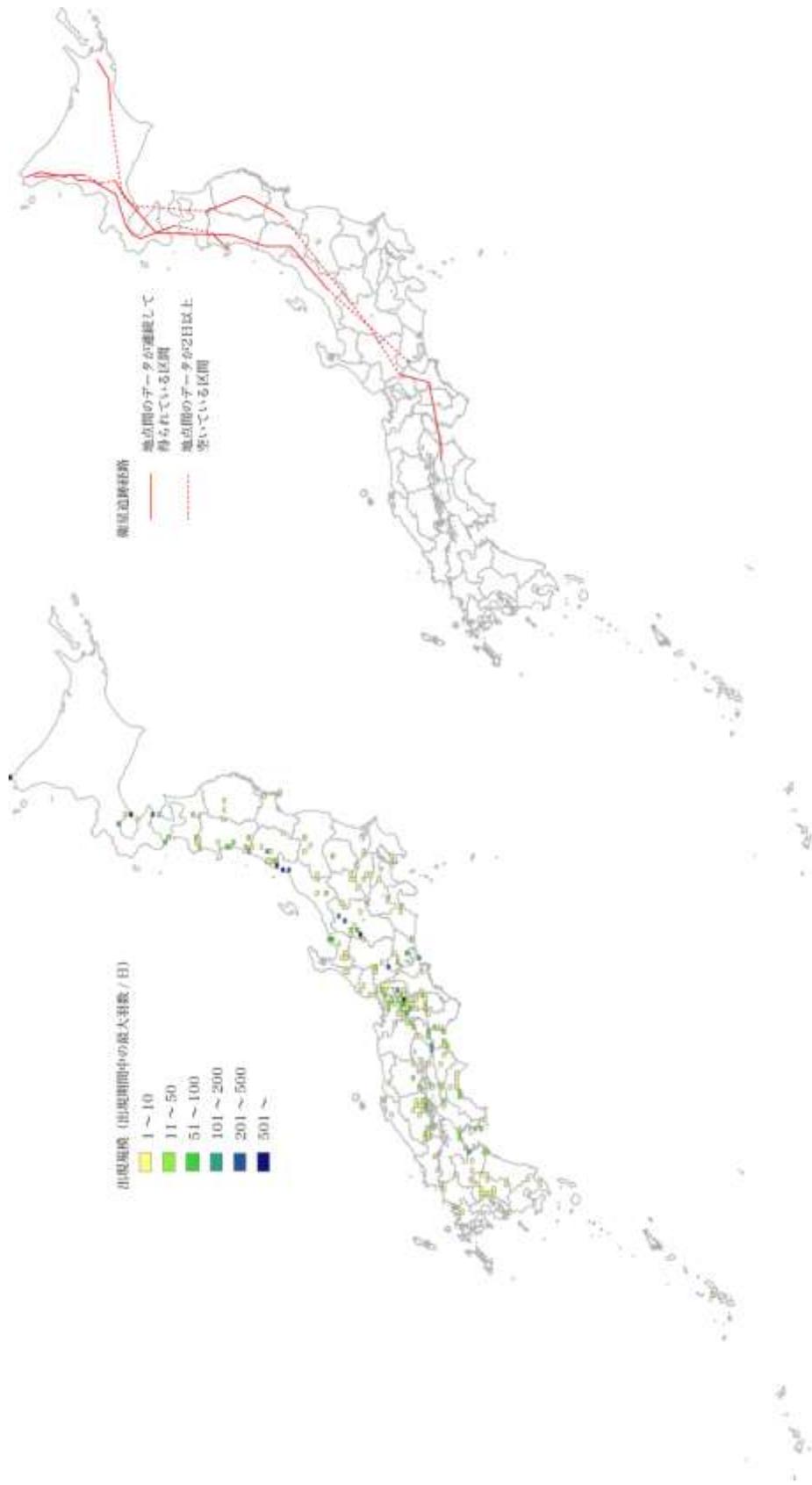


図 3-9 ノスリの秋季の渡り経路(衛星追跡経路図は 14 個体の結果に基づく)

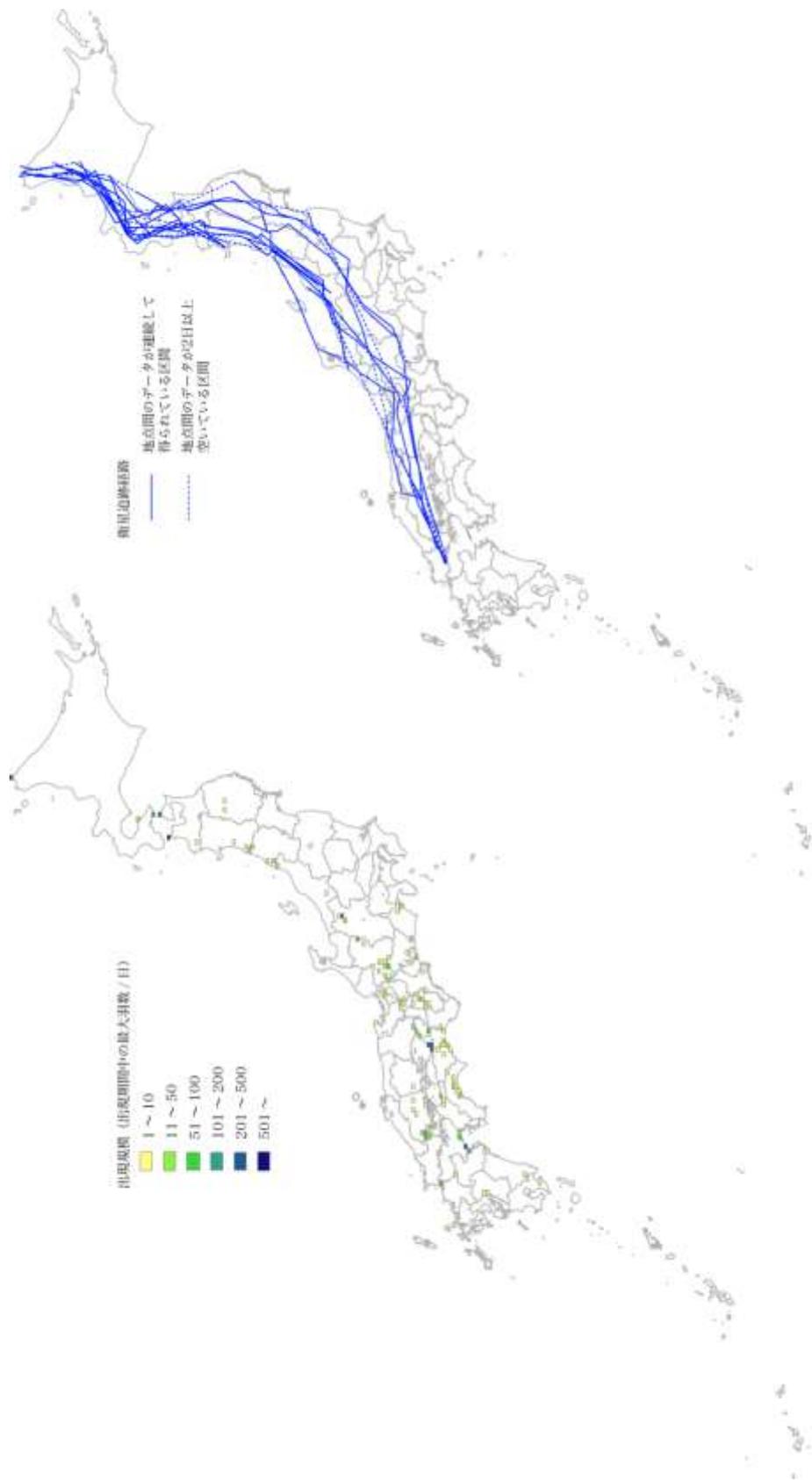


図 3-10 ノスリの春季の渡り経路(衛星追跡経路図は 14 個体の結果に基づく)

アカハラダカ

秋季は対馬から九州北西部に入り、そのまま南下した後に南西諸島へ渡っており、それ以外の地域ではほとんど確認されていない。出現のピークは他種に比べて早く、9月中旬である。

春季については観察記録がきわめて少なく、経路は明確でない。鴨川(1997)によると、春季の渡りのピークは5月中旬から下旬であり、秋季のような大きな群れでは渡らないとされることから、秋季と逆方向の経路が考えられるものの、出現ピーク時に観察が行われていないために記録が少ないものと推察される。

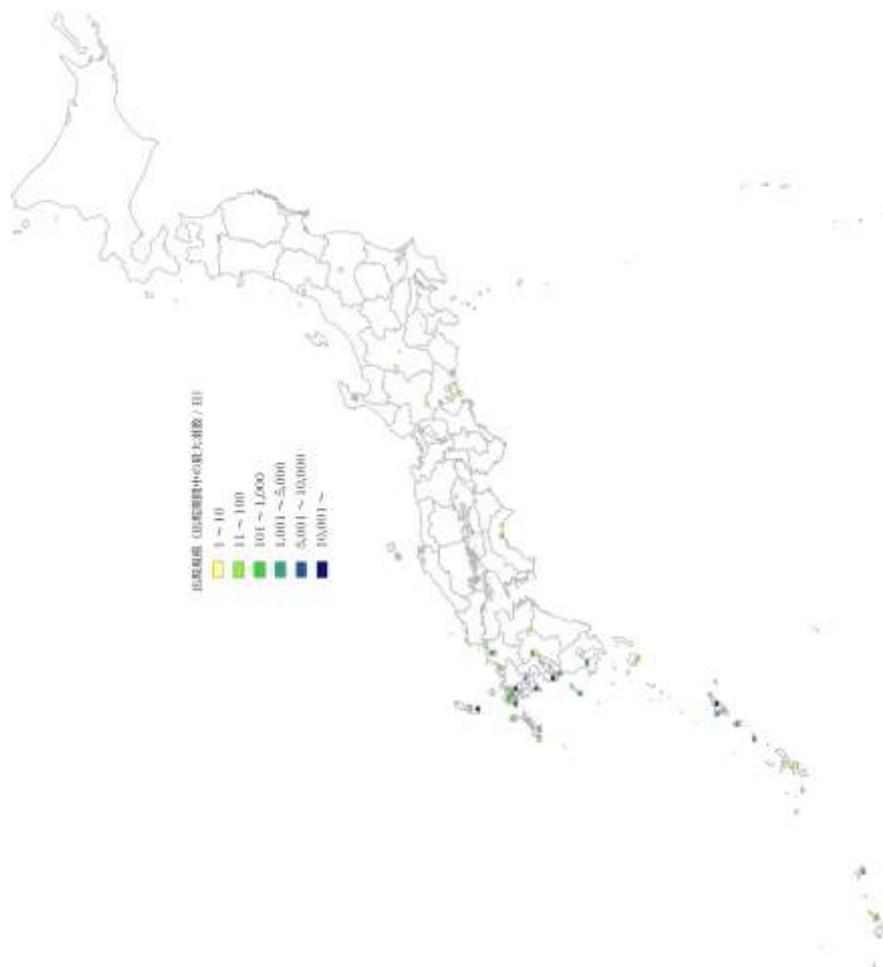


図 3-11 アカハラダカの秋季の観察記録

その他のタカ類集結地

図 3- 12 には、サシバならびにハチクマ、ノスリ、アカハラダカ以外の渡り性猛禽類(ツミやハイタカ等)も総じて示した。2 次メッシュは、そのメッシュに含まれる観察地点のうち 1 日当たりの最大出現数が最も多い地点を代表している。秋季は中部山岳地域や近畿圏、山陽地域から四国、九州北部および南西諸島に出現の多いメッシュが散見される。春季については前述した各種の状況と同じように情報は少なく、また、秋季ほど出現規模は大きくないが、秋季と同様に九州北部、山陽地域から四国に相対的に出現の多いメッシュが存在している。また、秋季、春季ともに北日本では渡りの情報が少ない。

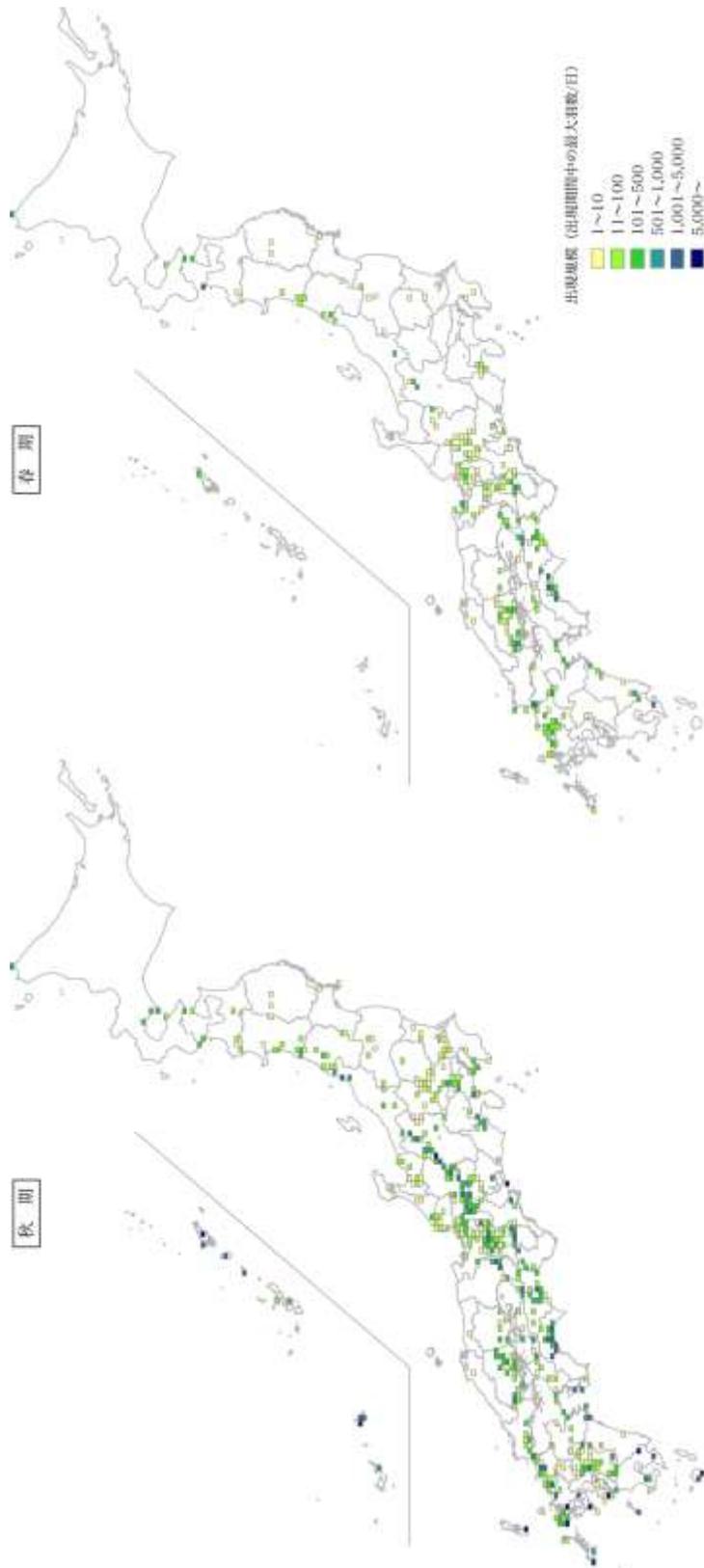


図 3-12 タカ類の集結地

[海ワシ類(オオワシ・オジロワシ)]

海ワシ類のうち、オオワシの秋季の主な渡り経路は、観察情報や衛星追跡による結果から、宗谷岬からオホーツク海沿岸を経て知床半島から国後・択捉島に至ることが判明している。一方でオジロワシについては、渡り経路はあまり良くわかっていないが、オホーツク海沿岸よりも日本海沿岸を多く渡っていると考えられる。また、観察情報と衛星追跡の結果から、宗谷岬からではなく千島列島から道東に渡来する個体が多い可能性も指摘されている。春の渡りについては現時点では明らかにされていないが、両種とも宗谷岬からサハリンへと渡っている可能性が高いと推察される。

冬季については、おもに海岸や河川沿いに分布していたが、山地部でエゾシカの死体などを食物として越冬している場所もあった。種別にみるとオオワシは道東地域およびそれ以外の地域では特定の場所に多くの個体が集中して分布する傾向があり、オジロワシはそれと比べると低密度で広域に分布する傾向があった。

図 3- 13 には、オジロワシ・オオワシ合同調査グループの一斉調査結果、環境省保護増殖事業の分布調査および 2007-2009 年の情報収集に基づく最大値年の情報をもとにした海ワシ類の記録状況を示す。

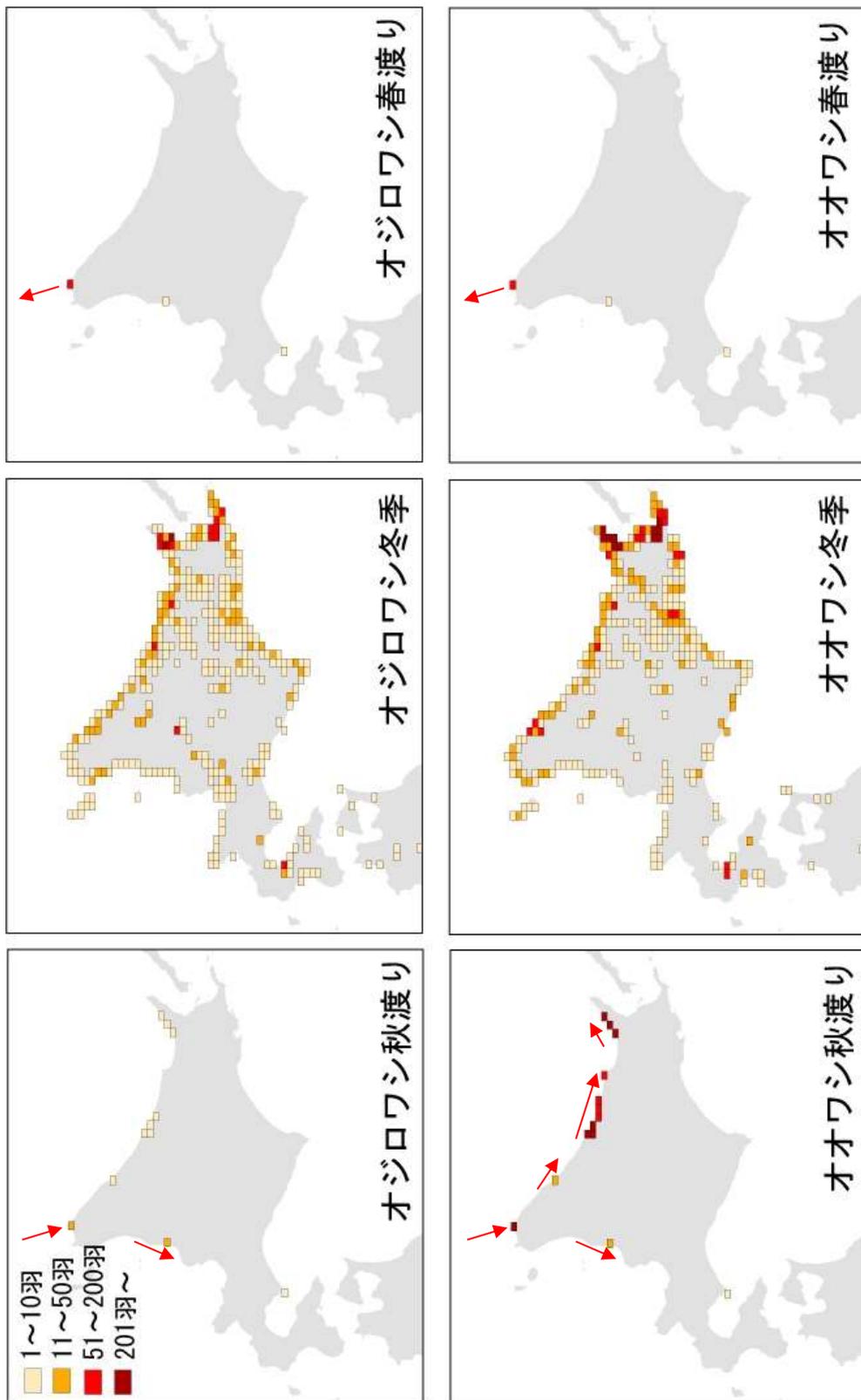


図 3-13 北海道における海ワシ類の渡り調査結果
 (矢印はある程度の規模の渡りが観察された位置)

[ツル類]

日本に生息する渡りをするツル類としては、マナヅル、ナベヅル、クロヅル、アネハヅル、ソデグロヅルがいる。その 90%以上は、鹿児島県出水平野に飛来するとされ、他に定期的に飛来している場所は長崎県諫早、佐賀県伊万里市、山口県周南市のみである。鴨川 (2001) によれば、出水からの渡りの経路は、天草、西彼杵半島、平戸を経て対馬に至るコースと諫早、伊万里、壱岐を経て対馬に至るコースの2つがある。



図 3-14 ツル類の渡り経路(鴨川 2001 等から作成)

3-2-2 ガン類・ハクチョウ類の主要な集結地

.....**計画**・調査・解析・保全・事後

鳥類には群れて生活する、あるいは渡る種があり、それらが集結する地域がある。観察情報については、付表Cの2次メッシュコードを参照されたい。

対象事業実施区域が、集結地およびその周辺で計画される場合、集結地の特性を把握した上で、衝突リスクを予測・評価し、その結果に応じてリスクを回避・低減させる保全措置を実施し、集結地の機能を維持することが望まれる。

ガン類・ハクチョウ類については、越冬期の生息状況が環境省の「ガンカモ類の生息調査」で、春・秋季の生息状況調査が環境省の「モニタリングサイト 1000」の速報等 (<http://www.biodic.go.jp/moni1000/newsflash/index.html>) により毎年記録されている。「ガンカモ類生息調査」の最新の情報は環境省生物多様性センターホームページで公開されているので、参照されたい (<http://www.biodic.go.jp/gankamo/gankamo.html>)。図3-15～図3-16には、2005年1月のガンカモ類生息調査のデータおよび2004～2007年度のモニタリングサイト1000の最大値年の情報をもとにしたハクチョウ類集結地の位置を示す。

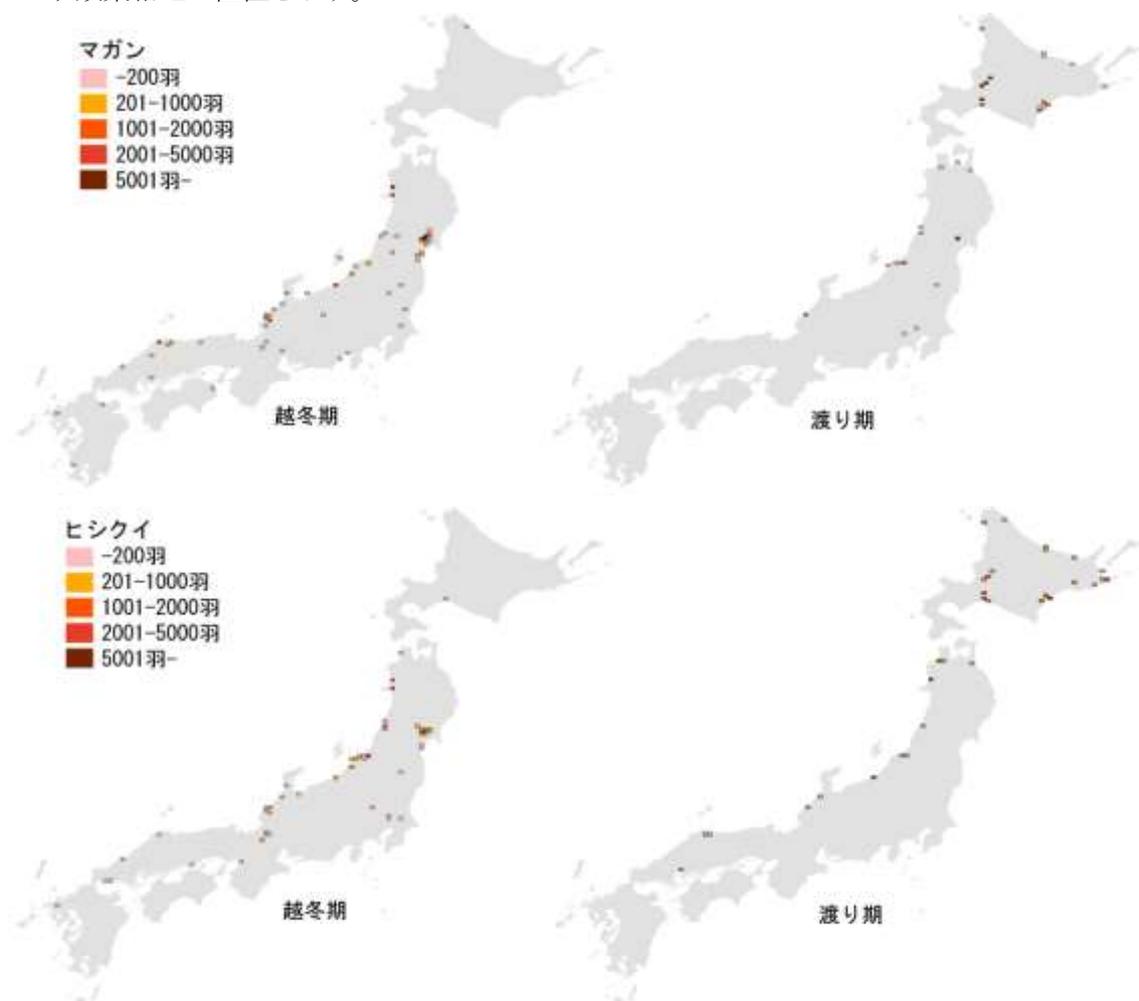


図3-15 マガン、ヒシクイの集結地

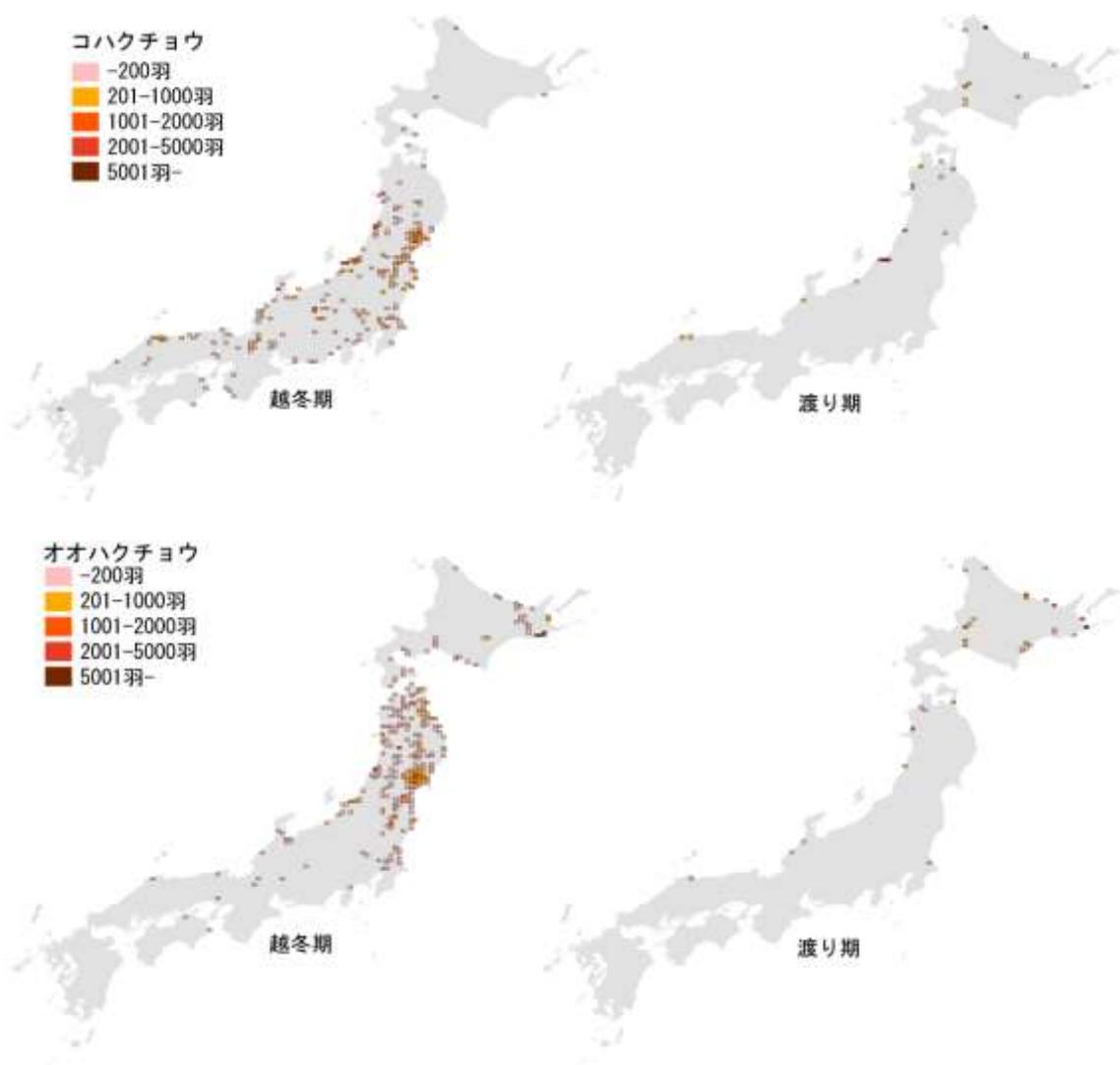


図 3-16 ハクチョウ類の集結地

3-2-3 ガン類の集結地における飛翔高度

.....計画・調査・解析・保全・事後

対象事業実施区域が、ガン類の集結地の周辺に計画される場合、以下の点に注意する必要がある。第一に、渡り時の飛翔（飛翔～着水、離岸～飛翔）において、その高度が風車の回転域に含まれる区域が存在することから、これらの特性について調査するべきである。第二に、越冬季におけるねぐらと採食地の飛翔経路と対象事業実施区域の位置関係について調査する必要がある。

ガン類・ハクチョウ類のような大型の水禽類は、飛び立ってから徐々に高度を上げる。そのため、集結地の近くは低空を飛び風車回転域を通過するが、ある程度離れて飛翔高度が高くなると危険性は減少する。一例として伊豆沼におけるマガンの渡去する際の飛行高度を調べた。これは、沼からの離岸距離別に調査員を配置し、上空を通過するマガンの飛翔高度を後述する簡易型レーザ距離計で調べたものである。沼から離隔5～6km で風車回転域を越える傾向があった(図 3-17)。詳細は、環境省(2008c、2009c、植田・嶋田 2009)を参照されたい。

一方、ねぐらと採食地の往復においては、ねぐら(沼)から十分離隔しても、採食地に着地するため再び高度を下げた風車の回転域を通過することになる。したがって、採食地の分布も把握した上で、よりリスクの低い設置位置を検討する必要がある。

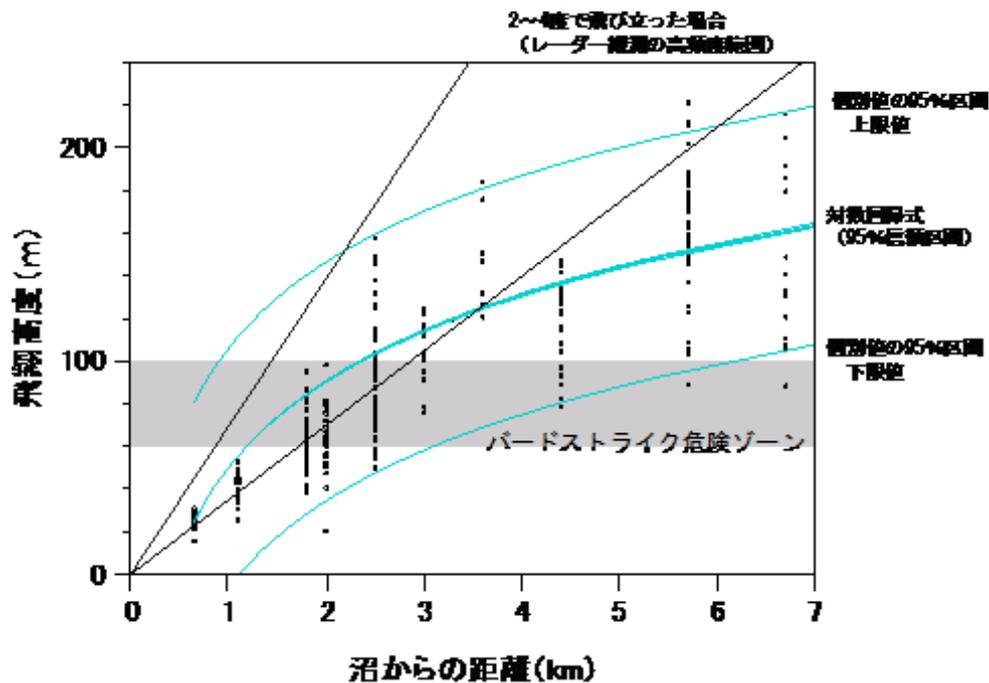


図 3-17 渡りおよび長距離移動するマガンの飛翔高度と飛び立ち地点からの距離との関係。
●が風の強かった日の記録、+がそれ以外の日の記録。実線は対数回帰式による推定で破線は 95%信頼区間。
網掛けした高度はバードストライクの危険のある高度。

3-2-4 人間活動に伴う鳥類の誘引

.....計画・調査・解析・保全・事後

人間活動に由来して投棄される食物は鳥類を誘引することがある。立地に際しては、そのような場所の有無を確認した上で、可能な限り離隔すること、あるいは人為的な食物を除去することが保全措置になりうるかを検討することが望ましい。

漁港や漁場で捨てられる雑魚はオジロワシやオオワシといった海ワシ類、カモメ類などの貴重な食物となっている。そのため、そうした雑魚の多く出る大きな漁港では小規模な漁港よりも多くの海ワシ類が記録される(図3-18)。また、北海道の最大の越冬地である羅臼では観光給餌と漁船から廃棄された雑魚に、風連湖は氷下漁で捨てられる雑魚に海ワシ類が集まるとされる。このように海ワシ類の分布には人間活動が関係している可能性があり、そのような集結地では衝突リスクが高くなる可能性がある。これ以外にもキャンプ地のゴミ捨て場等にも、トビやカラス類が集まる。このような誘引の原因を突き止めることができれば、その後の管理状況によっては、衝突リスクを下げる事が可能となる。

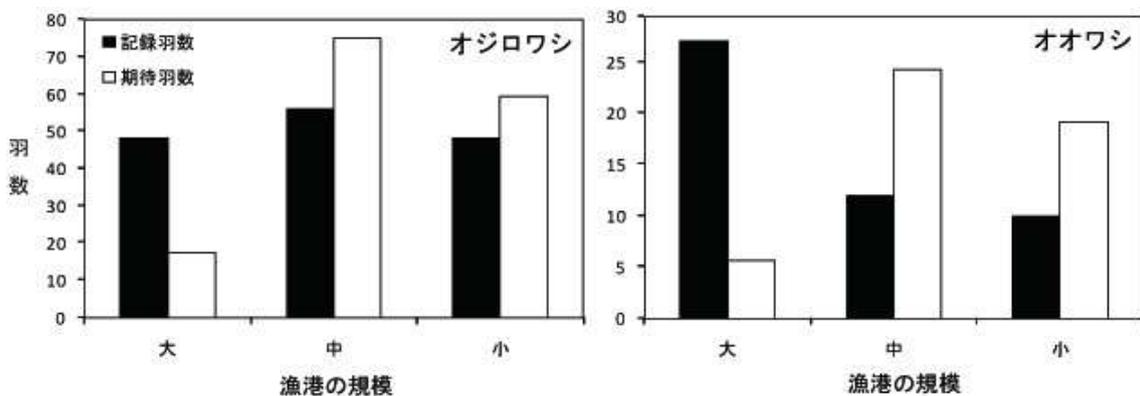


図3-18 道北の漁港規模とオジロワシ、オオワシの記録羽数

漁港規模は海ワシ類の分布調査に基づく。期待羽数=漁港数の総計に占める大・中・小漁港の割合×総羽数。大きな漁港では期待羽数よりも記録羽数が多く、大きな漁港に海ワシ類が集中していることが示唆される。漁港数87 (小:34, 中:43, 大:10)で、大→地図(Googl map 地図モード最大スケール(2008年9月確認))に形状まで掲載される、中→地図(同左)に存在が掲載される、小→掲載されない(同左)とした。

3-3 衝突リスク

本書における衝突リスクとは、回転する風車のブレード(羽根)に鳥類が接触・衝突する可能性をいう。鳥類が回転する風車に接触・衝突するメカニズムは明らかにされていないが、飛翔頻度と衝突リスクには何らかの関係があり、これを調査解析することで、メカニズムの一端を明らかにできると考えられている。これは Smallwood & Thelander (2004)による成果で裏付けられた。彼らが示した一連の結果図には、飛翔頻度と衝突リスクに一定の相関があることが示唆されていた。彼らはカリフォルニア州アルタモント風力資源地域に関する報告書の中で次のように述べている。

- ・ 全鳥類(all birds)の死亡率は、定点調査における鳥類出現頻度(時間当)と有意な相関が認められた(図 3- 19 の 1)。
- ・ 猛禽類の死亡率も、全鳥類のものと同様、定点調査における出現頻度と有意な相関が認められた(図 3- 19 の 2)。
- ・ 最近のアルタモントにおける猛禽類と全鳥類の死亡推定値は、全米の風力発電施設から求めた平均値よりも、約 3 倍程度大きい(図 3- 19 の 3a と 3b)
- ・ 衝突リスク値*(Risk Index)についてみると、アルタモントにおける全鳥類の推定値は、全米の推定値の 2 倍である(図 3- 19 の 4a)。しかしながら、アルタモントにおける猛禽類の推定値は、全米のそれとほぼ等しい(図 3- 19 の 4b)。このことから、アルタモントの全鳥類の衝突リスクは、全米と比べて高いものの、猛禽類の衝突リスクは全米とほぼ等しいことを示している。
- ・ アルタモントにおける全鳥類と猛禽類の死亡率は、全鳥類の出現頻度(時間当たり)に対応して増加する傾向があった(図 3- 20 の 5a)。しかしながら、猛禽類の出現頻度に着目すると、猛禽類の死亡率は減少する傾向があった(図 3- 20 の 5b)。
- ・ 1988～2000 年まで、アルタモントにおける全鳥類・猛禽類の死亡率は増加した(図 3- 20 の 6a と 6b)。
- ・ 1988～2000 年まで、アルタモントにおける全鳥類の出現頻度は増加したが、猛禽類はそうではなかった(図 3- 20 の-7a)。リスク指数(死亡率をさらに時間当たりの出現頻度で割った値)は、年間での有意差はなかったが、猛禽類のそれは増加したように考えられる(図 3- 20 の-7b)。

なお、Smallwood は、鳥類の利用率と死亡率の相関については調査手法の違いによって差が生じるので注意が必要であるとしている。(私信)。また、米国で行われている鳥類の飛翔頻度調査は、調査空間が広いと距離に伴う発見率の低下の補正をすべきだが、なされていない点を懸念している(たとえば、Smallwood & Thelander (2004)で行われた visual scan では、半径 300mの空間領域での目視調査が行われており、補正が必要と述べている)。

同様の調査・解析を、環境省 (2008a, 2009a, 2010a)を用いて行った。ここでは 4 サイトで 64 本の風車について、鳥類飛翔頻度と風車近傍の死骸調査を原則毎月 1 回およそ 2 カ年にわたって調査している。調査空間は最大 150m 程度(風車ブレードの 2 倍を調査半径)に設定したことから、距

* 衝突リスク指数はある種の死亡率／利用率と定義される。詳細は 3-8-3 を参照。

離に伴う発見率の低下はないとみなした。解析にあたって、あらかじめ死骸調査結果から各サイト別に推定衝突率を求めた。推定には、発見率、累積残存率および踏査率のパラメタ値が必要となる。これらの数値は本来、各サイトで実験を行い得るべきものであるが、十分な結果が得られなかったことから、発見率と累積残存率は 3-8-2 死骸調査の値を用いることとした。このため、算出した推定衝突率の妥当性には議論の余地が残される。なお、調査地点は A～D の 4 サイトであり、それぞれの特徴は表 3-8 のとおりである。

表 3-8 サイト別の特徴(風車の配列、ハブ高)

サイト名	風車の配列	ハブ高
A	一列	低い
B	重複列	低い
C	一列	高い
D	重複列	高い

衝突実績のある種に限定してみたものの、サイト別・鳥類種別の飛翔頻度と推定衝突数の間には、明瞭な相関関係は認められなかった(図 3-21)。風車近傍の全鳥類の飛翔頻度と各風車の推定衝突率についても、明瞭な相関は示唆されなかった(図 3-22)。

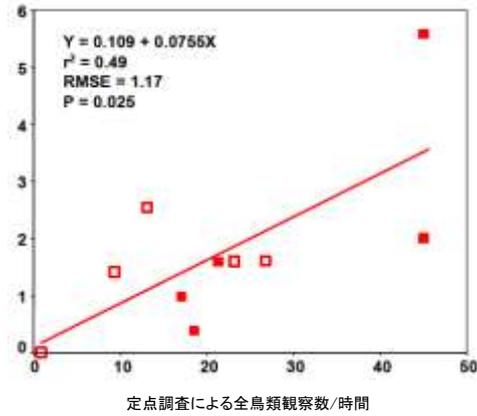
しかしながら、サイト毎に死骸が発見された種に 1 を与え、発見されなかった種に 0 を与えてロジスティック回帰分析を行った結果、飛翔頻度が高くなるにつれ衝突が発生し易くなる傾向が示唆された。これは分類群毎にモデルを作成したところ、さらに適合性が良くなった(図 3-23)。

同様に、死骸が発見された風車に 1 を与え、発見されなかった風車に 0 を与えてロジスティック回帰分析を行った結果でも、飛翔頻度が高くなるにつれ、衝突が発生し易くなる傾向が示唆された(図 3-24)。風車配列と構造の観点からみると、衝突の発生し易さは、C(ハブ高さが高、一列配置) > B(同低、重複列) > A(同低、一列配置) > D(同高、重複列)の順であり、風車の配列とハブ高さで明瞭な傾向は伺えない(図 3-24)。すなわち、現段階においては、衝突リスクは、風車配列と構造の違いよりも、サイトやその周辺における鳥類種や出現頻度の多少に影響を受けるものと考えられる。

なお、Smallwood & Thelander (2004)らの成果は、アルタモント風力資源地域における 15 年間の調査結果に基づくものであり、本書における解析は、2 年間であることに留意されたい。得られた結果はまだまだ端緒的であり、今後更なるデータの蓄積が必要である。回帰式については、飛翔頻度と死亡個体数の分布のばらつきが大きく、また、ケースによって調査結果が異なることが当然考えられるので、実際のリスクの予測の際にはこれらの既存の回帰直線式を安易に引用せず、ケースごとに調査を行うことが肝要である。

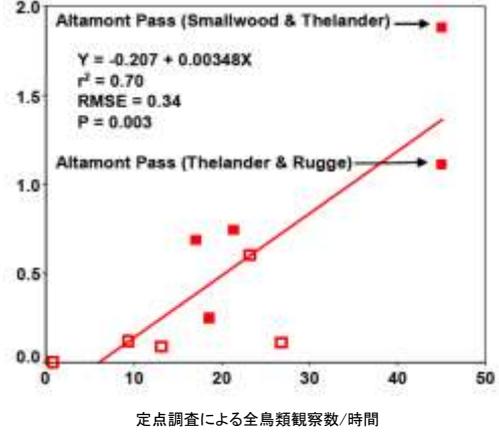
1

全鳥類の衝突数/MW/年(踏査半径の差異を補正)



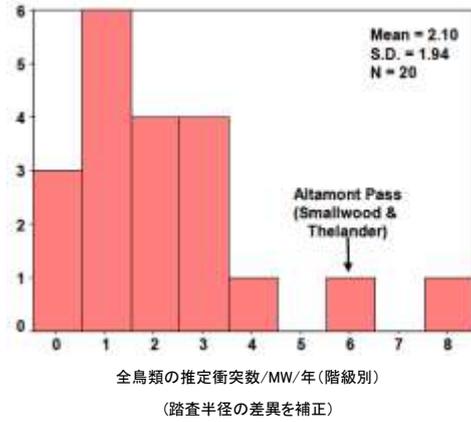
2

猛禽類の衝突数/MW/年(踏査半径の差異を補正)



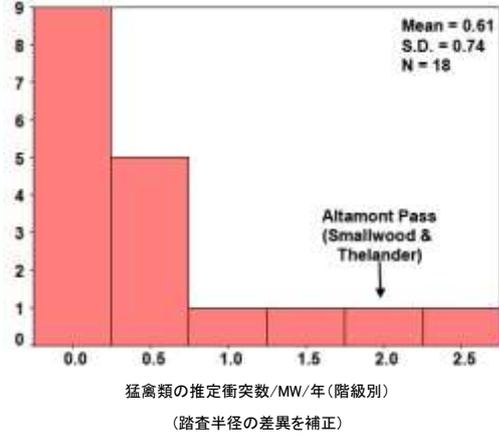
3a

推定衝突数の頻度



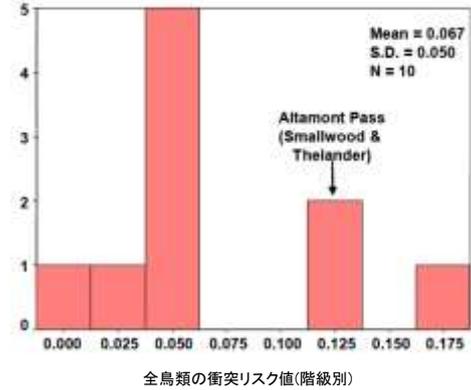
3b

推定衝突数の頻度



4a

衝突リスク値の頻度



4b

衝突リスク値の頻度

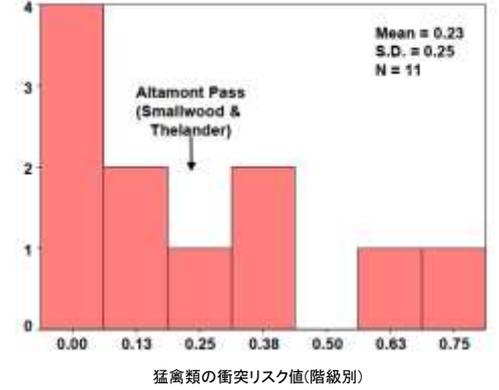
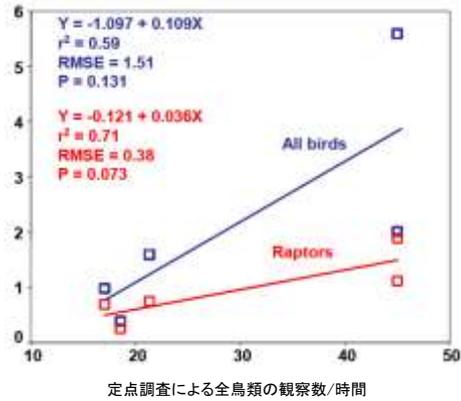


図 3- 19 Smallwood et al (2004)による飛翔頻度と衝突リスク

1: 定点調査による全鳥類の観察数と推定衝突数の散布図。■アルタモント、□その他の地域で得られた数値。2: 全鳥類の観察数と猛禽類の推定衝突数の散布図。3a~b: アルタモントを含む各地で計測された推定衝突数の度数分布図(ヒストグラム)。縦軸は推定衝突数の報告数(個数)。左側にピークがある点に注意。4a~b: 衝突リスク値の頻度分布図。前図と較べピークが緩やか(platykurtic)になっている。アルタモントの推定値に着目すると、全鳥類(4a)は、全体の平均(mean=0.067)に較べ、およそ 2 倍となっているのに対して、猛禽類(4b)は概ね等しい(mean=0.23)点に注意。Smallwood et al (2004)より引用、一部改変。

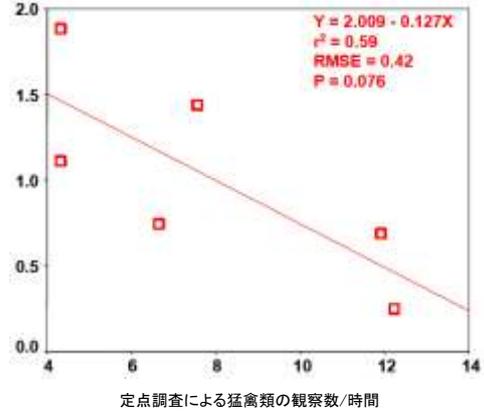
5a

全鳥類と猛禽類の推定衝突数/MW/年
(踏査半径の差異を補正)



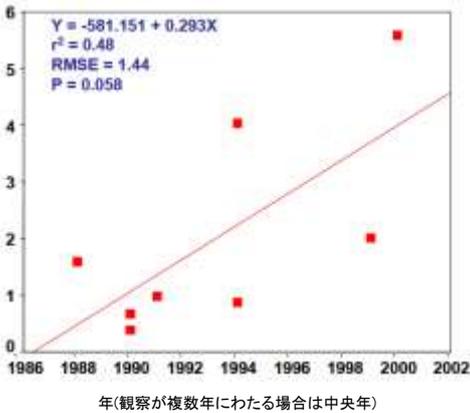
5b

猛禽類の推定衝突数/MW/年
(踏査半径の差異を補正)



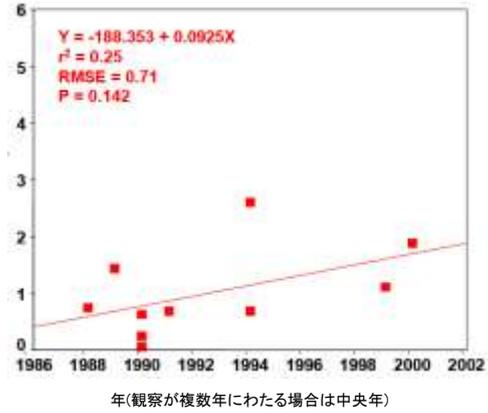
6a

全鳥類の推定衝突数/MW/年(踏査半径の差異を補正)



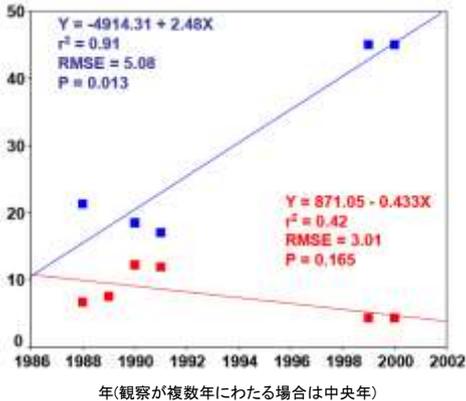
6b

猛禽類の推定衝突数/MW/年(踏査半径の差異を補正)



7a

全鳥類(青)と猛禽類(赤)の観察数/時間



7b

全鳥類(青)と猛禽類(赤)の衝突リスク値

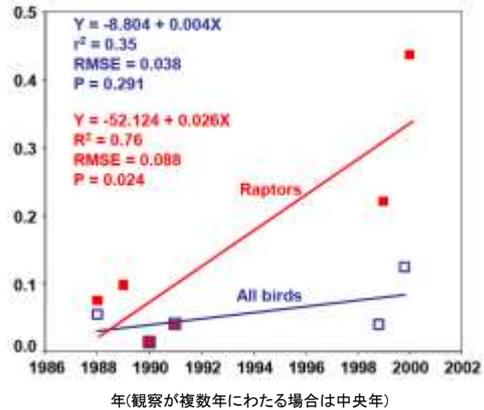


図 3- 20 Smallwood et al (2004)による飛翔頻度と衝突リスク(つづき)

5a: 定点調査で得られた観察数と推定衝突数の散布図。前掲図 3- 19 の散布図とほぼ同じだが、全鳥類の観察数－全鳥類の推定衝突数(青□)、全鳥類の観察数－猛禽類の推定衝突数(赤□)を示している。5b: 猛禽類の観察数と推定衝突数は負の相関が得られている。6a～b: 推定衝突数の経年変化をみると、全鳥類・猛禽類いずれも増加している。観察数の経年変化をみると、全鳥類(青□)は増加したのに対して、猛禽類(赤□)は減少していたが(7a)、衝突リスク値はいずれも増加していた(7b)。Smallwood et al (2004)より引用、一部改変。

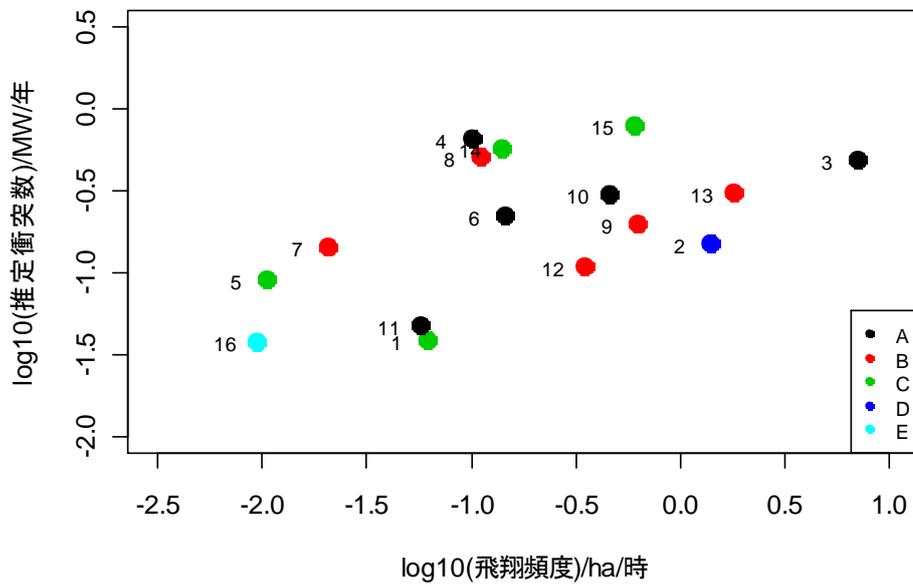
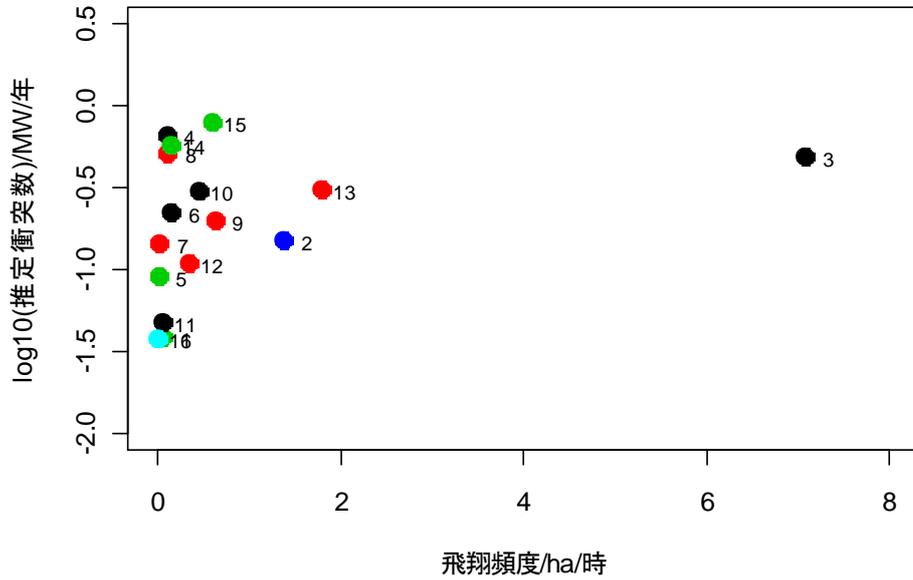


図 3-21 風車近傍における鳥類種別飛行頻度～推定衝突数

環境省(2008a,2009a,2010a)から作成。種別の飛行頻度と推定衝突数をプロットし、サイト別(A～E)に色を変えた。なお E のイヌワシについては由井正敏氏(岩手大学名誉教授)より、資料の提供を受けた。上段は片対数、下段は両対数変換を行っている。対数変換を行ったため、死骸が発見されなかった鳥類種はプロットしていない。鳥類種番号: 1)ウミネコ、2)カラヒワ、3)カラヒワ、4)キクイタダキ、5)キジ、6)キジ、7)ケアシノスリ、8)チョウゲンボウ、9)トビ、10)トビ、11)ノスリ、12)ノスリ、13)ハシブトガラス、14)ヒバリ、15)ヒヨドリ、16)イヌワシ

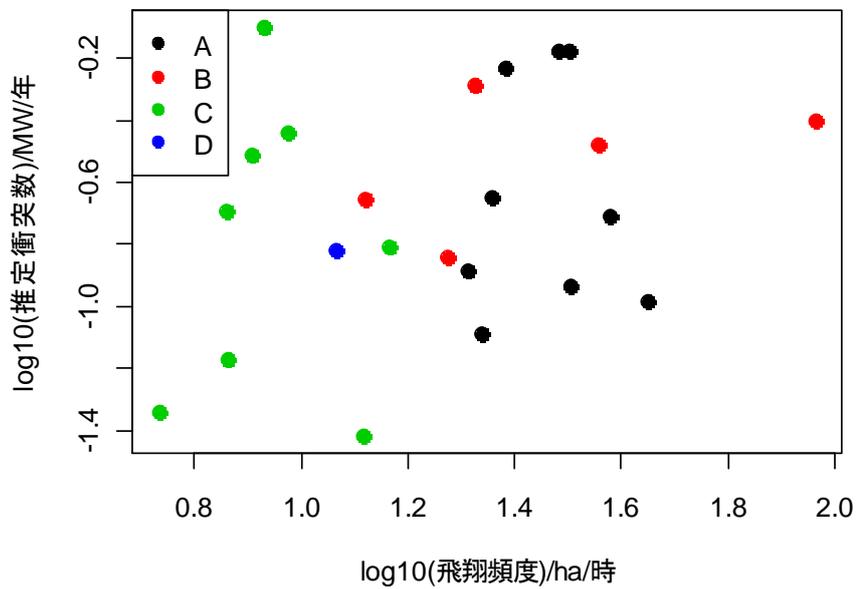
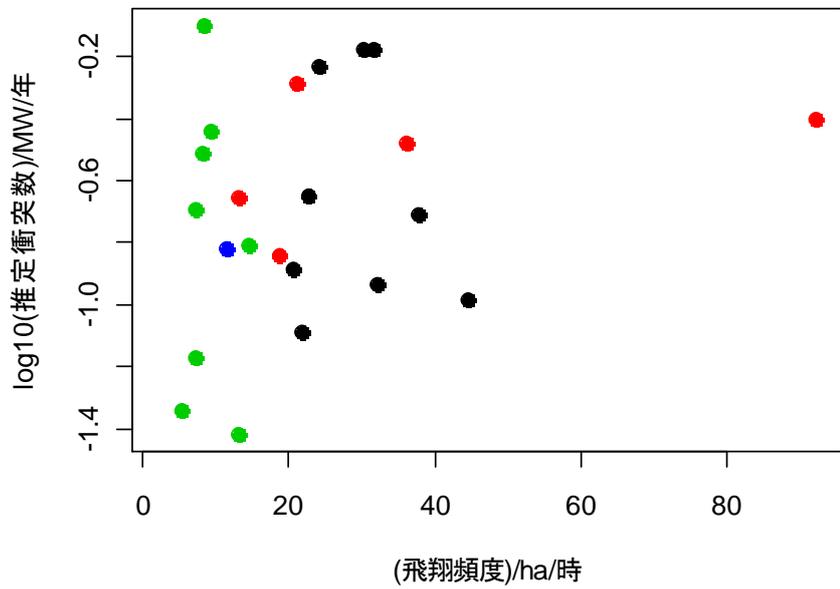


図 3-22 風車近傍における鳥類の飛行頻度～推定衝突数

環境省(2008a,2009a,2010a)から作成。風車別の飛行頻度と推定衝突数をプロットし、サイト別(A～D)に色を変えた。上段は片対数、下段は両対数変換を行っている。対数変換を行ったため、死骸が発見されなかった風車はプロットしていない。

分類群別にみた衝突の発生確率

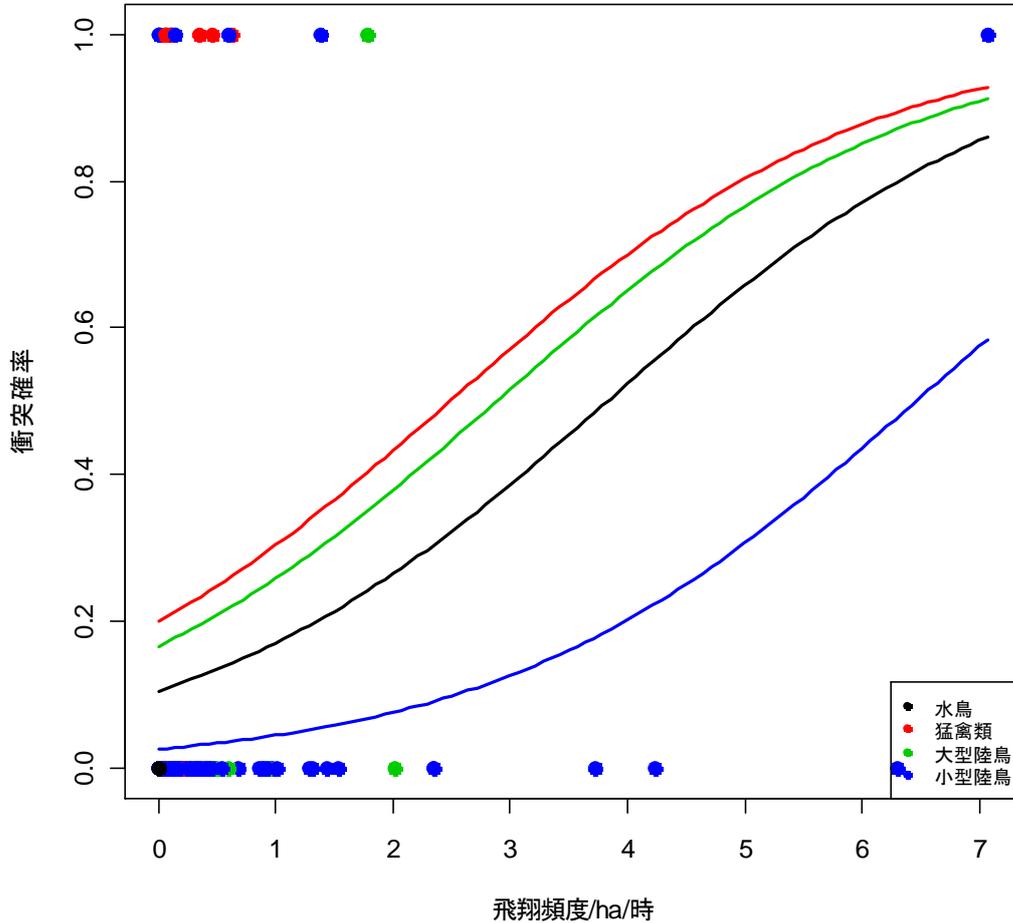


図 3- 23 分類群別にみた飛行頻度～衝突発生率(発生し易さ)

環境省(2008a,2009a,2010a)から作成。4 サイト別に総出現種 107 種の平均飛行頻度を、分類群(水鳥 Water、猛禽類 Raptor、大型鳥類 Large、小型鳥類 Small)にまとめ、サイト別に死骸が 1 個体でも発見された種は 1.0、確認されなかった種を 0 としロジスティック回帰分析をおこなった。説明変数に分類群を考慮せず、飛行頻度のみを使った場合の AIC*は131.95、これに分類群をカテゴリ変数で加えた場合の AIC は 123.99 であり、衝突の発生し易さは、分類群毎に異なると推定された。分類群別のロジスティックモデルを比較すると、猛禽類が最も衝突し易く、次いで、大型鳥類、水鳥、最後に小鳥類の順であった。小鳥類はおそらく、発見率が低いことと、衝突し難い(一般にブレード回転高度まで飛行することは少ない)ためと推察される。

* AIC 赤池情報基準:統計モデルのあてはまり具合をみる指標のひとつ。

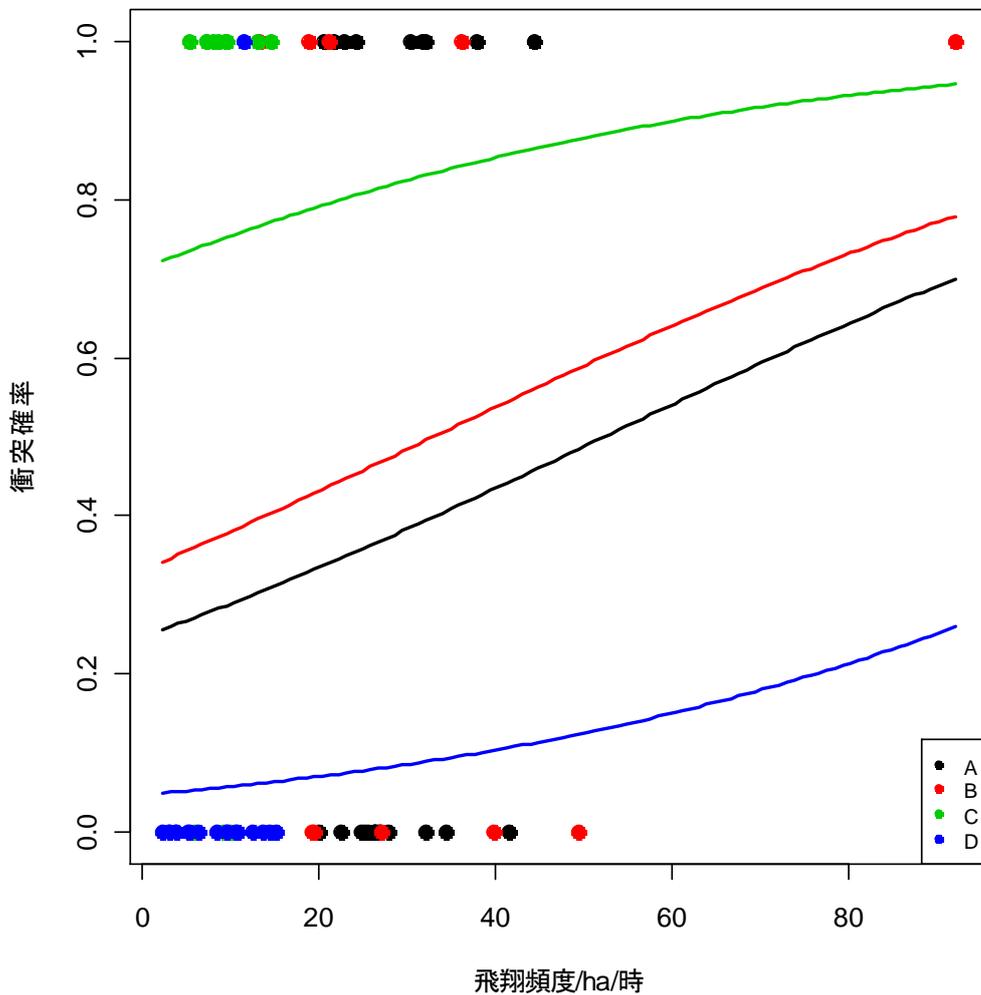


図 3-24 風車近傍における鳥類の飛翔頻度～衝突発生率(発生し易さ)

環境省(2008a,2009a,2010a)から作成。死骸が1個体でも確認された風車基地は1.0、確認されなかった風車基地を0とし、ロジスティック回帰分析を行った。説明変数に飛翔頻度(fly)のみを使った場合の AIC は 86.6、これにサイト名をカテゴリ変数で加えた場合の AIC は 78.94 であり、衝突の発生し易さは、サイトの立地場所(の違い)に基づく飛翔頻度に影響を受けると推定された。各サイトのロジスティックモデルを比較すると、衝突の発生し易さは、C > B > A > D と考えられる。

3-4 衝突リスクの高い地形条件

3-4-1 水際線*・断崖線

.....計画・調査・解析・保全・事後

対象事業実施区域が水域に近接し、水鳥類の飛来（飛翔）頻度が高くなることが想定される場合、水域における飛翔特性を把握する必要がある。同様に、対象事業実施区域が断崖に近接し、猛禽類等の飛来（飛翔）頻度が高くなることが想定される場合、断崖における飛翔特性について把握するべきである。これらの地形においては、水際線や断崖線からの離隔距離という環境勾配に着目し、環境勾配に応じた飛翔頻度の変化を検討することが重要である。

なお、立地の検討にあたっては、断崖付近での風況特性も考慮する必要がある。**

海浜では、水鳥類の飛来頻度が高くなることが想定される。また、北海道の沿岸部（主に断崖）においては、越冬時にオジロワシ・オオワシの海ワシ類飛来頻度が高くなると考えられる。なお、断崖とは2万5千分1地形図において、がけ（＝土がけ、岩がけ）の表示がされているものを指す。ただし地形図には、高さ3m以上・長さ75m以上のものしか表示されていないことから、これより規模の小さいものについては現地での確認が必要となる。

対象事業実施区域が水際・断崖付近に位置する場合、離岸距離(X軸)に応じた飛翔頻度(Y軸)の散布図を作成し、回帰モデルをあてはめることで、飛翔特性を把握することができる(図3-25)。飛翔頻度は、1時間にみられたha当たりの数(個体数/ha/hr)など、離隔距離別に整理されている必要がある。GISを用いて飛翔軌跡をメッシュ解析することも有効であろう。

飛翔頻度の距離・減衰関係を解析するには、散布図に回帰式をあてはめる。距離に対する飛翔頻度の変動特性は明らかでないため、散布図を俯瞰しながら、適切な式をあてはめる必要がある。直線関係にならない場合、指数回帰のための飛翔頻度(Y軸)変換、対数回帰のため離岸距離(X軸)変換、および累乗変換(Y、X軸)を行う(表3-9)。このような回帰式を作成することで、離岸距離に応じた飛翔頻度の減少傾向を把握できるため、衝突リスクの回避・低減を反映したレイアウト・配置の検討が可能になる。

表 3-9 さまざまな回帰式

回帰式の種類	概要
指数回帰: $Y=a \cdot b^x$	両辺の対数をとると、 $\log(y)=\log(a)+x \cdot \log(b)$ となることから、 $\log(y)$ と x が直線関係にあることを示す。
対数回帰: $Y=a+b \cdot \ln(x)$	$\ln(x)$ と Y が直線関係にあることを示す。
累乗回帰: $Y=a \cdot (x)^b$	両辺の対数をとると、 $\log(y)=\log(a)+b \cdot \log(x)$ となることから、 $\log(y)$ と $\log(x)$ が直線関係にあることを示す。

* 正しくは「水涯線」(国土地理院:水涯線等とは、陸部と水部を区画する水ぎわの境)であるが、理解を助けるために「水際線」という言葉ももちいた。

** 地形の影響で風は地面から「はく離」し、断崖の風下側に「はく離領域」と呼ばれる領域が発生する。この領域では、大小の渦が発生して風が逆流したり高さ方向の風速の違い(ウインドシア)が大きくなることもあり、平均風速が低だけでなく風が乱れた(乱流強度が高い)領域になるので、風車の設置には不向きな領域といえる。

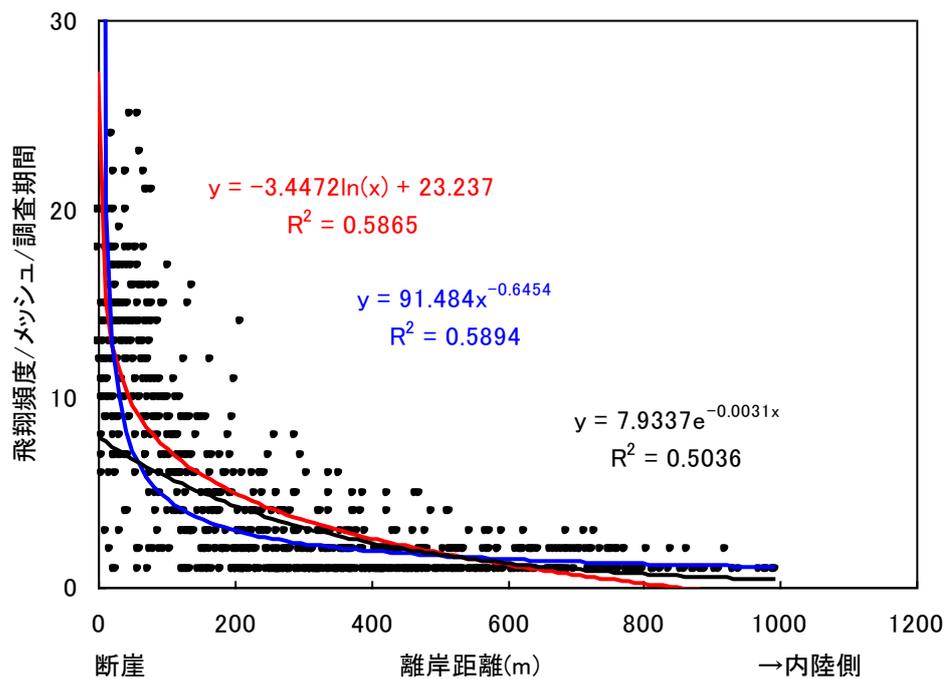
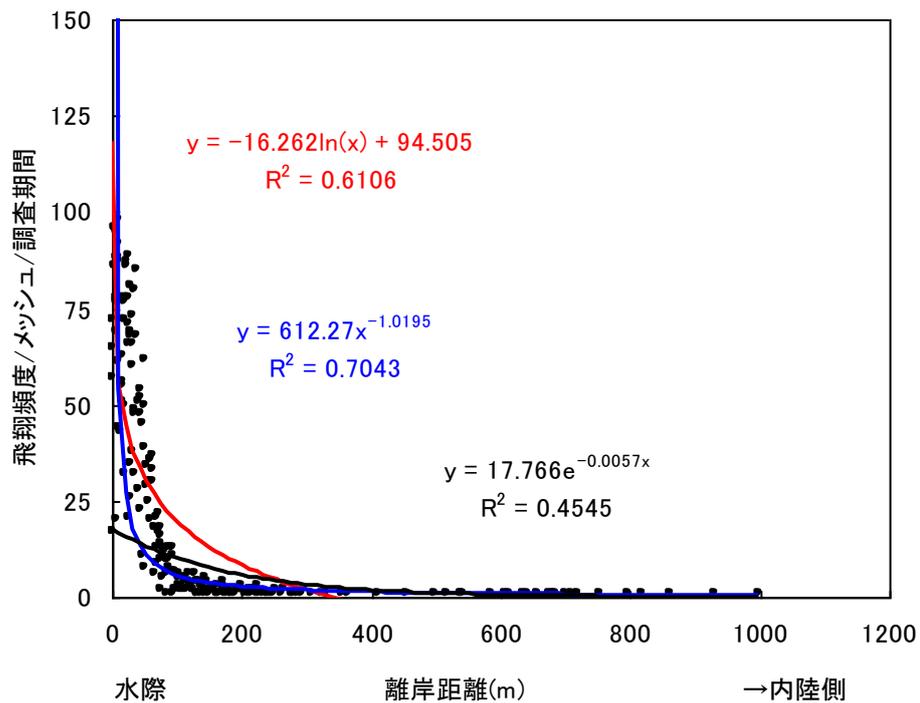


図 3-25 環境勾配(離岸距離)と飛行頻度の関係

上: 海岸線からの離岸距離とカモメ類の飛行頻度、下: 断崖線からの離岸距離と海ワシ類の飛行頻度。いずれも平成 19、20 年度立地適正化業務の延べ 16 日間の調査による。飛行軌跡を 50mメッシュで分割し、メッシュ毎の飛行軌跡頻度をカウントした。黒: 指数回帰、赤: 対数回帰、青: 累乗回帰であり、決定係数 (R^2) から累乗回帰のあてはまりがよいと判断される。なお、調査対象地域は、風力発電施設を含んでいるため、厳密には回避の効果が含まれている。

対象事業実施区域が山陵線に近接し、猛禽類等の渡りルートに相当する場合は、山陵線における飛翔特性について把握する必要がある。

とりわけ、季節別、気象条件別にみた渡りルートの変化、および飛翔高度、帆翔（ソアリング）や滑翔（グライディング）を行う場所等の分布を把握することが重要である。これらの結果をもとに対象事業実施区域における衝突リスクがどのような条件の下で高くなるのかを検討することが望ましい。

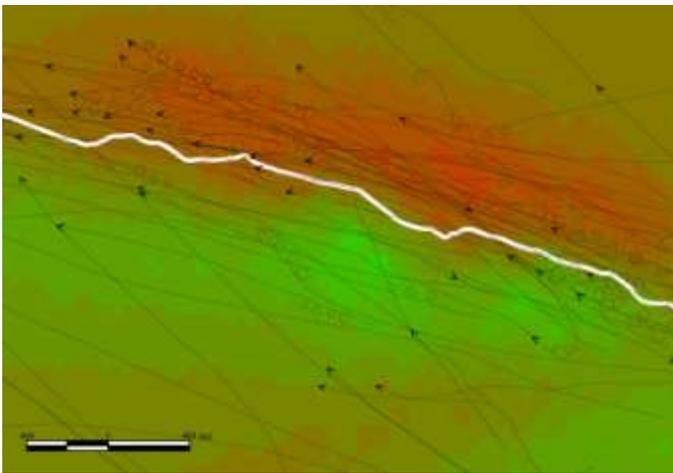
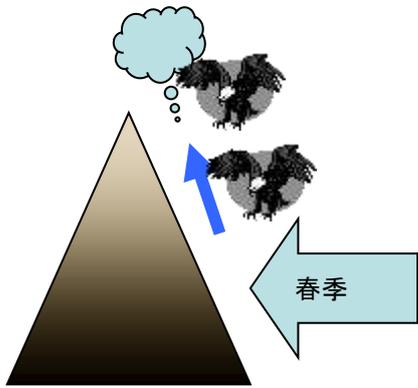
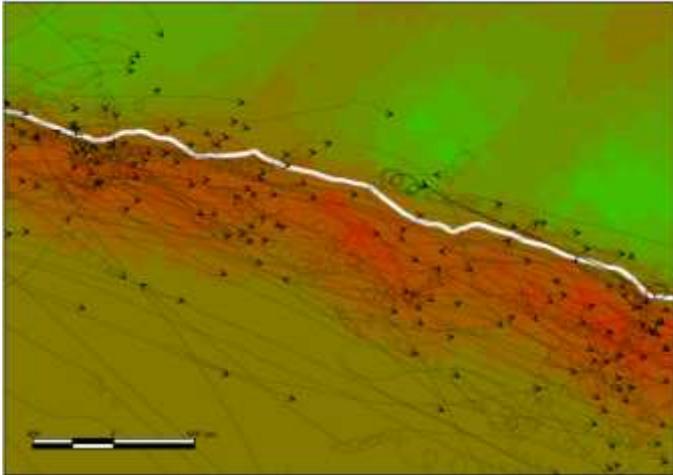
山陵線が猛禽類等の渡りルートに相当する場合、多面的な検討が必要になる。第一に、日本は季節の移り変わりがあり、主な渡り季節となる春季と秋季での卓越風向が大きく変化し、これに伴い斜面上昇流の使い分けが見られること（環境省 2009b、図 3-26）。第二に、山陵線における風力発電施設の建設前後の調査では、回避行動が見られ、渡りルートとしての機能は維持されていること（飯田ほか 2002、竹岳・向井 2004）。しかしながら、第三に、数少ないけれども山陵線で稼働している風力発電施設周辺での鳥類（トビ）死骸は報告されており（松田 2007）、風車回避に伴うエネルギー消費の増分によってもたらされる繁殖力や生存率の低下については未解明であること（Masden et al 2009）。なお、長野県では渡りルート等を想定し山陵線等の地形特性を考慮したゾーニングが行われている（長野県 中・大型風力発電施設に関し、災害や環境などの観点から影響が想定される地域のマップについて <http://www.pref.nagano.jp/kikaku/tochi/furyoku/aboutmap.pdf>）。

このため季節別、気象条件別にみた渡りルートの変化、および飛翔高度、帆翔（ソアリング）や滑翔（グライディング）を行う場所等の把握を通して、飛翔特性の把握を行い、そこから対象事業実施区域における衝突リスク等を検討する必要がある。

一例として、平成 20 年度立地適正化業務において実施した山陵線の渡り猛禽類の調査解析結果について紹介する。調査は渡りを想定し春季ならびに秋季に延べ 5 日間実施した。調査の結果、渡り猛禽類は、主風向に対して直線方向に延びる山陵線の斜面を季節によって使い分けていた。これらの特性は、観測期間における気流シミュレーションの鉛直流分布とよく対応した（図 3-26）。

このような山陵線上に風力発電施設を立地することを想定したとき、一方の斜面に沿って飛翔するよりも山陵線を越えようとする場合に衝突リスクが発生すると考えられる。そこで、山陵線を越える頻度を GIS 上で計算した。山陵線から両側 2000m（片側 1000m）の範囲を解析範囲とし、そこに含まれる全飛翔数をカウントした。次に、山陵線を越える飛翔軌跡頻度をカウントし、全飛翔数で除し、山越え比率を求めたところ、表 3-10 の結果が得られた。風車の回転域を飛翔しながら山越えをする比率は、猛禽類 A について春季 4～8%、秋季 0～7%、猛禽類 B について春季 2～10%、秋季は 0～3%であった。なお、国立・国定公園における立地に際しては、「眺望対象である山稜線など景観上目立つ場所への立地を回避する」「山稜線を分断する等眺望の対象に著しい支障を及ぼすものでないこと」（いずれも環境省 2004）とされていることから注意が必要である。

* 山陵(線)は谷と谷に挟まれた山地の一番高い部分が連続している様を表現した。尾根、山陵、稜線と同義。



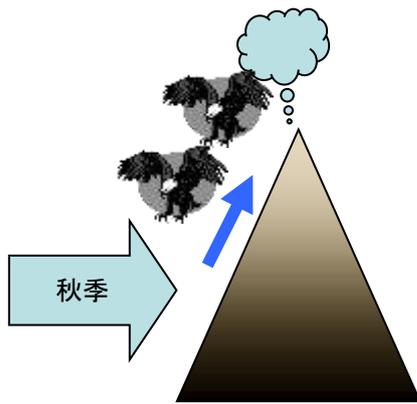


図 3-26 山陵線における猛禽類の渡りと気流シミュレーション結果

シミュレーションは地表 60mの鉛直流、暖色は上昇流、寒色は下降流。猛禽類は高度(L、M、H)をすべて掲載。白線は山陵線。

表 3-10 渡り猛禽類における山陵線越え頻度等

猛禽類 A	高度	春	秋	猛禽類 B	高度	春	秋
①山陵域飛翔数*	H	35	11	①山陵域飛翔数*	H	47	62
	M	25	3		M	68	18
	L	41	1		L	77	6
	計	101	15		計	192	86
②山陵線横断数	H	7	3	②山陵線横断数	H	17	26
	M	4	1		M	20	3
	L	8	0		L	3	0
③山越え比率 (②÷計)	H	0.07	0.2	③山越え比率 (②÷計)	H	0.09	0.3
	M	0.04	0.07		M	0.1	0.03
	L	0.08	0		L	0.02	0

*: 山陵線の両側 2000m(片側 1000m)を解析対象とし、飛翔頻度をカウントした。飛翔高度は風車の回転域より下(L)、風車の回転域(M)およびそれより上部(H)である。

3-5 衝突リスク評価のための鳥類調査手法

3-5-1 対象事業実施区域の特性に基づく調査手法の選定

.....計画・調査・解析・保全・事後

「3-1 既存文献等による生息概況把握」、「3-2 配慮すべき重要な地域」、ならびに「3-4 衝突リスクの高い地形条件」等を踏まえ、対象事業実施区域の特性等から、衝突リスク評価のための調査方法を選定する必要がある。

対象事業実施区域およびその周辺が鳥類保護上の重要な区域や猛禽類の行動圏、渡り経路、集結地を含む場合、それらの特性を踏まえた調査を実施する必要がある。調査項目選定表を表 3-11 に示すとともに、より詳細な調査手法選定マトリクスを表 3-12 に示す。

なお、(渡り経路でかつ水際など)複数の要素を含む場合や、調査の途中で新たな要素が発見・確認された場合も、各条件に対応する調査手法を立案することが望まれる。

表 3-11 対象事業実施区域の特性に基づく調査対象選定表

対象事業実施区域およびその周辺は・・・	該当する章	望まれる調査項目
1) 希少猛禽類生息地(イヌワシ、クマタカ、オオタカ等)である。	3-1-2 既存の鳥類関係情報のうち希少猛禽類の生息地 付表 A	猛禽類の行動圏に関する調査を実施することが望ましい。
2) 鳥獣保護区に指定されている。	3-1-2 既存の鳥類関係情報のうち希少猛禽類の生息地 図 3-3、表 3-3~3-4	「鳥獣の保護を図るための事業を実施するための基本的な指針」に基づき指定区分*された生息地に関する調査を実施することが望ましい。
3) シギ・チドリ類渡来地湿地目録に登録されている。	3-1-2 既存の鳥類関係情報のうちシギ・チドリ類渡来地湿地目録・シギ・チドリ類重要渡来地域 表 3-5~表 3-6	渡り経路、集結地、餌場と休息地の移動経路等に関する調査を実施することが望ましい。
4) シギ・チドリ類重要渡来地域に指定されている。		
5) ラムサール条約湿地に登録されている。		
6) 渡り経路、集結地、餌場と休息地の移動経路等である。	3-2 配慮すべき重要な地域のうち 3-2-1 渡り経路 図 3-5~3-16 付表 B、付表 C	
7) 水際や断崖等、衝突リスクの高い地形条件が存在する。	3-4 衝突リスクの高い地形条件のうち 3-4-1 水際線、3-4-2 山陵線	水際や断崖等に関する調査を実施することが望ましい。
1)~7)いずれも該当しない。		空間飛翔調査を実施することが望ましい(3-5 衝突リスク評価のための鳥類調査手法)
備考) 複数の条件が該当する。		それぞれの条件を満たす調査を実施することが望ましい。

*：森林鳥獣生息地、大規模生息地、集団渡来地、集団繁殖地、希少鳥獣生息地、生息地回廊および身近な鳥獣生息地に区分される。

表 3-12 調査手法選定マトリクス

条件	対象種群	既存データ等	空間飛翔調査	飛翔軌跡調査	船舶レーダ	セオドライト	レーダ距離計	月面調査 鳴き声調査	GIS解析	衝突 確率モデル	気流調査
保護上重要な地域	イヌワシ・クマタカ	生息分布2次メッシュ	●	●※	—	○	—	—	●※	●	○
保護上重要な地域	シギ・チドリ等をはじめとする水鳥類	渡来登録湿地、重要渡来地、ラムサール条約登録地を含む2次メッシュ	●	●	○	○	○	—	●集結、採餌、休息、飛翔経路等を整理	●	—
渡り経路	猛禽類(サシバ、ハチクマ、ノスリ、アカハラダカ)	渡り経路2次メッシュ	●	●	○	○	—	—	●帆翔、滑翔、休息場所等を整理	●	○
渡り集結地	ガン・カモ類、ハクチョウ類	渡り集結地2次メッシュ	●	●	○	○	○	—	●飛翔ルート等を整理	●	—
断崖	オジロワシ・オオワシ、水鳥類	オオワシ、オオワシについては秋渡り、春渡りの2次メッシュ	●	●	○	○	○	—	●断崖からの減衰曲線を作成	●	○
水際線	鳥類全般	—	●	●	○	—	—	—	●水際からの減衰曲線を作成	●	—
山稜線	渡り猛禽類	渡り経路2次メッシュ	●	●	—	—	—	—	●帆翔、滑翔、休息場所等を整理	●	○
その他(猛禽類)	オオタカ等の猛禽類	オオタカについては、生息分布2次メッシュ 地元自治体関係部署 鳥類に関する有識者	●	●※	—	—	—	—	●※、※※	●	—
その他(オジロワシ・オオワシ)	越冬地(オジロワシ、オオワシ)、営巣地(オジロワシ)	越冬地については冬季2次メッシュ 鳥類に関する有識者	●	●	—	○	○	—	●日中の行動圏等を整理	●	○
その他(夜間の渡り)	主に小鳥類	鳥類に関する有識者	—	—	○	—	—	○	—	—	—
上記に近接もしくは上記どれにも該当なし	鳥類全般	—	●	○	○	○	○	○	—	○	○

●:実施することが望ましい ○:必要に応じて実施することが望ましい

※:改訂版「猛禽類保護の進め方」に準ずる

※※:オオタカ保護指針策定調査の結果について(環境省 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=6600>)に分布情報等が掲載されている)

3-5-2 鳥類調査の対象、方法および結果の整理

・・・計画・**調査**・解析・保全・事後

鳥類調査手法は、「3-5-1 対象事業実施区域の特性に基づく調査手法の選定」に沿って、対象種群、地形条件等に応じて定められたい。それらの調査においては、衝突リスクを解析、予測・評価するのに適した定量的な手法を用いることが望ましい。

対象事業実施区域の特性に基づき、調査の対象を選定したのち、その対象に特徴的な鳥類種群、地形条件に応じた調査計画、調査方法、調査結果の整理方法を検討する(表 3- 13)。

表 3- 13 対象種群、地形条件に応じた調査方法、結果の整理方法(例)

対象種群、地形条件等	調査方法	調査結果の整理(例)
留鳥性猛禽類	改訂版「猛禽類保護の進め方」に準じ、行動圏の調査を行い、営巣地や餌場等の確認を行う。	生息(営巣)地の機能を維持するため、衝突リスクを解析、予測・評価し、必要に応じて環境影響を回避・低減する保全措置をとる。検討すべき保全措置として、風車の配列・位置の工夫、彩色、案山子・鳥避けテープ、植生管理、視程障害対策等が考えられる。
渡りの経路、渡り集結地(中継地)	渡りのルートおよび集結地(中継地)の調査を行う。必要に応じて、飛翔軌跡の空間調査、船舶レーダ調査を併用する。	渡りルートや集結(中継)地の機能を維持するため、衝突リスクを解析、予測・評価し、必要に応じて環境影響を回避・低減する保全措置をとる。検討すべき保全措置として風車の配列・位置の工夫、レーダ監視システム、彩色、ライトアップを行う場合は弾力的な管理運用、視程障害対策等が考えられる。
餌場と休息地の移動	移動経路の調査を行う。必要に応じて、飛翔軌跡の空間調査、船舶レーダ調査を併用する。	餌場と休息地の移動機能を維持するため、衝突リスクを解析、予測・評価し、必要に応じて環境影響を回避・低減する保全措置をとる。検討すべき保全措置として風車の配列・位置の工夫、レーダ監視システム、彩色、視程障害対策等が考えられる。
水域、断崖	水域や断崖の利用状況を把握する。	衝突リスクを解析、予測・評価し、必要に応じて環境影響を回避・低減する保全措置をとる。検討すべき保全措置として風車の配列・位置の工夫、彩色等が考えられる。
その他	単位時間/面積あたりの利用状況を調査する。	衝突リスクを解析、予測・評価し、必要に応じて環境影響を回避・低減する保全措置をとる。検討すべき保全措置として風車の配列・位置の工夫、彩色等が考えられる。

a. 定量的調査手法

衝突リスクは「鳥類の風車への接触(衝突)の可能性」と定義される。したがって、本書における調査は可能な限り定量的に実施されるべきである。具体的には、対象事業実施区域における単位面積(もしくは空間)当たりの飛翔頻度や軌跡の情報を整理することが可能な手法を採用する必要があり、その例を表 3-14 に示す。もちろん、これらの手法に限定される必要はなく、時空間単位での観測結果が得られるよう、対象事業実施区域の特性に応じて工夫すればよい。

調査時期・期間については、対象事業実施区域における単位面積(もしくは空間)当たりの飛翔頻度や軌跡を把握しうる時期・時間となるが、猛禽類であれば「猛禽類保護の進め方」*(環境庁 1996)、渡り経路等に関するものであれば 3-2-1 渡り経路等に関する資料等、小鳥類に関するものであれば、参考資料(6)小鳥の渡りの地域による違い等、を参考にしつつ、飛翔状況を的確に把握できる調査時期・期間を定める必要がある。

表 3-14 定量的調査手法の例

調査手法	概要	特徴・課題
空間飛翔調査	Morrison (1998) による「Avian risk and fatality protocol」、米国カリフォルニア州のガイドライン (California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development, 2007) 等に準じたもの。対象事業実施区域を複数の高度に区分し、一定時間内にそれぞれの高度を利用した鳥類をカウントする。	[特徴]調査方法が分かりやすく、容易である。 [課題]短時間観測を繰り返すため、データを蓄積するまである程度の時間を必要とする。 不十分な場合は、偶然性に左右されやすく、代表性が得られにくい。 また樹林地等では見晴らしがきかず、調査が困難になる場合もある。
飛翔軌跡調査	猛禽類の行動圏調査等で用いられている調査手法。調査地に複数の定点(調査員)を配置し、飛翔する鳥類を目視等で観察し、地図上にトレースしていくもの。その際、飛翔高度情報を付加する。	[特徴]猛禽類調査に準じているため、調査方法が分かりやすく、導入が容易である。 [特徴]飛翔トレースが地図に示されるため視覚的に把握しやすく、GIS 解析も容易である。 [課題]高度情報は後述する測器を用いたものに比べると精度が低い。 [課題]中、大型鳥類が対象。小型鳥類は見落とし率が高い。

なお、鳥類相を網羅的に把握するためには対象事業実施区域を広く任意踏査する必要がある。そのような任意踏査は風力発電を含む開発事業全般において一般的に用いられる手法であることから、本書で詳細は記載しない。

空間飛翔調査

対象事業実施区域における空間の鳥類飛翔量(利用量)を推定するものである。対象事業実施区域が均一な環境の場合、推定は容易であろう。しかしながら、実施区域が様々な環境を含む場合、各環境で飛翔量を観測し、実施区域の飛翔量(利用量)を推定する等の工夫が必要となる(たとえば、植生・地形・風車予定地等で類型区分し、類型区分別に調査地点を定める等)。調査者は一定時間内に飛翔した鳥類を観察・記録する(図 3-27)。観察には目視および双眼鏡を用い、出

* 現在(平成 22 年 3 月)改訂中である

現した種、個体数、高度、時刻、行動状況等を記録する。調査時間は地点毎に30分間を目安とする。計画段階であると、風車が建設されていないため飛翔高度の把握は難しいが、たとえば、Morrison(1998)では、高度を4区分し、それぞれ A(明らかにブレード回転領域内)、B(回転域の縁)、C(十分に回転域より低空)、D(十分に回転域より高空)等とし、周辺に風況観測タワー等がある場合、一定時間毎にそれを参照するなどして、高度感覚の補正をおこなうとしている。

調査期間については、環境省(2008a, 2009a, 2010a)では毎月1回(1回につき原則2日間)2年間実施したが、カリフォルニア州ガイドラインのBUC(鳥類飛来頻度: Bird Use Count)は、週に1回、30分のBUCの通年調査を求めている(和訳は環境省 2008e)。北野(Kitano2009)は、調査区域を断崖、丘陵地、山地に区分した上で、数地点を設定し、1年4ヶ月の調査期間で、1地点あたり延べ50時間の飛翔調査を実施している(表3-15)。

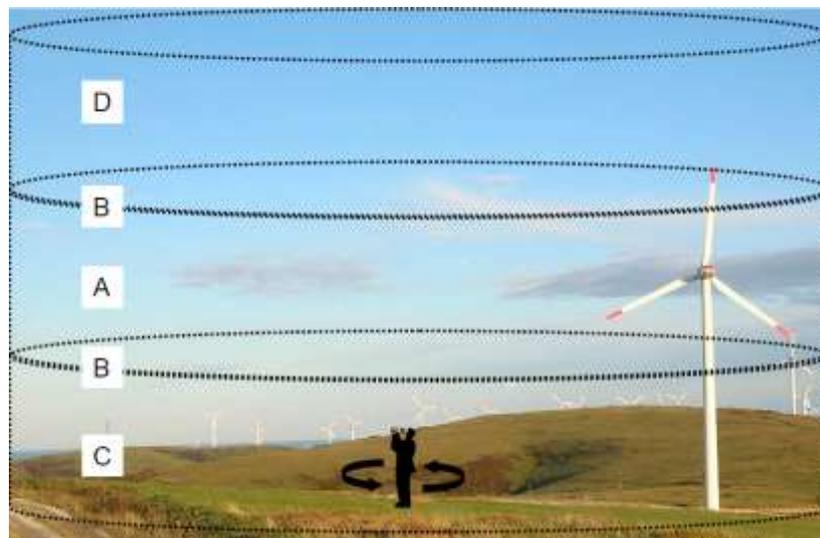


図 3- 27 Morrison (1998)に基づく高度区分の例

表 3- 15 空間飛翔調査(利用状況調査)手法の概略

	調査期間・頻度	調査地点(数)	調査項目
カリフォルニア州ガイドライン	日中の時間帯のほとんど、気象状況を網羅しつつ、1回/週、30分間を1年間。	何もさえぎるものがなく、周囲の地形を見渡せる地点。地点数は1平方マイル(2.6平方キロ)につき1~1.5個。	種類、個体数、距離、高度等を短い間隔(たとえば30秒毎)に記録。
スモールウッド・日本野鳥の会	定点カウントは3~10分、目視調査は10分~30分。	建設予定地や既存の風車を見渡せる場所、半径800m~無限遠。	範囲を定めず、見える範囲の鳥類の確認位置を1分間毎にプロットする。
Morrison(1998)	施設計画の大きさ、想定される鳥類衝突、経費等によって定める。理論上、サンプリング間隔は1年間を通して、2週間に1回である。	地形条件と配置計画案に基づくが、ひとつもしくは複数の施設を同時に調査できる場所。	地点番号と環境条件を記録し、そののち正確に30分間にわたって飛翔通過するすべての鳥類を記録する。複数地点の場合は、観測時刻、気象条件等が最終的に均一になるよう調査の順序を調整すること。
環境省(2008a,2009a,2010a)	毎月1回、1地点につき、30分を2回とし、2年間実施した。	風車施設毎とし、半径をブレードの2倍、高さをハブ高にブレード半径の2倍を加えた円柱空間とした。	円柱を高度別に区分し、各高度を通過した個体数をカウントした。

飛行軌跡調査

定点調査を基本とする。各定点に調査員を配置し、相互に連絡を取りながら出現位置や飛行軌跡を地図上に記録する。飛行が確認された場合は、確認時刻、種名、飛行高度(L:地表からブレード回転域より下、M:ブレード回転域、H:ブレード回転域より上。図 3- 28)、天気、風向・風速、確認状況等を記録する。飛行高度区分の概念図をに示す。対象種は中～大型鳥類(ハト以上の大きさのもの)とする。

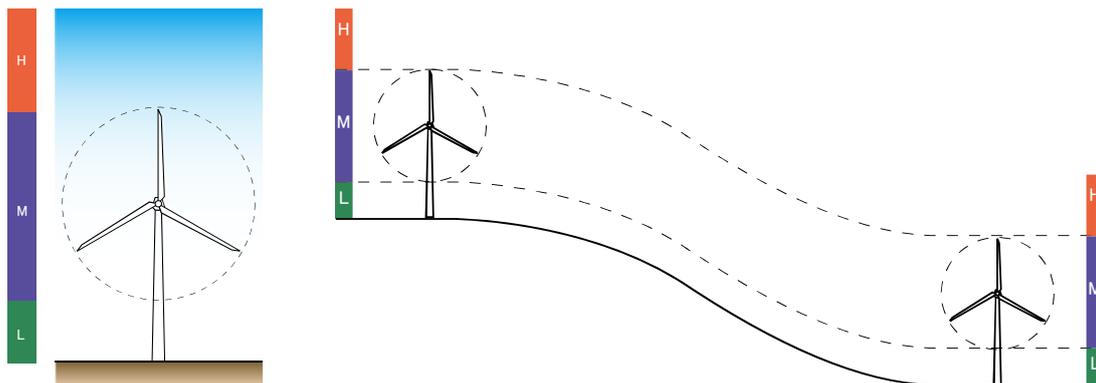


図 3- 28 飛行高度の区分の概念図

風力発電施設における鳥類調査手法については、日本野鳥の会(2010)、Smallwood (2007、2008)、California Energy Commission & California Department of Fish and Game (2007)、Thomas et al. (2007)、National Wind Coordinating Committee (1999)等があげられる。

b. 飛翔高度の把握

従来、目視等による調査では、飛翔高度をはじめ断崖や山陵線からの離隔距離等を精度良く把握することが難しかった。これらは以下に述べる光学機器等によって観測できる。

携帯型レーザー距離計

長所	後述する測風経緯儀（セオドライト）よりも安価で購入することができる。 機器の操作が容易で対象物までの距離を取得できる。
短所	観測最大距離は、数十～数百 m 程度であり、後述のセオドライトに比較すると短い（一部を除く）。 連続記録ができない（一部を除く）。 小鳥類の捕捉は困難

主に赤外線レーザーを用いて、対象物までの距離を計測するもの。用途に併せて様々な機器が開発・販売されている。本来は動かない目標物が対象であるが、飛翔中の大型鳥類への観測を試みたところ、一定の成果を得た(3-2-3 ガン類の集結地における飛翔高度、植田・嶋田 2009)。同調査で用いられた機材(Nikon 社製レーザー500G)は対象物までの距離計であり、斜め前方を飛翔する鳥類の高度を測るためには、別途角度を求める必要があった。現在は、角度計が内蔵された距離計も販売されており(たとえば、Nikon 社製レーザー 550AS など)、「直線距離」「水平距離」「高さ」「角度」等が測定可能になっている。

参考 URL

株式会社シロ産業 <http://www.webshiro.com/p04-17sokukyori.htm>

株式会社阪神交易 <http://www.hanshinco.com/lrf.html>

株式会社ニコン <http://shop.nikon-image.com/front/ItemSummaryRefer.do?cateId=6200>

測風経緯儀(セオドライト)

長所	<p>飛翔軌跡を連続追跡（3次元座標）ができるため、構造物や特定の地形との距離を精度良く把握できる。</p> <p>二台観測の原理から、対象物を正確に捕捉していない場合でも補正ができる。</p> <p>飛翔速度は「資料(11)～(12)衝突確率モデル」のパラメタとして採用できる。</p>
短所	<p>機器が高価であり、2地点分（2台）必要である。</p> <p>機器操作に習熟が必要である。</p> <p>通常観測では、1地点につきセオドライト操作員と鳥類観測員の2名を必要とするため、合計4名（2地点）を必要とする。</p> <p>群れて飛翔する鳥類については、その中の1個体しか追跡できないため、捕捉率が下がる。</p> <p>小鳥類の捕捉・追跡は困難である。</p>

気象観測における気球2点観測法を応用したものである。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個体を捕捉することで、空間座標(東西方向、南北方向、高度)を求めるものである。図3-29に概略図を示す。

現在、セオドライトは、測量用(レーザ)のものが主流である。国内で気象観測用のものはタマヤ計測システム株式会社での製造のみとなっている(<http://www.tamaya-technics.com/td-4.html>)。

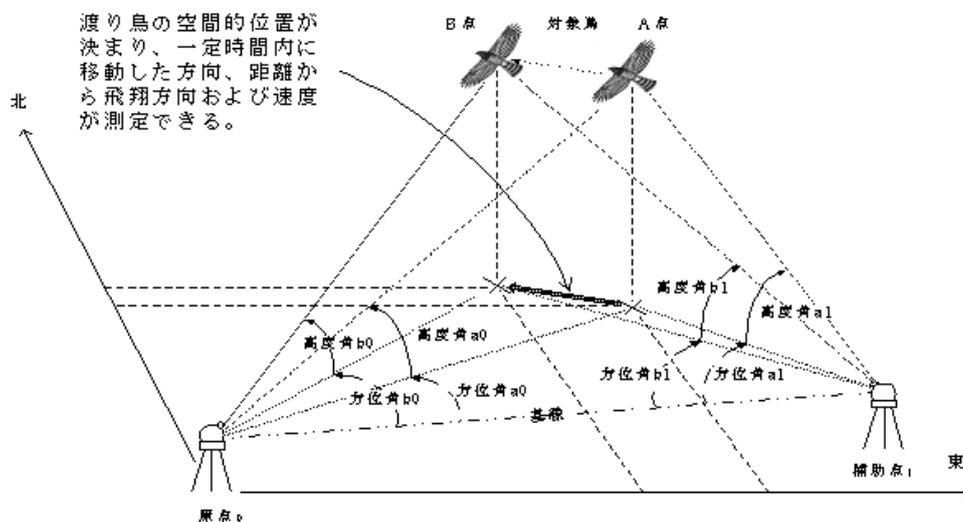


図3-29 セオドライトによる鳥類の飛翔経路測定

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。2地点から同時に同一個体を観測するためには個体識別が重要になる。捕捉作業に入る前に、トランシーバを用いて、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、捕捉作業を開始する必要がある。通常の連続観測の場合2秒間隔となる。参考事例として、平成20年度の早春季に実施したオ

ジロワシ、オオワシの追跡事例を図 3- 30 に、オジロワシの飛行高度・速度を図 3- 31 に示す(詳細は環境省 2009b)。

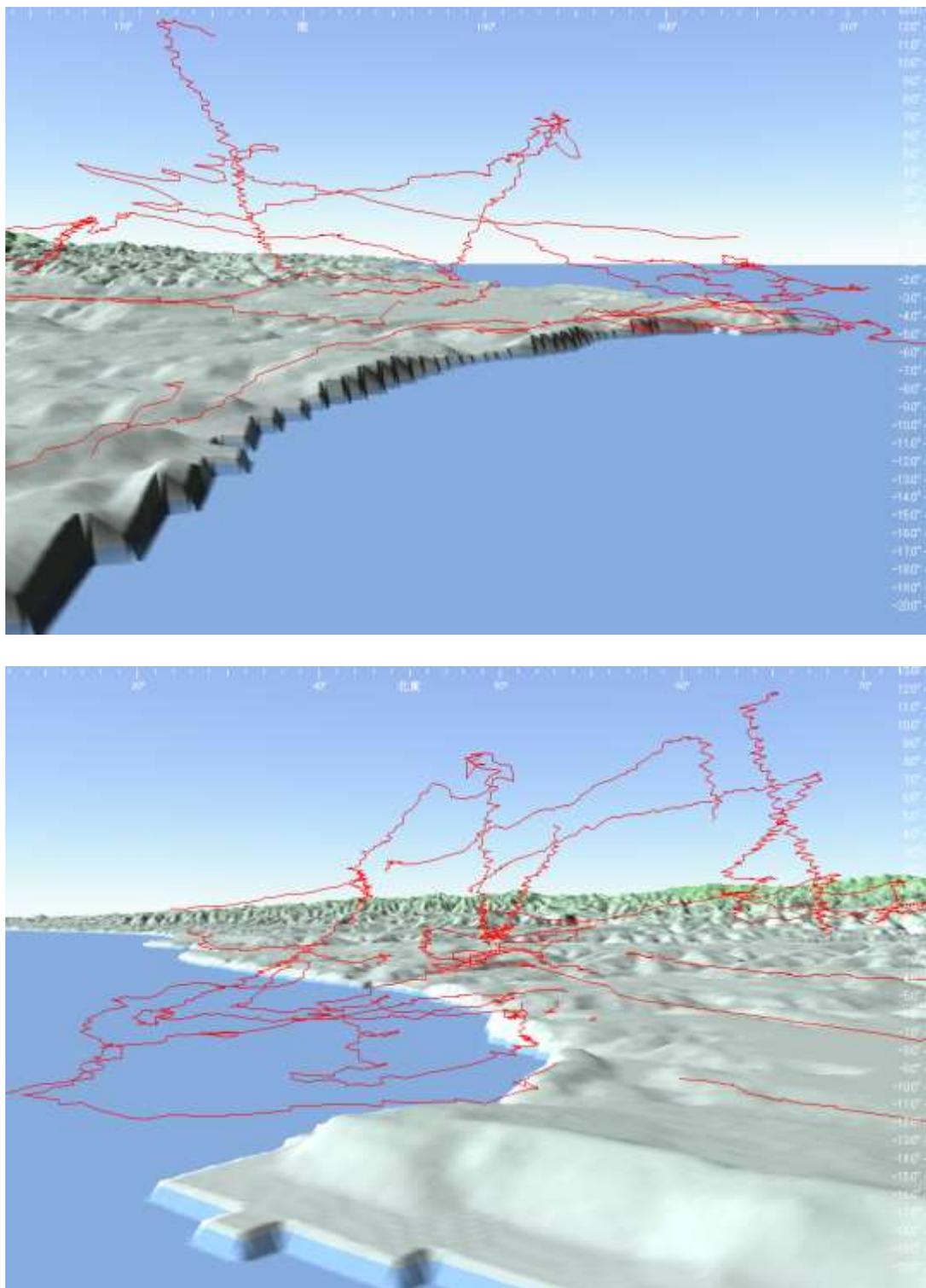


図 3- 30 オジロワシ、オオワシの飛行軌跡図(3D ソフトウェア・カシミールにて作成)

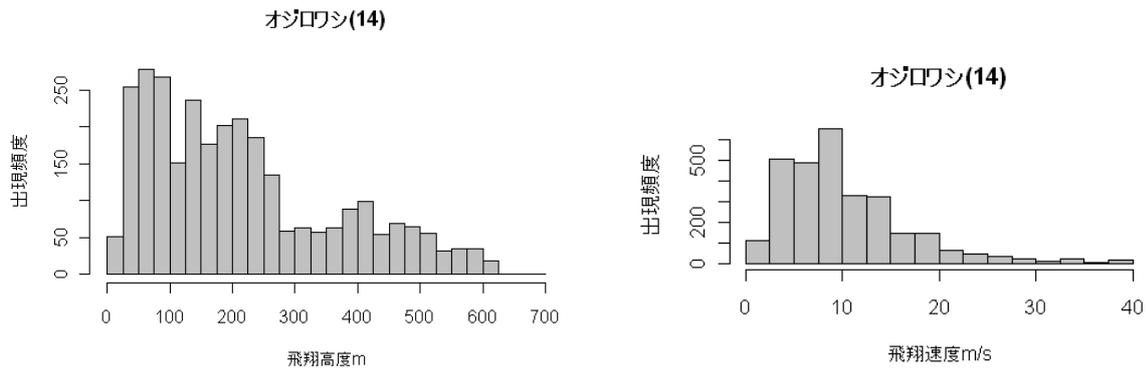


図 3- 31 オジロワシの飛翔高度(左)と対地飛翔速度(右)

環境省(2009b)より抜粋、種名横の括弧内は追跡事例数。
2秒毎の観測結果から飛翔高度と対地飛翔速度の度数分布図を作成した。

このほかにセオドライトによる追跡調査報告は、島田 (2002)、島田ほか(2003)、飯田ほか(2002)、竹岳・向井(2004))がある。

c. 小鳥類の渡り(夜間調査)

国内において、小鳥類の渡りに関する情報はほとんどなかった。しかしながら、植田ほか(2008)が気象レーダと船舶レーダ等を併用して渡り鳥の映像を識別することに成功してから、小鳥の渡りの状況が徐々に明らかになりつつある。

早朝の渡りについては、目視および鳴き声の聞き取りが簡単でかつ効果的な方法だが、夜間でも用いることはできず、その他の調査手法にも、一長一短がある。

推奨される調査時期等を表 3- 16、調査手法を表 3- 17 にそれぞれ示す。

表 3- 16 小鳥類の調査時期、調査時刻および天候

項目	概要
調査時期	渡りは春と秋を中心に行われるが、その季節的なパターンは地域によって異なっている。例えば、日本海側では春にも多くの鳥が渡るが太平洋側はそれほどでもない。気象レーダに映るエコーの状況より各地域の渡りのパターンが分かっているため、近隣の地域での渡りの状況を参考に調査時期を決めることが望まれる(付表 D ウィンドプロファイラによる鳥エコー出現状況)。
調査時刻	小鳥類の渡りは夜間に多いことがわかっている。また、渡りは日没後 1～2 時間後に本格化し、夜半から減少する。したがって、日没後 1～2 時間後から夜半にかけての時間帯に調査するとよい。ただし、夜明けにもピークが生じる場所もある。また夜間と早朝では渡っていく鳥の種が異なっているため、早朝にピークが見られない場所でも、調査を実施しておくことが望まれる。
調査時の天候	雨天の渡りは少ない。追い風(春なら南系の風、秋なら北系の風)が吹くことの多い地域では、追い風の吹いている日に、あまり吹かない地域では風の弱い日に多く渡ることが知られている。したがって、そのような天候時に調査を行えば、より多くの記録を得ることができる。

環境省(2008d)および植田ほか(2008)によれば、気象庁ウィンドプロファイラの鳥エコー頻度と 4 種類の野外調査手法(夜間の鳴き声調査、早朝の通過鳥調査、月面通過鳥調査、船舶レーダ調査)はいずれの手法で得た鳥の飛行頻度の結果とも有意な正の相関が認められた。このことから、ウィンドプロファイラの鳥エコーは、実際の鳥類からの反射であって、時期および行動から渡りの頻度を反映している、と結論した。ただし、船舶レーダの結果のうち早朝のものは船舶レーダで捉えた鳥の数と比べて、「鳥エコー頻度」が低い傾向にあり、早朝におけるウィンドプロファイラの「鳥エコー頻度」は鳥の渡りを過小評価している、と考察している。

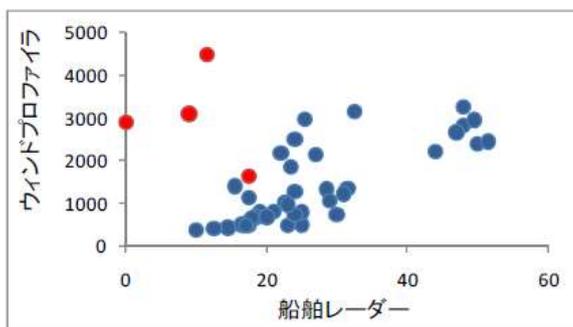


図 3- 32 ウィンドプロファイラと船舶レーダの渡り鳥エコー頻度の比較(1 時間値:環境省 2008d)

Kendall の順位相関 P=0.0004 最下図の赤い丸は、朝 6 時以降のデータを示す

表 3-17 夜間における小鳥類の渡り調査手法

調査手法	概略
船舶レーダ	<p>船舶レーダ上に映る鳥類からの反射エコーを数える方法である。2km程度の範囲の鳥類を捕捉することができ、霧が出ていても観測が可能のため、対象事業実施区域およびその周辺における渡りの規模を知る上では最も効率的な手法である。通常は水平回転だが、縦回転にすれば飛翔高度の観測も可能になる。</p> <p>「3-7-4 弾力的な運用管理」で開発されたシステムを用いれば、記録データは自動処理され、その後の処理も容易である。</p> <p>ただし、機材の使用とその許可が簡単でないこと、近距離（レーダ設置位置から半径十数m程度）の記録はできないこと、種の特定制ができないこと、降雪・降雨は反射障害になるなどの問題がある。</p> <p>実際に船舶レーダを設置する場合には、電波法により「無線局の開設」に関する総務大臣の免許を必要とするほか、その操作にあたっては無線技師免許等が必要である。</p>
鳴声の聞き取りの調査	<p>夜間に渡る小鳥類は、飛翔中に鳴き声を発することが多いため、その声を聞き取り・記録する方法である。特別な機材を必要とせず、種の識別が可能なのが利点である。</p> <p>しかしながら、小鳥が上空を通過したときに必ずしも鳴くとは限らないこと、周辺の騒音等の影響を受けると高高度の鳴き声は聞き取れないことから、定量的な調査には不向きである。</p>
鳴き声の録音・解析調査	<p>指向性の高い集音マイクで鳴き声をサンプリングし、スペクトル解析をすることで種の判定、個体数を推定するものである。米国では様々なデバイスが開発されているが、国内における風力発電事業での調査実績はない。</p>
月面を通過する鳥のビデオ録画	<p>月面をビデオで録画し、その前面を通過していく鳥類を数える（ビデオ録画する）方法である。数を把握する上では効率的な手法といえる。</p> <p>しかしながら、月が出ていない時には使用できないこと、月を録画し続けるには自動追尾装置が必要なこと、種の識別が困難なことが欠点である。</p>
赤外線サーモグラフィによる調査	<p>温度の違いを映像として記録することのできる赤外線サーモグラフィ（によるビデオ録画）を使用して、周辺を通過する鳥類（恒温動物）を記録する。分解能が低く近傍を通過する鳥類しか記録できないこと、機材費が高いこと、種の識別が困難なこと等が欠点である。風車近傍を飛翔する鳥類（あるいはコウモリ）の概数を把握するという目的には合致する。</p>

レーダについては、適正整備推進事業のなかで、船舶レーダによる警戒システムが開発された（3-7-4 弾力的な運用管理も参照）。一例としてライトアップに対する鳥類の反応を調査した（詳細は、環境省 2009a）。同調査で得られた画像を図 3-33 に示す。船舶レーダを使用する際には、方位分解能、距離分解能、高度分解能（垂直ビーム幅）について理解を深める必要がある。レーダは万能ではなく、種の判別は難しく、レーダに映った鳥エコーが個体か群れか等は、距離分解能を考慮せねばならない。これについては参考資料(9)を参照されたい。

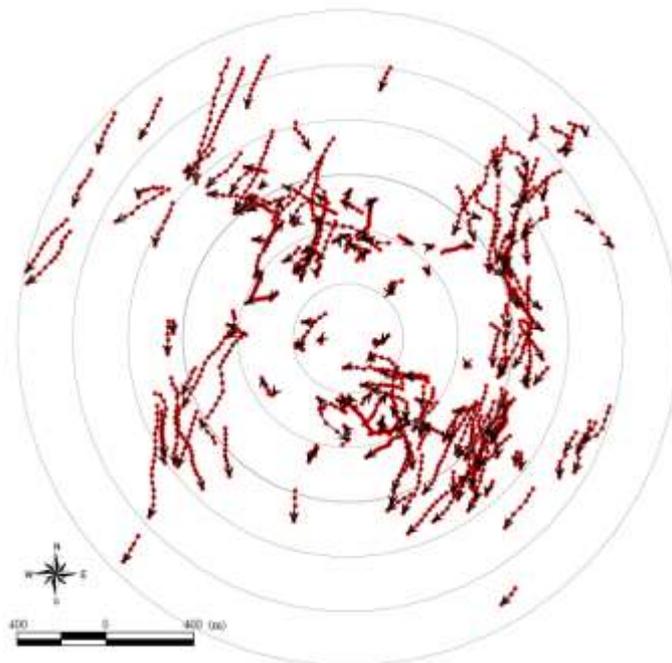
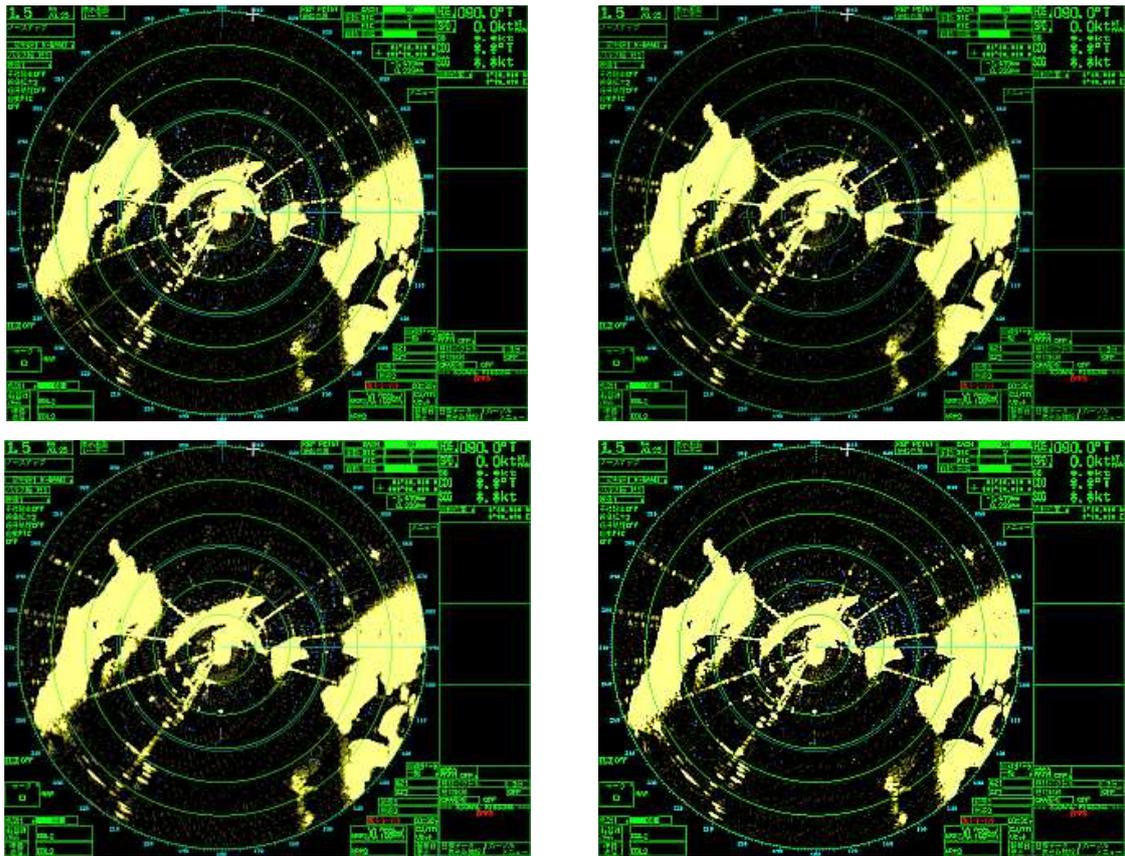


図 3-33 船舶レーダによって得られた画像群(上 4 枚)と抽出された鳥エコー(下)

128 枚×2.5 秒=5.3 分間で得られた画像から鳥類を抽出した。画像は、その中から 1 枚目(左上)、32 枚目(右上)、64 枚目(中左)および 96 枚目(中右)。画像解析によって延べ約 200 の鳥エコーが抽出された(下)。秋季の夜間調査であり、鳥エコー軌跡の大部分が南西方向に向かうことに注目されたい。

船舶レーダを用いた鳥類調査については、国内では伊藤・小城（1999）、宗田（2004）、植田ほか（2008）等にとどまるのに対して、海外では広く用いられている。船舶レーダに代表される遠隔装置による観測手法を紹介した総説として、Desholm et al（2006）をあげておく。

3-6 衝突リスク解析[計画時]

3-6-1 衝突リスク解析

.....計画・調査・**解析**・保全・事後

衝突リスク解析とは、調査結果を用いて「風車への接触（衝突）の可能性を解析すること」をいう。解析例として「①衝突確率モデル等を用いた衝突数の予測」、「②飛翔頻度の高い地域の把握（飛翔ポテンシャルマップ）」、供用後ならば死骸調査を踏まえた「③衝突数の推定、衝突リスク指数の把握」、「④衝突リスクポテンシャルマップ」等を参考にされたい。

前述したとおり、衝突率は飛翔頻度に依存すると考えられるため、飛翔頻度を用いて衝突数の予測を試みることは衝突リスク解析のひとつといえる（＝衝突確率モデル）。したがって、飛翔頻度の多い場所、地形、地域は、頻度の少ない場所に比べ、相対的に衝突リスクが高くなることが予想される。飛翔頻度が主に地形条件等の環境要因に依存するなら、そのような環境要因を抽出・整理することで、衝突リスクの高い場所を把握することができるだろう（＝飛翔ポテンシャルマップ）。

事後（死骸）調査で衝突数が判明すれば（＝衝突数の推定）、衝突リスク指数＝推定衝突数/飛翔頻度 と定義することで、衝突しやすい、または衝突しにくい鳥類種の把握が可能になる。さらに、死骸が発見された場所の地形条件を解析することによって、飛翔頻度の高い地形条件を把握することができるだろう（＝衝突リスクポテンシャルマップ）。

3-6-2 衝突確率モデルを用いた衝突回数計算

.....計画・調査・**解析**・保全・事後

衝突確率モデルを用いることで予測衝突回数を得られることから、保全措置の検討や利害関係者間におけるリスクコミュニケーションが必要とされる場合、有効である。その際、計算にあたって採用した確率モデルやそのパラメータについての説明が必要である。数理モデルの取り扱いに不慣れな場合は、専門家の指導を受けることが望まれる。モデルの精度を野外で検証した例はみあたらない。予測結果を検証し、精度を上げるためにも、事後調査によりデータを収集する必要がある。

風車への衝突回数を予測するため、衝突確率モデルがいくつか考案されている。それらのモデルの特徴は、対象とする種が回転する風車のブレードを通過しようとする時に、ブレードに接触（衝突）する確率等から、衝突回数を求めるものである。現時点で、計算手順が詳細に示されているのは、海外では Scottish Natural Heritage が作成した Bird collision risks guidance、国内では由井・島田(2013)であり、その他 Sugimoto & Matsuda (2011) がガンカモ類を対象にした衝突確率モデルを提案している（参考資料（11））。

平成 26 年時点で、モデルの精度を野外で検証した例はほとんどなく、汎用性の高いモデルも提唱されていないため、本書では参考資料（12）に具体的な計算事例を紹介している。また、リスクコミュニケーションにおいては、解析にあたって採用した確率モデルや回避率等のパラメータについて十分な説明が必要である。予測結果を検証し、精度を上げるためにも、事後調査によりデータを収集する必要がある。

なお、参考資料(12)の計算事例ではいくつかの仮定を置いている。①風速の強弱に伴うブレー

ド回転速度の変動は考慮せず、常に定格で回転すると仮定している、②様々な角度からの突入(斜め衝突)を考慮せず、ブレード面に対して常に垂直に突入すると仮定している、③飛翔軌跡はメッシュで切断した時点で、メッシュ毎に独立していること、である。

上記文献のうち、①と②を考慮しているのは、由井・島田(2013)のみである。Sugimoto & Matsuda (2011)及び Scottish Natural Heritage が作成した Bird collision risks guidance は①と②を考慮していない。なお、Holmstrom et al. (2011)は、Band et al. (2007)を補足して斜め衝突を扱っている。

衝突メカニズムの解明も十分でなく、野外調査によるモデルの精度検証もなされていないため、各モデルの精度評価を行うことは難しい。今後、複数のモデルの精度を比較検証することが重要となる。

3-6-3 飛翔頻度の高い地域、衝突リスクの高い地形条件の把握

.....計画・調査・**解析**・保全・事後

飛翔調査結果と地形要因等から、統計モデルを用いてメッシュ解析を行い、飛翔ポテンシャルマップの作成を試みることは、飛翔ポテンシャルに寄与する環境要因(＝地形要因)を検討する上で、有益な情報が得られる可能性がある。

統計モデルにおいて、応答変数(飛翔軌跡)は、(様々な環境要因)の説明変数の関数として説明される。一般に、重回帰モデルやポアソン回帰モデルなどが知られているが、飛翔軌跡は空間的自己相関*を伴うことがある。これを回避するためには、空間的自己相関が解消されるメッシュサイズ**で解析を行うか、空間的自己相関を考慮した統計モデルを用いる。これには空間的自己回帰モデル(SAR)や地理加重回帰モデル(GWR)等があるが、結果の解釈は難しくなる。

また、供用後の事後調査(死骸調査)等の調査結果から、衝突事象の発生しやすい地形条件をあらゆる衝突リスクポテンシャルマップの作成も可能である。これについてはエントロピー最大化モデル(maxent)等も勧められる。

本解析は、GIS(Geographic Information System:地理情報システム)に関する基本的な知識・技術を必要とする。解析手順の概要を表 3- 19 に、基礎データ整備を次頁以降に、それを用いた統計モデル(重回帰、ポアソン回帰、SAR および GWR)については参考資料(14)に示した。供用後の死骸調査結果を用いた統計モデル(maxent)についても参考資料(22)に記した。なお、空間的自己相関については、研究の途上であることを付け加えておく(たとえば尾崎・工藤 2002、百瀬 2009、藤田 2009)。

統計モデルを作成するための基礎データ整備

本解析を進めるにあたっては、GIS ソフトウェアと統計処理ソフトウェアを必要とする。本書においては、前者は SuperMapDeskpro、後者はオープンソースの統計解析システム(R)を用いたが、後述

* 空間的自己相関:ある空間スケールにおいて隣接する場所で類似パターンがあらわれること。飛翔軌跡をメッシュ解析すると、軌跡上のメッシュは連続(隣接)することとなるため、空間的自己相関が生じる。

** モラン統計量などを指標として、メッシュサイズを段階的に変更し、ランダム分布に近づいてきた頃合いをみて、そのメッシュサイズで解析すると、空間的自己相関の影響を軽減して処理することができる。

する作業(ベクトル処理、ラスタ処理、ベクトル→ラスタ変換、ラスタ→ベクトル変換等)が可能なソフトウェアであればよい。

(参考 URL)

<http://supermap.jp/index.html>

<http://www.r-project.org/>

測地座標系については、測地系と(投影)座標系の組み合わせによるが(表 3- 18)、ここでは世界測地系、UTM 座標系を用いた。

表 3- 18 測地座標系

測地系	投影座標系
日本測地系 Tokyo	緯度経度
//	UTM 座標系
//	平面直角座標系
世界測地系 JGD2000(ITRF 系)	緯度経度
//	UTM 座標系
//	平面直角座標系
WGS84 系	緯度経度
//	UTM 座標系

表 3-19 解析手順の概要

項目	概要	該当ページ等
a. 飛翔軌跡データ収集	[飛翔軌跡] 現地調査から対象種の飛翔軌跡データを収集する。	本章
b. 環境要因データ収集	[地形条件] (標高、傾斜度、斜面方位) は、DEM*から作成する。 [植生] 環境省 HP もしくは現地調査からポリゴン(多角形)データとして整備する。	本章
c. データ整備	[メッシュポリゴン]メッシュ格子を用意。 [飛翔軌跡]メッシュ格子を用いて、1.の飛翔軌跡データを切断(オーバーレイ)し、メッシュの属性に飛翔軌跡頻度として加える。 [地形条件]メッシュ格子と地形条件を重ね合わせ(オーバーレイ)、メッシュ属性に地形条件データを加える。 [植生]メッシュ格子と植生を重ね合わせ、メッシュ属性に植生群落名等を加える [その他] 離岸距離、断崖線および山陵線からの一定距離圏(バッファリング)は必要に応じて求めておき、メッシュ属性に加える。	本章
d. データの検討	散布図行列を作成し、飛翔頻度とそれぞれの環境要因の分布を概括する。	本章
e. 統計モデルによる解析(1)	重回帰モデル、ポアソン回帰モデルによる解析を行う。	
f. 空間的自己相関の検討	空間的自己相関(モラン指数等)を用いて、飛翔軌跡データの検証を行う。	
g. 統計モデルによる解析(2)	空間的自己相関が認められた場合、空間的自己回帰モデル、地理加重回帰モデル等による解析を行う。	参考資料(14)
h. 解析結果の検討 (重要因子の抽出)	得られた統計モデルの結果から、飛翔頻度に影響を与える環境要因を抽出する。	
i. 飛翔ポテンシャルマップ作成	構築されたモデルを用いて、予測値を作成し、ポテンシャルマップを得る。	
j. 衝突リスクポテンシャルマップの作成	死骸の発見場所と環境要因データから、衝突の発生し易い場所を推定する。	参考資料(22)

* DEM: 数値標高モデル: Digital Elevation Model

a. 飛翔軌跡データ収集

現地調査(定点観測による)から、対象種について飛翔軌跡データを整理する。ここでは(環境省 2008b、2009b)から、丘陵地に関する猛禽類 2 種(ノスリ、トビ)の飛翔軌跡データを用いた(図 3-34)。

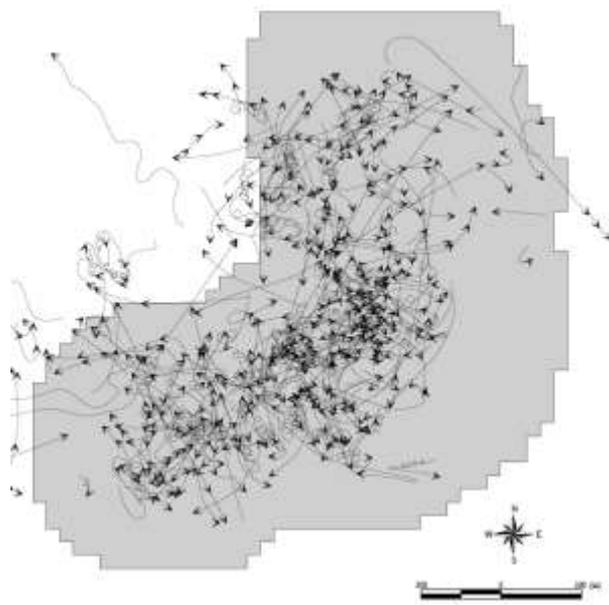


図 3-34 解析対象種群(ノスリ、トビの飛翔軌跡:環境省 2008b、環境省 2009b)

b. 環境要因データ収集

地形条件(標高、傾斜度、斜面方位等)は、DEM(数値標高モデル:Digital Elevation Model)から作成する。よく使われるDEMとして数値地図50mメッシュ、10mメッシュ等がある。DEMを用いて傾斜度や傾斜方位を作成する詳細な方法は GIS ソフトウェアによって異なるため、ここでは割愛する(GIS ソフトウェアマニュアルやサポート等で確認されたい)が、一般的な処理作業は GIS ソフトウェアへの DEM 読み込み(インポート)→標高ラスタデータの作成→傾斜度・斜面方位の作成→(標高・傾斜度・斜面方位の各ラスタを)ベクトルデータへ変換、という手順を踏む。

[数値地図 50mメッシュ(標高)]

国土地理院が発行している 2 万 5 千分 1 地形図等高線を元に作成した数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)データ。2 万 5 千分 1 地形図を、経度方向および緯度方向に 200 等分して得られる各方眼の中心の標高が記録されている。標高の間隔は、実距離で約 50m×約 50m であることから、このように呼ばれる。同様の処理で作成された 250mメッシュ(標高)等もある。

(参考 URL)

国土地理院「数値地図 50mメッシュ(標高)について」

<http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dem50m-index.html>

国土地理院「数値地図 250mメッシュ(標高)について」

<http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dem250m-index.html>

[基盤地図情報]

地理空間情報活用推進基本法の施行を受けて、基盤地図情報の整備が進められており、10mメッシュ標高ならびに5mメッシュ標高が利用可能である。

(参考 URL)

国土地理院「基盤地図情報 ダウンロードサービス」 <http://fgd.gsi.go.jp/download/>

[Terrain 10mメッシュ(標高)]

北海道地図株式会社が作成している数値標高モデル(DEM)で、解像度は10mメッシュ相当である。

(参考 URL)

北海道地図株式会社 GISMAP シリーズ <http://www.hcc.co.jp/work/gismap/>

[植生データ]

環境省の自然環境保全基礎調査の結果を GIS データに変換する作業が進行しており、植生データも含まれている。ただし2009年8月時点では整備・未整備の範囲があるため、注意が必要である。第2～5回までの植生調査の結果は、1/5万植生図として、自然環境情報 GIS に整備されているが、第6～7回にかけては、1/2.5万植生図として、現在整備作業中である。詳細は下記 URL 等を参照されたい。

(参考 URL)

自然環境情報 GIS ダウンロードのページ

http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl_f.html

植生調査 情報提供ホームページ

<http://www.vegetation.jp/index.html>

[空中写真(航空写真、衛星写真)]

航空写真や衛星写真から植生を判読することが可能である。これにリモートセンシング技術が必要となるため、ここでは空中写真を閲覧できるサイトのみを紹介する。

国土変遷アーカイブ(空中写真閲覧)

<http://archive.gsi.go.jp/airphoto/>

国土画像情報(カラー空中写真)閲覧機能(試作版)

<http://w3land.mlit.go.jp/WebGIS/>

http://w3land.mlit.go.jp/cgi-bin/WebGIS2/WF_AirTop.cgi?DT=n&IT=p

c. データ整備

Step.1 メッシュ格子の作成

調査区域を同一サイズのメッシュで区切る(メッシュポリゴンもしくはタイルポリゴンとも呼ぶ)。メッシュ属性にはメッシュ番号と各メッシュの中心地理座標(緯度経度値等)が付加されている。

Step.2 飛翔軌跡データの整備

このメッシュ格子を用いて、飛翔軌跡データを切断する。メッシュ属性に飛翔軌跡の頻度を付加する。

Step.3 地形条件データの整備

地形条件(標高、傾斜度、斜面方位)とメッシュ格子を重ね合わせ、メッシュ属性に地形条件データを付加する。

Step.4 植生データの整備

植生データ(群落名等)とメッシュ格子を重ね合わせ、メッシュ属性に植生条件データを付加する。

[参考: 植生と選択性指数]

調査区域において特定の環境要因に着目し、その分布状況と対象生物がその環境要因を利用する状況を比較してみる。たとえば、植生タイプの分布割合と、対象鳥類が実際に利用している植生の割合が異なっているとすれば、その鳥類は特定の植生を選択的に利用(あるいは忌避)していると考えられる。この目安となる指標が選択性指数であり、イブレフ選択性指数(Ivlev 1955)等が用いられる。鳥類の飛翔と植生タイプに関するイブレフ選択性指数は以下のようにあらわす。

$$\text{植生タイプ別の選択性指数} = (U_i - P_i) / (U_i + P_i)$$

ここで U_i は植生タイプ[i]上の飛翔軌跡(頻度・長)が全飛翔軌跡(頻度・長)に対する割合、 P_i は植生タイプ[i]上の面積が全植生面積に占める割合である。数値は-1(完全忌避)～+1(独占)をとる。ここでは植生データについての例を示したが、環境データで面的な広がりをもつようなデータ(たとえば土地利用状況など)は、同様の扱いで処理できるだろう。

Step.5 他の環境要因のデータ整備

対象事業実施区域において、鳥類の飛翔頻度が高いと考えられる沿岸・断崖のような環境にある場合、それぞれの地形からの隔離距離による鳥類飛翔(誘引・忌避)効果を考慮することも有効である(「3-4 衝突リスクの高い地形条件」、「3-7-1 風車の配列」等を参照)。この場合、海岸線や断崖線がラインデータとして与えられれば、各メッシュ(前述の植生データと同様にメッシュの中心点を用いる)からの最短距離を求め、メッシュ属性として加えることができる。

本書の作業環境

使用 OS: Windows Xp

作業ディレクトリ名: c:/work/

データファイル名: hill.csv (dbfファイルより変換)

データファイルの属性名は、各自判りやすい名称にすればよい。ここでは植生コード名(CODE)、群落名(PLANT)、標高(SFC)、傾斜度(SLP)、斜面方位(ASP)、飛翔頻度(FREQ)、飛翔軌跡(LENGTH)および地理座標(x,y)とした。データファイルの概要を図 3- 35 に示す。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	CODE	植生	SFC	SLP	ASP	FREQ	LENGTH	x	y
2	a	牧草地	593.5067000000	8.1306000000	87.7566000000	0	0.0000000000	457523.42999061700	4072278.69149437000
3	a	牧草地	592.7963000000	9.9569000000	60.5429000000	0	0.0000000000	457523.43044935400	4072328.69194444000
4	a1	落葉広葉樹林	591.4362000000	8.5376000000	66.3111000000	0	0.0000000000	457523.43090804600	4072378.69219454000
5	a1	落葉広葉樹林	589.7747000000	5.3225000000	79.4142000000	0	0.0000000000	457523.43136669700	4072428.69254466000
6	a	牧草地	589.6543000000	3.4748000000	172.0696000000	1	53.70096581091	457523.43182630400	4072478.69299480000
7	a	牧草地	592.5471000000	5.6064000000	228.8671000000	0	0.0000000000	457523.43228386500	4072528.69324498000
8	a	牧草地	591.4697000000	2.2501000000	226.2712000000	1	42.08021841238	457523.43274238400	4072578.69359518000
9	a2	落葉広葉樹林クマガツ下	596.7934000000	6.4762000000	119.3592000000	2	19.06286731740	457523.43320096000	4072628.69394541000
10	a2	落葉広葉樹林クマガツ下	701.2714000000	8.1092000000	69.7097000000	1	41.48864307883	457523.43365929100	4072678.69429566000
11	b	スギ・ヒノキ植林	678.7114000000	6.8122000000	193.0168000000	0	0.0000000000	457573.42868666300	4072178.69067685000
12	b	スギ・ヒノキ植林	588.1673000000	7.0715000000	219.4276000000	0	0.0000000000	457573.42927268700	4072228.69100174000
13	a	牧草地	587.8216000000	4.1860000000	311.5484000000	0	0.0000000000	457573.42975727300	4072278.69134648000
14	a	牧草地	581.0093000000	4.3571000000	341.4335000000	0	0.0000000000	457573.43022381600	4072328.69169501000
15	a	牧草地	678.6470000000	5.2463000000	22.4970000000	0	0.0000000000	457573.43069031600	4072378.69204355000
16	a1	落葉広葉樹林	575.5520000000	6.1148000000	81.7904000000	0	0.0000000000	457573.43115677200	4072428.69239212000
17	a	牧草地	682.6009000000	10.2350000000	149.2041000000	1	54.36498622324	457573.43162318400	4072478.69274072000

図 3- 35 データファイル(hill)の属性テーブル

本書では、メッシュポリゴンはシェープファイル形式、測地系は世界測地系、座標系はUTMを用いた(前掲表 3- 18)。メッシュポリゴンのシェープファイルのうち、拡張子 dbf ファイルを、オープンソースの統計解析システム(R)を用いて読み込んで解析を行う(この場合、ライブラリ `mapproj` が必要)。もしくはマイクロソフト社エクセル等の表計算ソフトウェアで dbf ファイルを読み込み、カンマ区切りファイル(csv)に変換してもよい(本書の計算ではこれを採用)。統計解析システム(R)については、次の URL を参照されたい。

本書で用いた R バージョン等

R version 2.8.1 (2008-12-22)

Copyright (C) 2008 the R Foundation for Statistical Computing

d. データの検討

オープンソースの統計解析システム(R)を起動させ、データファイル(hill.csv)を読み込む。その後、データが正しく読み込まれているかを確認し、応答変数、説明変数間の関係を概括するため、散布図行列と相関行列を作成する(図 3- 36～図 3- 37)。R のコマンドは以下のとおり。

#データの読み込み

```
data <- read.csv("c:/work/hill.csv")
```

#ヘッダ部分の確認

```
head(data)
```

#散布図行列を描く

```
pairs(data, panel=panel.smooth)
```

#相関行列を出力

```
cor(data)
```

以上、a. 飛翔軌跡データ収集～d. データの検討まで紹介した。本書では 5 通りの統計モデルと空間的自己相関解析を行う。以下、①～⑤については資料(14)、⑥については資料(22)に解説を掲載している。

①重回帰モデル

②ポアソン回帰モデル

③空間的自己相関

④空間的自己回帰モデル(Spatial autoregressive model:SAR)

⑤地理加重回帰モデル(Geographically Weighted Regression:GWR)

⑥エントロピー最大化モデル(Maximum Entropy Model:maxent)

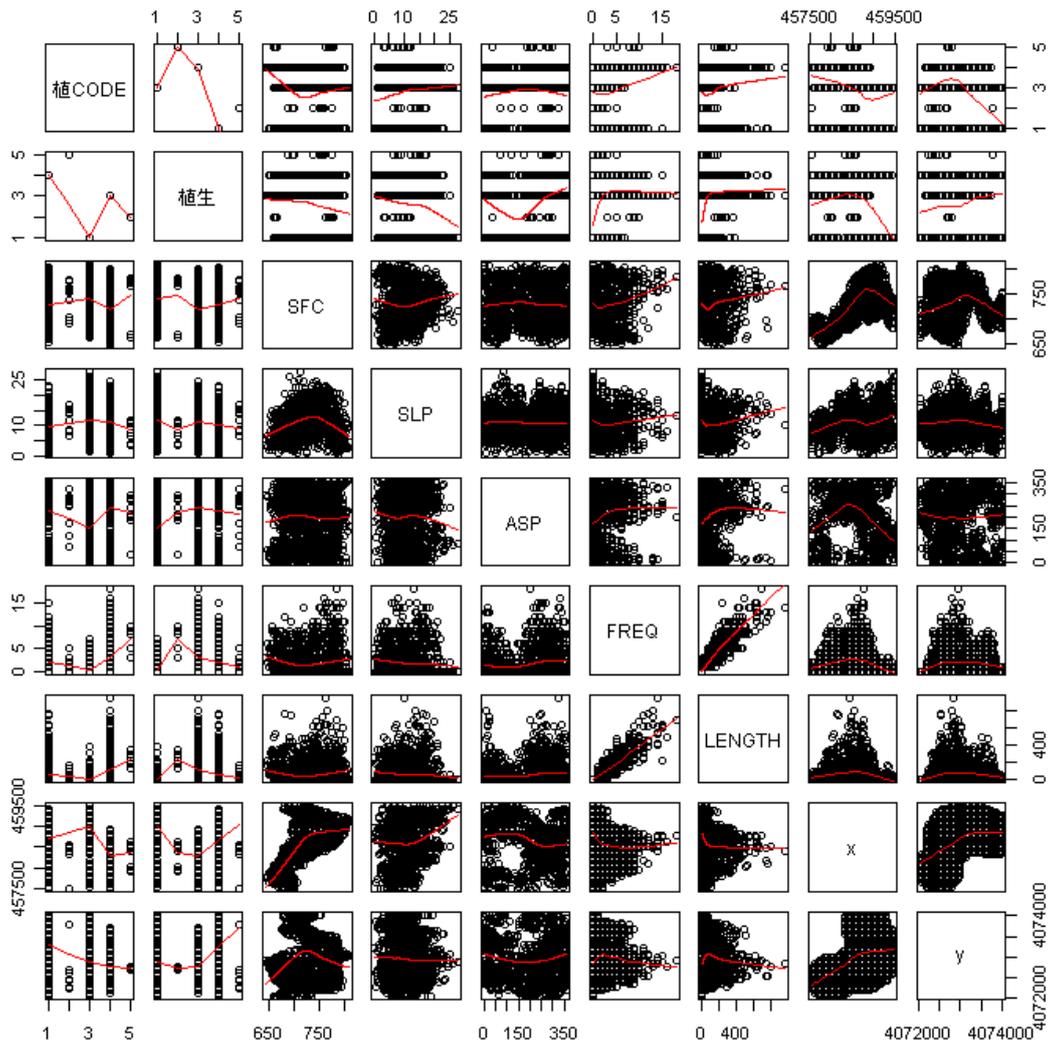


図 3-36 散布図行列の例



図 3-37 相関行列の例

3-7 保全措置

3-7-1 風車の配列

.....計画・調査・解析・**保全**・事後

風車は、鳥類の主要な飛翔方向を妨げないように配列するよう検討が望まれる。また、風車の立地は、水際線や断崖線から、ある程度離隔させるよう検討することが望ましい。

風車の配列

沿岸の場合、鳥類の飛翔は沿岸に集中し、海岸線に沿って移動している傾向がみられる。風車の配列は、飛翔方向と平行になるよう配慮することで、直交型配置よりも衝突のリスクは小さくなることが期待される。海浜サイトにおける飛翔軌跡と風車レイアウトの関係を図 3-38 に示す。

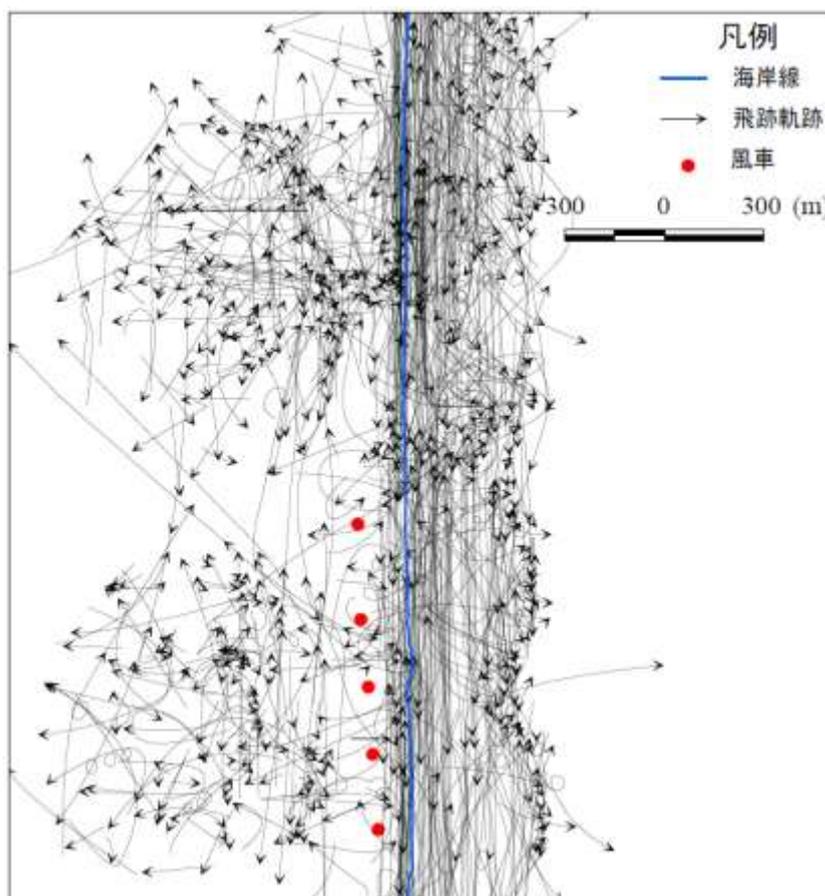


図 3-38 海浜サイトにおける飛翔軌跡と風車レイアウトの関係

(立地適正化業務 平成 20 年度、延べ 8 日間の調査結果)

風車の立地

「3-4 衝突リスクの高い地形条件」等で述べたとおり、海岸線や断崖は鳥類の飛翔頻度が高くなり、内陸に向かうにつれて、減衰傾向が示されることから、立地に際しては、水際線や断崖線からある程度離隔させることが望まれる。

「3-6 衝突リスク解析」で紹介した衝突確率モデル(資料 11、12)は飛翔頻度の関数であるから、飛翔頻度が減少すれば、衝突確率も減少すると考えられる。前掲図 3-25 を用いて、最も適合性の

高かった累乗回帰モデルを用いて検討した例を表 3- 20 に示す*。

本解析の対象とした海浜サイトでは、風車列は海岸線からおおむね 140～150m付近に位置している。回帰モデルによれば、この地点での鳥類飛翔頻度は、海岸線直下の 0.6%程度まで減少している。

また、本解析対象とした断崖サイトの場合、断崖に最も近接している風車の断崖線から距離は、およそ 30mである。この地点での鳥類飛翔頻度は断崖線上のものとは比べ 11.1%程度まで減少している。

表 3- 20 累乗回帰モデルによる減衰率(海浜、断崖)の解析例

累乗回帰式 離隔距離 (m)	海浜	減衰比(1)	断崖	減衰比(1)
	$y=612.27x^{(-1.0195)}$		$y=91.484x^{(-0.6454)}$	
1m	612.3	1.000	91.5	1.0000
10m	58.5	0.096	20.7	0.2263
20m	28.9	0.047	13.2	0.1446
30m	19.1	0.031	10.2	0.1113
40m	14.2	0.023	8.5	0.0925
50m	11.3	0.019	7.3	0.0801
60m	9.4	0.015	6.5	0.0712
70m	8.1	0.013	5.9	0.0644
80m	7.0	0.011	5.4	0.0591
90m	6.2	0.010	5.0	0.0548
100m	5.6	0.009	4.7	0.0512
110m	5.1	0.008	4.4	0.0481
120m	4.6	0.008	4.2	0.0455
130m	4.3	0.007	4.0	0.0432
140m	4.0	0.006	3.8	0.0412
150m	3.7	0.006	3.6	0.0394
240m	2.3	0.00374	2.7	0.0291
250m	2.2	0.00359	2.6	0.0283
260m	2.1	0.00345	2.5	0.0276
270m	2.0	0.00332	2.5	0.0270
280m	2.0	0.0032	2.4	0.0263
290m	1.9	0.00309	2.4	0.0257
300m	1.8	0.00298	2.3	0.0252

* 当該図は風力発電施設を含んでいるため、厳密には回避の効果が含まれている。

3-7-2 風車ブレードの彩色

.....計画・調査・解析・**保全**・事後

衝突が懸念される場合、あらかじめ羽根部（ブレード）に彩色を施すことで、背景とのコントラスト比が増して視認性が高くなり、衝突リスクの低減が期待できることから検討することが望まれる。

Hodos(2002)の実験により、鳥類にはモーションスミア(motion smear)が発生し、回転するブレードを認識しにくいことが示唆されている(Hodos は実験にアメリカチョウゲンボウ 15 個体を用いた)。環境省(2008a、2009a、2010a)のトビ等を用いた室内実験によって、背景(空やブレード)とのコントラスト比が高いものが鳥類からの視認性が高いと考えられた。空は通常、青色(快晴)、灰色(曇天)等が考えられ、ブレードは白色系が主であるから、ブレード一枚を赤色や黒色等で彩色することが効果的であると考えられる(図 3-39 左)。アルタモントでも同様の風車がみられる(図 3-40)。三枚のブレードが彩色可能であれば、赤色もしくは黒色等の帯を中心からの距離が三枚とも同じにならないように塗り分けた方が良いとされる(同図右)。なお、環境省(2004)は、主に自然景観の観点から「背景に溶け込みやすい色彩とする」「色彩等が周囲の風景と調和していること」「当該工作物の外部の色彩又は形態がその周辺の風致又は景観と著しく不調和でないこと」等を求めていることから、国立・国定公園内においては注意が必要である。

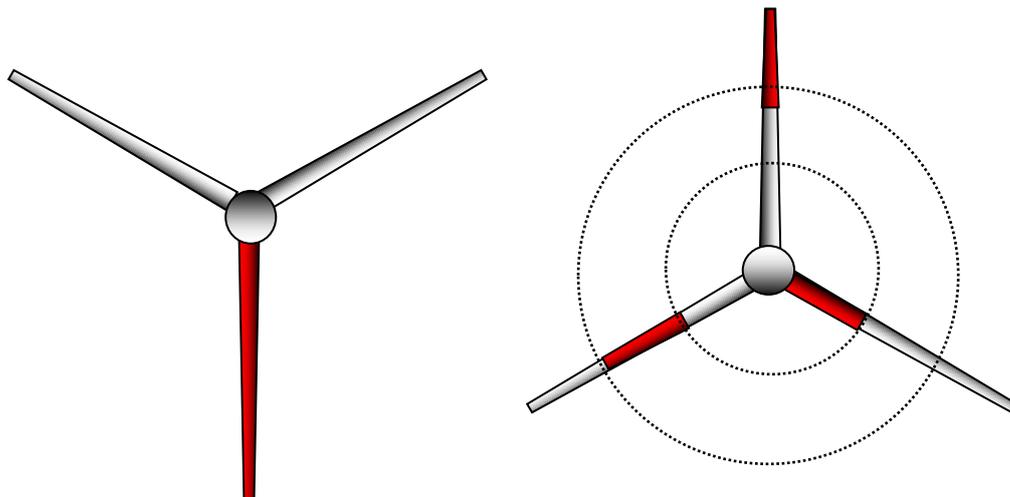


図 3-39 風車ブレードの彩色案(左:一枚彩色、右:三枚彩色)



図 3-40 アルタモント風力資源地域で確認された彩色風車群(ブレード1枚を彩色)

既に稼働している風車について彩色を施す場合、様々な制約条件を伴うことが考えられる。ここでは風力発電施設バードストライク防止策実証業務での彩色例(五島岐宿風力発電所)について紹介する。彩色は、平成20年8月25～30日にかけて、全3基のうち1基に対して実施した(図3-41)。作業は、風力発電タワー用メンテナンス装置を使用し(図3-42)、ブレード部分までの足場を確保し、1枚がA4サイズの赤色のシールを140枚、貼附した(表3-21 貼附総面積約9㎡、総重量約2kg)。

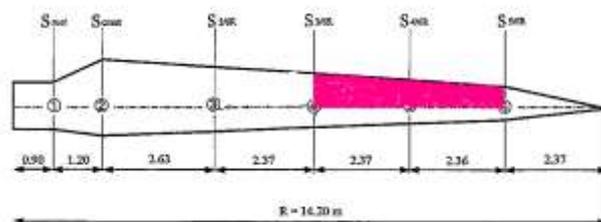


図 3- 41 五島岐宿風力発電所(2号機)の彩色模式図

表 3- 21 彩色作業使用機材

項目	概要
彩色材料(赤色シール)	特色印刷(210mm×297mm)140枚、200g/㎡
彩色足場(昇降装置)	風力発電タワー用メンテナンス装置
作業日数	1週間程度



図 3- 42 彩色作業実施状況(五島岐宿風力発電所)

なお、この塗色作業については、まずトビを用いた室内実験によって彩色条件が定められ、さらに塗色前・塗色・撤去後の3期において、鳥類の飛翔調査が実施されている。以下、これらについて紹介する。

室内実験

室内実験は、対象鳥類の「馴化訓練」、「シェイピング訓練」、「予備弁別訓練」および「弁別閾測定」の手順で実施した。シェイピングとは最終目標までの過程を段階的に設定し、それらを積み上げていくことで最終的に目標としていた行動を獲得させることをいう。本実験の場合には、「風車の回転を識別できた場合に反応窓をつつく」ことが最終的な目標である。弁別とは見分けることで、本実験の場合には風車の回転を実験個体が見分けている場合と見分けられない場合で、異なる行動を取らせるように強化することを指す。弁別閾とは、ふたつの刺激の強さや性質を区別し、感じる刺激差の最小の精度を指す閾値で、本実験の場合には、風車の回転について、どのような条件(色、明るさ、模様など)なら、どの程度の回転数までを弁別することが可能かの閾値を指す。本実験では傷病により保護し飼育されていたトビ3個体を用いた。弁別形成結果の一例を図3-43に示す。訓練(session)を繰り返すにつれ、ほぼ100%近くの弁別率が得られている。

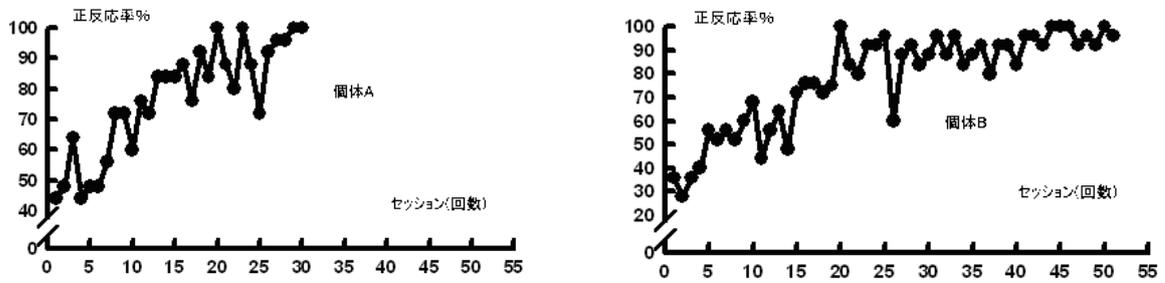


図3-43 トビの弁別率形成の例(環境省 2008a)

個体(差)によって、正反応(=正答率)に違いがみられた。個体Aは30回前後の訓練で100%に達したが、個体Bは50回以上の訓練が必要であった

実験では、模型風車の回転によりモーション・スミア(motion smear)が生じ、ブレードが透明化している風車と、それより遅く回転する風車の弁別を行わせ、正解すると遅い方の風車の回転数を加速させる。誤ると、遅い方の回転速度を減速させる。遅い方の風車の回転速度がある程度の速くなると、両者の弁別(区別)が困難になり、正答と誤答を繰り返すようになる。その結果、遅い方の風車の速度が、一定の速度の付近を上下するようになる(上下法とよぶ)。この速度が、透明化を生じさせる初期速度(正しくは網膜像の移動速度の閾値(移動視野角度/秒)とよぶ)と考えられる。このような上下法を用いて、モーション・スミア(motion smear)が生じる回転速度を計測した。

コントラスト実験

風車が設置されている環境下では、気候によって風車の背景が異なる。例えば、晴天の場合は、背景は青、曇りまたは雨の場合は、背景は白、夜の場合は、背景は黒になる。実験は、これらの背景での閾値を測定することを目的とした(図 3- 44)。背景は、黒色(風車とのマイケルソン・コントラスト比 95%)、白色(5%)、青色(5%)の 3 色を用いた(Michelson contrast = $(L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min}) \times 100$)、 L_{max} 、 L_{min} はいずれも輝度)。



図 3- 44 コントラスト実験条件

背景色が白色、青色、黒色の場合の閾値の結果を示す(図 3- 45)。個体 A、個体 B の両個体とも、コントラストが最も高い背景が黒の場合の閾値が他の条件に比べて高くなっている。個体 A では、背景間で有意な差が認められた($F(2,25)=3.43$, $p=.05$)。下位検定 (Holm-Sidak の方法) の結果、黒の背景と青の背景間で 5%水準であり、有意な結果となった。黒と白、青と白の間では有意ではなかった。個体 B では、有意ではなかった($F(2,21)=1.649$, $p=.219$)。

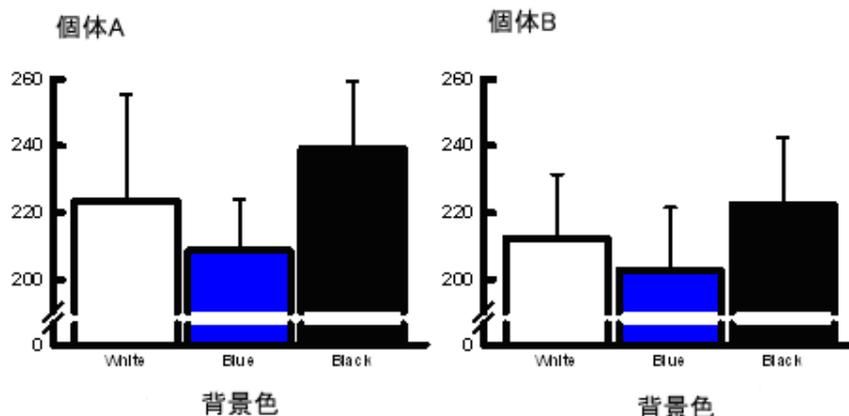


図 3- 45 実験によって得られたコントラスト別モーションスミア発生閾値(環境省 2008a)

横軸は背景色条件、縦軸はモーションスミアが発生する初期速度(=網膜像の移動速度の閾値(移動視野角度/秒))

ブレード彩色実験

風車への彩色パターンとして3枚のブレードのうちの1枚に、黒あるいは赤のテープ(長さ5cm、幅5mm)を貼り付けた条件で測定した(図3-46)。

図3-47に上限法により得られた風車のパターン別閾値の平均を示す。トビ3羽の平均では、統計的に有意傾向がみられ($F(2,8)=4.296$, $p=.10$)、ブレードを彩色することによって視認性が向上することが示唆された。

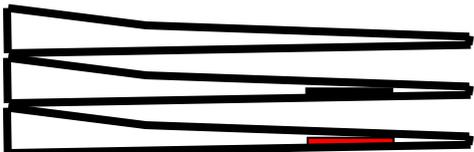
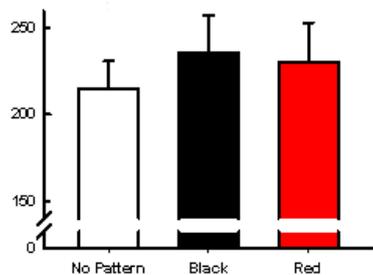
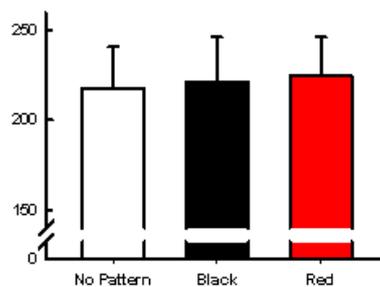


図3-46 室内実験で用いた彩色パタン(環境省 2008a)

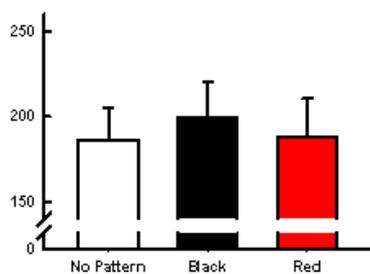
個体 A



個体 B



個体 C



平均

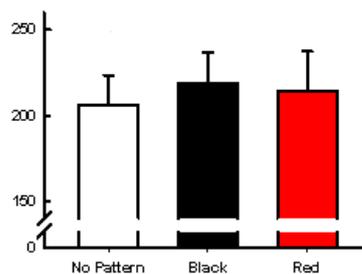


図3-47 実験によって得られたブレード彩色別のモーションスミア発生閾値(環境省 2008a)

横軸は模型風車の彩色タイプ、縦軸はモーションスミアが発生する初期速度
(=網膜像の移動速度の閾値(移動視野角度/秒))

閾値に基づいた視認性の予測マップの試み

図 3-48 に、室内実験結果から、彩色なしの場合にモーションスミア(motion smear)が生じる閾値を200dva/S、黒のストライプを彩色した場合の閾値を240dva/Sとして、飛翔するトビから、その風車の視認性について模式図を示す。風車の直径は31mとし、回転数は遅い場合(図左)を23.9rpm、速い場合(図右)を35.5rpmとした。図中、漏斗型の実線は、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「十分に視認できると考えられる空間」、点線は、彩色なし条件での閾値(200dva/S)による視認可能な空間、破線は黒のストライプを彩色した場合の閾値(240dva/S)にもとづく視認可能な空間である。図中、赤色トビの飛翔空間はモーションスミアによって透明化している空間(視認不可能空間)、青色トビの飛翔空間は透明化していない空間である(視認可能空間)。黒色トビの飛翔空間は透明化が生じている可能性のある空間である。トビが風車に接近するに従って、みかけの風車の回転スピードは増加し、ブレード先端の速度が相対的に速いため、透明化は風車の先端部分から発生し、(風車に近づくにつれて)、透明化は徐々に中心に向かって拡大する。回転速度が遅い場合は、透明化の生じている空間が相対的に狭く、速い場合は広がる。ブレードに彩色を施すと、視認可能な空間が拡大することが示される。

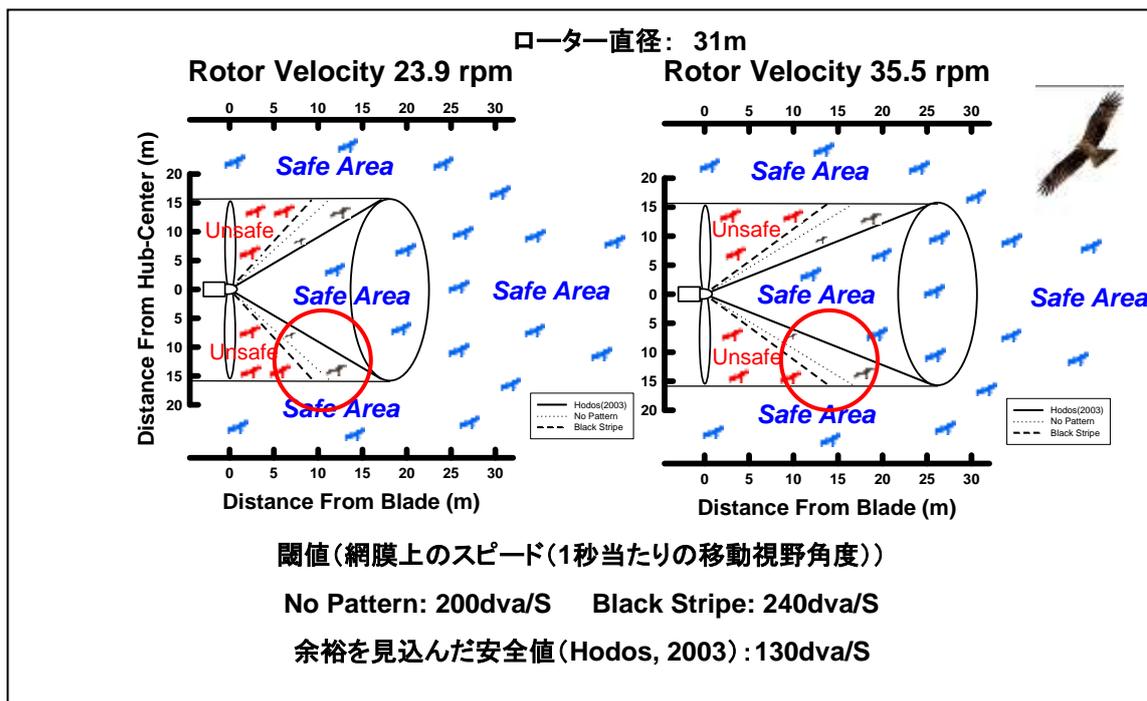


図 3-48 飛翔するトビからみた風車の視認性に関する模式図

それぞれ Rotor Velocity: 風車回転速度、Safe Area: 視認性可能空間、Distance From Hub-Center: 風車中心からの離隔距離。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プを彩色した閾値(240dva/S)から算出された視認可能な空間である。黒色のストライプ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。

彩色前後における鳥類の飛来頻度の比較

平成 19 年 9 月～平成 21 年 8 月にかけて、彩色による鳥類の視認性の向上を検証するため、飛翔状況の比較を行った。調査地点は、彩色を実施した風車 1 基、対照風車 2 基、対照 1 地点の合計 4 地点とした。平成 19 年 9 月の調査開始から平成 20 年 8 月までを非彩色期間、同年 8 月末に風車 1 基を彩色し、その後同年 9 月から翌年(平成 21 年)8 月までを彩色期間とした。調査方法は、3-4-2 で説明した空間飛翔調査を用い、風車周辺に出現した鳥類をカウントした。調査は毎月 1 回、連続 2 日間の調査とし、各地点において 30 分の観察を繰り返し行った。

風車周辺での確認数を、調査地点別・非塗装期間(彩色前)・塗装期間(彩色後)に区分して、全鳥類について図 3- 49、室内実験対象種であったトビについて図 3- 50 に示す。

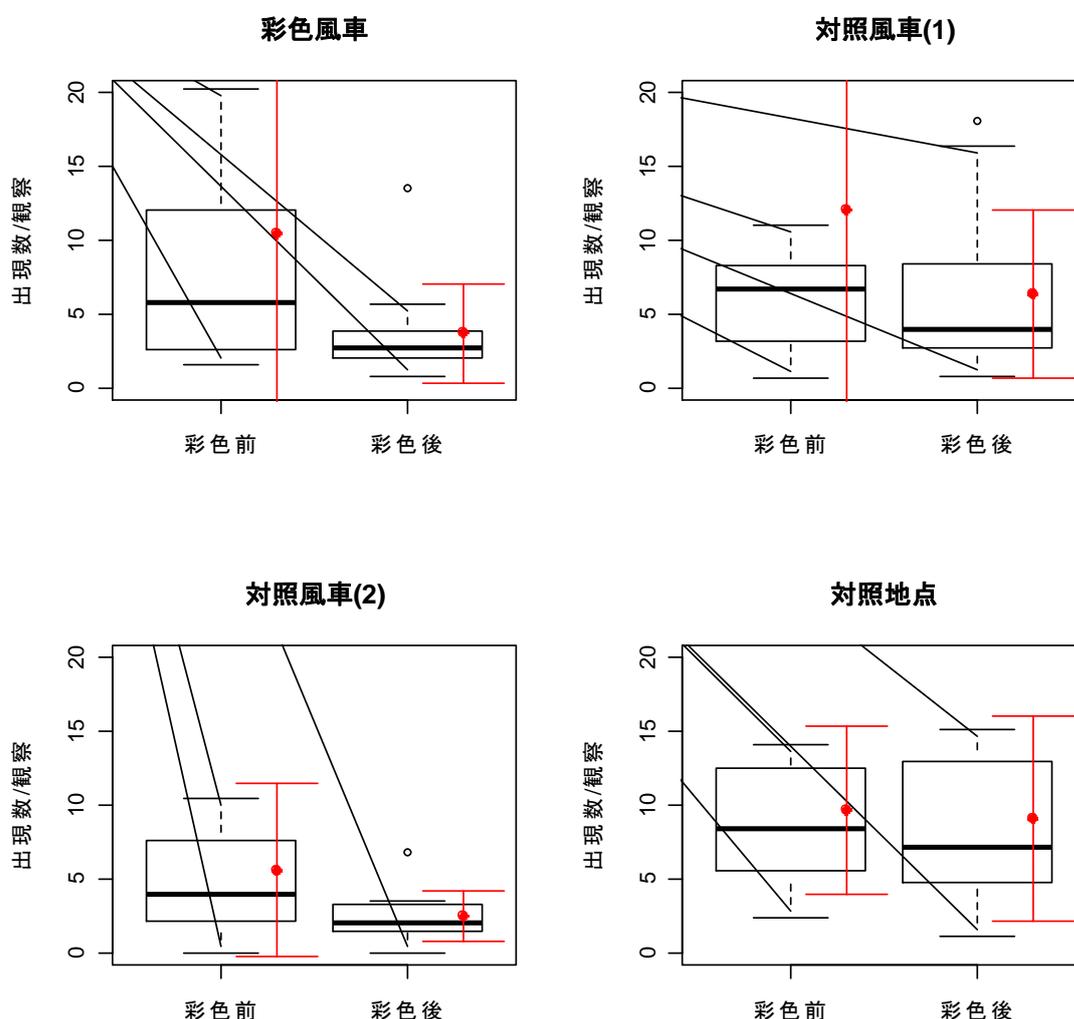


図 3- 49 風車近傍を飛翔した全鳥類の確認数の比較(環境省 2008a、2009b、2010b より作成)

上下のひげは、それぞれ上(下)側四分位数の位置から、極値までの間に引かれる。極値とは、上(下)側四分位数から四分位範囲の 1.5 倍以内にあるデータのうちの最大(小)値。期間を統一するため除去後は除き、縦軸を統一するため、外れ値は除外した。赤色は平均値と標準偏差である。

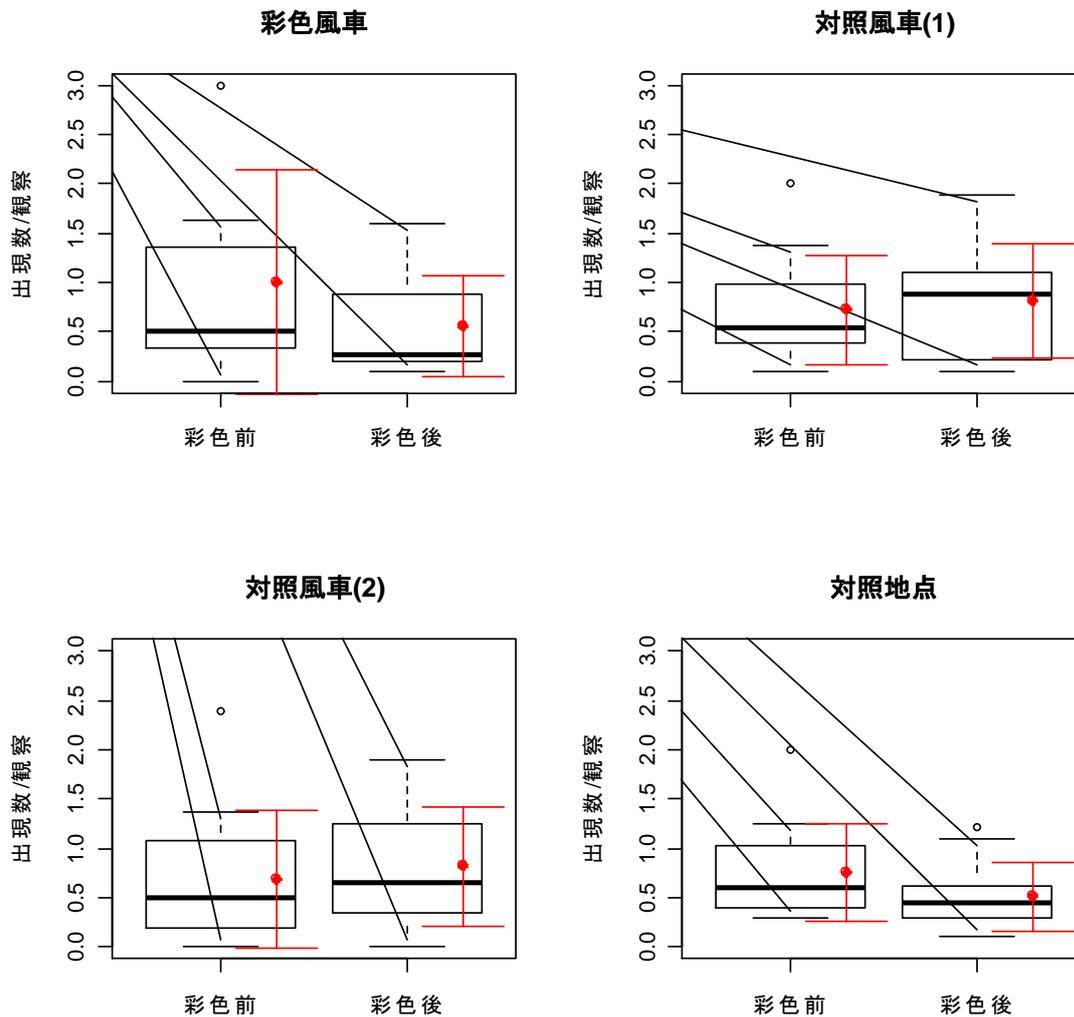


図 3-50 風車近傍を飛翔したトビの確認数の比較(環境省 2008a, 2009b, 2010b より作成)

上下のひげは、それぞれ上(下)側四分位数の位置から、極値までの間に引かれる。極値とは、上(下)側四分位数から四分位範囲の 1.5 倍以内にあるデータのうちの最大(小)値。期間を統一するため除去後は除き、縦軸を統一するため、外れ値は除外した。赤色は平均値と標準偏差である。

全鳥類についてみる。彩色風車は、彩色後に出現数が減少していることがわかる。これに対して対照風車(1)と対照地点はさほど減少していないことから、彩色による風車視認性の向上によって、風車に接近する鳥類の出現頻度が減少したようにもみえる。しかしながら、彩色を実施しなかった対照風車(2)も彩色期間の出現数は減少しているため、判断は難しい。そこで、統計モデル(一般化線形モデルのポアソン回帰)を用いてその効果を検討した。応答変数を月別地点別出現数/調査回数あたり、説明変数を調査地点、期間(彩色前と彩色後)とし、さらに調査地点と各期間の交互作用も考慮してポアソン回帰分析を行ったところ、塗装風車を基準とし交互作用項(調査地点・塗装期間)はすべてプラス値が得られたため彩色による効果が示唆された。この傾向はトビについても同様であった。しかしながら、分類群毎(水鳥、猛禽類、大型陸鳥、小型陸鳥)にとりまとめたもの

では傾向は示唆されなかった。

なお、彩色を実施した 2 号機に出現した鳥類について、彩色前と彩色後の出現頻度(個体/ha/hr)を比較した(図 3- 22)。その結果、彩色によって出現頻度が同じかもしくは低下した種は 13 種であり、反対に増えた種は 7 種であった(ただし、前述のポアソン回帰分析では、カワラヒワ、モズ、トビに減少が示唆され、ハシボソガラス、ウグイス、ウミウ、ヒヨドリは増加が認められ、その他の種では判断がつかなかった)。

概括すると彩色によって鳥類群集の飛来頻度の低減が期待できるが、種によっては明確な低減効果が確認できないこともあり、今後のデータの蓄積が必要である。

表 3- 22 2 号機の彩色前後の鳥類種(環境省 2008a)

	種名	彩色前		彩色後		②/①
		個体数	個体/ha/hr …①	個体数	個体/ha/hr …②	
彩色後に 確認個体数 が同じかもし くは減った種 (13 種)	ツバメ	36	3	2	0.2	0.1
	カワラヒワ(-)	7	0.6	1	0.1	0.2
	セグロカモメ	21	2	4	0.4	0.2
	ハシボソガラス	109	9	23	2	0.3
	モズ(-)	11	0.9	3	0.3	0.3
	ホオジロ	70	6	21	2	0.4
	メジロ	98	8	45	5	0.6
	ハシボソガラス(+)	15	1	9	0.9	0.7
	ウグイス(+)	11	0.9	7	0.7	0.8
	ジョウビタキ	10	0.8	7	0.7	0.8
	ミサゴ	14	1	11	1	0.9
	トビ(-)	60	5	50	5	1.0
	彩色後に 確認個体数 が増えた種 (7 種)	ハクセキレイ	5	0.4	5	0.5
ウミウ(+)		3	0.3	4	0.4	1.6
ヒヨドリ(+)		32	3	64	7	2.4
アオジ		2	0.2	6	0.6	3.6
イソヒヨドリ		6	0.5	20	2	4.0
スズメ		2	0.2	7	0.7	4.2
シロハラ		1	0.1	7	0.7	8.4

ポアソン回帰分析によって減少が示唆されたものには(-)、増加が示唆されたものには(+)、判断がつかなかったものは無印とした。

ライトアップは、渡り時期の荒天時（濃霧・吹雪等を含む）には運用を控えたほうがよい。米国における通信鉄塔やカリフォルニア州風力発電施設のガイドライン資料には、ライトアップが鳥類を誘引し衝突リスクを高めることが示されている。また、国内においても、国立・国定公園内での取り扱いは慎重に取り扱うべきとの考え方があり、荒天時の夜間にライトアップした施設において、鳥類の衝突が増加した事例も確認されている。ツグミとヒヨドリを用いた室内実験では、暗視下でも風車を視認することを示唆する結果が得られている。

また、ライトアップが昆虫類を誘引することで、それを餌とする夜行性鳥類やコウモリ類も誘引される可能性にも留意することが望ましい。

米国における通信鉄塔への衝突リスク低減のためのガイドラインは、Manville (2000)によるもので現在、米国内務省 魚類野生生物局(U.S. Fish and Wildlife Service)で公開されている(http://library.fws.gov/Bird_Publications/tower_collisions00.htm)。ここでは、通信鉄塔における鳥類の大量死を回避するための12項目にわたる提案がなされており、このうち4項目が照明装置に関する指摘である(概略を表3-23)。

表3-23 Manville (2000)による通信鉄塔への衝突リスク低減のための
ガイドラインの照明に関する項目

- ・ 必要としない限り、照明はつけるべきではない。可能であるなら、新しい鉄塔は既存のアンテナファーム（集合アンテナ）に建設されるべきで、もしできるなら、国等で定めている希少種や渡り鳥が使用していないエリアにすべきである。湿原・湿地、鳥類の集合地域、鉄塔により影響が想定される希少種の生息地の近くへの建設は回避すべきである。小気候（地域気象）条件をレビューし、とりわけ、春季と秋季の渡り時期における、濃霧、霧、低層雲の高出現頻度地域は避ける。
- ・ 警告灯の照明を要求される199フィート（61m）以上の建築物の場合、FAA（連邦航空局）により要求される警告灯の量（数）を最小にすること。FAAにより許可される地域規制区域で、夜間には白色閃光灯のみが使用されること。これらは地域の留鳥への妨害を最小にする遮蔽をすべきで、1分間の閃光回数・閃光強度はその灯の数とともにFAAによって許可されている最小にすべきである（たとえば、閃光の間隔は最長3秒間）。夜間における連続的な（solid）赤色もしくは拍動する（pulsating）赤色警告灯は避けるべきである。支持綱（guy wire）を用いない建築技術がいつでも使用されるべきである。
- ・ 新たなタワー（予定しているアンテナ、少なくとも2事業者の同種のアンテナ）は、将来的なタワーの数を抑制するためにも構造的・電氣的に計画されるべきである。この計画は付加的な照明装置や支持綱（guy）を使わないか、さもなければ照明・綱なしにすべきである。
- ・ 地上施設のための警備照明は、その場所の境界内を照らすよう下向きの遮蔽物を使い、鳥類の潜在的な誘引を最小化すべきである。

「風力エネルギー開発による鳥類およびコウモリへの影響を軽減するためのカリフォルニア州ガイドライン」(California Energy Commission & California Department of Fish and Game 2007)によれば、「鳥類やコウモリを誘引する照明を避ける(Avoid Lighting that Attracts Birds and Bats)」という項目で、Evans et al. (2007)の文献を引用しつつ、夜間に移動する鳴禽類(分類名ズズメ目のひとつ。囀る種が多く含まれる)が照明設備のある高い構造物の周りに集まるかどうかは、照明の色と照明が点灯し続けるのか、点滅するかによって顕著に異なることが示唆されたとし、雲に覆われた空間を移動している鳥は、赤色よりもむしろ青、緑、または白色の照明の方が誘引され

やすく、衝突に至りやすいとした。また、白色の点滅する照明が比較的安全であるが、最も安全な照明は、長く暗い消灯インターバルと短い点灯時間を繰り返す赤い点滅灯であると結論付けている。ここで根拠資料として引用されている Evans et al.(2007)の報告書は公開されている (<http://www.oldbird.org/pubs/lightstudy.pdf>)。根拠となった実験結果を図 3- 51 に示す。

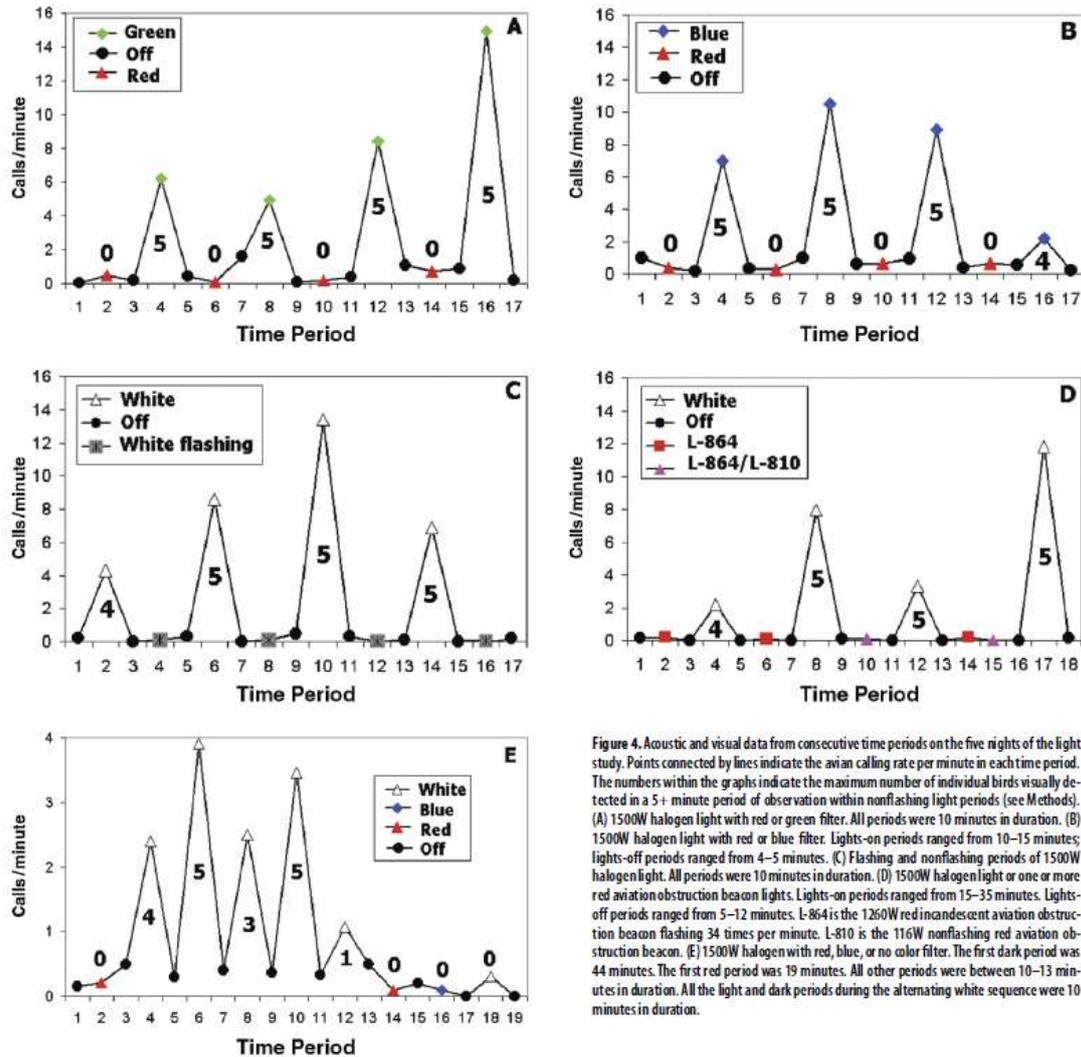


Figure 4. Acoustic and visual data from consecutive time periods on the five nights of the light study. Points connected by lines indicate the avian calling rate per minute in each time period. The numbers within the graphs indicate the maximum number of individual birds visually detected in a 5+ minute period of observation within nonflashing light periods (see Methods). (A) 1500W halogen light with red or green filter. All periods were 10 minutes in duration. (B) 1500W halogen light with red or blue filter. Lights-on periods ranged from 10–15 minutes; lights-off periods ranged from 4–5 minutes. (C) Flashing and nonflashing periods of 1500W halogen light. All periods were 10 minutes in duration. (D) 1500W halogen light or one or more red aviation obstruction beacon lights. Lights-on periods ranged from 15–35 minutes. Lights-off periods ranged from 5–12 minutes. L-864 is the 1260W red incandescent aviation obstruction beacon flashing 34 times per minute. L-810 is the 116W nonflashing red aviation obstruction beacon. (E) 1500W halogen with red, blue, or no color filter. The first dark period was 44 minutes. The first red period was 19 minutes. All other periods were between 10–13 minutes in duration. All the light and dark periods during the alternating white sequence were 10 minutes in duration.

図 3- 51 照明実験による夜間に渡る鳥類(鳴き声の確認数)の変化 (Evans et al 2007 より抜粋)

環境省(2004)は、国立・国定公園内においては風力発電施設のライトアップによる自然景観や生物多様性への支障について十分に検討した上で慎重に取り扱うべき、としている。

環境省(2008a, 2009b)では、人工照明(ライトアップ)による誘引効果の検証実験が 2 つの発電所で行われた。船舶レーダによる垂直センシングにより、ライトアップした風車上空を通過した鳥類の飛翔数を高度別に数えた。その結果、1回目の実験では、ライトアップにより通過数は増加し、低高度(0~400m)での比率が高まった。2回目は、ライトアップにより通過数は減少したものの、低高度(0~400m)での比率は高まった。3回目はライトアップにより通過数は減少し、さらに低高度(0~400m)での比率は小さくなった。4回目はライトアップにより通過数は増加し、低高度(0~400m)

での比率は変化なく、中高度(400~600m)での比率は小さくなった。すなわち本実験ではライトアップによる鳥類の誘引効果は明確には示されなかった。

なお、前出 Evans の共同研究者であった明石(Akashi 2005)は、タワーや高層ビルへの鳥類の衝突メカニズムについて考察しており、快晴時は光が鳥を誘引して衝突することはないが、雨天や曇天時には誘引により衝突することがある(資料(15)を参照)ので点灯を避けるべきとしている。また、前述の Evans et al. (2007)から、ライトアップと悪天候とが重なった時だけに衝突リスクが高まると考えられるとし、そのような条件時のみ消灯する制御システムを組み込む方式を提案している。さらに鳥が光に誘引されるのは、(条件1)前線が通過していること、(条件2)その前線に伴って渡り鳥が移動していること(渡り時期であること)、(条件3)光がある強度以上であること、という三条件が満たされた時であり、それ以外で鳥が光に誘引される現象を観察できることは少ない、としている。

また、環境省(2010a)によれば、ツグミとヒヨドリを用いて暗視野条件における模型風車の視認性に関する実験が行われおり、それによると晴天時の夜間でもある程度の視認性は得られたと報告されている(図 3- 52)。

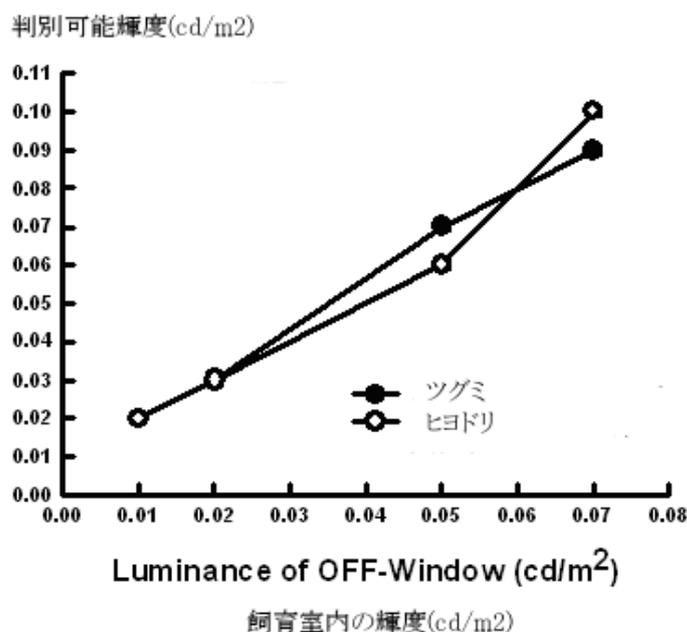


図 3- 52 天井光の輝度の違いによる(横軸)ツグミとヒヨドリの視認性の閾値(縦軸)

ツグミとヒヨドリの4照明条件下での閾値の平均が示されている。両種に差は認められなかった。両種とも、十分暗順応した後では、少なくとも0.02cd/m²程度の輝度でも弁別可能であることが実証された。2010年冬季に野外における夜空輝度を測定したところ(藤沢市内)、晴天時で0.02~0.06 cd/m²、曇天時では0.11~0.25 cd/m²であった。満月の輝度は約200 cd/m²であった。このことから、晴天時の夜間でもある程度視認できていると考えられる(詳細は、環境省 2010aを参照)

鳥類の渡りルート、集結地、休息地等、一時的に飛翔の密度が高くなり、衝突リスクが高まることが懸念される場合には、飛翔状況をリアルタイムで監視することで、風車を弾力的に管理運用するような検討が望まれる。また、濃霧・下層雲の発生に伴い、視程が悪化することにより衝突リスクが懸念される場合にも、視程をリアルタイムで監視しながら、弾力的に管理運用するような検討が望まれる。

船舶レーダによる鳥類のリアルタイム把握

2008年に米国で開催された Wind Wildlife Research Meeting VII において、Fafael (2009)は、風車が鳥類やコウモリ類に及ぼす影響の緩和措置 (mitigation tools) のひとつとして、Isthmus of Tehuantepec の事例を紹介している。これによると、Isthmus 地区は渡り猛禽類のルートとなり、衝突リスクを回避するため、レーダによる監視が行われ、渡りのピーク時には風車の運転調整 (temporary shutdown, to lock the rotors) が実行されている。ここでは調整時期をメンテナンスにあてるなどして、停止による損失を最小限にする注意が払われている。

レーダによる鳥類の監視システム (detect 社)

当初は米国空軍と NASA で航空機への鳥衝突リスクを減らし、管制制御するためのリアルタイム情報を提供するための高精度鳥類発見のレーダー・システムとして開発されたものであったが、計画された風力発電所サイトにおいて、鳥類行動に関する 7~24 種のデータを自動的に収集することで、建設前のリスク予測を行う際にも用いられている。これにオプションのソフトウェアを用いることで、稼働している風力発電所における鳥類の警戒システムとしても機能し、衝突リスクが解消するまで、風車をアイドル状態にすることができる (detect 社 HP <http://www.detect-inc.com/>)。

- MERLIN™ Avian Radar System
- VESPER Fixed-beam Vertical Profile Bird & Bat Radar
- MERLIN SCADA Bird & Bat Mortality Risk Mitigation Systems

船舶レーダによる鳥類の警戒システム

環境省(2008a、2009a、2010a)で設計・開発されたシステムである。鳥類の渡りルートや集団渡来地と風力発電施設が近接・重複するなど、一時的に飛翔個体の密度が高くなると衝突が懸念される(衝突リスクが高まる)。このため、船舶レーダによる監視(センシング)を行い、飛翔密度が高くなった際に、施設管理者に警戒情報を発するシステムである。システムは、リアルタイム版および警戒システムに区分され、用途に寄って使い分けることとなる。システムの概念図を図 3- 53 に示す。

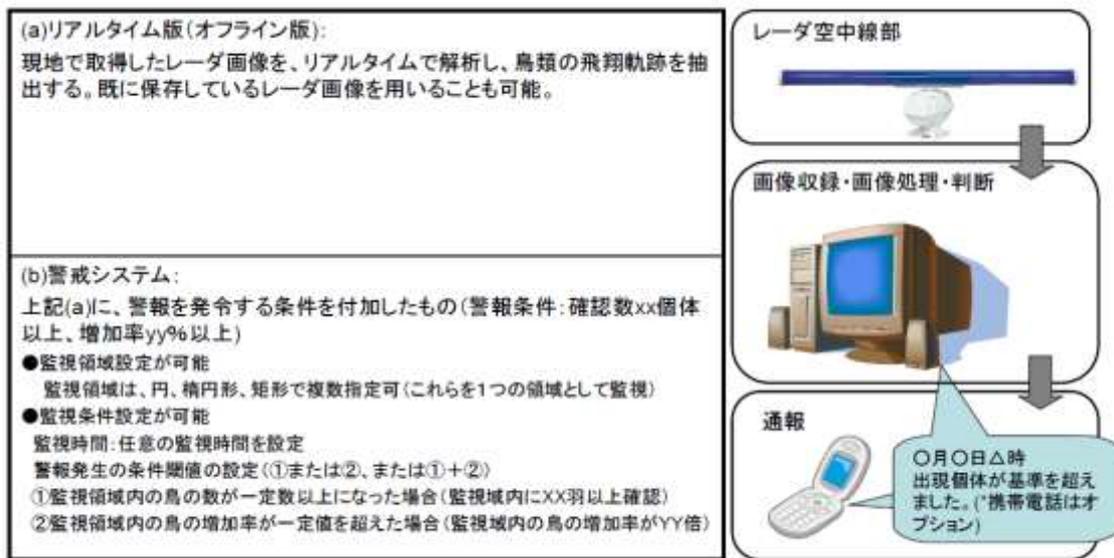


図 3- 53 システム構成

本システムでは、船舶レーダで観測した映像をパーソナルコンピュータに記録保存し、動体監視ソフトによって、観測された画像データから鳥類と判断される移動物体を抽出する。飛翔密度や頻度が高くなった場合には、リアルタイムで風力発電施設管理者に警戒情報を配信する。ソフトウェアの仕様について表 3- 24 に示す。

表 3- 24 システム仕様と入手方法等

項目	内容
動作条件①(リアルタイム版)	レーダ画像：ファイル名を 6 桁の連続番号であらわした.bmp (ビットマップ形式)、もしくは.jpg (JPEG形式) パーソナルコンピュータ：システム仕様に明記 プロテクトキードライバー：株式会社ライブラリー社製* (有料)
動作条件②(警戒システム)	船舶レーダ：株式会社古野電気 船舶用レーダー/ARPA FAR-2127) パーソナルコンピュータ：システム仕様に明記 プロテクトキードライバー：株式会社ライブラリー社製 (有料)
システム仕様	OS：日本語版 Microsoft Windows XP Home Edition/Professional (Windows XP Professional x64 Edition には対応していません) CPU：Core 2 Duo 以上 解像度：1280×1024 以上 推奨 メモリ：1GB 以上 推奨 PCI スロット：2スロット (画像入力ボード、DIO ボード分) その他：内蔵または外付けのCDドライブ (インストール時のみ)

視程計による濃霧や下層雲の監視システム

3-6-3 ライトアップで述べたとおり、雨天や曇天時においては、鳥類が光に誘引され衝突リスクが高まるおそれがあることから、濃霧(ガス)の監視システムも有効であると考えられる。監視システムの構成図(案)を表 3- 25 に示す。視程を計測する機器(視程計)は、気象測器として販売されており*、これとネットワークを組み合わせることで遠隔(リモート)監視が可能になる。



表 3- 25 システム構成図

監視員による鳥類のリアルタイム把握

風車の周囲に鳥類監視員を配置する方法。マガンやヒシクイの渡来地と採餌場のほぼ中間に位置する計画地において、衝突のリスクが懸念されたことから、マガンやヒシクイが周辺に飛来する越冬時期に監視員を配置し、飛来状況に合わせて、風車の稼働を停止することを検討している例がある(平成 21 年 8 月現在)。

その他

米国カリフォルニア州にあるアルタモント風力資源地域では、鳥類の衝突リスクを低減させるため、冬季を中心に風車を一時停止する措置をとっている。資料(16)にその経緯等を整理した。

* 視程計としてバイサラ社 (<http://www.vaisala.co.jp/weather/products/visibility/pwd>)
バイラル社 (<http://www.biral.com/windenergy/windenergyvis.htm>) などがある。

3-7-5 案山子・反射テープ

.....計画・調査・解析・**保全**・事後

対象事業実施区域が留鳥性猛禽類の餌場となり、衝突リスクが高まることが懸念されている場合に保全措置の検討が望まれる。対象とする猛禽類によって、飛来低減の効果が異なる点に留意して活用すること。単独の手法にとどまらず、3-7-4、5、6 を踏まえ総合的なリスク回避・飛来低減策を検討する必要がある。

これらについては環境省（2008a、2009a）で実証実験を行っており、その概略は以下のとおりである。案山子については、Scott et al（2005）による野生生物の被害管理（Wildlife damage management）に、イヌワシへの被害対策として、案山子（scarecrow）が有効であると記載されている。また反射テープについては、既に鳥害防止用に商品化されていること、牧草地のような広大な採餌場でも比較的 low コストで処置でき、猛禽類が採餌のため地上付近に侵入することを防ぐ効果が期待される。実証実験は、平成 19～20 年に実施した。当該事業地では平成 17 年から事業主体による調査も実施されており、調査結果の取りまとめに際しては、事業主体からデータ提供の協力を受けた。案山子・反射テープの設置前後におけるイヌワシ、ノスリの飛翔結果を表 3-26 に示す。イヌワシについては、ある程度の飛来低減効果が見込めるものと考えられるが、ノスリについては明瞭ではなかった。前述 Scott et al（2005）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イヌワシに対してはシェルクラッカー*を併用することが望ましいとしている。

なお、国立・国定公園における立地に際しては、「当該工作物の外部の色彩又は形態がその周辺の風致又は景観と著しく不調和でないこと」（環境省 2004）とされていることから注意が必要である。

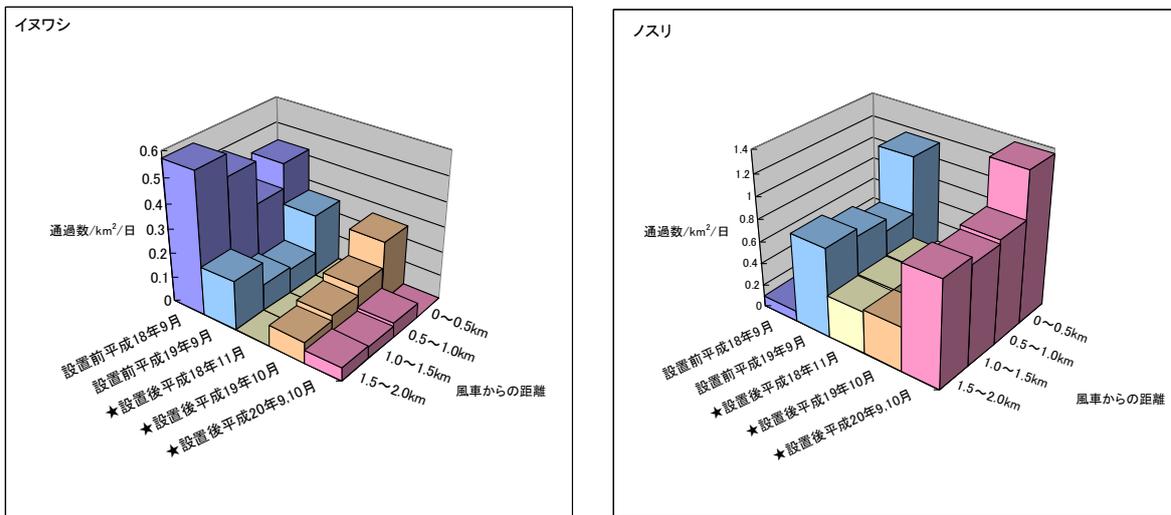


表 3-26 案山子および反射テープの設置前後における猛禽類の飛来頻度の変化

* シェルクラッカー：鉄砲から発射され、上空で炸裂する。小型ピストルタイプもある。海外ではよく使われているようであるが、日本での使用例は空港などに限られる。実弾による駆除と併用すると効果が高い。煙火・花火でも同様の効果がある(http://narc.naro.affrc.go.jp/kouchi/chougai/wildlife/howto_j.htm より抜粋)。

3-7-6 植生および環境管理

.....計画・調査・解析・**保全**・事後

対象事業実施区域が留鳥性猛禽類の餌場となることを想定したものである。対象事業実施区域に生息するとされる餌動物の特性を把握した上で、植生・環境管理を行う。たとえば、前述の植生の選択性指数で選好された植生環境(p3-66)から十分離隔させることも検討されてよい。なお、単独の手法にとどまらず 3-7-4、5、6 を踏まえ、総合的なリスク回避・飛来低減策を検討する必要がある。

このような条件下における保全措置は国内で例がないことから、米国カリフォルニア州アルタモンテ風力資源地域において提言された衝突リスク低減策から該当するものを抜粋し資料(17)に整理した。また、イヌワシの餌資源としてのノウサギに着目し、この種を誘引させない植生環境作りについて、国内の既存資料等から検討したものを資料(18)に示している。

なお、国立・国定公園における立地に際しては、「風力発電施設の設置に伴う自然環境の改変を最小限にとどめ」「樹木の伐採を最小限とするなどの保全措置が必要である」(環境省 2004)とされていることから注意が必要である。

3-8 事後調査手法

3-8-1 回避行動調査

.....計画・調査・解析・保全・事後

予測・評価において鳥類が風車を回避する行動をとることを想定した場合や、予測の不確実性が高いと判断される場合は、事後調査を実施し、事業の影響を確認する必要がある。

鳥類が風車を回避する行動については、衝突リスクを検討する際の大きな要因である一方、種による差異などもあり、現時点で知見が不足している状況にある。そのため、鳥類の回避行動に触れた予測結果には不確実性が伴っており、知見が蓄積されるまでは、事後調査を実施していくことが望まれる。

風車の回避を確認する手法として、「事前事後の飛翔調査」「死骸調査」「探査機器による追跡調査」「事業地と隣接地の飛翔調査」などが考えられる。既存資料にある回避率については、「資料(13) 鳥類の風車回避率について」を参照されたい。

事前事後の飛翔調査による場合は、計画時と供用時について同一の飛翔調査法を用いて、調査結果を比較する。その際、比較対照地域(風車が建設されていない類似環境)を含めた、事前・事後比較対象調査(Before After Control Impact:BACI 調査)を実施することが望ましい。鳥類の出現頻度は自然変動によっても変わりうるため、対照地を設定しないと、自然変動と風車稼働の影響を区別できないためである。BACI 事例として、彩色による回避行動の調査結果(前掲

表 3- 22)が挙げられる。彩色した風車(2号機)は、彩色後の調査で出現頻度が半減した。自然変動も考えられるが、比較対照地や他の風車(1号機や3号機)は彩色後にほとんど変化がなかったことから、彩色した風車(2号機)付近における飛翔頻度の減少は、彩色によって視認性が高まったことによるものと判断できる。

死骸調査による場合は、衝突の有無から、回避の状況を推定する。死骸調査を行った結果、死骸が発見されなければ、衝突は生じていないと推定され、回避していると判断できる。死骸調査の詳細については、3-8-2 死骸調査を参照されたい。

探査機器による場合は、船舶レーダ等の探査機器を用いて、風車周辺の飛翔軌跡を記録・解析して、回避行動を確認する。Desholm & Kahlert (2005)は、洋上ウインドファームに侵入する確率と風車から半径 50m以内に侵入する確率の二つを定義し、それらを掛け合わせた数値を衝突率とした。具体的には、船舶レーダによって鳥類の飛翔軌跡データを収集し(図 3- 54)、GIS データに変換することによって衝突率を求めており、昼間にウインドファームに入る確率は 4.5%、風車の 50m以内に入る確率は 12.3%であるため、衝突率は 0.6%($=0.045 \times 0.123$)と計算された。すなわち 99.4%($=1 - 0.006$)が回避したと推察された。

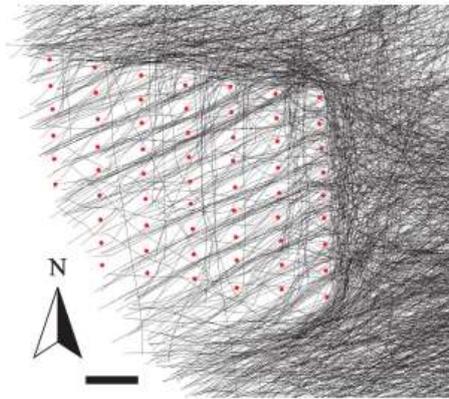


図 3- 54 洋上ウインドファームにおける回避事例 ((Desholm & Kahlert 2005))

事業地と隣接地の飛翔調査による場合、供用時において隣接した類似環境と発電所内での鳥類調査結果を比較することで、回避行動を推定する。一例として、環境省 (2009b)における解析結果を図 3- 55 に示す。これは断崖環境(左図)と海浜環境(右図)で稼働しているウインドファームと隣接する比較対照地域で鳥類調査を実施し、飛翔軌跡を記録し、海岸線からの距離別・平均飛翔軌跡長(50mメッシュ)に整理した。飛翔高度は、L(風車回転域より下)、M(風車回転域)、H(それ以上)に区分した。図中、○印はウインドファーム内、×印は比較対照地域の飛翔軌跡長である。断崖地域における水鳥類(高度Lと高度M)と海浜における猛禽類(高度Lと高度M)については、比較対照地域の内陸部で飛翔が確認されたのに対して、ウインドファーム内では軌跡長が小さくなるか、確認されなかったことから、回避行動をとっているものと推察された。ただし、ウインドファーム内であっても海岸線付近には引き続き飛翔している点(水鳥・猛禽類:高度 H)には注意すべきである。

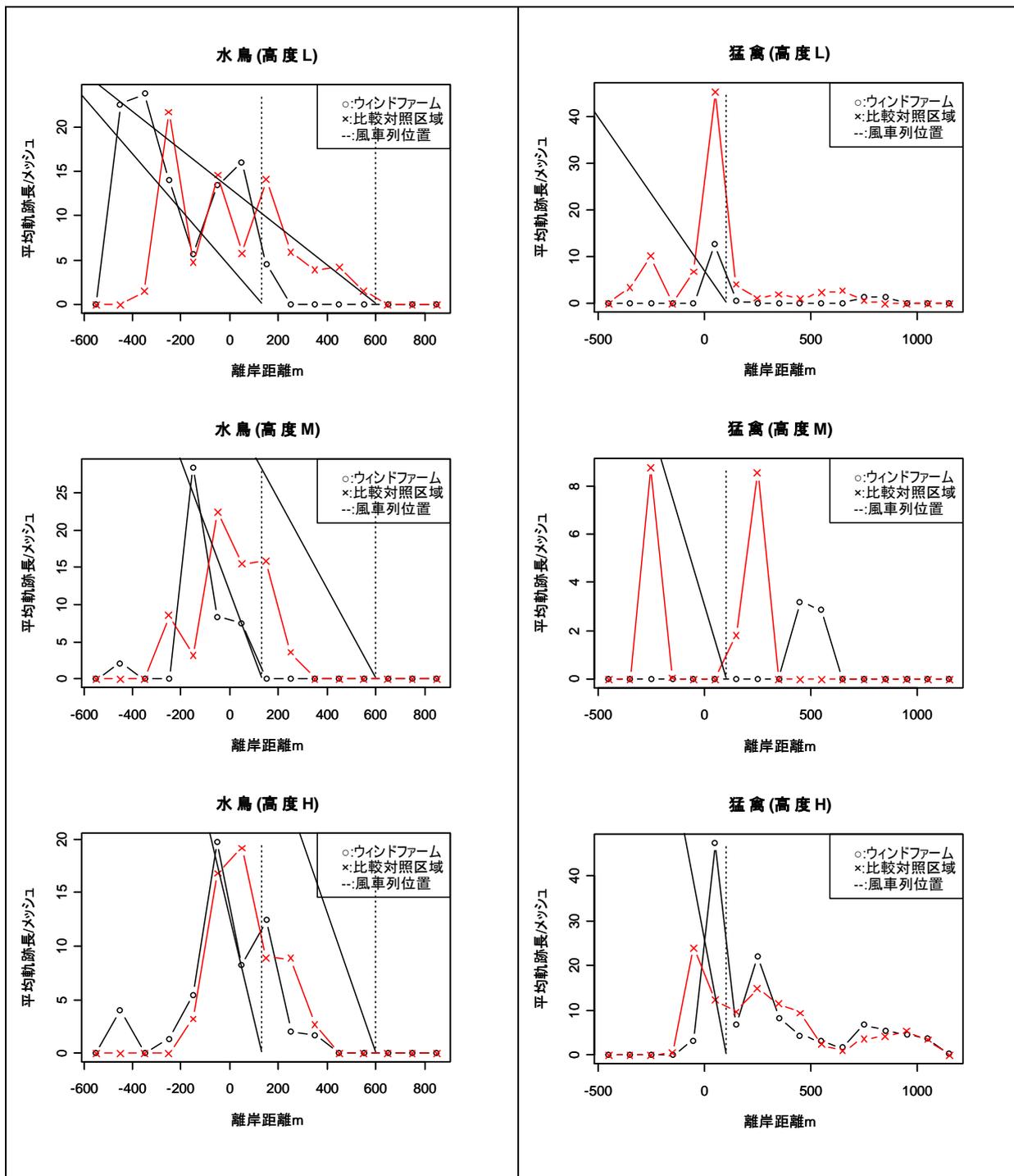


図 3-55 回避行動の解析事例(環境省 2009b)

左図:断崖における水鳥(高度別)および右図:海浜における猛禽類(高度別)の飛翔頻度。解析対象域は離岸距離別にメッシュ数が異なるため、メッシュ当たりの平均飛翔軌跡数とした。離岸距離は100m毎に整理した。なお、断崖の風車列位置は、最近隣風車(最短距離)~以遠風車(最大距離)としたため2破線で示したのに対し、海浜の風車列位置は一行のため1破線である。

鳥類衝突の予測は不確実性が高いことから、供用後から一定期間、死骸調査を実施する必要がある(表 3-28 の I: 死骸調査の項)。衝突の実態把握は、不確実性の検証だけでなく、将来の事業計画に反映されることで衝突リスクを低減した風力発電事業の促進が期待できる。

なお、「3-1 既存文献等による生息概略把握」や「3-2 配慮すべき重要な地域」においては、死骸調査の結果に基づき、衝突数の推定作業も行うことが望まれる。

推定衝突数と飛翔調査結果を組み合わせれば、鳥類種別の衝突リスク評価も可能となる。

前述したとおり、鳥類は風車を含む様々な人工物に衝突するが(Erickson et al 2001)、回転する翼(ブレード)によってもたらされる衝突(バードストライク)は、風力発電に特徴的な事象といつてよい。ほとんどの風力発電所は、人間の居住地から隔離された自然環境に立地されるため、衝突した死骸が人目に触れる可能性は低い。死骸がキツネやタヌキ等の捕食性動物に持ち去られる可能性も高く(残存率の重要性)、低木の茂み等に落下した場合は探索することも困難である(発見率の重要性)。さらに断崖の端部や海岸線直近に風車が設置してあれば、死骸は断崖下や海上に落下することも考えられる(落下範囲や踏査範囲の重要性)。

従来、米国では風力発電事業者が施設メンテナンスの際に、施設周辺を踏査し、死骸を発見するという手法が一般的であった。しかしながら、鳥類調査や死骸調査に精通しないスタッフによる死骸調査では見落とし率が高くなることが懸念されている(たとえば、Smallwood & Thelander 2004 によれば、メンテナンス・スタッフによる発見率はアカオノスリ 18~26%、イヌワシ 24~41%であり、見落とし率が高いため、訓練された鳥類調査員が行うことを推奨している)。

国内では、環境省と資源エネルギー庁が主催した「風力発電施設と自然環境保全に関する研究会」における風力発電事業者懇話会・日本風力発電協会(2007)において、自主的な調査に基づく推定衝突率が示されている(表 3-27)。しかしながら、調査手法は事業者によってばらつきがあるとされており、ここでは推奨される標準的な調査手法を表 3-28 に紹介することとした。なお、ここで示したのは標準例であり、具体的な実施方法は専門家に意見を求めるなどして決定するのが望ましい。

表 3-27 事業者による鳥類衝突事象の把握状況

項目	補正後
全鳥類	0.284 個体/MW/年
全猛禽類	0.112 個体/MW/年
希少猛禽類	0.005 個体/MW/年

風力発電事業者懇話会・日本風力発電協会(2007)の一部抜粋。2006年3月までに運転を開始している風力発電 558 基(721MW)、当時国内で運転中の全風車のおよそ 67%を対象とした。調査方法は、週 1 回の定期的なモニタリングから保守点検時の偶発的な発見まで、事業者間で差異がある。補正は、1 回/月の調査、死骸は 3 日で消失すると仮定し、実際に発見された死骸数を 10 倍(1 ヶ月=30 日/3 日)している。

表 3-28 推奨される死骸調査方法(案)

項目	概要	
I.死骸調査	1.調査期間	最低 1 年間。
	2.調査対象風車	原則として施設の全風車。照明鉄塔、気象観測鉄塔等がある場合はそれらも含む。
	3.調査間隔	ひとつの風車につき、1 回以上/月とする。可能であれば 2 回/月。
	4.1 基あたりの調査半径	調査半径を、地上からブレード先端部（頂上部）までとする円内。
	5.体長サイズ別の群分	死骸数を推定するにあたり、体サイズを目安に複数群に分ける
II.衝突数推定作業	6.死骸の消失率	鳥類の体サイズ別に消失率実験を行う(第 4 章参考資料編)。もしくは Kitano (2009)、バードストライク防止策実証業務の結果、Smallwood (2008)等を用いる。
	7.死骸の発見率	鳥類の体サイズ別に発見率実験を行う(第 4 章参考資料編)。もしくは、Kitano (2009)やバードストライク防止策実証業務の結果等を用いる。
	8.踏査域内の踏査率	事前に調査票を作成し、踏査可能範囲を把握する。
	9.推定衝突数	<p>[風車における推定衝突数]</p> <p>ある風車（1 基）の推定衝突数は、以下の換算式を用いて推定する。 （1 年間分の死骸数が得られていることが前提である） 鳥類の体サイズを i タイプに区分する（例 i=大型、中型、小型）。死骸踏査範囲のうち、踏査できる範囲を踏査率 A とおく。死骸踏査範囲の植生を j タイプに区分する(例 j=裸地、草原、林地)。 植生タイプ j で発見された体サイズ i の鳥類死骸数(個体/年)を、発見数$[i,j]$で表す。 植生タイプ j における体サイズ i の発見率を、発見率$[i,j]$であらわす。 体サイズ i の消失率を、消失率$[i]$であらわす。</p> <p>①発見率による補正作業 発見率補正を行った死骸数(F_1)は次の式で表す $F_1[\text{大型}] = \text{発見数}[\text{大,裸地}] / \text{発見率}[\text{大,裸地}] + \text{発見数}[\text{大,草原}] / \text{発見率}[\text{大,草原}] + \text{発見数}[\text{大,林地}] / \text{発見率}[\text{大,林地}]$ $F_1[\text{中型}] = \text{発見数}[\text{中,裸地}] / \text{発見率}[\text{中,裸地}] + \text{発見数}[\text{中,草原}] / \text{発見率}[\text{中,草原}] + \text{発見数}[\text{中,林地}] / \text{発見率}[\text{中,林地}]$ $F_1[\text{小型}] = \text{発見数}[\text{小,裸地}] / \text{発見率}[\text{小,裸地}] + \text{発見数}[\text{小,草原}] / \text{発見率}[\text{小,草原}] + \text{発見数}[\text{小,林地}] / \text{発見率}[\text{小,林地}]$</p> <p>②累積残存率による補正 補正死骸数(F_1)を体サイズ毎に累積残存率で補正する(F_2) $F_2[\text{大型}] = F_1[\text{大型}] / \text{累積残存率}[\text{大型}]$ $F_2[\text{中型}] = F_1[\text{中型}] / \text{累積残存率}[\text{中型}]$ $F_2[\text{小型}] = F_1[\text{小型}] / \text{累積残存率}[\text{小型}]$</p> <p>③踏査率による補正 F_2の総和を死骸踏査率 A で除し、推定衝突数(F_3)を得る $F_3(\text{基/年}) = (F_2[\text{大型}] + F_2[\text{中型}] + F_2[\text{小型}]) / \text{踏査率 } A$</p> <p>④MW あたり年あたりの衝突率 1MW あたりの推定衝突数(個体/MW/基、これを F_4)は、風車の定格出力で除す。 $F_4(\text{個体/MW/基}) = F_3(\text{基/年}) / \text{定格出力(MW)}$</p> <p>[鳥類種別の推定衝突数] 対象とする鳥類を定めるとき、体長サイズと消失率が決まる。このため植生タイプ毎に発見率による補正を行い、合計値を踏査率で補正する。</p>

調査期間は、最低1年間が必要と考えられる。鳥類は季節を通じて、様々な種が飛来(渡来)するため、特定の季節のみの調査では衝突の全貌を把握することは困難である。したがって、最低1年間の死骸調査は必要と考えられる。ただし、衝突事象は稀な事象であり不確実性が高く、後述する消失率や発見率等を考慮すれば、1年間調査をしても死骸がまったく発見されない可能性もある。

調査対象風車は、原則として施設の全風車とする。なお、ウインドファームに航空障害灯(照明)タワーや気象(風況)観測用タワーが付帯する場合は、これらへの衝突も考えられることから、調査対象とすべきである。

調査間隔は、1基の風車につき1回以上/月とする。死骸は調査間隔が空くにつれ、キツネやタヌキに捕食されて消失し易くなる。なお、カリフォルニア州ガイドラインは2回/月を推奨している。

風車1基あたりの調査半径は、地上からブレード先端部(頂上部)までの円内とする(図3-56)。衝突した鳥類が、風車からどの程度の離隔まで落下しうるのはまだよくわかっていない。また衝突によっても即死せず、傷ついた状態で飛翔を続け、相当離れた場所で死亡することも考えられる。

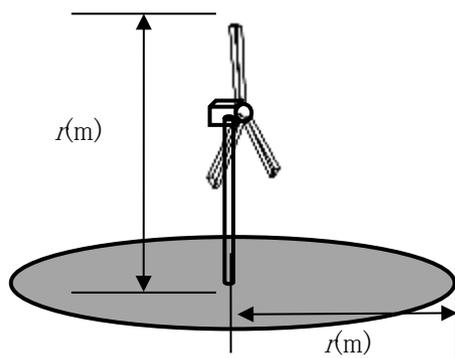


図3-56 死骸調査の踏査範囲

地上からブレード先端部までの長さを調査半径 $r(m)$ する(点線矢印)

なお、保護上重要な地域や配慮すべき重要な地域においては、衝突リスクの回避・低減による渡り経路、集結地等の機能維持が求められることから、調査結果を踏まえ実際の衝突数の推定作業を行うことが望ましい。推定作業は、発見された死骸数を体長サイズ別に区分し、発見率(detection rate)、残存率(reains rate)、踏査率(search area)のパラメタ群によって補正する必要がある。やむを得ずパラメタ推定ができなかった場合は、衝突数 dts 個体/MW/年/のように未補正項を明記するなどして、死骸数・発見数と区別できるよう工夫することが望まれる(表3-29)。

表 3- 29 死骸調査結果の記述例

項目	記述例
発見死骸数に基づく（補正を行わない場合）	発見死骸数 ^{drs} (個体/MW/年)
推定衝突数（発見率のみ補正した場合）	推定衝突数 ^{rs} (個体/MW/年)
推定衝突数（発見率、消失率、踏査域すべて補正済）	推定衝突数（個体/MW/年）

サイズ別のタイプ分けとは、死骸数を推定するにあたり、体長を目安に複数のタイプに分けることである。北野(Kitano 2009)は、表 3- 30 に示すとおり鳥類を体長に応じて大型、中型、小型の3群に区分した。一方、バードストライク防止策実証業務においては、キジバトをひとつの目安とし、それより大きいものを「大型」、小さいものを「小型」とした。

表 3- 30 体長サイズ別の目安 (Kitano 2009 より作成)

グループ	代表的な鳥類
大型鳥類	オジロワシ、ノスリ、トビ、オオセグロカモメ
中型鳥類	ハイタカ、ハシブトガラス、カルガモ、キジバト
小型鳥類	イワツバメ、ホオジロ、アオジ、ムクドリ

死骸の残存率は、鳥類の体サイズによって異なる。具体的な値としては、米国で行われた様々な死骸消失実験結果を整理した(Morrison 2002)の総説のほか、Smallwood (2008) 等がある。国内では、北海道苫前で行われた死骸消失実験 (Kitano 2009)、環境省 (2008a、2009a)における死骸消失実験による推定値がある。

北野 (Kitano 2009)は、野生鳥類死骸を用いて実験を行った。環境省 (2008a、2009b)は、家禽(ニワトリ、ウズラ、ヒヨコおよびスズメ)を用いて死骸消失実験を実施した。

これら二つの実験結果を図 3- 57 に示す。野鳥死骸に比べ家禽死骸の消失は速いとする指摘もあり (Smallwood 2007 ほか)、同様の傾向が示唆される。一般論としていえば、家禽を用いた消失率は、(消失速度が野鳥に比べ相対的に速いとされていることから)推定衝突数は過大評価される傾向があると思われる。ただし、風車の立地環境によって捕食者の数も異なることが予想されるから、本来はそれぞれの事業実施区域で残存率の調査を実施することが望ましい。このとき、国内で野鳥死骸を準備することは難しいことから、家禽を活用せざるを得ない場合であっても、推定衝突率は安全側に過大評価される点に留意する。

残存率の実験方法について日本語で書かれた資料として、Smallwood (2008)、日本野鳥の会 (2010)、California Energy Commission & California Department of Fish and Game (2007)などが参考となる。

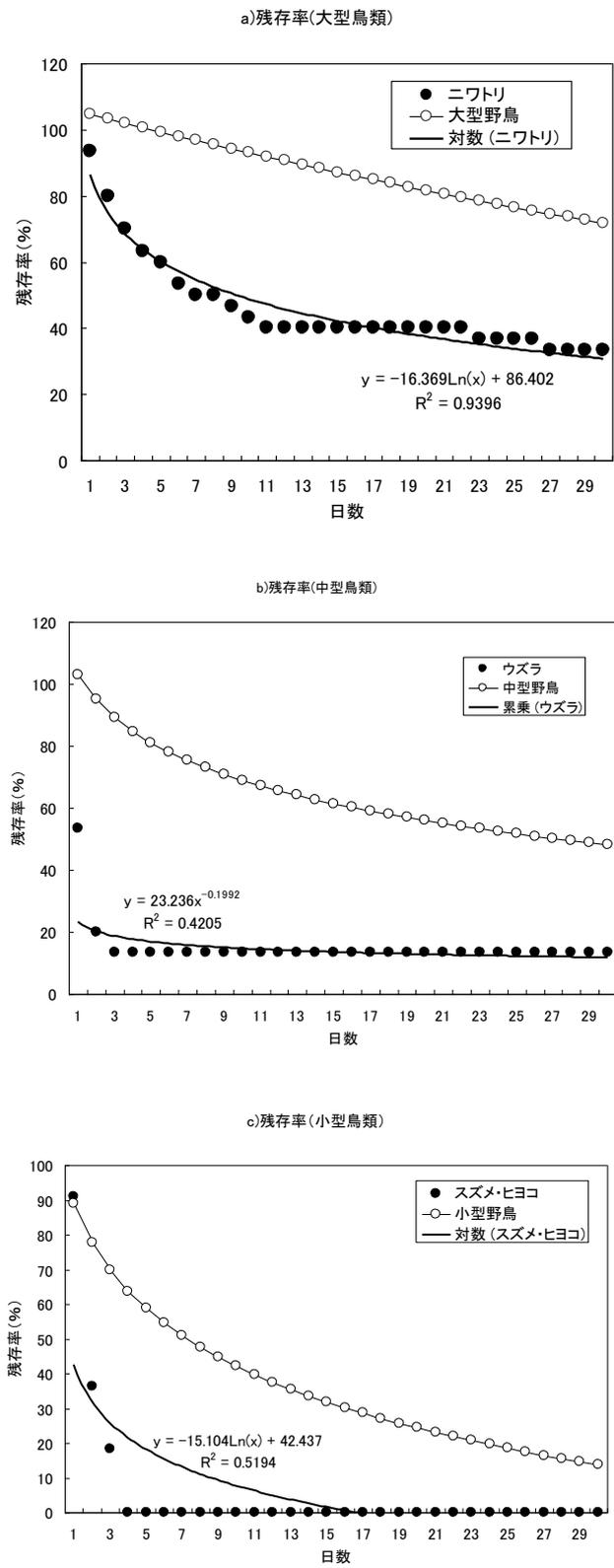


図 3-57 鳥類死骸を用いた残存率曲線

図中、白丸は北野(Kitano 2009)の回帰式から得られた計算値であり、黒丸は環境省(2008a,2009a)の観測値である

累積残存率

前掲の回帰式は小型、中型および大型鳥類死骸を設置してから、 x 日経過したときの、残存率(瞬間値)である。死骸調査日数の間隔を平均 d 日とすれば、 d 日経過したときの累積死骸残存率(R_i)は、回帰式によって 1 日～ d 日までの y の総和を d で除した平均値であり、以下の式で求まる。

$$R_{s,M,L} = (\sum_{i=1}^d Y_{[i]}) / d \quad (\text{ただし、s は小型鳥類、M は中型鳥類、L は大型鳥類})$$

Smallwood (2007)は、アルタモントにおける死骸実験結果等から、鳥類の体サイズ別の累積残存率一覧表を作成した(表 3- 31)。同表には、小型鳥類、大型鳥類(非猛禽類)および猛禽類等についての日別残存率が掲載されており、毎月1回(直前の死骸踏査から 30 日の間隔)の死骸調査であれば、大型猛禽類(large raptor)の残存率は 93%(=0.93)と読み取れる。

表 3- 31 Smallwood (2007)による鳥類の累積残存率

Time since last search (d)	% of carcasses remaining					
	Small nonraptor birds	Large nonraptor birds	Small raptors	Large raptors	Chickens and game hens	Rock doves
1	82	87	98	103	85	97
2	77	83	91	102	75	96
3	73	81	85	101	67	96
4	70	78	81	100	60	95
5	67	77	76	100	54	95
6	64	75	73	99	49	94
7	61	73	70	99	45	94
8	59	72	67	98	41	93
9	57	71	64	98	37	93
10	55	69	61	97	33	92
11	54	68	59	97	30	92
12	52	67	57	97	28	91
13	51	66	55	96	26	91
14	49	66	53	96	24	90
15	48	65	51	96	22	90
16	47	64	50	96	21	89
17	45	63	48	95	20	89
18	44	62	46	95	19	89
19	43	62	45	95	18	88
20	42	61	43	95	17	88
21	41	60	42	95	16	87
22	40	60	41	94	15	87
23	39	59	40	94	14	86
24	38	59	38	94	14	86
25	38	58	37	94	13	85
26	37	58	36	94	13	85
27	36	57	35	93	12	84
28	35	57	34	93	12	84
29	34	56	33	93	11	83
30	34	56	32	93	11	83
31	33	55	31	93	11	82
32	32	55	30	93	10	82
33	32	54	29	93	10	81
34	31	54	28	92	10	81
35	30	54	27	92	10	80
36	30	53	27	92	9	80
37	29	53	26	92	9	79
38	29	52	25	92	9	79
39	28	52	25	92	9	78

また、前掲図 3- 57 の回帰式より累積残存率を計算したものを表 3- 32 に示す。

表 3- 32 野生鳥類*と家禽**を用いた実験から得られた累積残存率

	大型家禽(ニワトリ)	大型野鳥	中型家禽(ウズラ)	中型野鳥	小型家禽(スズメ・ヒヨコ)	小型野鳥
1	84.4	104.6	23.2	103.1	42.4	88.9
2	78.7	103.9	21.7	99.0	37.2	83.4
3	74.6	103.2	20.7	95.8	33.4	78.9
4	71.4	102.6	19.9	93.0	30.4	75.1
5	68.7	101.9	19.3	90.6	28.0	71.8
6	66.5	101.3	18.8	88.5	25.9	69.0
7	64.5	100.6	18.4	86.6	24.0	66.4
8	62.7	100.0	18.0	84.9	22.4	64.0
9	61.1	99.3	17.7	83.4	21.0	61.9
10	59.7	98.7	17.4	81.9	19.6	59.9
11	58.4	98.1	17.1	80.6	18.4	58.1
12	57.1	97.5	16.9	79.3	17.3	56.4
13	56.0	96.8	16.6	78.2	16.2	54.8
14	54.9	96.2	16.4	77.1	15.3	53.3
15	54.0	95.6	16.2	76.0	14.3	51.8
16	53.0	95.0	16.1	75.0	13.5	50.5
17	52.1	94.4	15.9	74.1	12.7	49.2
18	51.3	93.8	15.7	73.2	12.0	48.0
19	50.5	93.3	15.6	72.3	11.4	46.8
20	49.8	92.7	15.4	71.5	10.8	45.7
21	49.0	92.1	15.3	70.7	10.3	44.6
22	48.3	91.5	15.2	70.0	9.8	43.6
23	47.7	91.0	15.1	69.3	9.4	42.6
24	47.0	90.4	15.0	68.6	9.0	41.6
25	46.4	89.9	14.8	67.9	8.6	40.7
26	45.8	89.3	14.7	67.2	8.3	39.8
27	45.3	88.8	14.6	66.6	8.0	38.9
28	44.7	88.2	14.5	66.0	7.7	38.1
29	44.2	87.7	14.5	65.4	7.4	37.3
30	43.7	87.2	14.4	64.8	7.2	36.5
31	43.2	86.6	14.3	64.3	7.0	35.7
32	42.7	86.1	14.2	63.7	6.7	35.0
33	42.2	85.6	14.1	63.2	6.5	34.3
34	41.8	85.1	14.0	62.7	6.3	33.6
35	41.3	84.6	14.0	62.2	6.2	32.9
36	40.9	84.1	13.9	61.7	6.0	32.2
37	40.5	83.6	13.8	61.2	5.8	31.6
38	40.0	83.1	13.8	60.8	5.7	30.9
39	39.6	82.6	13.7	60.3	5.5	30.3
40	39.3	82.1	13.6	59.9	5.4	29.7
41	38.9	81.6	13.6	59.4	5.3	29.1
42	38.5	81.1	13.5	59.0	5.1	28.5
43	38.1	80.6	13.4	58.6	5.0	28.0
44	37.8	80.2	13.4	58.2	4.9	27.4
45	37.4	79.7	13.3	57.8	4.8	26.8
46	37.1	79.2	13.3	57.4	4.7	26.3
47	36.8	78.8	13.2	57.0	4.6	25.8
48	36.4	78.3	13.2	56.7	4.5	25.3
49	36.1	77.8	13.1	56.3	4.4	24.8
50	35.8	77.4	13.1	55.9	4.3	24.3

*: 北野(Kitano 2009)の回帰式、**環境省(2008a、2009a)から得られた回帰式から累積残存率を計算した。

死骸の発見率は、地表面の条件(裸地、草原、低木、林等)や鳥類の体サイズによって異なる。ここでは、北野(Kitano 2009)による死骸発見率に関する実験結果を表 3- 33 に示す。牧草地において実施されたもので、牧草地(採草、採草なし)と鳥類の体サイズ(大型、中型、小型)の 6 通りの実験が行われた。

表 3- 33 鳥類死骸の発見率(Kitano 2009 より引用)

牧草 (pasture)	小型鳥類 (n=75)	中型鳥類 (n=27)	大型鳥類 (n=20)
採草 (harvested)	0.68	1.00	1.00
採草なし (unharvested)	0.41	0.65	1.00

踏査率とは、事前に調査票を作成し、踏査可能範囲を調査範囲で除すことで求められる。前述したとおり調査範囲は、「地上からブレード先端部(頂上部)までの長さを半径」としている。しかしながら、風力発電施設は様々な環境に立地しており、円内すべてを調査できるとは限らない。円内には、谷筋、断崖、水辺等があつて、物理的に調査が不可能な場合があるし、林やブッシュ等で覆われ、時間や経費の点から難しい場合もある。事前調査によって、踏査可能な範囲を定めておくこと。これには二つの目的がある。第一に、(誰でも)実行可能な範囲をあらかじめ定め、調査の標準化が図れる。第二に、踏査率という補正係数を得られること。仮に、半径 100m の調査円面積 31,400m²(=100x100x3.14)とし、踏査可能な範囲が 3,000m²程度である場合、踏査率 0.096(=3,000/31,400)、補正係数は踏査率の逆数 10.5(=1/0.095)である。

なお、厳密にいうと衝突した鳥類が踏査円内に均等な確率で落下するとは限らない。北野(Kitano 2009)は、これを解決するために踏査円を 40 の区画に分割し、各区画における踏査率と落下率を乗じ、総和したものを補正済み踏査率とした。すなわち:

$$\text{北野(Kitano 2009)の風車}_{[i]} \text{の補正済み踏査率} = \sum_{d=1}^{40} (\text{踏査率}_{[d]} \times \text{落下率}_{[d]})$$

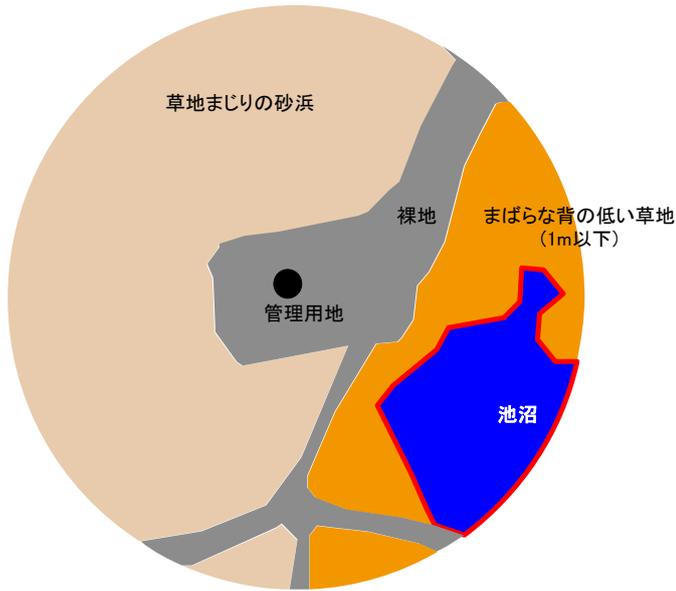
ここで、踏査率_[d]=風車_[i]における区画_[d]の踏査率、落下率_[d]=全風車における区画_[d]の補正死骸数/全風車における補正死骸数=(全風車における区画_[d]の死骸数/全風車における区画_[d]の踏査率)/ $\sum_{d=1}^{40}$ (全風車における区画_[d]の死骸数/全風車における区画_[d]の踏査率)、である。

死骸調査の手順(例)として、環境省(2008a,2009a,2010a)で用いた調査票を図 3- 58 に示すとともに、死骸を発見した場合の手順を示す。手順書には、「鳥類死骸をビニール袋等で回収」、「冷凍保存」等と記載されているが、鳥インフルエンザ等の感染症リスクが懸念される場合は、写真撮影にとどめ速やかに埋設することが望ましい。

なお、死骸発見数からの衝突数を推定する方法については、参考資料(20)にモデルケースを示した。

死骸等確認票

発電所名 : ○○ウインドファーム	確認番号
風車 No. : 8	
調査年月日 : 平成 年 月 日	
確認時刻 : <input type="checkbox"/> 午前 <input type="checkbox"/> 午後	
調査員氏名 : .	
確認状態 :	
種別 : <input type="checkbox"/> 死骸(完全) <input type="checkbox"/> 死骸(一部) <input type="checkbox"/> 死骸(散乱) <input type="checkbox"/> 羽毛痕跡 <input type="checkbox"/> 生存 <input type="checkbox"/> その他	



- : 風車位置 □ : 踏査しない範囲 ■ : まばらな背の低い草地 ■ : まばらな背の低い樹林
- : 裸地(管理用道路、アスファルト等) ■ : まばらな背の高い草地 ■ : まばらな背の高い樹林
- : 砂浜 ■ : 背の低い密な草地 ■ : 背の低い密な樹林
- : 草地まじりの砂浜 ■ : 背の高い密な草地 ■ : 背の高い密な樹林
- : 池沼

備考

図 3- 58 死骸調査票(例)

【鳥類死骸を確認した場合の手順】

- 確認位置: 死骸等確認票に発見場所等を記入する。
- 損傷状況: 特徴的な損壊状況などがあれば記入する。
- 写真撮影: 接写数枚(死骸本体や羽のサイズが判別できるように必ず定規とともに写し込む)、遠景(風車基部と死骸の位置を写し込む)、本体がある場合は羽を広げたもの(裏、表の両面)。
- 確認された死骸はすべて回収、保管する(ただし、鳥インフルエンザ等の感染症リスクが懸念される場合は、写真撮影にとどめ速やかに関係機関に連絡することが望ましい)。
- 遺体の回収: 死骸確認ラベルとともに個別別にビニール袋に回収する。回収時には、手袋着用のこと。
- ビニール袋の口をビニールテープなどできつく結節したのち、死骸確認ラベル(外用)を袋の見えるところに貼り付ける。マジックでビニールテープに確認番号を記入する。
- 腐乱・損壊の激しい鳥類死骸の場合も、「スコップ等で土壌ごと袋詰め」する。

【死骸の種名判別ならびに処理】

a. 写真と鳥類調査票に基づき種名を判定する

↓

b. 希少種(種の保存法に基づく国内希少野生動植物種)と判明した場合、速やかに環境省へ連絡する。それ以外の希少種(レッドリスト掲載種等)については、適宜報告を行う。それ以外の希少種については、適宜報告を行う。

↓

c. 普通種(法令等に該当しない種)と判明した場合は処分(埋設)する。

3-8-3 衝突リスク解析[供用時]

.....計画・調査・解析・保全・事後

死骸調査結果と飛翔調査結果から、衝突リスク指数(Risk Index)を求めることによって、衝突しやすい種を把握することができる。

衝突リスク指数(Risk Index)

衝突リスク指数は、次式によって得る(日本語訳の総説として Smallwood 2008 など)。この数値は、推定衝突数に比例し、利用率(たとえば出現頻度等)に反比例する。

鳥類 A のリスク指数(Risk Index) = 鳥類 A の死亡率 / 鳥類 A の利用率

ここで、鳥類 A 死亡率 = 鳥類 A の年間の推定衝突数 / 定格出力 (MW).....式(a)

鳥類 A 利用率 = 鳥類 A の出現頻度 / 時 / 調査面積

Smallwood (2008)は、風車の年間発電量の実績から平均発電量(kWh)がわかれば、定格出力(MW)の代わりに用いることも示している。

鳥類 A 死亡率 = 鳥類 A の年間の推定衝突数 / 平均発電量(kWh).....式(b)

鳥類 A 利用率 = 鳥類 A の出現頻度 / 時 / 面積

両者の式を比較すると、式(a)には課題が残されている。同一の定格出力、同一の推定衝突数が得られた二つの風車を比較したとき、ひとつの風車は機器トラブル等で半年間停止、もうひとつの風車は年間を通じて正常に稼働していても、式(a)によれば同一の衝突リスク値を持つこととなる。衝突事故は、回転しているブレードに鳥類が衝突する事象と定義される。式(b)がより実態に即していると思われるが、さらに安全を考慮すると設備利用率ではなく稼働率を用いる必要があるだろう。

解析事例として、環境省(2008a、2009a、2010a)で得られた4サイトの調査結果を用い*、リスク指数は式(a)を用いたところ、衝突リスク値の最大は、カルガモ 45.6(施設 N)であった。これに対して最小はカワラヒワ 0.07(施設 N)であり、前者は後者に比べ、およそ数百倍(表中、リスク比の項: $45.59 \div 0.07 = 652.7$)も衝突しやすい種であることが示唆された。しかしながら、カモ類は主に夜間に採餌活動をし、ツグミ類も主に夜間に渡るといわれている。飛翔頻度は、昼間の調査結果に基づくため、主に夜間に活動する種の衝突リスク指数は、過大評価されている可能性も考えられる。このためカルガモとツグミを除いた鳥類種別の衝突リスク指数を表 3- 34 と図 3- 59 に示す。

また、衝突リスク指数の多少を問わず、複数の施設で死骸が発見されている種があり、カルガモ、キジ、トビ、ノスリ、カワラヒワの 4 種は相対的に衝突しやすい種かも知れない。

なお、死骸が発見された場所を特徴的な地形とみなし、そのような地形条件が対象事業実施区域のどこに分布するのかを把握するためには、統計モデルを用いてポテンシャルマップを作成することが有効である。この作業手順は資料(22)に示している。

* 参考値としてイヌワシの数値も加えた(岩手県立大学名誉教授 由井正敏氏 提供)。

表 3- 34 風力発電施設別・鳥類種別の衝突リスク指数(太字は複数出現種)

種名	a.推定衝突数/MW/yr	b.飛翔頻度/ha/hr	衝突リスク指数(a/b)	サイト名	リスク比*
キジ	0.091	0.011	8.57	C	122.8
ケアシノスリ	0.144	0.021	6.95	B	99.5
キクイタダキ	0.666	0.101	6.57	A	94.0
チョウゲンボウ	0.517	0.110	4.68	B	67.0
ヒバリ	0.578	0.141	4.11	C	58.8
イヌワシ	0.038	0.009	4.02	E	57.5
キジ	0.224	0.145	1.54	A	22.1
ヒヨドリ	0.796	0.595	1.34	C	19.1
ノスリ	0.048	0.058	0.83	C	11.8
トビ	0.299	0.458	0.65	A	9.3
ウミネコ	0.038	0.061	0.63	C	9.0
ノスリ	0.110	0.345	0.32	B	4.6
トビ	0.199	0.625	0.32	B	4.6
ハシブトガラス	0.309	1.789	0.17	B	2.5
カワラヒワ	0.152	1.384	0.11	D	1.6
カワラヒワ	0.494	7.068	0.07	A	1.0

*リスク比は、最小値(カワラヒワ:0.07)を基準として算出した。

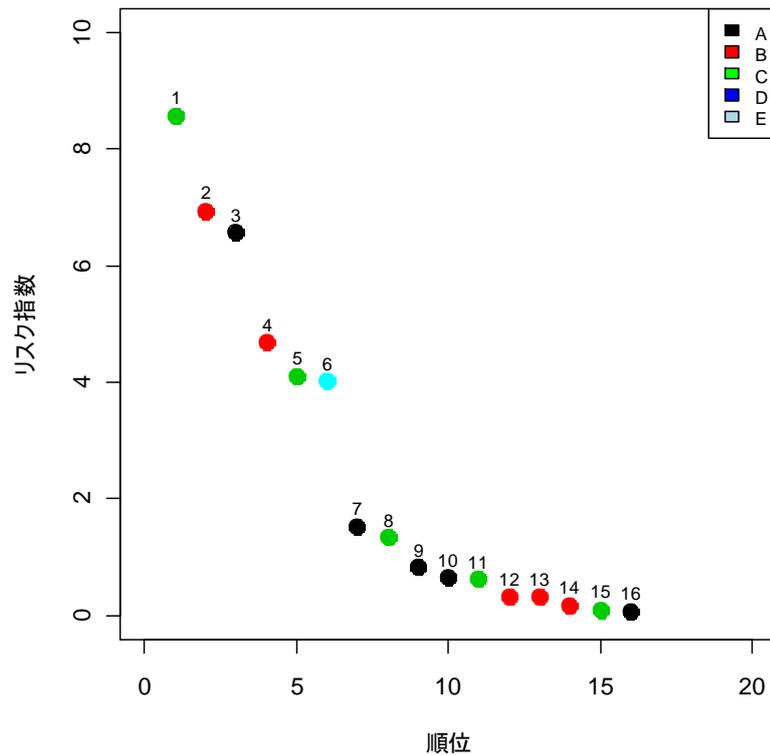


図 3- 59 衝突リスク指数(鳥類種別、風力発電施設別)

鳥類種番号は、1)キジ、2)ケアシノスリ、3)キクイタダキ、4)チョウゲンボウ、5)ヒバリ、6)イヌワシ、7)キジ、8)ヒヨドリ、9)ノスリ、10)トビ、11)ウミネコ、12)ノスリ、13)トビ、14)ハシブトガラス、15)カワラヒワ、16)カワラヒワ である。

3-9 その他の配慮が望ましい事項

3-9-1 翼手(コウモリ)類

.....計画・調査・解析・保全・事後

[翼手類(コウモリ類)]

専門家からの聞き取り、文献調査、聞き取り調査および現地調査を実施し、希少コウモリ類の生息や渡り経路、重要なねぐら(コロニー等)、採餌地が存在する可能性を検討する必要がある。なお、希少コウモリ類の重要な生息地や渡り経路、ねぐらが存在する可能性が示唆された場合は、専門家の指導を受けつつ調査を進め、必要に応じて保全措置をとることが望まれる。

環境省レッドデータブックに記載されている絶滅のおそれのある哺乳類 73 種(亜種を含む)のうち、33 種がコウモリ類である(表 3- 35)。

なお、コウモリ類の調査手法については松江他(2006)、風力発電事業に伴うコウモリ類調査については、California Energy Commission & California Department of Fish and Game (2007)、Kunz et al (2007)、Rodrigues et al (2008)、BWEC (The Bats and Wind Energy Cooperative)、Bat Conservation Trust (2008)等がある。

表 3- 35 環境省レッドデータブックに登録されたコウモリ類

種名	RDB ランク	概略
オキナワオオコウモリ	絶滅 (EX)	20世紀以降は記録がない
オガサワラアブラコウモリ	絶滅 (EX)	20世紀以降は記録がない
ダイトウオオコウモリ	絶滅危惧 IA類 (CR)	クビワオオコウモリの1亜種
エラブオオコウモリ	絶滅危惧 IA類 (CR)	クビワオオコウモリ (<i>Pteropus dasymallus</i>) の基亜種
オガサワラオオコウモリ	絶滅危惧 IA類 (CR)	
ミヤココキクガシラコウモリ	絶滅危惧 IA類 (CR)	沖縄島に生息するオキナワコキクガシラコウモリ (<i>R. p. pumilus</i>) の宮古島産亜種
ヤンバルホオヒゲコウモリ	絶滅危惧 IA類 (CR)	
オリイコキクガシラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	コキクガシラコウモリ (<i>Rhinolophus cornutus</i>) の奄美諸島の亜種
オキナワコキクガシラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	沖縄島、伊平屋島、久米島に分布する小型のコキクガシラコウモリの仲間 (<i>Rhinolophus</i> 属) である
ヤエヤマコキクガシラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	石垣島に生息する小型のコキクガシラコウモリの仲間 (<i>Rhinolophus</i> 属) である
イリイモテコキクガシラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	西表島のみから知られる小型のコキクガシラコウモリの仲間 (<i>Rhinolophus</i> 属) である
カグラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	日本における唯一のカグラコウモリ科の種
ウスリホオヒゲコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	ホオヒゲコウモリ (<i>Myotis mystacinus</i>) の東アジア亜種
エソホオヒゲコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	種ヒメホオヒゲコウモリ (<i>Myotis ikonnikovi</i>) の北海道日高山脈に分布する亜種
クロホオヒゲコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	
モリアブラコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	
クビワコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	本州中部のみに分布する固有種
リュウキュウユビナガコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	
リュウキュウテングコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	
オヒキコウモリ	絶滅危惧 IB類 (EN)	
シナノホオヒゲコウモリ	絶滅危惧 II 類 (VU)	種ヒメホオヒゲコウモリ (<i>Myotis ikonnikovi</i>) の長野県に生息する亜種
ホンドノレンコウモリ	絶滅危惧 II 類 (VU)	ノレンコウモリ (<i>Myotis nattereri</i>) の東アジア亜種
コヤマコウモリ	絶滅危惧 II 類 (VU)	
テングコウモリ	絶滅危惧 II 類 (VU)	
フジホオヒゲコウモリ	準絶滅危惧 (NT)	ヒメホオヒゲコウモリ (<i>Myotis ikonnikovi</i>) の本州東部亜種
ヤマコウモリ	準絶滅危惧 (NT)	
オゼホオヒゲコウモリ	情報不足 (DD)	ヒメホオヒゲコウモリ (<i>Myotis ikonnikovi</i>) の亜種
クロオオアブラコウモリ	情報不足 (DD)	オオアブラコウモリ (<i>Pipistrellus savii</i>) の極東ロシアおよび北日本産亜種
コウライオオアブラコウモリ	情報不足 (DD)	オオアブラコウモリ (<i>Pipistrellus savii</i>) の朝鮮半島および対馬産亜種
ヒメヒナコウモリ	情報不足 (DD)	
クチバテングコウモリ	情報不足 (DD)	模式標本の1頭が対馬から知られるのみである
スミイロオヒキコウモリ	情報不足 (DD)	本亜種は捕獲例が極めて少ない(国内では2事例のみ)
チチブコウモリ	地域個体群 (LP)	本州および四国の地域個体群

環境省レッドリスト(http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=9941&hou_id=8648)より作成。

風力発電によるコウモリ類への影響

「風力発電事業による夜間活動を行う鳥類とコウモリ類への影響評価」(Kunz et al 2007)によれば、風力発電によるコウモリ類の死亡率の概略は以下の通りである(表 3-36)。欧州でも 2009 年までに 14 カ国で、約 1,500 個体の死骸が報告されている(Bat Conservation Trust 2009)。

表 3-36 Kunz (2007)による風力発電によるコウモリ類の死亡率の概略

<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国においては、当初、鳥類に注目が集まったため、初期のモニタリング調査に基づいて推定されたコウモリ類の死亡率は実態よりもかなり過小評価されている。 ・ 米国東部では、峰の稜線上に沿って稼働している風力発電施設での死骸が確認されている。これらの事業地で、死亡率は 15.3bats/MW/year (サマセット郡ペンシルバニアのマイヤーズデール風力エネルギー・センター) から 41.1bats/MW/year (バッファロー山地風力エネルギー・センター)までであった。 ・ しかしながら、風力開発が大きく進んでいる他の北アメリカ地域では、潜在的リスクや死亡率についてはほとんど判明していない。 ・ 5 つの風力発電事業地において、コウモリの反響定位(超音波発生頻度によるエコロケーション)と死亡率が調べられており、その結果は下表のとおりである。エコロケーションと死亡率の間には、正の相関($r=0.79$)が認められるが、地点数が少ない、建設後の調査である(建設前のエコロケーションは不明)等の課題が残されている。 			
表. コウモリ類の死亡率とエコロケーション			
調査地	死亡率 (個体/基/年)	エコロケーション (頻度/detector/夜)	調査日 (夜)数
Mountaineer, WV	38.0	38.2	33
Buffalo Mountain, TN	20.8	23.7	149
Top of Iowa, IA	10.2	34.9	42
Buffalo Ridge, MN	2.2	2.1	216
Foot Creek Rim, WY	1.3	2.2	39

鳥類と同様、コウモリの密度が低いところでは衝突数も少ないと推定されている(Ahlén 2003)。

風車への衝突事例は、コウモリが渡りをする晩夏から秋にかけて多く、渡りをする種が多いとされる(Rodrigues et al. 2008)。これに対して、渡りの季節ではない初夏にも報告があり、両者とも似たような環境に風車が立地されているという指摘もある(Ahlén 2003)。また、種ごとに特徴づけられる飛翔空間、採餌エリア、風車の立地場所とハブ高との関連性を指摘する報告もある(Barclay et al. 2007; Dürr and Bach 2004)。

Baerwald et al (2008)は、風車周辺で発見・回収された 188 のコウモリ死骸を調べたところ、外傷の認められたものは 46%に過ぎなかった。このうち比較的新鮮な 75 個体を調べたところ、血胸(internal haemorrhage)が 92%で認められた。さらに 17 個体を調べたところ、すべての個体(100%)に肺の病変(Pulmonary lesions)が認められたことから、風車ブレードの回転に伴い翼後方に発生する減圧域が、コウモリの肺を膨張、肺外縁部の毛細血管を破裂させるのではないかと、という減圧仮説(decompression hypothesis)を示した。試料で用いられた hoary bat (*Lasiurus cinereus*)と silver-haired bat (*Lasionycteris noctivagans*)は、いずれも渡りをする種である。

一方、この減圧仮説を紹介した Handwerk (2008)によれば、「コウモリの死因よりも、むしろコウモリが風車に誘引される理由」をつきとめることが大切であるとし、Huso & Hayes (2009)によれば、多くの死亡は最低速度で風車を回転させているときに発生することから、「渡りの時期等に風車のカット

イン風速*を上げることで、衝突リスクを低下させることができる」と報告している。同様の調査結果は Erickson et al (2005)においても示された。

国内における風力発電施設へのコウモリ類の衝突事象は、(環境省 2008a、2009a、2010a)の「列と配置」における死骸調査で確認・報告されたのが初めてである。これによれば、死骸調査(5 サイト67基×毎月1回調査×2カ年)で、4個体のコウモリ死骸が確認されている。確認種はいずれもアブラコウモリ(*Pipistrellus abramus*)であった。日本列島にはこのアブラコウモリを含め合計36種のコウモリ類が生息しており、その中には欧米で報告されている種と類似の生活様式、飛翔特性を持つものも含まれる(環境省 2010c)。

現在、国内では専門家を中心に長距離移動を行う種、集団ねぐらの位置および採餌場所等の情報が蓄積されつつある。このため事前調査において専門家に聞き取りをし、主要なねぐらや移動経路の存在が予測されるかどうか等を確認することが望まれる。

* 発電開始風速(m/s)

3-10 参考文献

- 阿部宏・宮脇佳郎 (2006) 三浦市の風力発電施設におけるトビのバードストライク事例. 日本野鳥の会神奈川支部研究年報「BINOS」 vol.13
- Ahlén, I. 2003. Wind Turbines and bats - a pilot study. Final report 11 December 2003 for the Swedish National Energy Administration. Sveriges Lantbruks Universitet, Sweden.
- Akashi Y (2005) Toward migratory-bird-friendly lighting Lighting Design. and Application, 35, 7, 12-13
- Band W, Madders M, Whitfield DP (2007) Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Risk assessment and mitigation. pp. 259-275.
- Barclay, R.M.R., Baerwald, E.F. and Gruver, J.C. 2007. Variation of bird and bat fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. Canadian Journal of Zoology. 85:381-387
- Bat conservation Trust. 2009. Scoping and method development Report, Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain
- Bat Conservation Trust Scoping and method development Report (Phase1 Report 2009) Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain
http://www.bats.org.uk/data/files/determining_the_impact_of_wind_turbines_on_british_bats_final_report_29.5.09_website.pdf
- The Bats and Wind Energy Cooperative (BWEC)
<http://www.batsandwind.org/main.asp?page=products>
<http://www.batsandwind.org/pdf/BWEC%20Charter%20-%20Revised%20Jan%202010.pdf>
- Brian H (2008) Wind Turbines Give Bats the "Bends," Study Finds. for National Geographic News August 25, 2008
- California Energy Commission, California Department of Fish and Game (2007) California guidelines for reducing impacts to birds and bats from wind energy development. (和訳:風力エネルギー開発による鳥類およびコウモリへの影響を軽減するためのカリフォルニア州ガイドライン)『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－米国視察動向調査－』に収録)
- Desholm M, Kahlert J (2005) Avian collision risk at an offshore wind farm. Biol. Lett. doi: 10.1098/rsb :296-298
- Desholm M, Fox AD, Beasley PLD, Kahlert J (2006) Remote techniques for counting and estimating the number of bird? wind turbine collisions at sea: a review Ibis, 148, pp76-89.
- Dürr, T. and Bach, L. 2004. Bat deaths and wind turbines: a review of current knowledge, and of the information available in the database for Germany. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7:253-264.
- Erickson WP, Kerns J, Arnett ED (2005) Methods and results fall 2004- Meyersdale and

- Mountaineer.
<http://www.nationalwind.org/events/wildlife/2005-1/presentations/erickson.pdf> Wildlife Workgroup Meeting
- Erickson WP, Johnson GD, Strickland MD, Young Jr DP, Sernka KJ, Good RE (2001) Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Source of Avian Collision Mortality in the United States. National wind coordinating committee (NWCC) resource document:1-62
- Erin FB, Genevieve HD, Brandon JK, Barclay RMR (2008) Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* vol.18 No.16 R696
- EUROBAT (Agreement of the Conservation of Population of European Bats) Guidelines for consideration of bats in wind farm projects
http://www.eurobats.org/publications/publication%20series/pubseries_no3_english.pdf
- 藤田剛 (2009) 鳥の階層的生息地選択と分布決定プロセス. 鳥の自然史(空間分布をめぐって) 北海道大学出版会, 北海道, 243p.
- Huso Manuela MP, Hayes Jhon P (2009): Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities 2008 Annual Report. Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission.
- Evans WR, Akashi Y, Altman NS, Manville AM (2007) Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light. <http://www.oldbird.org/pubs/lightstudy.pdf>
- Fafael VP (2009) Wildlife Mitigation Tools of Wind Power Generation Impact in Birds & Bat Collisions in Isthmus of Tehuantepec, Mexico. Wind Wildlife Research Meeting VII
<http://www.nationalwind.org/pdf/Villegas-PatracRafael.pdf>
- Hodos W (2002) Minimization of Motion Smear:Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. (邦訳: 日本野鳥の会 2007:野鳥と鳥類－風力発電施設が鳥類に与える影響評価に関する資料集－野鳥保護資料第21集) National Renewable Energy Laboratory:NREL/SR-500-33249
- 飯田知彦・竹岳秀陽・魚崎耕平 (2002) セオドライトを用いた風力発電所の建設前後の渡り鳥の飛翔状況の把握. 日本鳥学会2002年度大会要旨集
- 井上勝巳・籠嶋恵介 (2004) 風力発電機に衝突して落鳥したトビの事例. *strix* vol.22
- 伊藤真・小城春雄 (1999) 船舶搭載レーダーによるハシボソミズナギドリ (*Puffinus tenuirostris*) の飛翔速度の計測. 山階鳥類研究所研究報告 31(2):88-93
- 鴨川誠 (1997) 九州西部のアカハラダカの渡り. *Birder* 11 (5)
- 鴨川誠 (2001) ツルはどこからやって来るのか. 葦書房、福岡
- Kitano M (2009) An ecological study on the causes of bird collisions at wind farms in Tomamae, northern Hokkaido, Japan. Division of Environmental Science Development Graduate School of Environmental Science Hokkaido University(北海道大学 環境科学研究院 修士論文)
- 真邊一近・河嶋孝・高久信一・島田泰夫 (2008) トビ (*Milvus migrans*) における風車の回転速度弁別. 日本行動分析学会第26回大会

- Manville A (2000) The ABC's of Avoiding Bird Collisions at Communication Towers: the Next Steps. (Proceedings of the avian interactions workshop, December 2, 1999, Charleston, SC.) Electric power research institute, CA. 15pp
- 松田久司 (2007) バードストライクについての四国初の事例報告-佐田岬半島の風力発電施設におけるトビの衝突死. Strix vol.25:105-107
- 松江正彦・藤原宣夫・大塩俊雄・飯塚安雄・内山拓也 (2006) コウモリ類の調査の手引き(案). 国土技術政策総合研究所資料 第354号
- 環境庁 (1996) 猛禽類保護の進め方-特にイヌワシ、クマタカ、オオタカについて-
- 環境省 (2004) 国立・国定公園内における風力発電施設設置のあり方に関する基本的考え方. http://www.env.go.jp/nature/wind_power/index.html
- 環境省 (2008a) 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 (2008b) 平成19年度 風力発電施設立地適正化業務報告書.
- 環境省 (2008c) 平成19年度 渡り集結地衝突影響分析業務報告書.
- 環境省 (2008d) レーダを用いた渡り鳥調査手法開発事業報告書.
- 環境省 (2008e) 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-米国動向調査報告書-
- 環境省 (2009a) 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 (2009b) 平成20年度 風力発電施設立地適正化業務. 報告書
- 環境省 (2009c) 平成20年度 渡り集結地衝突影響分析業務. 報告書
- 環境省 (2010a) 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 (2010b) 平成21年度 風力発電施設立地適正化業務報告書.
- 環境省 (2010c) 平成21年度 渡り集結地衝突影響分析業務報告書.
- 百瀬浩 (2009) 鳥類の空間分布のあり方. 鳥の自然史(空間分布をめぐって) 北海道大学出版会, 北海道, 243p.
- Morrison M (2002) Searcher Bias and Scavenging Rates in Bird/Wind Energy Studies. Subcontractor Report: National Renewable Energy Laboratory/SR-500-30876:1-5
- 宗田明彦 (2004) 船舶用レーダおよびレーザー測遠システムを使った鳥類飛行行動観測技術について. 日本環境アセスメント協会平成16年度 第1回技術交流会報告 <http://www.jeas.org/hokoku/tec/h16/pdf/041209-01.pdf>
- National wind coordinating committee (1999) Studing Wind Energy, Bird Interactions: A Guicance Document. (一部邦訳; 日本野鳥の会 2004 風力発電の鳥類に与える影響に関する評価) http://www.nationalwind.org/publications/wildlife/avian99/Avian_booklet.pdf
- 独立行政法人新エネルギー・産業総合開発機構 (2009) 日本における都道府県別風力発電導入量(2009年3月末現在). <http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/index.html>
- 尾崎研一・工藤琢磨 (2002) 行動圏:その推定法、及び観察点間の自己相関の影響(特集 哺乳類の行動圏研究の現状と将来及びテレメトリー法データ行動圏解析法) 日本生態学会誌 52: pp233-242.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Goodwin, J. and Harbusch, C. 2008. Guidelines

- for consideration of bats in wind farm projects. EUROBAT Publication Series No. 3. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany.
- 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>
- 島田泰夫 (2002) 鳥類の飛翔ルートを追跡する-セオドライトによる猛禽類の飛翔軌跡の調査-. 野生生物と交通研究発表会 第1回「野生生物と交通」研究発表会、札幌
- 島田泰夫・前山貴和・小坂和巳 (2002) 鳥類の飛翔ルートを追跡する(セオドライトによる猛禽類の飛翔軌跡) - II 淡路島におけるサシバの渡りについて-. 第2回「野生生物と交通」研究発表会、札幌
- Smales I, Muir S (2005a) Modelled cumulative impacts on the Tasmanian Wedge-tailed Eagle of wind farms across the species' range. Biosis Research report to Dept of Environment and Heritage.
- Smales I, Muir S (2005b) Modelled cumulative impacts on the White-bellied Sea-eagle of wind farms across the species' Australian range. Biosis Research report to Dept of Environment and Heritage.
- Smales I (2006) Impacts of avian collisions with wind power turbines: an overview of the modelling of cumulative risks posed by multiple wind farms. Biosis Research report to Dept. of Environment and Heritage.
- Smallwood KS, Thelander CG (2004) Developing Methods to Reduce Bird Mortality In the Altamont Pass Wind Resource Area. PIER PROGRAM FINAL REPORT: Publication Number 500 - 04 - 052: 520pages
- Smallwood KS (2007) Estimating Wind Turbine - Caused Bird Mortality. Journal of Wildlife Management vol.7(8): 2781?2791
- Smallwood KS (2008) 風力発電が鳥類に及ぼす影響の調査マニュアル(2008年10月11~13日野鳥の会検討会配布資料). 日本野鳥の会 自然保護室編集・発行
- 杉本寛・松田裕之 (2008) 風力発電におけるマガンの衝突リスク評価. 日本生態学会第55回大会講演要旨 p202
- 竹岳秀陽・向井正行 (2004) セオドライトを用いた風力発電所の設置前後の渡り鳥の経路比較. 風力エネルギー 第28巻 第3号
- Thomas HK, Edward BA, Brian MC, WP Erickson, Ronald PL, T Mabee, ML. Morrison, MD Strickland, JM Szewczak (2007) Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. Journal of Wildlife Management 71(8): 2449?2486
- Tucker VA (1996) A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme 118, 253-262.
- 植田睦之・島田泰夫・有澤雄三・高木憲太郎・樋口広芳 (2008) 気象レーダウインドプロファイラに映る「鳥エコー」の実態と渡り研究への応用. Bird Research vol.4, pp.T9-T20

- 植田陸之・嶋田哲郎 (2009) 長距離移動するマガンの飛び立ち地点からの距離と飛行高度との家計. Bird Research vol.5. S17-T21.
- Whitfield DP, Madders M (2006a) Deriving collision avoidance rates for red kites *Milvus milvus*. Natural research information note 3
- Whitfield DP, Madders M (2006b) A review of the impacts of wind farms on hen harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. Natural research information note 1 (revised)
- Whitfield DP (2009) Collision Avoidance of Golden Eagles at Wind Farms under the 'Band' Collision Risk Model. Report to Scottish Natural Heritage, Natural Research Ltd, Banchory, UK.
- Young DP Jr, Erickson WP, Strickland MD, Good RE, Sernka KJ (2003) Comparison of avian responses to UV-light-reflective paint on wind turbines. National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-500-32840
- Ivlev VS (児玉康雄、吉原友吉訳) (1955) 魚類の栄養生態学—魚の摂餌についての実験生態学. たたら書房, 鳥取 261p
- 風力発電事業者懇話会・日本風力発電協会 (2007) 風力発電施設と自然環境に関する提言 風力発電施設と自然環境保全に関する研究会 (第1回) 資料.
http://www.env.go.jp/nature/yasei/sg_windplant/01/mat05.pdf
- 日本野鳥の会 (2007) 野鳥保護資料集 第22集 「IBA白書2007」, 東京 256p
- 日本野鳥の会 (2009) 野鳥保護資料集 第26集「風力発電が鳥類に及ぼす影響の調査マニュアル」, 東京 122p