

第 5 章 参考資料

第 3 章をまとめる上で、参考となる資料を示した。なお、各資料が、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、カッコの右端に ……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、該当しない場合は無印)

資料(1) 鳥類保護対策の現状

■■■ 計画・調査・解析・保全・事後

<法制度の概要>

直接的に鳥類の保護を目的とする制度と、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とがあり、その主なものは表 5- 1～表 5- 2 示すとおりである。

表 5- 1 直接的に鳥類の保護を目的とする制度

区分	名称	概要
法律	鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H14/H14HO088.html	鳥獣の捕獲規制、鳥獣保護区の設定等
法律	文化財保護法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S50/S50SE267.html	種の保護、生息地の保護
法律	絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H04/H04HO075.html	捕獲・譲渡等の規制、生息地の保護等
その他	保護林制度 http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/sizen_kankyo/hogorin.html	特定動物生息地保護林
条例	自治体条例	(例) 鹿児島県希少野生動植物の保護に関する条例、愛媛県希少野生生物の保護に関する条例、北海道希少野生動植物の保護に関する条例 等

表 5- 2 結果的にもしくは間接的に鳥類の保護にも資する制度

区分	名称	概要
法律	生物多様性基本法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H20/H20HO058.html	生物多様性の保全及び持続可能な利用についての基本原則
法律	自然環境保全法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S47/S47HO085.html	原生自然環境保全地域の指定等
法律	自然公園法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S32/S32HO161.html	国立・国定公園の指定及び保全
法律	森林法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S26/S26HO249.html	保安林の指定等
法律	都市緑地保全法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S49/S49SE003.html	緑地保全地域の指定等
法律	都市公園法 http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S31/S31HO079.html	都市公園の設置
条約	渡り鳥など保護条約および協定	米国、中国、ロシア、豪との渡り鳥等の保護
条約	ワシントン条約(CITES) http://www.meti.go.jp/policy/external_economy/trade_control/boekikanri/cites/index.html	絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約
条約	ラムサール条約 http://www.env.go.jp/nature/ramsar/conv/index.html	水鳥の生息地として重要な湿地の保全等
その他	保護林制度*	森林生態系保護地域等の設定
その他	森林認証制度 http://www.forsta.or.jp/fsc/	持続可能な森林の利用と保護を図ろうとする制度

*:保護林を相互に連結して野生動植物の移動経路を確保することで、より広範かつ効果的な森林生態系の保全を図る「緑の回廊」があり、全国で 12 カ所が指定されている(林野庁 http://www.rinya.maff.go.jp/j/kokuyu_rinya/sizen_kankyo/corridor.htm)。

〈種類別指定等法律一覧〉

〔絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律〕

絶滅の危機に瀕している野生生物の保護を目的に、「国際希少野生動植物種」「国内希少野生動植物種」等が指定されている。

国際および国内希少野生動植物(鳥類)の指定状況を表 5- 3～表 5- 4 に示す(2008 年現在)。

表 5- 3 国際希少野生動植物種(このうち日本に生息する鳥類)

コウライアイサ、ナベヅル、マナヅル、ソデグロヅル、シロハラチュウシャクシギ コシャクシギ、コアシサシ

環境省 http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/list_domestic.pdf より作成

表 5- 4 国内希少野生動植物種(鳥類:38 種)

シジュウカラガン、エトピリカ、ウミガラス、アマミヤマシギ、カラフトアオアシシギ、コウノトリ、トキ、キンバト、アカガシラカラスバト、ヨナクニカラスバト、オオタカ、イヌワシ、ダイトウノスリ、オガサワラノスリ、オジロワシ、オオワシ、カンムリワシ、クマタカ、シマハヤブサ、ハヤブサ、ライチョウ、タンチョウ、ヤンバルクイナ、オガサワラカワラヒワ、ハハジマメグロ、アカヒゲ、ホントウアカヒゲ、ウスアカヒゲ、オオトラツグミ、オオセッカ、ヤイロチョウ、チシマウガラス、オーストンオオアカゲラ、ミユビゲラ、ノグチゲラ、アホウドリ、シマフクロウ、ワシミミズク

環境省 http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/list_domestic.pdf より作成

国内希少野生動植物種に指定されている種のうち、その個体の繁殖の促進、生息地等の整備等の事業の推進をする必要があると認める場合は、保護増殖事業計画を策定して、保護増殖の事業を行っている(<http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/espa5.html>)。平成 21 年 4 月現在、47 種が指定されており、このうち鳥類はアホウドリをはじめとした 14 種が該当する(表 5- 5)。

表 5- 5 保護増殖事業計画一覧(鳥類:14 種)

アホウドリ、トキ、タンチョウ、シマフクロウ、イヌワシ、ノグチゲラ、オオトラツグミ、アマミヤマシギ、ウミガラス、エトピリカ、ヤンバルクイナ、オジロワシ、オオワシ、アカガシラカラスバト
--

環境省 http://www.env.go.jp/nature/yasei/hozonho/list_project.pdf より作成

[文化財保護法]

文化財保護法に基づく、特別天然記念物、天然記念物等の指定状況は、国指定文化財データベース (<http://www.bunka.go.jp/bsys/index.asp>) で検索することができる。

このうち鳥類に関するものを表 5-6～表 5-8 に示す。

表 5-6 特別天然記念物

対象	概要
アホウドリ	(都道府県名を定めず)
オオハクチョウ	小湊のハクチョウおよびその渡来地 (青森県 東津軽郡平内町)
カンムリワシ	(都道府県名を定めず)
コウノトリ	(都道府県名を定めず)
タンチョウ	(都道府県名を定めず)
トキ	(都道府県名を定めず)
ナベツル	八代のツルおよびその渡来地 (主にナベツル 山口県 周南市・下松市)
ツル類	鹿児島県のツルおよびその渡来地 (主にナベツル・マナツル・クロツル等 鹿児島県出水市)
ニワトリ	土佐のオナガドリ
ノグチゲラ	(都道府県名を定めず)
メグロ	(都道府県名を定めず)
ライチョウ	(都道府県名を定めず)

文化庁国指定文化財等データベース <http://www.bunka.go.jp/bsys/index.asp> より検索・作成

表 5-7 天然記念物

対象	概要
アカコッコ	(都道府県名を定めず)
アカヒゲ	(都道府県名を定めず)
アビ	アビ渡来群游海面〔広島県呉市豊浜町〕
イイジマムシクイ	(都道府県名を定めず)
イヌワシ繁殖地	イヌワシ繁殖地(下閉伊郡岩泉町、桃生郡北上町)
イヌワシ	(都道府県名を定めず)
ウトウ	陸前江ノ島のウミネコおよびウトウ繁殖地(宮城県牡鹿郡女川町)
ウミウ	鶺鴒の山ウ繁殖地(愛知県知多郡美浜町)、粟島のオオミズナギドリおよびウミウ繁殖地〔新潟県岩船郡粟島浦村〕、照島ウ生息地(福島県いわき市)
ウミネコ	蕪島ウミネコ繁殖地(青森県八戸市鮫町、椿島ウミネコ繁殖地(岩手県陸前高田市広田町)、 経島ウミネコ繁殖地(島根県出雲市大社町)、陸前江ノ島のウミネコおよびウトウ繁殖地 (宮城県牡鹿郡女川町)、飛島ウミネコ繁殖地(山形県酒田市飛島)
オーストンオオアカゲラ	(都道府県名を定めず)
オオトラツグミ	(都道府県名を定めず)
オオハクチョウ	水原のハクチョウ渡来地(新潟県阿賀野市)、猪苗代湖のハクチョウおよびその渡来地(福 島県耶麻郡猪苗代町)、小湊のハクチョウおよびその渡来地(青森県東津軽郡平内町)
オオミズナギドリ	オオミズナギドリ繁殖地(北海道松前郡松前町)、三貫島オオミズナギドリおよびヒメク ロウミツバメ繁殖地(岩手県釜石市箱崎町)、オオミズナギドリ繁殖地(京都府舞鶴市冠 島)、沖島オオミズナギドリ繁殖地(島根県隠岐郡隠岐の島町)、星神島オオミズナギド リ繁殖地(島根県隠岐郡西ノ島町)、粟島のオオミズナギドリおよびウミウ繁殖地(新潟 県岩船郡粟島浦村)
オオワシ	(都道府県名を定めず)
オシロワシ	(都道府県名を定めず)
カササギ	カササギ生息地(福岡県・佐賀県の2県以上、久留米市、柳川市、山門郡、三潞郡、佐賀 市、佐賀郡、多久市、小城郡、武雄市、三養基郡、神埼郡、鳥栖市、杵島郡、鹿島市、藤 津郡)
カラスバト	(都道府県名を定めず)
アカガシラカラスバト	(都道府県名を定めず)
カンムリウミスズメ	(都道府県名を定めず)
クマゲラ	(都道府県名を定めず)
クロコシジロウミツバメ	日出島クロコシジロウミツバメ繁殖地(岩手県宮古市崎嶺ヶ崎)
コクガン	(都道府県名を定めず)
コハクチョウ	水原のハクチョウ渡来地〔新潟県阿賀野市〕、猪苗代湖のハクチョウおよびその渡来地〔福 島県耶麻郡猪苗代町〕
エゾシマフクロウ	(都道府県名を定めず)
シラコバト	越ヶ谷のシラコバト(埼玉県)
チョウゲンボウ	十三崖のチョウゲンボウ繁殖地(長野県中野市深沢)
ニワトリ	(都道府県名を定めず) 烏骨鶏、鶺鴒、河内奴鶏、黒柏鶏、薩摩鶏、地鶏、地頭鶏、軍 鶏、矮鶏、東天紅鶏、蜀鶏、比内鶏、袁曳矮鶏、袁曳鶏、小国鶏、声良鶏
オガサワラノスリ	(都道府県名を定めず)
ヒシクイ	(都道府県名を定めず)
ヒメクロウミツバメ	三貫島オオミズナギドリおよびヒメクロウミツバメ繁殖地(岩手県釜石市箱崎町)
ブッポウソウ	洲原神社ブッポウソウ繁殖地(岐阜県美濃市須原)、三岳のブッポウソウ繁殖地(長野県 木曾郡木曾町)、狭野神社ブッポウソウ繁殖地(宮城県西諸郡高原町)、身延町ブッポ ウソウ繁殖地(山梨県南巨摩郡身延町)
マガン	(都道府県名を定めず)
ヤンバルクイナ	(都道府県名を定めず)
リュウキュウキンバト	(都道府県名を定めず)
ルリカケス	(都道府県名を定めず)

文化庁国指定文化財等データベース <http://www.bunka.go.jp/bsys/index.asp> 等を参考とした。

表 5-8 繁殖地・生育地

[繁殖地に関するもの]

オオミズナギドリ繁殖地(北海道)、大黒島海鳥繁殖地(北海道)、天売島海鳥繁殖地(北海道)、蕪島ウミネコ繁殖地(青森県)、三貴島オオミズナギドリおよびヒメクロウミツバメ繁殖地(岩手県)、椿島ウミネコ繁殖地(岩手県)、日出島クロコシジロウミツバメ繁殖地(岩手県)、陸前江ノ島のウミネコおよびウトウ繁殖地(宮城県)、飛島ウミネコ繁殖地(山形県)、粟島のオオミズナギドリおよびウミウ繁殖地(新潟県)、身延町ブッポウソウ繁殖地(山梨県)、三岳のブッポウソウ繁殖地(長野県)、十三崖のチョウゲンボウ繁殖地(長野県)、洲原神社ブッポウソウ繁殖地(岐阜県)、鶴の山ウ繁殖地(愛知県)、オオミズナギドリ繁殖地(京都府)、沖島オオミズナギドリ繁殖地(島根県)、経島ウミネコ繁殖地(島根県)、星神島オオミズナギドリ繁殖地(島根県)、御岳鳥類繁殖地(長崎県)、狭野神社ブッポウソウ繁殖地(宮崎県)、仲の神島海鳥繁殖地(沖縄県)、イヌワシ繁殖地(2 県以上)、比叡山鳥類繁殖地(2 県以上)

[生息地に関するもの]

伊豆沼・内沼の鳥類およびその生息地(宮城県)、照島ウ生息地(福島県)、カササギ生息地(2 県以上)

文化庁国指定文化財等データベース <http://www.bunka.go.jp/bsys/index.asp> より作成

[環境省作成のレッドリスト・レッドデータブック]

環境省作成のレッドリスト・レッドデータブックのランク分けの状況は、生物多様性情報システム(J-IBS)を用いて検索することができる。現在のところ、鳥類の143種群が相当する(表5-9～表5-10)。

表5-9 鳥類のレッドリスト (環境省、平成19年10月発表)

ランク	和名	ランク	和名	
絶滅(EX)	ハシブトゴイ	絶滅危惧IB類(EN)	コアホウドリ	
	カンムリツクシガモ		クロウミツバメ	
	マミシロクイナ		アカオネツタイチョウ	
	リュウキュウカラスバト		アカアシカツオドリ	
	オガサワラカラスバト		ヒメウ	
	ミヤコショウビン		サンカノゴイ	
	キタタキ		オオヨシゴイ	
	ダイトウミソサザイ		ミソゴイ	
	オガサワラガビチョウ		ツクシガモ	
	ダイトウウグイス		オジロワシ	
	ダイトウヤマガラ		リュウキュウツミ	
	ムコジマメグロ		オガサワラノスリ	
	オガサワラマシコ		クマタカ	
	イヌワシ			
ランク	和名			チュウヒ
野生絶滅(EW)	トキ			オオクイナ
				シマクイナ
ランク	和名			コシャクシギ
絶滅危惧IA類(CR)	クロコシジロウミツバメ			ヨナクニカラスバト
	チシマウガラス			キンバト
	コウノトリ			キンメフクロウ
	クロツラヘラサギ			フッポウソウ
	シジュウカラガン			ヤイロチョウ
	ダイトウノスリ			アカモズ
	カンムリワシ			モスケミソサザイ
	シマハヤブサ			ホントウアカヒゲ
	ヤンバルクイナ			アカコッコ
	ヘラシギ			オオセッカ
	カラフトアオアシシギ			ウチヤマセンニュウ
	ウミガラス			ナミエヤマガラ
	ウミスズメ			ハハジマメグロ
	エトピリカ			オガサワラカワラヒワ
	アカガシラカラスバト			
	ワシミミズク			
	シマフクロウ			
	ノグチゲラ			
	ミュビゲラ			
	チゴモズ			
	シマアオジ			

[都道府県指定のレッドデータブック等]

都道府県においてもレッドデータブック等が作成されている。1995年に神奈川県と三重県で出版されたのを初めて、2005年には全国すべての都道府県でレッドデータブック(あるいはリスト)の公表が終了した(<http://www.jpnrdb.com/history.html>)。詳細は、都道府県別の担当部署で調べることが可能になっている。横断的に調べる場合、「日本のレッドデータ検索システム」(<http://www.jpnrdb.com/index.html>)も参考になる(図 5- 1)。



図 5- 1 日本のレッドデータ検索システム (<http://www.jpnrdb.com/index.html>)

資料(2) 助成制度

■■■■ 計画・調査・解析・保全・事後

風力発電施設導入に伴う助成制度は、風力発電導入ガイドブック(NEDO 2005)に概要が記載されている。このうち「地域新エネルギー導入促進事業」と「新エネルギー事業者支援対策事業」については、2009年度より一般社団法人 新エネルギー導入促進協議会(<http://www.nepc.or.jp/>)に窓口を移しており、それに伴い審査基準も一部変更されている(図 5-2 の★印)。

図 5-2 風力発電導入に関する主な助成制度(NEDO 2005 を一部改変)

項目	助成制度	補助金交付先	助成内容	実施期間窓口
計画策定	地域新エネルギービジョン策定等事業	地方公共団 地方公共団体の出資に関わる法人	定額補助	NEDO
設備設置	地域新エネルギー導入促進事業	地方公共団体	★導入事業 補助率 1/2×0.9 以内等	★新エネルギー導入促進協議会
		非営利民間団体	補助率 1/2 以内	
	新エネルギー事業者支援対策事業	民間企業等	★補助事業 補助率 1/3×0.8 以内等	★新エネルギー導入促進協議会
			債務保証 対象債務の 90%	
	地方公共団体率先対策補助事業	地方公共団体	補助率 1/2 普及啓発 定額補助(限度 2 千万円)	環境省/都道府県
地域協議会対策促進事業	地方公共団体 地域協議会等	補助率 1/2 または 1/3	環境省/地方公共団体	
融資	地域エネルギー開発利用発電事業普及促進事業	地方公共団体 民間団体	4 億円以下 利子補給率 3% 以内	NEF
	風力発電(出力 800kW 以上)整備事業	事業者	政策金利Ⅱ	日本政策投資銀行
税制優遇	エネルギー需給構造改革投資促進税制	個人または法人	7%相当額の税額控除または特別償却	経済産業省

「地域新エネルギー等導入促進事業公募要領(三次公募)」(平成 21 年 9 月)における環境影響評価等に関連する事項は以下のとおりである。

(3) 地元調整

(注1) 一省略一

(注2) 関係する地元住民への説明会を行い、議事録を作成し、参加者または代表者の確認署名を得て提出すること。尚、説明会での説明内容には、①風力発電の規模、②工事内容、③環境影響調査結果を含めること。

(注3) 一省略一

(4) 環境影響調査

- ・電波障害(現況測定結果、予測結果)
- ・騒音障害(現況測定結果、合成騒音レベル、予測結果)
- ・生態系(天然記念物等がある場合には、それに対する影響について)
- ・景観

(注1) 環境影響調査はNEDO作成の風力発電ガイドブック及び環境影響評価マニュアルまたは、地方公共団体の定めた条例・指示等に準じて実施すること。

(注2) 調査項目について、調査、予測、評価及び対策を行い、関係機関、関係専門家、地域住民と協議・調整を実施すること。

(注3) 事業者が非営利民間団体の場合は、地元自治体主催にて開催される、当該事業への環境影響調査委員会等の意見書を提出すること。環境影響調査委員会が無い場合には、環境影響評価方法書、環境影響評価書案を関係地域への広告、縦覧を行い評価書案または縦覧結果を反映した環境影響評価書を提出すること。

尚、環境影響評価書は事業開始までに提出のこと。

「新エネルギー事業者支援対策事業公募要領(二次公募)」(平成 21 年 9 月)における環境影響評価等に関連する事項は以下のとおりである。

(3) 地元調整

(注1) 一省略一

(注2) 関係する地元住民への説明会を行い、議事録を作成し、参加者または代表者の確認署名を得て提出すること。尚、説明会での説明内容には、①風力発電の規模、②工事内容、③環境影響調査結果を含めること。

(注3) 一省略一

(4) 環境影響調査

- ・電波障害(現況測定結果、予測結果)
- ・騒音障害(現況測定結果、合成騒音レベル、予測結果)
- ・生態系(天然記念物等がある場合には、それに対する影響について)
- ・景観

(注1) 環境影響調査はNEDO作成の風力発電ガイドブック及び環境影響評価マニュアルまたは、地方公共団体の定めた条例・指示等に準じて実施すること。

(注2) 調査項目について、調査、予測、評価及び対策を行い、関係機関、関係専門家、地域住民と協議・調整を実施すること。

(注3) 地元自治体主催にて開催される、当該事業への環境影響調査委員会等の意見書を提出すること。

環境影響調査委員会が無い場合には、環境影響評価方法書、環境影響評価書案を関係地域への広告、縦覧を行い評価書案または縦覧結果を反映した環境影響評価書を提出すること。

なお、環境影響評価書は事業開始までに提出のこと。

資料(3) 鳥類は人工物にどの程度衝突しているのか？

■■■■計画・調査・解析・保全・事後

鳥類は、風力発電施設だけにとどまらずビルディング、自動車、送電線等、様々な人工物に衝突している。たとえば(Erickson et al 2001)は全米における鳥類の年間衝突数を推定している(表 5- 11)。日本国内で、同様な推定値は示されていないが、本事業では可能な限り資料を収集し、環境省(2009b)の成果に含めた。その概要を表 5- 12 に示す。

表 5- 11 米国における推定衝突数(Erickson et al 2001)

構造物	推定衝突数 (羽/年/全米)
車両	60,000,000~80,000,000
建物や窓	98,000,000~980,000,000
送電線	10,000~174,000,000
通信用鉄塔	4,000,000~50,000,000
風力発電施設	10,000~40,000

表 5- 12 人工構造物への鳥類の衝突・事故件数に関する調査報告

著者 (出典)	概略
[構造物全般] 鴨川誠 (1999)	構造物と鳥の衝突事故は合計約 1,400 件で、最も多いのが建築物の窓ガラス (65%)、次いで夜間照明施設 (20%)、建築物の壁 (10%) であった。
[窓ガラス] 柳川久・澁谷辰生 (1998)	ガラス衝突による死亡例が、1980~1997 年までに集められ、63 種 300 羽の死骸を用いて分析された。最も多い鳥はシメで 46 羽、以下、アオジ (26 羽)、ゴジュウカラ (18 羽)、キビタキ (15 羽) などが多かった。
[送電線・感電] 今駒・中島・坪井 (1998)	架空送電線における鳥獣害故障は 5 年間 (昭和 56 年~60 年) で全国で 277 件と、全接触故障の半数を占め、雷害に次ぐ大きな故障要因であった。鳥獣害のうち鳥によるものが 80%で、うちガラスに起因するものが 80%を占め、他はタカ、トビが代表的な種類である。
[航空機] 橘敏雄 (2006) 橘敏雄 (2001) 橘敏雄, (2002)	国内での 1999 年から 2003 年の衝突件数は年間 1100 件前後となっている。衝突の多くが地上から 300 フィート、中でも 100 フィートまでの間に集中し、鳥類の日常の活動空域と重なるものとなっている。
[列車] #347	1980~1998 年まで千葉県を中心とする JR 路線内での衝突事例を収集した。その結果、衝突数は 141 羽であった。1980~1991 年までは 0.05 羽/月であったが、1995 年には 2.67 羽/月と増加した。この間に電車の速度アップ、前照灯の点灯、新デザインによる新型車両の導入があった。スズメが最多で 60 羽、次いでドバトが 23 羽であった。衝突時の電車の平均速度は 82.5km/h であり、80 km/h 以下が 51 件 (36.2%)、81km/h 以上は 80 件 (56.7%) であった。

報告書には掲載されていないが、高速道路で自動車に衝突した鳥獣が路上拾得物としてカウントされている(朝日新聞(2007年8月12日大阪版)記事より)。これによれば、2006年度の鳥獣に関する路上拾得物は、タヌキ他(東日本7,900個体/年、中日本1,956個体/年、西日本10,334個体/年)、鳥類(同4,300、1,670、2,422)、イヌ・ネコ(1,500、821、1,834)、キツネ(400、不明、106)、その他(中日本1,195)であった。

以上を踏まえると、鳥類は、風力発電にとどまらず、あらゆる人工構造物に衝突しており、さらに風力発電への衝突は、相対的には稀な事象であると考えられる。しかしながら、風車を立地した以上、衝突リスクはゼロにはならず、これまで国内の風車への衝突事象には、オジロワンをはじめ希少な種も含まれることから、風力発電の立地・稼働に伴って衝突のリスクを低減する努力は必要であろう。その衝突リスクの低減策として、計画段階においては地形特性に応じた適正立地の検討や、稼働時には様々な防止策が有効であると考えられる。

また、Sovacool(2009)は、風力発電、火力発電および原子力発電について、鉱山等における燃料の確保から発電までの全ての過程を考慮に入れたうえで、これらが鳥類に寄与する死亡率を推定した(表5-13)。それによれば、発電電力量1GWh(=100万kWh)あたりの鳥類の推定死亡数は、風力0.269羽、原子力0.416羽、火力5.18羽としている。

表5-13 発電所別にみた鳥類への影響(推定死亡率、Sovacool 2009より作成)

発電種類	説明	推定死亡数/GWh
風力発電		[0.279]
	衝突死	0.279
化石燃料発電		[5.18]
	[採炭]採炭による森林破壊等	0.02
	[プラント稼働]発電煙突、施設、冷却塔への衝突死	0.07
	[酸性雨]酸性雨による湖水の酸性化、森林被害による死亡	0.05
	[水銀]有害水銀摂取による死亡	0.06
	[気候変動]急速な気候変動に伴う死亡	4.98
原子力発電		[0.416]
	放射性廃棄物	0.288
	核冷却炉施設への衝突	0.188

資料(4) 国内における希少猛禽類の傷病要因

■■■■ 計画・調査・解析・保全・事後

環境省釧路自然環境事務所は、平成 12 年からオジロワシ・オオワシの傷病(死亡を含む)個体を收容してきた。オジロワシ(学名 :Haliaeetus albicilla albicilla)は、環境省絶滅危惧 IB類(EN)、種の保存法に基づく国内希少野生動植物種および国の天然記念物であり、オオワシ(学名 : Haliaeetus pelagicus pelagicus)も、環境省絶滅危惧 II類(VU)、種の保存法に基づく国内希少野生動植物種および国の天然記念物である。図 5- 3 にオジロワシ・オオワシの傷病要因を示す。オジロワシの傷病要因は、不明(34 事例)が最多で、次いでその他(28 事例)、交通事故(18 事例)、鉛中毒(15 事例)、風車衝突(13 事例)であった。これに対して、オオワシは、鉛中毒が最多で 49 事例、次いでその他(39 事例)、不明(18 事例)、感電事故(16 事例)と続いている。

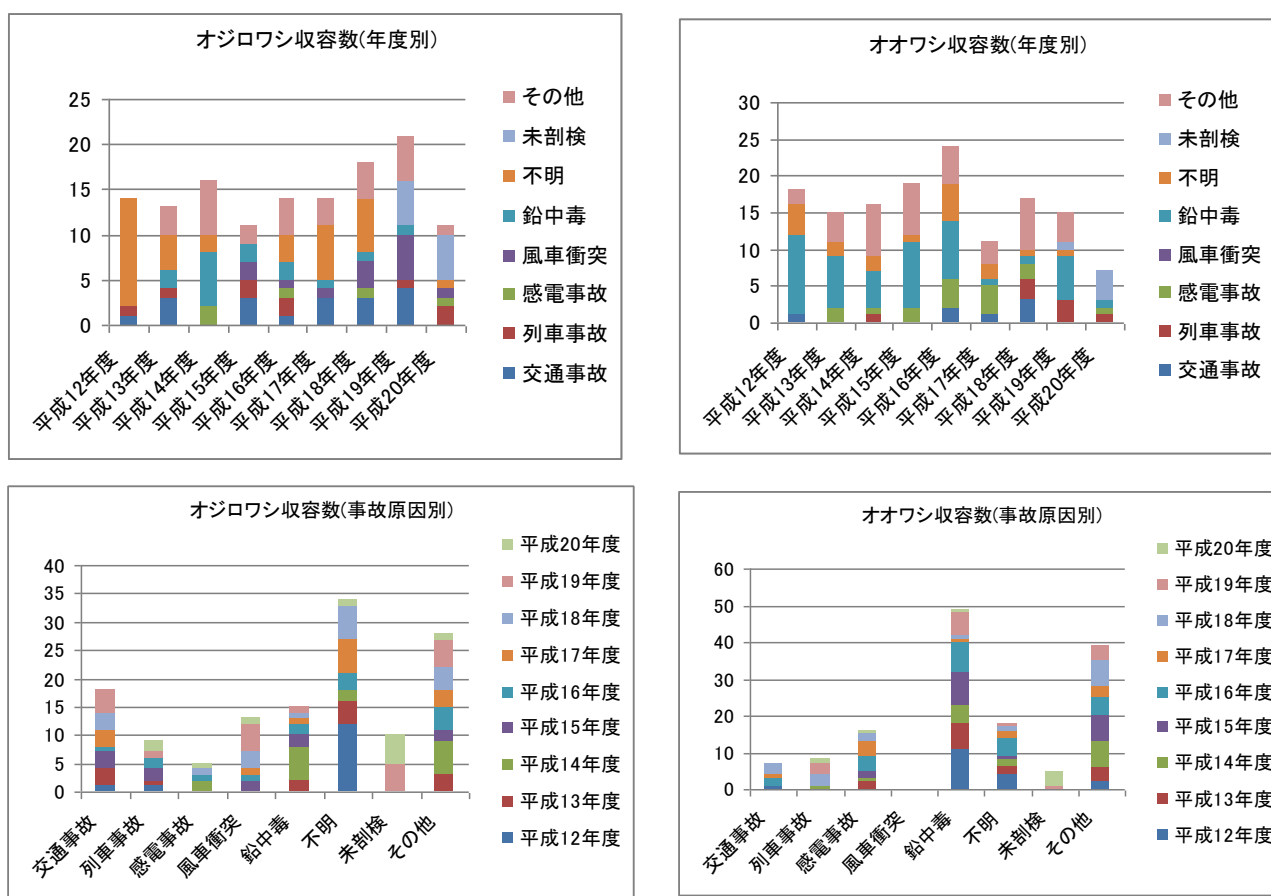


図 5- 3 オジロワシ・オオワシの傷病要因(環境省釧路事務所 2009 より抜粋一部改変)

平成 20 年 9 月に岩手県釜石市にある風力発電施設内でイヌワシの死亡個体が発見された。イヌワシ(学名 : *Aquila chrysaetos japonica*)は、絶滅危惧 IB類(EN)、種の保存法に基づく国内希少野生動植物種である。解剖検査の結果、飛行中に回転する風車ブレードと衝突し、死亡したものと推察された(環境省東北地方環境事務所報道発表資料: http://tohoku.env.go.jp/pre_2008/1114c.html)。国内におけるイヌワシの衝突事故は、第一例目となる。

資料(5) タカ類の最大出現数の補正

・・・計画・調査・解析・保全・事後

「3-2-1 渡り経路」では、主要な渡り性タカ類であるサンバ、ハチクマ、ノスリ、アカハラダカについて、各観察地点で記録された出現ピーク期間中の最大出現数(1日当たり)を示した。これは観察地点ごとの観察日数を考慮していないため、観察日数の少ない地点については最大出現数を過小評価している可能性がある。そこでシミュレーションによって1～14日間(14日間がおおよそのピーク期間である)までの最大出現数を予測し、予測値と14日間の観察期間で得た最大出現数を比較することで各日の把握率を算出した。シミュレーションは、14日間の観察期間の中からランダムに1～14日取り出すことを1,000回繰り返し、得られた最大値の平均が、実際の最大出現数の何%に相当するかをもって把握率とした。日あたりの最大数の推定は、衝突確率モデルでの入力パラメタとして重要になる。

図5-4に長野県白樺峠での秋季のサンバを例にしたシミュレーション結果を示す。観察日数が11日以上になると把握率が約90%を超えて観測による最大出現数に近づくことから、観察日数1～10日までの地点の最大出現数を得られた把握率で除すことで、出現数の基準化になると考えられる。この傾向は、他の観察地点や他種も概ね同様であった。詳細は、環境省(2009c)を参照。

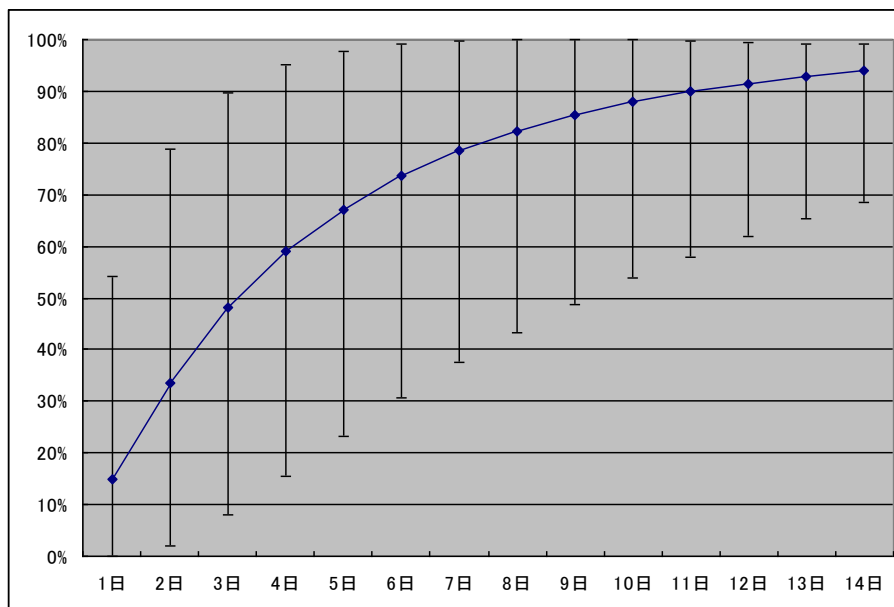


図 5-4 シミュレーションによる把握率の変化(長野県白樺峠における秋季のサンバの例)

資料(6) 小鳥の渡りの地域による違い

計画・調査・解析・保全・事後

従来、国内における小鳥の渡り経路は、鳥類標識調査*に基づく推定が主であった。しかしながら、気象庁のウィンドプロファイラ(風況探知レーダ)に鳥類が映ることが報告されてから、全国に配置されているウィンドプロファイラデータを調べることで、渡りの特徴が明らかになってきた。植田ほか(2009)は、これらのデータを解析した結果、①鳥エコー頻度の季節的な変化をみるといずれの地域も4月から6月にかけての春季と8月から11月にかけての秋季の夜間に頻度が高かった。ただし、その時期は地域によって異なった(付表D)。②鳥エコー頻度の分布の日周変化をみると夜間が高かった(図5-5)。③日没1~3時間程度後から鳥エコー頻度の大きくなる日が多かった、としている。

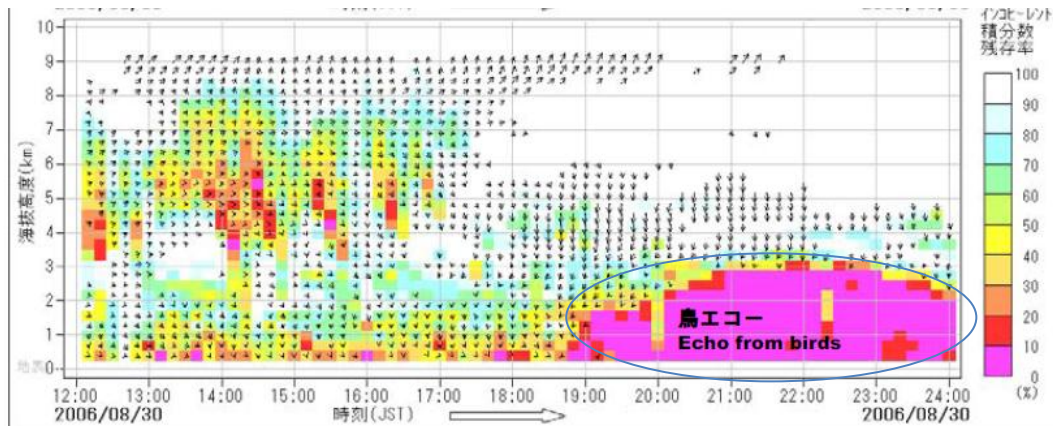


図 5-5 ウィンドプロファイラに示される鳥エコーの例(植田他 2009 より転載)

植田ら(2009)より抜粋。右下の円で括ったピンクの部分が「鳥エコー」を示す。左上にもピンク色の部分があるが、これらは、上空の乱気流によるエコーで、「鳥エコー」ではないと思われる。この例からは19時過ぎから鳥エコーが多くみられるようになっていることが読み取れる。矢印は上を北とした風向きを示す。

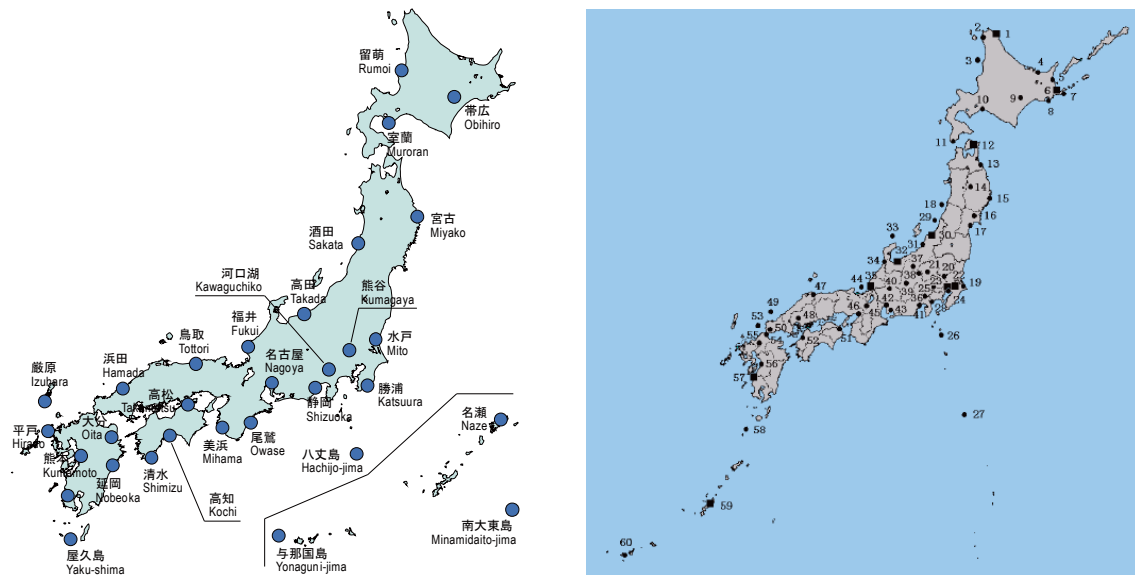


図 5-6 ウィンドプロファイラ(左)と鳥類観測ステーション(右)の設置状況

ウインドプロファイラと鳥類観測ステーションの設置状況を図 5- 6 に示す。鳥類標識調査*に基づく渡り鳥の種構成の季節的な変化の一例を図 5- 7 に示す。小鳥の調査を実施する場合は、予定地の周辺に鳥類観測ステーション、ウインドプロファイラが設置されていれば、調査時期の参考になる。

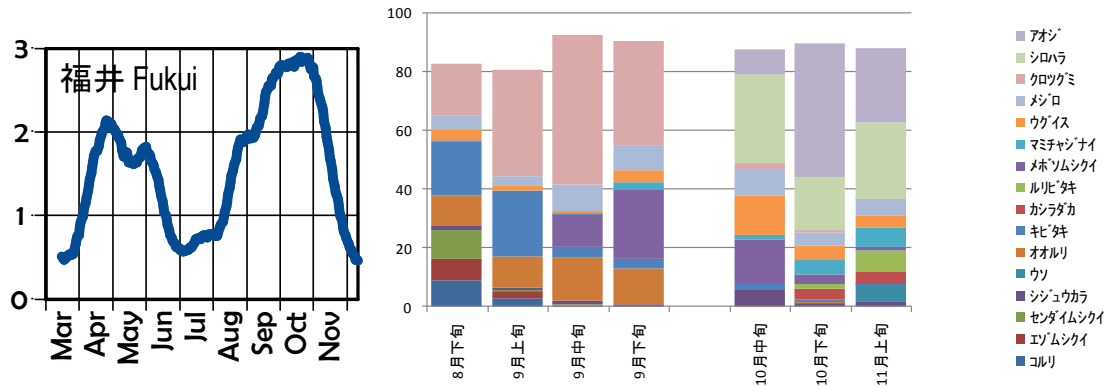


図 5- 7 ウインドプロファイラ(福井)の鳥エコーに基づく鳥類の通過頻度(左図)と織田山で標識された渡り鳥の種構成(右図)(左図縦軸は、10 分間の鳥エコー頻度の平均値である。鳥エコー頻度:0~11 までの値をとり、数が多いほど鳥が高頻度で通過することを示している)

* 野生の鳥類に標識を装着して放鳥・再捕獲することにより、鳥類の渡りの実態や様々な生態を解明すること。この観測地を鳥類観測ステーションと呼び、1996 年(平成 8 年)時点で、全国に 60 カ所が指定されている(図 5- 6)。

資料(7) 断崖における飛翔特性

計画・調査・解析・保全・事後

海ワシ類は断崖での飛翔頻度が高く、断崖を吹き上がる風(斜面上昇)を利用していると考えられる。このような風向の頻度が高い日には、海ワシの飛翔頻度も高かった(図 5- 8)。

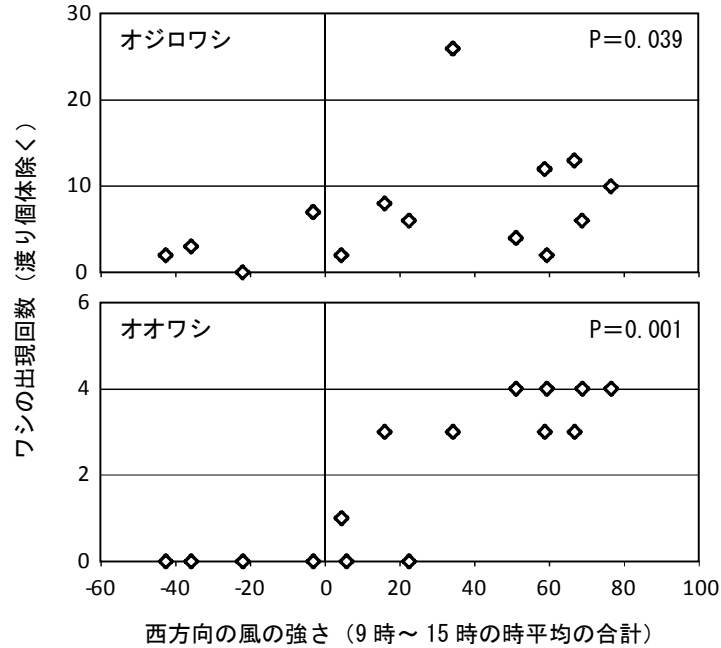


図 5- 8 断崖における風速(西)と海ワシの出現頻度

図中、西方向の風の強さ(x 軸)は毎正時の平均風向・風速を円座標上に示したのち、東西方向のベクトル値に変換し直したものを示している(東西成分の評価)。たとえば、北西風の場合、 $v(x \text{ 軸ベクトル値}) / w(\text{風速}) = \cos 45 \text{ 度}$ であるから、 $v = w \cdot \cos 45 \text{ 度}$ である。

一方、連続する断崖の終了部分では、上昇流の発生は弱まる。このような場所での飛翔高度は低くなることが考えられる。渡り個体が断崖に到達した場所と断崖が連続している場所を比べると前者では飛翔高度が低かった(図 5- 9)。しかしながら、断崖到達後の飛翔高度は、徐々に高度を上げる傾向があった(図 5- 10)。対象事業実施区域に、断崖が含まれる場合、このような飛翔特性を十分に把握することが望まれる。

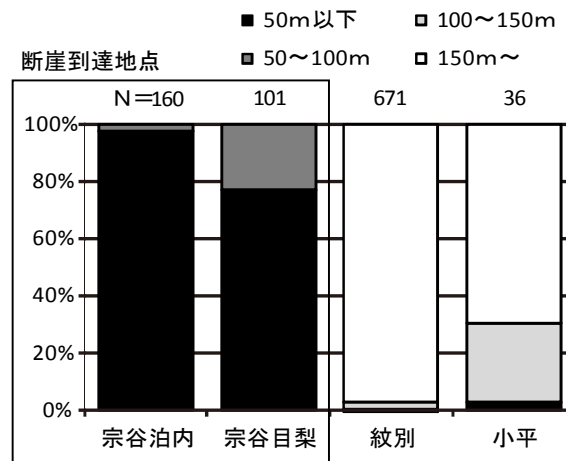


図 5-9 断崖到達地点(四角で括った2地点)と連続する断崖(小平)における海ワシ類の飛翔高度

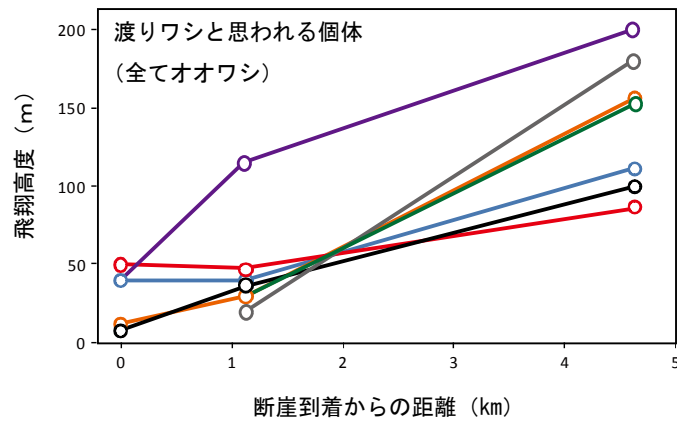


図 5-10 断崖到着後のオオワシの飛翔高度の変化

資料(8) 渡り個体と繁殖/越冬個体の飛翔特性

■■■■ 計画・調査・解析・保全・事後

海ワシ類について渡り途中の個体と繁殖している個体や越冬している個体では飛翔高度が異なる。前者は長距離移動(飛翔)するのに対して、後者は採食のために飛翔するため目的が異なる。飛翔高度を比較すると、渡り個体の高度がより高い傾向が伺えた(図 5- 11)。調査にあたっては、同種であっても、飛翔特性が異なる場合がある点に留意すべきである。

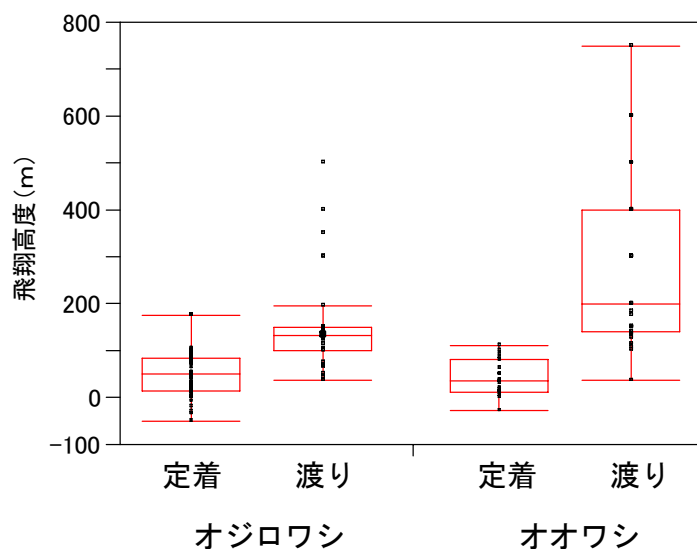


図 5- 11 オジロワシとオオワシの定着個体と渡り個体の飛翔
(秋季は南方向に飛去する行動、春季は北方向へ飛去するものを、それぞれ渡り個体とした。)

資料(9) 船舶レーダの特性について

・・・計画・調査・解析・保全・事後

[方位分解能]

等距離で方位角度がわずかに異なって離れている二つの目標物がある場合、二つの目標を区別できる最小の方位角度を方位分解能とよぶ。これはアンテナのビーム幅でほぼ決まり、狭いほど分解能は向上する。図 5-12 に模式図を示す。距離 A では二つの識別(分離)は可能だが、距離 B ではひとつのビーム幅に収まることから、分離できない。たとえば、水平ビーム角度を 1.23 度とすれば、距離毎の方位分解能の概算は、 $\sin(1.23 \text{ 度}) \times \text{距離}$ で得られる(表 5-14)。

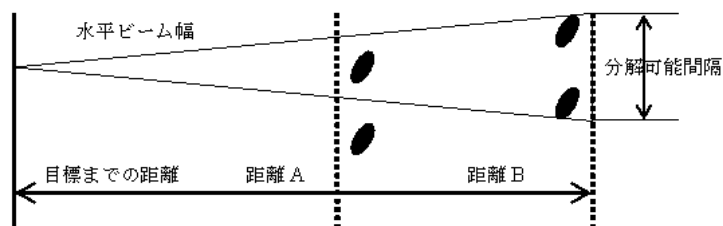


図 5-12 方位分解能模式図

表 5-14 水平ビーム角度による距離別の分解可能間隔

距離	水平ビーム角度	分解可能間隔
1.0km	1.23 度	$\sin(1.23) \times 1000 = 21.5\text{m}$
2.0km		$\sin(1.23) \times 2000 = 42.9\text{m}$
3.0km		$\sin(1.23) \times 3000 = 64.4\text{m}$

[距離分解能]

方位が同一で距離が異なる二つの目標がある場合、二つの目標を区別できる相互間の最短距離を距離分解能とよぶ。距離分解能は送信パルス幅に依存し、幅が短いときは距離分解能が良く、逆に幅が長くなると分解能が悪くなる。たとえば図 5-13 に示すように、幅が長ければ(パルス幅 A) 反射パルスは、(基準線上からみて) 混在してしまう。一方、幅が短ければ(パルス幅 B)、混在しないため識別は可能である。距離分解能(R)は、送信パルス幅(τ)に依存し、 $R = 150 \times \tau$ の関係がある(表 5-15)。

なお、これまでの経験から、鳥類を捕捉できる最大探査距離は 1.5~3km 程度と考えられる。

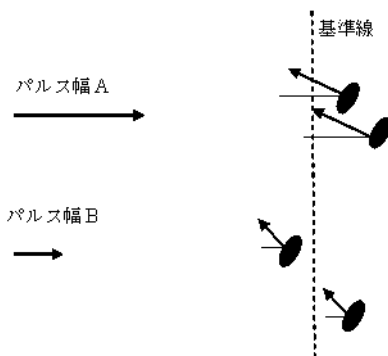


図 5-13 送信パルス幅と分解能の模式図

表 5- 15 パルス幅による距離分解能

パルス幅	距離分解能
0.08 μ s	150×0.08=12m
0.2 μ s	150×0.2=30m
1.2 μ s	150×1.2=90m

「高度分解能(垂直ビーム幅)」

水平ビーム幅と同様、レーダから発射されたビームは垂直方向にも広がりをもつ。したがって、距離が遠くなれば、分解可能間隔が広がることになる(ただし反射強度は弱まる)。これを高度分解能とよぶ。距離毎の高度分解能の概算も、 $\sin(\text{垂直ビーム角度}) \times \text{距離}$ で得られる(表 5- 16)。

表 5- 16 垂直ビーム角度による距離別の分解可能間隔

距離	垂直ビーム角度	分解可能間隔
1.0km	20.0 度	$\sin(20) \times 1000 = 347\text{m}$
2.0km		$\sin(20) \times 2000 = 694\text{m}$
3.0km		$\sin(20) \times 3000 = 1041\text{m}$

資料(10) 気流シミュレーション

・・・計画・調査・**解析**・保全・事後

鳥類の飛翔軌跡と地形条件を結びつける要因のひとつとして上昇気流の存在が数値シミュレーションによって確認された(環境省 2008b、2009b)。しかしながら、鳥類の飛翔行動は、気流特性だけに依存するものではないので、厳密な一致性は望めないこと、飛翔軌跡とシミュレーションで用いる解像度の整合性が解決されていないこと、シミュレーションを行うためには気象学の知識が必要とされること等が課題として残されている。これらを理解した上で、気流シミュレーションを実施すれば、有意義な解析結果が得られるものとする。

断崖における強制(斜面)上昇流の事例～オジロワシの飛翔特性

この気流解析では、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の研究プロジェクトとして開発された局所的風況予測システム(Local Area Wind Energy Prediction System : LAWEPS)を利用して、対象地域における気流の解析を行った。概念図等を図 5-14 に示す。

NEDOから配布されるLAWEPSは、1次領域から5次領域にかけて段階的に計算結果を取り込んでシミュレーションを行う局所的な風の状況を予測するシステムである。この最も大きい1次領域は水平距離500kmの領域であり、気象庁が数値予報として公表する予報結果の格子点の予報値(GPV=Grid Point Value と言う。格子点毎に風、気温などの気象の予報値が保存されている)を計算初期の風などの分布(初期値)と計算途中で領域端での風の流れ込みや噴出しなどを境界での風などの分布(境界条件)として、局地的な気象の状況を再現するシミュレーションモデル(局地気象モデル)を用いて解析を行っている。この結果を3次領域まで段階的に計算に取り込みながら、局地気象モデルにより解析を行っている。さらに、4～5次領域では詳細な地形等の影響による気流の流れや、流れの乱れを再現する工学モデルにより解析が行えるシステムになっている。4次・5次領域を計算する工学モデルでは図 5-15 に示す微小な地形の影響を再現できるように開発されたシミュレーションモデルである。NEDOにより配布されるLAWEPS工学モデルでは、1～3次領域については2000年を対象年とした風況解析結果(データ)が提供されており、利用者はこのデータを用いて4次・5次領域の計算を行うこととなる。

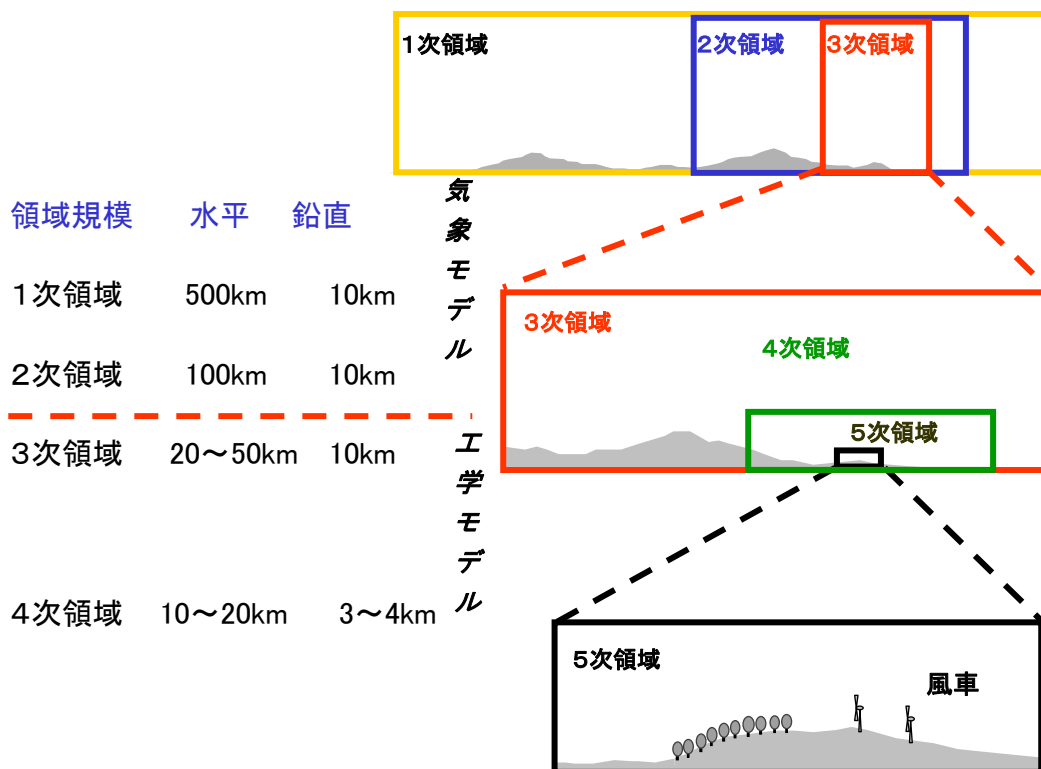


図 5-14 1～5次領域の規模と領域間の関係

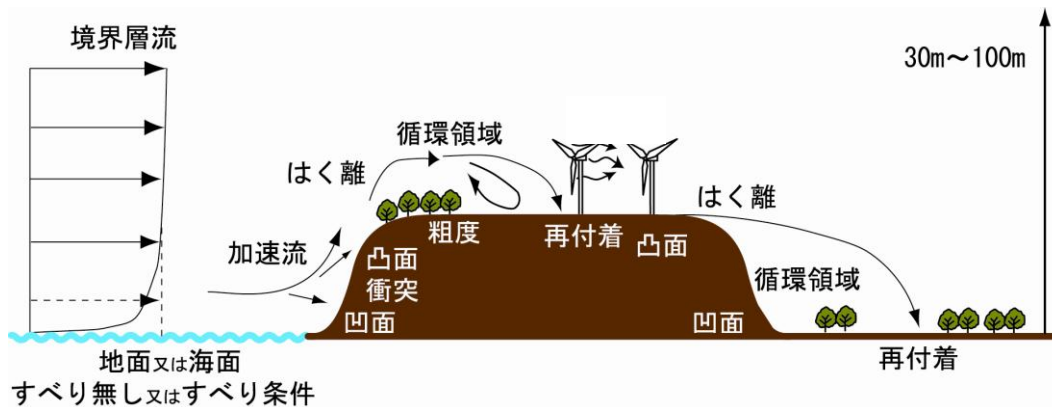


図 5-15 LAWEPS 工学モデルのモデリングで考慮された物理現象

環境省(2007b、2008b)でも、LAWEPS 工学モデルを利用して気流解析を行った。ただし、配布されるシステムでは 2000 年の風況解析データを利用する方法が取られる。しかしながら、システムで提供される 2000 年の風況解析データは6日毎の解析結果で、本調査で必要となる気象状況のデータが含まれない。そこで気象の状況を自由に設定できるように以下のとおり処理を行った。

はじめに 3 次領域(100km 四方)に該当するデータを作成するために、局地気象モデル ANEMOS により任意の風向で、風速が一定となるような気象の状況を計算する。その結果を 4 次領域の初期条件及び境界条件として用い、4 次領域(20km 四方)の風の状況を再現する。さらに細かな地形による風の変化を再現するために 5 次領域(5km 四方)の計算を行う。この計算の初期条件と境界条件には 4 次領域の計算結果を用いる。LAWEPS 工学モデルによる 4 次・5 次領域を計算する方法を採用した。計算手順としては以下のとおりとなる。

LAWEPS 気象モデルによる定常計算 (領域: 100km 四方、水平格子: 1km)
LAWEPS 工学モデル(4次領域)による定常計算 (領域: 約 20km 四方、水平格子: 約 200m)
LAWEPS 工学モデル(5次領域)による定常計算 (領域: 約 1km 四方、水平格子: 約 10m)

4 次領域の計算で用いた地形データは、「数値地図 50m メッシュ(標高)」(国土地理院・日本地図センター)とした。5 次領域の計算では「GISMAP Terrain 10mDEM(LAWEPS 形式)」(北海道地図株式会社)の 10mメッシュ標高を用いて計算を行った。計算結果を図 5-16～図 5-17 に示す。

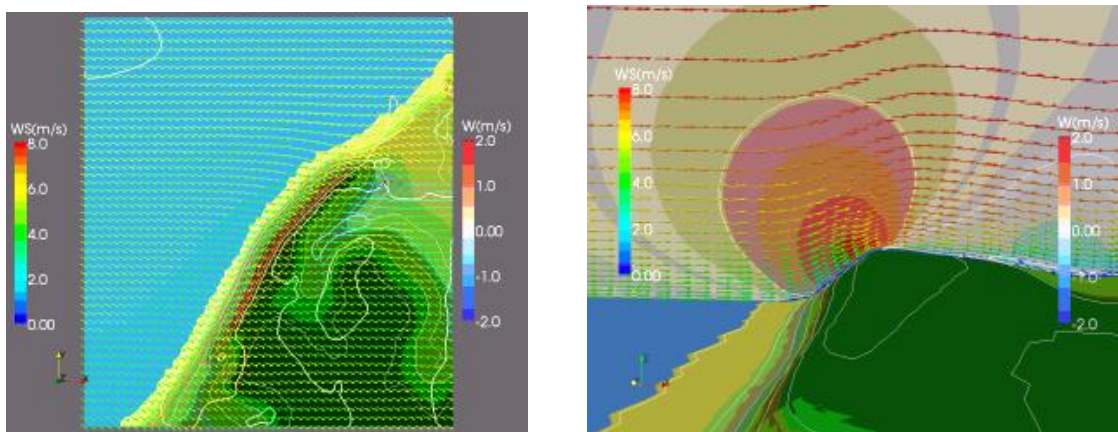


図 5-16 鉛直風速分布(左)と断面図(右)

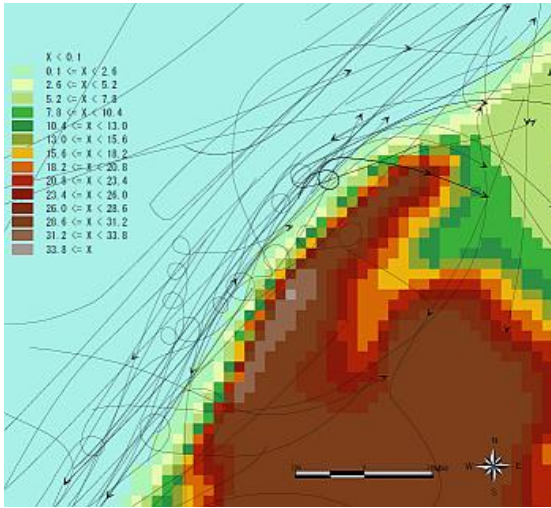


図 5-17 オジロワシの飛翔軌跡図(凡例:傾斜度)

資料(11) ガンカモ類の衝突確率モデル ・ ・ ・ ・ 計画・調査・解析・保全・事後

杉本・松田 (2008)の衝突確率モデルについて、以下に概略を述べる。彼らは、ガンカモ類の越冬地で、このモデルを考案した。その越冬地でのガンカモ類は、朝方に休息場から餌場に向かい、昼間に採餌し、夕方に餌場から休息場に戻る。この行動パターンを越冬季間、繰り返している。休息場と餌場の中間地点に風力発電事業地が計画されたことから、衝突数の推定が求められた。

そこで、ガンカモ類が衝突する条件(パラメタ)を4つリストアップし、その4条件が成り立った時にはじめて衝突事象が発生すると考えた。具体的には、ガンカモ類の群れが、事業地に侵入し(条件 1: P_1)、侵入した群れが風車の回転面高度を通過し(条件 2: P_2)、さらに回転面の断面積を通過しようとした時(条件 3: P_3)、ブレードとの接触確率(条件 4: P_4)を考慮すれば、衝突確率が得られると考えた。衝突確率モデルの概念図を、図 5-18 に示す。最後に、仮想の事業地を用いたオープンソースの統計解析システム(R)による計算スクリプトを示した。

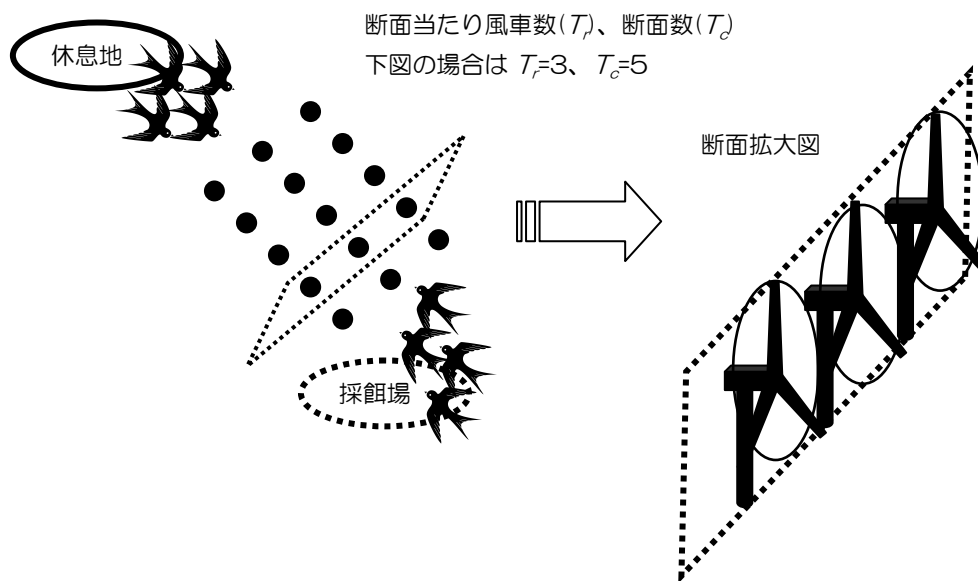


図 5-18 杉本・松田 (2008)による衝突確率モデル概念図

さらに回避行動を 2 点考慮した。第一に、飛び立ったガンカモ類が前方に稼働する風車群を視認して、風車群の手前で回避する確率(A_1)、第二に(誤って)風車群に侵入したときに、個々の風車を回避する確率(A_2)の二つである。これらを組み合わせて、確率モデルは、①回避行動を考慮しないモデルと、②回避行動を考慮するモデルを構築した。

回避行動を考慮しない推定衝突数(C_n)は以下の式であらわす。

$$C_n = P_1 P_2 [1 - (1 - P_3 P_4)^{T_c}]$$

回避行動を考慮した推定衝突数(C_a)は以下の式であらわす。

$$C_a = (1 - A_1) P_1 P_2 [1 - [1 - (1 - A_2) P_3 P_4]^{T_c}]$$

ここで T_c は断面数をあらわす。次に各パラメタの推定方法について述べる。 P_1 は、ガンカモ類の群れが事業対象事業実施区域を通過する確率である。杉本によれば、ガンカモ類の調査を S 回実行したときに、群れが事業対象事業実施区域を通過した回数 Fa とおくと、通過確率は Fa/S とおける。ここで、事業対象事業実施区域を通過する個

体数の割合を N_g/N とおく。 N_g は対象事業実施区域上空を通過する平均個体数、 N は越冬個体数である。 1 回の移動 (休息地 → 餌場もしくは餌場 → 休息地) あたりに、事業対象事業実施区域を通過する確率 P_1 は;

$$P_1 = (F_g / S)(N_g / N)$$

風車の回転面高度を通過する確率 (P_2) は、ガンカモ類の飛翔調査時に、飛翔高度が記録されていれば、算出できる。 F を調査対象地で確認された群れ数、 F_v は回転ブレード高を想定した調査対象高度幅 (最低 ~ 最高: m) を通過した群れ数とすれば、 P_2 は

$$P_2 = (F_v / F)$$

風車の断面域を通過する確率 (P_3) を求める。 1 断面あたりの P_3 は

$$P_3 = T_r B_s / B_c$$

ここで、 B_c は、高さを調査対象高度幅 (最低 ~ 最高: m)、横幅 L (m) の断面積、 B_s は風車の回転面積、 T_r は 1 断面あたりの風車数である。

P_4 は、回転面を通過しようとする際のブレードへの接触確率である。 Tucker (1996)、 Band et al. (2007) 等によって算出されているが、杉本は後者を採用している。これとは別に簡易的な接触確率の算出方法を資料 (12) に示している。

$$P_4 = 2 \int p(r) (r/R) d(r/R)$$

ここで $p(r) = (b\omega / 2\pi v) [K |c \sin \gamma + a c \cos \gamma| + \zeta]$

ただし、もし $a < l/w$ ならば $\zeta = l$ 、 $a > l/w$ ならば $\zeta = awf$ 。

各パラメータは以下のとおり。 b はブレード数、 ω は角速度 (rad/s)、 c はブレードの最大幅 (m)、 γ はピッチ角 (deg)、 R は回転面半径 (m)、 l は鳥類の全長 (m)、 w は鳥類の翼開長 (m)、 v は鳥類の飛翔速度 (m/sec)、 r は回転面の中心から鳥類通過地点の距離 (m)、 a はブレードへの侵入角度 ($a = v/r\omega$)、 f は羽ばたき ($f = 1$) もしくは滑空 ($f = 2/\pi$)、 K は 1 次元 ($K = 0$) もしくは 3 次元 ($K = 1$) である。

回避行動のパラメータ (A_r と A_l) について述べる。事業地を回避する確率 (A_r) は

$$A_r = 1 - (P_g / P_p)$$

ここで P_p は建設前に群れが事業対象事業実施区域を通過する確率、 P_g は供用後 (風車稼働時) に通過する確率である。

次に、風車を回避する確率 (A_l) について述べる。杉本は、Desholm and Kahlert (2005) から回避率を導出した。彼らは船舶レーダを用いて洋上風車群を飛翔するガンカモ類の群れを観測し、風車から 50m に接近した群れについてカウントを行った。 1 列あたりの風車設置基数 T_c^* 、風車列間隔 D_r 、観測距離 (50m) を D_f 、風車の D_f の範囲内を飛行する確率 (P_c) は:

$$P_c = 1 - [1 - (1 - A_r)(2D_f / D_r)]^{T_c^*}$$

これを A_l について解いて

$$A_l = 1 - [1 - (1 - P_c)^{1/T_c^*}](D_r / 2D_f)$$

前述した回避を考慮しない式に、これら A_n, A_t を考慮して、回避行動を考慮した推定衝突数 C_a が得られる。

$$C_a = (1 - A_t) P_1 P_2 \{1 - [1 - (1 - A_n) P_3 P_4]^{T_p}\}$$

1 個体当たりの衝突率は、 C_n と C_a を用いて、回避を考慮しない場合 (P_n) と考慮する場合 (P_a) で、それぞれ次のように記述できる。

$$P_n = 1 - (1 - C_n)^{T_p} \quad \text{および} \quad P_a = 1 - (1 - C_a)^{T_p}$$

ここで T_p は、年間の通過回数である(たとえば、越冬季を半年とおき毎日往復するなら $T_p = 180 \times 2 = 360$)。

P_n あるいは P_a を用いて(これを \dot{P})、年間に x 個体衝突する確率 $\text{Pr}[x]$ は、二項分布確率を用いて、以下のとおり記述する。

$$\text{Pr}[x] = {}_n C_x \cdot \dot{P}^x (1 - \dot{P})^{n-x}$$

最後に、R による計算スクリプトを示す。越冬地のガンカモ類を想定しているが、いずれも架空データである。

#---対象事業計画&鳥類調査結果パラメタ(★：作業者が操作可能なパラメタ)---

Fa <- 5 #群れが計画地を通過した回数★

S <- 100 #調査回数★

N <- 4000 #渡来数★

Na <- 200 #計画地上空の平均通過個体数★

Tr <- 3 #風車列数★

Tc <- 5 #一列当たりの風車基数★

Tn <- Tr * Tc #予定風車基数

F <- 100 #計画地&周辺を通過した群れ数★

Fv <- 100 #風車回転高度を通過した群れ数★

Bc <- 100*1000 #列の断面積(高さ 100m、横 1000m) ★

Bs <- 25*25*3.14 #ブレード回転面積(半径 25m/1 基当)

day <- 180 #越冬日数★

Tp <- day * 2 #年間通過回数(朝夕の通過を仮定するなら 2)★

#-----回避行動パラメタ-----

#建設前の段階で予測する場合、計画地や風車の回避率(Af, At 等) が判明していない。

#このため Desholm & kahlert(2005)により、ガンカモ類の群れが風力発電事業地に

#入る確率、事業地内で風車に接近する確率を用いた。したがって、作業者が

#操作可能なパラメタは接触率 P4 のみであるが、今後、このようなデータが蓄積されれば

#この他のパラメタも操作可能になるであろう。

Tcc <- 8 #一列当たり風車基数

Dr <- 480 #列間の距離

Pp <- 0.404 #飛翔確率(建設前)

Po <- 0.045 #飛翔確率(建設後)

Pc <- 0.123 #Df 内を群れが飛行する確率

Df <- 50 #観測している群れと風車との距離

```

P1 <- ( Fa / S ) * ( Na / N )      #計画地通過確率
P2 <- ( Fv / F )                  #風車の高度内通過確率
P3 <- Tr * Bs / Bc                #風車の断面積通過確率
#P4 は回転するブレードをすり抜けようとした場合の接触率で
#資料(10)を用いるなら 0.096 である
P4 <- 0.096                       #今回は資料 10 の値を使用★
Af <- 1 - ( Po / Pp )             #計画地の回避率
At <- 1 - (1 - (1 - Pc)^(1/Tcc)) * (Dr / (2 * Df)) #風車の回避率
#衝突率
#衝突率 1 個体当(回避なし)
Cn <- P1 * P2 * ( 1 - ( 1 - P3 * P4 )^Tc )
#衝突率 1 個体当(回避あり)
Ca <- ( 1 - Af ) * P1 * P2 * (1 - (1 - ( 1 - At ) * P3 * P4 )^Tc)
#1 個体が 1 年間に衝突する確率
Pn <- 1 - (1 - Cn)^Tp             #回避なし
Pa <- 1 - (1 - Ca)^Tp             #回避あり
#衝突率 1 個体当
sprintf("%10.7f", Pn) #回避なし
sprintf("%10.7f", Pa) #回避あり
#越冬時衝突数
print(Nno <- N * Pn) #回避なし
print(Nav <- N * Pa) #回避あり
#5%信頼区間 回避なし
cin.l <- qbinom(0.025, N, Pn, lower.tail = TRUE)
cin.h <- qbinom(0.975, N, Pn, lower.tail = TRUE)
#5%信頼区間 回避あり
cia.l <- qbinom(0.025, N, Pa, lower.tail = TRUE)
cia.h <- qbinom(0.975, N, Pa, lower.tail = TRUE)

#衝突数の頻度分布
par(mfcol=c(2,1))
#衝突数の頻度分布 回避なし
plot(0:400,(dbinom(0:400, N, Pn)),type="h",lwd=1, main="回避せず",xlab="衝突数/越冬当",ylab="確率",pch=20)
lines(c(cin.l,cin.h),c(0,0.025), col="red")
lines(c(cin.h,cin.h),c(0,0.025), col="red")
text(200,0.03,"信頼区間", col="red")

#衝突数の頻度分布 回避あり
plot(0:20,(dbinom(0:20, N, Pa)),type="h",lwd=5, main="回避あり",xlab="衝突数/越冬当",ylab="確率",pch=20)
lines(c(cia.l,cia.h),c(0,0.3), col="red")
lines(c(cia.h,cia.h),c(0,0.3), col="red")
text(1,0.35,"信頼区間", col="red")

```

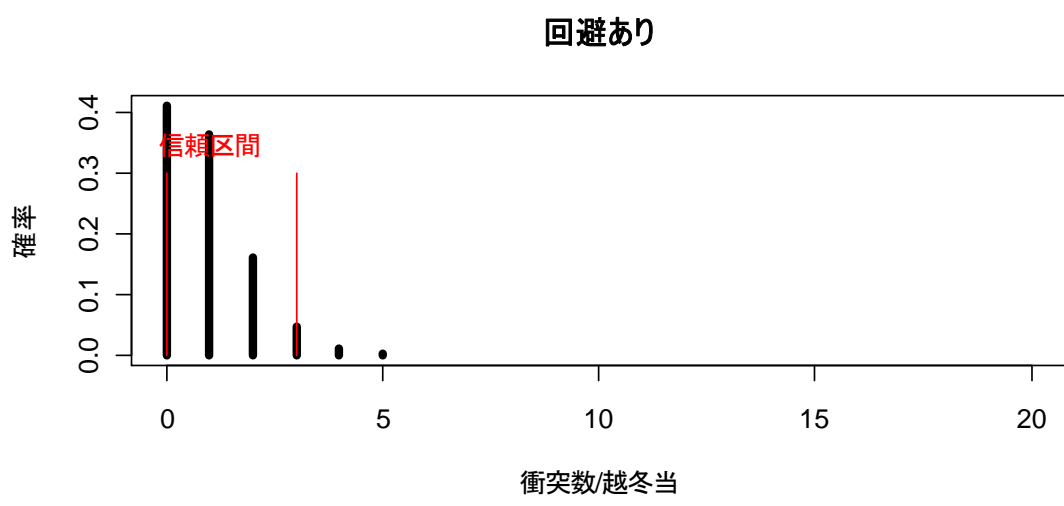
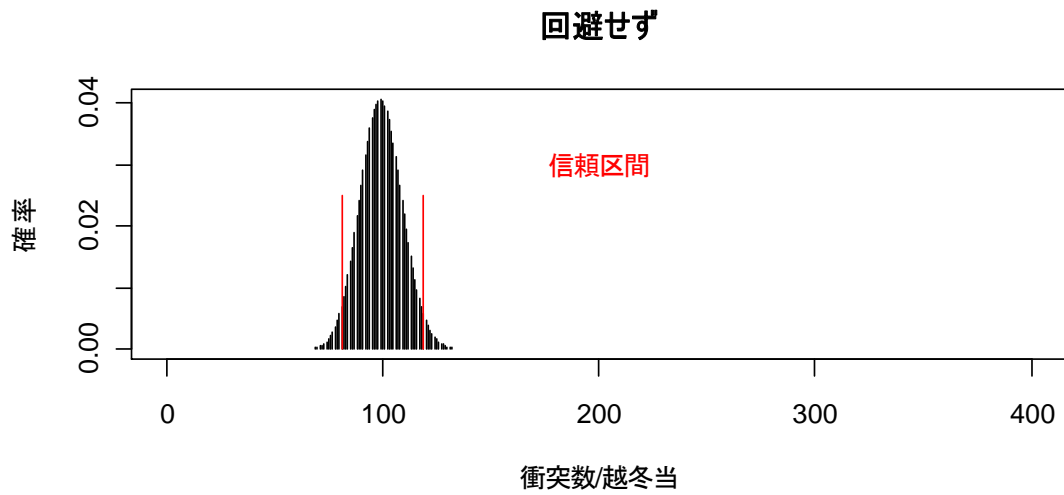


図 5-19 計算スクリプトから得られた予測結果図

資料(12) 飛翔軌跡調査を用いた衝突率推定の試み

■■■■計画・調査・解析・保全・事後

作業概念図を図 5-20 に示す。解析にあたっては、GIS を用いて飛翔軌跡と風車位置に地理座標を与える。飛翔軌跡データには飛翔高度(L、M、H等)も調べられていることが条件である。また、式から明らかなように風車回転面積比 P は、調査区域 S に依存する。このため、調査区域 S は対象事業実施区域を十分含むように設定する必要がある。

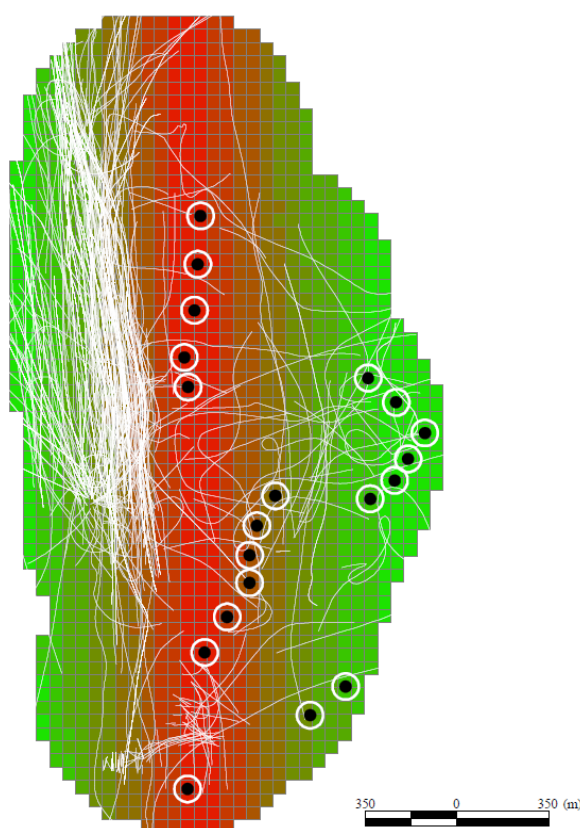


図 5-20 GIS 解析から求める場合の作業概念図

(飛翔軌跡を白色ライン、メッシュ領域で囲まれた部分が調査区域、●印は風車位置でその周囲にブレード回転域を白色とした)

データの準備

あるサイトにおいて、希少猛禽類(越冬個体)の現地調査を実施したものと仮定し、調査結果から年間衝突数の予測を試みる。予測を行うための諸元(調査日数、風車仕様、基数等)を表 5-17 に示す。稼働率とは、システムの発電可能な稼働時間率を表すもので、風車が運転している時間の合計を年間時間で割った値で、カットイン風速からカットアウト風速までの風速出現率の累積より求められる(NEDO『風力発電導入ガイドブック』2008年)。同書に年平均風速から稼働率を推定する図が掲載されており(p67)、そこから年平均風速6m/s、稼働率80%と仮定した。

表 5-17 予測のための諸元

パラメタ	概要
調査日数	延べ 16 日間 (冬季、早春季各 4 日間×2 力年)
風車基数	20
回転面の半径	25m
ブレード回転速度 (rpm)	24rpm
稼働率	80%

調査区域における飛翔軌跡の抽出

調査区域と飛翔軌跡(ラインデータ)を重複させ、区域に含まれる飛翔軌跡頻度を抽出する。図 5-21 では、全軌跡頻度は 287 軌跡、このうち高度 M に相当するものは 111 軌跡であった(赤線)。高度 M 飛翔率(Q)を求めると、 $111/287 \approx 0.4$ である。今回は軌跡頻度(数)を用いたが、軌跡長を用いることも考えられる。今回の場合、軌跡長比 M:100,912m/全体:245,961m=0.41 であり、頻度比とほぼ同一であったため、前者を採用した。



図 5-21 調査区域内における飛翔軌跡(赤線:高度 M)

風車回転面積比(P)の算定

調査区域に対する風車の回転面積比(P)を得る。GIS から調査区域面積 $S=3,955,835\text{m}^2$ 、風車の回転面積 $S_1=1,962.5\text{ m}^2 \times 20\text{ 基}=39250\text{m}^2$ 、回転面積比(S_1/S)=0.0099(約 0.99%) であるため、 $P=0.01$ と見積もった。なお、Pは調査区域の面積に逆比例する点に注意が必要である。

接触率(T)の算定

図 5-22 に概念図を示す。ブレードを垂直の回転面と見なしたとき、希少種がその面を通過する時間(通過時間)は、鳥類の先端部から末端部が通過するのに費やす時間である。これは対象鳥類の飛翔速度がわかれば得られる。希少種の全長を 80.5cm (0.805m) とし、飛翔速度については、文献やセオドライト調査等から平均 10.6m/s と仮

定すれば、0.805m進むのに費やす時間は、 $0.805/10.6=0.076$ 秒 \approx 0.08 秒である。

表 5-17 に示した諸元から、希少種がブレードを通過するのに費やす時間内に、ブレードが回転する面積(掃過域:Sweep Area)を求め、全面積に対する比率を、接触率 (T)と定義する。諸元から、風車の回転面積 $=25 \times 25 \times 3.14=1962.5\text{m}^2$ である。0.08 秒間に回転する面積(掃引域:Sweep Area)を求めるには、その時間内におけるブレード先端部分の移動距離がわかれば、それを底辺とし高さを半径とする三角形の面積で近似できる。ブレード先端部分の移動速度(m/s) $= (25 \times 2) \times 3.14 \times 24(\text{回転/分})/60$ 秒 $=62.8\text{m/s}$ 、0.08 秒間に回転する面積 $= (0.08 \times 62.8 \times 25 \times 0.5) \times 3$ 枚 $=188.4\text{m}^2$ である。したがって、0.08 秒間に占有される面積 $=188.4/1962.5=0.096$ で、これが希少種の接触率 (T)である。

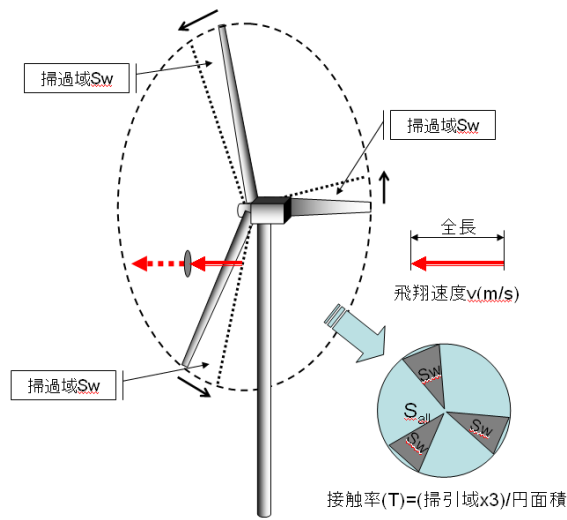


図 5-22 接触率の概念図

年間飛行頻度の推定

調査域内の飛行軌跡頻度 287 は越冬時期の 16 日間の調査結果である。希少種の越冬期間を 10 月～翌年 3 月の 6 ヶ月 (180 日)とみなせば、越冬期間における調査区域の飛行軌跡頻度 $=287 \times (180/16) = 3,229$ 軌跡頻度/越冬期である。

予測衝突数(回避行動を考慮しない場合)

衝突率 (C) $= T(\text{接触率}) \times P(\text{風車回転面積比}) \times Q(\text{高度 M 飛行率}) \times R(\text{稼働率}) = 0.096 \times 0.01 \times 0.4 \times 0.80 = 0.000307$

年間衝突数(回避しない) $= Y(\text{年間飛行頻度}) \times C(\text{衝突率}) = 3,229 \times 0.000307 = 0.99$ 個体/年が得られる。

予測衝突数(回避行動を考慮する場合)

回避率 A_v は、後述する既存文献から 0.9 程度とみなすと、年間衝突数(回避する) $= Y(\text{年間飛行頻度}) \times C(\text{衝突率}) \times \text{回避率}(1 - A_v) = 3,229 \times 0.000307 \times (1 - 0.9) = 0.099$ 個体/年が得られる。すなわち、年間衝突数(回避しない場合)に $(1 - A_v)$ を乗じたものである。

悪天時の視認性を考慮した予測衝突数

濃霧、降雨、降雪(吹雪)等で、風車と背景のコントラスト比が悪くなった場合、風車視認性が低下すると考えられる。越冬期間における天候悪化率(=視認性悪化率)を x とし、視界良好な確率 $y=(1-x)$ とおき、それぞれの回避率を $A_{v,x}$ 、 $A_{v,y}$ とおく。ただし、飛行頻度は越冬期間を通じて等しく、悪天候時でも変化しないと仮定すると、年間衝突数は次の式で得られる。

年間衝突数＝視程悪化時の衝突数＋視程良好時の衝突数

$$= Y(\text{年間飛翔頻度}) \times x \times (1 - A_{v,x}) \times C + Y(\text{年間飛翔頻度}) \times y \times (1 - A_{v,y}) \times C$$

ただし、越冬季間における天候悪化率や視程悪化時の回避率については、現時点で根拠となりうる資料がなく、今後の課題である。

供用期間に衝突する確率

得られた衝突数(0.99、0.099)から、マイクロソフト社 Excel、オープンソースの統計解析システム(R)を用いて簡単なシミュレーションを行う。

(参考 URL)

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

<http://www.okada.jp.org/RWiki/>

起こりうる年間衝突数

計算で得られた年間衝突数 0.99 個体/年(回避なし)、0.099 個体/年(回避あり)は、それぞれ平均的な衝突数と考えられる。長期的にみれば当たらない年もあれば、複数回衝突する年もあり、平均的にならせば、計算値になると解釈できる。このバラツキの程度をみるにはシミュレーションを行えばよい。衝突事象は稀な事象であるからポアソン分布を用いる。ここで期待値(λ)をそれぞれ 0.99 と 0.099 とおく。表記法を表 5-18 に示す。また、0～10 個体までの衝突発生確率一覧とグラフを図 5-23 に示す。同様の方法を R で記述すると、for (i in 1:10){print(dpois(i,0.99))} 等と記述すれば得られる。グラフを作成する場合は plot(dpois(c(0:10),0.99),type="b") 等とすればよい。

表 5- 18 ポアソン確率の求め方 ($\lambda=0.99, 0.099$ の場合)

事象/スクリプト	Excel 書式	R 書式
0 個体 (衝突しない) 確率	=POISSON(0,0.99,FALSE)	dpois(0, 0.99)
n 個体衝突する確率	=POISSON(n, 0.99,FALSE)	dpois(n, 0.99)

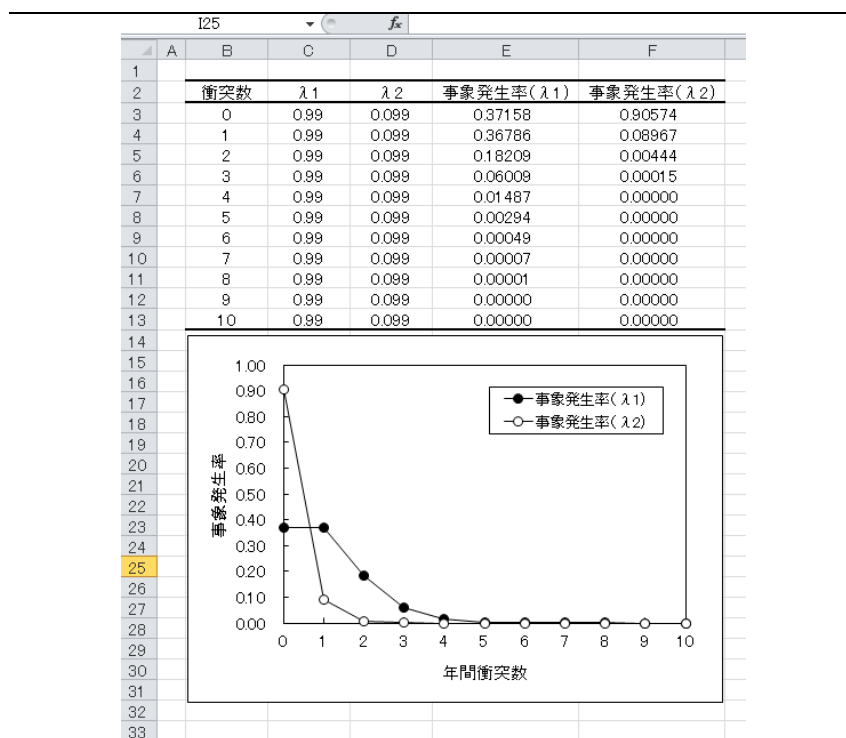


図 5- 23 Excel による衝突発生確率とそのグラフ

当該図から危険率を 5% (確率 0.05 までは発生することがありうると判断) とすると、衝突数 0.99 個体/年の場合は、年間 0~3 回衝突が発生する可能性があり、衝突数 0.099 の場合でも、年間 0~1 個体発生すると解釈できる。

供用時における衝突数

計算で得られた年間衝突数が 1 未満であっても、供用期間が長く、衝突しない期間が経過すれば、衝突の発生率は高まる。予測衝突数 0.099 個体/年を用いると、1年目に衝突しない確率は $(1-0.099)$ で与えられる。これを 1 から引いた値が、衝突する確率である。2 年目に衝突する確率は、 $1-(1-0.099)^2$ 、5 年目で衝突する確率は、同様に $1-(1-0.099)^5$ … によって、n 年目に衝突する確率は $1-(1-0.099)^n$ で表すことができる。これらを Excel で計算したものを図 5-24 に示す。

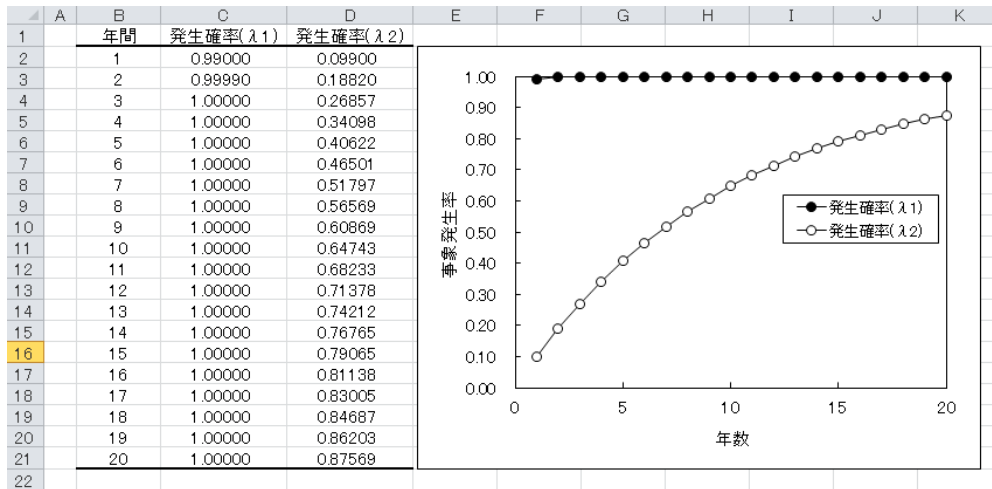


図 5-24 Excel による発生確率とそのグラフ

0.99 個体/年であれば、1 年目の発生確率からほぼ 100% に達する。0.099 個体/年であっても、1 年目の発生確率は約 10% であり、7 年目に 50% を超える。

資料(13) 鳥類の風車回避率について

・・・計画・調査・**解析**・保全・事後

鳥類の風車に対する回避率は、主に水鳥を対象に洋上風車群について、船舶レーダ等を用いて調べられている。Smales & Muir (2005)は、それらを取りまとめている(表5-19)。彼らは、99%またはそれ以上の回避率は昼間、通常の天候における代表的な数字と結論づけることは妥当とし、夜間の飛翔では Winkelman (1990)による 87%が視界の悪い状況(夜、霧など)での唯一の数値であるが、下限値として使える妥当なデータであろう、としている。

表 5-19 特定鳥種の回避率の例 (Smales & Muir 2005)

	回避率	鳥種	国(出典)
定義 1: 鳥が構造物に衝突するのを避ける割合から算出 注: 直接観察された回避率(タービン列を通り抜けるが、衝突の積極的な回避を示す鳥の観測による)	100%	カオジロガン、ハイイロガン、マガン	スウェーデン(Percival 1998)
	100%	ホシムクドリ、ムギワラトキ、カササギフエガラス、ミナミワタリガラス、ミナミコワタリガラス、ゴシキヒワ、カオジロオーストリアヒタキ、ヒバリ、オーストリアカタグロトビ、アカハラオオタカ、マミジロタヒバリ、ツチスドリ、オーストラリアチョウゲンボウ、カオジロザギ、ヒバリモドキ、ミナミチュウヒ、チャイロハヤブサ、アカエリツミ、サギ種、シロトキ	オーストラリア, Victoria 州, Codrington, (Meredith et al. 2002)
	99%	渡り鳥(昼間及び夜間のデータ)	オランダ(Winkelman 1992)
	99.9%	カモメ	ベルギー(Everaert et al. 2002, in Langston & Pullan 2002)
	99.8%	アジサシ	ベルギー(Everaert et al. 2002, in Langston & Pullan 2003)
	97.5%	水鳥及び渉禽類	オランダ(Winkelman 1992, 1994)
定義 2: 調査エリアの利用率と比較した死亡事故の割合から算出 注: 風力発電所を通る鳥の生存率としてより正確だと考えられるが、回避率としては間接的な推定値	100%	水鳥	カナダ, Yukon 準州(Mossop 1997)
	100%	猛禽類	カナダ, Yukon 準州 (ibid)
	99%	カササギフエガラス、ヒバリ	オーストラリア, Victoria 州, Codrington, (Meredith et al. 2002)
	99%	水鳥、渉禽類、ウ科	イギリス(Percival 2001)
	>95%	チャイロハヤブサ	オーストラリア, Victoria 州, Codrington, (Meredith et al. 2002)

*: 索引となるため割愛した(出典は Smales & Muir 2005 を参照)

これに対して、陸上の猛禽類を対象にした回避率の研究は多くない。Whitfield & Madders (2006) と Whitfield (2009)は、ハイイロチュウヒ(Northern harrier)とイヌワシ(Golden eagle)の回避率について調べた(表5-20~表5-21)。回避率は以下の式を用いている。

回避率(avoidance rate) = 1 - (発見死骸数/回避を想定しない場合の推定衝突数)

これらの数値を概括すると、猛禽類の風車回避率は、ハイイロチュウヒで 91.93~100%、イヌワシで 74.35~99.89%である。

また、Whitfield & Madders (2006)は、回避率を推定するための適切な数値がない場合、予防的な観点から汎用値として 95%を使う、もしくは他の猛禽類で経験的に推論される基準値を使うことを述べている。

表 5- 20 ハイロチュウヒの回避率(Whitfield & Madders 2006 より引用)

サイト名	回避率	参照文献
Altamont	99.87%	Smallwood & Thelander 2004 Thelander et al. 2003
Altamont	99.73%	Smallwood & Thelander 2004 Thelander et al. 2003
Foote Creek Rim	92.09%	Johnson et al. 2000a Young et al. 2003a
Foote Creek Rim	91.93%	Johnson et al. 2000a Young et al. 2003a
Foote Creek Rim	100.00%	Young et al. 2003b (UV study)
Foote Creek Rim	93.20%	Johnson et al. 2000a Young et al. 2003ab
Buffalo Ridge	100.00%	Johnson et al. 2000b
Vansycle	100.00%	Erickson et al. 2001 2002
Stateline	100.00%	Erickson et al. 2004
Klondike	100.00%	Johnson et al. 2002 2003
Nine Canyon	100.00%	Erickson et al. 2002 2003b
NWTC	100.00%	Schmidt et al. 2003

表 5- 21 イヌワシの回避率(Whitfield 2009 より引用)

補正項目	Altamont Pass	Tehachapi Pass	San Gorgonio	Foote Creek Rim
Mean adjusted	99.58	-	-	-
Upper 80 % CL adjusted	99.32	-	-	-
Lower 80 % CL adjusted	99.84	-	-	-
Unadjusted for biases	-	99.32	99.48	99.89
Adjusted by observed scavenger trials	-	74.35	83.25	99.82
Adjusted by expected carcass persistence	-	99.06	99.17	99.88
Adjusted by doubling observed rate	-	98.64	98.96	-

※予測段階でこれらの回避率を参照する場合は、出典を明記すること、近縁種や類似種で同様の回避率が得られるとは限らないこと、また同一種であっても国内で得られた数値ではないこと等を考慮する必要がある。

資料(14) 統計モデルによる飛翔マップの作成

■■■■計画・調査・**解析**・保全・事後

飛翔軌跡をメッシュ解析して、環境要因との関係を見る場合、様々な統計モデル(多変量解析)を用いることができる。しかし、それぞれの統計モデルに応じた統計的制約がある。本書では、各統計モデルの原理、統計的裏付けについては言及しない。実際に解析するにあたっては、参考文献にあたるなどし、手持ちのデータを吟味した上で、解析することが望まれる。

ここでは、Rによるスクリプトを掲載した。サンプルデータは、「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」で作成した丘陵地データ(メッシュデータ)である。まず、重回帰モデル、ポアソン回帰モデルによる解析例を紹介する。次に、飛翔軌跡をメッシュで切断した場合、空間的自己相関が生じる場合があるので、その解析例を紹介する。最後に、空間的自己相関を考慮できる統計モデルとして、空間的自己回帰モデルと地理加重回帰モデルを紹介する。

#ファイル読み込み

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

```
head(map)
```

	植 CODE	植生	SFC	SLP	ASP	FREQ	LENGTH	x	y
1	e	牧草地	693.5067	8.1306	87.7566	0	0.00000	457523.4	4072279
2	e	牧草地	692.7963	9.9568	68.5429	0	0.00000	457523.4	4072329
3	a1	落葉広葉樹林	691.4362	8.5376	66.3111	0	0.00000	457523.4	4072379
4	a1	落葉広葉樹林	689.7747	5.3225	79.4142	0	0.00000	457523.4	4072429
5	e	牧草地	689.6543	3.4748	172.0596	1	53.70097	457523.4	4072479
6	e	牧草地	692.5471	5.6064	228.8671	0	0.00000	457523.4	4072529

重回帰モデル

出力結果(CALL)をみると、重回帰のパラメタとして、植生 CODE、標高 SFC、斜面方位 ASP2 が選択され、傾斜度 SLP は排除された。植生はスギ・ヒノキ植林(b)がマイナス、牧草地(e)がプラス、市街地・人工構造物(i)がプラス、標高はプラス、斜面方位のうち、西南西(WSW)と西(W)がプラスに作用していると推定された。しかしながら、観測値と予測値の散布図から判るように、全体として過小評価されている。

```
#-----Rスクリプト例(ここから)-----
```

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

```
#属性名の確認
```

```
head(map)
```

```
#標高SFCは数値とする
```

```
#斜面方位22.5度刻みとしカテゴリ変数とする
```

```
#植生データもカテゴリ変数とする
```

```
num <- nrow(map)
```

```
map2 <- data.frame(f.SFC=c(rep(0,num)), f.SLP=c(rep(0,num)))
```

```
#標高SFC
```

```
for ( i in 1:num ) {
```

```
  map2$f.SFC[i] <- map$SFC[i]
```

```
}
```

```
#傾斜SLP
```

```
for ( i in 1:num ) {
```

```
  map2$f.SLP[i] <- map$SLP[i]
```

```
}
```

```
DIRECT <- c("NNE", "NE", "ENE", "E",  
            "ESE", "SE", "SSE", "S",  
            "SSW", "SW", "WSW", "W",
```

```

"WNW", "NW", "NNW", "N")
#方位
#北を除き処理
for ( i in 1:num ){
  for ( j in 1:15 ){
    if ( ( map$ASP[i] >= 22.5*j-12.25 ) && ( map$ASP[i] < 22.5*j+12.25 ) )
      { map2$ASP2[i] <- DIRECT[j+1] }
  }
}
#北だけ処理
if ( ( map$ASP[i] >= 22.5*15+12.25 ) || ( map$ASP[i] < 22.5*0+12.25 ) )
  { map2$ASP2[i] <- DIRECT[1] }
#カテゴリ化
#斜面
map2$ASP2 <- factor(map2$ASP2, levels=DIRECT)
#植生コード
map$CODE <- factor(map$植CODE)
#結合
map3 <- cbind(map, map2)
attach(map3)
#重回帰
g<-glm(FREQ~1, gaussian)
library(MASS)
stepAIC(g, direction="forward", scope=list(upper=~SFC+SLP+ASP2+CODE))
#AICが改善しなくなった時点で停止
fit.reg <- lm(FREQ ~ CODE + SFC + ASP2 )
#分析結果の概略
summary(fit.reg)
#予測値の計算
yy1 <- predict(fit.reg, newdata=data.frame(map3), type="response")
#予測値と実測値の相関
plot(FREQ, yy1)
cor(FREQ, yy1)
#予測値の出力(ファイル書き出し)
#予測結果の出力
write.table(yy1, file="c:/work/重回帰結果.csv", sep=",")
#-----Rスクリプト例(ここまで)-----
[出力結果]
Call:
lm(formula = FREQ ~ CODE + SFC + ASP2)
Residuals:
    Min     1Q  Median     3Q     Max
-5.9089 -1.6867 -0.3981  0.9529 12.1306
#
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -10.461667   1.514392  -6.908 8.28e-12 ***
CODEa2      -1.447605   0.811393  -1.784 0.074683 .
CODEb       -2.321396   0.223097 -10.405 < 2e-16 ***
CODEe       1.508400   0.200928   7.507 1.24e-13 ***
CODEi       3.418558   0.893076   3.828 0.000137 ***
SFC         0.017861   0.002035   8.777 < 2e-16 ***
ASP2NE      0.465079   0.438038   1.062 0.288589
ASP2ENE    -0.458493   0.450223  -1.018 0.308726
ASP2E      -0.234470   0.440708  -0.532 0.594812
ASP2ESE    -0.396453   0.435695  -0.910 0.363057

```

```

ASP2SE      -0.420835   0.475985  -0.884  0.376815
ASP2SSE     -0.006189   0.574910  -0.011  0.991412
ASP2S       -0.075968   0.491568  -0.155  0.877210
ASP2SSW      0.439197   0.487731   0.900  0.368057
ASP2SW       0.798897   0.422754   1.890  0.059055 .
ASP2WSW      1.157053   0.408839   2.830  0.004738 **
ASP2W        1.136263   0.394153   2.883  0.004018 **
ASP2WNW      0.649668   0.395968   1.641  0.101144
ASP2NW       -0.260198   0.386985  -0.672  0.501489
ASP2NNW      0.217580   0.395946   0.550  0.582760
ASP2N        0.172794   0.384624   0.449  0.653337

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 2.626 on 1102 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.3236, Adjusted R-squared: 0.3114
F-statistic: 26.36 on 20 and 1102 DF, p-value: < 2.2e-16

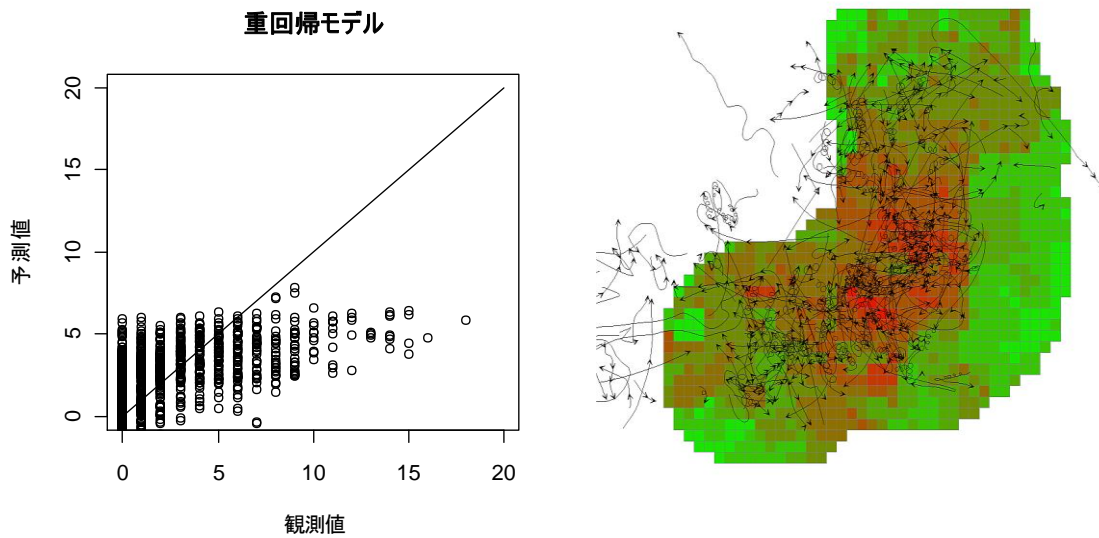


図 5-25 観測値と予測値の散布図(重回帰モデル)、およびポテンシャルマップ

ポアソン回帰モデル

出力結果(CALL)は、重回帰モデルの傾向とあまり変わらない。観測値と予測値の散布図から判るように、全体として過小評価されている。

```

#-----Rスクリプト例(ここから)-----
map <- read.csv("c:/work/hill.csv")
#属性名の確認
head(map)
#標高SFCは数値とする
#斜面方位22.5度刻みとしカテゴリ変数とする
#植生データもカテゴリ変数とする
num <- nrow(map)
map2 <- data.frame(f.SFC=c(rep(0,num)), f.SLP=c(rep(0,num)))
#標高SFC
for ( i in 1:num ) {
  map2$f.SFC[i] <- map$SFC[i]
}

```



```

#傾斜SLP
for ( i in 1:num ){
  map2$f.SLP[i] <- map$SLP[i]
}
DIRECT <- c("NNE","NE","ENE","E",
            "ESE","SE","SSE","S",
            "SSW","SW","WSW","W",
            "WNW","NW","NNW","N")
#方位
#北を除き処理
for ( i in 1:num ){
  for ( j in 1:15 ){
    if ( ( map$ASP[i] >= 22.5*j-12.25 ) && ( map$ASP[i] < 22.5*j+12.25 ) )
      { map2$ASP2[i] <- DIRECT[j+1] }
  }
}
#北だけ処理
if ( ( map$ASP[i] >= 22.5*15+12.25 ) || ( map$ASP[i] < 22.5*0+12.25 ) )
  { map2$ASP2[i] <- DIRECT[1] }

#カテゴリ化
#斜面
map2$ASP2 <- factor(map2$ASP2, levels=DIRECT)
#植生コード
map$CODE <- factor(map$植CODE)
#結合
map3 <- cbind(map, map2)
attach(map3)
g<-glm(FREQ~1, poisson)
library(MASS)
stepAIC(g,direction="forward",scope=list(upper=~SFC+SLP+ASP2+CODE))
#AICが改善しなくなった時点で停止
fit.poisson <- glm(FREQ ~ CODE + SFC + ASP2 , data = map3, family = poisson)
summary(fit.poisson)
yy2 <- predict(fit.poisson, newdata=data.frame(map3), type="response")
plot(FREQ,yy2)
cor(FREQ,yy2)
#予測結果の出力
write.table(yy2, file="c:/work/ポアソン結果.csv",sep=",")
#-----Rスクリプト例(ここまで)-----

```

[出力結果]

```

Call:
glm(formula = FREQ ~ CODE + SFC + ASP2, family = poisson, data = map3)

```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-3.7074	-1.1635	-0.7811	0.6401	5.1949

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-3.5336491	0.3569405	-9.900	< 2e-16 ***
CODEa2	-0.5987266	0.2329104	-2.571	0.01015 *
CODEb	-1.5920052	0.0827674	-19.235	< 2e-16 ***
CODEe	0.4211472	0.0420006	10.027	< 2e-16 ***
CODEi	0.7136175	0.1350773	5.283	1.27e-07 ***

```

SFC      0.0061152  0.0004737  12.911  < 2e-16  ***
ASP2NE0.2008369  0.0999594   2.009  0.04452  *
ASP2ENE   -0.1932358  0.1230741  -1.570  0.11640
ASP2E     -0.1335718  0.1253735  -1.065  0.28670
ASP2ESE   -0.4372570  0.1630676  -2.681  0.00733  **
ASP2SE    -0.4023186  0.1846912  -2.178  0.02938  *
ASP2SSE   -0.1356632  0.2767832  -0.490  0.62403
ASP2S     -0.1996295  0.1827522  -1.092  0.27468
ASP2SSW   0.1481655  0.1283481   1.154  0.24833
ASP2SW    0.2624149  0.0958966   2.736  0.00621  **
ASP2WSW   0.4291705  0.0912734   4.702  2.58e-06  ***
ASP2W     0.3406451  0.0852973   3.994  6.51e-05  ***
ASP2WNW   0.2097218  0.0863151   2.430  0.01511  *
ASP2NW    -0.0790933  0.0896961  -0.882  0.37789
ASP2NNW   0.0745938  0.0906592   0.823  0.41063
ASP2N     0.0473309  0.0871375   0.543  0.58701

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 4218.4 on 1122 degrees of freedom
Residual deviance: 2606.1 on 1102 degrees of freedom
AIC: 4754.7

Number of Fisher Scoring iterations: 6

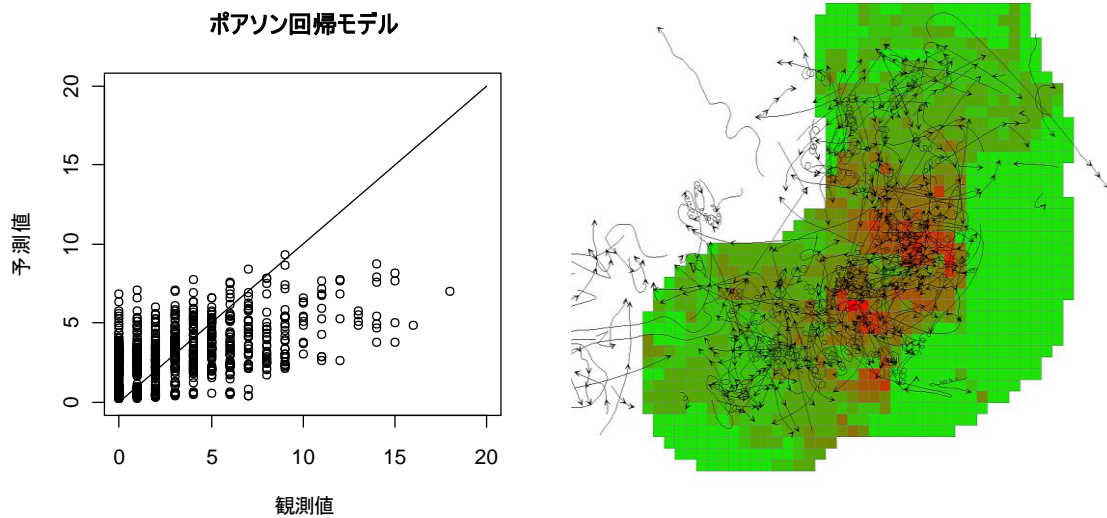


図 5-26 観測値と予測値の散布図(ポアソン回帰モデル)

空間的自己相関

空間的自己相関を求めるにあたって、モラン統計量を用いた。出力結果に示されるとおり、サンプルデータの空間的自己相関は 0.79 を示しており、高い自己相関を示していると推察される。

```

#-----Rスクリプト例(ここから)-----
#空間属性パッケージ
library(spdep)
#データ読み込み
#csvファイルは、xyの座標値を入れておく
map <- read.csv("c:/work/hill.csv")
#ヘッダ部分確認

```

```

head(map)
#座標値だけを入れる行列を作成
num <- nrow(map)
coords <- matrix(0,nrow=num,2)
coords[,1] <- x
coords[,2] <- y
#ドロネー三角網(tri2nb)
map.tri.nb <- tri2nb(coords)
#最近隣の2点同士を結合し、三角形のネットワークを形成
plot(map.tri.nb, coords)
#モラン統計量
#モラン統計量は一般的な相関係数と同様に1に近づけば集中を、-1 に近づけば分散を
#0近辺はランダムを意味する
moran.test(FREQ, nb2listw(map.tri.nb, style="W"))
geary.test(FREQ, nb2listw(map.tri.nb, style="W"))
#-----Rスクリプト例(ここまで)-----

```

[出力結果]

```

moran.test(FREQ, nb2listw(map.tri.nb, style="W"))
      Moran's I test under randomisation
data:  FREQ
weights: nb2listw(map.tri.nb, style = "W")

Moran I statistic standard deviate = 45.8027, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: greater
sample estimates:
Moran I statistic      Expectation      Variance
      0.7917767052      -0.0008912656      0.0002995024
geary.test(FREQ, nb2listw(map.tri.nb, style="W"))
      Geary's C test under randomisation
data:  FREQ
weights: nb2listw(map.tri.nb, style = "W")
Geary C statistic standard deviate = 44.5751, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: Expectation greater than statistic
sample estimates:
Geary C statistic      Expectation      Variance
      0.2079348816      1.0000000000      0.0003157451

```

SAR:空間的自己回帰モデル

大下・垂水(2009)*によれば、通常の説明変数 x と目的変数 y の回帰モデルを:

$$Y_{[i]} = \beta_0 + \beta_1 x_{[i]} + \varepsilon_{[i]}$$

に表すのに対して、 y の空間的な従属性を考慮する。空間的自己回帰モデルとは、対象空間に隣接する他の空間の平均値 $\sum_{j=1}^n w_{[i,j]} Y_{[j]}$ を、 y の空間的な従属性をあらわす説明変数として組み込んだモデルである。

$$Y_{[i]} = \beta_0 + \beta_1 x_{[i]} + \varepsilon_{[i]} + \rho \sum_{j=1}^n w_{[i,j]} Y_{[j]}$$

ここで ρ :空間的自己回帰係数、 $w_{[i,j]}$:連結性指標

解析事例でもわかるように予測精度は高い。標高はプラス、傾斜はマイナス、斜面方位もプラスと評価されているが、空間的自己回帰係数が空間的に変動するため解釈は難しくなる。

```

#-----Rスクリプト例(ここから)-----
#空間的自己回帰モデルSARには、lagsarlmコマンドを用いる
#ライブラリ読み出し
library(spdep)

```

* 大下祐樹・垂水共之(2009) 川口市犯罪データの空間分析 Journal of the Faculty of Environmental Science and Technology. Okayama University Vol.13 No1, pp.17-22.

```

#ファイル読み込み
map <- read.csv("c:/work/hill.csv")
head(map)
attach(map)
#ドロネー三角網(tri2nb)
coords <- cbind(x,y)
map.tri.nb <- tri2nb(coords)
#tri2nbを使って近隣重み付け行列
map.nb <- nb2listw(map.tri.nb, style="W")
#SAR計算
fit.sar <- lagsarlm(FREQ ~ SFC + SLP + ASP, data=map, nb2listw(map.tri.nb,style=
"W"),method="eigen")
#要約出力と予測値
summary(fit.sar)
yy3 <- (predict.sarlm(fit.sar))
yy4 <- print.sarlm.pred(yy3)
#実測値と予測値の散布図
plot(FREQ,yy4$fit)
cor(FREQ,yy4$fit)

#属性ファイルの吐き出し。
write.table(yy4, file="c:/work/SAR.csv",sep=",")
#-----Rスクリプト例(ここまで)-----

```

[出力結果]

```

Call:lagsarlm(formula = FREQ ~ SFC + SLP + ASP, data = map, listw = nb2listw(map.
tri.nb, style = "W"), method = "eigen")

```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-6.93130	-0.59803	-0.18839	0.45078	7.90881

Type: lag

Coefficients: (asymptotic standard errors)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.75918950	0.76243592	-0.9957	0.3194
SFC	0.00117323	0.00104148	1.1265	0.2600
SLP	-0.00024584	0.00827684	-0.0297	0.9763
ASP	0.00058876	0.00037706	1.5614	0.1184

Rho: 0.91747, LR test value:1551.8, p-value:< 2.22e-16

Asymptotic standard error: 0.012964

z-value: 70.771, p-value: < 2.22e-16

Wald statistic: 5008.6, p-value: < 2.22e-16

Log likelihood: -2082.775 for lag model

ML residual variance (sigma squared): 1.8766, (sigma: 1.3699)

Number of observations: 1123

Number of parameters estimated: 6

AIC: 4177.5, (AIC for lm: 5727.3)

LM test for residual autocorrelation

test value: 7.0418, p-value: 0.0079628

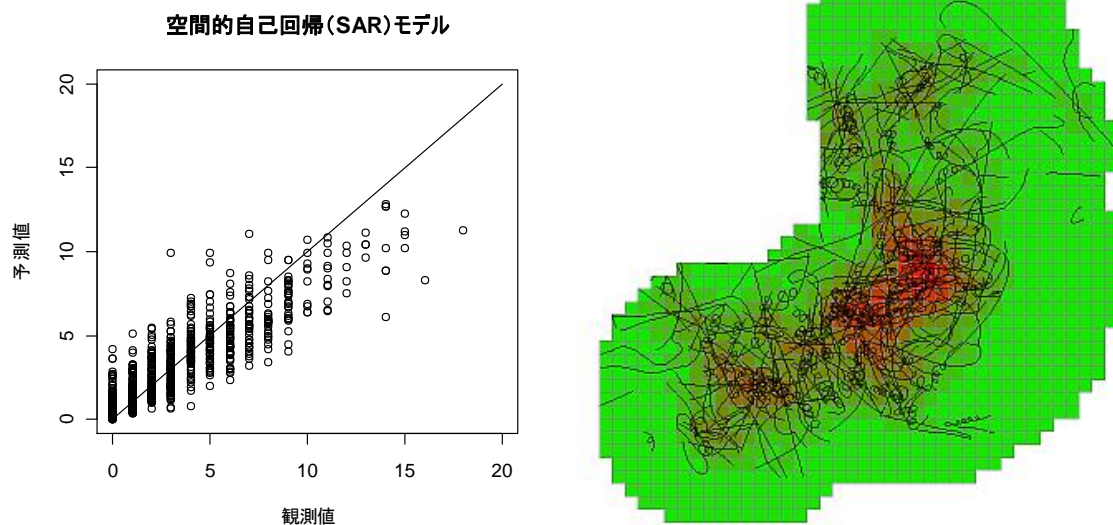


図 5-27 観測値と予測値の散布図(空間的自己回帰モデル)、およびポテンシャルマップ

GWR: 地理加重回帰モデル

通常の説明変数 x と目的変数 y の線形回帰モデルは:

$$y_{[i]} = \beta_0 + \beta_1 x_{[i]} + \varepsilon_{[i]} \quad (\text{ただし地点 } i=1,2,\dots,n)$$

であらわされる。

地理加重回帰は、 x と y との関係自体が空間的に変動していると考えたモデルであり、 β_0 と β_1 が地点毎に変動する。つまり、それぞれの地点で観測された変数間の関係は、全体では一定でないことを前提としている。言い換えれば、回帰式のパラメータを場所ごとに求める重み付け局所回帰分析であり、重みについては「ガウス型カーネル」等、距離減衰型関数を用いるのが特徴である。通常の重回帰に比べ、地理加重回帰で得られた決定係数や残差値のレンジは良好(決定係数が大きく、残差値レンジは小さくなる)になることが期待できる。パラメータそのものが空間的に変化することを前提として様々な事象を分析でき、解析事例でもわかるように予測精度は非常に高い。しかしながら、パラメータの解釈は空間的に変動するため難しくなる。出力結果をみると、平均的には標高 SFC はプラス、傾斜と斜面方位はマイナスであるが、いずれの符号も変わる(SFC はマイナス、その他はプラスになる)場所もある。これらは地図化することで、考察を加えることになる。

#ライブラリ読み込み

```
library(spgwr)
```

#ポイントシェープの読み込み

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

#属性名の確認

```
head(map)
```

```
attach(map)
```

#gwrを使ってバンド幅を推定

```
gwr.bw <- gwr.sel(FREQ~SFC+SLP+ASP, data=map, coords=cbind(x,y))
```

```
#得られたバンド幅(gwr.bw)を用いて、地理加重回帰gwrを実行
```

```
# hatmatrix=TRUEを付けると、予測結果の概略にAIC等がつく。
```

```
result.gwr <- gwr(FREQ~SFC+SLP+ASP, data=map, coords=cbind(x,y), bandwidth=gwr.bw, hatmatrix=TRUE)
```

#予測値

```
yy4 <- c( result.gwr$SDF[[2]] + result.gwr$SDF$SFC * SFC + result.gwr$SDF$SLP * SLP + result.gwr$SDF$ASP * ASP )
```

#予測値との検証

```
plot(FREQ, yy4, xlab="観測値", ylab="予測値", xlim=c(0,20), ylim=c(0,20), main="地理加重回帰モデル")
```

```
lines(c(0,20), c(0,20))
```

#予測結果の出力

```
write.table(yy4, file="c:/work/GWR結果.csv", sep=",")
```

[出力結果]

Call:

```
gwr(formula = FREQ ~ SFC + SLP + ASP, data = map, coords = cbind(x,  
y), bandwidth = gwr.bw, hatmatrix = TRUE)
```

Kernel function: gwr.Gauss

Fixed bandwidth: 55.60549

Summary of GWR coefficient estimates:

	Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.	Global
X.Intercept.	-2.164e+02	-1.592e+01	-6.503e-09	2.541e+01	3.018e+02	-5.0539
SFC	-3.771e-01	-3.036e-02	3.333e-06	2.382e-02	2.796e-01	0.0091
SLP	-6.353e-01	-6.337e-02	-3.918e-05	7.823e-02	7.867e-01	-0.0138
ASP	-1.363e-01	-2.495e-03	-2.227e-10	2.358e-03	5.922e-02	0.0055

Number of data points: 1123

Effective number of parameters: 478.6151

Effective degrees of freedom: 644.3849

Sigma squared (ML): 1.030789

AICc (GWR p. 61, eq 2.33; p. 96, eq. 4.21): 4258.426

AIC (GWR p. 96, eq. 4.22): 3574.498

Residual sum of squares: 1157.576

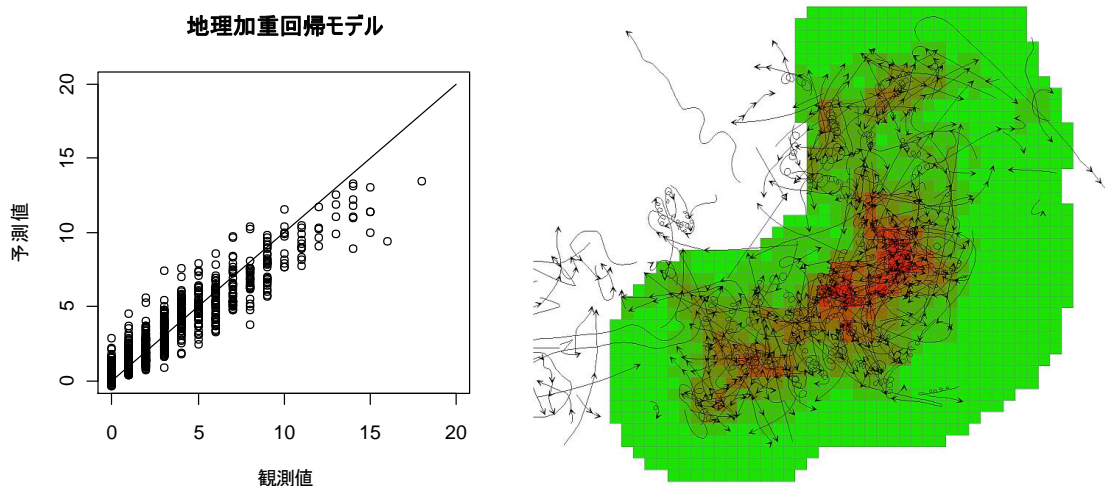


図 5-28 観測値と予測値の散布図(地理加重回帰モデル)、およびポテンシャルマップ

なお、これまで紹介した統計モデルのうち、重回帰モデル、空間的自己相関(モラン統計量)および地理加重回帰(GWR)等については、筑波大学 大学院 生命環境科学研究科の村山祐司研究室で開発された空間データ分析マシン(SDAM)でも行うことができる。SDAM はフリーウェアであり、上記 R スクリプト等を用いることなく、マウス操作で分析が可能である。

[村山祐司研究室]

<http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/teacher/murayama/software.html>

[空間データ分析マシン:SDAM]

<http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/teacher/murayama/sdam/>


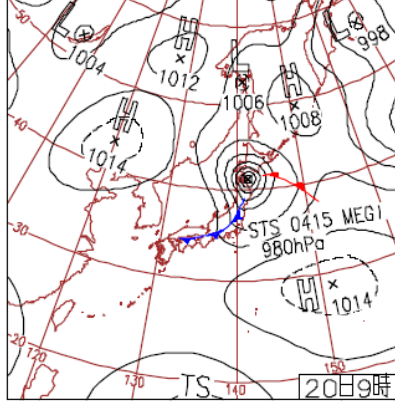

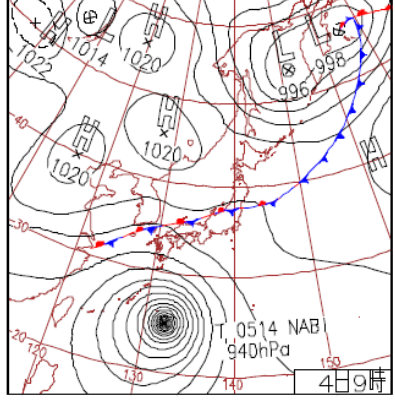

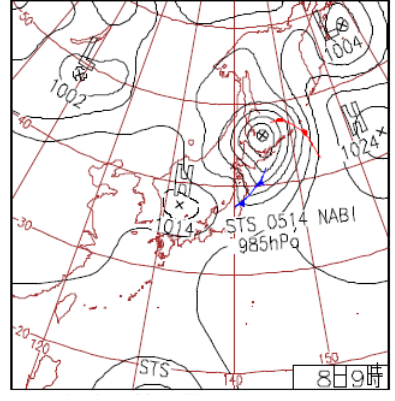
資料(15) 荒天条件で発生したライトアップ風車の衝突事象

■■■■計画・調査・解析・**保全**・**事後**

ここでは、前線通過に伴う荒天条件下で発生したと思われる風力発電施設(東北地方)でのバードストライク事例を紹介する。供用開始時には夜間ライトアップを実施していたが、現在は鳥類に関する有識者の意見等を踏まえライトアップを停止している。

死骸の発見概況と当日の気象状況を表 5-22 に示す。調査範囲は、風車半径 2 倍程度とし、夏鳥の渡去時期と旅鳥の移動時期(およそ 8 月後半～9 月前半)にかけ 3 回、荒天時に実施した。小鳥類や、夜間の活動が知られるゴイサギ、シギ類、コウモリ類の死骸が発見されたことを踏まえると、一連の衝突事象は夜間に発生する傾向が伺え、Evans et al (2007)の指摘を裏付けるものとなっていた。

表 5- 22 荒天条件下で発生したと思われる風力発電施設でのバードストライク事例

死骸発見時の概況	気象概況
<p>平成16年度(2004年)8月20日</p> <p>コルリ(2 個体)、センダイムシクイ(3 個体)を発見・回収。猛禽類モニタリング調査の実施日であったが、台風通過に伴う荒天が収まらず、午前中を風車付近の衝突痕跡調査に充てたところ確認。調査時の天候は曇時々雨で強風、時折ガスに包まれる状況。一帯は前夜から風雨が強かったものと思われ、20日午前5時前後~13時過ぎの間は各風車の運転は停止していた。このことから前夜半までに衝突があったものと考えられた。なお、夜間の風車ライトアップが実施されていた。</p>  <p>写真：センダイムシクイ死骸</p>	 <p>台風 15 号は津軽半島に上陸し、北海道の東で温帯低気圧に。秋田市で最大瞬間風速 41.1m/s、北海道南茅部町で日雨量 200mm。北日本以外は晴れ。台風第 17 号発生。</p>
<p>平成 17 年度(2005 年)9 月 4 日</p> <p>ヒレアシシギ科の 1 種(1 個体)、コルリ(2 個体)、ヒナコウモリ(1 個体)、その他ペリット、羽毛を発見・回収。前回の事例を受け、荒天翌日における衝突痕跡調査を実施。調査日にかけては降雨があったが、夜間におけるガスの有無は不明である。夜間ライトアップあり。</p>  <p>写真：コルリ死骸</p>	 <p>前線の影響や大気的不安定な状態が続き、日本付近は曇りで雨や雷雨。東京都杉並区などで 100mm 超/1h。千葉県成東町で落雷、1 人死亡。沖縄県南大藤島が台風 14 号の眼に。</p>
<p>平成 17 年(2005 年)9 月 8 日</p> <p>ゴイサギ肩羽(1)、ハシブトガラス風切羽(1)を発見・回収。降雨翌日の痕跡調査。夜間におけるガスの有無は不明である。夜間ライトアップあり。</p>  <p>写真 ゴイサギ右翼</p>	 <p>台風第 14 号は朝早くオホーツク海に抜け、午後温帯低気圧に。台風一過高気圧に覆われ晴れ。関東はフェーン現象も加わり気温が上昇、熊谷で 34.8 度、東京都千代田区 33.1 度。</p>

資料(16) アルタモントにおける風車群の停止

■■■■計画・調査・解析・**保全**・事後

2007年1月、環境省は、カリフォルニア州において風力発電施設の現地調査ならびに関係機関・有識者へのヒアリング、意見交換を通してバードストライクに関する知見を収集することを目的として、米国視察を実施した。詳細は、「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」にまとめられているが、ここでは、アルタモントにおける風車群の一時停止措置の経緯について、概略を抜き出した。なお、アルタモントにおける風力発電施設の大部分は小型風車であることに注意が必要である。

2005年3月のエフ・ピー・エル社の報道発表によれば(<http://www.fplenergy.com/news/contents/05026.shtml>)、2007年の和解以前の段階となる、2005年3月3日にエフ・ピー・エル社、エル・エル・シー社、グローバル・リニューアブル社、エネクスコ社及びアルタモント・ウィンド社の5社は、アルタモント風力資源地域における鳥類の死亡を3年間で35%減らすための積極的な行動をとることを公約している。具体的な対策は、以下の6点である。

- ・ アルタモントにおける5,000を越える風車の季節停止
- ・ 11月と12月に全体の半分を停止し、1月と2月に残りの半分を停止
- ・ 約100ある最も衝突リスクの高い風車の移設もしくは全面的な停止
- ・ 鳥類の感電死を防ぐための電柱の改良
- ・ 放棄された風車、タワーそして送電線の撤去
- ・ 科学的なモニタリングの実施
- ・ 施設交換

これより以前から事業者は対策を行ってきており、たとえばエフ・ピー・エル社とグローバル・リニューアブル社はアルタモントで所有する約10%の風車を施設交換、移設もしくは運転を停止し、エネクスコ社は季節的運転停止について検討するために2005年1月の1ヶ月間109の風車を自主的に運転停止した。

エネクスコ社でのヒアリング(概要)

①季節的運転停止

現地調査時の説明では、エネクスコ社は和解契約にしたがって2ヶ月間(2007年11月～12月)の稼働停止を実施したが、後半2ヶ月間(2008年1～2月)の運転停止は要求されなかったようである。なお、運転停止に伴う売電収入減の補填はない。懸念されている猛禽類はイヌワシ、アカオノスリ、アナホリフクロウで、渡りをするものもあり、留鳥性もいる。渡りの季節は11月～2月初旬であるが、それが風力発電施設の運転停止を毎年この時期に行う理由の一つになっている。停止期間は現在2ヶ月間だが、これを3ヶ月間に延長すべきという話がある。死亡数50%減を達成するのに明らかな効果があるという情報や証拠が揃うまでは事業者は長い期間の稼働停止に応じることは消極的である。

2～3年前から、稼働停止中にも死骸調査を行っており、衝突以外の原因による鳥の死亡数を割り出そうとしている。得られたデータは科学的審査委員会に提供されている。

②鳥類死骸調査

鳥類死骸調査は毎月1回定期的に行っている。従来の死骸調査は、メンテナンス時に死骸を発見した場合に報告するもので(WRRSと呼ぶ)、発見率が低すぎるという批判が一部からあった。毎月1回の定期的な死骸調査はこれを反映したものと考えられる(後述するエネルギー委員会のガイドラインでは補正の重要性を指摘しており、定期的な調査はこれを可能にするものといえる)。死骸調査の結果得られたデータは科学的審査委員会に提出されており、データベースには10年分近くのデータが蓄積されている。科学的審査委員会はデータを分析し、それに基づいて各風車についてどう対処したらよいかを提言するが、撤去などを強く主張することはない。巡回するグループは少なくとも4～5人から成り、毎月同じ風車群の列(the strings)のみを踏査する。アルタモントにある全ての風車群列を網羅することはできないため、衝突死率が高い、もしくは地形上重要と思われるエリアを特定し、そのエリア

に的をしぼって踏査を実施している。踏査の方法は、約 100 ヤード(91.44m)のタワー間を、一定のルールに従って歩いて往復し、地面に落ちている鳥の死骸数を数え、回収するというものである。

③ハイリスク風車の移設/撤去

科学的審査委員会はある時点で最も鳥類衝突事故リスクが高いと考えられる風車(Tier1*)を特定し、2006 年にそれらを撤去するよう事業者側に求め、2007 年には Tier2*を撤去するように求めてきた。Tier3*については、2008 年 2 月末までに撤去を完了させる予定だったが、評価過程での見落としや、撤去により大きなプラス効果(=鳥衝突数低減)が得られる風車をどのようにして特定するのかを再度検討し直している。以前は地図と地形とデータだけで、対応の必要な風車を特定しようとしていたが、現在はウィンドファームに委員が出向き、現地がどのようなレイアウトになっているかを実際に見た上で判断している。現在のところ、エネクスコ社が撤去した風車は少数で、損失発電量はわずかである。同社は風車の約 3 割程度を撤去(施設交換)する計画があるが、その対象は衝突リスクの高い風車で、主に小規模風車(ケネテック 90kW、ボーナス 125kW 等)を撤去する予定である。さらに、撤去容量と同容量の大型風車(ベスタス 1500kW 以上など)を建設していくとのことで、施設交換により総設備容量が大きくなる可能性があるが、この地域での総設備容量は郡が決めた値を上回ることはできないことになっている。エフ・ピー・エル社は、177 基の古い風車を撤去し、23 基の大型風車に置き換えた。現在大型風車が周辺にいる鳥類へ及ぼす影響が小型風車に比べて少ないかどうか、経過を観察している。

*Tier:アルタモントでは風車ごとに鳥の致死ポテンシャルを数値モデルで求め、それを段階的なリスク(Tier)に割り当てた(Tier1:最もハイリスク, Tier2:・・・等)。ただし、これは一般化されたものではないので、そのまま他の地域では使えない。詳細は以下の文献を参照:
Smallwood S, Spiegel L (2005) Assessment To Support An Adaptive Management Plan For The APWRA. (http://www.biologicaldiversity.org/campaigns/protecting_birds_of_preym_at_altamont_pass/pdfs/cec-assessment-mitigation-plan.pdf)

資料(17) アルタモントにおける衝突リスク低減案

■■■■ 計画・調査・解析・**保全**・事後

Smallwood & Thelander (2004)は、アルタモント風力資源地域における調査報告書の中で衝突リスクを低減させる16の提案を行っている。このうち、植生・環境管理に関する要旨を以下に示す。これは風車周辺における猛禽類の採餌行為を減少させるためのハビタットの改修(Alter habitat to reduce raptor foraging near wind turbines)である。改修の目安は、風車から半径 50m 程度を想定している。アルタモントにおける猛禽類の衝突理由として、二つの原因が考えられた。第一に、同地域が放牧地でもあるために、風車近辺に牛が集まり、糞便が集積、直翅類(バッタ類)が集まり、これらを餌とする小型鳥類が誘引され、その小型鳥類を餌とする猛禽類が誘引・衝突リスクが高まるというもの。第二に、風車施設の基礎造成や取り付け道路によって出来上がる人工的な段差、景観措置として配置された石積み、アナホリネズミ等の齧歯類の生息場所となるため、それを餌資源とする猛禽類が誘引・衝突リスクが高まるというものである。

この二つの原因を除去することによって、猛禽類が風車の周辺に出現する頻度を低下させよう、というのが彼らの試み(提案)である。そこで4つの対策が提案された(表 5- 23)。

表 5- 23 Smallwood & Thelander (2004)による植生・環境管理

対策	内容
段差縁・側面縁の最小化	段差縁 vertical edge とは、平坦な景観に対する地形的に鉛直な構造——道路端の縁とか堤防・土手・路肩を指す。側面縁 lateral edge とは、平坦な景観に対する植生被覆や土壌条件の変化——砂利道と草原の境界のような箇所を指し、これら縁がシリスなどの住処となっているので、改修されるべきである。
石積み(ロックパイル)の除去	石積みは緩和手法として風車の周辺に積み上げられている。これが、食植性動物の住処となっており、キツネなどの捕食者から身を隠す格好の場となっている。キツネのみならず猛禽類の餌資源となり風車の周辺に誘引させる原因となる。アナフクロウの巣穴と止まり場(perch site)にもなっている。これ(除去)だけで十分な効果は得られないかも知れないが、コストもかからず、効果は期待できるので、実施すべきである。
風車周辺から牛(cattle)の排除	牛は、日射避けや風よけのために風車の周辺に集まる傾向がある。このため牛に由来する糞便も集積し、バッタ類が集中し、鳥類が風力施設周辺に集中する「食物網」が出来上がる。このような食物網をフェンス等を用いて風車から一定距離(50m)移動させること。離隔距離は 50m 程度。しかし、そのフェンスもアナフクロウのとまり場(perch)なることに留意すべき。
タワー基礎部(台座)の改良	小型哺乳類は、基礎部(台座)と地上との隙間に穴を掘る傾向がある。このため、台座周辺に砂利をまくとよいかも知れない。また、台座と地上との隙間が大きい場合は、改修し直す必要がある。リパワリング(repowering)を実施する場合は、台座不要の風車を建設すべきである。

資料(18) 国内における猛禽類(イヌワシ)飛来頻度低減(案)

■■■計画・調査・解析・**保全**・事後

環境省によればイヌワシの餌資源は、「食物はノウサギが多いが、テン、ヤマドリ、キジバト、シマヘビ等も捕らえる」とされている(絶滅危惧種情報検索 http://www.biodic.go.jp/rdb_fts/2000/73-098.html)。このうちのノウサギに注目し、牧草地における植生管理等について検討を行った。

[牧草地におけるノウサギの生息密度の特徴]

矢竹他(2002)は、既存文献調査を行い INTGEP 法によるノウサギの生息密度を整理した。ここから牧草地によるものを抜き出すと、牧草地 0.02 頭/ha、圃場・牧場 1.20 頭/ha 等の数値を得たとしている。

さらに、矢竹他(2003)は、秋田県駒ヶ岳山麓において、糞粒法と INTGEP 法によって詳細なノウサギの生息密度を行っている。それによれば「牧草地の植生繁茂期は、全期間を通して森林での生息密度よりも高かった」とし「草地である伐採跡地や牧草地において、季節によって森林よりかなり高い生息密度が観察された」としている(ただし、ノウサギの行動は夜間が主であるから、猛禽類の餌となる昼間の行動は、やはり林縁～林内に制限されるかも知れない)。

[採草(伐採、草刈り)によるノウサギの密度変化]

矢竹他(2003)は、「牧草地での生息密度は8月と10月に高い値、2002年9月には10頭/haに近い飛び値がみられたが、これらのピークは年により異なり一定の傾向が見られなかった」とし、「1999年、2001年には刈り取り後に密度の増加が見られた」としている。

[牧草地と林縁距離との関係]

矢竹他(2003)は、「牧草地における糞粒は隣接する林地の林縁から上限49mまでに分布し、これ以上牧草地内部には分布していなかった」ことから、「ノウサギの開放地の利用範囲は、従来言われていた距離よりも遠く林外に出ていることが明らかになった」としている。

そこで、環境省(2008a、2009a)を用いて、ノウサギの生息密度と森林までの距離を図5-29に示す。調査4地点はそれぞれ、森林から60m、100m、60mおよび70m程度離隔しており、いずれも49mを上回っていたが、調査の結果はいずれの地点においても生息が確認された。ただし、森林から100m離隔した地点では、平成19年度の結果が0.040頭/ha、平成20年度は確認されなかったことから、林縁距離に伴う減衰効果は支持される。

[ノウサギの食草]

阿部他(2005)は、ノウサギの生息密度と林床植生の関係を調査した。その結果、生息密度が低い地点では、伐採跡地でみられるススキやイチゴ類、落葉広葉樹林でみられるササ類がみられず、主にシダ類やイラクサ類等の餌として好まれないと考えられる植物が多いことがわかった、としている。

[ノウサギ防除対策]

徳島県林業課(1981)は、牧草地における風力発電事業で実行可能なものを上げると：

- ・ 金網囲いによる方法：風力発電施設(原文は造林地)の回りに金網をめぐる方法。金網を張った後、一方を開けて狩猟犬などによりノウサギを追い出すことが重要。最も効果的だが、経費が高い。
- ・ 忌避剤による方法：様々な薬剤について効果が確かめられているが、持続期間に問題があったり、最も効果が高いといわれるアスフェルト乳剤は、農薬として登録されていないなど等一長一短がある。

以上のことから、対象事業実施区域が牧草地に近接・含まれる場合のノウサギの植生管理について表5-24に整理した。

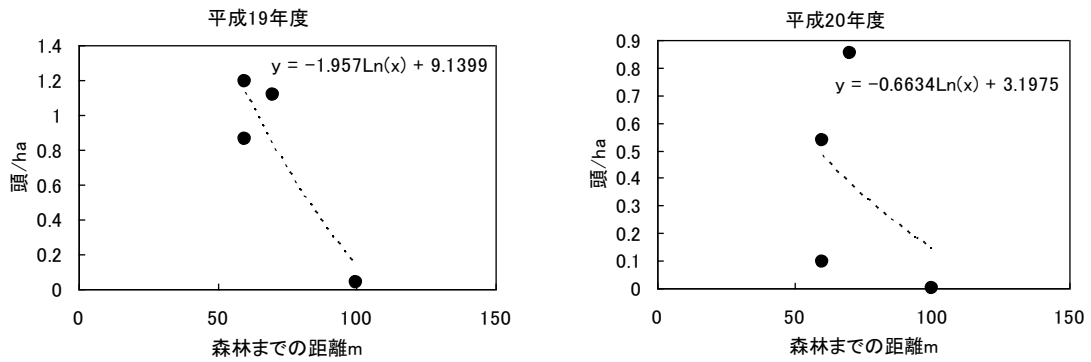


図 5- 29 糞粒法によるノウサギの生息密度と森林までの距離
(環境省 2008a、2009a より作成)

表 5- 24 牧草地におけるノウサギの植生管理

項目	結論
ノウサギの生息密度	林縁に近接している場所であれば、ノウサギの生息密度は森林と比較しうる程度の密度がありうることから、餌場として十分な機能を有しているものと考えられる。
植生管理(1)	通常の牧草地の採草（草刈り）作業では、密度を十分に抑制することは難しいものと考えられる。したがって、草刈りを徹底し、裸地化させて、ノウサギが隠蔽するような場所を根絶することが必要
植生管理(2)	地表面が見えない程度まで植物を密生させる。ススキやササ類は食草となりうるため不適。むしろシダ類やイラクサ類あるいは常緑低木等が望ましい。

資料(19) 野外実験による死骸の発見率・残存率の推定

■■■■ 計画・調査・解析・保全・**事後**

[死骸の発見率]

死骸の発見率とは、踏査可能な範囲に落下した鳥類死骸が、調査員によって発見される率をいう。踏査可能な範囲であっても、地表面の状態は様々である。裸地、砂地、雪原などに落下した死骸の発見率は高いだろうし、逆に身の丈もあるブッシュや密集した雑木林での発見率は低いことが予想される。また、踏査に費やす時間にも依存するだろう。

これを調べるためには、事前に調査員には知らせずに死骸を踏査地に配置しておいた後、死骸踏査を実施し、どの程度発見できたかによって、発見率を推定する手法がとられる。

米国では、風車の立地する環境に生息する鳥類種の死骸を、事前に調べた衝突率に応じて配置する等、ほぼ自然状態に近い条件がとられることが多い。米国の調査手法に関する日本語訳資料としては、「風力発電が鳥類に及ぼす影響の調査マニュアル」(日本野鳥の会 2009)、「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」(環境省 2008c)があるので、参考にされたい。

国内では、野生の鳥類死骸を入手することは困難であり、家禽(環境省 2008a、2009a、2010a で採用)、あるいは模型(北野 2009)が用いられている。米国の手法と比較すると、あきらかに自然状態と異なる材料であり、一旦、調査者が家禽や模型を発見すると、実験を行っていることを察知してしまうために、発見率は向上するものと予想されるが、自然状態と比較し、どの程度向上するのかは、判断できない。

[死骸の残存率]

残存率とは、踏査範囲に落下した鳥類死骸が、キツネ等による持ち去りから逃れ、そこに残存(滞留)する率である。もちろん時間とともに残存率は低下するが、場所による差異(キツネ等の捕食動物の徘徊頻度の違い)によって異なるだろう。

鳥類死骸を複数配置して、一定時間毎に死骸の有無を確認することで、残存率は得られる。前述したとおり米国では、野生鳥類死骸が用いられるのに対して、国内での利用は難しく、前述のとおり家禽等で代用せざるを得ない。ただし、北野(Kitano 2009)は、環境省(羽幌海鳥センター、北海道)の協力を得て、急速冷凍冷蔵庫で保存されていた鳥類死骸 16 種 35 死骸を用いた。2008 年 5 月～10 月にかけて、風力発電所の地表面に一つずつ配置された。最初の 4 日間は連日調査を実施し、各死骸の有無を確認した。その後は、7 日間隔で調査を継続し(一旦消失した死骸は調査を打ち切る)、最長 60 日まで継続した。これらの結果については、3-8-2 死骸調査を参照されたい。

資料(20) 仮想の風力発電事業地における衝突数の推定

■■■■ 計画・調査・解析・保全・**事後**

ここでは、仮想の風力発電施設(1.5MW×5 基)を想定し、1年間の死骸調査を実施したことを想定し、衝突数の推定作業を行う。

[発見数、植生タイプ別・サイズ別の発見率の整理]

1ヶ月に1回、死骸調査を実施した結果、表 5- 25 の死骸数が得られたと仮定する。死骸数は風車別、体長別に整理する。

表 5- 25 発見数一覧(風車別、体長別)

		サイズ(小)	サイズ(中)	サイズ(大)
風車 No-1	裸地	3		
	草原			
風車 No-2	裸地		1	
	草原			
風車 No-3	裸地			
	草原	1		
風車 No-4	裸地	1		
	草原			
風車 No-5	裸地		2	1
	草原			

次に、死骸調査地の植生タイプ別、サイズ別の発見率を得る。ここでは北野(Kitano 2009)の数値を用いることとした(表 5- 26)。

表 5- 26 植生タイプ別・サイズ別の発見率(Kitano 2009 による)

	サイズ(小)	サイズ(中)	サイズ(大)
裸地	0.68	1	1
草原	0.41	0.65	1

[発見率による発見数の補正]

この数値を用いて、前掲表 5- 25 の発見数一覧を補正する(表 5- 27)。

表 5- 27 発見率補正を行った死骸数(個体/基/年)

		サイズ(小)	サイズ(中)	サイズ(大)
風車 No-1	裸地	4.4		
	草原			
風車 No-2	裸地		1.0	
	草原			
風車 No-3	裸地			
	草原	2.4		
風車 No-4	裸地	1.5		
	草原			
風車 No-5	裸地		2.0	1.0
	草原			

[累積死骸残存率の計算、補正]

死骸調査日の間隔から北野(Kitano 2009)の式を用いて累積残存率を得る(表 5- 28)。その数値を用いて発見率補正(前掲表 5- 27)を更に補正する(表 5- 29)。累積残存率を得るための R によるスクリプトは、以下の通り。

```
#踏査間隔(日数):以下では1ヶ月=30日とした。
interval <- (30)
#共通(平均死骸消失日数):北野論文より
#サイズ小中大の順
sum_days <- c(0,0,0)
#残存率の積算
for ( i in 1:interval){
  sum_days[1] <- sum_days[1]+( 107.98-27.46*log(i+1))
  sum_days[2] <- sum_days[2]+( 116.98-20.03*log(i+1))
  sum_days[3] <- sum_days[3]+( 107.33*exp(1)^(-0.013*(i+1)) )
}
#累積残留率
#サイズ小中大の順
days <- c(1:3)
days[1] <- (sum_days[1]/interval)/100
days[2] <- (sum_days[2]/interval)/100
days[3] <- (sum_days[3]/interval)/100
#結果
print ( days )
```

表 5- 28 累積残存率(踏査日数を 30 日間隔とし、北野(Kitano 2009)の式から得た)

サイズ (小)	サイズ(中)	サイズ (大)
36.4%	64.8%	87.2%

表 5- 29 残存率補正による推定衝突数(個体/基/年)

	サイズ (小)	サイズ(中)	サイズ (大)	合計
風車 No-1	12.1			12.1
風車 No-2		2.7		2.7
風車 No-3	6.7			6.7
風車 No-4	4.0			4.0
風車 No-5		5.5	2.7	8.2

[踏査率による補正、推定衝突数]

風車毎に踏査率が異なるから、さらに補正を行って、風車別・推定衝突数(個体/基/年)や、メガワット当たりの推定衝突数を得る(表 5- 30)。

表 5- 30 踏査率による補正、推定衝突数

	MW	残存率補正	踏査率	衝突数/年/基	衝突数/MW/年
風車 No-1	1.5	12.1	0.8	15.5	10.4
風車 No-2	1.5	2.7	0.5	5.5	3.7
風車 No-3	1.5	6.7	0.8	8.4	5.6
風車 No-4	1.5	4.0	0.3	12.2	8.2
風車 No-5	1.5	8.2	1.0	8.3	5.6

以上から、当該windファームにおける推定衝突率(個体/MW/年)は、 $(10.4+3.7+5.6+8.2+5.6) \div 5 = 6.7$ 個体/MW/年 である。

資料(21) 衝突を感知するシステム開発 ……計画・調査・解析・**保全**・事後

死骸調査の精度を上げるためには、死骸が捕食動物に持ち去られる前に発見・回収し(踏査間隔の短縮)、ブッシュや林のように発見率が低下する場所でも丹念に探す(踏査時間の拡大、発見率の向上)こと等が必要である。すなわち死骸調査によって死骸を効率よく発見するためには、調査努力量を上げればよいのだが、現実には時間と経費という制約条件の中で実施せざるを得ない。

衝突を感知し、関係者に通報するシステムが開発されれば、定期的な死骸調査が不要となり、調査者は、通報時のみ該当の風車に出向き死骸調査を実施すればよくなるため、発見率の向上につながるだけでなく、時間と経費を大幅に抑制できる。また次のような利点も期待できる。第一に、衝突を感知した日時と鳥類(死骸)種が集積されることで、いつ(季節、日時)、どこで(風車)、どのような鳥(種)が衝突し易いのかを把握することができる。鳥類相は、季節による移り変わりがあるため、特定の時期・時刻・風車に特定の種が衝突し易いという傾向が明らかになれば、それに応じた弾力的な運用管理を実施することで、衝突リスクを低下させることが可能になるかも知れない。第二に、断崖、水辺、もしくは洋上で稼働している風車へ感知システムを導入することで、断崖下、水(海)中に没してしまう死骸数を推定することもできるだろう。このような衝突感知システムは、現在のところ、3カ所で開発が進められている(表 5-31)。

表 5-31 衝突感知システム

開発システム名称	概略
TADS (Thermal Animal Detection System) (デンマーク)	Desholm et al (2006)による。赤外線サーモグラフィビデオを用いて、風車に接近・衝突する鳥類を観測・発見するもの
WT-BIRD(オランダ)	Verhoef et al (2003)による。騒音計を用いて風車への鳥衝突を感知するもの
衝突感知システム(日本、環境省)	環境省(2008a, 2009a)による。騒音計と振動計を用いて風車への鳥衝突を感知するもの

TADS は、赤外線サーモグラフィビデオを用いて、風車に接近・衝突する鳥類を観測・発見するシステムである。デンマークの研究者 Desholm によって開発されて、主に洋上風車における鳥類衝突を感知するシステムである(図 5-30)。



図 5-30 TADS による映像(左)と装着図(左)(Desholm et al 2006)より転載

WT-BRID は、騒音計によって騒音をモニタしながら、衝突音が発生すると連動しているデジタルカメラによってブレード部分の画像が記録されるシステムである(外観を図 5- 31)。オランダのエネルギー研究センター(Energy research Ceneter of the Netherlands:ECN)において開発が続けられている。仕様などは、以下のサイト(URL)に詳しい。
 エネルギー研究センター(オランダ) <http://www.ecn.nl/en/wind/products-services/services/wt-bird/>



図 5- 31 WT-BIRD の騒音センサ部分

衝突感知システムは、平成 19～20 年度におけるバードストライク防止策実証業務で基本設計・開発を試みたシステムである(環境省 2008a, 2009a)。WT-BIRD と類似した構造をもつが、騒音計と振動計という二つのセンサが組み込まれた点で WT-BIRD と異なる。システム構成概要を図 5- 32 に示す。平成 20 年度に延べ 1 ヶ月に渡る試験運用を行い、外部(周辺)からの騒音・振動に応じて正常に動作することを確認した。基本動作の確認が得られたため、基本設計は完了しており、今後は事業者からの要望に応じて、個々の現場において模擬衝突実験・波形解析の実施、強風音等のノイズ等による誤動作の解消等を行うこととなる。

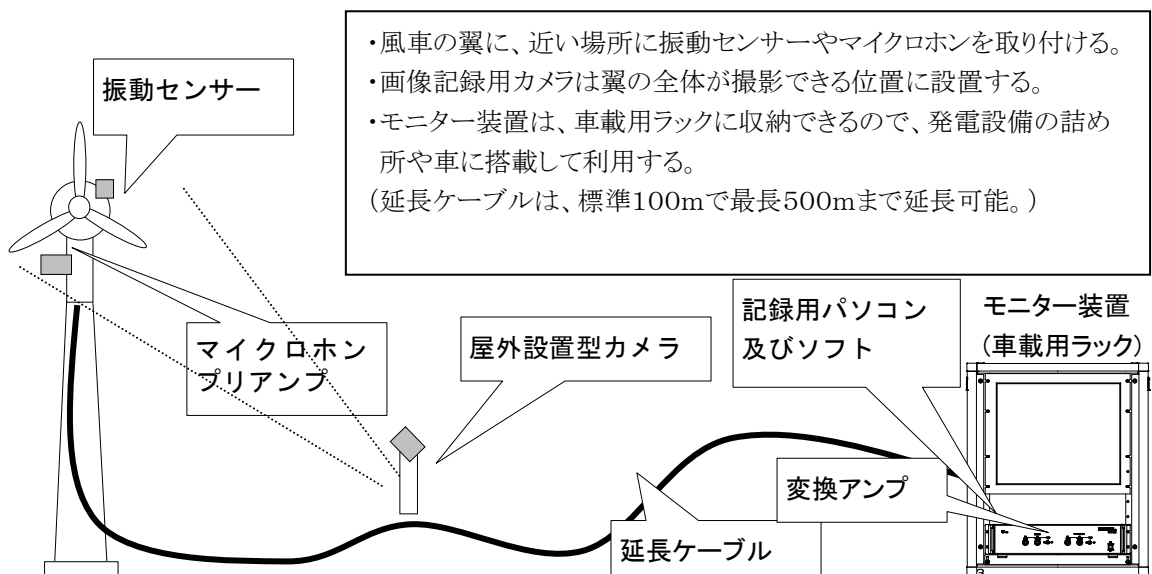


図 5- 32 システム構成概要

資料(22) 供用時における衝突リスクポテンシャルマップ

■■■■ 計画・調査・**解析**・保全・事後

衝突リスクポテンシャルマップの解析手順の概要を、表 5- 32 に示す。

表 5- 32 解析手順の概要

項目	概要
1.死骸調査データ収集	[死骸調査] 死骸発見場所の緯度経度値を取得する
2.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。DEM→標高ラスタ→傾斜度・斜面方位ラスタを作成。 断崖線、海岸線、山稜線からの離隔距離を考慮する場合は、GIS のバッファ機能を用いて作成し、ラスタデータに変換。
3.データ整備	[死骸発見場所] 緯度経度値を持つ csv ファイルとして出力 [環境要因ラスタファイル] ArcGrid 形式ファイルで出力
4.統計モデルによる解析	Maxent を用いて解析
5.解析結果の検討 (環境要因)	環境要因の寄与率等を用いて、要因の検討を行う。
6.ポテンシャルマップ作成	予測マップも ArcGrid 形式で出力されるため、このファイルを GIS 上に読み込む (ポテンシャルマップの表示)

下記 URL にアクセスし、maxent の入手とインストールを行う。登録名を入れて、accept ボタンを押し、java ファイルを入手する(図 5- 33)。次に java 環境――java runtime――を準備する。

(参考 URL)

プリンストン大学 コンピュータ科学領域

<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>

サン・マイクロシステムズ

<http://java.sun.com>

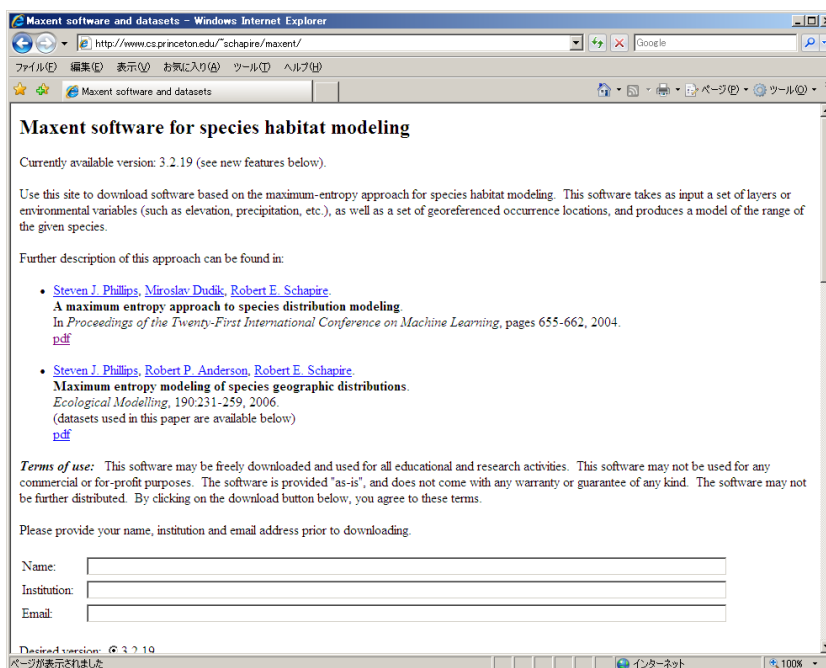


図 5- 33 エントロピー最大化モデル (maxent) 入手サイトホームページ

a. 死骸データ収集

死骸調査から発見場所を GIS 上にポイントデータとして入力する(図 5- 34)。

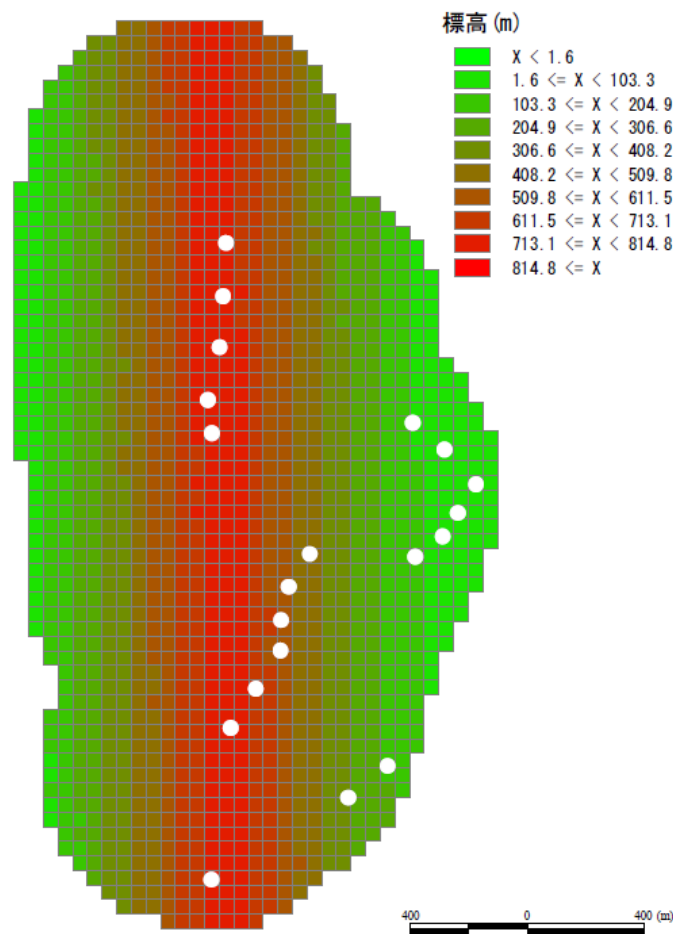


図 5- 34 GIS 画面上での死骸発見場所の入力例

死骸発見場所(白)をポイントデータとして入力。
なお DEM データから作成した標高値も併せて示した

なお、緯度経度座標だけでなく UTM 座標、単なる xy 座標でも可能である。ここで作成された csv ファイルを、仮に bird.csv とする。

b. 環境要因データ収集

標高、傾斜度、斜面方位については、DEM データから標高ラスタファイルを作成し、その標高ラスタファイルを用いて、傾斜度ラスタファイルと斜面方位ラスタファイルを作成する(図 5- 35)。

断崖線と海岸線からの離隔距離による効果も検討する場合は、断崖線(ラインデータ)と海岸線ラインデータから等距離圏(バッファ)等を作成し、それぞれラスタファイルに変換する(この作業手順は GIS ソフトウェアによって異なるため、各ソフトウェア仕様を参照されたい)。

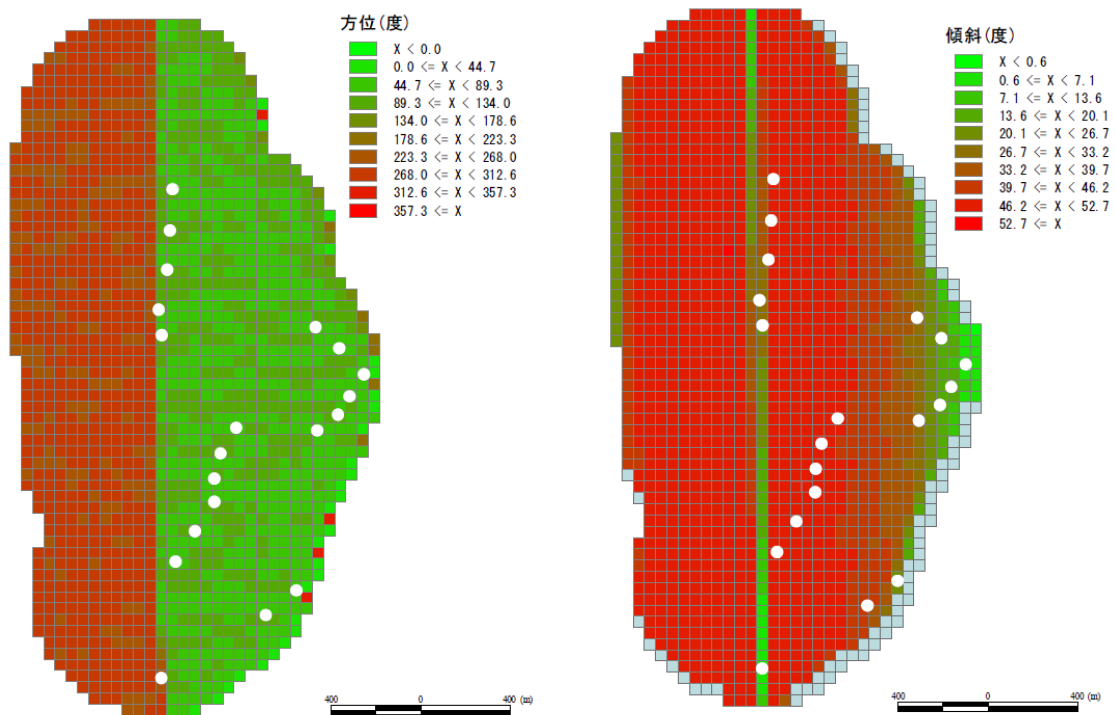


図 5- 35 前掲の標高値から斜面方位(左)と傾斜度(右)を作成

c. データ整備

死骸発見場所のポイントデータを緯度経度付きの csv ファイルで出力する。出力方法は GIS ソフトウェアによって異なる。たとえば本書で用いた SuperMap deskpro であれば、対象となるデータセットを選択し、ファイルのエクスポート(出力)から、出力形式として mif 形式を選定して、作成された mif ファイルからヘッダ部分を取り除き、最初の行に Species, Long, Lat を追記し、最後に空白部分にカンマを入れて、species.csv ファイルとして保存する。

環境要因データ(ラスタファイル)を ArcGrid 形式に変換する。これについても、GIS ソフトウェアによって作業方法が異なるので、各ソフトウェア仕様を参照されたい。本書で用いたソフトウェアであれば、ラスタファイルを選択して、「ファイルのエクスポート」から、エクスポートタイプから「ArcInfo Grid Exchange..」を指定してから出力する。この作業は、必要とする環境要因データ群についてすべて出力作業を行う。

d. 統計モデル(maxent)による解析

maxent を起動し、メニュー画面から Samples で、死骸発見場所ファイル(たとえば species.csv)を指定する。environmental layers は、環境要因データを保存しているディレクトリを指定する(ファイルではなく、ディレクトリ)。必要に応じて右側のチェックボタンにチェック等を入れる。「run」で実行(図 5- 36)。

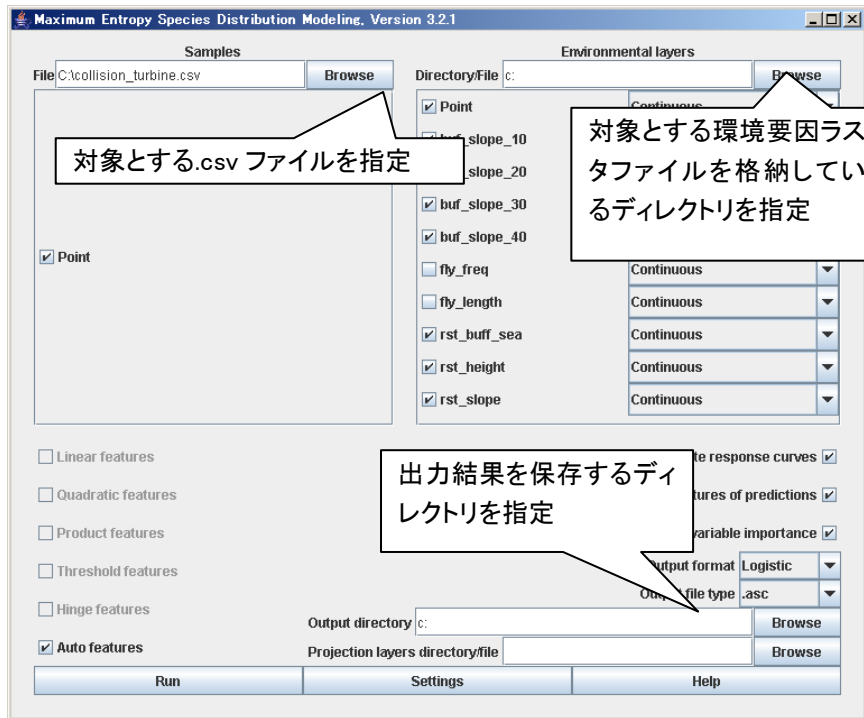


図 5-36 エントロピー最大化モデル(maxent)のトップ画面(指定が終わったらrunを押す)

計算終了後、出力ディレクトリを開くと、様々な計算結果が新たなファイルとして保存されている。このうち Samples で指定したファイル名.html(たとえば species.html)とファイル名.asc(たとえば species.asc)という2つのファイルが重要である。前者は解析結果レポート、後者は予測値のラスタファイルである。解析結果レポートで、Analysis of variable contributions(変数の寄与率に関する解析)の項目をみると、図5-37に示すような環境要因別の寄与率がリストされている(この場合、斜面方位 direct 寄与率が70.3%あるとしている)。これらを考慮してmaxent 予測値を図示してみると、死骸が発見されやすい場所(=maxent 予測値、すなわち衝突リスク)は、東側斜面で高いことが示されている(図5-38)。

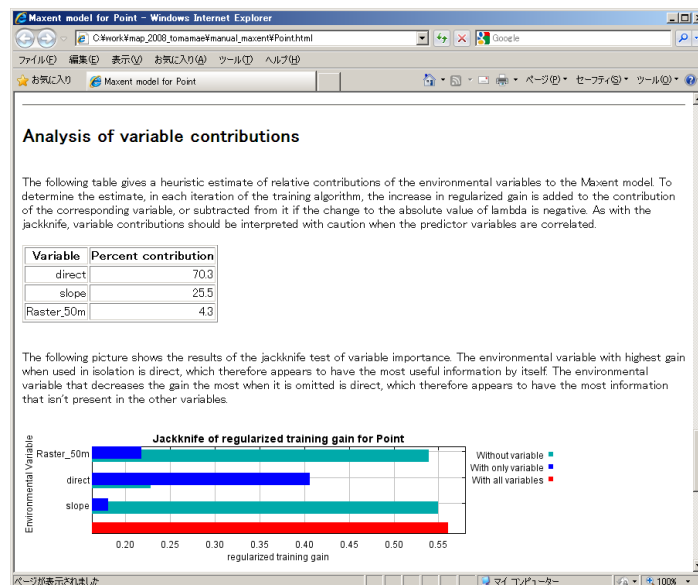


図 5-37 環境要因の寄与率

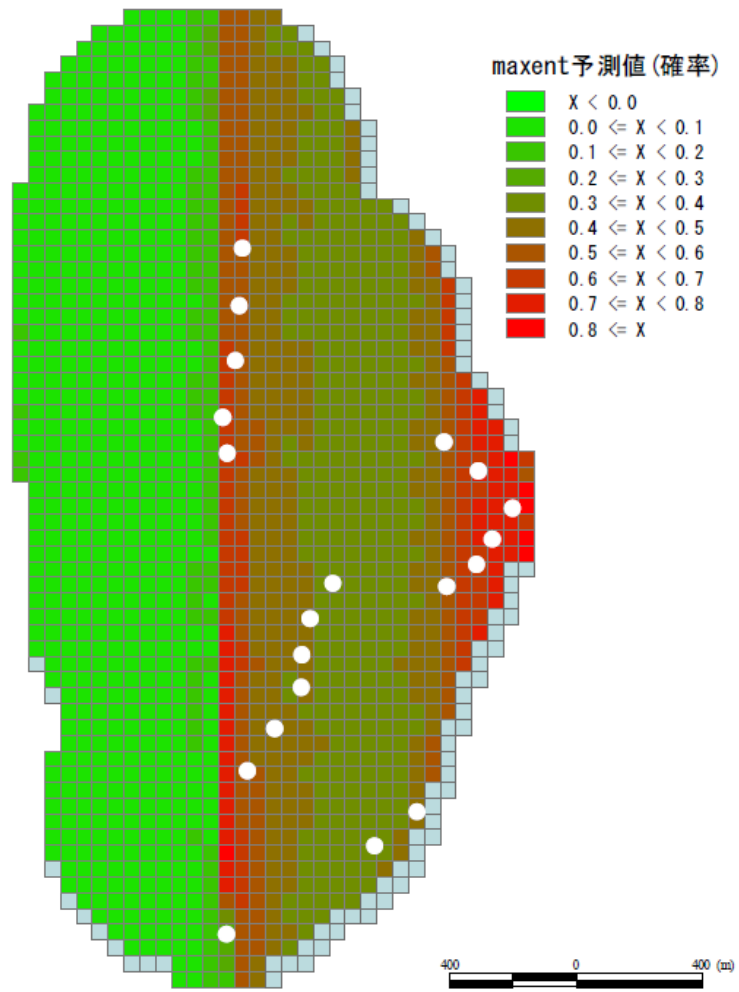


图 5- 38 maxent 预测值

第5章の参考文献

- 阿部聖哉・梨本真・矢竹一穂・松木吏弓・石井孝 (2005) 秋田駒ヶ岳のイヌワシ行動圏におけるノウサギの生息密度と森林植生との関係. 日本森林学会誌 87(2) pp.117-123
- 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, 76-89
- 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
- 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>
- 今駒・中島・坪井 (1998) 小ギャップ式鳥害防止装置の開発. NGKレビュー 第49号
- 鴨川誠 (1999) 飛行機・自動車・構造物と鳥の衝突事故. 長崎県生物学会誌 No.50
- 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).
- 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 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 (2010) 平成21年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書.
- Smales I& Muir S (2005) 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.
- Smallwood KS& Thelander CG (2004) Developing Methods to Reduce Bird Mortality In the Altamont Pass Wind Resource Area WWW.ENERGY.CA.GOV: PIER PROGRAM FINAL REPORT: Publication Number 500-04-052: 520pages
- Sovacool BK (2009) Contextualizing avian mortality: A preliminary appraisal of bird and bat fatalities from wind, fossil-fuel, and nuclear electricity. Energy Policy 37:pp 3341-2248
- 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
- 橘敏雄 (2001) 鳥と航空機の衝突問題(1). Animate
- 橘敏雄 (2002) 鳥と航空機の衝突問題(2). Animate
- 橘敏雄 (2006) 航空機と鳥の衝突(バード・ストライク)問題. 航空環境研究10号
- 徳島県林業課 (1981) 野うさぎの効果的な防除. 緊急技術改善普及事業(野うさぎの防除技術指針)
- 植田睦之・島田泰夫・有澤雄三・樋口広芳 (2009) 気象レーダ「ウィンドプロファイラ」により明らかになった全国的な渡り鳥の移動状況. Bird Research vol.5 pp.A9-A18
- Verhoef JP; Westra CA; Nijdam RJ; Kortering H; Eecen PJ (2003) Offshore Wind Energy and Noise Monitoring. OWEMES 2003 Conference, Naples (Italy):ECN-RX--03-012
- Whitfield DP and Madders M (2006) 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, Banbury, UK.
- Winkelman E (1990) Impact of the wind park near Urk , Netherlands , on birds collision victims and disturbance of wintering fowl. Int. Ornithol. Cong. 20: 402-403.

- 柳川久・澁谷辰生 (1998) 北海道東部における鳥類の死因.IIIガラス衝突 帯大研報 20 :253-258
- 矢竹一穂・梨本真・島野光司・松木吏弓・白木彩子 (2002) ノウサギの生息密度推定法の現状と課題. 哺乳類科学 Vol. 42, No. 1 pp.23-34
- 矢竹一穂・梨本真・松木吏弓・竹内亨・阿部聖哉・島野光司・木彩子・石井孝 (2003) 秋田駒ヶ岳山麓における糞粒法と INTGEP 法によるノウサギの生息密度の推定. 哺乳類科学 Vol.43 , No. 2 pp.99-111