

## DOCKETED

<b>Docket Number:</b>	09-AFC-07C
<b>Project Title:</b>	Palen Solar Power Project - Compliance
<b>TN #:</b>	202559
<b>Document Title:</b>	Exh. 3136 Smallwood 2009
<b>Description:</b>	N/A
<b>Filer:</b>	Lisa Belenky
<b>Organization:</b>	Center for Biological Diversity
<b>Submitter Role:</b>	Intervenor
<b>Submission Date:</b>	6/23/2014 3:44:44 PM
<b>Docketed Date:</b>	6/23/2014



風力発電が鳥類に及ぼす影響の調査マニュアル

# 風力発電が鳥類に及ぼす影響の 調査マニュアル

Methods Manual for  
Assessing Wind Farm Impacts to Birds

野鳥保護  
資料集

**K・ショーン・スモールウッド**  
K. Shawn Smallwood

財団法人 日本野鳥の会

第26集

野鳥保護資料集第26集 Bird Conservation Series Vol.26

財団法人 日本野鳥の会  
**B**

# 風力発電が鳥類に及ぼす影響の 調査マニュアル

K・ショーン・スモールウッド

## Methods Manual for Assessing Wind Farm Impacts to Birds

K. Shawn Smallwood



翻訳 黒澤 隆

Translated by Takashi Kurosawa

財団法人 日本野鳥の会

Wild Bird Society of Japan

## 国内における ウィンドファームの立地例

日本国内での風力発電の導入は1990年頃から始まり、2000年以降は加速的に進んでいる。2009年3月現在で設備容量にして185万kW、設置基数にして約1,500機の風力発電用風車が建てられている。2004年以降は1基あたり1,000kW以上の風車の設置がほとんどであり、また、一つの計画における設置基数も5基以上の場合が多く、近年は計画規模が大型化している。口絵1～3で紹介する発電所は、エコ・パワー社が所有する国内でも代表的な大規模ウィンドファームである。

【口絵1】  
岩屋ウィンドパーク  
(1,500kW×18基／青森県)

【Plate 1】  
Iwaya wind farm  
(18 X 1,500kW turbines), located in Aomori Prefecture, northern Japan



Wind power was first introduced to Japan around 1990 and the introduction has rapidly advanced since 2000. As of March 2009, approximately 1,500 wind turbines were constructed in Japan and these turbines had the capacity to generate 1,850,000kW of electricity in total. Almost all of the turbines installed after 2004 have the capacity to generate more than 1,000kW. Most of the recently constructed wind farms possess more than five turbines, which reflects recent larger-scale projects of wind farm construction. The wind farms in Plates 1-3, which have been operated by Eco Power Co., Ltd. are typical examples of large-scale wind farms in Japan.





【口絵2】むつ小川原ウインドファーム  
(1,500kW×22基/青森県)

[Plate 2] Mutsu Ogawara wind farm  
(22 X 1,500kW turbines), located in  
Aomori Prefecture, northern Japan



【口絵3】波崎ウインドファーム  
(1,250kW×12基/茨城県)

[Plate 3] Hasaki Wind farm  
(12 X 1,250kW turbines), located in  
Ibaraki Prefecture, central Japan



【口絵4】オジロワシ

国内では2009年3月現在で、13例の衝突死が確認されている。また、ノルウェーなど欧州でも衝突死が多く確認されており、風力発電施設による影響を受けやすい種といえる。

[Plate 4] A White-tailed Eagle  
(*Haliaeetus albicilla*)

In Japan 15 White-tailed Eagles were killed in collisions with wind turbines until March 2009. Many collision fatalities of this species have been reported in European countries such as Norway as well. White-tailed Eagles are assumed to be one of the species sensitive to a wind farm.

### 国内で衝突事例のある野鳥

日本国内で風力発電施設の設置数が増えるに従い、鳥類が風車に衝突死する等の悪影響の事例が報告されるようになってきた。特に、絶滅危惧種で国内希少野生動物植物や天然記念物に指定されているオジロワシ(口絵4)は風車への衝突死が多い。そのため、オジロワシが風車へ衝突しやすい原因について、環境省が最近になって調査を始めた。そして口絵5~7は、オジロワシ以外に国内で衝突事故の多い種、または今後の事故の増加が危ぶまれる種である。

As the number of wind farms increases in Japan, the negative effects of a wind farm on birds, such as collisions with turbines have been reported more frequently. The startling number of turbine collision cases has been reported for White-tailed Eagles (Plate 4) that are protected as an Endangered Species and designated as National Endangered Species of Wild Fauna and Flora as well as a Natural Monument. The Ministry of the Environment has recently begun to investigate factors contributing to the collisions of the eagle with wind turbines because the eagle collisions have become an issue among the wind power industry and in nature conservation community. Plates 5-7 show other species which have frequently collided with wind turbines or whose turbine-caused fatalities are likely to increase in the future in Japan.



**[口絵5/上] イヌワシ**

日本で500羽程度しか生息していない希少な鳥。国内では今までに、1例の衝突事故が起きている。海外、特に米国ではこれまでに多数のイヌワシが衝突死しており、風力発電施設による影響を受けやすい種として問題となっている。

**[Plate 5] A Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*)**

The Japanese population of this species is estimated to be 500 at most. In Japan a single Golden Eagle has been killed in a collision with a wind turbine so far. Many collision fatalities of Golden Eagles have been reported especially in the US and the sensitivity of this species to wind farms has attracted attention as a conservation issue.

**[口絵6/右上] オオセグロカモメ**

国内では2009年3月現在で1例しか衝突死が確認されていないが、欧州では多数のカモメ類が衝突死しているため、風力発電施設による影響を受けやすい種群といえるだろう。

**[Plate 6] A Slaty-backed Gull**

(*Larus schistisagus*)

In Japan a single Slaty-backed Gull was killed in a collision with a wind turbine until March 2009. In Europe, however, a large number of gulls have been killed in a collision with a wind turbine. Gulls are, therefore, assumed to be vulnerable to a wind farm.

**[口絵7/右下] トビ**

国内では2009年3月現在で、11例の衝突死が確認されている。欧州でもトビは衝突死しているが、特に希少種のアカトビで多数の衝突死が起きている。トビの仲間は、風力発電施設による影響を受けやすい種といえるだろう。

**[Plate 7] A Black Kite (*Milvus migrans*)**

In Japan 11 Black Kites were killed in collisions with wind turbines until March 2009. In Europe many collision fatalities have occurred, especially in Red Kites which are a rare species. Kites are presumed to be vulnerable to a wind farm.



## はじめに

風力発電は地球温暖化対策のための有力な自然エネルギー源として世界各国で導入が進められており、日本でも政府による推進策がとられています。調和のとれた風力発電の導入を図ることが、世界的な課題となっています。

欧米の先進諸国とは異なり、わが国では風力発電事業は目下、環境影響評価法の対象外であり、ガイドラインによって自主的に行われる環境影響評価も、事業者の自主努力に負う部分が大きく、中には十分機能しているとは言えない例もみられます。事故発生メカニズムの研究や回避方法の研究も緒に就いたばかりという状態です。

当会はこうした中で、日本でも風力発電による自然環境や鳥類への環境影響を評価し、悪影響を回避、最小化するための制度と方法論を確立することを目指し、2001年以来、活動してきました。

活動を通して明らかになったのは、わが国では風力発電施設建設後の鳥類への影響評価について、標準的な調査方法が確立されていないため、調査結果を比較できず、客観的な事後評価も困難という状態にあることでした。そこで2008年10月、事後評価のための標準的な調査方法を確立するための検討会を、実際に稼働しているウィンドファームを現地会場として開催しました。この検討会を元に、調査方法のマニュアルとして構成したのが本書です。

この検討会の開催にあたっては、2006年以来私たちにご指導いただいているショーン・スモールウッド博士にカリフォルニアからお越しいただき、アメリカにおける調査技術をご指導いただきました。共催いただいたエコ・パワー（株）様にはむつ小川原ウィンドファームを会場として提供いただき、事業者の立場から検討に参画いただきました。日本野鳥の会会員、風力発電事業者、調査会社といった様々な立場の参加者の皆さまからは、国内における調査実行についてのアイデアをいただきました。検討会の開催および本書の出版に対しては、独立行政法人環境再生保全機構より地球環境基金の助成をいただくことができました。

ここに記して、ご協力をいただきました皆さまのご厚意に心より感謝申し上げます。

2009年3月27日  
(財)日本野鳥の会  
自然保護室 室長 葉山政治

## Preface

Although wind power is expected to be a major source of renewable energy to prevent global warming, the negative effects of a wind farm on birds have been reported in the US and Europe. In Japan as well, reports of bird fatalities probably due to collisions with wind turbines have increased as the number of wind farms has grown. Carcasses of endangered species have been discovered in the vicinity of a wind turbine every year since 2004. It has become an international issue how the use of wind power should be promoted as one of the measures against global warming without impairing biodiversity.

In Japan, however, wind power projects are not subject to the Environmental Impact Assessment Act. Environmental impact assessments based on the guidelines also depend largely on voluntary efforts of wind power companies, and some of them are not entirely satisfactory. In addition, research workers have only begun to study factors contributing to bird collisions and measures to prevent them.

Since 2001 the Wild Bird Society of Japan (WBSJ) has made an effort to establish legal measures and methods for assessing the impacts of a wind farm on the environment and birds and avoiding or minimizing the negative effects.

The workshop revealed that the findings of studies post-construction could not be directly compared because study methods varied between research workers in Japan. This made it difficult to assess the impacts of a wind farm on birds. In October 2008, therefore, the WBSJ held a workshop in an operating wind farm to establish a standard study method which allows for reliable post-construction assessments of wind farm impacts on birds. This handbook was compiled as a manual for a carcass search from the discussions and information obtained in the workshop.

Dr. K. S. Smallwood from California, US helped us in the workshop. EcoPower Co. Ltd. cooperated to hold the workshop in the MutsuOgawara wind farm and also participated in it as a wind power producer. Various people concerned, such as members of the WBSJ, wind power producers and research workers discussed the performance of studies in domestic wind farms. The workshop and this handbook were also supported by a grant from the Japan Fund for Global Environment of the Environmental Restoration and Conservation Agency of Japan.

We would like to express our deep appreciation to all of them.

March 27 2009  
Seiji Hayama  
Chief of the Conservation Division of  
Wild Bird Society of Japan

**風力発電が鳥類に及ぼす影響の調査マニュアル**

K・ショーン・スモールウッド

<b>1 調査目標と目的の設定</b>	16
<b>2 死亡率の推定</b>	18
2-1 死亡率の算出方法	18
2-2 衝突危険率の算出方法	20
2-3 データ収集	22
2-4 発見されなかった死亡個体に対する補正	28
推定死亡率を補正するための方程式	30
死亡率の補正項を推定する	34
2-5 補正項を算出式に組み入れる	52
<b>3 死亡個体の探索調査</b>	54
3-1 死亡個体の定義	54
3-2 探索調査の実施頻度	54
3-3 探索範囲	56
3-4 探索路	58
3-5 死亡個体の記録	58
3-6 データの管理	64
<b>4 利用率調査</b>	64
4-1 調査の対象種と目的	66
4-2 利用率の算出式	68
4-3 観察定点と範囲の設定	74
4-4 観察時間と実施頻度を設定	74
4-5 観察の記録	76
4-6 バイアスの確認	78
◆付録 死亡個体探索調査資料／死亡個体データ表／骨の状態	80
◆参考文献	86

**日本国内で調査を行なうにあたっての課題** 93

(財)日本野鳥の会・自然保護室／浦 達也

風車が立地する自然環境条件による 死亡率推定へのバイアスと減少方法	96
--------------------------------------	----

**Methods Manual for Assessing Wind Farm Impacts to Birds**

K. Shawn Smallwood

<b>1 Establish Goals and Objectives</b>	17
<b>2 Mortality Estimates</b>	19
2-1 Mortality Metric	19
2-2 Collision Risk Metric	21
2-3 Sampling Approach	23
2-4 Adjustments for Undetected Fatalities	29
Equations to Adjust Mortality Estimates	31
Estimating Mortality Adjustment Terms	35
2-5 Carrying the Error Terms Through Calculations	53
<b>3 Fatality Searches</b>	55
3-1 Fatality Definition	55
3-2 Search Interval	55
3-3 Search Radius	57
3-4 Foot Transects	59
3-5 Carcass Processing	59
3-6 Data Management	65
<b>4 Utilization Surveys</b>	65
4-1 Target Species and Objectives	67
4-2 Utilization Metric	69
4-3 Establish Observation Points and Survey Boundaries	75
4-4 Establish Duration and Frequency of Sessions	77
4-5 Recording Observations	77
4-6 Be Aware of Biases	79
◆Appendix Fatality search dates / Carcass data sheet / Bone condition	81
◆Reference	86

**Methodological Adjustments Required for Carcass Searches in Japan** Wild Bird Society of Japan / Tatsuya Ura 93

Biases of the environmental factors of a wind farm to fatality rate estimation and methods for reducing them	97
---	----



このマニュアルでは、風力発電所で発生する鳥類の死亡事故についての調査方法をガイドラインとして示した【図1/P14】が、実際に死亡個体の探索調査を実施する前に、調査の目標や目的およびデータの分析方法を設定することが必要である。こうした調査前の準備は極めて重要で、この準備を怠ると、調査の成果は期待できない。したがって、本調査マニュアルでは、実際の探索調査について論じる前に、調査の目標や目的、次いでデータの分析方法という順序で話を進める。

日本の風力発電所で実施される死亡事故の調査目標は死亡率の推定におかれているのだろうという私の主観的な想定に基づき、本マニュアルをそうした目標に沿ったものにした。風車の特性や環境要因と死亡事故の関連を評価するために、必要な調査等も多数取り上げているが、関連性が高いと思われる要因の評価や統計検定の考察には踏み込んでいない。調査の具体的な目標や目的を設定する時や、死亡率の算出方法、死亡率の推定に必要な探索調査や野外実験の方法を決定する時に、本ガイドラインを参考にしてもらうことを意図しているからである。

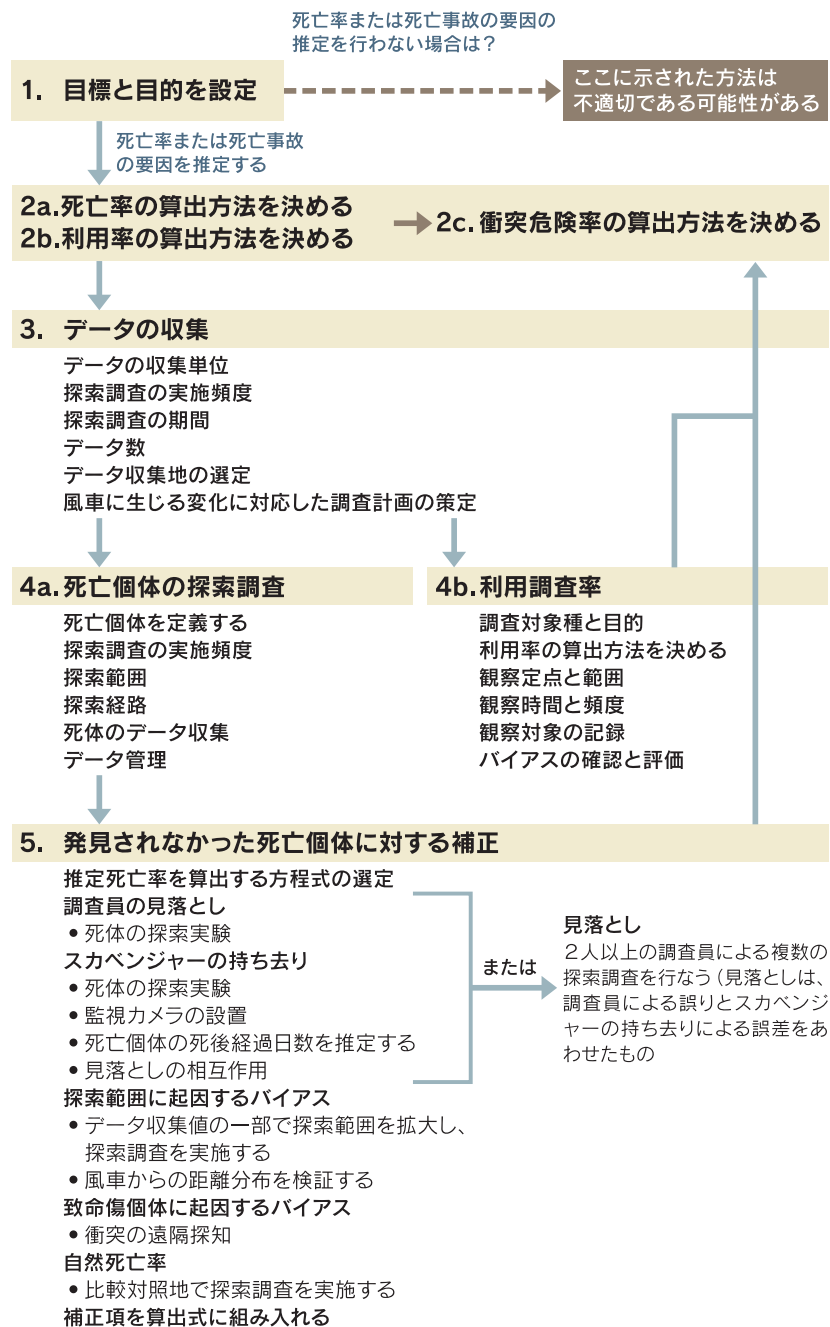
死亡個体がすべて発見されるとは限らないので、死亡率を推定する場合には複雑な補正手段が必要になる。そのための補正方法も取り上げるが、同時にその欠陥についても論じる。補正方法の限界点を明らかにしておくためと、補正方法の改良に必要な研究資金や知見の提供も期待したいからである。

風車に起因する死亡事故の回避策や削減策を特定するために、風車の特性や環境要因と死亡事故の関連について調査が行なわれることがあるが、こうした死亡事故との関連に関する仮説を検証するために必要なデータを収集する場合に、本ガイドラインは役に立つと自負している。鳥類の行動（例えば、風車や発電所を避ける行動、風車との相互作用、衝突事故につながる危険がある行動）を調査することは一般的な調査目標であるが、本ガイドラインでは取り上げなかった。こうした調査項目は複雑だけでなく、死亡率の調査に必ずしも必要なわけではないからである。しかし、死亡率は風力発電所の利用率との関連で表わすべきなので、鳥類の相対的個体数を示すために必要な定点カウント調査は取り上げている。

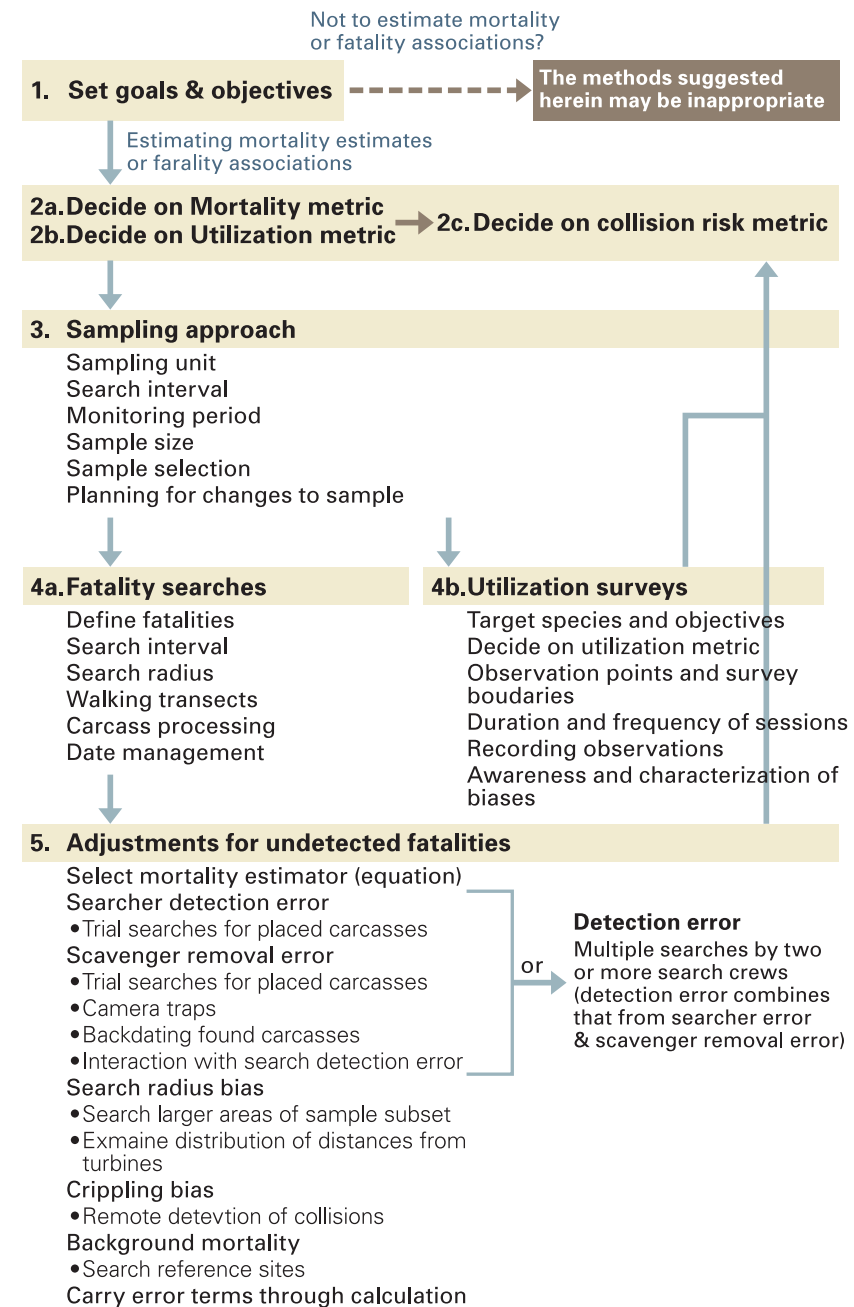
I prepared some guidelines for performing bird mortality monitoring at wind farms (Figure 1 / P15). Before fatality searches actually begin, however, the investigators need to define the goals and objectives of the monitoring, as well as decide on analytical methods. Once these very important preliminary steps are taken, the fatality monitoring can proceed with a sound direction. Therefore, these guidelines begin with goals and objectives and then proceed to metrics before addressing actual fatality searches. I took the liberty of assuming that the most likely goal of mortality monitoring at Japanese wind farms will be to estimate mortality, so these guidelines are directed to that purpose. Most of these guidelines would also cover most steps leading to the estimation of fatality associations with wind turbine attributes and environmental variables, but they stop short of measuring candidate association variables and reviewing statistical tests. These guidelines are intended to help investigators decide on the specific goals and objectives of the monitoring, how to express mortality, and how to perform fatality searches and related field trials needed for estimating mortality.

Estimating mortality is complicated by the adjustments that need to be made to them due to undetected fatalities, so I address the options for making these adjustments. I also address the shortfalls of the current approaches to estimating mortality, partly to be honest about the limitations of the methodology, and partly in the hope that others will generate the ideas and funds needed to strengthen the methodology.

As previously mentioned, these guidelines would be useful for collecting the fatality data that would be needed for testing hypotheses of associations between fatalities and wind turbine attributes and environmental variables. These associations have sometimes been sought in order to identify mitigation measures to avoid, minimize, or reduce mortality caused by wind turbines. Other common research goals not addressed in these guidelines include bird behaviors, including bird avoidance of wind turbines and wind farms, bird interactions with wind turbines, and behaviors that are viewed as potentially dangerous around wind turbines. These topics are complex, and are not necessarily required for mortality monitoring, so I do not address them in this document. What I do address, however, are point counts for indicating relative abundance of birds, because mortality should be expressed as the fatality rate relative to the utilization rate of the wind farm.



[図1] 風力発電施設における野鳥の死亡数モニタリングの実行時に考慮すべき手続き順序の概要図



[Figure 1] General flow of steps that should be considered or taken in performing mortality monitoring for birds at wind farms.

# 1 調査目標と目的の設定

Establish goals and objectives

建設予定も含め、風力発電所で影響調査を実施する上で、一番重要な問題は調査目標である。科学的に信頼できる結果を示すのに必要なデータ収集の単位、データ数、データ収集の頻度を確保するためには、具体的かつ明確な調査目標を設定することが必要である。調査方針があいまいでは、調査は迷走してしまうだろう。よって以下のような調査目標を設定することが望ましい。

## 1. 推定死亡率を時間的・空間的に比較する

これは最も一般的な調査目標であるが、風車に起因する死亡率を推定することで、発電所間の比較や、同一の発電所における通時的な比較が可能になる。発電所の規模やデータの収集努力の違いを補正するために、共通の算出方法を用いることが重要である。さらに、生物学的影響の比較に用いる、対象種の相対的個体数に対する補正も必要である。

## 2. 生物学的影響の評価

風力発電の影響調査で検討されることは多いが、実施されることはまれである。死亡率と死亡事故が起きる危険率を比較することは影響調査の目標の中で依然として最も難易度が高い。

## 3. 死亡事故の時空間的な発生パターンから死亡事故の因果関係を推測する

衝突の危険性を高める鳥類の行動、気象条件、時間帯、風車の特性、地形など、衝突事故に関与する要因の解明が試みられることもある。推定死亡率の比較と死亡個体の分布に基づいて、衝突事故の因果関係の推測が行なわれている。因果関係の推測にとって、最大の敵は擬似反復\*なので、死亡率の推定や死亡個体の分布予測に用いるデータ数が少ない場合は困難さが増大する。衝突事故の因果関係を推測する目的は、衝突事故の削減策や最少化策を策定するためである。

※擬似反復 たとえば、ある風車から10個のデータが得られていて、他の風車からは5つのデータが得られているとする。その場合、全部のデータ15個を1つにして分析することは、統計学的に間違っている。なぜなら、データの独立性が保たれていないからである。

The very first consideration that needs to precede impacts monitoring at proposed or existing wind farms is the goal. The goal needs to be articulated and specific objectives defined, so that sample units, sample size, and sampling frequency can be established to obtain results that are scientifically sound. Without a clear direction, there will likely be a confused finish. Goals that might be pursued include the following.

## 1. Compare mortality estimates through time or space.

The most commonly pursued goal, estimating mortality caused by wind turbines, enables investigators to compare project impacts to the impacts of other projects or to those of the same project during another time period. Central to comparing mortality is using a common metric to account for variation in project size or sampling effort. Another type of accounting is for the relative abundance of the species affected, leading to a comparison of biological impacts.

## 2. Assess biological impacts.

Often discussed, but rarely if ever achieved at wind farms, comparing the rate of birds killed to the rate at which they were available to be killed remains the most challenging of impacts monitoring goals.

## 3. Infer causal mechanisms from spatiotemporal patterns of fatalities.

Investigators sometimes attempt to understand the underlying mechanisms of bird collisions, such as which behaviors might contribute more to collisions, whether extreme weather conditions or times of day contribute disproportionately to collisions, whether attributes of the turbine or its supporting tower might contribute more to collisions, or whether aspects of the landscape might explain the variation in fatalities. Inferring causal mechanisms has been approached two ways. In one, mortality estimates are compared, and in the other it is the distribution of fatalities that are compared. Pseudoreplication is the biggest enemy of inferring causal mechanisms, and it is all the more challenging when sample sizes leading to mortality estimates or distributions of fatalities are small. The point of drawing inferences of causal mechanisms is to develop mitigation measures to minimize or reduce collisions.

#### 4. 緩和策が必要となる閾値を検証する

緩和策や相殺策が必要となるほどの影響が予想される場合でも、風力発電所の建設が認可されることがある。

#### 5. 衝突に起因する影響や、発電所の全施設や操業に起因する影響を評価する

影響調査の対象は風車との衝突が一般的であるが、風車以外に起因する影響（例えば、送電線や配電線との衝突、感電死、作業用車両との衝突、発電所の施設を止まり場として利用する猛禽類による捕食など）も確認されている。

#### 4. Test against mitigation thresholds.

Wind farms are sometimes permitted with thresholds of impacts that require mitigation to reduce or offset the impacts.

#### 5. Assess impacts caused only by collisions or by all wind farm infrastructure and activities.

Impacts monitoring usually targets wind turbine collisions, but there have been impacts caused by other aspects of the wind farm, such as bird collisions with transmission lines and electric distribution lines, electrocutions on power poles, collisions with support vehicles, and likely predation of birds that is facilitated by the tall structures of wind farms that are used by raptors for perching.

## 2 死亡率の推定 Mortality Estimates

### 2-1 死亡率の算出方法

Anderson ら（2005）は死亡率を、死亡個体の探索回数あたりの死亡個体数で表示しているが、Smallwood（2008）も Anderson らと同じ方式を用いて死亡率の比較を行なっている。しかし、この方式は探索範囲、風車の規模や稼働状況、調査期間の補正を行っていないので、死亡率のおおまかな指標として利用する方が有用である。

風車や発電所の規模には大きな差があるので、死亡率を算出する式には規模に対する補正項を組み入れる必要がある。この補正は風車1基あたりの死亡個体数（Orloff and Flannery 1992, Erickson *et al.* 2001）や回転翼が通過する面積あたりの死亡個体数（Howell 1997）という形で行なわれるようになった。風車の回転翼が通過する面積は  $A=\pi r^2$  の式で求められる（ $A$ ：回転面の面積、 $r$ ：回転翼の長さ）。Thelander and Smallwood（2004）は死亡個体数を発電力（MW）と関連づけた。調査努力は調査期間によって異なるために、影響を評価する物差し役割を果たすこうした要因に対してすべて時間を揃える必要がある。一般的

### 2-1 Mortality Metric

Many investigators and others inter-mix usage of the terms *fatality* and *mortality*, as if they mean the same thing. However, a fatality is a single death, whereas mortality refers to a rate of deaths, or death rate or fatality rate. Often, investigators refer to a fatality estimate, which would be the estimated number of fatalities, but this estimate would likely not be a rate. A mortality estimate would be an estimated fatality rate, preferably including an uncertainty term such as standard error or confidence interval.

Anderson *et al.* (2005) expressed fatality rate as the number of fatalities per number of fatality searches, and Smallwood (2008) compared mortality using this same metric. However, this metric is more useful as a crude indicator of mortality, because it does not account for the area searched, the size and operation of wind turbines, or the seasons or years over which the searches were made.

Wind turbines and wind farms vary considerably in size, so the mortality metric needs to incorporate an adjustment for size. This adjustment began as the number of fatalities per turbine (Orloff and Flannery 1992, Erickson *et al.* 2001),

な調査報告書で死亡率は、年あたりの死亡個体数として表示されている。

死亡個体の探索調査あたりの死亡個体数で死亡率を算出する方式も用いられている (Anderson *et al.* 2004, 2005; Smallwood 2008)。探索調査は1基の風車で実施される1回の探索を示す。さらに最近では、kWhあたりの死亡個体数が用いられている (Smallwood *et al.* 投稿中)。この方式では風車や発電所の規模だけでなく、前回の調査以後の稼動状況も考慮に入れている。

風力発電所に起因する鳥類やコウモリの死亡率の算出には次のような方式が用いられている。

死亡個体数／死亡個体探索調査

死亡個体数／回転面積 $m^2$ ／年

死亡個体数／風車／年

死亡個体数／MW／年

死亡個体数／kWh

死亡率が死亡事故を起こした種の出現率と関連づけられるので、このように算出された死亡率を利用率（相対的個体数の指標）と関連づけた方が死亡率の算出方法として望ましい。次にこの算出方法について述べようと思うが、本調査ガイドラインの終わりの部分で鳥類の利用率を算出する方法を論じたあとで、再びこの算出方法を取り上げる予定でいるため、ここでは手短かに述べるにとどめる。

## 2-2 衝突危険率の算出方法

風力発電所を利用する鳥類やコウモリの相対的個体数がある一定のレベルになると、発電所に起因する死亡率の推定に影響を及ぼす。例えば、オジロワシが飛行しない発電所では、オジロワシの衝突事故は発生しない。また、常に回転翼の下や上を飛行する種や、回転翼が動かない風速の時だけ飛行する種がいるとすれば、その種が風車の犠牲になることはまずないであろう。死亡率を相対的個体数と関連させても、死亡率の予測モデルになるとは限らないが、生物学的影響を評価するためには、死亡率を個体数と関連させる試みにも有用性がある。

私の経験では、風力発電所で収集したデータは、生物学的影響を評価するため

followed by the number of fatalities per rotorswept area (Howell 1997). The rotorswept area is the area of the sky that is swept by the turbine's rotor and calculated by the formula,  $A=\pi r^2$ , where  $A$  is the area of a circle and  $r$  is the radius of the rotor, or the length of a turbine blade from the center of the rotor hub. Smallwood and Thelander (2004) related the number of fatalities to MW of rated capacity. All of these scaling factors for project impacts also must be scaled to a comparable time period, because the monitoring efforts have varied in time span. Most reports have expressed mortality as the number of fatalities per year.

Another mortality metric has been the number of fatalities per fatality search, where a fatality search is one complete search at one wind turbine (Anderson *et al.* 2004, 2005; Smallwood 2008). More recently, the number of fatalities per kWh was used (Smallwood *et al.* in review), which accounts not only for turbine or wind farm size, but also the level of operations of the turbine(s) since the last fatality search.

The following metrics have been used in reports of bird or bat mortality in wind farms:

Deaths / fatality search

Deaths /  $m^2$  rotorswept area / year

Deaths / wind turbine / year

Deaths / MW / year

Deaths / kWh

A superior mortality metric would relate these fatality rates to utilization rates, or to an index of relative abundance, so that the rate of deaths is put into context of the rate of occurrence of the species getting killed. I will address this type of metric next, but only briefly, because I will return to it after discussing methods for measuring bird utilization in the end of this document.

## 2-2 Collision Risk Metric

At some level the relative abundance of birds or bats using a wind farm will affect the mortality estimates derived from that wind farm. For example, if no white-tailed eagles ever fly through a particular wind farm, then no white-tailed eagles will ever be killed by that wind farm. However, millions of a particular species could conceivably fly through a wind farm without ever getting killed by a wind turbine, if for example the species always flies below or above the wind turbine

に行なう個体群存続可能性分析（PVA）や衝突危険率の評価には全く適していない。そうした評価を行なうためには、個体数やその動向、個体群統計学的なデータを含め、風車と衝突事故を起こす種に関する個体群レベルの詳細なデータを大量に必要とする。しかし、こうしたデータの収集には費用がかかる。アルタモントパスの風力発電所などでは、個体数を時空間的に把握するのに苦労している。渡り鳥、留鳥、繁殖鳥、採食場として利用する鳥など様々な種が生息しているからである。風力発電所は風の強い場所に建設される傾向があるが、こうした場所は鳥類の移動経路になっていたり、季節的に利用されたりすることが多い。したがって、生物学的複雑さが加わり、個体群存続可能性分析や衝突危険率の評価を行なうことがきわめて困難になる。

そうした困難にもかかわらず、鳥類学者は利用率と死亡個体数の調査結果に基づいて、衝突危険率を単純な割合で示そうと試みている。ここで言う利用率は鳥類やコウモリの種が特定の場所を利用する程度を指す。危険指数は次の式で求められる（Anderson *et al.* 2004, 2005）。

$$\text{危険指数} = \frac{\text{死亡率}}{\text{利用率}}$$

死亡率は上記の「死亡率の算出方法」で示したいずれかの式を用いて算出する。利用率は標準利用率調査（以下で論じる）でカウントされた1時間あたりの鳥の数で示す。しかし、念のために指摘しておくが、死亡率と利用率の算出方法を統一しておかないと、求められた危険指数を発電所間や期間の間で比較することができない。現在のところ、死亡率と利用率の算出方法だけでなく、死亡率と利用率の算出に用いるデータの収集方法も千差万別である。

## 2-3 データ収集

### データの収集単位

風車は鳥類やコウモリの死亡事故を実際に引き起こす構造物であるが、一般的に個別の構造物と見なされているので、大多数の研究者は風車1基ずつをデータの収集単位と考えている。しかし、鳥は個々の風車ではなく、風車の列

blades, or only at wind speeds other than when the wind turbines operate. Relating mortality to relative abundance will not always lead to predictive models of mortality, but there is also value in attempting to relate the rate of fatalities to the abundance of the species in the environment to arrive at an estimate of biological impact.

In my experience the data collected from wind farms are nowhere near suitable for performing a population viability analysis (PVA) or related risk assessment to estimate biological impacts. A lot of detailed population-level information on the species killed by wind turbines would be needed, including an estimate of population size and trend and demographic data. The methods used to obtain these data are expensive, and in wind farms such as the Altamont Pass, the analyst would struggle with defining the spatial and temporal extents of the populations because some of the species are migratory and others are non-migratory, and some nest in the wind farm and some only forage in the wind farm. Wind farms tend to be constructed in windy places, and these are often places where birds move through or visit seasonally, adding exceedingly difficult biological complexity to efforts to perform a PVA or similar risk assessment.

Nevertheless, avian fatality researchers have attempted to at least indicate collision risk with simple ratios based on both utilization and fatality monitoring, where utilization refers to the degree of use of a site by a bird or bat species. A simple risk index is the following (Anderson *et al.* 2004, 2005):

$$\text{Risk index} = \frac{\text{Fatality rate}}{\text{Utilization rate}}$$

where Fatality rate can be any of the metrics listed in the preceding section and Utilization rate can be birds / hour that were counted during standard utilization monitoring (to be discussed below). As a caution, however, I should point out that the fatality and utilization rates need to be expressed in common terms before their resulting risk index values can be compared between wind farms or time periods. To date, the metrics for both rates have varied wildly, and so have the field methods leading to those rates.

## 2-3 Sampling Approach

**Sampling unit.** —Most investigators consider the wind turbine as the sam-

や発電所の風車全体を単位として認識しているかも知れない。Thelander and Smallwood は衝突事故の発生が列の末端に配置された風車に集中していることに気づいた (2004, 2005)。さらに、列の中間部分よりも、列の末端に位置する風車の脇を通過する鳥が多いことも確認した。この行動は風車の列全体を危険物とみなし、それを避けるために迂回していることを示唆している。鳥の目から見れば、風車の列の方がデータの収集単位として適しているかも知れないが、1基1基が離れているなど、場所によっては個々の風車も収集単位として適している可能性もある。

データの収集単位としての適性を考える際に考慮すべきことは死亡個体の探索調査のしやすさである。風車を発電所内から任意に選び出して死亡個体の探索を行なうことは、探索対象の風車間の移動距離が長いために困難な場合がある。風車間の移動距離を短縮して探索効率を高めるために、風車の列を探索対象にすることは個々に調べるより好ましい。50m 間隔で設置された風車では、衝突事故を起こした個体が落下する範囲が重なるので、風車を中心に半径 50m の円内を探索対象に設定した場合に、発見された死亡個体が衝突したのは隣の風車の可能性があるため、死亡個体が衝突した風車を特定することは不可能である。したがって、風車の列全体をデータの収集単位にして、探索調査を行なうことは理にかなっている。

#### データ収集地の選定

衝突要因に関する仮説を検証するためにデータ収集を行なう場合、風力発電所の建設が始まる前に、衝突事故の調査対象にする風車の設置場所を任意に選定することが理想的であるが、筆者の知る限り、まだこうした機会には恵まれていない。現実的には、すでに設置された風車や設置予定場所の中から調査対象を選び出すことになる。発電に最適な風況が予想される場所に風車は設置されるので、データ収集地の選定を行なう前にすでにバイアス (偏り) が生じている。したがって、データの収集場所を任意に選び出すのは、発電所内の環境条件をまんべんなく反映させるためというよりは、調査側のバイアスを最小に抑えることを意図している。事前に決まっている風車の設置場所の中から調査対象を選んだのでは、バイアスのない死亡率の推定はできない。

pling unit, because the wind turbine is usually seen as a single structure and is the structure that actually kills the birds and bats at issue. However, birds may perceive entire rows of wind turbines, or even fields of wind turbines, as units. Smallwood and Thelander (2004, 2005) found that birds were killed disproportionately more often by wind turbines at the ends of rows, and they also observed that birds made more flights by the end-of-row turbines than through the interior portions of turbine rows, indicating that birds perceived the entire turbine row as a threat and attempted to fly around the threat. From the bird's perspective, the turbine row may be the more appropriate sampling unit, but the individual turbine could also be the appropriate unit.

Another consideration in what should qualify as the sampling unit is logistics of the fatality searches. Searching individual turbines selected randomly from a large turbine field can prove difficult due to the need to travel from one turbine to the next. Most investigators in wind farms prefer to search rows of wind turbines in order to minimize travel time between units and to share search effort between wind turbines in the row. Wind turbines that are spaced 50m apart will overlap in potential deposition area, so a 50m search radius around one turbine could include birds or bats deposited by the adjacent turbine. Determining whether the carcass was deposited by the sampled turbine or the neighboring turbine could be impossible, which is a good reason for searching the entire turbine row and considering the turbine row as the sampling unit.

**Sample selection.** —The ideal sampling approach for testing hypotheses about collision factors would be to randomly select locations for wind turbine installation and wind turbine fatality monitoring before the wind farm is constructed, but avian fatality researchers have yet to get this opportunity, as far as I am aware. More realistically, avian fatality researchers get to select wind turbines for monitoring from among those that are already installed or already planned for installation. Assuming wind turbines are installed where the wind resource is projected to be optimal for power generation, then a bias is built into the sampling pool before the sample is even selected. Therefore, the randomization of the sample is intended more to minimize investigator bias than it is to equitably represent environmental conditions in the wind farm. For estimating mortality, there is no benefit from a priori selection of wind turbine sites.

The size of the wind farm and the monitoring budget will determine the type of

---

データ収集は風力発電所の規模と調査予算に左右される。例えば、発電所の規模が小さくて、予算的にすべての風車でデータの収集が可能な場合は、すべての風車でデータ収集を行えばよいから、話は簡単である。予算の関係で、すべての風車でデータの収集ができない場合は、データ収集を行なう風車を任意、または計画的に選び出す必要がある。発電所の規模が大きい（風車が数百ないし数千基ある）場合は、無作為抽出が適している。中規模の発電所で、予算的に半数の風車でデータ収集が可能な場合は、東西方向や南北方向に偏ることなく発電所全域にわたるように、計画的に調査対象の風車を選び出す方が望ましい。データ数が比較的少ない場合は、擬似反復を避けるために、このような計画的なサンプル抽出が必要になることが多い（Hurlbert 1984）。

#### データ数

仮説の検証、推定死亡率、影響緩和を必要とする条件の比較を意図しているのでなければ、小規模発電所の調査ではデータ数は問題にならないだろう。比較的規模の大きな発電所では、収集すべきデータ数を推定する際に、検出力分析（Gerrodette 1987）が役に立つ。しかし、検出力分析を行なうには既存のデータが必要となるので、新しく建設された発電所で検出力分析を用いるのは難しい場合が多い。他の発電所で収集されたデータを利用することも可能だが、死亡率は同じとは限らない。

#### データの収集期間

探索努力の割には発見される死亡個体の数が少ないために、平均推定死亡率の標準誤差は大きくなる傾向がある。その結果、推定死亡率も不正確になる。筆者がアルタモントパスの風力発電所で実際に収集されたデータを用いて、死亡率を算出してみたところ、調査期間が長くなるほど、死亡率の推定精度が上がるのがわかった。そこで、筆者は、死亡率の推定を行なうためには、死亡個体の探索調査を3年以上継続することを提言する（Smallwood 2007）。

#### 風車に生じる変化に対応した調査計画の策定

発電用の風車は比較的壊れやすい回転翼と多数の可動部品で構成されているの

sampling of wind turbines. If the budget is sufficient to search all the wind turbines, e.g. if the wind farm is small, then the sampling regime will be straightforward because all the wind turbines will be searched. If the budget is insufficient to search all the wind turbines, then either a random or a systematic sample will need to be drawn from the pool of available wind turbines. If the wind farm is very large, e.g., in the hundreds or thousands of wind turbines, then a random sample would be appropriate. If the wind farm is intermediate in size and the budget will support monitoring of about half the wind turbines, then it might be more appropriate to systematically sample the wind farm to ensure the full east-west and north-south extents of the wind farm are represented. This latter approach is often needed to prevent pseudoreplication when the sample pool is relatively small (Hurlbert 1984).

**Sample size.** —At small wind farms, sample size will not be an issue, unless one wishes to evaluate whether a particular hypothesis can be reasonably tested, or for how long the monitoring period will need to be before the resulting mortality estimate can be compared to other estimates or to some threshold for mitigation. At larger wind farms, power analysis (Gerrodette 1987) can be a useful tool for estimating an adequate sample of wind turbines to monitor. However, power analysis requires some data that already exist, so it will often be difficult to apply power analysis at new wind farms. Data from other wind farms could be used in a power analysis, but mortality at other wind farms is not necessarily the mortality that will be experienced at the new wind farm to be monitored.

**Sampling period.** —Due to the small numbers of fatalities found relative to the search effort applied, the standard error of the mean estimate of mortality tends to be large, resulting in relatively imprecise mortality estimates. Using real data from the Altamont Pass, I found that the precision of mortality estimates improved with mortality estimates derived from longer durations, resulting in my recommendation for a minimum of three years of fatality monitoring before making mortality estimates (Smallwood 2007).

**Planning for changes in the sample.** —Wind farms are composed of wind turbines, and because wind turbines consist of relatively delicate blades and a lot of moving parts, one should anticipate malfunctions and breakage of wind turbines. Over time, it is likely that once-operational wind turbines will break and be left as derelict towers or will be non-operational for various time periods while the wind



で、故障や破損が当然生じる。破損した風車はそのまま放置される場合もあれば、部品の交換を行なうまでの間、稼働を停止する場合もある。アルタモントパスの発電所では、稼働を停止している風車が常時、数百基見られる。放置された風車や支柱の数は発電所が古くなるにつれて増える。新世代の風車は大丈夫だと考える根拠はどこにもない。新世代の風車も旧世代の風車と同じ自然条件にさらされているはずだからである。したがって、風車の状態や稼働状況も調査項目に含めることがきわめて重要である。

死亡事故の削減を意図した影響緩和策の実施により風車に変化が生じる場合もある。アルタモントパスの発電所では一部の風車で撤去や配置換えが行なわれている。また、冬季の一定期間、稼働を停止させている風車もある。猛禽類で問題になっているモーション・スミア（動体の透明化現象）の発生を抑えるために、一部の風車の回転翼に色が塗ってある（Hodos 2003 参照）。風車に生じる変化が影響緩和策の一環として予想されるのであれば、また、調査が任意あるいは計画的に選出された風車を対象にしているのであれば、調査対象の風車にも、そうでない風車にもこうした変化が偏らないように、風車の変化を考慮に入れた調査計画を立てることは重要であろう。死亡個体の探索目的が発電所全体の死亡率を推定することであるならば、今述べたことは重要である。調査した風車の死亡率に基づいて、その他の風車の死亡率を推定する場合、バイアスがあってはならないからである。

## 2-4 発見されなかった死亡個体に対する補正

発見される死亡個体は一般的に、死亡した個体のほんの一部に過ぎない。スカベンジャー（腐肉食動物）により死亡個体が持ち去られてしまうからである（Smallwood *et al.* 投稿中）。風車周辺には死亡個体が落ちていることを知っていて、風車を巡回しているスカベンジャーもいる。例えば、アルタモントパスの発電所ではワタリガラスが風車の列周辺を飛び回り、置いておいた鳥の死体が数分以内に持ち去られたことが確認された（Smallwood *et al.* 投稿中）。したがって、スカベンジャーの持ち去り率は建設当初は低いかも知れないが、しばらくすると高くなる可能性がある。

farm owner seeks replacement parts. In the Altamont Pass there are hundreds of non-operational wind turbines at any given time, and the number of derelict turbines and supporting towers increases as the wind farm grows older. There is no reason to expect that new-generation wind turbines will not also stand idle over significant periods of time, because the new-generation wind turbines must face the same physical conditions as the old-generation wind turbines. Therefore, it is crucial for fatality monitors to also monitor the condition and operational status of the wind turbines composing the wind farm.

Another potential change to the wind farm could be the implementation of mitigation measures intended to reduce bird or bat mortality. In the Altamont Pass some wind turbines have been removed or relocated, and some have been shut down over part of a winter while others were not shut down. The blades of some turbines were painted to reduce motion smear experienced by raptors (see Hodos 2003), while the blades of most were not. If changes to the wind turbines are anticipated as part of a mitigation plan, and if the monitoring program covers wind turbines that were either randomly or systematically selected, then it will be important to plan those changes to the wind turbines so that they are equitably implemented at both monitored and non-monitored wind turbines. This is important if the purpose of the fatality monitoring is to estimate mortality across the entire wind farm, because the extrapolation of the fatality rate from monitored to non-monitored turbines must be free of bias.

## 2-4 Adjustments for Undetected Fatalities

The fatalities found are usually only a small subset of the actual fatalities that occurred since the last fatality search at a wind farm. Scavengers remove carcasses, sometimes without a trace (Smallwood *et al.* in review). At least some scavengers learn that wind turbines are routinely depositing carcasses on the ground, and appear to patrol the turbine rows in search of carrion. For example, common ravens fly up and down turbine rows in the Altamont Pass, and were documented to remove bird carcasses within minutes of placement (Smallwood *et al.* in review). Therefore, scavenger removal rates may be lower at the initiation of a wind farm, and may increase after the wind farm has operated for a time.

Searchers also miss carcasses that were present, simply due to human error. Searcher detection error has typically been lower than the scavenger removal



ベンジャーの持ち去り率で、スカベンジャーの持ち去りがあつた後に残っていた死亡個体の占める割合で表わされている。この方程式は非線形を示す。スカベンジャーの持ち去り率が相対的に高い場合や、調査員の見落とし率が大きい場合は、 $M_A$ の値は急激に増加する。

方程式 (1) は補正項を追加するために、次のように修正できる (Smallwood 2007)。

$$M_A = \frac{M_U}{R \times D} - M_B + M_C + M_S \quad (1a)$$

$M_B$  は自然死亡率、 $M_C$  は致命傷個体バイアスにより発見されなかった死亡率、 $M_S$  は探索範囲が不十分なために発見されなかった死亡率を示す。WEST 社の Wally Erickson は発見率とスカベンジャーの持ち去り率を用いて、推定死亡率を補正する式を考案した。

$$M_A = \frac{N \times I \times C}{k \times t \times D} \quad (2)$$

$N$  は発電所の風車数、 $k$  は調査対象の風車数、 $I$  は調査の実施間隔 (日)、 $C$  は発見された死亡個体数、 $t$  は死亡個体が持ち去られるまでの平均日数、 $D$  は発見率を示す。この式は、標準的探索調査時に発見された死亡個体が前回の調査以降に衝突事故を起こした可能性を補正することを試みている。死亡個体が指数関数的な割合でスカベンジャーに持ち去られると仮定し、それに基づいて、死亡個体数のデータを修正している。

Erickson の式は正式な導出手順が示されていない上に、値が 20%ほど低くなることに Shoenfeld (2004) は気づいた。そこで、Shoenfeld はさらに二つの方程式を導き出し、死亡率と持ち去り率は両者ともポアソン過程に従うという仮説を含む、いくつかの仮説を提示した。次に示す方程式が定期的な探索調査の結果に基づいて算出された死亡率を補正する Shoenfeld の式である。

$$M_A = \left( \frac{N \times I \times C}{k \times t \times D} \right) \left( \frac{e^{I/t} - 1 + D}{e^{I/t} - 1} \right) \quad (3)$$

the search and after scavengers removed all the other animals killed by the wind turbines. The form of this equation is nonlinear. When scavenger removal rates are relatively high or searchers miss a large proportion of the carcasses,  $M_A$  increases rapidly.

Eqn. 1 can be modified to include additional adjustment terms (Smallwood 2007):

$$M_A = \frac{M_U}{R \times D} - M_B + M_C + M_S, \quad 1a$$

where  $M_B$  is background mortality,  $M_C$  is mortality not detected by searchers due to crippling bias, and  $M_S$  is mortality not detected by searchers due to insufficiency of the search radius.

Wally Erickson at WEST, Inc. developed the following formula to adjust mortality estimates by searcher detection and scavenger removal:

$$M_A = \frac{N \times I \times C}{k \times t \times D}, \quad 2$$

where  $N$  is the number of wind turbines in the wind project,  $k$  is the number of wind turbines sampled,  $I$  is the search interval in days,  $C$  is the number of fatalities counted,  $t$  is the mean carcass removal time in days, and  $D$  is the observer detection rate. This formula attempts to account for the likelihood the fatalities found during standard searches could have been caused during any time since the last fatality search. The equation assumes carcasses are removed by scavengers at an exponential rate, and censors the fatality data accordingly.

Shoenfeld (2004) found Erickson's equation biased low by about 20%, and it lacked any formal, referenced derivation. He then derived two additional equations and provided assumptions, including the key assumptions that wind turbine-caused collisions and scavenger removals of carcasses both follow Poisson processes. Shoenfeld's formula for adjusting mortality estimates made from periodic sampling efforts follows:

$$M_A = \left( \frac{N \times I \times C}{k \times t \times D} \right) \left( \frac{e^{I/t} - 1 + D}{e^{I/t} - 1} \right). \quad 3$$

Shoenfeld (2004) also recommended use of Monte Carlo simulation to arrive at

---

Shoenfeld (2004) も 50%と 90%の信頼区間を達成するために、モンテカルロシミュレーション\*を用いることを提言している。

筆者も方程式 (1) よりも方程式 (2) の方がバイアスが大きくなる可能性があることを指摘した (Smallwood 2007)。死亡個体が持ち去られるまでの平均日数は野外実験で使用される死亡個体の数と実験の期間に大きな影響を受ける。平均日数は使用される死亡個体の数が増えると、また、実験の期間が長くなると増えるであろう。しかし、こうしたバイアスに関しては、次の野外実験のところで詳しく論じる。

**※モンテカルロシミュレーション** シミュレーションを行なう際に、事前に予測値の設定が困難な指標について乱数などを用いて不確定要素に不確定な数値を入力できるようにし、その入力を何度も繰り返すことでシミュレーション結果がどのように変化するかを検証することを通じて、不確定要素の全体の与える影響の程度を知ろうとするもの。

## 死亡率の補正項を推定する

現在のところ、風力発電所に起因する死亡個体数を調査している研究者は、スカベンジャーの持ち去り率、調査員の発見率、まれではあるが、自然死亡率を推定するために、それぞれに対して別々に野外実験を行なっている。こうした補正項を推定する優れた方法が他にあるかもしれないが、まず初めに、各補正項に関して野外で通常行なわれる実験方法を概説する。

### 調査員の見落とし

発見率は調査員の探索能力の差だけでなく、植生の被度や死亡個体の見つけやすさにも左右される。さらに、死亡個体の古さや状態にも影響されるだろう。推定死亡率を補正するためには、発見されなかった死亡個体の割合を推定する必要がある。

方程式の (1) または (2) で用いる発見率  $D$  を求めるために行なう探索実験では、調査員が探索を始める前に、死亡個体を探索場所に置いておく。そして、調査員が発見した死体の数を事前に置いておいた死体の数で割り、発見率を算出する。実験終了後に、死体を置いておいた場所を直ちに点検して、発見された死

50% and 90% confidence intervals.

Smallwood (2007) also warned of biases that are likely more substantial with eqn.2 than with eqn.1. The mean days to carcass removal was sensitive to the number of carcasses used in field trials and to the length of time the trial was performed. Mean days to carcass removal would increase with larger numbers of birds placed at once in the field, and it would also increase with longer trials. However, these biases will be addressed more thoroughly in the following section on the field trials.

## Estimating Mortality Adjustment Terms

To date, investigators of wind farm fatalities have performed separate field trials to estimate rates of scavenger removal, searcher detection and more rarely background mortality. There may be other, superior means of estimating these adjustment terms, but first I will review the more conventional field methods for each type of adjustment term.

### Searcher detection error

In addition to searchers varying in their ability to detect bird and bat carcasses on the ground, searcher detection can also vary by vegetation cover conditions and by the conspicuousness of the species found as carcasses in the wind farm. It can vary according to the age and condition of the carcass. The proportions of carcasses not detected by searchers need to be estimated so that an adjustment can be made to mortality estimates.

In conventional searcher detection trials, dead birds are placed on the ground before the fatality search crew performs a search, and then the number of carcasses found by the crew is divided by the number placed to derive a detection rate,  $D$ , for use in Eqns.1 or 2. The proportion of carcasses found needs to be established immediately following the trial search by having the person who placed the carcasses return to check whether the carcass is still present. Some carcasses could have been removed by scavengers between the time of placement and the trial search, and these carcasses need to be removed from the number of carcasses used to estimate the proportion found by the searchers.

Some investigators mark the carcasses, in case scavengers move the carcasses after placement. One problem with marking is the potential for alerting the

---

体の割合を特定する必要がある。調査員の発見率を算出する時に、実験中にスカベンジャーに持ち去られたと思われる死体があれば、その数を実験に用いた全数から除く必要がある。

スカベンジャーの持ち去りに備えて、死体に印を付ける場合があるが、印を付けることで、調査員に実験であることが気付かれてしまう可能性がある。実験に気付いた調査員は普段より注意深く探索を行なうので、死体の発見数が増えることも考えられる。これは実験の結果にバイアスがかかることになる。実験を意識すると、調査員の見落とし率が下がる可能性があるため、調査員に実験のことは知らせない方が望ましいと筆者は考えている。しかし、実験を行なう場所と時間を調査員に告げる研究者や、風車周辺以外の特定の場所で事前に置かれた死体の探索を行なわせる研究者もいる。一度にたくさんの死体を置くと、調査員に実験であることが気付かれてしまう場合もある。

探索実験を行なう場合、筆者は次のことを提言する。

1. 探索範囲外に置かれた死体の発見率を推定するために、探索範囲外にも死体を無作為に置く。
2. GPS を用いて、誤差が 1 m 以下の精度で死体の位置を記録するか、あるいは死体に目立たないように印を付ける。
3. 風車周辺で通常発見される死体のように切断したものや羽の固まりを置く。
4. 実験に用いる死体は実験を行なう発電所で通常発見される種のものに限定する。

死亡個体の発見率調査に関する提言に以下のことを付け加えたい。

風車を設置した直後は、風車周辺は裸地状態になることが多いため、裸地または植生の丈がまだ低い状態の時、すなわち風車が稼働を始めた年に死亡個体の発見率調査を行なう必要があると思われる。さらに、植生が本来の丈まで伸びた時点でも、再び発見率の調査を実施する必要があるだろう。

### スカベンジャーの持ち去り率との相互作用

死亡個体が古くなり腐敗したり、食べられて羽が散乱すると、発見率が変わる可能性がある。例えば、羽色が隠蔽色となっている種の場合は特に当てはまるが、

searchers that they are engaged in a searcher detection trial. Once the searchers are aware of the trial, they may increase their vigilance and find more carcasses than normal, thereby biasing the results of the trial. In my opinion, the searchers should not be informed of the trial because their knowledge of the ongoing trial could bias their miss rates too low. However, some investigators have informed their searchers when and where the trial will be held, and some have had the searchers look for placed birds at special sites, away from the wind turbines. Another way the searchers can learn of the searcher detection trial is when many birds are placed at once, exceeding the number of carcasses the searchers were familiar with finding.

If conventional searcher detection trials are going to be used, I recommend the following:

- 1 Randomly place the carcasses within the search area as well as beyond the search area in order to estimate how many of the placed carcasses are found by the searchers looking outside the search radius;
- 2 Either record the carcass's location using a GPS with sub-meter accuracy or use a cryptic marking to mark the carcass;
- 3 Dismember some carcasses or place feather piles in order to simulate the conditions of carcasses normally found under wind turbines;
- 4 Place carcasses only of species normally killed by the wind turbines at the site where the trial is performed.

To searcher trial recommendations, I add the following:

Because the ground tends to be clear of vegetation just after wind turbines are installed, searcher detection trials may need to occur during the first year of wind turbine operations while the vegetation is still clear or low in stature, and another trial may be needed later once the vegetation has grown to its normal stature.

**Interaction with scavenger removal rate.** —As carcasses age and decompose or get scattered about by scavengers, search detection can be altered. For example, it is likely easier to detect a scattering of feathers than an intact carcass, especially when the species involved is cryptically colored and its feathers are scattered so that the brighter interior aspects of the feathers face skyward. On the other hand, some brightly colored carcasses will fade in time, perhaps lowering the detection rate for some types of carcasses as time increases between the death and the fatality search. An intact carcass is more likely to transform

羽が散乱した死体の方が発見されやすい。羽が散乱すると、羽の内側の明るい部分が表に現れるからである。一方、明るい色をした羽は時間が経つと色褪せるので、死亡してから探索調査が行なわれるまでの期間が長くなると、発見率は下がるだろう。死亡してから探索調査が行なわれるまでの期間が長くなるほど、死亡個体は羽が散乱した状態になるので、調査員の発見率とスカベンジャーの持ち去り率の間に相互作用が生じる可能性がある。しかし、この相互作用はまだ定量化されていないが、二つの野外実験を慎重に実施することで定量化は可能である。あるいは別の方法でも可能と思われるが、それに関しては、「絶対発見率を導くための複数探索調査」のところで取り上げることにする。

### スカベンジャーの持ち去り率

#### スカベンジャーの持ち去り実験

スカベンジャーの持ち去り実験では、鳥やコウモリの死体を地面に置いておき、次の項目を定量化するために一定期間、探索調査を行なう。

- ①死体が持ち去られるまでの日数
- ②一定の日数（通常は探索調査の平均実施間隔に一致する）のうち持ち去られた死体の割合と残っていた死体の割合
- ③実験のために死体を置きに来てから次に置きに来るまでの間、残っていた死体の割合

筆者はこうした方法を検討して、バイアスがかかりやすい点を特定した（Smallwood 2007）。①はスカベンジャーのうち脊椎動物が消費しきれない場合と実験期間の影響で、特にバイアスがかかりやすい。脊椎動物のスカベンジャーが食べ残した死体はたいてい目を背けたくなるような状態になり、実験期間の終わりまで残っているからである。こうした食べ残しは持ち去られるまでの平均日数を引き上げることになるから、実験の期間が長いほど、その影響は大きくなるだろう。

今述べたバイアスは一度に多くの死亡個体を置いた場合に生じる。脊椎動物のスカベンジャーは一般的に、死体をいち早く食べたり、持ち去ったりするが、それらはなわばりを持っていることが多いので、採食場所の防衛を行ない、その動物種の社会構造が許容する以上の密度では生息できない。風車に衝突して死亡した鳥やコウモリを脊椎動物のスカベンジャーが食べる割合は高いようであるが、

into a scattering of feathers the longer it is between the death and the fatality search, so there is likely some interaction between searcher detection rate and scavenger removal rate, but this interaction has yet to be quantified. The interaction between scavenger removal rate and searcher detection rate can either be quantified through careful management of dual field trials, or an alternative approach could be used. An alternative approach is described later under **Multiple searches for overall detection rate**.

### Scavenger removal rate

**Scavenger removal trial.** —In the conventional scavenger removal trial, dead birds or bats are volitionally placed on the ground and monitored through time to quantify: (1) the mean number of days to carcass removal; (2) what proportion of the carcasses are removed and what proportion remain by a certain number of days (usually corresponding with the average search interval used in the fatality monitoring at the wind farm); or, (3), the proportion of carcasses remaining after each monitoring visit into the scavenger removal trial. Smallwood (2007) reviewed these approaches and identified potential biases associated with them. Approach (1) was especially vulnerable to bias due to vertebrate scavenger swamping and duration of the trial, because carcasses that the vertebrate scavengers could not process in a timely fashion tend to transition into an unattractive condition that will last to the end of the trial period. These leftover carcasses will drive higher the mean number of days to carcass removal, and this effect will increase the longer the trial is held.

The bias described above results from placing too many carcasses on the ground at once. The vertebrate scavengers, which are the scavengers that typically process carcasses first and fastest, and which usually lead to the removals of carcasses during the fatality monitoring at wind farms, are typically territorial, meaning they defend foraging space and cannot occur at densities higher than their social structure allows. Vertebrate scavengers appear to process bird and bat carcasses dropped by wind turbines at high rates, but when an investigator places 20, 30, 50, or hundreds of carcasses at one time and within a small area, there is no way the local striped skunk, coyote, or small band of common ravens can handle that many carcasses before some decompose to the point where no vertebrate scavenger will touch them. Swamping the scavengers results in artificially inflated mean days to carcass removal, and lower mortality estimates.

狭い範囲に一度に 20、30、50 あるいは数百の死体を置くと、地付きのシマスカンクやコヨーテ、ワタリガラスだけでは、腐敗が進んでしまうために、全死体を消費することはできなくなる。スカベンジャーの消費能力を上回った死体は持ち去られるまでの日数を人為的に引き上げ、死亡率を引き下げることになる。

探索実験で死体を置くのであれば、次のことに留意することが望ましい。

- 探索範囲内の任意の場所には一度に 1 羽ずつのサンプル死体を置くが、置く間隔は実際に衝突事故を起こした鳥が落ちていた間隔にする
- 実際に風車と衝突事故を起こす鳥類種を使用する
- 可能な限り、冷凍保存されたものではなく、新鮮な死体を使用する
- 薬物を用いて安楽死させた個体の使用を避ける
- バラバラに切断された状態も含めて、風車に衝突して落下したのと同じ状態で死体を置く
- 人間の臭いが死体に付かないよう、使い捨ての手袋を着用する
- 他の場所に置いた死体や実際に風車と衝突した死体と区別がつくように、死体ごとに異なった形に風切り羽や尾羽の端を切り取る
- 死体を識別する補助手段として、写真を撮る
- 死体を置いた時や調査に訪れた時はその都度、死体の位置を地図に記録する
- 実験は 21 日以上継続する
- 得られた結果が数学的に適切で、死亡率の推定にすぐ利用できるように、可能な限り、死体の確認作業は毎日行なう
- 可能な限り、置いた死体の付近に監視用カメラを設置する

#### 監視用カメラの設置

筆者は、風車周辺の探索範囲内に設置した赤外線デジタルカメラの前に鳥の死体を置いた (Smallwood 投稿中)。このカメラ (Silent Image [Reconyx], Model RM30, Primos, www.silent-image.com) は動物が赤外線の中へ侵入すると自動的にシャッターが下り、撮影された写真には時間、日付、気温、月相が表示される。カメラは 1 秒間隔で 5 枚の写真を連写できるので、動物の行動を捉えられる。メモリーカードには数千枚の写真を保存できるので、メモリーカードの交換に行く回数を最小限に抑えられる。

このカメラのおかげで、筆者はスカベンジャーに該当する動物種を記録するこ

If investigators are going to volitionally place dead birds on the ground, then they should do the following:

- Place birds one at a time at random locations within the fatality search areas, pacing bird placements to simulate the pace of carcass deposition by wind turbines;
- Use bird species that are the same species as those killed by the wind turbines;
- Use fresh carcasses that were not previously frozen, if possible;
- Avoid using carcasses of birds that were euthanized using a chemical agent;
- Deposit carcasses in the condition they are deposited by wind turbines, including in pieces;
- Use disposable gloves when handling the carcasses so that human scent is not transferred to the carcass;
- Clip the primary and tail feathers in relatively distinct patterns per bird so that carcass parts are not later confused with parts from other placed carcasses or with birds actually killed by wind turbines;
- Take ample photos of carcass or carcass parts to aid identification of the carcass as the trial progresses;
- Map the locations of placed carcasses and carcass parts when the carcass is placed and during each subsequent monitoring visit;
- Monitoring the carcasses for at least 21 days, and longer if possible;
- Check carcasses daily, if possible, so that the resulting rates can be fit mathematically and more readily used in mortality estimation;
- If possible, use camera traps with placed carcasses (see below).

**Camera traps.** —Smallwood *et al.* (in review) placed bird carcasses in front of infra-red digital cameras located within the search areas of wind turbines. These cameras (Silent Image [Reconyx], Model RM30, Primos, www.silent-image.com) were triggered by animal intrusion into an infra-red field, and each image taken was stamped with time, date, temperature and moon phase. The cameras took sequences of five photos at 1 sec intervals, so animal actions were captured. The memory cards in the cameras could store thousands of photos, thus minimizing the visits by investigators to the camera traps.

These camera traps enabled Smallwood *et al.* (in review) to document which species behaved as scavengers, and documented that some carcasses are removed

とができた (Smallwood 投稿中)。また、何の形跡も残さずに死体が持ち去られる場合があることも判明した。死体を置いてからスカベンジャーに持ち去られるまでの時間も細やかに記録できた。スカベンジャーの種、出現の仕方、死体の分解とスカベンジャーの出現の関係をモニターできた。スカベンジャーが、置かれた死体を人間やカメラの存在と結び付けることが懸念されたが、ダミーとして単なる物体にカメラを設置しても、スカベンジャーは現れなかった。

監視カメラの使用と平行して、調査員による死亡個体の状態確認も行なうことが望ましい。死体の持ち去りはカメラの監視範囲から死体が消えたことだけでなく、風車周辺の標準的な探索範囲から消えたことによっても確認する必要がある。

#### 死後経過日数の推定

最近、「アルタモント鳥類調査チーム」は方程式 (1) に基づく死亡率の推定に新しい手法を用いた (Altamont Pass Avian Monitoring Team 2008)。探索調査の平均実施間隔 (Smallwood 2007 中の付表 1) 後に残っている死体の平均累積比ではなく、各個体の死後推定経過日数を用いている。補正  $R_c$  (Smallwood 2007 中の方程式 3) は死体ごとに行なっているが、死後推定経過日数に基づいている。この推定方式で算出された死亡率を信頼できるものにするためには、死後経過日数の推定精度が高くなければならないが、実際には高いとは思われない。アルタモントパスの風力発電所では、多くの死後推定経過日数が 0-90 日、0-60 日、30-90 日と記録されている。調査員に死後経過日数をもっと絞り込む自信がないからである。

一般的には、死体に血液が存在すれば、死後 4 日以内であろう。しかし、死後硬直の開始、腐敗臭やウジなど昆虫の幼虫の発生は気温などの環境条件で変わる。死体が発見されてから数日以内であれば、1~2 日の誤差はあるかも知れないが、比較的精度の高い死後の経過日数が推定ができるだろう。死後経過日数の推定が 3 日以上誤差を伴う場合は推測になってしまうので、死亡率推定の際にスカベンジャーの持ち去り率の補正手段として用いるのは好ましくない。死体が羽しか残っていない場合はとりわけ、死後経過日数を推定するのが困難である。雨や日差しにさらされていなければ、日数が経過していても新しく見えるからである。

死後の推定経過日数を死亡率の推定に用いるのであれば、風車に衝突した死体

without leaving a trace of evidence. The time between carcass placement and scavenger removal was also recorded with high resolution, and we were able to monitor the species of scavenger and the types of visits they made and how their visits related to the decomposition of the carcass. There was some concern about scavengers associating the placed carcasses with the presence of the investigators or the cameras, but our use of dummy objects and cameras alone produced no visits by scavengers.

The use of camera traps should involve monitoring visits by fatality searchers to check on the status of the carcass. The removal of a carcass should be determined not only by the loss of evidence of the carcass within the view of the camera, but also from the standard search area around the wind turbine.

**Backdating found carcasses.** —The Altamont Pass Avian Monitoring Team recently used a new approach to estimating mortality based on eqn.1 (Altamont Pass Avian Monitoring Team 2008). Instead of applying the mean cumulative proportion of carcasses remaining after the mean fatality search interval (App. 1 in Smallwood 2007), they used the estimated time since death of each carcass. The adjustment,  $R_c$  (eqn.3 in Smallwood 2007), was made per carcass rather than for all the carcasses together, but was based on the estimated number of days since the death of the bird. For this approach to work reliably, the estimates of the number of days since death need to be accurate and relatively precise, but in my opinion these estimates are neither accurate nor precise. In the Altamont Pass many estimates of days since death are recorded as 0-90 days, 0-60 days, or 30-90 days, because the fatality searchers lack confidence in estimating days since death on a more continuous scale and with greater precision.

Generally, the presence of blood on the carcass would indicate the bird died within four days of discovery, but the onset of rigor mortis, odor, and maggots or other insect larvae vary with temperature and other environmental conditions. Estimating days since death is probably reasonably accurate within a few days of discovery, though even these estimates might be off by a day or two. Estimating days since death outside of three days transitions to guessing, and should not serve as the means to apply the scavenger removal rate adjustment to mortality estimates. Especially tricky is estimating the days since death of a carcass consisting of only feathers, because feathers can appear recently deposited for long periods of time in the absence of rain and direct sun.



---

の状態を再現するために半分またはバラバラに切断した個体を含め、死亡個体の状態を通時的に定量化することを提言する。しかし、こうした定量化を行なうためには、膨大な数の死亡個体を用いて様々な場所で長期間にわたる調査を行ない、データを収集する必要があるだろう。したがって、死後経過日数の推定を用いる手法は実際的ではないだろう。

### 発見率との相互作用

「調査員の見落とし」のところでも論じたように、調査の実施間隔に影響を受けるが、調査員による発見率とスカベンジャーの持ち去り率の間には相互作用が存在すると思われる。この相互作用はまだ定量化されていないが、入念に計画された野外実験で定量化はできるだろう。または、別の手法を用いて、この相互作用を回避することも可能だろう。この点に関しては、次の「絶対発見率を導き出すための複数探索調査」のところでも取り上げることにする。

### 絶対発見率を導き出すための複数探索調査

調査対象の風車の一部またはすべてで、別の調査チームにより別途の探索調査を行なうことも、死亡率を補正するためのデータ収集として有効だろう。調査対象の風車が多い場合は、探索調査のローテーションごとに別チームは調査の対象にする風車を選び出すが、調査対象の風車が比較的少ない場合は、別チームによる探索調査はすべての風車で行なう。別チームの調査員は正規の調査チームよりも前に調査を行なうが、何日前行なうかはその都度変わるので、調査の実施間隔も変動する。死体の回収が調査計画に含まれている場合、正規の調査チームは死体の回収を行なうが、別チームの調査員は回収しない。含まれていない場合は、死体を精査するが、両チームとも回収は行なわない。

二重調査の目的は両チームが行なった探索調査の結果を比較して、別チームが発見した死体に占める正規のチームが発見した個体の割合を特定することである。この割合は正規のチームの発見率  $p$  になる。この新しい補正項を方程式(1)の  $DR$  に置き換えると、

If the use of backdating carcasses to dates of death were to be used for estimating mortality, then I recommend a research program be performed to quantify carcass conditions through time, including of carcasses that were initially cut in half or dismembered to simulate the starting conditions of carcasses deposited by wind turbines. However, such a research program would likely require years of effort at multiple locations and involving thousands of bird carcasses. The backdating approach is probably impractical for this reason.

**Interaction with searcher detection rate.** —As discussed under searcher detection error, there likely exist interactions between searcher detection and scavenger removal rates that are mediated by the average fatality search interval. These interactions have not been quantified. They could be quantified in carefully managed field trials, or they could be bypassed by using an alternative approach, which I will describe next under **Multiple searches for overall detection rate.**

### Multiple searches for overall detection rate

Another way to collect information to adjust mortality estimates for scavenger removal and searcher detection rates would be to perform extra fatality searches by an independent monitoring team at a subset or all of the monitored turbines. If many wind turbines compose the monitoring program, then a subset of turbines could be selected for the second visits per search rotation, but if the sample size is relatively small, then they could all be searched a second time by the independent team. The second, independent fatality search crew would visit the wind turbines (or subset of wind turbines) at various numbers of days prior to the regular fatality search crew, so the numbers of days between the sets of searches would vary. The independent fatality search crew would never pick up bird carcasses, whereas the regular crew would pick them up; that is, if picking up the carcasses is a requirement of the fatality monitoring program. Alternatively, carcasses could be left in the field by both fatality search crews, so long as all carcasses and carcass parts are carefully monitored.

The point of the double searches would be to compare the fatality search results from both fatality search crews to determine what proportion of the finds by the independent crew were also found by the regular crew. This ratio would be the detection rate,  $p$ , of the regular crew, and would be a new adjustment term in eqn.1:

$$M_A = \frac{M_U}{p} \quad (1b)$$

が得られる。 $p$ はスカベンジャーの持ち去りと調査員の見落としの両方を構成する死亡個体の発見率である。この式を用いれば、スカベンジャーの持ち去り率と調査員の見落とし率を気にせずに、補正項を一つにできる。同様に、デルタ法\*の一つ少ない項を用いれば、この補正項を利用することができる。二重探索調査を実施すれば、誤差やバイアスを生じさせる重要な要因を数多く含んでいる発見率とスカベンジャーの持ち去り率を特定するために野外実験を行なう必要がなくなるだけでなく、探索調査の費用も削減できるだろう (Smallwood 2007)。「Altamont Pass Scientific Review Committee (アルタモントパス風力発電調査委員会)」は「Altamont Pass Avian Fatality Monitoring Team (アルタモントパス鳥類死亡個体数調査チーム)」にこの二重探索調査を早急に採用するよう提言している。

※**デルタ法** 標本誤差の近似評価手法の一つ。暫定的に正規分布に従う複数の確率変数からなる関数の暫近正規性を利用し、その平均と分散を計算する。

### 探索範囲に起因するバイアス

風車を中心とした死亡個体の探索範囲をどこまでにすればいいか、多くの研究者が頭を悩ましているが、通常は探索の実効性と調査予算の兼ね合いで決まる。アルタモントパスの風力発電所を例にとると、旧世代の小型風車では探索半径は50mであるが、新世代の大型風車では75mである。風車に衝突した鳥類やコウモリが探索範囲の外側にも落下するのは確実である。そうした個体が調査員に発見された場合は、死亡率の推定に含まれる。しかし、調査員は探索範囲の外側を実際に歩いて探索するわけではないので、数は不明だが、発見されない死体があることは間違いない。

風車からの距離に対する発見された死亡個体の頻度分布を見れば、探索範囲に起因するバイアスが理解できるだろう。頻度分布のパターンに基づいた簡単なモデルを用いて、探索範囲外に落下する死亡個体の数を予測することができるかも

$$M_A = \frac{M_U}{p}, \quad 1b$$

where  $p$  replaces  $DR$ , and is the detection rate of the fatality searches that composes both scavenger removals and searcher error. Using this approach, the analysts decides not to care anymore about what proportion of the carcasses are removed by scavengers versus missed by searchers, and simply combines the adjustment into one. Similarly, the error term would be carried using one less term in the Delta Method. Not only would this method free the investigators of having to perform both searcher detection and scavenger removal trials, which are burdened by many substantial sources of error and bias (Smallwood 2007), but it will probably lower the overall costs of fatality monitoring. The Altamont Pass Scientific Review Committee has recommended that the Altamont Pass Avian Fatality Monitoring Team begin using a variation on this approach, starting as soon as possible.

### Search radius bias

Investigators typically guess which search radius to use for fatality searches around wind turbines, and the decision usually balances finding carcasses and minimizing the monitoring budget. In the Altamont Pass, the search radius at smaller, old-generation wind turbines has usually been 50m, but it has been 75m at larger, new-generation turbines. Undoubtedly, there are birds and bats that are killed by wind turbines and land on the ground beyond the fatality search radius. Some of these are detected by the searchers anyway, and included in the mortality estimates. But no doubt some unknown number is not detected because the searchers are not actually walking beyond the search radius.

To characterize the search radius bias, it would be useful to examine frequency distributions of carcasses found relative to distance from the wind turbines. It might be possible to fit simple models to the patterns in the frequency distributions so that predictions of carcasses found outside the search radius can be made [Figure 2 / P49].

Alternatively, a sample of wind turbines could be selected for searches to a much larger than regular search radius. The rates of fatality detections in these areas farther than normal from the wind turbines could be used to adjust the mortality estimates.

知らない [図2]。

または、試験的に風車を選び出して、標準的な探索範囲よりも広い範囲を探索してもよい。風車から通常より離れた場所の発見率を推定死亡率を補正する時に利用できる。

### 致命傷個体に起因するバイアス

風力発電所では致命傷個体に起因するバイアスを補正する試みは行なわれていない。アルタモントパスの風力発電所では、風車に衝突して負傷したが、動くことができるイヌワシやアカオノスリが数多く発見されている。しかし、これまで

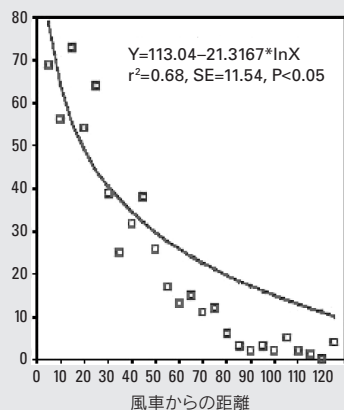
### Crippling bias

There has been no attempt to account for crippling bias in wind farms. Wounded golden eagles and red-tailed hawks have been found alive and mobile many times in the Altamont Pass, but so far no mortality estimates have included these birds because the mobility of these birds means they cannot be linked to any particular wind turbine or wind turbine row. Each of these birds was struck by a wind turbine somewhere in the wind farm, but could have walked or hopped to other parts of the wind farm. Therefore, these wounded birds have been systematically omitted from mortality estimates in the Altamont Pass Wind Resource Area.

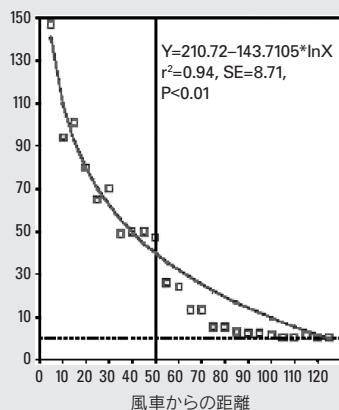
The only method I can think of to quantify crippling bias would be remote de-

[図2]

大型猛禽類の死亡個体数

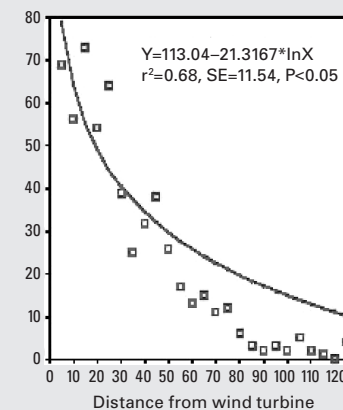


小型鳥類の死亡個体数

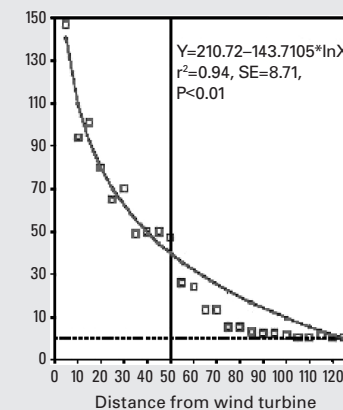


[Figure 2]

No. of large raptor carcasses



No. of small, non-raptor carcasses



カリフォルニア州のアルタモントパス風力資源活用地域で発見された大型猛禽類の死亡個体数 (左) と猛禽類以外の小型鳥類の死亡個体数 (右)。死亡個体数は風車からの距離が55mまでは対数的に減少する。55m以内で発見された死亡個体の数に合ったモデルを125mまで伸ばすと、実際に発見された死亡個体の数と予測値の間にズレが生じる。右のグラフに描かれた垂直な線はアルタモントパスの発電所で実施されている探索調査の半径を示している。探索半径を超えると、大型猛禽類の死亡個体の21.8%が発見されなくなる可能性がある。猛禽類以外の小型鳥類では12.9%が発見されなくなると思われる。したがって、死亡率の推定値はそれぞれ21.8%と12.9%上方へ修正する方が望ましいだろう。

The number of large raptor carcasses (left) and the number of small, non-raptor carcasses (right) that were found in the Altamont Pass Wind Resource Area, California, decreased logarithmically with distance from the wind turbine out to 55, and the models that were fit to the carcasses found within 55m were extended to 125 m, revealing the discrepancies between the numbers of carcasses projected to be found beyond the search radius and the numbers actually found. The vertical line in the right graph depicts the search radius used in the Altamont Pass. Beyond the search radius, the searchers likely failed to detect 21.8% of large raptor carcasses that would have been available to the searchers, and they likely failed to detect 12.9% of small, non-raptor carcasses that would have been available to the searchers. Mortality estimates might be adjusted up by 21.8% and 12.9%, accordingly.

---

死亡率の推定にはこうした個体は含まれていない。風車に衝突したあとで、歩いて他の場所へ移動した可能性があるため、衝突した風車や風車列を特定することができないからである。したがって、アルタモントパスの発電所では、こうした負傷個体は死亡率の推定には一貫して含めていないのである。

致命傷個体バイアスを定量化する方法は、遠隔衝突探知装置の利用しか筆者には思いつかない。衝突時に回転翼の速さに生じる急激な変化を探知することができるように、加速度計を風車に設置すれば、遠隔探知が可能になるかも知れない。加速度計が変化を感知したら、調査員が風車の周辺を探索して衝突した個体を確認する。死亡個体が発見できない場合は、衝突事故は発生したが、衝突した個体は自力で他の場所へ移動したか、短時間のうちにスカベンジャーに持ち去られたかしたことが示唆される。

衝突そのものだけでなく、ローターの回転面を通過する鳥類やコウモリの動きも探知できるので、監視用のレーダーやビデオの利用も可能性がある。しかし、今のところ、風力発電所では監視レーダーやビデオは活用されていない。

### 自然死亡率

自然死亡率の調査も行なわれているが、まれである (Harmata *et al.* 1998, Johnson *et al.* 2000, Kerlinger and Curry 2000, Kerlinger *et al.* 2000, Nicholson 2003, Schmidt *et al.* 2003, Kerlinger *et al.* 2005)。風力発電所で報告されている死亡率のレベルに比べると、自然死亡率はどの調査結果においても低い。比較対照地で発見された死亡個体の数が少なすぎるので、Kerlingerら (2000) は自然死亡率の調査を中止したようである。Johnsonら (2000) は、「調査地の自然死亡率はきわめて低いので、推定死亡率に対して自然死亡率の補正を行なう必要はない」という結論を出している。

比較対照地で報告されている自然死亡率のレベルが低いにもかかわらず、風力発電業界は風車の下で発見された鳥の多くは自然死だろうと主張し続けている。したがって、また、できるだけ厳密な影響評価を行なうためにも、自然死亡率の調査を行なうことが望ましいと思われる。風力発電所の建設が計画されている場合は、建設予定地と比較対照地の両方で、建設の前と後に自然死亡率の調査を実施することが理想的である。このような調査を実施すれば、前後影響比較対照法

tection of collisions. Remote detection might be possible with accelerometers installed on the wind turbine or its tower so that it can detect a sudden change in speed of the rotor blades, consistent with a collision, followed by alerting the fatality searchers who then search the area around the turbine for evidence of a collision. Lack of evidence would suggest a collision occurred and the bird or bat either left the area on its own volition or was quickly scavenged.

Another technology might be surveillance video or radar, detecting bird or bat movement through a rotor plane as well as the collision itself. So far, however, surveillance radar and video has not worked adequately in a wind farm.

### Background mortality

Background mortality searches have been performed, but rarely (Harmata *et al.* 1998, Johnson *et al.* 2000, Kerlinger and Curry 2000, Kerlinger *et al.* 2000, Nicholson 2003, Schmidt *et al.* 2003, Kerlinger *et al.* 2005). All the results to date have been of low levels of background mortality compared to the levels of mortality that have been reported at wind farms. Kerlinger *et al.* (2000) reportedly discontinued background mortality searches due to too few finds at reference sites. Johnson *et al.* (2000) concluded, "The amount of natural mortality occurring in the study area is so small that attempting to correct fatality estimates for natural mortality is not warranted."

Despite low levels of background mortality reported at reference sites, the wind industry has continued to assert that many of the birds found under wind turbines probably died of natural causes. For this reason, and to be as accurate as possible with impact estimates, it is probably a good idea to perform background mortality searches. If the wind power project has yet to be constructed, then it would be ideal to perform background mortality at the project site as well as at reference sites both before and after construction of the project. In this way, the data can be analyzed in a before-after, control-impact (BACI) design, lending more power to the hypothesis test of the significance of both background mortality and mortality caused by the wind farm.

Background mortality searches should be performed at reference sites, even if there were no pre-project searches. Multiple reference sites should be used, and the reference sites should be located on the same terrain and environmental conditions as the wind turbines, but far enough away from wind turbines to avoid

(BACI) を用いてデータ分析が行なえるので、自然死亡率と風力発電に起因する死亡率の有意性の仮説検証力が高まる。

建設前の調査が行なわれない場合でも、自然死亡率の調査は比較対照地で実施することが望ましい。また発電所と同じ地形と環境条件を備えた地域に複数の比較対照地を設定することが望ましいが、風車に起因する死亡率を自然死亡率に含めてしまうことを避けるために、発電所から十分に離れた場所を選定する必要がある。その他の点に関しては、比較対照地で実施する死亡個体の探索調査は風力発電所と同じ方法で行ない、データの管理は同様に行なう。

## 2-5 補正項を算出式に組み入れる

死亡率の算出式に補正項を組み入れる方法は複数あると思われるが、筆者は標準誤差  $SE[M_A]$  の算出にはデルタ法 (Goodman 1960) を用いている。

$$SE[M_A] = \sqrt{\left(\frac{1}{D \times R} \times SE[M_U]\right)^2 \times \left(\frac{M_U}{D} \times \frac{-1}{R^2} \times SE[R]\right)^2 \times \left(\frac{M_U}{R} \times \frac{-1}{D^2} \times SE[D]\right)^2} \quad (4)$$

すべての項は方程式の (1) と (2) に準じる。このデルタ法は他の補正項も利用できるように拡張することが可能だろう。今のところ最も一般的な補正項はスカベンジャーの持ち去り率と調査員の発見率であるが、探索範囲バイアス、致命傷個体バイアス、自然死亡率も補正項として利用できると思われる (Smallwood 2007)。

inclusion of wind turbine-caused fatalities as background mortality. In all other respects, the fatality searches at reference sites should be performed in the same manner as performed at wind turbines, and data management should not differ.

## 2-5 Carrying the Error Terms Through Calculations

There are probably multiple ways to carry the error terms through the calculation of mortality, but the way I have calculated standard error,  $SE[M_A]$ , has been by using the delta method (Goodman 1960):

$$SE[M_A] = \sqrt{\left(\frac{1}{D \times R} \times SE[M_U]\right)^2 \times \left(\frac{M_U}{D} \times \frac{-1}{R^2} \times SE[R]\right)^2 \times \left(\frac{M_U}{R} \times \frac{-1}{D^2} \times SE[D]\right)^2}, \quad 4$$

where all the terms were defined in eqns.1 and 2. The delta method could be expanded to carry the error terms from any other mortality adjustments that are possible. So far, the most common adjustments have been for scavenger removal rate and searcher detection rate, but they could conceivably be made for search radius bias, crippling bias, and background mortality (Smallwood 2007).

## 3 死亡個体の探索調査 Fatality Searches

### 3-1 死亡個体の定義

死亡個体の探索調査を実施する際には、まず探索の対象を決めることが重要である。死亡個体の状態や体の部位が異なる可能性があるからである。鳥やコウモリの死亡個体のすべての部位を記録することが望ましいが、どこまでを死亡した鳥やコウモリと見なすか、事前に決めておいた方がよいだろう。片翼だけが発見された場合は、翼を失った個体は死亡、または致命傷を負ったものと仮定するなど、死亡個体の基準作りも必要になるだろう。風力発電所で数多くの探索調査を手がけている某調査会社では、10枚以上の羽が付いた鳥の肉片が1ヶ所にあつた場合は死亡個体と見なしている (Erickson *et al.* 2004)。しかし、この定義は恣意的で、風車に衝突して死亡した多くの個体が死亡率を推定する時に、除外されてしまうおそれがある。

発見された体の一部が、風車と衝突して致命傷を負った鳥またはコウモリのものであるかどうかを特定する信頼性の最も高い手段として、専門家の判断が役に立つであろう。

### 3-2 探索調査の実施頻度

風力発電所で影響調査が行なわれるようになってから、死亡個体探索調査の実施頻度に研究者は頭を悩ませてきた。毎日、調査を行なうのが理想的なことは確かだが、毎日行なえば、調査予算はすぐに底をついてしまうだろう。年4回の調査では少なすぎることもわかっている。中緯度地方では、(もちろん、そうではないが) 各季節が3ヶ月と仮定すれば、3ヶ月に1度の調査は各季節に1度の調査に相当する。死亡率の推定や死亡率要因に関する仮説検証を行なうためには、年4回の調査では死亡個体のデータ数も不十分である (例えば、Anderson *et al.* 2004, 2005)。

最も一般的な調査頻度は月に1回であるが、2ヶ月、あるいは週に1回の場合もある。毎日実施するのが理想的ではあるが、調査費がきわめて高くなるだろう。

米国には自社で死亡個体の探索調査を行なって済まそうとしている風力発電会社が数多くあり、こうしたやり方を擁護する顧問研究者も少数いる (Kerlinger

### 3-1 Fatality Definition

A first step in performing fatality searches is deciding what the searchers are searching for, because evidence of fatalities can vary in amount and condition (e.g., see photos below). Probably all parts of birds or bats should be recorded by the searchers, but thresholds should also be established in advance of the searches on what qualifies as a dead bird or bat. Certain assumptions will also be needed, and stated, such as assuming that if only a wing is found then the bird or bat that lost the wing is either dead or mortally wounded. One firm that has performed many fatality searches at wind farms defined fatalities as bird material consisting of at minimum 10 feathers at one location (Erickson *et al.* 2004). This definition, however, is arbitrary, and could end up excluding many wind turbine-killed birds from estimation of mortality.

Professional judgment will serve as the most consistent, comparable means of determining whether detected remains were those of a bird or bat mortally wounded by a wind turbine.

### 3-2 Search Interval

How often the fatality searches should be performed has been of concern to investigators since impact monitoring began at wind turbines. Searches every day would quickly exhaust most monitoring budgets, though there is no doubt daily searches would be optimal. By now we have also learned that quarterly searches are too infrequent. In temperate latitudes, one search per quarter would represent each season only once per year, assuming seasons are three months each (they are not, of course). Quarterly searches also generate inadequate sample sizes of fatalities for making mortality estimates or testing hypotheses related to mortality factors (e.g., Anderson *et al.* 2004, 2005).

The most common search interval has been monthly, and some have been bi-monthly and weekly. The ideal search interval would be daily, but a daily search interval would be very costly.

U.S. wind companies have often tried to get by with self-monitoring of fatalities, and a few consulting scientists have defended this approach (Kerlinger and Curry 1998, 2001, 2003; Erickson *et al.* 2003). One common self-monitoring system has been the Wildlife Response and Reporting System (WRRS), which is based

and Curry 1998, 2001, 2003; Erickson *et al.* 2003)。代表的な自主調査方式は「野生物応答報告システム (WRRS)」であるが、このシステムは保守点検の担当者が偶然に発見した死亡個体の報告に基づいている。データ収集の標準化と定期的な探索が欠如しているため、WRRS の科学的な妥当性と有用性は疑わしい。WRRS の報告はイヌワシの死亡率が実際の 2.4 分の 1 から 3.7 分の 1 に、アカオノスリの死亡率が 3.8 分の 1 から 5.5 分の 1 になっていることに筆者らは気づいたが (Thelander and Smallwood 2004)、猛禽類以外の鳥類種の大部分と同様に、小型の猛禽類の死亡率も実際より著しく低く報告されていた。

### 3-3 探索範囲

風車からの最大探索距離は 25m から 120m とばらつきがある。探索範囲は風車の規模に比例して大きくなる。研究者は、探索範囲は風車に衝突した死亡個体の大部分を発見できれば十分であると考えているが、この仮定の妥当性を検証する努力をほとんど怠っている。また、調査結果の比較を行なった研究者も探索範囲が死亡率の推定に及ぼす影響の補正を試みようとはしていない。探索範囲の有効性を低める要因は地形である。探索半径が同じ 50m であっても、平面的に見た探索面積は平坦な場所より、急斜面の丘の上の方が狭くなる [図 3]。

on reports of fatalities discovered incidentally by maintenance personnel. Lacking standardization and periodic searches, the scientific validity and usefulness of WRRS is dubious. Smallwood and Thelander (2004) found WRRS to underreport golden eagle mortality by a factor of 2.4 to 3.7 and red-tailed hawk mortality by a factor of 3.8 to 5.5, but smaller-bodied raptors were highly underreported, as were most species other than raptors.

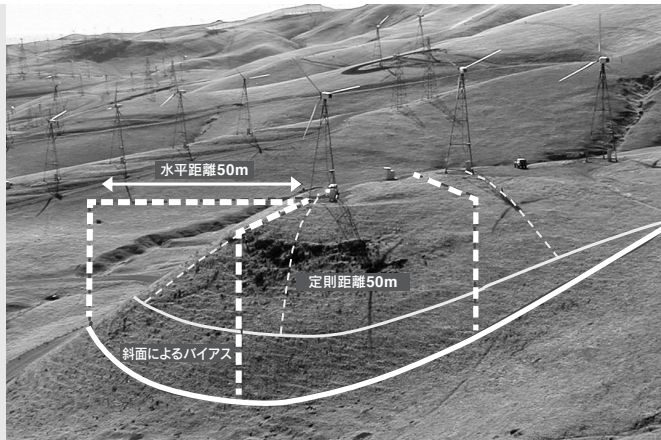
### 3-3 Search Radius

The maximum distance searched from the wind turbines has varied from 25 to 120m. The search radius has been increasing as wind turbines increase in size. Investigators have always assumed that the search radius was adequate for detecting most of the birds and bats deposited by wind turbines. However, there has been little effort to check the validity of this assumption, and those comparing mortality between studies have not attempted to account for the influence of search radius on the mortality estimates.

A mitigating factor in the effectiveness of the search radius is topography. A 50-m search radius will likely encompass fewer birds when centered on the top of a steep hill as compared to flat terrain [Figure 3].

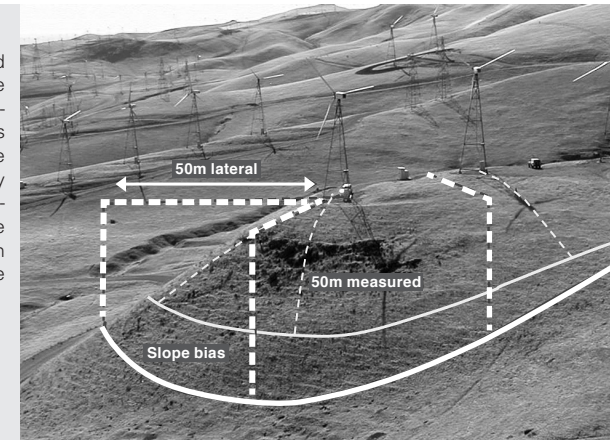
【図3】

斜面に起因するバイアスは急斜面の尾根上に設置された風車で考えられる。風車から地形に沿って測って描いた輪郭線 (細い線) は水平に測って描いた輪郭線 (太い線) よりも風車に近い。図に示した線は便宜的に描いたもので、縮尺比は同じではない。



【Figure 3】

A slope bias can be associated with wind turbines located on the crests of steep-sloped ridges, because the measured search radius (narrow line) can be closer to the turbine than the contour directly below a boundary of the same distance extended laterally from the turbine (heavy line). The lines on this photo are not to scale, and are for illustration purposes only.



### 3-4 探索路

死亡個体の探索調査では推定や死亡率の比較ができるように、十分に広い範囲を設定する必要がある。探索範囲内の地表、藪、樹木のすべてがいずれかの地点から調査員に見えなければならない。通常の探索調査は探索路の左右を注意深く見ながら歩いて行なわれる。アルタモントパスの発電所では一年生草本の草丈が低いので、探索路は風車列の軸に沿って6mから8m間隔で設定されている。平坦な地形の場合には、風車列から探索範囲の境界まで直線的な探索路を平行に設定することが望ましい。丘陵地の場合には、等高線に沿うように探索路を設定するとよい。等高線に沿った探索路は調査員の負担を軽減し、安全性を高めるので、調査員が探索に集中でき、発見率が高まるからである。

調査員の負担を抑え、調査結果の比較精度を高めるために、探索のペースを標準化することが望ましい。調査員の負担を抑えて、調査予算内で最大限の探索が行なえるように、探索時は適切な速度一定に保って歩くことが望ましい。

靴は質のよいものを使用すべきである。また、ステッキは腰や膝にかかる負担の軽減に役立つと思われる。風車の下で探索調査を行なっている時に、風車の部品が落下して調査員に当たる危険もあるので、ヘルメットの着用も奨励する。万一の場合に備えて、調査責任者は調査スケジュールや各調査員の位置を把握しておかなければならないのは言うまでもないが、各調査員は携帯電話などの連絡手段を身につけることが望ましい。

### 3-5 死亡個体の記録

死亡個体を発見した場合は、標準化されたデータ記録用紙〔付録1～3 / P80～85を参照〕にデータを記録する。死亡個体の位置を記録する場合は、誤差が1m以下のGPSを使用することが望ましい。または、常に死体から見た風車の方角を記録するのであれば、いちばん近い風車までの距離と方角を記録してもよい。その際には、必ず風車の番号も併せて記録する。後日、写真を見ながら死体の検討ができるように、各死体の写真を角度を変えて2枚以上撮っておく。また、大きさの目安となるように測量カードを添えて写真を撮ると、死体の大きさがわ

### 3-4 Foot Transects

Fatality searches need to cover the spatial extent of the area leading to mortality estimates or to any comparison of fatality rates. All of the ground surface and shrub or tree surfaces within the search area must be visible to the searcher(s) at some point during the search. Typically, transects are walked systematically across the search area, back and forth across the entire area while scanning side to side so that all the ground surface has been seen. In the Altamont Pass, where the stature of the annual grassland is short, we spaced transects at 6 to 8m intervals from a central transect along the axis of the row of wind turbines. If the terrain is flat, then these transects should consist of straight, parallel pathways extending from the wind turbines to the search area boundary, but if the terrain is hilly, then the pathways should be adjusted to contour with the hill. Contouring preserves the searcher(s) energy, improves safety, and improves fatality detections because less fatigued searchers are more apt to search all the ground and to more often find the available evidence of fatalities.

To stay fatigue and to improve comparability of results, a standard search pace should be decided. The pace should be steady and moderate so that searcher stamina is optimized and balanced with covering as much ground as possible to make best use of the budget.

High quality boots should be used, and it would be worthwhile trying walking sticks to reduce stress on hips and knees. Hard hats should also be worn when working under wind turbines, in case any parts fall from the turbine and strikes the searcher. And of course, other personnel should be aware of the searcher(s) schedule and whereabouts in case of any medical emergencies, and each searcher should carry a cell phone or some other means to communicate with colleagues.

### 3-5 Carcass Processing

When carcasses are found, data should be recorded onto a standard data sheet [see Appendix 1-3 / P80-85]. A GPS with sub-meter accuracy should be used to record the location(s) of the carcass. Alternatively, the bearing and distance to the nearest turbine can be recorded, so long as the bearing is always from the carcass to the turbine (not sometimes from the turbine and sometimes from the car-



かりやすくなるだろう。手に入りやすく、大きさの比較に役立つものがあれば他のものでもかまわないが、定規は役に立たないことが多い。調査員は探索作業で疲れるうえに、時間にも追われることが多いので、ミスのないように、死体の記録は焦らないで慎重に行なうように心がける。記録終了後は、死体はその場に放置、または回収する。

調査員は現場で死亡原因の暫定的な特定を行ない、他の関係者が写真を見て判断が下せるように写真に十分な情報を添えることが望ましい。死因が風車以外であると思われる場合は、データの収集を行ない、死亡は風車に起因しないと明記する。衝突が目撃された場合、死体が切断されている場合、打撲痕が見られる場合は、風車に起因する死亡と断定される。腐敗や体の一部が失われていることなどにより明瞭な外傷が見当たらないが、風車に衝突した個体が落下する範囲内で発見された場合は、死亡原因は風車が濃厚であるとみなされる。風車に衝突した個体が落下する範囲内で発見されたが、他の原因（例えば、交通事故や送電線との衝突）も考えられる場合は、風車に起因した可能性があるともみなされる。筆者は可能性があると思なされた死体まで含めて死亡率の推定を行なっているが、どのランクの死体を推定に含めるかは、各研究者が自分で判断する問題であろう。

調査員は種の同定を行なわなければならないが、博物館の標本や図鑑と比較する必要や、専門知識を持った鳥類学者の判断をおおぐ必要が出てくる場合もある。種の同定が不可能な場合は、属や科、機能群（猛禽類や猛禽類以外）やサイクルラスまで同定する。死体の計測値も後日、分析のためにグループ分けするのに役に立つ。

死亡個体のダブルカウントを避けるために、通常はデータ収集を終えたあとで、死体を回収する。時間の経過に伴う発見率の変化を定量化するために、死体を回収しない場合は（スカベンジャーの持ち去り率と調査員の発見率を参照）、調査員にわかるように死体に印を付ける。スカベンジャーの持ち去り率の定量化が目的の場合は、人間の臭いが死体に移らないように配慮し、羽の先端を切り取る、足環などを付ける、くちばしを折るなどの方法を用いて、死体に印を付ける。GPS、または風車までの距離と方角に基づいて、死体の位置を地図上に記録する。

1羽の鳥の死体が2基以上の風車の周辺に散乱した場合も、ダブルカウントの可能性が生じる。このようなダブルカウントを避けるために、筆者は発見された

cass) and the turbine identification number is always recorded. I also recommend taking two or more photos of every carcass or carcass part, changing the angle between photos to help the viewer interpret the evidence while viewing the photos at a later date. I also suggest using an engineers' survey card in every carcass photo, for scale. Alternatively, other objects could be used for scale so long as the objects are readily available and easy to measure within a photo. (Rulers often do not work well for scaling photos.) Based on my experience, it is also important to take extra care to not move the camera while taking a photo of a carcass. Fatality searchers get tired from all the walking, and often feel pressed to meet a deadline, such as for lunch break, so it is important to remember to take appropriate time and care to record information from a carcass. The carcass cannot be recreated once the data are collected and the carcass either left in place or removed.

The fatality searchers should make a preliminary determination of cause of death while still in the field, but sufficient notes should be recorded along with photographs so that colleagues or senior investigators can assess the evidence as well. If the evidence suggests the fatality was caused by something other than wind turbines, then the data should be collected but clearly noted that the cause of death was not turbine related. Wind turbine deaths are typically determined as certain when the collision was witnessed (rare) or the carcass was severed, dismembered, or showed signs of blunt force trauma. They are typically regarded as probable if there is no clear sign of injury, often due to decomposition or missing body parts, but the remains are within the deposition range of wind turbines. They are typically regarded as possible if the remains were within the range of wind turbine deposition but also associated with another possible fatality factor, such as on a roadway or under an electric distribution or transmission line (possible auto or line collision). In making mortality estimates, my practice has been to include fatalities regarded as possibly, probably, or certainly killed by wind turbines, but each investigator will have to make his own decision about which fatalities to include.

The fatality searchers should attempt to identify the species, but sometimes the evidence will need to be compared to museum specimens, to field guides, and to expert ornithologists who are more capable of identifying the remains to species. When the species cannot be determined, then the fatality should be identified to the narrowest taxonomic group possible, such as genus or family, or to a func-

---

日時、種、体の部位に関する死亡個体の記録を慎重に比較する。二つ以上の記録が同一の死亡個体のものである可能性に気づいた場合は、疑わしい死体の中から無作為に1羽を選び出し、残りは無視して分析を行なう。幸運なことに、このようなダブルカウントが生じるのは比較的まれである。

調査員は死亡個体を発見した状況（正規の探索調査中、調査外、など）も記録に残す必要がある。調査員が調査地間を移動している最中や、定点調査などの他の調査時に、死亡個体を発見することが驚くほど多いからである（以下を参照）。筆者も猛禽類の餌動物の巣穴を地図上に記録している時や行動を調査している時に、鳥の死体を数多く発見している。発見時にすべての死体を回収することを標準的な調査方法として実行している場合には、偶然発見された死体は特に貴重である。定期的な探索調査で発見される死亡個体の数は、探索に費やされる労力に比較して少ないからである。一部の死亡個体、とりわけ大型鳥類の死体は偶然に発見されなかったとしても、定期的な探索調査でおそらく発見されただろうという見方もできるが、発見時の状況に関する情報は死亡率の推定に利用するデータを選択する時や、それぞれの状況に対して異なる見落としの補正を用いる時に役に立つ。

調査員が分析担当者や調査責任者にデータを提出している場合は、調査員は提出する前に元データをコピーしておくことが重要である。コピーは提出した元データのバックアップの役を果たすからである。

tional group (i.e., raptor or nonraptor) and size class. Measurements of remains can also help investigators to later group the fatality for analysis.

To prevent double counting of carcasses due to remains of the same bird being found over two search rotations, most investigators prefer to have the remains picked up and removed after data are recorded from them. Another way to minimize double counting would be to leave the remains for the purpose of quantifying changes in detection rates through time (see discussions on scavenger removal and searcher detection rates), but clearly marking the remains so that if fatality searchers find them again, they will know the remains were already counted and processed. Marking can include clipping of feathers, attaching metal rings or wire ties to limbs, chipping the bill, and other methods, so long as transfer of human scent is minimized if the remains are to be left in the field to quantify natural removal rates. Remains should also be mapped using a GPS or distance and bearing to the nearest wind turbine.

Another form of double counting can occur when remains of one bird are spread to two or more wind turbines. To prevent this type of double counting, I carefully compare fatality records for dates of discovery, species, and body parts. If I see the possibility that two or more fatality records were really from the same bird, I randomly select one of the candidate remains for analysis and disregard the rest. Fortunately, this form of double counting is relatively rare.

Fatality searchers should also take care to record whether the remains were discovered during a routine fatality search or incidental to the search. A surprisingly large number of fatalities are discovered while field crew members are traveling between search sites or while performing other tasks such as taking point counts (see below). I have found many bird carcasses while mapping burrow systems of raptor prey species and while doing behavior work. Incidental finds are valuable, especially if it is standard practice to remove all bird carcasses upon discovery, because the number of bird carcasses remaining to be found during periodic fatality searches is small relative to the effort committed to the searches. Another way to look at it is that some of the carcasses—especially those of large-bodied birds, would likely have been found during routine fatality searches if they had not been found incidentally. However, recording whether the carcass was found routinely or incidentally could help the analyst decide which records to include in mortality estimates, or could help the analyst apply an alternative detection error

---

### 3-6 データの管理

収集したデータは適宜、スプレッドシートに入力することが望ましい。こうすればデータに何らかの問題があった場合、早めに気づいたり、記憶違いを避けたりできる。データの分類ミスなどを避け、データがしかるべき分野へ伝わるように、専門のデータ管理ソフトウェアを利用することをすすめる。データベースはデータの収集を行なう前に構築しておくことが望ましい。

調査員は調査日時、風車の特性、稼動状況、発見された死亡個体に関する記録をデータ表（付録 1～3 のデータ表を参照）に記入する。データ表の記入が終わったら、利用される可能性は低いかも知れないが、死体に関して詳細なデータを追加することが望ましい。探索調査に費やされる労力に比較して、発見される死体の数は少ないからである。

## 4 利用率調査 Utilization Surveys

---

鳥類の相対的個体数は定点カウント調査、目視調査、追い立て調査など、様々な方法で指標化や測定が可能である。米国の風力発電所で実施されている最も一般的な調査方法は一部またはすべての鳥類種を対象にした目視調査である。一般的に目視調査は、建設予定地や既存の風車を見渡せる地点で行なわれる。遠方からだと、鳥の飛行行動に影響を与えずに観察できる。定点カウントの調査時間は通常、1ヶ所につき3分から10分であるが、目視調査は1ヶ所につき10分か

adjustment to incidental versus routine finds.

If fatality searchers are providing an analyst or project manager with the data, then it will be important for the fatality searchers to copy or scan the original carcass data sheet prior to submission. These copies or scans will serve as back-up of the original, submitted data.

### 3-6 Data Management

Data collected from the field should be entered into a spreadsheet in a timely manner, so that problems can be detected quickly and errors of memory avoided. A professional data management software program should be used, so that sorting errors can be avoided and data are directed to the appropriate fields. The data base should be planned out in advance of data collection.

Fatality searchers should maintain records of search dates for each turbine or turbine row (see Appendix A for an example data sheet), as well as the attributes of wind turbines and operational status of wind turbines, fatalities found, including photos, position, condition, and date. Fatality searchers completing data forms should try to record more information about fatalities than likely will ever be used, because fatality finds are rare relative to search effort. Also, fatalities in the field cannot be recreated. They are fleeting, so it is best to record as much information about each fatality as possible.

Relative bird abundance can be indexed or measured in various ways, including point counts, visual scans, and flushing surveys. The most common method used in US wind farms has been visual scans directed toward multiple or all species of birds, and usually out to great distances. Visual scans usually are made from vantage points overlooking proposed or existing wind turbine sites. Observing birds from afar reduces the investigators' influence on bird flights near proposed or existing wind turbines. Whereas point counts typically last 3 to 10 minutes

---

ら30分行なう。時には60分のこともある(Howell and Noone 1992, Orloff and Flannery 1992, Hoover and Morrison 2005, Rugge 2001, Erickson *et al.* 2003, Schmidt *et al.* 2003, Anderson *et al.* 2005, Smallwood and Thelander 2004, 2005)。目視調査では、衝突の危険率を高めると考えられる特定の行動(例えば、回転翼の通過面と同じ高さを飛行する頻度)を記録する時間的な余裕が生まれる。しかし、目視調査は観察対象が多様な上に、観察距離や時間も長いので、大きなバイアスも生む。今後は利用率に関して、発電所間の比較や同一の発電所の通時的な比較を行ない、こうしたバイアスに取り組む必要がある。

#### 4-1 調査の対象種と目的

事前に明確な目的を設定しておかないと、せっかく利用率の調査を行なっても、死亡率推定に有用なデータを収集できない。例えば、バイオリソースコンサルタント(2005)は、種数は調査のツールとして、あるいは仮説の検証に役に立つのか立たないのか、立つとすればどのように役立つのかを考えもせずに、風力発電所の建設予定地で種数の調査を実施した。種数は死亡率の推定に関しては言うまでもなく、影響の予想にも役立たないことがわかった。また、アルタモントパス鳥類調査チーム(2008)では死亡個体数を種ごとの利用時間(分)と関連づけたが、調査範囲を通過した数多くの鳥に対してよりも、目視調査の間、止まっていた数羽の鳥の利用率に大きな重みづけをする必要があるとは考えなかった。さらに、風況の影響を受けて、止まっている時間と飛んでいる時間が季節によって異なるのであれば、利用時間(分)は止まっていることが多い季節の利用率にバイアスがかかる可能性がある。

幅広い様々な種に対して利用率の調査を実施したと報告されていることが多いが、一つの調査方法ですべての種を適切に調査することは不可能である。したがって、目視調査も定点カウント調査も一部の種に関しては、相対的個体数を適切に示してはいないだろう。例えば、目視調査も定点カウント調査も昼間行なわれるので、フクロウのような夜行性の種の大部分は見つけられない。また、大型の鳥は遠方からでも見つけやすいが、スズメ目のような小型の鳥は見つけるのが難

per site, visual scans typically last 10 to 30 minutes per site, and sometimes 60 minutes (Howell and Noone 1992, Orloff and Flannery 1992, Hoover and Morrison 2005, Rugge 2001, Erickson *et al.* 2003, Schmidt *et al.* 2003, Anderson *et al.* 2005, Smallwood and Thelander 2004, 2005). Visual scans allow observers time to record specific behaviors hypothesized to contribute to collision risk, such as the frequency of flights made at the heights of the wind turbines' rotor plane. However, the long scan distances and long duration of visual scans, in addition to the often mixed objectives of the scans, also introduce substantial biases that have yet to be addressed in comparisons of bird utilization at multiple wind farms and at the same wind farms through time.

#### 4-1 Target Species and Objectives

Performing utilization surveys without first establishing clear objectives can yield data of little value to mortality monitoring. For example, BioResource Consultants (2005) measured species richness at a pre-construction wind farm site without thinking how or whether species richness would be useful as a monitoring tool or for hypothesis-testing. Species richness turned out to be of no use to predicting impacts, let alone deriving mortality estimates. In another example, the Altamont Pass Avian Monitoring Team (2008) related fatalities to minutes of use per species, but did not consider a few birds perched over the duration of the visual scan can be given larger utilization weightings than a lot more birds quickly flying through the scan area. Furthermore, if birds perched more often during one season and flew more often in another due to wind conditions, then the minutes of use could bias utilization to the seasons when the birds are mostly sitting around.

Utilization surveys are often portrayed in reports as comprehensive among species. However, not all species can be suitably surveyed by the same field method, so visual scans or point counts will not adequately indicate the relative abundance of some species. For example, visual scans and point counts are performed during daylight and cannot detect the majority of nocturnal species such as owls. In another example, large birds are much more readily detectable at far distances than are small birds, such as songbirds, and some birds are readily detectable at far distances due to flight behaviors or other attributes that make them more conspicuous. Therefore, visual scans or point counts to unlimited distances or to distances as far as 800m will detect much larger proportions of certain species.

しいだろう。飛行行動などに目立つ特性がある鳥も遠くから見つけやすい。したがって、観察距離が無制限または 800m の目視調査や定点カウント調査では、見つけれられる種に大きな偏りが生じるだろう。さらに、調査範囲が広い目視調査や定点カウント調査では調査地点が少なくなるので、50m から 100m 以内でないと見つけるのが難しい小型の鳥や目立たない色をした鳥の発見数は実際より大幅に低下するという問題も生じる。風力発電所の利用率調査で重要になる種を事前に特定し、そうした種に適した調査計画を立てなければならない。すべての種に使える万能薬的な調査方法は存在しない。

利用率の調査は、死亡率の推定（死亡率を利用率に関連づける）や、風車が及ぼす影響としての風車忌避や生息地喪失の評価など、様々な目的に利用できる。筆者は、日本における利用率の調査目的は死亡率を推定することと考えているので、以下ではこの目的に沿った利用率の調査に関して論じることとする。しかし、筆者の提言の多くは他の目的で行なわれる利用率の調査にも適用できるだろう。

## 4-2 利用率の算出式

どのような利用率の算出式においても、分子は鳥類種の相対的個体数や活動レベルの尺度になるだろう。定点カウント調査や目視調査では観察された鳥の数になる。ダブルカウントを避けるために調査員が各個体の追跡を試みても、目視調査や定点カウント調査ではダブルカウントは必ず起きる。したがって、観察された鳥の数は相対的個体数そのものを表わすというよりは、その指標と見なされる。

調査努力にはばらつきがあるので、相対的個体数の指標は調査努力を表わす時間の単位に対応させなければならない。調査時間には 5 分から 60 分まで幅があるので、観察された鳥の数を単位時間あたりの数に換算する必要がある。筆者は単位として 1 時間を使っているので、10 分の調査時間で 10 羽の鳥が観察された場合は、1 時間あたり 60 羽、20 分の調査時間で 1 羽観察された場合は、1 時間あたり 3 羽に換算する。

月あるいは季節単位で死亡個体数に関して十分なデータが収集されれば、月あるいは季節単位の死亡個体数を利用率に関連させるのは興味深いかもしれないが、死亡率の推定はたいいてい年単位で比較するので、利用率も年間の利用率で表

Another problem with this catch-all type of survey is that the visual scans and point counts to far distances results in fewer observation stations in a project area, so small-bodied or more cryptic species that can be detected only out to 50 or 100m will be grossly under-sampled. The species of interest in utilization surveys at wind farms need to be identified before the surveys begin, and the types of surveys and the sampling design must be engineered for those species. One type of utilization survey will not work for all species.

Utilization surveys can be used for different purposes, including to derive mortality estimates (i.e., relating fatality rate to utilization rate) and for estimating wind turbine avoidance and habitat loss as an impact. In these guidelines I will assume the objective of utilization surveys in Japan will be to estimate mortality, so the rest of my discussion on utilization surveys will be directed to this objective. However, many of the recommendations I will make will also apply to utilization surveys intended for other objectives.

### 4-2 Utilization Metric

The numerator in any utilization rate metric will be some measure of the relative abundance or activity level of bird species. From point counts or visual scans, it will be the number of bird observations, or the number of individuals observed during the session. Observers attempt to track individual birds to prevent double-counting, but it is well recognized that double counting is inevitable using these field methods. Therefore, the number of birds observed during point counts or visual scans is regarded as an indicator of relative abundance rather than a measure of relative abundance.

Because survey efforts vary, the indicator of relative abundance needs to be related to a unit of time representing the survey effort. Surveys vary from 5 to 60 min, so the number of birds seen should be related on a common time span. I prefer to use one hour as my time unit, so I would convert 10 birds per 10 min session to 60 birds per hour, and 1 bird per 20 min session would be 3 birds per hour.

If sufficient fatality data were collected on a monthly or seasonal basis, then it might be attractive to relate fatality numbers to utilization by month or season. However, most mortality estimates are compared on an annual basis. Because fatalities are usually compared annually, the utilization should represent annual utilization, or utilization surveys should equitably represent all seasons of the

わすことが望ましい。つまり、利用率の調査は特定の季節に偏らないように、年間を通して均等に行なわなければならない。1 季節ないし 2 季節の調査で利用率を測定している研究者もいる（例えば、Kerlinger *et al.* 2004, BioResource Consultants 2005, Johnson *et al.* 2006）。Erickson ら（2002）は米国の太平洋側北西部にある複数の風力発電所で収集したデータを比較した結果、利用率の調査は 1 季節以上行なう必要がないという結論を出した。しかし、相対的個体数の季節変動は、とりわけ渡り鳥では大きいことが知られている。1 季節の調査で年間の相対的個体数を把握できると考えるのは問題だろう。すべての季節でデータの収集を行なう必要がある。

さらに、鳥類の個体数は年によって大きく変動することがあるので、1 年限りの調査では、調査の年の個体数が底や頂点（例えば、干ばつによる個体数の激減や、良好な環境条件に恵まれた後の個体数の急増）に達した年に当たる可能性がある。1 年限りの調査結果に基づく推定利用率を使用すると、誤った結果を導き出す可能性がある。年単位で利用率や死亡率の推定を行なう場合は、3 年以上の利用率調査を実施することを提言する。

調査地の地形も地域によって大きく異なる。樹木の生えていない平坦な地形の調査地では、調査地点から調査範囲がすべて見渡せるが、丘陵地形や樹木が生えている場合には、調査範囲の一部が視界から遮られる可能性が生じる。調査地点や風力発電所によって、また、同一の調査地点でも気象条件によって見える範囲が変わるので、理論的可視領域比の推定を行ない、利用率を算出する式に組み入れる必要がある。理論的可視領域比は調査範囲（ $\pi r^2$  :  $r$  = 最大調査距離）の見える部分である。可視領域比に可視領域面積を掛けて、鳥を見ることができるときの範囲の面積（ha）を算出する。しかし、求められた面積は目安と考えるべきである。地面は見えなくても、その上空を飛ぶ鳥を見ることができるときの場合がよくあるからである。

次の方式で利用率を表わすことをすすめる。

#### 観察個体数/時/面積 (ha)

利用率のデータを収集するためには、通年の定点カウント調査や目視調査は 3 年以上実施することが望ましい。小鳥類を対象にした調査では調査地点を増やす

year. Some investigators measured utilization during only one or two seasons (e.g., Kerlinger *et al.* 2004, BioResource Consultants 2005, Johnson *et al.* 2006). Erickson *et al.* (2002), after comparing data they collected at multiple wind farm sites in the Pacific Northwest of the U.S., concluded that bird observations are not needed beyond a single season of the year. However, seasonal variation in relative bird abundance is well known to be high, especially for migratory species. It would be inadvisable to assume that surveys during one season of the year can characterize relative abundance in all seasons of the year. All seasons need to be sampled.

Furthermore, bird abundance can vary a great deal inter-annually, so performing visual scans or point counts over one year could correspond with a nadir or peak in a widely varying population cycle, or it could correspond with an extreme low population level due to a drought, or to an extreme high population following favorable environmental conditions. Using utilization estimates from one year of survey effort could be misleading. I recommend a minimum of three years of utilization surveys before attempting to estimate utilization and mortality on an annual basis.

The terrain over which visual scans or point counts are performed also vary greatly from place to place. On flat terrain without trees, an observer can see all the airspace over the ground out to the survey boundary, which should be shaped like a circle for point counts or visual scans. However, trees could disrupt the views of some parts of the circle, and some portions of point counts and visual scans could be occluded in hilly terrain. Due to the variation in visible areas from station to station and from wind farm to wind farm, and due to the variation in visible areas at the same station due to weather conditions, the proportion of the theoretical viewshed should be estimated and factored into the utilization metric, where the theoretical viewshed is the surface area or usable airspace volume over the surface area that is defined by  $\pi r^2$ , and  $r$  is the maximum survey distance allowed. This proportion should be multiplied by the area of the theoretical viewshed to obtain the hectares of ground over which birds could be seen. The resulting visible area should be regarded as an indicator, because it is often possible to observe birds over ground that cannot be seen.

I recommend the following utilization metric:

ことや、調査対象種に適した最大調査距離（例えば、ノスリは 600 m、小鳥類は 100 m）を設定することも提言する。さらに、相対的個体数や利用率の定量化を行なうために、他の調査方法を併用することもすすめる。

### 衝突危険率の算出式

本調査指針で、すでに次のような衝突危険指数の算出式を提示した。

$$\text{危険指数} = \frac{\text{死亡率}}{\text{利用率}}$$

そこで、死亡率と使用率の算出式を合わせて、死亡率を表わす式を示す。

$$\text{死亡個体数} / \text{MW} / \text{年} / \text{観察個体数} / \text{時} / \text{面積 (ha)}$$

$$\text{死亡個体数} / \text{kWh} / \text{観察個体数} / \text{時} / \text{面積 (ha)}$$

最初の式は各風車の発電力が不明の場合、2番目の方式は発電力がわかっている場合である。両式とも込み入っているので、求められた死亡率の値は極めて小さくなるだろう。報告書にデータ掲載を行なう場合には、わかりやすい形にするために単位を換える。例えば、死亡率は死亡個体数 / 100MW / 年で、利用率は観察個体数 / 100 時間 / 100ha で表わすことが可能である。調査間で比較したい場合には、変更した単位は元の単位に簡単に戻せる。

死亡率は利用率の指標としてではなく、より現実に近い推定個体群サイズと比較すべきであると主張する研究者がいるかもしれない。しかし、風力発電所が建設されている場所は峠のような風の強いところであり、こうした地域を利用する鳥類種の多くは定住性ではなく、たいていは渡り鳥である。例えば、アルタモントパスで見られるイヌワシの大部分はそこを狩り場として利用している幼鳥や亜成鳥である。アルタモントパスでイヌワシの個体群サイズを推定するのは無理だろう。また、個体群サイズの推定に必要なデータを収集するために行なう調査は膨大な時間と費用を必要とするので、死亡率の比較に利用できる信頼性の高い個体群サイズの推定が行なえるほどの頻度で鳥類種のカウント調査を実施することは難しいだろう。

**Birds observed / hour / ha ,**

and I recommend that data used to express this metric be collected from point counts or visual scans performed year-round for at least three years. I also recommend that more observation stations be established for small birds and that the maximum allowed distances for recording observations be appropriate for the species, including out to 600m for Buteo hawks and only 100m for songbirds, as examples. Furthermore, I recommend that additional survey methods be used to quantify relative abundance or utilization of species for which daytime point counts or visual scans are inappropriate.

*Revisiting the Collision Risk Metric.* —Earlier in this document I expressed a collision risk index simply as the following:

$$\text{Risk index} = \frac{\text{Fatality rate}}{\text{Utilization rate}}$$

Now that I have presented candidate fatality rate and utilization rate metrics, it is time to put them together as a mortality metric. The two metrics below would be my recommendations as mortality metrics:

**Deaths / MW / year / birds observed / hour ha ,**

**Deaths / kWh / birds observed / hour ha .**

The first metric would be for wind farms where power output from individual wind turbines is unavailable, and the second metric would be for wind farms where the power output is available. Both mortality metrics are complicated, and would result in very small fractions. For data presentation in reports, I would change the units so that the results are easier to work with. For example, the fatality rate could be deaths per 100 MW per year, and the utilization rate could be birds observed per 100 hours per 100 ha. These units could easily be converted back to original units by other investigators who want to compare them across studies.

Some may argue that fatality rates should be compared to more real estimates of population size, rather than to indicators of utilization. However, wind farms are located in windy areas, such as in passes, where many species are transient in their occurrence, and often migratory. For example, the golden eagles in the

### 4-3 観察定点と範囲の設定

発電所全体の利用状況を把握するためには、観察定点は建設予定地も含め、発電所の全域にわたって設定するだけでなく、発電所の外にも設けるべきである。筆者らは大部分の猛禽類が一般的に風車を避けることに気づいたからである (Smallwood 投稿中)。また、筆者らにより、風車が設置されていない尾根の方が猛禽類の数ははるかに多いこともわかった (Smallwood 投稿中)。したがって、全体の相対的個体数を把握するためには、発電所の外側や発電所内の風車が設置されていない区域にも観察定点を設ける必要があると思われる。

観察定点は通常は眺望のきく地点に設けるが、そうした場所は観察対象の鳥からもよく見えるので、調査員の存在は鳥の行動に影響を与え、鳥を遠ざけてしまう可能性が高いことを忘れてはならない。一方、周囲より高い眺望のきく場所は斜面の途中から傾斜が大きくなると、その先の視界が遮られてしまうことがある。また、風車や特定の地形の利用率を測定しやすい地点を選ぶことも重要である。

観察定点と最大観察距離を設定したら、地図や航空写真に調査範囲の境界線を記入する。風車、樹木、岩などの位置も地図に書き入れることをすすめる。鳥の位置を特定し、調査範囲内かどうかを判断する時に非常に役に立つからである。

### 4-4 観察時間と実施頻度を設定

Thelander and Smallwood (2004) は、観察時間が 22 分までは分あたりの猛禽類の観察数が増加することを報告したが、これは、猛禽類は当初は人を避けるが、徐々に慣れてくる可能性があることを示唆している。したがって、特に、調査員が丸見えになるひらけた地形で定点調査を実施する場合には、猛禽類に対しては観察時間を長めに設定することをすすめる。猛禽類の調査では、筆者は 1 回の観察時間を 1 時間にすることが多い。小鳥類に関しては、観察半径と時間は短く、観察定点は多く設定することが望ましい。1 回の観察時間は 10 分以下にすることを提言する。

猛禽類に対しては、各観察の開始時刻を定点ごとに変えるのであれば、1 週間から 2 週間に 1 度の調査を実施すれば十分だろう。小鳥類に対しては、猛禽類の

Altamont Pass are mostly juveniles and subadults, or floaters using the Altamont Pass as a foraging area and perhaps for social interactions before seeking breeding territories. In the Altamont Pass, how could one estimate population size of golden eagles? Also, the methods required to estimate population size are very time consuming and costly, so enumeration of bird species within wind farms will not be done often enough to produce a meaningful sample of population estimates for comparison to fatality rates.

### 4-3 Establish Observation Points and Survey Boundaries

Stations, or observation points (OPs), should be established throughout the proposed or existing wind farm in order to adequately represent utilization in the wind farm. Additionally, OPs should be established at locations outside the wind farm, because Smallwood *et al.* (in review) found that most species of raptor generally avoided wind turbines. Smallwood *et al.* (in review) found that raptors occurred in much greater abundance on ridge crests where wind turbines were not installed, so a more representative expression of relative abundance might need to include areas just outside the wind farm or areas within the wind farm that lack wind turbines.

OPs typically also overlook large areas from prominent locations, but it should be remembered that these types of locations are also exposed to the birds under observation, so observers stationed at prominent locations may more readily alter bird behavior, and increase distances between the birds and the observer. Also, prominent locations can sometimes occlude views of downslope locations when the lower aspect of the slope is steeper than the upper aspect. Another consideration for sitting OPs is to be strategic in terms of measuring utilization at wind turbines or particular landscape features.

One the observation stations and maximum survey distances are established, then survey boundaries can be delineated on maps or aerial photos of the survey area. These maps can be very helpful to the observers to maintain discipline over which observations to record. I also recommend depicting wind turbines, trees and rock formations in the maps, so that the observers can keep track of the locations of birds under observation and decide which observations to record.



---

観察を1回実施するごとに各定点につき3回から4回の観察を行なうことをすすめる。

## 4-5 観察の記録

筆者は調査ではデジタルボイスレコーダー（DVR）を利用している。観察対象から目を離さずにデータを記録することができるからである。データを適宜スプレッドシートに入力するのであれば、DVRはとても役に立つ。調査員は観察内容の細かな点を忘れがちなので、調査後、一両日中にDVRの記録内容を確認し、誤りがあれば、訂正しておくことが大切である。

調査開始時に次の項目を記録する。

- 調査員の氏名
- 観察定点の番号
- 調査年月日
- 調査時間
- 気温
- 風速
- 風向
- 視界
- 天候

観察対象ごとに次の項目を記録する。

- 時刻
- 種名
- 数
- 生態的状况（単独、つがい、群れ）
- 行動（止まり行動、飛行のタイプ）
- 調査員からの距離
- 調査員からの方角（角度）

## 4-4 Establish Duration and Frequency of Sessions

Smallwood and Thelander (2004) reported an increase in the number of raptors observed per minute until about 22 minutes into the session, suggesting that raptors may have avoided human observers at first but eventually habituated to them. For this reason, I suggest point counts or visual scans last longer for raptors, especially in open terrain where the observers are exposed. I tend to perform hour-long observation sessions for raptors. For small birds I recommend much smaller survey radii, more observation stations, or OPs, and shorter sessions. For small birds I recommend point counts lasting no longer than 10 min.

For raptors, I suggest weekly to biweekly surveys would suffice, so long as session start times vary per OP. For small birds, I suggest three to four sessions per station for every raptor session.

## 4-5 Recording Observations

I prefer to use a digital voice recorder (DVR) for recording bird observations because I do not have to remove my eyes from the field while recording the data. DVRs work great so long as the data are transcribed to an electronic spreadsheet in a timely fashion. Observers tend to forget details about observation sessions, so it is important to correct mistakes within a day or two of recording observations on the DVR.

Data to record at the beginning of the session include:

- Observer's name
- OP or station number
- Date
- Time
- Temperature
- Wind speed
- Wind direction
- Visibility
- Weather

Data to record per observation include:

- Time
- Species

- 
- 風車からの距離と（該当する場合は）風車の番号
  - 初認時の地上からの高度

#### 4-6 バイアスの確認

鳥類の観察データは、使用率や死亡率の推定を左右しかねない大きなバイアスがかかりやすいので、こうしたバイアスの確認作業を行ない、必要な場合には補正措置をとることが重要である。例えば、発見率は主に調査員からの距離に影響を受けるが（Smallwood *et al.* 投稿中）、観察時間の長さも影響を及ぼすことを確かめる必要がある。さらに、発見率は季節、時刻、気温、風速によっても変動するので、こうした要因についてもバイアスの確認を行なうことが望ましい（Smallwood and Thelander 2004, 2005, Smallwood *et al.* 投稿中）。

- Number
- Social context (single, pair, or flock)
- Behavior (perching or type of flight)
- Distance from observer
- Direction (degrees) from observer
- Distance from turbine and turbine number (if applicable)
- Height above ground at first sighting.

#### 4-6 Be Aware of Biases

Bird observation data are prone to substantial biases that can greatly influence interpretation of utilization rates and mortality estimates. It is important to explore the data for these biases, and to make adjustments for them as needed. For example, the detection rate of birds can be explained largely by the birds' distance from the observer (Smallwood *et al.* in review). The time span of the sessions can influence detection rates, as well, and should be examined. Bird detection rates also vary by season, time of day, temperature, and wind speed (Smallwood and Thelander 2004, 2005, Smallwood *et al.* in review), so sessions should be examined for biases in representation of these factors.



No. \_\_\_\_\_

Record No. \_\_\_\_\_

**死亡個体データ表** 調査年月日 [ ] 調査者 [ ] 発見状況 [ ] 調査の時間内・時間外

**Carcass Data Sheet** Data: [ ] Investigator: [ ] Search type: Standard Incidental

種名: \_\_\_\_\_ 性別: オス メス 不明 年齢: 成鳥 亜成鳥 幼鳥 不明

Species: \_\_\_\_\_ SEX: M F Unknown Age group: Juvenile Adult Subadult Unknown

死因: 風車のブレードへの衝突・衝突以外 (油汚染など)・電線への衝突・感電・自動車事故・補食・WNV (西ナイルウイルス)・中毒・不明・その他

Cause of death: Blade strike Trapped in turbine (oiled) Line collision Electrocutation Auto Predation WNV Poisoned Unknown Other:

死亡または負傷個体の状態:

Describe injury:

所見:

Notes (continue to back)

推定死後経過日数: \_\_\_\_\_ 関節の状態: バラバラ 1 2 3 4 5 つながっている (完全・定位置)

Estimated days since death: \_\_\_\_\_ Articulation: Disassembles 1 2 3 4 5 Articulated (complete & in place)

体部位番号	体の部位 (頭、胴、翼、足など)	最寄りの風車の番号	風車までの距離	風車の方向	GPSの使用の有無とデータの整理番号	写真1	写真2	写真3	写真4

Part no.	Body part (e.g., torso, head, wing, leg...)	Sequence no. of nearest turbine	Distance(m) to turbine	Bearing to turbine	Check if GPS used	Photo 1	Photo 2	Photo 3	Photo 4

死体の探索調査

年月日	体部位番号	状態	色	写真	状態	色	写真	状態	色	写真	状態	色	写真

Carcass monitoring

Date	Part no.	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo

年月日	体部位番号	状態	色	写真	状態	色	写真	状態	色	写真	状態	色	写真

Date	Part no.	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo	Condition	Color	Photo

状態: [D1=腐敗なし D2=腐敗しはじめ D3=乾燥] [R1=硬直 R2=ゆるんでいる] [T=爪のエナメル質] [F=羽根] [B=骨] [I1=ウジ I2=ハエの蛹 I3=ハエの成虫 I4=甲虫の幼虫 I5=甲虫の蛹 I6=甲虫の成虫]  
色: 1=変色なし 2=中程度の変色 3=白化 0=n/s

Condition: [D=no decay D2=goeoy D3=dried flesh] [R1=stiff R2=loose] [C=Enamel on culmen] [T=Enamel on Talons] [F=feathers] [B=bones] [I1=fly larvae I2=fly pupa I3=fly adult I4=beetle larvae I5=beetle pupa I6=beetle adult]  
Color: 1=original 2=intermediate 3=bleached 0=n/s

年月日								
骨	数	状態	長さ(mm)	幅(mm)	数	状態	長さ(mm)	幅(mm)
頭骨								
胸骨								
骨盤								
鳥口骨								
肩甲骨								
上腕骨								
尺骨								
橈骨								
腕掌骨								
大腿骨								
頸骨								
跗蹠骨								

骨の状態： B=骨折 C=損傷なし S=表面がなめらか W=風雨にさらされた

Data								
Bone(s)	Number present	Condition	Length (mm)	Width (mm)	Number present	Condition	Length (mm)	Width (mm)
Skull								
Sternum								
Pelvis								
Coracoid								
Scapula								
Humerus								
Ulna								
Radius								
Carpometacarpus								
Femur								
Tibiotarsus								
Tarsometatarsus								

Bone condition : B=broken C=complete S=smooth W=weathered

## 参考文献

### References

---

**Altamont Pass Avian Monitoring Team.** 2008 (July). Altamont Pass Wind Resource Area Bird Fatality Study. (ICF J&S 61119.06). Prepared for Alameda County Community Development Agency, Oakland, California.

**Anderson, R., N. Neumann, J. Tom, W. P. Erickson, M. D. Strickland, M. Bourassa, K. J. Bay, and K. J. Sernka.** 2004. Avian monitoring and risk assessment at the Tehachapi Pass Wind Resource Area: Period of Performance: October 2, 1996–May 27, 1998. NREL/SR-500-36416, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. 102 pp.

**Anderson, R., J. Tom, N. Neumann, W. Erickson, D. Strickland, M. Bourassa, K. J. Bay, and K. J. Sernka.** 2005. Avian monitoring and risk assessment at the San Geronio Wind Resource Area. NREL/SR-500-38054, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. 138 pp.

**Arnett, E.** 2005. Cooperative efforts to assess the impact of wind power on bats. Pages 12-14 in Proceedings: Onshore wildlife interactions with wind developments: Research meeting V. The National Wind Coordinating Committee, Resolve, Inc., Washington, D.C.

**BioResource Consultants.** 2005. A preliminary assessment of potential avian interactions at four proposed wind energy facilities on Vandenberg Air Force Base, California. NREL/SR-500-34961, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. 43 pp.

**Cablk, M.E., Heaton, J.S.** 2006. Accuracy and reliability of dogs in surveying for desert tortoise (*Gopherus Agassizii*). *Ecological Applications* 16(5):1926-1935.

**Erickson, W.** 2005. Bat fatality monitoring methods: Fall 2004 Mountaineer and Meyersdale. Pages 14-16 in Proceedings: Onshore wildlife interactions with wind developments: Research meeting V. The National Wind Coordinating Committee, Resolve, Inc., Washington, D.C.

**Erickson, W. P., J. Jeffrey, K. Kronner, and K. Bay.** 2003. Stateline wind project wildlife monitoring annual report, results for the period July 2001–December 2002. Technical Report submitted to FPL Energy, the Oregon Office of Energy and the Stateline Technical Advisory Committee.

**Erickson, W. P., J. Jeffrey, K. Kronner, and K. Bay.** 2004. Stateline wind proj-

ect wildlife monitoring final report, July 2001–December 2003. Technical Report submitted to FPL Energy, the Oregon Energy Facility Siting Council and the Stateline Technical Advisory Committee. 98 pp.

**Erickson, W. P., G. D. Johnson, M. D. Strickland, D. P. Young, Jr., K. J. Sernka, and R. E. Good.** 2001. Avian collisions with wind turbines: A summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States. National Wind Coordinating Committee, c/o RESOLVE, Washington, D.C. 62 pp.

**Erickson, W., G. Johnson, D. Young, D. Strickland, R. Good, M. Bourassa, K. Bay, K. Sernka.** 2002. Synthesis and comparison of avian and bat use, raptor nesting and mortality information from proposed and existing wind developments. Unpubl. report prepared for Bonneville Power Administration, Portland, Oregon. 129 pp.

**Gerrodette, T.** 1987. A power analysis for detecting trends. *Ecology* 68:1364-1372.

**Goodman, L. A.** 1960. On the exact variance of products. *Journal American Statistical Association* 55:708

**Harmata, A., K. Podruzny, and J. Zelenak.** 1998. Avian use of Norris Hill Wind Resource Area, Montana. NREL/SR-500-23822, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.

**Hodos, W.** 2003. Minimization of motion smear: Reducing avian collisions with wind turbines. Period of Performance July 12, 1999–August 31, 2002. NREL/SR-500-33249, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. 43 pp.

**Hoover, S. L., and M. L. Morrison.** 2005. Behavior of red-tailed hawks in a wind turbine development. *Journal of Wildlife Management* 69:150-159.

**Hötter, H., Thomsen, K.-M. and Jeromin, H.** 2006. Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats-facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. Michael-Otto-Institut im NABU. (The Japanese version edited and translated by the WBSJ 2009.)

**Howell, J. A.** 1997. Avian mortality at rotor swept area equivalents, Altamont

---

Pass and Montezuma Hills, California. Transactions of the Western Section of the Wildlife Society 33:24-29.

**Howell, J.A. and J.E. Didonato.** 1991. Assessment of avian use and mortality related to wind turbine operations, Altamont Pass, Alameda and Contra Costa Counties, California, September 1998 through August 1989. Final report submitted to U.S. Windpower, Inc., Livermore, California. 168 pp.

**Howell, J.A. and J. Noone.** 1992. Examination of avian use and mortality at a U.S. Windpower wind energy development site, Montezuma Hills, Solano County, California. Final report. Prepared for Solano County Department of Environmental Management, Fairfield, California.

**Hurlbert, S.H.** 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54:187-211.

**Johnson, G. D., W. P. Erickson, M. D. Strickland, M. F. Shepherd, and D. A. Shepherd.** 2000. Final Report: Avian monitoring studies at the Buffalo Ridge, Minnesota Wind Resource Area: Results of a 4-year study. Unpubl. Report for Northern States Power Company, Minneapolis, Minnesota.

**Johnson, G., W. P. Erickson, and J. D. Jeffrey.** 2006. Analysis of potential wildlife impacts from the Windy Point Wind Energy Project, Klickitat County, Washington. Prepared for Energy and Environment, Portland, Oregon. 86 pp.

**Kerlinger, P., and R. Curry.** 1998. A comparison of a company sponsored wildlife response and reporting system (WRRS) to intensive carcass search methods at wind turbines in the Altamont Pass, California: Golden eagle and red-tailed hawk fatalities. Unpublished report to Altamont Infrastructure Company, Livermore, California. 10 pp.

**Kerlinger, P., and R. Curry.** 2000. Impacts of a small wind power facility in Weld County, Colorado, on breeding, migrating, and wintering birds: preliminary results and conclusions. Pages 64-69 in Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, May 1998. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by LGL Ltd., King City, Ontario. 202 pp.

**Kerlinger, P., and R. Curry.** 2001. Analysis of avian fatalities at Kenetech KVS-33

turbines in Alameda and Contra Costa Counties, California. Unpublished report to Green Ridge Power, L.L.C. 8 pp.

**Kerlinger, P., and R. Curry.** 2003. The relationship of golden eagle (*Aquila chrysaetos*) and red-tailed hawk (*Buteo jamaicensis*) collision fatalities in the Altamont Pass Wind Resource Area of California to ground squirrel management practices: 1989–2002. Report to Altamont Infrastructure Company, Livermore, California. 23 pp.

**Kerlinger, P., R. Curry, and R. Ryder.** 2000. Ponnequin Wind Energy Project: Reference site avian study, January 1, 1998–December 31, 1998. NREL/SR-500-27546, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado. 26 pp.

**Kerlinger, P., R. Curry, and A. Hasch.** 2004. Avian monitoring study and risk assessment for the Shiloh Wind Power Project, Solano County, California. Appendix B of Shiloh Wind Power Project EIR, Solano County, California. 53 pp. + 4 app.

**Kerlinger, P., L. Culp, and R. Curry.** 2005. Year one report: Post-construction avian monitoring study for the High Winds Wind Power Project Solano County, California. Unpubl. report to High Winds, LLC and FPL Energy, 69 pp.

**Morrison, M. L.** 1996. Protocols for evaluation of existing wind developments and determination of bird mortality. In Resolve, Inc. and LGL Ltd., editors, Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting II, Palm Springs, California. Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, Washington, D.C.

**Morrison, M. L.** 1998. Avian risk and fatality protocol. National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-500-24997, Golden Colorado. 7 pp.

**Nicholson, C. P.** 2003. Buffalo Mountain Windfarm bird and bat mortality monitoring report: October, 2001–September, 2002. Unpubl. report to Tennessee Valley Authority, Knoxville, Tennessee. 15 pp.

**Orloff, S., and A. Flannery.** 1992. Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas: 1989-1991. Report to California Energy Commission, Sacramento, California.

**Robertson, H.A. and Fraser, J.R.** 2009. Use of trained dogs to determine the

---

age structure and conservation status of kiwi *Apteryx* spp. populations. *Bird Conservation International* 19:121-129.

**Rugge, L. M.** 2001. An avian risk behavior and mortality assessment at the Altamont Pass Wind Resource Area in Livermore, California. M.S. Thesis, California State University, Sacramento. 156 pp.

**Schmidt, E., A. J. Piaggio, C. E. Bock, and D. M. Armstrong.** 2003. National Wind Technology Center site environmental assessment: Bird and bat use and fatalities – Final Report. NREL/SR-500-32981, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO. 29 pp.

**Shoenfeld, P.** 2004. Suggestions regarding avian mortality extrapolation. Unpubl. report to West Virginia Highlands Conservancy, Davis, West Virginia. 6 pp.

**Smallwood, K. S.** July 26, 2007. Effects of Monitoring Duration and Inter-Annual Variability on Precision of Wind-Turbine Caused Mortality Estimates in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. SRC Document P44, 16 pp.


**Smallwood, K. S.** 2008. Wind power company compliance with mitigation plans in the Altamont Pass Wind Resource Area. *Environmental & Energy Law Policy Journal* 2(2):229-285.

**Smallwood, K. S. and C. Thelander.** 2004. Developing methods to reduce bird mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. Final Report to the California Energy Commission, Public Interest Energy Research-Environmental Area, Contract No. 500-01-019. Sacramento, California. 531 pp.

**Smallwood, K. S. and C. Thelander.** 2005. Bird mortality at the Altamont Pass Wind Resource Area, March 1998 – September 2001 Final Report. National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-500-36973. Golden, Colorado. 410 pp.

**Smallwood, K. S., and C. G. Thelander.** 2008. Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area, California. *Journal of Wildlife Management* 72: 215-223.





日本国内で  
調査を行なうにあたっての課題

浦 達也 (財)日本野鳥の会・自然保護室

Methodological Adjustments Required  
for Carcass Searches in Japan

Tatsuya Ura Wild Bird Society of Japan (Conservation Division)

欧米では、風力発電施設における鳥類の衝突事故 (bird collision バードコリジョン) について直接的な原因はまだ明確ではないものの、事故が起きやすいとされる地形や鳥の種、気象との関係が事故事例の分析により分かってきた。日本でも近年、風力発電の導入に伴い事故の事例が報告されるようになってきたが、それは偶発的に死体が発見されたにすぎないものが多い。わが国では風力発電施設建設後の鳥類への影響評価について、標準的な調査方法が確立されていないため、調査結果を比較できず、客観的な事後評価が困難な状態にある。

そのため当会では、日本で風力発電による鳥類への環境影響を評価するための方法論を確立することを目指し、2008年10月に、日本野鳥の会の会員や自然保護関係者、風力発電業者や環境調査会社などへ呼びかけ、事後評価のための標準的な調査方法を確立するための「風力発電施設が鳥類に与える影響とその調査方法の検討会」(以下、検討会と略記)を、エコ・パワー社との共催で同社が運営されている青森県のむつ小川原ウインドファームにおいて開催した。このように市民や事業者が立場を超えて事後調査方法について検討したのは日本では初めてのことであった。事後調査の方法を確立することにより、各地における事故例を直接比較でき、それぞれのケースまたは総合的に分析できるようになり、どの要因で衝突事故が発生するのか理解できるようになる。それは、風車の設置計画時点で、そこが鳥類にとって危険な立地であるか判別し、事故を避けることにも大きく役立つ。そして、あらかじめ危険な立地を避けることで、鳥類保護に関する係争を減らすこともできると期待している。

本書で取り上げていた調査方法は、世界的にも調査研究が進んでいるアルタモントパス・ウインドリソースエリア(以下、APWRAと略記)で、ショーン・スモールウッド博士が関わる研究グループにより開発され用いられているもので、スモールウッド博士らはこの調査方法を基に数多くの国際論文や報告書を著しており、科学的に信頼のおける方法であることが証明されている。そのため、米国の他の地域のみならず欧州でも、スモールウッド博士らの方法による調査が進められているのである。

このことから私たちは、主にバードコリジョンの被害実態と衝突率を調査することについて、この調査方法を標準的に用いることを推奨することにした。しかし、全体的に草丈が低い草地に覆われた丘陵地であるAPWRA [図1/P114]と、

Although the studies of bird collisions have not yet determined the direct causes, they have gradually revealed relationships between collision-prone bird species and landscapes and weather conditions inducing collisions in Europe and North America. Recently in Japan as well, reports of bird collisions have increased as the number of wind farms has grown. However, most carcasses have been incidentally discovered. In addition, it is almost impossible to perform reliable post-construction assessments of wind farm impacts to birds in Japan because standard study methods have not been established and therefore the results of studies cannot be compared between wind farms.

In October 2008, therefore, the Wild Bird Society of Japan (WBSJ) held a workshop in order to establish a standard method required for reliable post-construction assessments of wind farm impacts to birds. The workshop was held in the Mutsu Ogawara wind farm, Aomori Prefecture, northern Japan with the cooperation of EcoPower Co., Ltd. which has operated the farm. In addition to the members of the WBSJ and conservationists, those from wind power companies and wildlife research companies participated in the workshop. This workshop was the first occasion of Japan where people from various fields concerned met together to discuss methods for studying wind farm impacts to birds post-construction. The establishment of standard post-construction study methods will make it possible to directly compare the results of bird collision studies between wind farms and determine factors contributing to collisions based on their comparative analyses. This will lead to determining proposed turbine sites that are likely to pose a serious collision risk and avoiding the risk by selecting alternative sites. It is also expected to reduce bird conservation issues by avoiding sites with potential risks to birds.

The carcass search method dealt with in this manual has been developed and used by a study group in which Dr. K. S. Smallwood has been involved in the Altamont Pass Wind Resource Area (APWRA), US. where studies of the effects of a wind farm on birds are most advanced in the world. Dr. Smallwood and other research workers have written many papers and reports based on the data collected using their method and therefore the method has been well established to be scientifically reliable. Consequently carcass searches have been conducted using the method developed by Dr. Smallwood and his colleagues in Europe as well as in the other parts of the US.

---

日本国内の風力発電施設は植生や地形、気候などの環境が異なる。そのため、本書の調査方法を国内で適用し、さらに他の地域や国での結果と比較可能にしていくには、日本の立地環境に合わせてスモールウッド博士らの方法を改変する必要があることが、検討会の中で示された。しかし、野外研究を行なって日本の状況に合せた改訂方法を完成させるまでにはこの先かなりの時間を要する。そこでこの章では、検討会の中で議論された、スモールウッド博士によるマニュアルを暫定的な標準調査方法として国内で使用する際に課題になると考えられる環境要因を挙げ、その課題をどのように克服できるかについていくつか案を示し、今後の課題解決に向けた発想の材料とすることでこれに替えたい。

なお現在は、国内および海外において、ローターへの鳥の衝突を自動的に感知するシステムの開発が進められているが、ここではその方法を用いず、人的努力により現在すぐに実行可能な課題解決案を提示することにする。

---

## 風車が立地する自然環境条件による死亡率推定へのバイアスと減少方法

---

### 1 植生によるバイアス

当会では今までに、日本にあるウィンドファームのうち 30 ヶ所以上を視察してきたが、その立地の植生はバラエティに富んでいた。今までみてきた風車の立地場所の植生は、代表的なものとして牧草地 [図 2 / P114]、自然草地 [図 3、4 / P115]、低木林 [図 5、6、7 / P116、117]、高木林 [図 8 / P117] に分けられる。このタイプごとに生じる、死亡率推定に対するバイアス（偏り）となる要因と、それを減らす方法について以下に述べる。

#### 1-1 牧草地・自然草地

牧草地や自然草地は、構成する草本の種類にもよるが、刈取り後または冬に枯れた後から初夏までは草丈があまり高くなく、APWRA の環境と大きくは変わらないため、マニュアルに従って調査するにあたり支障はない。しかし、同じ場所である図 3 から図 4 への季節変化に応じた草丈の変化をみても分かるように、

Therefore we have recommended this method as a standard for searching for bird carcasses and estimating collision rates. The environmental factors, such as vegetation, topography and climate in wind farms in Japan, however, are different from those of the APWRA on a hilly terrain predominantly covered with short grass as in Fig.1 [P114]. It is, therefore, necessary to modify this method in order to use it in Japan and compare the data collected using it with those from other countries and areas. On the other hand, it takes considerable time to modify this method to suit domestic use by field studies. In this chapter, therefore, we will select some environmental factors likely to present problems when the research manual developed by Dr. Smallwood is used as a temporary standard method in Japan and suggest some possible solutions to these problems for future reference.

Although Japan and some other countries have been developing devices to detect bird collisions with wind turbines, we will show some measures easily available in Japan to cope with the problems instead of such state-of-the art devices.

---

## Biases of the environmental factors of a wind farm to fatality rate estimation and methods for reducing them

---

### 1 Vegetation-caused biases

We have visited more than 30 domestic wind farms, which are markedly different from each other in vegetation type. The representative vegetation types of wind farms are meadows [Fig. 2 / P114], grasslands [Figs. 3 and 4 / P115], shrubs [Figs. 5, 6 and 7 / P116, 117] and woods [Fig. 8 / P117]. We will deal with factors providing biases for fatality rate estimation and methods for reducing them in each of the vegetation types.

#### 1-1 Meadows and grasslands

Depending on the predominant herb species of meadows and grasslands, the canopy heights of meadows and grasslands generally remain short until early summer after reaping or dying in winter. Few problems are likely to arise when carcass searches are conducted during the period according to this manual because the vegetation conditions of these sites are similar to those of the APWRA.

初夏から夏にかけては伸長し密度も増すため、これ以降、晩秋の草本の地上部が枯れるまでの時期には、鳥の死体の発見率が著しく低下すると考えられる。

こうした植生条件下における鳥の死体の発見率を検証するため、日本野鳥の会は、草丈が1～1.5mで密度の高い草地環境〔図4〕における鳥の死体の発見率の検証実験を行なった。風車の基部を中心として1辺15mの方形区を3ヶ所設け、調査開始2時間前に各方形区内に解体したウズラとニワトリの死体をランダムに7～9個ばら撒き、方形区内に九十九折、またはタワーを中心として時計回りに渦巻き状の探索路を設定して6～7人の調査員により構成した3チームで探索を行なった。探索にあたっては、発見数の個人差を知るためにも1人ずつ探索を行なった。探索時の歩行速度は時速1km程度、探索の幅は草地で片側1m、裸地で4mとした。

その結果、3チームを平均した発見率は29.2%だった。また、発見した死体の数にはやはり、個人差があった。

ただしこの検証は1回きりであり、また本書にあるようなスカベンジャーによる持ち去り率や細かく調査員それぞれによる発見率の誤差などについて考慮していないという単純な結果である点は注意しなければならない。

## 1-2 低木林

低木が茂る場所ではさらに困難が伴う。低木は草本と違い木質の幹や枝があるため、掻き分けて歩くことは容易ではない。特に、図7のように密生した群落を作る種では、死体探索のために低木林の群落に入っていくことは、非常に困難である。また、人間の視界の高さ付近で枝葉を広げる種類もあり、低木林の中に入り込めたとしても視界が確保しにくいいため、死体探索が困難になる。

## 1-3 高木林

建設時に行なわれる造成に伴い、風車タワーの周辺自体は裸地や本来とは違う草地植生になっているものの、図8のように高木林が風車のすぐ近くに残存している場合がある。高木林については樹種、樹冠部や低層の状態によって死体探索の困難さは大きく違うため一概には言えないが、基本的には調査は困難な環境である。

However, carcass detection rates would remain markedly low from the early summer when the herb grows thick until the late autumn when the above-ground herb dies off (See Figs. 3 and 4).

We performed an experiment with carcass searches in a wind farm densely covered with 1-1.5m grass (Fig. 4) in order to determine carcass detection rates under these vegetation conditions. We established three 15 by 15m squares, each with a wind turbine in the center and a zigzag or clockwise spiral search route around a turbine. Seven to nine dismembered carcasses of quails and chickens were deposited at random in each of the squares two hours before the search began. The search workers were divided into three groups, each of which consisted of six to seven workers. They searched for carcasses one by one in order to determine differences in the number of discovered carcasses between them. The search workers walked at a speed of approximately 1km an hour to search the established routes of 2m wide and 4m wide in the grassland and bare ground respectively.

A mean detection rate of the three search groups was calculated at 29.2% and the number of discovered carcasses varied between the search workers as expected.

It should be noted, however, that the experiment was conducted only once and the detection rates were calculated without considering removal rates by scavengers and differences in detection rate between the search workers.

## 1-2 Shrubs

An area covered with shrubs presents a serious challenge to search workers. It is not easy for a search worker to push his way through a shrub because it has woody stems and branches unlike herb. It is especially difficult to walk into a dense community of shrubs as in Fig. 7 in order to search for carcasses. In addition, some species of shrubs grow leafy branches at eye level and block the view. A search worker would have great difficulty in searching for carcasses even if he was able to enter such shrubs.

## 1-3 Forests

Construction work usually deprives an area around a wind turbine of vegetation or changes the original vegetation into grassland. However forests sometimes re-

## 1-4 植生によるバイアスを減らす方法の植生管理の実施

### 1) 牧草地・自然草地・低木林

草本や低木が密生している場所、または草丈の高い場所で鳥の死体を探索、発見するのは非常に困難である。丹念に死体を探索する、また見落とし率を導くための実験を行なって補正を行なうなど調査努力量を増やすことでこの問題は回避されるが、時間と経費が余計にかかってしまう。特に、同じサイト内でも植生が様々である場合、見落とし率は風車ごとに算出する必要がある。そこで、草本類などが伸長する時期を中心に、定期的に調査範囲の刈り取りを行なうことを提案する。これにより、死体の探索路の幅を広げることができ、見落とし率をサイト内で同一にそろえることができるため、死体探索にかかる時間や労力は大幅に減るはずである。

ただし、事業者が土地の所有者でない場合、管理権限の問題や、特に牧草地の場合は家畜飼料に用いる用途に合った刈り取り時期が必要であることなどから、事業者が刈り取りを行なうのは無理な場合があるだろう。その場合、牧草や草本については夏に短期間で伸長することが多いため、伸長前に十分に調査を行ない、刈り取り後に再び調査を行なうことが考えられる。つまり伸長中～刈り取り時期には調査を行なわないのである。この場合には、調査回数を月ごと何回ずつというように割り振るのではなく、例えば1年を草本の伸長や刈り取りの時期を考慮して4つの期間に分けて、調査設定をする必要がある[図9]。なお、図9では後述する積雪の例も含めた。各期それぞれの中で調査可能となる時期に、調査を一定回

[図9] 草本の伸長や刈り取りの時期に積雪期も考慮し、1年を4期に分けて調査時期を設定する例。



両矢印で示された期間は、各期の中で実際に調査可能となる期間

main in the vicinity of wind turbines as in Fig.8. Although the difficulty of carcass search depends on tree species, canopy and lower structures of a forest, forests generally demand great efforts of search workers.

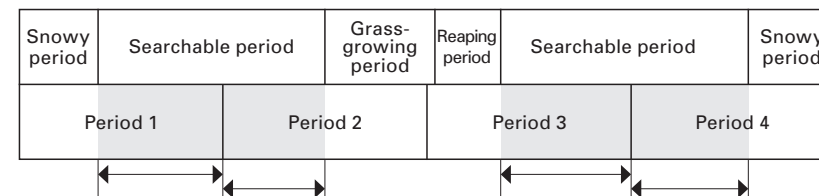
## 1-4 Vegetation management as a means of reducing vegetation-caused biases

### 1) Meadows, grasslands and shrubs

It is extremely difficult to search for carcasses in areas where herb and shrubs grow thick, or herb is tall. Although this difficulty can be overcome by performing painstaking searches or correcting the number of discovered carcasses based on detection rates and scavenger rates determined by field experiments, the experiments demand time and cost. Both rates need to be calculated for each wind turbine, especially when the conditions and types of vegetation vary between turbine sites in a wind farm. We recommend, therefore, that herb and grass should be cut regularly in search areas. This will result in the substantial reduction of time and efforts required for carcass search because a search route can be widened and detection rates and scavenger rates do not have to be calculated for each wind turbine.

However those who operate wind farms generally cannot cut grass regularly, when they lease the farm sites from landowners or when the farm sites are meadows for forage. Since grass grows in a short period during the summer, search workers may overcome this problem by conducting carcass searches more frequently before grass grows and resuming them after grass is reaped, instead of performing searches during the period when grass grows. In this case,

[Fig. 9] An example of a search plan dividing a year into 4 search periods considering the growing and reaping periods of grass and snowy periods.



Arrows show periods searches are possible.

数、等間隔に行なう。

図9では、積雪により1期目では2ヶ月、2期目では草本の伸長の影響により1ヶ月半程度しか実際に調査できない。図にある4期の中でとれるもっとも短い調査期間は1ヶ月半(45日間)となるため、設定すべき調査期間は4期とも1ヶ月半にする。そして、各期に8回ずつ調査するのであれば、5日に1回の調査をすることになる。こうすることで、草本の伸長や刈取りのバイアスを除去し、各期の間で比較可能な影響評価ができる。その際、草丈の伸長や刈取りの時期がこちらで設定した調査の期をまたぐようにし、各期の中での調査ができない期間を減らす工夫もすべきである。また、期の間で調査日が連続すると、期を分けた意味が薄れるので、期と期の間で調査日程を離すようにする。なお、設定の考え方は各サイトによって変える必要がある。

刈取りについて注意しなければならないのは、植生の状態が変わることに応じて、それまでにみられなかった動物が増える場合があることである。例えばノウサギが草刈り後の草地を採食地として使うようになった場合、そのノウサギを捕食しようとして猛禽類が飛来するようになり、事故が発生してしまう可能性がある。APWRAでは、風車設置後に周辺を裸地にすることでワタオウサギが風車の基礎部分に穴を掘って住むようになり、それを狙うイヌワシやノスリ類が多く事故に遭っている。そのため、風車の周囲の植生や地面の様子を変化させた後に、風車の周囲の生物相がどのように変化するか十分に注意する必要がある。もし変化した場合は、どのように対策すべきか早急に専門家へ相談するのがよいだろう。

植生管理の手段として、ウシやヤギなどの草食性の家畜を放牧して草を食べさせることで、草丈を抑えることも考えられる。しかし Smallwood and Thelander (2004) によれば、ウシは陽射しや風を避けるために風車周辺に集まる傾向があり、風車周辺に糞便が集積され、バッタなど昆虫類が集まり、昆虫を食べる鳥、その鳥を食べる猛禽類などが集まり、風車周辺で新たな食物網が出来る可能性がある。つまり家畜放牧が猛禽類を風車に誘引し、結果として事故の発生率を高めるおそれがある。そのため、この管理手法を推奨することはできない。

## 2) 高木林

高木林については、調査対象となる範囲の樹木を伐採し、裸地や丈の低い草地

however, some modifications would be required for a search plan in terms of a search period and frequency. For instance search workers divide a year into four periods, considering the periods when grass grows and grass is reaped, and carry out searches with suitable frequency during each period, instead of conducting searches with the same frequency every month [Fig.9 / P101]. Fig.9 includes the snowy periods we will touch upon later. Searches should be conducted with particular frequency and at regular intervals during the periods when searches are possible in each period. The growing period and reaping period of grass should stretch over the periods set up for searches to reduce the periods when searches are impossible in each period. In addition, if the last search of one period is close to the first one of another period, they should be set apart because the division of a year into four periods will not work effectively.

Fig.9 shows that searches can be performed for two months because of the snow in the first period and for one and a half month due to the hindrance of grass in the second period. Since the shortest search period is one and a half month in the four periods of Fig.9, a search period should be set at one and a half month in each period. If eight searches are carried out in each period, for instance, they will be conducted at five-day intervals. Since this will remove vegetation biases from search results, the results can be compared between the four periods. As a matter of course, search plans should be changed according to the conditions of wind farms.

It should be noted that grass-cutting can change the composition of animal species in a wind farm. For instance, if hares begin to use as feeding grounds areas where grass has been cut, they may attract some raptor species and contribute to collisions with wind turbines. In the APWRA cotton tails have burrowed under the ground at the base of a wind turbine because areas around a turbine have been deprived of vegetation, and many Golden Eagles and Buzzards drawn by the newly settled rabbits have collided with wind turbines while hunting them. It is, therefore, necessary to study the effects of vegetation changes around a turbine on the fauna and flora in the vicinity.

Grazing cattle such as cows and goats is effective in preventing grass from growing. However cattle often gather around a wind turbine to keep out of hot sun or wind, which results in the accumulation of their dung around a turbine. The dung fascinates insects and insects, in turn, draw insectivorous birds, which attract

---

にすることで、死亡率推定へのバイアスが除去できると考えられる。しかし、保安林指定や防風林としての機能、炭素吸収源の保護など様々な条件により、高木林を伐採することは現実的には困難な場合が大半と考えられる。そもそも、高木林内に風力発電施設を建設することは、事故防止の観点から避けるべきである。欧州の例では、風車のローター部分と森林の樹冠部の高さが同じくらいになる場合において、森林の近くの風車でコウモリ類の死亡事故が多く（Hötter *et al.* 2006；訳書は財団法人日本野鳥の会編訳 2009）、また、鳥が林内から飛び出す時に風車にぶつかることが懸念されるためである（Smallwood 私信）。

## 2 地形によるバイアス

国内では、河川や海岸沿いなど水辺に風車を建設する例がみられる〔図 10、11 / P118〕。特に、北海道では海沿いの断崖の上に風車を建設する例がみられ、この場合は崖の縁のごく近くに建てられることがある〔図 12 / P118〕。このような場所では鳥が衝突死したとしても水中や崖下に落下してしまう可能性が高く、死体を発見することは事実上不可能となる。

また最近では、山地や丘陵地に風車を建設することが多くなってきた。このような場所では、尾根上または急傾斜している斜面の頂上に風車が建設される場合がある。急傾斜地に面する風車で鳥類が衝突した場合は、斜面下に死体が転落してしまう可能性が高く、人間が斜面に下りて探索することも難しく、死体を発見することはほとんど不可能だろう。

### 2-1 地形によるバイアスを減らす方法

水辺や断崖、急傾斜地に接するような場所に風車が立てられた場合、そのような場所へ落下した死体を探索することは事実上不可能である。だがこれについては、設定した調査範囲から水域など調査できない範囲を除き、実際に調査可能な面積をハンディ GPS など用いて算出し、そして調査できた範囲内で発見した死体数から、調査できなかった範囲の死体数を推定することで、バイアスを除去できる。

例えば、実際に調査可能な範囲は設定範囲の 50%、調査可能範囲内で死体を 2 体発見したならば、本来は 4 個体で衝突死が起きたと考えられる。しかし、

raptors. Thus a food web may newly develop in the vicinity of a wind turbine (Smallwood and Thelander, 2004). In short, grazing cattle draws raptors to wind turbines, which is likely to increase raptor fatalities due to collisions with turbines. Thus we will not recommend grazing cattle for vegetation control.

### 2) Forests

When a search area includes a forest, forest biases to the estimation of a fatality rate can be removed by felling trees in the area and creating bare ground or short grassland. On the other hand, it would be practically impossible to fell trees in most forests because they function as a shelter belt, a forest reserve, a carbon dioxide absorber and others. Normally, wind farms should not be constructed close to forests to prevent birds from colliding with wind turbines. It is reported from Europe that many bats have been killed in collisions with wind turbines close to a forest whose canopy is level with the turbine blades (Hötter *et al.* 2006 : the Japanese version edited and translated by the WBSJ 2009). In addition, birds are likely to collide with turbines when they fly out of a forest (K.S.Smallwood pers. comm.).

## 2 Topography-caused biases

Some wind farms are located in the vicinity of the water such as a river and the sea in Japan [Figs.10 and 11 / P118]. Some wind farms are situated at the top of a coastal cliff, especially in Hokkaido, northern Japan. In these wind farms some wind turbines are built close to the edge of a cliff [Fig.12 / P118]. It is almost impossible to discover carcasses in these sites because most of the birds are likely to fall into the sea or below the cliff when they collide with wind turbines.

In addition, the number of wind turbines has recently increased on mountains and hills. Some wind turbines are located on a ridge or at the top of a steep slope. It would be practically impossible to climb down a steep slope and search for birds fallen to the bottom of the slope when they collide with these wind turbines.

### 2-1 Method for reducing topography-caused biases

It is almost impossible to search for birds fallen into a river and the sea or below a cliff and a steep slope, when they collide with wind turbines located close to these sites. However the number of detected carcasses can be corrected by calculating the area where search is possible using a portable GPS and other devices

---

風車はその時の風向や風速でローターの向きや回転速度が変わるため、そのことを調査へのバイアスとして考える必要があるだろう。この点は綿密な検証が必要のため、今後の研究に期待することとする。

### 3 積雪によるバイアス

日本は、北～東日本の日本海側を中心に年間で 50cm 以上の積雪のある地域があり、場所と気象条件によっては、1 日で数十 cm 以上も雪が積もることもある。このような場所 [図 13 / P119] では、風車に衝突した鳥の死体が雪に埋もれてしまうことがあり、死体を発見することは困難になる。

#### 3-1 積雪に対する考え方

北～東日本の日本海側を中心とする積雪および降雪は鳥類の死体を覆い隠すため、死体を探索するうえで大きな課題となるが、どのように対処すべきか。

例えば、アメリカの多雪地域では、積雪のある期間は死体探索の調査をしていない (Smallwood 私信)。一般に、積雪地で冬季に風車に衝突死した鳥は、雪が融ける時期になって発見されることが多い。明確な死亡時期を推定するのは難しいが、死体はそれほど傷んでいない状態で発見されることも多い。そのため、積雪のある期間は死体探索の調査をしなくても、スカベンジャーが持ち去れないような大きさの鳥については、死亡数を確認できる可能性が高い。ただし、小～中サイズの鳥は積雪期であっても死体がスカベンジャーに持ち去られる可能性があることは変わらない。そのため、死体探索は行なえないとしても、スカベンジャーの足跡や雪を掘り返した痕跡、またはビデオ撮影などから、スカベンジャーによる持ち去りがどの程度発生していそうか把握し、モデルを作って補正する必要があるだろう。

積雪期間の短い地域であれば植生管理のところで述べたのと同様、1 年を 4 季に分けて各季の中で一定回数、特に積雪期の前と後で十分な調査を行なうことで対処できるかもしれない [図 9 / P100]。

after the area where search is impossible is removed from the area set up for a carcass search, and estimating the number of carcasses in the area search is impossible based on the number of carcasses discovered in the searchable area.

For instance, if a searchable area accounts for 50% of the area established for a carcass search and two carcasses were discovered in the searchable area, then four birds will be killed in collisions with wind turbines in the search area as a whole. When the number of carcasses is estimated, however, turbine-caused biases should be also taken into consideration. Since a wind turbine changes the direction and speed of its rotors according to the wind direction and force, the direction and speed of turbine rotors also present biases to the estimation. Further study is required to determine these biases because they are highly complicated and therefore need in-depth analyses.

### 3 Snow-caused biases

An annual snowfall amounts to more than 50cm in some areas on the side of the Japan Sea of northern Japan. Depending on areas and weather conditions, a daily snowfall can be more than 50 cm. In such areas birds killed in collisions with wind turbines can be covered with snow, which would make it difficult to detect the carcasses [Fig.13 / P119].

#### 3-1 Measures to cope with the snow

In northern Japan, especially in the regions facing the Japan Sea, the snow is a serious obstacle to carcass search because it covers up bird carcasses. In the snowy regions of the US, for instance, no carcass searches are carried out during the period when the ground is covered with snow (K.S.Smallwood, pers.comm.). Birds killed in collisions with wind turbines during the winter often emerge from under the snow when the snow begins to melt. It is difficult to estimate the definite periods when birds were killed, but many carcasses are in a fairly good condition when they are discovered. Therefore it is highly possible to determine the number of the birds that are too large for scavengers to remove, even if no carcass searches are conducted during the period when the ground is covered with snow. On the other hand, small to middle sized birds can be removed by scavengers during the period of snowfall. If carcass searches cannot be performed during the winter, therefore, the number of discovered carcasses should be corrected by estimating the removal rates of scavengers based on the footprints of



## 4 複雑な環境の組み合わせによるバイアス

図 2～8 および 10～12 にみるように、日本国内で風車が建設されている環境は単一ではなく、実際には植生や地形等の要因が複雑に組み合わせられて環境が構成されている場合が多い。例えば、牧草地であっても防風林として森林が配されており、その反対側には道路があり、道路を隔ててササ原やヤナギ低木林が広がっているなどである。この環境に断崖や急斜面、海や川などの水域が加わることも考えられる。したがって、それぞれの環境要素ごとにバイアスが変化する。

### 4-1 複雑な環境によるバイアスを減らす方法

では、このような複雑な環境において、死体探索と死亡率推定を行なうにはどうしたらよいただろうか。それは、上記にあるような植生管理と調査面積の補正を組み合わせることである。例えば、調査対象範囲のうち一部が崖下となり調査不能、残りは牧草地と高茎草地だとする。この場合、牧草の丈の低い時期ならそれに合わせて高茎草地を刈る、牧草の丈も高い時期なら両方とも刈るなどで対処し、これにスカベンジャーによる持ち去り率などを加えて得られた推定死亡率と崖下によるバイアスを除去した死亡率を加味すれば、全体の推定死亡率となる。

このほか、例えば定期的に草刈りができる場所では 2 週間に一度の調査をしておき、草刈りをできない場所では図 9 のような方法で調査をし、その二つの調査を組み合わせる方法も考えられる。

## 5 イヌを利用してバイアスを減らす方法

鳥の死体の探索について、イヌの嗅覚を利用することが可能であると考えられる。コウモリの死体探索での例だが、イヌを利用することで発見率が人間の 2～4 倍に高まった例 (Arnett 2005) がある。そのほか、絶滅危惧種のサバクゴファーガメ (*Gopherus agassizii*) を 91% の確率で発見した例 (Cablak and Heaton 2006)、またニュージーランドではキューウィ (鳥) を使った探索の例 (Robertson and Fraser 2009) もあり、参考となる。

ただイヌを利用するにあたっては、犬種やその個体に由来する探索能力、そ

scavengers in the snow and signs that scavengers dug up the snow, or recording with video cameras.

In an area with a short period of snowfall, however, it would be possible to cope with problems resulting from heavy snowfalls by dividing a year into four periods and carrying out searches with particular frequency during each period as well as conducting searches at shorter intervals before and after the period of snowfall (See Fig.9 / P101).

## 4 Biases caused by complicated combinations of environmental factors

The environments in which most domestic wind farms are located are not simple but comprise complicated combinations of physical factors such as vegetation and topography (Figs.2-8 and Figs.10-12). For instance, a wind farm is located in a meadow with a shelter belt on one side and a road on the other side, a field of dwarf bamboos (*Sasa* spp.) and willow shrubs spreading out beyond the road. A cliff, a steep slope, the coast or a river may be added to them. Thus biases vary with environmental factors.

### 4-1 Methods for reducing biases caused by complicated environments

In order to carry out a carcass search and estimate a fatality rate in a wind farm situated in such a complicated environment, the management of vegetation and the correction of detected carcass numbers above mentioned needs to be conducted together. Let us assume, for instance, that a part of the area set up for a carcass search is below a cliff and not possible to search. The rest consists of a meadow and tall grassland. The tall grass will be cut when the grass of the meadow is short and the grass of the meadow also will be cut when it is tall. First the number of carcasses discovered in the meadow and the grassland will be corrected using the removal rate of scavengers and the detection rate. Then the number of carcasses below the cliff will be estimated based on the corrected carcass number. Finally the fatality rate of the whole search area will be estimated using these carcass numbers.

In addition, carcass searches may be carried out according to two different search plans. For instance, searches are performed every two weeks in the areas where

の時のイヌ自身の体調、周囲の自然環境（臭いの拡散しやすさ）や風向などによっても死体発見に対してバイアスのかかる可能性があることを考慮しておかなければならない。風車に衝突死した鳥の死体をイヌに捜させることは APWRA でも行なわれたことがなく、イヌの利用がどのような結果を出すかは未知数のため、これから利用可能性が検証される手法だろう。

## 6 その他

2008 年 10 月に青森県内で行なわれた検討会の中で、調査に対する集中力を長続きさせるのが難しいという意見があった。APWRA では 1 日に 6 ～ 7 時間の調査を行なうが、草が茂っているなど死体発見が困難な場所ほど集中力の持続が難しいようで、図 4 のような場所だと 1 時間も持続できないようだった。このような集中力の低下は、死体発見に対するバイアスとなる可能性がある。

集中力の持続時間や回復方法については個人差が大きいため一概には言えないが、検討会の中であがった意見では、設定した調査範囲を示すためのロープを張り、どこまで調査すればよいか目標を持ちながら調査するとよいのではないかと、というものがあつた。また、風車による鳥の死体がどのような状態で落ちているか、実際の写真を見てイメージしておくことも、集中力を低下させない手段であるという意見があつた。確かに、見たこともないものを探すのは難しい。そこで最後に、実際にどのように鳥の死体が落ちているかいくつかの写真〔図 14 ～ 19 / P120 ～ 122〕を紹介して、これから調査を行なう人の探索イメージづくりの助けとしたい。

grass can be cut regularly, and in the areas where grass-cutting is not possible, searches are conducted according to the search plan shown in Fig.9.

## 5 Use of trained dogs

Dogs may be used in carcass searches. For instance, dogs detected two to four times as many carcasses of bats as humans (Arnett, 2005). Dogs discovered Desert Tortoises (*Gopherus agassizii*), an endangered species at a rate of 91% (Cablk and Heaton, 2006). In addition, dogs were used in searching for Kiwis in New Zealand (Robertson and Fraser, 2009).

These instances suggest that dogs have remarkable ability as a searcher. It should be noted, however, that detection rates may be affected by differences in searching ability between dogs or their breeds, the physical condition of a dog during a search and the environmental conditions of a search area, such as the diffusibility of scent and the direction of the wind. A feasibility study would be required for the use of dogs in carcass searches because no dogs have been used in the APWRA and detection rates of dogs are still unknown.

## 6 Others

In the workshop held in October 2008, one of the participants said that it was hard to keep his concentration during the search. Although searches are conducted for six to seven hours a day in the APWRA, it is more difficult for search workers to keep their concentration in areas demanding greater efforts like dense grasslands. They seemed unable to keep their concentration for an hour in the area as in Fig.4. A decline in concentration like this may result in biases to carcass detection.

Although the duration of concentration and the means of recovering concentration vary greatly between individuals, some useful suggestions were presented about the measures of helping the concentration of search workers in the above mentioned workshop. For instance, if the boundary of an area set up for a search is formed using a rope and stakes, it may facilitate the concentration of search workers because they can discern the area they should search for carcasses. If search workers have built an image of their target in advance by observing pictures of birds killed in collisions with wind turbines, they may keep up their concentration until the end of a search. It is true that it is difficult to search for what

## 7 検討会について

タイトル：風力発電施設が鳥類に与える影響とその調査方法の検討会

日時：2008年10月11～13日

場所：むつ小川原ウィンドファーム、三沢市公会堂

主催：(財)日本野鳥の会／共催：エコ・パワー(株)／協力：三沢野鳥の会、NPO 法人おおせつからんど／助成：地球環境基金

参加者：山田三夫(日本野鳥の会・札幌支部)、星 英男(室蘭支部)、林 吉彦(道南檜山支部)、高田令子(根室支部)、佐々木宏(宮古支部)、香川正行(福井県支部)、市川雄二(三重県支部)、石橋知可子(愛知県支部)、松田久司(愛媛県支部)、古川 博(NPO 法人おおせつからんど)、津曲隆信(三沢野鳥の会)、安藤一次(三沢野鳥の会)、麦沢 勉(おおせつからんど)、関下 斉(おおせつからんど)、橋川小幸里(エコ・パワー)、松本匡司(電源開発)、小坂克己(日本気象協会)、Shawn Smallwood 博士(講師)、油田照秋(北海道大学)、境瑞紀(北里大学)、古南幸弘(日本野鳥の会事務局)、手嶋洋子(日本野鳥の会)、萩原洋平(日本野鳥の会)、鈴木弘之(日本野鳥の会)、浦 達也(日本野鳥の会)

you have not seen before. Thus we will show some pictures of bird carcasses due to collisions with wind turbines [Figs.14-19 / P120-122] to help future search workers to build their target images.

## 7 On the workshop

Title : The workshop on the effects of a wind farm on birds and methods for studying them

Date : On October 11-13, 2008

Place : The Mutsu Ogawara wind farm and Misawa City Public Hall, Aomori Prefecture

Host : The Wild Bird Society of Japan / Co-host : Eco Power Co., Ltd. / Supporter : "The Bird Society of Misawa" and (NPO) "Oosekka-Land (The Japanese Marsh Warbler Conservation Group)" / Sponsor : The Japan Fund for Global Environment

Participants : Mitsuo Yamada (Sapporo Chapter, WBSJ), Hideo Hoshi (Muran Chapt., WBSJ), Yoshihiko Hayashi (Donan Hiyama Chapt., WBSJ), Reiko Takada (Nemuro Chapt., WBSJ), Hiroshi Sasaki (Miyako Chapt., WBSJ), Masayuki Kagawa (Fukui Chapt., WBSJ), Yuji Ichikawa (Mie Chapt., WBSJ), Chikako Ishibashi (Aichi Chapt., WBSJ), Hisashi Matsuda (Ehime Chapt., WBSJ), Hiroshi Furukawa (NPO Oosekka-Land), Takanobu Tsumagari (Misawa Wild Bird Society), Ichiji Ando (Misawa Wild Bird Society), Tsutomu Mugisawa (Oosekka-Land), Akira Sekishita (Oosekka-Land), Sayuri Hashikawa (Eco Power Co., Ltd.), Tadashi Matsumoto (Electric Power Development Co., Ltd.), Katsumi Kosaka (Japan Weather Association), Dr. Shawn Smallwood (Instructor), Teruaki Yuta (Hokkaido Univ.), Mizuki Sakai (Kitazato Univ.), Yukihiko Kominami (WBSJ), Yoko Tejima (WBSJ), Yohei Hagiwara (WBSJ) and Hiroyuki Suzuki (WBSJ), Tatsuya Ura (WBSJ).



【図1】 APWRAで代表的な風車の立地環境。冬の雨季には草丈が延びるものの、春～秋はこのように草丈が短い。

【Fig.1】 Typical landscape of wind farms in the APWRA, US. Vegetation is very short, similar to dry grassland except for in winter when rainfall allows grass to grow taller.



【図2】 丘陵の尾根上の牧草地に建つ風車。夏には草丈が一気に伸びるため、その時期の調査や評価の方法は工夫しなければならない。(礼受風力発電所、留萌風力発電所 / 北海道)

【Fig.2】 Wind turbines located in a meadow on the ridge of a hill. The method of a carcass search requires suitable modifications in summer because the grass grows rapidly during the period. The number of detected carcasses also needs correction. (Reuke wind farm, Rumoi wind farm, Hokkaido)



【図3】 草地に建つ風車。写真のように、この風車周辺での6月の草丈は数十cm程度である。(むつ小川原ウインドファーム/青森県)

【Fig.3】 A wind turbine situated in the grassland. The grass is 40-50cm tall in June. (Mutsu Ogawara wind farm, Aomori Prefecture)



【図4】 図3と同じ風車で10月の様子。草丈は1.5m程になり下草の密度も増すため、調査が困難になる。(むつ小川原ウインドファーム/青森県)

【Fig.4】 Same wind turbine as in Fig.3. A carcass search is difficult in October because the grass grows densely up to 1.5m during the period. (Mutsu Ogawara wind farm, Aomori Prefecture)



【図5】 風車列より内陸側に高さ1mほどの低木林が存在している。写真は葉の茂っている時期であり、葉のない時期よりも調査はさらに困難となる。(波崎ウインドファーム／茨城県)

【Fig.5】 Approximately 1m shrub grows on the inland side of a row of wind turbines. A carcass search is more demanding during the period the shrub is in full leaf as in the photo. (Hasaki wind farm, Ibaraki Prefecture)



【図6】 風車の周辺に高さ1mほどの低木林が存在している。写真は葉が落ちている時期であり、葉の茂る時期よりは調査しやすいと思われる。(秋田新屋ウインドファーム／秋田県)

【Fig.6】 Approximately 1m shrub grows around wind turbines. A carcass search is easier when the shrub is defoliated as in the photo. (Akita Araya wind farm, Akita Prefecture)

【図7】 ホザキシモツケは樹高1~2mのバラ科の落葉低木で、北海道と本州の一部でやや湿った草原に自生する。群落を形成して密生し、人間の視界の高さ付近で枝葉を広げる植物である。このような植物のある場所で死体を探索するのは、非常に困難である。

【Fig.7】 Bridewort *Spiraea salicifolia* is a 1-2m deciduous shrub of a rose family, which occurs in slightly wet grasslands of Hokkaido and parts of Honshu. It forms a dense community, with its canopy spreading at eye level. Such dense communities demand great efforts of carcass search workers.



【図8】 周辺に森林が残存している風車。森林で調査と評価を行なうのは、非常に困難だと思われる。(野辺地風力発電所／青森県)

【Fig.8】 Wind farm in open patches of a wooded landscape. A carcass search would demand a great effort of search workers in the wooded areas and the number of discovered carcasses needs to be corrected. (Noheji wind power plant, Aomori Prefecture)

【図9はP100参照】 (See P101 for Fig.9)



【図10】川沿いに建つ風車。川の中に落ちた死体は発見できないため、評価には補正が必要となる。(たちかわウインドファーム／山形県)

【Fig.10】 A wind turbine built on a river. The number of discovered carcasses requires correction because it is almost impossible to detect carcasses fallen into the river. (Tachikawa wind farm, Yamagata Prefecture)



【図11】海沿いに建つ風車。最も海側の風車では、設定する調査範囲のうち60%は海面となるため、評価には補正が必要となる。(五島岐宿風力発電研究所／長崎県)

【Fig.11】 Wind turbines located along the coast. The number of detected carcasses requires correction because the sea surface accounts for 60% of the carcass search area set up for the wind turbines next to the coast. (Gotokishiku wind power plant, Nagasaki Prefecture)



【図12】海岸段丘に建つ風車。設定する調査範囲のうち50%近くは崖下となるため、評価には補正が必要となる。この施設では今までに、通行人などによって数例のオジロワシの衝突死が確認されている。

【Fig.12】 Wind turbines located on a coastal terrace. The number of detected carcasses requires correction because the area below the cliff accounts for almost 50% of the search area. A number of White-tailed Eagle carcasses due to collision with wind turbines have been discovered by passersby in this wind farm.



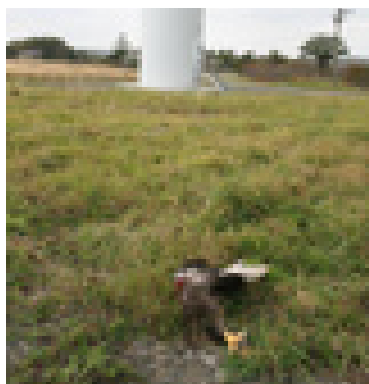
【図13】積雪時期の風車。多雪地帯では1日で40～50cmの雪が積もることもあり、冬期は調査が非常に困難となる。そのため、この時期の調査や評価には工夫が必要となる。

【Fig.13】 Wind farm with a thick layer of snow. A carcass search is extremely difficult in winter because the daily snowfall can amount to 40-50cm in this area. Therefore the search method requires suitable modifications during the period of heavy snowfall and also the number of discovered carcasses needs to be corrected.



【図14】 風車に衝突死したオジロワシの死体。このようにバラバラとなって落下することがある。写真は上半身と片翼。

[Fig.14] An upper body and a wing of a White-tailed Eagle killed in a collision with a wind turbine. The eagle was mutilated by a turbine blade and scattered around the base of the turbine.



【図15】 図14と同じ場所でのオジロワシの死体。写真は尾羽部分と右脚。

[Fig.15] The tail and the right leg of the same eagle as in Fig.14.



【図16】 発見したオジロワシの死体を1ヶ所にして写したものの。懸命な捜索にもかかわらず、左脚は発見されなかった。

[Fig.16] Recovered parts of the same eagle mutilated by a turbine blade. The eagle's left leg was not discovered in spite of a painstaking search.



【図17】 風車に衝突死したと思われるトビの死体。死体の近くには羽毛が散乱していた。スカベンジャーに死体を持ち去られれば、羽毛だけが残った状態で発見されることになる。その場合でもバードストライクの可能性があるため、調査時には記録をしなければならない。

[Fig.17] A carcass of the Black Kite that probably collided with a wind turbine. Feathers were scattered around the carcass. Only feathers would have been detected if a scavenger had removed the carcass. Therefore even the discovery of scattered feathers like this should be recorded because of a probable collision with a wind turbine.



【図18】むつ小川原ウィンドファームで行なった検討会での死体探索実験の際に設置したウズラの脚。図12~14のように死体はバラバラとなることもある。集中して搜索しないと、小さな鳥の体の一部の発見は難しい。

[Fig.18] A leg of a quail placed in advance for a carcass search training on the workshop in Mutsu Ogawara wind farm. A part of a small bird mutilated by a turbine blade poses a challenge to a search worker.



【図19】死体探索実験の際に設置した茶色いニワトリの死体。大きな鳥であっても、藪の中に落ちている、周りの植生と色が近い、などの条件が重なるとこのように目立ちにくい。

[Fig.19] A carcass of a brown chicken deposited for a carcass search training. Even a large carcass can be inconspicuous depending on environmental factors, such as vegetation cover and colors.

写真

浦達也  
表紙、P1、92、114 (図1)、P115 (図3、4)、  
P117 (図7)、P122 (図18、19)、P126

エコ・パワー株式会社  
P2~4 (口絵1~3)、P114 (図2)、  
P116 (図5、6)、P117 (図8)、  
P118 (図10、11、12)、P119 (図13)

渡辺義昭 P5 (口絵4)  
高橋知明 P6 (口絵5)  
掛下尚一郎 P7 (口絵6、7)  
高田令子 P120 (図12、14~16)  
松田久司 P121 (図17)  
(敬称略)

表紙、P1、P126 / アルタモントパス・ウィンド  
リソースエリア (カリフォルニア州 / アメリカ)

Photo

Tatsuya Ura  
Cover, P1, 92, 114 (Fig.1), P115 (Fig.3, 4),  
P117 (Fig.7), P122 (Fig.18,19), P126

Eco Power Co.,Ltd.  
P2-4 (Plate 1-3), P114 (Fig.2), P116 (Fig.5, 6),  
P117 (Fig.8), P118 (Fig.10, 11, 12),  
P119 (Fig.13)

Yoshiaki Watanabe P5 (Plate 4)  
Tomoaki Takahashi P6 (Plate 5)  
Shoichiro kakeshita P7 (Plate 6,7)  
Reiko Takada P120 (Fig.12, 14-16)  
Hisashi Matsuda P121 (Fig.17)

Cover, P1, P126 / The Altamont Pass Wind  
Resource Area (California, U.S.A)



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

K. ショーン・スモールウッド

財団法人 日本野鳥の会

翻訳 黒沢 隆  
発行 2009年3月  
発行者 柳生 博  
財団法人 日本野鳥の会  
〒141-0031 東京都品川区西五反田  
3丁目9番23号 丸和ビル  
TEL 03-5436-2633  
FAX 03-5436-2635

企画・発行 (財)日本野鳥の会 自然保護室  
(葉山政治・古南幸広・浦 達也)  
URL: <http://wbsj.org> e-mail: [hogo@wbsj.org](mailto:hogo@wbsj.org)

協力 エコ・パワー株式会社  
編集 高桑圭子  
デザイン 安田真奈己  
印刷 日野テクニカルサービス株式会社

この資料に掲載されている各記事、写真、図表などの無断転載は  
固くお断りします。著作権は(財)日本野鳥の会に帰属します。  
この資料集は地球環境基金の助成を受けて作製しました。

Wild Bird Society of Japan

Translated by Takashi Kurosawa

Issue date; March 2009

Published by Hiroshi Yagyu

Wild Bird Society of Japan

Maruwa Bldg, 3-9-23 Nishi-gotanda, Shinagawa-ku,  
Tokyo 141-0031 Japan

TEL +81-3-5436-2633 / FAX +81-3-5436-2635

Edited by Conservation Division of Wild Bird Society  
of Japan (Seiji Hayama, Yukihiro Kominami, Tatsuya Ura)

URL: <http://wbsj.org> e-mail: [hogo@wbsj.org](mailto:hogo@wbsj.org)

Joined by Eco Power Co., Ltd.

Edited by Keiko Takakuwa

Designed by Manami Yasuda

Printed by HINO Technical Service Ltd.

All rights reserved. No part of this publication may be  
reproduced or transmitted in any form or by any means  
without the written permission of Wild Bird Society of Japan.

This publication was supported by a grant from the Japan  
Fund for Global Environment.



Eco Power Co., Ltd.



(財)日本野鳥の会  
Wild Bird Society of Japan

Bird Conservation Series Vol.26  
Manual for Assessing  
Wind Farm Impacts to Birds  
K. Shawn Smallwood

# あなたが会員に加わることが 自然を守るチカラになります

## (財)日本野鳥の会 入会のご案内

(財)日本野鳥の会は、自然と人間とが共生可能な社会の実現を目指し、  
野鳥や自然のすばらしさを伝えながら、自然保護を進めている民間団体です。  
全国の会員の方が自然を楽しみながら、自然を守る活動を支援しています。  
ぜひ仲間に加わってください。

### 全国の活動を 応援したい!

青い鳥会員(本部型会員) 会誌「野鳥」をお届けします。  
▶入会金1,000円+本部年会費5,000円

### 地域に密着して 活動したい!

赤い鳥会員(支部型会員) 各支部の支部報をお届けします。  
▶入会金1,000円+本部年会費1,000円+支部年会費  
※本部年会費1,000円は、会の運営に関する基本的な経費です。

### 全国と地元の 活動両方を 応援したい!

おおぞら会員(総合会員) 会誌「野鳥」と各支部の支部報を  
お届けします。  
▶入会金1,000円+本部年会費5,000円+支部年会費

### 資金的に より力強く 応援したい!

個人特別会員 会誌「野鳥」をお届けします。  
ご希望により別途支部年会費をお支払いになり、支部に入られた  
場合は支部報も届きます。  
▶入会金無料+本部年会費10,000円(+支部年会費)

### 家族全員で 入りたい!

家族会員 会誌「野鳥」や支部報は1家族に1部のお届けです。  
▶お一人追加につき500円  
※上記会員の家族で、同じ住所にお住まいの場合に限ります。

### お友だちもご紹介ください —— 自然を守る仲間を増やそう! ——

一人ひとりの力は小さくても、集まれば自然を守る大きなチカラになります。既に  
会員の方も、お友だちをぜひご紹介ください。紹介先の方が実際に入会された場  
合、紹介元の方には当会会長名の感謝状をお送りしております。

入会申込み・  
資料請求に関する  
お問い合わせ

〒141-0031 東京都品川区西五反田3-9-23 丸和ビル  
(財)日本野鳥の会 会員室 入会申し込み係  
TEL 03-5436-2630 FAX 03-5436-2636  
E-mail: [shiryou@wbsj.org](mailto:shiryou@wbsj.org)



