

バードストライク

— 風力発電と野生生物

日本大学大学院総合社会情報研究科 教授

眞邊一近 (まなべ かずちか)

Profile—眞邊一近

1985年、明星大学人文学研究科心理学専攻博士課程単位取得退学。博士（心理学）。明星大学助手、デューク大学研究員、メリーランド州立大学研究員、同志社大学研究員、大阪青山短期大学助教授を経て、2001年より現職。日本心理学会理事。専門は行動分析学、比較心理学。著書は*Neuroethological Studies of Cognitive and Perceptual Processes*（分担執筆、Westview Press）、*Reflections on Adaptive Behavior*（分担執筆、MIT Press）など。



環境保全と自然エネルギー

近年、地球温暖化対策のため、二酸化炭素排出量の少ない自然エネルギーを用いた発電が注目されている。これに加え、東日本大震災による原発事故を契機に、原子力発電に代わるものとしての太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱発電等が脚光を浴びている。一般的にこれらの自然エネルギーを用いた発電は環境に優しいと考えられているが、必ずしも優しくない側面も同時に存在する。たとえば、水力発電や地熱発電を行うためには、ダム建設による甚大な環境破壊や、掘削による温泉への影響などがある。発電所建設により、そこに生息する動物も影響を受ける。比較的設置面積の小さな太陽光発電の場合でも、ソーラーパネルによる太陽光の反射によるまぶしさや温度の上昇があり、生息動物や渡り鳥など移動する動物への影響が懸念される。風力発電の場合は、他の自然エネルギー発電に比べて設置面積が相対的に小さくてすむため、環境破壊の程度が少ないように思われるが、十分な風力を得られる場所は、一般的に風光明媚な場所が多く、また、生息動物や移動する動物の通り道に設置されているケースがあり、環境への影響が無視できない（図1）。

天然記念物であるオジロワシの死因の中で、原因がはっきりしている要因の1位は交通事故、2位が鉛弾を含むエゾシカ死肉摂取による鉛中毒、3位が風車への衝突事故である（環境省、2011）。風力発電はクリーンな自然エネル

ギーとして期待されているが、環境保護・保全の観点から、バードストライク対策が求められている。

なぜバードストライクは生じるのか？

図1の左上の写真は、石川県に設置されている内灘風力発電所の風車とその近くを飛翔するトビの写真である。トビに比べて風車は巨大で、かつ、ゆっくり回っているように見えるため、トビ等が風車に衝突する可能性はかなり低いように思われる。しかし、前述したようにバードストライクが生じている。衝突の原因として、これまで、以下の二つの仮説が提唱されている。分割的注意（Divide Attention）不得意仮説（Orloff & Flannery, 1996）と、モーションスマア（Motion Smear）仮説（Hodos, Potocki, Storm, & Gaffney, 2001）である。分割的注意不得意仮説は、猛禽類が地上の獲物を探している場合、獲物へ焦点を合わせているために、正面に存在する風車に気づくのが遅れることにより衝突するという仮説である。モーションスマア仮説は、物体が高速で回転するとモーションスマア（運動による透明化現象）が生じるため、高速で回転し透明化している風車の存在を鳥類が知覚しないまま飛翔し、衝突するという仮説である。

SmallwoodとThelander（2005）によれば、地上あるいは空中の獲物に焦点を合わせて捕獲する必要のない鳥類でも衝突事故が起こっている

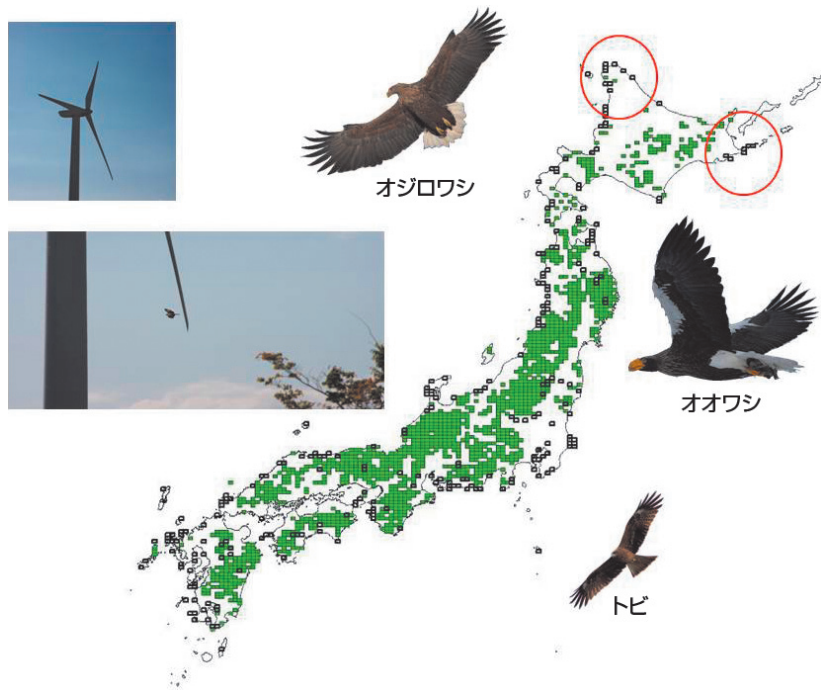


図1 風車の設置位置とオオワシ・オジロワシの飛来地の重なり（環境省, 2011）青い四角は風車の設置場所、緑はクマタカの生息地を示している。オオワシとオジロワシの飛来地に赤丸を追記した。左上写真の風車の先端部分を飛翔しているのはトビである。

ることなどから、衝突の原因を分割的注意不得意仮説では十分に説明できないことが示唆されている。風車は、一見ゆっくり回転しているように見えるが、これは比較的遠方から見ているので、見かけ上の速度が低くなっているためである。物体の移動速度が一定であっても、視認距離によって網膜に投影される物体の網膜上での速度は異なる。接近すればするほど速くなる。電車で移動するとき、遠方の景色はゆっくり移動するように見えるが、電車の窓に近い電柱などは一瞬に移動するように見えるのが、その例である。ブレードの直径が50メートルの風車が1分間に30回転した場合、風車の先端の速度は時速300キロメートルにも及び、近距離から視認した場合には透明化現象であるモーションスマアーが少なくとも先端部分では生じている可能性が十分ある。衝突映像¹からも分かるように、風車の中心部分に比べて移動速度の速い（その結果モーションスマアーが生じやすい）風車の先端部に猛禽が衝突しており、現在のところ、バードストライクの原因としては

モーションスマアー仮説が有力である。

鳥類の視覚

大学の授業等で、筆者がヒトとトリの色覚について学生に尋ねると、ヒトのほうが色覚は優れていると考えている学生が多い。しかし、ヒトは3色視（青、緑、赤）であるのに対して、鳥類は4色視（紫外、青、緑、赤）であり、鳥類のほうが豊かな色覚世界で生活していると言える。また、ヒトは網膜の中心部に1カ所、錐体細胞が密に分布する視力が良い「中心窩」が存在する。一方、鳥類にはそのような窩が2カ所あり、両眼視と単眼視で使い分けている。さらに、ヒトの眼球はほぼ真球体だが、鳥類の眼球はひしゃげた球体であり、ピントの調整のメカニズムも異なる（杉田, 2007他）。これに加えて、空間分解能およびコントラスト感度が鳥類間で相違がある（レビューとしてGhim, 2003参照）。これらの事実は、ヒトと鳥類の視知覚がかなり異なっている可能性があることに加えて、同じ鳥類であっても、種間で視知覚が

異なっている可能性を示唆している。したがって、ある特定鳥種の視知覚を知りたい場合は、その対象となる種を直接検討する必要があることを示している。

猛禽類でもモーションスメアーが生じる

筆者らは、心理学で開発されてきたオペラント条件づけを用いた精神物理学的測定法により、猛禽類の一種であるトビにも1秒あたり視野角度で160～200度移動する（100～200dva/S）とモーションスメアーが生じることを確かめた。また、風車の白い3枚のブレードの一つに赤あるいは黒のパターンを添付すると、モーションスメアーが生じる閾値が10～30度上昇する（起こりにくくなる）ことが明らかになった（環境省, 2008）。

室内実験に基づいた

トビのバードストライク・ハザードマップ

前述の室内実験の結果をもとに、風車の回転面に垂直に対面しながら飛翔するトビが、風車が視認できるかどうかを示したマップが図2に示されている。パターン無しの風車でモーションスメアーが生じる閾値を3個体の平均値である180dva/Sとし、さらに黒のパターンを貼付した場合の閾値を200dva/Sと仮定している。風車の直径は、彩色パターンを貼付したことによる鳥類の飛翔行動の実証研究（環境省, 2011）が行われた壱岐風力発電所の風車の直径である31メートルとしている。また、風車の

回転速度は、壱岐風力発電所の風車が2段階の速度で回転するように設計されており、遅い場合は23.9rpm、速い場合は35.5rpmであったため、その速度下での見え方を示している。図中の青線は、パターン無し条件で得られた閾値（180dva/S）をもとに推定した透明化が生じる境界、赤線は黒のストライプをブレードに貼付した条件での閾値（200dva/S）での境界を示している。図中の赤いトビが飛翔しているエリアは、その位置から風車を見た場合、風車がモーションスメアーによって透明化しているエリア、青いトビが飛翔しているエリアは、透明化していない飛翔エリアを示している。トビが風車に接近するにしたがって、見かけの風車の回転速度は増加し、また、先端部分の速度が速いため、風車に近いエリアおよび先端部分のエリアがモーションスメアーが生じる危険ゾーンになる。回転速度が遅い場合（図の左）は、透明化が生じている危険ゾーンが相対的に狭く、回転速度が速い場合（図の右）は、危険ゾーンが広がること分かる。また、ブレードにパターンを貼付すると、図中の矢印で示されているように、安全ゾーンがやや拡大することが分かる。ブレードの先端部分では数メートル視認できる距離が広がる。たとえば、高速回転している壱岐風力発電所のブレードの先端に向かって飛翔するトビには、何も添付されていない場合、17メートル付近からブレード先端部の透明化が生じるが、添付すると14メートル付近までは視認できるようになる。

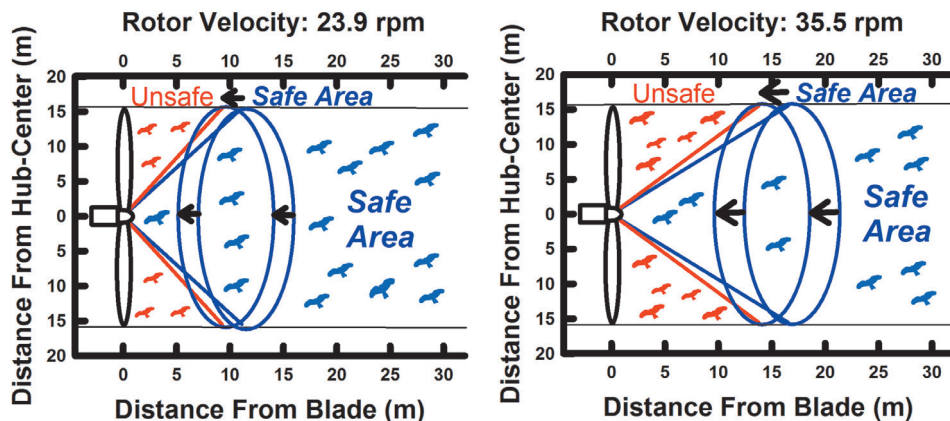


図2 バードストライク・ハザードマップ（トビ）

悪天候によるバードストライクの可能性

猛禽類はヒトより視力が良いと信じられているが、コントラスト感度（明暗のコントラストがはっきりしない模様を識別する能力）はヒトに比べて低い。コントラスト感度が低いということは、背景と物体のコントラスト比が小さい曇天や薄暮および吹雪等の場合は、ヒトでは見えている物体でも猛禽類には見えない場合があることを意味している。実際に、オオワシとオジロワシのコントラスト感度をオペラント条件づけを用いた精神物理学的測定法により測定したところ、ヒトに比べて明らかに低いことが確かめられた（環境省，2011）。雪に覆われた白い背景に立つ白い風車は、ヒトには見えていても、オオワシやオジロワシは見えていない可能性がある。

夜間照明の効果 — トリは鳥目ではない

夜間にも渡りをするトリがいる。よく見えないうちで飛翔することでバードストライクが生じる可能性があることから、風車への夜間照明が必要であるという考え方がある。一方で、風車への照明による集光効果でトリが集まってきて、かえってバードストライクを増やしてしまうという指摘もある。夜間に渡りをするツグミと、夜間は渡りをしないヒヨドリを暗所視での光の刺激閾をオペラント条件づけを用いた精神物理学的測定法で測定したところ、両種とも微弱な光でも捉えられていた（環境省，2011）。暗い環境下でもかなりの程度の視認能力をトリは持っているのだから、あえて集光効果のある照明の必要はないのではないかと筆者は考えている。

まとめ

風車のブレードへの塗装の効果は限定的であるが、コントラスト感度の低い鳥類には、視認性を高める効果が期待できる。ただ、可能であれば、風車の建設はオオワシやオジロワシ等の飛来地を避けて、生態系とバランスの取れた建設を行う必要があるだろう。環境学には、環境生物学、環境経済学、環境工学等の分野があり、

研究領域が横断的なつながりを持っている（武内・住・植田，2002）。野生生物の知覚や認知を知ることができる心理学は、環境学と連携しながら環境設計・保全の方策を示す手助けができる。

注

- 1 YouTube 環境省動画サイトチャンネル
http://www.env.go.jp/nature/yasei/sg_windplant/birdstrike.html

文 献

- Ghim, M.M. (2003) *Spatial contrast sensitivity of birds*. Unpublished doctoral dissertation. Maryland: University of Maryland.
- Hodos, W., Potocki, A., Storm, T. and Gaffney, M. (2001) Reduction of motion smear to reduce avian collisions with wind turbines. *Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV*, 88-105.
- 環境省 (2008) 平成19年度 風力発電施設バードストライク防止策実証業務報告書, 平成24年度 海ワシ類における風力発電施設に係るバードストライク防止策検討委託業務報告書
- 環境省 (2011) 鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き
- Orloff, S. & Flannery, A. (1996) A continued examination of avian mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. P700-96-004CN. Report from Ibis Environ. Serv. and BioSystems Analysis Inc., Santa Cruz, CA, for California Energy Commission, Sacramento, CA.
- Smallwood, K.S. & Thelander, C. (2005) Bird mortality at the Altamont Pass Wind Resource Area, March 1998-September 2001 Final Report. *National Renewable Energy Laboratory*. NREL/SR-500-36973.
- 杉田昭栄 (2007) 鳥類の視覚受容機構. 『バイオメカニズム学会誌』 31, 143-149.
- 武内和彦・住明正・植田和弘 (2002) 『環境学序説』 岩波書店 pp.37-60.