

ブレードの回転による動的誘目性に着目した 風力発電施設の景観評価

大西 明日香¹・平野 勝也²・和田 裕一³

¹非会員 日本映画放送株式会社

(〒100-8450 東京都千代田区有楽町 1-1-3, E-mail: asuka.onishi.s8@alumni.tohoku.ac.jp)

²正会員 博士(工学) 東北大学 災害科学国際研究所 准教授

(〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1, E-mail: hirano@tohoku.ac.jp)

³非会員 博士(情報科学) 東北大学大学院 情報科学研究科 准教授

(〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3-09, E-mail: yuwada@cog.is.tohoku.ac.jp)

景観論争の頻発により風力発電施設の正確な環境影響評価が求められる中、現在の評価基準では、風車は回転する構造物であるという観点が議論されていない。本研究では風車のブレードが回転する運動による動的誘目性という観点から、簡易的なモデルと風景モデルの双方を用いて、視覚探索と瞬間視に関する3つの実験を行った。この結果、風車が静止している時と風車が回転している時では凝視と瞬間視のされ方に差異があらわれ、動的誘目性による視覚的注意の捕捉が示唆された。

キーワード: 風力発電施設, 動的誘目性, アイトラッキング, 視覚探索課題, 瞬間視実験

1. 序論

(1) 背景

a) 風力発電施設建設と景観問題

近年、再生可能エネルギーの導入促進により風力発電が積極的に推進されている。その一方で、風車の大規模化や設置基数の増加に伴い、景観論争が頻発していることもまた現状である。最近では、山形県の出羽三山近辺に約40基の風車を設置する計画を通じて、建設会社と市民が対立した事例が大きな景観問題として取り上げられている。

土木構造物だけに限らず、大規模開発事業を行う際には、事前に適切な環境影響評価をし、構造物が環境に与える悪影響を最小限に抑えるよう努力することが技術者の責務であるといえよう。

b) 風車の景観評価手法

大規模開発事業を実施する前には「環境影響評価」を行うことで、事業実施による景観への悪影響を回避することができる。しかし現在、風力発電施設建設における環境影響評価には、送電鉄塔の景観評価基準に用いる指標をそのまま流用するケースがほとんどである。鉄塔における垂直見込角(眺望景観における対象の見えの高さ)の基準が同様に成立するという前提で風車の静止画像を使用したシミュレーション

結果をそのまま用いた事例もある。

c) 現在の評価基準が孕む問題点

しかし、風車を送電鉄塔と同じ指標に基づき景観評価を行うという現在の評価基準にはいくつかの問題点がある。

第一に、構造の違いが挙げられる。送電鉄塔は線の細い鉄骨を組み合わせた骨組み構造であり、気象条件によって容易に輪郭が見えづらくなる構造物であると言える。対して、太い柱として知覚されるマッシュ構造の風車ではこの現象は起こりづらい。そのため、風車は鉄塔よりもより目立つ構造物であると考えられる。

また、もう一つの決定的な違いとして、鉄塔は静止している構造物であるのに対し、風車は回転する構造物であるという違いが挙げられる。Franconeri¹⁾らが議論する通り、人間は元来動いているものにより目を引きつけられることが知られている。これを踏まえると、風車の動的構造物としての特徴を無視した現状の評価基準は看過できない。

このように、風車に送電鉄塔と同じ評価基準を適用し続けると、風車が景観を阻害する可能性を過小評価してしまう危険性がある。

(2) 既往研究

景観に対する風車の視覚的影響はどういった要因によってどの程度強くなるのか、これらの問いに答えるべく、いくつかの研究が行われている。Hurtadoら²⁾は、風車をもたらす視覚的影響を予測するための手法について、風車の特徴、地域内で風車の見える戸数等を変数とした「視覚的影響評価マトリックス」による評価手法を提案した。Tsoutsosら³⁾はこの手法を実際の島にあるウインドファームに適用し、風車のタービンの数や大きさに着目しながらその視覚的影響を定量化した。また平野ら⁴⁾は、周辺景観とのスキーマ作用の強弱に着目し、風車の設置基数という変数と合わせて、景観印象評価における評価特性の差異を示した。これらの研究は、風力発電施設建設事業の実施前に適切な環境影響評価を実施する指針として非常に重要な知見である一方、いずれの研究でも風車を「静止構造物」とみなした評価手法が採られており、回転運動を伴う実際の風車の特徴に基づいた視覚体験を評価するには至っていない。

(3) 研究の目的

前述の背景を踏まえ、風車が景観評価にもたらす影響について、その動的構造物としての知見を取り入れるための基礎的な検証の端緒として本研究を位置付ける。動的構造物の景観評価基準に関する議論への発展には、風車のブレードによる回転運動の有無が視覚体験をどの程度変化させるか、その基本的な特性をまず明らかにする必要がある。よって本研究は、風車への視覚的注意はブレードの回転運動によってどの程度捕捉されやすくなるかを明らかにすることを目的とする。

2. 枠組み

(1) 研究対象：風車の動的誘目性

意識していない視対象に対する視線、注意の引きやすさは「誘目性」と呼ばれる。原口ら⁵⁾は、眼球運動を伴った顕在的注意の際に行われる「周辺視で検出 → サッカードによる視線の移動 → 中心視による確認」という一連の知覚処理のうち、誘目性は「周辺視で検出」の過程に強い影響を及ぼし、視認性の効率的側面を表す重要な評価尺度であると述べている。なお、前述の通り風力発電施設建設前に風車が景観を阻害する可能性を適切に予測したいという問題意識を踏まえると、風車による景観阻害の影響は、主景の知覚そのものではなく主景を邪魔する視対象として風車が存在する状況において「周辺視で風車

を検出する → 風車に誘目され、サッカードにより視線を移動する → 風車を中心視で捉える」という処理において作用していると考えられる。この際、風車の誘目性はその回転運動によるところが大きいと推察される。そこで本研究は、風車の誘目性は「回転運動」という要因によってどの程度影響を受けるかに着目する。

前述の既往研究のように、風車の基数、大きさ、形の特徴といった風車の構造的な要因による誘目性の違いについては研究が進んでいる。このような、風車の構造的な要因による目立ちやすさを「静的誘目性」、風車の動き（回転）という要因による目立ちやすさを「動的誘目性」と定義し、風車が静止している場合、回転している場合をそれぞれ比較することで、動的誘目性による風車の視覚的注意捕捉を明らかにする。

(2) 検証方法

認知科学の分野では、眼球運動はトップダウン（タスク依存）知覚とボトムアップ（刺激ベース）知覚の両方によって決定されることが知られている。そのため、視覚的注意の全体像を掴むには、事前知識や探索課題に基づいたトップダウン注意と入力刺激に基づくボトムアップ注意が同時に存在することを考慮する必要がある。

眼球運動を直接記録・分析する手法として、景観体験を写真や動画で代替した Wissen⁶⁾のように、自由に景観を観察する際の視線位置をアイトラッカーを用いてマッピングする手法が確立されている。無論、他の景観要素に目を奪われる事自体が主景の障害であると言えるため、風車に対する凝視時間は景観知覚に及ぼす風車の注意捕捉効果を調査するための適切な指標となり得る。しかしアイトラッキングによる凝視位置の分析では、風車に対して観察者の注意が向けられたということは示せても、それが観察者のトップダウン注意によるものか、もしくは風車が有するボトムアップ注意の捕捉効果によるものか、この両者を分離して議論することは難しい。特にボトムアップ注意による捕捉効果は刺激の出現から比較的短時間で減衰することから、自由観察時のアイトラッキングに反映される注意捕捉効果にはボトムアップ注意の関与はあまり寄与しないと考えられる。ボトムアップ注意の観点から風車のもつ注意捕捉効果を調べるためには、Craigheo⁷⁾で用いられているような、ドット・プローブと呼ばれる瞬間視課題を用いて検証することが有用であろう。が、上記より、アイトラッキング実験と瞬間視実験の両者を扱うことで、凝視と注意双方の観点から風車に向

けられる視覚的注意の全体像を掴むことができると考えられる。風車の動的誘目性についてはまだ基礎的な研究が進んでいないことから、まずは単純な背景内での風車オブジェクトのモデル（簡易モデル）を用いたアイトラッキング実験（後に**実験 1**として行う）とドット・プローブ実験（後に**実験 2**として行う）により、回転している風車の基礎的な特性を捉える必要がある。しかし上記の実験だけでは実際の景観体験へ発展させられないことから、実際の風景を背景としたモデル（風景モデル）でも同様に実験を行うことで、景色の中で景観要素として扱われる風車が及ぼす動的誘目性について一層深く考察する（後に**実験 3**として行う）。

3. 実験 1（簡易モデルでの視覚探索実験）

(1) 枠組み

本実験では、単純な風車オブジェクトのモデルを用いたアイトラッキング記録を行い、回転運動の有無を操作した場合の風車の動的誘目性の差異に関して検討する。

(2) 手法

a) 被験者

正常な視力を有する大学生および大学院生 22 名（男性 21 名、女性 1 名）に対して実験を行った。

b) 刺激（オブジェクト）

動的構造物として風車を、静的構造物として鉄塔を左右に 1 基ずつ配置した動画を作成した。2 つのオブジェクトは 80m 間隔で配置され、大きさ 80m、仰角 $2^{\circ} 14'$ 、視距離 2000m（実際の画面上では視角 6.492° ）であると設定し作成した。動画と静止画の比較に加え、視覚探索の左右差バイアスが生じる可能性を考慮して鏡映像（水平反転）の刺激も作成し、計 4 刺激を用いた（**図-1**）。

c) 刺激（アニメーション）

刺激には 3 枚羽プロペラ型風車の 3D モデルを使用し、ブレードの回転数は、日本電気技術者協会による風車の出力係数に基づき、風車設置に必要な目安風速を満たす風速 10m/s における推定回転数 (0.477min^{-1}) を算出し使用した。オブジェクトの自然な配置を考慮して地平線も表現した形で作成し、またモデルが簡易的であることから、色による誘目性を排除するためにグレースケールで作成した。回転方向は、風車が右に配置された動画では時計回り、左に配置された動画では反時計回りとした。動画の呈示時間は Wissen⁶⁾を参考に 10 秒間と設定した。

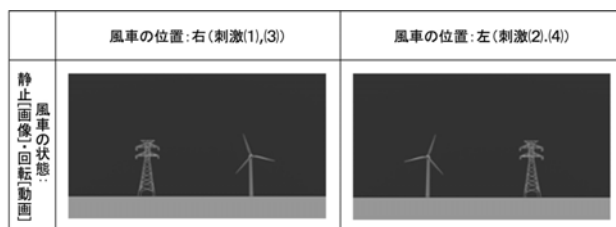


図-1 実験 1, 実験 2 に使用した刺激の例

d) 実験器具

被験者は、視覚実験用顎台を用いて頭の位置を固定した状態で実験の全手続きに臨んだ。被験者の視線移動は、PC に取り付けるセンサー型のアイトラッカー Tobii I-VT Fixation Eye Tracker を使用して記録し、その設定より観察距離は 57cm とした。実験に使用したディスプレイ画面のサイズは 21.5 インチ (1920 × 1080) であった。一連の試行の実施およびデータの収集については Tobii Pro Lab 1.181.37603 (x64) を用いた。

e) 構成

各被験者は、前述した 4 刺激を断続的に全て視聴した。視聴する順番は、刺激の順序効果の影響を極力排除するため、ラテン方格法を用いて割り当てた。

f) 手続き

被験者には各刺激の呈示前に凝視点 (+) を画面中央に 1 秒間表示し、凝視点が出現するたびに凝視するよう指示した。被験者には、動画視聴後に簡単なアンケートを取るとのみ伝え、自然な状態で自由に画面を見るように指示した。

g) 分析方法

サンプリングレート 250Hz で記録した視線データから、合計全体凝視時間、平均凝視時間、凝視点の数、初回凝視時間を求めた。また各刺激画像に対し、風車・鉄塔がある長方形エリアを関心領域（以下、AOI: Areas of Interest とする）として区切り、各領域におけるデータを求めた。なお本研究における凝視点の定義は、視線が最低 50ms 以上停留し速度閾値 ($30^{\circ}/s$) を超えないものとした。

初めに、全データに対して Shapiro-Wilk の正規性検定を行ったところ、得られた全データで帰無仮説が棄却され、データの正規性を仮定できなかった。これには、アイトラッカーの特性上欠損値を一定程度含むことが一因であると考えられる。よって以降の分析では、ノンパラメトリック検定を用いた。

(2) 結果

a) 凝視率の算出（個人間の探索バイアス）

上記で得られたデータのうち、各 AOI の合計凝視時間には、個人内での視覚探索の特徴が影響している

恐れがある。このバイアスを排除するため、各 AOI の合計凝視時間が全体凝視時間に占める割合（以降「凝視率」とする）を求めて分析に用いた。

b) 左右視野間の視覚探索バイアスの確認

本実験は、左右による視覚探索バイアスが生じる可能性を考慮し、鏡映像対を含めた 4 刺激を用いて実施した。これらに関して左右差を因子とした順位と検定を行った結果、オブジェクトの左右配置によるデータの有意差は観察されなかったため、以降の分析では風車の回転／静止のみを考慮し鏡映像対をまとめて分析した。

上記の成形後に得られた各 AOI の凝視率、平均凝視時間、凝視点の数、初回凝視時間に関して、風車の状態（静止／回転）を因子とした Wilcoxon 順位と検定を行なった。各値の結果を図-2 から図-5 に示す。

c) 分析結果 1 : 各 AOI の凝視率

中央値を見ると、風車（回転）における風車 AOI の凝視率は風車（静止）と比較して 1.3 倍に増加したのに対し、風車（回転）における鉄塔 AOI の凝視率は風車（静止）と比較して 0.5 倍に減少した。順位と検定でも、風車 AOI での増加傾向 ($p = 0.01078$) と鉄塔 AOI での減少傾向 ($p = 0.0009096$) は有意であり、特に鉄塔 AOI での動的誘目性が強いことが見て取れる。

d) 分析結果 2 : 各 AOI の平均凝視時間・凝視点数

中央値を見ると、風車（回転）における風車 AOI の平均凝視時間は風車（静止）と比較して 1.6 倍に増加した一方、風車（回転）での鉄塔 AOI の平均凝視時間は風車（静止）と大きく変わらなかった。順位と検定では風車 AOI 平均凝視時間の増加傾向は ($p = 0.009538$) は有意であり、強い動的誘目性が作用していることが示された。

凝視回数では、風車（回転）での風車 AOI の凝視回数は風車（静止）と比較して 1.25 倍に増加したのに対し、風車（回転）での鉄塔 AOI の凝視回数は風車（静止）と比べて 0.75 倍に減少した。順位と検定では鉄塔 AOI における凝視回数の減少傾向のみが有意となり、強い動的誘目性が見られた ($p = 0.001125$)。

以上より、風車 AOI での凝視点の数と平均凝視時間は風車に回転に伴うことで増加する傾向があることが明らかになった。

e) 分析結果 3 : 各 AOI の初回凝視時間

風車および鉄塔 AOI の初回凝視時間は、風車（回転）と風車（静止）で大きな差は見られなかった。しかし風車（回転）での風車 AOI の初回凝視時間には、他のデータと比較して大きなばらつきが見られた。

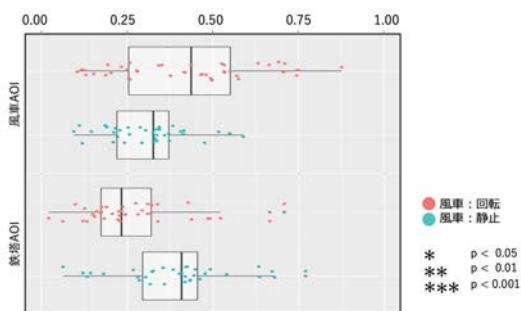


図-2 実験 1 : 各 AOI の凝視率

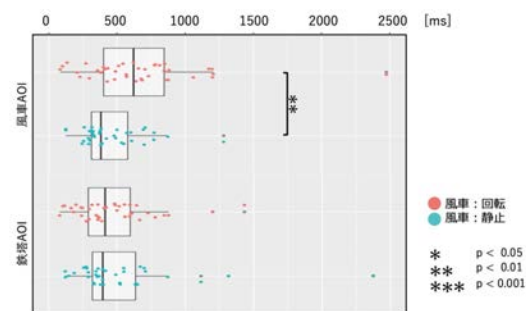


図-3 実験 1 : 各 AOI の平均凝視時間

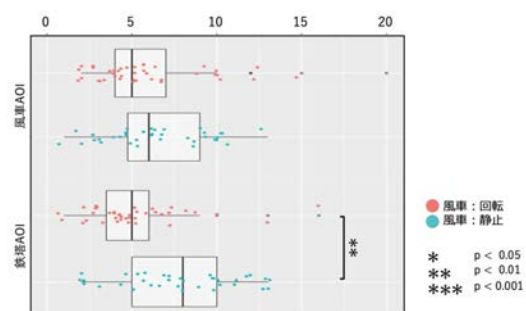


図-4 実験 1 : 各 AOI の凝視回数

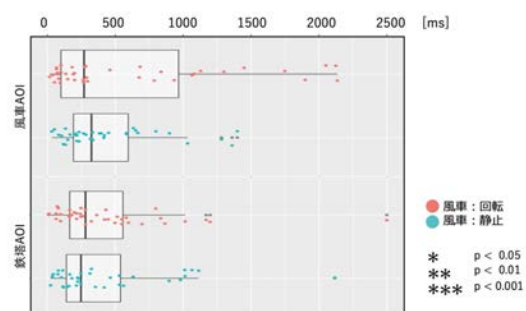


図-5 実験 1 : 各 AOI の初回凝視時間

(3) 考察

e)の結果より、初見の状態では動的誘目性は凝視に作用していないと言えるが、一方で風車 AOI では一部被験者の初回凝視時間が大きくなった結果が見られており、一部の被験者には初回凝視に動的誘目性が作用していることを示唆する結果と取ることができる。また c)の結果より、刺激の視聴全体で凝視に動的誘目性が作用していること、d)の結果より、風車が回転していることで風車の凝視回数と時間が増

加していることがわかる。凝視率，凝視点の数に対して動的誘目性は風車 AOI よりも鉄塔 AOI の凝視に強く作用し，平均凝視時間に対して動的誘目性は鉄塔 AOI よりも風車 AOI の凝視に強く作用していた。この結果を踏まえると「風車が回転していることで鉄塔に目を向けづらくなり，凝視する回数が減る」，また「風車が回転することによって風車が視覚的注意を捕捉している」ことが考察される。

一方で，静止している各オブジェクト AOI における凝視率は，風車（静止）の方が鉄塔（静止）よりも少なくなる（ $p = 0.01334$ ）結果を得られた。本実験で使用した刺激はグレーの単色背景であり，鉄塔特有の複雑な骨組構造が色のコントラストによって際立ち，その複雑な輪郭線を被験者がより長い間目で追っていたという可能性が考えられる。

3. 実験 2（ドット・プローブ実験）

(1) 枠組み

実験 1 では，風車の回転による動的誘目性が凝視にどの程度影響するか検証した。しかし，**実験 1** のアイトラッキング手法は凝視の間に知覚された内容が脳で処理されるという仮定に基づいており，風車を凝視している時に必ずしも風車に注意を向けているとは限らない点は考慮できない。そのため，この実験だけに基づいて風車を凝視している時に必ずしも注意を向けているとは断定できない。**実験 2** では，上述の問題点を補完した議論を発展させるために，単純な風車オブジェクトのモデルを用いたドット・プローブ（瞬間視）実験を行う。Craighero⁷⁾が主張するように，瞬間視事態におけるドット・プローブ実験ではボトムアップ注意が作用することでドットへの反応が早くなる。この手法を用いて回転／静止する風車に対する反応時間を比較することで，風車の回転による動的誘目性がボトムアップ注意にどの程度影響するかを検証する。

(2) 手法

a) 被験者

本実験は，**実験 1**（簡易モデルでの視覚探索実験）の終了後，同一の被験者 22 名に対して実施した。

b) 刺激

刺激動画には**実験 1** で作成した 4 刺激を使用した。画面に呈示するその他の画像は，刺激動画の背景部分をベースとして作成した。

c) 実験器具

被験者は椅子に深く座り，**実験 1, 3** と一貫した観

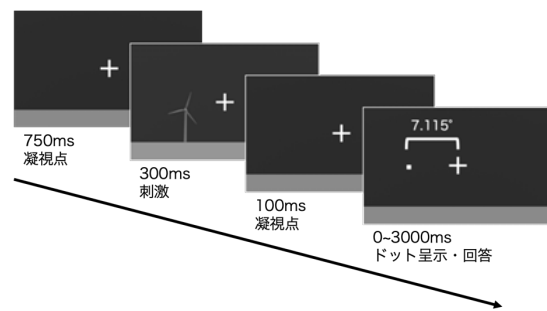


図-6 実験 2：ドット・プローブ実験の流れ

察距離（約 57cm）となる姿勢を保った。実験に使用したディスプレイ（Apple 社製 MacBook Air）の画面のサイズは 13.3 インチ（1,440×900）であった。一連の試行の作成，実施およびデータの収集には PsychoPy（ver2021.2.3）を用いて行った。

d) 手続き

実験は Craighero⁷⁾を参考に，**図-6** の通り構成した。まず画面中央に凝視点（+，視角 0.399° ）を 750ms 表示し，続いて画面中央に凝視点を加えた刺激を 300ms 呈示した後，凝視点を 100ms 呈示し，その後画面の右または左にドット（·，視角 0.199° ）を，反応がなされるまで，あるいは最長で 3000ms 呈示した。被験者には，基本的に凝視点が表示される画面中央付近に視線を向ける事を求め，ドットが画面の中央より右側に現れたら右の矢印キー，左側に現れたら左の矢印キーを押す課題にできるだけ速くかつ正確に回答するよう求めた。また回答の正確性を高めるため，有効な試行に対して 30%の割合でドットが出現しないダミー試行をランダムに挿入し，ドットが出現しない場合には画面が切り変わるまでキーを操作しないよう指示した。ドット呈示からキーを押すまでの反応時間（ms）をそれぞれ記録した。

始めに 10 回 × 1 ブロック分の練習を実施し，本番では 52 回（うちダミー試行は 12 回）× 6 ブロックの試行，つまり各被験者に対して有効な試行を 240 試行実施した。練習には，送電鉄塔の前を自動車が行くダミーの刺激動画を作成し使用した。反復されるブロックごとに使用する刺激群は変わらないが，その呈示順および動画とドット呈示の組み合わせは被験者・ブロック毎にランダムとした。

e) 分析方法

得られたドット・プローブ課題の反応時間（ms）のうち，被験者個人内での分散が $\pm 2.5SD$ を超えるデータは，操作ミスによる外れ値であると統計的に判断できるため分析から棄却し，誤答と誤答直前の 5 試行も棄却した上で，正答の反応のみを分析に使用した。被験者個人内で標準化を行ったデータを集計した。各条件のデータに対して Shapiro-Wilk の正規

性検定を行ったところ、複数の条件においてデータの正規性が棄却されたため、以降の分析ではノンパラメトリック検定を採用した。

(2)結果

標準化された平均反応時間の結果は図-7の通りとなった（図-7のエラーバーは標準誤差を表す）。全体として、ドットを風車と反対方向に提示するよりも同一方向に提示するほうが標準化平均反応時間は早くなるという結果が得られた。中でも風車を左に配置した刺激（(2), (4)）では、風車（静止）と同一方向にドットを提示した時に標準化平均反応時間が0.0178早くなったのに対し、風車（回転）と同一方向にドットを提示した時は標準化平均反応時間が0.0387早くなった。つまり、風車（回転）の方が標準化平均反応時間をより早くするという結果になった。しかし、風車を右に配置した刺激（(1), (3)）では、風車（静止）と同一方向にドットを提示した時に標準化平均反応時間が0.0417早くなったのに対し、風車（回転）と同一方向にドットを提示した時は標準化平均反応時間が0.0222早くなっており、風車を左に配置した刺激とは異なる結果となった。

上述の傾向を統計的に検証するために、風車が左側に提示される場合と右側に提示される場合のそれぞれについて、風車の状態（静止／回転）×ドットの提示位置（同一／反対）の4条件の標準化平均反応時間に関するフリードマン検定を行った。その結果、風車の提示位置が左側と右側のいずれにおいても、条件間に有意な差はみられなかった（左側提示： $\chi^2(3)=1.80$, ns; 左側提示： $\chi^2(3)=2.13$, ns）。

(3)考察

ドット・プローブ実験の結果からは、風車の回転運動とドットの提示方向による反応時間の相互作用は観察できなかった。この原因には、刺激の提示時間が、風車が回転していることを認識するには十分ではなかった可能性、キーボードの右側に配置される十字キーを回答に使用したことで反応に左右差が生じていた可能性、また刺激内のオブジェクト（風車、鉄塔）の提示位置やドットの提示位置による視覚探索バイアスが影響していた可能性が考えられる。

しかしながら、本実験における限られた被験者数による検証の中で、風車が動いている刺激提示後に同一方向提示したドットへの反応時間が減少する傾向が部分的に観測されたことは、風車の回転運動に伴う視覚的注意の増加を示唆する結果と考えられる。

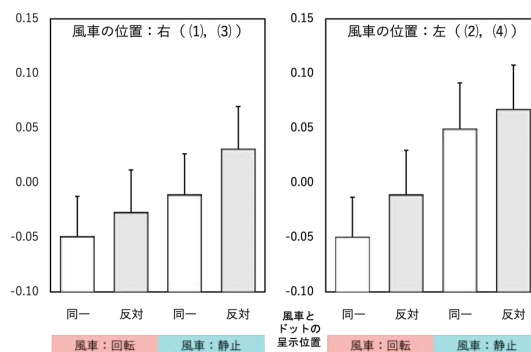


図-7 実験2: ドット提示からの標準化平均反応時間

4. 実験3 (風景モデルでの視覚探索実験)

(1)枠組み

実際の風景を背景とした動画について、風車が無い場合、静止している場合、回転している場合での視覚的注意の違いについて検証する。なお今回は、風車が景観を阻害する可能性として、元々の風景に含まれる主景を風車が阻害する、という状況を仮定する。よって自然系景観資源として代表的な山を主景とし、風車を加えて配置した刺激を用いる。課題探索では、山に関する課題、つまり被験者を主景に集中させる課題等を与えた状態での視線移動を見ることで、参加者が主景以外の要素に課題探索をどの程度阻害されているのかを相対的に検証する。

(2)手法

a)被験者

正常な視力を有する大学生および大学院生 21名（男性15名、女性6名）に対して実験を行った。

b)刺激 (背景)

背景には2種類の動画をベース動画として用いた。なお、撮影地点から山頂までの距離はどちらも約11.5kmである。撮影は、三脚でiPhone 12 miniを地上150cmに固定して実施した。

背景の動画は、まず山を単独の主景とするために、山が独立峰となるように連峰部分を消去して成形した。また風車との位置関係が不自然になるのを防ぐために動画内の送電鉄塔及び送電線を消去し、風車のみによる動的誘目性を計測するために自動車も消去した。動画内には回転する風車と流れる雲のみが動的オブジェクトとして存在し、これは動画の自然さを担保しながら風車のみ動的誘目性を計測する上で適している。風車（無し）、風車（静止）の刺激でも雲は動いているものとする。

c)刺激 (オブジェクト)

風車の基数は5基、高さは90mとした。風車は山

AOI と被らない場所に配置し、配置間隔は風車直径の 5~10 倍が一般的であることを考慮した上で、適切な遠近感で配置した。背景 A での風車の見えの大きさは 1.494° 、背景 B では 1.793° となった。

ブレードの回転数は、**実験 1** と同様の手法により 3 枚羽プロペラ型風車の風速 10m/s における推定回転数 (0.477min^{-1}) を算出し使用した。これは気象庁風力階級表では「葉のある灌木がゆれはじめる、池や沼の水面に波頭がたつ」程度とされており、風景の中での現実性がある。風車が右側に配置された動画では時計回りに、左側に配置された動画では反時計回りに回転するものとした。より現実的な表現のため、各風車のブレードの回転開始角度は僅かにずらした。

d) 刺激 (アニメーション)

刺激は風車オブジェクトの 3D モデルを背景動画に合成して編集した。動画の呈示時間は、**実験 1** と同様に 10 秒間とした。2 種類の背景に対して 3 段階 (風車：無し/静止/回転) の風車の状態を割り当て、**実験 1** と同様に鏡映像対 (水平反転) を含めて計 12 刺激を作成した (図-8)。

e) 実験器具

実験 1 と同じ設定であるアイトラッカー、PC ディスプレイ、視覚実験用顎台を用いて、実験室の環境を**実験 1** と同様に設定して実施した。

f) 構成

被験者には 2 背景×3 段階の 6 グループのうちランダムに 3 グループを割り当て、3 グループでは正刺激を、他の 3 グループでは鏡映像を視聴することで、左右の視覚探索バイアスを排除しながら 6 グループ全てを視聴した。自由探索、課題探索共に視聴する順番はグループに対して 6×6 のラテン方格法により割り当てた。

g) 手続き

被験者は頭部を視覚実験用顎台に載せた姿勢を崩さずに一連の手続きを行い、自由探索と課題探索の 2 セクションを順に実施した。

自由探索のセクションは**実験 1** と同様に、画面中央に凝視点 (+) を 1 秒間呈示して凝視させた後に刺激を呈示する試行を 6 刺激分繰り返した。被験者は、割り当てた順番通り呈示される刺激を、自然な状態で自由に視聴した。

続く課題探索のセクションでは、被験者は画面上に呈示された課題を確認し、刺激を 10 秒間視聴後に、課題に口頭回答した。課題呈示画面から動画開始、また回答終了後から次の課題呈示画面への推移は、被験者自身がスペースバーを押して進んだ。被験者にはできるだけ正確な回答を目指して視聴するように教示した。各刺激に対する課題探索は連続して 3 試行を行い、1 回目は山の全体像に関する課題、2 回目は山の形の詳細に関する課題、3 回目は背景 (山、風車 AOI を含まない部分) に関する課題を出題した。これを割り当てた順番で繰り返し、課題 3 回×6 刺激=計 18 問の課題を実施した。上記の課題探索により、主景の全体像、主景の詳細、背景に注意を向けている時に風車がどの程度注意を阻害しているかを計測することができる。

h) 分析方法

各刺激に対し、風車 5 基を含む最小の長方形を風車 AOI、風車 AOI を含まない山の部分を山 AOI と定義した。**実験 1** 同様の定義・手順を用いて Tobii Pro Lab で記録した視線データから、各 AOI の凝視率、平均凝視時間、凝視回数、初回凝視時間を求めた。

まず全データに対して左右差を因子とした順位と検定を行なったところ、刺激の左右反転による有意差が見られた。ただ左右差を保留すると検定での因

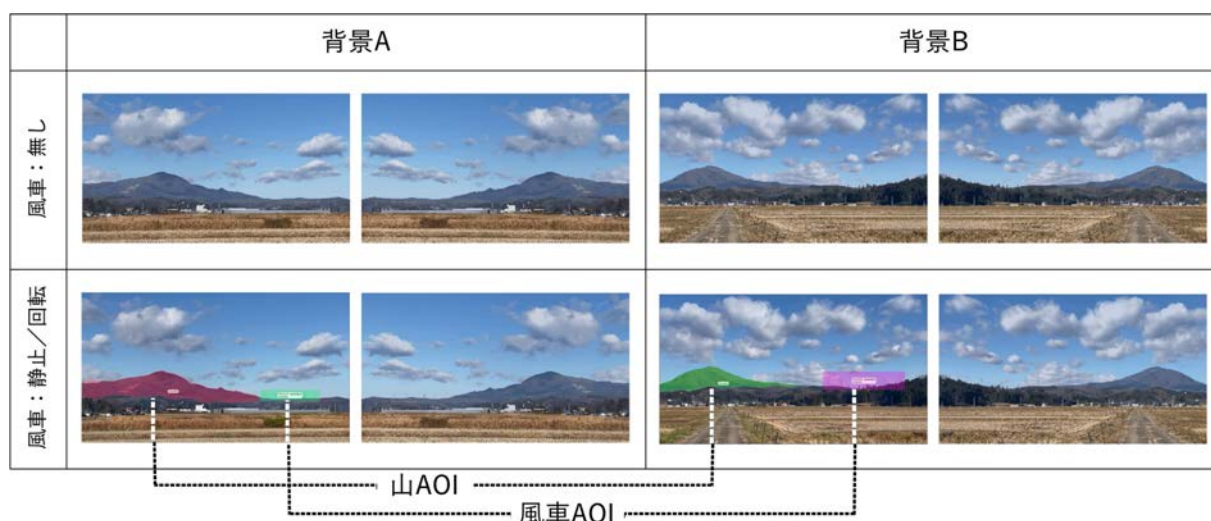


図-8 実験 3 に使用した刺激の例

子爆発が考えられるため、今回は刺激の左右差は区別せず、左右の2刺激をまとめてデータを成形した。

得られた各データに関して、風車の状態の違い(風車無し:静止/風車静止:回転/風車無し:回転)を因子としてWilcoxonの順位和検定を、自由探索/課題探索1回目/課題探索2回目/課題探索3回目に對して行い、Holm補正により多重比較を実施した。

(3)結果

各値の箱ひげ図を図-9, 図-10に示す。

a)各 AOI の凝視率

各データの中央値を見ると、背景Aでの自由探索における風車AOIの凝視率は、風車(無し)の時に3.35%, 風車(静止)の時に13.63%, 風車(回転)の時に30.38%と増加した。順位和検定からも風車の有無による(静止: $p = 0.0328$, 回転: $p = 0.0120$), また風車の静止/回転の差による($p = 0.0328$)有意差が見られ、動的誘目性が作用していることがわかった。一方、山AOIの凝視率は、風車(無し)の時に33.59%, 風車(静止)の時に20.31%, 風車(回転)の時に17.22%と減少した。順位和検定では、風車(無し)よりも風車(静止)が減少する傾向に有意差が見られた($p=0.0155$)が、風車の静止/回転による有意差は見られなかった。背景Bでも、風車AOIの凝視率は風車(無し)の時9.52%, 風車(静止)の時23.78%, 風車(回転)の時に31.10%と増加し、この結果には風車の有無による有意差が見られた($p = 0.0040$)。しかし山AOIの凝視率には大きな変化はなかった。

一方課題探索では、背景A・B共に、山に関する課題(1回目, 2回目)を与えている時でも5~10%程度風車AOIを凝視していた。風景Aでの課題(1回目)では、風車AOIの凝視率が風車(無し)の時は8.49%, 風車(静止)の時は8.74%だったのに対し、風車(回転)の時に12.49%と増加した。風景Bでも同様に、風車AOIの凝視率が3.40%, 4.88%, 8.61%と増加した。また、背景Bでの課題(2回目)では、山AOIの凝視率が風車(無し)の時に96.60%, 風車(静止)の時に88.42%, 風車(回転)の時に46.13%と、風車が回転したことにより大きく減少した。背景に関する課題では、全体的に風車、山AOI共に差分を検出できるほど凝視されなかった。

b)各 AOI の平均凝視時間

自由探索では、風車AOIの平均凝視時間は、風景Aで風車(無し)の時は217ms, 風車(静止)の時は350ms, 風車(回転)の時には470msと増加した。背景Aでは風車の有無(静止: $p = 0.0412$, 回転: $p =$

0.0390)と静止/回転による($p = 0.0224$)平均凝視時間の有意差があり、風車の静止/回転による誘目性が強く作用していた。風景Bでは風車AOIの平均凝視時間は同様に286ms, 367ms, 403msと増加した一方で、山AOIの平均凝視時間は300ms, 333ms, 233msと、風車が回転している時に大きく減少した。

課題探索では、山の詳細を聞く課題(2回目)では、風車(無し)の時の山AOIの平均凝視時間は416ms, 風車(静止)の時は415ms, 風車(回転)の時には239msと、風車が回転している時に中央値が下がり、またデータのばらつきも大きくなる傾向が見られた。

c)各 AOI の凝視回数

自由探索での凝視回数は、背景Aでは風車(無し)と風車(回転)の間にのみ有意差が見られた($p = 0.0023$)。背景Bでの自由探索では風車の有無(静止: $p = 0.0061$)による有意差が見られた。

課題探索を見ると、背景Aにおける山の詳細を聞く課題(2回目)では、風車(無し)の時の山AOIでの凝視点の数は20, 風車(静止)の時は14, 風車(回転)の時には13と減少した。背景Bでも山AOIの凝視点の数は同様に17, 14, 9と減少した。特に風車(回転)の時は、凝視回数がより少ない範囲にデータが分布していた。

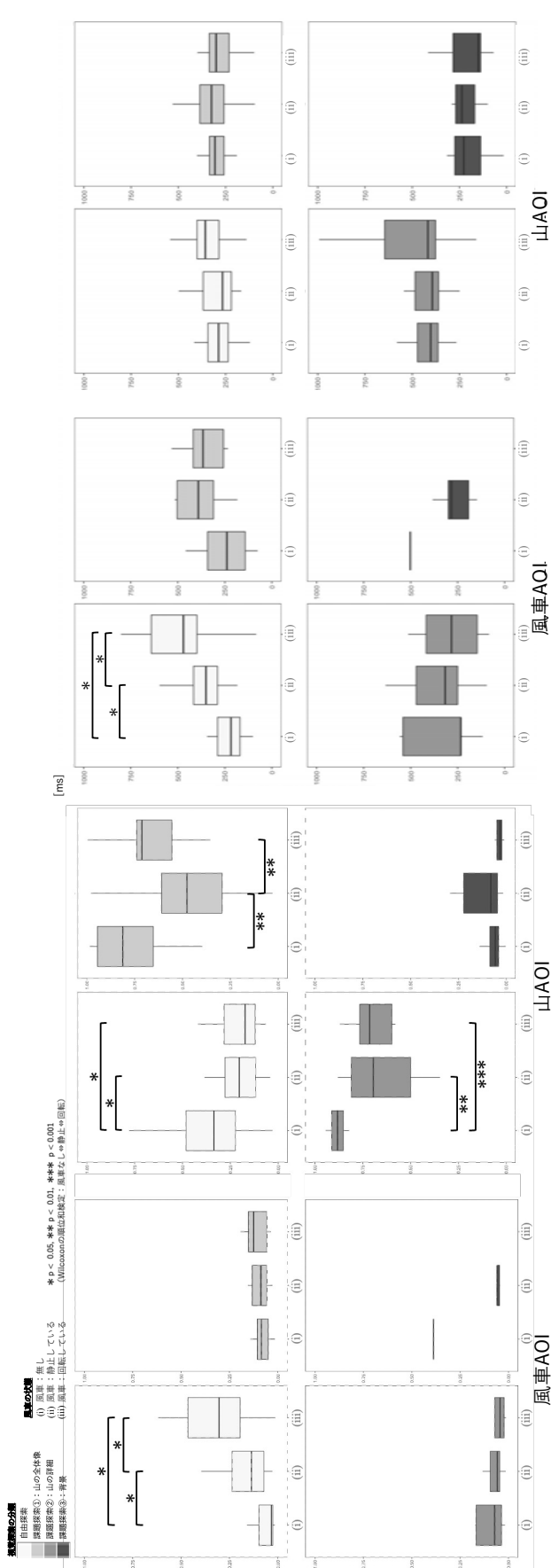
d)各 AOI の初回凝視時間

自由探索を見ると、風車AOIの初回凝視時間は、風景Aで風車(無し)の時は217ms, 風車(静止)の時は300ms, 風車(回転)の時には363msと増加した。背景Bでは有意差は見られなかったものの、風車AOIの初回凝視時間は、背景A, B共に風車(無し) < 風車(静止) < 風車(回転)の順で値のばらつきが大きくなる傾向があった。

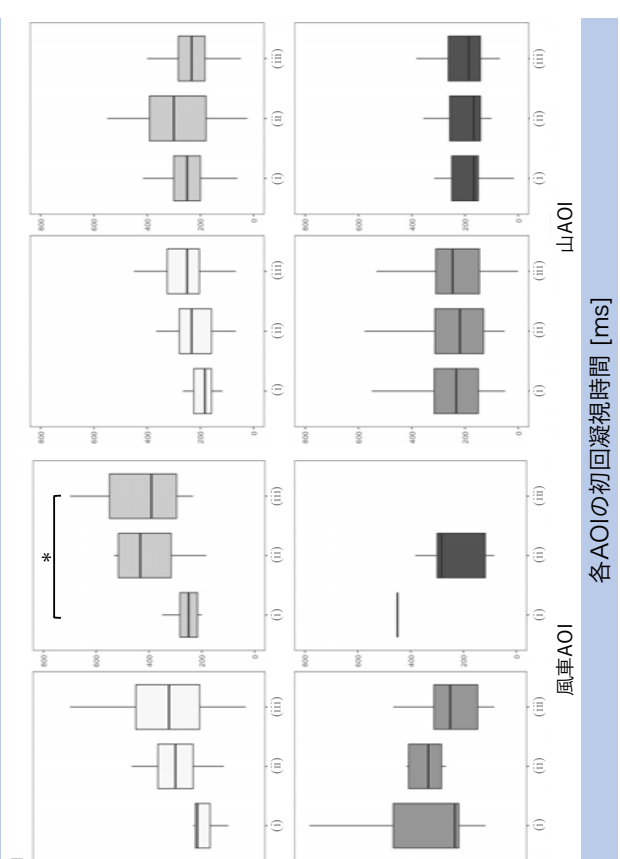
山AOIの初回凝視時間は、背景Bでの課題(2回目)の時、風車(無し)で300ms, 風車(静止)で300ms, 風車(回転)の時には117msと、風車が回転している時に初回凝視時間が大きく減少した。

(4)考察

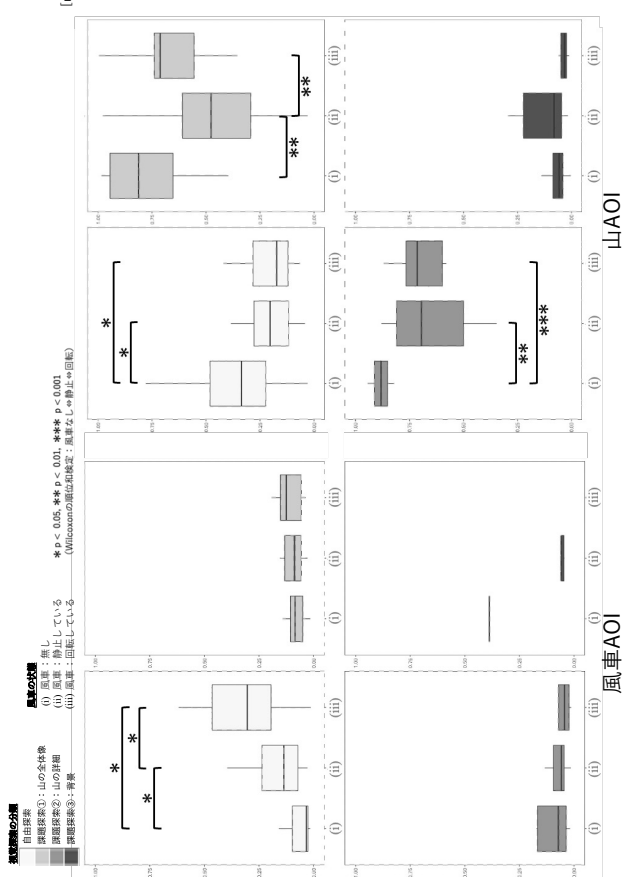
自由探索では風車AOIの凝視率が風車(無し) < 風車(静止) < 風車(回転)と大きくなり、風車の動的誘目性によって風車を凝視する時間が増加し、視覚的注意が捕捉されていることがわかった。加えて、風車AOIの凝視回数には風車(無し/静止/回転)での差が大きくみられないのにも関わらず、平均凝視時間は風車(静止)よりも風車(回転)の時に増加したことから、風車の回転が視覚的注意を捕捉していたと考察できる。なお風車AOIの初回凝視時間に関する同様の結果より、風景の中において回転する風車は初見時の動的誘目性を持つともわかった。



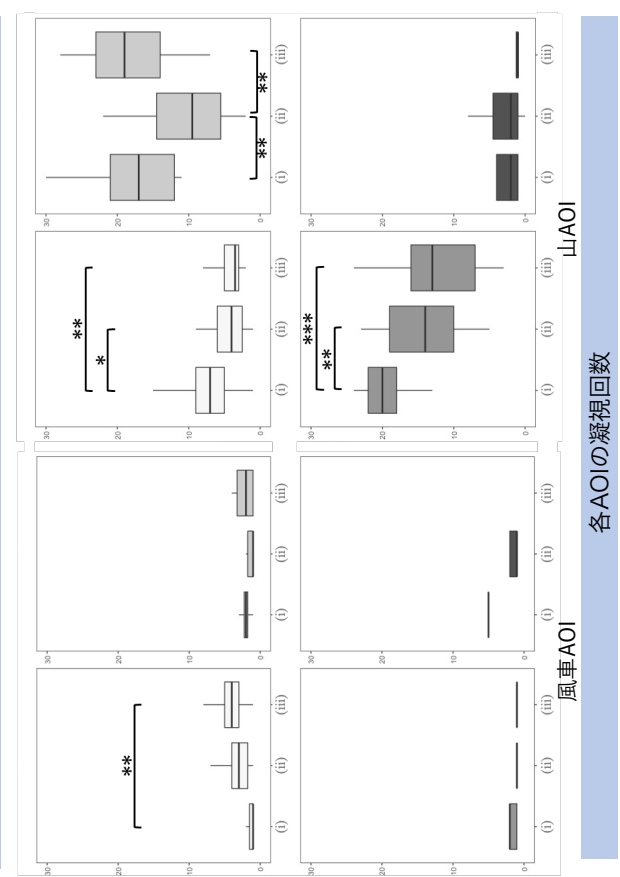
各AOIの平均凝視時間 [ms/回]



各AOIの初回凝視時間 [ms]



各AOIの凝視率



各AOIの凝視回数

図-9 実験3の結果 (背景A)

課題探索では、山の詳細を聞く課題において、回転している風車の凝視率は静止している風車よりも平均 68%増加し、動的誘目性によって風車を凝視する時間が増え視覚的注意を捕捉しているとわかった。また同様に、山 AOI で得られた全データに対しても、風車の動的誘目性が作用していることが明らかになった。特に背景 B では、動的誘目性によって山 AOI の平均凝視時間が大きく減少する結果となった。観察者を山に注目させる課題を与えたにも関わらず、風車の回転が視覚的注意を捕捉したというこの結果は、風車の回転による景観阻害の可能性を示唆するものである。

また本実験では 2 種類の背景を用いたが、風車が大きく本来は有意差が確認されやすくなるはずの背景 B で、全体的に有意差が確認されにくかった。この理由として、背景 A, B を比較すると B の方が雲の動く面積がより大きい、山の細部や畦道の遠近感がより明確であるなど、風車以外の要素が風車の動的誘目性以上に視覚的注意を捕捉した可能性が考えられる。しかしながら、有意差がほとんど見られなかった初見の誘目性(初回凝視時間)に関しては、背景 B でのみ風車の動的誘目性が有意に確認された。今回背景について聞く課題では有意差が得られなかったが、背景 A, B の間に見られた結果の違いのように、風車による動的誘目性の程度と背景の特徴にも関係性があることが考えられる。

5. 結論

本研究では風車による視覚的注意の捕捉について、風車の回転運動が及ぼす動的誘目性という観点から、凝視と瞬間視について、また簡易モデルと風景モデルについて動的誘目性の検証を試みた。簡易モデルと風景モデルでの自由探索実験からは、回転している風車に対する凝視率は静止している風車よりも増加し、動的誘目性によって風車の凝視時間が増え、視覚的注意を捕捉していることがわかった。瞬間視実験からも、この可能性を支持し得る成果が得られた。風車の回転によって山の凝視率が 48%減少し、風車が風車以外の景観要素に対する視覚的注意の捕捉を阻害する可能性を示唆する成果を得た。

実験中での現象は実空間での視覚体験にそのまま置き換えられるものではないが、本実験で示唆された内容を実空間に拡張して解釈すると、初回の凝視で風車が強く印象づけられなくても、凝視回数を重ねるごとにつれて、風車の回転による動的誘目性がより強く作用するようになる、主景要素が存在する

風景に風車を設置すると動的誘目性によって主景の視覚体験が阻害される、風車の動的誘目性は静的誘目性と同様に背景の特徴とも関係性を持つ、等が風車の誘目性の特性として推測される。

以上を踏まえると、風車は回転運動によっていわば自動的に観察者の注意を誘目するものであるということが示唆される。すなわち、風力発電施設の環境印象評価を行う上で、風車の動的誘目性は静的誘目性と同じくらい重要であると言える。このことは、風力発電施設の環境印象評価に際して景観体験の本質的な姿を捉え、より厳密な基準で評価を行う上で重要な知見となると考えられる。

参考文献

- 1) Franconeri, S.L., Simons, D.J. Moving and looming stimuli capture attention. *Perception & Psychophysics* 65, 999-1010 (2003).
- 2) Juan Pablo Hurtado, Joaquín Fernández, Jorge L Parrondo, Eduardo Blanco, "Spanish method of visual impact evaluation in wind farms", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 8, Issue 5, 2004, Pages 483-491, ISSN 1364-0321,
- 3) Tsoutsos, Theocharis, et al. "Visual impact evaluation of a wind park in a Greek island." *Applied Energy* 86.4 (2009): 546-553.
- 4) 平野 勝也, 高木 浩樹, 白柳 洋俊: 周辺景観のスキーマに着目した風力発電施設の景観評価特性 - 土木学会論文集 D1 (景観・デザイン) 75(1), 28-35, 2019.
- 5) 原口健, 岡嶋克典: 視覚探索における誘目性の定量化. *Vision*, 2011, 23.1: 1-18.
- 6) Wissen Hayek, U.; Müller, K.; Göbel, F.; Kiefer, P.; Spielhofer, R.; Grêt-Regamey, A. 3D Point Clouds and Eye Tracking for Investigating the Perception and Acceptance of Power Lines in Different Landscapes. *Multimodal Technol. Interact.* 2019, 3, 40.
- 7) Craighero, Laila, Mauro Nascimben, and Luciano Fadiga. "Eye position affects orienting of visuospatial attention." *Current Biology* 14.4 (2004): 331-333.