

# 周辺景観要素の静的誘目性の違いによる 風車の動的誘目性への影響評価

岩間響平<sup>1</sup>・平野勝也<sup>2</sup>・和田裕一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 博士課程前期2年  
(〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1, E-mail:kyohei.iwama.t3@dc.tohoku.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 博士(工学) 東北大学 災害科学国際研究所 准教授  
(〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468-1, E-mail:hirano@tohoku.ac.jp)

<sup>3</sup>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  
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-3-09, E-mail:yuichi.wada.e1@tohoku.ac.jp)

自然の風景の中に立ち現れる風力発電施設は、その物理的大きさに加え、ブレードが回転していることに伴う「動的誘目性」によって一層目立つ存在となり得るが、実際の風景鑑賞では周辺景観要素が持つ、動きはないが図像的な目立ちやすさに伴う「静的誘目性」によって風車の動的誘目性が緩和されることが考えられる。そこで本研究では、風車と対峙させる静的な景観構成要素として鉄塔を取り上げ、その大きさが異なる刺激を用いたドット・プローブ課題を行うことによって、両誘目性の挙動を探った。その結果、誘目性に影響を与える因子として動的誘目性よりも静的誘目性の方が支配的である可能性が示唆された。

**キーワード:** 風力発電施設, 陸上風力, 動的誘目性, 静的誘目性, ドット・プローブ課題

## 1. はじめに

### (1) 研究背景

世界的にますます深刻化している地球温暖化問題への対応策として、日本でも再生可能エネルギーの導入が推進されてきており、とりわけ固定価格買取 (FIT) 制度が導入された 2012 年以降は加速度的に進んでいる。これに伴い、自然環境を大規模に改変し得る風力発電施設に関してその環境影響評価の手法や知見も充実し蓄積されてきたかのように見えるが、殊に景観評価においては未だ不十分であると言わざるを得ない。

実際に風力発電施設の景観評価基準に目を向けると、送電鉄塔に用いる評価指標を流用する事例が多く、ブレードの視覚的な「回転」が考慮されていない現実性に欠ける評価手法に留まっている。風力発電施設は支柱となるタワー部分とブレード部分を含めて高さが 100m を超す場合が多々あり、その物理的大きさに由来する存在感は勿論あるが、加えて巨大なブレードの「回転」という動きが、自然の風景においては風車をより一層目立たせる要因となり得ることは、動いているものに注意が向きやすいという人間の生物学的特性を考えても容易に想像できる。この動きという要因による目立ちやすさを大西ら<sup>1)</sup>は「動的誘目性」と定義しており、風景鑑賞に

影響を与え得る一つの風力発電施設特有の要素として、景観評価において慎重に扱われるべきである。

しかしながら、果たして回転している風車が常に注意を惹く存在であるのだろうか。実際の風景、特に風車が陸上に設置されている場面に目を向けると、鉄塔や山のように明快な輪郭線を持って立ち現れているものが風車の他にも存在している。いくら動いているものに目を奪われやすいとはいえ、この風車のカウンターパートともいえる景観構成要素が静的にもかかわらず大きさや色彩といった動き以外の図像的要因によって目立ちやすい、すなわち大西ら<sup>1)</sup>が定義した「静的誘目性」が大きい状況であれば、風車のブレード回転も気にならなくなるはずであり、その逆もまた然りである。このように、風景鑑賞においては「静的誘目性」と「動的誘目性」とが干渉する可能性が十分に考えられるが、実際にどちらがどれ程の影響力を持っているかを明らかにするためには、両誘目性を統合的に捉えて景観評価を行う必要がある。

### (2) 既往研究

日本よりも早い段階で風力発電施設の導入が進んできた欧州を中心に、その景観評価手法の構築に活かそうとした研究が蓄積されてきてはいるものの、ブレードの回転運動による視覚的影響を考慮した研究自体、未だ乏し

い現状である。

その中でも、Maede<sup>2)</sup>は回転している風車と回転していない風車を対象としてアイトラッキング手法を用いて視線を計測することで、ブレードの回転に伴って風車への注意度合いが増す可能性を示した。また大西ら<sup>3)</sup>も視覚的注意に着目し、アイトラッキングに加えて瞬間視実験も行うことで、回転による注意の捕捉されやすさを検証している。しかしながら、いずれの研究も「動的誘目性」のみに主眼が置かれているため、風車以外に見えている他の景観構成要素は操作変数として扱っておらず、「動的誘目性」という観点と「静的誘目性」という観点を組み合わせるまでには至っていない。

### (3) 研究の目的

以上より、本研究では「動的誘目性」を生じさせる風車に対して「静的誘目性」を生じさせる他の景観構成要素を対峙させた視覚実験を行うことで、「動的誘目性」と「静的誘目性」のどちらの作用が強く働き、またどう影響を及ぼし合うのかを明らかにすることを目的とする。

## 2. 枠組み

### (1) 観点

単に「注意が向く」といっても、そこには様々な要因が複雑に絡み合っている。ある景観構成要素の数や大きさ、配置、色彩といった図像的な因子による影響は容易に想像できるが、加えて例えば山岳や田畑などがメインとなっている風景においてある景観要素がそぐわない、ふさわしくないというように、個々の対象だけでなく対象間の関係性で風景を捉えようとする、認知科学の分野でいうスキーマに起因する影響も十分に存在し得る。風車の例で言うと、「自然に対する脅威」として捉えられることで、風景鑑賞において風車が悪目立ちする可能性が考えられる。

したがって、本研究ではスキーマ作用を除いた図像的性質のみによる誘目性の変化を調べるため、風車と同様に人工構造物でありかつ現実的に風景内で同居する場面の多い景観構成要素として鉄塔を取り上げ、スキーマが生じないよう風車と対峙させる際の背景も無くす。また変化させる鉄塔の図像的な性質としては、刺激の統制が比較的行いやすく、現実的なバリエーションも多い「サイズ」に限定して着目する。

### (2) 検証方法

先の既往研究にも示した通り、誘目性を検証する手法としては主に、風景を見せながらアイトラッカーを用いて凝視位置をマッピングするアイトラッキング手法と、

何らかの先行刺激を見せてその消失後に現れるドットの位置を正確に素早く答えさせるドット・プローブ課題と呼ばれる瞬間視実験が挙げられる。前者では眼球運動を直接記録し分析することが可能ではあるが、凝視している時に必ずしも注意を向けているとは限らないということとを考慮すると、注意という現象を効果的に取り出すことには限界がある。そこでこの欠点を克服する手法として確立されているのが後者である。Craighero<sup>4)</sup>はドット・プローブ課題において凝視と注意がより密接に作用することを明らかにしており、実際に白柳ら<sup>5)</sup>は店舗刺激に対して、また大西ら<sup>3)</sup>は風車刺激に対してこの手法を適用することで、観測したい注意の捕捉という現象に対して一定の成果が得られている。

したがって、アイトラッキングとドット・プローブ課題の両方を行うことがより確実な現象把握につながるが、本研究では簡易的な実験として、注意と視線が必ずしも結びつかないアイトラッキングを行う前に、まずは注意という現象単体を取り出すためにドット・プローブ課題のみを行うこととする。そのため、後にアイトラッキングによって結果を補強する前段階として基本的な傾向を把握するというのが、本研究の位置づけである。

## 3. ドット・プローブ課題

### (1) 手法

#### a) 被験者

被験者は正常な視力を有する20代の10名（男性7名、女性3名）とした。

#### b) 刺激

風車及び鉄塔のオブジェクト、及びブレードの回転アニメーションはblender4.2を用いて作成した。風車に関しては各種設計基準を参考に現実的な範囲に設定し、具体的にはタワー高さを100m、ブレードのローター径を50m、ブレードの回転速度を4回転/秒とした。鉄塔に関しては、高さが風車のタワー高と同程度のものを基準に、大きさが3/2倍のものと2/3倍のものの計3種類作成した。

以上作成した風車と鉄塔を、背景が地面のみの同一フィールド上で左右どちらかに1基ずつ（風車が左の場合は右が鉄塔）、画面中央から各中心までの水平距離が等しくなるように配置したものを刺激として用いた。この刺激に関して、風車はブレードが回転状態か静止状態で2種類、鉄塔はサイズが小さいか中程度か大きいかで3種類、さらに風車と鉄塔の左右を入れ替えた2種類の、全てを組み合わせた計12パターンの刺激を作成した。

#### c) 手続き

大西ら<sup>3)</sup>を参考にpsychopyを用いてドット・プローブ課題の構成を組み立てた。具体的には図-2に示す通り、

まず最初に中央に凝視点が表示された画像を750ms間呈示した後、すぐに先程作成した12パターン of 刺激のうちいずれか1つを300ms間呈示し、再び凝視点の画像を100ms間呈示した後、最後に凝視点の左右どちらかにドットが出現した画像を最大2000ms間呈示した。この一連の動画を1試行とし、試行毎に刺激の種類を変化させた。

試行のパターンとしては、先行刺激の12パターンに対し、後続刺激のドットが風車側に呈示される場合（風車ドット）と鉄塔側に呈示される場合（鉄塔ドット）の2パターンを組み合わせ計24パターンを設定した。さらに回答の正確性を高めるため、最後にドットが呈示されない試行（キャッチ試行）も全試行の20%の割合となるように含めた計180試行を1ブロックとし（表-1）、各被験者に対してブロック間に休憩を挟みつつ3ブロック計540試行ずつ実施した。3ブロックそれぞれで使用する試行群は変わらないが、各被験者及び各ブロック内で試行の呈示順がランダムに変わるように設定した。

被験者には全ての試行に対してできる限り素早くかつ正確にドット位置を回答するよう求めた。回答はドットが右に呈示された場合は右矢印キーを、左に呈示された場合は左矢印キーを押し、ドットが呈示されない場合は画面が切り替わるまで何も押さないよう教示した。またデモとして、事前に左右に鉄塔を1基ずつ配置させた刺激を用いて10試行を実施した。

#### d) 分析方法

psychopyの実行で得られた反応時間データのうち、正確に回答できていなかった試行のデータは削除した。さらに、被験者による個人差を考慮して事前に被験者毎で全ての反応時間を標準化した上で、各種分析を行った。各条件グループ（例えば風車ドットかつ鉄塔サイズ：小のグループ）での平均反応時間は、被験者毎に標準化された反応時間を全被験者分つなぎ合わせたデータから抽出された、条件に当てはまる全ての反応時間を平均した標準化平均反応時間を用いた。

また全ての分析において、各条件グループに対してShapiro-Wilkの正規性検定を行った所、p値は全て有意水準5%を下回ったが、各サンプルサイズが十分に大きいとして、各平均反応時間の差の検定ではパラメトリック検定であるTukey-Kramer検定を採用した。

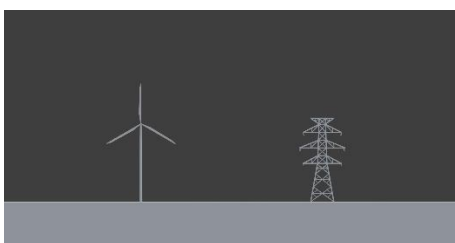


図-1 刺激の一例（風車の位置：左、鉄塔のサイズ：中）

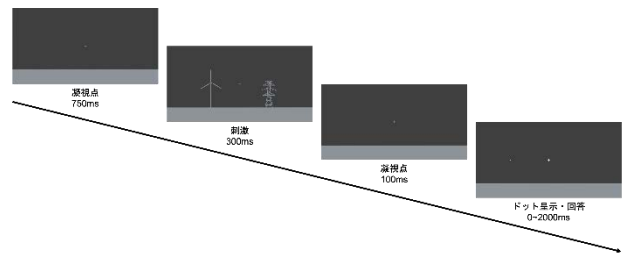


図-2 ドット・プローブ実験の流れ（風車ドットの場合）

表-1 刺激構成表（1ブロック分）

| 風車の状態 | 鉄塔の大きさ | 風車の位置 | ドット位置 | 出現数 |        |
|-------|--------|-------|-------|-----|--------|
| 回転    | 小      | 右     | 右     | 6   | 風車ドット  |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
|       | 中      | 右     | 右     | 6   |        |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
|       | 大      | 右     | 右     | 6   |        |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
| 静止    | 小      | 右     | 右     | 6   | 鉄塔ドット  |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
|       | 中      | 右     | 右     | 6   |        |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
|       | 大      | 右     | 右     | 6   |        |
|       |        | 左     | 左     | 6   |        |
| 回転    | 小      | 右     | 左     | 6   | 風車ドット  |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
|       | 中      | 右     | 左     | 6   |        |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
|       | 大      | 右     | 左     | 6   |        |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
| 静止    | 小      | 右     | 左     | 6   | 鉄塔ドット  |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
|       | 中      | 右     | 左     | 6   |        |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
|       | 大      | 右     | 左     | 6   |        |
|       |        | 左     | 右     | 6   |        |
| 回転    | 小      | 右     | 無し    | 3   | キャッチ試行 |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |
|       | 中      | 右     | 無し    | 3   |        |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |
|       | 大      | 右     | 無し    | 3   |        |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |
| 静止    | 小      | 右     | 無し    | 3   | 鉄塔ドット  |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |
|       | 中      | 右     | 無し    | 3   |        |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |
|       | 大      | 右     | 無し    | 3   |        |
|       |        | 左     | 無し    | 3   |        |

風車ドット72+鉄塔ドット72+キャッチ試行36=計180試行

## (2) 結果

「静的誘目性」と「動的誘目性」の干渉について考察する前に、まずは各誘目性単体での影響が存在するかを確認する必要がある。「静的誘目性」に関しては、鉄塔のサイズのみが異なる条件グループ同士で平均反応時間を比較することでその影響が明らかとなるが、風車ドットの場合は鉄塔のサイズが大きくなるほど反応が遅くなる一方で、鉄塔ドットの場合は鉄塔のサイズが大きくなるほど反応が早くなる傾向が考えられる。また「動的誘目性」に関しては、鉄塔のサイズが同じ条件下で風車の状態のみが異なる条件グループ同士で平均反応時間を比較することでその影響が明らかとなるが、風車ドットの場合は回転時ほど反応が早くなる一方で、鉄塔ドットの場合は回転時ほど反応が遅くなる傾向が考えられる。したがって、想定される各誘目性の影響の傾向を見失わないよう、まずは探索的に風車ドットの場合と鉄塔ドットの場合に分けた上で結果を整理した。

### a) 風車ドットにおける各誘目性単体の影響

「静的誘目性」の基本的な傾向を調べるため、鉄塔のサイズ毎で標準化平均反応時間及びその有意差を算出した(図-3) (エラーバーは標準誤差を表す)。グラフが示す通り、鉄塔のサイズが小さい場合は、鉄塔のサイズが中程度または大きい場合よりも有意に反応時間が小さくなった。しかし鉄塔のサイズが中程度の場合と大きい場合とでは、反応時間に有意差は見られなかった。

この図-3の整理段階では風車が回転時のデータと静止時のデータが混在しており、「動的誘目性」の影響が作用している可能性が残っているため、ここからさらに風車の状態別に分解したものが図-4である。グラフが示す通り、回転時、静止時ともに鉄塔のサイズが小→中となる時は反応時間が増大する傾向が見られたが、中→大となる時は回転時に反応時間が微減した一方で、静止時は反応時間が微増した。

また同じ鉄塔サイズで反応時間を比較すると、いずれの鉄塔サイズにおいても回転時の方が静止時よりも小さくなった。

### b) 鉄塔ドットにおける各誘目性単体の影響

a)と同様、まず鉄塔のサイズ毎で標準化平均反応時間を見比べると(図-5)、風車ドットと同じように鉄塔のサイズが大きくなるほど反応時間が小さくなる傾向が見られ、このうち鉄塔のサイズが小さい場合と大きい場合とで有意差が確認できた。

この結果をさらに風車の状態別に分解したものが図-6である。グラフが示す通り、回転時、静止時いずれの場合においても鉄塔のサイズが大きくなるにつれて反応時間も増大する傾向が見られた。

また回転時と静止時では、風車ドットと同様全ての鉄塔サイズにおいて回転時により反応時間が小さくなった。

### c) 「動的誘目性」と「静的誘目性」の影響度合い

結果a), b)においては各誘目性を独立したものとして考えたが、同じ誘目性に与える因子として、風車の「動的誘目性」による効力と鉄塔の「静的誘目性」による効力の影響度合いを調べるため、風車ドットと鉄塔ドットの各場合において、風車の状態(静止/回転)と鉄塔のサイズ(小/中/大)の2つを因子とした2×3二元配置分散分析を行った(図-7)。

風車ドットでは、風車の状態という因子は反応時間の変化にあまり影響を与えない一方で、鉄塔のサイズという因子は、反応時間の変化に有意に影響を与えるという結果となった。また両因子の間に有意な交互作用は確認されなかった。

一方鉄塔ドットにおいても、鉄塔のサイズが反応時間の変化に有意な影響を与えていることが分かるが、加えて風車の状態も有意に影響を与えているという結果とな

った。風車ドットと同様、両因子の間に有意な交互作用は確認されなかった。

### (3) 考察

まず風車ドットの場合は、鉄塔のサイズの増大に伴って反応時間も大きくなる傾向が確認できたこと、及び二元配置分散分析から反応時間に与える鉄塔のサイズの主効果が有意であったことを考慮すると、鉄塔のサイズが大きくなるほど注意を惹くという「静的誘目性」の作用実際に働いていた可能性が示唆される。しかしながら、サイズが中程度の場合と大きい場合とでは平均反応時間に顕著な差が確認できなかったため、鉄塔のような静的景観要素はその大きさがある一定ラインを超えるとその誘目性が高止まりする可能性が考えられる。また同じ鉄塔サイズにおいて風車の回転時により反応時間が小さくなったことから、風車の「動的誘目性」も作用していたことが考えられるが、分散分析では風車の状態による主効果が確認できなかったことから、この「動的誘目性」よりも鉄塔による「静的誘目性」の方が誘目性に強い影響を与える可能性が考えられる。

鉄塔ドットにおいては、仮説として鉄塔のサイズが大ききほど鉄塔に注意が向きやすくなることで反応が早くなることが想定されたが、実際には鉄塔のサイズが大きくなるほど反応が遅くなるという結果となった。この原因の一つとして、鉄塔と同じ方向にドットが呈示される場面では、鉄塔のサイズが小さいほど画面上での鉄塔側の空白面積が大きく空白地帯に突如ドットが現れるという、ドット呈示前後の変化が大きい故に反応が早くなったことが考えられる。また「動的誘目性」が作用するという前提では、同じ鉄塔サイズ下では静止時に比べて回転時の方が反対方向のドットへの反応が遅くなることが考えられたが、実際には回転時により反応が早くなり、また分散分析では風車の状態による主効果が有意であったため、少なくとも回転時ほど注意を惹くという「動的誘目性」が正常に作用したとは言えないことが窺える。

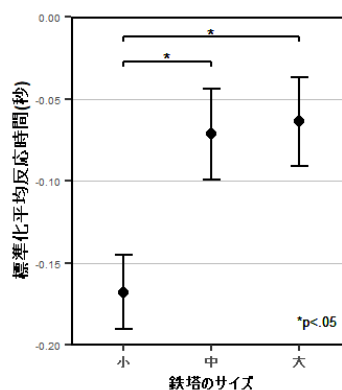


図-3 風車ドットでの鉄塔サイズ毎の平均反応時間

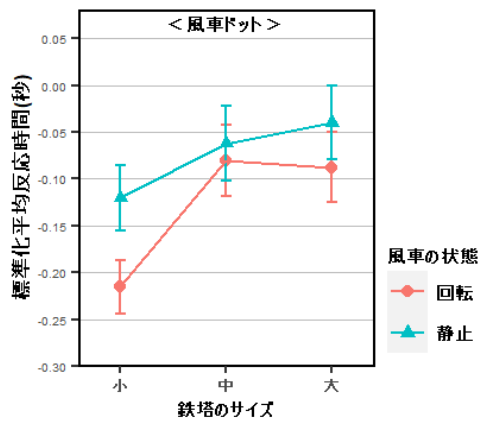


図-4 風車ドットでの回転/静止別の平均反応時間

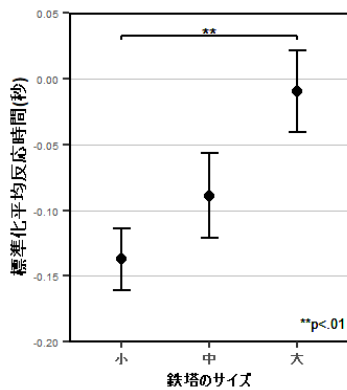


図-5 鉄塔ドットでの鉄塔サイズ毎の平均反応時間

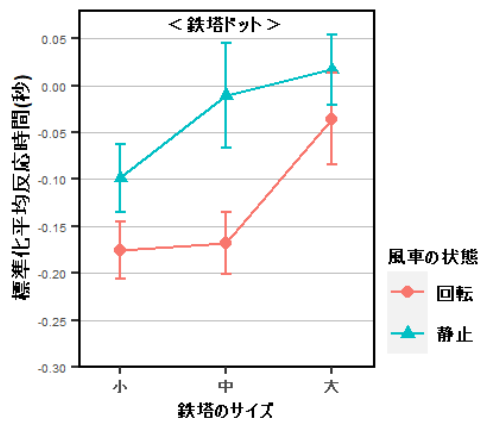


図-6 鉄塔ドットでの回転/静止別の平均反応時間

| 《風車ドット》      |       |       |       |       |     |     |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|
| 変数名          | SS    | MS    | MSe   | F値    | dfl | df2 | p値    |
| 風車の状態        | 0.044 | 0.044 | 0.017 | 2.586 | 1   | 9   | .142  |
| 鉄塔のサイズ       | 0.134 | 0.067 | 0.013 | 5.222 | 2   | 18  | .027* |
| 風車の状態×鉄塔のサイズ | 0.014 | 0.007 | 0.012 | 0.575 | 2   | 18  | .573  |

| 《鉄塔ドット》      |       |       |       |       |     |     |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|
| 変数名          | SS    | MS    | MSe   | F値    | dfl | df2 | p値    |
| 風車の状態        | 0.136 | 0.136 | 0.015 | 9.287 | 1   | 9   | .014* |
| 鉄塔のサイズ       | 0.167 | 0.084 | 0.018 | 4.741 | 2   | 18  | .022* |
| 風車の状態×鉄塔のサイズ | 0.029 | 0.014 | 0.016 | 0.913 | 2   | 18  | .393  |

\*p<.05

図-7 二元配置分散分析結果

#### 4. 結論と展望

本研究では、鉄塔と風車を対峙させることによって「静的誘目性」と「動的誘目性」がどう影響し合うのかを明らかにしようとしたが、上記結果及び考察より、まず「静的誘目性」及び「動的誘目性」単体としての作用はそれぞれ部分的に確認され、さらに同じ誘目性に影響を与える因子として「静的誘目性」の方が強く作用する可能性も示唆された。このことは、鉄塔など何かしらの静的な構造物によって風車への注意を緩和できる可能性を示すという点で、一つの有益な知見が得られたのではないかと考えられる。結果の統計学的な解釈に関しては、被験者数が少ない故に反応時間の扱い方や検定手法によって得られる結果も異なり得るが、本研究では各グラフでも示されている通り大まかな傾向は掴むことができたと言える。

しかしながら、鉄塔ドットでは風車が回転しているときにむしろ鉄塔に注意が逸れるという、直感とは異なる結果が得られたことから、オブジェクトの組み合わせによって両誘目性に何らかのブレが生じる可能性も同時に示唆されたため、実際にアイトラッキングで視線を計測することでより正確な分析・評価が可能となるだろう。

さて、本研究では風車と対峙する景観構成要素の図像的性質のみに着目したが、実際の風景鑑賞においては、視界に入る景観構成要素から文脈を生成し、「山岳風景」「田園風景」などのように風景に意味を持たせることで、景観構成要素間に自ずと主従関係が生まれる。風力発電施設は自然優位の風景においては主たる要素である自然物に対する従たる要素として主景を障害しかねないため、本研究で用いた図像的な観点に加え、そのような意味的な観点からのアプローチも統合させながら風景を捉えることが、より有益な景観評価につながるのではないかと考えられる。

謝辞：本研究はJSPS科研費JP22K04348の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) 大西明日香, 平野勝也, 和田裕一: 土木学会景観・デザイン研究講演集, No. 18, pp65-75, 2022
- 2) Maede, K.: Assessing the use of Photorealistic and Computer Simulated Landscapes to Understand the Cumulative Landscape and Visual Impacts of Onshore Wind Turbines, PhD thesis, University of Sheffield, 2018
- 3) Craighero, L., Nascimben, M., Fadiga, L.: Eye position affects orienting of visuospatial attention, *Current Biology*, Vol.14, pp331-333, 2004
- 4) 白柳洋俊, 平野勝也, 和田裕一: 店舗の知覚過程における注意の偏り, 土木学会論文集 (D1) 景観デザイン, vol. 71, No. 1, pp71-82, 2015