

見えの形に注目した風力発電サイトの景観影響評価法の提案と評価

Estimates and development of view impact evaluation methods
By focusing on the form of appearance of wind power plants

宇田紀之・清水幸丸

UDA Noriyuki & SHIMIZU Yukimaru

Abstract: The wind-power site came to be built in the area being closer to the life area of inhabitants, and we came to see wind-power plant frequently than before. For studying on the relation between a visual feature of wind-power plant and a landscape in city neighboring area, we paid attention to form of the appearance of wind-power plants in inhabitant's life area and developed new methods of view impact evaluation.

In visible discrimination analysis, using a score of depth of invisibility, the methods to quantify an impact of form of appearance were proposed. In photo montage survey, the quantifying methods of balance felling in plants allocation were proposed. Our proposed assessment method was applied to the actual view impact assessment in the Omaezaki (Shizuoka) wind power development and the effectiveness of our methods was examined.

Keywords: view impact evaluation, form of appearance, visible discrimination analysis

1. はじめに

風力発電サイトの発電機は、タワーとロータからなる特異な形状で、しかも、ロータが回転運動をするため、他の建造物に比べて視認されやすい。景観影響評価においては、風力発電機を周辺の単調な自然景観にアクセントを与える新たな景観資源として積極的に評価し、誘致を推進する意見がある一方、風力発電機は送電線鉄塔や携帯電波局などと同様に自然景観の阻害要因(Visual Intrusion)として認知して、開発に慎重な意見も多く聞かれるようになった。風力発電所の景観評価には、自然エネルギー開発に対する環境意識の変化が影響しているものと考えられるが、風力発電サイトの大規模化、すなわち、発電機の大型化と1サイトにおける発電機設置基数の増加(ウィンドファーム化)といった構造面での変化も見逃せない。

近年の開発サイトのもうひとつの特徴は、サイトの設置場所が、生活圏からは遠隔地された山間部や海岸線などから、住居地・市街地に近接した里山・牧地・農耕地にまで拡大してきたことである。発電所誘致に対して、積極派であれ、慎重派であれ、日常の生活圏の視界から風力発電所を遠ざけておくという点では共通していた。しかし、発電サイトは生活圏に接近し、地域住民の視界から遮断し隠蔽することは難しくなり、風力発電機を目にする機会が増え、

日常風景化したことが、また、風力発電サイトの景観評価に影響を与えている。地域生活圏に近接した風力発電機は、周辺の住居・建物や里山の樹木に重なってタワーやロータの一部が不可視となる場合が多い。また、立地条件が共通する送電線鉄塔や電波局など他建築物と並列・干渉して景観を形成する場合も少なくない。生活圏の視界からの隠蔽を優先したこれまでの評価基準を見直し、地域住民が日常的に目にする地域景観との関係において、風力発電機の景観影響を考える必要があると思われる。

本研究は、風力発電サイトの「見えの形」に注目して、発電サイトの景観特性と生活圏景観との関係を議論するための評価方法を提案した。提案方法は、実際の景観影響アセスメントに適用して、有効性を検討した。

2. 風力発電サイトの景観研究

風力発電の商業運用が始まった1990年代には、ヨーロッパを中心に景観影響に関する研究が行われている。Kidnerは、地理情報システム(GIS)を用いた可視領域分析の方法を提案し、Taylor&Duireは、フォトモンタージュ技法を用いた景観変化の事前評価法を紹介した。可視領域分析は定量評価、フォトモンタージュは定性評価の方法として、現在でも、景観影響評価の基本技術である。

日本では、風力発電好適地は自然公園地域と重なることが多く、開発計画は、主に自然公園法によって制限される。風力発電サイトの大規模化が始まった2000年に、環境省から環境アセスメントのガイドラインが示され、そのひとつとして景観が注目されるようになった。景観影響の評価方法は、送電線敷設計画の評価方法をほぼそのまま適用する 경우가多く、風力発電所施設の景観影響を十分に評価するものとは言い難かった。

風力発電サイトの景観的特異性に注目した本間らは、可視領域分析の方法を用いて発電サイトの可視領域を求め、眺望候補地を視距離・見え方・可視基数などの形態特性と、観光・文化特性によって重み付けする方法を研究し、眺望地選定法を提案した。坂本らは、CGで作成した景観画像を用いて発電施設の空間配置が景観評価に及ぼす影響について研究し、圧迫感・バランス感・粗密感といった評価因子を抽出した。宇田らは、アニメーションソフトを用いてロータ回転運動が印象形成に及ぼす影響について研究し、回転運動する景観動画が好評価を得ることを明らかにした。

3. 景観影響評価の方法

3.1 可視領域分析

可視領域分析は、3次元地形データを用いて対象（建設予定の発電サイト）対象が見える領域を地図上で識別する方法で、調査対象領域に対して可視領域が占める比率（可視比率）を求める。可視領域は、視距離・視線入射角（視野角）・仰角俯角などの物理指標によって景観影響度を重み付けする。可視領域判定は、視線ベクトルと地表面パッチの交差計算や地形幾何モデルによっておこなうが、可視領域は周辺建物や樹木の変化、眺望点の僅かな移動によっても大きく変化する。

風力発電サイト周辺を現地踏査してみると可視領域が意外に少ないことに気付く。サイト周辺の地域は強風を避けるための保安林（防風林帯）が敷設されていることが多い。発電サイトは近隣の防風林や建物に隠蔽されて不可視になるか、あるいは、タワー一部が隠れてロータ部分だけが見える状態になる。地域景観への影響を検討する場合には、2値的な可視判定だけではなく、発電機の部分不可視やロータ回転面の方向など見えの形の多様性にも考慮する必要がある。建物や樹木・送電線鉄塔等の景観影響を考慮した地表面標高データ（DSM）の作成方法、及び、見えの形を検討するための視距離域区分・不可視深度・可視基数の評価指標について説明する。

3.1.1 地表面データの作成

地域景観における建物や樹木の重なりを議論するには、建物の高さや樹高データを含む地表面の標高データ（DSM）が必要である。DSM作成には、衛星画像解析や航空レーザ測量データを使う方法があるが、この方法で

は地域景観分析のポイントとなる送電線鉄塔や電波局などトラス構造物の識別が難しい。

ここでは、Google-Mapがネット提供する航空写真から緑地領域を抽出して国土地理院50mメッシュ標高データ（DEM）に重ね、AND領域の標高データを樹高分だけ嵩上げする簡易方法を使った。この標高補正で生じる誤差を軽減するために、可視判定では、眺望点の緯度経度を±1.0秒づつ移動させた2地点を眺望点加えて3点判定とした。発電機位置、送電線鉄塔位置、眺望点については、GPS測定器で緯度・経度・標高を実測した。

3.1.2 視程域区分

景観評価に用いられる視野角(ν)は、視点距離(d)と対象物の大きさ(s)の関数で、見えの大きさを示す。

$$\nu = \tan^{-1} \frac{s}{d} \quad (1)$$

視程域の分岐点になる視野角1度は、ランドルト視力検査の視力1.0に相当する大きさで、注視しないと認識され難い視距離を示す。大型発電機のサイズは、ハブ高で60mから90m、ロータ直径で40mから90mの幅がある。視野角による至近景域・近景域・中景域の視程域区分と認識具合を表1に示した。

3.1.3 不可視深度

不可視深度は、対象物が不可視となる度合いを垂直方向の深さで表す指標である。発電サイトは周辺の防風林や建物に隠蔽されてタワーやロータの一部が不可視となる見えの形を表す。発電機を、地上10m (h_1)、ブレードの下端高(h_2)、ハブ高(h_3)、ブレード上端高(h_4)を高さに区分して、発電機の見えの形を①タワーとロータ回転全面 (h_1 可視)、②ロータ回転全面 (h_2 可視)、③ロータ回転面半分以下 (h_3 可視) の3つに識別する。ロータ回転面がどの程度見えるかは、卓越風向と視線方向によって決まる。

表1：視程域区分と認知具合

域区分	視野角	認知具合
至近景域	5度以上	ハブ部分やナセル接続部分を細かく認識できる。ブレードの風切音が聞こえる。
近景域	2.5度以上 5度未満	ブレードやナセルを立体的に認知できる。ピッチ変化も見落とすことはない。
中景域	1度以上 2.5度未満	発電サイトの全体形状が平面的に認知できる。不可視になる場合もある。

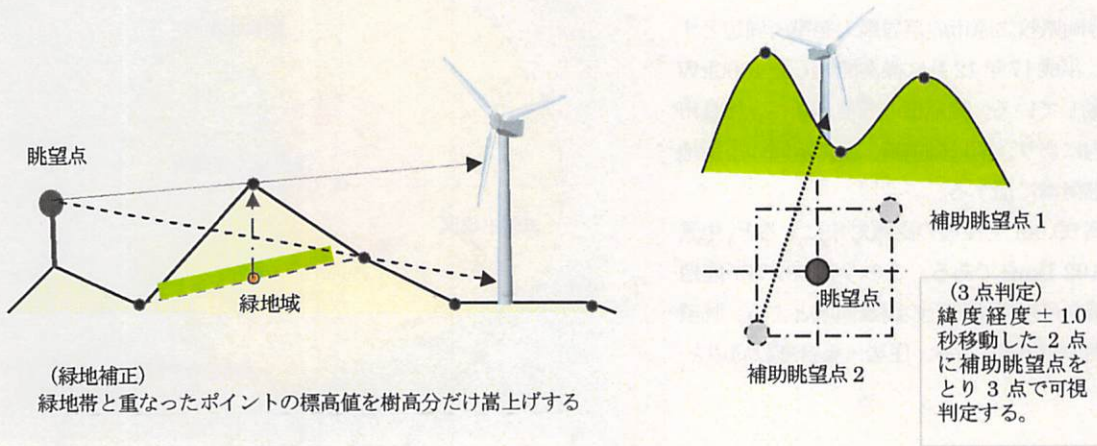


図 1：地表面データの緑地補正と 3 点判定

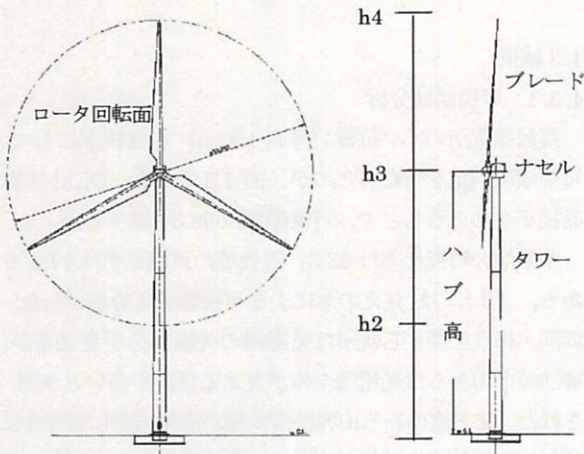


図 2：風力発電機の外形図

3.1.4 可視基数

風力発電サイトを構成する発電機 1 基づつについて可視領域を求め、集合演算で、基数ごとの可視領域を求める。可視領域は、視距離と不可視深度で重みづけする。

3.2 フォトモンタージュによる評価法

フォトモンタージュは、景観写真に建設予定の発電機の画像を合成して完成予想図を作成する技術である。設計資料としてだけでなく、住民合意形成のツールや住民モニタリングの資料として利用されることもある。フォトモンタージュには、眺望点付近で撮影した景観写真をいくつかの小領域にラベル分割し、前後関係を調整しながら予想画像に再構成するオーバーレイ法や、航空写真をマップした 3 次元地形データに建築物ソリッドを挿入するジオラマ法などがある。野外の照明環境は非常に複雑で、しかも不規則

に変化するため、違和感のない景観画像合成は最近技術をもってしても困難な課題のひとつとされている。ここでは、モンタージュ画像における風力発電サイトの見えの形に着目した 2 つの評価方法を採用した。ひとつは、眺望点における見かけのロータ回転面の大きさを議論するもので、もうひとつは発電機の空間配置におけるバランス感を問題とするものがある。

3.2.1 見かけのロータ回転面積

モンタージュ評価で用いられる視線入射角は、対象の主要面とカメラ視線との交差角度で表し、奥行きや立体感の指標とされている。風力発電機の主要面はロータ回転面で、ロータがどの方向を向いているかによって景観印象はかなり違ってくる。風力発電機は、風の吹く方向にロータ回転面を向けるため、眺望点を特定しても視線入射角は決まらない。ただし、発電サイト付近に風向傾向（風向出現率）は、事前の風向調査から知ることができる。モンタージュ画像のモデリングは、CAD システムで作成した発電機のソリッドをロータ回転面が卓越方向を向くように設定して、3 次元地形データに合成する。ロータ回転面の大きさは、モンタージュ画像上でロータ領域が占める画素数で求める。これを見かけのロータ回転面の指標とする。

3.2.2 配置のバランス感

複数発電機の空間配置問題を研究した坂本らの研究によれば、発電サイト景観評価の主要素であるバランス感は、発電機の見かけの大きさとばらつき、発電機の間隔に影響を受けるらしい。モンタージュ画像から発電機のハブ位置（ハブポイント）を抽出し、それらを結ぶ連続線を引く。この連続線を眺望の視線軌道と考え、連続線の長さやハブポイント間隔のばらつき度合いをバランス感の指標とした。景観写真に写り込む送電線鉄塔や電波局なども、バランス感構成要因に加え、景観評価に与える影響を検討した。

4. 事例研究

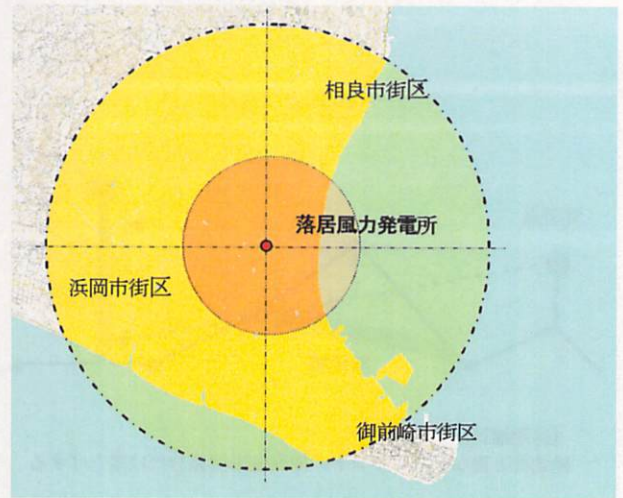
4.1 調査対象

調査対象は、静岡県牧之原市の落居風力発電所周辺とする。落居発電所は、平成17年12月に操業開始した1000kW発電機1基が稼働している。発電機の設置場所は、相良市街北西部の茶園内にあり、南に御前崎、西に浜岡の市街地がある。東は、駿河湾に面する。

ブレード上端高99.5mを視程の認識対象にすると、中景域の面積は、約102.1km²である。このうち69.7%が陸地で、この陸地領域を可視領域分析の調査領域とする。眺望点は、発電所周圍10箇所である。住居・集合施設周辺を選定した。

4.2 方法

地形データは、国土地理院50mメッシュ標高データと数値地図、そして、航空写真(Google-Map:2007.08.24)を利用した。航空写真から抽出した緑地領域に重なる部分の標高データを樹高20mで上方補正した。50mメッシュデータによる標高値の中間補間は誤差が大きいため、発電機位置、眺望点、および、送電線鉄塔の位置については、緯度・経度・標高を気圧高度計付きハンディGPS(Geko301:GARMIN社)で実測したものをを使った。眺望点の可視判定は3点判定で行い、眺望地点付近を踏査して「見える形」を確認した(平成19年7月)。可視領域の広さは地形画像における可視領域の画素数で測定し、調査領域に対する可視比率を求める。複数機の空間配置問題を検討するために、現在機周辺に同機種5基の建設を仮定して、景観シミュレーションを行なった。地形データ編集、及び、可視領域分析は、ArcGIS9.2/3D-Analyst、景観シミュレーションは、SHADE8.5/SkyLightを使用した。



域区分	視距離(m)	視程面積	陸地面積
中景域(視野角1以内)	5700	609459	410471
近景域(視野角2.5以内)	2279	164101	131839

*景観画像サイズは1084X880 面積は占有画素数

図4.1 落居発電所と視程域

4.3 結果

4.3.1 可視領域分析

落居発電所のハブ位置(標高126m)を注視点にして、可視領域判定を行なったのが、図4.3である。DEMに樹高補正を加えることで、可視領域は43.3%減少した。

中景域の可視比率は28.3、近景域の可視比率は17.2である。図4.4は、見える形による可視領域区分を示した。浜岡・相良市街から眺望は発電機の先端部分が見えるが、御前崎市街からは発電機全体が見える場所が多いと予測された。発電機のある山塊は南斜面が海岸方向に緩やかに傾斜し防風林等の植栽が少ない。御前崎市街が丘陵部に展開していることも良好な眺望の要因である。表2に、眺望点における見える形予測と踏査結果を示した。概ね、正確な予測ができていたと判断する。



航空写真

Google-Map : 2007.08.24

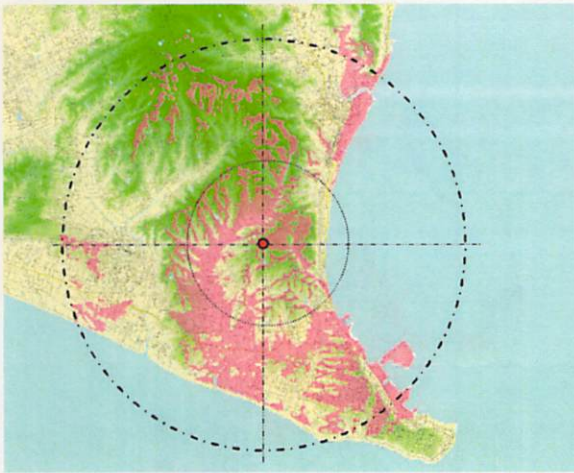


緑地域の抽出

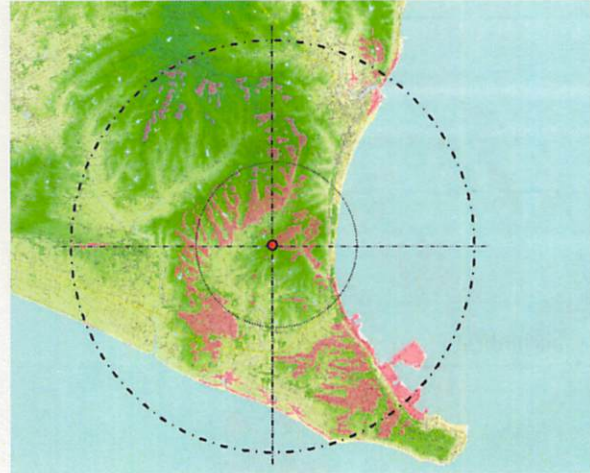


緑地域の標高補正

図4.2 緑地域の標高補正



DEMを用いた可視領域判定



緑地域の標高補正と可視領域判定

*発電機のハブ位置（標高126m）を注視点とした可視領域判定（回転面半分以上可視領域）

図 4.3 緑地域の標高補正と可視領域判定

中景域の可視比率は28.3、近景域の可視比率は17.2である。図4.4は、見えの形による可視領域区分を示した。浜岡・相良市街から眺望は発電機の先端部分が見えるが、御前崎市街からは発電機全体が見える場所が多いと予測された。発電機のある山塊は南斜面が海岸方向に緩やかに傾斜し防風林等の植栽が少ない。御前崎市街が丘陵部に展開していることも良好な眺望の要因である。表2に、眺望点における見えの形予測と踏査結果を示した。概ね、正確な予測ができていたと判断する。

増設機の可視領域予測が図4.5である。1基以上の可視領域は、1.32倍に増えるが、可視比率は現状と変わらない。東斜面に建設する発電機（4号機）が、相良市街からよく眺望できる。全機可視領域は、相良市街と北側山塊の南斜面と予測される。

4.3.2 フォトモンタージュによる評価

眺望点からデジタルカメラ（D-100：NIKON）で撮影した景観写真を、地形データのジオラマ画像を重ねてモンタージュ画像を作成する。極端な歪みがない限りジオラマ画像を優先して、建物や送電線鉄塔、風力発電機の見えの形予測などを目安に景観写真の位置調整を行なう。このとき、画像合成する発電機のロータは卓越風向に設定し、モンタージュ画像から回転面の面積とハブ位置が確認できるようにしておく。

図4.6は、上此木地区からの景観モンタージュ画像と特徴量抽出図である。発電機ハブは山塊シルエットの上に位置し、ロータ回転面は視線方向に直交しているため、視覚的影響は少ない。ハブ位置を結ぶ連結線も直線的で安定している。送電線支柱等は山塊のシルエットに隠れて発電所の景観に干渉しない。全体的に落ち着いた安心感のある景観といえる。図4.7は、勝佐地区からの景観モンタージュである。山塊の2次林に視線を遮られてロータ回転面は上部だけを見ることが出来る。西側に高圧送電鉄塔があり、

発電所のラインに干渉している。麓の市営住宅2棟も景観に影響を与える。大型建造物が錯綜して、景観としては不調和な印象を与える。

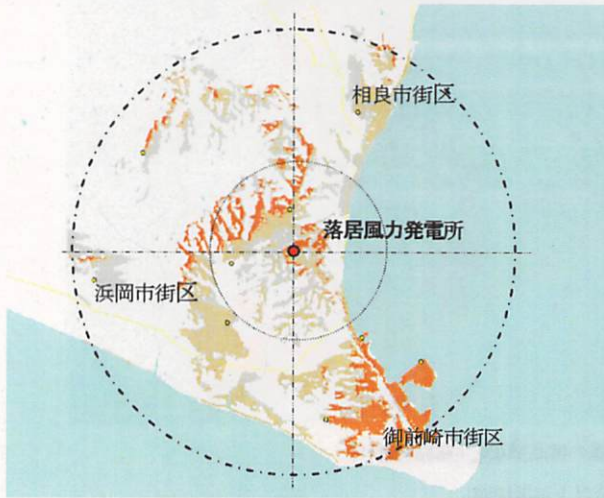
5. 考察

景観影響評価では、可視領域分析とモンタージュ評価が主要な評価方法である。本研究は住宅地に接近して建設されるようになってきた風力発電施設が、日常目にする地域景観に与える影響を研究するために、可視領域分析では、不可視深度尺度を使って見えの形を研究した。大型化した発電機は防風林帯の樹高を越えて広い範囲から眺望され、ロータ回転面の部分見え領域が多いことが分かった。地表データの樹高補正により、見えの形予測の精度が向上してことが現地調査で確認された。

表2:眺望点と見えの形予測

	眺望点	視距離	不可視深度	確認	可視基数
1	地頭方公園	2945	3	2	3
2	勝佐	1631	2	1	3
3	上此木	1212	2	2	5
4	浜岡東小学校	2491	1	1	3
5	御前崎中学校	3141	1	1	2
6	御前崎港北埠頭	4590	3	2	1
7	下朝比奈	4890	2	2	5
8	白羽神社（御前崎）	4489	2	2	2
9	相良庁舎（牧之原）	4229	1	不可視	4
10	浜岡総合病院	5436	1	1	1

見えの形は、不可視深度で定義する。

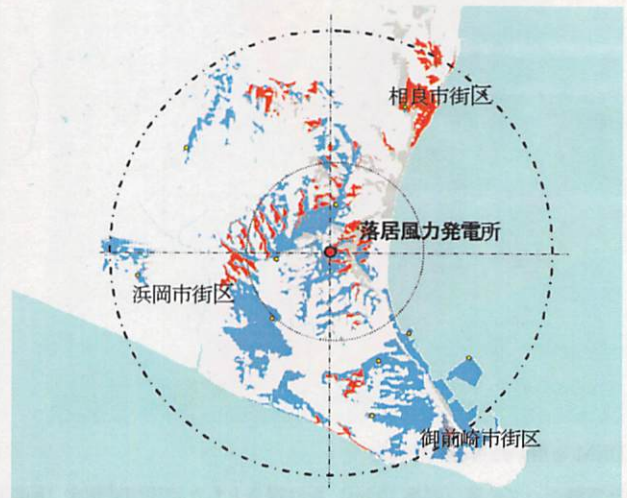


	識別色	近景域	中景域
地上 10m以上の可視領域		7.23	9.12
ロータ回転面全体の可視領域		19.95	13.25
ロータ回転面半分の可視領域		51.05	25.6

*落居風力発電所の現在機

図 4.4 見えの形による可視領域区分

モニター調査では、見かけの回転面積による視覚的影響度と視点連続線によるバランス感について研究した。風力発電サイトの景観は、周辺の施設、特に、送電施設との配置に影響を受けやすいことを明らかにした。周辺施設との関係は、これまで議論されたことが少なく、評価尺度の定量化を含めた今後の調査が必要である。



	識別色	近景域	中景域
全機の可視領域		10.36	8.79
1号機・2号機の可視領域		30.01	19.92
1基以上の可視領域		43.33	40.12

*発電機のハブ位置（標高 126m）を注視点とした可視領域判定

図 4.5 可視基数による領域区分

参考文献

1. 新エネルギー・産業技術総合開発機構：風力発電のための環境影響評価マニュアル（2002）
2. 本間里見,位寄和久,両角光男：風力発電施設における景観計画のための視点選定手法に関する研究,日本建築学会計画系論文集 No.556,pp.349-365(2002)
3. 坂本,紳二郎; 神谷,文子; 浦山,益郎：風車群の配置が景観評価に及ぼす影響に関する研究：環境情報科学論,vol.18,pp.1-6(2004)
4. 曾山豊,安田孝美,横井茂樹,鳥脇 純一郎:景観シミュレーションのための簡易情景モデル構築と動画生成の一手法:テレビジョン学会誌 Vol.47, pp. 1647-1655, (1996)