

風力発電教育・研究施設建設のための 風況精査および景観の評価

小玉 成人*

要 約

風力発電は、発電コストや発電出力の面で優れているため、再生可能エネルギーの中で最も実用化が進んでいる。そのため、風力発電に関する教育も盛んになってきているが、高校生・大学生に対する教育は、模型を使ったケースがほとんどであり、実機を用いた実践的な教育は行われていない。そこで、本計画では、実際の風力発電機に触れて学ぶ機会を提供するため、実機を用いた教育が行える風力発電施設の建設を目指している。しかしながら、このような風力発電所を建設するには、風力発電所建設に向いているかどうか風況精査を実施する必要があるため、当該地点に風況観測ポールを建設し、1年間の風況観測を行った。また、対象地点は三陸復興国立公園の種差海岸に近いことから景観への影響も評価した。

キーワード：風力発電、環境教育、風況精査、景観評価

Wind Field Assessment and Landscape Evaluation for Wind Energy Education Facility Construction

Naruhito KODAMA*

ABSTRACT

Wind power generation is used most in renewable energy. Because it is excellent in respect of the power generating cost and the power generation output. Therefore, the education concerning wind power generation becomes active. However, the case to use the model is most, and practicing education with a real machine is not done. Then, this paper presents wind field assessment and landscape evaluation for wind energy education facility construction.

Keywords : *wind generation, environmental education, wind field assessment, landscape evaluation*

1. 緒言

風力発電は、温暖化の原因となる二酸化炭素などの温室効果ガスを発生しないことや海外に依存しない純国産のエネルギーであること、地球が存在する限り尽きることがないこと、発電コストが比較的安いことなどの理由からアメリカやドイツ、スペインなどの欧米諸国や中国、インドなどを中心に導入が進められている。特に、発電コストは従来型の電源と比べてもコスト競争力を持つ水準にあり、最も実用的な再生可能エネルギーといえる。そのため、風力発電に関する教育も盛んになってきているが、高校生・大学生に対する教育は、厚紙や木を使って模型を作成したり、市販の小型風力発電機を利用したりするケースがほとんどであり、実機を用いた実践的な教育は行われていない。そこで、本計画では実際の風力発電機に触れて学ぶ教育の機会を提供するため、2,000kW クラスの風力発電機を数基備えた風力発電施設の建設を目指している。風力発電機を建設するには、その可能性を調査する必要があるため、対象地点において風況観測ポールを建設して1年間の風況精査を行った。また、対象地点は三陸復興国立公園の種差海岸に近いことから景観への影響も評価した。

2. 風況観測地点

風力発電所の建設を予定している風況観測地点には図1に示す八戸市金浜地区にある本学の敷地を選定した。この地点は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の風況マップ¹⁾によると、地上高30mで年間平均風速が6.6m/s、地上高70mにおいて7.7m/sである。NEDOの風力発電導入ガイドブック²⁾によると「風力発電の事業化のためには年平均風速が6m/s以上（地上高30m）のサイトが望ましい。」とあるためこの基準を超えている。この他、周辺は雑木林や牧草地がほとんどであり民家がないため、騒音やシャドーフリッカー（風車の影が回転して地上や建造物に明暗を生じさせる現象）などの影響も出にくいと思われる。また、送電線も近くを通っているため東北電力の系統へ連系する送電線の設置費用も少なくなる。さらに、近隣の港で陸揚げ後に公道を利用して内陸輸送できるため、大型風車の輸送も可能であり、風力発電所建設地点として有望と思われる。しかしながら、周辺を覆っている高さ20～30mの林による影響および北西方向の小高い丘による影響が懸念されるため、風況精査により確認する。また、近隣への影響や景観への配慮に関しては、八戸市などとも相談しながら進める必要がある。



図1 風況ポール設置地点

3. LAWEPS による発電量推定シミュレーション

3.1 LAWEPS とは

始めに、対象地点での風力発電の可能性を評価するため、NEDOが開発した局所風況予測ソフトウェアのLAWEPS (Local Area Wind Energy Prediction System) を用いてシミュレーションを行った。LAWEPSは、「風況マップ表示システム」、「工学モデル計算システム」、「気象モデル出力データ」の3つで構成され、これらを活用することで、複雑地形上での年平均風速の算出と指定した領域の風況分布の閲覧が可能となっている。また、風車配置支援ツール LAWEPS-Planner を併用すれば、工学モデル計算の結果を基に風車建設時の年間発電量の推定や風車同士の干渉による発電ロスを算出でき、風車の適正配置が可能になる。LAWEPSでの計算には4次領域と5次領域の二段階があり、まず4次領域計算で約10km四方の領域を約100m間隔で分割し非定常計算を行う。その後、必要であれば5次領域計算で約1km四方の領域を約10m間隔で分割し計算を実行する。LAWEPSでの作業は、前処理・計算・後処理モジュールに分類され、前処理・計算モジュールでは、それぞれ専用のインターフェイスを利用して操作を行い、後処理モジュールでは表示システムを利用して結果を描画する。

3.2 LAWEPS による発電量の推定

LAWEPSを用いて対象地点の発電量等を求めるため、図2の土地利用区分や森林、平野などの植生などを設定し、4次領域での計算を行った。つぎに、この結果を用いて風況マップ表示システムで表示した結果を図3に示す。この結果から、指定したモニタ点での風速は地上高30mで6.56m/s、地上高50mで8.02m/sとなった。風力発電に適している平均風速は、前述のように地上高30m地点で風速6m/sが基準と言われており、これを満たしているためこの地点は風力発電に適していることが示された。

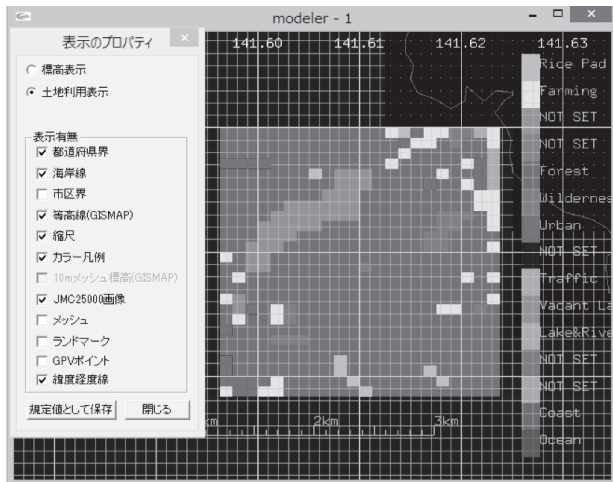


図2 土地利用区分設定画面

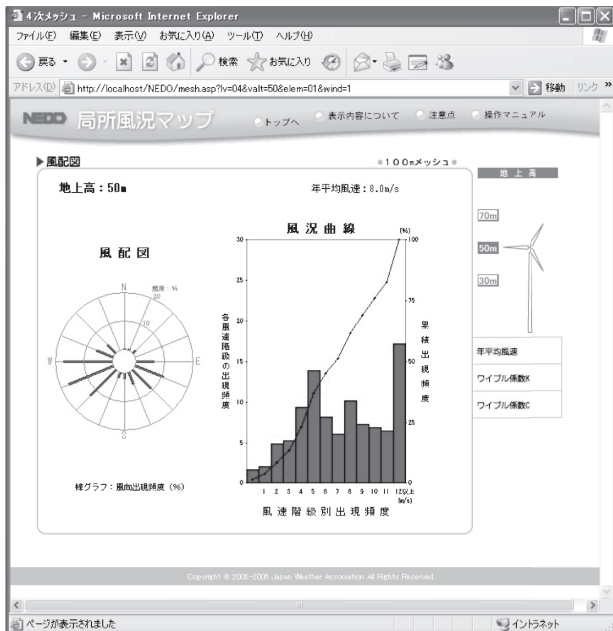


図3 風況マップ表示システムの結果（地上高50m）

3.3 LAWEPS-Planner による各発電機における発電量推定

つぎに、LAWEPSの計算結果をLAWEPS-Plannerに反映させ、対象地点にVestas社の風力発電機V80

(2,000kW)を3基建設した場合の年間発電量の予測を行った。このときの発電量の推定画面を図4に、推定結果を表1に示す。これらの結果は、図4に示されているように風車を配置した結果であり、それぞれの風車の後流（ウェイク）などの影響によるロスも考慮されている。表から、NEDOの風力発電導入ガイドブック2）に示されている基準の20%を大きく超えており、シミュレーションの結果からは風力発電の可能性のあることとなった。

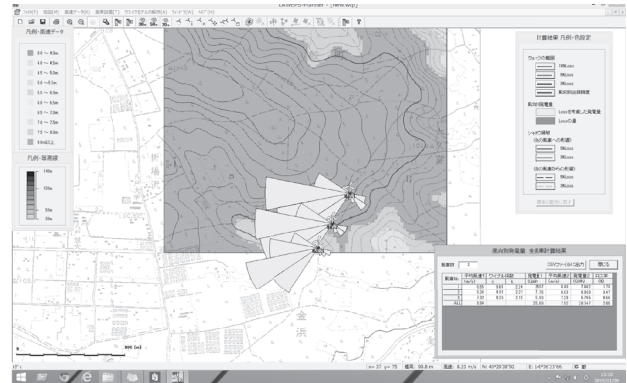


図4 LAWEPS-Planner による発電量推定

表1 発電量等の推定結果

風車No.	平均風速 (m/s)	発電量 (GWh)	設備利用率 (%)
1	8.43	7.46	42.6
2	8.03	6.93	39.6
3	7.29	5.76	32.8
ALL	7.92	20.15	38.3

4. 実測値を用いた推定

4.1 実測値を用いた風況精査

つぎに、実測値を用いて風力発電の可能性を検討するため風況精査を行った。風況精査とは、候補地点の風力発電導入の可能性、並びに導入規模の評価を行うため、観測したデータをもとに、解析項目として表2に示す風況に関するものとエネルギーに関するものについて解析する。解析項目の中でも、風況特性の「平均風速」と風力エネルギーの「風車の設備利用率」は風力開発の可否を判断する項目であり、最も重要となる。なお、このとき利用するデータは、40mまたは50mのポールを建設し、地上高10m毎に風速計および風向計を設置して計測する。観測項目は、主に以下の3点であり、センサーのサンプリング時間は1～3秒以下、観測期間は最低でも1年間必要と言われている^{3,4)}。

- ・10分平均の平均風速・風向
- ・月および年間の最大瞬間風速
- ・10分間風速の標準偏差

計測されたデータは、欠測や異常値の有無によって修正・補正を行い、10分間データから1時間データへ変換する前処理を行う。

表2 解析項目

解析項目		目的
観測期間中の気象概況		期間中の気象状況が特異かどうか評価
風況特性	平均風速	風力開発の可否を概略的に評価
	風速の時間変動	風車の運転計画を検討
	風向別平均風速	風力エネルギーの主風向を把握
	年間の風向出現率	風の卓越方向を把握
	風速の出現率	風速の出現特性を評価
	風向別風速出現率	風力エネルギーの風向別の出現特性を評価
	ワイブルパラメータ	風況特性を把握
	鉛直分布	ある高度の風速を推定するため、鉛直分布を把握
	乱れ強度	風速の瞬時特性を把握
	最大風速・最大瞬間風速	風車の耐風速を評価
風力エネルギー	風力エネルギー密度	風力エネルギーの潜在量を評価
	風力エネルギー取得量	取得できる風力エネルギー量を評価
	風車の設備利用率	風力開発の可否の判断
	稼働率	風車の稼働状況を判断

4.2 風況観測ポールの概要

上述の風況精査を行うために設置する風況観測ポールの概要を図5に示す。図に示すように、風況観測ポールは、高さ50mで、地上高30、40、50mに風速計、地上高40、50mに風向計を取り付ける。風速計、風向計には、近年レーザーや超音波を用いた観測機も開発されているが、風況観測に利用されている実績が少ないため、一般的に利用されているカップ式風速計と矢羽根式風向計を用いた。なお、ポール式の風況観測ではトラス式と異なり、風速計が落雷などにより故障した場合に取り換えが困難なため、地上高50mには風速計を2つ取り付けている。

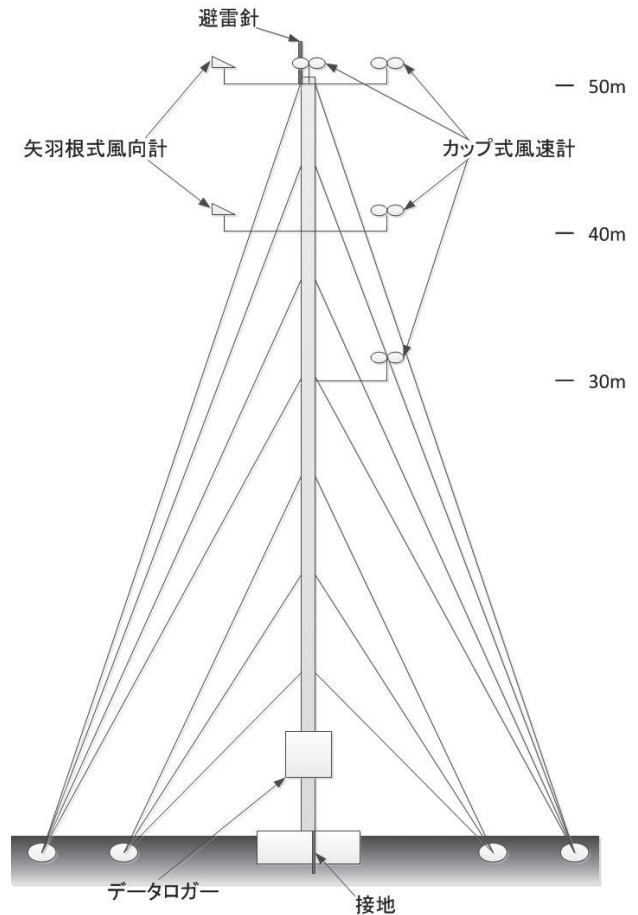


図5 風況観測ポールの概要

5. 風況精査結果

5.1 平均風速および風配図

図5の風況観測ポールを用いて、風速および風向を観測した結果を表3および図6、7に示す。表3および図6は月毎の平均風速およびその変化であり、図7は風向の出現率を表す風配図（ウィンドローズ）である。表3および図6より冬から春にかけて風が強くなり、その平均風速は地上高30mで4.3m/s、地上高50mで4.9m/sとなっている。最も風速が高い月は、4月であり、最も低い月は6月である。NEDOの風力発電導入ガイドブック²⁾の基準6m/s以上（地上高30m）と比較すると、対象地点の年平均風速はこれを超えないことが分かる。また、風向は図7に示されているように、西からの風が最も多くその出現率は23.9%である。この風向とその両隣およびその反対の風向を風軸と呼び、この出現率は67.7%であり、安定していると言われる基準値の60%を超えていることから風向は安定していると言える。

表3 月毎の平均風速（m/s）

	50m	40m	30m
2013年3月	6.1	6.0	5.5
4月	6.2	6.1	5.7
5月	4.4	4.3	4.0
6月	3.1	3.0	2.8
7月	3.6	3.5	3.2
8月	3.6	3.6	3.2
9月	4.1	4.0	3.5
10月	5.0	5.0	4.4
11月	5.4	5.3	4.7
12月	5.7	5.6	5.0
2014年1月	5.5	5.4	4.9
2月	5.7	5.6	5.0
平均	4.9	4.8	4.3

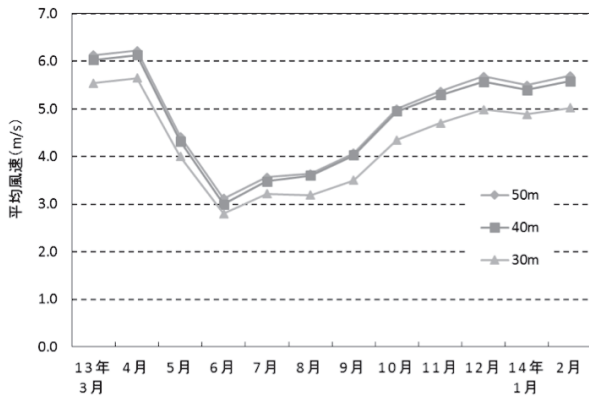


図6 月毎の平均風速の変化

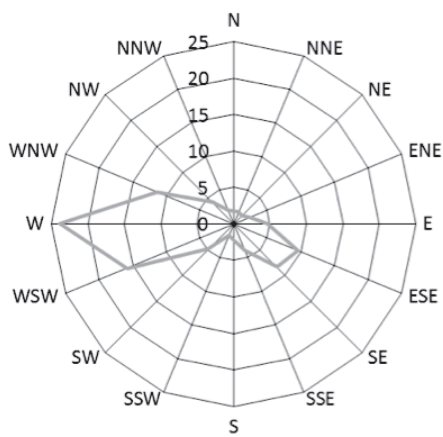


図7 風配図

5.2 乱れ強度

つぎに、風況の乱れは風車の耐久とエネルギー取得量に影響を及ぼすことから、当該地点の乱れ強度を算出し、風力発電開発の適地しているか検討する。乱れ強度は平均風速とその標準偏差から以下の式によって算出し、対象は平均風速 2m/s 以上および 4m/s 以上とした。

$$\text{乱れ強度} = \text{風速の標準偏差} / \text{平均風速} \quad \dots (1)$$

なお、地形条件に対する乱れ強度の一般的な値は表4の通りである。(1)式を用いて乱れ強度を算出した結果を表5に示す。表の値から丘陵地帯から高い山地に相当することになり、乱れ強度も高いことが分かる。

表4 地形タイプと乱れ強度の関係

地形タイプ	乱れ強度
海・湖	0.10
平野(平坦・緩やかな起伏)	0.15
丘陵地帯	0.20
低い山地	0.25
高い山地	0.30

表5 乱れ強度

風向	平均風速(m/s)		標準偏差(m/s)		乱れ強度	
	2.0m/s以上	4.0m/s以上	2.0m/s以上	4.0m/s以上	2.0m/s以上	4.0m/s以上
N	3.9	5.2	1.426	1.117	0.364	0.214
NNE	3.8	5.3	1.473	1.350	0.388	0.254
NE	4.6	8.3	3.327	3.512	0.716	0.425
ENE	4.6	7.9	2.955	2.782	0.637	0.350
E	4.3	6.1	2.189	2.402	0.514	0.392
ESE	4.5	5.6	1.688	1.375	0.375	0.244
SE	4.8	5.8	1.906	1.671	0.401	0.288
SSE	4.4	5.4	1.642	1.370	0.377	0.252
S	3.8	4.9	1.140	0.729	0.303	0.149
SSW	3.5	5.0	1.250	1.137	0.356	0.226
SW	4.9	5.9	1.932	1.688	0.398	0.287
WSW	5.6	6.1	2.017	1.837	0.359	0.301
W	6.5	7.1	2.674	2.480	0.410	0.351
WNW	5.7	6.6	2.421	2.142	0.422	0.323
NW	4.8	5.8	1.791	1.469	0.376	0.254
NNW	4.3	5.6	1.892	1.851	0.439	0.332
全体	5.4	6.4	2.380	2.152	0.444	0.338

5.3 ハブ高さでの風速の推定

つぎに、想定している風車のハブ高さは観測地点の高さと異なるため、ハブ高さでの風速を推定する。これは、地表付近の風速が建物や森林などの地表との摩擦に左右され、高度が高くなるほど風速が高くなるために必要となる。そこで、この推定に利用する模擬風車として表6の風車を想定した。風速の鉛直分布については、上述したように(2)式の指数法則が成り立つことが知られているため、これを利用してハブ高さでの風速を求めた結果を表7に示す。

$$V = V_1 (z/z_1)^{1/n} \quad \dots (2)$$

ここで、 V ：地上高 z における風速

V_1 ：地上高 z_1 における風速

n ：指数法則のべき指数 (n 値)

表6 ハブ高さでの風速

	ハブ高さ (m)	カットイン 風速 (m/s)	カットアウト 風速 (m/s)
1,500kW機	60	3.5	25.0
2,000kW機	65	4.0	25.0
2,500kW機	80	4.0	25.0
3,000kW機	105	4.0	25.0
5,000kW機	90	4.0	25.0

表7 ハブ高さでの風速 (m/s)

	50m	60m	65m	80m	90m	105m
2013年3月	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2
4月	4.4	4.6	4.6	4.8	4.9	5.0
5月	4.4	4.6	4.7	4.8	4.9	5.1
6月	4.5	4.7	4.8	4.9	5.1	5.2
7月	4.4	4.6	4.6	4.8	4.9	5.0
8月	5.5	5.7	5.7	6.0	6.1	6.2
9月	5.3	5.5	5.6	5.8	5.9	6.1
10月	5.7	5.9	6.0	6.2	6.4	6.5
11月	5.2	5.4	5.4	5.7	5.8	5.9
12月	5.1	5.2	5.3	5.5	5.6	5.8
2014年1月	4.5	4.7	4.7	4.9	5.0	5.2
2月	5.0	5.1	5.2	5.4	5.5	5.7
平均	4.9	5.1	5.1	5.3	5.4	5.6

5.4 エネルギー取得量と設備利用率

算出したハブ高さでの風速を元にエネルギー取得量および設備利用率を求めた結果を表8および表9に示す。なお、設備利用率とは風力発電機が期間中定格出力（フルパワー）で発電したと仮定したときに得られる電力量との百分率比である。表から規模が大きい風車ほどエネルギー取得量が大きく、設備利用率も高いことが分かる。しかし、夏季（6～9月）のエネルギー取得量および設備利用率が非常に低く、設備利用率は最大でも5,000kW機の16.4%であり、事業として成立すると言われている20%を超えていないため風力発電に適しているとは言えないことが分かった。

表8 エネルギー取得量 (kWh)

	1,500kW機	2,000kW機	2,500kW機	3,000kW機	5,000kW機
2013年3月	276,574	392,358	490,321	610,527	1,066,908
4月	279,862	392,595	490,340	607,546	1,056,455
5月	115,617	171,147	216,110	274,935	471,963
6月	30,535	50,640	65,951	87,417	139,479
7月	61,768	93,785	119,596	154,643	261,149
8月	55,695	88,793	114,559	149,681	245,936
9月	77,985	121,881	158,166	208,094	344,423
10月	145,739	219,735	281,147	364,993	619,175
11月	162,733	244,088	309,809	398,201	677,377
12月	206,630	301,809	382,064	485,010	832,453
2014年1月	162,881	248,781	312,740	399,365	688,686
2月	194,456	283,308	358,457	456,274	787,870
合計	1,770,475	2,608,918	3,299,258	4,196,685	7,191,874

表9 設備利用率 (%)

	1,500kW機	2,000kW機	2,500kW機	3,000kW機	5,000kW機
2013年3月	24.8	26.4	26.4	27.4	28.7
4月	25.9	27.3	27.2	28.1	28.4
5月	10.4	11.5	11.6	12.3	12.7
6月	2.8	3.5	3.7	4.0	3.9
7月	5.5	6.3	6.4	6.9	7.0
8月	5.0	6.0	6.2	6.7	6.6
9月	7.2	8.5	8.8	9.6	9.6
10月	13.1	14.8	15.1	16.4	16.6
11月	15.1	17.0	17.2	18.4	18.8
12月	18.5	20.3	20.5	21.7	22.4
2014年1月	14.6	16.7	16.8	17.9	18.5
2月	19.3	21.1	21.3	22.6	23.4
平均	13.5	14.9	15.1	16.0	16.4

5.5 LAWEPS による結果との比較

LAWEPS によるシミュレーション結果と実測データを用いて風況精査を行った結果の比較を表10に示す。表に示されているように、結果には大きな差が生じている。LAWEPSでは、植生（樹高など）の設定で検討余地があることや5次領域での計算を実施することが挙げられる。また、実測データを用いた風況精査では、対象地点は樹高20m程度の林で囲まれているため、測定した風速が低くなっていることも考えられる。

表10 シミュレーション結果と実測値との比較

	LAWEPS	風況ボール (実測)
平均風速 (地上30m)	6.6m/s	4.3m/s
平均風速 (地上50m)	8.0m/s	4.9m/s
エネルギー 取得量	6,730,000kW	2,608,918kW
設備利用率	38.30%	14.90%

6. 景観の評価

6.1 風力発電における景観の評価

つぎに、対象地点は平成25年5月に国立公園に指定された種差海岸に近いので、風力発電機が景観を損なう恐れがないか検討する。風力発電における景観の評価方法としては、一般的にフォトモンタージュ法が利用されている。フォトモンタージュ法は、地形図を用いて対象地点から風車がどの程度視認できるか推定し、写真にCGなどの風車を貼り付けて評価するものである。しかし、従来のフォトモンタージュによる方法では、机上の計算のみで評価しているため説得力に欠けると思われる。そこで本研究ではゴム風船を利用した実地実験を行った。

6.2 ゴム風船を利用した景観の評価

ゴム風船を利用した景観の評価は、図8に示す実験方法で実施した。風船にはアドバルーン、ゴム風船、アルミ風船の3種類があるが、ある程度浮力があるため風の影響を受けにくく、大きさも2m近くあるため視認しやすく、コストも数万円程度で済むゴム風船を採用した。実験装置は、頑丈な釣り糸の先にゴム風船を取り付け、釣り糸に5m間隔の目印を付けて風力発電機のブレードの最高点である120m地点まで打ち上げる。その際、国立公園の中でも名所である葦毛崎展望台、大須賀、白浜海岸、種差海岸芝生地などの4つの地点から目視および双眼鏡、デジタルカメラでゴム風船の確認を行った。なお、ゴム風船の打ち上げには風が弱く、遠くまで視認できる晴れた日を選択した。図9は実験時の様子である。実験の結果、目視での確認は難しかったが、双眼鏡等を用いることにより葦毛崎展望台、種差海岸芝生地の2つの地点でゴム風船が確認でき、これらの地点からは風車のブレードの一部が見えることが分かった。

6.3 フォトモンタージュ法との比較

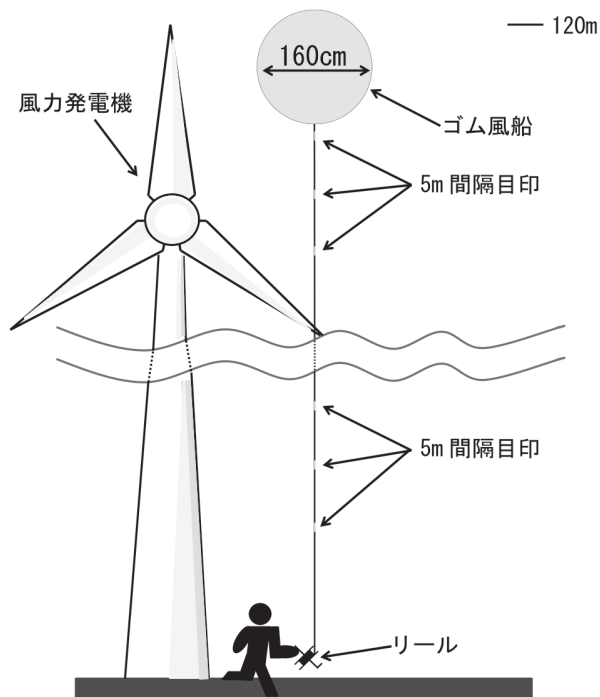


図8 ギョム風船を利用した景観の評価



図9 実験中の様子

つぎに、葦毛崎展望台の確認結果からフォトモンタージュを作成し、従来のフォトモンタージュ法との比較を行った。従来の方法と今回の方法を比較した結果を図10に示す。図から従来の方法では実際の建設場所、および見え方に誤差が生まれてしまう場合があることが分かった。

また、この方法を用いることにより、風車が建設される地域の住民などが、風車をどの程度視認できるか直接確かめることができることも利点と思われる。なお、実際に八戸市のまちづくり文化推進室の方にも確認して頂いている。

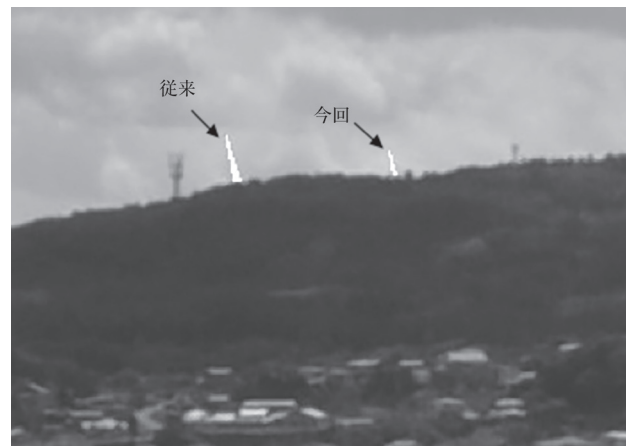


図10 従来の方法とギョム風船を利用した方法の比較（葦毛崎展望台より）

7. 結言

風力発電の教育・研究用施設を建設することを目的とし、対象地点における風力発電の可能性を評価するため、LAWEPSを用いたシミュレーション、実測データを用いた風況精査およびギョム風船を用いた景観の評価を行った。LAWEPSを用いたシミュレーションでは、地上高30mで年平均風速が6.6m/s、設備利用率が38.3%と良好な結果が出たが、実測データを用いた風況精査では、地上高30mで年平均風速が4.3m/s、設備利用率が14.9%と当該地点は風力発電に適していないという結果となった。また、この地点は三陸復興国立公園に近いため、実際に視認できるギョム風船を用いた方法で景観の評価を行い、2つの地点で風車のブレードがわずかに見える程度であることが分かった。今後は、LAWEPSの精度を上げるために植生の調整や5次領域の計算などを行う予定である。

参考文献

- 1) NEDO 局所風況マップ

<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>

- 2) NEDO, 「風力発電導入ガイドブック (2008 年 2 月改訂第 9 版)」, 2008
- 3) NEDO, 「風況精査マニュアル (概要版)」, 1997
- 4) NEDO, 「風力発電フィールドテスト事業 (高所風況精査)」, 2008
- 5) 小玉成人, 「風力発電教育・研究施設建設のための風況観測用ポールの設置」, 八戸工業大学エネルギー環境システム研究所紀要, 第 11 巻, pp.39-43, 2013
- 6) N.Kodama, M.Tsukuta, 「Investigation on Possibility of Mutsuogawara Port Offshore Wind Farm」, GRAND RENEWABLE ENERGY 2014, 2014
- 7) 小玉成人, 横浜和也, 附田匡善, 「むつ小川原港における洋上風力発電の可能性調査-第 2 報-」, 第 36 回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.487-490, 2014