

# 流体シミュレーション技術と地理情報システム を連携した新しい風力発電適地選定手法の開発<sup>\*1</sup>

## Development of the New Numerical Method for Selecting Suitable Site for Wind Power Generation by CFD and GIS

○内田 孝紀<sup>\*2</sup>, 大屋 裕二<sup>\*2</sup>, 荒屋 亮<sup>\*3</sup>, 田辺 正孝<sup>\*4</sup>, 川島 泰史<sup>\*5</sup>

Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Ryo ARAYA, Masataka TANABE and Yasushi KAWASHIMA

### 1. 緒言

現在, 地球温暖化を防ぐため, CO<sub>2</sub>の大幅な削減が緊急課題となっている。これに伴い, クリーンで環境に優しい風力エネルギー(自然エネルギー)の有効利用に注目が集まっている。日本でも2010年の300万KWの導入目標に向け, 数基の風力タービン(WT)から, 数十基の風力タービンから構成される大型のウィンドファーム(WF)に至るまで, 風力発電施設は急速に増加している。風力タービンの発電出力は風速の三乗に比例するため, 風況の良好な地点を的確に, かつピンポイントに選定することが重要である。特に日本では, 図1に示すように流れの衝突, 剥離, 再付着, 逆流などの風に対する地形効果を考慮することが極めて重要である。さらに, 今後の風力発電施設は, 山間部などのより厳しい場所に設置せざるを得ない。したがって, これからの風力発電施設の事業評価はより厳密に, かつより高精度に行う必要がある。

我々は視覚的表現による合意形成をキーワードに, RIAM-COMPACT(Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Computational Prediction of Airflow over Complex Terrain)と称する非定常・非線形風況シミュレータを開発し, 製品化している<sup>1)</sup>。RIAM-COMPACTの最大の特長は, 風力発電で

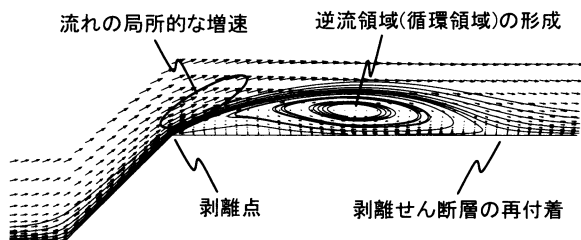


図1 風に対する地形効果

最も重要な要素である風況特性を, 極めて簡単な操作でアニメーションにより視覚化できる点である。現在の急速なコンピュータ性能の向上と, きめ細やかな計算コードのチューニングの結果, 汎用的なWindows搭載のPC1台で, 10万格子を用いた1風向の計算時間は30分程度にまで短縮された。これは国内の定常・非線形モデル<sup>2,3)</sup>と比べても同程度の性能であり, 十分に実用に耐え得る。現在では, 産学(『産』…産業界, 『学』…教育機関)の協力体制の下, コンソーシアムを形成し, 種々の技術開発および風力発電事業への応用を進めている。

特に, 日本独自の総合的な風力発電適地選定手法の確立に向け, 地理情報システム(GIS)との連携を図っている。これに伴い, 風力発電の適地選定に関して, マクロな視点からの有望地区の探索, それに引き続いたマイクロな視点からの風の乱れ(地形乱流)や, 年間および月別発電量の評価を実現した(図2を参照)。具体的

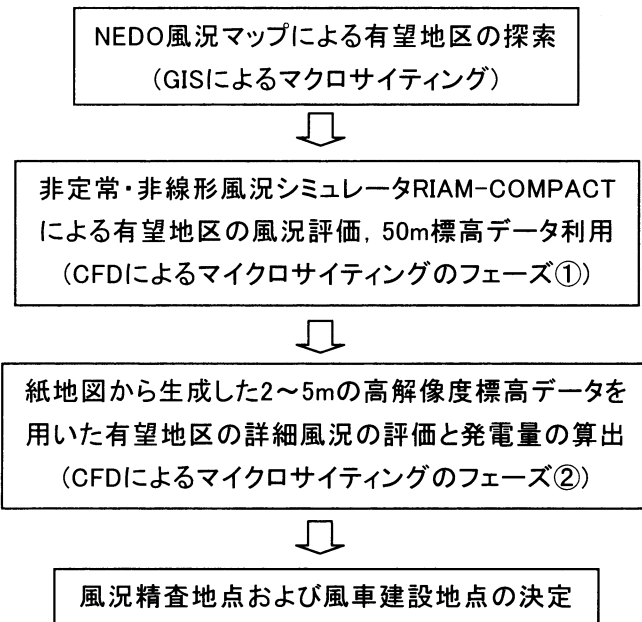


図2 風力発電適地選定の流れ

\*1 平成17年11月25日「第27回風力エネルギー利用シンポジウム」にて講演, 原稿受付10月14日

\*2 会員, 九州大学応用力学研究所 〒816-8580 春日市春日公園6-1 連絡先:takanori@riam.kyushu-u.ac.jp

\*3 非会員, (有)環境GIS研究所 〒812-0054 福岡市東区馬出3-15-25-316 連絡先:araya@engisinc.com

\*4 非会員, (有)流体物理研究所 〒206-0033 東京都多摩市落合5-9-7-3 連絡先:tanabe@ifpj.com

\*5 会員, 西日本技術開発(株) 〒810-0003 福岡市中央区春吉1-7-11 連絡先:y-kawashima@wjec.co.jp

には、ウィンドファーム建設関連の法規制と、(NEDOの風況マップを含む)RIAM-COMPACTの風況予測結果の重ね合わせの実現、1/2,500程度の紙地図やDXF形式CADデータからの2~5mの詳細微地形(高解像度標高データ)の構築技術を開発した。本報ではそれらを概説するとともに、幾つかの適用例を紹介する。

## 2. 地理情報システム(GIS)による マクロサイティング

ここでは、地理情報システム(GIS)を用いたマクロな視点からの風力発電有望地区の探査手法について説明する。

マクロサイティングのベースになるのは、NEDOから提供されている風況マップである。詳細は<http://www2.infoc.nedo.go.jp/nedo/top.html>を参照していただきたい。風況マップとは、風力発電の導入促進を目的として、地図上のメッシュに風速階級を示したものである。我が国の全国風況マップは、1993年度に種々の風況観測データに基づき、地形因子法によってNEDOが作成したものが最初である。現在公開されているものは、1999年度から2002年度までの4年間をかけて開発されたLAWEPS(Local Area Wind Energy Prediction System)<sup>2)</sup>の3次領域の出力結果である。具体的には、50km四方を10,000分割して500mメッシュの局所風況マップとして公開されている。従来の地形因子法による全国風況マップに代わる局所風況マップで、メッシュ幅がこれまでの1kmから半分の500mとなり精度も向上している。

図3にNEDOの「局所風況マップ」500mメッシュデータをGISソフトへ取り込んだ例を示す。公開データに存在する欠落箇所などをシームレスな風況マップへと変換した。全国あらゆる地区の風況マップがPC1台で効率的かつ容易に閲覧可能(拡大・縮小も自由)となった。

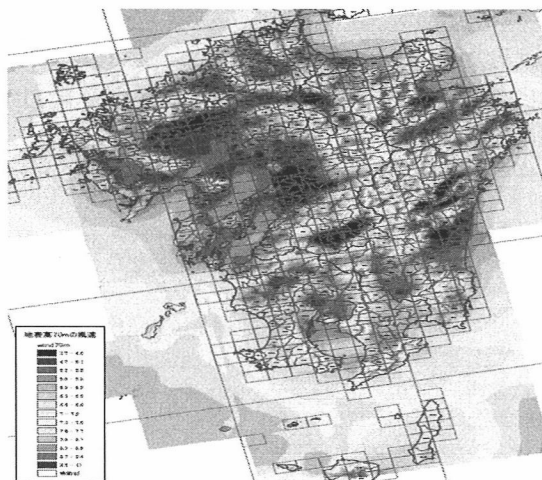


図3 NEDOの風況マップをGISソフトへ取り込んだ例

- 地上高70mの年平均風速:6m/s以上  
(NEDO「局所風況マップ」500mメッシュデータ)
- 道路幅5.0m以上のアクセス道路が整備されていること
- 環境への影響に対する法的規制  
(自然公園法, 森林法, 農地法, その他)
- その他の条件  
(送電線, 風車騒音, 稀少動植物の有無, 地形の傾斜角, 景観への配慮, 地域住民の理解など)

表1 風力発電導入の有望地区の選定条件

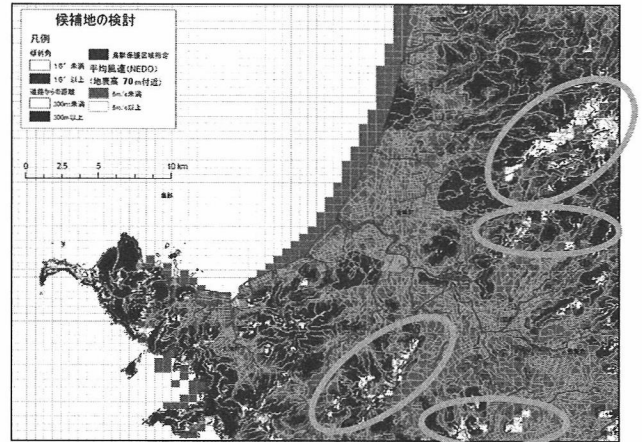


図4 NEDOの風況マップ、傾斜角、道路からの距離、鳥獣保護指定区を重ね合わせて探査した有望地区、図中に実線で囲んだ地域、鹿児島地区

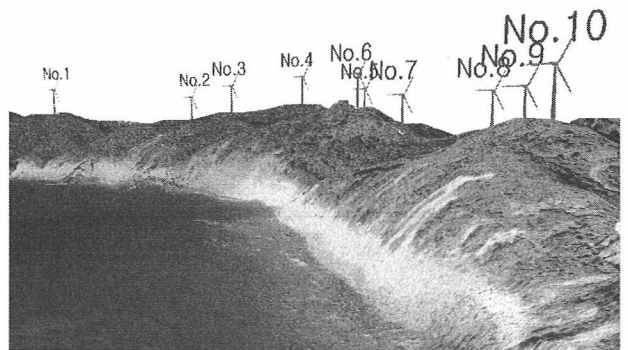


図5 オルソ航空写真に風車を挿入したイメージ図

一般的に風力発電の有望地区の選定には、表1に示す各項目を考慮する必要がある。図4に鹿児島地区を対象に、NEDOの風況マップ、傾斜角、道路からの距離、鳥獣保護指定区を重ね合わせて探査した有望地区(実線で囲んだ地域)の例を示す。つまり、傾斜角度15度未満、道路からの距離300m未満、鳥獣保護指定区外、地表高70mの年間平均風速6m/s以上の項目を全て満足するのが実線で囲まれた白抜き地域である。風況マップと法規制などを重ね合わせて、それを視覚的に表示することで格段に効率的かつ合理的なマクロサイティングが可能になった。

さらに、GISの3次元描画機能を有効活用することで、ウインドファーム建設後のイメージ図を事前に作成することが可能となった(図5を参照)。現在では、図5に示す風車ブレードの回転を考慮したアニメーションも作成可能である。これにより、風車が運転していることによる視覚的な印象や、上空あるいは人の目線からの景観を様々な角度から検証することができる。すなわち、これらはウインドファーム建設前後での景観シミュレーションに応用できる。一連の成果物は、ウインドファーム建設に関わる自治体や地域住民との効果的な合意形成のためのプレゼンテーションにも利用できる。

NEDOの風況マップは有望地区の絞込みには参考になるものの、これに基づいて風車建設位置をピンポイントに選定するのは困難である。つまり、NEDOの風況マップに基づいて抽出した有望地区においても、風の乱れ(地形乱流)などの風況特性を別途調査する必要がある。そこで、次節で説明する数値流体シミュレーション技術(CFD)を用いたマイクロサイティングが必要になる。

### 3. 数値流体シミュレーション技術(CFD)によるマイクロサイティング

ここでは、数値流体シミュレーション技術(CFD)を用いたマイクロサイティングを説明する。特に、紙地図やDXFファイルからの詳細地形構築の必要性と、それを用いた風況シミュレーション結果を示す(図2に示す、CFDによるマイクロサイティングのフェーズ②に対応)。

最近になり、国土地理院の50m標高データでは再現できない風力タービン近傍のわずかな地形起伏が起源となり、ここから風の乱れが発生し、これが発電出力に重大な影響を与えているとの懸念が報告されつつある。これは、国土地理院の50m標高データの元データが1/25,000の地形図であるということに起因している。つまり、国土地理院の50m標高データに基づいて空間解像度を上げてみてもそれは単に内挿しているに過ぎず、実際の地形形状とはかなり異なる。また、刊行された時期がかなり古く、風車建設予定地における最新の土地造成状況との差異が著しい地域も多い。国土地理院の50m標高データはその更新時期も明らかになっていない。

こうした諸問題を踏まえ、2~5mの高解像度の詳細地形の構築技術と、風の乱れの定性的かつ定量的評価手法の開発が風力発電分野では急務である。本研究では、上記の風力発電分野におけるニーズに応えるため、わずかな地形起伏までを厳密に風況精査に考慮する。具体的には、地理情報システム(GIS)と連携し、

1/2,500~1/10,000程度の紙地図、あるいはDXF形式のCADデータから空間解像度10m以下の2~5mの詳細地形を構築する。一般的に風力発電分野における電力事業者やデベロッパーは、自治体から紙地図を容易に入手可能である。あるいは、社内で独自に紙地図やDXFファイルを作成している企業もある。これらの紙地図やDXFファイルは、最新の土地造成状況を反映している。よって、国土地理院の50m標高データと比較して格段に高い精度を有する。この紙地図やDXFファイルに基づき、PC1台で空間解像度10m以下の詳細地形を構築する。標高データの作成期間は図面1枚あたり数日程度である。作成された高解像度標高データを入力データとして、非常常・非線形風況シミュレータRIAM-COMPACTにより風況シミュレーションを行う。計算結果から、ハブ高さ付近の平均風速分布、風車の耐風安定性評価に必要な乱れ分布などを定量的に調査する。同時に、風力タービン導入時の最重要検討項目である複雑地形上の風の乱れを、極めて簡単な操作で3次的に視覚化する。

図6に、同一地形を対象に空間解像度を変化させた場合の比較を示す。図6(a)はNEDOの風況マップで利用される500m解像度である。図6(b)は風力発電の適地選定で一般的に利用される50m解像度である。

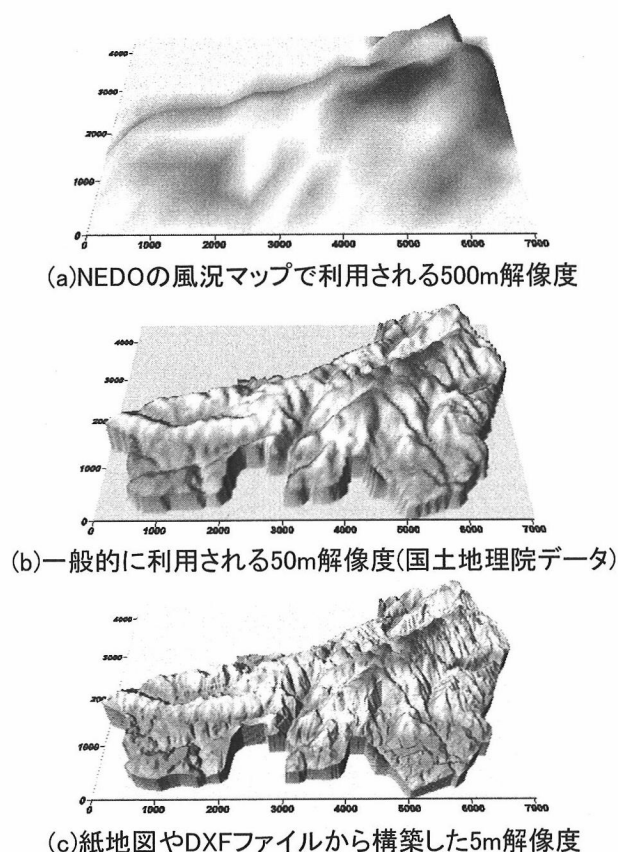
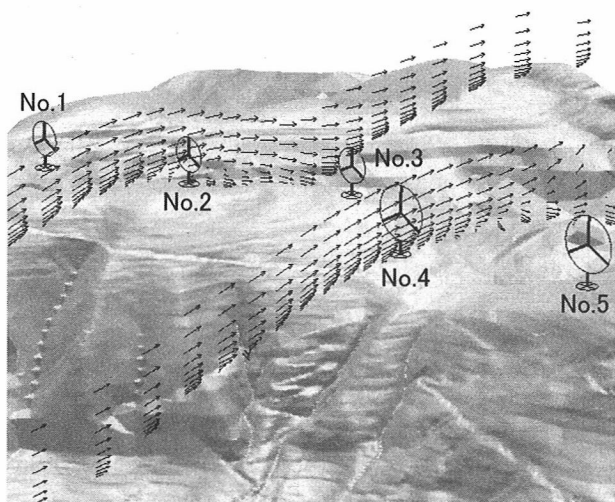


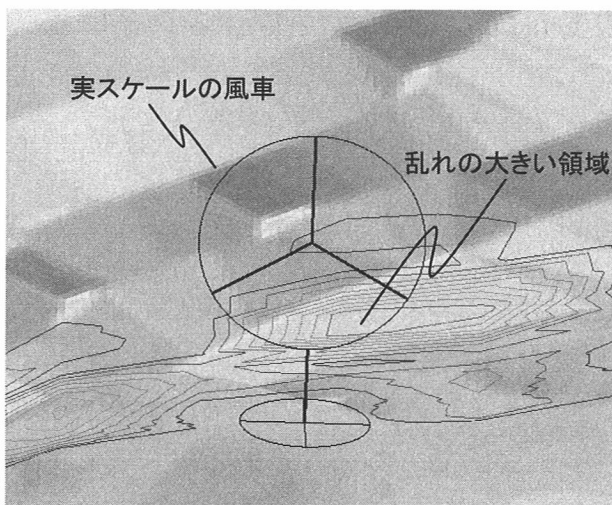
図6 各種標高データ(空間解像度)の比較

図6(c)は本研究で提案する紙地図あるいはDXFファイルから構築された5m解像度である。地形形状の再現性の違いは歴然である。図6(c)では、地形形状の細部に至るまで極めて高い精度で再現されている。風力タービンの適地をピンポイントに選定するには、実際の複雑地形をどれだけ忠実にコンピュータ内に再現することができるか、すなわち、地面境界条件としてどれだけ精緻に設定できるかに依るところが大きい。この条件が満足されれば、風況シミュレータRIAM-COMPACTにより、わずかな地形起伏に起因した風の乱れ(地形乱流)が格段に高い精度で再現できる。

図7に、図6(c)の高解像度標高データを用いたRIAM-COMPACTの風況シミュレーション結果を示す。図7(a)はNo.2, No.4号基を通る鉛直断面内の速度ベクトル図である。図7(b)には、No.2のローター受風面を通る断面(主流直交断面)の乱れ強さの分布図を示す。製品化さ



(a)No.2, No.4号基を通る鉛直断面内の速度ベクトル図



(b)No.2のローター受風面を通る断面(主流直交断面)の乱れ強さの分布図

図7 図6(c)に示す5m空間解像度の標高データを用いたRIAM-COMPACTの風況シミュレーション結果

れているRIAM-COMPACTでは、実スケールのローター直径, ハブ高さ, 受風面の風向, 表示カラーなどを指定し, 十進経緯度(日本測地系(旧測地系), 世界測地系(新測地形)に対応)により風車図を風況シミュレーション結果に挿入することが可能である。これに伴い, 図7(b)に示すように可視化結果を任意に拡大し, 受風面内の乱れ強さなどを極めて簡単に確認することができる。時系列データの取得や, 平均速度プロファイルや乱れ強度の鉛直プロファイルの評価も可能である。また, RIAM-COMPACTの結果をGISソフトに再度取り込み, 見慣れた地図の上に法規制データなどと重ね合わせることも可能である(図8を参照)。

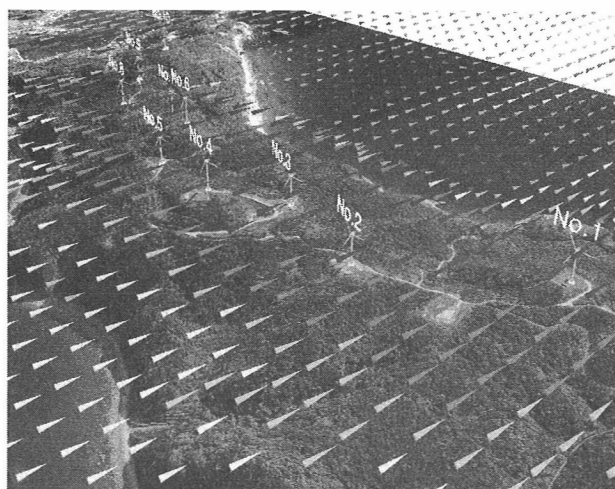


図8 RIAM-COMPACTの風況予測結果, 風車図, オルソ航空写真をGISソフト上で重ね合わせた結果

## 4. 結言

我々のグループで開発している非定常・非線形風況シミュレータRIAM-COMPACTにおける最新の成果を紹介した。現在, 野外観測データとの相関関係を考慮して年間および月別発電量を評価するアドオンソフトを開発中である。ユーザはRIAM-COMPACTの風況シミュレーション結果を入力データとして, 対話的に発電量や乱れ強度, 風車稼働率, 設備利用率などを事前評価できる。2006年初旬にリリース予定である。

### 参考文献

- 1) 内田孝紀, 大屋裕二, 日本流体力学会誌“ながれ”, Vol.22, No.5, 2003, pp.417-428
- 2) 村上周三, 持田灯, 加藤信介, 木村敦子, 日本流体力学会誌“ながれ”, Vol.22, No.5, 2003, pp.375-386
- 3) 石原孟, 日本流体力学会誌“ながれ”, Vol.22, No.5, 2003, pp.387-396