

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24310120

研究課題名(和文) 震災特区の大気環境改善と風力発電の適切な普及に資する狭域数値風況予測技術の開発

研究課題名(英文) Development of a Numerical Model for Micro-Scale Airflow Simulation

研究代表者

内田 孝紀 (UCHIDA, TAKANORI)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90325481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで「予測」を目標とする大気環境シミュレーションに関する研究を、「改善」に焦点を当てて、大気物理学・大気工学を融合して、「地球環境問題の解決に新しい科学的な手法」を得ることを最大の目的としている。また同時に、「風力エネルギーの有効利用、すなわち、風力発電の適切な普及」に資する「狭域スケールに的を絞った数値風況予測技術の開発」を検討した。

本研究では、このRIAM-COMPACT数値流体モデルに対して、新たに地理情報システム(GIS)との相互連携技術を開発する。研究期間中に、具体的な地域を対象にし、大気環境シミュレーションを実施し、気流場特性を詳細に議論した。

研究成果の概要(英文)： In order to simulate unsteady three-dimensional airflow around urban city area with characteristic length scales of the order of kilometers, we have been examining the large-eddy simulation (LES) technique using a finite-difference method (FDM).

In this present study, using the LES technique, we have performed the calculation of airflow around real urban area with huge computational grids. The numerical results show that the airflow is locally accelerated or decelerated, due to the topographic and the obstacle effects.

研究分野：数値流体力学

キーワード：大気環境 風力エネルギー シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

世界の動向は言うまでもなく、環境産業、特に新エネルギー産業への産業パラダイムシフトである。第1次が石炭と蒸気動力による大英帝国の反映、第2次が石油の発見によるアメリカ発の機械文明、いずれも地球資源を略奪する産業構造であった。石炭・石油という化石燃料依存と決別する低炭素社会に向けて、現在の産業の転換は第3次産業革命と言えるかも知れない。自然と共生可能な産業社会になるのだろうか。地球環境、エネルギーセキュリティ、そして、地球という意識生命体の集合にまで深く、大きく、影響を与えようとする現在の潮流を読み解き、今後の日本、世界の動向の道筋を見極めることが重要である。

東日本大震災を受けて、国内の産業構造そのものが大きく転換しようとしている。競争力を失いつつある旧来型産業に代わる成長の要として、環境産業育成が急がれている。この筆頭が新エネルギー、代替エネルギー産業である。つまり、地球環境と経済危機、それにエネルギー危機を一挙に解決可能な方向は新エネルギー産業の大躍進にかけられないであろう。新エネルギーのほとんどは地球に優しい再生可能なエネルギーである。今後、新エネルギー分野も二つの方向で飛躍していくと考えられる。一つは、大型集中のエネルギーファーム、ここから超伝導の電力線、あるいは、水素をキャリアとした伝送で需要地域へ送る。一方、真に実用的な小型分散電源システムの普及も重要である。これらは適材適所、地産地消で進むであろう。

上記のいずれの場合においても、風力発電を適切に普及・導入していくためには、最初に、導入の目安となる、いわゆる、風力資源マップ(年間平均風速の分布)が必要である。現在、震災後の地域を対象にした風力資源マップは存在しない。また、既存の風力資源マップの空間解像度は500m程度であり、地上構造物や地形の影響はほとんど考慮されておらず、その信頼度は十分とは言えない。

次に、風車導入地域が大まかに決定されても、最終的には風車の立地点をピンポイントに予測する必要がある。複雑地形を過ぎる気流は、極めて複雑な様相を呈する。風車の立地点を見誤ると、風車直近の局所的な風の乱れ(地形乱流)により、①発電成績の低下や、②風車内外の故障が多発する。また、風車建設後の日々の発電量予測も極めて重要である。

2. 研究の目的

本研究では、大気汚染の改善と風力エネルギーの有効利用を積極的に図るため、革新的な数値風況予測技術を開発する。これにより、都市計画に関する大気環境アセスメント手法を確立するとともに、急速な経済復興による環境悪化の軽減に資することを目指す。

加えて、本研究の推進は、市街地や山岳地帯での風力エネルギーの適切な有効利用

にも繋がる。具体的には、市街地の建物屋上に設置する小型・中型風車、複雑地形に設置する大型風車の高精度なサイティング(立地点探査と経済性評価)を実現する。結果として、日本国内のみならず、アジア都市域での風力発電導入に多大な貢献を果たすことが期待される。

3. 研究の方法

(1) 標高データの構築法の高度化

現在、市街地や複雑地形の形状を3次元デジタルデータとして取得し、数値流体シミュレーション(CFD)の入力データとして利用するには多大な労力が必要である。既存の市販データは極めて高価である。そこで、一般的に入手可能な既存の3次元デジタルデータ(DM, Digital Mappingデータやレーザ測量機データなど)を取り込む手法をGIS技術と相互連携することにより開発する。同時に、それらをCFDの入力データとして自動的に変換する技術を開発する。結果として、CFDの前処理の作業時間は、数日から数時間に大幅に短縮化される。かつ、品質も劇的に向上する。

既存データがデジタルデータとして入手できない場合には、紙図面から3次元デジタルデータを効率的に取得する手法を開発する。また、最近無償で公開されつつある種々の標高データ(例えば、SRTM標高データなど)などの特殊なフォーマットからなるデータの自動変換技術も同時に開発する。今回の技術開発で市街地や実地形などを問わず、世界中あらゆる都市域、山岳地域の3次元デジタルデータ化が可能になる。

(2) 数値流体シミュレーション技術の高度化

安定時、不安定時などの任意の大気安定度に適用可能なモデルへ改良する。同時に、汎用性とロバスト性に優れた最新のLES乱流モデルの導入、流入気流条件、境界条件、地面境界条件などの精緻化を行う。

計算時間を短縮するため、GPGPU技術に対応した計算コードのチューニングを施した。GPGPU (General Purpose computing on GPU : GPUによる汎用計算)のコンセプトとは、グラフィック・レンダリングに限らず、GPU(Graphics Processing Unit)が有する浮動小数点演算能力を、他の数値演算にも幅広く利用することである。その結果、スーパーコンピュータ並みの計算速度の短縮化に成功した。

具体的な地域の縮尺模型を作成して風洞実験を実施する。風洞実験では、流れの剥離を含む3次元複雑乱流場を測定できるよう、特殊な熱線風速計を用いて気流自動計測システムを開発する。これにより複雑地形上の風況特性を明らかにし、高精度な検証データを取得する。この結果に基づき、計算コードの予測精度を多角的に検証し、精度向上へ

ードバックする。数値目標として、平均風速、風車の耐風安定性評価に必要な風速の乱れ強度は、風洞実験値と比較して数%の範囲で一致させる。

(3) Google Earthでの流れの可視化

Google Earthとは、航空写真や地図などを組み合わせて世界中の地理空間情報を閲覧することが出来る3次元地球儀ソフトである。インターネット環境があれば誰でも閲覧することが可能である。現在、全世界共通のビューワとして注目を集めている。このようなプラットフォーム上に、流体シミュレーション(CFD)から出力される各計算値に緯度・経度などの位置情報を付加させ、一義的に決まる場所に即座に重ね合わせることができれば、流体シミュレーション結果の説明やプロジェクトの合意形成に極めて有効である。

(4) 実証試験の実施

実際の都市領域に対して、忠実に建物形状やその配置を地理情報システム(GIS)を有効活用して、コンピュータ内に3次元として再現する。得られたデータ群に対して、大規模な数値風況シミュレーションを行い「改善」に焦点を当てて、該当地域の局所気流場の把握を目指す。

さらに、風力発電事業者、自治体、風車メーカーなどの協力を得て、地形性乱流に伴うトラブルに遭遇した風車情報を入手し、その状況をコンピュータで忠実に再現する。上記で開発した技術に基づき、風車がいかに過酷な状況にさらされているかを定量的に明らかにし、発電量低下や風車故障の原因となるウィンドリスクを特定する。さらに、それらのウィンドリスクの状況を、コンピュータグラフィックス技術を用いて3次元として立体的に視覚化する。さらに風車ウエイクの乱れの様子も解析する。

提案する一連の解析作業に要する時間や、予測精度を検証するための実証試験を行う。これは、風況シミュレーション方法や結果の表現方法を調査・分析することが主たる目的である。具体的には、上記の個別開発項目を統合し、計算領域の選定から実際の風況シミュレーション、計算結果のアニメーション作成などを行う。

4. 研究成果

ここでは、実在市街地を対象とした具体的な計算事例を幾つか紹介する。

下図は、福岡市天神地区の計算事例を示す。対象とした風向は、北北西である。計算格子数は約4千万点である。最近のマルチコアCPUを使った並列計算(OpenMP)では、約1週間程度で終了可能である。地上高約8mにおける主流方向速度成分のコンター図(瞬間場)を示す。建物周辺には複雑乱流場が形成されている様子が明確に観察される。風速が局所的に増速している領域や、減速あ

るいは逆流している領域が点在している。一般的に、これらの複雑な局所風況の把握は非常に難しい。本研究の遂行により、一連の作業が極めて容易に実現可能になった。



図1 福岡市天神地区の解析例

より現実に近い状況の計算にも成功した。すなわち、複雑地形と建物群が複合する状況である。計算対象領域は福岡市西公園周辺である(下図を参照)。この図から、複雑な地盤変化の上に建物群が配置されているのが見て取れる。対象とした風向は、北北西である。計算格子数は約460万点である。水平断面内は4mの空間解像度、鉛直方向の最小格子幅は0.5mである。

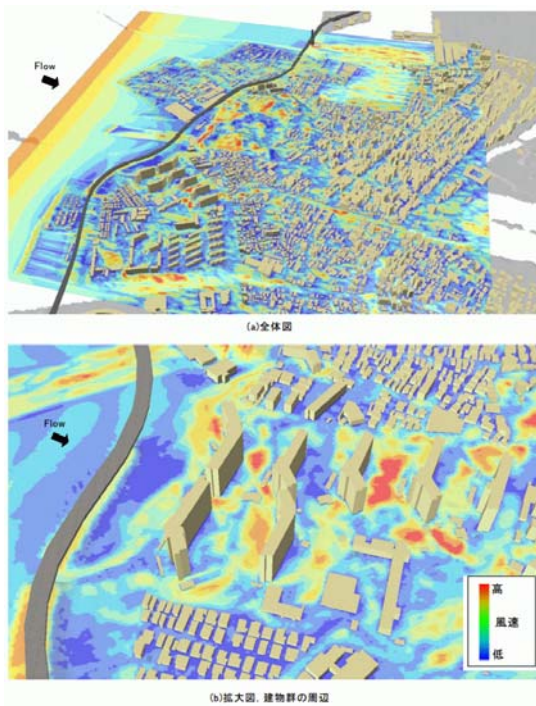


図2 福岡市天神地区の解析例，
複雑地形と建物群が複合する状況

平成25年3月12日，京都府太鼓山風力発電所で3号機風車の発電機付きブレード部分（高さ約50m，重さ約45t）が地上に落下する「重大事故」が発生した．時故当時は風速15m/s程度と設計基準内に収まっており，「金属疲労」が事故の主原因との見方で調査が進められ，報告書も既に公表されている．本研究では，この太鼓山風力発電所で起きた「重大事故」を数値風況面から詳細に考察した．

地形乱流の影響に注目した著者の最新の研究成果から，主風向の西南西の場合，全ての風車位置でべき乗則から逸脱した速度シアが存在すること，また大きな風向変化が風車のヨー方向で頻繁に発生していることが示された．以上から，「地形乱流」の影響により励振力が増大し，風車支柱とブレードを結合する根元付近に付加的な荷重が発生してボルトの「金属疲労」がより進行したのではないかと推測された．

時間平均風況場と瞬間場を比較してみると，当然ながら両者の結果には明確な違いが見られた．時間平均場のみから判断すると，全ての風車位置で大きな速度シアが観察されていないので，風況面からは全ての風車位置で重大な問題は生じないという結論になりがちである．よって，「地形乱流」の影響の調査には，「非定常な」流動現象を踏まえての考察が不可欠である．

今後，風力発電を適切に普及・拡大させるためには，新設，既設，小型風車，大型風車を問わず，風車の「重大事故」を未然に防ぎ，風車を安全に運転させる，すなわち，稼働率を高水準に保つための「数値風況診断」が必要不可欠であることを示した．

特に風力業界では，「産学官連携」が重要なキーワードである．今一度，風力発電の成功には「局所風況」の把握が極めて重要であるとの共通認識を持つべきであると言える．太鼓山風力発電所を含めて，改めて厳密な数値風況診断を行い，最新の風車を最適な配置に建設することが出来れば，風車本来の寿命を全うし，新たな風力発電所として生まれ変わることが可能であることを示すべきである．それを強力に支援する「純国産」の技術が日本には存在することを示すことに成功した．

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計4件）

- (1) 内田孝紀，最新のGPUアクセラレータによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化，日本風力エネルギー学会誌，Vol. 38，通巻109，pp. 101-104，2014
- (2) 内田孝紀，GPGPUコンピューティングによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化，日本風力エネルギー学会誌，Vol. 37，通巻108，pp. 533-536，2014
- (3) 内田孝紀，川島泰史，山間部における気象GPVデータを用いた簡易風況推定法の試み－阿蘇車帰風力発電所を例として－，九州大学応用力学研究所所報，第147号，pp. 31-43，2014
- (4) 内田孝紀，川島泰史，沿岸部における気象GPVデータを用いた簡易風況推定法の試み－鹿児島県内の風力発電所を例として－，九州大学応用力学研究所所報，第147号，pp. 15-29，2014

〔学会発表〕（計2件）

①宇宙飛行の力学シンポジウム2014(招待講演)

②第133回NEC C&CシステムSP研究会2014(招待講演)

〔その他〕

ホームページ等

http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/aboutus_detail03.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 孝紀 (UCHIDA TAKANORI)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90325481