

TSUBAME 共同利用 平成 27 年度 産業利用 成果報告書

利用課題名 気象イベントを考慮した建築環境解析システムの高度化  
英文: Sophisticated Building Environment Analysis System under Weather Events

利用課題責任者  
PHAM VAN PHUC

所属: 清水建設(株)技術研究所  
Affiliation: Institute of Technology, Shimizu Corporation  
URL: <http://www.shimz.co.jp>

本利用課題では、TSUBAME スパコンに WRF 気象モデルを用いて、気象イベントを考慮できる建築環境の上空における大型台風や竜巻・突風等の局所的な気象現象の再現を試みた。本報では、2012 年 5 月に茨城県で発生した大型竜巻を対象にして再現解析を実施した。気象観測データ等との比較により、高解像度で計算した気象モデルによりメソサイクロン構造とそこから発生した竜巻の再現を確認した。

A mesoscale meteorological analysis system for build environment has been developed considering the effects of extreme weather events such as large typhoons, tornadoes. An effort has been made to obtain the real tornado flow field under reproducing a real tornado event on 6th May 2012 in Japan by using the meteorological model. Simulated meteorological parameters and tornado like vortex have been found in good agreement with observation results.

*Keywords:* Tornado, WRF, Building Environment, Weather Event

## 背景と目的

竜巻・突風などの気象イベントによる人的、経済的ロスは極めて大きい。特に、竜巻では建物や鉄道施設に甚大な被害が発生しており、内閣府の防災基本計画にも風水害に係る事象として竜巻などの突風が明記され、竜巻の発生予測は先端科学技術の開発として重点的に取り組まれている。また、米国で 2011 年に発生した竜巻は、多数の死傷者の発生に加えて原子力発電施設の稼働に影響を与えるなど、気象イベントは国際社会にも大きなインパクトを与えた。

そこで、本利用課題はまず、気象モデルを用いて、これらの気象イベント、特に竜巻イベントの再現を試みた。これより、既存に開発された広域建築環境解析との連携を行い、記録結果や観測データとの比較により、その気象イベントの特徴と、地上付近建築環境等へ与える影響を調べており、気象イベントを考慮できる合理的な建築環境の構築を目指すものである。

## 概要

竜巻などに置かれた建物の風圧力を予測するためには、建物に接近する竜巻場の突風の再現が必要となる。

本報ではその突風を得るために、2012 年 5 月 6 日 12 時 35 分頃に、茨城県常総市とつくば市で多くの建物を破壊した竜巻を対象として、再現解析を行った(図-1 は当時の建物の転倒被害の一例である)。また、記録された被害状況および気象観測データ等との比較によりその再現精度が確認できた。

なお、解析は異なる数値予報データとネスティング方法を用いて、メソ気象モデル WRF<sup>1)</sup> (Weather Research and Forecasting)を採用した。WRF は気圧、風、気温、水蒸気などで表せる大気の状態変化を流体力学や熱力学等の物理法則に基づいて解析できる計算コードである。



図-1 竜巻による建物の転倒被害

## 計算概要

解析領域としては、まず、竜巻に起因する積乱雲の再現を目的とし、親領域の水平解像度を 16.2km(d01)として 5 段階ネスティングより最終評価領域(d05)での水平解像度を 200m とした。鉛直方向の気圧準拠座標については地表から 60 層を設定した(以下、解析領域 A と称する)。この解析領域の初期値・境界値には NCEP-NFL の全球客観解析データを用いて、WRF の 2way ネスティング解析を行った。計算期間は 2012 年 5 月 6 日 09:00 から 24:00 までの 15 時間とした。これにより初期値は竜巻発生時の約 3 時間前となる。海面温度には、FNL データの表面温度を 6 時間毎に与えた。地形標高データは USGS の緯度・経度 30 秒間隔の全球数値標高データと、より空間分解能の高い国土地理院数値地図 50m 標高データを用いた。土地利用情報は USGS データを採用した。

竜巻の再現を目的とするために、解析領域 A の最終評価領域 d05 を親領域としてさらに 2 段階ネスティングより最終の水平解像度を 50m とした。以下、解析領域 B と称する。初期値・境界値は解析領域 A(d05)から計算された結果をマッピングした。また、解析は WRF の LES スキームを採用して 1way ネスティングを行った(以下、WRF-LES とする)。

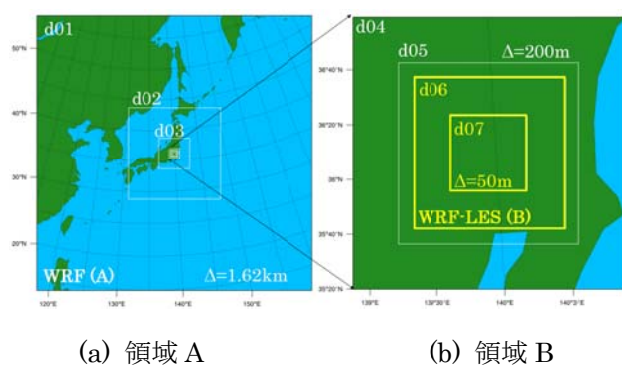


図-2 解析領域の概要

表-1 WRF の主な解析スキーム<sup>2)</sup>

雲微物理過程	Lin (Purdue)
地表面	Monin-Obukhov
土壌・地表面	Unified Noah LSM
大気境界層	YSU
大気放射	RRTM (長波), Goddard (短波)
積雲パラメタリゼーション	Grell-Freitas

図-2 に解析領域 A (WRF, d01~d05)と解析領域 B(WRF-LES, d06~d07)を示す。各領域の中心緯度・経度は、つくば市に発生した竜巻の開始位置とした。これより発生された竜巻の周辺を局所的に高解像度化して計算できる。表-1 は解析スキームである。

## 結果および考察

解析精度を検討するために館野高層気象台の高層観測データと地上観測データ、および記録された竜巻被害中心線<sup>3)</sup>を用いた。

図-3 は 09:00 頃において NCEP-NFL 全球客観解析データからマッピングされた WRF(A, d05)の初期値と高層観測データとの比較である。一方、図-4 は 21:00 頃において WRF(A, d05)解析から得られた結果と高層観測データとの比較である。WRF 解析から得られた風向・風速、気温と相対湿度の鉛直分布は観測結果と良く一致することが分かる。

図-5 には地上観測データと WRF(A, d05)から得られた結果との比較を示す。竜巻が発生している時刻に海面気圧の低下や風速の急増、地上気温の増加と相対湿度の低下が再現された等、観測とよく整合しており、当時の環境場の再現ができていたと考えられる。

図-6 には 12:30 と 13:00 における WRF(A, d05)の計算から得られた渦度の等値面(0.02/s)と観測された竜巻被害中心線(赤い線)との比較を示す。竜巻被害中心線付近にはメソサイクロンに相当する幅 20km 複数渦が生成されている。12:30 には竜巻被害中心線①、②(竜巻発生時 12:35, 12:40 頃)のやや西側に鉛直渦が形成されて、13:00 頃には被害中心線にほぼ沿って反時計回りに急成長しながら北東に進んでいる。

図-7 には WRF(A, d05)から得られた 12:50 の地表面温度分布と生成された渦との関係を示す。なお、図-7(b)は図-7(a)にある点線の北西側から見た 3 次元拡大図である。周辺の大気は温度が低く、暖かい南西風が侵入することで、強い鉛直渦が形成されることが分かる。また、侵入してくる暖かい空気は渦の内部で上昇し、渦の西側から冷たい下降気流が水平に吹き出した等、竜巻をもたらすメソサイクロンの典型的な構造が示されている。なお、形成された渦内に 20m/s 以上の強い上昇流が発生していることが分かる。

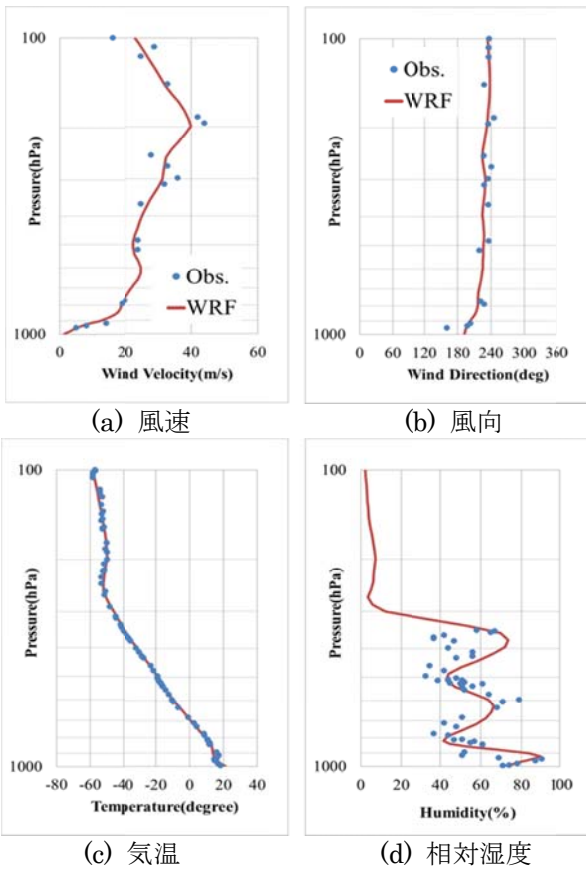


図-3 高層観測データとの比較 (09:00)

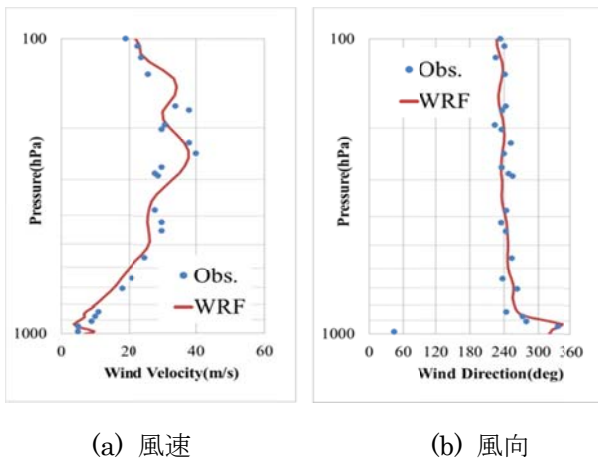
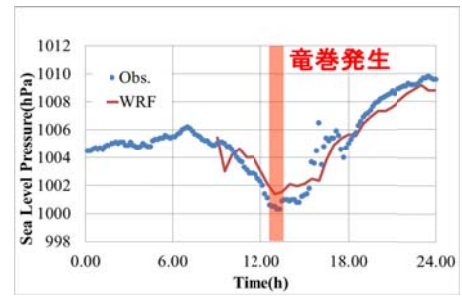
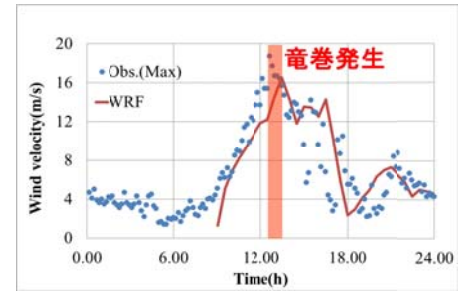


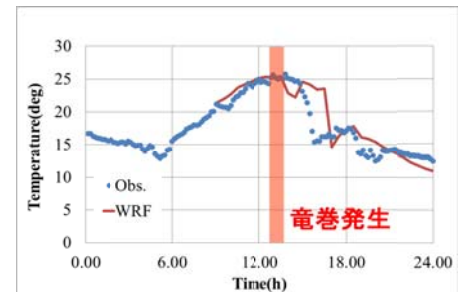
図-4 高層観測データとの比較 (21:00)



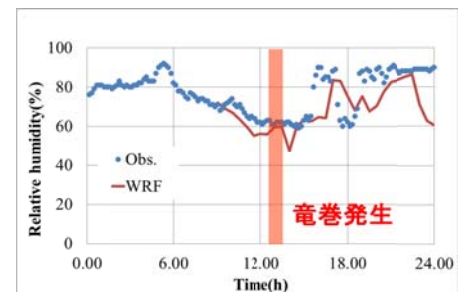
(a) 海面気圧



(b) 風速



(c) 地上気温



(d) 相対湿度

図-5 地上観測データとの比較

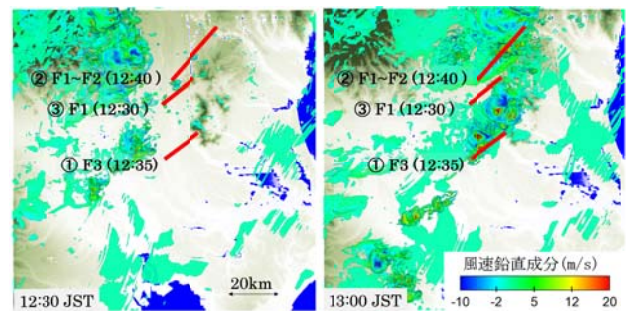


図-6 竜巻被害中心線との比較

図-8 には WRF-LES(B, d07)から得られた渦の等値面(値:0.05/s)を示す。被害地付近に地上に伸びる強い渦が形成されており、北東に進んおり、実際に発生した竜巻に相当するものと考えられる。ただし、計算から得られた竜巻の風速は 40m/s 以上に達せず、実際の竜巻被害から推定された風速と比べてやや低い値となっている。今後は計算格子解像度の検討や使用している数値モデルの検討など、その要因を調べる予定である。

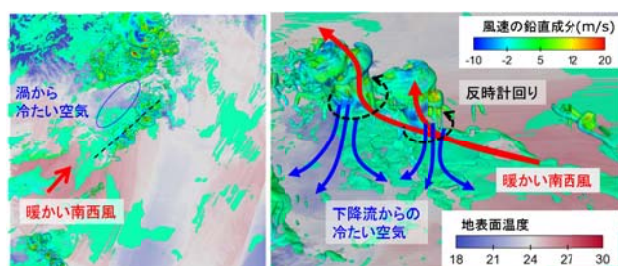
#### <参考文献>

- 1) WRF: <http://www.wrf-model.org/index.php>
- 2) WRF: WRF Users' Guide, Version 3.6, 2014.
- 3) 気象庁: 平成 24 年 5 月 6 日に発生した竜巻等について(中間報告その 2)。気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/press/1205/16c/toppu120516.pdf>, 2012.

#### まとめ、今後の課題

本研究では、竜巻が建物に接近する時の環境場を得るために、2012年5月6日につくば市で発生した F3 竜巻を対象として気象モデル WRF を用いることにより、その気象イベントの再現解析を実施した。気象観測データや竜巻被害中心線との比較により、高解像度化した気象モデルによりメソサイクロン構造とそこから発生した竜巻の再現を確認できた。

今後、メソ気象モデルと数値流体解析との連携解析により竜巻に曝された建物の風圧力とその特徴を評価する予定である。



(a) 平面図

(b) 3次元拡大図

図-7 地表面温度分布と生成された渦

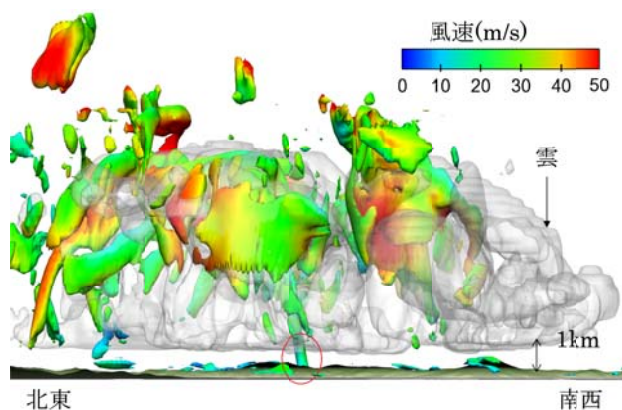


図-8 被害地域付近で地上に伸びる竜巻