

平成 29 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災

研究期間：平成 29 年度

課題番号：172002

研究課題名（和文）：種々の非定常竜巻流れに対応する工学的竜巻モデルの開発に向けた検討

研究課題名（英文）：Investigation for development of engineering tornado model for various unsteady tornadoes

研究代表者：野田 稔

交付決定額（当該年度）：250,000円

1. 研究の目的

現在、数値流体解析による実験室スケールでの1セル、2セル、マルチセルの竜巻状流れの再現や実スケールでの非定常な竜巻状流れの再現により、様々な条件に対する3次元の非定常竜巻状流れ場の情報が得られるようになってきている一方で、実験手法においても様々な形式による竜巻状気流生成装置によっても様々な竜巻状流れの再現と計測が行われている。また、気象観測面においても緻密な気象観測の配置により竜巻の流れ場の概要が観測されており、竜巻状渦、あるいは竜巻そのものについて様々な角度からその流れ場の特性の詳細を検討できる環境が整いつつある。本研究では、数値流体解析、風洞実験および気象観測によって竜巻状流れ場の構造の解明に取り組んでいる国内研究者の持つ竜巻状流れの計測あるいは竜巻の気象観測で得られた情報を集約し、非定常性を考慮できる工学的合理性を兼ね備えた竜巻モデルの構築を目指し、取り入れるべき竜巻流れ場の特性について検討することを目的とするものである。

2. 研究の方法

本研究では以下の体制の下、それぞれの分析結果を集約し、流れ場の種類と非定常性を表現する上で重要と考える因子を検討し、工学的竜巻モデルの構築を目指す。これらの成果については、公開研究会を実施し、国内の風工学研究者への情報提供を図る。

本研究の実施体制

○数値流体解析による非定常竜巻状流れの分析（丸山・野田）

1セル・2セル・マルチセルの3種の竜巻状流れ場を生成し、平均場と変動場の構造を分析する。

○竜巻状気流再現装置を用いた非定常竜巻状流れの分析（佐々・松井・野田）

1セル・2セル・マルチセルの3種の竜巻状流れ場を生成し、平均場と変動場の構造を分析する。

○気象観測による竜巻流れの分析（小林・佐々）

地上稠密観測またはドップラーレーダー観測による実竜巻の流れ場の構造を分析する。

3. 研究成果

本研究では、非定常性を考慮できる工学的合理性を兼ね備えた竜巻モデルの構築を目指して、竜巻または竜巻状流れについて、気象学分野、実験分野、数値流体解析分野において得られているこれまで成果について共同研究者で持ち寄り、竜巻モデルの工学モデル構築に向けた今後の方向性について議論を進めた。

小林は、これから目指す竜巻モデルの方向性を考える布石として、現在存在する代表的な竜巻モデルについて、力学的～工学的、複雑さの2軸で分類し、図1のように示した。また、稠密地上観測システムPOTEKAによって得られた竜巻発生時の詳細な地上気圧の分布を検討した結果(図2)、竜巻渦の構造は「気圧」で議論することが適当と考えられ、稠密観測網による竜巻データの蓄積により議論が進むことが期待できる。また、佐々は、土佐湾におけるドップラーレーダー観測網による渦の観測結果(図3)や福岡レーダーと福岡空港レーダーで観測された多重渦竜巻の流れの構造(図4)を示し、レーダーによる観測では検出される渦の渦径がレーダーのビーム幅に強く依存することや、大規模な多重渦竜巻及びメソサイクロンであればレーダーによる捕捉が可能であることを示した。

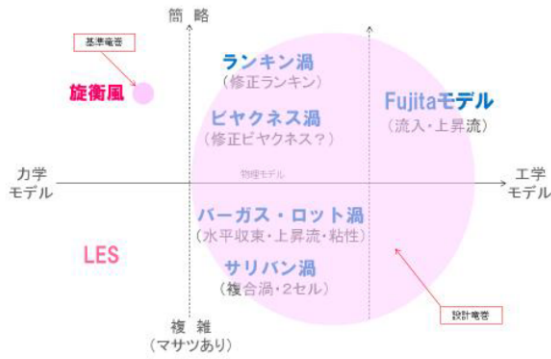


図1 現在存在する代表的な竜巻モデルの分類(小林)

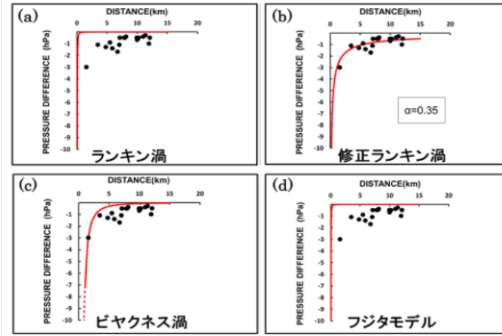


図2 各渦モデルを想定した圧力分布の比較(小林)

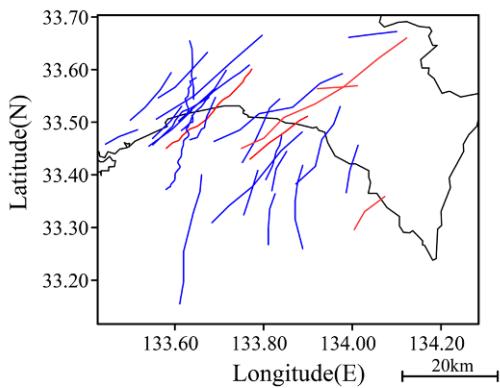


図3 土佐湾で観測された渦の軌跡(佐々)

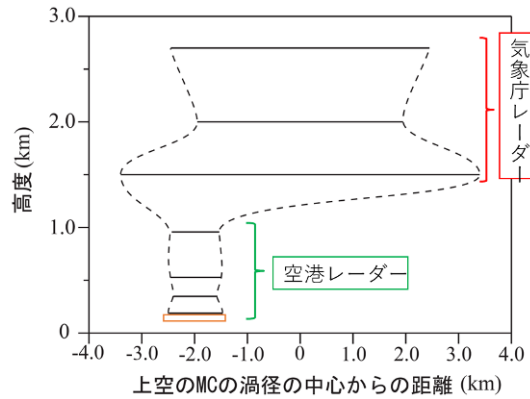


図4 2つのドップラーレーダーによる観測から推定される多重渦竜巻の流れ(佐々)

実験による竜巻状流れの特性については、佐々が計測した竜巻状流れの風速分布(図5)について示し、循環が境界層より上層で保存されていること、風速変動が渦の揺動の影響を強く受けていること、境界層内の循環には収束流中の鉛直循環が集中する影響が大きいことなどを示した。また、松井はPIVによる測定結果(図6)から、竜巻状流れの接線風速分布について、Burgers渦の方が測定結果に近いことを示したほか、竜巻状流れの非定常性や鉛直軸の揺動特性、乱れの影響など解明すべき問題が多く存在することを示した。一方、野田は、移動床付マルチファン・マルチベーンを使って得られた移動効果による流れ場の歪みについて示し、移動効果は静止竜巻の流れ場に移動速度を重ね合わせるだけでは説明できないことを示した。

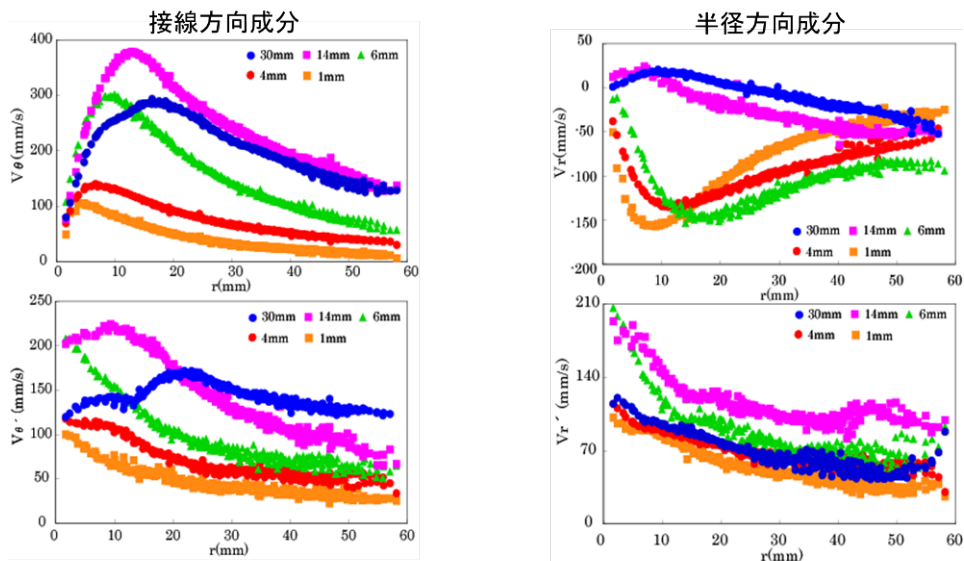


図5 実験によって計測された竜巻状流れの接線方向成分と半径方向成分の風速分布(佐々)

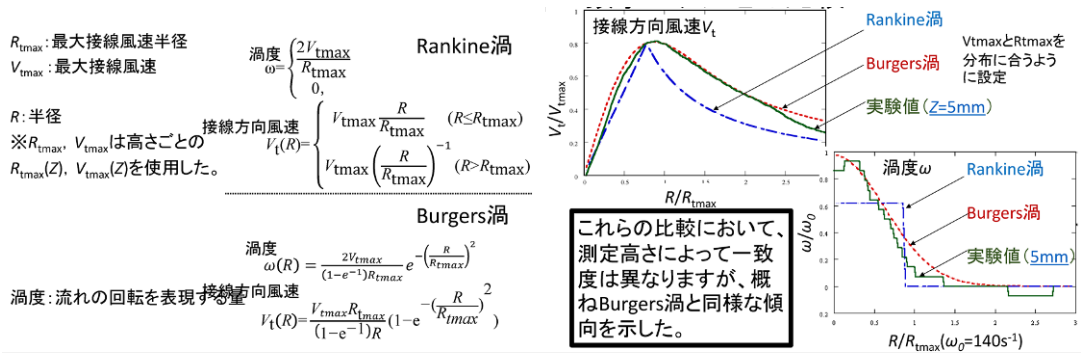


図6 竜巻状流れの接線風速成分の数学モデルとの比較 (松井)

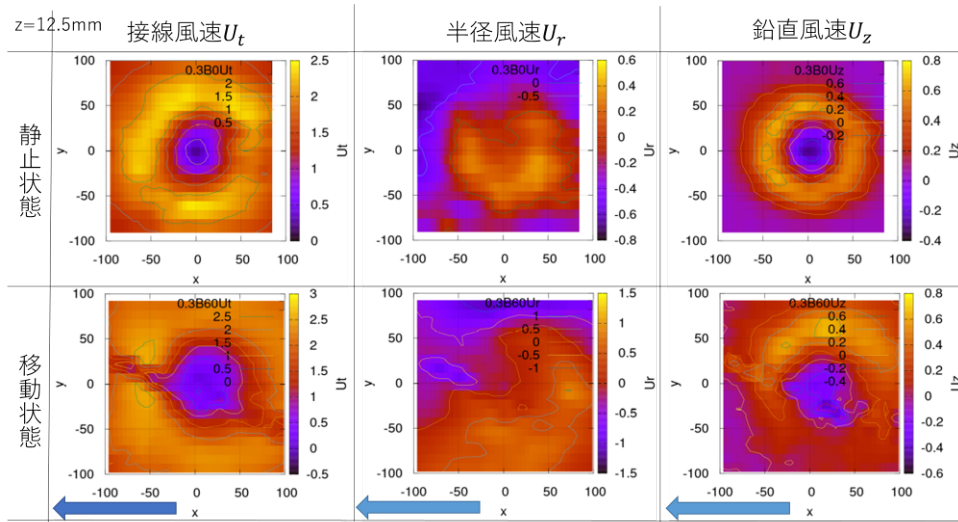


図7 移動効果が竜巻状流れの各成分の風速分布に与える歪み(野田)

数値流体解析による解析結果において、野田は LES によって生成された 1 セル、2 セル、多重渦の 3 種類の生成した結果(図 8)について示し、それぞれの風速分布の特徴に触れ、平均接線風速分布に対して、Burgers-Rott 渦の分布関数を修正した近似関数を提案し、3 種類の渦の種類について近似した結果を示した(図 9)。また、丸山は、LES によって様々な渦種類の竜巻状流れ場を生成し、平均値と最大、最小値の分布(図 10)や粗度の有無による流れ場の変化などを示し、LES で生成される竜巻状流れ場の非定常性と多様性の存在を示した。

本研究を通じ、様々なアプローチによって得られた竜巻または竜巻状流れの風速分布や圧力分布を通じ、今後構築を目指す竜巻の工学モデルにおいては、ベースとなる平均場と非定常性による変動を表し、かつ移動竜巻の流れ場を表現可能なものを実現させることが一つの方向性と考えられ、また、風速分布だけでなく、圧力分布についても検討を加え、工学的に使いやすくかつ実際の竜巻に近いモデルについて検討していく必要があることを確認した。

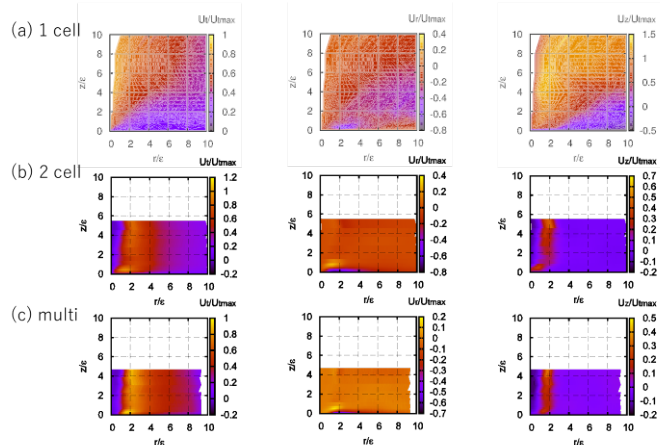


図8 LESで生成された1セル, 2セル, 多重渦の3種類の流れ場の各成分の平均分布(野田)

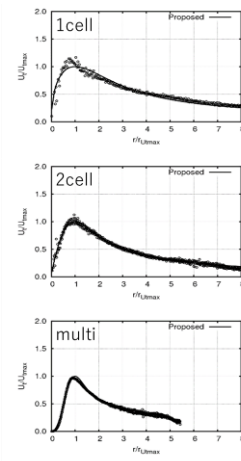


図9 接線風速成分の平均分布に対する提案分布関数の適用結果(野田)

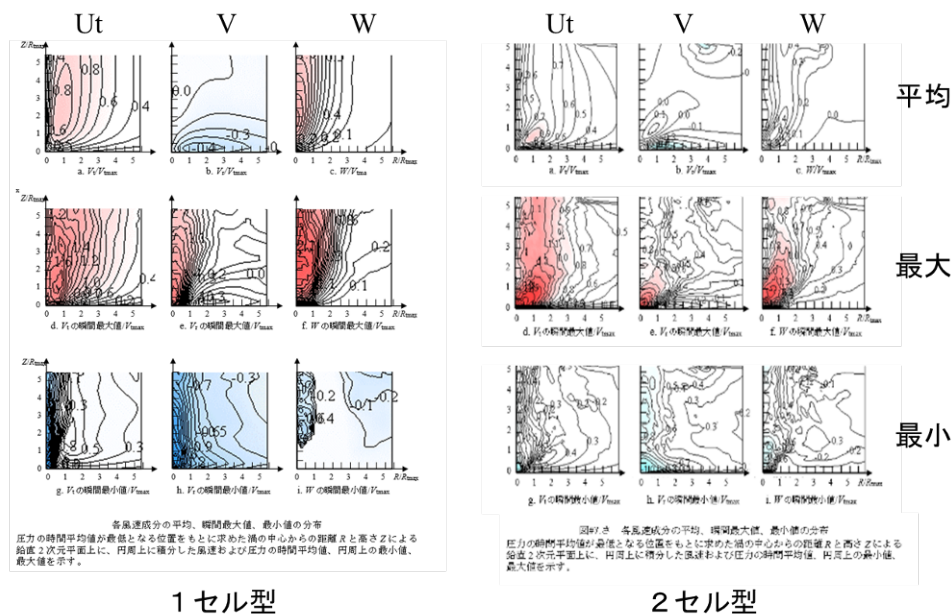


図10 LESによって生成された1セル型および2セル型竜巻状流れの各成分の分布(丸山)

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 野田 稔, 八谷 実, 松浦佑樹, 長尾文明, 「竜巻状渦の平均接線風速分布について」, 日本風工学会論文集, Vol.43, No.2, pp.11-18, 2018.

[学会発表] (計 3 件)

1. 野田 稔, 沖本健吾, 長尾文明, 石田富士雄, 辻明典, 「移動床付マルチファン・マルチベーン式竜巻シミュレータの開発」, 日本風工学会平成 29 年度年次研究発表会, 2017.
2. 野田 稔, 趙 昱喬, 長尾文明, 「移動床付マルチファン・マルチベーン式竜巻シミュレータで生成される竜巻状流れ」, 流体力学学会年会 2017, 2017.
3. Minoru Noda, Fumiaki Nagao, “Development of a Tornado Simulator with Multi-fan, Multi-Vane and Moving Belt, 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 2017.

5. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 稔 (高知大学)

(2) 研究分担者

丸山 敬 (京都大学)

小林 文明 (防衛大学校)

佐々 浩司 (高知大学)

松井 正宏 (東京工芸大学)

6. 研究集会の開催

開催日時: 2018年2月27日(火) 13:00~16:00

開催場所: 田町スクエア(会議室I) 建築会館隣

プログラム

司会・進行 高知大学 野田 稔
高知大学 野田 稔

13:00 趣旨説明

13:10~14:05 気象観測から見た竜巻の流れ場

13:10 稠密地上気象観測網で捉えた竜巻渦と親渦

防衛大学校 小林 文明

13:40 ドップラーレーダーで観測された竜巻の流れ場

高知大学 佐々浩司

14:05~15:00 実験から見た竜巻状流れ場

14:05 実験室で計測された竜巻状流れの流れ場

高知大学 佐々浩司

14:20 実験室で再現された竜巻状流れ場の計測と特徴

東京工芸大学 松井正宏

14:45 ムービングベルトによる移動竜巻状流れ場の計測

高知大学 野田 稔

休憩(10分)

15:10~15:55 数値流体解析から見た竜巻状流れ場

15:10 LESで生成された竜巻状流れと平均接線風速分布近似式について

高知大学 野田 稔

15:25 LESで生成された種々の竜巻状流れの非定常流れ場について

京都大学 丸山 敬

15:55 まとめ

高知大学 野田 稔

種々の非定常竜巻流れに対応する工学的竜巻モデルの開発に向けた検討
野田 稔 (高知大学)

本研究は、数値流体解析、風洞実験および気象観測によって竜巻状流れ場の構造の解明に取り組んでいる国内研究者の持つ竜巻状流れの計測あるいは竜巻の気象観測で得られた情報を集約し、非定常性を考慮できる工学的合理性を兼ね備えた竜巻モデルの構築を目指し、取り入れるべき竜巻流れ場の特性について検討することを目的としたものである。

稠密地上気象観測網やドップラーレーダーで観測された竜巻については、流れ場の構造を検討する上で気圧分布に注目する必要がある、また、ドップラーレーダーで観測される渦構造ではレーダーのビーム幅の影響に注意を払う必要がある。実験では、1セル型、2セル型、多重渦型の3種類の静止渦の流れの構造の違いが確認されたほか、移動効果による流れ場の変化は移動速度の重ね合わせだけでは表現できないことが示された。一方、LESを用いた竜巻状流れの生成においては、上記3タイプ以外の多様な竜巻状流れ場が存在するほか、その非定常性による風速変動の分布についても示された。また、平均場に対して、接線風速分布の近似関数が提案され、典型的な3種類の竜巻状流れに対してそれぞれの特徴を捉えた近似が可能であることが示され、今後の工学的竜巻モデル構築の可能性が示された。今後の方向性としては、典型的な3種類の竜巻について、基本となる平均場モデルを構築し、移動効果による流れ場への影響、圧力分布、非定常性を考慮していく必要があると考えられる。

