

平成 25 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：H25 ～ H27 [平成 26 年度も研究継続]

課題番号：132001

研究課題名（和文）： 漏斗雲の形状から竜巻の強度を評価する方法の検討

研究課題名（英文）： Investigation on the method estimating tornado intensity by using the outline of funnel cloud

研究代表者：佐々浩司

交付決定額（当該年度）： 830,000 円

※平成 25 年度で終了となる研究課題は最終成果報告書となりますので、下記項目について詳細な報告をお願いします。

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

竜巻が被害を与える地面付近の速度場は観測が極めて難しい。高分解能の移動式レーダー複数台による集中観測を行ってきた米国の VORTEX, VORTEX 2 プロジェクトにおいても、地上付近の風はごく一部があきらかになっているだけ(Koshiba et al. 2013)であり、レーダー観測だけでは竜巻の速度場解明に限界が見えてきている。申請者らのグループは竜巻の特性を画像により評価する手法を提案してきた(宮城・鈴木 2010)が、漏斗雲の概形を画像計測することにより竜巻の最大接線速度と半径を推定可能なことを発見した(宮城ら 2013)。この評価手法の精度を高めるには竜巻の 3 次元速度場をモデル化することが必要であるが、室内実験の PIV 計測(Sassa & Takemura 2011)と、LES 解析(野田ら 2012)により詳細なデータを蓄積することにより可能となるものと期待される。そこで、レーダー観測、室内実験、LES を総合的に活用し、竜巻状渦の 3 次元速度場を明らかにするとともに、その結果を用いてランキン複合渦モデルに替わる竜巻渦モデルを確立することによって漏斗雲の画像により竜巻の最大風速や循環、さらには想定される被害幅の評価を可能とする手法を作り出すことを目的とする。本研究は他の観測機器に頼ることなく漏斗雲の映像のみにより竜巻の最大風速、循環、被害幅などを推定可能とする手法を確立するものであることが独創的な点である。この結果、画像のみしか入手できなかった海上竜巻も強度の統計評価に加えることができるようになるだけでなく、監視カメラ映像よりナウキャスト情報を提供できれば減災に大きく貢献することが期待される。

2. 研究の方法

本研究の主な役割分担を以下のように定め、個別の研究を進めるとともに、本年度は 2 回全員が集合して個別の成果報告と相互討論を通じ、竜巻の 3 時限速度場に関する共通認識と今後の課題を整理した。

竜巻モデルの検討：宮城弘守、佐々浩司

室内実験：松井正宏、野田稔、佐々浩司、宮城弘守

LES 解析：野田稔

レーダー観測：佐々浩司

竜巻モデルは修正ランキン渦モデルを用い、実際の映像から竜巻の強度を推定し、被害状況との比較をおこなった。

室内実験は本年度期間中に新たな計測を開始するのではなく、それぞれの担当者がこれまで個別に得てきた成果について議論し、速度場に関する共通認識を形成した。

LES 解析では、実スケールモデルで得られる気圧・温度分布を用いて凝結過程を含めた解析を行い、漏斗雲の概観を再現した。

レーダー観測では、室戸ドップラーレーダーの観測データにより上空の渦の循環を評価した。

さらにこれらの成果をまとめて公開研究会を開催し、竜巻の3次元速度場に関する意見交換を行った。

3. 研究成果

実際の竜巻強度を推定するための資料として、2013年9月15日に台風18号に伴って和歌山県串本町に発生した竜巻のうち、田並地区にF1の被害をもたらした竜巻が海上を進むときの様子が5ヶ所から撮影された7写真・映像(うち撮影者が特定された4件の利用許諾を得た)を収集した。また、2013年9月2日に埼玉県越谷市を中心としてF2の被害をもたらした竜巻とその親雲の様子を捉えた映像(撮影者からの利用許諾済み)1件を収集した。

このうちのひとつである図1に示す串本竜巻を記録した写真・映像に写った漏斗雲の寸法から、雲底までの空間(「上空」と呼称)を代表する循環値と、しぶき幅や被害幅から海・地表面付近(「下層」と呼称)の循環値を、それぞれランキン複合渦モデルにより $1\sim 2.5\times 10^4\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $1\times 10^4\text{ m}^2/\text{s}$ と推定した。また、地上の被害分布は修正ランキン複合渦モデルの速度分布形に従うことが、1982 Altus 竜巻や2012 つくば竜巻について確認した。前者は $\alpha=0.5$ 、後者は $\alpha=0.87$ で、 $\alpha=1$ のランキン複合渦モデルに比べ速度分布が緩やかであることを明らかにした。

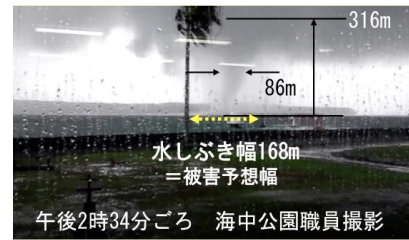


図1 串本竜巻画像の解析

LESによる実寸法スケールの竜巻状流れの流体解析を、OpenFOAMを使って実施し、One Cell またはTwo Cellの竜巻状流れを生成し、また圧力変化から導かれる温度分布によって飽和水蒸気量を算出し、図2に示すように生成された竜巻状流れに対する漏斗雲の概形を数値的に再現した。

室内実験においては、過去の2次元PIV解析の結果が修正ランキン渦モデルに当てはまることを確認したとともに、それぞれどのように実験を進めて行くかについて検討した。移動可能な竜巻シミュレータを有する松井と佐々では竜巻移動に伴う流れ場の変化について検討することを確認した。また3次元PIVシステムを有する野田のシミュレータにおいては各水平断面の3次元速度場の計測を進めていくことを確認した。

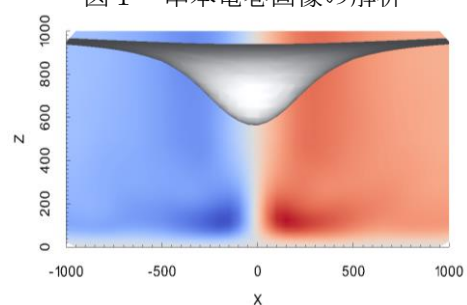


図2 竜巻状渦の接線速度分布と漏斗雲の形状

本年度の共同研究の結果、LESによる3次元速度場と圧力場を求めることによって漏斗雲の形状と竜巻速度場との対応関係を明瞭に示すことができるものとの確証を得た。一方で竜巻の速度場に関して以下の問題点が明らかになった。

- (1) LESおよび室内実験装置における境界条件の取り方、特に収束層と対流層との仕切り版、収束域の広さなどに関する課題。
- (2) 実現象と比較対照可能な渦領域の範囲をどのように捉えるか。
- (3) 2セルの竜巻渦の漏斗雲を1セルの竜巻渦のものと同様に扱うことが可能かどうか。

3月9日に開催した公開研究会においては、上記の成果について、2名の外部研究者も加えて、以下の題目と発表者により報告がなされた。

竜巻の観測について ー観察から計測へー	鈴木 修 (気象庁)
海上竜巻の漏斗雲・水しぶきの寸法と上陸後の被害の関係	宮城 弘守 (宮崎大学)
LESによる竜巻状渦の再現と飛散物の挙動	丸山 敬 (京都大学)
LESを用いた漏斗雲と飛散物による竜巻の可視化について	野田 稔 (徳島大学)
竜巻速度場のモデル化に関する課題	佐々 浩司 (高知大学)

参加者は30名程度であったが、総合討論における議論はかなり白熱したものとなり、会議終了時刻を超えて意見交換がなされた。その結果、竜巻等突風研究の分野における本課題に対する期待が極めて高いことが明らかとなった。

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 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

* 26年度以降に学会発表の予定。

5. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々浩司 (高知大学)

(2) 研究分担者

松井正宏 (東京工芸大学)

野田稔 (徳島大学)

宮城弘守 (宮崎大学)