

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Numerical Study on Lifetime Mechanism and Severe Wind Characteristics of Tornado
著者(和文)	TaoTao
Author(English)	Tao TAO
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12270号, 授与年月日:2022年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大風 翼,坂田 弘安,山中 浩明,肖 鋒,佐藤 大樹,田村 哲郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12270号, Conferred date:2022/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Tao Tao		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	大風 翼	准教授	審査員	佐藤 大樹	准教授
	審査員	坂田 弘安	教授		田村 哲郎	名誉教授
		山中 浩明	教授			
肖 鋒		教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Numerical Study on Lifetime Mechanism and Severe Wind Characteristics of Tornado」と題し、以下の6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、竜巻が大気境界層で発生する最も激しい突風現象であり、人間の生命と財産に大きな被害をもたらしてきたという事実から竜巻の風の特徴を理解することは、竜巻による災害の推定や、人工建造物の竜巻への耐風性能を確立するために重要であると記述し、竜巻の風の特徴を捉える最近の研究について、過酷な環境と地上の障害物のため、観測では完全な風速記録を得ることは困難であり、また実験では極端に簡略化されたモデルであることから、実際の竜巻の機構に対して重要である複雑な気象学的な効果を含めることができないと述べる一方、気象モデルを使った数値解析では、計算技術の発展から現実的な竜巻の過程を反映した研究が期待されるとしている。また、本論文の目的として、竜巻の現実的な風の特徴を気象モデルにより理解することであると、竜巻でみられる風の特徴を決定する竜巻の物理機構を理解すること、および竜巻によってもたらされる地表近傍での風特性の普遍性を評価することの重要性を述べている。

第2章「Validation of WRFLES in resolving turbulence of strong wind in a typhoon case」では、実現象である台風時の大気境界層のさまざまなスケールの風の特徴を再現することで、気象モデルの WRFLES の有効性を検証している。対象とした台風は、阪神地区を襲い深刻な被害をもたらした台風 Jebi(2018) である。計算結果は、台風経路、気象台での風速の時刻歴、上陸した地点付近の風速プロファイルなどの観測結果とよく一致していると示している。水平ロール構造 (horizontal roll structures; HRS) は、水平解像度 250 m の格子により再現できるが、より細かいスケールの乱流は、水平解像度 50 m の格子によってのみ再現できることを示しており、HRS は、運動量の大きい流れを上層から下層へ輸送することにより、下層での風速を増大させ、また、海域から流入する際に生成されやすい傾向を持つことを明らかにしている。さらに流入が山岳地帯からの場合、地形による風の乱れが HRS を歪ませ、その結果、HRS は無秩序となり、組織的な構造を崩壊することを示し、その結果、HRS が弱体化し、乱流変動がより顕著となることなど、WRFLES を用いた本解析手法が適切な物理機構を提示できることを示している。

第3章「Generation mechanism of the 2012 Tsukuba Tornado by considering circulation sources」では、WRFLES により再現した、2012 年つくば竜巻の発生機構について究明している。竜巻生成のもととなる渦度の発生源について詳細に分析し、生成を支配的に担う渦度は摩擦項に由来するものであり、主に地表での摩擦で引き起こされると述べている。さらに地表摩擦由来の渦度がどのように竜巻生成のための渦度となるかについても考察している。まず地表摩擦により、地表近傍に横渦が生成され、横渦は気流が回転しながら入り込む際、縦渦に変換され、その渦度は、tilting により鉛直渦度となると述べている。Rear flank downdraft (RFD) surge は、地面近くの収束を強化することから竜巻の発生要因となるが、本解析結果では、RFD surge は、既往研究で述べられているような傾圧的な渦度を必ずしも伴わないことを示している。

第4章「Role of rear-flank downdraft in the maintenance and dissipation of the 2012 Tsukuba tornado」では、竜巻の維持さらには消滅といったそれぞれの過程の機構を詳細に分析している。竜巻の強度は、竜巻周囲における上昇気流および下降気流の強度と関連していることを示している。発達と維持の段階では、竜巻はメソサイクロンの強い上昇流を伴っており、消滅段階では、RFD が強化され、徐々に竜巻を包み込む。RFD の包み込みは湿った空気の流入を遮断し、tilting による鉛直渦度生成を阻害しているものと考察している。なお地表摩擦は、発生から消滅までの全段階を通じて竜巻の地表近くでの主

な渦生成の源であり、竜巻の渦度について、その循環の大部分は東からの流入に由来し、竜巻の強度の一時的な変動は、Extra Vortices (EVs) が部分的に関与するものと理解される。EVs は2つの形で竜巻に影響を与えており、一つ目は、EVs が竜巻と融合し、その際に渦度を供給することを、二つ目は、Evs は消滅段階において、竜巻と取って代わり新たな竜巻となることを示し、EVs は、東からの流入に由来し、RFD surge によって強化され、地表摩擦が EVs の主な渦度源となっていることを示している。

第5章「Wind characteristics of near-ground tornado based on idealized models」では、WRFLES によって再現された竜巻の風の特徴に関して、CM1(簡易型気象モデル)を用いて地表面の摩擦抗力係数を変化させた一連のパラメータ解析によりその普遍性を検証している。WRFLES で再現された竜巻は発生から消滅にかけて、単一の渦から渦輪 (vortex ring) となり、最終的には、多重渦構造への遷移を示しており、下降流の強化と上昇流の弱体化によって引き起こされる現象としてまとめている。RFD の強化は、一時的に渦の強度と水平速度を増大させる可能性があるが、正味の影響としては、竜巻の強度を弱めるものと確認している。また、WRFLES では竜巻への流入が表現されており、竜巻の後方は下降流の混合効果により大きな風速変動が発生することを示している。以上の結果に対し、CM1 での解析では、RFD の振る舞い、竜巻渦のパターンおよび流入する乱流は、特に寿命後期（再強化過程と消滅過程）において、WRFLES で再現された竜巻と類似しており、竜巻の機構と風の特徴の普遍性を提示している。

第6章「Conclusions」では、前章までに得られた成果を総括し、今後の課題と展望を述べている。

以上を要するに、本論文では、竜巻によってもたらされる気象災害の低減化をめざす上で、気象モデルを用いた数値解析法により突風を生じさせる竜巻の物理機構を明らかにし、その結果としての強風・突風特性を提供している。

本研究成果は、これまで未解明であった竜巻における突風一般の普遍的性質を示すものであり、近年の温暖化に伴う極端気象による竜巻突風被害の推定および安全な社会を構築する上で大いに役立てられるものであり、工学上貢献するものと考えられる。従って、博士（工学）の学位論文として十分に価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。