

# 2019 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：2019 年度

課題番号：19192007

研究課題名（和文）：日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究

研究課題名（英文）：Cooperative study on new scale for rating tornadoes in Japan

研究代表者：小林文明（防衛大学校地球海洋学科・教授）

交付決定額（当該年度）：250,000 円

## 1. 研究の目的

竜巻やダウンバーストといった積乱雲に伴う突風現象は、極めて小規模であるものの激甚被害をもたらす。竜巻等に対する個人や行政レベルの対応、あるいは構造物の耐風性や設計上の考え方については、米国等に比較してわが国の状況は極めて不十分である。日本で発生する竜巻は、海上で発生するいわゆる waterspout が中心で、米国で見られるようなスーパーセルによる大型のトルネードの発生は稀であると見られていた。しかしながら、近年、甚大な被害を及ぼす竜巻による被害が頻発し、調査研究の結果、これらの幾つかはスーパーセルと同様な大気状態の下に発生した竜巻であることが示唆され始めている。また、竜巻による被害も、多くは飛散物に起因するなど、台風等の強風被害と若干異なる様相を示すことが報告されている。竜巻の認識件数は増加傾向にあるが、顕著な影響は極めて限られた時空間的に現れるため、実態の把握が難しい。観測による詳細把握はドップラーレーダーなどを用いて積極的に対応され始めているが、地表面付近の状況などは現地調査に頼らざるをえない状況である。竜巻発生の実態把握を的確に行うためには、竜巻の特徴を的確に表す分類評価を実施する必要がある。1971年に藤田哲也により提案されたフジタスケールは、世界各地で使用されてきたが、被害程度の認識方法や風速の推定方法が明確でないなどの問題が指摘されており、米国では2001年頃から従来のフジタスケールに対する見直しが始まり、2006年のテキサス工科大学、NIST、National Weather Serviceを中心として、Enhanced Fujita Scaleが提案された。以降、米国で竜巻の強さ分類として公式に改良フジタスケール(Enhanced Fujita Scale, EFスケール)が用いられている。このEFスケールは、米国での建築物や工作物や、自然植生の空気力や耐力、強度を元に作成されており、これを直接日本の竜巻に適用することはできない。気象庁、国土交通省、建築研究所、東京工芸大学は、国内の研究者、専門家とともに、日本における竜巻の強度分類法として、国内の被害指標(Damage Indicator, DI)として適切なものを抽出し、それらの被害状況程度(Degree of Damage, DOD)の分類と対応する作用風速(または等価風速)の適切な評価方法の共同研究を進めてきた。その成果は、「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会(会長：田村幸雄)」に提出され、2015年12月には、気象庁から「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン」として公表された。

本申請では、平成27年「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン」(以下、日本版改良藤田スケール、JEFスケール)において提案された、DIとDODおよびその風速について、より安定的に調査、判定できるよう、被害情報の収集、被害指標(DI)の洗い出し、被害程度(DOD)の分析、竜巻発生時の空気力学的作用と工学的に等価な風速への換算手法、時空間的に非定常な流れ場での構造物や樹木等の空気力の性質、構造物や樹木等の耐力、強度の評価方法など多岐にわたる、竜巻被害評価関連技術を検討し、日本版改良藤田スケールの運用に寄与することを目的とする。

また、本研究の目的の一つとして、気象庁「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」に対して、最新の科学的知見に基づく竜巻強さの評価手法に関する資料を提供し、気象庁の「日本版改良藤田スケールに関するガイドライン」運用上生じた諸問題への対応に資することがあげられる。

## 2. 研究の方法

- (1) 改良藤田スケールのフォロー：平成 28 年度から実施されている JEF スケールの適用に際して、問題点等を検討する。実際に運用に供して発生した検討事項等をまとめ、解決方法、追加説明等を検討する。特に、DI, DOD とそれぞれの風速に関する継続的な検討を行う。
- (2) 竜巻の発生実態と特徴の把握：JEF スケールを過去の主要な竜巻被害に適用し、被害風速の評価を行い、被害実態の解明を図る。これまで、物置、コンテナ等の内容量、飛散距離、横ずれ、ステーの影響等の考慮、船舶、寺社、土蔵、石灯籠、墓誌等の DI, DOD 検討したが、風力係数の未整備や被害メカニズムが解明されていない等で JEF スケールに組み込むことができていない指標も多い。これらを定量化し、DI, DOD を設定する方法について検討する。
- (3) 竜巻等の突風被害の現地調査を実施し、風速や風圧力の根拠となる資料収集を行う。また、被害資料を整理し、JEF スケール判定に資する情報としてまとめる。

## 3. 研究成果

令和元年度は計 3 回の研究会を実施し、1)新たな DI, DOD の検討、2)個別の突風災害事例における風速判定の妥当性、3)関東に甚大な被害をもたらした台風 15 号に伴う強風被害に対する JEF 適用の検討を行った。また、公開研究会を気象庁講堂で開催し、約 80 名の参加者により活発な議論、意見交換が行われた。

### 1) 新たな DI, DOD の検討

新たな DI として船舶、寺社、石灯籠、墓誌の検討と門扉、土蔵、仮設トイレの適用妥当性

### 2) 個別の突風災害事例における風速判定の妥当性

主な突風事例

8 月 20 日茨城県行方市で発生した突風

8 月 28 日静岡県三島市で発生した突風

9 月 22 日に宮崎県延岡市で発生した竜巻 (JEF2)

10 月 12 日に千葉県市原市で発生した竜巻 (JEF2)

### 3) 関東に甚大な被害をもたらした台風 15 号に伴う強風被害に対する JEF 適用の検討

### 4) 公開研究会の開催

以下のプログラムで公開研究会を開催した。

開催日時：2020 年 2 月 3 日 (月) 13 時～16 時

開催場所：気象庁講堂

プログラム：

趣旨説明 小林文明 (防衛大学校)

2019 年日本に暴風・突風をもたらした台風の特徴 益子渉 (気象研究所)

2018 年台風 21 号、2019 年台風 15 号における被害分布について 野田稔 (高知大学)

台風被害に対する日本版改良藤田スケールの適用事例 松井正宏、金容徹、吉田昭仁 (東京工芸大学)

2019 年 9 月 22 日に発生した延岡竜巻の被害と風速 宮城弘守 (宮崎大学)

2019 年 10 月 12 日に市原市で発生した建築物等の竜巻被害 高舘祐貴、喜々津仁密、中島昌一、山崎義弘 (建築研究所/国土技術政策総合研究所)

2019 年の竜巻被害および評価結果について 松本聡 (気象庁)

閉会挨拶 田村幸雄 (重慶大学/東京工芸大学)

## 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 2 件)

1. 小林文明, 佐藤英一, 友清衣利子, 野田稔, ガヴァンスキ江梨, 高舘祐貴, 高森浩治, 木村吉郎, 中藤誠二, 森山英樹, 鈴木寛, 重永永年, 服部力, 松井正宏, 岩下久人, 台風 1915 号 (FAXAI) がもたらした強風災害について, 日本風工学会誌, Vol.45, No.1(No.162), pp.30-39 (2020)
2. 吉田昭仁, 増子啓太, 岩瀬英美子, 固定された物置の被害発生風速の推定, 日本風工学会誌, Vol. 44 No.2(No. 159), pp.171-172 (2019)

〔学会発表〕（計 3 件）

1. 小林文明，台風・竜巻から身を守る，第 8 回防災学術連携体シンポジウム（2019 年 10 月 19 日）
2. 松井正宏，台風 15 号・19 号による強風被害，令和元年台風 19 号に関する緊急報告会（2019 年 12 月 24 日）
3. 小林文明，わが国における竜巻の実態とその観測，第 9 回防災学術連携体シンポジウム「低頻度巨大災害を考える」（2020 年 3 月 18 日）

〔図書〕（計 0 件）

特になし

〔その他，産業財産権，ホームページ等〕

特になし

## 5. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林文明（防衛大学校地球海洋学科・教授）

### (2) 研究分担者

#### 1. 共同研究者

（東京大学）新野宏，（東北大学）小野裕一，（秋田高専）植松 康，（東京工芸大学）田村幸雄，松井正宏，吉田昭仁，金 容徹，（東京工業大学）坂田弘安，（京都大学）丸山 敬，中川貴文（高知大学）野田 稔，（九州大学）前田潤滋，（熊本大学）友清衣利子，（建築研究所）奥田泰雄，高館祐貴（森林総合研究所）鈴木 覚，（日本設計）人見泰義，（風工学研究所）勝村 章，（気象研究所）小司禎教，佐藤英一，鈴木修，（同済大学）曹曙陽

#### 2. 研究協力者

（気象庁）国松洋，蓼沼信三，松本聡，古市豊  
（国土技術政策総合研究所）喜々津仁密，脇山善夫，石原 直，荒木康弘

## 6. 要約(Abstract)

【次ページ参照】

研究課題名：日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究  
Cooperative study on new scale for rating tornadoes in Japan

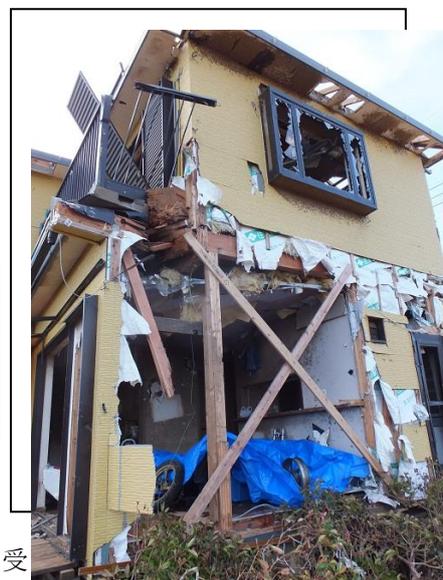
研究代表者名：小林文明（防衛大学校地球海洋学科）

#### 要 旨

2016年から気象庁が運用を開始した竜巻等突風の被害スケール（JEF（Japan Enhanced Fujita）スケール，日本版改良藤田スケール）は，被害指標(Damage Indicator, DI)として適切なものを抽出し，それらの被害状況程度(Degree of Damage, DOD)の分類と対応する作用風速(または等価風速)を求めるという独自の手法である。新たなDIとして，船舶，寺社，土蔵，石灯籠，墓誌等の適切な評価方法を検討した。

2019年9月22日に宮崎県延岡市で発生した竜巻（JEF2）や10月12日に千葉県市原市で発生した竜巻（JEF2）など，顕著な竜巻被害における風速判定およびJEF適用の妥当性について検討を行った。また，関東に甚大な被害をもたらした台風15号に伴う強風被害に対するJEFスケール適用の可能性について議論した。

また，2020年2月3日に気象庁講堂で公開研究会を開催して本年度の研究成果を発表し，多分野の研究者との意見交換を行った。



台風15号による被害（左図）と市原竜巻で被害を受



公開研究集会の様子（2020年2月3日、於気象庁講堂）

