

2021 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：2021 年度
課題番号：21212001
研究課題名（和文）：日本版改良藤田スケールにおける DI、DOD と被害風速の評価
研究課題名（英文）：Evaluation of DIs, DODs and wind speeds for Japanese Enhanced Fujita Scale
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）：500,000 円

※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 や準線状対流系に伴うものが中心で、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) JEF スケールの検証：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 3 年度は計 4 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の検討を行った。また、公開研究会をオンラインで開催し、約 50 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（プレジャーボート）、建築物（外装材）、街路樹の検討

2) 個別の突風災害事例における風速判定の妥当性

主な突風事例

5 月 1 日静岡県牧之原市の事例（JEF2）

9 月 18 日 和歌山県美浜町の事例（JEF1）

10 月 4 日 北海道旭川市の事例（JEF1）

3) 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（参加者 50 名）。

開催日時：2022 年 2 月 9 日（水）13 時～16 時

開催場所：zoom によるオンライン開催

プログラム：

- (1) 趣旨説明 小林 文明（防衛大学校）
- (2) 竜巻発生環境場の気候変化と将来予測 加藤 輝之（気象研究所）
- (3) 木造小屋組接合部の引張試験および強制腐食試験に基づく耐力低減評価に関する研究 今野 大輔（八戸工業高等専門学校）
- (4) 2021 年の竜巻被害および評価結果について 加茂 直幸（気象庁大気海洋部）
- (5) 建築物の DI、DOD 奥田 泰雄（建築研究所）
- (6) 船舶の強風被害と被害発生風速の検討 曹 曙陽（同済大学）
- (7) 街路樹の耐風性についての検討 鈴木 覚（森林総合研究所）
- (8) 閉会挨拶 田村幸雄（重慶大学教授、東京工芸大学風工学研究拠点プログラムコーディネータ）

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 3 件）

1. 小林文明, 台風 15 号 (Faxai) に伴う突風の空間分布, 風工学会誌, 46, pp.13-18 (2021)
2. 小林文明, 日本における竜巻の観測的研究と課題—藤田哲也博士生誕 100 年記念竜巻シンポジウム—, 天気, 68, p.512 (2021)
3. Akihito Umehara, Toru Adachi, Wataru Mashiko, and Hiroshi Yamauchi, 2021: Analysis of the

Tornadic Debris Signatures of the Ichihara Tornado in a Typhoon Environment Using Two Operational C-band Dual-Polarization Weather Radars. *SOLA*, **17**, pp.196-201.

〔学会発表〕（計 1 件）

1. 小林文明, 新しい観測手法を用いた積乱雲微細構造の理解, 日本地球惑星科学連合（横浜・オンライン）, （2021年6月6日）

〔図書〕（計 1 件）

1. 小林文明, 新訂竜巻, 成山堂, 207pp (2021)

〔その他, 産業財産権, ホームページ等〕

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
（秋田工業高等専門学校）植松 康
（東北大学）小野裕一
（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, 西嶋一欽
（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）鈴木修, 益子渉, 佐藤英一, 梅原章仁
（同済大学）曹曙陽

2. 研究協力者

（気象庁）酒井喜敏, 深町知宏, 加茂直幸, 宮崎大輔
（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, 英文)

Research Theme

Evaluation of DIs, DODs and wind speeds for Japanese Enhanced Fujita Scale

Representative Researcher (Affiliation)

Fumiaki Kobayashi (National Defense Academy)

Summary

Japan Enhanced Fujita Scale (JEF scale), which is the damage scale of tornadoes and downbursts, was authorized and applied by Japan Meteorological Agency from 2016. The objective of the research is to evaluate DIs (Damage Indicators), DODs (Degree of Damages) and wind speeds for JEF scale. New DIs, such as ships, constructions, storerooms, street trees, were investigated and discussed in 2021.

Weather conditions in 2021 were followings: 22 typhoons occurred in the year 2021. Typhoon occurred every month from April to December. There were three in July, four in August, four in September, four in October. Three typhoons landed every month from July to September. One tornado of JEF2 and eight tornadoes of JEF1 were reported, but the gust damage caused by tornadoes and downbursts was less than the average value.

Evaluation of DIs, DODs and wind speeds of three case studies, such as JEF2 tornado event (Makinohara City, Shizuoka Prefecture on 1 May), JEF1 tornado event (Mihama Town, Wakayama Prefecture on 18 September) and JEF1 downburst event (Asahikawa City, Hokkaido on 4 October), were discussed.

The research meeting on JEF scale was held at online system on 9 February 2022. Eight speakers reported the recent gust damage and the evaluation of DI and DOD i.e., ships, constructions, street trees.