

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 7日現在

機関番号：17102

研究種目：特別研究促進費

研究期間：2012～2012

課題番号：24900001

研究課題名（和文） 平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査

研究課題名（英文） A comprehensive survey on mechanism of tornadoes outbreak in northern Kanto on May 6, 2012, and their related damage

研究代表者

前田 潤滋 (MAEDA JUNJI)

九州大学・人間環境学研究院・教授

研究者番号：40128088

研究成果の概要（和文）：

北関東地方に発生した複数の竜巻による突風被害の実態調査を行って被害情報と被災住民へのアンケートの分析を行った。つくば市を襲った竜巻はフジタスケール3～4（風速70～100m/s前後）に達する国内最大規模であった。市街地が襲われたことによる全壊建物の多さに加えて、べた基礎ごと横転した木造住家や工業団地オフィスの開口部の被害など、新しい被害形態が確認された。住民アンケートの分析結果は竜巻災害対策での行政施策に利用できる。

研究成果の概要（英文）：

Site investigations of building damage caused by two or more tornadoes in the northern Kanto district and inhabitants questionnaire in the disaster area were implemented. It was found that the tornado which attacked Tsukuba City was one of the strongest tornadoes in Japan, which reached the Fujita scales 3 or 4, wind-speed 70-100 m/s. Several new damage forms such as the wooden dwelling house which overturned together with a concrete foundation and the damage of the opening of industrial area office were confirmed, separately from the many completely-destroyed buildings because a city area was attacked. The analytical information of the resident questionnaire is available for an administrative measure to tornado disaster mitigation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2012年度	12,781,000	0	12,781,000
年度			
総計	12,781,000	0	12,781,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：竜巻被害，竜巻のメカニズム，竜巻の突風，飛散物

## 1. 研究開始当初の背景

平成24年5月6日正午前後に北関東地方で発生した複数の突風（竜巻）により甚大な人的および物的被害が発生した。一連の突風は竜巻によるものと判明し，被害範囲は茨城県，

栃木県および福島県を含む広範囲にわたり，死者1人と重軽傷者54人の犠牲者を出し，2,400棟以上の建物・施設（住家102棟，非住家230棟が全壊）が被害を受けた（茨城県平成24年10月10日，栃木県同年10月31日，福島県

同年5月7日現在)。今回の突風被害は被害面積と被害程度の両方でより深刻な状況を残している。

竜巻の発生メカニズムや竜巻等による突風と被害実態との関連の解明には、被災状況を正確に記録するための初動調査と、初動では得られない詳細情報を収集するための2次調査を速やかに実施することが必要である。なぜなら、屋根や外装材などの被害が大半を占める突風被害では、建物の直接的な損壊の他に、被災地周辺は飛散物の氾濫などでも日常生活が止まるため、電気・水道などライフラインを含む生活空間の復旧が迅速に実施されて、被災状況の原型を失うだけでなく、集積された被災廃棄物が被災現場の正確な情報収集を困難にする場合が多いからである。また竜巻発生前後の気象情報の収集・分析が次の竜巻発生の予測確度の向上につながるのと期待も高い。今回は、地上での被害情報に加えて、ほぼ同時発生の複数の竜巻のロータ雲を捉えた映像記録が多数残されていることなど、これまでになく詳細で豊富な情報が得られ、今後の竜巻などによる突風災害の被害軽減対策に極めて有益なデータを提供するものと考えられた。さらに住民の被災時の心理状況や直後の行動パターンに関する情報、さらにその後の避難状況の実態把握は自治体の復旧・復興計画や生活支援などの行政施策に重要な情報として活用できるが、住民の被災時記憶の経時変化や、あるいは他の自然災害の遭遇によって初期の記憶情報が不正確になる可能性も迅速な調査を必要とする理由である。



つくば市北条地区の被害

わが国において、竜巻発生は年平均20個程度であり、その風速規模はフジタスケールでF0～F1が大半を占め、被害は限定的と言われてきたが、平成18年の北海道佐呂間町や宮崎県延岡市でのF2～F3クラスの竜巻による被害発生、さらに地球規模から局地域までの自然災害に関する、国土交通大臣の諮問に対する答申「地球規模の自然災害の増大に対する安全・安心社会の構築(平成19年)」(日本学術会議)での言及など、竜巻や台風による突風災害の関連研究や減災対策が喫緊の課題であることは既に示されている。

すなわち、同様な竜巻被害の防止・低減の観点から、竜巻被害発生のメカニズムと人的および物的被害の実態に関する総合調査の早急な実施による記録収集と分析情報は、気象状況の分析に基づく同等規模の竜巻再発の可能性評価とその予測法への利用に、また構造物の対突風性能評価の確立につながる研究推進に、さらに被災住民の行動パターンや被災自治体の復旧支援活動の分析はリアルタイム防災などに発展できる情報として、極めて重要な資料になると期待できる。

## 2. 研究の目的

複数の突風(竜巻)により平成24年5月6日に北関東の広範囲で発生した甚大な人的および物的被害を気象学、建築学、土木工学、防災行政学の学際的観点に立って総合調査を行い、突風災害に対するわが国の都市・建物の脆弱性を検証することによって、今後の突風被害の軽減施策に資する専門的知見を提供するのが本研究の目的である。

多数の新築木造建物の被害、コンクリート造集合住宅の被害、工場オフィス建物群の被害などは、都市部での新たな突風被害情報として認識できる。また、竜巻ロータ雲や飛散物の多数の映像記録や大規模積乱雲の発達を捉えた高密度レーダー網の記録などは、竜巻発生の監視予測技術を向上させる学術資料としての期待が極めて高く、さらに、被災住民の行動パターンの分析は防災行政分野での重要な基礎資料になり得る。

## 3. 研究の方法

全壊家屋が330棟にもおよんだ今回の被害は地理的にも広範囲にわたったため、多くの調査者が分散して迅速に調査を実施する必要があった。本調査研究に当たっては、調査内容が気象学や風工学、建築学、土木工学、防災行政学などを横断する学際的課題に及ぶことから、それぞれの専門家を有機的に4つのグループに分けて調査作業を進めるとともに、複数のグループにまたがって活動する状況に支障が起きないように、各グループ間の情報共有にも強く配慮して、以下の計画を推進した。

(1) 竜巻発生時の気象環境場・竜巻をもたらした積乱雲の振舞い・竜巻発生メカニズムの解明

気象レーダー等の観測データと被害調査結果をもとに、竜巻発生前の気象環境場、竜巻をもたらした大規模積乱雲の発生要因・振舞い、および竜巻の構造を解析的に明らかにする。また、雲解像モデルによる大規模積乱雲と竜巻の再現実験を行い、両者の結果をもとに、竜巻の発生メカニズムを理論的に解明する。

(2) 突風（竜巻）による都市・建物の被害状況分析と地上風速の推定

被災地域の建物とインフラ設備の被害実態調査および収集資料の分析を行うとともに、竜巻による地上風速の推定を行い、都市・建物の対突風性能の技術向上に資する所見を取り纏める。さらに、従来のフジタスケールによる突風風速推定の課題を検討して、日本版「拡張フジタスケール」への基礎資料を取りまとめる。

(3) 飛散物の飛翔特性と破壊力の解明

竜巻と飛散物のビデオ映像などの収集を行い、建物破損後の飛散物の飛翔軌道を追跡することによって、コンピュータ・シミュレーションを併用しながら竜巻による飛散物発生状況とその運動学的特性を解明する。風速や飛散物の形状・質量と飛散距離の関係はタチカワ数で表されることが知られているが、飛散距離に及ぼす竜巻構造や突風性状などの関係は未だ明らかではない。また建物開口部ガラスの破損性状の分析を行って、各種飛散物の衝突時衝撃力を検証する。

(4) 突風（竜巻）による人的被害実態と被災住民の行動パターンの分析

住民の被災時の状況、竜巻接近時と被災後の行動、竜巻や突風に関する基礎知識の普及度等について、被災者アンケート調査を実施し、被災住民の心理状況や被災前後の行動パターンの分析を行う。また被災自治体の復旧支援活動の実態把握を行い、自治体の復興・復旧計画や生活支援などの行政施策に活用するための“突風災害発生時の行動マニュアル策定”に資する情報を今回の被害から収集整理する。

研究代表者は進捗状況を確認するとともに成果情報の共有調整を図り、全体成果の取り纏めを行う。

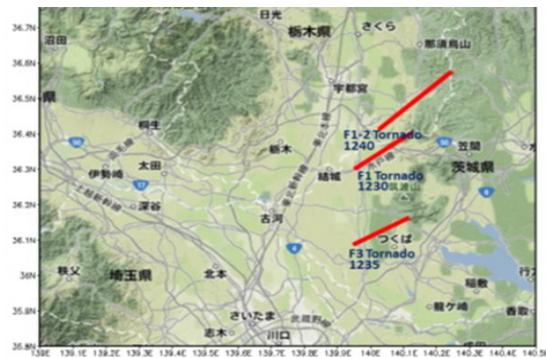
#### 4. 研究成果

平成 24 年 5 月 6 日に北関東地方に発生した複数の竜巻による、茨城県と福島県での突風被害の実態調査を行い、以下の所見を得た。

(1) 被害規模は以下のとおり。つくば市・常総市の竜巻：風速 70～100m/s 前後、被害面積 17km×500m、真岡市・益子町等の竜巻：風速 33～69m/s、被害面積 32km×650m、筑西市

等の竜巻：風速 33～49m/s、被害面積 21km×600m、福島県会津美里町の竜巻：風速 33～49m/s、被害面積 2km×300m。竜巻はわが国では珍しい直径 13～14km の円に相当する大型の積乱雲（スーパーセル）から発生し、70～90 分の長い寿命を有した。多くの気象観測機器によって捉えられた竜巻発生時の気象状況を数値シミュレーションとの同化によって再現できた。竜巻ロート雲や飛散物の多数の映像記録や大規模積乱雲の発達を捉えた高密度レーダー網の記録などは、竜巻発生の監視予測技術の向上に資する学術資料になった。

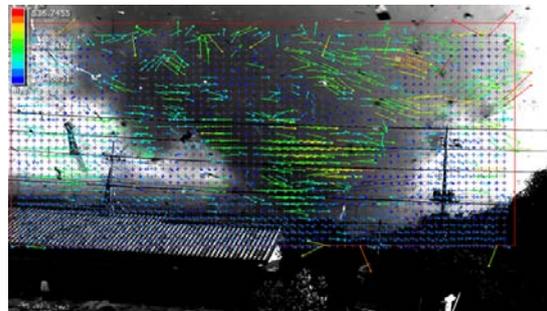
(2) 建造物の被害として、250 棟を超える全壊建物、べた基礎ごと横転した木造住家、上部構造が飛散した多数の木造住家、5 階建て集合住宅の全階層に及ぶ開口部と室内の被



つくば市周辺を襲った 3 つの竜巻の経路



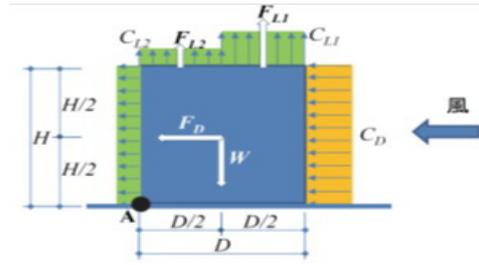
竜巻の撮影動画



竜巻の撮影動画からの風速推定



5階建てコンクリート住宅の被害



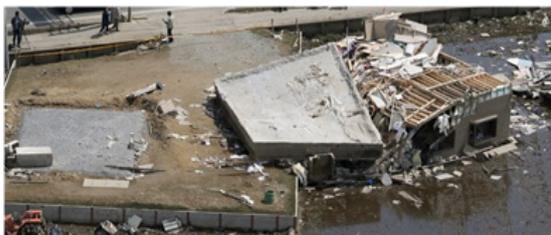
転倒風速の計算モデル



小学校校舎の被害



飛散物（角材）の衝突例



基礎ごと横転した住家

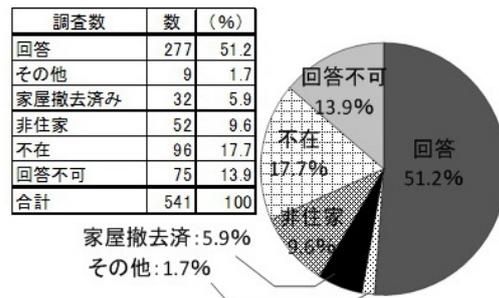


図 7.2.2 ヒアリング調査回答数

害、工業団地オフィスの開口部や金属屋根葺き材の被害、道路アスファルトの剥離・飛散、電柱・高圧送電線等の電力設備被害、等、わが国ではほとんど報告のない特異な被害形態が見られた。これらの被害実態は都市部での新たな突風被害情報となった。いくつかの被害状況からは、フジタスケール F3~F4 の風速域 (70~100m/s 前後) が推定された。短期間の調査にもかかわらず実施した、実験を含む被災建物への作用風速の推定や飛散物の飛散速度の映像分析などによる詳細な算定は、これまでに報告されていない極めて重要な知見と論点を提供した。また、多数の新築木造建物の被害、RC造集合住宅の被害、工場オフィス建物群の被害などは、都市部での新たな突風被害情報として認識できる。

(3) 飛散物の衝突による建物被害が多数発生し、木造住家の瓦などの外装材だけでなく、上部全体が大型飛散物になった事例や普通乗用車・トラック車両などの重量物の飛散が見られた。市民が撮影した動画記録をもとに飛散物の飛翔状況の分析を行い、飛散物の飛翔速度の算定例として 76~100m/s 以上の値

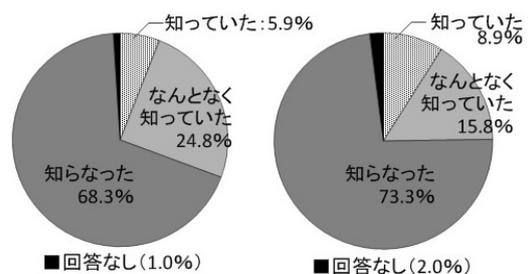


図 7.2.19 暴風警報と強風注意報の違いを知っていたか? 要した時間

図 7.2.20 電巻注意情報を知っていたか?

被災住民のアンケートから

や飛散物の衝撃力の推定値を得た。飛散物の詳細な分類は、上記被害情報と共に、わが国固有の多種多様な建築施工法を有する建物の突風被害状況からの風速推定、いわゆる「日本版拡張フジタスケール」策定への貴重な資料となる。

(4) 被災住民へのアンケート調査では、500世帯を超える被災住民のアンケートにもか

かわらず、51%の回収率は自然災害関連の被災アンケートとしては極めて高い数値である。竜巻発生時の天候状態、危険認知度、危険回避行動、被災後の生活と復旧の状況、竜巻注意情報への要望と期待、自治体の支援施策への要望、などについて分析し、竜巻等による突風被害の軽減対策のための指針作成に資する貴重な情報を整理した。行動パターンの分析結果は防災行政分野での重要な基礎資料となり得る多数の新たな知見を得た。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

- ① 石原正仁(1 番目), 新野宏(1 番目), 小林文明(13 番目), 佐々浩司(14 番目), 宮城弘守(15 番目), 喜々津仁密(16 番目), 全 17 名, 2012 年 5 月 6 日茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会, 天気, 査読無, Vol.60, 2013, pp.47-55, DOI コード及び URL なし
- ② 友清衣利子, 平成 24 年度科研費特別研究促進費「平成 24 年 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査」報告会, 日本風工学会誌, 査読無, Vol.38, No.2, 2013, pp.233-234, DOI コード及び URL なし
- ③ 前田潤滋, 石原正仁, 田村幸雄, 丸山敬, 植松康, 全 29 名, 2012 年 5 月 6 日に北関東地方で発生した広域突風災害について-その後の調査分析-, 日本風工学会誌, 査読無, Vol.38, No.1, 2013, pp.5-51, DOI コード及び URL なし
- ④ 野田稔, 長尾文明, 竜巻によるアスファルト剥離・飛散事例からの風速推定, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, 査読有, 2012, pp.85-90, DOI コード及び URL なし
- ⑤ 奥田泰雄, 深井敦夫, 植本敬大, 他 6 名, 2012 年 5 月 6 日つくば市で発生した竜巻による建築物の被害, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, 査読有, 2012, pp.97-102, DOI コード及び URL なし
- ⑥ 日本風工学会 風災害研究会 (主査: 前田潤滋), 【速報】2012 年 5 月 6 日に北関東地方で発生した広域突風災害について, 日本風工学会誌, 査読無, Vol.37, No.3, 2012, pp.210-222, DOI コード及び URL なし
- ⑦ 小林文明, 2012 年 5 月 6 日北関東で発生した竜巻被害とその教訓, 大気電気学会誌, 査読無, Vol.6, No.81, 2012, p.22, DOI コード及び URL なし
- ⑧ 小林文明, 大窪拓未, 山路実加, 桂啓仁, 2012 年 5 月 6 日北関東で発生した竜巻

- (1) -当日の気象状況と被害特性-, 大気電気学会誌, 査読無, Vol.6, No.81, 2012, p.40, DOI コード及び URL なし
- ⑨ 小林文明, 大窪拓未, 山路実加, 桂啓仁, 2012 年 5 月 6 日北関東で発生した竜巻 (2) -落雷の特性-, 大気電気学会誌, 査読無, Vol.6, No.81, 2012, p.41, DOI コード及び URL なし
- ⑩ 小林文明, 大窪拓未, 山路実加, 桂啓仁, 2012 年 5 月 6 日北関東に竜巻をもたらした積乱雲の落雷特性, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 査読無, 102 号, 2012, p.47, DOI コード及び URL なし
- ⑪ 野田稔, 栃木県における竜巻被害調査報告, 建築防災, 査読無, No.417, 2012, pp.17-22, DOI コード及び URL なし
- ⑫ 丸山敬, 2012 年 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻被害, DPRI Newsletter, 査読無, No.66, 2012, p.7, DOI コード及び URL なし
- ⑬ 森山英樹, 奥島里美, 佐瀬勘紀, 石井雅久, 竜巻の 3 次元風向および風速がパイプハウスの破壊モードに及ぼす影響, 農業施設, 査読有, 43(4), 2012, pp.152-159, DOI コード及び URL なし

[学会発表] (計 6 件)

- ① 丸山敬, 2012 年 5 月 6 日につくばで発生した竜巻中の飛散物の速度推定, 平成 24 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2013 年 2 月 20 日, 京都大学防災研究所
- ② 丸山敬, 2012 年 5 月に北関東で発生した竜巻被害, 平成 24 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2013 年 2 月 19 日, 京都大学防災研究所
- ③ 前田潤滋, 小林文明, 喜々津仁密, 植松康, 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻による被害の実態, 第 22 回風工学シンポジウム, 2012 年 12 月 5 日, 東京大学山上会館
- ④ 前田潤滋, 他, 「強風災害の変遷と教訓」～北関東竜巻の衝撃, 風災害フォーラム, 2012 年 10 月 10 日, 大阪市立大学文化交流センター
- ⑤ 前田潤滋, 奥田泰雄, 野田稔, 喜々津仁密, 5 月 6 日に北関東で発生した竜巻による被害の実態, 日本建築学会全国大会 災害 PD (招待講演), 2012 年 9 月 12 日, 東京大学山上会館
- ⑥ 前田潤滋, 加藤輝之, 佐々浩司, 喜々津仁密, 松井正宏, 他 2 名, 竜巻の正体に迫る-5 月 6 日に北関東で発生, そのとき何が起きたか-, 日本風工学会年次研究発表会 (招待講演), 2012 年 5 月 30 日, 東京理科大学神楽坂キャンパス

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

前田 潤滋 (MAEDA JUNJI)  
九州大学・人間環境学研究院・教授  
研究者番号：40128088

### (2) 研究分担者

石原 正仁 (ISHIHARA MASAHIITO)  
京都大学・極端気象対応社会教育ユニット・特定准教授

研究者番号：20514285

新野 宏 (NIINO HIROSHI)  
東京大学・大気海洋研究所・教授  
研究者番号：90272525

田村 幸雄 (TAMURA YUKIO)  
東京工芸大学・工学部・教授  
研究者番号：70163699

奥田 泰雄 (OKUDA YASUO)  
国土交通省国土技術政策総合研究所・危機管理技術研究センター・建築災害対策研究監

研究者番号：70201994

丸山 敬 (MARUYAMA TAKASHI)  
京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00190570

野田 稔 (NODA MINORU)  
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：30283972

植松 康 (UEMATSU YASUSHI)  
東北大学・工学研究科・教授  
研究者番号：60151833

池内 淳子 (IKEUCHI JUNKO)  
摂南大学・理工学部・准教授  
研究者番号：90450254

小林 文明 (KOBAYASHI FUMIAKI)  
防衛大学校・地球海洋学科・教授  
研究者番号：80202068

佐々 浩司 (SASSA KOJI)  
高知大学・教育研究部・自然科学系・教授  
研究者番号：50263968

林 泰一 (HAYASHI TAIICHI)  
京都大学・防災研究所・准教授  
研究者番号：10111981

山根 悠介 (YAMANE YUSUKE)  
常葉学園大学・教育学部・講師  
研究者番号：10467433

清水 慎吾 (SHIMIZU SHINGO)  
防災科学技術研究所・観測・予測研究領域水・土砂防災研究ユニット・研究員  
研究者番号：70462504

喜々津 仁密 (KIKITSU HITOMITSU)  
独立行政法人建築研究所・構造研究グループ・主任研究員

研究者番号：10370694

河井 宏允 (KAWAI HIROMASA)  
東京電機大学・理工学部・客員教授  
研究者番号：60027282

後藤 治 (GOTO OSAMU)  
工学院大学・建築学部・教授  
研究者番号：50317343

木村 吉郎 (KIMURA KICHIRO)  
東京理科大学・理工学部・教授  
研究者番号：50242003

森山 英樹 (MORIYAMA HIDEKI)  
農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所・農地基盤工学研究領域・農業施設工学担当主任研究員

研究者番号：20414419

宮城 弘守 (MIYAGI HIROMORI)  
宮崎大学・工学教育研究部・助教  
研究者番号：90219741

高橋 章弘 (TAKAHASHI AKIHIRO)  
北海道立総合研究機構・北方建築総合研究所・主査

研究者番号：20462327

神田 亮 (KANDA MAKOTO)  
日本大学生産工学部・建築工学科・教授  
研究者番号：00204800

松井 正宏 (MATSUI MASAHIRO)  
東京工芸大学・工学部・教授  
研究者番号：60350576

吉田 昭仁 (YOSHIDA AKIHITO)  
東京工芸大学・工学部・准教授  
研究者番号：90329219

岡田 玲 (OKADA REI)  
東京工芸大学・風工学研究センター・Global COE 准教授  
研究者番号：40514170

友清 衣利子 (TOMOKIYO ERIKO)  
九州大学・人間環境学研究院・助教  
研究者番号：30346829

若月 泰孝 (WAKAZUKI YASUTAKA)  
筑波大学・陸域環境研究センター・助教  
研究者番号：70455492

ガヴァンスキ江梨 (GAVANSKI ERI)  
東北大学・工学研究科・助教  
研究者番号：00608797

### (3) 連携研究者 なし