

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23510232

研究課題名(和文) 首都圏における積乱雲に伴う突風現象の動態に関する観測的研究

研究課題名(英文) Observational Study on the Movement of Gust phenomena and Cumulonimbus Initiation around the Metropolitan area, Japan

研究代表者

小林 文明 (Kobayashi, Fumiaki)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・応用科学群・教授)

研究者番号：80202068

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円

研究成果の概要(和文)：初期の積乱雲や竜巻・ガストフロントなどの挙動を捉えることは、科学的にメカニズムを解明するだけでなく防災上も重要である。そこで本研究では、屋外設置型の積乱雲監視カメラシステムを構築し、校舎屋上(横須賀)に設置し、首都圏をカバーする南関東における積乱雲発生を5年間通年で観測した。現有器材であるドップラーレーダー等を用いた観測、夏季の特別観測(雲の測量観測)を同時に実施し、つくば竜巻や越谷竜巻をもたらしたスーパーセル、竜巻の親雲、ダウンバースト、ガストフロント、積乱雲の発生初期の構造を明らかにした。また、本研究で得られたデータは、防災啓発資料としても広く用いられた。

研究成果の概要(英文)：The understanding of the cumulonimbus (Cb) generation process and the fine structure of tornadoes and downbursts is of great importance not only for scientific purpose, but also for the mitigation of disasters. In this study, a cloud image camera system was installed at the National Defense Academy of Yokosuka (100 m above sea level) to observe Cb development and gust winds (tornadoes, downbursts and gust fronts) around the metropolitan area. On the basis of simultaneous observations of Cb using the X-band Doppler radar, the millimeter-wave cloud radar, and photogrammetry during 5 years (2011-2015), the detailed structures of supercells, the parent cloud of tornadoes, downbursts, gust fronts, initiations of isolated cumulonimbi (first echo) were revealed. The results of this study were introduced by some media, homepages and books for the mitigation of meteorological disasters.

研究分野：気象学

キーワード：突風 竜巻 ダウンバースト ガストフロント ドップラーレーダー 積乱雲

### 1. 研究開始当初の背景

竜巻のような小規模(数10 m)で短寿命(数分)の大気現象は、リアルタイムで観測すること自体困難であり、わが国では観測データの蓄積が乏しいのも事実である。例えば竜巻を観測する場合、雲内に形成される、直径10 km程度のメソサイクロンや直径1 km程度の親渦(マイソサイクロン)、そこから地上に達する直径数10 m程度の竜巻渦(漏斗雲)、および地上での被害を同時に捉える必要がある。このように、竜巻やダウンバースト、局地豪雨をもたらす親雲である積乱雲の成長過程は、ドップラーレーダー観測と同時に写真やビデオなど可視的に捉える必要がある。しかしながら、雲の発生から竜巻やダウンバーストを生む最盛期に至るまでの全体像を捉えた事例はわが国では極めて少ない。

### 2. 研究の目的

初期の積乱雲や竜巻・ガストフロントなどの挙動は、写真やビデオなどの映像機器を用いてリアルタイムに捉える必要があるが、何時何処で発生するか分からない積乱雲や突風現象を観測するのは容易ではない。本研究では、発生初期の積乱雲、竜巻やダウンバーストの動態を把握し、既存のドップラーレーダー等の観測データと併せて解析し、構造を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、24時間365日自動で広範囲を観測できる屋外設置型の全天候対応の積乱雲監視カメラを整備した。カメラを複数台設置することで、東京、横浜、千葉など都市周辺をカバーし、南関東における積乱雲発生の全容を把握することが可能となった。2012年からは、カメラの台数を増やして360°カバーできる体制をとった。この積乱雲監視カメラと、現有器材であるドップラーレーダー等を用いた通年観測を実施し、さらに積乱雲の発生しやすい夏季には、積乱雲の発生初期のレーダーエコー(ファーストエコー)観測、直接測量による雲頂高度観測等の夏季集中観測を実施した。

### 4. 研究成果

(1) 本研究期間中、2012年5月に北関東で複数の竜巻(つくば竜巻)が発生し甚大な被害が生じ、2013年9月には埼玉県越谷市で竜巻が発生した。いずれの竜巻もスーパーセル(単一巨大積乱雲)に伴い発生し、本システムで竜巻の親雲の挙動を把握した(図1)。詳細な現地調査とドップラーレーダー観測を行い、メソサイクロンの形成過程、地上被害域の把握と被害特性、積乱雲エコーの発達と落雷と時間関係、竜巻渦(漏斗雲)と地上被害の対応、降雹と積乱雲の発達、巨大積乱雲の形態上の特徴を明らかにした。

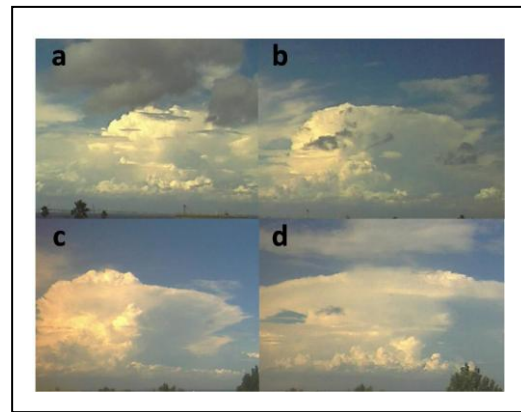


図1 越谷竜巻をもたらした積乱雲の成長

(2) ダウンバースト/ガストフロントに関しては、5年間の通年観測から、観測地点近傍で観測された7事例(2011年7月30日、8月26日、2012年3月28日、9月6日、2014年3月21日、5月22日、2015年2月13日)を捉えることに成功した(図2)。また、北関東で発生した6事例に関して、地上稠密観測データを用いて解析を実施した。以上の解析から、ガストフロント上のアーク雲の発生と動態、ドップラー速度場から求めた雲内の気流構造、ガストフロント通過に伴う地上気象要素の変化特性、ガストフロントに伴い発生する2次的な竜巻(ガストネード)の構造を明らかにした。



図2 ガストフロントに伴うアーク

(3) 積乱雲監視カメラの常時観測と併せて、毎夏7月から9月上旬にかけて特別観測を実施し、夏季晴天時に発生する積乱雲の直接測量を実施し、積乱雲の微細構造であるタレットの成長速度を観測した(図3)。また、ドップラーレーダー観測により、最初に検出されるエコー(ファーストエコー)のデータを蓄積し、気象レーダーで捉える前の発生初期段階における積乱雲の成長過程を定量的に明らかにした。

(4) 本研究の観測と同時に、複数のXバンドレーダーを用いたネットワーク観測(通称X-NET)や、雲レーダー(千葉大学環境リモートセンシング研究センター)との同時立体的観測を実施した。本研究で得られた雲の可視画像と、雲レーダー、Xバンドレーダー、気象衛星画像データを総合的に解析することで、竜巻や豪雨に直結する急速に成長する

積乱雲の微細構造を明らかにし、積乱雲の理解を進めた。

(5) これらの研究成果は、ニュースや新聞などのメディア、ホームページ (NHK そなえる防災「落雷・突風」、気象庁防災ホームページなど)、書籍、学会の一般向け講演会、市民大学、出張授業などで積極的に紹介され、竜巻など突風に対する防災教育、および防災・減災の啓発資料として広く用いられている。

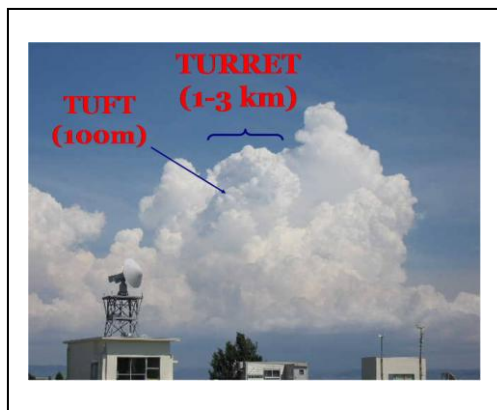


図3 積乱雲の微細構造

#### 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 Kobayashi, F., T. Takano and T. Takamura, Isolated cumulonimbus initiation observed by 95-GHz FM-CW radar, X-band radar, and photogrammetry in the Kanto region, Japan, SOLA, 査読有, 7, 2011, 125-128
- ② Kobayashi, F., A. Katsura, Y. Saito, T. Takamura, T. Takano and D. Abe, Growing Speed of Cumulonimbus Turrets, J. Atmos. Electr., 査読有, 32, 2012, 13-23
- ③ 小林文明, 野呂瀬敬子, 日本の竜巻に伴う人的被害の特徴, 第22回風工学シンポジウム論文集, 査読有, 2012, 79-84
- ④ 佐々浩司, 鈴木 修, 小林文明, 竜巻の発生環境と生成メカニズム, 日本風工学会誌, 37, 査読無, 37, 2012, 108-117
- ⑤ 小林文明, 2012年5月6日に北関東で発生した広域突風災害について—被害発生時の気象状況—, 日本風工学会誌, 査読無, 37, 2012, 211-212
- ⑥ 齊藤洋一, 小林文明, 桂啓仁, 高村民雄, 鷹野敏明, 操野年之, 衛星

- (MTSAT-1R) ラピッドスキャンデータでみた孤立積乱雲の一生, 天気, 査読有, 60, 2013, 247-260
- ⑦ Kobayashi, F., M. Yamaji, Cloud-to-Ground Lightning Features of Tornadic Storms Occurred in Kanto, Japan, on May 6, 2012, Journal of Disaster Research, 査読有, 8, 2013, 1071-1077
- ⑧ 小林文明, 2012年5月6日茨城・栃木の竜巻に関する調査研究報告会—上空から見た被害の特徴—, 天気, 査読無, 60, 2013, 51-52
- ⑨ 石原正仁, 小林文明, 佐々浩司, 清水慎吾, 新野 宏, 林 泰一, 山根悠介, 若月泰孝, 竜巻発生時の気象状況と竜巻及び竜巻を生み出したストームの特徴, 日本風工学会誌, 査読無, 38, 2013, 3-16
- ⑩ 小林文明, わが国における竜巻の発生実態と観測の現状, 大気電気学会誌, 査読無, 7, 2013, 19-28
- ⑪ 小林文明, 野呂瀬敬子, 木村孝承, 日本沿岸の海上で発生した竜巻の特徴とその評価, 第23回風工学シンポジウム論文集, 査読有, 2014, 169-174
- ⑫ 佐藤英一, 小林文明, 2013年9月に発生した一連の竜巻災害について—竜巻発生時の気象場—, 日本風工学会誌, 査読無, 39, 2014, 70-71
- ⑬ Norose, K., F. Kobayashi, H. Kure, T. Yada, and H. Iwasaki, Observation of downburst event in Gunma prefecture on August 11, 2013 using a surface dense observation network, J. Atmos. Electr., 査読有, 35, 2016, 31-41

[学会発表] (計 39 件)

- ① Kobayashi, F., Doppler radar observation of cumulonimbus initiation in the Kanto region, Japan, Proceeding of Research Seminar on Full-scale Monitoring for Wind Disaster Mitigation, Kyoto, 2011, 97-100
- ② 小林文明, 房総半島における積乱雲発生初期の観測, 日本気象学会春季大会 (東京), 2012
- ③ Kobayashi, F., Gust phenomena in urban area, Proceedings of International Symposium on Extreme Weather and Cities, Tokyo, 2012, 66-67
- ④ 小林文明, ガストフロントに伴うアーククラウドの観測, 日本気象学会秋季大会 (仙台), 2013
- ⑤ 小林文明, 竜巻・ダウンバーストの地上稠密観測—気圧分布で何がわかるか?—, 日本大気電気学会第90回大会

(東京), 2014  
(その他 34 件)

[図書] (計 6 件)

- ① 小林文明 (分担執筆), 日本風工学会, 強風災害の変遷と教訓第 2 版, 2011, 212
- ② F. Kobayashi (分担執筆), Emerald Books, Environment Disaster Linkages, Typhoon and tornado risk management, 2012, 354
- ③ 小林文明 (分担執筆), 朝倉書店, 地球環境の事典, 2013, 378
- ④ 小林文明, 成山堂, 竜巻 メカニズム・被害・身の守り方, 2014, 151
- ⑤ 小林文明 (分担執筆), 日本建築学会, 2012 年 5 月 6 日に北関東で発生した一連の竜巻による突風災害の記録, 2014, 101
- ⑥ 小林文明 (監訳), 国書刊行会, スーパーセル 恐ろしくも美しい竜巻の驚異, 2015, 192

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 文明 (KOBAYASHI, Fumiaki)  
防衛大学校・応用科学群地球海洋学科・教授

研究者番号: 80202068