

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02991

研究課題名(和文) 高時間空間分解能観測による局所的激変現象と積乱雲発生成長過程の解明

研究課題名(英文) Investigation of emerging and growing processes of cumulonimbus and sudden change phenomena with high-spatial and -temporal observations

研究代表者

鷹野 敏明 (TAKANO, Toshiaki)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40183058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：ゲリラ豪雨や竜巻などの局所的激変現象の発生メカニズム解明には、その母体である積雲・積乱雲の発生初期の内部微細構造を観測することが重要である。本研究で、高分解能のWバンド 95GHz ドップラーレーダ FALCON-I と広域観測が特徴の Xバンドレーダなどにより、積乱雲初期の高空間時間分解能観測を実施した。その結果、局所的降雨の際の積乱雲の発生と発達過程が捉えられ、200-300m の構造の雲塊が極めて大きな内部乱流運動を伴い、高い高度まで発達していくようすが明らかになった。このような雲塊の生成条件などをさらに解明することが、積乱雲生成発達のさらなる解明につながることを期待できる。

研究成果の概要(英文)： Observations of precise structures in cumulonimbus on their emerging stages are useful to understand how sudden heavy precipitations and tornados occur accompanying with them. We made high-spatial and -temporal resolution observations of cumulonimbus using W band 95 GHz high-resolution Doppler radar FALCON-I, X band wide area observation radar, and other facilities. We observed a case of emerging cumuli whose sizes in height are 200-300m and have very large inner motions. These cumuli grew upward in higher altitude and became a large cumulonimbus. Further investigations of such cumuli on these conditions of emerging and growing would be important for solving mechanisms of developing cumulonimbus and accompanying phenomena.

研究分野：電波科学

キーワード：気象災害 自然災害予測・分析・対策 大気現象 ゲリラ豪雨 水災害 リモートセンシング 雲レーダー ミリ波レーダー

1. 研究開始当初の背景

夏季の晴天静穏時に関東平野で発生・発達する積乱雲は、しばしば短時間豪雨を伴い、気象学的にも防災面からもその発生・発達過程の解明が重要視されている。

毎年首都圏で数件のゲリラ豪雨による被害が出て、都内をはじめ各地で時間雨量 100 mm を超える局所的豪雨、いわゆるゲリラ豪雨が発生している。また、積乱雲が原因であるもう一つの局所的激変現象に竜巻があるが、2012年5月につくばで発生した竜巻(フジタスケール F3) や 2013年9月に埼玉で発生した竜巻(F2)は、住宅密集地を走り甚大な被害をもたらした。このような背景から、これら局所的激変現象のメカニズムを解明し、予測精度を向上させることが、重要な社会的課題となっていた。

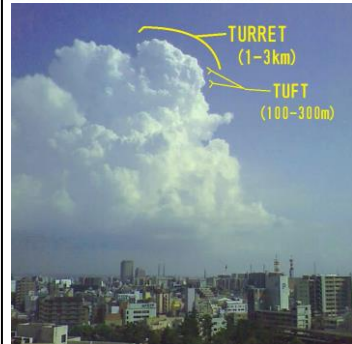
2. 研究の目的

このようないわゆるゲリラ豪雨や竜巻などの局所的激変現象を予測するためには、その原因母体である積乱雲をいかに早く初期段階から捉えて、その発達を追っていくかが喫緊の課題である。しかし、「短時間」「局所的」というその性質上、従来の気象観測網などでの観測では制約が多く、実現できていない。我々は 2010年~2014年に、空間分解能と時間分解能の高い高感度 95GHz ミリ波雲レーダ FALCON-I (①~⑤, 図 1) を用いて、Xバンドレーダ、可視写真観測、衛星ラピッドスキャンデータを用いた研究を行い、これまでほとんど議論できなかった積乱雲の発生・成長過程や積乱雲の turret や tuft (図 2) と呼ばれる 100 m スケールの雲の塊の微細構造と内部運動を把握することに成功した(⑥~⑧)。本研究ではその成果も踏まえて、積乱雲の走査観測と多点での可視カメラと気象観測、さらに衛星観測を加え、急激に発生・発達する積乱雲の積雲段階からの成長メカニズムを明らかにすることを目的とする。

図 1. Wバンドミリ波雲レーダ FALCON-I。



図 2. 積乱雲中の大きさ 1-3km の雲の塊を TURRET, これを構成する 100-300m の塊を TUFT と呼ぶ。2014年7月31日 14:48 千葉県市原市上空の積乱雲を千葉大学から撮影。



3. 研究の方法

局所的激変現象の発生・発達を解明するには、通常の気象観測で運用されている全国約 20 台のレーダで日本列島をカバーしている Cバンドレーダ(周波数 5.3GHz 波長 5cm) による観測網では、時間的空間的分解能が十分でない。そこで気象庁は、全国に設置された Xバンドレーダ(周波数 9.4 GHz、波長 3 cm) で積乱雲と降雨域を観測・解析し、その結果と数値計算による推移を加味することで、1km 四方の解像度で降雨予報を出すシステム「降水ナウキャスト」の運用を 2004 年より開始した。さらに、2014年夏からは 250 m 四方の空間解像度で情報を提供するようになった。しかし Xバンドではあくまでも降雨域が出現してから、その推移が予測できるのであり、積雲のどれがどのように積乱雲に発達し、どのように豪雨がもたらされるか、などのメカニズムは依然として解明されておらず、防災の観点からも気象学の観点からも、さらなる観測研究が必要であった。

そこで我々は本研究で、積雲・積乱雲の発生初期過程の内部の微細構造や詳細な運動状態を把握するために、より高い周波数の Wバンド 95GHz のミリ波雲レーダ FALCON-I を用いた観測を中心に据え、積乱雲の周囲の状態を把握するための Xバンドレーダおよび衛星ラピッドスキャン観測データ、周囲の風・温度湿度の状態を把握するために地上気象観測装置 POTEKA を配置して、地上での風の収束や気温湿度気圧の空間的・時間的変動など、総合的な観測を行った(図 3)。

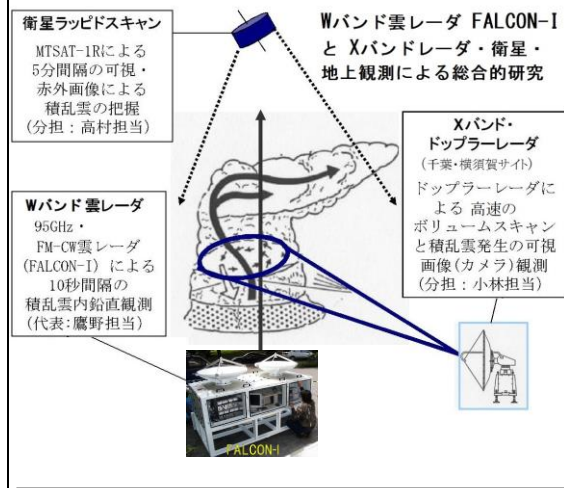


図 3. 発達する積乱雲の詳細な内部構造と全体像を把握するため、本研究では、Wバンド雲レーダ FALCON-I による直下からの観測と、Xバンドレーダによる広域観測および衛星観測を組み合わせる。さらに、地上での風の収束や気温などの急変を捉えるために、小型気象観測装置 POTEKA を複数点に配置し、総合的な観測を行った。

4. 研究成果

本研究においては、積雲・積乱雲の発生初期課程の内部の微細構造や詳細な運動状態を観測すること、またその外部周囲の風・温度勾配などの気象状態を総合的に把握することが、極めて重要である。しかし、積乱雲の発生場所は、必ずしも 1km 程度の精度で予測できるものでないため、長期にわたってよいデータを均一に取得し続け、なるべく多数の事例を観測・解析することが重要となる。

そこで研究期間 3 年間の各年度について、梅雨明けの 7 月初旬から夏の積乱雲が発生する可能性のある 9 月中旬まで、積雲・積乱雲をターゲットとした集中観測を実施した。この集中観測では、千葉大構内に設置したミリ波レーダ FALCON-I および、マイクロ波放射計、日射系、全天カメラ、スカイラジオメータなどの、SKYNET 千葉ステーションの機器に加えて、小型気象測定装置 POTEKA を千葉大内外に 5 か所設置して観測した。図 4 に POTEKA の配置図を示す。また、横須賀市の防衛大学校からは X バンドの広域観測レーダでの定常観測と光学カメラ・ビデオでの積雲・積乱雲観測を、千葉大の南西の千葉市郊外からは日本無線(株)の X バンドフェーズドアレイレーダでの観測を行った(図 5)。



図 4. 積乱雲集中観測で、千葉大の周囲 1km 以内に、自動気象観測装置 POTEKA を配置し、雨量・風速風向などの局所的变化を観測した。



図 5. 千葉大サイトでの FALCON-I による観測とともに、横須賀市の防衛大および千葉市郊外からの X バンドレーダ観測を実施した。

期間中の 2016 年 8 月 2 日には、千葉市および周辺で局所的豪雨が観測された。この日は、千葉大サイトでも短時間であるが局所的豪雨が観測され、その 11:15 -11:20 JST の前後約 30 分の時間帯に、稲毛区役所など千葉大周辺での風向が、北方向から南東方向に大きく変化している様子が捉えられた(図 6)。

地上での風向

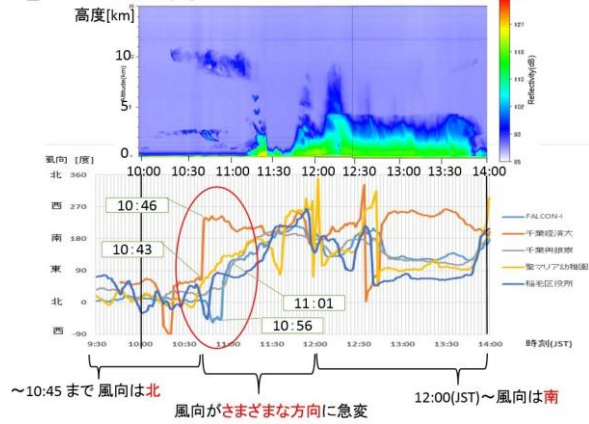


図 6. 2016 年 8 月 2 日に千葉市で発生した局所的豪雨で、千葉大サイトでは 11:15-13:50 に強い雨が観測された(上側の図)。また、その前約 30 分の間に、周辺 5 地点での風向が、北方向から南東方向に大きく変化した(下側の図の楕円)。

さらに、豪雨直前の 11:14 JST 頃に現れたコンパクトな雲塊は、高度方向の大きさは 200-300m 程度と小さいが、その速度幅は 5m/s を越える激しい内部運動をもっていることが FALCON-I の観測で分かった(図 7)。この雲塊の成因などを解明するために、X バンドフェーズドアレイレーダの画像を解析したところ、高度 4km 付近で 11:16 JST 頃に雲が見え始め、上方向に発達し、11:24 には高度 8km に達する発達した積乱雲となり、その内部運動も 6km/s と激しいことがわかった(図 8)。これらの結果を総合すると、このイベントでは、集中豪雨をもたらした積乱雲をその出現段階から捉え、発達の過程まで観測できたことがわかった。このことにより、高分解能を持つ W バンドレーダ FALCON-I と、広域観測が特徴である X バンドレーダの観測、および地上での多点気象観測などが、積乱雲の発生初期メカニズムと発達過程を捉えるために非常に有用であることが示された。

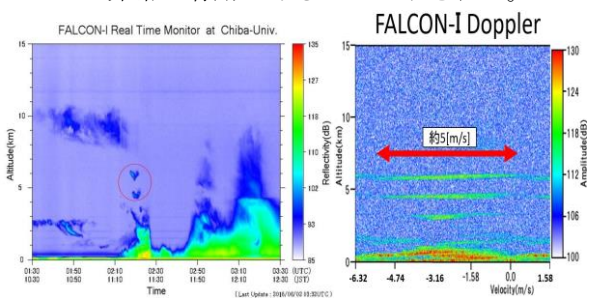


図 7. 豪雨直前に出現したコンパクトな雲塊(左図赤丸)は、ドップラースペクトル(右図)の速度幅が 5 m/s で、激しい内部運動を示している。

Xバンドレーダ Doppler

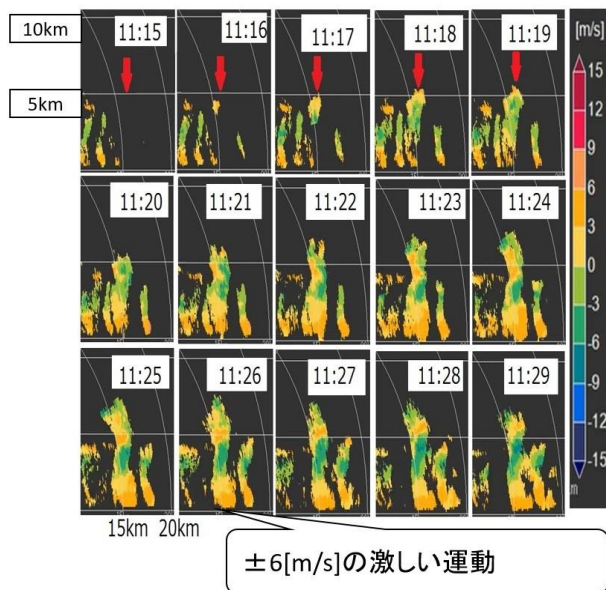


図 8. 2016 年 8 月 2 日 に千葉市で発生した積乱雲の発生・発達の時変化。X バンドレーダのドップラー速度幅の図で、赤矢印の位置が千葉大学で観測している FALCON-I の上空に当たる。11:16 JST に高度 4km 付近に発生した雲が、上方向に発達していき、11:24 には高度 8km に達して降雨をもたらしている様子が見える。この積乱雲は速度幅 6 m/s に及ぶ激しい内部運動を示している。

<引用文献>

- ①高感度 95GHz ミリ波雲レーダの開発とその性質- 感度と空間分解能: 鷹野敏明, 山口潤, 阿部英二, 二葉健一, 横手慎一, 河村洋平, 高村民雄, 他 4 名, 電気学会論文誌 A, Vol.128, No.4, pp.257-262 (2008).
- ②FMCW ミリ波雲レーダ FALCON-I のレーダ反射因子の評価: 山口潤, 鷹野敏明, 他 7 名, 電気学会論文誌 A, Vol.129, No.4, pp.183-189 (2009).
- ③ミリ波雲レーダ FALCON-I でのドップラ観測: 阿部英二, 山崎文寛, 山口潤, 河村洋平, 中西裕治, 鷹野敏明, 高村民雄, 大野裕一, 電気学会論文誌 A, Vol.129, No.4, pp.177-182 (2009).
- ④ 2 アンテナ方式 95 GHz ミリ波雲レーダ FALCON-I における視差測定: 山口潤, 鷹野敏明, 高村民雄, 他 5 名, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-C, No.12, pp.806-812 (2009).
- ⑤ High resolution FMCW Doppler Radar FALCON-I for W-band Meteorological Observations: TAKANO Toshiaki, NAKANISHI Yuji, and TAKAMURA Tamio,

International Symposium of ANtenna Technology and applied Electro Magnetics (ANTEM), Jun.28th, 2012, Toulouse (France).

- ⑥ミリ波雲レーダ FALCON-I による積乱雲発達時の内部運動観測: 鷹野敏明, 永瀬雄斗, 米元亮馬, 柏柳太郎, 小林文明, 高村民雄, 第15回環境リモートセンシングシンポジウム, 2013年 2月 22日, 千葉市.
- ⑦ Growing Speed of Cumulonimbus Turrets: F.Kobayashi, A.Katsura, Y.Saito, T.Takamura, T.Takano, D. Abe, J. Atmospheric Electricity, Vol.32, pp.13-23, 2012.
- ⑧雲レーダー・X バンドレーダー・衛星ラピッドスキャン・可視画像による孤立積乱雲発生初期の観測 - ナウキャストの可能性: 小林文明, 桂啓仁, 高村民雄, 齊藤洋一, 鷹野敏明, 日本気象学会 2012 年度春季大会, 2012 年 5 月 26 日, 茨城県.

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 42 件)

- ①Downburst observations by a high dense ground surface observation network (POTEKA), H. Iwashita, and F. Kobayashi, Papers of International Workshop on Wind-Related Disasters and Mitigation, pp.48-1-10 (2018). 査読あり。
- ②台風 1718 号 (TALIM) がもたらした一連の強風災害について, 小林文明, 佐藤英一, 西嶋一欽, 野田稔, 日本風工学会誌, 43, pp.63-69(2018). 査読なし。
- ③高分解能 Wバンドレーダ FALCON-A による北極域雲観測、鷹野敏明、矢永賢洋、河村洋平、井浦太一、森大知、森谷哲平、電子情報通信学会技術報告 IEICE Technical Report A・P 2016-87, 2016-09, pp.1-4, 2016. 査読なし。
- ④Indra Chandra, Seyoung Kim, Takafumi Seto, Yoshio Otani, Akinori Takami, Ayako Yoshino, Satoshi Irei, Kihong Park, Tamio Takamura, Naoki Kaneyasu, Shiro Hatakeyama, 2016: New particle formation under the influence of the long-range transport of air pollutants in East Asia, Atmospheric Environment, Vol.141, 30-40, 2016. 査読あり。

[学会発表] (計 43 件)

- ①森田日向、鈴木康樹、小池康太、中森広太、鷹野敏明、河村洋平、中田裕之、大矢浩代、高村民雄、樋口篤志、小林文明、柏柳太郎、

- 諸富和臣、岩下久人，ミリ波レーダ FALCON-I と Xバンドフェーズドアレイレーダによる 2016/08/02 に千葉市で発生した積乱雲の観測，日本大気電気学会第96回研究会, No.62, 2018年1月7日，東京理科大(東京都新宿区).
- ②小池康太、水田篤秀、今間陽介、森大知、鷹野敏明、中田裕之、河村洋平、高村民雄、小林文明、柏柳太郎、諸富和臣，ミリ波雲レーダ FALCON-I とフェイズドアレイレーダを用いた広域観測による降雨を伴う気象現象のドップラー解析，日本大気電気学会 第96回研究会, No.36, 2018年1月6日，東京理科大(東京都新宿区).
- ③ガストフロントの微細構造：アークの形態，小林文明，日本気象学会秋季大会（2017年10月）.
- ④ TAKANO Toshiaki, KAWAMURA Yohei, MORIKAWA Kohei, SUZUKI Yasuki, MIZUTA Atsuhide, KOIKE Kouta, and NAKATA Hiroyuki; Fine structures of clouds and precipitations observed with W-band Radars FALCON-I and FALCON-A, 38th International Conference on Radar Meteorology, No.1, Chicago (USA) 2017 Aug 28-31.
- ⑤ T. Kashiwayanagi, K. Morotomi, F. Kobayashi, T. Takano, T. Takamura, and A. Higuchi, Observation of Tornadic Storms in Tokyo Urban Area by X-band phased array weather radar, 38th International Conference on Radar Meteorology, No.129, Chicago (USA) 2017 Aug 28-31.
- ⑥ TAKANO Toshiaki, KAWAMURA Yohei, NAKATA Hiroyuki, NAKANISHI Yuji, TAKAMURA Tamio, and SHIOBARA Masataka, Performance of W-band FMCW Doppler Radar FALCON-A for Arctic Cloud Observations, European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Pos-02, No.34, March 21. 2017, Paris, France.
- ⑦2015年9月4日に関東で発生した積乱雲のフェーズドアレイ気象レーダーによる観測—東京23区に局地豪雨と竜巻をもたらした事例—，柏柳太郎，諸富和臣，小林文明，鷹野敏明，高村民雄，樋口篤志，日本気象学会秋季大会（2016年10月）
- ⑧ TAKANO Toshiaki, KAWAMURA Yohei, NAKATA Hiroyuki, TAKAMURA Tamio, and SHIOBARA Masataka, Clouds observations with high resolution FMCW cloud profiling radar FALCON-A at the arctic station in Ny-Alesund, 2015 SPIE Remote Sensing, 9640-15, Sept. 23. 2015, Toulouse, France.
- ⑨ TAKANO Toshiaki, NAKATA Hiroyuki, NAKANISHI Yuji, YAMAGUCHI Jun, and TAKAMURA Tamio, High resolution FMCW Cloud Profiling Doppler Radar FALCON-I for Comparison with Satellite W-band CPR's, 6th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (eucass 2015), No.599, July 1. 2015, Krakow, Poland.
- ⑩ 柏柳太郎，小林文明，大窪拓未，鷹野敏明，高村民雄，樋口篤志，雲レーダーで捉えた2012年9月3日に房総半島で発生した積乱雲の解析，日本気象学会 2015年度春季大会, P416, 2015年5月24日，つくば国際会議場，つくば市（茨城県）.
- [図書] (計3件)
- ①レーダの基礎—探査レーダから合成開口レーダまで—，小林文明（分担執筆），コロナ社，273pp (2017).
- [その他] (計7件)
(解説・総説)
- ①竜巻とダウンバースト，小林文明，科学EYES, 58, pp.9-15(2017)
- ②竜巻観測の現状と課題，小林文明，天気, 63, pp.966-969 (2016)
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
鷹野 敏明 (TAKANO Toshiaki)
千葉大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：40183058
- (2) 研究分担者
小林 文明 (KOBAYASHI Fumiaki)
防衛大学校・応用科学群・教授
研究者番号：80202068
- (3) 連携研究者
高村 民雄 (TAKAMURA Tamio)
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・名誉教授
研究者番号：40272356
- (4) 研究協力者
なし