

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24310135

研究課題名(和文) 局所豪雨をもたらす積乱雲発生機構の高解像度移動レーダによる解明

研究課題名(英文) Study of initiation and growing of cumulonimbi which cause local heavy precipitations using a high special resolution mobile radar

研究代表者

鷹野 敏明 (TAKANO, Toshiaki)

千葉大学・工学(系)研究科(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) 14,700,000円

研究成果の概要(和文)：房総半島山間部で積乱雲の集中観測を実施した。雲レーダ FALCON-I を君津市の山間部に設置し、横須賀の防衛大からの光学観測および Xバンドレーダの観測を行った。観測期間中に、積乱雲が発生・発達する様子を捉えることに成功した。積乱雲の雲頂の上昇と、高度 4km 程度の雲頂部からの降雨を高い空間分解能で捉えることができた。

研究成果の概要(英文)：Observations have been done in Boso peninsula, Chiba for investigation of cumulonimbi. FALCON-I was settled in Kimitsu mountain area, and visible observations and X-Band radar observations were done from Yokosuka site. During the Campaign period, a cumulonimbus was observed and up going of cloud top of cumulonimbus was obtained and beginning of precipitation was observed in the cloud top of cumulonimbus at 4 km height with high spatial resolution of FALCON-I.

研究分野：電波理工学

キーワード：雲レーダ ゲリラ豪雨 気象災害 ミリ波レーダ

1. 研究開始当初の背景

夏季の晴天静穏時に、関東平野の東京都心周辺で発生・発達する積乱雲はしばしば短時間強雨を伴い、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。また気候学的にも、世界的な降水量の変動と大都市における強雨の増加も議論されており、東京周辺における降水の増加も指摘されている。世界の大都市の中でも東京は低緯度で多湿な環境に位置しており、実際に1999年7月21日の「練馬豪雨」では時間雨量131mmの豪雨が観測され、床上浸水が200戸を超えて都市生活に甚大な被害が生じた。それ以来都市部でのゲリラ豪雨が注目を集めるとともに、毎年のように首都圏で数件のゲリラ豪雨による被害が出て、本年(2011年)8月26日にも都内各地で時間雨量90mmを超える局地的豪雨が発生しており、行政の都市計画の想定雨量である60mm/hを超える豪雨が頻発している。

このような状況下で気象庁は、全国に20台設置し日本列島をカバーしているCバンド(周波数5.3GHz、波長5.6cm)レーダで雨雲と降雨域を観測し、その移動の様子に加えて数値計算による推移を考慮して、1km四方の解像度で1時間先までの強雨域短期予報を出すシステム「降水ナウキャスト」の運用を2004年に開始した。さらに、(独)防災科学研究所は、Cバンドよりさらに波長の短いXバンド(周波数9.4GHz、波長3.2cm)で、気象庁、防衛大学校などと協力して観測ネットワークX-NETを構成し、250m四方の解像度で雨雲域と降雨域の観測とその結果の準リアルタイムでの公開を試験的に開始した。

これらにより、空間解像度の高い雨雲域と降雨域の把握と予報は格段に進歩した。しかしあくまでも濃い雨雲と降雨域が出現してから、それを把握して推移を予測することのできるものであり、濃い雨雲が出現するプロセス、すなわち小さい積乱雲がどのように発達し、どんな条件で積乱雲から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な課題となっていた。

2. 研究の目的

前項の課題を解決するためには、Xバンドレーダよりさらに波長の短い、ミリ波のWバンド95GHz(波長3.2mm)の雲レーダを用いて、高解像度の積乱雲発達初期を含む詳細観測を行うことが不可欠である。一般に、レーダは使用周波数が高くなると、それに比例して解像度が高くなる。また、感度は周波数の4乗に比例して高くなる。研究代表者鷹野は、95GHzの雲レーダFALCON-Iを独自に開発し(図1)、薄い雲が観測できる高い感度と、分解角度 0.2° の高い解像度を有する装置であることを示してきた。また、これを

用いて、Xバンドレーダなどでは観測できなかった、高層の淡い雲の雲頂高度の変動などを高い解像度で観測してきた。研究分担者小林は、防衛大からのXバンドレーダと光学ビデオ観測などにより、首都圏での夏季の積乱雲発生や竜巻などの突発的気象現象を数多く捉えてきており、研究分担者高村は、マイクロ波放射計や全天カメラなどの地上観測機器と衛星による雲観測データなどを用いて、エアロゾルと雲の相互作用などの研究を行ってきた。このような背景から、申請者らは2010年から千葉大・雲レーダと防衛大・Xバンドレーダを用いた同時観測を試験的に行い、積乱雲の発生を捉えることに成功した。

この成果を踏まえて、本研究では、さらに雲レーダを移動させ、積乱雲発生初期の詳細観測を行い、Xバンドレーダ、衛星観測データと合わせることで、発生・成長のメカニズムに迫ることを目的とした。



図1. トラックに搭載された千葉大ミリ波雲レーダFALCON-I。周波数95GHzで、淡い雲も観測できる高感度と、角度分解能 0.2° の高解像度を有している。直径1mのアンテナ2台の左で電波を真上に送信し、雲で散乱して戻ってきた電波を右のアンテナで受信して鉛直プロファイルを得る。

3. 研究の方法

積(乱)雲発生初期過程や積乱雲発達から、減衰に至るまでの微細構造を把握するために、2012年は房総半島山間部の君津市ロマンの森での長期間の定点観測を実施した。ここでは、雲レーダFALCON-Iと防衛大(横須賀)から観測したXバンドドップラーレーダを用いて、ロマンの森の上空に発生する積乱雲の高解像度詳細観測を実施した。

2013年は、FALCON-Iを千葉大に設置したまま、長期間にわたって集中観測を行った。この時、千葉大のマイクロ波放射計、全天カメラ、日射系、気象装置などのデータも総合的に用いた。

2014年は、夏の終わりの2週間、雲レーダを房総半島の積乱雲発生頻度の高い地域である、千葉市南部のちはら台に設置し、さらに気象データ取得装置であるPOTEKAをその周囲3地点に設置することで、ちはら台周辺の温度や気圧の急変を捉えることを行った。

解析は、気象衛星「ひまわり」のラピッド

スキャンデータ、千葉大設置のマイクロ波放射計による鉛直雲水総量 (LWP)、雲カメラ情報を加えて総合的にを行い、積乱雲の全体像を把握することを行った。

4. 研究成果

(1) 積乱雲発達と降雨開始

2012年8月に房総半島君津市の山間部(図2の矢印↓房総サイト「ロマンの森」)にWバンド雲レーダを設置し鉛直上向きの雲を観測すると同時に、三浦半島の防衛大(図2の→横須賀サイト)から可視カメラでの積乱雲発達観測(図3)およびXバンドレーダの広域観測を実施し、可視写真観測、衛星観測データと合わせることで、積雲段階からの発生・成長過程を捉えることに成功した。図4はその結果で、雲頂高度が2kmを超えて発達していく積雲の12:10の段階で(12:40に始まる降雨より30分も前から)雲レーダでエコーが見え、その積雲がドップラ上向き速度を持っている様子を捉えたこと、降雨が12:40に高度4km付近の積乱雲頂部分から始まっていること、などが明らかになった(学会発表④⑤⑧⑨、論文投稿中)。

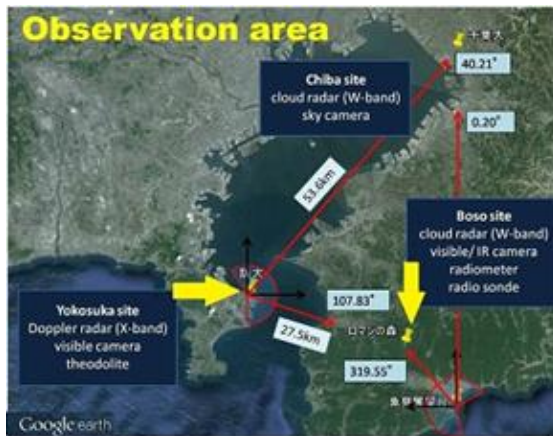


図2 2012年8月の房総半島での観測体制。房総半島君津市の山間部の房総サイト(ロマンの森)にFALCON-Iを設置し、三浦半島の横須賀サイト(防衛大)からその上空を含む房総半島全体の積乱雲発生・発達の様子をビデオカメラなどで捉えた。

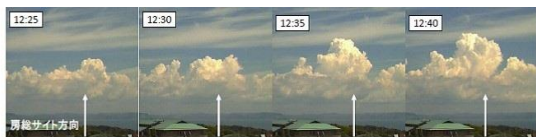


図3 横須賀サイトのカメラで捉えた、最初の積乱雲タレットの発達

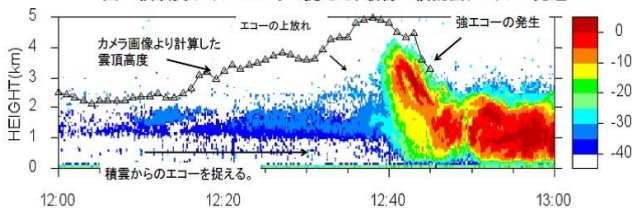


図4 房総半島で発生した積乱雲を、房総サイトでWバンド雲レーダで捉えた例(2012/8/30)。図3の横須賀サイトからの雲画像から得た雲頂高度が最高点5kmに達した直後の12:40に、降雨を示す強エコーが雲頂付近から発生して落ちてくるのがわかる。

このように、高い空間分解能で積乱雲の発達過程を捉えた研究例は、過去にほとんどないため、国内学会発表のみならず、海外での学会発表でもインパクトを与えた。

今回のこの研究成果は、夏の日に発生する数多くの積雲のうち、どの積雲が巨大な積乱雲に発達して局所豪雨をもたらすに至るのかを解明する、大きな手がかりとなる。

(2) 2014年8月~9月に、千葉市南部のちはら台に雲レーダFALCON-Iを設置して、積乱雲の集中観測を行った。ちはら台のFALCON-Iのサイト(図5)とその周辺の3か所に、明星電気(株)の気象観測装置POTEKAを設置し、周囲の気象状態の変化も観測した(図6)。また、千葉大のサイトからちはら台に向けて、光学カメラを設置し、毎日の雲の様子を観測した。

この観測の結果、濃い雨雲がちはら台を東から西に通過した現象を詳細に捉えることができ、気温と気圧の急激な変化と降雨開始や上空の雲の鉛直プロファイルなどがえられ、局所的な激変現象に関するデータを得ることができた。

これらの成果は、今後の積乱雲発生発達のさらなる研究にとって、極めて重要な情報をもたらしており、今後の研究の進展が期待できる。



図5 2014年8~9月の千葉市南部(ちはら台)に、FALCON-Iほかマイクロ波放射計、気象観測装置POTEKAを設置して観測した。



図6 ちはら台サイト(中央のCH)の周囲の500~800m離れた3地点に、気象観測装置POTEKAを設置し、気温・気圧・風速などの急変を観測した。

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 34 件)

- ① 鷹野敏明, 高村民雄, ミリ波雲レーダ FALCON-I の開発 - 現状と展望 -, 低温科学, 査読有, Vol.72, 2014, pp.219-224.
- ② 永瀬雄斗, 渡邊哲郎, 松本雄太, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明; 北極気候変動観測プロジェクト用ミリ波雲レーダ FALCON-A によるレーダ反射因子の測定, 日本大気電気学会誌, 査読無, Vol.8, No.2, 2014, pp.44-45.
- ③ F.Kobayashi, M.Yamagi, Cloud-to-Ground Lightning Features of Tornadoic Storms Occurred in Kanto, Japan, on May 6, 2012, Journal of Disaster Research, 査読有, Vol.8, 2013, pp.1071-1077.
- ④ 齋藤洋一, 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, Vol.60, 2013, pp.247-260.
- ⑤ F.Kobayashi, A.Katsura, Y.Saito, T.Takamura, T.Takano, D.Abe, Growing Speed of Cumulonimbus Turrets, J. Atmospheric Electricity, 査読有, Vol.32, 2012, pp.13-23.

[学会発表] (計 63 件)

- ① 今間陽介, 関谷和樹, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 高村民雄; FALCON-I を用いた雲の走査観測, 日本大気電気学会 第 92 回研究会, No.34, 2015 年 1 月 10 日, 千葉大学(千葉市).
- ② 鹿野隼人, 井浦太一, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 高村民雄; FALCON-I と CloudSAT の千葉県内同時観測, 日本大気電気学会 第 92 回研究会, No.33, 2015 年 1 月 10 日, 千葉大学(千葉市).
- ③ 宇野賢吾, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 高村民雄; ミリ波雲レーダ FALCON-I による大気輝度温度の観測と検証, 日本大気電気学会 第 92 回研究会, No.32, 2015 年 1 月 10 日, 千葉大学(千葉市).
- ④ T. Kashiwayanagi, F. Kobayashi, T. Ookubo, M. Yamaji, A. Katsura, T. Takamura, T. Takano, Cumulonimbus Turret Generation Observed by 95GHz W-band Cloud Radar, AOGS2014, 11th Annual Meeting, Sapporo, 7.31 (2014), ロイトン札幌(札幌市).
- ⑤ 柏柳太郎, 小林文明, 大窪拓未, 山路実加, 桂啓仁, 鷹野敏明, 高村民雄, 雲レーダによる積乱雲発生初期のドップラ観測, 日本気象学会春季大会, 横浜市開港記念会館(横浜市), 2014 年 5 月 23 日.

- ⑥ 小林文明, 地上稠密観測 POTEKA による竜巻・ダウンバーストの観測, 日本気象学会春季大会(2014 年 5 月 21 日), 横浜市開港記念会館(横浜市).
- ⑦ 鷹野敏明, 矢永賢洋, 河村洋平, 塩原匡貴, 北極ニーオルスン基地での雲レーダ初期観測結果, 日本気象学会 2014 年春季大会, 2014.5.21. 横浜市開港記念会館(横浜市).
- ⑧ 柏柳太郎, 小林文明, 大窪拓未, 山路実加, 桂啓仁, 鷹野敏明, 高村民雄, 2012 年 8 月 30 日に房総半島で発生した積乱雲タレットの雲レーダードップラ観測, 日本地球惑星科学連合(2014 年 4 月 29 日), パシフィコ横浜(横浜市).
- ⑨ 鷹野敏明, 小林文明, 柏柳太郎, 高村民雄, 積乱雲発生初期の内部運動ドップラ観測, 日本気象学会 2013 年春季大会, 2013 年 5 月 16 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都).
- ⑩ TAKANO Toshiaki, NAKANISHI Yuji, and TAKAMURA Tamio, High resolution FMCW Doppler Radar FALCON-I for W-band Meteorological Observations, International Symposium of ANtenna Technology and applied Electro Magnetics (ANTEM), 2012 June 28, Toulouse (France).

[図書] (計 2 件)

小林文明, 竜巻 メカニズム・被害・身の守り方, 成山堂, 151pp (2014).

[その他]

ホームページ等

<http://www.te.chiba-u.jp/ACT.html#L1>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鷹野 敏明 (TAKANO, Toshiaki)
千葉大学・大学院工学研究科・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) 研究分担者

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