

## 積乱雲の生成・発達を捉えるための マルチセンサーによるRHI同期観測実験

### Detection of the Storm-Genesis by RHI-scanning of Multi-Sensors

中北英一・山口弘誠・大石哲<sup>(1)</sup>・大東忠保<sup>(2)</sup>・橋口浩之<sup>(3)</sup>・岩井宏徳<sup>(4)</sup>・  
中川勝広<sup>(4)</sup>・相馬一義<sup>(5)</sup>・増田有俊<sup>(6)</sup>・小川まり子<sup>(7)</sup>・坪木和久<sup>(2)</sup>・  
鈴木賢士<sup>(8)</sup>・川村誠治<sup>(4)</sup>・鈴木善晴<sup>(9)</sup>

Eiichi NAKAKITA, Kosei YAMAGUCHI, Satoru OISHI<sup>(1)</sup>, Tadayasu OHIGASHI<sup>(2)</sup>,  
Hiroyuki HASHIGUCHI<sup>(3)</sup>, Hironori IWAI<sup>(4)</sup>, Katsuhiko NAKAGAWA<sup>(4)</sup>, Kazuyoshi SOUMA<sup>(5)</sup>,  
Aritoshi MASUDA<sup>(6)</sup>, Mariko OGAWA<sup>(7)</sup>, Kazuhisa TSUBOKI<sup>(2)</sup>, Kenji SUZUKI<sup>(8)</sup>,  
Seiji KAWAMURA<sup>(4)</sup> and Yoshiharu SUZUKI<sup>(9)</sup>

- (1) 神戸大学都市安全研究センター
- (2) 名古屋大学地球水循環研究センター
- (3) 京都大学生存圏研究所
- (4) 情報通信研究機構電磁波計測研究所
- (5) 山梨大学大学院総合研究部
- (6) 京都大学大学院工学研究科
- (7) 神戸大学大学院工学研究科
- (8) 山口大学農学部
- (9) 法政大学デザイン工学部

- (1) Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University
- (2) Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University
- (3) Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University
- (4) Applied Electromagnetic Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology
- (5) Graduate Faculty of Interdisciplinary Research, University of Yamanashi
- (6) Graduate School of Engineering, Kyoto University
- (7) Graduate School of Engineering, Kobe University
- (8) Faculty of Agriculture, Yamaguchi University
- (9) Faculty of Engineering and Design, Hosei University

### Synopsis

A campaign observation using the multi-sensors that involve X-band Polarimetric radar, Ka-band radar, Doppler lidar, GPS precipitable vapor, with video-sonde observation at Keihanshin urban area has been carried out since 2011 in order to understand the genesis mechanism of cumulonimbus cloud, we call it “storm genesis”. In 2013 observation, the RHI-scanning of the multi-sensors with every 2 minutes was conducted. As the results, the convective cell was generated where the cold outflow from the other cumulonimbus cloud went into the warm air mass from the sea side.

キーワード: 積乱雲, ゲリラ豪雨, マルチセンサー

Keywords: Cumulonimbus cloud, Guerrilla-heavy-rainfall, Multi-sensors

## 1. 研究の背景と目的

豪雨災害が頻発しており, 温暖化・都市化の影響との関係も議論されている. 比較的規模の大きな豪雨はメソ数値気象モデルでおおよその予測が可能となってきたが, それより規模の小さな集中豪雨は未だ再現すら難しい. 加えて, ゲリラ豪雨災害においては, ほんの5分, 10分でも早い避難情報が極めて重要である. このような状況下, 雲物理過程のさらなる解明, 降雨予測精度・降雨量推定精度の向上, ゲリラ豪雨等の早期探知・予知, 急激な出水・浸水の予測, ならびに新たな避難情報発信手法の確立が古くて新しい課題となっている. 著者らは, 2007年から偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測によって, 特に雲微物理過程に着目して積乱雲の発達機構に関する研究を進めてきた.

その中, 積乱雲の生成過程におけるメカニズムの解明とモデル化を実現することで, より早期の予測や情報提供が可能となるものと考えた. そこで, 気象に関する様々な先端測器群, すなわちマルチセンサーを用いて, 積乱雲の生成過程と発達過程の両者を解明するための観測を2011年から神戸を中心とする京阪神都市域で開始し, 現在も夏季の観測を継続している. 本論文では, 2013年と2014年の観測結果の速報結果という形で, それぞれのセンサーがどのように積乱雲を捉えられるのかについて報告する.

## 2. 積乱雲の発生・発達を捉えるための京阪神観測

都市域での降水メカニズムはまだ未解明であり, 京阪神を例にとると, 2012年7月京都・亀岡豪雨, 2012年8月宇治豪雨などのように, 大阪湾から暖かく湿った空気が流入し, 六甲山による強制上昇やヒートアイランドなど地表面の熱環境がきっかけとなって積乱雲が発生し, さらに発達しながら大阪, 京都と順番に移動しながら豪雨をもたらすことが多く, 淀川ライン型と呼ばればしばしば豪雨災害をもたらしてきた(後述する Figure 1に, 積乱雲が連なっている様子をレーダーで捉えたものを3次元的に捉えられている様子を示している.). そのため, 成熟した積乱雲を対象とするだけでは本当の意味で原因解明・予測にはつながらないため, 大阪湾周辺にお

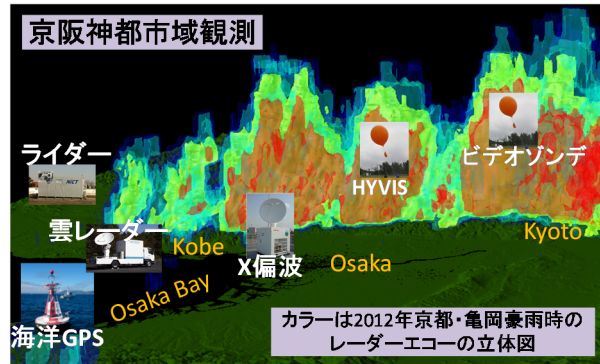


Figure 1 The campaign observations using multi-sensors that detect genesis of cumulonimbus clouds



Figure 2 RHI scanning with every 2 minutes using multi-sensors

いて積乱雲の生成・発達をターゲットとした稠密なマルチセンサー観測網を設置した. GPS受信機をブイや船舶など洋上に設置することは極めて困難であったが十分な下準備をして, 神戸大が平成23年度から観測を実現してきた. 加えて, ゾンデが交通路線等の危険な場所に落下しないようコントロールするためのシステムを新たに考える必要性があったため, ビデオゾンデ観測が非常にチャレンジングなものとなったが, 山口大と京都大が主導でビデオゾンデの小型化, 上空任意地点におけるゾンデの切り離し落下, ゾンデ落下位置の予測手法の開発によって困難を乗り越え, 高い精度で落下位置をコントロールできるようになり, 2012年7月に初の都市域でのビデオゾンデ観測に成功した. また, 名古屋大が降水粒子を捉えるためのXバンド偏波レーダーを設置し, 情報通信研究機構がドップラーライダーをそれぞれ

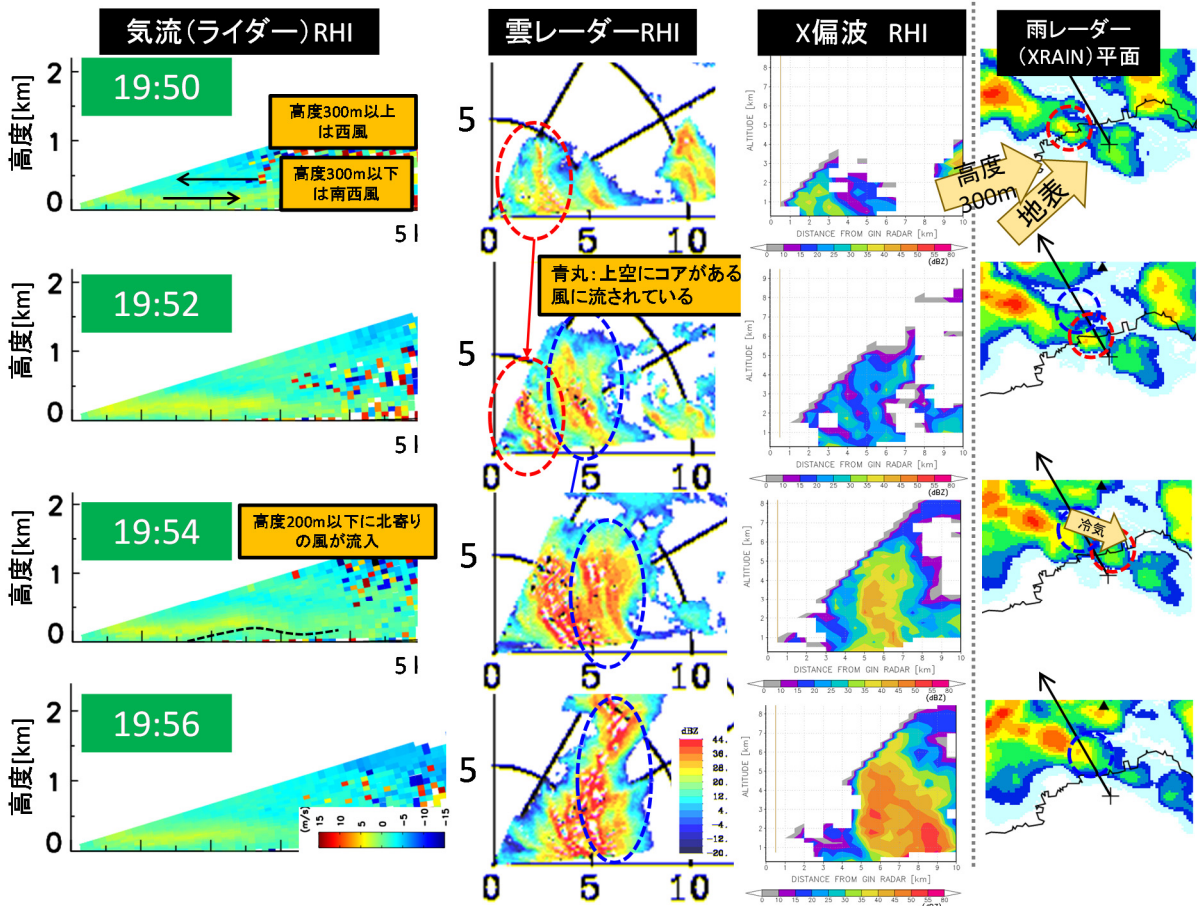


Figure 3 RHI scanning using multi-sensors. From left hand side, Doppler velocity from lidar, radar echo from Ka-band radar, radar echo from X-MP radar, in vertical section. The right is horizontal distribution of rainfall from XRAIN.

設置した。こうすることで、GPS・ドップラーライダー・雲レーダー・Xバンド偏波レーダーによって、水蒸気→雲→降水といった水物質の一連の流れを捉えるこの上ないマルチセンサー観測網となっている。Figure 1には豪雨の3次元レーダーエコー分布に、豪雨の発生・発達を捉える観測網を重ねた観測のイメージ図を示す。2013年度には、別途観測プロジェクトとも連携して、ドップラーライダー、ミリ波レーダー、Xバンド偏波レーダーを毎2分ごとに4方位角をRHI同期観測するという実験を行った (Figure 2)。

### 3. 気流変動と雲の発達に関する鉛直断面解析

2013年8月23日の降雨イベントに対して、ドップラーライダーのRHI観測による気流変動と雲レーダーのRHI観測による雲粒子の発達に関して2分ご

との鉛直断面の比較を行ったものを Figure 3 に示す。まず、ミリ波レーダー画像を見ると、レーダーからの水平距離約 2-3km の位置に置いて、19:50 から対流雲が発達し、エコー強度 40dBZ 以上の領域が高度 5km まで発達している様子がわかる。また、19:50 のドップラー風速画像を見ると、レーダーからの距離が 300m 以下の地表面付近において、図面の左から右への風、すなわち海上から神戸市への進入が確認でき、また高度 300m 以上では逆方向となっている。また、19:52 から 19:54 にかけて、高度 300 m 付近で正負の境界が波打っているように見てとれ、これは周囲の発達した積乱雲からの冷氣外出流が高度 300m 以下に侵入して、海洋からの空気塊を押し上げていると考えられる。特に、レーダーからの水平距離 2.5km 付近において、正值の値が大きくなっており上昇流を示唆するものと考えられる。それと同時に、正值の高度も上昇していて、ミリ波レーダーによる積乱雲の発達とよく対応していることが示され



た。

2014年観測でも2013年と同様にマルチセンサーRHI同期観測を実施した。ただし、ドップラーライダーは機器の故障で観測していない。さて、2014年観測では、六甲山で次々と発生する積雲から積乱雲へと発達する様子を、雲レーダーとXバンド偏波レーダーで捉えることができた。Figure 4に一例を示す。Xバンド偏波レーダーから高度2km付近でタマゴが発生している様子が確認でき、雲レーダーから高度3km付近でタマゴが複数あることが確認できた。

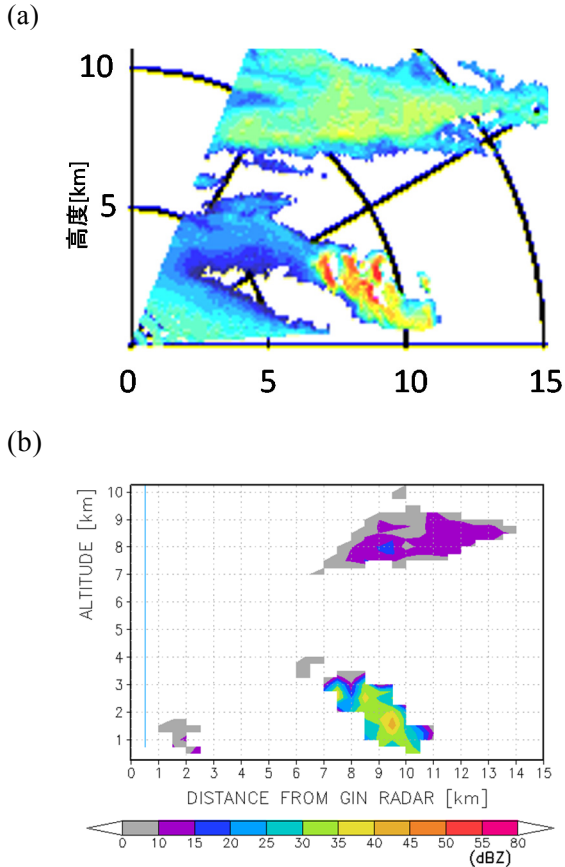


Figure 4 (a) RHI of radar echo from Ka-band radar, (b) RHI of radar echo from X-band MP radar

#### 4. Xバンド偏波レーダーの秒速RHI観測

2014年観測では、超小型Xバンド偏波レーダーを用いて、数秒単位でのRHI観測を実施した。結果の一例をFigure 5に示す。高度3km付近と高度4km付近に二つの強エコー域が存在し、それらがマージすることでさらに強化されていることが確認できた。これは、数秒単位で観測しているから明らかになったことである。今後偏波情報も利用した詳細な解析

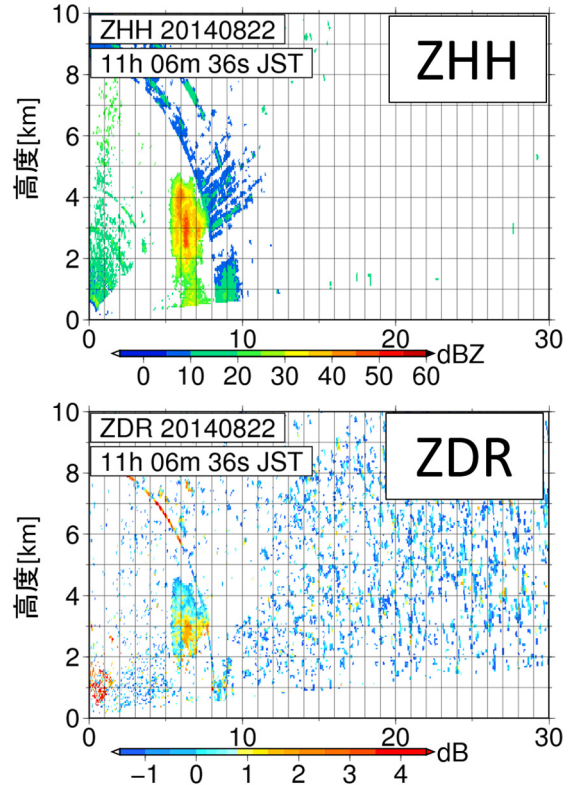


Figure 5 RHI of Zh and Zdr from small X-band MP radar

を進めていくことで、超高時間分解能でのメカニズム解明が期待される。

#### 5. まとめ

京阪神都市域において、積乱雲の生成過程のメカニズム解明を目的としたマルチセンサー観測網を設置した。本論文では観測の速報として、それぞれのセンサーが積乱雲をどのように捉えられていたのかについて報告した。高度300m付近を境に異なる気流構造が存在しており、それらが積乱雲の生成と大きく関係がありそうということがわかった。雲レーダーから、積雲の形成コアが確認された。また、超小型Xバンド偏波レーダーを用いた秒オーダー間隔のRHI観測を行い、セル同士がマージする様子を捉えた。

最後に、マルチセンサー観測に関しては、方位角方向に4度刻みのセクターRHI観測結果を解析して水平方向の議論を進めること、また秒速RHI観測に関しては、偏波情報を活かした解析を進めること、を今後の課題とする。

## 参考文献

- 中北英一・山口弘誠・隅田康彦・竹畑栄伸・鈴木賢士・中川勝広・大石哲・出世ゆかり・坪木和久・大東忠保 (2009) : 偏波レーダーとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別. 土木学会水工学論文集, 第 53 卷, pp.361-366.
- 中北英一, 他 10 名 (2013) : 豪雨の発生・発達をとらえる大規模フィールド同期観測実験と水災害軽減に向けた総合的基礎研究, 水文・水資源学会 2013 年度総会・研究発表会要旨集.

(論文受理日 : 2015 年 6 月 11 日)