

地デジ観測と気象モデルによる追跡解析を用いた積乱雲の発達に影響を与える水蒸気構造  
 Water Vapor Structure Influencing on Development of Convective Clouds by Water Vapor  
 Estimation Using Digital Terrestrial Broadcasting Waves and Tracking Analysis

○村瀬公崇・山口弘誠・花土弘・川村誠治・金丸佳矢・相馬一義・中北英一  
 ○Kimitaka MURASE, Kosei YAMAGUCHI, Hiroshi HANADO, Seiji KAWAMURA,  
 Kaya KANEMARU, Eiichi Nakakita

The objective is to investigate effects of water vapor structure around convective clouds and leading cells on the development of convective clouds. First, we chose the multi-cell cases and analyze qualitatively them by using numerical weather model. From this analysis, water vapor lifted by leading cells may influence on following cells. Next, by using backward trajectory analysis from internal points of convective clouds, not only water vapor near surface, but also in relatively higher layer may influence on development of convective clouds. In addition, we analyze the cases by using Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves observation, and confirm the features of water vapor in model analysis are also in observation results.

### 1. 研究背景と本研究の目的

近年、日本ではゲリラ豪雨や線状降水帯による豪雨災害が増加しており、被害低減のためには、その発生発達のメカニズムを解明しリアルタイム予測に活かすことが重要である。この際、積乱雲の発生発達メカニズムにおいて重要な要素の1つであると考えられるのが水蒸気である。これまでは、降雨の源であるとして大気下層の水蒸気に着目されてきたが、一方で、大気中層の水蒸気についても、豪雨形成時の重要性が指摘されている。その理由は、積乱雲は発達の際に周辺の乾燥空気を取り込みながら（エントレインメント）上昇していくが、その際に周辺から取り込まれる空気が湿潤であれば、積乱雲の発達が抑制されにくくなるためである。実際に、Holloway and Neelin(2009)や Schiro(2016)はそれぞれ赤道直下のナウル島とブラジルのマナカプルにおける長期のラジオゾンデの水蒸気観測と地上雨量計を用いて、統計的な観点から、大気中上層の水蒸気が降雨強度に大きな影響を与えることを指摘した。ただし、観測時間分解の理由から、水蒸気と雨量の数時間のずれを同一の現象として扱っており、1事例を空間的・時間的に詳細に解析したわけではない。

さて、1事例を空間的・時間的に詳細に調べるためには、水蒸気観測技術の向上が必要不可欠である。近年、地デジ放送波による水蒸気推定（以下、地デジ水蒸気）などの研究開発が進んでおり、より詳細な観測が可能となりつつある。

そこで、本研究では積乱雲周辺の水蒸気について、気象モデルによる再現計算結果および水蒸気の観測結果を用いて、時間的・空間的に詳細に解析し、積乱雲発達に対し影響を与える水蒸気構造について解明することを目的とする。

### 2. 研究手法

解析のデータベースとして、東京都付近で発生したマルチセル事例をピックアップし、雲解像モデル CReSS を用いて再現計算を行った。積乱雲について、その周辺の水蒸気を時間的・空間的に詳細に解析を行った。また、積乱雲内に気塊が存在すると仮定し、追跡解析を行うことで、積乱雲内部の気塊の動きについて解析を行った。

図 2.1 に解析対象とした事例の内から代表例として 2019 年 7 月 23 日の事例について、CReSS による再現計算結果を示す。この事例では、先行して発生したセル A とセル A の直後に発生したセル B が存在する。この2つのセルはともによく発達した事例であるが、セル A よりもセル B の方がより発達したセルとなっている。

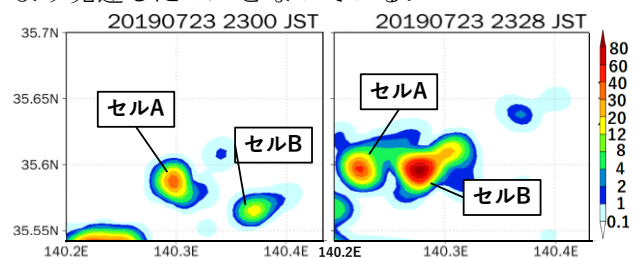


図 2.1 地上降雨強度[mm/h]

### 3. 先行する積乱雲と水蒸気構造の役割

現在、図 2.1 に示した事例を含めた 4 事例を解析している。この要旨では、4 事例の内、図 2.1 で示した 2019 年 7 月 23 日における CReSS による再現計算結果のセル A、B の解析結果を示す。

セル A、セル B についてその上昇流及び水蒸気の偏差について 3 次元の図に起こしたものをそれぞれ図 3.1、図 3.2 に示す。ただし、水蒸気の偏差  $q_v'$  は、モデル内の各高度  $z$  における再現計算領域全体の水平平均を  $\bar{q}_v(z)$  とし、各格子点の水蒸気量  $q_v$  から引くことで求めた (式 3.1)。

$$q_v' = q_v(z) - \bar{q}_v$$

従って、偏差が正の値である場合には水蒸気は周辺よりも豊富であることを示す。

図 3.1(a)と図 3.2(a)より、下層の水蒸気がセル A により持ち上げられ、上空に運ばれていることが示される。また、図 3.2(b)より、セル A によって持ち上げられた水蒸気が上空にとどまり続け、後続のセル B によって取り込まれたことが示される。その後、セル B は図 3.1(b)に示す通り、セル A と比較して大きく発達している。セル A 周辺の水蒸気がさほど豊富でなかったことから、上記より、上空の水蒸気が積乱雲発達に対し大きな影響を与えていることが示唆される。

次に、この事例において積乱雲と相対的にどの位置の水蒸気が、発達に影響を及ぼしているかを解析するために、後方流跡線追跡を行った。セル A 内部に点を取り、その点に空気塊があるとみなし、その空気塊の軌跡を辿ることで水蒸気の起源を解析した。図 3.3(a)、(b)は積乱雲内部にとった点に向かう流跡線の 1 つである。横軸が時間を示し、縦軸が高度を示す。また、線の色は水蒸気量の偏差を示し、値は図下のカラーバーと対応している。ただし、水蒸気量の偏差の計算式は式 3.1 と同様である。図 3.3 より(a)のように高度 0.5 km 以下の下層からの空気塊および(b)のように高度 1 km 付近からの空気塊ともに水蒸気が周辺よりも豊富である。こうしたことから下層よりの水蒸気のみならず、高度 1 km 付近の比較的高い高度からの水蒸気も重要であることが示された。

### 4. おわりに

今後、他事例の解析や地デジ水蒸気の観測結果の解析との比較を通じて、積乱雲発達と水蒸気構造及び先行する積乱雲の影響の一般化を目指す。

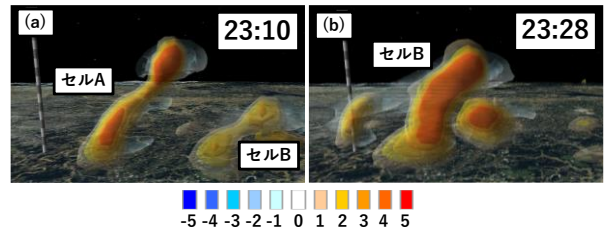


図 3.1 上昇流の三次元図

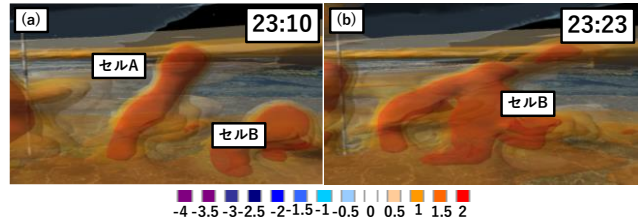


図 3.2 水蒸気の偏差の三次元図

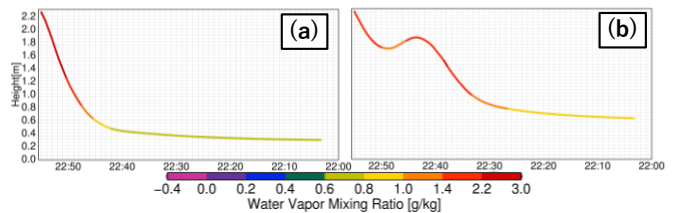


図 3.3 空気塊の軌跡

### 参考文献

- 1) Holloway, C. E., and J. D. Neelin: Moisture Vertical Structure, Column Water Vapor, and Tropical Deep Convection, *J. Atmos. Sci.*, 66 (6), pp.1665-1683, 2009.
- 2) Schiro, K. A., J. D. Neelin, and B. R. Lintner: Deep Convection and Column Water Vapor over Tropical Land ver-sus Tropical Ocean: A Comparison between the Amazon and the Tropical Western Pacific, *J. Atmos. Sci.*, 73(10), pp.4043-4063, 2016.
- 3) Kawamura S., H. Ohta, H. Hanado, M. K. Yamamoto, N. Shiga, K. Kido, S. Yasuda, T. Goto, R. Ichikawa, J. Ama-gai, K. Imamura, M. Fujieda, H. Iwai, S. Sugitani, and T. Iguchi: Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves, *Radio Sci.*, 52, pp.367-377, 2017.
- 4) Tsuboki, K. and A. Sakakibara: Large-Scale Parallel Com-puting of Cloud Resolving Storm Simulator, *ISHPC 2002: High Performance Computing*, pp.243-259, 2002.