

# 下層水蒸気の積乱雲の発生発達への寄与

吉田 智<sup>1</sup>, 酒井 哲<sup>1</sup>, 永井 智広<sup>1</sup>, 小司 禎教<sup>1</sup>, 瀬古 弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1)

## Contribution of low-level moisture for initiation and development of cumulonimbus

Satoru YOSHIDA<sup>1</sup>, Tetsu SAKAI<sup>1</sup>, Tomohiro Nagai<sup>1</sup>, Yoshinori SHOJI<sup>1</sup>, and Hiromu SEKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaragi 305-0052

**Abstract:** Initiation and development of a cumulonimbus initiated by sea breeze (SB) on 2 September 2018 near Tokyo International Airport were clearly observed by Doppler lidars and radars. The east-southeasterly SB produced strong convergence exceeding  $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  near ground with northeasterly ambient inland wind on ground, resulting the initiation of the cumulonimbus. At 10:35 UTC the first radar echo of the cumulonimbus was detected and, then, at 11:00 the cumulonimbus passed over a water vapor Raman lidar, which provided vertical profiles of water vapor mixing ratio (WVMR). The RL observation results indicate the increase of WVMR at low-level from 09:00 to 11:00. Convective Inhibition (CIN) was calculated by RL data set and vertical profiles of pressure and temperature obtained at Tateno. The CIN increased from -33 J/kg at 09:00 to -7 J/kg at 11:00, indicating that the low-level moisture increase had large impact on the initiation and development of the cumulonimbus.

**Key Words:** Water vapor lidar, Doppler lidar, convection initiation, convective inhibition

### 1. はじめに

海上から陸上へ吹く海風(sea breeze, SB)は、比較的低温の地上風で数百メートルから 1km 程度までの厚みを持つ。SB が陸上の気流と収束(sea breeze front; SBF)を形成した場合、積乱雲が発生し、時に地上に豪雨をもたらす。気象数値予報モデル開発において積乱雲発生・発達への予測が課題の一つであることを考慮すると、SB による積乱雲の発生・発達メカニズムの解明は、数値モデルの予報精度改善に貢献する重要な研究である。

これまでドップラライダ観測を用いて、SBF に伴う対流の発生について研究が進められている<sup>(1)</sup>。しかしながら、対流の発生・発達に大きな影響を及ぼす下層水蒸気の観測はなされていない。

気象研究所では、2017年より3年間、夏季に羽田空港の周辺で、可搬型水蒸気ラマンライダ(以降、RL)を用いて水蒸気量の鉛直プロファイルを観測した。本稿では羽田空港の地上気象観測データとRLデータの解析を行い、下層水蒸気の積乱雲発生・発達への影響を明らかにする。

### 2. 観測について

RL は気象研が開発した水蒸気ラマンライダである。Nd:YAG レーザを用いて 355nm のレーザー光パルスを生じ、鉛直上向きに照射する。窒素分子および水蒸気分子のラマン散乱光を望遠鏡で

受光し、その強度比から水蒸気混合比(water vapor mixing ratio; WVMR)の鉛直プロファイルを得る<sup>(2)</sup>。本稿では、2018年9月2日の10時から12時(UTC、以後同じ)に羽田空港周辺で発生・発達した積乱雲について下層水蒸気の積乱雲の発生発達への寄与を示す。本稿の解析では、RLに加えて羽田空港で現業利用しているドップラライダ1号機(DL1)および2号機(DL2)、ドップラレーダ(DRAW)、シーロメータ、地上気象観測および川崎人工島の地上気象観測データを用いた。

### 3. 観測結果

Figure 1 に 10 時 32 分における DL2(▽) の仰角 0.7 度におけるドップラ速度の PPI を示す。10 時頃までは、地上付近では北東風が卓越していた。10 時過ぎから東南東の SB が(黒矢印)が羽田空港付近に流入することにより、SBF (ピンクの破線)が形成され、積乱雲が発生した。

川崎人工島(○)の地上気象観測より、SB は北東風と比較し低温であることがわかっている。北東風と SB が DL2 の南約 5km で SBF を形成し、その北側にある羽田 DRAW で、この積乱雲のファーストエコーが確認された(10:35, 水色の実線)。この後、SBF は徐々に北上しながら、11 時頃に RL の上空を通過し、11 時 30 分頃に DL2 上空を通過した。SBF の北上に伴い、発生した積乱雲は発達を続け、12 時 10 分には SB が弱まり、その

後積乱雲も衰退を始めた。

Figure2にRL観測により得られたWVMRの鉛直プロファイルを示す。同図より、SBFがRLに到達する11時まで大気下層で水蒸気量が徐々に上昇している。ドップラライダや地上気象観測の風分布を考慮すると、下層の北東風により水蒸気量が増大していたと考えられる。また、SBFが到達する11時には下層の水蒸気量が急増している。

#### 4. 考察とまとめ

Figure 3にRLから得た上空のWVMR (高度60m, 285m), 羽田空港地上気象観測で得た地上のWVMR, 近隣のGNSSサイトでの可降水量を示す。同図に示す通り、地上のWVMRは上昇傾向を示すものの、11時にみられる60mや285m高度のWVMRの急増は見られない。このことから11時の上空のWVMRの急増は北東風に起因する上昇ではなく、RL付近の局所的な現象が原因と考えられる。11時にSBFがRLに到達したことを考慮すると、WVMRの急増は比較的暖かい北東風の気塊をSBがまくり上げた結果と考えられる。

RL観測点での高度285mの大気自由対流高度(level of free convection; LFC)と対流抑制(convective inhibition; CIN)をRLの観測結果から算出した(Figure 4)。ここで、気温・気圧の鉛直プロファイルは12時に観測した館野のゾンデデータを用いた。下層での水蒸気量の増加により、LFCとCINが大きく変化している。即ち、9時から11時までの2時間でCINが-33J/kgから-7J/kgに増加、LFCは1.7kmから1.1kmに減少しており、対流がより発生しやすい環境になっていた。下層の水蒸気増加により対流が発生しやすい環境に変化している中で、SBFに伴う上昇気流がトリガーとなり、対流が発生・発達したと考えられる。

#### 謝辞

本研究の一部はJSPS科研費(17H00852, 19H01983)の助成を受けた。東京湾環境情報センターより川崎人工島の気象データの提供を受けた。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) H. Iwai et al, 2018: Case study on convection initiation associated with an isolated convective storm developed over flat terrain during TOMACS. J. Meteor. Soc. Japan, 96A, 3-23.
- 2) T. Sakai et al., Automated compact mobile Raman lidar for water vapor measurement: instrument description and validation by comparison with radiosonde, GNSS, and high-resolution objective analysis, Atmos. Meas. Tech., 12, 313-326, 2019.

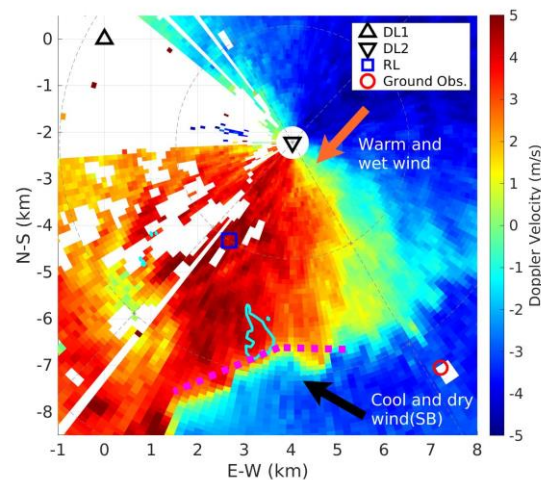


Figure1: A PPI image of Doppler velocity observed by the DL2 at elevation of 0.7°. Black and orange arrows represent SB and ground wind. Solid blue and pink dotted lines indicate radar echo exceeding 10 dBZ and SBF, respectively.

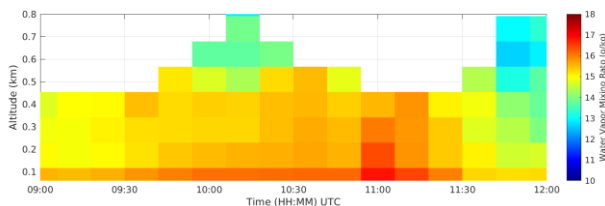


Figure 2: Time-height plot of WVMR observed by the RL.

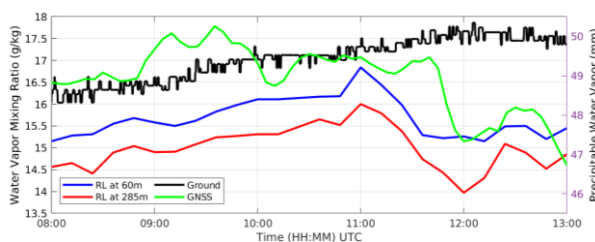


Figure 3: WVMR at altitudes of 60 m and 285 m estimated by the RL, WVMR at ground, and precipitable water vapor observed by the nearest GNSS station.

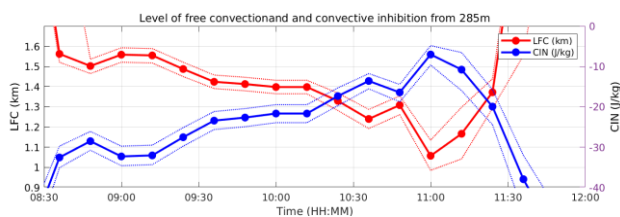


Figure 4: level of free convection (LFC) and convective inhibition (CIN) calculated with the RL data set. Note that vertical profiles of pressure and temperature are obtained from high-altitude meteorological data at Tateno, Ibaraki