

地上可視カメラ、ひまわり8号、ラジオゾンデを用いた Jumping Cirrus の発達過程の観測

瀬口貴文¹, 岩崎杉紀¹, 鴨川仁², 牛山朋来³, 岡本創⁴

1. 防衛大, 2. 学芸大, 3. 土木研, 4. 九大応力研

1 はじめに

Jumping Cirrus (JC) とは、発達した積乱雲のかなとこ雲 (anvil) 上部で飛び上がり、消えていく雲の現象である (図 1) . 飛行機観測で初めて発見された¹⁾. 3 次元非静力学雲モデルを用いた数値実験によると, JC は非断熱過程 (重力波の砕波) により発生すると推測されている²⁾.

可視カメラによる観察から、飛び上がった JC の一部が昇華することにより、積乱雲上部に水蒸気を輸送すると考えられている. したがって、積乱雲が圏界面まで達していれば、下部成層圏を加湿する可能性がある. JC の雲粒の昇華による積乱雲のオーバーシュートの上の成層圏の加湿を、衛星データで示した報告もある³⁾. JC は、1 日に全球で約 5 億トン⁴⁾の水蒸気を成層圏に運ぶと推定されており⁴⁾, この現象による成層圏・対流圏間の水蒸気輸送の機構がわかれば、成層圏の水蒸気量の推定に寄与することが期待される.

JC は観測事例が少なく、観測を基に JC 自体やその周囲の環境の物理量を解析した研究が極めて少ないため、発生条件や規模、頻度といった基本的な性質が未解明である. そこで、本研究では初めて、地上可視カメラ観測で捉えた複数の JC の事例の解析を試みた. JC の形態と時間発展を追い、その特徴と周囲の環境状態を定量的に理解することを目的とする.

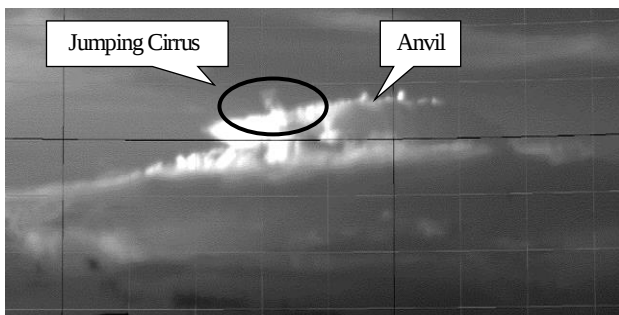


図 1. 栃木県鹿沼付近で発生した積乱雲と JC. 2016 年 8 月 4 日 18 時 18 分 (日本時間), 防衛大学校で撮影.

2 観 測

2016 年の 7-8 月の間、富士山頂と防衛大学校 (横須賀市) に可視カメラを複数台設置して、15 秒間隔で関東周辺域の定点パノラマ撮影を続けた. 観測範囲は富士山・防衛大を基点に、概ね北西 (石川県・能登半島) 方向から北東 (千葉県・銚子) 方向の間をカバーしている.

2016 年は合計で 14 件の JC が撮影出来た. 図 1 はその一例である. 図 2 は 14 件の JC を発生させた積乱雲の位

置をプロットしたものである. 14 件のうち、1 つの積乱雲から複数回ジャンプする事例が 2 例 (それぞれ 2 回, 3 回ジャンプ; 合計 5 件) 含まれる.

可視カメラ観測は、雲の鉛直断面の発達過程を記録できる利点がある. 一方で、天候の影響を受けやすく、観測場所近傍の下層雲や降水で何も見えない日があったため、潜在的には観測数より多く発生していると考えられる.

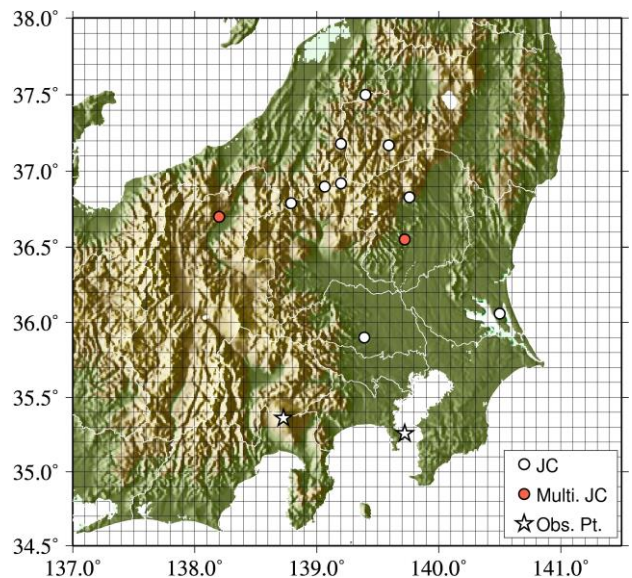


図 2. 2016 年 7-8 月における JC の発生位置. 図中のグリッドは経緯度座標, 星はカメラ観測点, 白丸は JC を発生させた積乱雲, 赤丸は複数の JC が見られた積乱雲の位置を示す.

3 解 析

JC の形態について、観測点から見た JC (積乱雲) の位置までの距離と観測角度から、JC と anvil の高度・幅を算出した. まず、夜間に撮影した写真上の星の位置情報から (星図ソフト, ステラナビゲータ Ver.10, AstroArts 社を使用), 各ピクセルの方位角と仰角 (図 1 のグリッド線) を導出し、JC の方位角と仰角を求める. 次に、ひまわり 8 号で観測した赤外輝度温度分布 (観測波長 10.4 μm) を確認し、該当時刻・方向に存在する発達した積乱雲を特定して観測点との直線距離を求める. ただし、JC は光学的に薄く、同衛星では見えないため、最も対流が発達していると考えられる最低輝度温度点までの距離を使っている.

また、15 秒間隔のタイムラプス動画から JC の時間発展を追い、鉛直飛び出し速度と消えて見えなくなるまでの持

続時間を求めた。

さらに、JC 発生時の周囲の環境を調べるため、茨城県館野のラジオゾンデのデータを用いて、大気的气温・風の鉛直分布から圏界面高度、対流有効位置エネルギー (CAPE), anvil 上部の環境場の風の鉛直シアを求めた。

4 結果

全 14 件の JC の高さ (JC 頂上と anvil 頂上の高度差), 幅, 鉛直飛び出し速度, 持続時間の頻度分布を図 3 に示す。平均値 (標準偏差) はそれぞれ, 1.3 (0.5) km, 1.6 (0.5) km, 8.0 (4.0) m/s, 11 (5.5) 分である。

大気環境場の状態は, CAPE が 747.1 (589.6) J/kg, 最大値は 1384 J/kg, anvil 上部の環境場の風速の鉛直シアは -1.1 (3.9) m/s/km であった。負の値は, 上空ほど風速が小さいことを示す。

到達高度の平均は 15.1 km であった。事例ごとに, 算出した圏界面高度と JC の高度を比較すると 3 件が圏界面に達していた。

5 考察

図 3 に示す JC の物理量は, 事例によってばらつきがみられる。CAPE, 風速鉛直シアとの相関もなく, JC の発生条件や特徴を決定づける要因は観測結果からは分らなかった。

先行研究²⁾では, 3次元非静力学雲モデルを使って, 米国中西部で 1981 年 8 月に発生した積乱雲をシミュレートしている。そこで再現された JC の事例と比べると, 本研究の事例は JC 発生時の周囲の大気の CAPE が低く, anvil 上部の環境場の風の鉛直シアが小さかった。

CAPE は上昇流の強さを表す。米国の事例は, この値が 2 倍ほど大きく, 積乱雲の規模が大きくな, 長寿のスーパーセルやマルチセルであった。一方, 本研究の事例は比較的小さなシングルセルの積乱雲であり, anvil の幅も小さかった。しかしながら, JC の高さ, 到達高度, 鉛直飛び出し速度, 持続時間は同程度の値を示したことから, 比較的小さい対流・小規模な積乱雲からでも JC は発生すると考えられる。JC の幅も比較的小さな値であった。これは, JC の流れる方向によって, カメラ観測では必ずしも最大幅を観測できない点が影響していると考えられる。

anvil 上部の強い風の鉛直シアは, 重力波の碎波を促す重要な要因の 1 つと考えられている。本研究では環境場のその値が比較的小さかったが, ラジオゾンデの観測では JC 付近の状態を正確に測れない可能性がある。また, 環境場の風ではなく, anvil の移流速度 (積乱雲の見かけ上の移動速度) と環境場の風速の相対的なシアが効いている可能性もあると考えられる。

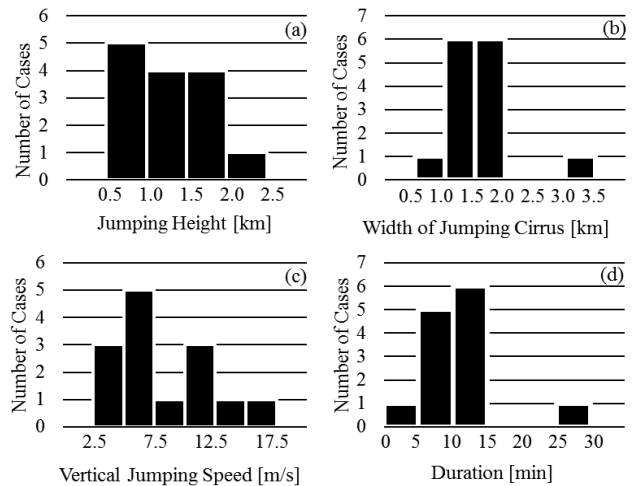


図 3. 全 14 件の JC の(a) 高さ, (b) 幅, (c) 鉛直飛び出し速度, (d) 持続時間の頻度分布

6 今後の展望

2017, 2018 年の夏季に同様の観測を行い, それぞれ 4, 12 件の JC を検出した。これらの事例に対しても同様の解析を行うとともに, 放射伝達計算とひまわり 8 号の観測からインバージョン法で JC の雲物理量を推定する予定である。

謝 辞

本研究は, 認定 NPO 法人「富士山測候所を活用する会」が富士山頂の測候所施設の一部を気象庁から借用管理運営している期間に行なわれた。また, 本研究の一部に九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成を頂いた。

参考文献

- 1) Fujita, T. T., 1974: Overshooting thunderheads observed from ATS and Learjet. *SMRP Research Paper*, **117**, 1-29.
- 2) Wang, P. K., S. H. Su, Z. Charvát, J. Št'ástka, H. M. Lin, 2011: Cross Tropopause Transport of Water by Mid-Latitude Deep Convective Storms: A Review. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **22**, 447-462.
- 3) Setvák, M., D. T. Lindsey, R. M. Rabin, P. K. Wang, A. Demeterová, 2008: Indication of water vapor transport into the lower stratosphere above midlatitude convective storms: Meteosat Second Generation satellite observations and radiative transfer model simulations. *Atmos. Res.*, **89**, 170-180.
- 4) Wang, P. K., 2003: Moisture plumes above thunderstorm anvils and their contributions to cross-tropopause transport of water vapor in midlatitudes. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4194.