

P-15: 積乱雲のてっぺんからジャンプする雲(jumping cirrus)の特徴

岩崎杉紀¹, 鴨川仁², 久保田尚之³, 岡本創⁴, 石元裕史⁵, 牛山朋来⁶

1.防衛大学校, 2.東京学芸大, 3.東京大, 4.九州大, 5.気象研, 6.土木研

1. はじめに

成層圏の水蒸気量は地球の温暖化計算の精密化には不可欠であることは知られている¹⁾。しかし、成層圏の水蒸気量がどのように供給されているか、定量的には分かっていない。Dessler et al. (2016)は気候モデルを用い、成層圏の水蒸気の上昇量の50-80%は熱帯圏界面(TTL)の温暖化で説明できるが、それ以外は積乱雲などでTTLや下部成層圏に運ばれた雲粒による昇華によるものではないかと示した。積乱雲は氷粒を下部成層圏に運び加湿すると述べている。しかし、古くはDanielsen (1982)が、積乱雲は空気を断熱過程で上昇させるので、積乱雲の上端の空気は冷たく(冷たいと飽和水蒸気圧も低くなるので)乾燥しており、放射も考慮すると成層圏を乾燥させることを提案した。いまだに積乱雲は成層圏を加湿するのか乾燥させるのかまだ分かっていない。

一方、Setvák et al. (2008)は、活発な積乱雲の上の成層圏が湿っていることを観測から示した。この現象はFujita (1983)が飛行機観測で撮影した「積乱雲のかなとこ雲から1-2kmジャンプする雲(jumping cirrus と命名)」の雲粒が昇華して加湿したのではないかと推測した。Wang (2004)でjumping cirrus が実在できることを数値実験で確認したとはいえ、定量的な観測がないため、jumping cirrus はどのような条件でどの程度ジャンプするのか、1回のジャンプで供給する水の量、といった基本的なことさえ分かっていない雲である。

本研究では、富士山特別地域気象観測所(旧富士山測候所)にカメラを設置し、jumping cirrus の形態からその特徴を理解することを目的とする。

2. 観測方法

2016年7月11日から8月11日の1か月間、1,000万画素のUSB3.0カメラ3台並べてパノラマ撮影を行った。カメラ



図1 山頂に設置した北から東北東に向けたカメラ。



図2 北からの等方位角(縦線)と等仰角(横線)のグリッド線を写真に添付した例。カメラから対流の距離が分かるので、左下の線の長さが2kmに対応する。2015年の山頂に設置された学芸大カメラの画像利用。

一台の水平視野角は25度なので、隣り合うカメラの画像の重複を入れるとおおよそ70度の視野のあるパノラマ写真となる。図1のようにカメラを並べ、北から東北東を撮影した。なお、地上付近をあまり撮影しないように仰角は8度とした。USB3.0のケーブル長は規格で3mまでしか動作保証していない。パソコンと屋外のカメラをつなぐには短すぎるので、パソコンから規格外の30mのUSB3.0の延長ケーブルをつなげ、その先にUSB3.0のハブを使い3台のカメラを接続した。ハブと延長ケーブルにそれぞれ電源が必要である。同様のカメラは防衛大学校の屋上(横須賀市、標高100m程度)にも設置した。

カメラの設定を、日中は15秒ごとに1枚撮影、夜間は1分に1枚撮影とした。夜間の撮影は雲観測用ではなく、星撮影用である。

3. 解析方法

解析手順は以下のとおりである。

1. 写真内の星の座標と星図を比較することで1ピクセルごとに北からの方位角と仰角を求める(図2)。
2. 時系列に並んだ写真を動画に変換し、積乱雲やその周辺から雲がジャンプしているものをjumping cirrus候補とする。ジャンプの判定は肉眼で行う。また、その候補の雲の方位角と仰角を求める。
3. 山頂から方位角方向にある活発な積乱雲の位置を10分

毎のレーダ画像から特定する。そこ富士山頂との距離を求め、仰角・距離・地球の曲率から雲頂高度が圏界面に達しているか否かを判定した。圏界面に達しているものを *jumping cirrus* とした。なお、圏界面の高度は館野(つくば市)のラジオゾンデの気温の鉛直分布を用いた。

4. 結果

2016年の解析がまだ途中のため、*jumping cirrus* 候補(圏界面まで達しているか未確認)の簡単なまとめを述べる。

2016年は、山頂のカメラに7個 *jumping cirrus* 候補が撮影出来た。すべて7月29日以降である。東海から関東にかけての梅雨明けは7月28-29日なので、梅雨明け以降に観測されていた。梅雨の間は、対流がないか山頂に雲がかかるといふため何も見えないかのどちらかであった。北向きカメラ(北関東から南福島)が5個と最も多く撮影できた。図3に2016年8月2日の例を載せる。この *jumping cirrus* が撮影された時、都心では1時間に20mm前後の雨が降っていた。この積乱雲は千葉市に設置されている日本無線の気象用 *phased array radar* (従来の気象レーダより時間分解能が10倍程度高い)で観測で来ているはずである。

一方、防大カメラは、この1か月間は *jumping cirrus* 候補は一つも撮影できなかった。これは下層雲に視界が遮られることが多かったためである。図3の例の8月2日も撮影はしているが、多くの下層雲に視界を遮られ、該当する積乱雲を特定することさえできなかった。

少なくとも2016年夏では、通常の地表面(横須賀)より富士山山頂のほうが *jumping cirrus* を観測しやすかったことが分かる。

5. おわりに

2016年度は初観測ではあったが、カメラ用のパソコンの操作をネットワーク経由で行えたので、大きな問題なく1か月間の観測を終えることが出来た。成果報告会では、今回の観測された *jumping cirrus* の特徴を定量的に報告する。

以下に来年度の課題を述べる。今回使ったカメラは自動で絞りを変える機能(*auto iris*)は有していない。来年度は、紫外線が当たると暗くなる平板の調光板をカメラとカメラケースのガラスの間に挟み *auto iris* 代わりとする予定である。すでにテストを行い、絞りを全開にしても雲を白飛びすることなく撮影できることを確認している。また、夜間は半月程度でも雲を撮影できる *GigE* カメラを導入する。*GigE* カメラとは、*Lan* ケーブルだけでデータ通信と電源供給できるものである。配線が普通の *Lan* ケーブルだけですので、*Hub* から数十メートルまで伸ばすことが出来る。これらにより設置を容易にし、夕方の積乱雲が活発な時間も撮影がしやすくなる。

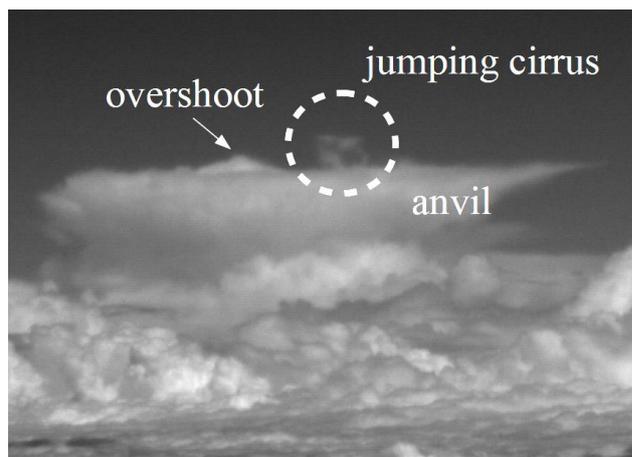


図3 2016年8月2日12時27分に山頂から東北東の方向(都心の方向)に撮影された *jumping cirrus* (候補)の例。積乱雲の中にある個々の対流(*turret*)の中には発達して下部成層圏に達するもの(*overshoot*)がある。*Jumping cirrus* を誘発した *overshoot* はすでに沈んで見ることは出来ない。写真の *overshoot* は *jumping cirrus* を誘発しなかった。

謝辞

本研究の一部は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Solomon et al. (2010). Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming, *Science*, **327**, 1219-1223.
- 2) Dessler et al. (2016). Transport of ice into the stratosphere and the humidification of the stratosphere over the 21st century, *Geophys. Res. Lett.*, **43**, 2323-2329.
- 3) Danielsen, E.F. (1993). In situ evidence of rapid, vertical, irreversible transport of lower tropospheric air into the lower tropical stratosphere by convective cloud turrets and by large scale upwelling in tropical cyclones. *J. Geophys. Res.*, **98** (D5), 8665-8681.
- 4) Fujita, T. T. (1982). Principle of stereographic height computations and their application to stratospheric cirrus over severe thunderstorms. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **60**, 355-368.
- 5) Wang, P. K. (2004). A cloud model interpretation of jumping cirrus above storm top. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L18106, doi: 10.1029/2004GL020787.