

熱帯上部対流圏における弧状の巻雲に関する研究

稲飯洋一（札幌管区气象台 気象防災部予報課）

1. はじめに

熱帯上部対流圏下部成層圏における巻雲は、全球の放射バランスや局所的な放射収支、成層圏への水蒸気輸送に大きな役割を担っている。しかし、その形成メカニズムの詳細や氷晶の成長速度などについての十分な理解は得られていない。本研究では、赤道中西部太平洋において深い対流に伴って形成された弧状に分布して数十時間程度維持される巻雲に注目し、巻雲が維持される弧状領域と巻雲が消失する弧状内部領域の空気塊の起源や空気塊が経験した気象要素を推定することで、巻雲の維持/消失に関わる条件を考察する。

2. データと手法

まず、2020年の9月から12月の期間について、気象衛星ひまわりによる赤外面像データを用いて、弧状巻雲の発生と発生場所などを把握した。さらに放射輝度温度から推定された雲頂高度データや衛星搭載ライダー(CALIOP/CALIPSO)観測データを用いて、巻雲の幾何学的特徴、特に高度を確認した。

次に、巻雲が維持されている弧状領域と巻雲の消失した弧状内部領域それぞれから欧州中期予報センター(ECMWF) ERA5 全球客観再解析データ(水平解像度0.25度、鉛直37層、1時間毎)を使用した後方流跡線解析(Inai, 2018; Fujiwara et al., 2021)を行い、それぞれの空気塊の移流経路や起源、移流に伴って経験した気温などの気象要素を推定した。



1: 2020年11月22日0時(UTC)の気象衛星ひまわり短波長赤外(3.9 μ m)画像(情報通信機構(NICT)webサイトより取得)。赤線は赤道を表す。ニューギニア島の東の赤道付近南半球側に南に凸の弧状に分布する雲が確認できる。

3. 結果と考察

赤外面像データを確認した結果、2020年9月から12月の期間について、赤道中西部太平洋において5事例の弧状巻雲が確認された。例えば、11月22日0時(UTC)の事例では、東経約160度から西経約175度、北緯約5度から南緯約7度の領域に南に凸の弧状の巻雲が形成されていた(図1)。この弧状巻雲の高度は衛星赤外データを用いたスプリットウィンドウ法(Hamada and Nishi, 2010)や衛星搭載ライダーによる観測データにより約15kmと推定された。同様にして他の4事例の弧状巻雲の高度についても確認したところ、約12kmから15kmであると推定された。

上記のように推定された高度において、巻雲が維持されている弧状領域と巻雲の存在しない弧状内部領域に分けて、それぞれの領域から後方流跡線解析を行った結果、弧状内部の空気塊は直近(およそ24時間以内)に生じたメソスケール対流系(Mesoscale

convective system: MCS) の対流コアによって下部対流圏から上部対流圏へ持ち上げられた大気であること、弧状巻雲を維持している大気塊はもともと上部対流圏にあった大気が深い対流の上部対流圏における吹き出しによって周囲に押し広げられた大気であると推定された。

弧状領域の空気塊は深い対流の貫入時に、弧状内部領域の空気塊は深い対流による持ち上げ時に、それぞれ氷晶を含んでおりその重力落下速度が十分小さいと仮定すると、氷晶の維持と消失は空気塊の Total water (=雲水量+水蒸気量) と飽和水蒸気量の大小関係で決定されると考えられる。深い対流雲の雲頂付近の雲水量の推定は容易ではないが、過飽和を無視すると空気塊の水蒸気量は対流で持ち上げられた時の気温(流跡線に沿った最低気温)に、飽和水蒸気量は気温にそれぞれ依存するため、流跡線に沿った最低気温と弧状巻雲形成時(後方流跡線計算初期時刻)の気温の差に注目した。弧状巻雲全5事例について、最低気温と弧状巻雲形成時の気温の関係を確認した結果(図3)、巻雲の消失した弧状内部の大気は過去24時間以内に対流コア近傍で相対的に低い気温を経験しており、その後、+0.8 K/hour 程度の変化率で準断熱的に昇温していることが示された。一方、弧状巻雲を維持している大気は+0.2 K/hour 程度の変化率であることが示された。さらに、深い対流との遭遇時に弧状領域、弧状内部領域、それぞれの空気塊に含まれていた雲水量が同程度だったと仮定すると、この気温変化(に伴う飽和水蒸気量変化)の差が氷晶の維持/消失を分ける条件であると解釈できる。

参考文献

Fujiwara, M., Sakai, T., Nagai, T., Shiraishi, K., Inai, Y., Khaykin, S., Xi, H., Shibata, T., Shiotani, M., and

Pan, L. L.: Lower-stratospheric aerosol measurements in eastward-shedding vortices over Japan from the Asian summer monsoon anticyclone during the summer of 2018, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 3073-3090, 2021.

Hamada, A., and Nishi, N., 2010: Development of a cloud-top height estimation method by geostationary satellite split-window measurements trained with CloudSat data. *J. Appl. Meteor. Climate*, Vol. 49, pp. 2035-2049.

Inai, Y.: Long-term variation in the mixing fraction of tropospheric and stratospheric air masses in the upper tropical tropopause layer, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 123, 4890-4909, 2018.

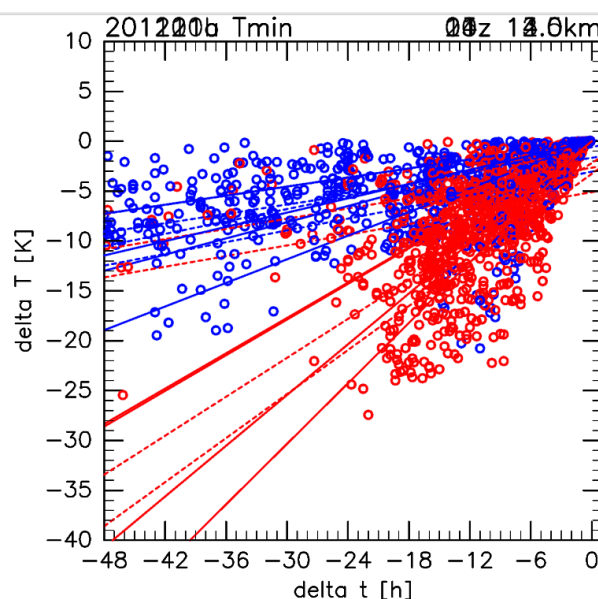


図3: 弧状巻雲全5事例について、弧状巻雲領域(青)と弧状内部領域(赤)の空気塊が経験した最低気温と最低気温を経験した時刻(ともに流跡線計算初期時刻からの偏差)の関係。点線や波線は個々の事例の結果についての回帰直線を示す。