

線状降水帯の機構解明のための洋上ドローンと 新しい水蒸気観測の取り組み

○瀬古弘(観測気象研究部)

1. はじめに

線状降水帯が毎年のように発生し、土砂災害や洪水をもたらしている。これらによる被害を軽減させるためには、線状降水帯の発生位置や時刻、降水量をより早く、より正確に予測する必要があり、そのために線状降水帯の発生要因や維持機構の解明が求められている。気象研究所では、線状降水帯の予測精度向上に向けて「機構解明研究」を進めており、その一環として、線状降水帯の発生・維持に大きく影響する大気下層の水蒸気の流れに注目し、2022年に暖湿な気流が九州に流れ込む東シナ海上で気象庁海洋気象観測船(以下、観測船)から気象観測用ドローンを飛ばし、大気下層の湿度や気温、水平風の鉛直分布を観測した(第1図)。

ここでは、線状降水帯や豪雨域に流れ込む水蒸気の流量(水蒸気量に風速を掛けた量)と降水量の関係や、ドローン観測の特性やデータ利用方法、ドローン観測データが数値予測モデルの初期値を修正した効果を報告する。ドローンの他にも、気象研究所や気象庁において整備や利用方法の開発を進めている地上設置マイクロ波放射計などの新しい水蒸気観測の取り組みについても紹介する。

2. 線状降水帯の予測に適した観測場所の調査

気象庁では、線状降水帯を「次々と発生する発達した雨雲(積乱雲)が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50~300km程度、幅20~50km程度の強い降水をとまなう雨域」と定義している。こうした豪雨では下層の湿った空気が継続して上空に持ち上げられて水蒸気が凝結し、凝結熱で上昇流が強まって積乱雲が発達することで降水量が大きくなる。降水予報の精度改善のためには、線状降水帯の発生に大きく影響する水蒸気流量の観測すべき場所を調べ、その場所で観測することが有効と考えられる。

線状降水帯の予測に適した観測場所を得るため、数値予測モデルの複数の初期値からの予測(アンサンブル予測)を用いた例を紹介する。2018年7月に九州や四国・中国地方に被害を与えた西日本豪雨について、豪雨が発生した九州北部に空気と一緒に動く粒子を多数おいて、時間を遡って追跡し、豪雨発生前の粒子の存在範囲を得る。次に豪雨域の降水量と、上記の範囲内の格子点での水蒸気流入量との相関

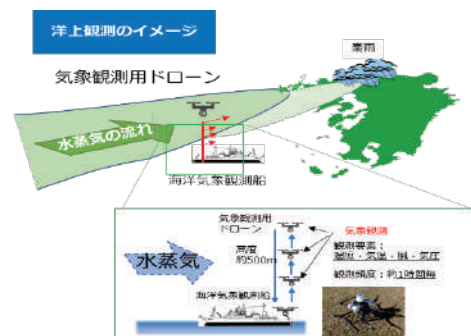
係数を調べた。その結果、豪雨域に東シナ海上の大気下層から大量の水蒸気が流入していたこと、またその流量が大きいほど九州北部の降水量が大きくなっていったことがわかった。このことから、豪雨域に流れ込む風上側の東シナ海で水蒸気流量を正確に観測することで、豪雨の降水予測が改善する可能性があることがわかった。

3. 気象観測用ドローンを用いた観測と数値予報モデル改善の効果

九州で発生する豪雨を対象として、2022年7月12~18日に、東シナ海上に停泊していた観測船から、9~16時(日本時)の間、1時間毎にドローンを高度500mまで上昇・下降させて、気温や露点温度、水平風の鉛直分布を観測した(第2図)。ドローン操縦者への聞き取り調査から、船舶上のドローンの安全な観測可能な気象・海況条件は、風速 10ms^{-1} 程度以下、うねりの高さ1.2m程度以下ということがわかった。第3図に観測例として7月18日12時の気温と湿度の鉛直分布を示す。この日の観測は強風等の理由により観測範囲が高度300mまでとなっている。気温(第3図左)の観測値は、測器の応答がドローンの移動による気温変化に追いつかず、上昇・下降時で値が異なっていた(黒の実線と破線)。測器の応答速度を考慮した補正法を開発し適用したところ、2つの値がほぼ同じになった(灰色の実線と破線)。露点温度も同様な補正を適用した後、湿度に変換して上昇下降時の平均を求めた(第3図右の赤線)。



第1図: 観測船上でのドローン観測風景



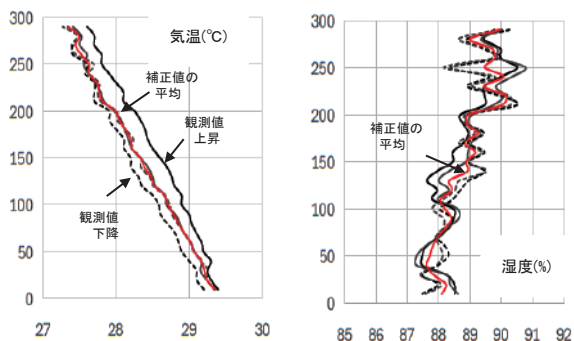
第2図: 洋上ドローン観測の模式図

水平風については、測器がドローンの上側にあるため、風の乱れの影響の少ない上昇時の値を用いた。

ドローン観測が降水予測に及ぼす効果について、強い降水域が九州北部から南下する7月18日10～12時の観測値を使用して調査した。高度300mより下層の観測値(気温や湿度の補正値の平均と水平風)をメソ数値予報解析実験システム(気象研究所に移植した気象庁現業と同様なシステム)に適用して第一推定値を修正し初期値を作成した。気温の第一推定値からの修正量は小さいものの、観測点付近の可降水量(水蒸気量の天頂方向の積算値)が増加し、水平風の風速も強まり、観測に近づいた。この初期値から予測した6時間後では、第4図の赤丸で示すように降水もやや強まり、降水域の位置も南下して、予測した降水分布が観測に近づいた。この結果から、高度300mより下層だけでも1時間毎の観測値を初期値の修正に利用することで降水予測が改善する可能性がある事がわかった。

4. 線状降水帯の機構解明に係わる新しい水蒸気観測

下層水蒸気量の観測精度向上によって降水予測を改善させるため、気象庁では2022年度に、線状降水帯が多く発生する西日本を中心に17台のマイクロ波放射計を整備した。マイクロ波放射計は大気中の酸素や水蒸気からの放射を複数の周波数で観測することにより、可降水量や気温・湿度の鉛直分布を得ることができる。例えば温暖前線の通過直前の五島列島の福江で観測したデータを用いた事例では、マイクロ波放射計の観測データが初期値を適切に修正して、大気下層の水蒸気量が増加すると共に水平風も強化されて降水が強まり、実況に近づく結果が得られた。この他にも水蒸気に注目した観測として、GNSS受信機を船舶に搭載して可降水量を測定する船舶GNSS観測が、2021年から実施されている。また、水蒸気量の鉛直分布を連続的に得るライダー(レーザー光を用いたリモートセンシング装置)を観測船に搭載する研究が進められている。次期静止気象衛星に搭載予定の赤外



第3図：洋上ドローンで観測した気温(左)と湿度(右)の鉛直分布。図中の黒線は観測値、灰色は応答速度を考慮した補正値。実線は上昇、破線は下降を示す。赤線は補正値の上昇・下降の平均。

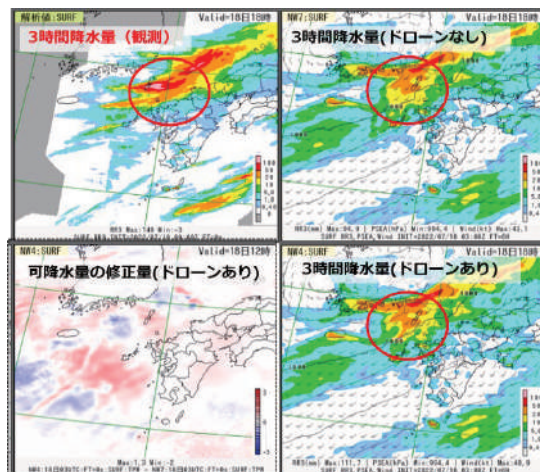
サウンダは水蒸気量の3次元分布を広範囲に高精度かつ高分解能に観測できるため、降水予測の精度向上が期待されている。成果発表会ではこれらについても簡単に触れる。

5. まとめ

線状降水帯の風上側で大気下層の水蒸気流量を観測することにより、風下側で発生する降水の予測精度が向上する可能性があること、アンサンブル予測で得られた解析結果から、風上側の水蒸気流量が風下側の降水量を決める要因の一つであることがわかった。その一方で、今回、線状降水帯の機構解明のために実施したドローン観測は、観測環境が限定されるなど、利用に際して多くの解決すべき課題があることもわかった。ここでは個々の観測の独立した効果を紹介したが、水蒸気に注目して降水予測の改善を図る方法として、複数の観測データを利用することを計画している。先ず気象衛星で広い範囲の水蒸気量を観測し、さらに船舶GNSSなどで線状降水帯の上流側の可降水量等を観測することで水蒸気量の予測値を改善する。その後、線状降水帯に近い地上で、マイクロ波放射計を用いて水蒸気の鉛直分布を観測することで、さらに予測値を改善する。今後は、このような複数の観測データの特徴を生かして予測を行う手法が重要になると考えられ、その手法の開発・研究を推進していく予定である。

謝辞

洋上ドローン観測は気象庁の海洋気象観測船「凌風丸」で実施しました。五島列島のマイクロ波放射計データは「第2期戦略的イノベーション創造プログラム」からご提供いただきました。気象庁数値予報課が開発した現業予測システムを気象研究所に移植したメソ NAPEX を利用しました。ドローン観測は(有)タイプエス社に委託し、観測にはR-SWMを用いました。ここに記して感謝します。



第4図：洋上ドローン観測値の降水予測への効果。左下図は、ドローンデータを利用したことによる可降水量(水蒸気の鉛直積算値)の初期値の修正量。