

潮岬風力実験所におけるマイクロ波放射計を用いた 降水に伴う水蒸気変動の特徴

石井智 (京大院理), 吉田聡 (京都大学防災研究所)

1. はじめに

激しい豪雨を伴う雲の発達には、大気的不安定性や水蒸気の流入がカギとなる。降水前の水蒸気は大きく変化することが知られており、GNSS 可降水量(神田ほか, 2000)や、数値解析モデル(Tsuji et al., 2021)を利用したものなど、豪雨機構解明のため、多くの研究が行われている。しかし、これらの研究は豪雨事例を対象とし、降水系ごとに水蒸気変動に違いがあるのかの議論はなされていない。

また、GNSS 可降水量は、時間分解能は高いが、鉛直方向の水蒸気量を推定することはできず、気象庁メソ数値予報モデル MSM の配信出力は、時間分解能が3時間であり、水蒸気の数分や数十分の時間変動の議論はできない。豪雨前には境界層上空の水蒸気の流入が重要であるとの研究結果(Tsuji et al., 2021)もあり、本研究では鉛直方向の水蒸気を数十秒から数分の時間間隔で推定可能な地上設置型マイクロ波放射計に着目した。潮岬風力実験所に設置してあるマイクロ波放射計を用いて、降水前の水蒸気変動を降水系ごとに分類し、その特性を調査する。

2. 方法

2.1. マイクロ波放射計について

和歌山県串本町にある京都大学防災研究所潮岬風力実験所に設置してある古野電気株式会社製のマイクロ波放射計(以下、MWR)の水蒸気量データを使用する。約18~26 GHzの計39チャンネルで観測された放射量と気象庁の潮岬のゾンデ観測との対応から、機械学習によって直上水蒸気量の鉛直分布を推定している(岩堀ほか, 2021)。データは約20秒ごと、高度は地上100 mから10000 mまでの100 mごとである。前1分間の中央値でMWR推定の水蒸気データを1分間隔に変化後、高度100 mにおけるMWR推定の水蒸気量と気象庁の潮岬の AMeDAS 観測の水蒸気量の差による品質管理(QC : Quality

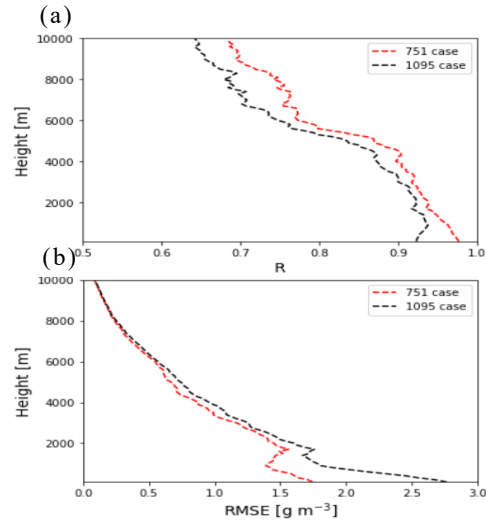


図1: MWR 推定水蒸気の高さにおける潮岬のゾンデ観測結果との比較。(a)は各高度における相関係数、(b)は各高度における RMSE。黒線は QC 前、赤線は QC 後

Control)を行う。MWR 最下層 100 m の水蒸気量と AMeDAS 水蒸気量の差が 2.77 g m^{-3} を超えるものは上層の水蒸気量の推定がうまくいっていないと判断し、使用しない。 2.77 g m^{-3} は MWR の 100 m における推定水蒸気量と AMeDAS 水蒸気量との差の1標準偏差に相当する。QC 前後の高度毎の水蒸気推定精度を図1に示す。QC 後に相関係数、RMSE がともに改善される。5000 m までは気象庁の潮岬でのゾンデ観測結果との相関係数が約0.85以上と高い相関があるが、それ以上の高度では相関係数が急激に悪化するため、本研究では5000 m までのデータを使用する。

2.2. 使用データと解析期間

前線、低気圧の抽出、環境場の分析のため、気象庁のメソ数値予報モデル(MSM)の初期値を使用する。MSM の水平分解能は地表面が5 km、等圧面が10 km である。また、降雨分布確認のため、気象庁の全国合成レーダー、台風・

熱帯低気圧の座標抽出のため、気象庁のベストトラックを使用する。解析期間は2020年8月21日14時(JST)から2022年8月31日までとする。

2.3. 降雨事例抽出

MWR 付属の感雨計の基準電圧(5 V)からの電位差を用いて、降水イベントを抽出する。感雨計は水滴が付着すると水滴が抵抗となり、電流が流れ、その時の電圧が記録される。雨が降っていない期間の基準電圧からの電位差は0である。降水イベントの抽出条件は以下の通りである。1. 感雨計が反応している時間が10分以上継続している、2. 降水の前1時間以内に別の降水がない、3. 降水前20分間のQCをパスした時刻が8時刻以上ある。

AMeDASのデータは10分間隔であるのに対し、MWRのデータ1分間隔であり、QCを行えない時刻が出現する。この問題を解決するため、前後のAMeDAS観測のある時刻のQCが両方もパスしていた場合はその間の時刻もQCをパスしていると判断する。

2.4. 降水系の分類

降水前の水蒸気変化がどのような降水系によってもたらされているかを調べるために、津口・加藤(2014)を参考に以下の6種類に分類した。

- ① 低気圧(温暖前線を含む): 潮岬までの距離が500 km 以内
- ② 寒冷前線: 潮岬までの距離が200 km 以内
- ③ 停滞前線: 潮岬までの距離が500 km 以内
- ④ 台風・熱帯低気圧本体: 中心からの距離が500 km 以内
- ⑤ 台風・熱帯低気圧の遠隔: 中心からの距離が500 km 以上、1500 km 以内
- ⑥ その他

ただし、複数の総観規模擾乱が同時に存在する場合、台風・熱帯低気圧本体、または台風・熱帯低気圧の遠隔を優先する。また、それ以外の総観規模擾乱については最も距離の近いものに分類する。津口・加藤(2014)では天気図から目視による分類を行っていたが、本研究ではMSM、ベストトラックより機械的に抽出を行う(抽出手法は省略)。

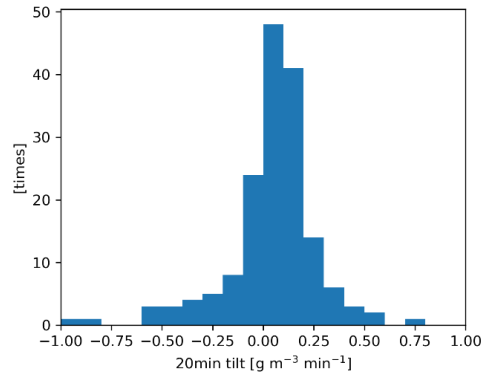


図2: 降水直前20分間のSumWVの時間変化率の頻度分布

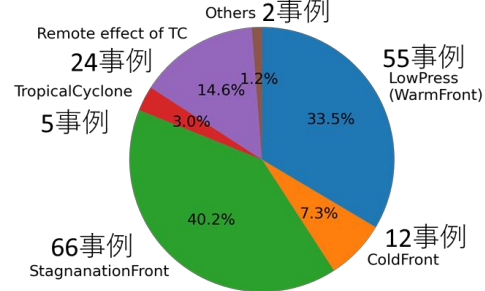


図3: 降水系の分類結果

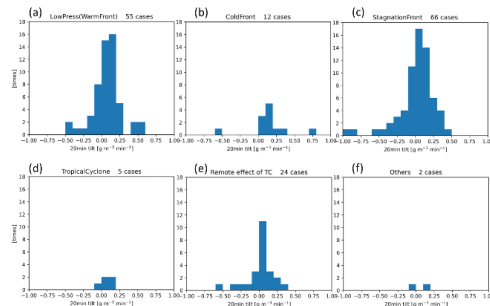


図4: 降水系別のSumWV時間変化率の頻度分布

- (a)低気圧(温暖前線を含む), (b)寒冷前線,
(c)停滞前線, (d)台風・熱帯低気圧本体,
(e)台風・熱帯低気圧の遠隔, (f)その他

3. 結果

3.1. 降水事例の抽出結果

降雨前のイベントは164事例抽出された。抽出事例の降水前20分間の100 m から5000 m ま

での水蒸気量積算値(以下, SumWV)の時間変化率のヒストグラムを図2に示す. 降水直前の20分間の時間変化率は増加事例が114事例, 減少事例が49事例である.

次に, これら164事例の降水系の分類結果を図3に示す. 停滞前線分類が66事例で全体の40%を占め最も多く, 次いで低気圧(温暖前線を含む)分類が全体の約34%となった. 降水系ごとに分類したSumWVの時間変化率の頻度分布を図4に示す. 事例数の多い低気圧(図4a)や停滞前線(図4c)は増加, 減少事例両方が存在する.

3.2. 低気圧(温暖前線を含む)分類のコンポジット

低気圧分類における, 高度毎の水蒸気変化率を増加事例, 減少事例に分けてコンポジット解析を行った(図5). 減少事例(図5a)と増加事例(図5b)を比較したところ, 4000 mより上層ではどちらも大きな変動は見られない. 一方, 3000 m以下では, 減少事例においては約30分前から増加し始め, 降水直前に減少する傾向がある. 増加事例においては, 約15分前から増加する傾向がある.

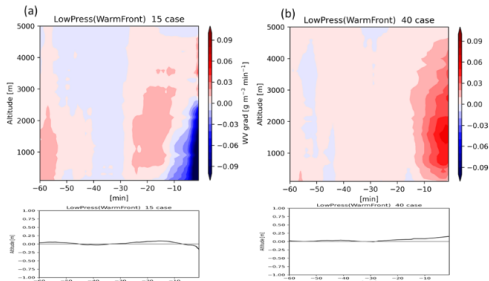


図5: 低気圧分類における高度毎の20分間水蒸気変化率のコンポジット(上)とSumWVの20分間変化率(下). (a)減少事例, (b)増加事例

3.3. 2021年10月13日に雨が降った事例紹介

低気圧分類の減少事例で, 潮岬の東に低気圧があり(図6), 2021年10月13日16時49分に雨が降った事例を紹介する. 降雨分布を図7に示す. この事例の降水は低気圧付近で生じた地形性降水である. 潮岬の北側で発生した降水域が潮岬に流入し, 降雨をもたらした. 降水1分前から60分前までの水蒸気変化を図8に示す. 降水前60分間ではそれほど大きく変化してい

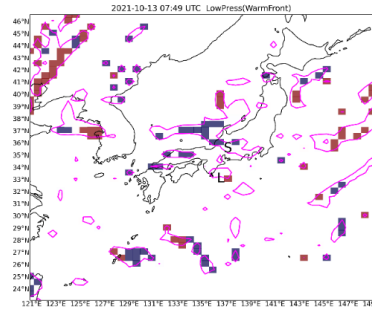


図6: 前線系分類結果. マゼンタに囲われている領域が前線域. 背景の青は寒冷前線, 赤は温暖前線, 白は停滞前線. Lは低気圧.

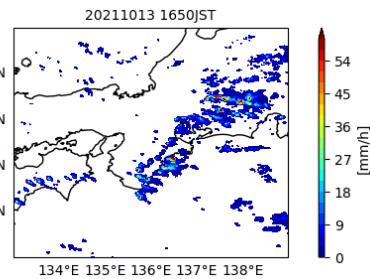


図7: 降水開始1分後の降雨分布.

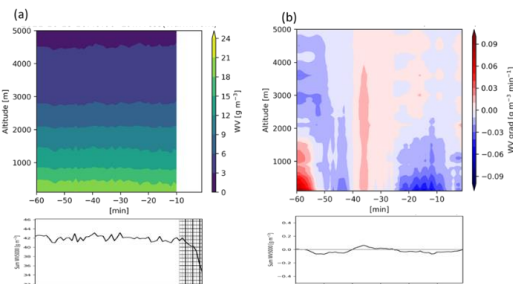


図8: 降水前の高度毎の水蒸気変動(上)とSumWV変動(下). (a)降水60分前までの水蒸気変動, (b)降水60分前までの20分間の水蒸気変化率

ない(図8a)が, 水蒸気変化率(図8b)を確認すると, 中層では水蒸気量が降水の約50分前まで減少し, その後はほぼ変化しない. 一方, 下層では降水30分前をピークに水蒸気量が減少している. 600, 900 hPaにおける降水前, 降水後のMSMの水蒸気場, 水蒸気フラックスを図9に示す. 600 hPaでは北西から水蒸気が流入し, 降水2時間前と降水1時間後とを比較すると水蒸気量がやや減少している. 一方, 900 hPaでは降水2時間前と降水1時間後を比較すると, 水蒸気量自体はそれほど変化しないが, 潮岬東側

の低気圧性循環が接近することによって水蒸気の流入が北からに変化している。次に、南北風と水蒸気量の鉛直分布を比較するため、図 10 に潮岬最近傍を通る MSM の南北断面の水蒸気量と南北風を示す。降水前後で潮岬直上では水蒸気量が下層を中心に減少している。

以上より、下層における風向きの変化によって雨雲の発生域が南に移動したことが、水蒸気量が減少しつつ雨が降った要因である。

4. まとめ

降水系ごとに降水直前の水蒸気変動率を調査し、低気圧、停滞前線の分類は増加・減少事例の両方が存在することがわかった。低気圧分類についてコンポジット解析を行い、下層での水蒸気変化が降水直前の水蒸気量の増減を左右していることがわかった。

2021 年 10 月 13 日に雨が降った低気圧の減少事例の解析を行い、下層では降水前 20 分をピークに水蒸気量が減少していた。MSM の水蒸気分布を確認すると、中層(600 hPa)では北西から水蒸気が流入し、また、水蒸気量がやや減少していた。一方、下層(900 hPa)では潮岬東側の低気圧性循環が接近することで北からの水蒸気流入に変化していたが、水蒸気量に変化は見られなかった。また、MSM 南北断面の水蒸気分布を確認すると、下層を中心に水蒸気量が減少していた。低気圧性循環の接近によって下層の風向きの変化が変化することで雨雲の発生域が南に移動し、下層を中心に水蒸気量が減少することが、水蒸気量が減少しつつ雨が降った要因である。

謝辞：本研究は古野電気株式会社との共同研究及び科研費 20H04306 及び 19H05696 の成果である。

参考文献

- 神田学, 石田知礼, 鹿島正彦, 大石哲, 2000 : 首都圏における局地的対流性豪雨と GPS 可降水量の時空間変動—1997 年 8 月 23 日の集中豪雨の事例解析—, 天気, 47(1), 7-15.
- 津口裕茂, 加藤輝之, 2014 : 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析. 天気 61(6), 455-469.

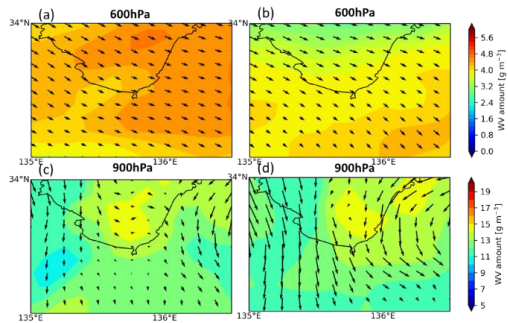


図 9 : 2021 年 10 月 13 日の水蒸気分布(シェード)と水蒸気フラックス(矢印). (a)と(c)は 15 JST, (b)と(d)は 18 JST, (a)と(b)は 600 hPa, (c)と(d)は 900 hPa.

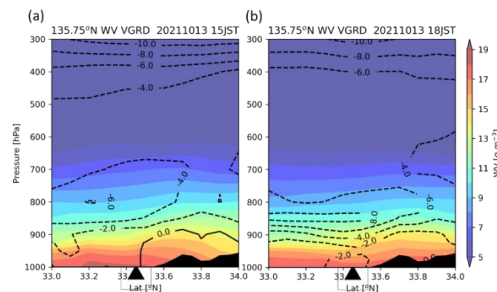


図 10 : 2021 年 10 月 13 日の潮岬最近傍(東経 135.75 度)の南北風(コンター)と水蒸気分布(シェード)の南北断面図. (a)15 JST, (b)18 JST. 南北風は破線が北風を示す。▲は潮岬の緯度。

Tsuji, H., Takayabu, Y. N., Shibuya, R., Kamahori, H., & Yokoyama, C. 2021 : The role of free-tropospheric moisture convergence for summertime heavy rainfall in western Japan. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095030.

岩堀太紀, 箕輪昌裕, 高島裕弥, 井上修平, 中田匠, 早野真理子, 吉田聡, 大石哲, 2021 : 小型マイクロ波放射計による水蒸気高度分布推定, 気象学会 2021 年度春季大会講演予稿集, 135.

※発表時の図に誤りがありましたので、本要旨には正しい図を掲載しています(図 5, 8).