

第Ⅱ部門

線状対流系への水蒸気流入経路に対する大気の安定度の影響解析

京都大学工学部

学生員 ○神谷 太雅

京都大学防災研究所

正会員 小坂田 ゆかり

京都大学防災研究所

正会員 中北 英一

1. 研究の背景と目的

近年、梅雨豪雨による災害が頻繁に起こっており、物的被害に加えて人的被害も多く発生している。この梅雨豪雨の典型的なタイプとして知られているのが、局所的で突発的な豪雨をもたらすバックビルディング型の線状対流系であり、数時間にわたって停滞することで甚大な被害をもたらす。このような線状対流系は、梅雨期に収束帯である梅雨前線に向かって南方から大規模な水蒸気が流入し、上昇流や対流が起こりやすくなることで、地形などのきっかけによりしばしば発生し、また持続的な水蒸気の流入により自己組織化を伴うことで系として維持される。ゆえに水蒸気は豪雨の発生、維持の供給源として必要不可欠であり、水蒸気がどのように地形に沿って豪雨域に流れ込んでいるのかを明らかにすることは、線状対流系の発生、発達メカニズムのより深い理解につながり、防災的な観点からも非常に重要である。

そこで、本研究では、陸域への地形に沿った水蒸気の流入が大気の安定度によってどれだけ影響されるのかに注目した。そもそも、流体学的に、大気の安定度によって大気の流れは変化する。この特性から、本研究では仮説として、大気が安定であるほど、流れは地形などに遮られたときに上昇しようとせずに地形に沿って水平的に流れようとし、水蒸気の流れとしてより地形の内側に集まろうとし、また集まることで膨らむように流れるのではないかと考えた(図 1)。そこで大気の安定度の条件を変えた感度実験を用いて、仮説の検証を行った。

2. 対象にした事例と感度実験での実験設定

平成 24 年 7 月 15 日の午前 0 時～6 時に京都府亀岡市周辺で発生した亀岡豪雨を対象とし、メソ大気モデル CReSS を用いて、再現実験と、大気の安定度の

条件のみを変えた 2 つの条件の感度実験を行った。気象庁メソスケールモデル (MSM) の解析値を用い解析を行ったところ、紀伊水道に沿った水蒸気の流入が確認できたためこの事例を対象として選出した。計算条件としては、初期時刻を 7 月 14 日午後 9 時に設定し、15 日午前 6 時までの 9 時間のシミュレーションを行った。初期値、境界値には MSM の三時間ごとの解析値を用いた。感度実験では、地表面の温度を変えずに、100hPa での温度を 2 度、4 度と上げ (それぞれ感度実験 2, 4 と呼ぶ)、その間での差分は線形的に内挿し、気温減率、温位の傾きを変え (表 1)、安定度をより高くした。

3. 水蒸気フラックスの流入の安定度による違い

過去の複数の豪雨事例において、MSM の解析値を用いて解析を行ったところ、地形に沿った地表面の水蒸気フラックスと三次元的な水蒸気の流れ込みが豪雨の必要条件であると考えられ、亀岡豪雨でも紀伊水道でその特徴がみられた(図 2)。そこで、先述した安定度の条件が異なる感度実験で、豪雨域へとつながる紀伊水道に沿った範囲(図 2 赤枠部分)において水蒸気の三次元的な流入の違いは見られるのかを検証した。この範囲で、経度方向、かつ時間的に平均した北向きの水蒸気フラックスの南北の鉛直断面を確認したところ、紀伊水道の入り口付近で、より安定である条件の感度実験のほうが、水蒸気フラックスとして強い値を示す高度が高くなった(図 3)。そこで、水蒸気フラックスの膨らみが見えた北緯 33.7° 付近(図 2 の青枠)で、北向きの水蒸気フラックスの値を、緯線に沿った東西方向の鉛直断面において確認した(図 4)。この断面において、図 1 で示したような水蒸気の流れの違いが安定度の条件の違いによって起きているのかを調べるために、水蒸気フラックスの

総量が等しくなる断面を探したところ、図 4 の白枠で囲んだように、より安定である条件下のほうが、より上に膨らみ、且つより細くなっていることが分かった。ここで、緯線に沿った東西方向の風の収束を調べたところ、水蒸気フラックスの膨らみが見えた範囲での値が、より安定である条件下のほうが大きくなっていた。ゆえに、連続式的に考えると、より安定であるとき、地形に沿った流れが強くなることで、紀伊水道のより内側に流れとして集まり、上部に逃げるように上昇することで、水蒸気フラックスが膨らみ細くなったと考えられ、図 1 の仮説が正しいと分かった。この安定下における膨らみは水蒸気混合比の値としても見られたが、水蒸気自体の集まりの効果と風としての集まりの効果を反映する水蒸気フラックスとしての膨らみのほうが大きかった。

このように大気の安定度は、地形に沿った陸域への水蒸気の流入に影響を与えられと考えられる。

4. SOM を用いた過去事例の解析

数値モデル CReSS による感度実験で見えた安定度の効果が、実際に起こった過去の事例においても確認できるかを、2010 年から 2021 年の 6 月 1 日～8 月 31 日までの 3 時間ごとの MSM の解析値を、SOM というクラスター分類を行うことで調べた。分類には、地表面水蒸気フラックスの水平分布、紀伊水道にはいりこむ領域の水蒸気フラックスの南北鉛直断面、安定度を示す温度の鉛直断面を入力値とした。その結果、亀岡豪雨の時のような南方からの流入が大きい場合、安定度が高いときにのみ、中層でも大きい水蒸気フラックスが確認できた。MSM の粗いスケールかつ SOM で大まかな特徴を捉えただけではあるが、感度実験で見えた安定度が高いときに水蒸気フラックスの流れが膨らむ効果が、実際の梅雨期に存在すると考えられる。

5. 結論

より安定である条件下では、地形に沿った流れが強くなり地形の内側に集まりやすくなり、強い水蒸気フラックスを示す領域がより細く高くなることが分かった。今後の課題としては、より安定になり水蒸気量も増える温暖化の環境では、水蒸気流入経路がどのように変わるかを詳しく調べていく必要がある。



図 1 仮説における、大気が不安定の時（左図）と安定の時（右図）の水蒸気の流れとしての違いの概念図。

表 1 再現実験、感度実験での安定度の条件の違い

	再現実験	感度実験2	感度実験4
$d\theta/dz$	0.004827	0.004951	0.005042

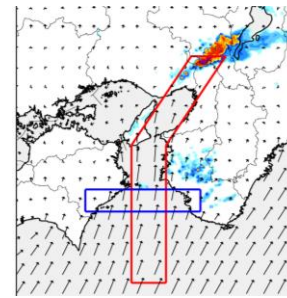


図 2 亀岡豪雨と紀伊水道での水蒸気フラックス (矢印)。

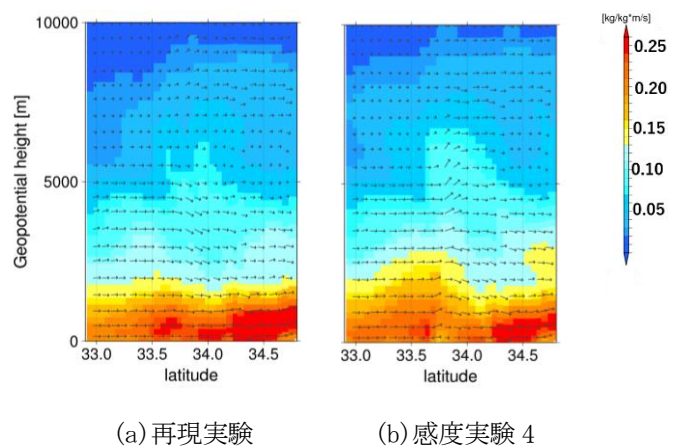


図 3 図 2 の赤枠の領域の鉛直断面の水蒸気フラックスの変化 (x 軸：緯度、y 軸：高度)。

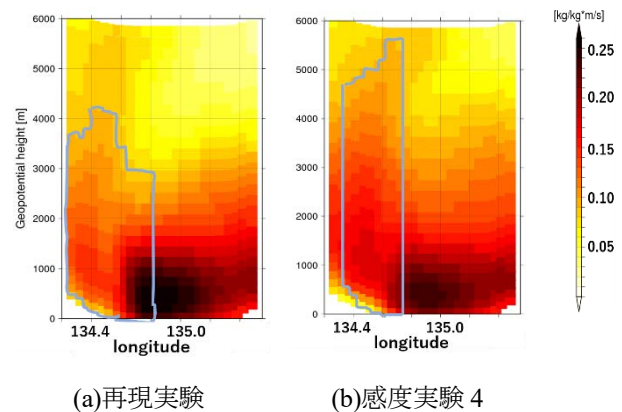


図 4 図 2 の青枠での東西鉛直断面の水蒸気フラックスの変化。