

広島県西部で発達する線状降水系の地形依存性

田中健路・松田直樹

広島工業大学環境学部地球環境学科

1. はじめに

広島県西部では、2014年8月広島豪雨¹⁾をはじめ、谷筋などの地形に沿って降水系が発達し局地的な大雨をもたらす事例がよく見られる。その要因の一つとして、豊後水道側からの下層の湿潤空気と九州山地西側を迂回して周防灘に達する下層湿潤空気の合流により、周防灘東部から広島湾にかけて大量の湿った空気が収束することが挙げられている²⁾。広島県西部は標高500mを超える山々が南西—北東方向に平行に走っており、山の斜面にほぼ平行に下層の湿った空気が進入することで線状降水帯の発達を促す要因の一つとして捉えることも可能である。しかしながら、前者の九州・四国山地といった数100kmの地形による湿潤空気の収束と後者の局所的な地形による湿潤空気の上昇とでどちらがより支配的であるかについては十分な知見が得られていない。

そこで、本研究では、広島県西部で発達する線状降水系に関して、九州・四国地方を含めた地形の効果から広島地域の局所的な地形の効果の要因を明らかにすることを目的として、様々な地形条件を与えた場合の降水系の発達について数値シミュレーションによる解析を行った。なお、対象事例として、2014年8月広島豪雨を取りあげて行った。

2. 解析方法

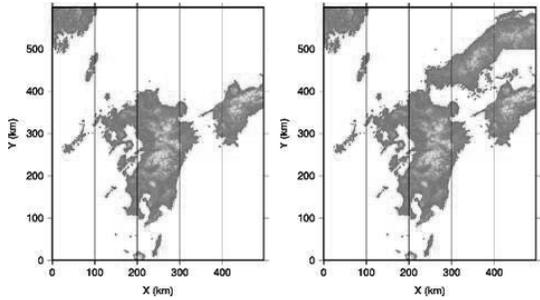
本研究では、数値気象予報モデル WRF (Weather Research and Forecast) Ver. 3.7³⁾を使用した。基本場の格子点データは、気象庁数値予報 GPV メソ解析値(MSM)と全球解析値(GSM)(100hPa 面よりも上層)、および、NCEP 5分メッシュ海面水温日別解析値を使用した。計算領域は、メルカトル図法による地図投影座標系上の北緯33度、東経131度を中心とする東西500km×南北600kmの領域とし、格子点間隔は東西1km×南北1kmとした。計算初期時刻は2014年8月19日12:00 UTC (日本時間、8月19日21:00)とし、計算時間間隔を6秒、9時間後の8月19日21:00 UTC (日本時間8月20日6:00)までの予報計算を行った。計算結果の気象要素の3次元データを10分毎に出力し、気象庁アメダス三入観測所の位置における地上気象要素の時系列データを6秒毎に出力した。

雲・降水過程の計算については、微物理過程として Milbrandt and Yau (2005)⁴⁾の方法を使用し、格子点以下の規模の積雲対流のパラメタリゼーションは省略した。大気境界層については、韓国延世大学の研究グループが開発した計算手法(Yonsei University Scheme)(Hong et al., 2008)⁵⁾を使用した。

地形データは、アメリカ地質調査所(USGS)提供の全球30秒メッシュ地形データ(GTOPO30)を基準データとし、表-1に示す地形条件について計算を行った。まず、領域全体を倍率0.0倍(0m)~1.2倍まで変更し、全域の地形の凹凸による効果について調べた。次に、九州・四国の山地地形を除去した場合、中国地方・瀬戸内海の島々の地形を除去した場合について計算した。そして、周防半島や広島県南東部の山地地形などの局所的な地形の凹凸を除去した場合について計算を行い、地形性効果について検討した。(図-1)

表-1 地形条件

(A) 領域全体の倍率 0.0, 0.1, ..., 1.0, 1.1, 1.2 (0.1 倍刻み, 全 13 例)
(B) 中国地方・瀬戸内海の島の地形の除去 倍率 0.0 倍
(C) 九州・四国の地形除去 倍率 0.0 倍
(D) 中国地方の局所地形の除去 (0.0 倍) ① 周防半島 ② 瀬戸内海の島 ③ 広島市西部 (己斐・阿武山) ④ 広島市西部 (己斐・阿武山・宮島) ⑤ 広島市南東部・呉 (灰が峰)



中国地方を除去 (B) 0.0 倍 広島東部を除去 (C) ④

図-1 本研究で地形条件として与えた例

3. 解析結果

3.1. 降雨分布の比較

図-2 は、計算領域全体の地形条件を変更した場合の降雨のピーク時間帯(8/19 16:30-19:30 UTC)における 3 時間雨量の分布である。

倍率 0.0 倍の平坦条件で与えると、島根県側に降水強度 20mm/h 前後の雨雲が発生し、弱い線状の降水系から徐々に団塊状の降水系に変化していった。その結果、3 時間雨量の分布として、20mm 前後の降雨域が団塊状に分布している。広島市上空に停滞する線状降水系は倍率 0.5 倍以上になると出現するようになる。倍率 1.0 倍を超えると、降水系の発生点が岩国・玖珂付近まで南西に移動し、廿日市市上空と広島市安佐北区上空の 2ヶ所に降水量のピークが現れた。

中国地方および瀬戸内海の島地形を除去して計算を行うと、島根

県側に降水強度 40mm/h の線状降水系が出現した (図-3 左) が、広島市上空にまで降水系が南下することはなかった。反対に四国・九州地方の地形を除去して計算を行うと、広島平野に進入する湿潤空気の上昇による地形性の線状降水帯が形成されたほか、山口県西部の山陽側や呉市から東広島市にかけての範囲で湿潤空気の上昇に伴う降水系が出現した (図-3 右)。

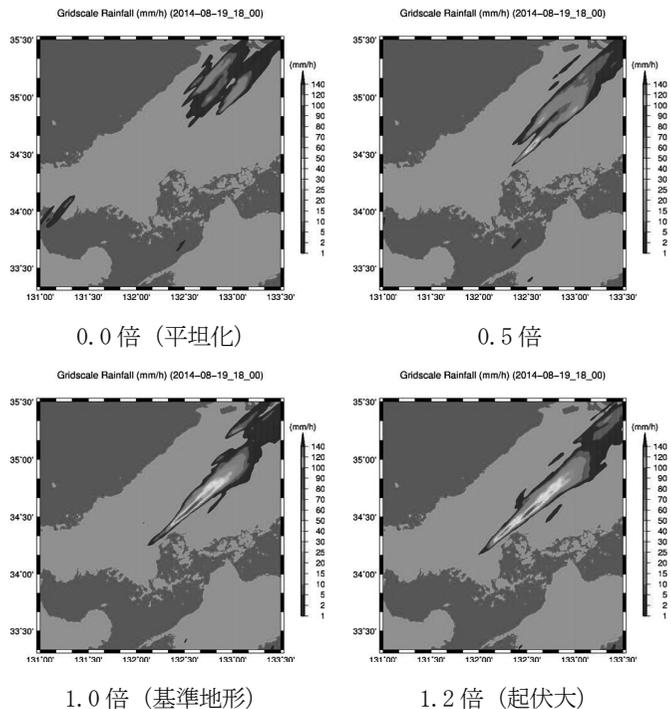


図-2 領域全体の地形条件を変更した場合の 3 時間雨量の分布 (2014/8/19 16:30 UTC-19:30UTC)

表-1(D)に示す局所地形条件を変更して計算を行った結果、周防半島の山地形を除去した場合、降水帯が全体的に東西方向に向きが転向し、他の条件と比べて降水帯の長さが短く、幅が短くなったが、降水帯の内部の3時間雨量の最大値はいずれも200mmを超える結果となった。

中国地方を平坦化(0m)

四国・九州地方を平坦化(0m)

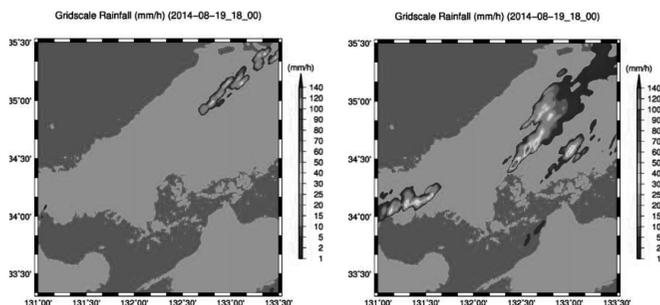


図-3 中国地方の地形と九州・四国の地形を除去した場合の降水強度分布の比較(2014/8/19 18:00 UTC)

3.2. 下層風場と降水帯の横断方向の構造

図-4は、本研究の計算結果のうち、標高1000mの下層風の水平風と鉛直風の分布を示したものである。(a)、(c)の地形条件のように、山地斜面の南東側(海側)で下層湿潤空気の上昇が顕著で、そのすぐ北側(山側)に下降流が発達し、広島県北部まで延びている。一方、中国地方の地形を除去した(b)の場合では、風の収束域が広島・島根県境付近に位置しており、線状降水系に沿った海側の上昇流域と山側の下降流域の非対称な分布が見られない。

降水帯の横断方向の鉛直構造の例を図-5に示す。図中の水平距離40~50km付近に自由対流高度を示す太実線を境に上昇流と下降流が明瞭に分かれている。この下降流域よりも南東側では冷気外流流

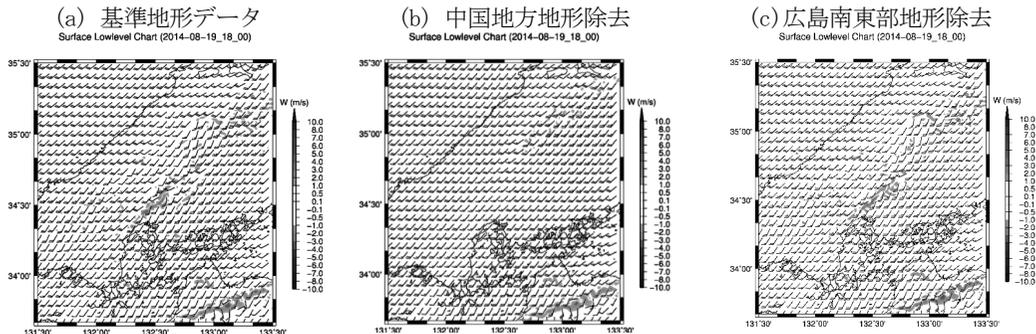


図-4 標高1000mの水平・鉛直風分布(2014/8/19 18:00UTC)

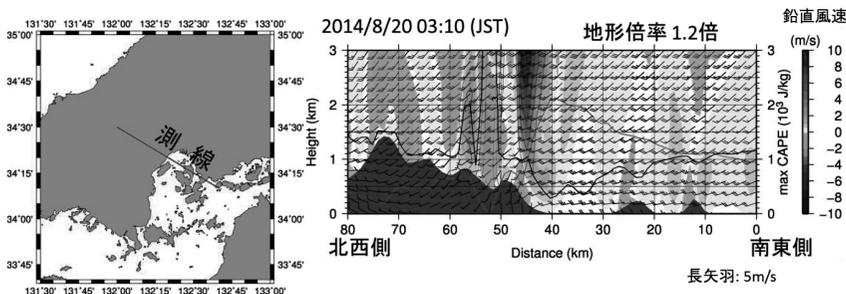


図-5 降水帯の横断方向(測線を右側に図示)の対流圏下層の気流構造と対流有効位置エネルギー(薄実線)、自由対流高度(濃実線)の分布(左側)。

に伴い、海面付近の風向がやや西よりに転向している。海側の斜面に対してほぼ平行に入ってきた下層の南西風が自由対流高度に到達して上昇し、山側では下降流が発達する。下降流が地表付近に到達すると、標高の低い海側に流出しやすくなり、海側からの下層暖湿気の流入の際の空気塊の上昇を促進する役割を持つものと考えられる。

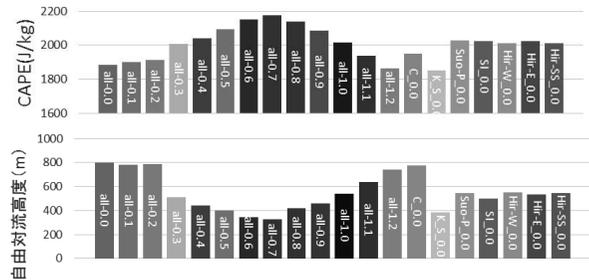


図-6 広島湾湾口部の対流有効位置エネルギー(上段)と自由対流高度(下段) (8/19 16:30-19:30 の3時間平均)

4. 議論

本研究の計算結果より、広島県西部の山地形に平行な海よりの上昇流と山よりの下降流場の非対称構造が重要であることが明らかとなった。図-6は広島湾湾口部からの流入空気の対流有効位置エネルギー(CAPE)と自由対流高度を計算事例別にまとめたものである。この条件で見ると、領域全体の地形倍率が0.7倍付近で最も地形による持ち上げにより降水系が発達しやすいと考えられるが、地形の傾斜が少し緩やかな分だけ降水域が下流側に流され、ピーク雨量は基準地形の結果と比べて20%以上小さい。CAPE=2000J/kg前後を有していれば、自由対流高度と広島県西部沿岸部の山頂高度との関係が重要であるものと思われる。また、中国地方の地形を除去した場合、CAPE=1950J/kgであり、活発な積乱雲を発生させる環境場の条件ではあるものの、対流の発生自体はこれだけでは満たされない。従って、九州・四国地方の地形に起因する下層暖湿気流入効果は、広島西部の局地的地形によって持ち上げられた積乱雲の活動をより活発化させる補助的な役割として機能すると考えられる。

5. 結論

本研究において、広島県西部で発達する線状降水系について、地形的要因の観点から解析した結果、以下の結論を得た。

- (1) 周防半島から広島県西部の沿岸部の山地斜面の地形が、線状降水系において進行方向に対して左右非対称な発達構造を形成することで、総延長100km以上におよぶ線状降水帯が形成可能となる。
- (2) 九州・四国地方の地形による下層暖湿気流入効果は、降水が発生した段階で更に降雨を強めるという補助的な役割として重要な意味を持っている。

参考文献

- 1) 田中健路 (2015) 平成26年8月広島豪雨の気象学的メカニズム, 消防科学と情報, 第120巻, pp.44-49.
- 2) 栗原佳代子, 金森恒雄, 瀬古弘(2009) 2003年7月18日に広島県で発生した線状降水帯 ―気象庁非静力学モデルで解析した気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果―, 天気, 第56巻, pp.613-627
- 3) Skamarock, W.C. and J.Klemp (2008) A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications, J. Comput. Phys., vol. 227, pp.3465-3485.
- 4) Milbrandt, J.A. and Yau, M.K (2005) A multimoment bulk microphysics parameterization, Part I: analysis and the role of the spectral shape parameter, J.Atmos.Sci., 62, pp. 3051-3064.
- 5) Hong, S.-Y., Noh, Y., and Dudhia, J. (2008) A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes, Monthly Weather Review, vol. 134, pp.2318-2341.