

29. 領域気象モデルWRFを用いた西濃豪雨の再現性の検証及び土地利用変遷が豪雨に及ぼす影響

臼井 秀行^{1*}・東海林 孝幸¹

¹豊橋技術科学大学 環境・生命工学系 (〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

* E-mail: h123404@edu.tut.ac.jp

近年、河川計画を超えるような豪雨が多数発生しており、このような大雨の発生による社会的および人的な被害を軽減するために豪雨の発生を定量的に予測することは必要不可欠である。しかし、発生メカニズムについて詳しく解明されておらず、気象モデルによる予測が非常に困難とされている。

本研究では、領域気象モデルWRFを用いて過去の豪雨事例の解析を行い、WRFによる豪雨の再現性を計算領域の広さや位置と関連付けて評価した。加えて、土地利用の変化が降雨分布にもたらす影響についても調べた。計算結果より、気温や一部の風速は計算領域を広げることによって再現性を高めることができ、また、計算領域内に海面域を多く取り入れることで、降雨捕捉率の向上がみられることを確認した。しかしながら、山間部等の複雑地形下での高補足率は低く、地形影響を適切にモデルに反映する必要性のあることが示唆された。土地利用の変化が降雨分布にもたらす影響について、名古屋都市部の土地利用を「都市あり」「都市なし」の2パターンについて解析を行ったところ、「都市なし」では「都市あり」に比べ、揖斐川地区における降雨量が著しく減少し、都市の存在と降雨分布に関して何らかの関連性があることが示唆された。

1. はじめに

近年、局所的大雨やゲリラ豪雨と呼ばれるような大雨の発生が多数報告されている。気象庁のデータによれば時間降水量100ミリを超える大雨の発生件数は年々増加の傾向にあるとされ¹⁾、時にこの豪雨の発生は河川の増水や氾濫、家屋の浸水被害、土砂崩れ等による社会的・人的被害をもたらしている。都市部で発生するゲリラ豪雨に関して、ヒートアイランド現象との関連性に着目した先行研究では都市構造の熱的な特徴や、人工排熱との間に相関がみられることが報告されている。²⁾³⁾このような豪雨の発生メカニズムを解明し、適切な予測を行うことは、減災に多く寄与すると考えられる。本研究では2008年9月2日～3日にかけて岐阜県揖斐川町で発生した西濃豪雨について、アメリカの国立大気研究センター(The National Center for Atmospheric Research : NCAR)を中心にして開発された領域気象モデルWRF (Weather Research and Forecasting) を用いて数値シミュレーションを行い、(1)再現性評価と(2)土地利用の変化が降雨分布に与える影響について調べた。

2. 方法

2.1 モデル再現性評価

WRFによる解析のための初期値・境界値にはNCEP/NCAR再解析データを使用した。この再解析データの水平解像度は2.5度で、時間間隔は6時間である。計算を行うモデルの水平解像度は2km、鉛直層数を27とし、計算期間は、2008年9月1日0時から9月4日0時までとした。

モデルの再現性は、揖斐川町と岐阜市、及び名古屋市に設置されたアメダス(以下それぞれを「揖斐川」「岐阜」「名古屋」と略す)の観測結果とWRFによる計算値を比較し、風速と気温の再現性の検証にはRMSE(二乗平均平方根)を、降雨の再現性の検証には気象庁が予報精度検証に用いている降雨捕捉率⁴⁾を求めることで評価した。それぞれの算出方法を以下に示す。

＜平均二乗誤差 RMSE＞

誤差を一旦2乗してから平均し、平方根をとったものをである。平均二乗誤差は常に正の値となり、誤差の標準的な大きさを示す指数となる。値が小さく0に近いほどモデルの再現性が高いことを示しており、個々の誤差の60%～70%は、±(2乗平均平方根誤差)の間に収まる。式を以下

に示す。ここで、 x_i は誤差を、 N はデータ数を表す。

$$\text{平均二乗誤差 RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

<降雨捕捉率>

観測値が「降雨あり」だった場合だけを取り出し、そのうち計算値も「降雨あり」だった割合を示す。なお時間降雨量 1mm 以上を「降雨あり」とする。

$$\text{降雨捕捉率} = \frac{\text{計算値「降雨あり」}}{\text{実測値「降雨あり」}} \quad (\%)$$

2.2 シミュレーションケース

モデルの再現性を確かめるため、以下に示す No.1～No.5 の計算を行い、領域の大きさや位置が解析結果に及ぼす影響を調べた。計算領域は西濃豪雨の発生した岐阜県揖斐川町のアメダス設置位置（北緯 35.57 度、東経 136.57 度）を中心とし、水平解像度を変更せず、計算領域のみを表 1 のように 4 段階に広げ、領域面積の増加が気温と風速の計算結果に及ぼす影響を調べた。次に、領域面積 36000km² で図-1 のように中心点を南東にずらし計算領域内に海面域を多く取り入れるように計算を行った。これを No.5 とする。

上記調査後、土地利用の変化が降雨分布に及ぼす影響を調べるため、名古屋を中心とした 40km 四方の土地利用を「都市」から「森林」へと変更し、「都市あり」、「都市なし」における降雨の変化を調べた。図-2 に「都市なし」の土地利用を示す。四角で囲われた範囲が都市から森林へと変更されている。都市と森林の地表面物性値を表-2 に示す。

3. 結果および考察

3.1 気温と風速についての再現性について

No.1～No.4 の結果を図-3、図-4 に示す。揖斐川と岐阜の気温についての RMSE を比較すると、No.1、No.2 でその差はほとんどないが、No.3、No.4 では岐阜が揖斐川に比べ RMSE の値が小さく再現性が高いという結果になった。風速については全ての計算において岐阜の再現性が高いという結果になった。岐阜は平野部に位置しており、地形の起伏が少なく、風の流れを妨げるものが少ない。このため、山間部の複雑地形に位置している揖斐川に比べ、風速、風向きの再現性が高かったと考えられる。

表-1 各計算における領域面積

No.	領域面積 (km ²)
1	16000
2	36000
3	49000
4	64000

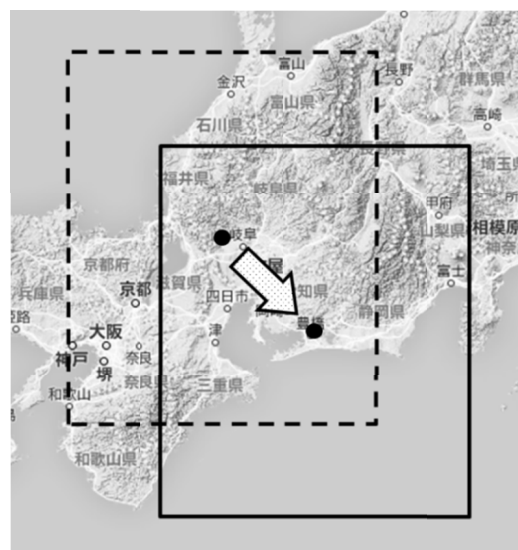


図-1 No.5 の計算領域

表-2 都市と森林の物性値⁵⁾

USGS 土地利用分類	アルベド [%]	蒸発効率 [%]	放射率 [%]	粗度長 [cm]	熱慣性 [kJ/m ² ・K・s ^{0.5}]
都市	15	10	88	80	1.26
森林	13	30	97	50	1.68

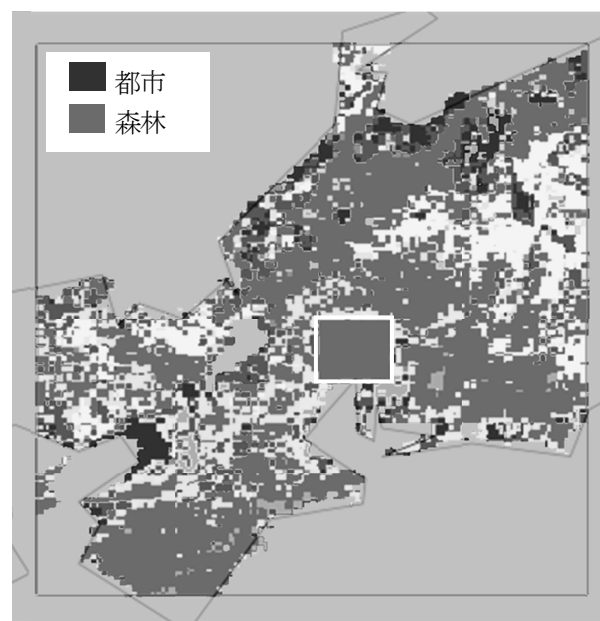


図-2 ケース「都市なし」の土地利用

また、気温について No.1 から No.4 まで計算領域を増加させたところ、揖斐川と岐阜において RMSE の低下、再現性の向上がみられた。このような結果となった要因として、揖斐川地区の地域特性が挙げられる。揖斐川地区は日本海側にある若狭湾と太平洋側にある伊勢湾の中間地点に位置し、季節風や海面からの水蒸気輸送量の影響を強く受ける地域であるため、計算領域を広げたことにより、それらの影響を考慮することができ、気温の再現性が向上したと考えられる。

気温の再現性評価の指標に RMSE を使用した先行研究⁶⁾では、2~3℃程度となっており、今回のシミュレーション結果と同程度の再現性となった。一方で、風速についての RMSE は 1~2m/s 程度となり、計算領域変化には依存しなかった。

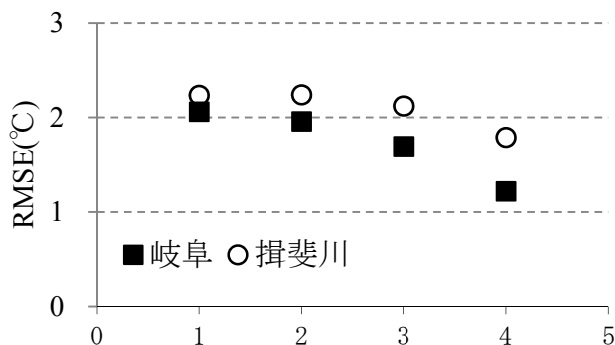


図-3 気温の RMSE (横軸は表 1 の No.に対応)



図-4 風速の RMSE (横軸は表 1 の No.に対応)

3.2 降雨補足率を用いた再現性評価

降雨補足率について、前節と同様に段階的に計算領域を増加させたが、これが降雨補足率に及ぼす影響は小さかった。(表-3) シミュレーション結果の一例として、ケース No.4 の計算結果を図-5 に示す。図より、揖斐川については時間雨量 70mm/h を記録した 9 月 2 日 15 時から同日 19 時までの降雨はモデルによって再現されていないが、9 月 3 日未明の降水の一部は再現されている。結果、揖斐川における降雨捕捉率は 17.6%であった。前半の降雨が再現されなかった原因として、豪雨が観測さ

表-3 各ケースにおける降雨補足率

場所	No.	降雨捕捉率 [%]
揖斐川	1	11.8%
	2	5.9%
	3	17.6%
	4	17.6%
	5	52.9%
岐阜	1	10.0%
	2	10.0%
	3	10.0%
	4	30.0%
	5	60.0%

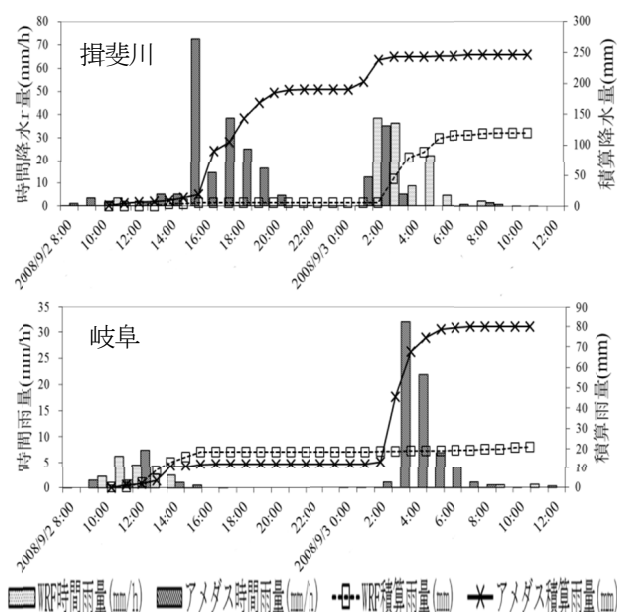


図-5 WRF とアメダスによる時間雨量と積算雨量

れた時間帯における急激な風向の変化をモデルでは再現できず、その結果、豪雨帯の南下が妨げられたためと考えられる。また、積算雨量についても、前半の降雨がモデルで再現されなかったため、計算値は実測値(約 230mm)の 50%程度であった。

岐阜については、前半の降雨はモデルによって比較的よく再現されているが、3 日未明の降雨については再現出来ず、降雨捕捉率は 30%となった。この原因として、当該時間の気象データでは、3 日 0 時ごろに揖斐川で停滞していた豪雨帯が風向きの変化とともに東に移動し 3 日午前 3 時に岐阜に時間雨量 30mm/h の雨を降らすに至っているが、上記と同様にこのモデルでは風向の変化を再現できなかったためと考えられる。

次に、中心基準点の位置を南下させ、モデル内に海面域を広くとった。このとき、降雨捕捉率は向上し揖斐川

で 52.5%、岐阜で 60%となった。この精度の向上は海面域を大きくとることによる水蒸気輸送量の増加が原因であると考えられる。

3.3 土地利用の変化が降雨分布に及ぼす影響について

都市効果と豪雨の関連性を調べるための前段階として、土地利用の変更が降雨分布に及ぼす影響を調べる。

図-6 に 9 月 2 日 2 時～9 月 3 日 14 時の名古屋のアメダスの位置における時間降水量を示す。凡例の「アメダス」はアメダス実測値である。アメダスでは 9 月 2 日 5 時～10 時と 9 月 3 日 0 時～6 時の 2 回の降雨が観測されており、とくに後者は時間最大 20mm の激しい降雨が発生している。シミュレーション「都市あり」ではどちらの時間帯においても降雨を概ね再現しているが、一方で「都市なし」では、前半の降雨は再現出来たものの、後半の降雨を全く再現できていない。このことは、後半の降雨が都市の影響を示唆するものと考えられる。

気象要素について、気温については、降雨発生前の 9 月 1 日 15 時～2 日 2 時の間で「都市あり」が「都市なし」に比べ最大で 1℃高く、また、鉛直方向の風速については、降雨後の 9 月 3 日 8 時～9 時の間で「都市あり」に鉛直下向きの風速（下降流）が発生していた。（図-7 参照）この下降流は落下する雨粒によって引き起こされたものであると考えられるが、豪雨発生直前の 9 月 3 日 0 時付近に両ケースの大きな風速差は無かったことより、「都市あり」と「都市なし」の降雨再現性の違いは地上風の収束地点の違い、地表面熱輸送量及び水蒸気量の違いが寄与していると考えられる。

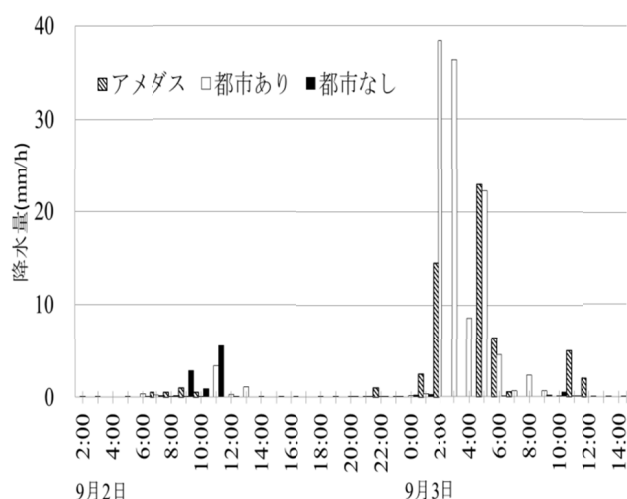


図-6 名古屋における時間降水量の比較

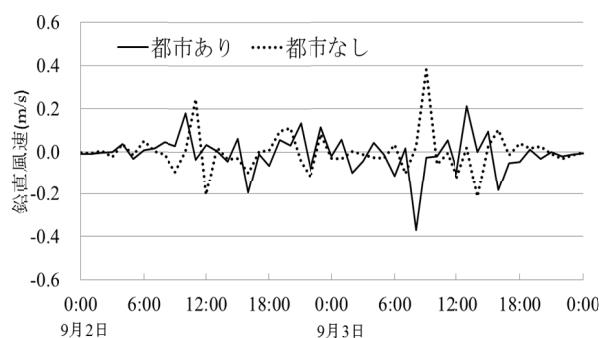


図-7 鉛直方向の風速（マイナスは下方向の風速）

4. まとめ

本研究では領域気象モデル WRF を使った西濃豪雨の再現性評価を行い、土地利用の変化が結果におよぼす影響も調べた。その結果、気温については計算領域を広げていくことで再現性を向上させることが出来た。これは掛斐川地区の地域特性上、計算領域を広げることで日本海側と太平洋側からの影響をよく再現できたからであるといえる。また、短時間に局所的に降る豪雨については、これを再現することが出来なかった。これは、山間部等の複雑地形における風速、風向を詳細に再現することが出来なかったことが原因のひとつと考えられる。一方、海面域を多くとり計算を行うことで降雨捕捉率の向上を図ることが出来た。今後はより現実に近い結果が得られるモデルの設定、データの同化について検討を行っていく必要がある。

土地利用の変化が降雨分布に及ぼす影響について、都市効果により降雨強度が高まる可能性が示唆された。しかし、これを決定づける要因は少なく、今後は海面からの水蒸気の流入量や、地上風の収束地点、地表面温度などの豪雨発生の要因となるその他のパラメーターについても解析を進め、都市効果と豪雨との関連性を検証し、その発生条件について調べていく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 気象庁 HP：アメダスで見た短時間強雨発生回数
の長期変化について。 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 白木洋平、樋口篤志、近藤昭彦（2009）：東京都周辺域における都市環境が降水に及ぼす影響。 環境科学会誌 22 巻 3 号 p.187-195
- 3) 日下博幸、羽入拓郎、縄田恵子（2010）：GPS 可降水量に着目した局地豪雨の事例解析。 地理学評論 85-5 p.479-492
- 4) 国土交通省 気象庁 HP：天気予報の精度検証結果 検証方法の説明。 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 5) WRF User's Guide : http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html
- 6) 櫻井溪太、金川裕光（2010）：WRF を用いた数値予報システムの開発と精度検証。 社団法人日本気象学会 大会講演予講集 98