

大都市圏における将来の降雨予測と浸水域推定 Future Projections of Precipitation in a Metropolitan Area and Estimation of Flooding Zones

伊藤ちひろ*¹, 飯塚悟*¹, 高取千佳*²
Chihiro ITO, Satoru IIZUKA, Chika TAKATORI

In this study, we performed future (the 2030s and 2050s) projections of precipitation in the Nagoya metropolitan area by dynamical downscaling simulations. In addition, we attempted to estimate flooding zones based on the results of the future projections and the indices that are considered to contribute to flooding. In the next phase of this study, we will investigate the effects and required ranges of introducing green infrastructure against future rainfalls, especially future heavy rains, under the progress of global warming.

1. はじめに

地球温暖化の進行に伴い、異常気象・極端気象が多発している。気象庁の観測結果によれば、全国 1300 地点における 1 時間降雨量 50 mm 以上の平均年間発生回数（1300 地点の合計回数）は、1976～1985 年の間が 226 回であったのに対し、2011～2020 年の間では 334 回となり、約 1.5 倍増加している。また、温室効果ガス排出シナリオに RCP8.5 を用いた将来気候予測から得られた 2076～2095 年における 1 時間降雨量 50 mm 以上の平均年間発生回数（全国平均）は、1980～1999 年の同回数の 2 倍以上となっている。

強雨・豪雨が増加すれば、外水・内水氾濫や土砂災害などの危険な水害の発生確率も増加する。雨水浸透・貯留・流出抑制機能を持つグリーンインフラの導入は、水害対策もしくは補助的な水害緩和策としての役割が期待されている。しかし、その具体的な導入効果や必要範囲について、これまでのところ十分な検討はなされていない。

本研究の最終目的は、地球温暖化の進行下の将来の降雨（特に強雨・豪雨）に対するグリーンインフラの導入効果や必要範囲を定量的に検討することである。対象地域は、大都市圏の 1 つであり、強雨・豪雨に見舞われることも多い名古屋都市圏（図 1 参照）とする。本報では、グリーンインフラの導入検討の前段階として、温暖化ダウンスケーリングシミュレーションを用いて名古屋都市圏

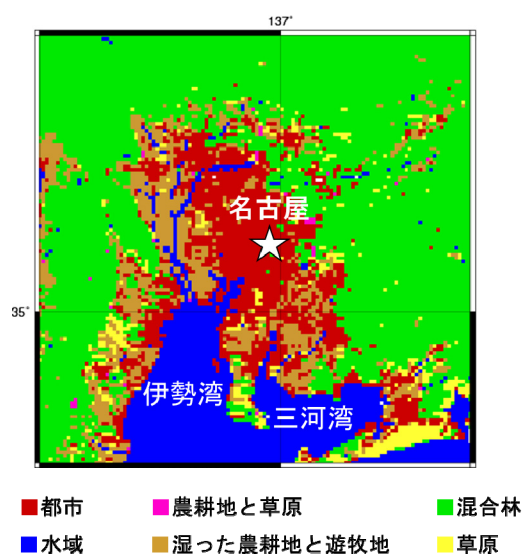


図 1：対象地域（名古屋都市圏）の土地利用分布

における将来 2030 年代と 2050 年代の降雨予測を行う。さらに、それらの将来予測結果と浸水に寄与すると考えられる指標を用いて浸水域の推定を試みる。

2. 降雨予測手法

2. 1 対象地域・年代と予測モデル

本研究の対象地域は名古屋都市圏、対象年代は 2030 年代と 2050 年代である。対象月は、対象地域の夏季において降水量が多く、強雨の頻度も多い 7 月とした。対象とする将来年代の地球温暖化

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 nu.chihiroito@gmail.com
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

*2 九州大学大学院芸術工学研究院
Graduate School of Design, Kyushu University

の影響は、Kimura ら（2007）の擬似温暖化手法に基づく温暖化ダウンスケーリングシミュレーションを実施することにより考慮した。

擬似温暖化手法で用いる気候差分（将来気候値－現在気候値）は、全球気候モデル GFDL-CM4 の結果を用いて作成した。なお、将来気候値は温室効果ガス排出シナリオに RCP8.5 を用いた場合の結果を用いた。本研究の温暖化ダウンスケーリングシミュレーションでは、上述の気候差分を 2011 年、2017 年、2019 年の客観解析データ（NCEP Final Operational Global Analysis data）に付加したデータを 3 段階のネスティング（表 1 参照）を施した領域気象モデル WRF ver. 4.0 の初期値・境界値として使用している。

2. 2 予測ケース

表 2 に示すように、本研究では 2030 年代、2050 年代それぞれの将来予測で 3 ケースずつ、計 6 ケースの予測を行った。各将来年代の 3 ケースの違いは、擬似温暖化手法において気候差分を付加する客観解析データの使用年（ベース年）の違い（2011 年：ケース名末尾 a、2017 年：同末尾 b、2019 年：同末尾 c）である。また、比較のため、客観解析データの使用年（2011 年、2017 年、2019 年）を対象とした過去再現解析も実施した。

物理モデルの選択は降雨予測を始めとする気象予測の精度を左右するものであるが、ここでは、雲物理モデルと乱流モデルの影響について、2010 年～2019 年の 7 月の過去再現解析を通じて事前に検討した。雲物理モデルとしては、水蒸気、雲水／雲氷、雨／雪の 3 分類を取り扱う WRF Single-Moment 3-class scheme (WSM3) と、水蒸気、雲水、雲氷、雨、雪、あられの 6 分類に加えて雲氷と雨の数濃度を用いる Thompson の 2 つを比較した。乱流モデルは、0 方程式系の渦粘性近似（勾配拡散近似）モデルである YSU と、2 方程式系（乱流エネルギーと乱流エネルギー×長さスケール）の渦粘性近似モデルである MYJ の 2 つを比較した。

図 2、図 3 は、名古屋都市圏（図 1）の☆印位置における解析結果と観測結果の比較で、図 2 は 7 月の時刻別 1 ヶ月平均+10 年（2010 年～2019 年）平均気温の比較、図 3 は 2010 年～2019 年の 7 月およびその 10 年平均の月積算降雨量の比較である。図 2 において、観測結果と解析結果の最大気温差は、0.92 °C（WSM3-MYJ）、1.14 °C

表 1：WRF ネスティング領域

領域	大きさ（上段） 格子数（下段）	水平格子間隔
1	1975 km×1975 km×20 km 79×79×34	25 km
2	500 km×500 km×20 km 100×100×34	5 km
3	120 km×120 km×20 km 120×120×34	1 km

表 2：予測ケース

ケース	対象年月
Case P-a	2011 年 7 月
Case P-b	2017 年 7 月
Case P-c	2019 年 7 月
Case F-30-a	2030 年代 7 月 (RCP8.5)
Case F-30-b	
Case F-30-c	
Case F-50-a	2050 年代 7 月 (RCP8.5)
Case F-50-b	
Case F-50-c	

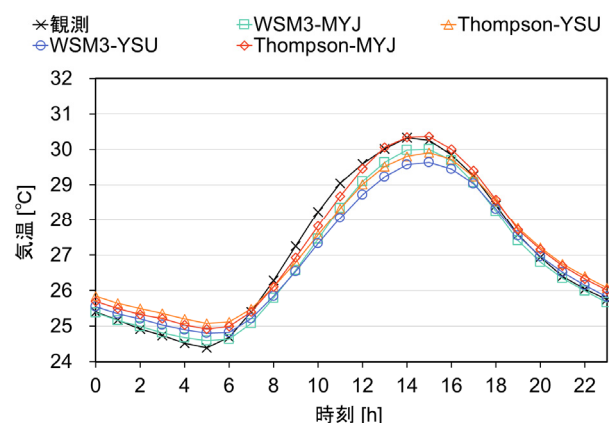


図 2：時刻別 1 ヶ月平均+10 年平均気温（7 月）

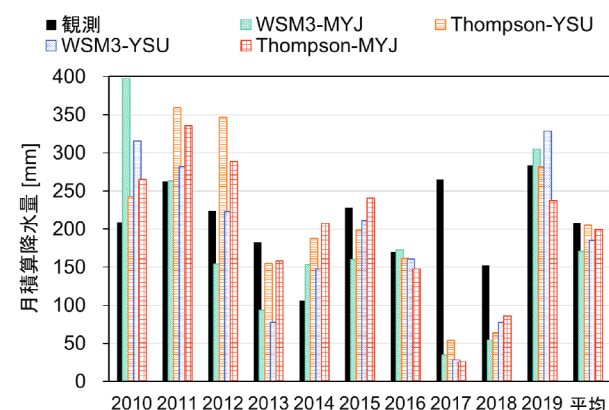


図 3：月積算降雨量（7 月）

（WSM3-YSU）、0.55 °C（Thompson-MYJ）、0.87 °C（Thompson-YSU）であり、どの組み合わせも十分高精度とは言い難い。図 3 において、各

年の解析結果は観測結果と差が見られているが、10年平均の月積算降雨量は観測結果の208.3mmに対して解析結果は170.7mm（WSM3-MYJ）、185.1mm（WSM3-YSU）、199.2mm（Thompson-MYJ）、205.0mm（Thompson-YSU）であり、Thompson-YSUの組み合わせが最も観測結果に近い。そこで、表2の全ケースにおいて、雲物理モデルにはThompson、乱流モデルにはYSUを用いることとした。

3. 降雨予測結果

図4は、名古屋都市圏（図1）の☆印位置における7月の時刻別1ヵ月平均気温について、Case P-c、Case F-30-c、Case F-50-cの結果を比較したものである。図4の全時間帯平均値、すなわち、7月平均値と比較すると、過去再現解析のCase P-cに対し、Case F-30-c（2030年代）が1.54℃上昇、Case F-50-c（2050年代）が2.43℃上昇となっている。図は省略するが、Case P-aに対するCase F-30-a（2030年代）、Case F-50-a（2050年代）の気温上昇量はそれぞれ1.04℃、1.89℃、Case P-bに対するCase F-30-b（2030年代）、Case F-50-b（2050年代）の気温上昇量はそれぞれ0.82℃、1.71℃となっている。

図5は、名古屋都市圏（図1）の☆印位置における月積算降雨量の過去再現解析結果と将来予測結果の比較である。Case *-bのケース群では、年代が進むにつれて降雨量が増加している。温暖化（気温上昇）が進めば、水域からの水蒸気発生が増加し、降雨量も増加する方向にあると考えられるが、Case *-aのケース群、Case *-cのケース群ではそのような傾向が明確には見られない。Case F-30-*のケース群、Case F-50-*のケース群の将来予測においては、擬似温暖化手法で用いる客観解析データの使用年の違いにより、降雨量も異なっている。以上に関して、今後、擬似温暖化手法で用いる客観解析データのアンサンブル平均化や直接ダウンスケーリング手法の導入を行い、引き続き検討を重ねていく予定である。

4. 浸水域の推定

4. 1 浸水被害時の降雨量

表3は、名古屋市が公開している浸水実績図や雨量観測所データに基づいてまとめた浸水被害時の降雨量の一覧である。同表において、水色の欄の状況・場所で浸水が発生している。

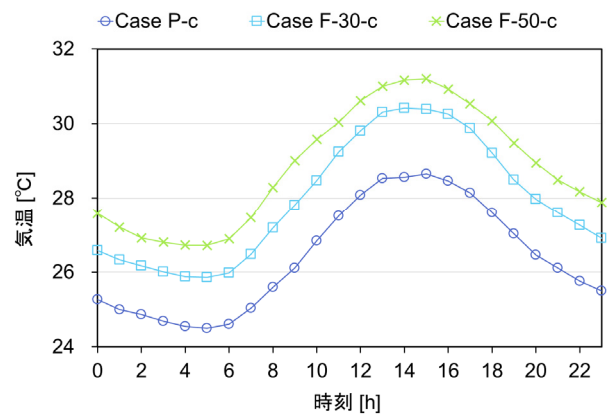


図4：時刻別1ヵ月平均気温（7月）

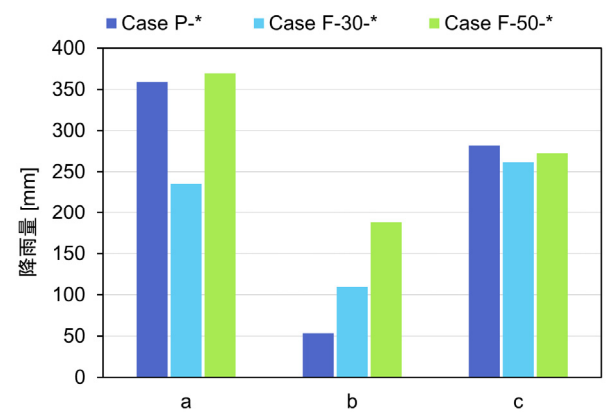


図5：月積算降雨量（7月）

表3 浸水被害時の降雨量（mm）

観測地	H12 豪雨	H16 豪雨	H20 豪雨	H21 台風	H25 豪雨
東	75.0	31.0	95.5	67.5	94.0
北	70.0	14.0	113.0	75.7	108.0
楠	—	15.0	108.0	65.5	106.0
西	64.0	14.5	110.0	84.0	101.0
中村	75.7	19.0	86.5	60.0	107.0
中	72.0	26.0	96.5	82.0	103.5
市役所	67.0	25.5	103.0	61.5	106.0
昭和	82.0	61.0	66.5	25.5	55.0
瑞穂	100.5	107.0	75.0	88.5	46.5
熱田	86.5	63.0	71.5	71.0	93.0
中川	56.0	26.5	97.5	72.5	100.5
港	59.5	13.0	66.5	72.0	99.0

4. 2 浸水に寄与する指標と降雨量との関係

本研究では、浸水に寄与すると考えられる指標として、①河川からの距離、②標高、③地形傾斜、④土地利用、⑤地形区分、⑥表層地質の6つを用いた。ここで、①～⑥の値や情報は、国土数値情報や基盤地図情報から引用した。

①～⑥の指標を観測地点毎に整理し、表3の状況と照らし合わせることで降雨量との関係や浸水

条件を導いた。図 6 はその一例で、河川からの距離と降雨量の関係を示したものである。同図に基づくと、1 時間降雨量が 56 mm の時、河川からの距離が 3290 m 以下で浸水する可能性があることが読み取れる。さらに、1 時間降雨量が 82 mm の時は河川からの距離が 4290 m 以下となる場合、1 時間降雨量が 96.5 mm の時は河川からの距離が 5030 m 以下となる場合に浸水する可能性があることが分かる。浸水に寄与する他の指標についても同様のことを行い、1 時間降雨量毎の浸水条件としてまとめたものが表 4 である。

4. 3 浸水域の推定

浸水に寄与する指標①～⑥（4. 2 参照）で与えられる 1 時間降雨量毎の浸水条件（表 4 参照）の全てに該当する場所（図中黒色）を示した図（ここでは、図示する範囲は名古屋市内（図中水色）に限定）が図 7～図 9 である。図 7、図 8、図 9 はそれぞれ、1 時間降水量が 50 mm、80 mm、90 mm の場合の結果である。

図 10 は、過去の豪雨（平成 20 年 8 月末豪雨）時の実際の浸水域と図 9 の結果を比較したものである。ただし、図 9 の結果は対象範囲で一様に 1 時間降雨量が 90 mm となる場合を想定していることに注意されたい。図 10 中の青枠は、当該の過去の豪雨で 90 mm 程度の降雨が生じた範囲を示している。その範囲で比較すると、実際の浸水域と図 9 の結果は概ね一致している。

図 7～図 9 の結果は、対象範囲で一様の降水量を想定したものであるが、実際には降雨量の空間分布が存在する。その空間分布として、3 章の降雨予測結果を用いた一例が図 11 である。ここで使用した降雨分布は、2050 年代 7 月 1 カ月の間で 1 時間降雨量が最大となった時刻（0 時）のものである。図中の黒色がその降雨状況において浸水域と想定される場所を表している。

5. まとめ

本研究では、擬似温暖化手法に基づく温暖化ダウンスケーリングシミュレーションにより、将来 2030 年代と 2050 年代の名古屋都市圏における降雨予測を実施した。今回のシミュレーションでは、温暖化の進行（気温上昇）に伴う降雨量の増加は明確には見られなかった。この点に関して、今後、擬似温暖化手法の取り扱いの修正や直接ダウンスケーリング手法の導入により、さらなる検討を行う予定である。

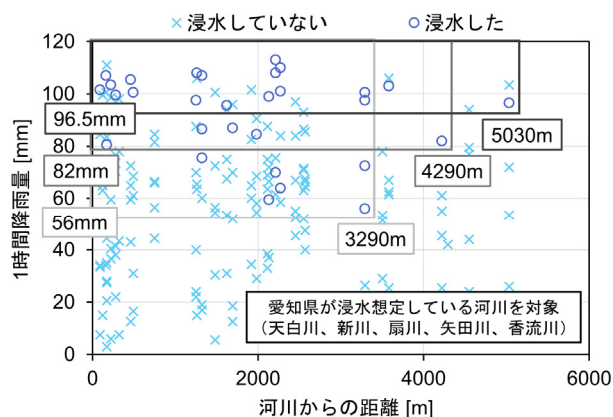


図 6 河川からの距離と降雨量の関係

表 4 1 時間降雨量と浸水条件

指標	1 時間降雨量	浸水条件
河川からの距離	56 mm	3290 m 以下
	82 mm	4220 m 以下
	96.5 mm	5030 m 以下
標高	56 mm	6.4 m 以下
	82 mm	17.5 m 以下
地形傾斜	56 mm	0.6 度以下
	80.5 mm	2.7 度以下
	105.5 mm	3.1 度以下
土地利用	56 mm	低層建物（密集地）
	87 mm	低層建物（密集地）、低層建物
	92.5 mm	低層建物（密集地）、低層建物、道路、公共施設等用地
地形区分	56 mm	埋立地・盛土
	80.5 mm	埋立地・盛土、三角州性低地、砂礫台地（上位）
	95.5 mm	埋立地・盛土、三角州性低地、砂礫台地（上位・中位・下位）、扇状地性低地
表層地質	56 mm	砂層を主とする地域
	82 mm	砂層を主とする地域、泥層を主とする地域、礫・砂・泥
	95.5 mm	砂層を主とする地域、泥層を主とする地域、礫・砂・泥、礫層を主とする地域

さらに本研究では、降雨予測結果と浸水に寄与すると考えられる指標を用いて浸水域の推定を試みた。今後、その推定手法を用いて、将来の強雨・豪雨に対するグリーンインフラの導入効果や必要範囲を定量的に検討する予定である。

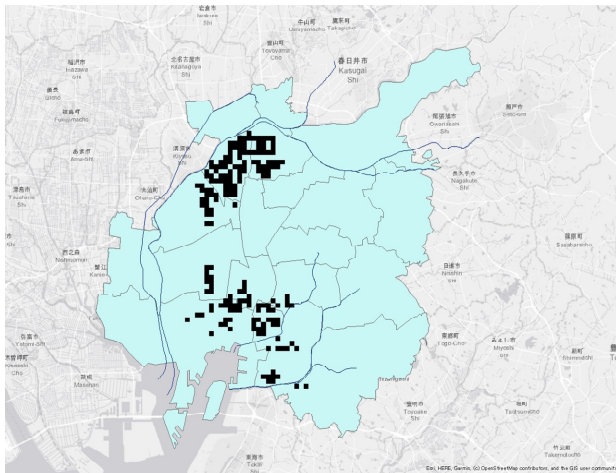


図7 1時間降雨量50mmの場合の浸水域の推定
(水色：名古屋市内、黒色：浸水域)

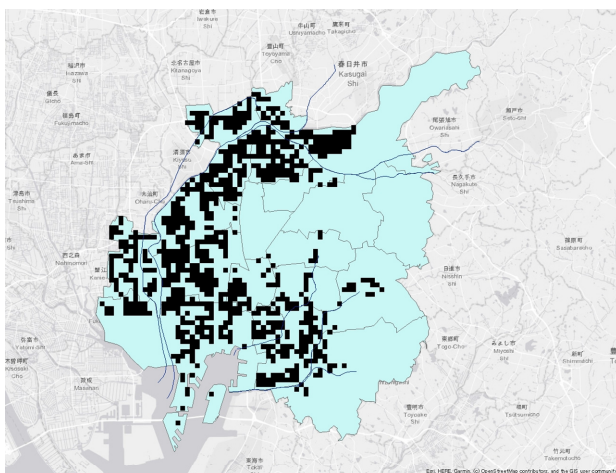


図8 1時間降雨量80mmの場合の浸水域の推定
(水色：名古屋市内、黒色：浸水域)

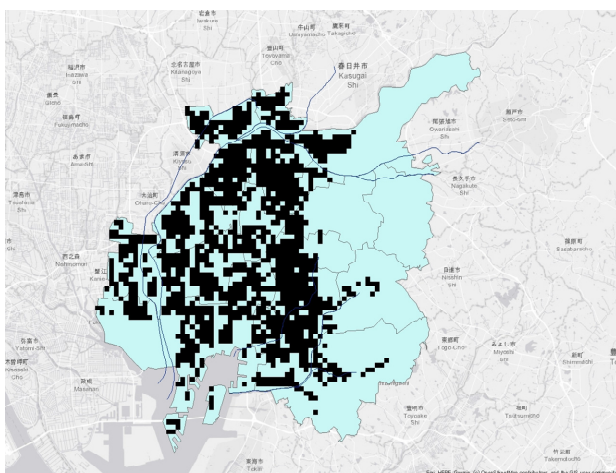


図9 1時間降雨量80mmの場合の浸水域の推定
(水色：名古屋市内、黒色：浸水域)

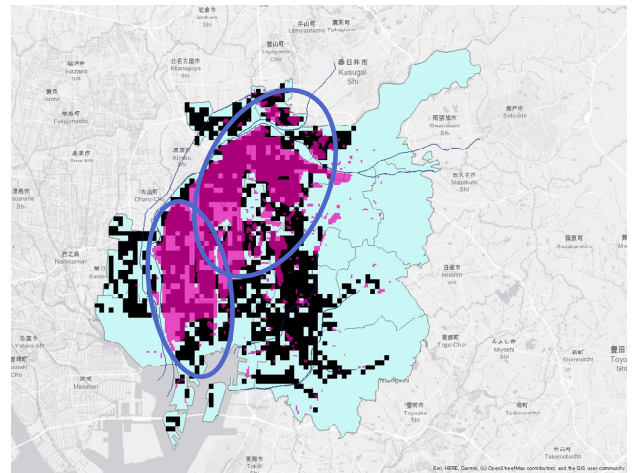


図10 過去の豪雨（平成20年8月末豪雨）時の
実際の浸水域と推定された浸水域（図9）の比較
（青枠：当該の過去の豪雨で90mm程度の降雨
が生じた範囲）

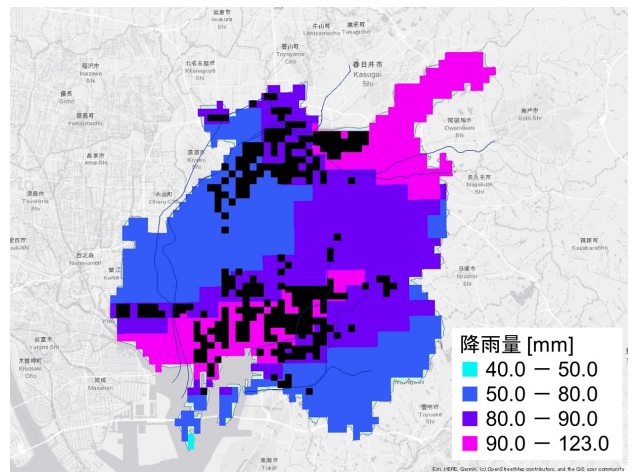


図11 将来気候下の浸水域の推定事例
(黒色：浸水域)

参考文献

気象庁：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html.

気象庁：地球温暖化予測情報第9巻, 2017.

基盤地図情報ダウンロードサービス：

<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>.

Kimura, F. and Kitoh, A : The Final Report of the ICCAP, 2007.

国土数値情報ダウンロードサービス：

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W05.html#prefecture23>.

名古屋市：

<https://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/page/0000021585.html>.