

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04862

研究課題名（和文）極端な降雨現象に適応する都市の土地利用計画手法の開発

研究課題名（英文）Development of the planning method of urban land use adapting to extreme precipitation events

研究代表者

客野 尚志（Kyakuno, Takashi）

関西学院大学・総合政策学部・教授

研究者番号：80322725

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：この研究は、都市部とその周辺地区における豪雨の発生頻度および将来的に発生する可能性がある豪雨の強度について、統計的手法と地理情報システムを用いて分析したものである。分析にあたっては、1kmメッシュの雨量データを用い、広域都市圏を対象とした。その結果、過去20年程度の傾向として、都市部の方が非都市部よりも豪雨の頻度が高く、またその傾向は近年になるほど顕著であることが明らかにされた。また将来的に予測される豪雨の強度についても、都市部でより高くなることが明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は都市部における豪雨の頻度と将来的に予測される極端な豪雨の強度などを明らかにしたもので、SDGsに係る社会的ニーズに呼応し、また喫緊の課題である災害に強いまちづくりに寄与するものである。また学術的な面でも、特に同一の地域において都市部と非都市部における豪雨の傾向をその頻度と強度の両方の点から比較分析し、さらに地形や土地利用などと重ねて考察したこと、さらに対象地における将来的な土地利用の指針などを導き出した点が独自の成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study we analyzed the frequency of torrential rain events and those future intensities in urban areas and those surrounding areas by using statistical methods and geographic information systems. The analysis was carried out for a wide urban area using 1 km mesh rain data. the result is as follows: the torrential rain events are more frequent in urban areas than in non-urban areas, and this trend is more pronounced in more recent years. The study also found that the intensity of torrential rain predicted in the future will be higher in urban areas.

研究分野：都市環境

キーワード：豪雨 都市環境 極値統計 地理情報 都市計画

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

昨今、予想外の豪雨の発生とそれに伴う都市型水害の懸念が大きな社会問題となり、年々その傾向は強くなっている。研究代表者はそれまでの研究により、近畿圏の複数の地点において降雨の特徴を分析し、その結果、1990年代と2010年代では明らかに時間最大降雨強度の確率分布が変化していることを確認している。さらに分布自体が変わったことにより、90年代の基準で100年に一度程度の降雨は、2010年代の基準ではもはや100年に一回の頻度でないこと確認した。日本の多くの都市は、60年代から80年代にかけて様々な都市のインフラが整備され、想定外の雨量の降雨は都市のインフラに甚大な影響を及ぼす可能性がある。豪雨の発生に関する研究は、当時から多く見られたが、小スケールの現象にも着目し、それを都市的な土地利用との関係から論じ、さらに将来的な豪雨の強度を予測し、都市計画の在り方との関係からとらえた研究はほとんどなかった。その点で本研究は、今後の減災、環境配慮の社会を見据えて重要な課題を扱うものであり、SDGsの時代の都市計画づくりに寄与するものと考えた。

### 2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえて、本研究では極端な降雨現象に対応する都市の土地利用計画指針の策定を念頭に、それに必要なデータ、その解析の手法、そしてその活用の方策をモデル化することを大きな目的と位置付ける。具体的には、以下の点を個別の目的として設定した。

(1) 広域の降水特性について、詳細な空間解像度で把握し、それを極値統計学の枠組みから分析し、各地点の降雨状況の統計的特性を把握するとともに、将来的に危惧される極端な降雨の空間分布図を作成する。

(2) 都市部と非都市部における降雨のプロフィールの違い、その経年変化などを分析する。

(3) 主に、都市部において、極端な降雨が懸念される地点を抽出し、それと地形、都市の土地利用、さらには密集市街地分布や高齢化率、将来人口などの各種社会統計データと組み合わせ分析し、防災や減災に対して特別な計画が必要な地区を面的に特定するための手続きを示す。

### 3. 研究の方法

本研究は下記の3つの段階にわけることができる。

#### (1) 降雨量のデータの整理

2004年から2018年までの日本全域の解析雨量のデータを解凍展開し、次にPythonおよびFortranを用いて時期により異なる空間的、時間的解像度を、3次メッシュかつ1時間単位で整理した。そのうえで三大都市圏ならびに近畿二府四県のデータを抽出した。

#### (2) 都市部における豪雨頻度の経年変化と空間分布のプロフィールの分析

近畿二府四県の都市域全域を対象に、3次メッシュごとに1時間雨量が30mm以上となった年間の回数をカウントして、それを府県ごとに整理し、その経年変化、空間的分布について分析した。

(3) 極値統計の手法を用いた面的な将来降雨量の推定とその面的広がりの評価、計画上特別な配慮が必要となる地点の抽出

対象期間の三大都市各50km圏における8月の各日の日最大時間雨量をメッシュ単位で抽出し、各々のメッシュにおいて極値統計手法により確率分布を説明するパラメータを推定した。そのうえで再現確率50年の降雨強度を各メッシュでもとめ、この値が高くなる地区を抽出した。この地区と地形や土地利用、社会統計データを重ね合わせて、特に災害リスクが高くなり、計画上特別な配慮が必要となる地点を抽出した。

### 4. 研究成果

#### (1) 都市部と非都市部における豪雨頻度の経年変化と空間プロフィールの分析

まず、近畿二府四県の全都市計画区域に相当する約15000個の各3次メッシュにおいて、時間雨量30mm以上の雨量(以下豪雨とする)の発生回数を求め、それを全域で空間的平均をとり、さらにそれに対して5年移動平均処理を施した。その結果、2007年ではやや減少するものの、一貫して頻度が増加する様子が確認され、2006年(2004年~2008年の平均)では全メッシュで平均的に年間1.19回の豪雨が確認されているのに対して、2016年(2014年~2018年の平均)では1.72回となり、約0.5回程度頻度が増加していることが確認される。これは既存研究で示された全国的时间雨量50mm以上の発生頻度とも類似する傾向であった。

次に都道府県ごとに詳細にみる。各都道府県の都市計画区域内に位置する3次メッシュにおいて、年間豪雨回数の都道府県単位での最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値を算出し、その経年変化を確認した。そのうえで、前半期(2004年~2010年)と後半期(2011年~2018年)の各項目の平均値も併せて算出した。まず、各都道府県における中央値に着目すると、地区による差異が確認された。すなわち南部になるほどその中央値が高くなる傾向が確認された。一方で、各府県の最大値について比較すると、その傾向はより顕著であり、

南部に位置する都道府県において特に大きな値を示した。また、前半期と後半期の平均値についても、府県による違いが明確にみられる。中央値については、ほとんどの府県においても後半期で増加する傾向があった。一方で最大値については様相がことなり、いくつかの府県で特に後半期に顕著な値の増加が確認された。

次に、メッシュごとに前半期の平均値と後半期の平均値を算出し、それを元に府県においてヒストグラムを描き、そのプロフィールの変化について詳細にみた。各府県における前半期から後半期への変化は、奈良県を除くと概して、ピークが右側に移動するとともに、分布のピークが滑らかになっており、このことは豪雨の頻度が増加したメッシュが多く存在していることを意味している。また、それぞれのヒストグラムの形状から、これらの分布が概ねポアソン分布で近似できると考え、前半期と後半期の県別の値を元にその平均値を算出し、ポアソン分布を当てはめて、その分布をもとに、それぞれの府県の都市計画区域における上側5%点、上側1%点、上側0.1%点から豪雨の頻度予想を推定した。その結果、おおむねすべての府県において、各点の値が1~2増加していることが確認された。特に、京都府、大阪府、兵庫県では0.1%点が7回であり、それぞれ府県の対象メッシュ数に鑑みると、各府県で年間の豪雨が7回以上となる地区が2ないし5地点(メッシュ)出現する可能性があることが分かった。特に、和歌山では0.1%点が9回であり、これは先のヒストグラムとも呼応し、数は多くないものの一部の地区(メッシュ)では頻繁に豪雨が発生する可能性があるといえる。

次に、各メッシュにおける豪雨頻度について、2004-2008年の平均値(2006年移動平均)と2014-2018年の平均値(2016年移動平均)を地図上で比較した。まず2004-2008年の平均値についてみると、全体的に豪雨頻度が1回以下のメッシュが多い。しかし、大阪府北部および中央部付近、奈良県中央部付近、和歌山県の南東部および南西部では高い頻度で豪雨が発生している。一方、2014-2018年の平均値をみると、全体的に豪雨頻度が増加していることが判明した。特に、兵庫県東部、大阪府北部、京都府北部、淡路島の南部などで年間の豪雨頻度が3回を超えるメッシュが相当数存在している。次に、メッシュごとに両時期の間の年間降雨頻度の増減を図化した。図の視認性に配慮して増加メッシュと減少メッシュに分けて図化した(図1)。左図が減少メッシュ、右図が増加メッシュを示している。まず減少したメッシュに着目する。豪雨頻度が減少したメッシュとして、兵庫県北部、滋賀県南部、大阪府中央部、奈良県全域、和歌山県北部に目立つ。しかしながら、減少の幅は概ね小さく、ほとんどが2.5日未満である。一方で増加したメッシュについては兵庫県南部、京都府全域、和歌山県南部で顕著である。特に兵庫県東部から大阪府北部の阪神間地域を含む北摂山系、京都府北部、和歌山県の南東部と南西部での増加が顕著に見られ、北摂山系では2.5~5.0日の増加、和歌山県南東部では、5.0日以上増加がみられる。

結果を振り返ると、対象とした期間において、全体的に豪雨の頻度は増加しているものの、地域により状況が異なった。すなわち期間内において豪雨の頻度が増加する地区と減少する地区があり、両者については地理的な分布に特徴がみられた。ただ、概してもとから多雨の場所はより多雨に、雨量が少ない場所はより少なくなる可能性が示唆された。

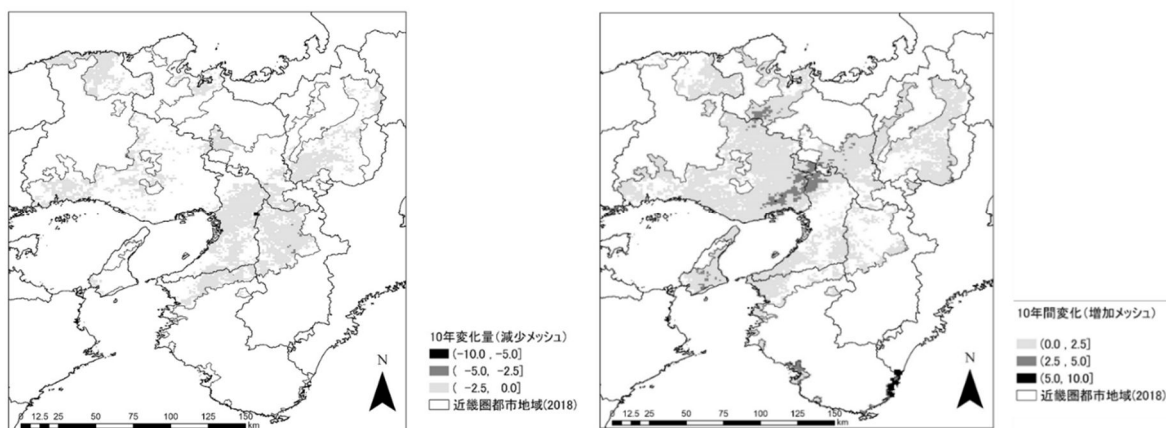


図1

## (2) 極値統計の手法を用いた面的な将来降雨量の推定とその面的広がりの評価、計画上特別な配慮が必要となる地点の抽出

前節では、近畿二府四県の広域的な都市部の豪雨の発生頻度の特徴について分析をした。ここでは、それをより詳細に検討しつつ、将来に発生しうる豪雨の強度などを計算し、それをもとに計画上特別な配慮を要する地区を抽出するプロセスを、日本の三大都市圏を対象にします。

まず、東京、名古屋、大阪の中心部を中心とする半径50kmの円を描き、それぞれの圏域に含まれる3次メッシュを抽出した。そしてそれぞれのメッシュにおいて、2006年から2018年の毎年8月の一か月に限定し、時間雨量の日最大値を求め、それをもとにメッシュごとに極値分布にもとづく確率モデルを当てはめてた。ここで毎年8月に限定した理由としては、この

分析においては、日本の三大都市圏を対象としていることから、台風や梅雨などによる長期的かつ広域的な降雨に関して大局的な地域差がみられる可能性があり、その影響が比較的少ない時期でありつつ、全般として豪雨が発生する頻度が高い時期としてこの時期を選んだ。

まず、それぞれのメッシュにおいて日最大時間雨量が10mmを超過した日のデータのみを抽出し、それを期間13年分すべて集約し、それに対して一般化パレート分布をあてはめて分布のパラメータを算出した。そのうえで、これらのパラメータにもとづいて再現期間50年と設定した降雨強度をメッシュごとに算出した。またその分布図を、GISを用いて空間的に可視化し、都市部(DID地区)と非都市部に分けて分析を行った。まず各圏域内でDID地区と非DID地区でそれぞれの平均を算出したところいずれも非DID地区と比較してDID地区の方で降雨強度が高くなる傾向が統計的有意差をもって確認された。図2は三大都市圏の各メッシュにおける降雨強度から、DID地区と非DID地区における降雨の確率密度分布を計算したもので、青い線がDID地区、赤い線は非DID地区の分布を示している。一方で、日最大の時間雨量が30mm以上となる頻度という点でみるならば、圏域により異なる傾向がみられ、首都圏と近畿圏ではDID地区においてその頻度が統計的有意差をもって、非DID地区よりも高くなる傾向が確認されたものの、中京圏においては明確な差異がみられなかった。このことから、都市部と非都市部を比較した場合、豪雨の頻度については必ずしも両者の間で明確な差異はみられないものの、豪雨の強度という点でみるならば都市部の方で大きくなるといえる。このことは、都市部で豪雨の強度が増えるというよりは、都市部で「想定外」に激しい降雨が将来的に確認される可能性を示すものであり、その点で独自の計画上の対策が求められることを意味している。この強度の地理的分布についてGISを用いて図化したものが図3である。左上が東京圏、右上が中京圏、左下が近畿圏のものである。図上で確認しても、再現期間50年確率の降雨強度はDID地区で全般に高くなる傾向が確認された。一般的に局地的な大雨は、山地などで発生する傾向にあることが知られているが、DID地区はおおむね平坦な陸地に位置することを考慮しても、都市的土地利用が豪雨を誘発している可能性が示唆される。

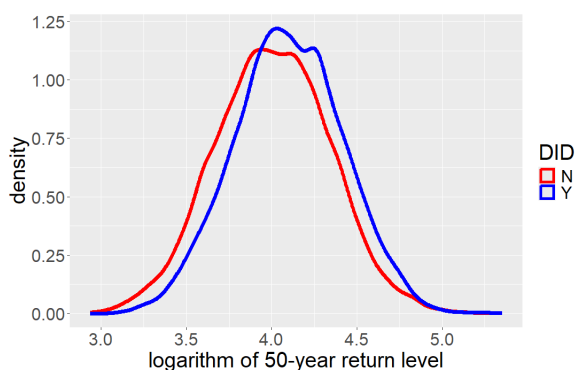


図2

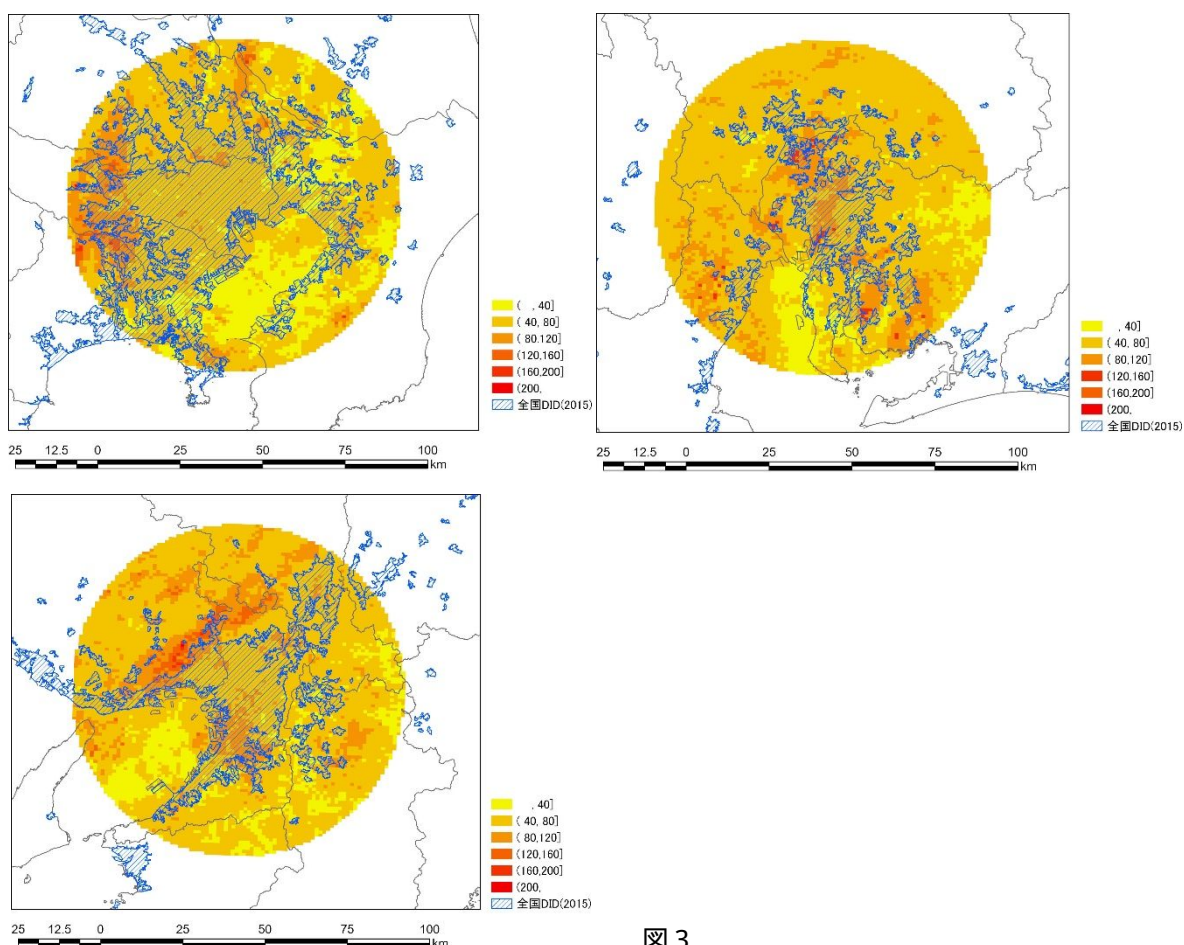


図3

最後に、これらの降雨強度地図と地形図、低位置の分布図、密集市街地の分布図、高齢化率の高い地区の分布図などと重ねあわせて、特に都市計画上特別な配慮を要する地域を予測した。とくに密集市街地で、低位置かつ高齢化率が高いエリアにあり、将来的に強い強度の降雨が発生する可能性がある場所については、都市計画、建築計画において、優先的な対応が求められるといえる。このように地形的、社会環境条件などを組み合わせたいくつかのシナリオの設定することにより、段階的な対策の設定と、その優先順位づけが可能であることが導かれた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 客野尚志	4. 巻 64
2. 論文標題 日本の都市域における豪雨頻度の空間分布の変化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Policy Studies	6. 最初と最後の頁 59-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takashi KYAKUNO
2. 発表標題 Frequencies and Intensities of Torrential Rain in Japanese Metropolitan Areas
3. 学会等名 11th International Conference of Urban Climate（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------