

豪雨災害における犠牲者数の推定方法に関する研究

本間 基寛¹・牛山 素行²

Study on the estimation method of the number of victims in heavy rain disaster

Motohiro HONMA¹ and Motoyuki USHIYAMA²

Abstract

In this study, we analyzed the position data of the victims and 1km mesh rainfall observation data in the heavy rains of July 2018, Typhoon No. 19 of 2019, and the heavy rains of July 2020, and tried to estimate the number of victims using various rainfall indicators. As a result of analyzing the relationship between rainfall indicators such as 3, 6, 12, 24, 48, 72 hour rainfall and soil water index and the number of victims, it was found that the “ratio to historical record”, which is the ratio to the maximum value observed in the past, is highly related to the occurrence of victims. Since the rainfall indicator that corresponds well to the occurrence of victims differs depending on the case of heavy rainfall, we used the maximum value of past maximum ratio of 7 indicators and were able to roughly estimate the number of victims caused by heavy rain disasters.

キーワード：豪雨災害，犠牲者，既往最大比，評価関数，犠牲者数推計

Key words: Heavy rain disaster, Victim, Ratio to historical record, Evaluation function, Estimation of number of victims

1. はじめに

近年の観測技術や数値計算能力等の発達により、降雨予測や土壌雨量指数等の災害危険度の情報が詳細なメッシュデータとして得られるようになってきた。気象庁は、降水短時間予報（今後の雨）として15時間先まで1時間ごとの降水量分布

を予測するとともに、土砂災害、浸水害、洪水災害のリスクの高まりを表す指標として土壌雨量指数、表面雨量指数、流域雨量指数を開発し、「警報の危険度分布」として気象庁ホームページより公開している^{1,2)}。

「警報の危険度」を発表するにあたっては、都

¹ 日本気象協会
Japan Weather Association

² 静岡大学防災総合センター
Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University

道府県と協議して警報等の対象となる災害を決定²⁾した上で、過去20年分以上の対象災害の発生／非発生時の指数値を統計的に調査して警報等の基準値を設定しており、「土石流の発生」や「床上浸水家屋数」などが目安として用いられている³⁾。

一方で、自然災害において最も深刻な被害ともいえる死者や行方不明者（以下、両者をまとめて「犠牲者」と表記する）と雨量や各指数値との関係性については直接的には分析されていないため、これらの予測値が得られたとしてもどの程度の人的被害が発生し得るのかについては推定が難しい。

災害における外力規模から人的被害の発生規模を推計する方法については、これまでも多くの研究が行われている。巨大地震や津波の被害想定では、建物被害や人的被害の予測式が提案されている（例えば、中央防災会議⁴⁾）。リアルタイムでの被害推計の試みとしては、防災科学技術研究所が「リアルタイム地震被害推定システム^{5,6)}」を開発し、J-RISQ 地震速報としてインターネット上にリアルタイムで公開している⁷⁾。津波に関しては、越村ら^{8,9)}が津波の浸水深、流速、波力から家屋被害や人的被害の被害率を推計する脆弱関数を提案している。また、これらの成果をもとに、「リアルタイム津波浸水・被害予測システム」¹⁰⁾が運用されている。

風水害の被害推計に関しては、洪水氾濫での人的被害の推計が行われている。例えば、池内ら¹¹⁾が報告しているように、中央防災会議では大規模水害を対象とした被害想定を行い、人的被害の推計を行っているケースはある。中央防災会議¹²⁾では、荒川の洪水氾濫による死者数、孤立者数等を推計している。米国陸軍工兵隊が、2005年のハリケーン・カトリーナによるニューオーリンズでの死者数再現モデルを構築している。このモデルでは、床面からの浸水深により危険水位帯、準危険水位帯、安全水位帯に分類し、年齢、建物の階数から危険度別の人数を算出し、各々の死亡率を乗じ算出している¹³⁾。片田ら¹⁴⁾は、浸水シミュレーションと避難行動シミュレーションを組み合わせた人的被害の推計を行っているが、河川氾濫によ

る水害の場合、浸水域内においても必ず犠牲者となるとは限らないとして、住民の避難状態や居住特性と浸水状況に応じた浸水人口を算出し、これを人的被害規模の評価指標としている。

土砂災害に関しては、市町村毎に土砂災害警戒情報や大雨特別警報発表時の災害発生率や捕捉率を評価したものがある¹⁵⁾が、あくまで土砂災害の発生の有無に関する検証であり、人的被害が発生するような規模または地域での土砂災害の発生確率について評価するものとはなっていない。林ら¹⁶⁾は、国土交通省で収集した平成13年～平成21年の9年分の全国の土石流災害の災害報告1,475件のうち、死者・行方不明者が発生し、かつ、雨量に関する情報がある30件を分析対象として、最大24時間雨量や最大1時間雨量の超過確率と土石流の発生確率の関係を算出している。ただし、解析対象としている雨量は、人的被害が発生した事例での24時間雨量または1時間雨量のみを対象としており、人的被害が発生しなかった地点での雨量状況なども含めた形での分析は行われていない。

このように、豪雨時に各地で発生する土砂災害や洪水氾濫に伴う人的被害の数を包括的に推計する方法はこれまでに検討されていない。洪水氾濫による浸水での犠牲者推定については、浸水想定シミュレーション結果を活用することで精緻なモデルによる評価が可能ではあるが、一連の降雨が進行中または予測される段階では、具体的な浸水深を想定することは現時点では少なくとも運用レベルとはなっておらず、池内ら¹¹⁾で提示されているような手法により人的被害の規模を推定することは困難である。災害発生の危険度を伝えて各主体に対応行動を促したり、豪雨発生直後の救援・救助体制を迅速に構築する上で、降雨規模と想定される人的被害規模の関係性を明らかにしておくことは重要である。

本研究では、平成30年7月豪雨、令和元年台風19号、令和2年7月豪雨における犠牲者の位置データと1kmメッシュでの降雨観測データを分析することにより、降雨に関する各種指標から大まかな「人的被害規模」を算出する可能性について検討を行った。

2. 使用データ及び降雨指標

2.1 調査対象とした豪雨事例

本研究での調査対象とする豪雨事例の降雨指標算出期間や豪雨被害の特徴を表1にまとめる。

平成30年7月豪雨では、2018年6月28日から北日本に停滞していた梅雨前線が7月5日には西日本まで南下して停滞し、前線に向かって太平洋高気圧から暖かく湿った空気が流れ込んだため、前線近傍や暖湿気が吹き付けた四国などの南東～南西斜面では大雨になった。前線は7月5日から8日にかけて、殆ど動きがなかったため同一地域で大雨が続き、西日本を中心に記録的な大雨となり、24、48、72時間雨量の値が観測史上第1位を記録する大雨となった¹⁷⁾。とりわけ、岡山・広島・愛媛3県に被害が集中し、土砂災害が各地で発生、高梁川支川や肱川などでは洪水氾濫による浸水被害も発生した。2018年11月6日時点の死者及び行方不明者は合計232名であった¹⁸⁾。

令和元年台風19号は、2019年10月6日に南鳥島近海で発生し、12日19時前に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した後、関東東方を通過した。10日から13日までの総雨量が、神奈川県箱根で1,000ミリに達し、東日本を中心に17地点で500ミリを超えた。特に静岡県や新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で3、6、12、24時間雨量の観測史上1位の値を更新するなど記録的な大雨となった¹⁹⁾。各地で河川の氾濫、堤防の決壊による浸水、土砂崩れ等が多数発生し、東北地方の太平洋側や関東東方を中心に85人の死者(10月25日からの大雨による被害を除く)が発生した²⁰⁾。

令和2年7月豪雨では、7月3日から7月31日

にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。とりわけ、7月4日から7日にかけて前線の活動が非常に活発となり、九州では記録的な大雨となった²¹⁾。この大雨により、球磨川や筑後川といった大河川での氾濫が相次いだほか、土砂災害、低地の浸水等により、人的被害や物的被害が多く発生し、全国での死者、行方不明者は86名(関連死者を含まない)であった²²⁾。

2.2 雨量データ及び降雨指標の算出

使用した観測雨量データは、国土交通省レーダ解析雨量である。犠牲者位置データとの関係性を分析するための降雨指標として、表1に示す降雨指標算出期間における3、6、12、24、48、72時間(R3、R6、R12、R24、R48、R72)最大雨量と土壌雨量指数(SWI)最大値を算出した。ただし、各降雨継続時間雨量や土壌雨量指数は地域によって災害発生をもたらす閾値が異なる。例えば、気象庁の大雨特別警報(浸水害)の発表基準の1つになっている48時間降水量の「50年に一度の値」は、香川県高松市が357 mm に対して、徳島県那賀町は1,105 mm と約3倍の違いがある²³⁾。水文学の分野では、当該地点や流域において災害をもたらす雨量の設定に、降雨継続時間別の観測雨量最大値の関係性を分析するDD(Depth Duration: 雨量, 降雨継続時間)解析が用いられている。DD解析では、横軸に降雨継続時間、縦軸に継続時間別の最大雨量をとり、どの継続時間の雨量が過去の最大値を超えていたのか把握することで

表1 分析対象の豪雨3事例の比較

豪雨事例	平成30年7月豪雨	令和元年台風19号	令和2年7月豪雨
降雨指標算出期間	2018年7月5日9:00~9日9:00	2019年10月9日9:00~14日9:00	2020年7月3日9:00~14日9:00
豪雨要因	梅雨前線に伴う豪雨	台風に伴う豪雨	梅雨前線に伴う豪雨
被害の特徴	九州、中国、四国、近畿、東海の広い範囲で大雨。岡山、広島、愛媛3県に被害が集中。土砂災害が各地で発生。高梁川支川、肱川では河川氾濫による浸水被害も発生。	関東甲信、東北南部に大雨。一級河川も含めた河川氾濫が各地で発生。	7月3~4日に球磨川流域で集中的な豪雨。7月6~8日に、筑後川流域を中心に九州北部で大雨。
位置推定犠牲者数	230名	84名	83名

「豪雨の激しさ」を示すことができる（例えば、牛山²⁴⁾）。そこで、レーダ解析雨量が1 km メッシュ化された2006年5月以降の最大値（既往最大値）との比である「既往最大比」を指標として使用した。なお、既往最大値算出の統計期間は、各豪雨の前月末日までとしている。土壌雨量指数の算出におけるタンクモデルのパラメータは、Ishihara and Kobatake²⁵⁾を参照した。

2.3 犠牲者の位置情報

自然災害による犠牲者に関しては、警察・消防機関により調査、集計がなされる交通事故や火災などと異なり、公的機関による系統的な資料が存在しない。本研究では、牛山が1999年以降の風水害による犠牲者について解析し、構築した「高精度位置情報付き風水害人的被害データベース」²⁶⁻²⁹⁾にある犠牲者位置情報を活用した。各豪雨事例で位置が推定された犠牲者の数を表1に示す。なお、位置が推定された犠牲者数は直接死者のみである。発生位置のデータは、被災した場所の住所から緯度・経度形式に変換しており、①番地（家屋単位程度）まで推定、②町丁目程度まで推定・誤差数百 m 精度、③市町村程度まで推定、と推定精度が3段階に分けられるが、ほとんどが①または②の精度で推定されている。本研究では、推定精度①および②の犠牲者を検討対象とした。2.2で説明したように1 km メッシュ単位の雨量データとの位置関係を比較することから、誤差数百 m 以内の精度で位置が推定されている犠牲者位置情報の利用で問題ないと考えている。

各犠牲者について、死亡原因となった外力（土砂、河川、洪水、強風、その他）が分類されている。各豪雨事例での原因外力別犠牲者数を図1に

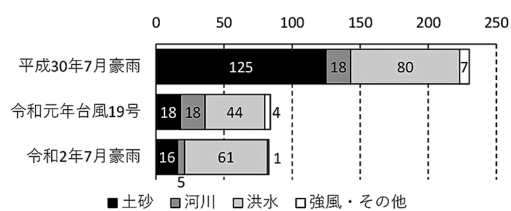


図1 各豪雨事例での原因外力別犠牲者数

示す。「洪水」は河道外に溢れた水に起因する犠牲者、「河川」は河川に近づき河道内・河道付近で遭難した犠牲者と定義している。

3. 分析結果

3.1 平成30年7月豪雨の分析結果

(1) 各降雨指標と犠牲者発生位置の関係

本節では、平成30年7月豪雨を対象に、2.2で提示した各降雨指標と犠牲者発生位置の関係について分析を行った。

2.1で説明したように、平成30年7月豪雨では岡山・広島・愛媛の3県に被害が集中している。位置が推定できている犠牲者230名のうち、半数以上の125名が土砂災害による犠牲である。また、全体の約35%にあたる80名が洪水による犠牲である。このうち、岡山県倉敷市真備地区での高梁川支川の小田川の堤防決壊による氾濫で51名とまとまった人数の人的被害が発生しているが、それ以外の地域での洪水被害は中小河川での氾濫が主であり、同一市町村内での犠牲は1～5名と散発的な被害の発生となっている。

表1に示した降雨指標算出期間での7指標の期間最大値の分布と原因外力別の犠牲者発生位置をプロットした図を図2に示す。各降雨継続時間の雨量や土壌雨量指数の期間最大値を見ると、西日本を中心に値が大きくなっており、とりわけ高知県周辺で値が最も大きくなっている。しかしながら、高知県周辺では犠牲者の発生数はさほど多くなっていないことがわかる。

次に、7指標の期間最大値の既往最大比の分布と原因外力別の犠牲者発生位置について見てみる。図3で示している既往最大比は、2006年5月以降の最大値（既往最大値）との比であることから、その地域にとっての雨の降りやすさや近年経験している雨量の最大値を反映した指標となっている。図3を見ると、多くの指標において、降雨指標の値そのものが大きかった高知県周辺での既往最大比が小さくなっているとともに、九州北部、瀬戸内地方、近畿北部、岐阜県などで既往最大比の値が大きくなっている。犠牲者の発生が集中した岡山県、広島県、愛媛県では、24、48、72時間

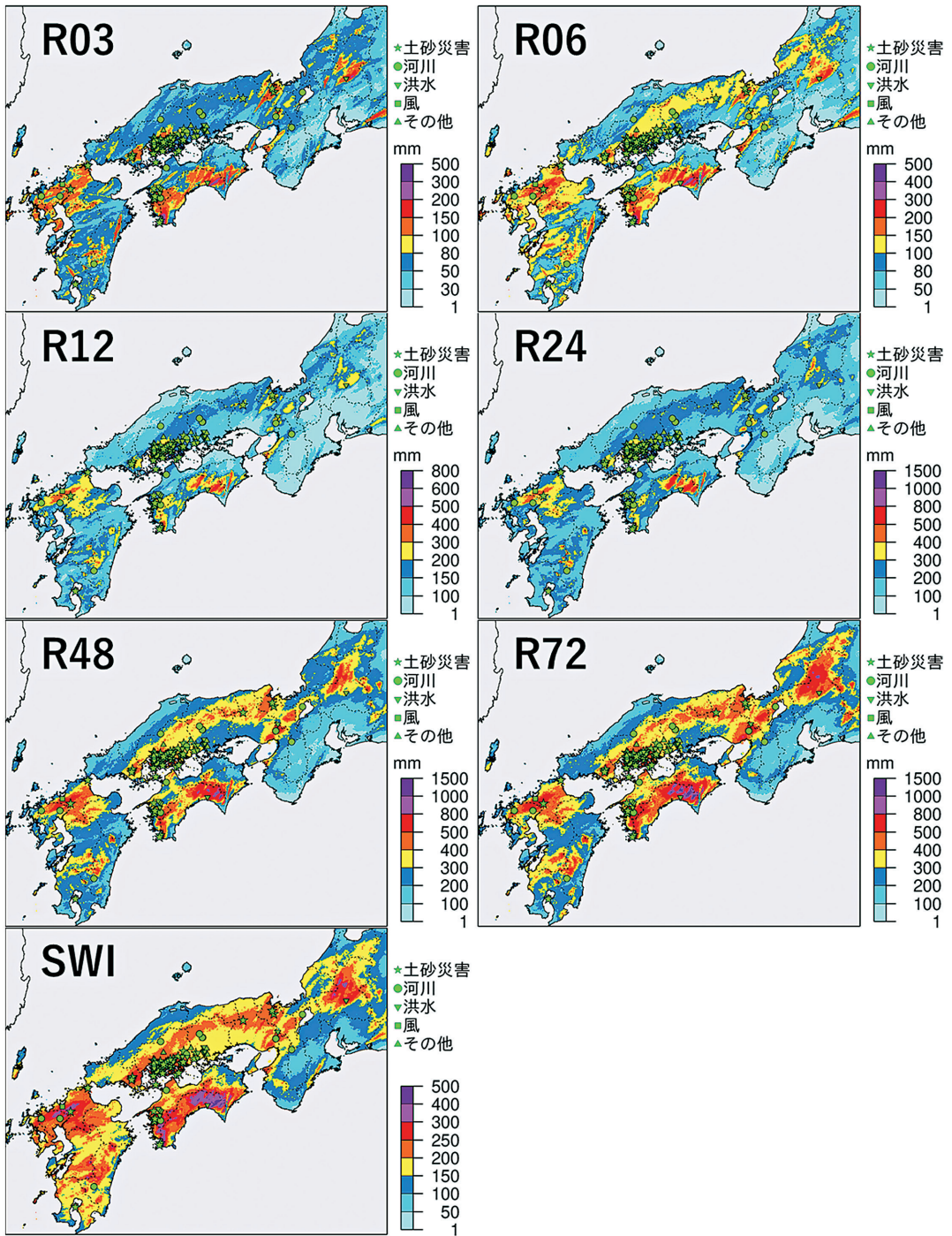


図2 平成30年7月豪雨での各降雨指標分布と原因外力別犠牲者発生位置

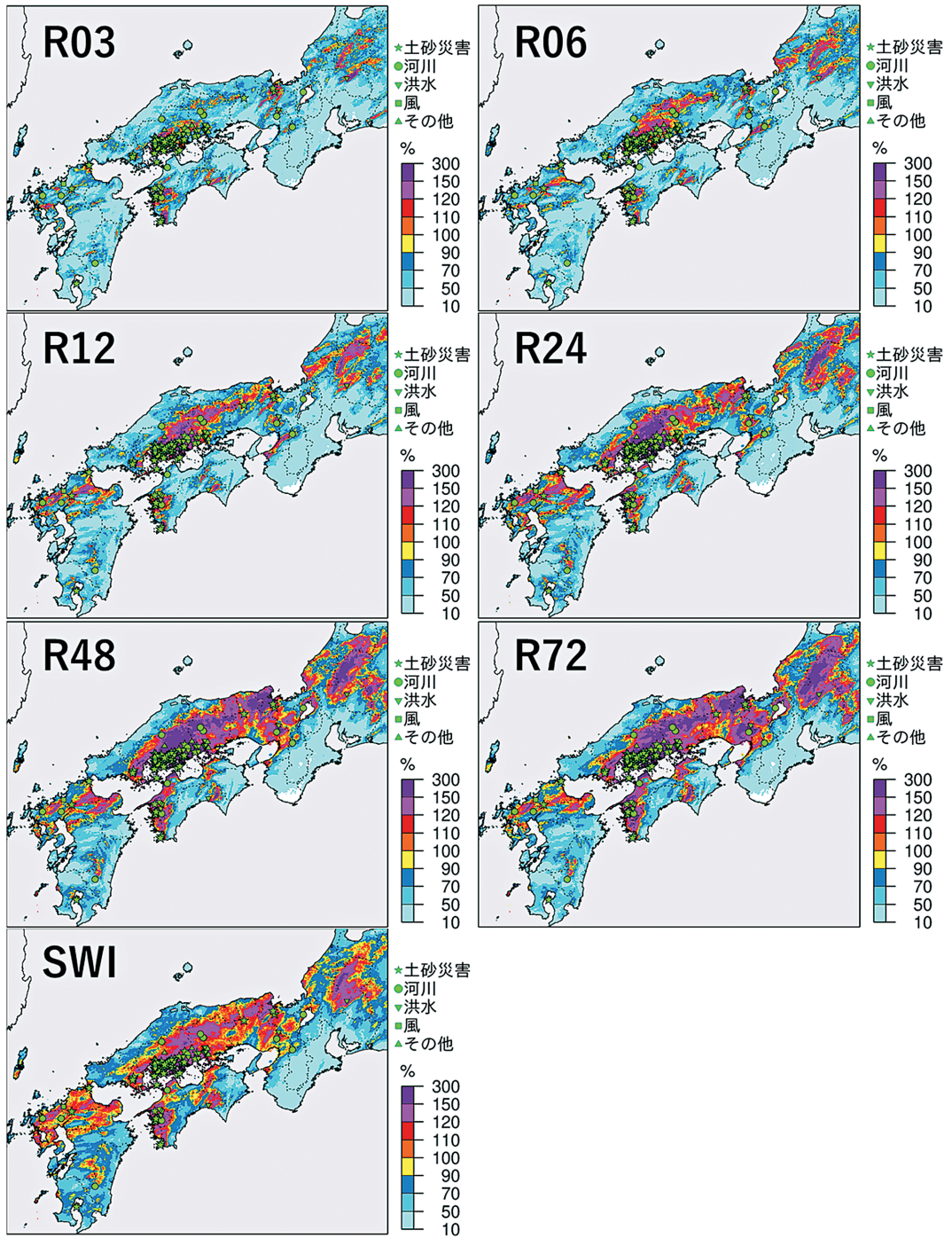


図3 平成30年7月豪雨での各降雨指標の既往最大比分布と原因外力別犠牲者発生位置

雨量や土壌雨量指数の既往最大比が120%もしくは150%を超えている。したがって、各降雨継続時間雨量や土壌雨量指数の値そのものではなく、既往最大比の方が犠牲者発生との関係性が高いことが示唆される。

2.2で気象庁の大雨特別警報の基準が地域によって異なることを示したように、洪水や土砂災害の起こりやすさは雨量そのものの多寡だけではなく、「その地域にとっての雨量の多寡」の影響を受ける。豪雨によって土砂災害が発生した地域では、一度崩落した斜面では土砂が流出したために次の崩落が起きにくくなることが指摘されている³⁰⁾。さらには、崩落した斜面では対策工も実施される。洪水氾濫に関して、大規模な被害が発生するような氾濫や堤防の決壊が発生すると、河川改修等の治水対策が実施される。このように、豪雨によって災害が発生した地域では斜面等の自然側に「免疫性」がつくこと、社会側でも各種対策が実施されることなどにより、同規模の降雨では被害が発生しにくくなる、すなわちその規模の豪雨に対する「耐性」が備わると言えよう。こうしたことから、降雨指標そのものに比べて、既往最大比の方が犠牲者発生との関係性が高くなると考えられる。そこで、次項の(2)では、既往最大比に着目して、犠牲者発生との関係性の詳細について分析を進める。

(2) 犠牲者発生位置での降雨指標既往最大比の特徴

平成30年7月豪雨で発生位置が推定できている230名の犠牲者について、犠牲者発生位置における各降雨指標の既往最大比がどの値となっていたのかの頻度分布を示したのが図4である。ここでは、3, 24, 48時間雨量と土壌雨量指数の既往最大比の結果を示している。

先述したように、平成30年7月豪雨は長時間にわたる大雨が特徴の豪雨災害であったため、3時間雨量最大値が既往最大を超えていないメッシュでも多くの犠牲者が発生している。一方、48時間雨量や土壌雨量指数に関しては犠牲者数が発生している地点の多くが既往最大比100%以上となっていることがわかる。

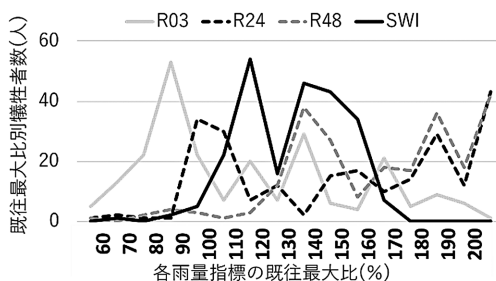


図4 平成30年7月豪雨での各降雨指標の既往最大比別犠牲者数

(3) 推計犠牲者発生数の算出

図4は、犠牲者が発生した地点が含まれるメッシュのみを対象として、各降雨指標の既往最大比の傾向を分析した結果である。そこで、犠牲者が発生していないメッシュも含めた集計を行うことで、既往最大比がある値となったところでどの程度の犠牲者が発生する可能性があるのか、すなわち犠牲者発生数の推計を試みる。ここでは、国土数値情報の1kmメッシュ別将来推計人口(H29国政局推計)から「1kmメッシュ別2010年人口数(補正あり)」を使用し、各降雨指標の既往最大比のランク別に1kmメッシュの人口を合計したもの、すなわち曝露人口を算出した。そして、各降雨指標の既往最大比のランク別に実際に発生した犠牲者数と曝露人口の比率から「人口1万人あたりの犠牲者数」が算出される。これを「推計犠牲者発生数」とする。その結果を図5に示す。ここでも集計対象としたのは、3, 24, 48時間雨量と土壌雨量指数の既往最大比である。各グラフで、折れ線で示しているのは、曝露人口である。ヒストグラムで示しているのは、既往最大比の当該ランクにおける推計犠牲者発生数である。いずれの指標においても、既往最大比の値が大きくなるにつれて、推計犠牲者発生数が増加傾向にあることがわかる。48時間雨量や土壌雨量指数では、既往最大比が100%以上において推計犠牲者発生数の数値が大きくなっている。

(4) 他の基準比との比較

前項までは、既往最大比という値に着目した分

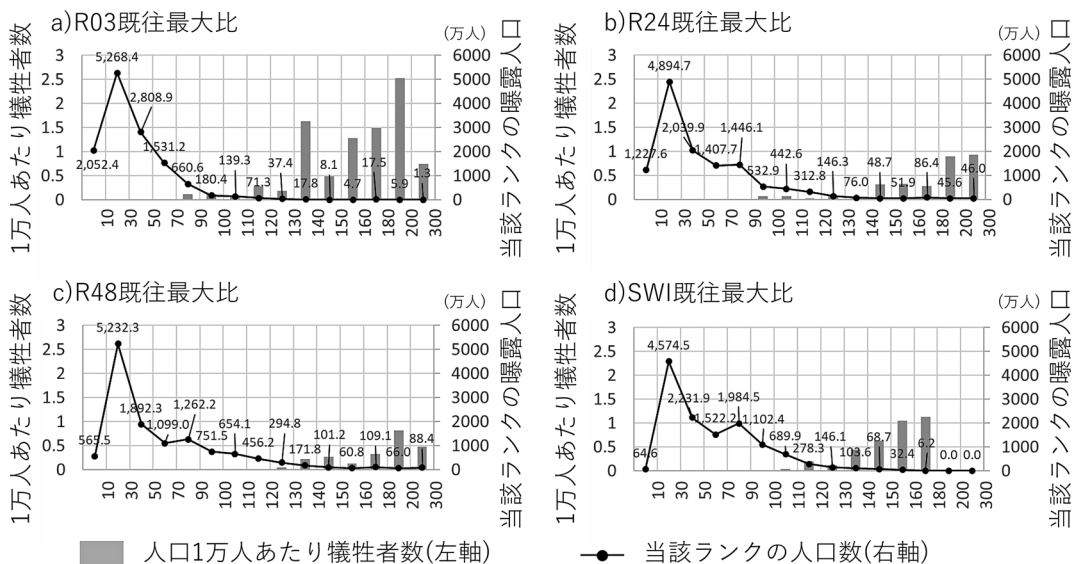


図5 平成30年7月豪雨での各降雨指標の既往最大比別の人口1万人あたり犠牲者数と当該ランクの人口数(万人)

析を行った。一方で、その地域における雨の降りやすさや危険度を表す指標としては、平年月降水量や年確率雨量も挙げるができる。そこで、既往最大比とともに、平年月降水量、30年確率雨量、50年確率雨量それぞれとの比についても比較した結果が図6である。図4の結果では、犠牲者が発生した地点のほとんどで48時間雨量の既往最大比が100%を超えていたこと、つまり、平成30年7月豪雨では48時間雨量が記録的となったと言えることから、48時間雨量での比較結果を図6に示す。なお、平年月降水量は、12か月のうち最も値の大きい月の平年月降水量を「年最大平年月降水量」とし、それとの比率を算出している。これは、積雪地域における融雪洪水などは例外として、土砂災害や洪水氾濫の発生には季節の関係性がないためである。平成30年7月豪雨は7月の豪雨であったが、仮に評価地点の平年月降水量が9月よりも7月が少なかったとしても、豪雨の発生月が9月だった場合に比べて災害発生の危険度が高くなるわけではなく、豪雨となった7月だけの月降水量で比較することは適切でないため、このような処理をしている。30年確率雨量及び50年確率雨量は、各メッシュの年最大値を抽出し、GEV分

布をあてはめて推計を行った。

既往最大比以外の各種基準値との比率でも、犠牲者の発生が集中した岡山県、広島県、愛媛県において相対的に基準比の値が大きくなっている。ただし、50年確率雨量比では100%未満の地点でも多くの犠牲者が発生しており、30年確率雨量比でも既往最大比に比べて全体的に比率の値が小さくなっている。年最大平年月降水量比では、近畿北部や高知県、徳島県周辺での比率の値が大きくなっているが、これらの地域では犠牲者はそれほど発生していない。

次に、図5と同様に、48時間雨量の各種基準比について、基準比ランク別の人口1万人あたり犠牲者数(推計犠牲者発生数)を算出した。その結果を図7に示す。年最大平年月降水量比では、比率が100%以上のところで推計犠牲者発生数の値が出ているが、既往最大比のように比率の値が大きくなるほど明瞭に推計犠牲者発生数が増加しているわけではない。30年確率雨量比や50年確率雨量比では、比率が120~150%のところで推計犠牲者発生数が増える傾向にあるが、それよりも比率が大きいところでは逆に推計犠牲者発生数が減少している。

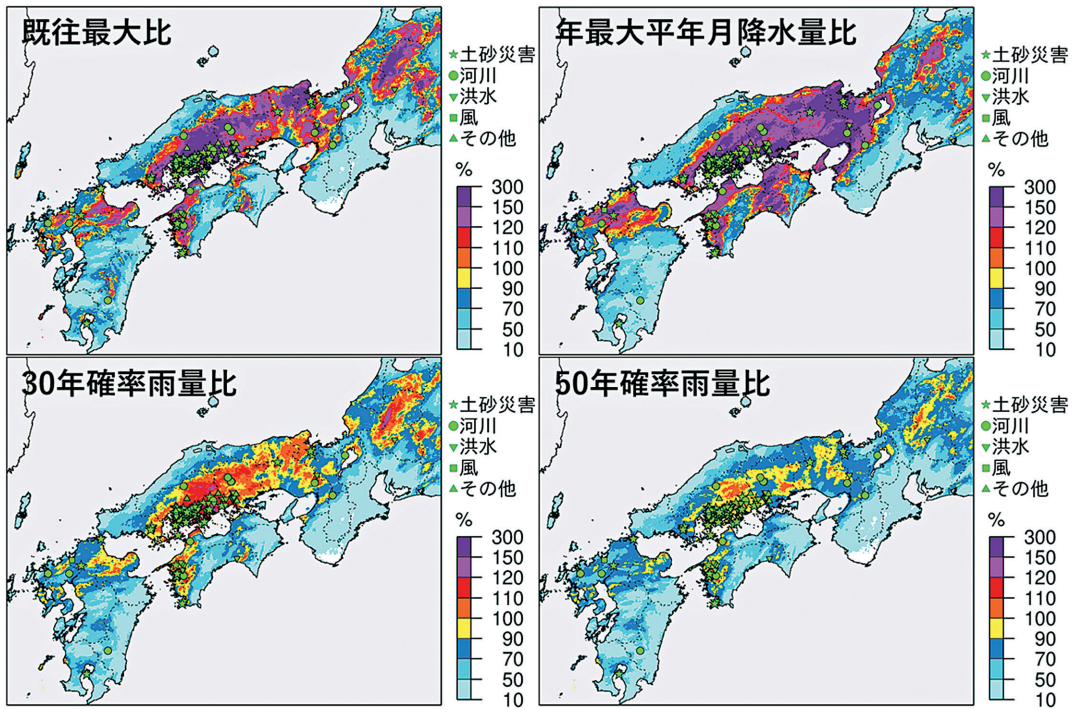


図6 平成30年7月豪雨での48時間雨量の各種基準比の分布と原因外力別犠牲者発生位置

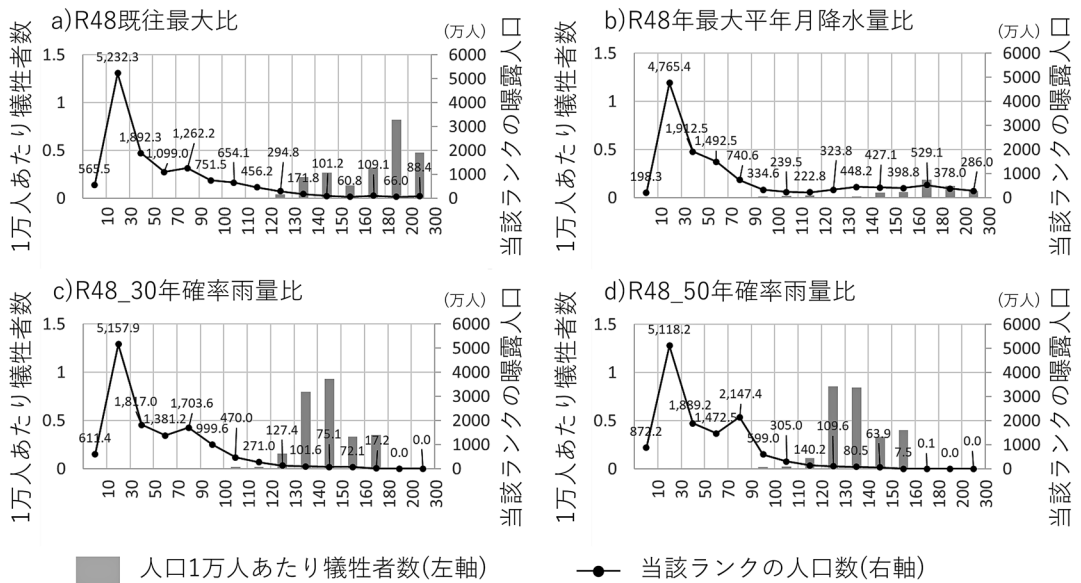


図7 平成30年7月豪雨での48時間雨量の各種基準比別の人口1万人あたり犠牲者数と当該ランクの人口数(万人)

以上の結果から、各種の雨量基準比の値と推計犠牲者発生数との関係性でいうと、既往最大比の方が比較的単調な増加傾向が見られ、関係性が高いといえよう。

3.2 令和元年台風19号の分析結果

(1) 各降雨指標と犠牲者発生位置の関係

次いで、令和元年台風19号を対象に各降雨指標と犠牲者発生位置の関係について分析を行った。

令和元年台風19号では84名について犠牲となった位置が推定できており、多い県では福島県で30名、宮城県で19名となっている。位置が推定できている犠牲者の半数以上に当たる44名が洪水による犠牲者である(図1)が、このうち34名は福島県または宮城県で発生している。令和元年台風19号では、平成30年7月豪雨での岡山県倉敷市真備地区のように同一地域で多数の洪水犠牲者が発生したというよりは、複数の市町村で犠牲者が発生しており、広域で多発的に犠牲者が生じるような災害が発生したと言える。また、土砂災害や河川による犠牲者が18名ずつ発生しており、平成30年7月豪雨に比べると土砂災害による犠牲者の数の割合が小さいと言える。

3.1と同様に、表1に示した降雨指標算出期間での7指標の期間最大値の分布と原因外力別の犠牲者発生位置をプロットした図を図8に示す。各降雨継続時間の雨量や土壌雨量指数の期間最大値を見ると、関東西部の秩父山地や丹沢山地の周辺、栃木県の山間部、福島県や宮城県の太平洋沿岸部で値が大きくなっている。一方で、氾濫が発生した千曲川流域の長野県や洪水の被害が多く発生した福島県・宮城県の内陸部ではこれらの降雨指標の値が周辺に比べてそれほど高くなっていない。

次に、7指標の期間最大値の既往最大比の分布と原因外力別の犠牲者発生位置を図9に示す。図8で各種降雨指標の値が大きかった関東西部の山間部だけでなく、長野県東部の千曲川流域や栃木県、福島県、宮城県の広い範囲で既往最大比の値が大きくなっている。洪水の犠牲者が多く発生した福島県や宮城県の内陸部では、6、12、24時間雨量で既往最大比が120%もしくは150%を超えて

おり、やはり既往最大比の方が犠牲者発生との関係性が高いことが示唆される。

(2) 犠牲者発生位置での降雨指標既往最大比の特徴

令和元年台風19号で発生位置が推定できている84名の犠牲者について、犠牲者発生位置における各降雨指標の既往最大比がどの値となっていたのかの頻度分布を示したのが図10である。ここでも、図4と同様に、3、24、48時間雨量と土壌雨量指数の既往最大比の結果を示している。

図9で示したように、令和元年台風19号では6、12、24時間雨量で既往最大比150%超となる範囲が広く広がっていたが、24時間雨量に関しては犠牲者が発生した地点のほとんどが既往最大比100%以上となっている。一方で、3時間雨量では、既往最大比100%未満のところでも犠牲者が発生している。また、土壌雨量指数に関しては犠牲者が発生した地点の既往最大比が100%以上となっているところが多いものの、既往最大比の値は平成30年7月豪雨よりもやや小さめの傾向となっている。これは、前項でも説明したように、令和元年台風19号では土砂災害による犠牲者の割合が平成30年7月豪雨よりも小さいことと関係がある可能性がある。

(3) 推計犠牲者発生数の算出

3.1(3)で示した方法と同様に、令和元年台風19号での推計犠牲者発生数を算出した。その結果を図11に示す。ここでも集計対象としたのは、3、24、48時間雨量と土壌雨量指数の既往最大比であり、図の見方は図5と同様である。3、48時間雨量や土壌雨量指数では、既往最大比が100%以下のところでも犠牲者が発生している。一方で、24時間雨量では既往最大比が120%以上のところで犠牲者が発生していることがわかる。3時間雨量では既往最大比が160%以上となると推計犠牲者発生数の値が減少する傾向にあるが、それ以外の指標では既往最大比の値が大きくなるにつれて推計犠牲者発生数が増える傾向にある。

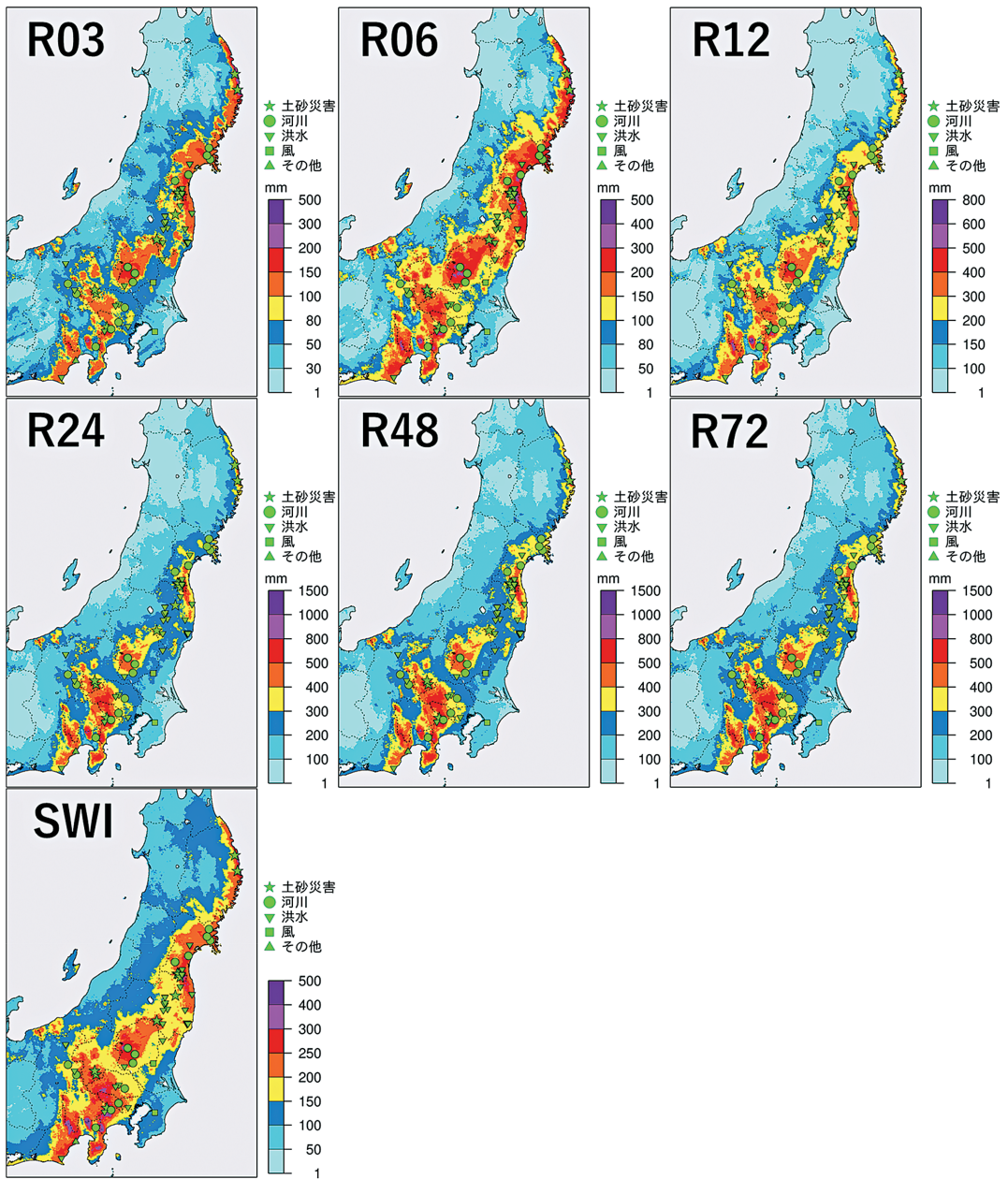


図8 令和元年台風19号での各降雨指標の分布と原因外力別犠牲者発生位置

3.3 令和2年7月豪雨の分析結果

(1) 各降雨指標と犠牲者発生位置の関係

前節までの分析結果から、各降雨指標と犠牲者発生との関係性では、各降雨指標の値そのものではなく、降雨指標の既往最大比を活用することで、

既往最大比が大きくなるほど推計犠牲者発生数が大きくなる傾向が見られることを確認した。一方で、複数の降雨指標のうち、平成30年7月豪雨では48, 72時間雨量や土壌雨量指数が、令和元年台風19号では12, 24時間雨量が犠牲者発生との関係

性がよく、降雨事例、すなわち雨の降り方によって犠牲者発生数の推計に適した降雨指標が異なることが示唆された。

そこで本節では、3つ目の豪雨事例として令和2年7月豪雨を対象とした分析も行った。令和2

年7月豪雨の分析対象は、発生位置を推定できた83名である。令和2年7月豪雨では、7月3日夜から4日午前にかけて熊本県内の球磨川流域において集中豪雨が発生し、中下流域で大規模な氾濫が生じた。6日から8日にかけては、筑後川流域

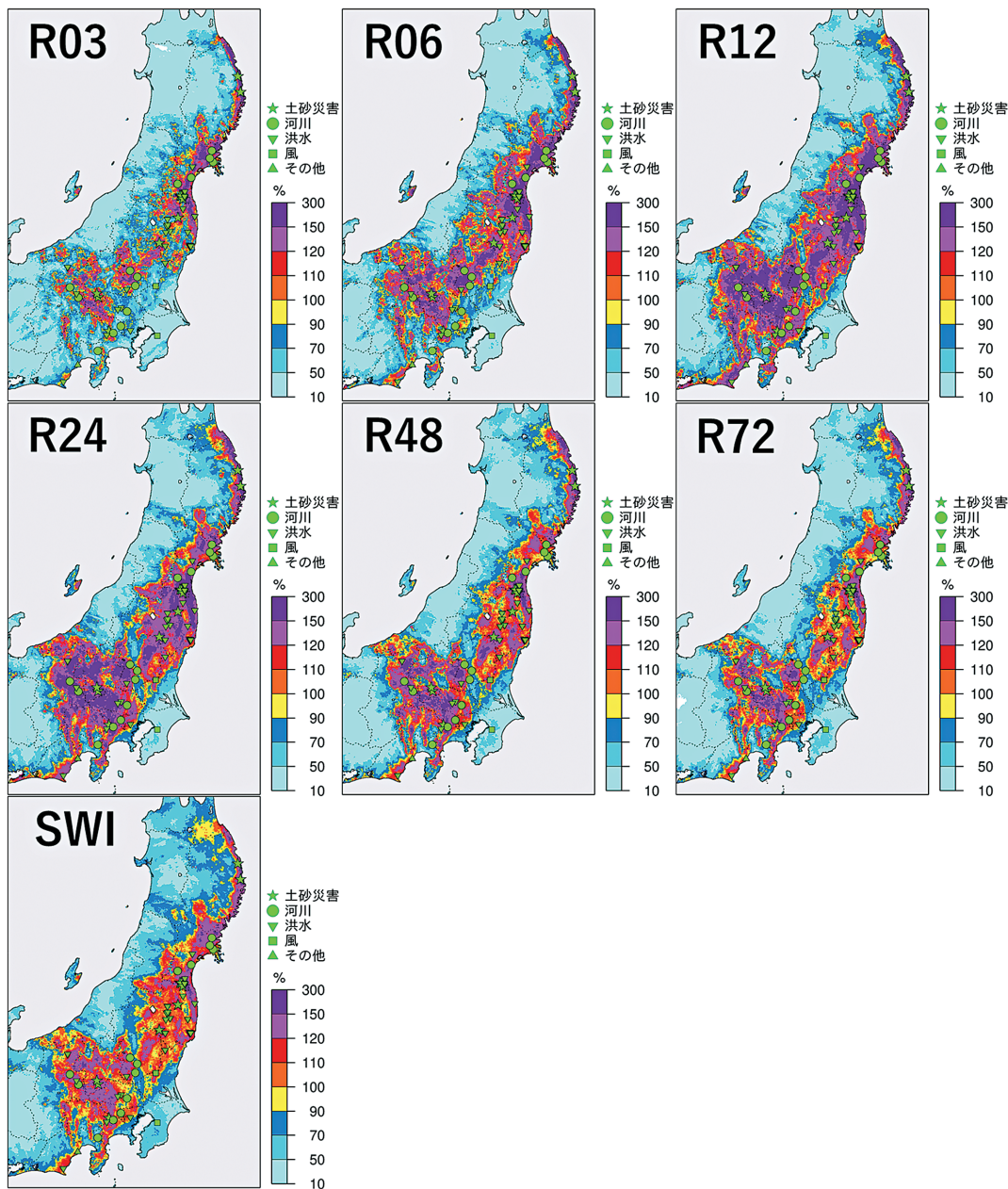


図9 令和元年台風19号での各降雨指標の既往最大比分布と原因外力別犠牲者発生位置

など九州北部を中心に大雨となった。発生位置が推定できている犠牲者のうち、76名が7月3日夜から8日にかけての記録的な大雨に伴う犠牲者である。図1に示したように、犠牲者の7割以上にあたる61名が洪水による犠牲者であり、このうち52名は熊本県内での犠牲者である。また、土砂災害による犠牲者数は16名であり、やはり平成30年7月豪雨に比べると土砂災害による犠牲者の数の割合が小さかった。

前節までの結果から、各降雨指標の雨量値そのものではなく、その指標の既往最大比の方が犠牲

者発生との関係性が高いことがわかったので、ここでは7指標の期間最大値の既往最大比についてのみ、その分布と原因外力別の犠牲者発生位置をしてみる。その結果を図12に示す。図12には、球磨川と筑後川の流域界についても記している。球磨川では流域全体で6、12時間雨量の既往最大比が120%超となっているが、48、72時間雨量や土壌雨量指数の既往最大比の値は概ね100%以下となっており、それほど大きな値とはなっていない。一方、九州北部の筑後川流域やその周辺では、48、72時間雨量の既往最大比で120%超の地域が広がっている。このように同時期の豪雨でも被害をもたらす降雨継続時間は異なることがわかる。3時間や6時間といった短時間の雨量が大きいときもあれば、24時間や48時間といった長時間の雨量が大きいとき、あるいは短時間と長時間の両方が大きいときもある。豪雨事例によって着目すべき降雨継続時間が異なると、実際の豪雨災害発生時における人的被害の推計が煩雑になることも想定される。したがって、降雨指標をどれかに選定するのではなく、7つの降雨指標を合成するような指標を算出することが望ましい。

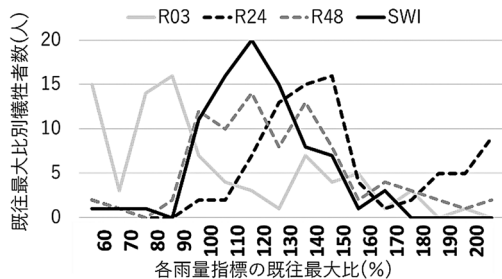


図10 令和元年台風19号での各降雨指標の既往最大比別犠牲者数

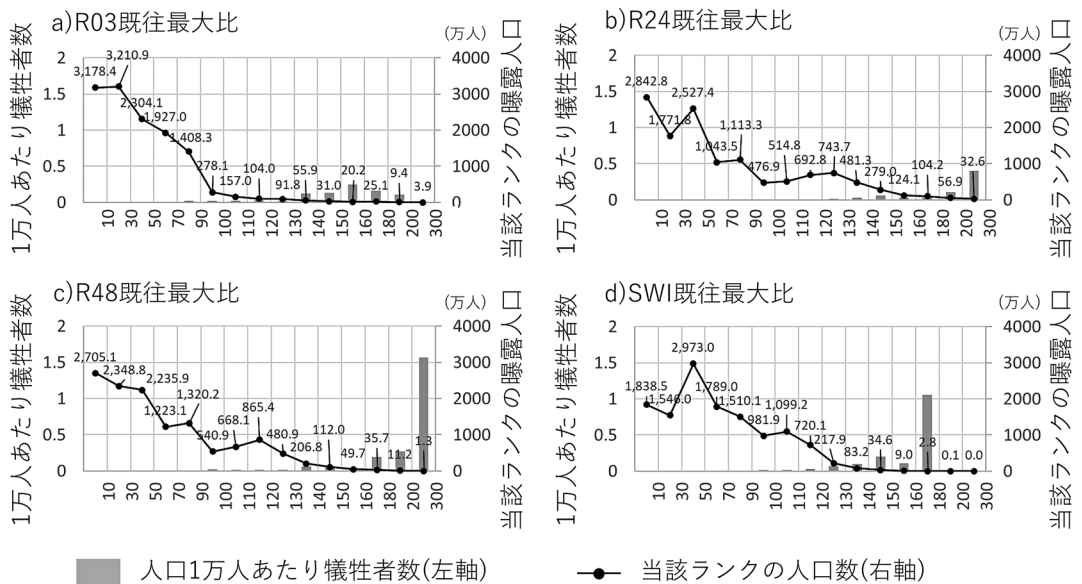


図11 令和元年台風19号での各降雨指標の既往最大比別の人口1万人あたり犠牲者数と当該ランクの人口数(万人)

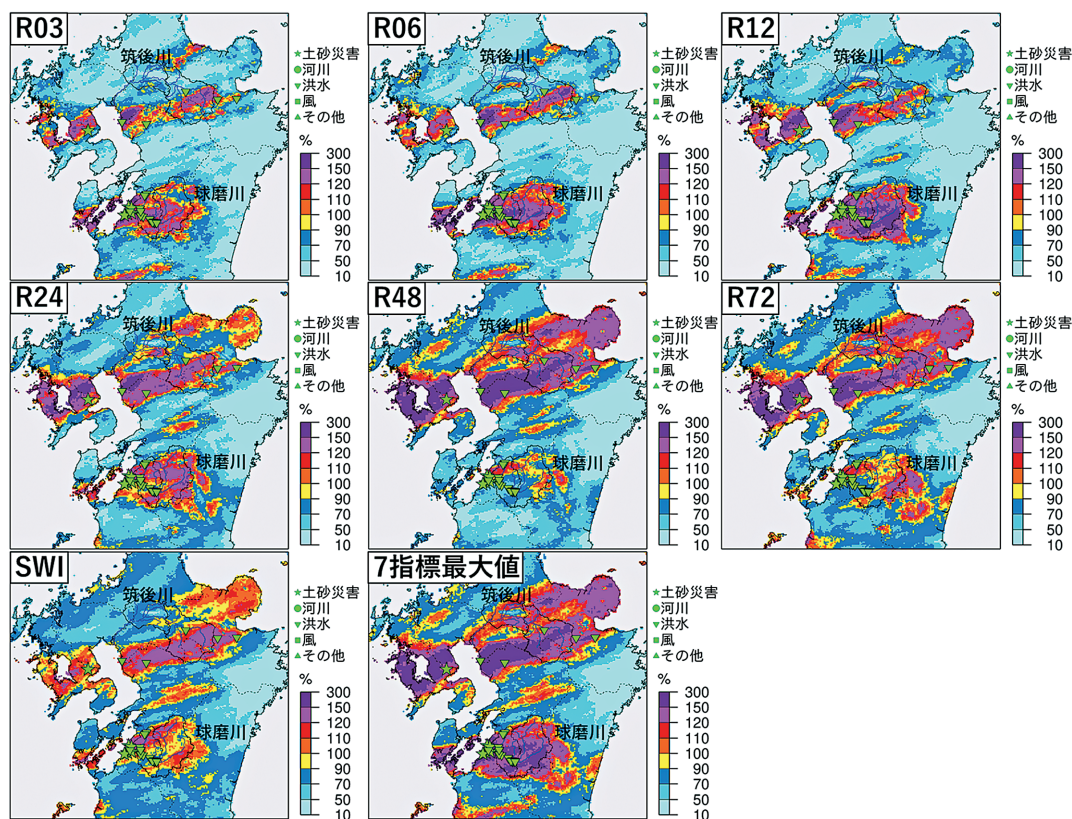


図12 令和2年7月豪雨での各降雨指標の既往最大比分布と原因外力別犠牲者発生位置

そこで、各降雨継続時間雨量と土壌雨量指数を併せた7指標の既往最大比の最大値を算出し、それと犠牲者発生位置を重ねてプロットした(図12下段中央)。その結果、九州地方で犠牲者が発生した地点では7指標のいずれかで既往最大比が100%を超えていたことが確認された。

(2) 令和2年7月豪雨における犠牲者数推定の試み

前項の分析において、同一時期の豪雨災害であっても犠牲者発生との関係性が高い降雨指標(降雨継続時間)が異なることから、複数の降雨指標の既往最大比の最大値を算出することで、災害犠牲者発生との関係性が高くなる可能性を示した。そこで、3.1及び3.2で既に分析を行った平成30年7月豪雨と令和元年台風19号についても同様のアプローチにより、7指標それぞれの既往最大比の最大値を算出し、この「既往最大

比最大値」ランク別における人口1万人あたり犠牲者発生数を集計して、犠牲者発生数推計の評価関数とした。このようにして作成した犠牲者発生数評価関数を図13に示す。この図では、「7指標既往最大比最大値」が110%を超えたところから犠牲者が発生し始め、この値が大きくなるほど犠牲者発生数が大きくなる傾向があるとともに、160%を超えたところから急激に犠牲者発生数が増える可能性があることが示されている。

このようにして作成した犠牲者発生数評価関数を令和2年7月豪雨の「7指標既往最大比最大値」の曝露人口(当該ランクでのメッシュ別人口を合計したもの)に当てはめることで、令和2年7月豪雨での犠牲者発生数を推計することが可能か、検討を行った。

3つの豪雨事例における7指標既往最大比最大値のランク別曝露人口を図14に示す。令和2年7

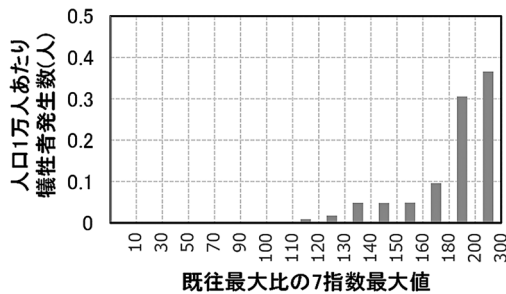


図13 平成30年7月豪雨及び令和元年台風19号での事例を基に作成した犠牲者発生数評価関数

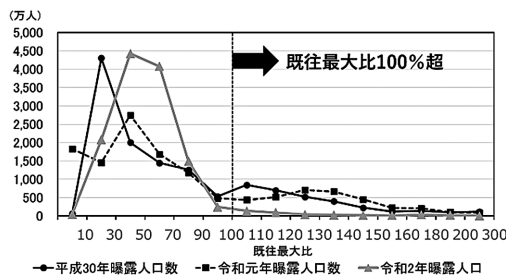


図14 3豪雨事例における7指標既往最大比の最大値ランク別の曝露人口

月豪雨では、7指標既往最大比最大値が100%を超えるメッシュでの曝露人口が少ないことがわかる。図13に示した犠牲者発生数評価関数と図14に示した曝露人口により算出した令和2年7月豪雨での7指標既往最大比最大値ランク別の犠牲者推計値と実績値の比較を図15に示す。

図15では、平成30年及び令和元年の豪雨事例に基づいて推定した7指標既往最大比最大値のランク別犠牲者数を灰色のヒストグラムで示している。令和2年7月豪雨での7指標既往最大比最大値ランク別の犠牲者数(実績値)のうち、球磨川以外の犠牲者数を黒のヒストグラムで示しており、その上に球磨川での洪水氾濫による犠牲者数を斜線のヒストグラムで加えている。実際に発生した犠牲者数(位置が推定された分のみ)が83名だったのに対して、平成30年7月豪雨と令和元年台風19号の2事例より作成した評価関数に基づく犠牲者発生数の推計値は25.8名と過小評価となっ

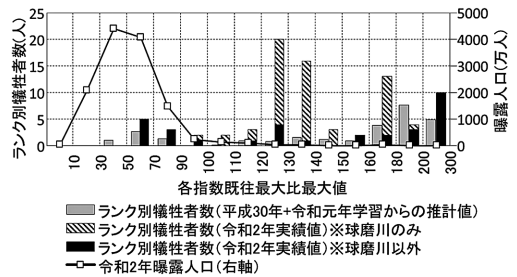


図15 令和2年7月豪雨での7指標既往最大比最大値ランク別の犠牲者推計値と実績値の比較及び当該ランクの人口数(万人)

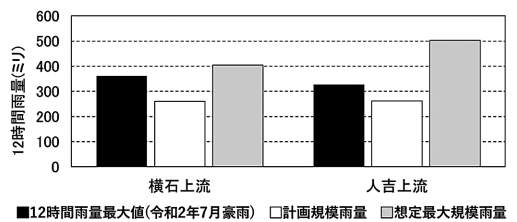


図16 横石地点及び人吉地点における令和2年7月豪雨での球磨川流域平均12時間雨量最大値と計画規模雨量および想定最大規模雨量の比較

た。一方、7月3日夜～4日朝に発生した球磨川流域での洪水犠牲者51名を除いた犠牲者数は32名であり、評価関数に基づく犠牲者発生数推計値と同程度であった。図15より、7指標既往最大比最大値が120～140%、160～180%のところ、評価関数に基づく犠牲者発生推計値を大きく超える犠牲者が実際には発生したことがわかるが、この超過分の多くは球磨川での洪水犠牲者である斜線のヒストグラムに相当している。

図12で示したように、12時間雨量既往最大比が120%以上の範囲と球磨川流域がほぼ重なっているが、これは7月3日夜～4日朝に発生した線状降水帯³¹⁾に起因する集中豪雨の雨域が球磨川流域付近に停滞したことによる。図16は、国土交通省解析雨量から球磨川の横石地点、人吉地点より上流域の流域平均12時間雨量を算出し、河川整備基本方針の計画規模雨量および改正水防法に基づく想定最大規模雨量³²⁾と比較したものである。なお、

流域平均雨量を算出した降雨継続時間である「12時間」は、球磨川水系の河川整備基本方針の計画降雨継続時間と同じである。図16に示すとおり、両地点の流域平均雨量が計画規模降雨を超える雨量となっていた。球磨川下流の横石地点では流域平均雨量が計画規模比の138%に達しており、想定最大規模降雨に匹敵する雨量となっていた。このように球磨川流域で集中的に降った大雨により球磨川中下流での河川水位が大きく上昇し、甚大な浸水被害となり、評価関数による推計値に比して犠牲者の発生が増加したと推察される。

ここまで説明してきたように、本研究で用いている犠牲者発生数推計の評価関数は、1 km メッシュで算出された7指標既往最大比最大値を説明変数としている。一方で、令和2年7月豪雨での球磨川流域で発生したような大規模な洪水被害では、犠牲者発生地点の降雨指標だけではなく、その上流域を対象とした流域平均雨量での降雨指標や既往最大比も考慮する必要性が出てくる。任意地点での流域平均雨量を算出するためには全国を対象とした河道網データを構築する必要があり、非常に多くの労力を要することになる。また、土砂災害犠牲者の8割以上は土砂災害危険箇所、水関連犠牲者の9割は地形的な低地で発生していることが指摘されていることから³³⁾、土砂災害や洪水の危険箇所指定の他、特に水関連犠牲者については地形(地形分類でいう低地)との関係性についても検討することで、さらなる推計精度の向上が期待される。これらの点は今後の課題としていきたい。

4. おわりに

本研究では、平成30年7月豪雨、令和元年台風19号、令和2年7月豪雨における犠牲者の位置データと1 km メッシュでの降雨観測データを分析することにより、各種降雨指標から大まかな「人的被害規模」を算出する可能性について検討を行った。

平成30年7月豪雨と令和元年台風19号を対象に、各種降雨指標のランク別の犠牲者発生数を調べた結果、豪雨事例によって災害犠牲者発生との

対応がよい降雨指標(降雨継続時間)が異なることがわかった。災害犠牲者発生との対応がよい降雨継続時間の最大雨量では、既往最大比が100%超から犠牲者が発生しはじめ、比が大きくなるほど犠牲者発生確率が高かった。

令和2年7月豪雨では、九州地方で犠牲者が発生した地点では、既往最大比(各指標の最大値)が100%を超えていた。球磨川では計画降雨を超過し、想定最大規模に匹敵する雨量となった。7月3日夜～4日朝の線状降水帯に起因する集中豪雨が球磨川流域とほぼ重なったため、球磨川中下流での河川水位が大きく上昇し、甚大な浸水被害をもたらした。

本研究では、3、6、12、24、48、72時間の降雨継続時間雨量や土壌雨量指数といった7指標の既往最大比最大値を活用することで豪雨災害における犠牲者の発生数を大局的に推計できる可能性があることを示した。この人的被害推計方法では、雨量の実況値だけではなく予測値も活用することができるため、台風のような降雨の予測精度が高いケースでは、豪雨災害の発生前または最中にリアルタイムで起こり得る被害規模を把握し、より迅速な対応を防災関係機関に促すことが期待される。

一方で、球磨川での氾濫のような極めて局所的な豪雨による大規模洪水での犠牲者に関しては、犠牲者発生地点の降雨指標だけではなく、上流域も考慮した評価関数へと改良する必要がある。また、土砂災害警戒区域・特別警戒区域や浸水想定区域、地形(地形分類でいう低地)といった地理的要素も考慮することでさらなる推計精度の向上が期待される。今後の課題としたい。

引用文献

- 1) 気象庁：降水短時間予報とは、気象庁ホームページ，2021。 [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/ know/kurashi/kotan_nowcast.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kurashi/kotan_nowcast.html) (2021年3月21日参照)。
- 2) 気象庁：気象等の情報に関する講習会平成30年2月28日開催資料「土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数の概要と基準の設定方法について」，気象庁ホームページ，2018。

- <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/koushu180228/shiryoul.pdf> (2021年3月21日参照).
- 3) 太田琢磨・牧原康隆: 大雨警報における浸水雨量指数の適用可能性-タンクモデルを用いた内水浸水危険度指標-. 気象庁研究時報, No.65, pp.1-23, 2015.
 - 4) 中央防災会議: 防災対策推進検討会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)資料2-1南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要, 2012. http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20120829_gaiyou.pdf (2020年12月29日参照).
 - 5) Nakamura, H., S. Aoi, T. Kunugi, W. Suzuki and H. Fujiwara: Prototype of a Real-Time System for Earthquake Damage Estimation in Japan, *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.5, pp.981-989, 2013.
 - 6) Fujiwara, H., H. Nakamura, S. Senna, H. Otani, N. Tomii, K. Ohtake, T. Mori and S. Kataoka: Development of a Real-Time Damage Estimation System, *Journal of Disaster Research*, Vol.14 No.2, pp.315-332, 2019.
 - 7) 防災科学技術研究所: J-RISQ 地震速報, 2013. <http://www.j-risq.bosai.go.jp/report/> (2020年12月29日参照).
 - 8) 越村俊一・H. Mofjeld・片田敏孝・河田恵昭: 津波の市街地氾濫による人的被害に関する一評価法-米国シアトルウォーターフロントにおけるケーススタディー-, 土木学会海岸工学論文集, Vol.49, pp.1441-1445, 2002.
 - 9) 越村俊一・行谷佑一・柳澤英明: 津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.4, pp.320-331, 2009.
 - 10) 越村俊一・阿部孝志・撫佐昭裕・村嶋陽一・鈴木崇之・井上拓也・太田雄策・日野亮太・佐藤佳彦・加地正明・小林広明: スーパーコンピュータによるリアルタイム津波浸水被害予測, 東北大学大型計算機センター広報, Vol.51, No.1, pp.30-34, 2018.
 - 11) 池内幸司・越智繁雄・藤山秀章・安田吾郎・岡村次郎・青野正志: 大規模水害時の人的被害の想定と被害軽減方策の効果分析, 木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.4, pp.I_1651-I_1656, 2013.
 - 12) 中央防災会議: 大規模水害対策に関する専門調査会平成20年3月25日記者発表資料参考資料2 大規模水害時の排水施設の状況, 死者数・孤立者数の想定手法, 2008. http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/daikibosugai/pdf/080908_sanko_shiryo_2.pdf (2020年12月29日参照).
 - 13) US Army Corps of Engineers: Performance Evaluation of the New Orleans and Southeast Louisiana Hurricane Protection System, Draft Final report of the Interagency Performance Evaluation Task Force, 2006.
 - 14) 片田敏孝・桑沢敬行・信田 智・小島 優: 大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.1, pp.71-82, 2013.
 - 15) 気象庁: 防災気象情報の伝え方に関する検討会第1回資料4「検証結果と課題について」, 気象庁ホームページ, 2018. http://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kentoukai/tsutaekata/part1/tsutaekata1_shiryou_4.pdf (2020年12月29日参照).
 - 16) 林真一郎・内田太郎・蒲原潤一: 土砂災害被害と降雨確率規模、災害発生頻度の関係, 土木技術資料, Vol.56, No.1, pp.40-43, 2014.
 - 17) 気象庁: 平成30年7月豪雨(前線及び台風第7号による大雨等), 気象庁ホームページ, 2018. https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/jyun_sokuji20180628-0708.pdf (2021年3月21日参照)
 - 18) 総務省消防庁: 平成30年版消防白書, 総務省消防庁ホームページ, 2018. <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h30/46816.html> (2021年3月21日参照)
 - 19) 気象庁: 台風第19号による大雨, 暴風等(令和元年(2019年)10月10日~10月13日), 気象庁ホームページ, 2019. https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf (2021年3月22日参照)
 - 20) 総務省消防庁: 令和元年台風第19号及び前線による大雨による被害及び消防機関等の対応状況(第55報), 総務省消防庁ホームページ, 2019. <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/taihuu19gou55.pdf> (2021年3月22日参照)
 - 21) 気象庁: 令和2年7月豪雨(令和2年(2020年)7月3日~7月31日), 気象庁ホームペー

- ジ, 2020. https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/jyun_sokuji20200703-0731.pdf (2021年3月22日参照)
- 22) 総務省消防庁：令和2年7月豪雨による被害及び消防機関等の対応状況(第44報), 総務省消防庁ホームページ, 2020. https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/200731_ooame44.pdf (2021年3月22日参照)
- 23) 気象庁：雨に関する各市町村の50年に一度の値一覧, 気象庁ホームページ, 2021. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/tokubetsukeiho/sanko/1-50ame.pdf> (2021年6月27日参照)
- 24) 牛山素行：平成25年8月秋田・岩手の豪雨による災害の特徴, 自然災害科学, Vol.32, No.3, pp.279-288, 2013.
- 25) Ishihara, Y. and S. Kobatake: Runoff Model for Flood Forecasting, Bull.D.P.R.I., Kyoto Univ., 29, pp. 27-43, 1979.
- 26) 牛山素行：2004～2014年の豪雨災害による人的被害の原因分析, 東北地域災害科学研究, No.51, pp.1-6, 2015.
- 27) 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一：平成30年7月豪雨による人的被害の特徴, 自然災害科学, No.38-1, pp.29-54, 2019.
- 28) 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一：2019年台風19号による人的被害の特徴, 自然災害科学, No.40-1, 2021 (印刷中).
- 29) 牛山素行：令和2(2020)年7月豪雨による人的被害についての調査速報(2020年8月7日版), 2020. https://note.com/disaster_i/n/ne0668c8a3cfd?magazine_key=mb764a085fb62 (2021年4月1日参照)
- 30) 今村遼平：山地災害の『免疫性』について, 応用地質, Vol.48, No.3, pp.132-140, 2007.
- 31) 日本気象協会：(防災レポート Vol.5) 令和2年7月豪雨における降水量の特徴(速報)－線状降水帯、異例の11時間以上継続－, 日本気象協会ホームページ, 2020. <https://www.jwa.or.jp/news/2020/07/10461/> (2021年4月1日参照)
- 32) 国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所：球磨川の洪水浸水想定区域図, 八代河川国道事務所ホームページ, 2019. http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/bousai/kuma_shinsui.html (2021年4月1日参照)
- 33) 牛山素行：豪雨による人的被害発生場所と災害リスク情報の関係について, 自然災害科学, Vol.38, No.4, pp.487-502, 2020.

(投稿受理：令和3年4月2日)

訂正稿受理：令和3年7月2日)

要 旨

台風等の豪雨災害において、予想される雨量の規模から災害対応の必要性を呼び掛けるにあたり、降雨規模と想定される人的被害規模の関係性を明らかにしておくことは重要である。本研究では、平成30年7月豪雨、令和元年台風19号、令和2年7月豪雨における犠牲者の位置データと1 km メッシュでの降雨観測データを分析することにより、降雨に関する各種指標から「推計犠牲者発生数」を算出する可能性について検討を行った。3, 6, 12, 24, 48, 72時間の降雨継続時間雨量や土壌雨量指数といった7つの降雨指標について、犠牲者発生数との関係性を分析した結果、降雨指標そのものではなく過去の観測最大値との比である「既往最大比」が犠牲者発生との関係性が高いことがわかった。豪雨事例によって災害犠牲者発生との対応がよい降雨指標が異なることから、7指標の既往最大比最大値を算出することで、豪雨災害における犠牲者の発生数を大局的に推計できる可能性があることを示した。一方で、球磨川での氾濫のような極めて局所的な豪雨による大規模洪水での犠牲者に関しては、犠牲者発生地点の降雨指標だけではなく、上流域も考慮した雨量指標による評価関数へと改良する必要がある。