

豪雨災害が発生した地域における 住民の避難行動のタイミングに関する分析 Evacuation timing analysis of the residents during heavy rainfall disaster

18N3100008K 金枝上 英明 (河川・水文研究室)
Hideaki KANAEGAMI/ River Engineering and Hydrology Lab.

Key Words : evacuation behavior, evacuation information, heavy rainfall disaster, questionnaire survey

1. はじめに

近年、平成27年9月関東・東北豪雨や平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨、令和元年台風第19号など、死者を伴う災害をもたらす豪雨が毎年発生している。このような豪雨による災害時の避難行動に関する課題は主に2つある。1つ目は、豪雨災害後に様々な団体が避難行動に関する調査を行うが、それらを1つの指標で評価できず、人的被害を減らすためにどうすれば良いのか明確にすることができないことである。例えば、平成30年7月豪雨後に行政や研究機関が被害状況や避難行動についての報告書をまとめ、今後の課題を示している¹⁾²⁾が、これらを明確に1つの指標で評価することは困難である。これは、一般的に豪雨災害時の避難行動に関する調査は緊急調査的な性格が強く、調査主体ごとに違った視点でデータが収集されるためである³⁾とされている。2つ目は、豪雨災害発生時に発令される情報が避難行動に適切に活かされていないことである。これには、自治体が発令する情報が住民に伝わらない場合⁴⁾や避難情報を聞いても避難行動に活かされない場合⁵⁾、避難情報の発令が間に合わない場合⁶⁾がある。例えば平成30年7月豪雨時の岡山県倉敷市真備町では、事態の進展に合わせて気象情報や避難情報が発令されたが、結果として51人が犠牲になった⁹⁾。

そこで本研究では、著者らが行った避難行動に関するアンケート調査結果を基に、豪雨災害時の避難行動の特徴を明らかにする。そして避難行動のタイミングに着目した新たな評価手法及び分析方法を提案し、豪雨災害時の避難行動が適切に行われるようにすることを目的とする。また、本研究では避難所等の安全な場所に避難することを避難行動と定義する。

2. 避難行動に関するアンケート調査概要

表-1は、著者らが避難行動の実態を明らかにするためにに行ったアンケート調査の概要である。常総市では、平成27年9月関東・東北豪雨において鬼怒川等の氾濫により市内の約3分の1の面積で浸水し、2人が亡くなった。さらに、氾濫流からの逃げ遅れにより浸水区域内人口の約1割にあたる約4,300人がヘリコプターやボートで救

表-1 避難行動に関するアンケート調査概要

対象地域	茨城県常総市	福岡県朝倉市
対象豪雨	平成27年9月関東・東北豪雨	平成29年7月九州北部豪雨
調査対象	市内の浸水区域又は避難勧告・避難指示が発令された地域の住民の内、空間的に調査人口分布が均一になるように調査世帯を選定	豪雨で被害を受けた地区(大字単位)の全世帯の住民
調査方法	対面式によるアンケート調査(不在の場合はポスト投函による郵送調査)	・対面式によるアンケート調査(不在の場合はポスト投函による郵送調査) ・郵送調査
調査期間	2015年11月21日~23日	2018年6月8日~11日, 2018年11月9日~11日
回答数	516件	2,904件
避難率	約59%	約34%

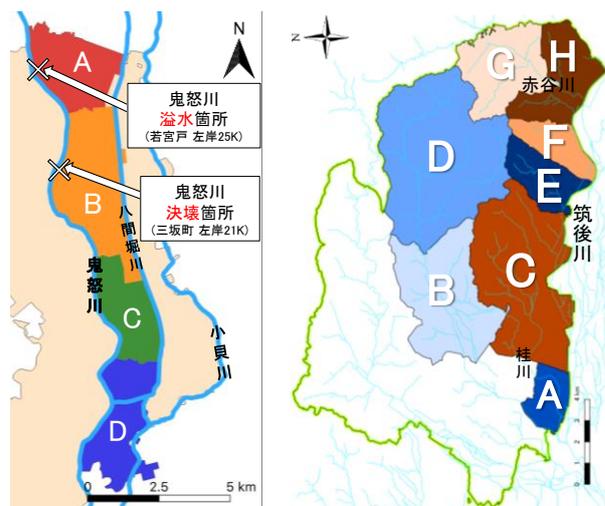
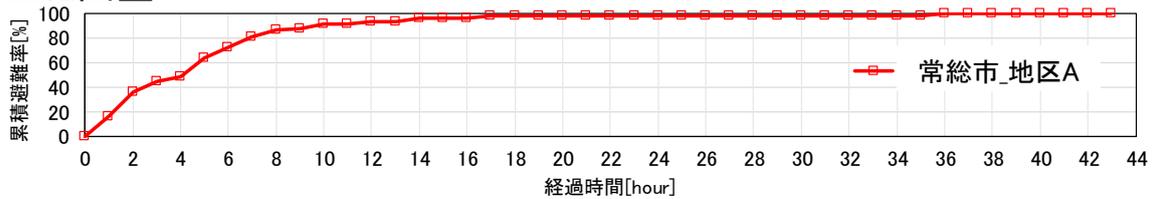


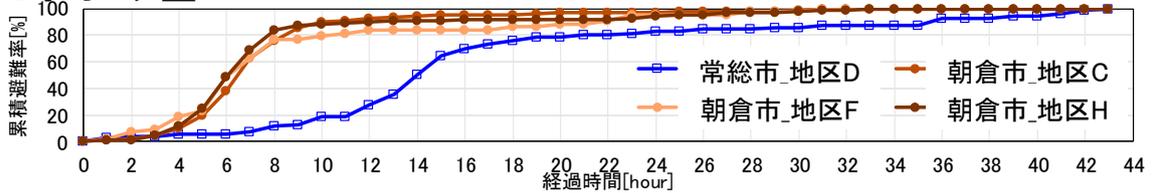
図-1 対象地域の地区区分
〔左：茨城県常総市の地区区分〕
〔右：福岡県朝倉市の地区区分〕

助された⁹⁾。朝倉市では、平成29年7月九州北部豪雨において、市内各地の中小河川を中心に土砂や流木、氾濫による被害が生じ37人が亡くなった¹⁰⁾。本研究では、それぞれの地域で、地区ごとの避難行動の違いを明らかにするために、調査実施箇所を常総市では4地区(図-1左)、朝倉市では8地区(図-1右)に分けて避難行動の実態を分析した。常総市の地区Aは溢水箇所付近、地区Bは決壊箇所付近、地区Cは決壊箇所と市街地の間、地区Dは市街

○上に凸型



○S字カーブ型



○中間型

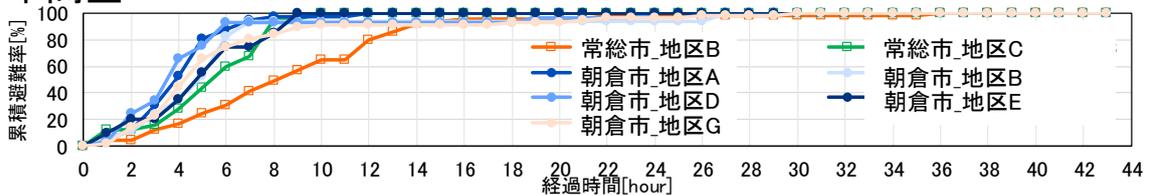


図-2 避難行動のタイミングによる累積避難率の分布形の分類
〔避難開始速度に着目して累積避難率の推移の分布形を分類した結果、
①上に凸型②S字カーブ型③中間型の3タイプがあるとわかった。〕

地である。朝倉市は、朝倉市復興計画の地区区分を基に地区Aから地区Hまで分類した。

3. 避難行動のタイミングによる地区特徴整理

(1) 累積避難率の分布形の分類

図-2は、累積避難率の推移の分布形を常総市と朝倉市の各地区で分類した結果である。縦軸は、避難行動を取った世帯の内、避難開始時刻を覚えていた世帯を各時刻で集計した累積避難世帯数を、避難開始時刻がわかる世帯の総数で除して算出した累積避難率である。横軸は、各地区で初めて避難行動が取られた時刻からの経過時間である。分布形の地区分類は各市ごとに行い、各時刻における避難開始速度を算出して行った。そして、避難開始速度のピークが初期に現れるものを上に凸型、末期に現れるものをS字カーブ型、中期に現れるものを中間型とした。本研究では上記3種類の分布形の内、分布形の違いが顕著な「上に凸型」と「S字カーブ型」の地区について分析した結果を示す。

(2) 各分布形の地区特徴

避難行動のきっかけには、気象情報や避難情報といった外部からの情報だけでなく、住民同士の避難勧誘等もあるとされている¹¹⁾。著者らの調査でも避難行動のきっかけには、気象情報や避難情報、いた場所に水や土砂が押し寄せてきたからといった外的条件と、周囲

の人からの避難勧誘や避難している人を見たからといった内的条件があるとわかった。また、内的条件を避難行動のきっかけとして挙げた世帯の割合は、上に凸型及びS字カーブ型のいずれの地区においても約3割から4割であった。よって、上記地区では外的条件によって累積避難率の分布形が異なるといえる。

図-3は、豪雨災害時に各市で発令された気象情報や避難情報と各地区の避難行動の関係である。これより、上に凸型である常総市地区Aでは避難情報が発令された後すぐに避難行動が開始されていたとわかった。一方、S字カーブ型である常総市地区Dでは気象情報や避難情報が複数回発令されていたにもかかわらず、すぐに避難行動が開始されていなかった。また、同じくS字カーブ型の朝倉市地区C、F、Hでは、「水や土砂が押し寄せてきたから」や「近くで被害を見聞きしたから」という避難行動のきっかけを挙げた世帯が半数以上を占めた。よって、朝倉市地区C、F、Hでは気象情報や避難情報が発令される頃にすでに被害が発生していたためにすぐに避難行動を取れなかったと考えられる。したがって、S字カーブ型の地区では、上に凸型の地区のように外的条件を早く住民に伝え、かつ確実に外的条件が住民に効くようにする必要があると考えられる。

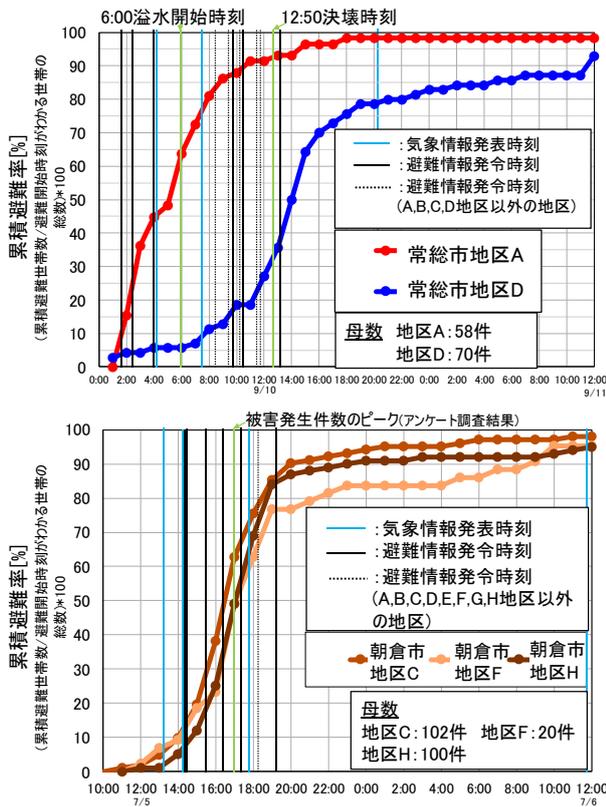


図-3 気象情報・避難情報と避難行動の関係
 上に凸型では情報発令後すぐに避難行動が開始されているが、S字カーブ型ではすぐに避難行動が開始されていない

4. 動学的避難行動解析

上記避難行動の実態調査結果より、以下の避難行動における3法則を考慮したモデルを提案する。

- ① 外的情報が入ってそれを認識または受容しない限り集団は変化しない
- ② 避難人数の加速度は情報力である外力によって駆動される部分と、避難開始速度とすでに避難した人の数及び避難すべき残っている人の数の掛け合わせたものに比例する内在力によって駆動される
- ③ 避難を駆動する力は避難しようとする内在力と駆動する外力である情報力に依り、作用反作用は成立しない

この法則では、避難行動のきっかけの内、外的条件では情報力、内的条件では内在力が住民に作用すると考える。ここで(1)情報力を運動量の変化量として考える場合(運動量モデル)と(2)情報力と内在力を応力ひずみ関係で考える場合(応力ひずみモデル)を考えた。いずれの場合でも情報力は初期のみに作用しその後は内在力のみが作用すると考える。以下に各モデルの概要を示す。

(1) 運動量モデル

情報量を力積つまり運動量の変化量として考える。また、避難すべき残っている人に情報力が働くとする

と、情報力を考慮した運動方程式が式(1)になる。

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{p_1}{(x_{max} - x(t))} \frac{dl(t)}{dt} \quad (1)$$

ここで、 $x(t)$ は避難者数、 $v(t)$ は避難開始速度、 t は時間、 x_{max} は情報力のみ効果として表れる総避難者数、 $\frac{dl(t)}{dt}$ は情報力、 p_1 は情報受容率である。次に、避難した人がまだ避難していない残っている人に避難効率 p_2 の確率で内在力を及ぼすと考えると式(2)になる。

$$\frac{dx(t)}{dt} = p_2 \frac{x_{max} - x(t)}{x_{max}} x(t) \quad (2)$$

上式を t に関して微分すると内在力を考慮した運動方程式になり、情報力のみ運動方程式と合わせると、運動量モデルの運動方程式は式(3)になる。

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{p_1}{(x_{max} - x(t))} \frac{dl(t)}{dt} + p_2 \left(\frac{x_{max} - 2x(t)}{x_{max}} \right) v(t) \quad (3)$$

情報力は初期のみに作用し、その後は内在力のみが作用すると考えるため、式(3)右辺の第1項は初期のみで考慮し、その後は式(3)右辺の第2項のみを考慮する。

(2) 応力ひずみモデル

次に情報力と内在力を応力ひずみ関係で考え、情報力は避難すべき人 x_0 全体に作用し、その内初期変位 δ_0 の人が情報力が作用して避難行動を取ると考える。また、初期変位 δ_0 の人に情報力が生じた後の変位 $x(t)$ が避難者数とすると、情報力のみ効果として表れる総避難者数 x_{max} は、 $x(t)$ の一般解より初期変位 δ_0 の2倍で表されるとわかる。よって、運動方程式は式(4)になり、ひずみは式(5)で表される。

$$\frac{dv(t)}{dt} = E\varepsilon(t) \quad (4)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\frac{x_{max}}{2} - x(t)}{x_0} \quad (5)$$

ここで、ヤング係数 $E = p' dx(t)/dt$ であるとすると、情報力と内在力を考慮した応力ひずみモデルの運動方程式は式(6)になる。

$$\frac{dv(t)}{dt} = p \left(\frac{x_{max} - 2x(t)}{x_{max}} \right) v(t) \quad (6)$$

ここで、 $x(t)$ は避難者数、 $v(t)$ は避難開始速度、 t は時間、 x_0 は避難すべき人の総数、 x_{max} は情報力のみ効果として表れる総避難者数、 p は避難効率である。

図-4と図-5は、上記2種類のモデルの数値計算結果と上に凸型の常総市地区A、S字カーブ型の常総市地区D及び朝倉市地区Cの実測値の比較結果である。実測値の縦軸は、母数を概ね累積避難世帯数が一定になる時刻の累積避難世帯数にした場合の累積避難率で、計算値の

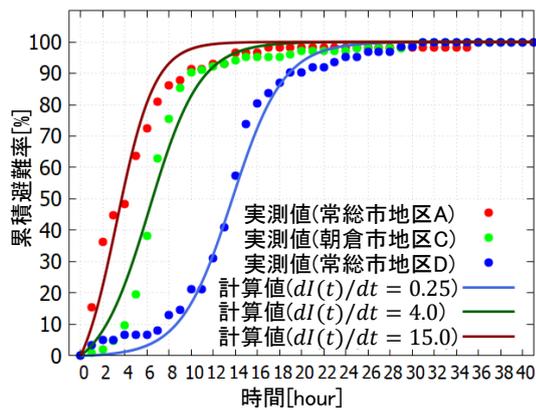


図-4 数値計算結果(運動量モデル)と実測値の比較
〔情報力が大きいほど、分布形が上に凸型に近づく〕

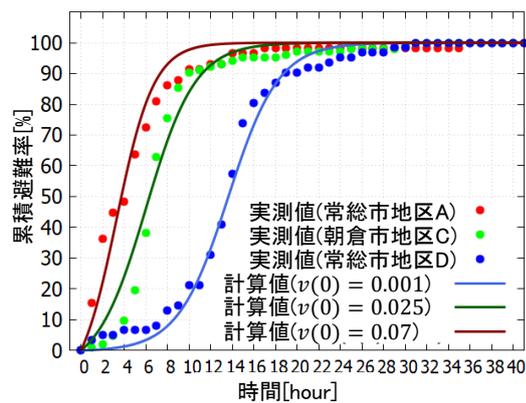


図-5 数値計算結果(応力ひずみモデル)と
実測値の比較
〔避難開始速度の初期値が大きいほど、
分布形が上に凸型に近づく〕

縦軸は $x(t)$ の最大値を母数としたときの累積避難率である。パラメータはアンケート調査結果を基に以下のようにした。運動量モデルの p_1 は避難行動のきっかけとして外的条件を挙げた世帯の割合、 p_2 は避難行動のきっかけとして内的条件を挙げた世帯の割合とし、 $dl(t)/dt$ の値を変えて実測値に合わせた。応力ひずみモデルの p は避難行動のきっかけとして内的条件を挙げた割合とし、 $v(t)$ の初期条件を変えて実測値に合わせた。また、アンケート調査ではわからない x_{max} は任意の値にした。その結果、両モデルの数値計算結果は実測値と概ね一致した。また運動量モデルでは、情報力が大きいほど累積避難率の分布形が上に凸型に近づき、応力ひずみモデルでは、避難開始速度の初期条件を大きくするほど累積避難率の分布形が上に凸型に近づいた。これらは累積避難率の分布形が上に凸型の地区で情報力が働くとともに避難行動を取る人が多いという実態と一致している。従ってどちらのモデルも情報力の効果を定量的に表すことができる評価手法であるといえる。

5. まとめ

本研究では、著者らが行った豪雨災害時の避難行動

に関するアンケート調査結果を基に、避難行動の実態を明らかにした。これより避難行動のタイミングによる累積避難率の分布形を①上に凸型②S字カーブ型③中間型に分類した。また、避難行動のきっかけには、外部からの情報による外的条件と、住民同士の避難勧誘などの内的条件があるとわかった。さらに、気象情報や避難情報と避難行動の関係については、上に凸型の地区では、気象情報や避難情報が発令されてからすぐに避難行動を開始する世帯が多かった。一方、S字カーブ型の地区では気象情報や避難情報が発令されてすぐに避難行動を開始していなかった。ただし、朝倉市では、気象情報や避難情報が発令される頃には被害が発生しており、避難行動を取れなかったと考えられる。

次に、外的条件を情報力、内的条件を内在力と考える避難行動における3法則を考慮したモデルを2種類考案した。運動量モデルでは、情報力を運動量の変化量として考え、避難した人がまだ避難していない残っている人に内在力を及ぼすと考えた。一方、応力ひずみモデルでは、情報力と内在力を応力ひずみ関係で考えた。その結果、どちらのモデルも実測値と数値計算結果が概ね一致した。また、運動量モデルでは情報力が大きくなるほど、応力ひずみモデルでは、避難開始速度の初期値が大きいほど累積避難率の分布形がS字カーブ型から上に凸型に近づくことがわかった。これにより、情報力の効果を定量的に評価することが可能になった。よって今後は、情報力の効果を高める条件をアンケート調査を基に明らかにすることで、多くの人が早いタイミングで避難行動を取れるようにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 内閣府：平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について(報告), 2018.
- 2) 岡山県：平成 30 年 7 月豪雨災害検証報告書, 2019.
- 3) 公益社団法人土木学会：2018 年 7 月西日本豪雨災害調査団(中国地区)報告書, 2019.
- 4) 吉本俊裕, 笹田俊治, 須見徹太郎：氾濫特性の異なる流域での避難行動, 土木学会水工学論文集, Vol.37, pp.233-238, 1993.
- 5) 片田敏孝, 児玉真, 浅田純作：東海豪雨災害における住民の情報取得と避難行動に関する研究, 河川技術論文集, Vol.7, pp.155-160, 2001.
- 6) 国土交通省：実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会(第3回)参考資料4, 2019.
- 7) 常総市水害対策検証委員会：平成 27 年常総市鬼怒川水害対応に関する検証報告書, 2016.
- 8) 国土交通省：住民自らの行動に結びつく水害・土砂災害ハザード・リスク情報共有プロジェクト, 2018.
- 9) 国土交通省 関東地方整備局：「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」に係る洪水被害及び復旧状況等について, 2015.
- 10) 国土交通省 九州地方整備局：筑後川右岸流域河川・砂防復旧技術検討委員会報告書, 2017.
- 11) 高棟琢馬, 椎葉充晴, 堀智晴：水害避難行動のマイクロモデルシミュレーションと制御に関する研究, 土木学会論文集, No.509, II-30, pp.15-25, 1995.