

氾濫特性の異なる流域での避難行動

Evacuation in Flood Plains with Different Characteristic

吉本俊裕*、笛田俊治**、須見徹太郎***

By Toshihiro YOSHIMOTO, Toshiharu FUETA and Tetutarou SUMI

Evacuation is one of the most important flood disaster mitigations. It is necessary to know the actual condition of evacuation for its simulation and planning. However, evacuation has different actual conditions according to flood plain conditions which are flood plain gradient, inundation depth, and so on. We have questionnaires with relation to actual evacuation in the two river basins, namely, the Mifune and the Rokkaku river. People there suffered considerable losses from flood in 1988 and 1990 respectively. We analyze the answers, then we get evacuation velocity, evacuation ratio, etc..

Keywords: evacuation, flood plain, evacuation velocity, evacuation ratio

1. まえがき

我国では社会活動の大部分が、河川が繰り返し氾濫することによって形成した沖積平野の上で展開されているため、避難は洪水対策の重要な柱の一つである。ところが、同じ氾濫に対する避難でも、氾濫等の属性（特に、流域の特性等）によって、避難の状況はまったく違ったものになることが考えられる。しかし、従来の研究は、洪水災害が期間をおいて突発的に生じるために、緊急調査的な性格が強く、収集したデータの使用目的が明確でなかったり、また、時間的にも地域的にもランダムに生じることから、研究者が違ったり或は研究者は同じでも時期が違うために、違った視点からデータが集められたりして、複数のデータ間での比較が難しいなどの課題があったように思われる。また、避難シミュレーションにおいて、避難速度などの原単位を、根拠が不明確なまま使用している場合なども見受けられる。

そこで、本研究では、氾濫特性の異なった流域での避難行動の違いが明らかになるように、二つの流域（緑川水系御船川、六角川水系六角川・牛津川）の洪水災害を対象として、ほぼ同じ内容のアンケートを実施

* 正会員 工修 建設省東北地方建設局北上川下流工事事務所
(〒986 宮城県石巻市蛇田字新下沼80)

** 正会員 建設省土木研究所河川部総合治水研究室
(〒305 茨城県つくば市大字旭一番地)

*** 正会員 建設省中国地方建設局太田川工事事務所
(〒730 広島県広島市中区八丁堀3-30)

した。アンケート結果は、主に具体的避難対策に資するという観点から数量化Ⅱ類等を使って分析し、さらに、主要な要因について避難行動の原単位データを作成した。

2. 調査対象流域及び災害の概要

本研究の目的の一つが、氾濫特性の相違する流域での避難行動を比較することにあるので、ここでは、流域勾配が比較的急で氾濫水の勢いが強いものの代表として昭和63年に災害を受けた御船川、また流域勾配が緩やかで氾濫水がゆっくり広がるものの代表として平成2年に災害を受けた六角川を調査対象とした。

御船川は、流域面積123km²、流路延長32.4kmの緑川の右支川である。図-1に示す測線A₁-A₂-A₃の流域勾配は図-2の通りであり、概ね流下型の氾濫形態となる地域であるが、御船川の流末付近においては一部貯留型の地域も含んでいる。当流域では昭和63年5月3日から4日にかけて停滞前線による集中豪雨があり、図-1に示すような場所において溢水・破堤し、御船町・嘉島町で、浸水面積1034ha、死者2名、全壊家屋10戸、半壊家屋22戸、床上浸水638戸、床下浸水521戸の一般被害が発生した。

六角川及び左支川牛津川の流域面積は、それぞれ173km²、168km²で、流路延長は、47km、29kmである。六角川も牛津川も日本で有数の緩流蛇行河川であり、図-3に示す測線B₁-B₂-B₃の流域勾配は図-2の通りで、全般的に貯留型の氾濫形態となる地域である。当流域では、平成2年7月1日から2日にかけて、台風崩れの低気圧と梅雨前線によって豪雨となり、図-3に示すように両川合わせて9箇所が破堤したほか、各地で越水し、浸水面積10,430ha、床上浸水3,028戸、床下浸水5,658戸の一般被害が発生した。

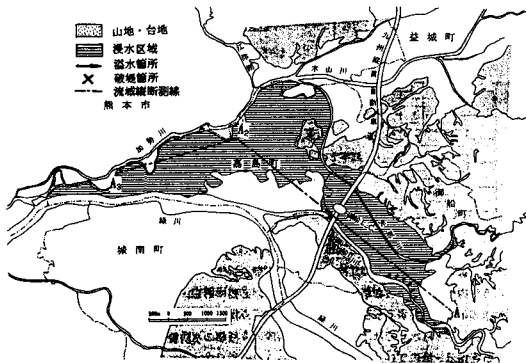


図-1 御船川の流域と浸水状況 (S.63)

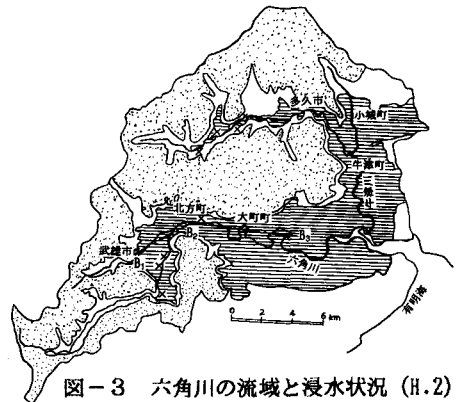


図-3 六角川の流域と浸水状況 (H.2)

3. アンケートの概要

被災した家屋を対象に、郵送による配布・回収を行うアンケートを実施した。アンケート内容としては、避難行動に影響を与えそうな項目についてはなるべく取り上げるようにし、かつ、選択肢などを設けることによってアンケートに答える人に分かりやすく、面倒だと思われないように配慮した。アンケート内容は、①住所等の一般的事項、②洪水・避難経験、③当該洪水の状況、④水害・避難情報、⑤避難状況、⑥避難場所、⑦避難しなかった人に対してその理由などであり、選択肢からはみ出るような回答が予想されるようなものについては、意見欄を設けた。

御船川及び六角川の調査対象区域の床下浸水以上の家屋は、それぞれ約1200戸及び約5400戸あるが、アンケートの対象家屋としては、床上浸水・床下浸水についてはほぼ同

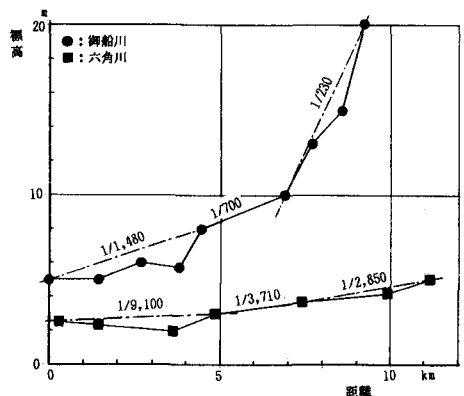


図-2 浸水区域の地形勾配

数になるようにランダムに抽出し、表-1に示すような市町において、表-2に示すような戸数とした。また、回収率についても表-2に示している。

表-1 アンケートの対象市町

御船川流域	六角川流域
御船町 高島町	多久市 小埴町 牛津町 武雄市 北方町 大町町

表-2 アンケートの発送・回収状況

	御船川流域	六角川流域
発送	全平瀬・軒下浸水 122戸	合計 —
床下浸水	185戸	合計 500戸
床下浸水	183戸	合計 500戸
回収	209戸 (41.8%)	308戸 (30.6%)

4. 避難行動分析

避難という現象を明確に説明する要因を明らかにし、可能なものについては定量化するために、アンケートで得られたデータを使って様々な角度から集計・分析を行った。多くの興味深い結果が得られたが、ここでは紙面の都合から、避難シミュレーションをする場合やリスク対策として避難を行政的な施策に活かそうとするときに重要な避難速度、避難の有無等を中心に述べる。

4. 1 避難速度

避難したと回答した中から、避難開始時刻、避難所到達時刻及び避難距離の数値が明確なものを使って避難速度を求めた(表-3)。御船川では、避難速度にかなりのばらつきがあるが、避難路の浸水がなかった場合に平均避難速度は 1.6 km/hr、浸水があった場合に 1.58km/hrである。一方、六角川では、避難路の浸水がなかった場合については利用できる回答データがなく、浸水があった場合については平均避難速度は 0.76km/hrとなった。御船川と六角川の平均避難速度の絶対値の違いについては、元々データのばらつきが大きいので確定的なことは言いえないが、御船川の場合、洪水の増水が急で浸水が始まるのを見て慌てて避難した人が多くいたことがアンケートから伺えるので、それが避難速度にも影響しているように思われる。なお、御船川では数件しかなかったボートによる避難が、六角川では、利用できる回答データだけでも12件あり、しかもその実態はほとんどが避難というよりは救助となっている。

ところで、建設省土木研究所の水中歩行実験¹⁾によれば、

表-4のような歩行速度が得られている。この実験は、昼間に青年男子を使って清水中で行われている。従って、この値が水中での歩行速度の上限と考えることもでき、御船川も六角川も平均避難速度はこの実験結果以下となっている。

4. 2 避難の有無に関する数量化Ⅱ類による分析

アンケートでの設問「1.避難した、2.避難しなかった、3.二階に避難した」を避難の有無と呼ぶことにし、これを外的基準として、避難の有無が明らかな回答を用いて分析した。分析は、アンケートの設問の中から居住年数・家屋の構造などの要因を多数選び出し、数量化Ⅱ類を繰り返し適用することによって行った。要因のうち、寄与率の低いもの、内容的に重複していると思われるものを順次要因から除外し、また要因中のカテゴリー分類が適切でないと思われるものについても修正し、最終的に、避難の有無に対して寄与率の大きい要因が残ったと思われる時点で終了する。

(a) 御船川

表-3 避難速度に関するアンケート結果

(a)御船川
＜避難路の浸水無し＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
1	60	100	0.10
2	5	100	1.20
3	10	100	0.60
4	20	150	0.45
5	30	800	1.60
6	17	400	1.41
7	20	500	1.50
8	10	1000	6.00
平均	—	—	1.61

＜避難路の浸水有り＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
9	5	300	3.60
10	5	50	0.60
11	5	20	0.24
12	35	200	0.34
13	2	10	0.30
14	5	200	2.40
15	5	100	1.20
16	5	100	1.20
17	5	500	6.00
18	5	100	1.20
19	20	300	0.90
20	5	350	4.20
21	10	20	0.12
22	15	10	0.04
23	20	700	2.10
24	5	150	1.80
25	1	7	0.42
26	20	80	0.24
27	2	150	4.50
28	40	200	0.30
平均	—	—	1.58

＜ボートによる避難＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
29	10	5	0.90
30	5	20	0.24
平均	—	—	0.57

(b)六角川
＜避難路の浸水無し＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
該当データ無し			

＜避難路の浸水有り＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
1	10	60	0.36
2	190	3800	1.20
3	10	7	0.04
4	30	1000	2.00
5	10	100	0.60
6	40	250	0.37
平均	—	—	0.76

＜ボートによる避難＞

No.	避難 時間 min	避難 距離 m	避難 速度 km/hr
7	15	500	2.00
8*	5	100	1.20
9	40	3000	4.50
10	20	2000	6.00
11	60	3000	3.00
12	20	900	2.70
13	10	500	3.00
14	60	1000	1.00
15	30	2000	4.00
16	15	800	3.20
17	30	3000	6.00
18	60	4000	4.00
平均	—	—	3.38

※：自分所有のボートで避難
その他は救助隊のボート
で避難

(注) No. はデータの通し番号

表-4 水中歩行実験結果

水深 cm	歩行速度 km/hr
50	2.95~3.10
100	2.30~2.48
120	1.87

御船川では 1
90 回答を用い、
23 要因から出発
して分析した。

1 軸を横軸に 2
軸を縦軸にして、
23 要因によりデ
ータをプロット
したものを図-
4 に示す。図か
ら、1 軸が「避
難した」を判別
する軸、また 2
軸が「避難しな
かった」と「二
階に避難した」
を判別する軸で
あることが分か
る。

次に、上述の
手順で分析し、
最終的に、居住
年数、家屋の構
造、浸水深、浸
水時間及び避難
命令の有無の 5
つが、避難の有
無に対し大きな
影響を持つ要因

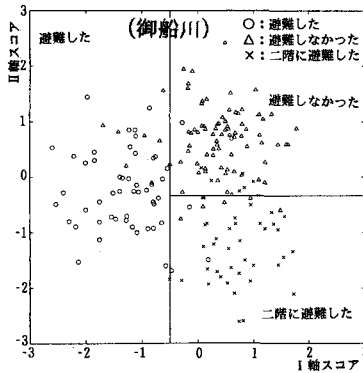


図-4 避難の有無による分類
(23 項目)

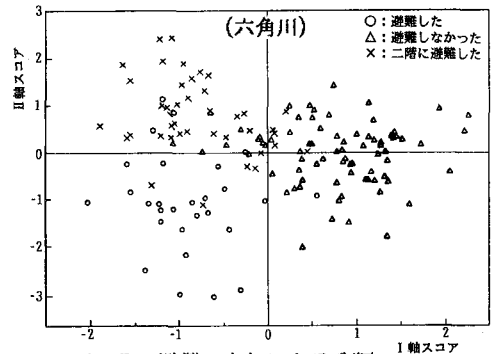


図-5 避難の有無による分類
(19 項目)

表-5 5 要因のカテゴリー分類と
カテゴリースコア (御船川)

アイテム	カテゴリー	I 軸	
		カテゴリースコア	寄与率
1. 居住年数	(1) 不明 (2) 1～19 年 (3) 20～39 年 (4) 40～59 年 (5) 60 年以上	0.88090 -0.43643 0.05494 0.06033 0.34442	0.21173
2. 家屋の構造	(1) 不明、3 階建て以上 (2) 平屋建て (3) 二階建て	-0.41168 -0.84687 0.48337	0.37094
3. 浸水深	(1) 不明 (2) 床下 50cm 未満 (3) 床下 50cm 以上 (4) 床上 50cm 未満 (5) 床上 50cm 以上 100cm 未満 (6) 床上 1m 以上	0.06920 -0.20966 0.03827 -0.18008 -0.58749 -0.08637	0.21089
4. 浸水時間	(1) 不明 (2) 3 時間未満 (3) 3～12 時間未満 (4) 12 時間～1 日未満 (5) 1 日以上	-0.47448 -0.05338 -0.47944 0.62124 0.70005	0.32848
5. 避難命令	(1) 避難命令有り (2) 避難命令無し	-0.26370 0.81530	0.28174
外的基準	(1) 二階に避難 (2) 避難した (3) 避難しなかった	-0.57585 -0.94589 0.28661	—

表-6 5 要因のカテゴリー分類と
カテゴリースコア (六角川)

アイテム	カテゴリー	I 軸	
		カテゴリースコア	寄与率
1. 家屋の構造	(1) 平屋建て (2) 二階建て (3) 三階建て以上	0.14728 -0.03067 0.14967	0.07548
2. 避難経験回数	(1) 0 回 (2) 1～2 回 (3) 3～4 回 (4) 5 回以上	0.06317 -0.30835 -1.70579 -0.69192	0.27357
3. 浸水深	(1) 床下 50cm 未満 (2) 床下 50cm 以上 (3) 床上 50cm 未満 (4) 床上 50cm 以上 1m 未満 (5) 床上 1m 以上	1.19712 1.04058 0.03437 -1.12632 -0.84806	0.72450
4. 浸水時間	(1) 3 時間未満 (2) 3～12 時間未満 (3) 12 時間～1 日未満 (4) 1 日以上	0.63753 -0.11535 0.04075 -0.07939	0.23272
5. 避難経路・場所	(1) 経路・場所とも決めていなかった (2) 場所のみ決めていた (3) 経路・場所とも決めていた	0.03123 0.10988 -0.36772	0.12740
外的基準	(1) 避難した (2) 二階に避難した (3) 避難しなかった	-0.75908 -0.78972 0.72770	—

として残った。表-5 に 5 要因のカテゴリー分類、寄与率及びカテゴリースコアを示す。これらのデータから各要因について、①居住年数の長い人ほど避難しない。②平屋に住んでいる人の方が避難する。③浸水深が浅いとあまり避難しない。④浸水時間が長いとあまり避難しない。⑤避難命令を受けた人ほど避難する。……という特性を読み取ることができる。④以外は概ね常識的な避難行動特性であるが、④については地域の氾濫特性との関係が深い。すなわち、今回対象とした御船川の氾濫域は全体的には流下型の地域であるが、氾濫域の流末において貯留型、つまり浸水時間の長い地域を含んでおり、この地域では流速も遅く、浸水経験も豊富であるため、このような結果が出たものと思われる。

(b) 六角川

六角川では 151 回答を用い、御船川との整合性や六角川のデータ特性等を考慮し、19 要因から出発して解析した。御船川と同様に、19 要因によりデータをプロットしたものを図-5 に示す。御船川では 1 軸によって「避難した」が判別されたが、六角川では同図から 1 軸によって「避難しなかった」が判別され、2 軸では「避難した」と「二階に避難した」が判別される。御船川と同じ手順で要因を絞り込んだ結果、最終的に家屋構造、避難経験回数、浸水深、浸水時間及び避難場所の 5 要因が残った。表-6 に 5 要因のカテゴリー

分類、寄与率及びカテゴリースコアを示す。これらのデータから各要因について、①平屋に住んでいれば避難し、二階建てに住んでいれば二階に避難する。②避難経験があれば、避難する或は二階に避難するなどの行動をとる。③浸水深が浅いとあまり避難しない。④浸水 3 時間未満では避難せず、浸水 1 日以上では避難する。⑤避難経路・避難場所を決めていた場合は、何らかの避難行動をとる。……という特性を読み取ることができる。

(c) 避難の有無に関する行動特性の比較

御船川と六角川とを比較すると、避難の有無に関して、それを説明しうる要因として一致しているのは、家屋の構造及び浸水深である。家屋の構造については、平屋では避難し、二階建て以上では二階に避難するということで一致している。浸水深については浸水深が大きければ、避難或は二階への避難行動を行い、小さければ避難しない。家屋の構造及び浸水深については両河川とも常識的な避難行動である。また、浸水時間については、御船川では浸水時間が長いと避難せず、六角川では避難しており、傾向が逆になっている。しかし、これは注意深くみる必要がある。六角川では、表-3 にも示したように、避難といっても救助の割合が多く、自らの意志で避難したとは考えにくい。もとより、六角川の氾濫原に住む人は洪水の経験も豊富で、氾濫原の流速も比較的小さい。すなわち、御船川の氾濫原の流末部と同じ様な状態であり、そのような氾濫原に住む人は、自らの意志では避難しない傾向にあるとみるべきであろう。

次に、一致しなかった要因について述べると、御船川では、避難命令が最終的な要因として残ったが、六角川でははずれている。これは、御船川では 46% が避難命令を受けているのに対し、六角川では 17% しかなかったためと思われるが、市町の対応が大きく影響する部分である。また、居住年数については、六角川は氾濫原の大部分が水害常習地帯であり、昔から水害と同居する形で生活が成り立ってきた土地柄によるものと思われる。

4. 3 避難の有無の関数化 (避難率の算定)

4.2 において、それぞれの流域で、避難行動特性に大きな影響を持つ要因が抽出された。ここでは、避難計画を立案するときなどに特に重要な浸水深と避難率の関係について示す。なお、避難の有無のカテゴリーのうち、「避難した」者の比率を「避難率」、「避難しなかった」者の比率を「非避難率」、「二階に避難した」者の比率を「二階避難率」と呼ぶ。避難率は、次のような移動平均の概念により算定した。

d(i) を小さい方から i 番目の浸水深、e(i) を i 番目のデータの避難の有無のカテゴリーとすると、移動平均浸水深 D(j) に対する避難率 y₀(j) を、次のように定義する。

$$D(j) = \sum_{i=j}^{j+n} d(i) / n, \quad y_0(j) = \sum_{i=j}^{j+n} \delta'(e(i)) / n$$

ここで、n は移動平均個数、 $\delta'(e(i))$ はダミー変数で、(e(i)) のカテゴリーが「避難した」のとき 1 で、その他は 0 である。また、非避難率、二階避難率についても、同様の方法で計算した。

(a) 御船川

上記のような方法により、避難率等を求めた結果を図-6 に示す。なお、n については、幾つかの試算を行い、最もスムーズな曲線の得られた n=30 とした。また、同図に重ねて示すように、得られた曲線を単純化して表すと、表-7 に示すような避難率等の浸水深に対する関数が求められる。全体的な傾向としては、浸水深の上昇に伴って避難率は上昇するが、ある浸水深を越えると、避難率は一定となる。

(b) 六角川

同様に、避難率等を求めた結果を図-7 に示す。なお、n についても御船川と同様 30 としている。また、避難率等の浸水深に対する関数は、表-8 のようになる。浸水深の上昇により、避難率が上昇することは変わらないが、浸水深が低いときの避難率が小さく、また、ある浸水深から二階への避難率が減少している。これは、前述したように、この流域が水害常習地帯で小さな浸水には慣れているということと、浸水深が大きくなってから救助された人がかなりいたためと思われる。

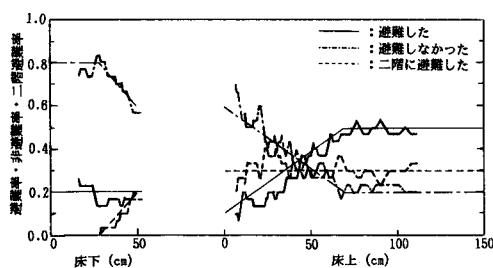


図-6 浸水深に対する避難率等の変化 (御船川)

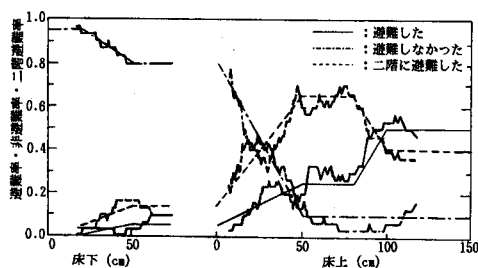


図-7 浸水深に対する避難率等の変化 (六角川)

5. おわりに

本研究では、氾濫原の特性の異なる御船川及び六角川の住民の避難行動を比較し、その特性の違いを明らかにした。避難行動の有無に関して、数量化Ⅱ類により分析し、それぞれの河川で支配的な要因を抽出した。さらに、避難率等と浸水深の関係を関数化し、避難シミュレーションや行政分野における避難対策の立案に必要な基礎データを作成した。本研究の成果が具体的な避難対策に活かされれば幸いである。

最後になりましたが、アンケートに当たって協力頂いた御船川流域の御船町、嘉島町及び六角川流域の多

久市、小城町、牛津町、武雄市、北方町、大町町には心からお礼申し上げます。また、建設省九州地方建設局熊本工事事務所及び武雄工事事務所からはいろいろな資料を提供して頂きました。

〔参考文献〕

- 1) 吉本俊裕、末次忠司、桐生祝男：水害時の避難体制の強化に関する検討、土木研究所資料第2565号、1988

表-7 浸水深と避難率等の関係 (御船川)

浸水深	避難率	非避難率	二階避難率
床 0cm ≤ Xu < 30cm	Ye=0.2	Yn=0.8	Ys=0.0
下 30cm ≤ Xu < 50cm			
床 0cm ≤ Xo < 70cm	Ye=(0.4/70)Xo+0.1	Yn=(0.4/70)Xo+0.8	Ys=0.3
上 70cm ≤ Xo < 120cm	Ye=0.5		

表-8 浸水深と避難率等の関係 (六角川)

浸水深	避難率	非避難率	二階避難率
床 0cm ≤ Xu < 20cm	Ye=0.0	Yn=0.95	Ys=0.05
下 20cm ≤ Xu < 50cm	Ye=(0.05/30)(Xu-20)		
50cm ≤ Xu < 75cm	Ye=0.05	Yn=0.8	Ys=0.15
床 0cm ≤ Xo < 50cm	Ye=(0.2/50)Xo+0.05		
50cm ≤ Xo < 80cm	Ye=0.25	Yn=0.1	Ys=0.85
80cm ≤ Xo < 100cm	Ye=(0.25/20)(Xo-80)+0.25		
上 100cm ≤ Xo < 120cm	Ye=0.5		