

実践的洪水避難訓練に基づく避難行動分析*

Analysis of An Evacuation Behavior based on a Practical Evacuation Drill *

柿本竜治**・山田文彦***・大本照憲***・山本 幸****

By Ryuji KAKIMOTO**・Fumihiko YAMADA***・Terunori OMOTO***・Miyuki YAMAMOTO****

1. はじめに

従来の災害リスク管理は、ハード対策を中心とする行政の公助に多くを依存してきたが、近年の財政状況の悪化によりそのハード対策は縮減を余儀なくされている。また、想定した計画規模を超える外力変動は常に存在するため、ハード対策のみで災害リスク管理を行うのは非常に危険である。そこで、今後の地域災害リスク管理として、地域住民や地域コミュニティが主体となって行政や専門家などと連携を取り、自助・共助の取り組みを実効性のあるものとするのが重要となってきている。そこで、近年注目されているのが、災害リスク管理に対するリスクマネジメント手法の適用¹⁾である。

本稿では、熊本市壺川校区を対象として3回のワークショップを通じて住民が災害リスク情報などを理解してもらった上で、水害避難行動の社会実験を行った結果について報告する。

対象地域の熊本市壺川校区は、南北・東西方向ともに約1 km四方程度の大きさがあり、約8400人(約4000世帯)がそこに居住している。65歳以上の高齢者が校区住民の約20%を占めており、また、約400世帯が高齢単身世帯である。校区の中心部を流れている坪井川は、流域面積141.7km²、流路延長が23.5kmの2級河川であり、鹿本郡植木町の東南を源として南下し、堀川と合流し熊本市中心部を経て植木台地と金峰山東側の伏流水を源とした井芹川と併せ、有明海に注いでいる。壺川校区の中で地盤標高の高低差は最大で30m程度あり、洪水氾濫に対して安全な台地(京町地区:標高30~40m T.P.)と危険性の高い低平地(坪井・壺川・寺原地区:標高10m T.P.程度)が共存する特徴的な地形形状を呈している。低平地部は過去何度も坪井川の氾濫を経験しており、住民からの水害を想定した避難行動訓練の要望は高く、熊本市において水害防災教育の必要性が高い校区の一つとなっている。

*キーワード: リスクコミュニケーション, ワークショップ, 洪水リスクマネジメント, 洪水, 避難訓練

**正員, 博士(学術), 熊本大学政策創造政策センター(熊本県熊本市黒髪2丁目39番1号, TEL096-342-2040)

***正員, 工博, 熊本大学大学院自然科学研究科

****正員, 工学士, 熊本県土木部

2. WSを用いた水害リスクコミュニケーション

第1回WSは、2006年1月24日(19:00-21:00)に壺川公民館において、住民33名、行政関係者1名、NPO関係者1名、大学関係者14名の参加のもと開催された。第1回WSでは、水害リスクコミュニケーションの説明、白川洪水ハザードマップの見方の説明、オリジナル防災・避難経路マップ作りなどを行った。白川洪水ハザードマップの見方では、洪水氾濫シミュレーションの考え方や計算条件(累積降雨量や破堤条件など)を説明するとともに、白川は熊本市内中心部で天井川になっており、万一、白川が氾濫した場合は、熊本城と熊本市役所の方向に向かって氾濫水が集まり、市役所付近から坪井川の水位が上昇し、坪井川の通水能力が下がるとともに、そこから上流の壺川校区の方に向かって河川水位の上昇が伝播し、坪井川も氾濫が生じる危険性が高くなることを説明した。オリジナル防災・避難経路マップ作りでは、住民を自宅の町内ごとに、4つのグループに分け、現在の避難場所、避難経路を地図上に復元した。

第2回WSは、2006年2月26日(10:00-12:00)に壺川コミュニティセンターにおいて、住民34名、行政関係者2名、NPO関係者1名、大学関係者19名の参加のもと開催された。第2回WSでは、壺川校区内でのより詳細な氾濫水の動きを調べるために、大学側で行った氾濫シミュレーションの結果について説明を行った。氾濫シミュレーションの計算には、航空機レーザープロファイラーの標高データを用い、家屋1軒が認識できる5m間隔の計算格子を用いて計算した。計算より氾濫開始2分後には避難場所となる壺川小学校に氾濫水が到達している。第2回目のWSでこれらの計算結果のアニメーションを地域住民に見せ、実際の氾濫水の挙動を考慮しながら、1回目のWSで作成した防災マップと比較・検討を行い、地域特性を反映した防災マップ作りを行った。

第3回WSは、2006年6月4日(10:00-12:00)に壺川コミュニティセンターにおいて、住民35名、行政関係者4名、NPO関係者1名、大学関係者30名の参加の

もと開催された。第3回WSでは、第2回のWSで指摘された降雨による内水氾濫を考慮して、壺川校区における内水・洪水氾濫シナリオを作成し、これまでのWSを通して作成してきたオリジナル防災・避難経路マップを使用した図上避難訓練を実施した。なお、図上避難訓練に使用したシナリオは、既往水害の記録や解析結果などを考慮しながら、時間進行型のシナリオを大学側のグループで作成した。今回の図上避難訓練では、オリジナル防災・避難経路マップ作成時と同様に、住民を自宅の町内ごとに4つのグループに分け、ファシリテーターが進行役をつとめ、シナリオを読み上げながら、それに応じた住民の行動パターンを調査した。各グループの住民6~8名に対して、大学関係者らが5~7名でサポートし、住民の意見や行動パターンなどを記録した。

3. 水害避難行動社会実験

(1) 水害避難行動訓練のシナリオ

第3回ワークショップで行った災害図上訓練(DIG)は、参加者が地図を囲んで、お互いに議論し合うことを通して、地域の災害弱点や災害時の対応策などについて、住民自らが発見・整理する教育訓練方法である。地域防災力の高揚に効果が期待されるため、最近では自治体や企業が防災訓練に取り入れる動きが活発化している。しかしながら、地図を見て考えるだけでは危険箇所を拾いもらす可能性があり、また、階段や坂道などを登る肉体的・時間的なコストについて具体的に考えることが難しい面も指摘されている²⁾。そこで、これらの問題点を解決するために、水害時に避難所まで徒歩で避難する場合を想定し、時間的な氾濫水の広がりによる通路の遮断(トラップ)を考慮した避難訓練を実施した。

水害避難行動訓練に使用した想定シナリオは、2006年6月26日に壺川校区で発生した降雨に伴う内水氾濫の実績を参考に決定した。梅雨前線に伴い6月23日から降り出した雨は、3日間で250mmに達していた。そこに、26日の早朝(5~6時)84mm/hの雨が降ったため、京町台地に降った雨が一気に低平地部に流れ込み、寺原・壺川付近で最大1mを越える浸水(内水氾濫)が発生した。また、この時点で坪井川の水位は特別警戒水位を超えたが、それ以降、急に降雨がおさまったため、河川氾濫自体は免れた。そこで、水害避難訓練では、この内水氾濫後も激しい降雨が続き、坪井川の洪水氾濫が生じることを想定したシナリオを作成した。訓練に使用した想定シナリオを表-1に示す。内水氾濫水が時間的に広がり、通路を遮断するトラップはレベル湛水法³⁾により、15分ごとに計算シミュレーションで再現した。再

表-1 水害避難行動訓練の想定シナリオ

時間	想定シナリオ
午前 10:00	3日前より熊本市から阿蘇山に向かって舌状に伸びた雨雲が原因となって、雨が漸続的に降り続き、白川は危険水位を超えた。レーダー観測によって、午前から午後にかけて、さらに時間雨量50-80mmの雨が予想され、白川の氾濫が現実味を帯びてきたため、熊本市では午前10時に白川沿線および内水による浸水が心配される地域(坪井・寺原等)に避難指示を出した。同じ頃、壺川地域では坪井川への排水が困難になり、坪井や寺原では、道路が冠水を始めていて、瀬戸坂は流れ込む雨水で通行が困難な状況となっている。坪井川も急速に水量が増し始め特別警戒水位に近づいている。
午前 10:15	10時頃より激しく降り始めた雨が、京町台地から流れ込み、ポンプの許容範囲を超えたため、寺原や坪井の低地では冠水している地域が広がり始め、公民館付近も冠水している。坪井川も危険水位に近づいてきた。
午前 10:30	10時頃より激しく降り始めた雨が少し弱まったが、京町台地から流れ込みがひどく、瀬戸坂は滝状態になっている。寺原や坪井の低地、公民館前付近では1m近く溜って入るところが見受けられる。白川は特別警戒水位を超えた。坪井川も水位が上がり始めている。
午前 10:45	坪井川も水位が上がり始め、危険水位を超えたため、排水ポンプがまったく作動せず、急激に内水氾濫の場が拡大してきた。一方、白川は計画水位を超え、一部では越流を始め、国道3号線が10cm浸かり、その流れが下通へ流れ込んでいる。
午前 11:00	少しおさまった雨が、再び激しく降り始め、坪井川が氾濫し始めた。京町台地から流れ込みと相まって、京町台地を除く壺川校区の大部分が浸水している。白川からの越流水が坪井川に流れ込み始め、すでに下馬橋付近でも30cmの浸水となっている。
正午	市役所付近では、3mを超える浸水が見られ、市街地中心部は昭和28年6月26日と同規模の水害となっている。坪井川の downstream では、白川から流れ込んだ流木や坪井川沿線の倒壊家屋の材が橋に絡まり、塞ぎ止めて流れなくなっている。壺川小学校では、1階部分の半分の高さまで浸水している。

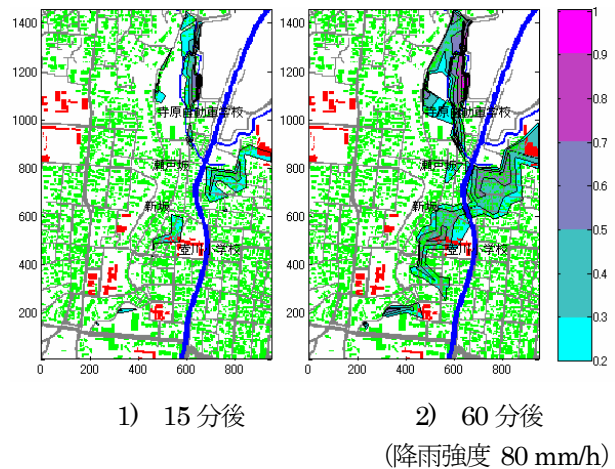


図-1 レベル湛水法による内水氾濫の再現結果
再現結果を図-1に示す。

避難場所と指定されている壺川小学校は水害時に浸水の可能性が高いため、水害避難訓練における避難場所は、京町台地の壺川地域コミュニティセンターとした。

避難訓練開始後、時間の経過とともにトラップが設定され、通行不可能となる道路については参加者には事前に通知しておらず、設定時間になると交差点に配置された計測係が、この先は通行不可能となったことを直接住民に知らせる方法を取った。なお、住民避難行動データの取得は、①実

験に参加する住民は番号のついたゼッケンを全員着用し、計測係が校区内の道路交差点（27 地点）で、交差点を通過する住民のゼッケン番号・通過時間・進行方向を記録、②GPS 機能付き携帯電話 30 台を低平地に居住する住民に事前配布し、実験開始後 2 分毎に位置情報を取得（KDDI の GPSMAP サービスを利用した）、③避難指示の連絡体制として、今回、電話連絡網を利用したので、電話連絡を受けた時刻および避難を開始した時刻を各住民が記録、の 3 つの方法で行った。

（２）水害避難訓練の社会実験の結果

水害避難訓練は、2006 年 10 月 9 日（10:00-12:00）に壺川校区住民 86 名（52 世帯：大人 55 名、子供 31 名）参加のもと実施された。また、行政関係者 8 名、NPO 関係者 1 名、大学関係者 46 名が水害避難訓練のサポートにあたった。

水害避難訓練時に得られた避難情報の発令タイミングに関する調査結果を表-2 に示す。まず、電話連絡網に関する結果では、今回参加いただいた 52 世帯の平均待ち受け時間は約 7 分であるが、避難情報の発令タイミングを考える場合には、その最大値が重要であり、実験では 17 分を要している。また、避難指示を受けて実際に避難行動に移るまでに要した時間は、平均で約 5 分、最大値で 10 分である。この結果は、86 名の方が連絡を受けて、全員が自宅を出るまでには最大 30 分程度を要したことを示している。つまり、避難情報の発令タイミングを考えた場合、避難指示の前に 30 分以上の準備時間が必要あり、現在、全国の自治体で導入が進められている「避難準備情報」の導入は有効と考えられる。実際、住民からの聞き取り調査によると、特に、壺川校区の低平地部の住民は、雨の状況などを見ながら、内水氾濫の恐れがある場合は、まずは京町台地に乗用車を避難させることがわかり、人命だけでなく、資産を守る観点からも「避難準備情報」を有効に活用することが望まれる。

次に、避難計画・避難場所の選定に関する基礎調査結果のまとめを表-3 に示す。多くの自治体では避難計画において、車の利用を控え徒歩による避難を前提としているが、水害時の歩行速度は悪条件を考慮して 33m/分（2km/h）と想定し、避難場所までの移動距離は 1 時間以内に移動できる距離として概ね 2km 前後としているものが一般的である⁴⁾。今回計測した避難速度を壺川校区の避難計画に反映してゆくためには、その最小値に注目する必要がある。今回の水害避難訓練における避

表-2 避難情報発令タイミングに関する調査結果

時間(分)	人数	平均(分)	最大(分)	最小(分)
避難勧告の待ち受け時間	52	7.1	17	2
避難開始までの経過時間	52	4.6	10	1

表-3 避難計画・避難場所の選定に関する基礎調査結果

		人数	平均	最大	最小
避難速度 (m/分)	全員	45	72	143	46
	京町	15	83	143	55
	壺川・坪井・寺原	30	67	103	46
避難距離 (m)	全員	46	1,300	2,060	240
	京町	15	684	1,130	240
	壺川・坪井・寺原	31	1,600	2,060	580
避難時間 (分)	全員	52	20	38	2
	京町	16	10	17	2
	壺川・坪井・寺原	36	25	38	8

難場所を、京町台地の壺川地域コミュニティセンターに設定したため、高台にある京町地区に比較して低平地にある壺川・坪井・寺原地区は高低差 30 m を越える坂を上る必要がある。そのため避難速度は遅くなり、その最小値は 46m/分（2.8km/h）であった。今回の避難訓練時の天候は晴天であったが、水害時の悪条件では避難速度がさらに遅くなるので、一般的な避難計画で想定される避難速度 33m/分（2km/h）で壺川校区の避難計画を立案することは妥当と考えられる。

次に、避難場所の選定に関しては、参加者の避難距離の平均値は 1,300m、最大値は 2,060m であり、また、避難に要した時間は平均で 20 分、最大で 38 分も要している。実際の水害時にはさらに時間が必要となることから、高低差 30 m を越える高台のみに避難所を設置することは、高齢者や障害を持った方などの災害弱者の方に対しては最適な配置であるとは言いがたい。

避難場所の選定に関して、町内別に詳しく見てみる。表-4 に避難計画・避難場所の選定に関する町内別の結果を示す。ここで「-」で書かれたところについてはその町内から参加者がいない場合か、参加者が少なかった場合を示す。図-2 は壺川地区の町内図を示す。ここでの黄色い帯は標高が 15~30m にかけての斜面である。内水氾濫が起こる可能性が高いと考えられる 12~14 町内は最大避難距離が 2km 前後となっている。危険性の高い地区ほど避難所までの距離が遠い結果となった。特に、避難所までの経路に河川を横切る必要がある地区はより危険性が高くなる。特に、今回の訓練中に、内水氾濫により通路が遮断され、増水時の坪井川に掛かる橋を渡る方もおられたが、その避難行動には安全性からも疑問が残り、実際、避難訓練後の住民の感想でも、増水時に坪井川を渡るとはかえって危険ではないかとの指摘があつ

表-4 町内別の避難計画・避難場所の選定に関する基礎調査結果

町内	人数	最大避難時間(分)	最大避難距離(m)	最小避難速度(m/分)
①	2	5	490	78
②	5	11	690	61.8
③	2	10	570	57
④	1	—	—	—
⑤	2	17	1130	66.5
⑥	4	17	970	54.7
⑦	—	—	—	—
⑧	1	—	—	—
⑨	4	24	—	—
⑩	4	19	1510	63.9
⑪	3	35	1850	48.9
⑫	8	38	2010	52.4
⑬	4	30	2060	66.8
⑭	4	34	1970	57.1
⑮	5	30	1690	46.3
⑯	2	29	1390	47.9
⑰	1	—	—	—

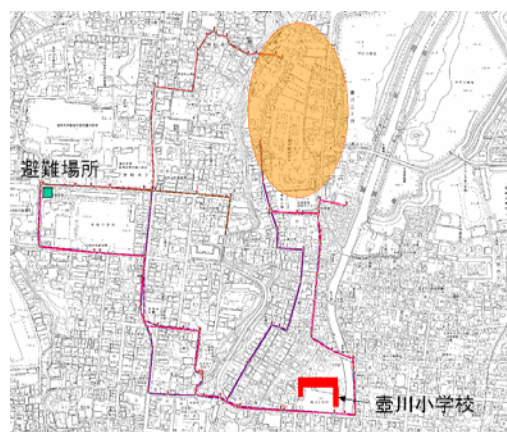


図-3 GPSにより取得した避難経路結果の一例

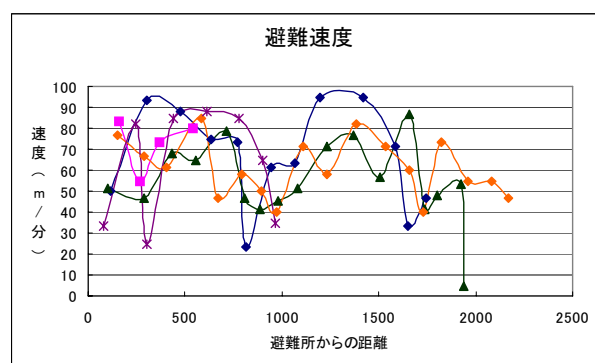


図-4 避難行動時の避難速度の変化

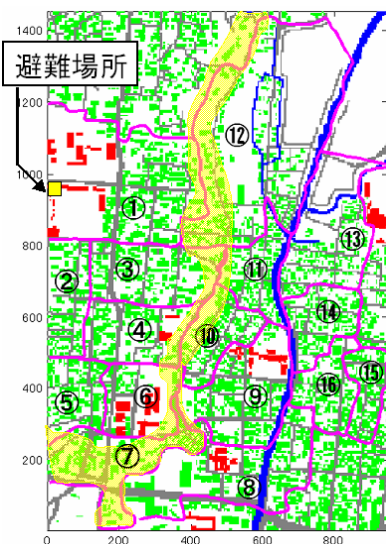


図-2 壺川地区の町内図

た。これらの結果より、自宅から10~20分程度の徒歩圏内に避難所を設置するなど、校区全体で複数の避難場所を用意するとともに、それらの最適な配置あるいは既存施設の有効利用などを含めた、決め細やかな計画が今後必要と考えられる。

図-3は避難訓練時にオレンジの枠で囲まれた地区から避難された方のGPS携帯により取得した避難経路データである。図-4はその経路を通った人の2分ごとの移動速度を示す。この地区は低地であり内水氾濫が起こる可能性の高い地区の一つである。移動速度はX軸に避難所からの距離、Y軸にそのときの2分間の平均移動速度を示している。この地区から避難する場合、避難所まで1kmを切ったあたりで急傾斜の坂を上るため、避難所から1km付近で移動速度が低下しているのが確認できる。

4. おわりに

今回の避難行動実験では晴天の日に行っており、実際の災害状況では避難はもっと困難になると考える。避難計画や避難所・避難経路の選定でも地域の実情を反映したものが必要である。特に災害時における連絡体制の強化は重要であり、同時に多くの家庭に避難情報を行き渡らせるツールも必要であろう。また、今回取得できたGPSデータは今後の避難シミュレーションの開発に活用していく。今回行った条件の下での避難行動をシミュレーションで再現し、その精度を検討した上で、悪条件下での避難シミュレーションに適用を試みる。

参考文献

- 1) 多々納裕一:災害リスクの特徴とそのマネジメント戦略, 社会技術研究論文集, 1, pp.141-148,2003.
- 2) 仲谷善雄:大規模災害に対する減災情報システム(前編), 情報処理, Vol.45, No.11, pp.1164-1174, 2004.
- 3) 竹内秀典・殿最浩司・真期俊行・安藤龍平・井上雅夫:短時間越波量を考慮した堤内地における越波浸水に関する研究, 海岸工学論文集, Vol.51, pp.621-625, 2004.
- 4) 片田敏孝・及川康:実効性を持った洪水時の住民避難計画のあり方に関する検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 24, pp.925-928, 2001.