

# 氾濫時の自転車による避難に関する体験実験

## REAL SIZED EVACUATION EXPERIMENT BY BICYCLE IN FLOOD WATER

戸田圭一<sup>1</sup>・石垣泰輔<sup>2</sup>・菊池未紗<sup>3</sup>・畠野睦大<sup>4</sup>・馬場康之<sup>5</sup>  
Keiichi TODA, Taisuke ISHIGAKI, Misa KIKUCHI, Mutsuhiro HATANO  
and Yasuyuki BABA

<sup>1</sup>正会員 Ph.D. 京都大学教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 関西大学教授 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町3-35)

<sup>3</sup>非会員 工学士 株式会社フジタ (〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2, 修養団SYDビル)

<sup>4</sup>非会員 工学士 野村不動産株式会社 (〒163-0566 東京都新宿区西新宿1-26-2, 新宿野村ビル)

<sup>5</sup>正会員 博(工) 京都大学准教授 防災研究所附属流域災害研究センター白浜海象観測所  
(〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2347-6)

We have conducted evacuation experiments using real size models and studied the difficulty of evacuation by bicycle. To simulate real flow in a road, an almost actual-sized channel was installed. For the flow velocities of 25cm/s and 50cm/s, the depths were changed from 10cm to 40cm in units of 10cm. Participants pedaled two types of bicycles and their run speed was measured. We also executed questionnaire survey to the participants. The run speed by bicycle was almost the same as the walking speed without water of 1.33m/s (4.8km/h) under the conditions of flow velocity of 50cm/s and the water depth of 20cm and flow velocity of 25cm/s and the water depth of 30cm. According to the questionnaire survey to the participants, about 80% participants answered they had a difficulty when the water depth was over 30cm for the flow velocity of 50cm/s. As a result, under the flow velocity condition this time, the water depth of 20cm to 30cm can become a critical condition of evacuation by bicycle in flood water.

**Key Words :** *evacuation experiment, real sized model, bicycle, flood inundation*

### 1. はじめに

氾濫時の避難は徒歩であれ、車であれ、大変な危険を伴うことが既往研究で明らかにされている。水中歩行による避難の限界指標について亀井<sup>1)</sup>は、成人男性、成人女性、子供・高齢者の避難限界は、それぞれ、70cm, 50cm, 20cmと示している。また須賀ら<sup>2)</sup>、浅井ら<sup>3)</sup>は、人間を被験者とした避難実験を実施して、人間の避難限界を流速、水深をもとにした水量との関係で表現している。亀井の知見から明らかなように、氾濫時に徒歩避難することは大変危険であることは明白である。また1982年の長崎大水害時<sup>4)</sup>に見られるように、氾濫時に車が漂流すると車の衝突や水没で水難事故を招く。漂流しなくても、道路冠水によりマフラーから水が入ると車のエンジンは停止する。特殊なケースとして、車が過って窪地やアンダーパスに進入すると、水圧で車からの脱出が困難となり、最悪、命を落とす事態となる。馬場ら<sup>5)</sup>によれば、セダンタイプの小型自動車では、浸水深が

70cm～80cmで運転席からの脱出避難の限界状態となる。

一方、徒歩や車と並んで、普段の移動手段の一つである自転車については、氾濫時の避難に使用されることは一般的ではないが、例えば避難所までの距離が長いときなどに使用される可能性はある。自転車による避難について確かな知見を得ておくことも大切であり、本研究は「氾濫時に自転車を使って人間が避難することがどの程度困難であるか」を、実物大の水路を用いた体験実験から検討し、最終的には自転車避難時の避難限界指標を見出そうとするものである。現段階では、実験条件も限られており、課題もいくつか残されてはいるが、新規性のある内容であり、速報的な位置づけでここに報告する。

### 2. 実験方法と実験条件

図-1、写真-1に示す、京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリの実物大階段模型下流の、幅1m、長さ約10mの直線水路に水を流した状況で、被験者が、2種

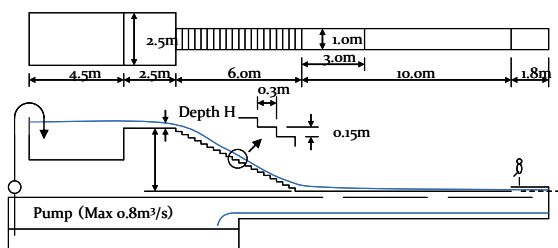


図-1 実験に用いた水路（京大防災研）



写真-1 実験に用いた水路（下流から望む）



(a) 20インチ自転車



(b) 26インチ自転車

写真-2 実験に用いた自転車



写真-3 実験の様子

類（26インチと20インチ）の自転車を流れに逆らって漕いで移動する実験を行い、その所要時間を計測した。

被験者は、直線水路下流端で計測担当者から合図を受けた後、自転車を走行させ、9.5m上流の階段先端に自転車のタイヤが接した時に手を挙げて計測者に合図を送った。この方法で所要時間のデータを収集した。

自転車は、写真-2に示すように、20インチと26インチの2種類である。20インチの自転車はいわゆる折りたたみ自転車、タイヤの大きさ50.8cm、地面からのペダル高さはペダルが最も下にあるときに9.5cm、最も上にあ



写真-4 大規模水槽（関西大学）

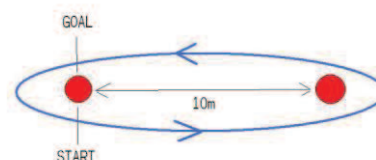


図-2 流れがない状況での自転車走行コース

るときで46.5cmのものを使用した。26インチ自転車は、いわゆるシティサイクルで、タイヤの大きさは66cm、地面からのペダル高さはペダルが最も下にあるときに12.5cm、最も上にあるときに43.5cmのものを使用した。

実験では、水路に通水する流量および下流端の水深を調整し、50cm/sと25cm/sの2種類の流速に対して、水深を10cmから40cmまで10cm刻みで変化させた。また水深0cmに相当する非浸水の状態でも走行時間を計測した。流速50cm/sのときの被験者は20名でそのうち男性17名、女性が3名、流速25cm/sのときの被験者は13名で、男性12名、女性1名であった。2種類の流速の実験とも、男性2名は年齢50歳以上、それ以外の被験者はすべて20代であった。実験の様子を写真-3に示す。被験者は安全面での配慮からヘルメットとプラスチック製の肘あてを身につけて自転車を走行させた。通常は、降雨の中を自転車で移動する状況となることが多いが、実験設備の都合上、今回の実験では降雨の状況までは考慮できなかった。

なお、関西大学の水理実験場でも、写真-4に示すような大規模水槽を用いて、流れがない状況（流速0cm/s）で水深を0cm（非浸水の状態）から50cmまで10cm刻みで変化させて自転車の走行実験を実施した。図-2に示すような、カラーコーンが置かれたコースを3周して所要時間を計測した。被験者は13名で、内訳は成人男性のみで、年代も20代のみの構成になっている。流れがある場合の実験結果との比較の際には、最初の半周に要した時間のみを抽出して採用した。

### 3. 実験結果

被験者の所要時間の実験データから平均の走行速度を求めた。図-3に、水深と走行速度との関係を示す。水深0cm（非浸水）のときの速度が、静水のときと流速を有

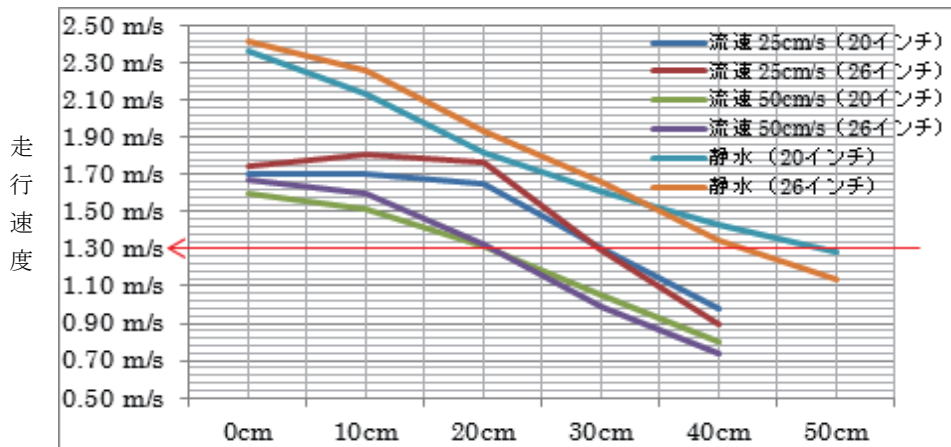


図-3 自転車走行速度と水深の関係

水深

する場合で異なっているが、これは用いた水路の違いから生じたと考えられる。今後、京大防災研の、流れを与えられる水路で静水状態での実験を行う必要がある。

走行速度は自転車のサイズの影響を受ける。水深が増加するにつれて26インチの方が20インチより走行しにくくなる。水深が浅く水による抵抗をさほど受けない場合は、26インチ自転車の方が走行速度は大きいですが、水深が増加して水による抵抗が大きくなると、タイヤのサイズが大きいほど自ら受ける抵抗面積も大きくなり、その分、26インチ自転車の方が走行速度は遅くなるものと推察される。したがって、水深が浅いうちは26インチ自転車、深くなると20インチ自転車の方が速い結果となった。

平均の走行速度を非浸水のときの値で無次元化して無次元走行速度とし、流速、水深との関係を調べた。図-4に流速の違いによる無次元走行速度と水深との関係を示している。これを見ると、流速50cm/sのときは水深10cm、流速25cm/sのときは水深20cmを超えると無次元走行速度の低減率が大きくなる。また、図-5には流速50cm/sのときと0cm/s（静水）のときの無次元走行速度を比較しているが、流速50cm/sのときの無次元走行速度は、水深20cmを超えてから、流速0cm/sの実験値を下回るようになり、流速の影響で自転車走行の困難度が増してくるのがみてとれる。

#### 4. 被験者へのアンケート調査

流速50cm/sの実験を体験した被験者に対して、体験前と体験後で簡単なアンケートを取り、自転車避難に関する意識調査を行った。以下に質問内容とその回答を記す。なお被験者は20名だったが、途中退出者もいたため、全員からの回答ではない。

【体験前】

質問A1：避難するとすれば、どの手段で避難するか？

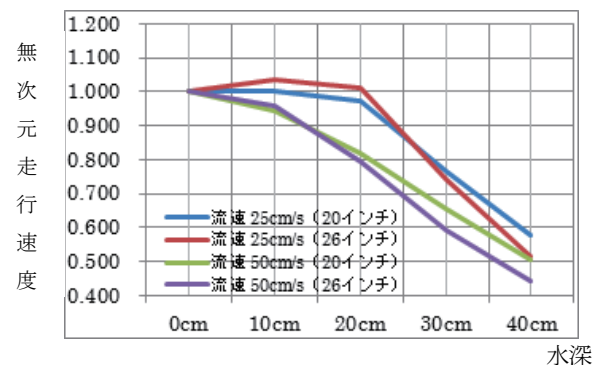


図-4 流速50cm/s, 25cm/sのときの無次元走行速度

水深

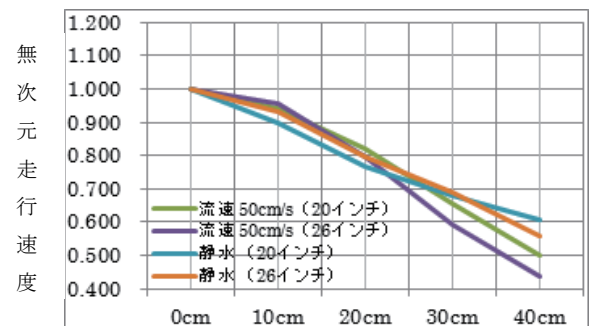


図-5 流速50cm/s, 0cm/sのときの無次元走行速度

水深

(回答) 歩く：10人、走る：8人、自転車・自動車：0人、その他：0人

質問A2：水深何cmまでこげると思うか？

(回答) 20cm：5人, 30cm：5人, 40cm：5人, 50cm：3人

【体験後】

質問B1：20インチと26インチ、どちらがこぎやすいと感じたか？

(回答) 20インチ：13人、26インチ：3人、浅いなら26インチ、深いなら20インチ：2人

質問B2：避難体験後、何cmまでなら自転車で避難できると思うか？

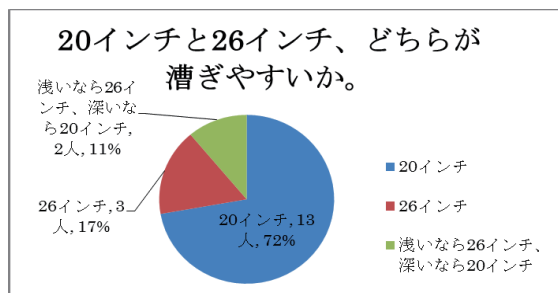


図-6 漕ぎやすさに関するアンケート調査結果

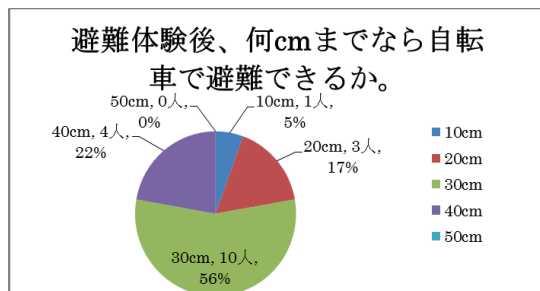


図-7 避難限界に関するアンケート調査結果

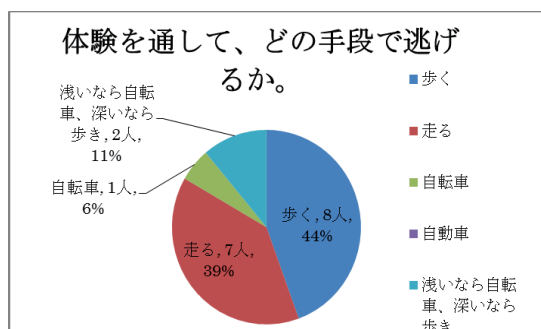


図-8 避難手段に関するアンケート調査結果

(回答) 10cm : 1人, 20cm : 3人, 30cm : 10人, 40cm : 4人

質問B3: 体験を通して、どの手段で逃げるか?

(回答) 歩く : 8人, 走る : 7人, 自転車 : 1人, 浅いなら自転車, 深いなら歩く : 2人

図-6, 図-7, 図-8は、質問B-1, B-2, B-3 のアンケート結果を円グラフにしたものである。図-6より、全被験者の70%以上が20インチ自転車の方が漕ぎやすいと答えている。3章の避難実験の結果にもあるように、26インチ自転車の方が、水深が増加するほど水から受ける抵抗が大きくなるため、このようなアンケート結果になったと考えられる。図-7より、流速50cm/sの条件下での避難可能水深として約半数の者が30cmと回答しており、40cmと回答した者は全体の2割程度である。体験を通してどの手段で逃げるかとの問いには、図-8に示すように、8割以上の被験者が歩くあるいは走るという、自転車などの道具に頼らない手段で逃げると回答している。

## 5. 自転車による避難困難度の検討

自転車による体験実験ならびにアンケート調査結果をふまえて、氾濫時の自転車による避難困難度についてまとめてみる。

図-3より、浸水の影響のない通常の状態での歩行速度1.33m/s(時速4.8km)と同等の自転車の走行速度は、流速50cm/sでは水深20cmのとき、流速25cm/sでは水深30cmのときに現れた。通常の歩行者と同じ速度でしか自転車を漕げない状況で、まとまった距離を移動するというのは現実には相当困難であると考えられる。また3章の結果を再掲するが、流速50cm/sのときは水深10cm、流速25cm/sのときは水深20cmを超えると速度の低減率が大きくなる。そして水深の増加とともに速度の低減の度合いは静水時より大きく、流速の影響により自転車走行の困難度が増してくる。一方、体験者のアンケートによると、避難可能水深として30cm以下との回答が約8割を占めた。

以上より総合的にみて、自転車走行は流れの影響を少なからず受けるものであり、今回の実験での流速の範囲では、水深20cm~30cmが自転車による避難困難度の一つの指標になると考えられる。

## 6. おわりに

最大流速が50cm/sと内水氾濫程度のものであり、移動距離も10m程度という限定的な条件下での実験ではあるが、走行の困難さを考慮すると、避難手段として自転車を使用することは有効とは考えづらい。今後、被験者の数を増やしたり、もう少し大きな流速を与えたりして、実験結果の信頼性を高めていきたい。

最後に、実験に協力いただいた京都大学、関西大学の関係者、学生諸氏に心より感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 亀井勇：台風に対して、天災人災住まいの文化誌，ミサワホーム総合研究所，1984.
- 2) 須賀堯三・上阪恒雄・白井勝二・高木茂知・浜口憲一郎・陳志軒：避難時の水中歩行に関する実験，水工学論文集第38巻，pp.829-832, 1994.
- 3) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：高齢者を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討，水工学論文集第53巻，pp.859-864, 2009.
- 4) 高橋和雄・高橋裕：クルマ社会と水害 一長崎豪雨災害は訴える一，九州大学出版会，1987.
- 5) 馬場康之・石垣泰輔・戸田圭一・中川一：水没した自動車からの避難に関する実験的研究，水工学論文集第53巻，pp.853-858, 2009.

(2014. 4. 3受付)