

## 低平地の浸水状況を考慮した災害弱者の避難時間検討に関する研究

神戸大学 学生会員 ○BAE CHANG YEON

神戸大学 正会員 小林健一郎

## 1. はじめに

水害を防ぐためには発生前からの取り組みが大事な事は言うまでもないが、洪水が発生した場合でも避難行動を最適化できれば人命被害を軽減することができる。韓国での水害被害原因調査の結果によると、都市部浸水被害は相対的に標高が低い河川周辺の低地に集中している。したがって、韓国政府は低地の避難に関する規制を設けて人命及び財産の被害軽減に取り組んでいるが、総合的な避難措置対策を樹立するには至っていない。日本では避難は車両による混雑を避け、救急及び救護車両の円滑な移動を優先するため徒歩での避難が推奨される。特に災害弱者においては、傾斜や高度等の環境・地理的要因によって避難速度が低下する可能性もあるため、健常人より極め細やかな政策が必要である。したがって、本研究では図-1に示すように、韓国・釜山市で洪水に脆弱な東萊区、蓮堤区を対象に避難時間について検討を行った。この際、最寄りの避難所へ避難するにあたって、行政境界は考慮しないこととした。

## 2. 傾斜を考慮した距離計算方法

本研究では、佐藤ら<sup>1)</sup>の概念を参考に、傾斜度に応じた擬似距離を考慮することにより傾斜を考えることとした。佐藤らの概念の模式図を図-2に、またここで考える擬似距離を式(1)に示す。佐藤らによると斜面を歩いている荷重 $m$ の人に対しては走行方向の逆方向に $m\sin\theta$ の抵抗が生じる。この時の総加重値は $m + m\sin\theta = m(1 + \sin\theta)$ と設定される。この佐藤らのアイデアをもとに、擬似距離 $L_{sim}$ を次のように計算する。まず、傾斜した斜面の実際の傾斜距離 $\frac{d}{\cos\theta}$ を計算し、これに速度変化の効果を示す $(1 + \sin\theta)$ をかけて傾斜による歩行行動の変化を示す。

## 3. 浸水の考慮

浸水時の水深による避難速度の変化を考慮するため、Lee et al.<sup>2)</sup>の論文を参考にした。Lee et al.は実験により、浸水時の水深による避難速度の変化に関する研究を行い、浸水深が20cmであれば既存速度の25%、30cmであれば32%、40cmであれば36%、50cmであれば41%の速度減少が生じることを明らかにした。また、浸水深が55cmを上回る場合は避難不可能と判断した。従って、本研究でも避難エージェントにLee et al.による浸水深50cm以下の速度減少率を適用し、シミュレーションを行った。また、50cm以上には、浸水場所を避けるため、他の経路を選択する。

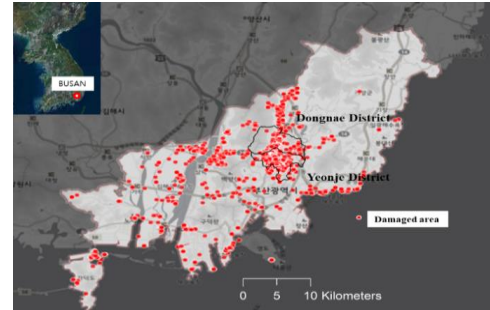


図-1 研究地域の洪水被害履歴

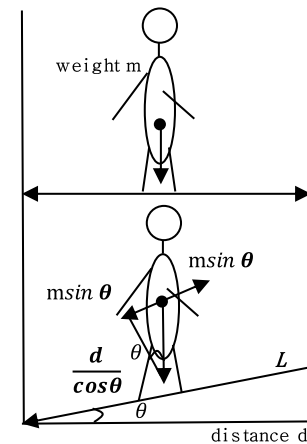


図-2 水平距離(d)を用いた傾斜道路距離(L)計算

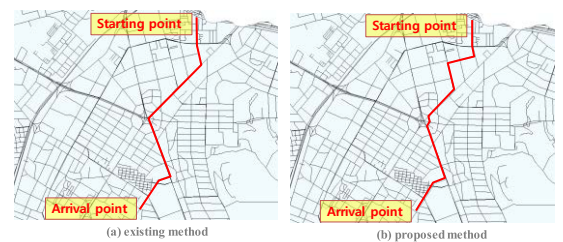


図-3 Dijkstraによって算定された避難経路

$$L_{sim} = \frac{d}{\cos\theta} (1 + \sin\theta) \quad (1)$$

キーワード マルチエージェントシミュレーション, 最適経路, 洪水, 広域避難

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL 078-803-6260

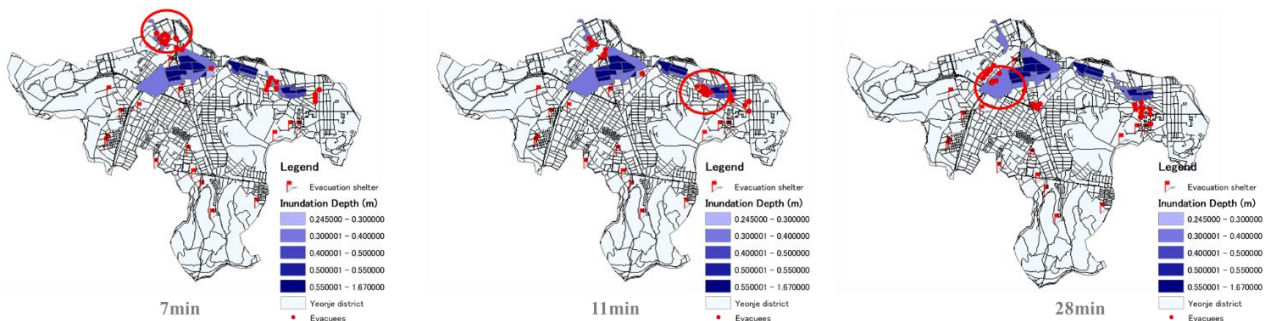


図-5 蓮堤区の避難経路

#### 4. シミュレーション条件

本研究では浸水及び傾斜による避難速度変化を表現するアルゴリズムをマルチエージェントシステム上にC++言語<sup>3)</sup>で構築し、Dijkstraアルゴリズムによって最短経路を選択させることとした。Dijkstraアルゴリズムは最短経路を求める方法として最も知られており、経験的な情報がない状態で、ローカルパスコスト(local path cost)に依存してスタート地点から目標地点までの最短経路を探索するアルゴリズムである。避難人口は釜山市東萊区と蓮堤区の高齢者、子供の人口を約600人程度と算出した。

#### 5. シミュレーション結果

図-3のように、研究地域において擬似距離によるDijkstraアルゴリズムを用いたシミュレーション結果を示す。図-3上で、赤線はエージェントの避難経路を示す。例えば、図-3の(a)のように既存の方法で計算すると、エージェントは最も短い距離を選択して移動した。しかし、本研究で適用した方法では、図-3の(b)のように経路を変更する。また、均一な浸水深を想定して感度分析を行った結果、図-4のように浸水深が20cmから50cmに増加する間で避難者数が減少することが分かった。従って、傾斜効果により歩行経路が変更され、浸水深の増加または減少により歩行行動が変化することを確認した。最終的に本モデルによりシミュレーションした釜山市の結果を表-1と表-2に示す。東萊区より蓮堤区の面積が相対的に小さいにもかかわらず、避難時間は長くなることが分かった。図-5の分析結果によると、蓮堤地区の住民は、30分以内に浸水地域を通過しなければならないため、減速していることがわかった。また、広域避難を想定してシミュレーションした結果、蓮堤区において最短経路は平均約10分、浸水地域による避難では平均約20分の避難時間を短縮していることが分かった。

図-4のように浸水深が20cmから50cmに増加する間で避難者数が減少することが分かった。従って、傾斜効果により歩行経路が変更され、浸水深の増加または減少により歩行行動が変化することを確認した。最終的に本モデルによりシミュレーションした釜山市の結果を表-1と表-2に示す。東萊区より蓮堤区の方が面積が相対的に小さいにもかかわらず、避難時間は長くなることが分かった。図-5の分析結果によると、蓮堤地区の住民は、30分以内に浸水地域を通過しなければならないため、減速していることがわかった。また、広域避難を想定してシミュレーションした結果、蓮堤区において最短経路は平均約10分、浸水地域による避難では平均約20分の避難時間を短縮していることが分かった。

#### 6. おわりに

本研究では、釜山市で浸水危険性がある東萊区と蓮堤区の災害弱者を対象に避難シミュレーションを行った。その結果、東萊区に比べ蓮堤区は一般に避難時間が長くなることを確認した。このため、蓮堤区においては東萊区に比べて避難時間を早めることや、避難所の移転および広域避難を実施すれば、避難が効果的になることが推定される。

#### 参考文献

- 1) 佐藤栄治, 吉川徹, 山田あすか: 地形による負荷と年齢による身体能力の変化を勘案した歩行換算距離の検討 -地形条件と高齢化を勘案した地域施設配置モデルその1-, 日本建築学会計画系論文集, 第610号, pp. 133-139, 2006.
- 2) 小林健一郎, 千郷直斗, 丸山満帆, 木村圭佑, 浜中俊行, Bae Chang Yeon, 孟凡淞: 兵庫県芦屋高校の大規模避難訓練とマルチエージェント避難モデルによる再現, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 75, No. 2, I\_1345-I\_1350, 2019.
- 3) Lee HK, Hong WH, Lee YH: A Study on the Evacuation Speed Changes According to the Depth of Water, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design 32: pp. 75-82, 2016.

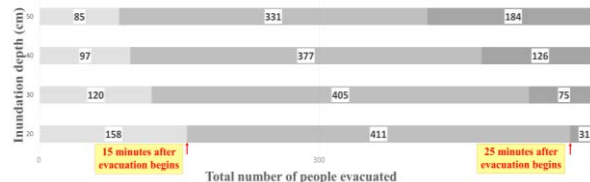


図-4 浸水深による避難者数

表-1 東萊区の避難完了時間

条件	提案された経路	浸水された経路	比率
高齢者	33 min	35 min	6.1%
子供	29 min	31 min	6.9%

表-2 蓮堤区の避難完了時間

条件	提案された経路	浸水された経路	比率
高齢者	43 min	63 min	46.5%
子供	38 min	55 min	44.7%