

京都大学工学部 学生会員 ○湯浅亮
京都大学大学院工学研究科 正会員 清野純史

京都大学大学院工学研究科 正会員 小山真紀

1. 研究の背景と目的

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、死者 15,883 人、行方不明 2,651 人という大きな犠牲を出した (2013 年 11 月 8 日現在)。この犠牲者の多くは、津波に巻き込まれたことに直接起因するものである。犠牲者の年齢構成と被災地域全体の年齢構成を比較すると、高齢者の死者数が他の年齢層と比べて甚大であることが分かる。同様に、岩手・宮城・福島の 3 県の沿岸部における総人口に対する死亡率が 1.03%であったのに対して、障がい者の死亡率は 2 倍の 2.06%に上ることが判明しており、住民それぞれの事情に合わせた避難の在り方が求められる。本研究においては、これらのデータを踏まえ、高齢者及び障がい者を要援護者と定義する¹⁾。

本研究では、要援護者避難を考慮した避難計画の基礎となるシミュレーション手法を提案する。

2. 構築モデル

1. で述べたように津波避難においては、要援護者避難が大きな要因となる為に、それらを考慮できるモデルの構築が不可欠である。モデルに DEM を用いることで、要援護活動が周囲に与える影響について考察することが可能となる。

本研究においては上述した条件を満たすモデルを構築するために、1) 基礎モデル、2) 要援護モジュールの 2 点を開発した。

1) 基礎モデルは個々人が避難先に向かって避難行動を取る様子をモデル化したものである。従来のモデルでは、対象エリアの地図を矩形の組み合わせで表現する必要があったために、対象地域のモデル化に際して、多大な作業負担が必要であった。それに対して、本モデルは地図情報を画像ファイルから直接読み込むことが出来る仕様になっているために、対象エリアのモデル化を従来よりも高速に行えるようになっている。基礎モデルは DEM を元に構成されており、以下の基礎方程式が支配方程式である

$$m_i \ddot{x}_i(t) = F_i^x(t) \quad (1)$$

$$m_i \ddot{y}_i(t) = F_i^y(t) \quad (2)$$

$$F_i(t) = F_f + F_{ei} + F_{kn} + F_{kt} + F_{cn} + F_{ct} + F'_{kn} + F'_{kt} + F'_{cn} + F'_{ct} + F_{wkn} + F_{wkt} + F_{wcn} + F_{wct} \quad (3)$$

ここで、(1)、(2)はそれぞれ x, y 方向の運動方程式であり、 m_i は人間要素 i の質量(kg)である。 $F_i^x(t)$, $F_i^y(t)$ は $F_i(t)$ の x, y 方向成分である。(3)の左辺の $F_i(t)$ は外力の和である。 F_f : 目標地点へ向かうための個体推進力、 F_{ei} : 障害物を回避・追い越すための自律的回避力であり、 F_{kn} , F_{kt} , F_{cn} , F_{ct} , F'_{kn} , F'_{kt} , F'_{cn} , F'_{ct} は他の要素との接触に起因するバネ(k)の抗力およびダッシュポッド(c)の抗力である(n は法線方向, t は接線方向を表す。尚、'がついた力はパーソナルスペースを再現するために働く心理的な接触に起因する力を表す)。

F_{wkn} , F_{wkt} , F_{wcn} , F_{wct} は壁との接触に起因するバネおよびダッシュポッドの抗力である。モデルの概念図を図 1 に示す。2) 要援護モジュールは要援護活動を基礎モデルに組み込むための拡張モジュールである。本研究においては、自立歩行が困難な要援護者に対して、支援者が駆け付け、その後、共に避難する行動を要援護活動と定義した。

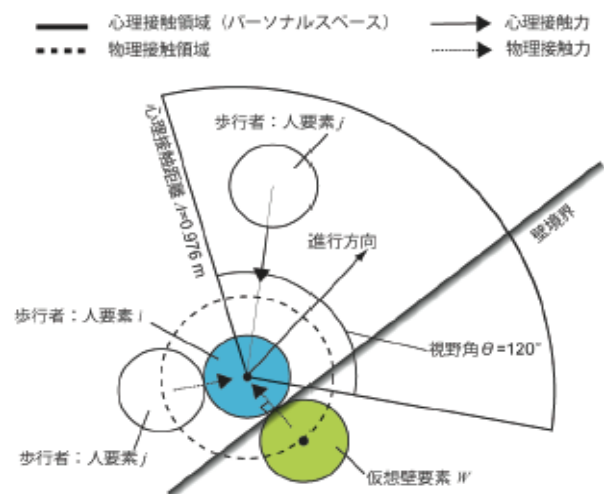


図 1 モデルの概念図(文献 2)より引用)

基礎モデルおよび要援護モジュールの解析の流れを
図2のフローチャートに示す。

3.モデルの検証

本研究において構築したモデルが、意図した挙動を
再現できているかを確認するための検証を行った。

基礎モデルの検証では、第1段階として、避難者が
他の避難者の影響を受けないと仮定した状況下で、構
築したモデルでの解析で得られた避難時間と、避難行
動をとる人間の要素それぞれに設定された上限歩行速
度で避難場所までの所要距離を除した理論避難時間と
の比較を行った。解析の結果、理論避難時間と解析避
難時間の相関係数は0.998、平均相対誤差は2.06%と良
い一致を見せた。これより経路選択および歩行挙動の
再現に異常はないことが確かめられた。第2段階とし
て、他者からの影響を受けない場合と受ける場合の2
ケースの比較を行ったところ、表1の結果が得られた。
影響を受ける場合の方が避難時間に遅れが生じること
が分かる。これは、他者との接触やそれを回避する行
動に余計な時間を使っていることに起因していると思
えられる。これより、基礎モデルが意図している他者
からの影響評価の目的は達成されていると言える。

要援護モジュールの検証では、要援護活動が行われ
ない場合と行われる場合の、要援護活動に無関係の要
素の避難時間についての考察を行った。これは、要援

表1 基礎モデル第2段階の解析結果

	理論避難時間	解析避難時間
対象人数	100人	100人
平均避難時間	113.01(sec)	135.71(sec)
最大避難時間	391.20(sec)	385.20(sec)
最小避難時間	2.49(sec)	2.49(sec)
標準偏差	73.80	84.39

表2 要援護活動の有無による比較

	要援護活動無	要援護活動有
対象人数	250人	250人
平均避難時間	320.58(sec)	321.16(sec)
最大避難時間	694.59(sec)	731.06(sec)
最小避難時間	2.58(sec)	2.58(sec)
標準偏差	135.82	138.83

護活動に伴う支援者の逆走行為が周囲に与える影響に
ついて、モジュールが考慮できているかを確認するた
めである。要援護者と支援者のペアの指定はランダム
に行い、試行を5回繰り返した平均値を求めた。解析
条件及び結果は以下の表2の通りとなり、要援護活動
が行われる場合には支援者の逆走行為により、関係の
ない者にも避難時間の遅れが見られることが分かる。

4.結論

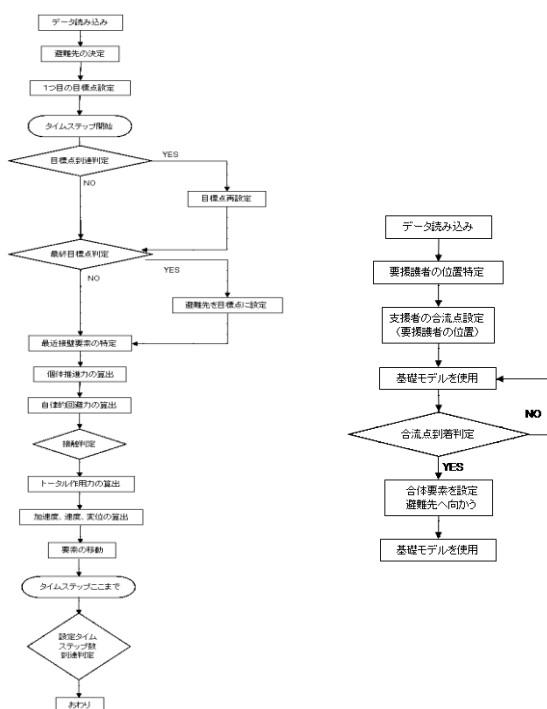
本研究を通じて、要援護活動が周囲にもたらす影響
を力学的に評価できる津波避難シミュレーションモデ
ルを構築した。地図情報を画像データから取り込める
ように設計したために、既存のモデルに比して対象地
区のエリアデータ作成が高速化かつ精緻化された。

更にモデルの検証を通じて、構築したモデルが要援
護者避難の力学的な相互影響を考慮できていることが
確認された。今後、構築したモデルの実地域における
適用性の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 災害時要援護者の避難支援に関する検討会:東日本
大震災と被災障害者～高い死亡率の背景に何が～
http://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisayagousei/youengosya/h24_kentoukai/2/6_1.pdf 2014.1.23 最終アクセス
- 2) Hitoshi Gotoh・Eiji Harada・Eisuke Andoh: Simulation of
pedestrian contra-flow by multi-agent DEM model with
self-evasive action model, Safety Science, Vol.50,
pp.326-332, 2012.

図2 解析のフローチャート



(左：基礎モデル 右：要援護モジュール)