

建物の倒壊を考慮した津波遡上及び 津波避難シミュレーションシステムの適用性向上

中央大学 学生員 ○川辺 趙史
中央大学 正会員 榎山 和男

1. はじめに

近年，わが国では大規模な自然災害が頻発しており，これらが及ぼす人的被害を最小限に抑えることは必須である．防災対策の評価・検討として避難シミュレーションを用いる研究が幅広く行われている．避難行動を決定する際には周囲の状況，年齢，性別など様々な要因を考慮する必要があるため，マルチエージェントモデルが近年注目を集めている．

本研究は，既往の研究によって構築されたマルチエージェントモデルに基づく津波避難シミュレーションシステム¹⁾の適用性向上を行うものであり，具体的に本論文では，建物の倒壊を考慮した津波シミュレーションとのリンクを行うと共に，避難者の年齢データ等を変更可能とすることをを行った．

システム適用例として現地をモデル化した津波遡上問題を取り上げる．なお，入力データの作成には GIS を使用し，マルチエージェントシミュレータには NetLogo を用いた．

2. 津波遡上解析

支配方程式として非線形分散波方程式を用いた津波遡上解析²⁾を行った．建物はコンクリート構造物と木造構造物に分け，倒壊判定には飯塚らの指標³⁾を用い，各建物耐力値を指標の最大値（コンクリート造：603[KN/m]，木造：49.0[KN/m]）とした場合と最小値（コンクリート造：332[KN/m]，木造：27.4[KN/m]）にした場合の解析を行い，計 2 種類の遡上解析結果（図－1）を用いて避難シミュレータの入力データとした．また，詳細については参考文献を参照されたい．

3. 津波避難シミュレーションシステムの概要

本研究で構築している津波避難シミュレーションは，避難者が避難所までの距離や標高などの要因を判断しながら移動するシミュレーションであり，避難者が浸水域に存在する場合，水深と流速によって，避難者の速度状況及び生存状況に変化を与える．また，シミュレータでは設定可能



図－1 津波遡上解析結果（2600 秒後，上：耐力大，下：耐力小）

なパラメータとして避難者及び広報車の移動速度，避難開始時間などが挙げられる．実行画面を図－2 に示す．

(1) エージェントの概要

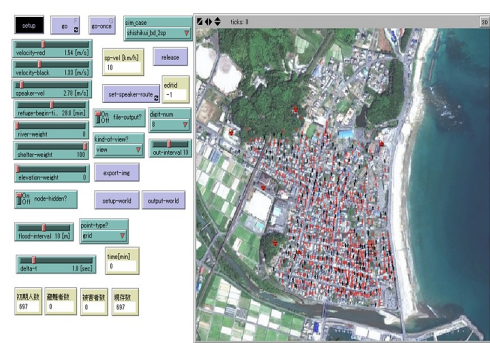
避難者には年齢データをあらかじめ設定し，シミュレータ上でそれぞれの歩行速度の選択ができる．また，情報伝達モデルとして広報車を取り入れる．シミュレーション実行中の避難者及び情報伝達モデルのアルゴリズムは毎ステップにおいて図－3 の手順で行う．

(2) 避難者の密度判定

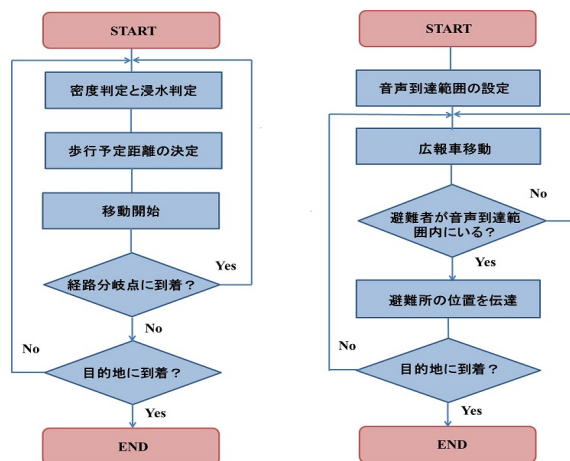
各避難者について，ステップの開始時に図－4 のように判定角度，判定半径を設定し，その領域内に存在する避難者数によって (1) 式を使用し歩行速度に変化を与える⁴⁾．また本シミュレータでは角度 30 度，半径 2m とした．

$$V = v - 0.17\rho \quad (1)$$

ここで， V は密度を考慮した歩行者速度 [m/s]， v は利用者が設定する歩行者速度 [m/s]， ρ は密度 [人/m²] である．



図－2 シミュレーション実行画面



図－3 毎ステップにおけるエージェントのアルゴリズム
(左：避難者，右：広報車)

KeyWords： 避難行動，マルチエージェントモデル，情報伝達モデル，建物倒壊

連絡先： 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: kawabe@civil.chuo-u.ac.jp

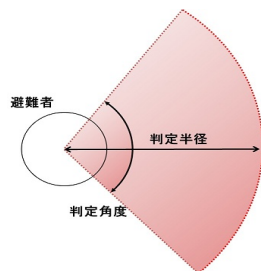


図-4 歩行者の密度判定

(3) エージェントの経路選択

避難者の経路の判断は経路分岐点に到達した時のみ行う。避難所距離 s [m]、標高 z [m] とし、効用 S を最大とする隣接点を移動することで経路選択を行うモデルとして、(2) 式に示す重力モデルを用いた。

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{z^\beta} \quad (2)$$

ここで、 α 、 β は各変数に対する空間距離の影響度であり、値が小さいほど遠くまで影響を及ぼすこととなる。また、 a 、 b はそれぞれの変数に対する重みであり、値が大きいほど全体の効用に占める割合が大きくなる。また、広報車は利用者があらかじめ設定した経路を移動するため、様々な経路が想定される。

4. システム適用例

現地をモデル化した地域をシミュレーション領域とした。共通のシミュレーション条件は、微小時間増分量を 1.0[sec]、初期人数 697[人]、65 歳以上の人数 210[人]、65 歳未満の人数 487[人] とした。また歩行速度をそれぞれ 1.33[m/s]、1.54[m/s] とした。なお、広報車については移動速度を 2.78[m/s]、音源到達範囲を 150[m] とし図-6 の走行経路で移動することとする。また、避難者は避難所を全て認知していないものとして、広報車が地震発生から移動を始める時間を変化させ、以下に示すシミュレーションを行った。なお、広報車が移動を始める時間は 20 分から 40 分の間で 1 分おきに变化させ、計 42 通りのシミュレーションを行った。

Case1 では高齢者を考慮した場合としない場合での比較を行う。Case2 では建物耐力値が最大の場合と最小の場合の津波遡上結果での比較（それぞれ高齢者を考慮する）を行う。

Case1 において、図-6 より Case1 では 35 分以降では高齢者を考慮した場合では考慮しない場合と比べ犠牲者が増えているのがわかる。25 分頃に津波の第 1 波が堤防を乗り越えたため、犠牲者は海岸線に沿って避難していたことがわかる。また 39 分頃には津波の第 2 波が到着したため犠牲者の数の差が小さくなったと考えられる。一方、Case2 では建物耐力が大きい場合では小さい場合と比べ浸水域が小さいため犠牲者数に大きな差が確認された。また津波の第 1 波では建物の倒壊がなかったため、犠牲者数が同じ人数となった。



図-5 避難者の初期位置及び広報車の移動経路

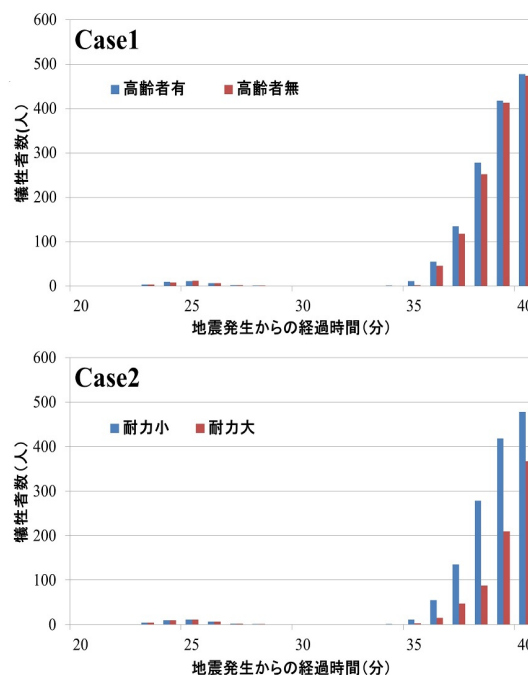


図-6 各 Case のシミュレーション結果 (上: Case1, 下: Case2)

5. おわりに

本研究では、マルチエージェントモデルに基づく避難シミュレーションシステムの適用性向上を行い、以下の結論を得た。

1. 年齢を考慮したことにより、現実の条件に近いシミュレーションが可能となった。
2. 異なる津波遡上データを用いて比較をすることにより、建物耐力値が大きい場合では犠牲者が少なくなることが確認された。

今後の課題として、浸水地点の情報を避難行動に取り入れたシミュレーションを行うことがあげられる。

参考文献

- 1) 宇野圭亮, 中矢琢士, 大川博史, 榎山和男, GIS を用いたマルチエージェントモデルに基づく災害避難シミュレーションシステムの構築, 計算力学講演会論文集, Vol12, 2007
- 2) 利根川大介, 榎山和男: 安定化有限要素法による非線形分散波理論に基づいた津波遡上解析手法の構築研究, 応用力学論文集, Vol12, 2009
- 3) 飯塚秀則, 松富英夫: 津波遡上流の被害想定, 海岸工学論文集, 2000
- 4) 吉岡昭雄: 道路歩行空間の計画設計に関する交通工学的研究, 東京大学学位論文, 1979