

避難シミュレーションを用いた避難誘導世帯数と配置に関する検討

Number and Allocation of Leader for Evacuation Decision Making of Residents using Evacuation Simulation

藤井 俊久*, 雁津 佳英*, 松見 吉晴**

Toshihisa FUJII*, Yoshihide GANZU*, Yoshiharu MATSUMI**

* 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻社会経営工学コース (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

** 工博 鳥取大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

Residents have to protect themselves against the disaster under the ideas of self-help, mutual assistances and public assistances. From our previous questionnaire survey for consciousness of residents on the disaster prevention, it has been proven that many residents don't immediately refuge regardless of the evacuation instructions. Noticing the regional community, the calling behavior of refuge by facilitators in area is effective for decision making in the refuge start of general residents. An evacuation simulation is effective tool for enhancement of the disaster prevention in area through the simulated evacuation drill. In this study, number and allocation of leader for calling behavior of refuge are investigated using evacuation simulation model.

Key Words: Disaster Prevention, Evacuation Simulation, Evacuation Leader

キーワード: 防災, 避難シミュレーション, 避難誘導世帯

1. はじめに

我が国は世界でも有数の災害常襲国であり、自然災害による被害を非常に受けやすい国である。近年では、ゲリラ豪雨と呼ばれる局所的豪雨に見舞われる現象が発生しており、あらゆる地域で時間降水量を更新するなどして、甚大な被害が生じている。

こういった被害の抑制には、従来の国や地方自治体によるハード防災の実施に期待するだけでなく、住民自らが地域の危険度を積極的に認識し、住民と行政が協力して安全に避難する管理体制を整えていくソフト防災が重要となる。つまり、地域の防災力向上において、住民の避難行動に関する迅速な意思決定が必要となるが、そのために避難誘導世帯による支援が不可欠と考える。すなわち、人々は避難を必要とする災害に直面した際、周囲の状況を把握し、避難開始に至る決定的な要因がなければ、避難を開始しない傾向にあることが挙げられる¹⁾。

本研究では、浸水被害に関する避難警報・勧告が発令された後において、避難誘導世帯を考慮した住民の避難行動をシミュレーションで再現することにより、住民が指定の避難場所までに要した避難時間を把握するとともに、迅速な避難に影響を与えられと考えられる避難誘導世帯数やその配置について検討する。

2. 避難シミュレーションの効用性

あらゆる自然災害から人的被害を減少させるためには、住民に的確な避難行動を促すことが極めて重要である。しかし、人々は自然災害に対して軽視してしまう傾向がある。本間ら²⁾は、住民がなかなか避難行動に移らない理由として、災害情報の空振りに伴う誤報効果や、災害情報を自分の都合のいいように過小評価する正常化の偏見、さらには、災害情報や災害現象に対する理解力不足などを指摘している。安倍³⁾は、人々の災害観に関して、希望的観測という我々が持つ基本的動因に基づいて、結果だけを学んで本質を本当に学ばないと述べている。このような住民自らの防災意識の低さによって、発災時において住民は即座に避難行動を取らないことがわかる。人々の行動とは本来、個々人が自分の置かれている状況を正しく理解し、危機的状況を察知しない限り、人々は避難行動を取ることはないと考えられている。

近年では、コンピュータの性能の向上により、住民が避難する様子をシミュレーションで再現できるようになり、防災対策の一環として避難シミュレーションを用いる自治体も見られるようになってきた。避難シミュレーションの利点は主に次の二点と考えられる。

一点目は、住民の避難行動の迅速化に役立てられる点

である。すなわち、住民が避難シミュレーションの結果を見ることで、避難訓練を擬似体験でき、発災時の自分の行動を客観的に理解できる。その結果、実際の災害時において自分はどうような判断を下せば的確で速やかな避難ができるかを認識できるようになる。さらには、お年寄りや身体の不自由な方にとって、容易に防災活動に参加できることに繋がり、より多くの人々に対して防災意識の向上を促進できると考えられる。

二点目は、避難シミュレーションの結果より、地域に存在する脆弱性を見つけ出した上で、ハード面およびソフト面における改善方法を検討し、地域の防災対策に有効な点である。すなわち、膨大に存在するハード面の防災整備を局部的に的確に行うことが可能となり、対象地域に合った防災計画の提案が可能となる。ソフト面においては、住民の意見やアイデアを防災計画に反映させれば、さらなる地域の防災力の向上に期待ができよう。

3. 避難誘導の必要性

自然災害のみならず、様々な災害から人的被害を軽減させるためには、その災害に合った速やかな対応が必要である。その際、ただ速やかな対応を促すのみでは、人々に焦りや恐怖、パニックを与え、これを原因として二次災害、三次災害へと波及しかねない。

したがって、災害時において的確な判断と指示が行えるだけでなく、地域の世話人や自治会役員という地域社会のコミュニティに特化した、避難誘導世帯の存在を提唱する。松見ら¹⁾は、本研究の対象地域である鳥取県境港市渡町・森岡町を対象に、住民の防災意識に関するアンケート調査を行っている。本研究では、そのアンケート項目にある「高潮警報発令時もしくは避難勧告時に避難するか否か」という項目に着目した。その結果を図-1に示す。

図-1を見ると、避難行動をとる「必要あり」の世帯と「必要なし」の世帯があるが、アンケートではそれぞれ「避難する必要があると思うが、しばらく様子を見る」世帯と「避難する必要はないと思うが、しばらく様子を見る」世帯の二種類に分けている。すなわち、避難の如何に関わらず様子を見る住民が6割以上にのぼり、住民は即座に避難を開始しない傾向が強いことがわかる。さらに、「どのような情報や条件が加われば、避難を開始するか(複数回答可)」というアンケート項目にも本研究は注目し、その結果を図-2に示す。

図-2を見ると、「町内会などの避難の呼びかけ」の項目をはじめとして、「近所の人たちが避難」や「周辺状況や、海や川の様子」、「自宅もしくは自宅周辺被害」の項目は、対象地域の全世帯において半数以上もしくは半数近くにも及び、非常に高い割合を示している。これら4つの項目から、住民は自身の置かれている状況に危機感を持ちつつも、自宅周辺の様子を非常に気にしており、

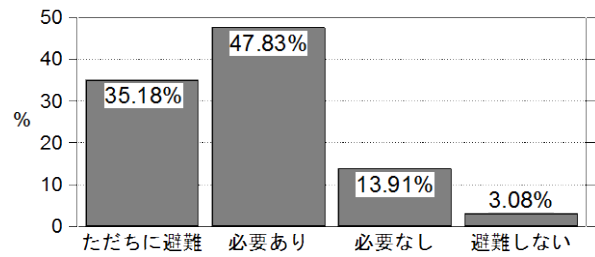


図-1 高潮警報時もしくは避難勧告時における行動

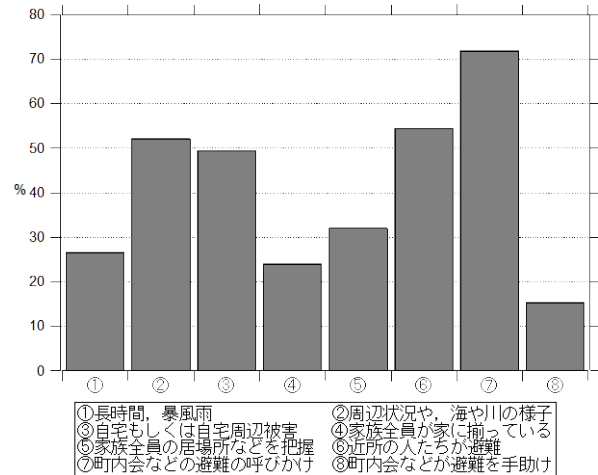


図-2 避難開始に至る条件

その様子によって避難するかどうかの意思決定を行うと考えられる。また、「町内会などの避難の呼びかけ」の項目が最も高い割合を示していることに着目すると、行政からの避難勧告よりも、地域の顔見知りの人から直接避難の呼びかけを行ってもらう方が、住民の避難行動開始の意思決定に強い影響を与えていると考える。

以上のことから、本研究では「避難誘導世帯」を定義し、地域ごとに避難誘導世帯を配置させ、様子を見ている世帯やそれ以外の世帯に対して避難を促すことにより、人的被害を大きく軽減できることに期待が持てる。

4. 避難シミュレーションモデルの概要

人々の行動は、自発的な意思に基づいて行われるものであり、このような人の行動をモデル化する手法として、数多くの意思を持つ独立体の動きを表現できるマルチエージェントシステムを用いた方法が挙げられる⁴⁾。マルチエージェントシミュレーションは、エージェントが自身の置かれている環境を認識し、それをもとに他のエージェントとの相互作用も考慮に入れながら、自分にとってより良い環境を求めて計画的な行動を取るという特徴を持っている。

本研究では、今村ら⁵⁾が提案した避難モデルの分類を参考に、松見ら⁶⁾がマルチエージェントシミュレーションに基づいて構築した避難シミュレーションモデルを応用する。そのモデルは、個人属性の相違による意思決定の差や意思決定後の行動の違いを再現できるトランザク

ション型, また対象地域の広さや分析の際の視覚性を考慮して, 交差点や避難場所をノード, 道路網をリンクで表現したネットワーク型のモデルを採用している. さらに, 避難経路の選択にあたり, 刻々と変化する災害時の状況を避難者に知覚させ, 順次避難経路の選択を考えさせることを念頭に置き, 内生型のモデルを使用している.

5. 避難行動モデル

5.1 避難行動シナリオ

住民が避難経路を選択する方法には, 様々なものがある. 本研究では, 押野⁷⁾が分類した「同調行動」, 「誘導者の指示する方向へ移動」という災害時の人間の心理と行動特性の考え方が重要であると考え, 松見ら⁶⁾が考案した以下の経路判断項目を参考に避難行動シナリオを考えている.

- (1-1)最短経路を選択する.
- (1-2)道路幅の広い主要道路を避難経路として選択する.
- (1-3)海から遠ざかる方向へ避難する.

また, 上記以外の経路判断項目で, 松見ら⁶⁾の「被災のしやすさを数値化した危険度ポテンシャルで避難方向を決定する」という概念を用いて, 避難経路の判断基準となる評価式を作成し, これを避難行動シナリオに含めている. さらに, 避難誘導方法については杉万ら⁸⁾の誘導法を参考に, 本研究では以下のような避難誘導シナリオを想定している.

- (2-1)避難誘導世帯は影響範囲を持ち, その範囲内で避難の呼びかけを行う.
- (2-2)避難誘導世帯以外の住民は呼びかけされるまで避難を開始しない.
- (2-3)避難誘導世帯は避難場所に到着するまで影響範囲を保持し, 随時呼びかけを行う.

ここで, 影響範囲とは避難時の呼びかけや, お年寄りや身体の不自由な方の避難の手助けなどに必要な最小の情報伝達のための空間範囲と定義する. なお, 重要な経路判断項目の一つである「標高の高い場所を目指す」という項目については, 対象地域の面積(3.1km×2.5km程度)に対する標高差が数メートルと小さいことから, 本研究ではこの項目を考慮していない.

5.2 経路選択の評価式

松見ら⁶⁾はリンク, すなわち, 道路長を道路幅で補正した値をリンクコスト c (m)と定義し, ダイクストラ法を用いて, 避難場所ノードから各ノードまでの総リンクコストを式(1)により計算している. 各世帯の避難経路は, 自宅から最も近いノードを避難開始点(起点ノード)とし

て, そこから終点ノードとなる避難場所までの最小リンクコストを算定して与えている.

$$c = \begin{cases} d \left(1 + \alpha_1 \frac{(\beta - w_r)}{\beta} \right), & w_r < \beta \\ d, & w_r \geq \beta \end{cases} \quad (1)$$

ここに, d を道路長(m), w_r を道路幅(m), β を道路幅によるリンクコストの補正を行うかどうかを決定する基準値(本研究では塚口ら⁹⁾を参考に4(m)に設定), α_1 を各エージェントの道路幅に対する重みパラメータと定義する. ある道路の道路幅が β 未満である場合, リンクコストが増すことで, 住民が幅の狭い道路を避けるという意識を反映させている.

次に, 式(1)で算出された総リンクコストと海から遠ざかるようとする選好を表す数値を足し合わせたものが式(2)である. すなわち, 避難者は現在いるノードに接続されるノードの中から, 危険度ポテンシャル p_i が最も低くなるノード i を, 次に進むノードとして選択する.

$$p_i = C_i + \frac{\alpha_2}{s_i} \quad (2)$$

ここに, C_i を避難者が現在のノードからノード i を経由して避難場所ノードに到達するのにかかる総リンクコスト(m), s_i をノード i の海からの距離(m), α_2 を各エージェントの海からの距離に対する重みパラメータと定義する. 式(2)は, 避難者が海岸付近にいる場合, まず海岸から離れることを優先して経路選択を行い, ある程度海岸から離ればその傾向は小さくなり, 最終的に最小リンクコストを優先して経路選択を行うことを表現している. 松見ら⁶⁾によれば, 海からの距離がおおよそ200(m)から400(m)になると, 避難者の海から離れようとする傾向が小さくなることから, 本研究では α_1 には0.25から0.75, α_2 には500から1500を一様分布に従って乱数で与えており, これらの値はシミュレーション実行ごとに変化するように設定している.

5.3 避難時の歩行速度

本研究では全ての住民が世帯単位で徒歩により避難するものと想定しており, 各エージェントの移動速度は, 家族内で最も遅い者の歩行速度としている. さらに, 人間の歩行速度は群集密度や, 街路閉塞率により変化することが明らかにされている^{5), 10)}. そこで, 本研究は松見ら⁶⁾の提案した群集密度の増加に比例した歩行速度を採用し, これを式(3), 式(4)に示す.

$$V = \begin{cases} \min \left\{ V_0, V_0 \left(\frac{4 - \rho_c}{3} \right) \right\}, & \rho_c < 4 \\ 0, & \rho_c \geq 4 \end{cases} \quad (3)$$

$$\rho_c = \frac{n}{lw_r} \quad (4)$$

ここに, V_0 をエージェントの自由歩行速度(m/s), l を

エージェントの前方の群集密度を求めるための前方の距離(m), w_r を道路幅(m), n は範囲内の人数を意味している. l の値は一概に決定できないが, 本研究では 1 秒あたりの歩行に影響を与える距離として 3(m) と設定した.

6. 対象地域について

本研究では, 鳥取県境港市渡町の全区と森岡町(以下渡町)を対象に, 避難シミュレーションを構築する. 境港市は三方を海で囲まれており, 平均海拔 2m, 最大海拔でも 6m と, 浸水被害に対して脆弱性の高い地形条件にある. 近年では 2003 年 9 月 13 日の台風 14 号による高潮被害が報告されている.

世帯の構成人数は, 平成 17 年国勢調査や町丁字等別男女別人口および世帯数より平均世帯人数 3.05 人を基本人数とし, 1 世帯あたりの人数を 1~5 人ずつ 20% ずつ与えるという松見ら⁹⁾の考え方に準えて, 避難シミュレーションを行う. また, 本研究の避難シミュレーションでは, 住民を「避難誘導世帯」と「様子を見る世帯」の二つのエージェントに分類した. 後者の自由歩行速度は, 松見ら⁹⁾が構築したシミュレーションを参考に 1.0 ± 0.1 (m/s) と設定し, 前者の自由歩行速度は, 他の住民よりも健脚でなければならないと考え, 1.05 ± 0.05 (m/s) と設定している.

道路ネットワークの作成に当たっては, Yahoo!地図より得た対象地域の地図を背景にし, 道路台帳地図(1/1000 縮尺)で確認できた道路と, Google Earth で対象地域を目視で確認した道路を照らし合わせて道路を抽出し, 道路網の交差点ならびに道路の屈折箇所, 目視でノードをプロットすることで各ノード座標を取得し, 接続している二つのノードの座標の数値からユークリッド距離を与えている. また, 湾曲が大きい道路については, 途中に補間ノードを適宜的にプロットすることで, 複数のリン

ク用いて道路の湾曲を表現している. この結果, 本研究の対象地域となる渡地区は, 図-3 に示すように 775 ノード, 1159 リンクの道路ネットワークで構成された. なお, 本研究の避難シミュレーションでは, 渡公民館, 渡小学校, 第三中学校, 竜ヶ山公園の 4 ヶ所の避難所への避難を対象とし, 各避難所の収容可能世帯数は, その予想避難世帯数を包含していることを付記しておく.

7. 避難誘導世帯数と影響範囲の検討

7.1 シミュレーションの実行

前章で述べたように, エージェントを「避難誘導世帯」と「様子を見る世帯」の二つに分けてシミュレーションを実行する. 松見ら¹⁾によると, 避難勧告が発令されたからの渡町住民の避難開始時間は, 平均 18 分, 標準偏差 6 分の正規分布に従うことが明らかにされており, これらの値を避難誘導世帯のエージェントに適用する. また, 呼びかけされた後の住民の避難開始時間は, 平均 15 分, 標準偏差 5 分の正規分布に従うことが確認され, これらの値を様子を見る世帯のエージェントに適用する. 避難誘導世帯の配置場所については, 松見ら⁹⁾が構築したシミュレーションを参考にして, 避難場所から末端にあるノードに配置した世帯をもとに 150 世帯とした. 避難誘導の影響範囲は, 一概には決定できないが, 本研究では便宜的に 10m と設定した. なお, シミュレーション上での 1 ステップは, 1 秒となるように設定している.

以上を踏まえて, 避難誘導世帯を 150 世帯, 影響範囲を 10m としたモデルを model(A) と名付け, シミュレーションを 150 回実行した結果を表-1, 図-4 に示す. また, 避難誘導世帯の配置場所を丸印で表示させたものを図-5 に示す.

model(A)のシミュレーションの実行過程を 10 ステップごとに出力した画像を確認したところ, ある避難誘導

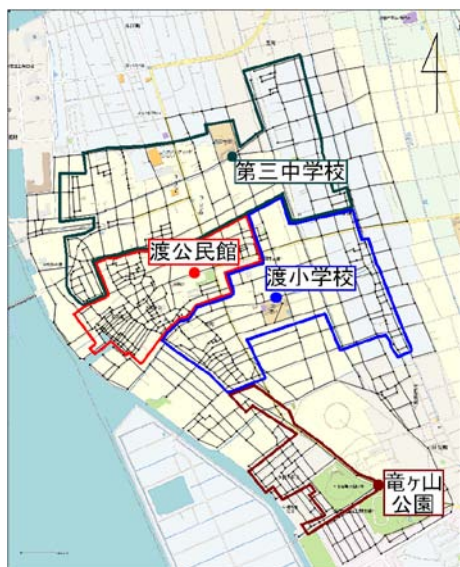


図-3 道路ネットワークと避難場所の範囲

表-1 model(A)の実行結果

model(A)		
最大避難時間	5293(ステップ)	88分13秒
最小避難時間	4017(ステップ)	66分57秒
平均避難時間	4488(ステップ)	74分48秒
避難時間の分散	56462.44	
標準偏差	238(ステップ)	

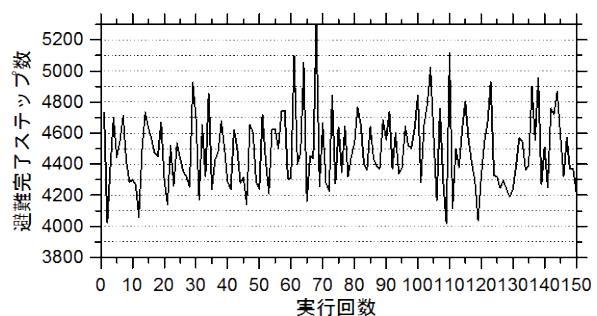


図-4 model(A)の避難完了ステップ数

世帯の避難経路上に、それとは異なる避難誘導世帯が存在する箇所が、数十箇所存在していることが確かめられ、ムラがあることが判明した。すなわち、新たな避難誘導世帯の配置場所と影響範囲を検討する必要があり、これらを決定させる要因の一つとして図-6と図-7を示す。

まず、図-6について説明すると、各エージェントはシミュレーションの実行ごとに異なる避難経路を通っていると考えた。そこで、出力画像の確認と、全ノードから各避難場所までの総リンクコストと総危険度ポテンシャルを導出することで、避難経路として使われる可能性が高い経路を求め、その経路を図中に太線で示している。

次に、図-7については、避難経路が複数存在する地域において、その地域に住宅が密集していれば、避難経路の数だけの避難誘導世帯を設ける必要はないと

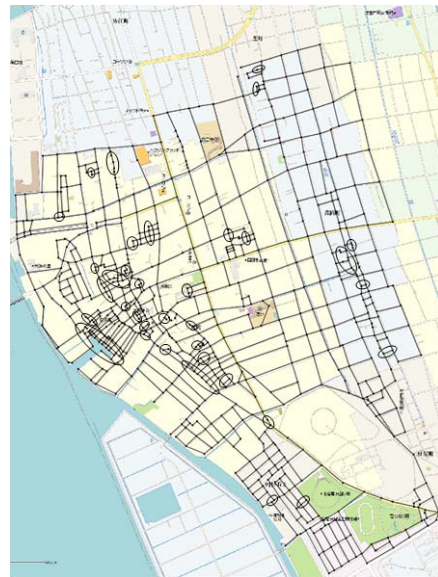


図-7 避難誘導世帯の配置を検討する必要がある地域



図-5 model(A)の避難誘導世帯の配置場所



図-6 避難経路として使われる可能性が高い経路

考察した。したがって、図-6で求められた避難経路として使われる可能性が高い経路と、住宅が密集している地域という二つの条件を満たすように、避難誘導世帯の配置を検討する必要があると考えられた地域を図中に線で囲んでいる。これら線で囲まれた地域の各リンク長を確認したところ、概ね45m以内であることが判明し、新たに避難誘導世帯の配置を検討した結果、85世帯と決定できたため、以下で新たに避難誘導世帯に関するモデルを改良し、再びシミュレーションを実行する。

7.2 改良後の避難誘導モデルでの検証

避難誘導世帯数と影響範囲の検討から、避難誘導世帯数を model(A)と同等の150世帯、影響範囲を45mとしたモデルを model(B)、避難誘導世帯を85世帯、影響範囲を45mとしたモデルを model(C)とする二つのモデルを新たに構築した。

以下に、model(B)とmodel(C)でシミュレーションを150回実行した結果を表-2、表-3にそれぞれ示す。避難完了ステップ数に関しては、前節で実行した model(A)での

表-2 model(B)の実行結果

model(B)		
最大避難時間	5039(ステップ)	83分59秒
最小避難時間	3824(ステップ)	63分44秒
平均避難時間	4294(ステップ)	71分34秒
避難時間の分散	56263.41	
標準偏差	237(ステップ)	

表-3 model(C)の実行結果

model(C)		
最大避難時間	4967(ステップ)	82分47秒
最小避難時間	3823(ステップ)	63分43秒
平均避難時間	4317(ステップ)	71分57秒
避難時間の分散	54519.03	
標準偏差	233(ステップ)	

結果も併記したものを図-8に示す。また、図-9は避難誘導世帯の配置場所を丸印で表示したものである。

表-1, 2及び3から明らかなように、model(A)とそれ以外のモデルでは、最大避難時間をはじめとした避難時間に関する統計値のすべての数値に大きな差が認められる。まず、影響範囲の観点からmodel(A)とmodel(B)について考察すると、model(B)の方がすべての避難時間に関する値が短縮されることから、影響範囲が45mである方が望ましいと言える。次に、避難誘導世帯数の観点から表-2と3よりmodel(B)とmodel(C)について考察すれば、平均避難時間はmodel(C)よりmodel(B)の方が望ましい数値であると言えるが、最小避難時間はほぼ同等の時間であり、避難誘導世帯数85と少ないmodel(C)でもmodel(B)と同様に迅速な避難行動を取れる可能性があることがわかる。また、人的被害を少しでも抑制することを念頭に置いた防災の観点から考察すると、表-2と3の最大避難時間に関して、model(B)の5039(ステップ)よりmodel(C)の4967(ステップ)の方が短いだけでなく、標準偏差に関しても、model(B)の237(ステップ)よりmodel(C)の233(ステップ)の方が避難時間のバラツキも少ないため、model(B)よりmodel(C)の方が適当なモデルと言えよう。

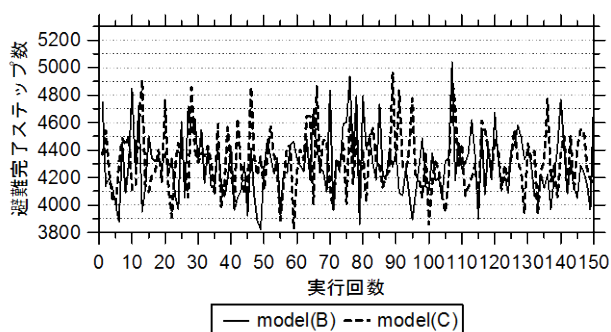


図-8 2種類のモデルにおける避難完了ステップ数

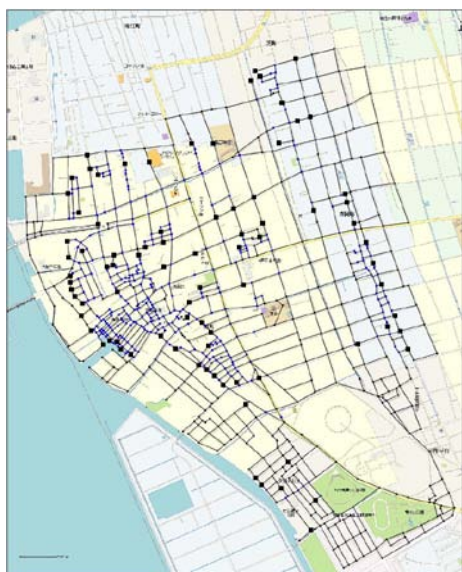


図-9 model(C)の避難誘導世帯の配置場所

8. まとめ

本研究では、地方の地域コミュニティに着目して、災害時の「共助」管理体制の確立への第1段階として、一般住民の避難行動開始の意思決定に影響を与える避難誘導世帯について、その人数と配置に関して避難シミュレーションより検討を行った。避難誘導世帯による地区での避難時間の短縮化の効用は、定量的に明らかにすることができた。今後の課題は二点ある。一点目は、避難時間算出のさらなる精度向上のために、リンク長に上限を設け、世帯を配置するノード数を増加させることである。二点目は、地域における最適な避難誘導世帯数と影響範囲について、最適化問題の観点から数理的分析を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 松見吉晴, 雁津佳英: 高潮災害を対象としたソフト防災に関する考察, 海岸工学論文集, 第56巻, pp.1366-1370, 2009.
- 2) 中間基寛, 片田敏孝: 津波防災における災害事前情報と住民避難の関係に関する考察, 災害情報, No.6, pp.61-72, 2008.
- 3) 安倍北夫: 災害心理学序説—生と死をわけるもの, サイエンス社, pp.2-34, 1982.
- 4) 株式会社 構造計画研究所, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/index.php>.
- 5) 今村文彦, 鈴木介, 谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用, 自然災害科学, 第20巻, 第2号, pp.183-195, 2001.
- 6) 松見吉晴, 蘆田哲也: 沿岸過疎地域の浸水被害を対象とした避難シミュレーション開発, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.1376-1380, 2008.
- 7) 押野麻由子: マルチエージェントモデルを用いた避難行動のシミュレーション, 中央大学理工学部情報工学科, 卒業論文, 2005.
- 8) 杉万俊夫, 三隅二不二, 佐古秀一: 緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ(I), 実験社会心理学研究, Vol.22, No.2, pp.95-98, 1983.
- 9) 塚口博司, 戸谷哲男, 中辻清恵: 阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究, 土木計画学研究委員会, 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp.377-388, 1997.
- 10) 田村保, 西畑剛, 森屋陽一, 瀧本浩一, 三浦房紀: 街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1286-1290, 2005.

(2010年8月6日受付)