

I-25 マルチエージェントモデルを用いた道路網の防災性能評価

Evaluation of disaster mitigation performance of the local area road network using multi-agent model

大上俊之¹・渡邊卓也²・小山茂³

Toshiyuki Ohkami, Takuya Watanabe and Shigeru Koyama

抄録:本研究では、マルチエージェントモデルを用いて地区レベルの道路網の防災性能評価指標を算出する方法を提案し、その有効性を検討した。市街地モデルを対象としたシミュレーションの結果、道路通行可能確率および防災性能指標が効率よく算出でき、提案手法の妥当性および有効性が示された。実際の市街地データを用いたケーススタディとして、長野市安茂里地区を対象地区とした防災性能評価を行い、安茂里地区内での防災性能に差異があることを示した。本手法により、災害対策の計画を練る際に整備を優先させる地区を判断する情報を提供し得ること、シミュレーションを行うことで災害対策の効果を予め把握する事も可能となることを示している。

Abstract: This paper presents a method of evaluating the disaster mitigation performance of a local area road network using the multi-agent model. The method is based on percolation theory, and by constructing agents according to the probability of road blockade caused by collapsed houses, we evaluate the disaster mitigation performance. Multi-agent simulation is applied to a town model, and the validity and efficiency of the proposed method are examined. As a case study of using actual data, the simulations are performed for Amori town in Nagano city.

キーワード: 道路網, 道路閉塞, 防災性能評価, マルチエージェントモデル, シミュレーション
Keywords: road network, road blockade, evaluation of disaster mitigation performance, multi-agent model, simulation

1. はじめに

地震発生時における大きな問題点の1つとして、道路閉塞による活動困難性の問題が挙げられる。建物倒壊等による道路閉塞は、車両の通行や歩行が不可能または困難な地区を発生させ、被災直後の住民の避難や救助・救援等、災害に対する活動の支障となる。災害対応活動をスムーズに行い、災害に強いまちづくりを効果的かつ効率的に進めるためには、道路閉塞を起こしやすい地区を予め絞り込み、問題となる地区に対して優先的に対策を実施することが重要となる。このような防災上の対策、災害に強いまちづくりの整備計画を考える際、地区レベルの道路網の防災性能を知ることが必要となる。道路網の防災性能を定量的に評価できれば、防災上脆弱となる地区を客観的に把握できるようになるとともに、市街地整備においては性能評価に基づいた整備方針を策定するなど、地域特性を踏まえた整備計画の一助となる情報を提供し得ることになる。

地区レベルの道路網の防災性能に関して、これまでに

も様々な調査研究が行われている。福島・小谷¹⁾は阪神・淡路大震災において建物倒壊による地区道路の幅員別道路閉塞状況や車両の移動性がどのように低下したかを定量的に分析している。塚口ら²⁾は道路の閉塞状況を空中写真を用いて分析し、震度、幅員、沿道の木造家屋延長率、歩道の有無などの要因を変数として、震災時街路の通行可否を判別するモデルを作成した。李・塚口ら^{3),4)}は地区レベルの街路網の防災性評価指標として到達可能ノード率を提案し、震災時に閉塞しにくい街路網のための中街路整備の方向性を提案している。堀・石田⁵⁾は住区内街路網を対象として、震災時における街路網の連結信頼性を定量的に評価する手法を提案し、評価方法を複数の住区モデルに適用して街路の整備量、網間隔、網形態の違いによる連結信頼性への影響の違いを比較検討している。家田ら⁶⁾は、街路閉塞に伴う機能的障害に着目し、航空写真の分析による閉塞状況の把握、地区間での閉塞特性比較と発生要因の考察、道路閉塞に伴う種々の緊急活動の影響状況を調査し、防災計画のあり方を検討している。

1 : 正会員 工博 信州大学 准教授 工学部土木工学科

(〒380-8553 長野市若里 4-17-1, Tel :026-269-5295, E-mail :tohkami@shinshu-u.ac.jp)

2 : 非会員 工修 名古屋市役所 上下水道局 (〒460-8508 名古屋市中区三の丸三丁目1番1号)

3 : 正会員 博(工) 信州大学 准教授 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1)

その中、久貝⁷⁾はパーコレーション理論を防災性能評価に用いて、地区レベルの道路網の防災性能指標を定量的に算出する手法を示している。久貝らの研究⁸⁾⁻¹²⁾では、個々の道路の閉塞危険性を評価するのではなく、対象市街地全体の道路網が災害対応活動の観点から機能するかどうかの評価、地区間の防災性能を相互比較するような評価を目的としており、道路幅員や沿道の建物等、入手しやすいデータを用いた評価手法が提案されている。また、防災性能の評価に関して具体的な意味を持たせ、解釈しやすい評価指標を提案している。

一方、複雑系を解析する手法としてマルチエージェントシミュレーション(MAS)がある¹³⁾。MASはエージェントと呼ばれる独立性を持った行動体に個々のルールを持たせ、そのルールに従って行動させるシミュレーションである。

本研究ではMASの特徴を地区レベルの市街地の道路のつながりを調べるために利用する。久貝らの研究を基本とし、マルチエージェントモデルのエージェントをパーコレーション理論における格子点(サイト)および格子点を結ぶ線(ボンド)に設定し、各エージェントがどのようなつながりを形成するかをMASにより求めることによって、地区レベルの道路網の防災性能の指標を簡便に算出する方法について検討する。

2. パーコレーションモデルと既存手法による防災性能指標の算出

指標算出の基礎理論として、久貝らが積み上げてきたパーコレーション理論¹⁴⁾を用いる。

最初に、正方格子のボンド過程モデルを適用できるように、実際の市街地を正方格子状の道路網形状を持つ理想的な市街地へと置き換える。ここでの理想的な市街地とは、1つの交差点に対して道路が4本接続しているような道路網形状を成す市街地を意味し、市街地における実際の道路網を正方格子に置き換える場合は、実際の市街地の交差点数および行き止まり点数を、正方格子の格子点としてカウントする。例えば、**図-1**に示す市街地に対する理想的な道路網は、**図-2**で表される道路網形状に置き換えられる。

実際の市街地の道路網は、理想の市街地の道路網に対して道路が不足していることから、道路の不足率を考え、不足分を理想の市街地の道路網から取り除く。道路閉塞については、建物が面した道路はある確率で道路閉塞すると仮定し、理想的な道路網形状の市街地に道路の閉塞率を適用してモデル化を行う。

図-3のようにモデル化された市街地道路網の交差点をサイト、交差点間の道路をボンド、サイト、ボンドのつながりをクラスター、通行可能道路をボンドの「占有」とすれば、**図-3**の道路閉塞の状況は、**図-**

4のように正方格子のボンド過程のパーコレーションモデルに読み替えることができる。

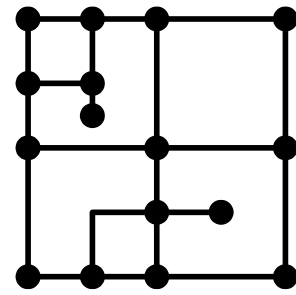


図-1 市街地道路網形状

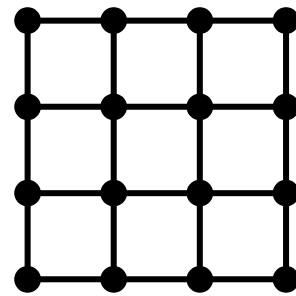


図-2 理想的な道路網形状

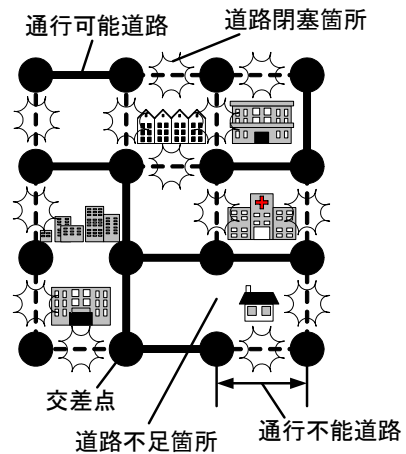


図-3 道路不足及び道路閉塞を表す市街地モデル⁹⁾

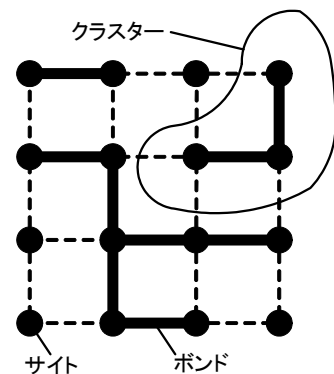


図-4 パーコレーションモデル⁹⁾

防災性能を表す指標として、以下の3つの指標⁹⁾を用いる。

R ：車両が対象領域内を通過できる確率

地区内を車両が通り抜けられる確率で、通行可能道路が領域の端から端までつながる確率をいう。パーコレーションモデルにおいて、領域の端から端まで貫通するクラスターが存在する確率で表す。

θ ：最大活動可能区域率

通行可能道路が連続する区域のうち、最大区域の大きさが対象地域の大きさに占める割合をいう。パーコレーションモデルにおいて、系の大きさに対して最大クラスターの占める割合で表す。

χ ：活動可能区域の平均大きさ

通行可能道路が連続する区域の大きさの期待値をいう。パーコレーションモデルにおいて、ボンド辺りのクラスターの大きさの期待値で表す。

これらは有限の領域におけるパーコレーションモデルの系の幅 L と、ボンドの占有確率 P を説明変数として、 $R(L,P)$ 、 $\theta(L,P)$ 、 $\chi(L,P)$ と表現できる。系の幅 L は、市街地内における交差点数、行き止まり点数から決定され、ボンドの占有確率 P は、市街地の道路通行可能確率 P となる。

久貝らはパーコレーション理論における有限サイズスケールリング仮説を用い、スケールリング関数によって、正方格子の幅 L 、通行可能確率 P に対する防災性能指標値 $R(L,P)$ 、 $\theta(L,P)$ 、 $\chi(L,P)$ を求めている。その際、格子の内部を通過して端から端へ通過できる確率を求めて地区内の防災性能を評価するために、市街地の道路網に対応する格子モデルは、対象領域の外周部道路（格子の外周のボンド部分）を含めない図-5に示す井形の格子となる。

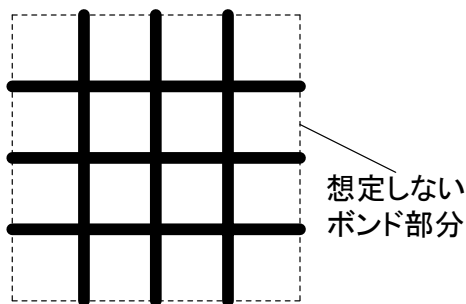


図-5 道路網を表すパーコレーションモデル ($L=4$)

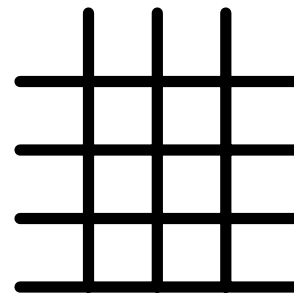


図-6 新たなパーコレーションモデル ($L=4$)

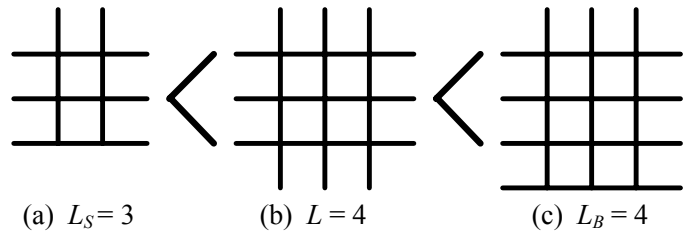


図-7 防災性能の大小関係⁹⁾

久貝らは種々の L に対してシミュレーションを行い、その結果、図-5に示す格子では、有限サイズスケールリング仮説が成立しないが、図-5の格子に1本追加した図-6の格子では、有限サイズスケールリング仮説が成り立つことを検証し、図-6の格子を用いることによって、実際の市街地に対応する図-5の格子の防災性能を評価する方法を提案した。

図-7はその評価手法の考え方を示したもので、実際の市街地に対応する図-7(b)の格子の防災性能は、有限サイズスケールリング仮説が成り立つ図-7(a)の格子より高く、図-7(c)の格子よりも低くなる。このことから求めたい $L=4$ の格子の指標値は、 $L_S=3$ 、 $L_B=4$ の特殊格子の指標値によって不等号で挟みこまれた概算値として求められる。

3. MASによる防災性能指標の算出方法

本研究では、MASの性質を正方格子のボンドのつながり度合いを調べるために応用し、パーコレーションモデルをマルチエージェントモデルで表現することによって、有限サイズスケールリング関数を用いることなく防災性能指標をMASで直接算出する方法を提案する。

シミュレーションでは格子の形を表す格子エージェント、およびクラスターの大きさと各防災性能指標を計算する計算エージェントの2種類のエージェントを設定する。図-5のパーコレーションモデルに対応する格子エージェントの配置例を図-8に示す。図中■は格子エージェント、●は計算エージェントを表している。

エージェントの配置はボンドの占有確率、すなわち道

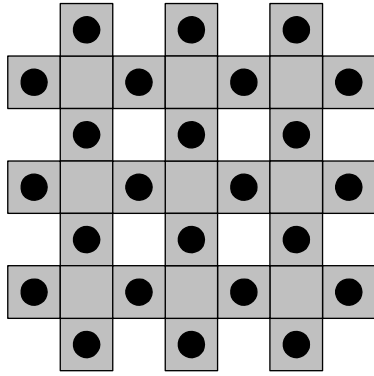


図-8 格子エージェントの配置

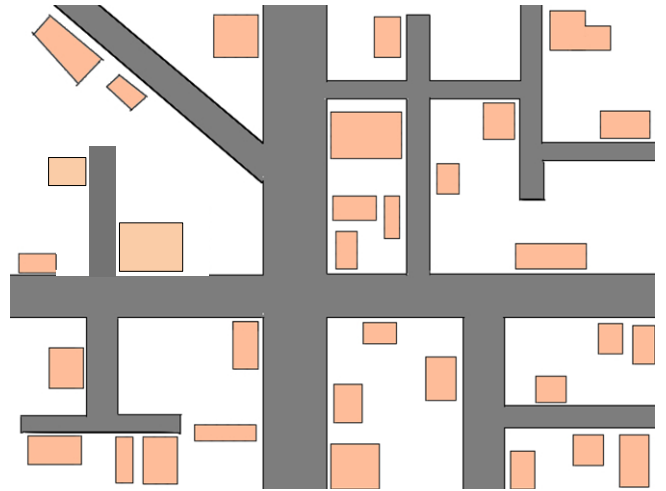


図-9 試験用市街地モデル

路の通行可能確率 P により決定する。シミュレーションは大きく分けて、

- 1) 通行可能確率 P の算出
 - 2) エージェントの設定と指標算出
- となる。各項について以下に詳述する。

(1) 通行可能確率 P の算出

対象とする市街地内の道路の通行可能確率 P は道路のリンク不足率を P_L および道路の平均閉塞率を P_b とすると

$$P = (1 - P_L)(1 - P_b) \quad (1)$$

と表される。 P_L は「 $1 - (\text{市街地の道路数 } n_R / \text{完全な正方形格子のリンク数 } Link)$ 」で計算され、リンク数 $Link$ は正方形格子の幅 L を用いて

$$Link = 2L(L + 1) \quad (2)$$

となる。幅 L は市街地内の道路の交差点数 n 、行き止まり点数 d から次式より計算される。

$$L = (n + d)^{1/2} \quad (3)$$

一方、道路の平均閉塞率 P_b は、下記の要因を考慮して算出する。

- 1)道路数 2)道路幅 3)沿道の建物数 4)建物建築年代
- 5)建物構造形式 6)建物高さ 7)地盤構造

既存手法^{10),11)}ではこれらの要因データから、建物 1 つ 1 つの全壊率、倒壊した建物による道路の平均閉塞率 P_b を算出している。本研究では、各要因を区分集計し、集計データを用いたシミュレーションを行うことによって、 P_b の算出に要する労力の軽減化を図る。

以下に図-9 に示す簡単な試験用の市街地モデルを例にして算出方法を示す。

図-9 は、建物数 32、道路数 25 の地区を表している。既存手法では 32 棟の建物全てに対して倒壊率を計算する手順を踏み、25 本の道路全ての閉塞率を算出している。それに対し本手法では、防災性能指標算出に必要な市街地データを表-1、表-2 のように区分別に集計する。この他にも、道路幅員別の道路本数、道路沿い建物について高さ別の建物棟数、建築構造別の建物棟数に関して同様に集計表を作成する。乱数により表の「割合」に対応するように仮想的に道路および建物を作成し、道路の閉塞率を算出するシミュレーションを行う。

表-1 道路沿い建物数別の道路数

道路沿い建物数	道路数	割合
0戸	2	0.08
1戸	13	0.52
2戸	6	0.24
3戸	3	0.12
4戸	1	0.04

表-2 建築年代別建物棟数

建築年代	建物数	割合
~S45	4	0.125
S46~S55	15	0.46875
S56~	13	0.40625

道路の閉塞は道路沿いの建物が倒壊することによって発生するとし、最悪シナリオとして建物が倒壊する場合はすべて道路側に倒壊するものと仮定する。建物の倒壊率は、東京都の地震に関する地域危険度測定調査報告書¹⁵⁾の地盤・建物種別ごとの建物全壊率表を用い、道路沿いの建物すべてについて建物の倒壊率を求める。算定に当たっては、建物の建築構造別、建築

年代別の集計データを用いて、乱数によって道路沿いの建物の数、建築構造を決定し、各建物の全壊率を求める。車両の通行可能幅を 4m と想定し、建物の高さおよび道路幅員から倒壊建物によって通行可能幅を確保できない場合、道路リンクは通行不可能と判定して道路を閉塞させる確率 p を算出する。市街地内の道路数分について各 p を求めれば、その平均値が当該市街地の道路閉塞率 P_b となる。 P_b 算出のアルゴリズムを図-10に示す。

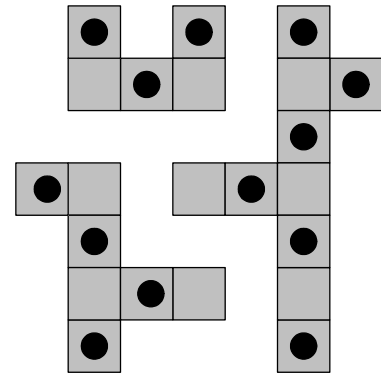


図-11 生成された正方格子 ($L=4, P=0.55$)

防災性能指標 R , θ , χ は計算エージェントにおいて作成されたクラスターの大きさにしたがって次のように計算される。

R は領域の端から端まで貫通するクラスターが存在する確率であり、シミュレーション上では貫通するクラスターが存在する場合は $R=1$ を、存在しない場合は $R=0$ を出力しておき、複数回のシミュレーションを実行の後、 $R=1$ の発生率を指標 R 値とする。一方、 θ , χ はシミュレーションごとに

$$\theta = \text{最大クラスター} / \text{系の大きさ (最大ボンド数)}$$

$$\chi = \text{発生クラスターの平均値}$$

となるが、複数回のシミュレーションを実行し、その平均値を対象とする市街地の θ , χ とする。

4. マルチエージェントシミュレーション

本手法の妥当性を検討するために、図-9に示す試験用の市街地モデルを対象に、通行可能確率 P 、防災性能指標 R , θ , χ を本手法によって算出し、久貝らの方法による結果と比較する。建物倒壊率を求める際に必要となる地盤強さは地盤を台地1の分類¹⁵⁾、地震強さは基盤速度 30kine の地震が発生したものと想定した。シミュレーションの実行回数は数値が安定するまでとし、5,000 回行った。また、道路閉塞の各要因をそれぞれ表-1から表-5のように設定し、シミュレーションを実行した。開発ツールとして(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータ(KK-MAS)¹⁶⁾を用いた。

表-3 道路幅員別の道路数

道路幅員(m)	道路数	割合
4.5	12	0.48
5.0	4	0.36
7.0	5	0.20
14.0	4	0.16

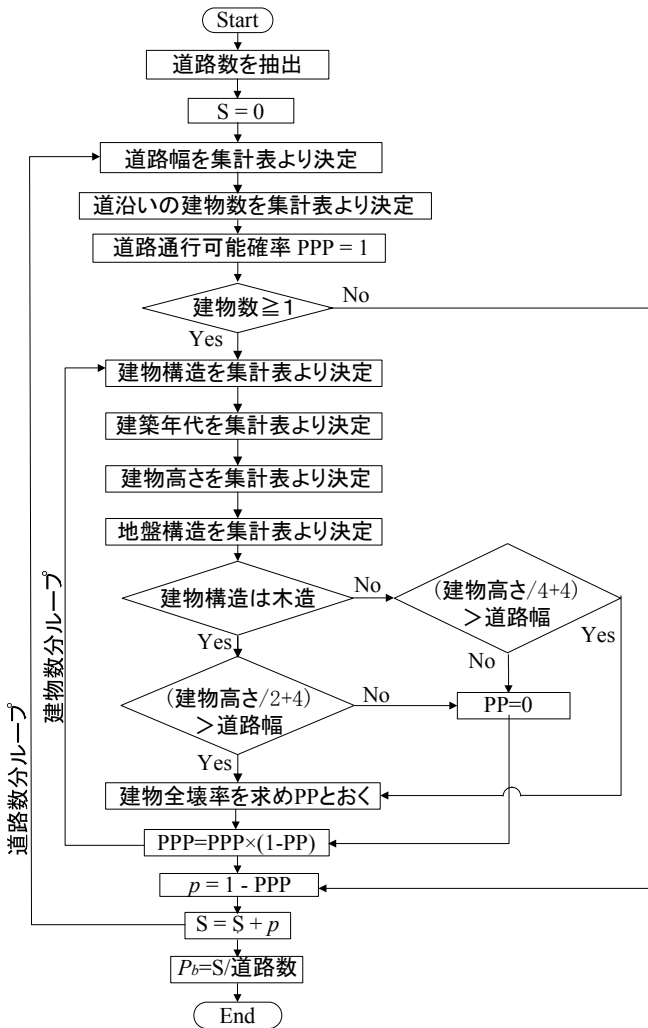


図-10 P_b 算出のアルゴリズム

(2) エージェントの設定と指標算出

算出された L に対応する正方格子を作成し、格子部に格子エージェントを設定する。次に、正方格子のボンドの占有確率によって計算エージェントを設定するかどうかを決定する。各ボンドに乱数を発生させ、発生乱数がボンドの占有確率、すなわち通行可能確率 P を下回った場合に計算エージェントを設定する。したがって、シミュレーションごとに異なる形の格子が生成されることになる。図-11に占有確率を考慮して生成された正方格子の例を示す。

表-4 建築構造別の建物棟数

建築構造	建物数	割合
木造	20	0.625
RC造	3	0.09375
S造	5	0.15625
軽S造	4	0.125
その他	0	0

表-5 高さ別の建物棟数

高さ(m)	道路数	割合
7	3	0.09375
8	5	0.15625
10	13	0.40625
12	5	0.15625
13	3	0.09375
15	1	0.03125
18	2	0.0625

算出結果の比較を表-6に示す。算出方法が異なることから既存の久貝らの方法による結果と違いが出るのは通行可能確率 P 、および防災性能指標 R 、 θ 、 χ の4つの値である。 P に関しては、既存手法による結果との差は0.01未満であった。一方、指標 R 、 θ 、 χ については既存手法では指標が範囲の形で得られるのに対し、本手法では直接算出される。本手法によって算出された結果は、 R 、 θ 、 χ いずれの値も既存手法による結果の範囲内の値となった。

図-9に示す市街地モデルの指標算出に要した時間の概要を表-7、表-8に示すが、本手法は既存手法に比べ約50%の所要時間であった。なお、指標算出にはAMD Athlon(tm) 64x2 Dual Core Processor 5600+ 2.80 GHz, 1.87 GB RAM の計算環境でシミュレーションを行った。

表-6 算出結果

	久貝らの方法	本手法
P	0.5765	0.5836
R	$0.694 < R < 0.724$	0.718
θ	$0.387 < \theta < 0.463$	0.441
χ	$6.694 < \chi < 11.687$	9.533

表-7 既存手法による指標算出の所要時間

作業内容	所要時間	所要時間計
各建物の全壊率算出	約40分	40分
各道路の閉塞率算出	約50分	90分
P_b 、 P の算出	約2分	92分
グラフからの指標読み取り	約10分	102分

表-8 本手法による指標算出の所要時間

作業内容	所要時間	所要時間累計
集計データの作成	約15分	15分
MASへの書き込み	約3分	18分
シミュレーション実行	約35分	53分
出力結果の処理	約2分	55分

5. 長野市安茂里地区への適用

実データを用いた適用例として、図-12に示す長野市安茂里地区を対象に道路網の防災性能指標を算出する。安茂里地区を図-13のように30地区に分割し、基盤速度30km/hの地震が発生したと想定している。表-9に基づく市街地データを用いて地区ごとにシミュレーションを5,000回実行し、指標値を求めた。市街地データの内、建物の高さについてはデータを入手できなかったため、住宅地図と航空写真から建物を住宅系とビル系に分類し、オフィス情報¹⁷⁾を参考に各建物の高さを設定した。



図-12 シミュレーション対象地区

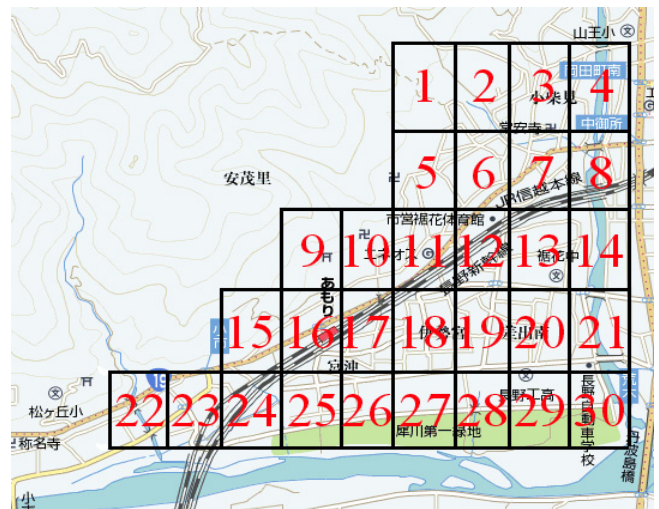


図-13 対象地区の分割図

表-9 市街地データ

データ	入手先
道路数	住宅地図 ¹⁸⁾
交差点・行き止まり数	住宅地図
道路幅員	長野市道路認定調書 ¹⁹⁾
道路沿い建物数	住宅地図
建築構造別建物数	長野市防災アセスメント業務報告書 ²⁰⁾
建築年代別建物数	長野市防災アセスメント業務報告書
地盤構造	地質図データベース ²¹⁾

図-14および図-15は、それぞれ指標 R 、 θ の結果を表-10のように6ランクに分けて示したものであり、黄色から赤色になるほど道路網の防災性能が悪いことを示している。同じ安茂里地区内であっても、防災性能には大きな差があり、 R では地区によって最大0.8以上の差があった。また、 R 、 θ のランク分布は類似の傾向を示しており、No.20の地区は、 R 、 θ がともに最小値であった。この地区は、狭い幅員の道路が多いにもかかわらず、高層の建物が存在していることから、通行可能確率 P が小さくなり、そのことが防災性能の指標値に反映されたものと考えられる。

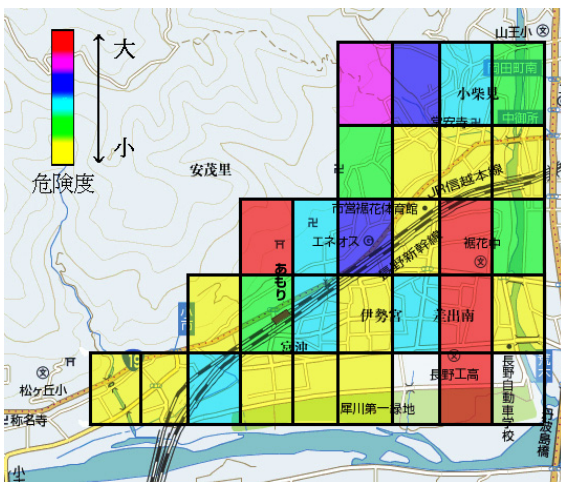


図-14 指標 R の地区別状況

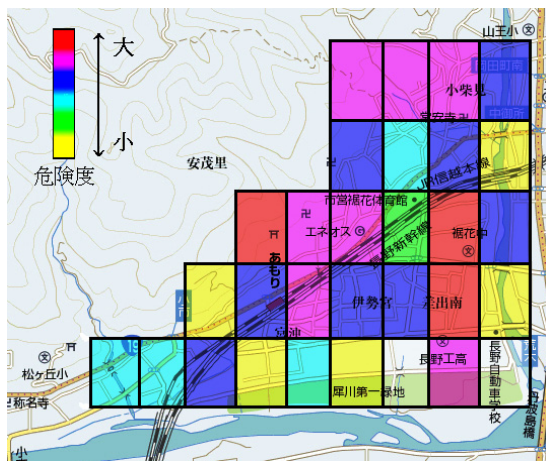


図-15 指標 θ の地区別状況

表-10 防災性能評価のランク分け

	赤	紫	青
R	0.00~0.39	0.40~0.59	0.60~0.69
θ	0.00~0.29	0.30~0.39	0.40~0.49
	水色	緑	黄
R	0.70~0.79	0.80~0.89	0.90~1.00
θ	0.50~0.59	0.60~0.69	0.70~1.00

6. まとめ

本研究では、パーコレーション理論に基づく道路網防災性能評価手法について、マルチエージェントシミュレーション (MAS) によって、より簡易に防災性能の指標を算出する方法を提案した。

簡単な試験用の市街モデルを対象として、本手法によって算出した通行可能確率 P および防災性能の指標値 R 、 θ 、 χ と既存の方法による結果を比較し、本手法の妥当性ならびに有効性を明らかにした。

長野市安茂里地区を対象地区として防災性能評価を行った結果、安茂里地区内での防災性能に大きな差があることが明らかとなった。災害対策の計画を練る際に、今回行ったようなシミュレーションを行うことによって、計画を優先させる地区を判断する情報を提供でき、また、シミュレーションを行うことで災害対策の効果を予め把握する事も可能となる。

今回示した安茂里地区の計算例では、入力データを住宅地図等から読み取る手作業としたが、効率化を図るには電子データの利活用が必要である。これらについては、今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 福島徹, 小谷通泰: 災害に強い都市: 市街地の建物被害と道路閉塞, 神戸大学阪神・淡路大震災10周年学術シンポジウム(理工系), pp.1-6, 2005.3
- 2) 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, 国際交通安全学会誌, Vol.22, No.2, pp.21-31, 1996.9.
- 3) 李燕, 塚口博司: 到達可能ノード率による街路網防災性能評価について, 阪神大震災に学ぶ-阪神・淡路大震災調査研究論文集, 土木学会土木計画学研究委員会, pp.407-414, 1997.
- 4) 塚口博司, 李燕, 吉野崇, 田中正浩: 防災性を考慮した街路網構成に関する研究, 阪神大震災に学ぶ-阪神・淡路大震災調査研究論文集, 土木学会土木計画学研究委員会, pp.425-432, 1997.
- 5) 堀健一, 石田東生: 震災時の連結信頼性からみた住区内街路網構成の評価, 阪神大震災に学ぶ-阪神・淡路大震災調査研究論文集, 土木学会土木計画学研究委員会, pp.415-424, 1997.
- 6) 家田仁, 上西周子, 猪股隆行, 鈴木忠徳: 阪神大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその

- 影響, 土木学会論文集, 土木学会, No.576/IV-37, pp.69-82, 1997.10.
- 7) 久貝壽之:防災性能評価に基づく市街地整備計画に資する地区レベル道路網の防災性能評価手法の構築, 学位論文(東京大学), 2006.3.
 - 8) 久貝壽之, 加藤孝明, ヤルコン・ユスフ, 小出治:道路閉塞からみた地区レベル街路網の防災性能評価手法の提案, 地域安全学会論文集, No.1, pp.25-34, 1999.11.
 - 9) 久貝壽之, 加藤孝明, 小出治:パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究, 日本建築学会計画系論文集, vol.549, pp.231-237, 2001.11.
 - 10) 久貝壽之, 加藤孝明:通行可能確率分布を考慮した道路網の防災性能評価手法の構築 パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究(その2), 日本建築学会計画系論文集, vol.593, pp.139-144, 2005.7.
 - 11) 久貝壽之, 加藤孝明:地域レベルの領域から道路網防災性能上脆弱な地区を抽出する評価手法の確立 パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究(その3), 日本建築学会計画系論文集, vol.600, pp.105-112, 2006.2.
 - 12) 久貝壽之, 加藤孝明:道路閉塞からみた道路網防災性能の構造の解明 パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究(その4), 日本建築学会計画系論文集, vol.615, pp.113-120, 2007.5.
 - 13) 山影進, 服部正太編:コンピュータの中の人工社会, 共立出版, 2002.
 - 14) 小田垣孝:パーコレーションの科学, 裳華房, 1993.
 - 15) 東京都:地震に関する地域危険度測定調査報告書(第6回), 2008.2.
 - 16) 構造計画研究所: Multi Agent Simulator ユーザマニュアル, http://mas.kke.co.jp/cabinet/KK-MAS_manual-ja.pdf, 2002.
 - 17) 三菱地所株式会社:三菱地所オフィス情報, <http://office.mec.co.jp/>, 2008.11.
 - 18) メーサイズ長野市北(犀川以北)住宅地図, 刊広社, 2006.
 - 19) 長野市:長野市道路認定調書, 2008.3.
 - 20) 長野市:平成17年度 長野市地域防災計画見直し[防災アセスメント]業務報告書, 2006.3.
 - 21) 産業技術総合研究所:シームレス地質図データベース, <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db084/>, 2007.11.