

遺伝的アルゴリズムを用いた地震災害下における避難経路探索法の開発

志村雄一郎・山本佳世子

Development of the Evacuation Route Searching Method in Time of Earthquake Using Genetic Algorithm Yuichiro SHIMURA and Kayoko YAMAMOTO

Abstract: In the whole of Tokyo, the district-based assessment of vulnerability to earthquake disaster in accordance with the Metropolitan Earthquake Disaster Prevention Regulations has been conducted. However, such an assessment is insufficient for refugees to decide their own evacuation routes in time of disasters. Against these backdrops, this study focuses on the wooden buildings which are at great risk of collapse and fire in time of earthquake, and constructs the road network data to which add the degree of risk of the neighborhood. Further, using Genetic Algorithm (GA) on the road network data, this study develops a method for searching routes which refugees can evacuate quickly and safely to provide information effectively to decide their own evacuation routes.

Keywords: 地理情報システム (geographic information system), 遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm), 地震災害 (earthquake disaster), 避難経路 (evacuation route), 道路危険度 (degree of risk on the road)

1. 序論

1.1 研究の背景と目的

東京都では災害時の避難方法として、被災場所→一時避難場所→広域避難場所と避難する二段階避難を基本としている。また、避難場所への避難は災害の状況により対応が異なり、一時避難場所周辺が危険である場合、被災場所→広域避難場所へ避難する直接避難が推奨されている。ここで、被災場所→一時避難場所および被災場所→広域避難場所といった避難は被災場所が被災者個人によって異なるため、経路決定は個人に委ねられる。避難経路決定の際に個人が得られる情報としては、防災ワークショップ等で公開される倒壊・延焼シミュレーション結果や、市区町村から提供される危険度マップがある。しかし、いずれも町丁目単位の防災性を評価したものであるため情報が広域的であり、道路や建物毎の危険度といった

詳細な情報は含まれていない。したがって、これらを基に個人で避難経路を決定するのは難しい。

本研究では震災時に倒壊・火災の危険が高い建物毎に危険度を定め、その被害が及ぶ範囲内に位置する道路に対して危険度を付加した道路ネットワークデータを作成する。さらに、作成したネットワーク上において遺伝的アルゴリズム（以下GAと略す）を用いることで、迅速・安全に避難可能な経路を探索する手法を開発し、避難経路決定に対して効果的な情報提供をすることを目的とする。本研究では、二段階避難のうち経路決定が被災者個人に委ねられる被災場所→一時避難場所間での避難および、被災場所→広域避難場所と避難する直接避難を対象とする。

1.2 関連分野の先行研究と本研究の位置づけ

本研究は、(1) 災害、(2) 経路問題、(3) GISを用いた空間的解析、(4) GAを用いた最適解探索に関する研究である。(1)・(2)・(3)に関する研究として、Liu et al. (2006)は、時空間地理情報システム (DiMSIS) による水害シミュレーション結果と、最短経路探索法であるダイクストラ

志村雄一郎 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

電気通信大学

Phone: 042-443-5000

E-mail: shimura@si.is.uec.ac.jp

法を用いて、水害時における時間経過による状況変化に対応可能な避難経路導出アルゴリズムを開発した。(1)・(3)に関する研究として、小荒井ら(2007)は、土地条件図と過去の地震による建物被害情報とを GIS 上で重ね合わせて解析することで、地震による地盤災害と土地条件との関連性について考察し、GIS を用いた空間解析の有効性を示した。(2)・(4)に関する研究として、Karas et al. (2011)は、モバイルデバイス上において制限速度や交通密度の影響を考慮した上で、最短運転時間を示す経路を探索可能なナビゲーションシステムを GA を用いて開発し、経路に影響を与え得る情報が複数存在する場合に、最適経路決定において GA が有効であることを示した。(1)・(4)に関する研究として、麻生ら(2007)は災害時の避難所の最適配置を導出し、施設配置評価における GA の有用性を示した。

本研究は、道路上の安全性と避難距離を考慮した経路導出方法を開発する研究であるため、Liu et al. (2006)による最短経路を導出する研究とは観点が異なる。また、GA を用いて避難施設等の最適配置を導出する研究は、都市レベルでの防災性を高めるための提言を主目的とするものが多いが、本研究ではより直接的に避難者個人に対して有益な情報を提供するべく、避難経路を対象とする点において独自性を示す。

2. 研究の枠組みと方法

2.1 研究の枠組み

本研究は以下(1)～(3)の枠組みに沿って行う。

(1)GIS を用いた危険度マップの作成

GIS を用いて木造建物と道路の空間的位置関係から、各道路毎に危険度を設定した道路危険度マップを作成する。

(2)GA による避難経路探索

作成した危険度マップ上で GA を適用することで避難経路を導出する。

(3)GIS を用いた導出経路評価

導出した避難経路を GIS を用いて可視化し、最短経路と比較することで評価を行う。

2.2 研究の方法

2.2.1 道路危険度マップ作成

OpenStreetMap よりダウンロードしたラインデータをシェープファイルに変換し、ESRI 社の

ArcGISDesktop10.1 を用いて徒歩にて歩行が可能である道路のみ抽出した。さらに、同 GIS を用いて交差点や T 字路などの分岐路が含まれるラインデータは分岐点にて分割し、個別のリンクとした。分岐点には点データとしてノードを配置し、空間的包含関係よりノードとリンクの隣接関係を各ノードの属性として付加することで道路ネットワークを作成した。

建物データは東京都都市整備局より借用した建物用途現況データを用いた。本データには建物毎に属性として建物構造が備わっており、木造建物のみを抽出表示することが可能である。抽出した木造建物から、同建物が倒壊した際に発生すると考えられる瓦礫幅だけバッファを発生させ、瓦礫幅バッファが道路中心線と交差する回数をカウントし、その数を危険度とした。また、危険度は各道路リンク毎に属性として付与した。ここで、瓦礫幅 r は市川ら(2001)の研究を参考に、以下の式より求めた。

$$r \equiv (\text{建物階数}) \times (\text{平均階高})$$

上式において、平均階高は一律 3m とした。

以上により作成した危険度マップの一部を図 1 に示す。

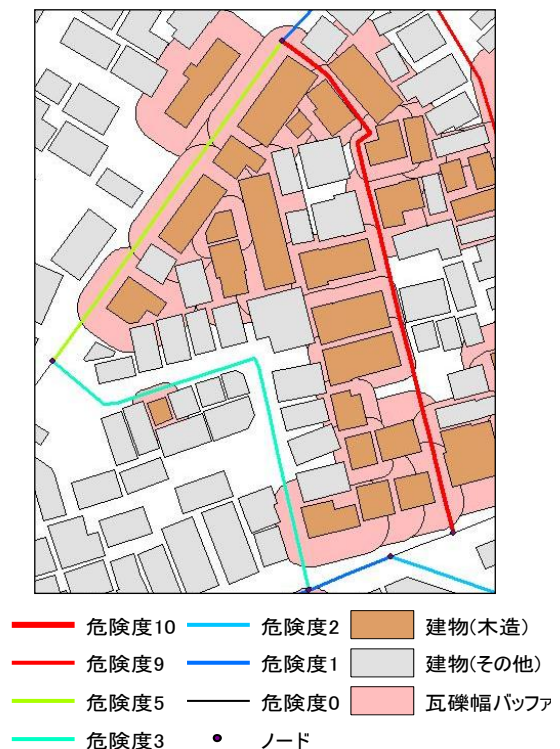


図 1. 作成した危険度マップ

2.2.2 遺伝的アルゴリズム (GA) の原理

図 2 に GA のフローを示す。GA は、生物が交叉・突然変異・淘汰を繰り返しながら環境に適合するように進化していくメカニズムを工学的にモデル化したものである。GA では環境に適合している度合いを適合度と呼び、これを評価値として、交叉・突然変異・選択淘汰といった遺伝的操作を繰り返し行う。また、この一連のサイクルを世代と呼ぶ。まず、初期集団生成では、解候補となる個体をランダムに大量に生成する。選択淘汰では適合度の高い個体ほど次世代に残りやすく、低い個体ほど残りにくくする。次の交叉では、二つの個体を組み合わせ、新しい個体を生成する。突然変異は解に多様性を持たせるため、交叉では生成できない個体を、強制的に一部の遺伝子を変化させることで生成する。適合度評価基準を満たすまで以上を繰り返す。

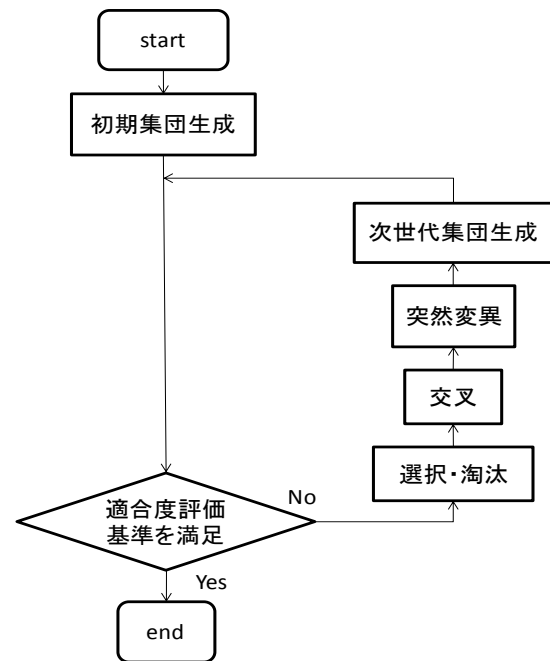


図 2. GA のフローチャート

2.2.3 GA を適用した避難経路探索方法

(1) 遺伝子コードと初期集団の生成

道路ネットワークにおけるノード番号を遺伝子とし、それら番号を初期位置から目的地まで羅列したリストを一つの個体とした。すなわち、各個体は経路を表す。これら個体を集団サイズ数だけランダムに生成し、初期集団とした。初期位置をノード 0、目的地をノード 10 とした場合の各個体および初期集団 P の一例を以下に示す。

$$P = [[0,1,4,6,8,10], [0,2,3,6,7,10], \dots [0,4,8,10]]$$

(2) 評価関数と適合度

個体の適合度 F は以下の評価関数によって決定する。

(i) $\Sigma l < L$ の場合

$$F = \frac{1}{\Sigma d + 1}$$

(ii) $\Sigma l < L$ の場合

$$F = 0.0001$$

$$\left(\begin{array}{ll} F: \text{適合度} & \Sigma d: \text{総危険度} \\ \Sigma l: \text{総距離} & \\ L: \text{任意に与えられた距離} & \end{array} \right)$$

(i) 総距離 Σl が任意に与えられた距離 L より小さいとき、個体の適合度は経路の総危険度に 1 を加えた値の逆数に比例する。ここで、1 を加えるのは分母が 0 にならないようにするためである。安全な経路ほど適合度が高くなるように設定し、次世代に残りやすくする。

(ii) Σl が L より大きい場合は比較的低い適合度を与えることで、次世代個体選択の際に残りにくくする。

以上のように評価関数を設定することで、一定距離 L を超えない範囲で、安全である経路ほど適合度が高くなるようにした。

(3) 遺伝的操作

選択・淘汰では適合度の高い個体ほど次世代に残りやすくするルーレット選択を用いた。また、交叉では一定確率で集団から 2 つの個体を取り出し、共有するノードを交叉点としてそれ以降の経路を入れ替えることで新たな 2 つの個体を生成した。突然変異では一定確率で集団から 1 つの個体を取り出し、ランダムに変異点となるノードを決定する。変異点以降の経路を新たにランダムに生成した経路に置き換えることで新しい個体を生成した。

3. 研究対象地域選定

研究対象地域は、東京都震災対策条例に基づいた「地震に関する地域危険度測定調査(第6回)」において、総合危険度が最も高かった墨田区3丁目を含む墨田区北部とした。同地域は、建物の敷地や道路幅が狭く、老朽木造建築物が高密度に建ち並んでいる密集市街地であり、震災時に火災が二次的に起こることによってさらに大きな被害の発生が想定されているため、本提案手法が有用性を発揮できると考えられる。

4. 結果と考察

直接避難を想定し、対象する墨田区北部でも特に木造住宅が密集している京島地区において、火災・延焼の危険が高く、かつ広域避難場所までの直線距離が最も遠い地点Aから、広域避難場所周辺の地点Bまでの経路をGAにて導出した。GAにて導出した安全な経路および、地点AB間での最短経路を図3に示す。また、各経路の総距離および総危険度を表1に示す。

図3から、導出経路は最短経路上の危険な道路を通らず、迂回する形の経路になったことが視覚的にわかる。また、表1に示す通り、導出経路は最短経路よりも総距離が44m長いが、総危険度は7低い値となった。これらのことから、本探索法では安全を優先し、かつ迅速に避難可能である経路を導出することができたといえる。また、本結果は任意に与えられる距離Lを700mとして計算した結果であり、本結果より経路距離は長くなるが、より安全な経路を求めたい場合はLの値を段階的に増やすことで他の経路を導出することも可能である。

5. 結論と今後の研究課題

本研究では震災時に倒壊・火災の危険が高い木造建物の被害が及ぶ前面の道路に対して、危険度を付加した道路ネットワークデータを作成し、同ネットワーク上においてGAを用いることで、迅速・安全に避難可能な経路を探索する手法を開発した。現段階では簡単のため木造建物は全て倒壊するものとしたが、今後は建物構造別・建築年次別に建物倒壊確率を定め、これらを反映したより妥当な危険度の定義および詳細な危険度マップの作成を行う。さらに、現段階では解に影響を与える因子は距離と危険度のみであるが、GAの臨機応変に評価関数を変更可能である利点を活かし、今後は同じ経路上に人が集中することで発生する混雑なども経路に影響を与える因子として追加していく予定である。

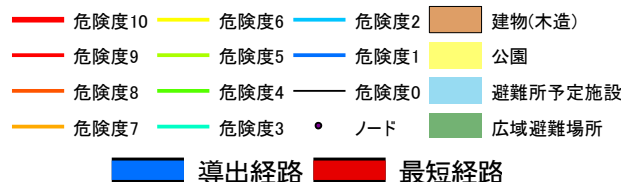
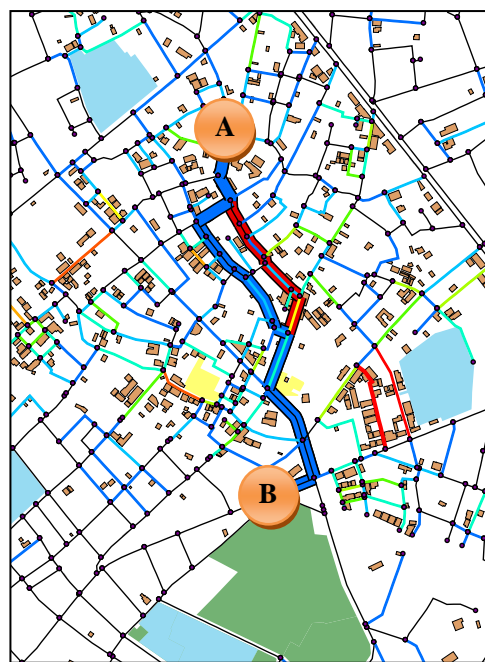


図3. 導出した避難経路及び最短経路

表1. 各経路における総距離および総危険度

	総距離 Σl	総危険度 Σd
導出経路	544[m]	10
最短経路	500[m]	17

参考文献

- [1] Yuling Liu, Michinori Hatayama and Norio Okada(2006), *Development of an Adaptive Evacuation Route Algorithm under Flood Disaster*, Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, No.49 B, pp.189-195
- [2] Mika Inoue and Kayoko Yamamoto(2013), *Method for Evaluating the Location of Tourist-Related Public Facilities Using Genetic Algorithms and GIS*. Journal of Communication and Computer, Vol.10, No.4 to appear in
- [3] 麻生稔彦, 松本頼一, 森下和久(2007), 「遺伝的アルゴリズムを用いた災害時避難所の最適配置に関する研究」, 山口大学工学部研究報告, Vol. 58, No.1, pp.31-36
- [4] 小荒井衛, 佐藤浩, 宇根寛(2007), 「地震による地盤災害と土地条件との関連に関するGIS解析」, 国土地理院時報, No.112, pp.115-123
- [5] Ismail Rakip Karas and Umit Atila(2011), *A genetic algorithm approach for finding the shortest driving time on mobile devices*, Scientific Research and Essays, Vol. 6, No.2, pp.394-405
- [6] 市川綾子, 阪田知彦, 吉川徹(2001), 「道路閉塞による避難経路の危険性を考慮した避難地の配置に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.489-490