

札幌市における情報提供手段を考慮した帰宅困難者の行動分析へのマルチエージェントシミュレーションの適用

Application of Multi-Agent Simulation to Stranded Commuters' Behavior Analysis Considering Means of Information Provision in Sapporo

北海道大学工学部 環境社会工学科 佐々木将仁 (Masato Sasaki)
 北海道大学大学院工学院 北方圏環境政策工学専攻 加賀屋誠一 (Seiichi Kagaya)

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震により、首都圏において交通機関が一斉に停止したことで、大量の帰宅困難者が発生した。近年問題視されていた大都市における帰宅困難者問題は、この東日本大震災を受けて、改めて顕在化したと言える。

札幌市においても、平成 20 年 9 月に発表された「第 3 次地震被害想定」によると、大規模地震発生後に多くの帰宅困難者の発生が想定されており、対応が迫られている。

本研究では、札幌における想定最大地震発生後の帰宅者の行動を、マルチエージェントシミュレーション (MAS) によりモデル化し、分析することで、帰宅困難者軽減に資する効果的な対策を検討することを目的としている。

2. シミュレーションモデルについて

2.1 モデル概要

本モデルでは、大地震発生後の交通機関停止時の徒歩帰宅者の行動を、札幌都心でのアンケート調査やパーソントリップ調査 (PT 調査) 等の実データに基づきルーラ化することを基本としている。

個々の帰宅者は発災直後と一定条件下において、個人の属性別に「帰宅する」か「留まる」かの行動を選択する。この行動選択はランダム効用理論による二項ロジットモデルとして、個々の帰宅者の「想定帰宅時間」「家族安否情報の有無」「場所環境の良し悪し」により変化する効用関数から選択される。

帰宅者の移動する道路網を実際の道路網に近い形でノード・リンクシステムを用いて構築し、その上で最大想定地震時における道路被害状況、積雪、人の混雑度、道路幅員に依存する歩行速度の変化を反映する。また、個々の属性別に確率的に与える連続徒歩可能時間から設定するスタミナ値を考慮し、避難所や滞留場所での体力回復や、連続徒歩可能時間を超えても帰宅できない危険な状態となる帰宅者の行動をモデル化した。

図 1 に今回のモデルでの大まかな帰宅者の行動フローを示す。

2.2 想定状況と対象地域

札幌市「第 3 次地震被害想定」の中で、最大の被害が想定されている内陸型月寒断層 (M 7.3、最大震度 7) による大地震が、路面に積雪のある 12 月～2 月の冬期、都心部のトリップ数が最大となる平日の午後 6 時に発生した状況を想定する。

対象地域として、札幌市中央区の都心部と、中央区へのトリップ数が多く、且つ地震による道路被害が大きい北区東区を対象とする。

地震発生後、全ての交通機関は停止し、帰宅者は道路ネットワーク上を、全て徒歩により中央区都心部から帰宅地へ向け移動する。この道路ネットワークは札幌市北

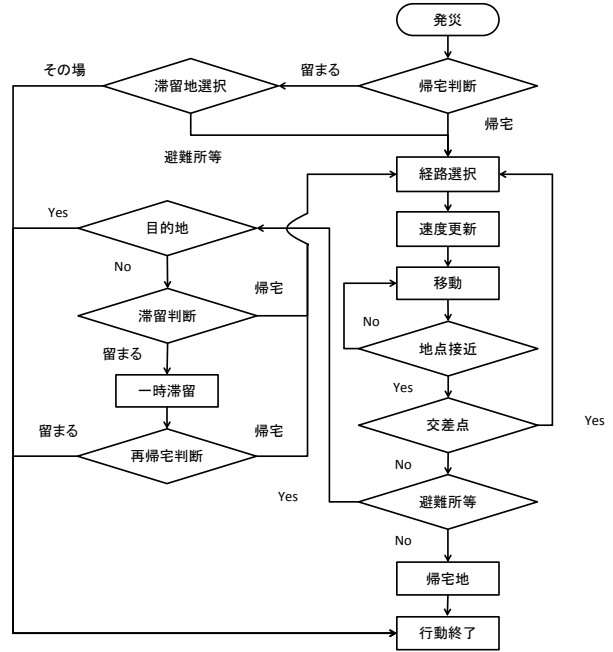


図 1 帰宅行動フロー

区東区の全ての主要道路と一部一般道により構成される。

2.3 属性別帰宅者数と帰宅地点の設定

PT 調査での中ゾーンに基づき、北区と東区をそれぞれ 4 つのエリアに分け、各エリアから中央区への平日午後 6 時の外出者数を推計し、そこに石黒²⁾のアンケート結果から推計されるエリア別地震発生時の所在割合より各属性別の帰宅者数を設定する。

帰宅地点については、上記の各エリアを更に札幌市の定めるまちづくりセンター別に分け、その各エリアの人口割合に合わせて帰宅地点数を決定し、各エリアでの住宅密集地域に合わせ帰宅地点を設定した。表 1 に属性別帰宅者数とエリア別帰宅地点数を示す。

表 1 属性別帰宅者数とエリア別帰宅地点数

| 中ゾーン エリア | 属性別中央区滞在者数 | | | まちづくりセンター別帰宅地点数 | | | | | | 帰宅地 点数計 |
|-------------|------------|-------|-------|-----------------|--------|--------|--|--|--|------------|
| | 会社員・学生 | 買い物客 | 移動中 | 鉄東(16) | 北光(19) | 苗穂東(7) | | | | |
| 東区① | 6,111 | 1,168 | 743 | | | | | | | 42 |
| 東区② | 11,771 | 2,109 | 1,338 | | | | | | | 74 |
| 東区③ | 8,478 | 1,750 | 908 | | | | | | | 45 |
| 東区④ | 6,905 | 1,207 | 536 | | | | | | | 39 |
| 北区① | 10,904 | 2,815 | 1,717 | | | | | | | 52 |
| 北区② | 10,204 | 621 | 1,093 | | | | | | | 62 |
| 北区③ | 6,510 | 508 | 1,000 | | | | | | | 39 |
| 北区④ | 9,578 | 1,048 | 976 | | | | | | | 47 |

2.4 歩行速度に関する設定

個別平均歩行速度として、世代と性別毎の平均移動速度と分散に積雪の影響を考慮し 3 割低下させた値を、個々の歩行者に正規分布に従うものとして確率的に与える。個々の歩行速度は、個別平均歩行速度と道路の混雑状況、道路の被害状況により異なるものとする。表 2 と図 2 に混雑度と歩行速度の関係をそれぞれ示す。

表 2 道路被害と速度低減率、混雑度と歩行速度の関係

| 液状化影響 | 速度低減率 | 混雑度 ρ (人/m ²) | 歩行速度 (m/分) |
|-------|-------|--------------------------------|---|
| 大 | 0.65 | $\rho < 0.7$ | S_i |
| 中 | 0.85 | $0.7 < \rho < 4$ | $S_i - ((S_i - 24) / 3.3) * (\rho - 0.7)$ |
| 小 | 0.95 | $4 < \rho$ | $((24 * 4) / \rho)$ |
| 極小 | 1 | | |

(S_i : 個別平均歩行速度)

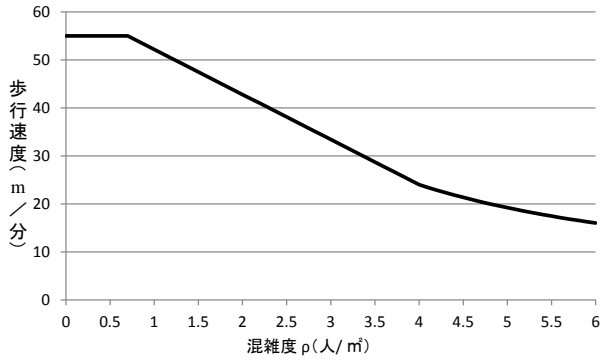


図 2 混雑度と歩行速度の関係 (例 $S_i=55$ m/分)

歩行者の移動する道路歩道の幅員については、冬の積雪状況時の歩道幅の狭まりを考慮し、主要道路は片側 2m、一般道路は片側 1m と設定し、歩行者は基本的に両側の歩道をほぼ一方向流として通行するものと想定する。道路の被害状況による速度低下については、札幌市提供の最大想定地震時における液状化危険度マップを用いて、交差点位置毎に設定される液状化想定被害状況より、段階的に設定した。

2.5 帰宅滞留行動選択について

宇佐美³⁾がアンケート調査により求めた帰宅判断式を、属性別の地震発生時の滞留の拠点の有無による差を考慮し、会社員と学生、買い物客と移動中の者に分けて再集計し、ランダム効用理論による二項ロジットモデルに基づく行動選択の帰宅判断確率として求めた。以下に効用関数式 (1)、帰宅判断確率式 (2) と、表 3 に会社員と学生の帰宅判断モデルパラメータ推計値、図 3 に会社員と学生の帰宅判断確率グラフをそれぞれ示す。

$$\Delta V_i = \alpha + \sum_{k=1}^k \beta_{ik} x_{ik} \quad (1)$$

$$P[go] = \frac{1}{1 + e^{-\Delta V}} \quad (2)$$

ΔV_i : 行動に関する効用関数値

x_{ik} : 説明変数 k の行動 i に関する変数値 (行動選択の際に考慮される因子)

β_{ik} : 説明変数 k の係数 (質問結果に基づいて推定されるパラメータ)

k : 説明変数の総数

α : 定数項

表 3 会社員・学生の帰宅判断モデルパラメータ推計値

| パラメータ | 項目 | 単位 | 推定値 | t値 | P値 |
|------------|--------|-------|---------|---------|-----------|
| $\alpha 1$ | 定数項 | | 1.8442 | 13.344 | 0.000 *** |
| $\beta 1$ | 季節 | 0: 冬 | 0.0000 | 7.057 | 0.000 *** |
| | | 1: 夏 | 0.6556 | | |
| $\beta 2$ | 帰宅時間 | 分 | -0.0082 | -10.560 | 0.000 *** |
| | | | | | |
| $\beta 3$ | 家族安否情報 | 0: なし | 0.0000 | -5.332 | 0.000 *** |
| | | 1: あり | -0.4947 | | |
| $\beta 4$ | 場所環境 | 0: なし | 0.0000 | -12.386 | 0.000 *** |
| | | 1: あり | -1.1456 | | |

(*** 1%有意、** 5%有意)

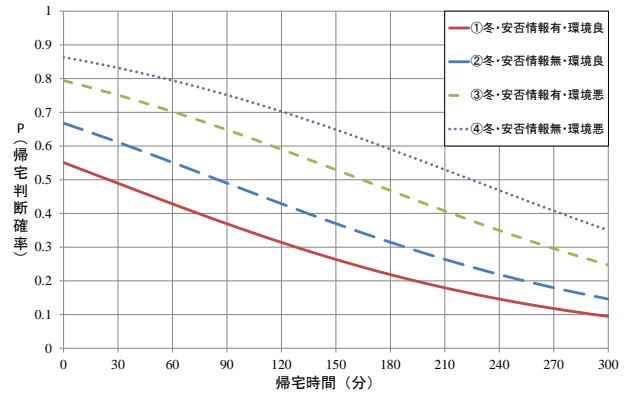


図 3 帰宅判断確率 (会社員、学生)

なお、場所環境が良いとは、灯り・水・食料・毛布・暖房といった生活必需品が 1~2 日分備蓄してある状態を表す。

このモデルでは、帰宅地点までの距離が近い程、個別基本歩行速度が速い程、また家族安否情報が無く場所環境が悪い程帰宅を選択する確率が高まることとなる。

2.6 帰宅者の経路選択について

帰宅者は各交差点において、目的地角度と各交差点における道路角度差をベースとした、オリジナルの経路選択アルゴリズムにより経路選択を行う。角度差とともに、石黒のアンケート調査より推定した道路の規模と人の多さに依存する効用を計算し、経路を選択する。その中で帰宅地までの間に中継点を目指すルールを組み入れ、角度的に帰宅地方向でも、地域特性上選択しないであろうルートを選択しないものとなっている。

3. シミュレーション結果

3.1 シミュレーション実施ケース設定

本シミュレーションでは全体の家族安否情報取得割合 (発災後初期と避難所での割合)、会社学校の待機場所良環境割合をそれぞれ変化させたケースについて、各 30 回の試行における出力値の平均を結果として用いた。

また、連続徒歩帰宅可能時間を超え危険状態となる帰宅者の人数やその場所の分布から、有効な避難所、一時滞り場所の配置を検討し、現状の避難所配置の評価を行うため、避難所での休憩を考慮しないケースでも同様に実施した。

3.2 現状想定ケース実施結果

発災後の家族安否情報の取得割合と、一定時間経過後の再帰宅判断時の避難所での家族安否情報取得割合を、東日本大震災に関するアンケート調査結果を参考とし、それぞれ 39%、50% と設定する。また、現状の全体の会社と学校の良環境割合を 50% と仮定したケースを現状想定ケースとして、10 時間経過後の、北区と東区からの全中央区滞在者 88,998 人の行動結果を表 4 に示す。

表 4 現状想定ケース実施結果

| | 帰宅意思 | 帰宅完了 | 安全帰宅 | 滞留者 | 会社学校 | 危険状態 | 立寄率 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| 人数 | 40560 | 28910 | 23737 | 41585 | 19438 | 6155 | 50(%) |
| 割合(%) | 45.1 | 32.1 | 26.4 | 46.2 | 21.6 | 6.8 | |
| 人数 | 40637 | 28333 | 23466 | 42046 | 19550 | 5852 | 100(%) |
| 割合(%) | 45.2 | 31.5 | 26.1 | 46.7 | 21.7 | 6.5 | |

また、現状想定ケースにおけるエリア別の帰宅完了者の状態別の人数を表5、図4にそれぞれ示す。

表5 エリア別帰宅状況

| 地区 | 東区1 | 東区2 | 東区3 | 東区4 | 北区1 | 北区2 | 北区3 | 北区4 | 全体 |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 安全帰宅(人) | 4701 | 6504 | 1995 | 1355 | 6861 | 1782 | 417 | 107 | 23723 |
| 危険帰宅(人) | 0 | 258 | 764 | 1179 | 53 | 659 | 1404 | 884 | 5201 |
| 安全帰宅率(%) | 100.0 | 96.2 | 72.3 | 53.5 | 99.2 | 73.0 | 22.9 | 10.8 | 82.0 |

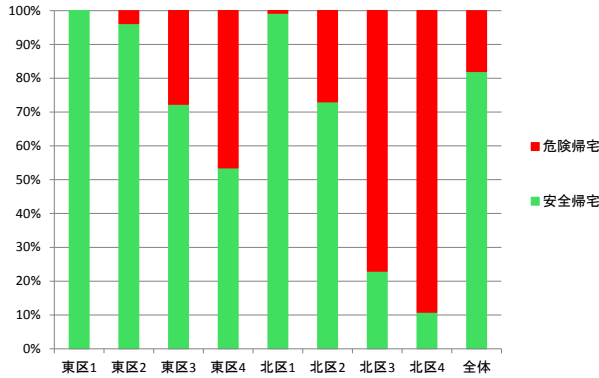


図4 エリア別帰宅状態割合

3.3 想定ケース別帰宅行動の変化と分析

現状想定ケースから各割合を変化させたそれぞれのケース別行動人数結果を、表5と図5に示す。

表5 想定ケース別各行動人数

| 想定ケース | 1.現状 | 2.環境悪 | 3.環境良 | 4.安否無 | 5.安否有 | 6.最悪 | 7.最良 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 帰宅を試みた者 | 40555 | 49542 | 31564 | 50609 | 40544 | 59828 | 31474 |
| 安全帰宅 | 23839 | 28346 | 19186 | 30807 | 23811 | 35477 | 19166 |
| 危険帰宅 | 5149 | 6465 | 3706 | 7090 | 5124 | 8885 | 3710 |
| 安全帰宅率(%) | 82.2 | 81.4 | 83.8 | 81.3 | 82.3 | 80.0 | 83.8 |
| 最終的に留まった者 | 60947 | 54970 | 67085 | 51782 | 60999 | 45250 | 67091 |
| 危険状態となった者 | 6110 | 7772 | 4421 | 8222 | 6085 | 10285 | 4430 |

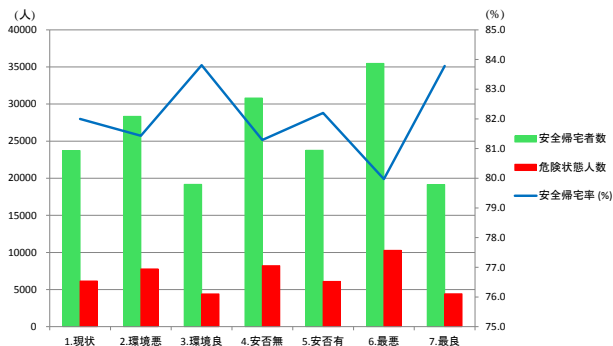


図5 想定ケース別各行動人数

現状想定ケースから会社学校の待機場所良環境割合だけを変化させた2.環境悪、3.環境良のケースでは、対象者の約78%が会社員と学生ということもあり、帰宅者数や各所滞留者数、安全帰宅率の変化は大きいものとなった。会社学校に留まるための環境作りは、無理な帰宅の抑制や帰宅困難者の軽減に有効であることが窺える。

次に、家族の安否情報取得割合のみを変化させた4.安否無、5.安否有のケースでは、安否情報が全く得られない場合は帰宅を試みた者が多く、安全帰宅率も下がっていることから、無理な帰宅を試みる者が増えることが想定される。一方、安否情報を全ての帰宅者が取得しているケースでは、多少の安全帰宅率の上昇が見受けられるものの、現状想定ケースとの差はあまり見られない。家族安否情報は無理な帰宅を抑制するための大きな要素

ではあるが、全体の家族安否情報取得割合の増加のみでは、無理な帰宅抑制の十分条件には成り得ないことが窺える。

3.4 避難場所配置に関する分析

現状ケースにおいて、避難所と一時滞留場所での休憩と滞留を考慮しない場合の個々の帰宅者が連続歩行可能時間(約3時間)を超えた瞬間の位置の出力を行ったものを図6に示す。

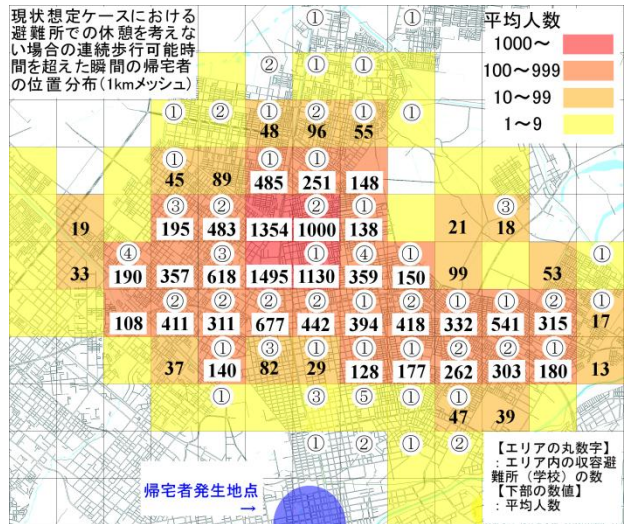


図6 1kmメッシュ区分危険位置人数分布

危険状態となる位置は、各帰宅者の初期位置からある程度離れたエリアに分散しているのが見受けられるが、特に麻生付近のエリアでの人数が多い。このエリアは麻生近辺への帰宅者の他、新琴似・新川・屯田・篠路・拓北等北区の各方面への徒歩帰宅者が多く通ることが想定されるエリアである。現状の収容避難所数と想定される休憩・収容を必要とする帰宅者数との差異がかなり大きいエリアであるため、帰宅困難者支援・収容の対策がより必要なエリアであると言える。

一方、その他各エリアでは平均的に避難所があり、現状特に偏って帰宅困難者の想定受け入れ必要人数と避難所数に隔たりがあるエリアは無い。現状の収容避難所配置は帰宅困難者の収容、休憩場所としては適切であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、札幌における想定大地震発生後の徒歩帰宅者の帰宅行動をMASによりモデル化し、情報の取得割合や滞留環境や避難所の扱いを変化させながらシミュレーションを行った。その結果として、各状況下での具体的な帰宅者の行動や人数の変化を示し、帰宅困難者の軽減のために有効な施策を検討した。

参考文献

- 1) 札幌市危機管理対策室：「第3次地震被害想定」、平成20年度札幌市防災会議，2008
- 2) 石黒裕佳子：マルチエージェントシミュレーションによる札幌市での想定震災時の帰宅行動に関する研究，平成19年度修士論文，2007
- 3) 宇佐美沙織：GISを用いた震災時帰宅者行動分析に関する研究，平成20年度卒業論文，2008