

大都市震災時における徒歩帰宅者の帰宅経路の 混雑緩和に関する研究

A Study on Untying Jam of Walkers to Go Home
during an Urban Earthquake Disaster

丹原 崇宏¹, 熊谷 良雄², 糸井川 栄一², 齋藤 正俊³

Takahiro TAMBARA¹, Yoshio KUMAGAI², Eiichi ITOIGAWA² and Masatoshi SAITO³

¹ 前 筑波大学 大学院 修士課程 環境科学研究科 (現 株式会社NTTデータ)

Master's Program in Environmental Sciences, University of Tsukuba (Present: NTT DATA CORPORATION)

² 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

³ 筑波大学 大学院 博士課程 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

In a big city, there are many commuters and temporary visitors for shopping, eating and drinking. If they encounter a great earthquake in downtown area, they are left there due to the paralysis of the traffic system. Many of them have to go back home on foot. But it seems to be difficult for them to go home on foot smoothly, due to fire, liquefaction and traffic control on their way home. So, in this study, we focus routes of walker to go home, and analyze jam of them.

Key Words : urban earthquake disaster, jam of walkers to go home, traffic control

1. はじめに

多くの通勤・通学者、買物客等が流入、滞在している大都市で大規模地震が発生すると、交通機関の停止等により速やかに自宅に帰ることのできない帰宅困難者が多数発生すること(東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書¹⁾(以下、「東京都被害想定」という)では約370万人と想定が想定される。しかし、大都市中心部でこれらの人々すべてに対する宿泊・食料の提供などの支援体制は整っていないとともに、既往研究では多くの帰宅困難者が発災数時間後には、帰宅を開始することが示唆されている^{2),3)}。そこで、徒歩帰宅が可能な者に対しては出来る限り徒歩での帰宅を促し、長距離であっても無事に自宅にたどり着くように帰宅経路指定や帰宅途中の沿道での飲料水、食料、トイレの提供等の支援を行うことが対策の1つとして考えられる。実際、東京都は平成9年に「震災時における昼間都民対策検討委員会」を設置し⁴⁾、都県境を越える幹線道路や環状道路を「帰宅支援対象道路」として選定し、沿道における支援対策を検討している段階にある。

この「帰宅支援対象道路」は、平成15年東京都地域防災計画⁵⁾において地震発生直後から実施すると計画されている交通規制の中で、避難者及び緊急通行車両用に指定される「緊急交通路」と整合を図って選定されているものである。しかし「緊急交通路」は地震発生後の消火、負傷者の搬送、緊急物資の輸送等を目的に指定されており、車道は緊急車両の通行が主となる。さらに震災時の火災や液状化などによる道路被害も考慮すると、徒歩帰宅者の通行容量は大きく制限されることが考えられ、現行の計画における「帰宅支援対象道路」での帰宅行動は大混雑を招く可能性がある。しかし、そのような可能性が

指摘されているにもかかわらず、過去に徒歩帰宅者による混雑に着目した研究は行われていない。より現実的で効果的な計画を策定するためには、震災時の徒歩による帰宅に着目した帰宅経路の混雑状況を把握することが必要となる。

そこで本研究では、震災時の「帰宅支援対象道路」を中心とした徒歩帰宅者の帰宅経路の混雑状況と帰宅予想時間を把握する。その上で帰宅経路上の混雑緩和策を検討することによって、今後の具体的な徒歩帰宅支援計画策定のための一助とすることを目的とする。

2. 研究の概要

はじめに、徒歩帰宅者の帰宅経路、帰宅者数、発災時刻等の想定条件を設定する。次に、徒歩帰宅者の帰宅予想時間、道路混雑等を把握するための「徒歩帰宅シミュレーションモデル」の構築を行い、構築したモデルを用いて、道路状況や帰宅開始パターンを考慮したシミュレーション実験を実施し、まとめとする。

3. 研究対象地域の選定と発災条件の設定

本研究では、多くの帰宅困難者が発生すると考えられる東京都を研究対象地域として、東京都内を混雑把握対象地域とする。その際、徒歩帰宅者の移動は東京都内を「内」、都外を「外」としたときに、「内内」の移動と、「内外」の移動を対象とし、「外内」の移動は対象に含めないこととする。

また、本研究における発災条件は、対策立案に資する

ため、表 1 に示す東京都被害想定的前提条件に準拠した。

表 1 発災条件¹⁾

発災条件	
震源	東京都区部直下
最大震度	震度 6 強
地震発生時刻	冬の平日夕方

4. 徒歩帰宅シミュレーションモデルの構築

(1) 徒歩帰宅シミュレーションモデルの概要

本研究では、徒歩帰宅者の帰宅予想時間および帰宅経路上の混雑を把握するために、徒歩帰宅シミュレーションモデルを構築する。東京都全体という非常に広域な範囲を対象に、600 万人以上の徒歩帰宅者の帰宅状況を実用的な計算時間で把握し、また、全体の動きをマクロ的に表現することができるシミュレーションモデルを構築することを目指す。したがって、本研究のアウトプットとして、徒歩帰宅者数やその密度、また、道路の混雑地点などを視覚的に表現することが求められる。

これらを考慮すると、エージェントモデルのような帰宅者一人一人に規範を与えて記述する非常にミクロなモデルは、計算に膨大な時間を必要とし不適切である。また、交通計画の分野や避難モデル等で比較的良好に用いられるネットワークモデルは、密度の表現やマクロ的視覚的表現力に劣る。本研究では、上記の目的に適したモデルとして、メッシュモデルを用いることとする。

徒歩帰宅シミュレーションモデルは、帰宅経路に使用する道路を 4 方向に移動可能な 500m×500m のメッシュで表現したモデルで、徒歩帰宅者の帰宅する様子は、出発地メッシュから目的地メッシュまで道路メッシュ間を移動していく人数を数えることで表現した。

徒歩帰宅シミュレーションモデルの構成を図 1 に示す。

(2) 基本道路データの設定

a) 帰宅経路に使用する道路の選定

平時に鉄道移動が中心となっている人々が、都内から徒歩で帰宅をする場合、大多数は帰宅方向の分かりやすい放射状の国道、主要地方道を選択すると考えられる。

また、震災時に通行可能であることも必要なため、東京都地域防災計画²⁾に指定される以下の道路を参考に徒歩帰宅に使用する道路（以下、「帰宅経路使用道路」という）を選定した（図 2）。

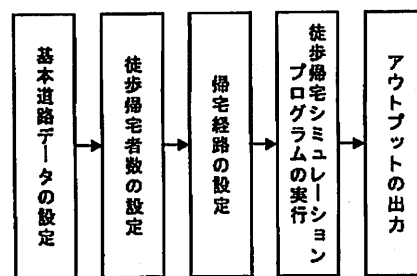


図 1 徒歩帰宅シミュレーションモデルの構成

- ・帰宅支援対象道路（都心から放射状に延びる道路と、環状道路）
- ・緊急交通路（震災時における避難者および緊急通行車両用の路線から、高速道路を除いた道路）
- ・交通視察重点路線（震災時に視察点検を行った上で、緊急交通路として追加指定される道路）

b) 道路データの作成

選定した帰宅経路使用道路を 500m×500m メッシュのメッシュデータに変換し、各道路メッシュの道路面積および方向別（東西南北）に道路幅員を設定する。

道路面積および道路幅員データは、東京都の市街地状況調査（第 6 回）⁶⁾（以下、「市街地状況調査」という）の「道路率」を基に設定し、より正確に道路幅員を表現するために東京都都市計画概要⁷⁾の中の都市計画道路事業現況図を用いて道路面積・幅員を補正することによって作成した。

(3) 徒歩帰宅者数の設定

a) 居住地ゾーンの設定

徒歩帰宅者数の設定単位となる居住地ゾーンの設定を行う。居住地ゾーンは東京都圏パーソントリップデータの計画基本ゾーンを基に設定した。

居住地ゾーンは区市町村ごとに各区市町村がおおよそ 2~3 程度のゾーンに分割されるように、帰宅経路使用道路との位置関係を考慮しながら計画基本ゾーンを統合して作成した。本研究では、この設定された各ゾーンの重心を徒歩帰宅者の出発地および目的地に代表させることとする。また、都外への帰宅者は都県境までを混雑把握対象地域としているため、帰宅経路使用道路の都県境の地点を、都外帰宅者の目的地として設定した。以上の作業によって、出発地は 88、目的地は都外への帰宅者

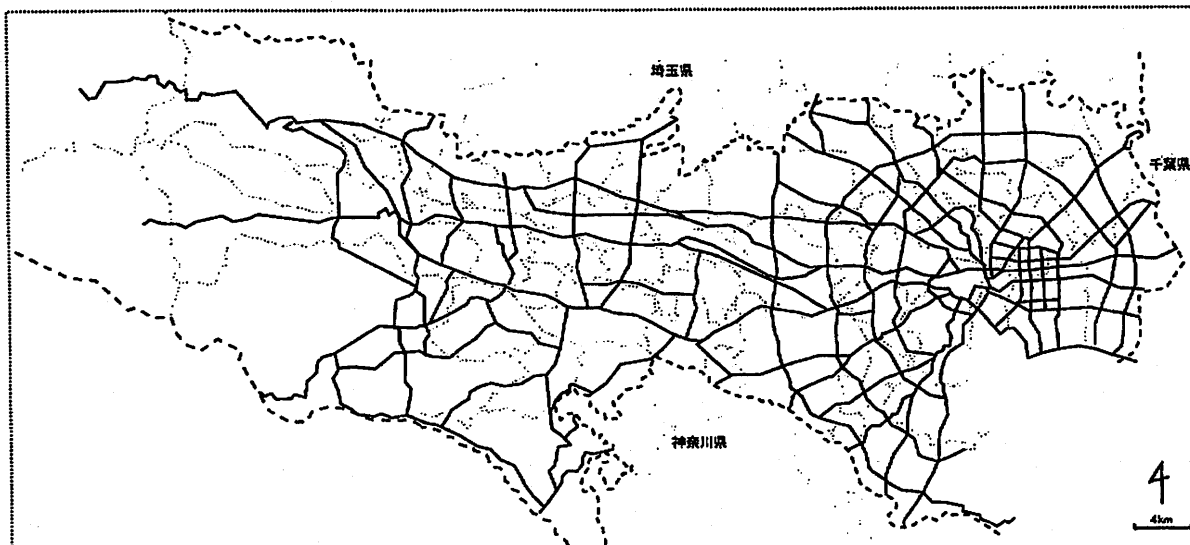


図 2 帰宅経路使用道路

の目的地を含め 111 となった。

b) 徒歩帰宅者数の設定

徒歩帰宅者数は、平成 10 年東京都市圏パーソントリップデータ「居住地別・時間帯別・計画基本ゾーン別・滞留人口データ」を用いて、居住地ゾーン別に設定した。パーソントリップデータの時間帯は、発災想定時刻である 17 時のデータを用いる（総帰宅者数は 6,196,725 人）。

東京都内（内内）への帰宅者については、前項 a) で設定した居住地ゾーン単位に計画基本ゾーンのデータを結合することで作成し、内外の帰宅者については、都内からどの道路を通過して都外へ流出するかを帰宅経路使用道路との位置関係および都内からの鉄道路線を考慮して居住地ゾーン毎に決定し、その帰宅経路使用道路ごとに配分した。

(4) 帰宅経路選択方法の設定

a) 帰宅経路選択方法の設定

震災時に徒歩帰宅者は自分の知っている幹線道路を通過して帰宅し、幹線道路にたどり着いてからは大幅な経路変更は行わないと仮定し、帰宅経路使用道路の最短経路を使用して帰宅することとした。

また、経路上の混雑などによる迂回行動は、本研究で設定した帰宅経路使用道路のような大略的な道路網において混雑の発生などによって大幅に経路変更を行うことは考えにくいと、本研究では考慮しないこととした。ただし、混雑の発生によって比較的近傍の街路などに迂回することは考えられるが、これは市街地状況調査の「道路率」を用いることによって間接的に考慮している。

b) 帰宅経路データの作成

帰宅経路の最短経路は、図 2 に示すデータを用いて、各出発地目的地間においてダイクストラ法を用いて算出した。その結果を図 9 に示すようなメッシュ状道路データに変換した。メッシュ上では目的地毎にシートを作成し、シート毎の目的地メッシュに 1 を割り振り、隣接メッシュに順々に 2, 3, 4, ... と値（「ポテンシャル」とする）を割り振り、値が小さい方向へ移動していくこととして表現した（図 3）。

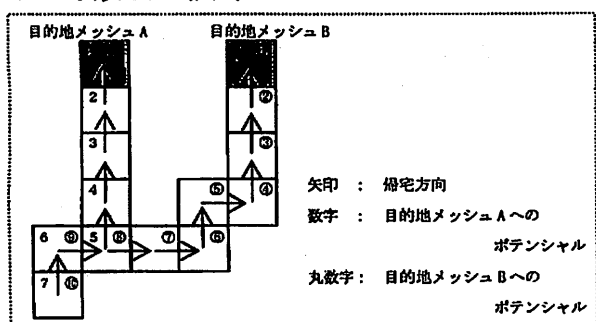


図3 帰宅経路設定方法(模式図)

(5) 徒歩帰宅シミュレーションプログラムの構成

徒歩帰宅シミュレーションプログラムは、道路メッシュ毎に帰宅方向別の帰宅行動者（帰宅途中の者）の滞留（群集）密度と歩行速度、対面通行を考慮した歩行幅員を求め、それらに単位時間に乗ることによって徒歩帰宅者の帰宅していく様子を表現している。構成としては以下に示す6段階に大きく分類される。なお、市街地状況調査のデータを利用することを考慮して、メッシュの行を j 、列を i と置き、原点を北東の隅に設定し、座標を表現することとする。

・基本データの読み込み

- ・目的地別・方向別のメッシュ内帰宅行動者数の決定
- ・道路の滞留密度と密度速度式による歩行速度の決定
- ・対面通行を考慮した歩行幅員と流入予定人数の決定
- ・流入係数による隣接メッシュからの流入人数の決定
- ・隣接道路メッシュへの流出人数の決定

以下に徒歩帰宅シミュレーションプログラムの構成を示す。

a) 基本データの読み込み

基本データとして、前節までに作成した道路面積、道路幅員、徒歩帰宅者数、帰宅経路の各データをそれぞれ読み込む。さらに、道路上に滞留可能な最大の人数（「最大滞留可能人数」とする）を設定する。最大滞留可能人数は、各道路メッシュの道路面積と最大滞留可能密度で決定される（帰宅行動者はすべて道路上にいと仮定）。最大滞留密度は、既往研究⁸⁾における群集密度と混雑度の実験を参考とし、流動量がほぼ 0 となる 4.0 人/㎡を最大滞留密度と設定した。

$$\text{最大滞留可能人数 } p_{\max,i,j} = S_{i,j} \times 4.0 (\text{人}/\text{m}^2)$$

$p_{\max,i,j}$: 最大滞留可能人数

[1]

$S_{i,j}$: 道路面積

b) 方向別道路上帰宅行動者数の算出

方向（東西南北）別の道路メッシュ上帰宅行動者数は、目的地別帰宅行動者数を帰宅経路に従って、方向別に割り振ったものの和で表す。

$$\text{北方向 } Pd_{i,j \rightarrow i+1,j-1} = \sum_{k=1}^{\text{目的地数}} Ph_{k,i,j}^1$$

$$\text{西方向 } Pd_{i,j \rightarrow i-1,j} = \sum_{k=1}^{\text{目的地数}} Ph_{k,i,j}^2$$

$$\text{南方向 } Pd_{i,j \rightarrow i,j+1} = \sum_{k=1}^{\text{目的地数}} Ph_{k,i,j}^3$$

$$\text{東方向 } Pd_{i,j \rightarrow i+1,j} = \sum_{k=1}^{\text{目的地数}} Ph_{k,i,j}^4$$

[2]

$Pd_{i,j \rightarrow x,y}$: メッシュ i,j のメッシュ x,y への方向別帰宅行動者数

$Ph_{k,i,j}^l$: メッシュ i,j で目的地 k へのルートとして l 方向を使用

する目的地別帰宅行動者数 ($l=1$:北, 2 :西, 3 :南, 4 :東)

c) 道路上帰宅行動者数の決定

以上より、 t 期のメッシュ毎の道路上帰宅行動者数は、方向別帰宅行動者数の和で決定される。

$$P_{i,j}(t) = Pd_{i,j \rightarrow i+1,j-1} + Pd_{i,j \rightarrow i-1,j} + Pd_{i,j \rightarrow i,j+1} + Pd_{i,j \rightarrow i+1,j} \quad [3]$$

$P_{i,j}(t)$: t 期におけるメッシュ別道路上帰宅行動者数

d) メッシュ別滞留密度の算出

メッシュ i,j の滞留密度 ρ を道路上帰宅行動者数と道路面積から算出する。

$$\rho_{i,j} = P_{i,j}(t) / S \quad [4]$$

e) 隣接メッシュとの平均密度の算出

d) で算出したメッシュ別の密度を用いて、隣接メッシュの滞留密度との関係から方向別の滞留密度を算出する。

震災時の徒歩帰宅は火災からの避難のように避難場所への一方方向の移動だけでなく、道路上で両方向の移動、つまり対面通行が生じる。既往研究⁸⁾では、対面通行において群集密度が高くなると「層流化」が起こることが指摘されている。本研究では対面通行においてはすべて層流化が起こるものと仮定する。

対面通行における 1 方向の群集のみの密度の測定は層流の幅を測る必要があるため非常に難しく、両方向の群集を合計した群集密度を用いざるをえない⁸⁾。従って本

研究では、メッシュ i, j と隣接メッシュの密度の平均の値を平均密度とし、メッシュ間の道路の滞留密度として扱うこととした(図4)。例としてメッシュ i, j とメッシュ $i-1, j$ 間の平均密度を示す。

$$\text{メッシュ } i, j \leftrightarrow i-1, j \text{ 間 } \bar{\rho}_{i,j}^{t-1,j} = \frac{\rho_{i,j} P_{i,j}(t) + \rho_{i-1,j} P_{i-1,j}(t)}{P_{i,j}(t) + P_{i-1,j}(t)} \quad [5]$$

$\bar{\rho}_{i,j}^{x,y}$: メッシュ i, j と隣接メッシュ x, y との平均密度

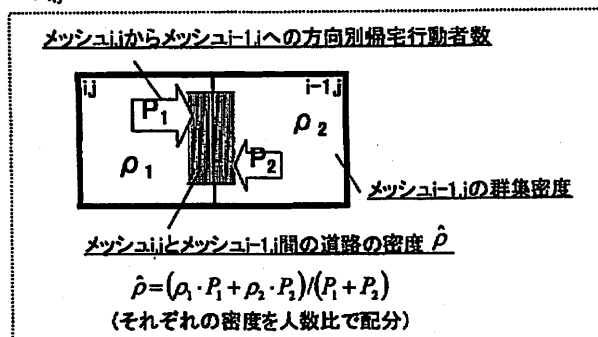


図4 隣接メッシュとの平均密度(模式図)

f) 隣接メッシュ間の歩行幅員の決定

次に道路メッシュ間の歩行幅員を算出する。各方向の道路メッシュ間では、流出する帰宅行動者と流入する帰宅行動者によって対面通行が発生する。対面通行では、群集密度が高くなると比較的明瞭な層流化が起こるが、層流の幅は常に変動しており、優勢な側の群集が幅広く流れること⁹⁾が実験より明らかになっている。よって、方向別の流入および流出幅員は当該メッシュからの流出人数と隣接メッシュからの流入人数の比で決定されるものとし、各方向の流入・流出幅員を決定する。例としてメッシュ i, j → メッシュ $i-1, j$ 間を以下に示す。

$$\text{流出幅員 } d_{i,j \rightarrow i-1,j} = \frac{Pd_{i,j \rightarrow i-1,j}}{Pd_{i,j \rightarrow i-1,j} + Pd_{i-1,j \rightarrow i,j}} d_{i,j}^{t-1,j} \quad [6]$$

$$\text{流入幅員 } d_{i-1,j \rightarrow i,j} = \frac{Pd_{i-1,j \rightarrow i,j}}{Pd_{i,j \rightarrow i-1,j} + Pd_{i-1,j \rightarrow i,j}} d_{i-1,j}^{t-1,j}$$

$d_{i,j}^{x,y}$: メッシュ i, j の x, y 方向の道路幅員

$d_{i,j \rightarrow x,y}$: メッシュ i, j からメッシュ x, y へ流出する側の道路幅員

$d_{x,y \rightarrow i,j}$: メッシュ x, y からメッシュ i, j へ流入する側の道路幅員

g) 流出・流入速度(歩行速度)の決定

群集歩行の速度は密度に依存するため、既往研究⁹⁾から得られた歩行速度と密度の関係を表す密度速度式(式7)を用いて歩行速度を導くことが出来る。

$$\text{歩行速度 } v_{i,j}^{x,y} = f(\bar{\rho}_{i,j}^{x,y}) \quad [7]$$

線形の密度速度式を用いる場合、密度が高くなると速度が0となり、群集移動が停止してしまう。しかし、実際の移動では完全に群集移動が停止することは考えにく

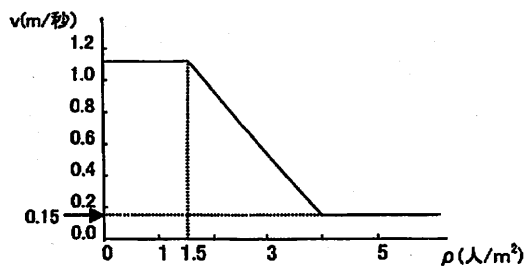


図5 密度と速度の関係(密度速度式)

いため、ある密度以上は一定速度で群集が移動することとし、その最低速度を0.15m/s(9m/分)と設定した(東京都の地震に関する地域危険度測定調査報告書(第4回)⁹⁾の避難危険度を参考とした)。また、滞留(群集)密度が1.5人/m²までは自由歩行とし、その際の速度を「帰宅難民の会」¹⁰⁾の体験(サバイバルワーク)の記録を参考にして1.11m/s(4.0km/h)と設定した。図5および以下に、密度速度式による密度と速度の関係を示す。

$$\text{i) } 0 \leq \bar{\rho}_{i,j}^{x,y} \leq 1.5 \text{ のとき } v = 1.11 \quad [8]$$

$$\text{ii) } 1.5 < \bar{\rho}_{i,j}^{x,y} < 4.0 \text{ のとき } v = 1.686 - 0.384 \bar{\rho}_{i,j}^{x,y} \quad [9]$$

$$\text{iii) } \bar{\rho}_{i,j}^{x,y} \geq 4.0 \text{ のとき } v = 0.15 \quad [10]$$

h) 方向別流入予定人数の決定

次に、メッシュ i, j に各方向から流入したい帰宅行動者数(流入予定人数)を算出する。 t 期における各方向からの流入予定人数は、方向別の平均密度、流入速度、流入道路幅員、単位時間で決定する。ここで、流入予定人数としているのは、メッシュ i, j に流入可能な人数が、流入予定人数と最大滞留可能人数、 $t-1$ 期のメッシュ i, j 内帰宅行動者数との関係によって決定されるからである。つまり、メッシュ i, j の密度によって流入人数が変動する可能性を考慮している。なお、ここでは、メッシュ i, j → メッシュ $i-1, j$ 間を例として以下に示す。

$$Pin_{i,j}^{t-1,j}(t) = v_{i,j}^{t-1,j} \times \bar{\rho}_{i,j}^{t-1,j} \times d_{i,j \rightarrow i-1,j} \times \Delta T \quad [11]$$

$Pin_{i,j}^{x,y}$: メッシュ x, y からメッシュ i, j への流入予定人数

ΔT : 1期の単位時間(=7分;自由歩行で歩いた場合に500mメッシュを1期で通過できる時間)

i) 流入人数の決定

t 期における流入人数を決定する。流入人数は、2段階に分けて計算し決定される。はじめにh)で算出した流入予定人数と流入できる人数(「流入可能人数」とする)との比較で1段階目(フェーズ1)の流入人数を決定する。フェーズ1は、群集移動の大勢を表現するものである。対面通行が起こる状況下では優勢な側の群集が幅広く流れること⁹⁾が実験より明らかになっており、流出と流入の数的バランスが取れない状況下で、メッシュの全移動方向のトータル流入収支を最大滞留可能人数に整合させる点がポイントとなる。次に、フェーズ1で流入できなかった流入予定人数と隣接メッシュへ流出した人数とを各方面ごとに比較して2段階目(フェーズ2)の流入人数を決定する。フェーズ2は、最低限のメッシュ間移動を担保するものである。群集密度が極めて高い状態においても群集はある程度の速度で移動し、m/分のオーダーでは速度がほぼ0まで低下することはないことを表現することがポイントである。以下、フェーズごとに詳細に述べる。

① フェーズ1における流入人数

フェーズ1では、h)で算出した方向別の流入予定人数の合計とメッシュ i, j の流入可能人数とを比較して流入係数 K を設定することによって、フェーズ1における流入人数を決定する。つまりこれは、 $t-1$ 期のメッシュ i, j の空きを上限に流入人数を決定していることとなる(図6)。また、流入可能人数は最大滞留可能人数と $t-1$ 期のメッシュ内帰宅行動者数の差で決定される。

$$\text{流入可能人数 } Pin_{max,i,j}(t) = P_{max,i,j} - P_{i,j}(t-1) \quad [12]$$

フェーズ1における方向別の流入人数

$$\text{メッシュ } i, j-1 \text{ (北方向) から } F_{in,i,j}^{t-1,j-1}(t) = Pin_{i,j}^{t-1,j-1}(t) \times K \quad [13]$$

$$\text{メッシュ } i+1, j \text{ (西方向) から } F_{in,i,j}^{t-1,j+1}(t) = Pin_{i,j}^{t-1,j+1}(t) \times K \quad [14]$$

$$\text{メッシュ } i, j+1 \text{ (南方向) から } F_{in,i,j}^{t-1,j+1}(t) = Pin_{i,j}^{t-1,j+1}(t) \times K \quad [15]$$

メッシュ*i-1, j*(東方向)から $F_{in_{i,j}}^{i-1,j}(t) = Pin_{i,j}^{i-1,j}(t) \times K$ [16]

流入係数 $K = \frac{Pin_{max,i,j}}{\{Pin_{i,j}^{i-1,j}(t) + Pin_{i,j}^{i+1,j}(t) + Pin_{i,j}^{i,j+1}(t) + Pin_{i,j}^{i,j-1}(t)\}}$
(ただし、 $0 \leq K \leq 1$ 、 $K \geq 1$ のとき $K = 1$) [17]

$Pin_{max,i,j}$: 流入可能人数

K : 流入係数

$F_{in_{i,j}}^{x,y}$: フェーズ1のメッシュ*x, y*からメッシュ*i, j*への

方向別流入人数

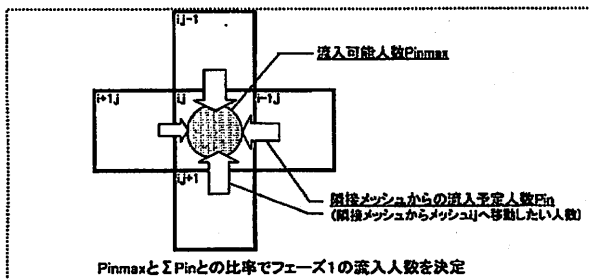


図6 フェーズ1のメッシュ*i, j*への流入人数決定方法

② フェーズ2における流入人数

メッシュ*i, j*では、フェーズ1において隣接メッシュから帰宅行動者が流入するとともに、隣接メッシュへ流出もしている。現実的に考えると、人と人が入れ替わることで、全体としてある程度の移動速度を保つと考えられる。そこでフェーズ2では、メッシュ*i, j*における隣接メッシュへの流出人数を考慮して流入人数を決定する。

フェーズ2における方向別流入予定人数はフェーズ1で流入できなかった人数と言い換えることができる。例としてメッシュ*i, j*-メッシュ*i-1, j*間について示す。

$$Qin_{i,j}^{i-1,j} = Pin_{i,j}^{i-1,j} - F_{in_{i,j}}^{i-1,j} \quad [18]$$

$Qin_{i,j}^{x,y}$: フェーズ2におけるメッシュ*i, j*のメッシュ*x, y*からの方向別流入予定人数

そして、式18によって算出された隣接メッシュからの方向別流入予定人数と、隣接メッシュへの流出予定人数(隣接メッシュにおけるフェーズ2のメッシュ*i, j*からの流入予定人数)とを比較し、少ない方の人数を流入人数とすることによってフェーズ2における流入人数を決定する(図7)。つまり、隣接メッシュ*i-1, j*とメッシュ*i, j*との関係で考えた場合、フェーズ2における方向別流入人数は以下のように表すことができる。

i) $Qin_{i,j}^{i-1,j} > Qin_{i,j}^{i,j-1}$ のとき

$$F_{in_{i,j}}^{i-1,j} = Qin_{i,j}^{i,j-1} \quad [19]$$

ii) $Qin_{i,j}^{i-1,j} \leq Qin_{i,j}^{i,j-1}$ のとき

$$F_{in_{i,j}}^{i-1,j} = Qin_{i,j}^{i-1,j} \quad [20]$$

$F_{in_{i,j}}^{x,y}$: フェーズ2におけるメッシュ*i, j*のメッシュ*x, y*からの方向別流入人数

そして、 t 期におけるメッシュ*i, j*のメッシュ*i-1, j*からの流入人数は、フェーズ1とフェーズ2の流入人数の和で表される。

$$Uin_{i,j}^{i-1,j} = F_{in_{i,j}}^{i-1,j} + F_{in_{i,j}}^{i,j-1} \quad [21]$$

以上より、メッシュ*i, j*の流入人数は、方向別の流入人数の和で表され、以下のようになる。

$$POP_{in,i,j} = Uin_{i,j}^{i-1,j} + Uin_{i,j}^{i+1,j} + Uin_{i,j}^{i,j+1} + Uin_{i,j}^{i,j-1} \quad [22]$$

$Uin_{i,j}^{x,y}$: メッシュ*i, j*のメッシュ*x, y*からの方向別流入人数

$POP_{in,i,j}$: メッシュ*i, j*の流入人数

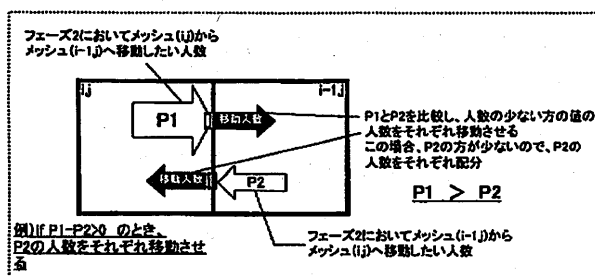


図7 フェーズ2における流入人数の配分方法

j) 目的地別流入人数の決定

i) で方向別の流入人数が算出されたため、次に各方向に含まれる目的地別の流入人数を算出する。目的地別流入人数は、b)の各方向に含まれる目的地別帰宅行動者数の割合で配分することによって決定する。

例として、メッシュ*i-1, j*からメッシュ*i, j*に流入してくる流入人数を目的地別に配分する場合を示すと、メッシュ*i-1, j*の西方向(メッシュ*i, j*方向)への帰宅行動者数 $Pd_{i-1,j \rightarrow i,j}$ で西方向への目的地別帰宅行動者数 $Ph_{k,i-1,j}$ を割った値に、方向別流入人数を乗じることによって求めることができる(式23はメッシュ*i-1, j*からメッシュ*i, j*への目的地別帰宅行動者数の算出式を示している)。

$$Phin_{i,j}^{i-1,j}(t) = \frac{Ph_{k,i-1,j}^2(t)}{Pd_{i-1,j \rightarrow i,j}(t)} Pin_{i,j}^{i-1,j}(t) \quad [23]$$

$Phin_{i,j}^{x,y}$: メッシュ*x, y*からメッシュ*i, j*に流入する目的地への流入人数

k) 流出人数の決定

メッシュ*i, j*からの流出人数は、隣接メッシュにおけるメッシュ*i, j*からの流入人数と言い換えることができる。よって、メッシュ*i, j*の流出人数を以下のように表すことができる。なおここでは、メッシュ*i, j*-メッシュ*i-1, j*間について代表として示す。

$$Uout_{i,j}^{i-1,j}(t) = Uin_{i,j}^{i-1,j}(t) \quad [24]$$

$$POP_{out,i,j} = Uout_{i,j}^{i-1,j}(t) + Uout_{i,j}^{i+1,j}(t) + Uout_{i,j}^{i,j+1}(t) + Uout_{i,j}^{i,j-1}(t) \quad [25]$$

$Uout_{i,j}^{x,y}$: メッシュ*i, j*からメッシュ*x, y*への方向別流出人数

$POP_{out,i,j}(t)$: t 期におけるメッシュ*i, j*からの流出人数

l) 目的地別流出人数の算出

k)で算出した方向別流出人数をメッシュ*i, j*の各方向に含まれる目的地別帰宅行動者数の比率で配分することによって目的地別流出人数をする(式26はメッシュ*i, j*-メッシュ*i-1, j*間について示している)。

$$Phout_{i,j}^{i-1,j}(t) = \frac{Ph_{k,i,j}^4}{Pd_{i,j \rightarrow i-1,j}} Uout_{i,j}^{i-1,j}(t) \quad [26]$$

$Phout_{i,j}^{x,y}$: メッシュ*i, j*からメッシュ*x, y*への目的地*k*への流出人数

m) t 期における道路上帰宅行動者数の決定

以上より算出された流入人数と流出人数から、 t 期における道路上帰宅行動者数を以下の式から決定する。

$$P_{i,j}(t) = P_{i,j}(t-1) + POP_{in,i,j}(t) - POP_{out,i,j}(t) \quad [27]$$

$P_{i,j}(t)$: t 期におけるメッシュ内 帰宅行動者数

以上が1期における徒歩帰宅シミュレーションプログラムの計算手順となる。これを徒歩帰宅者が帰宅を完了するまで繰り返すことによって、シミュレーションを実

施する。

(6) シミュレーション結果の出力

シミュレーションにおいて 1 期毎に出力されるアウトプットは、以下の 3 点である。

- ・目的地別帰宅完了者数
目的地別の帰宅予想時間を明らかにするために、各期に目的地に到着した徒歩帰宅者の到着人数を出力する。
- ・道路上帰宅行動者数
各期に道路上に何人の帰宅行動者が存在するかを明らかにするために、道路上帰宅行動者数を出力する。
- ・道路上滞留密度
帰宅経路の混雑地点を明らかにするために、道路上滞留密度を出力する。

5. 鉄道等の交通機関が停止した場合を想定した徒歩帰宅者の帰宅予想時間・混雑状況の把握

(1) 想定ケースの概要

前章で構築した徒歩帰宅シミュレーションモデルを用いて、鉄道等の交通機関が停止した場合を想定したシミュレーション実験を行う。本章では表 2 に示す 3 ケースについて政策実験を実施した。

また、徒歩帰宅者の帰宅開始パターンは、過去の災害事例などを参考にすることができないため、発災直後からすべての帰宅者が一斉に帰宅を開始するものとした。

表 2 政策実験実施ケース

	想定ケース
ケース①	交通規制が実施された場合
ケース②	交通規制が実施されなかった場合
ケース③	都心部のみ交通規制が実施された場合

(2) 交通規制が実施された場合の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握 (ケース①)

a) 想定ケースの説明

東京都内では、東京都地域防災計画⁶⁾に基づき発災直後から交通規制が実施され、国道 16 号線以西から都心方向への車両は進入禁止となり、また、多摩川、国道 246 号線、環状 7 号線を結ぶ内側の区域は全面車両通行禁止となる。さらに緊急交通路は、通行禁止区域外であっても全車両通行禁止とし、緊急車両の通行や避難等のために、車道は上下 1 車線を確保することとされている。

以上を踏まえ、ケース①では、発災直後から交通規制が実施され、車道のうち上下 1 車線が緊急車両の通行のために確保されたことを想定し、徒歩帰宅者が道路の上下 1 車線以外の部分を通行して帰宅した場合における帰宅行動をシミュレーションすることとする。

b) 道路幅員の設定

4. (2) で作成した道路幅員データから、交通規制による上下 1 車線分の道路幅員を減じることで、交通規制における道路状況を設定する。道路 1 車線の幅員は、道路構造令¹¹⁾に基づいて設定した。道路構造令の区分において、1 車線の幅員を 3.25m とし、上下車線で合わせて、6.5m を交通規制によって徒歩帰宅者は通行不可とする。

c) 徒歩帰宅者の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握

シミュレーションを実施の結果、東京都内にいる約 620 万人の帰宅者が、各居住地 (目的地) に帰宅していく様子を時間毎に把握することが出来た。上下 1 車線以外の道路を使用した場合では、帰宅経路上では目立った混雑は発生しないことが明らかとなった。また、都心か

らの帰宅者の多い周辺区部についてはおおそ 7 時間程度で帰宅が完了することが明らかとなった。例として図 8 に「杉並 2」ゾーンへの帰宅者の目的地到着分布を示す。

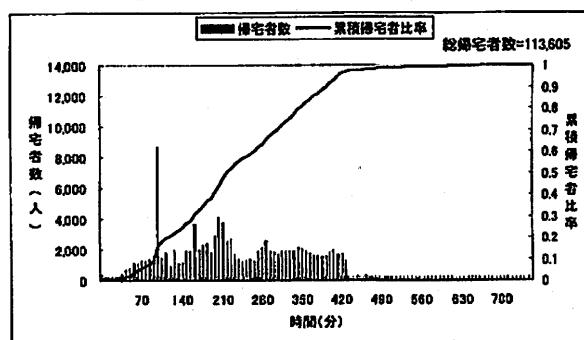


図 8 「杉並 2」への帰宅者の到着分布 (ケース①)

(3) 交通規制が実施されなかった場合の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握 (ケース②)

a) 想定ケースの説明

大量の車両が通行している都心部において、震災直後の混乱期に交通規制が厳格に実施可能であるとはいいたいが現実であろう。ケース②では、そのような状況を想定したケースで、発災直後の混乱などにより車道は緊急車両や一般車両に使用され、徒歩帰宅者が歩道のみを使用して帰宅した場合の帰宅予想時間、混雑状況を把握する。

b) 道路幅員の設定

本ケースでは、歩道のみを使用して帰宅するため、前章で作成した道路幅員データを歩道の幅員に変更する。道路構造令¹¹⁾では歩道の幅員を、「歩行者の交通量が多い道路にあつては三・五メートル以上、その他の道路にあつては二メートル以上とするものとする」としている。よって、歩行者の交通量が多い都心部の道路幅員が片側 3.5m となるよう、道路幅員 25m を基準に歩道幅員を設定した。つまり、道路幅員が 25m 以上の道路は歩道の幅員は 3.5m、25m 未満の道路は 2.0m として設定した。

c) ケース②における帰宅予想時間・混雑発生状況の把握

ケース②では、環状 7 号線の内側の都心部において長時間にわたり混雑が発生することが確認された。図 9 に発災 4 時間後の混雑発生状況を示す。

特に混雑が発生しているのは、千代田区の東京駅周辺から中央区銀座周辺、新宿区の新宿駅周辺の甲州街道、青梅街道、港区から品川区へ通じる国道 15 号である。これらの地点における混雑は、発災後約 2 時間で発生しその後 10 時間以上わたって断続的に混雑が続いていることが明らかとなった。千代田区、港区、新宿区における混雑は、3 区内にいる 150 万人以上の人々が路上に出てきたことによって発生し、歩道という限られた幅員で、都西部への帰宅者と都東部への帰宅者とで対面通行により移動が制限されたため発生したものと考えられる。

図 10、図 11 に例として港区国道 15 号における混雑と、国道 15 号を通過して都外へ帰宅する帰宅者の国道 15 号の都県境地点 (六郷橋) への到着分布を示す。これによると港区における混雑が原因で、都境まで到着するのに丸 1 日以上を要することが分かる。また、ケース①同様、「杉並 2」への帰宅者の到着分布を図 12 に示す。

他の目的地においても、これら都心部における混雑が原因となって、すべての帰宅者が帰宅を完了するまでに 24 時間以上を要することが明らかとなり、発災後の混乱発生時に歩道のみを使用して帰宅することは、大幅な帰宅遅延を招き実質的に不可能であることが示唆された。

(4) 都心部のみ交通規制が実施された場合の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握 (ケース③)

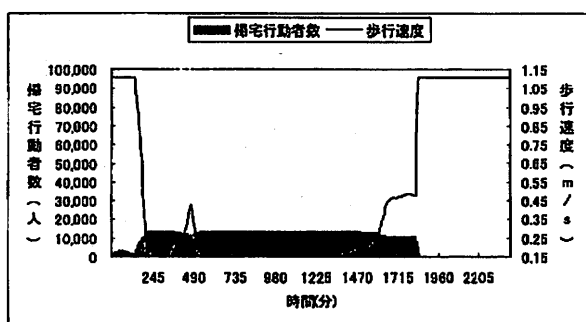


図 10 国道 15 号の港区における混雑状況 (ケース②)

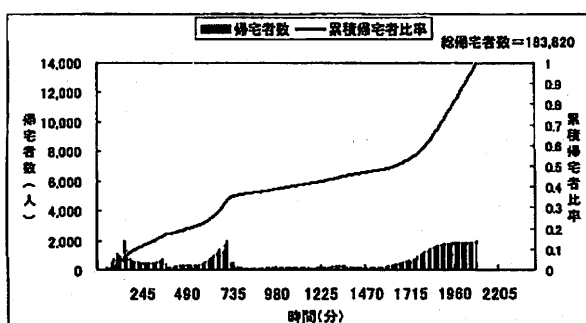


図 11 国道 15 号の都境 (六郷橋) における徒歩帰宅者の到着分布 (ケース②)

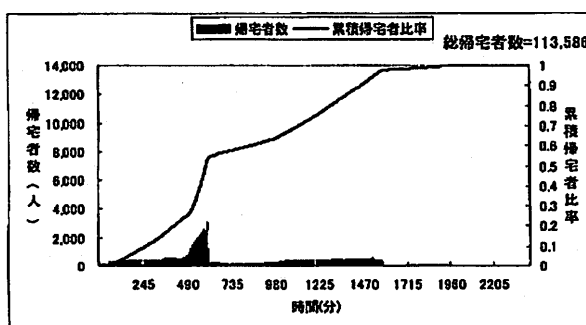


図 12 「杉並 2」への帰宅者の到着分布 (ケース②)

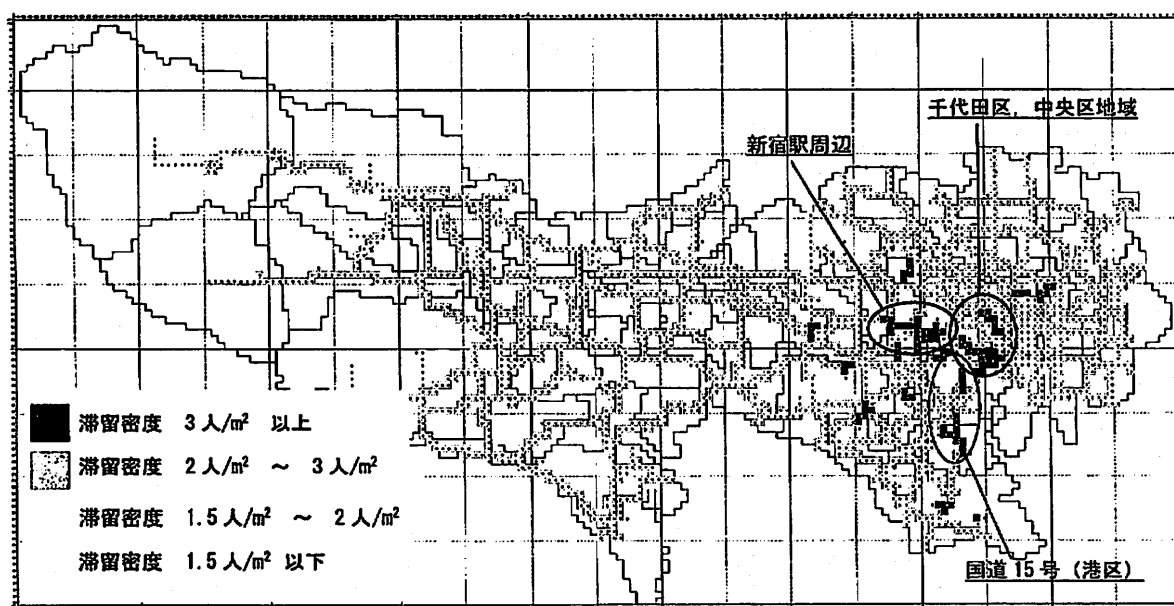


図 9 発災 4 時間後の道路混雑発生状況 (ケース②)

a) 想定ケースの説明

ケース②の結果をふまえケース③では、政策実験として都心部における混雑を抑制し、円滑な帰宅を実現するために都心部の通行禁止区域において交通規制が実施された場合を想定したシミュレーションを実施した。

b) ケース③における帰宅予想時間・混雑発生状況の把握

図 13 にケース③における発災 4 時間後の道路混雑発生状況を、図 14、図 15 にケース②同様国道 15 号の港区における混雑と都県境への到着分布を示す。これらによるとケース③では、都心部において交通規制が実施されることによって、ケース②のような都心部における混雑が大幅に緩和され、帰宅時間が大幅に短縮されていることが分かる。これは、他地域においても同様の結果が明らかとなっている (図 16)。このことより都心部において厳格に交通規制を実施することは、混雑緩和につながり、帰宅時間が短縮されることが明らかとなった。しかし、通行禁止区域の境界である環状 7 号線と放射状道路との交差点部分で混雑が発生することも明らかとなった。

(5) 本章のまとめ

- ・交通規制が実施されず歩道のみを使用して一斉に帰宅を開始する場合では、都心部における混雑によって大幅な帰宅遅延を招き、実質的に不可能であることが明らかとなった。また、歩道で大混雑が発生した場合、車道に人々があふれてくることも考えられ、緊急車両の通行の妨げになる可能性も指摘できる。
- ・周辺地域の道路で混雑が発生していなくても、千代田区、新宿区、中央区などの都心部での混雑が周辺地域すべての帰宅者の帰宅時間に大きく影響を与えていることが明らかとなった。そのため、都心部において厳格に交通規制を実施することは、混雑緩和、帰宅時間短縮に有効である。
- ・ただし、都心部の混雑が緩和される一方で、通行禁止区域の境界において混雑が発生することとなり、迂回路に指定されている環状 7 号線や緊急交通路である放射状道路の緊急車両の通行の妨げになる可能性が指摘できる。そのため、環状 7 号線内側の交通規制のほかにも都心部の混雑を緩和する対策を併用して講じる必要があると考えられる。

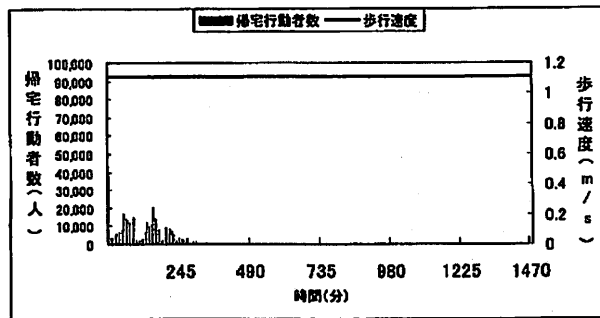


図 14 港区における国道 15 号の混雑状況(ケース③)

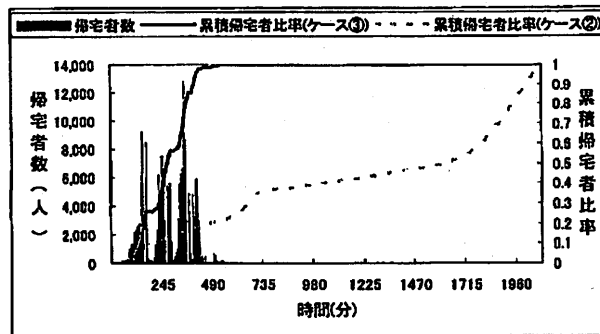


図 15 国道 15 号の都境(六郷橋)における徒歩帰宅者の到着分布(ケース③)

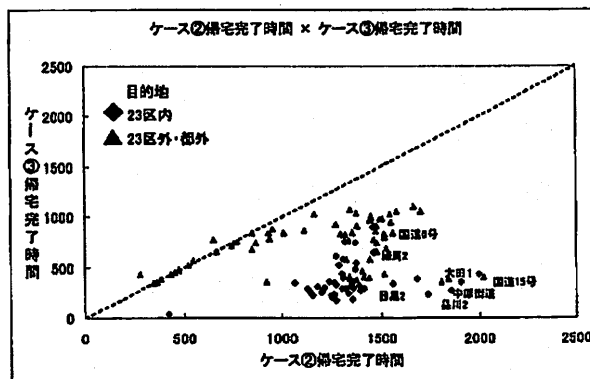


図 16 ケース②とケース③の帰宅完了時間の比較

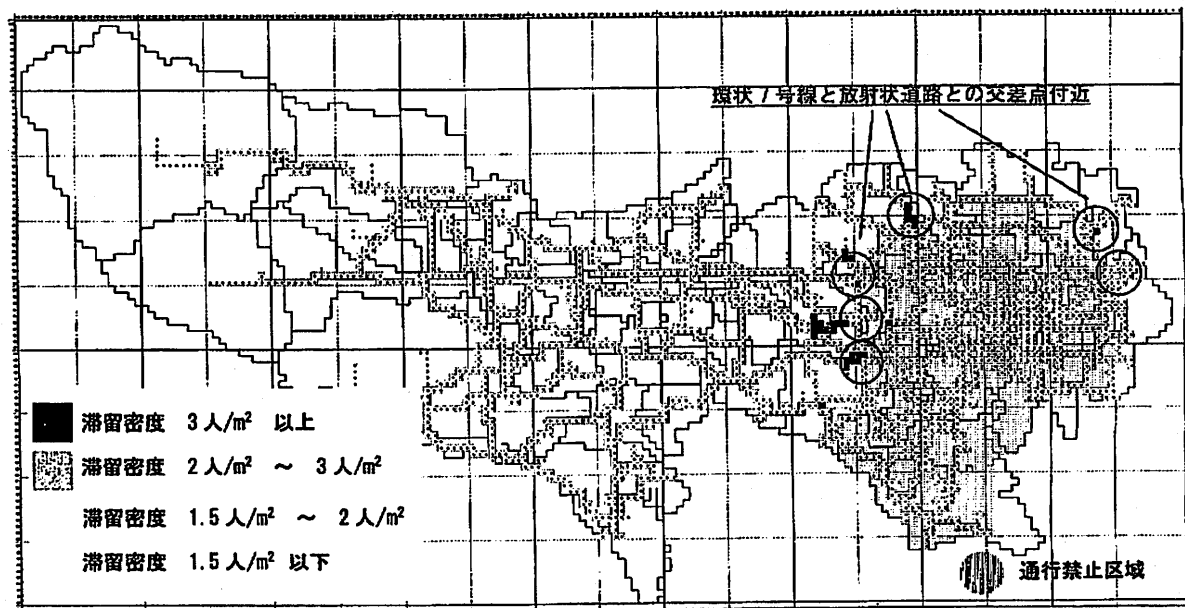


図 13 発災 4 時間後の道路混雑状況(ケース③)

6. 23 区外の鉄道が運行を再開した場合を想定した徒歩帰宅者の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握

(1) 想定ケースの概要

1995 年に発生した兵庫県南部地震の際には、発災翌日には被害の少なかった多くの鉄道が運行を再開した。そこで本章では、23 区外で鉄道の運行が発災後早期に再開した場合を想定し、23 区内から 23 区外へ帰宅する帰宅者の帰宅予想時間、道路混雑の変化を明らかにする。表 3 に本章で実施する政策実験の想定ケースを示す。

表 3 政策実験実施ケース

	想定ケース	
	鉄道運行再開時刻	交通規制の実施の有無
ケース④	発災数時間後	実施
ケース⑤	発災数時間後	実施されず
ケース⑥	発災 24 時間後	実施
ケース⑦	発災 24 時間後	実施されず

(2) 発災数時間後に 23 区外の鉄道が運行を再開した場合の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握(ケース④、ケース⑤)

a) 想定ケースの説明

発災数時間後に 23 区外の鉄道が運行を再開した場合を想定し、23 区内から 23 区内、および 23 区外へ帰宅する帰宅者が一斉に帰宅を開始した場合の帰宅予想時間、混雑状況について把握する。なお、23 区外から帰宅する帰宅者については、鉄道運行により徒歩による帰宅は必要ないものとして対象から除外する。ただしその際、23 区外の多摩地域(例えば三鷹市や国分寺市)から 23 区を通過して千葉県や茨城県へ帰宅する約 21,000 人も除外することになってしまうが、これについては帰宅者数の 1%に満たない程度であるため結果にそれほど影響のないものと考えられる。よってケース④、⑤における 23 区内からの帰宅者数は 5,561,743 人となる。

b) 鉄道運行再開駅の設定

23 区外における鉄道の運行再開は、23 区外への帰宅者が 23 区境まで帰宅すれば良いと読み替えることが出来る。よって、23 区外への帰宅者の目的地を 23 区境の駅(シミュレーション上は駅のあるゾーンを目的地とし

て設定)に設定することで鉄道再開を表現した。

c) ケース④・ケース⑤における徒歩帰宅者の帰宅予想時間・混雑状況の把握

発災数時間後に鉄道が運行再開し、交通規制が実施された場合(ケース④)では、帰宅経路上に目立った混雑は発生しない結果となり、長距離を帰宅する帰宅者の帰宅時間の短縮にある程度効果があることが明らかとなった。ただし、本ケースでは、目立った混雑が発生していないことにより、元の目的地と運行を再開した路線の駅との距離によって帰宅時間短縮が決定されているため、この状況に混雑が加わるとまったく別の事態になりうるということが考えられる。

一方、交通規制が実施されず歩道のみで帰宅をする場合(ケース⑤)、前章の歩道のみで帰宅した場合同様、都心部において混雑が発生し、その結果帰宅時間が大きく遅延することが明らかとなった。図 17 にケース④との帰宅完了時間の差を示す。図 17 によるとケース⑤はケース④に比べ帰宅に大幅に時間を要していることが分かり、鉄道の運行再開自体には混雑緩和効果がないことが明らかとなった。つまり鉄道が運行を再開した場合でも、帰宅者が歩道のみを使用して一斉に帰宅を開始した場合は、実質的に帰宅が不可能であることが言える。

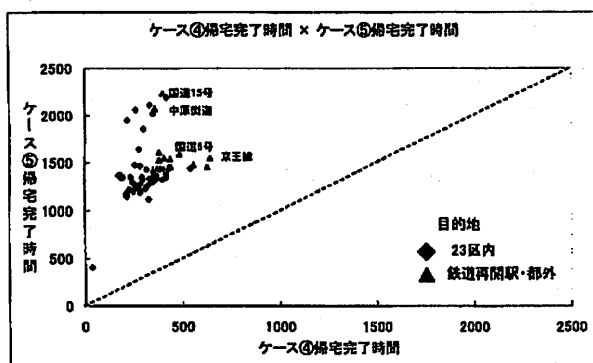


図 17 ケース④とケース⑤との帰宅完了時間の比較

(3) 発災 24 時間後に 23 区外の鉄道が運行を再開した場合の帰宅予想時間・混雑発生状況の把握 (ケース⑥、ケース⑦)

a) 想定ケースの説明

発災 24 時間後に 23 区外の鉄道が運行を再開したことを想定したケースである。そして、23 区内から 23 区内の居住地へ帰宅する帰宅者(約 250 万人)については発災 24 時間の間に全て帰宅が完了するものとし、23 区内から 23 区外(多摩地域・都外)へ帰宅する帰宅者のみ(約 270 万人)を対象とする。つまり、23 区内への帰宅者と 23 区外への帰宅者との帰宅開始時刻に時差を与えた場合を想定したケースであり、その際、交通規制が実施された場合をケース⑥、実施されなかった場合をケース⑦として政策実験を実施した。

b) 実験結果と考察

交通規制が実施された場合(ケース⑥)は、帰宅経路上で混雑は発生せず、全ての帰宅者が帰宅開始 5 時間から 8 時間で運行を再開した駅や都県境に到着しているため、ここでは交通規制が実施されなかった場合(ケース⑦)について考察を行うこととする。

ケース⑦では、時差帰宅を実施した場合でもやはりケース②・ケース⑤同様、都心部において混雑が発生する様子が確認された。ただし本ケースにおける混雑状況は、混雑の発生時間が、歩道のみで帰宅した他のケースと比較して大幅に短縮されることが明らかとなった(例とし

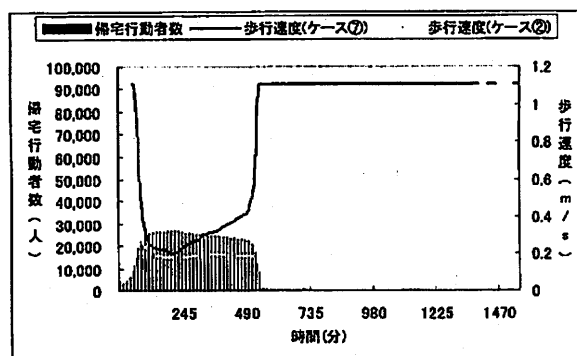


図 18 新宿駅周辺の混雑状況の比較(ケース⑦×ケース②)

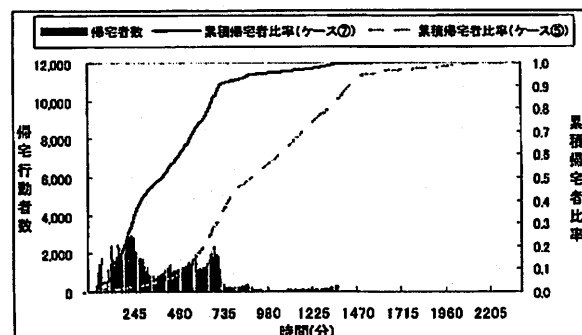


図 19 中央本線再開駅(三鷹)への帰宅者の到着分布

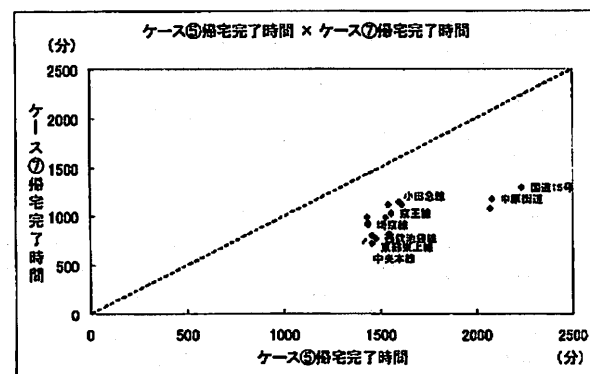


図 20 ケース⑦とケース⑤との帰宅完了時間の差

て図 18 に新宿駅周辺の混雑状況をケース⑤と比較して示す)。

さらにこの都心部における混雑の緩和によって、帰宅者の帰宅時間も大幅に短縮されることが明らかとなった。図 19 に中央本線の運行再開駅(三鷹)への帰宅者の到着分布を示す。これによると一斉に帰宅した場合(ケース⑤)に比べると 10 時間以上短縮されていることが分かる。これは、帰宅開始時刻に時差を与えることによって、新宿駅周辺の混雑が緩和されたことによるものであると推測される。この結果は、他の目的地においても同様で(図 20)、時差帰宅をすることによって帰宅経路上の混雑緩和および帰宅時間の短縮につながる事が明らかとなった。

(4) 本章のまとめ

- ・鉄道の運行再開は、混雑緩和という点においてはそれほど有効な施策ではないと思われる。ただし帰宅時間の短縮という点においてはある程度有効な施策であると言える。
- ・帰宅経路の道路混雑は、徒歩帰宅者の帰宅開始パター

ンに大きく影響を受けることが明らかとなった。

- ・鉄道運行が発災 24 時間後で再開され、徒歩帰宅者を時差帰宅させた場合、都心部の混雑が緩和され、さらに帰宅時間も大幅に短縮されることが明らかとなった。また、時差帰宅を行った場合は、歩道のみでの使用でも帰宅できる可能性が示唆された。ただし、それでもやはり帰宅には長時間を要するため、帰宅経路の沿道における支援の充実が必要である。

7. 本研究の結論と今後の課題

(1) 本研究の結論

a) 徒歩帰宅シミュレーションモデルの構築

徒歩帰宅者の帰宅経路を 500m×500m のメッシュで表現し、密度速度式を用いることによって、徒歩帰宅者の帰宅状況および経路上の混雑を、マクロ的かつ時間的に把握することのできるモデルを構築した。このような帰宅困難者の大域的定量的把握を目的としたモデル化はこれまでに例がなく、本研究における大きな独自性と言える。本研究で構築したモデルの特徴を以下にまとめる。

- ① 基本的な行動規範は「ある災害・被害などの局所空間的事象から遠ざかる」ことではなく「現在地から自宅へ向かう」ことであること
- ② 広域避難よりもさらに広域の、都道府県単位のレベルの空間を扱っていること
- ③ 被害発生による経路選定等の挙動変化を表現するのではなく、より巨視的な「大域的な量的把握」を目指していること
- ④ 多方向（本モデルでは 4 方向）の流動、および、対面通行を考慮したメッシュモデルであること

本研究のモデルの妥当性については、先の理由より他モデルとの比較により論ずることは出来ないが、モデル構築の際に実災害事例や既往研究からパラメータを詳細に設定しており、概ね妥当であると判断される。

b) 震災時における徒歩帰宅者の帰宅予想時間・混雑状況の把握と混雑緩和策の検討

震災時において徒歩帰宅者の帰宅経路上で発生する混雑は、多数の通勤通学者・一時的来訪者が滞在している都心部で特に問題となり、混乱した状態の中では徒歩で帰宅することが不可能な状態に陥る可能性が示された。

しかし同時に、交通規制により、そのような事態の緩和が可能であることも示された。発災後迅速かつ厳格な交通規制の実施が、混雑緩和策の重要な柱になると言えよう。加えて、交通規制をより効果的に実施するためには、周辺住民に規制を周知徹底することが必要となろう。

(2) 今後の課題

本研究における今後の課題を以下に示す。

a) 徒歩帰宅者の帰宅開始パターンに着目した詳細な分析の実施

本研究では、帰宅開始パターンを基本的に一斉帰宅としたが、震災時における徒歩帰宅者の混雑は帰宅者の帰宅開始パターンに大きく依存すると考えられるため、今後はアンケートやヒアリングなどの調査を基に、帰宅開始パターンに対して現実的に即した分布を与えることが必要である。これにより、様々な帰宅開始パターンを想定して政策実験を実施することができ、より多様な混雑緩和策を提案することが可能となると考える。

現在の徒歩帰宅者対策は、水・食料等の支援などに重きを置いている。今後はこれらに加え、発災後、一斉に

帰宅させずに段階的に帰宅させるための対策を進めることが重要であると考えられる。例えば、千代田区が区内の大学と協力して帰宅困難者の受け入れを検討し始めたこと（2004 年 1 月 14 日に明治大学と基本協定を締結）は、今後の展開が非常に注目される事例であり、今後他地域においてもこのような対策の検討が進められるべきであろう。

b) 周辺県から都内（外内）への帰宅者の考慮

本研究では、使用したデータの制約上、対象地域の内外および内外の移動のみを対象とせざるを得なかったが、今後、より広範囲の詳細なデータを用いることにより、内外の移動を考慮し、より正確な混雑を把握することが必要である。

c) 徒歩帰宅者の基本属性の加味

今後は、性別、年齢、来訪目的等の属性を加味することによって、属性に着目した政策実験を実施することが必要と考える。

d) 経路選択方法の具体化

本研究では、帰宅者の経路選択を距離最短によって決定しているが、これは完全情報を仮定しているものである。しかし、震災時に限らずすべての徒歩帰宅者が帰宅経路に関して完全情報を持っていることは考えにくく、今後はある不完全情報下での経路変更の加味や誘導による経路変更などを考慮する必要があると考える。

このうち c), d) については、メッシュモデルでの表現は難しく、本研究では採用しなかったエージェントモデルやネットワークモデルがより適している課題である。帰宅困難者の時系列の動態、混雑状況の把握に関する研究は未だ黎明期であり、今後、様々なモデルでより多角的な検討を行ってゆく必要があると考える。

なお、本稿は、筆頭著者の学位（修士）論文を基に加筆修正したものであり、現職とは無関係である。

参考文献

- 1) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，1997
- 2) 中島康二郎・熊谷良雄：都心繁華街を対象とした震災疑似体験システムの構築と被災者行動に関する実験的研究，地域安全学会論文集 No. 5, 2003
- 3) 丹原崇宏・熊谷良雄：大規模震災時における都心部の一時的来訪者の行動要因に関する研究～東京都銀座地区の家族来訪者を対象として～，地域安全学会梗概集 No. 12, 2002
- 4) 東京都：昼間都民対策推進計画，2002/11/20
http://www.metro.tokyo.jp/SAIGAI/SAITAI/c_tomin.htm
- 5) 東京都：東京都地域防災計画震災編(H15 年度修正)，2003
- 6) 東京消防庁：東京都の市街地状況調査(第 6 回)，2000
- 7) 東京都都市計画局：東京都都市計画概要，2000
- 8) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻正矩：建築と都市の人間工学 空間と行動のしくみ，鹿島出版会，1977
- 9) 東京都都市計画局：地震に関する地域危険度測定調査報告書(第 4 回)，1998
- 10) 帰宅難民の会：帰宅難民の会 H.P.，2003/09/30
<http://homepage2.nifty.com/kikikan/crisis1.htm>
- 11) 総務省行政管理局：法令データ提供システム，2003/12/20
<http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>
- 12) 熊谷良雄：避難モデル論，都市計画，89，日本都市計画学会（1976）

(原稿受付 2004. 5. 21)