

中央防災会議
「首都直下地震避難対策等専門調査会」
(第10回)

帰宅行動シミュレーション手法について
(案)

平成20年2月5日
内閣府（防災担当）

目次

1 シミュレーションの目的	1
2 シミュレーションの前提	1
(1) シミュレーションの対象とする人の属性	1
(2) 対象とする道路ネットワーク	1
(3) 帰宅行動の起点・終点	3
3 シミュレーション手法の概要	4
(1) 徒歩帰宅ルート	4
(2) 計算単位とするグループの設定	4
(3) 歩行速度の設定	5
(4) シミュレーションの基本時間間隔	6
(5) ランダム効用モデル（多項ロジットモデル）に基づく行動の設定	6
(6) 歩行空間の設定	11
(7) 交差点での迂回路選択について	13
(8) 倒壊建物の設定	16
(9) 延焼火災の影響	17
(10) ボトルネック部通行不能時	18
(11) 帰宅開始の設定	19
(12) 帰宅分散ケースの設定	21
4 シミュレーションモデルの限界について	24
(1) 歩行速度の正確性に関する限界	24
(2) 帰宅時の利用道路の設定に関する限界	26
(3) 行動時間の設定に関する限界	26
(4) 延焼火災の取り扱いに関する限界	27
(5) アンケート調査で表明された「自己認識」に基づく行動と、実際の行動とのかい離に伴う限界	28
(6) 情報の不均一性等に伴う限界	29

1 シミュレーションの目的

大規模地震が発生した場合、公共交通機関等がストップし、外出中の人々は徒歩帰宅を余儀なくされる。このような人々の行動について、シミュレーションを行う。

シミュレーションでは、「滞在する」、「帰宅する」、「避難所等で休憩する」等の各行動に関する効用関数を求め、より高い期待効用をもたらす行動を選択するという考え方をベースとした行動選択の基本モデル（ランダム効用モデル）を用いた。このモデルでは、天候や混雑状況等の諸条件も踏まえて効用関数が変化するものとした。また、帰宅困難者の移動に関しては、道路幅員等道路属性を考慮した道路ネットワークモデルを用いた。

これにより膨大な数の発生が予想される帰宅困難者等の動向を明らかにするとともに、次のような事象を把握する。

- ・道路の混雑状況はどうか。特にどの時間帯・どの道路で激しい混雑が発生するか。
- ・どの地域をどのくらいの徒歩帰宅者が通過するのか。
- ・徒歩帰宅者は帰宅までにどのくらい時間を要するのか。
- ・外出先に留まる人はどのくらいか。 等

2 シミュレーションの前提

(1) シミュレーションの対象とする人の属性

- ・一般業務従事者
- ・買い物客等
- ・学生
- ・防災担当業務従事者

(2) 対象とする道路ネットワーク

基本的に一般国道と主要地方道（都県道・指定市市道）および一般都道府県道とし、主要河川の橋梁については道路種別に関係なく全て含める。道路の一部区間がこの基準の範囲に含まれていない場合には、その区間も含める道路を補完し加えた。さらに、第7回専門調査会時点のシミュレーション（迂回基本ケース）で最も混雑していた時間帯（14時）の結果において、混雑（歩行速度4 km/h未満）が認められる区間（東京都23区およびその周辺）に並行している道路、または、バイパスとなる道路のうち幅員が2車線以上あり一定の連続性を有している道路も含める。



図 対象とする道路ネットワーク

ここで、徒歩帰宅者の行動のシミュレーションを行うにあたっては、これらの道路ネットワークのほか、パーソントリップが重要なデータとなる。パーソントリップ調査とは、東京都市圏交通計画協議会による、一定の調査対象地域内における「人の動き」（パーソントリップ）を調べた調査である。交通の根源は「人の動き」にある点に着目し、交通の起点（出発地：Origin）及び終点（到着地：Destination）、交通目的、利用交通手段などを「人の動き」を通して明らかにしている。



(3) 帰宅行動の起点・終点

各帰宅者の帰宅行動の起点、終点の設定は、下表の通りとする。

表 帰宅行動の起点・終点

	説明
起点	帰宅行動のスタート地点は 1kmメッシュの中心とする。ただし、各地点における滞在者の数は、平成 10 年の東京都市圏パーソントリップ調査における計画基本ゾーン*の人口を地域メッシュ統計における昼間人口†に応じてゾーン内 1kmメッシュに配分したものとする。
終点	帰宅行動のゴール地点は、居住ゾーン（計画基本ゾーン）の重心に位置するメッシュの中心とする。なお、起点が含まれる計画基本ゾーンから終点が含まれる計画基本ゾーンの間での通勤・通学者等の数についても同じパーソントリップ調査の結果を用いる。

* パーソントリップ調査で設定されているゾーンであり、基本的に市や区がさらに複数に分割されており、単位としては、市や区より細かい。ただし、人口が多くない地域では、複数の町村が一つのゾーンを形成している場合もある。

† 国勢調査における非労働力人口、完全失業者及び農林水産業就業者等に、事業所・企業統計調査における第二次・第三次産業従業者数及び生徒・学生数を加えることで計算されている。

3 シミュレーション手法の概要

(1) 徒歩帰宅ルート

基本的に最短距離ルートをとる。ただし、混雑状況等に応じて、後に示す迂回路選択モデルにより経路選択の変更を行う場合があるものとする。

(2) 計算単位とするグループの設定

帰宅者一人一人の動きを個別に計算することは、計算機等の制約上現実的でない。このため、起終点が共に同じメッシュの人を、1グループの人数が最大で100人以下になるように分割し、グループ単位で同一の行動を取るモデルとする。

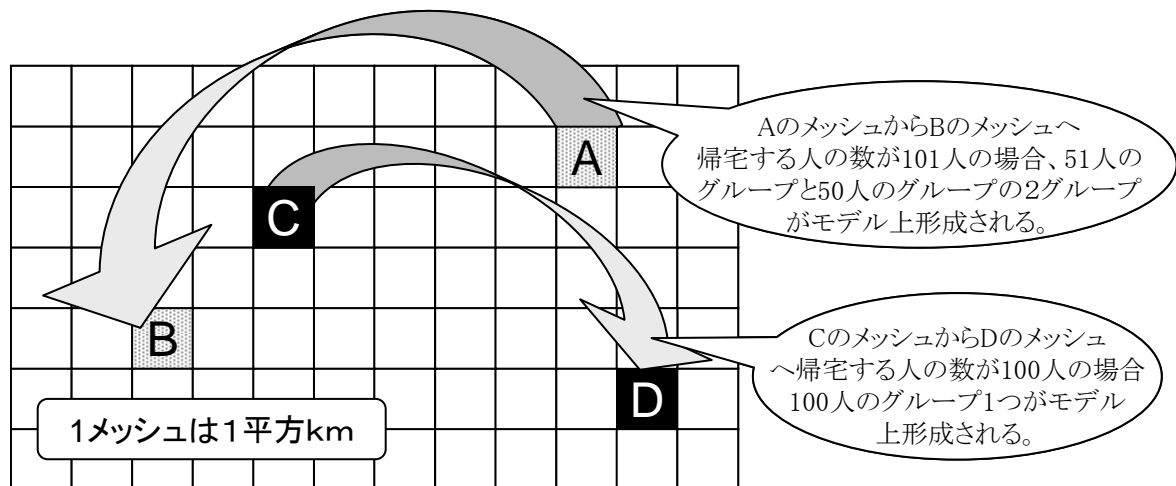


図 計算単位とするグループの設定イメージ

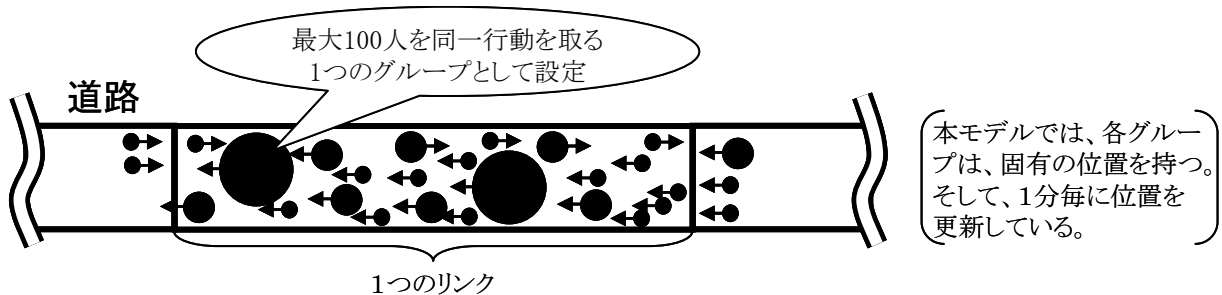


図 グループ毎の行動のイメージ

さらに、このモデルを単純に適用した場合にはデータの配列の容量が計算機で扱える量の上限に達したことから、1グループの人数が最大で50人以下になるように一端グループ化した上で、各グループについて、5割の確率で計算対象から外す処理を施し、計算対象として残ったグループの人数を2倍してデータをセットするという近似処理を行っている。このような処理の適用に伴う誤差

については、複数の乱数シードでの計算を行い、その平均を求めることにより対応した。

(3) 歩行速度の設定

歩行速度は道路の混雑状況によって異なるものとする。

表 歩行速度の基本設定

混雑度 (人/m ²) d	1.5 未満	1.5~6	6 以上
歩行速度 (m/時) v	4,000	直線的に速度が減少 ($-800 \times d + 5,200$)	$400 \times 6 / d$

・混雑度 1.5 人/m²未満の場合

混雑度が 1.5 人/m²以下の場合、一般に自由歩行が可能[‡]とされていることから、歩行速度は時速 4,000mとしている。

・混雑度 1.5 人/m²以上 6 人/m²未満の場合

この間の混雑度と歩行速度の関係については様々な関係式が提案されているもの、ここでは大都市大震災軽減化特別プロジェクト（文部科学省）「帰宅困難者の行動と対策に関する調査研究」にならって、混雑度の増加に伴い速度が時速 4,000mから時速 400mに直線的に低下することとした。

・混雑度 6 人/m²以上の場合

混雑度が 6 人/m²前後になると、移動可能な混雑度としては限界に達し*、それ以上混雑度が高まるよりも渋滞長が長くなっていく傾向になるものと思われる。

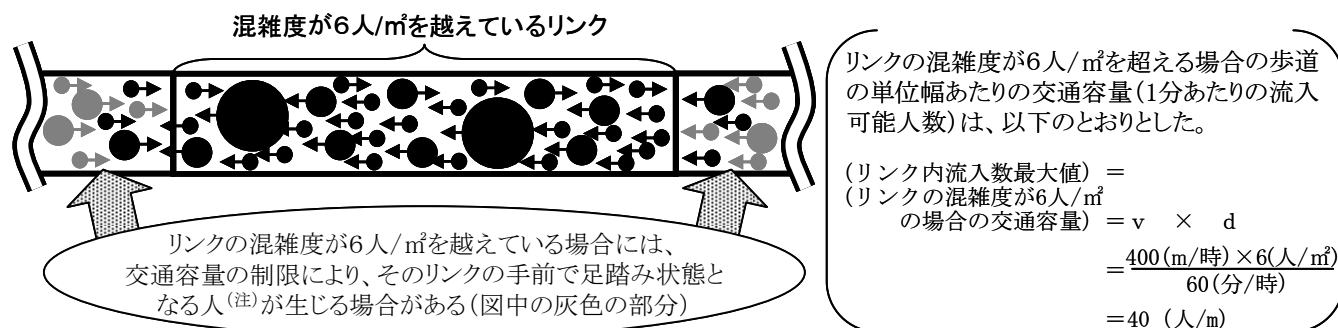
このため、混雑度が 6 人/m²以上になった場合にそのリンクへは他からそれ以上人が入れないという論理を適用することを検討したが、同じ道路上に両方向から群集が集まった場合、ラグビーのスクラムを組んだような状態となって、両者の動きがその道路上で完全にストップしてしまうといった問題がシミュレーション上生じることが確認された。

一方、混雑度が 6 人/m²以上になったリンクへの流入制限を加えない場合には、混雑度が極度に大きくなる場合があることが確認された。

そこで、単位時間あたりに流入する人の数（交通容量）に一定の上限があることを仮定したモデルとした。すなわち、下図に示すように、混雑度が 6 人/m²以上のリンクへは、混雑度 6 人/m²の場合の交通容量相当の人数しか単位時間内に流入できないものとした。また、交通容量が一定となる速度式にす

*「火災便覧第3版」（共立出版）では、「群集移動に関するクリティカルな密度は、1.5 人/m²（自由歩行の限界）→約 4 人/m²（渋滞の始まり）→約 6 人/m²（群集移動の停止）」とされている。

るため、混雑度が6人/m²（時速400m）以上では混雑度に反比例して速度が低下することとした。



(注) 手前のリンクから入る優先順位は、各グループに付与した通し番号の順とした。なお、各グループに付与する通し番号は、乱数によりシャッフルしているため、特定の地域のグループが優先して早く帰れるといった問題は発生しない。

図 混雑度が6人/m²を越える場合の流入制限模式図

なお、混雑度6人/m²は次の写真のようなイメージである。



図 混雑度 6人/m²のイメージ

(4) シミュレーションの基本時間間隔

1分毎に徒歩帰宅者の選択を計算する。

(5) ランダム効用モデル（多項ロジットモデル）に基づく行動の設定

「滞在する」、「帰宅する」、「避難所等で休憩する」の各行動から得られる期待効用を比較し、より高い効用をもたらす行動を選択するものとする。ただし、人による選択のばらつきを表現するため、ランダム項（行動のばらつきを確率的に表現する誤差項）を加えて期待効用を評価するものとする。

効用関数のイメージは次のとおりである。

①基本的な関数形状

効用関数の基本的な形状は、次図に示すように、現在地から対象地までの移動負荷の増大に応じて低減するものとする。

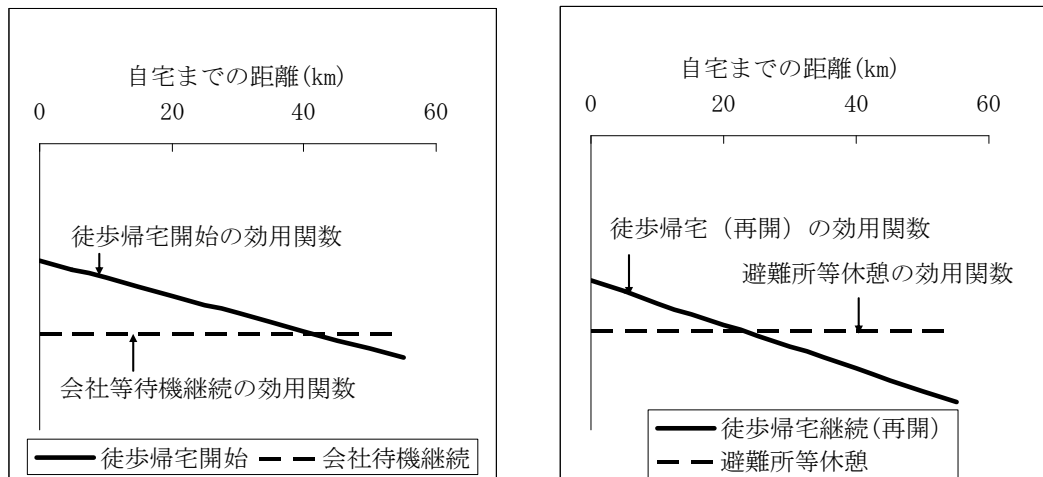


図 効用関数のイメージ (1) (左: 一般業務従事者会社待機時の効用関数のイメージ、右: 一般業務従事者徒歩帰宅途中の効用関数のイメージ)

移動行動については、次図に示すように、移動に関する選択肢の中で大きな効用を与えるものを選択する確率が高くなるものとして表現される。

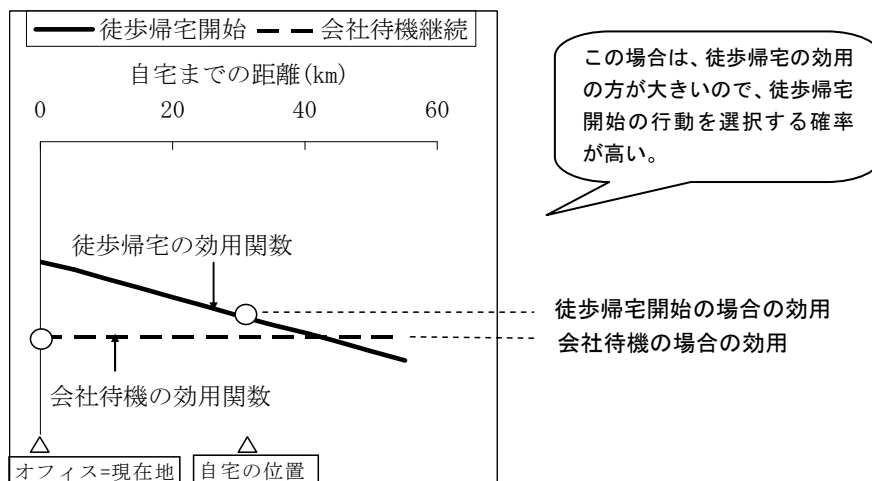


図 効用関数のイメージ (2)
一般業務従事者会社待機時の会社待機と徒歩帰宅開始の効用比較

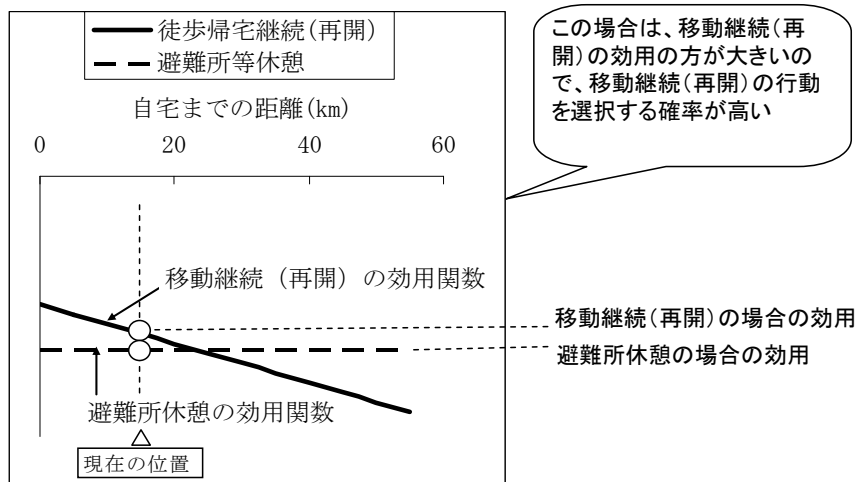


図 効用関数のイメージ (3)
 一般業務従事者徒歩帰宅中の徒歩帰宅継続(再開)と避難所休憩の効用比較

*晴れ、昼、徒歩継続3時間、家族軽傷、時速2kmで移動可能とした場合

②属性による効用関数の相違

属性毎に効用関数を設定する。

例えば、防災業務従事者や、その他の事業継続の必要が高い業務に従事する人々については、一般業務従事者と比べて、次図に示すように、オフィス等滞在の効用関数(オフィス等にそのまま滞在したり、出先からオフィスに戻るにより得られる効用を表す関数)が大きな値を示すものとする。

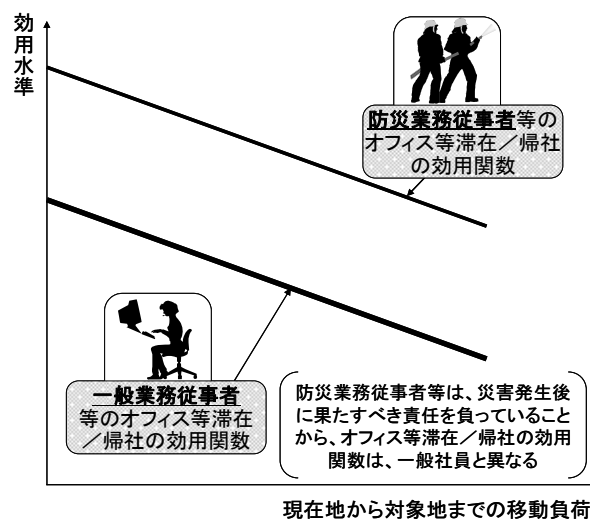


図 効用関数のイメージ (4)

③状況変化に応じた効用関数の変化

状況変化に応じた効用関数の変化の例として、安否情報の明暗による効用関数の変化の状況を次図に示す。

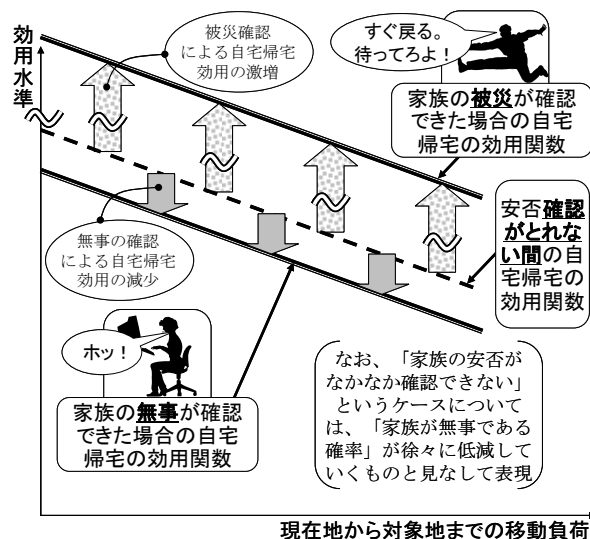


図 効用関数のイメージ (5)

この場合、家族の被災等の情報が得られた場合に、帰宅行動開始の効用関数の値が大幅に大きくなる状況を示している。

効用関数に係る個別の具体的要因は、おおむね次の各項目が影響要因としてあげられる。

- ・ 自宅までの距離
- ・ 周辺の混雑状況 (移動可能速度)
- ・ 家族の安否、自宅被害の状況
- ・ 企業、学校等における食料、水、電気等の状況
- ・ 徒歩継続時間 (蓄積疲労等の代理指標)
- ・ 現在時刻 (昼夜別)
- ・ 帰宅途中の夜の時間
- ・ 天候 など

④効用関数の算出方法

効用関数の基本的な算出方法は次の通り。

ア) 選択しうる行動と効用関数

効用関数は、各場面において選択しうる行動ごとに算定する。算定される効用関数は、状況別に次のとおりである。今回は、それぞれのケースにおいて、2種類の行動から選択することになるため、2つの効用関数 V_1 、 V_2 を設定す

る。

- **会社待機中**
 1. 徒歩帰宅開始(V_1)
 2. 会社待機機継続(V_2)

- **徒歩帰宅途中**
 1. 徒歩帰宅継続（再開）(V_1)
 2. 避難所等で休憩(V_2)

- **迂回路に差し掛かった場合**
 1. 迂回しない(V_1)
 2. 迂回する(V_2)

イ) 行動選択のモデル化

帰宅困難者等の行動選択については、効用が確率的に変動するもと仮定して、多項ロジットモデルを適用し、確率的に行動選択を行うものとして、以下に示すようにモデル化する。

すなわち、今回は、選択可能な行動の種類数を2種類としているため、効用関数値に基づき行動1，行動2をとる確率はそれぞれ次の通りである。

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$$

$$P_2 = \frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$$

V_i は行動*i*を選択した場合の効用関数（確定項）を表わしている。効用関数は、選択しうる行動*i*ごとに設定され、一般に線形関数が用いられる。本検討では、以下の線形効用関数を導入する。

■ 効用関数

$$V_i = \sum_{k=1}^K \beta_{ik} \cdot x_{ik} + \gamma \cdots (1)$$

V_i : 帰宅困難者 n の行動 i 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

β_{ik} : 説明変数 k の係数

K : 説明変数の総数

γ : 定数項

ここで、説明変数 x_{ik} が行動選択の際に考慮される因子、すなわち効用関数の値に影響を与える因子である。

説明変数の係数 β_{ik} は、回答者への質問結果に基づいてパラメータ推定を行う。

行動を選択する状況下では、状況を規定する因子が定まるため、説明変数の値が決まる。よって、各行動に関する効用関数値 V_i が求まる。シミュレーション中では、この効用関数値に基づき、確率的に行動が選択される。

ここで、 $\Delta V = V_1 - V_2$ とすると、 ΔV は、行動 1 と行動 2 の効用関数値の差である。よって、 ΔV が大きいほど、 V_1 の方が V_2 に比べて相対的に効用が高い、すなわち行動 1 を選択する確率 P_1 が高くなる。また、 $\Delta V = 0$ 、すなわち、 $V_1 = V_2$ のときには、 $P_1 = P_2$ となり 2 つの行動を選択する確率は何れも 50% となる。

このように、今回のモデルは、効用関数の値に基づき行動が確率的に選択されるものとなっている。

(6) 歩行空間の設定

1) 歩道上の歩行について

現在、区間（リンク）別に、下図に示すような歩道設置状況別の歩道幅員情報が得られているとする。この場合、左右各サイドの歩道それぞれについて、歩道幅または最低みなし歩道幅（1 m）のうち大きな方をモデル上の歩道幅とする。そして、区間（リンク）別に平均歩道幅員 W を求める。

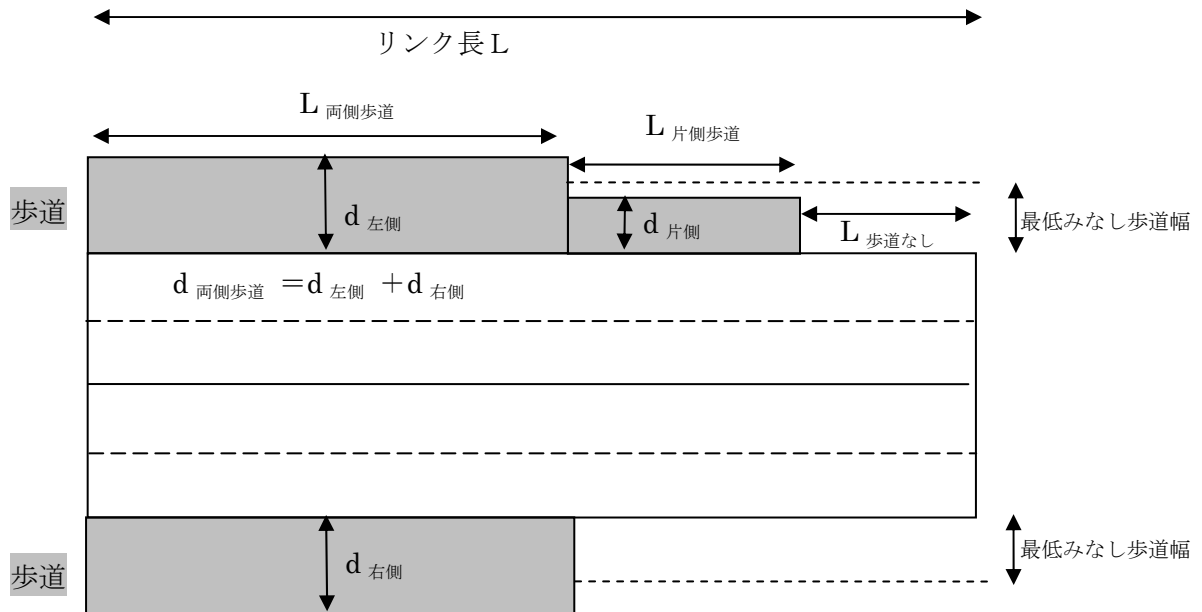


図 検討対象とする歩道・道路構成のイメージ

また、この区間（リンク）の最も狭隘な断面の幅員を W_m とすれば、この区間の歩行速度は、密度 $N/(WL)$ から計算される速度と、密度 $N/(W_m L)$ から計算される歩行速度の間に入ると考えられる。（ここで N はリンク内の滞在人数である）

そこで、速度計算用の W_c を

$$W_c = (W + W_m) / 2$$

として、歩行速度を計算する。

なお、最低の幅員を 1 m としたのは、次の写真の通り、1 m の幅員があれば、ぎりぎり双方向の歩行が確保されたと考えられるためである。



図 幅員 1 m のイメージ

また、倒壊建物がある場合については、先の歩行空間の決め方に準じ、倒壊する建物の種類によらず、一棟でも倒壊があれば、最も狭隘な歩行空間 W_m を 2m とする。

この場合、倒壊建物がある区間における歩行空間 $W_{\text{倒壊建物}}$ の補正について、倒壊建物 1 棟の幅を $L_{\text{倒壊建物}}$ として、

$$W_{\text{倒壊建物}} = \frac{W(L - L_{\text{倒壊建物}}) + W_m L_{\text{倒壊建物}}}{L}$$

の式によって計算する。

2) 分岐点での歩行の取扱いについて

交差点においては、例えば交差する両方向とも同じ交通容量であった場合、交差点での交通容量は少なくとも 1/2 以下に制限されると考えられる。しかし、このような交差点での歩行速度の低下をモデル上考慮することは非常に難しい。モデル上限界があるが、交差点では実際には車道部にある程度はみ出して歩行することで、交通容量が確保されるとみなすこともできる。一方で、交差点の状況によっては、シミュレーション結果以上の混雑が発生する可能性もある。

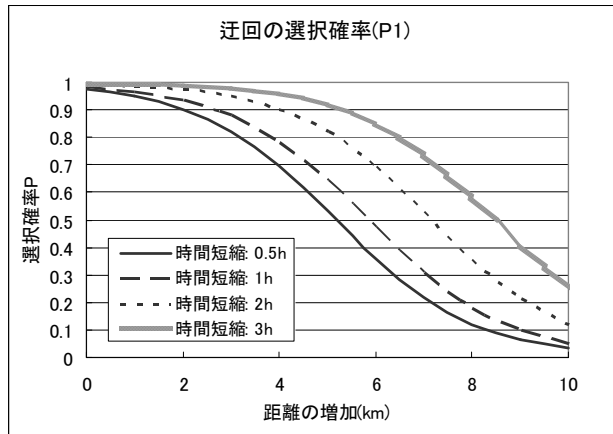
(7) 交差点での迂回路選択について

帰宅行動のシミュレーションを単純に実施する場合、起点から終点までのあるゾーンまでの最短経路をとって帰宅すると仮定することが考えられる。

しかし、このような仮定を行うと、ある幹線道路は極端に混雑し、その周辺の幹線道路は空いているという状況も生じうる。現実には、最短経路となる幹線道路が混雑していれば、別のルートを取る帰宅者もある程度いると考えられる。

したがって、迂回した場合の距離の増加と時間短縮が分かっている場合（帰宅経路の混雑情報が利用可能である完全情報ケースの場合）と、距離の増加は分かっているが時間短縮については分かっていない場合（帰宅経路混雑情報が利用不可である不完全情報の場合）について、それぞれ効用関数を算定した。

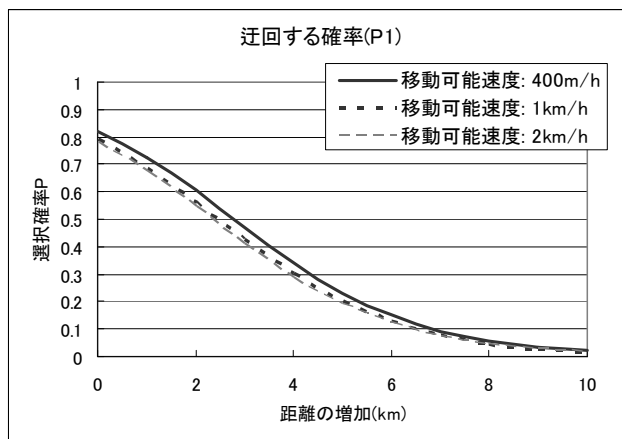
それぞれの効用関数に基づく迂回選択確率の形状は次の通りである。



帰宅経路混雑情報が利用可能である完全情報ケースの場合、現在地から自宅までの間の各道路の混雑情報を把握できていることから、選択確率Pは、迂回による距離の増加と帰宅までの時間短縮の関数として表すことができる。

*時間短縮：迂回による自宅到着までの時間の短縮

図「迂回する」の選択確率（帰宅経路混雑情報が利用可能な完全情報ケースの場合）



帰宅経路混雑情報が利用不可能な不完全情報の場合、現在地から自宅までの間の各道路のルート等は知っているものの、混雑度は直近の道路以外は把握できていない。このため、選択確率Pは、迂回による距離の増加と本来選択していた道路の歩行速度の関数として表すことができる。

*移動可能速度：これから進もうとする道路の歩行速度

図「迂回する」の選択確率（帰宅経路混雑情報が利用不可能な不完全情報の場合）

帰宅経路混雑情報が利用不可能な不完全情報ケースの場合、具体的に迂回するか否かを判断する（迂回確率モデルを適用する）条件と迂回対象経路の探索方法等は以下の通りである。

○帰宅経路混雑情報が利用不可能な不完全情報ケースの場合

迂回検討条件	迂回経路の探索方法	迂回の判断
以下の条件が同時に成り立つ時 ・交差点到着時 ・前方道路の混雑状況が歩行速度 3.5 km/時未満* ・他方向の道路の混雑状況が全て前方道路より混んでいない。	・前方道路を歩行不可として最短距離経路を探索 ・前方道路より混んでいる道路へは迂回しない。	・迂回行動モデルによる迂回確率により決定

*被験者へのヒアリングにおいて、幹線道路が混雑していた場合に裏道に回ると回答した者に対し、どのくらいの混雑状況で裏道への迂回を始めるか、混雑状況の写真を示しつつ確認したところ、2人/m²（時速 3.5km に相当する）以上の混雑度で裏道を選択するとの回答が出ていることから、同様の条件があてはまる場合に迂回行動が始まるものとした。

また、帰宅経路混雑情報が利用可能な完全情報ケースの場合、以下に示すように、10分ごとに歩行者混雑情報が更新されるものとし、交差点に到着した歩行者は、20分後にあるいは予定経路の前方の混雑状況に基づいて、この情報を確認しつつ最短経路探索を行い、帰宅経路を更新するものとする。

○帰宅経路混雑情報が利用可能な完全情報ケースの場合

歩行者混雑情報更新条件	迂回路検討条件	迂回経路の探索方法
発災後、10分おきに歩行者混雑情報を更新する。	交差点到着時に①または②の条件のときに最短経路探索を行う ① 以下の条件が同時に成立 ・予定経路上の次のリンク速度が時速 3.5km 未満のとき ・前回の最短経路探索時点から 20分以上が経過したとき ② 予定経路上の次のリンク速度が時速 1 km 未満のとき	10分おきに更新された一般化距離*が最短となる経路を探索。経路を変更するものとする。

*実際の距離に対して、混雑による歩行速度の低下分を距離に換算した値を加えた距離（次頁参照）

リンク l の一般化距離 D は以下のように計算できる。

$$D_l = \frac{\alpha}{\beta} \Delta t_l + d_l$$

$$D_l = \frac{\alpha}{\beta} (t_l - 0.015d_l) + d_l = \frac{(0.921/60)}{(0.701/1000)} (t_l - 0.015d_l) + d_l = 21.897t_l + 0.6715d_l$$

Δt_l : 当該歩行時間の非混雑時の歩行時間 (4km/hr 歩行時) に対する増加分 (分)

d_l : 歩行距離 (m)

t_l : 歩行時間 (分)

α : 迂回選択確率モデル (完全情報) の時間増分にかかるパラメータ

β : 迂回選択確率モデル (完全情報) の距離増分にかかるパラメータ

(8) 倒壊建物の設定

建物の倒壊率は、メッシュ別に設定する必要があるが、これについては、木造・非木造別に中央防災会議の首都直下地震の地震被害想定の結果を用いる。

中央防災会議の地震被害想定結果によれば、東京湾北部地震による東京都における建物の倒壊数は次の通りである。

表 中央防災会議による倒壊建物棟数想定結果

	木造	非木造
東京都の倒壊建物棟数	5,977	1,795

ここでは、まず幹線道路に面している木造、非木造棟数の割合について、東京都が保有する建物1棟単位のGISデータを利用して求めた。

この結果、都内の木造建物、非木造建物のうち、幹線道路沿いにある割合はそれぞれ、2.6%、11.0%であった。したがって、幹線道路沿い上の倒壊建物は、概算で次の通りである。

表 地震被害想定から概算される幹線道路の建物倒壊数

	木造 (棟)	非木造 (棟)
東京都における建物倒壊数 (地震被害想定より)	5,977	1,795
幹線道路上の建物倒壊数 (概算)	156 (=5,977×2.6%)	198 (=1,795×11.0%)

なお、倒壊建物のうち道路閉塞に関与するのは約半数^{*}と考えられるため、このうち、歩行者に影響する倒壊箇所は、木造約 80 箇所、非木造約 100 箇所程度と推定される。

※国土交通省（建設省）により平成 10～14 年度まで実施された総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」（まちづくり総プロ）では、低層非木造建物による道路への影響について、倒壊時に幹線系道路にガレキがはらみ出す確率は 0.482 としており、倒壊する非木造建物の多くが低層建物と考えられることから、倒壊した非木造建物のうち道路閉塞に関与する割合を 1/2 と設定する。また、倒壊した木造建物のうち道路閉塞に関与する割合についても、低層非木造建物と同様、1/2 と設定する。

（9） 延焼火災の影響

実際には、延焼範囲は時間と共に変化していくものであり、延焼率が高いメッシュでもそこを通行できる時間帯もあるものと考えられる一方、煙の流れ方等によって直接火災が生じていない場所でも通行ができない場所もあるものと考えられる。さらに、風向・風速によって延焼範囲は異なってくる。以上のような要因を詳細に織り込んだシミュレーションを行うことは多大な作業を伴い、帰宅困難者問題に対する対策の立案を主眼とした本専門調査会の目的を越える。

このため、本検討においては、中央防災会議による被害想定の結果[§]による 1kmメッシュ毎の延焼面積率（延焼面積／メッシュ面積）を利用し、延焼面積率が 20%を上回るメッシュについては、そのメッシュを通過する道路は、発災直後から通行できなくなり、半日後に通行可能になると仮定する。

なお、延焼火災による通行不能リンクの取り扱いの詳細については以下のとおり考えることとする。

（延焼火災による通行不能リンクの取り扱い）

①初期予定帰宅経路

帰宅経路混雑情報が利用不可である不完全情報のケースでは、当初の予定経路を探索する際、火災による通行不能リンクも通常通り通行可能として最短距離経路を探索し予定経路とする。

一方、帰宅経路混雑情報が利用可能である完全情報ケースでは、帰宅開始時点において、すでに火災による通行不能リンクの情報が得られているものと想定し、火災による通行不能リンクを回避した最短一般化距離経路を探索する。

§ 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会（第 13 回）資料 2-2、平成 16 年 12 月

②火災発生エリアからの出発

不完全情報ケース、完全情報ケースとも、火災発生エリアから帰宅開始する場合でも、何らかの方法により帰宅開始できるものと想定する。

モデル上は、便宜上通常処理どおり火災による通行不能リンクを通れるものとして取り扱う。ただし、このとき、結果の表現上は通行不能リンクの通行者はゼロとみなす。これは、実際には、火災が発生して、ネットワークで表現されたリンクが通行不能になったとしても、ネットワークで表現できない細街路などを通して火災エリアから流出できると想定されるからである。

③火災による通行不能リンクの迂回

不完全情報ケースの場合には、迂回の検討においても、火災による通行不能に関する情報が得られていないと想定し、通常どおり迂回経路の探索を行う。

そして、これで選択された予定経路において火災による通行不能リンクが現れた場合、その時点で、そのリンクを通行不能状態にして新たに最短距離経路を探索し、予定経路とするものとする。

一方、完全情報ケースの場合には、火災による通行不能リンクに関する情報が得られているものと想定し、途中の予定経路更新処理時において、火災による通行不能リンクを回避する最短一般化距離経路を探索し、予定経路とする。そのため、途中で予定経路上に火災による通行不能リンクが現れることはない。

④火災発生エリアへの到着

不完全情報ケースの場合は、目的地付近が火災エリアか否かに係わらず、通常処理どおり帰宅を開始するものとする。

一方、完全情報ケースの場合、目的地付近が火災エリアであり、このエリアの通行不能リンクを経由せずには目的地に到達できない場合には、帰宅を開始せずに待機するものとする。発災後、12時間が経過し、火災による通行不能が解除された時点で、通常 of 帰宅開始モデルに従った帰宅開始処理を行うこととする。

(10) ボトルネック部通行不能時

ネットワーク上の各橋梁は耐震補強されており、落橋等が発生する可能性は低いですが、周辺事故等で次の橋が通行不能となった場合を想定する。

[隅田川] 四ツ木橋 (墨田区/葛飾区)

[多摩川] 丸子橋 (世田谷区)

(1.1) 帰宅開始の設定

1) 基本的な考え方

帰宅開始モデルは、アンケートの被験者に対して、様々な状況を提示して帰宅するか否かを尋ねた結果を基に作成されている。そのため、シミュレーション上の帰宅者の状況が決まれば、その状況下で帰宅意向を有する者の割合がモデルによって計算される。

ただし、モデル構築に用いた各種の質問は、発災後 6 時間経過後までについて質問した結果であったため、それ以降の待機者に対してはそのまま適用するには難がある。そのため、6 時間待機後の行動について追加アンケートにより新たに追加質問した結果を踏まえた帰宅開始モデルを適用した。

具体的には、以下の考え方をとる。

- ① 発災直後に帰宅すると判断したもの（構築した帰宅開始モデルによって推計）は、原則としてそれ以降 1 時間の間に帰宅行動を開始するものとする。
- ② 発災後 1 時間時点での待機者については、「6 時間待機後の行動について質問した結果」を踏まえ、この待機者を大きく以下のように 3 区分する。
 - ◆ 当日帰宅開始者
 - ◆ 翌朝帰宅開始者
 - ◆ それ以降帰宅開始者
- ③ 当日帰宅者に分類されたグループは、原則として発災 1 時間後から 10 時間後までの間に帰宅開始モデルに従って平均的に帰宅を開始するものとする。
- ④ 翌朝帰宅者と分類されたグループは、原則として翌朝 6 時から 9 時までの 3 時間の間に帰宅開始モデルに従って平均的に帰宅を開始するものとする。
- ⑤ ②の処理で、当日帰宅開始者、翌朝帰宅開始者と分類されても、帰宅開始モデルによって帰宅を開始するか否かを決定するため、③、④の処理以降も一定の割合で待機者が存在することになる。これらの待機者については、帰宅開始確率が増加するような新たなイベントが生じた場合についてのみ、帰宅開始を検討することとして処理する。
- ⑥ ②の処理で翌朝帰宅開始者、それ以降帰宅開始者と分類されたグループでもそれ以前の時間帯について全く帰宅を開始しないとするのではなく、⑤と同様に、帰宅開始確率が増加するような新たなイベントが生じた場合についてのみ、帰宅開始を検討することとして処理する。

2) アンケートにおける6時間待機後の行動の回答結果の取扱方法

①アンケートの質問と回答結果

【質問】

いずれかの条件の下で地震発生後6時間経過した時点で「とどまる」との行動を選択した場合の、その後のあなたの行動選択について、あなたの考えに最も近いものを①～⑧の選択肢の中から1つ選んでください。

【回答項目】

- ①そもそも地震発生後6時間後でも「とどまる」という選択をしていない。
- ②状況にもよるが、それから数時間（発災後地震発生後10時間程度）のうちには、夜間であっても徒歩帰宅を開始する。
- ③状況にもよるが、翌日の空が明るくなる時間（朝6時頃）を待ってから徒歩帰宅を開始する。
- ④状況にもよるが、翌日の午前中に徒歩帰宅を開始する。
- ⑤状況にもよるが、1～2日後に徒歩帰宅を開始する。
- ⑥状況にもよるが、2～3日後に徒歩帰宅を開始する。
- ⑦状況にもよるが、数日かかろうとも、公共交通機関等が帰宅手段の一部として使えるのを待ってから帰宅を開始する。
- ⑧その他《※以下に具体的に内容を記入してください。》

【回答結果】

回答	会社員等	買い物客	学生
①	26.7%	15.0%	2.6%
②	16.7%	12.5%	2.6%
③	46.7%	47.5%	60.5%
④	0.0%	20.0%	10.5%
⑤	3.3%	2.5%	10.5%
⑥	0.0%	0.0%	2.6%
⑦	3.3%	0.0%	7.9%
⑧	3.3%	2.5%	2.6%
合計	100.0%	100.0%	100.0%

②回答結果の取扱方法について

この回答結果から、待機者を当日帰宅開始者、翌朝帰宅開始者、それ以降帰宅開始者に分類する割合を作成する。

具体的には、回答①、⑧を除いた残りの回答割合を用いて以下のように設定する。

表 発災後 1 時間時点における待機者の帰宅開始時期別割合の設定

カテゴリ	回答結果	割合			
		会社員等	買い物客	学生	防災担当者
当日帰宅開始者	②	23.8%	15.2%	2.8%	13.5%
翌朝帰宅開始者	③, ④	66.7%	81.8%	75.0%	54.1%
それ以降帰宅開始者	⑤, ⑥, ⑦	9.5%	3.0%	22.2%	32.4%
合計		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

ここで、アンケートの質問では、発災後 6 時間時点以降の状況について聞いており、回答②は、発災 6 時間後から 10 時間後までの帰宅開始意向者を表している。しかし、本シミュレーションモデルにおいては、帰宅開始者の連続性を担保するために、②と回答した者の割合を当日帰宅開始者の割合とみなし、発災後 1 時間時点から 10 時間までに帰宅開始を検討する者とみなすこととした。

(12) 帰宅分散ケースの設定

1) 基本的な考え方

帰宅分散ケースでは、何らかの方法によって会社や学校での待機要請が実施され、一定の割合の人が翌日以降に帰宅するケースを想定する。このとき、翌日までの待機者としては、会社員等、学生、防災担当者を想定し、買い物客は対象としない。

なお、実際に会社や自宅での待機要請が成功するためには、早期の安否確認の取得が前提となるため、安否情報の完全取得時間を基本の 24 時間から 6 時間に短縮する。

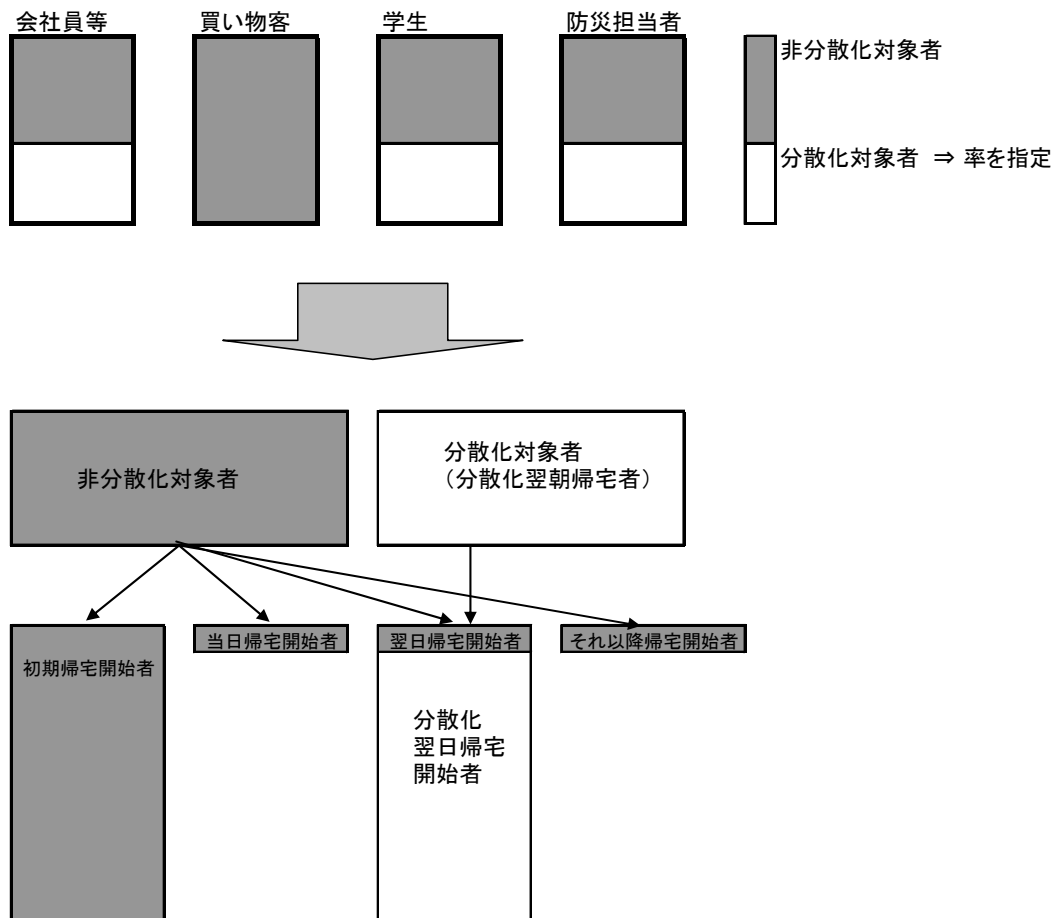


図 帰宅分散の概念図

2) 帰宅分散ケースにおける帰宅開始処理

通常の帰宅開始処理と帰宅分散ケースの違いは以下の3点である。

- ① あらかじめ、単純に会社員等、学生、防災担当者の一定割合 (1/3※、1/2) を翌日帰宅開始者とする。これらのグループを分散化翌朝帰宅開始者と呼び、通常設定によって翌朝帰宅開始者となったグループと区別する。なお、買い物客については、会社や学校のように施策的に分散帰宅を促進することは困難と考え、分散帰宅対象者から除外する。
- ② この分散帰宅に伴う翌朝帰宅開始者は、翌朝6時になるまで、いかなる条件でも帰宅を開始しないものとし、翌朝の6時から12時までの6時間の間に、帰宅を開始するものとする。
- ③ 通常の翌朝帰宅開始者の帰宅時刻についても、帰宅分散ケースにおいては、翌朝の6時から12時までの6時間とする。

※（参考）帰宅分散の割合の設定について

「防災に関する委員会 アンケート調査結果概要」（日本経団連防災に関する委員会、2007年10月22日）によれば、首都直下型地震の際の社員の帰宅計画について、「社員をしばらく事業者内に留める」が32.6%、「緊急要員以外の社員は速やかに帰宅させる」が27.9%となっている。

ここでは、このアンケート結果も参考*として、会社員等・学生・防災業務従事者の1/3が、翌日帰宅開始として設定する。また、さらに帰宅分散が進んだケースとして1/2も設定する。

*経団連が実施したアンケート結果によれば、「社員をしばらく事業所内に止める方向での帰宅計画を策定している率」が約3分の1となっている。このような計画を持っていることが必ずしも「翌朝まで社員を会社に留める」ことを意味するわけではなく、また標準的な企業よりも、そのような計画を作成している率が高い企業を対象とした調査となっている可能性も考えられるが、今後の分散帰宅施策の効果を調べる際の一つの目安となる数値になるものと考え、ケース設定の参考としたものである。

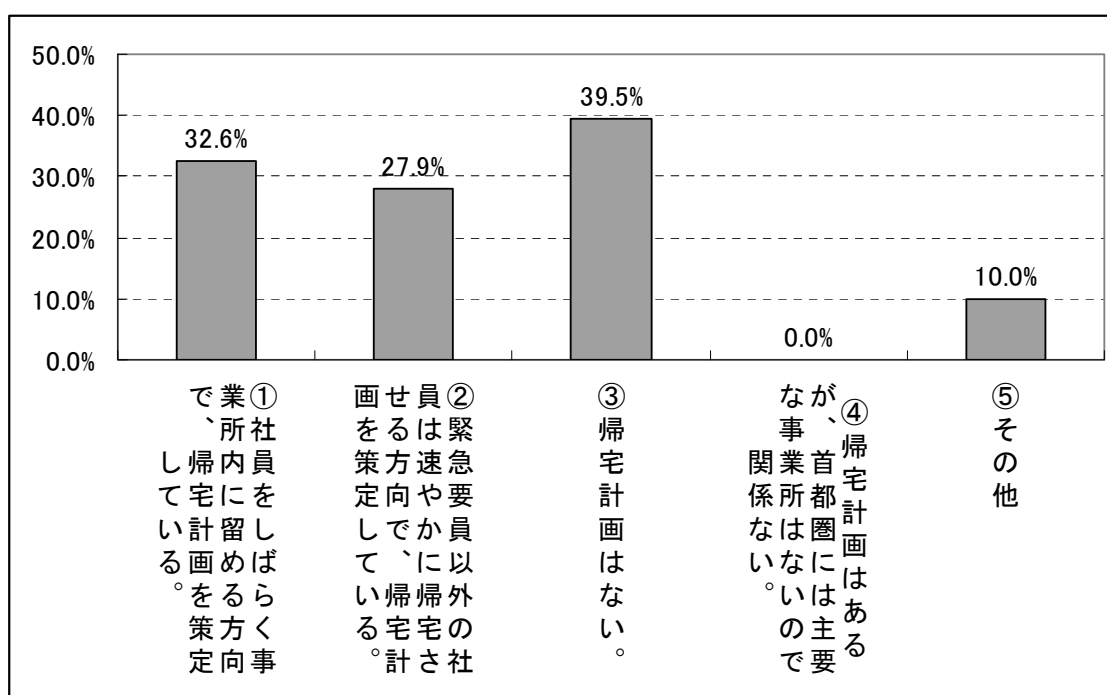


図 帰宅計画（首都直下型地震の際の対応）

（「防災に関する委員会 アンケート調査結果概要」（日本経団連防災に関する委員会、2007年10月22日）より作成）

URL: <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2007/083.pdf>

4 シミュレーションモデルの限界について

(1) 歩行速度の正確性に関する限界

以下のような理由により、本シミュレーションで出力される歩行速度には不確実性があり、必ずしも実際の歩行速度を正確に再現できているとは限らないことに注意する必要がある。

① 別方向に向かう人の混在に伴う速度低下の影響を考慮していない

本シミュレーションの速度の決定式では、両方向に向かう歩行者を区別せずに密度を計算し、密度—速度関係式によって速度を決定している。実際には、主要な通行方向の交通量と逆方向の交通量の割合如何によって、交通流動が錯綜して干渉し合い、シミュレーションの結果以上に速度の低下が生じる可能性がある。特に、多くの人の動きとは逆方向に向かう人の移動は、大きく速度が低下し、場合によっては移動が困難となる可能性もある。

② 交差点における歩行者群の交差による速度低下や、自動車も含めた錯綜状況を考慮していない

交差点においては、各方向からの歩行者の流動量のみならず、自動車の流動状況や交通整理の実施状況などによって、その通過速度は大きく変化すると想定されるが、本モデルでは、そうした影響を考慮できていない。

例えば、交差する各方向とも同じ交通容量であり、同じ交通量であるような単純なケースでも、交差点での交通容量は少なくとも 1/2 以下に制限されると考えられる。しかし、このような交差点での歩行速度の低下をモデル上考慮することは非常に難しい。交差点部の歩道や横断歩道の幅が一般部以上に広がっている場合があることや車道部にある程度はみ出して歩行する可能性を考慮すれば、交差方向の交通があっても交通容量が低下しない場合もあると考えられる反面、交通整理の実施の有無や交差方向の歩行者交通量、自動車の交通状況などの状況によっては、シミュレーション結果以上の交通容量が減り速度低下が発生する可能性も十分に考えられる。特に、交差する道路の歩行者の交通量が共に飽和容量に近く、信号が消え、交通整理も行われていない交差点ではその傾向が著しくなることが予想される。そのような交差点を、人の流れに逆行して通ることは困難となり、場合によっては危険な状況が生じる可能性がある。

③ 歩行の妨げとなる障害物及び帰宅者以外の歩道上滞留者の存在並びに歩道外空間の歩行の可能性を基本的には考慮していない

本モデルでは、歩道幅員をベースに歩行可能面積を設定しているが、実際には、歩道に占める電柱・歩道橋等の施設、植樹帯、放置自転車、駐車車両、転倒・落下物などの影響によって、設定した幅員を100%活用できないことが考えられる。

また、歩道上の滞留者としては、帰宅者のほかに、地域内で（例えば応急活動や買い出し活動等のため）歩いている人や、道路上でたむろしている人、避難所へ移動する人もいるものと考えられる。これらの人の存在に伴う空間の減少はモデル上考慮していない。

一方で、自動車の通行状況によっては車道へはみ出した歩行が行われたり、公園その他の空地を通過した徒歩行動が行われることも想定され、正確な歩行空間を設定することは極めて困難である。こうした影響により、シミュレーション結果には、ある程度の不確実性があることに十分に留意する必要がある。

④ 夜間（特に停電状況の下）における歩行行動の変化を考慮していない

夜間、特に停電状況の下では、足下に倒壊物・落下物が散乱していたり地盤の変状により歩道の高さが不均一になっている可能性があることとあいまって、歩行速度が低下することが十分考えられるが、妥当な設定が困難なことから、本モデルでは、昼間における歩行速度からの低減を見込んでいない。

また、停電状況下においては、単に速度が低下するのみならず、周辺が見えないことから障害物につまづいたり人とぶつかったりして怪我をする人が発生し、さらにそれを助ける人の輪が交通容量を低下させるといった状況が発生することも考えられる。

⑤ 渋滞に巻き込まれた人の心理等を必ずしも反映していない

本モデル中の渋滞の表現に関するモデルは、渋滞が発生した際の、車の車間距離にあたる「人と人の間の距離」に関する心理的な分析や、人の物理的な大きさから決まる最大密度といったものを基礎としたものではない。このため、渋滞現象が生じる場合でも、その長さや大きさなどは正確に再現できていない。例えば、歩行速度が時速 400m 以下となっている区間（混雑度 A）の中やその手前では、前の人との間の距離をもっと取りたいという心理が働くものと考えられる。

例えば、Fruin（1984）**によれば、混雑度 3.6 人/m²は、他の歩行者との強

** Fruin, J. J. "Crowd Dynamics and Auditorium Management." Auditorium News. May 1984

制的な接触や摩擦が生じる日常で敬遠される心理的閾値であるとされている。混雑度 6 人/m²の状態は心理的に敬遠されることが考えられる。また、混雑度は最大でも 7 人/m²程度とされている。

今回のモデルでは、以上のような点が考慮されていない。

このような点を考慮した場合、人々が落ち着いた行動を取る限りにおいては、高い混雑度の箇所がいきなりは形成されず、もう少し低い密度で渋滞箇所の手前の方向に渋滞の列が延びる可能性が高いものと思われる。従って、シミュレーションの結果上、混雑が発生していないリンクにおいても、付近のボトルネックにおける渋滞長が伸びることによって混雑が発生する場合も考えられる。

一方で、火災・流言その他の影響により群衆の間にパニック心理が広がるようなことがあれば、今回のシミュレーションの結果のように（あるいはそれ以上に）、混雑度が高い場所が形成されることも考えられる。

（２） 帰宅時の利用道路の設定に関する限界

⑥ 利用可能な道路の範囲の設定に関する限界

混雑が激しくなると、付近の地理に詳しい人やトライアル精神旺盛な人の中には、ネットワークで表現していない細街路等を利用して混雑を迂回する人もいるものと考えられる。

一方、幹線道路以外の道路についての知識が乏しい人や、大勢の群衆と同一の行動を取ることに安心感を感じる人は、幹線道路のみを利用する傾向が強いものと考えられる。

以上の状況は、昼夜の別、停電の有無、混雑の程度、建物の倒壊や火災の程度等によっても異なってくるものと考えられる。

本モデルでは、効用関数を求めることを目的としたアンケートにおいて、混雑時には裏道を利用するとした被験者が約 3 分の 1 であったことを参考に、幹線道路に準じた道路も含めた道路ネットワークを利用する人が全体の 3 分の 1、残りの人は幹線道路のみを利用することを基本ケースとして設定したが、実際の帰宅困難者の行動とは、細部では様々な部分で異なるものと考えられる。

（３） 行動時間の設定に関する限界

⑦ 帰宅開始時刻の分布の設定に関する限界

本シミュレーションにおいては、求めた効用関数を適用した結果、会社等に留まるよりも帰宅することを選好した人について、その帰宅開始時間は、発災

直後から1時間の範囲で行われると想定している。これは、発災直後の判断に基づく行動がその程度の時間の中で分散的に行われると想定した設定であるが、実際にはもう少し時間を要する可能性や、特定の時間に行動が集中するといった可能性もある。

また、最初の1時間に帰宅を開始しなかった人の中で、アンケート結果に基づき「当日中には帰宅する」と答えた人の割合に相当する人々が、発災後1～10時間の範囲で分散的に帰宅するものと仮定しているが、これについても時間の範囲が前後する可能性や一定の時間帯に帰宅行動が集中する可能性がある。

さらに、発災当日に帰宅しなかった人の翌日における帰宅時間帯について、朝6～9時（分散帰宅ケースの場合の、政策的な翌日帰宅分については朝6時～昼12時）の中で分散的に行われると仮定しているが、これについても同様の限界がある。

⑧ 休憩時間の設定に関する限界

本モデルでは、アンケートにより求めた効用関数に従って、帰宅行動を継続する人と、休憩を取る人に区分されるものとし、1回の休憩時間は、短期の休憩から仮眠を取る人までの様々な可能性を考慮し、1回2時間、さらに2時間経った後には効用関数による確率に従って、さらに延長して休憩を取ることもあるものとしている（連続休息4時間以上の場合についても同様の考え方で処理）。

また、休憩を取り得る箇所は、実際には休憩スペースが確保できる場所に限定される傾向にあるものと考えられるが、移動中の任意の場所で休憩行動を取り得るものとした。

効用関数では、渋滞箇所では休憩行動を取る人の割合が高くなっており、渋滞箇所に差し掛かると休憩行動を取る人が増えているが、実際にそのような場所で適切な休憩場所を見つけられない可能性もある。

また、渋滞箇所における滞在時間が長くなったりすると、アンケートで求めたもの以上の割合の人々が休憩を取る可能性もある。

（４） 延焼火災の取り扱いに関する限界

⑨ 火災で通れない地域や時間の設定は一つの仮想条件の場合のみである

延焼火災地域とその規模や時間的な延焼範囲の分布は、気象条件や確率的な事象によって決定され、状況により様々な場合が生じ得るものと考えられるが、本シミュレーションでは東京湾北部地震の風速 15m/s のケースの被害

想定において延焼面積率が 20%を上回るメッシュについては発災直後から発災 12 時間後の段階まで通れないものと仮定した場合についてのみ計算を行った。このため、本シミュレーションから得られる混雑の程度やその地域的な偏在性などは実際とは異なる可能性があることに留意する必要がある。

⑩ 火災箇所への突入回避ロジック設定における限界

本モデルでは、「完全情報」のケースでは、火災発生箇所について発災直後の時点から完全な情報を持ち、効果的な回避が可能であると設定している。

しかし、実際には、いくら情報の流通が改善されたとしても火災箇所の正確な把握には困難が伴うものと考えられる。

一方、本モデルでは、「完全情報」以外のケースでは、火災により通行不能となっている道路リンクに来てから初めて火災箇所を迂回する行動を取り、その事についての学習効果をもたずに、場合によっては火災箇所周辺を、火の手の無い経路を見つけれずに動き回る場合もあり得るという行動ロジックとしている。

しかし、「完全情報」以外のケースの場合でも、ある程度離れた場所から火災の概況を察知し迂回行動等を取り得る可能性も十分ある。ただし、あちこちで火の手が上がっているような場合には、本モデルで想定する以上に混乱した行動が取られる可能性もある。

(5) アンケート調査で表明された「自己認識」に基づく行動と、実際の行動とのかい離に伴う限界

⑪ 帰宅行動に関する「自己認識」と「実力」のかい離に起因して、帰宅可能距離等がモデルと実際とで異なる可能性がある

本モデルで求めた効用関数では、自宅までの距離が 30km、40km といった長距離の人でも相当程度の割合で徒歩帰宅行動を選択する意向が示されている。しかし、実際に徒歩帰宅行動を開始すると、その中の多くの人が疲れや足等の痛みが限界に達し、途中で帰宅行動の継続を断念せざるを得ない状況になることも十分に考えられる。

一方で、災害時には「火事場のバカ力」と呼ばれるような、通常時とは異なった力を発揮する人もいると言われる。

以上のような本人の「自己認識」と「実力」のかい離については、本モデルでは考慮していない。

本シミュレーション結果の解釈にあたっては、シミュレーション結果から求められる以上の数の休憩行動選択者が生じる可能性があることに留意する

必要がある。

⑫群集心理的要因は考慮していない

本モデルでは、各人がそれぞれの持つ効用関数に従い行動するものと仮定している。しかし、実際には、「他の人が歩く道を帰る」といった、人の振る舞いに影響された行動をとる人も多くいるものと考えられる。

⑬組織における規範設定の影響は基本的に考慮していない

徒歩帰宅行動のあり方について、学校・企業等の組織において、帰宅時間のあり方に関する規範を定めていたり、方面別に団体に帰宅することを定めているようなケースもあると考えられる。本シミュレーションでは、会社等から特段の指示がでていないとの条件の下での被験者の回答から効用関数を設定している。このため、学校や企業単位で生徒や社員等の帰宅方針を定める等の規範設定をしている場合には、その規範が個人の効用関数に反映している部分についてのみその影響を評価している形となっている。

(6) 情報の不均一性等に伴う限界

⑭ 帰宅者等の中に流れる情報の内容によっては、帰宅行動の内容が大きく変化する可能性がある

本モデルでは、帰宅している近傍の状況しか把握できないケース（「経路情報提供無し」のケース）と、ある時点での渋滞状況を完全に把握できている前提に立って、歩行に要する時間と距離の両面を総合して最適の経路を求められることを仮定したケース（「完全情報」＝「経路情報提供有り」のケース）でのシミュレーションを実施した。

現実には、一定の情報が帰宅者の中に流れることとなるが、本シミュレーションにおける二つの設定の中間的な場合のほかに、例えば、特定の方面が危険だといった情報が流れて、それにより帰宅行動が大きく左右されるようなことも考えられる。また、誤った情報が流れ、それに影響されて人々が行動することも考えられる。