

震災時の避難行動に及ぼす情報活用の効果 ～避難行動のシナリオ～

計画マネジメント・皆川研究室 瀧川翔

1. はじめに

近年、首都直下型地震や東海地震の発生が懸念されている。地震が起こると多大な被害が発生する。被害を大きくする要因のひとつとして、被災者にとって必要な情報が不足していることが挙げられる。さらに、それらの情報が迅速に提供されていないことが過去の経験から認識されている。神戸市では、阪神・淡路大震災発災当日 8 割の人が余震情報、地震情報、被害情報、安否情報といった多くの情報を必要としていた¹⁾。しかし、公的な情報機関が提供する情報には責任が問われるため、正確性を重んじるあまり、提供スピードが遅くなる。そこで、発災直後から数日間の被災者を支援するために、公的な情報が出るまでの繋ぎとして、被災者が互いに情報を提供し合うシステムを構築することは有効である。また、このことを実現するためには、システムの有効性を確認する必要がある。

そこで本研究では第一に、被災者自身が情報提供者となる新たな被災情報の提供・活用法を提案する。第二に、これを含むシステムの有効性を評価するため、マルチエージェントシミュレータを用いて、シミュレーションを行うためのシナリオを作成する。

2. 地震発生直後の電子情報の収集と活用

携帯電話が普及する中、携帯電話を用いた電子情報の地震発生後の活用は十分とはいえない。そこで、地震発生直後の電子情報の収集と活用法として、GPS 機能付の携帯電話を用いることを前提として、以下のような情報収集伝達システムを提唱する。

- 1) 被災者が携帯電話で被害状況を撮影。画像に位置情報を付加させ、データセンターに送信。
- 2) データセンターでは送られてきた画像を地域ごとに整理し、道路の閉塞状況や通行止め区間を知らせる。また、携帯電話から得られる被災者位置情報の履歴を基に歩行速度を算出し、道路の混雑状況を色分けした地図(図-1)も被災者に提供する。

3) 被災者は、携帯電話を用いて図-1 のような情報を参考にしながら避難する。



図-1 被害情報提供システムのイメージ

具体的な新しいシステムの提案として、以下の 2 つの方法を提案する。

(1) 歩行速度から推定する道路の混雑状況

車両渋滞の把握方法のひとつとして、光学式車両感知器(光ビーコン)を用いたものが挙げられる。このシステムでは、通過車両を交差点などに設置された光ビーコンで感知するとともに、車載装置と双方向通信によって渋滞を把握する。このシステムのように、GPS 機能付の携帯電話を用いて、人による道路の混雑状況を把握できないかと考えた。

図-2 の赤、黄、青の三人の位置情報を、例えば 5 分おきに携帯電話を用いて記録する。これによってそれぞれの歩行速度がわかる。歩行速度には個人差があるので、特定の場所における歩行速度の平均値を得ることによって、表-1 を参考にその場所の混雑度を把握できる。それらのデータを混雑度によって道路を色分けし、図-1 のように地図化して被災者に発信する。

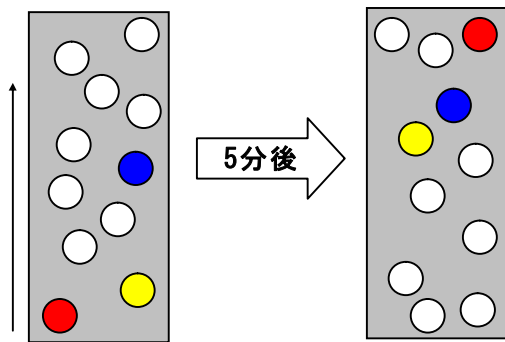


図-2 道路上の人の流れ

表-1 混雑度と歩行速度²⁾

混雑度 ランク	混雑状況 [()内は混雑度(人/m ²)]	混雑度 (人/m ²)	歩行速度 (km/h)
A	群集なだれが引き起こされる(7.2) ^{*1}	6~	~0.4
	ラッシュアワーの満員電車の状態(6.0-6.5) ^{*3}		
	ラッシュアワーの駅の改札口付近(6.0-6.5) ^{*3}		
B	ラッシュアワーの駅の階段周辺(5.5-6.0) ^{*3}	5.25~6	0.4~1
	危険性を伴う群集の圧力と心理的ストレスが大きくなり始める(5.4) ^{*2}		
C	駅の連絡路のラッシュ時に極めて混雑した状態(4.5-5.0) ^{*3}	4~5.25	1~2
	エレベータ内の満員状態(4.0-4.5) ^{*3}		
D	劇場での満員状態(3.5-4.0) ^{*3}	2.75~4	2~3
	ラッシュ時のオフィス街路(2.5-3.0) ^{*3}		
E	街路等で普通の歩行ができる(1.5-2.0) ^{*3}	1.5~2.75	3~4
F	街路で前の人を追い越せる状態(1.0-1.5) ^{*3}	~1.5	4
	街路で普通に混まずに歩ける(0.5-1.0) ^{*3}		

(2) 道路の閉塞状況

道路の混雑状況に併せて、道路の閉塞状況に関する情報を写真で提供する。例えば、道路幅員いっぱいに被災した建物などの瓦礫が広がっていると。この状況を数値で表すと、閉塞率 100%である。これは、通行不可能を意味する。しかし、瓦礫の高さや種類によっては、たとえ閉塞率 100%だとしても、瓦礫の上を通行することができる。このような状況が多く推測されるため、数値ではなく画像による情報提供が有効だと考えた。

3. マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムとは、自律的に意思決定・行動のできる最小単位であるエージェントを複数発生させ、エージェントの相互作用をシミュレーションするシステムである。これを用いることによって以下に述べるシナリオに基づいた個々人の行動パターンとそれによる現象をトータルにシミュレーションすることができる。

4. シナリオの基本構想

地震発生後にすべての対象者が携帯電話を利用できるものと仮定し、表-1 に示した想定により被災者の行動をシミュレーションする。

表-2 基本想定内容

	想定内容
人	地震発生時対象地区にいた者 (性別、年齢を考慮)
時間	地震発生直後から3日間程度
場所	未定
移動手段	徒歩

5. 被災者の行動パターン

被災者は図-3 の流れで避難または、帰宅行動をとるものとする。

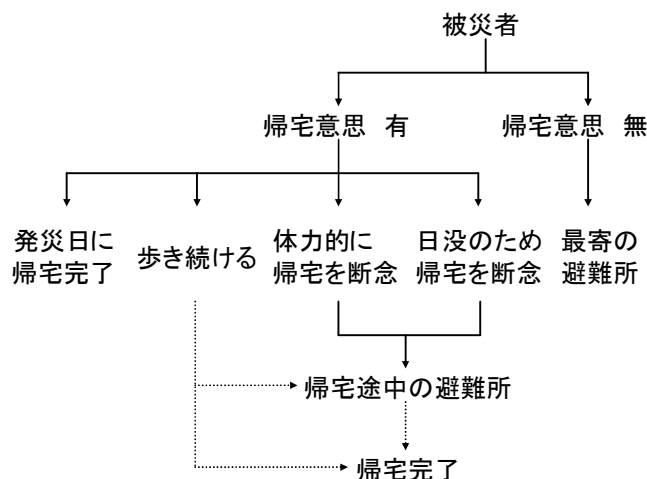


図-3 シミュレーションの概要

まず、被災者を帰宅意思のある人とない人に分ける。帰宅意思のない人は、最寄の避難所に避難する。また、自宅もしくは自宅付近で被災した人は、各自治体で指定されている避難所に避難する。

以後、帰宅意志のある人について述べる。

1) 発災日に帰宅完了

当日中に帰宅可能か否かを以下の基準によって判別する。この基準は、世間一般に被災者が災害時、1日の歩行可能距離を表したものである。

- ・自宅までの距離 < 10 km
→ 全員帰宅可能 (帰宅可能率 100%)
- ・10 km ≤ 自宅までの距離 < 20 km
→ 自宅までの距離が 1km 増えるごとに、
帰宅可能割合が 10% 減少する。

- ・自宅までの距離 ≤ 20 km
→ 全員帰宅困難 (帰宅可能率 0%)

2) 体力的に帰宅を断念

6. に述べるように、年齢や帰宅距離に応じて、確率的に推計する。

3) 日没のため帰宅を断念

6. に述べるように、アンケート調査のデータを基に、確率的に推計する。

4) 歩き続ける人

体力の限界や日没に関係なく、帰宅するまで歩き続ける人。

シミュレーションでは、帰宅意思があり当日帰宅できなかった人が、帰宅を完了するまで行く。それらの人は、帰宅途中の避難所で宿泊を繰り返し、最終的に帰宅を完了する。

6. 帰宅意思の調査結果とそれに基づく行動³⁾

首都圏に在住の人を対象に行われた、帰宅意思に関するアンケートがある。

アンケートは、発災時刻を数通り設定し、その時刻ごとにその日どこを最終目的地として避難するかを問うものである。それに加えて、家族の安否情報が避難行動に影響を及ぼす可能性があることから、家族がいる人については、家族の安否情報の有無の場合毎に回答を得ている。

また、帰宅意思とは別に、発災時（昼間で明るい場合）に体力的に1日の歩行可能距離について回答を求めている。

これらの結果から、以下に示すように、被災者の帰宅意思をモデル化する。

(1) 体力的な限界で帰宅を断念する人

体力的に帰宅を断念する人の推計方法を図-4 に示す。避難者の属性(年齢・性別)を j で、帰宅距離を変数 X ($X \geq 0$) で表す。帰宅距離が X の避難者が、帰宅途中で体力的な限界により、帰宅を断念する確率を $P_j(X)$ とすると、 $P_j(X)$ は属性 j の歩行可能な限界距離 x ($x \geq 0$) の確率密度関数 $p(x)$ を用いて以下のように表現できる。

$$P_j(X) = 1 - \int_x^{\infty} p_j(x) dx \quad (1)$$

ここでは、 $p(x)$ に関する情報を直接得るかわりに、

歩行距離に関するアンケートと、文部科学省が行った体力・運動能力調査のデータを利用している。すなわち、アンケートデータを基に属性別の歩行可能距離の平均値 x_i を求め、体力・運動能力調査のデータから体力得点の平均値 y_i を求める。両者の関係には相関関係があり、これより帰宅距離 X を歩くために必要な体力得点 Y を求める。最後に体力・運動能力調査の属性 j の体力得点から得られる確率密度関数 $f(y)$ を利用し、式(2)により属性 j の避難者が帰宅距離 X において体力的に断念する確率を求める。

$$P_j(X) = 1 - \int_{Y(X)}^{\infty} f_j(y) dy \quad (2)$$

帰宅困難者と判断された場合、帰宅距離 X に確率 $P_j(X)$ を乗じた値を、帰宅を断念するまでに歩く距離とみなす。

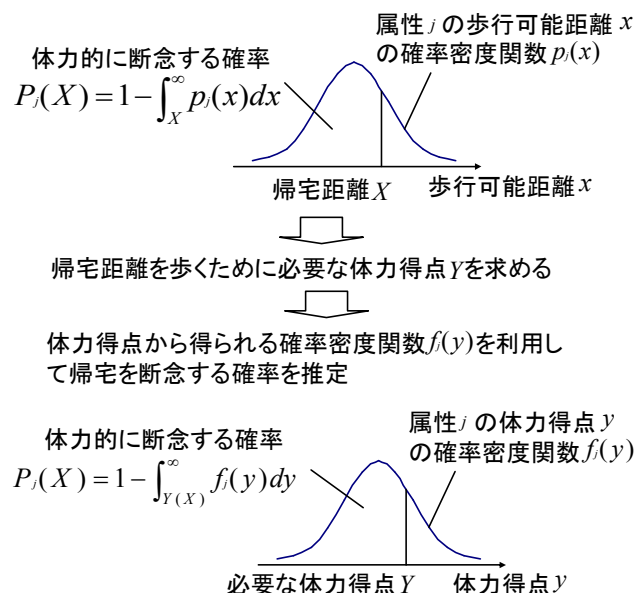


図-4 体力的に帰宅を断念する人の推計

(2) 日没のため帰宅を断念する人

アンケート調査において日没時刻は17時、発災時刻は8時、12時、18時の3通りに設定されている。発災時刻18時は、日没後を意味している。調査の結果によると12時と8時の帰宅意思率にはほとんど差が見られていない。そこで、発災時刻18時と12時の帰宅意思率の差から、日没によって帰宅を断念する人の確率を、日没時のいる地点から自宅までの距離に応じて図-5のように推定する。

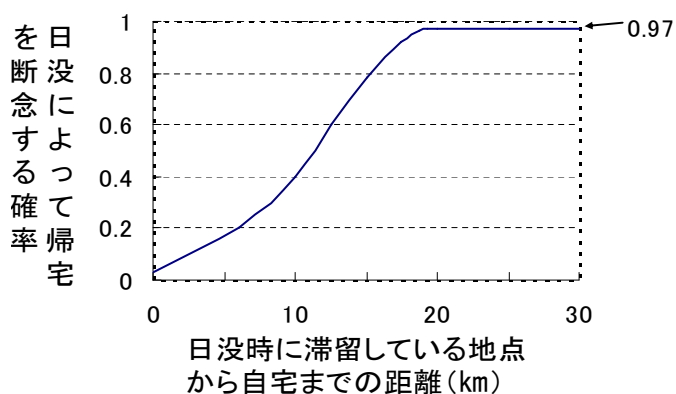


図-5 日没により帰宅を断念する人の推計

7. 被災者に提供される情報

(1) 道路の混雑状況と歩行速度

シミュレーションでは人口情報から予測される避難者の数を道路幅員と長さから算出した面積で除すことによって、混雑度を設定する。混雑度に応じて前述の表-1を参考に歩行速度の設定を行う。

(2) 道路の閉塞⁴⁾

建物被災によって道路が閉塞され、閉塞率によっては通行が不可能になる。そこで、シミュレーションでは道路の閉塞率を幅員別に以下の手順で求める。これは、阪神・淡路大震災時の調査を基に作成された。

【幅員 3.5m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率 (\%)} = 0.9009 \times [\text{建物被災率}] + 19.845$$

【幅員 3.5m 以上 5.5m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率 (\%)} = 0.3514 \times [\text{建物被災率}] + 13.189$$

【幅員 5.5m 以上 13m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率 (\%)} = 0.2229 \times [\text{建物被災率}] - 1.5026$$

建物被災率は、揺れと液状化の被害を対象として、以下の式により算出する。

$$\text{建物被災率} = \text{全壊率} + \frac{1}{2} \times \text{半壊率}$$

(3) 橋梁被害による交通遮断⁴⁾

揺れや液状化によって、橋梁が被害を受け通行が不可能になり避難ルートに制限が発生する。

シミュレーションで、橋梁被害の有無は以下の条件で設定を行う。この条件は、阪神・淡路大震災時の調査を基に設定された。

- 1) 震度 6 強のエリアにある橋梁のうち、耐震性の低い橋梁は被害を受け、使用不可。
- 2) PL 値 15 以上のエリアにある橋梁のうち、耐震性の

低い橋梁は被害を受け、使用不可。

※耐震性の低い橋梁

昭和 54 年度以前に架設され、その後補強が行われてないもの。

(4) 避難所に関する情報

シミュレーション対象地域で避難所に指定されている学校や公園をピックアップする。次に、それらの避難所の収容人数を設定する。収容人数の設定方法は、避難所の面積を長期滞在に必要な最低限の占有面積 (2 m²/人) で除して求める。学校を例にした場合、式 (3) のようになる。自治体によっては、予め収容人数が算出されているところもある。

$$\frac{\text{延べ面積 (体育館 + 普通教室)}}{\text{避難所滞行者 1 人あたり占有面積 (2.0m}^2\text{)}} \quad (3)$$

後はシミュレーションが進むにつれて避難所の収容率を逐一更新し、その情報を被災者に提供する。

8. おわりに

本研究では、地震発生直後の電子情報の収集と活用に関する、新しいシステムを提案した。また、避難行動シミュレーションのシナリオを作成し、その数値化を行った。今後は、被災者の行動に関するいくつかのアンケートを行って数値化を完了し、実際にシミュレーションすることで、提案システムの有効性を検証することが必要である。

【参考文献】

- 1) 首都直下型地震避難対策等専門調査会報告
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutoc_hokka/houkoku.pdf, 2010. 1. 15.
- 2) 中央防災会議、首都直下地震避難対策等専門調査会：首都直下地震避難対策等専門調査会報告
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutoh_inan/081027/siry03.pdf
- 3) 大佛俊泰：大地震時における都市内滞留者の帰宅意思と帰宅行動、日本建築学会計画系論文集 Vol. 73, No634, pp. 2679-2687, 2008. 12
- 4) 埼玉県：埼玉県地震被害想定調査報告書
<http://www.pref.saitama.lg.jp/A05/BC00/h19higaisoutei/index.html>, 2009. 1. 15.