

SNS を介した混雑情報の交換行動を考慮した 動的な避難所選択行動シミュレーション

南 貴久, 加藤 孝明

都市部においては、災害時の避難所の収容力不足が懸念される。避難所への避難者の割り当てや誘導員の配置の最適化などの研究はこれまでもなされてきたが、東日本大震災の際の東京の状況を見るに、被災者に事前に決められたとおりの避難所に入ってもらおうというのは非現実的であろう。一方、近年 SNS によって個人間の情報のやり取りが容易となっている。本稿では、災害時に SNS を介した避難所の混雑情報の交換が行われることを想定し、その行為が都市全体の避難の効率にどのような影響を及ぼすかを MAS により検討する。

キーワード：避難、施設配置、避難シミュレーション、マルチエージェントシミュレーション、情報伝達、SNS

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年、ソーシャルネットワーキングサービス (Social Networking Service, SNS) が普及しているが、それにより人々の情報取得・発信行動に大きな変化が起きていると言っても過言ではないだろう。SNS が従来の情報伝達手段と一線を画す大きな特徴は、個人が発信した情報が時間や空間を越えて不特定多数の人々に伝わるという点にあると言えよう。従来から、個人が発信した情報を発信する手段として、電話やメール、会話などが存在しているが、一度にその情報を伝えることのできる相手は、特定の 1 人かせいぜい数人が限度である。社会の不特定多数の人々に情報を発信できるのは、いわゆる「マスメディア」と言われるようなオンライン化された手段に限られていた。SNS が普及することで、個人が発信する情報が社会全体に影響を与える可能性が開かれたのである。

さて、東日本大震災が発生した 2011 年は、まだ日本における SNS の黎明期であったが、すでに Twitter などの SNS が情報共有のメディアとして利用されていたことが知られている。たとえば、茨城県つくば市においては、市の職員や市議が足りない物資の提供を Twitter で呼びかけたところ、2 時間弱で確保するこ

とができたという [1]。また、河井と藤代 [2] の調査によると、Twitter で避難所の情報を得た人は 16.7% であり、そのうち 43.8% の人が SNS を通して知人・友人や他人に再伝達していた。この割合は地震の規模や被害状況などのほかの項目よりも多くなっており、避難所に関する情報は、細かい情報を双方向的に発信することができる SNS が扱うのに適した情報であると考察されている。しかし、千葉県市原市の製油所で発生した火災に関して、「有害物質が降り注ぐ」というデマが拡散した [1, 3] という事実からもわかるとおり、SNS の情報の拡散性は、場合によってはかえって社会に混乱を招く可能性もはらんでいることに留意が必要である。

一方、都市部における災害避難を考えるうえでは、避難所の収容力不足が大きな課題である。2007 年に中央防災会議が行った自治体への照会結果 [4] によると、各自治体が想定している一次避難所における 1 人当たりの収容面積は、東京都区部の平均で 1.69 m^2 、東京都多摩地区の平均で 1.57 m^2 となっており、一部の自治体では 1 m^2 を下回っている。これは、「身を横たえ休息をとるのも困難な状況であった」という阪神・淡路大震災の発生直後における 1 人当たりの占有面積 $1.0 \sim 1.7 \text{ m}^2$ よりもさらに厳しい条件であるが、この条件で計算してもなお、自区内では想定される避難者を収容しきれない場合があるとされている。

また、都市部では災害の発生する時間帯などによって人口分布が大きく異なることから、避難者をあらかじめ決められた避難所に割り振っておくのが難しいという問題もある。しかし、ただでさえ避難所の容量が足りていない中で、一部の避難所に避難者が集中して

みなみ たかひさ
 東京大学大学院工学系研究科
 minami-t@iis.u-tokyo.ac.jp
 かとう たかあき
 東京大学生産技術研究所
 〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1
 kato-t@iis.u-tokyo.ac.jp

押し寄せてしまった場合、さらに避難所の環境が劣悪になり、あるいは入れなかった避難者が街にあふれ出てしまう懸念が生じる。そのため、発災後には、状況に応じた適切な避難者の誘導を行うことが求められる。従来であれば、マスメディア、広報車や防災行政無線、あるいは誘導員の配置などによる誘導が想定されていただろうが、今後は SNS による避難者の自主的な情報取得・発信行動を無視することはできないだろう。

そこで、本研究においては、SNS を介した避難所の混雑に関する情報の取得・発信行動に焦点を当て、情報を随時発信し合うことが避難の効率化をもたらすのか、それとも逆に混乱をもたらすのかを考察する。

1.2 研究の方法

避難者と避難所をエージェントとするマルチエージェントシミュレーション (Multi-agent Simulation, MAS) 上に、SNS などの情報インフラの機能を再現する。情報交換などによって相互作用をさせながら避難者エージェントに避難行動を行わせ、その結果として表れる都市全体の避難の効率を評価し、SNS が与える影響を考察する。

1.3 先行研究と本研究の位置づけ

安福 [5] によれば、日本国内におけるシミュレーションを用いた災害避難行動の研究は 1970 年代から行われており、特に 2000 年代以降は MAS を用いた手法が定着してきている。しかし、避難所の混雑状況に関する情報の取得を考慮した研究は見受けられない。情報のやり取りの要素を含んだモデルとしては、村木と狩野 [6]、松島ら [7, 8] が避難経路を示す情報の取得行動を考慮したシミュレーションを行っている。また石橋と藤岡 [9]、藤岡ら [10] は、リンク (避難経路) の混雑状況を含めたさまざまな情報をもとに避難行動選択を行うモデルを構築している。ただ、これらのモデルにおける情報の取得手段は、防災行政無線・誘導員による拡声器を用いたアナウンス・近傍の避難者間の直接の情報伝達であり、SNS のような離れたところにいる避難者間での情報交換は考慮されていない。

一方、避難施設の割当てや配置の最適化にアプローチした研究も多数行われている。たとえば野津田と岸本 [11] は、容量制限のある避難所への避難者の割当てについて、ミニサム (避難距離の合計値の最小化) とミニマックス (避難距離の最大値の最小化) の間に最適な割当てがあると考え、距離の 2 乗和を最小化する割当ての優位性を示唆している。

消防科学総合センター [12] は、シミュレーションを用いたものを「試行錯誤的政策選択モデル」、避難施

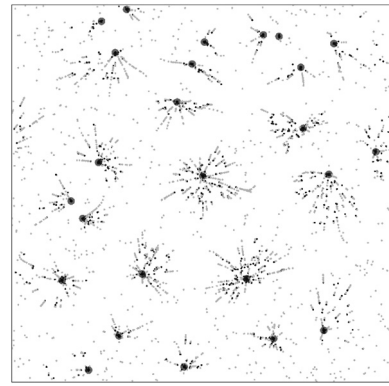


図 1 シミュレーション実行例

設の割当て・配置の最適化を行ったものを「規範型政策 (解) 導出型モデル」と分類している。本研究では、前者の手法を用いて、避難者に情報をもとに判断を変えながら避難先を動的に決定させ、後者の研究で用いられている評価基準でその避難を評価する。

2. シミュレーションの設計

2.1 シミュレーションの全体設計

縦 500×横 500 の正方形の、縦横それぞれの端をつなげてループさせた、トーラス状の空間¹に広がる都市を仮定する。この都市に 5,000 の避難者と 25 の避難所をおき、各避難者がいずれかの避難所に避難する場合について考える。

避難者は時刻 $t = 0$ で災害が発生すると、目的の避難所を決定し、単位時間 (1 Step) 当たり 1 の速さで移動する。避難所から距離 1 以内に到達すると、その避難所の混雑状況をもとにそこに避難するかを判断する。避難できないと判断した場合は、目的避難所を変更して移動を続ける。また、避難者が避難所の混雑度などに関する情報を受け取った場合には、その避難所から離れていても避難先を変更することができる。避難者のうちの 99% が、いずれかの避難所に避難完了となった時点で、都市全体の避難がおおむね完了したものとみなしてシミュレーションを終了する。

図 1 は、実際に避難シミュレーションを実行している場面の例である。避難所の分布は、10 通りのパターンをあらかじめ適当に定めておき、それぞれの配置についてシミュレーションを行い、地域特性による結果の違いを見ることとした。発生する避難者は、都市の

¹ 一見すると奇妙な仮定ではあるが、同質の都市が接続していると考えるとよい。

中央ほど多く、外縁に行くほど少なくなるように設定し、都市内の人口分布の偏りを再現している。

2.2 変数と定数の定義

・所与の定数（パラメータ）

R_{use} : 避難者に占める SNS ユーザーの割合

N_f : 有名人 SNS ユーザーの人数

r_{LM} : ローカルメディア受信半径

・避難者 i に固有の変数

O_i : 避難者 i の避難先候補の集合
(初期状態では全避難所を要素とする)

o_i : 避難者 i の現在の目的避難所

$D_i(j)$: 避難者 i と避難所 j の距離

$I_i(j)$: 避難者 i がもつ避難所 j についての情報

・避難所 j に固有の変数

$C_j(t)$: 時刻 t における避難所 j の定員超過率

2.3 避難者の属性

避難開始時点で最寄りの避難所の位置を知っている避難者は全体の 2 割であり、その他の避難者は自分の視野（半径 5 以内）に避難所を捉える、または避難所情報を受信するまでの間は、周囲の他者の中から 1 名を自分のリーダーとして選択し、その人について行く。

2.4 情報伝達行動の設計

2.4.1 情報の定義

実際の避難の場面ではさまざまな避難情報がやり取りされることが考えられるが、本モデルでは簡易化のために、避難者間に流れる情報を以下の 4 種類とした。

$$I_i(j) = \begin{cases} 0 : \text{避難所 } j \text{ は混んでいる} \\ 1 : \text{避難所 } j \text{ はやや混んでいる} \\ 2 : \text{避難所 } j \text{ は空いている} \\ 3 : \text{避難所 } j \text{ はカレーを配っている} \end{cases}$$

2.4.2 SNS モデルの構築

本研究では、SNS を特徴づける基本要素として、

- 空間超越性：発信者から離れていても受信できる
- 時間超越性：発信からある程度の時間経過後も、発信情報の拡散や受信が可能である
- 拡散性：情報が次々に転送されていく

の三つを抽出した。これらを満たすように配慮して、Twitter を模した簡易 SNS を MAS 上に再現した。実際、東日本大震災においても、実名を基本とする Face-

book が友人・知人の状況確認に多く用いられた一方で、匿名性の高い Twitter は情報の収集に用いた人が多かったという調査結果 [1] も出ており、本研究のモデルとしても妥当であると考えられる。

2.4.3 SNS モデルの基本構造

SNS は、全避難者のうちの一定割合 R_{use} の人々が利用できるものとした。SNS モデルは、「ツイート」「タイムライン (TL)」「ツイート検索」「リツイート (RT)」の四つの機能で構成されている。SNS のユーザーは情報の発信者・受信者・拡散者を兼ねており、一般のユーザーは全員がこの四つすべての機能を利用できるものとした。

2.4.4 情報の発信機能：ツイート

ツイート機能は、情報を投稿・発信する機能である。投稿されたツイート m は、以下の様式でサーバー上のデータを表す変数 $Tw(m, n)$ に記録される。

$$\begin{aligned} Tw(m, 0) &= j && \text{(情報対象の避難所名)} \\ Tw(m, 1) &= I(j) && \text{(避難所 } j \text{ の情報)} \\ Tw(m, 2) &= t && \text{(情報の発信時刻)} \\ Tw(m, 3) &= i && \text{(情報発信者名)} \\ Tw(m, 4) &= m' && \text{(情報元のツイート番号)} \end{aligned}$$

2.4.5 情報の受信機能：タイムライン取得と検索

各ユーザーは、500 人のほかのユーザーをフォロー（読者登録）している。自分の TL には、フォローしているユーザーのツイートが最新のものから順に表示される。TL を読む際には、まず最新のものから何件目まで読むのかを決定する（1~20 件のうちのランダムな件数が選ばれる）。そして、情報一つずつ読み、その情報 $Tw(m, 1)$ を $I_i(j)$ にコピーする。

ユーザーは、ツイートの検索によっても情報を得ることができる。ツイート検索は、現在の目的避難所 o_i の混雑状況を把握するために行われる。具体的には、 o_i に関するツイート検索を行うと、その避難先についての最新のツイート（つまり、 $Tw(m, 0) = o_i$ であるツイート）が、自分のフォロー有無にかかわらず取得できる。その情報 $Tw(m, 1)$ を $I_i(o_i)$ にコピーする。

2.4.6 情報の拡散機能：リツイート

情報 m' を受け取ったユーザーは、10%の確率でその情報を自分のツイート m として再発信 (RT) する。これにより、自分をフォローしているユーザーの TL にもこの情報が表示されることになる。

2.4.7 特殊なユーザー：有名人と公式アカウント

有名人ユーザーは、TL と RT の機能のみ利用可能なユーザーである。避難者ではないため、避難行動は行

わない。被災地外に存在し、情報を広めるボランティアのような働きを担う人を表している。有名人ユーザーは一般ユーザー 500 人とすべての有名人ユーザーをフォローしており、逆に一般ユーザーもすべての有名人ユーザーをフォローしている。つまり有名人が RT すると、その情報は全ユーザーが読める状態となる。

また公式アカウントは、ツイート機能で情報を一方的に発信するだけのユーザーである。ある避難所の情報（カレー配布を含む）を公式情報として発表することができる。公式アカウントも全ユーザーがフォローしており、全ユーザーの TL に表示される。

2.4.8 ローカルメディアモデルの構築

SNS と比較するため、従来型の情報発信のモデルとして、ローカルメディア (LM) モデルを MAS 上に表現した。これは防災行政無線やエリアメールなどに対応しており、避難所から半径 r_{LM} の範囲にのみ、その避難所の公式の混雑情報が発信される。その時間・場所にいる人たち全員に情報が伝わるのが特徴である。LM が配信されている場合、情報発信は 10 Step ごとに行われる。情報を取得した避難者は、SNS と同様に、 $C_i(j)$ にその情報を格納する。ただし、得られた情報を直接拡散する手立てはない。

2.5 避難行動の設計

本シミュレーションは、避難者の行動によって進行していく。すでに避難が完了している避難者は、何も行動しない。避難先候補がなくなってしまった ($O_i = 0$) 避難者は、そのまま 1 歩前進する（当てもなくさまよう）。その他の避難者は、各時刻 (Step) t において、次のような行動をとる。

2.5.1 避難所情報の取得

SNS や LM による避難所情報の発信が有効になっている場合、避難者は情報遮断中でなければ情報を取得することができる。LM が利用可能かつ配信時刻 ($t = 10n, n \in \mathbb{N}$) であれば、LM を受信する。LM を受信しない場合で、自分が SNS のユーザーである場合は、1/10 の確率で SNS から情報を受信する。そのとき、TL を読むか、ツイート検索を行うかを選択する。TL は $t \geq 30$ でしか利用できない（初期は空いている情報ばかりが流れていて情報の価値がないため）。一方で、ツイート検索は o_i の情報が 1 件以上投稿されていなければ利用できない。どちらかしか利用できない場合は、利用できるほうを選択する。どちらも利用できない場合は、半々の確率でランダムに選択する。

情報を取得した場合、 $I_i(j)$ に格納された情報に基づいて、次のような判断を行う。

- $j = o_i$ である場合
 - ・ $I_i(j) = 0$ (混んでいる) のとき
1/2 の確率で j を O_i から除外し、 o_i を選びなおす。
 - ・ $I_i(j) = 3$ (カレーを配っている) のとき
1/5 の確率で情報遮断の状態になる。
- $j \neq o_i$ である場合
 - ・ $I_i(j) = 0$ (混んでいる) のとき
1/10 の確率で j を O_i から除外する。
 - ・ $I_i(j) = 2$ (空いている) のとき
 $1/(D_i(j) + 1)$ の確率で o_i を j に変更する。
 - ・ $I_i(j) = 3$ (カレーを配っている) のとき
 $3/(D_i(j) + 3)$ の確率で o_i を j に変更し、情報遮断の状態になる。

カレーを配っているという情報を得て、その避難所に向かう際は、特にその避難所にこだわりをもって考えると考えられることから、その避難所にたどりつくまでの間、ほかの情報の受信を遮断する。

2.5.2 目的避難所の決定／更新

- 避難所既知の場合
ここでは特に何もしない。
- 避難所未知、リーダー確定済の場合
リーダーのいる方向を向く。
- 避難所未知、リーダー未定の場合
自分の前方に、避難所既知またはリーダー確定済である避難者 l が存在すれば、その l を自分のリーダーとして決定し、 l の方向を向く。リーダー候補が自分の近くに 1 人もいない場合は、リーダー未定のまま前方 $\pm 5^\circ$ の範囲で適当に向きを変える。

2.5.3 前進／避難所到達判定

- 避難所既知の場合
避難所が半径 1 以内に存在するかどうかを調べ、存在すれば当該避難所にたどり着いたとみなし、避難完了判定を行う。存在しなければ、1 だけ前進する。
- 避難所未知の場合
自分の視野 (半径 5) 内に避難所があれば、そこを自分の目的避難所 o_i に定める (ここで既知となる)。特に、半径 1 の範囲に避難所が存在する場合、その場で避難完了判定を行う。それ以外の場合には o_i の方向に 1 だけ前進する。一方、視野内に避難所がない場合は、今向いている方向に 1 だけ前進する。

2.5.4 避難完了判定

避難完了判定では、その避難所に入るかどうかの意

思決定を行う。各避難所の定員は 100 人であるが、これは快適に避難できる人数であり、実際は多少の不快感を許容して定員以上に避難者が入ることができるものとする。各避難者 i には、避難所の定員に対して何倍までの混雑を許容するかを示す限界許容混雑度

$$\bar{C}_i(t) = \bar{C}_{i0} \times 2^{\frac{t}{k}}$$

を定めている（避難者は時間が経つにつれて歩き疲れてくるため、許容度混雑度は大きくなっていく）。ここで、 \bar{C}_{i0} は限界許容混雑度の初期値で、各避難者に異なる値が与えられている。 k は \bar{C}_{i0} の 2 倍の混雑を許容するようになる時刻を示すパラメータで、本研究においては、一律に $k = 1000$ と定めている。

さて、避難者は実際の定員超過率 $C_j(t)$ と自分の許容度を比較し、その避難所 j に入るかどうかを判定する。

- $C_j(t) < \bar{C}_i(t)$ (限界許容混雑度未満) のとき
その混雑を許容し、避難所 j に入る。
- $C_j(t) \geq \bar{C}_i(t)$ (限界許容混雑度以上) のとき
避難所 j には入らない。 O_i から j を除外し、 O_i に残っている避難所のうち最寄りの場所を新たな目的避難所 o_i に定め、避難を継続する。

避難完了判定を行った際には、当該避難者が SNS ユーザーである場合、3/10 の確率でその避難所 j の混雑状況をツイートする。 $\bar{C}_i(t)$ と $C_j(t)$ の比較により、次のような情報を発信する。

$$I(j) = \begin{cases} 0, & \text{if } 0.8 \bar{C}_i(t) \leq C_j(t) \\ 1, & \text{if } 0.2 \bar{C}_i(t) \leq C_j(t) < 0.8 \bar{C}_i(t) \\ 2, & \text{if } C_j(t) < 0.2 \bar{C}_i(t) \end{cases}$$

つまり、発信する情報は客観的な混雑率ではなく、発信者の主観的な混雑具合としている。

3. シナリオ設定

避難所情報の取得・交換行動による避難行動への影響を考察するため、パラメータを少しずつ変化させたシナリオを立ててシミュレーションを実行し、結果の比較を行った。

3.1 シナリオ比較 A：SNS 利用率の影響

シナリオ比較 A では、SNS 普及率の変化と避難の効率性の相関関係を調べるため、SNS の利用率 R_{use} を 0% から 100% まで 10% ずつ上げて比較を行った。有名人は 0、LM の発信はなし、カレー配布もなしとした。

3.2 シナリオ比較 B：有名人ユーザーの影響

シナリオ比較 B では、有名人の存在が与える影響を調べるため、 R_{use} を 50% に固定したうえで、有名人数 $N_f = 0, 500, 1,000$ の 3 パターンの比較を行った。LM の発信とカレー配布はいずれもなしとした。

3.3 シナリオ比較 C：ローカルメディアの効果

シナリオ比較 C では、LM (防災無線、エリアメールなど) の効果を調べるため、 R_{use} を 0% とし、 $r_{LM} = 0, 50, 100$ とした 3 パターンを比較した。カレー配布はなしとした。

3.4 シナリオ比較 D：カレー配布情報の影響

シナリオ比較 D では、避難所でのカレー配布情報 (混雑の大小に関わらない、特定の避難所の魅力を伝える情報) の影響を調べるため、

$$(R_{use}, r_{LM}) = (50\%, 0), (0\%, 100), (50\%, 100)$$

の三つのパターンについて、それぞれ $t = 50$ にカレー配布情報を流す場合と流さない場合の比較を行った。

4. 評価指標の設定

本研究では、避難者の視点に立った避難効率 (所要時間) と、対応者の視点に立った避難効率 (避難所間の避難者数の均衡) の二つの観点から評価指標を定めた。

- 避難の所要時間 (= 歩行距離) の短縮
 - ・ L_{sum} : 総歩行距離 (平均避難完了時間)
全避難者が歩行した距離 (時間) の合計。値が小さいほど、避難時間の平均が短縮したと考えられる。これは、避難所配置最適化問題のミニサム基準に対応する。
 - ・ L_{max} : 最長歩行距離 (99% 避難完了時間)
99% の避難者が、いずれかの避難所への避難を完了するまでの所要時間。値が小さいほど、避難時間の最大値が短縮したと考えられる。これは、最適化問題のミニマックス基準に対応する。
- 避難所間の避難者数のバランスの改善
 - ・ σ_f : 最終分散
99% 避難完了した際の、各避難所の収容避難者数の分散値。値が小さいほど、最終的に避難者数の均衡が実現したと考えられる。
 - ・ R_σ : 最終/最大分散比
シミュレーション開始から終了までの間の各避難所の収容避難者数の分散値の最大値に対する、最終分散の比率。値が小さいほど地理的条件から起こる初期の不均衡を、情報によって後から改善する効果があったと考えられる。

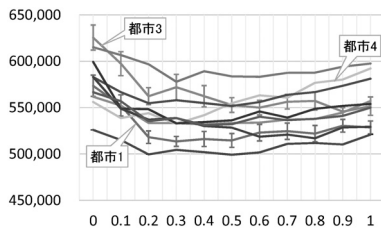


図2 総歩行距離 L_{sum}

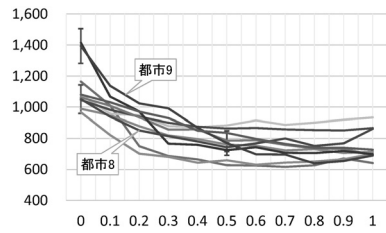


図3 最長歩行距離 L_{max}

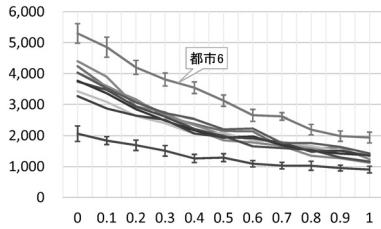


図4 最終分散 σ_f

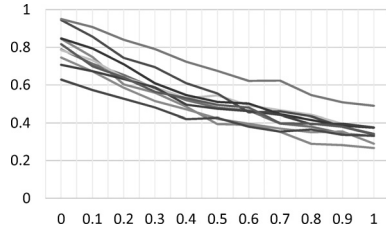


図5 最終/最大分散比 R_σ

シナリオ比較 A (横軸は R_{use} , それぞれの線は各都市に対応する).

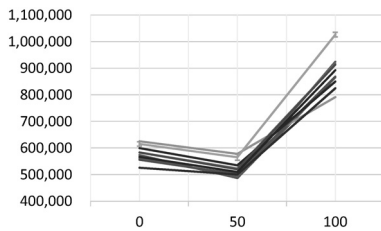


図6 総歩行距離 L_{sum}

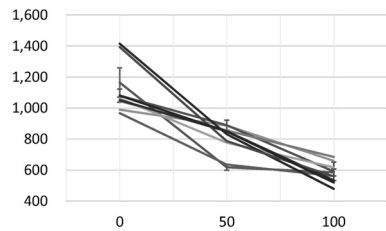


図7 最長歩行距離 L_{max}

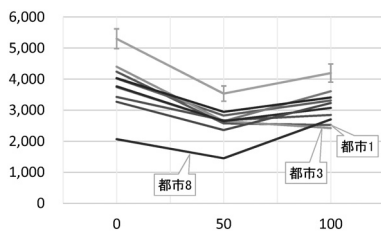


図8 最終分散 σ_f

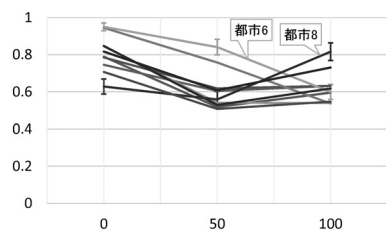


図9 最終/最大分散比 R_σ

シナリオ比較 C (横軸は r_{LM} , それぞれの線は各都市に対応する).

5. データ採取と処理

シミュレーションは、各シナリオ (条件) について、避難所分布の異なる 10 の都市 \times 10 回ずつ = 100 回実行した。同一都市の 10 回の評価指標データは、平均 (標本平均) と分散 (不偏標本分散) を算出し、自由度 9 の学生 t 分布を用いて母平均の 95% 信頼区間を推定した。シナリオ間での評価指標の平均値の差が、各シナリオでの信頼区間の幅以上に顕著だった場

合、その差は有意であると結論づけることとした。

6. 結果と考察

シナリオ比較 B・D では、シナリオ間でほとんど有意な差が見られなかった。本稿では、紙面の都合上、特に有意差が生じたシナリオ比較 A および C の結果について詳しく述べる。

6.1 シナリオ比較 A

6.1.1 避難時間

図 2 を見ると、 R_{use} が 0~20% へ増加するにつれて L_{sum} が減少する傾向が見られ、特に都市 1・3 では有意に減少している。ところが、20% 以上になるとどの都市も横ばいとなり、60% 以上になると都市 4 のようにかえって有意に増加する場合もある。

図 3 より、 L_{max} についても、SNS 普及初期は有意な改善が見られるが、30% 程度以上では有意な改善は見られなくなる。また、図 3 では都市 8 と 9 の $R_{use} = 0\%$ 、50% の値に信頼区間を付しているが、0% のときには存在する有意な地域差が、50% では有意と言えないまでに縮まっている。このように、従来は地理的条件から避難に時間を要する人がいた地域でも、SNS の普及により避難時間を短縮できる可能性が示唆された。

6.1.2 避難所間の人数バランス

σ_f (図 4) は R_{use} の増加にともない、明らかに減少する。特に、 $R_{use} = 0\%$ での分散が大きい都市 6 では減少幅が大きく、SNS を利用することで都市間の格差が縮まっていることがわかる。

R_σ (図 5) で見ると、どの都市でも R_{use} が大きいほど改善度が高くなっている。最初に地理的特性から生じた分散を、情報の拡散によって解消する効果があることがわかる。

6.1.3 考察

避難所間の避難者数のばらつきを減らすという観点からは、SNS の利用率は上がれば上がるほどよい。しかし、避難の所要時間に関しては、SNS が 20~30% 程度までの利用率であれば改善効果があるが、利用率があまり高くなってしまうと、かえって悪化してしまう可能性が示された。SNS の普及率を政策的にコントロールすることは困難であると考えられるため、避難の所要時間が増えすぎないように、混雑しにくい避難所にあらかじめ避難者を誘導するなど、別の観点からの政策を検討する必要があると考えられる。

6.2 シナリオ比較 C

6.2.1 避難時間

図 6 を見ると、LM の受信半径 $r_{LM} = 50$ の場合、0 (LM なし) の場合と比較して L_{sum} はやや減少する。しかし、 $r_{LM} = 100$ では大幅に増加する。この増分は都市間の差異をはるかに上回っている。 $r_{LM} = 100$ では、ほとんどの地点で複数の避難所の情報を同時に入手することになる。そのため、避難者は多くの情報に翻弄され、 L_{sum} が長くなってしまった可能性がある。

L_{max} (図 7) は、 $r_{LM} = 50, 100$ に広がるにつれて

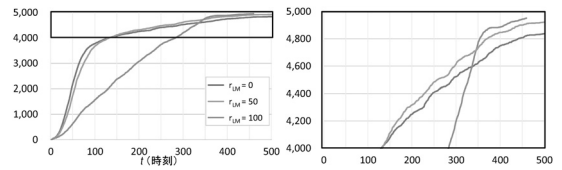


図 10 時系列避難者数 図 11 時系列避難者数 (拡大)

有意に減少する。また、LM なしの場合と比較して、地域間の格差が小さくなる傾向が見られる。

6.2.2 避難所間の人数バランス

σ_f (図 8) は、ほとんどの都市において、 $r_{LM} = 50$ が最も小さくなっている。 $r_{LM} = 100$ の場合は、都市 8 を除いて 0 の場合よりは改善するが、都市 1, 3 を除けば $r_{LM} = 50$ よりも悪化する傾向が見られる。

R_σ (図 9) でみると、 $r_{LM} = 0$ と $r_{LM} = 50$ を比較すれば、 $r_{LM} = 50$ のほうが小さいが、 $r_{LM} = 50$ と $r_{LM} = 100$ の比較では、地域によって $r_{LM} = 100$ でさらに値が減少する場合 (都市 6) と、逆に増加する場合 (都市 8) がある。特に、都市 8 については、何の情報も発信しなくても R_σ がほかの配置よりも小さいので、避難者数の均衡の観点からは、LM 配信が無用な混乱を招いているとも受け取れる。

6.2.3 考察

シナリオ比較 C においては、LM を広範囲に発信すると L_{sum} は著しく伸びるが、 L_{max} は短縮されるという奇妙な結果が出たが、この原因を考察をしてみたい。

図 10 は、 L_{max} で、 $(r_{LM} = 0) > (r_{LM} = 50) > (r_{LM} = 100)$ という顕著な傾向が見られた都市 7 の一つのサンプルデータを取り出して、避難完了者数の時系列変化をみたものである。 $r_{LM} = 0, 50$ では、 $t = 150$ までに 8 割 (4,000 人) 以上の避難が完了している一方、 $r_{LM} = 100$ では 8 割の避難が完了するのは $t = 270$ 以降である。所要時間の長い避難者が多いため、 L_{sum} が大きな値をとっていたことがわかる。

図 11 は、図 10 の黒枠部を拡大したものである。 $r_{LM} = 100$ の避難者数が $t = 300$ を過ぎたところではかを逆転し、最速で 99% の避難を達成していることがわかる。逆に、 $r_{LM} = 0, 50$ は最後の数百人の避難に長い時間を要していることが読み取れる。これは、混雑の許容度 \bar{C}_i が小さい一部の避難者は、多くの情報を受け取れる場合は、混雑している避難所を候補から早々に外すことで効率的に空いている避難所を見つけられるが、情報が少ない場合には、避難所を行き来して判断することが影響していると考えられる。LM は公式の正確な情報を発信しているが、誰でも受信可能

なメディアという特性を考慮し、状況に応じて発信範囲をコントロールする必要があることが示唆された。

7. まとめと今後の展望

本研究では、SNSの普及による避難所間の人数バランスの一部改善効果と、LMの発信半径による効果の良し悪しの違い、という二つの示唆を得ることができた。

今後の展望としては、避難所配置の特性についての分析を行うことで、具体的にどのような特性がSNSの効果の差を生じさせるのかを明らかにしたい。また、あわせてパラメータ設定の妥当性の再検討や感度分析などを行って信頼性を高め、本研究をSNS時代の避難計画のあり方を検討するための一助としたい。

謝辞 本研究は筆者の卒業研究として行ったものである。助言をくださった東京大学工学系研究科（当時）の小出治先生、（株）構造計画研究所の志村泰知様に感謝を申し上げる。

付記 本稿は、2015年度日本建築学会大会（関東）における口頭発表 [13] の内容に加筆・再構成したものである。

参考文献

- [1] 吉次由美, “東日本大震災に見る大災害時のソーシャルメディアの役割,” 放送研究と調査, **61**(7), pp. 16–23, 2011.
- [2] 河井孝仁, 藤代裕之, “東日本大震災の災害情報におけるTwitterの利用分析,” 広報研究, **17**, pp. 118–128, 2013.
- [3] 村上圭子, “「震災ビッグデータ」をどう生かすか —災害情報の今後を展望する—,” 放送研究と調査, **63**, pp. 2–25, 2013.
- [4] 中央防災会議, 「首都直下地震避難対策専門調査会報告 避難者に係る対策の参考資料」, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutohinan/pdf/sanko01.pdf> (2017年5月4日閲覧)
- [5] 安福健祐, 「大規模災害を想定した避難シミュレーションの現状と課題」, http://www.jsces.org/koenkai/17/_Symposium/documents/Yasufuku.pdf (2017年4月30日閲覧)
- [6] 村木雄二, 狩野均, “地域性を考慮した広域災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル,” 人工知能学会論文誌, **22**, pp. 416–424, 2007.
- [7] 松島弘, アランニヤ・クラウス, 狩野均, “避難者の情報伝達能力を考慮した広域災害避難シミュレーション,” 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告, **2014–MPS–100**(7), pp. 1–6, 2014.
- [8] 松島弘, アランニヤ・クラウス, 狩野均, “避難者の情報伝達を考慮した地震・津波避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル,” 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告, **2015–MPS–106**(4), pp. 1–6, 2015.
- [9] 石橋健一, 藤岡正樹, “エージェントモデルによる災害時避難行動シミュレーションの試み—湘南海岸における事例—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **47**(7), pp. 447–452, 2002.
- [10] 藤岡正樹, 石橋健一, 梶秀樹, 塚越功, “津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価,” 日本建築学会計画系論文集, **67**(562), pp. 231–236, 2002.
- [11] 野津田宗聡, 岸本達也, “地域避難施設の最適割当てと最適配置手法に関する研究—地域避難施設の配置計画手法に関する研究 その1—,” 日本建築学会計画系論文集, **589**, pp. 115–122, 2005.
- [12] 消防科学総合センター, 『地域防災データ総覧 地域避難編』, 消防科学総合センター, 1987.
- [13] 南貴久, 加藤孝明, “MASを用いた災害避難行動に与えるSNSの効果と影響の考察—Twitterによる避難所混雑情報の共有を例に—,” 日本建築学会学術講演梗概集 2015 (都市計画), pp. 417–418, 2015.