

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

南 貴久¹, 加藤 孝明²

¹ 東京大学 工学部 都市工学科

² 東京大学 生産技術研究所

1. はじめに

(1) 問題意識と研究の目的

近年、ソーシャルネットワークワーキングサービス (Social Networking Service, 以下SNS) が急速に普及し、人々の間のコミュニケーション・メディアの構造を大きく変えたことで、社会における情報の伝わり方が大きく変化した。このことは、平時と比較しても、質の高い情報をいかに獲得するかが生死にまで直結するほど重要である災害時において、特に大きな意味を持つ。

SNS普及以前は、マス・メディアに特筆されるような1対多数型の、一方向型の情報伝達手法が主流であったため、災害情報は社会全体のニーズの高いインフラ情報等の一元化された情報をマス・メディアを通じて伝える、といった活用の仕方が一般的であった。ところが、SNSは個人から個人へ、あるいは個人から社会へ、といった新たな情報伝達ルートを開拓したことで、多様な災害情報のやり取りを可能にした。

一般に、SNSの普及は、従来のマス・メディアが担いきれなかった、被災者や各種組織の細かいニーズに対応できる可能性を持つ画期的なメディアとして、肯定的に捉えられている。特に、避難誘導においては、避難所の状況を個人がリアルタイムに発信することにより、効率的に避難が進んでいくことが期待される。しかし、SNSには従来のメディアとは異なる特性があることにも留意して活用の方法を考えていかなければ、却って情報の混乱を招き、避難を非効率にしてしまう可能性もあるのではないか。

将来発生が懸念される、いわゆる「首都直下地震」等の大都市型災害の場合には、情報の混乱による弊害として、避難所の収容力の問題が想定される。

阪神・淡路大震災においては、発生直後の1人当たり占有面積は1.0~1.7 m²/人の避難所が最も多く、「身を横たえ休息をとるのも困難な状況であった」とされている¹⁾。ところが、首都圏で災害が発生した際に想定される一次避難所の1人当たり収容面積は、東京都多摩の平均で1.57 m²/人、東京都区部の平均で1.69 m²/人などとなり、自治体によっては1 m²/人を下回る場所も存在する(2007年のアンケート調査時点)²⁾など、阪神・淡路大震災並みかそれ以上に劣悪な環境になることが予測される。特に、東京都区部においては、昼間に被災した場合、この調査で想定されている地域住民人口(夜間人口)の数倍の人々が滞留しており、帰宅困難者が「避難者」と化し、同時に避難所に流入してくる可能性もあり、その場合にはさらに状況は深刻となる。

さて、そのような深刻な避難所収容力の不足の中、現代では避難者相互間で、SNSを利用した避難所の混雑情報のやり取りが行われることが十分に想定できる。従来の関東大震災や阪神・淡路大震災等での口コミ型の情報

拡散とは全く違った様相を呈する可能性がある。

そこで、本研究においては、SNSの代表的な性質を抽出して構築した「簡易SNSモデル」を避難時の様々な条件下で運用したときに、避難の効率性に如何なる影響を及ぼすかをマルチエージェント・シミュレーション

(Multi-Agent Simulation, 以下MAS) により定性的に把握し、今後の災害時の情報伝達における留意点を提言したい。

(2) 研究の概要

本研究では、情報の与え方や地域特性(人口・避難所の分布など)を変数とし、大都市における災害時の避難行動の効率性、特に避難所収容人数の均衡性および避難完了までに要する時間を目的関数として、変数を変化させた時の目的関数の変動を評価する。

避難所収容人数の均衡化を図る意義として、発災後の「一晩目」を過ごす状況を想定している。前節で述べた通り、大都市部では住民のほかに、業務や私事でその都市に滞在している帰宅困難者も同時に「被災者」となることが容易に想像できる。災害からある程度時間が経ち、帰宅困難者が帰宅し、行政による避難所の運営体制も整えば、避難者の再配分もある程度は可能となる。しかし、災害発生直後は、帰宅困難者も多く滞留し、体制も整っていないため、避難者を人為的に再配分するのは不可能と言ってよい。特に、災害の発生時間帯にもよるが、その混乱状態のまま迎える発災後の「一晩目」を過ごす場所としての避難所については、避難者の居住性および救援物資の配当の観点から、特定の避難所に避難者が偏ってしまうことによる弊害が大きい。そのため、大都市においては、避難者が最初に避難する避難所の選択が均衡化されることに意義があると考え、それを目的関数として研究を行う。

(3) 先行研究

シミュレーションを用いた災害避難行動の研究は、1970年代頃から行われてきており、2000年代になってからはMASを用いた研究も盛んになっている。しかし、それらの研究では、他者との衝突回避や最短経路探索などのルールをベースにしたものが多く³⁾、情報の概念を導入したものはほとんどない。唯一情報の概念を取り入れた例として見受けられるのが松島ら(2014)⁴⁾であるが、情報伝達媒体として行政無線や誘導員を用いたものであり、SNS時代の情報拡散には対応していない。またシミュレーションのルールのスケールが局所的なものであるのに対して、研究自体が対象とする圏域が広域すぎるなど、問題点も散見される。

一方で、災害情報の分野では、東日本大震災をきっかけとして、災害時のSNSによる情報交換行動に注目が集まっている。ただし、SNSの情報が避難行動にどのよう

な影響を及ぼすかについて、実際に分析した例はまだ見当たらない。

SNS自体をMASでモデル化した例としては、鳥海ら(2008)⁵⁾や稲葉ら(2012)⁶⁾などがあり、SNSとMASの親和性がうかがえるが、避難シミュレーションに応用した例は見当たらない。

SNS自体がごく最近登場したサービスであり、その研究成果はまだ蓄積されていないのが現状である。

(4) 研究の方法

本研究が想定する状況をシミュレーションとして実現させるためには、各行動主体が独自の判断（どこへ避難所に向かうか、どの程度の混み具合であれば許容してその避難所に落ち着くか、など）に基づいて行動し、その総体としての現象（避難所収容人数の均衡性、平均避難所要時間など）を鳥の目で観察する必要がある。また、避難者相互間で情報の伝達という相互作用を発生させたい。

このような、多数の行動主体が同時並行的に各々のルールに基づいて行動し、それらの相互作用によって全体に生み出される現象を発見し分析するためのシミュレーションの手法⁷⁾として、近年MASが普及してきている。

そこで本研究においても、MASのプラットフォーム「artisoc academic Ver. 3.0 for Windows(x64)」を用いて、大都市における災害避難行動と情報伝達行動を組み込んだマルチエージェント・モデルを構築する。そして、そのモデルをパラメータを様々に変化させながら実行し、その結果を定性的に分析することによって、目的関数である避難行動の効率性の変化を評価する。

2. シミュレーションの設計

(1) シミュレーションの全体設計

本研究で構築したシミュレーションの、全体的な設計の概要は次の通りである。

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、トーラス状の空間に広がる都市（CITY）を仮定する。この都市には避難者エージェント（People Agt）と避難所エージェント（Evacuation Agt）がそれぞれ一定数存在する。避難所エージェントの位置は固定されており、避難者エージェントは時刻0で災害が発生すると、この都市を単位時間（1 Step）当たり1の速さで動き回って、自分の避難すべき避難所エージェントを探索する。避難所エージェントから距離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。その避難所がまだ定員に達していないか、達していても自分が許容できる定員超過率であれば、その避難所に避難完了とし、移動を止める。人が多すぎて不快感が高く、避難できないと判断した場合は、別の避難所を探索する。

また、避難者エージェントが避難所エージェントの混雑等に関する情報を何らかの形で受け取った場合には、その避難所エージェントから離れていたとしても、避難不能と判断して避難先候補から外したり、逆にその避難所エージェントに避難先を変更したり、といった判断をすることができるものとする。

避難者エージェントのうちの99%が、いずれかの避難所エージェントに避難完了となった時点で、都市全体の避難が概ね完了したものを見做してシミュレーションを終了する。ただし、99%が避難完了しなくても、まだ避

難完了していない避難者エージェントが、全ての避難所に対して避難不能と判断したエージェント（遭難者）のみになった時点で、シミュレーションは終了とする。

シミュレーション終了時点での、避難所間の収容避難者数のばらつきや、避難者の総歩行距離などの指標を出力し、そのデータに基づき評価・考察を行う。

(2) 都市空間と避難者・避難所エージェントの設計

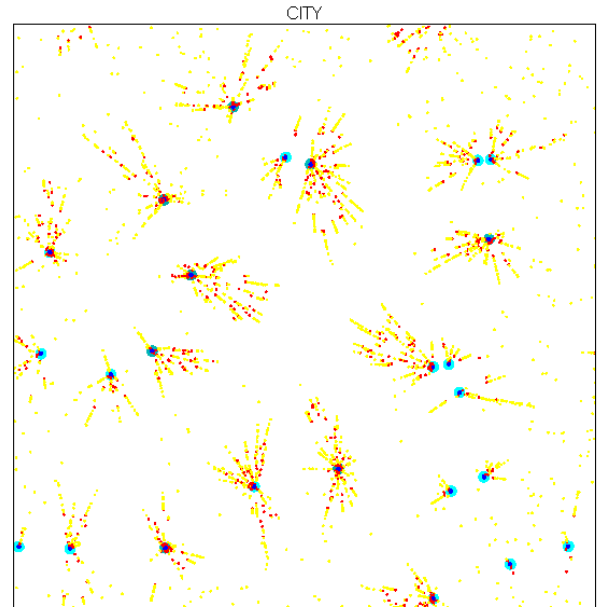


図1 シミュレーションの実行例

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。左下を原点(X, Y)=(0, 0)とし、右上が(500, 500)となるように平面直交座標を設定している。前節で述べた通り、二直線 X=0 と X=500 および、二直線 Y=0 と Y=500 はつながっており、実際は空間がループしている。

避難所エージェントの分布は、プログラム上はランダム配置または格子状定間隔配置が選択できるようにしており、ランダム配置の場合は位置座標を出力しておき、後から同じ配置（指定配置）で他の条件を変えてシミュレーションを行うこともできるようにした。

本研究においては、初めに10通りのランダム配置の分布を作成・出力しておき、その10通りの指定配置について各条件下で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。

避難者エージェントの分布は、都市内における（昼間／夜間）人口の偏りを再現するために、CITY空間上のX座標およびY座標が整数となる各点（格子点）に0-1の範囲で発生確率（≈人口密度）を空間変数として設定し、その確率のもとでエージェントが発生するようにしている。

本研究においては、この空間変数として、都市の中央(X, Y)=(250, 250)において発生確率が1となり、同心円状に密度が低くなっていき、4端(X, Y)=(0, 0), (0, 500), (500, 0), (500, 500)において発生確率が0となるような避難者エージェント分布

$$Z = 1 - \frac{(X - 250)^2 + (Y - 250)^2}{250^2 + 250^2}$$

を採用し、シミュレーションを行っている。（つまり、CITYの画面上の中央ほど人口密度が高く、外縁に行くほど人口密度が低くなっている。）

(3) 情報伝達行動の設計

a) 情報の種類

本シミュレーション・モデルでは、簡易化のために、避難者の間に流れる避難所情報を以下の4種類のみ限定した。

0. 避難所Xは混んでいる

混雑に関する極端な情報。受信者は一定の確率で、目的避難所候補から外す。

1. 避難所Xはやや混んでいる

ニュートラルな情報。避難行動の意志決定には影響しないものとする。

2. 避難所Xは空いている

閑散に関する極端な情報。受信者は、その避難所までの距離抵抗を加味した上で、積極的にその避難所を目的避難所にする。

3. 避難所Xはカレーを配っている

混雑状況に関係なく特定の避難所の魅力を伝える、最も極端な情報。受信者は、その避難所までの距離抵抗を加味した上で、積極的にその避難所を目的避難所にし、その避難所に達するまでは他の情報の受信を遮断する。

避難者が取得した避難所情報は、避難者エージェントに属する変数“CongInfo”で管理される。たとえば、避難所[i]について、避難者エージェント[one]が「混んでいる」という情報を受け取ったとすると、それは“one.CongInfo(i) = 0”というデータが格納されたことに相当する。この変数“CongInfo”を元に、避難者は目的避難所の決定・変更などの判断を行うことになる。

b) 疑似Twitterモデル

避難時のSNSによる避難所情報の交換の例として、避難所の情報のみが流れる、疑似的なTwitter型のSNSモデル（以下、疑似Twitterモデル）を導入した。本研究では、情報メディアとしてのSNSを特徴づける基本要素として、

- ・空間超越性（受信可能性が、発信者と受信者の間の距離に依存しない）
- ・時間超越性（発信から受信までにタイムラグが存在する）
- ・拡散性（AがBに伝えた情報を、BがCに、CがDに、と広がっていく）

の3つを想定した。これらを満たすように配慮して、シミュレーション中で容易に導入可能な簡易なSNSのモデルを設計した。

この簡易SNSの設計に際し、参照する実物のモデルとしては、匿名性が高く、不特定多数の人々の間で情報のやり取りが行われやすい大手SNSである「Twitter」を採用した。実際、東日本大震災においても、実名を基本とするFacebookが「友人・知人の状況確認」に多く用いられた一方で、Twitterは「情報の収集」に用いた人が多かった、という調査結果⁸⁾も出ているため、本研究のモデルとしても妥当であると考えられる。

<基本構造>

疑似Twitterモデルにおいては、投稿された情報＝ツイートは以下の様式でサーバー（シミュレーション上では Universe.TwLog という変数に対応）に蓄積・管理される。

```
// TWEET_NUMBER : ツイートの通し番号
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 0) : 避難所ID
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 1) : 0 - 混、1 - やや混、2 - 空、3 - カレー
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 2) : 情報の時刻
```

(Step数)

```
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 3) : 情報発信者のID
```

```
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 4) : 情報元のツイート番号
```

疑似Twitterモデルは、「ツイート」「タイムライン」「ツイート検索」「リツイート」の4つの機能で構成されている。疑似Twitterの利用者（ユーザー）は情報の発信者と受信者、そして拡散者を兼ねており、一般のユーザーは全員がこの4つ全ての機能を利用できるものとした。

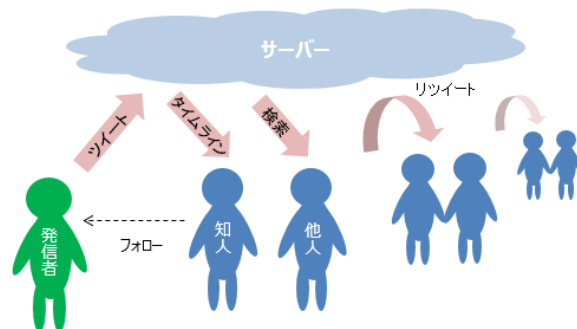


図2 疑似Twitterモデルの概念図

<情報の発信：ツイート>

ツイート機能は、情報を投稿、つまり発信する機能である。情報発信者は、避難所にたどり着くと、一定の確率で避難所情報のツイートを投稿する。この情報は、サーバー上に記録される。

ツイートをを行う際、サーバー（TwLog）状の各項目のデータ内容は、次のようになる。

```
// TWEET_NUMBER : ツイートの通し番号
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 0) : 現在いる避難所のID
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 1) : 現在いる避難所の混雑状況
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 2) : 現在の時刻
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 3) : 自分のID
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 4) : TWEET_NUMBERと同じ番号
```

<情報の受信(1)：タイムライン>

本モデル中のTwitterのユーザーは、一定数（本研究においてはどのユーザーも一律500人に設定）の他のユーザーをフォロー（読者登録）している。自分のタイムライン（ツイートが時系列に並んで表示される画面）には、自分がフォローしているユーザーのツイート（つまり、Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 3) が自分のフォローしているユーザーのIDであるツイート）をサーバーから取得し、最新のものから順に表示される。

タイムラインを読む際には、まず最新のものから何件目まで読むのかを決定する（本研究では、1-20件のうちのランダムな件数に設定）。そして、情報の一つずつ読み、その情報を自分の得た避難所混雑情報

(one.CongInfo(i))として格納する、という動作を繰り返す。

<情報の受信(2)：ツイート検索>

ユーザーは、タイムラインのほかに、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、基本的には現在目的避難所になっている場所の混雑状況

を把握するために行われる。検索窓に、目的避難所の名前を入力して、誰かがその避難所についての情報を発信していないかを探す行為を想定している。

具体的には、自分の現在の目的避難先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、`Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 0)`が自分の目的避難所のIDであるツイート）が、自分のフォローしているユーザー／していないユーザーに関わらずサーバーから取得できる。その情報を自分の避難所情報

(`one.CongInfo(i)`)として格納する。

<情報の拡散：リツイート>

情報を受け取った際には、ある一定の確率（本研究においては、10%に設定している）でその情報を自分からの情報として再発信（転送）する。これがリツイート機能である。

リツイートの際には、ツイートの通し番号は新たに付与される。また、情報発信者のIDには自分のIDが記録される。これにより、自分のフォロワー（自分をフォローしているユーザー）のタイムラインに、この情報が表示されることになる。避難所の位置、混雑情報、時刻は元のツイートと同じ情報がコピーされる。情報源のツイート番号には、元のツイートの通し番号が記録され、リツイートの元になったツイートが追跡できるようになっている。（ほかのユーザーがリツイートした情報を自分が再度リツイートする場合には、自分が直接参照した直前のツイートの通し番号が記録されることに注意されたい。）

```
// TWEET_NUMBER : ツイートの通し番号
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 0) : 元のツイートと同じ
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 1) : 元のツイートと同じ
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 2) : 元のツイートと同じ
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 3) : [自分の] ID
// Universe.TwLog(TWEET_NUMBER, 4) : 元のツイートのTWEET_NUMBER
```

<特殊なユーザーの扱い>

特殊なユーザーとして、有名人ユーザーと公式アカウントが設定されている。

有名人ユーザーは、タイムラインの取得と、取得したツイートのリツイートのみが可能なユーザーである。有名人ユーザーは避難者エージェントの一種であるが、次節で説明する避難行動は行わず、最初から避難完了の状態となっている。被災地外、または被害の小さい地域に存在し、被災地のユーザーに影響力を持っているような人を想定している。

有名人ユーザーは一般ユーザーの一定数（本研究では500人）と全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全ての有名人ユーザーをフォローしている。つまり有名人がリツイートすると、その情報は全ユーザーが読める状態となる。（ただし、実際に読むかどうかは、前述のタイムラインを読む動作が一定時間中に行われるかどうか依存することに注意。）いわば、情報を広めるボランティアのような働きを担う人たちという位置づけである。

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。シミュレーションの設定によって、カレーの配布が始まったことを通知した

り、避難所が混み具合を公式情報として発表したりすることができる。公式アカウントも全ユーザーがフォローしており、必ずタイムラインに表示されることになる。

c) 簡易ローカルメディアモデル

SNSを使用しない、従来型の情報発信のモデルとして、簡易ローカルメディア (LM) モデルを設計した。現実には防災行政無線やコミュニティFMなどを想定しており、避難所から一定の距離の範囲 (`Universe.LMCanBeHeard`) にのみ、その避難所の公式の混雑情報のみが発信される。その時間にその場所にいる人たちにのみ伝わる（同時性・同空間性）が、この範囲にいる人々全員に、一斉に情報が行きわたるのが特徴である。LMが配信されている場合、情報発信は、10Stepごとに行われる。

情報を取得した避難者は、疑似Twitterモデルと同様に、`one.CongInfo(i)`にその情報を格納し、その後の避難行動の意思決定に使用される。疑似Twitterモデルと異なり、情報を直接拡散する手立てはない。

(4) 避難行動の設計

a) 避難者エージェントの行動

本シミュレーションは、主に避難者エージェントの行動によって進行する。各Stepにおける避難者エージェントの行動は、大きく次の4つのPhaseに分けられる。

Phase 1. 避難済みかどうかの判定

Phase 2. 避難所情報の取得

Phase 3. 目的避難所の決定 / 更新

Phase 4. 避難完了判定 / 前進

b) Phase 1. 避難済みかどうかの判定

避難者エージェントには、避難済みか否かを表すフラグの役割を持つ、`one.situation` という変数が設定されている。このフラグが「避難済み」になっている場合は次のPhaseに進まず、何もせずにStepを終了する。「遭難中」になっている場合も次のPhaseに進まず、1歩前進する（＝総歩行距離を1歩増やす）だけで終了する。それ以外の「遭難中（避難所既知）」「遭難中（避難所未知）」のフラグの場合はPhase 2に進む。

c) Phase 2. 避難所情報の取得

疑似Twitterや簡易LMによる避難所情報の発信が有効になっている場合、避難者は避難所情報を取得することができる。情報は、1Stepにつき1手段からしか取得しないものとする。なお、LMは配信されている場合、全員利用することができるが、疑似Twitterは一定割合

(`Universe.SNSRatio`で設定)のユーザーしか利用できない。

情報取得の手段の選択方法は次のとおりである。まず、情報取得がLockされている場合（後述）、情報取得は行わない。次に、LMが利用可能かつ配信時刻（10の倍数Step目）であれば、LMを受信する。（放送が聞こえたらTwitterを使うのをやめて、放送に耳を傾けることに該当する。）LMを受信しない場合は疑似Twitterから情報を受信するかどうかを決定する。自分が疑似Twitterを利用可能であり、かつ乱数がSNS受信率 (`Universe.ReadRatio`) を満たした場合にのみ、そのStepで疑似Twitterから情報を受信する。

情報を受信する場合、タイムラインを読むか、ツイート検索を行うかを選択する。タイムラインは30Step目以降しか利用できない。（空いている情報ばかりが流れているときは、参照しても情報の価値がないという仮定に基づく。）一方で、ツイート検索は現在の目的避難先の情報が最低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、利用できる方を選択

する。どちらも利用できる場合は、半々の確率でランダムに選択する。

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

- ・避難所<i>が、自分の現在の目的避難所である場合
 - ・情報が「混んでいる」
避難所混雑時変更確率 (Universe.CongChangeRatio) を満たせばその避難所を避難先候補から除外し、別の避難所を探索する。
 - ・情報が「カレーを配っている」
一定の確率で現在の避難所にLockをする。
- ・避難所<i>が、自分の現在の目的避難所でない場合
 - ・情報が「混んでいる」
避難所混雑時削除確率 (Universe.CongDelRatio) を満たせばその避難所を避難先候補から除外する。
 - ・情報が「空いている」
避難所<i>までの距離 (Distance) に応じた $L/(Distance+L)$ の確率で、目的避難所を、現在の目的避難所から<i>に変更する。
 - ・情報が「カレーを配っている」
避難所<i>までの距離 (Distance) に応じた $3L/(Distance+3L)$ の確率で、目的避難所を、現在の目的避難所から<i>に変更し、Lockをする。

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持ってその避難所に向かう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、他の情報の受信を遮断する。この遮断中を表すフラグがLockである。

d) Phase 3. 目的避難所の決定 / 更新

本シミュレーションにおいては、ある一定の割合で、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と知らない避難者が存在する。(本研究では2:8に設定している。) 前者の避難者は、最初からその避難所を目的避難所として決めているが、後者の避難者は自分の視野の範囲に避難所を捉える (Phase 4)、または避難所情報を受信する (Phase 2) などによりいずれかの避難所の位置を認知するまでの間は、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、という行動をとる。

このPhaseでは、当該避難者が前Stepまでに目的地にすべき避難所の位置を知っている場合 (最初から知っている場合も含む) と、まだ知らない場合で、行う動作が異なる。

避難所の位置を認知している場合は、もしそれが最初のStepであれば、目的避難所として最寄りの避難所エージェントを選択する。2 Step目以降であれば、すでに目的避難所が選択されているはずなので、その避難所までの距離の更新のみを行う。

避難所の位置を認知していない場合は、次のような動作を行う。まず、現在が第1-3 Stepである場合、周囲の人の動きの様子を見るため、このPhaseでは何もしない。4 Step目以降で、前Stepまでにリーダーを既に決めている場合は、リーダーのいる方向 (=自分の進むべき方向) の更新のみを行う。4 Step目以降である場合で、リーダーの選択がまだされていない場合、自分の前方にいる、最寄りの避難所を知っている人か、別のリーダーを既に選択している人を自分のリーダーとして選択し、その人の後についていく。(その人が避難先やリーダーを決めているかどうかは、その人の振る舞い方を見れば見当

つくであろう、という仮定に基づく。) リーダー候補が自分の近くに1人も居らず、リーダーを決めることができない場合は、前方±5° の範囲で適当に向きを変え、目的避難所およびリーダーが未定の状態のまま、Phase 3を終える。

e) Phase 4. 前進 / 避難完了判定

このPhaseでは、本Stepでの目的避難所が (前Stepまたは本StepのPhase 3までに) 具体的に決まっている避難者か否かで動作が異なる。

目的避難所が決まっている避難者の場合、自分の目的避難所が自分の居る地点の周囲半径1以内に存在するかどうかを調べ、半径1以内であれば当該避難所に辿り着いたと見做し、避難完了判定 (後述) を行う。半径1以内に存在しなければ、1だけ前進する。

目的避難所が決まっていないエージェントの場合、自分の視野 (本研究の設定では半径5) の範囲に (リーダーが決まっている場合でも、自分のリーダーの目的避難所であるか否かに関わらず、) いずれかの避難所を捉えた場合、その避難所を認知し、自分の目的避難所に決定する。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1だけ前進する。(次のStepからは、目的避難所が決まっているエージェントとして扱われることになる。) 一方、自分の視野の範囲内に避難所が見当たらない場合は、1だけ前進する。(次Stepでも避難所の位置を認知していない避難者として扱われることになる。)

次に、避難完了判定について概説する。上述の通り、避難所から半径1以内にたどり着いた避難者は、その避難所に入るかどうかの意思決定、つまり避難完了判定を行う。

まず前提として、各避難所には収容人数に定員が設けられている。本研究においては、定員は全避難所で一律に100人に設定している。避難者数が5000人、避難所数が25か所であることから、定員を総計しても2500人と、全避難者数の半分しか収容できないことになる。しかし、定員は実質不快感ゼロで避難できる水準と想定しているので、実際は多少の不快感を許容して、各避難所には定員を超えて避難者が入ることができるものとしている。

各避難者は、避難所の定員に対して何倍の超過までを許容するかが変数 (one.uncomfort、初期臨界定員超過率) として定まっている。この変数の値は、各避難者エージェントについて、

$$y = \frac{1}{1 + e^{b(c-x)}}$$

を累積分布とする分布に従うように割り当てられている。

(y が累積確率、x が臨界定員超過率)

なお、b は許容分散パラメータでエージェント間の臨界定員超過率の分散を、c は半数許容超過率で、50%のエージェントが許容する定員超過率 (つまり分布の中央値) を表すパラメータである。本研究においては、b = 4、c = 2 を仮定している。

さて、避難者は歩き疲れてくると、混雑を許容しその避難所に入ることを決断する割合が上がってくる (求める水準が低くなる) と考えられる。そのため、臨界定員超過率は、シミュレーション開始から時間が経つにつれて大きくなっていくようにした。具体的には、n Step目の臨界定員超過率が

$$\text{臨界定員超過率 (n)} = (\text{初期臨界定員超過率}) \times 2e^{\frac{n}{k}}$$

となるように定めている。ここで、k は2倍許容Step数 (疲れパラメータ) であり、k Step目に臨界定員超過率が初期臨界定員超過率の2倍になる。本研究においては、

k=1000 と定めている。

さて、避難完了判定においては、この各Stepの臨界定員超過率に基づいて、避難者はその避難所に入るかどうかを判定する。まず、その避難所がまだ定員に達していない場合（定員超過率 ≤ 1 ）、無条件でその避難所に入る。一方、その避難所が定員を超過している場合（定員超過率 > 1 ）、その定員超過率が自分の臨界定員超過率よりも小さければ、その混雑を許容し、避難所に入る。しかし、避難所の定員超過率が自分の臨界定員超過率を上回っている場合はその混雑を許さず、別の避難所を目的避難所に定めなおす。なお、各避難所では、別の避難所の位置情報を知ることができるものとし、自分の避難先候補に入っている避難所の中で、最寄りの避難所に設定する。

当Stepで避難完了した場合、one.situation のフラグを「避難済み」に設定し、次のStepからは何もしないようにする。一度避難したら、不快指数が増えてきてもその避難所に留まるものとする。

避難完了判定を行った際には、当該避難者エージェントが疑似Twitterユーザーである場合、発信率（Universe.TweetRatio）に応じてその避難所の混雑状況をついートする。ツイートの様式は前節で述べた通りであり、避難所の混雑状況が、自分の臨界定員超過率に対して、混雑判断率（Universe.OccupantRatio）以上であれば「混んでいる」、閑散判断率（Universe.VacantRatio）以上混雑判断率未満であれば「やや混んでいる」、閑散判断率未満であれば「空いている」の情報を発信する。なお、本研究においては、混雑判断率は0.8、閑散判断率は0.2に設定している。

3. シミュレーションの実行

(1) 評価指標

本研究においては、

- ・避難時間（歩行距離）の低減
- ・避難所の避難者数の衡平化

の2つの軸を評価の観点としている。これらの評価軸に沿って各シナリオを評価する指標として、次の4項目を設定した。

1. 総歩行距離（平均避難完了時間）
99%避難完了までに、全避難者エージェントが歩行した距離（時間）の合計
⇒ 値が小さいほど（平均的な）歩行距離（=時間）の低減が実現したと考えられる
2. 99%避難完了Step数（大半避難完了時間）
99%の避難者エージェントが、いずれかの避難所への避難を完了するまでの所要Step数
⇒ 値が小さいほど（最大値的な）避難時間（=距離）の低減が実現したと考えられる
3. 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（最終的な）避難者数の衡平化が実現したと考えられる
4. 分散改善率
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（最大分散）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、後から改善する効果があったと考えられる

(2) シナリオ設定

a) シナリオについて

本研究では、いくつかの変数（パラメータ）について、それぞれ少しずつ値を変えた複数のシナリオを立て、各シナリオの条件の下でシミュレーションを実行し、シナリオ間で評価指標に有意な差が認められるかどうかを比較・分析することにより、それぞれのパラメータの違いがどのように全体の避難効率性に影響するのかを考察した。

b) シナリオ比較A

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、疑似Twitterの利用率（SNSRatio）を0%（シナリオA1）から100%（A11）まで10%ずつ上げて比較を行った。有名人は0、LMの発信は無し、カレー配布も無しとした。

c) シナリオ比較B

シナリオ比較Bでは、有名人（外部で情報を広める役割を果たす、影響力の強いSNSユーザー）の存在が与える影響を調べるため、避難者の疑似Twitterの利用率を50%（2500人）に固定したうえで、有名人の数を0人（B1）、500人（B2）、1000人（B3）と増やして比較を行った。LMの発信とカレー配布はいずれも無しとした。

d) シナリオ比較C

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、疑似Twitterの利用率を0%とし、LMの発信を無し（C1）、避難所から半径50に発信（C2）、半径100に発信（C3）の3つのパターンを比較した。

e) シナリオ比較D

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、疑似Twitter利用率50%で有名人0人（D1-D2）、LM半径100で受信（D3-D4）、疑似Twitter利用率50%で有名人0人かつLMも半径100で受信（D4-D5）、の3つのパターンについて、それぞれ50Step目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。

(3) データ採取と処理の方法

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10パターン（3.2参照、具体的な配置については付録2を参照）×10回ずつ=100回実行した。同一の避難所分布の10回の評価指標データは、平均をとった。平均（標本平均）と分散（不偏標本分散）を算出し、自由度9のステューデントのt分布を用いて信頼区間95%での母平均を推定した。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に見られた場合、その差は有意であると結論付けることとした。

4. 結果と考察

(1) 各シナリオ比較の結果と考察

a) 結果の概要

次項以下では、各シナリオ比較について、第4章に記した要領でシミュレーションを実行した結果として得られた各シナリオ比較の評価指標の値を、横軸にシナリオ（変化させたパラメータ）、縦軸に評価指標をとったグラフで示す。そして、各評価指標のグラフ群の末尾に、それらから読み取れる考察を簡潔に記す。さらに、各シナリオ比較の末尾には、そのシナリオ比較全体で得られた考察を記述することとする。なお、前述のように考察の上では母平均の差の有意性を考慮しているが、信頼区

間の図示等は一部を除いて紙面の都合上割愛する。

b) シナリオ比較A

・総歩行距離

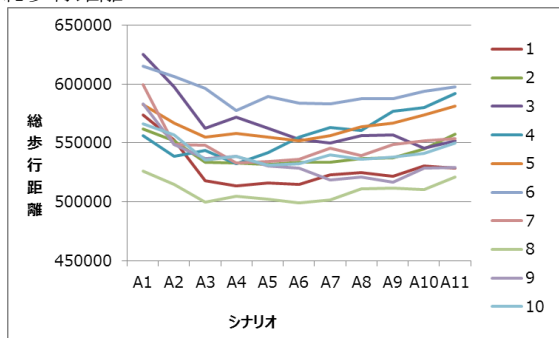


図3 シナリオ比較A 総歩行距離

SNSの普及率が0%から20%程度に増加するまでは、概して総歩行距離は低減するが、20~60%の範囲では、大きな変化は見られない。そして、60%を超えてくると、かえって総歩行距離がやや長くなるように読み取れる。これは、適量の適切な情報が流通する場合は、混雑して入れない避難所へ向かう“無駄足”を避けることができるが、あまり情報が過多になってしまうと、何度も情報に惑わされて目的地を変更するために歩行距離が伸びてしまっていると解釈できるのではないかと。

ただし、SNSの普及率の上昇が総歩行距離に与える影響には、地域差もあることがうかがえる。避難所配置3の場合はSNS普及率が20%~100%にかけて、総歩行距離には有意な差が出ていないが、避難所配置4の場合は普及率30%~100%にかけて、総歩行距離が漸増するようである。また、避難所配置3のようにSNSの普及率に大きく影響を受ける(=最大値と最小値の差が大きい)地域もあれば、5, 6, 8のように影響が小さい(=同小さい)地域もある。

・99%避難完了Step数

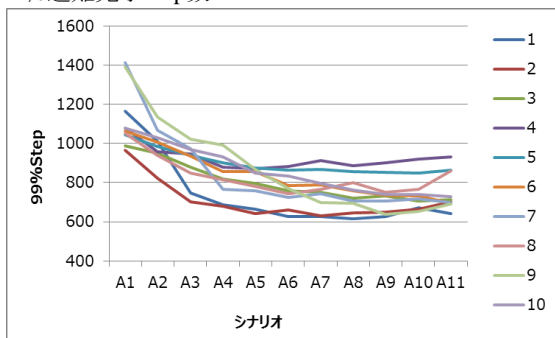


図4 シナリオ比較A 99%避難完了Step数

99%避難完了Step数に関しても、SNS普及初期は有意な改善が見られるが、普及率30%程度以上ではほぼ横ばいで、有意な改善は見られなくなる。特に顕著な減少が見られた避難所配置9でも有意な改善が見られるのはSNS普及率50%程度までである。なお、避難所配置8でSNS普及率が100%(シナリオA11)のときに、90%までと比較して避難完了Step数が増加しているように見えるが、これは10回のうち1回のシミュレーションにおいて、99%避難が達成しなかったことに起因する外れ値を含むためであり、有意な増加にはなっていないことに留意したい。

(ただし、99%避難が完了しない結果を得たこと自体は注目に値する。次から次へと入ってくる情報に右往左往しているうちに、避難できる混雑具合の避難所が無くなってしまったり遭難者になってしまうエージェントが多数生じた、ということの意味しているためである。)

また、SNSが普及するにつれて、避難に要する時間の地域差が徐々に小さくなっていく傾向が読み取れる。普及率0%では避難所配置7および9において、他の避難所配置と比較して有意に長い時間を要しているが、普及率50%では地域差が明らかに小さくなっていることが示唆されている。すなわち、従来は地理的条件から避難に時間を要していた地域でも、SNSがある程度普及すれば改善をみる事ができる可能性がある。

・最終分散

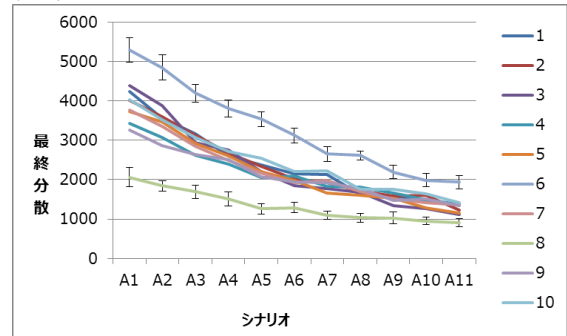


図5 シナリオ比較A 最終分散

最終分散はSNSの普及に伴い漸減することがうかがえる。ただし、減少幅には地域差があり、元々SNSを利用しない場合に最終分散が非常に大きい避難所配置6ではSNS普及率80~90%に至るまで有意に分散の減少が起きているが、逆に元々SNSを利用しなくても最終分散が小さい避難所配置8については、漸減傾向はみられるものの、有意な減少と言えるのは40~50%程度までとなっている。最終分散はSNSが使われていない状態の元の値が地域特性に依存しており、元の値が大きいほど減少幅が大きく、普及率が高まると地域差が縮まる傾向が見て取れる。

・分散改善率

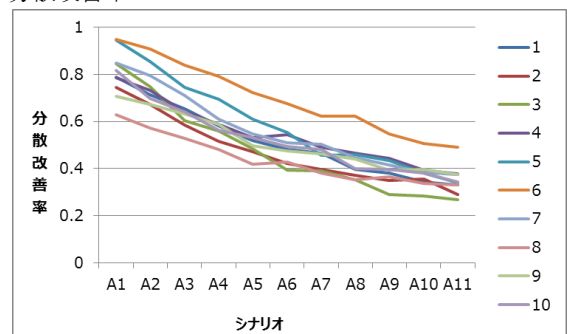


図6 シナリオ比較A 分散改善率

分散改善率で見ると、SNSの普及の効果がよりはっきりと見てとれる。避難初期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。分散改善率は、地域特性に依存せずに向上下るので、元からある地域差はSNS普及後も残ることが示唆される。

・考察

避難所間の避難者数をばらつきを抑制し均衡化するという観点からは、SNS(疑似Twitter)の利用率は上がれば上がるほど良い、といえる。しかし、避難にかかる時間に関しては、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あまり改善効果がないか、かえって悪化してしまうことが示唆される。

その地域の避難所収容力や、物資の備蓄の余裕などに鑑みて、均衡化と避難時間の短縮の両者のバランスを考慮して、その地域にとってベストな普及率に誘導してい

けば、最適な避難が実現可能かもしれない。また、もしSNSの普及率の上昇をコントロールすることができないとしたならば、避難に要する時間が拡大しすぎないように、予め避難所配置の見直しなどの政策を検討する必要がある可能性が考えられる。

c) シナリオ比較B

・総歩行距離

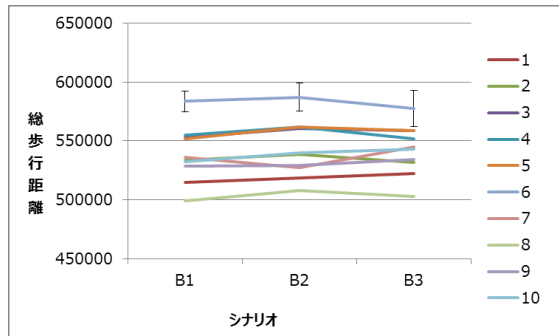


図7 シナリオ比較B 総歩行距離

有名人がいるかどうかでは、今回の条件の下では全く有意な差が出ていない。総歩行距離は有名人の有無ではなく、完全に地域特性に依存していると考えられる。

・99%避難完了Step数

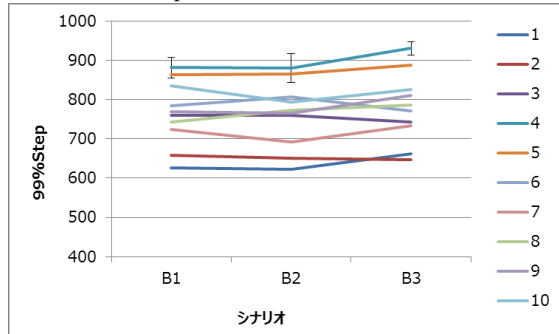


図8 シナリオ比較B 99%避難完了Step数

99%避難完了Step数についても、今回の条件においては有名人の有無にほとんど有意な差は見られない。地域特性の方に結果が大きく依存しているとみられるべきであると考えられる。

・最終分散

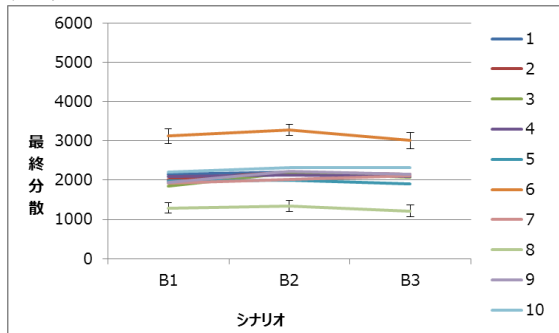


図9 シナリオ比較B 最終分散

最終分散についても同様に、有名人の有無よりも地域特性に依存した値をとっていることが推察される。

・分散改善率

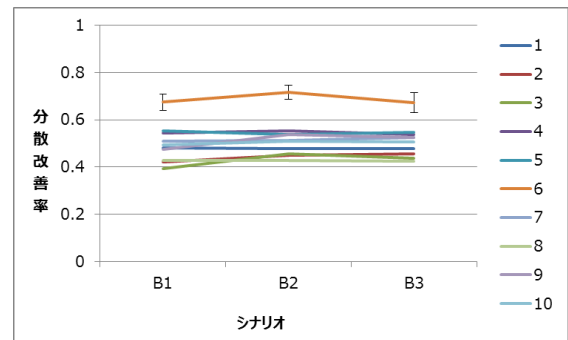


図10 シナリオ比較B 分散改善率

分散改善率についても、やはり有名人の有無では有意な差が見られず、地域特性にのみ依存していることが強く示唆される。

・考察

本シナリオ比較において想定していたのは、ツイート情報の拡散速度の向上により広く情報が行き渡る効果と、特定の情報が長時間にわたって出回り続けることによる混乱の効果の、どちらが大きく効いてくるのか、ということが調べられるのではないかと、いうことであった。実際、情報を拡散する働きをもつ有名人を紹介することで、出回る情報の量は確実に増加している。

ところが、シナリオ比較Bからは、今回の条件下では有名人の影響を有意性のある結果として認めることはできなかった。その理由を推察するに、タイムラグがあまり生じていなかったことが考えられる。本研究では、タイムラインで読むことができるツイート情報の数は、最大で最新の20件と設定していた。実際には、それよりも遡って情報を得ることも考えられる。また、一つ一つの情報に、拡散されやすいかされにくいかのパラメータを導入することも検討すべきであった。現実のTwitter上においては、画像付きのツイートや、過激な表現を用いたツイート、発信源が信頼のおける人であるツイートなど、「広めたい」という心理の働く要素があるツイートとなないツイートが存在することが経験的には考えられる。そのような、情報の重要性の優劣を考慮することで、また別の結果が得られる可能性があるため、今後の検討課題としたい。

d) シナリオ比較C

・総歩行距離

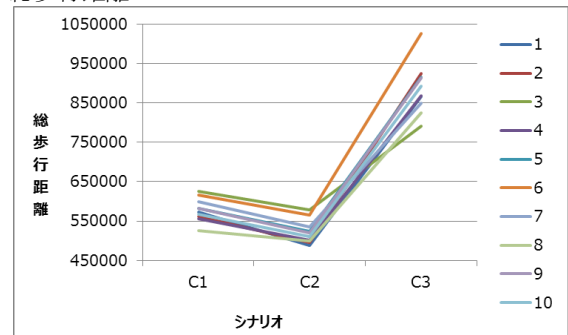


図11 シナリオ比較C 総歩行距離

LMの発信は避難所から半径50に行く場合、発信のない場合と比較して総歩行距離はやや減少する。しかし、LM発信を半径100で行うと、大幅に総歩行距離が増加する。地域特性による差異をはるかに上回る規模で増加していることが見て取れる。

半径100=直径200は、CITY全体の一边の長さの5分の2に相当し、ほとんどの地点では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、多くの情報に流されて、右往左往してしまう結果、総歩行距離が長くなってしまった可能性がある。

・99%避難完了Step数

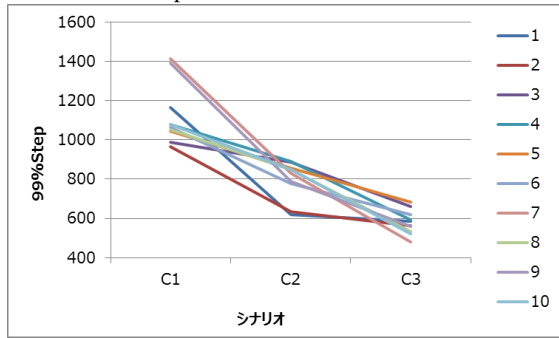


図12 シナリオ比較C 99%避難完了Step数

99%避難完了Step数（＝一番避難に時間がかかる人の避難時間）は、総歩行距離（＝平均的な避難時間）とは逆に、LMの発信半径が50、100に広がるにつれて有意に減少する。乙グラフを見ると、LMの発信なし（C1）と比較して、発信あり（C2, C3）の場合は地域間の格差が小さくなる傾向が見られる。

・最終分散

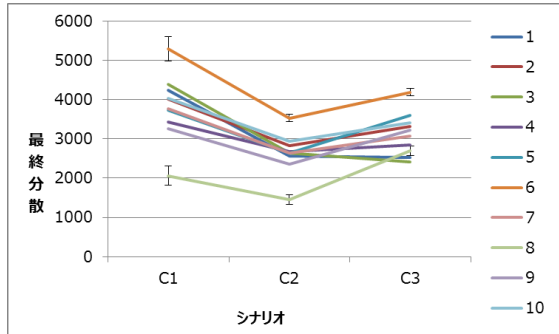


図13 シナリオ比較C 最終分散

最終分散は、ほとんどの避難所配置パターンにおいて、LMを半径50に配信した場合（C2）が最も小さくなっている。半径100に配信した場合は、避難所配置8を除いて情報発信なしの場合よりは改善するが、避難所配置1, 3を除けば半径50の配信よりも悪化する傾向が見られる。

・分散改善率

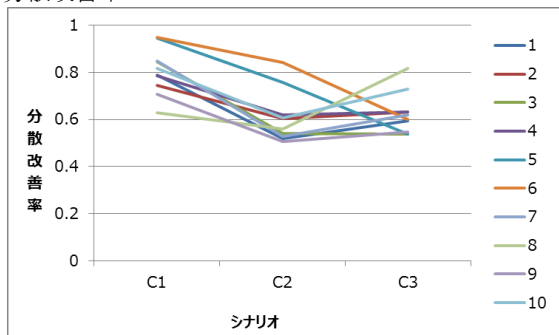


図14 シナリオ比較C 分散改善率

分散改善率でみると、LM配信なし（C1）と半径50に配信（C2）を比較すれば、C2のほうが値が低い（＝分散改善性が向上している）が、C2と半径100に配信（C3）の比較では、地域によってC3でさらに値が低くなる場合（避難所配置6型）と、逆に悪化する場合（避難所配置8型）の2通りが存在する。特に、避難所配置8については、

何の情報も発信しなくても分散改善率が他の配置よりも良い（シナリオ比較A参照）ので、避難所配分のの衡平性の観点からはLM配信がかえって混乱を招いているとも受け取れる。

・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総歩行距離（一人当たりの避難完了時間）は著しく伸びるが、全体の避難完了時間は短縮されるという奇妙な結果が出たが、この結果の考察をしてみたい。

99%避難完了Step数で、C1>C2>C3という顕著な傾向が見られた避難所配置7と9を対象に、それぞれの1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見ると、C1およびC2では、最初の100Step前半までに8割（4000人）程度の避難が完了している一方、C3では8割の避難が完了するのは200Step後半である。総歩行距離は、この曲線の縦軸方向への積分値により表されるので、総歩行距離はC3が飛びぬけて大きな値をとっていたことが分かる。

一方、C3の避難者数が300Stepを超えたあたりでC2やC1を逆転し、最速で99%避難を達成している。逆に、C1は最後の数百人の避難に長い時間を要している。これは、避難所に入るための水準（臨界定員過剰率）が高い一部の避難者は、受け取った情報の絶対量が多いC3ではすでに非常に混雑している避難所を避難先候補から外してしまっているために、避難所探索が効率的になる一方で、情報のないC1ではあちらこちらの避難所を行き来するために効率が落ちてしまうことが影響していると考えられるのではないかと。

LMについては、公式の正確な情報を発信しているが、誰でも受信可能であるメディアであるという特性を考慮し、政策のターゲット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。

e) シナリオ比較D

・総歩行距離

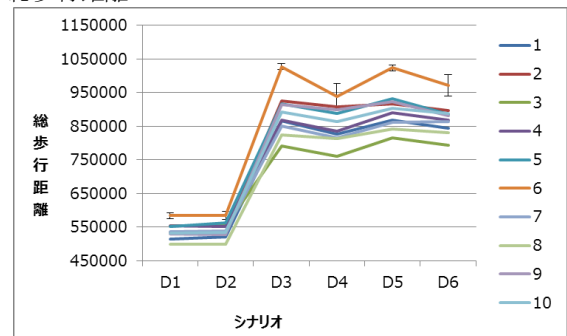


図15 シナリオ比較D 総歩行距離

総歩行距離は、D1-D2間では有意差は表れなかった。D3-D4間、D5-D6間では、カレー配布を行った場合のほうが若干歩行距離が縮まるようにも見えるが、特に顕著な傾向の表れた避難所配置6を除けば、その差は有意とまでは言えない。乙グラフを見れば、カレー配布の有無による差は地域差や他の変数の差（情報の伝え方の差）と比較してはるかに小さいことが示唆される。

・99%避難完了Step数

99%避難完了Step数についても、カレー配布の有無での有意差は各対ともほとんど見られない。使用するメディア間による差の方がかなり大きいことがわかる。

・最終分散

最終分散に関しても、有意差はないが、甲グラフから、避難所配置によってカレー配布があった方がわずかに改善する場合と、逆にわずかに悪化する場合があるこ

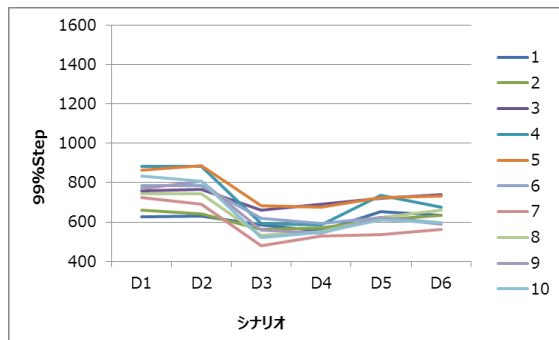


図16 シナリオ比較D 99%避難完了Step数

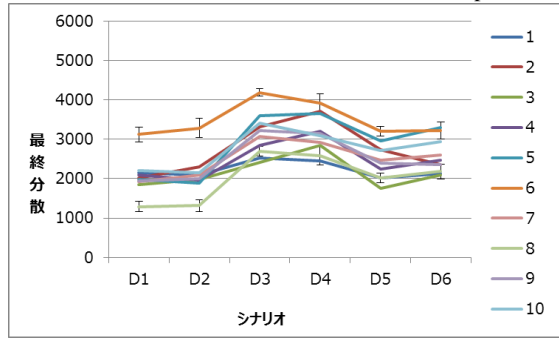


図17 シナリオ比較D 最終分散

とが読み取れる。シミュレーションをさらに繰り返し実行して標本数を増やすことにより、地域によって逆転する現象を有意に観測できる可能性がある。

・分散改善率

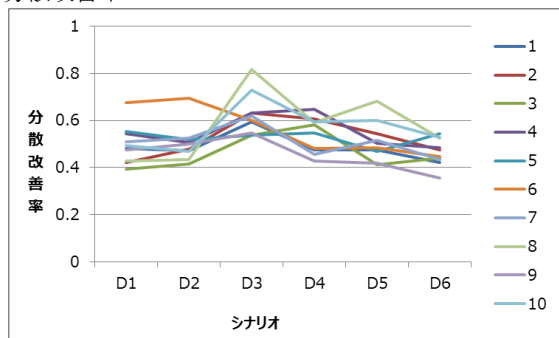


図18 シナリオ比較D 分散改善率

分散改善率は、さらに不規則な傾向を見せている。おおむね、D1-D2（疑似Twitterで通知した場合）は有意差が見られないが、D3-D4（LMで通知した場合）、D5-D6（LMと疑似Twitterの両方で通知した場合）には、カレーを配布する場合の方がやや改善率が低く（良く）なっているように見える。実際、避難所配置8などのように、有意差が見られる地域もある。しかし、逆の傾向を見せている避難所もあり、カレー配布の是非が地域特性によって変わるのかどうか、今後の精査が必要と言える。

・考察

今回の仮定の下では、カレー配布の有無には、各評価指標に有意な差をもたらす効果は認められなかった。本研究では、カレー配布の魅力として、L値（距離抵抗、3.4.3 参照）を空いている避難所の3倍にする（距離抵抗を小さくすることと、一度カレーを食べに行くことと決めたらその避難所にたどり着くまでの間、他の情報を遮断する、ということ仮定した。しかし、実際は、そもそも空いている避難所のL値（距離抵抗）が強すぎた可能性がある。また、カレー配布の影響は、特定の避難所に一時的に避難者が殺到する、という局所的な混乱と

いう形で生じることが予測できるため、本研究で設定した評価指標ではその現象が捉えきれない可能性がある。別の評価指標の検討も含めて、今後の課題としたい。

(2) 全体的考察と今後の展望

各シナリオ比較の結果を概観すると、SNSの普及による避難効率性の一部改善効果と、LMの発信半径による効果の良し悪しの違い、という2つの示唆を得ることができた。なお、LMは少数の情報を集中的に発信する性質を持っているため、C3のモデルでは本来シナリオ比較Dで得たかったカレー配布等の極端な情報の集中的な広がりによる混乱の姿を指し示していると見ることもできるかもしれない。

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を持つ場合に、なぜ評価指標に有意差が生じるのかを明らかにしていきたい。そのためには、人口分布との関係性を論じることが不可欠であるので、各避難所を中心とするポロノイ内の人口等を算出して考察をしたい。また、今回固定したパラメータが、実際は、結果により大きな影響を及ぼしている可能性もあるため、すべてのパラメータについて、評価指標に関する感度分析を行いたい。

本研究の意義としては、さまざまな条件下でシミュレーションを実行し、起こりうるあらゆる可能性を想定し、政策に反映するための材料を提示することにある。そのため、今回の4つのシナリオ比較によって得られた結果は、まだ数多あるSNSの普及がもたらしうる避難行動への影響のうちの、氷山の一角を捉えたに過ぎないと考えられる。今後も、モデルの改良や変数の設定の見直し、パラメータの妥当性の再検討等により、この未知の氷山にあらゆる角度からスポットライトを当てることによって、全体像をつかむための一助としたい。

参考文献

- 1) 内閣府（防災担当）：中央防災会議「首都直下地震避難対策等専門調査会」（第3回）資料6 避難者に関する主な既存施策例、
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutohinan/3/pdf/shiryuu_6.pdf, 2006. (2015.2.9 閲覧)
- 2) 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/sankou01.pdf>, 2008. (2015.2.9 閲覧)
- 3) 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.jscs.org/koenkai/17/Sympo/documents/Yasufuku.pdf>, 2012.
- 4) 松島弘, アランニャ・クラウド, 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, Vol.2014-MPS-100(7), pp. 1-6, 情報処理学会, 2014.
- 5) 鳥海不二夫, 石田健, 石井健一郎：小規模 SNS のモデル化と活性化シミュレーション, 電子情報通信学会論文誌. B, 通信, Vol. J91-B(4), pp. 397-406, 一般社団法人電子情報通信学会, 2008.
- 6) 稲葉達也：マルチエージェントシミュレーションを用いた SNS のロコミ効果の評価手法の提案, 経営情報学会 全国研究発表大会要旨集, Vol.2012f(0), pp. 76-79, 経営情報学会, 2012.

- 7) 名古屋大学佐野研究室：マルチエージェントシミュレーション, 名古屋大学佐野研究室ホームページ,
<https://sites.google.com/site/sanonagaolab/research/masim>.
(2015.2.3 閲覧)
- 8) 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, Vol. 61(7), pp. 16-23, NHK 放送文化研究所, 2011.