

## 災害から避難する際の移動の決断の速さと正確性 ～生存率への影響～

The speed and accuracy of the decision of the movement at the  
time of evacuation from disaster  
- Effect on the survival rate -

\* 高嶋 あやか, † 河端 寛朗, ‡ 尾崎 透

\* 龍谷大学大学院理工学研究科, † 島根大学大学院総合理工学研究科, ‡ 静岡大学総合科学技術研究科

\*Ayaka Takashima, †Hiroaki Kawabata and ‡Toru Osaki

\*Graduate School of Science and Technology Ryukoku University, 1-5 Yokotani, Seta Oe-cho, Otsu,  
Shiga, 520-2194 JAPAN

†Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering Shimane University, 1060 Nishikawatsucho,  
Matsue, Shimane, 690-8504 JAPAN

‡Graduate School of Intergrated Science and Technology Shizuoka University, 1437-18-201  
Tomitsukacho, Hamamatsu Naka-ku, Shizuoka, 432-8002 JAPAN

### 1. はじめに

現在、私たちの周りには様々な人が存在し、その人たちがこの世は成り立っているといえる。その人たちの個性といえばまさに十人十色である。その違いは考え方、話し方、性格のなど様々な面から見て取れる。性格の面で考えてみると、物事を決める際に、なかなか決められない人とそうでない人がいる。すなわち、決断力がある人と優柔不断な人である。人間には向き不向きがあるという。個性があるということは、生物学的観点から考えると不利なはずなのに、どうしてそのような差が生まれてくるのであろうか。そこには、お互いに生存上良い影響を及ぼし得る可能性が隠れているのであろうか。

人間の生死に関わってくる事例を考えると、多くの人が「災害」を思いつくだらう。その災害が発生した際に、人はどんな行動をするのであろうか。優柔不断な人は災害時であっても自ら動かさず判断をまつのであろうか。決断力のある人は、本当に災害時も即座に行動を開始できるのであろうか。

災害の中でも、地震や津波でいうと、近年で最も大きなものの1つに、2011年3月11日に発生した東日本大震災がある。内閣府が発表したデータ [1] によると、非常に興味深い結果が見て取れた。そのアンケートは、東日本大震災時の地震・津波避難について、岩手県・宮城県・福島県内の津波浸水地域を含む27市町の居住者に対して、訪問留置方式で実施したアンケートである。その調査対象の性別は、男女比6:4であり、東日本大震災発生当時の年齢は、10歳代:0.6%,20歳代:2.9%,30歳代:7.7%,40歳代:12.2%,50歳代:18.8%,60歳代:27.1%,70歳代:30.7%である。そのアンケート結果によると、地震発生直後に津波の到達を意識している人ほど、揺れが収まってから避難行動を開始するまでの時間が短い。避難のきっかけは、自らの判断によるものが5割弱であり、大津波警報によるものと周囲からの呼び掛けによるものがそれぞれ3割弱であった。つまり、周囲の人たちの話を見聞きして、津波を意識する人は増加すること。話を聞いた人数が増えるほど、「津

波が必ず来る」「避難しなければ危険だと思った」という意識は高まるとわかる。

上記から、人が災害から避難する際には、他人からの情報や仲間意識が大きくかかわってくるのではと考え、災害の際に人がどのような考え方をするかには、他人との相互作用が大きくかかわってくるのがわかった。果たして、このような状況下で、性格が多様であるということは全体の生存率にどのように寄与するであろうか。我々は今回、津波のような災害時において「性格の多様性」が全体の生存率にどのように影響を与えるかを考えていくこととした。

## 2. 提案するモデル

今回のモデル構築には、主体性のある複数のエージェントが相互作用しながらうごく、マルチエージェントモデルを用いることにした。時刻 0 に津波がの発生が予見され、平面上を相互作用しながら避難する過程で後述のパラメータや経過時間によってどのように避難完了者が増えていくかを検討する。

今回のシミュレーションではセルが  $w \times w$  個平面に並ぶ正方の二次元格子を用いた。エージェントは後述のアルゴリズムに従って、あるセルから隣接する 4 つのセルのうちどれかを選んで移動することができることとした。格子の上辺を安全地帯とみなし、上辺に到達したエージェントを避難済みのエージェントとみなすこととした。格子には端は設定していないため、エージェントは  $w \times w$  の範囲を超えて移動して行くこともある。また、セル一つの移動にかかる時間を 1 ステップとかぞえることとする。

エージェントに決断力がある、あるいは優柔不断であるという性格付けを行うために、4 つのパラメータを設定した。決断力  $d$ 、所持情報の正確性  $i$ 、行動開始までの時間  $s$ 、避難する方角  $dir$  である。決断力  $d$  が優柔不断かそうでないかを表し、この値が低いほど、優柔不断なエージェントであるとした。これらは独立なパラメータではなく、 $d$  によって他 3 つのパラメータが決まるようにできている (表 1)。またこのうち  $i$  以外のパラメータは後述するエージェント同士の相互作用によって変化することとした。

決断力  $d$  の高いエージェントは、そうでないエージェントよりも行動開始までの時間  $s$  が短くなるだろうと仮定した。また、行動開始までの時間が短いエージェントは、情報収集にかかる時間が短いため、避難すべき安全地帯への情報を十分に持っていないという仮定を置いた。そのため、所持情報の正確性  $i$  は決断力  $d$  が高いほど低い値をとるパラメータである。 $i$  は  $dir$  の初期値を決めるためのパラメータで、 $dir$  の初期値は、 $i$  の二項乱数によって正しい方角か、間違った方角かが決まることとした。また、決断力  $d$  の高いエージェントは自分のもっている避難する方角  $dir$  にまっすぐに向かうのに対し、 $d$  の値が低ければ低いほどランダムウォークに近い動きをすることとした。

同じ時刻に同じセル上にいるエージェントは、他のエージェントの持っているより有利なパラメータを取得することができることとした。つまり、決断力  $d$  は同じセル上の最も高いエージェントに合わせ  $s$  は一番小さな値に合わせ、正しい  $dir$  をもったエージェントがいればそれを共有できることとした。以上の仮定を踏まえ、シミュレーションの計算フローは図 1 のように設定した。

パラメータ	値
$d$	0~1
$i$	$1 - d \times \frac{3}{4}$
$s$	$\frac{0.1 \times t(1-d)}{d}$
$dir$	方向 1, 2, 3, 4 のどれか

表 1. 4 つのパラメータの定義。  $t$  = シミュレーションを行う回数。

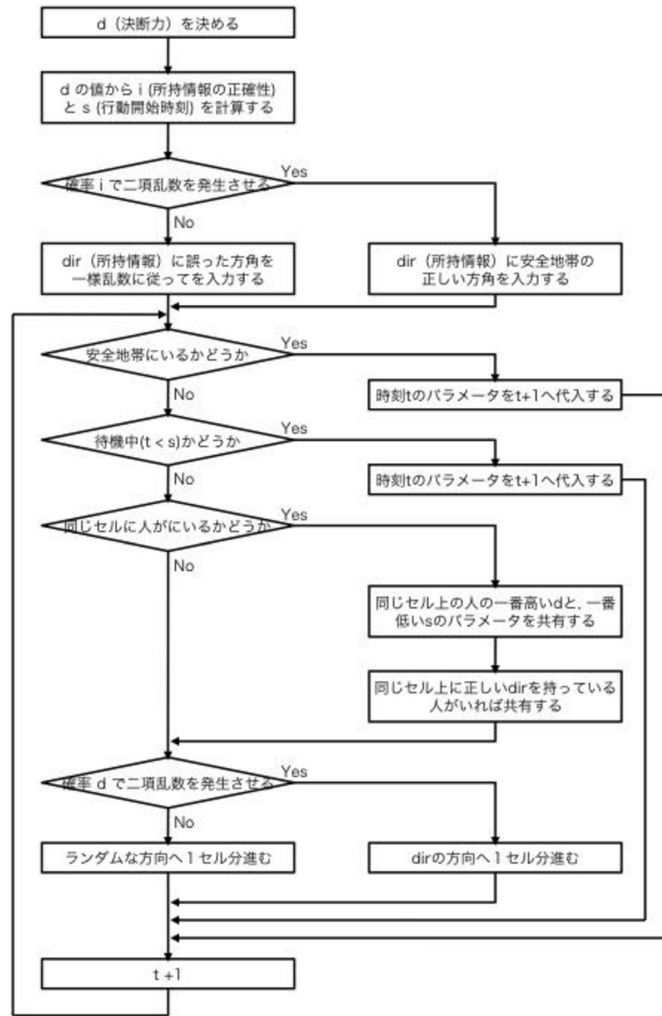


図 1. シミュレーションの計算フロー

### 3. シミュレーションと結果

#### 3.1 決断力 $d$ が生存率に与える影響

シミュレーション時間を 200, すべてのエージェントのスタート地点をおなじにし, 安全地帯までの距離を 10 セルに固定し, 相互作用がない状態で, 決断力  $d$  のパラメータによりどのように生存率が変化するかシミュレーションを行った。結果は図 2 のようになった。横軸は決断力, 縦軸は, 200 ステップ後の生存率である。決断力が 0.5 付近で生存率が最大になった。

### 3.2 密度の効果

エージェントが相互作用を行う際に、エージェントの密度がどのような効果を及ぼすかを比較するため、二次元格子のサイズ  $w$  を 100 と 200 の 2 通りでシミュレーションを行った。その他の条件はエージェントの数は 2520 人、決断力  $d$  はすべてのエージェントで 0.5 とした。また、エージェントは初期状態では  $w \times w$  の二次元格子の中に一様乱数で散らばって分布していることとした。つまり格子のサイズが 200 では 100 のシミュレーションに比べてエージェントの密度が  $1/4$  になっている。結果は図 3 のようになった。どちらの密度でも時間経過に比例して避難完了者の割合が増えているが、密度が高い方（破線）避難完了までの収束が早く、収束後の避難完了者の割合もやや高くなった。

### 3.3 決断力 $d$ パラメータの多様性と生存率

性格の違う人が混ざっている時にどのような効果が起きるかを見るために、パラメータ数を変えて次の 3 つの条件でシミュレーションを行い比較した。なおエージェントの数を 2520 人、格子のサイズ  $w$  を 200 に固定した。

- 条件 1 すべてのエージェントの決断力  $d$  を 0.5 とする
- 条件 2 エージェントを 2 グループに分け、 $d$  を 0.33 と 0.66 とする
- 条件 3 エージェントを 10 グループに分け、 $d$  を 0.09 から 0.90 の範囲で均等に割振る

どのシミュレーションでも  $d$  の平均値は 0.5 で同じである。また、エージェントは初期状態では  $w \times w$  の二次元格子の中に一様乱数で散らばって分布していることとした。この時の結果は図 4 のようになった。横軸はシミュレーションの経過時間であり、縦軸はそれに伴う避難完了者の割合を表している。500 ステップ経過したところでの避難完了者の割合はパラメータがすべて等しい条件 1 (実線) で最も高くなっている。しかし、経過時間が 300 ステップあたりでは条件 2 (破線) が、また 200 ステップよりも手前では条件 3 の避難完了者の割合が、他の条件に比べて高くなった。

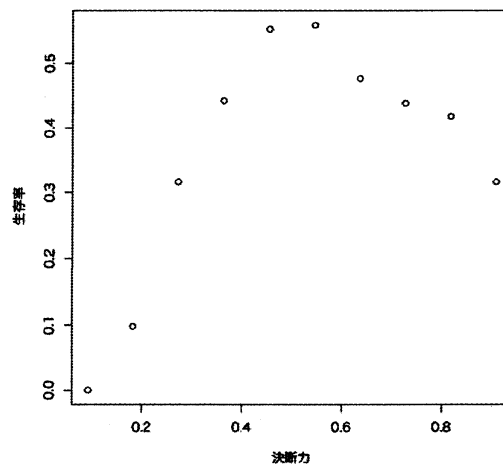


図 2. 決断力による生存率への影響

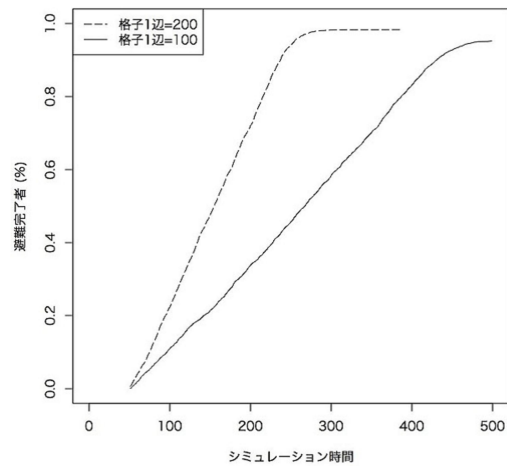


図 3. 相互作用がない場合

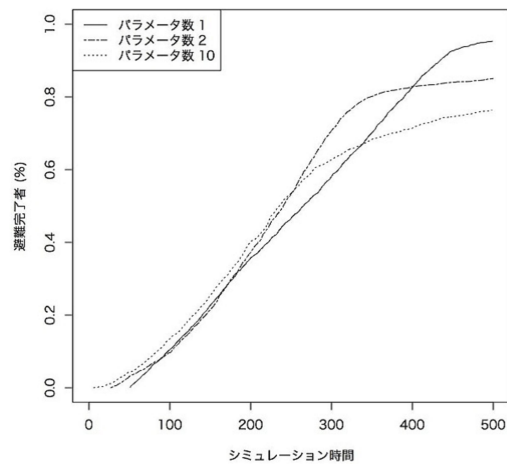


図 4. 相互作用がある場合

#### 4. 考察

今回のシミュレーションでは決断力  $d$  によって、所持情報の正確性  $i$  と、避難開始までの待機時間  $s$ 、および移動の仕方 (ランダムウォークか真っ直ぐか) をトレードオフとして設定した。そのため相互作用のない場合、図 2 に示すように  $d$  が低すぎる場合は、避難開始を始めるのが遅く、ほとんどランダムウォークに近い動きをするため、安全地帯にたどり着く確率が下がる。実際に、災害時の避難行動のアンケート調査を見ると特に東日本大震災以前では津波に対して避難の意識が低く、津波の有る無しの記事発表まで情報待ちをすることが知られている [2]。また、 $d$  が高すぎる場合には避難開始を始めるのは速く、真っ直ぐ進めるが正しい安全地帯の方向を持っていないため、安全地帯にたどり着く確率が下がる。また、相互作用を省いたシミュレーションは相

相互作用のあるシミュレーションよりも著しく避難完了者が少ない。

エージェント同士が相互作用を行う場合には、エージェントに密度が避難完了者の動態に大きな影響を及ぼす。エージェントの密度を一定にして、決定力  $d$  の違うエージェントを混ぜた場合と  $d$  が均質な場合を比較すると、経過時間が過ぎていくほど、 $d$  が一種類の集団の方が避難完了者が多かった。しかし、経過時間が短い場合には  $d$  が多様な集団の方が避難完了者の割合が多くなった。津波やその他の水害は予測ができるものの実際にいつ破壊的な事象が発生するかはわからない。予測がついた段階から短い期間で災害が発生する場合には多様な決断力を持つ集団の方が生存に有利であることがわかった。実際の災害時にも情報が少ないうちに率先避難を行う人間がいた場合、避難を行う人が増えることが示唆されている [3]。相互作用のないシミュレーションでは極端な  $d$  を持つエージェントの生存率が下がっていたが、単独では生存に不利な形質を持ったエージェントが、他のエージェントと相互作用することで、自分の生存率や集団の生存率に寄与することが示せた。

なお今回のシミュレーションでは相互作用の結果負の影響がある場合については考慮していない。しかし、災害時のアンケート調査等を見れば相互作用は必ずしも正の影響ばかりではない。ケースとしては少数であるが、実際に人的被害が起きた場合に正常化バイアスにより避難が行われなかったケースがいくつか報告されている [4]。また、今回は均質な空間構造上をエージェントが移動したが、そもそも町の空間構造はより複雑であり、災害時には通過できない場所なども発生するため、様々なモデルの構築が実際の多様性をもつ集団の生存率への影響を考えるのに不可欠である。

## 参考文献

- [1] 内閣府 地震・津波避難に関する住民アンケート調査 (2012)  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/20121221\\_chousa1\\_1.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/pdf/20121221_chousa1_1.pdf)
- [2] 片田敏孝 ほか「住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題」土木学会論文集 789: 93-104 (2005)
- [3] 内閣府 情報と避難行動の関係 防災対策推進検討会議 津波避難対策検討ワーキンググループ 第5回会合 資料 (2014)  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/5/pdf/4.pdf>
- [4] 諏訪浩「水災害と正常化の偏見」砂防学会誌 61(6): 1-3 (2009)