

避難シミュレーションにおける 合理的思考が出口選択の対称性破綻におよぼす影響

Impact of Rational Thinking on Symmetry Breaking in Exit Choice in Evacuation Simulation

鶴島 彰

Akira Tsurushima

セコム株式会社 IS 研究所
SECOM CO., LTD., Intelligent Systems Laboratory

When people evacuate from the room with two identical exits, these two are unequally used, with evacuees gathering at one of them. This inappropriate behavior sometimes causes serious loss of life. We have studied this symmetry breaking in exit choice using the evacuation decision model which is based on the response threshold model in biology, and figured out that herd behavior, one of the typical cognitive bias in evacuation situations, is the major cause of this phenomenon. The aim of this paper is to investigate the impact of human rational thinking on this problem. The simulation results have shown that rational thinking can be used to suppress the occurrence of symmetry breaking in exit choice.

1. はじめに

代表的な認知バイアスのひとつである同調行動 (Herd Behavior) は、人間の行動に大きな影響を与える。とりわけ災害避難の現場における影響は重大で、同調行動がもたらす非合理的行動がしばしば深刻な被害をもたらすことが知られている。我々は、生物学の反応閾値モデルを基に避難時の同調行動を表現した避難意思決定モデル [Tsurushima 18] を開発し、これまで様々な災害避難における同調行動の役割を分析してきた。たとえば、群衆避難における認知的凝集 [Tsurushima 18]、避難時の出口選択における対称性の破綻 [Tsurushima 19]、地震避難における「隠れる」と「逃げる」の意思決定の空間的な分布 [鶴島 18] などがそれにあたる。

しかし避難意思決定モデルは、同調行動におけるリーダー (自分の意思で行動を決める人) とフォロワー (周囲に影響されて行動を決める人) 間のダイナミクスを表現したもので、現実的な避難シミュレーションにおいて重要となる、環境の物理的要因も、人間なら当然有している合理的思考も考慮されていなかった。たとえば、避難意思決定モデル単体では、エージェントは他のエージェントを通り抜けてしまうし、すぐ近くに出口があったとしてもそれを選ぶとは限らなかった。

一方、避難意思決定モデルのもつ単純な構造は、他のモデルとの統合を容易にし、欠けていた機能を他のモデルによって補うことが可能である。我々はこの特徴を活かして、避難意思決定モデルをプラットフォームとして、複数の異なるモデルを統合する避難エージェント・アーキテクチャ [鶴島 19] を提案した。避難エージェント・アーキテクチャは、避難シミュレーションのエージェントにとって重要な三つの要素、すなわち 1. 人間の合理的思考、2. 避難時に働く代表的な非合理的思考である同調行動、3. 環境の物理的要因、を三つの独立したモデルで表現し、それぞれを合理的思考レイヤー、認知バイアスレイヤー、物理レイヤーとし、避難意思決定モデルで自然に繋ぐことができる。

これまで、歩行モデルとして有名な Social Force Model

連絡先: 鶴島 彰

セコム株式会社 IS 研究所 サービスエンジニアリング・
ディビジョン

a-tsurushima@secom.co.jp

[Helbing 00] を物理レイヤーとして採用し、避難意思決定モデルと統合することで、物理要因が同調行動に与える影響を分析した。本稿では、避難時の出口選択において問題となる対称性の破綻 (Symmetry Breaking) を対象として、新たに合理的思考レイヤーを導入することで、人間の合理的思考が対称性の破綻におよぼす影響について分析する。

2. 避難意思決定モデルと避難エージェント・アーキテクチャ

はじめに、避難意思決定モデルと避難エージェント・アーキテクチャの概要について説明する。

避難意思決定モデルは、エージェントにリーダーとフォロワーという二つの心的状態を仮定し、環境からの刺激に基づいて各エージェントが二つの心的状態を切り替えるというものである。エージェント i は、リーダー ($X = 1$) のときは自分自身で意思決定するが、フォロワー ($X = 0$) のときは周囲のエージェントの行動の中で最も多数のものを真似する。どちらの心的状態を採るか環境から受け取る刺激 s_i により確率的に決まる。フォロワーがリーダーに変わる確率は、

$$P_i(X = 0 \rightarrow X = 1) = \frac{s_i^2}{s_i^2 + \theta_i^2} \quad (1)$$

であり、 θ_i は反応閾値と呼ばれるランダムな値である。また、リーダーがフォロワーに変わる確率は、

$$P_i(X = 1 \rightarrow X = 0) = \epsilon \quad (2)$$

で、 ϵ はシミュレーションパラメータで、全てのエージェントが同じ確率でフォロワーになるとしている。環境から受け取る刺激は、以下の差分方程式で与えられる。

$$s_i(t+1) = \max\{s_i(t) + \delta - \alpha(1-R)F, 0\} \quad (3)$$

エージェントが存在する環境は客観的なリスク値 r をもち、この値はシミュレーションの開始と共に最大値まで線形に上昇する。 R はエージェントごとのリスク認知を表し、各エージェントの客観的リスク r に対する反応の違いを表している。

$$R(r) = \frac{1}{1 + e^{-g(r-\mu_i)}} \quad (4)$$

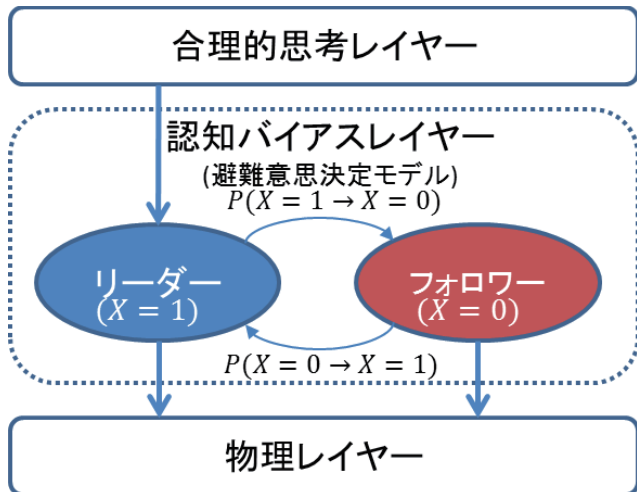


図 1: 避難エージェント・アーキテクチャ

μ_i はエージェントのリスク感受性と呼ばれるランダムな値である。 F は避難の進捗度を表す値であり、各エージェントは一定の範囲の自分の周囲に居るエージェントの人数 (n) により、避難の進捗具合を判断する。

$$F(n) = \begin{cases} 1 - n/N_{max} & n < N_{max} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

N_{max} は周囲に居るエージェント数の最大値である。また、 δ, α, g はシミュレーションパラメータである。

避難意思決定モデルは、リーダーとフォロワーという二つの心的状態を確率的に切り替えるだけのものであり、それぞれの心的状態においてエージェントが何をすべきかについては何も規定していない。フォロワー状態においては、通常、周囲のエージェントの行動の中で最も多数のエージェントが行っている行動と同じ行動を採るとしているが、詳細については問題毎に規定されるべきと考えている。さらにリーダーの状態の時どのように行動すべきかについては、何も規定していない。避難エージェント・アーキテクチャにおいては、合理的思考レイヤーのモデルにより、リーダー状態のときに採る行動が決められる。

図 1 に避難エージェント・アーキテクチャの概要を示す。避難エージェント・アーキテクチャでは、エージェントは心的状態がリーダー ($X = 1$) のときは合理的思考レイヤーのモデルを実行し、フォロワー ($X = 0$) のときは周囲の中で最も多い行動を採る。どちらの場合においても、結果はそのまま物理レイヤーへの入力として渡される。これまで物理レイヤーとして、Social Force Model を使用してきたが、この場合 Social Force Model への入力は、エージェントが進みたいと考えている方向を表す desired vector である。Social Force Model は desired vector を受け取ると、周囲の人や障害物などの物理的対象物に近づき過ぎないように適切に動きを調節する。

これまで避難シミュレーションのエージェントはルールなどをモデル記述言語として使ったもの [Pan 05] が多かったが、これらのルールには合理的思考や非合理的思考、物理的制約条件など異なる要因が混在し、見通しが悪く、どこか恣意的な印象をあたえるものが多かった。避難エージェント・アーキテクチャの利点は、これらの三要因を自然に分離し、それぞれを適切なモデルによって表現する事ができる点である。



図 2: 出口選択シミュレーションの初期配置

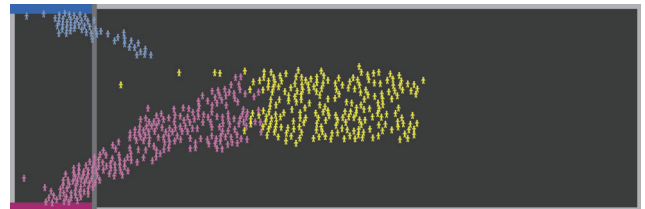


図 3: 出口選択における対称性の破綻

3. 合理的思考レイヤー

避難現場では、しばしば認知バイアスやパニックなどの非合理的な思考が人々の行動を支配する事があるが、人々は常に非合理的思考のみに基づいて避難するわけではなく、たとえば最短距離で逃げられる経路を選ぶ、人の少ない出口を選ぶ、等の合理的思考によって行動を決めている場合も多い。ある人が主に合理的思考で行動しているか、非合理的思考で行動しているかは、周囲の状況と個人の資質によってそれぞれであり、誰がどのように合理的思考と非合理的思考を使い分けているかを表現することは難しい問題である。このようなメカニズムをモデル化したものが避難意思決定モデルである。

合理的思考レイヤーで使用するモデルとしては、問題により様々な選択が可能であるが、主なものとして最短経路探索モデル、ルールベースモデル、効用理論に基づく意思決定モデル、ゲーム理論ベースのモデル、あるいは学習データを使った離散選択モデルなどが考えられる。本稿では合理的思考が同調行動に与える影響を調べるために、避難状況での出口選択における対称性の破綻 (図 3) を採り上げる。これは現実の避難状況でもしばしば観察される現象で、同条件の二つの出口があるにも関わらず、避難者が一方の扉に集中する現象のことである。避難者が二つの出口を均等に利用することが最も効率のよい避難方法であるにも関わらず、各避難者があえて混んでいる扉を選ぶ不適切な避難行動とみなされる。

本稿では、エージェントがその時点で得られる情報から、何らかの思考プロセスを経て、整合的に得られた結論を採る意識的な活動を合理的な思考・合理的な行動とよび、そのようなプロセスを省いた無意識的な行動や思考を非合理的と呼んでいる。そのため、合理的行動が必ずしも客観的・適意的な意味で「正しい」結果に結びつくとは限らないし、非合理的行動が「正しい」結果に結実することもありうる。避難シミュレーションにおいては、通常、全体の被害を最小化するような行動が「正しい」行動とされるが、それはあくまで適意的な評価における最適解であって、個々のエージェント視点での意思決定の場面における「合理」性と最適解が結びつく保証はない。

本稿では、出口選択における対称性の破綻という問題に鑑みて、合理的思考レイヤーとして、

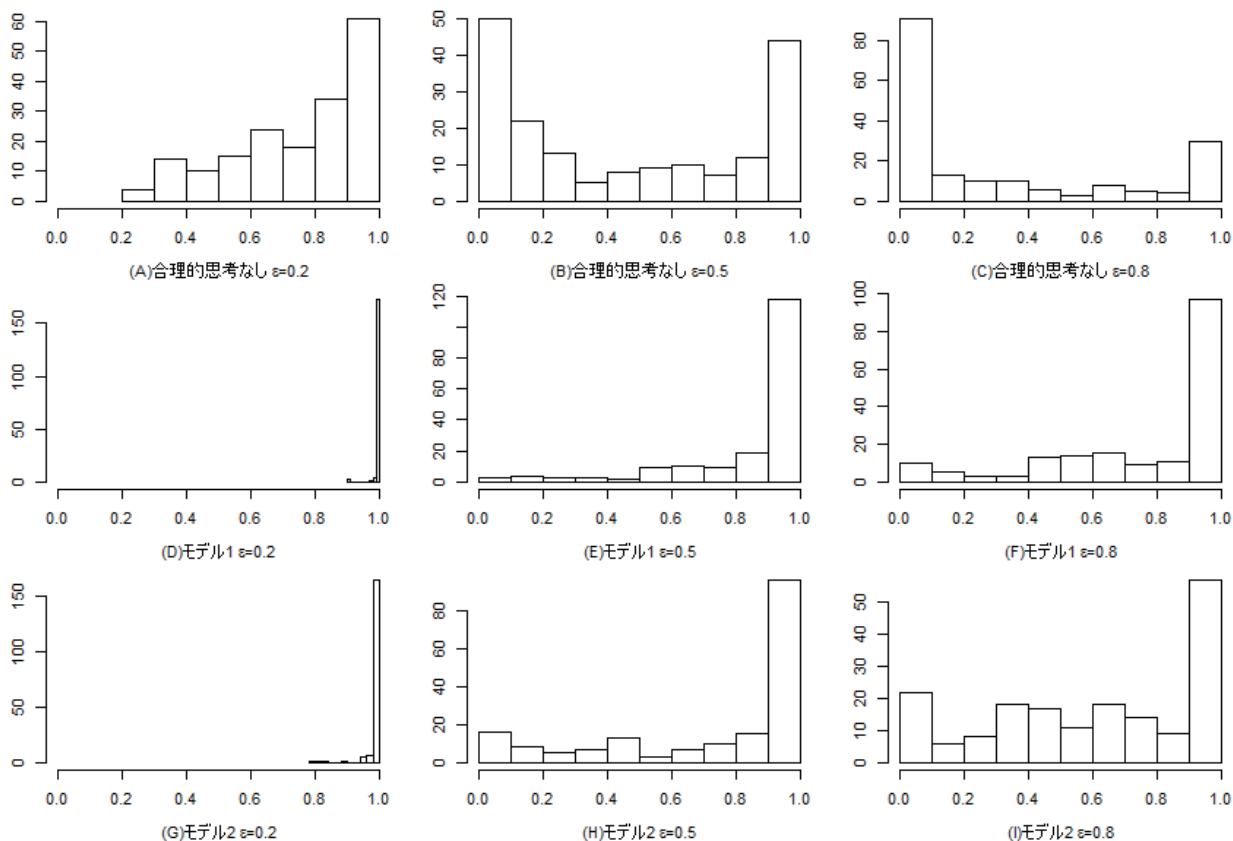


図 4: シミュレーション結果のエントロピー分布. 上段は合理的思考レイヤーを省いたもの, 中段は合理的思考レイヤーにモデル 1 を使ったもの, 下段はモデル 2 を使ったもの. 左から順に ϵ (リーダーがフォロワーへと変わる確率) が 0.2, 0.5, 0.8 と設定

1. 最短距離にある扉を選択する (モデル 1)
2. 利用者が少ない方の扉を選択する (モデル 2)

という二つのモデルを採用する.

4. 合理的思考を省いたモデルでの結果

我々はこれまで, 出口選択における対称性の破綻を調べるために, 合理的思考レイヤーを省いた避難意思決定モデルを使って, さまざまな分析 [Tsurushima 19, 鶴島 19] を行ってきた. これらの分析で使われたモデルでは, 合理的思考レイヤーにあたるものとして, リーダーとなるエージェントは単に「ランダムに扉を選択する」という, 合理的とはいえない行動を採っていた. このモデルを使ったシミュレーション分析の結果, 一定の頻度で対称性の破綻が発現することが示された.

これまで, 出口選択問題における対称性の破綻は非合理的思考によるものではなく, あえて人の多い出口を選ぶという避難者の合理的な選択の結果である [Lovreglio 16] という見方があったが, 我々の分析では, リーダーが特定の扉を選択するというような意思決定プロセスを一切省いた場合でも, 対称性の破綻が発生することが明らかになった. このことから, 出口選択における対称性の破綻は合理的選択の結果というよりも, 同調行動による創発現象として考えられる事が示された [Tsurushima 19].

5. 出口選択シミュレーション

出口選択における対称性の破綻が同調行動によるものだとすると, 合理的思考はこの問題に対してどのような役割をもつのだろうか. そもそも避難状況における出口選択の対称性の破綻は, 非効率な避難に繋がる不適切な行動であり, 本来なら避けるべきものである. 対称性の破綻が同調行動によって自然に引き起こされるのであれば, むしろエージェントの合理的思考をこの現象を避ける目的で役立てることができるかもしれない. この事を調べるために, 南北二つの扉がある環境から 600 人のエージェントが避難するシミュレーション (図 2) を考える. 図の左端にある青い部分が北の出口, 赤い部分が南の出口であり, その手前に引かれた灰色の縦線は, リーダーエージェントはこの線を超えてからでなければ南北の扉を選択することはできないという位置を示している. 各エージェントには避難エージェント・アーキテクチャが組み込まれていて, 物理レイヤーとして Social Force Model が採用されている. 合理的思考レイヤーは 3. 節で述べたモデル 1 またはモデル 2 であり, シミュレーションの設定によりこの合理的思考レイヤーは有効無効が切り替えられ, 無効の場合はリーダーエージェントは単に「ランダムに扉を選択」する. シミュレーションが始まると初期設定のエージェント (図 2) は, 出口のある左方向に向かって避難を始め, リーダーは灰色の縦線を超えると南北の扉を選択する. リーダーの選択は次第にフォロワーにも伝播していき, 時には対称性の破綻 (図 3) が現れる.

ここで, 出口選択における対称性を評価するために, 以下の

ようなエントロピー

$$H = -r_n \log_2(r_n) - r_s \log_2(r_s) \quad (6)$$

を考える。ただし r_n は全エージェントに対する北の出口を採ったエージェントの割合で、 r_s は南の出口を採ったエージェントの割合とする。 H が 1 に近いほど二つの出口が均等に使われた事を示し、0 に近いほど一方の扉に集中が起こったことを示す。

6. 合理的思考の違いに関する実験

合理的思考レイヤーの種別、およびリーダーがフォロワーに変わる確率 ϵ を 0.2, 0.5, 0.8 と変えたシミュレーションを、それぞれ 180 回行い、その結果の H の分布を図 4 に示した。図 4 の上段 (A), (B), (C) は合理的思考レイヤーがなく、リーダーがランダムに扉を選んだときの結果であり、中段の (D), (E), (F) はモデル 1 により最も近い扉を選んだときの結果、さらに下段の (G), (H), (I) はモデル 2 により人の少ない方の扉を選んだときの結果である。上段のグラフに比較して中段と下段のグラフはいずれも分布が 1 に偏っていることから、リーダーが合理的な行動を採ることは、出口選択における対称性の破綻を防ぐ上で、大きな効果がある事が分かる。

また中段と下段の比較により、合理的思考レイヤーで採用するモデルによっても効果に違いが出てくることが分かる。ここで示した実験においては、モデル 1 の方がモデル 2 よりも対称性の破綻を抑制する効果が大きかった。この事については次節において考察する。

上段中段下段のいずれにおいても、 ϵ の値が小さいほど H が大きい値を取る傾向が高く、この事からエージェントがフォロワーとして振る舞う時間が短い (ϵ が小さい) ほど対称性の破綻が発生する頻度が低くなる事が分かる。この事から、同調行動を抑えることが対称性の破綻を抑制する上で効果があると考えられる。

7. 考察

避難エージェントにおける合理的行動はひとつであるとは限らない。本稿のシミュレーションでは、最短距離にある扉を選択する (モデル 1) と、利用者が少ない方の扉を選択する (モデル 2) という二つのモデルを提示した。前者は各人の移動時間を短くする意味で合理的だし、後者は扉前における待ち時間や混雑を少なくする意味で合理的といえる。

前節の結果から、モデル 1 の方がモデル 2 よりも対称性の破綻を抑制する効果が大きいことが分かった。モデル 1 については、このアルゴリズムではエージェントの先頭集団が扉からの距離によって自然に南と北に分かれる作用があるため、後続のエージェントほどその影響を受けやすく、その結果対称性の破綻が起きにくくなると考えられる。またモデル 2 についてだが、このアルゴリズムを詳説すると、リーダーエージェントが意思決定を行うとき、その時点で南側出口を選んだエージェント数と北側出口を選んだエージェント数を比較し少ない方の出口を選ぶが、両者が等しい場合はランダムにどちらかを選ぶという構造になっている。故に、モデル 2 のアルゴリズムは合理的思考レイヤーを省いたモデルの動作を一部含んでいる (ランダムに扉を選ぶ場合があるから) ともいえる。

全てのエージェントが出口のある左方向に向かって避難するという、本シミュレーションの設定では、先頭集団の意思決定が後続のエージェントに伝わっていくため、先頭にいるエー

ジェントの意思決定ほど大きな影響をもつ。先頭集団の意思決定時には、それ以前に意思決定したエージェントがほとんどいないため、少数のエージェントのみが南北の扉を選んでいるにすぎない。そのためそれぞれの扉を選んだエージェント数が等くなる場合が比較的起こりやすく (最初に意思決定するエージェントの場合は必ずそうなる)、そのためランダムに扉を選ぶ事が多く、さらにその影響が後続のエージェントにも波及しやすい。モデル 2 がモデル 1 よりも対称性の破綻の頻度が高くなったのは、このような理由によると考えられる。

8. 結論

出口選択問題における対称性の破綻は、同調行動に起因して発生する。物理的要因は対称性の破綻の発生を強化し、同調行動の発生を下げることは対称性の破綻を抑制する効果があることが分かっている。人間の合理的意思決定は、出口選択における対称性の破綻を大きく抑制する作用があり、特に先頭集団における意思決定の影響は重要と考えられる。

参考文献

- [Helbing 00] Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic, *Nature*, Vol. 407, No. 28, pp. 487–490 (2000)
- [Lovreglio 16] Lovreglio, R., Fonzone, A., dell’Olio, L., and Borri, D.: A study of herding behaviour in exit choice during emergencies based on random utility theory, *Safety Science*, Vol. 82, pp. 421–431 (2016)
- [Pan 05] Pan, X., Han, C. S., and Law, K. H.: A multi-agent based simulation framework for the study of human and social behaviour in egress analysis, in *International Conference on Computing in Civil Engineering 2005*, pp. 1–12 (2005)
- [Tsurushima 18] Tsurushima, A.: Modeling herd behavior caused by evacuation decision making using response threshold, in *Pre-proceedings of the 19th International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation (MABS2018) - A FAIM workshop*, Stockholm, Sweden (2018)
- [Tsurushima 19] Tsurushima, A.: Reproducing symmetry breaking in exit choice under emergency evacuation situation using response threshold model, in *Proceedings of the 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART2019)* (2019)
- [鶴島 18] 鶴島 彰: 地震避難における意思決定の同調行動による再現, 日本認知科学会第 35 回大会発表論文集 (2018)
- [鶴島 19] 鶴島 彰: 避難意思決定モデルと Social Force Model の統合 - 出口選択の Symmetry Breaking に与える影響 -, 情報処理学会第 81 回全国大会論文集 (2019)