

災害避難時における群集行動形成メカニズムのモデル化とその厚生分析

Rational herds caused by information externality in a disaster evacuation process*

山田昌和**・織田澤利守***

By Masakazu YAMADA **・Toshimori OTAZAWA***

1. はじめに

津波や洪水などの大災害時において、人的被害を最小限に抑えるためには迅速かつ円滑な避難が重要である。しかし、実際の災害時においては、住民の避難行動選択が適切に行われず、その結果として逃げ遅れた住民が命を落とすという事例が数多く報告されている。もちろん、こうした状況は様々な要因が複合的に絡み合って生じるものと考えられるが、本研究では特に、本来避難すべき状況におかれた複数の住民（集団）が、揃って避難しないという非合理的な選択を行う現象に着目する。このように、多くの主体が同じようにシステムティックに誤った（全体として最適でない）行動を選択することは、『群集行動 (herds)』と呼ばれる。

防災研究分野において、避難行動における模倣性（自ら率先して避難は行わず、周辺住民が避難を開始するのを観察してから漸く避難するといった性質）の存在が指摘されているものの、その性質を意思決定の相互依存関係として構造的にモデル化した従来研究はなく、こうした問題を考察するための枠組みは提示されていない。

本研究は、(i)災害避難時において群集行動が形成されるメカニズムを表現する理論モデルの定式化を行い、(i)災害リスク環境（災害生起確率や災害規模など）や地域コミュニティの形態（リーダーや被災経験者、高齢者などの存在やその構成）がメカニズムや社会厚生に与える影響について分析を行うことを目的とする。上記の目的を達成するために、本研究では、住民の災害避難に関する意思決定の相互依存的な関係を不完備情報の動学ゲームと捉えたアプローチを採用する。それにより、住民の避難行動選択は各住民が合理的（戦略的）な判断を行った結果、ゲームの均衡解として導かれる。モデル分析によって、群集行動が、よく知られている「囚人ジ

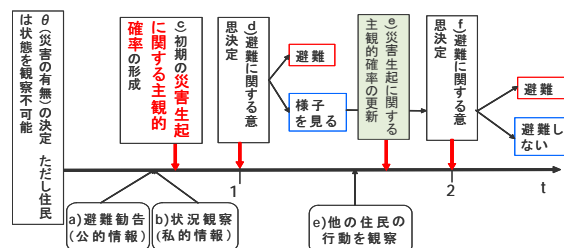


図-1 災害避難に関する意思決定モデルの手順

レンマ」のように誰もが避難すべき状況にあるにもかかわらず、誰も避難をしないというパレート劣位な均衡解として実現することを明らかにする。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 既存研究の概要

災害避難行動に関する研究は、防災研究分野において既に膨大な蓄積がある (eg. 片田ら (2002, 2005, 2005)¹⁻³⁾, 早川・今村 (2002)⁴⁾,)。しかし、既存研究の多くが、アンケート調査を基にした影響要因の分析やシミュレーション手法の開発をおこなったものであり、本研究のように、社会的学習過程を通じた意思決定の相互作用をモデル化した従来研究は防災研究分野においては全くない。

一方、行動ファイナンス分野では、金融市場におけるバブルやクラッシュを説明するために群集行動に関する研究が活発に行われている (Banerjee (1992)⁵⁾, Bikhchandani et.al (1992)⁶⁾, Chamley (1994, 2004)⁷⁻⁸⁾)。本研究で構築するモデルは、その基本的な設定において Chamley (2004) に準拠している。しかし、Chamley (2004) では、同質な主体によって構成される集団についてのみ考察しており、また厚生分析や政策評価が十分に検討されていない。本研究は、主体の異質性を考慮し、地域コミュニティの形態にまで議論を展開した点に独創性がある。

(2) 災害避難行動に関する意思決定構造の概要

住民の災害避難に関する意思決定構造について説明する。災害時に住民は「直ちに避難する」、もしくは

*キーワード：防災計画、災害避難行動、群集行動

**学生員、工学 東北大学大学院情報科学研究科

***正員、工博 東北大学大学院情報科学研究科

(宮城県仙台市青葉区青葉6-6-06)

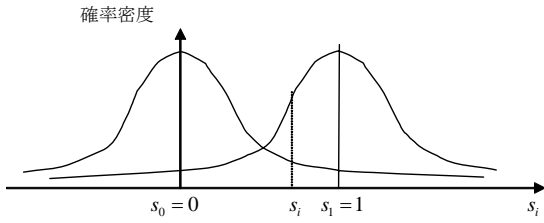


図-2 リスク情報の分布

「しばらく待つ様子を伺う」かのいずれかの選択を行うものとする。「しばらく待つ様子を伺う」を選択した場合、住民は周辺住民の避難状況を観察し、それに基づき自らの災害リスク認知の水準を更新するという社会的学習過程を経て、改めて避難行動に関する意思決定を行う。このとき、社会的学習過程を通じて、将来の追加的情報の価値が他の住民の避難行動選択に依存して内生的に決定されるという通時的な情報の外部性が存在する。

2. 災害避難に関する意思決定モデル

(1) モデル化の前提条件

a) モデルの手順

同質な2主体が存在し、災害リスクに直面している。1期の初期時点において、自治体から災害情報（公的情報）が公表される。各主体は、自治体からの情報と独自に認知したリスク情報を基にして災害生起に関する主観的確率を形成する。ただし、各個人が独自に認知するリスク情報は私的情報であり、もう一方の主体はその値を正確に知ることはできない（確率分布のみを知る）ものとする。各主体の避難行動に関する意思決定構造を右上図に示す。各主体は、先ほどの主観的確率に基づいて算出した期待被害額と避難に要する費用（心理的苦痛などの非金銭的費用を含む）とを比較して、1期に「避難する」か「様子を見る」かのいずれかを選択する。仮に、一方の住民が1期に避難を行わず、「様子を見る」を選択した場合、もう一方の住民の1期での避難行動（の有無）を観察でき、その情報を用いて主観的確率を更新する。2期においては、更新された主観的確率のもとで「避難する」か「避難しない」かのいずれかを選択する。

b) 情報の不完備性と社会的学習

第1期の初期時点において、自治体から災害情報（公的情報）として災害生起の確率 μ が公表される。各主体は、自治体からの情報と独自に認知したリスク情報を基にして災害生起に関する主観的確率を公的情報を用いてベイズ学習で更新するという形で形成する。リスク情報は $s = s_0 + \varepsilon$ で表され、 $N(s_0, \sigma^2)$ の正規分布に従う（図-2）。ベイズ学習は次式で表される。

$$\mu_i = P(\theta = 1 | s_i) = \frac{P(s_i | \theta = 1)\mu}{P(s_i | \theta = 1)\mu + P(s_i | \theta = 0)(1 - \mu)} \quad (1)$$

ただし、各個人が独自に認知するリスク情報は私的情報であり、他の主体はその値を正確に知ることはできない（確率分布のみを知る）ものとする。

(2) 第1期の意思決定

各主体は、先ほどの1期の災害生起に関する主観的確率に基づいて算出した期待被害額と避難に要する機会費用とを比較して期待被害額最小化行動をとることにより、1期に「避難する」か「様子を見る」かのいずれかを選択する。避難に要する機会費用は $c_i + \delta c_i$ 、様子を見たときの期待被害額は、 $\mu_i + (1 - \mu_i)\delta W(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ と表される。ここで、 $W(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ は第2期の期待被害額であり、 $\tilde{\mu}_j$ は他の主体の避難に関する行動ルール（閾値）である。

(3) 第2期の意思決定

一方の住民が1期に避難を行わなかった場合、他の主体の1期での避難行動（の有無）を観察でき、その情報を用いてベイズの公式で災害生起に関する主観的確率を更新する。第2期においては、更新された主観的確率のもとで「避難する」か「避難しない」かのいずれかを選択する。第2期の期待被害額 $W(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ は、

$$W(\mu_i, \tilde{\mu}_j) = \mu_i - Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j) \quad (2)$$

と表される。ただし $Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ は、

$$Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j) = \max \left[(1 - c_i)\mu_i P(\mu_j > \tilde{\mu}_j | \theta = 1) - c_i(1 - \mu_i) P(\mu_j > \tilde{\mu}_j | \theta = 0), 0 \right] \quad (3)$$

となり、オプション価値である。オプション価値 $Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ は、他主体の避難行動を観測できることにより第2期に避難をするという選択肢が存在することに関する価値（2期に避難することによって生じる被害軽減額の最大値）である。 $Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ は、他の主体の避難行動選択に依存して決定される（情報の外部性）。

(4) 完全ベイジアン均衡

住民の避難行動選択は、各住民が合理的（戦略的）な判断を行った結果、次式を満たすゲームの均衡解（完全ベイジアン・ナッシュ均衡）として導かれる。

$$c_i + \delta c_i = \mu_i^* + (1 - \mu_i^*)\delta W(\mu_i^*, \mu_j^*) \quad (4)$$

ここでのゲームの均衡とは、自ら進んでその行動（「いつ」避難するか）あるいは、「避難しないか」）を変更するインセンティブをもたないような選択を互いに行っている状態である。具体的には、均衡行動選択が、各期における自らの主観的確率がそれぞれある

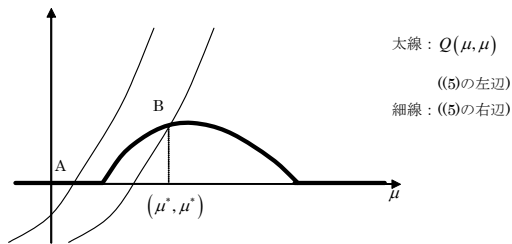


図-3 情報の外部性が及ぼす影響

閾値を上回る場合に、「避難する」を選択し、下回る場合には「様子を見る」を選択するという状況依存的ルールとして導かれる。

(6) 情報の外部性

情報の外部性の存在とは、1期に様子を見ることにより他の主体の行動を観察できるので、それにより自分の主観的確率を更新し、それに基づいて2期の行動を選択することである。そうした意思決定構造を考慮に入れた上で、第2期に避難をするという選択肢が存在することの1期における価値（2期に避難することによって生じる被害軽減額の最大値）がオプション価値 $Q(\mu_i, \tilde{\mu}_j)$ である。ここで、同質な2主体であると仮定するとオプション価値は次式で表される。

$$Q(\mu^*, \mu^*) = \mu_{i1} \frac{\mu_{i1} - (1 + \delta)c_i}{\delta(\mu_{i1} - 1)} \quad (5)$$

式(5)の右辺と左辺をそれぞれグラフに表すと図-3のようになる。情報の外部性が存在する場合は均衡点が図-3中のB点のようになる。この場合は意思決定において他の主体の行動を考慮に入れているために、他の主体の行動を観察するために避難を遅らせている。しかし、均衡点が点Aのようになる場合は情報の外部性はそんざいしていない。したがって、他の主体の行動を意思決定において考慮していない。これは、あまりにも低い閾値を取る主体はすぐに逃げてしまうので信用できない。よって結果に影響を及ぼさないためであると考えられる。

(7) 完備情報モデル（最適避難行動モデル）

私的情報が存在しない完備情報モデルを考える。すなわち、各主体が情報交換を行い、それぞれが認知した危険度を共有することができる場合である。完備情報モデルでは、入手可能な情報（公的情報、各主体の認知した危険度）の全てを用いて、災害発生に関する確率が形成される。この確率を災害発生に関する客観的確率と定義すると、以下ようになる。

$$\mu_c = P(\theta = 1 | s_i, s_j) = \frac{P(s_i, s_j | \theta = 1) \mu}{P(s_i, s_j)} \quad (6)$$

完備情報モデルでは、指摘情報が存在しないため、相手の行動を観察するために避難をしないで様子を見る必

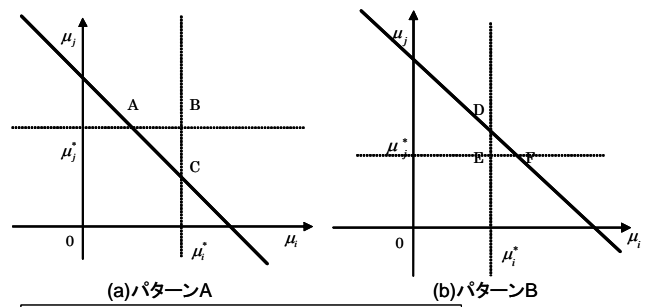


図-4 均衡解と社会的最適解

要がない。よって、1期の決定が避難に関する最終決定となる。またこのとき、客観的確率に基づき行われる意思決定は、社会的に最適なものとなる。

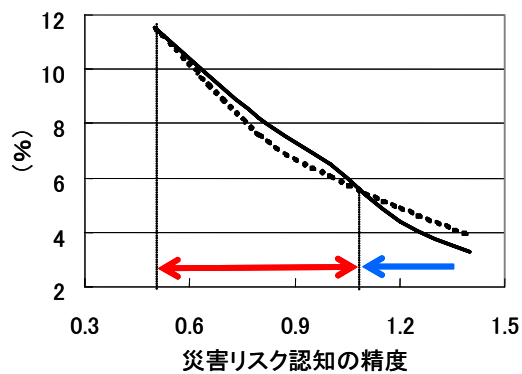
(8) 均衡解と社会的最適解の比較

完備情報の意思決定の境界線（最適な行動の境界線）と不完備情報での1期の意思決定の境界線を同じグラフに引くことにより、均衡解と社会的に最適な行動の関係を表すことが出来る。横軸に主体iの主観的確率、縦軸に主体jの主観的確率をそれぞれとったグラフに、社会的最適モデルの最適な行動が無差別となる主観的確率の組み合わせをプロットしていくと、最適な意思決定の境界線を引くことができる。また、それぞれの主体の閾値をそのグラフに引くと、主体の認知した危険度による1期の意思決定と最適行動を図に表すことが出来る。このグラフには2種類のパターンがあり、パターンAを図-4、パターンBを図-5に表す。パターンAでは図-4中の点ABCに囲まれる領域のような、避難をするのが最適であるにも関わらず、両主体共に避難をしないという領域が存在する。一方、パターンBでは図-5中の点DEFに囲まれる領域のような、避難しないのが最適にも関わらず、両主体共に避難をしてしまうという領域が存在する。

3. 数値解析

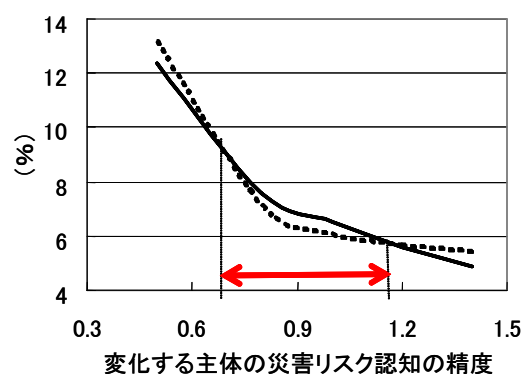
(1) 設定

災害リスク環境（公的確率）や集団内の異質性（災害危険度認知の精度、避難に要する機会費用）が集団的な避難行動に与える影響について分析する。具体的には、情報の外部性の影響について、均衡解の特性を考察するとともに厚生分析を行う。災害リスク認知の精度とは、各主体が認知するリスク情報の分布における標準偏差を指す図-5は、同質な2主体の災害リスク認知の精度を、図-6は、片方の主体の災害リスク認知の精度を変化させた（標準偏差 σ を0.5（精度が高い）から1.4（精度が低い）に変化させた）場合の、情報の外部性が存在する



—— 外部性あり 外部性なし

図-5 社会的最適との乖離と情報の外部性(同質)



—— 外部性あり 外部性なし

図-6 社会的最適との乖離と情報の外部性(異質)

場合としない場合における総期待被害額の社会的最適からの増加率を示す。その他のパラメータは避難に要する機会費用を $c = 0.3$ 、公的情報を $\mu = 0.5$ として分析を行う。

(2) 同質な2主体のケース

図-5より $\sigma = 0.5$ よりも大きな領域では、各主体が主観的確率で評価した σ が正の値をもち、他の主体の行動を観察するために避難を延期することが選択される。一方、 $\sigma = 1.1$ 以上の領域は社会的に見ても避難を遅らせることが望ましい領域であるのに対し、 $\sigma = 0.5$ から 1.1 の領域は社会的には避難を選択することが望ましい領域である。 $\sigma = 0.5$ よりも小さな領域では、各主体の精度が高いことから、他の主体の行動を観察することの価値は小さい。すなわち、 $\sigma = 0.5 \sim 1.1$ の領域において、各主体が合理的に避難の延期を選択しているにもかかわらず、情報の外部性の存在により新たな情報の獲得が必ずしも正の価値を持ち得ず、その結果、パレート劣位な均衡に陥っていることが分かる。

(3) 異質な2主体のケース

図-6より、両主体の精度に差がある場合、総期待被害額が減少する。相対的に精度が高い主体にとって、精度の低い主体の行動を観察することの価値は低く、第1期に避難するか否かの意思決定を行う。精度の低い主体は、精度の高い主体の第1期での行動を観察し、追従することにより、より正確性の高い判断を行うことができる。一方、両主体の精度に差がなく、本ケースのように共に中間的な値を取る場合、同質な場合と同様に厚生損失が発生する。

4. 結論

本研究では、住民の災害避難に関する意思決定の相互依存的な関係を不完備情報の動学ゲームとして定式化した災害避難行動モデルを用い、群集行動形成メカニズムにより「避難の遅れ」が発生することを説明した。モデル分析によって、群集行動が、よく知られている「囚人ジレンマ」のように誰もが避難すべき状況にあるにもかかわらず、誰も避難をしないというパレート劣位な均衡解として実現することを明らかにした。

参考文献

- 1) 片田敏孝, 児玉真, 浅田純作, 及川康 荒畑元就: 東海豪雨災害を事例にした避難に関わる意思決定の状況依存性に関する研究. 水工学論文集, 46, 2002.
- 2) 片田敏孝, 児玉真, 及川康: 水害進展過程における住民の災害情報の取得構造に関する実証的研究. 土木学会論文集, No.786/IV-67, 77-88, 2005.
- 3) 及川康, 児玉真, 片田敏孝: 水害進展過程における住民対応行動形成に関する研究. 土木学会論文集, No.786/IV-67, 89-101, 2005.
- 4) 早川哲史, 今村文彦: 津波発生時における避難行動開始モデルの提案とその適用. 自然災害科学, 22-1, 51-66, 2002.
- 5) Banerjee: A simple model of herd behavior. Quarterly Journal of Economics 107, 797-817, 1992.
- 6) Bikhchandani, S., Hirshleifer, D., Welch, I.: A theory of fads, fashion, custom and cultural change as informational cascades. Journal of Political Economy 100, 992-1026, 1992.
- 7) Chamley, C., Gale, D.: Information revelation and strategic delay in a model of investment. Econometrica 62, 1065-1085, 1994
- 8) C. Chamley: Delays and equilibria with large and small information in social learning. European Economic Review 48, pp477-501, 2004.