

シグナリング・ゲームによる 津波避難時の助け合い行動の記述と考察

中居 楓子¹

¹正会員 名古屋工業大学大学院助教 工学研究科 (〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町)
E-mail:nakai.fuko@nitech.ac.jp

津波避難行動における二つの規範として「津波てんでんこ」と「要支援者救助」がある。「津波てんでんこ」が「避難時には互いを捜索せず、てんでんばらばらに逃げるべきである」、つまり、助け合わないよう要請する一方で、「要支援者救助」は自力で避難できない人への手助けを要請するものである。この矛盾する二つの規範が共存する状況において、我々が津波避難行動を決定する際には、どちらの規範にしたがうべきか、当事者同士で互いに確認しておくことが重要である。そこで、本研究では、当事者同士の事前の取り決めや避難準備などを表す「シグナル」を導入したシグナリング・ゲームを用いて、津波避難時の助け合い行動を記述する。また、「シグナル」導入した場合の、各個人の行動を分析する。

Key Words: tsunami, evacuation behavior, evacuation support, signaling game

1. はじめに

津波避難行動に関する規範として、「津波てんでんこ」と「要支援者救助」の二つがある。「津波てんでんこ」(以下、「てんでんこ」と表記)は、家族や知人を迎えに行くことによる「共倒れ」を回避するためのルールである。山下¹⁾によれば、「凄まじいスピードと破壊力の塊である津波から逃れて助かるためには、薄情なようであっても、親でも子でも兄弟でも、人のことなどは構わずに、てんでんばらばらに、分、秒を争うようにして素早く、しかも急いで早く逃げなさい、これが一人でも多くの人が津波から身を守り、犠牲者を少なくする方法です、という哀しい教え²⁾とされている。一方の「要支援者救助」は、自力で避難できない人への手助けを要請するものである。2013年の災害対策基本法改正では、市町村に避難行動要支援者名簿の作成が義務付けられた³⁾。これは、東日本大震災の被災地全体の死者数のうち、約6割が65歳以上の高齢者であったこと、消防団員などの支援者が犠牲になったことを踏まえ、支援に向けた事前の準備や計画を促すことをねらいとしたものである。

しかしながら、「てんでんこ」と「要支援者救助」が共存する状況において、津波避難時の行動を決めることは容易ではない。たとえば、次のような若者と高齢者の状況が考えられる。津波避難時、孫が祖父母の家に迎えに行くつもりでいるとする。一方、祖父母は「孫には自

分たちを迎えに来ることなく高台に逃げて生き残ってほしい」と考えているとする。この場合、孫と祖父母が相談しない限り、孫は「要支援者救助」モードでの行動を、一方の祖父母は「てんでんこ」モードでの行動をとると考えられる。実際、東日本大震災で大きな被害を受けた岩手県大槌町安渡地区に関する報告によれば、避難誘導や救助に当たっていた消防団員が犠牲になった問題の背後には、避難支援において「避難するよう、高齢者を説得すること」「持ち出し品と一緒に探して梱包すること」などによる時間の損失があったことが指摘されている⁴⁾。つまり、助け合い行動にかかわるもの同士が、「てんでんこ」か「要支援者救助」について異なる認識をもっていると、どちらも失敗する可能性があるのである。

一方、安渡地区では、この事態を教訓に要支援者救助がうまくいく状況をつくるためのルール⁴⁾⁵⁾を作っている。具体的には、「支援の時間を限定する(地震後15分以内を目安)」「支援の内容を限定する(安全な避難場所に向かって、率先避難、声かけ、避難所運営等)」「予め登録している(一定の自助活動を行っている)要援護者を対象とする」等を原則として定めたものである。また、要支援者側にも「せめて玄関先までは、自分で(あるいは介助者が)出る」ということを「自助」の範囲として規定している³⁾。このルールの画期的な点は「要支援者救助」モードか否かが、互いに認識できる仕組みが作られているということである。

2. 本研究の目的と枠組み

本研究では、当事者同士が「『てんでんこ』か『要支援者救助』か」という状況で行動を決める状況を、「相手を助けるかどうか」に関する問題としてとらえる。ここでは、津波避難時の助け合い行動をシグナリング・ゲームとして記述することにより、安渡地区のように自分の避難準備状況を示す「シグナル」を導入した場合に、各個人が取る予測される行動を分析する。

(1) シグナリング・ゲーム

シグナリング・ゲームとは、プレイヤーが他のプレイヤーのタイプ（性質や好みなど）や行動について不完全な情報しか持たない情報不完備ゲームの一種であり、特定のプレイヤーしか知らない私的情報が存在する非対称情報ゲームである。各プレイヤーが、各手番において逐次的に行動を選択する動学ゲームとして表現される。

シグナリング・ゲームの例としてしばしば用いられるのが、就職活動と採用のゲームである。プレイヤーは、学生と企業の二つで、学生には「能力の高い」タイプと「能力の低い」タイプがいる。企業は学生のタイプがわからないが、できる限り「能力の高い」タイプを採用したい。そこで、学生がある資格を「取得している」か「取得していないか」を参考に採用を決める。ここでは、資格の有無がシグナルとなる。もし企業が資格を取得している学生を「能力の高い」タイプと予測するなら、学生はコストをかけてでも資格を取ると考えられる。

(2) 津波避難時の助け合い行動のゲーム的状況

本研究では、津波避難時の二人の個人における助け合い行動を考える。ここで、プレイヤーは個人 A と個人 B であり、A は助けられる側、B は自力で避難できる支援者とする。個人 A の行動は「避難準備をする (Y)」「避難準備をしない (N)」の二択である。一方、個人 B の行動は、「迎えに行く (H)」「迎えに行かない (N)」の二択である。また、個人 A は「自力避難可能 (A)」「自力避難不可能 (D)」なタイプのどちらかであるとする。ここで、A は A 自身のタイプが「自力避難可能」か「自力避難不可能」かを知っているが、B は A がどちらの状況にあるかわからず、事前にはその確率分布しか分かっていないものとする。これは家族同士の関係性などを考えると一見不自然な前提ではあるが、地震による怪我なども含めて、発災直後には、B は A が自力避難可能かどうかはわからないため、不確実なものとしてとらえることとする。なお、確率分布は家の耐震化の状況などによって異なると考えられる。このゲームにおいては、「個人 A が避難準備をするか否か」がシグナルとなる。個人 B は、このシグナルをもとに「迎えに行く」か「迎えに行かない」かを決める。

(3) 利得に関する仮定

ゲームにおける均衡は、利得をどのように考えるかによって異なる。本研究では、避難準備をするかどうか、迎えに行くかどうか、さらに個人 A が自力避難可能かに応じて利得が与える (図-1, 図-2)。B が迎えに行ったら

Aが自力避難可能な場合

		B	
		迎えに行く	迎えに行かない
A	避難準備あり	1	0
	避難準備なし	-1	0

Aが自力避難不可能な場合

		B	
		迎えに行く	迎えに行かない
A	避難準備あり	1	0
	避難準備なし	-1	0

図-1 個人 A の利得行列

Aが自力避難可能な場合

		B	
		迎えに行く	迎えに行かない
A	避難準備あり	1	0
	避難準備なし	-1	-1

Aが自力避難不可能な場合

		B	
		迎えに行く	迎えに行かない
A	避難準備あり	1	-1
	避難準備なし	-2	-2

図-2 個人 B の利得行列

ときに、A が避難準備をしていれば A, B 共に助かる可能性が高いが、そうでなければ A, B 共に助かる可能性が低くなる。また、B は、A を迎えに行かない場合、罪悪感としてコストがかかる。一方、A は、B が迎えに来ない場合、特に何も起こらないものとする。これらの利得は、個人 A, 個人 B それぞれで異なる。

(4) 動学ゲームとしての表現

図-3 に、以上の設定を動学ゲームとして表した。まず、個人 A が自力避難可能かどうか (=タイプ: t) が決まる。この時、個人 A は、自分のタイプを知るが、個人 B はタイプに関する確率分布 ($p, 1-p$) しかわからない。次に、個人 A は自分のタイプを知った後に、避難準備をするかどうか (=シグナル: s) を選ぶ。次に、個人 B が A のシグナルを知った後、迎えに行くかどうか (=行動: a) を選択する。以上の t, s, a より、個人 A の利得 $H_A(t, s, a)$ と個人 B の利得 $H_B(t, s, a)$ が決まる。

個人 A は、自力避難可能 (=タイプ A) なら情報集合 u_{11} に、不可能 (=タイプ D) なら情報集合 u_{12} にいる。ここで、 u_{11} と u_{12} において A がとる行動は、避難準備をする (=シグナル Y), しない (シグナル N) の二つである。これらの組合せは、YY, YN, NY, NN の 4 つであり、これを純戦略という。また、 u_{11} の時に Y をとる確率を b_{11} , u_{12} の時に Y をとる確率を b_{12} としたとき、この確率の組 (b_{11}, b_{12}) を行動戦略という。一方、個人 B は、A が u_{11}, u_{12} において Y を選んだ場合、情報集合 u_{21} にいる。また、A が u_{11}, u_{12} において N を選んだ場合、情報集合 u_{22} にいる。ここで、B がとる行動は、迎えに行く (=行動 H), 行かない (=行動 N) の二つである。純戦略は、HH, HN, NH, NN の 4 つである。行動戦略は、 (b_{21}, b_{22}) であらわされる。

このシグナリング・ゲームでは、各個人が各情報集合

において自分がどの点にいるのかを予想する。この予想は「信念」と呼ばれる確率分布で、他の個人の行動の情報によって更新されるベイジアン・ゲームとなっている。このゲームにおける均衡の概念として「完全ベイジアン均衡点」がある。これは、次の (a) (b) の二つの性質を満たすような、個人 A の行動戦略 (b_{11}, b_{12}) と、個人 B の行動戦略 (b_{21}, b_{22}) 、情報集合に関する信念 $P(A|u_{21}), P(A|u_{22})$ の組のことである。

- (a) 個人 B の信念、つまり、ある到達可能な (実現する確率が 0 ではない) 情報集合にいるという予想は、個人 A と B の行動戦略と整合的である。ここで、整合的とは、B の信念が到達可能な情報集合における事後予想と等しいことを意味する。B の信念は、情報集合内の各手番に至る A の行動戦略とタイプ t の確率分布から、ベイズの定理を用いて計算される条件付き確率である。到達可能でない情報集合では、任意の確率分布を信念とする。
- (b) A と B の行動戦略は、B の信念に基づく互いの行動戦略に対して互いに最適反応となっている。

3. 津波避難時の助け合い行動の分析

本章では、2 章に示したシグナリング・ゲームの完全ベイジアン均衡点を求めてみる。具体的な手順としては、(1) 個人 A の行動戦略を任意に与え、その戦略と整合的な B の信念を求め、(2) B の信念に基づいた B の最適応答戦略を求め、(3) (1) で任意に与えた A の行動戦略が B の最適応答戦略に対する最適応答であることを確認する。整合的な信念において、A も B も最適応答戦略をとるような組み合わせが完全ベイジアン均衡点となる。

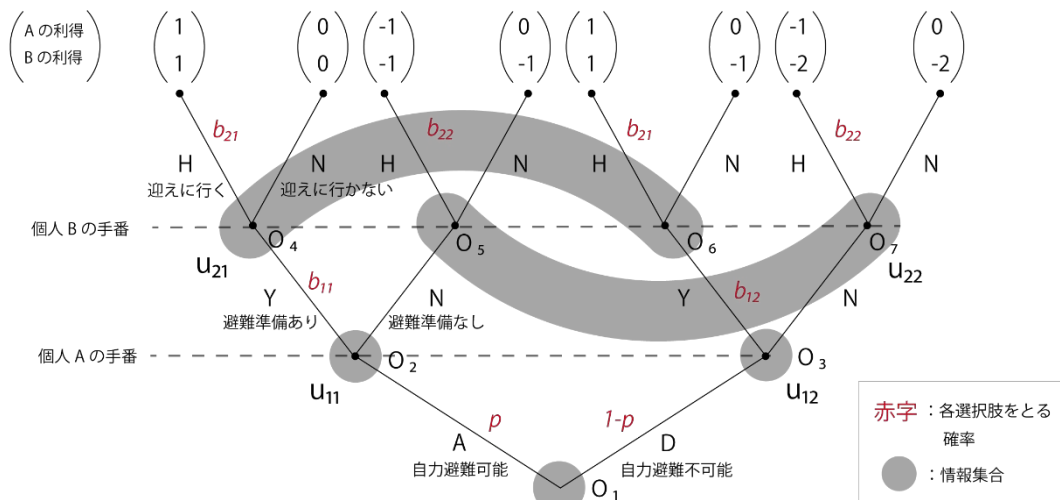


図-3 津波避難時の助け合いのシグナリング・ゲーム

(1) B の信念

B の信念とは、B が自分が u_{21} , u_{22} のどちらの情報集合にいるのかについて予想している確率分布のことである。B の手番において情報集合 u_{21} に到達したとき、つまり A が Y を選んだときに、A がタイプ A, タイプ D である条件付き確率は、式 (1) (2) によって求められる。個人 A の行動戦略は、 b_{11}, b_{12} を任意に与えている。

$$P(A|u_{21}) = \frac{P(u_{21}|A)P(A)}{P(u_{21}|A)P(A) + P(u_{21}|D)P(D)} \quad (1)$$

$$= \frac{b_{11}p}{b_{11}p + b_{12}(1-p)}$$

$$P(D|u_{21}) = \frac{b_{12}(1-p)}{b_{11}p + b_{12}(1-p)} \quad (2)$$

一方、B の手番において情報集合 u_{22} に到達、つまり A が N を選んだときに、A がタイプ A, タイプ D である条件付き確率は、式 (1) (2) によって求められる。

$$P(A|u_{22}) = \frac{P(u_{22}|A)P(A)}{P(u_{22}|A)P(A) + P(u_{22}|D)P(D)} \quad (3)$$

$$= \frac{b_{11}p}{(1-b_{11})p + (1-b_{12})(1-p)}$$

$$P(D|u_{22}) = \frac{(1-b_{12})(1-p)}{(1-b_{11})p + (1-b_{12})(1-p)} \quad (4)$$

以上について、個人 A の行動戦略を $(b_{11}, b_{12}) = (0,0)$ と置いた時は、次のようになる。このとき、 u_{21} への到達確率は 0 になるので、いかなる信念も整合的である。

$$P(A|u_{22}) = p, \quad P(D|u_{22}) = 1-p \quad (5)$$

一方、個人 A の行動戦略を $(b_{11}, b_{12}) = (1,1)$ と置いた時は、次のようになる。このとき、 u_{22} への到達確率は 0 になるので、いかなる信念も整合的である。

$$P(A|u_{21}) = p, \quad P(D|u_{21}) = 1-p \quad (6)$$

(2) B の信念に基づいた B の最適応答戦略

つぎに、個人 B が (1) に示すような信念をもっているときの最適応答戦略について考える。ここで、最適応答戦略とは、期待利得を最大化する戦略である。

u_{21} において、個人 B が行動 H, N を取るときの期待利得は、式 (7) (8) より、 $(1, P(A|u_{21}) - 1)$ である。

$$H \text{ を取るときの期待利得:} \quad (7)$$

$$P(A|u_{21}) \times 1 + (1 - P(A|u_{21})) \times 1 = 1$$

$$N \text{ を取るときの期待利得:} \quad (8)$$

$$P(A|u_{21}) \times 0 + (1 - P(A|u_{21})) \times (-1)$$

$$= P(A|u_{21}) - 1$$

ここで、個人 B が H を選ぶことが合理的である場合、H の方が期待利得が高い、つまり、 $1 > P(A|u_{21}) - 1$ が成り立っているはずである。一方、 $1 < P(A|u_{21}) - 1$ であれば N の方が期待利得が高いが、 $P(A|u_{21})$ は確率だから、そのような状況はあり得ない。 $1 = P(A|u_{21}) - 1$ も同様にあり得ない。したがって、個人 B は、 u_{21} において H を選ぶことが最適応答となる。

一方、 u_{22} における期待利得は、式 (9) (10) より、 $(P(A|u_{22}) - 2, P(A|u_{22}) - 2)$ である。H と N の期待利得は等しく、 u_{22} においては、H と N のどちらも最適応答となる。

$$H \text{ を取るときの期待利得:} \quad (9)$$

$$P(A|u_{22}) \times (-1) + (1 - P(A|u_{22})) \times (-2)$$

$$= P(A|u_{22}) - 2$$

$$N \text{ を取るときの期待利得:} \quad (10)$$

$$P(A|u_{22}) \times (-1) + (1 - P(A|u_{22})) \times (-2)$$

$$= P(A|u_{22}) - 2$$

以上をまとめると、B の信念に基づいた B の行動戦略 (b_{21}, b_{22}) のうち、最適なものは $(b_{21}, b_{22}) = (1,1)$ または $(b_{21}, b_{22}) = (1,0)$ となる。

(3) A の最適応答戦略

改めて、個人 A の最適な行動戦略 (b_{21}, b_{22}) を考える。 u_{11} , つまり自分が自力避難可能なとき、A がシグナル Y, N を選ぶときの期待利得は、B の行動戦略 (b_{21}, b_{22}) を用いて、式 (11) (12) より $(b_{21}, -b_{22})$ となる。

$$Y \text{ を取るときの期待利得:} \quad (11)$$

$$b_{21} \times 1 + (1 - b_{21}) \times 0 = b_{21}$$

$$N \text{ を取るときの期待利得:} \quad (12)$$

$$b_{22} \times (-1) + (1 - b_{22}) \times 0 = -b_{22}$$

一方、 u_{12} , つまり自力避難不可能なとき、Y, N の期待利得は、式 (13) (14) より $(b_{21}, -b_{22})$ となる。

$$Y \text{ を取るときの期待利得:} \quad (13)$$

$$b_{21} \times 1 + (1 - b_{21}) \times 0 = b_{21}$$

N を取るとき期待利得： (14)

$$b_{22} \times (-1) + (1 - b_{22}) \times 0 = -b_{22}$$

以上より、個人 A は、 u_{11} 、 u_{12} のいずれにおいても、Y を選ぶこと $(b_{21}, b_{22}) = (1, 1)$ が最適応答戦略となる。均衡においては、個人 A は自身のタイプが自力避難可能であっても不可能であっても、避難準備をすることが最適であることがわかった。

(4) 完全ベイジアン均衡点

津波避難時の助け合い行動のシグナリング・ゲームにおける完全ベイジアン均衡点をまとめると、以下の表のとおりとなる。この均衡では、自力避難可能であろうがなかろうが個人 A は避難準備をすることになるため、シグナルは B が A のタイプを判断する際に使えない。

表-1 シグナリング・ゲームにおける完全ベイジアン均衡点

個人 A の戦略	$(b_{21}, b_{22}) = (1, 1)$ タイプ A：避難準備をする、タイプ D：避難準備をする
個人 B の戦略	$(b_{21}, b_{22}) = (1, 1)$ または $(b_{21}, b_{22}) = (1, 0)$ 個人が避難準備をしている：迎えに行く、個人が避難準備をしていない：迎えに行く／行かないどちらでもよい。
B の信念	$P(A u_{21}) = p$, $P(A u_{22}) = p$

4. まとめ

本研究では、津波避難時の助け合い行動をシグナリング・ゲームとして記述し、避難準備状況を示すシグナルを導入した場合に、各個人が取ると予測される行動を分析した。その結果、今回仮定した利得行列では、個人 A のシグナルは、個人 B の戦略の決定において意味をなさないということが分かった。

この均衡は利得行列に依存するため、結果の解釈においては、様々な利得行列を仮定的に置いてみて、それと対応するゲームの均衡の関係性を注意深く見ていく必要がある。今回は、2 - (3) で示したように、利得行列は「B が迎えに行ったときに、A が避難準備をしていれば A、B 共に助かる可能性が高いが、そうでなければ A、B 共に助かる可能性が低くなる。また、B は、A を迎えない場合、罪悪感としてコストがかかる。一方、A は、B が迎えない場合、特に何も起こらないものとする」という前提のもと作成した。しかし、実際には、「B と A が共に津波に追いつかれた場合よりも、B が A

を迎えに行かず一人で生き残った場合の方が苦しみが大きい」という考え方もある。今後は、それらのシナリオについても検討する予定である。

シグナルの考え方については、今後、実際の避難状況から得られる知見も踏まえた検討が必要である。今回の定式化では、個人 A のタイプは自力避難可能かどうかを示すものとした。これは、実際の社会においては、家の耐震化や家具固定をしているか、避難訓練への参加などの避難準備の有無だけではなく、個人 A の年齢や足腰の状況などの身体的な要因にも依存して決まると考えられる。したがって、避難準備というシグナルが個人のタイプに対する予測を与えるという前提には再考の余地がある。また、避難準備のシグナルは、実際には発災前に送られるものである。今回の定式化では示していないが、日常的なコミュニケーションにより、信念が更新されていくプロセスについても考慮する予定である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 18K13848 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 山下文男：津波てんでんこー近代日本の津波史. 新日本出版社, 2008.
- 2) 内閣府 (防災担当)：避難行動要支援者の避難行動支援に関する取組指針, 2013.
- 3) 大矢根淳：3.11・1F 災害後に原発防災レジリエンス醸成の道筋を考える～マルチステークホルダー参画型・原発地区防災計画づくりに向けて～, 地域社会学会年報, Vol. 27, pp. 27-44, 2015.
- 4) 日野宗門：みんなで作る地域の防災活動プランー岩手県大槌町安渡地区ー, 地域防災, pp. 36-39, 2017.
- 5) 避難にマイカー避難支援は 15 分 被災したまちが、自らの手で作る地区防災計画 (岩手県大槌町安渡地区) | C+Bousai vol1 | リスク対策 .com | <http://www.risktaisaku.com/articles/print/1866>, 新建新聞社, C+Bousai Vol.1, 2014. (2019 年 10 月 2 日参照)

(2020.3.8 受付)