

認知的不協和を考慮した津波避難行動モデルの開発 -避難シミュレーションへの心理的要素の導入-

An evacuation model incorporating cognitive dissonance:
Introduction of psychological elements to evacuation simulating

佐藤 太一¹, 河野 達仁¹, 越村 俊一¹, 山浦 一保², 今村 文彦¹

Taichi SATO¹, Tatsuhito KONO¹, Shunichi KOSHIMURA¹, Kazuho YAMAURA²,
and Fumihiko IMAMURA¹

¹ 東北大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Tohoku University

² 静岡県立大学 経営情報学部

Faculty of Administration and Informatics, University of Shizuoka

Many evacuation simulation models have been developed. However, all the models exogenously set the rate of evacuation and the evacuation route which are inherently determined by residents. With the exogenous settings, these models can not follow the change in the residents' behavior according to changes in policies. Therefore, it is necessary to model residents who evacuate based on their individual rationality. And now, it is known in particular that residents will not evacuate by some psychological factors (e.g. cognitive dissonance). This paper, focusing on cognitive dissonance as psychological factors, constructs an evacuation model incorporating individual rationality and cognitive dissonance. As a result, we show the effects of cognitive dissonance on the residents' evacuation.

Keywords: evacuation simulation, policy assessment tool, individual rational behavior, cognitive dissonance

1. はじめに

2004年に発生したスマトラ島沖地震に伴う津波では、死者・行方不明者が22万人を越える大災害となった¹⁾。我が国においても、過去幾度も津波による被害を受けており、今後発生し得る巨大津波に各自治体・沿岸住民は危機感を高めている。津波災害による人的被害を低減するために有効な手段として早期避難があげられる。例えば、今世紀前半の発生が予測されている南海地震では、早期避難がなされると、死傷者数が7,100人から2,600人に低減できると予測されている²⁾。その迅速な避難を実行するために、津波襲来時の人々の避難行動を事前に把握しようと、これまで様々な避難シミュレーションモデルが開発されてきた^{3)~6)}。

しかし、既往の避難シミュレーションのほとんどが避難者の避難開始を、一斉避難や正規分布等の確率分布で外生的に与えている。また、避難における経路選択には、事前アンケートによる選択や過去の津波災害の事例における選択結果、あるいは最短経路選択を用いている。つまり、避難の有無やそのタイミングおよび避難経路選択といった人間の意思決定を各々独立に捉え、パラメータとして与えている。これでは、人々の意思決定メカニズムが組み込まれておらず、種々の政策(例えば、避難注意

報・警報の発令と解除のタイミングや避難路の整備、防災教育)による人々の行動変化を追うことが出来ない。

そこで、避難シミュレーションにより政策評価を行なうためには、合理的意思決定モデルを避難シミュレーションに組み込む必要がある^{補注(1)}。ここで、合理的意思決定とは複数の選択肢の中でもっとも自身を満足させる選択肢を選ぶことである。すなわち、コスト最小化もしくは効用最大化行動のことである。ただし、人間はいつも合理的な行動選択を行なっているわけではない。特に災害時には、人々は様々な要因で避難を躊躇することが指摘されている⁸⁾。その要因のひとつとしてあげられているのが認知的不協和である。認知的不協和とは認知を構成する要素相互の間に不協和(不適合)が起こることを言う⁹⁾。さらに認知的不協和理論では不協和が生じると心理的に不快であるためそれを低減するように動機付けられると考えられている。避難に関して具体例を挙げると、地震を感じて、津波が来る可能性を考えたものの、避難する面倒及び津波への恐怖感を解決するために、津波が来ないものと思い込むということである。

以上の背景のもと、本研究では人々の合理的意思決定メカニズムと認知的不協和に着目して、これらを明示的に組み込んだ避難意思決定モデルを構築することを目的とする。このとき、避難の有無の人的被害低減への効果

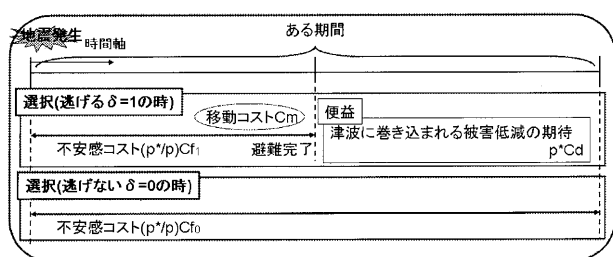


図1 地震発生時における避難有無モデル

が大であることから、避難者の避難の有無に関する意思決定モデルの構築に焦点をあてる。

モデル構築のためには、認知的不協和を数理的に表現する必要がある。既往の研究としては、災害避難時の認知的不協和を数理的に表したものはない。しかし、危険な労働現場での安全装置の購入の有無に関して発生する認知的不協和を Akerlof and Dickens(1982)⁽¹⁰⁾ が数理モデル化している。本研究では、Akerlof and Dickens(1982)のモデルを参考にして、避難有無の意思決定モデルを再構築することを目的とする。

2. 津波避難モデル

(1) Akerlof and Dickens(1982)の津波避難モデルへの適用とその意義

Akerlof and Dickens(1982)のモデルは危険な仕事・環境にさらされている人々が心理的作用により、そこでの危険を全く忘れるという現象を数理的に説明するために組み立てられている。この現象の具体例として Akerlof and Dickens(1982)は、ベンゼン労働者との面接調査において労働者が危険な化学物質を扱っていることを否定した事例や、原子力発電所での労働者が放射能被爆の情報を集めるために特殊に設計された安全バッチを付けない事例、洪水や地震損害の危険が高い地域の住民が洪水や地震の保険を購入しない事例に触れている。

津波避難行動においても、片田ら⁽¹¹⁾が、津波の危険に実際にさらされている人々がその危険を不当に低く見積もっていることをアンケート調査によって明らかにしている。具体的には、片田ら⁽¹¹⁾の2003年宮城県沖地震における気仙沼市民意識調査によれば、アンケート対象住民全体(サンプル数3232人)の64%の人は津波が襲来すると思っていたにもかかわらず、身に危険が及ぶと思った住民は29%にとどまっており、津波の危険区域に指定されている住民であっても身に及ぶ危険を感じた人数は半数に達していない。

Akerlof and Dickens(1982)において想定された状況は津波避難行動で報告されている状況と類似性を持つ。さらに、Akerlof and Dickens(1982)は認知的不協和を数理モデルとして表した唯一のものである。そこで、本研究は、Akerlof and Dickens(1982)のモデルと同様の仮定を行なうことで、津波避難における認知的不協和をモデル化する。

本論文における仮定・仮説は津波避難における認知的不協和を表す一仮説である。したがって、今後、この仮説が唯一完全なものであるかの検証を行なう必要がある。ただし、そのような検証を行なうためには、「仮定」そのものの検証のみならず、その「仮定」から導出される避難行動の性質の検証が必要である。そこで、本研究は、

Akerlof and Dickens(1982)モデルを津波避難行動に適用した場合の避難行動の性質を導出するとともに、それらを「命題」や「主な性質」として明示し、今後の研究で検証すべきポイントを示す。

Akerlof and Dickens(1982)の具体的なモデルの構築について説明する。彼らの理論は、危険な労働現場における労働者の安全装置の購入行動をモデル化したものである。労働者は事故が発生する主観確率と安全装置の購入の有無を段階的に選択すると仮定して認知的不協和を数理的に表した。これにより、法律などによる安全装置の購入義務化の社会厚生へ与える効果分析を行なっている。本研究は、Akerlof and Dickens(1982)に準拠しつつ、津波避難行動に焦点をあてコストや仮定の設定を行なう。さらに迅速な避難を実行するための津波避難対応に関する分析を行なう。

(2) 津波避難モデルのコスト定式化

ここでは、津波の襲来が懸念される状況下での人々の避難の有無それぞれのコスト定式化を行なう。人々は被害を受けるであろう巨大津波の発生する主観確率と避難の有無を選択する。ここで、本研究は Akerlof and Dickens(1982)を元にコストを定式化する。

対象期間を地震発生から状況の変化しない期間として、地震発生時における避難の有無のモデルを図1に示す。地震時に避難する場合、発生するコストは i), ii) の二つで便益として iii) が得られる。

- i) 避難完了までに感じる不安感コスト $(p^*/p) C_{f1}$
- ii) 移動コスト C_m
- iii) 期待被害低減便益 $p^* C_d$

ここで、i) 避難完了までに感じる不安感コストは、(主観確率 p^*) / (客観確率 p) に比例するものとして $(p^*/p) C_{f1}$ と表現している。 C_{f1} は避難時の不安感コストパラメータであり、 C_d は津波被害が発生したときの死亡コストである。不安感コスト関数の特定化は Akerlof and Dickens(1982)に準拠している。Akerlof and Dickens(1982)は、危険な労働環境における労働者の心理的費用を C_{ff} としている。 C_f は恐怖1単位の費用、 f は労働者の恐怖の水準である。このとき、Akerlof and Dickens(1982)は一般に f は労働者が主観的に見積もった事故確率、すなわち主観確率 p^* の関数であるとし、主観確率を客観確率で除したものと仮定した。

次に、期待被害低減便益は、津波発生の主観確率に死亡コストを乗じたものである。死亡コストの具体的な値⁽¹²⁾⁽¹³⁾の計測には顕示選好に基づく支払い意思額や価値意識法に基づく支払い意思額を用いる手法がある。なお、死亡コストが大きな値であっても津波発生確率が乗じられた期待被害低減額は他の移動コストなどと同じオーダーとなる。例えば、道路交通投資の評価に利用されている死亡コストは現在おおむね3,000(万円)⁽¹³⁾程度である。これに、津波の発生確率として0.1%を想定し、乗じると、死亡コストの期待値は3万円となる。この値は本論文で設置した他の費用(例えば、移動コスト)と比較可能なオーダーと考えられる。

結局、避難するコスト(総コスト-便益)は式[1]のように表される。

一方、地震時に避難しない場合において、発生するコストはiv)となる。

iv) 待機中の不安感(p^*/p) Cf_0

すなわち、待機中の不安感、(主観確率 p^*)/(客観確率 p)に比例するものとしている。結局、避難しないコストは式[2]のように表される。

$$\text{避難するコスト} : (p^*/p)Cf_1 + Cm - p^*Cd \quad [1]$$

$$\text{避難しないコスト} : (p^*/p)Cf_0 \quad [2]$$

(3) 避難選択モデル

Akerlof and Dickens(1982)の事故発生主観確率と安全装置購入の有無をそれぞれ、津波発生主観確率と避難の有無に対応させる。津波発生主観確率(以下、単に主観確率と略す)と避難の有無を住民は2段階で選択する。1段階目では避難の有無それぞれについて住民は主観確率を避難の有無時に生じるコストを最小化するように設定し、2段階目として、避難の有無をコストが最小となるように選択する。

a) 1 段階目(下位問題) : 主観確率 p^* の導出

人々は避難する・しないの各場合において、それぞれのコスト式[1]、式[2]を最小化する主観確率 p^* を選択する(式[3]、式[4])。これは、主観確率 p^* は意思決定者のコストを最小にするように選ばれることを示している。

$$\min_{p^*} [(p^*/p)Cf_1 + Cm - p^*Cd] \quad [3]$$

$$\min_{p^*} [(p^*/p)Cf_0] \quad [4]$$

避難の有無は主観確率 p^* に依存し、式[5]の両辺の大小関係で判断される。まず、避難する場合を考える。避難するコストが避難しないコストより小さいとき「避難する」を選択する。避難する場合において、主観確率 p^* について式[5]をまとめると式[6]が得られる。式[6]より避難する場合において、避難するコスト(式[3])を最小とする p^* は $pCm/(pCd + Cf_0 - Cf_1)$ であることがわかる。このときの p^* を p_1^* と定義する。

同様に、避難しない場合を考える。避難するコストが避難しないコストより大きいとき「避難しない」を選択する。したがって、主観確率 p^* についてまとめると式[7]が得られる。式[7]より避難しない場合において、避難しないコスト(式[4])を最小とする p^* は0であることがわかる。このときの p^* を p_0^* と定義する。

$$(p^*/p)Cf_1 + Cm - p^*Cd < (>) (p^*/p)Cf_0 \quad [5]$$

$$p^* > \frac{pCm}{pCd + Cf_0 - Cf_1} \quad [6]$$

$$p^* < \frac{pCm}{pCd + Cf_0 - Cf_1} \quad [7]$$

結局、避難の有無それぞれにおいて住民が設定する主観確率 p^* は命題1のようにまとめられる。

命題 1(避難有・無の各主観確率の設定). 住民は避難する場合に津波発生の主観確率 p^* を $p_1^* \equiv pCm/(pCd + Cf_0 - Cf_1)$ と設定し、避難しない場合に $p_0^* \equiv 0$ とする。

命題1は住民の避難する・しない場合の主観確率 p^* が異なることを示している。また、避難しないを選択する場合に、住民は主観確率をゼロとしている。これは避難する面倒及び津波への恐怖感を解決するために、避難しない住民は津波が来ないと思込むこと、すなわち認知的不協和の結果を示している。

b) 2 段階目(上位問題) : 津波避難行動の決定の導出

1 段階目(下位問題)では、避難する・しない場合の津波発生の主観確率 p^* の「住民の選択値」を求めた。ここでは、得られた p^* を用いて、避難する・しないのコスト最小化問題を解く。

住民は自分が設定する主観確率 p^* に依存して避難の有無も決定することを知っていると仮定する。すなわち命題1を住民は認識している。この時、住民にとって望ましい様を選択する(i.e., 個人合理性が成立)と考えると、以下のように定式化される。なお、この定式化は Akerlof and Dickens(1982)と同様である。まず、避難するコストは式[8]で表される。これは、不安感コストは p_1^* で算出され、期待被害低減に関しては客観確率で判断されている。すなわち、被害額については正しく判断している。これは、不安感コストまで含めた場合、期待値として最もコストの小さい選択を行なうことを意味する。一方で、避難しないコストは式[9]で表される。この式[8]と式[9]の大小を比較し、コストの小さい選択を実行する(式[10])。ここで、 $\delta=1$ は避難することを示し、 $\delta=0$ は避難しないことを示す。

$$\text{避難するコスト} : (p_1^*/p)Cf_1 + Cm - pCd \quad [8]$$

$$\text{避難しないコスト} : (p_0^*/p)Cf_0 \quad [9]$$

$$\min_{\delta} [\delta((p_1^*/p)Cf_1 + Cm - pCd) + (1-\delta)(p_0^*/p)Cf_0] \quad [10]$$

[8]<[9]すなわち、式[11]の場合、 (δ, p^*) は $(1, p_1^*)$ となる。一方、[8]>[9]すなわち、式[12]の場合、 (δ, p^*) は $(0, p_0^*)$ となる。ここで、命題1としてモデルから $p_0^* \equiv 0$ と導かれた。すなわち、「避難しない」という行動選択の動機付けの原因のひとつとして、津波の発生確率をゼロとし、津波が来ないと思込むことがあることがわかる。これは、認知的不協和が避難行動へ与える影響を示している。結局、避難の有無は命題2のようにまとめられる。

$$\frac{Cm}{pCd + Cf_0 - Cf_1} Cf_1 < pCd - Cm \quad [11]$$

$$\frac{Cm}{pCd + Cf_0 - Cf_1} Cf_1 > pCd - Cm \quad [12]$$

命題 2(避難行動の決定). $CmCf_1/(pCd + Cf_0 - Cf_1) < (>) pCd - Cm$ のとき避難する(避難しない)。

命題2は住民の避難の有無が各種パラメータ(移動コスト Cm 、避難時の不安感コストパラメータ Cf_1 、待機時の不安感コストパラメータ Cf_0 、死亡コスト Cd 、巨大津波の客観発生確率 p)に依存していることを示している。

以上、津波避難における認知的不協和を組み込んだ住民の避難行動のモデル化を行った。整理のために、モデル化において設定した仮定を以下に示す。なお、上記で

表 1 各パラメータにおける客観・主観による避難有無

移動コスト C_m	期待被害 低減便益 pC_d	不安コスト パラメータ C_{10}	客観に基づくコスト		主観に基づくコスト	
			避難する $C_{11}+C_m-pC_d$	避難しない C_{10}	避難する $(p_1^*/p)C_{11}+C_m-pC_d$	避難しない $(p_0^*/p)C_{10}$
0.2	0.3	0.5	0	0.5	-0.07	0.0
0.2	0.3	0.6	0	0.6	-0.08	0.0
0.2	0.3	0.7	0	0.7	-0.08	0.0
0.4	0.3	0.5	0.2	0.5	0.16	0.0
0.4	0.3	0.6	0.2	0.6	0.15	0.0
0.4	0.3	0.7	0.2	0.7	0.14	0.0
0.6	0.3	0.5	0.4	0.5	0.39	0.0
0.6	0.3	0.6	0.4	0.6	0.38	0.0
0.6	0.3	0.7	0.4	0.7	0.37	0.0
0.8	0.3	0.5	0.6	0.5	0.61	0.0
0.8	0.3	0.6	0.6	0.6	0.60	0.0
0.8	0.3	0.7	0.6	0.7	0.59	0.0

示した命題 1, 2 は, これらの仮定から演繹的に導出した避難行動に関する重要な性質を示している。

【モデルの仮定】

[仮定 1] 住民は避難の有無別に津波発生の主観確率を持ち, 避難行動の有無を選択する。

[仮定 2] 避難行動の有無の選択については, 有無別の主観確率を元に計算された「避難するコスト」と「避難しないコスト」を比較し, コストの低いほうが選択される。

[仮定 3] 「避難するコスト」は, 不安感コスト, 移動コスト, 期待被害低減便益で構成され, 「避難しないコスト」は不安感コストのみである。

片田ら¹¹⁾によって示された「津波の危険に実際にさらされている人々がその危険を不当に低く見積もって避難しないこと」は, 仮定 1 のように, 避難しない人が, 津波発生確率を避難する場合とは異なるように設定するということに対応すると考えられる。仮定 2 については, 完全な合理的個人を仮定していることになる。実際には, 個人は避難の有無別のコストの比較において合理的に選択していない可能性もある。ただし, 本研究では, 仮定 1 による帰結に焦点をあてるため, コスト比較に関しては合理的個人を仮定した。仮定 3 については, 津波において生じる主なコストについては考慮していると考えられる。

以上の仮定の妥当性については, 本研究でこの仮定から導かれる避難行動の性質(以降で「命題」, 「主な性質」と明記)とともに, 今後の検証課題である。

3. 認知的不協和による非合理的避難の発生

認知的不協和の影響を受けた人々の避難の有無を示す。 $p=0.001$ (すなわち 0.1%), $C_{f1}=0.1$ として, その他のパラメータを変化させた時の避難の有無それぞれのコスト変化を表 1 に示す。表 1 は移動コスト, 期待被害低減便益, 不安感コストパラメータが同オーダーになるものと想定し, パラメータ変化による行動変化を概観するために試算した。なお, 同オーダーになり得ることは 2.(2) に示した。各設定値の大きさは, 定性的に考えて死亡コスト>移動コスト>不安感コストパラメータまたは, 死亡コスト>不安感コストパラメータ>移動コストの順になるように配した。表における客観に基づくコストとは主観確率を用いず客観確率のみでコスト算定したものを意味

し, 避難するコスト, 避難しないコストはそれぞれ式[13], 式[14]で表される。これは, 式[1], 式[2]の p^* を p として求めたものである。したがって, 客観において避難するを選択する条件は式[13]が式[14]より小さい時であり, 避難しないを選択する条件は式[13]が式[14]より大きい時である。客観確率に基づく行動(避難有無)は合理的といえる。

<客観に基づくコストによる避難の有無>

$$\text{避難するコスト} : C_{f1} + C_m - pC_d \quad [13]$$

$$\text{避難しないコスト} : C_{f0} \quad [14]$$

一方, 主観に基づくコストとは主観確率を用いてコスト算定したものであり, 避難するコスト, 避難しないコストはそれぞれ式[8], 式[9]に p_1^* , p_0^* を代入したもので式[15], 式[16]である。したがって, 主観において避難を選択する時は, 式[15]が負になる時であり, 避難しないを選択する条件は式[15]が正となる時である。

<主観に基づくコストによる避難の有無>

$$\text{避難するコスト} : \frac{C_m}{pCd + C_{f0} - C_{f1}} C_{f1} + C_m - pCd \quad [15]$$

$$\text{避難しないコスト} : 0 \quad [16]$$

コストが低い選択肢が選択されることから, 表 1 において色のついた領域は, 客観, 主観それぞれにおけるコストの低い選択肢(i.e. 避難の有無)を示している。なお, 表中のマイナスを示すコストは便益と解釈できる。

表 1 より大別すると, 客観, 主観ともに「避難する」を選択するケース(1), 客観は「避難する」であり, 一方主観は「避難しない」を選択するケース(2), 客観, 主観ともに「避難しない」を選択するケース(3)の 3 ケースあることがわかる。客観的にも主観的にも整合した行動をとったケース(1)および(3)は, 客観と主観が整合しているという意味で合理的な行動であるといえる。一方で, 客観的には避難するべきであるにも関わらず, 主観確率に基づく「避難しない」を選択するケース(2)は, 逃げるべき状況であるにも関わらず, 認知的不協和により災害時に避難しない現象を説明していると解釈できる。これは非合理的な行動である。非合理的な行動については 5. で詳しく分析を行なう。

4. 各パラメータが避難の有無に与える影響

(1) 解析的分析

表 1 はいくつかのパラメータセットについて避難の有無を分析した。ここでは、式[15]のパラメータ C_m , C_f , C_0 , C_d , p の変化による、避難の有無の傾向を解析的に明らかにする。

主観確率に基づく行動の時、避難するコストとしないコストはそれぞれ式[15]と式[16]で表される。式[16]はゼロであるから結局、式[15]が負であるなら「避難する」を選択し、正なら「避難しない」選択をする。したがって、式[15]を各パラメータで微分し、その関数形を知ることによって避難の有無の傾向を求められる。なお、各パラメータは、現実的妥当性から次の範囲をとるものとする。

$$C_0 - C_f > 0, C_0 > 0, C_f > 0, p > 0, C_d > 0, C_m > 0$$

$C_0 - C_f > 0$ としたのは、待機中の不安感とは避難中の不安感より大きいと考えられるからである。また、住民が避難する・しないを考える場合には不安感は少なからずあるとして $C_0 > 0$, $C_f > 0$ としてある。また巨大津波の客観発生確率 p が確率であることから $p > 0$, 死亡コストや移動コストが発生しない人はほばいないと考えられることからそれぞれ $C_d > 0$, $C_m > 0$ としている。

a) 移動コスト C_m について

移動コスト C_m を変数とした場合における避難の有無の傾向をみる。式[15]を移動コスト C_m について一階微分したものが式[17]となる。なお、式[15]を関数 f と以下では表記する。式[17]は条件より常に正であるから、 C_m の値が大きくなると「避難」を選択しにくくなる。

$$\frac{\partial f}{\partial C_m} = \left(\frac{C_f}{pC_d + C_0 - C_f} + 1 \right) > 0 \quad [17]$$

b) 避難時の不安感コストパラメータ C_f について

避難時の不安感コストパラメータ C_f を変数とした場合における避難の有無の傾向をみる。式[15]を避難時の不安感コストパラメータ C_f について一階微分したものが式[18]となる。条件より、式[18]は常に正であるから、増加関数であることがわかる。以上から、 C_f が大きくなると「避難」を選択しにくくなる。

$$\frac{\partial f}{\partial C_f} = \frac{C_m(pC_d + C_0)}{(pC_d + C_0 - C_f)^2} > 0 \quad [18]$$

c) 待機時の不安感コストパラメータ C_0 について

待機時の不安感コストパラメータ C_0 を変数とした場合における避難の有無の傾向をみる。式[15]を待機中の不安感コストパラメータ C_0 について一階微分したものが式[19]となる。条件より、式[19]は常に負であるから減少関数であることがわかる。以上から、 C_0 が大きくなると「避難」を選択しやすくなる。

$$\frac{\partial f}{\partial C_0} = -\frac{C_m C_f}{(pC_d + C_0 - C_f)^2} < 0 \quad [19]$$

d) 死亡コスト C_d について

死亡コスト C_d を変数とした場合における避難の有無の傾向をみる。式[15]を死亡コスト C_d について一階微分したものが式[20]となる。式[20]は条件より常に負であるから、 C_d の値が大きくなると「避難」を選択しやすくなる。

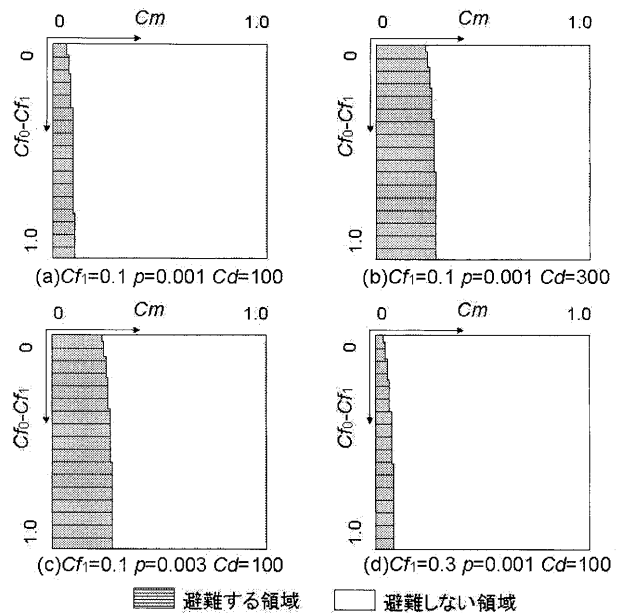


図 2 各パラメータ変化による避難有無の領域変化

すくなる。

$$\frac{\partial f}{\partial C_d} = -p \left(\frac{C_m C_f}{(pC_d + C_0 - C_f)^2} + 1 \right) < 0 \quad [20]$$

e) 巨大津波発生確率 p について

巨大津波発生確率 p を変数とした場合における避難の有無の傾向をみる。式[15]を巨大津波の発生確率 p について一階微分したものが式[21]となる。条件より、式[21]は常に負であるから減少関数であることがわかる。よって、 p が大きくなるほど「避難」を選択しやすくなる。

$$\frac{\partial f}{\partial p} = -C_d \left(\frac{C_m C_f}{(pC_d + C_0 - C_f)^2} + 1 \right) < 0 \quad [21]$$

(2) パラメータ変化による避難の有無の領域

これまで各パラメータの変化による避難の有無の傾向を理論的に述べてきた。いずれも直感的にも理解できる傾向である。次に数値的にパラメータを組み合わせることで避難の有無を考察する。図 2 に移動コスト C_m , 避難することでの不安感の減少値 $C_0 - C_f$ を軸として、(a)($C_f=0.1, p=0.001, C_d=100$), (b)($C_f=0.1, p=0.001, C_d=300$), (c)($C_f=0.1, p=0.003, C_d=100$), (d)($C_f=0.3, p=0.001, C_d=100$) における主観確率に基づく避難を示す。図の横線を付した領域は「避難する」領域、横線の無い(白い)領域は「避難しない」領域を表す。

図の(a), (b)を比較すると死亡コスト C_d の増加により「避難する」領域が増え、(a), (c)の比較により津波発生確率 p が大きくなると避難する領域が増えることがわかる。一方、(a), (d)の比較により、避難する場合の不安コストパラメータ C_f が増加すると微量ながら「避難する」領域が減っており、避難しにくくなることがわかる。以上の変化は、4.(1)で解析的に求めた結果と整合的である。

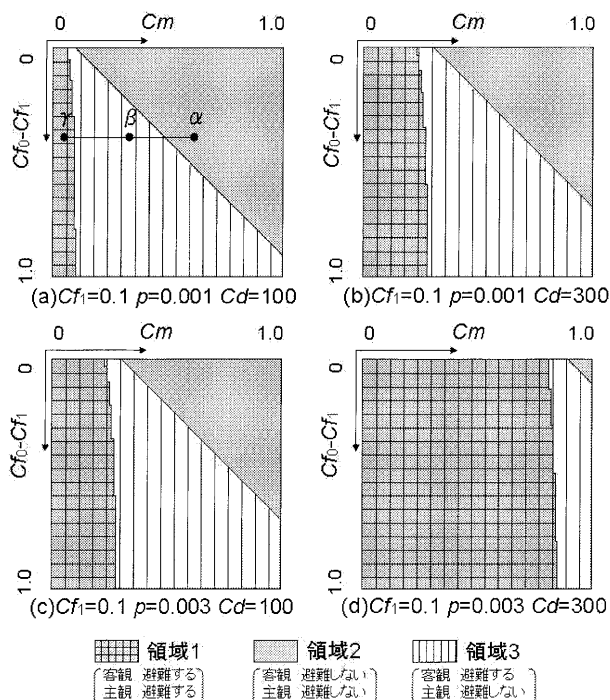


図3 客観確率 p 、死亡コスト Cd の変化による合理的・非合理的な避難の有無

5. 合理的・非合理的な避難の有無

(1) 避難の有無の合理・非合理性

ここまで、地震発生時における避難の有無の特性を明らかにしてきた。本章では、どういった状況で非合理的な避難の有無が発生するかを明らかにする。

図3に横軸を移動コスト Cm 、縦軸に避難による不安感の減少値 $Cf_0 - Cf_1$ をとった合理的・非合理的な避難の有無の領域を示す。図3の(a), (b), (c), (d)はパラメータをそれぞれ(a)($Cf_1=0.1$, $p=0.001$, $Cd=100$), (b)($Cf_1=0.1$, $p=0.001$, $Cd=300$), (c)($Cf_1=0.1$, $p=0.003$, $Cd=100$), (d)($Cf_1=0.1$, $p=0.003$, $Cd=300$)とおいたものである。また、図4に横軸を死亡コスト Cd 、縦軸に巨大津波の主観発生確率 p をとった合理的・非合理的な避難の有無の領域を示す。図4の(a), (b), (c), (d), (e)はパラメータをそれぞれ(a)($Cf_0=0.6$, $Cf_1=0.3$, $Cm=6.0$), (b)($Cf_0=0.4$, $Cf_1=0.3$, $Cm=6.0$), (c)($Cf_0=0.6$, $Cf_1=0.1$, $Cm=6.0$), (d)($Cf_0=0.6$, $Cf_1=0.3$, $Cm=3.0$)とおいたものである。なお、各パラメータ値は任意である。

図3,4において主観確率に基づく避難の有・無をそれぞれ横線の有・無で示している。すなわち、横線のある領域は主観確率に基づいて避難する領域であり、横線のない領域は避難しない領域である。次に、客観確率に基づく避難の有・無をそれぞれ縦線の有・無で示している。すなわち、縦線のある領域は客観確率に基づいて避難するべき領域であり、縦線のない領域は避難するべきでない領域である。ここで、縦線と横線が重なる領域ができる。この領域は、客観・主観ともに「避難する」領域である。また、縦線・横線が全く無い領域もある。この領域は、客観・主観ともに「避難しない」の領域である。

今、主観・客観確率による選択で一致している部分を灰色で示す。すなわち、灰色の領域は主観による「避難する」および「避難しない」双方とも、客観的に見ても、

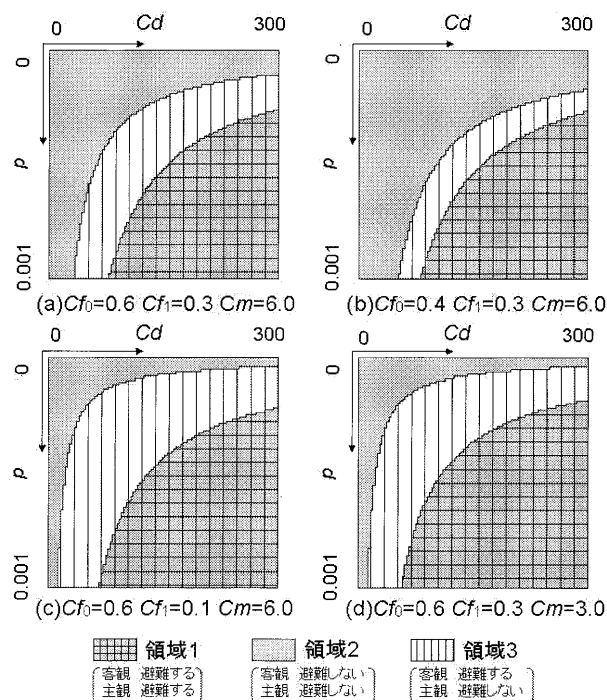


図4 各不安感コストパラメータ $Cf_0 - Cf_1$ 、移動コスト Cm による合理的・非合理的な避難の有無

その選択が正しい領域となる。すなわち合理的な選択といえる。一方、白色で表されている領域は、客観確率による選択では「避難する」、主観確率による選択では「避難しない」を表している。白色の領域は非合理的に避難しないを住民が選択していると言える。なお、客観確率による選択では「避難しない」、主観確率による選択では「避難する」となる非合理的な選択は発生しないことがわかる。すなわち、ここでは認知的不協和は避難を妨げるように作用する。以上をまとめると図3,4の各領域は次の3パターンとなる。

- 領域1(合理的な「避難する」行動：横線と縦線が重なった灰色の領域)
- 領域2(合理的な「避難しない」行動：横線も縦線もない灰色の領域)
- 領域3(非合理的な「避難しない」行動：縦線のみ白色の領域)

(2) パラメータに関する感度分析

図3の(a)~(d)に共通する性質をみてみる。図から移動コスト Cm が0に近づくとき客観・主観確率による選択がともに「避難する」になる。また、避難することによって解消される不安感 $Cf_0 - Cf_1$ が大きくなるほど「避難する」を選択することがわかる。

ここで、避難路整備を想定する。避難路の整備は、移動コスト Cm を減少させることになる。まず、整備前に移動コスト Cm が高く、図3(a)の点 α にいる人を想定する。避難路の整備が行なわれると、点 α から左への動きで表現できる。すると、点 γ まで十分に移動コスト Cm を下げないと災害時に認知的不協和の作用により客観確率では「避難する」領域であっても、主観確率では「避難しない」領域(点 β)となり避難しない選択をとる可能性があることがわかる。このことを主な性質1として次にまとめる。

主な性質 1. 移動コストを下げても、十分に下げなければ、非合理的な「避難しない」住民を生む可能性がある。

次に図3の(a), (b), (c), (d)を比較して領域の変化傾向を考える。図3(a)と(b)を比較すると、死亡コスト Cd が増加すると客観・主観確率により「避難する」を選択する領域が増し、白い領域(すなわち非合理的選択領域)の面積が減っている。また、図3(a)と(c)の比較から、巨大津波の客観発生確率 p が増加すると、同様に白い領域が減っている。さらに、図3(a)と(d)から巨大津波の主観発生確率 p と死亡コスト Cd がともに増加すると、客観・主観確率により「避難する」を選択する領域が大きく増すことがわかる。このことを主な性質2として次にまとめる。

主な性質 2. 巨大津波の発生客観確率 p または、死亡コスト Cd が大きい場合(すなわち危険度が高い場合)、客観・主観双方で「避難する」行動となる。逆に客観確率 p が低く、また死亡コスト Cd が低い場合、客観的には「避難する」べきであるにもかかわらず、主観的に「避難しない」非合理的行動となる傾向にある。

現実において巨大津波の発生確率 p は非常に小さい。このことから、主な性質2を踏まえると津波の場合、認知的不協和により避難しない「非合理的な」住民が多く出る可能性がある。

次に、各不安感コスト Cf_0 , Cf_1 , 移動コスト Cm による感度分析を行なう。

図4(a)から、図3同様に客観確率 p , 死亡コスト Cd が大きいほど「避難する」で客観・主観確率による判断が一致していることがわかる。図4(a)と(b)の比較により待機中の不安感コストパラメータ Cf_0 が小さくなると、白い領域が減る。また、図4(a)と(c)の比較により避難中の不安感コストパラメータ Cf_1 が小さくなると白い領域(すなわち非合理的選択領域)が増える。さらに、図4(a)と(d)の比較により移動コスト Cm が小さくなると白い領域が増える。このことを主な性質3として次にまとめる。

主な性質 3. 避難中の不安感コストパラメータ Cf_1 , また移動コスト Cm が下がると非合理的な避難選択をする領域が増加する

主な性質3は、防災政策の検討を行なう上で重要な点である。この領域は客観確率による選択では「避難する」、主観確率による選択では「避難しない」を表しており、認知的不協和により住民が非合理的に避難しないを選択する部分である。このような状況にある時、防災政策決定者が客観確率をもとに避難政策を行なうと、主観確率によって避難の有無を選択する認知的不協和の影響を受けた人々の行動と政策決定者の想定する避難者数とで乖離が生じる。したがって、不安感コストパラメータ Cf_1 や移動コスト Cm が低い状況にある場合は、特に認知的不協和の影響を考慮した政策立案が必要である。

6. まとめ

住民の合理的意思決定メカニズムと認知的不協和に着目して、これを明示的に組み込んだ避難意思決定モデルを Akerlof and Dickens(1982)を参考に構築した。構築に際しては、「仮定」(2.(3)の[仮定1]~[仮定3])を設定し、演繹的に「命題」および「主な性質」を求めた。結果、避難する面倒及び津波への恐怖感を解決するために、避難しない住民は津波が来ないと思込むこと、すなわち認知的不協和の作用を数理的に説明した。さらに「命題」に基づいて、津波避難における「分析」を行ない、津波が来ないと思込むことで避難しない住民が増加するメカニズムを示した。

今後、本研究で明示した「モデルの仮定」の妥当性、および、本研究でこの仮定から導いた避難行動の性質(「命題」および「主な性質」)の現実性は、今後の検証課題である。

行なった具体的な分析は以下である。

- 1) 各パラメータ(移動コスト Cm , 避難時の不安感コストパラメータ Cf_1 , 待機時の不安感コストパラメータ Cf_0 , 死亡コスト Cd , 巨大津波の客観発生確率 p)の変化による避難の有無の傾向。
- 2) 非合理的な避難をしない行動がどのようなパラメータ条件の時、どういったメカニズムで生じるか。

1)から得られた知見から、認知的不協和がある場合、どのような政策が必要になるかについて示唆を得ることができた。2)については、これまで非合理的とされてきた避難しない行動のメカニズムが明らかになった。今後は、このメカニズムを踏まえて非合理的な行動を減少させるためにはどのような政策(教育など)が必要かを検討する必要がある。

本モデルは、従来の避難シミュレーションにおいて外生的に与えてきた「避難率設定」を内生的に求めるモデルとして利用可能である。ただし、各パラメータ値の設定のために、住民アンケートや過去の災害事例からパラメータ推定が必要となる。さらに、地震発生後に津波注意報・警報が発せられるといった状況を考慮するためには、新たな情報の追加がなされた期を本モデルに追加することで、容易にモデル化できる。

補注

(1)同様の必要性を、片田・桑沢(2006)⁷⁾が指摘している。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、群馬大学大学院片田敏孝教授をはじめ片田研究室の方々から有益な指摘を頂いた。また、本研究は財団法人鹿島学術振興財団の研究助成を受けた。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) 内閣府編, 平成18年版防災白書, 2006

- 2) 中央防災会議事務局, 第 14 回東南海, 南海地震の被害想定について, 2004
- 3) 梶秀樹, 中濱伸司, 災害時の避難からみた地下鉄駅の危険評価-大手町駅をケーススタディとして-, 地域安全学会論文報告集, No.3, pp.153-159, 1994
- 4) 岡崎甚幸, 松下聡, 避難計算のための群衆歩行シミュレーションモデルの研究とそれによる避難安全性の評価, 日本建築学会計画系論文報告集, No.436, pp.49-58, 1992
- 5) 横山秀文, 目黒公朗, 片山恒雄, 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, No.513, pp.225-232, 1995
- 6) 越村俊一, 片田敏孝, 災害情報伝達と住民避難に着目した津波防災戦略の評価手法, 土木学会地震工学論文集, 第 27 巻, 2003(CD-ROM)
- 7) 片田敏孝, 桑沢敬行, 津波に関わる危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集 D, No.3, pp.250-261, 2006
- 8) 広瀬弘忠, 人はなぜ逃げおくれるのか-災害の心理学, 集英社新書, pp.76-78, 2004
- 9) フェスティンガー, L., 末永俊郎(監訳), 認知的不協和理論-社会心理学序説, 誠信書房, 1965 (Festinger, L., A theory of cognitive dissonance, Stanford University Press, 1957)
- 10) George A. Akerlof, William T. Dickens, The Economic Consequences of Cognitive Dissonance, The American Economic Review, Vol.72, No.3, pp.307-319, 1982
- 11) 片田敏孝, 児玉真, 桑沢敬行, 越村俊一, 住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題-2003 年宮城県沖の地震・気仙沼市民意識調査から-, 土木学会誌, No.789, pp.93-104, 2005
- 12) 道路投資評価研究会[著], 中村英夫[編], 道路投資の社会経済評価, 東洋経済新報社, pp.221-222, 1997
- 13) 道路投資の評価に関する指針検討委員会[編], 道路投資の評価に関する指針(案), 財団法人日本総合研究所, pp.66, 1998

(投稿受付 2008.5.24)

(登載決定 2008.9.13)