

# 認知的不協和を考慮した避難意思決定モデルと 避難率の定量分析

奥野 雅也<sup>1</sup>・河野達仁<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 東北大学大学院情報科学研究科 博士課程前期 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail: okuno@plan.civil.tohoku.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 東北大学大学院情報科学研究科 教授 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

E-mail: kono@plan.civil.tohoku.ac.jp

本研究は災害時の住民の避難行動メカニズムの解明を目的として、個人合理性および認知的不協和を考慮した避難意思決定モデルの構築を行う。また、モデル内の心理パラメータである不安感コストを実際の避難データを用いて推定する。さらに推定した結果に基づき、避難行動の再現に加え、三つの防災政策 1) 避難路の整備 2) 避難意識の啓発 3) 1)と2)の両方を実施した場合を想定した避難率の定量分析を行う。定量分析の結果として、住民の早期避難達成には避難意識の啓発が有効であることを示す。

**Key words** : Disaster mitigation, Cognitive dissonance, Evacuation, Behavior

## 1. はじめに

平成23年3月11日に発生し、観測史上最大のマグニチュード、Mw=9.0を記録した東北地方太平洋沖地震は、死者15,894人、行方不明者2,563人、負傷者6,152人、全壊家屋121,783棟、半壊家屋278,140棟、床上浸水3,352棟、床下浸水10,234棟もの未曾有の被害をもたらした。我が国の災害史上に残る大災害となった。この地震に伴い、場所によっては波高10m以上、最大遡上高40.4mにも上る巨大な津波が発生し、津波に巻き込まれたことにより、太平洋沿岸部に住む多くの住民が犠牲となった。

災害発生時において人的被害を最小限に留めるためには、早期避難の達成が有効な手段として挙げられる<sup>1)</sup>。住民の迅速な避難を実現するために、津波災害発生時の人々の避難行動心理メカニズムを実証的に解明し、政策ごとの避難シミュレーションを行うことで政策評価することが有用である。

これまでに様々な避難シミュレーションモデルが開発されてきた<sup>2)~4)</sup>。しかし、既往の避難シミュレーションモデルはいずれも、避難者の避難行動心理メカニズムをモデル化せず、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与えている。また、住民一人一人が避難するかしないかという行動選択をどのように決定しているかを表す意思決定メカニズムが組み込まれていない。そのため、住民の迅速な避難を達成するために実施される種々の防災

政策(例えば、避難路の整備、防災教育による避難意識の啓発など)がどの程度住民意識に影響を与え、人々の避難率が向上するかわからない。

そこで、避難シミュレーションによって政策評価を行うために、コスト最小化や効用最大化により、行動を決定する合理的な避難意思決定モデルを組み込む必要がある。しかし、人間は常に合理的な行動ができるとは限らない。特に災害時には人々が様々な要因で避難を躊躇することが指摘されており<sup>5)</sup>、その要因の一つに認知的不協和が挙げられる。認知的不協和とは、複数の認知が存在し、それらが矛盾している場合に不協和が生じることであり、認知的不協和が発生している場合、心理的な不快感を与えている認知を低減するように動機付けられると考えられている<sup>6)</sup>。本研究では、認知的不協和を考慮した避難意思決定モデルの構築を行うとともに、実際の避難行動アンケートを用いてモデル内の心理的なパラメータを推定し、モデルを用いた防災政策ごとの避難率の定量分析を行う。

## 2. 避難行動選択モデル

### (2) 先行研究の紹介とモデル化の基本方針

Festinger(1957)<sup>6)</sup>によって提唱された認知的不協和理論は社会学や心理学でしばしば議論されており、経済学ではAkerlof and Dickens(1982)<sup>7)</sup>や

Rabin(1994)<sup>8)</sup>によってベースとなるモデル化が行われている。近年では彼らのモデルを発展させ、犯罪発生メカニズムと認知的不協和の関係をモデル化したDickens(1986)<sup>9)</sup>や、結婚のタイミングと認知的不協和の関係をモデル化したAlessandro(2008)<sup>10)</sup>などが知られているとともに、本研究と同様の目的で佐藤ら(2008)<sup>11)</sup>によって津波避難行動のモデル化が行われているとともに、宇川(2012)<sup>12)</sup>によって佐藤らのモデルを用いたシミュレーションが行われている。そこで、本研究ではこれらの先行研究に倣い、Akerlof and Dickens(1982)のモデルをベースとして津波避難行動のモデル化を行った。

Akerlof and Dickens(1982)では、危険な仕事や環境で働く労働者が認知的不協和によって、危険を不当に低く見積もってしまう現象を数理的に説明している。モデル内の期間は二期で構成されており、第一期に労働者は事故による危険を回避することができない。しかし、第二期には安全装置を購入することで危険を回避することができるため、事故リスクを正当に見積もっている労働者は安全装置を購入するが、認知的不協和によってリスクを不当に低く見積もっている労働者は安全装置を購入しない。モデル化にあたって購入行動を二つの段階に分けて行っており、第一段階では、自身が思う事故により被害を受ける確率=主観確率がどの水準以上であれば購入するかという閾値の導出を行い、第二段階では導出した閾値を用いて購入行動の決定を行っている。

本研究では、津波の襲来が懸念される状況下での避難する・避難しない場合のコスト定式化を行う。地震による揺れの体感や津波警報の発令に伴い、沿岸部に住む人々は津波による被害を受けると考え、Akerlof and Dickens(1982)で事故発生の主観確率と安全装置購入の有無を決定していたのと同様に津波の発生確率と避難の有無を選択する。

コスト定式化に用いる記号は、 $p^*$ ：死亡主観確率、 $p$ ：死亡客観確率、 $C_d$ ：死亡コスト、 $C_f$ ：不安感コスト、 $C_m$ ：移動コスト、 $\bar{h}$ ：避難行動に要する最短時間比率、 $h$ ：避難行動開始から警報発令までの時間比率( $h + \bar{h} = 1$ )、 $\gamma$ ：抵抗感逡増パラメータである。

## (2) 各段階の詳細

### (a) 第一段階：主観確率 $p^*$ の閾値の決定

避難行動開始後に避難する場合にかかる移動コストと、避難しない場合にかかる期待死亡コスト： $p^*hC_d$ 、期待不安感コスト： $p^*hC_f$ 、抵抗感逡増表現項： $\gamma h(p/p^*)$ の合計を比較することで、主観確率の閾値の導出を行う。抵抗感逡増表現項は、自身が避

難すべき状況であるにも関わらず、誤った判断をしていることに対する抵抗感を表したものである。この項の導入により、結果として、住民が避難を選択する場合と比較してリスクを不当に低く見積もることをモデル化している。

$$C_m < (>) p^*h(C_d + C_f) + \gamma h(p/p^*) \quad (1)$$

$$\text{避難する場合：} p^* > \frac{C_m \pm \sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2 (C_d + C_f)}}{2h(C_d + C_f)} \quad (2)$$

$$\text{避難しない場合：} p^* < \frac{C_m \pm \sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2 (C_d + C_f)}}{2h(C_d + C_f)} \quad (3)$$

### (b) 第二段階：津波避難行動の決定

第二段階では、第一段階で得られた主観確率の閾値を用いて、避難有無別にコスト最小化問題を解く。

$$\text{避難するコスト：} \min_{p^*} [p^* \bar{h} (C_f + C_d) + C_m] \quad (4)$$

$$\text{避難しないコスト：} \min_{p^*} [p^* (C_f + C_d) + \gamma \frac{p}{p^*}] \quad (5)$$

$$\text{避難する場合：} p^* = \frac{C_m + \sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2 (C_d + C_f)}}{2h(C_d + C_f)} \quad (6)$$

$$\text{避難しない場合：} p^* = \sqrt{\frac{\gamma p}{C_d + C_f}} \quad (7)$$

住民は、これらのコストを比較し、行動を決定する。避難するコストから避難しないコストを引いた関数 $f$ を避難有無の判断式として式(8)に示す。

$$f = \left( \frac{\bar{h}}{2h} \right) \left( C_m + \sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2 (C_d + C_f)} \right) + C_m - 2\sqrt{\gamma p} \sqrt{C_d + C_f} \quad (8)$$

式(8)が負であるなら「避難する」、式(8)が正であるなら「避難しない」選択をする。したがって、式(8)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。

$$\begin{aligned} C_m > 0, \quad C_d > 0, \quad C_f > 0, \\ p > 0, \quad \gamma > 0 \end{aligned} \quad (9)$$

結果として、以下の式(10)～式(13)のような結果

が得られ、移動コストの増加に伴って避難しにくく、死亡コスト・不安感コスト・客観確率の増加に伴って避難しやすくなることがわかり、現実の避難行動に則した避難有無の傾向を適切に表現できていることがわかった。

$$\frac{\partial f}{\partial C_m} = \frac{\bar{h}}{2h} + \frac{2\bar{h}C_m}{4h\sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2(C_d + C_f)}} + 1 > 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial f}{\partial C_d} = \frac{-4\gamma p h^2}{4h\sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2(C_d + C_f)}} - 2\sqrt{\gamma p} \frac{1}{2\sqrt{C_f + C_d}} < 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial f}{\partial C_f} = \frac{-4\gamma p h^2}{4h\sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2(C_d + C_f)}} - 2\sqrt{\gamma p} \frac{1}{2\sqrt{C_f + C_d}} < 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial f}{\partial p} = \frac{-4\gamma h^2(C_d + C_f)}{4h\sqrt{C_m^2 - 4\gamma p h^2(C_d + C_f)}} - \frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{p}} \sqrt{C_d + C_f} < 0 \quad (13)$$

## 2. 対象地域及び避難行動アンケートの紹介

研究対象地域とパラメータ設定に用いた避難行動アンケートの説明をする。本研究では宮城県気仙沼市を研究対象として、避難行動モデルを用いた避難率の検証および不安感コストの分布推定を行う。宮城県気仙沼市は宮城県の北東端に位置し、市の東側は太平洋に面しているため、過去に幾度となく津波による被害を被っている津波常襲地域の一つである。平成 22 年 2 月 28 日のチリ地震津波では市内沿岸部の一部に浸水し、約 13,000 世帯に避難指示が出ている。また、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波では、市内沿岸部の広域にわたって津波が浸水し、平成 27 年 10 月 31 日現在、1,359 人もの人的被害(直接死 1,031 人、関連死 108 人、行方不明者 220 人)を出した<sup>13)</sup>。このような津波災害を受け、気仙沼市では、宮城県が実施した「第三次被害想定調査」の結果に基づき、市内の予想浸水区域や予想浸水深を示した「気仙沼市防災マップ(津波)」を作成し、市のホームページで公開するとともに、市内

各世帯に配布し、市民への津波の周知徹底を試みている<sup>14)</sup>。

気仙沼市を研究対象とした理由は上述のように津波の危険に晒されている地域であることに加え、避難行動アンケート結果の非集計データを得ることができたためである。このアンケートは気仙沼市、東北大学、災害制御研究センター、独立行政法人防災科学技術研究所、株式会社社会安全研究所が調査主体となって実施されたものである。本研究では、性別や年齢、居住地が浸水区域内か否かというカテゴリによって不安感の平均や分散が異なると考え、このアンケート結果の非集計データから、設問 3: 自宅の津波浸水想定区域の内外、設問 4: 性別、設問 5: 年齢、設問 12: 「避難」の有無のすべてに回答した住民(サンプル数 2606)を対象としてモデル内のパラメータキャリブレーションを行う。また、アンケートの回収サンプル数は若者が、高齢者と比べて比較的少ない。年齢カテゴリでサンプル数を一定量に確保する必要があるため、若年層:(20~49 歳)、壮年層:(50~69 歳)、高齢層:(70 歳以上)とした。

## 3. 各パラメータ設定の方針

### (1) はじめに

パラメータ設定の方針について示す。式(8)に示した避難意思決定モデルの避難行動判断式は、津波による客観確率 $p$ 、死亡コスト $C_d$ 、移動コスト $C_m$ 、不安感コスト $C_f$ 、避難行動開始から災害収束(警報解除が発令)までの時間比率 $h$ 、災害発生から避難行動に要する最短準備時間の時間比率 $\bar{h}$ 、抵抗感逡増パラメータ $\gamma$ から定式化されている。不安感コスト以外の外生コストパラメータは、過去の研究事例などから算出することができるが、不安感コストパラメータに関しては推定によって求める必要があるため、避難意思決定モデルのパラメータ設定は 1) 外生コストおよび種々のパラメータの設定、2) 非集計アンケートデータを用いた不安感コストパラメータの分布推定の二段階に分けて行う。

### (2) 外生コストパラメータの設定

まず、外生コストおよび種々のパラメータの設定においては、津波による死亡客観確率 $p$ 、死亡コスト $C_d$ 、移動コスト $C_m$ を過去の災害事例や費用便益計算に関する既往研究や支払意思額に基づく統計的生命価値の研究を参考に設定するとともに、避難率シミュレーションに必要な避難準備時間、想定避難時間、抵抗感逡増パラメータの設定を行う。

(a) 死亡客観確率 $p$ 

津波警報発令時の津波による死亡客観確率 $p$ は、避難に関する意思決定を行う個人 $i$ が死亡する客観確率であり、警報発令時の人的被害発生確率に災害によって死亡する確率(死亡確率)を乗じることで算出する。警報発令時の人的被害発生確率は、量的津波予報システムが稼働した 1983 年から 2010 年までの津波警報発令履歴から算出することができ、1983 年から 2010 年までに津波警報は 22 の地震津波を対象に発令され、そのうち 5 つの津波で人的被害が発生したため、 $5/22=0.227$  という値を用いる。

次に死亡確率について説明する。本研究における死亡確率とは、災害発生時に避難しなかった場合の死亡確率である。アンケート結果より、浸水区域の内側に住んでいると認識している住民は、浸水区域外に住んでいると認識している住民よりも避難意識が高く、津波による死亡リスクを高く見積もっていると考えられるため、浸水区域内外で異なる値を設定する必要がある。そこで、東北地方太平洋沖地震における気仙沼市の直接死者数(平成 27 年 10 月 31 日時点で 1031 人)から、死者数を総人口(平成 27 年 11 月末日時点で 66792 人)で割った数値 0.0154 を参考として、アンケート設問 3:「自宅が浸水想定区域に含まれているか」において浸水区域内と答えた住民の死亡確率を 0.02、浸水区域外と答えた住民の死亡確率を 0.01 と設定した。

(b) 死亡コスト $C_d$ 

死亡コスト $C_d$ を算出する。本研究における死亡コスト $C_d$ は、津波によって死んでしまうことに対して失われる、住民の生命そのものの価値に該当する。そこで、本研究では個人が死亡リスクを回避するために支払ってもよいと考える金額=支払意思額に基づく評価値、統計的生命価値を推計した内閣府政策統括官(共生社会政策担当)、交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書(2012)<sup>15)</sup>および Itaoka ら(2005)<sup>16)</sup>の研究を参考として死亡コストを定義する。交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書(2012)では、交通事故による死亡リスクに対する支払意思額を元に統計的生命価値を算出している。これによると、一人あたりの死亡損失額は 2.13 億円と算出されている。また、Itaoka ら(2005)の研究では、支払意思額を 40~49 歳, 50~59 歳, 60~69 歳, 70 歳~という四カテゴリで推計し、統計的生命価値の算出を行い、70 歳以上の統計的生命価値が 70 歳未満の統計的生命価値よりも低くなる傾向にあることを示している。本研究で用いる死亡コストにはこの傾向を考慮し、70

歳以上の死亡コストを Itaoka ら(2005)の研究で算出された 7.66 千万円とした。本研究で用いた死亡コスト $C_d$ を表-1 に示した。

表-1: 死亡コスト

年齢	死亡コスト[yen]
-69	213,000,000
70-	76,600,000

(c) 移動コスト $C_m$ 

移動コスト $C_m$ は避難行動として、地震発生時の所在位置から避難場所に移動する際に発生する時間価値や精神的負担・肉体的負担を貨幣価値に換算したものである。移動コスト $C_m$ は一般的に避難距離に比例するものと考えられ、単位時間あたりの移動コスト $C_m^{unit}$ に避難時間を掛け合わせることで求める。以上から算出する単位時間あたりの移動コスト $C_m^{unit}$ は以下の式(14)で定義する。

$$C_m^{unit} = C_{time}^i + C_{physical+mental}^i \quad (14)$$

$C_{time}^i$ は避難行動により発生する機会費用を意味し、所得接近法を用いて計算した時間価値の値を用いた。算出に用いた平均年収や実労働時間はアンケートが実施された年と同じ平成 22 年の賃金センサス<sup>17)</sup>の値を用いた。 $C_{time}^i$ を以下の式(15)で定義する。

$$C_{time}^i = \frac{\text{平均年収}}{\text{月あたりの実労働時間} \times 12 \times 60} \quad (15)$$

$C_{physical+mental}^i$ は避難行動によって生じる精神的・肉体的コストを意味し、既往研究に基づいて設定する。避難行動により生じる精神的・肉体的コスト $C_{physical+mental}^i$ に関して計測を試みた研究は未だ行われていないものの、佐藤ら(2002)<sup>18)</sup>は駅のターミナルにおける乗換行動抵抗を乗換一般化費用として数値化する過程で、乗換行動の精神的・肉体的負担を貨幣換算している。本研究では、避難行動時に生じる精神的・肉体的コスト $C_{physical+mental}^i$ を佐藤らの乗換一般化費用におけるエネルギー価値と精神的負担に対応させる。佐藤らは、65 歳以上の高齢者のエネルギー価値及び精神的負担の費用合計を 74.01[yen/min]、その他の歩行者は 26.26[yen/min] という値を算出しており、本研究ではこの値を用いる。以上の流れで算出した単位時間あたりの移動コスト $C_m^{unit}$ を表-2 に示す。



表-2：単位時間あたりの移動コスト

	年齢	機会費用 [yen/min]	精神的・肉 体的コスト [yen/min]	移動コス ト $C_m^{unit}$ [yen/min]	移動コス ト $C_m^{unit}$ [yen/sec]
男 性	20-49	36.802	26.260	63.062	1.051
	50-69	41.301		67.561	1.126
	70-	22.154	74.010	96.164	1.603
女 性	20-49	25.097	26.260	51.357	0.856
	50-69	26.231		52.491	0.875
	70-	14.127	74.010	88.137	1.469

最終的な移動コストは算出した単位時間あたりの移動コスト $C_m^{unit}$ に各住民の避難所までの移動時間及び後述する想定避難時間から以下の式(16)により求められる。

$$C_m = (\text{避難距離}/\text{歩行速度}) \times C_m^{unit} + T_{evacuate} \times C_m^{unit} \quad (16)$$

本研究では、阿久津(1975)<sup>19)</sup>が行った自然歩行の実態調査の結果をもとに、山崎・佐藤が歩行速度に換算したものを宇川が本研究と同様の性別・年齢カテゴリに換算した値を移動コスト算出に用いる歩行速度として用いた。住民カテゴリ毎の歩行速度を以下の表-3に示す。

表-3：住民カテゴリ毎の歩行速度

年齢	男性[m/s]	女性[m/s]
20-49	1.444	1.228
50-69	1.190	1.041
70-	0.983	0.899

(d) 避難準備時間 $T_{prepare}$ 及び避難時間 $T_{evacuate}$

避難準備時間 $T_{prepare}$ および想定避難時間 $T_{evacuate}$ は、避難行動開始から災害収束(警報解除が発令)までの時間比率 $h$ 、災害発生から避難行動に要する最短準備時間の時間比率 $\bar{h}$ および移動コスト $C_m$ を算出するにあたって使用する。避難準備時間 $T_{prepare}$ は、住民が避難する場合に要する最短所要時間である。避難行動アンケート設問 18 から避難を選択した住民がいつ避難を開始したかという時刻が得られ、警報が発令されてから一時間半後の午前 11 時頃に避難を開始した避難者が最も多いということがわかった。この結果から、本研究では住民が避難に要する最短時間 $T_{prepare} = 1.5hour$ と仮定した。

想定避難時間 $T_{evacuate}$ は、住民が避難を開始してから津波の危険性が無くなる(警報が解除される)までの時間である。平成 22 年チリ地震津波では午後 7 時に気仙沼市の津波警報解除が発令されている。そこで、本研究では想定避難時間 $T_{evacuate} = 8hour$ と仮定した。

(e) 抵抗感逓増パラメータ $\gamma$

抵抗感逓増パラメータ $\gamma$ は各住民が考える主観確率と客観確率との差を表現するパラメータである。このパラメータは分析対象となる全サンプル(サンプル数  $n=2606$ )で不安感コスト閾値が非負となる条件を求めるとともに、死亡コストと同程度のオーダー(数千万円～数億円)となることを考え、本研究においては $\gamma = 100$ と仮定した。

(3) 不安感コストパラメータの分布推定

式(8)に示す避難行動の判断式を不安感コストパラメータのみを変数とする不等式に帰着させ、不安感コストパラメータの閾値 $C_{fc}$ を求める。そして、不安感コストパラメータがロジスティック分布に従うという仮定のもとで、避難行動アンケート結果の非集計データと避難行動の閾値 $C_{fc}$ を用いて回帰分析を行い、不安感コストパラメータの分布を推定する。住民が避難する確率は、確率密度関数において $C_{fc}$ より右側の累積確率で表される。この設定のもと、尤度関数を式(18)のように設定し、最尤法によって推定する。

$$C_{fc}^i = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \gamma C_m^2 (-2 + h - 4h^2 + h^3)p + \gamma^2 C_a h^2 (5 - 2h + h^2)^2 p^2 \\ - 2\sqrt{-\gamma^2 C_m^4 (-1 + h)^2 (1 + h)^2 p^2} \end{array} \right\}}{\gamma^2 h^2 (5 - 2h + h^2)^2 p^2} \quad (17)$$

$$L(\theta|C_{fc}^i) = \prod_{i=1}^n \delta_i P_S \cdot (1 - \delta_i) P_E \quad (18)$$

$$\begin{cases} \delta_i = 1 & \text{stay} \\ \delta_i = 0 & \text{evacuate} \end{cases} \quad P_S = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha)}, \quad P_E = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-\alpha)} \quad (19)$$

住民の不安感の平均や分散を変化させるカテゴリの組み合わせは 64 通り存在する。本研究では最も適合度の高いパターン(平均が予想浸水区域により変化し、分散は性別・年齢により変化)を回帰モデルとして採用する。採用パラメータと $t$ 値を表 1 に、分布を図-1 から図-3 に示した。これを見ると、区域内の住民の平均値が区域外と比べて大きく、高齢層の不安感の分散が若年層、壮年層と比べて大きいことがわかる。

$$\alpha = \beta_0 + \beta_1 x_{inside} + \left( \beta_2 x_{ma age1} + \beta_3 x_{ma age2} + \beta_4 x_{ma age3} + \beta_5 x_{fe age1} + \beta_6 x_{fe age2} + \beta_7 x_{fe age3} \right) C_{fc} \quad (20)$$

表-4：採用モデルのパラメータ

	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$
係数	-0.275	-2.102	2.364	2.026	9.427	4.775	4.494	8.702
(t値)	(0.22)	(2.85)	$\times 10^{-9}$ (1.97)	$\times 10^{-9}$ (2.07)	$\times 10^{-10}$ (2.35)	$\times 10^{-9}$ (2.32)	$\times 10^{-9}$ (2.37)	$\times 10^{-1}$ (1.78)

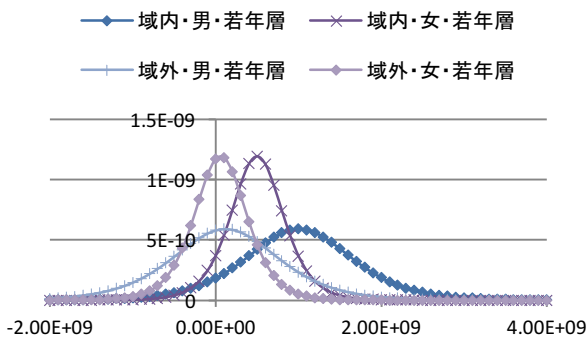


図-1: 若年層の不安感コスト推計値分布

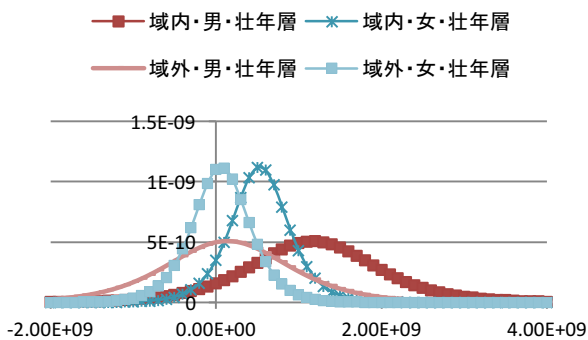


図-2: 壮年層の不安感コスト推計値分布

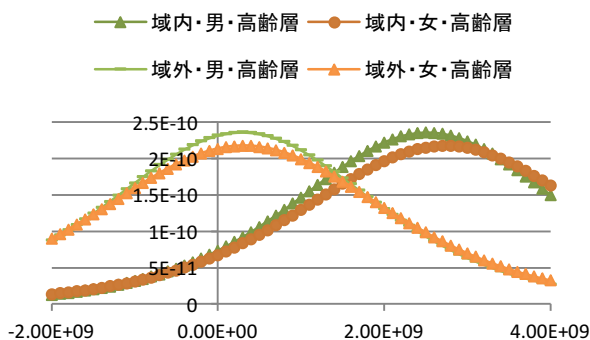


図-3: 老年層の不安感コスト推計値分布

#### 4. 避難率シミュレーションの実地適用

求めた不安感の分布を用いて防災政策実施時の避難率の定量分析を行う。分析には、気仙沼市の津波ハザードマップで広域にわたる浸水が予想されている気仙沼・鹿折の二地域を対象地域とした。

選択した避難率シミュレーションに用いる分布のパラメータ・データセットを用いてカテゴリごとに避難率の導出を行い、アンケート結果により得られた避難率との比較、すなわちモデルによって現実の避難選択行動を再現できているかということの検討・考察を行う。また、防災政策を実施した場合に避難率がどのように変化するか検証するため、気仙沼市の復興計画の中で設定されている津波防災・減災の方針を参考に、政策を実施した場合を想定し、政策実施時に避難率がどの程度向上するか考察する。

気仙沼市は、東日本大震災からの復興に向け、東日本大震災復興基本法に基づく地方公共団体の計画として、気仙沼市の震災復興の理念と目標、関係主体の責務、目標期間、計画の柱と主要事業、推進方策などを明らかにするために、震災復興計画を策定し、平成 23 年 10 月に公開した<sup>20)</sup>。この震災復興計画の第四章「防災・減災の基本的考え方と地区構想」では、防災・減災の考え方として、以下の 3 分野の対策を有機的に組み合わせた総合的な津波防災対策を講じるものとしている。

- ・ 防災施設の整備
- ・ 津波防災の観点からのまちづくりの推進
- ・ 防災体制の充実

以上を参考に、種々の防災政策を実施した場合の避難率の変化を見るため、モデルによって現実の避難選択行動を再現できているかということを含め、以下の 4 つのシナリオを設定する。

Case1：モデルによる住民の避難選択行動の再現性の確認と現状分析

Case2：政策①、「避難場所・避難路の整備」がなされた状況を想定

Case3：政策②、「避難に対する日常的な意識付け」「防災訓練の恒常化」によって避難意識が啓発された状況を想定

Case4：政策③、Case2 および Case3 が同時に達成される状況を想定

Case1 では、求めた不安感コストパラメータの分布を用いて避難意思決定モデルのパラメータを設定し、避難率シミュレーションを行う。具体的には、アンケートから住民個々の不安感コストパラメータの閾値 $C_{fc}$ を算出し、カテゴリ毎の確率分布にあてはめることによって推定避難率を導出するとともにアンケート結果によって得られた実際の避難率との比較を行う。

Case2 では、震災復興計画の防災・減災の考え方から、「防災施設の整備・津波防災の観点からのまちづくりの推進」が達成され、避難場所・避難経路の整備が成された状況を想定し、Case1 と同様の手法を不安感が予想浸水区域内の住民と同等の水準まで向上したと仮定し、結果の比較を行う。

Case4 では、避難場所・避難経路の整備および避難に対する日常的な意識付け・防災訓練の恒常化による避難意識の啓発が同時に達成された状況を想定し、Case2 および Case3 が同時に達成された時の避難率を求め、結果の比較を行う。

気仙沼及び鹿折の二地域で同様の結果が得られたため、本稿では気仙沼地域の結果の考察を行う。図-4 に気仙沼地域の Case 別の避難率を示した。Case1 の避難率はアンケートで得られた避難率よりも 10% 程度ずれた結果となっているものの、避難の傾向を再現できていると言える。各防災政策実施時の避難率の変化は、避難路の整備による向上が 1%未満であるのに対し、避難意識の啓発により、5~20%程度と高い避難率の向上が見られた。

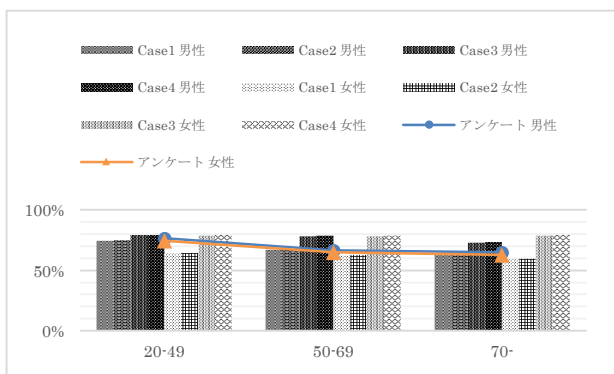


図-4: 気仙沼地域の避難率

## 5. 結論

本研究では、認知的不協和を考慮し、津波避難行動をモデル化した。さらに宮城県気仙沼市を対象として防災政策を実施した場合の避難率の定量分析を行った。その結果、避難場所・避難経路の整備が成されたことによる避難距離・避難時間の短縮は避難率

を用いて、住民の避難距離が 50%減少した場合の避難率を求め、結果の比較を行う。

Case3 では、震災復興計画の防災・減災の考え方から、「防災体制の充実」が達成され、避難に対する日常的な意識付け・防災訓練の恒常化によって避難意識が啓発された状況を想定し、避難率シミュレーションを行う。アンケート調査結果から、気仙沼市では、浸水区域内に住んでいると考える住民の避難率が、区域外に住んでいると考える住民の避難率よりも高く、予想浸水区域の内外で避難意識が異なるという現状がある。そこで、避難意識が啓発されたことにより、避難意識が低い予想浸水区域外の住民の向上にはつながらず、災害の規模が大きく、避難所での待機時間が長くなればなるほどその効果は小さくなることがわかった。一方で、避難に対する日常的な意識付けや、防災訓練の恒常化によって避難意識が啓発されることにより、避難率は大幅に向上することがわかった。つまり、避難率の向上という観点では、避難場所・避難経路の整備が成されるよりも、避難意識が啓発されることによる効果が大きく、住民の早期避難の実現には、まず避難意識の啓発が必要であることを明らかにした。

今後の課題として、他の自治体・地域を対象として同様の分析を行い、不安感・避難教育の進行度の比較を行うことなどが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 中央防災会議，東南海・南海地震等に関する専門調査会，2003
- 2) 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, pp250-261, 2006
- 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) 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
- 5) 広瀬弘忠，人はなぜ逃げ遅れるのか-災害の心理学，集英社新書, pp76-78, 2004
- 6) 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，誠心書房，1965 (Festinger, L. A theory of cognitive dissonance, Stamford University Press, 1957)
- 7) George A. Akerlof, William T. Dickens, The Economic Consequences of Cognitive Dissonance, The American Economic Review, Vol.72, No.3,

- pp307-319, 1982
- 8) Matthew Rabin, Cognitive dissonance and social change, *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol.23, Issue2, March 1994, pp177-194
  - 9) William T. Dickens, Crime and punishment again: The economic approach with a psychological twist, *Journal of Public Economics*, Vol.30, Issue1, June 1986, pp97-107
  - 10) Alessandro Balestrino, Cinzia Ciardi, Social norms, cognitive dissonance and the timing of marriage, *The Journal of Socio-Economics*, Vol.37, 2008, 2399-2410
  - 11) 佐藤太一, 河野達仁, 越村俊一, 山浦一保, 今村文彦, 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-, 地域安全学会論文集, No.10, 2008. 11
  - 12) 宇川弘朗, 避難意思決定モデルを導入した津波避難シミュレーションモデルの検討, 東北大学工学研究科修士論文, 2012
  - 13) 気仙沼市ホームページ「気仙沼市の被害状況」, <<http://www.city.kesenuma.lg.jp/www/contents/1300452011135/index.html>>
  - 14) 気仙沼市ホームページ「気仙沼市防災マップについて」, <<http://www.city.kesenuma.lg.jp/www/contents/1253258421312/index.html>>
  - 15) 内閣府政策統括官(共生社会政策担当): 平成 23 年度交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査報告書, 2011
  - 16) Kenshi Itaoka, Alan Krupnick, and Makoto Akai with Anna Alberini, Maureen Cropper, and Nathalie Simon, Age, Health, and the Willingness to Pay for Mortality Risk Reductions: A Contingent Valuation Survey in Japan(Discussion paper), August, 2005
  - 17) 厚生労働省: 平成 22 年賃金構造基本統計調査(全国)結果の概況, 統計調査結果, 報道発表資料
  - 18) 佐藤寛之, 青山吉隆, 中川大, 松中亮治, 白柳博章, 都市公共交通ターミナルにおける乗換抵抗の要因分析と低減政策による便益計測に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, 2002
  - 19) 阿久津邦男, 歩行の科学, 不味堂出版, 東京, pp.56-57, 1975
  - 20) 気仙沼市震災復興計画, 平成 23 年 10 月, 公開資料

## EVACUATION MODEL INCORPORATING COGNITIVE DISSONANCE AND ITS QUANTITATIVE ANALYSIS

Masaya OKUNO, Tatsuhito KONO