

# 福島原子力発電所からの避難行動に関する調査と分析

Investigation and analysis about the evacuation behavior from the Fukushima nuclear power plant

廣井悠\*  
U HIROI

In the Great East Japan Earthquake, many residents evacuated from the Fukushima nuclear power plant. But the detail of their evacuation is not clarified in previous research. We analyze their evacuation from the Fukushima nuclear power plant using the huge data of our questionnaire survey and classify evacuation behavior patterns. In the ends, we propose regional evacuation models and simulate the diffusion of residents from the Fukushima nuclear power plant in several situation.

**Keywords:** regional evacuation models, Fukushima nuclear power plant, the Great East Japan Earthquake, huge data of questionnaire survey  
広域避難行動モデル, 福島原子力発電所, 東日本大震災, 大規模社会調査

## 1. はじめに

2011年3月に福島原子力発電所で発生した原子力災害は放射性物質の深刻な拡散をもたらし、いまなお多くの住民が居住地を離れた生活を継続している。この教訓より、今後は将来(或いは国外)の原子力災害のみならず、危険物施設全般からの広域的な避難行動や長期間の湛水をもたらす大都市大規模水害など、広い圏域を対象とした避難計画を検討する試みが広く求められるであろう。ところで現在、自治体が原子力発電所からの避難シミュレーションを実施する例が多数見られる<sup>1)</sup>。その多くは避難者が自家用車を用いてUPZ(緊急時防護措置準備区域)圏外まで脱出するまでの避難完了時間を求める単純なものであるが、このような広域の避難行動は避難のきっかけも避難先も避難手段も多岐にわたる。それゆえ避難シミュレーションや避難計画を検討する上では、どのような人がどこに避難するかを示唆する避難先の目的地分布を前提として準備する必要がある。しかしながらこの作業の有用な基礎資料となるべき東日本大震災時の広域避難に関しては、避難先での問題や事故調査に焦点を絞った研究事例は多いものの、発災後に誰がどのような避難行動を行ったかについての調査・研究は現在の所ほとんど存在しない<sup>2)</sup>。本研究では上記の問題意識のもとで、福島原子力発電所からの避難行動の実態データをもとに避難行動パターンを抽出し、これに基づいた広域避難行動モデルを提案する。この分析を通じて今後の広域避難対策の一助とすることが研究の最終目標である。

## 2. 調査データの概要

本研究で用いるデータは原子力損害賠償紛争解決センターが損害賠償の概ねの金額を把握する目的で行った調査によるもので、著者らによる一次データである。著者らは福

島県の基礎自治体や避難者に対する聞き取り調査を経て、本調査の調査票を作成した<sup>2,3)</sup>。調査対象は福島県の住民とし、調査時点において(1)警戒区域、緊急時避難準備区域、計画的避難区域、特定避難勧奨地点に指定された地域を含む市町村(13指定地区)で当時の連絡先(避難先)を市町村に登録していた住民(配布数39,570票、調査期間2012/3/1~2012/3/19)、(2)上記以外の市町村において、当時の連絡先(避難先)を総務省避難者情報システムに登録していた住民(配布数2184票、調査期間2012/3/10~2012/3/19)、合計10,082票である(総配布数41,754票、回収率24.1%)。

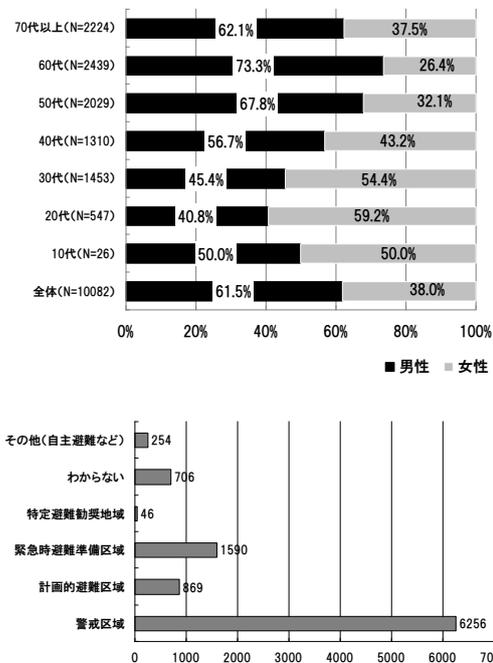


図1 調査対象者の年齢・性別・避難区域 (N=10082)

\*正会員 名古屋大学減災連携研究センター(Nagoya University)

本調査は配布・回収ともに郵送調査によって、主に住所や年齢・性別などの個人属性、避難を行った際に発生した金銭的負担、現在困っていることなどを尋ねるものであるが、同時に福島原子力発電所からの避難行動も尋ねており、東日本大震災から1か月間の主な避難行動（1人につき最大5つまで、なお調査対象者の1年間の平均避難回数は4.89回）について避難先の種類、場所、到着日、移動手段、避難したきっかけ、避難先を選んだ理由などを細かく尋ねている。これにより震災の記憶の新しいうちに、原子力災害時における詳細な避難行動データベース（トリップデータ）を作成することができた。本調査はこれまでのところ福島県からの広域避難行動そのものを示す唯一の大規模調査であり、資料的価値も極めて高いものと考えられる。代表的なサンプル属性を図1に示す。

調査対象のうち、原子力発電所の事故のために避難を行った住民は家族全員避難が86.8%、家族の一部避難が7.4%、誰も避難しなかったは3.4%であった。本稿ではこのうち家族の一人でも避難した住民を対象として、本調査で得られた調査対象における1か月間の避難行動（全45300トリップ）の分析結果を利用する。1か月間の平均移動距離は273.2kmであり、その距離分布は図2のようになる。図2は調査対象の行った総避難距離を示したものであるが、避難行動の距離や目的地は調査対象の避難回数によって大きく異なる。例えば最初の避難行動（図3）は多くが3月12日に行われているが、その平均距離は57.02kmとやや短距離の移動にとどまっておき、県内の移動も多い。ところが2回目、3回目、4回目、5回目の避難行動は平均避難距離が81.40km(N=6179)、102.31km(N=4915)、112.38km(N=3254)、110.40km(N=1692)と次第に長距離かつ県外への移動となっていく。つまり東日本大震災における福島原子力発電所周辺からの避難行動は、少なくとも震災1か月間においては、おおむね直後の短距離の避難行動の後、長距離の避難へとそのパターンが変化する傾向にある。図4～図8には避難行動における避難先到着日、主な移動手段、避難したきっかけ、避難先の種類、避難先を選んだ理由を示す。避難先の到着日は避難回数の増加に応じて遅くなるのは当然であるが、多くの避難行動は3月20日までに終わっており（全体の76.8%が3月20日までの避難行動）、避難者の移動は震災から10日でおおむね収束することがわかった。また避難行動が最も多かった日時は3月12日であり、3月11日19時に原子力緊急事態宣言が出ているものの、3月11日の避難行動はごく僅かである（図4）。他方で避難手段は、避難回数が増えるにつれ電車利用が多くなるものの、自分が運転する自動車が75.8%を占めるなど圧倒的に多い（図5）。ただし調査対象の避難区域によって避難手段を集計すると、特定避難勧奨地域、自主避難、わからない（自分で把握していない）区域では自分が運転する自動車による避難行動は総じて低くなる。これら区域は女性・子供の避難者が多いことが関係しているものと考えられる。またバスを利用して避難した住民は全体の6.7%であるものの、大熊町では

19.8%、郡山市では12.5%を数えるなど地域差が大きい。図6は避難したきっかけである。「市町村からの指示で避難した」、「家族や親類に促されて避難した」という回答が多いが、避難回数の増加に伴い、適切な避難先が見つかったり、何らかの理由でその場にいられなくなることで避難のきっかけとなる。図7は避難回数別の避難先である。最初の避難では子供・親類宅への避難や避難所への避難が多いものの、避難回数を重ねるに従って民間賃貸住宅や行政による借り上げ住宅・公営住宅、ホテル・旅館へ避難する人が増えることが明らかとなった。図8は避難先を選んだ理由である。「市町村から指示されて」という回答と「子供や親類のいる場所だったので」という回答が多い。もちろんこれは避難先によって大きく異なる。また「受け入れの支援があったから」、「とにかく早く行こうとして」という回答もその次に多く、広域避難における適切な支援や正確な情報提供の必要性が示唆される。

同居に関する設問からは、避難によって同居家族が別々の場所で暮らすようになった事例は41.5%にもものぼるなど（一時的な別居も含む）、かなりの数の世帯分離が発生していることが判明した。この理由は「家族の仕事があるから（50.5%）」、「避難先に十分な広さの住宅を確保できないから（31.1%）」、「放射線の影響が心配されるため（29.1%）」と続き、仕事や災害前の住家と避難先の住宅サイズのミスマッチが世帯分離をもたらしていることが明らかとなった。

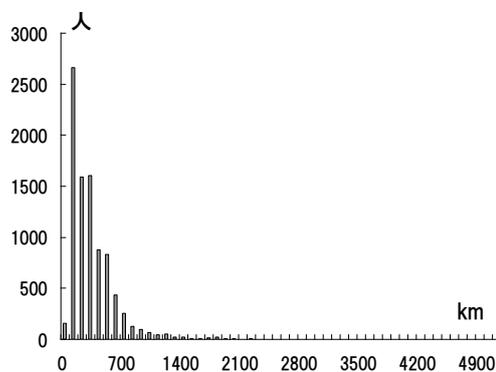


図2 調査対象1か月間の避難距離分布 (N=8946)

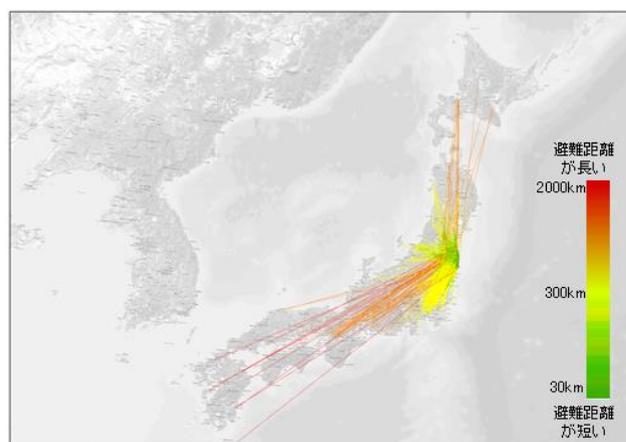


図3 最初の避難行動 (N=6963)

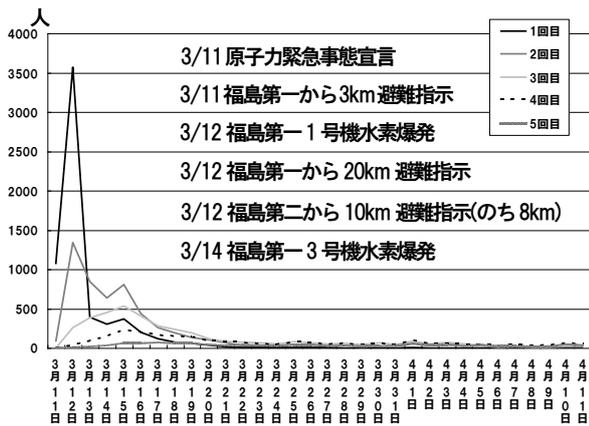


図4 避難回数別の到着日 (N=20238, 複数回答), および  
主な避難指示(日付ごとに最大値を抽出)や爆発

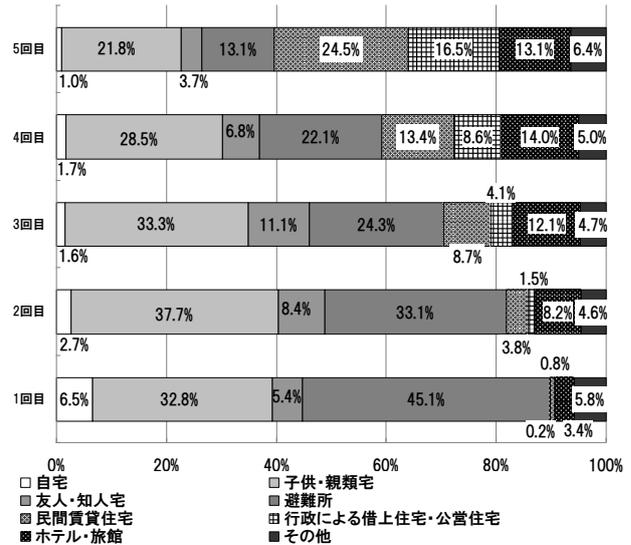


図7 避難回数別の避難先 (N=6891)

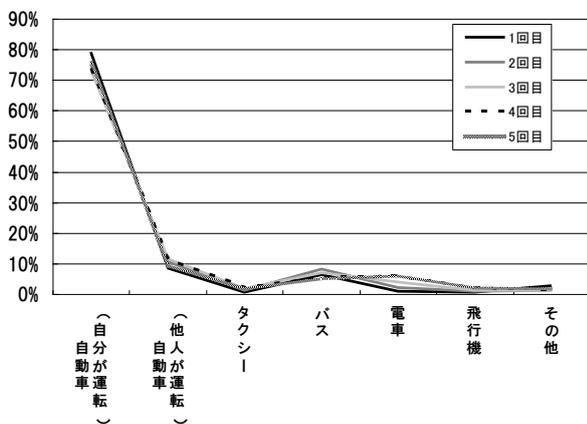


図5 利用した主な避難手段 (N=6963, 複数回答)

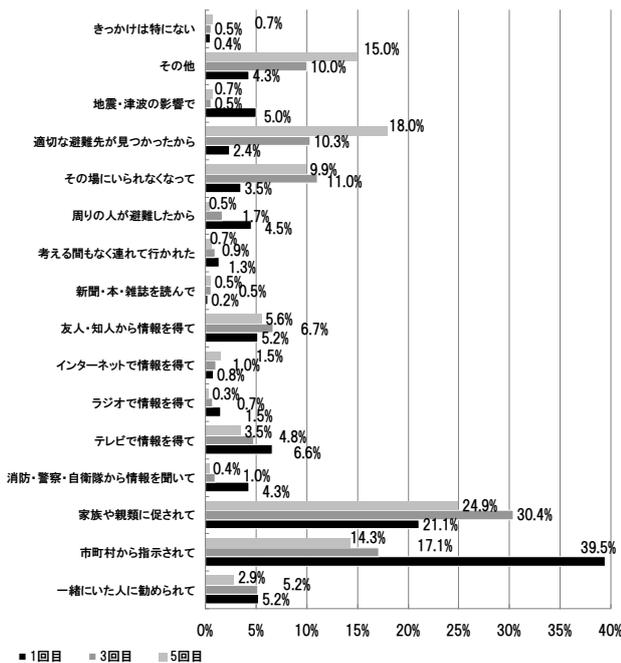


図6 避難したきっかけ (N=6963, 複数回答)

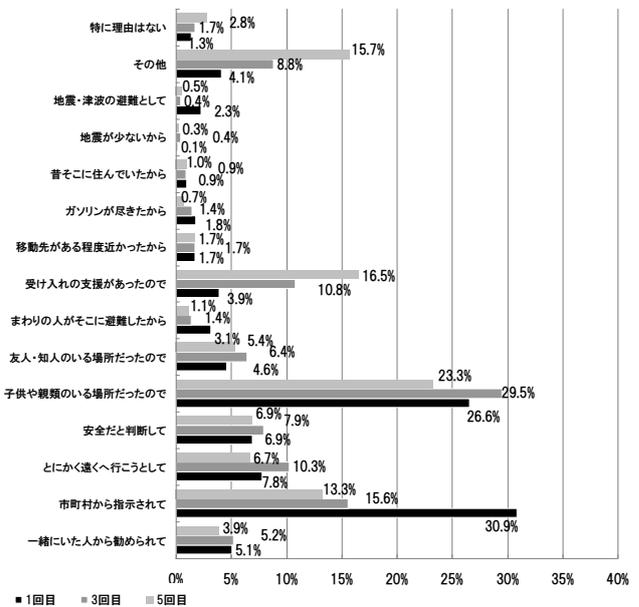


図8 避難先を選んだ理由 (N=6963, 複数回答)

原子力災害からの避難を考える場合、放射性物質の大気中への拡散から安全な地域に移動することが最も必要とされる。つまり広域避難計画においては、最初の避難行動を考えることは特に重要と考えられる。そこで最初の避難行動に特化して避難理由を把握したい。この避難は2回目以降の避難行動と比べて状況が切迫し、また情報のない中での避難行動であるものと推察されるが、細かく見るとこの理由は地域によって大きな差異が見られた。そこで調査対象全体 (N=9497) を棒線で示し、自主避難の多いいわき市の調査対象 (N=478) を折れ線で示した結果が図9である。これより避難行動を始めた理由はおおむね1.屋内退避や避難・自主避難のよびかけ, 2.水素爆発, 3.家族や友人による追従や勧奨, 4.正しい情報が分からなかったこと, と大別



回は非階層的クラスター分析（標準化ユークリッド平方距離を使用，k-means 法）を用い，原子力発電所からの避難行動を類型化し（対象の数が極端に少ないクラスターが存在するとクラスター間の回答者属性の比較が難しくなるため，クラスターの数は6とした），以下のように避難行動の類型化がなされた（図 11）．ここから，避難区域が「自主避難・分からない」以外の回答者は主に，賃貸やホテルを含め多様な避難先を多数回移動するパターン，親類・知人宅と避難所を中心に多数回避難するパターン，長距離避難をして親類・知人宅を頼るパターンに大別される．他方で水素爆発がきっかけで逃げた回答者は親類・知人宅に少数の避難回数で落ち着く傾向にあり，その中でも正しい情報が分からなかった回答者は多数回避難を経て親類・知人宅よりも避難所/ホテルに行き易いことが判明した．

- ①避難区域が「自主避難・分からない」以外，賃貸やホテルを含め多様な避難先に多数回避難パターン（N=2115）
- ②水素爆発，親類・知人宅などに少数回避難パターン（N=961）
- ③水素爆発+正しい情報分らず，避難所など多数回避難パターン（N=1443）
- ④・⑥避難区域が「自主避難・分からない」以外，親類・知人宅や避難所を中心に多数回避難パターン（N=821，N=2297）
- ⑤避難区域が「主避難・分からない」以外，親類・知人宅などに長距離避難パターン（N=78）

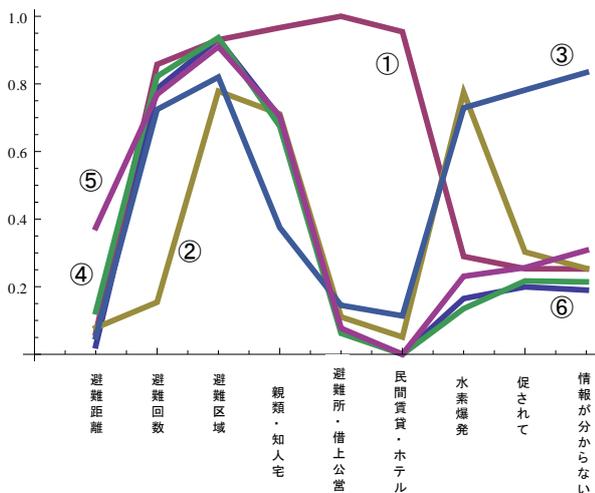


図 11 非階層分析による避難行動の類型化 (N=7715)

#### 4. 広域避難行動モデルの提案

最後に上記の分析結果と調査データを用いて，広域避難の目的地分布を予測する広域避難行動モデルを作成する<sup>4)</sup>．ここでは避難行動を 1.避難先の種類を選択する，2.避難先の地域を選択する，の2段階でなされるものと仮定した（図 12）．簡単のため，1段階目の選択肢集合は「親類・知人宅」，「避難所」，「その他」の3種類のみとする．このもとで効用関数を各避難先の効用と個人属性の線形和，および確率項で示されるものとし，避難者はランダム効用理論に基づいて避難先の種類を選ぶものとする．本稿では最初の避難行動に注目し，効用関数の確定項  $V_{kh}$ （個人  $k$  が避難先  $h$  を

選択）は避難手段（自分の運転する車なら1それ以外は0），親類・知人宅に1回でも避難したか（1回でも避難したなら1，親類・知人宅に1カ月の間に1度も行かなかったら0）<sup>4)</sup>，年齢(10歳区切り)，避難区域（自主避難・わからない）は0，それ以外は1，クラスター分析結果より説明変数として採用），定数項の線形和とした．この選択行動は確率項がガンベル分布に従う場合，[1]式の多項ロジットモデルで示すことができ，推定する係数は実際の避難データによって得られるパラメータ  $\delta_{hk}$  を用い，[2]式で示される尤度関数を最大とする最尤推定法で求まる（ただし  $p_{hk}$  は個人  $k$  が  $h$  という避難先を選択した確率を示しており，それぞれの集合を  $K$ ， $H$  で表わす）．なお  $L^*$  の最大化は  $L$  の最大化と等価であることより実際の計算は[3]式を用いた．

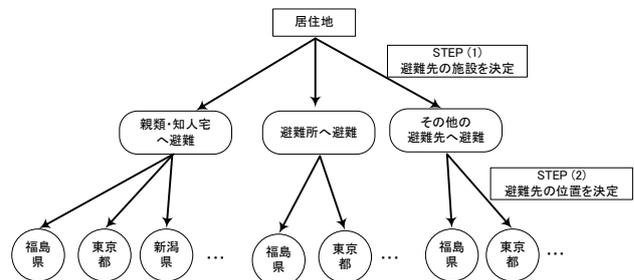


図 12 広域避難行動モデルで想定する意思決定スキーム

$$p_{hk} = \exp[V_{kh}] / \sum_{h \in H} \exp[V_{kh}] \quad \dots [1]$$

$$L^* = \prod_{k \in K} \prod_{h \in H} p_{hk}^{\delta_{hk}} \quad \dots [2]$$

$$L = \ln L^* = \sum_{k \in K} \sum_{h \in H} \delta_{hk} \cdot \ln p_{hk} \quad \dots [3]$$

表 1 各係数と自由度調整済尤度比 (\*\*は1%有意)

	親類・知人宅	避難所
自分の運転する車	0.7079 **	-0.3761 **
親類・知人宅への避難有無	33.62	0.278 **
年齢	-0.0100 **	-0.0073 **
避難区域	-0.0101	2.004 **
定数項	-32.19	-0.177
自由度調整済尤度比	0.25	

これに調査で得られた避難トリップデータ（最初の避難のみを対象）をあてはめ，係数とその Hessian 行列を求めることで係数の有意確率およびモデル全体の自由度調整済尤度比をニュートン・ラプソン法により求めた．その結果が表 1 である．定数項は有意とならなかったが，それ以外の係数はおおむね有意であった．効用関数の確定項を各説明変数の線形和にしているなどモデル上の限界はあるものの，自由度調整済尤度比は0.250であてはまりは悪くない．

2段階目の選択肢集合は，国内の全都道府県を仮定する（海外は除く）．このとき， $i$  から  $j$  の避難者数  $X_{ij}$  は[4]式の空間相互作用モデルに従うものとし， $G_i^*$  を  $i$  の放出性の尺度とし（ $G_i$  を  $i$  の全避難行動の発生量とする）， $A_j^*$  を  $j$  の吸引力の尺度とする（ $A_j$  を  $j$  の全避難行動の集中量とする）また  $t_{ij}$  を  $i-j$  間の距離， $\xi$  を  $j$  が福島県のとき1，それ以外は0をとるものとして（つまり県内移動は特殊な重みがあるものとする），各パラメータの推定を行う．

$$X_{ij} = \kappa \cdot \eta^{\delta} \cdot G_i^{\alpha} A_j^{\circ} t_{ij}^{\gamma} \quad \dots [4]$$

ここでは福島県からの避難のみを考えているため簡単に  $G_i^{\alpha} = A_j^{\circ} = 1$  とすると、推定する係数は  $\eta$ ,  $\kappa$ ,  $\gamma$  のみでよい。調査で得られた避難行動トリップデータ（最初の避難のみを対象）を実データとし、1段階目で得られた避難先選択確率を用いて[4]式を避難先別にパラメータ推定する。ここでは対数線形化による最小二乗法を用いた結果、表2のようにあてはまりよくパラメータが求まる。避難所への移動とその他への移動は[4]式の空間相互作用モデルを用いることで特に精度よく目的地分布が再現される。

表2 各係数と重決定係数

	$\kappa$	$\gamma$	$\eta$	$R^2$
親類・知人宅への移動	3.960	-1.334	1.219	0.69
避難所への移動	2.179	-0.838	2.331	0.90
その他への移動	2.864	-0.948	1.536	0.80

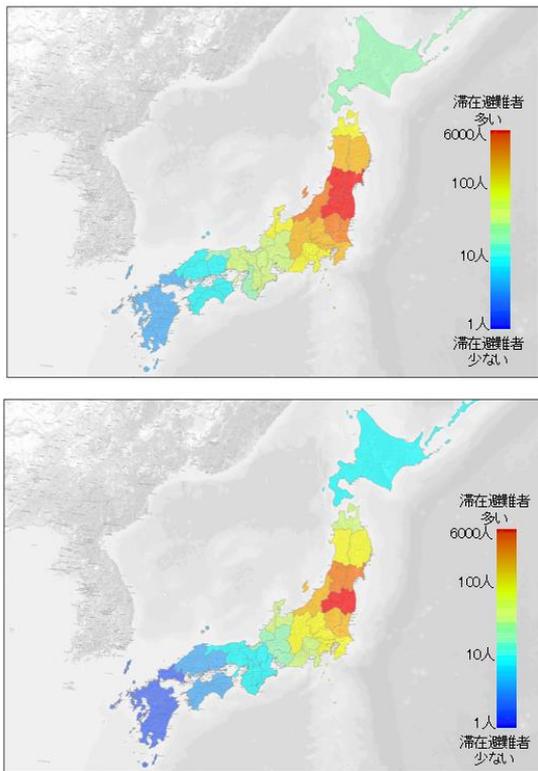


図13 自分の運転する車での避難が実態と同様の場合(75.8%, 上図)と半分になった場合(37.9%, 下図)(N=7005)

ここで構築した広域避難行動モデルの適用事例として、避難手段をとりまく社会環境が変化したときのケースを考える。東日本大震災時は自分の運転する自動車での避難した住民が全体の75.8%であった。しかし大都市中心部など自動車保有率が一般に低い地域や液状化による複合災害など、多くの人が自動車を運転できないケースも考えられる。この数値例を図13に示す。自分の運転する車で避難できる人の割合が実態の半分(37.9%)として、上記の広域避難モ

デルをあてはめると、親類・知人宅やその他施設への避難は減少し、避難所への避難が増加し、避難所の需要が高まる(バスなどを利用せざるを得ないため)。この時、遠距離の親類・知人宅やホテル、民間賃貸住宅への移動は制限され福島県からの避難者目的地分布は大きく変化する。本モデルを用いて同様に様々なケースの比較検討が可能となる。

## 5. おわりに

本稿では大規模社会調査によって得られた福島原子力発電所からの避難データ分析を通じて、広域避難行動モデルを提案した。これにより図15のように、任意の条件のもとで大規模災害後の避難行動目的地分布を推定することが可能となった。これは広域避難計画や避難シミュレーションの検討に必要な避難シナリオ作成や避難指示の出し方、避難所の確保や災害情報などの避難行動支援に関して、様々な示唆を与えうるものとする。本調査で用いたデータは調査対象者の経済負担や心理状態、その他様々な個人属性も尋ねており、より詳細な分析を可能とするが、これには本稿の紙幅を超える。この点は今後の課題としたい。

### [謝辞]

本研究で利用したデータは筆者と東京大学関谷准教授、福島大学丹波准教授、関西大学永松准教授、関西大学越山准教授、大阪大学八木准教授、社会安全研究所首藤所長との共同作業による社会調査の成果です。関係各位に深甚なる謝意を表します。

### [補注]

- (1) 東日本大震災以前は現威力災害からの広域避難に関する文献として梅本ら<sup>5)</sup>による報告などがある。
- (2) ここでは設問で回答した移動を行ったのち、「移動終了」の状態になるよう作図を行っている。例えば2回移動を行った回答者は図中の「3回目の移動」の時に移動終了となる。
- (3) 以降では簡単のため「親類・知人宅」と表記する。
- (4) これは「1カ月間の移動のうち1回でも知人・親類宅に行っているかどうか」の結果であり、避難することのできる親類・知人宅が存在するかどうかの代替指標と考え採用した。同様に避難手段も、自分で自動車が運転できるかどうかの代替指標としての説明変数と考えた。

### [参考文献]

- [1] 静岡県危機管理部原子力安全対策課、浜岡原子力発電所の原子力災害対策重点区域の避難シミュレーションの結果について、2014.06.23, <https://www.pref.shizuoka.jp/bousai/kakushitsu/antai/documents/260423hinansimulation.pdf>.
- [2] 関谷直也、東京電力福島第一原子力発電所事故における避難行動と安全確保行動、日本災害情報学会、日本災害情報学会第15回研究発表大会予稿集、pp.244-245、2013.
- [3] 廣井悠、東京電力福島第一原子力発電所における住民の避難行動、社会情報学会第2回定例研究会、2014.01.25.
- [4] 栗田治、都市と地域の数理モデル。共立出版、2013.09.
- [5] 梅本通孝、県域間に及ぶような長距離避難における住民の避難手段選択に関する研究、日本都市計画学会、都市計画論文集、Vol.46, No.2, pp.131-141, 2011.