

2016 年熊本地震後の避難所からの帰還行動分析

柿本 竜治¹・黒肥地 雄太²・吉田 護³

¹正会員 熊本大学大学院先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪二丁目 39-1)

E-mail:kakimoto@kumamoto-u.ac.jp

²学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪二丁目 39-1)

E-mail:176d8812@st.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

E-mail:yoshida-m@nagasaki-u.ac.jp

平成 28 年熊本地震では、政府及び県の報告資料によると、避難者数は一時最大 183,882 人に達したとされる。この数値は自治体指定の避難所の避難者数に基づくものであるが、避難行動をとった住民の数はその数に留まらない。自治体指定されていない施設や近隣の空き地での車中泊の様子が多く報道されており、震災後の住民の避難行動の実態は明らかではない。また、本震発生後 1 ヶ月後の 5 月 16 日時点でも 234 カ所に 1 万人以上が避難しており、長期に亘り多くの人が避難所に止まった。

一方、被災自治体は、避難所運営に多くの人的資源を割かれ、被害状況の確認やその他の被災者支援業務への着手が遅くなっていた。今回の地震では、余震が長期間頻繁に発生したことも避難者数が長期間減少しなかった一因としてあるが、迅速な被災者支援を行うためには、自宅に帰れる人を早期に避難所から自宅に戻すことが重要である。

そこで、本研究では、住民の避難から帰宅に至るまでプロセスの実体を明らかにし、住民の速やかな日常生活の再開を促すための政策的示唆を得ることを目的とする。

Key Words: Kumamoto Earthquake, Shelter of refuge, Behavioral model, Lifeline, Restoration

1. はじめに

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分、熊本県熊本地方でマグニチュード 6.5 の地震が発生し、熊本県の益城町で震度 7 を、玉名市、西原村、宇城市、熊本市で震度 6 弱を観測した。また、4 月 16 日 1 時 25 分にも、熊本地方でマグニチュード 7.3 の地震が発生し、益城町と西原村で震度 7 を、南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市で震度 6 強を観測した。これだけ短期間に震度 7 の地震が 2 回発生したのは、気象庁観測史上初めてのことであった。気象庁は当初、4 月 14 日に発生した地震を本震とみなしていたが、4 月 16 日に発生した地震のマグニチュードの方が大きかったため、そちらを本震とし、4 月 14 日の地震を前震と訂正した。気象庁は、4 月 14 日から発生した一連の地震を「平成 28 年熊本地震」と命名した。

これらの地震による熊本県内での人的被害は平成 29 年 3 月 31 日時点で、死者は、224 名（警察の検視により確認 50 名、関連死 169 名、6 月 19 日から 6 月 25 日に発

生した豪雨による被害のうち熊本地震との関連が認められた死者 5 名）、重軽傷者が 2,676 名となっている。また、住宅被害は、8,666 棟、半壊数が 33,526 棟、一部損壊数が 145,850 棟となっている¹⁾。

熊本地震で熊本県では 4 月 17 日 9 時 30 分時点で 85k ヶ所の避難所が開設され、最大 183,882 名が避難した。熊本県の避難所運営ガイドラインによれば、災害発生直後の混乱状態の中で避難所を円滑に開設・管理運営するために、市町村は避難所ごとに派遣する避難所担当職員をあらかじめ 2 名以上定めておくことになっている²⁾。しかし想定をはるかに超える避難者は、被災自治体職員の大きな負担となった。内閣府が実施した平成 28 年熊本地震に係る初動対応の検証レポート³⁾によると、避難所運営に関して、熊本市では「全職員の 3 割が避難所運営を担当し、負担は大きかった。」、「避難者の自主的運営は一部にとどまる。」、西原村では「職員が対応に追われており十分に休めていない状況がある。」とあった。発災後の行政職員の業務としては、避難所運営に増して被災者の生活再建支援がより重要である。避難所運

営に多くの職員を割いたために、生活再建支援の遅延要因となった。たとえば、罹災証明書に関して、熊本県によると、平成 28 年 5 月 30 日時点で、県下の各市町村に 131,016 件の申請に対し、71,296 件しか交付されていなかった¹⁾。罹災証明書は、被災者にとっては住居の補修や仮設住宅への入居、生活再建支援金などに欠かすことができない重要な証明書であり、その遅れに対し被災者の不満は高かった。したがって、避難者を迅速に減少させ、行政職員の避難所運営の負担を軽減することは、行政職員の災害後の一連の復旧・復興業務への迅速な取り組みを促す上で非常に重要なことであると考えられる。そこで、本研究では、地震発生後の避難者数の時間的推移を混合指数関数でモデル化し、その説明要因を明らかにする。さらに、2016 年熊本地震後、熊本市で実施された市政アンケート調査データを用いて、避難所からの帰宅に関する住民の意思決定をモデル化し、迅速な復旧を促すための取り組みの示唆を得ることを目的とする。

これまで避難者の発生過程は、交通需要予測⁴⁾やロジットモデル^{5,6)}を応用したモデル化が試みられてきた。また、避難行動の群集性を前提としたモデルの開発も行われている⁷⁾。一方で、住民の避難所からの帰宅過程を分析した事例は多くない。例えば、三木ら⁸⁾は、阪神淡路大震災時のデータを用いて、避難者数が指数的に減少することに着目し、その減少過程をモデル化し、仮設住宅建設との関係を考察している。また阪田⁹⁾は、指数混合関数を用いて避難者数の時間的推移をモデル化し、建物被害率や高齢者率、インフラ復旧との関係について考察を行っている。本研究においても阪田の研究に倣い、指数混合関数を用いて、避難者数の時間的推移をモデル化する。ただし、インフラの復旧状況などをモデル中に直接説明変数として組み込んでいる点がそれとは異なる。また、本研究では、震災後の熊本市の市政アンケート調査の結果を用いて、避難所からの帰宅に関する意思決定をモデル化する。地震時の避難行動や避難者数の推定に関する既往研究の中で、住宅被害だけでなく、ライフラインの損傷の程度^{10,11)}が住民の避難行動に影響を与えていることが示唆されている。このことから、ライフラインの復旧は住民の帰宅行動を説明する要因の一つであることが想定される。また、避難所での生活水準¹²⁾の低下から、避難所の生活環境も帰宅行動に大きく影響があることが予想される。本研究ではこうした要因に着目し、避難所からの帰宅行動をモデル化する。避難者数の時間的推移だけでなく、住民の帰宅に関する意思決定をモデル化することにより、避難者数を適切に減少させるために効果的な取り組みを検討することが可能となる。

2. 避難者数の推移モデル

(1) 避難者数の推移と混合指数関数

本研究の対象地域は、熊本市、宇土市、宇城市、益城町、御船町、嘉島町、合志市、大津町、菊陽町、南阿蘇村、西原村の 4 市 5 町 2 村とする。この 11 市町村は、前震本震ともに揺れが大きく被害が大きかった地域である。また、宇土市以外の市区町村では、平成 28 年 4 月 17 日 9 時 30 分時点での避難者数が 2,000 人以上と避難者数が多かった地域でもある。図-1 に平成 28 年 4 月 14 日の前震発生後から熊本市各区の避難者数の推移を、図-2 に熊本市以外の 10 市町村の避難者数の推移を示す¹⁾。なお、11 市町村の避難者数は、各市町村が把握し、公表したものだけであり、多くの指定外避難所や車中に避難された方の数は含まれていないことに注意が必要である。

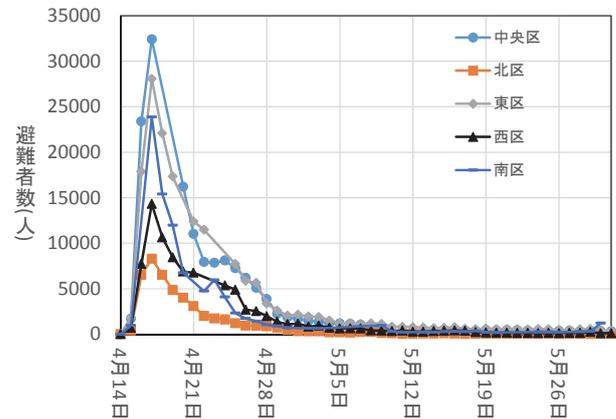


図-1 熊本市の各区の避難者数の時間的推移

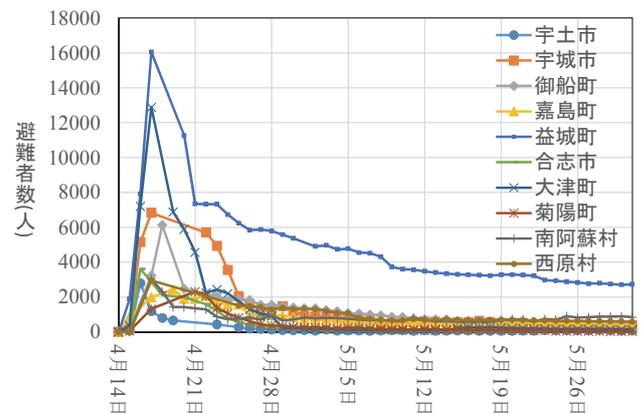


図-2 熊本市周辺 10 市町村の避難者数の時間的推移

表-1 対象地域の各市区町村の混合指数モデルのパラメータの推定結果

市区町村名	α_1	t 値	β_1	t 値	α_2	t 値	β_2	t 値	R^2	
熊本市	中央区	17879.3	17.642	-1.664	-7.042	14559.8	16.772	-0.150	-16.846	0.992
	北区	7213.2	12.911	-0.295	-15.075	1150.0	1.992	-0.094	-3.850	0.998
	東区	27392.2	72.259	-0.270	-34.706	965.6	2.912	-0.017	-1.400	0.997
	西区	13560.2	39.313	-0.217	-19.018	265.0	0.806	-0.012	-0.288	0.991
	南区	21746.9	22.235	-0.404	-13.922	1744.0	1.788	-0.069	-2.224	0.989
宇土市	2551.45	38.480	-0.694	-17.631	156.0	4.414	-0.024	-2.342	0.983	
宇城市	6433.18	28.828	-0.312	-13.683	773.8	4.353	-0.017	-2.063	0.980	
御船町	4002.3	62.443	-2.184	-15.693	2128.2	68.201	-0.045	-46.558	0.997	
嘉島町	1941.0	13.159	-0.140	-6.928	485.1	3.033	-0.002	-0.183	0.965	
益城町	9023.6	26.259	-0.857	-11.587	7100.9	40.853	-0.027	-22.819	0.986	
合志市	3405.7	55.254	-0.318	-27.519	63.1	2.082	-0.012	-1.024	0.984	
大津町	11772.3	30.374	-0.389	-14.651	374.0	1.227	-0.029	-0.843	0.981	
菊陽町	2131.0	25.842	-0.337	-14.275	331.5	4.163	-0.045	-4.163	0.989	
南阿蘇村	2115.3	16.921	-0.483	-7.831	925.1	10.319	-0.014	-2.778	0.961	
西原村	1558.7	10.950	-2.050	-2.941	1389.5	23.307	-0.027	-12.101	0.918	
対象地域全体	131702.0	20.626	-0.223	-11.317	17106.2	2.627	-0.024	-1.842	0.983	

各市町村とも前震発生後から避難者数は徐々に増していき、4月16日未明の本震発生後に急激に避難者数が増加し、4月17日に最大の避難者数を観測している。4月17日以降は時間の経過とともに4月下旬まで避難者数は急激に減少し、それ以降、避難者数の減少は穏やかになっている。

まず、阪田⁹⁾の式(1)で与えられる指数混合モデルが、対象地域の市町村の減少過程に当てはまるかを検証する。

$$y_t = \alpha_1 e^{\beta_1 t} + \alpha_2 e^{\beta_2 t} \quad (1)$$

t: 避難者数ピーク時からの経過日数, y_t : 経過日数 t

の避難者数, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$: パラメータ

指数混合モデルの推定には各市町村で避難者数が最大となった4月17日から5月31日までの避難者数の時系列データを用いた。推定結果を表-1に示す。混合指数モデルの第1項目のパラメータ α_1, β_1 については、全区および市町村で統計的に有意になっている。一方、第2項目のパラメータ α_2 については熊本市西区および大津町で、 β_2 については、熊本市東区、西区、嘉島町、合志市、および大津町で有意でなかった。パラメータ α_1 と α_2 の合計値は、避難者数の最大値となるが、これは、熊本市の各区および各市町村の避難者数の最大値に近い値になっている。また、 R^2 は全地域で 0.9 以上あり、全体的に混合指数モデルによって、今回の熊本地震の避難者数推移をよく再現できているようである。

対象地域全体の避難者数の推移と混合指数モデルによって推定された避難者数の推移を図-3に示す。避難者数の最大値が少し少なく推定されているが、全体的な傾向はよく再現されていることが確認できる。区および市町村毎に確認しても再現性は高かった。対象地域でも避難者数の時間的推移を表現するのに混合指数モデルの形状が適合しているのが確認出来たので、この関数形を用いて、避難者数の減少を促進させる要因を検討していく。

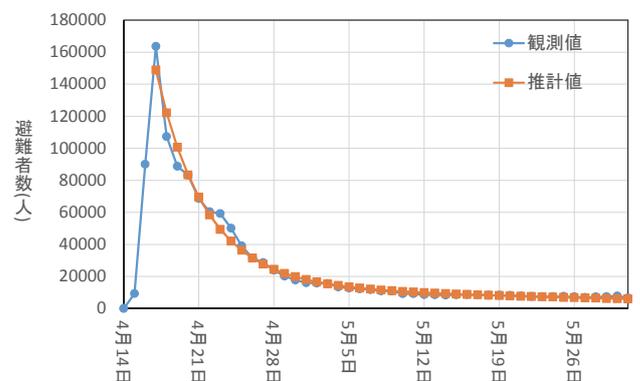


図-3 避難者数の観測値と推計値の時間的推移の比較

(2) ライフライン等の復旧状況

パラメータ α_1 と α_2 の合計値は、前述しているように避難者数の最大値となり、これは、市区町村の人口規模や地震の規模、および地震に伴う被害規模（地域の脆弱性）に依存する。一方、パラメータ β_1 と β_2 は時間経過に伴う避難者数の減衰の大きさを規定しており、発災後の余震の大きさや回数、電気や水道等のライフラインの復旧の早さ、コンビニエンスストアやスーパーマーケット等小売業の営業再開等の影響を受けていると考えられる。本研究の目的は、避難者を速やかに自宅に帰宅してもらい迅速な復旧を促すための政策的示唆を得ることであることから、避難者の帰宅を促すと思われる水道・都市ガス・電気といったライフラインの復旧状況、スーパーマーケットとコンビニエンスストアの営業再開状況を整理した¹³⁾。それぞれの発災後から5月末までの推移を図-4および図-5に示す。

4月16日の未明の発災直後、一時的に約47万戸が停電したが、16日の夜時点の約8万戸まで減少し、21日までに解消した。また、水道は最大約37万戸が断水し、1週間後にその約90%が通水可能となったが、5月末までには約200戸が断水状態のままであった。都市ガスは、発災後約10万戸で供給が停止され、4月20日から順次復旧が進み、4月末までに供給停止は解消された。なお、都市ガスの供給地域は、熊本市、および菊陽町、合志市、大津町、益城町、嘉島町の一部地域のみであり、他はプロパンガスであり、住宅に甚大な被害がなかった世帯では、発災後もプロパンガスは使用可能であった。

熊本地震での電力の復旧は比較的早く行われた。土木学会土木計画学研究委員会避難・ライフライン調査団¹⁴⁾の九州電力へのヒアリング調査によると、「台風など他の災害に対するの備えや大規模災害への応援の経験があったことなどが復旧には大きな役割を果たしていた。また、東日本の電力会社からも、50/60ヘルツ双方対応可能な発電機車を派遣してくれた。」ことなどが早期復旧の要因として挙げられている。水道の復旧については、熊本市水道局では「電力復旧後、トイレ等の生活用水の早期復旧の要望が非常に強かったため、地震後地下水は濁ったまま、漏水検査も終わらないうちに早期の給水に踏み切った。」とのことであった。

都市ガスについては、被害規模や状況が類似しているとされる2004年新潟県中越地震の場合、約57000戸で停止し、一部を除きその復旧には約3週間を要している¹⁵⁾。一方、熊本地震の場合は、約10万戸で都市ガスが停止したにも関わらず、11日間で復旧している。新潟県中越地震と比較して迅速な復旧は、ガス管の耐震化が進みガス管の被害が少なかったことと、全国のカス会社から大量の人的支援があり、人海戦術で対応

にあたったことによる。

スーパーマーケットの営業再開率は、イオン、イズミ、サンリブ、西友の57店舗の4月17日から5月31日にかけての営業数のデータをもとに作成している。発災直後は17店舗のみ営業を行っていたが、4月19日時点で約75%の43店舗が営業しているが、5月末時点で6店舗は営業を再開出来ないままであった。コンビニエンスストアの営業再開率は、セブンイレブン、ローソン、ファミリーマートの591店舗の4月17日から5月31日にかけての営業数のデータをもとに作成している。4月17日9時30分時点で384店舗が営業、4月末時点で588店舗が営業しており、99%の営業率となっていた。

(3) 避難者減少促進要因を考慮した避難者数推移モデル

本章第1節で推定した避難者数推移の混合指数関数の中で時間経過に伴う避難者数の減衰の大きさを規定パラメータ β_1 と β_2 は、表-1に示されるように、各地域で値が異なっている。これは、第2節で示したライフラインの復旧率や小売りの営業再開率の時間的な推移が地

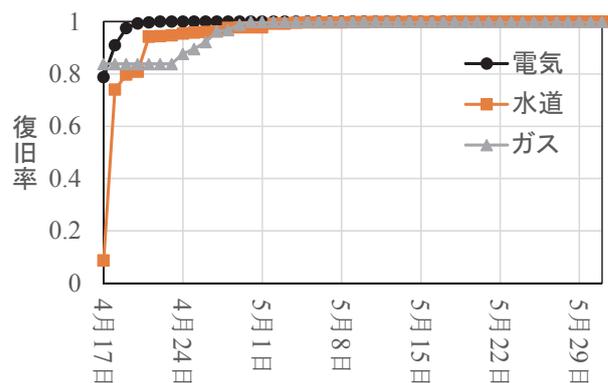


図-4 水道・電気・都市ガスの復旧率の時間的推移

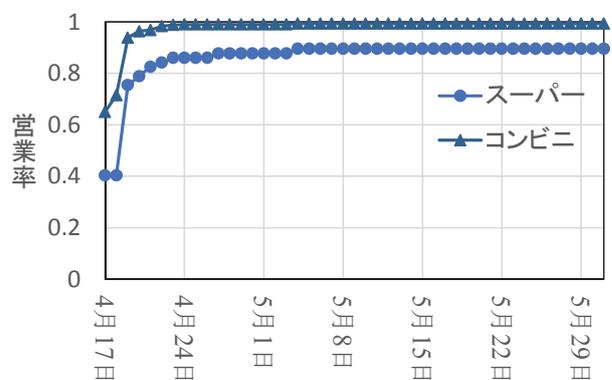


図-5 コンビニ・スーパーの営業率の時間的推移

域毎に異なっていることに起因しているかもしれない。しかしながら、小売りの営業再開率のデータが地域ごとに得られなかったため、本節では、対象地域全体の避難者数の時間的推移がライフラインの復旧率の時間的推移や小売りの営業再開率の時間的推移によって説明が可能か検証する。具体的には、式(1)の混合指数関数の第2項の説明変数を経過日数に変えて、ライフラインの復旧率の時間的推移や小売りの営業再開率の時間的推移を用いて式(2)を推定する。

$$y_t = \alpha_1 e^{\beta_1 t} + \alpha_2 e^{\beta_2 x_1^t + \beta_3 x_2^t + \beta_4 x_3^t + \beta_5 x_4^t + \beta_6 x_5^t} \quad (2)$$

t : 避難者数ピーク時からの経過日数, y_t : 経過日数 t の避難者数, x_1^t : 経過日数 t の電気復旧率, x_2^t : 経過日数 t の水道復旧率, x_3^t : 経過日数 t の都市ガス復旧率, x_4^t : 経過日数 t のスーパー営業率, x_5^t : 経過日数 t のコンビニエンスストア営業率, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ パラメータ

電気復旧率、水道復旧率、都市ガス復旧率、スーパー営業率、コンビニエンスストア営業率の5つの変数の中からの組み合わせで、すべての説明変数が統計的に有意であった3つの結果を表-2に示す。まずどのモデルにおいてもライフラインのパラメータの値が大きいたることが分かる。つまりライフラインの復旧が避難者数推移を大きく減少させる重要な要因であるといえる。モデル1において、電気、ガス、水道の順にパラメータ値が大きかった。避難者数を減らす効果は、電気、ガス、水道の順の大きさであることが、推察される。

モデル1の推定結果を用いて、対象地域の避難者数の時間的推移をシミュレーションした結果と観測された避難者数の時間的推移を図-6に示す。時間経過だけ

を説明変数とした場合のシミュレーション結果の図-3と比べ、観測値とシミュレーション値との誤差は小さくなっており、再現精度は高くなっていることが分かる。これは、ライフラインの復旧のタイミングで避難者が避難所から自宅に帰宅している状況をモデル内に組み込むことができたためと考える。

3. 避難者の帰宅動機に基づく帰宅選択モデル

(1) 熊本市市政アンケートに見る避難状況

2016年熊本地震で震度6弱と震度6強の地震に見舞われた熊本市において、2016年7月に今回の地震に関する市政アンケート調査が実施された。調査票は、住民基本台帳より無作為抽出された熊本市在住の満18歳から満79歳までの5,000人に郵送で配布され、郵送で回収された。アンケート票の回収数は2,438件であり、回収率は48.8%であった。調査内容は、地震発生直後の行動や今後の考えについて45の質問がなされている。

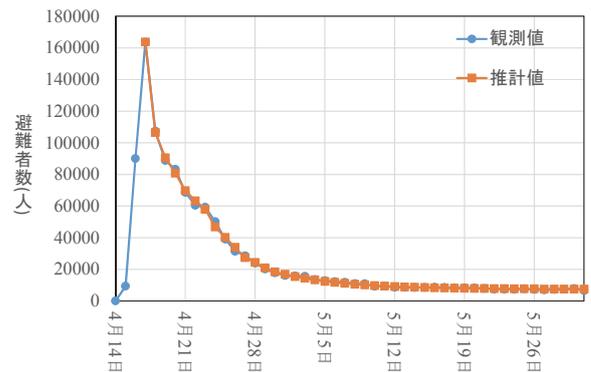


図-6 モデル1による避難者数の時間的推移の推定結果

表-2 避難者減少促進要因を考慮した避難者数の時間的推移モデルの推定結果

説明変数	モデル1		モデル2		モデル3	
	値	t値	値	t値	値	t値
α_1	81442.1	23.787	74201.4	17.735	76850.0	19.974
経過日数 (β_1)	-0.155	-37.826	-0.148	-29.272	-0.150	-32.569
α_2	377598.0	1.705	119161.0	12.755	150471.0	6.891
電気復旧率 (β_2)	-1.836	-2.463	-	-	-	-
水道復旧率 (β_3)	-0.897	-4.752	-1.119	-17.349	-1.086	-13.683
都市ガス復旧率 (β_4)	-1.200	-16.833	-1.258	-18.183	-1.242	-17.976
スーパー営業率 (β_5)	-	-	-0.467	-4.200	-	-
コンビニ営業率 (β_6)	-	-	-	-	-0.699	-3.707
R^2	0.999		0.999		0.999	

本研究では、避難者の避難所からの帰宅促進要因の分析を目的としているため、まず、そのアンケート中の避難場所、避難理由、避難期間、避難所を出た理由、および避難所での運営者側の対応への回答に着目した。

アンケート回答者のうち、避難したとの回答は 1,781 件 (73%) であり、避難した人の避難先を図-7 に示す。避難した人のうち、車中も含めて 34%しか指定避難所に避難していないことが分かる。約 60%の方は、指定避難所以外の場所に避難しており、発災後、行政の避難状況の確認の困難さが分かる。また、指定避難所を含め 40%近くの方が、車中に避難しており、今回の地震での避難の特徴である車中避難が多かったことが確認される。次に避難した理由についての結果を図-8 に示す。避難した理由として最も多かったのは、「自宅が危険と判断したから」であり、次に「まだ、余震が続くと思ったから」であり、3 番目に「停電や断水など、自宅で生活するのが不安な状態だったから」である。ライフラインの途絶を理由に避難している方もかなり多いことが分かる。

避難所に避難したとの回答は 866 件であった。これらの方の避難所で過ごした期間についての回答結果を図-9 に示す。避難した方の約 70%の方は 2 週間以内に帰宅し 1 日以内の方も約 22%いる。一方で、2 週間以上の長期に亘って避難されている方も約 7%いる。2 週間以内に避難所を出たれた方の多くは、自宅に甚大な被害が及んでいない方が多く、早期の帰宅を促す対象となろう。

次に避難所を出た理由への回答結果を図-10 に示す。無回答およびその他を除いて、「余震が減ったから」の 17.9%がもっとも多く、次に「断水が復旧したから」の 12.4%であったが、電気および都市ガスの復旧を加えたライフラインの復旧が帰宅理由の約 24%を占めており、ライフラインの復旧が帰宅理由としてもっとも多い。

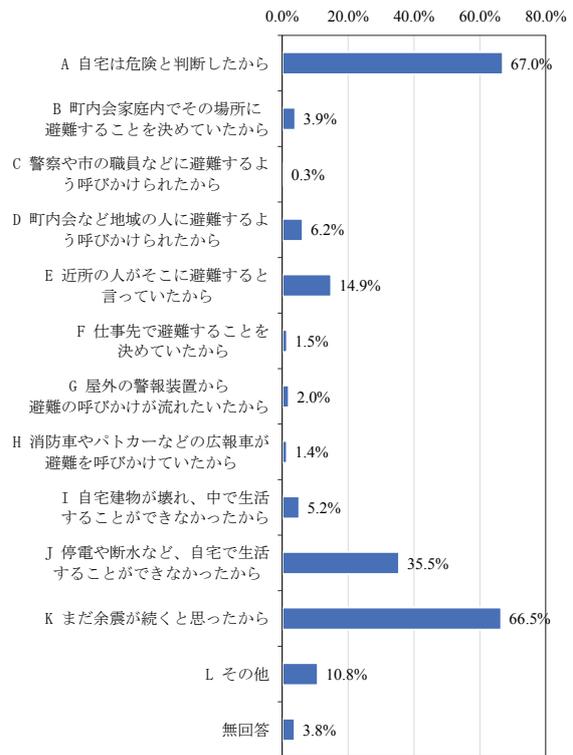


図-8 熊本地震での避難した理由

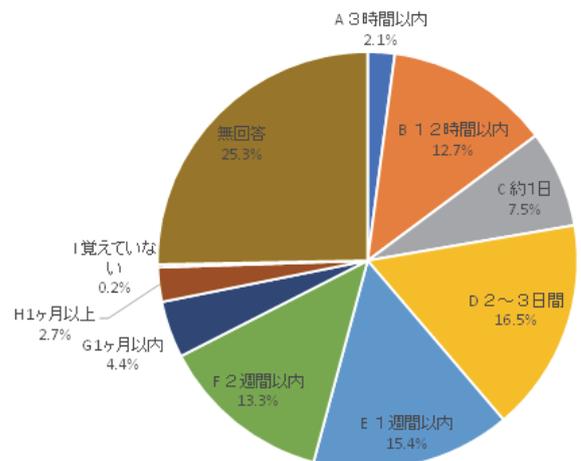


図-9 熊本地震での避難した期間

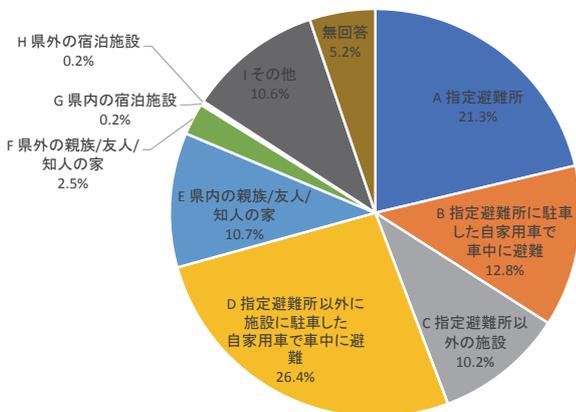


図-7 熊本地震での避難先

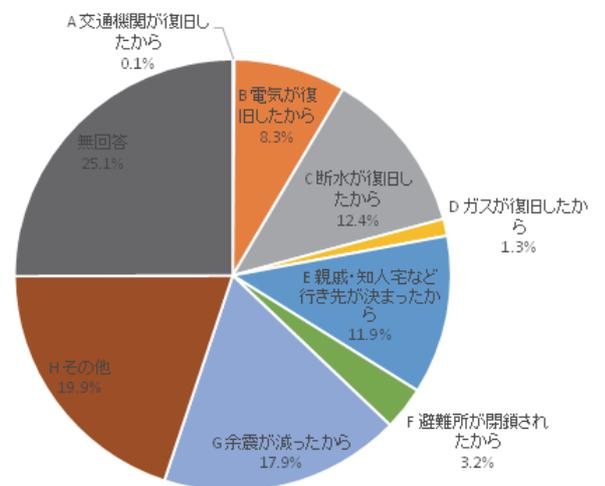


図-10 熊本地震で避難をやめた理由

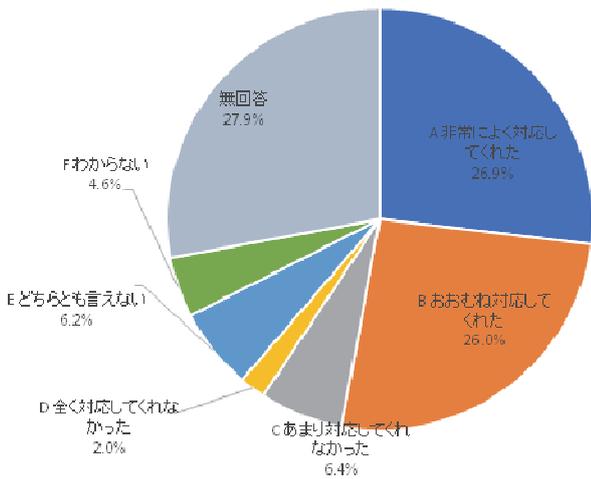


図-11 熊本地震での避難所運営の対応状況の評価

最後に避難所での運営者の対応状況についての回答結果を図-11 に示す。26.9%の方が、「非常によく対応してくれた」と評価が高く、「おおむね対応してくれた」を含めて半数以上の 53%の方が避難所での運営者の対応状況について肯定的な回答であった。一方、「あまり対応してくれなかった」、「まったく対応してくれなかった」との否定的な回答は、8.4%と少なかった。避難所の環境を整えすぎると、長期の避難所生活を促す方向に働くこともあるため、避難所運営の対応評価は、帰宅を促す上では注意が必要であろう。

(2) 避難所からの帰宅選択モデル

まず、はじめに前章の対象地域の避難者数の時間的推移分布と熊本市市政アンケート調査での避難者数の時間的推移分布に大きな差異がないか確認する。避難所で過ごした期間の回答結果をもとに算定した避難者数の時間的推移分布と対象地域の避難者数の時間的推移分布を図-12 に示す。熊本市市政アンケート調査結果の方が、4月19日以降4月末まで避難者数が若干多い傾向にあるが、避難者数の時間的推移分布にそれほど大きな違いは見られない。そこで、このデータから避難をやめて自宅に帰るという意思決定について、対象地域のおおよその傾向が推計できるものとして、帰宅意思決定モデルの推定を行う。帰宅意思決定モデルには、ある期間に避難所に残るか、帰宅するかを逐次的に決定する単純な2項選択モデルを採用する。

説明変数としては、経過時間、高齢者ダミー、避難形態、避難所対応ダミー、避難をやめた理由を設定した。経過時間 (x_1) については、避難者数が最大となった4月17日を基準とするため、アンケート票の「D. 2~3日間」以降の5カテゴリとし、値としては各カテゴリの中央値を与えた。なお、「G. 1ヶ月以

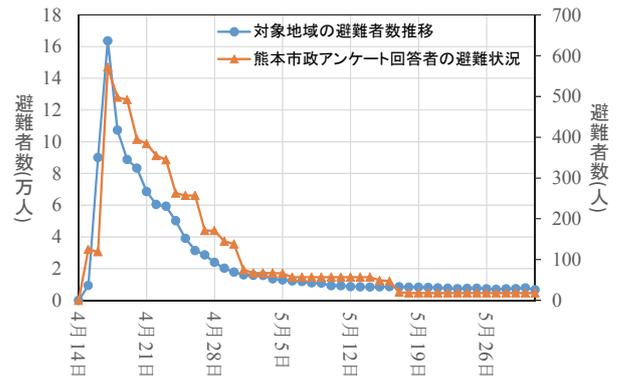


図-12 熊本市のアンケートによる避難者数の時間的推移

上」の期末は大部分の避難所が閉鎖された発災後2ヶ月としている。高齢者ダミー (x_2) は、65才以上の高齢者を1、それ以外を0としている。避難形態については、車中泊ダミー (x_3) と指定避難所以外ダミー (x_4) を設定している。車中泊を行った方は1、また、指定避難所以外で避難生活を送られた方は1としている。したがって、指定避難所以外で車中泊をされた方は、車中泊ダミーが1、指定避難所以外ダミーが1となる。車中泊でなく、指定避難所で避難生活を送られた方は、これら2つのダミー変数はともに0となる。避難理由については、自宅危険ダミー (x_5) と自宅損壊ダミー (x_6) を設定している。避難した理由について、「A. 自宅は危険と判断したから」と回答した方には、自宅危険ダミーを1、「I. 自宅建物が壊れ、中で生活することができなかったから」と回答した方には、自宅損壊ダミーを1としている。避難所での運営者の対応状況 (x_7) については、「A. 非常によく対応してくれた」、もしくは、「B. おおむね対応してくれた」と回答された方の避難所対応ダミーを1としている。避難をやめた理由については、断水ダミー (x_8)、余震回数 (x_9)、避難所閉鎖ダミー (x_{10}) の3つを設定した。これらの変数は、時間の経過とともに変化する変数であり、上述の時間経過の5つのカテゴリ毎に、各個人の居住する市区町村の断水の有無(断水していたら1)や避難所の閉鎖状況(閉鎖されたら1)をダミー変数として与えている。また、避難をやめた理由に「G. 余震が減ったから」と回答している人の余震ダミー δ_9 に1を与え、時間経過の5つのカテゴリ毎の平均余震回数を掛け合わせている。これらの説明変数で構成される個人 i の避難をやめて自宅へ帰宅するときの効用を V_i とすれば、「自宅へ帰宅する」ことを決める確率は、式(3)で与えられる。

$$P_i(\text{帰宅する}) = \frac{\exp(V_i)}{1 + \exp(V_i)} \quad (3)$$

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10}$$

パラメータの推定結果を表-3 に示す。効用関数は、負が大きくなると避難継続、正が大きくなると帰宅を選択する確率が高くなる。時間経過のパラメータは正であるので、時間の経過と共に避難を解消する方向に働く。高齢者ダミー、自宅危険ダミー、および自宅損壊ダミーのパラメータは負であることから、高齢者ほど、また、自宅は危険と思っている人や自宅が壊れた方は、それ以外の方より避難所に長く止まる傾向にある。また、避難所対応ダミーも負であることから、避難所の対応を肯定的に評価される方も避難所に止まる傾向にある。一方、車中泊ダミーや指定外避難所ダミーのパラメータが正であることから、車中泊を行った方や指定された避難所以外のところに避難した方は、早めに帰宅する傾向にある。断水ダミーおよび余震回数のパラメータは負であり、断水が解消されると、また、余震の回数が減少すると、帰宅を促すことになる。また、避難所閉鎖ダミーのパラメータは正であり、避難所の閉鎖は帰宅を促す。

基本的に各変数のパラメータは、想定される符号条件を満たしており、また、統計的にも有意であることから、避難をやめて自宅に帰るという帰宅意思決定モデルとして利用できるであろう。

この帰宅意思決定モデルを用いて、市政アンケートの避難者の時間的推移のシミュレーションを行った。なお、シミュレーションに際し、一旦帰宅したら、以後は帰宅したままとして取り扱っている。その結果を図-13 に示す。シミュレーション結果の方がアンケートの避難者数の時間推移より下方にあり、初期段階で早めに帰宅する結果となっているが、おおよその傾向は捉えているであろう。

(3) 避難者数の時間的推移への影響評価

平成 28 年 4 月 14 日および 16 日の二度にわたり、震度 7 の激しい地震に襲われた熊本県は、次の災害に備え、「熊本地震の概ね 3 カ月間の対応に関する検証報告書¹⁶⁾」をまとめている。その中の初動対応や被災者の生活の支援の課題に、水道、電気、都市ガスといったライフラインの強靱化および多重性の確保、避難所運営の改善などが指摘されている。そこで、本節では前節で推定した帰宅意思決定モデルを用いて、それらの課題の解消が避難者数の時間的推移に及ぼす影響を検証する。

政策 1 を「避難所運営を改善し被災者へのきめ細か

な対応を行う。」とする。このことにより、避難所対応にネガティブな評価を持つ人がいなくなると仮定する。政策 2 を「水道管およびそのネットワークの強靱化と多重性の確保を行う。」とする。このことにより、熊本地震の 2 日後には、断水は完全復旧できるものと仮定する。政策 3 を、政策 1 と政策 2 を同時に実施するものとする。以上の 3 つの政策のもとで、帰宅意思決定モデルを用いて避難者数の時間的推移をシミュレーションした。その結果を図-14 に示す。

まず、政策 1 では避難所運営を改善することで、避難生活への不満が減少し、若干ではあるが避難者の減少が鈍化することが分かる。一方、政策 2 では水道水の断水を早期に復旧することで、4 月 18 日の時点で 10%以上避難者を減少させる効果が見られた。政策 3 では、政策 2 の効果が政策 1 の影響で緩和され 4 月 18 日の時点で 8%弱の避難者の減少となった。2 つの例だけであるが 2016 年熊本地震で持ち上がった避難所の課題と水道の断水の早期復旧の課題を同時に解決した場合、避難者を自宅へ帰すことへの影響が政策 1 と政策 2

表-3 避難所からの帰宅意思決定モデルの推定結果

説明変数		パラメータ	t値
定数項		-0.559	-3.799
経過時間		0.161	28.710
高齢者ダミー		-0.415	-3.430
避難形態	車中泊ダミー	0.334	2.752
	指定外避難所ダミー	0.520	1.783
避難理由	自宅危険ダミー	-0.291	-2.434
	自宅損壊ダミー	-0.901	-3.534
避難所対応ダミー		-0.375	-3.067
避難をやめた理由	断水ダミー	-0.047	-3.981
	余震ダミー×余震回数	-0.022	-4.280
	避難所閉鎖ダミー	1.740	2.546
尤度比		0.419	

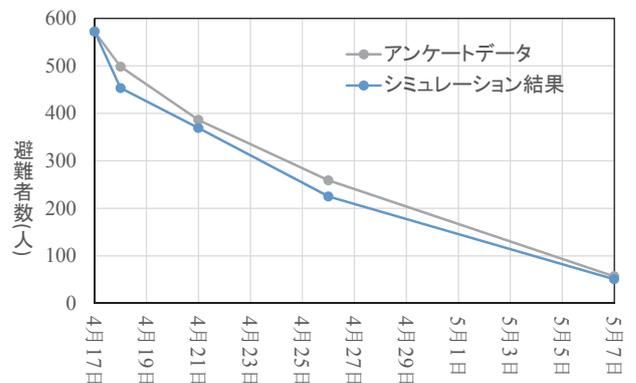


図-13 帰宅意思決定モデルによる避難者数の時間的推移

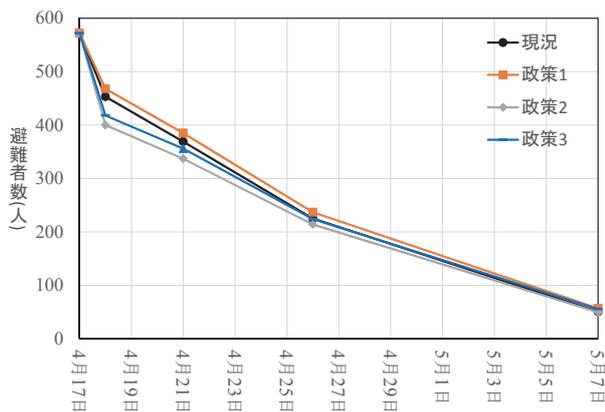


図-14 熊本地震での課題解決の避難者数への影響評価

で逆に影響するため、避難者の帰宅を促すことになる政策 2 の効果が弱くなることが分かる。だからといって、ここでは避難所運営環境の改善を薦めない方がよいということを指摘するものではない。今回指摘された避難所運営の課題は、改善していかなければならない。特に、自宅等の損壊が大きく長期避難しなければならなかった被災者や災害弱者に対する支援は重要である。一方で、今回の地震では、自宅で過ごそうと思えば過ごせる方も多数避難所に止まったままであった。避難所運営を改善するとともに、誰に支援すべきか避難者を定義する必要もあるだろう。また、帰宅可能な住民にとって、避難所の閉鎖は帰宅を後押しする効果も確認された。避難所を統合していく過程の中で、支援の必要な方を集約していくことも重要な検討課題となる。

5. おわりに

本研究では、2016年熊本地震での避難者数の時間的推移を、混合指数関数を用いてモデル化した。減少要因の説明変数として、経過日数、電気、水道、都市ガスといったライフライン、およびコンビニエンスストア、スーパーマーケットの営業再開率のいくつかの組み合わせで適合性が高かった。このモデルによって、避難をやめるきっかけになると想定した変数と避難者数の時間的推移の間での相関は認められた。次に想定した変数が避難者を避難所から自宅に帰ることを促しているかを熊本市が実施した市政アンケート調査データを用いて検証した。避難した理由に停電や断水、避難をやめた理由にそれらが復旧したことを挙げている方が多くみられ、ライフラインの復旧が避難者の自宅への帰宅を促すことが確認された。なお、小売りの営業再開に関しては設問に入っておらず、検証には至ら

なかった。

さらに、熊本市の市政アンケート調査データを用いて、避難所からの自宅への帰宅意思決定モデルを構築した。高齢者や自宅の損壊が大きい人は避難所に止まりやすい傾向や車中泊や指定避難所以外に避難した人は、自宅に帰宅する傾向がみられた。また、断水の回復、余震の減少、避難所の閉鎖は、避難所から自宅に帰宅を促すことが分かった。

最後に、推定した帰宅意思決定モデルを用いて、断水の回復と避難所の運営改善が避難者数の時間的推移に及ぼす影響について検証し、迅速な復旧を促すための政策的示唆を得た。断水の復旧を早めることは、避難者の帰宅を促すが、一方で、避難所の運営改善により避難生活を過ごしやすくしてしまうと、その効果が薄れることが分かった。

避難所での避難生活を過ごしやすく改善していくべきではあるが、そのためには、支援が必要な避難者は誰であるかを定義する必要がある。今回の地震では、自宅で過ごそうと思えば過ごせる方も多数避難所に止まったままであった。図-8に示されたように避難した理由として最も多かったのは、「自宅が危険と判断したから」であった。地震により被災した建築物の応急危険度判定の迅速な実施は、軽微な損傷の住宅の避難者の帰宅を促すであろう。また、熊本県の検証報告書の中では、個人での備えが不十分であった点や共助（自主防災組織）による災害対応の必要性も指摘されており、大規模災害時には、自助や共助による対応が促されている。発災後、早い段階で支援の必要な避難者の絞り込みは、甚大な被害を受けた被災者へのきめ細かな対応を可能にし、また、行政職員の避難所運営負担の軽減に繋がり、本来業務に注力してもらうことで、被災地域の迅速な復旧を促すことになる。地震発生後の避難者が速やかに自宅に帰ることを促すには、大規模災害時の災害関連業務の進め方を含めさらに検討する必要があるが、そのことについては、今後の課題とする。

参考文献

- 1) 熊本県(2017)：平成 28 年熊本地震に関する災害対策本部会議資料
- 2) 熊本県(2013)：避難所運営ガイドライン
- 3) 内閣府(2016)：平成 28 年熊本地震に係る初動対応レポート
- 4) Lewis, D.C.(1985): Transportation Planning for Hurricane Evacuations, ITE Journal, 55(8), 31-35.
- 5) Fu, H., Wilmot, C.G., Zhang, H., Baker, E.J.(2007): Modeling the Hurricane Evacuation Re-

- sponse Curve, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2022, 94-102
- 6) Koshute, P.(2013): Evaluation of Existing Models for Prediction of Hurricane Evacuation Response Curves, Natural Hazard Review, 14(3), 175-181
 - 7) Song, Y., Yan, X.(2016): A Method for Formulating Disaster Evacuation Demand Curves Based on SI Model, International Journal of Environmental Research and Public Health, 13, 986
 - 8) 三木剛, 福島徹(1997): 兵庫県南部地震における避難者数の推移に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 20-2, 519-522
 - 9) 阪田弘一(2000): 震災時における避難者数推移および避難所選択行動の特性: 地域防災計画における避難所の計画に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 65(537), 141-147
 - 10) Wright, K. C., Johnston, D. M.(2010): Post-earthquake Sheltering Needs; How Loss of Structures and Services Affects Decision Making for Evacuation. In: Earthquake Prone Buildings: how ready are we, 2010 New Zealand Society of Earthquake Engineers Conference Proceedings. Wellington, New Zealand, 26-28
 - 11) Chang, S.E., C. Pasion, C., Yavari, S., Elwood, K.(2009): Social Impacts of Lifeline Losses: Modeling Displaced Populations and Health Care Functionality, TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment
 - 12) 内閣府(2013): 避難所における良好な生活環境の確保に向けた取組指針
 - 13) 厚生労働省(2016): 熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況及び対応について
 - 14) 佐々木邦明他 3 名(2016): ライフラインと生活被害と提言, 土木学会土木計画学研究委員会避難・ライフライン調査団報告
 - 15) 危機管理対応情報共有技術による減災対策平成 16 年度成果報告書(2005): 5.8 ライフラインの復旧プロセスにおける連携に関する研究
 - 16) 熊本県(2017): 熊本地震の概ね 3 カ月間の対応に関する検証報告書

BEHAVIORAL PROCESS FROM SHELTERING TO RETURNING HOME AFTER 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Ryuji KAKIMOTO, Yuta KUROHIJI and Mamoru YOSHIDA

Maximum evacuees reached more than one hundred eighty three thousand just after a severe earthquake struck Kumamoto area in 2016. It impeded the recovery of infrastructure and the sufferer-support that massive evacuee came and stayed at shelters because administrators had to manage the shelters. It is very important to reduce the number of shelters and the evacuees as soon as possible. In this study, we analyzed the factors of promoting a return home from the shelter after an earthquake. It is made clear that a sum of simple exponential model well represents the transition of evacuees. The recovery of the lifeline such as city water, city gas and electricity promoted a return home. On the other hand, improvement of a shelter's environment impeded a return home. Therefore, it is necessary to define the sufferers who should stay at the shelter.