避難行動の多様性を考慮した 複合リスク下における避難行動分析

野田　泰成[1]・杉木　直[2]・松尾　幸二郎[3]

[1]学生会員　豊橋技術科学大学　建築・都市システム学専攻（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）
E-mail: noda.taisei.hl@tut.jp
[2]正会員　豊橋技術科学大学准教授　建築・都市システム学系（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）
E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp
[3]正会員　豊橋技術科学大学准教授　建築・都市システム学系（〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）
E-mail: k-matsuo@ace.tut.ac.jp

近年，地球温暖化に伴う大規模水害や南海トラフ地震の発生が危惧されている．一方で，新型コロナウイルス蔓延下における避難所運営等の対策はいまだ十分な状況とは言えず，複合リスク下における避難行動の把握に基づいた避難計画の策定が求められている．また2016年熊本地震では多くの避難者が車中泊避難や縁故避難を行っており，多様な避難行動を考慮する必要がある．このような状況下での避難計画策定の為，既往研究では避難所の容量不足が問題となっている東三河地域を対象に住民アンケート調査を実施し，避難に関する選択行動モデルを構築した．本研究では，この避難行動モデルを用いて水害や地震，ウイルス感染症といった複合リスク下で，避難者が最寄避難所に避難した場合の避難所への収容状況を分析する．また，水害については浸水状況やホテル避難，地震については南海トラフ地震の被害状況等を想定したシナリオの下で，避難状況に関する分析を行う．

Key Words : *Evacuation behavior, COVID-19, Complex disaster, Choice behavior model, Scenario analysis*

1. はじめに

近年の地球温暖化に伴い，梅雨前線，ゲリラ豪雨，台風等による集中豪雨が増加するとともに，大規模水害のリスクが高まっている．全国の 1 時間降水量（毎正時における前 1 時間降水量）50mm 以上の年間発生回数は増加傾向にある [1)]．また，静岡県から宮崎県の一部で震度 7 となる南海トラフ地震の発生が危惧されており，関東地方から九州地方にかけての太平洋沿岸の広い地域に 10m を超える大津波の襲来が想定されている．

一方で，新型コロナウイルス（以下コロナと呼称する）の発生から 3 年以上が経過しており，日本では 2023 年 10 月時点で「5 類」に移行した．一方でいまだコロナワクチンの追加接種が進んでいる．また 1 医療機関当たり約 9 人の感染者が確認されている．新型コロナウイルス蔓延下（以下コロナ下と呼称する）における避難行動や避難所運営等に対する試行錯誤が続けられてきた．しかし，これらの対策はいまだ十分な状況とは言えず，避難計画などについて，今後も研究の蓄積が必要である．

そこでウイルス感染症による複合リスク下の避難に関する既往研究として，田代ら [2)] は，コロナ下における洪水避難計画に焦点を当て，令和元年東日本台風のデータをもとに，緊急避難場所収容人数等の世田谷区の洪水避難計画等を具体的に検証した．一方で，地震とコロナに関して保坂ら [3)]は 2016 年熊本地震を例にして避難所で感染症対策を講じた場合，避難所の収容に関して，どのような問題が発生するのか検証した．このように，コロナと避難所収容や避難計画に関する研究は行われてきたが，コロナやそれに準ずるウイルス感染症が避難者に与える影響やこれを考慮した具体的な避難所への収容状況の変化に関する研究事例は十分に蓄積されていない．

一方で，2016 年熊本地震では，多くの避難者が車中泊避難や親せき・知人宅といった縁故避難を行ったことから，ウイルス感染症蔓延下における多様な避難行動を考慮した分析が必要とされている．多様な避難に関する既往研究として，車中泊避難が全国的に注目された 2016 年熊本地震について，熊本県はアンケート [4)]を実施している．このアンケートでは，「最も長い期間，避難した場所はどこですか」という問いに対し，「自動車の中」が 47.2％であり，「親戚・知人宅」が 18.6%，「市町村が指定した避難所（指定避難所）」が 16.8％という回答が得られており，多様な避難方法が見られるとともに，車中泊避難が最も多い避難方法であった．また，住民の避難先について，熊本地震では指定外の施設への避難や車中泊が特に課題視されたが，過去の震災においても似たような事態が生じていたことが明らかとなっている．1996 年阪神淡路大震災では，震災直後から 3 日間，学校や避難所・集会所に避難した住民の割合はおおよそ 5 割であり，知人宅や車庫，公園などその避難先は多様であった [5)]．2004 年中越地震においても，避難所へ避難した住民の割合は 5 割程度であり，車内，自宅前車内，車庫，空き地，テン

トなどその避難先は様々であったことが分かっている [6]．このように車中泊避難をはじめとする多様な避難方法について検討を行う必要がある．

また，本多ら [7] が行った豊橋市・豊川市・新城市を対象とした豪雨災害時の避難所収容力に関する既存研究では，東三河地域の避難所容量の不足が指摘されており，大規模災害とコロナの複合リスク下においては，避難所の容量不足の問題はさらに深刻化することが懸念される．

そこで本研究では，先行研究 [8]において推定された，水害や地震，ウイルス感染症といった複合リスク下における避難選択行動モデルを用いて，避難者が最寄避難所に避難した場合の避難所への収容状況を分析することを目的とする．具体的には，水害については浸水状況やホテル避難に関する分析を行い，地震については南海トラフ地震の被害状況等の想定結果を用いた避難状況に関する分析，車中泊避難を想定した分析を行う．

2. 避難に関する選択行動モデル

(1) 階層構造およびモデルの概要

避難に関する選択行動モデルは先行研究 [8]において，個人・世帯属性と水害・地震時における避難意向を用いて，コロナの影響を考慮した避難を対象として推定されたものを用いる．本モデルは，コロナ下における属性別の避難方法，避難特性を把握することを目的として，田原市，豊橋市，豊川市，新城市，蒲郡市，設楽町，東栄町，豊根村を対象に実施したアンケート調査を基に推定している．アンケート調査は2021年11月19日から11月24日に実施し，回収サンプル数は500票であった．

水害からの避難の意思決定は，**図-1** に示す 2 段階で行われるものとしている．水害が起こった場合，避難者はまず自宅を出るか否かを決定する．そして，自宅を出る場合には指定避難所，ホテル，縁故避難のいずれかを選択する．

地震からの避難の意思決定は，**図-2** に示す 2 段階で行われるものとしている．地震が起こった場合，避難者はまず避難所に行くか否かを決定する．そして，避難所に行く場合には避難所内で生活するか，避難所の外で自家用車にて生活するかのいずれかを選択する．また，避難所に行かない場合には自家用車にて生活するか，自家用車を使わずにテント等で生活するかのいずれかを選択する．

(2) 避難選択行動モデルの推定

a) 水害に関する選択行動モデルの結果

表-1 に示す避難施設選択モデルでは，自宅を出る場合の選択行動を，多項ロジットモデルを用いて表現している．まず，20 代がコロナ下において指定避難所を選択する傾向を 10%有意で得ることができた．これはホテル，縁故避難のサンプルが少なく，有意な結果を出すことができなかったことが原因だと考えられる．一方で，縁故避難においては，比較的有意な説明変数を得ることができた．通常時において男性が縁故避難を避ける傾向があり，これは吉田ら [4]の研究と同様の結果であった．

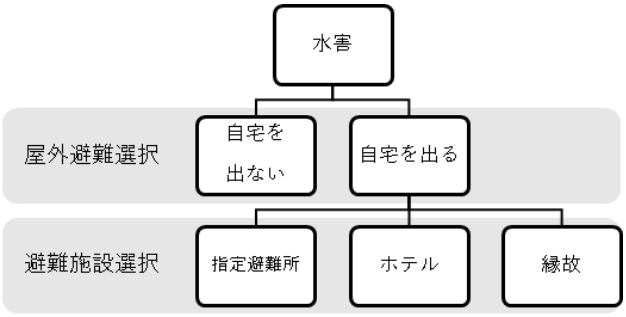


図-1 水害における避難選択行動の階層構造

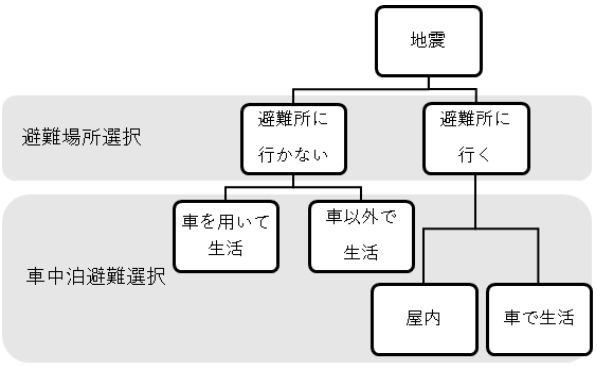


図-2 地震における避難選択行動の階層構造

表-1 避難施設選択行動モデルの推定結果

説明変数	通常時		コロナ下	
	推定値	t値	推定値	t値
定数項（指定避難所）	1.70	3.14	1.54	2.78
定数項（ホテル）	-0.42	-0.74	-0.42	-0.72
20代（指定避難所）	0.60	1.37	0.76	1.67
浸水域内（ホテル）	-0.99	-1.47	-0.88	-1.32
戸建て（縁故避難）	-0.59	-1.48	-0.90	-2.34
男性（縁故避難）	-0.89	-2.26	-0.68	-1.81
避難所認知（縁故避難）	0.74	1.40	1.09	2.01
	N=296		N=255	

表-2 屋外避難選択行動モデルの推定結果

説明変数	通常時		コロナ下	
	推定値	t値	推定値	t値
定数項（自宅を出る）	-0.88	-0.82	-0.50	-0.62
2階以上	-0.62	-1.84	-0.67	-2.13
ワクチンを受けていない	-1.10	-3.54	-0.70	-2.26
3世代世帯	0.85	2.41	0.50	1.62
自宅を出るログサム効用	0.96	1.89	0.64	1.67
	N=486	AIC=633.2	N=486	AIC=666.4

表-2に示す屋外避難選択モデルでは，自宅を出るか否かを，2項ロジットモデルを用いて表現している．通常時において自宅が2階以上の回答者は自宅を出ない傾向が確認されたほか，コロナ下ではさらに有意となっているため，コロナ下では住民が自宅を出る必要があるかを考慮すると推察される．また，特にワクチンを受けていない回答者は自宅を出ない

ことが確認され，コロナへの関心が災害への関心につながっていることが示された．

b) 地震に関する選択行動モデルの結果

表-3 に示す避難所に行く場合の車中泊避難選択は，2 項ロジットモデルを用いて表現している．通常時において，3 世代世帯が避難所屋内に行く傾向が確認された．一方で，コロナ下では有意な結果を確認できなかった．また，自身の逃げるべき避難所の認知は，通常時，コロナ下ともに，避難所内に行かない傾向となることが確認された．ペットを飼っている住民は車中泊避難を選択する傾向が確認された．

表-4 に示す避難所に行かない場合の車中泊避難選択は 2 項ロジットモデルを用いて表現している．通常時では 50 代が車中泊を選択し，コロナ下では女性が車中泊をする傾向を確認された．

表-5 に示す避難場所選択モデルについても 2 項ロジットモデルを用いて表現している．コロナ下における夫婦と未婚の子のみ世帯以外，有意な説明変数を得ることが出来なかったが，一方でログサム効用が比較的有意な値を示していることから，車中泊で得られる効用が避難所に行くか否かに影響していると推察される．

3. 収容状況に関する分析

(1) 分析の概要

避難選択モデルを用いて，避難者が最短避難所に避難する場合の収容状況を分析した．対象地域はアンケートで最も回答数が多かった豊橋市とした．豊橋市は北に一級河川の本流である豊川があり，その周囲では水害の危険性が高い．また，南海トラフ地震の影響が懸念されており，愛知県地震被害予測調査では豊橋市全域で大被害を受ける想定がなされている．しかし，豊橋市では避難想定が十分になされておらず [8]，特に大規模災害の避難者数を想定出来ていない可能性がある．

収容状況に関する分析フローを**図-3** に示す．まず，長尾らの既存研究 [9]において 500m メッシュベースで推計された世帯マイクロデータから得られる世帯情報と，指定避難所の座標データを用いて，避難場所までの最短経路探索を行った．また，この世帯情報と前述の避難選択モデルを用いて，各世帯の避難行動を推計した．最後に，これらの結果に基づいて各避難場所における避難者総数と収容可能人数の比較，検討を行った．また，住民や自治体の行動意向に基づくシナリオ分析を行うことで，避難特性の把握を行う．

長尾らが行った世帯マイクロデータは各メッシュに存在する世帯の詳細な属性を持つデータである．対象地域において，地域内のゾーン単位における世帯人数別世帯数および性別年齢階層別人口を周辺分布とし，個人の組み合わせやその属性を推定している．このデータは平成 27 年国勢調査と平成 27 年人口動態調査を用いて推定されている．また，本研究で必要な追加的な世帯情報については，アンケートの比率を参考にモンテカルロ法を用いて生成した．

表-3 避難所に行く車中泊避難選択行動モデルの推定結果

説明変数	通常時		コロナ下	
	推定値	t値	推定値	t値
定数項（避難所内）	2.55	7.37	1.91	7.06
3世代世帯	1.17	1.85	0.45	1.05
避難所認知	-0.82	-2.16	-0.70	-2.32
ペットを飼っている	-0.89	-2.73	-0.73	-2.60
	N=356	AIC=284.5	N=346	AIC=361.3

表-4 避難所に行かない車中泊避難選択行動モデルの推定結果

説明変数	通常時		コロナ下	
	推定値	t値	推定値	t値
定数項（自家用車）	-1.16	-1.98	-0.63	-1.23
女性	0.57	1.51	0.85	2.43
50代	1.24	2.82	0.33	0.85
車を持っている	1.04	1.74	0.28	0.56
	N=134	AIC=174.0	N=137	AIC=190.1

表-5 避難場所選択行動モデル

説明変数	通常時		コロナ下	
	推定値	t値	推定値	t値
定数項（避難所に行く）	0.58	2.71	0.78	3.43
ワクチンを受けていない	-0.54	-1.71	-0.16	-0.50
避難経験のあり	0.91	1.83	0.32	0.75
夫婦と未婚の子のみ世帯	-0.34	-1.61	-0.46	-2.19
ログサム効用	0.35	3.22	0.29	1.85
	N=490	AIC=565.7	N=483	AIC=576.6

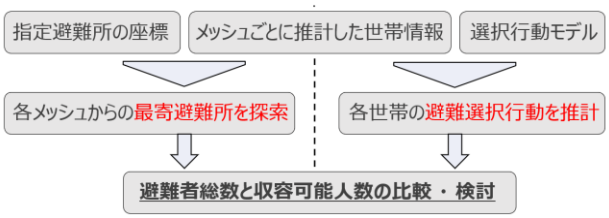


図-3 収容状況に関する分析フロー

最短経路探索では，500m メッシュの重心から最も近い指定避難所を Arc GIS のネットワーク解析を用いて探索した．指定避難所の位置情報データは豊橋市のホームページから得た．道路データは ESRI Japan が提供する道路網 2018 である．

通常時における指定避難所の避難容量はヒアリング調査を参考に「3m²/人」とし，コロナ下における容量は「9m²/世帯」として計算している．

避難所の収容能力を評価するために，ESC（Evacuees-Shelter-Capacity）指数を定義した．これは避難所容量に対する避難需要を示したものであり，以下の式(1)，式(2)のように定義する．

$$ESC_N = \frac{E}{S.C} \quad (1)$$

$$ESC_{COVID-19} = \frac{E}{S.C} \quad (2)$$

ここで ESC_N は通常時，$ESC_{COVID-19}$ はコロナ下での

値を示す．E（Evacuees)は避難者総数を表し，S.C（Shelter Capacity）は避難所容量を示す．

水害については浸水状況やホテル避難に関するシナリオ分析を行う．地震では南海トラフ地震の被害状況等の想定結果を用いた避難状況に関する分析，車中泊避難を想定した分析を行う．以上のシナリオ分析から，様々な災害規模や政策評価を行うことで，複合リスク下における，具体的な避難計画の問題点を把握する．

(2) 水害に関する分析

a) シナリオの概要

水害では，3 つのシナリオ分析を行った．シナリオ 1 では，避難選択モデルを豊橋市のすべての住民に適用し，浸水する可能性がある避難所を含めて分析を行った．すなわち，避難者がアンケートの回答の傾向のように避難を行い，すべての避難所が使用可能である状態を想定している．シナリオ 2 では，ホテル避難を自治体が想定しておらず，ホテル避難が利用できない場合の分析を行った．ホテルは大規模水害があった場合，通常通りに営業しているとは限らない．また，非常時では長期避難に伴う高額な宿泊費用が利用者にかかるため，自治体の働きかけが不可欠である．シナリオ 3 は浸水地域の住民のみが避難選択を行うシナリオである．水害では，実際に浸水する可能性がある住民のみが避難すれば問題ないが，現実的には避難が必要な浸水区域を完全情報として把握することは難しい．したがって，行政からの情報共有等により，何らかの方法で住民自身が避難の必要性を完全に理解できることを想定したシナリオである．

b) 分析結果

シナリオ 1 と 2 の結果を**図-4** に示す．シナリオ 1 の通常時では指定避難所の総容量が 72,093 人であるのに対し，避難者総数が 186,346 人であり，ESC_N は 2.58 となった．また，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 2.40 であった．このことから，通常時とコロナ下ともに，大きく容量を超えていることが確認された．シナリオ 2 では，ホテル避難をしていた 16,000 人程度が別の避難行動を行った．通常時ではシナリオ 1 よりシナリオ 2 のほうが，7,500 人ほど指定避難所に避難する人が増えている．また，コロナ下でも指定避難所の避難者が同程度増えている．一方で，シナリオ 1 の通常時とコロナ下を比較した場合，指定避難所の避難者が 40,000 人ほど減っている．この減った避難者は縁故避難と自宅を出ないに分散しており，コロナ下では縁故避難の避難者が 8,000 人，自宅を出ない人が 30,000 人増えている．以上より，コロナ下では指定避難所に行かなくなる傾向がこの結果からも確認された．

また，シナリオ 1 と 2 の分析結果について，メッシュごとの総避難者数と総避難容量を用いて算出された ESC の空間分布を**図-5** に示す．メッシュの色が濃いほど，そのメッシュ内の ESC が高いことを示している．例えば，あるメッシュの ESC が 10 だった場合，そのメッシュ内の住民が指定避難所に行くとき，その避難所は容量の 10 倍混雑していることを示している．つまり，メッシュの色が濃いほど，避難所に入れない可能性が高い．

図-5 より，すべてのパターンにおいて，豊橋市のほぼ全域で避難所が足りていないことが確認された．特に，豊橋市の中心部では指定避難所の容量を 10 倍ほど超えた地域が多かった．また，シナリオ 1 と 2 を比較した場合，指定避難所に行く人の割合が 2%しか変化していないことから，混雑状況にホテル避難がほとんど影響を与えないものと考えられる．ただし，シナリオ 2 ではシナリオ 1 と比べ指定避難所に行く人は約 7500 人増えており，現在の状態では避難所の容量が不足しているため，ホテル避難の重要性は否定できない．

また，通常時とコロナ下を比較した場合，豊橋市全域において，コロナ下では収容状況が良くなっていることが確認された．特に，豊橋市の北部と南部で ESC が改善されている地区が多い．一方で，このような状況は容量を「9m²/世帯」で計算しているた

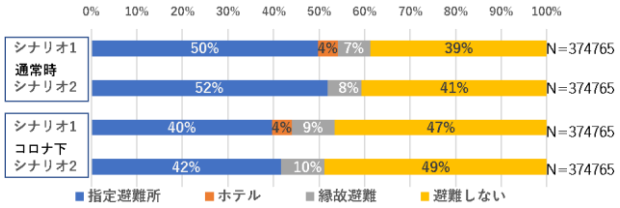


図-4 各選択行動の推定結果(シナリオ 1，2)

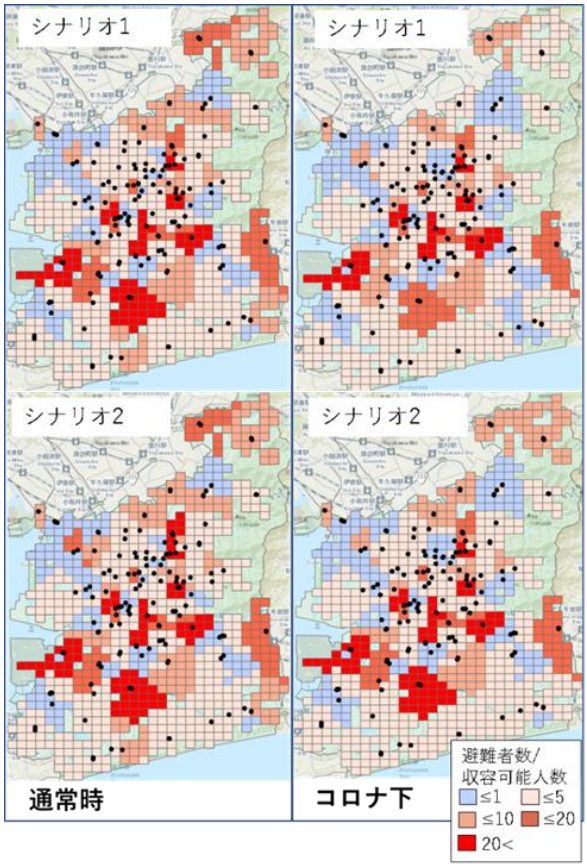


図-5 収容状況に関する分析結果 (シナリオ 1，2)

めであり，1 世帯あたり 3 人以上の場合，通常時よりも避難所の容量が大きくなっている．したがって，今後はコロナ下における避難所容量の計算を，世帯規模に合わせたものに改善する必要がある．

次に，シナリオ 3 の結果を**図-6** に示す．シナリオ 3 の分析の対象人口は 117,499 人であった．これは，豊橋市の総人口の約半数程度である．また，指定避難所に行く人の数は通常時で 59,785 人であり，コロナ下で 47,537 人であった．ESC_N は 0.83 であり，指定避難所の容量を超えていない．また，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 0.76 であった．通常時とコロナ下で比較した場合，指定避難所に避難する人と家を出ない人の割合の変化はシナリオ 1 と 2 と同程度であった．これより，コロナが避難者に与える影響は浸水地域の住民に限定しても変化しないことが確認された．

シナリオ 3 は，浸水地域の住民のみ避難する想定である．しかし，実際にはハザードマップを確認せず自己判断で避難する人も多い．よって，この結果よりも多くの指定避難所への避難需要があると考えられ，避難が必要ない住民に対して，自治体は避難させないための対策が重要である．

シナリオ 3 に関する分析結果を**図-5** と同様に**図-7** に示す．ここで，三角形のマークは浸水しており使えない避難所である．**図-7** から，最短避難所に行った場合，利用されない避難所が非常に多いことがわかった．ただし，利用されていない指定避難所の多くは浸水地域から非常に離れており，指定避難所の容量に問題はないが，他地域への分散避難，別の避難所への輸送等を考える必要がある．

(3) 地震に関する分析

a) シナリオの概要

地震についても 3 つのシナリオ分析を行った．シナリオ 1 は，避難選択モデルを豊橋市のすべての住民に適用したシナリオである．実際に，南海トラフ地震のような大規模な地震が発生した場合，豊橋市の家屋は何らかの被害を受ける．余震や自宅内にとどまる危険性を考慮して，すべての住民が何らかの避難行動をしていると想定した．シナリオ 2 と 3 は「豊橋市南海トラフ地震被害予測調査」の被害予想結果を用いた分析である．「豊橋市南海トラフ地震被害予測調査」では**図-8** に示すように，過去最大の地震を想定した場合と理論上最大の地震を想定した場合の豊橋市の建物が全壊する棟数が，250m メッシュごとに分析されている．吉田ら[4]は 2016 年の熊本地震のアンケートから建物の被害と避難行動の関連性を検証している．これを参考に，全壊した世帯は 100%，全壊していない世帯も 50%の確率で避難行動をすると仮定して分析した．シナリオ 2 は過去最大モデル，シナリオ 3 は理論上最大モデルの結果を用いている．

また，地震では車中泊避難の分析を行った．「避難所の近くで車で生活する」の住民が最短避難所に行った場合の ESC を検討する．これにより車中泊避難の需要と避難容量の関係を検証した．この分析はシナリオ 1～3 に適用した．シナリオ分析を行うことで，様々な災害規模での車中泊避難の需要を明確化し，避難計画の問題点を検証する．

近年のプライバシー意識の変化やペット随伴の避

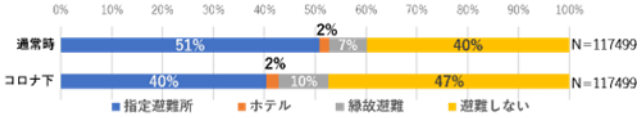


図-6 各選択行動の推定結果(シナリオ 3)

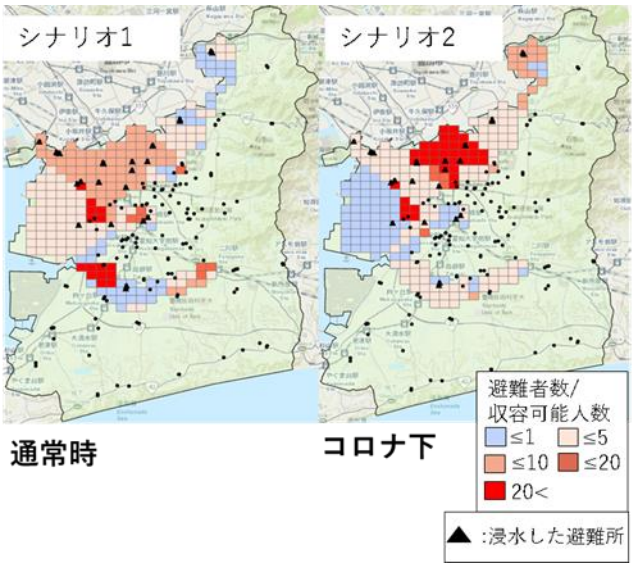


図-7 収容状況に関する分析結果 (シナリオ 3)

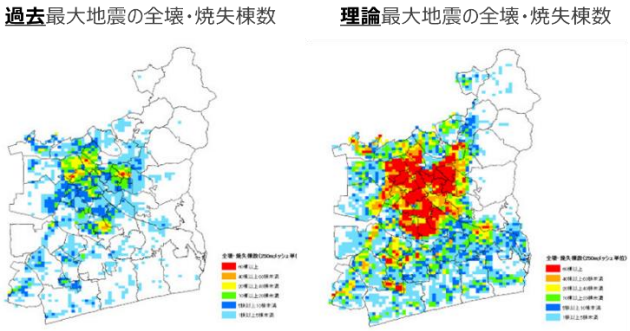


図-8 豊橋市南海トラフ地震被害予測調査の結果

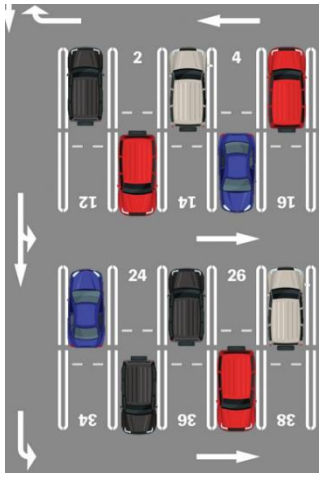


図-9 車中泊避難における駐車のレイアウト

難，コロナウイルスの影響により，少しずつ車中泊避難のガイドラインが制定されている．一方で車中泊避難の容量について，明確なガイドラインは存在しない．なぜなら，エコノミークラス症候群や自動車避難の危険性から，行政が車中泊避難を推奨していないからである [8]．また，山本ら [10]が指摘するように車中泊避難の研究は少なく，車中泊避難の容量について明確な提言はなされていない．

本研究では豊橋市の避難施設の駐車場における車中泊避難の容量を，豊橋総合スポーツ公園の駐車場を参考として算出した．豊橋総合スポーツ公園は複数のスポーツ施設群を有する公園であり，官民連携施設である．この施設の駐車場の面積と駐車可能台数の比は 28.3m²/台であった．また，車中泊避難のプライバシー配慮から，**図-9** のような駐車レイアウトを想定し，本研究では 57m²/台を車中泊避難の駐車容量として設定した．

b)　分析結果

地震の分析結果を**図-10** に示す．シナリオ 1 の通常時に避難所内に行く避難者数は 254,421 人であった．また，ESC_N は 3.53 であり，容量を大きく超えている．コロナ下の場合でも，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 3.42 であり，同様に大きく超えている．通常時とコロナ下を比較した場合，避難所内に行く数は 5 万人減っている．また，避難所以外で避難する人の割合が大幅に増えている．以上より，コロナが避難者に与える影響が大きいことが確認された．次に，シナリオ 2 では避難者数が 139,046 人にとどまっており，避難しない人が 17 万人ほどいた．また，ESC_N は 1.9，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 1.8 程度であった．通常時とコロナ下を比較した場合，避難所内の避難者は 3 万人ほど減るが避難しない人の数はほとんど変化していない．これは，シナリオ 2 と 3 ではコロナに関係なく，建物の被害率により避難しない人数を定めているためである．

最後にシナリオ 3 の通常時に避難所に行く避難者数は 206,313 人であった．また，避難しない人数は 10 万人程度であった．ESC_N は 1.9，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 1.8 程度である．避難所内以外の避難で最も多いのが避難所の近くでの車中泊であった．

いずれのシナリオでも避難所の容量が不足していることが確認された．大規模地震に備え，避難所外に緊急の避難スペースを設ける等の対策が必要である．また，大型ショッピングセンターやホテル避難，車中泊避難といった，多様な避難を計画し，避難者の生活を守る準備を進めるべきである．

地震に関する分析結果を**図-11** に示す．豊橋市の全域で避難所が足りておらず，特に住民が多い中心部で避難所が足りていないことを確認した．一方で，シナリオ 2 での結果より確認できるように，豊橋市の北部と南部では避難所に空きがある．また，水害と同様に避難されていない避難所は多い．よって，最短避難所だけではなく分散した避難を呼びかけることが，混雑の軽減につながるだろう．特に，大規模地震は突発的な被害であり避難所の混乱が予測されることから．住民に対する事前の情報発信が有効であると考えられる．また，シナリオごとに比較した場合，シナリオ 1，シナリオ 3，シナリオ 2 の順に混雑がみられた．通常時とコロナ下で比較した場合，収容状況が良くなっていることを確認した．ただ，水害と同様に避難容量の計算の不備が示唆されるた

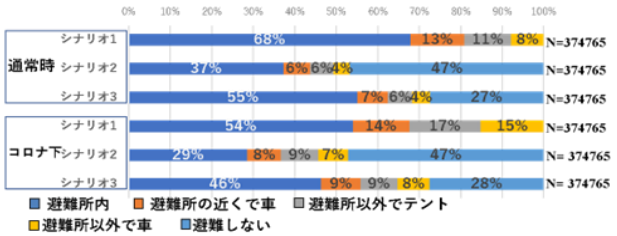


図-10　各選択行動の推定結果

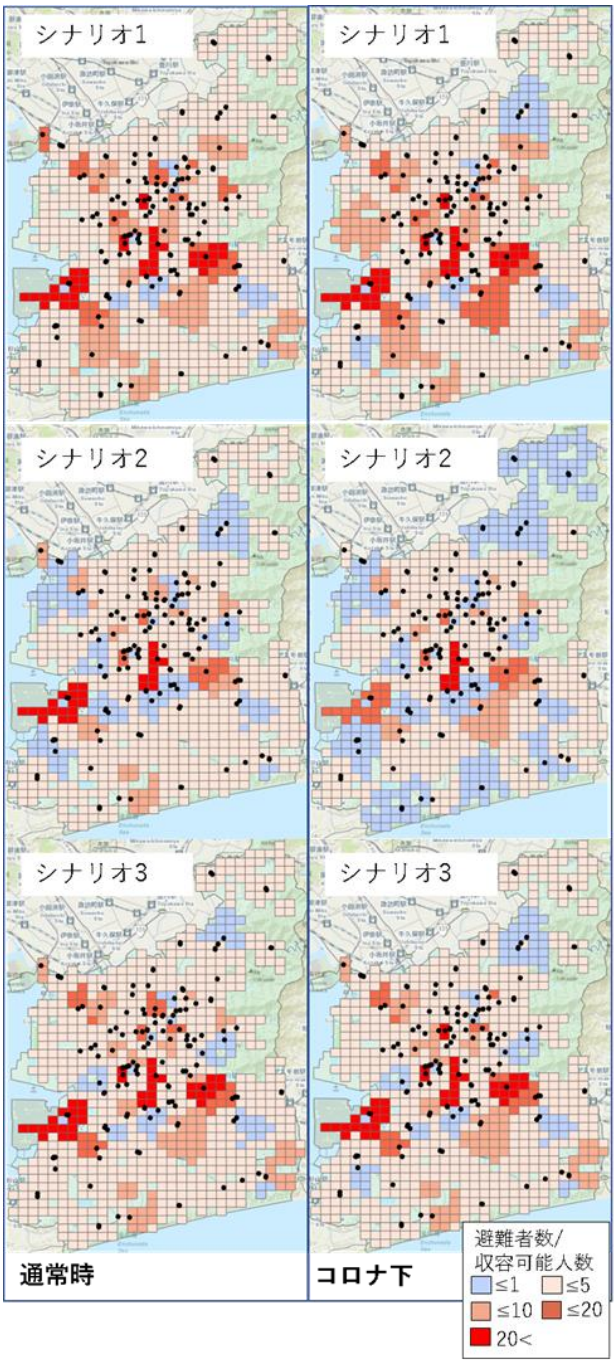


図-11　収容状況に関する分析結果

め，コロナ下における避難所容量の不足が懸念される．

最後に，車中泊避難に関する結果を**図-12** に示す．これまでの結果と異なり，コロナ下では ESC が高くなることが確認された．また，車中泊避難の総避難容量 14,755 台に対し，シナリオ 1 の総避難台数は通常時で 21,108 台，コロナ下で 23,835 台となった．よってシナリオ 1 では，すべての車中泊避難の需要を満たすことができないと考えられる．一方で，シナリオ 2 の ESC_N は 1.4，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 0.86 であり，シナリオ 3 の ESC_N は 0.80，$ESC_{COVID\text{-}19}$ は 0.98 であった．シナリオ 2，3 については，行政が分散避難を適切に行えれば，すべての避難者を収容できると考えられる．しかし，大規模地震発生後は，道路のひび割れや滑落が示唆されるため，容量が足りていない豊橋市中心部では，周囲の大型ショッピングセンターや大規模駐車場を使用することで不用な移動を避け，避難者の安全を確保する必要がある．また，車中泊避難はいずれのシナリオでも 1 万台以上発生していることから，自治体は車中泊避難者のガイドライン策定に努め，適切な避難者の人数の把握やエコノミー症候群防止の呼びかけを行うことが必要である．

(4) 分散避難分析の概要

収容状況に関する分析では，最短避難所に行く想定をした．その結果，避難所の容量が不足していることを確認した．一方で，分析の手法上，どのメッシュからも最短でない避難所が存在するため，容量を超えていない避難所が残っている．そのため，自治体はそのような避難所への分散避難を呼びかけ，避難者を最適に配分した収容状況を考える必要がある．ここでは，そのような状況を想定した分析を実施する．

具体的な分析手法としては，まず ESC が 1 を超えるメッシュを特定し，そのメッシュからある一定の距離まで別の避難所に行けると仮定する．最後に，その仮定の下で，最適な避難状況を分析する．また，別の避難所への移動可能距離は避難者の世帯情報を用いて決定する．例えば避難者が車を保有していれば，遠くの距離を移動できるものとする．

分散避難の移動可能距離や避難の最適化といった具体的な手法，結果については発表時に報告する．

4. おわりに

本稿では，いまだ経験していない大規模水害と南海トラフ地震や新型コロナウイルスのようなウイルス感染症といった複合災害の避難行動を分析するため，避難者が最短避難所に避難する場合の収容状況を推定した．また，シナリオ分析から，様々な災害規模や政策評価を行うことで，具体的な避難計画の問題点を把握した．

本研究ではコロナや水害，地震のリスクが最大にあることを想定したが，本モデルはコロナのレベルやガイドラインの変更，災害レベルの規模など，様々なシナリオを分析することが可能である．さらに，世帯マイクロデータを使用しているため，各避難所における高齢者世帯や車を保有している世帯，世帯人数を把握することが可能である．また，避難所における車中泊避難の分析を行ったが，避難所の容量不足から，多様な避難方法の検証が必要であり，天候によって青空避難が出来ないことも想定される．今後は大型ショッピングセンター等の大規模駐車場を使った車中泊避難やホテル避難，青空避難の効果を詳細に分析する予定である．

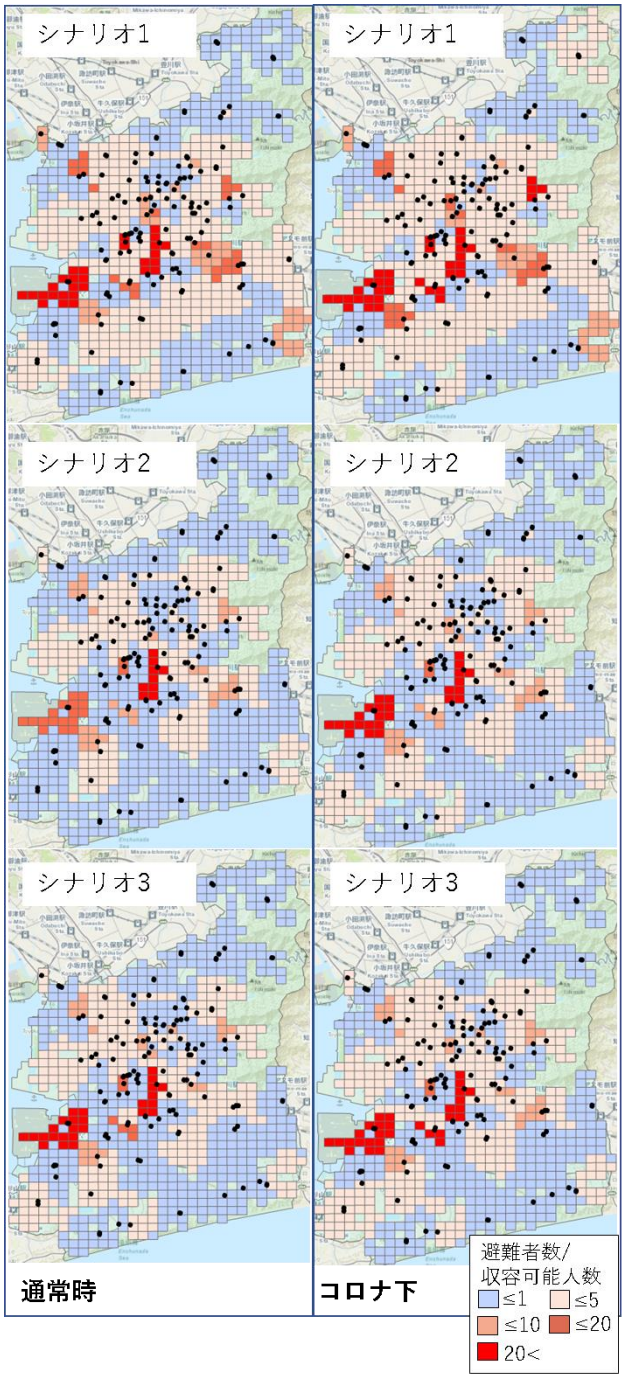


図-12 収容状況に関する分析結果 (車中泊避難)

謝辞：本研究は東三河地域防災協議会実施研究の助成を受け実施しました．ここに感謝の意を表します．

REFERENCES

1) 気象庁，大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
2) 田代權一，橋本隆雄：新型コロナウイルス感染症まん延下における世田谷区洪水避難計画の具体的検証，国士舘大学理工学部紀要 14 巻，pp.139-154，2021.
3) 保坂 悠人・佐藤 尚次：感染症対策の有無による避難所収容状況の定量的な評価，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，IV-116，2022.
4) 吉田 護・柿本 竜治・畑山 満則・阿部 真育：震災後の避難行動に関するモデル分析―2016 年熊本地震の事例を通じて―，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.74，No.5，I_249-I_258，2018.
5) 堀切真美，小谷通泰：阪神・淡路大震災後における住民の避難行動に関する分析，土木計画学研究・論文集，No.17, pp.819-826，2000.
6) 澤田雅浩，樋口秀，中出文平：新潟県中越大震災における避難形態の多様性に関する研究―長岡市と小地谷市におけるアンケート調査を通じて―，都市計画論文集，Vol.40，No. 3，pp.715-720，2005.
7) 本多光樹・杉木直・松尾幸二郎：大規模水害時の広域避難における自治体間連携の必要性，令和元年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.371-372，2020.
8) 野田泰成，杉木直，松尾幸二郎：大規模災害とウイルス感染症の複合リスク下における避難行動分析，第 66 回土木計画学研究発表会・講演集，2022 年.
9) Nagao, S., Sugiki, N., Matsuo K.: Development of Urban Micro-Simulation Model Using Open-Data, Journal of the City Planning and Environmental Management in Asian Countries, No.44, pp.249-254, 2019.
10) 山本克彦，山﨑水紀夫：災害時における車中泊避難の現状と課題―感染症拡大状況下の避難事例から―，日本福祉大学社会福祉論集，第 145 号，pp. 69-82，2021 年.

（2023.10.13 受付）

EVACUATION BEHAVIOR ANALYSIS UNDER THE COMPOUND RISK SITUATION CONSIDERING THE DIVERSITY OF EVACUATION LOCATION CHOICES

Taisei NODA, Nao SUGIKI and Kojiro MATSUO