

博 士 論 文

地震災害時の救助活動能力を考慮した地域評価と
人命救助に関する災害対策の立案

*Regional Evaluation Considering Rescue Ability in Earthquake Disaster
and Planning of Disaster Measures for Lifesaving*

横浜国立大学大学院
都市イノベーション学府

喜納 啓

Satoshi Kina

2022年3月

博 士 論 文

地震災害時の救助活動能力を考慮した地域評価と
人命救助に関する災害対策の立案

*Regional Evaluation Considering Rescue Ability in Earthquake Disaster
and Planning of Disaster Measures for Lifesaving*

喜納 啓

Satoshi Kina

目次

ページ

第1章 序論

1.1 研究背景	2
1.2 既往の関連研究	3
1.2.1 過去の震災の実態調査	3
1.2.2 震災時の応急対策活動に関する計画	5
1.2.3 震災時の救助活動に関する既往研究	6
1.3 研究目的	7
1.4 研究の対象範囲	9
1.5 論文全体の枠組み	10
1.6 論文構成	11
第1章の参考文献	12

第2章 地域特性を踏まえた震災時における救助活動の評価手法の提案

2.1 はじめに	16
2.2 震災時の救助活動に携わる担当者へのヒアリング調査	17
2.2.1 消防機関へのヒアリング	17
2.2.2 防災行政職員へのヒアリング	18
2.2.3 災害拠点病院に勤務する医療従事者へのヒアリング	19
2.2.4 横浜市災害対策本部運営訓練の見学	19
2.2.5 令和元年度大規模地震時医療活動訓練の見学	20
2.2.6 ヒアリング調査結果のまとめ	22
2.3 対象地域の特性	23
2.3.1 65歳以上の人口分布	23
2.3.2 旧耐震の住宅系木造建物分布	24
2.3.3 狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物の分布	26
2.4 地域特性を踏まえた救助活動の評価手法の提案	28
2.4.1 評価手法の全体像	28
2.4.2 建物被害	29
2.4.3 自力脱出困難者	31
2.4.4 交通障害	34
2.4.5 救助活動	38
2.5 まとめ	45
第2章の参考文献	46

第3章 地震災害時の地域評価－救助活動の視点から－	
3.1 はじめに	50
3.2 建物被害の算定結果	51
3.3 自力脱出困難者数の算定結果	54
3.4 救助活動の評価手法の試算	57
3.4.1 発災から時間経過ごとの救助活動の状況	57
3.4.2 緊急車両の移動速度 CASE1～5 における救助活動の分析	58
3.4.3 提案手法による解析結果	60
3.5 地域特性を考慮した救助活動による減災効果	61
3.6 まとめ	84
第3章の参考文献	85
第4章 震災直後の応急対策活動に関する分析－救助活動の視点から－	
4.1 はじめに	88
4.2 想定地震	89
4.3 地震被害想定データの入力	90
4.4 自力脱出困難者数の算定結果	91
4.5 被災地域内の救助活動の分析	92
4.6 応援部隊の派遣先・経路に関する分析	95
4.7 まとめ	102
第4章の参考文献	104
第5章 人命救助に関する災害対策の立案に向けた試み	
5.1 はじめに	106
5.2 研究成果の活用が期待される防災・減災活動	107
5.3 人命の安全確保に向けた市街地整備	108
5.4 防災訓練の実効性の向上	111
5.5 救助活動における応援・受援体制	114
5.6 まとめ	116
第5章の参考文献	117
第6章 結論	
6.1 本研究のまとめ	120
6.2 今後の課題と展望	123
第6章の参考文献	125

研究業績	126
謝辭	128

第1章

序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 既往の関連研究
- 1.3 研究目的
- 1.4 研究の対象範囲
- 1.5 論文全体の枠組み
- 1.6 論文構成

第1章 序論

1.1 研究背景

大規模震災時の救助活動において、迅速かつ適切な応急対応は、被災者の人命確保に重要である。例えば、阪神淡路大震災では、地震発生直後、約16.4万人の住民が倒壊家屋の下敷きになり、約3.5万人は自力で脱出することが出来なかった¹⁾(以下、自力脱出困難者と記述)。自力脱出困難者は、閉じ込められてからの時間経過に伴い生存率が低下するため、情報が錯綜する緊急対応期において迅速な救助活動が求められたが、道路自体の損傷および建物倒壊による道路閉塞の影響により、緊急車両の到着が大幅に遅れることで、震災直後の救助活動は困難を極めた²⁾。また、甚大な人的被害に対して被災地域の救助隊のみでは対応が困難であり、被災地域外から多数の救助隊が応援に向かう「広域応援」が実施され、人命救助に貢献したが、大規模部隊の迅速な出動体制の整備、被災地でのロジスティクスの確保などの課題が明らかとなった³⁾。熊本地震では、被害の大きかった益城町を管轄する消防署のパソコンやプリンターを含む事務用品のほとんどが使用不能となり、消防署内に設置されていた消防救急無線の固定局や指令端末も使用出来なかったことから、迅速な救助活動を実施する上で、災害発生後の業務継続に関する計画の重要性が指摘された。また、熊本地震における熊本市消防局の対応検証では「受援側と応援側の連携」が課題として挙げられており、応援部隊の進出拠点に職員を配置できず、早い段階での部隊誘導や情報提供を行えなかったことなどが受援体制の課題として提起された⁴⁾。以上、震災直後は被害情報が錯綜することを踏まえると、地震に対する地域の脆弱性を事前に把握することは、適切な救助活動方針の策定および関係機関の迅速な初動対応に寄与する。

今後、発生が懸念される首都直下地震による被害想定では、揺れによる建物被害に伴う自力脱出困難者数が被災地域全体で最大約72,000人発生するとされており⁵⁾、地域の実情に応じた災害対策が急務となっている。現在、多くの自治体の地震被害想定では、自力脱出困難者数の算出だけに留まり、震災後の救助活動の状況については定性的な議論が中心である。一方、東京都の地震に関する地域危険度測定調査⁶⁾では、主に道路基盤の整備状況に基づいて救助活動の困難度を評価しており、道路拡幅による救助活動への効果検証に有用である。しかし、道路基盤だけでなく、人的被害の空間分布、消防署・出張所の立地、消防隊員数など他の要素も救助活動に影響を及ぼすことを踏まえると、震災時の救助活動における減災対策を評価する手法としては十分ではない。加えて、甚大な人的被害に対して、被災地域内の救助隊の活動能力が不足することが懸念されており、応援部隊を適切に運用する体制の構築が重要である。現在、広域応援に関する体制の整備は進み、中央防災会議の首都直下地震における計画⁷⁾では、被災地域内の救助隊を考慮した上で、被害想定死者数および自力脱出困難者数に応じて、応援部隊の派遣先・規模を検討すると記載している。しかしながら、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて、応援・受援体制をどのように構築すれば良いのかについては、時間的・空間的視点から十分に議論されていない。

1.2 既往の関連研究

本節では、はじめに、震災時の救助活動に関する実態について概観し、地震による自力脱出困難者の発生要因や救助活動状況を整理する。次に、国・自治体における震災時の応急対策活動に関する計画について概括し、救助部隊の応援・受援に関する課題を明らかにする。そして、震災時の救助活動に関する既往研究を調査し、得られている知見や課題を整理する。その際、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動の評価手法をどのように構築すべきか検討する。

1.2.1 過去の震災の実態調査

阪神淡路大震災における自力脱出困難者の実態に関する既往研究として、村上ら⁸⁾は、神戸市東灘区の住民に対して、被害状況、地震時の行動、閉じ込めの状況についてアンケート調査を行い、地震による完全崩壊の住宅では、46%の住民が自力脱出困難者となっていたことを明らかにした。宮野⁹⁾は、神戸市東灘区において、建物の建築年代、性別・年齢といった個人属性との関わり、就寝階の違いなどを考慮に入れて人的被害について考察した。得られた研究成果を下記に示す。

- ①死亡原因では窒息死、全身打撲、圧死を合わせると全体の90%を占めていた。
- ②死者は女性と高齢者に多い傾向がみられた。
- ③建物の建築年代と死者発生の関係では、1971年を境に死亡者が急減していた。
- ④木造住宅の1階における死亡危険度は、2階の3～4倍であった。

また、自力脱出困難者を対象とした地震発生時からの経過時間と生存率について、太田ら¹⁰⁾は、窒息群と外傷群の死因モード別に分析しており、Murakamiら¹¹⁾は、倒壊建物の構造別（木造戸建て・木造集合住宅・鉄筋コンクリート造および鉄骨造）に分析した。どちらの研究においても、地震発生から72時間以降では自力脱出困難者の生存率は低い値を示した。宮野⁹⁾は、木造住宅のように崩壊部材が高密度に空間を埋める場合は、地震発生直後から24時間以内の救助が必要になると指摘する。なお、阪神淡路大震災で発生した6400人を超える死者は、地震の発生と同時に生じたもの¹²⁾で、被災後の救助活動によって救えた者はほとんどいないという見方もある。しかし、室崎ら¹³⁾は、犠牲者の家族・親戚である291人に対して行ったインタビュー調査の研究成果を踏まえて、「阪神淡路大震災では、地震直後の1時間に8割の人が死んだ」という通説に対して、以下の点から疑問を抱いている。

- ①遺族からの聞き語り調査記録では、地震発生後に即死という記録より、「1時間、2時間は息があった」、「声が聞こえていた」という記録が圧倒的に多かった。
- ②神戸市の専門の監察医が作成したデータでは、犠牲者の死亡時刻のほとんどが5時46分となっており、その死亡原因は全て家屋の倒壊となっている。一方で、監察を行った町医者が作成したデータには死亡時間にかなりのばらつきが見られる。この原因として、専門の監察医は、医学的な死亡原因の特定に力を入れるが故に、次々と運び込まれる犠牲者を前にし

て、死亡時刻の特定の手間を省き、一律に5時46分とした可能性がある。

次に、阪神淡路大震災における自力脱出困難者に対する救助活動の実態に関する既往研究として、宮野ら¹⁴⁾は、神戸市東灘区において、死者数発生世帯(330人)に対する聞き取り調査を行い、救助者の内訳について、親戚家族・近隣住民による救助が72%、自衛隊・消防の公的救助機関による救助が28%であったことを明らかにし、自力脱出困難者の人命確保には、近隣住民による救助活動は重要であると指摘した。また、村上ら^{11),15)}は、倒壊建物における自力脱出困難者の捜索・救助にどの程度の労力と時間を要したのかについて、建物の構造別に分析しており、

①木造だと平均84分、RC造だと平均188分の時間を救助活動に要したこと。

②同じ木造でも、戸建てに比べ、アパート・長屋は救助活動に2倍以上時間を要したこと。

などを明らかにした。1999年9月に台湾中部で発生した地震(台湾地震)による人的被害の調査を行った高田ら¹⁶⁾は、地域住民のみでRC造から自力脱出困難者を救助することは困難であったと指摘していることから、木造に比べて、RC造の建物から自力脱出困難者を救出することは困難であり、専門的な技術がある消防・警察などの救助部隊の活動が望ましいといえる。

そして、熊本地震において、警察庁は、警察が主導した層崩壊を伴う木造倒壊建物における救助活動を詳細に分析¹⁷⁾している。図1-1は、熊本地震における警察の全救助活動(111現場：生存128人、心肺停止32人)について示す。層崩壊を伴わない建物からの救助活動(52現場：生存77人、心肺停止0人)は、数分から数十分で終了しており、救助活動に特別な資機材や技術を使用しなかったと報告されている。一方で、層崩壊を伴う倒壊建物からの救助活動(48現場：生存48人、心肺停止22人)に関しては、技術面・安全面から地域住民による救助活動は難しいことから、救助技術を有する機関が担当することが望ましいことが示唆された。

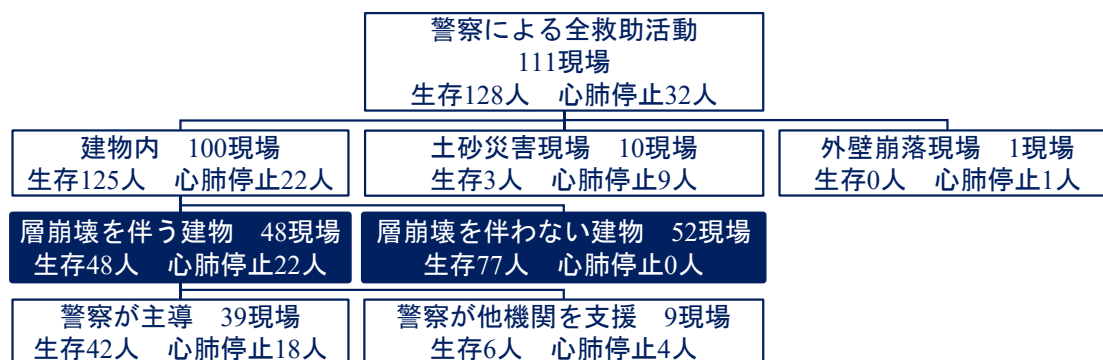


図1-1 熊本地震における警察の救助活動の分類¹⁷⁾

1.2.2 震災時の応急対策活動に関する計画

中央防災会議は、首都直下地震時の具体的な応急対策活動に関する計画⁷⁾を作成している。特に、本研究の内容に係る応急対策活動に関する計画として、救助・救急、消火活動などに係る計画の概要を下記に示す。

図1-2は、首都直下地震における救助・消火活動などに係る計画の概要について示す。現在、広域応援に関する体制の整備は進み、約250箇所の救助活動拠点、約70箇所の航空機用救助活動拠点を予め明確にするなど応援部隊を迅速に派遣するための対策が検討されている。また計画では、被災地域内の救助隊を考慮した上で、被害想定死者数および自力脱出困難者数に応じて、応援部隊の派遣先・規模を検討すると記載している。しかしながら、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて、応援・受援体制をどのように構築すれば良いのかについては、時間的・空間的視点から十分に議論されていない。今後、震災時の応援・受援体制を具体的に検討するためには、地震による交通障害など救助活動の阻害要因を考慮した上で、時間的・空間的な観点から、消防などの「公助」の担い手が不足する地域を明らかにする手法が求められる。

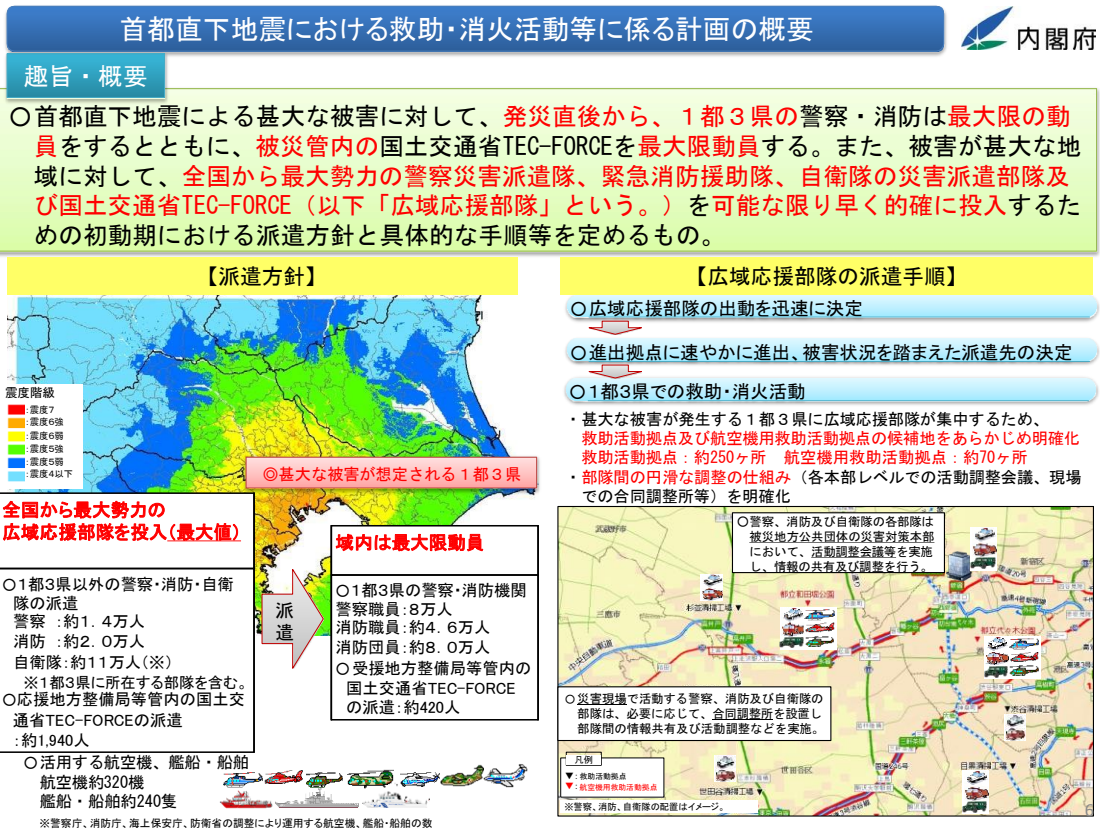


図1-2 首都直下地震における救助・消火活動などに係る計画の概要⁷⁾

1.2.3 震災時の救助活動に関する既往研究

自力脱出困難者の救助活動に関する既往研究として、古屋ら¹⁸⁾や臼井ら¹⁹⁾は、住民による自力脱出困難者に対する救助活動をシミュレーションすることで、人命救助における共助の効果を定量的に評価し、地域コミュニティの重要性を主張している。しかし、これらの研究では、地震による道路交通網への影響、消防などの公的機関による活動は考慮されていない。一方、村上ら²⁰⁾は、住民により層崩壊している倒壊建物から自力脱出困難者を救助することは困難であるとし、消防隊員による救助活動のシミュレーションを実施することで、救助活動が難航する地域を明らかにした。ただし、地震による交通障害の影響などは考慮されていない。沖ら^{21),22)}は、地域住民による救助活動と広域避難行動を統合したシミュレーションを実施し、大規模地震時の物的被害（建物倒壊・火災延焼・道路閉塞）や広域避難行動の影響を考慮した上で、地域住民による救助活動の有効性を示した。この研究は実市街地を対象に、大地震時の物的被害が救助活動に与える影響を精緻に再現しており、地域住民による救助活動のあり方を検討するのに有効であるが、市区町村など広域地域への適用はデータ構築が容易ではないと考えられる。また、中村ら²³⁾は、リスクコミュニケーションを促進するため、地震災害における自治体間の災害対応力を評価する手法を提案した。住宅・土地調査統計、国勢調査など汎用性の高いデータを用いており、他の自治体でも容易に適用できると考えられるが、時間的・空間的な視点からの評価は行われていない。

また、救助部隊の広域応援に関して、三船ら²⁴⁾は、阪神淡路大震災時の神戸市の公園を対象に、自衛隊・警察・消防の利用実態を調査し、組織別に応急的公園利用の考え方を整理している。島田ら²⁵⁾は、既往研究および地域防災計画を基に、都市公園の防災的役割を整理しており、消防・警察・自衛隊などの応援部隊の活動拠点の規模について考察した。山口ら²⁶⁾は、全国47都道府県の県庁などを対象として、震災直後の防災拠点の道路接続の優先度評価に関するアンケート調査を実施した。調査結果より、消防・警察・自衛隊などは、道路接続の優先度評価が高く、且つ24時間以内に道路接続を確保する必要があると考える回答が80%以上であったことから、応援が必要になる消防署などを、震災後速やかに選定することは、道路啓開に関する戦略立案にも重要であると考えられる。

以上、自力脱出困難者の救助活動に関する既往研究では、住民の救助活動を分析することで、人命救助における共助の効果を定量的に評価し、地域住民自身の救助活動の有効性を示した。しかし、層崩壊を伴う倒壊建物からの救助活動は消防などの救助技術を有する機関が担当することが望ましい。また、多くの自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを活用することで、他の自治体にも容易に適用でき、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析できる手法は重要性が高いと考えられる。救助部隊の広域応援に関する既往研究では、救助活動拠点の考慮すべき事項・必要な機能を整理し、拠点施設の整備に貢献したが、地震発生から時間経過とともに変化する被災地域内の救助活動状況を踏まえた部隊応援に関して検討している例は見当たらない。

1.3 研究目的

過去の震災における自力脱出困難者の救助活動に関して、地域住民による救助活動は、自力脱出困難者の人命確保において非常に重要である。しかし、層崩壊を伴う倒壊建物からの救助活動に関しては、技術面・安全面から地域住民による救助活動は難しいことから、救助技術を有する機関が担当することが望ましいことが示唆された。

震災時の応急対策活動に関する計画では、被災地域内の救助隊を考慮した上で、被害想定死者数および自力脱出困難者数に応じて、応援部隊の派遣先・規模を検討すると記載しているが、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて、応援・受援体制をどのように構築するかについては、時間的・空間的視点から十分に議論されていない。

既往研究では、自力脱出困難者に対する住民の救助活動を分析することで、人命救助における共助の効果を定量的に評価し、地域住民自身の救助活動の有効性を示した。しかし、地震による層崩壊を伴う倒壊建物からの救助活動が必要な地域を対象に、他の自治体にも容易に適用でき、被災地域内の救助活動を分析できる手法は見当たらない。また、震災時の応援・受援体制を具体的に検討するためには、地震による交通障害など救助活動の阻害要因を考慮した上で、時間的・空間的な観点から、消防などの「公助」の担い手が不足する地域を明らかにする手法が求められる。

以上を踏まえて、救助活動の評価手法の構築にあたり下記の視点が重要と考えられる。

①汎用性

多くの自治体が提案手法を容易に活用できるように、自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを活用する。

②時空間変化

地震の被害予測を死者数・負傷者数として提示するのではなく、地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉え、地震被害の全体像を明らかにする。

③広域地域

県・市区町村レベルでの災害対策を検討するため、町丁目単位ではなく、行政区単位で分析する。

そこで、本研究では、下記の2点に取り組むことを目的とする。

①地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について、救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価する。この研究成果は、老朽建築物の除却・改修などのハード対策と併せて、消防力の配備・強化などのソフト対策による減災効果を評価する手法を提案し、震災対策を総合的（分野横断的）に検討するための基礎資料を提供する。さらに、地震発生後からの経過時間に応じて、被災地域の公設消防による自力脱出困難者の救助活動を定量的に示すことで、地震による地域の危険度と救助活動能力が認識され、公的機関の対策検討だけでなく住民の防災意識の向上にも寄与することが期待できる。

②提案手法に自治体の地震被害想定の情報を入力し，時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成することで，地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにする．この研究成果は，震災時の部隊応援に関する地震防災戦略（救助活動における部隊応援や道路啓開など）や，地域防災計画の修正を行う際の基礎資料としての活用が期待できる．

1.4 研究の対象範囲

中央防災会議は、首都直下地震時の具体的な応急対策活動に関する計画⁷⁾において、発災時からの経過時間に応じたタイムライン（図1-3）を定めている。このタイムラインは、国および地方公共団体の複数の防災関係機関が、人命救助のために重要な72時間を意識しつつ、緊急輸送ルートの通行確保、救助・救急活動、消火活動、医療活動、物資供給、燃料供給、電力・ガスの臨時供給、通信の臨時確保などの活動を整合的かつ調和的に行うための目安である。このように応急対策活動は多岐にわたるが、本研究では、救助活動に焦点を絞り、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動状況を分析する手法を提案・活用することで、災害対策について考察する。

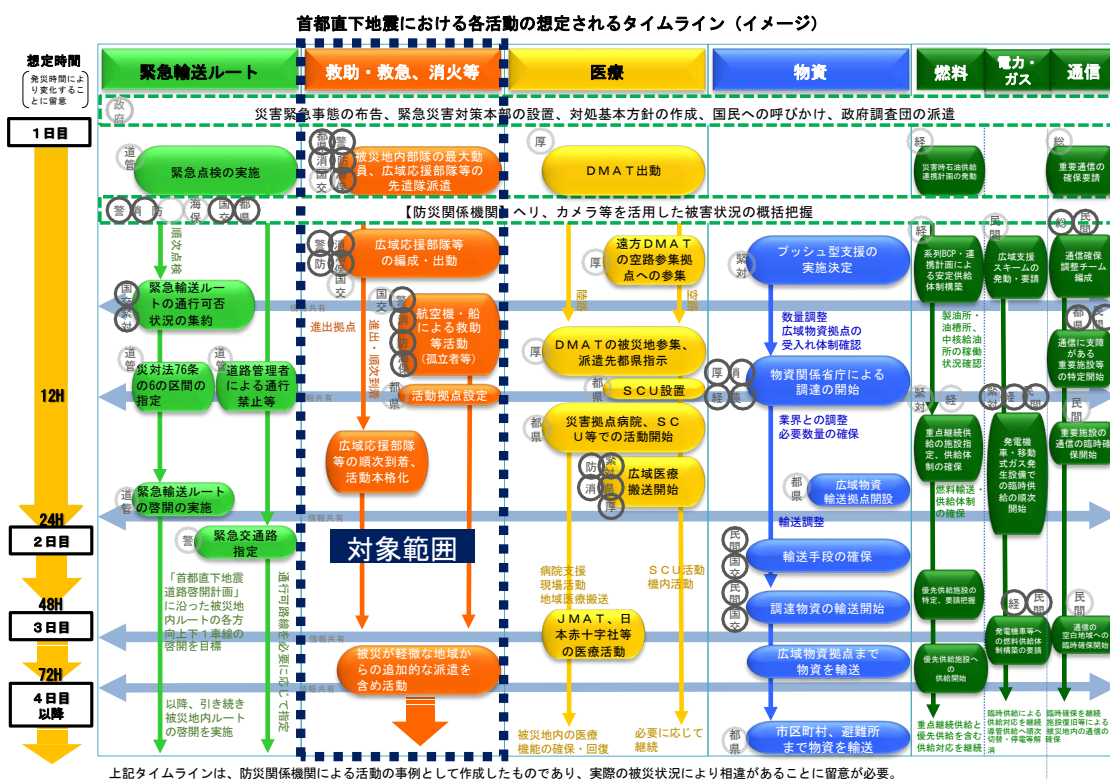


図1-3 首都直下地震における各活動の想定されるタイムライン⁷⁾
 (文献7の図に本研究の対象範囲を加筆)

1.5 論文全体の枠組み

本研究は、地域特性を踏まえて、時間的・空間的な視点から、救助活動を分析する手法を提案する。そして、横浜市（18の行政区全て）を対象地域とし、提案手法を活用することで、一律の揺れおよび特定の地震を想定した救助活動を分析する。その後、分析結果を活用して、建築物の耐震化などのハード対策と、消防力の配備・強化・緊急交通路の啓開・交通規制などのソフト対策を併せて検討し、地域特性に応じた災害対策を考察する。図1-4は、論文全体の枠組みについて示す。

はじめに、救助活動の評価手法に関して、汎用性（多くの自治体に適用可能）・時空間変化（地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉える）・広域地域（行政区単位で分析）の3つの視点に基づき、建物被害・自力脱出困難者・交通障害・救助活動の4つのモデルを構築する。

次に、対象地域全体に一律の揺れを想定した救助活動に関する地域評価では、震源地の想定に依存しない結果を得るために、具体的な地震は想定せず、同じ強さの揺れが生じた場合における救助活動による減災効果を評価する。また、特定の地震を想定した救助活動に関する地域評価では、自治体の地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成することで、地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにする。

最後に、人命救助に関する災害対策に関して、研究成果を活用することで、人命の安全確保に向けた市街地整備、防災訓練の実効性の向上、救助活動における応援・受援体制などに寄与できると考える。

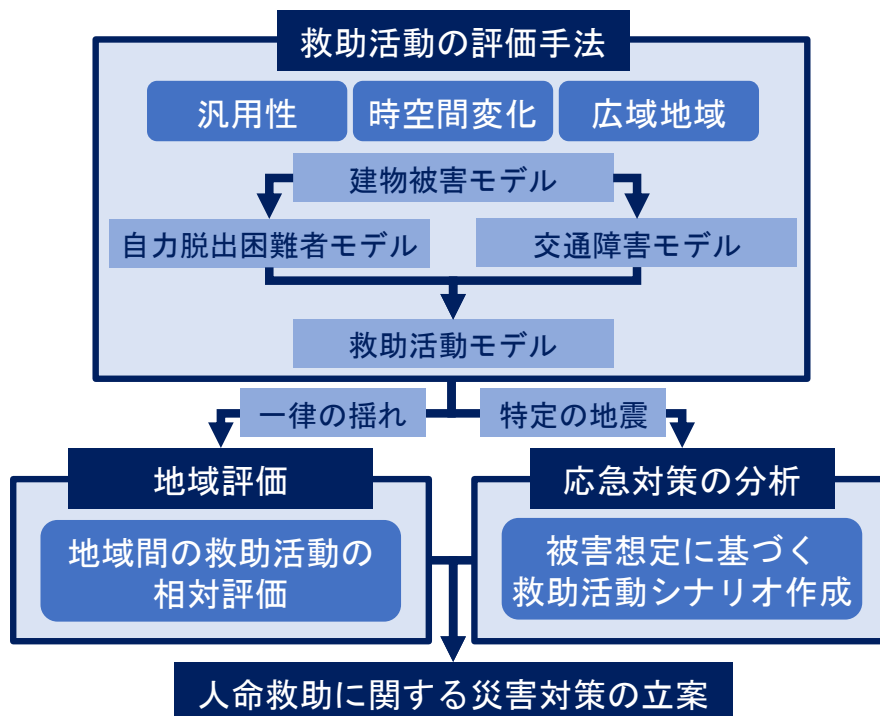


図1-4 論文全体の枠組み

1.6 論文構成

本論文は全部で6章から構成されている。図1-5は、本論文の構成について示す。

第1章は序論である。研究背景，既往研究，研究目的，論文構成について述べる。

第2章では，地震災害において層崩壊を伴う倒壊建物からの救助活動が必要とされる地域を対象に，建物現況，道路状況，消防署・出張所の立地，消防隊員数などの地域特性を踏まえて，時間的・空間的な視点から，震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を提案する。その際，防災関係機関へのヒアリング調査結果についても整理する。

第3章では，提案手法を活用することで，地域特性を考慮した救助活動による減災効果について，救助活動に要する時間，時刻別の救出者数などの指標を活用して評価する。

第4章では，提案手法に，自治体の地震被害想定の情報を入力することで，時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成し，地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにするとともに，具体的な応急対策活動（部隊応援や道路啓開など）について分析する。

第5章では，人命救助に関する災害対策（人命の安全確保に向けた市街地整備，防災訓練の実効性の向上，救助活動における応援・受援体制など）について考察する。

第6章は結論である。本研究で得た知見をまとめ，今後の課題について述べる。

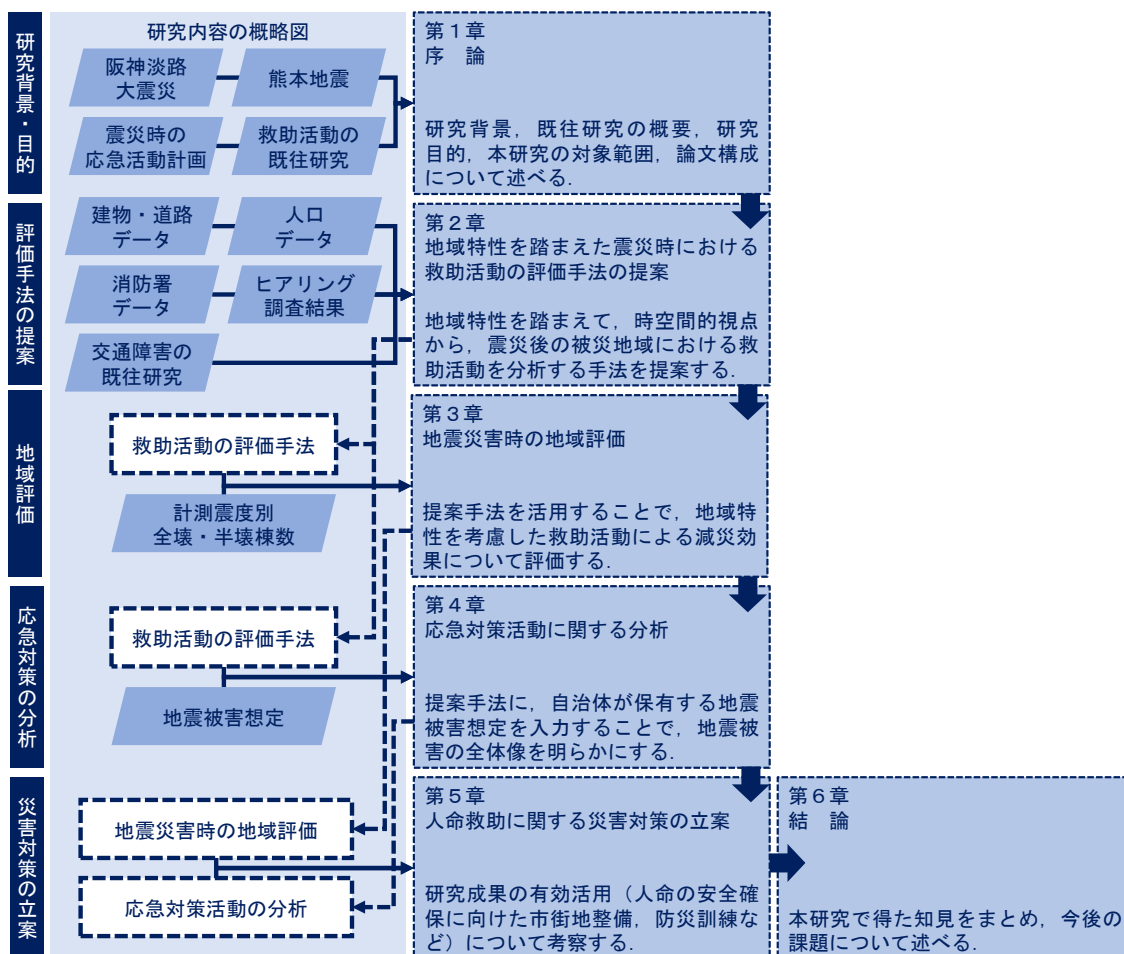


図1-5 本論文の構成

参考文献（第1章）

- 1) 河田恵昭：大規模地震災害による人的被害の予測（阪神淡路大震災＜特集＞），自然災害科学，Vol.16，No.1，pp.3-13，1997.
- 2) 阪神・淡路大震災の教訓情報分析・活用調査委員会：阪神淡路大震災教訓情報資料集，2006，http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/index.html#anc01（参照 2021-3-18）
- 3) 総務省消防庁：平成 27 年版消防白書，2015，<https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h27/>（参照 2021-3-18）
- 4) 熊本市消防局総務部総務課：平成 28 年熊本地震熊本市消防局活動記録誌，2018，https://www.city.kumamoto.jp/hpKiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=19060&class_set_id=3&class_id=511（参照 2021-3-18）
- 5) 中央防災会議：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告），2013，http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/（参照 2021-3-18）
- 6) 東京都整備局：あなたのまちの地域危険度，2018，http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/bosai/chousa_6/home.htm（参照 2021-3-18）
- 7) 中央防災会議幹事会：首都直下地震における具体的な応急対策活動に関する計画，2020，<http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/index.html>（参照 2021-3-18）
- 8) 村上ひとみ，竹田宏樹，鎌田泰子，高田至郎：兵庫県南部地震における東灘区の住家倒壊と閉じ込めに関する実態追跡調査，東濃地震科学研究所報告，No.7，pp.101-123，2001.
- 9) 宮野道雄：人的被害と予防，繊維製品消費科学，Vol.38，No.3，pp.128-135，1997.
- 10) 太田裕，小山真紀，和藤幸弘：震後余命特性曲線の試算：訂正と補足 - 1995 年兵庫県南部地震の場合 - ，東濃地震科学研究所報告，No.7，pp.93-100，2001.
- 11) Murakami, H., Takemoto, T., Sakamoto K. : Study on search and rescue operations in the 1995 HANSHIN-AWAJI Earthquake - Analysis of labor work in relation with building types, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000.
- 12) 西村明儒，井尻巖，上野易弘，小川裕美，龍野嘉紹，種子島章男，羽竹勝彦，菱田繁，福永龍繁，藤原敏，溝井泰彦，山本健二：阪神・淡路大震災における死体検索活動（＜特集 1＞阪神淡路大震災 第 1 部活動のまとめ），神戸大学医学部新緑会学術誌，Vol.1.1，pp.67-73，1995.
- 13) （財）ひょうご震災記念 21 世紀機構：オーラル・ヒストリーの記録に基づく災害時対応の教訓の活用化報告書，2007.
- 14) 宮野道雄，村上ひとみ，西村明儒，村上雅英：1995 年兵庫県南部地震による人的被害（その 5）神戸市東灘区における人命救助活動に関する聞き取り調査，日本建築学会学術講演梗概集，Vol.1996，pp.9-10，1996.
- 15) 村上ひとみ：1995 年兵庫県南部地震による人的被害分布（3）応急救助の実態，日本建

築学会学術講演集（関東），pp.811-812，1997.

- 16) 高田至郎，鍛田泰子，前田厚臣：1999年台湾地震における南投縣集集鎮の人的被災に関するケーススタディ，東濃地震科学研究所報告，No.7，pp.137-146，2001.
- 17) 警察庁：熊本地震における警察の救助活動に関する調査分析，2017，<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kumamotojishin/kumamotojishin2.html>（参照 2021-3-22）
- 18) 古屋貴司：地震による倒壊建物からの人命救助支援に関する地域特性評価とその活用，横浜国立大学，博士論文，2004.
- 19) 臼井真人，浅野耕一：防災力向上を目的とした地域間の住民連携に関する研究，日本建築学会計画系論文集，Vol.79，No.696，pp.571-578，2014.
- 20) 村上ひとみ，波多野雅之，川瀬博：福岡市における想定地震に対する閉じ込め予測と救助活動シミュレーションー木造建物についてー，日本建築学会中国支部研究報告集，Vol.31，pp.1401_1-1401_4，2008.
- 21) 沖拓弥，大佛俊泰：住民による救助活動を組み込んだ大地震時における木密地域の広域避難シミュレーション分析，日本建築学会計画系論文集，Vol.81，No.724，pp.1345-1353，2016.
- 22) 沖拓弥：大地震時の物的被害を考慮した人間行動シミュレーションによる木造住宅密集地域の減災対策評価に関する研究，東京工業大学，博士論文，2019.
- 23) 中村仁，加藤孝明：地震災害における自治体間の相対的な地域災害対応力評価，地域安全学会論文集，Vol.14，pp.47-55，2011.
- 24) 三船康道，蓑田ひろ子：阪神・淡路大震災における公的機関の応急的公園利用に関する考察，日本建築学会計画系論文集，Vol.62，No.492，pp.157-162，1997.
- 25) 島田雅也，中林一樹：大都市における都市公園の防災的充足度の測定に関する手法論的研究ー東京都世田谷区を事例としてー，地域安全学会論文集，No.4，pp.345-352，2002.
- 26) 山口裕通，小泉奏子，大澤脩司，中山晶一郎：道路ネットワークの接続性強化に向けた防災拠点の重要度ランクの推定，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.74，No.5，pp. I_303-I_314，2018.

第2章

地域特性を踏まえた震災時における 救助活動の評価手法の提案

- 2.1 はじめに
- 2.2 震災時の救助活動に携わる担当者へのヒアリング調査
- 2.3 対象地域の特性
- 2.4 地域特性を踏まえた救助活動の評価手法の提案
- 2.5 まとめ

第2章 地域特性を踏まえた震災時における救助活動の評価手法の提案

2.1 はじめに

現在、国および多くの自治体では、地震被害想定調査において、地震による建物損壊、人的被害、経済被害などを定量的に想定することで、地域防災計画や地震防災施策を検討する際の基礎資料としている。しかしながら、死者数・負傷者数などの数値想定では、地震による被害の全体像を把握することは困難であり、救助部隊の応援・受援体制などの応急対策を具体的に検討するには不十分である。したがって、時間的・空間的視点から、震災後の救助活動状況を分析することで、地震による被害の全体像を把握するとともに、地震に対する脆弱性や課題を明らかにすることが重要である。

第1章の既往研究などを踏まえると、汎用性（多くの自治体に適用可能）・時空間変化（地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉える）・広域地域（行政区単位で分析）の3つの視点に基づき、救助活動の評価手法を構築する必要がある。本章では、防災関係機関へのヒアリング調査結果を基に、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を踏まえて、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を提案する。

また本研究は、横浜市全ての行政区を研究対象地域として選定した。この理由として、横浜市は、海に面した都心地域だけでなく、農地や緑地が存在する郊外地域などが混在していることから、地域特性が震災時の救助活動に与える影響を分析するのに適していると判断したからである。加えて、多様な地域特性を有する横浜市を研究対象地域として選定することで、日本の他の都市の災害対策を検討する際にも、研究成果の応用が期待できると判断した。

2.2 震災時の救助活動に携わる担当者へのヒアリング調査

震災時における救助活動の評価手法を構築するにあたり、地震発生後、救助活動に携わる担当者にヒアリング調査を実施した。また、横浜市災害対策本部運営訓練および大規模地震時医療活動訓練を見学することで、震災時の救助活動において懸念される問題点について考察した。本節では、上記の調査内容を整理するとともに、震災時における救助活動の評価手法を構築する際の基礎資料として活用する。

2.2.1 消防機関へのヒアリング

①調査概要

震災直後、被災地域内の消防機関がどのように救助活動を展開するのか、また、救助活動を実施する上で懸念される問題点や被災地域外からの救助部隊の受け入れ体制などについて、横浜市の消防職員にヒアリング調査を実施した。調査結果は、救助活動の評価手法（救助活動モデル）を構築する際の基礎資料として活用する。

②調査日時

2018年6月29日・2020年3月11日

③訪問先

横浜市港北消防署 高田消防出張所（図 2-1）

④救助活動に関して

通行機能の麻痺、帰宅困難者の影響、消防職員全員が勤務先近くに居住していない現状などを考慮すると、熊本地震における熊本市消防職員の参集状況¹⁾（図 2-2）よりも、地震発生後の参集率を厳しく考えた方が妥当である。また、部隊運用に関して、震度 6 強以上では、地区本部長（消防署長）運用となる。救助活動の優先順位に関しては、大量人命危険対象物優先の原則がある。震災直後、消防職員の休憩・勤務時間のローテーション管理は困難であることが予想される。横浜市北部に比べ、横浜市南部は高齢化が進行しており、旧耐震建物や狭隘道路が多いことから、震災時の救助活動が困難になる可能性が高い。



図 2-1 高田消防出張所

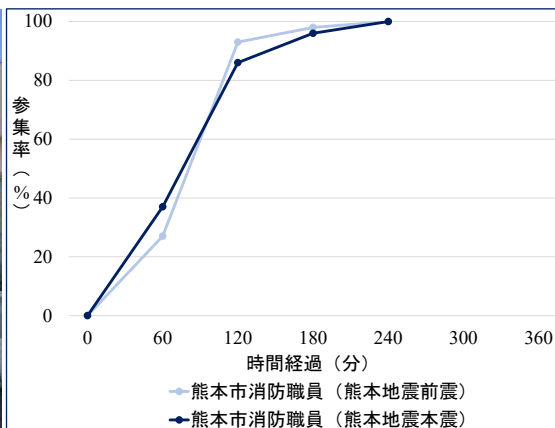


図 2-2 熊本地震における消防職員の参集率¹⁾

⑤救助部隊の応援・受援に関して

都心南部直下地震が発生した場合、消防力の空白地帯を発生させてはいけないことを踏まえると、横浜市内の消防署間の連携は困難であることが予想されることから、被災地域外からの応援（緊急消防援助隊など）が重要となる。また、消防・警察・自衛隊など担当エリアを分割して救助活動を展開するのが望ましい。救助活動拠点を選定する際は、車中泊の避難者対策（車中泊の専用スペースの確保もしくは駐車規制）を講じる必要がある。

2.2.2 防災行政職員へのヒアリング

①調査概要

震災直後、被災地域外からの消防・警察・自衛隊などの拠点（特に、部隊の指揮、宿営、資機材集積などを行う「救助活動拠点」）選定時の考え方、現場でどのような調整が実施されるのか、救助部隊の応援・受援を円滑に実施するために検討すべき事項などについて、横浜市役所緊急対策課の職員にヒアリング調査を実施した。また、神奈川県における震災時の医療支援体制について、神奈川県庁くらし安全防災局の職員にヒアリング調査を実施した。調査結果は、救助部隊の応援・受援体制の検討およびDMAT派遣を考察する際の基礎資料として活用できる。

②調査日時

2019年6月26日・2019年7月8日

③訪問先

横浜市役所総務局 緊急対策課・神奈川県庁 災害対策課

④救助部隊の応援・受援に関して

横浜市内では、救助活動拠点として3つの公園が指定されているが、広域避難場所としても指定されていることを踏まえると、救助活動拠点として利用する際、避難住民の対策は必要と考える。また、緊急車両の燃料確保については検討する必要がある。被災地域外からの応援・受援に関して、消防・警察・自衛隊など担当エリアを分割して、応援部隊を配分することが想定される。広域応援の調整に関して、神奈川県と横浜市の双方の調整に時間を要することが想定される。今後、米軍の跡地である「深谷通信所」と「上瀬谷通信施設」を救助活動拠点として利用することも想定している。

⑤医療支援体制に関して

DMAT派遣の方針として、災害拠点病院の活動拠点本部に、最低15名派遣することを想定している。特に、孤立している病院（連絡なし・EMIS（広域災害救急医療情報システム）入力なし）に向けてDMAT（災害派遣医療チーム）の優先派遣を実施することを検討している。また、DMATの医療支援活動の優先順位として、災害拠点病院⇒一般病院⇒介護・救助現場⇒避難所・孤立集落の流れとなる。

2.2.3 災害拠点病院に勤務する医療従事者へのヒアリング

①調査概要

本研究における救助活動の対象である自力脱出困難者（クラッシュ症候群の患者）に対する安定化処置および航空搬送，入院患者の転院に関する考え方，広域医療搬送を実施する際の課題・懸念事項などについて，横浜市立みなと赤十字病院救急部の医師にヒアリング調査を実施した．調査結果は，震災時の医療支援体制を考察する際の基礎資料として活用できる．

②調査日時

2019年7月1日

③訪問先

横浜市立みなと赤十字病院 災害対策室

④DMATの派遣・活動内容に関して

震災直後，DMAT活動拠点本部が，各災害拠点病院に開設される．派遣されるDMATの役割として，通信支援（衛生電話を使用）・患者の搬送・受入支援がある．震災直後は，EMISの入力が間に合わないため，地震被害想定を参考にDMATを派遣することが予想される．DMATの主任務として，地震災害時の「瓦礫の下の医療活動」はあまり行われな可能性はある．

⑤広域医療搬送に関して

「広域医療搬送」とは，政府が用意した自衛隊機などを用いて搬送する場合，「地域医療搬送」とは，被災地域内外を問わず，市・県の搬送手段を用いる場合のことを指す．また，医療搬送に関して，既に入院している患者については，災害拠点病院側で搬送調整，新規患者については，DMATを中心に搬送調整を実施する．医療搬送の容易性として，域内搬送⇒域外搬送⇒広域医療搬送の順となる．

⑥災害拠点病院の対応に関して

震災後，手術予定患者・検査入院患者などは帰宅させる予定である．また，災害拠点病院の指定要件²⁾でもあるBCP策定や，病床数の2倍程度の簡易ベッドの保有などの地震対策があまり進んでいない病院も存在する．停電の有無によらず，断水地域の災害拠点病院は籠城対応，給水可能な地域の災害拠点病院は患者の受入拡大をする方針が掲げられている．

2.2.4 横浜市災害対策本部運営訓練の見学

①調査概要

横浜市役所において実施された横浜市災害対策本部運営訓練を見学した．この訓練は，大規模地震による甚大な被害を想定し，災害対策本部の運営について職員の能力向上を目的としている．訓練項目は，情報受伝達・機能別チームの運営・統括調整部と各チーム，関係機関の相互連携などである．訓練方式としては，状況付与によるロールプレイング方式で行われた．筆者は，主に統括調整部の救出・救助チームの訓練を見学した．調査結果は，提案手法による研究成果が防災計画にどう役立つのか考察する際の基礎資料として活用する．

②調査日時

2019年9月1日

③訪問先

横浜市役所総務局 緊急対策課

④関係機関との情報共有

防災訓練では、図 2-3 のように、ホワイトボードに貼られた拡大地図を活用することで、救出・救助チームが、消防・警察・海上保安庁・自衛隊と救助活動に関して調整していた。実際に、混乱した現場での PC 作業は、煩雑で困難な場合が多いことから、紙作業が手軽で確実との指摘もある。ただし、大規模震災時、救助現場が多数発生する状況において、紙の地図は書き込む情報量に制約があり、情報共有が困難になる恐れがある。

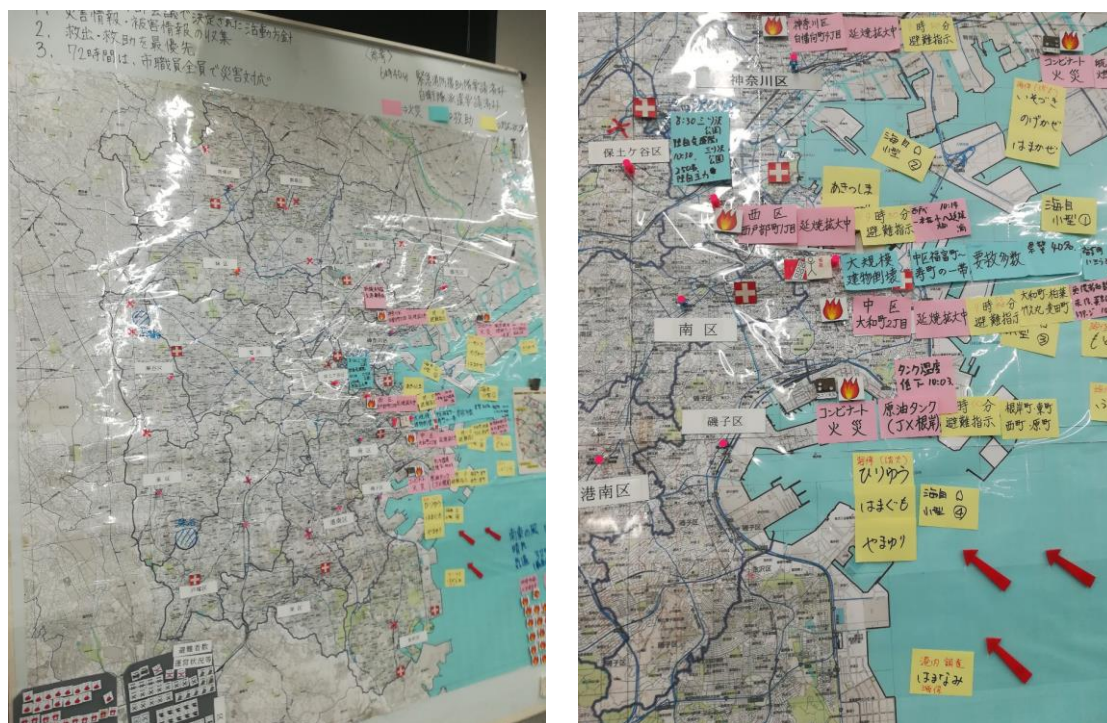


図 2-3 横浜市災害対策本部運営訓練の様子

2.2.5 令和元年度大規模地震時医療活動訓練の見学

①調査概要

神奈川県庁および海上自衛隊厚木基地において実施された令和元年度大規模地震時医療活動訓練を見学した。この訓練は、災害対策本部の運営について職員の能力向上だけでなく、災害時の医療器材やヘリコプターなどの航空機を使用することで、対応手順の理解・習熟を目的としている。訓練項目は、情報受伝達・本文運営、神奈川県・海上自衛隊・DMAT による SCU（広域搬送拠点臨時医療施設）の設置、広域医療搬送などである。訓練方式としては、状況付与によるロールプレイング方式だけでなく、EMIS 入力や、海上自衛隊厚木基地において SCU を設置するなどの実働訓練も行われた。筆者は、主に災害対策本部の運営お

よび SCU 設置訓練を見学した。調査結果は、震災時の医療搬送体制を考察する際の基礎資料として活用できる。

②調査日時

2019年9月7日

③訪問先

神奈川県庁 災害対策課・海上自衛隊厚木基地

④SCU 設置に関して

図 2-4 は、大規模地震時医療活動訓練の様子について示す。SCU 設置に関して、過去の震災の教訓を踏まえ、簡易ベッドの配置や診療にあたる DMAT の動きは円滑に行われているように感じた。問題点として、厚木基地は、海上自衛隊と米海軍が共同使用している基地であることから、実際に使用する際は調整に時間を要することが懸念される。また、傷病者の発生から近隣病院における安定化処置、ヘリコプターによる患者搬送、SCU から被災地外の病院までの搬送という一連の流れにおいて、患者の情報共有の実現には、被災地内の DMAT による患者情報の入力支援の重要性を理解することができた。



図 2-4 令和元年度大規模地震時医療活動訓練の様子

2.2.6 ヒアリング調査結果のまとめ

本節では、震災時における救助活動の評価手法を構築するにあたり、地震発生後、救助活動に携わる担当者にヒアリング調査を実施した。また、横浜市災害対策本部運営訓練および大規模地震時医療活動訓練を見学することで、震災時の救助活動において懸念される問題点について考察した。表 2-1 は、ヒアリング調査結果の概要について示す。

表 2-1 より、防災関係機関へのヒアリング調査では、震災直後、被災地域内の消防機関がどのように救助活動を展開するのか、救助活動を実施する上で懸念される問題点や被災地域外からの救助部隊の受け入れ体制などを把握することができた。また、提案手法が、人命救助に関する災害対策の立案にどう役立つのか検討することができた。

表 2-1 ヒアリング調査結果の概要

	消防機関	自治体	医療機関	防災訓練
調査内容	<ul style="list-style-type: none"> 消防機関の救助活動の展開要領 救助活動において懸念される問題点 	<ul style="list-style-type: none"> 救助部隊の受援・応援 震災時の医療支援体制 	<ul style="list-style-type: none"> 自力脱出困難者に対する安定化処置および航空搬送 広域医療搬送を実施する際の課題 	<ul style="list-style-type: none"> 災害対策本部の運営 SCU 設置要領
災害時の懸念事項	<ul style="list-style-type: none"> 通行機能の麻痺、帰宅困難者の影響、消防職員の全員が勤務先近くに居住していない現状を踏まえ、消防職員の迅速な参集が課題 横浜市南部は高齢化が進行しており、旧耐震建物や狭隘道路が多いことから、震災時の救助活動が困難になる可能性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> 横浜市内では、救助活動の拠点として 3 つの公園が指定されているが、広域避難場所としても指定されていないことを踏まえる 救助活動拠点として利用する際、避難住民の対策が必須。加えて、緊急車両の燃料確保も検討する必要がある 外部の支援が必要な病院の特定および DMAT の派遣手段の確保が課題 	<ul style="list-style-type: none"> 災害拠点病院の指定要件でもある BCP 策定や、病床数の 2 倍程度の簡易ベッドの保有などの地震対策があまり進んでいない 震災直後は、EMIS の入力が間に合わないため、地震被害想定を参考に DMAT を派遣することが予想されるが、具体的な派遣手段の検討が課題 	<ul style="list-style-type: none"> 防災訓練では、ホワイトボードに貼られた拡大地図を活用することで、救助活動に関して調整をしていた。大規模震災時、救助現場が多数発生する状況において、紙の地図は書き込む情報量に制約があり、情報共有が困難になる恐れがある 被災地内の DMAT による患者情報の入力支援が滞ると、広域医療搬送が実施できない可能性が高い
手法構築に関する知見	<ul style="list-style-type: none"> 消防隊員の参集率 震災時の部隊運用 震災時の交通障害 救助部隊の応援体制 消防署単位で分析することで、部隊運用などの具体的な検討が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 救助部隊の応援体制 救助活動の時空間変化を分析することで、応援部隊の派遣に重要となる 拠点施設・道路を把握できる 	<ul style="list-style-type: none"> 救助・医療活動の連携 	<ul style="list-style-type: none"> 解析結果の出力方法 救助・医療活動の連携 自治体が既に作成しているデータを基に手法を構築することで、他の自治体にも研究成果を還元できる
提案手法の活用	<ul style="list-style-type: none"> 消防力の配備・強化などのソフト対策 被災地域の消防による救助活動を定量的に示すことで、住民の防災意識の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 応援部隊の活動拠点の選定 応援部隊の迅速な派遣に向けた緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定 	<ul style="list-style-type: none"> 広域医療搬送の対象となるクラッシュ症候群の患者が集中する災害拠点病院を特定 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体の防災訓練のシナリオ作成 自治体の防災計画の立案に向けた基礎資料の提供

2.3 対象地域の特性

横浜市は、神奈川県の一部に位置し、面積は約435km²であり、神奈川県の面積の約18%を占めている。また、河川や海岸沿いの低地は沖積層であるため、地震時には地震動の増幅や、液状化現象が懸念される。平成27年国勢調査によると、総人口は約372万人であり、市としては全国1位の人口である。建物現況に関して、旧耐震の建物は約27万棟(約41%)、新耐震の建物は約39万棟(約59%)存在する。特に、旧耐震の木造建物棟数が多い地域として戸塚・港北・旭・鶴見区などが挙げられる。

さらに、道路状況に関して、平成29年4月1日現在、横浜市が管理する道路延長は7618.9kmであり、そのうち道路幅員5.5m未満の道路は約48.6%と高く、救命・救助活動の妨げとなっている。また、主要道路の平日の混雑度(=交通量/交通容量)は、全国平均の0.64(平成27年度全国道路・街路交通情勢調査より算出)に対し、横浜市は0.99であり、東京23区や川崎市など全国の大都市の中で最も高い値を示している。平常時でも各箇所交通渋滞が生じている状況を踏まえると、災害時には一層の渋滞が予想され、緊急車両の救助現場までの移動に支障をきたす可能性が高い地域といえる。

本節では、地震の揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者の救助活動の観点から、研究対象地域の横浜市の地域特性を説明するとともに、地震に対する脆弱性を明らかにする。

2.3.1 65歳以上の人口分布

横浜市の地域特性に関して、65歳以上の人口分布状況を、2015年国勢調査の結果³⁾に基づき、GIS上で分析した。65歳以上の人口に焦点を当てた理由は、阪神淡路大震災、熊本地震などの過去の地震の教訓^{4),5)}より、自力脱出困難者の多くが高齢者であることから、研究対象である地震の揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者の被害状況に影響を与える可能性が高いと判断したためである。

図2-5は、65歳以上の人口の分布状況について示す。なお、メッシュ単位は250m、分類方法に関しては、各階級に含まれるメッシュ数が等しくなるように分類(等量分類)した。図2-5より、南・西・中・港南区、鶴見・神奈川区、旭・瀬谷区などの一部地域は、横浜市内において、65歳以上の人口が多い地域が集中していることから、地震の揺れの強さ次第では、自力脱出困難者が発生する危険性が高い地域である。

次に、図2-6は、総人口に対する65歳以上の割合について示す。なお、メッシュ単位は250m、分類方法に関しては、各階級に含まれるメッシュ数が等しくなるように分類(等量分類)した。図2-6より、旭・瀬谷・栄・泉・金沢区などの南西部の地域は、横浜市内において、高齢化率が高い地域が多く存在することが読み取れる。また、図2-5と照らし合わせると、栄区は、高齢者数が多く、高齢化率も高い地域が存在する。高齢化率が高い地域では、震災後、救助活動に関する情報収集や、地域住民による救助活動が困難になる可能性が高いことから、地域特性を踏まえた救助活動の在り方について検討する必要がある。

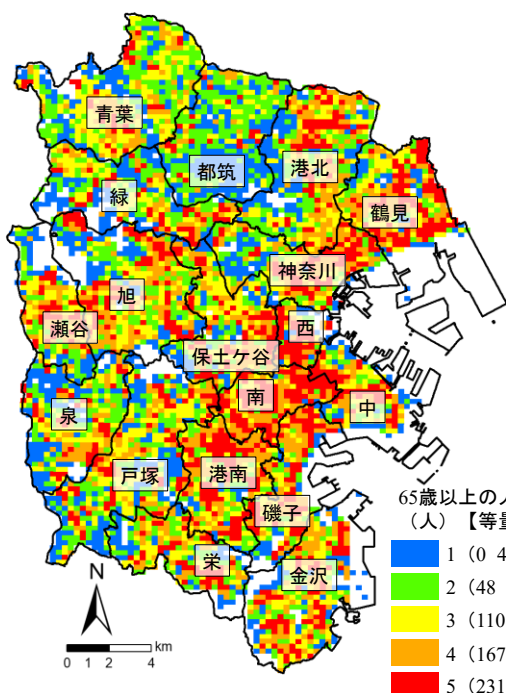


図 2-5 65 歳以上の人口分布

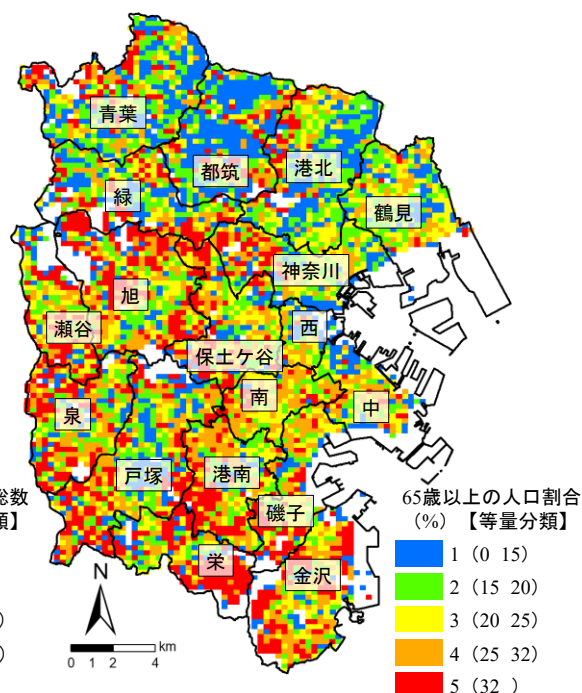


図 2-6 65 歳以上の人口割合

2.3.2 旧耐震の住宅系木造建物分布

横浜市の地域特性に関して、旧耐震（1980年以前）の住宅系木造建物の分布状況を、2013年横浜市都市計画基礎調査データ⁹⁾に基づき、GIS上で分析した。旧耐震の住宅系木造建物に着目した理由は、過去の地震の教訓⁷⁾から、新耐震の建物に比べ、旧耐震の木造建物は地震の揺れにより倒壊しやすいことから、研究対象である倒壊建物に伴う自力脱出困難者の被害状況に影響を与える可能性が高いと判断したためである。

はじめに、旧耐震の住宅系木造建物の分布状況を把握するため、建物の重心を作成し、250mメッシュ内にどれだけの重心が含まれているか集計した。図2-7は、旧耐震の住宅系木造建物棟数の集計結果について示す。図2-7より、南・西・中・磯子・保土ヶ谷区、鶴見・神奈川区、旭・瀬谷区などの一部地域は、横浜市内において、旧耐震の住宅系木造建物が多量に集中している。また、図2-5と照らし合わせると、高齢者数も多い地域であることから、震災時、自力脱出困難者が多数発生する危険性が高い地域である。

次に、旧耐震の住宅系木造建物が集中している地域を明らかにするために、ArcGIS (10.4.1)の空間分析ツールである最適化ホットスポット分析を実施した。この分析におけるホットスポットは、旧耐震の住宅系木造建物が、統計的に有意な値の空間クラスターを形成したことを示しており、旧耐震の住宅系木造建物が集中している地域を把握することに適していると判断した。図2-8は、最適化ホットスポットの分析結果について示す。図2-8より、南・西・中・磯子・保土ヶ谷区、鶴見・神奈川区および南西部の一部地域では、旧耐震の住宅系木造建物が集中して存在していることがわかる。図2-9は、旧耐震の住宅系木造建物のホッ

トスポットである西区および鶴見区の衛星画像を示す。

以上、横浜市内では、多くの高齢者が旧耐震の木造建物に居住しており、市内の一部地域では、旧耐震の住宅系木造建物が集中している現状を踏まえた上で、震災直後の救助活動および応援部隊の受け入れ体制を検討することが、効率的かつ効果的な人命救助を実施するために重要であると考えられる。

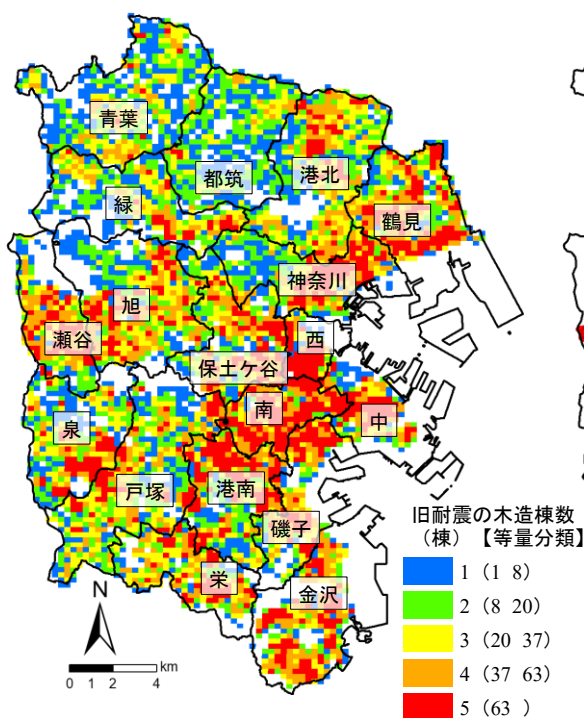


図 2-7 旧耐震の住宅系木造建物の分布

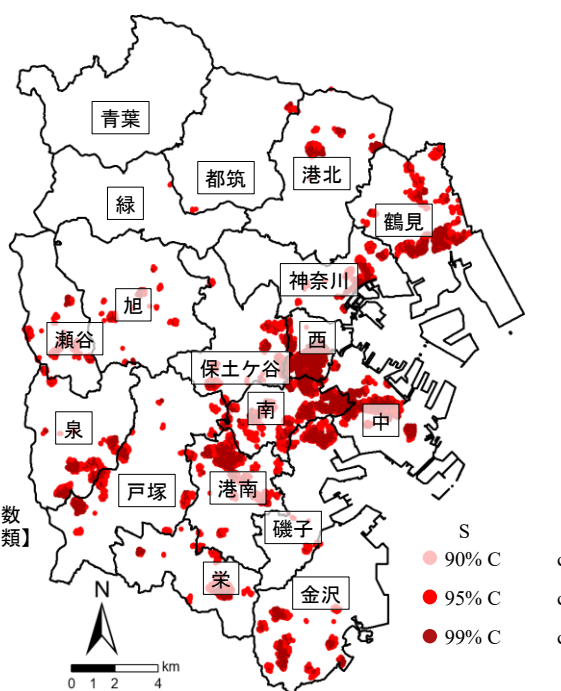
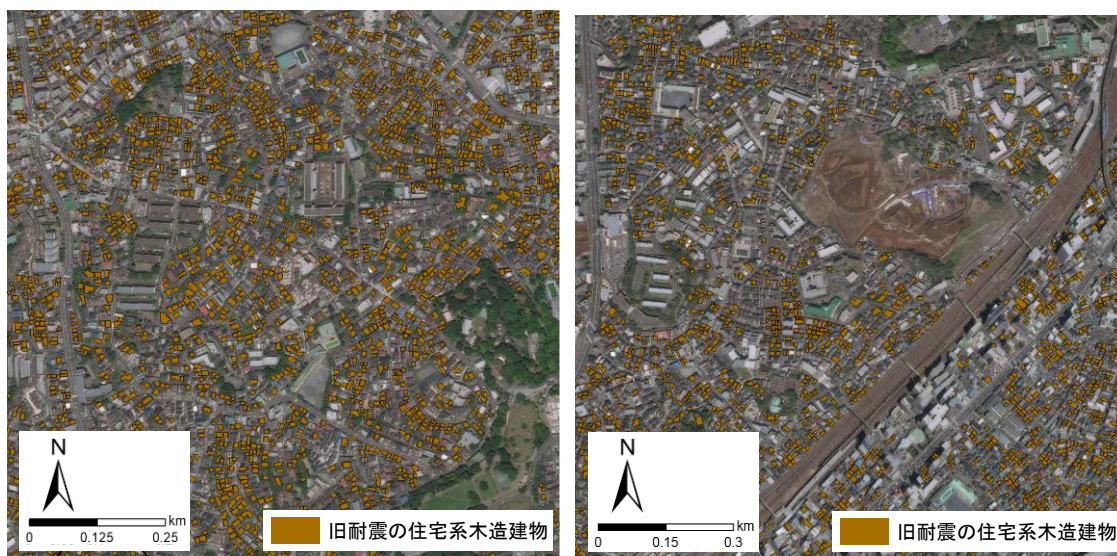


図 2-8 旧耐震の住宅系木造建物のホットスポット



(a) 西区

(b) 鶴見区

図 2-9 衛星画像 (旧耐震の住宅系木造建物)

2.3.3 狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物の分布

横浜市の地域特性に関して、狭あい道路（本研究では、幅員4m未満の道路と定義）に面する旧耐震の住宅系木造建物の分布状況を、2013年横浜市都市計画基礎調査データ⁶⁾に基づき、GIS上で分析した。狭あい道路に着目した理由は、過去の震災の教訓⁴⁾や既往研究⁸⁾より、震災時、狭あい道路は倒壊建物による街路閉塞や、渋滞車両の影響を受けやすいことから、狭あい道路の分布状況と、旧耐震の住宅系木造建物の分布状況を照合することで、震災時の救助活動における脆弱性が明らかになると判断したためである。

はじめに、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物の分布状況を把握するため、旧耐震の住宅系木造建物および道路のポリゴンデータを活用することで、旧耐震の住宅系木造建物が面している道路の幅員を明らかにする。図2-10は、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物棟数の分布状況について示す。なお、メッシュ単位は250m、分類方法に関しては、各階級に含まれるメッシュ数が等しくなるように分類（等量分類）した。図2-10より、西・南・中・磯子区や、鶴見・神奈川区、金沢区などの一部地域は、横浜市内において、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物が集中していることから、震災時、緊急車両による移動が困難になる可能性が高い地域である。一方、青葉・都筑区などの一部地域は、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物が比較的少ないことも明らかとなった。

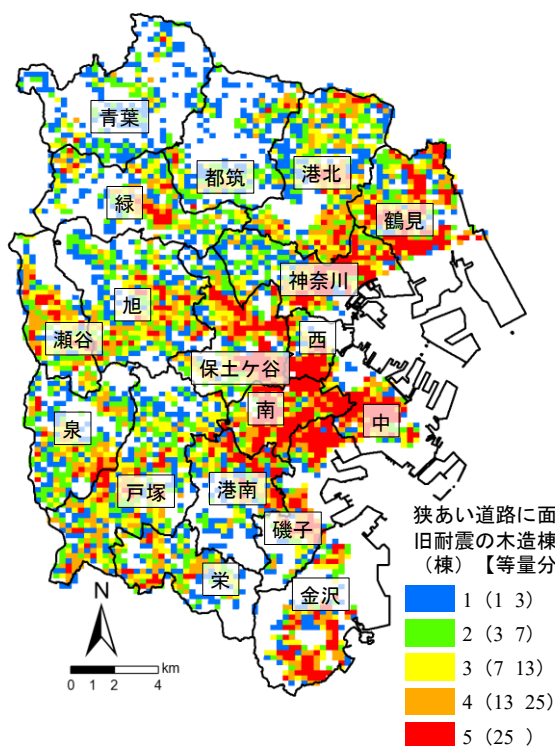


図2-10 狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物の分布

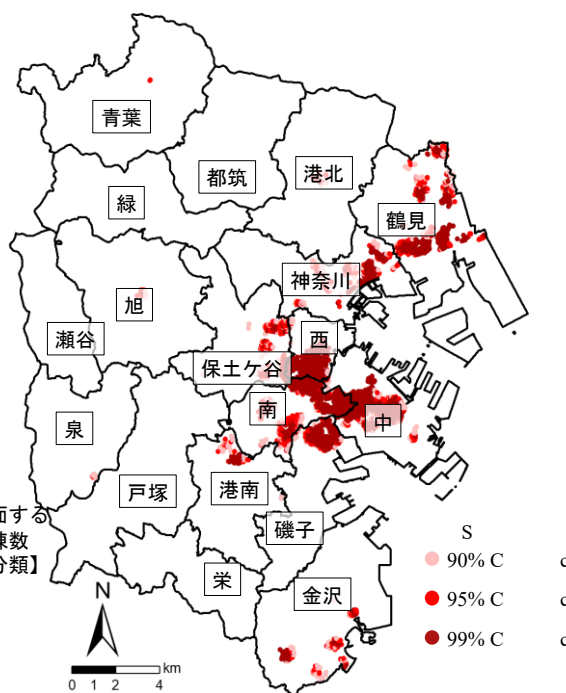


図2-11 狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物のホットスポット

次に、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物が集中している地域を明らかにするために、ArcGIS (10.4.1) の空間分析ツールである最適化ホットスポット分析を実施した。図 2-11 は、最適化ホットスポットの分析結果について示す。また、図 2-12 は、旧耐震の住宅系木造建物のホットスポットである西区および鶴見区の衛星画像を示す。図 2-11 より、西・南・中・磯子区、鶴見・神奈川区の一部地域では、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物が比較的集中して存在している。上記の結果を踏まえると、震災時、これらの地域で救助活動を実施する際は、倒壊建物による街路閉塞に一層注意を払う必要がある。

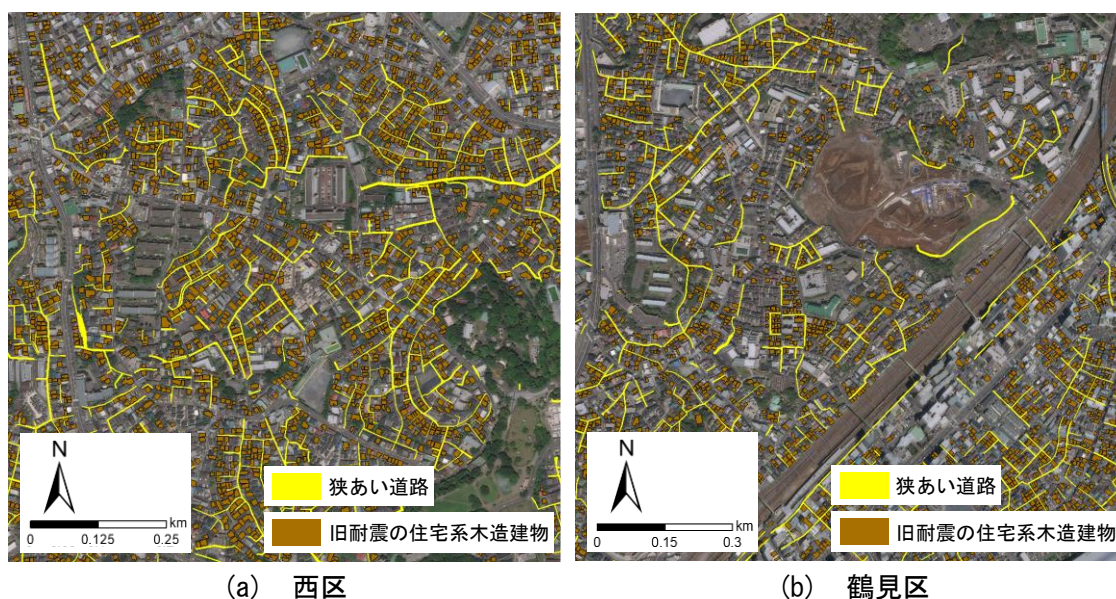


図 2-12 衛星画像（狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物）

2.4 地域特性を踏まえた救助活動の評価手法の提案

本節では、汎用性（多くの自治体に適用可能）・時空間変化（地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉える）・広域地域（行政区単位で分析）の3つの視点に基づき、防災関係機関へのヒアリング調査結果および対象地域の特性を踏まえて、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を提案する。

2.4.1 評価手法の全体像

本研究では、揺れにより倒壊した木造・非木造建物から発生する自力脱出困難者を対象に、消防隊員の救助活動による減災効果を評価する。図 2-13 は、救助活動の分析手法の概要を示す。また、表 2-2 は、使用した GIS ソフトおよび地理空間データを示す。

表 2-2 より、提案手法は、他の自治体にも容易に適用できるように、多くの自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを活用することで、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析できることを目指した。本研究では、提案手法を活用して、下記の2点に取り組むことを目的とする。

- ①具体的な地震を想定せず、一律の揺れを入力することで、道路ネットワークと脆弱な建物の分布、救助隊の初期分布などに基づいて「地震災害時の救助活動」の困難度を相対的に評価する。
- ②自治体の地震被害想定などの情報を基に、想定地震のデータを入力することで、管轄部隊のみでは対応が難しく応援を必要とする可能性が高い地域を、時間的・空間的視点から明らかにする。

次節以降で、各モデルについて説明する。

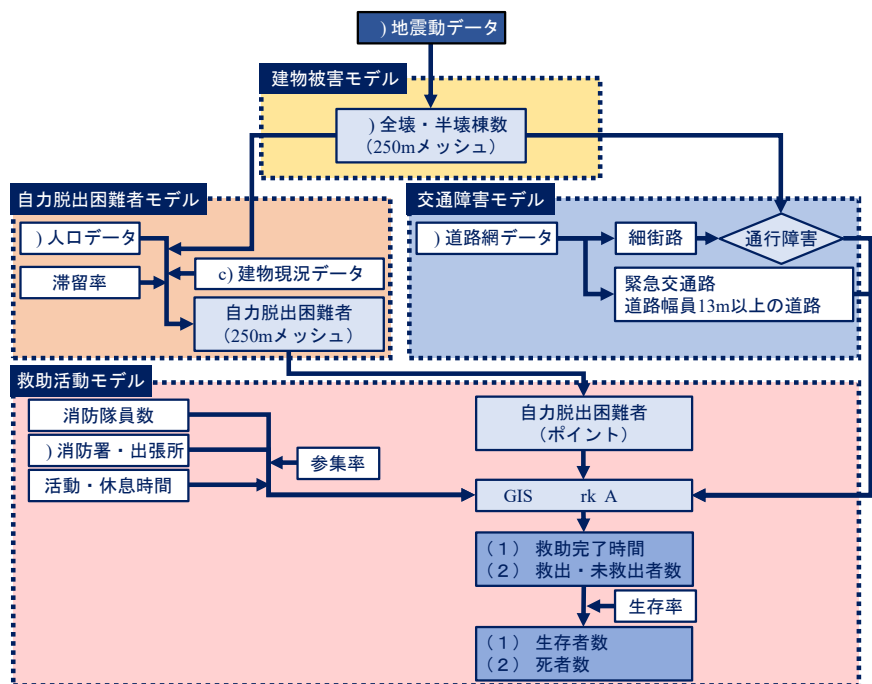


図 2-13 救助活動の評価手法の概要

表 2-2 使用した GIS ソフト・地理空間データ

項目	詳細
基本ソフト	ArcGIS 10.4.1 for Desktop
拡張ソフト	ArcGIS Network Analyst, Special Analyst
(a) 地震被害想定	神奈川県地震被害想定調査
(b) 人口データ	E-stat 統計データ
(c) 建物現況データ	横浜市都市計画基礎調査データ
(d) 道路網データ	ArcGIS Geo Suite 道路網 2018
(e) 消防署・出張所	国土数値情報 消防署データ

2.4.2 建物被害

本研究では、建物の構造・建築年代別（木造 6 区分／非木造 3 区分）に、過去の地震に基づく計測震度と全壊・全半壊率の相関曲線を適用することで、全壊・全半壊棟数を算定した。揺れによる震度別・構造別・建築年代別建物被害率には、全壊率と全半壊率があるため、全半壊棟数から全壊棟数を差し引くことにより半壊棟数を算出した。図 2-14 は、本研究において被害関数として採用する木造・非木造の全壊・全半壊率曲線⁹⁾を示す。また、表 2-3 は、内閣府の住家の被害程度と被害認定基準¹⁰⁾を示す。

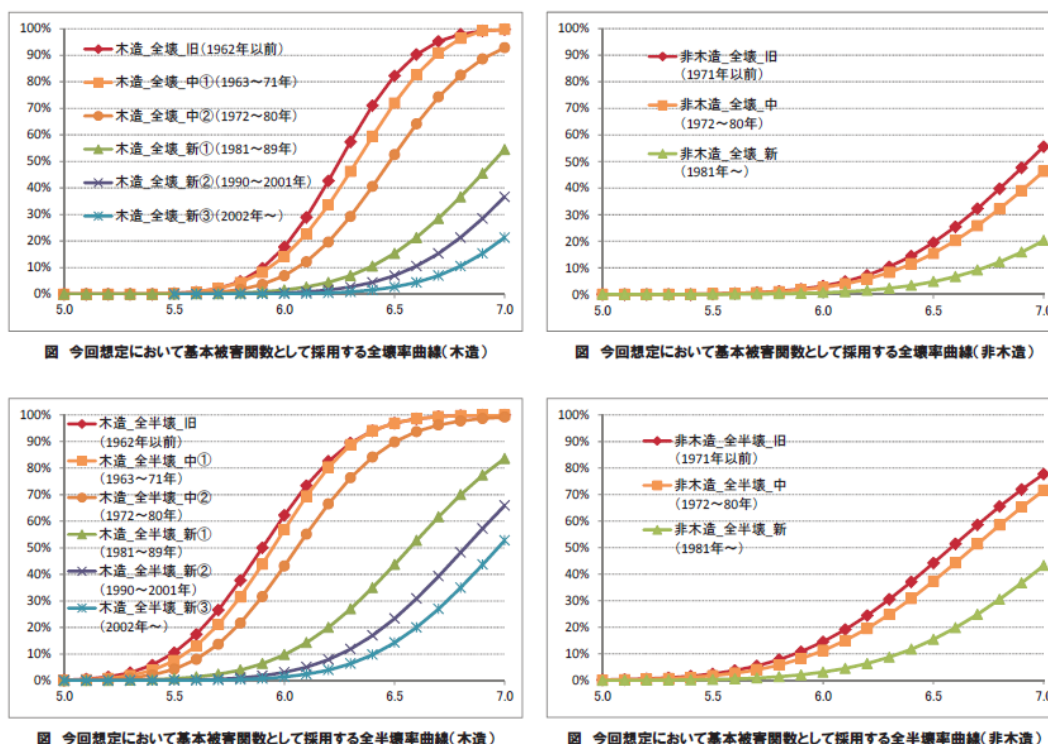


図 2-14 構造別・建築年代別の建物被害関数⁹⁾

表 2-3 住家の被害程度と被害認定基準¹⁰⁾

被害の程度	認定基準
全壊	住家がその居住のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもので、具体的には、住家の損壊、焼失若しくは流失した部分の床面積がその住家の延床面積の70%以上に達した程度のも、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が50%以上に達した程度のもとする。
半壊	住家がその居住のための基本的機能の一部を喪失したもの、すなわち、住家の損壊が甚だしいが、補修すれば元通りに再使用できる程度のも、具体的には、損壊部分がその住家の延床面積の20%以上70%未満のも、または住家の主要な構成要素の経済的被害を住家全体に占める損害割合で表し、その住家の損害割合が20%以上50%未満のもとする。

建物被害データに関して、地震災害時の救助活動を相対的に評価する際は、具体的な地震を想定せず、一律の揺れを入力することで、全壊・全半壊率を算定した。これは、不確実性の高い震源の影響を除外するとともに、道路ネットワークと脆弱な建物の分布、救助隊の初期分布などが救助活動に与える影響を評価するためである。一方、具体的な地震を想定して、救助活動を分析する際は、自治体の地震被害想定全壊棟数・半壊棟数を活用した。

図 2-15 は、建物被害データの作成手順について示す。はじめに、構造・建築年代の情報を含む建物の重心を作成し、250m メッシュ単位で集計（メッシュ内にどれだけの重心が含まれるのか）することで、250m メッシュ単位の構造・建築年代別の建物棟数を算出した。次に、計測震度を入力し、構造別・建築年代別の建物被害関数を適用することで、250m メッシュ単位の全壊・全半壊棟数を算定した。最後に、全半壊棟数から全壊棟数を引くことで半壊棟数を算定した。なお、本研究では、建築年が不明な建物については、木造建物は1962年以前、非木造建物は1971年以前とした。また、物置小屋などを除外するため、総床面積が20m²以上の建物を対象とした。

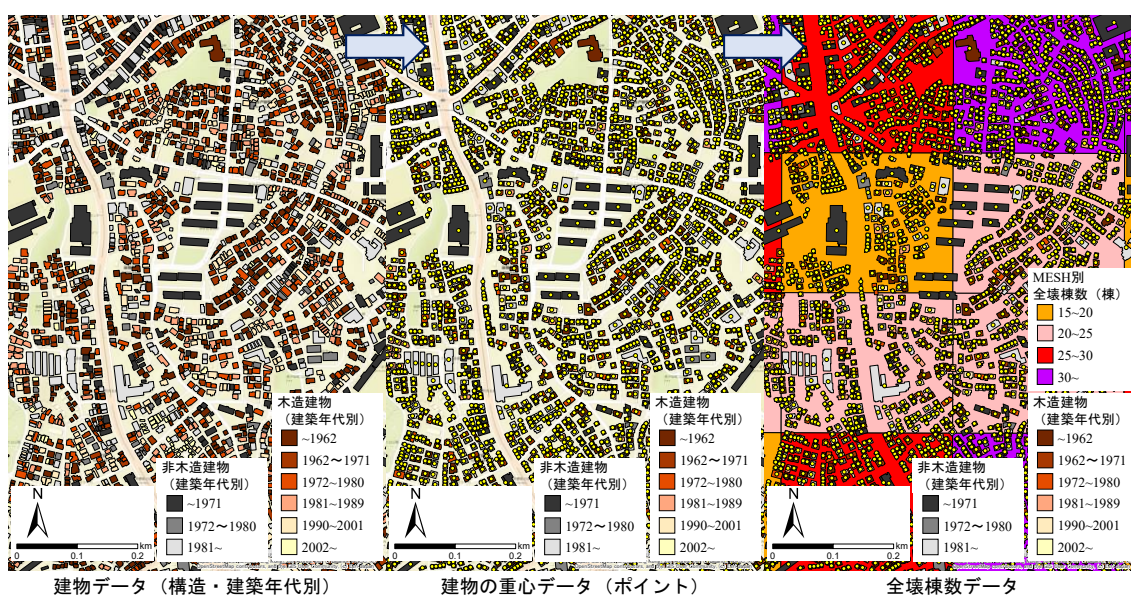


図 2-15 建物被害データの作成手順

2.4.3 自力脱出困難者

本研究では、専門的な救助技術を必要とする倒壊した木造・非木造建物から発生する自力脱出困難者を対象に、提案手法を用いて被災地域内の消防による救助活動の時空間変化を分析する。はじめに、自力脱出困難者数の算定式について説明する。各自治体の地震被害想定における自力脱出困難者数の算定式は一律ではない。各自治体の自力脱出困難者数の算定式の一部を下記に示す。

①東京都地震被害想定における自力脱出困難者数の算定手法¹¹⁾

東京都では、自力脱出困難者数を、阪神淡路大震災の被害事例を参考に想定している。自力脱出困難者数が阪神淡路大震災と同じ割合で発生すると仮定し、神戸市の区別全壊棟数と自力脱出困難者数のデータ¹²⁾を用いることで、木造建物および非木造建物の全壊率と自力脱出困難者数の関係を求めている。表2-4は、阪神淡路大震災における地区別の全壊棟数と自力脱出困難者数について示す。自力脱出困難者数の数値には、消防隊によって救助・遺体搬出された実績であるが、警察・自衛隊および市民によって救助・搬出された人数は含まれていない。宮野ら¹³⁾が、東灘区の一部の地域において、死者の発生した家屋に聞き取り調査を行ったところ、搬出者の内訳は、近隣の住民(64%)、消防(14%)、家族(4%)や親戚(4%)、自衛隊(14%)であった。これらの割合をもとに、建物全壊による自力脱出困難者数は、2-1)式で表される。

表 2-4 地区別の自力脱出困難者数¹²⁾

地区名	全壊棟数 (棟)	自力脱出困難者数 (人：遺体込)
東灘区	11,171	428
灘区	11,693	417
中央区	4,947	197
兵庫区	8,374	252
長田区	12,515	390
須磨区	6,042	189
垂水区	90	2
北区	117	6
西区	0	2

$$\begin{aligned}
 \text{自力脱出困難者数} &= 100/14 \times 0.0164 \times \text{建物全壊率} \times \text{屋内人口} \\
 &= 0.117 \times \text{建物全壊率} \times \text{屋内人口} \quad (2-1) \\
 0.0164 &= \text{自力脱出困難者率} / \text{建物全壊率}
 \end{aligned}$$

②神奈川県地震被害想定における自力脱出困難者数の算定手法¹⁴⁾

神奈川県地震被害想定では、木造・非木造別の自力脱出困難者数を、阪神淡路大震災の建物被害と自力脱出困難者の発生状況から算定している。

・木造建物の倒壊による自力脱出困難者

阪神淡路大震災における閉じ込め発生事例の分析から、崩壊建物に滞在する人の30%が閉じ込められる（自力脱出困難）とし、崩壊する木造建物の発生率（崩壊率）は計測震度に応じて設定している。2-2)式は、木造建物の倒壊による自力脱出困難者の算定式を示す。

$$\begin{aligned} \text{自力脱出困難者数（木造）} &= 0.3 \times \text{崩壊建物数} \times \text{木造建物1棟あたりの屋内人口} & (2-2) \\ \text{崩壊建物数} &= \text{木造建物全壊数} \times \text{崩壊率} \\ \text{崩壊率} &= 0.4 \times \text{計測震度} - 2.1 \end{aligned}$$

・非木造建物の倒壊による自力脱出困難者

阪神淡路大震災以前の地震による建物被害データから旧国土庁が設定した倒壊率を用いている。なお、「倒壊」とは、「全壊」（建物の機能を喪失する被害）のうち、建物全体や特定の階層が完全に崩壊（押しつぶされた状態）の被害を指す。2-3)式は、非木造建物の倒壊による自力脱出困難者の算定式を示す。また、表2-5は、建築年と震度に応じた非木造建物の倒壊率を示す。

$$\begin{aligned} \text{自力脱出困難者数（非木造）} &= 0.3 \times \text{倒壊建物数} \times \text{非木造建物1階あたりの滞在人数} & (2-3) \\ \text{倒壊建物数} &= \text{非木造建物全壊数} \times \text{倒壊率} \end{aligned}$$

表 2-5 非木造建物の倒壊率¹⁴⁾

		倒壊率 %)	
		昭和 56 年以前	昭和 57 年以降
震度	5 弱以下	0.0	0.0
	5 強	0.0	0.0
	6 弱	0.8	0.0
	6 強	2.9	0.7
	7	7.3	2.6

本研究は、神奈川県地震被害想定における自力脱出困難者の算定式(2-2, 2-3)を用いて、揺れにより倒壊した木造・非木造建物から発生する自力脱出困難者数を算定した。神奈川県地震被害想定の手法を用いた理由は以下のとおりである。

①神奈川県地震被害想定自力脱出困難者数は、全壊棟数ではなく、倒壊棟数に基づいて算定している。本研究では、消防隊員による救助活動のシミュレーションを実施することを踏まえると、専門的な救助技術を必要とする倒壊建物から発生する自力脱出困難者数を対象に算定することが妥当であると判断した。

②東京都の算定式¹¹⁾を用いた場合、震度6弱以下の地域でも全壊被害が発生するため、かなりの自力脱出困難者が発生することから、建物崩壊率を考慮した推定式を用いることが妥当であると判断した。

図 2-16 は、自力脱出困難者数の算定手順について示す。はじめに、平成 25 年度都市計画基礎調査データ（建物現況）⁶⁾の住宅系建物の延床面積と平成 27 年国勢調査（人口）データ³⁾を用いて、1 人当たりの延床面積を計算した後、250mメッシュ単位で木造・非木造建物別に集計した延床面積と建物棟数に基づき、建物 1 棟・1 階当たりの人口を算出した。そして、揺れによる全壊棟数を、神奈川県自力脱出困難者の算定式に適用して、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者数を算定した。なお、神奈川県の手法は、木造建物の場合は計測震度に応じた崩壊率、非木造建物の場合は震度・建築年に応じた倒壊率を、全壊棟数に乗じて「崩壊（倒壊）棟数」に変換した上で、木造建物の場合は 1 棟当たりの屋内滞留人口、非木造建物の場合は 1 階当たりの滞在人数を乗じて自力脱出困難者数を算定している。また、本研究では、地震発生時刻を多くの住民が自宅に在宅している時間帯である朝 5 時として、多数の自力脱出困難者が発生する場合を想定した。滞留率（住民が在宅している確率）は、平成 28 年度社会生活基本調査¹⁵⁾より朝 5 時時点で総人口の 97.6%が在宅し、残り 2.4%は屋外で活動していると仮定した。朝 5 時に地震が発生した場合、自宅などでの「家具転倒による自力脱出困難者」も発生することが予想されるが、本研究では、技術面・安全面から地域住民による救助活動が難しい「倒壊建物からの自力脱出困難者」のみを救助活動の分析対象とする。

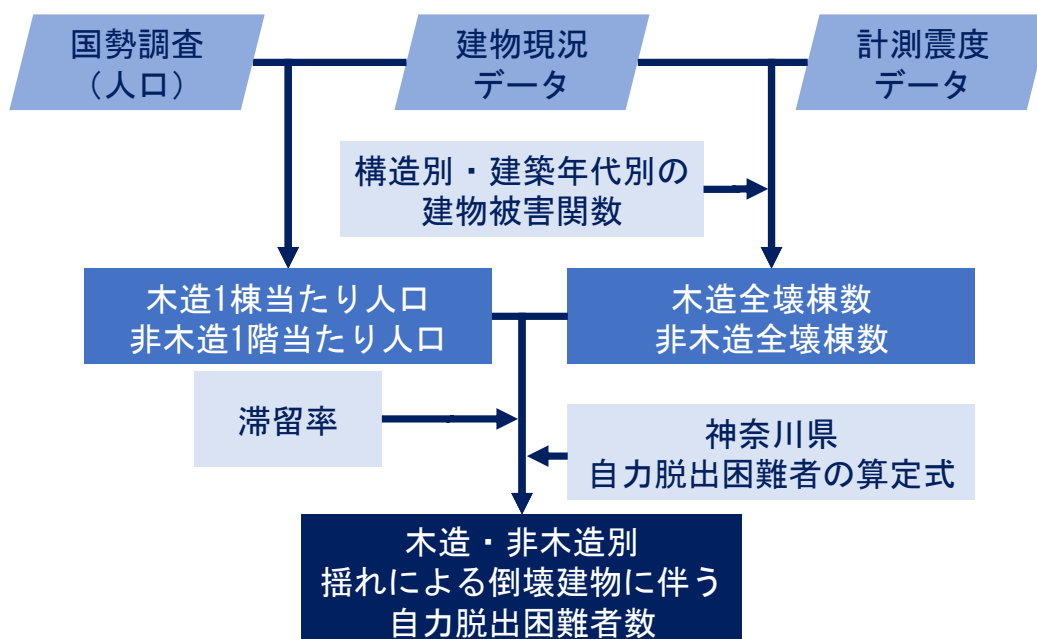


図 2-16 自力脱出困難者数の算定手順

2.4.4 交通障害

提案手法では、消防隊員が、各消防署・出張所から、自力脱出困難者の救助現場まで向かう移動をポンプ車や救助車などの車両によるものとし、被災状況に応じた移動速度の低下を想定することで、地震発生後における救助活動のモデルを構築した。

図 2-17 は、地震発生後における緊急車両の移動速度の推定フローを示す。また、表 2-6 は、CASE 別の移動速度を示す。地震による交通障害が車両移動に与える影響については、津田ら¹⁶⁾、廣井ら¹⁷⁾など多くの既往研究が存在し、首都直下地震時は車両速度が大幅に低下することを予測しているが、被災状況に応じた移動速度の推定手法は発展段階であると考えられる。よって、本研究は、移動速度をパラメータにして救助活動のモデルを構築した。

移動速度の設定値に関しては、以下の通りである。

- ①24km/h：横浜市消防力の整備方針¹⁸⁾における出動時の走行速度の実態調査結果。
- ②12km/h：東京消防庁の東北地方太平洋沖地震時の東京都内の渋滞を考慮した消防ポンプ車などの出場速度¹⁹⁾。
- ③3km/h：大規模な交通渋滞が長期間に及ぶことを想定した廣井ら¹⁷⁾の研究成果。

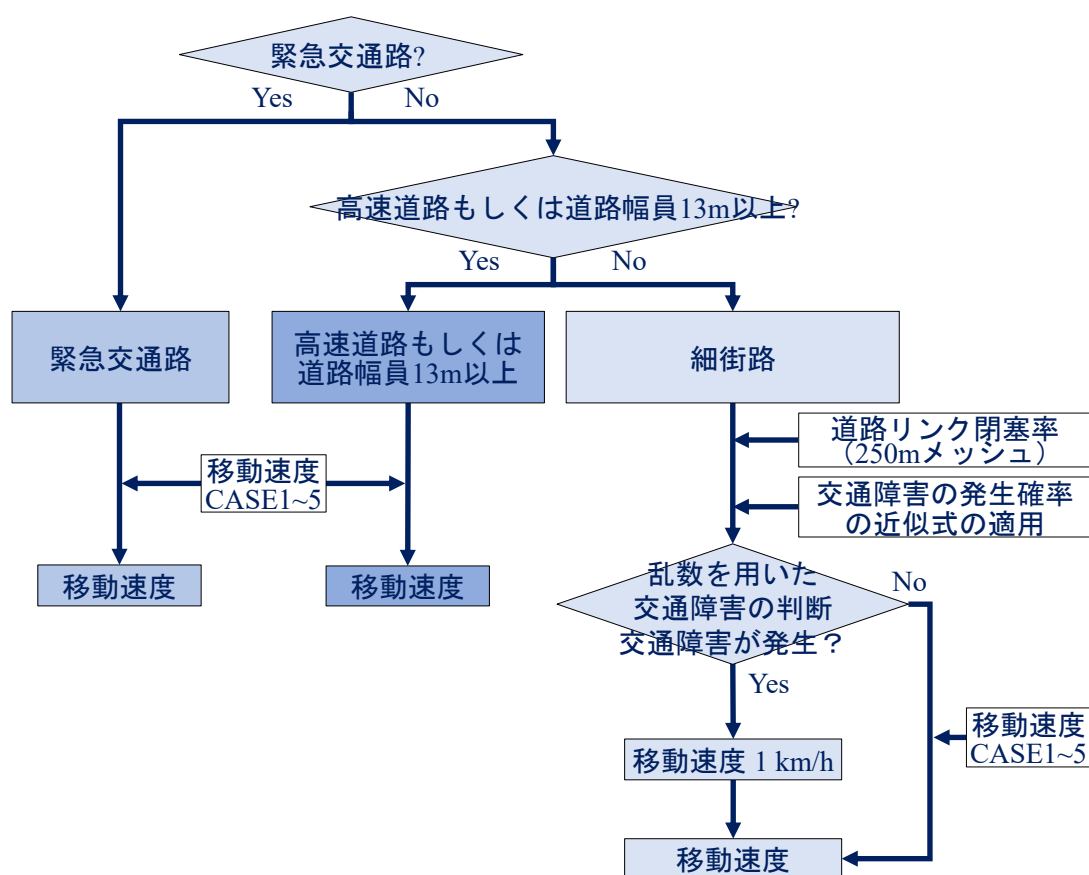


図 2-17 地震発生後における緊急車両の移動速度の推定フロー

表 2-6 CASE 別の移動速度

道路種別	移動速度 (km/h) ※交通障害の発生				
	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
緊急交通路	24	12	3	12	3
高速道路もしくは 道路幅員 13m 以上	24	12	3	12	3
細街路	24	12	3	12※	3※

次に、CASE4~5において、倒壊建物による道路閉塞が緊急車両の移動に与える影響評価の方法について述べる。本研究は、大原ら²⁰⁾の既往研究と同様、多くの自治体が作成している250mメッシュ別道路リンク閉塞率（閉塞によって残存車道幅員が3m以下になったリンクの割合）を用いて、道路閉塞が緊急車両の通行機能に与える影響評価を試みた。

家田ら⁸⁾は、阪神淡路大震災において街路閉塞に伴う機能的障害に着目し、航空写真を用いた街路閉塞状況の判読と、街路閉塞が救助活動に及ぼした影響に関して、神戸市の各消防署に対してアンケート調査を行った。家田らは、震災後の救助・消火・救援などの活動に「街路閉塞」が与えた影響として、①緊急車両の現場へのアクセスや重機類の搬入を困難にしたという通行機能上の障害、②消火活動の現場作業への障害を挙げており、①および②の障害の程度は、街路閉塞状況の程度と強く関連していたと述べている。図 2-18 は、街路閉塞による通行障害の実態調査を行った家田らの神戸市消防署職員に対するアンケート調査結果の「街路閉塞状況と救助活動状況の関係」を示す。この図から、通行障害が生じたと回答した割合と、車道幅員 3m 未満の街路リンク割合の増加量の累乗近似式を作成した。図 2-19 にそのグラフを示す。

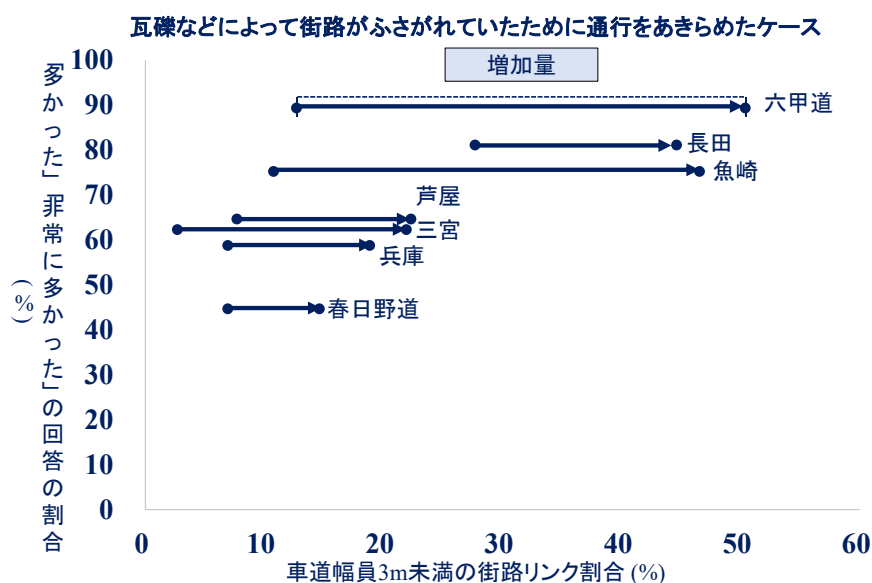


図 2-18 街路閉塞状況と救助活動状況の関係⁸⁾ (文献 8 の図を基に作成)

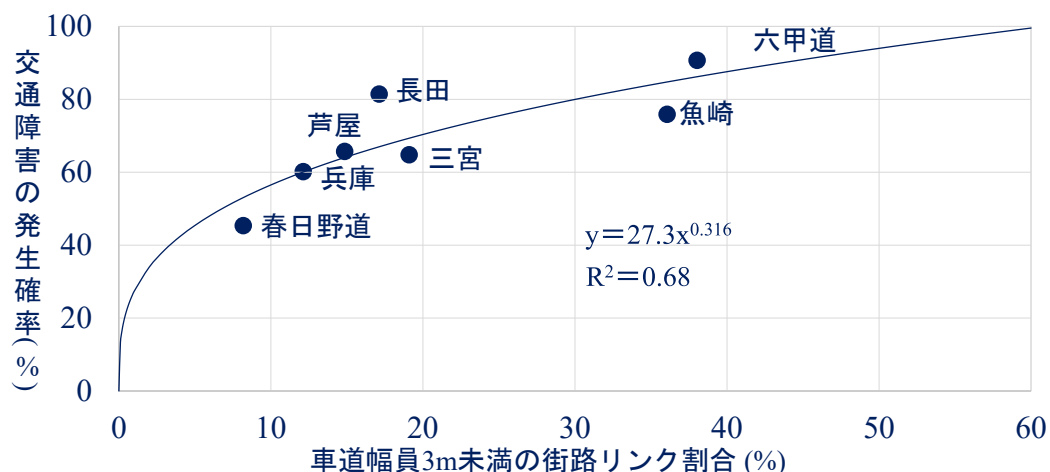


図 2-19 地震発生後における緊急車両の移動速度の推定フロー

次に、神奈川県地震被害想定¹⁴⁾における細街路（幅員 13m 未満の国道，県道および市町村道と定義）を対象とした「建物被災率と道路閉塞率の関係式 (2-4)」を用いて，幅員 3m 以上 13m 未満の道路リンクを対象に 250m メッシュ別の道路閉塞率を算出した。

①建物被災率

$$\text{建物被災率 (\%)} = (\text{全壊棟数} + 1/2 \times \text{半壊棟数}) / \text{全建物棟数}$$

②道路幅員 3m 以上 5.5m 未満の道路リンク閉塞率

$$\text{道路リンク閉塞率 (\%)} = 0.3514 \times \text{建物被災率} + 13.189$$

③道路幅員 5.5m 以上 13m 未満の道路リンク閉塞率

$$\text{道路リンク閉塞率 (\%)} = 0.2229 \times \text{建物被災率} - 1.5026$$

(2-4)

④メッシュ別道路リンク閉塞率

$$\text{メッシュ別道路リンク閉塞率 (\%)} =$$

$$\frac{\sum \{ \text{道路幅員別延長} \times \text{道路幅員別リンク閉塞率} \}}{\sum \text{道路幅員別延長}}$$

算出した道路閉塞率を，近似式に適用することで，メッシュ別の通行障害が生じる確率を求めた。その後，GIS 上で P h を用いて 0 から 1 の一様乱数を発生させ，通行障害が生じる確率より小さい場合はそのメッシュ内の細街路のみ道路閉塞の影響により通行障害が発生するとし，大きい場合には通行障害が発生しないと仮定した。なお，本研究では，250m メッシュ内で通行障害が発生すると判断された場合，メッシュ内の道路幅員 13m 未満の細街路の移動速度を 1km/h と設定することで，極度の渋滞状態を想定し，倒壊建物による街路閉塞の影響を考慮した。シミュレーションでは，通行障害が発生するメッシュ内の細街路を通行不可とせず，救助部隊が到着できない現場は生じないものとした。なお，通行障害の影響を受ける細街路の移動速度を 1km/h に低下させることで，緊急交通路や道路幅員 13m 以上の道路などが救助部隊の移動経路として優先的に使用されることを確認できた。

また、提案手法では、倒壊建物による閉塞の影響を受ける道路を細街路のみに限定した。これは近年、緊急交通路沿いの建物の耐震化が促進されている状況および道路幅員が13m以上の道路は倒壊建物による閉塞の影響を受けることが少ないと考えられるためである。そして、自力脱出困難者の被害推定情報が付与されている250mメッシュデータの重心を救助現場として、消防署・出張所から救助現場間の移動経路・時間について解析した。救助部隊の移動に関する条件設定の詳細は、次節で説明する。

2.4.5 救助活動

本項では、自力脱出困難者を救助するために必要な救助隊員数・救助時間などの救助労力および救助部隊の移動に関する条件設定について説明する。

①救助労力に関する条件設定

村上ら^{21),22)}は、消防局・消防本部による救助活動記録を用いて、阪神淡路大震災における自力脱出困難者に対する救助活動の実態を調査した。図2-20は、神戸市消防局の報告（1月17日～1月21日）による構造種別の平均救助時間を示す。図2-20より、ばらつきは大きいですが、7つの消防署の平均救助時間は、木造だと84分、RC構造だと188分となる。また、同じ木造でも戸建てに比べ、アパート・長屋は、救助活動に2倍以上の時間を要したことを明らかにし、その理由として、建物の損傷の程度が大きいこと、住民の所在不明が影響したことを挙げている。さらに、1救助現場あたりの救助隊員数が多くても、自力脱出困難者の救助時間は減少するわけではなく、建物の損傷の程度に大きく影響を受けると指摘した。

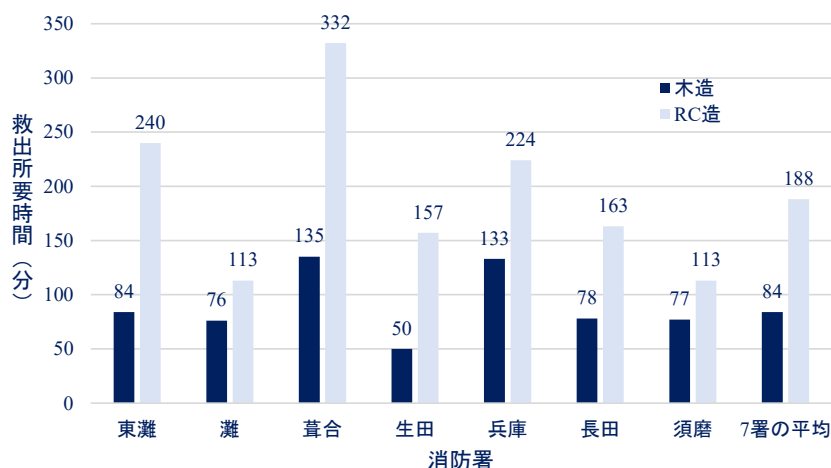


図2-20 自力脱出困難者の平均救助時間²¹⁾

警察庁は、熊本地震が阪神淡路大震災以降で最大の被害をもたらした内陸型地震であることに鑑み、木造倒壊建物の救助活動の体系化に資するべく、熊本地震における警察の全救助活動（111現場：生存128人、心肺停止32人）を調査した²³⁾。特に建物内部の空間の損失程度が重大であった層崩壊を伴う倒壊建物において警察が主導した救助活動（39現場：生存42人、心肺停止18人）を対象として、熊本地震発災から約1年間にわたり、警察の救助活動に関する膨大なデータを収集・整理し、救助活動のプロセスを分析した。図2-21は、熊本地震における警察による救助活動の分類を示す。なお、層崩壊を伴わない建物では、数分から数十分で救助活動が終了しており、救助活動に特別な資機材や技術を使用しなかったと報告されている。また、調査分析した資料に関する留意点を下記に示す。

- ・調査分析の対象とする救助活動を行った倒壊建物は、全て木造住宅である。

- ・対象事例を行った倒壊建物は、火災又は土砂災害による被害を受けていない。
- ・前震・本震とも夜間に発生し、被災者の多くは屋内にいた。

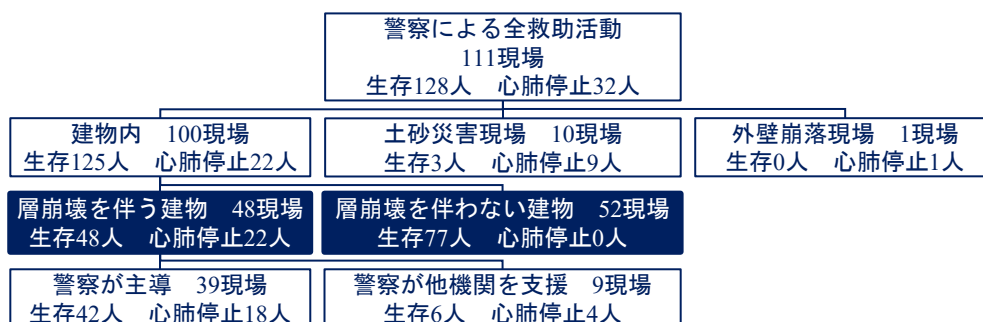


図 2-21 熊本地震における警察の救助活動の分類²³⁾

次に、分析結果の概要として、表 2-7 に救助活動現場の状況、表 2-8 に救助活動のプロセスを示す。表 2-7 より、熊本地震でも、阪神淡路大震災と同様に、自力脱出困難者の年齢層として 60 歳以上が多く閉じ込められたこと、20 歳代が 30 歳代を上回ったことなどが確認された。また、表 2-8 より、生存していた自力脱出困難者の多くが、救助隊員の呼びかけに反応を示したことは、救助部隊の活動現場の優先順位を決定する上で重要な判断基準であるといえる。さらに、救助部隊は活動が終了した後も、他の活動現場に転進したことが明らかとなった。

表 2-7 救助活動現場の状況²³⁾

調査項目	調査分析の結果
1 救助活動の時間帯と活動結果	<ul style="list-style-type: none"> ・前震では、一般的な警察の救助活動の流れのとおり、警察署等、機動隊等、広域緊急援助隊等の順で救助活動が展開していた。 ・本震では、広域緊急援助隊等が発災直後から活動していたなど、一般的な警察の救助活動の流れとは異なる状況であった。
2 活動現場の場所	<ul style="list-style-type: none"> ・前震では、活動現場は熊本市から益城町（概ね震度 7）の範囲に集中していた。 ・本震発生後には、布田川断層沿いに活動現場が拡大した。
3 活動現場の建物倒壊状況	<ul style="list-style-type: none"> ・対象事例では、全ての活動現場で建物の 1 階部分が層崩壊を起こしていた。
4 活動現場ごとの活動人数	<ul style="list-style-type: none"> ・警察署等は少人数で現場に臨場して部隊と交代できないまま救助活動を行った。 ・機動隊等は 15 人前後の活動単位で行動した。 ・広域緊急援助隊等は、25 人前後で行動し、複数部隊が合同で活動した場合に 30 人を超えた。
5 要救助者の年齢層	<ul style="list-style-type: none"> ・生存・心肺停止など関わらず、60 歳以上が多く閉じ込められていた。 ・20 歳代の要救助者数が 30 歳代を上回り、阪神淡路大震災と同様の傾向がみられた。
6 他機関との連携	<ul style="list-style-type: none"> ・6 割以上の活動現場で他機関と連携して活動した。
7 地域住民の協力	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの活動現場で地域住民の協力があつた。

表 2-8 救助活動のプロセス²³⁾

調査項目	調査分析の結果
1 現場臨場	<ul style="list-style-type: none"> ・認知手段として、本震災発生後に、口頭報告が大きく増加した。 ・広域緊急援助隊等の大半が活動現場から 500m 以上の場所に帯同車両を駐車した。
2 現場関係者からの情報収集	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの活動現場で、現場関係者から要救助者の位置や状況に関する情報提供を受けた。
3 主な危険要因	<ul style="list-style-type: none"> ・顕著に高い頻度で余震が発生した。 ・不安定建物、散乱瓦礫、視界不良、粉塵、ガス漏れがあった。 ・機動隊や広域緊急援助隊は、ほぼ安全監視要員を配置していた。
4 倒壊建物外からの呼びかけ捜索	<ul style="list-style-type: none"> ・生存している要救助者は呼びかけに何らかの反応を示した。 ・ほとんどの活動現場で要救助者を倒壊建物外から視認できなかった。
5 要救助者へのアプローチ	<ul style="list-style-type: none"> ・警察署員は、全ての活動現場で倒壊建物の安定化措置を実施していなかった。 ・安定化措置には、角材や土のうなど、その場で調達できる資機材を柔軟に活用した。 ・2階部分、1階部分または屋根から進入し、1階部分からの進入は慎重に判断した上で行った。 ・アプローチに伴う破壊・排除は、多様な作業を色々な資器材を活用して行った。
6 接触時の要救助者の状況	<ul style="list-style-type: none"> ・閉じ込め場所の大半が1階居室であった。 ・進入箇所から閉じ込め場所までの距離は4m未達がほとんどであった。 ・閉じ込め空間は、床面から要救助者の上部までの高さ75cm未達がほとんどであった。 ・閉じ込め空間の作業スペースは、3人以下がほとんどであった。 ・要救助者の下部の状況は、布団、ベッド、畳、フローリングが多かった。 ・要救助者の3分の2以上が圧迫物により挟まれ状況にあった。 ・圧迫物は、梁材または天井が多かった。 ・挟まれ部位は、頭部が多かったほか、多様な部位が挟まれていた。 ・挟まれ状況にある要救助者の約半数が、強い疼痛を訴えていた。 ・チェーンソー、ノコギリ、バールなど切除・破壊が可能な資機材や、電動コンピツールなど小型・軽量に空間を拡張できる資機材が多く使用されていた。 ・活動現場の約半数で挟まれ・圧迫の解除は30分以内に終了していたが、最長240分まで要した活動現場もあった。
7 医師・救急救命士との現場連携	<ul style="list-style-type: none"> ・医師または救急救命士と、クラッシュ症候群対策等として倒壊建物内外で連携した。
8 挟まれ・圧迫の解除	<ul style="list-style-type: none"> ・挟まれ・圧迫の解除方法として、「圧迫物の切断」と「圧迫物の拳上」に加え、「要救助者の下部に空間を確保」が多く行われた。
9 倒壊建物内からの搬出	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの要救助者が進入時と同一の経路で倒壊建物外へ搬出された。 ・専用の資機材を使用する搬出と資機材を使用しない搬出がほぼ同数であった。 ・搬出の所要時間は、10分以内がほとんどであった。
10 引継ぎ・搬送	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんどの生存した要救助者を救急隊、医療機関または救護所に引き継いだ。 ・救助隊に引き継がなかった要救助者は、警察が車両又は徒歩で引継ぎ先へ搬送した。
11 転進	<ul style="list-style-type: none"> ・救助活動を終了した後も、ほとんどの部隊が他の救助活動や被害軽減のために転進した。

図 2-22 は、各救助現場の分析結果の一例を示す。表 2-9 は、全ての救助現場の分析結果を基に算出したそれぞれの活動に要する時間（呼びかけ、アプローチ、挟まれ・圧迫解除、搬出）の平均値、標準偏差について示す。表 2-9 より、自力脱出困難者に接触するまでのアプローチ、挟まれ・圧迫解除に要する時間は、ばらつきが大きいことが分かった。これは、閉じ込め空間の狭隘・煩雑の程度に大きく影響を受けたことが原因であると推測する。

図 2-23 は、活動主体別の活動人数に対する感想（対象：39 現場）を示す。図 2-23 より、熊本県警察（警察署など）は 8 現場のうち 6 現場につき「人が足りなかった」、熊本県警察（機動隊など）は 11 現場のうち 7 現場につき「ちょうど良かった」、そして広域緊急援助隊などは 20 現場のうち 13 現場につき「ちょうど良かった」、かつ 7 現場につき「人が多かった」との感想であった。また、倒壊建物の救助活動の場合、活動人数が 5 人以下であれば明らかに不足を感じ、10 人以上であれば活動人数の不足を感じることはないものの、逆に過剰と感じていたことが明らかとなった。

事例 39[本震]

00 基礎情報

活動部隊	熊本県警 高森署 (2人)
活動日時	平成 28 年 4 月 16 日 11 時 00 分頃～13 時 00 分頃 ※ 活動者 2 人のうち、1 人は 12 時 00 分頃に合流
活動場所	阿蘇郡南阿蘇村河陽地区 (木造 2 階建てアパート)
倒壊状況 【分類】	[10]  1 階の屋根がはくはくして軒に落ちている部分がある。もしくは、2 階にも破損がかなり及んでいる。
要救助者	① ~20 歳代 男性【生存】 ② ~20 歳代 男性【生存】
他機関連携	有り【消防団】
地域住民の協力	有り【情報提供、資機材調達】

01 現場臨場

認知手段	口頭申告【別件現場での活動後】
駐車場所	※ 車両の使用なし

02 現場関係者からの情報収集

現場関係者	有り【付近住民】
具体的状況	要救助者の友人から、要救助者 2 人の氏名、閉じ込め位置等について情報提供

03 活動現場の危険要因

主な危険要因	不安定建物・落下危険物・散乱瓦礫
現場活動中の余震発生状況 (南阿蘇村)	20 回 震度 3:2 回 震度 2:7 回 震度 1:11 回
安全監視体制	専従の安全監視要員の配置なし

04 倒壊建物外からの呼び掛け

【要救助者①】	
呼び掛け反応	有り【はっきりした「声」を確認】
反応までの時間	~3 分間
視認可否	視認不可
【要救助者②】	
呼び掛け反応	有り
反応までの時間	【はっきりした「声」を確認】 ~3 分間
視認可否	視認不可

05 要救助者へのアプローチ

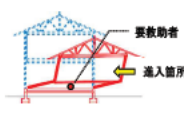
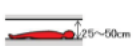
【要救助者①、②】	
倒壊建物の安定化措置	実施なし
進入箇所	2 階【窓】
アプローチに伴う破壊・排除	破壊・切断【窓・床】 排除【瓦礫・家具】
主な使用資機材	パール、ノコギリ、ハンマー
所要時間	約 80 分 (要救助者①) 約 60 分 (要救助者②)

体位 / 下部	座位
要救助者の下部	フローリング
挟まれ状況	天井板に、【部位不明】が挟まれていた ※ 要救助者への圧迫はほとんどなし
容態、負傷等	特段の異常は認められず (自力歩行可能)

07 医師、救急救命士との現場連携

現場連携なし

06 接触時の要救助者の状況

【要救助者①】	
閉じ込め位置 【イメージ図】	1 階居室 (進入箇所から約 1.5m 先の床下) 
閉じ込め空間 【分類】	[2]  2.5~50cm
閉じ込め空間の作業スペース	1 人程度が作業可能
体位 / 下部	仰臥位
要救助者の下部	フローリング
挟まれ状況	天井板に、【部位不明】が挟まれていた ※ 要救助者への圧迫はほとんどなし
容態、負傷等	特段の異常は認められず (自力歩行可能)

08 挟まれ・圧迫解除作業

【要救助者①】	
解除方法	切除
主な使用資機材	パール、ノコギリ
所要時間	約 100 分 ※ 床等の破壊作業に要した時間を含む
具体的状況	要救助者周辺の床板、梁材、天井板等をノコギリにより切除して挟まれ・圧迫を解除



写真 5-39-1 建物倒壊状況 (平成 28 年 10 月 26 日撮影)

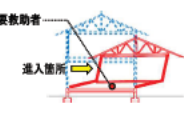

【要救助者②】	
閉じ込め位置 【イメージ図】	1 階居室 (進入箇所から約 1.5m 先の床下) ※ 要救助者①とは別室 
閉じ込め空間 【分類】	[4 b]  75~100cm
閉じ込め空間の作業スペース	1 人程度が作業可能

図 2-22 熊本地震における警察の救助活動の事例の分析資料²³⁾

表 2-9 各活動に要する時間

	呼びかけ (分)	アプローチ (分)	挟まれ・圧迫解除 (分)	搬出 (分)
平均値	3	46	40	7
標準偏差	3	77	58	12
中央値	3	20	20	5
最小値	0	0	0	1
最大値	15	450	240	90
有効データ数	57	59	56	57

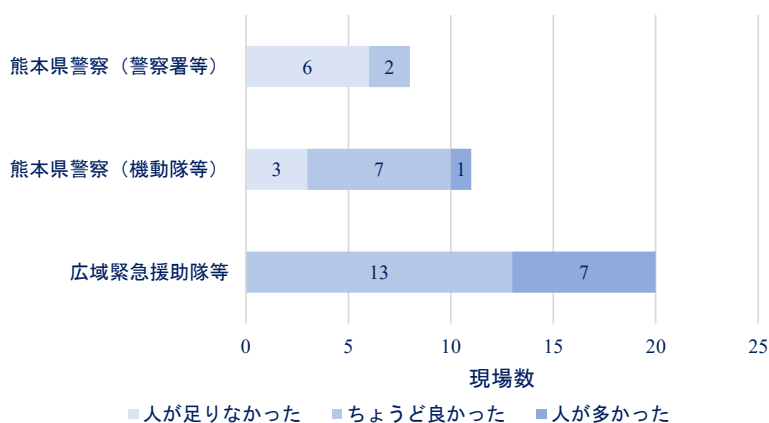


図 2-23 活動主体別の活動人数に対する感想²³⁾

以上、熊本地震による倒壊建物からの救助活動を分析した警察資料²³⁾および阪神淡路大震災の既往研究²¹⁾より、提案手法では、倒壊した木造建物から発生する自力脱出困難者1人を救出するために必要な救助時間を96分、倒壊した非木造建物からの救助時間を木造の2倍(192分)に設定した。また、救助活動に従事した熊本県警察などによる救助現場に関するアンケート調査では、活動人数が1現場あたり5人以下の場合、明らかに不足を感じていた結果を踏まえ、6人編成の救助部隊を運用するとした。そして、消防隊員の1日あたりの活動時間は、心身の疲労に伴う二次災害を防止する観点から、移動時間を含む救助活動を16時間、休息を8時間と設定した。

各消防署の隊員数は、横浜市消防年報²⁴⁾を参考に、各出張所に12人ずつ、消防署に残りの隊員を配置した。また、消防署の隊員の勤務体制を2部制とし、朝5時に地震が発生した時点で出勤していない消防隊員の参集率は、東京消防庁の消防署勤務職員の東北地方太平洋沖地震時の時間別平均参集率¹⁹⁾を参考に、地震発生から5時間後で50%、10時間で75%、24時間で100%と設定した。参集後、救助部隊は直ちに救助活動を行うとした。なお、被災状況次第では、消防隊員の参集率は、本研究の設定値よりも低下する恐れがある。

図 2-24 は、消防による救助活動のフローについて示す。また、図 2-24 は、地震発生からの経過時間と生存率の関係式のグラフ²⁵⁾を示す。本研究では「自力脱出困難者が被災して

から救助されるまでの時間」を、²⁵⁾ 鋤田ら²⁵⁾が、阪神淡路大震災の神戸市東灘区の救助活動記録を基に作成した地震発生からの経過時間と生存率の関係式に適用することで、救出された自力脱出困難者の生死を判定した。また、本研究では地震火災を考慮しておらず、消防署の全隊員が自力脱出困難者の救助活動に従事する状況を想定している。今後、提案手法に消火活動を組み込むことの必要性は論を待たないが、「消火活動に要する時間と必要な隊員数」が明らかとなれば、分析結果を編集し、消火活動を考慮した「救助完了時間」と「生存者数」を算定することは可能であると考えられる。

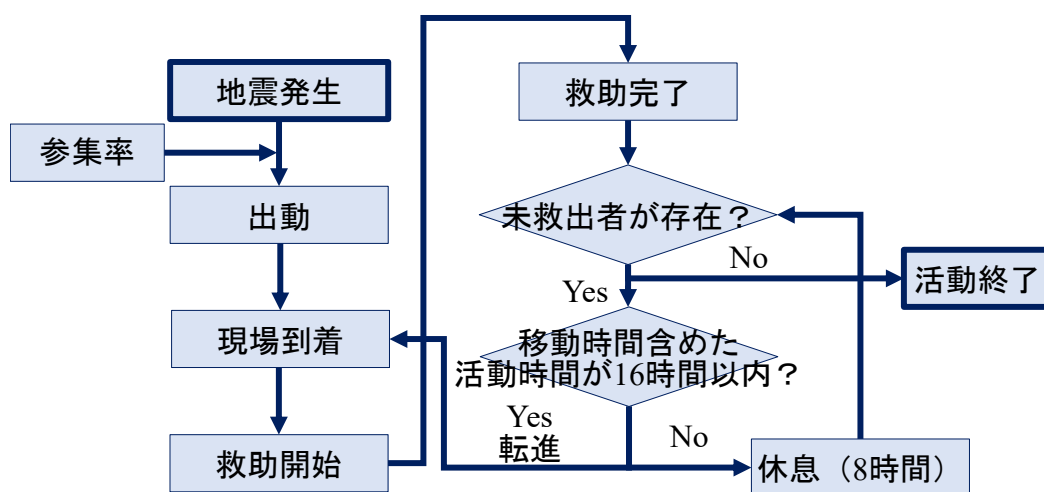


図 2-24 消防による救助活動フロー

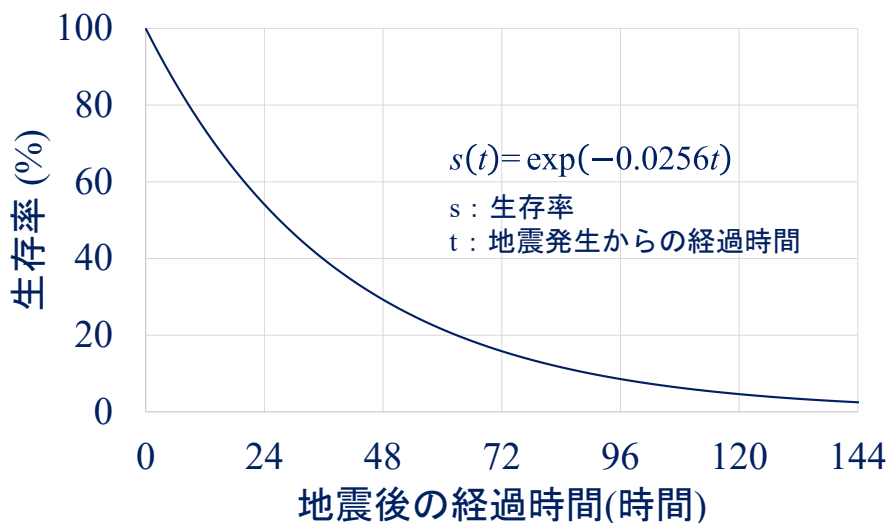


図 2-25 時間依存の生存率²⁵⁾

②救助部隊の移動に関する条件設定

救助部隊の移動に関する解析は、ArcGIS (10.4.1) の `rkA` のツールを応用し、消防署・出張所から全ての救助現場間の移動を巡回セールスマン問題として解くことで、救助部隊の経路を選択して移動時間を算出した。シミュレーションでは、救助部隊が、救助活動中でも付近の住民から救助要請を受け、救助活動終了後すぐ次の現場に移動する状況を想定し、救助部隊の移動経路・担当する救助現場を下記の手順で選択した。

(1) はじめに、道路ネットワークに沿った全ての救助現場と消防署・出張所間の最短経路の OD (Origin - Destination) コストマトリックスを作成する。

(2) 次に、この結果を基に、救助部隊の最適ルートに救助現場を1つずつ挿入して初期ルートを作成する。

(3) そして、タブー検索メタヒューリスティクスに基づき、救助部隊の移動経路ごとに救助現場の到着順序の再設定や、別の救助部隊の移動経路に救助現場を移動・交換することで、初期ルートを改善し、救助部隊の移動経路・担当する救助現場を決定する。その際、地震発生から救助部隊が各現場に到着するまでに要する時間が最小限になるように解析し、横浜市防災計画²⁶⁾に記載されている震災直後の救助活動の方針（被害情報が錯綜する震災直後は消防署周辺から救助活動を開始）に沿うよう、消防署・出張所から時間距離が短い救助現場が優先されるように設定した。

提案手法では、細街路における通行障害の状況を、完全情報として救助部隊の現場までの移動経路を設定していることから、救助部隊の迂回などの行動は考慮できていない。ただし、移動速度のパラメータを選択する際、自力脱出困難者1人あたりに要する救助現場までの移動時間の平均値が、熊本地震における覚知から現場到着までの平均時間と同程度になったパラメータを採用することで、救助現場の覚知から救助部隊の出動までに要する時間および検索時間は、シミュレーションの移動時間に含まれていると仮定した。また、救助現場の発見・通報に要する時間については、阪神淡路大震災の教訓⁴⁾より、救助活動中でも付近の住民から救助要請を受け、救助活動終了後すぐ次の現場に移動する状況を想定した。

2.5 まとめ

本章では、防災関係機関へのヒアリング調査結果を参考に、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を踏まえて、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を提案した。

防災関係機関へのヒアリング調査では、震災直後、被災地域内の消防機関がどのように救助活動を展開するのか、また、救助活動を実施する上で懸念される問題点や被災地域外からの救助部隊の受け入れ体制などを把握することができた。また、提案手法による時間的・空間的な救助活動状況の分析結果が、人命救助に関する災害対策の立案にどう役立つのか検討することができた。

横浜市の地域特性の分析では、南・西・中・磯子・保土ヶ谷区や、鶴見・神奈川区、旭・瀬谷区などの一部地域は、旧耐震の住宅系木造建物が多い地域が集中しており、高齢者数も多い地域であることから、震災時、自力脱出困難者が多数発生する危険性が高い地域であることが明らかとなった。また、西・南・中・磯子区、鶴見・神奈川区の一部地域では、狭あい道路に面する旧耐震の住宅系木造建物集中して存在していることから、震災時、倒壊建物による街路閉塞が救助活動の阻害要因となる可能性が高いことも明らかとなった。

地域特性を踏まえた救助活動の評価手法の提案では、汎用性（多くの自治体に適用可能）・時空間変化（地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉える）・広域地域（行政区単位で分析）の3つの視点に基づき、防災関係機関へのヒアリング調査結果および対象地域の特性を踏まえて、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を構築した。提案手法を活用することで、道路ネットワークと脆弱な建物の分布、救助隊の初期分布などに基づいて「地震災害時の救助活動」の困難度を相対的に評価することができる。また、自治体が作成している地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成することで、地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにし、震災時の部隊応援に関する地震防災戦略や地域防災計画の修正を行う際の基礎資料としての活用が期待できる。

今後の課題として、提案手法は、地震被害想定を作成している多くの自治体に適用可能であるが、提案手法の有用性を高めるためには、対象地域における本研究では考慮できていない救助活動の阻害要因となり得る地域特性（土砂崩れ・ビルの倒壊による道路閉塞など）に関する情報も新たに付与することが望ましい。

第3章では、本章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」を用いて、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について評価する。

参考文献（第2章）

- 1) 熊本市消防局総務部総務課：平成 28 年熊本地震熊本市消防局活動記録誌，2018，
h :// .c .kum m .j/h K j/u/ . x? c_ =5& =19060&c _ _ =3&c
_ =511（参照 2021-3-18）
- 2) 厚生労働省：災害拠点病院指定要件，2019，h :// .mh .g.j / / ku u / u
/ 0000089060.h m（参照 2021-4-1）
- 3) 総務省統計局：平成 27 年国勢調査結果，2015，h :// . - .g.j / g / m -
rch? g =1& =1& uk C =00200521（参照 2021-4-5）
- 4) 阪神・淡路大震災の教訓情報分析・活用調査委員会：阪神淡路大震災教訓情報資料集，
2006，h :// . u .g.j /k ku/k ku/h h _ j / / x.h m# c 01（参照
2021-4-6）
- 5) 牛山素行，横幕早季，杉村晃一：平成 28 年熊本地震による人的被害の特徴，自然災害
科学，V .35， .3， . 203-215，2016.
- 6) 横浜市建築局：2013 年横浜市都市計画基礎調査データ，2013.
- 7) 国土交通省：熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会 報告書，2019，h
:// .m .g.j /r r / r /hu 05_hh_000633.h m（参照 2021-4-6）
- 8) 家田仁，上西周子，猪股隆行，鈴木忠徳：阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」
に着目した街路網の機能的障害とその影響，土木学会論文集， .576， . 69-82，1997.
- 9) 東京都防災会議：南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定，2013，h :// . u
.m r. k . g.j/ ku/ r kum /1000902/1000402.h m（参照 2021-4-14）
- 10) 内閣府（防災担当）：災害に係る住家被害認定業務実施体制の手引き，2013，h ://
. u .g.j / ku/u u.h m（参照 2021-4-14）
- 11) 東京都防災会議：首都直下地震等による東京の被害想定，2012，h :// . u .m
r. k . g.j/ ku/ r kum /1000902/1000401.h m（参照 2021-4-16）
- 12) 兵庫県企画県民部防災企画局防災企画課：兵庫県の地震・津波被害想定（南海トラフ），
2014，h :// .r .h g .g.j/kk37/j h u m h g u .h m（参照 2021-4-16）
- 13) 宮野道雄，村上ひとみ，西村明儒，村上雅英：1995 年兵庫県南部地震による人的被害
（その 5）神戸市東灘区における人命救助活動に関する聞き取り調査，日本建築学会学
術講演梗概集，V .1996， .9 -10，1996.
- 14) 神奈川県地震被害想定調査委員会：神奈川県地震被害想定調査報告書，2015，h ://
. r .k g .j / c /j8g/c / 5151/ 15579 .h m（参照 2021-4-19）
- 15) 総務省統計局：平成 28 年社会生活基本調査結果，2017，h :// . .g .j/ / h k
/2016/k kk . h m（参照 2021-4-19）
- 16) 津田圭介，胡内健一，許斐信亮：首都直下地震発生時に想定される緊急対応車両の走行
状況の推定，日本工営技術論文， .2 1， .37 -45，2013.
- 17) 廣井悠，大森高樹，新海仁：大都市避難シミュレーションの構築と混雑危険度の提案，

- 日本地震工学会論文集, V .16, .5, .111-126, 2016.
- 18) 横浜市消防局：横浜市消防力の整備指針, 2012 (2021 年一部改正), h :// .c . k h m . g.j / c - / k h m h / r g / h / u / .h m (参照 2021-4-20)
 - 19) 火災予防審議会：地震火災による人的被害の軽減方策, 2015, h :// . .m r . k .j / k k / 21k_j _ u .h m (参照 2021-4-20)
 - 20) 大原美保, 姜菲, 首都直下地震時における病院への重傷者の搬送ニーズに関する分析, 日本地震工学会論文集, 日本地震工学会論文集, V .16, .5 (特集号), .56-68, 2016.
 - 21) 村上ひとみ：1995 年兵庫県南部地震による人的被害分布 (3) 応急救助の実態, 日本建築学会学術講演集 (関東), .811-812, 1997.
 - 22) Mur k m , ., T k m , T., S k m K. : S u r c h r c u r h 1995 A S I -AWAJI E r h q u k - A r r k r h u g , 12 h W r C r c E r h q u k E g r g. 2000.
 - 23) 警察庁：熊本地震における警察の救助活動に関する調査分析, 2017, h :// . .g .j / u r u / c u r / k u m m j h / k u m m j h 2.h m (参照 2021-3-22)
 - 24) 横浜市消防局：平成 29 年年報, 2018, h :// .c . k h m . g.j / c - / k h m h / r g / h / / h .h m (参照 2021-4-21)
 - 25) 鋏田泰子, 高田至郎：震後救命活動に関わる道路システムの機能評価法, 土木学会論文集, .731, .185-193, 2003.
 - 26) 横浜市総務局危機管理部防災企画課：横浜市防災計画, .233, 2020, h :// .c . k h m . g.j / m u / r g / k k k r / k k k u / h .h m (参照 2021-4-20)

第3章

地震災害時の地域評価 －救助活動の視点から－

- 3.1 はじめに
- 3.2 建物被害の算定結果
- 3.3 自力脱出困難者数の算定結果
- 3.4 救助活動の評価手法の試算
- 3.5 地域特性を考慮した救助活動による減災効果
- 3.6 まとめ

第3章 地震災害時の地域評価－救助活動の視点から－

3.1 はじめに

本章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」を用いて、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価する。

一般に、自治体の地震被害想定では、大規模地震が発生した際の被害を軽減するための事前対策および発災後の対応を円滑にすることを目的とし、特定の地震を想定している。そのため、想定した震源地から離れると揺れが少なく、被害程度が軽くなることから、震源位置に大きく依存した評価といえる。一方、特定の地震を想定せず、一律の揺れを想定する場合は、震源位置に依存せず、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した「地震災害時の救助活動」の困難度を相対的に評価することが可能である。本章では、神奈川県¹⁾および横浜市²⁾の地震被害想定における想定地震の震度分布を参考に、震度6弱（計測震度5.6）・震度6弱（計測震度5.8）・震度6強（計測震度6.0）の揺れを想定して、救助活動による減災効果を評価する。

本章の研究成果は、老朽建築物の除却・改修などのハード対策と併せて、消防力の配備・強化などのソフト対策による減災効果を評価する手法を提案し、震災対策を総合的（分野横断的）に検討するための基礎資料を提供する。さらに、地震発生後からの経過時間に応じて、被災地域の公設消防による自力脱出困難者の救助活動を定量的に示すことで、地震による地域の危険度と救助活動能力が認識され、公的機関の対策検討だけでなく住民の防災意識の向上にも寄与することが期待できる。

3.2 建物被害の算定結果

図3-1～3-3は、計測震度別の全壊棟数の分布について示す。また、図3-4は、計測震度・行政区別の全壊棟数について示す。図3-1～3-3より、計測震度別の全壊棟数の分布に関して、南・西・中・磯子・保土ヶ谷区や、鶴見・神奈川区の一部地域では、全壊棟数が比較的多く発生していることから、揺れに対して脆弱な建物が集中していることがわかる。また、震度6弱（計測震度：5.6）の場合は、250mメッシュ単位の全壊棟数が1棟未満の地域が大半であるが、震度6弱（計測震度：5.8）の場合は、250mメッシュ単位の全壊棟数が1棟以上、震度6強（計測震度：6.0）の場合は、250mメッシュ単位の全壊棟数が4棟以上の地域が大半を占めており、多数の人的被害が広範囲に及ぶ可能性が高いことがわかる。

次に、図3-4の計測震度・行政区別の全壊棟数に関して、木造・非木造の全壊棟数の標準偏差を算出すると、震度6弱（計測震度：5.6）の場合は木造が約30棟、非木造が約8棟、震度6弱（計測震度：5.8）の場合は木造が約174棟、非木造が約22棟、震度6強（計測震度：6.0）の場合は木造が約633棟、非木造が約59棟となった。したがって、横浜市内では想定震度が大きい場合、区別の人的被害量の偏りが大きくなる可能性が高いことが明らかとなった。

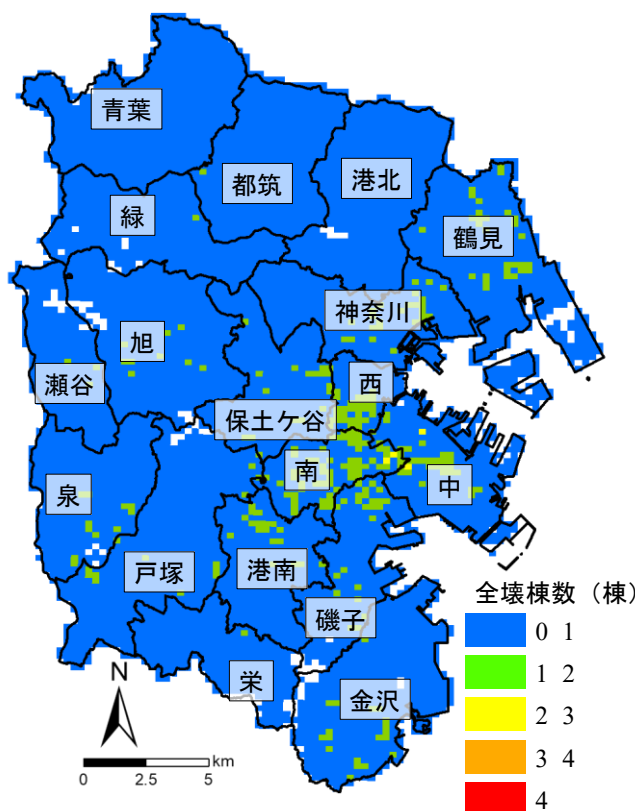


図3-1 全壊棟数の分布（計測震度5.6）

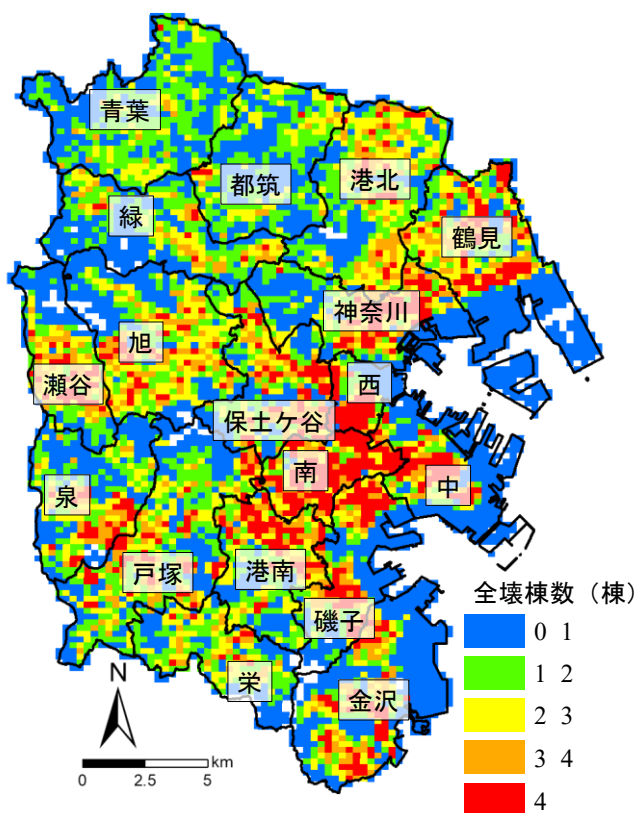


図 3-2 全壊棟数の分布 (計測震度 5.8)

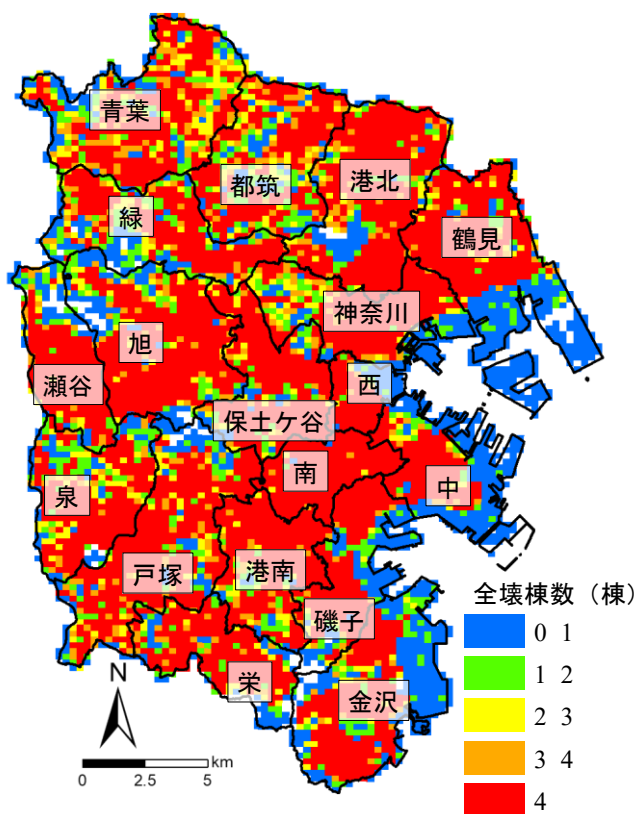


図 3-3 全壊棟数の分布 (計測震度 6.0)

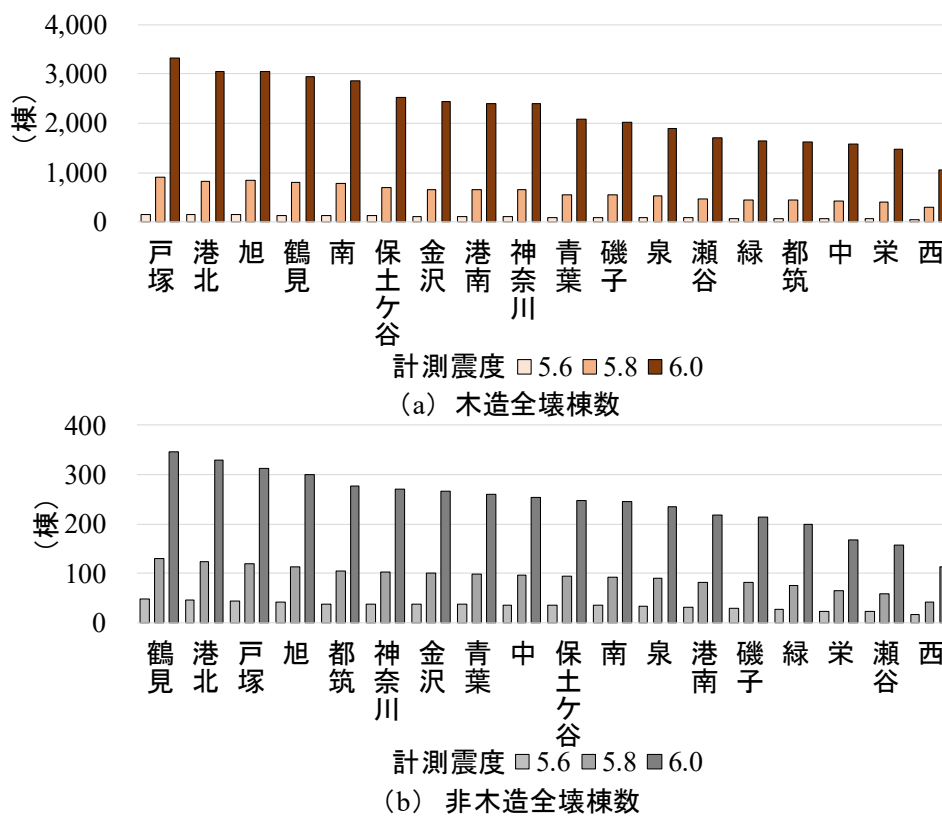


図 3-4 計測震度・行政区別の全壊棟数

3.3 自力脱出困難者数の算定結果

本章では、救助技術を有する機関による救助活動が望ましい倒壊した木造・非木造建物から発生する自力脱出困難者を対象に、提案手法を用いて被災地域内の消防による救助活動の時空間変化を分析する。

図 3-5～3-7 は、計測震度別の自力脱出困難者数の算定結果を示す。神奈川県の手法は、木造建物には計測震度に応じた崩壊率、非木造建物には震度・建築年に応じた倒壊率を乗じた推定式を用いており、旧耐震の木造建物棟数が多く強い揺れが想定される地域は、自力脱出困難者が多数発生する。よって、旧耐震の木造建物棟数が多い地域では、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者が多数発生する結果となった。特に、震度 6 強（計測震度：6.0）の場合は、250m メッシュ単位の自力脱出困難者数が 1 人以上発生する地域が大半を占めており、多数の人的被害が広範囲に及ぶことが予想される。

図 3-8 は、震度 6 強（計測震度：6.0）において、神奈川県の手法を用いて算出した自力脱出困難者数の内訳、図 3-9 は、自力脱出困難者の空間分布を示す。図 3-8 より、自力脱出困難者の大多数は木造建物から発生する。また戸塚・港北・鶴見・旭区は、横浜市の他の地域と比較して、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者数が多く発生する。そして、図 3-9 より、自力脱出困難者の空間分布に関して、戸塚区は、鶴見区よりも自力脱出困難者が広く分布していることがわかる。特に、震災時の救助活動において、道路閉塞や渋滞などの交通障害が救助部隊の移動に与える影響を考慮すると、人的被害の分布が広いほど活動現場の転進に伴う移動時間も増大するため、救助活動に与える影響は大きいことが予想される。

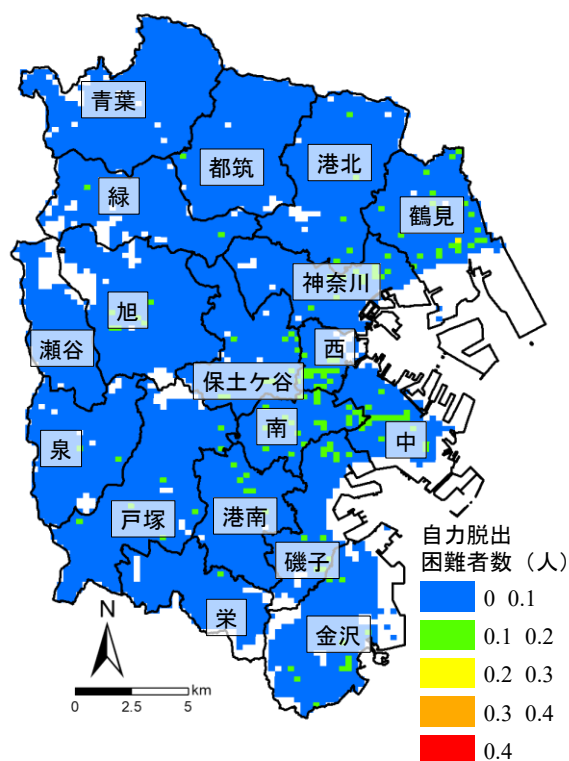


図 3-5 自力脱出困難者数の算定結果（計測震度 5.6）

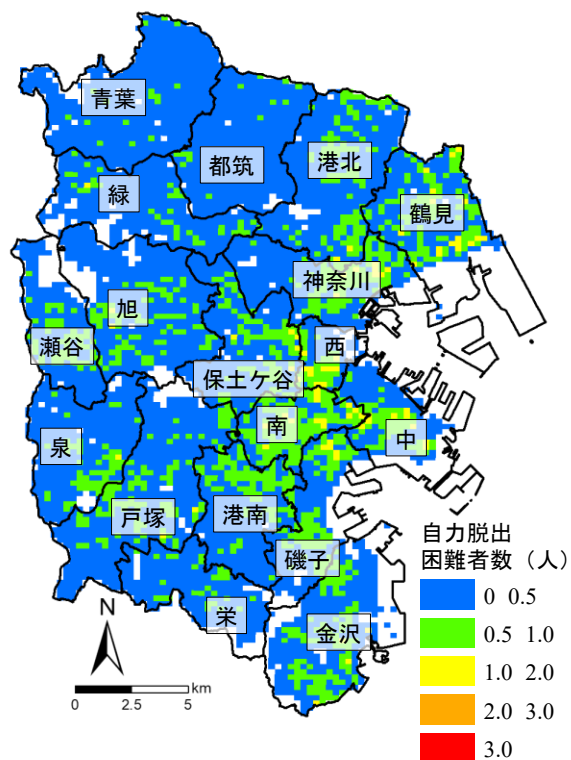


図 3-6 自力脱出困難者数の算定結果 (計測震度 5.8)

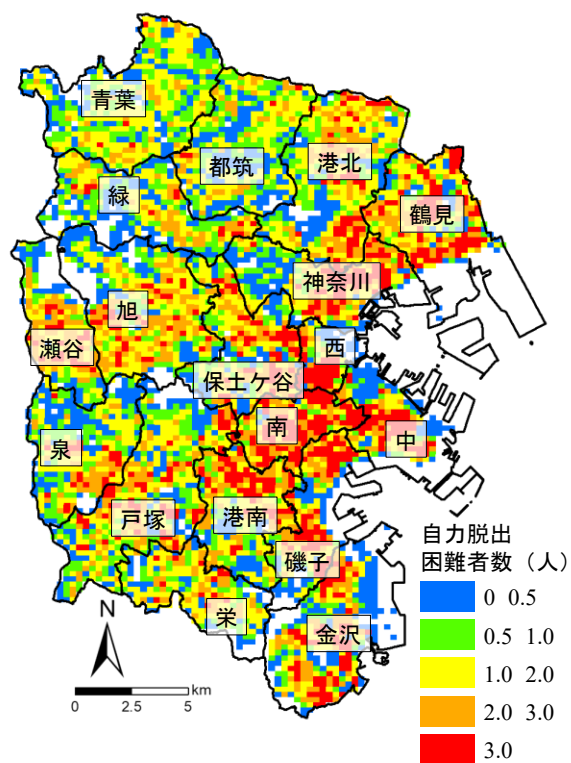


図 3-7 自力脱出困難者数の算定結果 (計測震度 6.0)

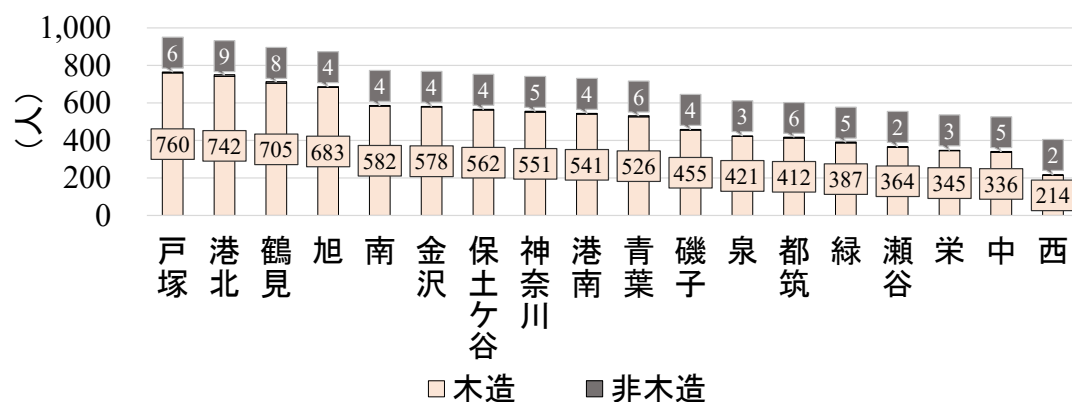


図 3-8 自力脱出困難者数の内訳（計測震度 6.0）

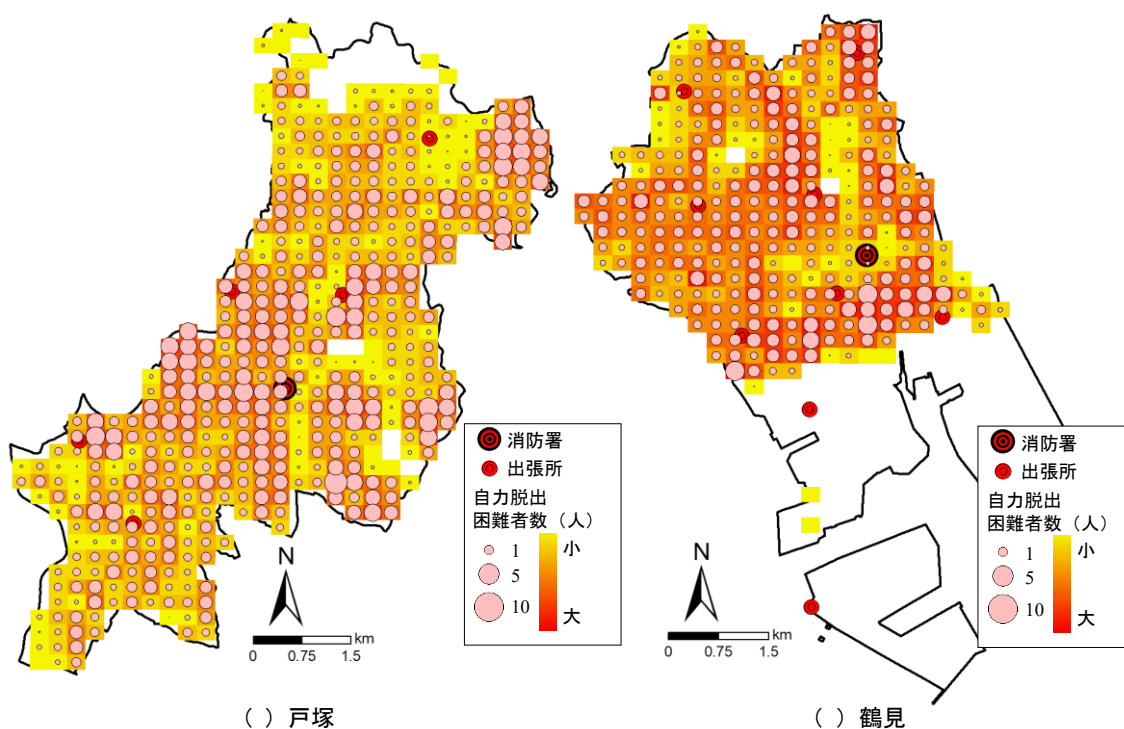


図 3-9 自力脱出困難者の空間分布（計測震度 6.0）

3.4 救助活動の評価手法の試算

3.4.1 発災から時間経過ごとの救助活動の状況

本研究で構築した救助モデルの動作を確認するため、図 3-10 に、解析結果の一例である想定震度が 6 強（計測震度：6.0）、移動速度が CASE5（地震による交通障害を考慮）における救助活動の状況（港北区）を示す。図 3-10（ ）は自力脱出困難者数の空間分布、3-10（ ）～（d）は、救出活動が行われた自力脱出困難者数の空間分布を示す。図 3-10 より、シミュレーションでは、地震発生当初、救助隊員が消防署・出張所周辺から救助活動を実施していることが確認できた。これは、地震発生から救助部隊が各現場に到着するまでに要する時間が最小限になるように、巡回セールスマン問題として解析したことが要因であると推測する。このように、提案手法を活用することで、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動状況の分析が可能となり、公助の担い手が不足する地域を明らかにすることができる。

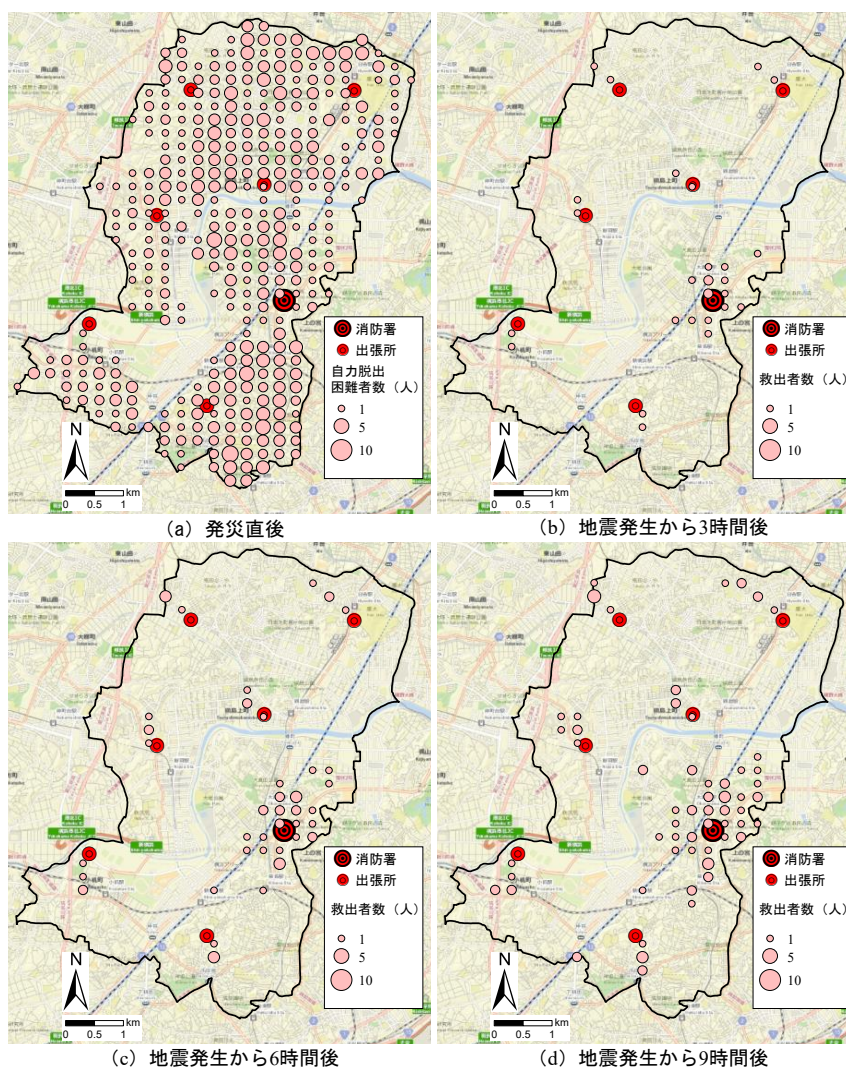


図 3-10 救助活動状況の時空間変化（港北区）

3.4.2 緊急車両の移動速度 CASE1～5 における救助活動の分析

緊急車両の移動速度 CASE1～5 における救助活動を分析するため、図 3-11 に、想定震度別、移動速度 CASE1～5 における地震発生から管轄区域内の自力脱出困難者 1 人あたりの救出完了時間の平均値を示す。なお、本項では、移動速度 CASE1～5 の違いによる救助活動への影響のみに着目するため、参集率および休息時間は考慮せずに解析した。次に、倒壊建物による道路閉塞が救助活動に与える影響を考察するため、図 3-11 の CASE2 と CASE4 における救出完了時間の差を図 3-12 に示す。全体的な傾向としては想定震度が上がるごとに差が大きくなる。これは、想定震度が上がるにつれて全壊棟数が増加し、倒壊建物による道路閉塞の影響が強まることが原因である。特に、旧耐震の木造棟数が多く、自力脱出困難者が広く分布する戸塚は、救助部隊が活動現場を転進する際、道路閉塞の影響を受けやすい。一方、西、中および鶴見の影響が小さい要因として、消防署周辺に人的被害が集中しており、救助現場の転進に伴う移動が少ないと考えられる。また倒壊建物による道路閉塞の影響を考慮していない CASE1 と CASE2 では救出完了時間に大きな差が見られなかった。

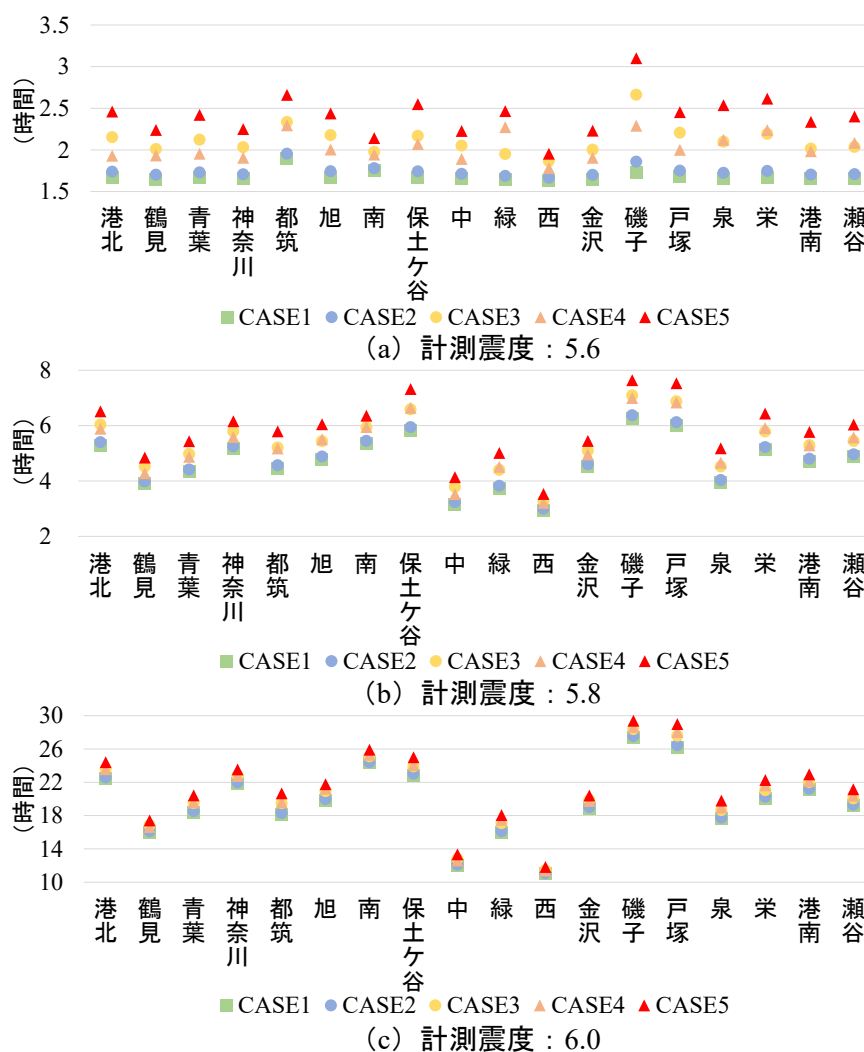


図 3-11 CASE 別の救出完了時間の平均値

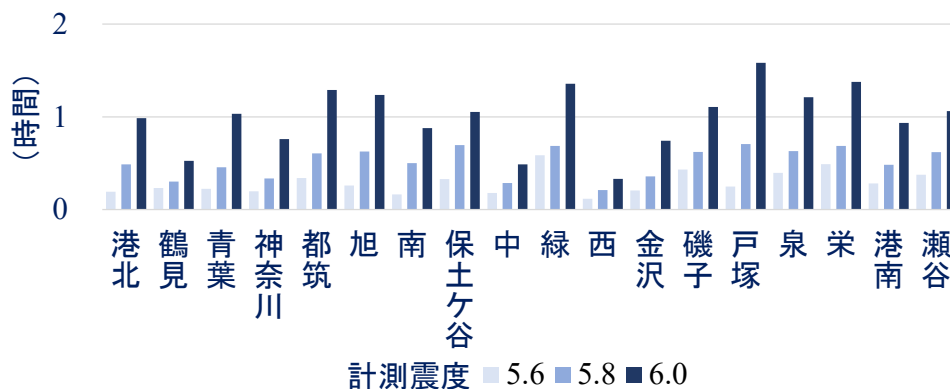


図 3-12 CASE2・4における救出完了時間の差

図 3-13 は、想定震度が 6 強（計測震度：6.0）、移動速度が CASE4・5 における各地域の自力脱出困難者 1 人当たり要する活動時間の平均値を示す。図 3-13 より、CASE4・5 ともに救助部隊が現場まで向かう移動時間より、自力脱出困難者の救出に要する時間が大きいことから、全体の救助活動時間を算出する際、CASE4・5 の違いによる影響は、自力脱出困難者の救出に要する時間と比較すると限定的であるといえる。また、熊本地震における警察の救助活動では、道路・被害状況は異なるものの、覚知から現場到着までの平均時間は 18 分であった³⁾ことを踏まえると、CASE4・5 における移動時間は、熊本地震における現場到着までの平均時間と同程度であることが確認できた。

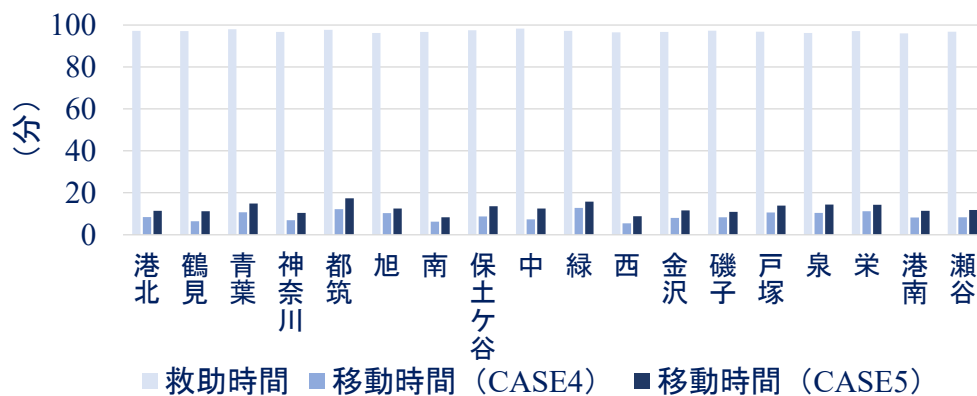


図 3-13 CASE4・5における移動時間の比較

3.4.3 提案手法による解析結果

図3-14は、提案手法による解析結果の出力画面の一例について示す。解析結果を分析することで、自力脱出困難者の救助開始時間および救助完了時間、救助部隊の移動経路・移動時間・救助した自力脱出困難者数、管轄区域内の自力脱出困難者全員の救助完了時間が明らかとなり、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動状況を分析することができる。

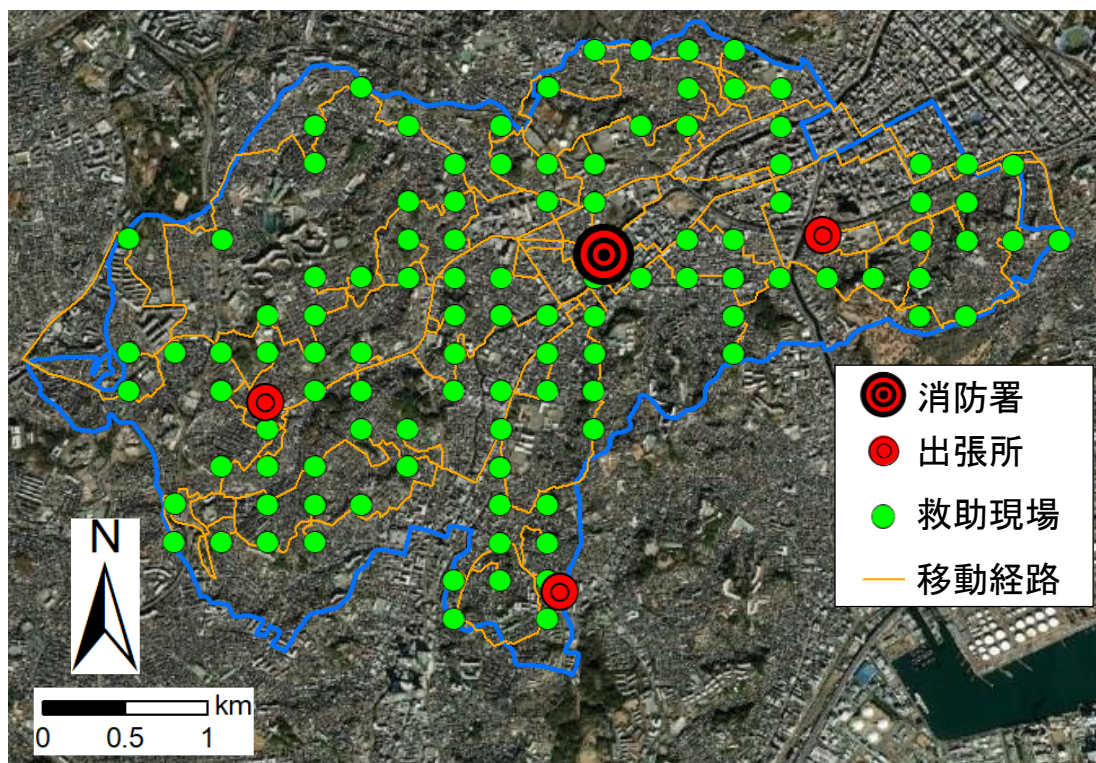


図3-14 提案手法による解析結果（南区）

3.5 地域特性を考慮した救助活動による減災効果

本節では、横浜市において朝5時に地震が発生した場合を想定し、揺れにより倒壊した木造・非木造建物に伴う自力脱出困難者を対象に、地域特性を考慮した救助活動による減災効果を評価した。なお本章では、3.4.2項の結果を踏まえ、緊急車両の移動速度にCASE5を採用した。

図3-15～3-32は、想定震度が6強（計測震度：6.0）における行政区別の救助活動状況の時空間変化および地震発生から時間経過ごとの未救出者数（救助活動が完了していない自力脱出困難者）の推移について示す。なお、救助活動の時空間変化は、地震発生直後、地震発生から24時間、48時間、72時間後の結果を示す。また、行政区別の救助活動の分析結果は、地震発生から区域内の自力脱出困難者を全員救助するまでに要した時間（以降、救助完了時間と記述）の降順で図示している。

図3-15～3-32より、救助活動の時空間変化に着目すると、最も救助完了時間が長い戸塚区では、地震発生から72時間以降も未救出者が多く存在しているのに対し、最も救助完了時間が短い西区では、地震発生から48時間以内に全ての自力脱出困難者の救助活動が完了している。このように、想定震度が6強（計測震度：6.0）では、行政間の救助活動の進行状況に大きな差が生じることが予想される。次に、地震発生から時間経過ごとの未救出者数に着目すると、救助完了時間の長短は、必ずしも自力脱出困難者の人的被害量に左右されるとは限らないことがわかる。例えば、自力脱出困難者数が3番目に多い鶴見区は、救助完了時間は16番目と比較的短いものに対して、自力脱出困難者数が11番目と比較的少ない磯子区は、救助完了時間は2番目に長い結果となった。この理由として、人的被害量（自力脱出困難者数）に対する消防力の優劣、自力脱出困難者の分布状況と消防署・出張所の位置関係などが救助活動の進行状況に影響を与えているためと推測する。

以上、想定震度が6強（計測震度：6.0）における行政区別の救助活動状況および地震発生から時間経過ごとの未救出者数の推移について説明した。次に、想定震度・行政区別の救助活動の分析結果から、地域特性が震災時の救助活動に与える影響などを考察する。

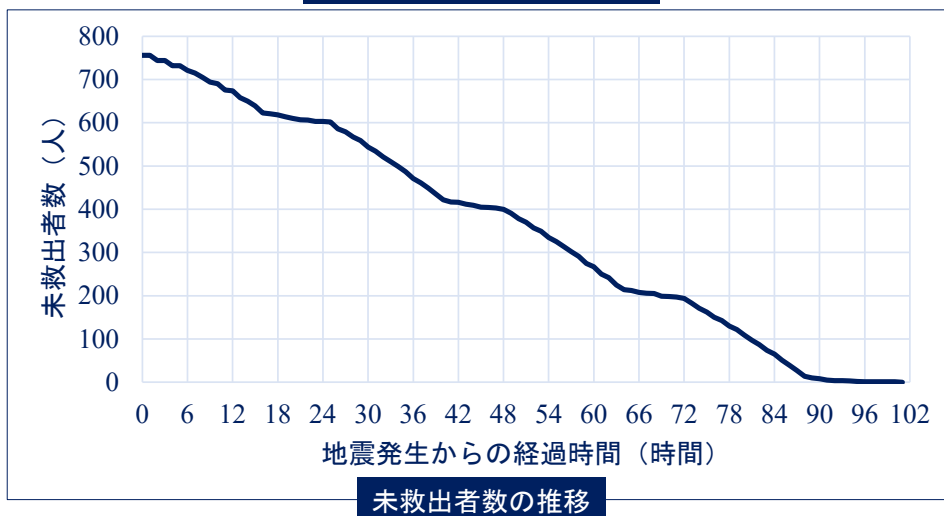
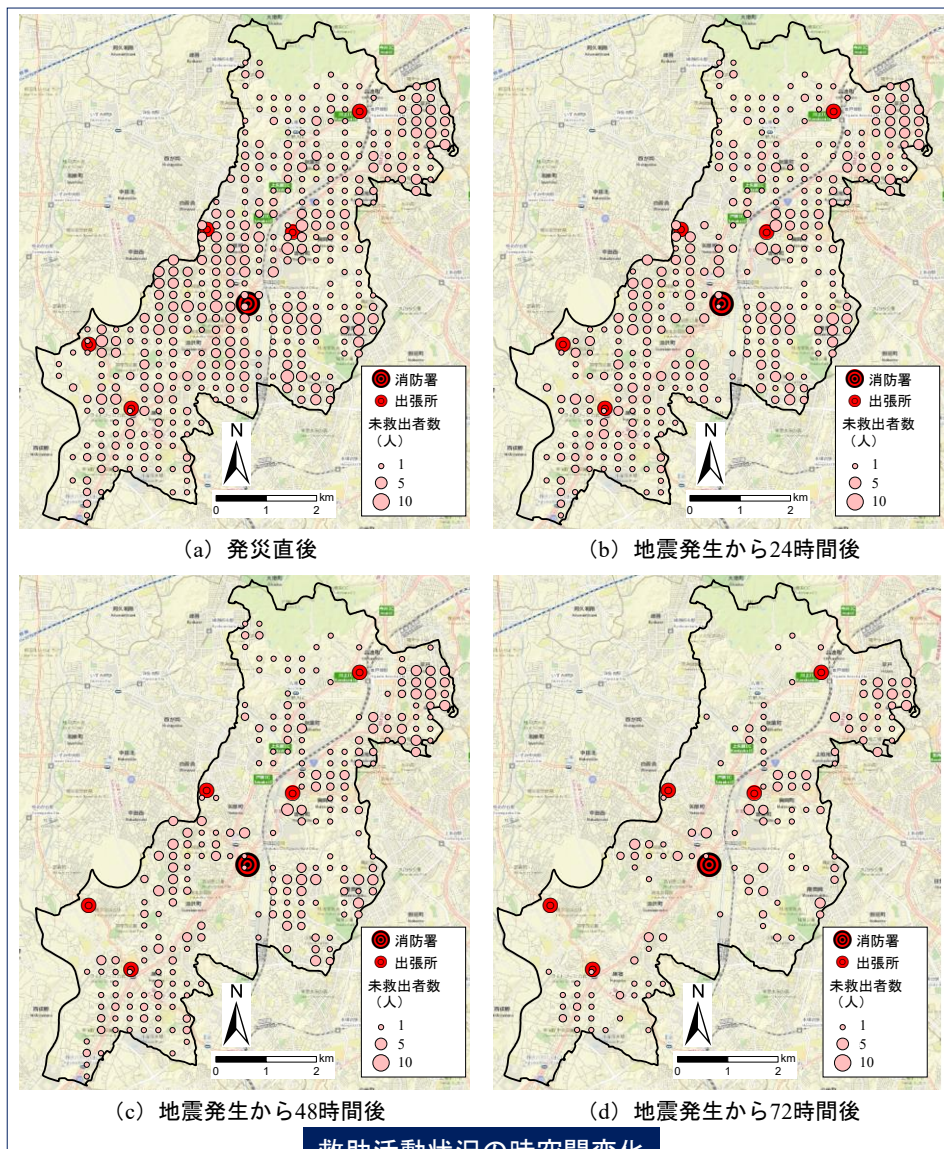


図 3-15 救助活動の分析結果 (戸塚区)



図 3-16 救助活動の分析結果 (磯子区)

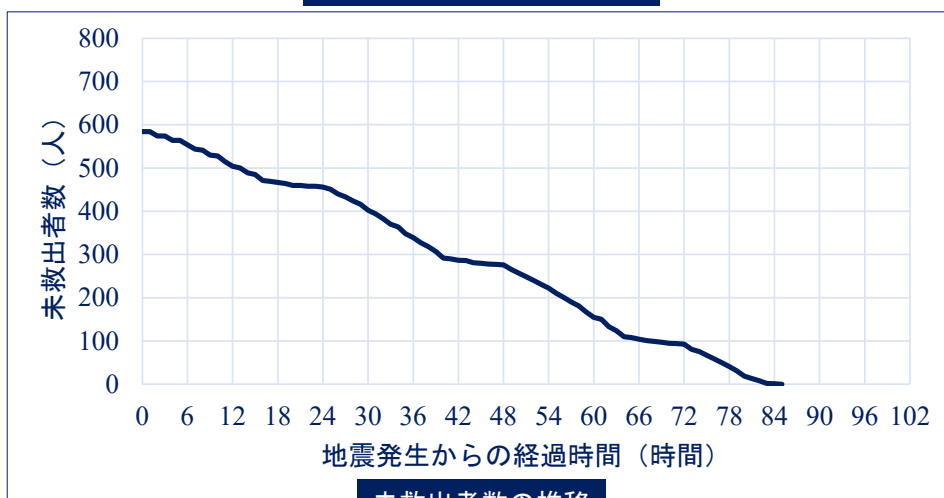
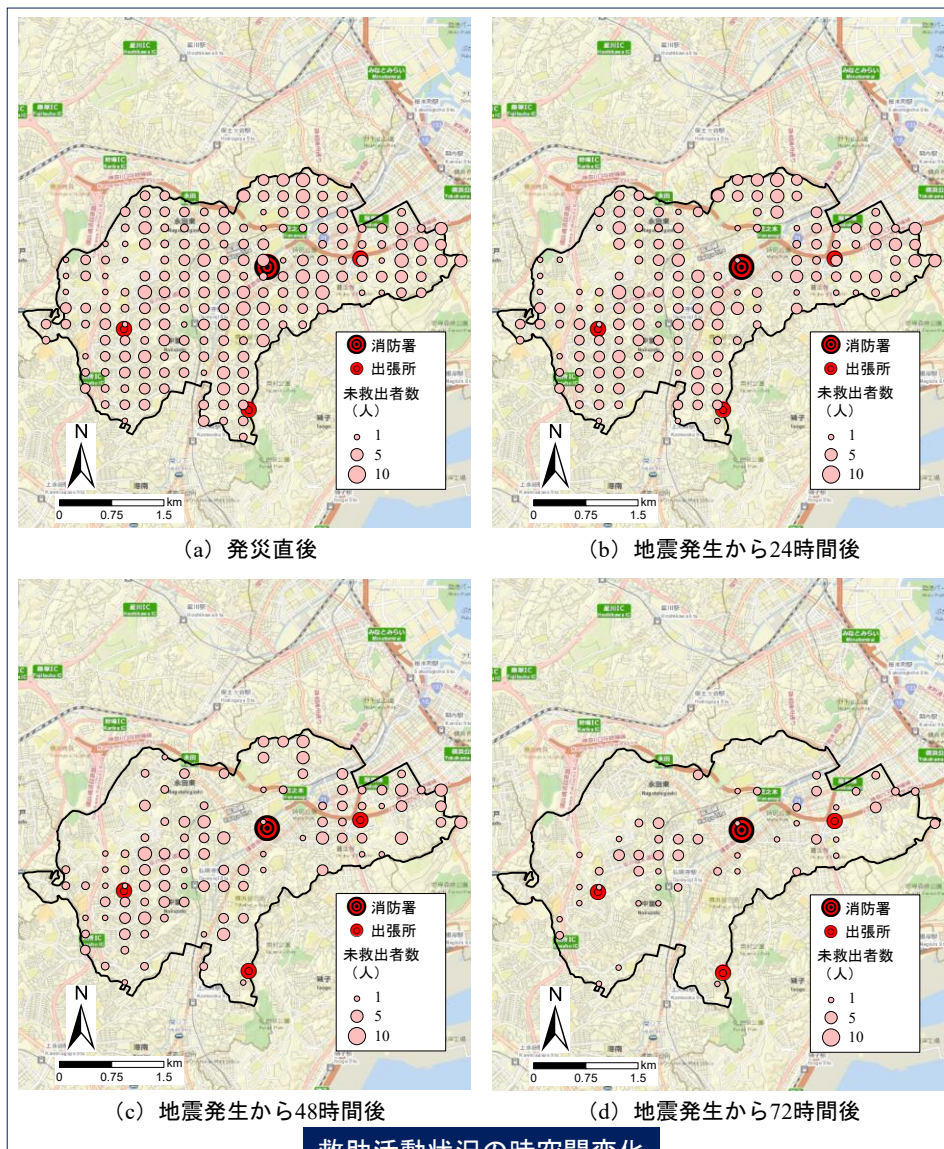


図 3-17 救助活動の分析結果 (南区)

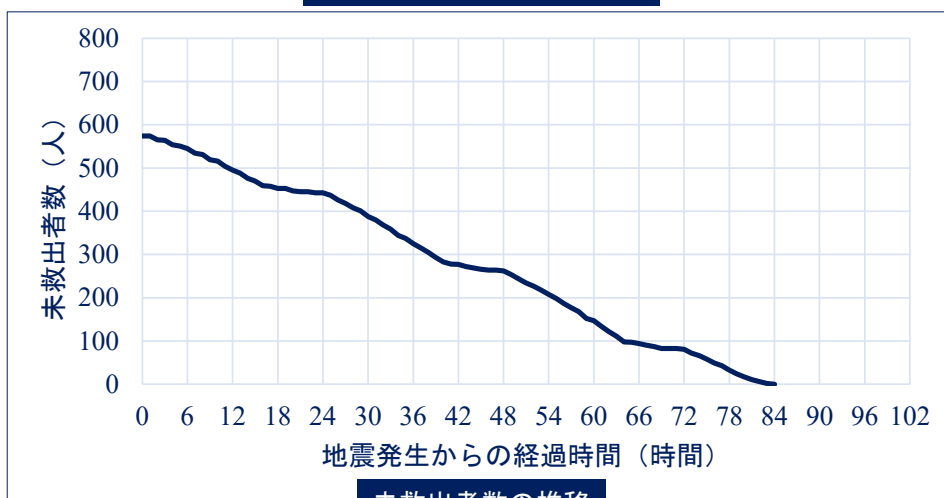
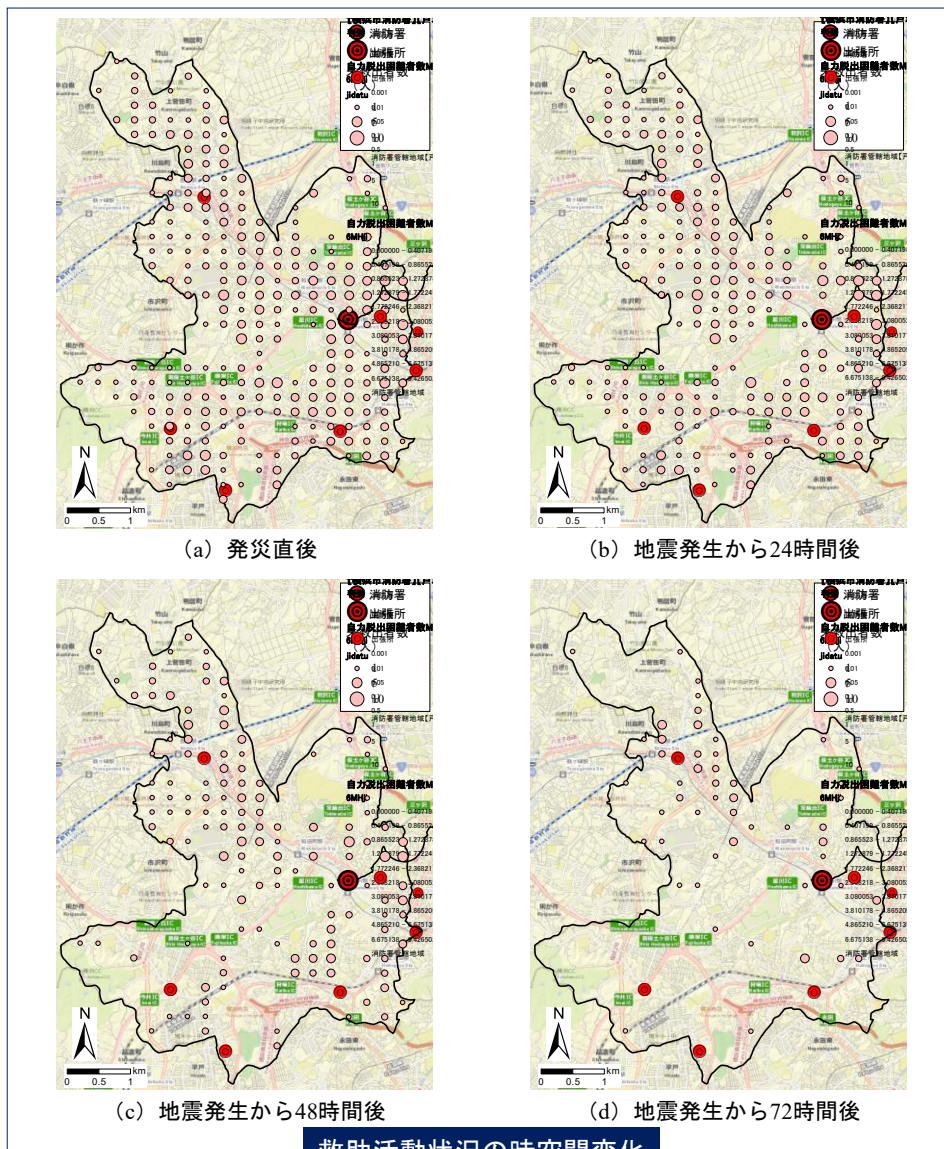


図3-18 救助活動の分析結果（保土ヶ谷区）

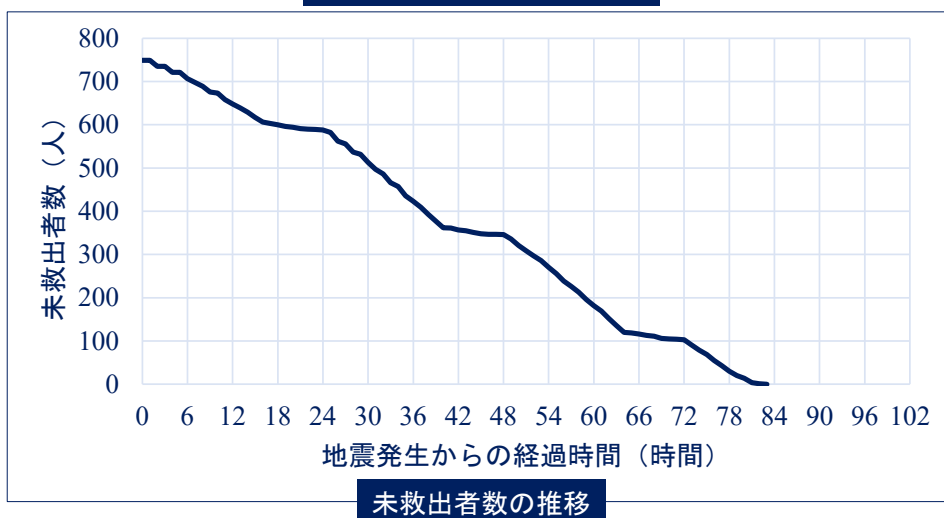
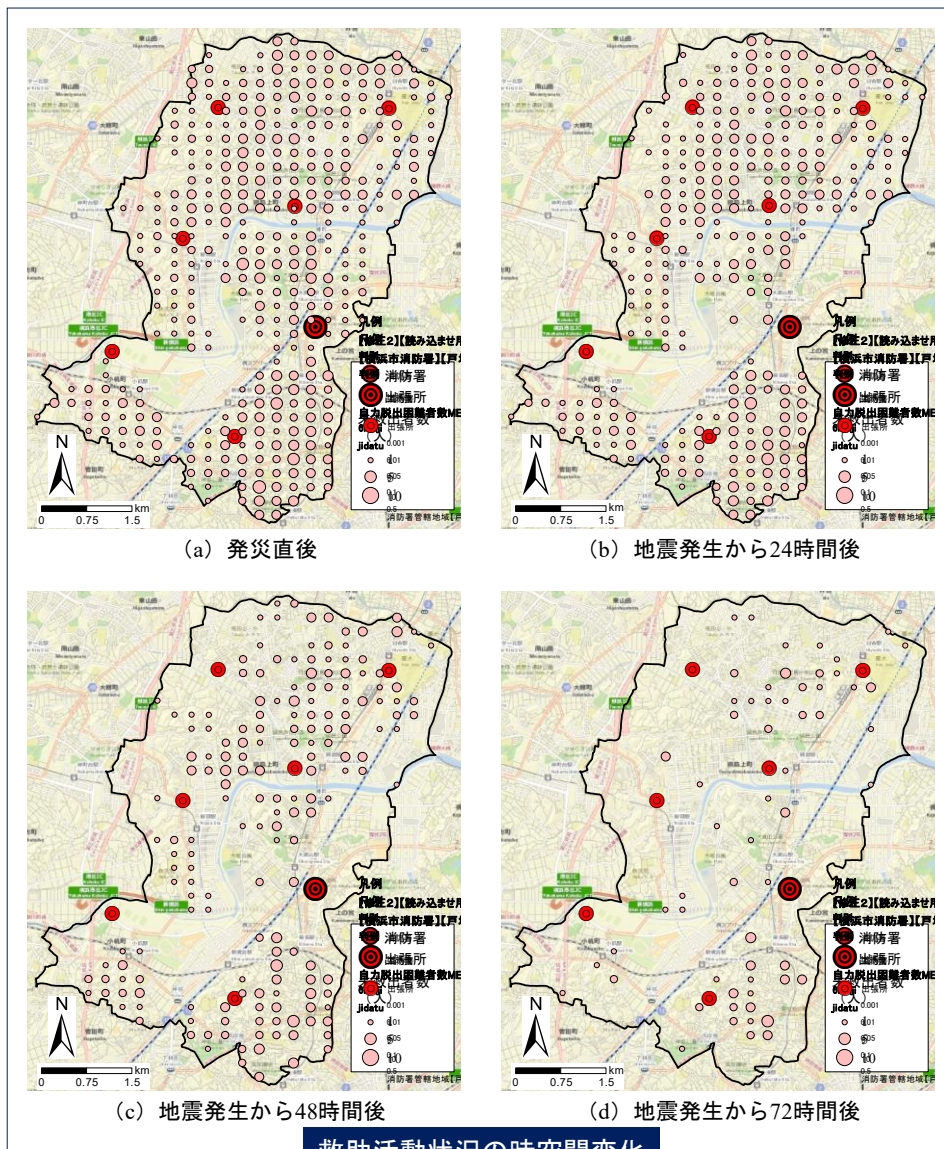


図 3-19 救助活動の分析結果 (港北区)

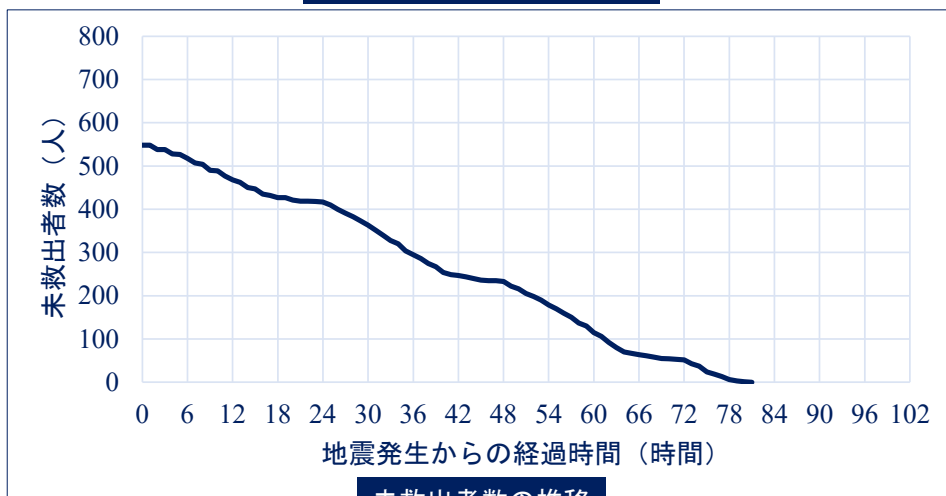
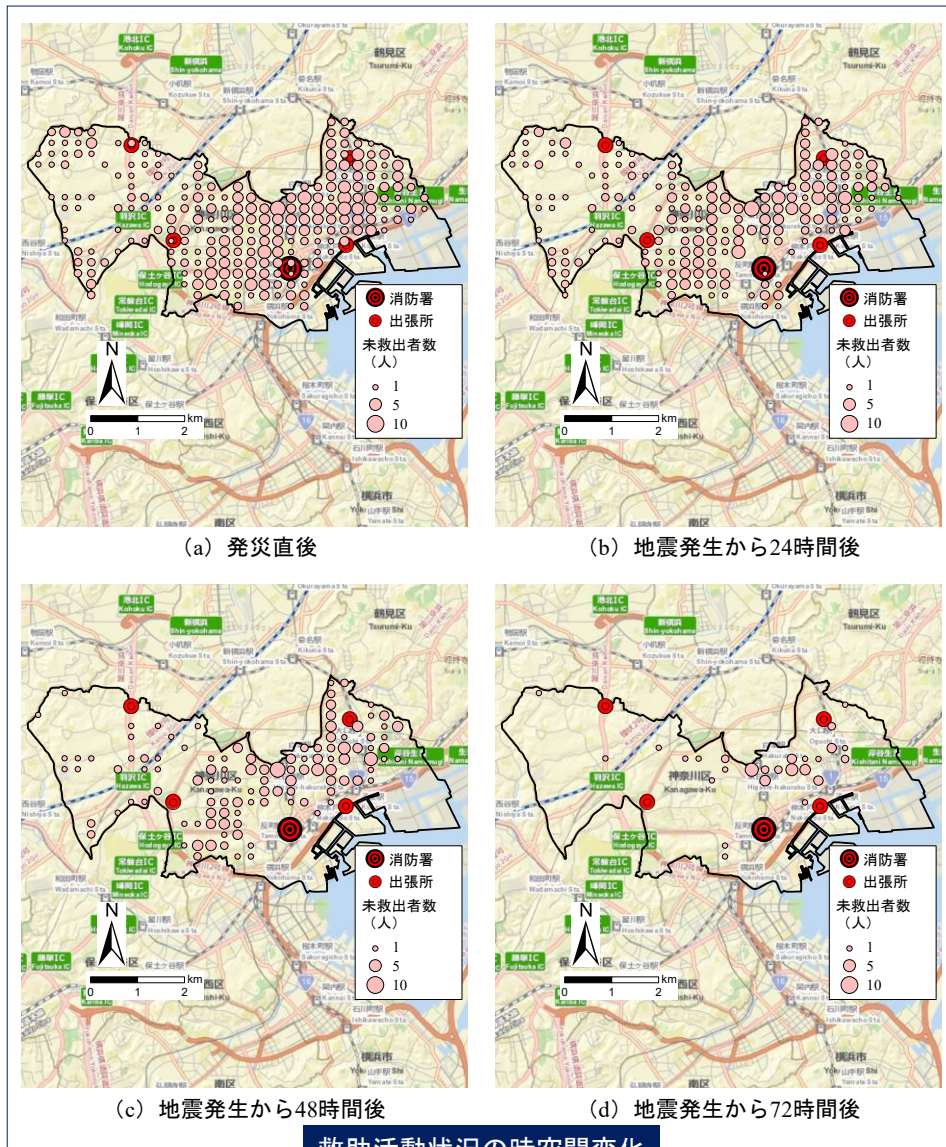


図 3-20 救助活動の分析結果 (神奈川区)

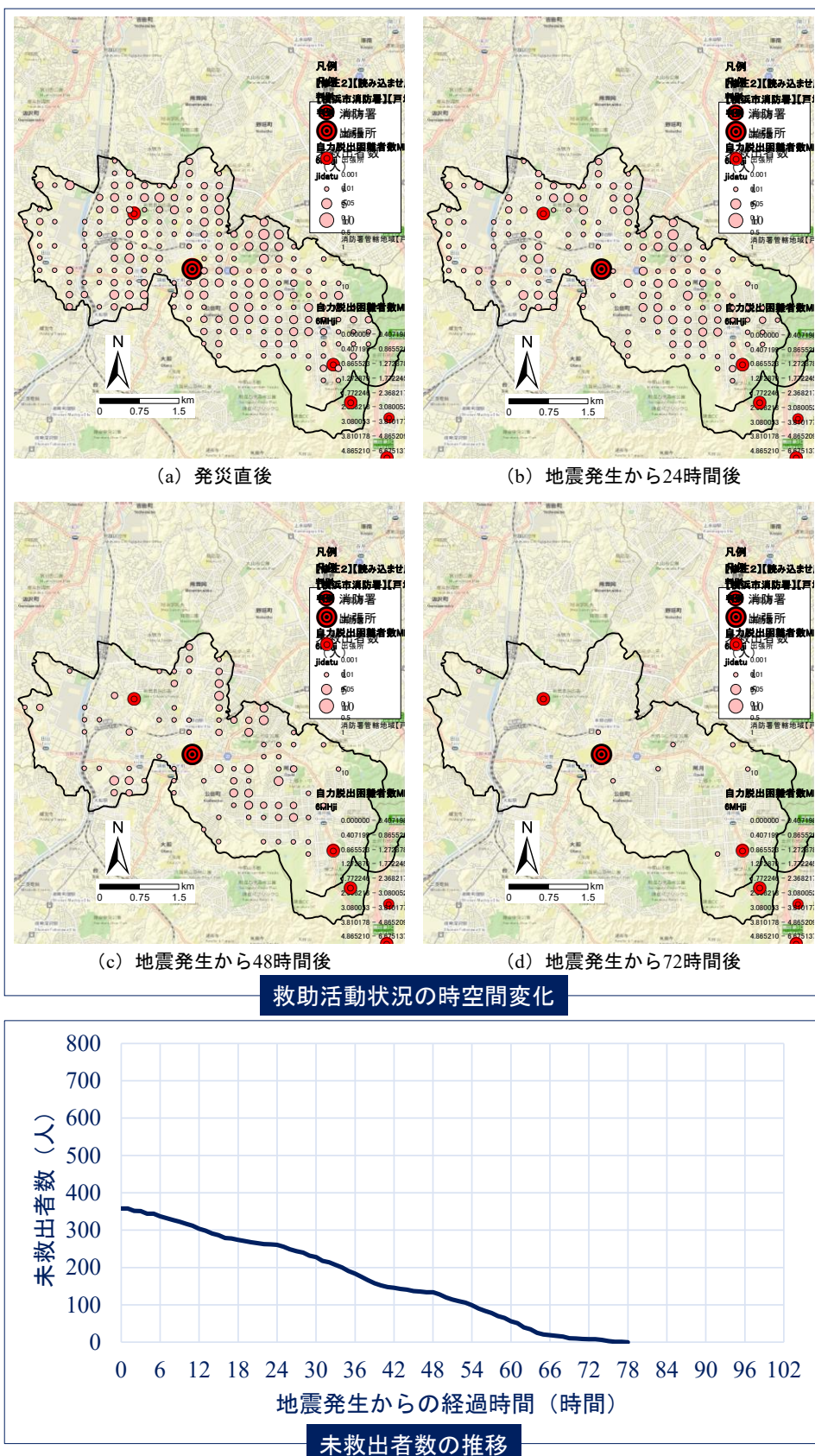


図 3-21 救助活動の分析結果 (栄区)

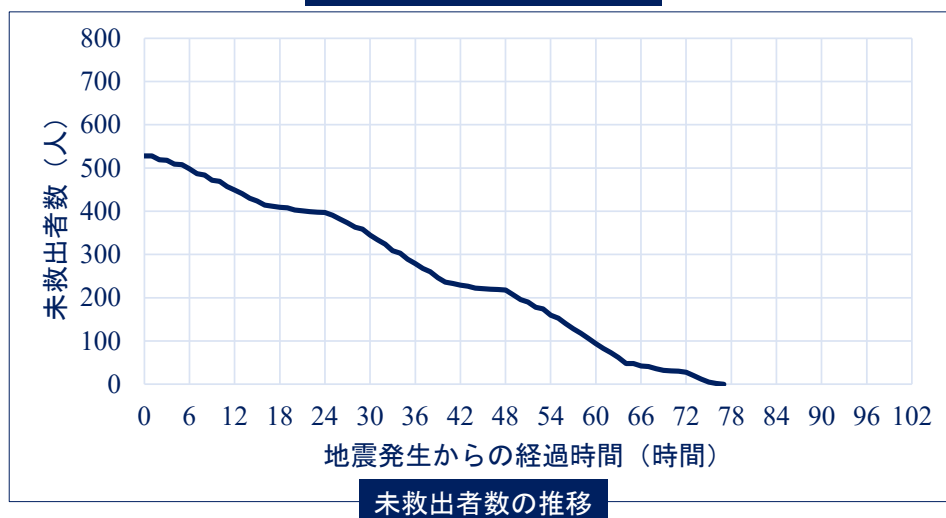
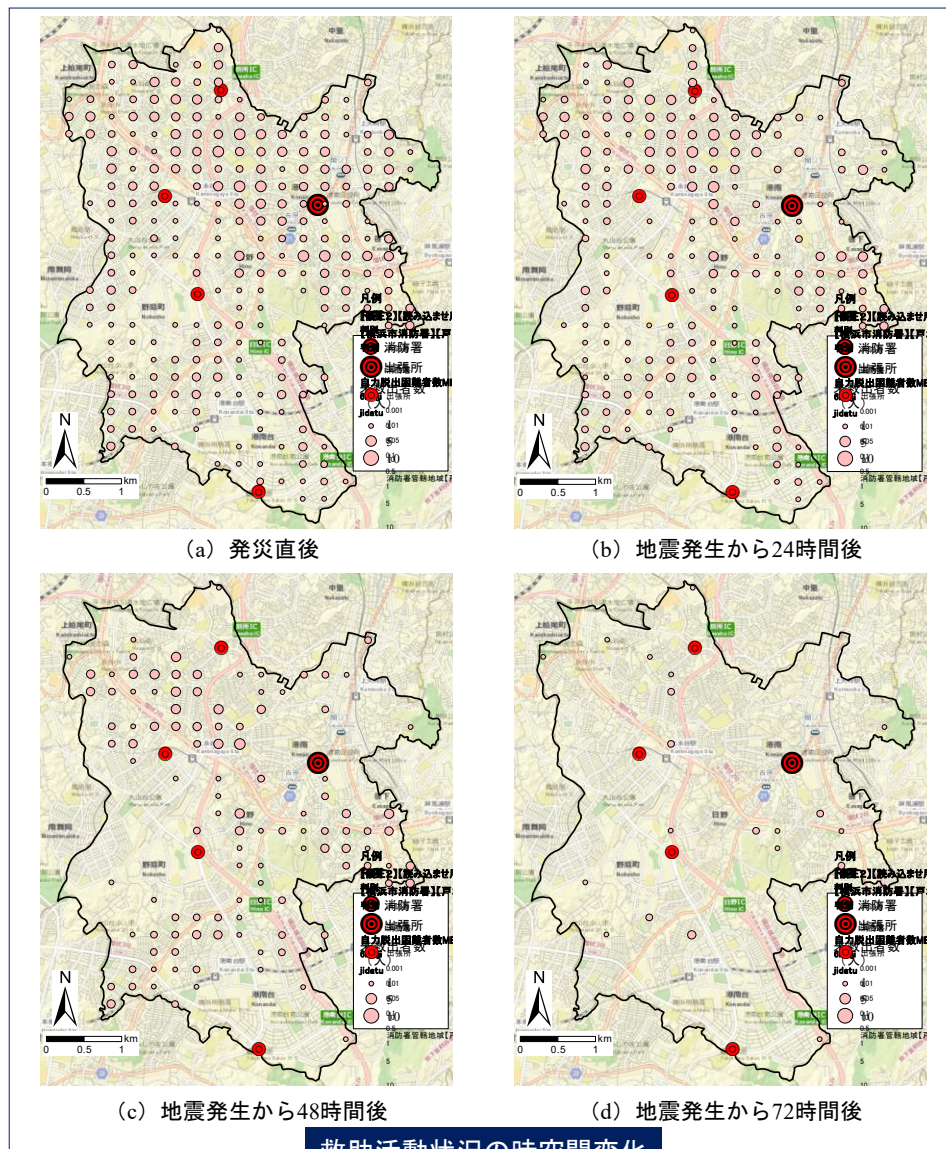


図 3-22 救助活動の分析結果 (港南区)

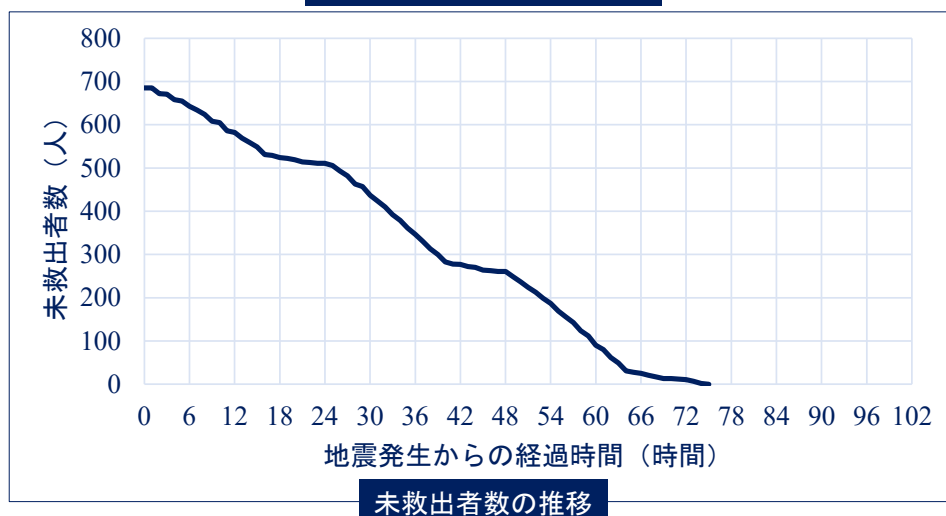
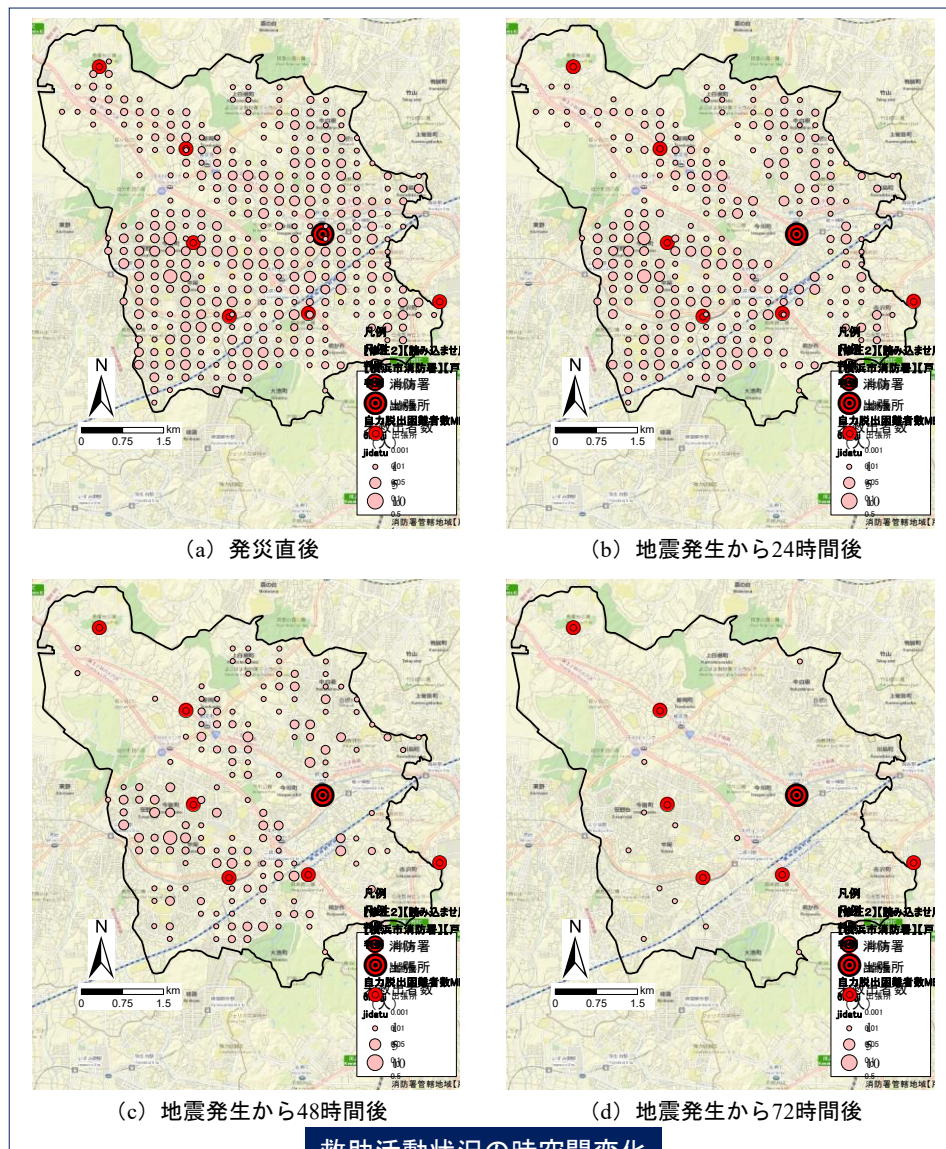


図 3-23 救助活動の分析結果 (旭区)

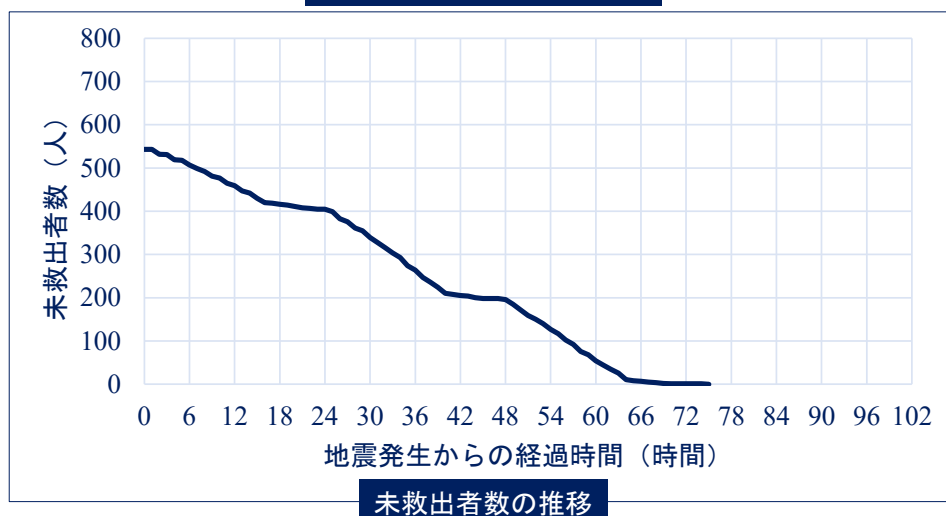
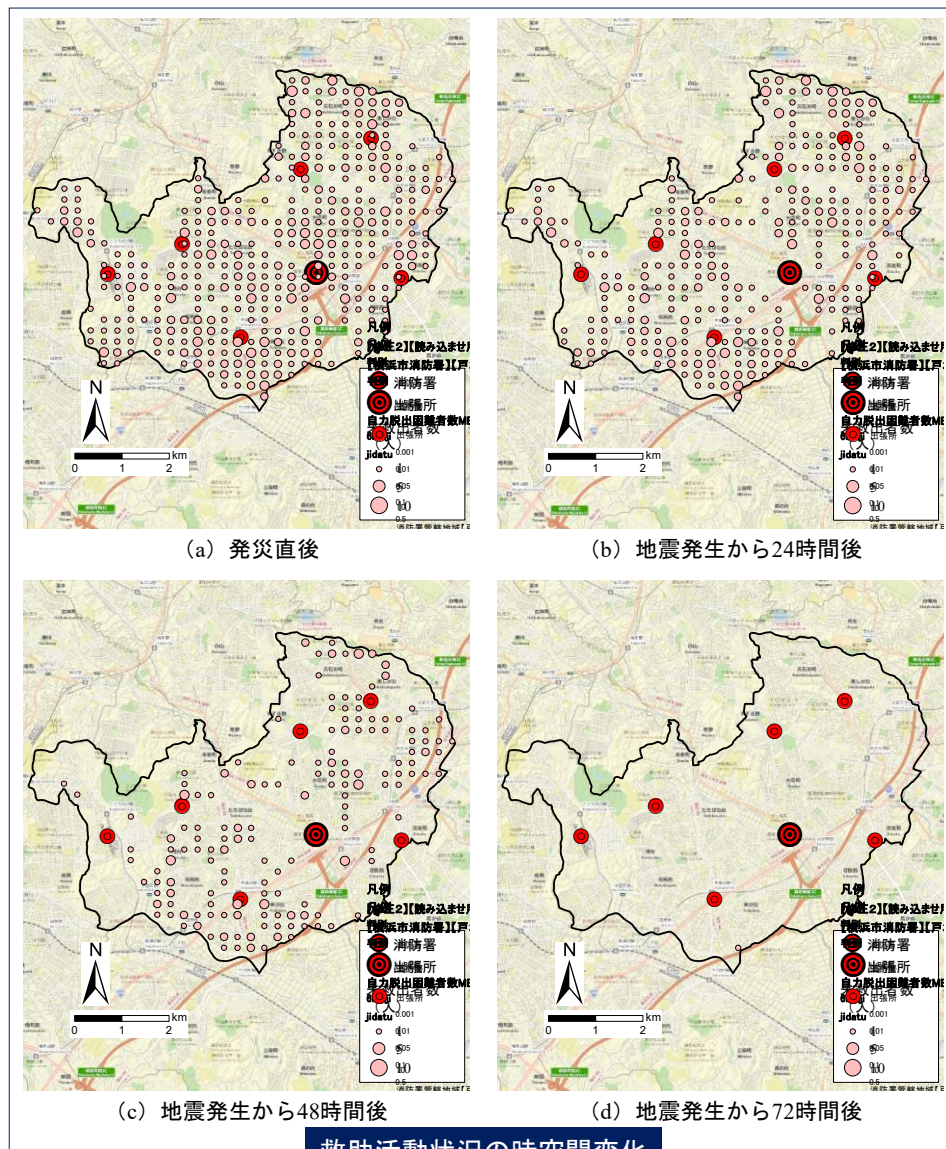


図 3-24 救助活動の分析結果 (青葉区)

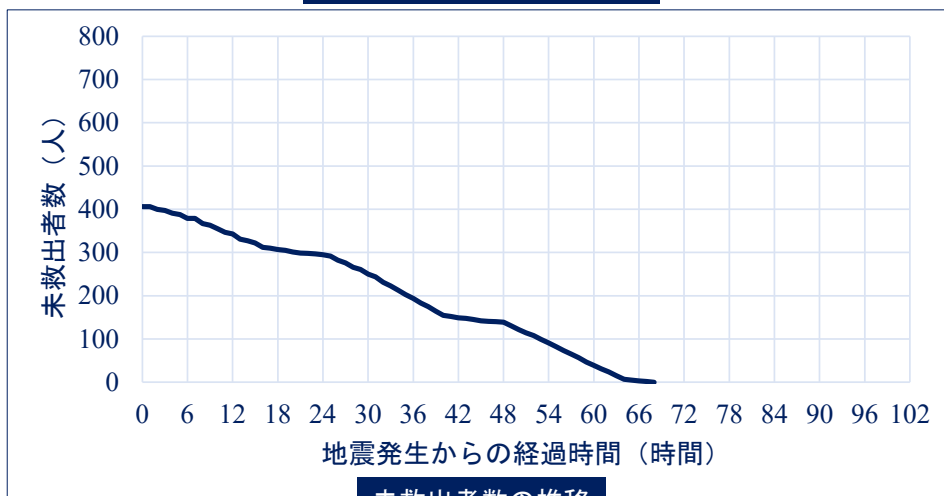
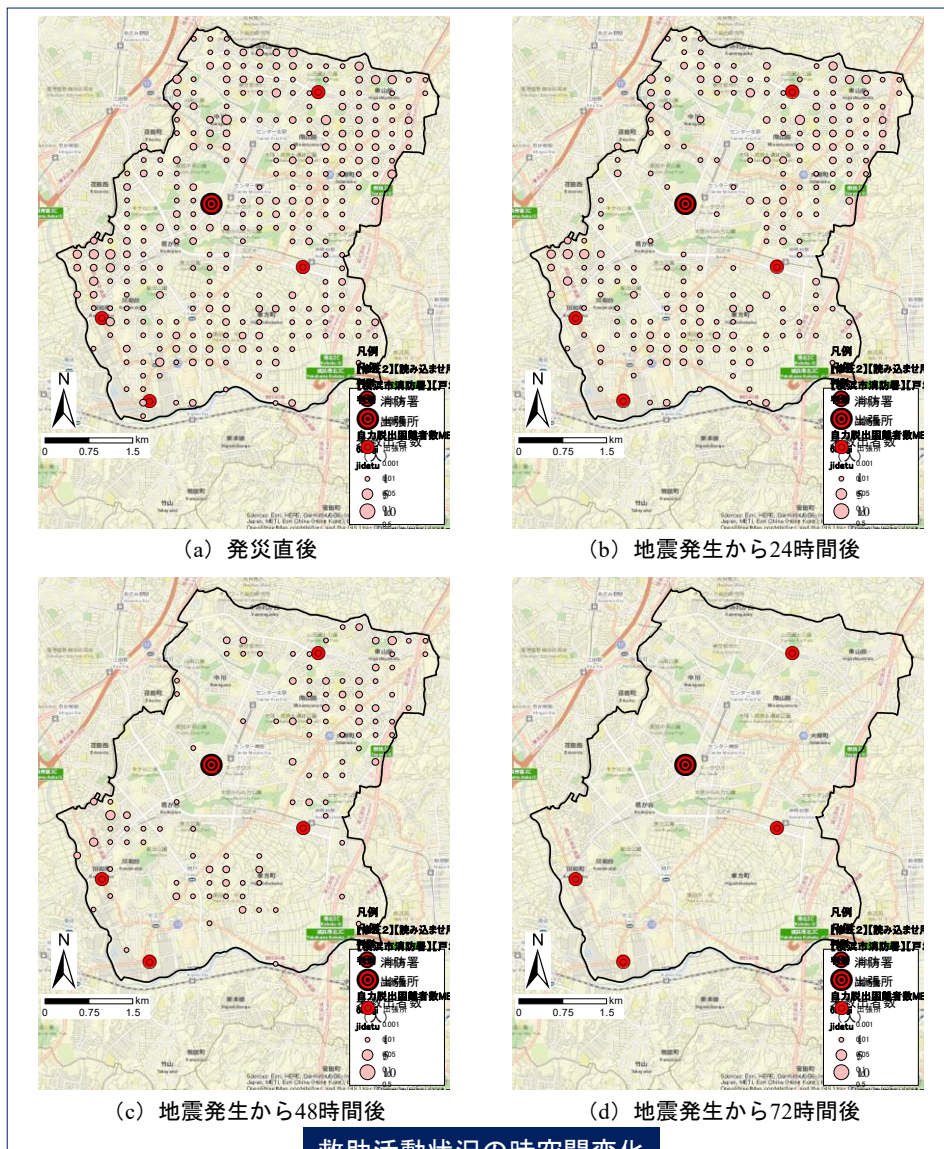


図 3-25 救助活動の分析結果 (都筑区)

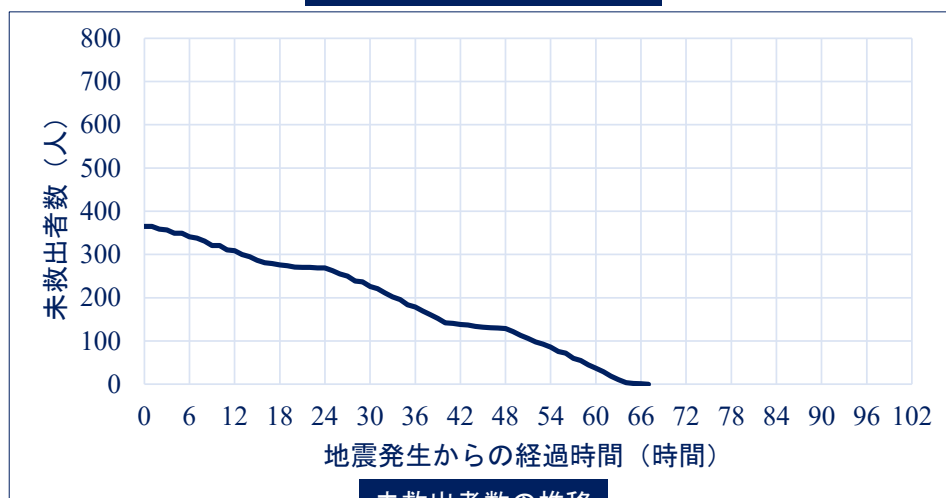
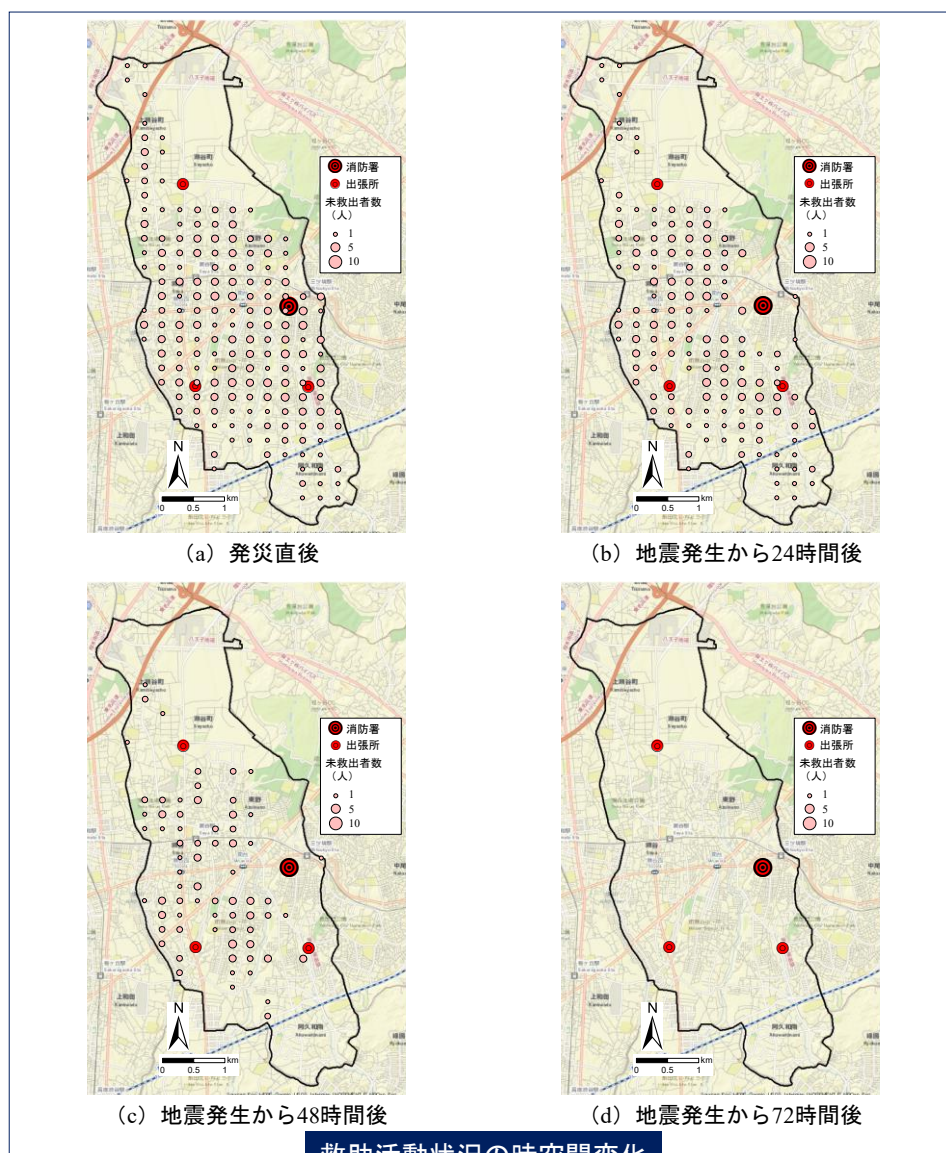


図 3-26 救助活動の分析結果 (瀬谷区)

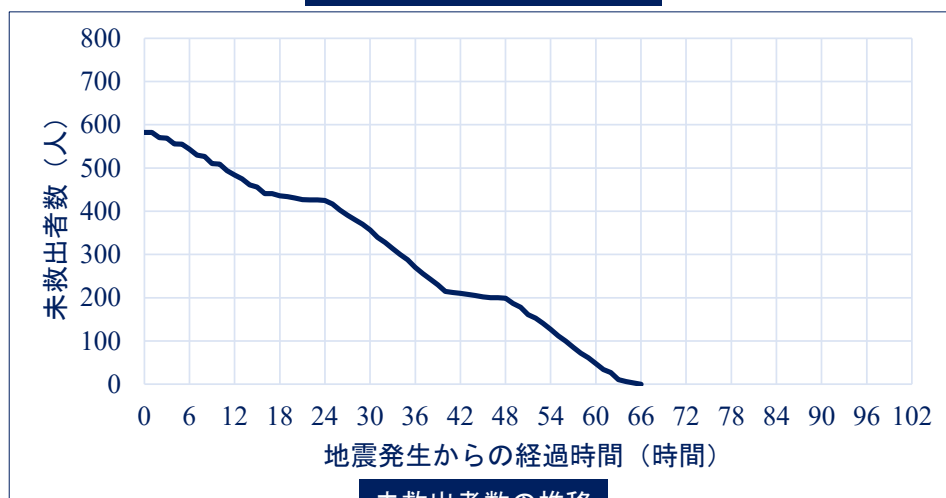
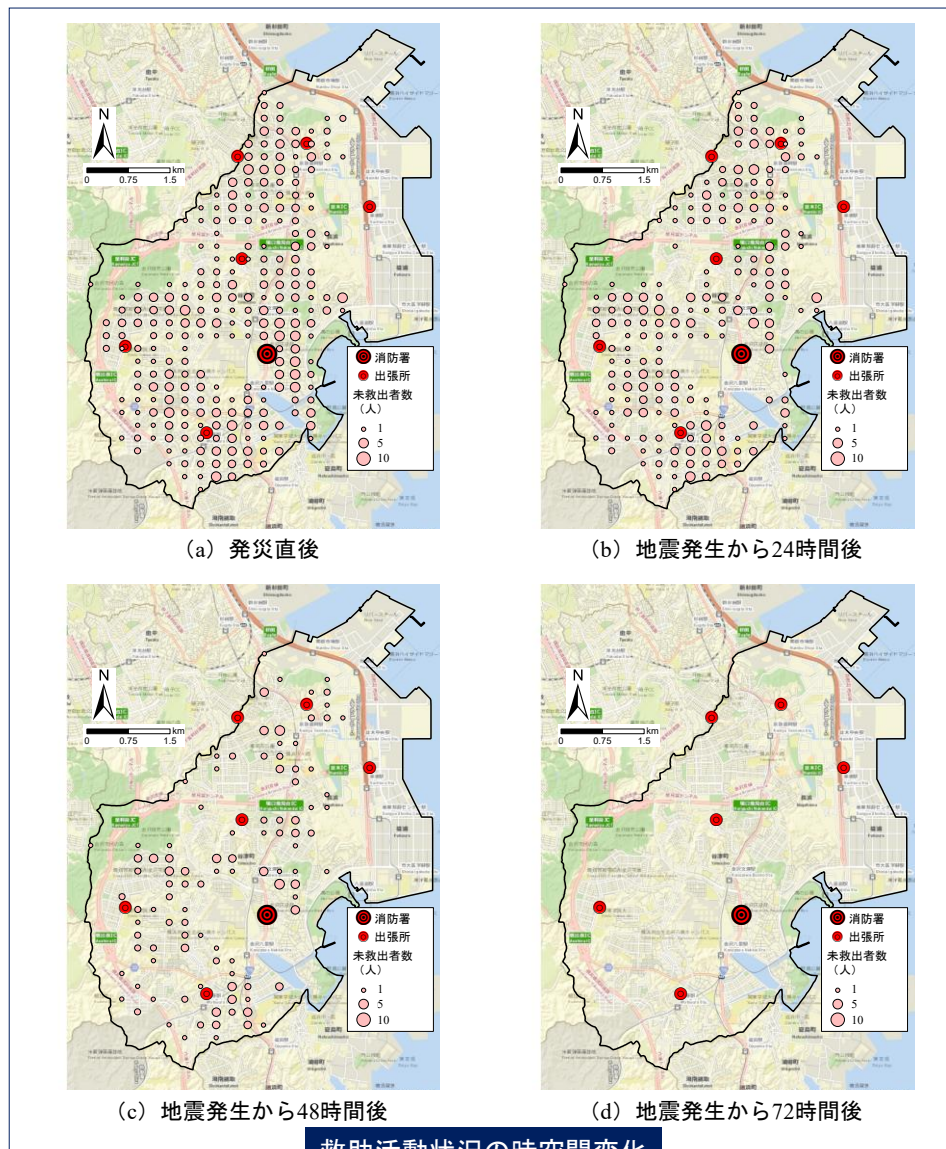


図 3-27 救助活動の分析結果 (金沢区)

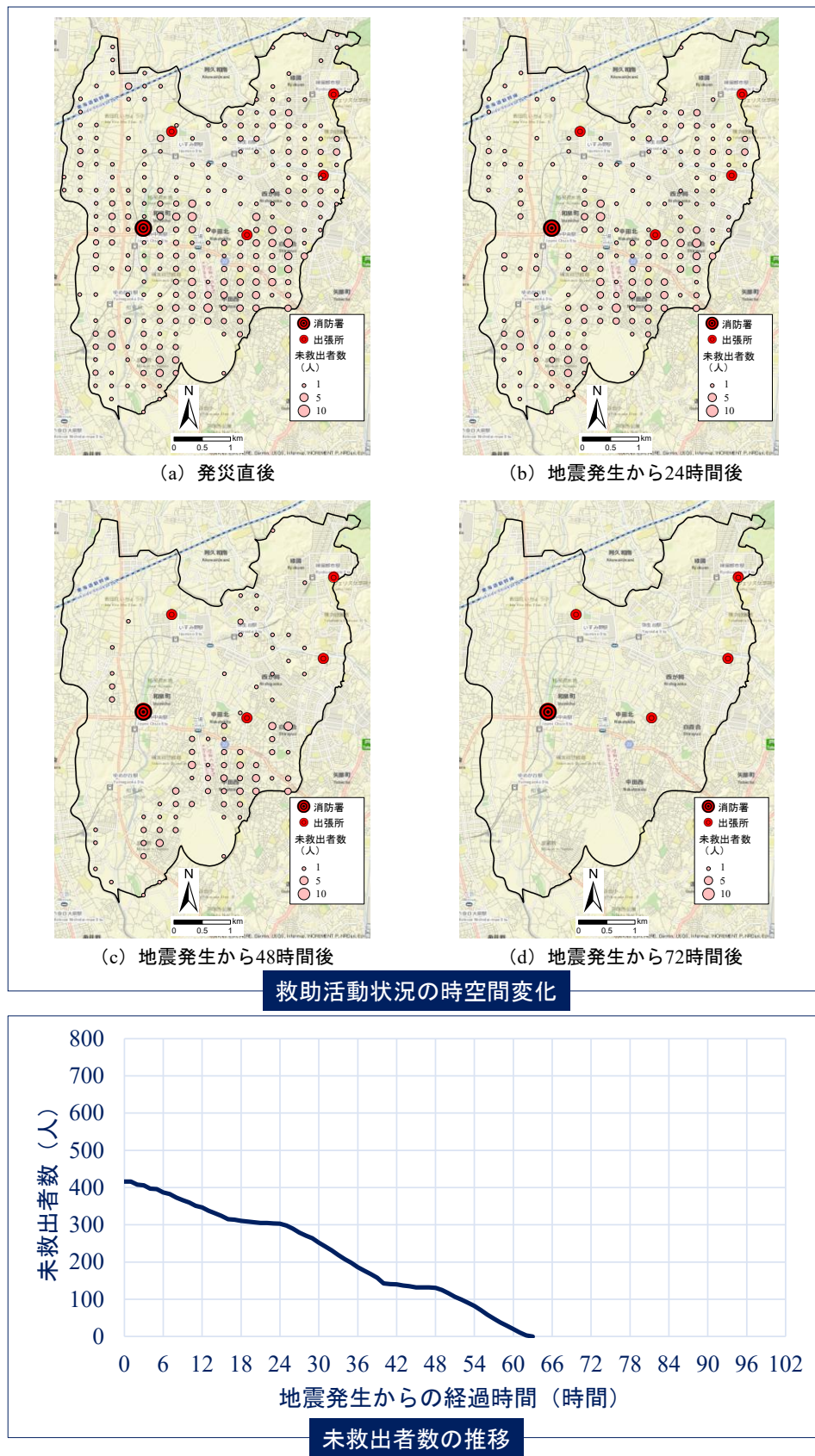


図 3-28 救助活動の分析結果 (泉区)

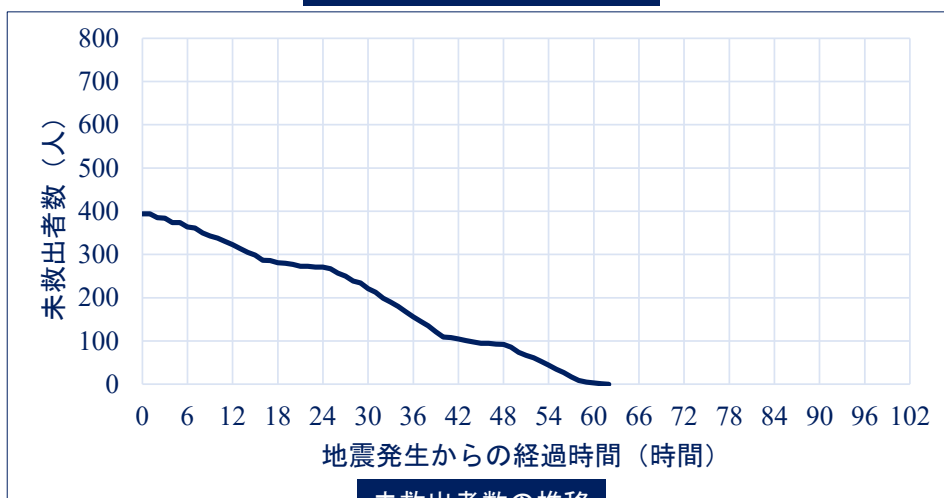
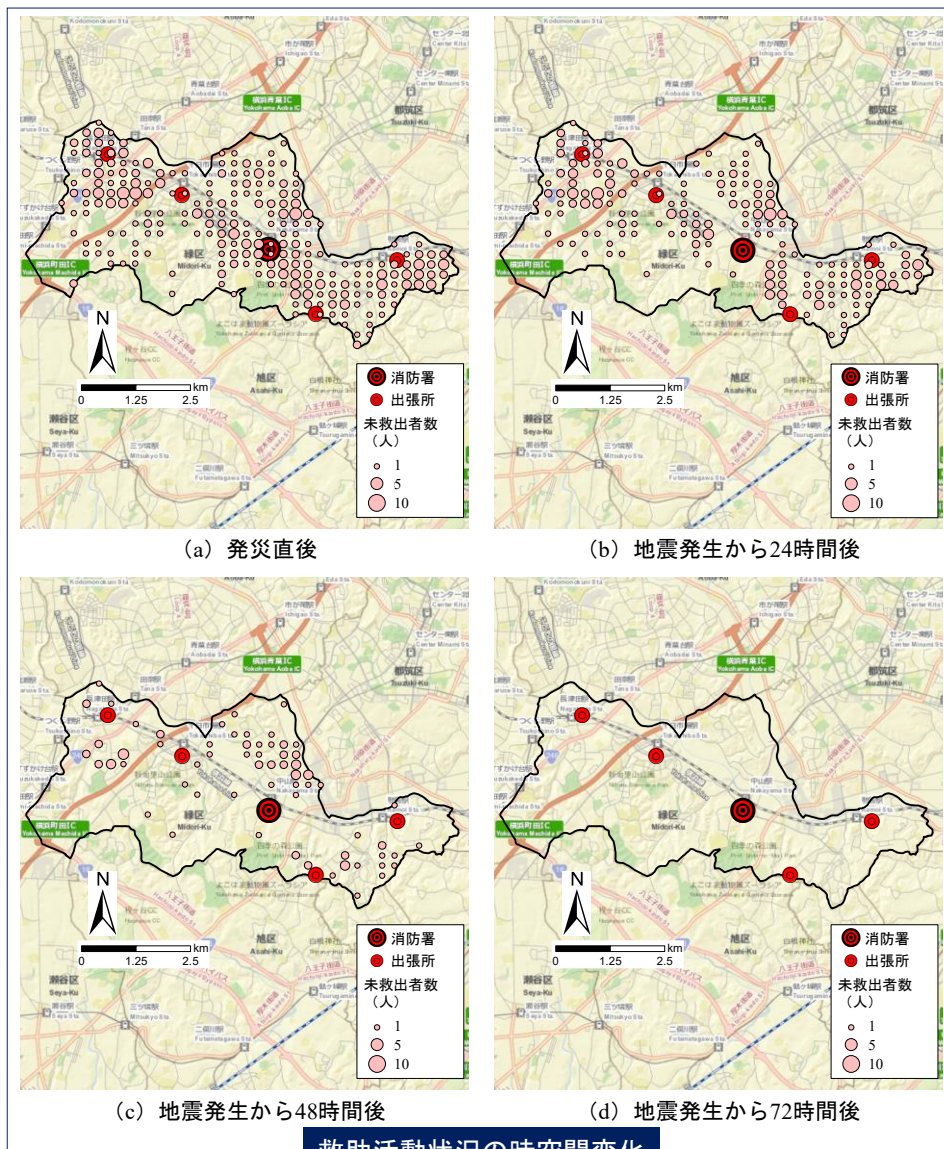


図 3-29 救助活動の分析結果 (緑区)

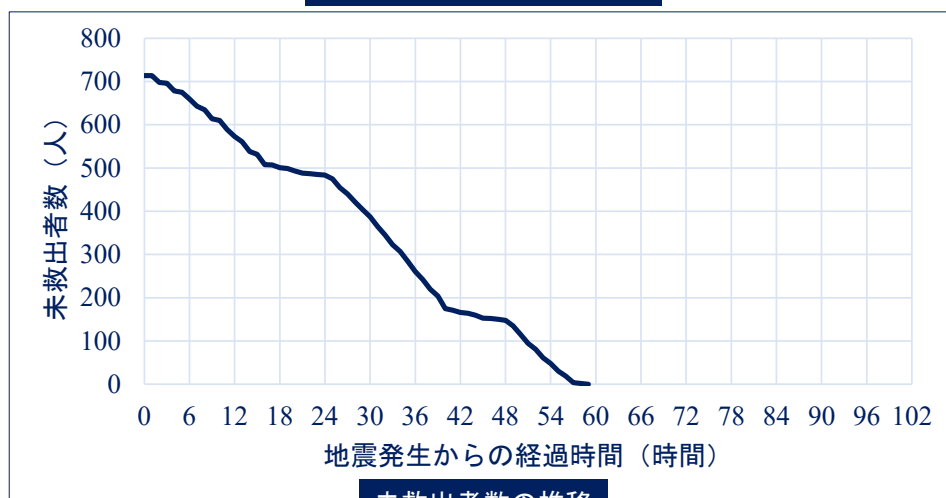
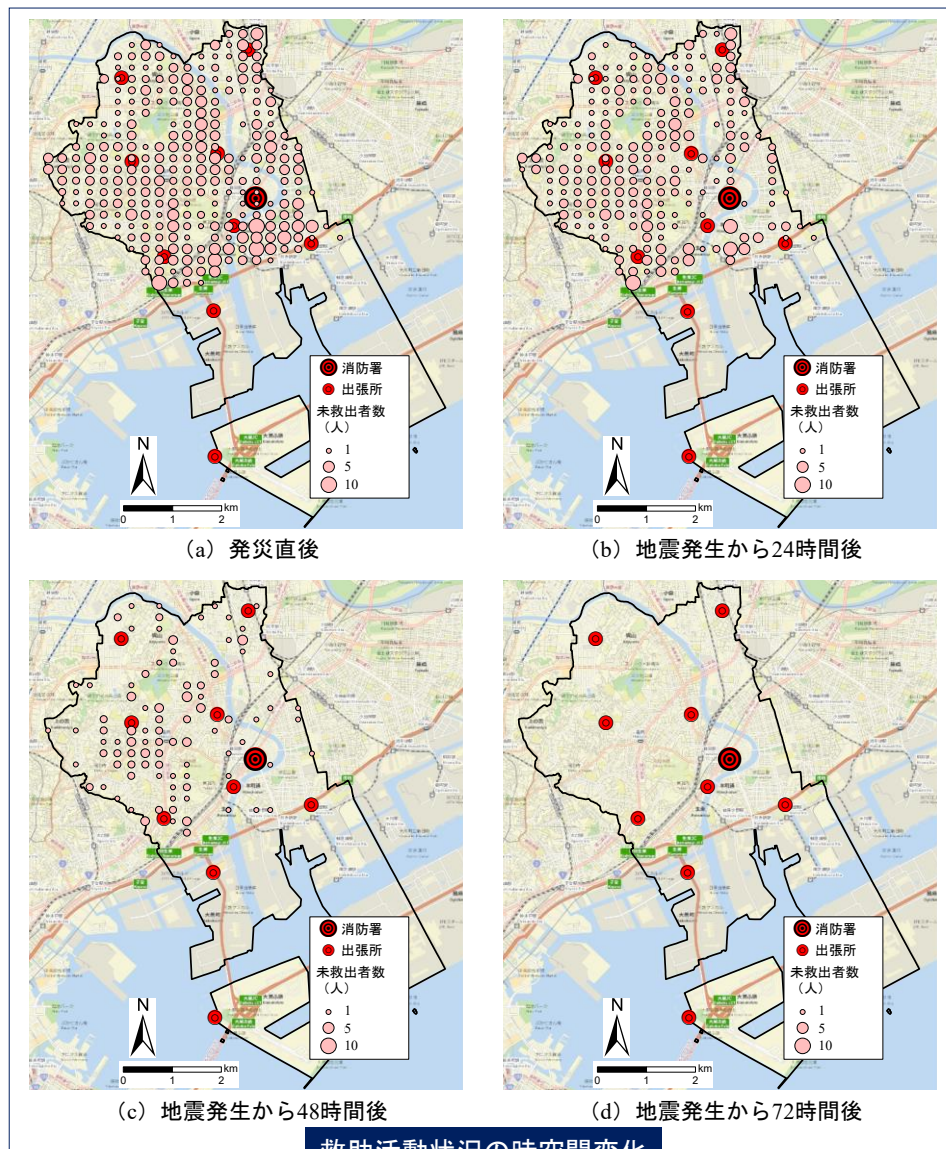


図 3-30 救助活動の分析結果 (鶴見区)

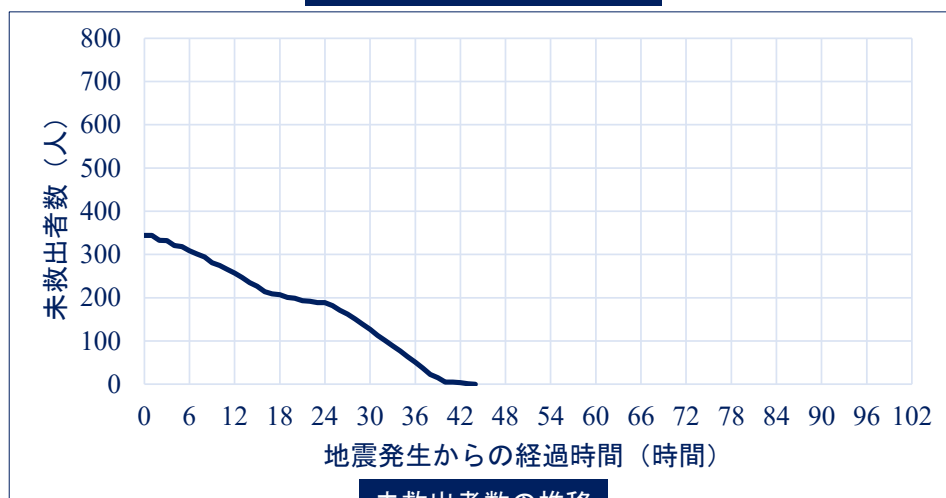
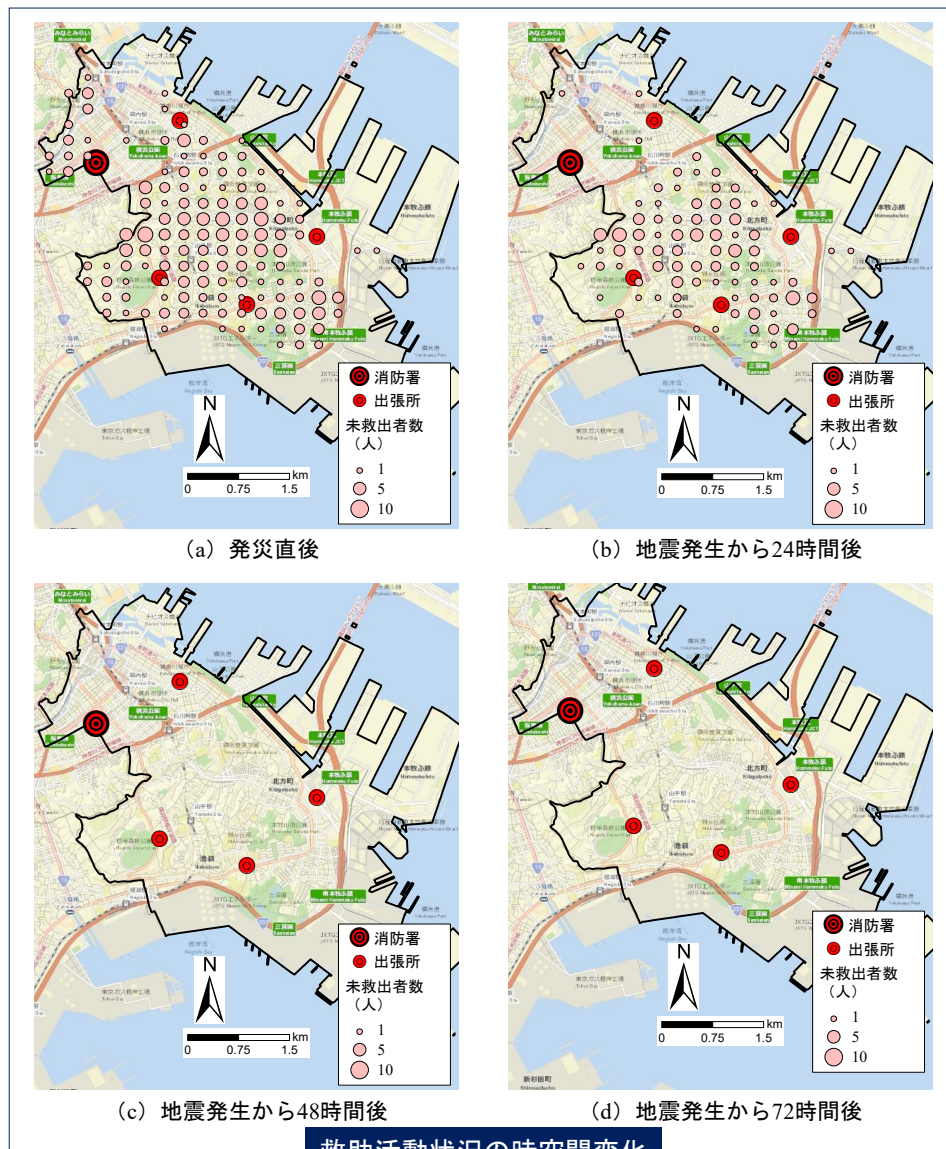


図 3-31 救助活動の分析結果 (中区)

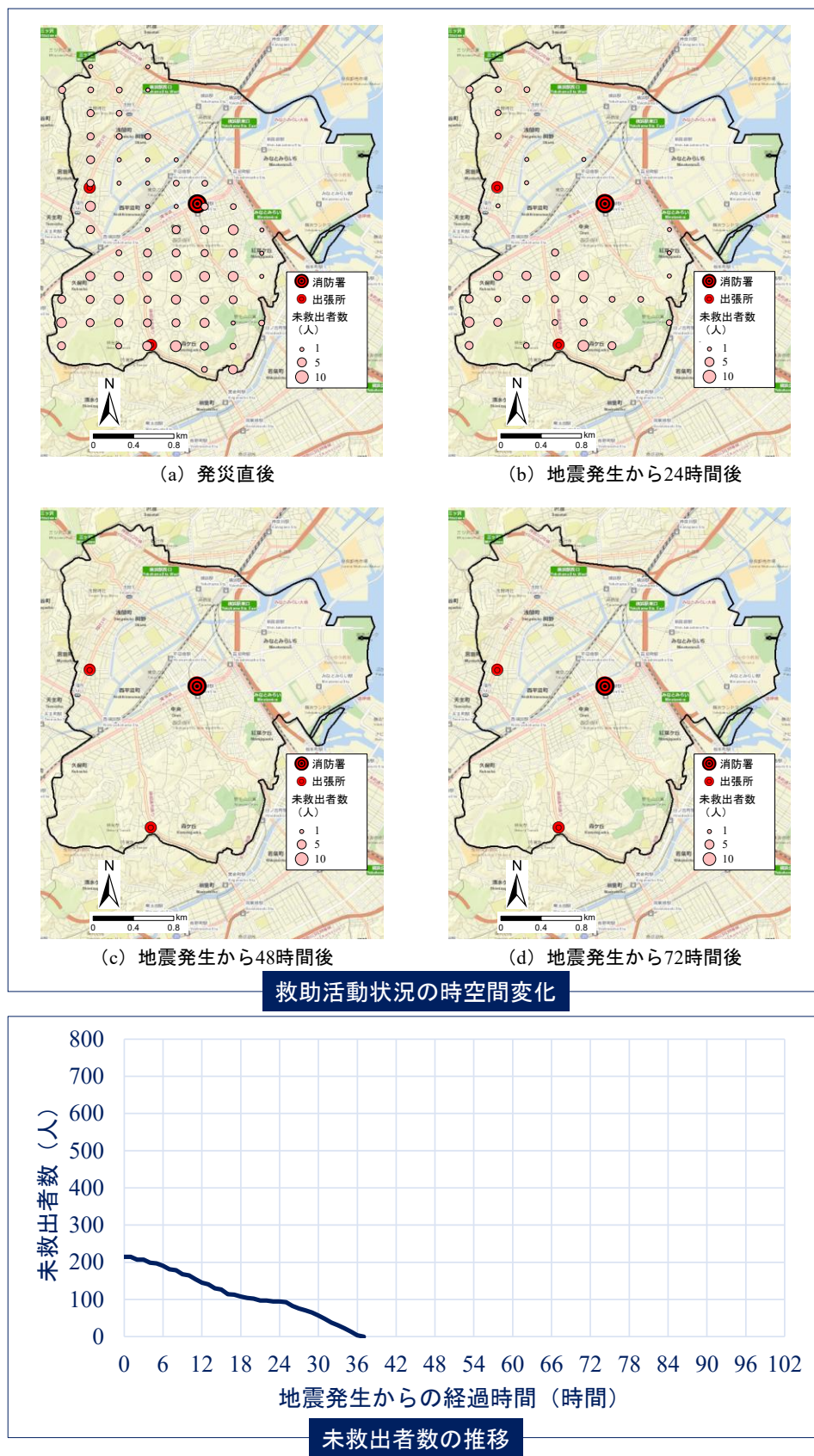


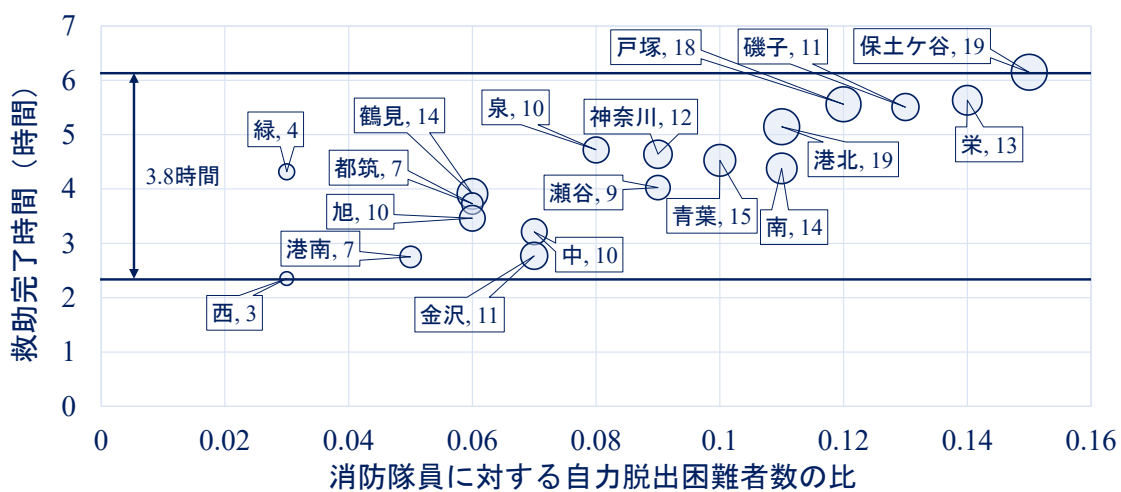
図 3-32 救助活動の分析結果 (西区)

想定震度別の救助活動の分析結果を踏まえて、地域特性が救助完了時間に与える影響について考察する。図 3-33 は、想定震度別の救助活動の分析結果を示す。図 3-33 の横軸は、救助隊員数に対する自力脱出困難者数の比、縦軸は救助完了時間（地震発生から区域内の自力脱出困難者を全員救助するまでに要した時間）、円の大きさは自力脱出困難者数を示す。

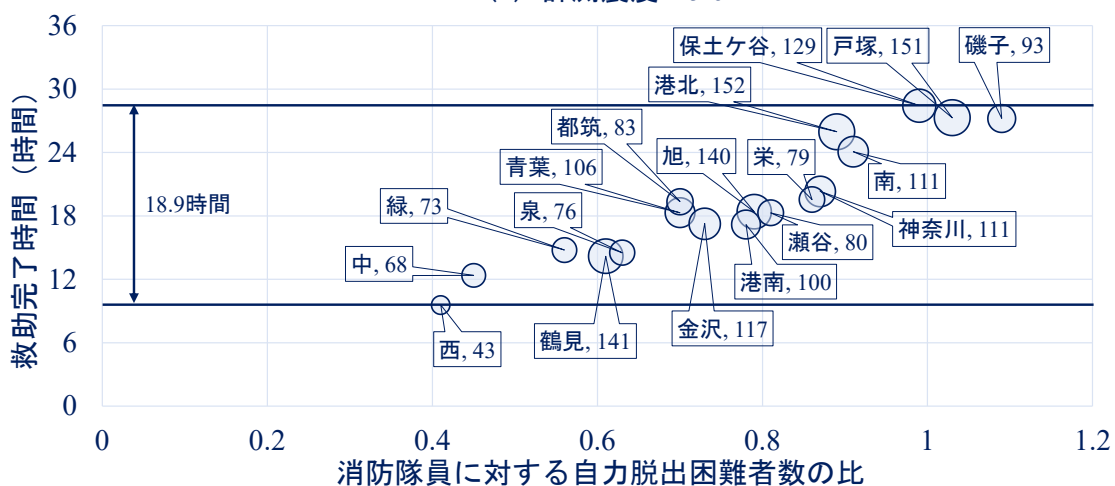
想定震度別の救助完了時間に関して、震度 6 弱（図 3-33 ()・計測震度：5.6）の場合、保土ケ谷区が 6.1 時間、栄・戸塚区が 5.6 時間と長く、西区が 2.4 時間、港南・金沢区が 2.8 時間と短い結果となった。次に、震度 6 弱（図 3-33 ()・計測震度：5.8）の場合、保土ケ谷区が 28.4 時間、戸塚区が 27.3 時間、磯子区が 27.2 時間と長く、西区が 9.6 時間、中区が 12.4 時間、鶴見区が 14.2 時間と短い結果となった。そして、震度 6 強（図 3-33 (c)・計測震度：6.0）の場合、戸塚区が 100.2 時間、磯子区が 99.8 時間、南区が 84.7 時間と長く、西区が 36.4 時間、中区が 44.0 時間、鶴見区が 58.6 時間と短い結果となった。

一般的には、72 時間以内に救出することが望ましいとされているが、倒壊した木造建物の場合、崩壊部材が高密度に空間を埋めるため、24 時間以内の迅速な救助活動が必要との指摘もある。上記を踏まえると、震度 6 強（図 3-33 (c)・計測震度：6.0）では、横浜市内の全ての地域において、生存率が高い時間帯に「公助」が行き届かない可能性が高い。さらに、救助完了時間に関して、救助隊員数に対する自力脱出困難者数の比が大きいほど長期化する傾向にあること、また、図 3-33 () の緑区と鶴見区や、港北区と南区などの結果を比較すると救助部隊の移動による影響も考慮する必要がある。そして、地域間の救助完了時間の差は、震度 6 弱（計測震度：5.6）の場合で最大 3.8 時間、震度 6 弱（計測震度：5.8）の場合で最大 18.9 時間、震度 6 強（計測震度：6.0）の場合で最大 63.8 時間であり、震度が大きくなるにつれて、地域間の救助活動に要する時間差も大きくなる傾向にある。加えて、図 3-33 () ～ (c) より、最も救助完了時間が長い区は、震度 6 弱（計測震度：5.6～5.8）では保土ケ谷区であるが、震度 6 強（計測震度：6.0）では戸塚区となる。この理由として、震度 6 弱（計測震度：5.6～5.8）と比較して、震度 6 強（計測震度：6.0）では、旧耐震（1980 年以前）の木造建物の倒壊棟数が大幅に増加し、多くの自力脱出困難者が発生することから、保土ケ谷区と比較して旧耐震の木造建物棟数が多い戸塚区は、人的被害量に対する救助勢力が劣勢となり、救助活動が長期化することが挙げられる。

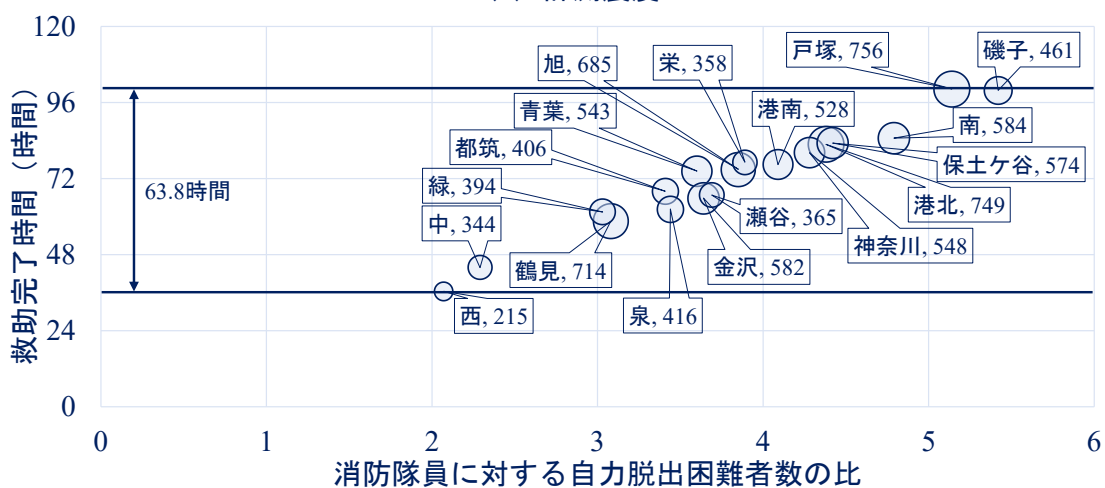
行政区の位置関係に着目すると、自力脱出困難者の救助活動に要する時間が短い中区と、救助活動に要する時間が長い磯子区は隣接していることから、地震発生後、磯子区において、隣接する中消防署が救助活動できる体制を構築できれば、磯子区の救助活動能力の向上が望める。



(a) 計測震度 : 5.6



(b) 計測震度 : 5.8



(c) 計測震度 : 6.0

図 3-33 想定震度別の救助活動の分析結果

次に、地域特性が救助活動の進行状況に与える影響を明らかにするため、震度6強（計測震度：6.0）における地震発生から24時間後の救助活動状況を図3-34～3-35に示す。図3-34は、地震発生から24時間後までの救出者数を示しており、自力脱出困難者数が多い行政区を左から順に並べている。また、図3-35は、地震発生から時間経過ごとの救助活動状況を示しており、横軸は地震発生からの経過時間、縦軸は救出率（自力脱出困難者数に対する救出者数）である。なお、救助完了時間が短い行政区を上から順に並べている。

図3-34より、地震発生から24時間後の救出者数に着目すると、自力脱出困難者数の大小に関わらず、救出者数には偏りがあり、地震発生からの時間経過に応じて、横浜市内の行政区別の救助活動の進行状況は大きく異なることが予想される。

そして、図3-35の地震発生から24時間後の救出率に着目すると、上側に位置する西・中・鶴見区などは、横浜市内では救助活動が比較的円滑に行われる可能性が高い地域であるといえる。これは、図3-33（c）より人的被害量（自力脱出困難者数）に対して消防力が優勢であること、消防署周辺に人的被害が集中しており、救助部隊の転進に伴う移動が少ないことが考えられる。一方、下側に位置する戸塚・磯子区などは、図3-33（c）より人的被害量（自力脱出困難者数）に対して消防力が劣勢であることや、図3-9より自力脱出困難者が広く分布するため、救助部隊が活動現場を転進する際、道路閉塞の影響を受けやすいことから、横浜市内では救助活動が難航する可能性が高い地域であるといえる。

上記の結果から、震災時の救助活動による減災効果を評価する際、人的被害量（自力脱出困難者数）と消防力の関係や、人的被害の空間分布による救助部隊の移動への影響を考慮する必要がある。特に、想定震度が上がるにつれて全壊棟数が増加し、倒壊建物による道路閉塞の影響が強まることを考慮すると、大規模震災時、旧耐震の木造棟数が多くて広範囲に分布する地域では、交通障害が救助活動に与える影響が懸念される。加えて、震度が大きくなるにつれて地域間の救助活動に要する時間差も大きくなる傾向にあることから、本章で求めた「救助完了時間」などの指標を参考に、位置関係を踏まえた上で救助活動能力の不足地域と非不足地域の連携体制の強化を図ることが重要である。

以上、本章では、横浜市を対象地域として、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、震災時の救助活動能力を考慮した地域評価を試みた。実際には、夜間における救助隊員の活動能力の低下など検討すべき点は多く存在するものの、提案手法を用いることで、時間的・空間的な視点に基づき、救助活動による減災効果を評価することができた。

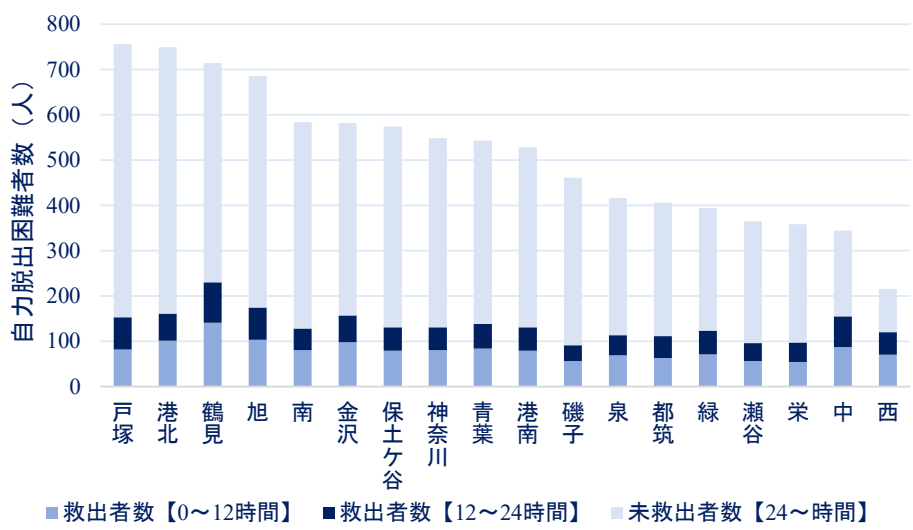


図 3-34 地震発生から 24 時間後までの救出者数

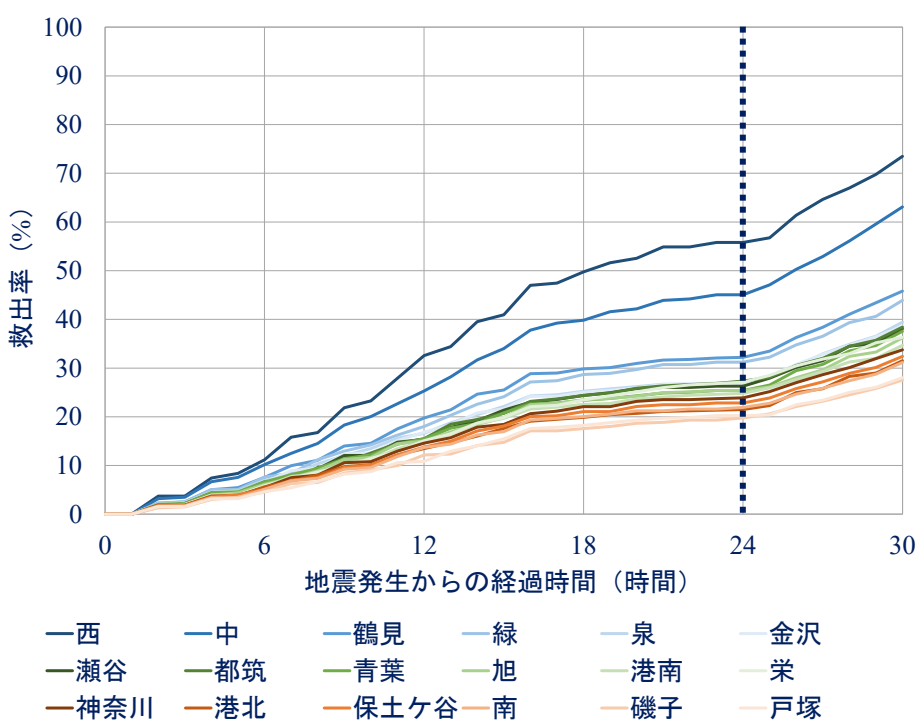


図 3-35 地震発生から時間経過ごとの救助活動状況

3.6 まとめ

本章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」を用いて、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価した。得られた成果を以下にまとめる。

- 横浜市を対象地域として、震災時の救助活動能力を考慮した地域評価を試みたところ、地域間の救助完了時間の差は、震度6弱（計測震度：5.6）の場合で最大3.8時間、震度6弱（計測震度：5.8）の場合で最大18.9時間、震度6強（計測震度：6.0）の場合で最大63.8時間であった。震度が大きくなるにつれて地域間の救助活動に要する時間差も大きくなる傾向にあることから、本章で求めた「救助完了時間」などの指標を参考に、位置関係を踏まえた上で地域間の連携体制の強化を図ることが重要である。

- 空間的な視点から救助活動による減災効果を評価する際、旧耐震の木造棟数が比較的多くて広範囲に分布する地域ほど、救助部隊が活動現場を転進する際、道路閉塞の影響を受けやすいことを確認した。想定震度が上がるにつれて全壊棟数が増加し、倒壊建物による道路閉塞の影響が強まることを踏まえると、大規模震災時の救助活動による減災効果を評価する際は人的被害量のみでなく、空間分布も併せて考慮する必要がある。

- 本研究で提案した手法により、老朽建築物の除却・改修などのハード対策と、消防力の配備・強化などのソフト対策を併せて検討することで、地域の実情に応じた減災対策を講じることが期待できる。また、地域住民が救助活動能力を考慮した地域特性の現状を認識することで、老朽建築物の除却・改修など震災対策事業への理解を促すことにも寄与するものと考えられる。

一方、本研究では地震火災を考慮していないため、提案した評価手法に消火活動を組み込むことの必要性は論を俟たない。さらに、被災状況に応じた緊急車両の移動速度の推定については、道路閉塞・渋滞以外にも火災・土砂崩れなどによる影響、自力脱出困難者の算出に関しては、高齢化の進行に伴う被害者数の増加なども考慮する必要がある。

第4章では、応援部隊の誘導調整、近隣に位置する消防署同士の連携、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などに関する防災計画の基礎資料を作成することを目的に、自治体が既に作成している地震被害想定などの情報を活用することで、管轄部隊のみでは対応が難しく応援を必要とする可能性が高い地域を時間的・空間的視点から明らかにする。

参考文献（第3章）

- 1) 神奈川県地震被害想定調査委員会：神奈川県地震被害想定調査報告書，2015，
<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html>（参照 2021-4-19）
- 2) 横浜市：横浜市地震被害想定調査報告書，2015，<https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/oushi-kyukyuhon/oushisigi/wgy/jishin/higi/jishinhigi.html>（参照 2021-5-17）
- 3) 警察庁：熊本地震における警察の救助活動に関する調査分析，2017，<https://www.npa.go.jp/urereu/security/kumamotojishin/kumamotojishin2.html>（参照 2021-3-22）

第4章

震災直後の応急対策活動に関する 分析－救助活動の視点から－

- 4.1 はじめに
- 4.2 想定地震
- 4.3 地震被害想定データの入力
- 4.4 自力脱出困難者数の算定結果
- 4.5 被災地域内の救助活動の分析
- 4.6 応援部隊の派遣先・経路に関する分析
- 4.7 まとめ

第4章 震災直後の応急対策活動に関する分析－救助活動の視点から－

4.1 はじめに

第3章では、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価した。特定の地震を想定せず、地域全体に一律の揺れを想定することで、地域特性を考慮した「地震災害時の救助活動」の困難度を相対的に評価することが可能であるが、震災直後の具体的な応急対策活動を検討するためには、特定の地震を想定して救助活動を分析することも重要である。

本章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」に、多くの自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを入力することで、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析する。そして、救助活動の分析結果を踏まえて、応援部隊の派遣先、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などの応急対策活動について考察する。

本章の研究成果は、自治体の地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成することで、地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにし、震災時の部隊応援に関する地震防災戦略や地域防災計画の修正を行う際の基礎資料としての活用が期待できる。

4.2 想定地震

本章では、神奈川県地震被害想定において、地震発生切迫性が高く、広域応援などのシナリオ作成の対象である都心南部直下地震をケーススタディとして、提案手法を適用した。都心南部直下地震は、首都圏が直接的なダメージを受けることを想定した地震であり、フィリピン海プレート内の地震として、安政江戸地震および大正関東地震の前のM7クラスの地震が発生している領域を参考に、 M_w と震源が設定されている。

表4-1は、都心南部直下地震の概要を示す。また、図4-1は、神奈川県地震被害想定¹⁾における都心南部直下地震の震度分布について示す。

表4-1 都心南部直下地震の概要

都心南部直下地震	
震源域	フィリピン海プレート内（首都圏付近）
M_w	7.3
発生確率	30年間で70%
対策の観点	地震発生切迫性が高いとされ、法律により対策を強化する地域の指定に用いられる。
選定理由	国が防災対策の主眼をおく地震であり、横浜市・川崎市などの県東部の都市部が被災した場合に必要な応急対策、復旧・復興対策および県域を超えた広域応援・帰宅困難者対策などを検討するため。

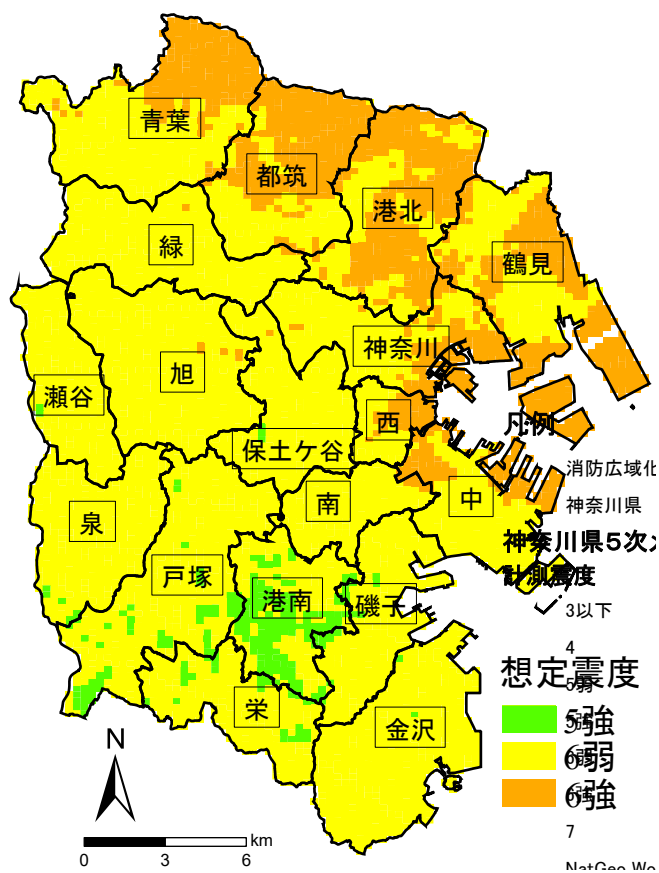


図4-1 都心南部直下地震の震度分布¹⁾

4.3 地震被害想定データの入力

本章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」に、多くの自治体が既に保有している地震被害想定の情報を入力することで、被災地域内の救助活動の時間空間変化を分析する。

図4-2は、地震被害想定データを提案手法に入力する際のイメージ図について示す。本章では、神奈川県地震被害想定都心南部直下地震における計測震度・全壊棟数・半壊棟数のデータを提案手法に入力した。なお、神奈川県安全防災局から提供して頂いた地震被害想定は、250mメッシュコードを含むExcel形式のデータであるため、ArcGIS上で表示する際は、250mメッシュコードを含むポリゴンデータとテーブル結合させる作業が必要となる。

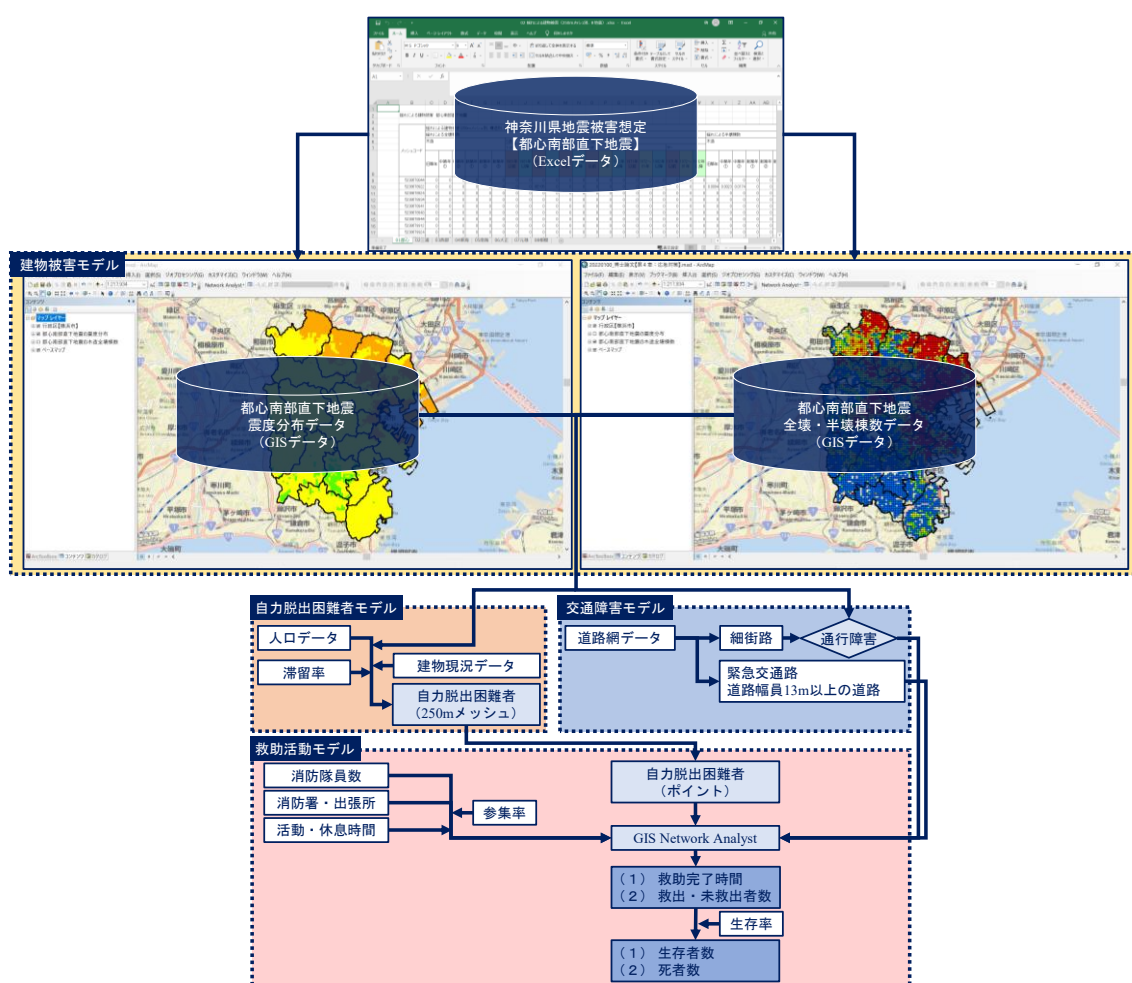


図4-2 地震被害想定データの入力

4.4 自力脱出困難者数の算定結果

本研究では、救助技術を有する機関による救助活動が望ましい倒壊した木造・非木造建物から発生する自力脱出困難者を対象に、提案手法を用いて被災地域内の消防による救助活動の時空間変化を分析することで、公助の担い手が不足する地域を明らかにする。

図4-3は、自力脱出困難者数の算定結果を示す。神奈川県の手法は、木造建物には計測震度に応じた崩壊率、非木造建物には震度・建築年に応じた倒壊率を乗じた推定式を用いており、旧耐震の木造建物棟数が多く強い揺れが想定される地域は、自力脱出困難者が多数発生する。よって、旧耐震の木造建物棟数が多く且つ震度6弱～6強の強い揺れが想定される港北・鶴見区内では、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者が多数発生する結果となった。

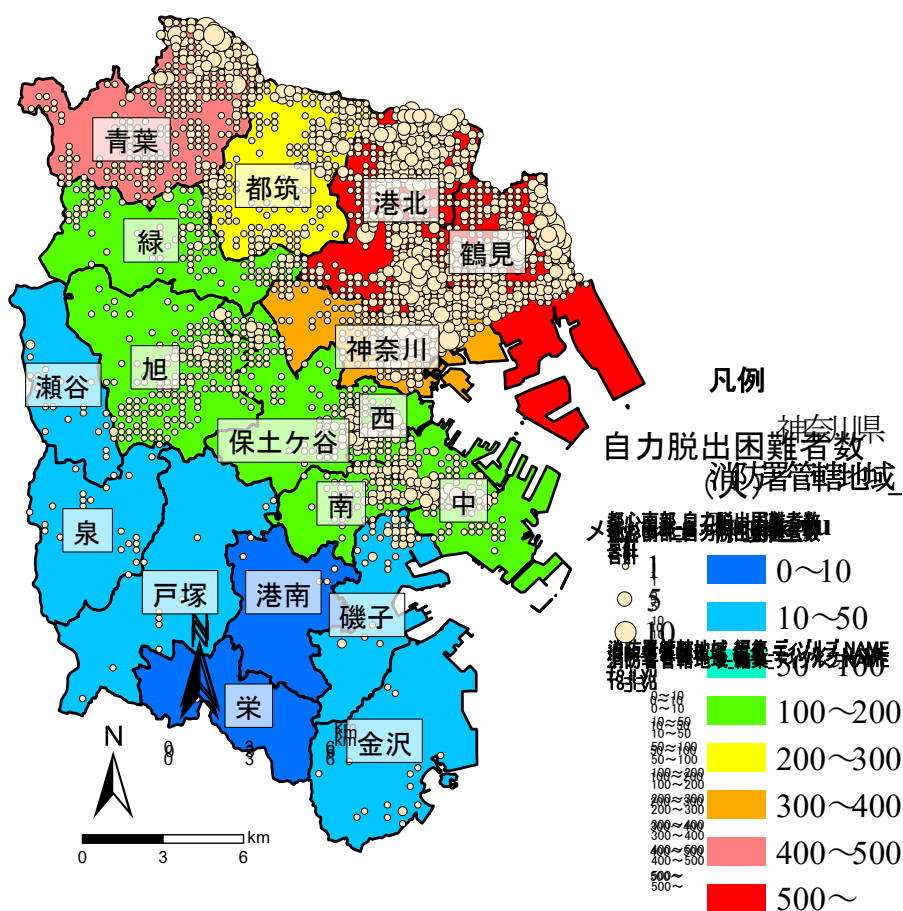


図4-3 自力脱出困難者数の算定結果

4.5 被災地域内の救助活動の分析

本節では、提案手法を用いて、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者の救助活動を分析する。

図4-4は、救助活動シミュレーションの出力結果の一例を示す。図4-4(a)は自力脱出困難者数、図4-4(b)～(d)は、地震発生からの時間経過に応じた救出活動が行われていない自力脱出困難者数の空間分布を示す。図4-4より、地震発生から24時間後の救助活動状況について着目すると、横浜市の南・中部では、ほとんどの自力脱出困難者の救助活動が実施されているのに対して、港北や青葉など北部では、多くの自力脱出困難者の救助活動が実施されていない状況であることが読み取れる。このように、提案手法を活用することで、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動状況の分析が可能となり、公助の担い手が不足する地域を明らかにすることができる。

表4-2は、救助活動の分析結果について示す。本章では、計算負荷の理由から、10回のシミュレーションで被災地域内の救助活動を分析している。ただし、表4-2の行政区別の救助完了時間・生存者数の最大値・最小値・平均値・標準偏差より、被災地域の応援・受援体制を検討する上では、ケース別の通行障害による解析結果の変動が与える影響は小さいと考える。この要因として、提案手法では、250mメッシュ内で通行障害が発生すると判断された場合、メッシュ内の道路幅員13m未満の細街路の移動速度を1km/hと設定することで極度の渋滞状態を想定し、倒壊建物による街路閉塞の影響を考慮しており、救助部隊が到着できない現場は生じないものと想定しているためと推測する。したがって、個々の救助現場ではなく、市区町村単位で救助活動に要する時間を把握する場合や生存者数を算定する場合には、各試行における結果の変動は大きくないことが予想される。

表4-2より、地震発生から管轄区域内の自力脱出困難者本を全員救助するまでに要した時間（救助完了時間）の平均値は、港北区が84.2時間、青葉区が62.4時間、神奈川区が54.8時間、鶴見区が52.3時間、都筑区が41.4時間の順で長い結果となった。一般的には、72時間以内に救出することが望ましいとされているが、倒壊した木造建物の場合、崩壊部材が高密度に空間を埋めるため、24時間以内の迅速な救助活動が必要との指摘もある。また、本研究では地震火災などは考慮しておらず、被災地域の救助活動は、算定した救助完了時間よりも長期化することが懸念される。上記を踏まえると、都心南部直下地震の際、横浜市内においては震度6強以上の揺れが予想される北部一帯は、救助隊の応援が特に必要になる可能性が高い。

図4-5は、地震発生からの時間経過に応じた未救出者数の平均値の推移について示す。図4-5より、鶴見区は、横浜市内で2番目に自力脱出困難者数が多く発生するにも関わらず、地震発生から26時間時点で青葉区、39時間時点で神奈川区より、未救出者数が下回ることが読み取れる。これは、人的被害量に対して消防力が比較的優位であることや、消防署周辺に人的被害が集中しているため救助隊の転進に伴う移動が少ないことが要因となり、青葉・神奈川区と比較して救助活動が円滑に実施されるためである。

以上、提案手法による分析結果から、被災地域内の救助活動の進行状況が一様ではないことを考慮すると、震災直後の人的被害量のみを基準に応援部隊の派遣先を検討することは、限られた応援側の救助能力を有効活用する観点からは適切ではないことが予想される。よって、最大限の人命救助を実現するためには、地震発生から時間経過とともに変化する被災地域内の救助活動状況を踏まえた上で、応援・受援体制を検討する必要がある。

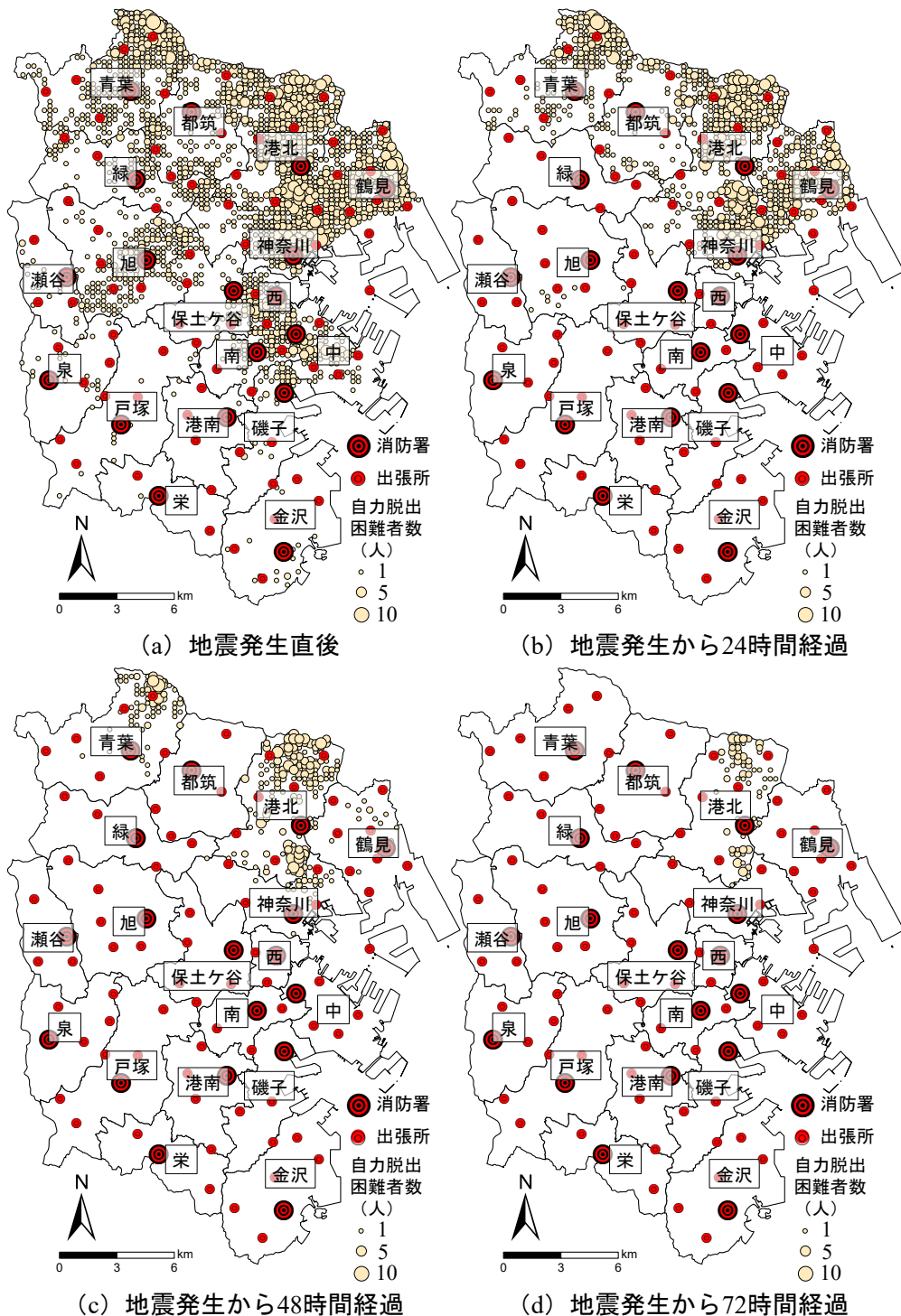


図4-4 救助活動状況の時空間変化

表 4-2 救助活動の分析結果

行政区	自力脱出 困難者数 (人)	救助完了時間 (時間)				生存者数 (人)			
		最大	最小	平均	標準 偏差	最大	最小	平均	標準 偏差
港北	773	84.7	83.4	84.2	0.4	305.4	300.8	303.5	1.1
青葉	473	63.5	61.4	62.4	0.5	224.6	223.0	223.7	0.5
神奈川	353	55.5	54.3	54.8	0.3	189.2	187.9	188.6	0.4
鶴見	587	52.9	51.7	52.3	0.4	326.1	323.1	324.8	0.8
都筑	238	42.1	40.5	41.4	0.5	140.0	138.7	139.4	0.3
旭	176	28.8	26.7	27.5	0.7	132.4	131.8	132.1	0.2
保土ヶ谷	116	27.7	24.8	25.8	0.8	89.0	88.2	88.6	0.2
緑	112	23.5	19.8	21.5	1.1	87.0	86.3	86.6	0.2
西	103	20.8	19.5	20.0	0.5	80.5	80.1	80.3	0.1
南	109	19.7	18.0	18.9	0.6	85.6	85.2	85.5	0.1
中	124	18.5	16.9	17.8	0.6	98.6	98.3	98.4	0.1
磯子	45	13.6	12.1	12.8	0.5	38.0	37.9	37.9	0.0
瀬谷	22	8.1	7.7	7.9	0.1	19.8	19.7	19.8	0.0
泉	22	6.9	5.9	6.3	0.4	20.1	20.0	20.1	0.0
金沢	16	5.4	5.4	5.4	0.0	15.0	14.9	15.0	0.0
戸塚	12	3.6	3.6	3.6	0.0	11.3	11.3	11.3	0.0
港南	5	2.6	2.4	2.5	0.1	4.7	4.7	4.7	0.0
栄	1	2.4	2.3	2.3	0.0	0.9	0.9	0.9	0.0

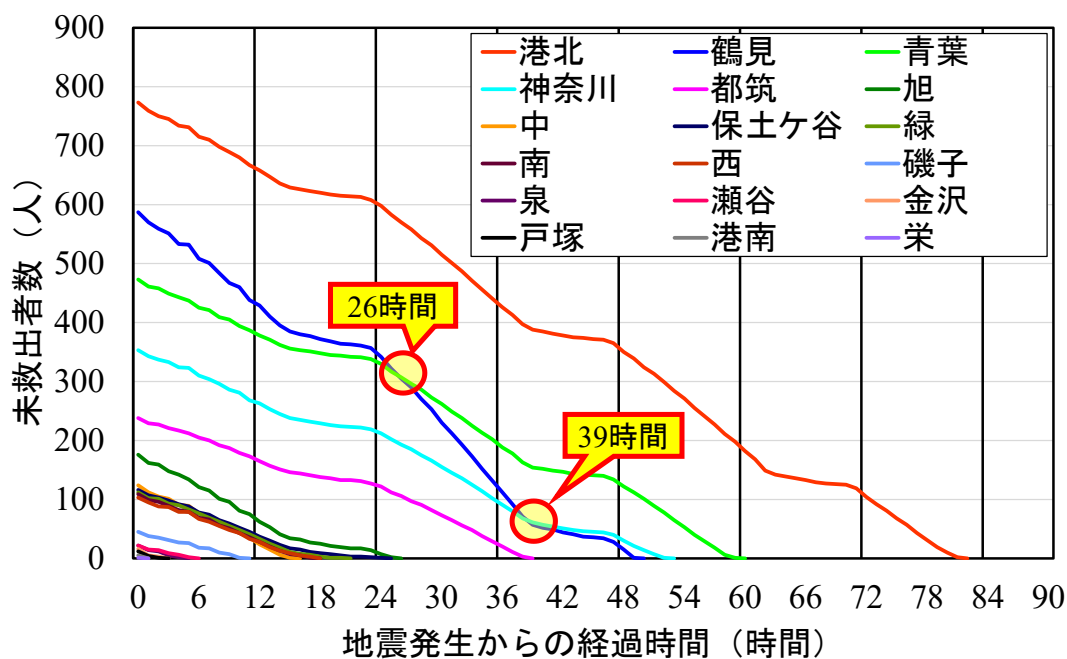


図 4-5 未救出者数の推移

4.6 応援部隊の派遣先・経路に関する分析

本節では、第4節の救助活動の分析結果を踏まえて、他の行政区と比較して救助活動が長期化することが予想される横浜市北部の行政区（港北・青葉・神奈川・鶴見・都筑）を対象に、応援部隊の派遣先・経路について分析・考察する。

図4-6は、中央防災会議の首都直下地震における各活動のタイムライン²⁾について示す。図4-6より、地震発生から12時間を目途に、応援部隊の活動拠点が設定されて救助活動が本格化する。また、地震発生から24時間を目途に、緊急輸送ルートの啓開および緊急交通路が指定され、48時間以内には首都直下地震道路啓開計画³⁾で示される被災地内ルートの各方向上下1直線の啓開を目標としている。よって、本章では地震発生から12・24・48時間後の3つの時間帯に焦点を当てた。

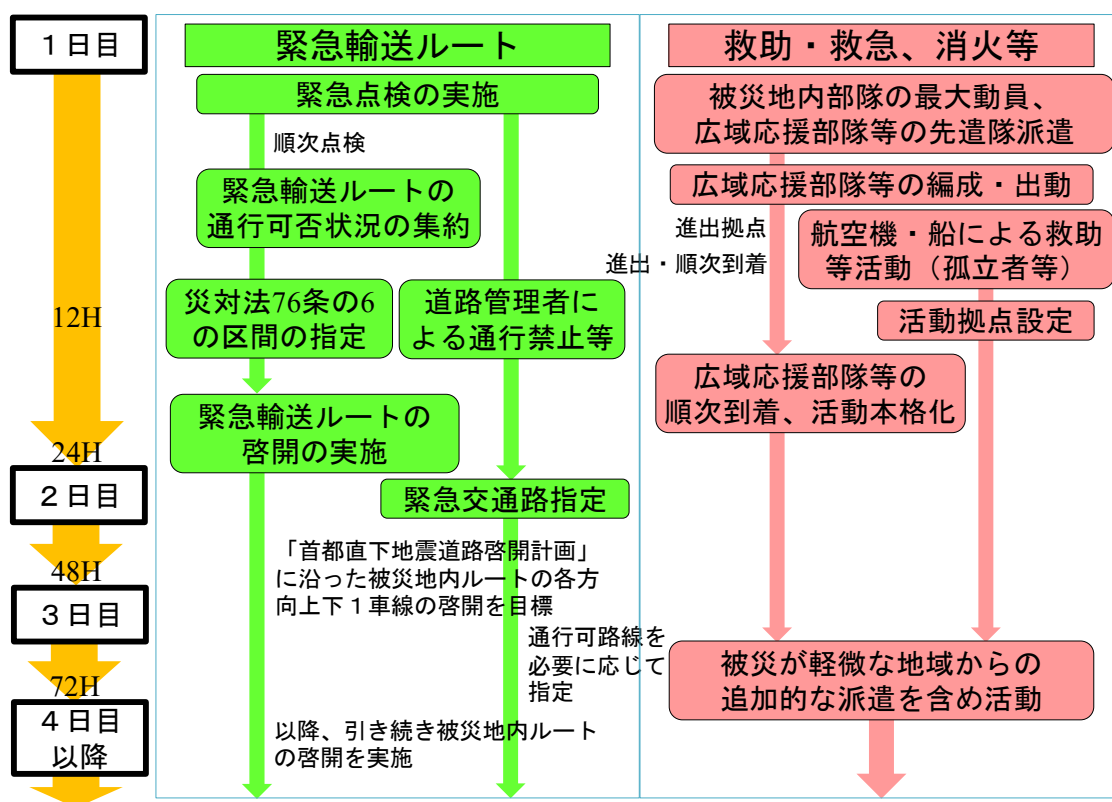


図4-6 首都直下地震における各活動のタイムライン²⁾

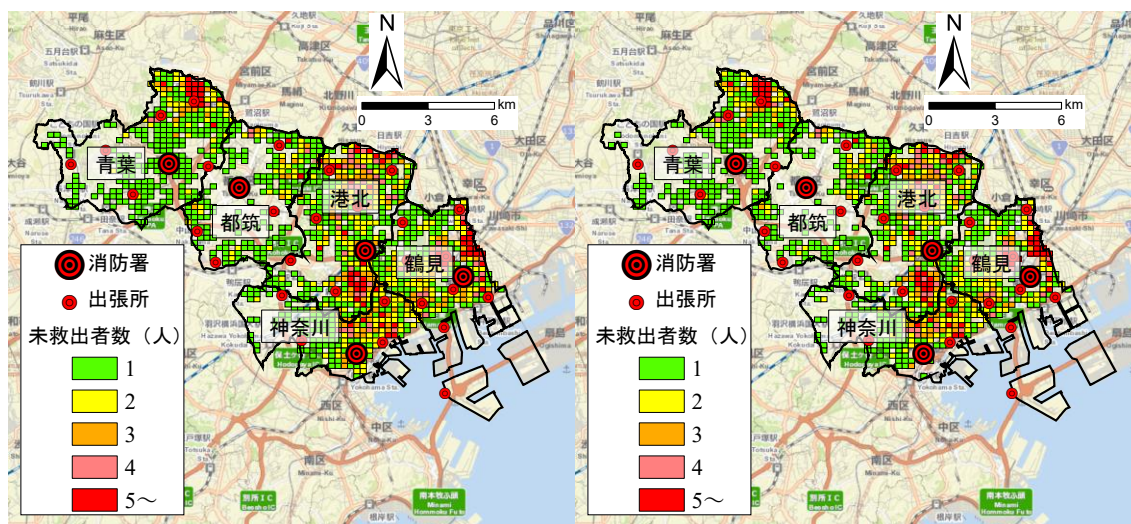
はじめに、地震発生から時間経過に応じた未救出者数の空間分布を考察するため、図 4-7 に未救出者数の分布、図 4-8 に未救出者が存在する 250m メッシュ数の推移を示す。表 4-2 および図 4-8 より、地震発生直後、港北は最も多くの自力困難者が広範囲で発生する。一方、青葉区の自力脱出困難者数は、鶴見区と比較して少ないものの、救助現場（未救出者が存在するメッシュ）が分散しており、応援部隊が各現場に到着するまで時間を要する可能性が高い。したがって、自力脱出困難者数だけでなく、各現場の位置関係を踏まえて応援体制を検討する必要がある。

そして、図 4-7 より、地震発生から 48 時間後では、青葉区の北部一帯、港北区の北部・南部一帯に未救出者が多く存在していることが読み取れる。この結果は、人的被害の空間分布と消防署・出張所の位置関係が深く影響しており、被害情報が錯綜する震災直後は消防署・出張所周辺から救助活動が実施されると想定⁹⁾すると、消防署から離れているこれらの地域では、地震発生から 48 時間以降も未救出者が存在する恐れがある。したがって、都心南部直下地震時における緊急交通路の交通規制・道路啓開における優先ルートを選定する際、人命救助の観点から港北区の北部・南部、青葉の北部周辺にアクセスできる緊急交通路は優先度が高いことが予想される。特に、過去の震災の教訓^{5),6)}より、被災地域外から応援に向かう救助隊は土地勘が乏しく、活動現場に移動する際は地元消防本部が誘導のため部隊を割く状況が想定される。また、応援部隊は活動現場に関する具体的な無線指示を受けることができない状況も予想されることから、未救出者が集中して存在する地域に応援部隊を受け入れることが、効率的な救助活動を実施する上で望ましい。

次に、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえた応援部隊の派遣先について検討するため、図 4-9 に生存者数の推移について示す。図 4-9 の生存者数は、救出された自力脱出困難者のうち生きて救出された者と、未救出者のうち生存していると予想される者の合計値である。そして、特定の時刻における生存者数から、全ての自力脱出困難者の救助活動が完了した時点で生きて救出された者の最終的な人数を差し引くことで、未救出者のうち生存率の向上が期待される人数を算定した。この値を地域間で比較することで、最大限の人命確保を実現するための応援部隊の派遣先を、被災地域内の人的被害量および消防力を考慮した上で検討することができる。

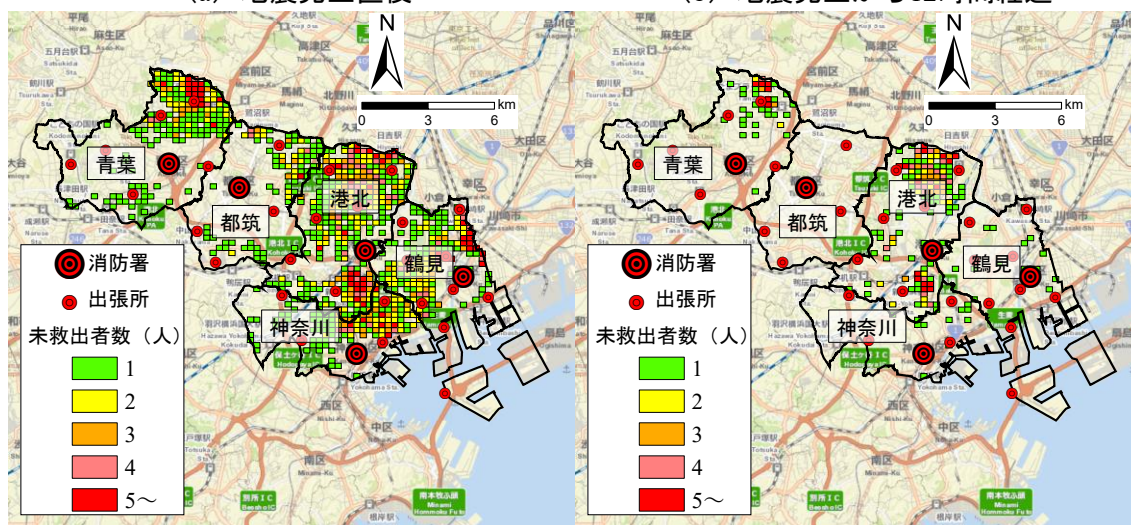
図 4-10 は、地震直後（地震発生から 0 時間）および地震発生から「12 時間後」「24 時間後」「48 時間後」の未救出者のうち生存率の向上が期待される人数について示す。図 4-10 より、港北区は地震発生からの時間経過に関わらず、他の区域と比較して大きく、応援部隊を派遣する優先順位が最も高い区域であると判断できる。一方、鶴見区は、地震直後の未救出者のうち生存率の向上が期待される人数が港北に次いで大きいにも関わらず、地震発生から 12 時間後では青葉区よりも小さくなる。これは、地震発生から 12 時間以内に救出された人数が、青葉区は 95 人であるのに対し鶴見区は 158 人と多く救出したこと、12 時間以降も青葉区と比べて鶴見区における自力脱出困難者の救助活動が迅速に行われることが要因である。つまり、地震発生からの時間経過によっては、青葉区と鶴見区は応援部隊を派遣す

る優先順位が変動することが明らかとなった。上記の結果を踏まえると、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて応援部隊の派遣先を検討する際、応援部隊の到着が遅れるほど地域間の救助活動の進行状況に差が生じることが予想されることから、提案手法を用いて、被災地域内の救助活動の時空間変化を想定し、応援部隊の配分や派遣先を決定することが、限られた応援側の救助能力を有効活用するためのソフト対策として期待できる。



(a) 地震発生直後

(b) 地震発生から12時間経過



(c) 地震発生から24時間経過

(d) 地震発生から48時間経過

図4-7 未救出者数の分布

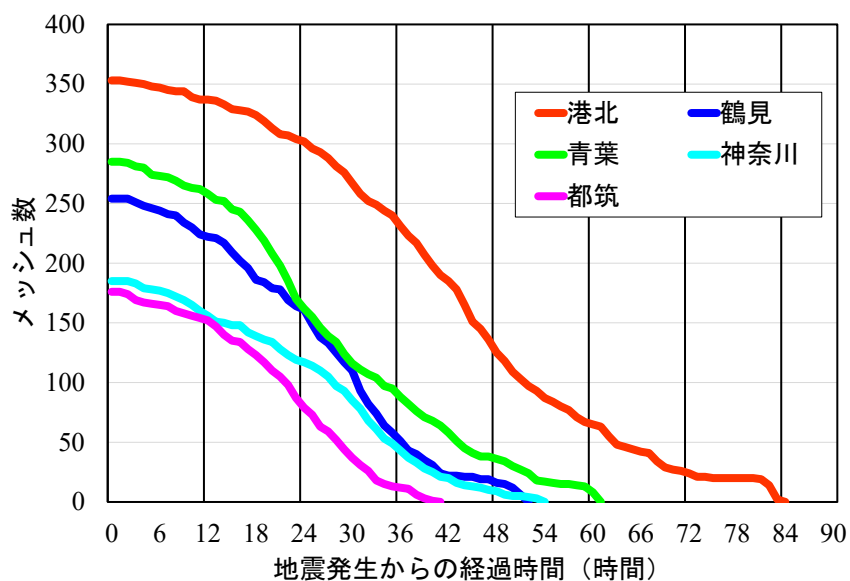


図4-8 未救出者が存在するメッシュ数の推移

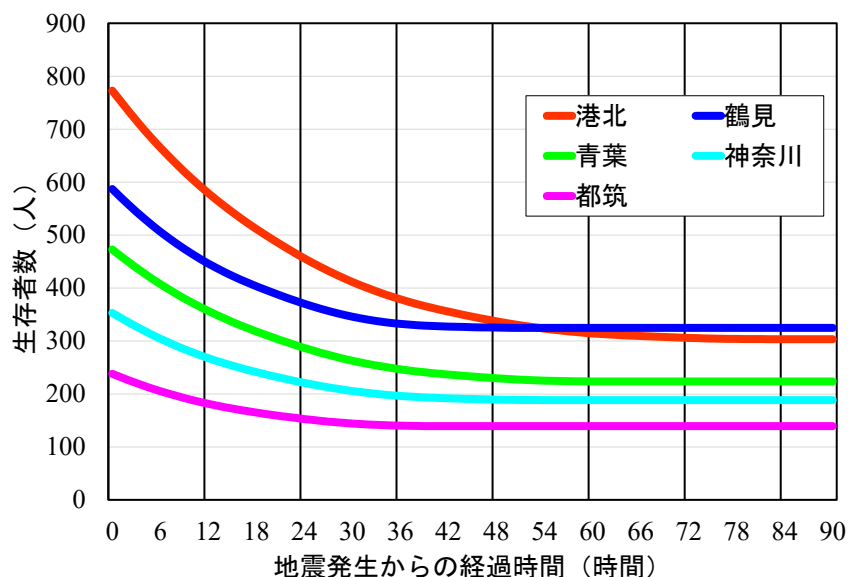


図4-9 生存者数の推移

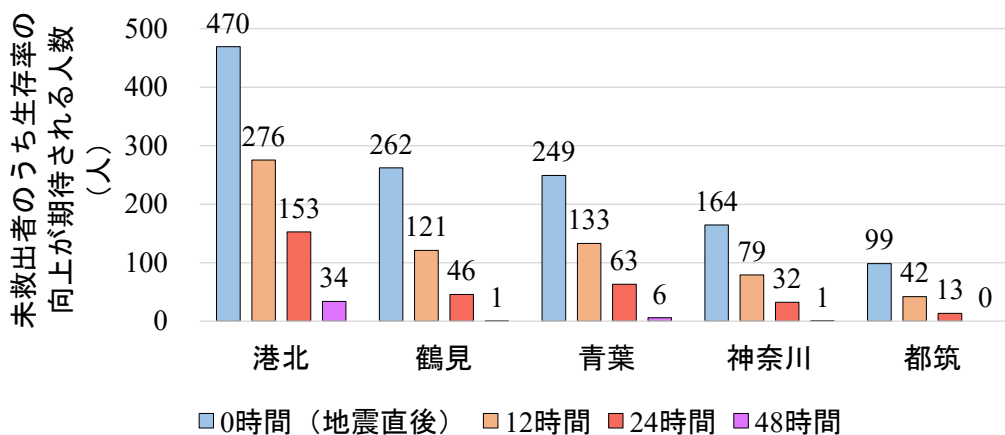


図4-10 未救出者のうち生存率の向上が期待される人数

最後に、応援部隊の派遣先・経路について考察するため、行政区別に、被災地域の救助隊により自力脱出困難者が救出されたものの死亡する確率を用いて、ArcGIS (10.4.1) の空間分析ツールである最適化ホットスポット分析⁷⁾を実施した。この分析におけるホットスポットは、死亡率が高い自力脱出困難者が、統計的に有意な値の空間クラスターを形成したことを示しており、被災地域内において公助の担い手が不足する地域を把握することに適していると判断した。また、地震による交通障害を考慮した上で、ArcGIS の Network Analyst ツールを使用して、横浜市内の救助活動拠点から最も移動時間が短い 250m メッシュの重心を結びつけて、メッシュを拠点別に分類した。そして、救助活動拠点として指定されている三ツ沢公園を対象に、ホットスポットに到達するまでの全ての使用経路を図示した。図 4-11 はこれらの分析結果を示しており、最も移動時間が短い救助活動拠点の分類でメッシュを色分けしている。

図 4-11 より、自力脱出困難者の死亡率のホットスポットは、自力困難者数が多く発生かつ消防署から離れている地域に集中している。ただし、鶴見区のように自力脱出困難者数が比較的多い地域でも、消防署が近接している場合はホットスポットが形成されていない。また、港北区のような人的被害状況と消防署・出張所の位置関係では、ホットスポットが互いに離れたところに形成されることが明らかとなった。

次に、図 4-11 の三ツ沢公園を対象としたホットスポットに到達するまでの使用経路に着目すると、国道 1 号（横浜新道・第 2 京浜）を使用することが、最寄りの救助活動拠点から、公助の担い手が不足する地域に向けて応援部隊を迅速に派遣するための重要な緊急交通路であることが明らかとなった。本研究では、細街路における倒壊建物による道路閉塞を交通障害として想定しており、横浜市のような旧耐震の木造棟数が多く、道路幅員 5.5m 未満の道路が半数を占めている地域では、緊急交通路を軸に救助現場へのアクセスを確保することが、応援部隊の迅速な派遣を実現させるために重要である。上記の結果を踏まえると、提案手法による分析結果は、震災直後の人命救助に重要な時間帯における緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定に関する事前計画を具体化する際に有用性が期待できる。

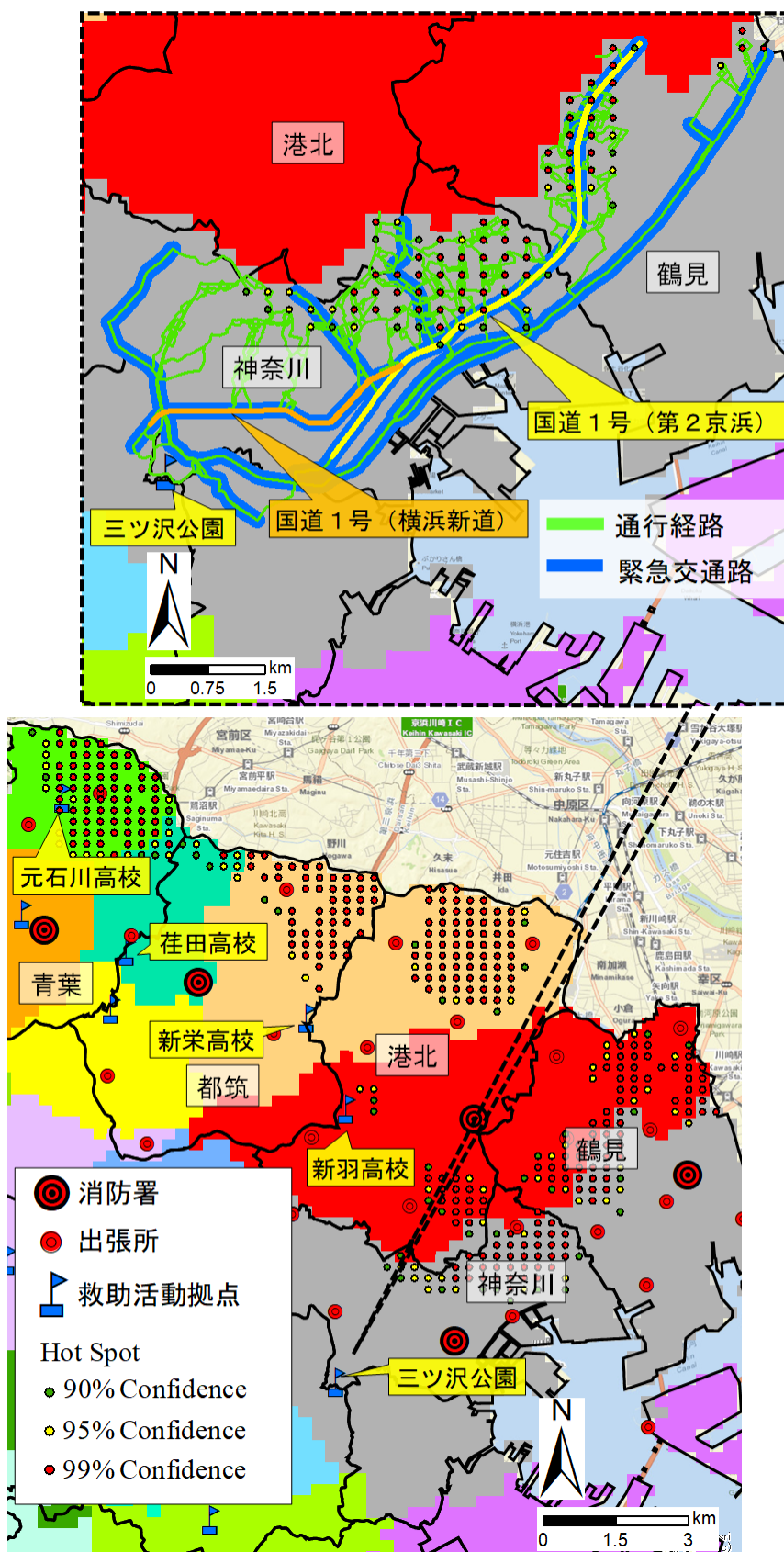


図 4-11 応援部隊の派遣先・経路の分析

以上、本章では、都心南部直下地震をケーススタディとして、震災後の被災地域における救助活動状況を分析する手法を提案・活用することで、公助の担い手が不足する地域を明らかにし、応援部隊の派遣先・経路について考察した。従来の地震被害予測では被害量が示されるのみで、被災地域における人的被害量や消防力・道路現況などを踏まえて応援部隊をどの地域に派遣するのが人命救助に有効なのか検討するには、被災地域の救助活動の時空間変化を捉える必要がある。したがって、自治体が既に作成している地震被害想定などの情報を基に、提案手法を用いて、管轄部隊のみでは対応が難しく応援を必要とする可能性が高い地域を、時間的・空間的視点から明らかにすることで、応援部隊の誘導調整、近隣に位置する消防署同士の連携、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などに関する防災計画の基礎資料となることが期待できる。

4.7 まとめ

本章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」に、多くの自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを入力することで、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析した。そして、救助活動の分析結果を踏まえて、応援部隊の派遣先、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などの応急対策活動について考察した。得られた成果を以下にまとめる。

- 自治体の地震被害想定などを、提案手法に入力することで、時間経過とともに変化する救助活動状況を分析することができた。特に、地震発生からの時間経過に応じた未救出者数の推移に着目すると、鶴見区は、横浜市内で2番目に自力脱出困難者数が多く発生するにも関わらず、地震発生から26時間時点で青葉区、39時間時点で神奈川区より、未救出者数が下回ることが明らかとなった。これは、人的被害量に対して消防力が比較的優位であることや、消防署周辺に人的被害が集中しているため救助隊の転進に伴う移動が少ないことが要因となり、青葉・神奈川区と比較して救助活動が円滑に実施されるためである。この分析結果より、被災地域の救助活動の進行状況が一樣ではないことを考慮すると、震災直後の人的被害量のみを基準に応援部隊の派遣先を検討することは、限られた応援側の救助能力を有効活用する観点からは適切ではない。

- 被災地域内の救助活動の分析結果より、地震発生からの時間経過によっては青葉区と鶴見区は応援部隊を派遣する優先順位が変動することが明らかとなった。この分析結果を踏まえると、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて応援部隊の派遣先を検討する際、応援部隊の到着が遅れるほど地域間の救助活動の進行状況に差が生じることが予想されることから、提案手法を用いて被災地域内の救助活動の時空間変化を想定し、応援部隊の配分や派遣先を決定することが、限られた応援側の救助能力を有効活用するためのソフト対策として期待できる。

- 救助活動拠点である三ツ沢公園を対象としたホットスポットに到達するまでの使用経路に着目すると、国道1号（横浜新道・第2京浜）を使用することが、最寄りの救助活動拠点から公助の担い手が不足する地域に向けて応援部隊を迅速に派遣するための重要な緊急交通路であることが明らかとなった。横浜市のような旧耐震の木造棟数が多く、道路幅員5.5m未満の道路が半数を占めている地域では、緊急交通路を軸に救助現場へのアクセスを確保することが、応援部隊の迅速な派遣を実現させるために重要である。上記の結果を踏まえると、提案手法による分析結果は、震災直後の人命救助に重要な時間帯における緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定に関する事前計画を具体化する際に有用性が期待できる。

本章では、震災直後の被害情報が錯綜する状況に備え、自治体の地震被害想定などの情報を基に提案手法を用いることで、受援側が応援を必要とする可能性が高い地域を把握できることを示した。分析結果は、応援部隊の誘導調整、近隣に位置する消防署同士の連携、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などに関する防災計画の基礎資料となる

ことが期待できる。また、第3章では、横浜市を対象地域として市内全域に一律の揺れを想定して、行政区別に震災時の救助活動能力を考慮した地域評価を試みたところ、計測震度6.0（震度6強）では、横浜市内の全ての地域において生存率が高い時間帯（24時間以内）に「公助」が行き届かない可能性があることが明らかとなった。本章でも、震度6強が想定される横浜市北部の行政区では、救助活動が長期化することが予想されるが、震度6弱以下の横浜市中南部の多くの行政区では、救助活動が24時間以内に完了している。したがって、震度6弱以下の行政区を管轄する消防と、震度6強以上の行政区を管轄する消防との連携体制の構築が、震災時の人命救助に重要であると考えられる。

一方、課題として、本研究では地震火災を考慮していないため、提案手法に消火活動を組み込むことを挙げる。特に、港北区や青葉区は地震火災による危険性が高い地域と、本章で明らかにした公助の担い手が不足する地域が空間的に重なる部分が存在するため、死者数が増加する恐れがある。また、本章の被害想定において、鶴見区は青葉区よりも自力脱出困難者数が多く発生するにも関わらず、自力脱出困難者が存在するメッシュ数は少なかったことを踏まえると、地域間で異なる救助現場の空間的な広がりや検索時間の増減と関係することが予想される。今後、救助現場の空間的な広がりや検索時間の関係を明らかにして、土地勘に乏しい応援部隊による効率的な救助活動の在り方を検討することが求められる。そして、実効性のある応援・受援計画を立案するためには、隣接する消防署間の連携も踏まえた上で、被災地域外から向かう応援部隊の派遣先・配分を検討する必要がある。

第5章では、第3章と本章の分析結果を基に、人命救助に関する災害対策（人命の安全確保に向けた市街地整備、防災訓練の実効性の向上、救助活動における応援・受援体制など）について考察する。

参考文献（第4章）

- 1) 神奈川県地震被害想定調査委員会：神奈川県地震被害想定調査報告書，2015，
<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html>（参照 2021-4-19）
- 2) 中央防災会議幹事会：首都直下地震における具体的な応急対策活動に関する計画，2020，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/index.html>（参照 2021-3-18）
- 3) 首都直下地震道路啓開計画検討協議会：首都直下地震道路啓開計画，2016，<https://www.ktr.mlit.go.jp/road/bousai/index00000002.html>（参照 2021-3-18）
- 4) 横浜市総務局危機管理部防災企画課：横浜市防災計画，pp.233，2020，<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/keikaku/shinsai.html>（参照 2021-4-20）
- 5) 警察庁：熊本地震における警察の救助活動に関する調査分析，2017，<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kumamotojishin/kumamotojishin2.html>（参照 2021-6-14）
- 6) 阪神・淡路大震災の教訓情報分析・活用調査委員会：阪神・淡路大震災教訓情報資料集，
2006，http://www.bousai.go.jp/kyoiku/kyokun/hanshin_awaji/data/index.html（参照 2021-6-14）
- 7) ESRI：最適化ホットスポット（Optimized Hot Spot Analysis），<https://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/optimized-hot-spot-analysis.htm>（参照 2021-6-14）

第5章

人命救助に関する災害対策の立案 に向けた試み

- 5.1 はじめに
- 5.2 研究成果の活用が期待される防災・減災活動
- 5.3 人命の安全確保に向けた市街地整備
- 5.4 防災訓練の実効性の向上
- 5.5 救助活動における応援・受援体制
- 5.6 まとめ

第5章 人命救助に関する災害対策の立案に向けた試み

5.1 はじめに

第3章「地震災害時の地域評価－救助活動の視点から－」では、地域特性を踏まえた救助活動の評価手法を用いて、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価した。

第4章「震災直後の応急対策活動に関する分析－救助活動の視点から－」では、地域特性を踏まえた救助活動の評価手法に、自治体の地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを入力することで、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析した。そして、救助活動の分析結果を踏まえて、応援部隊の派遣先、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などの応急対策活動について考察した。

近年、防災対策のデジタル化（例えば、スマートフォン、ドローン、通信衛星などによる情報収集とAIによる情報処理を組み合わせ、救助活動の迅速化や自治体の避難判断の支援など）が進められている。デジタル・防災技術ワーキンググループの提言^{1),2)}では、将来的に実現すべき取り組み案として、被災時の先読み能力を高める「防災デジタルツイン」の構築を掲げている。これは、都市空間をデジタル上に再現し、被災状況をシミュレーションすることで、被災状況の推定・可視化、リアルタイムに進行する災害対策の有効性や救助活動の方針の検討などに役立て、被害を最小化することを目的としている。

本章では、第3章と第4章の分析結果および自治体の防災計画などを参考に、人命救助に関する災害対策（人命の安全確保に向けた市街地整備、防災訓練の実効性の向上、救助活動における応援・受援体制など）について考察する。本章の成果は、防災対策のデジタル化に向けて、被災地域内の救助活動のシミュレーション結果が、災害対策にどのように活用できるのか検討する際の基礎資料として期待できる。

5.2 研究成果の活用が期待される防災・減災活動

本節では、研究成果の活用が期待される防災・減災活動に関して整理した。図5-1は、横浜市防災計画³⁾を参考に、時間軸を考慮した上で「自助」・「共助」・「公助」の主体別の防災・減災活動について示す。図5-1の防災・減災活動に関して、青色で塗られた項目は博士論文の第3章、緑色で塗られた項目は博士論文の第4章、赤色で塗られた項目は博士論文の第3～4章の研究成果の活用が期待される。

図5-1より、例えば、発災前のハード整備に関して、旧耐震の木造建物の除却・改修などの優先地域の選定や、地域住民の震災対策事業への理解を促す際、第3章の研究成果（震源位置に依存せず、建物現況、道路状況、消防隊員数などの地域特性を考慮した「地震災害時の救助活動」の評価）は有用であると考えられる。また、発災前の防災訓練に関して、震災時の適切な対応を検討する際、第4章の研究成果（自治体の地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動シナリオの作成）の活用が期待される。そして、救助・救命期（発災～3日）における救助活動に備えて、救助部隊の受援・応援計画を立案する際も、第4章の研究成果を活用することが望ましい。加えて、地震が何処で発生するのか正確な予測が困難であることを踏まえると、第3章の研究成果を活用することも重要である。

次節以降では、人命救助に関する災害対策の立案に向けて、研究成果の具体的な有効活用について考察する。

	発災前	救助・救命期（発災～3日）
自助	建築物の耐震性向上・地震保険加入	住民自身による初期消火
	防災訓練の参加	
	災害危険箇所・避難所等の確認	
共助	防災訓練の実施	自主防災組織による初期消火
	町の防災組織による計画作成	近隣住民による負傷者の救出
	近隣住民の安否確認	町の防災組織への協力
公助	地域防災拠点の整備	消防隊・消防団による消火活動
	道路構造物の防災化促進	消防隊・応援隊による救助・救急活動
	公共建築物の耐震強化	緊急交通路・緊急輸送路の確保
	民間建築物の耐震補強の促進	応急医療の実施 災害拠点病院での負傷者受け入れ
	消防力の強化	
	防災訓練の実施	
	地区防災計画の作成支援	
	緊急輸送路の指定	
	避難場所の確保・指定	
	公共機関の災害対応力の向上	
ハザードマップの作成		

第3章の研究成果を活用

第4章の研究成果を活用

第3～4章の研究成果を活用

図5-1 研究成果の活用が期待される防災・減災活動³⁾

（文献3を参考に作成）

5.3 人命の安全確保に向けた市街地整備

一般的な自治体の地震被害想定では、地震が発生した際の被害を軽減するための対策や発災時の対応力強化を目的として、特定の地震を想定していることから、想定した震源地から離れると揺れが小さいなど影響を受ける地域が限定的となる。また、地震が何処で発生するのか正確な予測が困難である現状を踏まえると、地震被害想定において深刻な被害が予想される地域の防災・減災対策に、限られた予算を集中的に投じることは適切ではない。特に、地震に対するハード整備（旧耐震の木造建物の除却・改修など）を検討する際は、優先的に整備すべき地域を選定する必要があることから、震源位置に依存せず、地震に対する地域の脆弱性を評価することが重要である。

以上を踏まえ、本節では、第3章の研究成果（震源位置に依存せず、建物現況、道路状況、消防隊員数などの地域特性を考慮した「地震災害時の救助活動」の評価）を活用することで、人命の安全確保に向けた市街地整備について考察した。

はじめに、人命の安全確保に向けた旧耐震の住宅系木造建物の除却・改修の優先地域の選定方法について考察した。図5-2は、第3章の研究成果を活用した際の選定フローを示す。第3章では、対象地域に一律の揺れを入力することで、250mメッシュ単位の全壊・全半壊棟数を算定し、地震発生時の建物内人口を考慮した上で、術面・安全面から地域住民による救助活動が難しい「倒壊建物からの自力脱出困難者数」を算定した。そして、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した上で、救助活動のシミュレーションを実施し、死者数が多く存在する地域を明らかにした。

実際に、第3章の研究成果を活用することで、横浜市内の木造建物の除却・改修の優先地域を比較検討した一例を示す。図5-3は、図5-2を参考に、人命の安全確保に向けた木造建物の除却・改修の優先地域の選定結果を示す。図5-3(a)の「対象地域」とは、横浜市地震被害想定⁴⁾をもとに、50m四方あたりの焼失棟数が5棟以上のメッシュが含まれる町丁目を意味する。また、対象地域のうち、火災による被害が特に大きいと想定される地域については「重点対策地域」として指定されている。次に、図5-3(b)は、重点対策地域内における人命の安全確保に向けた木造建物の除却・改修の優先地域の選定結果を示す。図5-3(b)の赤色のメッシュで示される部分は、震災時の救助活動のシミュレーション分析における死者数の多い地域を示す。この分析結果と旧耐震の木密地域データなどを併せて活用することで、震災時の救助活動の視点から、重点対策地域内における木造建物の除却・改修の優先地域が明らかになると考える。また、本研究では、揺れによる倒壊建物に伴う自力脱出困難者を救助活動の対象と想定している。震災時、倒壊建物からの出火が懸念されていることを踏まえると、死者数が多い地域は、消防による救助活動だけでなく、消火活動も困難である可能性が高く、木造建物の除却・改修の優先度が高いと判断できる。

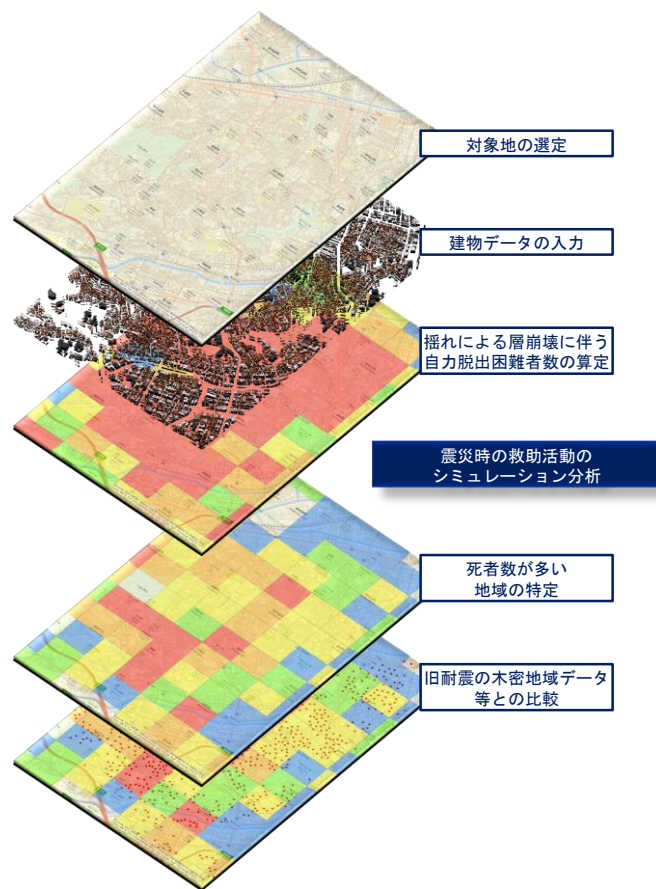
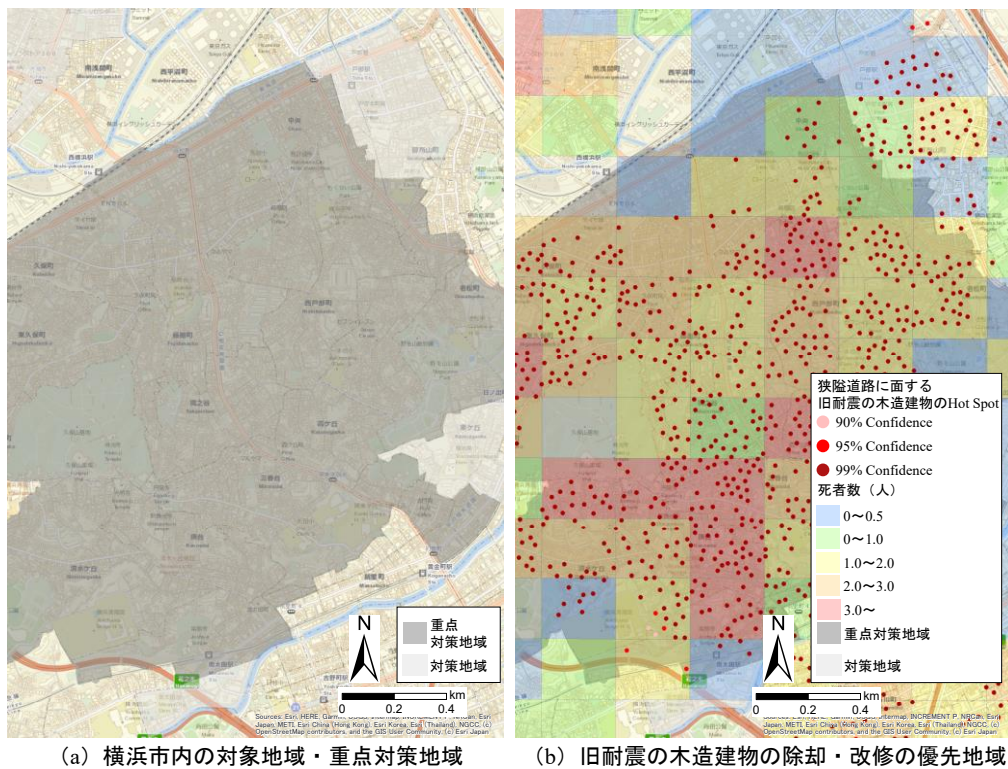


図 5-2 旧耐震の木造建物の除却・改修の優先地域の選定フロー



(a) 横浜市内の対象地域・重点対策地域

(b) 旧耐震の木造建物の除却・改修の優先地域

図 5-3 旧耐震の木造建物の除却・改修の優先地域の選定結果

横浜市では、木造住宅の耐震診断および耐震補強などを促進するため、旧耐震基準で建築された木造個人住宅へ市長が認定した木造住宅耐震診断士を無料で派遣し、耐震診断を実施している。そして、耐震診断の結果、耐震性が確保されていない住宅に耐震改修工事もしくは除却を実施する場合、横浜市が費用の一部を補助している³⁾。ただし、住宅の耐震化に関しては、所有者の高齢化、資金不足、生活への影響などを懸念し、耐震化に踏み出せない声が多くある⁵⁾。したがって、旧耐震の木造住宅に住んでおり、資金不足などの理由から住宅の耐震化が難しい住民には、比較的安価で且つ簡易な地震対策である防災ベッド・耐震シェルターの利用促進を図ることが、人命の安全確保には重要であると考えられる。なお、横浜市は、防災ベッドまたは耐震シェルターを設置する場合にも、本体費用の一部を補助している³⁾。研究成果を活用することで、建物倒壊から身を守る災害対策の重要性を地域住民に理解してもらい、比較的簡易な地震対策を講じることも、人命の安全確保に向けた市街地整の実現に有効な手段といえる。

以上、研究成果を活用することで、人命の安全確保に向けた市街地整備について考察した。実際には、木造建物の除却・改修の優先地域を選定する際、表層地盤・地震火災などの影響も考慮する必要がある。ただし、提案手法は、多くの自治体で作成されているGISデータを基に構築していることから、将来的には、自治体が保有している表層地盤・地震火災に関するデータも組み込むことは可能であると考えられる。また、木造建物の除却・改修を実施した場合における震災時の救助活動を評価する場面でも、提案手法の活用が期待される。特に、情報公開が容易なデータを基に構築した提案手法の分析結果は、地域住民や民間企業と連携して災害対策事業を進める際の基礎資料として利用できる。

5.4 防災訓練の実効性の向上

本節では、第4章の研究成果（自治体の地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動シナリオの作成）を活用することで、防災訓練の実効性がどのように向上できるのかを考察した。

図5-4は、現状の防災訓練の問題点および第4章における救助活動の分析結果について示す。ヒアリング調査を実施した神奈川県および横浜市の防災訓練では、地震被害想定を基に、被害状況を付与したロールプレイング方式による訓練を実施していた。この防災訓練における問題点として、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の推移を、訓練参加者全員に共有することが困難であることが挙げられる。この問題の解決手段として、第4章の研究成果を活用することで、訓練参加者全員に、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の変化を認識させ、実際の震災時の被害状況に即した訓練が期待できる。

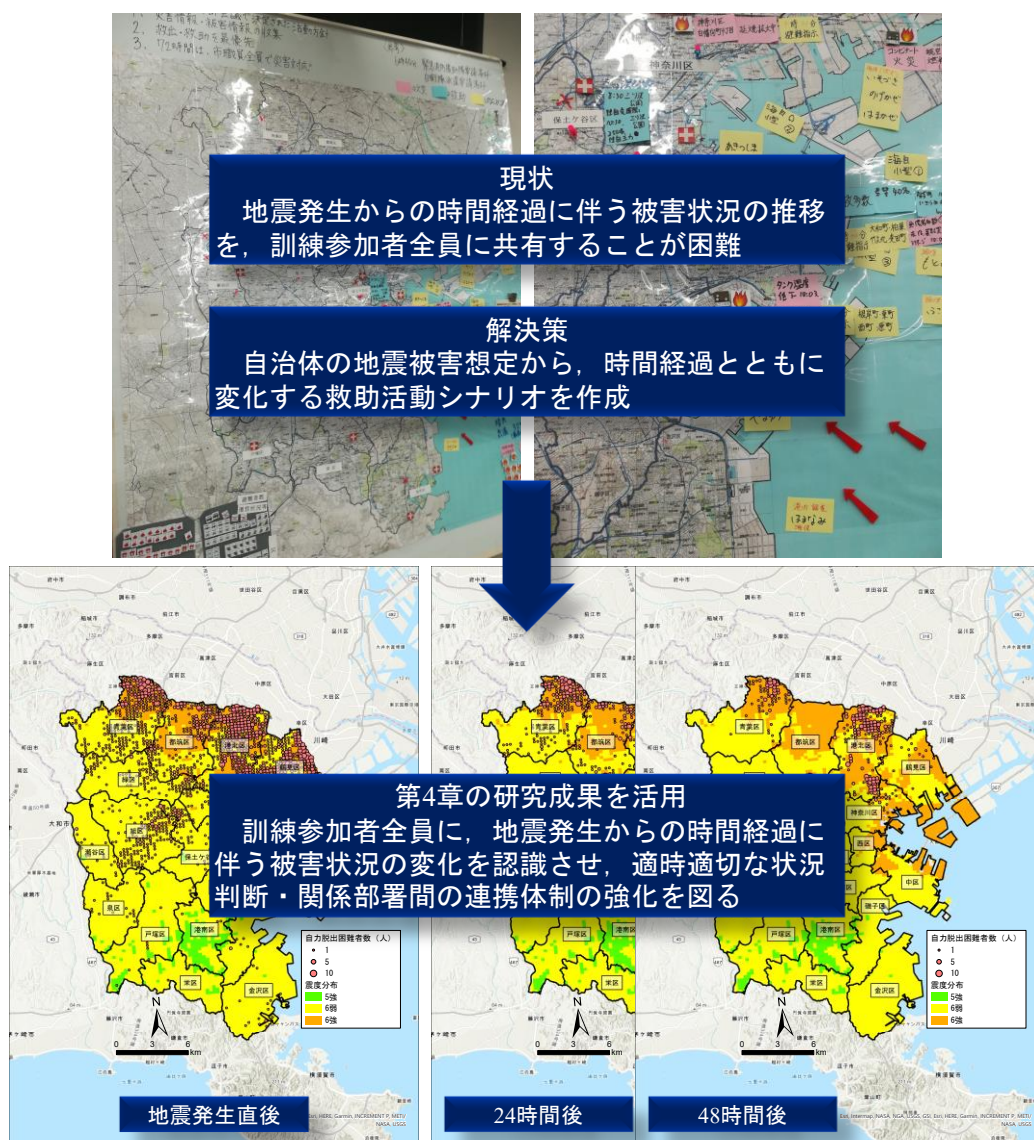


図5-4 現状の防災訓練の問題点に対する分析結果の活用

図5-5は、防災訓練における研究成果の活用イメージを示す。図5-5より、訓練内容を企画する際、コントローラー（訓練の進行を統制または支援する立場の人）が、シナリオ地震のシミュレーション動画を確認することで、コントローラー同士の認識の統一を図るとともに、救助活動における訓練項目（状況付与の時期・内容など）の検討に役立つことが期待できる。次に、訓練中の場面では、プレーヤー（訓練を実施する立場の人）が、被災情報などを実際にGIS上に入力・共有し、対応方針の決定および関係機関との活動調整を行うことで、震災時における防災デジタル情報の有効活用に向けて訓練を実施する。そして、訓練内容の振り返りでは、訓練参加者の被災状況の認識を統一した上で、被災情報の入力・共有に関する問題点や、被災情報に基づく対応方針が適切だったのか議論することが可能となる。このように、研究成果を活用することで、防災訓練の実効性の向上が期待できる。



図5-5 防災訓練における研究成果の活用イメージ

さらに、第4章の研究成果は、住民の防災訓練の質・参加意欲の向上にも寄与することが期待される。従来の地震被害想定では、震災直後の被害状況、もしくは震災から数日後の被害状況の認識のみに留まり、地震発生から時間経過毎の被害状況の推移の状況に関しては、情報の受け取り側の想像力に左右されることから、震災後の被害状況のイメージが伝わりづらいことが課題として挙げられる。したがって、第4章の研究成果を活用することで、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の推移を認識させ、地域住民の防災意識の向上を図るとともに、住民自身が防災訓練を実施する際における行動方針の具体化（危険エリアの把握・適切な住民同士の安全確認・救助活動手順の確立）にも寄与することができる。

以上、研究成果を活用することで、防災訓練の実効性向上に関して考察した。なお、第4章の研究成果は、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の推移を可視化することで、防災意識が普段あまり高くない住民にこそ有用である。今後、自治体の地震被害想定が、地域防災計画の修正・地震防災戦略の見直しなどを行う際の基礎資料としての役割だけでなく、地域住民の防災意識の向上・事前防災のきっかけとして活用されるためには、断片的な被害状況のイメージを抱かせるのではなく、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の推移を丁

寧に伝える必要がある。また、自治体間の広域連携に関する防災訓練の実効性向上を図るためには、被災状況のシミュレーションを実施する上で、必要なデータ（建物・人口・道路・地盤など）をあらかじめリスト化し、各自治体に用意しておくことも重要である。

5.5 救助活動における応援・受援体制

本節では、第3章（震源位置に依存せず、建物現況、道路状況、消防隊員数などの地域特性を考慮した「地震災害時の救助活動」の評価）および第4章の研究成果（自治体の地震被害想定から、時間経過とともに変化する救助活動シナリオの作成）を踏まえて、被災地域内の消防署間の連携および被災地域外からの部隊応援について考察した。

図5-6は、救助活動における応援・受援体制の構築に向けた研究成果の有用性を示す。図5-6より、救助活動における応援・受援体制を構築するためには、①救助の目的地の把握と優先順位付け、②目的地へのアクセス方法、③救助活動拠点に関する情報が必要となる。

はじめに、「①救助の目的地の把握と優先順位付け」に関して、本研究の救助活動のシミュレーション結果より、被災地域内の人的被害量だけでなく、救助活動能力も考慮することが、人命救助の最大化には重要であることが示唆された。したがって、第3章の研究成果を活用し、地域間で異なる震災時の人的被害量に対する救助活動能力を相対的に評価しておくことは、被害情報が錯綜する震災直後の応援部隊の派遣方針の立案に寄与することが期待される。また、隣接する消防署間の連携においても、救助活動が比較的円滑に進む地域を管轄する消防署と、長期化する消防署との連携体制を事前に検討しておくことは、実際の地震発生直後の救助活動の円滑化にも寄与するものと考えられる。

次に、「②目的地へのアクセス方法および③救助活動拠点に関する情報」に関しては、第4章の研究成果（救助活動が難航している地域および最寄りの救助活動拠点、地震による交通障害を考慮した目的地までの移動経路を明らかにした）をどのように活用すべきか、事前に議論・訓練しておくことは、被害情報が錯綜する震災直後の初動対応の混乱を防ぐために重要である。特に、熊本地震における熊本市消防局の対応検証⁶⁾では、応援部隊の進出拠点到に職員を配置できず、早い段階での部隊誘導や情報提供を行えなかったことが受援体制の課題として提起されたことを踏まえると、被災状況の把握から最寄りの救助活動拠点の確保までの一連の対応を訓練しておくことが望ましい。

以上、第3章および第4章の研究成果を活用することで、被災地域内の消防署間の連携および被災地域外からの部隊応援について考察した。第3章の研究成果（地域間で異なる震災時の人的被害量に対する救助活動能力を相対的に評価した）は、震災直後の応急対応だけでなく、救助部隊の配置見直しの検討にも有用である。また、第4章の研究成果に関して、ケーススタディとして、神奈川県地震被害想定⁷⁾における想定地震の一つである「都心南部直下地震」を採用したが、第3章の研究成果を踏まえると、横浜市内では、計測震度6.0（震度6強）以上の揺れが予想される地域では、その地域を管轄する消防のみでは、救助活動が長期化する恐れがある。したがって、横浜市内のほぼ全域に震度6強以上の強い揺れが予想される「大正型関東地震」では、横浜市外からの救助部隊の受け入れが積極的に行われる可能性が高く、既に指定されている救助活動拠点のみで対応可能かどうか議論する必要がある。



図5-6 救助活動における応援・受援体制の構築に向けた研究成果の有用性

5.6 まとめ

本章では、人命救助に関する災害対策（人命の安全確保に向けた市街地整備、防災訓練の実効性の向上、救助活動における応援・受援体制など）について考察した。得られた成果を以下にまとめる。

● 第3章の研究成果を活用することで、震災時の救助活動の視点から、横浜市内の旧耐震の木造建物の除却・改修の優先地域の比較検討することができた。また、旧耐震の木造建物の除却・改修を実施した場合の震災時の救助活動を評価する場面でも、研究成果の活用が期待される。特に、情報公開が容易なデータを基に構築した提案手法の分析結果を活用することで、地域住民や民間企業と連携して事業を進める際の基礎資料として利用できる。

● 第4章の研究成果を活用することで、防災訓練の参加者全員に、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の変化を認識させ、実際の震災時の被害状況に即した訓練が期待できる。また、訓練後の振り返りの場面でも、参加者の状況認識が統一されることで、担当者の状況判断や関係部署との連携が適切だったかどうか議論を深めることができる。

● 第3章および第4章の研究成果を活用することで、被害情報が錯綜する震災直後の応援部隊の派遣方針の立案に寄与することが期待される。また、隣接する消防署間の連携においても、救助活動が比較的円滑に進む地域を管轄する消防署と、長期化する消防署との連携体制を事前に検討しておくことで、震災直後の救助活動の円滑化に寄与するものとする。

本研究の成果は、「防災デジタルツイン」の構築に向けて、被災状況のシミュレーション結果を、防災・減災対策にどのように活かすことができるか検討する際の基礎資料として有用である。特に、被害情報が錯綜する震災直後の救助活動における応援部隊の派遣に関して、①救助の目的地の把握と優先順位付け、②目的地へのアクセス方法、③救助活動拠点に関する情報をどのように活用するか、本研究の成果を用いて事前に議論・訓練しておくことは重要である。また、将来的に、被災地域内の正確な被害情報の入手が可能になった場合でも、被災情報をどのように取り扱えば良いのか事前に検討しておかなければ、震災直後の適切な対応は困難である。したがって、被災地域内の救助活動のシミュレーションから得られる分析結果を基に、応急対策を事前に検討しておくことは、実際の地震発生直後の「被災情報の有効活用」に役立つと考える。

今後の課題として、第3章の研究成果に関しては、表層地盤・地震火災などの影響も考慮する必要があるため、将来的には、自治体が保有している表層地盤・地震火災に関するデータも組み込む必要がある。また、第4章の研究成果に関しては、ケーススタディとして、神奈川県地震被害想定における想定地震の一つである「都心南部直下地震」を採用したが、提案手法に、別の想定地震も入力・分析することで、想定地震ごとの救助活動戦略を比較・検討する必要がある。

参考文献（第5章）

- 1) デジタル・防災技術ワーキンググループ 未来構想チーム：防災・減災、国土強靱化新時代の実現のための提言，2021，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/teigen/index.html>（参照 2021-6-27）
- 2) デジタル・防災技術ワーキンググループ 社会実装チーム：防災・減災、国土強靱化新時代の実現のための提言，2021，<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/teigen/index.html>（参照 2021-6-27）
- 3) 横浜市総務局危機管理部防災企画課：横浜市防災計画，2021，<http://www.city.yokohama.lg.jp/somu/org/kikikanri/keikaku/shinsai.html>（参照 2021-8-1）
- 4) 横浜市：横浜市地震被害想定調査報告書，2012，<https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/bousai-kyukyu-bohan/bousai-saigai/wagaya/jishin/higai/jishinhigai.html>（参照 2021-10-12）
- 5) 横浜市：横浜市耐震改修促進計画，2021，https://www.city.yokohama.lg.jp/business/bunya/betsu/kenchiku/bosai/taishin/sokushinkeikaku.files/202106_keikakuhonbun.pdf（参照 2021-12-6）
- 6) 熊本市消防局総務部総務課：平成 28 年熊本地震熊本市消防局活動記録誌，2018，https://www.city.kumamoto.jp/hpkiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id=19060（参照 2021-10-27）
- 7) 神奈川県地震被害想定調査委員会：神奈川県地震被害想定調査報告書，2015，<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/j8g/cnt/f5151/p15579.html>（参照 2021-9-30）

第6章

結論

- 6.1 本研究のまとめ
- 6.2 今後の課題と展望

第6章 結論

6.1 本研究のまとめ

本研究は、地域特性を踏まえて、時間的・空間的な視点から、救助活動を分析する手法を提案した。そして、横浜市（18の行政区全て）を対象地域とし、提案手法を活用することで、一律の揺れおよび特定の地震を想定した救助活動を分析した。また、分析結果を活用し、建築物の耐震化などのハード対策と、消防力の配備・強化・緊急交通路の啓開・交通規制などのソフト対策を併せて検討し、地域特性に応じた災害対策について考察した。本研究の成果を以下にまとめる。

第1章「序論」

第1章では、我が国における過去の震災の実態調査、震災時の応急対策活動に関する計画、震災時の救助活動に関する既往研究などを整理した。そして、本研究の目的、対象範囲、論文全体の枠組み、論文構成を述べた。なお、本研究の目的は、下記の通りである。

- ①地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について、救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価する。
- ②提案手法に自治体の地震被害想定の情報を入力し、時間経過とともに変化する救助活動のシナリオを作成することで、地震被害の全体像や脆弱性・課題を明らかにする。

第2章「地域特性を踏まえた震災時における救助活動の評価手法の提案」

第2章では、防災関係機関へのヒアリング調査結果を参考に、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を踏まえて、時間的・空間的な視点から、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を提案した。

防災関係機関へのヒアリング調査では、震災直後、被災地域内の消防機関がどのように救助活動を展開するのか、また、救助活動を実施する上で懸念される問題点や被災地域外からの救助部隊の受け入れ体制などを把握することができた。また、横浜市の地域特性の分析では、南・西・中・磯子・保土ヶ谷区や、鶴見・神奈川区、旭・瀬谷区などの一部地域は、旧耐震の住宅系木造建物が多い地域が集中しており、高齢者数も多い地域であることから、震災時、自力脱出困難者が多数発生する危険性が高い地域であることが明らかとなった。そして、地域特性を踏まえた救助活動の評価手法の提案では、汎用性（多くの自治体に適用可能）・時空間変化（地域の災害脆弱性を時間軸の中で捉える）・広域地域（行政区単位で分析）の3つの視点に基づき、防災関係機関へのヒアリング調査結果および対象地域の特性を踏まえて、震災後の被災地域における救助活動を分析する手法を構築した。

第3章「地震災害時の地域評価—救助活動の視点から—」

第3章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」を用いて、地震による建物被害、人的被害（自力脱出困難者）を基礎情報とし、建物現況、道路状況、消防署・出張所の立地、消防隊員数などの地域特性を考慮した救助活動による減災効果について救助活動に要する時間、時刻別の救出者数などの指標を活用して評価した。

横浜市を対象地域として、震災時の救助活動能力を考慮した地域評価を試みたところ、地域間の救助完了時間の差は、震度6弱（計測震度：5.6）の場合で最大3.8時間、震度6弱（計測震度：5.8）の場合で最大18.9時間、震度6強（計測震度：6.0）の場合で最大63.8時間であった。震度が大きくなるにつれて地域間の救助活動に要する時間差も大きくなる傾向にあることから、本章で求めた「救助完了時間」などの指標を参考に、位置関係を踏まえた上で地域間の連携体制の強化を図ることが重要である。また、空間的な視点から救助活動による減災効果を評価する際、旧耐震の木造棟数が比較的多くて広範囲に分布する地域ほど、救助部隊が活動現場を転進する際、道路閉塞の影響を受けやすいことを確認した。想定震度が上がるにつれて全壊棟数が増加し、倒壊建物による道路閉塞の影響が強まることを踏まえると、大規模震災時の救助活動による減災効果を評価する際は人的被害量のみでなく、空間分布も併せて考慮する必要がある。

第4章「震災直後の応急対策活動に関する分析—救助活動の視点から—」

第4章では、第2章で構築した「地域特性を踏まえた救助活動の評価手法」に、多くの自治体が既に作成している地震被害想定、建物現況データ、政府統計データなどを入力することで、被災地域内の救助活動の時空間変化を分析した。そして、救助活動の分析結果を踏まえて、応援部隊の派遣先、緊急交通路の道路啓開・交通規制の優先ルート選定などの応急対策活動について考察した。

横浜市を対象地域とし、都心南部直下地震を想定地震として、被災地域の救助活動の時空間変化を分析した。地震発生からの時間経過に応じた未救出者数の推移に着目すると、鶴見区は、横浜市内で2番目に自力脱出困難者数が多く発生するにも関わらず、地震発生から26時間時点で青葉区、39時間時点で神奈川区より、未救出者数が下回ることが明らかとなった。これは、人的被害量に対して消防力が比較的優位であることや、消防署周辺に人的被害が集中しているため救助隊の転進に伴う移動が少ないことが要因となり、青葉・神奈川区と比較して救助活動が円滑に実施されるためである。この分析結果より、被災地域の救助活動の進行状況が一樣ではないことを考慮すると、震災直後の人的被害量のみを基準に応援部隊の派遣先を検討することは、限られた応援側の救助能力を有効活用する観点からは適切ではない。また、被災地域内の救助活動の分析結果より、地震発生からの時間経過によっては青葉区と鶴見区は応援部隊を派遣する優先順位が変動することが明らかとなった。上記の結果を踏まえると、被災地域における人的被害量や消防力などを踏まえて応援部隊の派遣先を検討する際、応援部隊の到着が遅れるほど地域間の救助活動の進行状況に差が生

じることが予想される。したがって、提案手法を用いて被災地域内の救助活動の時空間変化を想定し、応援部隊の配分や派遣先を決定することが、限られた応援側の救助能力を有効活用するためのソフト対策として期待できる。

第5章「人命救助に関する災害対策の立案に向けた試み」

第5章では、人命救助に関する災害対策（人命の安全確保に向けた市街地整備，防災訓練の実効性の向上，救助活動における応援・受援体制など）について考察した。

第3章の研究成果は、震災時の救助活動の視点から、横浜市内の旧耐震の木造建物の除却・改修の優先地域を比較検討するのに有用である。また、情報公開が容易なデータを基に構築した提案手法の分析結果は、地域住民や民間企業と連携して災害対策事業を進める際の基礎資料として利用できる。次に、第4章の研究成果は、防災訓練の参加者全員に、地震発生からの時間経過に伴う被害状況の変化を認識させる一つの訓練資料として有用であると考えられる。加えて、訓練後の振り返りの場面でも、参加者の状況認識が統一されることで、担当者の状況判断や関係部署との連携が適切だったかどうか議論を深めることができる。そして、第3章および第4章の研究成果は、被害情報が錯綜する震災直後の応援部隊の派遣方針の立案に寄与することが期待される。また、隣接する消防署間の連携においても、研究成果を活用し、救助活動が比較的円滑に進む地域を管轄する消防署と、長期化する消防署との連携体制を事前に検討しておくことで、震災直後の救助活動の円滑化に寄与するものと考えられる。

6.2 今後の課題と展望

本研究の課題と今後の展望を以下にまとめる。

●地域特性を踏まえた救助活動の評価手法

本研究では地震火災を考慮していないため、提案した評価手法に消火活動を組み込むことの必要性は論を俟たない。さらに、被災状況に応じた緊急車両の移動速度の推定については道路閉塞・渋滞以外にも火災・土砂崩れなどによる影響、自力脱出困難者の算出に関しては高齢化の進行に伴う被害者数の増加なども考慮する必要がある。また、提案手法は、地震被害想定を作成している多くの自治体に適用可能であるが、提案手法の有用性を高めるためには、対象地域における本研究では考慮できていない救助活動の阻害要因となり得る地域特性（土砂崩れ・ビルの倒壊による道路閉塞など）に関する情報も新たに付与することが望ましい。そして、本研究では、消防隊員による「層崩壊などを伴う倒壊建物」からの救助活動の評価の対象としたが、実際の震災では、警察や自衛隊、消防団などが救助活動に当たる場面も存在することは明白である。よって、今後は救助活動の担い手の多様性を考慮するとともに、「共助」による救助活動も評価対象に加えることで、総合的に地域の救助活動能力を評価できる手法に発展させる必要がある。

●提案手法による救助活動の解析結果

本研究の救助活動のシミュレーション結果は、全ての救助現場間の移動時間を最小にする観点から分析しているため、被災地域内の生存者数を最大にする観点からは必ずしも適切な解析結果とは言えず、救助現場の優先順位付けに関しては更なる検討が求められる。また、救助現場の空間的な広がりや踏まえた部隊応援に関して、都心南部直下地震の被害想定では、鶴見は青葉よりも自力脱出困難者数が多く発生するにも関わらず、自力脱出困難者が存在するメッシュ数は少ないことを踏まえると、地域間で異なる救助現場の空間的な広がりが搜索時間の増減と関係することが予想される。今後、救助現場の空間的な広がりや搜索時間の関係を明らかにして、土地勘に乏しい応援部隊による効率的な救助活動の在り方を検討することが求められる。そして、実効性のある応援・受援計画を立案するためには、隣接する消防署間の連携も踏まえた上で、被災地域外から向かう応援部隊の派遣先・配分を検討する必要がある。

●防災対策のデジタル化に向けて

近年、地震発生後10分程度で250mメッシュ単位の建物被害、人的被害などの推定情報を提供できるリアルタイム被害推定システム¹⁾が開発され、熊本地震では災害支援に活用された。本研究では、250mメッシュ単位の建物被害、人的被害などの地震被害想定情報を基に提案手法を構築・活用することで、受援側が応援を必要とする可能性が高い地域を把握できることを示した。将来的に、被災地域内の正確な被害情報の入手が可能になった場合で

も、被災情報をどのように取り扱えば良いのか事前に検討しておかなければ、震災直後の適切な対応は困難である。したがって、被災地域内の救助活動のシミュレーションから得られる分析結果を基に、応急対策を事前に検討しておくことは、実際の震災時における災害対策や救助活動の方針の検討にも役立つと考える。

参考文献（第 6 章）

- 1) 高橋郁夫, 藤原広行, 中村洋光: リアルタイム被害推定情報の社会実装への取組み, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, pp.2292-2298, 2018.

研究業績

【査読付原著論文】

- 1) **Satoshi KINA**, Satoru SADOHARA, Keiko INAGAKI, Harumi YASHIRO : Using aircraft to dispatch DMAT after an earthquake, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Vol.12, pp.22-33, 2019.
- 2) **喜納啓**, 稲垣景子, 佐土原聡, 矢代晴実 : 地震災害時の救助活動能力を考慮した地域評価の試み, 日本建築学会計画系論文集, Vol.85, No.775, pp.1955-1963, 2020.
- 3) **喜納啓**, 稲垣景子, 佐土原聡, 矢代晴実 : 震災時の部隊応援に寄与する救助活動の時空間変化の分析手法, 地域安全学会論文集, No.38, pp.131-140, 2021.

【国際会議発表：査読付き】

- 1) **Satoshi KINA**, Satoru SADOHARA, Keiko INAGAKI, Harumi YASHIRO : Study on Personnel Transport to Rescue Self-Escaping Difficult Persons after the Tokyo Inland Earthquake, 16th European Conference on Earthquake Engineering, 2018.
- 2) **Satoshi KINA**, Satoru SADOHARA, Harumi YASHIRO : A rescue simulation scenario for Tokyo Inland Earthquake: the role transport network and traffic regulation in lifesaving, 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 2019.

【一般論文：査読なし】

- 1) **喜納啓**, 矢代晴実 : 大規模震災発生時の緊急輸送に関する基礎研究, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会, 2014.
- 2) **喜納啓**, 矢代晴実, 鳥澤一晃, 堀口俊行 : 震災時の緊急物資輸送ルート確率論的リスク評価, 地域安全学会梗概集, No.40, pp.153-156, 2017.
- 3) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実 : 神奈川県を対象とした首都直下地震による自力脱出困難者対策の基礎研究, 地域安全学会梗概集, No.41, pp.45-48, 2017.
- 4) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実 : 首都直下地震による自力脱出困難者を対象とした救助部隊の輸送に関する研究, 防衛施設学会年次研究発表会論文集, pp.47-52, 2018.
- 5) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実 : 自力脱出困難者を対象とした危機管理対応策に関する研究—救助活動能力の分析による救助部隊の適正運用について—, 地域安全学会梗概集, No.42, pp.147-150, 2018.
- 6) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実 : 自力脱出困難者を対象とした公的救助機関の優先派遣地域に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.1007-1008, 2018.
- 7) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実 : 地震時における救助活動シミュレーションの構築と部隊運用に関する考察, 第15回日本地震工学シンポジウム, pp.905-914, 2018.

- 8) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実: 地震時の道路機能支障を考慮した救助活動シミュレーションの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.807-808, 2019.
- 9) **喜納啓**, 佐土原聡, 稲垣景子, 矢代晴実: 震災時の医療搬送に関する経路分析と事前計画に向けた考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.773-774, 2020.

【受賞】

- 1) 2019 年度消防防災科学技術賞(一般論文)優秀賞, 地震時における救助活動シミュレーションの構築と応援・受援体制に関する考察, 2019.
- 2) 第17回 GIS コミュニティフォーラム マップギャラリー 入賞(第3位), 「地震被害想定」を「シナリオ」に変換ー震災時の救助活動の時空間変化ー, 2021.
- 3) Esri Young Scholars Award, 震災時の部隊応援に寄与する救助活動の時空間変化の分析, 2021.

【競争的資金獲得】

- 1) 2017 年度奨励研究助成, 大林財団, 首都直下地震を想定した救助人員輸送のモデル化による危機管理対応策に関する研究, 2018.
- 2) 若手研究者研究助成, 一般財団法人防災研究協会, 地震時の傷病者搬送における航空輸送シミュレーションの開発, 2019.
- 3) 2020 年度研究助成, 公益財団法人横浜学術教育振興財団, 横浜市における船舶を活用した災害医療体制の構築, 2020.

謝辞

博士学位論文を提出するにあたって、多くの方々のご指導とご助力をいただきました。心より感謝申し上げます。

横浜国立大学 佐土原聡教授には、本論文をまとめるにあたり懇切丁寧なご指導を賜り、本論文を提出する機会を与えていただきました。また、横浜国立大学 吉田聡准教授には、論文全般にわたり有益なご指導を賜りました。横浜国立大学 稲垣景子准教授には、研究方針の相談、ヒアリング調査に同行していただくなど大変お世話になりました。横浜国立大学 COI サテライト 西岡隆暢研究員には、GIS の技術指導をいただきました。横浜国立大学 佐土原・吉田・稲垣研究室の秘書尾田典子さんには、学内手続きなどについてサポートしていただき、多大なご支援をいただきました。本研究に取り組むことができたのは、皆様方のお陰です。心より感謝申し上げます。

また貴重なご教示を賜りました横浜国立大学 高見沢実教授、野原卓准教授に心より感謝申し上げます。先生方のご助言により、本論文の完成度が高まりました。本当にありがとうございました。

そして、防衛大学校 矢代晴実教授には、研究・業務全般にわたりご指導をいただくとともに、国際会議などを通じて多くの貴重な経験をさせていただきました。矢代先生との出会いがなければ、今日の私はなかったと思います。また、関東学院大学 鳥澤一晃准教授、防衛大学校 堀口俊行准教授には、研究者としての姿勢を教えていただきました。厚く御礼申し上げます。

本論文で用いた都心南部直下地震による被害想定データの提供は神奈川県安全防災局、建物現況データは神奈川県県土整備局から提供していただきました。心より感謝申し上げます。

本論文は、公益財団法人大林財団、一般財団法人防災研究協会、公益財団法人横浜学術教育振興財団からの助成を受けました。関係各位に深く感謝申し上げます。

本論文では、ヒアリング調査の実施にあたり、横浜市港北消防署高田消防出張所の坂詰岳彦様、横浜市総務局危機管理室 緊急対策課 担当課長の根本博之様、横浜市立みなと赤十字病院 救急部 部長の中山祐介様、神奈川県くらし安全防災局 危機管理担当部長の瀬戸山昭臣様から多大なご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

横浜国立大学 博士課程後期 横田英靖氏、金康珉氏、佐藤順子氏、防衛大学校 博士課程

謝辞

後期 林孝幸氏，坂場律和氏には，学位取得を目指す博士課程後期学生の姿勢とあり方を示していただきました。謹んで感謝申し上げます。

横浜国立大学 博士課程前期の同期である山口剛氏，齋下拳聖氏，全瀟然氏，早川健司氏，酒井理咲子氏，葉美樹氏，先輩・後輩の皆さんには，ゼミでの研究発表を通じて刺激を受けたとともに，日々の雑談，ゼミ合宿，宴会などで楽しい時間を共有することができました。防衛大学校（本科 62～65 期）の学生には，データ整理から論文作成まで多くのご支援をいただきました。本当にありがとうございました。

さらに，在職中にも関わらず，横浜国立大学への修学機会を与えて下さった陸上自衛隊に深く感謝するとともに，5年間の研究生生活を支障なく送れるように生活・修学環境を整えて下さった横浜駐屯地中央輸送隊の関係各位に深く感謝致します。

そして，本論文を無事に書き上げることができたのは，妻の理解とサポートがあったおかげだと感じています。朝・昼・晩ともに温かい食事を作ってくれたこと，また研究に集中して家を空ける私に代わって日頃から家庭を支えてくれたこと（時々，叱咤激励あり），心から感謝の意を表わします。そして，私を明るく励まし続けてくれた娘の千晴，千晶のお陰で，楽しい研究生生活を過ごすことができました。

にふえーでーびたん（沖縄の方言で「ありがとう」の意味）。

最後に，「情熱・楽観・利他」の言葉を大切に，5年間の研究生生活を支えて下さった皆様のご助言・ご支援・ご協力に対し，深く感謝申し上げます。

2022 年 3 月

喜納 啓