地域防災力に着目した地震火災時の災害時要援護者救助シミュレーション －東京都杉並区阿佐ヶ谷高円寺の木造密集市街地を例として－

A SIMULATION OF RESCUE ACTIVITY FOR WEAK PEOPLE IN DISASTER DURING POST-EARTHQUAKE FIRE FOCUSING ON LOCAL DISASTER MITIGATION

－ A case study at a densely-populated wooden district in Asagaya and Koenji, Suginami, Tokyo －

上田 遼*, 瀬尾 和 大**, 元木 健太郎***

Ryo UEDA, Kazuoh SEO and Kentaro MOTOKI

This study aims to set up a simulation model of rescue activity for the weak in disaster during post-earthquake, and to clarify basic knowledge of efficient rescue activity with case studies of application of local disaster mitigation. Firstly, detailed fire risk of research area is shown. Secondly, questionnaire survey is carried out toward voluntary welfare worker, local disaster management organization, and citizen. Thirdly Multi-Agent model is organized by using the results of questionnaire. Case studies showed that it is necessary not only to increase the number of rescue members, but also to give them information of the weak people, to decide assignation of rescue and to consider the fire risk, in order to improve the rescue activity. It is also shown that voluntary activity of citizen is as successful as other cases.

Keywords: *Weak People in Disaster, Post-Earthquake Fire, Rescue Activity, Local Disaster Mitigation, Densely-Populated Wooden District, Multi-Agent*

災害時要援護者, 地震火災, 救助, 地域防災力, 木造密集市街地, マルチエージェント

1. はじめに

大地震時には、自力での避難が不可能な高齢者・障害者などの災害時要援護者(以下「要援護者」)が火災の危険にさらされることが予想される。市街地に散在する非常に多数の要援護者をいかに迅速かつ安全に搬送するかは切実な問題であり、住民や自主防災組織等による地域に根ざした自主的な防災行動—いわゆる「地域防災力」の活用が重要と考えられる。近年内閣府¹⁾により要援護者の避難支援ガイドラインが示されるなど徐々に対策を進める社会的動向はあるものの、未だ多くの地域・自治体において具体的な救助方法が確立されているとはいえない。シミュレーションにより効果的な対策方法を模索できれば大いに有用と考えられるが、そのような研究の例はほとんど見当たらない。

そこで、本研究は東京都杉並区の木造密集市街地を例として地震火災時の要援護者救助行動のモデルを開発し、救助対策に関する基礎的知見を明らかにすることを目的とし、地域防災力の活用を図るケーススタディを行う。効率的な救助には要援護者名簿等によって地域住民が要援護者の住所等の情報を事前把握することが重要と考えられるが、近年個人情報保護との兼ね合いが問題化しつつある。本研究は要援護者情報を利用した場合の効果を評価することによりそのような問題を検討するための一助となると考える。また、モデル上で住民の自発的な救助協力の意義を示すことで住民の防災意識向上にもつながると期待できる。

1.1. 定義

要援護者の定義は必ずしも一意には定められないが、避難が全く不可能な高齢者障害者に着目し、先述の内閣府資料¹⁾に示された例を参考にして、要介護認定制度の要介護度 3 以上(自力での起き上がりや歩行が困難)の高齢者・障害者等を要援護者と定義する。

1.2. 既往研究

既往研究では、健常者の避難モデルの研究は多いが、要援護者の避難を考慮したものは極めて少ない。筆者ら²⁾は要援護者救助モデルの初歩的なプロトタイプのプロトタイプを提案を行っているが、エージェントが防災リーダーと救助者の2種類のみという単純なモデルであり、暫定的な仮定を多く含むため組織の現状調査に基づきモデルを精緻化する必要がある。また、ケーススタディも単純な人数変更等簡易なものに留まっている。海老原・掛川³⁾は高齢者施設における要援護者の避難の有用なモデルを提案し、避難方法を考察しているが、本研究が対象とする市街地規模の救助では、自主防災組織等関係組織における情報伝達や救助指示の組織的連携を考慮する必要があること、多数の要援護者の居場所の情報把握が重要な問題となることなど、構築すべきモデルは大きく異なる。

要援護者救助モデルの構築の資料となる研究に関しても、既往研究は少ない。後述のように、地域防災力を活かした要援護者救助には民生委員、自主防災組織、および一般住民の3者が重要と考えられている。しかし、民生委員に対して要援護者対策状況を調査した

* 鹿島建設㈱建築設計本部 修士(工学)
(元東京工業大学大学院人間環境システム専攻 修士課程)

** 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授・工博

*** 東京工業大学大学院総合理工学研究科 助教・博士(工学)

Division of Architectural Design and Engineering, Kajima Corp., M. Eng.
(Former Grad. Student, Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology)
Prof., Interdisciplinary Grad. School of Sci and Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
Research Assoc., Interdisciplinary Grad. School of Sci. and Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

例は見当たらない。自主防災組織に対しては、黒田・鏡味⁴⁾、岡西・佐土原⁵⁾がそれぞれ神奈川県川崎市、神奈川県横浜市において自主防災組織に対するアンケート調査を行っているが、組織の活動状況全般が調査項目であり、要援護者対策およびそれに関連した救助班構成人数などに特化した質問項目は少ない。住民に対しては岡崎ほか⁶⁾が東海地震震源区域のA・B市の高齢者障害者を対象に災害時の避難について調査しているが、要援護者を支援する側である健全者住民に対する調査には至っていない。

また、効率的な救助の計画のためには対象地域内の詳細な火災リスクを把握し対策を重点化すべき箇所を詳細に明らかにする必要があるが、そのような調査研究も少ない。既往の被害想定では、内閣府⁷⁾では500メッシュ単位であり、また東京都⁸⁾被害想定では建物データを考慮していても限られた数ケースの火災延焼計算のみであり、確率的なリスク評価には至っていない。

そこで、まず地域の火災リスクの把握と要援護者救助体制の現状調査を行い、それをふまえてモデルを構築し、シミュレーションと改善案のケーススタディを行う。研究の流れを図1に示す。

図1 研究の流れ

2. 対象地域および地震火災リスク

対象地域は図2に示すように東京都杉並区阿佐ヶ谷高円寺地域の木造密集市街地とする。都心等への通勤通学者が多く朝夕にかけて若中年層が減少し救助の手が不足しやすい上、既往の想定^{7,8)}によると地震火災の危険性も極めて高い。要介護度3以上の高齢者障害者を要援護者と定義すると、福祉機関の統計⁹⁾より地域内に要援護者はおおよそ300人いると推定される。また民生委員名簿によれば民生委員は約30人登録されている。杉並区地域防災計画によれば、自主防災組織は30組織、避難所として指定された学校(以下「避難所」)は5箇所存在する。本研究では、要援護者救助において要援護者の居場所把握等の初動体制が特に重要と考え、この避難所5箇所へ要援護者を安全に第一的に避難させる方法の検討を行う^{注1)}。

図2 対象地域および地震の想定

2.1. 地震の想定

この地域に、最悪の事態として冬の夕刻18:00・風速15m/sの強風時、通勤通学者が帰宅する前かつ火災危険性が高い条件で地震が発生したと想定する。地震の規模は、内閣府の既往の想定で被害が

甚大と予想されたケース、東京湾北部直下型M7.3と設定する。

古地図¹⁰⁾によれば地域の一部は水田を造成したため地盤が軟弱と予想される(以下「旧水田地域」)。実際に約50点の常時微動観測を行うと、旧水田地域では水平動が上下動に対し大きく増幅する傾向が確認でき、地震時の地盤増幅が大きいと考えられる。H/Vスペクトルのピーク値を図3に示す。旧水田地域内の表層地盤を谷底低地、その他を台地と分類し、既往の想定^{7,8)}を参照し地震動強さは谷底低地(旧水田地域)をPGV70cm/sec、台地を50cm/secと設定する。

図3 常時微動のH/Vスペクトルのピーク値

図4 対象地域の建物構造種別

図5 モンテカルロ法による建物焼失確率の評価

2.2. 地震火災リスク

まず、重点的に救助を要する箇所を把握するため、モンテカルロ法により火災による建物の焼失確率を評価する。確率的な出火点の設定とその後の延焼計算を繰り返し独立試行し、試行数に占める建物の焼失回数の割合から建物の焼失確率を求める。建物データは杉並区土地利用現況図に基づき建物毎に設定している(図4)。

筆者ら²⁾の既往研究では対象地域内の地震動強さを一様と仮定して暫定的な評価を行っているが、本研究では旧水田地域の地盤特性を加味する。出火建物は、神奈川県防災会議¹¹⁾による全国の地震火災を基にした出火確率の経験式を用いて、一棟ごとの出火を判定し出火させる。出火確率は建物の倒壊確率・季節等によって決まる。そのため地盤特性が倒壊確率、倒壊確率が出火確率に影響することで、地盤特性の違いが火災リスクに影響すると予想できる。算出過程で用いる倒壊確率は内閣府¹²⁾による。出火設定後の火災延焼計算

13) 14) 15) は、着火側の建物の防災性能ごとに隣棟への延焼時間を求め、逐次計算によって延焼拡大をシミュレートする。延焼計算は試行毎に出火後3時間までを行うが、これは地震直後初動時のリスクを評価するためであり、後半の救助シミュレーションと対応している。最悪状況の見積もりとして消防力は考慮していない。また、風向きは試行毎にランダムに決定する。

「出火点設定—延焼」の一連の計算を繰り返し、焼失確率（焼失回数÷試行回数）の収束状況をみて計算を100回で打ち切った。得られた焼失確率を図5に示す。旧水田地域、特に北東部の焼失確率が比較的高い。木造・非木造建物の比率、密度、隣棟間隔等の建物特性について焼失確率が高い地域内外で顕著な差はない（図4）ことから、この結果は主に地盤特性の影響と考えられる。従来火災リスク評価は、外壁の防火性能や隣棟間隔等の建物特性が重視されることが多かったが、地盤特性にも十分留意する必要があるといえる。リスクの高い箇所は重点的な要援護者救助が必要といえる。この結果は後半の救助のケーススタディで使用する。

3. 要援護者救助体制の現状

次に、モデル構築の基礎資料として、要援護者救助体制の現状を把握する。行政の対策制度の内容および問題点をふまえ、民生委員と自主防災組織長、および住民にアンケート調査を行う。

3.1. 杉並区の要援護者対策—「地域のたすけあいネットワーク」

杉並区では、「地域のたすけあいネットワーク」と呼ばれる要援護者対策制度が行われている。要援護者情報を区に登録し、地域の民生委員、消防、警察に提供し、災害など緊急時の救助に備える制度である。杉並区保健福祉部管理課への取材によれば、現状では情報提供対象は上記のみであるが、内閣府の指針に基づき順次提供対象者を拡大していく予定であり、具体的指針は未定であった。また、同区によれば、現状では自主防災組織および一般住民は情報提供対象ではないが、緊急時には民生委員などと連携して共助の担い手となることが期待されている。内閣府指針においても民生委員、自主防災組織等が協力して要援護者を救助することが述べられている。

3.2. 民生委員・自主防災組織・一般住民の要援護者対策現状調査

現状の要援護者情報提供対象者のうち、消防、警察は要援護者救助以外にも多くの事項の対応に追われると予想されること、および民生委員は日常的な地域への密着性が高いと考えられることから、災害時に民生委員が要援護者情報を伝達する主たる担い手となると考える。そして、民生委員、自主防災組織、および住民がどの程度要援護者対策を行っているか、また災害時の連携がどの程度可能かを確認するため、杉並区の民生委員、杉並区の自主防災組織の組織長、および阿佐ヶ谷高円寺地域住民へのアンケート調査を行う。調査の概要を表1に示す。民生委員と防災組織長は対象地域内のみではサンプル数が極めて少ないため、杉並区全域を対象としている。

表1 アンケート調査の概要

対象	杉並区内の民生委員	杉並区内の防災組織長	阿佐ヶ谷高円寺地域住民
配布数	200(定数の約半数)	161(全員)	500(人口の約2.5%)
配布方法	協議会における配布	名簿に基づく郵送	無作為に投函
回収方法	郵送	郵送	郵送
回収数	140(70%)	118(73%)	149(30%)

3.3. 民生委員へのアンケート調査

要援護者名簿を持つ民生委員への調査結果について述べる。

まず民生委員が保有する名簿の活用状況を質問した（図6）。66%

「名簿を十分に内容を把握」しているが、53%は活用方法に悩んでいる。多くの民生委員が名簿の内容を把握していることが確認できた一方で、災害時に活用する方法を考えあぐねていることもわかり、救助方法の具体的に提示することの必要性を改めて認識できる。

次に民生委員と自治会および自主防災組織との日常的な地域活動のつながりを把握するため、民生委員が同時に担当している地域活動を質問した（図7）。47%が自治会役員を、29%が防災組織役員を務めている。民生委員が、防災・福祉等の諸関係者と面識があるかを質問すると（図8）、近隣の防災組織長との面識では「多くの人と親しい」または「少々の面識がある」が計63%であることから、自治会・防災組織との平時のつながりが確認できる。災害時にはこのような日常的なつながりを活かして協力することが期待できる。

震災時に要援護者救助行動（図9）について可能か否か質問調査すると、「名簿を活かして、近隣の自治会・防災組織と協力して救助を組織的に行う」に計75%が「可能」または「おそらく可能」と回答した。その一方で、「名簿は使わず、普段訪問経験のある要援護者の救助を個人的に行う」および「名簿を活かして、訪問経験のない要援護者の救助を個人的に行う」については比較的否定的な回答が多い。自由記述で「民生委員は高齢の女性が多く搬送等身体的負担の伴う救助は困難」という旨の意見も複数あり、民生委員のみで救助搬送を行うことは困難と予想される。以上より、民生委員はその多くが名簿の把握など事前準備は進めており、民生委員単独での救助活動は身体的にやや困難が予想されるものの、地域活動等を通じた日常的な地域とのつながりを活かして組織的に要援護者救助を行うことは可能と考えられる。

図6 民生委員の要援護者名簿活用状況 図7 地域活動の兼任状況

図8 民生委員の防災・福祉関係者との面識

図9 民生委員の災害時の協力行動の可能性についての意見

3.4. 防災組織長へのアンケート調査

次に、自主防災組織長への調査の結果について述べる。

はじめに、地震時に心配な項目を複数選択可として質問すると（図10）、「高齢者・障害者の救助」と「火災の発生と延焼」の割合が共に78%で最も高い。それらに次ぐ「建物の倒壊」その他の項目の割合との有意差があり、地震火災および要援護者救助が重要課題と認識されているといえる。次に、防災組織内で行われている要援護者対策について質問すると（図11）、「情報を集めるように努めてい

る」は 42%いるものの、「要援護者の名簿を作っている」は 12%のみである。自由記述では「要援護者情報の収集・保有は民生委員に任せている」旨の記述も複数みられ、要援護者の情報把握については民生委員に依存する傾向が強いことがわかる。設置班の班員数の平均は図 12 の通りである。班が設置されていない場合には人数を 0 人として計算している。救助に関する情報・救出救護・避難誘導等各班の人数が把握できる。次に、組織内の備品について質問すると(図 13)、通信機器(トランシーバー)や搬送器具(担架・リヤカー・車椅子)の保有は少ないことから、情報伝達は主に口頭で行われ、搬送時器具を使えないと予想され、今後改善が必要といえる。

図 10 防災組織長が地震時に心配と回答した項目

図 11 防災組織の要援護者対策状況

図 12 防災組織の班員数平均

図 13 防災組織の備品保有数平均

3.5. 住民へのアンケート調査

住民へのアンケート調査結果について述べる。まず、家族内に要援護者が「いる」回答者は 15%であり(図 14)、その要援護者の避難を同居家族だけで「できる」は 20%に過ぎず、75%は「手が足りない」状況である。単身の要援護者は、表 2 において家族人数 1 人で要援護者がいる場合であり、全体の 2%である。また、家族を除く近隣に要援護者が「いる」と回答した割合は 30%である(図 15)。この「いる」の割合は年齢・性別・居住歴では有意差がないが、近所付合いが密な人ほど高く、近所付合いが要援護者を把握する重要な機会と考えられる。近隣の要援護者を把握し、かつ「救助の手助けができる」は回答者全体のおよそ 5%のみである(図 16)。しかし一方で「声かけ程度」ならばできるという回答も約 2 割程度得られ、何らかの協力を行いたいと考える住民も少なからずいることが確認できた。

図 14 住民の家族内の要援護者およびその避難

表 2 住民の家族人数と家族内の要援護者

		家族人数(本人含む) (%は全有効回答者135に対する割合)											
		1	2		3		4		5以上		合計		
家族に要援護者が	いる	3	2%	9	7%	2	1%	3	2%	3	2%	20	15%
	いない	16	12%	30	22%	31	23%	20	15%	18	13%	115	85%
	合計	19	14%	39	29%	33	24%	23	17%	21	16%	135	100%

図 15 住民の自宅近隣の要援護者の把握状況

図 16 住民の近隣の要援護者避難救助に関する考え

4. 要援護者救助マルチエージェントモデルの構築

アンケート結果をふまえて救助行動のエージェントモデルを構築する。そして既往の地震被害モデル(道路閉塞・出火延焼)により被害状況を作成し、エージェントと連動させる(図 17)。道路閉塞状態および出火点、およびエージェント位置を確率的に決定し、その後の行動および火災延焼を逐次計算する。結果が初期状態に依存するため、後述のケーススタディでは各ケース 10 回の試行を行う。

図 17 道路閉塞および火災延焼を考慮した要援護者救助モデル概要

図 18 エージェントの組織構造

表 3 エージェントの種類・人数・行動

エージェント	人数および推計方法	行動
要援護者	240人 (80% 300人, 20% 240人, 60人) (図14) 救助必要 救助不要	救助班or救助型住民が到着 → 火災到達 避難完了 → 避難所へ搬送 → 死亡
民生委員	10人 37% 30人 63% (図9) 活動 10人 20人 活動 *活動が「可能」「おそ せす らく可能」75%の半分	最寄りの集合場所へ移動 防災組織長に要援護者情報を伝達 行ったことのない他の集合場所へ移動
防災組織長	30人 = 1人/組織 × 30 (図11) 88% 30人 12% *名簿保有 26人 4人 は12% 名簿なし 名簿保有	集合場所へ移動(集合場所待機) *要援護者情報・救助班 連絡・火災情報 救助班に救助指示(情報班と情報班受)
情報班	90人 = 3人/組織 × 30 (図12) 情報班の平均人員数3.6/班	最寄りの集合場所へ移動 移動中救助班・他の 情報班と情報班受 所属組織の防災組織長と情報班受 → 戻る 他の集合場所へ → [他の組織長と情報班受]
救助班	150人 = 5人/組織 × 30 (図12) 50% 11.8人/班 50% 5人 5人 要援護者救助 他活動へ *救出救助班・避難誘導班11.8 人のうち他活動との兼ね合いで 50%程度が活動	最寄りの集合場所へ移動 移動中情報班と 情報班と情報班受 所属組織の防災組織長に救助指示を受ける 指示された要援護者宅へ → 戻る 要援護者 要援護者を搬送 不在(避難済) (火災と反対方向 かつ最寄りの避難所へ) → 火災発生時は 目的地変更
一般住民	10000人 (救助型250人 避難型9750人) (図16) 2.5% 97.5% 250人 9750人 要援護者救助 避難のみ *「手助けできる」という5%の 住民の半分が協力すると設定	救助型住民 (250人) 避難型住民 (9750人) 近隣の要援護者宅へ 自宅に待機 避難型行動 要援護者搬送 不在(避難済) 搬送後待機 火災接近(100m) 避難所へ避難

備考1: トランシーバーの保有率が低く、情報伝達は無線を用いず全て口頭伝達とする
備考2: 担架の保有率が低いことから、搬送は救助者個人単位で行うこととする
備考3: 移動速度は要援護者0m/分、他は80m/分(搬送時は40m/分)を密度に応じFruin式で減衰させる

要援護者は屋内で身動きがとれないため、エージェントは要援護者を外部から探索して発見することはできず、救助には要援護者情報を要すると仮定する。前章から民生委員と防災組織のつながりを確認できたが、防災組織内の名簿は少ないことから、名簿を持つ一部の防災組織長を除いて基本的に民生委員が防災組織長に要援護者情報を伝達することとする。組織構造を図 18 に示す。また、各エージェントの種類・人数・行動の一覧を表 3 に示す。人数はアンケート調査結果をふまえて推定している。民生委員および住民の要援護者救助への参加は、不測の事態により回答通り行動できない場合も多々あると考えられるため、最悪の見積もりとしてアンケートで協力できると回答した割合を半数に減じている。防災組織の人数は、役員級の人数であるため人数の低減は行っていない。

4.1. 要援護者エージェント

住民に対するアンケート調査により、300 人のうち 60 人(約 20%)は同居する家族によって避難場所へ搬送されることと考え、救助は不要と考える。他の 240 人は救助班または近隣の住民によって救助・搬送される。「要援護者エージェント」とは救助が必要な 240 人のみを指し、家族によって避難所へ行く要援護者は救助対象や避難完了者数の計算からは除外する。要援護者は、発災後何もできず救助を求める力も弱いと考え、要援護者のいるノードに他のエージェントが通りかかっても、要援護者の情報を知らなければ要援護者を発見できないと仮定する。要援護者情報を持つ救助班、住民によって避難所へ搬送されるが、その前に火災が要援護者のいるノードの隣接地点まで到達した場合は、要援護者は「死亡」と判定する。

4.2. 民生委員エージェント

民生委員名簿の集計より、地域内に民生委員は約 30 人在籍する。アンケート調査において、図 9 で「名簿を活かして自治会・自主防災組織と連携して救助を行う」ことについて「可能である」「おそらく可能である」という回答が 74%を占めた。ただし、回答した通りに行動できない人も加味してその半分の約 37%程度が活動可能と考える。したがって、民生委員エージェントの人数は 10 人とする。なお、各民生委員は普段受け持ち地域内において訪問・生活支援等の活動しているが、要援護者名簿には区内全域の要援護者が掲載されていることから、モデルでは民生委員は対象地域内すべての要援護者情報を保有していると設定する。

民生委員は発災後、集合場所を巡回して、防災組織長へ要援護者情報を伝達していくこととする。まず発災後、民生委員は自分の居場所から最も近くの集合場所を選びそこへ向かう。そこで防災組織長へ要援護者情報を伝達する。防災組織長は後述のように、原則民生委員から要援護者情報をもらい初めて救助指示ができるようになる。その後、これまでに訪れていない、かつ現在地から最も近い他の集合場所を選びそこへ移動し防災組織長への情報伝達を行う。以下同様に移動と要援護者情報を交互に繰り返し集合場所を巡回する。

4.3. 防災組織長エージェント

地域防災計画をもとに、対象地域内に 30 人いると設定する。防災組織長は原則として初期状態では要援護者の居場所情報は持たず民生委員から要援護者情報を取得し、それをもとに救助班エージェントに救助派遣の指示を行う。ただし図 11 の防災組織の災害時要援護者対策で 12%が「要援護者の名簿を作成している」という結果から、4 人のみは初期状態から要援護者情報を保有している。

防災組織長は発災後、自分の組織内で予め定めた集合場所に向かう。集合場所において民生委員から要援護者情報を受け取る。要援護者情報を得た後、救助班に救助指示を行う。要援護者情報を持たない場合は、獲得するまで救助指示は行えない。ただし、初期状態から要援護者の名簿を持っている 4 人の防災組織長のみについては、民生委員からの情報伝達は必要としない。救助指示では、未避難かつ火災が迫っていると判断される要援護者を優先的に選択^{注2)}する。

4.4. 救助班エージェント

要援護者の救助は、防災組織の救出救護班と避難誘導班が協力して行うこととする。以下この 2 班を合わせて「救助班」と呼ぶ。図 12 から、2 班の平均班員数の合計は約 11 人であるが、一部は要援護者救助以外の活動にも従事すると考えられるため、兼ね合いも考えて半数の 5 人とする。震災時の混乱状況を鑑みると、この人数設定は完全な確証のあるものではなく今後も検討を要するが、防災組織へのアンケートにおいて要援護者救助が火災と並び最も重要課題と認識されていたことから、人員が要援護者へ半数程度振向けられる設定は一定の現実性を持つと考える。深刻な人手不足の事態を想定して救助班 1 人が要援護者 1 人の救助を行う設定とする。

救助班は、組織ごとに予め定めた同一の集合場所へ向かう。集合場所において所属組織の防災組織長に出会うと、救助指示を受ける。ただし、前述の通り救助指示は防災組織長が要援護者情報を保有している場合のみ行われる。また、救助対象の要援護者の選択は防災組織長に委ねられる。救助班は、救助を指示された要援護者の情報を防災組織長から受け取り、その要援護者の救助に向かう。そして要援護者の居場所へ到着すると、要援護者を避難所へ搬送する。このときの搬送先の避難所は、当該救助班が火災情報を保有している場合は、火災から遠ざかる方向かつ現在の居場所から最も近い避難所とする。火災情報を保有していない場合は、単純に居場所から最も近い避難所を選択する。搬送完了後は搬送先の避難所から自身の組織の集合場所へ戻り再度指示を受ける。なお、派遣先の要援護者がすでに救助済みでいなかった場合も元の集合場所に戻る。

4.5. 情報班エージェント

班員数の平均(図 12)から、防災組織内の情報班の数は平均 3.6 人であることがわかった。そこで、情報班を各組織 3 人とする。

情報班は所属する防災組織の組織長エージェントおよび近隣の防災組織長との間を往復する。発災時には情報班は事前に組織内で定められた集合場所へ移動する。自分の所属組織の集合場所で情報交換を終えた後は、まだ会ったことのない、かつ最も近くの組織長一人を選んでその組織長の集合場所を選択して移動する。そして、出先の集合場所で情報交換を終えた後、再び自分の所属組織の集合場所へ戻る。以下その繰り返しである。情報班は、集合場所を往復しながら防災組織長と相互に救助派遣済み情報および火災情報を伝達し合うことで、防災組織長間の情報の媒介を行う。また、このとき情報班は、組織長から救助班への救助指示の媒介も行う。すなわち、防災組織長は救助班への指示と同様にして、要援護者一人の救助指示を情報班に伝え、情報班は救助指示を出会った救助班に伝達する。同時に情報班は救助班から救助済み情報と火災情報を受け取る。

4.6. 住民エージェント

一般住民は 10000 人である。住民アンケート調査より住民のうち「避難の手助けができる」人が 5%であり、その半数 2.5%すなわち 250

人が救助を行うこととする。救助を行う住民は初期状態で自分から最も近い要援護者一人の情報を知っていることとし、発災時にはその要援護者のもとへ向かい、避難所へ搬送する。搬送完了後は避難所で待機する。他の 9750 人は避難のみを行う。その場に待機し、火災が 100m 圏内に近づくと、最寄りの避難所へ避難する。

4.6.1. 道路閉塞および道路混雑

市川¹⁶⁾のモデルを利用して建物の道路閉塞状態を作り、閉塞した道路はいずれのエージェントも通過できないこととする。また、パスごとに群衆密度を求め、Fruin 式¹⁷⁾を用いて歩行速度を減減させることで道路の混雑状況を考慮する。

4.6.2. 情報の種類

エージェントは表 4 に示す情報を授受する。各種情報を知っているか否かでエージェントの判断・行動が変化する。

表 4 エージェントが授受する情報の種類

要援護者情報	要援護者の居場所の情報(要援護者救助に必須)
救助指示情報	特定の一人の要援護者の救助を命じる情報。防災組織長から救助班へ直接、または情報班を介して間接的に伝達される
救助派遣済み情報	ある要援護者に救助班が向かっている(あるいは避難済みである)ことの情報。救助派遣の重複・非効率を避けるために必要
火災情報	火災が発生している位置に関する情報(火災は200m内で知覚)

以上のようにモデルを設定しマルチエージェントモデルを構築した。エージェントの協働活動の概要を図 19 に示す。集合を経て情報伝達・救助活動が行われていく。

図 19 エージェントの協働活動の概要

5. 救助シミュレーションによる対策の検討

前章で構築したモデルを用いてケーススタディを行う。

5.1. 集合場所のケーススタディ

前述の「集合場所」は現状の防災計画では一意に指定されていないため、まず詰所 30 箇所に組織別に集合する場合と指定避難所 5 箇所を複数の組織が共有する場合を比較する。前者は各人が集合場所までの移動に要する時間は短い組織間の情報伝達は疎であり、後者はその逆である。各 10 回のシミュレーションを行って平均をとると(図 20)、避難所を集合場所にした方が、避難完了者数が多く死亡者数が少ない結果が得られた。情報を避難所に集約し共有することが有効な戦略と考えられる。そこで以後全てのケースで集合場所を避難所に設定する。また、本節で避難所を集合場所にしたケースを「現状」のケースと呼ぶ。

図 20 集合場所の設定別避難完了者数および死亡者数の推移

5.2. 改善案のケーススタディ

モデル上で改善案の検討を行い、より良い結果を模索する。

まず防災組織の改善案として、図 21 に示すように、1. 救助班員を増員する・2. 要援護者情報の提供対象者を民生委員以外に広げる・3. 救助の割当を決めて互いの救助派遣の重複を避ける・4. 火災危険箇所に重点的に増員する—という各種対策を考える。また 5. 住民協力に関する改善案として、現状で想定される以上の住民協力が得られた場合を考え、現状と比較する。

図 21 ケーススタディの概要

表 5 のように各設定の組合せを変えてシミュレーションを行い、結果の比較を行う。各ケースの避難完了者数と死亡者数(平均)の推移を図 22 に示す。いずれも避難完了者数が現状より増加、死亡者が減少し、対策の効果が確認できる。

表 5 ケーススタディの設定

凡例	救助班増員数	要援護者情報の提供提供範囲	提供者数	救助割当決め	配置重点化	住民協力増員数救助	住民協力増員数呼びかけ
現状	0	民生委員	10	-	-	0	0
+	0	組織長まで	40	-	-	0	0
○	0	班員まで	280	-	-	0	0
△	75	班員まで	280	○	-	0	0
◇	75	班員まで	355	-	-	0	0
●	75	班員まで	355	○	-	0	0
×	75	班員まで	355	○	○	0	0
×	150	班員まで	430	-	-	0	0
□	150	班員まで	430	○	-	0	0
△	150	班員まで	430	○	○	0	0
○	150	民生委員	10	-	-	0	0
■	150	民生委員	10	-	-	0	1000
-	0	民生委員	10	-	-	1000	0

図 22 ケーススタディにおける避難完了者数・死亡者数の推移

5.2.1. 増員との関係

ここで防災と個人情報保護との兼ね合いに着目して、図 23 のように横軸に要援護者情報提供者数を取り地震後 180 分の避難完了者数・死亡者数との関係をみる。要援護者情報提供者数は個人情報の開示の度合い、あるいは対策コストの指標と考える。救助班を 150 人から 2 倍の 300 人に増やしたところ、避難完了者数は 131 人に約 2 割増加し、死亡者数は 17.6 人から 15.0 人におよそ 10%減少した。避難完了者数および死亡者数に一定の変化はみられるが、顕著な改善とまではいえない。これは、救助班員数が増えても上層部（民生委員・組織長）の情報伝達時間は変わらず、その間に死亡者が発生してしまうためと考えられる。純粋な救助班人数の増強のみでは限

界があることが確認できる。

5.2.2. 要援護者情報提供との関係

次に、要援護者情報提供対象者を増やした場合をスタディする。先ほどのケースでは、救助班を単純に増員しても大きな効果が得られず、組織上層部での情報伝達時間のロスが影響しているのではないかと予想された。現状の情報提供対象者は民生委員のみであるが、ここでは、他のエージェントにも情報提供した場合をスタディする。

要援護者情報提供対象者を、民生委員に加えて、防災組織長、および組織員(救助班・情報班)まで情報提供した場合をそれぞれ考える。さらに、組織員へ情報を提供し、かつ救助班を75人ないし150人増員した場合も考える。救助班が初期状態から要援護者情報を持つ場合、救助班は避難所を経ず最も近くの要援護者の救助に向かう。

まず、要援護者情報を民生委員のみならず防災組織長まで提供すると、180分後の避難完了者数は110人から157人に約40%増加し、死亡者数は17.6人から14.4人に約30%減少した。この効果は、先ほど情報提供なしで救助班のみを純粋に150人増員した場合よりも大きい。防災組織長が要援護者情報を得ることで民生委員による要援護者情報伝達が不要となり救助が迅速になったためと考えられる。さらに、情報を組織員全員にも提供した場合では、避難完了者数は158人(現状より40%増)、死亡者数は13人(現状より40%減)となった。組織員への要援護者情報に加え、救助班の増員も組み合わせると救助班を75人増員すると、避難完了者数は163人、死亡者数は10.4人となった。救助班を150人増員すると、避難完了者数は168人(50%増)、死亡者数は8.0人(50%減)となった。増員に加え、要援護者情報の提供を組み合わせることで効果的な対策となることがわかる。

5.2.3. 割当決め

情報提供の効果は確認できたが、さらに効率化を試みる。

ここまでは、ある要援護者に複数人が救助に向かう、あるいは誰も救助に向かわない場合が生じるため、非効率とも考えられる。そこで、情報提供のみならず、「誰が誰を助ける」という救助班と要援護者間の割当の事前取り決め(以下「割当決め」)を行った場合を想定する。割当決めをした場合には救助班エージェントが地震直後最初に救助する要援護者は、現在地から最も近く、かつ他の救助班との重複を避けるよう調整する。

まず、増員0人のケースについて、割当をした場合としなかった場合を比較する。割当をした場合避難完了者数は183人、死亡者数

は5.6人となった。割当をしなかった場合より避難完了者数は30%増加、死亡者数は60%減少した。これは、救助班を150人増員し割当を決めなかった前節のケースよりも避難完了者数が多く、死亡者数が少ない。次に、救助班を75人増員し割当を決めると避難完了者数は184人、死亡者数は4.2人となった。救助班を150人増員し割当を決めると避難完了者数は202人、死亡者数は3.2人となった。これらも、割当を決めなかった場合より大きく改善されている。むやみに要援護者情報の提供および増員のみを行うよりも、割当を決めた方が少ない人数でより大きな効果を上げられることがわかり、要援護者救助対策を効率的に行うためには割当を決める等分担等を計画的に決定すること重要であることが示された。

5.2.4. 重点化

ここでは、火災リスク評価を救助計画に応用することを試みる。すでに建物別の焼失確率を求め火災危険地域を把握することができた(図4)。この危険地域に対して人員増強と情報提供を優先的に行うことでさらに効率化ができるのではないかと考えスタディを行う。現状では、救助班150人はすべての班、すべての地域に一律に分布しているが、救助班の増員は火災危険地域から重点的、優先的に行うことが合理的ではないかと考えられる。そこで、救助班員の増員、割当に加えて重点化を行った場合を比較する。救助班の初期位置について、救助班の増員分75人ないし150人は全て火災焼失確率が30%以上の市街地に配置する。これは、当該火災危険地域において重点的に防災組織への参加呼びかけを行った場合に相当する。

75人増員の条件で重点化を行うと、重点化を行わなかった場合に比べ避難完了者数は184人から195人へと10%程度増加し、死亡者数は4.2人から2.4人に40%程度減少した。また、150人増員の条件で重点化を行うと、避難完了者数は202人から205人へほとんど変化しなかったものの、死亡者数は3.2人から1.8人に40%程度減少した。重点化を行うと、避難完了者数の増加は大きくはないが、死亡者は比較的明確に減少することがわかる。この結果は、次のように考えられる。すなわち、避難完了者数は火災危険地域を優先するしないにほとんど関係せず、火災拡大前に危険地域の救助が終わることが少々の利点となるのみであるが、死亡者に関しては火災危険地域を重点的に救助することが非常に有効となる。対象地域のような木造密集市街地、火災危険地域においては、火災危険度評価を利用した救助計画が有効であることが示唆された。

図23 ケーススタディにおける要援護者情報提供者数と避難完了者数・死亡者数の関係

5.2.5. 住民協力の増員

ここでは、一般住民の協力を増加させた場合を考え、共助活動の意義を評価する。一般住民の協力が得られれば、単純に救助の手が増えるだけでなく、現状で既に一般住民が把握している要援護者情報が救助に活かされるため、名簿による要援護者情報の提供がこれまでのケーススタディよりも少なく済むのではないかと期待できる。アンケート調査では「避難の手助けができる」と回答した人こそ全体の5%程度と少ないものの、「声かけ程度はできる」という回答者は全体の2割程度いた。そこでこの住民が協力した場合を想定し、活動可能か否かを半数に割り引いた住民の10%すなわち1000人が追加で協力する場合を考える。どの程度の救助協力が得られるかによって次の2段階を考える。いずれのケースも、要援護者情報は民生委員10人に提供されるのみであって、一般住民は現状で把握している近隣の要援護者の情報を活用することとし、要援護者情報提供者数は10人のままである。

ケースの1番目として、1000人が直接の搬送等の行動はしないが救助の呼びかけを行った場合を考える。ここで呼びかけとは、住民が救助班に要援護者の情報を伝える行動である。ランダムウォークを行い、集合場所へ向かう途中の救助班に要援護者情報を伝達する。情報を得た救助班は集合場所を経ずに救助に向かう。まず1000人が救助班へ救助の呼びかけを行うと、避難完了者数は110人から150人へ40%増加し、死亡者数は17.6人から12.2人に約30%減少した。呼びかけにより救助班の一部が集合までの時間を省くことができ、救助が迅速になったと考えられる。呼びかけのみでは住民は直接搬送には関与しないが、それでも明確な効果が上がることは、各人の少しの共助努力の積み重ねが確実に減災につながることを示す。

次に、救助呼びかけよりもさらに直接的な協力が得られることを想定する。この場合は、前述の追加協力を行う1000人は自ら直接要援護者のもとへ向かい、要援護者を避難所へ搬送する。救助および搬送の行動フローは救助班に準じているが、住民が要援護者の搬送を完了した後はそのまま避難所へ待機する。このケースでは避難完了者数は198人、死亡者は4.6人となった。これは、救助班を75人増員し、救助の割当を行ったケースとほぼ同等の水準であり、救助班を増員し要援護者情報を大量に提供した他の多くのケースに劣らない。自発的協力の重要性を表すとともに、要援護者情報提供等に多くを依存せずに防災を成立させる術を示唆する解である。

以上のように、要援護者対策の相対評価を行うことができた。マルチエージェントモデルを用いることにより、人間一人を単位として、増員や要援護者情報提供救助の割当等の詳細な設定を変更しスタディをすることができた。本研究では防災組織員が計画通りに活動できること、救助避難要員の半数が要援護者救助に振り向けられることなどの仮定を行っているため、死亡者数等結果の絶対値には不確実性が含まれるが、対策の相対的な評価、優劣の比較結果については一定の妥当性を持つと考える。

6. まとめ

東京都杉並区の本造密集市街地を例に、地域調査とそれに基づく地震火災時の要援護者救助行動のマルチエージェントモデルの開発を行った。地域の火災危険箇所および要援護者対策の現状を明らかにし、救助計画およびモデル構築に有用な基礎的知見を得た。また、

ケーススタディにより対策の相対評価を行い、以下の知見を得た。

発災時の集合場所は、要援護者情報集約と共有のため少数の避難所に設定する方が、分散的に各組織の詰所に設定するよりも良い結果となる。効率的な救助のためには、救助班の単純な増員のみならず、要援護者情報の提供、救助の割当の決定、火災危険地域の重点対策なども必要である。従って防災対策のために個人情報を提供することの重要性が示された。また、住民の自発的救助協力によっても防災組織の増強とほぼ同等の効果が得られることから、災害時における共助の意義が示された。このような結果は、住民の防災意識を高める上で有用と考える。

救助要員の設定の検討、避難行動パターンの拡張等、さらなるモデルの精緻化が今後の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、杉並区役所危機管理室防災課、保健福祉部管理課、都市整備部都市計画課・まちづくり推進課・建築課にご協力をいただきました。杉並区民生委員、杉並区自主防災組織長、阿佐ヶ谷高円寺地域住民の皆様にはアンケート回答のご協力をいただきました。研究費用の一部は文部科学省特別教育研究経費「首都圏大震災軽減のための実践的都市地震工学の展開」の助成を受けました。また、匿名の査読者に多くの貴重なご意見ご指摘をいただきました。記して深く感謝の意を表します。

注

- 1) 東京都の避難計画では、被災者は一時集合場所を経て広域避難場所へさらに火災鎮静後に避難所へ順次移動することとなっている。本研究は要援護者の避難後の介護、情報共有その他の便宜を考慮し、要援護者の一時集合場所として学校(避難所)が適当であると考え、第一次的に避難所へ避難するまでの過程に研究の主眼を置いたものである。学校施設以外の施設への避難、二次的な広域避難等、避難パターンの拡張に関しては今後の課題とした。
- 2) 選択方法では、まず救助派遣の重複をできるだけ小さくする思考のモデルとして、当該組織長が持つ救助派遣済み情報、すなわちどの要援護者へ現在救助が向かっているか(搬送中、搬送済みも含む)をもとに、まだ救助の手が向かっていないと判断される要援護者を選択の候補とする。その中で、火災情報を保有している場合には火災の位置から最も近い要援護者、火災情報を保有していない場合には、現在の居場所から最も近い要援護者を選択する。

参考文献

- 1) 内閣府災害時要援護者の避難対策に関する検討会：災害時要援護者の避難支援ガイドライン(改訂版)、2006.3
- 2) 上田達、瀬尾和太、元木健太郎：道路閉塞・火災延焼被害を考慮した地震時における災害時要援護者救助シミュレーション、地域安全学会論文集 No. 8, pp. 341-348, 2006.11
- 3) 海老原学、掛川秀史：避難シミュレーションに基づく高齢者施設の避難安全性の確保に関する考察、日本建築学会計画系論文集, No. 521, pp. 1-8 1999.7
- 4) 黒田清吾、鏡味洋史：川崎市における自主防災組織の現状と課題、第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 3461-3466, 1998
- 5) 岡西靖、佐土原聡：地域防災力向上のための自治会町内会における地域コミュニティと災害対策に関する調査研究 - 横浜市内の自治会町内会を対象としたアンケートに基づく考察、日本建築学会計画系論文集, No. 609, pp. 77-84, 2006.11
- 6) 岡崎光弘、渡邊昭彦、細田智久、野間共子、木下貴昭：災害時要援護者に関する避難支援必要タイプの分類と避難方法の分析-A・B市の災害時要援護者の大震災時における避難救助と支援方式の研究その1、日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp. 293-294, 2005.9
- 7) 内閣府：首都直下地震対策専門調査会報告、2005
- 8) 東京都：首都直下地震による東京の被害想定報告書、2006
- 9) 福祉医療機構：要介護(要支援)認定者数、WAM-NET, 2005
- 10) 著者不明：明治期杉並区域図、杉並区立中央図書館蔵, 1881
- 11) 神奈川県防災会議：神奈川県地震被害想定報告書、1986
- 12) 内閣府：地震被害想定支援マニュアル内閣府防災情報ホームページ、<http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm>, 2001
- 13) 浜田稔：火災の延焼速度について、火災の研究I, pp. 183-188, 1951
- 14) 堀内三郎：新版建築防火、朝倉書店, pp. 183-188, 1994
- 15) 室崎益輝：市街地の難燃化効果と新延焼速度式に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集, 第22号計画系, pp. 417-420, 1982
- 16) 市川総子、阪田知彦、吉川徹：道路閉塞による避難経路の危険性を考慮した避難地の配置に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1, pp. 489-490, 2001
- 17) J. Fruin：歩行者の空間、鹿島出版会, 1974

(2007年2月26日原稿受理、2007年8月22日採用決定)