

地震火災時の災害時要援護者救助シミュレーションに関する研究 -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-

○上田 遼¹⁾, 瀬尾和大²⁾, 元木健太郎³⁾

- 1) 東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻 uedaryo@enveng.titech.ac.jp
 2) 東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻 seo@enveng.titech.ac.jp
 3) 東京工業大学大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻 kmoto@enveng.titech.ac.jp

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、対策が急がれている。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。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得ることを目的とする。迅速な救助には要援護者名簿等による情報の事前把握が重要であるが、近年個人情報保護との兼ね合いの検討が求められており、本研究はその一助となると考える。また、モデル上で住民の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。既往研究¹⁾では建物内の要援護者避難のモデルはあるが、市街地規模での地域防災行動を研究した例は見当たらない。モデル構築の資料となる研究も少ないため、まず地域の火災リスクの把握と要援護者救助体制の調査を行い、それをふまえてモデル構築とケーススタディを行う(図1)。

2. 対象地域および地震火災リスク

対象地域は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(図2)。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、内閣府²⁾によると地震火災の危険性も極めて高い。自力の歩行が困難な要介護度³⁾以上の介護認定者を要援護者と定義すると、福祉統計³⁾より地域内の要援護者は約300人と推定される。この地域に、最悪の事態として冬の夕刻・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を想定する。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、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(図3)、地震時の地盤増幅が大きいと考えられる。旧水田地域内外で異なる地盤分類および増幅率を設定し

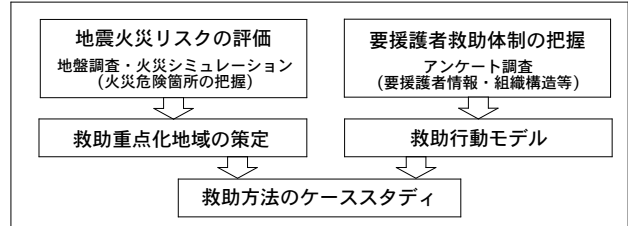


図1: 研究の流れ

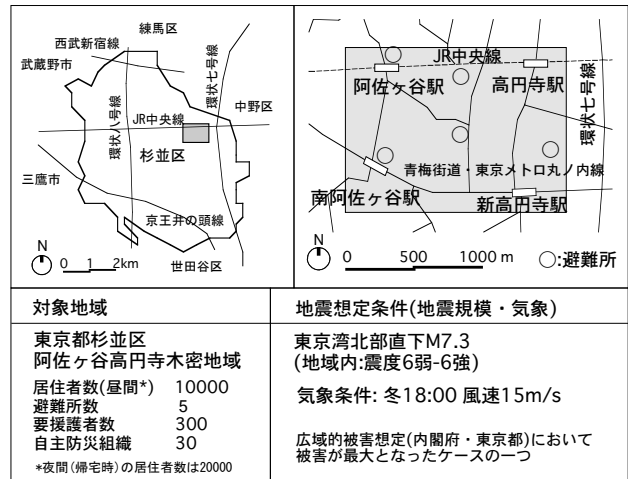


図2: 対象地域および地震・気象条件

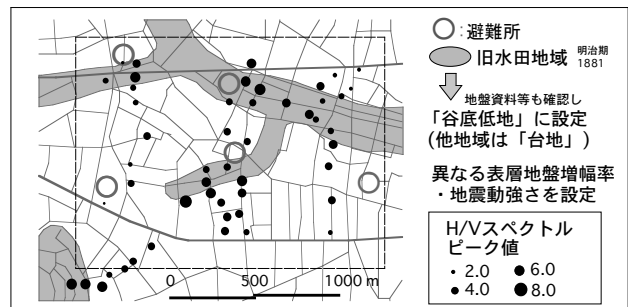


図3: 旧水田地域の分布と常時微動H/Vスペクトルのピーク値

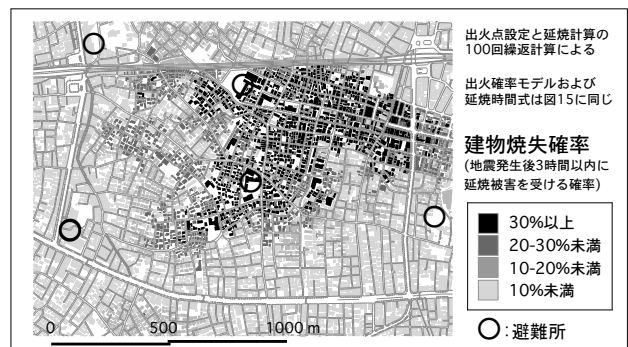


図4: 出火延焼モンテカルロ計算による各建築物の火災焼失確率

出火延焼モデルの繰返し計算(図4)を行うと、旧水田地域周辺(特に東部)の焼失確率が高く、当該地域の重点的な救助が必要といえる。

3. 要援護者救助体制に関するアンケート調査

次に、モデル構築の基礎資料として、区内の民生委員と自主防災組織長、対象地域内住民にアンケート調査を行った(表1)。

杉並区では行政施策により要援護者の名簿を民生委員が保有し、災害時に自主防災組織(以下「防災組織」)等の協力を得て救助に活用することが期待されている。名簿の活用状況(図5)は、66%が「十分に内容を把握」しているが、53%は活用方法に悩み、具体的方法の提示が必要といえる。委員以外に兼任する地域活動(図6)では47%が自治会役員を、29%が防災組織役員を務め、近隣の防災組織長との面識(図7)では「多くの人と親しい」か「少々の面識がある」が計63%(逆に防災組織長が民生委員と面識を持つ割合は84%:表2)であり、自治会・防災組織との平時のつながりが確認できる。震災時の行動(図8)では「名簿を活用し自治会・防災組織と協力する」に計75%が「可能」「おそらく可能」と回答し、全体的に肯定的結果を確認した。

一方自主防災組織長への調査では、まず組織内の要援護者対策(図9)は自主的に「要援護者の名簿を作っている」は12%のみである。設置班の班員数の平均は図10に示され、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。組織内の備品(図11)では通信機器(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、搬送では器具を使えないと予想される。

住民への調査では、家族内に要援護者が「いる」回答者は15%であり(図12)その家族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」。また家族を除く近隣に要援護者が「いる」は30%である(図13)。この「いる」割合は年齢性別・居住歴では有意差がないが、近所付き合いが密な人ほど高く、近所付き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5%である(図14)。住民と関係者のつながりが弱い(表2)点も課題である。

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15)。要援護者は屋内で身動

表1: 民生委員・防災組織長・住民へのアンケート概要

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%)

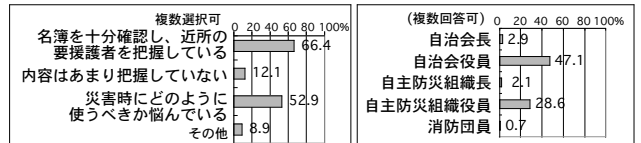


図5: 民生委員の名簿活用状況

図6: 民生委員の地域活動兼任率

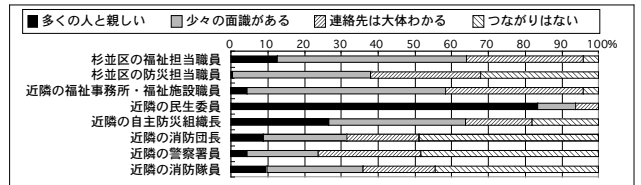


図7: 民生委員と福祉・防災関係者との面識

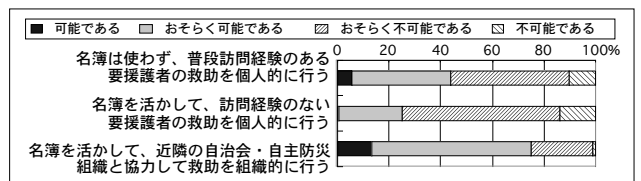


図8: 民生委員の災害時行動に関する認識

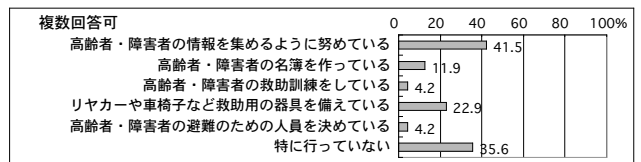


図9: 防災組織の要援護者対策状況

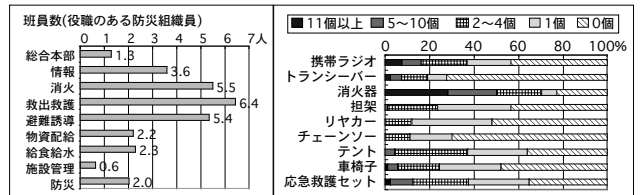


図10: 防災組織の班員数(平均)

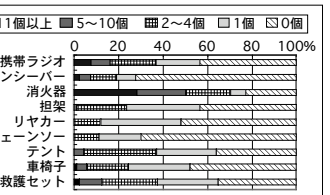


図11: 防災組織の備品保有状況

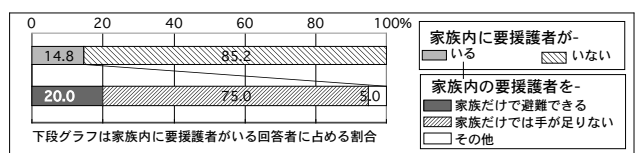


図12: 家族に要援護者がいる人の割合と家族による要援護者避難

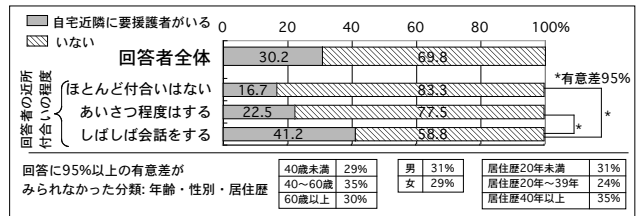


図13: 近隣に要援護者がいる人の割合および各種属性との関係

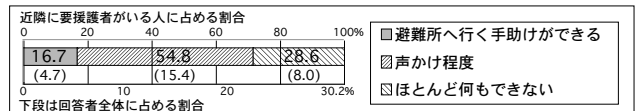


図14: 近隣の要援護者の避難協力

表2: 民生委員・防災組織長・住民が各関係者と面識を持つ割合

	近隣の民生委員	近隣の防災組織長	近隣の消防団長	区役所防災職員	区役所福祉職員	福祉事務所職員	近隣の消防隊員	近隣の警察署員
民生委員	94.1	63.2	33.8	32.1	62.7	61.2	39.2	26.0
防災組織長	83.7	83.7	65.4	64.4	-	36.9	76.0	49.0
一般住民	30.7	26.0	12.9	5.6	8.5	10.0	11.4	8.6

*図7と同様の調査を行い、「多くの人と親しい」および「少々の面識がある」人の割合の合計

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(図 16)。エージェントの一覧を表 3 に示す。人数は前章の回答結果を基礎として、民生委員や住民等の救助協力については不測の事態により回答通りには協力できない場合を加味して5割に割り引いて推計している。要援護者のうち家族による避難ができない240人は救助を待ち、火災が到達すると死亡と判定する。防災組織は後述する集合場所に集合し、民生委員10人は集合場所を巡回して防災組織長に情報を伝達する。防災組織長30人は要援護者を選択し、集合してきた救助班に救助を指示する。救助班150人は組織長の指示を受けて要援護者のもとへ向かい、要援護者を避難所へ搬送し、元の集合場所へ戻る。情報班90人は集合場所間を往復し、組織内外の情報伝達の補助を行う。住民は、250人は救助に参加し、9750人は避難のみを行う。民生委員と防災組織は各種情報(表 4)を授受し、自身が保有する範囲の情報から未避難かつ火災から近いと判断される要援護者を救助しようとする。以上の協働(図 17)により救助が行われる。

5. 救助シミュレーションによる対策の検討

前述の「集合場所」は現状では一意に指定されていないため、まず詰所30箇所組織別に集合した場合と指定避難所5箇所を共有して集合した場合を比較する。前者は集合に要する時間は短い組織間の情報連携は疎であり、後者はその逆である。各5回のシミュレーションの平均をとると(図 18)、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。情報を集約し共有することが有効と考えられ、以後全てのケースで集合場所は避難所とする。

次にモデル上で改善案(図 19)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、救助班員を増員する・要援護者情報の提供対象者を民生委員以外に広げる・救助の割当を決めて互いの救助派遣の重複を避ける・火災危険箇所に重点的に増員する一という各種対策を考える。また住民協力に関する改善案として、現状で救助を行うと想定される住民250人に加え、協力を「声かけ程度はできる」という推計1000人が、救助班に要援護者情報を伝えて救助を呼びかける場合、およびその1000人も直接

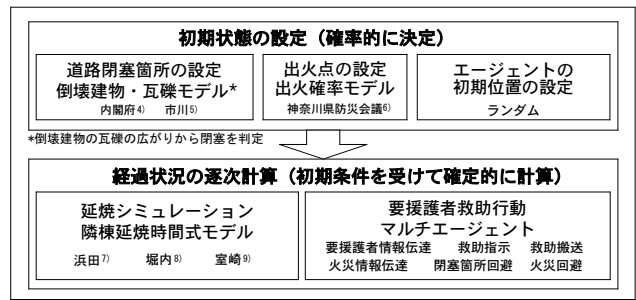


図15: 道路閉塞・火災延焼を組み込んだ要援護者救助モデル

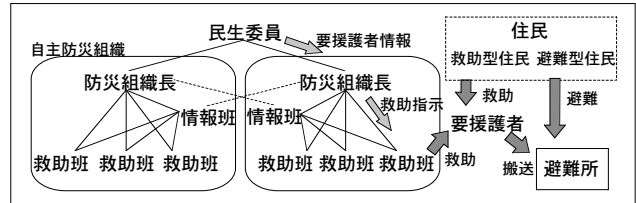


図16: 組織構造モデル

表3: エージェントの種類・行動・人数

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12) 救助を必要とする 救助必要 救助不要	何もしない 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% 20人) (図7) 活動10人, 20人活動せず *活動が「可能」「おそらく可能」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9) 救助班への指示等を行う *名簿保有率は12% (26人), 4人名簿なし	集合場所へ移動(集合場所で待機) 民生委員から要援護者情報取得 救助班に救助指示 情報班と情報授受*
情報班	90人 = 3人/組織 × 30 (図10) 情報伝達を補助する 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・他の情報班と情報授受) 所属組織の防災組織長と情報授受 → 戻る 他の集合場所へ → 他の組織長と情報授受
救助班	150人 = 5人/組織 × 30 (図10) 組織長の指示を受け要援護者の救助を行う 50% 5人, 50% 5人 *救出救助班+避難誘導班1.8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授受) 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 要援護者を搬送 (搬送完了) 要援護者不在(避難済) (火災と反対方向かつ最寄りの避難所へ) → 火災発見時は目的地変更
一般住民	10000人 (図13) 2.5% 250人, 97.5% 9750人 避難または近隣の要援護者の救助を自発的に行う *「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: 近隣の要援護者宅へ 避難型住民: 自宅に待機 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

表4: エージェント間で授受される情報の種類

授受される情報	授受される情報の種類
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)

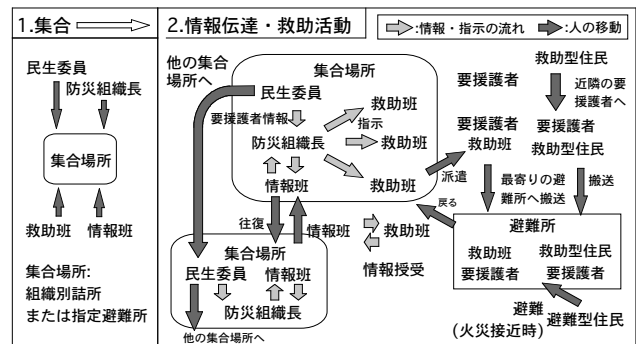


図17: エージェントの協働活動の概要

救助に加わる場合を考える。設定の組合せを変えてシミュレーションを行う(表5)。

各ケースの避難完了者数と死亡者数(平均)の推移を図20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。ここで防災と個人情報保護との兼ね合いに着目して、横軸に情報提供者数をとり地震後180分の避難完了者数・死亡者数との関係を見る(図21)。防災組織へ要援護者情報を提供せずに救助班の増員のみを行った場合よりも、逆に救助班を増員せずに防災組織へ情報提供した場合の方が、良い結果である。さらに救助班員増員と情報提供を併せて行くと一層改善され、死亡者が約半数まで減少した。以上より防災目的の要援護者情報提供の意義が示された。また、特に救助の割当決めおよび人員の配置重点化を行うと、同じ情報提供者数であっても値が改善された。情報を単に多数に提供するだけでなく効率よく活用する計画性も必要といえる。救助班を150人増員し全員に要援護者情報を提供し割当を決定した場合に、死亡者は最小1.8人となった。一方救助班員数や情報提供者数は現状通りとして、住民協力を増やしたケースをみる。まず1000人が救助班へ救助の呼びかけを行うと、死亡者は12.2人に約4割減少した。呼びかけのみで明確な効果が上がることは、各人の少しの努力の積み重ねが確実に減災につながることを示す。さらにその1000人が直接救助に加わると死亡者は4.6人となり、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。

以上の各対策の評価として「死亡者数が少ないほど、情報提供者数が少ないほど良い」と考え劣解(他より情報提供者数も死亡者数も多い)を除外すると、優劣のつかない3つの解が実施候補として得られる(図22)。この中から情報提供者数の上限等の制約も加味し選択すれば合理的な対策となる。方法1は防災組織の増員と情報提供を最大限行う場合、方法2は方法1と同等の効果を少ない増員と情報提供で効率的に得る場合である。方法3は住民協力を増やした場合であり、自発的協力の意義を表すとともに、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。

6. まとめ

東京都杉並区の木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モデルの開発を行った。ケーススタディの比較評価により要援護者情報の提供や住民の自発的協力等の対策の意義を明確化し、3つの実施候補を得た。

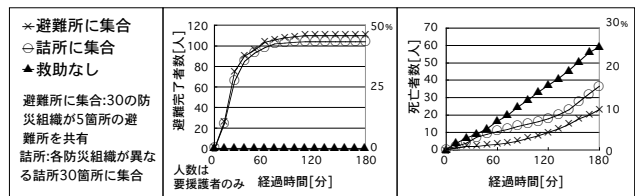


図18: 集合同所別の救助結果(避難完了者数・死亡者数の推移)

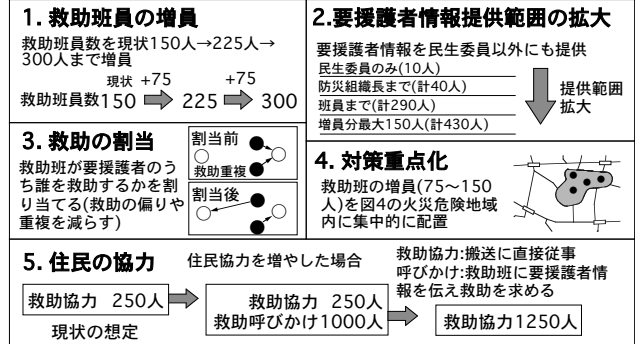


図19: ケーススタディ(現状の改善案)の各設定方法

表5: 各ケーススタディの設定一覧

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	呼びかけ
現状	0	民生委員	10	-	-	0	0
+	0	組織員まで	40	-	-	0	0
○	0	班員まで	280	-	-	0	0
△	0	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
■	0	民生委員	10	-	-	0	1000
-	0	民生委員	10	-	-	1000	0

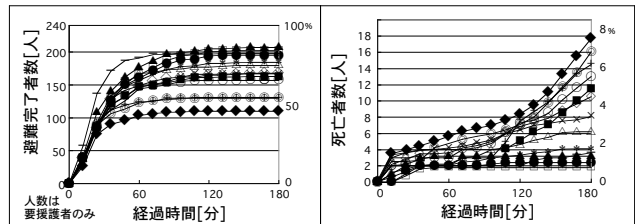


図20: ケーススタディの結果(避難完了者数・死亡者数の推移)

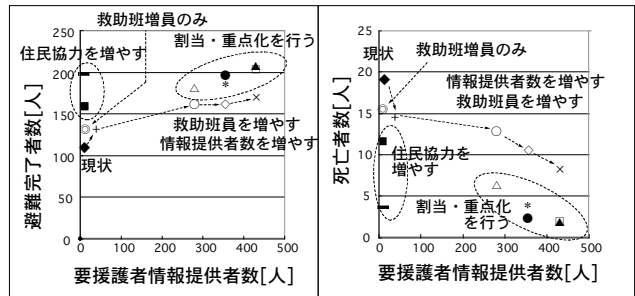


図21: 要援護者情報提供者数と避難完了者数・死亡者数

評価方法: 死亡者数が少ないほど、かつ要援護者情報提供者数が少ないほど、良い
 →図21要援護者情報提供者数-死亡者数のグラフから劣解(*)を除外
 ※: 他のある解より死亡者数も情報提供者数も多いもの

- 互いに優劣のつかない解(実施候補)
- ▲対策方法1: 要援護者情報の提供は民生委員、防災組織員、および組織員全てに行い、救助班を火災危険地域に重点的に150人増員し、救助の割当を行う
 - 対策方法2: 要援護者情報の提供は民生委員、防災組織員、および組織員全てに行い、救助班を火災危険地域に重点的に75人増員し、救助の割当を行う
 - 対策方法3: 要援護者情報の提供は民生委員のみに行い、防災組織も現状どおりとし、住民の救助参加を1000人増員する

図22: 対策の実施候補

参考文献

- 1) 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, P. 1, 1999
- 2) 内閣府: 首都直下地震対策専門調査会報告, 2005
- 3) 福祉医療機構: 要介護(要支援)認定者数, WAM-NET, 2005 - 要介護度3以上の認定者数
- 4) 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
- 5) 市川綾子, 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
- 6) 神奈川県防災会議: 神奈川県地震被害想定報告書, 1986
- 7) 浜田稔: 火災の延焼速度について, 火災の研究I, pp. 183-188, 1951
- 8) 堀内三郎: 新版建築防火, 朝倉書店, pp. 183-188, 1994
- 9) 室崎益輝: 市街地の避難地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