

大地震時における地域内巡回の効率性指標の構築と巡回方法の提案

木村将・大佛俊泰・沖拓弥

Efficiency Indices and Traveling Method for Safety Confirmation after a Large Earthquake

Masashi KIMURA, Toshihiro OSARAGI and Takuya OKI

Abstract: It is important to consider the methods of rescue operations by local residents in a large earthquake. In this paper, we construct the efficiency indices based on the questionnaire survey, and propose an evaluation method for traveling safety confirmation. Furthermore, we discuss the relationships between the efficiency indices and the number of supporters and people needing support in traveling based on the simulation.

Keywords: 地域内巡回 (traveling for safety confirmation), 要支援者 (person needing support), コンジョイント分析 (conjoint analysis), ファジィ c-means 法 (fuzzy c-means clustering), 巡回シミュレーション (traveling simulation)

1. はじめに

大地震発生直後は、火災や家屋倒壊などが同時に多発的に発生し、消防隊や救急隊が不足することが予想されるため、地域住民自身による救助・消防活動のあり方を検討しておくことは重要である。筆者らは、発災直後の支援者や要支援者^{注)}の位置情報をリアルタイムに収集・共有し、限られた数の支援者による効率的な地域内巡回を支援するための Web アプリケーションを開発した。さらに、地域内での要支援者の安否確認を想定したフィールド実験により、支援者の移動距離の観点から、その有効性を評価した（大佛ほか, 2016）（図 -1）。また、支援者と要支援者の親密度や、要支援者が置かれた状況の緊急度を考慮した地域内巡回のアルゴリズムと、その評価方法を提案した（木村ほか, 2016）。

木村将 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

Email: kimura.m.an@m.titech.ac.jp

本稿では、実際の都市空間（道路ネットワーク）を対象とした地域内巡回シミュレーションを実行し、地域内の支援者・要支援者の構成比の違いや巡回中における支援者・要支援者の人数の変動と、地域内巡回の効率性との関係について考察する。

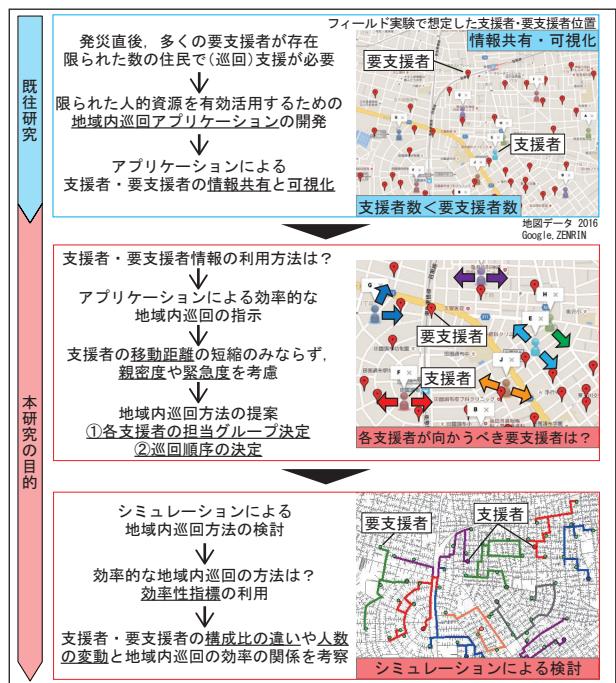


図 -1 研究の背景と目的

2. 親密度と緊急度を考慮した地域内巡回のモデル化

2.1 地域内巡回の重要度に関するアンケート

大地震発生直後、支援者が、多くの要支援者の中から、どの要因を重視して安否確認や怪我的手当てに向かうかについて、アンケート調査を行った。ここでは、支援者と要支援者の距離や親密度、要支援者の年齢、および要支援者が置かれた状況の緊急度が異なる組み合わせを9種類用意し、回答者が重要度の高いと考える順番に並び替える方法で調査した（図-2(a)）。

回答結果に基づき、各要因が地域内巡回の重要度に与える影響を、コンジョイント分析により定量的に把握した（各要因の重要度は、最小値が0となるように基準化してある）。親密度の重要度が他の要因に比べて非常に大きい（図-2(c)）ことから、怪我的手当てや安否確認に向かう際に、家族や知り合いのもとへ優先的に向かおうとする人が多いことがわかる。一方、要支援者となりやすい年齢層（子ども、高齢者）への重要度は、予想に反して低い（図-2(d)）。

2.2 地域内巡回の効率性指標の構築

地域内巡回の重要度（図-2(c)）に与える影響が大きい3要因（親密度、緊急度、距離）を考慮し、地域内巡回の効率性指標を構築する。具体的には、アンケート調査から得られた各水準の重要度（図-2(d)）をもとに、支援者*i*が*j*番目の要支援者にいたるまでの距離の効率性指標*D_{ij}*、親密度の効率性指標*F_{ij}*、緊急度の効率性指標*U_{ij}*をそれぞれ設定し（図-3(b)）、それらの線形和を地域内巡回の効率性指標*Y*とする（図-3(a)）。効率性指標*Y*が大きいほど、巡回の重要度の視点から見て、効率的な地域内巡回であることを意味する。

2.3 地域内巡回のモデル化

地域内巡回を、グループの決定と巡回順序の決定に分けてモデル化する（図-4）。具体的には、グループの決定に、親密度を考慮したファ

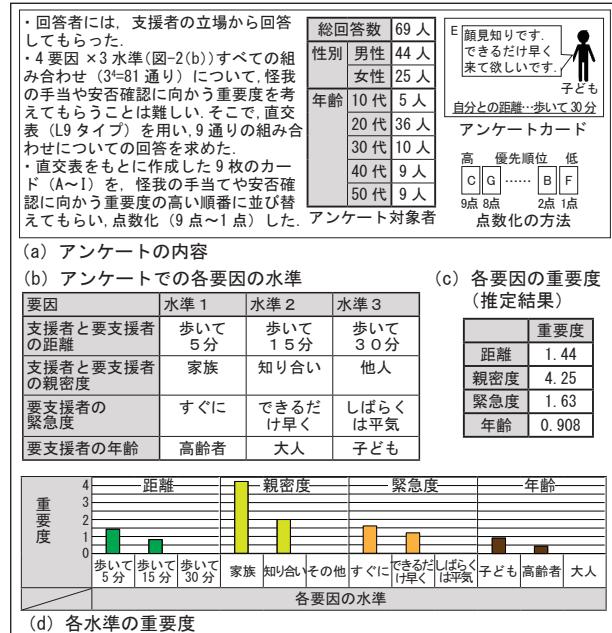
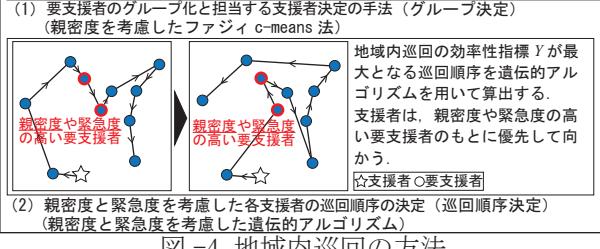
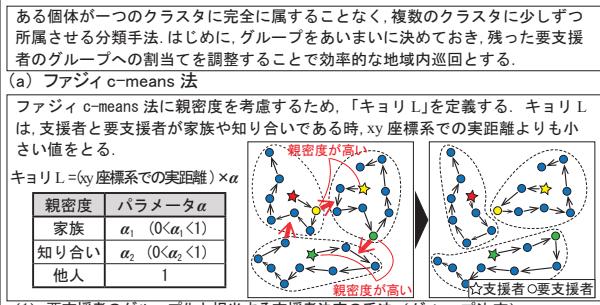


図-2 アンケート調査



図-3 地域内巡回の効率性指標

ジイ c-means 法（渡邊ほか、2001）（図-4(1)）を、巡回順序の決定に、効率性指標 *Y* の最大化を目的とする遺伝的アルゴリズム（図-4(2)）を用いることで、経路長だけでなく、親密度と緊急度をも考慮した地域内巡回の方法を提案する。



3. 地域内巡回シミュレーションの実行

3.1 分析対象地域の概要

分析対象地域を東京都世田谷区奥沢駅周辺とし（図-6(a)(b)）、親密度や緊急度の異なる3つのケース（I, II, III）を設定する（図-6(c)）。巡回シミュレーションでは、筆者らが開発したWebアプリケーションを用いて行った動作確認実験（大佛ほか、2016）の結果に基づき、各支援者の歩行速度を図-5のように設定する。

3.2 効率的な地域内巡回方法の検討

図-4(1)に示す α_1 , α_2 の値と、地域内巡回の効率性との関係を図-7に示してある。 α_1 , α_2 の値を小さくすることで、支援者が家族や知り合いの要支援者のもとに優先的に向かいやすくなるが、支援者の平均移動距離や、緊急度の高い要支援者のもとに到着するまでの平均移動距離は増加している。ここで、第2章で構築した効率性指標（図-3）で比較すると、 $\alpha_1=0.2$, $\alpha_2=0.3$ で最も大きな値をとり、このとき、アンケート調査から得られた重要度の観点からは、最も効率的な地域内巡回が行われていると言える。

3.3 状況や支援者数と効率性指標の関係

3つのケース（I, II, III）で、支援者数を変化させた結果を図-8に示している。支援者数が

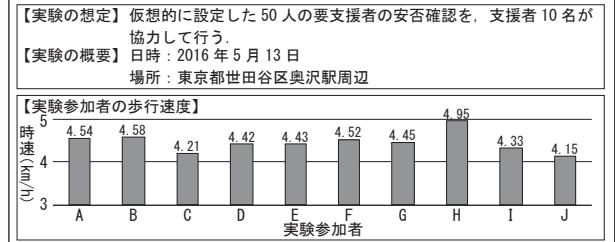


図-5 動作確認実験

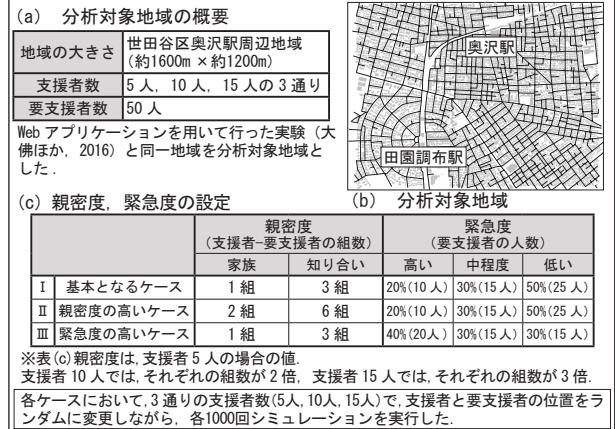
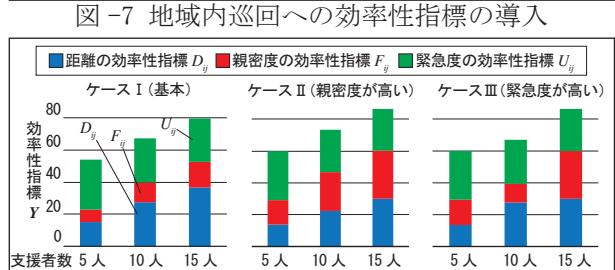
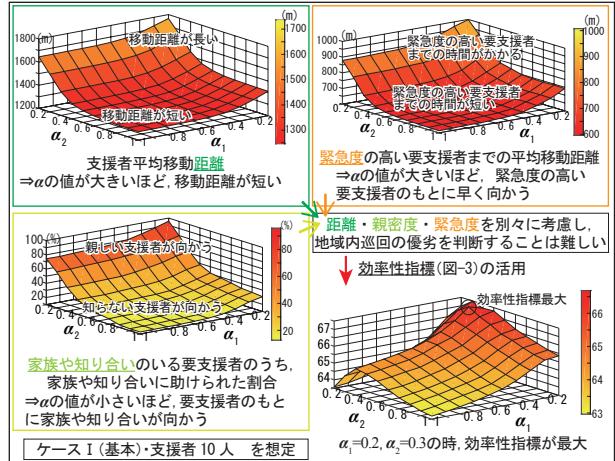


図-6 分析対象地域の概要



多い方が、地域内巡回の効率が良くなることがわかる。また、親密度や緊急度の高いケース II や III でも、ケース I と比較して、支援者の距離効率（効率性指標 D_{ij} ）をそれほど悪化させることなく、親密度や緊急度の高い要支援者を優先した地域内巡回を行うことができている。

3.4 支援者数の変動による影響

実際には、地域内巡回開始後に、新たな支援者が現れることで支援者数が増加する場合や、一人の要支援者への長時間にわたる支援が必要になる等の理由で、支援者数が減少する場合を考えられる。そこで、支援者数の増減と効率性指標の関係について分析する。

支援者の増加するタイミングが早い方が、地域内巡回の効率性指標 Y が大きい（図 -9(a)）。この結果は、新たな支援者が現れた場合、すぐに地域内巡回に加えることが有効であることを示唆している。また、支援者追加が遅れるほど効率性指標 Y の値は低くなるが、残る要支援者の数が 10 人以下となってから追加する場合 ($x=40$ 以降) は改善する。これは、残った要支援者が少なく、当初の支援者と比較して、追加された支援者がより効率的に向かうことが出来るためと推察される。

一方、支援者数が途中で減少する場合、離脱が遅れるほど効率の低下が小さい（図 -9(b)）。特に、支援者数が早い段階で減少するよりも、予めその支援者がいないものとして地域内巡回を開始した方が効率が良くなる点が興味深い。

3.5 要支援者数の変動による影響

ここでは、地域内巡回の途中で、時間経過とともに新たな要支援者が現れることを想定し、効率的な要支援者の追加方法について検討した（図 -9(c)）。要支援者 10 人を早い段階（3 分の 1 度を巡回し終えた段階）で追加するほど、効率が良くなることがわかる。また、予め決められた巡回を半分近く終了している場合は、最初に設定された巡回が完了するまで待った上で、新たな要支援者の巡回を開始したほうが効率が良くなっている。

4. まとめ

アンケート調査の結果をもとに、距離・親密度・緊急度を考慮した地域内巡回の効率性指標

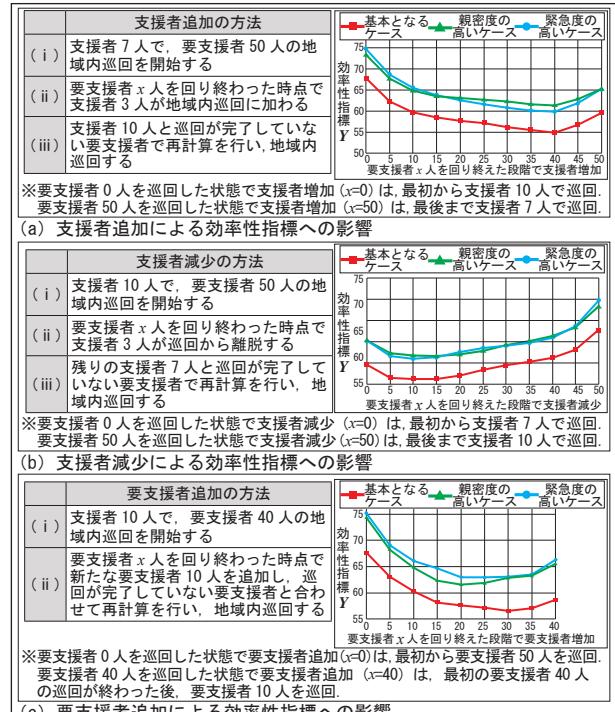


図 -9 支援者・要支援者数の変動による影響

を構築した。また、効率的な地域内巡回の方法を提案し、支援者の意思と要支援者との関係・状況を考慮した地域内巡回を提案できる可能性を示した。さらに、支援者・要支援者数の変動が、地域内巡回の効率に及ぼす影響について考察した。

注

高齢者、障がい者、乳幼児等の防災施策において特に配慮を要する人（要配慮者）に加え、怪我で支援を求める人や安否確認を行う必要のある人を含めて、要支援者と定義する。

謝辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施されました。

参考文献

- 大佛俊泰・沖拓弥・木村将（2016）：地域内巡回支援アプリケーションの開発と動作確認実験、日本建築学会学術講演梗概集（CD-ROM），7444，961-962
- 木村将・大佛俊泰・沖拓弥（2016）：大地震時の地域内巡回による共助活動の方法とその評価、日本建築学会学術講演梗概集（CD-ROM），7445，963-964
- 渡邊浩和・小野勉・松永昭浩・金川明弘・高橋浩光（2001）：ファジィ c-means 法を用いた複数巡回セールスマン問題の一解法：日本ファジィ学会誌，13(1)，119-126