



大規模災害発生時における緊急車両の出動計画策定支援システムの評価と訓練システムへの応用

樋口 雄大^{*1} 北村 尊義^{*2} 泉 朋子^{*2} 仲谷 善雄^{*2}

Evaluation of a supporting system for emergency vehicles dispatching planning under a disaster situation

Yudai Higuchi^{*1}, Takayoshi Kitamura^{*2} Tomoko Izumi^{*2} and Yoshio Nakatani^{*2}

Abstract - Japan is an earthquake-prone country; however, it is also affected by other types of disasters such as typhoons, floods, volcanoes, and landslides. These disasters cause significantly severe damage in affected areas. During large disaster events, the fire departments of affected areas are expected to bring help to these areas. Unfortunately, the number of emergency vehicles and firefighters are limited. Therefore, if emergency calls are handled in a first-in first-out manner, the ability to respond to all calls is compromised. Thus, in order to consider the priority of calls based on the best strategies, call triage is discussed in this study. Call triage requires a thorough investigation of possible situations; however, as a variety of situations exist, investigation on paper is difficult. This study proposes a support system for emergency vehicle dispatch planning using the best call triage. The effectiveness of the system is verified through subject experiment.

Keywords: disaster, earthquake, triage, emergency vehicle

1. まえがき

我が国は言わずと知れた地震大国であり、南海トラフ地震や首都直下型地震の発生可能性が指摘されている。南海トラフ地震が発生すれば、関東から九州にかけての広大な地域に甚大な被害をもたらす、人的被害や物的被害により、日本の政治、経済、社会に大きな影響が長期間にわたって及ぶ可能性がある[1]。

このような大規模な災害が発生した際、被害を抑えるためには消防本部や対策本部、救急隊の迅速な対応が必要となる。消防力に関する資源は有限であるため、それらの効果的・効率的に活用する方法が様々に検討されているが、まだ有効な解は見出されていない。その理由のひとつは、ダイナミックに変化する災害状況に応じた効果的な対策を検討するための適切なツールがないことにある。

東日本大震災後に岩手県、宮城県及び福島県内の 36 消防本部に行った調査[2]では、災害が同時多発した場合における出動の優先順位に関する計画を策定している消防本部は 17 本部であった。一方で、この震災において同時多発災害が発生した消防本部は 24 本部あった。また計画を策定している 17 消防本部のなかで、14 本部が概ね計画通りに機能したと回答している。

このように東日本大震災のような大震災においては、

実際に災害が同時多発しており、各消防本部が地域特性を考慮した活動方針をあらかじめ策定して、それに基づいて対応することの有効性が認められる。戦術の中で重要なことは、救急や消防の要請を、要請があった順に First-in First-out (FIFO) で対応するのではなく、予め想定した被害予想をベースにして、優先度の高い要請に集中的に人的・物的資源を集中投入することである。このように、要請に対して優先度判断を行うことをトリアージ (triage) と呼ぶ。トリアージはもともと、救急医療において、患者の重症度に基づいて、治療の優先度を決定して選別を行うことを指す。これが、出動要請に対しても適用され、情報トリアージやコールトリアージなどと呼ばれている。東日本大震災発生時においてトリアージに関する計画 (戦術) が予めあった消防本部は 36 消防本部の中で 9 本部であった[2]。また計画の有無に関わらずトリアージの必要性が生じたため実施した消防本部は 16 本部あり、必要性があったが実施できなかった消防本部は 5 本部あった。トリアージに関して事前計画がある消防本部は少ないが、多くの消防本部でトリアージの必要性が認識されていた。

本研究では以上のような問題に対して、大規模な震災が発生し、災害が同時多発している状況を想定して、自治体による効果的に消防隊の出動を行うための計画の策定を支援するツールとして、災害や出動要請を模擬的に発生させ、FIFO や各種のトリアージ方略を導入して出動要請に対応した場合の効果を、計算機シミュレーションベースで評価するシステムを提案する。通報は地域防災計画で想定されている被害予想に基づいて生成させる。

*1:立命館大学大学院 情報理工学研究科

*2:立命館大学 情報理工学部

*1:Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

*2: College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

ユーザはそれらに対して、すぐに出動を指示するのか、何件かの通報の中から何らかの基準に基づいて対応すべき通報を選択して出動を指示するのかなどの一定の出動方針に基づいて対応する。すべての通報への対応が終了した後、システムは1件あたりの対応時間、1件あたりの待ち時間、死者数などの評価指標を計算し、ユーザに提示する。今回の実装では、取組の最初として火災は扱わず、救急だけとした。

本システムの有効性を湖南広域消防局の防災の専門家に、デモの見学と試用を通じて評価してもらったところ、改善点は多く指摘されたものの、よりリアリティのある状況を模擬できれば、有効に活用することができることがわかった。また、その後のヒヤリングから大規模災害発生において、他の自治体の部隊の受援の訓練システムへの応用が訓練システムとして有効に活用できるということがわかった。

2. 研究動向

2.1 救急救命搬送時間算定モデルの構築

救急救命の対応率を計算するためには、救急救命搬送時間を算定しなければならない。

片岡ら[3]は現状における救急救命活動の実態を把握するべく、救急救命の出動要請から医療機関に到着するまでの時間を、指令時間、出動時間、到着時間、滞在時間、搬送時間の5つに分割し、各所要時間算定モデルを構築した。

この研究では交通流を考慮していない。また、震災発生時は道路の被害状況によっては搬送経路の変更を行わなければならない。これらについては本研究でも考慮しなければならない。

2.2 選別の判断要素

東日本大震災では、同時多発的に災害が発生したことから、出動の選別を実施した消防本部では、災害の受信内容から、主に以下の事項を判断要素として、部隊の出動について選別が実施されていた[2]。

- | |
|--------------|
| 1. 人命優先 |
| 2. 災害の緊急度 |
| 3. 災害の規模 |
| 4. 災害の発生地点 |
| 5. 住民対応の可否 |
| 6. 二次災害の危険性 |
| 7. 災害の拡大危険 |
| 8. 傷病者の傷病程度 |
| 9. 時間経過時の危険度 |

これらの判断は、災害を受信する指令センター員による判断、指令センター員を通常の倍に配置したペア活動による対応、受信状況を対策本部に伝えて、対策本部が

判断するといった形式で行われていた。

本システムではこれらの要件を優先順位決定の判断要素とした。

2.3 効果的戦術実現のための震災時消防活動統合システム

高梨ら[4]は、震災発生時に、時々刻々と変化する災害状況を把握して統合化し、効果的な消防戦術の展開を支援するシステムを開発した。このシステムは火災延焼シミュレーションシステム、災害対応システム、部隊管理システムの3つの基本システムから構成されている。このシステムは以下に例示するような手順に従い、尼崎市内での対応を行うことを想定している。

- ① 地震発生と同時に震度予測を行い、市内の被害状況を予測し、これを基に被害調査や部隊派遣等を支持する。
- ② 消防指令センターでは火災、救急・救助、その他の事案および道路被害等を災害対応システムで管理し、延焼予測や必要消防部隊数を算定し、応援要請の判断支援を行う。これにより、県や国に応援要請を行う。
- ③ 応援隊に関する情報を部隊管理システムに入力し、事案が同時多発した際、部隊管理システムから出動可能な部隊を検索し、部隊配置の支援を行うとともに、県内応援や緊急消防援助隊等の受入、現場投入など、尼崎隊と応援隊双方の管理を行う。

このシステムは、汎用性はあるが、南海トラフ地震などの広域巨大地震が想定されていない点が課題である。近隣からの支援が期待できない状況で、自らの消防力のできる限り効率的かつ効果的に活用して被害に対応するための戦術が考慮されなければならない。

2.4 研究の状況整理

以上のような研究例から研究の状況を整理すると、以下ようになる。

- ① 効果的な消防戦術の展開を支援するシステムの研究は行われているが、広域巨大地震が考慮されていない。
- ② 部隊出動の判断基準や考慮要素などは一定整理されており、広域巨大地震のトリアージ戦術を計画するときの参考になる。
- ③ 救急救命搬送時間の算出に有用な研究が行われている。

3. システム提案

3.1 システムへの要求事項

災害時の状況は動的に大きく変化するため、紙の上で消防隊の効果的な出動計画を策定することには限界がある。しかし計算機を用いて災害時の状況の変化をシミュレートし、それに対応するための様々な消防隊出動計画

案の効果を、車両や人員を模擬的に動かしてみても効果や課題をシミュレーションベースで評価する支援システムはこれまでに研究されていない。消防隊の出動計画をシミュレートするためには、消防施設や道路、建物およびインフラストラクチャーなどを考慮した上で、広域の消防活動をモデル化しなければならない。

最初に、出動計画方法の有効性を評価するためのシステムに求められる機能を明らかにしておく必要がある。ここで要求される機能としては以下のものが挙げられる。

- ① 大規模災害時の 119 番通報を一定の根拠の下にリアル感を持って発生させること。
- ② 救急車が出動してから医療機関まで搬送するための所要時間を、一定の根拠の下に算定すること。
- ③ 医療機関搬送時間に基づいて傷病者の症状の進行具合を、一定の根拠の下に算定すること。
- ④ 消防車が出動してから火災現場に到着するまでの所要時間を、一定の根拠の下に算定すること。
- ⑤ 火災や、家屋倒壊・土砂災害などの救助を要する被害について、規模や建物の種類などに基づいて、作業に要する時間を、一定の根拠の下に算定すること。
- ⑥ ③と⑤から、出動計画を実行したときの被害、対応率、待ち時間、死者数などを算定すること。

①は、現実味のある通報を発生させることで、消防隊の対応のリアリティを確保し、出動計画の評価結果の信頼性を確保するために必要である。

②と④は、対応率や 1 件あたりの平均待ち時間、1 件あたりの平均対応時間といった評価指数を計算するために行うために必要である。

③は、症状の進行具合に基づいて推定死者数を予想す

るために必要である。

⑤は、延焼面積、死者、傷病者などの評価指標を算出するために必要である。

⑥は、出動計画に則って実施する対応がどのような結果になるかを定量的に把握するために必要である。

以上の機能を実装し、正確な消防隊出動計画策定支援シミュレーションを構築することで、広域な消防本部管轄地域で火災を最小限に食い止め、被害者を減らすための計画の検討を行うツールとしてのシステムを目指す。

3.2 システムの概要

本システムは、ハザードマップと消防署のデータを用いて災害や出動要請を模擬的に発生させた災害状況に対して、FIFO や各種トリアージ方略を設定すると、移動時間や対応に要する時間などを算出して、通報の待ち時間、通報に対する対応率、推定死者数などの定量的な評価指標を計算して、対応方略の有効性を評価する。本システムは JavaScript と Google Maps API を用いて Windows PC 上に実装をした。本システムの構成図を図 1 に、本システムの流れを図 2 に示す。

- ① イベント発生ユニット：ユーザーが選択する被害発生シナリオに基づいて通報をランダムで作成する。
- ② 通報データベース：発生させた通報のデータを蓄えておく。
- ③ マップ管理ユニット：救急車両の移動経路および移動時間を計算する。
- ④ 通報リストユニット：作成された通報を順番に画面上に提示する。
- ⑤ 対応ユニット：ユーザーからの「出動」もしくは「待機（すぐには対応しない）」という対応を受け取り、

本システム

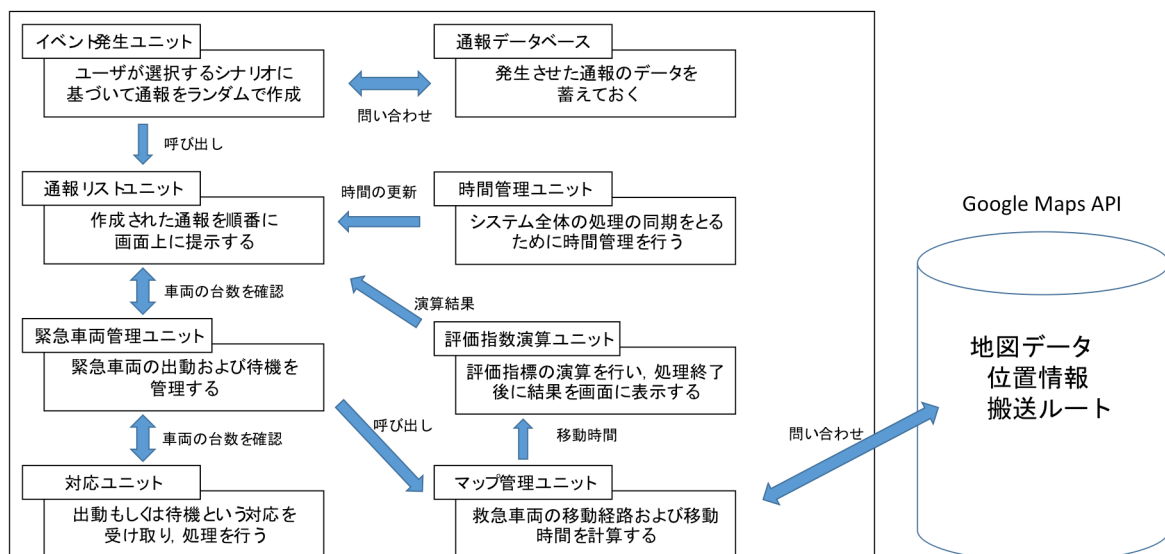


図 1 本システムの構成図

処理を行う。

- ⑥ 緊急車両管理ユニット：時間の経過に伴って緊急車両の出動および待機を管理する。
- ⑦ 評価指数演算ユニット：評価指標の演算を行い、処理終了後に結果を画面に表示する。
- ⑧ 時間管理ユニット：システム全体の処理の同期をとるために時間管理を行う。

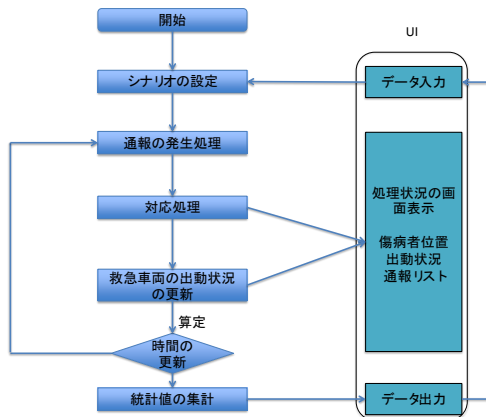


図2 本システムの流れ

ユーザが初期状態で入力する項目は災害発生シナリオのみである。このときユーザは、予めいくつか用意した災害発生状況に関するシナリオの中からひとつを選択する。システムは、ユーザが選択したシナリオに基づいて、最初の段階ですべての通報とその発生時刻を生成する。通報データには、症状や重症度、通報時刻及び場所などといった情報が含まれており、これらの情報を元にユーザが出動処理を検討しながら選択する。

ユーザが表示された通報を指定すると、その通報への対応が開始され、救急車の出動が行われ、時間管理ユニットによって対応の進捗の分だけ時計が進められる。ユーザが次の通報を待つという「通報待機処理」を行うと、システムは生成した通報リストの中から次の通報を選び、画面に追加表示する。それと同時に、時間管理ユニットがシミュレーションの現在時刻を、通報の発生時刻に進める処理を行う。このとき、もしすでに対応中の出動があれば、その処理が時間経過の分だけ進められる。

システムはユーザが通報に対する対応を行うたびに、その時点までの通報に対しての対応率や通報の待ち時間、推定死者数といった結果を計算し出力する。

地図ベースとすることにより、出火などの災害発生場所や出動した緊急車両の現在位置などが視覚的に容易に確認できるようにした。

画面の右側で災害発生状況やトリアージ方略などの様々な設定を行う。各種設定を選択式としたことにより、様々な状況を想定した計算機シミュレーションを容易に繰り返し実行し、有効性の確認を行うことが可能となっている。なお、地域の消防力などの基本的なデータはフ

ァイルにあらかじめ設定する形式とした。これについても変更は容易である。

図3に本システムの初期画面を示す。



図3 システムの画面例

3.3 シナリオの選択と通報の生成

シナリオはプルダウンメニュー形式のリストから選択する。シナリオの選択を行い、通報作成ボタンをクリックすると、通報がシナリオに基づいてランダムで作成される。ここで言うシナリオとは、想定している被害のことである。例えばユーザがあるシナリオを選択すると、システムはそのシナリオに基づいて、負傷者の発生が多い地域に重みをつけて通報を発生させる。このシナリオに基づいてシステムは、地震発生後のどの時刻にどのような内容の通報が、どの地域に、どの程度の件数で発生するのかのモデルを想定し、一定の時間内での発生件数を想定された数に保った上で、通報を以下のように生成する。

- ① 発生時刻：ランダムに生成する。
- ② 地域：対象地域の地域防災計画で想定される被害予想のデータに基づいて生成する。
- ③ 通報内容：傷病の内容、傷病者数、優先度を、トリアージのカテゴリ[5]に基づいて生成する。

図4に通報作成後の画面を示す。

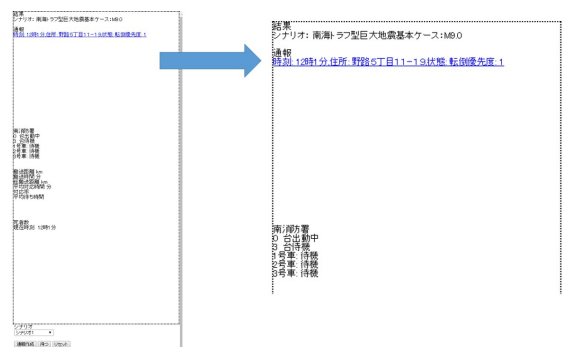


図4 システムの初期画面

このようなシステム機能によりユーザは、様々な戦術に基づいた対応を試みる事が可能となる。戦術には、例えば、「通報にすぐに対応せずに一定時間が経過するまで待ち、一定時間後にたまった通報の中から優先度に基づ

づいて優先的に対応すべき通報を選ぶ」や「優先度の低い傷病に関する通報が一定数たまったら、最初の通報の傷病が悪化する可能性があるの、それに対応する」などが考えられる。

3.4 通報に対しての出動処理

図5に通報に対応した後の画面を示す。ユーザが画面の右にある通報リストの中から通報を選択してクリックすることで、その通報に対する出動処理を行うことができる。



図5 通報に対応した後の画面例

3.5 通報待機処理

現在の通報にすぐに対応するのではなく、次の通報が来るのを待つ対応をする場合や、特定の通報への出動処理を行った場合は、待機ボタン（「待つ」）をクリックすることで通報待機処理を行うことができる。これにより、システムは、生成した通報リストの中から次の通報を選択し、画面の通報リストに追加表示するとともに、時刻を通報発生時刻に進める。図6に通報待機後の画面例を示す。



図6 通報待機後の画面例

3.6 結果画面

全ての通報に対して出動処理を行うと、通報への対応が完了したと表示され、1件あたりの対応時間、1件あたりの待ち時間、死者数が計算され、評価指標として表示される。また、対応率については、通報待機処理や通報に対して出動を行った際に逐次更新され、画面に表示される。図7に結果の表示画面例を示す。

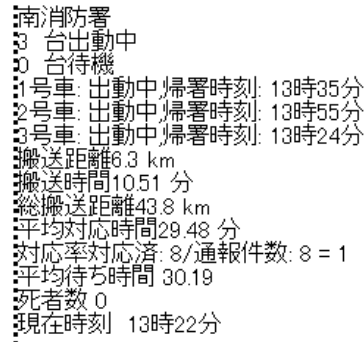


図7 結果の表示画面例

4. システムの評価と考察

4.1 評価の概要

本システムが大規模災害発生時における緊急車両の出動計画策定の支援に有効であるかどうかを検証するために、防災の専門家である滋賀県栗東市の湖南広域行政組合の湖南広域消防局に赴き、5名（20代1名、40代2名、50代2名、すべて男性）に協力を得て評価してもらった。5名には、本システムの概要の説明とデモを30分聞いてもらった後、各自5分程度の時間をかけてシステムを試用してもらった。試用後に自由な意見交換を行い、最後に評価アンケートに記入してもらった。評価実験は全体で1時間30分であった。デモと試用に用いたシナリオを以下の表1に示す。

表1：シナリオ

夏の正午にマグニチュード9.0の南海トラフ大地震が発生し、湖南広域行政組合の南消防署の管区で通報が同時多発した。
--

4.2 専門家の評価と考察

以下に、湖南広域行政組合の評価結果を、大きく3つの項目に分けて整理する。それぞれのアンケート項目は5段階評価アンケートとして評価実験を行った。

4.2.1 システム画面について

システム画面を見てもらい、「通報データの内容を確認することができるか」、「緊急車両の状況を確認することができるか」、「対応率や待ち時間、推定死者数を確認することができるか」について尋ねた。その結果を以下に整理する（図8）。A～Eは5名の評価者を表している。

全体として高い評価を得られている。「待ち時間や対応率及び死者数」と「緊急車両の状況」は高い評価を得ることができた。通報が同時多発した状況で緊急車両の状況と待ち時間や対応率及び死者数が確認できることはシミュレータとしての有効性を示すことができたと考えられる。しかし「応援車両の配置が表示されると、より現実的なシミュレータになるのではないか」との意見を得た。「通報データの内容」については、他の2項目に比べ

ると低くなっている。これについては、「実際の現場では受信時刻、災害地点、災害種別（救急／救助／火災の区別、具体的な内容）の情報で対応を判断している」「『お腹が痛い』などの具体性のない症状の場合は判断が難しい」との意見があった。また「被害者の状況が、時間経過に従って変化したほうが良い」との意見が得られた。

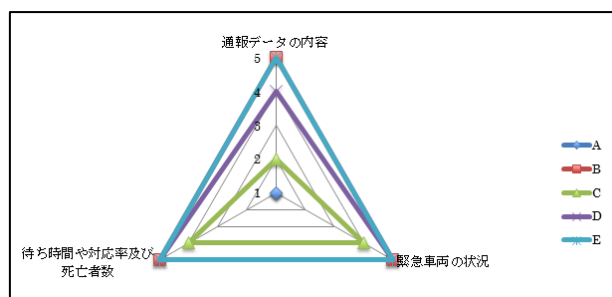


図 8 システム画面について

4.2.2 システムの操作性について

実際にシステムを操作してもらい「システムの操作はわかりやすいか」、「通報データの作成は容易か」、「通報に対する出動処理は容易か」「次の通報を待つ処理は容易か」というツールとしての利用容易性について、5名（A～E）より評価を得た。その結果（図 9）を以下に整理する。

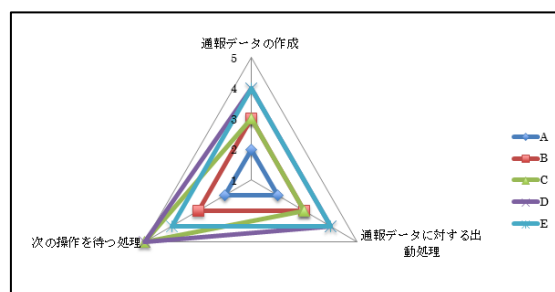


図 9 システムの操作性について

前項に比べると少し評価が低い。特に E は 3 つの項目ともに低い評価となっている。通報データ関係の使いやすさについては改良の余地があると言える。「次の操作を待つ処理」に関しては比較的に高い評価が得られた。

「通報データに対する出動処理」では、「通報に自動で対応する機能があればよかった」との意見が得られた。自動で処理を行う機能とユーザが対応処理を行う機能の両方をあわせ持つことで、よりよいシミュレータになるを考える。「通報データの作成」については、「電子地図との連携や処理の速さが良い」との肯定的な意見が得られたが、「より複雑な状況を生成しなければならない」といった改善点も得られた。

4.2.3 システムの有効性について

システムの試用後に、「シミュレーションは実際の災害

発生時に近い状況であったか」、「このシステムを用いることで緊急車両の出動計画策定に有効であるか」について評価者 5 名（A～E）から評価を得た。その結果（図 10）を以下に整理する。

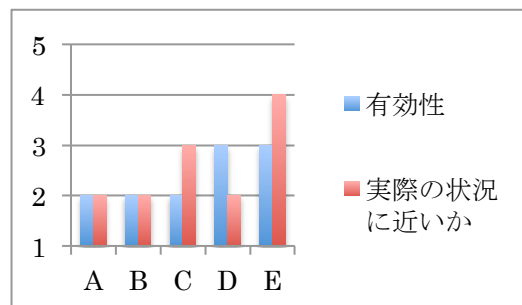


図 10 システムの有効性について

どの項目もあまり高い評価は得られなかった。「実際の状況に近いか」に対しては、「救助活動や消火活動などの状況を加えることでより近づくとする」や「道路工事や交通事故等で渋滞が発生している状況や病院の受入れ状況が考慮されていなかった」との意見が得られた。

また「有効性」の項目では、「大規模災害では、応援隊の有無や規模が大きく影響する。発災後のどの時点で応援が来るか、それ以前の対応とそれ以後の対応で何が変わるのか、などは日常業務では経験できない。そのような状況を模擬できる訓練システムは有効である。応援隊をどの署に割り振るのかなどの具体的な作業は、マニュアルとしては存在しても実際に経験したことがない」という、新たな視点からの意見が得られた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K21484 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内閣府 中央防災会議：南海トラフ巨大地震 震対策について（オンライン），入手先<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf>（参照 2016 年 1 月 5 日）。
- [2] 大規模災害発生時における消防本部の効果的な初動活動のあり方検討会：大規模災害発生時における消防本部の効果的な初期活動のありかたについて（オンライン），入手先<http://www.fdma.go.jp/disaster/syodokatudo_arikata_kento/ho-ukoku.pdf>（参照 2015 年 12 月 31 日）。
- [3] 片岡源宗ほか：救急救命搬送時間算定モデルの構築，生産研究，Vol.67，No.2，pp.137-142（2015）。
- [4] 高梨成子ほか：効果的戦術のための震災時消防活動統合システムの開発，消防防災科学技術研究開発事例集Ⅳ，pp.47-53（2013）。
- [5] 横須賀市医師会：災害時医療救護活用マニュアル（オンライン），入手先<<http://www.yokosukashi-med.or.jp/topics/saigaimanual/3.htm>>（参照 2016/1/26）。