

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710171

研究課題名(和文) 消防広域化による救急車システム合併の効果の分析と運用効率化のための研究

研究課題名(英文) Study of Operational Efficiency by Merger of Ambulance Systems

研究代表者

稲川 敬介 (INAKAWA, KEISUKE)

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号：50410759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円、(間接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、消防の広域化と呼ばれる消防本部の合併が救急システムに与える効果の分析と、それに伴う運用効率化のための方法についての研究をおこなった。消防の広域化は、少子高齢化や救急需要の高まりなどの背景を受け、消防組織の大規模化によるスケール・メリットによる消防体制の強化策のひとつとして策定された指針である。この指針を受けて、消防本部が合併した場合、具体的にどのような効果が得られるのかについて、ヒアリングなどによる合併の実態調査と、シミュレーションによる数値実験をおこなった。また、それらの調査・実験結果をまとめ、論文として発表した。

研究成果の概要(英文)：In this research, I have studied about an operational efficiency by a merger of ambulance systems. The merger of ambulance systems is caused by the merger of the Fire Departments which called the plan to spread out municipal fire services. The plan makes the fire service system to better organized and enhanced, by an effect of economies of scale. This research gives an investigation for the actual condition of the merger plan, and an estimation of the effect of merger using numerical experiments of simulation. Furthermore, simulations for changing future demand of ambulance systems were executed, and I have reported these results as papers.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：シミュレーション工学 モデル化 救命 政策研究 都市計画・建築計画 OR(オペレーションズ・リサーチ)

## 1. 研究開始当初の背景

我が国においては、治安の悪化や高齢化の進展、住民意識の変化などに伴い、救急サービスに対する需要が拡大しており、救急業務の充実に対する期待が高まっている。救急自動車(以後、救急車)の年間出場件数は、2004年に初めて500万件を超え、その後4年ほど横ばいの時期があったものの、研究申請時には再び増加に転じていた。研究開始時の過去15年間を振り返ると、全国の救急出場件数は1.67倍に増加していたにもかかわらず、その間の救急隊の数はわずかに1.12倍の増加にとどまっていた。さらに、住民などが救急車を呼出してから実際に救急車が現場に到着するまでの時間(以後、対応時間とする)の平均は、同15年間でおおよそ2分も遅延しており、心肺機能停止状態の傷病者の発生など、一刻を争う局面において救急隊の到着が遅れる可能性が懸念されていた。

このような状況の中、消防庁では、「消防の広域化に関する基本指針」や「トリアージに関する検討会」など、さまざまな対応策を推進・検討していた。このうち「消防の広域化」は、救急業務を含む消防組織の体制強化策のひとつとして、小・中規模の市町村の消防本部を合併・統合し、50万人程度の大規模な消防本部を再構築しようとするものであった。消防庁では、大規模化によるスケール・メリットが働き、消防業務の効率化が可能であるとして、合併を促進した。これを受けて、各県では、広域化に関する基本指針にしたがった合併案を作成した。小・中規模の市町村の消防本部では、各県が公表した合併案にしたがい、平成24年を目途にして具体的な協議が進められていた。しかしながら、合併協議の初期段階においても、具体的なメリットがわからないなど、合併に否定的な意見も少なくなかった。

救急システムの合併について、学術的な面から既存研究を見ると、加藤勝氏と糸井川栄一氏が「地域安全学会論文集」で発表された「市町村合併に伴う消防本部の再編が救急サービスに与える影響(2007)」がある。ここでは、ヒアリング調査や数理計画法を用いて、市町村合併による影響を実地的な面から合併について分析している。しかしながら、実際に消防の広域化による大きな変化が起ころうとしている時期においても、広域化に関する学術的な研究は、ほとんど見当たらなかった。

一方、当該研究の研究代表者は、研究開始前年度までの研究(科研費研究課題20710123:新たな移動速度推定手法の確立とそれを用いた救急車シミュレータの開発)により、救急車システムに関するシミュレータを開発しつつあった。このシミュレータは、オペレーションズ・リサーチの手法のひとつである待ち行列理論を基礎理論として、特定の確率分布にしたがい、救急車システムのランダムネスを考慮したシミュレータである。

このシミュレータを用いれば、道路網情報を用いて詳細な平均対応時間を推定可能であり、現実では試すことのできない救急車のさまざまな配置を仮定して、その配置を平均対応時間等の指標により評価する事ができる。ただし、当時は救急車が3、4台という比較的小規模な市のみで数値実験をおこなっていたため、大・中規模なシステムへの応用や、実用上の意義の創出がその後の課題となっていた。

## 2. 研究の目的

これらの背景と過去の研究成果を受けて、本研究では、消防の広域化の指針により、新たに起こった救急業務の合併という課題に対して取り組むことを目的としている。

(1) 本研究の研究期間には、消防の広域化による救急システムの合併が実行される予定の平成24年が含まれている。そこで、本研究の目的のひとつは、合併協議の経緯や実態の聞き取り可能な部分についてヒアリング調査をおこない、適切な合併のプロセスについて分析することである。各市町村の合併の適切な組合せは、興味深いテーマのひとつであるが、研究申請時、既に各県から合併の組合せの指針が発表されていたため、本研究では、この組合せを前提として、合併指針が提示されているいくつかの消防本部に聞き取り調査をおこなう。本研究では、主に救急車のシステムについて扱うが、実際に合併・統合がおこなわれる場合、救急システムのみならず、消防や組織の給与体系など、さまざまな協議がおこなわれると予想できる。そこで、このような実態調査を分析する事によって、合併における救急システムの位置付けが理解できるものと考えられる。これにより、救急システムにおける分析の結果により合併が適切と判断される場合、その判断が実際に組織全体の中でどのような意味を持つかをおおまかに理解する事を目的とする。

(2) 消防本部の合併は詳細な協議の最中であつたが、各県から公開された広域化計画により、合併自体はほぼ確定しているものと思われていた。しかしながら、この合併によって住民サービスや救急システムとしての品質に、どのような変化が起こるのか、具体的にはわからないままであつた。たとえば対応時間について考えると、合併により管轄地域が広くなり、救急車の最長移動距離は増加することも予想される。呼出し地点に近い救急車が既に出払っている場合など、最悪の場合はこれまでより遠い救急車が対応する可能性も考えられる。また、規模の異なる市町村の救急業務が広域化される時、その効果が一方のみに偏るといった状況も考えられる。このような状況を踏まえ、本研究では合併が救急業務にどのような影響を与えるのかをシミュレータによる数値実験により具体的に分析することを目的とする。

また、近年、救急車の出場件数は、ほぼ毎年5%程度増加している。そこで、救急需要が一定割合で増加する場合についても数値実験をおこない、救急需要が増加した後、合併の効果にどのような変化をもたらすのかについても分析する事を目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、ヒアリングなどによる合併協議についての調査と、シミュレーション・モデルを用いた数値実験による合併の影響の分析をおこなう。

研究初年度は、まず、協力を依頼していた消防本部へのヒアリング調査をおこなう。ここでは、現状の合併協議の進行度などについての聞き取り調査をおこなった。また、県が提示した合併案の組合せについて、現場からの感想など聞き取り調査もおこなった。また、救急体制の調査や救急データの提供など、ヒアリング調査終了後におこなう数値実験のための材料集めも、同時におこなった。救急データは、個人情報保護に留意して、提供可能な精度のデータを提供していただいた。

さらに、救急車の運用方法についての聞き取り調査をおこなった。救急車の運用方法には、いくつかの種類がある。最も近い救急車が現場に出動し、必要に応じて医療機関に搬送した後、署に戻る方式が基本であるが、その他、最も近い救急車が現場に出動し、必要に応じてさらにドクターを乗せた救急車がもう1台出動するというドクターカー方式などもある。ヒアリング調査の結果、管轄範囲の広い地方部では、ドクターカー方式を採用していた。ドクターカー方式には、既存研究のシミュレータは適用できないことがわかったため、シミュレータによる数値計算実験は通常の方式を適用している署のみで実験を継続することとした。また、既存研究で作成していたシミュレーション・モデルの調整をおこない、コンピュータ言語(C++)での実装に取りかかった。

研究2年目は、消防の広域化の実現の目途とされていた年にあたる。合併について調査すべく、ヒアリング調査をおこなった。また、初年度から継続しているヒアリング調査と提供していただいた実データを基に、研究2年目以降では、既存研究のシミュレータを改修し、合併のシミュレーションが可能なように再設計した。さらに、混雑度を考慮したモデル分析が可能となるようプログラムを改修し、混雑度を変化させた実験をおこなった。これらのシミュレーション実験を繰り返し、合併による効果の分析と、その結果の混雑度による影響をまとめ、成果を発表した。

### 4. 研究成果

本研究の目的は、大きく分けて、(1) 広域化(合併)についての実態調査と(2) シミュレータを活用した数値実験による合併の効果の分析である。

(1) 広域化(合併)についての実態調査では、研究開始当初、既に各県から具体的な合併の組合せを含む指針が発表されていた。そして、平成19年には、全国に807ある消防本部をおよそ3分の1の277まで統合するという推進計画も発表されていた。

図1は、秋田県における消防の広域化(案)である。図中の消防署のマークは、秋田県内の消防本部を示し、枠線は市町村の境界を示す。色分けは、合併後の広域化ブロックである。これを見ると、秋田県では13消防本部が7つの広域化ブロックに合併・統合される指針が示されている。既に広域消防組合として運営されている2ブロックと秋田市を除く、4ブロックの合併が指針として発表されていた。

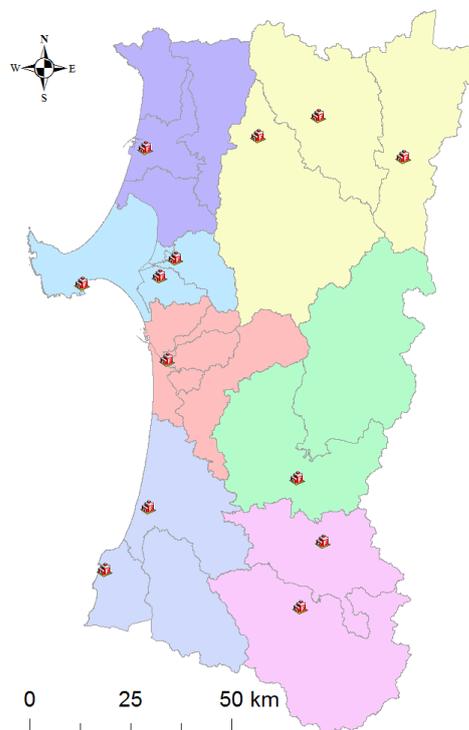


図1：秋田県の広域化ブロック(案)

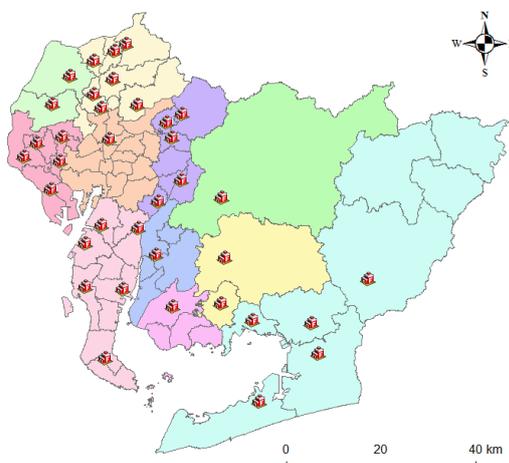


図2：愛知県の広域化ブロック(案)

また、図2は、愛知県における消防の広域化（案）である。図1と同様に、図中の消防署のマークは、愛知県内の消防本部を示し、枠線は市町村の境界を示す（ただし、名古屋市などは区別に境界を示している）。色分けは、合併後の広域化ブロックである。これを見ると、愛知県では36消防本部が11の広域化ブロックに合併・統合される指針が示されている。

このように、具体的な合併案まで示されていたこともあり、消防の広域化による合併についてはほぼ確定しているものと思われていた。しかしながら、この2県のみならず、全国各地において多くの合併協議は難航し、結果として、平成24年度当時、全国で18ブロックの合併・広域化がおこなわれたが、指針通り平成24年度末までに合併した消防本部は少なく、さまざまな理由で合併協議が中断するという結果が多くみられた。実際、申請者がヒアリング調査をおこなっていた2つの自治体においても、合併しないことが決定された。この状況を受けて、消防庁では、広域化実現の期限を5年程度延長することを発表した。

結果として、本研究では合併の適切なプロセスを分析する事はできなかったが、代わりに、合併にはしっかりとした目標と具体的なメリットの提示が重要であることがわかった。たとえば、合併協議の前に、数値化された具体的なメリットなどの情報があれば、合併協議はよりスムーズに進んだかもしれない。本研究は、合併協議と同時進行であったが、合併協議の前にデータを提供できていれば、さらに有益な情報となったかもしれない。合併協議が今後も継続されるブロックは少なくないので、依頼等があれば、今後は個別の事案についても分析を検討していきたい。

(2) シミュレータを活用した数値実験による合併の効果の分析では、既存研究のシミュレーション・モデルとプログラムを改修し、合併しない場合と合併する場合の両方を分析することにより、合併の効果を推定しようとするものである。本研究では、愛知県における2市を対象地区として、シミュレーションによる数値実験をおこなった。各市の人口や救急車の呼出し件数などは、1市が他市の2/3程度の規模である。しかしながら、これらの市は道路網が密接に接続されている市であり、比較的、合併の効果が得られやすい地区であると考えられる。

この数値実験では、はじめに各市を独立した救急システムとみなして、合併前の各消防本部における現状分析をおこなった。その後、合併がおこなわれたと仮定して、広域化ブロックとしての分析をおこなった。全体としては、平均対応時間は合併前の中間程度になり、呼損率（ブロッキング率）は合併によって著しく下がる傾向があった。この結果は、おおよそ予想通りの結果である。呼損率が下がる

のは、救急車の台数が増えるため、すべての救急車がサービス中である可能性が低くなるためである。

全体としての分析後、シミュレーション・ログを解析する事により、どのような地域に効果があるのかについても分析をおこなった。合併により直接的に最も近い救急車の配置場所が変更される地区もいくつか存在する事がわかった。このような地区においては、合併は大きな効果を有する。しかしながら、それ以外の地区においても、地区別の平均対応時間が短縮される傾向があることがわかった。これは、合併により救急車の割当てが適正化されたことによる効果が、システムの多くの地域に効率化の影響を波及させたことによるものと考えられる。ただし、シミュレーション・ログの解析によると、他市の救急車から実際にサービスを受ける割合は全体の5%程度であり、合併による効果が抜本的な効率化になるとまでは言えないこともわかった。また、合併前の市の単位で見ると、合併の効果にはある程度の偏りがみられ、不平等な合併につながる可能性があることもわかった。合併協議の際には、各市が全体的なメリットを見出し、このような条件を乗り越える必要があると考えられる。

これらの結果から、合併の効果を十分に得るためには、単に地域を統合するだけではなく、さまざまな改善案が必要であると考えられる。本研究では、合併後の消防本部をひとつの救急車システムとみなし、救急車の配備場所の変更や配備台数の変更など、総合的な改善案についても分析した。この分析では、現在保有している消防署や出張所に配備されている救急車の台数を変更してシミュレーション実験を繰り返し、最も短い平均対応時間を算出する配備を求めた。しかしながら、今回の対象地区では、最も適切な配備は現状の配備のままであることが確認された。これにより、合併しても現有設備のみを考える場合は、それほど大きな効果が得られないであろう事が確認された。よって、合併によって大きな効果を得るには、合併後のシステムを見越した消防署の配置の変更など、各市が協力し合って総合的な効率化を目指す必要があることがわかった。

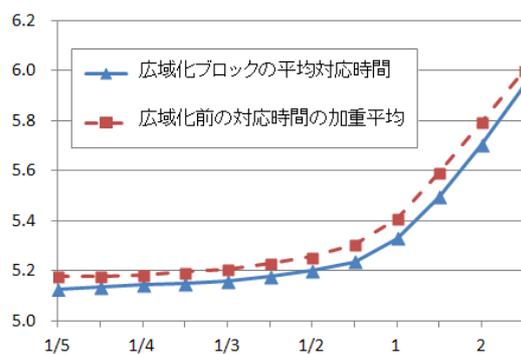


図3：救急需要の変化と平均対応時間

さらに、今後も救急需要は伸び続ける可能性が高いと言われている。そこで、今後、救急需要量が増える場合についても、合併の効果が存在するかどうかについても分析をおこなった。図3は、現在の救急需要量を1と基準化し、それぞれ1/5倍、1/4倍、1/3倍、1/2倍、2倍、3倍に変化した場合の平均対応時間である。縦軸は平均対応時間を示し、救急需要が2倍、3倍になると、平均対応時間は遅延するであろうという状況もわかる。点線は合併しなかった場合の各市の対応時間の平均を示し、実線は合併後の両市の平均対応時間を示している。これを見ると、どのような救急需要量においても、合併の効果はほぼ一定に存在する事がわかる。よって、今後、救急需要量が増え続けたとしても、合併の効果は存在し続けるであろうことがわかる。

全体的なまとめとして、シミュレーションによる数値実験の結果、救急システムの合併には一定の効果が存在する事が確認された。この効果は、今後、救急需要数が増えたとしても存在するであろうことも確認された。ただし、その効果は単位地域を統合するだけでは、大きな効果は得られないであろうことがわかった。よって、合併後、もしくは合併協議の段階から、合併後のシステム設計について分析し、新施設の構築など総合的な効率化を目指す必要があることがわかった。これらの結果は、以下に記述の5.に記載されている各論文と、学会や研究会における口頭発表にて公表した。それぞれの結果と考察が、今後の救急システム効率化の一助となることを期待する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 稲川敬介, 古田壮宏, Effect of Merger with Neighboring Local Ambulance Systems, Proceedings of 2013 Asian Conference of Management Science & Applications, Asian Association of Management Science and Applications (AAMSA), 査読あり, 2013, pp.150-155
- ② 稲川敬介, Ambulance Location Problem from the Aspect of Operating Efficiency, Innovation and Supply Chain Management, ISCM, 査読あり, 6巻4号, 2012, pp.158-165
- ③ 稲川敬介, 配置問題からみる救急車システムの効率化, 経営システム, 日本経営工学会, 査読なし, 21巻2号, 2011, pp.78-82

[学会発表] (計 7 件)

- ① 稲川敬介, Ambulance Location Problem

from the Viewpoint of Congestion, XXVI EURO - INFORMS 26th European Conference on Operational Research, EURO and INFORMS, 2013年9月7日, Sapienza University of Rome (Italy)

- ② 稲川敬介, Consideration on Influences of Congestion for Emergency Vehicle Systems, 2012 Asian Conference of Management Science & Applications, Asian Association of Management Science and Applications (AAMSA), 2012年9月7日, Chengdu-Jiuzhaigou (China)
- ③ 古田壮宏, 稲川敬介, 鈴木敦夫, A new iterative method for the ambulance location problem using the vector assignment p-median problem and the Markov chain model, Operations Research 2012 (International annual conference of the German OR Society), German OR Society, 2012年9月6日, Leibniz Universitat Hannover
- ④ 稲川敬介, Considerations of an Influence of Congestions for Ambulance Location Problems, Twelfth International Symposium on Locational Decisions (ISOLDE XII), ISOLDE, 2012年7月19日, Nagoya-Kyoto (Japan)
- ⑤ 稲川敬介, マルコフモデルによる緊急車両配備問題の解析とその応用, 第231回「待ち行列研究部会」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2012年2月18日, 京都大学 東京オフィス 品川インターシティA棟27階
- ⑥ 稲川敬介, Ambulance Location Problem from the Aspect of Operating Efficiency, 2011 Asian Conference of Management Science & Applications, Asian Association of Management Science and Applications (AAMSA), 2011年12月20日, Sanya (China)
- ⑦ 稲川敬介, モデルから現実へ, 現実からモデルへ, KSMAP 合宿「若手によるOR横断研究」研究部会, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 2011年8月31日, 琵琶湖カンファレンスセンター

[その他]

ホームページ等

[http://www.akita-pu.ac.jp/system/mse/mis/inakawa/public\\_html/](http://www.akita-pu.ac.jp/system/mse/mis/inakawa/public_html/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

稲川 敬介 (INAKAWA KEISUKE)

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号: 50410759