

機関番号： 21401
 研究種目： 若手研究（B）
 研究期間： 2008 ～ 2010
 課題番号： 20710123
 研究課題名（和文） 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
 研究課題名（英文） Research of a new approach for speeds estimation and development of ambulance system simulator
 研究代表者
 稲川 敬介（INAKAWA KEISUKE）
 公立大学法人秋田県立大学・システム科学技術学部・助教
 研究者番号： 50410759

研究成果の概要（和文）：

本研究課題では、移動時間データと道路ネットワークのグラフ構造を利用して、車両の移動速度を推定する新たな手法についての研究をおこなった。また、実際に救急データと道路網情報にその手法を適用して救急車の移動速度を推定し、待ち行列理論を応用した救急車システムのシミュレータを開発した。さらに、開発した救急車システムのシミュレータを利用して、いくつかの数値実験をおこない、その結果を論文としてまとめて報告した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, I have studied about a new approach for speeds estimation technique of which uses travel time data and graph structures of traffic road network. I have estimated travel speeds for ambulances of a real city, and developed a simulator of ambulance system based on queueing theory. Furthermore, I have repeated various numerical experiences, and reported it as papers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

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：OR，救命，交通工学・国土計画，アルゴリズム，モデル化，公共政策

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初，高齢化社会の進展や住民意識の変化などの理由により，救急車搬送システムへの期待が高まっていた。平成 20 年版消防白書によると，平成 19 年中の救急出場件数はおよそ 529 万件であり，国民の 26 人に 1 人が救急搬送されていた計算になる。また，救急車の呼出し件数が急激に増加し，平

均対応時間（現場に到着するまでの平均所要時間）が遅延傾向にあるという問題についての議論が盛んにおこなわれていた。

同時に，以前から緊急車両システムに関する研究をおこなっていた研究代表者は，既存研究（稲川敬介・鈴木敦夫，連続時間型マルコフ連鎖を用いた緊急車両配備問題について，2004）の経験から，救急車システムのモ

デル構築には道路網の移動時間が大きな影響を与えると考えていた。そこで、さまざまな研究の土台となる移動速度推定手法についての研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究課題の目的のひとつは、救急データなど、独自のデータを利用して車両の移動速度を詳細に推定可能にする手法を確立することである。この手法が確立されれば、さまざまな研究において、より現実に近い結果を得ることができると考えた。

また、実際にその有用性を示すためには自らの研究で活用すべきであると考え、提案手法で推定した移動時間を利用する救急車システムのシミュレータの開発についても本研究課題の目的のひとつとした。

これら一連の研究から提案される救急車システムのシミュレータを用いて、いくつかの計算実験をおこない、その結果を報告することで、さまざまな都市において救急車システムの効率化をおこなう際の基礎情報を提供することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題では、はじめに救急データの整理をおこなった。また、道路網情報を含む地図データを購入し、ネットワークとして地理情報を扱える環境を整えた。研究の主体となるアルゴリズムについては、基礎研究(稲川敬介・根本俊男, *Mathematical Estimation Method on a Road Network Constructed by Multi-type Traffic Roads*, 2007)をおこなっていたので、基礎理論の確立と周辺研究、そして実証研究が大きなテーマとなった。また、研究2年度目以降は、それらの研究を実用化するため、救急車システムのシミュレータの開発環境についても整えた。これらの研究の多くは、コンピュータ言語(C++)を使用することになったため、複雑な地理データの扱いなどに関しては、他大学の研究者にも協力を要請し、情報を提供してもらい研究を遂行した。

これらのことから幾分時間を短縮でき、研究3年目の初期には、ある程度の精度を持つシミュレータが動くまでに研究が進んでいた。そのため、シミュレータを活用したいくつかの数値実験をおこなうことも可能となり、早めに応用実験に取り掛かることができた。また、研究会や講演等でそれらの実験結果を発表する機会にも恵まれた。

4. 研究成果

本研究の成果については、その都度、口頭発表等で報告したが、主要なテーマについては、日本オペレーションズ・リサーチ学会の論文(稲川敬介, 救急車の適正配備における台数と場所の効果について, 2009)にまとめた。また、開発したシミュレータを利用した数値実験については、日本都市計画学会の論文(稲川敬介・古田壮宏・鈴木敦夫, 2市の救急業務広域化におけるシミュレーションを用いた効果の試算, 2010)にまとめた。以下では、はじめの論文の内容を中心にして、研究成果について紹介する。

本研究課題では、はじめに救急データについてのデータ分析をおこなった。単純なものとしては、たとえば日本国内全体における救急出場件数の推移や、平均対応時間(現場に到着するまでの平均所要時間)の推移などがある。当時の報道等では、出場件数の増加に注目した内容が多かった。しかしながら、これらを深く調べると、対応時間の遅れは、救命率に大きく関係すると考えられているので、実際には、出場件数の増加よりも平均対応時間の遅延の方が問題点であることが見えてくる。

また、呼出し発生件数の特徴を捉えるため、さまざまな条件との関連性についての分析もおこなった。特に顕著に結果が現れた結果のひとつとして、曜日・時間帯での分類がある。その結果を図1に図示する。

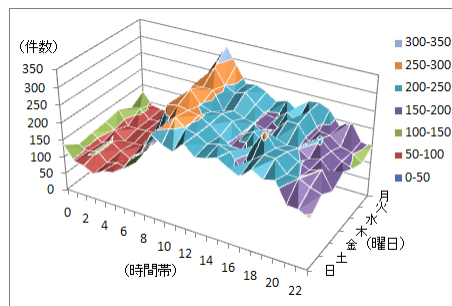


図1: 曜日・時間帯別の出場件数

この結果より、救急車の呼出しが起こる場合の性質についても考察でき、分析対象とする時間帯を定義した。データの概観とクラスター分析などの結果を経て、本研究では深夜間の分析については省略し、昼間の分析に焦点を絞ることとした。これ以外にも、救急車の呼出しが起こる確率分布の推定や、それらに関する統計的特性値の推定の計算など、さまざまな分析をおこなった。それらの結果は後述する救急車システムのシミュレータの内部に設定されている。

アルゴリズムの詳細や、シミュレータのモデル化についての説明は省略し、ここでは、開発したシミュレータを利用した数値実験の結果について報告する。尚、このシミュレ

ータでは、特定の配備を所与に与えた際のシステムの動きがそのまま実行される。よって、本研究課題で特に注目している平均対応時間以外にも、対応時間の分散や分布、それらの特性値が変化した地域など、さまざまな情報をログファイルから調べることができる。また、11通りの任意の配備方法で検証したところ、シミュレータでおこなうシミュレーション結果の値と連続時間型マルコフ連鎖モデルで計算した厳密解の値との誤差は0.4%以下であることも確かめられている。これらの特性を利用した新たなシミュレーション実験については、今後の研究で発展可能であると考えられる。

一つ目の数値実験では、ある都市を例に取り、救急車を1台増やす場合と、台数はそのまま救急車の配備場所を1カ所建設する場合を比較して、平均対応時間の短縮についてどちらがどの程度効果的であるかを調べる実験をおこなった。尚、この都市には2台の救急車が重複して配備されている配備場所が1カ所存在する。このシミュレーション実験の結果、救急車を1台増やす場合は現状と比較して平均対応時間を10.80秒程度短縮し、また、救急車の配備場所を1カ所建設する場合は現状と比較して平均対応時間を22.34秒程度短縮する効果があることがわかった。これらの結果から、この都市では、救急車を増やす効果よりも、配備場所を1カ所建設する方が2倍も効果的であることがわかった。報道等では「呼出し件数が増加し、救急車の台数が足りない」という内容が多かったのに対し、本研究では、配備方法という台数よりも効果的な改善方法がある可能性を提示することができた。

二つ目の数値実験では、同じ都市を例に取り、救急車の台数を増やす効果について考察した。この研究では、配備場所は現状のままに固定して、段階的にこの都市に救急車を追加する場合についてのシミュレーション実験をおこなった。図2の青線は、それぞれの実験結果を集約した図である。

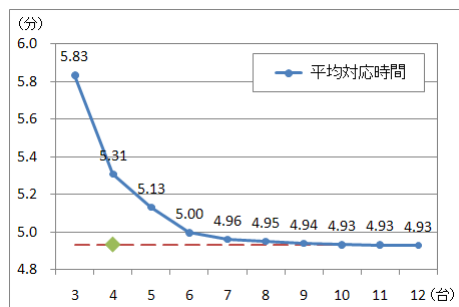


図2：配備台数と平均対応時間の関係

横軸は救急車の台数を表し、縦軸は平均対応時間を表す。また、横軸にある救急車の台数を固定しても救急車の配備方法によって平

均対応時間が異なるが、図中では与えられた台数の救急車で平均対応時間を最も短くする配備の際に与えられた平均対応時間のみを表示している。この図を見ると、この都市では、救急車の台数を3台から4台に増加させる効果は大きいですが、4台から5台に増加させる効果は比較的小さいことがわかる。すなわち、救急車の台数の増加に伴って平均対応時間は短縮されていくが、その短縮効果は次第に逓減していく様子がみとれる。また、一つ目の数値実験において、救急車の配備場所を1カ所建設する場合について計算した。このときの結果を図2中の緑色の菱形の点で示す。この値に最も近いのは救急車の台数が10台のときであるので、この都市において配備場所を1カ所建設する場合の効果は、救急車を10台まで増やす場合とほぼ同等の効果を得られる可能性があるということがわかった。

三つ目の数値実験の結果は、同じく図2に示される。この実験では、救急車を増加させる効果が次第に小さくなる際に、ある一定の値に収束していくことを示した。この値は、それぞれの消防署から各地域への救急車の推定移動時間に依存する値であり、シミュレーションとは異なる計算により得ることができる。この数値実験では、いくつかの配備についてこの収束値を求めたが、最も象徴的な結果は、図2の現状の配備の収束値と、二つ目の数値実験で示した配備場所を1カ所建設する場合の平均対応時間がほぼ同じであったことである。この収束値は、配備場所が固定された場合の平均対応時間の下界となっている。よって、配備場所を1カ所建設するとこの下界が変化するため、二つ目の数値実験では、配備場所を1カ所建設する方が大きな効果が得られたと推察できる。これらの結果より、救急車システムを効率化する際には、十分な現状の分析をおこない、適切な戦略を選択する事により、大きく効果が異なる可能性があることを示唆している。これらの結果が今後の配備計画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4件)

- ① 稲川敬介・古田壮広・鈴木敦夫、2市の救急業務広域化におけるシミュレーションを用いた効果の試算、都市計画論文集、日本都市計画学会、査読あり、44巻3号、pp.619-624 (2010)

- ② 稲川敬介、救急車の適正配備における台数と場所の効果について、オペレーションズ・リサーチ、日本オペレーションズ・リサーチ学会、査読なし、54巻7号、pp.408-413 (2009)
- ③ 稲川敬介・鈴木敦夫、Districting Problem for Several Emergency Service Units and Evaluation of Districts、Lecture Notes in Operations Research 8、Proceedings of the Seventh International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA2008)、査読あり、pp.248-259 (2008)

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 稲川敬介、シミュレーションによる救急車システムの評価とその応用、福島大学福島大学研究交流会、2011年3月5日、福島ビューホテル
- ② 稲川敬介、救急車システムの評価と広域化に伴う合併の効果について、日本オペレーションズ・リサーチ学会 平成 22 年度東北支部研究発表会、2010年3月9日、東北大学
- ③ 稲川敬介、シミュレーションによる救急業務体制の効率化について、日本オペレーションズ・リサーチ学会 KSMAP 研究部会、2008年10月12日、関西大学飛鳥文化研究所

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