

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 17 日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310098

研究課題名（和文） 災害時の救急搬送経路確保のためのインフラストラクチャーの整備

研究課題名（英文） Facilitation of Emergency Transportation Routes Infrastructure in Case of Natural Disasters

研究代表者

鈴木 敦夫（SUZUKI ATSUO）

南山大学・情報理工学部・教授

研究者番号：70162922

研究成果の概要（和文）：本研究は、オペレーションズ・リサーチの手法とセンサーネットワークの技術を融合して、災害時の緊急車両の経路確保のためのインフラストラクチャーの整備と、その効率的な運用を実現することを目的としている。1）センサーネットワークについて、オペレーションズ・リサーチの数理計画の手法を用いた効果的なプロトコルの開発ができた。2）緊急車両の最適運用について、シミュレーションにより、緊急車両の配備台数と配備場所の関係についての評価ができた。

研究成果の概要（英文）：

The objective of this research is to facilitate the transportation infrastructure of emergency vehicles which is robust against the natural disaster. We combine methodologies of Operations Research and the technology of sensor networks. We develop (1) a new effective protocol of sensor networks using mathematical programming, and (2) the effective operations of the emergency vehicles by a new estimation method of emergency vehicle numbers and locations using simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2011年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：オペレーションズ・リサーチ

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：センサーネットワーク、緊急車両、オペレーションズ・リサーチ、最適配置、災害時、最適運用

1. 研究開始当初の背景

東海地区は、今後 30 年以内に確率 86% で大地震におそわれるとも言われている。現在考えられている対策は主に建物の耐震補強が主である。阪神大地震の経験から、家屋の耐震補強が死者の減少に一番効果があるのは事実である。一方、災害後の情報収集とそれ

を基礎にした緊急車両の運用計画も、負傷者の生命を救うためには大きな効果があると言われている。しかしながら、負傷者の迅速な搬送のための定量的な分析に基づく対策は手付かずの状態である。また、災害後は通信回線等の情報インフラストラクチャーが大きな被害を受けることが予想される。災害

状況を把握するためにセンサーからの情報を無線で収集することができれば、効果的であることはわかっている。災害時のその運用面での研究はいまだなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、あらかじめ、災害が予想される地域にセンサーを設置し、災害後、それらのセンサーを効果的に運用しながら、センサーからの情報をもとに緊急車両の最適運用計画を策定する手法を考案する。例えば、主要道路上にセンサーを配置し、その道路の温度や障害物の有無の情報を緊急車両に送信し、通行可能かどうか判断するなどが考えられる。それには、2つの技術的な課題を解決しなくてはならない。

(1) センサーから情報を効率的に送信する手法を確立すること、すなわちセンサーネットワークの最適運用計画の策定。

(2) センサーからの情報をもとに緊急車両の最適運用計画を策定することである。これにより、災害時に緊急車両を効果的に運用し、被災者の救護に役立てることができるようになる。

さらにこれらに派生して、災害被害に頑健な救急病院の設置計画、災害時の代替経路を考慮した道路網の設計、配置問題の数理的なモデルの考案も行う。

3. 研究の方法

本研究の研究計画では、まず、センサーネットワーク、緊急車両の課題をそれぞれ解決した後、それらを統合して、東海地震時の緊急車両の最適経路を求めるシステムを試作する。

(1) センサーネットワークの効率的な運用方法を、数理モデルを用いて分析する。この数理モデルをPC上に実現し、種々の実験を行うことでモデルの有効性を検証する。

(2) 緊急車両の課題に対する研究方法は、まずPC上に実現した仮想的な都市モデルにおけるシミュレーションによって最適な緊急車両の配置、分担地域などを検証し、実際の消防署の実務家に、実務的に実行可能かどうか検討してもらう。愛知県瀬戸市消防署とは、従来から協力関係にあり、PC上の数理モデルでの検証と実務上の検討を繰り返して行い、実務的に実行可能な対策を策定する。

これらに派生して発生する問題についても適宜解決方法を考える。

4. 研究成果

(1) センサーネットワークの効率的運用効果的なプロトコルの開発についてオペレーションズ・リサーチの手法を用いた2つ

の成果を挙げることができた。第1の成果は、従来の方法に比べて、センサーの電池を長い時間もたせることができるセンサー間の通信方法の提案である。これについては、2種類の方法を提案した。第1の方法は、施設配置問題としてセンサーのクラスタリングを行うものである(雑誌論文⑭)。センサーのクラスタリングの問題を階層型のメディアン問題として定式化し、効率的な解法を提案した。この方法は従来の方法よりもバッテリーを効率的に使用できることを示した。第2の方法はグラフの木の概念を用いることで、センサーのバッテリーの寿命を延ばすものである(雑誌論文①、②)。あらかじめセンサーの情報を伝達するルートとなる木の構造の候補を決めておき、その順序を決定する問題を解くことによって、バッテリーの効率的な使用を行うものである。この方法によると、従来の手法よりもより効率が上がることをしめした。第2の成果は、センサーの通信に干渉が影響するときに、効率的なスケジューリングを行う方法の提案である(雑誌論文⑦、⑨、研究発表⑩)。この問題を整数計画法問題として定式化し、効率的な算法を考案し、実現した。この方法によると、干渉を起こさずにセンサーの情報を伝送することができる。これらの成果は、センサーの効率をあげるために重要な要素である。さらに派生して、センサーの配置場所について、積分幾何学の手法を用いて、センサーのカバーすべき面積が与えられたときに、センサー数を最小とする、センサーの最適な個数についての知見を得ることができた(研究発表②)。

(2) 緊急車両の最適運用について、待ち行列理論を用いたシミュレーションにより、緊急車両の配備台数と配備場所の関係についての主に2つの成果が得られた。第1の成果は、市町村合併に伴う緊急車両の配備計画の変更について、市町村合併や消防の広域化に伴って、緊急車両を合同で運用すると、効率がよくなる場合があることがわかったことである(雑誌論文⑧、⑬)。愛知県瀬戸市と尾張旭市で救急車を合同で運用した場合について実際にシミュレーションによって現着時間が短縮されることがわかった。第2の成果は、ヘリコプターを緊急時に運用する場合についてのものである。ヘリコプターと救急車を連携させる方策について、ヘリパッドの最適運用についての成果が得られた(雑誌論文⑥、⑫)。これらに関する派生研究として、道路インフラストラクチャーの整備に関して、災害時の最短経路を求める問題について、効率的に災害時の最短経路と同じ距離の代替経路を建設する計画を簡易に求める方法を考

案した(研究発表①、⑤)。道路の閉塞時に災害物資の運搬や負傷者の病院への搬送をこの代替経路で行えば、災害による被害を軽減できる。さらに、病院など救急施設の災害時の被害を減ずるための強化計画を求める方法を考案した(研究発表⑥)。この問題を確率的計画法として定式化し、効率的な解法を考案した。愛知県瀬戸市の病院を実例として計算も行った。また緊急車両の担当領域を求める数学的な基礎として、領域の被覆問題(雑誌論文⑩)を提案した。これ領域を施設の数とその担当範囲が与えられたときに、なるべく多く被覆する問題であり、ポロノイ図という幾何学図形を用いたあらたな解法を提案した。また、ネットワークの等長分割(研究発表⑧、⑨)についての成果が得られた。これは、ネットワークを等しい大きさの部分ネットワークに分割する問題であり、ネットワークポロノイ図を用いた新しい解法を提案してPC上で実現し、実例を用いて有効性を示した。これらの成果をまとめて、解説論文も発表した(雑誌論文④、⑤)。

今後は、これらの新しい知見を利用した実用的なシステムの試作に向かわなくてはならない。当初の計画では試作を行う予定であったが、残念ながらそこまでには至らなかった。センサーの情報と、救急車の配置場所、センサーからの情報を基にした最適な搬送路を求めることができれば、災害時の救急搬送に大きな利益となる。

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 16 件)

- ① Shinji Imahori, Yuichiro Miyamoto, Hideki Hashimoto, Yusuke Kobayashi, Mihiro Sasaki and Mutsunori Yagiura, The Complexity of the Node Capacitated In-Tree Packing Problem, *Networks*, 査読有, Vol. 59, 2012, pp. 13-21
- ② Yuma Tanaka, Shinji Imahori, Mihiro Sasaki and Mutsunori Yagiura, An LP-Based Heuristic Algorithm for the Node Capacitated In-Tree Packing Problem, *Computers and Operations Research*, 査読有, Vol. 39, 2012, pp. 637-646
- ③ Keisuke Inakawa, Ambulance Location Problem from the Aspect of Operating Efficiency, *Proceedings of 2011 Asian Conference of Management Science & Applications*, 査読, 2011, pp.1474-1482
- ④ 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)*, 21-2, 2011, pp. 78-82

- ⑤ 三浦英俊, 震災後の都市・地域復興とORが果たす役割, *オペレーションズ・リサーチ*, 56, 2011, pp. 689-692
- ⑥ 古田 壮宏, 田中 健一, 出動基準や孤立地域がヘリコプターを利用した救急搬送システムの最適配置計画に与える影響の分析, *日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌*, 査読有, Vol. 54, 2011, pp.109-124
- ⑦ Takamori Ukai, Mihiro Sasaki, Fumio Ishizaki, Atsuo Suzuki, A new approach for scheduling problem in multi-hop sensor networks, *Operations Research and Its Applications, Lecture Notes on Operations Research*, 査読有, Vol. 12, 2010, pp. 386-393
- ⑧ 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, *都市計画学会論文集*, 査読有, 45巻3号, 2010, pp.619-624
- ⑨ Takehiro Furuta, Mihiro Sasaki, Fumio Ishizaki, Takamori Ukai, Hajime Miyazawa, Wonyong Koo, Atsuo Suzuki, Keisuke Inakawa, A new formulation for scheduling problem in Multi-hop wireless sensor Networks, *Proc. of International Wireless Communications and Mobile Computing Conference(IWCMC2010)*, 査読有, 2010, pp. 73-78
- ⑩ Keisuke Inakawa, Takehiro Furuta, Atsuo Suzuki, Effect of ambulance station locations and number of ambulances to the quality of the emergency service, *Operations Research and Its Applications, Lecture Notes on Operations Research*, 査読有, Vol. 12, 2010, pp. 340-347
- ⑪ Z. Drezner, A. Suzuki, Covering continuous demand in the plane, *Journal of the Operational Research Society*, 査読有, Vol. 61, 2010, pp.878-881
- ⑫ 古田壮宏, 田中健一, 消防防災ヘリコプターの出場拠点とヘリポートの最大被覆型同時配置モデル, *都市計画論文集*, 査読有, Vol.44, No.3, 2009, pp.751-756
- ⑬ 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*, 54巻7号, 2009, pp. 408-413
- ⑭ Takehiro Furuta, Mihiro Sasaki, Fumio Ishizaki et. al, A new clustering model of wireless sensor networks using facility location theory, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 査読有, Vol. 52, No. 4, 2009, pp.366-376

[学会発表] (計 15 件)

- ① 山崎 諭, 小市俊吾, 鈴木敦夫, 愛知県を中心とする広域圏の災害発生時における代替経路の確保, *日本オペレーションズ・リサーチ*

- 学会 2012 年秋季研究発表会、2012 年 3 月 27 日、防衛大学
- ② 長谷川遼太、鈴木敦夫、腰塚武志、ワイヤレスセンサネットワークにおけるセンサ数の決定問題、日本オペレーションズ・リサーチ学会第 39 回中部支部研究発表会、2012 年 3 月 10 日、中部品質管理協会
- ③ 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、日本オペレーションズ・リサーチ学会第 231 回待ち行列研究部会、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
- ④ 古田 壮宏、諸星 穂積、空間的な需給バランスを考慮した救急車再配備計画モデルの提案、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会、2011 年 9 月 16 日、甲南大学
- ⑤ 山崎 論、小市俊吾、鈴木敦夫、災害発生時における代替経路の確保を考慮した新しい工事区間選定法、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会、2011 年 9 月 15 日、甲南大学
- ⑥ Chaya Losada, Atsuo Suzuki, Optimizing Protection Planning of Facilities in the Face of Uncertain Disruptions: Examples for Japanese Networks of Hospitals, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会、2011 年 9 月 16 日、甲南大学
- ⑦ 古田 壮宏、諸星 穂積、空間的な需給バランスを考慮した救急車再配備計画モデルの提案、日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会、2011 年 9 月 16 日、甲南大学
- ⑧ Atsuo Suzuki, Takehiro Furuta, Atsuyuki Okabe, An Improvement of the Solution Algorithm for the Equal Sized Network Partition Problem, 応用地域学会 2010 年度大会、2010 年 12 月 5 日、名古屋大学、愛知
- ⑨ Atsuo Suzuki, Takehiro Furuta, Okabe Atsuyuki, Improved Algorithm for Network Partitioning into p Equal Size Subnetworks, INFORMS Austin, 2010 年 11 月 8 日, Austin, Texas USA
- ⑩ 古田壮宏、佐々木美裕、石崎文雄他、New Formulation for Scheduling Problem in Multi-Hop Wireless Sensor Networks, 日本 OR 学会 2010 年春季研究発表会、2010 年 3 月 5 日、首都大学東京
- ⑪ 古田壮宏、田中健一、ヘリコプターを利用した救急搬送のための最適配置モデル、日本 OR 学会 2009 年秋季研究発表会、2009 年 9 月 9 日、長崎大学

[図書] (計 0 件)

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 敦夫 (SUZUKI ATSUO)
南山大学・情報理工学部・教授
研究者番号：70162922

(2) 研究分担者

三浦 英俊 (MIURA HIDETOSHI)
南山大学・情報理工学部・教授
研究者番号：30306253
(H23 のみ分担者)

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

古田 壮宏 (FURUTA TAKEHIRO)
東京理科大学・工学部・助教
研究者番号：60453825

佐々木美裕 (SASAKI MIHIRO)
南山大学・情報理工学部・准教授
研究者番号：20319297

鵜飼 孝盛 (UKAI TAKAMORI)
筑波大学・システム情報工学科・研究員
研究者番号：20453540

石崎 文雄 (ISHAZAKI FUMIO)
南山大学・情報理工学部・教授
研究者番号：60257970

具 源龍 (GU GENRYU)
南山大学・数理情報研究センター・研究員
研究者番号：20534754
(H21 のみ分担者)

(3) 連携研究者

()
研究者番号：