

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350479

研究課題名(和文) 傷病者の病態と緊急性に応じた救急車の最適搬送経路

研究課題名(英文) Optimal transport route of ambulances depending on patient's clinical condition and urgency

研究代表者

小野 貴彦 (Ono, Takahiko)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20312613

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：救急車による傷病者の搬送では、迅速性(病院に早く到着すること)と安全性(振動や加速度の影響で病態を悪化させないこと)が求められるが、これらはトレードオフの関係にある。本課題では、この2つの要求をバランス良く達成させるために、傷病者の病態や緊急性に応じて、搬送経路を最適に選択する方法を検討した。広島市の実際の道路情報に基づいて、経路を探索したところ、迅速性または安全性を優先させる場合で、それぞれ異なる経路が導出されるケースを確認した。このことから、特に、道路網が発達している都市部では、搬送経路の最適化によって、より高度な救急搬送サービスの実現が可能であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In ambulance services, two demands are required: quickness (to transport a patient quickly to hospital) and safety (not to make a patient worse due to shock and acceleration), which are in trade-off relationship. In this study, I developed a route selection method for ambulances to achieve the best balance between the quickness and the safety depending on a patient's clinical condition and urgency. Based on the actual road information in Hiroshima City, Japan, I searched for the transport routes as changing a degree of priority on quickness and safety. As a result, I confirmed that there exists different routes depending on the priority. This indicates that it would be possible to realize a much higher-level ambulance service especially in urban area with well-developed road network by selecting a transport route optimally.

研究分野：制御工学

キーワード：救急搬送 経路探索 搬送時間 血圧変動 背面圧迫 走行モデル 多目的最適化

1. 研究開始当初の背景

脳内出血や頸椎損傷といった重傷患者に対しては、救急車で一刻も早く医療機関に搬送して、医師による専門的な治療を受けることが、救命および後遺症を軽減するための最善策である。しかし、搬送時間を短くしようとすると、患者に大きな加速度がかかりやすくなるため、血圧変動や横揺れによる背面圧迫といった身体的な負荷が生じ、患者の容態が悪化する危険性が高まる。このように救急搬送には、迅速性と安全性のトレードオフ問題が潜在化しており、この問題への対応策が検討されてきた。これまで代表者は、工学的なアプローチから、アクティブ制御方式の防振ベッドの導入が効果的な策であること示してきた。また、運転の仕方が加速度の発生頻度や大きさに影響することに着目して、加速度の発生を抑える運転技術の習得を支援する運転訓練支援システムの開発にも取り組んできた。

トレードオフ問題への対応策としては、身体負荷が発生しにくく、かつ短時間で到着可能な経路を選択して搬送する方法も考えられる。しかし、これまでに身体負荷を適切に評価する手法がなかったためか、この方法の実用可能性は検討されていなかった。最近、代表者は、運転の仕方や道路線形が搬送患者に与える影響を評価することを目的に、加速度情報から血圧変動と背面圧迫荷重変動を再現するモデルを作成した。これらのモデルを活用して、身体負荷を適切に評価し経路探索を行えば、患者の状態に応じた最適な搬送経路の割り出しが可能になると予想した。そこで本課題では、搬送経路の最適化が、救急搬送に潜在化しているトレードオフ問題への対応策になり得るか、その可能性について検討した。

2. 研究の目的

本課題では、搬送途中で起こる血圧変動や身体圧迫によるダメージ、および医療機関への到着遅延により後遺症を残す可能性の高い重篤な患者の搬送に焦点を絞る。その上で、主として、以下の2つの課題に取り組むこととした。

(1) 最適経路の導出：出発点(搬送開始地点)から到着点(搬送先病院)までにかかる時間、血圧変動と背面荷重変動に関する身体負荷を別々の評価関数として設定する。それらの評価関数を最小にする経路を多目的最適化問題に帰着して求め、患者の病態と緊急性に応じて、最適な経路を明らかにする。

(2) カーナビゲーションへの応用展開：カーナビでの探索アルゴリズムとして知られているダイクストラ法で、(1)で得られた最適経路を求める方法を検討する。この場合、評価関数どうしを加重和結合して単一の評価関数に変換する必要がある。評価関数を結合する際に、重みの比率をどのように設定すれば、最適な経路が得られるか検討する。

3. 研究の方法

(1) 経路探索を行うために、広島市の道路網を電子地図データに基づいて、図1のようにグラフとして構築した。グラフは、交差点をノード、道路をエッジに対応させた。

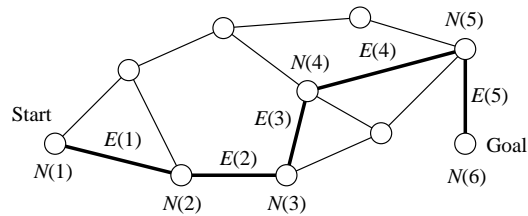


図1 グラフ化した道路網の例 N が交差点、 E が道路を表す)

このグラフと最適化アルゴリズムを用いて、脳血管障害を有する傷病者の搬送を想定し、到着時間に関する評価関数 F_1 と血圧変動量に関する評価関数 F_2 の2つを最小にする搬送経路を求めた。走行条件は、次のように単純化した。

- (C1) 平均時速は 30 km/h
- (C2) 最高速度は 60 km/h
- (C3) 交差点での停止確率は 30 %
- (C4) 血圧変動の許容範囲は ± 5 mmHg
- (C5) 交差点間の道路勾配は一定
- (C6) 足頭方向に重力の一部が作用して血

圧が変動しても、(C4)が維持される。様々な出発点と到着点の組合せの下で、多目的遺伝的アルゴリズム(MOGA)を用いて、各評価関数を最小にする経路を求めた。

(2) カーナビゲーションへの応用展開に向けて、MOGAで得られた搬送経路をダイクストラ法で求めた。2つの評価関数を重みとを用いて加重和結合して1つの評価関数

$$F = F_1 + F_2$$

とし、と の比率を連続的に変えながら、探索を繰り返して経路を導出した。

(3) 上記(2)(3)で得られた経路は、単純な走行条件(C1)~(C6)の下で最適性が保証される経路である。将来的に、より現実的な条件下で探索できるように、広島市の90搬送分の救急車の走行データを利用して、車両の速度プロファイルとそれを規定する9個のパラメータから成る走行モデル(走行条件)を構築した。

4. 研究成果

(1) 脳血管障害の傷病者の搬送を想定して経路探索を行った結果、多くの出発点と到着点の組合せでは、到着時間と血圧変動量に関する2つの評価関数(F_1 と F_2)を同時に最小化する経路が導出された。この経路は、迅速性と安全性の要求をどちらも最大に達成する完全最適な経路であることを意味する。一

方，出発点と到着点の組合せによっては，2つの評価関数を同時に最小化できず，パレート最適となる経路が得られた．その例を，図2に示す．これは，3つの経路がパレート最適解として得られた例である．

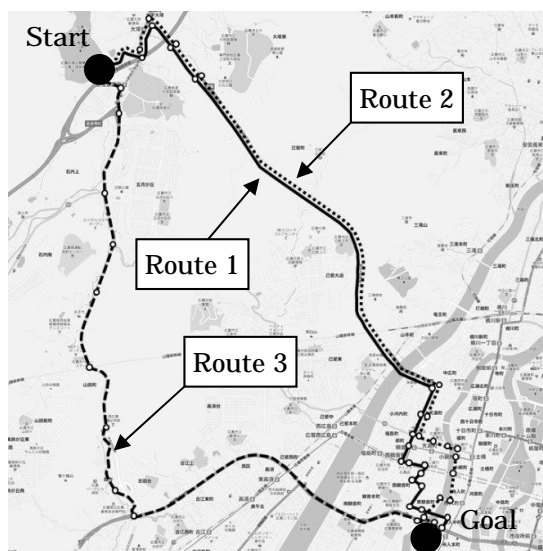


図2 パレート解として経路が得られた搬送例(Startが搬送開始地点,Goalが搬送先病院を表す.Route 1が迅速性を最優先させる経路.Route 3が血圧変動の最抑制を優先する経路)

カーラーの救命曲線に基づいて，救命率の観点から緊急度を評価し，各経路の最適性を検証した．その結果，迅速性を優先させて一刻も早く病院に搬送するためには，Route 1を選択するのが最適であり，血圧変動によって再出血などを起こさずに安全性を優先させる場合には，Route 3が最適であると結論づけられた．これは，傷病者の病態と緊急性に応じて，最適な経路が存在することを意味している．これにより，搬送経路の最適化が，迅速性と安全性とのトレードオフ問題の対応策に成り得る可能性が示唆された．ただし，この例のように，複数の経路が選択できるのは，中規模・大規模の都市に限定されると考えられる．小規模の都市では，そもそも経路の選択肢がないか，あっても極めて少ないため，ほとんどの場合で最適な経路は1本のみと推測される．

(2) ダイクストラ法でも，MOGAと同様な経路が得られるか検討した結果，得られることを確認した．例えば，図2の搬送例に対しては， $4 < \alpha < 10$ ， $\beta = 1$ とすると (F_1 に大きく重み付けすると)，Route 1 が得られた． $0 < \alpha < 3$ ， $\beta = 1$ とすると (F_2 に大きく重み付けすると)，Route 3 が得られた．これにより，重み α と β を適切に与えれば，カーナビゲーションシステムでも最適経路の導出が可能であることが確認できた．

(3) 走行条件(C1)~(C6)よりも，より現実に近い走行モデルを構築した．ノード間の車両

速度を台形パターンまたは三角パターンで近似的に表す速度プロファイルの下で，広島市の90搬送分の走行データから得られる搬送時間と血圧変動量(推定値)と，走行モデルから得られるそれらの値が出来るだけ一致するように，9個のモデルパラメータをGAで最適化した．図3に，実際の救急車の速度(一点鎖線)と走行モデルから生成される車両速度(実線)の一例を示す．この走行モデルを用いれば，(C1)~(C6)の条件よりも，より現実的な走行条件の下で経路の探索が可能になると考えられる．

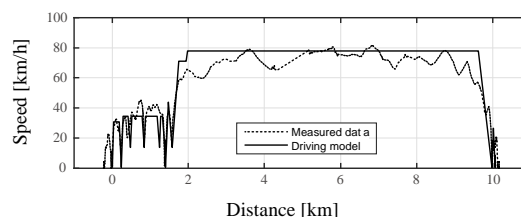


図3 走行モデルによる速度パターンの一例(一点鎖線が実際の救急車の速度.実線が走行モデルで作られた速度)

本課題では，交差点右左折時やカーブ通過時に発生する背面圧迫も考慮して経路探索を行うことを目的の一つとしている．この探索を行うためには，少なくとも道路(エッジ)ごとに法定速度を与える必要があるが，使用した電子地図には法定速度が未調査の道路がかなり存在していた．現在，法定速度を仮設定した上で，背面荷重変動も考慮した経路探索を試みている段階である．この探索結果については，今後，公表していく予定である．

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件)

藤田俊樹，小野貴彦，仰臥位搬送時に受ける加速度の作用方向と血圧変動との関係，第48回日本人間工学会中国・四国支部大会，2015年12月13日，サテライトキャンパスひろしま(広島市)

Takahiko Ono, Driving model in optimal route finding of ambulances, International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2015年12月3日, Gangwon-do (Korea)

Shimizu Yuki, Takahiko Ono, Optimal route finding of ambulances using Dijkstra's algorithm, International Conference on Mechatronics and Information Technology, 2015年12月3日, Gangwon-do (Korea)

矢村和久，小野貴彦，アクティブ制御ベッドの救急搬送患者に対する血圧変動の軽減効果予測，日本機械学会中国四国支部第53期総会・講演会，2015年3月6日，近畿大学工学部(東広島市)

Takahiko Ono, Nonlinear dynamic simulation model of blood pressure variation in-

duced by acceleration and deceleration of ambulances, SICE Annual Conference 2014, 2014年9月12日, 北海道大学(札幌市) Soichiro Yoshimura, Takahiko Ono, Multi-objective optimal route finding for ambulances using the genetic algorithm to minimize transport duration and blood pressure variation of a patient, SICE Annual Conference 2013, 2013年9月17日, 名古屋大学(名古屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 貴彦 (ONO, Takahiko)

広島市立大学・大学院情報科学研究科・

准教授

研究者番号：20312613