

救急車プローブデータを用いた 救急車到達圏域の把握と道路改善箇所の提案

長野 佑哉¹・薄井 智貴²・山本 俊行³・森川 高行⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)
E-mail:nagano.yuuya@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院 経済学研究科 特任准教授
E-mail:tomo.usui@nagoya-u.jp

³フェロー会員 名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授
E-mail:yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学 未来社会創造機構 教授
E-mail:morikawa@nagoya-u.jp

近年の日本では、高齢化とともに救急車の出動件数は増加しており、現場到着までの所要時間、医療機関等への収容時間も増加傾向にある。この状況を受けて、安心して過ごせる社会づくりを目指し、救急搬送のための道路整備計画を行う必要がある。そこで本研究では、現状の救急活動の実態を明らかにし、救命率向上に向けた救急搬送のための道路整備計画の提案をした。具体的には、救急車プローブデータを用いて多治見市と土岐市における緊急走行時の旅行速度や現場までの到着時間を把握し、到達圏域マップを作成した。その結果として、市境付近の住宅地に救急車の到達遅れ地域が多いことがわかった。併せて救急車の速度低下箇所を把握し、到達圏域マップを道路改善の提案に利用できる可能性を示した。

Key Words : ambulance, probe data, trip, reachable area, road maintenance

1. 研究背景

平成26年中の救急自動車による救急出動件数は598万4,921件（前年比6万9,238件増、1.2%増）で過去最多を記録しており、年々増加の傾向にある。また、年齢区分別搬送人員構成比率は、平成元年では高齢者が23.4%であったが年々増加し、平成26年では55.5%となり、高齢者の増加とともに、救急車出動件数も増加していくであろう。それに伴い、現場到着所要時間、医療機関等収容所要時間も年々増加傾向にあり、平成26年の救急自動車による覚知（119番通報）から救急現場までの所要時間は全国平均で8.6分、医療機関等収容までの時間は全国平均で39.4分となった¹⁾。緊急を要する場合には、できる限り早く医師のもとに搬送することが求められており、現場到着所要時間、医療機関等収容時間の短縮は救急業務の効果を上げることにもつながる。さらに、緊急を要しない場合でもプレホスピタルケアの充実と安心して過ごせる社会づくりにつながる。図-1は心臓停止、呼吸停止、多量出血の3つの緊急を要する症状に関して、発症からの時間経過と死亡率の関係を曲線で表したもので、カーラーの救命曲線と呼ばれている²⁾。図を見ると、心

臓停止後約3分、呼吸停止後約10分、多量出血後約30分で死亡率が50%に達し、いずれも初期治療までの時間が短いほど救命率が高いことから初期治療開始までの時間の短縮が救命率の向上につながる事がわかる。特に、心臓停止での3分前後、呼吸停止の10分前後、多量出血での30分前後での死亡率が急増していることから、それらの時間を目安として救急活動を行うことで、より効率的に救命率を向上させることができると考えられる。

このような現状であるため、より効率的に救急自動車の出動、病院への搬出を行っていく必要がある。本研究では、救急自動車に取り付けたCAN (Controller Area Network)ロガーから得られるプローブデータを用いて、

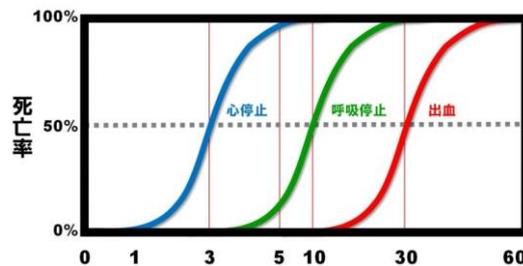


図-1 カーラーの救命曲線

救急車の緊急走行時の旅行速度を推定し、消防署から救

急現場への急行時の到達時間を把握することで現状の救急活動の実態を明らかにする。それに基づき、救命率向上に向けた救急搬送のための道路整備計画について検討する。

2. 既往研究と本研究の位置付け

救急自動車プローブデータを用いた既往研究では、南部ら⁴⁾が金沢市において救急自動車プローブデータと一般車のプローブデータを統合分析し、緊急走行時の救急自動車の走行実態を把握し、速度低下要因について考察し、救急自動車のプローブデータを利用することで救急自動車専用の最短時間経路情報の提供の有効性を述べている。一般車に関するプローブデータを用いた既往研究では、門間ら⁵⁾が一般車の旅行速度データを用いて2011年の東日本大震災前後での1都3県(東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県)で平均旅行速度を用いて交通状況について把握、第二京阪道路の開通に伴う国道一号線の渋滞解消について分析し、交通円滑性の分析方法の検討を行った結果、ボトルネック交差点の特定、速度低下の発生時間帯や速度低下改善による向上効果の把握等が可能になると述べている。眞栄里ら⁶⁾は道路交通センサスによって得られるデータと民間プローブデータの違いに着目しつつ、プローブデータを用いて那覇市における交通混雑を時間帯別や月別に分析し、プローブデータの利用による渋滞状況等の交通状況の把握や事業の整備効果等も把握できる可能性を示している。また、正木⁷⁾は、多治見市において、救急自動車のプローブデータを用いて救急自動車の速度低下と横揺れの発生箇所について調査し、重回帰モデルを用いて速度低下要因モデルを構築し、道路整備状況が救急車の走行速度に影響を与えることを明らかにしている。

これら既往研究では、プローブデータを用いた平均旅行速度によって速度低下箇所を把握し、速度低下の要因や道路の改善に利用できることが述べられているが、プローブデータを用いて救急車の到達遅れ地域の把握と緊急走行時のための道路改善の計画までは行われていない。そこで本研究では、正木⁷⁾が整備を行った岐阜県東濃地方の救急自動車のプローブデータを用いて、各消防署から旅行時間をベースとした到達時間マップを作成し、各消防署からの到達圏域を把握するとともに、救急搬送時の速度低下箇所および到達遅れ地域を把握し、道路の改善箇所について提案する。

3. 救急車プローブデータの概要

岐阜県の多治見市、土岐市、恵那市、瑞浪市、中津川市の5都市の救急自動車24台に自動車の挙動を計測する

ためのCANロガー「D-CUBE-Light」(図-2)を取り付け、平成26年8月22日～10月31日の期間で走行中のデータを取得した。本稿においては、そのうち多治見市と土岐市の救急自動車9台分のデータを分析に用いた。

まず、多治見市と土岐市の各消防署のCAN設置台数(救急車数)、取得データ数を表-1に示す。取得データ数は、救急車のエンジン始動からOFFまでを1つと数え、計測期間中のその合計数であり、トリップ数とは異なる点には注意が必要である。取得したデータは加速度およびGPS速度、経緯度、取得時刻で、多治見市が1,345、土岐市が896の合計2,241である。経緯度と速度データは1秒毎、加速度データは0.1秒毎の間隔で取得している。利用データの概要は表2の通りである。

表-1 救急車のCAN設置台数と取得データ

	CAN設置台数 (救急車数)	取得データ数
多治見北消防署	2	492
多治見南消防署	2	572
多治見笠原消防署	1	281
土岐北消防署	2	416
土岐南消防署	1	247
土岐濃南分駐署	1	233



図-2 bbc社製「D-CUBE-Light」(右)と設置場所(左)

表-2 利用データ概要

項目	内容
実施期間	平成26年8月22日～10月31日
場所	多治見市、土岐市
救急車両数	9台
計測機器	D-CUBE-Light
取得データ	<ul style="list-style-type: none"> ・加速度データ(X,Y,Z) ・GPSデータ(経緯度) ・速度データ(GPSにより算出)
利用トリップ数	640トリップ
取得間隔	<ul style="list-style-type: none"> ・1秒毎(速度、GPSデータ) ・0.1秒毎(加速度データ)
記録タイミング	エンジン始動時にデータ取得開始 エンジン停止時にデータ取得終了

4. プローブデータの分析

4.1 取得データの前処理

取得したデータは、位置情報とタイムスタンプ、各センサー値のみであるため、そのままの数値では分析が困難である。そこで本研究では、図-3のデータ処理フローに基づきデータ処理を行った。取得データはまず、DRM協会のデジタルマップを用いてマップマッチングを行い、トリップの分割を行った。救急車トリップの概念について図-4に示す。救急車のトリップは、消防署から救急現場へ向かう急行トリップ、救急現場から病院へ向かう搬送トリップ、病院から消防署に向かう帰署トリップの3つに分類し、急行と搬送トリップを緊急走行であると仮定した。また、多治見市と土岐市の救急車において、救急車のCARナンバー、日時、急行・搬送・帰署のトリップチェーンを考慮し、地図上で経路を確認し、取得したデータから急行・搬送トリップを特定した。この際、帰署トリップに関しては赤信号による停車等が含まれる通常走行であるため、集計から除外した。また、救急車がエンジンを始動させた際にデータの取得が開始され、エンジンを停止するまでデータが取得されるため、急行と搬送など複数のトリップが1つのデータに入っている場合がある。その場合は地図上で確認し救急現場や病院などトリップの分割点であると考えられる場所で急行、搬送、帰署のトリップ別に手作業にて分類した。さらに、個人情報保護の観点から、病院と消防署以外の起終点に関しては、100m程度手前からデータの削除を行った。最後に、抽出したトリップを地図上で確認し、明らかにGPSデータが飛んでいると思われるデータを除外した。

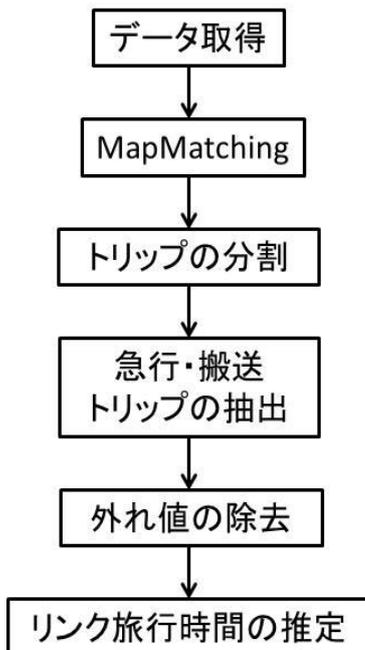


図-3 データ処理フロー

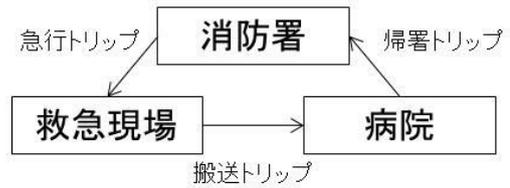


図-4 救急車トリップの概念

その後、多治見市と土岐市の救急車から得られた走行データを、リンク毎に集計するとともに、DRMの道路種別コードを用いて、道路種別コード毎にも集計を行った。

4.2 急行・搬送トリップの分析

4.1で整備したデータを用いてトリップごとに集計を行った。多治見市、土岐市で抽出したトリップの急行、搬送の内訳とリンクカバー率を表-3に示す。多治見市では、急行トリップが206トリップ、搬送トリップが206トリップの合計412トリップを抽出した。一方、土岐市では、急行トリップを114トリップ、搬送トリップを114トリップの合計228トリップを抽出した。また、多治見市、土岐市の全リンクの中で抽出したトリップが通過しているリンク数の割合であるリンクカバー率は、多治見市では44.6%、土岐市では43.7%であり、全体としては44.2%のリンクがカバーできていることがわかる。

多治見市、土岐市で、抽出したトリップが通過しているリンクを青色、通過していないリンクを黒色で図-5に示す。図を見ると主要な道路はほぼ通過しており、山間部、住宅地があまりカバーできていないことがわかる。

表-3 得られたトリップ

	多治見市	土岐市
急行トリップ	206	114
搬送トリップ	206	114
リンクカバー率	44.6%	43.7%

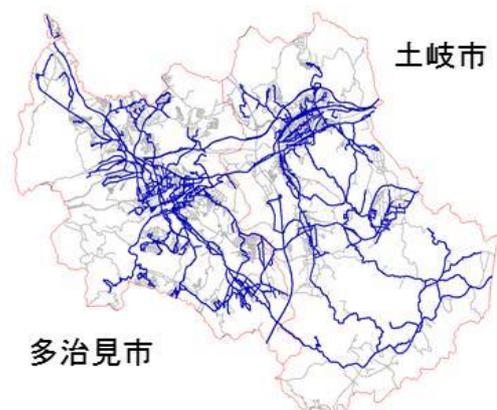


図-5 多治見市と土岐市の救急車の通過リンク

4.3 速度に関する分析

緊急走行中に救急車が完全に停止することはないと仮定し、速度が0のデータは除外して速度に関する分析を行った。

まず、救急車の走行状況を把握するために、平均速度別のリンク数を図-6に示す。図を見ると10km/h台のリンク数が最も多いが、10km/h台は半分以上が「その他の道路」であり、その他の道路以外で見ると、主に30km/h台での走行が多いことがわかる。患者への負担を減らすことや、交通上の安全性、車内での応急処置が行われていることも考えられるが、一方で平均速度が10km/h台や20km/h台のリンクも多く、道路改善や、交通状況改善の必要性が伺える。次に、全5種類の道路種別毎の平日別平均速度を表-4に示す。全体的に平均速度は低く算出されているが、「高速自動車道」に関しては高速自動車道の出入口での加減速が平均速度を低下させており、「一般国道」、「主要地方道(都道府県道)」、「一般都道府県道」、「その他の道路」に関して、右左折による減速や道路混雑による減速など、複雑な道路状況下における平均速度の低下によるものと考えられる。

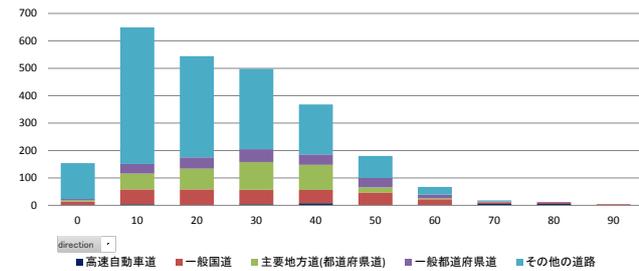


図-6 平均速度別リンク数

表-4 道路種別平均速度(km/h)

道路種別	平均速度 (全体)	平均速度 (平日)	平均速度 (休日)
高速自動車道	69.19	56.03	74.50
一般国道	26.90	27.53	25.56
主要地方道 (都道府県道)	25.86	25.39	27.19
一般都道府県道	22.12	21.41	24.17
その他の道路	17.33	17.21	17.65

5. 岐阜県東濃地方における到達圏域マップ作成

推定した各リンクの平均旅行速度を用いて、ダイクストラ法により各道路ノードまでの所要時間を計算し、到達圏域マップを作成した。救急車が実際に通過しているリンクでは、各リンク別に調和平均を用いて旅行速度を算出し、救急車が実際に通過していないリンクでは表-4の道路種別コード毎の平均旅行速度を適用し各消防署からの到達圏域を作成した。

まず、多治見市のほぼ中央に位置する多治見北消防署を起点とする到達圏域マップを図-7(a)に示す。図中の青色と赤色ラインは道路を表しており、青いラインは10分以内に到着できる地域で、赤いラインは10~15分かかる地域を示している。図を見ると、多治見市の北部は早い時間に到達することができるが、多治見市の南部や最北部では救急車の到達遅れ地域が発生している。しかし、中央自動車道が通っていることによって土岐市の一部や瑞浪市の一部にも15分以内に到達できることや、多治見北消防署だけでも15分以内に多治見市のほぼ全域に救急活動に向かうことができることもわかる。次に、図-7(b)に多治見市の3つの消防署を起点とする到達圏域を示す。消防署周辺と中央部に関してはほぼ3分以内に救急車が到達できているが、市の境周辺の地域や一部の住宅地まで到達するのに10分~15分かかっている。最後に、土岐市も含めた到達圏域を図-7(c)に示す。隣接する市である土岐市を含めても市の境の到達遅れ地域は改善されておらず、山間部や市の境、一部の住宅地では変わらず到達に10~15分かかることが分かる。前述の通り、救急車の到達が10分を超える地域で呼吸停止になった場合、カーラーの曲線によると致死率が50%をこえてしまうことや10分前後での致死率が急激に高まることから、到達の遅れを改善する必要があるであろう。

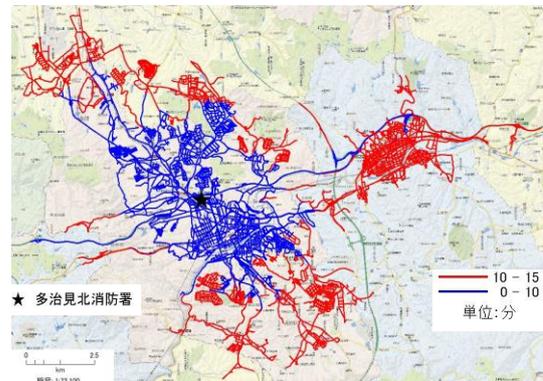


図-7(a) 多治見北消防署からの到達圏域

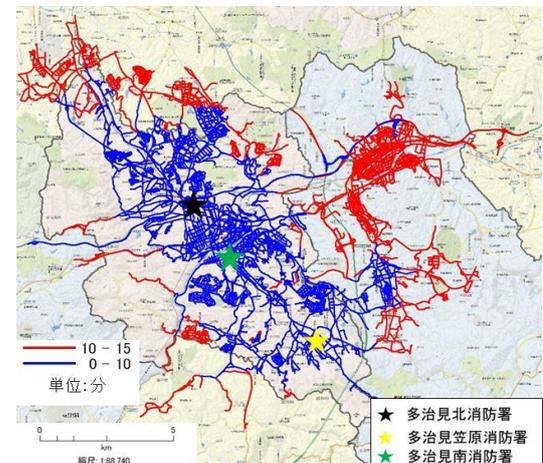


図-7(b) 多治見市の全消防署からの到達圏域

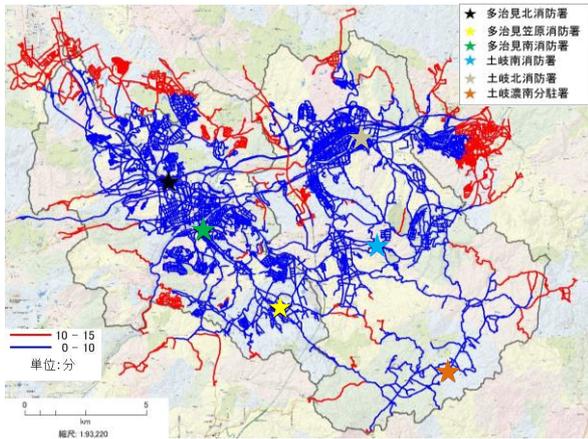


図-7(c) 多治見市、土岐市の全消防署からの到達圏域

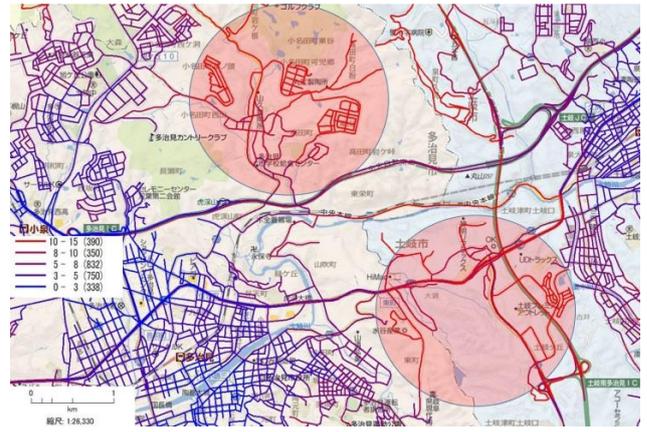


図-9 多治見市と土岐市の到達遅れ地域 (高田町及び土岐プレミアムアウトレット周辺)

6. 道路改善の提案

本稿では、道路種別毎の平均旅行速度に対して、平均旅行速度が遅いリンクには、何らかの道路状況改善余地があると仮定し、道路の改善箇所および改善内容を提案する。まず、初めに平均リンク旅行速度が遅いリンクをリンク通過トリップ回数をもとに抽出するとともに、救急車の到達遅れ地域を把握、その後、速度低下道路の改善案を提示し、提案内容に従って改善後の到達圏域を作成し、その効果について考察する。

6.1 速度低下箇所と到達遅れ地域の把握

多治見市と土岐市の緊急走行中のリンク旅行速度マップを図-8に示す。細街路でのリンク旅行速度低下が多くみられるが、国道や一般都道府県道でも速度低下箇所があり、交差点や山間部、橋、一車線両側通行の道路、消防署や病院付近、商業施設が集まっている場所などで旅行速度低下が見られる。その結果として、図-9に示すように多治見市と土岐市の市境周辺である赤枠の地域に救急車の到達遅れ地域が発生しており、これらの到達遅れ地域の改善について検討する必要がある。

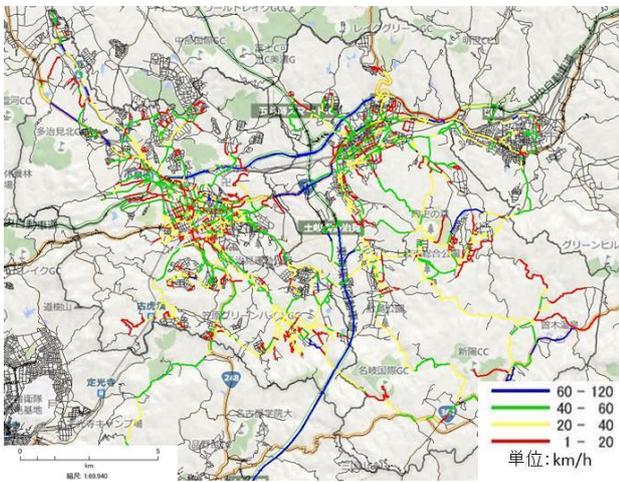


図-8 平均リンク旅行速度マップ

6.2 道路改善案①

多治見市と土岐市の市境付近の高田町における救急車の到達遅れを改善するために県道381号線の一部を改善することを提案する。この道路の利用頻度は、3か月の計測期間中に9回通過しており、平均旅行速度は18.22km/hと遅い。到達遅れ地域と道路改善区間を図-10に示す。この区間の道路は、片側1車線の道路であり、細街路からの合流が多いが合流部には信号がないことが多く、救急車は合流に注意して運転せざるを得ない。そこで、この区間の合流部に救急車の接近を感知する信号を設け、救急車が時速40km/hで通過できるようになったと仮定する。表-5(a)に道路改善区間に関する道路改善前の旅行速度と一般国道の平均速度、改善後の旅行速度、リンク長を示す。リンク旅行速度が速くなった場合の効果として、改善前(図-11(a))と改善後(図-11(b))の到達時間と距離を比較すると、救急車到達に10分以上かかる地域が少し減り、10分以上かかる地域でも改善前では14~15分かかっていた場所にも改善後では、それ以下で到着できるようになった。表-5(b)に改善前と改善後の10分未満に到着できるリンクと10分以上かかるリンクの総リンク長を示す。改善前後で10分未満に到着できるリンク長が14.8%増加していることがわかる。



図-10 到達遅れ地域と提案する道路改善区間

表-5(a) 道路改善区間の旅行速度とリンク長

	リンク
改善前の旅行速度	18.22 km/h
一般都道府県道の平均速度	22.12 km/h
改善後の旅行速度	40 km/h
リンク長	1,352 m

表-5(b) 道路改善前後のリンク長

到達時間	総リンク長 (改善前)	総リンク長 (改善後)
10分未満	10,811 m	14,737 m
10分以上	15,746 m	11,820 m

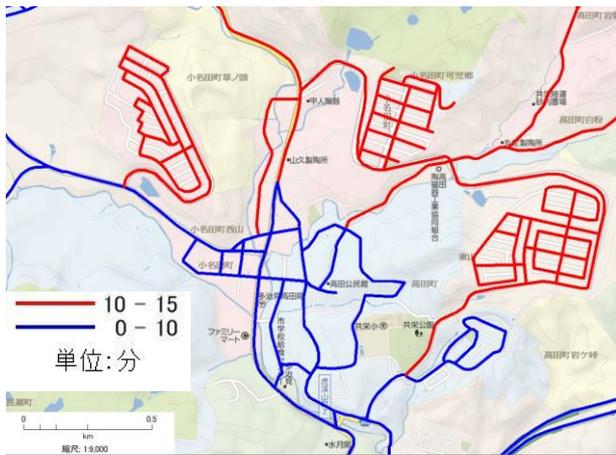


図-11(a) 道路改善前の到達遅れ地域 (案①)

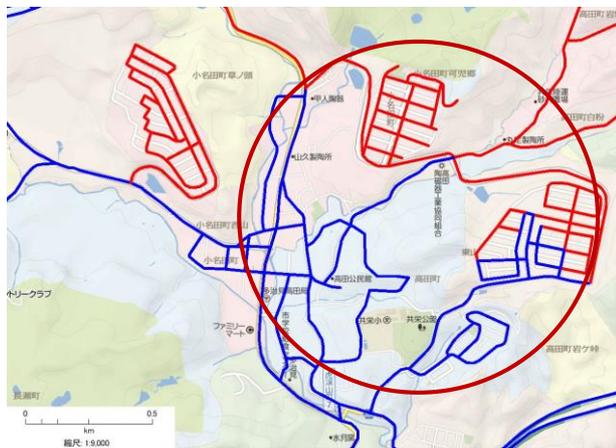


図-11(b) 道路改善後の到達遅れ地域 (案①)

6.3 道路改善案②

土岐プレミアムアウトレット付近は人が多く集まると予想されるにもかかわらず、この地域には到達遅れが見られる。改善する国道19号線の実際の救急車の通過回数は12回であり利用頻度は高いが、平均速度は16.57km/hと遅いため道路改善を検討する。到達遅れ地域と道路改善区間を図-12に示す。国道19号線は片側2車線の道路であ

る。道路改善区間では、飲食店や商業施設が多いことや、土岐-多治見市間を結ぶ幹線道であるため、日常的に交通量が多いことが考えられる。幅員を広くすることで一般車が避けやすくなり、救急車の旅行速度が上がると考えられる。表-6(a)に道路改善区間に関する道路改善前の旅行速度と一般国道の平均速度、改善後の旅行速度、リンク長を示した。

道路改善後の効果について考察する。図-13(a)、図-13(b)を見ると、改善案1と同様に、一部は10分以内に到着できるようになっているが、住宅地では到着時間が少し早まっただけである。しかし、10分以内に到着できるようになった一部の道路に土岐プレミアムアウトレットへの道が含まれており、呼吸停止に着目して考えると、人が多く集まる地域ではその分呼吸停止の発生率も高く、10分以内で救急車が到着することによって致死率は急激に下がるため効果は高いと考えられる。表-6(b)に改善前と改善後の10分未満に到着できるリンクと10分以上かかるリンクの総リンク長を示す。改善前後で10未満に到着できるリンク長が5.4%増加するという効果が得られている。

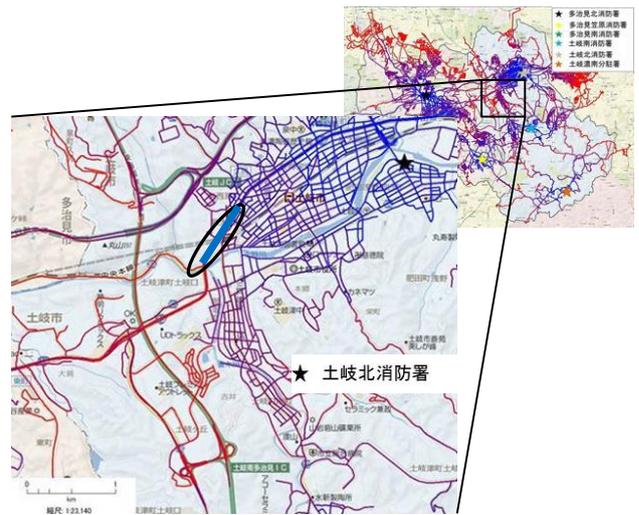


図-12 到達遅れ地域と提案する道路改善区間

表-6(a) 道路改善区間の旅行速度とリンク長

	リンク
改善前の旅行速度	16.57km/h
一般国道の平均速度	16.90km/h
改善後の旅行速度	50km/h
リンク長	907m

表-6(b) 改善前後のリンク長

	総リンク長 (改善前)	総リンク長 (改善後)
10分未満	20,160m	21,785m
10分以上	10,414m	8,789m

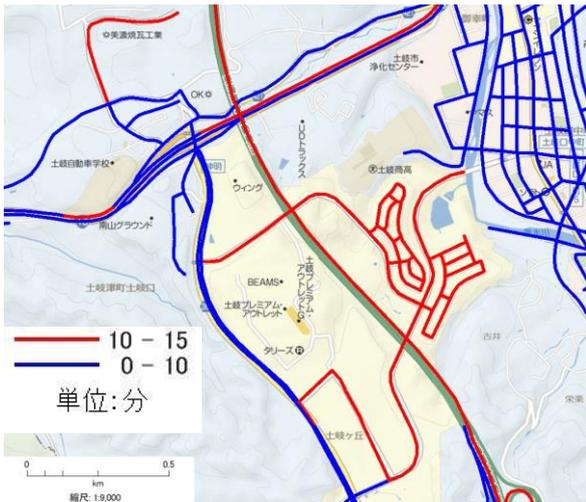


図-13(a) 道路改善前の到達遅れ地域 (案②)

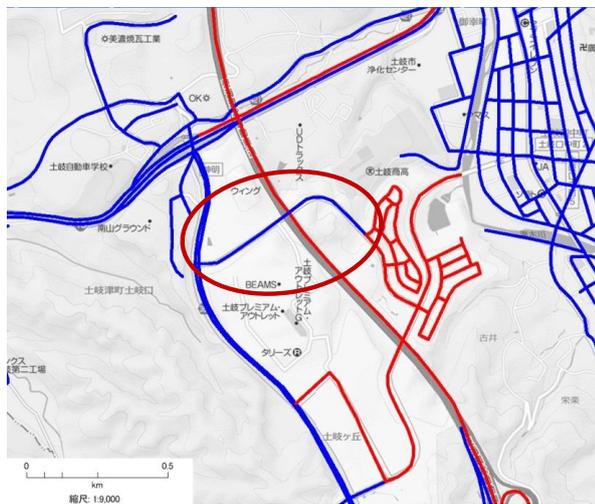


図-13(b) 道路改善後の到達遅れ地域 (案②)

7. まとめと今後の課題

7.1 得られた知見

救急車のプローブデータをリンク毎に分析することにより得られた平均リンク旅行速度を用いて救急車の到達圏域マップを作成することで、救急車到着に10分以上かかると予想される地域が市境や山間部に多いという結果が得られた。また、リンク旅行速度マップを合わせて用いることにより、速度低下箇所の改善を行った際の到達圏域の変化も示すことができ、実際の道路整備効果を定量的に示すことができる可能性も伺えた。

7.2 今後の課題

本研究で用いたデータは救急自動車の約2か月間の走行実績データの分析結果であり、通過回数が低頻度の道路リンクでは平均速度が実測と異なる可能性も否めない。

また、多治見市と土岐市における救急車のリンクカバー率は44.2%程度であり、データ取得期間を長くし、リンクカバー率を向上させることで平均速度もより正確な値に近くと考えられる。また、今回用いたトリップは急行搬送合わせてわずか640トリップであったため、時間帯、曜日、天候等、考慮できておらず、より現実的な到達圏域マップを救急活動に利用する場合は、分析データ数の増加が必要不可欠であろう。

また、本稿では道路の利用頻度について、リンク通過回数と道路種別のみ考慮しているが、車線数や幅員、交差点の有無、右左折レーンの有無など、その他の道路属性も考慮し、道路改善案を検討する必要がある。さらに、その地域に住む人口や高齢化率、過去の救急搬送回数なども考慮することで、より効果的な道路改善区間を提案することができるであろう。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：平成27年版 救急救助の現況，I 救急編，pp14-48.
- 2) カーラーの救命曲線：
<http://imnstir.blogspot.jp/2011/06/golden-hour-pcinciple.html>
- 3) 財団法人 日本デジタル道路地図協会：
<http://www.dnm.jp/>
- 4) 南部繁樹・吉田傑・赤羽弘和：プローブデータ分析に基づく救急車への緊急走行支援方策の検討，国際交通安全学会誌，Vol.34，No.3，pp55-62，2009.
- 5) 門間俊幸・橋本浩良・松本俊輔・水木智英・上坂克己：プローブデータ活用と道路交通分析の新たな展開，土木技術資料，Vol.53，No.10，pp14-17，2011.
- 6) 眞栄里和也・下地義光：新たなプローブデータを活用した管内交通状況の把握について，沖縄ブロック国土交通研究会，2011.
- 7) 正木裕之：救急車プローブデータを活用した道路整備状況の把握に関する研究，名古屋大学卒業論文，2014.

2016.7.31 受付

A Study of Reachable Area and Road Maintenance using Probe Ambulance

Yuya NAGANO , Tomotaka USUI, Toshiyuki YAMAMOTO and Takayuki MORIKAWA

Nowadays in Japan, demand for ambulance is increasing as advanced aging society. The required time to go to a scene from fire station and to hospital is also increasing. Therefore, it is necessary to maintain road for rescue activities. This study revealed actual situation over the rescue activities and made a plan of road maintenance to improve lifesaving rates. This paper investigated the velocity of ambulance in emergency and arrival time, and showed the reachable range within the time of ambulance. As a result, ambulances tend to delay in mountainous area and border of the city. Moreover, this study clarified the road segments with speed down, and showed the possibility of using reachable range map to road maintenance.