



救急車走行と路面性状の統合調査に基づく舗装修繕シナリオ別の救急搬送時間推計

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公益社団法人 土木学会 公開日: 2023-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): ambulance probe data, pavement inspection, IoT,, deep learning, low-temperature crack 作成者: 浅田, 拓海, 布広, 祥平, 佐々木, 博, 城本, 政一, 亀山, 修一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/0002000068

救急車走行と路面性状の統合調査に基づく 舗装修繕シナリオ別の救急搬送時間推計

浅田 拓海¹・布広 祥平²・佐々木 博³・城本 政一⁴・亀山 修一⁵

¹正会員 室蘭工業大学助教 大学院工学研究科 (〒050-8585 北海道室蘭市水元町27-1)
E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp (Corresponding Author)

²学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (同上)

³正会員 株式会社富士交通・道路データサービス (〒105-7123 東京都港区東新橋1-5-2)

⁴正会員 大成ロテック株式会社 技術研究所 (〒365-0027 埼玉県鴻巣市上谷1456)

⁵正会員 北海道科学大学教授 工学部 (〒085-8585 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

北海道では、救急搬送に60分以上を要する地域が多く、さらに、車両振動に注意が必要となる路面損傷箇所が広く分布する。本研究では、道内の三次救急搬送路線を対象に、救急車プローブ調査と路面性状調査を実施し、路面損傷が救急車の走行速度に与える影響を統計モデルにより分析し、複数の舗装修繕シナリオにおける搬送時間を推計した。まず、速度低下には、信号交差点などの道路構造に加えて、ひび割れ率、IRI、低温ひび割れ本数などの路面性状も影響することを明らかにした。搬送時間の推計では、低温ひび割れが1本以上ある100m区間を簡易補修すると現状から約2分短縮でき、また、高水準な路面管理を行う場合に比べ、損傷度が1.5倍増加する場合には、約4分以上の到着遅れが生じる可能性が示唆された。

Key Words : ambulance probe data, pavement inspection, IoT, deep learning, low-temperature crack

1. はじめに

我が国の救急車の出動件数は、近年、増加の一途をたどっており、令和元年度には、663万9,767件を記録している¹⁾。今後、高齢化の進展などによって、救急搬送の需要拡大や質に対する要望の高まりが進むと予想される。傷病者の症状は、時間の経過により急激に変化し、緊急性の高い疾患の場合は、搬送時間が生存率に大きく影響するため、迅速な救急搬送が求められる。このような高速走行が必要となる一方で、患者の容態への配慮から、車両振動が発生する箇所では、減速しながら安全に運転することが求められる²⁾。北海道においては、医師不足や高次医療施設の偏在などによって、都市部の病院までの救急搬送が60分以上となる地域が多く存在する³⁾。また、これらの長距離搬送路線は、農村地域や山岳部を通過する 경우가多く、代替路線が少ないため、搬送路線の最適化には限界がある。さらには、舗装の老朽化が進んでおり、車両振動箇所の増加も懸念される。したがって、このような救急医療という重大かつ喫緊の地域課題に対して、舗装の観点からの救急車の搬送時間と車両振動の低減アプローチは有効な解決策と言える。

救急車の搬送時間や車両振動については、これまでに様々なアプローチから研究、開発が行われてきた。搬送時間に関しては、交通分野で多くの報告がある。高山らは、金沢市の救急出動記録を用いて、救急車両の走行時間信頼性を算出し、救急拠点の最適配置や救急搬送サービス力の評価方法を検討している⁴⁾⁵⁾。近年では、GPSデータや動画データなどから、交差点や交通量が救急車の走行速度に与える影響を分析した研究もある。南部らは、救急車の走行軌跡データ（以下、救急車プローブデータ）を用いて、走行実態に基づく経路情報提供システムを構築している⁶⁾。二神らは、救急車プローブデータと車載カメラ動画を用いて、搬送時間の信頼性や走行阻害要因との関係について分析している⁷⁾⁸⁾。薄井らは、救急車プローブデータにより速度低下箇所や到着遅れ地域を把握し、道路改善を行った場合の効果を検証している⁹⁾。

救急車の車両振動に関する研究は、医療分野で幾つか報告されている。例えば、車両振動による患者への負担低減を目的とした防振架台¹⁰⁾やサスペンションを搭載した高規格救急車両の開発、導入が進められている。ただし、その効果は、路面状態や走行速度によっては限定的である。抜本的な解決方法としては、舗装修繕が有効で

あり、車両振動と到着遅れを同時かつ効果的に解決できる可能性がある。しかしながら、救急出動と路面性状のデータを統合的に揃えることは難しく、特に、舗装修繕による救急搬送時間の短縮効果は明らかになっていない。

星野らは、オホーツク圏の救急搬送路線において、橋梁ジョイントなどのIRI（国際ラフネス指数：International Roughness Index）が大きい箇所では救急車の走行速度が大きく低下することを明らかにしている¹¹⁾¹²⁾。著者らの先行研究では、車載カメラで撮影した動画を用いた走行実験を行い、救急隊員が運転の際に注意を払う路面損傷箇所の抽出を行った¹³⁾。その結果、橋梁ジョイントに加えて、ひび割れも運転注意の対象となることがわかった。さらに、車両走行時の加速度データを用いて、低温ひび割れが100mに1～3本以上存在すると、橋梁ジョイント以上に救急車の振動に影響を及ぼすことを明らかにした。しかしながら、この研究では動画による実験であったため、路面損傷と実際の救急出動における走行速度や搬送時間との関係については分析に至っていない。

そこで、本研究では、北海道内の三次救急搬送路線を対象に、救急車走行および路面性状の統合調査を実施し、路面性状や道路構造が救急車の走行速度に与える影響を統計モデルにより分析する。さらに、そのモデルを用いて、複数の舗装修繕シナリオについて搬送時間を推計し、その結果を基に、地域の救急医療を支援する舗装維持管理方策について考察する。

2. 調査概要および分析方法

本研究では、道内5地域における三次救急搬送路線を対象とする。図-1に示すように、各地域では、都市部の高次医療施設まで長距離にわたる救急搬送が行われており、一般国道、その一部区間として自動車専用道路（以下、それぞれ国道、自専道と表記する）、道道が利用されている。各路線において、救急車走行と路面性状の統合調査を実施し、そのデータを分析して路面状態が救急車走行速度に及ぼす影響を明らかにする。本章では、調査と分析方法について概説する。

(1) 救急車プローブ調査

図-1に示した道内5つの消防署に依頼し、富士通交通・道路データサービス社の「道路パトロール支援サービス」を利用して、救急車プローブ調査を実施した。このIoTサービスでは、救急車両に設置したスマートフォンにより、位置情報や走行速度などが記録、収集される。調査期間は、令和1年9月～令和2年6月の10か月である。データを見ると、出動の度に搬送元と搬送先が異なるため、通過が多い区間を抽出し、分析区間とした（図-1）。

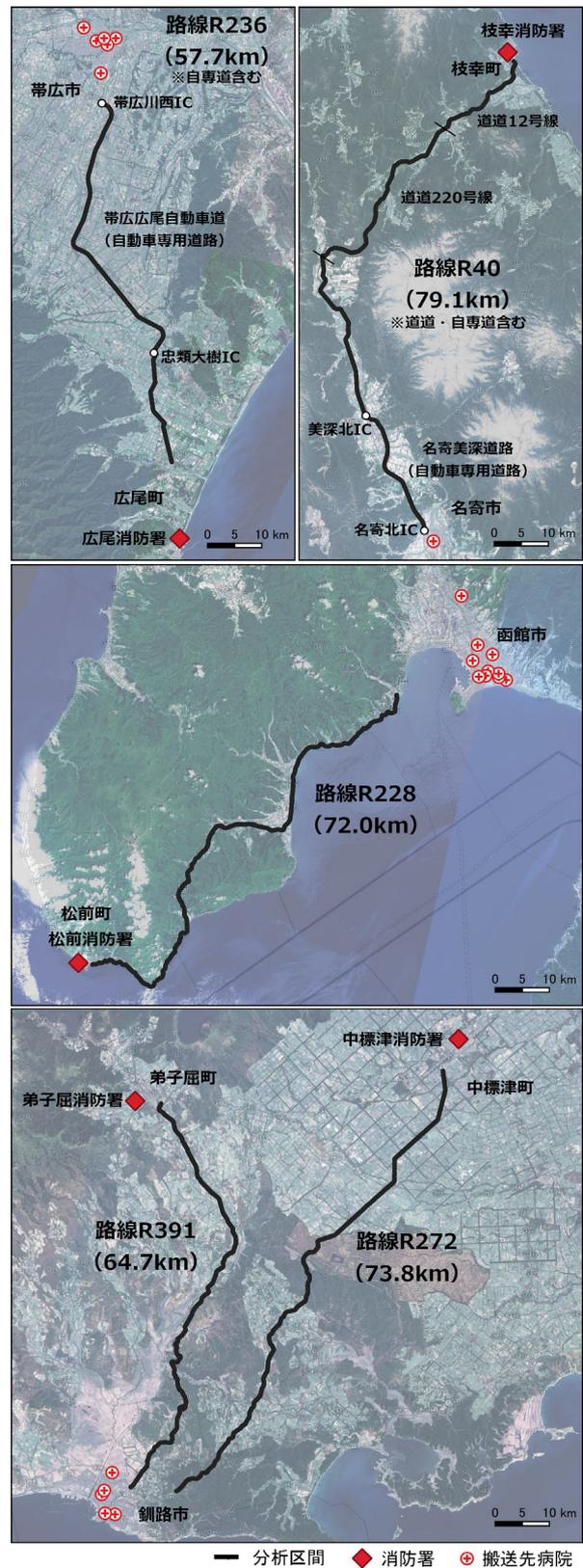


図-1 調査対象路線と分析区間

(2) 路面性状調査

分析区間における路面性状データを収集するため、簡易IRI測定装置による「平坦性調査」および車載カメラによる「ひび割れ調査」を実施した。

平坦性調査は、大成ロテック株式会社が簡易IRI測定

装置「STAMPER¹⁴⁾」を用いて実施した。データには、20m区間毎のIRIと位置情報を用いた。調査期間は、令和2年6月である。IRIは、舗装路面と運転者の快適性を関連付けた指標であり、縦断方向の路面凹凸の評価や舗装修繕の診断項目に採用されることが多い。

ひび割れ調査には、著者らが開発した市販カメラとDeep learning (U-net) を用いたひび割れ点検システム¹⁵⁾を採用した。本システムでは、GoPro HERO 6を車両ボンネットに設置し、走行しながら動画撮影(60fps)を行う。動画撮影と同時に、位置情報(20Hz)と加速度(200Hz)も記録される。また、図-2に示すように、位置情報を用いて抽出した5m間隔の静止面にU-netを適用してひび割れスケッチ画像を生成し、ひび割れ率を算出できる。このU-netによるひび割れ率は、手書きスケッチによるひび割れ率との決定係数が0.84を示し、従来手法を高い精度で再現できる。なお、本研究では、IRIの測定単位に合わせて、20m区間毎に平均ひび割れ率CR (Crack Ratio) を算出した。調査期間は、令和2年9月であり、晴天日の10~15時の時間帯に撮影を行った。

先行研究¹³⁾では、動画を用いた走行実験により、救急隊員が走行中にひび割れ路面を視認した時に運転注意と判断することを明らかにした。また、STAMPERによる加速度データを用いて、図-3に示すような低温ひび割れが100mに1~3本以上存在すると、救急車の車両振動に影響を及ぼすことを示した。低温ひび割れは、急激な温度変化による舗装体の収縮によって発生し、横断方向に生じる損傷によって平坦度を悪化させることがある¹⁶⁾。本研究でも、この低温ひび割れを分析対象とし、撮影動画を見て各箇所的位置をデータ化し、100m区間毎の本数を集計した。

(3) 分析方法

路面性状および道路構造が救急車走行速度に与える影響について、基礎集計および統計モデルによる分析を行った。目的変数の救急車走行速度は、路線や出動日によって平均的な速度が異なる可能性がある。そこで、出動データ毎にその最大速度で各地点の速度を正規化した。具体的には、搬送時における最大速度を理想速度とし、各地点の速度を除した値を「理想速度率」と定義した。説明変数には、CR、IRI、低温ひび割れ本数の3つの路面性状変数に加えて、道路構造変数として、曲率半径、縦断勾配、橋梁、信号交差点、道路種別(自専道・国道・道道)、市街地、車線数(片側2車線・片側1車線)を分析に用いる。これらはGoogleマップ等から調べ、曲率半径と縦断勾配は動画撮影で得られた位置情報から算出した。

次に、位置情報を基に区間を分割した。分割する区間長については、著者らの先行研究¹³⁾やその他の関連する

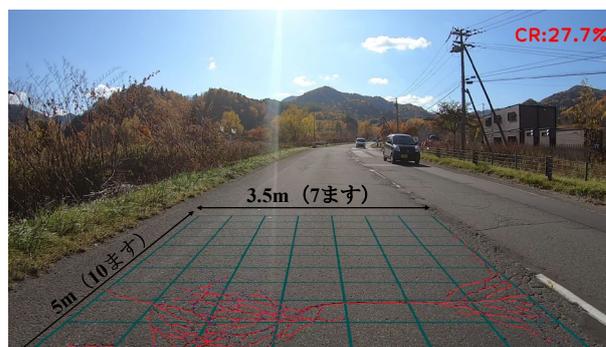


図-2 U-netによるスケッチ画像とひび割れ率算出の例



図-3 低温ひび割れの例

既存研究^{17),18)}で採用されている値を参考に100mとした。道路構造変数については、縦断勾配のみ区間内の平均値とするが、それ以外は当該箇所が存在する場合を1とするダミー変数とした。なお、曲率半径については道路構造令を参考に300m未満を1とし、「カーブ」区間とした。CRとIRIについては、局所的な損傷¹⁹⁾や実務的な整合性²⁰⁾を考慮して区間最大値を用いた。それぞれ CR_{MAX} 、 IRI_{MAX} と表記する。低温ひび割れは、100m当たりの本数として、NLC (Number of Low-temperature Cracks) と表記する。

上記のデータセットに、一般化線形モデルを適用した。目的変数の理想速度率は0~1の連続値となることから、ロジスティック回帰モデルを採用した。第3章では、パラメータ推定を行い、各説明変数の統計的有意性と影響度を確認した。第4章では、上記モデルを用いて舗装修繕シナリオ別に搬送時間を推計した。具体的には、上記モデルから推定される各100m区間の理想速度率を当該出動データの最大速度に乗じて走行速度に変換した後、各区間の所要時間を合計することで分析区間全体の搬送時間を推計した。なお、シナリオの設定内容については、推計結果と合わせて示すため、第4章で説明する。

3. 路面損傷が救急車の走行速度に及ぼす影響

(1) 対象路線における三次救急搬送の状況

対象路線の三次救急搬送に関する基礎集計を行い、出動件数や搬送時間について把握した。ここでは、気象庁のデータを用いて、降雪や積雪の有無から路線毎の各出動データを「R1非積雪期(令和元年度秋季)」「R1積

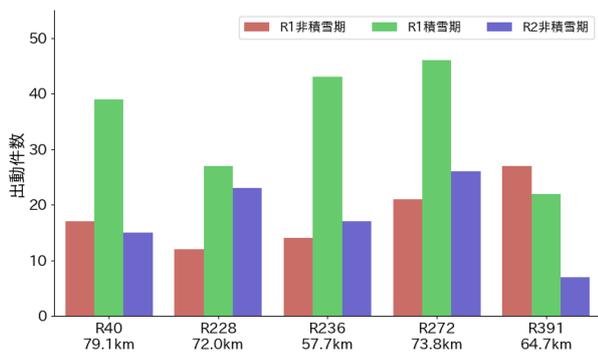


図4 各路線における三次救急搬送の出動件数

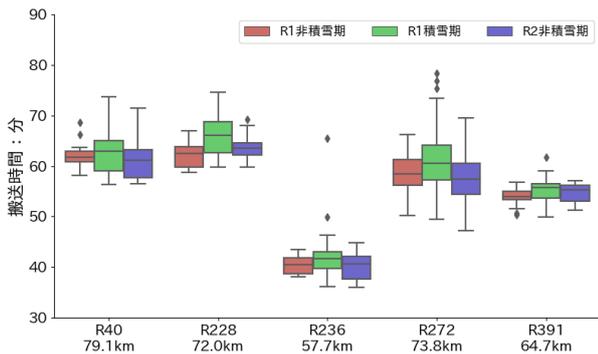


図5 各分析区間における搬送時間

雪期（令和元年度冬季）」「R2非積雪期（令和2年度春季）」に区分して集計，比較した。

各路線における救急車の出動件数を図-4に示す。10ヶ月の調査期間において、60～90件の出動があった。最も多かったのは、R272（中標津消防署）であり、93件であった。そのうち、積雪期の約4か月間では46件となり、これは、70km以上にも及ぶ救急搬送が3日に1回程度の頻度で行われていることを意味する。

次に、各路線の分析区間における搬送時間を図-5に示す。R236（広尾消防署）では38～42分、その他では55～70分の搬送が行われ、出動日によってばらつきが見られる。なお、分析区間は、搬送先の都市部を除外しているため、病院到着まではさらに時間を要することに注意されたい。また、積雪期と非積雪期を比べると、積雪期では、搬送時間が2～3分増加し、ばらつきも大きくなる。降雪や積雪が原因と考えられるが、このような気象条件による影響については今後の課題とする。

本研究では、救急搬送と路面損傷との関係について着目するため、以下では、救急車プローブデータと路面性状データがともに揃っている「R2非積雪期」のデータを用いて分析を行う。

(2) 理想速度率に関する基礎集計

各路線における理想速度率のプロファイル道路構造変数および路面性状変数とともに可視化した（図-6）。なお、同図の理想速度率は、全出動データの平均値を示

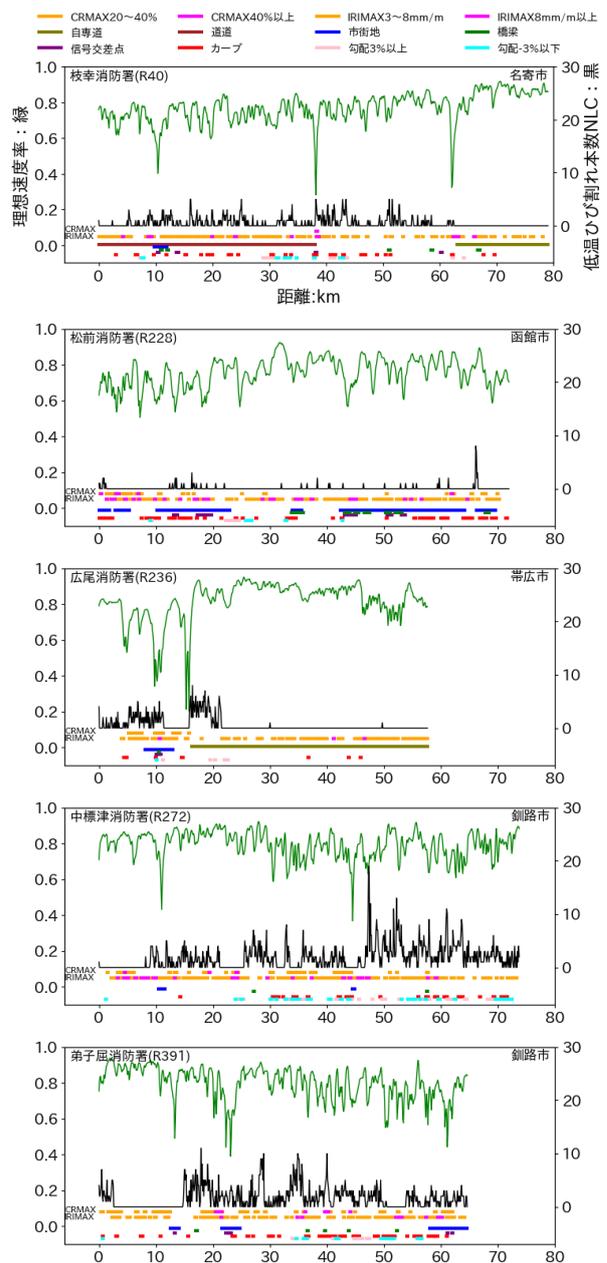


図-6 理想速度率のプロファイル

す。理想速度率は、様々な要因から局所的に変動することがわかる。例えば、市街地や信号交差点などの箇所では理想速度率が著しく低下しており、道路構造の影響が大きいことがわかる。路面性状については、道路構造の影響により、理想速度率との関係が分かりにくい。そこで、道路構造別または路面性状値の区別に理想速度率の分布を確認した。

道路構造別の理想速度率を図-7に示す。R40とR236では、「自専道」があり、「国道」や「道道」よりも理想速度率が高い。「車線数」については、片側2車線の方が理想速度率が高いが、その逆を示す路線もある。「市街地」「橋梁」「カーブ」ではおよそ0.6～0.8に低下し、「信号交差点」では0.4にまで低下する路線もある。

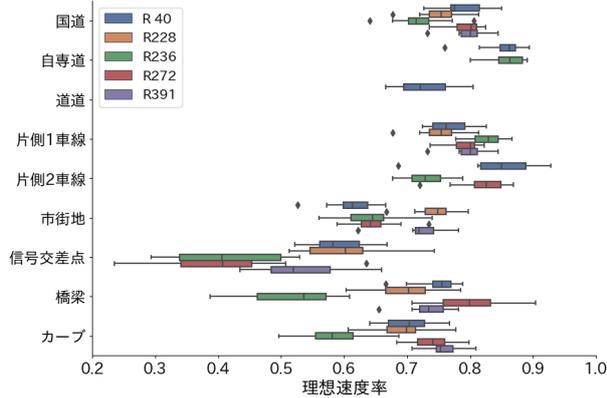


図-7 道路構造別の理想速度率

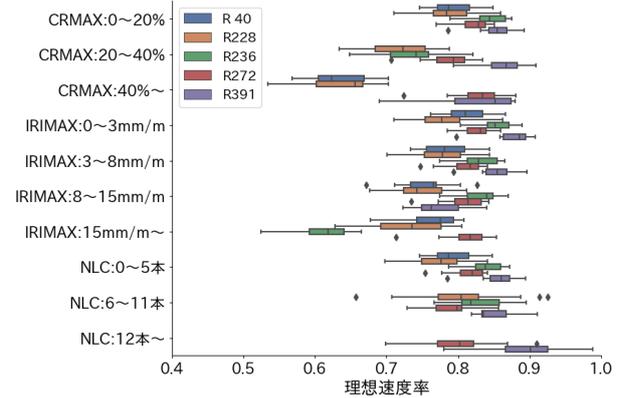


図-8 路面性状区分別の理想速度率（市街地等を除外）

表-1 ロジスティック回帰分析の結果

目的変数：理想速度率	全路線統合		R40（枝幸町）		R228（松前町）		R236（広尾町）		R272（中標津町）		R391（弟子屈町）	
	偏回帰係数	オッズ比	偏回帰係数	オッズ比	偏回帰係数	オッズ比	偏回帰係数	オッズ比	偏回帰係数	オッズ比	偏回帰係数	オッズ比
切片	0.501 ***	1.651	0.620 ***	1.860	0.476 ***	1.610	0.473 ***	1.606	0.926 ***	2.523	0.556 ***	1.744
国道ダミー	1.176 ***	3.240	0.762 ***	2.142	0.476 ***	1.610	1.528 ***	4.610	0.926 ***	2.523	0.556 ***	1.744
自専道ダミー	1.495 ***	4.460	1.205 ***	3.336	0.000	1.000	1.902 ***	6.699	0.000	1.000	0.000	1.000
道道ダミー	0.775 ***	2.170	0.544 ***	1.723	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
市街地ダミー	-0.230 ***	0.795	-0.515 ***	0.598	-0.064 *	0.938	-0.329 ***	0.720	-0.657 ***	0.518	-0.460 ***	0.631
片側1車線ダミー	-0.124 **	0.884	0.046	1.047	0.476 ***	1.610	-0.283 *	0.754	-0.230 ***	0.795	0.556 ***	1.744
橋梁ダミー	-0.276 ***	0.759	-0.107	0.899	-0.334 ***	0.716	-0.496	0.609	0.149	1.161	-0.456 *	0.634
カーブダミー	-0.276 ***	0.759	-0.347 ***	0.707	-0.118 ***	0.888	-0.409 ***	0.664	-0.449 ***	0.638	-0.411 ***	0.663
信号交差点ダミー	-0.868 ***	0.420	-0.386 **	0.680	-0.792 ***	0.453	-1.148 ***	0.317	-1.074 ***	0.342	-0.926 ***	0.396
縦断勾配	-0.031 ***	0.970	-0.016	0.984	-0.011	0.989	-0.031	0.970	-0.054 ***	0.948	-0.036 **	0.965
IRI _{MAX}	-0.008 ***	0.992	-0.016 **	0.984	-0.004	0.996	-0.041 ***	0.960	-0.002	0.998	-0.017 *	0.983
CR _{MAX}	-0.009 ***	0.991	-0.008	0.992	-0.013 ***	0.987	-0.025 ***	0.976	-0.009 ***	0.991	0.000	1.000
NLC	-0.011 *	0.989	-0.002	0.998	-0.011	0.989	0.007	1.007	-0.026 ***	0.974	0.002	1.002
サンプル数	61,951		11,865		16,560		9,809		19,188		4,529	
			15回出動×791区間		23回出動×720区間		17回出動×577区間		26回出動×738区間		7回出動×647区間	
決定係数	0.28		0.41		0.13		0.53		0.28		0.27	

*:p<0.1 **:p<0.05 ***:p<0.01

次に、各路面性状値を3、4段階で区分して理想速度率を集計した（図-8）。なお、上述のように道路構造の影響が大きいため、「市街地」「橋梁」「カーブ」「信号交差点」「歩行者信号」のいずれかがある区間は除外している。CR_{MAX}とIRI_{MAX}を見ると、ほとんどの路線において、これらが大きくなるほど、理想速度率が低下することがわかる。特に、CR_{MAX}=40%になると、理想速度率は約0.6にまで減少し、「橋梁」や「市街地」と同程度となる。NLCでは、理想速度率の大きな減少は見られないものの、減少傾向は幾つかの路線で確認できる。

(3) ロジスティック回帰分析の結果

ロジスティック回帰分析によるパラメータ推定の結果を表-1に示す。まず、全路線のデータを統合した場合は、全ての説明変数が有意（危険率10%）となった。道路構造変数を比較すると、「信号交差点」のオッズ比が0.42と最も小さい。「橋梁」のオッズ比は0.76を示し、「カーブ」や「市街地」と同程度となった。路面性状変数についても全て有意となり、オッズ比が1未満を示す

ことから、各路面損傷は、救急車走行速度の低下要因になると言える。

路線別のパラメータ推定結果をみると、全路線統合の場合と同様な傾向を示すが、路面性状変数については路線によって違いがある。全路線において、路面性状変数のいずれかは有意となるが、NLCが有意となったのはR272だけであった。この理由としては、図-8に示したように、R272以外の路線では、NLCが12本以上の区間が存在せず、データのばらつきが小さいことが挙げられる。このような路線特性に加え、救急隊員の個人差、すなわち、路面状況に対する運転時の注意度もパラメータに影響する可能性もある。したがって、以下では、路線別に分析を行う。また、モデルの整合性のために、危険率10%で有意となった変数のみを用いて、再度推定したパラメータを用いることとする。

(4) 路面性状値と理想速度率の関係

上記のパラメータ推定結果を用いて、各路面性状変数を変化させたときの理想速度率を推定した（図-9）。な

お、路線の大部分は一般国道かつ片側1車線であるため、「国道」と「片側1車線」を1、それ以外の道路構造変数を0として計算した。いずれの路線も、全路線統合の場合よりも理想速度率の低下割合が大きく、傾向も異なる。R236は、 CR_{MAX} と IRI_{MAX} の傾きが大きく、理想速度率は、 $CR_{MAX}=40\%$ になると0.67に、 $IRI_{MAX}=15\text{mm/m}$ では0.75に低下する。R272は唯一NLCが有意となった路線であり、 $NLC=15$ 本になると、理想速度率は0.77にまで低下する。

4. 舗装修繕シナリオ別の救急搬送時間の推計

本章では、第3章で得られたモデルを用いて搬送時間を推計した結果について説明する。本研究の目的は、舗装修繕による搬送時間の短縮効果を明らかにすることである。そこで、様々なシナリオを設定し、これらの推計結果を比較しながら、救急医療支援に向けた舗装維持管理方策について考察する。

(1) 搬送時間の推計精度

上記モデルによる路線全体としての搬送時間の推計精度を確認するために、出動日をランダム順にして3分割し、2つをモデル学習用、残る1つをテスト用とする交差検証を行った。搬送時間の推計値と観測値の関係を図-10に示す。出動日別で見ると、 R^2 は0.95を示すものの、若干の誤差がある。そこで、平均値で比較すると、両値はほぼ一致した。したがって、以下のシナリオ分析では、出動日毎に搬送時間推計値を算出し、その平均値を当該路線の代表値として用いることとする。なお、表-1に示したように、推定モデル自体の決定係数は小さく、100m区間毎の推定値には大きな誤差が生じる場合があるため、局所的な搬送時間の分析は難しい。

(2) 舗装修繕シナリオの設定

舗装修繕シナリオの概要を表-2に示す。各シナリオでは、道路構造変数はそのままとし、修繕がある場合は対象区間の路面性状値を変更してモデルを適用している。

「現状」は、モデル学習と同じデータから推計した結果(図-10)である。「損傷50%増」「損傷25%増」は、路面損傷が進み、全区間の各路面性状値がそれぞれ1.5倍、1.25倍に増加した場合を想定する。

次に、現状の路面に対して、舗装点検要領の3段階の診断区分¹⁹⁾に基づいて修繕(切削オーバーレイなど)した場合を考える。「 $CR_{MAX}40$ 」「 $IRI_{MAX}8$ 」は区分Ⅲ(修繕段階)として $CR_{MAX}\geq 40\%$ 、 $IRI_{MAX}\geq 8\text{mm/m}$ 、「 $CR_{MAX}20$ 」「 $IRI_{MAX}3$ 」は区分Ⅱ(表層機能保持段階)として $CR_{MAX}\geq 20\%$ 、 $IRI_{MAX}\geq 3\text{mm/m}$ となる区間が修繕される。「高水準管理」は、 $CR_{MAX}\geq 20\%$ 、 $IRI_{MAX}\geq 3\text{mm/m}$ 、 $NLC\geq 1$ の何

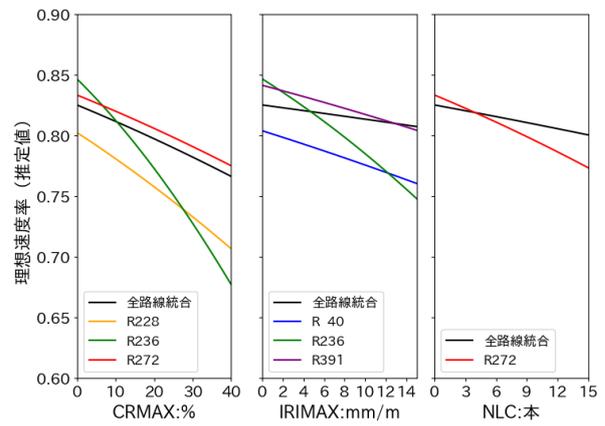


図-9 各路面性状値と理想速度率推定値の関係

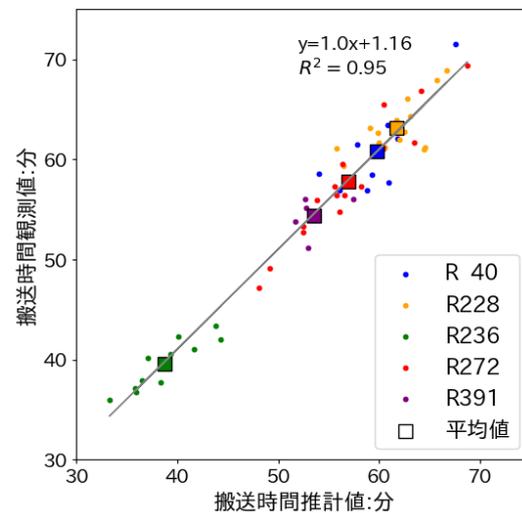


図-10 搬送時間の推計値と観測値の関係

表-2 舗装修繕シナリオの設定内容

シナリオ名	修繕基準と工法	修繕後の状態
現状	現状の各損傷度データを使用	
損傷50%増	将来に各損傷度が1.5倍増加すると想定	修繕なし
損傷25%増	将来に各損傷度が1.25倍増加すると想定	
$CR_{MAX}40$	$CR_{MAX}\geq 40\%$ の区間を修繕	
$CR_{MAX}20$	$CR_{MAX}\geq 20\%$ の区間を修繕	
$IRI_{MAX}8$	$IRI_{MAX}\geq 8\text{mm/m}$ の区間を修繕	$CR_{MAX}=0\%$
$IRI_{MAX}3$	$IRI_{MAX}\geq 3\text{mm/m}$ の区間を修繕	$IRI_{MAX}=1\text{mm/m}$
		$NLC=0$ 本
高水準管理	$CR_{MAX}\geq 20\%$ 、 $IRI\geq 3\text{mm/m}$ 、 $NLC\geq 1$ の何れかを満たす区間を修繕	
$NLC3$	$NLC\geq 3$ 本の区間で低温ひび割れ箇所を簡易補修	$CR_{MAX}=15\%$ 減
		$IRI_{MAX}=1\text{mm/m}$
$NLC1$	$NLC\geq 1$ の区間で低温ひび割れ箇所を簡易補修	$NLC=0$ 本

れかを満たす区間を修繕対象とし、良好な路面状態を維持する場合を想定する。以上の修繕対象区間では、 $CR_{MAX}=0\%$ 、 $IRI_{MAX}=1\text{mm/m}$ 、 $NLC=0$ に設定し、モデルを適用する。

本研究では、上記の従来基準に加えて、低温ひび割れを考慮したシナリオを設定する。「 $NLC3$ 」「 $NLC1$ 」は、

100m区間内の低温ひび割れがそれぞれ3本以上、1本以上となる区間を対象に、部分的な補修を行う。これは100m区間を全て修繕するのではなく、低温ひび割れ箇所のみ表面処理工法などによる簡易補修を行う場合を想定する。この部分的な補修による CR_{MAX} や IRI_{MAX} の回復量についてはデータがないため、一つのシナリオとして、 CR_{MAX} を15%減、 $IRI_{MAX}=1\text{mm/m}$ 、 $NLC=0$ に設定することとした。

(3) シナリオ別の搬送時間短縮量

舗装修繕シナリオ別の推計結果を表-3に示す。上段には、修繕対象となった区間数を記載している。下段には、「現状」の搬送時間推計値および、各シナリオの「現状」からの搬送時間短縮量および短縮率を示す。

路線全体の搬送時間の短縮量は、修繕効果（路面性状変数の回帰係数）に加えて、診断区分によって決まる修繕対象区間長に依存する。例えば、診断区分Ⅲに基づく「 $CR_{MAX}40$ 」や「 $IRI_{MAX}8$ 」では、修繕対象区間長が短いため、路線全体としての搬送時間の短縮は1分にも満たない。診断区分Ⅱを用いる「 $CR_{MAX}20$ 」や「 $IRI_{MAX}3$ 」になると、修繕対象区間が増え、それぞれ約1分、約2分の短縮が得られる。また、「 $NLC1$ 」をみると、 NLC に対する修繕効果は小さいものの、低温ひび割れが広く分布するR272では約2分の短縮となった。次に、「損傷50%増」では、搬送時間は現状よりも大きくなり、特に、R236では約2分の増加となった。これに対し、「高水準管理」では、ほとんどの区間が修繕対象となることから、現状から2分以上の短縮となり、「損傷50%増」と比較すると約4分以上の大きな差となる路線もある。

(4) 救急医療支援に向けた舗装維持管理方策

以上のように、従来の診断区分Ⅲを用いると修繕対象が少なく搬送時間の短縮量は小さいが、区分Ⅱで修繕すると一定の効果が期待できる。また、本研究で新たに提案した診断区分「100m区間内で NLC が1本以上」を用いると、特に、低温ひび割れが広く分布する道東エリアで効果が見られた。低温ひび割れの補修には、通常、シーリング材注入工法²⁰⁾が採用されるが、段差の解消にはならない。段差を低減できる部分的な表面処理工法などで網羅的に補修することで、修繕コストを抑えつつ、救急車の車両振動および到着遅れの同時解決に寄与できると考えられる。さらに、将来、良好な路面状態を維持する場合（高水準管理）に対して、修繕が遅れて損傷が大きく進む場合（損傷50%増）には、約4分以上の到着遅れが発生する可能性が示唆された。このような高水準な路面管理は大きなコストを要するものの、北海道の「生産空間」における救急医療の支援に大きく寄与できる。

シナリオの中には極端な設定もあるが、このような実

表-3 救急搬送時間短縮量の推計結果

●修繕対象区間：km

シナリオ名	R40	R228	R236	R272	R391
分析区間長 (100m区間数)	79.1 (791)	72.0 (720)	57.7 (577)	73.8 (738)	64.7 (647)
$CR_{MAX}40$	0.4	1.7	0.0	1.2	2.2
$CR_{MAX}20$	0.4	12.1	4.8	16.8	18.4
$IRI_{MAX}8$	7.5	12.7	3.7	11.8	5.6
$IRI_{MAX}3$	51.0	52.5	33.7	56.5	40.6
$NLC3$	3.7	0.4	6.0	20.9	16.0
$NLC1$	24.1	4.3	12.6	46.7	39.2
高水準管理	58.1	57.4	40.6	69.9	56.9

●搬送時間短縮量（全出勤日の平均）：分 ※[短縮率：%]

シナリオ名	R40	R228	R236	R272	R391
現状（推計値）	60.0	62.1	39.2	56.8	53.6
$CR_{MAX}40$	0.0 [0.0]	0.3 [0.4]	0.0 [0.0]	0.1 [0.1]	0.0 [0.1]
$CR_{MAX}20$	0.0 [0.0]	1.0 [1.6]	0.8 [2.1]	0.8 [1.4]	0.2 [0.4]
$IRI_{MAX}8$	0.3 [0.5]	0.5 [0.7]	0.4 [1.0]	0.4 [0.7]	0.3 [0.5]
$IRI_{MAX}3$	1.0 [1.7]	1.8 [2.8]	2.1 [5.4]	1.6 [2.9]	0.8 [1.5]
$NLC3$	0.1 [0.1]	0.0 [0.0]	0.5 [1.2]	0.8 [1.4]	0.2 [0.4]
$NLC1$	0.4 [0.7]	0.2 [0.3]	1.1 [2.9]	1.5 [2.6]	0.6 [1.2]
損傷25%増	-0.3 [-0.5]	-0.7 [-1.2]	-1.0 [-2.5]	-0.6 [-1.0]	-0.3 [-0.5]
損傷50%増	-0.6 [-1.1]	-1.5 [-2.4]	-2.2 [-5.5]	-1.2 [-2.1]	-0.6 [-1.1]
高水準管理	1.0 [1.7]	2.1 [3.4]	2.4 [6.2]	1.9 [3.4]	0.9 [1.6]

測データや統計モデルに基づく推計や舗装維持管理方策の提案は、救急医療に関する地域の実情や今後の舗装老朽化を考慮した舗装維持計画の立案に役立つと考える。

5. 結論

本研究では、北海道内の三次救急搬送路線を対象に、救急車走行および路面性状の統合調査を実施し、路面性状や道路構造が救急車の走行速度に及ぼす影響を統計モデルにより分析した。さらに、そのモデルを用いて、複数の舗装修繕シナリオについて搬送時間を推計し、その結果から、救急医療を支援する舗装維持管理方策について考察した。結論を以下に示す。

- 救急車プローブデータを集計したところ、対象路線の分析区間では55～70分の長距離搬送が3日に1回程度行われていることがわかった。また、積雪期では、非積雪期よりも搬送時間が2～3分増加し、ばらつきも大きくなる。
- 100m間隔で分割したデータを用いて、理想速度率を目的変数、路面性状と道路構造を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。その結果、ひび割れ率区間最大値 CR_{MAX} 、 IRI 区間最大値 IRI_{MAX} 、低温ひび割れ本数 NLC はいずれも有意となり、路面損傷が救急車の減速および搬送時間増加の要因となることがわかった。
- 路線毎にモデルを構築し、複数の舗装修繕シナリオに

おける搬送時間を推計した。その結果、従来の診断区分IIを用いると搬送時間は1~2分の短縮できることがわかった。また、低温ひび割れが1本以上の区間を簡易補修する場合でも約2分の短縮が得られる。さらに、良好な路面を維持して行く場合（高水準管理）と損傷が進む場合（損傷50%増）を比較すると約4分以上の差が生じる可能性が示唆された。

以上のように、実測データおよび統計モデルにより、舗装修繕によって救急搬送時間を短縮できることを明らかにした。なお、舗装修繕は、時間短縮だけではなく、患者負担を増加させる車両振動の低減にも寄与する。ただし、現在では、舗装修繕による車両振動低減効果について検討に至っていないため、今後、救急車プローブデータの加速度データを用いて分析を行う。

また、舗装修繕によって2~4分の時間短縮や車両振動の低減が可能となるが、このような舗装維持管理を実践するに値するのかを判断することは難しい。現在、同じく北海道を対象として、疾患別の生存率と搬送時間の関係²⁴⁾や、人口および救急搬送発生頻度に基づいた便益評価²⁵⁾に関する調査、研究が進められており、道路行政からの地域医療支援が積極的に講じられている。今後における道内諸地域の少子高齢化、生産空間の維持、救急搬送の需要拡大や質に対する要望の高まりを考えると、数分の時間短縮でも舗装修繕を行う意義がある地域や路線は少なくはないと考える。今後は、人口や救急搬送頻度の予測データなども導入して、将来を見据えた費用便益評価やシナリオ分析に取り組む。さらに、本研究のIoT/AI技術による統合調査は、都市部にも適用でき、対象都市を網羅する路面性状データ²⁴⁾や救急車プローブデータが揃えば、二次救急搬送を対象とした舗装修繕および搬送路線の最適化などに応用できる。多くの地域・都市が抱える救急医療の課題解決は、積み重ねが重要であり、土木分野からも貢献できる部分はある。今後も積極的に研究を進めたい。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：令和2年版消防白書，pp.191.
- 2) 森村尚登，石井美恵子，奥寺敬，柿山聡，櫻井淳，杉田学，田邊晴山，六車崇，山畑佳篤：緊急度判定の体系化；発症から根本治療まで，日本臨床救急医学会雑誌，Vol.19，pp.60-65，2016.
- 3) 国土交通省北海道開発局：北海道の社会経済状況と幹線道路ネットワークについて，https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_kei/splaat0000016eb4-att/splaat0000016egm.pdf（閲覧日：令和3年6月8日）
- 4) 高山純一，黒田昌生：救急車の走行時間信頼性からみた救急拠点の最適配置に関する研究，都市計画論文集，Vol.35，pp.595-600，2000.
- 5) 高山純一，田中悠祐，中山晶一郎：救急車の走行時間信頼性からみた救急力評価に関する研究，土木計

- 画学研究・論文集，Vol.19，No.2，pp.237-244，2002.
- 6) 南部繁樹，吉田傑，赤羽弘和：プローブデータの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，IATSS Review，Vol.34，No.3，2009.
- 7) 二神透，河口尚紀，門脇玄治，前川聡一，渡部正康：GPS・動画像データを用いた救急車両の走行動態分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.67，No.5，pp.I_521-I_529，2011.
- 8) 二神透，池田達朗：松山市救急搬送記録データの時間信頼性と処分時間分析に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.5，pp.I_251-I_257，2012.
- 9) 薄井智貴，長野佑哉，山本俊行，森川高行：救急車プローブデータを活用した到達圏域の把握と道路改善箇所の検討，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.73，No.5，pp.I_673-I_682，2017.
- 10) 安田康晴，二宮伸治，諫山憲司，竹井豊：救急自動車の振動と防振架台の効果と対策，日本臨床救急医学会雑誌，Vol.18，pp.5-14，2015.
- 11) 星野洋，金森弘晃，西岡寿行，橋本政行：路面の平坦性や道路線形が脳疾患救急搬送に与える影響評価，日本道路会議，2013.
- 12) 星野洋，金森弘晃，西岡寿行：冬期の路面状況や路面凹凸が救急搬送に与える影響評価，寒地技術シンポジウム，2013.
- 13) 亀山修一，佐々木克典，郭慶煥，城本政一，川端伸一郎：救急車搬送の観点からの舗装路面の評価，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.75，pp.I_41-I_47，2019.
- 14) 簡易 IRI 測定装置「STAMPER」：新技術情報提供システム（NETIS），KT-170109-VR（2018.12.28）.
- 15) 浅田拓海，居駒薫樹，長屋弘司，亀山修一：U-netによるひび割れスケッチを導入した簡易カメラ搭載型舗装点検の精度検証，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.76，No.2，pp.I_123-I_131，2020.
- 16) 熊谷政行：積雪寒冷地の道路舗装の損傷について，寒地土木研究所月報，第714号，2012.
- 17) 杉浦聡志，亀山修一，坪井勤，高橋敏彦，市川晴信：美濃加茂市の生活道路の舗装維持管理における目視点検の導入に向けた諸検討，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.70，No.3，pp.I_25-I_31，2014.
- 18) 吉田武：道路機能の観点から舗装の維持管理ニーズを評価するための複合指標，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.72，No.1，pp.12-20，2016.
- 19) 国土交通省：舗装点検要領，2017.
- 20) 宮崎文平，風戸崇之，瀧梶方希，小濱健吾，貝戸清之：高機能舗装を対象とした高速道路の路面管理基準に関する実証的研究，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.69，No.3，pp.I_175-I_183，2013.
- 21) 公益社団法人日本道路協会：舗装点検必携平成29年度版，2017.
- 22) 田島明，松井健一：道路事業による救急医療施設へのアクセス向上効果の貨幣価値換算法の提案，土木技術資料，Vol.59，No.3，pp.31-37，2017.
- 23) 石郷岡和則，原一浩，荒井政俊：道北地域における道路整備による医療支援効果の評価に関する報告—救急搬送の時間短縮効果および安定性評価について—，第56回北海道開発技術研究発表会，2014.

- 24) 浅田拓海, 居駒薫樹, 有村幹治, 亀山修一: 生活道路の舗装点検全数調査データの構築と舗装メンテナンス・マネジメントへの応用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5, pp.I_41-I_49, 2021.
- 25) 浅田拓海, 可知宏太, 有村幹治: 生活道路の舗装修繕トリアージに向けた舗装劣化箇所の面的抽出手法

の構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.76, No.5, pp.I_85-I_92, 2021.

(Received June 18, 2021)

(Accepted December 28, 2021)

ESTIMATION OF EMERGENCY TRANSPORTATION TIME USING INTEGRATED SURVEY DATA OF AMBULANCE AND PAVEMENT

Takumi ASADA, Shohei NUNOHIRO, Hiroshi SASAKI,
Masakazu JOMOTO and Shuichi KAMEYAMA

In this study, we conducted an ambulance probe survey and a road surface condition survey on long-distance ambulance transport routes in Hokkaido, and analyzed the effect of road surface conditions on the ambulance driving speed using a statistical model. Furthermore, using the above models, the transportation time was estimated for each pavement maintenance scenario. First, it was clarified that not only the road structure but also road surface damage such as crack ratio, *IRI*, and number of low-temperature cracks affect the driving speed reduction. Next, it was shown that the transportation time was reduced by about 2 minutes in the scenario of simple repair of a section with one or more low-temperature cracks in 100 m. Finally, we compared these scenarios and proposed pavement management that contributes to reducing the transportation time of ambulance.