

# 救急車プローブデータを用いた 舗装損傷が搬送時間に及ぼす影響分析

布広 祥平<sup>1</sup>・浅田 拓海<sup>2</sup>・佐々木 博<sup>3</sup>・亀山 修一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail: 21041057@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 室蘭工業大学助教 大学院工学研究科 もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

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

E-mail: h\_sasaki@fujitsu.com

<sup>4</sup>正会員 北海道科学大学教授 工学部都市環境学科 (〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)

E-mail: kameyama@hus.ac.jp

地方部では、三次救急搬送の件数拡大と長距離化が進んでいる。さらに、舗装の老朽化も顕著であるため、搬送時間の短縮に加え、患者の容態に影響する車両振動の低減を同時に解決することが重要である。本研究では、北海道内5地域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撮影調査を実施し、舗装損傷が搬送時間に及ぼす影響について分析した。対象路線では、45分以上の搬送が3日に1回程度あり、積雪期になると搬送時間が3分程度増加する。また、低温ひび割れが多い区間ほど、搬送速度が低下する傾向を示した。さらに、路線内の約15%の区間を修繕した場合の搬送時間を推計した結果、約1分の時間短縮となり、舗装マネジメントの観点から、救急搬送サービスの質の向上に寄与できる可能性が示された。

**Key Words :** emergency transportation, ambulance, probe data, low-temperature cracking

## 1. はじめに

我が国の平成30年度における救急車の出動件数は、過去最多の約660万件であり、高齢化の進展などによって、救急需要は今後も増大していくことが予想される<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。また、救急搬送時は患者の容態に配慮しなければならず、舗装路面に起因する車両振動に注意しながらの運転が求められる。

一方で、地方部では、医師の不足や救命救急センターなどの第三次医療機関の偏在などによって、救急搬送が長距離となるケースは少なくはない<sup>3)</sup>。加えて、地方部では道路舗装の老朽化も進んでおり、車両振動を生じさせる可能性がある箇所が数多く存在している<sup>4)</sup>。したがって、救急救命搬送という行政サービスの質を考える上では、搬送時間の最小化だけではなく、車両振動の要因となる舗装損傷の影響度を調べ、必要に応じて舗装修繕を行うことも重要である。どのような舗装状態が救急搬送時間にどの程度影響を及ぼすのかを定量化できれば、

補修・修繕の優先順位設定や工法・材料の検討などを適切に行えるため、救急車の搬送時間短縮と車両振動低減の同時解決につながる。

救急搬送時間に関する研究は、交通分野で盛んに行われてきた。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<sup>5)</sup>。近年では、GPSデータや動画から、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、救急車の走行挙動データを用いて、走行実態に基づいた経路情報提供システムの構築を行っている<sup>6)</sup>。二神らは、救急車のGPSデータと車載カメラによる動画を用いて、搬送時間と走行障害要因の関係について分析している<sup>7)</sup>。

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の効果に関する実験などがある<sup>8)</sup>。一方、車両振動の原因となる舗装路面に着目した研究事例は少ない。星野らは、オホーツク圏の救急搬送路線において、脳疾患搬送の場合、橋梁ジョイントなど

のIRI（国際ラフネス指数：International Roughness Index）が大きい箇所では搬送速度が大きく低下することを明らかにしている<sup>10,11</sup>。著者らの先行研究では、道内消防署の救急隊員を対象とした走行実験およびヒヤリング調査を実施し、橋梁ジョイントに加えて、積雪寒冷地特有の低温ひび割れなどの舗装損傷が救急車の減速を生じさせていることを明らかにした<sup>12</sup>。しかしながら、実際の救急搬送時における走行挙動データに基づいて、路面状態と搬送時間の関係や、舗装修繕による搬送時間の短縮効果などを定量的に分析した事例は見受けられない。

本研究では、北海道の5地域における三次救急搬送路線を対象に、救急車プローブ調査および路面撮影調査を実施し、舗装損傷が救急搬送時間に及ぼす影響について定量的な分析を行った。さらに、その結果を基に、舗装修繕を行った場合の搬送時間の短縮量について推計を試みた。本論文の構成は、以下の通りである。第2章では、救急車プローブ調査および路面撮影調査の概要を説明する。第3章では、対象地域の三次救急搬送の状況に関する基礎的な分析を行った上で、舗装損傷と搬送速度の関係について分析する。さらに、その結果を基に、舗装修繕を行った場合の搬送時間短縮量を推計し、舗装の観点からの救急搬送サービスの質の向上について考察する。第4章では、まとめと今後の課題や展開について述べる。

## 2. 調査の概要

本研究では、北海道の5地域における三次救急搬送路線を対象とした。調査対象となる搬送路線を図-1に示す。各地域では、郊外の消防署から出発し、都市部の医療施設まで三次救急搬送が行われている。搬送路線のほとんどは一般国道であることから、それを中心に、救急車プローブ調査および路面撮影調査を実施した。

### (1) 救急車プローブ調査

各地域の消防署に依頼し、富士交通・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、対象期間における救急車の走行記録を収集した。このプローブデータは、救急車両に設置したスマートフォンによりサンプリング周波数10Hzで取得され、位置情報や走行速度などのデータで構成される。調査期間は、令和1年9月～令和2年6月である。データを調べたところ、出動の度に搬送先の病院が異なるため、毎回必ず通過する区間を抽出し、分析区間として設定した（図-1）。

### (2) 路面撮影調査

著者らは、図-2に示すような市販カメラを用いた路面撮影システムとAI技術による低コスト・簡易な舗装点検



図-1 対象路線と分析区間



図-2 路面撮影システム

システムを構築している<sup>13)</sup>。図-2に示したように、車載カメラを車両ボンネットに設置し、道路を走行しながら路面前方の動画撮影が可能であり、位置情報も同時に取得できる。本研究では、対象路線の路面状態を全面的に把握するために、この路面撮影システムを導入した。使用したカメラはGoPro HERO 5であり、内蔵GPSにより取得されたデータを解析することで、各フレームに位置情報を紐付けることが可能である。調査は、図-1に示した搬送路線を対象とし、令和2年9月～令和2年10月の期間に実施した。

著者らは、先行研究において、道内の消防署を対象とした走行実験を実施し、救急隊員が、低温ひび割れ(図-3)が存在する箇所を救急車を減速させることを明らかにしている<sup>12)</sup>。低温ひび割れは、温度応力ひび割れとも言われ、急激な温度の低下によって舗装体が収縮し、道路延長方向に引っ張られることで、横断方向にほぼ等間隔で発生する舗装損傷であり、北海道のような寒さの厳しい地域において発生しやすいなどの特徴がある<sup>14)</sup>。そこで、本研究では、低温ひび割れに着目し、撮影動画を見ながら、低温ひび割れが存在する箇所を記録し、その箇所数と救急搬送時間・速度の関係について分析する。



図-3 低温ひび割れの例

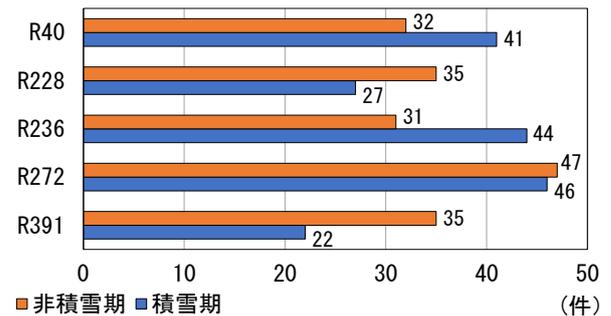


図-4 各路線における三次救急搬送の出動件数

### 3. 舗装損傷が救急搬送に及ぼす影響分析

#### (1) 対象地域における三次救急搬送の状況

はじめに、対象地域における三次救急搬送に関する基礎的な分析を行い、救急搬送の出動件数と所要時間について明らかにする。降雪や積雪の影響を考慮し、気象庁のデータを用いて、各出動日の救急車プローブデータを降雪や積雪の有無から、非積雪期・積雪期に区分した。

各路線における救急出動件数を図-4に示す。10ヶ月の対象期間において、60～90件の救急出動があったことがわかる。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、3日に1回程度の頻度で、70km以上にも及ぶ長距離搬送が行われていることを意味する。

次に、各分析区間における救急搬送時間の平均値と標準偏差を図-5に示す。非積雪期では、平均値は45～65分、標準偏差は3～5分程度である。積雪期になると、どの路線においても、平均値は3分程度、標準偏差は2分程度増加することがわかる。これは、降雪・積雪による道路状況の悪化が影響していると考えられる。また、分析区間は、搬送先の都市部の区間が除外されているため、病院までの搬送時間はさらに長い。本研究では、舗装状態の影響のみに着目し、上記のような積雪や都市部の交通環境については対象としていないが、これらの考慮は重要であるため、今後、詳細に分析を行う予定である。

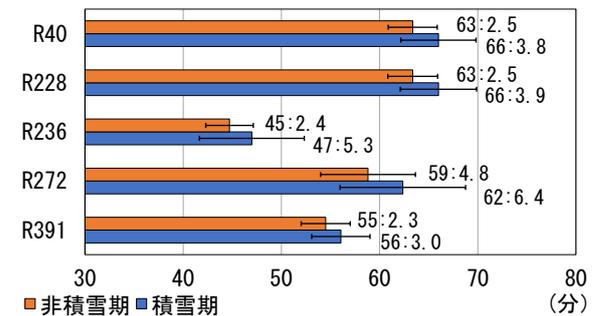


図-5 分析区間における搬送時間(平均値:標準偏差)

#### (2) 低温ひび割れと救急搬送速度の関係

先行研究では、動画を用いた走行実験により、低温ひび割れ箇所を救急車が減速することが明らかにした。本研究では、救急車プローブデータに基づいて、低温ひび割れと救急搬送速度の関係を定量的に分析する。そのため、まず、各分析区間を1km間隔で分割し、1km区間毎に救急搬送速度の平均値および低温ひび割れ箇所数を求めた。

平均搬送速度と低温ひび割れのプロファイルを図-6に示す。なお、R40(枝幸消防署から名寄市内まで)のみ、道道の区間が含まれており、他の路線と条件を合わせるため、その区間は分析から除外した。R272, R391では、低温ひび割れを約60箇所通過する区間が存在する。これは、平均として約17mに1箇所の間隔で低温ひび割れ箇所を通過しており、例えば、走行速度が80km/hであれば

約0.75秒間隔で車両振動が発生することになる。この2路線が存在する道東エリアは、積雪が比較的少なく寒さの厳しい地域であり、他路線に比べて低温ひび割れが発生しやすいと言われており、プロファイルからもその傾向が見て取れる。

また、各路線で、低温ひび割れ箇所数と平均搬送速度を比較すると、低温ひび割れが多い区間では、平均搬送速度が低下する傾向が見られる。ただし、このように全区間で見ると、舗装以外の要因により、搬送速度への影響が分かりづらい。そこで、舗装路面以外の影響を可能な限り排除するために、以下のデータを除外した上で平均搬送速度と低温ひび割れ箇所数の関係を分析した。

- ・積雪期のデータ
- ・一般国道以外の区間（自動車専用道路含む）
- ・信号交差点や横断歩道が存在する区間
- ・片側1車線かつ交通量が多い市街地周辺
- ・曲率の小さいカーブが存在する区間
- ・勾配がある山間部の区間

低温ひび割れ箇所数と平均搬送速度の関係を図-7に示す。全路線において、相関係数は0.2～0.5程度であるが、低温ひび割れ箇所数が増加すると、概ね搬送速度が減少する傾向が見られた。このような舗装損傷箇所を補修・修繕することで、搬送速度の低下による病院への到着遅れや、車両振動による患者への負担を低減することが可能になると考えられる。ただし、同図に示したように、ばらつきが大きいケースも散見された。これらは、低温ひび割れの進行度合いや他の損傷の影響と考えられる。本研究では、低温ひび割れのみに着目し、その箇所数から分析を行ったが、今後は、他の損傷も抽出するとともに、IRIデータなどから舗装損傷度合いを考慮した分析を行う。さらに、道路線形・構造や交通量などのデータも揃え、搬送時間に与える影響についてより詳しく分析する予定である。

### (3) 舗装修繕による救急搬送時間の短縮効果

上述したようなデータ不足などの課題はあるものの、舗装修繕した場合の搬送時間の短縮量がどの程度得られるのか、その可能性を調べるために、下記の方法で推計を試みた。まず、路線毎に低温ひび割れ箇所数が0～20箇所の範囲で、平均搬送速度が最も大きい区間を抽出する。この区間の速度を「理想速度」として、他の区間を修繕した場合の速度として一律に設定する。最終的には、修繕区間毎に所要時間の短縮量を求め、全分析区間の所要時間から差し引くことで修繕後の短縮時間を推計した。

各分析区間における舗装修繕前後の救急搬送所要時間を図-8に示す。全路線で修繕後に35秒～1分20秒程度短縮していることがわかる。修繕すると仮定した区間の割合は、各路線ともに分析区間の15%程度であるが、この

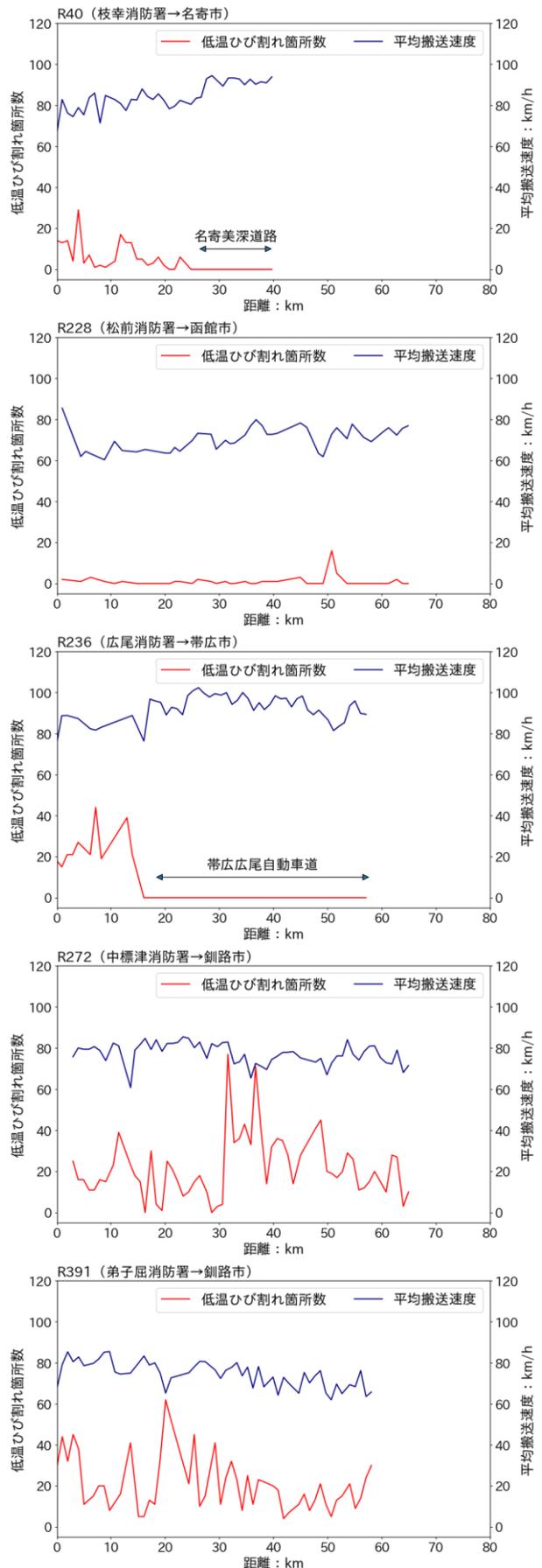


図-6 低温ひび割れ箇所数と平均搬送速度の推移

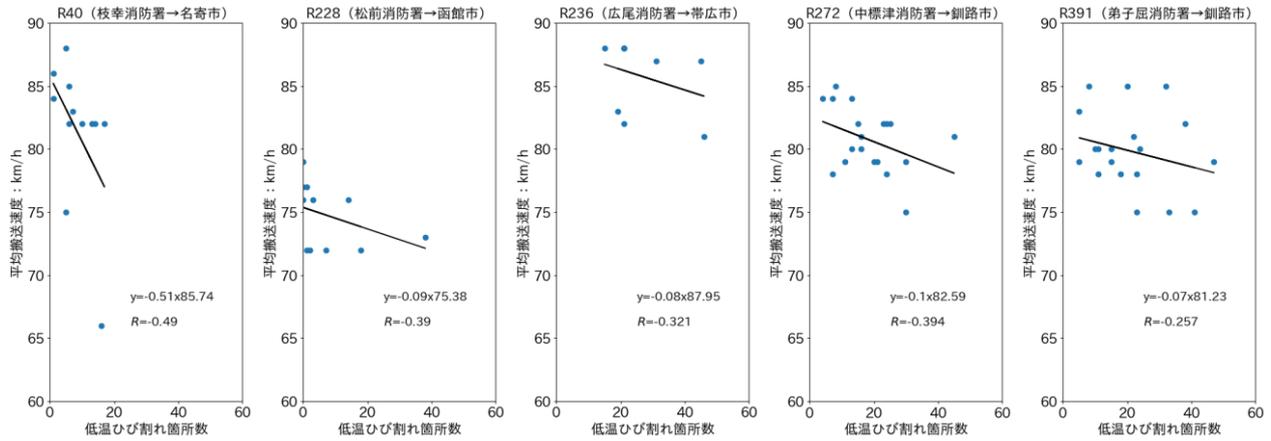


図-7 低温ひび割れ箇所数と平均搬送速度の関係

ような部分的な修繕でも、約1分程度の短縮時間を得られることが明らかとなった。さらに、低温ひび割れ以外の舗装損傷や、分析から除外した区間などを含めて舗装路面の影響を考慮すれば、さらなる時間短縮が期待できる。以上から、課題は残るものの、舗装マネジメントの観点から、舗装修繕が救急搬送サービスの質の向上に寄与できる可能性が示された。

#### 4. まとめ

本研究では、北海道の5地域における三次救急搬送路線を対象とし、救急車プローブ調査および路面撮影調査を実施し、舗装損傷が救急搬送時間に及ぼす影響について分析した。さらに、舗装修繕を行った場合の搬送時間短縮量の推計を試みた。得られた結果を以下に示す。

- 救急車プローブデータを用いて、対象地域の三次救急搬送に関する基礎的な分析を行った。その結果、各分析区間において45分以上の長距離搬送が3日に1回程度行われていること、また、積雪期になると、搬送時間が3分程度増加することがわかった。
- 各分析区間を1km間隔で分割し、1km区間毎の搬送速度の平均値および低温ひび割れ箇所数を求め、両者の関係について調べた。その結果、低温ひび割れ箇所数が多い区間ほど、平均搬送速度が減少する傾向が見られた。
- 上記の関係から、低温ひび割れ箇所がある区間を修繕した場合の搬送時間を推計した。その結果、対象路線の15%程度の区間を修繕することで、35秒～1分20秒程度の時間短縮が得られることを明らかにした。

本研究では、舗装損傷として低温ひび割れのみを取り上げ、その箇所数と搬送速度の関係について分析した。しかしながら、このような分析では、ノイズも多く、傾向を捉える程度に留まった。今後は、著者らが開発した

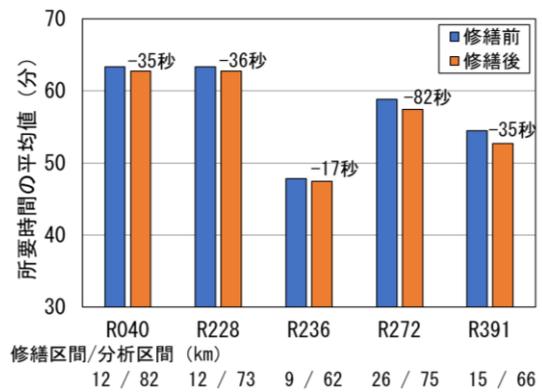


図-8 舗装修繕前後の救急搬送所要時間の比較

舗装診断システム<sup>13),15)</sup>を用いて、低温ひび割れ以外の舗装損傷も抽出するとともに、損傷度合いも考慮した分析を行う。さらに、道路構造や交通量データに加え、著者らが構築した生活道路の舗装点検データベース<sup>16),17)</sup>を用いて統合的な分析を行い、舗装の観点からの救急搬送時間短縮および車両振動低減の可能性を示し、そして、都市部および地方部における救急救命搬送サービスの質の向上について検討を深める。

#### 参考文献

- 1) 総務省消防庁：令和元年消防白書，  
<https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/rl/47787.html>  
(閲覧日：令和2年12月20日)
- 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.mlitt.go.jp/ky/kn/dou\\_kei/splaat0000016eb4-att/splaat0000016egm.pdf](https://www.hkd.mlitt.go.jp/ky/kn/dou_kei/splaat0000016eb4-att/splaat0000016egm.pdf)  
(閲覧日：令和3年2月23日)
- 4) 国土交通省：これからの舗装マネジメント，  
<https://www.mlitt.go.jp/common/001145725.pdf>  
(閲覧日：令和3年2月23日)

- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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, 34(3), 2009.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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, (舗装工学論文集第 24 巻), pp.I\_41-I\_47, 2019.
- 13) 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.
- 14) 寒地土木研究所: 積雪寒冷地の道路舗装の損傷について, 月報, No.714, 2012.
- 15) 居駒薫樹, 浅田拓海, 有村幹治, 亀山修一: 車載カメラ動画を用いた自転車走行時の振動不快度評価手法の開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5, I\_745-I\_754, 2019.
- 16) 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, 2021. (登載決定)
- 17) 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, 2021. (登載決定)