

表 題 三次救急医療体制における救急活動時間の短縮に関する
ICT を用いた解析とそのシミュレーションに関する研究

論文の区分 博士課程

著 者 名 福島 史人

担当指導教員氏名 守谷 俊 教授

所 属 自治医科大学大学院医学研究科
地域医療学系専攻
総合医学分野
内科系総合医学

2020年1月10日申請の学位論文

目次

1. はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.1.
2. 対象と方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.6.
3. 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.13.
4. 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.25.
5. 結語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.34.
6. 謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.34.
7. 文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ p.35.

1. はじめに

日本における2017年の救急自動車の出動件数は6,342,147件(前年比132,183件、2.1%増)であり、2004年以降一貫して増加している。その背景には、不要不急の救急要請や高齢者増加に伴う人口構造の変化が関与している[1,2]。そのため、限られた数の救急自動車の運行が制限され、覚知から病院到着までの時間隔は年々延長している。救急活動時間は、覚知から現場到着、現場到着から現場出発、現場出発から病院到着、病院到着から帰署に細分され、いわゆる救命救急のトライアングル(図1)と表現される[3]。



図1. 救命救急のトライアングルと救急隊の活動内容

覚知から現場到着までの時間 (Response Time, RT) は、10 年前の 6.6 分と比較して 8.5 分と徐々に延長している [4]。救急要請の増加と覚知から現場到着までの時間の延長は、特に都市部で顕著である。救急要請が多くなれば、現場から最も近くの消防署に配備されている救急自動車ですでに出動しているため、現場へ最短距離で駆け付ける救急自動車が出動できなくなる可能性が高くなり、救急活動時間の延長が予想される。また、交通量の増加、道路形状、信号機の増加、交差点の存在により、たとえ救急自動車であっても交通渋滞により緊急車両における速度低下の発生が予想される [5]。現場到着から現場出発までの時間は、病院交渉時間の延長や受入先の病院が応需困難であることなどにより延長している。RT と同様に救急要請から病院到着までの時間延長は、患者の死亡率に影響を与える [6-9]。特に現場出発から病院到着までの時間では交通渋滞のため遅れる場合が考えられる。病院到着から帰署までの時間は、受入先医療機関における傷病者の引継時間の延長や院内処置協力などにより延長している [10]。また、そうした中での不要不急の救急自動車の出動は、効率的な救急医療活動を困難にしている [11]。現場活動は、心停止患者に対する確実な気道確保やエピネフリンの静脈内投与、ショックを合併した患者への静脈路確保と輸液、低血糖患者への静脈路確保とブドウ糖の静脈内投与などの処置の機会が、メディカルコントロール (MC) の発展進歩により増加している。また、現場の救急救命士が重症か

つ緊急性が高く、病院への収容を急がなければならないと判断し第三次救急医療機関の選定を考慮した事案においては、患者対応や医師への引継ぎなどに時間がかかり、必然的に病院滞在時間が延長する可能性がある。よって、救急活動時間全体の中での現場活動時間の延長、また病院滞在時間の延長が危惧される。現在、医師への引継ぎ後に救急隊は出動要請があった際にすぐに出動できる体制が整っており、病院滞在時間を短縮する方策がとられているが、現状においてこれらの時間延長の問題をすぐに解決することは困難である。

本研究の動機付けとなったのは、2013年1月に私の地元である埼玉県久喜市で当時70歳台の男性が救急要請を行った際に、25病院で合計36回の救急受け入れ要請に対して病院側が不応需の対応を行い、最終的には心停止となって県外の病院で死亡した事案が報道されたことである。病院側の医療従事者の対応には非常に憤りを感じたとともに病院前に展開される医療の体制や仕組みから考えられる問題を医療従事者からの視点とした題材に対して臨床研究を行いたいと研修医ながら私は決意した。そうした中で、自治医科大学附属さいたま医療センターに救命救急センターが埼玉県8番目の救命救急センターとして開設することを知り、地域の救急医療から病院前医療における時間を意識した救急医療を題材とした研究を開始することとなった。緊急度が高く重症度が高ければ、救急自動車が消防署から現場に行き、病院に出来るだけ早く到着するのだと

信じていたからである。救命救急センターで研修する私は、最近ドクターカースタッフとして現場に急行することを任されるようになった。救急現場やその付近でランデブーする救急隊名を確認すると救急現場の住所と全く異なることをよく経験する。さらには、交通渋滞で速度低下の発生場所が同じ場所で起こることを自分や救急隊からの情報で知ることがある。しかしながら、私自身もドクターカースタッフとして毎日担当しているわけではなく、ドクターカーの運行時間も限られていることから、こうした地域の救急医療の病院前の情報がそもそも救急医療の病院前医療に影響を及ぼしているのか。課題があるとすれば、それをどのように集約して誰に普遍的かつ客観的に伝えるべきなのかを考えておく必要がある。こうした動機付けと現状の病院前救急医療から最も考えなくてはならないのは、重症かつ緊急度の高い病態または予想された場合の救急活動の時間である。

しかしながら、今まで示した救急活動時間の時間関係のうち救急自動車の走行している時間の延長原因についての報告はまだ明らかではなく、現場活動時間や病院滞在時間とは異なり、救急自動車走行時間に関しては短縮できる可能性があると考え。こうした時間延長の原因究明や対策は、地域の健康に影響を与え、住民の公共サービスにおける安全で快適な生活や信頼性を確保するのに寄与している[11,12]ことから継続的な対応が必要であることは言うまでもない。

本研究の目的は、Global Positioning System (GPS) データ [5] を使用した分析により、救急自動車走行時間の延長の原因を明らかにすることである。GPS のデータからは、走行距離や時間や速度を含む記録や救急自動車の走行経路が客観的かつ正確に取得できる特性を持っている。我々はそのために以下に二つの仮説を考えた。(1) 救急隊が現場に向かうまでの時間に関しては、救急要請があった場所から最も近い消防署 (FD) から救急自動車が出動していないために時間が延長している。(2) 現場から病院に向かうまでの時間に関しては、天候、時間帯、平日か休日かにより影響を受けている。また緊急車両であっても自由に通行できない交通渋滞が特定の場所に発生している可能性がある。以上の二つの仮説が証明されれば、(1) に対しては現場から直近ではない FD より出動した救急自動車が現場から直近の FD より救急自動車が出動した場合にどの程度の時間短縮効果があるか。さらに、(2) に対して現場から病院までの救急自動車走行時間が、天候、時間帯、平日か休日かの走行環境の違いによる時間短縮効果があるのか。また交通渋滞がない場合にどの程度時間短縮に効果があるかに関するシミュレーションを GPS による情報通信技術 (Information and Communication Technology, ICT) を用いた活動の解析を行った。

2. 対象と方法

2.1 さいたま市の救急隊に関して

119 番（緊急通報用電話番号）は、東京都から北に約 20 km 離れた政令指定都市として 2003 年に設立された都市であるさいたま市を含む、日本全国どこからでもアクセスが可能である。患者が発生すると、この番号により、指令センターは現場から直近の FD から緊急車両を現場に出動させる。さいたま市の指令センターはさいたま市消防局が運営し、市が管理している。さいたま市消防局はさいたま市に 28 隊の救急隊を有し、活動範囲は 217.49 km²（東から西および北から南へ約 20 km）である。各救急隊は 1 台の救急自動車を有し、24 時間ごとに 3 名の隊員で運用されている。一部に認定救急救命士がおり、また、さいたま市の地理に詳しいドライバーがいる。認定救急救命士は、厚生労働省から認可されている。認定救急救命士は、医師の指示の下で気管挿管を含む専門的な処置が実施できる。また、一般的な救急救命士は、自動体外式除細動器による除細動を含む 28 項目の処置が実施できる。救急隊の活動は、基本的に埼玉県 MC 協議会によって決定されている。指令センターは、現場からの距離で直線的に最も近い FD に救急自動車の出動要請を行う。出動要請の内容には、年齢、性別、主訴、事故概要、現場の住所が含まれる。救急救命士は、まず第一に緊急性、次に専門

性、最後に特異性を考慮し患者のトリアージを行う。以下は、救急救命士が第三次救急医療機関の選定を行う場合を示す（表 1）。

<p>【緊急性】</p> <p>ショック、呼吸不全、急性冠症候群、大動脈解離、急性腹症、消化管出血、 脊髄損傷、四肢切断、四肢開放骨折、多発外傷、熱傷</p>
<p>【専門性】</p> <p>小児科、周産期</p>
<p>【特異性】</p> <p>精神医学、薬物中毒、緊急透析</p>

表 1. 第三次救急医療機関の選定を考慮するカテゴリー

1. 救急救命士が心停止か心停止前と判断した。
2. 救急救命士がバイタルサインまたは臨床所見から想起された疾患のカテゴリーで緊急性があると判断した。
3. 救急救命士が、専門的、特異的治療が必要と判断した。

成人の異常なバイタルサインは昏睡状態であるとき、呼吸数が1分あたり10回未満または30回以上であるとき、脈拍数が1分あたり50回未満または120回以上であるとき、収縮期血圧が90 mmHg未満または200 mmHg以上であるとき、酸素飽和度モニターで90%未満などである。

2.2 研究方法

本研究では、救急自動車の走行位置、速度の情報を得るためにGPS受信機（SRcomm M64, データ・テック社製, 東京）を救急自動車に搭載した。一般的に、本装置は営業車の事故予防や省燃費運転を支援するために用いられている。対象となった救急自動車においては、移動している救急自動車における1秒単位の測位情報と電子地図の座標をマッチングし、走行位置と走行速度を算出し、救急要請現場や救急自動車の走行経路を明らかにした。GPSの測位は、GPS衛星から毎秒発信される時間信号（GPS信号と呼ぶ）と受信機が受信した時間差から衛星までの距離を算定する。3つのGPS衛星からの距離を測ることで、受信機の場所を特定することが可能である。移動する救急自動車に搭載されているGPS受信機で毎秒測位された情報は、記録媒体（メモリースティック）に集積された。データ解析時に記録データの取り出しを行った。また、119番通報時の時間などの救急搬送記録とGPS受信機の測位の時刻を付き合わせる（マッチ

ング) ことで、現場に向かう救急自動車の活動内容を特定した。GPS からのデータは、1 秒ごとの速度を含む記録や要請現場の位置、救急自動車の道路走行経路が、客観的かつ正確に示され、欠損データがない特徴を持っている。

2.3 対象地域

本研究の対象地域は、さいたま市の東北東部（さいたま市の 10 の行政区のうち 3 区：大宮区、見沼区、岩槻区）とした。この地域は、主に 10 隊の救急隊と第三次救急医療機関として機能している自治医科大学附属さいたま医療センターなどが医療を提供している。2016 年ではさいたま市の人口の約 32%にあたる居住人口 389,326 人に医療を提供した。

2.4 対象症例

GPS 受信機を搭載した救急自動車から得られたデータと、自治医科大学附属さいたま医療センターに重症かつ緊急性が高く第三次救急医療対応として救急救命士が選定し搬送された症例の救急隊活動記録から得られた現場の住所に基づき、119 番通報の時間と走行距離、1 秒あたりの現場到着時間、走行経路、1 時間あたりの平均速度を取得した。調査期間は 2016 年 9 月 14 日水曜日から 2016 年 11 月 15 日火曜日までで、欠損したデータのなかったうちの出来るだけ

連続の 30 日間を無作為に選択した。本研究は自治医科大学附属さいたま医療センターにおける倫理審査委員会で承認を受けた(受付番号:第 臨 S18-080 号)。

2.5 救急自動車の出動から現場到着までの時間(EVs)のデータ集積に関して

外傷や急病の患者における時間経過の定義を示す (図 2)。

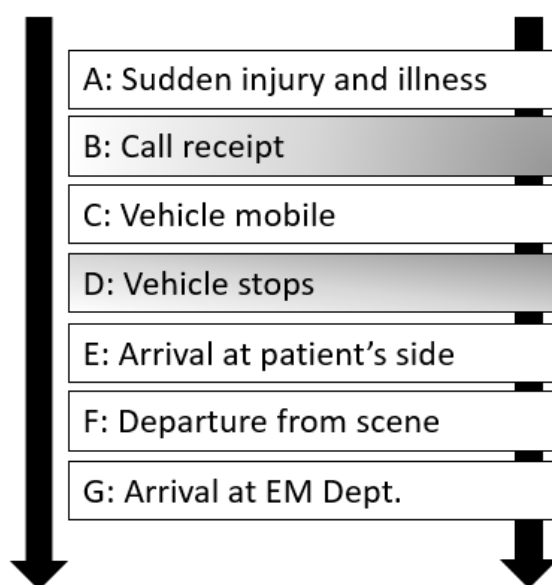


図 2. 外傷や急病の患者における時間経過
白のボックスは可能であれば記録する事が望ましい時間を示す。ハッチング付きのボックスは、記録する事が推奨される時間を示す。

B・E: Response time (RT)

C・D: Emergency vehicle running time to scene (EVs)

D・F: Field management time (FMT)

F・G: Emergency vehicle running time to the EM Dept. (EVemd)

B・G: Emergency Medical Technician activity time

EVs は、FD から救急自動車が出動し、現場に到着するまでの時間と定義した。

さいたま市内の救急隊から自治医科大学附属さいたま医療センターに第三次救

急搬送依頼があった救急自動車から取得した GPS データを事前を選択した。救急要請から取得された情報は、救急隊活動記録から収集され、GPS から取得されたデータと照合した。救急要請のデータは、Quantum GIS 3.6.1 (QGIS Development Team) を使用し国土地理院、国土交通省の地図上にプロットした。QGIS は、地理情報システムの閲覧、編集、分析機能を有するソフトウェアで、本ソフトウェアの機能も使用してシミュレーションを行った。

また、現場に出動した救急自動車が出動しているか否かを同時に調べた。一般的に、消防司令本部は、現場から直線距離で直近の救急活動中ではない救急自動車を出動させる。直近の FD から出動していない場合においては、現場から直線距離で最も近い FD から救急自動車が出動したと仮定し、時間短縮に関するシミュレーションを行った。なお、目撃ありの院外心停止患者において RT が 5 分以内であれば 5 分以上の場合と比較し救命率が 2 倍近く上昇する報告[13]があることから、EVs の目標は 5 分とした。

シミュレーション時間(min)=シミュレーションにおけるそれぞれの距離(km)
/それぞれの実際の平均時速 (km/h) ×60

それぞれのシミュレーションされた時間はさらに平均化された。

2.6 救急自動車の現場出発から病院到着までの時間(EVemd)のデータ集積に関して

EVemd は、現場出発から救命救急センター (EMD) に到着するまでの時間と定義した。現場から自治医科大学附属さいたま医療センターに搬送された症例のデータは、GPS データから取得した。(1)天候、時間、曜日により EVemd に違いが生じるかを検討した。(2)2 台以上の緊急車両が通過し、道路状況に応じて毎秒記録された速度が時速 20 キロメートル未満で 30 秒以上低下した場所を速度低下箇所として検索し、場所の特定を行った[5]。(1)より特定の条件で時速が低下している状況や(2)交通渋滞による状況が通常 of 平均速度で走行した場合に時間短縮効果が得られるかシミュレーションを行った。

2.7 統計解析

データは、JMP バージョン 10.0 (SAS Institute Inc., NC, USA) を使用し統計学的に解析した。データは平均値±SD (標準偏差) で表記した。カテゴリーデータをカイ二乗検定で比較した。ウィルコクソン検定を使用し、連続変数を比較した。危険率 0.05%以下 ($P < 0.05$) で統計学的に有意差があるとした。

3. 結果

埼玉県さいたま市において 2016 年 9 月 26 日から 9 月 28 日、2016 年 10 月 10 日から 11 月 15 日までに救急搬送された患者は 3355 人であり、そのうちの 651 人 (19.4%) が自治医科大学附属さいたま医療センターに搬送された。患者は、救急隊により現場で二次または三次救急患者に選定された。651 人の患者のうち、三次患者症例に選定された 68 人 (10.4%) を本研究の対象症例とした (図 3)。

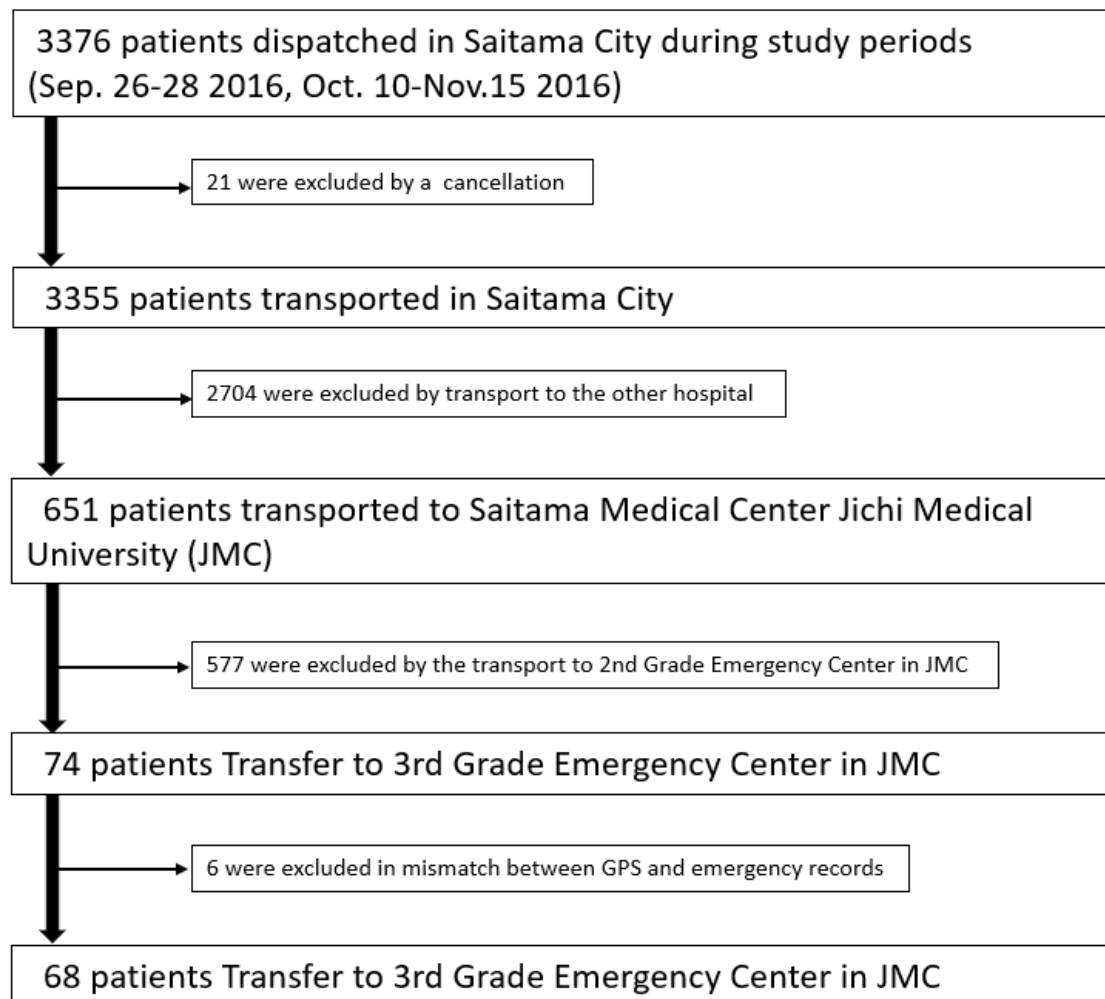


図 3. 研究対象症例のフローチャート
GPS = Global positioning system

本研究の 68 例において、平均年齢 59.9 ± 23.31 歳、性別は男性が 41 人(60.3%)、救急自動車の 95.6%が FD から出動しており、岩槻区からの症例が 33.8%、急病が 63.2%、発症場所は住居が 55.9%、原因は内因性が 77.9%であった(表 2)。

表 2. Baseline Characteristics

Characteristic	All Patients, No. (%) (N = 68)
Demographic	
Age	59.9±23.31
Male	41 (60.3)
Ambulance departure	
From fire department	65 (95.6)
From other places	3 (4.4)
Address at patient's side	
Iwatsuki-ward	23 (33.8)
Minuma-ward	21 (30.9)
Omiya-ward	21 (30.9)
Kita-ward	3 (4.4)
Type of accident	
Sudden illness	43 (63.2)
Transfer hospital	8 (11.8)
Traffic accident	8 (11.8)
Other	9 (13.2)
Place	
Residential	38 (55.9)
Public place	17 (25.0)
Road	11 (16.2)
Other	2 (2.9)
Causes	
Internal	53 (77.9)
Exogenous	15 (22.1)

救急隊活動記録から得られた救急部門における初期診断は、11例で死亡(16.2%)、27例で重症(39.7%)、27例で中等症(39.7%)、3例で軽症(4.4%)であった。

3.1 EVs の実際のデータとシミュレーションデータに関して

救急自動車の位置をプロットし、地図上に 68 症例の救急自動車の走行経路を
描画した (図 4)。

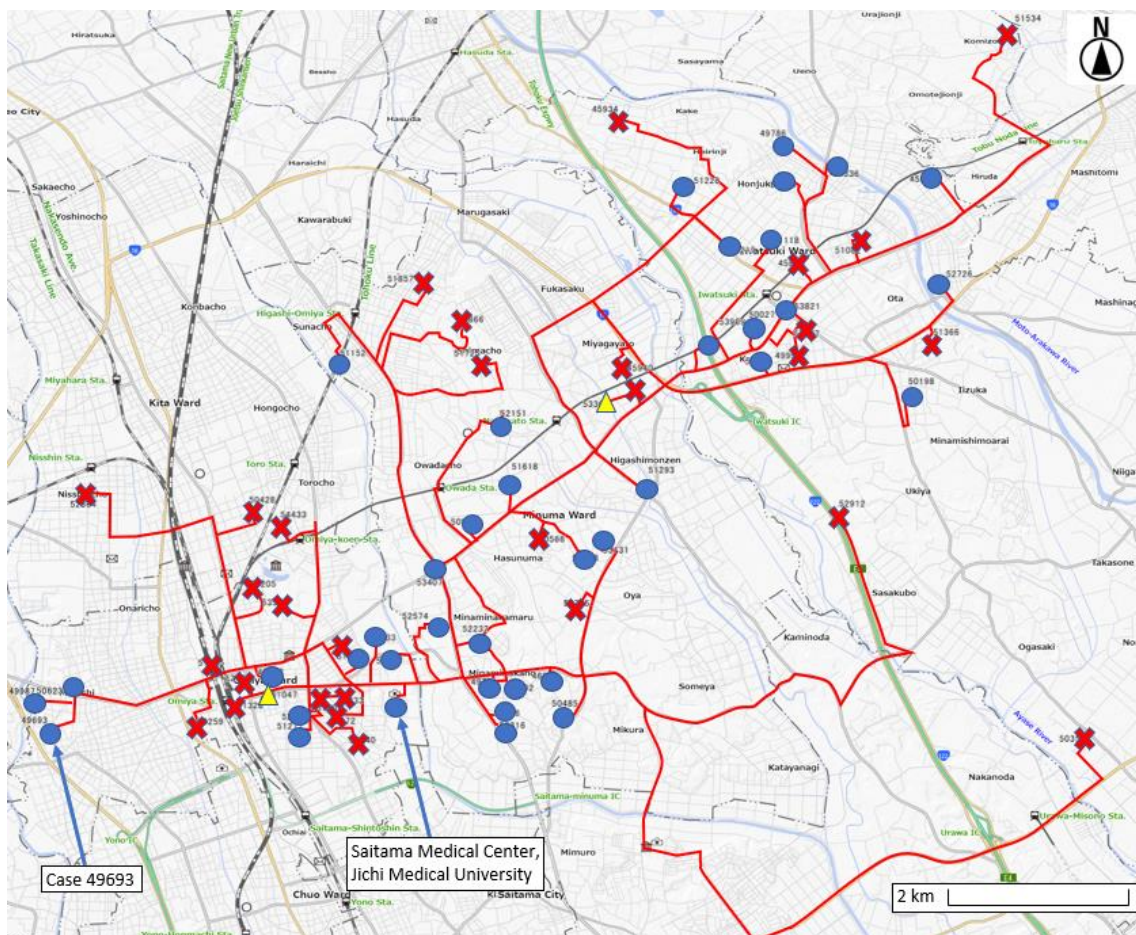


図 4. 現場から病院までの緊急車両の経路の地図

地図上の青い円は直近の FD から出動した緊急車両による搬送を示し、赤い
十字は直近の FD 以外から出動した場合の搬送を示し、黄色の三角形は救急隊
の活動が終了した後に FD に帰署する間に署外出動した場合の搬送を示す。

EVsの平均時間は 5.7 ± 3.11 分であった。直近のFDから出動した35件(51.5%)のEVsの平均時間は 4.3 ± 1.47 分であった(Group A)。一方、直近のFD以外から出動した30件(44.1%)では 7.2 ± 3.59 分であった(Group B)。署外出動の3件(4.4%)では 8.0 ± 5.10 分であった。Group Bにおいて、直近のFDから出動したとシミュレーションした場合のEVsは 4.0 ± 2.12 分であった(Group C)。Group AとGroup B、Group BとGroup Cの関係は統計学的に有意であった($p < 0.05$) (図5)。

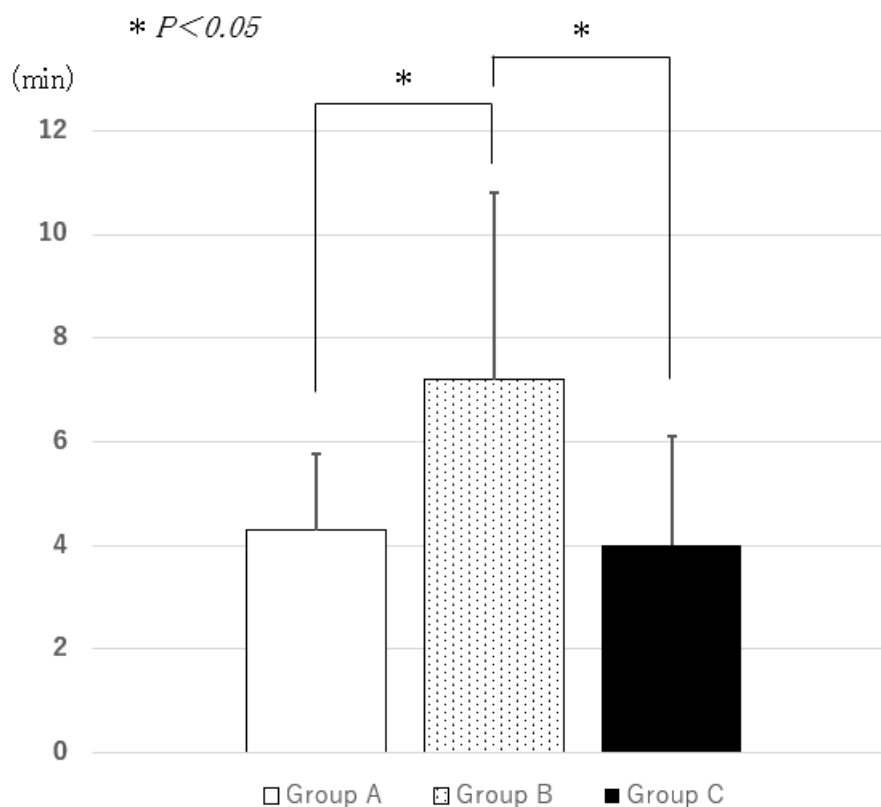


図5. EVsの実際のデータとシミュレーションデータに関して

3.2 EVemd の実際のデータとシミュレーションデータに関して

3.2.1 天候、時間帯、平日か休日かにおける救急自動車の平均走行速度の分析

天候は、晴れが 53 件 (78%)、曇りや雨が 15 件 (22%) であった。時間帯では、日中 (9:00 から 17:00) が 29 件 (43%)、通勤時間 (6:00~9:00、17:00~20:00) が 18 件 (26%)、夜間 (20:00 から 6:00) が 21 件 (31%) であった。また、平日は 47 件 (69%)、休日は 21 件 (31%) であった。救急自動車の平均走行速度(km/h)は、天候においては晴れで 28.10 ± 7.41 km/h、曇りや雨で 31.28 ± 3.22 km/h、時間帯においては日中で 31.36 ± 7.22 km/h、通勤時間で 28.85 ± 0.49 km/h、夜間で 30.51 ± 7.98 km/h、平日か休日かにおいては平日で 30.35 ± 5.51 km/h、休日で 29.79 ± 3.75 km/h であった。天候 (図 6)、時間帯 (図 7)、平日か休日か (図 8) のいずれに関しても、救急自動車の走行速度に統計学的な有意差は認めなかった。

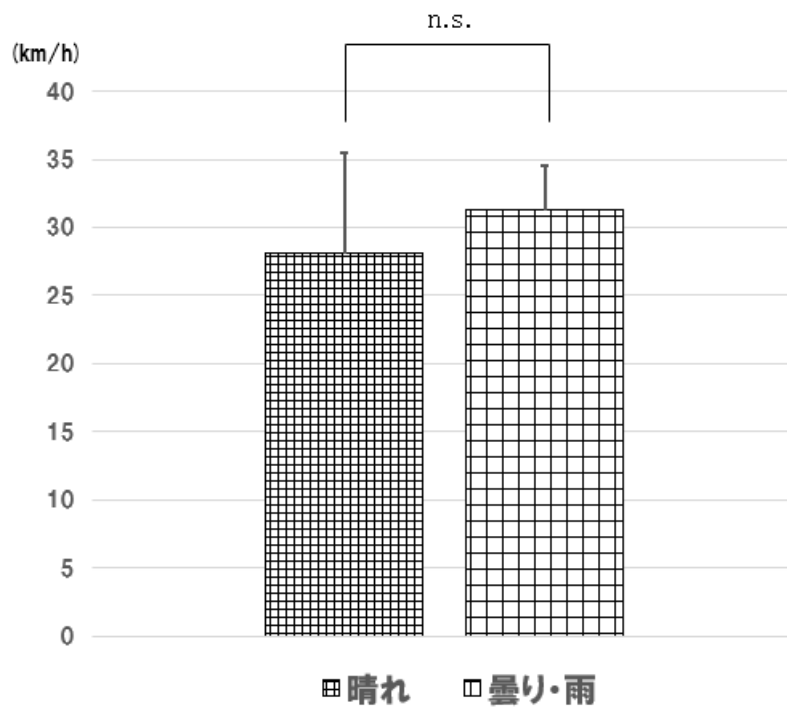


図 6. 天候における救急自動車の平均走行速度の分析

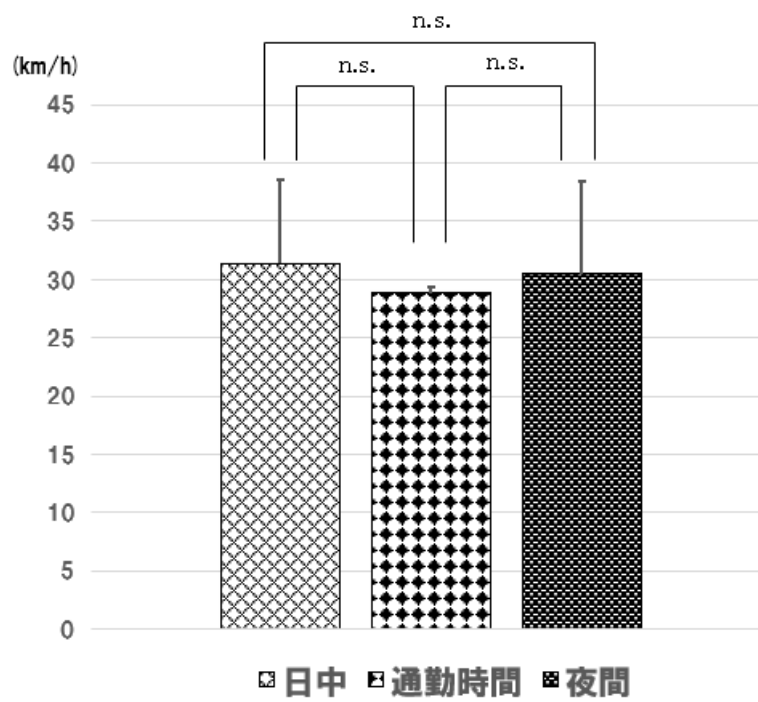


図 7. 時間帯における救急自動車の平均走行速度の分析

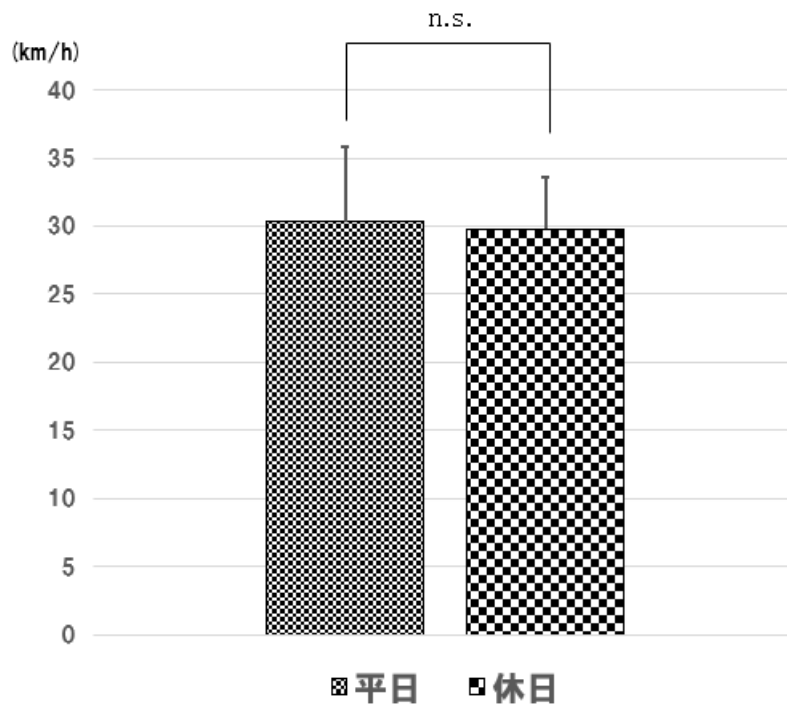


図 8. 平日か休日かにおける救急自動車の平均走行速度の分析

3.2.2 救急自動車走行経路における速度低下箇所の検索

GPS データおよび QGIS を用いて、救急自動車の走行速度や走行経路を確認し、速度低下箇所の検索を行った。速度低下箇所はすべての救急自動車走行経路のうち 3 ヶ所認めた。そのすべては県道 2 号線であった。大和田 T 字路 (27 台通過)、加倉北交差点 (12 台通過)、岩槻橋 (2 台通過) の 3 箇所で速度低下が確認された。実際の該当箇所において考えられる速度低下の原因を以下に示す。

大和田 T 字路：片側 1 車線で上下とも路側帯が狭く、進路を譲りづらい。大きな交差点が近くにあり交通渋滞が常に発生する。

加倉北交差点：交差点が大きく、さらに見通しが悪い。

岩槻橋：路肩がなく進路を譲りづらい。

これらの場所を通過した 29 台の緊急車両で速度低下が認められた（図 9）。

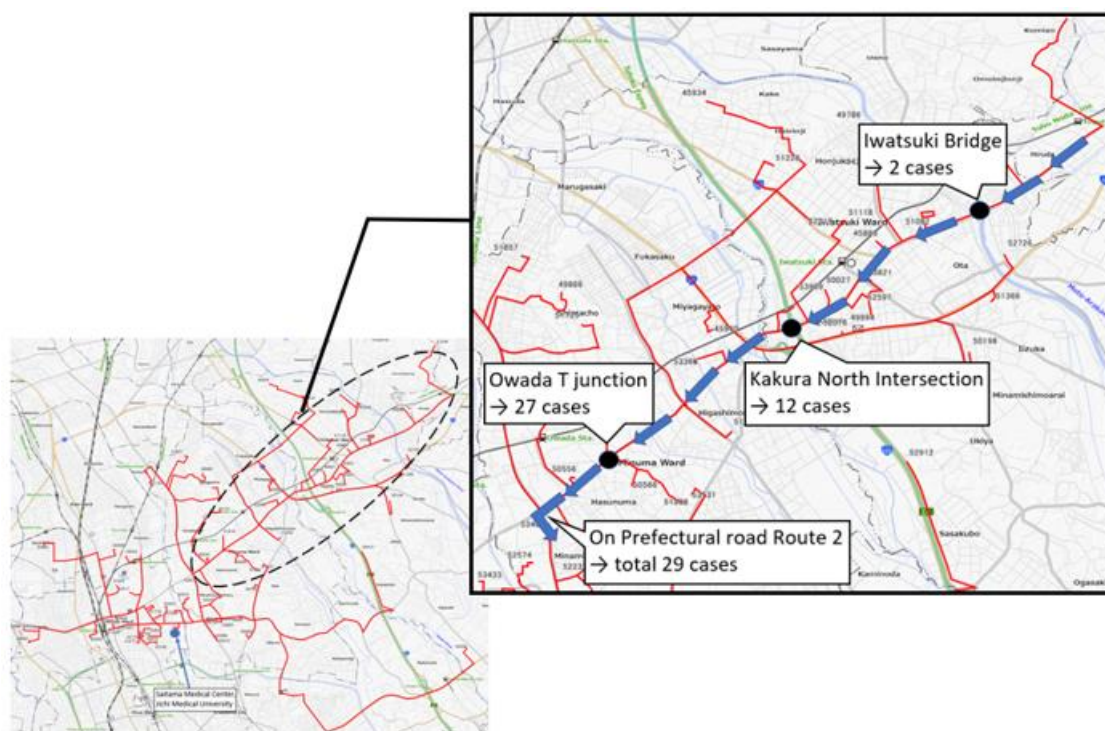


図 9. 救急自動車走行速度低下箇所の地図

左下：救急自動車の走行速度が低下したエリア（点線の楕円で囲んだ部分）。青

い円は自治医科大学附属さいたま医療センターの位置を示す。

右上：通過する救急自動車が常に減速する場所。3 箇所とも県道 2 号線上にある。

EVemd の平均時間は 11.2 ± 5.18 分であった。救急自動車は速度低下箇所を通過しなかった 39 件 (57%) の EVemd の平均時間は 8.2 ± 4.56 分であった (Group D)。一方、救急自動車は速度低下箇所を通過した 29 件 (43%) では 15.2 ± 4.81 分であった (Group E)。Group E において、速度低下が発生せずに平均速度で走行が成立した場合のシミュレーションを行った場合の EVemd は 12.1 ± 3.51 分であった (Group F)。Group E と Group F の関係は統計学的に有意であった ($p < 0.05$) (図 10)。

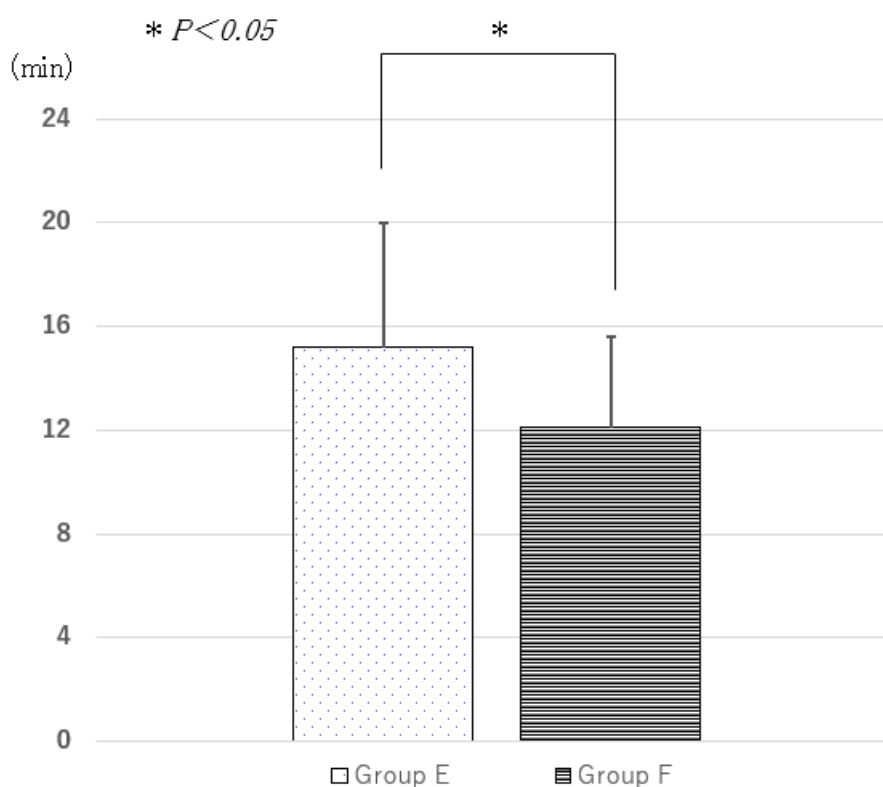


図 10. EVemd の実際のデータとシミュレーションデータに関して

3.3 代表的な症例のプレゼンテーション（症例番号：49693、図 11）

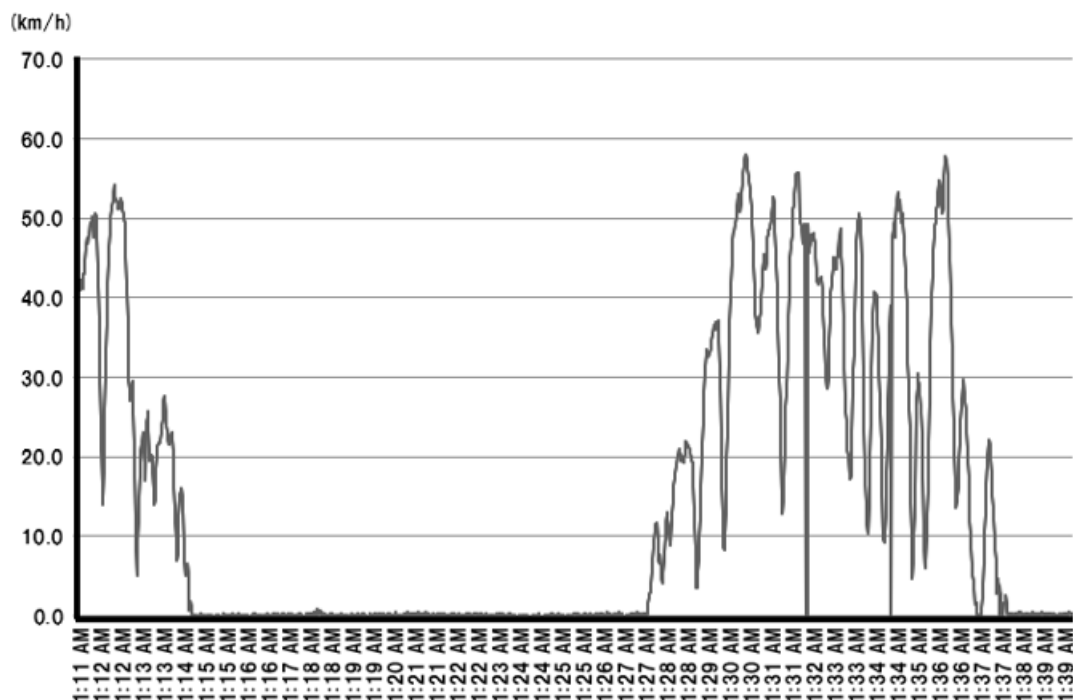


図 11. 代表的な症例における救急自動車の速度変化（症例番号：49693）

出動時間は午前 1 時 11 分、車両停止は午前 1 時 14 分、現場出発時間は午前 1 時 27 分、病院到着時間は午前 1 時 38 分である。

特に既往歴のない 20 代男性が、自宅で発熱と突然の呼吸困難を訴え、家族が 119 番通報した。家族は電話対応を行い、木曜日の午前 1 時 11 分に FD から救急自動車が出動した。患者は意識障害、低血圧、頻呼吸、頻脈があり、高濃度酸素投与が必要であった。そのため、救急隊は敗血症性ショックを疑い、自治医科大学附属さいたま医療センターの三次救命救急センターへの受け入れを要請し

た。FD から現場までの時間、現場滞在時間、現場から病院到着までの時間はそれぞれ 3 分、13 分、11 分であった。救急自動車の平均速度は出動から現場までの間で時速 23 km、現場から病院到着までの間で時速 33.3 km であった。救急室で、患者に対して輸液や昇圧薬、血液培養採取の上抗菌薬の投与などが行われた。患者は入院時に救急科医師により中等症の予後と判断された。救急自動車の速度は最大時速 50 km 以上となったが、時速 20 km 以下となる速度低下が合計で 14 回観察された。しかしながら、30 秒以上速度低下が継続することはなかった。

4. 考察

本研究では、現場活動時間を除く、救急要請から病院到着までの時間を延長する原因に関する 2 つの仮説を提示した。第一に現場に到着する前に、現場から直近の FD から出動した救急自動車の割合が低いため、EVs が延長するという仮説である。第二は、現場出発から病院到着までにおいて、EVemd は天候、時間帯、平日か休日かや道路状況によって影響を受けるため、それらにより EVemd が延長するという仮説である。これらに対して、直近の FD から現場へ出動する救急自動車のシミュレーションからは時間短縮に関して統計学的な有意差を示した。EVemd は、天候、時間帯、平日か休日かに関係なかったが、道路環境自体の改善が統計学的に時間短縮に寄与する可能性を示した。

EVs が延長した理由の 1 つは、救急自動車が直近の FD から出動しなかったことによることが挙げられた (図 5)。救急自動車は、FD、現場、病院で停止するかそれぞれの間で動いており病院前医療を提供する。いわゆる「救命救急のトライアングル (図 1)」が円滑に機能しない場合、救急自動車が救急要請の増加により、すぐに現場に行くことができない可能性が発生する。東京都では、救急隊の活動記録を用いた分析から、出動した救急自動車の半数以上が直近ではない FD から出動していることが判明した[3]。その結果、EVs は必然的に延長した。日本における RT の解釈は、現場でさまざまな処置や根本治療までを実施で

きる諸外国とは異なっており、病院到着までの救急活動時間を強調して考える可能性がある。しかしながら、目撃ありの院外心停止患者における神経学的予後良好の RT に関する閾値が示された[13,14]。そうしたことから日本でも現場急行支援システムの開発が継続している[15]。本研究では、GPS データを使用して救急隊の活動記録をより正確かつ客観的に分析し、シミュレーションによって EVs の大幅な時間短縮効果を明らかにし、前述した目標時間である 5 分を達成した。この事実は目標時間の単なる達成のみならず、心停止患者に対する社会復帰率向上[13]へとつながる臨床的に意味のある結果を導いた。

また、EVemd においても短縮が可能と考えた。今回の研究では、救急自動車の走行速度は、天候、時間帯、平日か休日かの影響を受けなかったが、都市部の道路環境には影響を受けた結果となった[16]。一般的に、救急自動車は一般乗用車よりも常に高速で移動している[5]。そのため、交差点での高速走行を維持するために、救急自動車における緊急走行にはいくつかのサポートが必要となる場合がある。緊急車両が通過すると進行方向の信号機がセンサーシステムによって優先的に制御され現場に直行できる社会実験が行われた[17]。本 GPS 研究では、救急自動車の経路として県道 2 号線以外の道路を選択することは実質的に困難であり、現実的な問題をすぐに解決することは困難であろう。

以上より、EVs および EVemd の合計時間は、22.2 分から 16.1 分となり、合

計 6.1 分の時間を短縮した。この事実は、救急活動時間の短縮を考慮する際には、どうしても現場活動時間の短縮に注意が払われるが、時間短縮が救急自動車活動時間において比較的容易に可能であることを示唆している。今までにこうしたシミュレーションによる時間短縮効果を救急自動車走行中に応用して研究評価を行い、明らかとなった報告は我々が知る限りではまだない。シミュレーションとは、現実実験を行うことが難しい物事について、想定する場面を再現したモデルを用いて分析することを示す。今回の研究においても、消防署から現場に向かうシミュレーションにおいて、最も近い消防署から救急自動車が出動したとしてシミュレーションを行った。もちろん救急自動車が仮に走行するとしても実際は不可能であるが、実際には最も近くの消防署から救急自動車が約半数近く出動していない事実からはこうしたシミュレーションが成立するものと考えられた。同時にある決まった道路の減速は、問題解決の方策を考慮するほかにも、実際に減速しないで走った場合にはどの程度地域の救急自動車の現場から病院までの搬送時間が短縮するかを知っておくことは重要であると考えられる。実際に減速場所の特定には今回の GPS による解析で明らかになったわけで、減速場所の状況を迅速に改善できないことからもう一つのシミュレーションでも現実には不可能なことを実現させたものと思われる。いずれも時間短縮効果を客観的かつ統計学的に示すことが可能となった。時間の延長や問題点を明らか

にするのみであるならばシミュレーションは必要ないが、シミュレーションによる研究で時間短縮の効果を実数値で示すことは非常に意味のあることと考えられる。

救急自動車に GPS を搭載し、得られたデータのうち現場の救急隊が緊急かつ重症であると判断した三次救急医療体制により病院搬送を急ぐ事案のみを対象にした点に新規性があると考えられる。実際には二次救急病院において全身状態の改善が認められず、搬送の際には搬送を急ぐ症例が一部存在している。こうした事案をどう扱うか非常に問題かもしれないが、仮に除外するならば該当事案の救急自動車の動きによって他の救急自動車の動きにも影響があるため、転送の時間帯全ての救急データを除外しなければならないだろう。今回は、実際にそうした三次救急施設への転送事案が存在することによって救急自動車の状況を考慮しておく必要性があることや、病院間転送であって二次救急病院で全身状態が改善せず三次病院への搬送には時間をかけてはられない事案であることから研究対象からあえて除外しなかった。もうひとつの新規性として、救急自動車の ICT データと自治医科大学附属さいたま医療センターにおける医療機関受入実績や救急搬送記録と突合させた点である。この事実は、病院前医療における内容と病院収容後のデータの統合を意味しており、救急活動全体の内容を把握することが出来る。実際に今回の個々の事案においては、現場の住所確認や現

場の三次救急要請依頼の根拠、重症度などを検証することが可能であり、救急自動車の実際の動きを客観的に把握することが可能であった[18]。

緊急疾患や外傷の場合には、治療を開始するまでの時間制限を考慮する必要がある。急性期脳梗塞[19]、重症外傷[20]、および急性心筋梗塞[21]は、診断と治療に関してできるだけ早く介入する必要がある。患者が病院にいる医師の元にいかに迅速に搬送されるかは非常に重要であるが、ヨーロッパでは、医師と看護師が急病や外傷の重症患者の元に行き、根本的な治療を迅速に行うことが知られている[22,23]。現場に医師を派遣することで蘇生率を向上できることが従来から分かっていたが、最近では急性期脳梗塞において computed tomography (CT)を使用した病院前診断により、早期治療が可能になった[24]。近年、日本でも doctor-stuffed ambulance (DSA) が病院前医療として認識されている[25]。特性はいわゆるドクターヘリと異なり、いつでも、どのような天候でも運用でき、特に都市部で有用であるかもしれない。迅速に治療を必要とする患者にとって、DSA チームは有用であり、病院で患者の受け入れを待つといった考えを変える可能性があるかもしれない。先程示した道路環境の問題では速度低下が常に発生する特定の場所の客観的な評価が GPS データにより可能となった。今回の GPS データを参考にする 것도重要であるが、それぞれの MC では、その面積、人口やその比率、救急要請件数、消防署の位置が異なるなどのこ

とから、MC 医療圏ごとに発生する問題は同様でない可能性が高い。さいたま医療圏の自治医科大学附属さいたま医療センターに三次救急患者として患者を搬送した際の時間に関する問題、つまり消防署から現場と病院に至るまでの時間延長に係る問題として、近隣の消防署から救急自動車が出動していないことと病院へ搬送する際に決まった場所で速度低下が必ず発生することが明らかとなった。この問題に対する方策として、前者においてはいかに救急要請を適切に行うかについて考える必要性があるだろう。救急相談[26]や民間救急車の積極的利用なども考えられる。後者においては、行政への客観的データによるアプローチや地域住民における行政への働きかけも容易になると思われる。本研究のデータ解析はまだ始まりであり、将来的に ICT による同様の解析が行われるようになれば、各地独自の問題が集積され、それらがカテゴリー化や共有化に至り、全国の救急自動車の搬送時間に係る問題解決のための方策を早く提案できる可能性が高くなると考えられる。よって今回の GPS データのみならず、ICT による本研究が全国各地に広がっていくことが望ましい。今回の研究により、救急活動時間における救急自動車走行時間の短縮の可能性について ICT によるデータからより高い客観性を持たせて問題点を指摘し、解決できる可能性を示した点がシミュレーション出来たと考えている。このシミュレーションは、救急現場から直接得られた問題を明らかにすることに臨床的意義があるものと考えられた。

再現が困難な病院前救急における救急活動から提案されたシミュレーション利用が、今後、救急活動時間短縮への可能性を推し進めるかもしれない。具体的には、消防の広域化[27]における救急自動車の適切な配備、救急活動を行う上で支障をきたす交通状況の把握などを今回の研究で今後明らかにしていかなければならないだろう。もちろん、電話相談員や人工知能による救急電話相談[26]、医療情報照会システムなどで適切な救急要請をコントロールすることも重要となってくる。さらに未来を見据えると、消防署の適正な場所の確保や救急自動車の適正配置、近隣道路状況を学習した人工知能による最短距離や最短時間の経路選択や受入先医療機関の選定、救急自動車配車状況から予想される最適な救急自動車配置などが関与する可能性が考えられる。

救急医療の現実的な問題解決には医学的な情報のみでは解決できないことがある。消防側の所持する記録では、煩雑な通常業務内で行うため、正確性に欠けること、欠損データの存在、時間関係のデータが分刻みであることなどがあり、正確な状況把握が困難で限界がある。そうしたことから、救急活動時間の延長がわかっているにもかかわらず、消防側では問題提言について明確な内容が把握出来ないだろう。そのため県の行政として具体的な方策を提言することは困難であることが予想される。その一方で、GPS データを用いた解析では、手法に関しては民間企業の専門的な技術指導を仰ぎ、消防署から現場に行く時間の短

縮が死亡率減少にあたることから、今回のような GPS データによる客観性を示した病院前救急医療データを医師の立場から示すことにより、解決策を導く可能性を示したことは大変意義のあることであり、今までにない発想と考えられる。もちろん、客観性の観点からデータは扱いやすく、方策は明らかであることから行政として対応することは時間の問題であると考ええる。民間企業、行政、大学医療機関のいわゆる「産学官連携」が各地域に広がり、情報を共有して救急活動時間の短縮に関して対応することが早期解決のポイントと思われる。最終的には、それぞれの救急疾患において救急自動車走行時間の短縮が予後にどの程度影響するかについて明らかにすることが出来るかもしれない。

本研究にはいくつかの limitation がある。第一に、本研究はある都市部の第三次救命救急センターでの 1 か月間の後ろ向き観察研究であり、研究結果には、地域性、季節性、天候、時刻、曜日などのサブグループ分析に関する情報が欠けている可能性がある。しかし、同様の状況にある都市部の救急病院と共有することは可能である。本研究の開始時には、救急隊および MC 協議会の意見を聞いて研究デザインを構築した。第二に、RT と EVs には違いがあり、ウツタイン様式[28]での正確な時間管理が GPS データからでは難しい。例えば、119 番通報を受けた時間は非常に重要であるが、GPS から把握することは不可能である。さいたま市消防は、全ての 119 番要請から FD 出発までの時間を 45 秒以内とす

る規定となっている。また、現場において救急自動車が停止した時間は把握できるが現場の患者への到着時間も GPS からは取得できなかった。第三に、シミュレーションを行った経路で実際に救急自動車を走行させていないことであるが、シミュレーションは本来現実的には実現しない部分を想定して対応する内容から、自身の疑問点をシミュレーションのポイント、つまり研究の仮説とした。前述の通り救急自動車が仮に走行するのは不可能であるが、実際には現場から最も近くの消防署から救急自動車が出動していない事案が多く存在することからは、本研究で行ったシミュレーションが成立するものと考えられた。第四に、救急隊の第三次救命救急センターに患者を搬送するか否かを判断する技術には個人差があることである。本研究では、現場で重症度と緊急性が高い患者が登録されたが、軽症の外傷や疾患の患者も含まれていた。しかしながら救急救命士が救急患者の外傷機転、生理学的所見や局所の観察において重症または緊急度の高い病態が疑われたために三次救急医療施設に搬送した事実は MC において確認され、搬送施設の選別には特段大きな問題は生じていない。

5. 結語

本研究では、GPS を用いたデータ解析により、現場活動時間を除く救急活動時間を明らかにし、救急自動車走行時間の問題点に対する方策をシミュレーションすることができた。

地域特有の問題点を集積して共有化を促進させるためにも、ICT に基づいたさらなるデータ分析が必要であると考えられた。

6. 謝辞

本研究は、国際交通安全学会からの科学研究費（研究調査プロジェクトナンバー：1608、プレホスピタル救急車プローブデータからみた medical control 改善のための提案）によって支援されました。測定機器の使用などに際し御指導いただいた株式会社トラフィックプラスの南部繁樹様、財津陽亮様、武永聖史様に対して、深謝いたします。開示すべき COI はありません。

また、本研究を遂行する機会を賜り、全般にわたり御指導をいただいた自治医科大学附属さいたま医療センター内科系総合医学 守谷俊教授に心から感謝申し上げます。

最後に、働きながら献身的に家庭を支えてくれた妻 晶と、最愛の息子 晶人に心から感謝しています。

7. 文献

- 1) E. Andrew, C. Jones, M. Stephenson, T. Walker, S. Bernard, P. Cameron, K. Smith, Aligning ambulance dispatch priority to patient acuity: A methodology, *Emerg Med Australas*. 31 (2019) 405–410.
- 2) E. Andrew, Z. Nehme, P. Cameron, K. Smith, Drivers of increasing emergency ambulance demand, *Prehosp Emerg Care*. (2019) 1–11.
- 3) T. Moriya, K. Tanjoh, Current status of emergency medical services and role of pre-hospital care, *IATSS Rev*. 34 (2009) 260–269.
- 4) Fire and Disaster Management Agency of the Ministry Internal Affairs and Communication: Actual Information Report 2019.
<https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h29/chapter2/section5/45975.html>,
2019 (accessed).
- 5) S. Nanbu, S. Yoshida, H. Akahane, A study of ambulance run support measures based on an analysis of probe data, *IATSS Rev*. 34 (2009) 309–316.
- 6) C.D. Newgard, E.N. Meier, E.M. Bulger, J. Buick, K. Sheehan, S. Lin, J.P. Minei, R.A. Barnes-Mackey, K. Brasel, ROC Investigators. Revisiting the "Golden Hour": An evaluation of out-of-hospital time in shock and traumatic

brain injury, *Ann Emerg Med.* 66 (2015) 30–41.

- 7) I. Takeuchi, H. Fujita, Y. Yanagisawa, N. Sato, T. Mizutani, J. Hattori, S. Asakuma, T. Yamaya, T. Inagaki, Y. Kataoka, K. Ohe, J. Ako, Y. Asari, Impact of doctor car with mobile cloud ECG in reducing door-to-balloon time of Japanese ST-elevation myocardial infarction patients, *Int Heart J.* 56 (2015) 170–173.
- 8) H. Shiomi, Y. Nakagawa, T. Morimoto, Y. Furukawa, A. Nakano, S. Shirai, R. Taniguchi, K. Yamaji, K. Nagao, T. Suyama, H. Mitsuoka, M. Araki, H. Takashima, T. Mizoguchi, H. Eisawa, S. Sugiyama, T. Kimura; CREDO-Kyoto AMI investigators. Association of onset to balloon and door to balloon time with long term clinical outcome in patients with ST elevation acute myocardial infarction having primary percutaneous coronary intervention: Observational study, *BMJ.* 23 (2012) e3257.
- 9) M. Mazighi, S.A. Chaudhry, M. Ribo, P. Khatri, D. Skoloudik, M. Mokin, J. Labreuche, E. Meseguer, S.D. Yeatts, A.H. Siddiqui, J. Broderick, C.A. Molina, A.I. Qureshi, P. Amarenco, Impact of onset-to-reperfusion time on stroke mortality: A collaborative pooled analysis, *Circulation.* 127 (2013) 1980–1985.

- 10) Fire and Disaster Management Agency of the Ministry Internal Affairs and Communication :https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kyukyu_arikata17_shiryō2.pdf
- 11) C.C. Huang, W.L. Chen, C.C. Hsu, H.J. Lin, S.B. Su, H.R. Guo, C.C. Huang, P.C. Chen, 2016. Elderly and nonelderly use of a dedicated ambulance corps' emergency medical services in Taiwan. *Biomed Res Int.* 2016, 1506436. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1506436>.
- 12) B. Murray, R. Kue, The use of emergency lights and sirens by ambulances and their effect on patient outcomes and public safety: A comprehensive review of the literature—ADDENDUM, *Prehosp Disaster Med.* 34 (2019) 345.
- 13) J.P. Pell, J.M. Sirel, A.K. Marsden, I. Ford, S.M. Cobbe, Effect of reducing ambulance response times on deaths from out of hospital cardiac arrest: Cohort study, *BMJ.* 322 (2001) 1385–1388.
- 14) Y. Ono, M. Hayakawa, H. Iijima, K. Maekawa, A. Kodate, Y. Sadamoto, A. Mizugaki, H. Murakami, K. Katabami, A. Sawamura, S. Gando, The response time threshold for predicting favourable neurological outcomes in patients with bystander-witnessed out-of-hospital cardiac arrest,

- Resuscitation*. 107 (2016) 65–70.
- 15) H. Inaba, K. Fukushima. Effects of FAST on cardiac arrest in Kanazawa City. *The Japanese Journal of Acute Medicine*. 34 (2010) 34 511–514. (in Japanese)
- 16) J. Katsuyama, Efficiency of transport operations in tertiary emergency medical systems, *IATSS Rev*. 34 (2009) 293–300.
- 17) S. Shibuya, Support for trauma care by medical mobile operation and signal control system. *The Japanese Journal of Acute Medicine*. 34 (2010) 515–518. (in Japanese)
- 18) J. Okamoto, Y. Katayama, T. Kitamura, J. Sado, S. Nakao, M. Nitta, T. Iwami, S. Fujimi, Y. Kuwagata, T. Matsuoka, Profile of the ORION (Osaka emergency information Research Intelligent Operation Network system) between 2015 and 2016 in Osaka, Japan: A population-based registry of emergency patients with both ambulance and in-hospital records. *Acute Med Surg* 2019; 6:12-24.
- 19) J.L. Saver, Time is brain—quantified, *Stroke*. 37 (2006) 263–266.
- 20) J.S. Sampalis, A. Lavoie, J.I. Williams, D.S. Mulder, M. Kalina, Impact of on-site care, prehospital time, and level of in-hospital care on survival in

severely injured patients, *J. Trauma*. 34 (1993) 252–261.

- 21) H. Fujita, Redefinition of Prehospital Area as Critical Target for ST-Elevation Myocardial Infarction Care—"Time Is Myocardium", *Circ J*. 80 (2016) 1700–1701.
- 22) M. Hirsch, P. Carli, R. Nizard, B. Riou, B. Baroudjian, T. Baubet, V. Chhor, C. Chollet-Xemard, N. Dantchev, N. Fleury, J.P. Fontaine, Y. Yordanov, M. Raphael, C.P. Burtz, A. Lafont, Health Professionals of Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (APHP), The medical response to multisite terrorist attacks in Paris, *Lancet*. 386 (2015) 2535–2538.
- 23) L. Lamhaut, A. Hutin, E. Puymirat, J. Jouan, J.H. Raphalen, R. Jouffroy, M. Jaffry, C. Dagrón, K. An, F. Dumas, E. Marijon, W. Bougouin, J.P. Tourtier, F. Baud, X. Jouven, N. Danchin, C. Spaulding, P.A. Carli, Pre-Hospital Extracorporeal Cardio Pulmonary Resuscitation (ECPR) strategy for treatment of refractory out hospital cardiac arrest: An observational study and propensity analysis, *Resuscitation*. 117 (2017) 109–117.
- 24) M. Ebinger, B. Winter, M. Wendt, J.E. Weber, C. Waldschmidt, M. Rozanski, A. Kunz, P. Koch, P.A. Kellner, D. Gierhake, K. Villringer, J.R. Fiebach, U. Grittner, A. Hartmann, B.M. Mackert, M. Endres, H.J.

- Audebert, STEMO Consortium, Effect of the use of ambulance-based thrombolysis on time to thrombolysis in acute ischemic stroke, *JAMA*. 311 (2014) 1622–1631.
- 25) Y. Igarashi, S. Yokobori, H. Yamana, K. Nagakura, J. Hagiwara, T. Masuno, H. Yokota, Overview of doctor-staffed ambulance use in Japan: a nationwide survey and 1-week study, *Acute Med Surg*. 5 (2018) 316–320.
- 26) N. Morimura, T. Aruga, T. Sakamoto, N. Aoki, S. Ohta, T. Ishihara, S. Kushimoto, S. Ohta, H. Ishikawa, Steering Council of Tokyo Emergency Telephone Consultation Centre. The impact of an emergency telephone consultation service on the use of ambulances in Tokyo. *Emerg Med J*. 28 (2011) 64-70.
- 27) K. Inakawa, T. Furuta, A. Suzuki, Estimation of the Effect of the Merger for Two Local Ambulance Systems Using Simulation, *Journal of the City Planning Institute of Japan*. 45 (2010) 619-624.
- 28) R.O. Cummins, D.A. Chamberlain, N.S. Abramson, M. Allen, P.J. Baskett, L. Becker, L. Bossaert, H.H. Deloof, W.F. Dick, M.S. Eisenberg, T.R. Evans, S. Holmberg, R. Kerber, A. Mullie, J.P. Ornato, E. Sandoe, A. Skullberg, H. Tunstall-Pedoe, R. Swanson, W.M. Thies, Recommended guidelines for

uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: The Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council, *Circulation*. 84 (1991) 960–975.