

# 自動運転の普及による救急搬送可能圏域の拡大に関する研究

## A study on expansion of the area where emergency transportation is possible due to the spread of autonomous driving

18D3104033G 寺門 直起 (交通まちづくり研究室)

Naoki TERAKADO/Mobility Planning Lab.

**Key Words** : intelligent vehicle, emergency transportation, GIS, reachable area analysis

### 1. はじめに

「令和2年版 救急救助の現況 救急編」<sup>1)</sup>によれば、2019年の救急出動件数は6,642,772件、搬送人員は5,980,258人で過去最大となっている。また1999年から2019年にかけて、現場到着所要時間は6.1分から8.7分に、病院収容所要時間は27.1分から39.5分に増加している。これは高齢化による救急搬送の需要の増加が原因で、今後さらなる救急サービスの供給不足が懸念される。

救急車の病院収容所要時間の39.5分間をみると、入電～現場到着に8.7分(約22%)、現場出発～病院到着に11.7分(約30%)が費やされている。所要時間の短縮のためには、患者の生死にかかわる観察やストレッチャーによる移送よりも救急車両の走行で時間を短縮する必要がある。

一方で自動運転の普及により緊急車両の通行空間の確保の容易化や、交通容量の増大による渋滞の緩和等の効果が期待されている<sup>2)</sup>。このことから本研究では、自動運転の普及に伴い、指定する時間内に救急車が到達できる圏域がどのように変化するか、その圏域内の人口がどの程度変化するかをGIS (Geographic Information System, 地理情報システム)を用いて検証した。

### 2. 自動運転や救急搬送に関わる技術

自動運転の普及による救急搬送の所要時間について議論する前に、現在の自動運転や救急搬送に関わる技術について整理する。

日本では、ドライバーの運転を支援するシステムを複数組み合わせた「レベル2」までが普及している。一方アメリカでは2017年のWaymo社を筆頭に緊急車両のサイレンの音や方向を検知する技術の開発が進み<sup>3)</sup>、2020年に無人タクシー配車サービスの実証実験が始まった<sup>4)</sup>。

国内では2007年にFAST (Fast Emergency Vehicle Preemption Systems, 現場急行支援システム)の実証実験が実施された。FASTは緊急車両を道路上の光ビーコンで感知し、電光掲示板による一般車のドライバーへの伝達や緊急車両のための信号制御を行うシステムである。FASTの導入により、設置区間の走行時間は全体で14.3%

削減され、定時性も向上した<sup>5)</sup>。2019年時点で16都道府県においてFASTが実用化されている。

また2018年にトヨタ自動車のITS Connectの車車間通信を用いた実証実験が行われた。ITS (Intelligent Transport Systems, 高度道路交通システム)は道路や車両の間で情報を共有するシステムである。自動車どうしが直接走行情報を共有する車車間通信を介し、モニターや音声でドライバーに緊急車両の接近を通知することで、救急車が走行する主要道の交差点間で平均約7.7%所要時間が短縮された<sup>6)</sup>。

### 3. 先行研究と本研究の位置付け

先行研究では交通流シミュレーションを用いて、車車間通信による救急搬送所要時間の短縮効果を検証している。まず佐藤・永長の研究<sup>7)</sup>では直線単路では機器搭載率・混雑度が高いほど緊急車両走行時間の短縮率が大きくなることがわかった。また高木らの研究<sup>8)</sup>では、仮想都市の道路ネットワークでは、緊急車両の位置・速度・進行方向のみを一般車に通信する場合は通信を行わない場合より緊急車両の走行時間が長くなるが、加えて走行予定の道路も通信する場合短くなる。

車車間通信は緊急車両の到着時間短縮のうえで重要な技術であるが、一方自動運転による交通容量の増加の効果を研究したものはない。そこで本研究では、自動運転が一般車の中で普及し、車間距離の短縮により交通容量が増加することで救急搬送所要時間はどの程度改善されるかを調査し、交通容量の変化に着目した研究を行った。また自動運転の普及が救急搬送にもたらす効果を実際の道路ネットワーク上で表示し、人口ベースで検討したことにも新規性があると思われる。

自動運転の普及による交通流の変化は、星野らにより検証されている<sup>9)</sup>。この研究から、自動運転車の割合が0%のときの交通流量を100%とすれば、自動運転車が50%、100%になったときの交通流量はそれぞれ114%、181%に増加する。これより本研究では、自動運転普及率が50%、100%になったとき、交通容量はそれぞれ現在の1.14倍、1.81倍に変化すると仮定する。

#### 4. 方法

まず本研究では一般車の自動運転の普及は想定しているが、救急車への自動運転の導入は想定していない。理由として、救急車の運転時には判断する場面が多くあり、AIは学習した内容に対する判断には優れるが、未学習の条件では判断や行動ができない。AIでは対応しきれない状況がいつ起こるか分からないため、自動運転社会においても手動運転が継続すると考えている。

対象地域は相模原市およびその近隣都市とし、救急車が走行する際の道路の各リンクの所要時間は高山・黒田の研究<sup>10</sup>の式(1)を参考に求めた。なお交通量影響軽減係数 $\alpha$ とは、緊急車両は一般車よりも交通量の影響の影響が少ないことの補正を行うための係数である。

$$t_a(V_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha r \left( \frac{V_a}{C_a} \right)^k \right\} \quad (1)$$

( $t_{a0}$ : 自由走行所要時間,  $C_a$ : 交通容量,  $V_a$ : 交通量,  $r, k$ : 米国 BPR 関数パラメータ,  $\alpha$ : 交通量影響軽減係数 (駆け付け時 $\alpha=0.35$ , 搬送時 $\alpha=0.70$ ))

このとき交通量 $V_a$ を交通容量 $C_a$ で割った商は混雑度とできる。また先行研究で述べた自動運転普及に伴う交通容量の変化を加味すると、式(1)は、道路の混雑率を $x$ 、先行研究の末尾で挙げた交通容量の変化率を $p$ として、

$$t_a(V_a) = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha r \left( \frac{x}{p} \right)^k \right\} \quad (2)$$

と表せる。この(2)式を用いて自動運転普及率 0%, 50%, 100%ごとのリンク走行時間と速度をフリーのGISソフト、QGIS 内で計算し設定した。この計算は一般社団法人日本デジタル道路地図協会の DRM データベースに存在するすべてのリンクを対象に行った。なお道路交通セン

サスのデータが内蔵されているリンクはその混雑度を利用し、内蔵されていないリンクでは、周辺道路の代表沿道状況を参考に同年の道路交通センサスの集計結果整理表内の一般道路計の混雑度の値を引用し、制限速度には実際のものを採用した。

次に QGIS のサービスエリア分析を用い、自動運転の普及率ごとに、消防署から到達可能および救急病院へ搬送可能なネットワークを作成した。これは到達圏分析とよばれ、施設等の点群から任意の時間や距離内でアクセス可能なエリアを可視化する分析である。駆け付け時は市内の消防署を到達圏の中心とし、一方搬送時には市内と近隣都市の病院を中心とする。駆け付けや搬送の指定時間として、カーラーの救命曲線より、死亡率が心停止後 50%を超える 3分と、呼吸停止後 50%を超える 10分を定めた。また救急駆け付け・搬送の対象とする地点についても、相模原市内の地点を対象にする場合と近隣市区町村の道路も含める場合で分けて作成した。対象地点、駆け付け・搬送の別、指定時間、自動運転普及率ごとに到達圏を作成したうえ、各ネットワークの周辺 100m 以内のバッファを作成し、バッファ内における 2015 年度の人口と 2050 年における予測人口の変化を検討した。

利用したデータは、DRM データベース、平成 27 年度道路交通センサス、国土数値情報より 2012 年の神奈川県消防署 (消防署の移転を反映済み)、東京都・神奈川県・山梨県における 2020 年の医療機関、500m メッシュ別将来推計人口 (H30 国政局推計)、2015 年度の国勢調査の 4 次メッシュ (500m メッシュ) である。

表-1 相模原市内のみを対象に到達圏分析を実行したときカバーされる延長・面積・人口

駆け付け／搬送	指定時間 (min)	自動運転普及率	延長 (km)	バッファ面積(km <sup>2</sup> )	2015年		2050年	
					総人口カバー率	65歳以上カバー率	総人口カバー率	65歳以上カバー率
駆け付け	3	0%	385.53	48.73	51.03%	48.71%	52.02%	51.83%
		50%	395.67	49.85	51.87%	49.56%	52.84%	52.65%
		100%	410.38	51.23	52.86%	50.56%	53.84%	53.64%
	10	0%	684.28	81.47	61.47%	59.48%	62.13%	61.98%
		50%	685.21	81.77	61.72%	59.72%	62.21%	62.06%
		100%	685.56	82.04	61.73%	59.73%	62.21%	62.07%
搬送	3	0%	261.86	28.49	36.17%	33.62%	37.08%	37.21%
		50%	277.78	30.15	37.70%	35.05%	38.58%	38.70%
		100%	297.70	32.46	39.83%	37.02%	40.68%	40.79%
	10	0%	524.22	69.33	60.71%	58.35%	61.53%	61.34%
		50%	625.93	69.79	60.74%	58.39%	61.55%	61.36%
		100%	632.22	70.19	60.77%	58.45%	61.57%	61.39%

表-2 相模原市内と近隣市区町村を含めて到達圏分析を実行したときカバーされる延長・面積・人口

駆付／ 搬送	指定時間 (min)	自動運転 普及率	延長 (km)	バッファ 面積(km <sup>2</sup> )	2015年		2050年	
					総人口 カバー率	65歳以上 カバー率	総人口 カバー率	65歳以上 カバー率
駆付	3	0%	404.74	50.94	9.57%	8.87%	10.01%	10.04%
		50%	417.66	52.31	9.78%	9.07%	10.22%	10.25%
		100%	434.59	54.08	10.03%	9.31%	10.48%	10.51%
	10	0%	1120.00	133.75	18.78%	17.74%	19.21%	19.16%
		50%	1165.83	137.85	19.45%	18.60%	19.82%	19.76%
		100%	1209.12	144.00	20.26%	19.13%	20.73%	20.65%
搬送	3	0%	580.35	69.36	13.98%	12.77%	14.40%	14.50%
		50%	618.22	73.84	14.74%	13.47%	15.18%	15.28%
		100%	678.00	80.90	15.88%	14.55%	16.35%	16.46%
	10	0%	2148.78	248.95	37.88%	35.64%	38.60%	38.26%
		50%	2230.62	257.09	39.08%	36.96%	39.73%	39.43%
		100%	2379.98	273.33	41.47%	39.55%	42.00%	41.77%

## 5. 結果

まず相模原市内の地点のみに着目して到達圏分析を行った結果を表-1に示した。なお相模原市内2015年の総人口は719,594人、65歳以上人口は171,967人で、2050年のまず相模原市内の地点のみに着目して到達圏分析を行った結果を表-1に示した。なお相模原市内2015年の総人口は719,594人、65歳以上人口は171,967人で、2050年の総人口は613,990人、65歳以上人口は239,409人である。表-1では、指定時間が3分においては自動運転が普及することで延長、カバー面積、人口カバー率が増加することが確認できる。しかし10分の場合では3分の場合に比べて各数値の増加が小さかった。

表-2は、相模原市外の地点も対象に分析したときの延長、カバー面積、人口カバー率を記述したものである。地域内の2015年の総人口は4,023,588人、65歳以上人口は991,352人、2050年の総人口は3,376,067人、65歳以上人口は1,306,389人である。対象エリアが拡大し分母が大きくなったため相模原市内のみを対象とした場合に比べカバー率は小さく、普及にともなう増加も緩やかになったが、対象時間10分の場合でも延長、カバー面積、人口カバー率が増加している。

## 6. 考察

表-1で示した相模原市内のみを対象にした場合に着目すると、指定時間3分の場合に自動運転が普及することで各消防署・病院がカバーできる圏域の延長、面積、人口カバー率が増加することが確認できる。また救急車の必要性が高い65歳以上の人口カバー率をみても、総人口にともなって増加していることがわかる。しかし10分の場合いずれの項目も増加量が小さかったのは、各

消防署・病院から10分で到達できる圏域が重なり合っていることや、現時点で多くの地点に10分以内で到達できるような施設配置が行われているからと考えられる。特に病院は市街地に密集しており、指定時間を大きくしたときに到達圏が重なりやすい。

表-2の相模原市外も考慮した結果をみると、指定時間10分の場合でも延長、面積、人口カバー率の増加が確認できる。特に50%から100%にかけての数値の増加が大きく、人口が密集しているかつ道路の混雑する町田市や座間市、大和市における増加が大きい。

また同じ駆付け／搬送・指定時間・普及率でも、2015年に比べ2050年の方が人口カバー率が高い。人口メッシュデータを参照したところ、地域全体で人口が減少するが特に各到達圏に含まれない山間部での人口減少が著しく、市街地の人口の比率が大きくなったことから、カバー率の変化が生じたと考えられる。次に実際の自動運転の普及を想定して自動運転普及率0%の2015年の人口カバー率と50%および100%の2050年の人口カバー率で比較する。時代の変化に伴い自動運転が普及しても、カバー率が増加することが確認できる。

総じて到達圏が拡大する理由として、混雑する道路の円滑化が挙げられる。特に相模原市緑区東部のような代替路のない県道や、国道16号や市東部の市街地の県道など地域にとって重要な道路の渋滞が緩和することで到達圏が拡大した。自動運転の普及や高度化で走行車線の増加や制限速度が向上することでさらなる混雑緩和が期待できる。また高木ら<sup>9)</sup>が言及したように、車車間通信との組み合わせで一般車の走行を調整することで大きな効果を得られるだろう。道路の特性や自動

運転普及率の違いが走行時間に反映されていなかったため本研究と結び付けられなかったが、交通流シミュレーションを用いて、条件や普及率を指定した上で救急車の走行速度の変化を調査する必要がある。

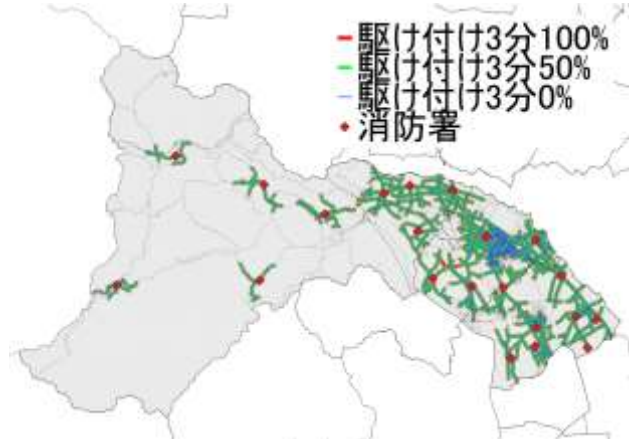


図-1 市内の消防署から3分で駆け付け可能な到達圏

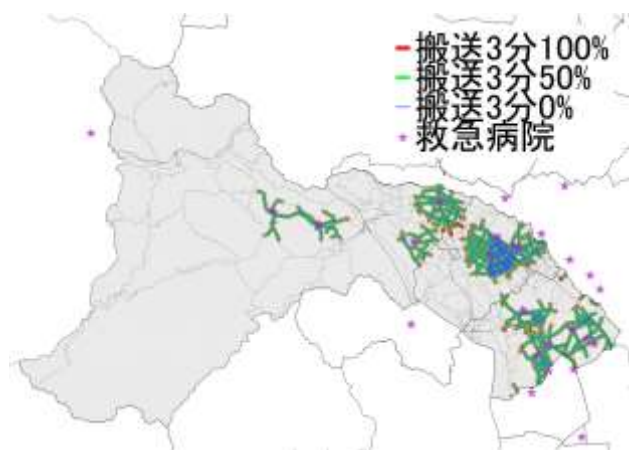


図-2 市内の救急病院へ3分で搬送可能な到達圏

本研究では、自動運転の普及によっても消防署や病院から3分で到達できない地域がみられた。人口カバー率を増やすために、消防署や病院でカバーされていない地域に追加で建設する、あるいは到達圏への居住を誘導する施策が考えられる。前者について検討すると、図-2、図-3からわかる通り、3分到達圏は特に西の山間部で空白地帯が目立つ。しかし消防署の建設費用がおおよそ10億円に対し相模原市の支出予算における消防費が88.5億円である。また空白地帯の人口が2015年時点で500mメッシュ1つあたりに200人も住んでおらず、0人のメッシュも多い。同様に救急病院も人口の少なさから経営が難しい。これらの地域は地区センターによる応急手当や小規模な診療所による医療があるため消防署や病院の必要性は高くないと思われる。一方で市内北東部、JR相模原駅の北部や市内東部のような市街地は人口が多いものの、消防署や病院から3分でアクセスが困

難な箇所が多い。相模原駅北の再開発や市街地全体の高齢化を踏まえ、補完する施設配置が必要である。

## 7. 結言

本研究により、一般の自動運転車の普及に伴い交通容量が増加することで、救急車が消防署や病院から任意の時間内に到着できる圏域が拡大することが確認できた。また地域の総人口に対するその圏域内の人口カバー率も増加し、救命可能性が高まる。

研究の課題として第一に、将来の自動運転普及率の変化や交通容量の変化、人口の推移など用いたデータやシナリオの不確実性が高い点がある。特に交通容量の変化は自動運転の仕様や道路条件に大きく左右される。正確な効果を確認するためには実際の社会情勢に応じてデータと当論文の計算結果をアップデートしなくてはならない。第二に、実際の救急車の移動に関する調査ができなかった点がある。患者のプライバシーや機材の調達の観点から救急車のプローブデータの取得ができなかった。計算式を引用した高山らの論文とは年代や場所が異なるため、リンク間の走行時間と混雑度をもとに最適なパラメータを決定する必要がある。

## 参考文献

- 1) 総務省消防庁：令和2年度版 救急救助の現況 救急編，pp.15-43，2020。
- 2) 濱中将樹：自動運転がまちづくりに及ぼす影響に関する研究，公益財団法人名古屋まちづくり公社名古屋都市センター，pp.3-8，2019。
- 3) 森脇稔：自動運転車が緊急車両の接近を認識-ウェイモが走行テスト，レスポンス，”<https://response.jp/article/2017/07/13/297372.html>”，2022年2月22日閲覧
- 4) Matthew DeBord：Waymo、完全無人の自動運転配車サービスを開始，BUSSINESS INSIDER，”<https://car.motor-fan.jp/tech/10013143>”，2022年2月21日閲覧
- 5) 高田邦道，稲葉英夫，南部繁樹：金沢市における現場急行支援システム（FAST）の導入効果，プレホスピタルケアと救急搬送，pp.301-308，2009。
- 6) 総務省消防庁：令和元年度版 消防白書，pp.306-307，2019。
- 7) 佐藤拓哉，永長知孝：緊急車両運行システムにおける車車間通信の効果に関する検討，電気情報通信学会技術研究報告，pp.37-41，2009。
- 8) 高木由美，南浩明，木下敦志，太田能，玉置久：都市部における緊急車両のスムーズな走行支援，神戸大学都市安全研究センター研究報告，No.19，pp.232-240，2015。
- 9) 星野貴弘，坪井一洋，浜松芳夫：自動運転技術を考慮した交通流のモデル化と解析，電気学会ITS研究会資料，Vol.ITS-12，No.17，pp.51-54，2012。
- 10) 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。