

金沢市における現場急行支援システム (FAST) の 導入効果

高田邦道*

稲葉英夫* 南部繁樹*

近年、救命救急活動における救急車の出動件数の増加、活動範囲の拡大や搬送先病院の選定の問題から、搬送時間が増大傾向にある。緊急度の高い外傷は受傷から決定的治療までの時間が予後を左右するとされ、救命救急の活動時間の短縮は喫緊の課題である。緊急車両が優先的に走行するための現場急行支援システムを活用することで、救急車両の走行速度の向上とそれに伴う走行時間の短縮、加えて走行時の安定走行の確保が図られる。これらの直接効果の計測と救急活動に及ぼす効果を検証する

Effect of Introducing a FAST Emergency Vehicle Preemption System in Kanazawa

Kunimichi TAKADA*

Hideo INABA** Shigeki NANBU***

An increase in the number of ambulance dispatches for emergency medical services, expanded scope of such services and the selection of a destination treatment center have caused ambulance service times to rise in recent years. The prognosis for a trauma with a high degree of urgency is believed to be affected by the time between the occurrence of an injury and its definitive treatment, so it is vital to reduce the time required for emergency medical services. By using Fast Emergency Vehicle Preemption Systems (FAST) for giving right-of-way priority to emergency vehicles, the driving speed of emergency vehicle can increase with reduced driving time as a result. In addition, the system enables safe driving and secure transport of the patient. This study measures the direct effect of introducing FAST in Kanazawa City and the impact of this system on the delivery of emergency medical services.

1. はじめに

現場急行支援システム (Fast Emergency Vehicle Preemption Systems: FAST) とは、警察庁が中心となり推進している新交通管理システム (Universal

Traffic Management Systems) 構想におけるサブシステムの一つであり、緊急車両を優先的に走行させるための信号制御等を行い、緊急車両が迅速に走行できるように支援するシステムである¹⁾。FASTは Fig.1に示すように通信指令システム、FAST関係装置、交通管制システムで構成されており、光ビーコンを活用し、緊急車両に対する優先信号制御、経路誘導、一般車への緊急車両接近の警告等を行い、緊急車両の安全かつ効率的な走行を実現させるものである。

救命救急活動においては、疾患の発生または受傷から決定的治療までの時間が重症患者の予後を左右するため、FASTによる走行時間の短縮が重症患者

* 日本大学教授

Professor, Nihon University

** 金沢大学医薬保健研究域医学系研究科教授

Professor, Graduate School of Medicine, Pharmaceutical and Health Sciences,

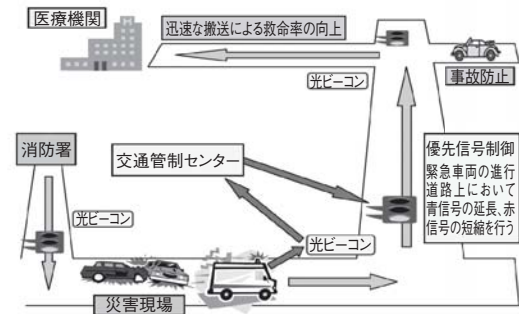
Institute of Medical, Kanazawa University

*** (株)トラフィックプラス代表取締役

Chief Executive Officer,

Trafficplus Co.,LTD

原稿受理 2009年8月3日



注) 総務省平成19年8月27日報道資料による。

Fig. 1 FASTの標準システム構成

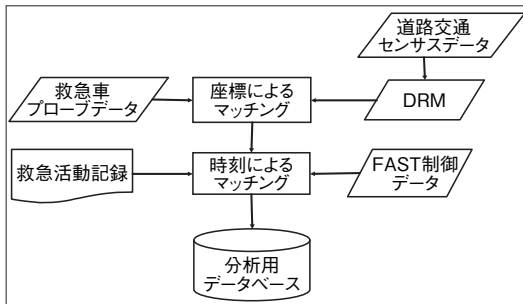


Fig. 2 分析用データベース構築の流れ

Table 1 FAST区間延長

経路		延長 (km)	
①	県庁・中央病院前-広岡	上	2.270
		下	2.284
②	広岡-泉本町	上	3.719
		下	3.700
③	香林坊-石引1丁目	上	2.935
		下	2.936
④	片町-飛梅	上	2.231
		下	2.231
⑤	兼六-武蔵	上	1.422
		下	1.422
計		上	12.648
		下	12.573

の予後を改善する可能性は大きい。加えて、FASTの活用による救急車の安定走行の確保は、搬送中の観察・救命処置の質を高め、患者の容態の安定化にも寄与することが期待される。

本研究では、FAST設置路線における救急車の走行速度の向上や走行挙動の変化等の直接的な効果の把握を行うとともに、それらが救命救急活動に与え

- * 1 DRMとは、Digital Road Map(電子道路地図)の略称であり、道路や交差点の位置などを数値化したデジタルデータで表現される道路地図。(財)日本デジタル道路地図協会がデジタル道路地図データベースを提供している。
- * 2 消防署が覚知し、救急隊が現場へ移動することをいう。
- * 3 救急隊が傷病者を搬送先病院へ移動することをいう。



Fig. 3 救急隊の位置とFAST設置区間

Table 2 各救急隊の出動回数と走行距離：活動別

救急隊名	FAST機器搭載状況	出動時(覚知-現着)			搬送時(現発-病着)		
		出動回数(回)	走行距離(km)	平均走行距離(km/回)	出動回数(回)	走行距離(km)	平均走行距離(km/回)
中央救急隊	搭載	167	412.0	2.5	176	788.7	4.5
味噌蔵救急隊	搭載	221	442.8	2.0	208	593.3	2.9
泉野救急隊	非搭載	163	429.5	2.6	165	548.0	3.3
高尾台救急隊	搭載	97	178.3	1.8	96	458.4	4.8
駅西救急隊	搭載	132	245.3	1.9	148	403.2	2.7
鳴和救急隊	搭載	40	74.4	1.9	93	291.5	3.1
森本救急隊	非搭載	43	74.9	1.7	70	368.8	5.3
金石救急隊	搭載	120	301.6	2.5	118	463.9	3.9
全救急隊計	-	983	2,158.8	2.2	1,074	3,915.8	3.6

る影響を質・量の両面から分析を行い、救命救急活動に対するFASTの導入効果を明らかにした。

2. 救急車プローブカー調査と救急活動状況の把握²⁾

2-1 救急車プローブカー調査

救急車の走行状況を把握するため、救急車両にGPS計測機を搭載し、当該車両の測位・速度・加速度データを1秒毎の時刻と併せて収集した。

【データ収集期間】2007年11月15日~12月5日の1か月間

【被験車両】FAST機器搭載車6台、非搭載車2台
収集したプローブデータの測位データ(緯度、経度)を電子道路地図(DRM^{*1})に対して座標によりマッチングすることで、DRMの道路属性や道路交通センサ交通状況のデータとプローブデータの車両挙

動データの関連づけを行った。

2-2 救急活動記録データの収集

救急隊が救急活動の内容を行った際の活動内容を記録する救急活動記録を収集した。

【データ収集期間】2007年11月15日～12月5日の1か月間

【対象救急隊】金沢市内の8救急隊

救急活動記録の各救急活動工程の開始・終了時刻、および別途収集するFAST制御データとプローブデータを時刻でマッチングすることにより、救急車の走行時の活動内容を把握可能にした。

2-3 分析用データベースの構築

Fig.2は2-1、2-2のデータ処理の流れを示したものである。救急車プローブカーデータ、道路属性、交通状況データ、救急活動内容、FAST制御データを相互に関連づけたデータベースを構築し、分析を行った。

3. 調査期間の救命救急活動の概要²⁾

3-1 金沢市の救急隊の位置およびFAST設置区間

金沢市の救急隊の位置および、FASTの設置区間、区間延長はTable1およびFig.3のとおりで、FASTは金沢市中心部の幹線道路に整備されている。

3-2 救急隊の出動回数と救急車の走行距離

調査期間中の各救急隊の活動回数と各走行距離はTable2のとおりである。出動^{*2}回数と搬送^{*3}回数に相違があるのは、救急車プローブカーデータと救急活動記録の不照合により、分析対象から除外されていることによるものである。

3-3 FAST設置区間通過状況

FASTが設置されている路線中、広岡-県庁・中央病院前間と、橋場-金沢医大間の2路線についてFAST制御データを収集した。救急車プローブデータとのマッチングを行った結果、緊急走行時の救

急車の光ビーコン下通過率は93%である。非通過率7%は、対向車線を走行していたために光ビーコンの下を通過していない場合である。また、実際に信号制御が行われたのは全体の85%であった。FAST設置区間におけるFASTの検知・作動状況はFig.4に示すとおりである。

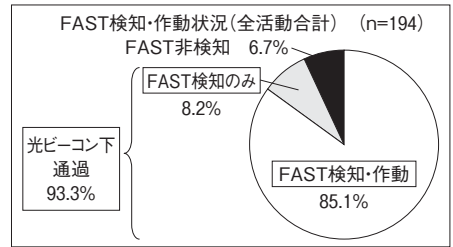


Fig. 4 FAST区間におけるFAST検知・作動状況

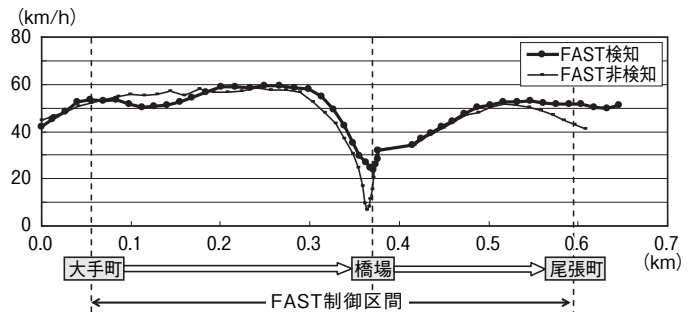


Fig. 5 FAST検知・非検知時の走行速度変化

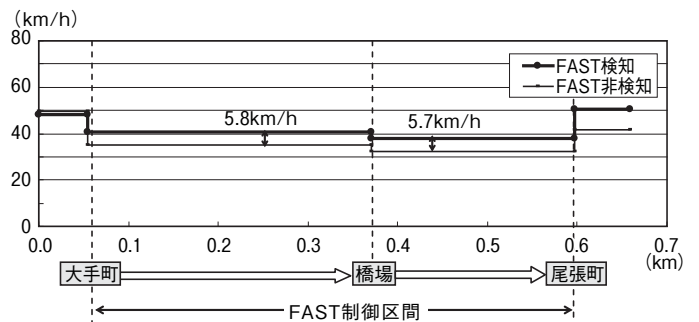


Fig. 6 FAST検知・非検知時の旅行速度図

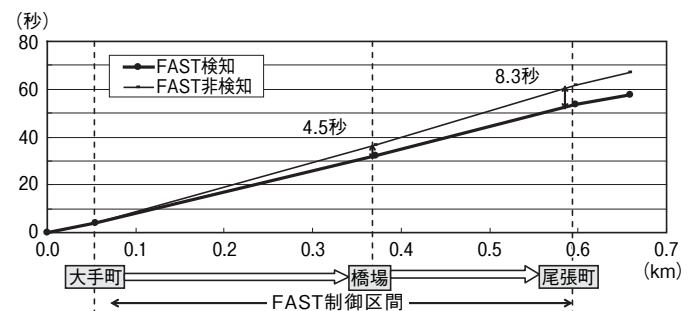


Fig. 7 FAST検知・非検知時の旅行時間図

4. FAST設置区間における走行状況の変化²⁾

4-1 走行速度の変化

Fig.5はFAST設置区間である大手町から尾張町間について、FASTを搭載した同一車が走行した際にFASTが検知または非検知であった場合の、1秒ピッチの走行速度の変化を示したものである。また、Fig.6はFig.5と同一区間の旅行速度を、Fig.7は旅行時間を、それぞれ表したものである。

FAST非検知時の信号交差点直近での速度低下は顕著で、FASTが検知した場合と比較し15.5km/h程度の速度低下が見受けられる。これを区間の旅行速度に換算した場合、5.7km/h～5.8km/hの速度差となる。同区間の旅行時間を見ると、大手町～尾張町間0.6kmの旅行時間差は、大手町～橋場間で4.5秒、橋場～尾張町間では3.8秒、区間全体では8.3秒である。これを時間短縮率で表すと、順に12.3%、15.0%、13.4%となる。

4-2 車両の走行挙動の変化

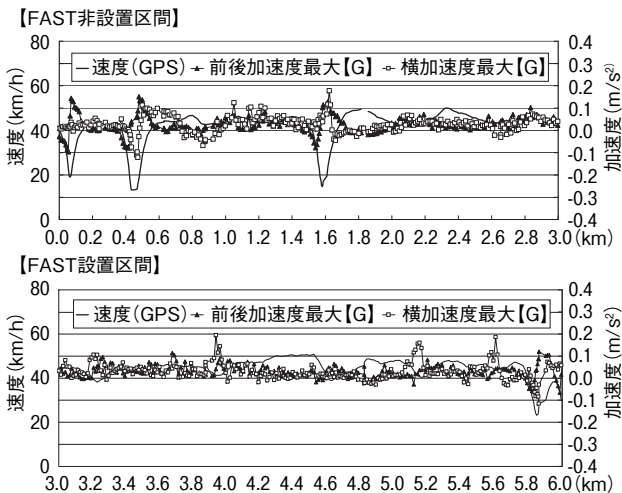


Fig. 8 FAST設置有無でのFAST搭載車の走行挙動比較

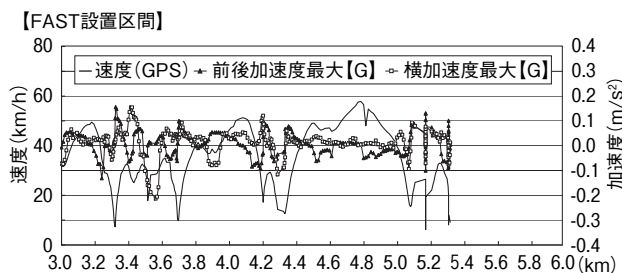


Fig. 9 FAST非搭載車の走行挙動

FASTを搭載した救急車のFAST設置区間走行時の走行挙動の変化を把握するため、FAST設置区間と非設置区間での走行速度、前後加速度、水平加速度の変化を比較した。FAST非設置区間からFAST設置区間を連続走行しているFAST搭載車の1秒ピッチの速度、前後加速度、水平加速度データを表したものがFig.8である。FAST非設置区間では設置区間に比べ前後・水平加速度が継続的に変化の幅が大きい。FAST設置区間の走行において、円滑な走行状況が保たれていることが明らかである。

次に、同じ路線のFAST搭載、非搭載の走行挙動の違いを把握するため、Fig.8のFAST設置区間を走行したFAST非搭載車の走行挙動について、1秒ピッチの速度、前後加速度、水平加速度データを表したものがFig.9である。FAST非搭載車の走行はFAST搭載車両とは異なり、前後・水平加速度の継続的な変化の幅が大きい。FAST設置区間であっても、FAST非搭載車の挙動は大きいことがわかる。

5. FASTによる走行速度の向上が救命救急活動に及ぼす効果

5-1 救急車の旅行時間推計モデルの構築

FASTによる走行速度の向上が救命活動に及ぼす効果を把握するために、FAST設置区間走行延長、FAST非設置区間走行延長を説明変数、旅行時間を非説明変数とする重回帰モデルを移動・搬送の活動区分別に構築した。同モデルの構築には、前述のTable 2に示す全救急隊の出動・搬送時の走行データを使用した。重回帰分析の結果はTable 3、Table 4に示すとおりであり、説明変数の有意性を示すP-値は、数台の車両のダミー変数を除き高度に有意であることを示しており、決定係数はどちらも0.9以上の結果を得た。

【重回帰モデル式】

$$T = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7 + hX_8 + iX_9 + jX_{10} + N$$

T : 所要時間[sec]

X_1 : FAST区間走行延長(FAST搭載車ダミー)[m]

X_2 : FAST区間走行延長(FAST非搭載

車ダミー)[m]

X₃: 非FAST区間走行延長[m]

X₄~X₁₀: 車両番号01~車両番号07(ダミー)[m]

N: 定数項

5-2 緊急走行時の平均旅行速度

算定した各活動時のモデル式の偏回帰係数より、FAST区間でのFAST搭載車、非搭載車の平均旅行速度、FAST区間以外での救急車の平均旅行速度を算出した。算出結果は Table 5 に示すとおりである。

緊急走行時におけるFAST区間でのFAST搭載車の平均旅行速度は非搭載車に比べ、出動時で17.9 km/h、搬送時で5.7km/h高く、FAST搭載車が非搭載車よりも高い速度で走行していた。出動時の速度差に比べ、搬送時の速度差が小さいことは、患者の有無が走行内容に影響を及ぼしているものと推察する。

一方で、FAST設置区間の救急車の平均旅行速度は、FAST設置区間以外よりも低い傾向にある。これは、FAST設置区間は市中心部に位置しており、交通混雑度が高い等の道路・交通状況によることに起因していると思われるが、FAST非搭載車がFAST設置区間で、設置区間以外より出動時で24.1km/h、搬送時で14.6km/h速度低下するのに対し、FAST搭載車は出動時は6.3km/h、搬送時は9.0km/hしか速度低下していない。FASTは、市中心部における交通混雑等による旅行速度低下を抑制する効果があることが明らかである。

5-3 緊急走行時の正規化旅行時間

FASTの設置による救急車の旅行時間のばらつきの変化を検証した。各々の活動において走行距離が異なるため、活動に要した実旅行時間を、モデル式

より算定される平均旅行時間によって正規化し、比較を行った。

$$\text{正規化旅行時間} = \frac{\text{各活動時の実測旅行時間}}{\text{モデル式より算出した平均旅行時間}}$$

Fig.10はFAST区間および非設置区間での、出動・搬送活動時の正規化旅行時間の度数分布図である。FAST区間走行時の出動・搬送活動の正規化旅行時間の変動係数はそれぞれ1.231と0.307であり、非FAST区間走行時の各活動の正規化旅行時間の変動係数はそれぞれ1.366、1.679である。5-1で示したように、FAST区間は非FAST区間に比べ平均旅行速度が低いにもかかわらず、いずれの活動においても旅行時間のばらつきが小さい結果であった。FASTは救急活動の定時性の向上について寄与している。また、搬送時において旅行時間のばらつきは小さく、定時性が高い。これは、一回の搬送活動でのFAST区間の利用延長が出動時の利用延長よりも長いことに起因している。このことから、FASTによる定時性の向上への効果が明らかである。

5-4 FASTによる救急車の活動時間圏の拡大

FAST区間での時間短縮効果が、救急活動においてどのような効果を及ぼすかを把握するため、モデル式より算出した活動別の救急車の平均走行速度をもとに、救急車の活動時間圏の広がりを検証した。

1) 活動時間圏の拡大

Fig.11は出動時における各消防署から3分および5分で移動できる範囲と、搬送時における主要な搬送先病院に3分および5分で移動できる範囲を、FAST設置、非設置のそれぞれのケースについて図示したものである。

Table 3 活動区分別重回帰分析結果

変数名	出動時		搬送時	
	係数	P値	係数	P値
FAST利用延長 (FAST搭載車ダミー)	0.072	0.00	0.103	0.00
FAST利用延長 (FAST非搭載車ダミー)	0.112	0.00	0.124	0.00
非FAST区間利用延長	0.064	0.00	0.082	0.00
車両番号01(ダミー)	0.010	0.00	0.000	0.82
車両番号02(ダミー)	0.012	0.00	0.004	0.03
車両番号03(ダミー)	0.004	0.01	0.002	0.35
車両番号04(ダミー)	0.016	0.00	0.000	0.90
車両番号05(ダミー)	0.004	0.03	0.002	0.23
車両番号06(ダミー)	0.019	0.00	0.002	0.29
車両番号07(ダミー)	0.003	0.24	-0.011	0.00
定数項	24.396	0.00	46.876	0.00

Table 4 活動区分別重回帰式の決定係数・相関係数

項目	出動時	搬送時
決定係数	0.9068	0.9313
修正済決定係数	0.9058	0.9307
重相関係数	0.9522	0.9650
修正済重相関係数	0.9517	0.9647

Table 5 平均旅行速度 (km/h)

	出動時			搬送時		
	FAST区間	非FAST区間	速度差	FAST区間	非FAST区間	速度差
FAST搭載車	50.0	56.3	-6.3	35.0	43.9	-9.0
FAST非搭載車	32.1		-24.1	29.3		-14.6
速度差	17.9	-	-	5.7	-	-

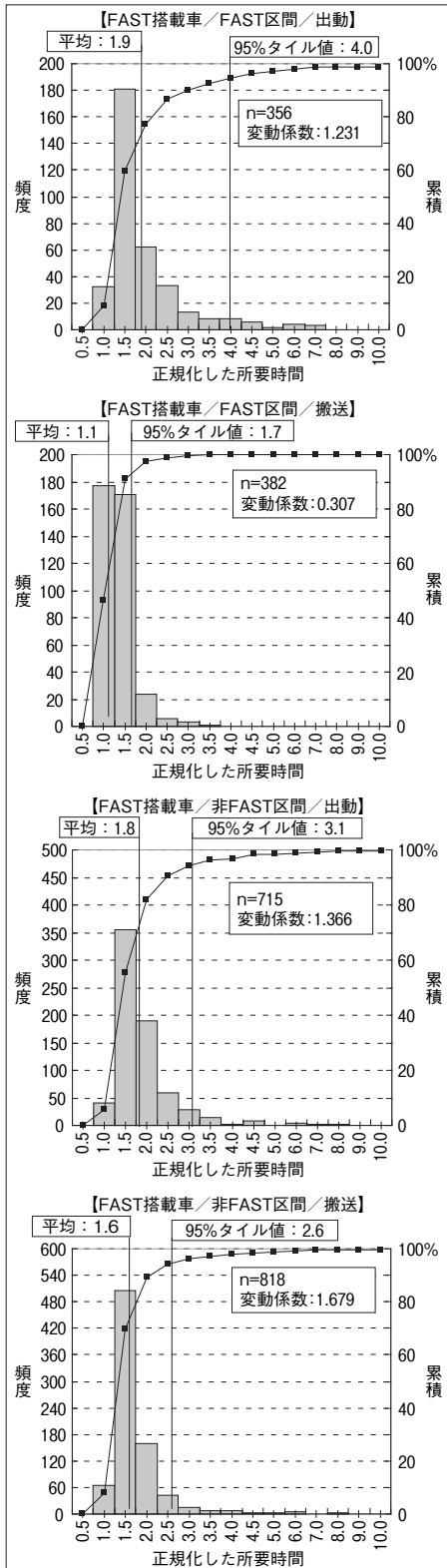


Fig. 10 正規化所要時間の度数分布

FASTの設置により、出動時においてはFAST設置区間周辺に位置する駅西消防署、味噌蔵消防署、中央消防署のいずれも3分圏域が拡大し、5分圏域はFAST設置路線方向に拡大することが示された。搬送時においては金沢県立病院、金沢医療センター、金沢大学病院はいずれもFAST設置区間周辺に位置する主要搬送先病院であることから、搬送時の3分圏域が大幅に拡大している。5分圏域はFAST設置路線方向に拡大している。

2) 活動時間圏拡大に伴う事象カバー件数の変化

2kmメッシュ単位に救急事象発生件数を算出し、FASTによる救急車の活動圏拡大の影響を検討した。FAST設置、非設置の各ケースの事象カバー件数を各活動別に集計したものがTable 6である。出動時でFAST設置により3分圏内と5分圏内の事象カバー件数はそれぞれ、9%、3%増加することになる。搬送時においても、3分圏内が14%、5分圏内が3%といずれも増加する。FASTによる活動時間圏の拡大により、救命救急事象のカバー件数が増加することが明らかとなった。

6. FASTによる走行挙動の変化から期待される医学的効果

6-1 期待される効果

重症患者の予後を左右するのは、疾患の発生または受傷から決定的治療までの時間であり、救急車の現場到着までの時間ならびに搬送時間の短縮は重症患者の予後を改善する可能性がある。決定的治療の多くは病院への搬送後に実施されるが、心室細動等に対する除細動の実施、気道異物による窒息に対する気道閉塞の解除のように救急隊員・救急救命士により救急現場で実施されるものもある。

また、走行時の減速・加速は救急救命士による観察・救命処置の質を低下させる可能性があり、FASTの活用により安定走行が確保されれば搬送中の観察・救命処置の質は高まる可能性がある。救急車内での救急隊員による心肺蘇生、特に胸骨圧迫の質が低いとの報告がある³⁾。救急隊員の認識の問題のみならず、車内環境、振動、走行時の減速・加速の救急隊員への影響が原因として想定される。また、走行中の救急救命士による傷病者の観察や傷病者に対する特定行為の実施も、減速・加速を繰り返す走行中は困難であることは否めない。

6-2 検証結果の考察

1) 重症患者の疾患発生または受傷から決定的治療

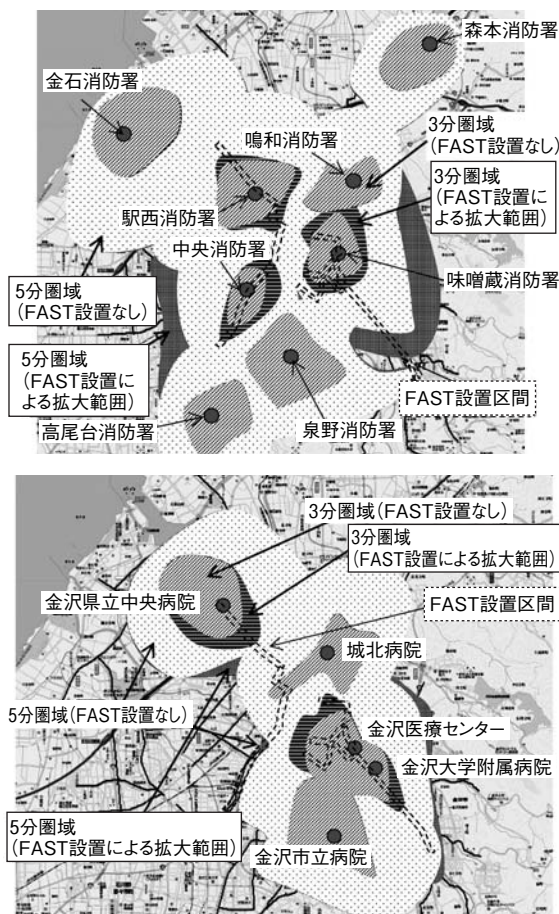


Fig. 11 FASTによる活動時間圏の拡大範囲

までの時間の短縮による予後改善効果

調査期間中に金沢市消防局により金沢大学附属病院に搬送された院外心肺機能停止状態患者は7名であり、そのうち6名はFAST車載車により、1名はFAST非車載車により搬送されている。FAST車載車により搬送された3名が蘇生され入院したが、蘇生に成功せず、外来で死亡している。今回の短期間の検討では、FAST非車載車により搬送された患者は1名にすぎず、予後に対する影響を明らかにすることはできなかった。

覚知から現場到着時間ならびに現場から病院到着時間に短縮傾向が見られた。また、14.8秒/km・台ないし19秒/km・台の走行時間の短縮効果が算出されたことより、数分間の決定的治療までの時間の短縮が実現され得ることが示唆された。

FAST設置路線の効果的活用とその効率的利用により、院外心肺機能停止状態患者の予後は改善される可能性がある。

Table 6 FAST設置状況別の活動時間圏内の事象発生件数

活動	時間圏	FAST設置なし	FAST設置あり	増減
出動	3分圏	136件	148件	9%
	5分圏	366件	377件	3%
搬送	3分圏	57件	65件	14%
	5分圏	201件	208件	3%

調査期間中、重症外傷(事後検証対象症例)4名が金沢大学附属病院に搬送された。そのうち、2名はFAST車載車により、残り2名はFAST非車載車により搬送されている。FAST車載車により搬送された2名は予測生存率10%以下の救命困難な症例であり、1例は外来で心肺停止に陥り死亡、1例は入院後死亡した。FAST非車載車により搬送された2名の予測生存率は90%を超えており、いずれも軽快退院した。

2) 搬送中の観察・救命処置の質

院外心肺機能停止状態患者の救命率を向上させるためには、質の高い心肺蘇生を実施することが重要である。特に胸骨圧迫の中断や不十分な胸骨圧迫は避けなければならない。信号通過時の減速・加速は救急車内で立位の救急隊員により行われる胸骨圧迫の実施状況に影響する可能性が高い。

この仮説を調査期間中に発生した院外心肺機能停止状態症例において、信号通過時の心電図記録を調べることにより検討した。Fig.12に示すように、加速度の変化が大きい信号通過時には十分な胸骨圧迫を実施できない場合や、胸骨圧迫が中断されることがあることがわかった。

8. まとめ

金沢市における救急車の活動状況を分析することによって、FASTの交通管理工学的効果と医学的な効果を明らかにすることができた。具体的な成果は次のとおりである。

- (1)金沢市に設置されたFASTは、救急車の交差点通過時の走行速度の向上や走行挙動の改善に顕著な効果があることを把握することができた。また、それらの効果によって、FAST区間での救急車の平均走行速度は出動時に17.9km/h、搬送時に5.7km/h向上し、走行時間のばらつきも大きく改善されることが明らかとなった。加えて、FAST区間での走行速度の向上は、救命救急活動範囲の拡大につながっており、特に出動、搬送の3分圏での事象カバー件数が1割程度増加している。

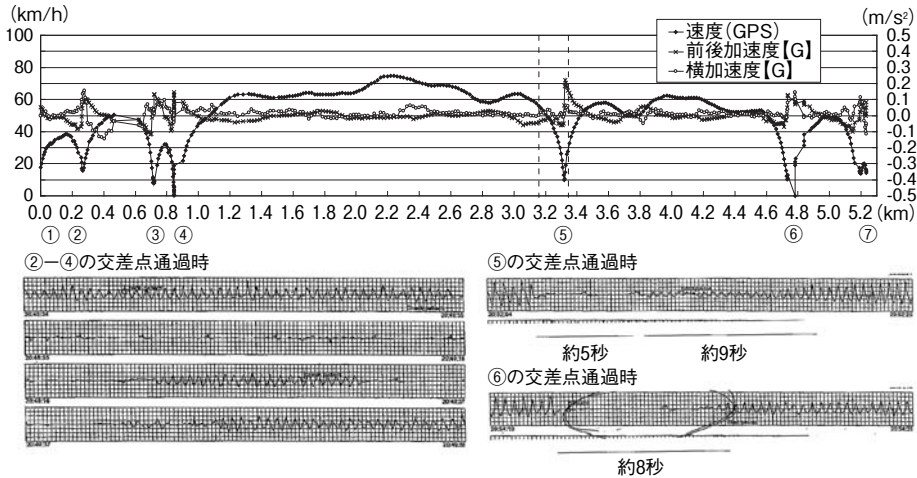


Fig. 12 心肺機能停止状態患者搬送中の速度・加速度（前後・左右）の変化と信号通過時の心電図記録

(2)医学的な効果についての検証結果から、FASTによる救急車の走行速度向上がもたらす搬送時間の短縮による予後の改善への期待とともに、交差点などでの救急車の安定した走行が救急隊員による救命処置の質の改善につながっていることが明らかとなった。

今後のFAST設置については、救急車の走行頻度や走行速度低下箇所の実態把握に基づいた、整備優先度の高い路線を選定する実行動に基づいた方法を採用すべきであると考えている。

〔謝辞〕本研究は、平成20年度総務省消防庁による「現場急行支援システムに関する検討」を発展させたものであり、消防庁、金沢消防局には多大なる理解と、御支援をいただいた。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 現場急行支援システムに関する検討会『現場急行支援システムに関する検討会報告書』総務省消防庁、2008年
- 2) 守谷俊夫、高田邦道ほか『プレホスピタルサポートシステムの開発報告書』財国際交通安全学会、2007年
- 3) Aufderheide TP, Pirralo RG, Yannopoulos D, Klein JP, von Briesen C, Sparks CW, Deja KA, Conrad CJ, Kitscha DJ, Provo TA, Lurie KG. : Incomplete chest wall decompression: a clinical evaluation of CPR performance by EMS personnel and assessment of alternative manual chest compression-decompression techniques. Resuscitation, 64(3), pp.353-362, 2005