

三次救急搬送活動を対象とした医療情報デジタル伝送システム運用のための

アンテナ基地局配置方策の検討*

Study on antenna base station setting plan for medical information digital transmission system operation intended for third-order ambulance transportation activity*

福田正輝**・高山純一***・中山晶一郎****

By Masaki FUKUDA**・Jun-ichi TAKAYAMA***・Shoichiro NAKAYAMA****

1. はじめに

近年、救急搬送や救急医療活動においては、全国的な医師不足や救急搬送患者の受け入れ拒否件数の増加、消防署から救急要請場所までの駆けつけ時間の増加など、多くの問題を抱えている。また、都市部と地方部において医療サービスの地域間格差が拡大している。特に高齢化が急速に進んでいる地方部の過疎地域においては、医療機関の数が少なく、遠方の医療機関まで行かなければ医師の診察を受けることができないケースがあり、深刻化している。

また、三次救急医療機関は、県庁所在地などの主要都市に立地していることが多く、搬送時間の地域間格差が問題になっている。重篤救急患者を中心に扱う三次救急医療活動は、従来から迅速かつ確かな対応が求められており、単に医療機関への迅速な搬送を行うだけではなく、プレホスピタルケア（病院前救護）の充実が患者の救命率や入院後の回復率に大きく影響する。

プレホスピタルケアの中心的役割を担う救急救命士は、心肺停止傷病者に対する処置行為である特定行為（除細動、気管挿管、薬剤投与）が医師の具体的な指示に基づいて行うことが可能であり、救急救命士の処置行為に関する法整備が行われている。患者に対する処置活動を効果的なものにするためには、救急救命士自身の医療知識や技術を向上させると同時に、搬送中の重症患者の容態を搬送医療機関の医師に具体的に伝えることが重要であり、救急救命士と医師がいかに綿密な連携を図ることができるかが救命率向上の鍵になる。

現在、救急車と医療機関との間の通信手段として、救急無線の他に携帯電話を用いた音声による通話が一般的である。しかし、音声のみのコミュニケーションでは、患者の容態を正確に伝えるために時間を要する場合があ

*キーワード：ITS

**学生会員，金沢大学大学院自然科学研究科

(石川県金沢市角間町，Mail：fukuda@stu.kanazawa-u.ac.jp)

***フェロー会員，工博，金沢大学環境デザイン学系

(TEL076-234-4613，Mail：takayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

****正会員，博（工），金沢大学環境デザイン学系

(TEL076-234-4614，Mail：snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

る。また、医師が救急隊員に対して適切な治療方法を指示するためには、救急車内の患者の容態変化を具体的に知る必要があり、音声のみの報告では不十分であるといえる。

そこで、患者の心電図や血圧などの詳細なモニターデータ（バイタルデータ）や患者全体像が把握できるような静止画・動画の画像データを医療機関に伝送し、医師は、その画像データをもとに救急救命士に対して処置の指示・指導を行う医療情報デジタル伝送システムの導入が、救急搬送活動の充実につながると考えられる。

2. 医療情報デジタル伝送システム導入の必要性

近年、緊急車両の走行支援として、救急車両の最適経路への誘導、優先信号制御など、医療分野における ITS 技術の利用が進んでいる。これらの ITS 技術は、緊急車両をスムーズに走行させて走行時間を短縮するために導入されるものである。本研究で対象としている ITS 技術である医療情報デジタル伝送システムは、救急搬送中に救急車内での患者への処置効果を上げるものであり、これまでに導入されてきた技術とは、「搬送時間の短縮」と「搬送活動の質の向上」という点では、異なったものである。

医療情報デジタル伝送システム導入のための実証実験は、全国各地で行われている。総務省北陸総合通信局は、平成 17 年に「救急業務用高度医療情報伝送システムに関する検討会」¹⁾を設置している。検討会では、北陸地域の救急医療の現状について課題整理を行うとともに救急医療現場における情報通信ニーズの把握を行い、基本となるモデルシステムを構築し、救急車から医療機関に傷病者の映像や血圧、心電図などの生体データの伝送を想定した通信試験を行っている。

また、総務省消防庁は、平成 20 年に「救急業務における ICT の活用に関する検討会」²⁾を設置しており、実際の救急搬送において医療情報伝送システムの実証実験が行われている。具体的には、石川県内の 5 消防機関（金沢市消防局、小松市消防本部、津幡町消防本部、白山石川広域消防本部、かほく市消防本部）と 4 医療機関（金沢大学医学部附属病院、金沢医療センター、金沢医

科大学病院, 石川県立中央病院) が連携して, 実際の救急搬送において, 画像伝送システムを活用することにより, 救急搬送業務の効率性や画像伝送の必要性, 救命効果の検証などが行われている. その結果, 画像伝送システムの有用性や効果は, 医療機関では8割以上, 消防機関では9割以上の搬送事例で効果があったと回答しており, 画像伝送システムが救急搬送の充実や患者の救命率向上には欠かすことが出来ないシステムであることが分かる.

3. VHF マルチホップ無線システムの利用

医療情報デジタル伝送システムを導入する際に利用する無線システムとして, 多様な無線システムが候補として挙げられる. 救急業務用高度医療情報伝送システムに関する検討会報告書¹⁾によると, 表 3.1 に示したような無線システムが想定されている.

表 3.1 想定される伝送システム¹⁾

| 項目 | VHFマルチホップ無線 | 携帯電話 | 無線LAN |
|------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 伝送速度 | 数百kbps~1Mbps程度 | 最大384kbps | 数十Mbps以上 |
| 使用周波数帯 | VHF帯 (150~300MHz程度) | 2GHz帯 (高速のもの) | 2.4GHz帯, 5GHz帯 |
| 通信エリア | 1基地局から半径数km (複数の基地局・中継局設置可能) | 連続したゾーンとして全国でサービス(人口の少ない地域を除く) | 1基地局から半径100m程度(複数の基地局・中継局を設置可能) |
| 通信の輻輳 | 救急を含め公共用に限定する場合災害時にも輻輳が少ない | 災害時等、輻輳発生の可能性が高い | エリアが小さいこともあり、輻輳は少ない(今後は不透明) |
| ネットワークの柔軟性 | 小型マルチホップ中継局により臨時設置も容易 | 災害時臨時局も可能であるが大型で柔軟性に乏しい | 小規模局で設置が容易 |

携帯電話等の公衆無線システムは, 連続したゾーンとして全国で利用されており, 通信エリアも広く, コストも相当低減できると考えられる. 一方, 救急業務用としての用途からは, 災害時の輻輳の影響を最小限にとどめる必要があり, 専用回線システムとして構築することが望ましいと考えられる. このため, 動画像を中心とした多様な情報が伝送できることに加えて, 災害時にも十分な信頼性があり, 1基地局当たりの通信可能エリアが比較的広く, 基地局設置の自由度も高い「VHF マルチホップ無線システム」を, 救急車からの医療情報デジタル伝送システムに利用することが望ましいと考えられる.

VHF マルチホップ無線システムは, 将来の自営系の無線システムとして, 独立行政法人情報通信研究機構が中心となり研究を進めてきたものである. このシステムは, IP 技術を用いたデジタル通信システムであり, 多量な情報の伝送を行う能力を持つとともに, 動画などの大容量の伝送を必要とするシステムにも適応可能な柔軟性を備えている. さらに, VHF 帯を前提とした一つの無線区間で数 km 程度の伝送も可能であり, 基地局を用いた中継通信機能に加えて, 基地局を介さずに移動局同士でも中継通信を実現する移動局間マルチホップ通信機能の実現が可能であり, 柔軟なネットワーク構成にも対

応できる. また, 直接通信では通信不可能な状況においても, 中継端末を介して通信リンクを確立することができるため, 応用範囲も広い通信システムである.

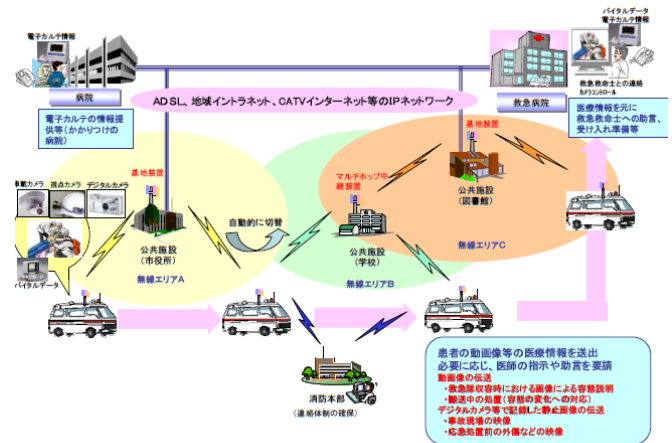


図 3.1 VHFマルチホップ無線システムの概要¹⁾

4. 研究の目的

三次救急搬送活動を対象として, 充実したプレホスピタルケアを実現するためには, 前述のような, 医療情報デジタル伝送システムを導入する必要性が高いと考えられる. また, 近年多発する自然災害やテロ災害に備えて, 混乱の生じる可能性の高い既存の通信システム (携帯電話や無線 LAN) を用いるのではなく, 公共用としての無線システムの新規確立が必要であり, 効率的な革新システムの整備・運用が求められる.

そこで, 本研究では救急業務用の医療情報デジタル伝送システムを確立するために, VHF マルチホップ無線システムの利用を想定したアンテナ基地局を効率的に配置する方策を検討するとともに, 実際に石川県加賀地域においての導入を検討することを目的とする.

5. 研究のアプローチ

(1) 研究の概要

救急要請を受けた救急隊員は, 現場から最寄りの消防機関から救急要請場所に向かい, 患者を収容して医療機関に搬送するという手順で救急活動を行っている.

重篤救急患者を扱う三次救急活動は, 他の救急活動の場合と異なり, 搬送先の医療機関に限られているため, 搬送するルートとして特定の幹線道路や高速道路を選択しているという特徴を持つ.

そこで, 現場から三次救急医療機関までの救急車の走行経路を把握し, よく利用している走行経路付近を中心に, 医療機関までの距離や現場からアンテナ基地局までの搬送時間を考慮して, アンテナ基地局の設置場所を検

討する。

まず、救急車が現場から三次救急医療機関に搬送する際に利用する走行経路を把握する方法から述べる。救急車は、一般的に経路選択をする場合に、現場から医療機関までを最短時間で到達できる経路を選定する。しかし場合によっては、時間帯によって渋滞をさけるために迂回路を選択することや、患者の容態によっては路面状況を考慮して振動の起こりにくい経路を選定しているのが現状であり、救急車の経路選択においては救急隊員の経験に頼る場合が多いと考えられる。そこで、アンテナ基地局設置対象エリアとする石川県白山市・小松市・加賀市の各消防署の救急隊員を対象にアンケート調査を実施し、各市における救急車の搬送経路を把握した。

次に、アンテナ基地局の設置場所の検討方法について記述する。アンテナ基地局は、救急車がよく走行する経路に設置することで、より多くの搬送事例で画像伝送を行う事が可能となる。一般的に救急車の走行経路は医療機関に近づくにつれて、枝分かれしていた経路が集約されていくことになり、医療機関に近い経路ほど、利用頻度の高い経路であると想定される。しかし、画像伝送のタイミングとしては、現場に到着してからより速いタイミングにおいて行うことが望ましく、特に三次救急患者における初期治療は一分一秒を争う問題であり、早期において医師からの適切な助言をもらう事が救命率の向上につながると考えられる。また、医療機関に近い場所にアンテナ基地局を設置しても、すぐに医療機関に到着してしまうため、その効果は医療機関から遠い地域にアンテナを設置する場合と比較すると、かなり低いものになってしまう。

そこで、単純に救急車がよく利用する走行経路付近にアンテナを設置する検討を行うのではなく、各種条件の下で救急要請場所からの搬送時間を考慮した評価式を設定することにより、アンテナの配置場所を検討する。

(2) アンケート調査の概要

白山市、小松市、加賀市の各消防署・分署の救急隊員を対象として、救急車の走行経路の決定要素とその決定要素の重要度、および救急車輛の走行経路の実態を把握するために、アンケート調査を行った。アンケートの回収率と、調査項目を表 5.1、表 5.2 に示す。調査時期は、平成 18 年 11 月である。

表 5.1 アンケートの回収率

| | 白山市 | 小松市 | 加賀市 | 合計 |
|--------|------|------|------|------|
| 配布枚数 | 125 | 18 | 52 | 195 |
| 回答枚数 | 65 | 15 | 27 | 107 |
| 回収率(%) | 52.0 | 83.3 | 51.9 | 54.9 |

表 5.2 調査項目

| 調査項目 | 内容 |
|-----------------|---------------------------|
| 走行経路調査 | ・高速・一般国道の平均及び最高走行速度 |
| | ・経路選択の決定要素 |
| | ・走行経路 |
| 三次救急活動に対する意向・要望 | ・三次救急活動の評価・課題 |
| | ・今後求められる整備内容 |
| 個人属性 | ・性別 |
| | ・年齢 |
| | ・勤務地 |
| | ・救急救命士の資格の有無など |
| 調査対象 | ・白山市・小松市・加賀市の各消防署・分署の救急隊員 |

(3) 主要交差点立ち寄り回数の算出

アンケート調査において、対象地域の自治体ごとの管轄エリア内で 8 パターンの発生場所を想定し、発生場所ごとに救急隊員に搬送先の病院を指定してもらい、その搬送先の病院までの走行ルートを実際に地図上に記入して頂き、走行経路を把握した。この調査結果を参考にして、よく利用する事が予想される主要交差点を 20 箇所ピックアップする。把握した経路数は、白山市 520 経路、小松市 120 経路、加賀市 216 経路であり、全経路において、主要交差点に立ち寄る回数を、各発生場所の人口及び各自治体内の年間の救急要請件数をもとに算出する。

(4) 救命曲線の算出

本研究では、単純に、救急車が利用する頻度が高い経路沿いにアンテナ基地局を設置するのではなく、救急要請場所からアンテナ基地局（通信可能エリア）までの搬送時間を考慮する。これは、三次救急搬送を対象としているため、重篤患者を扱う搬送が多いので時間経過による救命率の変化が評価指標として重要であるためである。

時間経過と死亡率の関係を表した評価指標としてよく参考にされているのは、カーラーの救命曲線である。この救命曲線は、日本で行われている応急手当の講習会でよく用いられているものであり、フランスの救急専門医 M.CARA が 1981 年に報告した「傷病してから応急手当を施すまでの経過時間と死亡率」を表したものである。カーラーの救命曲線に着目し、この救命曲線は、日本で行われている応急手当の講習会などでよく用いられているものであり、フランスの救急専門医 M.CARA が 1981 年に報告した、傷病してから応急手当を施すまでの経過時間と死亡率を表したものである。これによると、心臓停止では 3 分、呼吸停止では 10 分、多量出血では 30 分放置すると死亡率が約 50% に達するとされている。

既存研究で用いられている救命曲線としては、平松らの研究³⁾では、カーラーの救命曲線を死亡リスク関数と定義して、「多量出血」の曲線に対してロジスティック回帰により求めている。藤本ら⁴⁾の研究では、長崎市を対象として平成 9 年 9 月からの 3 年 10 か月分の救急搬送業務の実態調査データを用いて、脳内出血、くも膜下出血、急性心筋梗塞、急性心不全、肺炎、CPA（心肺停止）の 6 疾患において、疾患別に収容所要時間と救命率

の変化について、救命曲線を算出している。

そこで、本研究では平松らの研究³⁾を参考にして、「心臓停止」、「呼吸停止」の場合にも適用できるように式を作り変えた。しかし、各症状において異なる3つの曲線では実用的ではないので、消防年報での「心臓停止」、「呼吸停止」、「多量出血」の救急隊員の行った応急処置件数を参考にして、3本の救命曲線に重み付けを行い、1本の曲線を算出した。

また、上記で算出したカーラーの救命曲線は、救急隊員が行う救急車内での応急処置の効果や、通信開始時期が患者に与える影響が考慮されていない。そこで以下の文献を参考にして、それらの点を考慮する。柳川らの研究⁵⁾では、医師が救急車に同乗するドクターカーシステムの導入による効果を検証しており、ドクターカーシステムの導入により患者の生存率が約10%向上したと報告している。また、救急業務用高度医療情報伝送システムに関する検討会報告書¹⁾によると、医療機関へのヒアリング調査では、画像伝送を行うタイミングとして、収容及び最初の救急処置の終了後または処置中に実施するファーストコールにあわせた時期、またはその場合が困難であってもファーストコールに付随する情報として収容から10分間程度の間画像伝送を開始できると有意義であるという見解が得られている。以上より、救急隊員が行う救急車内での応急処置の効果 α ($\alpha=0.9$)、通信開始時期が患者に与える影響を、アンテナ設置場所が救急要請現場に限りなく近ければ生存率が10%向上し、救急要請場所からアンテナ基地局の通信可能エリアに到達するまでの搬送時間により、毎分1%ごとに生存率が減少していくように設定する。

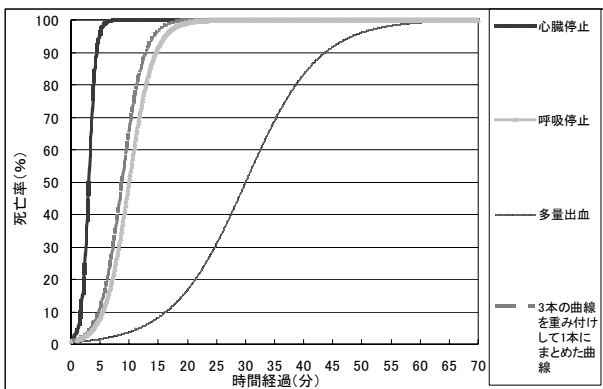


図 5.1 算出したカーラーの救命曲線

$$R = 100 - \left\{ \frac{100}{1 + \exp(4.80861 - 0.53116 \alpha t)} - \beta \right\} \quad (1)$$

$$\beta = 10 - t_{ij} \quad (t \leq 10) \quad (2)$$

$$\beta = 0 \quad (t > 10) \quad (3)$$

R : 生存率 (%)

t : 搬送時間 (分)

α : 救急車内の応急処置効果を考慮した定数 ($\alpha=0.9$)

β : 通信開始時期を考慮したパラメータ

t_{ij} : 救急要請地区 i から主要交差点 j に到着するまでの所要時間 ($t_{ij} \leq 10$)

(5) アンテナ設置場所の評価式の定式化

アンテナの設置場所を検討する際、設置予定場所にアンテナを設置したときの効果を表す必要がある。そこで、本研究では交差点通過時に何人の生存者と通信可能であるのかを考えて、それを主要交差点の評価指標として捉えて、最大化することを考える。

評価値を求める方法としては、主要交差点立寄り回数と算出したカーラーの救命曲線から求める各主要交差点での生存率を掛け合わせて、救急車が各主要交差点を通過する際に生存している患者数を算出する。さらに、アンテナ基地局の設置台数に応じて、主要交差点の評価値を足し合わせて最大となる交差点の組み合わせを求め、また、制約条件としてアンテナの設置台数とアンテナ基地局同士の距離を設定し、これらを 0-1 整数計画問題として定式化する。具体的な配置結果は講演時に示す。

$$\text{最大化: } z = \sum a_{ij} R(t_{ij}) x_j \quad (4)$$

$$\text{制約条件: } \sum_j x_j = p \quad (5)$$

$$d_j \geq l \quad (6)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (7)$$

z : アンテナ設置場所の評価値

a_{ij} : 救急要請地区 i から主要交差点 j に流入する搬送数

$R(t_{ij})$: 生存率を表す関数

x_j : アンテナ設置場所の有無 (0, 1 変数)

p : アンテナの設置台数

d_j : アンテナ基地局同士の距離

l : アンテナ基地局同士の制約条件

i : 救急要請地区番号

j : 主要交差点番号

参考文献

- 1) 総務省北陸総合通信局, 「救急業務用高度医療情報伝送システムに関する検討会報告書」, 2006.2
- 2) 総務省消防庁, 「救急業務における ICT の活用に関する検討会報告書」, 2009.2
- 3) 平松敏史, 「重傷者搬送機能に着目した緊急輸送道路網の耐震化効果」, 平成 18 年度修士学位論文
- 4) 藤本昭, 橋本考来, 「救急患者の収容所要時間・救命曲線を使った道路整備の救命向上効果計測」, 九州技報第 31 号, pp.2002.7
- 5) 柳川洋一, 高須朗, 齋藤大蔵, 金子直之, 阪本敏久, 岡田芳明: 「当施設におけるドクターカーによる頭部外傷患者に対するプレホスピタルケアの検証」, 日本救急医学会誌, 2004