

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に関する研究*

A study on antenna station location planning of operating medical information digital transmission system
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、救急サービスの低下が深刻な課題である。

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大きな問題になっている。特に、重篤救急患者を中心に扱う三次救急搬送活動は、従来から迅速かつ確実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）を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、救急救命士自身が高度な医療知識の修得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ている。

また、医療情報デジタル伝送システムを運用していくためには、通信設備の整備・維持管理が必要になる。一般的に、通信回線については、携帯電話や無線 LAN のような公共回線を用いることが考えられる。しかし、医療情報を扱う以上、一定レベル以上の精細な画像品質やなめらかな動画像が求められ、画質を落とさず輻輳しない回線の安定性が求められる。

そこで、筆者ら¹⁾²⁾は、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、1 基地局あたりの通信可能エリアが比較的広く、基地局配置の自由度も高い「VHF マルチホップ無線システム」を用いた医療情報デジタル伝送システムを運用する際のアンテナ基地局を効率よく配置する方策を検討するとともに、石川県小松市においての導入を検証した。本研究では、症状程度別の患者の搬送件数や救命率を考慮したアンテナ基地局の最適配置モデルの構築や、本システムの有効性について述べる。

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の患者への処置効果を向上させるものであり、これまでに導入

*キーワード：防災計画

**正会員，修（工），（株）東京建設コンサルタント
(TEL：052-222-2771，Mail：fukuda-m@tokencon.co.jp)

***フェロー会員，工博，金沢大学環境デザイン学系
(TEL：076-234-4613，Mail：takayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

****正会員，博（工），金沢大学環境デザイン学系
(TEL：076-234-4614，Mail：snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

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（初期治療の開始時間の短縮）」という点では、異なったものである。初期治療の開始時間を早めることにより、遠方から救急患者を搬送する場合や早急な治療を必要とする重篤救急患者への救命効果を向上させるシステムであると期待されている。

また、近年の情報通信技術の進歩により、アナログ周波数帯からデジタル周波数帯への移行が進んでおり、新たな周波数帯の有効利用が検討されている背景のもと、救急や防災関連の通信システムの充実の一環として、本システムの導入が検討されている。将来的には、本システムと災害時に活用する防災無線と連携して、より高度な通信システムの確立が望まれている。

医療情報デジタル伝送システム導入のための実証実験においては、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」³⁾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、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」⁴⁾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や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. アンテナ基地局配置方策の検討

（1）研究の概要

一般的に、救急要請を受けた救急隊員は、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。しかし、重篤救急患者を扱う三次救急搬送活動は、他の搬送活動の場合と異なり、搬送先の医療機関が限られているため、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。また、本研究で

導入を検討している医療情報デジタル伝送システムは、救急車内の救急隊員と医療機関の医師との連携を深めて、初期治療の開始時間の早さや充実を目的としているため、重症患者などの比較的重症度合の高い患者を搬送する際に有効であるといえる。また、医療機関までの搬送時間が極端に短いと画像伝送を行ったとしても、医師から指示を受ける途中で医療機関に到着してしまうことが想定され、効果が低くなる可能性が指摘されている。そのため、対象地域の設定においては、三次救急医療機関までの搬送時間が長いとともに、比較的搬送需要の高い地域を対象とすることが望ましいと考えられる。

次に、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導入のためのアンテナ基地局配置方策の概要について、説明する。本システムで導入を検討するアンテナ基地局には、医療情報という正確で鮮明な動画像を伝送しなければならないために、通信できるエリアがアンテナ基地局を中心に半径 2km 以内が限界であるとされている。また、近年における行政の予算の逼迫している状況を踏まえると、アンテナ基地局を配置するには、効率的により多くの搬送件数で利用できることが望ましいと考えられる。そのためには、救急車がよく利用している走行経路付近や比較的人口密度の高い場所に配置するのが効率的であるといえる。

しかし、重篤救急患者を搬送する三次救急搬送においては、搬送時間が救命率に大きく影響すると考えられるために、単によく利用する経路沿いや人口密度の高い場所にアンテナ基地局を配置するのではなく、救急要請場所からアンテナ基地局（通信エリア）までの所要時間や三次救急医療までの搬送時間、また時間経過に伴う救命率の変化を考慮することが非常に重要である。

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基地局を配置する方策を検討するのではなく、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、アンテナ基地局の最適配置場所を検討する。

（2）対象地域の設定およびゾーニング

前述のように対象地域の設定においては、三次救急医療機関までの所要時間を要するとともに、比較的搬送需要の高い地域を対象とすることが望ましいと考えられる。そこで、本研究では、石川県内でも搬送需要が金沢市に次いで多い小松市（加賀地域）を対象に、医療情報デジタル伝送システム導入のためのアンテナ基地局配置方策を検討する。

小松市は、人口約11万人の都市であり、石川県の南西部に位置している。しかし、三次救急医療機関は、小松市内にはなく、県庁所在地である金沢市に集中しているため、搬送には高速道路を利用することになり、少なく

とも30分以上かかる地域である。

また、三次救急医療機関までの搬送件数やアンテナ基地局配置候補地・三次救急医療機関までの搬送時間の算出を行う際、対象地域である小松市をある程度の大きさのゾーンに分けて、詳細に分析する必要がある。そこで、平成17年度国勢調査の統計区（校下）を参考にして、小松市を25ゾーンに分けることとした。

表 - 1 各ゾーンの人口・世帯数

ゾーン名	人口	世帯数
1 稚松校下	8,652	3,254
2 芦城校下	9,471	3,720
3 安宅校下	7,789	3,059
4 犬丸校下	3,305	1,039
5 荒屋校下	2,814	861
6 能美校下	4,592	1,518
7 第一校下	9,747	3,355
8 苗代校下	7,577	2,458
9 蓮代寺校下	2,217	669
10 向本折校下	4,028	1,484
11 中海校下	2,539	751
12 東陵校下	3,022	1,103
13 国府校下	6,085	1,846
14 金野校下	1,320	443
15 波佐谷校下	1,640	582
16 西尾校下	660	244
17 今江校下	5,783	1,996
18 串校下	5,308	1,915
19 日末校下	1,884	565
20 符津校下	5,276	1,942
21 粟津校下	3,665	1,485
22 木場校下	1,383	438
23 矢田野校下	5,836	2,053
24 月津校下	3,571	1,225
25 那谷校下	1,161	351
合計	109,325	38,356

（３）三次救急医療機関への搬送件数の算出

岩井ら⁵⁾が小松市消防本部に対して調査した結果、三次救急医療機関までの搬送件数については、平成13年～平成17年における小松市全体での搬送件数についてのデータを得ることができた（表 - 2）。しかし、前述の（２）対象地域の設定およびゾーニングにおいて、小松市をゾーニングした各ゾーンからの搬送件数データを得ることができなかった。そこで、人口と搬送件数には、高い相関関係があることを考慮して、各ゾーンの人口構成比率（平成17年度国勢調査のデータを用いる）により、ゾーンごとの三次救急医療機関までの搬送件数を算出した（表 - 3）。

次に、症状程度別搬送件数の算出について述べる。後述の（５）カーラーの救命曲線の算出において、カーラーの救命曲線を用いた症状別の生存患者数を算出するが、そのためには、各ゾーンからの症状別の搬送患者数を算出する必要がある。しかし、「心臓停止」、「呼吸停止」、「多量出血」の搬送患者数のデータを得ることができなかったため、救急隊員の行った応急処置件数データ⁶⁾（表 - 4）を参考にして、各ゾーンからの症状別の搬送患者数を算出する。具体的には、「心肺蘇生」を「心臓停止」に、「気道確保」を「呼吸停止」に、「止血」を「多量出血」に置き換えて、救急隊員の行った応

急処置件数の構成比率を用いて、各ゾーンからの「心臓停止」、「呼吸停止」、「多量出血」の搬送患者数を算出した。紙面の都合上、平成17年のゾーン別症状別搬送件数の算出結果のみ示す。（表 - 5）

表 - 2 小松市から三次救急医療機関への搬送件数

	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年
金大	37	28	41	36	46
県立	29	17	25	38	35
医科大	9	14	17	7	2
合計	75	59	83	81	83

表 - 3 各ゾーンから三次救急医療機関までの搬送件数

ゾーン名	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年
1 稚松校下	5.9	4.7	6.6	6.4	6.6
2 芦城校下	6.5	5.1	7.2	7.0	7.2
3 安宅校下	5.3	4.2	5.9	5.8	5.9
4 犬丸校下	2.3	1.8	2.5	2.4	2.5
5 荒屋校下	1.9	1.5	2.1	2.1	2.1
6 能美校下	3.2	2.5	3.5	3.4	3.5
7 第一校下	6.7	5.3	7.4	7.2	7.4
8 苗代校下	5.2	4.1	5.8	5.6	5.8
9 蓮代寺校下	1.5	1.2	1.7	1.6	1.7
10 向本折校下	2.8	2.2	3.1	3.0	3.1
11 中海校下	1.7	1.4	1.9	1.9	1.9
12 東陵校下	2.1	1.6	2.3	2.2	2.3
13 国府校下	4.2	3.3	4.6	4.5	4.6
14 金野校下	0.9	0.7	1.0	1.0	1.0
15 波佐谷校下	1.1	0.9	1.2	1.2	1.2
16 西尾校下	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
17 今江校下	4.0	3.1	4.4	4.3	4.4
18 串校下	3.6	2.9	4.0	3.9	4.0
19 日末校下	1.3	1.0	1.4	1.4	1.4
20 符津校下	3.6	2.8	4.0	3.9	4.0
21 粟津校下	2.5	2.0	2.8	2.7	2.8
22 木場校下	0.9	0.7	1.0	1.0	1.0
23 矢田野校下	4.0	3.1	4.4	4.3	4.4
24 月津校下	2.4	1.9	2.7	2.6	2.7
25 那谷校下	0.8	0.6	0.9	0.9	0.9
合計	75	59	83	81	83

表 - 4 救急隊員の行った応急処置件数⁴⁾

	心肺蘇生	気道確保	止血	合計
平成13年	80(0.19)	132(0.32)	205(0.49)	417
平成14年	67(0.16)	105(0.25)	242(0.58)	414
平成15年	74(0.19)	148(0.37)	174(0.44)	396
平成16年	73(0.21)	122(0.35)	149(0.43)	344
平成17年	74(0.22)	132(0.40)	125(0.38)	331

（ ）内の数字は、構成比率を示す。

表 - 5 ゾーン別症状別搬送件数（平成17年）

ゾーン名	心臓停止	呼吸停止	多量出血	合計
1 稚松校下	1.5	2.6	2.5	6.6
2 芦城校下	1.6	2.9	2.7	7.2
3 安宅校下	1.3	2.4	2.2	5.9
4 犬丸校下	0.6	1.0	0.9	2.5
5 荒屋校下	0.5	0.9	0.8	2.1
6 能美校下	0.8	1.4	1.3	3.5
7 第一校下	1.7	3.0	2.8	7.4
8 苗代校下	1.3	2.3	2.2	5.8
9 蓮代寺校下	0.4	0.7	0.6	1.7
10 向本折校下	0.7	1.2	1.2	3.1
11 中海校下	0.4	0.8	0.7	1.9
12 東陵校下	0.5	0.9	0.9	2.3
13 国府校下	1.0	1.8	1.7	4.6
14 金野校下	0.2	0.4	0.4	1.0
15 波佐谷校下	0.3	0.5	0.5	1.2
16 西尾校下	0.1	0.2	0.2	0.5
17 今江校下	1.0	1.8	1.7	4.4
18 串校下	0.9	1.6	1.5	4.0
19 日末校下	0.3	0.6	0.5	1.4
20 符津校下	0.9	1.6	1.5	4.0
21 粟津校下	0.6	1.1	1.1	2.8
22 木場校下	0.2	0.4	0.4	1.0
23 矢田野校下	1.0	1.8	1.7	4.4
24 月津校下	0.6	1.1	1.0	2.7
25 那谷校下	0.2	0.4	0.3	0.9
合計	18.6	33.1	31.3	83.0

(4) 搬送時間の算出

救急要請は、日々、さまざまな場所から要請があり、救急隊員は、覚知してから現場へ向かい患者を救急車に収容して、医療機関へ搬送する手順をとっている。ゾーニングした地域内において、どの町から救急要請しているのか把握するには、消防機関が搬送患者ごとにまとめている「救急業務実施報告書」が必要になるが、個人情報等の問題により手に入れることができなかった。また、ゾーン内の各町からの搬送時間を算出するのは、作業に膨大な時間を要するために、ゾーン内の代表地を決めることにより、そこからの搬送時間を算出する。なお、代表地としては、各ゾーンにおいて人口が最も多い町を設定した。

また、搬送時間の算出においては、スーパーマップルデジタル10を用いることにより、算出する。なお、走行経路は最短距離を選択するものとし、走行速度は、岩井ら⁵⁾が救急隊員に対してアンケート調査を行った結果を用いており、一般道は48km/h、高速道は83km/hを用いた。また、アンテナ基地局を経由して医療機関までに要する搬送時間 t_{ijk} については、救急要請ゾーンからアンテナ基地局までの搬送時間とアンテナ基地局から医療機関までの搬送時間の和により、算出する。

(5) カーラーの救命曲線の算出

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指標として、カーラーの救命曲線がある。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カーラーが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、平松らの研究⁷⁾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。藤本らの研究⁸⁾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⁷⁾を参考にして、心臓停止では3分、呼吸停止では10分で死亡率が50%に達するような b_i をロジスティック回帰分析を用いて算出した。また、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、本研究において導入を検討している医療情報デジタル伝送システムが患者に

与える効果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⁹⁾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。そこで、救急隊員が行う救急車内での応急処置の効果を α （ $\alpha=0.9$ ）とする。また、医療情報デジタル伝送システムが救命率に与える効果においては、現段階では未知であるため、感度分析により求めた値（ $\beta=0.65$ ）を用いた。以上のようにパラメータを設定し、アンテナ基地局通過前後において、2種類の救命曲線を用いることとする。

$$R(t, \tau) = 1 - \left\{ \frac{1}{1 + \exp(4.80861 - b_i \gamma(\tau) t)} \right\} \quad (1)$$

$$\gamma(\tau) = \begin{cases} \alpha & (t \leq \tau) \\ \beta & (t > \tau) \end{cases} \quad (2)$$

なお、 α ：救急救命士の応急処置効果、 β ：医療情報デジタル伝送効果、 τ ：救急要請場所からアンテナ基地局までの搬送時間、 t ：搬送時間、 b_i ：症状別定数項（「心臓停止」（ $i=1$ ）、「呼吸停止」（ $i=2$ ）、「多量出血」（ $i=3$ ）の3症状において異なり、心臓停止では、1.6029、呼吸停止では、0.4809、多量出血では、0.1603を用いる）を示す。

(6) 評価式の定式化

アンテナ基地局の配置位置を検討するには、アンテナ基地局配置候補地における評価値を算出する必要がある。そこで、評価値を「アンテナ基地局配置候補地が許容する通信可能エリアを通過し、三次救急医療機関まで生存する患者数」とする。そして、アンテナ基地局の配置数に応じて、候補地の評価値を足し合わせて最大となる候補地の組み合わせを求める。また、制約条件としてアンテナ基地局の配置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式(3)～式(6)に定式化する。

$$\max \quad Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} a_{ijk} R(t_{ijk}) x_j \quad (3)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in J} x_j = p \quad (4)$$

$$d_{jj'} \geq l \quad \forall j \in J, \forall j' \neq j \quad (5)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (6)$$

z ：アンテナ基地局配置候補地の評価値

a_{ijk} ：救急要請地区 i から配置候補地 j に流入し三次救急医療機関 k に搬送する搬送患者数

R ：生存率（カーラーの救命曲線）を表す関数

x_j : アンテナ配置の有無 (0, 1 変数)
 p : アンテナ基地局数
 d_{ij} : 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 : 救急要請ゾーン番号 ($i \in I$)
 j : アンテナ基地局配置候補地番号 ($j \in J$)
 k : 三次救急医療機関番号 ($k \in K$)

4. アンテナ基地局配置モデルの適用

(1) アンテナ基地局配置の諸条件

a) アンテナ基地局の配置候補地

本研究で導入を考えている医療情報デジタル伝送システムは、現在のところ救急業務用の医療情報デジタル伝送の用途に限定して導入を検討しているが、将来的には公共業務用をはじめ地震発生時における防災無線等の利用も視野に入れている。さらに、災害時の運用も期待されるため、災害等により停電した場合でも一定の通信が確保できるように、予備電源設備の整備も必要である。以上より、アンテナ基地局の配置候補地としては、学校や市役所、図書館等の各種公共施設 (計 35 候補地) を対象として、アンテナ基地局の配置場所を検討する。

b) アンテナ基地局が許容する通信可能エリア

本研究で導入を検討している医療情報デジタル伝送システムにおいて採用しているVHFマルチホップ無線システムは、IP技術を用いたデジタル通信システムであり、多量の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利点を持つ。しかし、許容する通信可能エリアが広すぎると、医療情報として必要な患者の動画像や救急車内の様子などが、鮮明な動画像で伝送することが困難になる可能性があるとして指摘されており、アンテナ基地局を中心として半径 2km とするのが適当であるとされている³⁾。そこで、今回のアンテナ基地局配置計算では、アンテナ基地局が許容する通信可能エリアは、アンテナ基地局を中心として半径 2km と設定した。また、アンテナ基地局同士が許容するエリアに重なりが出ると、より多くのエリアがカバーできなくなる可能性が考えられるために、互いのアンテナ基地局が許容する通信可能エリアが重ならないように、アンテナ基地局間の距離を 4km 以上として、制約条件に入れた。

c) アンテナ基地局配置数

アンテナ基地局数については、本来ならば予算制約のもとに適切なアンテナ基地局配置数を決定するべきではあるが、現在は、実証実験の段階であるため、詳細なデータが得られていない。そこで、今回は以下に3基地局を配置する際のアンテナ基地局の配置位置を示すこととした。

(2) アンテナ基地局配置結果

アンテナ基地局配置の計算結果を表 - 6 に、アンテナ基地局配置図 (評価値第1位) を図 - 1 に示す。なお、図中の点線円は、アンテナ基地局が許容する通信可能エリアを示す。

表 - 6 と図 - 1 より、上位10位以内の配置組み合わせにおいて、アンテナ基地局配置候補地番号33が9回、8が6回選択される組み合わせがみられた。小松市からの搬送においては、北陸自動車道を利用して金沢市内の三次救急医療機関まで搬送するケースが多く、基地局立ち寄りのための迂回も最小に抑えられるために、候補地番号33が多く選択されたと考えられる。また、候補地番号8と33との組み合わせには、17や35などの小松駅前の人口が高い地域が選択されているが、アンテナ基地局間の距離を4km以上離す制約条件を設定したためであると考えられる。

さまざまな配置パターン (アンテナ基地局が許容するカバー人口を最大にする、基地局の立ち寄りによる迂回距離を最小にするなど) との比較や周辺人口 (救急搬送需要) などの基礎的データを検証した結果、評価値が上位10位以内の基地局配置パターンに大きな相違がないことが明らかとなり、本モデルの有用性が示された。

表 - 6 組み合わせ計算結果

順位	アンテナ基地局配置候補地番号			評価値
1	8	33	35	29.13
2	8	28	33	28.84
3	8	17	33	28.63
4	22	31	33	28.31
5	18	31	33	27.37
6	8	9	33	27.15
7	8	22	33	27.05
8	8	18	33	26.11
9	3	15	22	25.96
10	25	33	35	25.86

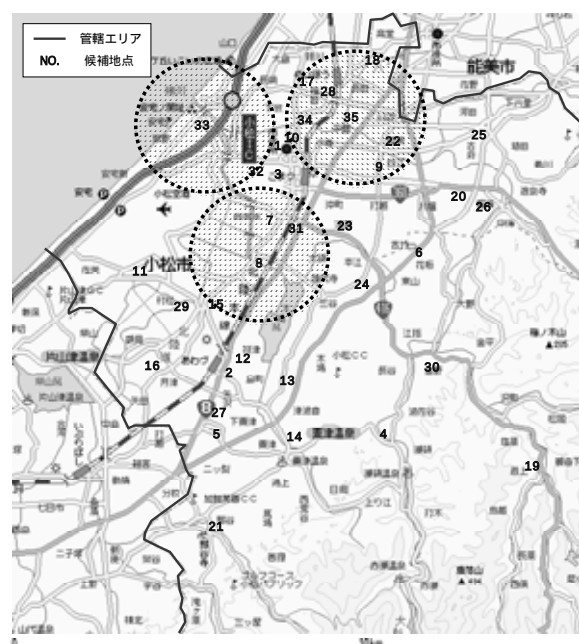


図 - 1 アンテナ基地局配置図

(3) 医療情報デジタル伝送システム導入効果の検証

医療情報デジタル伝送システムを導入した際に、「人的損失額」がどのくらい減少するのか、計算することによって、本システムの導入効果を検証する。本システム導入の有無で比較する点は、「初期治療の治療開始時間の差」である。すなわち、医療情報デジタル伝送システムが導入された場合は、アンテナ基地局が許容する通信可能エリアに入り、通信開始と同時に医師からの助言のもと救急隊員の治療が行えとし（実際には、救急隊員が行える処置行為は限られているが、将来、ドクターレベルの治療が行えと仮定）、導入がない場合は、医療機関まで限られた治療のみ行えと仮定することにより、計算する。

人的損失額とは、治療関係費・休業損失・慰謝料・遺失利益などを示している。内閣府政策統括官がまとめた報告書¹⁰⁾によれば、死傷者一人あたりの人的損失額は、死亡損失 D_l は29,764千円、重症損失 S_l は8,072千円であるとされている。

そこで、算出したカーラーの救命曲線を用いて、「死亡率 D_r 」と「重症率 S_r 」を定義する（図-2）。そして、人的損失額を式（7）より算出する。

$$C = D_r \times D_l \times a_{ijk} + S_r \times S_l \times a_{ijk} \quad (7)$$

また、医療情報デジタル伝送システムを導入した場合は、救急要請ゾーンから最短距離のアンテナ基地局を立ち寄るものとして計算する。

評価値が第1位の配置組み合わせ（アンテナ基地局配置番号8, 33, 35）におけるアンテナ基地局配置前後の救命率の変化を図-3に、死亡損失と重症損失の合計を図-4に示す。

図-3より、アンテナ基地局配置後の救命率は、配置前と比較して大幅に向上しており、平均で53%向上している。また、図-4より、医療情報デジタル伝送システムが導入された場合は導入されない場合と比較して、各年約51%の損失が減少しており、医療情報デジタル伝送システムの導入効果が非常に大きいことが推測できる。

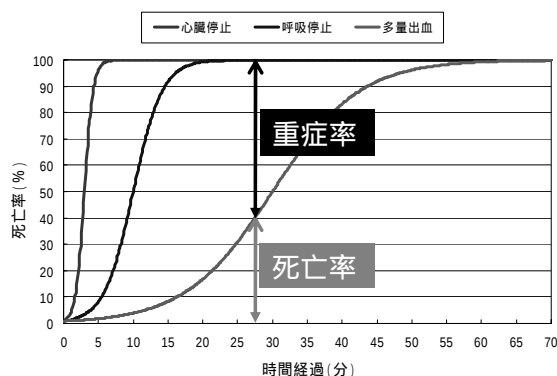


図-2 死亡率と重症率の定義

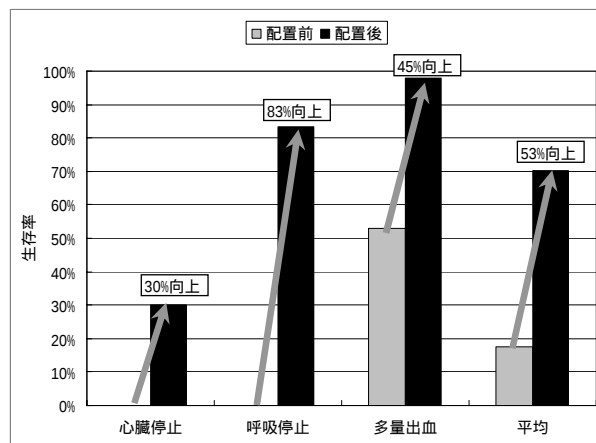


図-3 アンテナ基地局配置前後における救命率の変化

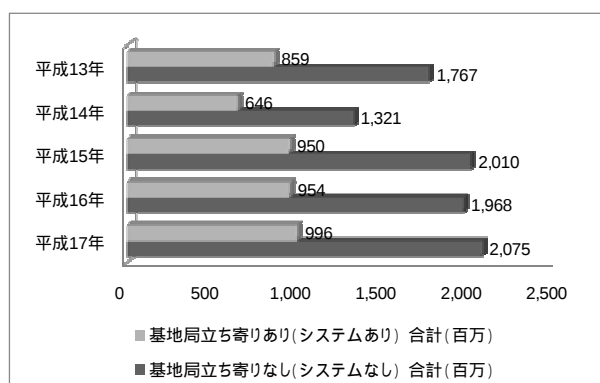


図-4 死亡損失と重症損失の合計

5. おわりに

本研究では、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（予後）に大きく影響することを踏まえて導入が検討されている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最適配置検討モデルを構築した。そして、石川県小松市におけるアンテナ基地局の配置結果を示した。求めた配置結果より、アンテナ基地局配置前後における救命率を算出すると、各症状において救命率が大幅に向上しており、平均で53%向上することが明らかとなった。また、治療開始時間の差に注目することにより人的損失額を算出した結果、人的損失額が各年約51%減少することが明らかとなった。今後の課題としては、僻地・交通不便地域の初動映像を重視するパターンや重点エリア・経路充足パターンなど、さまざまなアンテナ基地局の配置パターンを考慮したモデル式の構築、ならびに本システム導入における費用便益分析を行うことが必要である。

また、この医療情報デジタル伝送システムは、現段階では実証実験の段階であり、具体的な実験結果が得られていない点やシステム導入による救命率向上の効果（救命率の向上率）など、不確実な指標を仮定して、人的損失額等を求めている。したがって、本システムの本格導入にむけては、今後さらに研究を進め、効果分析の

信頼性を向上させることが必要となる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究（B）（代表者：高山純一，金沢大学）による研究成果の一部である。ここに記して感謝したい。また，アンケート調査にご協力して頂いた消防機関の関係者にも感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高山純一，中山晶一郎，福田正輝，岩井慎太郎：医療情報デジタル伝送システム導入のためのアンテナ設置方策の検討～石川県加賀地域を事例として～，第7回 ITS シンポジウム 2008 Peer-Review Proceedings，pp.139-144，2008.12
- 2) 福田正輝，高山純一，中山晶一郎：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，土木計画学研究・講演集，Vol.39，CD-ROM(88)，2009.6
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 岩井慎太郎，高山純一，中山晶一郎：救急車からの医療情報のデジタル伝送システムの最適化方策に関する研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.361-362，2007.3
- 6) 小松市消防年報（平成13年～平成17年版）
- 7) 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
- 8) 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，2002.7
- 9) 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
- 10) 内閣府政策統括官（共生社会政策担当）：交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書，2007.3

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に関する研究*

福田正輝**・高山純一***・中山晶一郎****

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現場到着時間の増加など，多くの問題を抱えている。本研究では，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（予後）に大きく影響することを踏まえて導入が検討されている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モデルを構築し，石川県小松市において本モデルを適用した。また，本システム導入による人的損失額を算出することにより，システムの有効性を示した。

A study on antenna station location planning of operating medical information digital transmission system for third-order ambulance transportation activity*

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

Recently, ambulance transportation and the emergency medical treatment activity have several major problems, for example nationwide doctor shortage, an increase of refusal frequency of ambulance transportation patients, an increase of arrival time from the fire station to the emergency hospital. In this study, an antenna station location model for the medical information digital transmission system was developed, considering the enhanced pre-hospital care which is greatly influencing the recovery rate of patients after it had been hospitalized. Then, the model was applied to Komatsu City, Ishikawa Prefecture. As a result, the effectiveness of the system was found by calculating the amount of human loss by introducing this system.