

ナの通信可能エリアには限界があるため、できるだけ効率的にアンテナを設置（配置）することが求められる。

一般的に、利用頻度の高い道路沿いにアンテナを設置することによって、より多くの救急搬送において画像伝送を行うことが可能となる。また、救急車の走行経路は医療機関へ近づくにつれて集約されていくため、医療機関に近い経路ほどよく利用されている。しかし、本研究が対象とする三次救急活動では一刻一秒を争うため、救急要請場所からの搬送において、早期の段階で医師からの助言をもらうことが救命率の向上につながる。また、医療機関に近い場所にアンテナを設置しても短時間で医療機関に到着するため、画像伝送の効果は低いことになる。

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。

3. アンテナ設置場所の最適化方策の検討

(1) 救急要請場所の設定

救急活動において、日々さまざまな地域から救急要請が発生しており、正確にいつこの地域から救急要請があるのか正確に予測することは困難である。

一般的に救急要請は、人口の多い地域からの要請が多くなると考えられるが、ある程度人口が集中している地域のみを救急要請場所を選んでしまうと、救急活動の公平性が失われる可能性がある。

そこで、本研究では対象地域である奥能登地域をいくつかのゾーンに分けて、それらのゾーンから救急要請があると仮定する。ゾーン分けには、平成 17 年国勢調査におけるゾーン割りを参考にした。その結果、輪島市 16 地区、珠洲市 10 地区、能登町 16 地区、穴水町 4 地区の 46 地区のゾーンに分割して検討を行う。

(2) 救急要請場所からの走行経路の設定

本研究では、三次救急機関への搬送に限定しているため、救急車は特定の幹線道路を利用したり、搬送時間を短縮するため最短経路を利用することが推測される。

岩井の研究³⁾では、救急隊員を対象としたアンケート調査において救急車の走行経路を調査している。そこで、アンケート調査をもとに救急車の走行経路の特徴を把握して、救急車が利用する経路の条件を設定することとした。

アンケート結果より、救急車の走行経路には以下の①～③のような特徴が把握できた。

- ①ある程度道路幅員が確保されている国道、主要地方道、県道を中心に走行している。
- ②余計な迂回路を利用することはなく、病院方向とは逆

方向の経路を選んでいる。

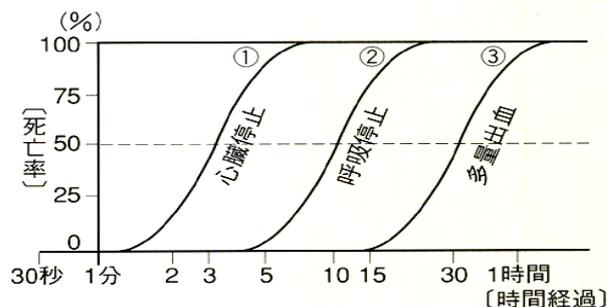
③病院方向へほぼ一直線上の経路を選んでいることが多く、最短経路を選んでいることが多い。

以上より、本研究では次の条件の下で救急車の走行経路を設定する。

- ・救急車が走行する経路は、ある程度道路幅員が確保されている国道、主要地方道に限定する。
- ・病院方向と逆方向の経路は選ばない。すなわち、遠回りの経路は選択しない。
- ・三次救急医療機関までの経路は最短経路を利用する。
- ・有料道路（能登有料道路）を優先的に利用する。

(3) 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のは、カーラーの救命曲線である(図 3.1)。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。



- ① 心臓停止後約 3 分で 50 % 死亡
- ② 呼吸停止後約 10 分で 50 % 死亡
- ③ 多量出血後約 30 分で 50 % 死亡

図 3.1 カーラーの救命曲線

本研究では、患者の搬送時間が長くなるにつれて、生存している患者数が減少していく時間経過を考慮に入れた評価式の設定を行うため、カーラーの救命曲線を用いる必要がある。

平松の研究⁴⁾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。

そこで、本研究では「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、消防年報も用いて「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、3本の救命曲線に重み付けをし、1本の曲線を算出した。

また、上記で述べてきたカーラーの救命曲線は、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り、救急隊員や救急救命士が行う応急処置の効果が考慮されていない。そこで、救急隊員の応急処

置効果を本研究で利用するために求めたカーラーの救命曲線に入れる必要があると考えられる。そこで以下の文献を参考にして、救急隊員による処置効果を設定する。

仙台市消防局⁹⁾によると、ドクターカーによって搬送された心肺停止患者は、医師が同乗していない救急車によって搬送された心肺停止患者と比較して、生存率が約19%向上したという結果が出ている。ドクターカーとは、重篤な患者を搬送する際に、医師が救急車に同乗して処置や助言を行うものであり、画像伝送によって医師から指示や助言をもらうシステムとは類似している。よって、ドクターカー導入の効果を救急隊員の応急処置効果と見なして設定する。以下に、修正を加えたカーラーの救命曲線式を示す(図3.2)。

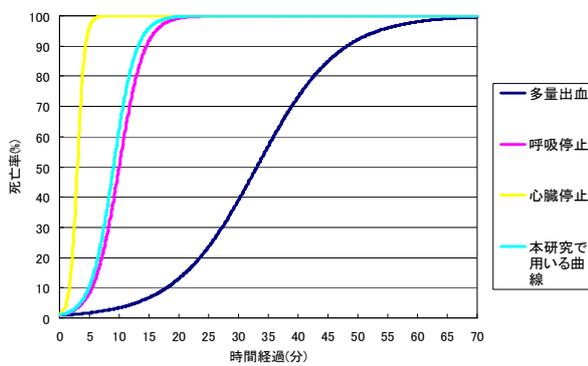


図 3.2 カーラーの救命曲線(修正後)

$$R(t) = 100 - \left\{ \frac{100}{1 + \exp(4.80861 - 0.53116\alpha t)} \right\} \quad (2.1)$$

$R(t)$: 生存率(%)

t : 搬送時間(分)

α : 救急車内の応急処置効果

(4) 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、主要交差点の流入人口数と算出したカーラーの救命曲線から求める救急要請場所からの各主要交差点までの生存率を掛け合わせることで、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最適なアンテナ設置場所の組み合わせとする。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。以下に評価式を示す。

$$\text{最大化: } z = \sum_i a_i R_i x_i \quad (2.2)$$

$$\text{制約条件: } \sum_i x_i = p \quad (2.3)$$

$$d_i \geq l \quad (2.4)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (2.5)$$

z : アンテナ設置場所の評価値

a_i : 主要交差点番号*i*への流入人口数

R_i : 主要交差点番号*i*での生存率

x_i : アンテナ設置場所の有無(0, 1変数)

i : 主要交差点番号

p : アンテナの設置台数

d_i : 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

4. 石川県奥能登地域への本モデルの適用

(1) アンテナの諸条件

a) アンテナの設置場所

本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各種の重要無線としての利用も視野に入れている。災害時の運用も想定されるため、災害時に送電できない状態においても利用できるような、非常時用の予備電源の整備も求められる。現在では、交差点の信号機は災害時に混乱が起きないように予備電源が備えられていることが多い。以上より、アンテナ設置候補場所を走行経路設定で用いた35の主要交差点とする。

b) アンテナの通信可能範囲

本研究で用いるアンテナの1施設当たりの通信可能エリアは、アンテナ設置場所を中心として半径2kmと設定する。また、アンテナを効率よく配置するためには、アンテナが許容する通信可能エリアの重なりをなくすることが重要である。そこで、互いのアンテナの通信エリアが重ならないように、アンテナ設置場所間の距離が4km以上($d_i \geq l = 4\text{km}$)であることを制約条件とする。

(2) アンテナ設置場所の検証

a) 作業の流れ

(2.2)で定式化した式を用いて、主要交差点通過時における生存人数を算出して、その値を各主要交差点における評価値とする。そして、その評価値が最も高くなるような主要交差点の組み合わせを最適なアンテナ設置場所の組合せとする。なお、35の主要交差点の中から選択する組み合わせを探す計算は、制約条件を考慮したブ

プログラムを作り、FORTRAN を用いて検証する。また、救急要請地区全 46 地区からの救急搬送において、1 度は通信可能エリアを通過するような配置を検討することとした。

b)検証結果とその考察

各主要交差点の評価値の組み合わせ計算を行い、全ての組み合わせの中から合計した評価値が最も高い主要交差点の組み合わせ結果を表 4.1 に示す。また、アンテナ本数が 9 本の場合の配置図を図 4.1、図 4.2 に示す。

表 4.1 主要交差点の組み合わせ計算結果

本数	主要交差点番号									
3	7	10	21							
4	7	10	21	34						
5	7	10	21	27	34					
6	7	10	11	21	27	34				
7	7	10	11	21	27	31	34			
8	7	10	11	21	27	28	31	34		
9	7	10	11	14	21	27	28	31	34	

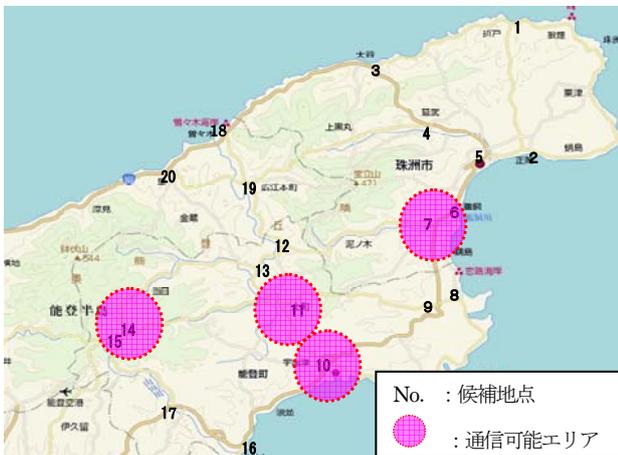


図 4.1 アンテナの設置場所(アンテナ本数が9本)No. 1

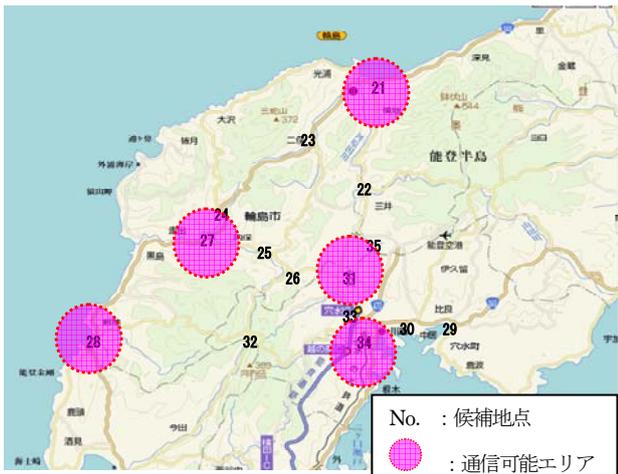


図 4.2 アンテナの設置場所(アンテナ本数が9本)No. 2

アンテナ設置場所の組み合わせ結果より、アンテナ本数が少ないときは、周辺人口が多い主要交差点が選ば

れる結果となった。交差点番号 10 や 21 は輪島市や能登町の中でも比較的人口が集中している地区であり、アンテナ本数が 3 本の場合において、選択されている。

また、各救急要請ゾーンからの流入人口数が多い交差点ほど選択される傾向もある。交差点番号 34 は、三次救急医療機関に近づくにつれて走行経路も集約されていくため、ほとんどの地区からの流入があるためにアンテナ本数が 4 本のときに選択されている。

他に、走行経路の設定の条件の中で最短経路を利用するという条件を入れたために、特定の幹線道路上の交差点を選択する傾向が強い。例えば、主要幹線道路である珠洲道路や国道 249 号線上の交差点が選択されている。

本研究では、アンテナの本数を 1 本ずつ増加させて、全救急要請地区からも 1 度は通信可能エリア内を通過するアンテナ配置場所の検証を行ったために、比較的救急車が通過しない交差点も選択される結果となった。本研究で導入を想定している医療情報伝送システムは、公平性を保つために全地区からの救急要請がある場合でも対応できるようにアンテナ設置場所を検討したが、効率性を考えると、アンテナのコスト面を考慮した分析も行う必要がある。

5. さいごに

本研究では、近年急速な高齢化の進展や地方の過疎化の進行などを踏まえて、重篤患者を中心に扱う三次救急活動の充実を図るため、救急業務用医療情報デジタル伝送システム導入の手がかりとして、救急搬送中の画像や動画伝送のためのアンテナ基地局の設置場所の検討を行った。医療情報デジタル伝送システムは、現段階では実験段階であるが、本格的に導入されると、救急医療において近年注目されているプレホスピタルケアの充実を図ることが可能になる。また、本システム導入により少しでも三次救急活動の地域間格差の是正が進み、安心して生活できる社会の構築に役立つことを望む。

参考文献

- 1)毎日新聞掲載記事 2006. 9.12
- 2)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、総務省北陸総合通信局、2006. 2
- 3)岩井慎太郎：「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」、平成 18 年度学士学位論文
- 4)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 年年度修士学位論文、広島大学社会基盤計画学研究室
- 5)河北新報掲載記事：2006.6.8