

救急医療システムにおける病院と救急隊との連携による複合化の適正配置に関する研究

一船橋市におけるペア出動方式を用いたドクターカーステーションと救急対象との有効圏域の設定について－

日大生産工（学部） ○田邊 哲 日大生産工（非常勤） 木村 敏浩

日大生産工 大内 宏友

1. はじめに

我が国における救急医療業務は、我々の生命身体の安全を守る上で重要なサービスとして日常生活に深く浸透している。なかでも救急出動件数は、昨今の社会不安や少子高齢社会の更なる進行に伴う疾病構造の変化等により、増加の一途を辿っている。総務省消防庁「平成 28 年度版 救急救助の現状」※1によると、救急出動件数は年々増加傾向にあり、これに伴う救急車両の覚知から現場到着及び病院収容までの時間の遅れが顕著である。

この現状に対して、各自治体では WebGIS※2・GPS※3などの搬送の効率を高める救急医療情報システムの導入や早期の初期治療開始が可能なドクターカーシステム※4の導入を進めている。ドクターカーシステムは、事故発生から医療行為開始までの時間を縮め、医療を救急現場に直接運ぶことを目的とし、医師を乗せた救急隊が出動するシステムである。特徴として、ドクターヘリ※5のように場外離着陸場を必要としないため、ドクターカーと救急車両とが最短距離で連携することが可能である。

救急搬送における病院及び消防署から現場への出動方式は、ペア出動方式※6、ランデブー方式※7、ドッキング方式※8の3方式で運用されている。なかでも、ペア出動方式は電話による通報での症状による判断から、現場直近の救急隊の出動と同時に、ドクターカーステーションのドクターカーが出動する方式であり、覚知から治療開始までの時間を最短にすることが可能といえる。ドクターカーの先進事例である千葉県船橋市では、このドクターカーと救急車両とのペア出動方式を用いた連携により、より早い初期治療開始が可能な方式での運用が行われている。

本研究は、圏域的な分析をすることで、千葉県船橋市の救急医療業務の実態を明らかにする。ドクターヘリの実態圏域※9外が大半を占める船橋市を具体例とし、ドクターカーステーションと消防署との適正配置について分析・考察する。

2. 既往研究のレビューと既発表論文について

救急医療に関する既往研究として、建築計画において中山らは、救急医療施設の運営方式と患者構成との関係を調査する事により、救急患者の属性と受入れる施設の運営方法との間の問題点を考察し、救急施設計画の基礎資料としての成果を得ている^[1]。

鈴木は、救急車両と医療施設の配置及び救急車の

運用方法をモデル化し、理論的検討から地域の病院数の多寡によりランデブー方式、ドッキング方式それぞれの優位性がある事を示している^[2]。

ドクターヘリに関して、吉田らは、千葉県を事例に 10km メッシュと施設間のユークリッド距離を用いてランデブーポイント及び基地病院の配置計画を検討している^[3]。以上、救急搬送及び施設配置に関する研究では多くの成果が得られている。

我々の既発表論文では、ドクターカーシステムの先進的事例として千葉県船橋市におけるドクターカーペア出動システムの現状を明らかにし、救急と医療との地域施設における複合化による有効性を明示した¹⁾²⁾。本稿では、この成果に基づき、新たにドクターカーペア出動方式における算出方法の精査による医療実態圏域を作成している。

また、以後の本研究における既発表論文は以下の通りである。

千葉県千葉市における救急出動に関するデータをもとに救急医療業務の現状を分析し、救急医療情報システムによる有効性を出動圏域の面積から明らかにした³⁾。

ドクターヘリに関連して、日本におけるドクターヘリ事業が模範としているミュンヘンモデル※10を基に、日本医科大学千葉北総病院（以下、北総病院）を中心とした 50km 圏内のランデブーポイント※11（以下、R P）におけるドクターヘリと救急車両の連携による実態圏域の可視化を行った⁴⁾。

千葉県において、ドクターヘリの要請から R P 着陸までの飛行時間をもとに実態圏域の分析を市町村別に行い、R P と医療施設との相互関係性により、適正配置及び出動に関する指標を提示するための基礎資料を提示した⁵⁾。

さらに滋賀県を事例にドクターヘリの運用効果を時間的指標と人口から可視化し、現場毎の要請判断に関わる資料の提示と、R P 及び基地病院の配置計画の定量的な検討結果を提示した⁶⁾。

また、道路網形態と救急搬送時間との関連の基礎的な指標として、フラクタル次元と道路距離や交差点数などの要素との相関性について分析を行い、これらの間に高い相関性があることを示した⁷⁾。

以上、救急医療システムにおけるドクターヘリ及びドクターカーの実態圏域を明らかにしてきた。しかし、ドクターヘリとドクターカーのペア出動形式との圏域相互の補完性については十分な検証が行わ

※1) 平成 28 年度版 救急・救助の現状：総務省消防庁 2015.12

※2) WebGIS：GIS (Geographic Information System) の基本技術とした Web の技術を利用したシステム。LAN などのネットワークを用いることにより、GIS を利用・情報を共有する場合に用いられている。現在では、各自治体や一般企業で用いられており、船橋市では「総合消防情報システム」と称し、WebGIS による消防局指令センターと医療施設とのネットワーク強化による情報共有の促進を図っている。

※3) GPS：Global Positioning System の略称。人工衛星による電波測位システムであり、地球上における自らに位置を把握することが可能である。救急医療業務においては車両位置把握で効率的な配車等による現場到着の迅速化と現場活動の支援強化等の役割がある。

※4) ドクターカーシステム：救急医療用の医療機器等を装備したヘリコプターであり、救急医療の専門医と看護師が同乗し救急現場等に向かい、医療機関に搬送するまでの間、患者に救命医療を行うことができる専用機。ドクターカーの出動による長所として、覚知から現場到着後に即医療行為が開始できる。主に応急処置を担い到着まで医療処置を行えない通常の救急隊と比較して、ドクターカーにおける出動は重篤患者等における出動に有効である。

※5) ドクターヘリ：救急医療用の医療機器等を装備したヘリコプターであり、救急医療の専門医と看護師が同乗し救急現場等に向かい、現場等から医療機関に搬送するまでの間に救命医療を行うことができる。

※6) ペア出動方式：電話による通報での症状により、現場直近の消防署から救急隊の出動と同時に、ドクターカーが出動する方式。この方式ではドクターカーは病院にある。

※7) ランデブー方式：先に出動した救急隊の現場からの無線による要請を受けて、ほかの救急隊が病院を経由して、医師を連れて現場に向かう方式。この方式ではドクターカーは消防署にある。

※8) ドッキング方式：先に出動した救急隊からの要請により、ドクターカーがその搬送途中へ向かい出ていく方式。この方式ではドクターカーは病院にある。

※9) 圏域：本研究論文でいう圏域とは「実態圏域」をさす。『実態圏域は単位、まとまりの存在形態として地域主体と地域活動あるいは地域要素（地域形態、地域機能）の関係により多様に表現され、加えて時間軸によっても変化している』その他に圏域として、『地域に関する諸計画の対象とされる圏域が「計画的圏域」であり、また市町村区界など制度化され、具体的な地域区分として表されるのが「制度圏域」である。』の以上三つの圏域が示されている。吉阪隆正、藤井敏信ほか：『圏域的計画論』財団法人農林統計協会、昭和 56 年、P37-38 より引用

※10) ミュンヘンモデル：ドイツにおいて確立されている、病院で患者を待つのではなく、現場で救急治療を行うというヘリコプター救急の基本理念。ドクターヘリが病院に待機し、要請から 2 分以内に医師と看護師を載せて離陸し現場へ向かう。飛行範囲は半径 50km 以内とし、15 分以内に患者のもとへ到着する。

※11) ランデブーポイント：救急隊とドクターヘリが合流する緊急離着陸場。公共の運動場、公園や小中学校の校庭など事前に設定されており、ドクターヘリが安全に着陸可能な場所の確保が出来るよう、ドクターヘリ法 7 条で関連機関の協力を求めている。

れていない。そこで本稿では、命を守る生命環境モデルの構築に向け、北総病院及び船橋市消防局の協力によって得られた実際の出動記録^{※12}を基に医療実態圏域を可視化することで、船橋市におけるペア出動方式によるドクターカー及びドクターヘリと地域との連携による実態圏域を分析し、その相互補完性と施設適正配置のガイドラインの策定に向けた基礎資料を提示することを目的とする。

3. 研究対象地域

北総病院は、千葉県及び茨城県の一部において、2001年10月1日からドクターヘリの運航を開始している。本論では、北総病院のドクターヘリの出動記録より得られた飛行範囲である千葉県全域及び茨城県南部をドクターヘリ飛行範囲として用いる(図1)。RPに関する記録の選定としては、ランデブー方式で出動に使用した全554ヶ所を取り扱う。また、千葉県船橋市(以下、船橋市)は2007年4月1日よりWebGIS・GPSを利用した救急医療システムを運用している。船橋市においては、特別救急隊(ドクターカーステーション)、14ヶ所の救急隊(消防署)及び1ヶ所のRPが存在している(図2、3)。本稿では、北総病院及び船橋市消防局の出動記録^{※12}より得られた救急出動の範囲を狭域の研究対象地域とする。

4. 船橋市におけるドクターカーの実態圏域について

4-1. ドクターカーステーションと救急隊との連携の出動方式について

航空法施行令の改正^{※13}を受け、今後さらにドクターヘリ運用の可能性が広がったことから、地域の実状に則した救急医療システムの構築が望まれる。実際の出動記録より、圏域外となっている地域やRPが少ない地域の分析を行うことで、RPや救急医療施設等の配置計画について更なる指針を提示することができると考える。また、地域災害時の備えとして、人的被害を減らすため、救急医療システムにおけるドクターカー・ドクターヘリと救急車両との連携を考慮した検討を行い、各々の利点を活かした機能的補完の可能性について分析を行う必要がある。以下では、北総病院の出動記録に基づいたドクターヘリの医療実態圏域外が大半を占め(図2)、かつ基地病院にドクターカーが配備されている船橋市(図3)を事例として医療実態圏域の可視化を行う。

4-2. ドクターカーのペア出動方式を用いた圏域の可視化

救急医療業務における救急車両及びドクターカーは道路網による影響を受けることから、道路網を地域空間情報としてとらえ、道路網を考慮した分析を行う必要がある。この分析について、ArcGIS^{※14}を用いて救急医療情報システムにおける地域空間情報と関連した出動圏域の可視化を行う。一刻も早い現場到着及び初期治療が必要とされる救急医療業務において、ミュンヘンモデルを基に事故発生から初期治療開始までの時間的指標として0-15分と定める。実際の出動記録によれば、船橋市ではドクターカー1台が市全体を管轄とし、ドクターカーと救急隊とがペア出動方式(図4)を用いて連携しており、より早期の初期治療開始を目指している。ペア出動方式の特徴として、ドクターヘリのように場外離着陸場を必要としないため、ドクターカーと救急車両とが最短距離で連携することが可能である。

そこでドクターカー出動要請のガイドラインとして、ペア出動方式を用いてドクターカー及び救急隊が15分間以内に移動し、医療行為が可能な圏域「ドクターカーの医療実態圏域」をネットワーク解析により可視化する。また、より短時間で医師と患者が接触できる圏域として、ペア出動方式を用いて10分移動可能な圏域を可視化し、それぞれの広がりについて考察する。

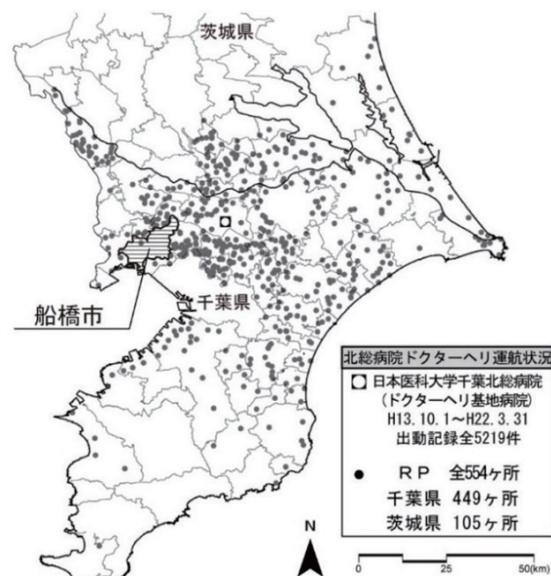


図1 研究対象地域(ドクターヘリ飛行範囲)

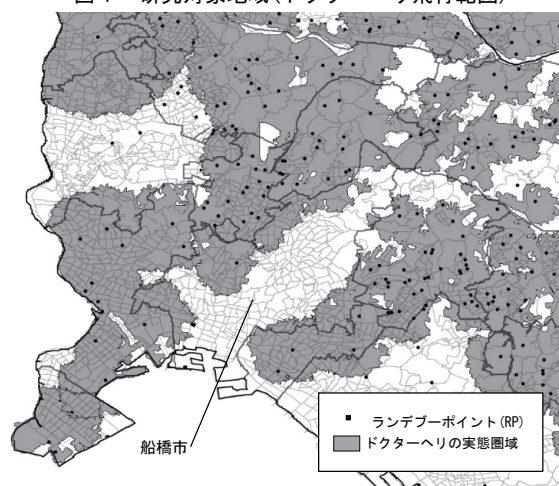


図2 船橋市周辺におけるドクターヘリの実態圏域



図3 研究対象地域(船橋市)

4-3. GISを用いたペア出動形式における実態圏域の算出方法について(図5)

以下に算出方法とその手順を示す。

①GISを用いたペア出動形式における実態圏域より算出された「船橋市における市内一律の搬送速度0.23(km/min)」を用いて、数値地図上にプロットされたドクターカーステーションから15分間で移動可能な圏域を可視化し、ドクターカーの医療

※12) 出動記録：本稿では、救急車両の出動記録に関し、船橋市消防局の協力により得られた平成21年1月1日～12月31日の出動に関する全27087件を有効資料として扱っている。記録は、月日、出動隊名、発出時刻、到着時刻、現場出発時刻、医療現場到着時刻、帰還時刻、ドクターカーとの連携、ドクターヘリとの連携等が記載されているものである。さらに、日本医科大学付属千葉北総病院の協力により得られた船橋市における平成13年10月1日～平成22年3月31日のドクターヘリの出動記録に関する記録として1件を扱っている。

※13) 平成25年11月29日施行、「航空法施行規則の一部を改正する省令」航空法施行規則176条の改正を指す。

※14) ArcGIS：米国カリフォルニア州Esri社の地理情報システムソフトウェア。

- 圏域とする。
- ②救急隊の位置を数値地図上にプロットし、ドクターカーの医療圏域に対し接線を引き。
 - ③各救急隊から引かれた接線の交点をQとする。
 - ④ドクターカーステーションと点Qを結び、ドクターカーの医療圏域との交点をPとする。
 - ⑤ドクターカー15分間の移動可能圏域における移動可能距離3650mから、点Pと点Qを結ぶ直線距離 ℓ を引いた距離をペア出動における15分間の移動可能圏域とした。
- また、同様の手順により、10分間の移動可能圏域についても同様の算出法を行い、連携可能な救急隊それぞれの分析を行った。

4-4. 実態圏域の考察

4-4-1. 0-15分圏域について

連携可能な全救急隊の0-15分移動可能圏域を統合した実態圏域を図6に示す。図6は、4-3章におけるペア出動方式の実態圏域の算出によりペア出動における5分、10分、15分の圏域を示したものである。その上に北総病院から実際の出動記録を基に、15分以内にドクターカーが到着する地点をGISデータに属性値^{※15}としてプロットを行っている。

ペア出動15分圏内において、単独出動圏域内では54.4%と過半の出動が含まれる。ペア出動方式での5

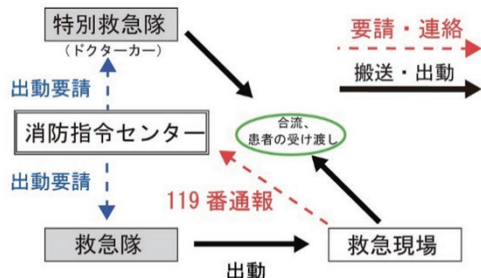


図4 船橋市におけるペア出動方式の概要

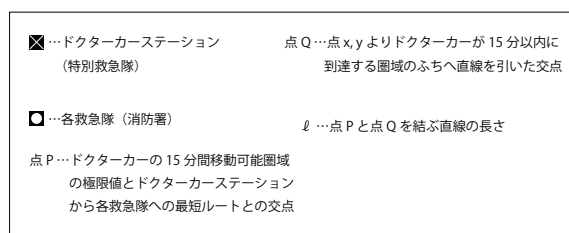
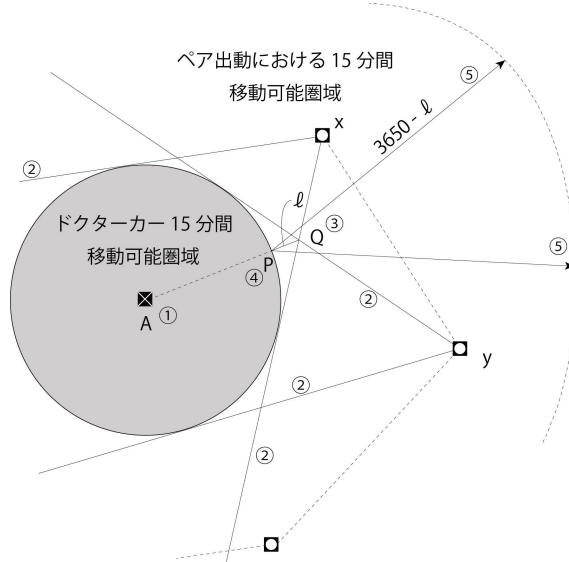


図5 ドクターカーのペア出動形式における圏域可視化の概略図

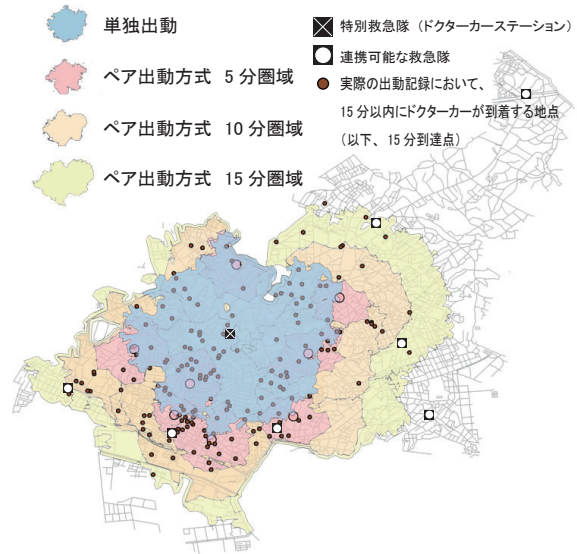


図6 ペア出動における15分有効圏域

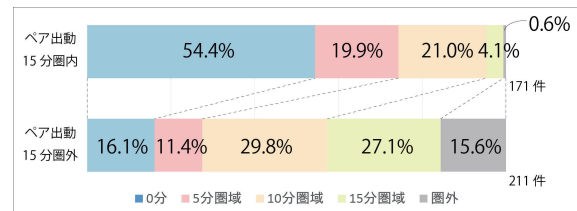


図7 各圏域における実際の出動記録の割合（15分）

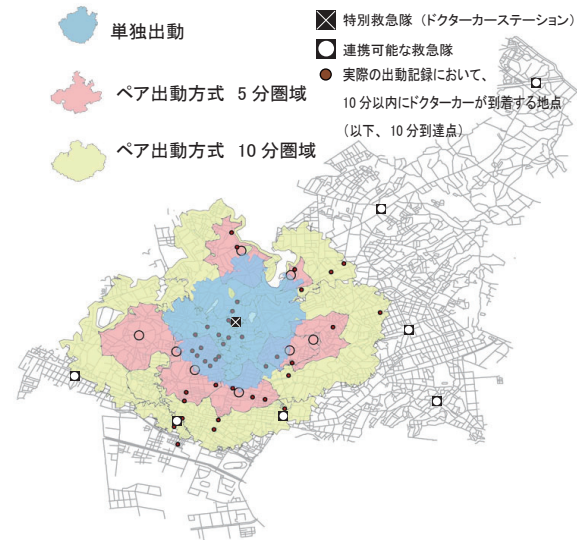


図8 ペア出動における10分有効圏域

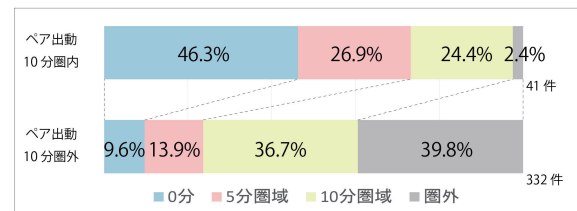


図9 各圏域における実際の出動記録の割合（10分）

※15 属性値:数値地図上に点・線・面で表現される図形に対してそれぞれ埋め込まれた情報のことをいう。一般的には数値や文字列による情報が行列によって与えられる。

分圏域では19.9%、10分圏域では21.0%、15分圏域では4.1%と、総計で99.4%の実際の出動記録の割合を含んでいる(図7)。

ペア出動15分圏外において、単独出動圏域では16.1%の出動が含まれる。ペア出動方式での5分圏域では11.4%、10分圏域では29.8%、15分圏域では27.1%と、総計で84.4%の実際の出動記録の割合を含んでいる(図7)。

4-4-2. 0-10分圏域について

連携可能な全救急隊の0-10分移動可能圏域を統合した実態圏域を図8に示す。図8は、4-3章におけるペア出動方式の実態圏域の算出によりペア出動における5分、10分の圏域を示したものである。その上に北総病院から実際の出動記録を基に、10分以内にドクターカーが到着する地点をGISデータに属性値^{※15}としてプロットを行っている。

ペア出動10分圏内において、単独出動圏域内では46.3%と約半分の出動が含まれる。ペア出動方式での5分圏域では26.9%、10分圏域では24.4%と、総計で97.6%の実際の出動記録の割合を含んでいる(図9)。

ペア出動10分圏外において、単独出動圏域内では9.6%の出動が含まれる。ペア出動方式での5分圏域では13.9%、10分圏域では36.7%と、総計で60.2%の実際の出動記録の割合を含んでいるが、39.8%の割合で圏域外となっている(図9)。

4-4-3. 出動時間の圏域比較

ペア出動を用いた15分間の圏域と10分間の圏域の比較により、ペア出動方式は5分間の時間差において圏域面積の広がりがあることがわかる。また、15分圏域では10分圏域よりも連携する救急隊が3ヶ所増加する。

5. ドクターカーステーション及び各救急隊の適正配置について

5-1. ドクターカーステーションの適正配置について

ドクターカーの実態圏域の拡がりにより市内中心部周辺は圏域内となっている。一方、北東部及び南部については圏域外であり、この解決策としては新規にドクターカーステーションを配置することが考えられる。

現状、船橋市にはドクターカーステーションは一か所のみで運用している。我々の既往研究⁸⁾では、ドクターカーの総移動距離を最小とする施設配置計画(以下、方法1)と、最も遠い救急現場までの距離を最小とする配置(以下、方法2)についてシミュレーションを行っている。需要点が密集している都市部では方法1、需要点が離れている過疎地域では方法2の配置法を用いることに一定の有効性を示している。

5-2. 各救急隊の適正配置について

ドクターカー単独出動における10分の有効圏域はドクターカーステーションより最大半径で2km程度までであり、ペア出動方式における連携可能な救急隊までの最大半径は5.6km程度であった(図10)。また、ペア出動方式の圏域面積は、連携可能な各救急隊までの距離と高い相関関係が認められる。ペア出動方式に関する救急隊の適正配置は、この最大半径が目安となり、各救急隊間の相互距離を含めて検討する必要があると考える。

6. まとめ

実際の出動記録を基に、ドクターヘリの医療実態圏域外が大半を占める千葉県船橋市のドクターカーペア出動を用いた圏域を可視化することで救急医療の実態圏域の広がりをも示すことができた。また、ドクターカーステーションから各救急隊までの距離、面積についての考察を行うことで、ペア出動における連携が困難な地域やその割合を把握することができた。

以上の研究結果は、今後における新規の救急隊・ドクターカーステーションの配置に際して、適正な施設間距離及び位置の検討資料として有効であると考えられる。

今後の方針として、施設適正配置のガイドライン策定に向け、本稿で得られた成果を基に、救急隊相

互距離や搬送患者の症状別に対応した有効な医療の実態圏域を作成し、ドクターカーのペア出動と病院施設との連携を視野に入れた検討を行う予定である。

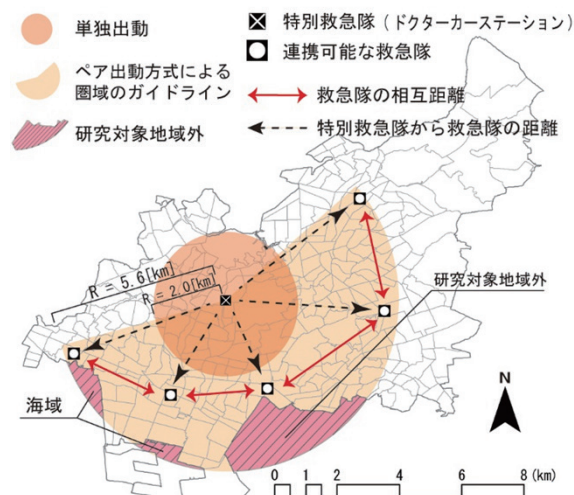


図10 救急隊に関する適正配置のガイドライン

謝辞

本研究に際し、日本医科大学千葉北総病院救命救急センターの方々のご協力を頂きました。心から御礼を申し上げます。また、本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究(C)「防災減災と連動した救急医療施設とドクターカー・ヘリとの連携による医療圏域の構築」(代表:大内宏友、2014～2018年度、課題番号:26420622)及び、公益財団法人大林財団の2013年度研究助成「首都圏における防災・救急医療システムによる施設の適正配置」の助成を受け実施したものである。

既発表学術論文

- 1) 大内宏友・高倉朋文・横塚雅宜:「救急医療システムを施設配置の関係性に関する実証的研究(地域における医療施設と救急施設との複合化の適正配置に関する研究)」日本建築学会論文報告集第466号, pp87-94, 1994.12
- 2) 岡田昂・手島優・宇野彰・大内宏友:「救急医療システムにおけるドクターヘリと地域との連携による医療圏域の構築(ドクターヘリと救急車両との連携による有効圏域について)」第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム, pp115-120, 2011.12
- 3) 田島誠・菊池秀和・大内宏友:「救急医療システムにおける地域空間情報を用いた施設の適正配置について(GIS・GPSを用いた人口分布にもとづく圏域的指標の構築)」日本建築学会計画系論文集第73巻, 第631号, pp1929-1937, 2008
- 4) 牧野内信・宇野彰・大内宏友:「救急医療システムにおけるドクターヘリと救急車両との連携による実態圏域に関する実証的研究」日本建築学会計画系論文集, 第80巻, 第711号 pp1159-1168, 2015.5
- 5) 牧野内信・手島優・木村敏浩・大内宏友:「防災・救急医療システムにおけるドクターヘリと救急車両との連携による医療圏域の構築に関する実証的研究」第36回情報・システム・利用・技術シンポジウム, R20, 2013.12
- 6) 山田悟史・吉川優矢・大山智基・大内宏友・及川 清昭:「ドクターヘリ運用効果の可視化と関連施設の配置計画に関する研究(医療行為開始までの短縮時間と救命率の向上率及び人口を用いた検証)」日本建築学会計画系論文集 第78巻, 第680号, pp2163-2173 2013.10
- 7) 島崎 翔・大平 晃司・木村 敏浩・大内 宏友:「道路網形態のフラクタル次元と救急搬送に基づく実態圏域との相関」日本建築学会技術報告集 第21巻, 第49号, pp1301-1306, 2015.10
- 8) 木村弘・黒岩孝・大内宏友・松原三人:「救急医療システムにおけるドクターカーと救急医療施設との連携よりとらえた適正配置に関する実証的研究」環境情報科学学術研究論文集 26, pp159-164, 2012.12

参考文献

- [1] 中山茂樹・伊藤誠:「救急医療施設の運営形態と患者構成(病院の建築計画に関する研究)」日本建築学会論文報告集第406号, p p 53-60, 1989.12
- [2] 鈴木 勉:「搬送時間短縮のための救急車両と医療施設の配置計画」医療と社会 Vol. 14, No. 1 pp125-142, 2004
- [3] 吉田壮宏・田中健一:「ドクターヘリシステムのための平均救命率最大化型最適配置モデル」都市計画論文集, Vol. 46, No. 3, pp823-828, 2011.10