

95. 救急医療機関への移動に長時間を要する地域の特性と改善策に関する研究

- 地域メッシュ単位の搬送時間の試算と改善策のシミュレーション -

A Study on Characteristics and Improvement Methods of Ambulance Transportation Time to Emergency Medical Facilities in Rural Area

- Calculation of Ambulance transportation time and the simulation on improvement methods to shorten the time -

大橋幸子*・藤田素弘**
Sachiko OHASHI*, Motohiro FUJITA**

The purpose of this study is to find improvement methods regarding infrastructures in the area where long time is needed to transport to existing emergency medical facilities on current road network. The areas are identified by the calculation of transportation time by an ambulance car to an emergency medical facility from a small mesh of 1km*1km, the effect of shortening the time by enhancement of road network and the transportation beyond to the outside of the prefecture are calculated. To shorten the time of ambulance transportation, it is the most important to shorten the time from departure to arrival to emergency medical facility. As a result of two simulations, the effect on shortening the time is bigger in the area where transportation time is long, it is cleared that the enhancement of road network and the transportation beyond to the outside of the prefecture are more effective improvement method in those areas.

Keywords: emergency medical facility, ambulance transportation, enhancement of road network, prefectural border
救急医療施設, 救急搬送, 道路網強化, 県境

1. はじめに

(1) 背景

人口減少、高齢化が先行する地方部において、生活関連サービスの広域的な機能分担が期待されているものの、地方部と都市部との生活基盤の地域間格差は大きい。中でも、医療、教育、日用品買い回り等、生活に欠かせない分野では、生活基盤の差が生活水準に影響を与えており、改善が望まれる。特に、救急医療については生命にかかわるものであるが、救急医療機関までの移動に長時間を要する地域が存在し、その改善が課題になっている。しかしながら、施設の増加による改善は財源や収益性等の面から容易ではなく、また、居住者側の移転については、数多くの生活関連サービスの中から非日常的なサービスである救急医療のためだけに行うことは現実的でない。そのため、現状の施設、道路を踏まえつつ、改善策を見つけることが望ましく、効率的な施設利用方法を検討することが重要である。

(2) 既往研究の整理

救急医療機関へのアクセスに関する既往研究は次のようなものがある。

医療機関の配置と道路網の整備に関する既往の研究では、柏谷ら¹⁾が、救急サービス施設の広域統合化の検討のため、愛媛県中部地域を対象に施設の配置問題を定式化し、現況の施設配置からの統廃合によるサービスの変化を分析している。南ら²⁾は、道路網整備計画案の策定支援のため、拠点的な医療施設等への到達を2系統で保証する道路網のネットワーク構造についての分析方法を提示し、山口県南西部への適用例を示している。道路網と施設配置を組み合わせた研究としては、例えば、近藤ら³⁾が、道路網・医療施設計画策定のため、道路の途絶リスクを考慮し道路網と医療施設計画を合わせた評価指標を提案した上で最適な投資

計画のモデルを構築し、京都府のネットワークへの適用例を示している。奥村ら⁴⁾は、道路・医療施設耐震化計画のため、大規模地震時を想定し道路網の耐震化と医療施設の耐震化を考慮したモデルを構築し、宮城県への適用例を示している。馬場ら⁵⁾は、救急医療の指揮命令系統に焦点を当て広域災害時のシミュレーションモデルの開発し、静岡市への適用例を示している。また、藤本ら⁶⁾は、九州地方の救急患者の搬送時間と生存率の関係について、関係式を導き出している。

(3) 本研究の位置づけ

このように、施設配置や道路ネットワークをモデル化したうえでの検討や、限られた地域におけるケーススタディという既往の研究はあるものの、既存の生活関連施設と道路ネットワークを踏まえてサービスレベルの向上を見出すという点では、必ずしも十分とは言えない。特に救急医療については、高次の施設は受け入れ対象とする地域が広く同じ市町村内でも施設への実際の移動時間に大きな差異が生じており、地域に応じた改善策が望まれるものの、その差異を把握できるような、市町村よりさらに細かい単位で全国を分析した研究は見られない。なお、ここでの地域とは、10-20km程度の広がり想定する。

そこで本研究では、既存の施設、道路ネットワークを踏まえ、地域の差異が十分把握できるような、市町村よりさらに細かい単位での検討により、救急医療機関までのアクセスの改善策を導くことを目的とする。そのために、まず、救急医療機関までの所要時間を1km×1kmの地域メッシュ単位で算定し、全国で長時間を要する地域を特定したうえで、改善策として、道路ネットワークの強化および都道府県境を超えた搬送（以下、県外搬送という）のシミュレーションを行い、搬送時間短縮の効果を試算する。

* 正会員 国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター建設経済研究室(NILIM)

**正会員 名古屋工業大学大学院工学研究科創成シミュレーション工学専攻(Nagoya Institute of Technology)

2. 地域メッシュ単位での搬送時間の算定方法

(1) 対象救急医療機関

救急医療機関として救命救急センターを対象とする。我が国の救急医療体制は、昭和39年に創設された救急病院・救急診療所の告示制度に始まり、昭和52年から初期、二次、三次の救急医療機関の階層的整備が進められている。三次救急医療機関(救命救急センター)に求められる事項としては、重篤な救急患者を原則として24時間365日必ず受け入れることが可能であること、ICU(集中治療室)等を備え常時重篤な患者に対し高度な治療が可能などなどが示されている。本稿では、「救命救急センターの評価結果(平成21年度)について」(平成22年1月26日厚生労働省医政局指導課)に掲載され、平成21年3月31日までに運営を開始した救命救急センターを対象とする。各救命救急センターの所在地は、対象救急医療機関のホームページにより、平成21年3月31日現在の位置を確認した。

(2) 搬送時間

救急医療機関までの搬送は、救急車による移動を想定した。通報時から救急医療機関に到着するまでの時間として式(1)に示すように3つの時間により構成されるものとした。それぞれの時間の算定には以下の情報を利用した。

$$t_a = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1)$$

t_1 : 通報から現場到着までの時間

t_2 : 現場滞在時間

t_3 : 現場出発から病院到着までの時間

a) 通報から現場到着までの時間 (t_1)

「H21 救急・救助の現況(総務省消防庁)」に掲載されている都道府県ごとの実績値の平均を利用することとした。

b) 現場滞在時間 (t_2)

「平成21年中の救急搬送における医療機関の受入状況等実態調査の結果(総務省消防庁)」において、救命救急センター等搬送事案の現場滞在時間が、都道府県毎に時間帯別件数で公表されている。都道府県毎に各時間帯の中央値を件数で加重平均し利用することとした。

c) 現場出発から病院到着までの時間 (t_3)

救急医療機関までの所要時間の算出には、国土交通省が開発したNITAS(総合交通分析システム)Ver1.8を用いた。地域メッシュ単位で同一都道府県内のすべての救急医療機関のうち所要時間最小となる救急医療機関までの時間を算出し、利用することとした。近年、ヘリコプターを利用した救急搬送も強化されてきているが、救急車のみを対象とする。

算定時に利用する道路は、デジタル道路地図(平成20年3月末時点)の基本道路(幅員5.5m以上)及び幅員3.0m以上の連絡道路(5.5m以上の道路が行き止まり、もしくは離れて存在する場合に5.5m以上の道路を連絡する道路)とした。算定は、対象の地域メッシュの中央の地点から救急医療機関がある地点までの経路を対象としている。なお、船、航空機を含む経路、及び道路ネットワークまでが2kmを超える地域メッシュは実態を踏まえた算定が困難なこと等か

ら対象としていない。

救急車の速度については、高速道路では100km/hまで、一般道では80km/hまでと定められているものの、全国的な路線ごとの実績値は情報がなく、また推定を行うのも難しいため、リンク毎の平均旅行速度を用いて算出することとした。

(3) 対象地域と人口

本稿では、人口が存在する地域メッシュを対象とした。人口は、平成17年国勢調査の値を使用し、都道府県人口は各都道府県の地域メッシュの人口の累計値とした。ただし、都道府県の境界部分の地域メッシュは両県において計上しているため、国勢調査の都道府県別の値と一致しない。

また、対象とした地域の人口に対する算定の人口の割合が、島嶼部の多い長崎県、鹿児島県、沖縄県では他と比べ低いいため、この3県は分析の対象としないものとした。

3. 搬送時間の算定結果と特徴

前章の方法で各地域メッシュ単位での全搬送時間 t_a を算定した。あわせて、 t_a を構成する t_1, t_2, t_3 が t_a にどのように影響を与えているかを分析することとした。

(1) 算定結果と特徴

地域メッシュ単位で算定した各搬送時間から、メッシュの人口の重みを加味した都道府県の平均搬送時間 T_a, T_1, T_2, T_3 を算定した(図-1)。

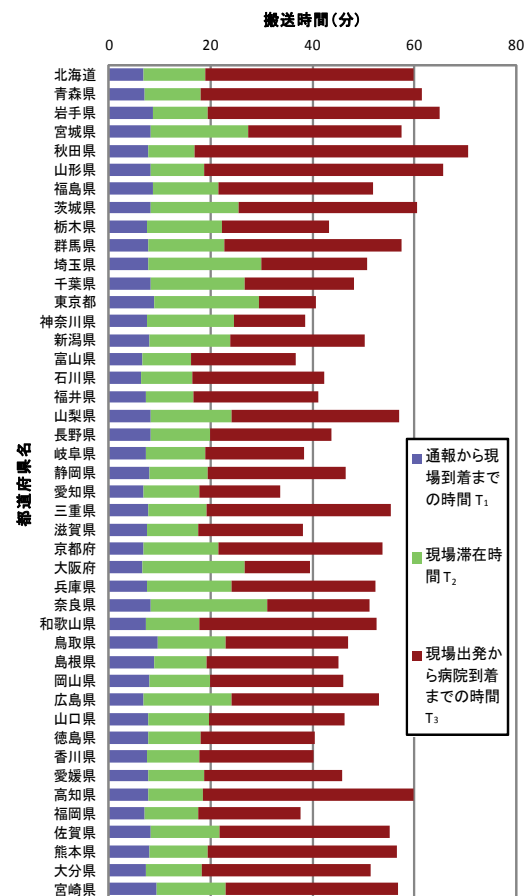


図-1 各都道府県の平均搬送時間

なお、 t_1 、 t_2 については、都道府県内のメッシュで共通の値を使用しているため、メッシュの時間と都道府県平均は等しい。

$$T_1 = t_1 \quad (2)$$

$$T_2 = t_2 \quad (3)$$

$$T_3 = \frac{\sum t_{3i} \times p_i}{\sum p_i} \quad (4)$$

p ：地域メッシュの人口、 i ： i 番目の地域メッシュ

この結果から、 T_a の都道府県間の差に寄与している要素を把握するため、全搬送時間に占める各搬送時間の割合、及びばらつきを整理した（表-1）。

全搬送時間 T_a に占める割合は、図-2に示すとおり、現場出発から病院到着までの時間 T_3 が最も高かった。また、各搬送時間の都道府県間のばらつきは、標準偏差で見たところ、表-1、図-3に示すとおり、現場出発から病院到着までの時間 T_3 が最も大きかった。

これらのことから、全搬送時間 T_a 短縮のためには、全搬送時間に占める割合が大きく、地域間のばらつきも大きい現場出発から病院到着までの時間 T_3 に着目し地域の特性に応じた改善策を検討するのが効果的と考えられる。

表-1 各搬送時間（都道府県平均）の特性

	最短(分)	最長(分)	平均(分)	標準偏差
通報から現場到着までの時間 T_1	6.4	9.6	7.7	0.734
現場滞在時間 T_2	9.1	22.9	13.4	3.694
現場出発から病院到着までの時間 T_3	11.2	53.6	28.6	9.360
全搬送時間 T_a	33.6	70.5	49.7	-

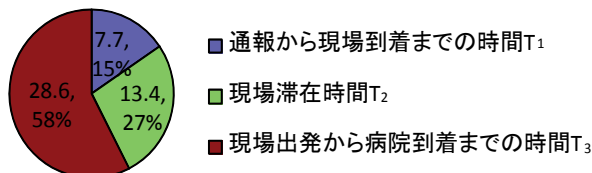


図-2 各搬送時間（全国平均）の構成

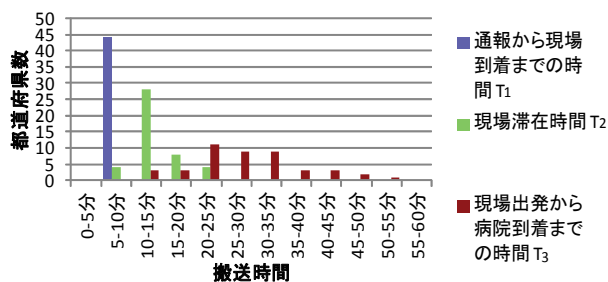


図-3 各搬送時間（都道府県平均）の分布

(2) 実績値との比較による算定結果の妥当性

ここまでで行った地域メッシュ単位での算定方法について、その妥当性を確認するため、実績値との比較を行うこととした。ただし、救急搬送時間の実績値として、搬送先を救命救急センターに限った情報は見当たらなかったため、「平成21年版救急・救助の現況総務省消防庁」に119

番通報から病院等に収容するのに要した時間として掲載されている都道府県別の平均値を利用することとした。

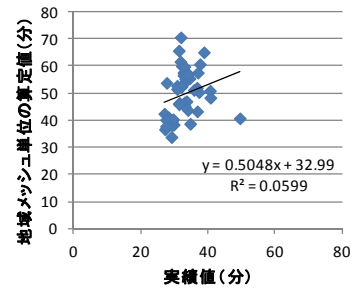


図-4 地域メッシュ単位の算定値と実績値との関係

図-4は、各都道府県の全搬送時間についての、地域メッシュ単位の算定結果と実績値の相関分析結果である。両者の関係は、相関係数 $R=0.245$ 、決定係数 $R^2=0.06$ であり、相関があるとは言えない。ただし、実績値は全ての搬送を対象とした値であり、 t_a は救命救急センターへの搬送のみを想定した値であるため、 t_a を全ての搬送を想定した値に補正して比較することとした。 t_a のうち、 t_1 は当初より全ての搬送を対象とした値を使用していること、 t_2 はばらつきが小さいことと全ての搬送を対象とした値が見当たらないことから、 t_1 、 t_2 の補正は行わず、 t_3 のみ補正することとした。ここで、全ての搬送は救急告示病院（救命救急センターを含む）へ行われるものとし、都道府県ごとに、救命救急センターと救急告示病院の施設数の比率により、施設の平均カバー面積（施設のカバー域は円形と仮定）の半径の比率を算出し、半径の比率を施設までの時間の比率として t_3 を補正した。そのうえで、補正した t_a と実績値と比較した結果、両者の関係は、相関係数 $R=0.762$ 、決定係数 $R^2=0.58$ であり、相関がみられた。

4. 道路ネットワーク強化のシミュレーション

(1) 道路ネットワークの強化

道路ネットワークの整備は、救急搬送時間の短縮のみが目的ではなく、また短期間に整備できるものではないが、道路ネットワークの強化により救急搬送の面でどのような地域にどの程度の効果が期待できるのかを明らかにすることを目的に、道路ネットワークを強化した場合の搬送時間の変化についてシミュレーションを行うこととした。

算定は、搬送時間の変化が試算可能な、現場出発から病院到着までの時間 t_3 について行うものとし、強化された道路ネットワークを利用した場合の所要時間を t_3' とし、 t_3 との差を比較した。道路ネットワークの強化として、前章で利用した道路に加え、「21世紀の国土交通のグランドデザイン（案）」に示される主要な計画・構想を含めた路線を追加したものを想定した。なお、計画・構想を含めた路線の速度は、平均旅行速度として、高速自動車国道及び一般国道自動車専用道路については80km/h、地域高規格道路については60km/hを用いた。主要な計画・構想の例としては、四国横断自動車道の一部、京都縦貫自動車道の一部等があ

る。本稿で使用した道路ネットワークにおける高速自動車国道と地域高規格道路の概略を図-5に示す。



図-5 道路ネットワークの例示（高速自動車国道及び地域高規格道路）

(2) シミュレーション結果

道路ネットワーク強化のシミュレーション結果を図-6に示す。地域メッシュ単位での搬送時間の変化 t_3-t_3' を、全国の地域メッシュを対象に、 t_3 の時間帯区別の平均値を示したものである。 t_3 の長い地域メッシュで、短縮時間が大きい傾向にあった。

また、都道府県別の算定結果を図-7に示す。 T_3 が長い都道府県において、平均短縮時間 T_3-T_3' が大きい傾向があった。特に、搬送時間 T_3 が30～40分以上の都道府県において、道路ネットワークの強化による効果が高い都道府県が多い結果となった。

これらのことから、道路ネットワークの強化は、救急医療機関へ長時間かかる地域に対して特に有効であると考えられる。

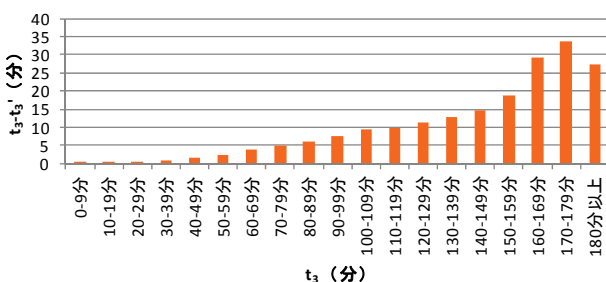


図-6 道路ネットワーク強化による搬送時間帯別の地域メッシュ平均短縮時間

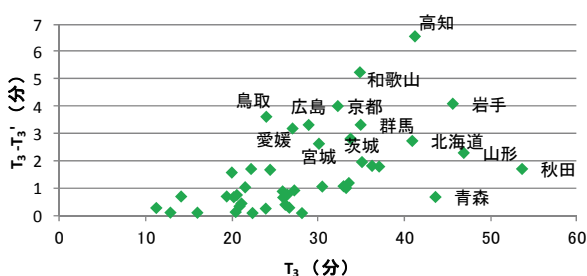


図-7 道路ネットワーク強化による都道府県別の短縮時間

5. 県外搬送のシミュレーション

(1) 県外搬送の検討状況

救急医療のあり方については、社会的な課題として各方面で対応が検討されている。

救急搬送の面からは、「消防法の一部を改正する法律」が平成21年5月に公布、10月に施行され、都道府県において傷病者の搬送及び受け入れの実施に関する実施基準を策定することが義務付けられ、都道府県内の共通のルールが策定されることとなった。都道府県を超える搬送については、平成21年10月には、「傷病者の搬送及び受け入れの実施基準等に関する検討会報告書」の中で、「都道府県単位で確保することが原則であるが、医療資源の状況等によっては、都道府県を越えて広域的な対応が必要となることが考えられる」と述べるとともに実施基準に定める場合の方法に言及されているが、県外搬送に関する全国的な共通の基準は見られない。

(2) 県外搬送の実態調査

そこで、県外搬送について、実態調査を行うこととした。対象とした都道府県は、道路による県外搬送が想定されない北海道、沖縄を除いた45の都道府県である。

調査は、平成23年11月から12月にかけて、資料調査および電話によるヒアリング調査により行った。まず各都道府県の傷病者の搬送及び受け入れの実施に関する基準を参照し、適切な搬送先を選ぶためにあらかじめ作成された医療機関リスト内に他の都道府県の医療機関が含まれているか、含まれていない場合県外搬送を行うことが記載されているかについて調査した。その結果、リストに含まれていた都道府県は7、含まれていないものの県外搬送について記載されていた都道府県は25であった。そのうえで、県外の医療機関を同等に扱っているか（リストに含まれる場合を含む）、または県内の医療機関が優先かの状況を調査することとし、この点が読み取れなかった23都道府県について電話によりヒアリング調査を行い補完した。その結果、図-8のとおり、状況に応じて都道府県境界を超えた搬送をしている都道府県が多いことが分かった。ただし、電話ヒアリングの範囲では、場合によって県外へ搬送する要件としては、症状や受診かなど医療の面からの県外搬送が多く、県内外の医療機関から所要時間が短いところを必ず選択ととしている都道府県はみられなかった。

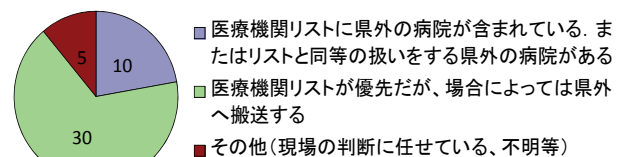


図-8 県外搬送に関する調査結果

(3) 県外搬送のシミュレーションと結果

前項までの状況を受けて、県外搬送による搬送時間短縮を評価するため、県外搬送のシミュレーションを行うこと

とした。

シミュレーションでは、搬送時間への影響が試算可能な現場出発から病院到着までの時間 t_3 について、県外搬送を行った場合の所要時間を t_3'' として新たに算定し、第3章で算定した現場出発から病院到着までの時間 t_3 との差を比較するものとした。

対象とする都府県は、第2章及び前項で除外とした長崎県、鹿児島県、沖縄県、北海道を除いた43の都府県とする。県外搬送を行った場合の所要時間の算定の方法は第2章に示した t_3 の算定方法と同様で、対象とする救急医療機関を同一都府県内に限らず全国に広げるものとした。

シミュレーションを行った結果を、図-9に示す。県外搬送がどのような都道府県において効果が高いかを分析するため、各地域メッシュの短縮時間 $t_3 - t_3''$ を、全国の地域メッシュを対象に、 t_3 の時間帯区分別の平均値を示した。結果では、 t_3 が長い地域メッシュで短縮が大きい傾向があることが分かった。

また、都道府県別の結果を図-10に示す。搬送時間 T_3 が長い都道府県において、平均短縮時間 $T_3 - T_3''$ が大きい傾向があった。特に、 T_3 が30分以上の都道府県において、県外搬送による効果が高い都道府県が多い結果となった。

このことから、都道府県境界を超えた搬送は、現状で長時間を要する地域に対して効果が大きいと考えられ、長時間かかる地域の解消に有効であると考えられる。

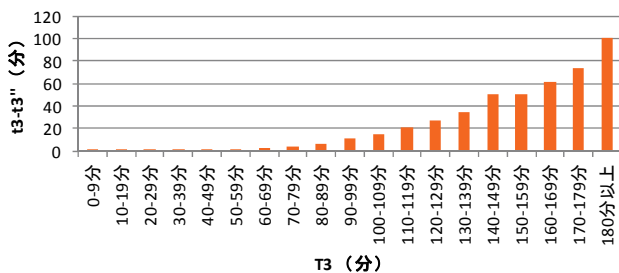


図-9 県外搬送による搬送時間帯別の地域メッシュ平均短縮時間

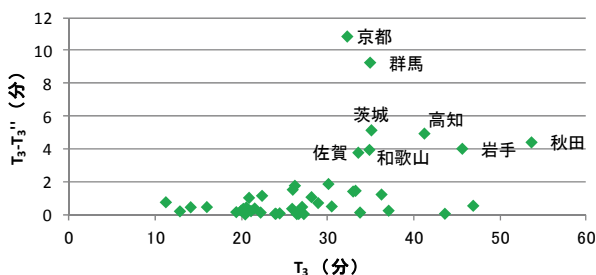


図-10 県外搬送による都道府県別の短縮時間

6. 地域の特性と改善策のシミュレーション結果

次に、搬送時間の試算結果にみる地域の特性と2つのシミュレーション結果について考察する。ここでは、道路ネットワーク強化のシミュレーションで最も時間短縮が認められた高知県、県外搬送のシミュレーションで最も時間短縮が認められた京都府、及び搬送時間が長いものの2つの

シミュレーションで改善が他と比べ高くはなかった青森県を取り上げ行う。図-11、図-12、図-13に、 t_3, t_3', t_3'' を示す。併せて人口の分布も示す。

高知県においては、現状で長時間を要する地域として、県西部のように、施設のある県中心部に向けた道路があるものの、高速道路のように規格の高い道路で結ばれた地域でないという特性が見られる。そのため、高知県においては、道路ネットワークの強化により、規格の高い道路の利用が可能となるA（図-11中）の地域の改善が見られる。また高知県は県外搬送のシミュレーションでも比較的大きな改善が見られたが、それはB（図-11中）の地域で現れている。前章で示した県平均短縮時間としてシミュレーション結果をみるとその効果は大きくないが、地域メッシュ単位で示された図-11をみると時間短縮効果を持つメッシュの広がりを把握することができる。また、高知県では、今回試算した2つの改善策を同時に行うことでさらなる改善が期待できるとも言える。

京都府においては、現状で長時間を要する地域として、

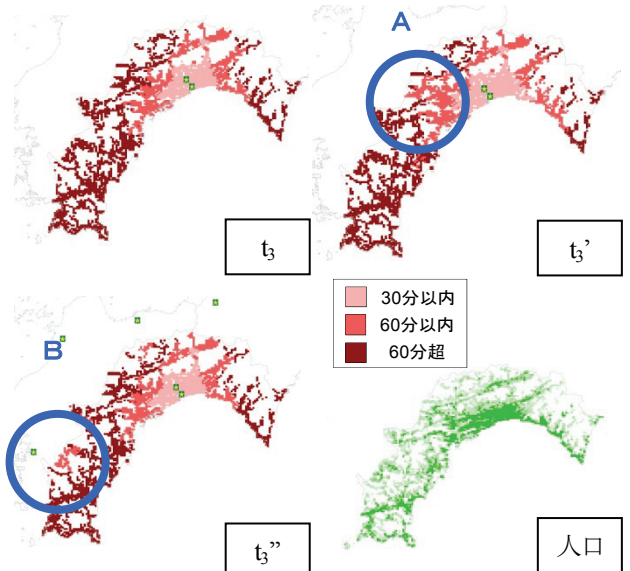


図-11 高知県のシミュレーション結果と人口

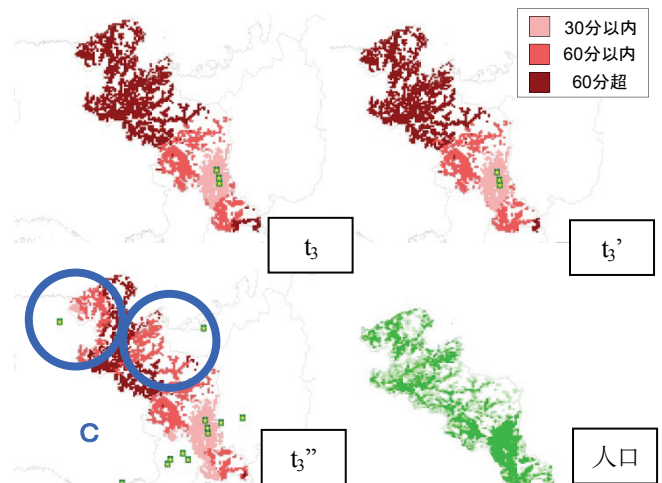


図-12 京都府のシミュレーション結果と人口

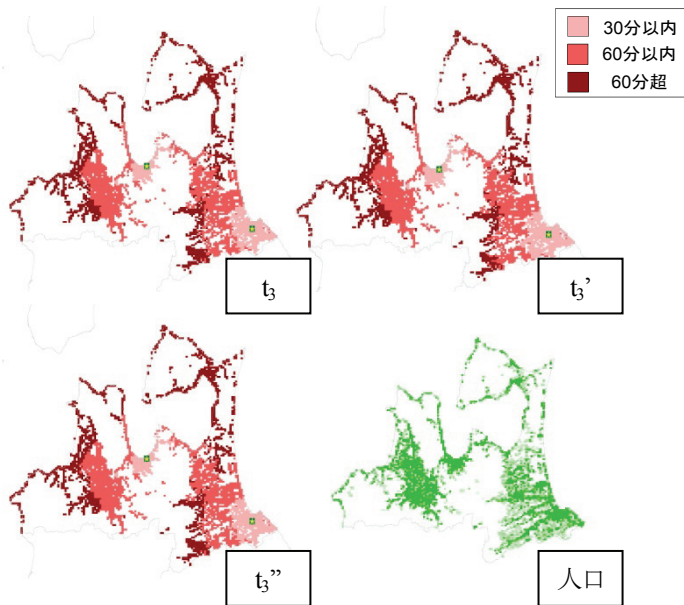


図-13 青森県のシミュレーション結果と人口

府北西部のように、隣接する福井県や兵庫県と結びつきの強い地域であるという特性が見られる。そのため、京都府においては、県外搬送により、府県をまたぐ道路ネットワークが利用可能なC(図-12中)の2地域で改善がみられる。人口分布と併せてみると、府北西部の人口の多い地域で時間が短縮され、効果が大きかったことが分かる。

また、青森県では、現状で長時間を要する地域が、中央部に山地を有する半島部の沿岸地帯に点在した地域であるという特性が見られる。このような現状においては、県外搬送の効果も小さく、また半島部を周回する道路ネットワークには限界があることから、ドクターヘリや施設設置などを改善策として検討する必要があると考えられる。

このように、地域メッシュ単位で算定を行うことは、実態やシミュレーション結果などを詳細に把握することができるという利点があり、それは改善策の選択・決定等の検討においても有用であると考ええる。

7. 結論

本研究では、現状の施設・道路ネットワークを踏まえて、救急医療機関への移動に長時間を要する地域の特性と改善策に関する研究として、地域メッシュ単位の搬送時間の試算と、道路ネットワークの強化および県外搬送のシミュレーションを行った。

その結果、以下のことが分かった。

- ・全搬送時間を構成する通報から現場到着までの時間、現場滞在時間、現場出発から病院到着までの時間のうち、最も構成比が大きく、都道府県ごとのばらつきが大きい現場出発から病院到着までの時間について、地域の特性に応じた改善策を検討するのが効果的であると考えられる。
- ・道路ネットワーク強化は、救急医療機関へ長時間か

かる地域に対して、特に短縮効果が大きい。また都道府県別では、現場出発から病院到着までの時間30～40分以上の都道府県において、効果が高い都道府県が多い

- ・県外搬送を行うことにより、救急医療機関へ長時間かかる地域に対して、特に短縮効果が大きい。また、都道府県別では、現場出発から病院到着までの時間30分以上の都道府県において、効果が高い都道府県が多い
- ・道路ネットワークの強化と県外搬送の体制整備では、それぞれ改善に結びつく地域が異なる。そのため、両者を有機的に進めていくことが望ましい。
- ・地域メッシュ単位で算定には、実態やシミュレーション結果などを詳細に把握することができるという利点があり、改善策の選択・決定等の検討において有用である。

このように、救急搬送に関する地域メッシュ単位での検討から、救急医療機関まで長時間の地域に対し、道路ネットワークの強化や県外搬送の体制確立など、広域的な改善策が有効であると考えられた。このような広域的な改善策の実施に向けては、救急医療機関側、またはその地域が、自地域のみならず広範囲からアクセスをされやすいように、高速道路のIC付近への立地や進入路の整備を考えるなど、広域的な機能分担を意識することが大切である。同時に、県境部分の道路管理の見直しや高速道路の緊急車両用進入路の更なる整備など、多面的なインフラ整備を進めることも望ましい。

広域的な搬送の実現には、診療体制や患者の症状等、医療の面で検討すべきことが数多くあるが、医療側での検討が進めば、社会資本整備の面から実施できることは多いと思われる。

本研究では、施設配置、道路ネットワーク等の現況を踏まえ検討したが、救急車の速度や救命救急センター以外への搬送等情報が十分でなかった部分もあり、今後実態を踏まえることができるよう検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 柏谷増男,佐伯有三,二神透(2000),「救急サービス施設の適性配置による広域統合化に関する研究」,土木計画学研究・論文集Vol.17 pp.179-186
- 2) 南正昭,高野伸栄,加賀屋誠一,佐藤馨一(1997),「拠点医療施設へのアクセスを2系統で保証する道路ネットワーク構造」,土木計画学研究・論文集Vol.14 pp.679-686
- 3) 近藤竜平,塩見康博,宇野伸宏(2009),「アクセシビリティと連結信頼性を考慮した道路網・医療施設計画モデル」,第40回土木計画学研究発表会・講演集
- 4) 奥村誠,堀内智司,佐々木和寛(2009),「地震被災者搬送のための道路・医療施設耐震化計画モデル」,土木計画学研究・論文集Vol.26 pp.93-100
- 5) 馬場美智子,吉田禎雄,能島暢呂,奥寺敬(2008),「広域災害に対応した救急医療搬送システム評価のためのシミュレーションモデルの開発」,土木計画学研究・論文集Vol.25 pp.129-139
- 6) 藤本昭,角知憲,大枝良直,城素美夫,武藤美代,田中泰幸他(2012),「ロジック回帰を適用した道路整備の救急医療改善効果推計」,交通工学, Vol.47, No.2, pp.57-62