

救急搬送活動改善に向けたこれまでの研究経緯 からみた今後の課題と展望

辰野 肇¹・高山 純一²・中山 晶一朗³

¹正会員 (株) 国土開発センター (〒924-0838 石川県白山市八東穂3丁目7番地)

E-mail: tatsuno_hajime@kokudonet.co.jp

²フェロー会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: takayama@t.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学准教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp

近年、超高齢社会の進展や未曾有の自然災害、痛ましい交通事故などが全国的に頻発する中で、救急搬送活動改善に対する国民の関心、期待が高まってきている。

本研究では、救急搬送活動の改善に向けた今後の研究発展の一助となるべく、これまでの既存研究成果を現時点で一度、分野別に整理を試み、レビューを行ったものである。特に土木計画学としての研究の場に注目すると、救急搬送活動に関連する研究は、近年、目覚ましく増加傾向にあり、救急活動実態分析を出発点に、医療サービス水準や緊急車両走行に問題点課題を見出し、道路整備や施設配置、搬送手段、シミュレーション、ITSなどの研究に細分化されていく体系を示した。今後は、既存社会資本の有効活用やソフト面での運用の工夫、医療部門や福祉部門などとの連携がますます重要になってくるであろう。

Key Words : emergency medical transport, Background Research, Challenges and Prospects

1. 研究の背景と目的

(1) 研究の背景

近年における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の問題、消防署から現場への到着時間や医療機関へ患者を収容するまでの時間の増加など、多くの問題を抱えている。また、高齢社会の到来による高齢患者の搬送件数の増加や、生活習慣病による心筋梗塞や脳卒中などの重篤患者の増加、救急車をタクシー代わりに利用するようなモラルの低下など、社会状況の変化にも関係した問題も挙げられ、その対策が急務となっている。

救急搬送活動において迅速な救急搬送は、より多くの人々の生命を救うために不可欠である。しかしながら、重症の救急患者に対して高度な医療を24時間提供する3次救急医療施設は都市部に集中しており、それらの施設の少ない地方部と都市部の間に救急医療サービスの地域格差が生じている。特に、高齢化が進む過疎地域においては、地方部から3次救急医療施設への搬送時間を短縮するために、消防防災ヘリコプターやドクターヘリコプ

ター等を利用した救急医療施設への搬送が有効とされている。一方、都市部においては、交通渋滞や信号交差点、不適切な避讓行動、路上駐車などが救急車の走行阻害要因として問題となっているほか、患者の受け入れ先がなかなか見つからないことも問題となっており、一般市民に対する救急活動への理解向上とあわせて、緊急車両に優先的な信号制御などを行う現場急行支援システム（FAST）やこれに車両運行管理システム（MOCS）を組み合わせた救急搬送支援システム（M-MOCS）の導入が有効とされている。

折田ら¹⁾によれば、救急医療システムは「搬送部門（消防機関：救急隊員）」と「医療部門（医療機関：医師）」の2部門から構成され、救急医療サービスレベルの向上には、これら2部門の水準向上とともに、両者の密接な連携が重要であることを指摘している。

平成23年版消防白書²⁾によると、わが国の人口が減少に転じて以降も、高齢化の進展等により救急需要は今後ますます増大する可能性が高く、未曾有の自然災害や痛ましい交通事故などが頻発する中で、救急医療分野に対する国民の期待は高く、今後ともより一層、医学と工学

の連携による医療サービスの改善に向けた研究の進展が求められている。

(2) 研究の目的

本研究では、前節に示した救急搬送や救急医療活動に関わる背景を踏まえて、現時点における救急搬送活動改善に向けた既存研究のレビューを行い、今後の課題と展望を見出すことを目的とする。

これまでの研究内容を幾つかの分野に分類を試みた上で、背景となる社会的変化と照らし合わせ、これまでの研究経緯と成果、近年における研究の傾向を整理し、救急搬送活動改善に向けた今後の研究の足がかりとしたい。

2. わが国における救急搬送活動の実態

(1) 救急搬送の歴史

自治体消防60年のあゆみ³⁾によれば、救急業務は、昭和10年前後に東京などのごく一部の都市において創設されて以降、主として市町村の消防機関が業務に携わってきた。しかしながら、交通事故を含む各種災害が激増するにつれて、救急体制を全国的に確立整備する必要性に迫られ、昭和38年に消防法の一部を改正して救急業務に関する規定が織り込まれた。その後、昭和46年にはすべての市に消防本部及び消防署の設置が義務づけられ、さらに昭和50年から消防本部及び消防署を置かなければならない市町村として指定を受けた市町村は同時に救急業務の実施を義務づけられるに至った。

しかし、救急業務の需要の高まりに対して救急医療体制の整備が追いつかず、特に休日や夜間の医療確保が困難であったため、一時期に「タライ回し」といわれる状況に陥ったが、急速な救急医療体制の整備促進によって、徐々に環境が改善されるに至った。

その後も救急業務の需要は増加の一途を辿り、救急現場からの要請や世論の支持を背景に平成3年に「救急救命士法」が制定され、平成4年7月から救急救命士の資格を持つ救急隊員による高度な救急業務が開始された。

また、平成10年には消防防災ヘリコプターを活用した救急業務が消防法上の救急業務として明確に位置づけられ、平成19年に「救急医療用ヘリコプターを用いた救急医療の確保に関する特別措置法」が制定されるなど、ヘリコプターを活用した救急医療搬送が本格化してきている。さらに平成20年には道路交通法の一部改正により、医療機関が市町村等の要請を受けて、傷病者が医療機関に緊急搬送されるまでの間の応急治療を行う医師を現場に運搬するために使用する自動車「ドクターカー」が緊急自動車として認められるようになった。

(2) 救急搬送の現状

総務省消防庁が発表した平成23年の救急出動件数等（速報）⁴⁾によれば、平成23年の救急出動件数は570万6,792件（前年比4.4%増）、救急搬送人員は518万1,396人（前年比4.1%増）と、それぞれ3年連続の増加で過去最多となる見通しであり、その主な要因として急病の傷病者の増加、高齢の傷病者の増加をあげている。

また、平成23年版救急・救助の現況⁵⁾によれば、平成22年における現場到着までの所要時間は全国平均で8.1分（前年7.9分）、医療機関収容までの所要時間は全国平均で37.4分（前年36.1分）とそれぞれ年々増加の一途を辿っている。一方、消防防災ヘリコプターは、平成23年10月1日現在、全国45都道府県に合計70機配備されており、平成22年中の救急出動件数は3,938件（前年比228件増）と過去最多を記録している。また、平成22年中に医師が現場に出動した件数は5年前に比べて約3倍の17,332件となり、年々増加傾向にある。

そのような中で、心肺機能停止傷病者の1ヵ月後の生存率は11.4%（5年前に比べて約1.6倍）、1ヵ月後の社会復帰率は6.9%（5年前に比べて約2.1倍）と一定の効果も表れている。ただし、これが救急搬送活動改善による影響としてどの程度寄与しているのかは定かではない。

3. 救急搬送活動の改善に向けた既存研究

救急搬送活動の改善に向けた研究は、これまでに様々な研究者によって数多く行われてるが、筆者らはこうした救急搬送活動の改善に向けた既存研究を幾つかの分野に分類を試みた。その結果、概ね以下に示す9つの分野に整理した。なお、各研究は実際に複数の分野に跨って論じられている場合も多いが、ここでは便宜的に最も主眼を置いていると思われる分野に割り振って整理した。

- | | |
|-------------|-------------|
| ・救急活動実態分析 | ・医療サービス水準評価 |
| ・緊急車両走行 | ・道路整備効果 |
| ・最適投資計画 | ・救急搬送手段 |
| ・搬送シミュレーション | ・ITS |
| ・その他 | |

(1) 「救急活動実態分析」に関する研究

「救急活動実態分析」は、特定の都市や地域などを対象として、救急隊による医療搬送活動の実態を調査し、その傾向を把握、分析した上で、課題を見出そうとする分野の研究として捉えた。

高井ら⁶⁾はこの分野における土木計画学的側面からのアプローチの先駆けとして、神戸市を対象に救急車の出動実態、走行実態を調査し、合理的な出動計画を提案するための基礎資料を作成して需要予測、救急活動の評価を行っている。また、網野⁷⁾はわが国における救命救急

士制度について、その養成課程とこれまでの活動実績を紹介した上で、その導入効果はまだ期待されたほど上がっていないとし、今後の課題として救命救急士の数の充足を急ぐ一方で、質の向上の重要性を指摘している。二神ら⁸⁾は四国地方を対象に高速道路上で発生した交通事故に対する救急対応の現況分析から、SAやPAを活用した救急車の入出動検討など、搬送時間を短縮するための施策の必要性を指摘している。一方、守谷ら⁹⁾は医学者の立場から救命救急活動の現状を捉え、今後に必要なとされるプレホスピタルケアのあり方について考察している。また、福田ら¹⁰⁾は全国の政令市・中核市を対象とした救急搬送業務の実態調査を実施し、出動件数や収容所要時間の経年変化とその影響要因の分析を行っている。さらに、池田¹¹⁾らは松山市内の救急搬送活動記録から、現場滞在時間に注目して症例別、処置別に影響要因を分析しているほか、救急車の適正利用実態について、時間帯別、平日休日別、地域別、患者属性別にその傾向を考察している。中田ら¹²⁾は苫小牧市周辺地域の救急搬送活動を対象に、消防機関に対するアンケートやヒアリングを通じて救急入退出路の利用実態を調査し、交通シミュレーションによる搬送経路別の所要時間の推定と検証を行っている。秦ら¹³⁾は東日本大震災発生時の救急医療搬送活動の実態調査を行い、震災による施設被害や搬送活動への影響を整理し、緊急連絡手段確保の重要性を指摘している。

(2)「医療サービス水準評価」に関する研究

「医療サービス水準評価」は、一定の広がりを持つ都市や地域内において、医療サービスの水準を指標化して評価を行い、地域格差の問題などを明らかにした上で、サービス水準向上に向けた施策提案を行おうとする分野の研究として捉えた。

喜多ら¹⁴⁾は居住地点別の医療サービス提供水準を救急医療へのアクセシビリティの程度と捉えて指標化し、鳥取県八頭郡を対象に地域格差の実態を明らかにした上で、救急医療システムの整備計画手法を提案している。また、加賀屋ら¹⁵⁾は地理情報システムの活用によって、医療施設利用に対する地域住民のアクセスビリティポテンシャルを空間的に表し、小樽市をケーススタディとして評価を行った上で、代替案による改善度合いをシミュレーションを行って考察している。一方、高山ら¹⁶⁾は救急車による搬送所要時間に着目してその時間信頼性指標を算出し、金沢市をケーススタディとして救急搬送サービス水準の定量的評価方法を提案している。長谷部ら¹⁷⁾は熊本県天草市における公的病院統廃合問題の検討にあたり、アンケート調査と国民健康保険診療明細書によって市町村合併前の旧市町域ごとに病院受療動向を分析し、その特性を明らかにしている。一方、大橋ら¹⁸⁾は全国的な視

点から、医療関係施設までの所要時間を都道府県別、都市規模別などで比較し、その地域差や地域特性を明らかにしている。尾曾ら¹⁹⁾は信濃川活断層が長野都市圏の交通ネットワークと被災時駆けつけ搬送行動に与える影響を時間信頼性評価システムを構築して検討し、救命制約時間を考慮した救急車両の被災地への未到達危険度の評価を行っている。

(3)「緊急車両走行」に関する研究

「緊急車両走行」は、救急車両の走行実態を調査、分析し、その走行挙動をモデル化して再現することなどを試みながら、円滑な走行を妨げる要因を探り、走行性向上を支援するシステム、ツールの開発を行おうとする分野の研究として捉えた。

木俣ら²⁰⁾はペトリネット手法を用いて交差点部も含めた緊急車両の一般交通による走行阻害状況を再現可能なシミュレーションシステムを開発し、交差点部での走行阻害が大きいことに注目して、ITSによる信号制御策を提案している。また、小池ら²¹⁾は名古屋市救急隊員にアンケート調査を行うことによって救急車の走行阻害要因を抽出し、これを分類整理した上で、その対策として従来からの道路改良の必要性の他、ITSによる支援の可能性について考察している。一方、二神ら²²⁾は松山市において救急医療関係者の協力のもと、救急車にGPSデバイスとPC、Webカメラを搭載して得られたGPSデータ、動画像データを用いて走行動態再現システムを構築し、走行阻害要因として特に交差点部での赤信号時の避譲行動不足を指摘した上で、救急車の進行方向信号の青制御システム（FAST）導入を改善策として挙げている。また、構造の異なる二つの経路での走行阻害要因発生傾向を分析し、道路構造と緊急車両の走行動態の関係について考察を行っている。さらに、南部ら²³⁾は救急車と一般車のプローブデータを統合分析し、救急車の緊急走行の実態と特徴を明らかにするとともに、その走行を支援する方策として、救急車専用ナビゲーションシステムの適用性について述べている。

(4)「道路整備効果」に関する研究

「道路整備効果」は、一般道路や高速道路などの整備によって、沿道周辺地域における救急搬送活動の向上効果を定性的、定量的に表し、救急医療搬送の観点から道路整備の必要性を考察する分野の研究として捉えた。

清水ら²⁴⁾は道路整備による公共サービスの代替効果に着目して医療機会改善効果の計測方法を提案し、東北横断道酒田線を対象に適用して計測を試みている。一方、藤本ら²⁵⁾は道路整備効果の項目として重要かつ追加可能と考えられながら数値化が困難なために計上されなかった救急医療改善効果について、搬送時間短縮による生存

患者増加数を金額換算することによって道路整備効果を評価する方法を提案している。また、南ら²⁶⁾は人命維持に重要な役割を果たす拠点的医療施設へのアクセスが複数の経路で確保されることの重要性を指摘し、代替施設及び代替ルートが存在を考慮しながらアクセスを2系統で保証する道路網を構成するための分析方法を提示している。山田ら²⁷⁾は愛媛県上浮穴郡を対象として救急サービス水準との関係からみた道路網の潜在的な能力に着目し、中山間地域における道路網をMCLPモデルを用いて評価する手法を提案している。また、折田ら⁹⁾は消防機関ヒアリングや救急搬送記録の分析を通じて、救急医療活動上における高速道路利用の評価を行うとともに、一般住民を対象に救急医療活動基金や高速道路整備基金の創設を仮定した支払い意志額等の調査を通じて、高速道路整備による医療面での効果について考察している。さらに、高山ら²⁸⁾は高速道路における救急車専用退出路の設置によって救急搬送時間が短縮される可能性について注目し、救急救命率上昇による救命人数の増加を便益として費用便益分析を行い、その有効性について考察している。また、加賀²⁹⁾は岡山県倉敷市の山陽自動車道二子山トンネル西側に救急車専用退出路を新たに設置した場合における第3次救急医療施設への搬送動線の変化を分析し、搬送時間短縮による救命可能確率の変化を算出して、その経済効果を明らかにしている。阪田ら³⁰⁾は道路交通による高次医療施設へのアクセス性の向上効果を「死亡リスク削減便益」と定義してその計測方法を提案し、ケーススタディとして北関東自動車道整備が栃木県真岡市住民にもたらす便益の算出を試みている。

(5)「最適投資計画」に関する研究

「最適投資計画」は、予算面などの限られた条件の中で、医療施設や救急施設の最適配置、医療施設運用体制の最適化、道路整備も含めた施設整備投資の最適化などについて検討を行う分野の研究として捉えた。

大内ら³¹⁾は病院収容前医療等の変化しつつある救急医療システム及び今後の救急医療の方向性を見据えた上で、地域の特性を踏まえ、救急施設と医療施設とを一体的に捉えた複合化の施設配置計画について考察を行っている。さらに、千葉市を対象にWebGIS・GPSとドクターカーシステムとの融合化による地域空間モデルの構築に向けた指標を検討するとともに、ドクターカーステーションの適正配置と圏域的計画手法について提案を行っている。

また、柏谷ら³²⁾は愛媛県中部地域を対象に、救急サービスの広域化にあたっては、効率性ととともに公平性の確保も考慮されるべきと考えに基づき、MCLPモデルを用いて広域救急施設の適正配置について考察を行っている。さらに二神ら³³⁾は松山市における救急医療体制の現状を分析し、MCLPモデルを用いて最適化の検討を行うと

ともに、市域全体のサービスの公平性を確保するためにLSCPによる施設の追加配置について検討を行っている。また、搬送活動記録やプローブデータを用いて、救急病院運用体制の評価を行い、新規病院追加及び最適運用計画について検討を行っている。一方、鈴木³⁴⁾は救急患者の救命率の向上を目指して、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、救急関連施設の適正配置方策と、ドクターカー・システム導入による搬送時間の短縮効果を明らかにしている。また、久保田³⁵⁾は中規模都市において高度救命医療施設が新たに設置された場合をについて、救急活動データの分析を通じて、その市外搬送割合と搬送時間短縮の効果を明らかにしている。奥村ら³⁶⁾は大規模地震被害を想定した中で、道路網の耐震化と医療施設の耐震化を比較して、地震直後の被災者搬送中の死亡リスクを最小化する数理計画モデルを提案している。古田ら³⁷⁾は救急車とヘリコプター関係を考慮した上で、ヘリポートとヘリコプターの出動拠点とを同時に決定する最適配置モデルを最大被覆型の問題として定式化して考察を行っている。一方、近藤ら³⁸⁾は災害による道路の途絶リスクと周辺都市で享受可能なサービス機会数を考慮した新しい道路網評価指標を提案し、予算制約の下での新規道路及び医療施設への最適な投資の組み合わせを求める計画モデルを構築している。また、稲川³⁹⁾は救急車の配備台数や配備場所を変更する場合のシミュレーション実験を行い、効率的なシステム構築支援に向けて、救急搬送システムにおける救急車の適切な配備台数と配備場所の関係について考察を行っている。葛山⁴⁰⁾は千葉県鎌ケ谷市において、地域医療の中核を担う医療機関が新設されたことに伴う医療圏の変更が救急活動全体に及ぼした影響を検証し、今後の消防活動の広域化を見据えて、救急車の運用体制の最適化に向けた課題と対応について検討を行っている。さらに、瀬戸ら⁴¹⁾は医師の不足や偏在が問題となっている中で、非重複経路を考慮したアクセシビリティ指標を提案し、総医師数や都市間の公平性などの制約条件を考慮した上で、最適に医師を配置する計画モデルを構築している。

(6)「救急搬送手段」に関する研究

「救急搬送手段」は、救急現場への救急隊や医師の駆けつけや、救急患者の病院への搬送に要する時間の短縮を図るための搬送手段に注目し、その導入実態を踏まえて、導入効果や導入課題を明らかにしようとする分野の研究として捉えた。

小池ら⁴²⁾は海上空港での航空機事故発生時を考慮したヘリコプターの運用方法について所要時間の視点から評価し、その有効性について考察を行っている。また、ヘリコプター救急における離着陸場の現状を整理するとともに、夜間にも離着陸できる場外離着陸場について評価

指標を設定した上で、愛知県を対象に現地調査を行い、今後の夜間場外離着陸場のあり方について提案を行っている。滝口⁴³⁾は医学者の立場からヘリコプターによる搬送が生体の生理に及ぼす影響についての実験結果を紹介しながら、わが国における搬送体制の問題点を指摘するとともに、航空機による患者搬送の将来について展望している。また、金丸⁴⁴⁾は病院前救護医療における搬送システムとしてのドクターカー及びドクターヘリの概要、現状、出動基準、治療内容、成果について紹介し、それぞれが抱える課題と将来展望について考察を行っている。荒田⁴⁵⁾は3次救急患者の早期治療開始と予後の改善に向けて、ドクターカーの効率的な運用のために119番通報段階での重症患者抽出方法を模索し、実際にドクターカー運用を試行して、病院前医療の有用性、安全性、問題点を明らかにし、その課題について検討を行っている。益子⁴⁶⁾は第3次救急医療体制としての消防防災ヘリによる救急搬送、ドクターヘリによる病院前救急診療、救急搬送支援システム、救命救急士によるプレホスピタルケアの現状と今後の展望について考察している。宗広⁴⁷⁾は北海道におけるドクターヘリの運航実態を医療機関に対するヒアリングを通じて明らかにし、緊急離着陸場の利用状況をGISによりデータベース化しながら積雪時の課題とあわせて考察するとともに、緊急離着陸場としての道路空間や道路施設の利用方策について提案を行っている。高山⁴⁸⁾は石川県奥能登地域を対象として、救急車とのドッキングポイント候補地を選定した上で、ドクターカー導入による収容所要時間短縮とこれに伴う救命率の向上効果の算定を試み、その導入の可能性と課題について明らかにしている。二神⁴⁹⁾は四国におけるドクターヘリ導入や消防防災ヘリのドクターヘリ的運用の実態を調査し、搬送時間の短縮化に向けて、各種搬送手段の出動体系と最適時間を視覚的に提示可能なシステム構築の必要性などについて指摘している。また土屋⁵⁰⁾は岐阜県東濃地域で導入されている乗用車型ドクターカーの運用実態を紹介し、走行実態調査を通じてその走行特性を明らかにし、他の搬送手段との比較の中で、乗用車型ドクターカーの導入効果を算定し、各種搬送手段の連携による病院前救急医療の最適化に向けて考察を行っている。

(7)「搬送シミュレーション」に関する研究

「搬送シミュレーション」は、事故や災害の発生を想定した中で、効率的かつ迅速な救急搬送活動が行えるようにシミュレーションの実施によって搬送活動上の問題点、課題を明らかにして、実活動に役立てようとする分野の研究として捉えた。

小池⁵¹⁾は海上空港における航空機事故などの大規模災害の発生を想定し、負傷者の搬送シミュレーションを

行い、負傷者の迅速な搬送方法と事前対策について考察を行っている。また、リスク・アセスメントの考え方をを用いて医療混乱リスクと搬送リスクを評価指標とし、シミュレーションによって両者の最善点を探索することによって搬送計画を立案する手法を試みている。また、二神⁵²⁾はプローブ・ピーグルを用いて愛媛県上浮穴郡を対象に中山間地域の道路ネットワークを作成し、ペトリネット・シミュレーターを用いて、救急・避難計画支援のためのシナリオシミュレーションを開発している。一方、馬場⁵³⁾は地震災害時の医療システム評価のために、医療活動と救急搬送活動における人的配置、情報システムの効率性を評価するとともに、医療施設の配置や道路ネットワークのあり方の検討に資する災害医療シミュレーションモデルを開発している。さらに、門脇⁵⁴⁾は救急車の実走行データとペトリネット・シミュレーターを用いて、一般道路における走行阻害要因を考慮した救急搬送シミュレータを構築し、救急搬送の評価、検討、改善策提案を行うための支援ツールの開発を試みている。

(8)「ITS」に関する研究

「ITS」は、高度な道路交通システムを活用して、人と道路と自動車の間で情報の受発信を行うことで、救急搬送車両の走行支援や搬送中の医療活動支援を行うための仕組み提案やその導入効果の予測、検証を行おうとする分野の研究として捉えた。

折田⁵⁵⁾は救急医療活動からみた道路整備（ITS整備を含む）のあり方を探るための調査とあわせて、救急医療活動を支援するための具体的なITS整備メニューに関する調査、ITS整備優先順位を解析するための問題の構造化に関する調査を実施し、救急医療活動支援のためのITS整備について分析、検討を加え、その必要性、有効性、整備優先順位、課題について考察を行っている。また、石坂⁵⁶⁾はGPSによる救急車両の旅行時間調査を通じて、様々な要因を複合的に評価できるモデルをマイクロ交通シミュレーション上で構築し、救急搬送支援システム（M-MOCS）導入の有効性や光ビーコンの効率的な設置位置について検討を行っている。さらに、交通需要の高い路線を想定した場合の導入効果についても検討し、滞留車列の影響を受けないM-MOCSに代わる新たな優先制御方法を提案している。松並⁵⁷⁾は現場急行支援システム（FAST）作動時における緊急車両の走行状態を救急車へのGPS搭載データから分析し、FASTの作動効果と一般交通に及ぼす影響の定量化を行った上で、一般交通への影響が最小限に抑えられるFASTの改善策を提案している。また、高田⁵⁸⁾は金沢市を対象とした救急車プローブカー調査を通じて、FAST設置路線における救急車の走行速度や走行挙動の変化等の直接的な効果の把握を行うとともに、救命救急活動に与える影響を質・量

の両面から分析し、FASTの導入効果を明らかにしている。一方、福田ら⁵⁹⁾は三次救急搬送活動を対象とする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、石川県奥能登地域及び加賀地域における導入を念頭にVHFマルチホップ無線システムの利用を想定した中継アンテナ基地局の効率的な配置方を検討し、石川県奥能登地域及び加賀地域での導入について考察している。また、益子ら⁶⁰⁾は事故自動通報システム（ACN）の現状と課題を踏まえ、「ACNが起動するドクターヘリシステムによる交通事故死亡削減効果の研究」の結果を踏まえた先進事故自動通報システム（eACN）が起動するドクターヘリシステム構築の動きを紹介し、ドクターヘリの起動につながるACNシステム構築の効果と課題について考察している。

(9)「その他」の研究

前節までに示した8つの分野以外の「その他」の研究として、藤本ら⁶¹⁾は道路計画に資することを目的として、長崎地域における過去の救急患者発生者数と人口や高齢化との関係を調査して関係式を導き出し、将来の高齢化率上昇と人口減少を考慮した救急患者発生者数の予測方法を提案している。また、大枝ら⁶²⁾は救急患者の覚知から病院までの搬送に至るまでのデータをもとに、救急車搬送時間と入院30日目生存率の関係についてロジットモデルを用いて適用を試みている。さらに、中野ら⁶³⁾は将来的な人口動態の変化を考慮した救急搬送における道路整備便益を把握するために、全国の政令市、中核市、特例市の消防機関を対象に救急搬送データの調査を行い、7つの疾患の年齢区分別発症率の算出を試みている。

4. 既存研究の経緯、傾向からみた考察

前章にて現時点における救急搬送活動改善に向けた既存研究を9つの分野に分類整理し、その内容のレビューを行ったが、土木計画学研究発表会の場においては、これまで（第45回発表会まで）に救急搬送活動に関係する研究講演は79編あり、その内訳を図-1に示す。

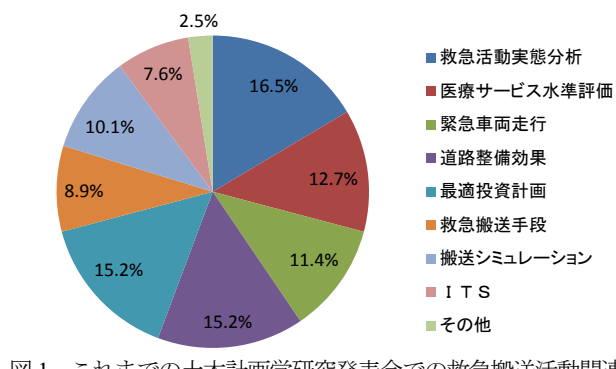


図-1 これまでの土木計画学研究発表会での救急搬送活動関連研究の分野別内訳（第45回発表会までの集計）

分野別には特に大きな偏りは見受けられないが、救急活動実態分析、道路整備効果、最適投資計画の分野の研究が比較的多く行われてきたことがわかる。

これを経年変化としてみたものを図-2に示す。救急搬送活動に関連する研究は、近年、目覚ましく増加傾向にあり、注目度の高まりがうかがえる。全体的な傾向としては、平成7年の阪神淡路大震災や平成16年の中越地震、平成23年の東日本大震災など、多くの人的被害に対する救急救命活動の問題点が浮き彫りとなった大規模災害の発生を一つの教訓として研究が進められている面もうかがえる。また、近年ではドクターヘリやドクターカーに関する法整備が整うに伴って、救急搬送手段に関する研究が増加していることも特徴的といえる。

図-3に示すように、土木計画学の間では、昭和60年代から平成の初めにかけて救急活動実態の研究報告が重ねられ、平成7年から医療サービス水準評価に関する研究が始まっている。それらに追随するように、平成10年以降は道路整備効果や最適投資計画、搬送シミュレーションに関する研究が盛んに行われるようになってきた。一方、I T Sに関する研究は平成18年頃から活発化し、救急搬送手段に注目が集まり始めたのは平成23年以降のことである。平成20年頃以降は、各分野とも分け隔てなく継続的、発展的に研究が積み重ねられてきている。

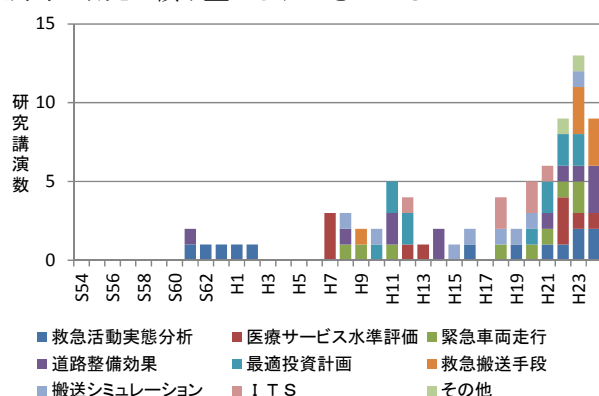


図-2 これまでの土木計画学研究発表会での救急搬送活動関連研究の経年変化（第45回発表会までの集計）

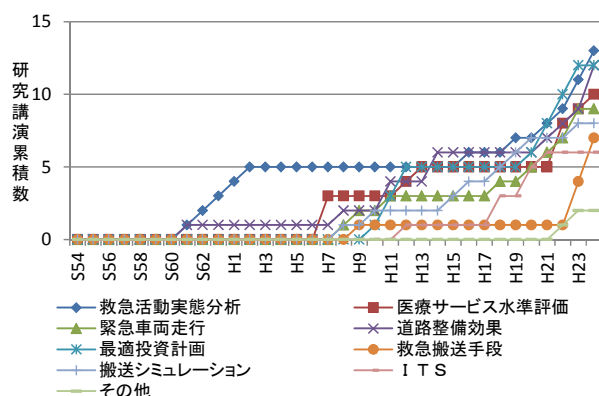


図-3 これまでの土木計画学研究発表会での救急搬送活動関連研究の分野別累積経年変化（第45回発表会までの集計）

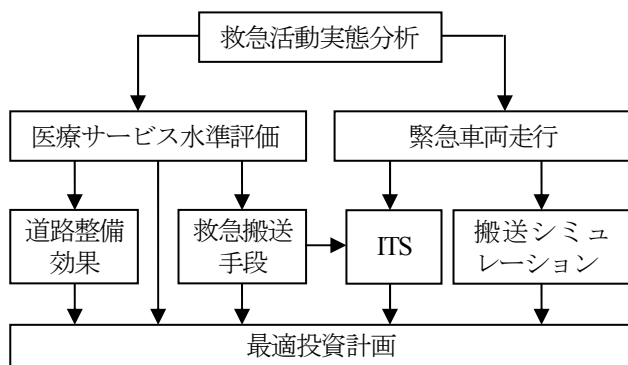


図4 救急搬送活動の改善に向けた研究分野の体系

こうした救急搬送活動改善に向けた研究として、その他を除く8つの分野の関係性をみると、概して図4に示すような体系がみえる。すなわち、救急活動の実態分析を出発点として、マクロ的な視点からの医療サービス水準、あるいはミクロ的な視点からの緊急車両走行に問題点課題を見出し、医療サービス水準の問題に対しては道路整備や施設配置、搬送手段などを、緊急車両走行の問題に対しては、搬送シミュレーションやIISなどをそれぞれ解決の主たる方向性として研究が進められているようである。そしてそれらは最終的には最適投資の問題として収束すると考えられる。

5. 今後の課題と展望

本章では、救急搬送活動改善に向けたこれまでの研究経緯や傾向を踏まえ、分野別に今後の課題と展望について考察する。

「救急活動実態分析」に関する研究は、他の研究分野の出発点として最も基礎となる分野であるが、プレホスピタル技術の発達とあわせて、搬送経路、手段、システムの整備が進むなど、近年の救急医療搬送を取り巻く環境の変化の中で、今何が問題なのか、何が原因なのか、何が功を奏しているのかを的確にとらえるためにも重要である。特に、医療部門と搬送部門の相互連携による様々な取り組みが実際として救急患者の救命にどの程度影響しているのかを明らかにすることが期待される。また、救急搬送活動は、市街化の進展度合いや地理的構造、年齢構成、施設や体制の充足度などによって少なからず違いがあると考えられる。福田ら¹⁰⁾は、全国の政令市、中核市、特例市を対象に救急搬送活動の実態を調査、分析しているが、大都市のみを対象としたものであり、今後は、地域特性による活動実態の違いを明らかにするためにも、地域のバリエーションを考慮して、調査対象地域を拡げることも有意義なものと考えられる。

「医療サービス水準評価」に関する研究については、今後、人口減少、超高齢社会が進展していく中で、救急

サービスの公平性と効率性を如何に確保していくかが大きな課題である。医療サービス提供水準を救急医療へのアクセシビリティの程度と捉えた居住地点別評価指標、地方生活圏における救急医療システムの整備計画手法を提案している喜多ら¹⁴⁾も、今後は、効率性と公平性の双方を考慮した提供すべきサービス水準に関する検討が必要であることを指摘している。一方、実際に存在する現在の医療サービス水準の地域格差を明らかにすることはもとより、平成の市町村合併による施設統廃合の動きにも注視しながら、将来的なサービス水準の変化予測も重要となってくるであろう。

「緊急車両走行」に関する研究については、救急車の走行挙動を再現するシミュレーションの開発や、実際の救急車の動きをプローブデータを用いた再現システムが構築され、円滑な走行を阻害する要因が明らかとなってきた。二神²²⁾らは、救急車にGPSデバイスとPC、Webカメラを搭載して得られたGPSデータ、動画像データを用いて走行動態再現システムを構築し、走行阻害要因の分析を行っているが、患者の症状が車両走行に与える影響の分析などを今後の課題としてあげている。症例による走行挙動の違いや搬送時特有の走行阻害要因が明らかとなれば、その要因排除に努めることで患者の負担軽減、救命率向上に繋がることが期待される。また、交差点における赤信号が大きな阻害要因と指摘されているが、今後は、車道を走行するよう指導が強化されつつある自転車の問題も注視していく必要がある。

「道路整備効果」に関する研究については、公共事業に対する風当たりが依然として強い中であっても、住民の命をつなぎとめ、搬送所要時間を飛躍的に短縮させる可能性をもつことから、その重要性は決して軽視すべきではない。しかしながら、現実的に厳しい財政状況と人口減少社会の到来を踏まえると、これまでのように新たな道路に邁進していくことは考えにくく、むしろ、既存の社会資本を如何に有効に活用していくかがポイントになるであろう。高山ら²⁰⁾は、こうした点に注目して、高速道路に救急車専用退出路を設置することの有効性を明らかにしているが、こうした工夫は、高速道路に限らず、一般道路にも応用展開が期待されるものである。

「最適投資計画」に関する研究については、医療施設や救急施設などの最適配置の問題を中心に、これまでも多くの研究対象となってきた。柏谷ら³²⁾も指摘するように、救急サービスの高度化や財政難のために要請されている施設統廃合問題においては、効率性とあわせて公平性の確保も考慮した救急施設の適正配置を考える必要がある。近年では、老朽化に伴う施設の建て替えや、市町村合併に伴う公共施設統廃合の動きが全国的に広がりつつある。しかしながら、実際的には、建設可能な場所ありきで施設の配置が取り扱われることが多く、理論

から実用へのステップアップが求められているのではないだろうか。

「救急搬送手段」に関する研究については、近年のドクターヘリやドクターカーの配備の進展に伴って注目が集まっている分野である。ドクターヘリについては、宗広ら⁴⁷⁾によって、その運用実態から導入効果、改善課題まで一定の研究が先行しており、緊急離着陸場としての道路空間利用の課題を提起するなど、その運用の改善に向けた研究の発展が期待される。一方、ドクターカーについては、土屋ら⁵⁰⁾が岐阜県東濃地域での実際の導入効果、走行特性を分析し、ドクターヘリとの適切な分担のあり方や改善方策を明らかにしようとしている。しかしながら、全国的には、その運用実態すら十分に把握されているとはいえず、地域による搬送手段の使い分けの問題も含めて今後の研究の進展が期待される。

「搬送シミュレーション」に関する研究については、事故や災害が発生した場合に円滑な救急搬送活動が行えるように、いくつかのシミュレーションモデルが開発されている。小池ら⁵¹⁾は大規模災害の発生を想定して、医療混乱リスクと搬送リスクを評価指標とした搬送計画を立案する手法を提案し、二神ら⁵²⁾は中山間地域を対象に、木俣ら²⁰⁾が開発したペトリネット・シミュレーターを用いて、救急・避難計画支援のためのシナリオシミュレーションの開発に取り組んでいるが、平成23年に発生した東日本大震災では、これまでに経験したことのない同時多発的で広範囲に被害が発生した中で救急医療搬送の現場が大きく混乱した。こうした大規模同時多発的災害発生時の救急搬送対応について、シミュレーションを通じて明らかにしていくことが期待される。

「ITS」に関する研究については、FASTやM-MOCS、医療情報デジタル伝送システムなどの導入効果や改善課題が明らかとなってきた。折田ら⁵³⁾は救急医療活動支援のためのITS整備の必要性や有効性などについて、現場での搬送活動に携わる救急隊員へのアンケートやヒアリングを通じて明らかにしているが、患者を受け入れる病院や医師の事情も把握した上で、搬送現場と医療現場の双方の連携改善、負担軽減が図られるシステムの構築が期待される。近年の情報発信技術の進展は著しく、個人レベルでもスマートフォン端末にて様々な情報の受発信が可能となってきたが、救急搬送活動改善に向けてのITS技術の活用は、今後一層開発が期待される分野となろう。特に、現在、小倉⁶⁴⁾が中心となって、その実用化に向けて実証実験が行われている救急医療支援情報流通システム（GEMITS）の動向には注目していきたい。ただし、東日本大震災時に情報通信が途絶した教訓を踏まえ、過度に情報システムに頼り過ぎない搬送体制づくりも重要と考えられる。

6. まとめ

本研究では、救急搬送活動の改善に向けた今後の研究発展の一助となるべく、わが国における救急搬送活動の実態を整理した上で、これまでの既存研究成果を「救急活動実態分析」「医療サービス水準評価」「緊急車両走行」「道路整備効果」「最適投資計画」「救急搬送手段」「搬送シミュレーション」「ITS」「その他」の9つの分野に分類を試み、現時点でレビューを行った。

特に土木計画学としての研究の場に注目した救急搬送活動に関連する研究の経緯、傾向として、分野別には特に大きな偏りはないものの、救急搬送活動に関連する研究は、近年、目覚ましく増加傾向にあり、特に近年では、ドクターヘリやドクターカーなどの救急搬送手段に関する研究や、高速道路の救急車専用退出路などの整備効果に関する研究が活発化していることがわかる。

また、分野間の関係としては、救急活動実態分析を出発点に、マクロ的な視点からの医療サービス水準あるいはミクロ的な視点からの緊急車両走行に問題点課題を見出し、道路整備や施設配置、搬送手段、シミュレーション、ITSなどの研究に細分化しつつ、最終的には最適投資の問題として収束されていく体系を示した。

今後の課題と展望としては、救急搬送活動改善の取り組みが実際の患者救命に及ぼしている影響の評価、市町村合併による施設統廃合の動きにも注視した将来的なサービス水準の変化予測、車道を走行するよう指導が強化されつつある自転車による走行阻害の可能性、既存社会資本の有効活用、理論から実用へのステップアップ、ドクターカーの運用問題、大規模同時多発的災害発生時を想定した救急搬送対応、救急医療支援情報流通システムの確立が求められると考える。しかしながら、こうした救急搬送活動改善に向けては、患者を受け入れる医療現場の事情も十分に考慮に入れるべきであり、搬送部門と医療部門が連携した取り組みが今後ますます重要で、さらには超高齢社会に対応した福祉部門などとの連携も必要となってくるであろう。

今後の研究展開としては、超高齢社会の進展、災害や事故の多発を背景に、全国的に高まりをみせる救急搬送活動に対する国民の関心、期待に応えるべく、特に、近年、各地で導入が進められているドクターカーの運用実態を調査し、その導入条件や導入適地を明らかにしていきたいと考える。

参考文献

- 1) 折田仁典，藤田浩成，佐藤力：救急医療活動からみた高速道路整備効果に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.26，2002.
- 2) 総務省消防庁：平成23年版消防白書，2011.

- 3) 日本消防協会：自治体消防 60 年のあゆみ，2008.
- 4) 総務省消防庁：平成 23 年の救急出動件数等（速報），2012.
- 5) 総務省消防庁：平成 23 年版救急・救助の現況，2011.
- 6) 高井広行：救急活動の実態と評価に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol.30，2004.
- 7) 網野豊：救急救命士の養成と活動について，国際交通安全学会誌，Vol.25，No2，2000.
- 8) 二神透，柏谷増男，前川聡一：高速道路上での交通事故に対する救急対応事例分析に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.36，2007.
- 9) 守谷俊，丹正勝久：救命救急活動の現状-どのようなプレホスピタルケアが必要なのか-，国際交通安全学会誌，Vol.34，No3，2009.
- 10) 中野晃太，高山純一，中山晶一朗，福田正輝：全国の政令市・中核市・特例市を対象とした救急搬送実態調査に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.42，2010.
- 11) 池田達朗，二神透：松山市における救急車の適正利用に関する現状分析，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 12) 中田諒，下村光弘，飯田啓也：救急搬送活動における緊急入退出路の利用実態-苫小牧市周辺地域を例として-，土木計画学研究・講演集，Vol.44，2011.
- 13) 秦奕，高山純一，中山晶一朗：東日本大震災発生時における救急搬送の実態と課題，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 14) 喜多秀行，瀧本貴仁：地方生活圏における救急医療システムの整備計画手法に関する一考察，土木計画学研究・論文集，No.13，1996.
- 15) 加賀屋誠一，三木正之：アクセスビリティを考慮した医療施設利用改善への地理情報システムの適用，土木計画学研究・講演集，Vol.18，1995.
- 16) 高山純一，田中悠祐，中山晶一朗：救急車の走行時間信頼性からみた救急力評価に関する研究-金沢市における三次救急-，土木計画学研究・論文集，Vol.19，No.2，2002.
- 17) 長谷部俊之，柿本竜治，森顕信，上野眞也：病院受療動向分析を通じた天草市の公的病院の統廃合問題の検討，土木計画学研究・講演集，Vol.41，2010.
- 18) 大橋幸子：医療関係施設への所要時間と許容時間に関する居住都市規模別調査，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 19) 尾曾真理恵，柳沢吉保，古本吉倫，高山純一，和泉佑紀：救命制約時間を考慮した救急車両の地震被災地への未到達危険度評価，土木計画学研究・講演集，Vol.42，2010.
- 20) 木俣昇，鷺見育男：消防防災システムの阻害要因のペトリネットシミュレーションに関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，No.14，1997.
- 21) 小池則満，秀島栄三，山本幸司：救急車の走行阻害要因と走行支援方法に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.22，1999.
- 22) 宮本拓史，二神透，河口尚紀：GPS・動画像データを用いた道路構造と救急車両の走行動態の関数に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.44，2011.
- 23) 南部繁樹，吉田傑，赤羽弘和：プローブデータの分析に基づく救急車への緊急走行支援方策の検討，国際交通安全学会誌，Vol.34，No3，2009.
- 24) 清水英範，中村英夫，林家彬，上田孝行：道路整備による医療機会改善効果の計測，土木計画学研究・講演集，No.9，1986.
- 25) 藤本昭，角知憲，大枝良直，田代哲章，松本和信，武藤美代：道路整備による救急医療改善効果推計方法についての提案，交通工学，Vol.46，No.3，2011.
- 26) 南正昭，高野伸栄，加賀屋誠一，佐藤馨一：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，No.14，1997.
- 27) 山田耕介，柏谷増男，朝倉康夫，二神透：救急サービスに着目した中山間地域道路網の評価手法，土木計画学研究・講演集，Vol.22，1999.
- 28) 高山純一，中山晶一朗，中野晃太，辰野肇：3 次救急医療を対象とした高速道路救急車専用退出路の設置位置の選定，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 29) 加賀友基：川崎医科大学附属病院への救急車専用退出路設置効果，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 30) 阪田和哉，坂本直樹，中嶋一憲，阿部雅浩，草野秀平：高速道路整備による死亡リスク削減便益の計測：栃木県真岡市におけるケーススタディ，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 31) 宇野彰，田島誠，工藤恭正，山田悟史，大内宏友：救急医療システムにおける G I S ・ G P S を用いたドクターカーステーションの適正配置と圏域的計画手法に関する研究 その 1，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），2009.
- 32) 柏谷増男，佐伯有三，二神透：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，No.17，2000.
- 33) 宮本拓史，二神透，前川聡一：救急活動記録を用いた救急病院運用体制の評価と改善案の提示，土木計画学研究・講演集，Vol.43，2011.
- 34) 鈴木勉：ドクターカー・システム導入による救急搬送時間の短縮可能性評価，日本オペレーションズ・リサーチ学会 2004 年秋季研究発表会，2004.
- 35) 久保田勝明：中規模都市における高度救急医療施設設置による救急搬送時間の変化，日本建築学会大会学術梗概集（北海道），2004.
- 36) 佐々木和寛，奥村誠，堀内智司：地震重傷者搬送における道路ネットワーク維持の効果分析，土木計画学研究・講演集，Vol.39，2009.
- 37) 古田壮宏，田中健一：ヘリコプターを利用した救急搬送のための最適配置モデル，日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009 年秋季研究発表会，2009.
- 38) 近藤竜平，塩見康博，宇野伸宏：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，土木計画学研究・講演集，Vol.40，2009.
- 39) 稲川敏介：救急車の適正配備における台数と場所の効果について，オペレーションズ・リサーチ，2009 年 7 月号，pp.408-413
- 40) 葛山順一：第 3 次救急医療システムにおける搬送活動の効率化，国際交通安全学会誌，Vol.34，No3，2009.
- 41) 瀬戸裕美子，宇野伸宏，塩見康博：非重複経路を考慮したアクセシビリティ評価指標に基づく医師配置計画，土木計画学研究・講演集，Vol.42，2010.

- 42) 小池則満：ヘリコプター救急を支える離着陸場整備のあり方，土木計画学研究・講演集，Vol.43，2011.
- 43) 滝口雅博：ヘリコプターや航空機による救急患者搬送の現状と課題，国際交通安全学会誌，Vol.25，No2，2000.
- 44) 金丸勝弘，益子邦洋：病院前救護医療における搬送システムの現状と将来（ドクターカーならびにドクターヘリについて），医器学，Vol.77，No.3，2007.
- 45) 荒田慎寿，田原良雄，小菅宇之，森脇義弘，鈴木淳一，鈴木範行，杉山貢：ドクターカーによる病院前医療の有用性に関する検討，日救急医学会誌，2007；18：69-77
- 46) 益子邦洋：第3次救急医療における各種搬送手段の機能と役割，国際交通安全学会誌，Vol.34，No3，2009.
- 47) 宗広一徳，武本東，高橋尚人，渡邊政義：積雪寒冷地におけるドクターヘリの緊急離着陸場の利用実態，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 48) 高山純一，中山晶一郎，吉村仁：ドクターカー導入のためのドッキングポイントとその効果分析，土木計画学研究・講演集，Vol.43，2011.
- 49) 二神透，池田達朗：四国における救急搬送時間の短縮効果に関する考察，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 50) 土屋三智久，間瀬則文，服部一宏，小池良宏，江守昌弘：乗用車型ドクターカーの導入による効果と走行特性（岐阜県東濃地域の事例から），土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 51) 小池則満，秀島栄三，山本幸司：航空機事故等緊急災害時における傷病者搬送計画に関する基礎的考察，土木計画学研究・論文集，No.16，1999.
- 52) 二神透，木俣昇：地震時における中山間地の救急・避難シナリオ設定に関するシステム論的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.38，2008.
- 53) 馬場美智子，能島暢呂，奥寺敬，吉田禎雄：地震災害時の医療システム評価のためのシミュレーションモデルに関する考察，土木計画学研究・講演集，Vol.36，2007.
- 54) 門脇玄治，二神透：救急車の実走行データを用いた救急搬送シミュレータの開発のための基礎分析，土木計画学研究・講演集，Vol.44，2011.
- 55) 折田仁典，今井信宏，中嶋雄介：救急医療活動支援のための ITS 整備に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，Vol.18，No.5，2001.
- 56) 石坂哲宏，福田敦，萬井健太：混雑交差点及び混雑路線における救急車両優先信号制御に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.37，2008.
- 57) 松並雄三，中辻隆：現場急行支援システム(FAST)の作動状況と一般交通に及ぼす影響に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.34，2006.
- 58) 高田邦道，稲葉英夫，南部繁樹：金沢市における現場急行支援システム（FAST）の導入効果，国際交通安全学会誌，Vol.34，No3，2009.
- 59) 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.39，2009.
- 60) 益子邦洋，石川博敏，西川渉，山野豊，篠田伸夫，松田徹之，斎藤有紀子，松本尚：先進事故自動通報システム(eACN)が起動するドクターヘリ，交通工学，Vol.47，No.1，2012.
- 61) 藤本昭，井上健一郎，橋本孝来，草野栄郷，城素美夫，根井邦彦：道路計画に資する救急患者数の発生と高齢化率との関係，交通工学，Vol.47，No.1，2012.
- 62) 大枝良直，藤本昭，角知憲：致死的内因性疾患と多発外傷における救急車搬送時間と入院 30 日目生存率のモデルの作成，土木計画学研究・講演集，Vol.42，2010.
- 63) 中野晃太，高山純一，中山晶一郎：救急車専用退出路の設置効果分析のための疾患別発症率を用いた救急搬送患者数の将来推計に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.44，2011.
- 64) 小倉真治，救急医療支援情報流通システム(GEMITS)，CLINICIAN '09，No. 584，2009.

(2012.8.3 受付)