

高速道路事故におけるドクターヘリコプターを活用した 救急活動に関する研究

Effect of emergency medical service with medical helicopters in a highway accident

齋藤成彦*,小池則満**,井上保介***,野口宏****

Shigehiko Saito, Norimitsu Koike, Yasusuke Inoue, Hiroshi Noguchi

* 工 (修), 株式会社トーエネック, (〒460-0008 名古屋市中区栄一丁目 20 番 31 号)

**博 (工), 愛知工業大学准教授, 工学部都市環境学科 (〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247)

***医博, 愛知医科大学准教授, 高度救命救急センター (〒480-1195 愛知県愛知郡長久手町大字岩作字雁又 21)

****医博, 愛知医科大学教授, 高度救命救急センター (〒480-1195 愛知県愛知郡長久手町大字岩作字雁又 21)

It is necessary for medical helicopters to take part in emergency services for highway accidents. Concerned ministries are creating guidelines to include medical helicopter in emergency services. Ambulance services with medical helicopters have been used gradually in Japan. However, for landing on highways, it's necessary for both police and road management vehicle to be at the accident spot. This causes problems in starting primary treatment early. Our simulation model can show the solution on shorten the starting time of primary treatment which is main purpose of medical helicopters. In addition, cost-benefit analysis by the result of simulation has been done to clarify the effect of death rate reduction. As a result, it becomes clear the great effect of death rate reduction can be done by medical helicopter. If it is possible to conduct traffic regulation by one organization, a bigger effect can be provided. From the viewpoint of cost-benefit balance, the medical helicopter system is a good method.

Key Words: highway, traffic accident, medical helicopter

キーワード: 高速道路, 交通事故, ドクターヘリコプター

1. 背景

高速道路では、多重衝突による多数傷病者発生や、重傷者発生のリスクが高いと考えられる。そこで、救急医療専用のヘリコプター、いわゆるドクターヘリコプター（以下、ドクターヘリ）を高速道路の本線上に着陸させ、早期の治療開始と傷病者の搬送を行うことにより、高速道路事故での死亡者の低減をはかることが求められてきた¹⁾。写真-1 は平成 16 年に開通間近の伊勢湾岸自動車道で行われた訓練の様子である。このように離着陸ポイントが確保されれば高速道路本線上への着陸は可能である。しかし、高速道路上には多くの障害物があるほか、幅員もさまざまであるため、離着陸ポイントをその場で選定することが難しく、客観的な基準づくりが必要とされた。

そこで、平成 17 年 8 月に離着陸難易度を示すランク付けを行うことが 4 省庁（警察庁、消防庁、厚生労働省、国土交通省）より通達され、各地の高速道路本線でランク付

け作業が行われている²⁾。あわせて離着陸訓練も各地で行われているなど、その環境が整えられつつある³⁾。

さらに、平成 19 年 6 月 19 日に成立した、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⁴⁾においても、ドクターヘリの離着陸場所に関して、国、都道府県、市町村、道路管理者は離着陸場所の確保



写真-1 離着陸訓練の様子(撮影:筆者)

に努めるものと定められた。ドクターヘリの機数も次第に増えていく中、今後さらに高速道路本線上への離着陸の要請が高まると考えられる。一方で、一般ドライバーの認知度、交通規制を行うための態勢づくりなど、安全で円滑な本線着陸を伴う活動を行うための課題も多く指摘されている。

2. 研究の目的

交通事故の軽減を目指す施策に対する経済効果については、武藤らが走行支援道路システム（AHS）導入による経済効果を示すなど、事故を防ぐことによる便益について論じられたものはあるが、事故発生時の傷病者の搬送時間等については、具体的に論じられたものは見あたらない⁵⁾。また、ドクターヘリを用いた救急の効果については、予後（病気や怪我の経過や、その予測）に関する知見⁶⁾や、ドクターヘリが無く救命されなかった場合を想定した逸失所得を積算して費用対効果について論じた研究はある⁷⁾が、高速道路事故へのドクターヘリ対応について、費用対効果を論じた研究は見あたらない。高速道路設備の改善方法や、連携体制の強化についての施策の有効性や実施優先順位等を論じるにあたり、救命効果を示すための手法の開発が望まれる。

そこで本研究では、各緊急機関の活動をシミュレートし、各関係機関の到着時間から、傷病者に対して医師による治療が開始される初期治療開始時間を予測する。その結果から、救命率と予後との関連を示したカーラー救命曲線とよばれる概念を用いて、期待される救命効果を示すとともに、費用対効果の評価方法について論じる。以上より、高速道路事故に対するドクターヘリ活用についての提言を行うことを目的とする。

3. 研究対象区間の概要

本研究では、図-1に示す通り、東名高速道路の名古屋 I.C(325.4K.P)～宇利トンネル間(262K.P)の上り線を研究対象区間とする。当該区間では、名古屋 IC に道路管理者と県警の基地があるほか、岡崎 IC 付近に県警、豊川 IC 付近に道路管理者の基地があり、これらから事故現場へ緊急車両が出動し交通規制等にあたる。愛知県のドクターヘリは愛知医科大学に、静岡県西部ドクターヘリは聖隷三方原病院に常駐しており、ここから出動する。救急隊は地元消防より最寄の IC から高速道路内へ進入して現場へ向かう。シミュレーションは、対象区間を 5KP ごとで区切り、各ポイントへの関係機関の到着時間および初期治療開始を予測する。

この区間を取り上げる理由としては、2 機（愛知、静岡西部）のドクターヘリの出動範囲が重なる区間である

こと、実際に高速道路事故に対して出動事例があること、離着陸難易度ランク付け作業が既に行われていること²⁾などである。



図-1 研究対象区間と関係機関の主要拠点

4. シミュレーションプログラムによる分析

4.1 シミュレーションプログラムの概要

本研究で想定するドクターヘリの参加した救援システムの概要を図-2に示す。まず事故発生を道路管制が覚知し、道路管理者、警察、救急隊が出動する。ドクターヘリは、通常、救急隊からの出動要請をうけて出動するが、本研究では重大事故を想定し、事故発生・覚知と同時に出動するものとする。ドクターヘリの本線着陸は道路管理者、県警高速隊の到着後、離着陸スペースの確保と交通規制が整ってからとなる。

これらの流れにしたがい、初期治療開始までの時間を求める。初期治療開始時間とは、受傷から医師による治療が開始されるまでの時間であり、救急車搬送の場合は病院に到着するまでの時間を、ドクターヘリの場合はヘリが着陸して搭乗する医師の治療が開始されるまでの時間を指す。

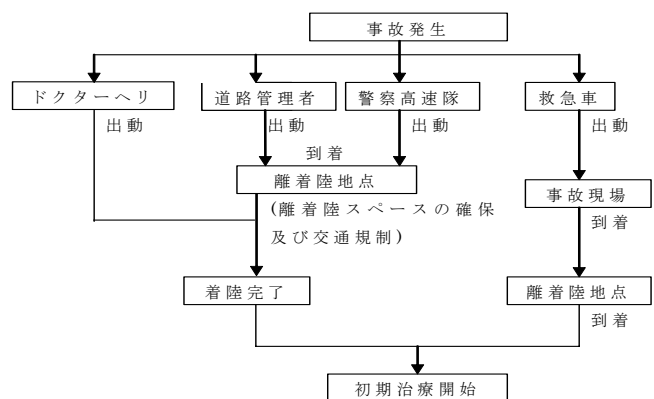


図-2 ドクターヘリの参加した救援システム

本研究で用いるシミュレーションプログラムは GIS に組み込んだものである。調査区間での事故発生に対して、救急隊、警察、道路管理者、ドクターヘリが現場へ向かう動きがシミュレートされる。タイムステップは1分であり、時間ごとの動きを地図上に再現することも可能である。

シミュレーションは以下の4つの case について行い、初期治療開始時間について考察する。

case1: 救急車が現場で傷病者を収容し、最寄り I C から直近の救急病院へ搬送する場合

case2: ドクターヘリが現状の仕組みで本線へ着陸しドクターによる初期治療が開始される場合

case3: 道路管理者もしくは警察単独の交通規制によってドクターヘリが本線へ着陸する場合

case4: ドクターヘリは参加せず、代わりに救急車がすべての SA、PA から高速道路に進入・進出できるように改善した場合

4.2 パラメータの設定

道路管理者の対象区間における出動記録を基に図-3に示すような走行モデル⁸⁾を用いて各車両の現場到着時間を計算した。これは、事故地点から事故渋滞がCの速度で伝播し、後方からの車両を渋滞に巻き込みながらのびていくものであり、式(1)によって渋滞長を、式(2)によって、事故渋滞に巻き込まれた場合における走行速度を算出する。

なお、救急隊が一般道を走行する区間については、渋滞は考慮せず、一律に 40km/h で走行するものと仮定した。救急隊の最寄り I C までの走行経路はあらかじめ最短と考えられるルートを設定しておく。また、ドクターヘリの飛行経路は直線とし、200km/h と設定した。

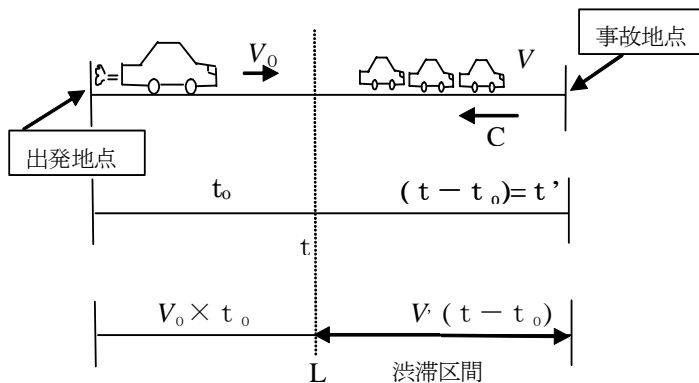


図-3 走行モデル

$$L = V_0 \times t_0 + V(t - t_0) \quad (1)$$

$$C = \frac{-V(t - t_0)}{t} \quad (2)$$

ここで、 V_0 : 高速道走行速度 (km/h)

t_0 : 渋滞に入るまでの時間 (min)

V : 高速道渋滞区間走行速度 (km/h)

t : 事故発生から現場到着までの時間 (min)

L : 走行距離 (km)

C : 事故車線渋滞速度 (km/h)

4.3 シミュレーション結果

各機関の目標地点への到着時間を図-4に示す。縦軸に事故発生からの時間、横軸に事故想定 KP を示す。図中の表記は、Amb: 救急車、Pat: 警察車両、Con: 道路管理車両、Heli: ドクターヘリ、をそれぞれ示す。

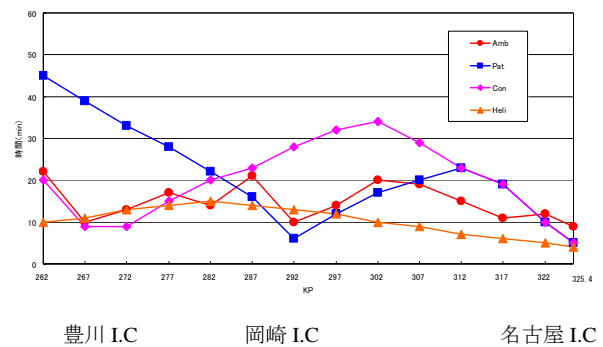


図-4 各機関の到着時間

図-4より、救急車は現場到着時間が早く、全区間で30分以内の到着が可能であることが分かる。これは、出発地となる消防署が高速道路の I C 付近に多く存在するため、他の車両に比べて事故地点ごとの到着時間に差が少ないことが分かる。道路管理車両、警察は、図-1に示すように県内数カ所に出動拠点があるため、拠点から遠ざかるにつれて到着時間が遅れることが分かる。ドクターヘリは、ほとんどの区間で他の部隊より早く現場上空に到着しているが、警察及び道路管理者からの地上支援が必要とされているため、数分から数十分の上空待機が生じるものと考えられる。

図-4の結果をもとに、caseごとの初期治療開始時間の比較を行ったものが図-5である。ドクターヘリを活用した搬送の case2 は、通常の救急車搬送 case1 に比べ、全14箇所中10箇所初期治療開始時間の短縮効果があることが分かる。また、道路管理車両単独の交通規制によるドクターヘリ搬送 case3 は、現在の交通規制システムによるドクターヘリ搬送 case2 に比べて4地点で初期治療開始時間短縮に効果があることが分かる。これは、282K.Pより東区間では、道路管理車両の出動拠点が警察車両に比べて近いためであり、最大で25分の初期治療開始時間の短縮となる。case1 および case4 の比較では、

救急車が SA, PA から進入すると、9 箇所において初期治療開始時間の短縮効果が見られることが分かる。これは、事故渋滞による影響が case1 に比べ少ないためと考えられる。

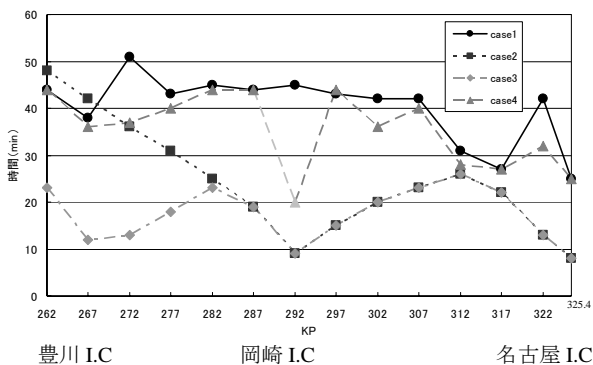


図-5 初期治療開始時間

5. 救命機会の可能性に関する結果と考察

ここでは、シミュレーションの結果から、各施策の実行により傷病者の救命機会がどの程度向上すると予測されるか、考察する。

受傷からの経過時間と死亡率の関係を概念的に示したものとして、1981年にM.Caraが報告した『カーラーの救命曲線』⁹⁾が一般に広く紹介されている。この図-6中に示されている死亡率の中で③多量出血後の死亡率をみると、約10分後から死亡する可能性が高まり、一時間以上経過するとほとんど救命の機会を失うことがわかる。時間と死亡率の関係は線形ではないことから、初期治療が行われるタイミングがある一定時間よりも遅くなると、救命機会が著しく小さくなるおそれがあると推測される。

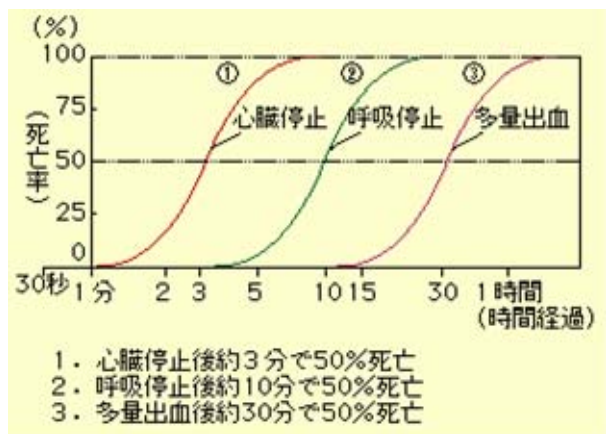


図-6 カーラー救命曲線⁹⁾

図-5に示した case 別の初期治療開始時間において、③多量出血の救命率曲線より前に初期治療の機会を得る傷病者を重傷、以後となる傷病者は死亡となるものとし

て、事故地点として想定した計 14 カ所において予想される死亡率および重傷率を合計し、14 で割って算出した平均値を図-7に示す。これを見ると、救急車のみの case1 では死亡率が 80%を超えることがわかる。一方で、ドクターヘリが参加する case2、さらに道路管理者もしくは警察のみの到着でドクターヘリが着陸する case3 では、死亡率は小さく抑えられ、多くの傷病者に対して救命機会を与えられる可能性が高いことがわかる。

また、ドクターヘリが参加しないが SA, PA から救急隊が進入できると仮定した case4 では、case1 と比べ、それほど大きく死亡率が下がっていないことがわかる。これは、効果のある地点が限られているためと考えられる。

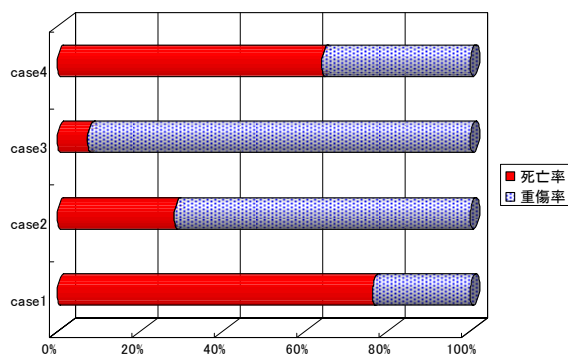


図-7 case 別の死亡率

6. 費用対効果に関する結果と考察

6.1 費用対効果算出のための条件設定

1) 本研究における費用対効果の考え方

本研究では、事故によって発生する経済的損失額を施策によってどの程度低減できるかを「効果」として捉え、施策の実行に必要な「費用」との関係から評価を行うこととする。具体的には、傷病者が死亡、もしくは重傷の場合の人的損失、一回あたりのドクターヘリ出動の平均費用や、着陸支援のための交通規制によって延伸する事故渋滞による経済的損失などが、費用として上げられる。これらを、現状ケースである case1 と改善案である case2~4 の費用を比較することによって、費用対効果について考察する。

2) 死傷者 1 人当りの損失額

事故 1 件当たりの死傷者の人身損失¹⁰⁾より、死亡損失額 DI 、重症損失額 SI を定める。

死亡損失 DI 33,515,000 円/人

重傷損失 SI 11,517,000 円/人

3) ドクターヘリ運航費用

研究対象地域内のドクターヘリの一機あたりの年間出動件数により、出動 1 件当たりの運航費 Sc を算出した。

$$Sc = \frac{\text{年間運航費 } 2 \text{ 億円}}{\text{年間平均出動回数 } 467 \text{ 件}}$$

ドクターヘリ運航費用 $Sc = 428,426$ 円/件

4) 事故渋滞増加による損失額

交通事故減少便益の原単位の算出方法¹⁰⁾に示されている事故渋滞による損失額を用いて評価する。ただし、ドクターヘリの離着陸によって、通常時より長い時間の交通遮断が必要となる場合が考えられる。そこで、通常の損失 TI に対して、係数 n を掛けた TI' を定める。ドクターヘリ着陸による交通遮断に伴う渋滞についての具体的データはないので、ここでは事故渋滞による損失額が2割り増しになると考えて、 n を 1.2 として計算すると以下の通りになる。

事故渋滞損失額 TI 1,318,000 円
 事故渋滞増加時損失額 TI' 1,581,600 円

6.2 損失額、便益額の算出方法

以下の式により費用 c 及び便益額 E を算出する。ここに、カーラー救命曲線から読み取られる死亡率を Dr 、重傷率を Sr とする。対象となる傷病者は1名とする。

$$c = Dr \times Dl + Sr \times Sl + Sc + TI \quad (3)$$

$$C_i = \sum c_{in} \quad (n = 262 \sim 325.4) \quad (4)$$

$$E_i = C_i - C_1 \quad (5)$$

6.3 損失額、便益額の算出結果及び考察

式(3),(4)により求めた、調査対象 14 箇所の場合別損失額の合計費用 C を図 - 8 に示す。これをみると、case1, 4 の救急車搬送では、case2, 3 のドクターヘリを用いた搬送に比べ、損失が大きい結果となった。これは、本線着陸による事故渋滞の悪化よりも、救命機会が失われることによる損失が大きいと考えられる。

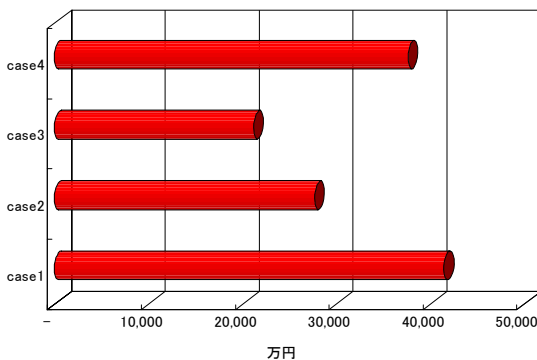


図-8 搬送手段別損失額

図 - 8 から、式(5)を用いて各caseの費用からcase1 の費用を引いた便益額 $E_2 \sim E_4$ を図 - 9 に示す。値が大きいほど

case1 と比較して改善効果が大きいことを示す。これを見ると、特に、 E_2 E_3 の便益額が大きく、ドクターヘリの運航による効果が大きいことが分かる。

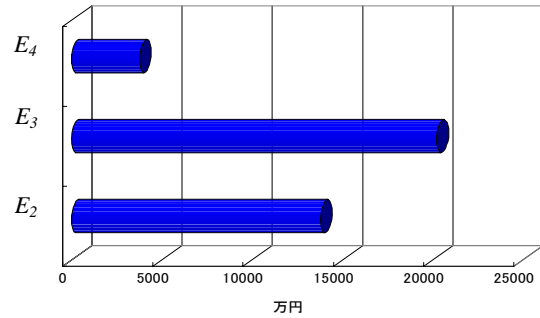


図-9 搬送手段別効果額

次に、初期治療開始時間と効果の関連性を明らかにするために、図 - 10~12 に調査地点毎の初期治療開始時間 (T) と便益額 (E) を示す。これを見ると、ほぼ全区間において約 30 分以内に初期治療が開始される case2, 3 は大きな便益額を示し、初期治療開始時間がごく一部の地点を除いて概ね 30 分を超える区間がほとんどである case4 では、便益額も小さな値を示している。また、case2 と case3 を比較すると、262~267kp 付近にて、30 分以上かかっていた初期治療開始時間が大幅に短縮され、それに伴って便益額も大きく改善されていることがわかる。

なお、図 - 10, 11 の 312, 317 K.P では、初期治療開始時間が早いにも関わらず、便益額が小さな値を示している。これは、救急車の出動拠点と事故地点、搬送先病院の距離が近いこと、救急車搬送とドクターヘリ搬送の初期治療開始時間に差がほとんどないためと考えられる。

このように、ドクターヘリの本線着陸による効果は、一律に得られるのではなく、その効果が高い区間やそれほどでもない区間をみることができる。これはカーラー救命曲線が、出血多量の場合には 10~60 分後を重傷か死亡かのターニングポイントであると考えており、その時間内の治療開始を達成できるか否かでドクターヘリの効果が分かれるため、と考えられる。今後の高速道路における救命率向上のためには、必要性が高い区間において遮音壁等により本線への離着陸スペースの確保が難しい場合には、緊急離着陸スペースを SA や PA に併設するなどの対応が求められる。

なお、事故渋滞増加の係数 n を 1.2 としてシミュレーションを行ったが、場所や時間帯によって交通規制による渋滞損失は様々に変化すると考えられる。6.1 で示したように渋滞損失と比較して死亡損失の値が大きいこと、係数 n を変化させることによっても、図 - 8 の損失額に大きな変化はみられなかった。しかし、表 - 1 に示すとおり、事故渋滞の著しい増加を想定することにより本線着陸の効果のみられなくなるケースもあった。

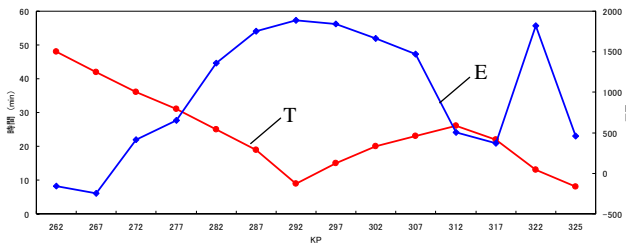


図-10 初期治療開始時間と便益額.case2

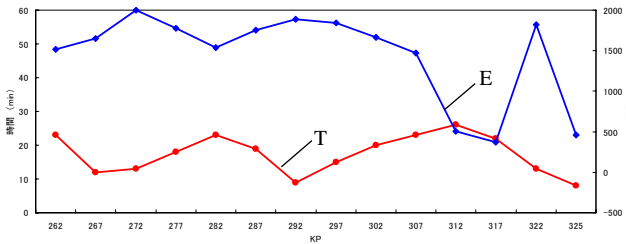


図-11 初期治療開始時間と便益額.case3

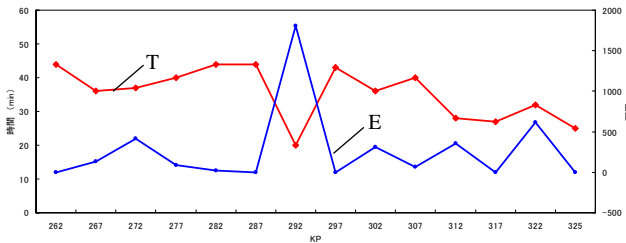


図-12 初期治療開始時間と便益額.case4

表-1 272kpにおける本線着陸のCase2の効果額(万円)

係数 n	1.2	1.5	2.0	5.0
case1を0とした場合の効果額	415	375	309	-86

7. まとめ

本研究では、高速道路事故発生時の傷病者搬送をシミュレーションし、初期治療開始時間の短縮効果等から搬送方法の評価を行った。以下に本研究により得られたことをまとめる。

- (1) ドクターヘリの現場到着時間は極めて早く、本線着陸のためには地上の機関の迅速な対応が必要である。
- (2) 本線着陸を実現すれば、多くの地点において高い初期治療開始時間短縮効果が得られる。
- (3) 交通規制による事故渋滞の悪化等を考慮しても、初期治療開始時間短縮による救命機会拡大から、全体として現状よりも高い経済的効果を得ることが期待できる。

ところで、ドイツでは15分以内に救急医を現場へ送り込むべきことが法律で定められており、それに基づいて救急医療専用のヘリコプターや航空機が活動している

11)。図-5 を見ても、たとえばドクターヘリが迅速に本線上に離着陸できるようになったとしても、15分以内に初期治療が可能となる地点は極めて限られると考えられる。我が国の高速道路において、より迅速な救急活動のための態勢づくりや施設改良等が必要であり、そのための様々な施策について検討しなくてはならない。

ドクターヘリの本線着陸の実績が極めて少ないことから、本研究では仮定的なデータや条件を設定せざるを得ない部分もあった。特に事故渋滞の増加による損失や指揮命令系統等について、さらなる検討が必要である。また、本研究内で用いたカーラー救命曲線は、ひとつの目安であり、具体的な症例を通じた医学的検討も重ねていく必要があると考えられる。

[謝辞] 本研究は、財団法人日東学術振興財団 (The Nitto Foundation) の助成による成果の一部である。また、本研究遂行にあたり、多くの方から助言、資料提供等をいただいた。記して感謝の意を表す次第である。

【参考文献】

- 1) 西川渉：高速道路着陸問題の経緯と展望，日本航空医療学会誌，Vol. 6，No. 1，PP3-7，2007.
- 2) 井上保介：高速道路離着陸に関する関係各所の取り決めと離着陸ランク分け地図の作成方法，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック，pp11-13，メディカルサイエンス社，2007.
- 3) 益子邦洋：高速道路にドクターヘリが降りられるようになるまで，救急医療ジャーナル，Vol. 15，No. 88，PP36-41，2007.
- 4) 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，平成19年6月27日法律第103号，2007.
- 5) 武藤慎一，橋田将季，高木朗義，秋山孝正：コンジョイント分析を用いた交通安全対策としての走行支援道路システム導入の経済効果，土木計画学・研究論文集，Vol. 20 No. 1，PP119-126，2003.
- 6) 益子邦洋，金丸勝洋：ドクターヘリの現状，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック，pp24-31，メディカルサイエンス社，2007.
- 7) 益子邦洋：ドクターヘリによる逸失所得の回避効果に関する研究，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック，pp172-177，メディカルサイエンス社，2007.
- 8) 河上省吾，松井寛，交通工学，pp111，森北出版，1987.
- 9) 消防庁HP，<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h15/html/15k12000.html>
- 10) 交通事故減少便益の原単位の算出方法，国土交通省道路局，2003.
- 11) Gerhard Kugler，山野豊(訳)：ドイツ・ヘリコプター救急の発展，ドクターヘリ導入と運用のガイドブック，pp218-221，メディカルサイエンス社，2007.

(2008年8月22日受付)