

川崎医科大学附属病院への 救急車専用退出路設置効果

加賀 友基¹

¹学生員 大阪市立大学経済学部経済学科

現・全日本空輸株式会社 東京空港支店

ステーションコントロール部 (〒144-8525 東京都大田区羽田空港3-4-2)

E-mail:y.kaga@ana.co.jp

この研究では、川崎医科大学附属病院への搬送時間を短縮するため高速道路に救急車専用退出路を設置した場合、少なくとも年間3名生存者を増やすことができ、その社会的効果は設置費用を大きく上回ることを明らかにする。同院は岡山南部を管轄する第3次救急医療施設であり、急病人の搬送時間の短縮は急務である。

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設置した場合に短縮できる搬送時案を推定した。その結果考えられる4つのルートのいずれでも短縮でき、その平均が8.75分であること、また、同院の搬入患者の実績から年間2.81名生存患者を増やすことができると推定した。費用便益分析の結果、社会的費用便益比 (CBR) は4.87と1を超えており、経済的純現在価値 (ENPV) が4億2342万円と正であることから、この退出路は設置するに値すると思われる。

Key Words : 高速道路, 救急車専用退出路, 費用便益分析, 岡山県, 川崎医科大学附属病院

1. 本研究の目的と背景

本論文では、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設置した場合における、岡山県内および広島県東部で発生した第3次救急医療を必要とする患者を、川崎医科大学附属病院に搬送するときの搬送時間の短縮とその経済効果を明らかにする。

各都道府県はそれぞれの医療計画の中で、救急医療機関について、主に自ら来院する軽度の救急患者への夜間及び休日における外来診療を行う初期救急医療機関、救急車により直接搬送されてくる、または初期救急医療機関から転送されてくる救急患者への初期医療と応急処置を行う第2次救急医療機関、重篤な救急患者に24時間体制で受け入れる第3次救急医療機関の3種類を定めている (岡山県 (2011年4月) . 菊池 (2010) は、神経学的後遺症を軽減させる点で心停止患者の第3次医療機関への搬送の優位性を説明している。

昨今は、救急患者を迅速に搬送するための手段としてドクターヘリを配備する都道府県も現れたが、中長距離の救急患者の搬送は救急車によるところが大きい。都道府県によっては、第3次救急医療機関を1カ所しか有していないところもあり、高速道路を経由して重度の救急患者を医療機関まで搬送する必要がある場合もある。中野ら (2010) は「高速道路のインターチェンジと第3次救急医療機関が離れている全国12箇所において、高速道路と医療機関を直接結ぶ救急車専用退出路が設置されている」と紹介している。これにより患者発生地から第3次医療機関までの搬送時間の短縮と、距離短縮による交通障害の回避が期待できる。

中野ら (2010) は、救急車専用退出路を経由した場合と最寄りのインターチェンジから一般道を経由した場合について搬送時間と救命率を比較し、費用便益分析を用いて東北地方の5つの医療機関に併設された救急車専用退出路の設置効果を明らかにしている。しかし西日本では、広島県の福

山市民病院と長崎県の長崎医療センターにしか救急車専用退出路が設置されていない。そこで、都市部からやや離れて高速道路沿いに立地する岡山県の川崎医科大学附属病院に新たに救急車専用退出路を設置した場合の、搬送時間の短縮とその経済効果を明らかにすることにした。

2. 現状の搬送動線パターンの分析

本章では、現在高速道路を經由して岡山県南部から川崎医科大学附属病院まで救急患者を搬送するにあたって考えられる救急車の搬送動線を、山陽自動車道を經由する東西方向、瀬戸中央自動車道を經由する南方向、岡山自動車道と山陽自動車道を經由する北方向の4方向に設定し、「Googleマップ」を用いて走行距離と所要時間を求める。

(1) 川崎医科大学附属病院周辺の高速道路

岡山県南部の高速道路網は、岡山市から北に向かって岡山自動車道（岡山ジャンクション以北）、東西に向かって山陽自動車道、倉敷市から南に向かって瀬戸中央自動車道（倉敷ジャンクション以南）が伸びている。川崎医科大学附属病院は以上の3自動車道が十字を描く中心に位置している。

そこで、岡山自動車道を使用して北から川崎医科大学附属病院に向かってくる場合をNルート、山陽自動車道を使用して東から向かってくる場合をEルート、山陽自動車道を使用して西から向かってくる場合をWルート、瀬戸中央自動車道を使用して南から向かってくる場合をSルートと、4通りのルートに分けた。各ルートで川崎医科大学附属病院または岡山赤十字病院の最寄りのインターチェンジまで高速道路を使用した場合を考え、各最寄りのインターチェンジから2病院まで一般道を使用した場合の搬送動線パターンを挙げる。搬送動線上で経由すると考えられる道路に道路番号を付し、その距離と区間を走行する所要時間を図表1-1にまとめた。

(2) Nルートでの搬送動線

a) 概要

Nルートは総社パーキングエリアからの搬送を想定する。岡山自動車道内最終インターチェンジは岡山総社インターチェンジであり、Nルートからの川崎医科大学附属病院の最寄りインターチェンジは山陽自動車道の倉敷インターチェンジであ

道路番号	道路区分	区間	距離	所要時間
1	高速道	倉敷IC - 二子西EE	2.8	2
2	高速道	岡山JCT - 二子西EE	5.0	4
3	高速道	岡山IC - 岡山JCT	11.0	10
4	高速道	岡山総社IC - 岡山JCT	3.4	3
5	高速道	総社PA - 岡山総社IC	3.9	3
6	高速道	早島IC - 二子西EE	4.9	4
11	一般道	総社PA - 倉敷IC	9.3	23
12	一般道	倉敷IC - 二子西EE	3.8	11
13	一般道	早島IC - 川大	5.7	13
14	一般道	岡山総社IC - 川大	11.6	26
15	一般道	岡山IC - 赤十字	11.8	24
16	一般道	早島IC - 赤十字	12.0	14
17	一般道	二子西EE - 川大前	0.7	2
18	一般道	川大前 - 川大	0.2	1

図表1-1 搬送パターン上の道路。距離は区間最短距離(km)。所要時間は法定速度で走行した場合の時間(分)。川大=川崎医科大学附属病院、赤十字=岡山赤十字病院、IC=インターチェンジ、JCT=ジャンクション、PA=パーキングエリア、川大前=川崎医大前交差点。(出典：Googleマップを基に筆者作成)



図表1-2 Nルートの経由道路。地図上の番号は図表1-1の道路番号を指す。(出典：Googleマップを基に筆者作成)

る。以上の情報をもとに、現状での2つの搬送動線を図表1-2に示す。赤地は高速道路経由、青字は一般道経由を示す。

b) N1パターン

総社パーキングエリアから岡山総社インターチェンジまで岡山自動車道（道路番号：5）を使用し、岡山総社インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：14）を使用する。到達には15.5kmを走行し、29分かかる。

c) N2パターン

総社パーキングエリアから岡山ジャンクションまで岡山自動車道（道路番号：5・4），岡山ジャンクションから倉敷インターチェンジまで山陽自動車道（道路番号2・1）を使用し，倉敷インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：12・17・18）を使用する。到達には19.7kmを走行し，26分かかる。

d) N3パターン

総社パーキングエリアから倉敷インターチェンジまで直線状の一般道（道路番号：11）を使用し，倉敷インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：12・17・18）を使用する。到達には13.9kmを走行し，37分かかる。

e) 最適な搬送動線

所要時間では一般道経由のN2パターンが優位だが，3分の差で高速道路経由のN1パターンが優位である。一般道では時間帯によって渋滞が発生する可能性があるので，わずかな時間差であれば高速道路を経由するN1パターンの方が搬送時間の不確実性が少なく，現状では優位であると言える。

(3) Eルートでの搬送動線

a) 概要

Eルートは岡山インターチェンジから，川崎医科大学附属病院までと直線距離でほぼ同じだけ離れている岡山赤十字病院までの搬送動線も想定し，検証する。

Eルートを使用した場合，倉敷ジャンクションまでの山陽自動車道内最終インターチェンジは岡山インターチェンジであり，川崎医科大学附属病院の最寄り山陽自動車道の倉敷インターチェンジである。以上の情報をもとに，現状での2つの搬送動線を図表1-3に示す。

b) E1パターン

岡山インターチェンジから倉敷インターチェンジまで山陽自動車道（道路番号：3・2・1）を使用し，倉敷インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：12・17・18）を使用する。到達には23.4kmを走行し，30分かかる。

c) E2パターン

岡山インターチェンジから岡山赤十字病院まで一般道（道路番号：15）を使用する。到達には11.8kmを走行し，24分かかる。

d) 最適な搬送動線

走行距離および所要時間で，一般道を経由して岡山赤十字病院に到達するE2パターンが優位である。しかしE2パターンは途中岡山市中心部を経由



図表1-3 Eルートの經由道路

(出典：Googleマップを基に筆者作成)



図表1-4 Wルートの經由道路

(出典：Googleマップを基に筆者作成)

し，交通障害に巻き込まれる恐れがある。よってE2パターンが最適な搬送動線とは言いきれない。

(4) Wルートでの搬送パターン

a) 概要

Wルートは，山陽自動車道内最終インターチェンジ，かつ川崎医科大学附属病院の最寄りの倉敷インターチェンジからの搬送動線を想定し，現状での1つの搬送動線を図表1-4に示す。

b) W1パターン

倉敷インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：12・17・18）を使用する。到達には4.8kmを走行し，14分かかる。

(5) Sルートでの搬送パターン

a) 概要

Eルートは早島インターチェンジから、川崎医科大学附属病院までと直線距離ではほぼ同じだけ離れている岡山赤十字病院までの搬送動線も想定し、現状での2つの搬送動線を図表1-5に示す。

b) S1パターン

早島インターチェンジから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：13）を使用する。

c) S2パターン

早島インターチェンジで岡山赤十字病院までから一般道（道路番号：16）を使用する。

d) 最適な搬送動線

S1パターンとS2パターンの間に所要時間の差がほとんどみられないが、S2パターンは岡山市中心部に向かうバイパス道を経由するので、交通障害に巻き込まれる恐れがある。したがって現状ではS1パターンが最適であると言える。

3. 二子西EE設置後の搬送動線の分析と現状との比較

本章では、山陽自動車道倉敷ジャンクション・岡山インターチェンジ間に救急車専用退出路「二子西EE」を設置した場合の救急車の搬送動線について、前章と同じ方法で走行距離と所要時間を求める。前章で得られたデータと合わせて、二子西EEを設置することで、各ルートにおける搬送所要時間の短縮効果を検証する。

(1) 二子西EEの概要

救急車専用退出路「二子西EE」は、山陽自動車道倉敷ジャンクション・岡山インターチェンジ間の倉敷市二子に設置し、二子西交差点に流入する。二子西交差点から一般道および川崎医科大学附属病院関係者駐車場を経て川崎医大前交差点まで（道路番号：17）は1km、所要時間にして2分、川崎医大前交差点から同病院高度救命救急センターまでは構内（道路番号：18）で100m、所要時間にして1分の場所である。なお道路番号17は片側1車線の県道162号線と並行するが、迂回メリットのない分断道路で交通渋滞はない。以上の位置関係図を図表2-1に示す。

(2) 川崎医科大学附属病院周辺の高速道路

前章で設定した4通りのルートについて、それぞれ二子西EEで高速道路から一般道（道路番号：

17・18）に下りて、川崎医科大学附属病院に向かう搬送動線を挙げる。



図表1-5 Sルートの経由道路

（出典：Googleマップを基に筆者作成）



図表2-1 山陽自動車道の上下線から二子西交差点（図中ピン）に流出させる。写真は道路番号17

（出典：Googleマップを基に筆者作成）

(3) Nルートでの搬送動線

a) 概要

Nルートは総社パーキングエリアからの搬送を想定する。パーキングエリアへの救急車専用退出路設置には、札樽自動車道金山パーキングエリアで前例がある。

b) N4パターン

総社パーキングエリアから岡山ジャンクションまで岡山自動車道（道路番号：5および4）、岡山ジャンクションから二子西EEまで山陽自動車道（道路番号：2）、二子西EEから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：17・18）を使用する。到達には13.1kmを走行し、13分かかる。

c) N5パターン

総社パーキングエリアから倉敷インターチェンジまで直線状の一般道（道路番号：11）、倉敷インターチェンジから二子西EEまで山陽自動車道（道路番号：1）、二子西EEから川崎医科大学附属病

院まで一般道（道路番号：17・18）を使用する。到達には12.9kmを走行し、28分かかる。

d) 現状との比較

5つの搬送動線パターンを比較したところ、総社パーキングエリアから川崎医科大学附属病院までの走行距離および所要時間の両面で、二子西EEを設置した上でN4パターンを経由した搬送動線が最も優位であることがわかる。現状で最も優位なN2パターンと搬送所要時間を比較すると、13分の短縮効果があることがわかった。

二子西EEを設置することで、NルートにはN4パターンの優位性のほかに、N5パターンの搬送動線がN1パターンとN2パターンの補完経路になり得るという利点がある。現状で高速道路を経由して岡山総社インターチェンジまたは倉敷インターチェンジで一般道に下りていたN1パターンとN2パターンの所要時間は、二子西EEを設置した場合のN5パターンのそれとほぼ同じである。特にN1パターンとN5パターンの間には重複する道路区間がなく、一方の経路に交通障害が発生するまたは発生が見込まれる場合でも、互いに補完し合えることが期待できる。

(4) Eルートでの搬送パターン

a) 概要

Eルートは岡山インターチェンジからの搬送を想定する。第1章で検証した岡山赤十字病院へは一般道でしか向かうことができないので、本節では川崎医科大学附属病院への搬送動線のみ検証する。

b) E3パターン

岡山インターチェンジから二子西EEまで山陽自動車道（道路番号：3・2）を使用し、二子西EEから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：17・18）を使用する。到達には16.8kmを走行し、17分かかる。

c) 現状との比較

3つの搬送動線パターンを比較したところ、岡山インターチェンジから川崎医科大学附属病院および岡山赤十字病院までの所要時間の面で、二子西EEを設置した上でE3パターンを経由して川崎医科大学附属病院に向かう搬送動線が最も優位であることがわかる。

二子西EEを設置することで、EルートにはE3パターンの優位性のほかに2つの利点がある。1点目は救急搬送先のシフトである。岡山赤十字病院は、岡山県全体の36.6%の人口を抱える岡山市の中心部に位置しているが、川崎医科大学附属病院は同24.6%の人口を抱える倉敷市に位置している。二

子西EEの設置により搬送動線の選択肢が増え、救急搬送先の需要を岡山市と倉敷市に分散させることが期待できる。2点目は搬送所要時間の不確実性の減少である。岡山インターチェンジから岡山赤十字病院まで搬送する場合、岡山市中心部を通過するE2パターンを経由せざるを得ず、時間帯によっては渋滞等の交通障害が懸念される。二子西EEの設置により搬送動線が高速道路経由のE3パターンに移ることで、所要時間の不確実性が減少することが期待できる。

(5) Wルートでの搬送パターン

a) 概要

Wルートは倉敷インターチェンジからの搬送を想定する。

b) W2パターン

倉敷インターチェンジから二子西EEまで山陽自動車道（道路番号：1）、二子西EEから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：17・18）を使用する。到達には3.6kmを走行し、5分かかる。

c) 現状との比較

2つの搬送動線パターンを比較したところ、所要時間の面で、二子西EEを設置した上でW2パターンを経由して川崎医科大学附属病院に向かう搬送動線が優位であることがわかる。

(6) Sルートでの搬送パターン

a) 概要

Sルートは早島インターチェンジからの搬送を想定する。第1章で検証した岡山赤十字病院へは一般道でしか向かうことができないので、本節では川崎医科大学附属病院への搬送動線のみ検証する。

b) S3パターン

早島インターチェンジから倉敷ジャンクションまで瀬戸中央自動車道、倉敷ジャンクションから二子西EEまで山陽自動車道（以上、道路番号：6）、二子西EEから川崎医科大学附属病院まで一般道（道路番号：17・18）を使用する。到達には5.7kmを走行し、7分かかる。

c) 現状との比較

3つの搬送動線パターンを比較したところ、早島インターチェンジから川崎医科大学附属病院および岡山赤十字病院までの走行距離と所要時間の両面で、二子西EEを設置した上でS3パターンを経由して川崎医科大学附属病院に向かう搬送動線が最も優位であることがわかる。

二子西EEを設置することで、SルートにはS3パターンの優位性のほかに、Eルートと同様に救急搬送先のシフトと、搬送所要時間の不確実性の減少が期待できる。

(7) 二子西EEの設置効果

以上の4ルートにおいて現状と二子西EEを設置した場合の間で、搬送動線パターンを比較し搬送所要時間を検証したところ、岡山県南部の高速道路網各方向から、川崎医科大学附属病院に向かう全てのルートにおいて、二子西EEを設置した場合の時間的優位性が明らかになった。また、これまで東・南方向から一般道を経由して岡山赤十字病院まで搬送していたケースについても、二子西EEを設置することで、交通障害に巻き込まれ搬送時間が延びるなどの不確実性が減少することが分かった。

3. 救命率向上幅の測定

本章では、前章で得られた救急搬送時間の短縮幅を、ウツタイン統計を基に作成された救命曲線に適用することで、救命可能確率の変化を中野ら(2010)と同様の手法で算出する。

(1) ウツタイン統計

平出ら(2008)によるとウツタイン統計とは、「病院外心停止の患者の発見状況、バイスタンダー(救急現場に居合わせた発見者や同伴者)や救急隊員による処置、医療機関までの搬送所要時間、搬送後の処置と予後について、国際的な様式に基づいて記録集計された統計」であり、その記録様式がウツタイン様式である。

坂本ら(2011)による先行研究では、「カーラーの救命曲線」を挙げて、救急車が出動要請を受けてから現場に到着するまでに平均7.7分(平成20年の救急車による出場の平均値)かかることを踏まえて、バイスタンダーによる心肺蘇生と速やかな救急搬送が重要だと指摘している。

加えて坂本らは、ウツタイン統計を活用した実証的な救命曲線を示しており、その中では患者の現場から医療機関までの搬送所要時間が有意に効いている。本章で救命率向上幅を測定するにあたっては、坂本らによって導かれた救命曲線の推定結果を用いる。

(2) 坂本らの推定モデルと結果

坂本らの救命曲線では、属性 $x_i = (x_{i0}, x_{i1}, \dots, x_{iK})$ を有する、救急搬送された心肺停止傷病者 i の死亡リスク π_i を、式(1)のように定式化している。

$$\pi_i = \Pr[y_i = 0 | x_i] = \frac{\exp[x_i \beta]}{1 + \exp[x_i \beta]} \quad (1)$$

式(1)中の $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K)$ はパラメータであり、 y_i は傷病者の1ヶ月後の状態を、0ならば死亡、1ならば生存としている。次に式(1)をロジスティック回帰分析により推定し、図表4-1を導いている。

変数	説明変数	推定値	t値	変数の平均
	定数項	2.036	13.573	-
x[1]	覚知-現場到着の対数	0.479	14.088	7.33 (時間の平均)
x[2]	現場到着-接触時間の対数	0.269	7.912	1.42 (時間の平均)
x[3]	接触-病院収容時間の対数	0.192	5.647	23.76 (時間の平均)
x[4]	年齢	0.014	14	71.82
x[5]	救命救急士乗車	-0.318	-4.24	0.95
x[6]	医師乗車	-0.545	-8.385	0.03
x[7]	市民による心停止の目撃	-1.176	-34.588	0.33
x[8]	消防隊・救急隊による心停止の目撃	-1.859	-40.413	0.08
x[9]	心臓マッサージ	-0.243	-6.943	0.4
x[10]	人工呼吸	-0.239	-5.432	0.1
x[11]	市民等による除細動	-1.391	-15.12	0.01
x[12]	心室細動または無脈性心室頻拍	-1.061	-17.683	0.07
x[13]	救急救命処置における除細動	-0.599	-10.509	0.11
x[14]	確定した心原性	-0.675	-17.763	-
x[15]	脳血管障害	-0.392	-5.6	-
x[16]	呼吸器系疾患	-0.679	-11.317	-
x[17]	悪性腫瘍	1.193	7.059	-
x[18]	外因性	-0.509	-11.568	-
x[19]	その他	-0.355	-2.37	-

図表4-1 ウツタイン統計に基づく坂本らの救命曲線の推定結果(出典:坂本ら(2011))

(3) 搬送所要時間短縮による死亡リスクの変化

本節では、坂本らが示した変数 x_3 に、二子西EEの設置前後の搬送所要時間をそれぞれ代入することで死亡リスク π_3 を求める。搬送所要時間の短縮幅が救命率に与える効果 $\Delta\pi_3$ を調べる。

経路 r の搬送所要時間を $t_{3,r}$ とし、坂本らが示した変数 x_3 (接触-病院収容時間(分)) に代入した値 $x_{3,r} = \ln(1 + t_{3,r})$ および $\beta_3 = 0.192$ を死亡リスク式(1)に代入する。これを式(2)とする。

$$\pi_{3,r} = \frac{\exp [0.192 * x'_{3,r}]}{1 + \exp [0.192 * x'_{3,r}]} \quad (2)$$

二子西EEの設置前で搬送所要時間が最短と想定される搬送動線を n , その経路の死亡リスクを π_{3,r_n} で表し、二子西EEの設置後で搬送所要時間が最短と想定される搬送動線を m , その経路の死亡リスクを π_{3,r_m} で表す。搬送所要時間の短縮幅が救命率に与える効果、すなわち π_{3,r_n} と π_{3,r_m} の差を、 $\Delta\pi_{3,r_{n,m}}$ で表す。これを図表4-2にまとめる。

Eルートにおいては、岡山インターチェンジから、岡山赤十字病院に向かう代わりに二子西EEを経由して川崎医科大学附属病院に到達することで、死亡リスクが1.45ポイント低下する。同様にNルートにおいては死亡リスクが2.91ポイント、Wルートにおいては死亡リスクが4.20ポイント、Sルートにおいては死亡リスクが2.55ポイント、それぞれ低下する。以上を平均すると、死亡リスクは2.78ポイント低下することが分かった。

式(2)は搬送所要時間、すなわち救急隊員が患者に接触してから病院に収容するまで時間のみ着目して、死亡リスクを算出するための式である。したがって、救急隊員が患者のもとに到着するまでの時間や、患者が心停止に至った傷病の種類については考慮していない。そのため、実際の患者の死亡リスクとは乖離することが考えられるが、本研究では搬送所要時間以外に死亡リスクに与える要素は考えないものとする。

(4) 死亡リスクの低下を議論する前提

前節で明らかになった死亡リスクの低下は、あくまで出発地が高速道路のインターチェンジまたはパーキングエリアであること、および搬送される患者が心停止状態であることを前提としている。

搬送される患者が高速道路のインターチェンジまたはパーキングエリアから離れた場所で発生した場合は、発生地によって死亡リスクが変化する。二子西EEの設置前ならば、実際の患者発生地が本研究で設定した各搬送動線パターンのお発地よりも到着地に近い場合は、搬送所要時間 $t_{3,r}$ は短縮し、死亡リスク $\pi_{3,r}$ は低下する。また逆に遠い場合は、搬送所要時間 $t_{3,r}$ は延び、死亡リスク $\pi_{3,r}$ は上昇する。二子西EEの設置後ならば、設置前と同様の場合が考えられる上、高速道路と二子西EEを経由することなく、到着地に向かうことも考えられる。

搬送される患者が心停止状態でない場合、あるいは病院に到着するまで心停止が起らなかった場合は、一般に死亡リスクが低下するものと考えられる。

経路	出発地	経由地	到着地	距離	t[3,r]	β [3]	x[3,r]	π [3,r]	$\Delta \pi$ [3,r]		
E1	岡山IC	倉敷IC	川大	23.4	30	0.192	3.4340	65.91%	$\Delta \pi$ [3,r[E2, E3]]	1.45	
E2	岡山IC	一般道	赤十字	11.8	24		3.2189	64.98%			→r[n]
E3	岡山IC	二子西	川大	16.8	17		2.8904	63.53%			→r[m]
N1	総社PA	岡山総社IC	川大	15.5	29		3.4012	65.77%	$\Delta \pi$ [3,r[N2, E4]]	2.91	
N2	総社PA	倉敷IC	川大	19.7	26		3.2958	65.31%			→r[n]
N3	総社PA	一般道	川大	13.9	37		3.6376	66.78%			
N4	総社PA	二子西	川大	13.1	13		2.6391	62.40%			→r[m]
N5	総社PA	一般/二子西	川大	12.9	28		3.3673	65.62%			
W1	倉敷IC	一般	川大	4.6	14		2.7081	62.71%	→r[n]	$\Delta \pi$ [3,r[W1, W2]]	4.20
W2	倉敷IC	二子西	川大	3.6	5		1.7918	58.52%	→r[m]		
S1	早島IC	一般道	川大	5.7	13		2.6391	62.40%	→r[n]	$\Delta \pi$ [3,r[S1, S3]]	2.55
S2	早島IC	一般道	赤十字	12.0	14		2.7081	62.71%			
S3	早島IC	二子西	川大	5.7	7		2.0794	59.85%	→r[m]		
平均	設置前			10.5	19				63.85%	Δ 2.78%	
	設置後			9.8	14				61.07%		

図表4-2 各経路の搬送所要時間と死亡リスク (出典：筆者作成)

4. 費用便益分析と二子西EE設置の是非

本章では、前章で得られた死亡リスクの低下によって助かる患者について、交通事故にあった際の逸失利益による損害賠償計算法を用いることで、「二子山EE」設置の便益を算出する。加えて二子西EEの設置および維持費用の概算を求め、国土交通省の費用便益分析マニュアルにしたがって、二子西EEが設置に値するかどうかを分析する。

(1) 二子西EEがもたらす便益

本節では、病院外心停止患者1人あたりの便益を算出し、岡山県下で病院外心停止状態から生存した救急搬送患者数実績を踏まえながら、川崎医科大学附属病院が受け入れた救急搬送患者数実績から、二子西EEの設置がもたらす便益を算出する。

a) 病院外心停止患者1人あたりの便益

本研究で行う費用便益分析の便益は、中野ら(2010)と同様に患者が死亡した場合の逸失利益とし、その算出にはライフニッツ式計算法にしたがいがい、式(3)を用いる。

$$T = Aq \frac{1 - 1/(1+m)^n}{0.05} \quad (3)$$

Tを逸失利益、Aを年収(円)、qを(1-生活費控除率)、mを年利率(=5%)、nを就業可能年数としている。

年収は、中野ら(2010)と同様に厚生労働省の国民生活基礎調査より、高齢者1人あたりの平均所得について平成19年・16年・13年の平均値203万円を用いる。就業可能年数は、2009年の日本の平均寿命である82.93年から、図表4-1に示した搬送患者の平均年齢71.82歳を差し引いた11.11年とする。生活費控除率は、本人が将来生きていた場合に得られる利益を年収から差し引いた生活費の割合で、本研究では、中野ら(2010)と同様に生活費控除率を40%と仮定する。

以上の条件をもとに式(3)を用いると、患者1人あたりの逸失利益の平均額は1021万円となる。

b) 病院外心停止状態から生存する患者数の算出

川崎医科大学附属病院に提供された資料を基に、同院高度救命救急センターへの患者搬入患者数、重症者数、病院外心停止患者数を、図表5-1に示す。

	救急車搬入患者数	重症患者数	病院外心停止数	
時間内	1,234	778	63.05%	29
時間外	2,997	1,461	48.75%	72
合計	4,231	2,239	52.92%	101

図表5-1 川崎医科大学附属病院高度救命救急センター受入実績。2010年1～12月実績。時間内は平日8:30～17:00(土曜日は12:30まで)、時間外は時間内以外、重症者数は救急車で搬入された中で即日入院した患者数を表す。(出典：川崎医科大学附属病院提供資料)

第3章3節で示したとおり、二子西EEを設置することによって、病院外心停止数の患者の死亡リスクが2.78ポイント減少する。このことと、図表5-1の病院外心停止数より、川崎医科大学附属病院では、二子西EEがない現状では死亡しているが、二子西EEを設置することで生存する患者数が約3人(2.81人)であると推測できる。

(2) 二子西EEの設置費用と維持費用

本節では、想定される二子西EEの形態に似ており、石巻赤十字病院のそばに既に設置されている石巻EE(筆者がつけた便宜上の呼称、三陸自動車道(矢本石巻道路)、宮城県石巻市蛇田字上沼付近)を参考に、二子西EEの設置費用と維持費用の概算を求める。

a) 設置費用

二子西EEでは、盛土の三陸自動車道と地平の一般道を接続する石巻EEと同様に、盛土の山陽自動車道と地平の一般道を接続することを想定している。

二子西交差点北の山陽自動車道の下を通るトンネルは、大型車が通過できるほどの高さがなく、石巻EEの一般道と高速道路の高低差は、二子西EEのそれよりも大きいことが考えられる。したがって、二子西EEの設置にあたっては石巻EEよりも高低差を結ぶ工事が短くなり、設置費用がより抑えられると考えられるので、概算では二子西EEの設置費用は石巻EEのそれと同額の8000万円とする。

b) 維持費用

EEの維持費用は、退出路そのものの道路管理費に加え、一般車両の流入出を防ぐためのリモコン式ゲートの管理費が必要である。中野らが研究対象とした東北地方5カ所の医療機関の間では、維持費用にばらつきがあるので、概算では二子西EEの維持費用はそれらの平均額の177万1円とする。

(3) 費用便益分析

本節では、前節までに求めた二子西EEの便益と費用の現在価値を算出し、国土交通省道路局都市・地域整備局の費用便益分析マニュアルにしたがって、費用便益分析を行う。同マニュアルは分析にあたって、現在価値算出のための社会的割引率を5%、基準年次を評価時点、検討年数は道路の耐用年数等を考慮して50年としている。

a) 便益の現在価値

同マニュアルでは、便益の現在価値を式(4)のように定義している。

$$BofPV_j = \sum_t \left\{ \frac{B_{jt}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (4)$$

$BofPV_j$ を便益jの現在価値 (円) , sを基準年次からの供用開始年次までの年数 (年) , tを供用開始年次を0年目とする年次 (年) , を供用開始後t年目の費用jの値 (円) , iを割引率 (=5%) , jを費用種別とし、これらを検討年次期間 (50+s年間) で合計したものを便益の現在価値としている。

本研究では、二子西EEの工事に2年を要し、二子西EEを使用して川崎医科大学附属病院に搬送されて生存する患者が、供用開始から50年間毎年3名いることを仮定して、便益の現在価値を算出する。以上の条件と式(4)より、二子西EE設置がもたらす便益の現在価値は、5億3273万円となる。

b) 総費用の現在価値

同マニュアルでは、総費用の現在価値を式(5)のように定義している。

$$CofPV_j = \sum_t \left\{ \frac{C_{j(s+t)}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (5)$$

$CofPV_j$ を費用jの現在価値 (円) , sを基準年次からの供用開始年次までの年数 (年) , tを供用開始年次を0年目とする年次 (年) , を年次s+t年目の費用jの値 (円) , iを割引率 (=5%) , jを費用種別とし、これらを検討年次期間 (50+s年間) で合計したものを総費用の現在価値としている。

前節より、設置費用は8000万円、維持費用は年間177万円を50年間支払い続けるものとして、その費用の現在価値を算出する。以上の条件と式(5)より、二子西EEの維持にかかる費用の現在価値は、2931万円となる。

以上より、総費用の現在価値は、1億0931万円となる。

c) 分析結果のとりまとめ

同マニュアルでは、社会的費用便益比 (CBR(B/C)) と経済的純現在価値 (ENPV) を次のように定義している。

- $CBR(B/C) = (\text{便益の現在価値}) \div (\text{費用の現在価値})$
- $ENPV = (\text{便益の現在価値}) - (\text{費用の現在価値})$

$CBR(B/C) > 1$ かつ $ENPV > 0$ を達成する場合、二子西EEを設置するにあたって便益が費用を上回り、設置自体の妥当性が示されることになる。

本節(1)(2)より、

$$CBR(B/C)_1 = 4.87 > 1$$

かつ

$$ENPV_1 = 423426873 > 0$$

となり、二子西EEを設置する妥当性が示された。

なお、仮に二子西EEを使用して川崎医科大学附属病院に搬送されて生存した患者が、供用開始から50年間毎年1名である場合、すなわち搬送の結果生存する患者数が本節 a) の仮定の1/19であった場合でも、現在価値は1億7757万円となる。このとき、

$$CBR(B/C)_2 = 1.62 > 1$$

かつ

$$ENPV_2 = 68269736 > 0$$

となり、やはり二子西EEを設置する妥当性が示される。

5. まとめ

本研究では、第4章までの分析により二子西EEを設置することによって、主に川崎医科大学附属病院に搬送される患者の救命率が向上することを明らかにした。また、従来搬送にあたって、岡山市内の混雑した市街地を経由せざるを得なかった岡山赤十字病院への搬送についても、交通障害等の不確実性を低下させるという点で、その需要を川崎医科大学附属病院に振り替えることができることが分かった。

前章では、年間に少なくとも1人の患者を二子西EEを経由して川崎医科大学附属病院に搬送し死亡を回避させることで、二子西EEの設置および維持費用をまかなうことができることがわかった。川崎医科大学附属病院への搬送データにより、実際には3人程度の救命者向上が見込まれることから、費用便益面で二子西EEは十分に設置に値すると言える。

本研究は、実際の傷病者の搬送動線データを検証しておらず、満床や担当医不在によって搬送先病院の選定に時間を要したいたかどうかを検証していないなど、前提に実情と乖離した箇所もある。また、本研究では搬送される患者が仮に死亡した場合の逸失利益を、二子西EEの設置によって発生する便益に置き換えた。

今回の研究では、死亡リスクの変化を算出するにあたって、病院外心停止患者のみを対象としたウツタイン統計データを用いた。本論で得られた便益は、その意味で限定的とも言える。二子西EEは重軽症患者の搬送にも活用される。重症者の死亡率が低減したり、入院の必要がなくなったり症状の悪化を防いで治療費の負担を抑えたりするなどの効果が期待できる。一方で、患者が生存してその治療に高度な医療行為が必要になったときに、家族と国が負担する医療費をどのように扱うかという問題も考慮しうる。

二子西EEの設置の是非に限らず、こうした点も踏まえた上でより正確な社会的便益を算出する必要があるだろう。

謝辞：この研究にあたって、大阪市立大学経済学部の中島義裕教授に様々なご指導をいただいた。また、川崎医科大学附属病院、岡山市消防本部、NEXCO西日本、金沢大学交通まちづくり研究室の中野晃太氏、大阪市立大学経済学部中島ゼミの仲間のご協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献

筆者・編者五十音もしくはアルファベット順

(1) 文献

- ・赤磐市消防本部『消防年報』2010年
- ・井原地区消防組合消防本部『消防年報』2011年
- ・岡山県『傷病者の搬送及び受入れの実施に関する基準』2011年
- ・岡山県消防保安課『消防防災年報』2010年
- ・岡山県『岡山県保健医療計画』, 図2-2-2-3, 2011年4月
- ・岡山市消防局『消防年報』2011年
- ・笠岡地区消防組合消防本部『消防年報』2010年

- ・倉敷市消防局『消防年報』2010年
- ・厚生省「救急病院等を定める省令」『厚生省令第8号』, 1964年2月20日
- ・国土交通省道路局都市・地域整備局『費用便益分析マニュアル』2008年
- ・坂本直樹, 阪田和哉, 林山泰久, 中嶋一憲「道路整備による死亡リスク削減便益の計測：ウツタイン統計データによる救命曲線の推定」『高速道路と自動車』, 54巻, 10号, 2011年
- ・瀬戸内市消防本部『消防年報』2009年
- ・総社市消防本部『消防年報』2010年
- ・総務省消防庁『平成21年救急・救助の概要(速報)』2010年
- ・総務省統計局「平成22年国勢調査確定値」
- ・高梁市消防本部『消防年報』2010年
- ・玉野市消防本部『消防年報』2010年
- ・津山圏域消防組合消防本部『消防年報』2011年
- ・東備消防組合消防本部『消防年報』2010年・土木学会土木計画学研究委員会『道路交通需要予測の理論と適用利用者均等配分の適用に向けて』, pp. 72-73, 2003年8月
- ・中野晃太, 高山純一, 中山晶一朗「高速道路を対象とした救急車専用退出路の設置効果分析と3次救急医療に関する研究」『土木計画学研究・講演集(CD-ROM)』, 41巻, 2010年6月
- ・新見市消防本部『消防年報』2010年
- ・平出敦, 西内辰也, 石見拓「ウツタイン統計について」『消防科学と情報』, 93巻, 2008年
- ・真庭市消防本部『消防年報』2010年
- ・美作市消防本部『消防年報』2010年

(2) 新聞

- ・『毎日新聞』2010年1月21日, 栃木版, 19面

(3) ウェブページ

- ・秋山直人「死亡逸失利益／生活費の控除」http://www.bengo4.com/intro/intro2_197.html (2011年12月25日閲覧)
- ・菊池研「心停止は搬送先の選定が重要に」<http://j-pulse.umin.jp/push3/articles/article-kikuchi-2010-08-04.html> (2011年12月25日閲覧)
- ・国土交通省「三次医療施設一覧」<http://www.mlit.go.jp/road/4kou-minei/pdf/2003/1128/b03.pdf> (2011年1月22日閲覧)
- ・国土交通省東北地方整備局「東北の高速道路」<http://www.thr.mlit.go.jp/tohokunet/highway/seibi/seibi09.html> (2011年1月31日閲覧)
- ・国土交通省東北地方整備局道路部「命を守るみちづくり」<http://www.thr.mlit.go.jp/road/sesaku/kyukyu/index.html> (2011年2月25日閲覧)

- ・埼玉医科大学総合医療センター「高度救命救急センターとは？」<http://www.saitama-qq.jp/vision/kyumei.html> (2011年12月31日閲覧)
- ・『産経新聞』2010年12月10日, 電子版, <http://sankei.jp.msn.com/region/tohoku/miyagi/101220/myg1012200201001-c.htm> (2010年12月20日閲覧)
- ・総務省消防庁「「ウツタイン統計活用検討会」の発足」<http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/190625-1/190627-1houdou.pdf> (2011年12月31日閲覧)
- ・長岡市「カーラーの救命曲線」<http://www.city.nagaoka.niigata.jp/kurashi/syoubou/masaka/qq-kahler.html> (2011年12月19日閲覧)
- ・Google「Googleマップ」<http://map.google.com/> (2012年1月5日閲覧)

(2012.???.??受付)

ANALYSIS ON EFFECT OF EMERGENCY EXPRESSWAY EXIT ONLY FOR AMBULANCES TO KAWASAKI MEDICAL SCHOOL HOSPITAL

Yuki KAGA

This analysis shows if an emergency exit only for ambulances to Kawasaki Medical School Hospital, Kurashiki City, Okayama, is constructed on Sanyo Expressway to shorten the time required to carry patients, at least 3 people are assumed to be saved a year with comparatively low cost. Kawasaki Medical School Hospital is one of the emergency hospital to accept patients with any sickness degree in southern Okayama Prefecture. It is so necessary to shorten the time required to carry high degree patients that use of expressway to carry them is expected to save more people. According to cost-benefit analysis, it is significant in social cost-benefit ratio (CBR) and economy net present value (ENPV).