

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

阪田 和哉¹・坂本 直樹²・中畷 一憲³・阿部 雅浩⁴・草野 秀平⁵

¹正会員 宇都宮大学講師 大学院工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail: k-sakata@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²非会員 東北文化学園大学准教授 総合政策学部 (〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見6-45-1)

E-mail: nsakamo@pm.tbgu.ac.jp

³正会員 兵庫県立大学准教授 環境人間学部 (〒670-0092 兵庫県姫路市新在家本町1-1-12)

E-mail: nakajima@shse.u-hyogo.ac.jp

⁴非会員 東北大学博士後期課程 大学院経済学研究科 (〒980-8576 宮城県仙台市青葉区川内27-1)

⁵学生会員 首都大学東京博士前期課程 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

緊急時に病院搬送する際、道路整備による救急医療施設へのアクセス性の向上は急務であろう。本研究は、疾病・事故により発生する死亡リスクを道路整備によって削減することを念頭に、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、その計測を試みる。具体的には、ウツタイン統計データに基づいて推定された救命曲線、およびCVM調査に基づいた統計的な生命の価値(VSL)の実証的分析結果を用いて、死亡リスク削減便益の計測を行う。本研究では、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の住民にもたらした死亡リスク削減便益を計測し、その大きさは年間約7～約12百万円との結果を得た。

Key Words : *Mortality Risk Reduction, CBA, Highway Project, Utstein Style Data*

1. はじめに

生命の危機に瀕した傷病者に対しては、院外における適切な処置とともに、医療機関への迅速な収容が不可欠である。救急隊が傷病者のもとに到着し、適切な処置を施しつつ医療機関に収容するまでの一連の活動において、傷病者までのアクセス性および医療機関までのアクセス性は少なからず救命率に影響を及ぼす。その理論的根拠としては、Cara(1977)¹⁾によるカーラー救命曲線(Golden Hour Principle)が挙げられる。これは、心臓停止、呼吸停止、大量出血の経過時間と死亡リスクとの関係性をそれぞれグラフ化し、心臓停止、呼吸停止、大量出血が発生した後、時間が経過するにつれて死亡リスクが上昇することを示したものである。したがって、救急医療体制の整備にあたっては、医療機関の適正な配置のほか、救急救命活動を考慮した交通システムを整備することによって、救急救命活動にかかる時間を短縮することが求められるであろう。

林山・安藤(2008a, 2008b)^{2),3)}は、高速道路整備などの交

通システムの改善によって救急搬送時間が短縮され死亡リスクの削減が予想される場合に、その便益を計測する方法を提案している。この方法によれば、救命曲線に基づいて救急搬送時間の短縮による救命率の変化分を計算し、予め推定した統計的生命の価値(Value of Statistical Life)との積を求めることにより、死亡リスク削減便益の計測が可能である。

そこで、本研究では、救急搬送時間と救命率との関係を表す救命曲線、および、救急搬送時の統計的生命の価値を既往研究から得て、林山・安藤(2008a, 2008b)の方法により、実際に高速道路整備による死亡リスク削減便益を計測することを試みる。具体的には、栃木県真岡市を対象として、北関東自動車道の整備による当該便益の計測を行う。

本研究の構成は以下のとおりである。2章では救命曲線に関する既往研究、3章では救急搬送時の統計的生命の価値に関する既往研究についてまとめる。4章では便益計測の方法について説明する。5章では北関東自動車道の整備を例にケーススタディを行い、6章で結論を述

べる。

2. 救命曲線の設定

(1) 救命曲線に関する既往研究

Cara(1977)は、心臓停止、呼吸停止、大量出血それぞれについて、経過時間と死亡リスクとの関係をグラフで示している。この関係はカーラー救命曲線として知られ、わが国の応急手当講習会でも解説されている。カーラー救命曲線によれば、心臓停止の場合は3分、呼吸停止の場合は10分、多量出血の場合は30分が経過すると、死亡率は50%を超える。しかしながら、カーラー救命曲線は数式により表されていないため、本研究が対象としているような救急搬送時間の短縮による救命率の上昇分を正確に数値化することは困難である。

これに対して、橋本ほか(2002)⁹と鮎川ほか(2009)⁹は、医療機関を通じて収集したデータをもとに救命曲線(救命率と救急搬送時間の関係を表す近似式)を推定している。どちらの研究も疾病別に救命曲線を推定しているものの、前者は長崎地区、後者は九州地方の一部病院に搬送される患者に関する分析であることから、地域性や搬送先の医療技術水準の影響を否定できない。

全国規模のデータを用いて救命曲線を推定した研究としては、坂本ほか(2011)⁹、林山ほか(2012)⁷がある。これらの研究では、総務省消防庁が全国規模で収集しているウツタイン統計データ(Utstein Style Data)を用いて、救命曲線を推定している。ウツタイン統計データは救急搬送された心肺停止傷病者に関する個票データであり、国際的な基準に基づいて総務省消防庁が全国規模で収集しているもので、申請により入手可能である。ウツタイン統計データには、心肺停止状態に陥った傷病者に限定されるものの、救命曲線の推定に不可欠な救急搬送時間のほか、個人属性、実施された応急処置、心停止の推定要因などの詳細な情報が傷病者ごとに整理されている。

坂本ほか(2011)では、ロジットモデル(Logit Model)の推定により、救急搬送時間の経過とともに救命率が低下する救命曲線が得られ、救急搬送時間の短縮により救命率が高まることが確認されている。また、心臓マッサージや人工呼吸、AEDなどの市民による応急処置が有意に救命率に対して影響を及ぼしていることも明らかとなっている。さらに、救命曲線の推定式には、説明変数として年齢や疾病(心停止の推定要因)が扱っていることから、この推定式を例えば加重平均などの方法により加工すれば、年齢別および疾病別の救命曲線を求めることも可能である。これにより、地域特性を考慮して便益を計測できる。

一方、林山ほか(2012)では、実際に救命されたケース

の再現性を改善するため、救命されたと判断する被説明変数として用いられる「1ヵ月生存の有無」と相関の高い「病院収容前の心拍再開の有無」の内生性を考慮した二変量プロビットモデル(Bivariate Probit Model)の推定を行っている。「病院収容前の心拍再開の有無」は、データ項目に表れない傷病者の体力などに依存する確率変数であると考えられ、また、救急搬送時間や救急救命処置などの他の説明変数によって決定されるとみなすこともできる。林山ほか(2012)では仮説検定により、この内生性が確認されている。したがって、二変量プロビットモデルを適用せず、単純に一変量プロビットモデルによりパラメータを推定すると、推定値が一致性と効率性を満たさないことになる(詳細は松浦・マッケンジー(2009)⁹およびGreene(2007, 2008)^{9, 10}を参照されたい)。林山ほか(2012)では、二変量プロビットモデルの推定により、頻度の低い「1ヵ月生存」があったケースを50%を超える精度で予測する救命曲線を得ている。

(2) 救命曲線の推定モデルとデータの特性

前節の既往研究の知見により、本研究では林山ほか(2012)の救命曲線を用いる。ここでは、この救命曲線の推定に用いたデータと推定結果について簡潔に説明する。

a) ウツタイン統計データ

はじめに、ウツタイン統計データとは、救急搬送された心肺停止機能傷病者のウツタイン様式に基づく個票データであり、救急隊を通じて収集され、総務省消防庁が取りまとめている。ここで、ウツタイン様式とは、総務省消防庁(2010)¹¹によると、統一された用語、定義を用いて、心肺機能停止傷病者に関する記録を行う際のガイドラインである。ウツタイン様式により記録されるデータ項目は、心停止が発生した都道府県、性別、年齢、救急車への医師の乗車の有無、救急車への救急救命士の乗車の有無、心停止の目撃の有無、バイスタンダーによる心肺蘇生の実施の有無、救急隊が傷病者に接触した時点での心電図波形、救急救命処置の内容、時間経過、心停止の推定要因、病院収容前の心拍再開の有無、1ヵ月生存の有無などである。前述のとおり、わが国では、国単位で個票データが収集され、ウツタイン統計データが作成されているため、全国規模のデータセットとなっている。林山ほか(2012)では、2008年のウツタイン統計データから、人為的なエラーと判断されるもの1,794件を削除して残った110,233件のデータを用いて救命曲線を推定している。

b) モデル

林山ほか(2012)で推定されたモデルは、以下のとおりである。このモデルは、まず、救急隊がどれだけ早く心肺停止傷病者に接触できたかによって、病院収容前に心拍が再開するかどうかが決まり、次に、病院収容前に心

拍が再開したかどうかと、病院収容までに要したトータルの時間によって、1ヵ月生存の有無が決まるという構造となっている。このモデルを推定するため、「1ヵ月生存の有無」と「病院収容前の心拍再開の有無」を内生変数とする二変量プロビットモデルが用いられている。

$$survive = f^1(t_1 + t_2, x_1, rebeat) \quad (1)$$

$$rebeat = f^2(t_1, x_2) \quad (2)$$

ここで、*survive* は「1ヵ月生存の有無」であり、*rebeat* は「病院収容前の心拍再開の有無」である。 t_1 と t_2 はそれぞれ「覚知から接触までの時間」と「接触から病院収容までの時間」を表す。したがって、このモデルでは、*survive* は病院収容までのトータルの時間 $t_1 + t_2$ に依存すると想定され、*rebeat* は救急隊が心肺停止傷病者に接触までの時間 t_1 のみに依存すると想定されている。また、 x_1 と x_2 は心肺停止傷病者の状態や施された救急救命処置の内容を表す属性ベクトルであり、 $x_1 = x_2$ であっても構わない。

ところで、 x_1 と x_2 としてウツタイン統計データのいかなるデータ項目を用いるべきかについては、厳密には医学的な判断を要する。そこで、林山ほか(2012)では、まず、すべてのデータ項目を説明変数として用いるモデルを推定し、次に、回帰係数に関するWald 検定で有意でない説明変数をカットしたモデルを推定するという方法がとられ、適合度に関する統計的判断に基づいてモデル選択を行っている。なお、 f^1 と f^2 の関数形としては、線形を仮定している。ただし、「覚知から接触までの時間」および「覚知から病院収容までの時間」は $\log(1+t)$ により変換している。これは、時間経過による影響が逓減することを表現するためである。

c) 推定結果

ここでは、林山ほか(2012)における2008年のウツタイン統計データを用いた推定結果のうち、最終的に選択されたモデルに関するものだけを紹介する。それは、表-1のとおりである。なお、回帰係数が記入されていない説明変数は、フルモデルで推定した結果、その回帰係数が有意水準5%で有意でなかったものである。

まず、式(1)と式(2)の誤差項の相関係数は-0.228であり、それがゼロであるとする帰無仮説をWald 検定と尤度比検定ともに有意水準1%で棄却することができる。したがって、式(1)と式(2)を二変量プロビットモデルとして推定しなければ、各推定値が一致性と効率性を満たさないことになる。

また、各説明変数に関する回帰係数は、式(1)と式(2)ともに、1%有意である。式(1)では「覚知から病院収容までの時間」に関する回帰係数が負値をとることから、救急搬送時間の短縮が「1ヵ月生存」の確率、すなわち、

表-1 二変量プロビットモデルによる推定結果

変数 (時間以外は該当する場合は1, 該当しない場合は0をとる)	回帰係数	括弧内は p-value
		Wald 統計量
式(1) (被説明変数: 1ヵ月生存)		
定数項	-0.132	-1.745 (0.081)
覚知から収容までの時間	-0.466	-22.516 (0.000)
覚知から収容までの時間×目撃	0.077	14.654 (0.000)
覚知から収容までの時間×心拍再開	-	-
男性	-	-
若者 (18歳以下)	0.466	11.055 (0.000)
高齢者 (71歳以上)	-0.199	-11.756 (0.000)
救命救急士乗車	-	-
医師乗車	-	-
医師2次救命処置	-	-
心臓マッサージ	-	-
人工呼吸	-	-
市民等による除細動	0.275	4.300 (0.000)
心室細動または無脈性心室頻拍	-	-
無脈性電気的活動	-0.371	-13.252 (0.000)
心静止	-0.692	-21.983 (0.000)
除細動	0.143	5.698 (0.000)
確定した心原性	0.219	9.401 (0.000)
脳血管障害	-0.219	-6.026 (0.000)
呼吸器系疾患	0.281	8.867 (0.000)
悪性腫瘍	-0.454	-6.731 (0.000)
外因性	0.165	6.958 (0.000)
その他の非心原性	0.137	5.091 (0.000)
心拍再開	1.982	29.044 (0.000)
式(2) (被説明変数: 心拍再開)		
定数項	-0.717	-13.164 (0.000)
覚知から接触までの時間	-0.235	-13.244 (0.000)
覚知から接触までの時間×目撃	0.163	25.431 (0.000)
男性	-	-
若者 (18歳以下)	-	-
高齢者 (71歳以上)	-0.094	-6.879 (0.000)
救命救急士乗車	0.246	7.065 (0.000)
医師乗車	0.728	27.652 (0.000)
医師2次救命処置	-	-
心臓マッサージ	0.161	10.718 (0.000)
人工呼吸	0.092	4.494 (0.000)
市民等による除細動	0.518	9.678 (0.000)
心室細動または無脈性心室頻拍	-0.411	-12.540 (0.000)
無脈性電気的活動	-0.724	-33.416 (0.000)
心静止	-1.397	-63.561 (0.000)
除細動	0.224	8.352 (0.000)
確定した心原性	0.203	10.791 (0.000)
脳血管障害	0.535	19.878 (0.000)
呼吸器系疾患	0.269	10.055 (0.000)
悪性腫瘍	-	-
外因性	0.307	16.417 (0.000)
その他の非心原性	0.128	5.783 (0.000)
ρ (誤差項の相関係数)	-0.228	-6.275 (0.000)
対数尤度		-37262.87
尤度比統計量		16695.33 (0.000)
尤度比統計量 (for $\rho = 0$)		27286 (0.000)
マックファーデンの疑似 R^2		0.183
適合率		0.955

救命率を上昇させることがわかる。式(2)でも同様に、「覚知から接触までの時間」の短縮が「心拍再開」の確率を上昇させることが確かめられる。この影響は、式(1)の説明変数である「心拍再開」を通じて、「1ヵ月生存」を高めるように間接的に作用する。また、「覚知から接触までの時間」および「覚知から病院収容までの時間」には「目撃」による係数ダミーを与えている。その回帰係数の推定値から、心停止の目撃があった場合のほうが、時間経過による救命率への影響が小さいことがわかる。

3. 統計的生命の価値の設定

(1) 統計的生命の価値に関する既往研究

救命効果を貨幣換算するため、救命人口一人当たり便益の原単位となる統計的生命の価値 (VSL) を設定する必要がある。統計的生命の価値については、道路事業の費用便益分析においては、226 百万円/人という値が用いられている。これは、栗山ほか(2009)¹²⁾による交通死亡事故に遭うリスクの低下に対する支払意思額の分析から得られたものあり、救急搬送の所要時間に関する死亡リスクの変化に適用すべきか、必ずしも明確ではない。

救急搬送される状況を想定して、死亡リスクが削減されることに対する支払意思額をCVMにより計測した研究としては、奥山ほか(2011)¹³⁾がある。奥山ほかでは、救急搬送時の統計的生命の価値として、82百万円/人という結果を得ている。

(2) 統計的生命の価値の設定値

本研究では、奥山ほかの知見である82百万円/人を活用し、参考値として、道路事業の費用便益分析での交通事故減少便益に用いる統計的生命の価値226百万円/人を活用した結果も示すこととする。

4. 死亡リスク削減便益の計測方法

(1) 便益計測の方法

2章の救命曲線より、道路整備によって救命率に影響を及ぼす変数、具体的には搬送に要する所要時間が変化することによる死亡リスクの削減幅を具体的に計算することができる。林山・安藤(2008a, 2008b)によると、この死亡リスクの削減幅に加え、3章で言及した緊急時における統計的生命の価値(VSL)が既知であるならば、道路整備による時間短縮効果がもたらす死亡リスク削減便益 (Benefit of Risk Reduction, 以下、BRR と略す)を計測することができる。

林山・安藤によると、道路整備によって救急搬送の所要時間が短縮され、救急搬送される心肺停止傷病者の死亡リスクが π^0 から π^1 に低下したとき($\pi^0 > \pi^1$)、救急搬送される心肺停止傷病者の道路整備による等価変分 (Equivalent Variation) EV は、死亡リスクの削減幅 ($\pi^0 - \pi^1$) と、緊急時における統計的生命の価値 VSL の積として表される。

$$EV = (\pi^0 - \pi^1) \cdot VSL \quad (3)$$

したがって、人口(或いは、受益者) N 人の地域において、心肺停止により救急搬送される確率を θ とすれば、BRR は次式によって計測することができる。

$$BRR = \theta \cdot N \cdot EV \quad (4)$$

本研究では、この計測のために必要となる死亡リスクの削減幅を算定するための救命曲線を推定する。推定される救命曲線には、説明変数に疾病ダミーや年齢などの個人属性、除細動などの応急処置、心電図波形などの症状を表す変数が含まれている。このことから、疾病別や属性別等の死亡リスクの削減幅を計測することが可能であるとともに、どのような傷病者がどこでどのくらい発生すると見込まれるのか、適切に推定し設定して便益計測を進めることが重要である。

(2) 便益計測時の検討事項

便益を計測する際には、救命曲線の各変数の設定値を決めなくてはならない。具体的には、どの場所で、どのような傷病者が、どの程度の頻度で発生し、事業のwith-withoutで搬送の状況(搬送先や所要時間)がどうなるのかを設定しなくてはならない。検討すべき項目は以下のとおりである。

a) 対象となる地域の設定

該当の事業(道路整備)により、救急搬送の利便性が向上すると考えられる地域を設定する。本研究で用いる救命曲線は心肺停止傷病者を対象にしたものであることから、受け入れ先となる三次救急医療機関、二次救急医療機関へのアクセス向上が認められる地域を設定することとなる。

b) 対象となる傷病の設定

本研究では心肺停止傷病者の搬送実績データであるウツタイン統計より導出した救命曲線を用いることから、対象となるのは心肺停止での救急搬送となる。

c) 搬送先医療機関の選定条件

傷病者をどの医療機関に搬送するのかを選定する条件を決める必要がある。三次救急医療機関への搬送とするのか、二次救急医療機関への搬送とするのか、複数の医療機関の優先順位はどのように判断されるのかを検討しなくてはならない。本研究では心肺停止傷病者を対象とし

ていることから、搬送先は二次救急医療機関、三次救急医療機関とし、搬送に要する時間が短い医療機関を優先して選択することとする。

d) 搬送速度の設定

搬送に要する所要時間が救命率に影響を与えることから、所要時間算出のために搬送速度を設定する必要がある。救急車両は一般の車両とは同一の交通条件でも走行速度が異なると考えられる。

e) 対象傷病者となる確率の設定

個人属性により、どのような要因（疾病）でどのくらいの確率で心肺停止傷病者として搬送されるのかを既存のデータ等から設定する。

f) 傷病者の発症地点の設定

対象とした地域内のどの地点でどのような属性の人が発症するのかを設定することで、救急車出動先（搬送時の発地）が決められる。

g) 救命曲線の説明変数値の設定

救命曲線の説明変数にどのような値が代入されるかを既存のデータ等から設定する。個々の搬送事例で傷病者の属性や搬送中の処置などが異なるため、変数値の組み合わせを適切に設定し、それぞれのケースでの救命率と搬送事例の発生確率を用いて救命人口の期待値を算出することが望ましい。

(3) 二変量プロビットモデルを用いた救命率の推定方法

本研究で適用する救命曲線の推定モデルは2変量プロビットモデルである。各変量である「心拍再開の有無」と「1ヵ月後生存の有無」のそれぞれの同時確率の確率密度関数は二変量正規分布に基づいている。この項では、本研究で適用するモデルに基づき、ある傷病者の救命確率を推定する方法について述べる。

本研究では、救命率の向上（命を救えることになる事例件数の期待値）から死亡リスク削減便益を計測する。その際、搬送中に心拍再開があったか否かによる救命の確率に違いはあっても、救命人口一人当たりの便益（統計的生命の価値）の大きさに違いはないとして計測を行う。したがって、1ヵ月後生存と心拍再開のそれぞれの有り無しとの4つの組み合わせの同時確率を算定する必要はなく、（1ヵ月後生存あり、心拍再開あり）と（1ヵ月後生存あり、心拍再開なし）の二つのケースの和集合の確率を算定することができればよい。

林山ほか(2012)によると、2章の推定結果の再現性について、1ヵ月後生存と心拍再開のそれぞれの有り無しの組み合わせを遮断値0.5で判定した結果、1ヵ月後生存と心拍再開の少なくとも一方がありとなるケースの適合率が低いことがわかっている。それに対して、心拍再開の有無の実績値を式(1)に代入する方法を取れば、1ヵ月後

生存ありのケースの適合率が飛躍的に改善されている。将来の便益を計測する際には心拍再開の有無についての実測値を得ることはできず、便益計測に不可欠な1ヵ月後生存の有無の再現性をいかに担保するかが課題となる。

本研究では、各変数が死亡リスク削減に及ぼす影響についての考察を容易にし、心拍再開の有無のデータの設定方法を実測値による設定方法に近いものとするために三種類示し、このデータを適用して式(1)の推定結果を用いた一変量正規分布に基づく救命率を推定するという方法をとった。

5. ケーススタディ

(1) 便益計測の対象

本章では、ここまでの知見を用いたケーススタディとして、北関東自動車道の整備による三次救急医療機関へのアクセス性向上が栃木県真岡市の住民にもたらす死亡リスク削減便益を算出する。

北関東自動車道は平成5年着工、平成23年3月に全線開通した群馬、栃木、茨城の北関東三県を横断する高速自動車道である。真岡市は、人口およそ8万人、栃木県南東部に位置し、市内中心部近郊に真岡ICが整備され、北関東自動車道の開通により、市外へのアクセシビリティ向上の恩恵を大きく受けている地域の一つである。平成20年に真岡ICと宇都宮上三川ICの間が開通し、真岡ICから北関東自動車道経由で東北自動車道を利用することが可能となった。

真岡市内の主要な医療機関は、二次救急医療機関である芳賀赤十字病院、福田記念病院、真岡病院である。これらの3病院は真岡市の行政・経済機能の面でも地理的にも中心部に位置する真岡地区内にあり、市内の医療サービスの根幹を担う存在となっている。また、市外の近隣の三次救急医療機関として、自治医科大学附属病院（以下、自治医大と表記）、獨協医科大学附属病院（以下、獨協医大と表記）がある。いずれも市の西方であるが、北関東自動車道開通前は自治医大へのアクセスの方が容易な地域が多く、これまで、市内の高度医療サービスを必要とする傷病者の多くは自治医大に搬送されてきた。北関東自動車道の開通（正確には、平成20年の真岡IC～宇都宮上三川IC間開通）の後には、北関東自動車道壬生IC近くに立地している獨協医大へのアクセス性が大きく向上し、高速道路を利用した獨協医大への搬送の機会が増加している。

本章では、真岡市内の98大字地区それぞれからの、北関東自動車道整備前と後での獨協医大へのアクセス時間の変化に着目し、三次救急医療機関への心肺停止傷病者の救急搬送が必要となるケースでの搬送所要時間の短縮

表-2 栃木県における救急患者の状況

区分	2008年度		2009年度	
	救急患者数	うち入院患者数	救急患者数	うち入院患者数
二次救急	111,130	19,210	114,902	20,893
三次救急	98,535	19,154	94,541	20,732

資料：栃木県地域医療再生計画（案）

がもたらす死亡リスク削減便益を算出することを試みる。

(2) 検討事項の条件設定

この節では、前章で述べた便益計測時の検討事項に関する条件設定について説明する。

a) 対象となる地域の設定

前節で述べたとおり、北関東自動車道の整備による栃木県真岡市からの救急搬送時のアクセス性向上がもたらす効果を計測する。

b) 対象となる傷病の設定

適用する救命曲線に合わせ、心肺停止での救急搬送を対象とする。

c) 搬送先医療機関の選定条件

心肺停止傷病者を対象としていることから、搬送先は高度な救急蘇生処置が可能な医療機関へ、できるだけ迅速に搬送することが望まれる。対象地区である真岡市は、市内に二次救急医療機関があり、三次救急医療機関は市外にある。傷病者の状態や医療機関の受け入れ態勢などを考慮し、医療機関への搬送時間を優先するならば市内二次救急医療機関へ、高度な医療処置や受け入れ態勢を重視するならば市外の三次救急医療機関へ搬送されることになると思われる。

栃木県¹⁴⁾によると、県内で救急搬送される患者の内、症状が重く入院を必要とした患者は、二次救急医療機関、三次救急医療機関にほぼ同数ずつ搬送されている(表-2)。そこで、本章では、心肺停止傷病者の半数を二次救急医療機関に、残り半数を三次救急医療機関に搬送することとし、それぞれの医療機関の内、搬送に要する時間が短い医療機関を優先して選択することとする。市内の二次救急医療機関への搬送に北関東自動車道を利用することはないため、北関東自動車道の整備による便益を計測するには、三次救急医療機関へ搬送されるケースだけを分析すればよい。

d) 搬送速度の設定

傷病者を搬送する際の救急車の走行速度は対象地域の消防署である芳賀地区広域行政事務組合消防本部真岡消防署へのヒアリングを行い、一般道で時速30キロ、高速道で時速100キロと設定した。

e) 対象傷病者となる確率の設定

本研究では、2008年の全国すべての心肺停止傷病者の

救急搬送事例を基に、年齢別に、心停止の推定要因別の救急搬送患者の発生確率を設定する。

f) 傷病者の発症地点の設定

住民が心肺停止傷病者として救急搬送される場合には、便宜的に住民票のある大字地区の中心点で発症してそこから搬送されると設定する。すなわち、住民基本台帳による町丁目別の人口データを大字地区ごとに集計し、それぞれの地区の人口規模に応じた件数の心肺停止傷病者が発症して救急搬送されると設定した。なお、各地区の中心点は緯度、経度それぞれのレンジの中心地点から最も近い道路上の点とした。

g) 救命曲線の説明変数値の設定

救命曲線に含まれる変数の値のうち、覚知から現着、現着から接触のそれぞれの所要時間は、救命曲線推定時に用いた2008年ウツタイン統計データでの平均値を代入した。接触から収容までの所要時間は各地区ごとに算出した結果を用いた。他の変数はすべてダミー変数であるため、生じ得る「0」と「1」の組み合わせをすべて代入し、それぞれの組み合わせに応じた発生割合を設定して関数値の期待値を算出する。発生割合の設定は、救命曲線推定時に用いた2008年ウツタイン統計データを参照し、それぞれの変数ごとに平均値に従うようにした。

なお、式(1)の説明変数となる「心拍再開の有無」に関しては、以下の3つのケースを設定し、それぞれにおいて救命率を算出する。

・ケース1

2008年ウツタイン統計データでの平均値である7.2%に従い、「0」とする割合を92.8%、「1」とする割合を7.2%とする。

・ケース2

各変数値の組み合わせごとに、心拍再開確率推定式である式(2)の値を心拍再開確率の推定値をして、それに従い、「0」とする割合、「1」とする割合を設定する。

・ケース3

各変数値の組み合わせごとに、心拍再開確率推定式である式(2)の値を遮断値0.5、すなわち、心拍再開確率が50%以上かどうかで心拍再開が起こるかどうかを予測し、その予測値に応じて「0」、「1」を代入する。

(3) 便益計測結果

前節で述べた3つのケースそれぞれについての便益計測結果は表-3～表-5のとおりである。また、統計的生命の価値(VSL)の設定値別での便益計測結果は表-6のとおりである。

VSLに82百万円/人を適用した算出結果によると、最も小さいケース3で年間約7百万円、最も大きいケース2で年間約12百万円となった。供用期間50年の想定で割引現在価値を算出すると、建設期間の設定にもよるが1.5～

表-3 心肺停止の要因別の年間便益計測結果（ケース1）

心肺停止の要因	救命人口 (人/年)	BRR (千円/年)	搬送件数 (人/年)
確定した心原性	0.0253	2,071	10.92
除外診断による心原性	0.0484	3,971	27.87
脳血管障害	0.0044	357	3.23
呼吸器系疾患	0.0099	813	4.04
悪性腫瘍	0.0022	181	2.28
外因性	0.0296	2,428	12.71
その他	0.0183	1,499	8.56
合計	0.1381	11,321	69.62

※ VSL : 82 百万円/人

表-4 心肺停止の要因別の年間便益計測結果（ケース2）

心肺停止の要因	救命人口 (人/年)	BRR (千円/年)	搬送件数 (人/年)
確定した心原性	0.0263	2,158	10.92
除外診断による心原性	0.0455	3,729	27.87
脳血管障害	0.0071	581	3.23
呼吸器系疾患	0.0106	866	4.04
悪性腫瘍	0.0022	184	2.28
外因性	0.0333	2,731	12.71
その他	0.0184	1,509	8.56
合計	0.1434	11,760	69.62

※ VSL : 82 百万円/人

表-5 心肺停止の要因別の年間便益計測結果（ケース3）

心肺停止の要因	救命人口 (人/年)	BRR (千円/年)	搬送件数 (人/年)
確定した心原性	0.0166	1,358	10.92
除外診断による心原性	0.0265	2,170	27.87
脳血管障害	0.0028	230	3.23
呼吸器系疾患	0.0067	552	4.04
悪性腫瘍	0.0008	63	2.28
外因性	0.0200	1,639	12.71
その他	0.0115	940	8.56
合計	0.0848	6,952	69.62

※ VSL : 82 百万円/人

表-6 VSL の設定値別の年間便益計測結果

心拍再開の有無のデータの扱い	VSL 設定値 (百万円/人)	BRR (千円/年)
ケース1	82	11,321
	226	31,201
ケース2	82	11,760
	226	32,411
ケース3	82	6,952
	226	19,160

2.5億円程度となり、北関東自動車道の関係する区間の

事業費（NEXCO(2008)¹⁵⁾によると、宇都宮上三川IC～真岡IC間の事業費が約380億円)の0.4%～0.7%程度の大きさとなった。VSLに226百万円/人を適用した結果は、年間約19百万円～約32百万円、総便益でおよそ4～7億円程度、事業費に対して1%を上回る程度の大きさと計測された。

6. おわりに

本研究は、道路整備による救急搬送の所要時間短縮による救命率向上に着目し、死亡リスク削減便益の算出を試みた。ケーススタディとして、北関東自動車道の整備が栃木県真岡市での救急搬送のアクセス性を高めた効果についてその便益の大きさを算出したところ、年間便益として7百万円～12百万円という結果を得た。

本研究の課題は以下のとおりである。

対象としている救急搬送を心肺停止傷病者のみとしており、他の傷病での救急搬送の所要時間を短縮することの効果は計測されていない。これについては、搬送時間と傷病者の予後についての十分なデータがないことが課題である。

分析に用いた救命曲線の再現性の検証が十分でないことも課題である。再現性の検証を難しくしている要因は以下の二つである。まず、個々の搬送事例ごとに搬送の所要時間や傷病者の個人属性、応急処置の実施状況、心停止の要因などが異なり、多様な状況を検証しなくてはならないことがあげられる。二点目は、救命曲線が二変量プロビットモデルであり、それぞれの目的変数が概ね10%を下回る小さい確率となるケースが多くを占めており、遮断値0.5での適合率による判定では、救命人口の期待値を算出するための救命率の検証が困難となっていることがあげられる。便益計測結果の信頼性を向上するためには、救命人口の期待値をより精度よく算出可能な方法を検討することが望ましい。

また、実務的な課題として、便益計測のために必要なデータの収集、整理を効率的に進める仕組みづくりが求められる。救急医療の改善には、道路整備だけでなく、ドクターヘリやドクターカーの有効活用、医療機関そのものの充実や配置、市民による救急救命活動の普及、医療技術の向上など、さまざまな方法があり、それらの連携が求められることは言うまでもない。それらのデータや将来見通しを合わせて検証し、適正な便益計測を円滑に行う仕組みづくりが求められる。

謝辞：本研究の成果は、高速道路関連社会貢献協議会の平成23年度研究助成によるものである。ここに、深甚の

謝意を表する次第である。また、ケーススタディ実施のために、芳賀地区広域行政事務組合消防本部真岡消防署の関係各位にはヒアリング調査へのご協力を頂き、深く謝意を表す。最後に、瀧本太郎准教授(九州大学大学院経済学研究院)、生川雅紀准教授(岡山大学大学院社会文化科学研究科)には、本研究に対して有益な助言を頂戴したことに厚く謝意を表したい。なお、本研究における誤りの全ては筆者らに帰すことは言うまでもない。

参考文献

- 1) Cara, M : L'achementment Thérapeutique, Gestions Hospitalière, Vol.162, pp.17-26, 1977.
- 2) 林山泰久, 安藤淳: 道路整備による緊急時の死亡リスク軽減便益, 高速道路と自動車, Vol.51, No.9, pp.38-48, 2008a.
- 3) 林山泰久, 安藤淳: 道路整備による緊急時の死亡リスク軽減便益, 森地茂・金本良嗣編, 道路投資の費用便益分析: 課題と展望, 東洋経済新報社, pp.235-261., 2008b.
- 4) 橋本孝来, 栗原正起, 井上健一郎, 岩崎義博, 藤本昭: 救急患者収容所要時間と救命率の関係, 日本臨床救急医学会誌, Vol.5, pp.285-292, 2002.
- 5) 鮎川勝彦, 高山隼人, 前原潤一, 井清司, 藤田尚宏, 有村敏明, 中村夏樹, 島弘志, 宮城良充, 藤本昭: 致命的内因性疾患および多発外傷における救急車搬送時間と入院 30 日目の生存率との関係, 日本臨床救急医学会誌, Vol.12, pp.535-542, 2009.
- 6) 坂本直樹, 阪田和哉, 林山泰久, 中畠一憲: 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, Vol.54, No.10, pp.1-8, 2011.
- 7) 林山泰久, 阪田和哉, 坂本直樹, 瀧本太郎, 稲垣雅一, 奥山忠裕, 中畠一憲, 野原克仁, 阿部雅浩: 中山間地域における高速道路整備における死亡リスク削減便益の計測, 高速道路関連社会貢献協議会平成 23 年度研究助成成果報告書, 2012.
- 8) 松浦克己, コリン・マッケンジー: ミクロ計量経済学, 東洋経済新報社, 2009.
- 9) Greene, W. H. : LIMDEP Version 9.0: Econometric Modeling Guide Volume 2, Econometric Software, Inc., 2007.
- 10) Greene, W. H. : Econometric Analysis, 6th Edition, Pearson Education, Inc., 2008.
- 11) 総務省消防庁: 平成 21 年度救急統計活用検討会報告書, 2010.
- 12) 栗山浩一, 岸本充生, 金本良嗣: 死亡リスク削減の経済的評価: スコープテストによる仮想評価表の検証, 環境経済・政策研究, Vol.2, No.2, pp.48-63, 2009.
- 13) 奥山忠裕・野原克仁・林山泰久・稲垣雅一: 道路整備による死亡リスク削減便益の計測: 交通事故および心停止に対する統計的生命の価値, 高速道路と自動車, Vol.54, No11, pp.20-28, 2010.
- 14) 栃木県: 地域医療再生計画(案), 2011.
- 15) 東日本高速道路株式会社: 北関東自動車道 3 県 3 区間が開通します, プレスリリース, 平成 20 年 1 月 17 日.