第32回建設マネジメント問題に関する
研究発表･討論会講演集　2014年12月

救急搬送患者に対する病院前救護に着目した交通ネットワーク改善効果に関する研究

大山　亮人[1]・阪田　和哉[2]・土井　翔太[3]・瀧本　太郎[4]・中嶌　一憲[5]
・生川　雅紀[6]・坂本　直樹[7]

[1]学生会員 宇都宮大学博士前期課程 大学院工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: @cc.utsunomiya-u.ac.jp

[2]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

[3]学生会員 宇都宮大学博士前期課程 大学院工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: @cc.utsunomiya-u.ac.jp

[4]非会員 九州大学准教授 大学院経済学研究院 (〒- 福岡県福岡市東区箱崎6-19-1)
E-mail: takimoto@en.kyushu-u.ac.jp

[5]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

[6]非会員 岡山大学准教授 大学院社会文化科学研究科 (〒- 岡山県岡山市北区津島中3-1-1)
E-mail: narukawa@okayama-u.ac.jp

[7]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

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地域住民による蘇生処置（応急手当）と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による救命率の向上の効果を計測することを試みる．既往研究においてウツタイン統計データに基づいて推定された救命曲線を用いて，地域住民によるバイスタンダーCPRが行われることで同様の搬送所要時間短縮であっても，救命率の向上に30%前後の差が生じることを示した．交通ネットワークの改善効果の中には住民の協力行動によって大きく変わるものが含まれることを定量的に示した．

Key Words : *Mortality Risk Reduction, CBA, bystander CPR, 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が，救急搬送に要する時間は延伸傾向にある．平成 25 年の「救急・救助の現況」[1] によれば，2012 年のデータでは，救急自動車が現場に到着するまでに要する平均時間が 8.3 分，病院等収容までの平均時間が 38.7 分であった．重篤な傷病者にとって，この所要時間は生死にかかわる長さとなっている．救急処置の現場において参考とされるカーラー救命曲線によれば，心臓停止の傷病者で約 3 分，呼吸停止で約 10 分，多量出血の場合には約 30 分で半数の傷病者が死に至るとされている．心肺停止状態にある傷病者に対する蘇生処置や救命処置は一刻も急がれなければならない．

救急車の現場到着や傷病者の病院収容までの所要時間を短縮するには，消防署や病院の配置や増設，救急隊員の増員，救急車の増車などの対策も有効であるが，道路整備等の交通ネットワークの改善も有効な手段である．阪田ら(2012)[2] は栃木県真岡市を対象地域に，北関東自動車道の整備によって三次救急医療機関への搬送時間が短縮される効果について，心肺停止傷病者の搬送を対象に便益計測を試みた．この研究の対象となった地域は病院までの搬送時間が数十分程度となることが多かったも

のの，より遠方の地域であれば，救命の見込みが相当程度低下した傷病者の搬送となり，効果が十分に期待できないかもしれない．重篤な傷病者の場合には，手遅れとなる経過時間を上回ってしまうのであれば，多少の時間短縮があっても効果が期待できないためである．病院から遠いなどの事情により，救急救命の効果が低くなっている地域では，ただ道路を整備するだけでは十分な効果を期待することは難しい．一方で，心肺停止に陥った傷病者であっても蘇生処置に成功し，心拍を再開した場合には，病院搬送に多少の時間を要したとしても，救命の期待が大きくなる．そのため，近年では，救急隊の到着を待たず，市民が心肺蘇生を行うバイスタンダーCPRが推奨されている．消防庁でも AED の設置数の増加，応急手当の啓蒙活動の拡充を進めている．

そこで，本研究では，交通ネットワークの改善が救急救命に寄与する効果，すなわち，覚知から病院収容までの所要時間の短縮が重篤な傷病者の救命率を高める効果に関して，バイスタンダーCPRの実施の有無による差がどの程度に及ぶのかを分析することを目的とする．

本研究の構成は以下のとおりである．2章では，用いた統計データと救命曲線の説明を行い，本研究の考え方を述べる．3章では，分析方法，4章では，分析による試算結果を記す．5章は，まとめである．

2. 救急蘇生統計の概要と救命効果

(1) 使用するデータと分析事例

わが国では，心肺停止の状態で救急搬送される傷病者の搬送事例をすべて個票として網羅したウツタイン統計データ(Utstein Style Data)が2005年から全国で収集されてきた．このデータは救急蘇生統計として，その概要が毎年公表されている[3)]．

かつては，救急搬送の所要時間と傷病者の予後について，分析に耐えうるデータを収集することが困難であった．橋本ら(2002)[4)] や鮎川ら(2009)[5)] のように，医療機関と消防との連携によってデータを収集して分析した事例はあるが，地域や対象病院が限定され，地域性や搬送先の医療技術水準の影響は否定できない．

2005年より整備されているウツタイン統計データは，統計分析に耐えるように設計されたウツタイン様式に基づくデータであるため，心肺停止という重篤な傷病者に限定されるものの，さまざまな分析や考察が進められている．しかしながら，分析の多くは病院前救護の具体的な処置の実施タイミングや実施内容の検証であり，これらと搬送所要時間との関係を詳細に分析した事例は少ない．瀧本ら(2013)は，「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．この研究では，市民による心臓マッサージの実施有無，市民による人工呼吸の実施有無，市民によるAEDの実施有無といったバイスタンダーCPRが「病院収容前の心拍再開の有無」の説明変数として用いられ，市民によるAEDの実施有無は「1ヵ月生存の有無」の説明変数としても用いられている．また，「1ヵ月生存の有無」の説明変数には，覚知から病院収容までの搬送所要時間も含まれており，この分析結果を活用することで，バイスタンダーCPRの実施有無と搬送時間短縮の効果の関係をとらえることが可能である．

(2) 本研究の考え方

本研究では，瀧本ら(2013)の救命曲線を用いて，バイスタンダーCPRの実施有無による搬送時間短縮の効果の違いについて分析する．分析の対象となるのは心肺停止傷病者であるが，中でも，心停止の要因として確定された心原性と判定された傷病者を対象とする．瀧本ほか(2013)の救命曲線は搬送所要時間に関して非線形であるため，同じ時間短縮であっても，当初の所要時間によって，効果が異なる．そのため，当初の所要時間の違い，すなわち，円滑な搬送が可能な地域とそうでない地域の違いについても考察する．

3. 分析方法

(1) 救命曲線

瀧本ら(2013)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，所要時間に関しては，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．これに加え，バイスタンダーCPRや救急隊等の応急処置，心停止の原因，個人属性などが説明変数として加わる．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．

$$survive = f^1(t_1 + t_2, x_1, rebeat) \tag{1}$$

$$rebeat = f^2(t_1, x_2) \tag{2}$$

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る．

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，瀧本ら(2013)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

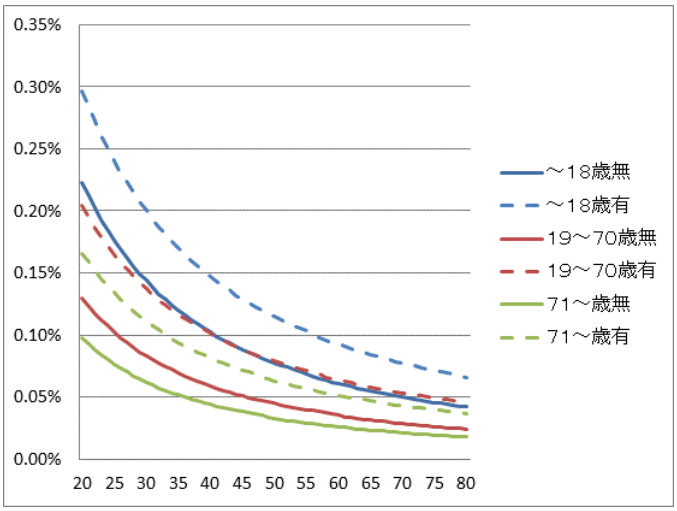
本研究では，瀧本ら(2013)における2008年のウツタイン統計データを用いた推定結果のうち，最終的に選択されたモデルを活用する．市民による除細動「1ヵ月生存」に寄与しており，効果の高い応急手当であることが示唆されている．

(2)　分析の方法

本研究では，交通ネットワーク改善による病院収容までの搬送時間の短縮が救命率を向上させる効果について，バイスタンダーCPRの有無による考察を加える．そこで，さまざまな条件の傷病者を想定し，それらの救命率の加重和がどの程度改善するかを算定することとする．

分析に当たり，各変数の設定値は以下のようにする．覚知から現着までの所要時間は，2008年のウツタイン統計データの平均値から，8.75分と設定する．年齢については，18歳以下，19歳～70歳，71歳以上と分け，それぞれでの救命率向上の効果を計測する．覚知から病院収容までの所要時間は，20分～80分まで1分刻みで，それぞれの所要時間から1分の時間短縮があった場合の救命率向上幅を計算する．バイスタンダーCPRに関係する心臓マッサージ，人工呼吸，市民による除細動は，バイスタンダーCPR有りの時にはすべて「1」，なしの時にはすべて「0」として扱う．その他の変数は，すべて，「0」もしくは「1」をとる値とし，その比率は，2008年ウツタインデータの実績に合わせることとした．有意な説明変数の「0」，「1」の組み合わせは，バイスタンダーCPRの有無別にそれぞれ64通りとなり，すべてのパターンについて救命率を算定してそれぞれの発生比率での加重和を求め，救命率を算定した．

このようにして，年齢層別病院収容までの所要時間別バイスタンダーCPR実施有無別の救命率が算出される．



縦軸：所要時間 1 分短縮により向上する救命率

横軸：当初の覚知～収容の所要時間（分）

図－1　バイスタンダーCPR の有無による救命率の向上効果の比較（確定心原性での心肺停止傷病者）

4.　試算結果

(1)　搬送時間短縮効果の感度分析

バイスタンダーCPRの有無による救命率の向上は図－1のグラフのとおりである．図では，確定心原性での心肺停止傷病者を救急搬送する場合について，覚知から病院収容までの所要時間を1分短縮することにより，救命率が何%向上するかを示している．

病院収容までの所要時間で多くを占めるのは，現場から病院までの搬送に要する時間である．ここを短縮するためには，心肺停止傷病者の受け入れ先となる病院を増やして搬送の距離を短縮するか，搬送に用いる交通ネットワークを改善することが考えられる．多くの地域において現実的な方策は交通ネットワークの改善であろう．2008年のウツタイン統計データによると，確定された心原性の傷病者の1ヵ月生存割合は〇%に過ぎない．このような低い生存確率の下で，わずか1分の搬送時間短縮が0.1%前後の救命率向上をもたらしていることから，交通ネットワークの改善は救急救命の観点からも重要な施策である．なお，他の要因で心拍再開となっているケースでも，同様の傾向が見られている．

さらに，バイスタンダーCPRの有無で比較すると，有りの方が救命率の向上が大きい．これについても，他の要因であっても同様の傾向である．すなわち，市民による救急救命活動への協力が，交通ネットワーク改善の効果を増大させている．

(2)　ケーススタディ

表－1　交通ネットワーク改善効果の試算結果

		増加する救命人口（人/年）	増加する便益（円/年）
bCPR 無	18 歳以下	0.0030	679,751
	19～70 歳	0.0120	2,708,131
	71 歳以上	0.0025	567,949
	合計	0.0175	3,955,831
bCPR 有	18 歳以下	0.0046	1,047,432
	19～70 歳	0.0220	4,963,790
	71 歳以上	0.0050	1,136,064
	合計	0.0316	7,147,285
bCPR 有無での差分		0.0141	3,191,454

バイスタンダーCPRの有無によって，交通ネットワーク改善の効果がどの程度異なるか，ケーススタディを行う．

対象となる地域は，高度な医療機関が近隣に無い中山間地等を想定し，以下のように設定する．

・人口：10千人（18歳以下10%，71歳以上20%）
・心肺停止傷病者の覚知～収容所要時間：50分
・交通ネットワーク改善の程度：上記所要時間を5分短縮
・心肺停止傷病者の発生率は全国平均と同様（2008年ウツタイン統計と同様）

我が国では，心肺停止の状態で救急搬送される傷病者が，年間で人口1000人当たりおよそ1人となっている．したがって，この地域では，年間で約10人程度である．このように，搬送件数自体が少ないため，期待救命人口は，1人に満たない．交通ネットワークの改善によって増加する救命人口は，表 - 1に示す通り，バイスタンダーCPR無しの場合に0.0175人，有りの場合で0.0316人，その差は0.0141人であった．便益の差は，年間3,191千円と算出された．人口1人当たりでは年間319円である．

5. まとめ

本研究で得られた知見は，以下のとおりである．

心肺停止傷病者の救急搬送の予後において，搬送に要する時間の長さと，バイスタンダーCPRの実施は，救命率に影響を与えるが，搬送時間を短縮することの効果は，バイスタンダーCPRを実施している方が実施していない場合よりも高い．

中山間地域のような救急搬送に要する時間が長い地域において搬送時間を短縮することの効果は，覚知～病院収容の所要時間を50分から45分に短縮した時で，人口1人当たり年間319円と算出された．

搬送時間の短縮の方策として交通ネットワークの改善を行った場合に，上記のような効果が期待できることから，交通インフラの効果は，地域住民がその効果を高めるような協力行動（本研究では，心肺停止傷病者に対する蘇生処置）を行うことで，大いに高められる可能性があることが示された．

本研究の試算では，心肺停止傷病者の救急搬送に関する統計であるウツタイン統計データを基に試算を行っており，心肺停止以外の重篤な傷病者に対する応急手当の効果は結果に含まれていない．また，一か月後の予後を基にした救命の可否のみを扱っていることから，後遺障害の有無や搬送後1か月に満たない存命期間があった傷病者の存命期間の価値については，分析の対象に含むことができなかった．これらは，今後の課題である．

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(B)(25289158)からの助成を受けている．

参考文献

1) 総務省消防庁,平成25年版救急救助の現況, 2014
2) 阪田和哉, 坂本直樹, 中嶌一憲, 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CD-ROM. 2012; 45: 1-8.
3) 総務省消防庁. 救急蘇生統計(2008年). 2008
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. 2002; 5: 285-292.
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. 致死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. 2009; 12: 535-542.
6) 瀧本太郎，阪田和哉，中嶌一憲，生川雅紀，坂本直樹，阿部雅浩.救急活動における病院収容時間と除細動実施が救命率に与える影響について：ウツタイン統計データによる2方程式プロビット・モデル分析,医療経済研究 Vol.25 No.1;2013:50-69

(2014.10.21　受付)