救急搬送個票データを用いた道路整備による救命率向上便益の計測 -事業評価のための便益計測の意義と限界-

横山　楓[1]・佐藤　啓輔[2]・綾　貴穂[3]・小池　淳司[4]

[1]正会員　復建調査設計株式会社（〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目 8-15 FGEX 岩本町ビル）
E-mail:fuga.yokoyama@fukken.co.jp

[2]正会員　復建調査設計株式会社（〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目 8-15 FGEX 岩本町ビル）
E-mail:keisuke.sato@fukken.co.jp

[3]正会員　復建調査設計株式会社（〒532-0004 大阪府大阪市淀川区西宮原一丁目 4-13 FGEX 新大阪ビル）
E-mail:aya@fukken.co.jp

[4]正会員　神戸大学大学院工学研究科（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1）
E-mail: koike@lion.kobe-u.ac.jp

救急搬送時間が年々増加傾向にある中，道路に求められる医療施設アクセス機能はナショナルミニマムを保障する観点から非常に重要である．しかし，国土交通省の道路事業評価では 3 便益による評価が基本であり，定型化された医療アクセスの評価手法は示されていない．業務や研究などで計測事例は複数報告されているが，その大半がフランスで作成された経過時間と死亡リスクの目安を示したカーラー曲線を用いているため，我が国の救急搬送データを用いて救命率と搬送時間の関係性を推定する必要がある．そこで，本研究は，国内救急搬送の個票データ（救急搬送人員データ・ウツタインデータ）を用いて，地域別・症状別に搬送時間と救命率の関係性について推定を行い道路整備による救命率向上便益を試算した．そして，試算結果をふまえて，ナショナルミニマムを確保する観点から便益計測の意義を整理し事業評価における取り扱い方針を示した．

Key Words: *救急搬送時間,, 救急患者生存率, 救急医療, 事業評価*

1. はじめに

(1) 背景・目的

わが国の救急自動車による平均搬送時間は年々増加傾向[1)]にあり，令和 3 年は現場到着まで約 9.4 分，病院収容まで約 42.8 分もの時間を要している．これは平成 13 年時点の約 1.5 倍もの搬送時間となっており，本来救えるはずの命を救えないリスクが高まっていると言える．これは，ラファエル A. カルヴォら[2)]によるウェルビーイングの観点では，「医学的ウェルビーイング（＝病気やけががなく，心身の機能が不全でないこと）」が満たされない可能性があると言える．本来，道路は医療施設アクセス機能を有しており，ナショナルミニマムを確保する観点からも全国的な医療施設アクセスの改善は重要である．しかし，現在の国土交通省の道路事業評価は，費用便益分析における 3 便益（走行時間短縮、走行経費減少、交通事故減少）が基本であり，救命率向上効果は含まれていない．また，救命率向上便益を計測するための定型化された評価手法が示されていない状況のため，本研究において救命率向上便益の手法提案を行うとともに，今後の事業評価のための便益計測の意義と限界について検討を行う．

(2) 既往研究の整理と本研究の特徴

便益計測に当たり，救急搬送時間と救命率の関係性が重要となる．代表的な事例としてフランスの救急専門医カーラ（Morley Cara）が 1981 年に報告したカーラー曲線（**図-1**）[3)]が挙げられる．これに対し，林山ら[4)]は，カーラー曲線は心臓停止，呼吸停止，多量出血の経過時間と死亡リスク確率の「目安」をグラフ化したものであると説明している．加えて AED 等により救命措置を現場で行った場合，搬送時間との関係性は薄くなることから，実際の搬送データに基づいた分析が必要である．実際の搬送データを利用した事例として，長崎救急医療協議会

の救急事務引継書を利用した藤本・橋本[5]や，九州 9 病院の搬送患者の診療録を利用した藤本・鮎川ら[6]が挙げられる．これらの研究では，対象病院における患者の搬送データとその後の生存状況をもとに，搬送時間と生存率の関係性を確認し，負の相関（搬送時間が増加するほど生存率が低下する傾向）が見られた疾患を対象に道路整備による救命率向上効果の計測を実施している．ただし，生存率と搬送時間の関係を推定する際は，個票データを搬送時間 5 分単位に集計し，得られたバブルグラフの線形近似式により関係性を推定している．また，使用したデータの課題として，特定病院への搬送実績のため，地域性や搬送先の医療技術水準の影響が含まれていることに加え，データ収集には多施設の協力が必要であり，統計学的処理に必要なデータ件数を確保するのは大きな困難が伴う点を挙げている．その後，救急搬送に関するデータ整備が進み，坂本ら[7]は，消防庁が 2005 年から全国統一のフォーマットで公表している救急蘇生統計（ウツタイン）データを個票単位で利用し，搬送時間と救命率の関係性を推定している．ただし，推定時は全国一律のパラメータを推定しており地域特性が反映されていない．また，パラメータ推定が分析目的のため，便益計測までは行っていない．既往研究を踏まえ，本研究では全国統一基準で消防庁が管理している救急搬送データの個票データを用いて，搬送時間と救命率の関係性を地域別かつ疾患別に推定する．なお，使用する救急搬送データは，心停止患者を対象にデータ整備がされている救急蘇生統計（ウツタイン）データに加え，心停止を含めた全ての救急搬送患者情報が記録された救急搬送人員データを用いる．また，推定した関係性を利用し，阿南安芸自動車道のうち，海部野根道路および安芸道路を対象に救命率向上便益を試算した上で，便益計測を行うことの意義および計測結果の取り扱い上の留意点についても併せて整理を行う．

2. 救急搬送時間と救命率の関係性について

(1) 分析データ

救急搬送に関するデータは，救急活動において救急搬送に至った傷病者の日時や場所，症状，搬送時間等が記載された「救急搬送人員データ」と，心肺機能停止症例（以降，心停止）を対象に，目撃の有無，心肺蘇生の実施有無，傷病者の予後（1 ヶ月後の生存率等）等を記録した「救急蘇生統計（ウツタイン）データ」が存在する．本研究では総務省消防庁に申請を行い，両データを入手した．なお，サンプル数確保の観点から，10 年分（2010～2020 年）を申請した．両データフォーマットおよび，主なデータの違いは**表-1** の通りである．

(2) 搬送時間の定義

症状発症からの経過時間と患者の生存状況の関係を整理するためには，症状の発症時刻から治療開始時刻までの時間が重要となる．治療開始時刻について，ヨーロッパ大陸ではフランスやドイツなど医師が直接現場に出ていく国が多いため，現場到着後直ちに治療を開始することが可能となっている．アメリカやイギリスでは，医師が直接現場には行かないものの，救急車にパラメディックが搭乗しており，現場で相当程度の医療行為を行い，薬剤の投与等をすることが出来る．一方，日本は救急車に救急救命士は搭乗しているものの，医師法によってほとんど「医業」の実行が認められていないため，実際の治療開始時刻は患者が病院に収容されてからとなっている．上記点および救急搬送に関するデータ制約を踏まえ，本研究では搬送時間を**図-2** に示す通り，救急搬送人員データでは「覚知～病院到着」まで，救急蘇生統計（ウツタイン）データでは「覚知～病院収容」と定義し整理を行った．

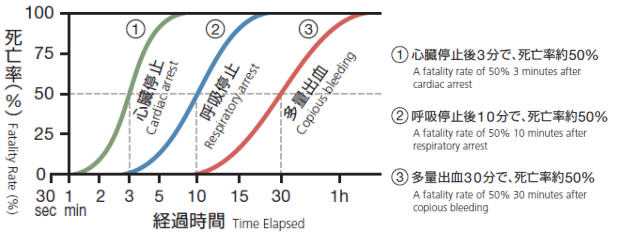


図-1 カーラー曲線[3]

表-1 救急搬送人員データとウツタインデータの比較

	救急搬送人員データ	救急蘇生統計（ウツタイン）データ
地域	全国	全国
申請可能期間	東京消防庁除く 2007年～ 東京消防庁 2016年～	全国 2005 年～
収録データ	発生場所，搬送時間，搬送理由，搬送先，搭乗者情報，患者情報，初診医による重症度評価，傷病名，転送情報 等	発生場所，搬送時間，搬送理由，搬送先，患者情報，搭乗者情報，バイスタンダー及びCPRの有無・救命救急処置の内容，心停止の推定原因，転帰及び予後状況 等
対象患者	救急車によって搬送された患者全て ※ヘリ等による搬送患者は含まれない	救急車によって搬送された心停止患者のみ ※ヘリ等による搬送患者は含まれない
搬送時間に関するデータ	覚知～病院到着まで時刻の記載あり ※2015年以降は病院収容時刻の記載あり	覚知～病院収容まで時刻の記載あり ※CPR（応急処置）の実施時間あり
傷病名等	急病（脳梗塞，心筋梗塞等）や急病以外（骨折，打撲等）の記載あり ※詳細は付録参照	心停止患者のうち，心原性または非心原生（脳血管障害，呼吸器系疾患等）の記載あり
重症度評価	初診医による重症度評価（死亡・重篤・重症・中等症・軽傷・その他）の記載あり ※重篤はかつて定義されていたが，現在は定義しておらず，消防庁では全て重症として扱っている．ただし，一部消防本部では以前の名残で重篤と定義し報告されているため，データ上で残っている．	記載なし（重症度は不明）
生存判定	初診医による診断時の生存（死亡またはその他）の記載のみ ※1か月後の生存状況は不明	「1ヵ月後の生存（あり，なし，回答待ち）」の記載あり

(3)　救急搬送時間と救命率の関係性

a)　全体傾向

救急搬送人員データ（2019）および救急蘇生統計（ウツタイン）データを用いて，都道府県別に集計し，平均搬送時間と平均死亡率の関係性を確認した．

救急搬送人員データ（**図-3**）は平均搬送時間と平均死亡率に正の相関が見られるものの，都道府県別のばらつきが存在し，特に東北地方や新潟県等を中心に，平均死亡率が高い傾向にある．一方，救急蘇生統計（ウツタイン）データ（**図-4**）は，救急搬送人員データに比べてばらつきは少なく，平均搬送時間が増加するとともに平均死亡率が増加する傾向が見られる．両データの結果を踏まえると，都道府県別のばらつきは存在するものの，疾患に関わらず，搬送時間が短縮することで死亡率が減少（救命率が向上）する傾向にあると言える．また，都道府県別のバラつきは，地域によって消防本部や病院，道路の接続状況・混雑度等が異なることが要因で生じていると考えられるが，これらの平均搬送時間の格差が生じないようにすることもナショナルミニマムの観点から重要と考えられる．

b)　疾患大分類別の傾向把握

救急搬送人員データを用いて，疾患別に搬送時間と死亡率の関係について確認を行った．救急搬送データには，「くも膜下出血」や「脳内出血」等の患者の疾患（傷病）が記載されており，それらをまとめた大分類として「循環器系脳疾患」等が存在する．全救急搬送件数のうち各疾患の割合は**図-5** に示すとおりである．本研究では，各疾患を対象に搬送時間 5 分毎にデータを集計した上で，全体傾向で都道府県別のばらつきが見られたことから，地域を全国と地方（四国：阿南安芸自動車道周辺の地域を対象）に分けて整理し，違いの確認を行った．整理方法を**表-2**，疾患別の結果のうち循環器系心疾患および消化器系の結果を示したグラフを**図-6・7** に示す．

疾患別の傾向として，全国・四国ともに搬送時間が増加するにつれて，死亡率が増加するような関係性は見られない．要因の 1 つに，今回の生存判定は「初診医による重症度評価」から行っている点が挙げられる．「初診

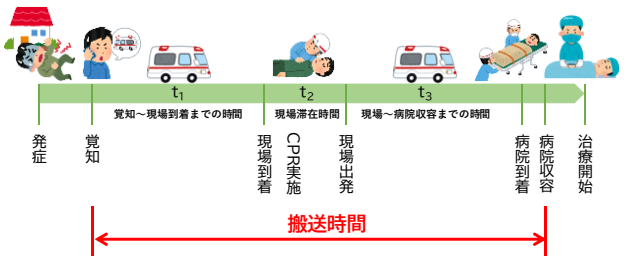
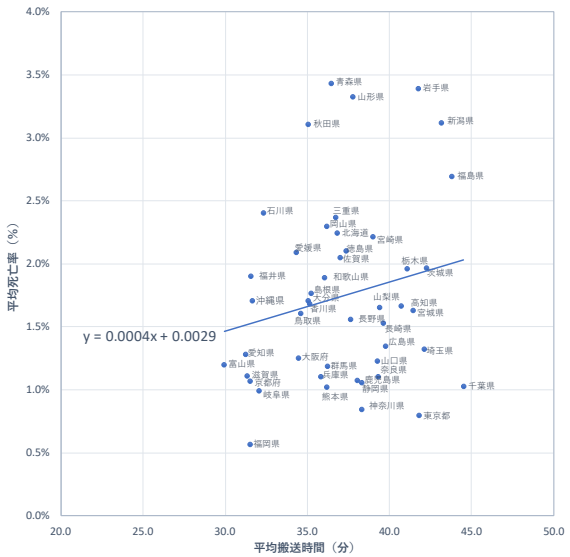
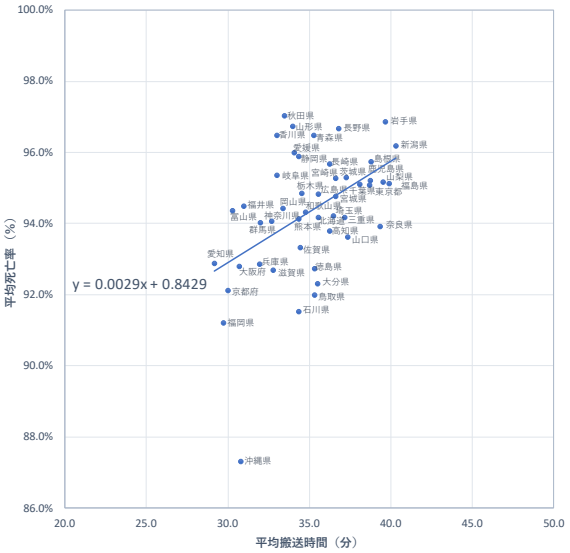


図-2　搬送時間の考え方



※平均搬送時間は覚知から病院到着までの時間として定義

図-3　2019 年救急搬送人員データによる
都道府県別平均搬送時間と死亡率の関係



※平均搬送時間は覚知から病院収容までの時間として定義

図-4　2019 年救急蘇生統計（ウツタイン）データによる
都道府県別平均搬送時間と死亡率の関係

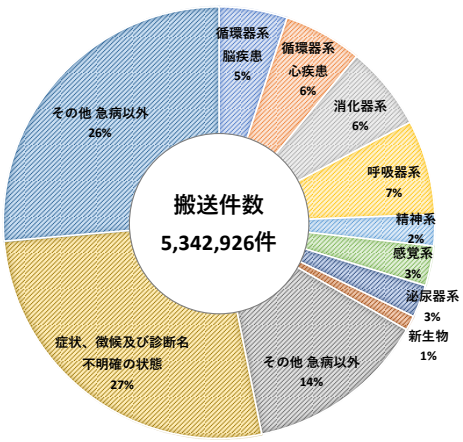


図-5　疾患別の搬送件数（2019 年）

医による重症度評価」で重症や中等症の患者でも，その後状態が悪化し，死亡した患者が含まれている．そのため，救急搬送人員データのみでは正確な生存判定は出来ていない．また，藤本・鮎川らは，救急搬送時には助からなそうな患者は近場の病院に搬送する場合や，助かりそうな患者はあえて遠方の 3 次医療施設に運ぶ場合がある点を指摘しており，より精緻な分析を行う場合は，消防本部や病院等へのヒアリングを行い，地域の実情に合わせた分析を行うことが有効的である．

c) 詳細疾患別の傾向把握

これまでの既往研究として，藤本・橋本，藤本・鮎川らをもとに，詳細に分析を行う疾患について確認を行った．藤本・橋本では，長崎市を含む 1 市 10 町の救急事務引継書を用いて，搬送後 2 週間以内の死亡者が 100 件以上の疾患を対象に分析しており，その結果，6 疾患（急性心筋梗塞，脳内出血，くも膜下出血，肺炎，心肺停止，急性心不全）において搬送時間が短縮されると救命率の向上が期待できると結論付けている．藤本・鮎川らでは，九州 9 病院の救送患者の診療録を用いて，救急の処置を要する疾患を対象に分析しており，その結果，4 疾患（急性心筋梗塞，脳梗塞，大動脈解離，多発外傷）において搬送時間が短縮されると救命率の向上の関係性が見られると結論付けている．そこで，既往研究で対象としていた疾患について，救急搬送人員データにおける傷病名を整理（**表-3**）し，詳細疾患別の搬送時間と救命率の関係性について確認を行った． 結果のうち，急性心筋梗塞と脳内出血のグラフを**図 8・9** に示す．

表-2 救急搬送人員データによる整理方法

	全国	四国
対象地域	全国	消防本部コードをもとに，阿南安芸道路整備によって時間短縮が生じる地域の消防本部（徳島県阿南市，徳島県那賀町，海部消防組合，高知県室戸市，高知県安芸市，中芸広域連合）
対象期間	2019年	2015～2019年 ※2010～2014年は重症度評価結果が掲載されていないため
年齢	全年齢	全年齢
搬送時間	覚知～病院到着	覚知～病院到着
搬送先	全医療機関	全医療機関
事故種別	火災，自然災害，水難事故，交通事故，労働災害，運動競技，一般負傷，加害，自損行為，急病 ※転院搬送及びその他を除く	火災，自然災害，水難事故，交通事故，労働災害，運動競技，一般負傷，加害，自損行為，急病 ※転院搬送及びその他を除く
対象疾患	疾患を大分類で評価 （循環器系脳疾患，循環器系心疾患，消化器系，呼吸器系，精神系，感覚系，泌尿器系，新生物） ※その他および，診断不明を除く	疾患を大分類で評価 （循環器系脳疾患，循環器系心疾患，消化器系，呼吸器系，精神系，感覚系，泌尿器系，新生物） ※その他および，診断不明を除く
重症度	重症度（重篤・重症・中等症・軽傷・その他）に関わらず，全ての患者	重症度（重篤・重症・中等症・軽傷・その他）に関わらず，全ての患者
生存判定	「初診医による重症度評価」が「死亡」の患者	「初診医による重症度評価」が「死亡」の患者
その他	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している

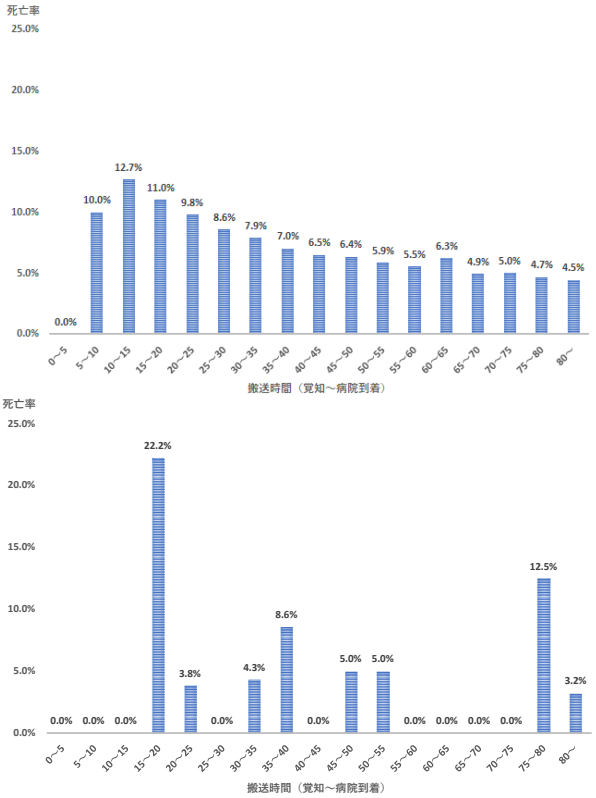


図-6 循環器系心疾患の搬送時間と死亡率の関係
（上：全国／下：四国）

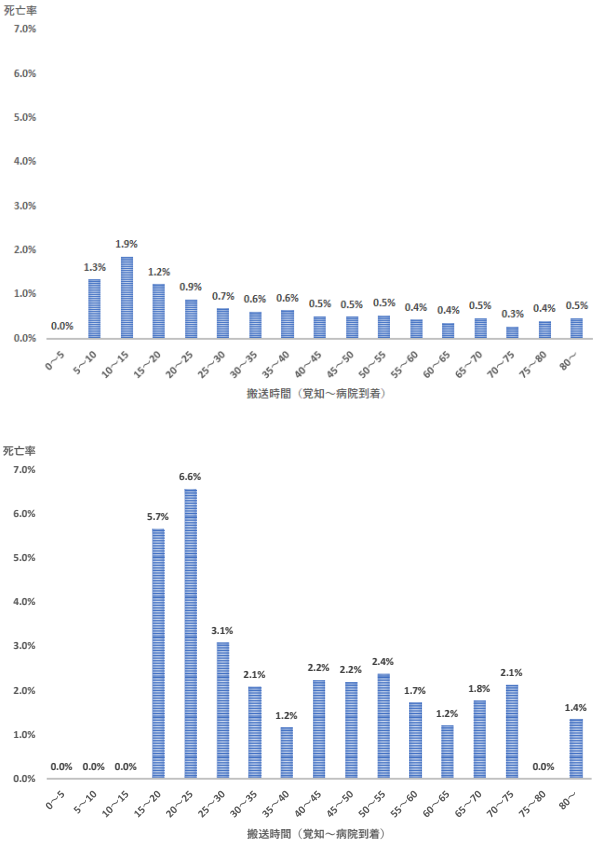


図-7 呼吸器系の搬送時間と死亡率の関係
（上：全国／下：四国）

詳細疾患別の結果としては，一部搬送時間において，搬送時間の増加とともに死亡率が上がる傾向が見られるが，全体としては搬送時間が増加すると死亡率が低下する傾向にある．既往研究と異なる結果になった要因として，既往研究では，患者の生存判定を「入院 30 日目の状態」から判定しており，本研究で用いた救急搬送人員データの定義とは異なる点が考えられる．

d) 心停止患者の傾向把握

救急蘇生統計（ウツタイン）データを用いて，搬送時間と死亡率の関係について確認を行った．なお，救急蘇生統計（ウツタイン）データでは，搬送時間として CPR（心肺蘇生）の開始時刻が記載されている．搬送時間は処置を受けるまでの時間とするべきだが，病院での処置ではなく，現場での CPR を処置として捉えることも可能である．そこで，搬送時間を「覚知～病院収容」と，「覚知～CPR 開始」までの 2 パターンで整理を実施した．

①搬送時間：覚知～病院収容

整理方法および疾患別結果を**表-4**，**図-10** に示す．搬送時間を覚知～病院収容にした場合，全国・四国ともに搬送時間が増加すると死亡率が増加する関係性が見られる．これは，救急搬送人員データとは異なる傾向であり，生存判定を 1 か月後の状況で行っている点や心停止はより早急な搬送が必要であることが要因として考えられる．

②搬送時間：覚知～CPR 実施

整理方法および疾患別結果を**表-5**，**図-11** に示す．搬送時間を覚知～CPR にした場合，全国は 0～15 分および 50～75 分において搬送時間の増加とともに死亡率が増加する傾向にある．一方，四国は 0～15 分でやや搬送時間の増加とともに死亡率が増加する関係が見られるが，それ以上の搬送時間では死亡率にばらつきが見られる．なお，搬送時間を覚知～CPR にした場合，0～15 分における搬送件数が全体の約 80%となっていることから，全国・四国ともに搬送時間の増加とともに死亡率が増加する傾向があると言える．

表-3 既往研究における対象疾患と本研究における整理方針

No	疾患名	藤本・橋本	藤本・鮎川ら	整理方針
1	急性心筋梗塞	○	○	「急性心筋梗塞」として集計可能
2	脳梗塞	△	○	「脳梗塞」として集計可能
3	大動脈解離	-	○	救急搬送データでは同じ分類無し ⇒類似の「循環器 心疾患-動脈、細動脈及び毛細血管の疾患」として集計
4	多発外傷	-	○	「多発外傷 」として集計可能
5	脳内出血	○	△	「脳内出血」として集計可能
6	くも膜下出血	○	△	「くも膜下出血」として集計可能
7	肺炎	○	-	「インフルエンザ及び肺炎」として集計可能
8	急性心不全	○	-	救急搬送データでは同じ分類無し（急性心不全は様々な疾患により生じるため） ⇒「循環器系心疾患 」として集計可能
9	心肺停止	○	-	救急蘇生統計（ウツタイン）データより集計可能

○：搬送時間と死亡率に相関あり、△：相関無し、-：対象外

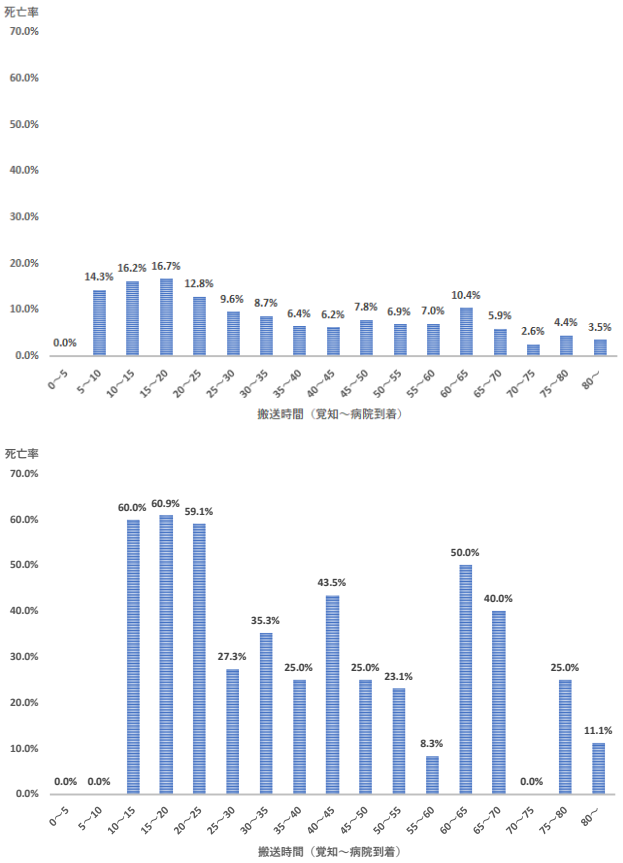


図-8 急性心筋梗塞疾患の搬送時間と死亡率の関係
（上：全国／下：四国）

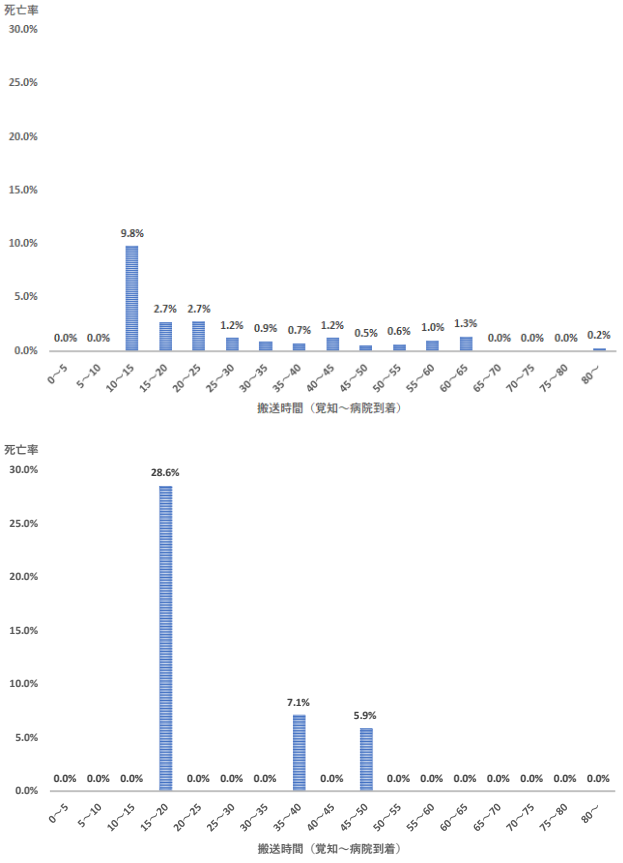
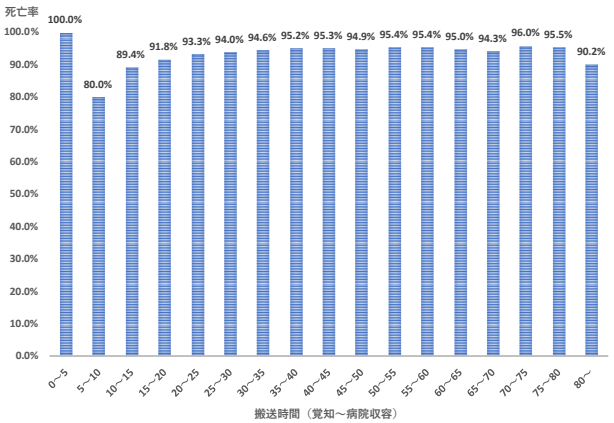


図-9 脳内出血疾患の搬送時間と死亡率の関係
（上：全国／下：四国）

表-4　救急蘇生統計データによる整理方法（覚知～病院収容）

	全国	四国
対象地域	全国	徳島県・高知県を対象 ※消防本部コードが無いため，都道府県コードをもとに集計を実施
対象期間	2019年	2010～2019年
年齢	全年齢	全年齢
搬送時間	覚知～病院収容	覚知～病院収容
搬送先	全医療機関	全医療機関
対象疾患	心停止患者全て	心停止患者全て
生存判定	「１ヵ月後の生存（あり，なし，回答待ち）」から判定	「１ヵ月後の生存（あり，なし，回答待ち）」から判定
その他	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している



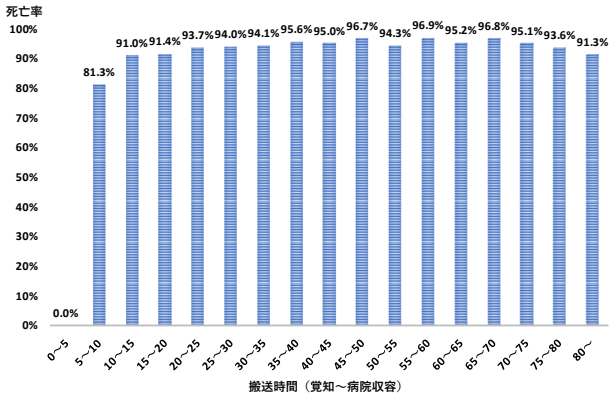
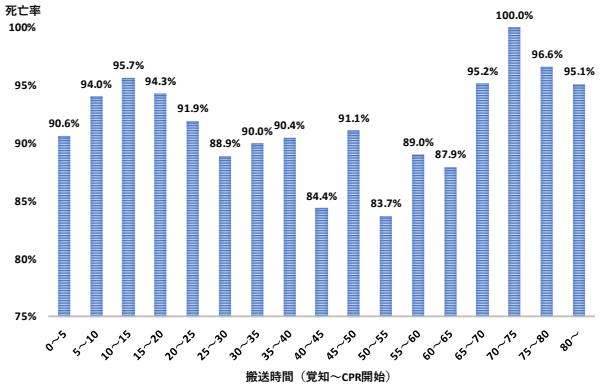


図-10　ウツタインデータによる搬送時間（覚知～病院収容）と死亡率の関係（上：全国／下：四国）

表-5　救急蘇生統計データによる整理方法（覚知～CPR 開始）

	全国	四国
対象地域	全国	徳島県・高知県を対象 ※消防本部コードが無いため，都道府県コードをもとに集計を実施
対象期間	2019年	2010～2019年
年齢	全年齢	全年齢
搬送時間	覚知～CPR開始	覚知～CPR開始
搬送先	全医療機関	全医療機関
対象疾患	心停止患者全て	心停止患者全て
生存判定	「１ヵ月後の生存（あり，なし，回答待ち）」から判定	「１ヵ月後の生存（あり，なし，回答待ち）」から判定
その他	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している	時刻が未入力等で搬送時間が算出不可能なデータは除外している



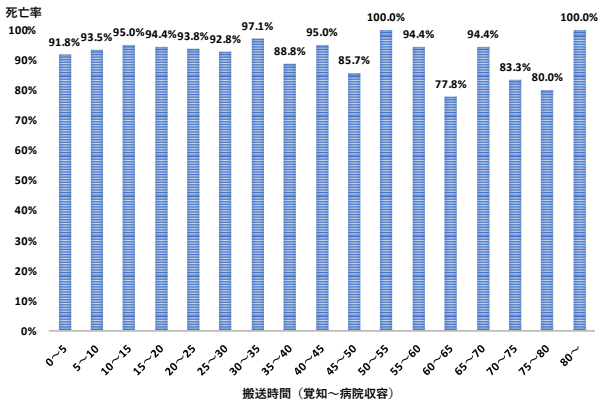


図-11　ウツタインデータによる搬送時間（覚知～CPR 開始）と死亡率の関係（上：全国／下：四国）

(4)　救急搬送時間と救命率の関係性の推定

これまで整理した結果より，搬送時間が短縮することで死亡率の低下が見られる「心停止」を対象に搬送時間と救命率の関係性を推定する．

a)　推定式

推定式に関して，藤本・橋本および藤本・鮎川らでは簡便な手法として線形回帰により推定を行っており，林山らや鮎川・高山ら [8]は，線形回帰では，生存率の最大値 100%や最小値 0 を超える値が出てくることを踏まえ，Logit モデル（ロジスティク回帰）により推定を行っている．本研究では，これまでの既往研究を踏まえ，試行的に Logit モデルを採用し，推定を行った．

$$P_n = \frac{exp\ (aT+b)}{1+exp\ (aT+b)} \qquad (1)$$

P_n：救命率
T：覚知～病院収容間の所要時間（分）
a, b：パラメータ

b)　推定結果

これまでの検討を踏まえ，搬送時間と救命率の関係が見られる「心停止」患者を対象に，救急蘇生統計（ウツタイン）データを用いて，救急搬送時間と救命率の関係

の推定を行った．なお，推定時は対象範囲（全国 or 徳島・四国）および搬送時間の定義（覚知～病院収容or覚知～CPR 開始）を変え，複数条件で検討を行った．また，搬送時間上限の設定に当たり，藤本・鮎川らでは，ヒアリング結果等に基づき，搬送時間 40 分付近を境に，生存率に関わるデータの質に差異があると説明している．ただし，これは九州の 9 病院データに基づく結果であり，本研究では全国データを用いていることから，搬送時間の上限を複数設定し，搬送時間の設定に応じた推定結果の違いについても確認を行った．

まず，No.1-1～1-5 および No.2-1～2-5 は，搬送時間を「覚知～病院収容」にした際の，全国と徳島・高知の違いを搬送時間上限別に見た結果である．まず，対象地域の違いとして，全国と徳島・高知の結果は類似しており，やや高知・徳島の方が時間の経過とともに死亡率が増加する傾向にある．また，**図-12** を見ると，死亡確率が 90%台を推移しており，心停止という死亡率が高い疾患という特徴が表れている．なお，搬送時間上限は設定を行う（範囲を絞る）ほど，搬送時間が増加するにつれて死亡確率が顕著に増加する傾向が見られる．現在の搬送時間上限設定はヒアリング結果等に基づくものではないため，実際にこの結果を活用する場合は，ヒアリング等で地域の搬送実態を把握することが望ましい．

次に，No.1-6～1-9 および No.2-6～2-9 は，搬送時間を「覚知～CPR 開始」にした際の全国と徳島・高知の違いを搬送時間上限別に見た結果である．まず，全国結果の傾向として，搬送時間を上限なしまたは 0～60 分に設定すると，搬送時間が増加すると死亡率が低下する傾向になっている．これは藤本・鮎川らが指摘するように，データの質に差異が含まれている可能性が示唆される．搬送時間を 0～20 分または 95%信頼区間（0～26 分）に設定すると，搬送時間が増加すると死亡率が下がる傾向が見られる．一方，徳島・高知では 5%有意水準を満たすのは，搬送時間 0～20 分のみとなっており，「覚知～病院収容」と同様に，ヒアリング結果等に基づいて上限の設定は必要である．

表-6　推定結果一覧

No	データ抽出条件			サンプル数	推定結果	
	対象範囲	搬送時間	搬送時間上限		時間係数	定数項係数
1-1	全国	覚知～病院収容	なし	122,208	0.004 ***	2.663 ***
1-2			7～62※	118,043	0.017 ***	2.262 ***
1-3			0～30	48,736	0.039 ***	1.716 ***
1-4			0～60	117,226	0.018 ***	2.239 ***
1-5			0～100	121,619	0.011 ***	2.428 ***
1-6		覚知～CPR開始	なし	122,208	-0.007 ***	2.880 ***
1-7			0～26※	118,396	0.017 ***	2.668 ***
1-8			0～20	114,961	0.047 ***	2.398 ***
1-9			0～60	121,848	-0.015 ***	2.971 ***
2-1	徳島・高知	覚知～病院収容	なし	12,975	0.006 **	2.545 ***
2-2			0～67※	12,446	0.022 ***	2.111 ***
2-3			0～30	6,719	0.040 ***	1.723 ***
2-4			0～60	12,172	0.023 ***	2.073 ***
2-5			0～100	12,842	0.013 ***	2.331 ***
2-6		覚知～CPR開始	なし	12,976	0.004	2.691 ***
2-7			0～30※	12,545	0.014 *	2.594 ***
2-8			0～20	11,565	0.037 ***	2.403 ***
2-9			0～60	12,908	0.006	2.671 ***

※95%信頼区間により設定　　***p<0.01，**p<0.05，*p<0.1

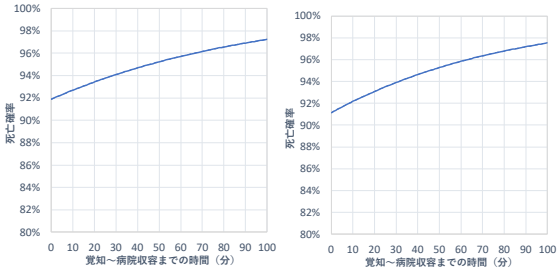


図-12　推定結果（左：全国 No.1-5，右：四国 No.2-5）

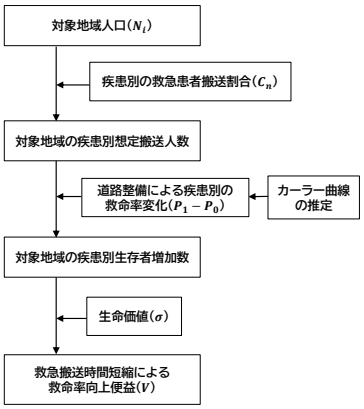


図-13　救命率向上便益の計測フロー

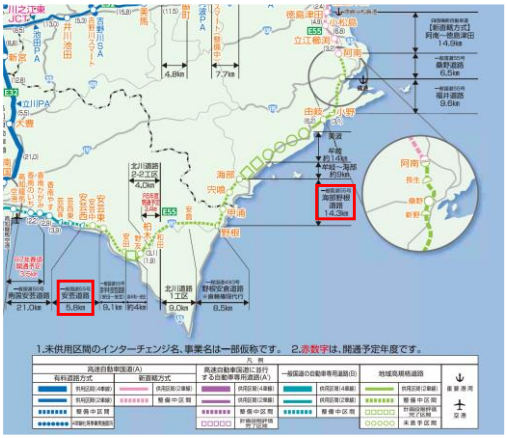


図-14　対象事業位置図[9)]

3.　救命率向上便益の試算

2 の結果を踏まえ，道路整備により救急医療施設へのアクセス時間が短縮され，救急搬送患者のうち心停止患者の生存者数が増加する効果を便益として計測する．なお，交通量推計で使用する OD 表には，緊急車両が含まれていないため 3 便益の 1 つである時間短縮便益とのダブルカウントは発生しない．

(1)　計測フロー

計測フローは**図-13** の通りである．

(2) 便益計測式

搬送時間と救命率の関係をもとに，救急搬送時間短縮による救命率向上便益を下式により計測する．

$$V = \sum_i \{N_i \times C_n \times (P_1 - P_0) \times \sigma\} \qquad (2)$$

i ：メッシュ
N_i：対象地域人口（人）
C_n：疾患別の救急患者搬送割合
$P_{0,1}$：疾患別の救命率（整備前 0，整備後 1）
σ ：生命価値

(3) 対象事業と分析範囲

本研究では，阿南安芸自動車道のうち海部野根道路（14.3km）および安芸道路（5.8km）の 2 つの事業区間で試算を行った．対象事業位置図を**図-14** に示す．

(4) 計測指標の算出

a) 救急患者搬送割合

救急患者搬送割合は，救急蘇生統計（ウツタイン）データに基づき，10 年間（2010～2019 年）の都道府県別平均搬送件数を整理し，国勢調査結果に基づく人口で割ることで，心停止患者の搬送割合を算出した（**表-7**）．

四国 4 県においては，搬送率は 0.1%前後であり，愛媛県，高知県が 4 県の中では搬送率が高くなっている．

b) 救急搬送時間

救急搬送時間は**図-2** に示す通り，以下 3 指標の合計として定義し，道路整備前後で計測を行う．

①覚知から現場到着時間（t1）：最寄り消防署から対象地域内の各メッシュへのアクセス時間を計測
②現場滞在時間（t2）：救急搬送人員データより都道府県単位で平均現場滞在時間を算出
③現場から病院収容時間（t3）：対象地域内の各メッシュから最寄り病院へのアクセス時間を計測

①覚知から現場到着時間（t1）

表-8 に示すネットワークおよび**表-9** に示す拠点設定により，覚知～現場到着までの時間を計測した（**図-15**）．

②現場滞在時間

救急蘇生統計（ウツタイン）データには，現場滞在時間（現場到着～現場出発）が記録されていないため，救急搬送人員データ（2019）を用いて，都道府県別の現場滞在時間を**表-10** の通り整理した．その結果，徳島県は 15.1 分，高知県は 16.2 分という結果を得られた．なお，参考として，救急蘇生統計（ウツタイン）データを用いた搬送時間を**表-11** に示す．全国的に救急蘇生統計（ウツタイン）データの方が搬送時間がやや早く，心停止患者がより早急な搬送を行っていることが要因として考えられる．なお，精緻に分析を行う場合，現場滞在時間は心停止患者のみに絞った時間をヒアリング等で入手することが望ましい．

表-7 心停止患者の搬送割合

県名	搬送件数/10 年	搬送件数/年	人口（R2 国勢調査）	心停止患者搬送率
徳島県	7,260	726	719,559	0.101%
香川県	9,357	936	950,244	0.098%
愛媛県	15,569	1,557	1,334,841	0.117%
高知県	7,816	782	691,527	0.113%

表-8 各ケースのネットワーク

	概要	整備無し	整備あり
ケース 1	海部野根道路の有無比較	令和 4 年 3 月時点の DRM をベースとし，事業化ネットから海部野根道路を削除	整備無しの NW に対して，海部野根道路を追加
ケース 2	安芸道路の有無比較	令和 4 年 3 月時点の DRM をベースとし，安芸道路を削除	整備無しの NW に対して，安芸道路を追加

表-9 消防署から現地（メッシュ）への搬送時間計算方法

整備無し	整備あり
消防本部	消防本部サーチ（総務省消防庁）より，四国 4 県の消防本部を設定
地域間所要時間算出方法	最寄り消防本部から四国の各 3 次メッシュへの所要時間最短ルートをダイクストラ法により計算
旅行速度	・道路交通センサス（2015）の昼間 12 時間平均旅行速度 ・新設箇所は設計速度で設定

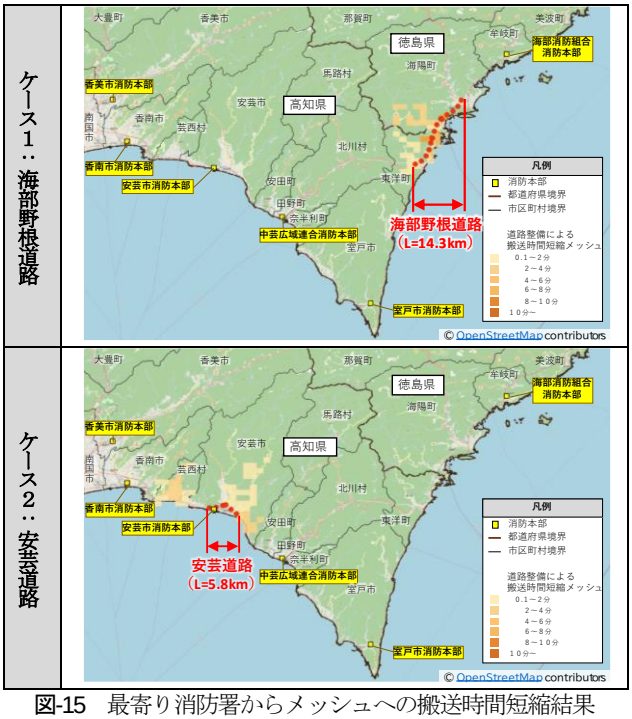


図-15 最寄り消防署からメッシュへの搬送時間短縮結果

表-10　救急搬送人員データ（2019）による都道府県別平均搬送時間

		覚知～現場到着 平均時間	現場到着～現場出発 平均時間	現場～病院 平均時間	覚知～病院到着 平均時間
1	北海道	8.1	17.0	11.7	36.8
2	青森県	8.6	15.1	12.8	36.5
3	岩手県	9.8	17.0	14.9	41.7
4	宮城県	8.8	19.8	12.9	41.5
5	秋田県	8.6	12.2	14.2	35.0
6	山形県	9.0	15.9	12.9	37.8
7	福島県	9.9	17.3	16.6	43.8
8	茨城県	9.4	18.4	14.4	42.2
9	栃木県	8.9	18.9	13.3	41.1
10	群馬県	8.1	15.2	13.0	36.2
11	埼玉県	8.5	22.4	11.1	42.1
12	千葉県	9.3	22.6	12.6	44.5
13	東京都	10.4	21.4	10.0	41.8
14	神奈川県	8.5	20.1	9.7	38.3
15	新潟県	9.1	17.8	16.3	43.2
16	富山県	7.4	11.8	10.8	29.9
17	石川県	7.7	13.7	11.0	32.3
18	福井県	7.8	12.9	10.9	31.6
19	山梨県	9.4	16.8	13.2	39.4
20	長野県	9.3	15.7	12.7	37.7
21	岐阜県	8.1	12.4	11.6	32.0
22	静岡県	8.9	17.3	12.1	38.3
23	愛知県	7.6	13.8	9.9	31.2
24	三重県	8.4	14.2	14.1	36.7
25	滋賀県	8.3	12.6	10.5	31.3
26	京都府	7.1	16.6	7.8	31.5
27	大阪府	7.7	18.6	8.1	34.5
28	兵庫県	8.4	17.8	9.7	35.8
29	奈良県	9.0	18.0	12.4	39.3
30	和歌山県	8.4	14.7	12.9	36.1
31	鳥取県	9.2	12.3	13.1	34.6
32	島根県	9.2	13.0	13.0	35.2
33	岡山県	9.0	14.5	12.7	36.2
34	広島県	8.7	18.5	12.6	39.8
35	山口県	9.3	17.7	12.3	39.3
36	徳島県	8.6	15.1	13.6	37.4
37	香川県	8.7	14.3	12.1	35.1
38	愛媛県	8.8	12.6	12.9	34.3
39	高知県	9.3	16.2	15.1	40.7
40	福岡県	8.5	13.2	9.8	31.5
41	佐賀県	9.8	15.2	12.0	37.0
42	長崎県	9.6	16.4	13.6	39.6
43	熊本県	8.6	15.1	12.4	36.2
44	大分県	8.8	14.6	11.7	35.1
45	宮崎県	10.0	16.8	12.2	39.0
46	鹿児島県	9.4	15.3	13.3	38.0
47	沖縄県	8.6	12.9	10.2	31.7
	全国	8.7	17.7	11.1	37.6

表-11　救急蘇生統計（ウツタイン）データ（2019）による都道府県別平均搬送時間

		覚知～現場到着 平均時間	現場到着～接触 平均時間	接触～CPR開始 平均時間	CPR開始～病院収容 平均時間	覚知～病院収容 平均時間
1	北海道	7.8	1.6	1.7	24.4	35.6
2	青森県	8.7	1.2	1.3	24.0	35.3
3	岩手県	10.1	1.2	1.5	26.8	39.7
4	宮城県	8.8	1.5	1.4	24.9	36.6
5	秋田県	8.7	1.2	1.1	22.4	33.5
6	山形県	9.0	1.4	1.3	22.3	34.0
7	福島県	10.2	1.3	1.3	27.1	39.9
8	茨城県	9.2	1.3	1.5	25.3	37.3
9	栃木県	8.7	1.6	1.6	22.6	34.6
10	群馬県	7.6	1.2	1.3	21.9	32.0
11	埼玉県	7.9	1.3	1.6	25.7	36.5
12	千葉県	8.9	1.6	1.6	26.1	38.1
13	東京都	6.6	1.9	1.4	28.8	38.7
14	神奈川県	7.4	1.6	1.3	22.4	32.7
15	新潟県	9.0	1.4	1.5	28.4	40.3
16	富山県	7.4	1.3	1.2	20.4	30.3
17	石川県	7.7	1.3	1.6	23.8	34.4
18	福井県	7.8	1.3	1.3	20.6	31.0
19	山梨県	9.4	1.7	1.4	27.1	39.5
20	長野県	9.6	1.1	1.5	24.5	36.8
21	岐阜県	8.4	1.3	1.3	22.1	33.0
22	静岡県	8.5	1.5	1.4	23.0	34.4
23	愛知県	7.3	1.8	1.2	18.9	29.2
24	三重県	8.8	1.6	1.6	25.2	37.2
25	滋賀県	7.9	1.7	1.3	21.9	32.8
26	京都府	7.3	1.4	1.3	20.1	30.0
27	大阪府	7.2	1.7	1.1	20.7	30.7
28	兵庫県	8.0	1.6	1.2	21.1	32.0
29	奈良県	9.3	1.6	1.7	26.7	39.3
30	和歌山県	8.8	1.7	1.3	22.9	34.8
31	鳥取県	9.5	1.4	1.2	23.2	35.3
32	島根県	9.8	1.4	1.3	26.3	38.8
33	岡山県	8.9	1.5	1.9	21.1	33.4
34	広島県	8.5	1.3	1.6	24.1	35.6
35	山口県	9.4	1.4	1.6	25.0	37.4
36	徳島県	8.9	1.3	1.8	23.3	35.3
37	香川県	8.5	1.5	1.3	21.8	33.0
38	愛媛県	8.9	1.4	1.4	22.5	34.1
39	高知県	9.7	1.4	1.9	23.3	36.3
40	福岡県	8.4	1.4	1.0	18.9	29.8
41	佐賀県	9.6	1.6	1.1	22.1	34.5
42	長崎県	9.0	1.5	1.5	24.3	36.2
43	熊本県	8.7	1.3	1.6	22.7	34.4
44	大分県	8.8	1.5	1.1	24.1	35.5
45	宮崎県	10.2	1.2	1.7	23.5	36.6
46	鹿児島県	9.4	1.4	1.5	26.4	38.8
47	沖縄県	8.2	1.5	1.0	20.0	30.8
	全国	8.2	1.5	1.4	23.7	34.8

表-12　現場（メッシュ）から病院到着時の所要時間計算方法

整備無し	整備あり
消防本部	・救急告示医療機関より設定した. －愛媛県：救急告示施設 －香川県：救急病院・救急診療所一覧 －高知県：救急告示病院・診療所一覧 －徳島県：救急告示医療機関一覧
地域間所要時間算出方法	・四国の各 3 次メッシュから最寄り救急告示病院への所要時間最短ルートをダイクストラ法により計算
旅行速度	・道路交通センサス（2015）の昼間 12 時間平均旅行速度．新設箇所は設計速度．

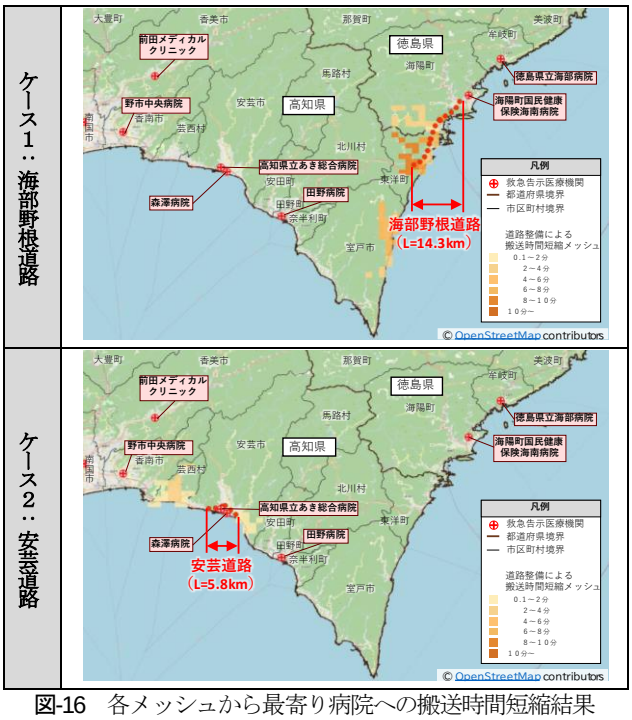


図-16　各メッシュから最寄り病院への搬送時間短縮結果

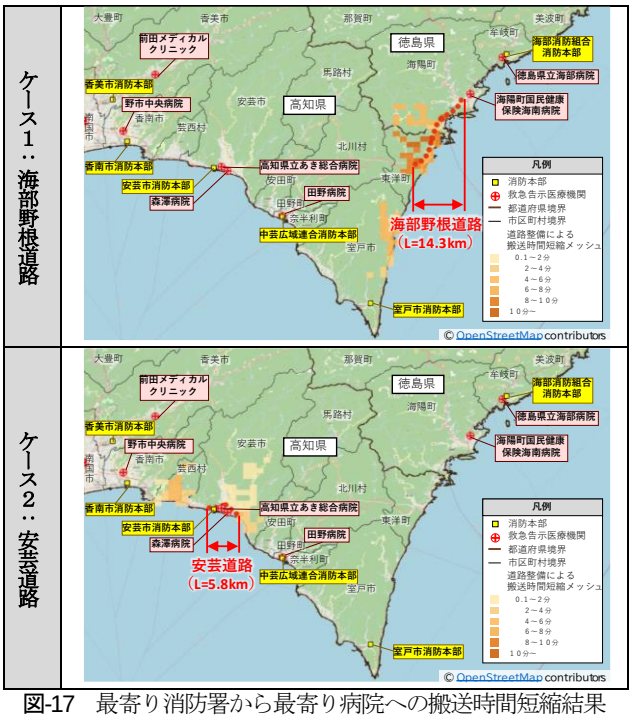


図-17　最寄り消防署から最寄り病院への搬送時間短縮結果

③現場から病院到着時間

ネットワークは「①覚知から現場到着時間」と同様とし，所要時間の計算方法は**表-12** の通り設定し，現場～病院到着までの時間を計算した（**図-16**）．

①～③の合計

救急搬送時間（消防本部～現場到着～現場出発～病院到着）をメッシュごとに整理し，各事業の整備前後によって搬送時間の短縮量を確認した．結果は**図-17** の通りである．海部野根道路整備では，東洋町周辺に消防本部および病院が存在しないため，整備により 10 分以上所要時間が短縮するエリアが広く存在する．一方，安芸道路は周辺に消防本部や病院が存在するため，所要時間の短縮量自体は海部野根道路に比べて少ない傾向にある．

c) 生命価値

生命価値は，公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）[10]より 22,600 万円/人として設定した．

(5) 便益算出結果

a) 海部野根道路

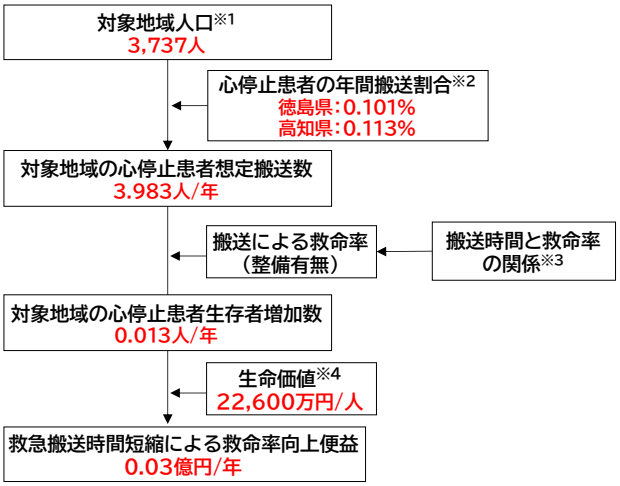
搬送時間を覚知～病院到着と定義し，**図-18** のフロー・条件に基づき海部野根道路を整備した際の便益を計測した．結果は 0.03 億円/年となり，海部野根道路の 3 便益（約 4.1 億円/年 [11]）に対して約 0.7%となっている．

b) 安芸道路

搬送時間を覚知～病院到着と定義し，**図-19** のフロー・条件に基づき安芸道路を整備した際の便益を計測した．結果は 0.04 億円/年となり，海部野根道路の 3 便益（約 23 億円/年 [12]）に対して約 0.2%となっている．

4. 本研究の成果

搬送時間と救命率の関係性を示した代表的な事例としてはカーラー曲線が挙げられるが，これは心臓停止，呼吸停止，多量出血の経過時間と死亡リスク確率の「目安」をグラフ化したものであり，実データに基づく関係性ではない．また，曲線はフランスの救急専門医カーラ（Morley Cara）が作成したものであり，日本（都道府県）の地域特性が考慮されているものではない．そのため，国内の道路事業評価を行う際にカーラー曲線を使うのは妥当ではない．そこで，本研究では，国内の救急搬送実績（救急搬送人員，ウツタイン）の個票データを用いて，搬送時間と救命率の関係性を詳細（地域別・疾患別）に確認し，地域実態に合わせた救命率曲線の推定を実施した．加えて，救命率向上便益計測時に必要となる搬送時間について，対象地域内の消防署，病院位置に基づいてメッシュ単位で道路整備前後の搬送時間変化を精緻に計測した．そして得られた結果をもとに，海部野根道路および安芸道路整備による救命率向上便益を計測した．



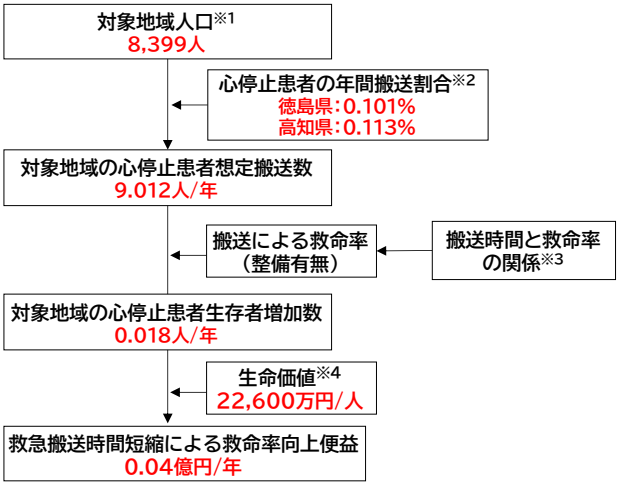
※1：海部野根道路整備により消防本部から 3 次メッシュ，または病院から 3 次メッシュへの所要時間が短縮したメッシュと定義し，その地域における人口を国勢調査（2020）より算出

※2：県別の「心停止による搬送件数/人口（国勢調査）」により算出

※3：表-6【No. 2-5】を採用

※4：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）平成 20 年 6 月

図-18 海部野根道路 便益計測フロー



※1：安芸道路整備により消防本部から 3 次メッシュ，または病院から 3 次メッシュへの所要時間が短縮したメッシュと定義し，その地域における人口を国勢調査（2020）より算出

※2：県別の「心停止による搬送件数/人口（国勢調査）」により算出

※3：表-6【No. 2-5】を採用

※4：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）平成 20 年 6 月

図-19 安芸道路 便益計測フロー

5. 本研究の課題と留意点

(1) 便益対象とする疾患

本研究では救急搬送データ（救急搬送人員データ，ウツタインデータ）を用いて搬送時間と救命率の関係性を確認し，有意な結果が得られた心停止患者の救命率向上便益を計測した．心停止以外で有意な結果が得られなかった要因として，救急搬送人員データでは患者の生存判定を「初診医による重症度評価」から行っている点が挙げられる．本来，重症や中等症の中でもその後に死亡した方が含まれるため，救急搬送人員データでは正確な生存判定が出来ない．また，藤本・鮎川らは救急搬送時には助からなそうな患者は近場の病院に搬送する場合や，助かりそうな患者はあえて遠方の 3 次医療施設に運ぶ場合があると指摘している．そのため，より精緻に分析を行う場合は．対象となる消防本部や病院へのヒアリング等を行い，実態に合わせたデータ抽出・対象疾患の選定について検討を行うことが有効的である．

(2) 搬送時間の定義

本研究では搬送時間を「覚知～病院到着（病院収容）」と定義している．これは，日本の救急救命士は医師法によってほとんど「医業」の実行が認められておらず，初期治療の着手は患者が病院に収容されてからとなるためである．仮に国内多くの病院でドクターカーが普及した場合，現場到着と同時に治療が可能となるため，搬送時間を「覚知～現場到着」にするなどの検討が必要である．また，心停止患者の場合は，AED 等による CPR（心肺蘇生）が可能であり，病院収容が医療開始時刻ではなく，救急車が現場に到着し，救急救命士による CPR が実施された時刻を医療開始として捉えることも可能である．そのため，分析対象地域における現場での処置実態等を踏まえた検討が今後必要である．

(3) 搬送時間と救命率の関係性推定方法

本研究では救急搬送データ（救急搬送人員データ，ウツタインデータ）を用いて，Logit モデルにより搬送時間と救命率の関係について推定を行った．ただし．中嶌ら [13]は，ウツタインデータを用いて，Logit モデル，Probit モデル，Scobit モデル，CLL モデルの計 4 種類のアプローチで適切な推定手法の検討を行っている．その結果，最適なモデルは目的に応じて異なるものの，公共事業評価のような実務的側面を考慮すれば，Logit 系の推定モデル，特に Scobit モデルが望ましいと結論付けている．本研究では試行的に Logit モデルのみによる推定を行ったが，今後はデータ特性を踏まえた推定時のモデル検討も必要である．

(4) 便益額の取り扱い

本研究で計測した救命率向上便益は，既存便益と重複しない概念のため既存 3 便益（時間短縮，走行軽減減少，事故減少）に足すことは可能である．ただし，本稿で推計した結果からも，その便益規模は時間短縮便益に対して必ずしも大きくはないことから，単純に足し合わせることだけを意図するのであれば，実務的な計測負担・コストをふまえると合理的な判断とは言えない．一方で，道路整備が救命率向上を通して医学的ウェルビーイングの向上に貢献することは，その規模の大小に関わらず社会的に意義のあることは言うまでもない．事業評価にあたっては，道路整備により一人でも多くの命が救われる可能性があることを具体的に明示したうえで，それは単純な規模の議論に終始するようなものではなく，我々が生まれ育った地域で安心して暮らすための権利を守ることに貢献する事業であることをふまえた丁寧な説明が必要である．例えば，病院や消防，住民の声等もふまえた救命率向上の重要性を示すことや地域が掲げる保険医療計画等の上位計画に対して貢献できることを示す等の取り組みが必要である．本来，医療や災害のように人の生命に関わる事象については，費用便益分析のような社会的効率性で評価する限り，必然的に相対的に効率性の低い地域では切り捨てが生じるため，社会的効率性とは切り離して評価することが望ましい．今後，このような観点から事業評価制度の改定に向けた取り組みも必要であるものの，短期的には，現行制度制約下で，可能な限り地域の生活を守る事業を促進できるよう検討を行う必要がある．本稿で推計した便益指標は，そのような検討を行うための一つのピースであることを認識した取扱いが望ましい．

6. おわりに

本研究では，現行の費用便益分析で計上されていない救急搬送時間短縮による救命率向上便益について，国内救急搬送データを用いて救急搬送時間と救命率の関係性を推定し，心停止患者において救急搬送時間が短縮することで救命率が向上する傾向を確認した．また，推定した関係性をもとに，四国の阿南安芸自動車道のうち，海部野根道路および安芸道路を対象に便益計測を行った．現在，日本国内において，救命率や平均搬送時間に都道府県別のばらつき（**図-3・4**）が存在しており，ナショナルミニマムを確保する観点から，全国民が基本的な医療サービスが享受できるような医療施設アクセスの改善は必要であり，前章（4）で示した便益額の取り扱いに関する留意点を踏まえた救命率向上の価値を示していく必要性があると考えている．

謝辞：本研究は，国土交通省道路局が設置する新道路技術会議の技術研究開発制度により，国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究「権利と効率のストック効果に基づく社会的意思決定方法と実用的なストック効果計測手法の開発」で行われた成果の一部を活用している．

参考文献

1) 消防庁：令和 4 年版 救急・救助の現況.
2) ラファエル A. カルヴォ & ドリアン・ピーターズ（著），渡邊淳司 ／ドミニク・チェン（監修），木村千里ら（翻訳）：ウェルビーイングの設計論 人がよりよく生きるための情報技術，2017
3) 総務省消防庁：パンフレット Chapter2 救助・救急（https://www.fdma.go.jp/en/items/en_03.pdf）
4) 森地茂，金本良嗣：道路投資の便益評価，道路投資の便益評価 理論と実践，東洋経済新報社，第 9 章道路整備による緊急時の死亡リスク軽減便益（林山泰久，安藤淳編），P251，2008.
5) 藤本昭，橋本考来：救急患者の収容所要時間・救命曲線を使った道路整備の救命向上効果計測，九州技法第 31 号，2002.
6) 藤本昭，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：道路整備による救急医療改善効果～経済性を編重視内道路整備効果説明方法の提案～，交通工学 vol.45 No.5，2010.
7) 坂本直樹，阪田和哉，林山泰久，中嶌一憲：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，高速道路と自動車第 54 巻 第 10 号，2011 .
8) 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，Vol. 12, pp. 535-542, 2009.
9) 高知県：四国 8 の字ネットワークパンフレット（ https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/170701/files/20130411003 30/file_20239155162916_1.pdf）
10) 国土交通省：公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編），平成 21 年 6 月
11) 国土交通省：平成 31 年度新規事業採択時評価結果（ https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/2018/08/18110888002/18110888002_1.pdf）
12) 国土交通省：令和 2 年度事業継続箇所（ https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/jghks/karute/img/2019/08/19230888001/19230888001_1.pdf）
13) 中嶌 一憲，生川 雅紀：ウツタイン統計データを用いた救命曲線推定アプローチの比較検討，土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5 (土木計画学研究・論文集第 36 巻), I_169-I_180, 2019