

道路整備による救急医療改善効果の推計

藤本 昭* 並河良治**

1. はじめに

道路事業評価は、費用と対効を総合的に分析しなければならない。しかし、現在道路を整備する際に実施されている事業評価は一般的に費用便益分析が中心になっている。ここで便益に算入されるものは、走行時間短縮と走行経費削減、交通事故減少の3便益に限られており、しかも前の2項目は、交通量に大きく依存する。

しかし、道路には多くの機能があることから整備効果はこの3便益以外にも多く存在するものの、分かりやすくかつ客観的に評価するための数値化は難しいことが多い。このため地域の特異性に応じて3便益以外を定性的にでも説明しようとしている事例はあるが、広く一般的に使える客観的な数値として示しているものは見当たらない。

著者は地方中核的病院の救急医師らとの共同研究により、疾患別救急車搬送患者の搬送時間と生存率との関係を明らかにした¹⁾。救急疾患4症例群については統計学的検定により5%有意で関係式を導き出した²⁾。この関係式を用いることにより、走行時間が異なる新旧道路による救急患者搬送数を推定すれば、搬送時間短縮と併せ使うことから救急患者の生存増加数(救命患者数)を推計することができ、定量的な評価の指標となる。

そこで本稿では、この関係式を使って道路交通量の多寡とは関係なく存在する道路整備による救急医療改善の効果を分かりやすくかつ客観的な救命患者数として推計する方法を述べるものである。

2. データ

2.1 利用データ

九州の地方中核的病院である飯塚病院と聖マリア病院、佐賀県立病院好生館、国立病院機構長崎医療センター、済生会熊本病院、熊本赤十字病院、新別府病院、鹿児島市医師会病院、沖縄県立中部病院の9施設が受け入れた救急車搬送患者の診療

録から2004と2005年を中心に症例を集めた。対象としたのは統計処理に十分なデータ件数の確保が見込めそうな急性かつ致死的内因性の5疾患および多発外傷とした。しかし、秒や分単位で処置を急ぐ心肺停止状態の症例は各疾患から除いた。

収集データ件数は4,285件であったが、分析に必要な項目の記入があり、かつ現場から直接に当該病院へ運び込まれた直送データ件数は1,310症例であった。疾患別に分けると、急性心筋梗塞(AMI)が197症例、クモ膜下出血(SAH)が131症例、脳梗塞(CI)が360症例、脳内出血(CH)が416症例、大動脈乖離(AD)が75症例、多発外傷が131症例であった。

2.2 集計

表-1に道路整備による救急医療改善効果推計に重要な数値を疾患別症度別に整理して示す。

疾患別症度比率は疾患別に症度別救急患者発生数をそれぞれの地域で推定する時の参考になる。

発症平均年齢は患者の就業可能年数から余命の生涯収入推定等、効果の金額化に必要となる。

搬送時間は本来、発症から処置開始までの時間とするべきであるが、現実的にはデータの確保が不可能である。このため本稿では覚知時刻から病院到着時刻までを搬送時間とした。関係時刻の定義を表-2に示す。

表-1 疾患別の症度比率・平均年齢・搬送時間等¹⁾

疾患名	症度	分析データ数	症度比率	発症平均年齢	生存率	搬送時間(分)	覚知現着時間	現着現発時間
急性心筋梗塞AMI	重症	40	20.3%	72.8	55.0%	29.0	6.4	11.7
	中等症	45	22.8%	88.7	88.9%	30.7	6.9	13.0
	軽症	112	56.9%	86.3	95.5%	30.1	8.0	9.9
	全体	197	100.0%	88.2	85.3%	30.0	7.4	10.9
クモ膜下出血SAH	重症	52	39.7%	89.3	19.2%	31.3	8.4	9.8
	中等症	29	22.1%	59.9	93.1%	30.2	7.1	10.4
	軽症	50	38.2%	59.7	92.0%	30.7	8.8	12.7
	全体	131	100.0%	63.5	63.4%	30.8	8.1	10.9
脳梗塞CI	重症	46	12.8%	79.0	89.6%	30.3	7.8	12.0
	中等症	81	18.9%	76.7	91.3%	33.8	8.0	12.8
	軽症	253	70.3%	73.3	93.7%	30.4	7.2	11.7
	全体	360	100.0%	74.6	90.3%	31.0	7.3	11.9
脳内出血CH	重症	127	30.5%	71.7	40.9%	33.2	8.0	11.7
	中等症	91	21.9%	89.0	87.9%	32.5	8.5	12.8
	軽症	198	47.6%	70.4	95.5%	32.1	7.1	11.8
	全体	416	100.0%	70.6	77.2%	32.5	7.7	12.0
大動脈解離AD	A	46	61.3%	87.9	83.0%	31.7	7.3	9.7
	B	29	38.7%	71.4	93.1%	34.1	8.2	12.3
	小計	75	100.0%	89.3	74.7%	32.8	7.7	10.7
多発外傷MT	全体	131	100.0%	50.3	64.1%	35.8	7.5	15.4

The approach to estimate the effect of building new roads on saving critical care patients

表-2 搬送関係時刻

関係時刻	内容
発症	発症時刻、強い苦痛を伴う症例を除くと特定が困難、特に脳関係は確認が不可能の場合も多い
覚知	消防が119コールを確認した時刻
現着	救急車が現場に到着した時刻
現発	救急車が現場から病院に向けて出発した時刻
病着	救急車が病院に到着した時刻

消防データには指令、出場、接触、収容、引渡、帰着等の時刻もある

3. 救急患者の搬送時間と生存率の関係

3.1 バブルグラフ

疾患別に症度分類した症例群ごとに搬送時間と生存率の関係を見るため、搬送時間の階級区分を1～5分、6～10分、…の5分階級区分として、横軸を搬送時間、縦軸を生存率とするバブルグラフを作成した。図-1に急性心筋梗塞（AMI）の重症と中等症の例を示す。

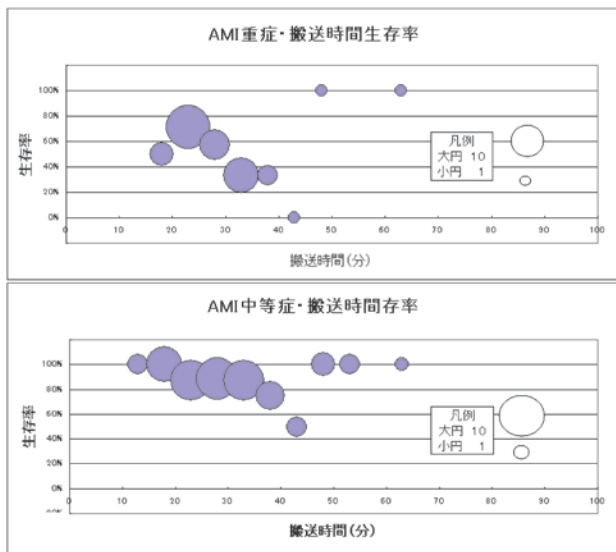


図-1 AMIの重症および中等症のバブル図¹⁾

AMIの重症例を見ると、搬送時間16～40分では区分毎にある程度まとまったデータ件数があり、搬送時間40分程度までは搬送時間が長くなると生存率が低くなる。また、他の時間区分ではデータが無いか件数が少ない。

AMIの中等症例を見ると、搬送時間40分程度までは搬送時間が長くなると生存率は低くなるが、これを超えると生存率が高くなる。

これ以外の症例では、この2例と同様の傾向を示すか搬送時間と生存率の関係が認められない¹⁾。

3.2 データの取扱い

3.1節で述べた搬送時間が40分程度を超えた

データが示す特異な傾向について、消防局や消防本部への聞き取り調査から以下のことが分かった。

地方中核医療施設が複数ある都市内などの現場からは当該施設まで10～15分程度あれば患者を搬送でき、覚知時刻から現発時刻までの平均時間18～23分³⁾（平均時間約20分）を加えても40分を超える事例は少ない。しかし、市外の離れた地域の現場からは当該施設まで20～60分かかる場合がある。このような現場で危険な状態の患者が救急隊に収容された場合は、現場の総合判断で近傍の施設に運び、患者状態の安定化を優先させる場合がある。近傍の施設に直送あるいは当該施設に転送や転院搬送と記録される症例となる。

すなわち、当該病院へ収容された搬送時間40分程度を超える患者群は重篤な患者比率が低くなるという傾向があり、40分程度を超えるデータには強いバイアスがある。このことから搬送時間40分を超えるデータを分析から切り離すことにした。

3.3 データの統計学的検定

搬送時間40分以下のデータの搬送時間が長くなることによる生存率の低下傾向を確認するため、疾患別症度別に2通りの統計学的検定を行った。

一つ目は搬送時間40分以下のデータ件数を搬送時間30分で2分割し、両群の疾患毎の平均生存率による『比率の差の検定』であり、二つ目は『無相関の検定』である。

表-3は、傾向が殆んど読み取れなかったSAHとCHを除いた結果である。2通りの検定のうち一方が有意であれば有意とした。AMIとCI、AD、MTの4疾患はAMIの軽症とCIの重症を除き5%で有意であった。

表-3 疾患別症度別の検定結果²⁾

疾患	重症度	比率の差の検定	無相関の検定	相関係数
急性心筋梗塞 (AMI)	重症	片側5%有意	片側10%有意	
	中等症		片側5%有意	
	軽症	片側10%有意		
	全体	片側5%有意		R=0.386
脳梗塞 (CI)	重症中等症	片側5%有意	片側5%有意	R=0.953
	重症	片側15%有意		
	中等症	片側10%有意	片側5%有意	
	軽症	片側5%有意	片側5%有意	
大動脈解離 (AD)	全体	片側10%有意	片側5%有意	R=0.898
	A型		片側5%有意	
	B型	片側5%有意	片側5%有意	
多発外傷 (MT)	全体	片側15%有意	片側5%有意	R=0.850
	18以上	片側5%有意	片側5%有意	R=0.818

片側検定15%以下で有意なものを掲示

3.4 救急患者の搬送時間と生存率の関係式

社会資本整備にあたり広く社会指標を検討する際には、疾患別症度別まで細分化した議論は詳細に過ぎる。3.3節の結果を受け、4疾患についてXを搬送時間（分）、Yを生存率とする関係式を導き出した。ここで、AMIについては相関係数が0.386と低いことから重症中等症を合わせた症例群の関係式を使うことにした。関係式を寄与率、t値とともに表-4に示す。

表-4 疾患別の搬送時間と生存率の関係式²⁾

疾患	症例	関係式	寄与率	φ	t 値
AMI	重症中等症	$Y = -0.0160X + 1.1552$	0.9073	4	6.257
CI	全体	$Y = -0.0048X + 1.0412$	0.8071	4	4.091
AD	全体	$Y = -0.0112X + 1.0694$	0.7233	5	3.61
MT	全体	$Y = -0.0119X + 0.9208$	0.6698	3	2.467

φ: 自由度

但し、 $0 \leq Y \leq 1$ の範囲で適用し、 $Y \geq 1$ となるXの範囲は $Y=1$ 、 $Y \leq 0$ となる範囲は $Y=0$ とする。これをグラフ化したものが図-2である。曲線等をあてはめた方がより自然な形状の関数となるが、精度は殆ど変わらないことから、現時点では簡便なこの式を使う。

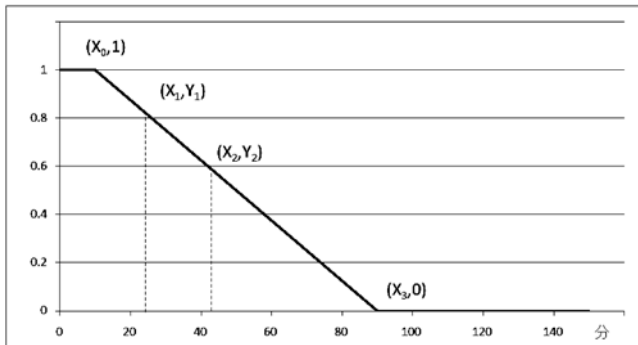


図-2 救急患者の搬送時間と生存率の関係グラフイメージ (X: 搬送時間、Y: 生存率)³⁾

4. 救急医療改善効果の推計方法

4.1 道路を使って搬送される救急患者数

図-3に推計作業全体のフローを示す。

まず、図-3の右側の流れである。救急患者に対応する地域の中核病院を決める。そして、その病院に依存する地域を想定する。これを適切にゾーニングし、各地区の人口を推計する。

各地の消防本部では救急事務引継書を作成保管している。この集計結果から年毎の救急車による疾患別救急患者搬送人員数が分かる。

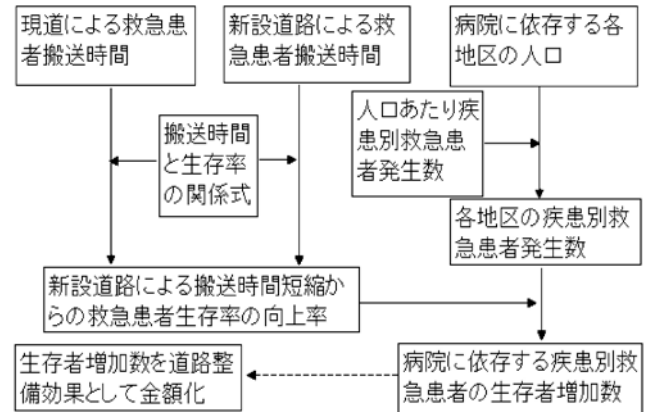


図-3 推計作業全体フロー

例として、長崎地域(長崎市と時津町、長与町)の搬送人員数⁴⁾を集計率で割り、疾患別救急患者発生数を推計した。更にこれを人口で割ると人口あたり救急患者発生数も分かる。これらの数値をそれぞれ表-5の「発生数」、「/万人」欄に示す。

ここで集計率とは、病院収容1週間後に医師による確定診断名や転帰が記入された引継書が回収されるデータ内容確定率を指す。

表-5 長崎地域疾患別救急車搬送患者発生数²⁾

	2004年度		2005年度		平均	
	発生数	/万人	発生数	/万人		
搬送件数(件)	17,758		17,910			
総搬送人員(人)	16486人		16924人			
集計率	92.8%		94.5%			
人口(人)	538,945		526,681			
AMI搬送人員(人)	329	351	6.51	285	299	6.09
CI搬送人員(人)	587	626	11.62	620	650	11.98
AD搬送人員(人)	98	105	1.94	99	104	1.95
MT搬送人員(人)	18	19	0.36	39	41	0.78

表-5の右端に推計作業に使う2004年と2005年の4疾患別人口1万人あたり救急患者発生数の平均値を示す。ただし、AMIの重症中等症の値がないため表-1の症度比率を使って2.62人(6.09人×0.431)と推定した。各地区の人口にこの疾患別救急患者発生原単位を掛けると、救命患者数推計に必要な地区毎の道路を使う疾患別救急患者人数が分かる。

4.2 道路新設による搬送時間短縮と生存率向上値

生存率向上値の推計は、地区毎に現道を走行する搬送時間(図-2のX₂)の生存率(同Y₂)および地区毎に新道路を走行する搬送時間(同X₁)の生存率(同Y₁)を疾患別にそれぞれ計算すれば、その差(Y₁-Y₂)がそれぞれの地区における疾患別生存率の向上値となる。

4.3 関係式適用上の留意点

救急患者の搬送時間と生存率の関係式で使う搬

送時間は覚知時刻から病院到着時刻までの時間と定義している。一方、道路分野で一般に使う搬送時間は現場発時刻から病院着時刻までの時間（多くはゾーン中心から病院までの走行時間）を指しており、搬送時間の概念が異なる。

図-4に4疾患別に覚知～現着、現着～現発について時間の分布図を示す。4疾患直送の覚知から現着までの平均時間は7.3～7.7分、現着から現発までの平均時間は内因性疾患が10.7～11.9分、多発外傷が15.4分である。覚知から現発までの平均時間は約20分になり、覚知から現発までに30分以上掛かる事例は稀である。道路分野で使う搬送時間を関係式に適用する場合はこれらを考慮する必要がある。

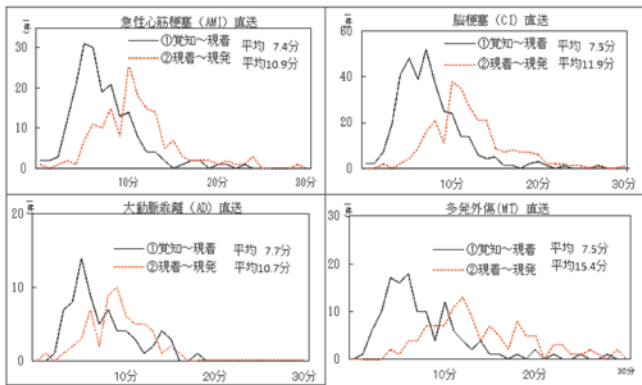


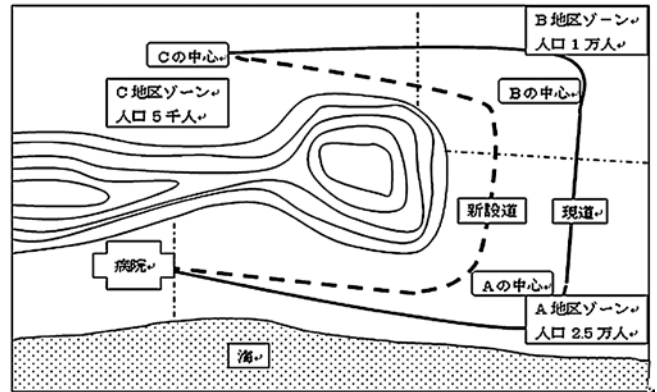
図-4 搬送時間の分布図と平均搬送時間³⁾

4.4 地域モデルにおける救命患者数の推計

4疾患の救命患者数を推計する仮想の地域モデルを図-5に示す。

- (1) 地域中核的病院に依存するA、B、Cの3ゾーンがある。各ゾーンの人口はそれぞれ2.5万人、1.0万人、0.5万人とする。
- (2) 病院から各ゾーン中心への現道と新道の距離はAが2.2kmと1.8km、Bが2.9kmと2.1km、Cが5.0kmと4.5kmとする。
- (3) 走行速度は現道が30km/h、新道が45km/hとする。
- (4) 道路が新設されることにより、各ゾーン中心から病院までの搬送時間は、現道を使う場合に比べ、Aは4.4分から2.4分へと2分、Bは5.8分から2.8分へと3分、Cは10.0分から6.0分へと4分、それぞれ短縮される。

4.1節に示す2005年を基準とする1万人あたり疾患別救急患者発生数の、AMI重症中等症：2.62、CI：11.98、AD：1.95、MT：0.57を各ゾーンの



	病院⇄A地区	病院⇄B地区	病院⇄C地区
病院から地区までの現道距離	2.2km	2.9km	5.0km
病院から地区までの新設道路距離	1.8km	2.1km	4.5km
現道利用による搬送時間	4.4分	5.8分	10.0分
新設道路利用による搬送時間	2.4分	2.8分	6.0分
新設道路による搬送時間の短縮A	2分	3分	4分
病院に依存する地区毎人口B	2.5万人	1万人	0.5万人
A*B (累計分万人)	5分万人(5)	3分万人(8)	2分万人(10)

走行速度は現道が30km/h、新設道路が45km/h。

図-5 仮想の地域モデル

人口に掛け、ゾーン毎の4疾患別救急患者発生数を推計する。これらが求めれば、ゾーン別疾患別の生存率向上値 (Y₁-Y₂) とそれぞれ掛け合わせて、合計する。これが1年間の救命患者数の推計値となる。

地域モデルに示す搬送時間は現発～病着間の時間である。関係式を適用するには4.3節に示すような覚知から現発までの時間を考慮する必要がある。調査結果の疾患別の覚知から現発までの平均時間約20分を加えた搬送時間は、関係式が4疾患ともにそのまま適用できる範囲にある。

すなわち、この場合は道路整備による4疾患別救急患者の年間の救命患者数を以下のような簡単な方法で推計できる。

$$\begin{aligned} & \Sigma(\text{地区人口}) \times (\text{人口当たり患者発生数}) \\ & \times (\text{地区と病院間の短縮時間}) \times (X\text{係数}) \\ \text{[AMI]} &= 0.4192\text{人/年} \\ \text{[CI]} &= 0.5750\text{人/年} \\ \text{[AD]} &= 0.2180\text{人/年} \\ \text{[MT]} &= 0.0670\text{人/年} \end{aligned}$$

4疾患合計は1.278人/年となる。

したがって、地域モデルの道路新設による50年間の救急医療改善効果はこの4疾患救命患者数合計の1.278人を50倍した63.96人となる。

救命患者数が推計でき、表-1に示すとおり疾患別発症平均年齢も分ることから、交通安全で用いるのと同様の手法を使えば、救急医療改善効果を便益の一つとしても検討できる。

4.5 道路整備検討期間50年の取扱い

道路整備の事業評価検討期間は50年⁵⁾としており、この間には救急患者発生と関係が深いと考えられる人口の減少や高齢化率の上昇などが見込まれる。道路整備効果の算出に当たっては、これらの変化を考慮するのが望ましい。一方、50年後までの予測指標が入手できない場合もあることから、容易に計算できる特定年の救命患者数の50倍がどのような状態を示すのかを検討した。

長崎地域には11年間分の救急患者搬送人員数を公表したものがあ⁴⁾。これを表-5と同様に整理すると地域の「高齢化率X」と「人口1万人あたり救急患者発生数Y」が表-6の関係式となる。

表-6 高齢化率Xと救急患者発生数/万人Yの関係⁶⁾

疾患	関係式	寄与率	φ	t値	有意
AMI	$Y=26.302X-0.2124$	0.4135	9	1.6198	5%
CI	$Y=55.626X+0.0738$	0.8531	9	6.6774	1%
AD	$Y=10.403X-0.2617$	0.7310	3	2.4412	5%
MT	$Y=1.3885X+0.1676$	0.0242	9	0.0735	—

φ：自由度、1%と5%、10%で無相関の検定

国立社会保障・人口問題研究所が公表している2035年までの将来市町村別人口から地域の高齢化率Xを算出し、関係式に外挿する。これに将来人口を掛けると地域の4疾患別救急患者発生数となる。結果を表-7、図-6に示す。

人口は2005年から2035年までに24%減少するが、4疾患合計発生数は2025年までは26%増加し、その後漸減する。

将来の長崎地域の救急患者発生数を大掴みするため、2005年の4疾患合計救急患者発生数を基準100として指標化した将来5年毎の4疾患救急患者発生数（無単位）を図-7に示す。50年間が検討期間のため、仮に2005年を検討開始年とすれば2055年までこの発生数を想定する必要があるも

表-7 将来の高齢化率Xと人口で予測した長崎地域の疾患別救急患者発生数（人）⁶⁾

		2010年	2015年	2020年	2025年	2030年	2035年
人口		512166	495318	475308	452895	428390	402751
高齢者人口		124403	140638	151596	153854	152458	149148
高齢化率		24.3%	28.4%	31.9%	34.0%	35.8%	37.0%
AMI	発生数	316	359	389	395	392	384
	発生数/万人	6.18	7.26	8.18	8.73	9.15	9.53
CI	発生数	688	779	840	852	845	827
	発生数/万人	13.44	15.72	17.67	18.83	19.72	20.53
AD	発生数	116	133	145	148	147	145
	発生数/万人	2.27	2.69	3.06	3.27	3.44	3.59
MT	発生数	26	28	29	29	28	27
	発生数/万人	0.50	0.56	0.61	0.64	0.66	0.68
AMI, CI, AD	発生数	1121	1271	1374	1396	1384	1355
AMI, CI, AD	発生数/万人	21.88	25.67	28.90	30.83	32.31	33.64
4疾患	発生数	1146	1299	1403	1425	1413	1382
	発生数/万人	22.38	26.23	29.51	31.47	32.97	34.33

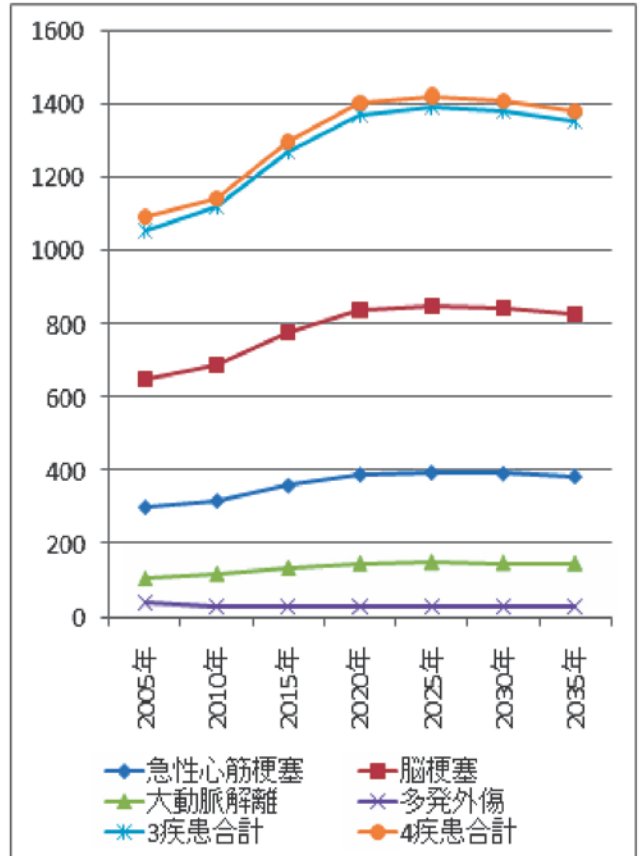


図-6 将来の高齢化率Xと人口で予測した疾患別救急患者発生数（人）⁶⁾

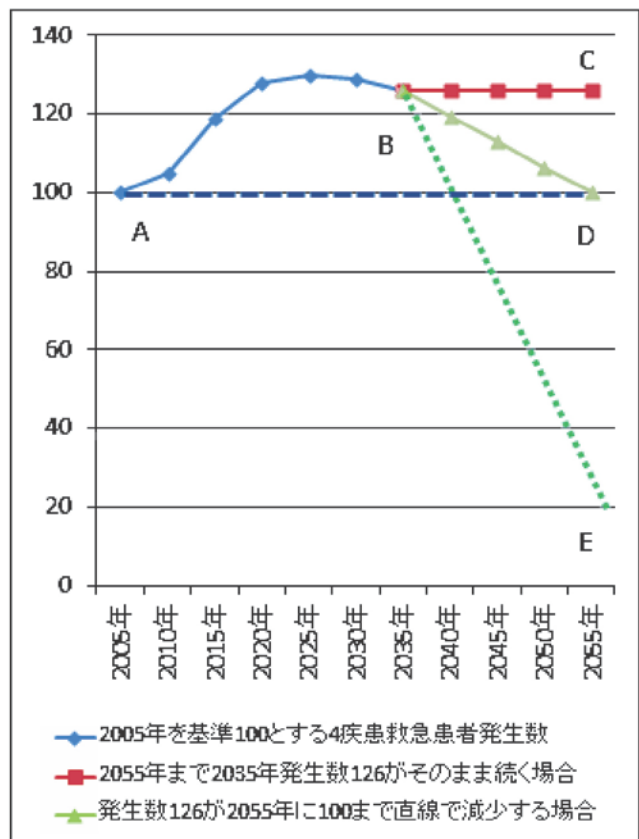


図-7 2005年を基準100とする救急患者発生数

の、2035年より先は市町村別人口が公表されていない。そこで、2035年から2055年までのあり得べき傾向を以下のとおり設定した。B～C線は2035年の発生数126 (B) が2055年のCまで同数で続く場合、B～D線は2035年の発生数126 (B) が2055年の発生数100 (D) まで直線的に減少する場合である。

これを前提に2005年から2055年までの4疾患累計発生数を計算すると、2005年の発生数100 (A) を50倍する累計5,000に対し、A～B～C線の場合は累計6,140 (5,000の1.23倍)、A～B～D線の場合は累計5,880 (1.18倍) となる。では、2035年の発生数126 (B) の先、発生数が何処まで下がれば累計発生数が5,000となるか。2055年まで線形に変化すると、2055年の発生数は20 (E) となり、A～B～E線となる。

すなわち、50年間の累計発生数を推計するにあたり、特定年2005年の発生数を50倍する累計発生数は極めて低めの推計値と考えられる。また、救急患者発生数と救命患者数は比例関係にあり、救急医療改善効果としての救命患者数推計についても同じことになる。

5. まとめ

道路整備の費用対効果分析において、3便益以外に金額化も可能となる救急医療改善効果、すなわち救命患者数という分かりやすい客観的な数値を推計する方法について述べた。この推計方法は路線としての道路の評価のみならず、少し工夫をすることで他の社会基盤を含め、網的な配置論にも適用できる。

本稿の内容は九州地方のデータによる分析結果であるが、基本的な考え方は全国各地で一般的に使える。但し、適用に際しては、各地の地域性を考慮する今後の検証調査は必要と考える。

本研究は端緒に着いたばかりであるが医学分野との連携から道路整備効果の新しい推計手法を生み出した。多くの機能を有する道路を正しく評価するには他分野との研究連携が一層重要となる。

最後に、本稿執筆にあたり医師グループとの共同研究成果を活用したことを記し、関係者に深謝致します。

参考文献

- 1) 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：救急車搬送時間と入院 30 日目生存率の関係、日本臨床救急医学会雑誌、第 12 巻、第 6 号、pp.535～542、2009
- 2) 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、交通工学、第 45 巻、第 5 号、pp.47～56、2010
- 3) 藤本昭、角知憲、大枝良直、田代哲章、松本和信、武藤美代：道路整備による救急医療改善効果推計方法についての提案、交通工学、第 46 巻、第 3 号、pp.66～69、2011
- 4) 長崎実地救急医療連絡会：長崎救急医療白書 2006、2007、2008 年版
- 5) 国土交通省道路事業の評価手法に関する検討委員会：費用便益分析マニュアル、2008
- 6) 藤本昭：将来の高齢化率上昇と人口減少を考慮した道路計画に資する救急患者発生数予測、第 30 回交通工学研究発表会論文集、pp.289～292、2010

藤本 昭*



特定非営利活動法人救急医療と社会基盤を考える会、博士 (工学)
Dr. Akira FUJIMOTO

並河良治**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路研究官
Yoshiharu NAMIKAWA