

モビリティ改善を見据えた医療アクセシビリティに関する研究

小又暉広・石井儀光・大澤義明

A Research on Medical Accessibility Considering Mobility Improvement

Akihiro KOMATA, Norimitsu ISHII and Yoshiaki OHSAWA

Abstract: Regional medical disparities are essential problems in Japanese local areas. The number of doctors per population is frequently used as an index to measure the quality of medical care in local areas. However, the spatial concept is not taken into account in the index. In this study, we evaluated the medical accessibility of local governments using GIS. We also assumed next-generation mobility improvements such as legal speed relaxation and signal control, then we analyzed. Besides, theoretical considerations regarding average distance and moving speed are calculated.

Keywords: 病院 (hospital), 到達圏 (reachable area), 医師偏在指標 (physician uneven distribution index), 法定速度緩和 (speed limit deregulation), 信号制御 (traffic signal control)

1. はじめに

近年、地域間の医療の偏りが日本医療の課題として度々取り上げられる。そしてメディアなどで医療の偏りが議論される場合、指標として人口あたり医師数が用いられることが多い。しかし、医療の偏りを人口当たり医師数ではなく、医療へのアクセシビリティで評価するべきだという議論もある。昨今、自動運転技術が現実味を帯び、リアルタイムでの信号制御が実装されるなどモビリティ技術が向上している。これらの技術によって交通の完全情報化が進むと信号制御はもちろんのこと、法定速度の緩和が可能になり、救急搬送にかかる時間の削減に貢献できると考えられる。

本研究では茨城県内の市町村を対象として、救急搬送にかかる時間から、各自治体における救急搬送患者の生存率の期待値を算出し、その値を用いてアクセシビリティを評価する。また、法定速

度緩和や信号制御といった技術による救急搬送時間の短縮についても分析を行う。さらに、施設数と移動速度がアクセシビリティに与える影響について理論的な解釈を加える。

2. アクセシビリティ評価手法の概略

2.1 ネットワーク分析

本研究では ESRI 社 ArcGIS10.5.1 の Network Analyst を用いて 2 地点間の最短経路の移動所要時間を算出する。道路網データは OpenStreetMap(2018)を用いた。また、各道路リンクの走行速度は、OpenStreetMap データに最高速度の記載のあるものはその値を、ないものは道路のクラスに応じて速度を割り当てた。

2.2 法定速度緩和の考慮

緊急時の救急車には通常の法定速度は適用されないが、法定速度を大幅に超えることはないと考え、法定速度を用いて分析している。

通常の法定速度での分析に加え、法定速度の緩和を想定し、幹線道路の法定速度を 20km/h 緩和し、アクセシビリティの変化を分析した。また、

小又暉広

筑波大学システム情報工学研究科社会工学専攻
s1820451@s.tsukuba.ac.jp

信号制御などの技術によって搬送時間が削減される可能性があるが、その効果についてもこの法定速度緩和に内包されているものとする。

2.3 人口メッシュの利用

本研究では2015年の国勢調査より、500mメッシュ人口データを人口分布として用いている。なお、各メッシュの重心を代表点とし、その点に人口が集約されるものとした。

2.4 カーラーの救命曲線

カーラーの救命曲線はフランスの救急専門医カーラーが1981年に報告した「傷病してから応急手当を施すまでの経過時間と死亡率」を表したものである。福田ら(2010)の研究では「心臓停止」「呼吸停止」「多量出血」の3症例について、カーラーの救命曲線をロジスティック回帰分析によって推定し、搬送時間を評価する指標として使用している。本研究では福田らの研究における呼吸停止の救命曲線を参考にし、搬送時間の評価に用いる。なお、福田らの研究では救急救命士の応急処置効果が考慮されているが、本研究ではこの効果を除いた式を用いる。搬送時間 t (分)における生存率 $R(t)$ の式は以下の通り。

$$R(t) = 1 - \left\{ \frac{1}{1 + \exp(4.80861 - 0.4809t)} \right\} \quad (1)$$

3. 結果

3.1 救急告示病院のアクセシビリティ評価

今回の分析では救急告示病院(外科)へのアクセシビリティを評価した。搬送時間に関しては消防署から人口メッシュを経由して病院に到達するまでの時間を搬送時間として分析し、救命曲線の生存率と掛け合わせて各自治体における生存率の期待値を算出することで、アクセシビリティを評価する。なお、広域連携を考慮し、茨城県外の救急告示病院も搬送先になりうるとした。

図1は横軸に2016年の10万人あたり外科医師数(一般的な医療指標)を、縦軸に算出した自治体ごとの生存率の期待値をとったものである。

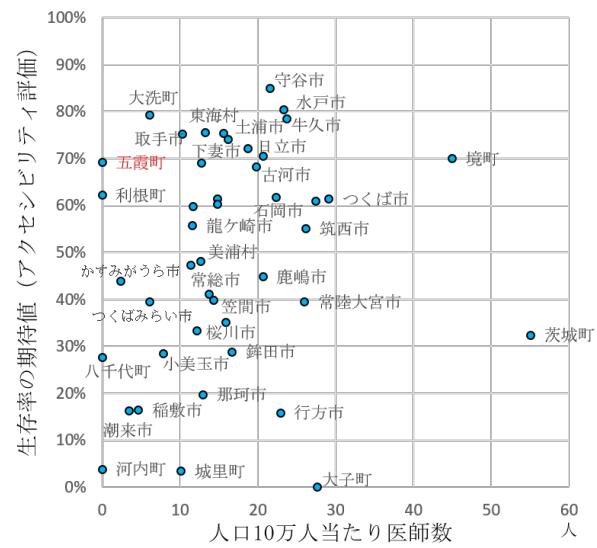


図1 人口当たり医師数と生存率

図1より、人口当たり医師数が小さくてもアクセシビリティ評価が高くなっている自治体や、人口当たり医師数が大きいがアクセシビリティ評価が低くなっている自治体があることが分かる。例えば茨城県五霞町には病院がないにも関わらず、周辺自治体の病院を活用でき、アクセシビリティ評価は上位となっている。

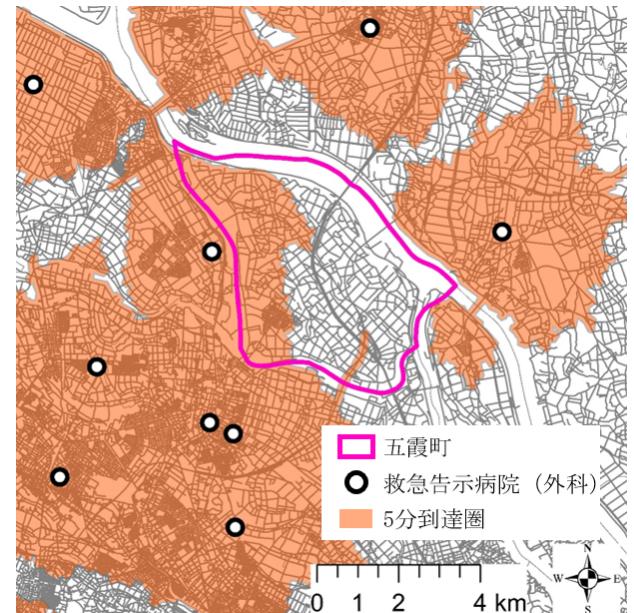


図2 五霞町周辺における病院到達圏

図2は五霞町周辺における救急告示病院(外科)の5分以内到達圏を地図で表したものであるが、

隣接する埼玉県久喜市にある病院の到達圏が五霞町に入っていることがわかる。このように、自治体に病院がないというKPIではネガティブになるが、病院へのアクセシビリティが高いというKPIではポジティブに考えられる。つまり、病院不足という医療課題を移動改善という交通課題へ置き換えることができる。

3.2 法定速度緩和

3.1 節の分析を幹線道路の法定速度を 20km/h 緩和して行う。

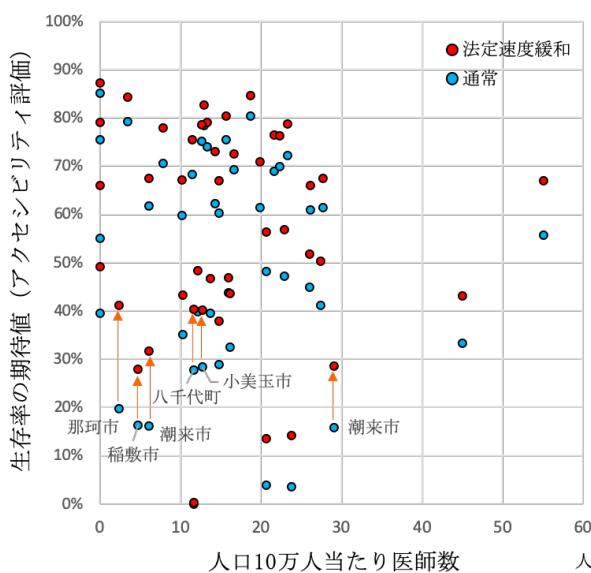


図 3 法定速度緩和後の生存率

図3は図2のプロットと法定速度緩和後のプロットを重ねたものである。10万人あたり医師数は変化しないため、各自治体の点が縦に動いている。多くの自治体で生存率の期待値が向上していることが確認でき、茨城県那珂市では 20 ポイント以上の向上をみることができる。このことから、法定速度の緩和がアクセシビリティ評価の向上に大きな効果があるといふことができる。

4. 理論的考察

4.1 前提

ここではアクセシビリティについて理論的な考察を加える。なお、ここでは消防署から各地ま

での所要時間は省略し、各地から病院までの所要時間を搬送時間であると着眼する。

4.2 平均距離と速度

平面上において一様にランダムに分布する n 個の施設への平均距離は $1/\sqrt{n}$ に比例することが知られている（腰塚、1986）。なお、この関係式は、施設の分布が三角格子・正方格子・六角格子の場合にも成り立つことが知られている（栗田、2013）。また、ここで、距離を速度で割り、施設までの平均到達時間を表現する。施設までの平均到達時間 \bar{t} と施設数 n ・速度 v との関係は以下の式で表すことができる。

$$\bar{t} \propto \frac{1}{v\sqrt{n}} \quad (2)$$

式(2)より速度を上昇させることと、施設数を増加させることは平均到達時間の削減に効果があることが分かる。特に、速度 2 倍上昇させることと、施設数を 4 倍増加させる効果が同じであることが分かる。

4.3 病院までの距離分布

ここからは人口が一様に分布する無限平面上で病院が正方格子状に配置されていると仮定する。病院までの距離 l の確率密度関数を $f(l)$ とおき、これを病院までの距離分布と呼ぶ。正方格子の一辺の長さを a とすると、 $f(l)$ は次のように表せる（腰塚、1986）。

$$f(l) = \begin{cases} \frac{2\pi l}{a^2} & \left(0 \leq l \leq \frac{a}{2}\right), \\ \frac{1}{a^2} \left\{ 2\pi l - 8l \arccos \frac{a}{2l} \right\} \left(\frac{a}{2} < l < \frac{a}{\sqrt{2}}\right) & \end{cases} \quad (3)$$

4.4 救命曲線の変換

式(1)で示した救命曲線は搬送時間 t の関数であった。これを、速度 v を用いて施設からの距離 l の関数に変換すると、以下の式を得る。

$$R_l(l) = R\left(\frac{l}{v}\right) = 1 - \left\{ \frac{1}{1 + \exp\left(4.80861 - 0.4809 \frac{l}{v}\right)} \right\}. \quad (4)$$

4.5 生存率の期待値計算

病院までの距離分布を示す式(3)と搬送距離における生存率を示す式(4)を掛け、積分した値を、生存率の期待値 \bar{S} と定義する。また、式(3)では一边の長さを a とする正方格子状配置を考えたが、 a を病院の密度 ρ で表すと $a = 1/\sqrt{\rho}$ である。次に、搬送速度・病院密度と生存率の期待値との関係を考える。搬送速度 v と病院密度 ρ を用いると、 \bar{S} は

$$\bar{S}(v, \rho) = \int_0^{\frac{a}{\sqrt{2}}} f(l) \cdot R_l(l) dl. \quad (5)$$

と表せることから、生存率の期待値 \bar{S} は速度 v と密度 ρ の関数とみなすことができる。

図4は、横軸に病院密度 ρ 、縦軸に搬送速度 v をとり、生存率の期待値 $\bar{S}(v, \rho)$ が等しくなる点を等高線で結んだグラフである。縦・横ともに現実に近い値が軸の中心になるよう軸を設定した（病院密度は茨城県を基準とした）。

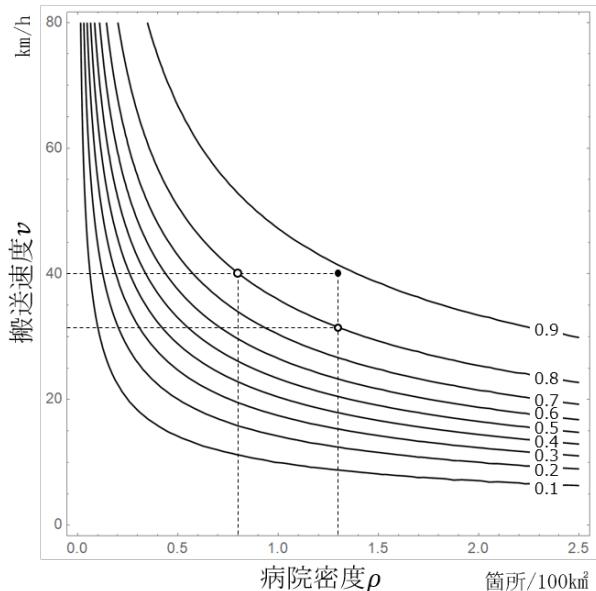


図4 病院密度・搬送速度のトレードオフ

図4において現実に近い搬送速度 v と病院密度 ρ をとる点は黒い丸で示される。この点から片方の変数を変化させ生存率の期待値を0.8まで下げると、搬送速度 v は約0.8倍、病院密度 ρ は0.6倍になる点が当てはまる。このことからも、病院の密度よりも、搬送速度が生存率に敏感に

影響することが示唆される。

また、搬送速度を向上させた方が生存率の期待値上昇に効果的なポイントと、病院密度を向上させた方が効率的なポイントがあることが読み取れる。現実では、地域の事情によってそれを向上させる難易度が変わってくる。そこで各地域において、2つのパラメーターを向上させる効果と難易度を鑑みて、政策を推進することがアクセシビリティの効率的な向上に寄与すると考えられる。

5. おわりに

GISを用いた分析では、医療指標の一つである医師数とアクセシビリティ評価が必ずしも比例しないことや、搬送速度の上昇が生存率を大きく改善することを示した。

また理論的考察では、病院を増やすよりも搬送速度を上昇させる方がアクセシビリティの向上に効果的である可能性や、地域の状況によって効果的な政策に差異があるということを示した。

近年ではモビリティに関して環境破壊や高齢者の危険運転など、ネガティブな話題も多い。しかし、自動運転などの新技術が進展し、医師数などのリソースがさらに縮小していく次世代において、規制緩和を含めたモビリティ環境の向上は重要な課題になるとと考えられる。

謝辞

この研究はトヨタ自動車と筑波大学社会工学域との共同研究「次世代社会システムとモビリティの新価値研究」の一環で実施した。

参考文献

- 栗田治 (2013) : 『都市と地域の数理モデル都市解析における数理的方法』共立出版。
- 腰塚武志 (1986) : 都市平面における距離の分布、『都市計画数理』（谷村秀彦他），朝倉書店，pp.1-55。
- 福田正輝、高山純一、中山晶一朗 (2010) : 三次救急搬送活動を対象とした医療情報デジタル伝送システム運用のためのアンテナ基地局配置方策の検討. 土木計画学研究・論文集 27-1, pp.201-207.