

近接性分析にもとづくバス交通のサービス水準に関する考察

権田与志道・奥貫圭一

A study of evaluating bus transport service in an urban area based on concepts of accessibility.

Yoshimichi GONDA and Kei-ichi OKUNUKI

Abstract: In this paper, bus transport service in an urban area is evaluated through Forer and Kivell's concepts of accessibility. They proposed three accessibility indices to evaluate bus transport service. Those were (1) Bus accessibility, (2) Street distance accessibility, and (3) Stress point. Through applying these three indices into analyses in some Japanese urban areas, their indices are proved to be practically applied into regional analysis under GIS environments.

Keywords: 近接性(Accessibility), バス交通(Bus transportation), 高齢者(Elderly people), 道路距離(Street distance), ボロノイ分割 (Voronoi tessellation)

1. はじめに

本研究は、バス交通サービスの都市内部での空間的偏りについて考察したものである。考察にあたっては、近接性の視点に立ってバス交通網を分析したフォーラー・キビル（1989）の考え方を用いた。具体的には、高齢者の都市内移動に着目し、地方中心都市における高齢者分布とバス交通のサービス水準との関係を分析した。さらに、この分析を通じて、GIS利用を前提としたときのフォーラー・キビルの

考え方の有効性を検討した。

フォーラー・キビル（1989）は、クライストチャーチにおけるバス交通網の近接性を分析する方法を提案した。その分析において、バス交通の近接性を評価する3つの主要な概念、すなわち i) バスアクセシビリティ ii) 道路距離アクセシビリティ iii) ストレス値を示している。さらに彼らは、これら3つの概念をつかって、社会階層ごとに見られる居住者分布傾向とバス交通のサービス水準の地理的偏りとの間の関係を見出そうとしている。彼らの研究で示された3つの概念は素朴でわかりやすく、他の研究への幅広い応用可能性を感じる。しかし、実際の分析にはバス路線の道路距離を計算する作業など多大

な労力が伴い、それが後続の研究者が研究を進める上での障害となっていた。フォーラーら自身ですら、「アクセスのストレス値と…（中略）…を詳細に調べることは困難」とその作業の困難さを理由にあげて、地理的な関係を見出すための具体的な分析方法を提示するまでには至っておらず、いくつかの主題図を並べて示すに留まっている。

一方、フォーラーらの提案から時を経て、地理情報をとりまく状況は大きく様変わりした。ハードウェアの性能は飛躍的に良くなり、道路ネットワークデータなどの空間データも整備が進んだ。高精度の空間データを誰でも安価に入手することができる。こうしたデータを処理するソフトウェアも操作し易くなり、一般的な GIS ソフトウェアに加えて SANET (Okabe et al., 2003)などの専門的な空間解析用ソフトウェアが多数提供されている。こうした状況を考えると、かつてフォーラーらが試みた研究をいま実践するならば、それにかかる労力はかつてと比べて大幅に緩和されているはずである。もし、彼らの提案した概念を使って、現代の公共交通サービスを的確に把握することができれば、将来予測や課題整理さらには（改善のための）政策立案に役立てることができる。彼らが示した概念には素朴でとてもわかりやすいという長所があり、この素朴な方法を今ふたたび実際に検証してみる価値は少なくないはずである。

そこで、本研究では、フォーラー・キビル(1989)で示された近接性の考え方の有用性を検討するため、地方中心都市のバス交通サービスをとりあげて、既存の空間データや空間解析ソフトウェアを活用しながら、その分析を実際に試みることにする。

2. 近接性を評価するための考え方

フォーラー・キビル (1989) はバス交通のサービス水準を評価するためにいくつかの概念を提唱している。それらを整理してまとめたものが以下の 3 つである。

i) バスアクセシビリティ

ii) 道路距離アクセシビリティ

iii) 改善値¹⁾

以下に、それぞれについて述べる。

2.1. バスアクセシビリティ

バスアクセシビリティはバスを用いて移動した場合の移動時間にもとづいた近接性評価の値である。

いま、対象地域に n 個のバス停があり、バス停 i からバス停 j までの最短経路 R_{ij} とその移動時間 T_{ij} を求める。なお、本研究では、実際に最短経路 R_{ij} を求めるにあたって、

仮定：出発時間は平日の朝 8 時ごろをおき²⁾、目的地へ最も早く到着する経路を時刻表で調べる。複数のバス路線を乗り継いで構成される経路の場合は、移動時間 T_{ij} に乗り継ぎのために生ずる待ち時間を加算する。

ここで、バス停 i のバスアクセシビリティ B_i を次のように定義する。

$$B_i = \frac{1}{n} \sum_i \sum_{j \neq i} T_{ij} \times 100 \quad (1)$$

これを n 個のバス停すべてについて算出する。このようにして求められた値が 100 であれば、移動時間から見て、あるバス停 i の近接性が全体のバス停の中で平均的状態であることを示す。数値が大きいほど、他のバス停と比べて近接性の度合いが高いことを示す。

2.2. 道路距離アクセシビリティ

道路距離アクセシビリティはバス停間の道路距離にもとづいた近接性評価の指標である。

バス停 i からバス停 j までの最短経路を求め（この経路は移動時間 T_{ij} 算出の際に求めた経路 R_{ij} と必ずしも一致しないことに注意されたい）、その道のり D_{ij} をバス停間の道路距離とする。なお、本研究では実際の D_{ij} の算出にあたって、数値地図 2500, ArcGIS 9.X および SANET(Okabe et al., 2003)を用いた。

ここで、バス停 i の道路距離アクセシビリティ K_i を次のように定義する。

$$K_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i}^n \sum_{j \neq i} D_{ij}}{\sum_{j \neq i} D_{ij}} \times 100 \quad (2)$$

これを n 個のバス停すべてについて算出する。 K_i の値が 100 であれば、道路距離から見て、バス停 i のアクセシビリティが全体のバス停の中で平均的状態であることを示す。

2.3. 改善値

バス停 i の改善値は、道路距離アクセシビリティ K_i に対するバスアクセシビリティ B_i 、すなわち、

$$I_i = \frac{B_i}{K_i} \quad (3)$$

である。フォーラー・キビルによれば、この指標によって、バス事業が相対的に近接性の空間的格差を解消しているかどうかを測ることができる。改善値が 1.0 より大きいとき、バスアクセシビリティ B_i が道路距離アクセシビリティ K_i と比べて大きく、バスによる移動時間から見たときの近接性が、道路距離から見たときの近接性よりも高いことになる。これはすなわち、このバス停について、(道路網を所与とする) バス交通サービスが (他のバス停と比べて) 相対的によく供給されていることを意味する。一方、改善値が 1.0 より小さいとき、バスアクセシビリティ B_i が道路距離アクセシビリティ K_i と比べて小さく、バスによる移動時間から見たときの近接性が、道路



図 1 熊本市域と九州産交バス路線網

距離から見たときの近接性よりも低いことになる。これはすなわち、このバス停について、(道路網を所与とする) バス交通サービスが (他のバス停と比べて) 相対的にあまりよく供給されていないことを意味する。

3. バス交通網サービス評価への適用

ここでは、ここまで述べた 3 つのアクセシビリティの考え方を実際のバス交通網に適用し、その有効性を検討する。熊本市の九州産交バス路線網（図 1）を事例にそれぞれの指標を求める（バス路線は 2007 年 8 月時点に於けるもの）。

式(1)～(3)の値を算出するためには、バス停のすべてを出発点 (O) もしくは到着点 (D) とする OD 移動時間行列を作る必要がある。対象地域にはおよそ 600 ものバス停が存在するので、時刻表を手作業で調べる手間を考えて、ここでは便宜的に主要な 22 のバス停（図 2）をとりあげることにする。このバス停の選定にあたっては、バス路線上の主要な結節点や発着点であること、なるべく地域的な偏りが生じないことの 2 点に配慮した。こうして筆者が選んだ 22 のバス停について、そのすべてを O または D とする OD 移動時間行列を『熊本県内総合時刻表』（交通タイムズ社、2007）をもとに作成した。こうしてデータ行列を作成・入力し、ArcGIS と SANET をつかって式(1)～(3)の値を算出した。

得られたバスアクセシビリティ、道路距離アクセシビリティ、改善値のそれぞれについて空間的な分布を示したものが図 3, 4, 5 である。図 5 を見ると、熊本市の周辺部に改善値の高い地域を確認することができる（改善値が 1.1 を超える地域がある）。こうした地域だけに着目するならば、このバス交通網が地域の近接性の空間的格差を解消させる方向に作用していると言えるだろう。

こうして得られた分布図を踏まえて、地区ごとの特徴とバス交通サービス水準との関係を見てみる。フォーラー・キビル(1989)は、因子分析を通じて地域の特徴付け（地区区分）をすることに言及し³⁾、

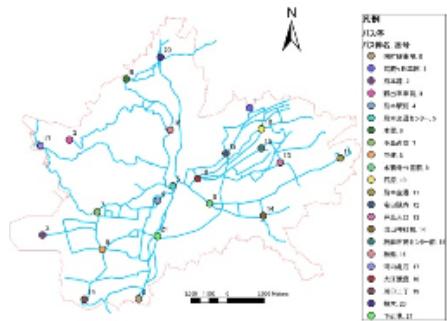


図2 選定したバス停

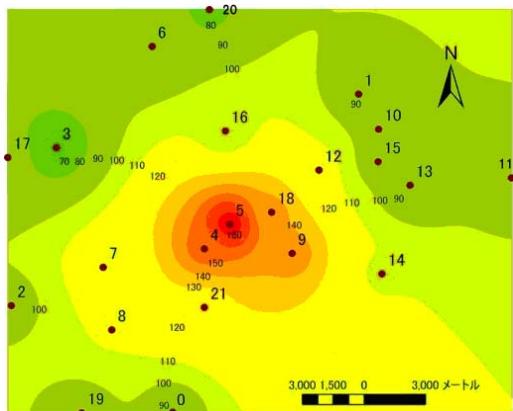


図3 バスアクセシビリティ値の分布

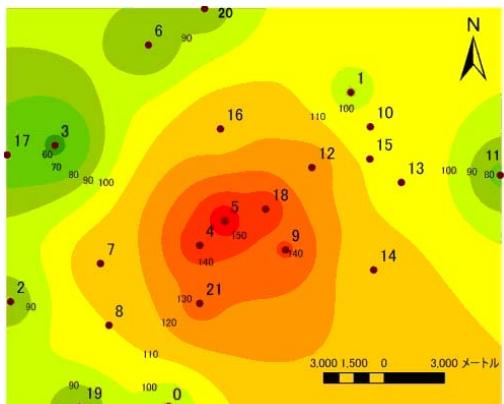


図4 道路距離アクセシビリティ値の分布

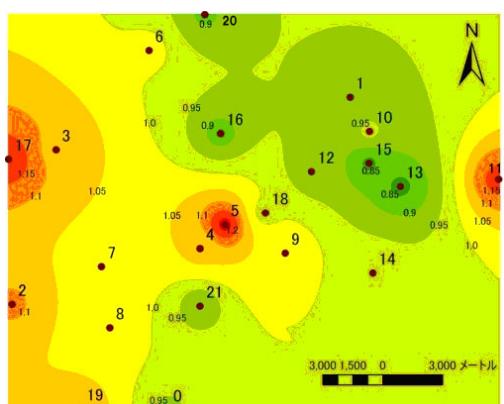


図5. 改善値の分布

たとえば、社会的階層の比較的低い地区を抽出し、その地区に高水準のバスサービスが行き届いているかどうか検証しようとした。しかし、因子分析にあたって入力するデータの問題などがある、必ずしも現実的な方法とは言えず、フォーラー自身、「当該地の社会的な階層との関係を詳細に調べることは困難」と述べて、単純に分布図を提示するだけに留まっている。そこで本稿では、因子分析による地区区分をせず、もう少し素朴な方法でバス交通サービスと地区の特徴との関係を見ることにする。すなわち、地区ごとにバス交通のサービス水準と高齢者人口との間にどのような関係があるかを見る。高齢者のモビリティを確保することは、近年、重要な課題とされており(坪本・樋口, 2005)、バス交通サービスと高齢者人口との関係を空間的に見ることの意義は小さくない。

具体的には、次の手順で分析した。まず、図2で選定したそれぞれのバス停について、これを母点とするボロノイ領域(岡部・鈴木, 1992)を求めた。実際のボロノイ分割にはArcGISを使用した。次に、各バス停のボロノイ領域(すなわちボロノイ多角形)について面積按分で高齢者人口を求めた。高齢者人口データとして、平成12年度国勢調査(平成12年10月1日現在)における町丁目単位の65歳以上人口データを用い、町丁目ごとに高齢者の人口密度が一定であると仮定して面積按分した。この結果を図6に示す。こうして求めたバス停ボロノイ領域ごとにその高齢者人口とバス交通のサービス水準とを見

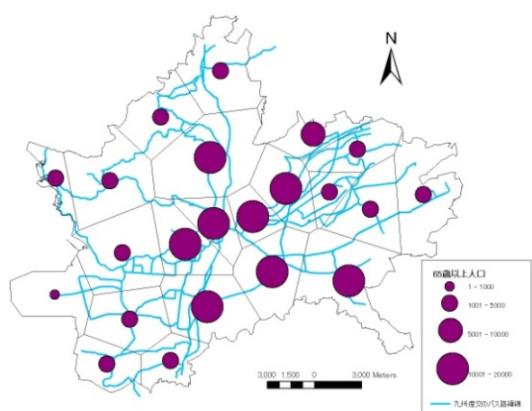


図6 バス停ボロノイ領域とその高齢者人口

比べてみる。ここでは、バス交通のサービス水準を捉える指標として式(1)に示したバスアクセシビリティを用いる。各バス停ボロノイ領域について、高齢者人口とバスアクセシビリティとの相関を見たところ、相関係数は 0.724 であり（計算には SPSS を用いた），ある程度の相関が見られた。

このように、地区の単一の属性データ（ここでは高齢者人口）をとりあげることで、これを近接性指標とあわせて用いることで、有効な分析を実践することができる。こうした分析は、公共交通サービスの課題整理や将来の政策立案にも役立てることができるだろう。

4. 近接性指標の有用性と拡張可能性

ここまで分析事例を踏まえて、ここでは、フォーラーらの概念の有用性を検討する。

現実の都市空間では、バス交通のサービス水準が空間的にどのように広がっているのかその実態を把握することは簡単ではない。ところが、移動時間データ T_{ij} , GIS ソフト, 解析ソフトがあれば、フォーラー・キビル(1989)が提案した式(1)～(3)を採用することで、図 3～5 に示したように、サービス水準の空間的な分布を（誰にでもわかるような形で）視覚的に捉えることができる。

こうした視覚化ができる理由は、フォーラーらの言う近接性が田中（2004）の分類による積分的近接性であったことにある。積分的近接性の考え方では、1 地点からみた地域全体への近づきやすさを捉えることになり、したがって、対象地域の地点ごとに値を算出して図 3～5 のように図化することができる。

この成果を得るために必要な操作にかかる労力は、フォーラーらが提案した時代と比べれば、大幅に小さくなっている。かかる手間に対して得られた結果の有用性は小さくない。その有効性を示してきた。移動時間を積分して求めたバスアクセシビリティなどの指標は、2 次元化して図化することができるのが良い点であろう。

一方で、フォーラーらの指標には問題点もある。

ここでは二つの問題点を指摘する。ひとつは、標準化の問題である。式(3)の改善値について、バスアクセシビリティと道路距離アクセシビリティという 2 つの積分的な指標をとりあげ、その比を算出している。フォーラーらは、式(1)と(2)の二つのアクセシビリティ算出にあたって、標準化の必要性を明確に指摘しておらず、このままその比を求めてしまうことは是非を吟味する必要があるだろう。ひとつの方策は、バス停 i について、 $\sum_j T_{ij}$ および $\sum_j D_{ij}$ を標準化した上で、式(1)および(2)に対応する値を求めるであろう。

もうひとつの問題は、積分的近接性の考え方が一般に抱えるものである。1 地点から他のすべての地点までの近づきやすさを積分してしまうことで、ある特定の 2 地点間の近づきやすさが他の地点間と比べてとても大きな（または小さな）ものだったとしても、それを見出せるとは限らない。これに対する一つの方策は、例えば、 T_{ij} と D_{ij} を縦横の軸とする散布図を描き、異常値を示すバス停の（出発地－目的地）組み合わせを見つけ出すことである。見つけ出したバス停組み合わせについて、GIS で表示すれば空間的な特徴を見つけ出すこともできるだろう。

5. おわりに

本研究では、フォーラー・キビル（1989）の概念を紹介し、これをつかって、実際の地方都市のバス交通網を分析した。その分析から、現代においてはフォーラーらの指標に一定の有用性があること、さらに、指標を拡張すればさらに有効な指標となり得ることを示した。

謝辞

本研究を行うにあたり、九州産交バス株式会社管理部池田剛氏、熊本市地域振興部交通対策総室にはデータの提供などでご協力を頂いた。また、岡本耕平教授、森田匡俊氏をはじめとする名古屋大学地理学教室の皆様には有益なコメントを頂いた。この場を借りて、お礼を申し上げる。

注

- 1) この指標をフォーラー・キビル（1989）はストレス値と表現している。本研究では、この指標がバス交通による近接性の改善の程度を評価していることを踏まえて、改善値と表現することとした。
- 2) フォーラーらは、こうした仮定をおかげ、運行頻度を考慮して待ち時間を算出し、これを移動時間に加算している。
- 3) フォーラーらは、因子生態研究と呼んでいる。

参考文献

- 岡部篤行・鈴木敦夫（1992）『最適配置の数理』、朝倉書店。
- 田中耕一（2004）GISを用いた近接性研究の動向と課題、「地理学評論」、77、977-996。
- 坪本裕之・樋口民夫（2005）地形図で考える高齢者の日常生活と地域交通、『地域と福祉の分析法—地図・GISの応用と実例—』宮澤仁編、27-46。古今書院。
- フォーラー,P.・キビル,H (1989), 時空間収支, 公共交通, および空間選択『生活の空間 都市の空間-Anthology of Time Geography-』川口太郎・荒井良雄・川口太郎・岡本耕平・神谷浩夫編訳, 42-60, 古今書院.
- Forer,Philip C. and Kivell, Helen (1981)
Space-time budgets, public transport, and spatial choice,
Environment and Planning A, 13, 497-509.