

IV-10

コンプリメンタリィ・アクセシビリティ指標による公共交通システムの評価

北海道大学大学院工学研究科 ○ 学生員 清原 裕幸
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 日野 智
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 岸 邦宏
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 馨一

1. はじめに

わが国では、高度経済成長ともなう都市部への人口集中の結果、深刻な住宅不足に陥った。この問題を解消するため、土地取得の容易な郊外部での住宅地建設が盛んに行われ、いわゆるベッドタウンが日本各地に誕生することになった。職住近接を基本とするイギリス型ニュータウンとは違い、日本での住宅地開発はその大部分が通勤、通学などを母都市に依存する形態となっている。このため、住宅地と母都市を迅速に結ぶ公共交通が重要となる。これまで交通整備の時間短縮効果については、具体的な時間で表されるのが中心であった。しかし、どのくらいの人々に効果があるのかは、人数、地域といった表現にとどまっているものが多い。

本研究は、移動時間を評価するアクセシビリティ指標に着目し、それを応用してどれだけの人がある程度の時間短縮効果を受けるのかを定量的、視覚的に示す時間短縮指標の構築を目的としている。指標の導出過程において GIS (地理情報システム) を利用している。さらに札幌北部に位置する石狩市の新交通システム整備計画の時間短縮効果について評価を行う。

2. 近接性による公共交通整備の評価

公共交通整備が行われた場合の効果は、評価を行う視点によって分類できる。これらの中で利用者効果に分類される時間短縮効果は、利用者便益の主たる要素であり、時間価値の高まった現代社会では評価に欠くことのできない要因である。特に母都市との流動が多い郊外住宅地では、移動時間が個々のライフスタイルにも影響を及ぼす。この移動時間を定量的に表す概念として「アクセシビリティ」がある。アクセシビリティとは、「近づきやすさ」「移動のし

やすさ」を示す概念であり、重力指標 (Gravity Measures)、累積機会指標 (Cumulative-opportunity Measures) などが提案されている¹⁾。後者の指標は、各ゾーンのアクセシビリティを当該ゾーンから一定距離 (あるいは時間) 以内にある到達可能な機会の和 (累積比率) を求めることにより容易に図示できるとともに、計量的指標としてのアクセシビリティを算出することができる²⁾。図1はアクセシビリティ指標の概念図、(1)式はゾーン*i*のアクセシビリティ指標 K_i である。

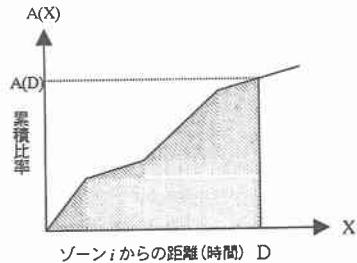


図1 ゾーン*i*のアクセシビリティ指標の概念図

$$K_i = \int_0^D A(X) dx \quad (1)$$

榊谷ら³⁾は、札幌市における通勤交通流動の変化をパーソントリップ調査の結果に基づき考察し、後者の指標を用いて都市構造の変化を分析している。本研究では累積機会指標を応用し、郊外住宅地と都心部を結ぶ公共交通について、公共交通整備前後の時間短縮効果を表現する指標を構築する。その際、時間軸 (図1のX軸) に用いる値を「総所要時間」と定義する。総所要時間とは「歩行時間」「待ち時間」「乗車時間」を合計したものであり、公共交通の待ち時間を考慮したことが本研究の特徴である。つまり、公共交通のサービスレベルとして運行本数を指標に取りこんだ形となっている。

Evaluation of Public Transportation System Using Complementary Accessibility Index

by Hiroyuki KIYOHARA, Satoru HINO, Kunhiro KISHI and Keiichi SATOH

3. 累積曲線による指標の構築

(1) 歩行時間、待ち時間の表現

本研究では、横軸に総所要時間、縦軸にその時間内で移動可能な人口を累積する。これにより、2つの地域を結ぶ公共交通の移動時間分布が累積曲線によって示される。しかし、この手法では総所要時間に含まれる「歩行時間」、「待ち時間」を表現することができない。そこで、「歩行時間」と「歩行時間+待ち時間」を個々に累積し、同一平面上に図示する。

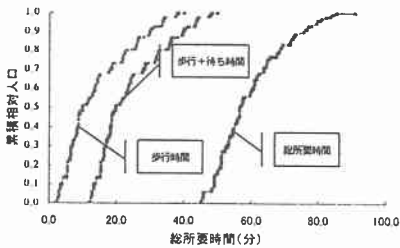


図2 歩行時間、待ち時間の図示

(2) コンプリメンタリィ・アクティビティ指標の導出

累積機会指標では、横軸の距離軸、累積曲線及びある任意に設定された距離（限界距離）の縦軸で囲まれた面積を指標としている。しかし本研究では、縦軸と累積曲線及び累積比 1.0 の横軸で囲まれた面積を指標と定義する。この手法により、歩行時間と待ち時間の構成割合を指標内に包含することが可能となる。この指標をコンプリメンタリィ・アクティビティ指標 Q_i と定義し、定式化すると (2) 式になる。また、図3の面積はある時間以内に移動不可能な人数の累積である。つまり、この指標が小さいほど、ある地域に居住する住民全体の公共交通による潜在的な移動能力が高いといえる。

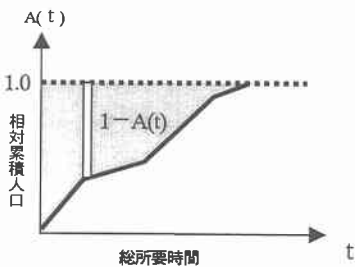


図3 逆累積指標の概念

$$Q_i = \bar{K}_i = \int_0^{\infty} (1 - A(t)) dt$$

4. 指標に用いる諸数値の定式化

(1) 利用圏の設定

各人がどの施設を利用するかは個々の判断規準によって決定されるが、一般に各施設のサービスレベルが同じ水準の場合、一番近い施設を利用すると考えるのが自然である。本研究では、直線距離が最小の施設を利用すると仮定する。終点を原点として歩行速度を v_w 、各施設 i の座標を (x_i, y_i) とすると利用圏 A_i は (3) 式で表される。

$$v_i = \left\{ (x, y) \left| \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{v_w} \leq \frac{\sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{v_w}, i \neq j \right. \right\} \quad (3)$$

(2) 積み上げ所要時間による平均待ち時間の導入

本研究では、中川ら³⁾による積み上げ所要時間の概念から、各乗車地点における平均待ち時間を算出する。

ある公共交通の2地点間の所要時間はまず便毎に求めることができる。しかし、その他の時刻を出発時刻としたときに目的地に到着するまでに要する時刻は次便の出発時刻までの時間が加わって、図4の左上がりの斜め線のようにになる。そこで、各時刻における目的地までの時間を足し合わせたもの、すなわちのこぎり状の線の下の部分の面積を積み上げ所要時間と定義する。

各便の所要時間が小さく運行頻度が高いほどこの積み上げ所要時間は小さくなり、所要時間と運行頻度の両方を考慮した指標である。積み上げ所要時間の特徴は、運行頻度によるサービスレベルの向上を明確化できることにある。

本研究では公共交通の所要時間が各便において一定であると仮定する。それにより、積み上げ所要時間の待ち時間部分の面積を抜き出し、運行時間帯の時間幅で割ることで平均待ち時間が求められる。 i 便と $i+1$ 便との運行間隔を C_i とすると、平均待ち時間 w は (4) 式で表される。

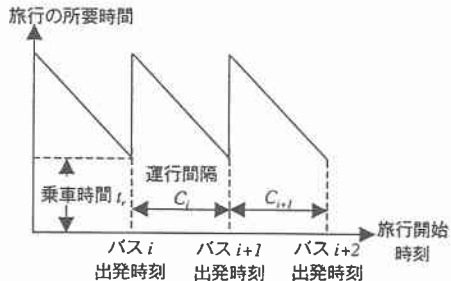


図4 積み上げ所要時間の考え方

$$w = \frac{\sum_{i=1}^k C_i^2}{2 \sum_{i=1}^k C_i} \quad (4)$$

(3) 乗車時間の算出

鈴木ら⁴⁾の研究では、バスの乗車時間を走行特性により場合分けをして算出している。本研究では、新規の路線を想定する際の乗車時間の算出にこのモデルを利用する。各モードが加速する時の加速度を α 、減速する時の加速度を β 、乗車点（バス停、駅）での停止時間を t_s とする。また定速走行時における速度を V_b 、乗車点間距離を l_i とする。乗車点 S_i を出発して S_{i+1} に到着し停車・再出発するまでの時間を t_i とする。 t_i は走行中に定速走行に達する場合は(5)式で、達しない場合は(6)式で表される。

$$t_i \geq \frac{V_b^2}{2} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \text{ のとき } t_i = \frac{l_i}{V_b} + \frac{V_b}{2} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) + t_s \quad (5)$$

$$0 \leq l_i \leq \frac{V_b^2}{2} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \text{ のとき } t_i = \sqrt{\frac{2(\alpha + \beta)l_i}{\alpha\beta}} + t_s \quad (6)$$

(4) 総所要時間の定式化

本研究における総所要時間は、「歩行時間」+「待ち時間」+「乗車時間」と定義した。ある利用者が公共交通を利用して都心部に向うときの総所要時間を T とすると(7)式のように定式化できる。

$$T = \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}}{V_w} + \sum_{i=1}^k w_k + \sum_{i=1}^k t_k \quad (7)$$

(5) GIS による諸数値の算出

本研究では、利用圏の設定に GIS ソフトウェアとして ARC/INFO を使い、それによってポロノイ図を作成する。ポロノイ図とは平面上に複数の施設を考える時、ある地点からそのいずれかの施設に移動する際の直線距離が最小となるような領域を連ねた幾何図形である。

また、対象地域の人口分布を住民基本台帳人口を基にした住民密度カバレッジとして GIS 上で構築する。これに利用圏であるポロノイ図をオーバーレイ（重ね合わせ）することで、解析カバレッジを作成する。解析カバレッジのポリゴンに対してそれぞれ図心を与え、そのポリゴンの代表点とする。また、ポリゴンの面積に密度をかけることで、そのポリゴン内に住んでいる人口が求められる。そして、代表点と各施設（バス停、駅）の距離・乗車点間隔を GIS により測定する。

5. 公共交通整備による時間短縮効果の表現

前述の手法を用いれば、公共交通整備前と整備後の2つの累積曲線を描くことができる。つまり、整備前の曲線を基準にとると、整備後の曲線の変化量が整備効果であると言える。横軸は時間軸、縦軸は無次元であるから、両曲線で囲まれる面積は時間を単位とする値、時間短縮効果である。整備前の指標を Q_b 、整備後を Q_A とすると、時間短縮効果 ΔQ は(8)式のように示される。

$$\Delta Q = Q_b - Q_A \quad (8)$$

$\Delta Q > 0$ 、つまり $Q_b > Q_A$ のとき、 ΔQ は時間短縮効果を表し、 $\Delta Q < 0$ 、つまり $Q_b < Q_A$ のとき、 ΔQ は所要時間の増加を表す。

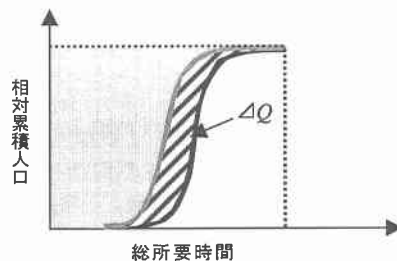


図5 時間短縮効果 ΔQ

6. 時間短縮指標による新交通システム計画の評価

(1) 石狩市花川・花畔団地の概要

石狩市はここ 20 年ほどの間に急激に人口の増加した札幌北部に位置する地方都市である。同市の中心地区である花川・花畔団地は、昭和 40 年代に施工が開始され、花川地区には石狩市全人口の 49.2%、花畔地区には 32.4%が居住している（1994 年）。

現在、同市には軌道系交通機関はなく、主要な公共交通機関はバスである。バス路線の終点・起点となっている場所は、いずれも JR や地下鉄など軌道系交通機関との結節点になっている。特に、石狩市花川地区からの方向別バス運行本数をみると、市営地下鉄麻生駅へと向かうバスが全体の 60%を占めている。

(2) 新交通システム整備計画

同市のベッドタウン化が進むなかで、交通需要の増加によるバス輸送の限界や冬期における定時性の確保が困難であることなどが様々な調査で指摘され、新交通システムの導入が検討されている。

本研究では、既存バス路線網と、新交通システム

アクセスバスなしの場合、ありの場合の3路線を想定し、同地域から地下鉄を乗り継いで札幌駅に到着するまでの総所要時間について指標の算出を行った。なお用いた諸数値は、鈴木、岡部ら⁵⁾が実測から求めた値を適用した(表1)。

表1 モデル解析に用いた数値⁵⁾

歩行速度 V_w (m/s)	1.2
バス加速度 α (m/s ²)	0.6
バス減速度 β (m/s ²)	1.2
バス走行速度 V_b (m/s)	12.5
停車時間 t_s (s)	15



図6 既存バス路線網



図7 新交通システム(アクセスバスなし)



図8 新交通システム(アクセスバスあり)

(3) 新交通システム整備計画の時間短縮効果の評価

3つの計画案について累積曲線を描いたのが図9、総所要時間の構成割合を示したのが図10である。また、既存バス路線を基準とし、新交通システムの2つの場合について ΔQ を求めたのが図11である。

図11からこの設定条件では、 ΔQ が負の値となり時間短縮効果が全く現れないという結果を得た。

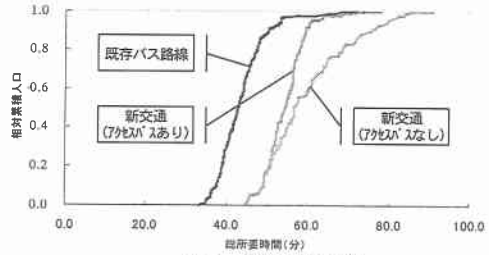


図9 路線別累積曲線

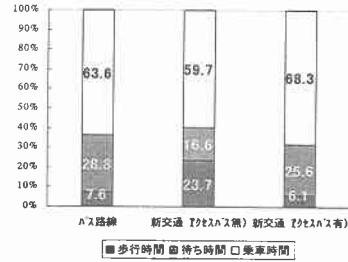


図10 総所要時間の構成割合

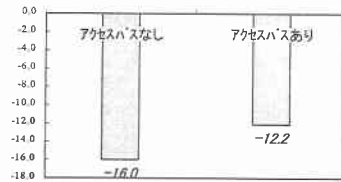


図11 ΔQ の比較

これは、地下鉄への接続駅がバスと新交通システムで異なることによって生じる物理的距離の差を新交通システムでは補えないことを示している。しかし、新交通システムの2案の比較では、歩行時間の割合がアクセスバスを設けることによって減少し(図10)、全体として ΔQ が低減している。つまり、アクセスバスは時間短縮に効果があるといえる。定時性では優位にある新交通システムもアクセスバスの整備が必要であることが分かる。

参考文献

- 1) 榎谷有三, 斎藤和夫, J.A.Black(1990), 「通勤交通におけるアクセシビリティの変化について〜札幌市を例として(1972〜1983)〜」北海道都市, 第28号, pp51-58
- 2) 榎谷有三, 小山田欣裕, 田村亨, 斎藤和夫(1997), 「災害時の道路網を対象とした時間距離行列の視覚化」北海道都市学会研究論文集, 34, pp43-49
- 3) 天野光三, 中川大, 加藤義彦, 波床正敏(1991), 「都市間交通における所要時間の概念に関する基礎的研究」, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp69-76
- 4) 鈴木勉(1987), 「通勤バス路線上の停留所の最適配置」, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol22, pp247-252
- 5) 岡部篤行, 鈴木敦夫(1992), 「最適配置の数値」, pp148, 朝倉書店