

# BRT評価のためのパフォーマンス指標の体系化に関する考察\*

## A Study on Systematization of Performance Measure for Evaluation of Bus Rapid Transit\*

矢部 努\*\*・中村 文彦\*\*\*・岡村 敏之\*\*\*\*

By Tsutomu YABE\*\*, Fumihiko NAKAMURA\*\*\* and Toshiyuki OKAMURA\*\*\*\*

### 1. はじめに

都市交通計画における公共交通サービスの重要性が指摘されて久しい。近年では、いくつか地方都市の都市交通マスタープランの大きな柱として、都市の骨格を形成する公共交通軸の整備が盛り込まれるようになってきているが、軸となる交通機関が明示されていないものが多く、特にバス輸送に重要性についてはそれほど深く認識されていない。あるいは、具体的なイメージを欠いたまま、公共交通軸の概念のみが先行している懸念もある<sup>1)</sup>。また、都市交通計画の中で公共交通軸としては位置づけられていないものの、中心市街地活性化や環境対策等の目玉としてLRTが自治体や市民団体等の脚光を浴びている。しかし、都市の中にLRTを導入すること自体が目的とされているように誤解される例もいくつか存在しており、少なくとも都市計画やまちづくりを担う立場においては、LRT等の交通機関はあくまで手段であって、まちづくりが本来の目的であるという理解をもつべきである。

一方、海外に目を向けると、都市規模や土地利用の成長に対応した都市交通サービスのあり方が問われており、世界中でバス輸送の役割が大きく見直されている。特に、バス車両をベースとして高度化された交通システムとしてのBRT (Bus Rapid Transit) が注目されており、世界各都市で土地利用との整合が図られながら導入、及び計画が進められている。我が国においてもその概念が輸入されつつあるが<sup>2)</sup>、BRTの技術的側面が大きくクローズアップされているきらいもある<sup>3)</sup>。自治体の政策決定時においては、政策代替案を横並びで体系的に評価する必要があるが、土地利用やまちづくりに対応したバス輸送計画の評価手法は十分に確立されているとは言い難い。昨今では、道路整備プロセスや鉄道プロジェクトにおける体系的評価手法が整いつつあるが<sup>4) 5)</sup>、バス輸送、BRTにおいては、その性能判定指標 (パフォーマンス指

標) が明らかにされていないのが現状である。規制緩和後、交通サービス提供の責任を負うことが予想される自治体においては、まちづくりの骨格となる交通システムの政策代替案としてのバス輸送やBRTについて、インフラ整備に関する工学的な技術論、及び新規に都市交通システムを導入する際の政策判断の客観性を担保する評価指標を明確にする必要性が高まっていると考えられる。

また、これまでのバス輸送に関する研究においては、事業者・自治体・利用者・沿線住民 (環境への影響) といった路線バスの関連主体に個別に着目し、バスの輸送能力や利用者評価、ネットワーク評価など、個別のパーツに特化したものが多く、総合的な都市交通計画という視点を踏まえたバス輸送計画の研究は十分に行われてきてない。例えば、沿道の都市活動は自動車やバスでの移動需要として顕在化し、自動車需要は道路混雑というかたちでバス輸送に負の影響を与え、一方バスの需要は、停留所での乗降時間に影響を与え、結果としてバス輸送自体のパフォーマンスに帰着する。本研究では、このようなバス輸送のインフラ整備手法から運用方法、運行コスト、さらには沿道土地利用とのトレードオフの関連性を踏まえたパフォーマンス指標の体系的整理を目指すものである。

そこで、都市交通としてのBRTが担う役割に焦点をあて、BRTに関連するインフラ整備手法、及び運用の方法論の確立に資するBRT評価のためのパフォーマンス指標を体系的に整理すること、及び、今後の都市交通計画の政策論を展開するための客観的評価指標の計測方法について理論的側面と実証的側面から明らかにし提案することを最終目標とし、その準備段階として、本研究では、BRTの概念を踏まえ、交通計画策定の際に参考となる評価指標の一覧と評価の考え方を整理し、既存研究のレビューに基づく指標計測・評価の方法論について考察する。

### 2. BRTの概念整理と導入事例

#### (1) BRTの基本概念

BRTはBus Rapid Transit (バス高速輸送) の略であり、「バス専用道路等により軌道系交通と比較しても遜色のない機能を有し、かつ柔軟性を兼ね備えたバスをベース

\*Key Words : 総合交通計画, 公共交通計画, BRT

\*\* 正会員, 修(工), 横浜国立大学大学院環境情報研究院

(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

TEL&FAX: 045-339-4031)

\*\*\*正員, 工博, 横浜国立大学大学院環境情報研究院

\*\*\*\*正員, 博(工), 横浜国立大学大学院工学研究院

とした都市交通システム」として定義される<sup>2)</sup>。BRTは、走行空間・駅・車両・運用上の工夫を統合したシステムであり、その特徴から、土地利用計画及び公共交通ネットワークと整合を図ることが容易である(図1)。BRT適用に際しては、サービスを行う市場や物理的な条件に適切に対応することを目指し、多様な空間(地上や地下、高架に完全分離された専用走行空間から、街路や幹線道路における混在走行空間に至るまで)において段階的に実行し、軌道系交通機関に比べて安価なコストで運用が可能とされている。また、基本的にバス車両をベースとしていることからバス特有の整備の柔軟性を有し、通常のバスに対してはその旅行速度および信頼性の改善を主な目的として計画が進められている。

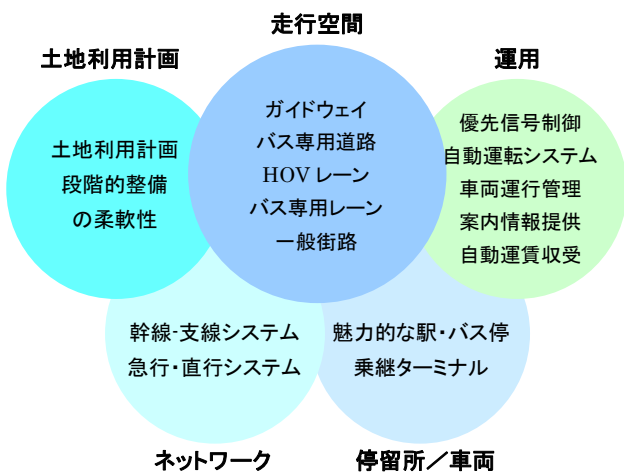


図1 BRTの基本概念<sup>2)</sup>

## (2) BRTの動向

近年、BRTは世界中の都市で導入あるいは計画が進められており、特に米国では、FTA(米国運輸省公共交通局)を主導とした戦略的検討・整備が進んでいる。欧州においては、ボトルネックとなっている一般道の交差点の混雑区間を回避するための部分的ガイドウェイシステムの活用例や、従来のバス輸送がもつ悪いイメージからの脱却を図ると共に、LRTでは対応できない勾配区間をもつ都市で、LRTの代替交通機関としてゴムタイヤトラムを導入した例などがある。また、米国でのBRTの成功に影響を受けたオーストラリアでは、シドニーやブリスベンなどで、都市交通マスタープランの中でBRTを主要な公共交通機関として位置づけ、整備が進められている。さらには、台北、ソウル、ジャカルタなどアジア諸都市や先進国以外の都市においても、バス専用道路の整備や路線網の改編等をともなったBRTが普及している。

BRTの研究事例については、BRTとLRTの性能比較評価を行った例<sup>6)</sup>、TRBによる事例整理と輸送力評価<sup>7)</sup>や公共交通システムの評価方法に関するガイドライン<sup>8)</sup>等が示されている。

## 3. BRT評価のためのパフォーマンス指標の考え方

### (1) 評価の視点

BRTを含めた都市交通システムの評価に際しては、潜在的利用者を含めた利用者側の視点、計画主体(運行主体)の視点、自動車利用者の視点、沿道住民からの視点の4つに大きく分類される(表1)。さらに、それぞれいくつかの評価指標を含んだ評価項目に分類されるが、各評価指標の間には相互関係(トレードオフ)が多く存在するため、総合的評価の際はそれらの効果を重複して計測することのないように、注意深く検討していく必要がある。また、整理された各種パフォーマンス指標を用いて、BRTを含めた交通システムの適用可能性について総合的な評価を行う場合には、計画主体(自治体等)の政策判断の際に代替案となる他の交通機関とBRTの比較検討に際し、費用対効果や沿線土地利用への影響を加味した評価方法を検討する必要がある。

表1 パフォーマンス評価の4つの視点

評価の視点	考え方	指標例
利用者	既存の公共交通利用者と潜在的利用者双方を考慮し、サービスの量と質への認識を反映させる。	移動時間、快適性
計画主体(運行主体)	どの程度、有効かつ効率的にサービスが提供可能かを踏まえ、運行管理に反映する。	輸送力、費用効率性
自動車利用者	公共交通システムと自動車との移動時間やコストに関するトレードオフを考慮する。	移動時間の变化
沿線住民	公共交通サービス提供に伴う沿線への影響、交通行動パターンへの変化を考慮する。	環境指標、モビリティ指標

### (2) パフォーマンス指標の設定と総合評価の方法論

交通システムの総合評価のためのパフォーマンス指標の計測の設定に関しては、都市計画マスタープラン等、計画主体の目標や目的との整合を図る必要がある。以下、BRT導入を検討する際に必要と考えられるパフォーマンス指標の体系化の例(表2:最終頁)と測定プロセス、及び総合評価プロセスについて考察する。

#### ① パフォーマンス指標の目標と目的

評価に際しては、定量的に測定・推定可能な指標を設定すべきであるが、検討の初期段階においては必ずしも計測可能性のみを重要視せず、計画主体の政策目標と連動して評価指標を検討すべきである。

#### ② 関連主体・利害関係者・制約条件の特定

表1に示したように、交通システム導入の際に影響を受ける主体を整理し、それぞれにどのような制約条件が存在するか特定する必要がある。

#### ③ パフォーマンス指標の選択とコンセンサスの構築

仮に評価指標を設定しても、指標計測のためのデー

タの収集が困難な場合、意思決定のためのコンセンサス形成にとって意味のないものになる可能性がある。ただし、その重要性が高い場合は、アンケート調査や代替指標の設定による評価の可能性を検討すべきである。

#### ④パフォーマンス指標の計測可能性・妥当性の検討

実際に設定した指標の計測可能性の検討を行うと共に、評価の際の有意性、妥当性の検証を行う必要がある。

#### ⑤パフォーマンス指標評価に基づく政策代替案の比較

設定された指標に基づき、政策代替案における効果・便益の算定を行くとともに、事業主体の立場から評価するため財務分析を行う。その上で、費用対効果等の推定と比較を行い、当初の政策目標が達成度、都市全体への影響についての評価を行う。

#### ⑥総合評価の実施

上記の結果に基づきBRTを含めた政策代替案について、総合的な評価を行うことになる。

### 4. 指標計測・評価の方法についての考察

本稿においては具体的な指標計測を行わないが、既存研究の成果を参考に、互いにトレードオフの関係にある指標の計測・評価方法についての考察を行う。

#### (1) BRTの輸送力と表定速度、コストとの関係

筆者ら<sup>9)</sup>は、BRTの輸送力と表定速度の関係について、仮想的なコリドー（バス専用道路）上での運用方式の代替案を設定した上で、シミュレーション計算により評価を行っている。また、各運用方式に要するコストを与件としたコストモデルにより、他の交通システムとの比較に基づきBRTが相対的に有利となる領域を示している。ただし、シミュレーション計算においては、様々な前提条件の設定が必要なことから、いかなる場面でも上記の結果が成立するとは限らないため、実際の計画時においては注意深く前提条件を整理する必要がある。

#### (2) 乗継抵抗と段階的整備の柔軟性

都市内に新規で幹線交通機関の導入を計画する際、例えばLRTとBRTが代替案として検討されたとする。この場合の比較の視点は、都市の中で新規のシステムをどう位置づけるか、全体の公共交通ネットワークの利便性をどう高めていくか、という点になる。この場合、新たに発生するバス等との乗継の問題が深刻にならないのであればLRT導入の意義は大きい。バス路線の再編や乗継システムがうまく機能しない場合には、バス専用区間を活用したBRTのほうが効果的といえる。また、LRT等軌道系システムは、事業開始から開業までに相当な時間を要するのに対し、バス車両をベースとしたBRTは一般道路も走行可能であるために初期の段階からサービスの提供が可能であり、バス専用道路を段階的

に整備していくことで、継続的に平均速度を向上させることができる<sup>10)</sup>。

### (3) パフォーマンス指標の設定・計測における課題

上記で示したように、各指標間にはトレードオフの関係が多く存在することは明らかである。例えば、BRTの輸送力を決定する要因としては、空間的な制約、輸送コスト、法的な制約などの制度面、運用方法などの技術的側面、以上4つの側面が関係していることが指摘されている<sup>9)</sup>。仮に、利用可能な空間と費用が無限であれば、鉄道等の軌道系交通機関と同等の輸送力を実現可能であるが、その場合には鉄道並みの大規模な停留所施設や乗り継ぎターミナルが必要であり、運行に必要な乗務員も増加するため人件費の負担が非常に大きくなることを考慮しなければならない。また、空間的な制約が発生する場合には、技術面での工夫が必要であり、開発費用として輸送コストに反映されるとともに、現行の法制度との関連を検討する必要がある。

### 5. おわりに

本研究では、BRTの概念整理を行った上で、交通計画策定の際に参考となるBRT評価のためのパフォーマンス指標の考え方を整理し、関連主体別のパフォーマンス指標の体系化を試みた。また、パフォーマンス指標の設定と総合評価の方法論についての考察を行った。

今後は、理論的算定方法と実証データに基づく指標計測を行うとともに、その方法論を明らかにし、政策決定の際のBRT評価のための基礎資料を整備していく予定である。

#### 参考文献

- 1) 矢部努, 中村誉, 中村文彦: わが国の都市内公共交通種空間の実態に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.29, No.135, 2004
- 2) 矢部努, 牧村和彦, 中村文彦: 高速輸送バスシステム—BRT 導入の新たな展開—, 運輸と経済, Vol.64, No.12, pp.48-58, 2004
- 3) 北山真, 吉田正, 田口浩, 今村崇: 新しい交通システムBRTの最新事例と今後への期待, 土木計画学研究・講演集 No.31, No.134, 2005
- 4) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編: 道路投資の評価に関する指針(案)第2版, 2000
- 5) 運輸政策研究機構: 鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル05
- 6) GAO: MASS TRANSIT Bus Rapid Transit Shows Promise, US General Accounting Office, Washington DC, 2001
- 7) TRB: TCRP Report 90 Bus Rapid Transit Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit, 2003
- 8) TRB: A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System, 2003
- 9) 矢部努, 中村文彦, 大蔵泉: 専用走行空間を活用したバス輸送の適用可能性に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集 No.21 No.3, pp.667-676, 2004
- 10) Yabe, T and Nakamura, F: Case analysis of the staged approach for infrastructure planning and operation focusing on the bus transit system in urban areas, Proceeding of International Symposium on City Planning 2004, pp.11-20

表2 BRT評価の際の関連主体別パフォーマンス指標の体系化の例

評価項目	評価指標	評価の単位(例)	説明	考え方、計測方法(□事前評価、■事後評価)	
利用者	走行速度 (乗車時間)	表定速度、乗車時間	・主要区間の所要時間(〇分短縮) ・路線全体の平均速度(〇km/h)	□従前の当該区間の所要時間との差 ■乗留所の停車時間を考慮した平均旅行速度 ■実測値により算定(他交通機関との比)	
		遅れ時間	・標準的な所要時間との差(〇分)	□運行ダイヤからの遅れ時間 ■乗留所停車時間等の変動により発生 ■実測値により算定	
		定時性(乗車時間の変動)	・所要時間の分散(〇分)	□運行ダイヤの乱れによる乗車時間の変動 ■実測値により算定	
	待ち時間	平均待ち時間	・乗留所における平均待ち時間(〇分)	□運行頻度の1/2、ダイヤを考慮した間数により設定 ■幹線-支線接続による接続待ち時間を考慮	□運行頻度、乗降人数の変動を考慮して評価 ■時間帯別、利用目的別に評価
		遅れ時間(信頼性)	・運行ダイヤからの遅れ時間(〇分)	□運行ダイヤからの遅れ時間	□運行頻度、乗降人数の変動を考慮して評価 ■実測値により算定
		定時性(待ち時間の変動)	・乗留所における待ち時間の分散(〇分)	□運行ダイヤの乱れによる待ち時間の変動	□乗降人数の変動を与件としてシミュレーション評価 ■実測値により算定
		乗車拒否率	・乗留所における積み残しの発生率(%)	□ピーク時車内混雑による乗車拒否率	□乗降人数の変動を与件としてシミュレーション評価 ■実測値により算定
	乗換え時間	平均乗換え時間	・乗換えに要する時間(〇分) ・総移動時間に対する乗換え時間比	□バス、及び他交通機関との間の乗換え時間 ■乗換え時間、乗換え抵抗を考慮した利便性評価	□乗換え施設、運行頻度を与件として評価 ■実測値により算定
		平均乗換え回数	・各ODにおける平均乗換え回数(〇回) ・各属性別の乗換え抵抗の時間換算値(〇分)	□運行方式(幹線支線、直行)により評価	□運行方式を与件として算定 ■利用者の移動パターン・意識調査により算定
	費用	運賃	運賃(円)	・ゾーン運賃制度や共通運賃制度、乗継割引を考慮	□利用者ニーズにより評価 ■利用者意識調査により評価
乗継における追加運賃(円)					
利用しやすさ	平均アクセス時間	・乗留所までの平均所要時間(〇分)	□乗留所までの平均アクセス時間	□沿線居住密度とバス停間隔より算定(乗車側/降車側の別、エリア別の差異の扱い)	
	サービス提供時間	・始発時間～終発時間(〇時間)	□始発～最終バスのサービス提供時間 ■運行コストとのトレードオフが発生	□利用者ニーズに基づき評価	
	運行頻度	・時間帯別運行頻度(〇本/時間)	□1時間当たり運行回数 ■ピーク時運行回数	□運行コストのトレードオフを評価	
	分かりやすさ	・路線形態、迂回率等 ・利用者の主観値(良・悪)	□ラウンドダイヤの設定可能性 ■情報提供による分かりやすさの向上効果	□運行効率性、運行コストとのトレードオフを評価	
	移動制約者の利用可能性	・自力でのアクセス、乗降可能性 ・補助つきでの乗降可能性	□バス停と車内(乗車口)との段差有無 ■バス停までのアクセスのしやすさ	□車両、乗留所の構造により算定、固定費用とのトレードオフを考慮	
	快適性	乗留所(駅)空間の快適性	・バス待ちの負担感の貨幣換算(〇円)	□バス停での待ち時間の負担感、緩和可能性を考慮	□利用者意識調査等によるバス待ち時間との関連性評価
座席率		・車内の座席数(席) ・利用者による座席率(%)	□バス車両定員に占める座席数 ■利用者全体の座席率	□停車時間、運行効率性とのトレードオフを評価 ■実測値により算定	
安心感		・乗留所における夜間の明るさ等	□乗留所付近の明るさ、商業施設等の有無	□照明施設の検討、路線設定時に考慮 ■利用者意識調査等により評価	
安全性	車内事故発生率	・車内転倒事故等の発生率(回/運行km)	□立ち席の快適性(危険性)	■実績値に基づき、他の交通機関との比較により評価	
バス事業者 (計画主体、 運行主体)	空間的サービス 領域	サービス圏域	・路線(乗留所)カバー圏域、人数等 ・沿線の生活関連施設数等	□バスサービスを行うエリアの広さ ■バス利用によりアクセス可能な施設数 □路線設定時に評価 (乗留所設置間隔とのトレードオフを考慮)	
		サービス密度	・エリア別路線数、運行頻度等	□エリア別の運行路線数、運行頻度	□路線設定時に評価 (乗留所設置間隔とのトレードオフを考慮)
		乗留所間隔	・乗留所間隔(m)	□平均乗留所間隔	□乗留所配置最適モデル等により考慮(旅行速度、乗留所 アクセス利便性とのトレードオフを考慮)
	サービスレベル	運行頻度	・時間帯別運行頻度(〇本/時間)	□1時間当たり運行回数 ■ピーク時運行回数	
		遅れ時間	・標準的な所要時間との差(〇分)	□運行ダイヤからの遅れ時間	□運行コストとのトレードオフを考慮 ■実績値により算定
	輸送力 (容量)	輸送容量	・断面輸送力(車両/時間/方向) ・乗客輸送力(人/時間/方向)	□断面車両輸送力/断面乗客輸送力 ■単位距離あたり乗客輸送力	□乗客の変動を考慮したシミュレーション評価 ■利用者発生密度、運行コストとのトレードオフを考慮
		車両容量	・車両定員(人/車両) ・座席率(座席数/定員)	□車両定員と座席率	□車両の多様性を考慮
		乗留所、ターミナル容量	・乗留所処理能力(台/時間) ・ターミナル処理能力(台/時間)	□乗降客数と車両停車時間より乗留所、ターミナル処理能 力を評価→必要バス数、面積の算定	□停車時間を考慮したシミュレーション評価 ■実績値により算定
	経済性 (効率性)	運行効率(実車率)	・実車距離率(%) ・実車時間率(%)	□総走行距離に占める営業距離 ■総走行時間に占める営業時間	
		運行効率(回送率)	・回送距離率(%) ・回送時間率(%)	□総走行距離に占める回送距離 ■総走行時間に占める回送時間	
		初期費用	・初期投資費用(円)	□車両購入費、道路整備費用、乗留所整備費用等	□仮想的orネットワーク等を考慮した上で評価 (他の交通機関との比較) ■実績値により算定
		運行費用	・年間運行費用(円/年) ・輸送費用原単位(円/人・km)	□年間総運行費用 ■乗車人kmあたりのコスト	
		費用効率性	・年間運行費用(円/年) ・運行費用原単位(円/車両・km) ・運行費用原単位(円/車両・時間)	□実車率、車両回送距離(時間)を考慮 ■車両走行1kmあたりのコスト ■車両走行1時間あたりのコスト	
		利用者数	・年間利用者数(人/年) ・年間総輸送人キロ(人・km/年)等	□システムの年間利用者数、及び総輸送人員×距離	□サービス水準とのトレードオフで需要が変化することを考慮 ■実測値により算定
	計画的指標 (影響評価)	沿線土地利用への影響	沿線土地利用の変化	□沿線土地利用の変化 ■沿線人口密度の変化	□既存バス事故データにより算出 ■ITSによる事故軽減(運転士負担軽減)策の検討
			自動車依存からの脱却	□バスによる移動可能な交通行動パターン ■ODパターンのうち、当該路線が利用可能な交通行動パ ターンを集計	□既存の交通行動パターンにより推計 ■利用者アンケート等により手段転換率を算定
		段階的整備の柔軟性	□計画策定から運営開始までの時間 ■アップグレード、拡張の可能性	□部分的開業を含めた整備の柔軟性を考慮 ■不確実性への対応可能性を考慮	□軌道系交通機関との比較分析
	計画変更の柔軟性	□路線変更、サービスレベル変更の柔軟性 ■路線網改編等への対応可能性を考慮 ■不確実性への対応可能性を考慮	□路線網改編等への対応可能性を考慮 ■不確実性への対応可能性を考慮	□軌道系交通機関との比較分析	
自動車 利用者	一般自動車 への影響	所要時間の変化等	□所要時間の変化率(%) ■旅行速度の変化(〇km/h)	□バス路線並行区間の自動車所要時間 ■バス路線との交差道路の一般自動車に対する影響評価 □シミュレーションにより評価 ■実測値により算定	
沿線住民等	沿道環境 への影響	環境影響評価	□CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、PM等の排出量 ■騒音、大気への影響を原単位バスで評価 ■技術革新による軽減率を考慮	□運行頻度と車両加減速を考慮したシミュレーション等	
		モビリティ指標	□モビリティ向上効果 ■外出促進効果	□利用者側指標を基に計算を工夫 ■利用者満足度調査等により評価	
	生活への影響	沿道分断率	□沿道分断率(%)	□平面専用道における運行頻度と沿道分断率の関係評価 ■利用者満足度調査等により評価	