

幹線バスの輸送能力に関する一考察*

Operating capacity of linehaul bus transit*

中村文彦**

Fumihiko Nakamura**

1. はじめに

公共交通機関が都市において果たしている役割の大きさについては、既に異論のないところだろう。しかし、具体的な都市の持つ諸条件下で、望ましい公共交通機関を選定する点については、必ずしも議論が熟成していない。とりわけ、既存のバスに対して、LRTやモノレールなど小型の車両を用いる軌道系交通機関や、最近注目されているガイドウェイバスなどの間の優劣については議論の余地がある。

このような問題は、都市内鉄道のない都市で新規に幹線輸送に供する公共交通機関を導入する問題に直面している都市では、重要な計画課題であろう。特に、①わが国の人口30万人～50万人程度の都市で、新交通システムあるいはモノレールの導入を検討している場合、②発展途上国で都市内鉄道が未だ導入されていない大都市の場合、には議論の価値がある。

わが国の地方都市の場合は、自動車による通勤時の道路渋滞は近年ますます深刻になってきている。バス利用者が減少する中、新たに導入する交通機関が、自動車からの利用交通手段の転換をどの程度引き起こすことができるかが大きな問題となってくる。

途上国の場合、既存の公共交通機関としてバス輸送網が、問題を抱えながらも発達している。従って、新規の交通機関の導入の際には、既存のシステムとの調整などの問題に対して、より慎重な姿勢で計画に望む必要がある。とりわけ、バスについては、その可能性と限界を見きわめて計画に取り組むべきであるが、そのための情報が決して十分とはいえない。

そこで、本研究では、幹線バス輸送を取り上げてその可能性と限界に関して、考察を試みた。具体的

には、バスの輸送能力、バスと他の軌道系交通機関の比較の問題について、既存の研究成果の整理及び比較を通して論点し、計算条件の吟味と単純条件下での試算により、幹線バス輸送の可能性と限界を議論する基礎的な土台を整理した。

2. 既存研究成果の整理

(1) バスの輸送能力

a) 指針などに見られる輸送能力上限値

代表的なものとして、米国ではVuchic(1980)¹⁾による12000、わが国では天野(1988)²⁾による6000、交通工学ハンドブック(1985)³⁾による10000、途上国については、世界銀行(1987)⁴⁾による30000もしくはMidgley(1994)⁵⁾による16000などがある(いずれも時間方向あたり人数)。値に隔たりがあるが、この類の報告では特に詳細な根拠が明示されていない。

b) 輸送能力の実測値

先進国では、ニューヨークのリンカーントンネル(バス停のない2車線バスレーンのトンネル)での32560⁶⁾、途上国では、サンパウロでの29000⁴⁾(バス専用道路を連隊(COMONORという)で運行)などが最大値である。3万人/時での輸送が非常に特殊な条件下のものである点には注意が必要である。

c) 輸送能力の分析値

代表的な分析例での想定条件と輸送能力の上限値を表1にまとめた。理論上時間方向あたり3万人以上の輸送が可能との試算があるが、やはり、特殊な条件下ではじめて成立するものであることが伺える。

(2) 各交通機関間の比較と論点

一方、他の交通手段との比較でバスを理解するために、5種類の交通機関を対象として取り上げて、Vuchic¹⁾や長田⁸⁾らの報告等をもとに、輸送能力と

*キーズ：公共交通需要、公共交通計画、交通計画評価

**正員、工博、東京大学工学部都市工学科

(東京都文京区本郷7-3-1 TEL 03-3812-2111、FAX 03-3818-5946)

表1：バス輸送能力の分析値

No.	分析者	最大値	前提条件等
①	TRRL ⁷⁾	30600	バスコンボイ、追い越し可能、運賃車外払い、快速運行（途上国考慮）
②	McBrayer ⁸⁾	33551	バスコンボイ、途中乗降客少数（途上国考慮）
③	HCM ⁵⁾	53000	高速道路上専用レーンで途中バス停なし
④	HCM ⁶⁾	3600	市街地道路専用レーン上

表2：交通手段の輸送能力の比較（計算例）

交通手段	鉄道	新交通	LRT	ガイドウェイバス	バス
車両定員（人数／台or両）	140	75	180/連接	96	96
連結両数（両／編成）	11	8	2	1	1
最大通過編成数（編成／時／方向／車線or軌道）	30	30	60	60	70
最大輸送能力（人数／時／方向／車線or軌道）	46000	18000	21600	5800	6700

備考 ・文献1)8)9)等から典型的数値を引用し積算。
 ・バスについては専用道路で追い越し可能とすることで処理台数が増加している。
 ・最大通過編成数は、駅設備、加減速性能、駅間距離を標準的な事例に基づいて設定して計算されているものを利用。

それに関わる輸送特性について比較整理したものが表2である。ガイドウェイバスについては、山本ら¹⁰⁾によるシミュレーションモデルの開発などが進んでいる。ここでは、実用例を参照して、追い越しができないこと以外、既存のバス輸送と同じとした。

表2からは、最大通過編成数が確固たる値であったとしても編成両数や1両の大きさが輸送能力が大きく変動することが予測される。さらにもし最大通過編成数が変動する場合には、輸送能力は非常に不安定なものになってくる。この点について見直しが必要となってくる。

現在、多種多様な新たな交通機関が開発され、また、既存の交通機関については、さまざまな輸送方式が技術開発あるいは提案試行されている。また、公共交通機関の導入や改善が、自動車交通問題やそれに関連する環境問題の点からもより重要となり、潜在的な利用者の特性や沿道の土地利用の特性と合わせて計画される必要がある。よって、利用者や沿道の状況との関連性に踏み込めるような変数の見直しが必要となる。具体的には、それぞれのシステムが、どのような輸送の条件下で、どの程度の輸送能力があるのか、その輸送条件が利用者や沿道に対してどのような影響を及ぼすのか、逆に、ある目標とする輸送能力に対して、どの交通機関を導入した場合には、どのような前提条件が必要となり、利用者や沿道がどのような影響を受けるのか、といった視点が必要となろう。これによって、同じ輸送能力を

必要とする計画でも、導入都市あるいはコリドーの条件によって、利用者サイドから推奨されるシステムが異なることもあり得る。

3. 利用者の視点を考慮した輸送能力計算の考え方

前節の議論に基づき、ここでは、建設・運営費といった、供給サイドの条件ではなく、利用者の視点を中心に輸送能力計算の考え方を整理した。

(1)輸送能力計算に関わるいくつかの要因の検討

a)中間駅（バス停）での乗降方法と追い越し処理

バスの輸送能力が途中駅での処理能力に大きく影響される。バス停での処理については、運賃の支払のために停車時間がかかること、また運賃支払に要する時間が乗客間で大きく変動すること、そしてバスが団子上になった場合に後続するバスが待機のために時間を損失すること、などが問題となっている。

運賃支払については、車外支払の考え方に着目する必要がある。わが国でもイベント開催や観光地での例があるが、通常路線では、ブラジルのクリチバの例から学ぶことができる。そこでは、スウェーデンの自動車会社が考案したチューブと呼ばれるバス停施設が導入され、従来1カ所のドアあたり2～3秒/人要していたのに対して、3連接バスの場合で、全ドアを利用することにより、0.17秒/人まで短縮できたことが報告されている¹¹⁾。

追い越しについては、その効果が既存研究成果として報告されている他、金沢市の通勤時パークアンドバスライドの実験でも追い越しのための特別な規制を取り入れることでバスの所要時間を短縮させていることが報告されている¹²⁾。以上より、特に快速運行による所要時間の短縮効果との関連から、追い越しの有無を変数に入れることの意味は大きい。

追い越しができない場合に、バスを連隊として運行するバスコンボイという方式は代替案として指摘できる。この場合は、各バス停で複数台のバスが同時に乗降扱いを行う。シミュレーション結果⁷⁾によれば運行上の制約条件が多いので、あらゆる場面で導入可能ということにはならない。

b) 優先方策

多くの海外の計算例で、完全に一般交通から分離されたバス専用道路を前提としている。一般の道路を利用する場合でも、高い輸送能力が要求される場合には、バスレーンが導入される必要がある。この場合、バス停での停車の他に、沿道アクセス車両や駐停車車両の影響、信号交差点容量などが、輸送能力に大きく影響する。バス専用道路が導入できない場合には、これらの要因を考慮して計算するべきだが、特に信号交差点がある限り、バス専用道路で確保されるほどの大きな輸送能力は期待できない。

c) 駅（バス停）間隔

わが国では300～400mが標準的なバス停間隔とされている。バス停間隔は、沿道の都市形態、バス停からの端末交通の方法に依存し、バスの運行速度に大きく影響する。主要な端末交通手段が徒歩の場合には、当該地域での徒歩距離限界でバス停間隔が決まる。だが、近年、徒歩の他に、支線バス、自転車（サイクルアンドバスライド）、自動車（パークア

ンドバスライド）などが端末交通手段として計画される例が増加してきている。また、自動車からの転換を狙いより高速で途中停車しないバスを計画する動きもある。よって、必ずしも従来のような長さでバス停を設定する必要はなくなっている。

(2) 利用者の視点からみた評価指標の整理

利用者の受けるサービスは、通常、所要時間、運賃、快適性に区分される。運賃と快適性については、輸送能力との関わりが少ないので省く。所要時間は、アクセス時間、バス待ち時間、車内時間の3つに分類できるが、大量な輸送では、バス待ち時間は必然的に短くなるので省略し、他2点だけを考慮する。

次に沿道に関わる視点としては、騒音、排気ガス、振動といった環境に関する指標と、分断の問題がある。ディーゼルバスである限り、バスの台数が増加するのに比例して環境の指標は悪化することは明らかであり、他の交通機関との比較で重要となる。

分断についてだが、バス専用道路を含め、バスが沿道の土地と同一平面上を走行する場合に、沿道の分断の問題を考慮する必要がある。ある程度以上のバスが走行する場合、さらにその走行速度が高い場合は、沿道両側の横断はかなり制約される。よって、道路をどの程度の時間分断しているかを計測する必要がある。特に都心部でトランジットモールを導入するような場合には、歩行者が安全に道路を横断できる時間が問題となり、本指標は重要となる。

(3) 今後の分析の準備段階としての簡便な試算

a) バス輸送能力の試算

前提条件変化に伴うバス輸送能力の変化を、同一条件で簡便計算した結果を表3に示す。輸送能力の

表3：バス輸送能力の簡便な計算例（人／時間／方向／車線）

計算値	前提条件
2800	① 通常の道路で2分間隔で96人乗りバスが運行した場合
4800	② 何の障害もないバス専用レーンでの運行（交差点最大通過台数50台：基幹バスアライнгより）
5800	③ 信号のない専用道路利用で60秒間隔運行をした場合
6700	④ ③に加えさらにバス停での追い越しを可能とした場合
10300	⑤ ③で接続バスを使用した場合
11500	⑥ ③で2台連隊で運行した場合
14500	⑦ ③で車外支払を全バス停で実施した場合
20400	⑦ ③で接続バス2台連隊で運行した場合

・文献8)の計算結果等をもとに、条件を単純化し比例算で計算

表4：与えられた需要に対するバスの輸送条件と利用者関連指標の比較

輸送需要	輸送条件	バス停間隔	アクセス	運行速度	空間分断
1万人/時	専用道路・追い越し可	①バス停間隔400m ②バス停間隔500m ③バス停間隔1000m	75秒 90 180	25.5km/h 26.3 30.1	48.4%
1.5	専用道路・車外支払	①バス停間隔400m ②バス停間隔500m ③バス停間隔1000m	75秒 90 180	28.4km/h 29.4 34.2	72.6%

※10km路線長で路線上のみに需要が一樣にある場合の試算。加速3.5km/h/s、減速5km/h/s、最高速度50km/h。
 ※バス車体長12mでバス通過前後で計15秒のクリアランスをとった場合の分断時間比を空間分断率とした。

範囲が条件によって大きく変動する結果がわかる。

b) 利用者指標への影響の試算

バスについて最も単純な条件下で、時間方向あたりの需要が与えられた場合に、バス停間隔設定と各利用者指標への影響の試算を表4に示す。1.5万人の需要に対しては、バス停間隔をあげることで始めて鉄道なみの速度が達成できるが、空間分断率が高くなり、さらに専用道路、車外支払等、鉄道なみの施設を必要とすることから、バスである必然性が相対的に薄れてくることが推察できる。

4. 結論と今後の課題

以上のように、前提条件を整理して計算しなおすことで、バス輸送能力が、過大評価あるいは過小評価されることなく検討され、他の交通手段との比較にも適用され得る可能性がわかった。本稿では、計算のための背景とそのフレームワーク構築上の論点、そして、それらに基づいた簡便な計算のみとまっているが、幹線バス輸送の可能性と限界を考察する場合には、このようにして計算する輸送能力と前提条件、利用者指標と、従来からの費用面の試算を結合させることで、より客観的な評価が可能となると思われるので、以降作業を進めていく。

今後は、同一の条件で、離散型シミュレーションモデルによるもう一段階精緻な計算を行い、さらに、沿道の都市活動との関連性、交通機関のネットワークの問題、などを定量的に取り込んでいって、幹線バス輸送の可能性と限界を明示していくことが課題である。

<参考文献>

- 1) Vuchic, V.R.: Urban Public Transportation, Prentice-Hall, 1980
- 2) 天野光三：都市の公共交通、技報堂出版、1988
- 3) 交通工学研究会：交通工学ハンドブック、技報堂出版、1985
- 4) 太田勝敏、中村文彦他訳：都市交通－世界銀行政策研究－、国際開発センター、1987
- 5) Midgley, P.: Urban Transport in Asia, World Bank, 1994
- 6) TRB: Highway Capacity Manual, 1985
- 7) Gardner, G. et al.: The Performance of Busway Transit in Developing Cities, TRRL RR329, 1991
- 8) McBrayer, D.B.: Operating Buses on a High-Capacity Busway, TRB 71st Annual Meeting, 1992
- 9) 長田重治、中村文彦、太田勝敏：交通機関の適応範囲に関する基礎的分析、土木学会第46回年次学術講演会、1991
- 10) 山本幸司他：ガイドウェイバス運行計画支援用シミュレーションシステムの開発、土木学会第49回年次学術講演会、1994
- 11) Keith Mundy (1994): Curitiba's congestion cure, Bangkok Post (July 28, 1994)
- 12) 木俣 昇他：TDMからみた金沢都市圏P&BRシステムの実現可能性、土木学会第49回年次学術講演会、1994