

公共交通における利用者数と利便性の基本的関係の考察*

-バス交通存在下における空間の輸送能力について-

A Study of Basic Relationship between Number of Passengers on Public Transport and Its Serviceability*

- Transportation Ability of Urban Transit Space with Bus Service-

波床 正敏**・塚本直幸***・林 邦佳****

By Masatoshi HATOKO**・Naoyuki TSUKAMOTO***・Yoshikuni HAYASHI****

1. はじめに

自動車に強く依存した都市交通体系が、様々な都市交通問題と都市環境問題を引き起こしている現在、私的交通から公共交通機関への転換が望まれているが、転換の速度は決して速いとはいえない。その主要な要因の一つとして、道路整備効果評価の場合に比較して、明確な評価基準のもとで公共交通整備効果を定量的に分析する手法が、十分には確立されていないことが考えられる。そのため、公共交通整備が有利であると考えられるようなケースにおいても、定性的、あるいは事例的にしか比較優位性を提示しえず、結果として十分な合意形成に至らないことがありうる。

定量的な側面から計画を行う場合では、私的交通の主体となる自動車交通に関する分析については様々なツールが利用可能で、その分析体系は大規模かつ精緻である。一方、公共交通には、間欠運行、混雑の不快さ、乗継ぎの問題、輸送量と運行便数の関係、パズルのような運行計画等々、特有の課題がいくつが存在している。ところが、公共交通についての分析は、公共交通のこれら各種特徴を簡略化あるいは無視して取り扱われることも多く、比較的簡素で体系だてられていないように思われる。

さて、本研究では公共交通の特徴のうち、輸送量と運行便数の関係について特に着目するとともに、公共交通と自動車交通を同じ視点で分析可能とするための方法論について、基礎的な考察を行った。自動車交通ではQV曲線を用いて、ある道路空間における交通需要と道路交通サービス水準との関係分析が可能である。ところが、公共交通については、このような基本的な空間パフォーマンスを示すような理論体系も明確には確立されておらず、公共交通機

関へのシフトが叫ばれているにもかかわらず、同じ土俵上で議論することが難しい。例えば、既存の道路にLRTを新規導入する場合のように、限られた都市の交通空間を私的交通と公共交通の間で再配分するような課題に対しても、このような同じベースで議論することの重要性が、今後高まると思われる。

以上の問題意識のもとで、本研究では、バス交通を例に公共交通における利用者数と利便性の基本的関係を考察し、道路空間を公共交通とそれ以外の自動車交通の両方が利用する場合、空間全体として交通量に対してどの程度の輸送サービスレベルを提供しうるのかなどについての基礎的な概念を考察した。

2. 輸送需要と利便性の関係における基本的性質

(1) 自動車交通

自動車が道路上を走行する際、交通需要量が少ない場合は運転者の能力や制限速度などに制約されるものの、可能な限り高速に運転できる。交通需要量が多くなると、交通密度が上昇し、速度が落ちてくる。さらに増えると交通密度がさらに上がり、移動速度が極端に落ち、結果として輸送量が減少する。

(2) 公共交通

簡単のため、他の交通機関から渋滞等の影響を受けない場合について考える。表1に示すように、交通需要が全く無い場合は、便が運行されないため移動には無限の時間を要する。需要が少量の場合は車内の混雑は小さいが、運行本数が少ないため待ち時間が大きく、移動の抵抗は大きい。需要が大きくな

表1 輸送量と利便性の基本的関係

輸送需要	道路上の自動車		公共交通			
	移動速度	輸送量	運行速度	待ち時間	速度換算	輸送量
ゼロ	(高速)	ゼロ	(高速)		ゼロ	ゼロ
小	高速	小	高速	大	遅	小
中	中速	最大	高速	中	中速	中
大	低速	小	高速	小	高速	大
特大	超低速	僅小	中速	微	中速	特大

*キーワードズ：空間パフォーマンス、バス交通、道路交通、輸送需要

** 正員,博士(工),大阪産業大学 工学部 都市創造工学科
(大阪府大東市中垣内3-1-1, Tel: 072-875-3001 (ex.3722),
E-mail: hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp

*** 正員,博士(工),大阪産業大学 人間環境学部 都市環境学科
E-mail: naoyuki@due.osaka-sandai.ac.jp

**** 非会員,日本ソフトウェア開発(株)

ると、混雑度が大きくなるが運行本数も多くなる。待ち時間も徐々に小さくなるので、移動抵抗も徐々に乗車そのものの抵抗に近づく。さらに需要が大きくなると、専用通路があっても渋滞現象を生じ、運行速度が低下する。

このように、公共交通についてもパフォーマンスが輸送需要の影響を受けており、その変化形態は自動車交通とは異なる性質を持っている。

3. 公共交通のパフォーマンス考察の条件

基本的な性質については前章で述べたとおりであるが、考慮すべき条件が多岐にわたるため、次のような条件のもとで考察を行う。

(1) 渋滞の考慮方法

公共交通機関の中には、路面電車やバスのように他の自動車と路面を共用し、渋滞の影響を受ける可能性のあるものが存在する。本研究では、まず定時運行可能な状態について考察し、次いで渋滞の影響を受ける場合について考察する。

(2) 超過密状態の取り扱い

公共交通機関が専用通路を持つ場合でも、運行本数が過大であると、安全上の理由から先行便との距離を保つ必要があり、道路上の自動車交通と同様の渋滞現象が生じることがある。本研究では、このような超過密輸送の状態については考慮対象外とする。

(3) 待ち時間の考慮

公共交通機関の所要時間を論じる際、必ずといってよいほど『時刻表を見て出発しさえすれば、乗車時間だけを考慮すればよい』『都市交通は高頻度運行なので待ち時間は考慮する必要がない』との議論が起こる。しかし、既存の研究¹⁾²⁾³⁾では待ち時間を考慮した方がより精密であることがわかっている。また、都市交通などで時刻表を見るまでもないような状況下では、乗客の出発分布が一様として差支えないので、むしろ平均待ち時間を考慮する方が自然である。本研究では、期待所要時間¹⁾²⁾³⁾の考え方を取り入れるが、次に述べるように運行間隔一定を想定するので、平均待ち時間を考慮することとした。

(4) 運行間隔一定

都市交通ではなるべく運行間隔を一定に保ちダンゴ運転をしないことにより、待ち時間を含めた平均的な移動時間が短縮される。さらに、乗客の出発分布一様の条件下では各便の混雑率も一定となり、極端に混んだ便が無くなるので、総合的に利便性が高くなる。本研究の考察では運行間隔一定と設定する。

(5) 混雑率の考慮方法

公共交通では、混雑率が上昇すると不快さ緩和の

ために輸送改善が行われ、一定の混雑度以下に保たれる。逆に低下すると、輸送効率を上げるために減便される。実際には、混雑率は一定の幅を持っているが、本研究では一定値として考える。

(6) 定員一定

混雑時の輸送改善方法、閑散時の輸送効率改善方法としては、鉄道では車両の増減、航空では機材の変更などによって調整されることもあるが、本研究では一便の定員を一定として考察する。

4. バス交通における輸送需要とパフォーマンス

(1) 設定条件

より具体的に考察するため、表2のような条件を設定した。表2は大阪府北東部の京阪バス1号系統(JR高槻駅-京阪枚方市駅間)を参考に設定したものであるが、考察用に一部簡略化している。

(2) 輸送需要と期待サービス速度

表3に輸送需要量とそれに応じた諸量の試算結果を示す。例えば、輸送需要が毎時100人であった場合、一便の乗客数を表2の水準に設定すると、運行便数は3.2本/hとなる。このとき、運行間隔は19.0分、平均待ち時間はその半分の9.5分であるので、乗車時間の22分と併せて、期待所要時間は31.5分となる。区間長が7.2kmであるので、速度に換算すると13.7km/hと計算される。本研究では、この速度換算した指標を期待サービス速度と呼ぶこととする。なお、この区間の表定速度は19.6km/hなので、上記の13.7km/hは表定速度の約70%の水準となる。

このようにして作成した曲線が図1である。原点から始まり、輸送需要が毎時200人程度、運行間隔で示せば10分間隔程度までは輸送需要が増えると急速に期待サービス速度が大きくなるが、それ以上になると伸びが鈍化し、表定速度に漸近する。

(3) 道路上の自動車交通との比較

道路上の自動車交通についての輸送需要と速度の関係はQV曲線で表されるが、表2の参考とした区間である国道170号の交通状況⁴⁾をもとに、関係を

表2 考察のための条件

区間長	7.2km
非混雑時所要時間	22分
表定速度	19.6km/h
道路条件	片側2車線(1)
専用通路	全区間(2)
一便あたり乗客数	31.7人(3)

(1) 実際にはJR高槻駅付近約1.2kmおよび枚方市駅付近約1.6kmが1車線である

(2) 実際には高槻市内沢良木交差点~大塚町南交差点までの3.2kmについて、北行1車線が朝のみ専用レーン設置

(3) 出典：京阪バス(株)

表3 輸送需要とパフォーマンスの試算

需要	便数	間隔	平均待ち時間	乗車時間	期待所要時間	期待サービス速度	対表定速度
(人/h)	(本/h)	(分)	(分)	(分)	(分)	(km/h)	(%)
0	0			22		0	0.0
25	0.8	76.2	38.1	22	60.1	7.2	36.6
50	1.6	38.1	19.0	22	41.0	10.5	53.5
75	2.4	25.4	12.7	22	34.7	12.5	63.3
100	3.2	19.0	9.5	22	31.5	13.7	69.7
200	6.3	9.5	4.8	22	26.8	16.1	82.1
400	12.6	4.8	2.4	22	24.4	17.7	90.1
600	18.9	3.2	1.6	22	23.6	18.3	93.1

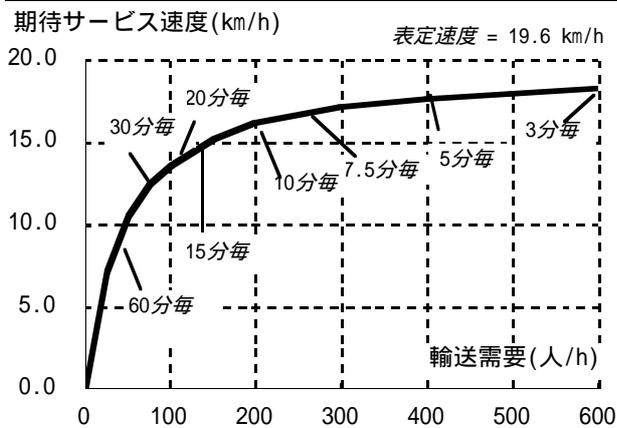


図1 輸送需要と期待サービス速度

推定した結果、1車線あたりについて下記のようになった(Qは乗用車に換算した台数)。

$$Q = -1.7051 V^2 + 87.126 V \quad [1]$$

[V_{MAX} 51.1 (km/h), Q_{MAX} 1113(台/h)]

ところで、交通量Qは自動車の台数で表現されているので、図1とは直接比較できない。そこで、自動車がすべて乗用車であるとして、年間旅客自動車走行キロおよび年間旅客自動車輸送人キロ⁵⁾をもとに算出し、1台あたり1.43人乗車しているとする。よって、自動車台数Qの代わりに輸送需要Nを使えば、次のようになる。

$$N = -2.4375 V^2 + 124.55 V \quad [2]$$

[V_{MAX} 51.1 (km/h), N_{MAX} 1591(人/h)]

図2は、以上のようにして作成した道路上の自動車交通についての輸送需要と期待サービス速度の関係を表す曲線と図1の曲線を同一平面上に示したものである。図2では、道路上の自動車交通が自由走行領域の場合は、輸送需要の増加にともなって期待サービス速度が低下するのに対し、公共交通(ここではバス)では期待サービス速度が増加している。しかし、バス交通の場合は運行速度そのものが低いので期待サービス速度はすぐに頭打ちとなる。

期待サービス速度(km/h)

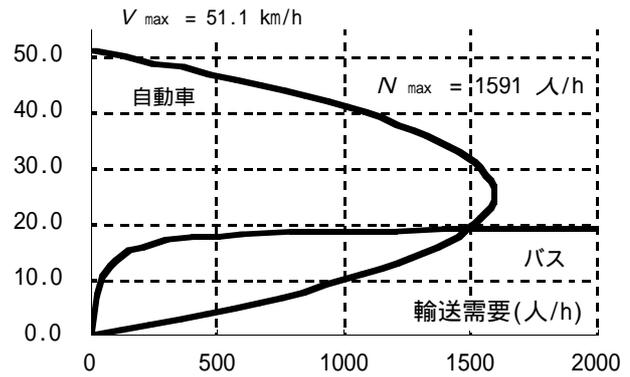


図2 道路上の自動車交通との比較

5. 道路空間のパフォーマンス

道路空間を自動車と公共交通が併用する場合について、公共交通の専用通路の有無別に、道路空間全体としてどの程度のパフォーマンスを示しうるかを分析した。以下の考察では、1車線あたりの交通需要Nと速度Vの関係が[2]式で表される片側2車線の道路を想定している。

(1) 専用通路を持たない場合(混合交通)

バスは片側2車線の道路上を他の自動車と混在して運行され、道路渋滞の影響を直接受ける状態である。このとき、横軸に道路全体で処理される輸送需要を取り、縦軸にバスのみについて期待サービス速度をとったものが図3である。また、図4は縦軸について、バスおよび自動車の各期待サービス速度を各移動者数で加重平均(時間平均速度)した道路空間全体のサービス水準として表現したものである。

図3では、交通需要が大きくなるほどバスの期待サービス速度が大きくなるが、混合交通状態であるため渋滞の影響を受けている。また、図4では、交通需要が少ない場合はバスの分担率が小さいほど、道路空間全体としての期待サービス速度が大きい。だが、輸送需要が大きくなると逆転し、バス交通の分担が大きいほど期待サービス速度が大きくなると

期待サービス速度(km/h)

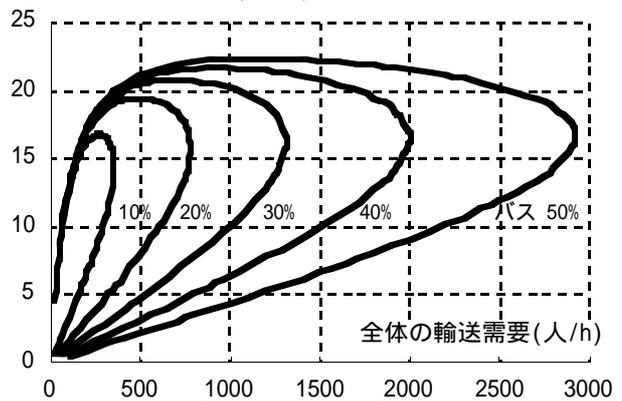


図3 需要とバスの期待サービス速度(混合交通)

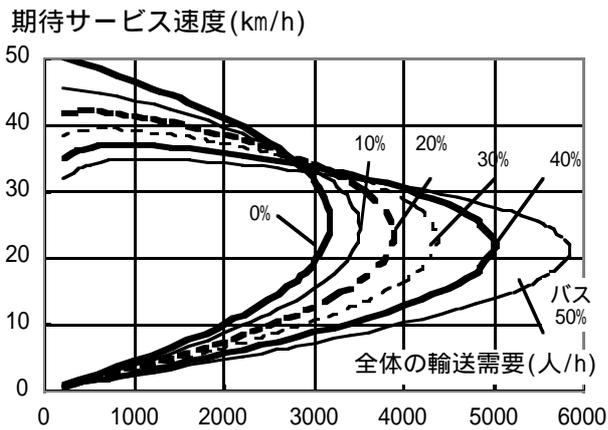


図4 需要と道路空間全体のパフォーマンス(混合交通)

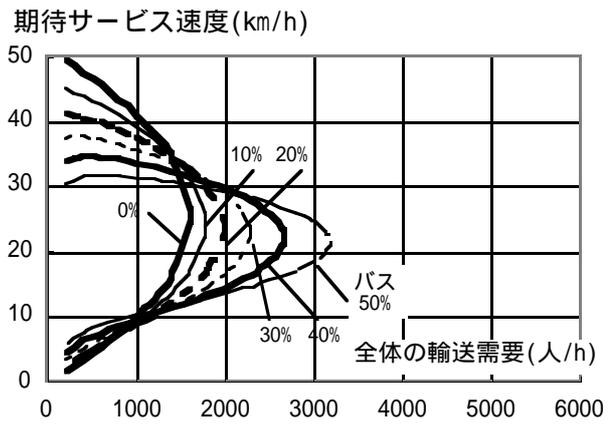


図5 需要と道路空間全体のパフォーマンス(専用通路)

ともに、処理できる最大輸送需要も向上する。

なお、これら図では、バスの分担率ごとに曲線を描いたが、輸送需要が変化した場合にはバスと自動車の各期待サービス速度のバランスも変化するため、単純にこの曲線に沿って交通状況が変化するわけではない。

(2) 公共交通(バス)が専用通路を持つ場合

片側2車線のうち1車線を専用通路化してあり、バスの運行は渋滞の影響を受けない。バスのみの期待サービス速度については、図1と類似の曲線となるので省略したが、図4と同様に横軸に道路全体で処理される輸送需要をとり、縦軸に道路空間全体のサービス水準として表現したものが図5である。

図5では、全体として図4よりも処理できる交通需要が小さい。これは1車線を公共交通専用としているためである。道路空間の一部を公共交通の専用通路とする場合には、公共交通の分担率を十分に大きくしなければ空間が有効活用されない可能性があることを示しているものと考えられる。例えば4000人/hの需要に対応するには、混合交通の場合はバスの分担率が23%以上でよいが、バス専用の通路を確保した場合には62%以上の分担率が必要となる。

なお、他の需要値においてもこれらの分担率を維持するような状況下では、渋滞が生じていない場合では専用通路の有無の差はほとんどないが、渋滞が生じるような領域ではバスの専用通路を確保した方が道路全体としての期待サービス速度は大きい。

6. 本研究の適用可能性について

(1) 都市交通空間の再配分に関する分析

公共交通と自動車交通との関係を分析する際、前者のサービス水準は外部から与えられるか、あるいは一定と仮定されるケースが多い。直接的な比較が可能となれば、公共交通の特徴を考慮した都市交通空間の再配分に関する分析を行えると考えられる。

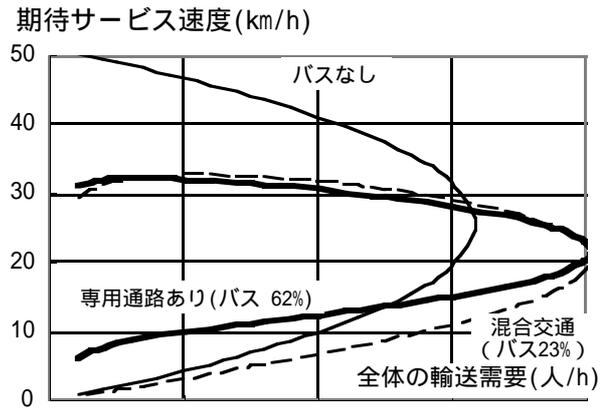


図6 公共交通の形態別道路空間のパフォーマンス

(2) 適切な公共交通手段(種類)の選択

バス、LRT、鉄道など、公共交通には種々の手段が存在するが、その選択は定性的な検討の結果であったり、建設コストの制約によるものであったりするケースが多いと考えられる。輸送量と利便性の関係を詳しく分析できるようになると、輸送量に応じた適切な公共交通手段の選択ができると考えられる。

(3) 公共交通の輸送改善策の検討

公共交通の輸送改善を検討する際、輸送量と利便性の関係を詳しく分析できるようになると、他の競合する交通機関の影響を考慮しながら、適切な輸送改善方法を選択できる可能性がある。

【参考資料等】

- 1) 天野・中川・加藤・波床「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9, pp.69-76, 1991
- 2) 中川・波床・加藤「交通網整備による都市間の交流可能性の変遷に関する研究」土木学会論文集No.482/IV-2, pp.47-56, 1994
- 3) 中川・波床・伊藤・西澤「国際交通における利便性指標としての積み上げ所要時間に関する研究」土木学会論文集No.590/IV-39, pp.43-50, 1998
- 4) 平成11年度道路交通センサス
- 5) 平成14年度運輸経済統計要覧 pp.60-63