

## 10. バス交通を主体とした都市公共交通網の利便性評価に関する研究

### Study on Evaluation of Bus-System in a Public Transportation Network

中川 大<sup>\*</sup>・天野光三<sup>\*\*</sup>・戸田常一<sup>\*\*</sup>  
Dai Nakagawa, Kozo Amano and Tsunekazu Toda

The first purpose of this study is to present and to sort out some issues which should be considered in evaluating a public transportation network in which Bus-System is taking a leading part. The issues are mainly caused by the travel-time uncertainty of Bus service.

And the second purpose is to show some criteria for evaluation of Bus-System considering the travel-time uncertainty.

#### 1. はじめに

都市内の公共交通利用者にとって利便性を評価する際の重要な要素として運行時刻の不確実性がある。例えば、時刻が不確実な交通機関を利用する場合には、遅れに備えて早めの便を選択する必要があるし、その便に確実に乗るためには余裕を持ってさらに早く乗車場所に着いていなければならない。これは、不確実性のために利便性が低下している1つの例である。

バスのように定時性の確保が難しい交通においては、このような不確実な運行状態を考慮して実際に即した利便性を考える必要があり、理想的な走行状態を想定した時の利便性で評価することは望ましくない。

本研究では、これを踏まえてバス交通を主体とした都市公共交通網の利便性評価にあたって考慮すべき課題を整理し、従来の考え方の問題点を明らかにするとともに、現状の実態を反映した評価のための指標を提案する。また、実際のバス網とそのいくつかの再編案に対してこれらの指標の値を計算することにより、指標の特徴と有効性を明らかにする。

#### 2. バス交通網の利便性評価の際の課題

バス交通を中心とする都市公共交通網の利便性を評価する際に考慮すべきこととして特に以下の4点を指摘することができる。

第1は、既に述べたように不確実な運行状況を考慮しなければならないことである。ダイヤ通りの運行を想定したときに最適であるような交通網を構成しても、不確実な運行状況の下では望ましいとは限らない。

また、バスの利便性に対する利用者の感覚は、極端に遅れた場合などのようにまれに起こる状況の経験が大きく影響することもあるため、遅れの平均値などによって不確実性を表現することも適切ではない。従って、どの程度の遅れがどの程度の頻度で起こっているのかという不確実性の実態を踏まえた評価が不可欠である。

第2は、不確実性の影響は利用する立場や目的によって異なるという点である。例えば、バスの出発予定時刻を知っていてその時刻の直前にバス停に来る人にとっては、バスが早発すれば重大な影響を受けるが、出発予定時刻と無関係にバス停に来る人にとっては、遅発も早発も大きな影響を受けない。このように利用する立場や目的によって不確実性の影響を受ける程度が異なるという点を考慮する必要がある。

第3は、利用者が実感する利便性やその信頼性は、個々のバスの定時性と必ずしも同じ傾向を示すわけではないことである。例えば、個々のバスの定時性が確保できなくてもフリクエンシーが高ければ利用者の実感する総所要時間の分散は小さくなると考えられるように、バス網としての利便性を高める方法は、個々のバスの所要時間や遅れを小さくすることだけではないことを考慮する必要がある。

第4は、フリクエンシーを利便性評価にどう取り入れるかという点である。従来用いられている一般的な所要時間の概念ではフリクエンシーが高いほど利便性が高くなるということを表現できない。また、運行間隔の2分の1を乗車時間に加える方法も不確実性の考

\*正会員 京都大学工学部交通土木工学科 (Kyoto Univ.)

\*\*正会員 京都大学工学部交通土木工学科 (Kyoto Univ.)

\*\*\*正会員 広島大学経済学部附属地域経済研究センター (Hiroshima Univ.)

表1 利便性評価のための指標

	指 標	内 容	各指標が重視される場面の例
指標 1	定時来停 所要時間	バスの予定出発時刻にあわせて出発地のバス停に乗客が到着する場合の、来停から目的地到着までの総所要時間。	バスの運行ダイヤを知っている人が、ある程度ダイヤを信頼して来停するような場合。
指標 2	ランダム来停 所要時間	乗客がバスの予定出発時刻とは関係なくランダムに来停する場合の、来停から目的地到着までの総所要時間。	バスの運行ダイヤを知らないか、知っているても全く信頼していないような場合。
指標 3	到着制約 所要時間	目的地に到着すべき時刻が定められている時にその時刻に間に合うために来停すべき時刻。(この場合、所要時間は、その来停すべき時刻から到着すべき時刻までの総時間となる。)	通勤・通学など到着時刻を厳守する必要がある場合。

慮などの点で問題がある。従って、所要時間とフリクエンシーの両方を考慮して評価する方法が求められる。

### 3. 従来の研究

バス交通の利便性に関する研究としては、まず所要時間や定時性に対する満足度等を意識調査や現地調査により求める研究があげられる<sup>1) 2)</sup>。これらは、バスの現状を把握することを試みた実用的で重要な研究であるが、遅れの状況などの不確実性の実態とその影響については直接取り扱っていない。

また、バスの需要予測などのモデル分析のなかの変数として利便性が取り扱われることも多い<sup>3) 4) 5)</sup>。とりわけ、近年の研究では、非集計行動モデルの変数として所要時間、運行間隔等を用いているものが多い。非集計行動モデルの応用は、所要時間の不確実性を考慮する方法の1つの可能性を示していると考えるが、実際には不確実性を考慮した個々のトリップごとの実所要時間を変数として取り入れることは難しく一般には所定の所要時間が計算に用いられている。

また、同様に総合的な交通網評価のためのモデルの変数として所要時間や運行頻度を組み込んだ研究も多いが<sup>6) 7) 8)</sup>、所要時間の変動が重要な評価要因となっていることについては取り扱われていない。

さらに、変数としての「所要時間」が何を指しているか明記されていない研究も多く、このような場合には平均的な走行状態を考慮した乗車時間(乗り換え時間は含む)を指している場合が多いと考えられる。所要時間に対する考え方としては、一般化出発時刻の概念が利用者の実感する所要時間に近く優れていると考えるが<sup>9) 10)</sup>、モデル等の変数としては一般的に用いられていない。また、この指標のみによって利便性を評価すると前章で示した第2、第4の課題などは残ることになる。

### 4. 利便性評価のための指標の提案とその特徴

上述したように利便性を表わす指標として用いられているいわゆる所要時間では、バス交通の利便性を的確に表現できないため、所要時間の意味をより明確にした以下のような3つの指標を提案する。

- ①定時来停所要時間(指標1)
- ②ランダム来停所要時間(指標2)
- ③到着制約所要時間(指標3)

指標の内容と、それぞれの指標が重視される場面の例を表1に示す。なお、出発地のバス停に乗客が到着することを「来停」、その時刻を「来停時刻」と呼ぶことにする。

これらの指標の値は、いずれも運行時刻の不確実性を考慮して所要時間の分布として示すものとする。すなわち、同じ時刻に来停しても早・遅発によって到着時刻は異なるということがバス交通の大きな特徴であり、それを表現する方法として分布形を示すことが現実的であるからである。

なお指標3は、先に考察した一般化出発時刻と同様の考え方であるが、本研究では複数の便から構成されるバスの運行ダイヤに対してこれを求められるようにしている。

また、3つの指標に重み付けを行うことにより総合的な利便性の指標を求めることも可能であるが、総合化することは、前述した課題2の趣旨などからも好ましくない。従って、これらの指標は総合化せずそれぞれを補完的に用いるべきであると考えられる。

### 5. バス運行の実態調査

本研究では、まずバスの運行の実態を把握するための現地調査を行った。バスの利便性評価にあたっては予定ダイヤ上の所要時間を用いた評価が適切でないことは前述した通りで、バスが実際にどのくらいの時間で走行し、どのくらい遅れているのかということをも明

らかにすることが重要である。また、そのデータを前述の指標値を求める際に用いることにより現実のバス運行状況を的確に反映した評価を行うことができる。

(1) 対象地域：バスが公共交通の主体となっている京都市の山科・醍醐地区をとりあげる。この地区は、バス路線のなかにもバスのすれ違いの困難な道路があるなど定時運行の難しい地域である。バス網の形態としては、地区の東側では京都市の中心部への直通系統が多く、西側は、地区の北端・南端に位置する山科駅・六地藏駅へ向かう系統が多い。

(2) 調査の内容と方法：対象地域内のいくつかのバス停において、そのバス停を通るバスの出発時刻すなわち遅発・早発の状況を記録する。また、乗客の来停時刻の分布も同時に調べる。来停時刻の調査は、指標で想定しているような定時来停、ランダム来停等の行動が実際に行われているかどうかを検証するために行うものである。

(3) 対象バス停：調査の対象としたバス停は次の6ヶ所である。

- a) バスの始発地となっている住宅地—小栗栖団地
- b) バス系統の中間点・結節点—蚊ヶ瀬、西野山団地、上花山久保町
- c) バスの終着地——国道山科、四条河原町

(4) 調査実施日時：平成元年12月初旬の平日4日間に実施した。都心向きのバスを対象とし、ラッシュ時として朝の始発バスから午前9時まで、昼間時として午前11時から午後2時の間に通るすべてのバスについて計測した。その結果、延べ1941回のバス出発時刻のデータを得た。

(5) 調査結果の分析

① 出発時刻の遅れの分布

全バス停合計の出発時刻の遅れを、ラッシュ時と昼間時に分けて図1に示す。いずれも、 $-2 < T < 3$  (2分の早発から3分の遅発の間にあるもの。以下同様の表記を用いる。)のあたりに集中しているが、ラッシュ時には遅発も多く、早発も多少みられる。一方、昼間時は比較的定時性が高いが早発もかなりみられる。

次に、バス停ごとの遅れの分布の例を図2に示す。始発地であり操車場からも近い小栗栖団地では高い定時性が確保されていることがわかる。しかし、経路中予定時間より速く走行できることを見越してか遅発するものが多少みられる。西野山団地と上花山久保町は、バス系統上の中間点になるが、始発地から離れる上花

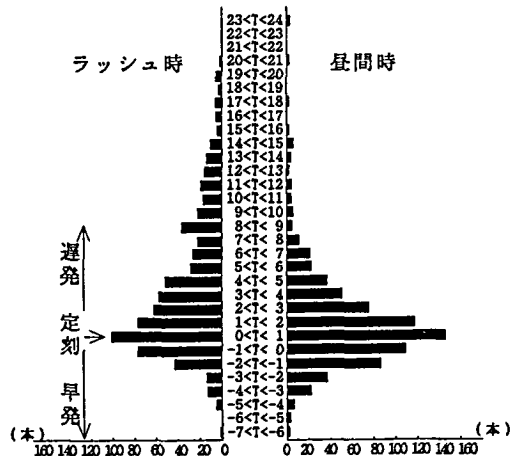


図1 出発時刻の早発・遅発の分布 (Tは遅れ(分))

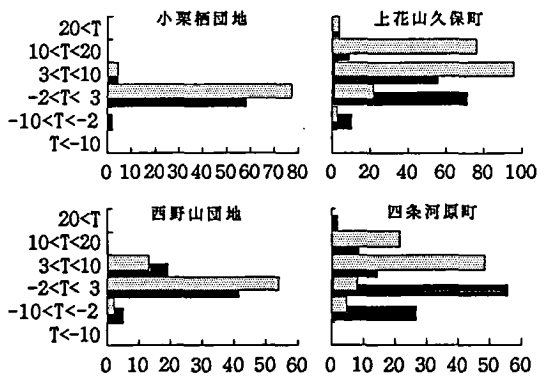


図2 バス停ごとの早発・遅発の分布

山久保町ではラッシュ時にかなり遅れが生じている。四条河原町は、到着時間分布はかなり広がり、ラッシュ時には遅着が多く、昼間時には早着もかなり多い。

② 始発地からの距離別の遅れの分布

計測したすべてのデータについて計測地点における始発地からの距離を求め、表2に示すような6区分で遅れの分布を調べた。始発から離れるに従って定時性が低くなり、特にラッシュ時にはその傾向が強い。また、昼間時には遅発だけでなく早発も多く、始発から7kmを超えると10%以上が早発している。

③ 乗客の来停時刻の分布

予定出発時刻と乗客の来停時刻を調べた結果の例として調査日のうちある1日の昼間時に到着した乗客の到着分布を図3に示す。定時性の比較的高い西野山団地では、定刻の2分前程度に来停する乗客が多い。一

表2 始発地からの距離別の早発・遅発の割合

		全データ	始発地から					
			始発地	2km以内	2km～5km	5km～7km	7km～10km	10km以上
ラッシュ時	2分以上早発	4.7	2.5	4.5	3.4	9.9	5.2	0.0
	2分早発～3分遅れ	48.2	91.4	77.3	58.5	30.3	13.3	6.9
	3～8分遅れ	25.1	6.2	18.2	31.3	23.9	34.7	34.5
	8分以上遅れ	21.7	0.0	0.0	6.8	35.9	46.8	58.6
昼間時	2分以上早発	9.7	4.6	0.0	5.6	5.5	17.9	10.9
	2分早発～3分遅れ	66.4	87.7	57.6	76.0	62.6	58.7	58.7
	3～8分遅れ	19.0	7.7	30.5	17.4	27.0	18.4	21.7
	8分以上遅れ	5.0	0.0	11.9	1.0	4.9	5.0	8.7

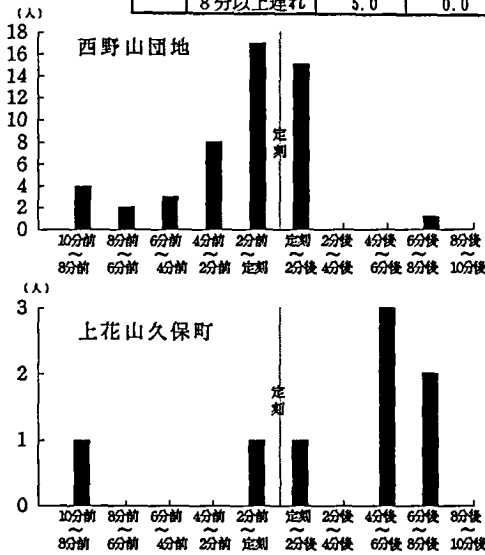


図3 乗客の来停時刻

方、データ数は少ないが上花山久保町では定刻にあわせて来停した人は少なかった。

### 6. 指標値の算出

実態調査のデータを用いて、利便性を表す3つの指標値をシミュレート計算によって算出する。

#### (1) 代替案

利便性を比較するのは、表3に示したように現状のバス網と3つの再編案の計4つの代替案とし、地区内の代表的な住宅地(小栗栖団地、西野山団地、音羽住宅、醍醐住宅)と、都心・ターミナルである四条河原町、山科駅との間の利便性を考える。

#### (2) シミュレート計算の条件

下記の条件で指標ごとにシミュレート計算を繰り返すことによりそれぞれの指標値の分布を求める。

①バス停における早発・遅発の分布は、現地調査より得られたデータの分布に従うものとする。実際に調査したデータのある箇所はそのデータを用い、それ以外

は始発地からの距離が同程度のデータの分布を用いる。

②ダイヤは、現状については実際の現状通りのものを用い、再編案については表3に示した運行間隔を基準に交通機関ごとに実現性の高いものを設定する。

③地下鉄は遅れがなく、デュアルモードバスは道路上でのみバスと同様の遅れが生じるものとする。

④乗り換え地点ごとに最小乗り換え時間を設定し、それ以内の時間では乗り換えできないものとする。

⑤指標1、指標2についてはシミュレート計算を100回繰り返す、指標3については来停時刻1分ごとに100回繰り返す。

### 7. 計算結果の考察

算出した評価値の例を、指標1及び2については図4に、指標3については表4にそれぞれ示す。以下、この結果から指標の特徴について考察する。

#### (1) 指標1

図4の指標1の結果は、出発地のバス停に予定時刻の5分前に来停した場合の総所要時間の平均・最大・最小を示したものである。この指標は、乗り換えのない多系統少便型が比較的優位となる指標で平均所要時間をみると代替案1(現状)がかなり良いことがわかる。しかし、小栗栖団地-四条河原町間の昼間時のように最大所要時間が極めて大きい場合がある。これは、5分前に来停したにもかかわらず早発のために目的のバスに乗り遅れ、しかもフリクエンシーが低いために次のバスまでの待ち時間が非常に大きくなっているものであり、規則違反である早発の影響を強く受けている。

代替案2はバス-バスの乗り換えであるため所要時間の平均も変動も比較的大きい。しかし、フリクエンシーは高いため変動については、代替案1と比べると小さい。このように、この指標に最も大きな影響を与える要素は、乗車時間と乗り換え時間であるが、定時

表3 代替案の特徴

	代替案1	代替案2	代替案3	代替案4
概要	現状 都心直行多系統少便	・地区内路線をゾーンバス化・短距離系統化。 ・幹線を多便化。	・幹線は地下鉄に。 ・バスはフィーダーとしてゾーンバス化。	・地下鉄線を利用したデュアルモードバス。 (昼間時のみ)
特徴	都心直行 定時性低い	バス・バス乗り換え 定時性やや低い	バス地下鉄乗り換え 地下鉄部定時性高い	同一ホーム乗り換え 地下部分定時性高い
運行間隔	路線ごとに異なるが 30～60分程度の路線も多い。	ラッシュ時 昼間 幹線バス 5～10分 ゾーンバス 10～20分	ラッシュ時 昼間 地下鉄 5～10分 ゾーンバス 10～20分	デュアルモードバスの運行は、 昼間時のみとし、運行間隔は 20 分とする。

表4 指標3の計算結果

			定刻で運行 の時、出発 すべき時刻	遅刻可能性 0%の 出発時刻	遅刻可能性 25%の 出発時刻	遅刻可能性 50%の 出発時刻
小栗栖 — 四条 河原町	ラッシュ時	代替案1	7:42	7:40	7:44	7:45
		2	8:05	7:45	7:57	8:06
		3	8:15	7:55	8:02	8:09
		代替案4	11:59	11:54	11:59	12:01
音羽 — 四条 河原町	昼間時	代替案1	12:00	11:41	12:02	12:04
		2	12:00	11:59	12:02	12:06
		3	12:20	11:59	12:02	12:10
		4	12:20	11:59	12:02	12:10
小栗栖 — 四条 河原町	ラッシュ時	代替案1	8:19	7:54	8:06	8:17
		2	8:15	7:46	7:59	8:08
		3	8:25	8:05	8:16	8:25
		代替案4	12:12	11:38	12:13	12:16
音羽 — 四条 河原町	昼間時	代替案1	12:00	11:45	12:05	12:22
		2	12:20	12:01	12:21	12:24
		3	12:20	12:00	12:01	12:03
		4	12:20	12:00	12:01	12:03

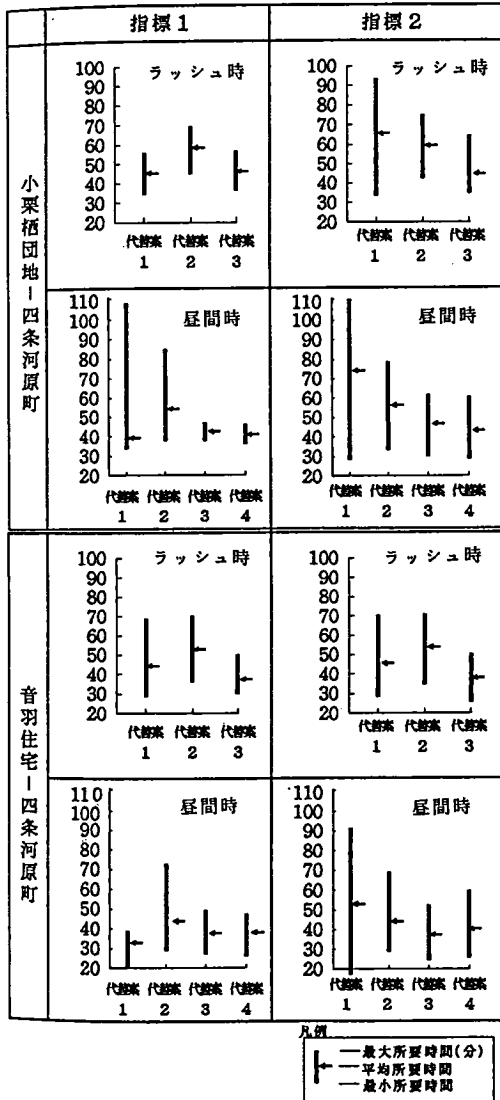


図4 指標1、指標2の計算結果

性とフリクエンシーも影響していることがわかる。

(2) 指標2

この指標は、来停してからバスに乗車するまでの時間が大きな比重をもっているため、フリクエンシーの影響が大きい。従って、フリクエンシーに優れた代替案2、3、4が平均所要時間も変動も代替案1より優位となっている。

(3) 指標3

ラッシュ時は、午前9時に、昼間時は午後1時に目的地に到着する場合に来停すべき時刻を表4に示した。所定時刻に遅れる確率が0となる来停時刻をみると、小栗栖—四条河原町のラッシュ時では代替案1がかなり劣っている。ただし、これは、ちょうどその時刻に到着する適当なバスがないことが主要な原因であり、所定の到着時刻を変えれば結果は大きく異なることに注意しなければならない。しかし、ちょうどいいバスがあるか否かによって大きく結果が変わること自体がこの代替案1の欠点であることも指摘できる。またこの指標は、バスからバスへの乗り換えを含む代替案2が比較的劣っているように定時性の影響がかなり強いと考えられる。

## 8. 計算結果からみた代替案に関する考察

代替案1は、定時性とフリクエンシーに問題があることをそれぞれの指標が示している。フリクエンシーが低い場合には特に定時性が確保されなければならないが、現状は早発を含めて運行時刻が不確定であるため所要時間の変動が大きく、バスの信頼を失う大きな要因になっていると考えられる。ただし、規則違反である早発が一扫されれば、その所要時間の変動がかなり改善されると考えられる。

これに対して他の案では、平均所要時間が現状より劣る場合もあるが、上述のような状況になっても次のバスまでの時間が短いことによって最大所要時間と最小所要時間の差が小さくなっている。すなわち、定時性確保の困難性をフリクエンシーの向上によってカバーすることに成功していることがわかる。しかし、代替案2のようにバスからバスへの乗り換えについては、所要時間の変動が大きくなる場合もみられる。

代替案3、4は指標2における分布幅が狭いことからわかるように任意の時刻に出発してもおおよそ何分後には目的地に着くかという目安がつけやすく信頼性が高いことがわかる。

## 9. おわりに

本研究では、バス交通の実態を明らかにするための現地調査を行うとともに、利便性を評価する指標を提案し、その値の計算を行った。指標は3通りであり、これらを補完的に用いることによって、乗車時間とフリクエンシーの両方を考慮して評価を行うことができる。また、バス停での待ち時間や乗車時間あるいは不確実性に備えての余裕時間など総所要時間を構成する各要素における不確実性についてそれぞれ考慮できる。

また、シミュレート計算によって、3つの指標による評価はそれぞれ異なることを示したが、これは、利用者の置かれた状況や利用目的などによって異なる評価が行われるということであり、単に所要時間という一つの指標で利便性を総合化してしまうと評価の際の重要な情報を埋もれさせてしまうことを示している。

一方、現実のバス交通の改善に対しては、分析の結果以下のような知見が得られた。

①実態調査から早発が頻繁に起こっていることが明らかとなった。この早発による影響は従来の研究では重視されていなかったが、指標の計算によって、早発が実際の総所要時間を著しく大きくする場合があることを示した。早発は規則違反であるが現状では頻繁に起

っており、これはバスの利便性とその信頼性に対する議論を行う上で重要な問題を提起していると考えられる。②渋滞によってバスが遅れることが信頼性の低下に直結するという単純な図式ではなく、定時性が保てないという現状のなかで少しでも信頼を得ることも重要であると考えられるが、これに対して指標の計算のなかで、個々のバスの定時性の乱れをフリクエンシーの向上によって補完し、総所要時間としての分散は少なくできる事例を示した。

本研究の問題点としては、現地調査のデータを用いることを前提としているため、渋滞等の状況の異なるような将来の予測には向かないことがあげられる。もちろん、早発・遅発の分布を予測すれば良いわけだが精度の高い予測値を得ることは難しいと考えられる。ただし、この問題は本研究固有のものではなく将来において発生すると考えられる不確実性を考慮する場合に必然的に伴うものである。

今後の方向としては、それぞれの指標の適用範囲をより明確にするため、バスの定時性と乗客の来停行動との関連を詳しく分析すること等が考えられる。

## (参考文献)

- 1)加藤晃、池田誠一(1986)、「名古屋市の公共交通に関する市民意識について」、土木計画学研究・講演集、NO. 9, pp. 393~400
- 2)名古屋市長務局企画課(1986)、「都市内交通システムの総合的改善について—基幹バス新出来町線の試み」、土木計画学研究・講演集、NO. 8, pp. 9~16
- 3)河上省吾、広島康裕、溝上章志(1985)、「鉄道端末駅への改善計画のための交通需要予測モデルの開発と運用」、土木計画学研究・論文集、NO. 2, pp. 53~60
- 4)渡邊隆、岩崎征人、杉本巧(1987)、「新交通システム導入計画のための需要予測モデルの作成」、土木計画学研究・講演集、NO. 10, pp. 455~461
- 5)中村文彦、太田勝敏、新谷洋二(1988)、「時間帯需要変動を考慮した鉄道端末バス輸送計画の検討」、第23回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 379~384
- 6)天野光三、銭谷善信、近東信明(1982)、「都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究」土木学会論文報告集、第325号、pp. 143~154
- 7)杉志頼、松本隆(1987)、「交通機関の選択とサービスレベルの評価の関連分析」、第22回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 499~504
- 8)渡辺千賀恵(1985)、「バス運行頻度の影響を考慮したバス停勢力圏の簡便区画法」、土木計画学研究・論文集、NO. 2, pp. 61~68
- 9)松本嘉司、角知意、田辺俊郎(1983)、「一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定」、土木学会論文報告集、第337号、pp. 177~183
- 10)松本昌二、白水義晴(1986)、「通勤交通における旅行時間の変動と到着目標時刻の設定」、土木計画学研究・講演集、NO. 8, pp. 207~214