

## バスレーン網の設置効果と総合評価に関する一研究

### A STUDY ON ESTIMATION OF CITY-WIDE BUS LANE NETWORK

天 野 光 三\*・銭 谷 善 信\*\*・高 野 裕 一\*\*\*  
By Kozo AMANO, Yoshinobu ZENITANI and Yuichi TAKANO

#### 1. 緒 言

近年わが国の都市では、自家用自動車・バス・路面電車・タクシーなどが限られた路面を埋めて著しい交通渋滞を生じている。このためにバスや路面電車の走行速度が低下したり正確な時刻に目的地へ到着できないなどという不便が生じ、輸送効率のよい大量輸送機関としての機能が著しく阻害されている。このことがさらに自家用車を増加させる原因になるという悪循環を招いている。

このような都市交通問題を抜本的に解決するには新種交通機関を含む交通体系の再編成が必要であるが、当面は交通施設の効率的な利用をはかる交通規制・交通管制や道路混雑税などの制度的措置が考えられる。

そのうち交通規制については、限られた道路スペースによって大量の人と物の流動を支えるため、より効率のよい交通機関に優先順位を与える必要がある。こうしてすでに多くの都市でバス優先レーンや専用レーンが実施され、都市交通の効率化に効果をあげている。

本文ではこれらバスレーンの設置が道路交通量・区間速度・総走行所要人時間・総走行距離・バス乗客数・バス必要台数などに及ぼす影響を測定するシミュレーションモデルを提案するとともに、バスレーン網設置に対する 1 つの評価方法を提案し、バスレーン網設置案の総合評価を試みる。

#### 2. バスレーン設置の効果と測定方法

バスレーン設置は直接的にはバスおよび一般車の利用者に、間接的にはバス企業体・市民生活・環境などに以下に述べるプラス効果とマイナス効果を与える。

\* 正 会 員 工 博 京都大学教授 工学部交通土木工学科

\*\* 学生会員 工 修 京都大学大学院博士課程 交通土木工学専攻

\*\*\* 学生会員 京都大学大学院修士課程 交通土木工学専攻

ここに一般車とは、緊急車とバス以外の自動車、すなわち自家用乗用車・タクシー・ハイヤー・業務用車などを総称するものとする。

##### (1) バスレーン設置のプラス効果

###### a) バスの区間速度向上

レーン設置区間でバスは走行中あるいは停留所での発進・停止の時、一般車に妨害されないため、バスの区間速度が向上する。

###### b) バス運行の確実性向上

レーン設置区間内でバスは一般車の混雑度に影響されず、時刻表通りの運行が可能となる。

###### c) 乗客の待ち時間の短縮

バスが時刻表とおりの運行をすれば、乗客は時刻表にあわせて停留所へ来るため、待ち時間は短縮される。

###### d) バス利用者数の増加

バスの運行が確実になるため、バスが交通機関としての信頼性を回復し、一般車の速度低下もあって一般車からバスへの転換が生じて、バス利用者数が増加する。

###### e) 都市内の総自動車交通量の減少

一般車からバスへの利用転換が起こると、一般車の交通量が減少し、都市全体の自動車交通量も減少する。

###### f) 交通騒音・排気ガスの減少

都市内を走行する総自動車台数の減少は交通騒音や排気ガスの減少をもたらし、生活環境が向上する。

###### g) バス運行主体の経営改善

バスの速度向上により乗務員や車両の回転が早くなって車両費や人件費が節減され、経営が改善される。

###### h) エネルギーの有効利用

一般車よりもバスの方が 1 人当り燃料消費量は少ないため、エネルギーの有効利用に役立つ。

##### (2) バスレーン設置のマイナス効果

###### a) 一般車の交通容量減少

バス優先レーン内ではバスの走行中に一般車はバスレーン内に入れず、また専用レーンの場合一般車は1車線分を利用できない。したがってバスレーンを設置すれば利用できない車線分だけ一般車の交通容量が減少する。

#### b) 区間内の一般車の走行速度低下

上記のように一般車に対する交通容量が低下する結果一般車の走行速度が低下する。

#### c) 区間両端部の速度低下

バスレーン設置区間ではあたかも道路幅員が狭くなったのと同じ効果があり、その両端部で交通混雑が生じてバスや一般車の走行速度が低下する。

#### d) 区間周辺部の速度低下

バスレーン設置区間周辺部では、バスレーン設置区間を回避する一般車のために交通量が増加し、その結果バスや一般車の走行速度が低下する。

### (3) バスレーン設置による効果の測定方法

バスレーンを効果的な交通規制の手段とするために、これを能率的かつ有効に指定配置する必要がある、そのためにまずバスレーン設置の影響を適確に把握することが必要になる。

このため道路区間に実験的なバスレーンを設置して種々の影響を調査することも考えられるが、これは一時的な試行であるという市民の意識のために定常的な交通状態が得られないことや、一時的な規制であればかえって市民生活に不便を与えることがある。また多くの設置方法を比較検討するのは不可能である。このためシミュレーションモデルを用いる方法があり<sup>1)~4)</sup>、種々のレーン設置方法に対する効果の比較検討が可能である。

## 3. バスレーン網設置のシミュレーションモデル

本研究は上で述べたバスレーン網設置による道路交通量・総所要人時間・総走行距離・バス乗客数・バス必要台数などへの影響を一つの都市の道路網についてマクロに測定するシミュレーションモデルの提案である。

本モデルではバスレーン網と乗客 OD 表を与件とし、次節で述べる前提条件のもとに等時間原則<sup>5)</sup>に基づく一般車の配分を行い、各道路区間の交通量を求める。次に交通量と区間速度の関係から各道路区間所要時間を求め、自動車のとる各経路ごとの所要時間を計算する。バスレーン網を設置する場合としない場合についてそれらを比較し、バスレーン網設置がバスや一般車利用者の所要時間や交通量に与える影響を求めることができる。

#### (1) モデルの前提条件

モデルの対象とする都市・トリップ・路線バスおよび

一般車の利用者の行動について次のように仮定する。

#### a) 道路網形状

対象とする都市は格子状道路網を持つものとする。

#### b) 交通手段

都市内相互間の旅客交通は路線バスおよび乗用車に依存するものとする。なおすでに述べたように一般車にはトラックなども含まれるが、本研究ではまず簡単のために旅客交通のみを取り上げ、一般車とはバスとの転換の可能な乗用車であると仮定することとする。

#### c) 交通の発生吸収点

都市内部のトリップの発生吸収は格子点のみで行われる。都市内部と都市周辺部間のトリップのうち、路面交通によるものは道路網外周部の格子点から都市内部へ入りする。のちに図-3 および表-1 で説明するように、隣接する2つの格子点間を結ぶリンクに方向性を考慮して道路区間と定義し、またある OD トリップが通過する連続した道路区間の集合を経路と定義する。

#### d) 路線バス利用者の行動

① 任意の OD を結ぶ最短距離のバス路線が複数ある場合、バス利用者が利用する割合はそれぞれのバス路線への配車台数に比例するものとする。

② 異系統間の乗り換え回数は1回以下とし、図-1 に示すように2つのバス系統が重複する場合、目的地に近いBの格子点で乗り換えると仮定する。

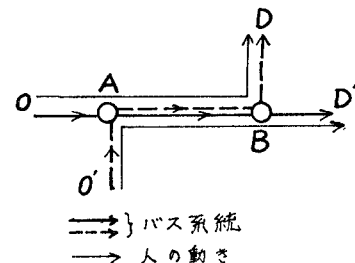


図-1 乗り換えにおけるバス系統の選択

③ 目的地に至る複数の利用可能な系統がある場合、利用者が出発地の停留所で系統を選択する割合をバス系統利用率と定義し、バスの1時間当り配車台数に比例するものとする。

#### e) 乗用車利用者の行動

① 乗用車利用者は OD を結ぶ経路のうち最短距離であり、かつ途中の右左折回数がそれぞれ1回以下の中から選択する。

② 乗用車利用者は自分の利用する時間帯で各経路の定常的な交通量を知っているものと仮定する。経路選択の結果は等時間原則による配分結果に一致する<sup>6)</sup>。

#### (2) モデルの定式化と概要

前節で述べた仮定に基づいて、ここではシミュレ-

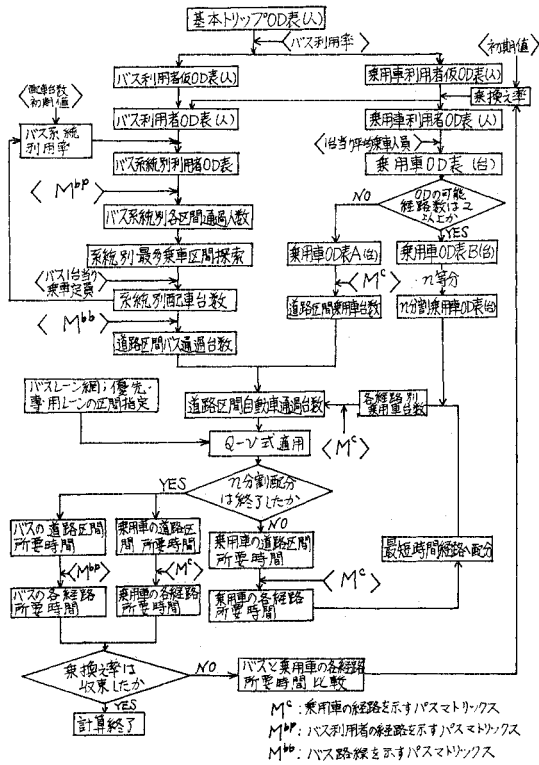


図-2 シミュレーションモデルのフローチャート

シミュレーションモデルを定式化する。まずモデルのフローチャートを図-2 に示す。

本モデルは基本トリップ OD 表、道路網、バス路線およびバスレーン網を与件とする。

基本トリップのうちバスを利用する割合をバス利用率と定義し、バスレーンを設置しない場合について外生的に与えられる。これ以外にバス系統別乗車台数を初期値として与え、乗用車利用者の中でバス利用に移る割合をバスへの乗換え率と定義するが、これらは図-2 に示されるようにモデル内で修正される。

図-2 の左上半部ではバス利用者 OD 表からバスの路線系統別乗車台数を計算し、道路区間のバス通過台数を求める。右上半部は乗用車利用者 OD 表から1台当り平均乗車人員を用いて乗用車台数 OD 表を作製する。乗用車 OD のうちまず経路数が1つしかないものはバスの道路区間通過台数にこの乗用車の道路区間通過台数を加えて各道路区間自動車通過台数の初期値とする。

次に経路数が2以上のものは OD 表を  $n$  等分して、 $n$  分割乗用車 OD 表を作り、図-2 の下半分に示されるように、Q-v 式を適用して乗用車の道路区間所要時間および経路所要時間を求め、最短時間経路に配分する。

$n$  分割配分が終了すると、バスおよび乗用車の経路所要時間を計算し、乗用車からバスへの乗換え率を求め、

これが収束すれば計算は終了し、収束しなければ再び計算を行う。

以下に本モデルの定式化について述べる。

a) バス利用者数と乗用車台数

本モデルでは1時間当り基本トリップ OD が与件である。そこでこの OD トリップをバスと乗用車に配分する必要がある。

まず1時間当りバス利用者数  $B_k^0$  は次式で示される。

$$B_k^0 = R_k^b \cdot OD_k \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $R_k^b$ : OD 番号  $k$  のバス利用率

$OD_k$ : OD 番号  $k$  の1時間当り基本トリップ数

1時間当り乗用車台数  $C_k^0$  は次式となる。

$$C_k^0 = (OD_k - B_k^0) / n_c \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $n_c$ : 乗用車1台当り平均乗車人数

次にバスレーンを設置した場合、1時間当りバス利用者数  $B_k^1$  は次式となる。

$$B_k^1 = B_k^0 + R_k^{bc} \cdot C_k^0 \cdot n_c \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $R_k^{bc}$ : OD 番号  $k$  の乗用車からバスへの乗換え率

同様に1時間当り乗用車台数  $C_k^1$  は次式で示される。

$$C_k^1 = (OD_k - B_k^1) / n_c \dots\dots\dots (4)$$

b) 経路別配分と経路所要時間

上記のように各基本トリップ OD をバスと乗用車に配分したが、次にこれを利用経路別に配分し、さらにこの経路別配分交通量から各道路区間交通量を求める必要がある。そこである経路を利用する交通がどの道路区間を通過するかを示すバスマトリックスについて説明する。

図-3 において、A, B はトリップの発生、吸収点であり1から8を道路区間番号、バス利用および乗用車利用のそれぞれについて OD 番号1の第1経路から順に各経路につけた通し番号を経路番号とよぶことにする。

経路番号を表-1のごとく定めると、バスマトリックスは図-4 のようになる。この行列の各列は道路区間

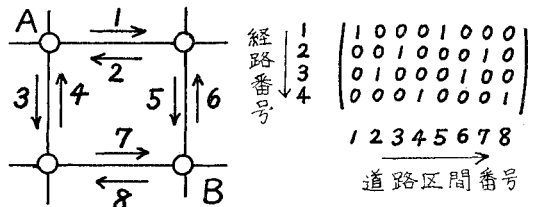


図-3 OD と道路区間番号 図-4 バスマトリックスの例

表-1 OD と経路番号

OD	OD 番号	経路番号	備考
AB	1	1	1, 5 経由
AB	1	2	3, 7 経由
BA	2	3	6, 2 経由
BA	2	4	8, 4 経由

表一 パスマトリックスの種類と名称

種類	マトリックスの記号	行番号	列番号
バス利用者の経路を示す行列	$M_{sr}^{bb}$	$s$ : 道路区間番号	$r$ : バス利用者経路番号
バスシステムの経路を示す行列	$M_{sl}^{bb}$	$s$ : 道路区間番号	$l$ : バス系統番号
乗用車利用者の経路を示す行列	$M_{ji}^c$	$j$ : 道路区間番号	$i$ : 乗用車利用者の経路番号

を、各行は経路を示す。

本文では、乗用車利用経路番号に  $i$ 、バス利用経路番号に  $r$  を添字として用いる。またモデル都市の道路区間番号を  $j$  とし、バスの場合同一の道路区間  $j$  に 2 系統以上のバスが走るときは異なる道路区間番号  $s$  を与える。

本モデルでは表一に示す 3 つのパスマトリックスを用いる。

① バス利用者の経路別配分とバス配車台数  
経路  $r$  のバス利用者数  $X_r$  は次式で示される。

$$X_r = B_k^1 \cdot RB_r^k \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $RB_r^k$ : バス利用者数  $B_k^1$  のうち経路  $r$  をとる割合

道路区間  $s$  のバス利用者通過人数  $W_s$  は次式となる。

$$W_s = \sum_r X_r \cdot M_{sr}^{bb} \dots\dots\dots (6)$$

道路区間  $s$  の第  $l$  系統バス利用者数  $Y_s^l$  は次式となる。

$$Y_s^l = W_s \cdot M_{sl}^{bb} \dots\dots\dots (7)$$

第  $l$  系統の 1 時間当り配車台数  $E_l$  は次式で示される。

$$E_l = \max_s \{Y_s^l\} / n_b \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $n_b$ : バス 1 台当り乗車定員

道路区間  $s$  を通るバスの乗用車換算台数  $Q_s^b$  は次式となる。

$$Q_s^b = \alpha_b \cdot \sum_l E_l \cdot M_{sl}^{bb} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 $\alpha_b$ : バスの乗用車換算係数

道路区間  $j$  のバス交通量  $Q_j^b$  は次式となる。

$$Q_j^b = \sum_s Q_s^b \dots\dots\dots (10)$$

② 乗用車の経路別配分

乗用車の配分に際しては、OD ごとの利用可能な経路数が 1 つだけのものと、2 以上あるものに分け、前者を A グループ、後者を B グループとよぶことにする。

A グループの経路番号  $i$  の乗用車台数  $U_i^A$  は次式で示される。

$$U_i^A = C_k \dots\dots\dots (11)$$

A グループ配分後の道路区間  $j$  の乗用車台数  $Q_j^{cA}$  は次式となる。

$$Q_j^{cA} = \sum_i U_i^A \cdot M_{ji}^c \dots\dots\dots (12)$$

次に B グループの乗用車を分割数  $n$  の分割配分法を用いて各経路へ配分する。

道路区間  $j$  の初期の区間交通量  $Q_j^0$  は次式で示される。

$$Q_j^0 = Q_j^b + Q_j^{cA} \dots\dots\dots (13)$$

分割配分法を用いるため、B グループの乗用車台数 OD 表を  $n$  等分して、第  $m$  層目まで配分したあとの第  $j$  道路区間交通量を  $Q_j^m$  とし、第  $(m+1)$  層目の配分を以下に述べる。

乗用車の区間速度  $V_j^{mc}$  は次式で示される。

$$V_j^{mc} = a^c \cdot Q_j^m + b^c \dots\dots\dots (14)$$

ここに、 $a^c, b^c$ : 乗用車の  $Q-v$  定数

第  $j$  道路区間の乗用車所要時間  $TD_j^{mc}$  は次式となる。

$$TD_j^{mc} = D_j / V_j^{mc} \dots\dots\dots (15)$$

ここに、 $D_j$ : 第  $j$  道路区間距離

経路  $i$  の乗用車走行所要時間  $TL_i^{mc}$  は次式で示される。

$$TL_i^{mc} = \sum_j TD_j^{mc} \cdot M_{ji}^c \dots\dots\dots (16)$$

OD 番号  $k$  の経路  $i$  への第  $(m+1)$  層目の B グループ乗用車配分交通量  $U_i^{m+1,B}$  は次式となる。

$$U_i^{m+1,B} = \begin{cases} C_k/n, & i: \text{OD の最短時間経路番号} \\ 0, & i: \text{最短時間でない経路番号} \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

道路区間  $j$  の第  $(m+1)$  層目の B グループ乗用車台数  $Q_j^{m+1,B}$  は次式で示される。

$$Q_j^{m+1,B} = \sum_i U_i^{m+1,B} \cdot M_{ji}^c \dots\dots\dots (18)$$

道路区間  $j$  の第  $(m+1)$  層目の交通量  $Q_j^{m+1}$  は次式となる。

$$Q_j^{m+1} = Q_j^m + Q_j^{m+1,B} \dots\dots\dots (19)$$

第  $n$  層目の配分後、式 (19) から各道路区間の自動車交通量の最終値  $Q_j^n$  が求まり、式 (15)、(16) から乗用車の最終的な道路区間所要時間、経路所要時間が求まる。

一方、バス利用者の道路区間所要時間  $TD_s^b$  は次式で示される。

$$TD_s^b = D_s / V_s^b \dots\dots\dots (20)$$

$$V_s^b = a^b \cdot Q_s^b + b^b \dots\dots\dots (21)$$

ここに、 $D_s$ : 第  $s$  道路区間距離

$a^b, b^b$ : バスの  $Q-v$  定数

バス利用者の経路  $r$  の所要時間  $TL_r^b$  は次式となる。

$$TL_r^b = \sum_s TD_s^b \cdot M_{sr}^{bb} \dots\dots\dots (22)$$

バス系統  $l$  の運行所要時間  $TB_l$  は次式で示される。

$$TB_l = \sum_s TD_s^b \cdot M_{sl}^{bb} \dots\dots\dots (23)$$

したがって、バス系統  $l$  の輸送確保に必要なバス台数  $F_l$  は次式となる。

$$F_l = E_l \cdot TB_l \dots\dots\dots (24)$$

以上がモデルの定式化の概要である。

4. シミュレーションモデルの試算例とその考察

前述したシミュレーションモデルをある簡単な街路網に適用して、バスレーン網設置の影響および効果について考察する。

(1) 試算の仮定

a) 対象道路網

南北3本、東西4本の格子状道路網を対象とし、各道路区間の車線数と距離を図-5のように仮定した。

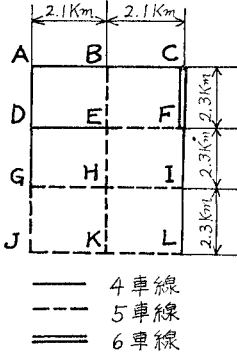


図-5 対象道路網と区間距離・車線数

b) バスレーン設置による交通量の減少

専用レーンおよび優先レーンを1車線設置する場合、一般車の交通容量はそれぞれ1車線分およびその半分に減少するものと仮定する。

c) OD表について

モデルは図-5に示されるAからLの12個の格子点をトリップの発生吸収点とし、1時間当たり基本トリップOD表を表-3のように与える。またマストラ利用の1時間当たりパーソントリップOD表の基本トリップ数に対する割合をバス利用率とする。

d) 乗用車からバス利用への乗換え率

バスレーンが設置されてバスおよび乗用車の所要時間が変化すれば乗用車を利用していた者の一部がバス利用へ転換する。そこでバスの所要時間が乗用車の所要時間の2倍になると転換が始まり、乗用車の所要時間がバスの所要時間の2倍になるまで、乗換え率は一定の割合で増加するものと仮定し、乗換え率の最大値は0.6とする。この乗換え率  $R_k^{bc}$  は次のようになる。

$$R_k^{bc} = \begin{cases} 0.0, & R_k < -0.67 \\ 0.45 R_k + 0.30, & -0.67 \leq R_k \leq 0.67 \\ 0.60, & R_k > 0.67 \end{cases} \dots\dots\dots (25)$$

$$R_k = (T_k^c - T_k^b) / T_k^m \dots\dots\dots (26)$$

ここに、

$T_k^c$ : OD番号  $k$  の乗用車経路所要時間最小値

$T_k^b$ : OD番号  $k$  のバス経路所要時間最小値

$T_k^m$ : バスと乗用車の経路所要時間平均値

e) バスの系統と路線

バスの系統別路線を図-6のように仮定した。また各バス系統の配車台数の比を表-4のように設定した。

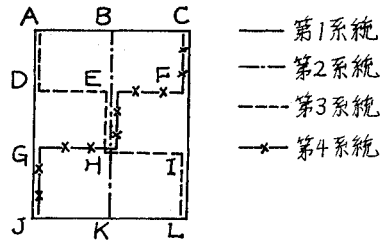


図-6 バス系統とバス路線網

表-4 バス系統別配車台数の比

系 統	1	2	3	4
比	1.0	1.5	0.875	0.875

f) バスレーン網の指定

バスレーン網は、バスレーンを設置しないケース1から全区間に専用レーンを設置するケース12まで、図-7に示す12種類を想定した。

ケース1, 2, 3では中央部分の1区間が指定なし、優先レーン、専用レーンと変化する。ケース1, 4, 7, 10では順次優先レーン設置区間が長くなる。同様にケース3, 6, 9, 12では順次専用レーン設置区間が長くなる。ケース2, 5, 8, 11は専用レーンと優先レーンが併用して順次設置区間が長くなる。

上記以外の変数として、乗用車1台当たり平均乗車人員

表-3 基本トリップOD表

O \ D	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	計
A		2549	478	335	1196	418	1268	1525	529	2183	967	56	11504
B	2219		1587	253	1688	615	979	2175	1155	2785	1400	96	14952
C	1388	2675		221	1666	601	589	2081	1432	2634	1348	97	14732
D	1884	1139	383		1203	315	729	1735	394	275	682	53	8792
E	297	514	156	66		177	345	1266	470	606	463	24	4384
F	710	1966	914	189	966		560	1877	0	0	0	0	7182
G	2586	1651	627	85	1919	297		3307	1320	1808	2833	798	17231
H	231	307	105	62	814	161	301		609	705	651	20	3966
I	1066	2456	1097	203	2275	0	953	4541		2071	2713	293	17668
J	1689	2007	899	62	1434	0	2175	2928	1291		2988	2152	17635
K	1830	4109	1759	370	2538	0	2705	6528	4181	6312		2799	33131
L	291	463	231	62	474	0	398	53	801	929	2411		6113
計	14191	19836	8236	1908	16173	2584	11002	28016	12182	20308	16466	6388	157290

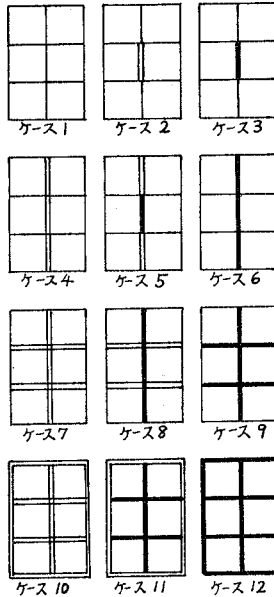
表-5 バスおよび乗用車の Q-v 定数

	a <sup>c</sup>	b <sup>c</sup>	a <sup>b</sup>	b <sup>b</sup>
混合交通	-0.5573	965.2	-0.01767	237.3
優先レーン	-0.5403	856.6	-0.01667	286.1
専用レーン	-0.8577	953.2	0	395.0

を 1.56 人、バス 1 台当り定員を 75 人、バスの乗用車換算係数を 2.0、分割配分を行う際の分割数を 50 とする。またバスおよび乗用車の Q-v 定数は、著者らが 1972 年に京都で実施した調査およびシミュレーションモデル<sup>1)</sup>から得た測定値を用い、これを表-5 に示す。

(2) 試算結果と考察

前節で述べた 12 ケースのバスレーン網設置案に対してシミュレーションモデルを適用し、表-6 に示す結果が得られた。またバス利用者数、バスの延べ乗客数、バス必要台数、総走行距離、



—— レーン設置なし  
 ≡≡≡ 優先レーン  
 ≡≡≡ 専用レーン

図-7 レーン指定

総所要人時間を、それぞれ図-8, 9, 10, 11, 12 に図示した。ここでバス利用者数は基本トリップのうちバスを利用する人数、バスの延べ乗客数は各道路区間を通過するバス利用者数の総和、総走行距離は各道路区間の通過台数と区間距離の積の総和である。なお総走行距離と総所要人時間は、バスと乗用車によるものを加えた値である。

図-8, 9 から、優先レーン設置よりも専用レーン設置の方がバス利用者数および延べ乗客数の増加の度合いが著しく大きいことがわかる。また図-10, 11, 12 より

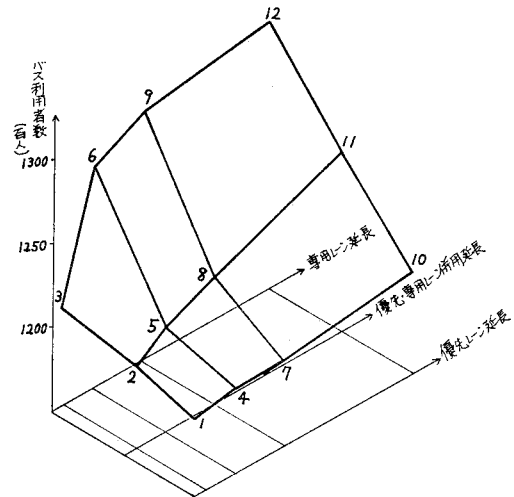


図-8 バス利用者数

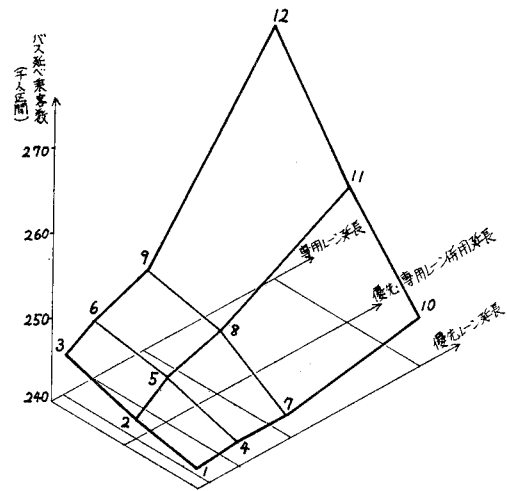


図-9 バス延べ乗客数

表-6 試算結果の一覧表

レーン指定	ケース番号	バス利用者数 A (百人)	バス延べ乗客数 B (百人・区間)	バス必要台数 C (台)	バスの輸送効率 B/C	総走行距離 (万・台キロ)			総所要人時間 (万・人分)		
						乗用車	バス	合計	乗用車	バス	合計
レーンなし	1	1197	2427	1116	217.4	12158	324	12482	27.5	234.6	262
	2	1199	2427	1086	223.5	12153	324	12477	28.5	230.1	259
	4	1201	2434	1061	229.4	12056	324	12380	29.1	223.5	253
	7	1202	2434	1034	235.4	12058	324	12382	30.0	215.6	246
優先レーン設置	10	1211	2456	932	263.5	11741	326	12067	34.9	196.8	232
	3	1209	2450	1050	233.3	11804	324	12128	29.7	225.3	255
	6	1283	2472	989	249.9	11490	324	11814	29.0	209.0	238
	9	1293	2494	933	267.3	11184	330	11514	29.3	191.9	221
専用レーン設置	12	1312	2700	700	385.7	8240	347	8587	34.1	151.6	186
	5	1213	2456	1025	239.6	11726	324	12050	29.8	218.4	248
	8	1224	2476	963	257.1	11443	325	11768	29.6	201.5	231
優先・専用併用設置	11	1258	2562	837	306.1	10219	337	10556	32.5	175.1	208

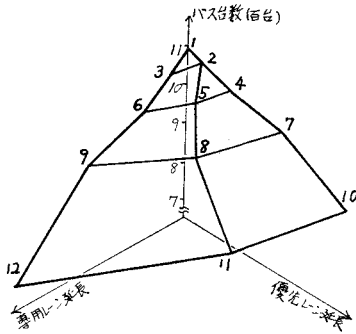


図-10 バス必要台数

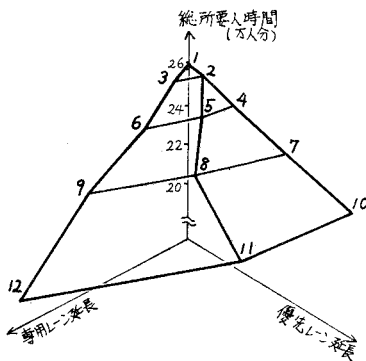


図-11 都市全体での総走行距離

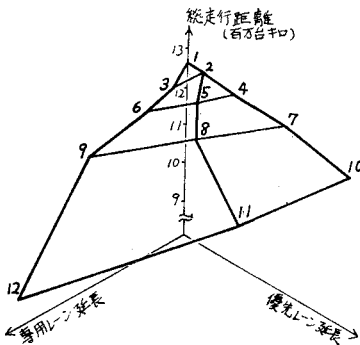


図-12 都市全体の総所要人時間

バス必要台数, 総走行距離, 総所要人時間のいずれもレーン設置延長に対する減少度は, 優先レーンよりも専用レーンの方が大きいことがわかる。ここに述べた表および図により, 以下各項目について説明する。

a) バス利用者数

ケース1に比較してケース10(全区間優先レーン)では2%弱しか増加しないが, ケース12(全区間専用レーン)では約10%も増加する。また乗用車からバスへの転換を促進する効果は, 一般に長区間に優先レーンを設置するよりも短区間に専用レーンを設置する方が有効である。ところで, 都市内のバス運賃が均一料金制の場合, 運賃収入はバス利用者数に比例するので, ケース

1→ケース3→ケース6と変化するにつれて, 運賃収入が大きく増加することがわかる。

b) バスの延べ乗客数

ケース1に比較してケース12で延べ乗客数は約10%増加している。またケース3(一部分専用レーン)でもケース10(全区間優先レーン)と同程度の増加があり, 専用レーン増設の方が優先レーン増設よりも延べ乗客数の増加に対する効果が大きいことがわかる。また, 都市内のバス運賃が距離に比例すると仮定した場合, その運賃収入はこの延べ乗客数に比例すると考えられる。

c) バス必要台数

ケース1に比較してケース10で約20%, ケース12では40%も少ないバス台数で輸送力を確保できることがわかる。これはバスレーンを設置するとバスの速度が速くなり, 車両の回転が早くなるためである。

一方延べ乗客数のバス必要台数に対する比, すなわちバス1台当たりの乗客輸送の効率優先レーンの方が優先レーンよりもはるかに高い。つまりケース1に比べて, ケース10の場合1.22倍であるが, ケース12では1.77倍に達している。

d) 総走行距離

総走行距離はケース1に比べて, 乗用車ではケース10で4%, ケース12で33%いずれも減少している。一方バスではケース10で0.6%, ケース12で7%いずれも増加している。

なおケース5と6の総走行距離はケース10の場合より小さくなっており, 長い距離にわたって優先レーンを設置するよりも, 短い距離に専用レーンを設置する方が, 総走行距離減少の効果が大きいことがわかる。

ところで総走行距離は都市内の車の排気ガス総量に比例すると考えられる。したがって長区間の優先レーン設置より短区間専用レーン設置の方が, 排気ガス減少に有効であると考えられる。

e) 総所要人時間

総所要人時間はケース1に比べて, ケース10では乗用車で23%増加するが, バスで14%減少するので, 合計では12%の減少となる。同様に, ケース12では乗用車で24%増加し, バスで35%減少するため, 合計で29%の減少となる。

なお全区間に優先レーンを設置するケース10と, 中央部分のみ専用レーンを設置するケース6は, 総所要人時間からみてほぼ同じ効果を期待できることがわかる。

5. バスレーン網の総合評価

ここではバスレーン網の評価について1つの方法論を提案し, これを前記各ケース案の計算結果に応用して,

バスレーン網の総合的な評価を試みる。

(1) 総合評価の方法論

a) 便益度、損失度と評価指数について

ケース  $i$  の便益度  $P_i$  を次式のように定義する。

$$P_i = (x_i - x_0) / (x_e - x_0) \dots\dots\dots(27)$$

ここに

- $x_0$  : バスレーン設置がない場合のプラス効果
- $x_i$  : バスレーン網ケース  $i$  の場合のプラス効果
- $x_e$  : 全区間専用レーンの場合のプラス効果

同様にケース  $i$  の損失度  $M_i$  を次式のように定義する。

$$M_i = (q_i - q_0) / (q_e - q_0) \dots\dots\dots(28)$$

ここに

- $q_0$  : バスレーン設置がない場合のマイナス効果
- $q_i$  : バスレーン網ケース  $i$  の場合のマイナス効果
- $q_e$  : 全区間専用レーンの場合のマイナス効果

また非便益度  $P_i'$  を次式とする。

$$P_i' = 1 - P_i \dots\dots\dots(29)$$

縦軸に非便益度  $P_i'$ 、横軸に損失度  $M_i$  をとれば、これは図-13 のようにプロットされる。

ここで非便益度に対する損失度の代替率を  $\alpha$  とするとケース  $i$  の評価指数  $S_i$  は次式で示される。

$$S_i = P_i' + \alpha \cdot M_i \dots\dots\dots(30)$$

図-13 において、 $\tan \theta = \alpha$  とすれば、評価指数  $S_i$  は  $K_i$  を通る傾き  $\theta$  の直線と縦軸との交点で与えられる。

この  $S_i$  が最小になるバスレーン網設置案が最適と評価されることになるが、これは  $\alpha$  の値が変動すれば当然変化する。したがって、 $\alpha$  をある値に固定すると、各バスレーン網ケース  $i$  の評価指数  $S_i$  が定まり、 $S_i$  の大小によりバスレーン網設置案の優先順位が定まる。

たとえば図-13 では、 $S_3 < S_2 < S_1$  であることから、ケース 3 が最適なレーン設置案と評価される。

b) 総合評価の一方法

バスレーン網設置案  $i$  のバス延べ乗客数の増加と、バス必要台数、総走行距離、総所要人時間の減少に関する便益度を、レーン設置がない場合を 0 とし、それぞれ  $P_i^1, P_i^2, P_i^3, P_i^4$  とし、交通容量低下による損失度を

$M_i$  とする。

損失度  $M_i$  の便益度  $P_i^1, P_i^2, P_i^3, P_i^4$  に対する代替率をそれぞれ  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  とする。

バス延べ乗客数、バス必要台数、総走行距離、総所要人時間の評価指数をそれぞれ  $S_i^1, S_i^2, S_i^3, S_i^4$  とし、これらを次式で示すこととする。

$$\left. \begin{aligned} S_i^1 &= 1 - P_i^1 + \alpha \cdot M_i \\ S_i^2 &= 1 - P_i^2 + \beta \cdot M_i \\ S_i^3 &= 1 - P_i^3 + \gamma \cdot M_i \\ S_i^4 &= 1 - P_i^4 + \delta \cdot M_i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(31)$$

$S_i^1, S_i^2, S_i^3, S_i^4$  に対する評価項目の比重を  $k_1, k_2, k_3, k_4$  とすると総合評価指数  $TS_i$  は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} TS_i &= k_1 S_i^1 + k_2 S_i^2 + k_3 S_i^3 + k_4 S_i^4 \\ k_1 + k_2 + k_3 + k_4 &= 1; k_1, k_2, k_3, k_4 \geq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(32)$$

$TS_i$  が最小となるバスレーン網設置案を以下“最適妥協案”と定義する。したがって  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  および  $k_1, k_2, k_3, k_4$  が変化すると最適妥協案は当然変化する。

(2) シミュレーション結果への応用

前節の総合評価の一方法をシミュレーション結果へ適用し、最適妥協案の変化について考察する。なおここではバス利用人数の増加の便益度  $P_i^5$  をあわせて考察する。

a) シミュレーション結果の評価

表-6 から式 (27), (28) を用いた計算値である表-7 が得られ、 $P_i^1$  と  $P_i^3, P_i^2$  と  $P_i^4$ 、および  $P_i^5$  の  $M_i$  との関係それぞれ図-14, 15, 16 に示す。これらの図から、次のことがわかる。

- ① バス延べ乗客数  $P_i^1$  と総走行距離  $P_i^3$  では、ケース 1, 3, 12 以外は最適妥協案とはなり得ない。
- ② 同様に、バス必要台数  $P_i^2$  ではケース 1, 3, 6, 12 のみ、総所要人時間  $P_i^4$  ではケース 1, 6, 9, 12 のみ、バス利用人数  $P_i^5$  ではケース 1, 6, 9, 12 のみが最適妥協案となり得る。

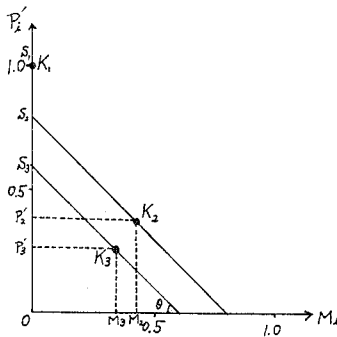


図-13 評価指数と不便度・便益度の関係

表-7 便益度と損失度の一覧表

レーン指定	ケース番号	$P_i^1$	$P_i^2$	$P_i^3$	$P_i^4$	$P_i^5$	$M_i$
レーンなし	1	0	0	0	0	0	0
優先レーン設置	2	0	0.072	0.001	0.040	0.028	0.029
	4	0.027	0.132	0.026	0.118	0.037	0.088
	7	0.027	0.196	0.026	0.211	0.040	0.206
	10	0.106	0.442	0.107	0.395	0.116	0.500
専用レーン設置	3	0.084	0.159	0.091	0.092	0.099	0.059
	6	0.165	0.305	0.172	0.316	0.749	0.176
	9	0.245	0.440	0.249	0.540	0.836	0.412
	12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
優先・専用併用設置	5	0.106	0.219	0.111	0.184	0.240	0.118
	8	0.180	0.368	0.183	0.408	0.236	0.294
	11	0.495	0.671	0.495	0.711	0.526	0.706



a) バス延べ乗客数の評価

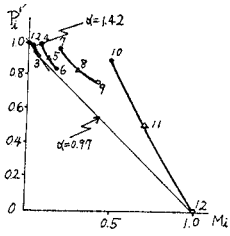
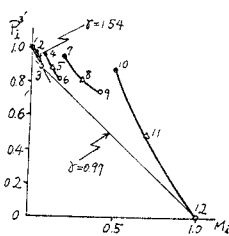


図-14 バス延べ乗客数と総走行距離の評価

b) 総走行距離の評価



a) バス必要台数の評価

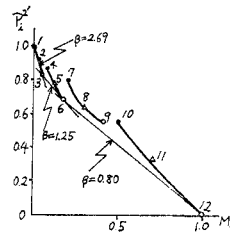
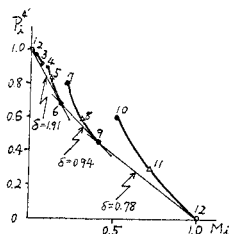


図-15 バス必要台数と総所要人時間の評価

b) 総所要人時間の評価



③ ここに述べた最適妥協案となる可能性を持つ各ケースのうち、評価項目の比重の変化によって、1つの望ましいケースが選択されることになる。

バスレーン網設置効果のうち、バス延べ乗客数の増加は重要な指標と考えられる。そこでこの評価項目の比重  $k_i$  による最適妥協案の変化をみるため、以下に評価項目の比重のうち、 $k_i$  以外が等しい場合について考察する。

b) 最適妥協案の変化

まずバスの延べ乗客数の増加を評価では考慮しない場合の最適妥協案の変化を調べる。

①  $k_1$  が0のとき

$k_1$  が0であれば式 (32) から  $\alpha$  は  $TS_i$  に関係しない。したがって  $TS_i$  が最小になるバスレーン網設置案、すなわち最適妥協案は  $\beta, r, \delta$  の変化に伴って変化する。ここで  $k_2=k_3=k_4=k$  とおけば  $TS_i$  は次式となる。

$$TS_i = k\{3 - (P_i^2 + P_i^3 + P_i^4) + LM_i\} + k_1(1 - P_i^1 + \alpha M_i) \dots (33)$$

ここに、

$$l = \beta + r + \delta \dots (34)$$

したがってどの案の総合評価指数が最小になるかは  $l$  の大きさによってきまる。

表-7 の数値を用いてケース1が最適妥協案になる範

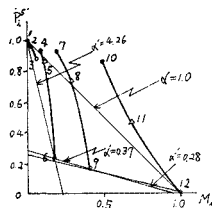


図-16 バス利用人数の評価

囲を調べたところ、 $l$  が5.7より大きい領域であることがわかった。そこで図-17における  $\beta, r, \delta$  各軸の切片が5.7である平面  $\Sigma_1$  すなわち式 (35) をケース1が最適妥協案として選ばれる下限面と定義する。

$$l_1 = \beta_1 + r_1 + \delta_1 = 5.7 \dots (35)$$

次に  $l$  が5.7より小さくなるように変化すると、図-17の  $\Sigma_2$  面すなわち式 (36) は、ケース3が最適妥協案に選ばれる下限面となる。

$$l_2 = \beta_2 + r_2 + \delta_2 = 3.9 \dots (36)$$

同様にして、この  $\Sigma_3$  面、および式 (37) で示される  $\Sigma_3$  面の下方では、それぞれケース6およびケース12が最適妥協案となる。

$$l_3 = \beta_3 + r_3 + \delta_3 = 2.7 \dots (37)$$

このとき  $\Sigma_3$  面はケース12が最適妥協案に選ばれる上限面である。ここで  $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3$  面を最適妥協案の選ばれる限界面とよぶこととする。

以上の考察から次のことが指摘される。

i) 表-7の計算データの場合、ケース1, 3, 6, 12のみが最適妥協案となる可能性を持っている。

ii)  $(\beta + r + \delta) = l$  の値が最適妥協案の選択を左右する。

iii)  $l$  の値が大きいときは、損失度  $M_i$  の比重を相対的に重く考えることを意味し、このときはバスレーンを設置しないのが有利となる。

iv)  $l$  の値が小さいときは、逆に損失度  $M_i$  の比重を相対的に軽くみることを意味し、バス専用レーンをなるべく多区間に設置するのが有利となる。

②  $k_1$  が正のとき

$\alpha$  をパラメータとした場合、 $k_1$  の変化にともなう最適妥協案の選ばれる限界面の変化を式 (35), (36), (37) における  $l_1, l_2, l_3$  の変化として示したのが

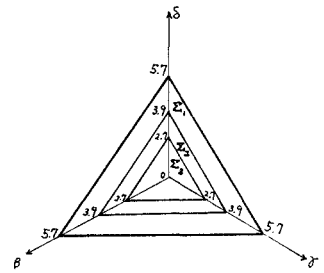


図-17 限界面

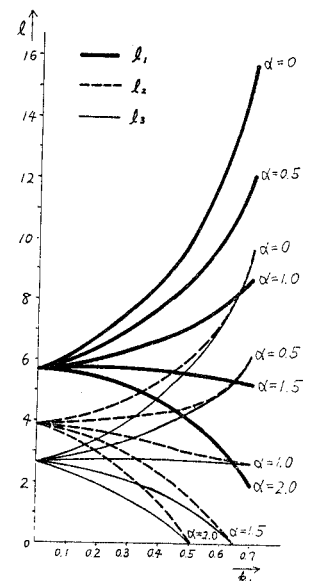


図-18 限界面の  $l_1, l_2, l_3$  の変化

図一18である。

また図一19には、 $\alpha=0.5$ , 1.5 に対する  $l_1, l_2, l_3$  の変化を同時に示している。図一19では上から順に  $l_1, l_2, l_3$  の曲線があり、最適妥協案となる領域を図中にケース番号 1, 3, 6, 12 で示す。

$\beta, \tau, \delta$  はバスレーン網設置による損失度の便益度に対する代替率であり、これらは都市計画・交通計画を総合して意志決定されるべきものである。たとえば公共交通としてのバスの便益を重視すれば、

$\beta, \tau, \delta$  は小さい値をとるべきであり、逆に一般車の走行の確保を考えれば  $\beta, \tau, \delta$  は大きい値を定めることとなる。これらの値については、それぞれの都市、それぞれの街路区間で個別に指定されるべきであるが、以後の説明では大体の傾向を知るために仮に 0.5 および 1.5 の値の場合について計算結果を考察することとする。

いま仮りに、0.5 および 1.5 の場合を  $\beta, \tau, \delta$  のそれぞれ下限、上限と考えると、 $l_1, l_2, l_3$  は下限 1.5, 上限 4.5 の範囲となり、図一19の斜線にはさまれる領域内に限られることとなる。

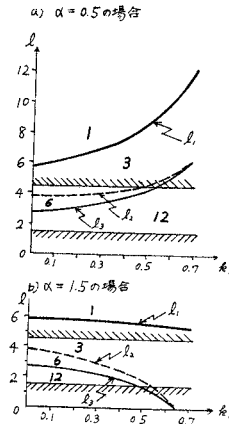
この計算値では、 $\alpha$  がほぼ 1 より大きい場合、 $k_1$  の増大に伴って  $l_2, l_3$  が減少し、図一19 からケース 12 やケース 6 などのバスレーン網設置案が最適になる範囲は狭くなる。これはバス乗客数増加による便益度よりも交通容量減少による損失度を重視する場合には、ケース 3 のバスレーン網を設置するのが望ましいことを意味する。

次に  $\alpha$  がほぼ 1 より小さい場合、 $k_1$  の増大に伴って逆に  $l_2, l_3$  が増加し、ケース 12 が最適妥協案になる範囲が広がる。これは交通容量減少による損失度よりもバス乗客数増加による便益度を重要視する場合には、ケース 12 のバスレーン網設置政策をとり得る可能性が大きくなることを意味する。

上記の考察から次のことが指摘される。

- ①  $k_1$  および  $\alpha$  の変化が、最適妥協案の選ばれる範囲をきめる限界面の  $l$  の値を変化させる。
- ②  $\alpha$  がほぼ 1 以上では、 $k_1$  の増大とともにケース 3 のバスレーン網を選ぶのがより有利となる。
- ③  $\alpha$  がほぼ 1 以下では、 $k_1$  の増大とともにケース 12 のバスレーン網を選ぶのがより有利となる。

以上から一般に  $k_1$  以外の各評価項目の比重が等しい場合には、各評価要素に対する交通容量減少による損失



図一19  $l_1, l_2, l_3$  と最適妥協案

度の代替率  $\alpha, \beta, \tau, \delta$  が定まれば、図一19 から最適妥協案を決定できることがわかる。

## 6. 結 言

本研究はバスレーン網設置の効果とその総合的な評価の方法について考察した。すなわち、まず格子状の街路網を持つ都市にバスレーン網を設置する場合の種々の影響を測定するシミュレーションモデルを提案し、このモデルを用いて総所要人時間、総走行距離、バス必要台数、バス利用者数などへの影響によって、バスレーン網設置の効果を評価する方法を示した。

このシミュレーションモデルの特徴は、街路網やバス路線をパスマトリックスで表現し、都市規模でのバスレーン網設置による影響を広域的に測定できることである。

また総合評価に際しては、バスレーン網設置による各種プラス効果およびマイナス効果の指標として便益度および損失度を定義した。そして便益度に対する損失度の代替率を定義し、これを用いて評価指数を定め、バスレーン網の評価方法を示した。次に評価指数間の比重を定めることにより総合評価指数を定義し、これが最小になるバスレーン網設置案を最適妥協案として評価する方法を示した。

次に簡単な街路網を持つ都市を仮定し、12 ケースのバスレーン網に上記のシミュレーションモデルを適用して、それぞれの効果の試算を行った。その結果、一般にバス専用レーンは優先レーンよりも著しく大きい効果があること、たとえば優先レーンをかなり長区間に設置するよりも短い専用レーン区間を設置の方がバス乗客数の増加、総走行距離の減少には効果が大きいことを、定量的に示すことができた。

なお解析に用いた  $Q$ - $v$  定数は実測値ではあるが、今後各地での調査によるこの値の検討が必要である。また乗換え率も係数を仮定から算出したが、これも実際の交通調査による検討が必要と考えられる。

次にシミュレーションモデルの試験結果に総合評価の方法を適用し、最適妥協案の変動の範囲を明らかにした。このとき便益度に対する損失度の代替率や評価指数間の比重の変化がどのように最適妥協案の選択を左右するかについて分析した。たとえばバス延べ乗客数増加による便益度に対する損失度の代替率が 1 以下では評価指数の比重が大きいほど、専用レーン設置が有利となることがわかった。

なお現実には各便益度に対する損失度の代替率および評価指数間の比重としてどのような値をとるべきかは明らかでない。この点についての研究は今後の課題である。

が、本研究は都市規模でのバスレーン網の効果を広域的にとらえ、その合理的なバスレーン網設置方法について、一つの示唆を与えることができるものとする。

#### 参 考 文 献

- 1) 天野光三・銭谷善信：バス優先レーンのシミュレーションモデルについて，土木学会関西支部年次学術講演概要，昭和48年6月。
- 2) 銭谷善信：シミュレーションによる交通規制の効果に関する一考察，修士論文，昭和48年3月。
- 3) 銭谷善信・天野光三：バスレーンの設置効果に関する考察，土木学会第28回年次学術講演会概要集第4部，昭和

48年10月。

- 4) 天野光三・銭谷善信・高野裕一：バスレーン網形成とその効果に関する研究，土木学会第29回年次学術講演会概要集第4部，昭和49年10月。
- 5) 飯田恭敬：バスフローを用いた等時間原則による交通量配分，土木学会論文報告集，第168号，1969年8月，pp. 45～47。
- 6) 飯田恭敬：交通量配分の諸原則とその近似計算法について，土木学会論文報告集，第195号，1971年11月，pp. 109～116。
- 7) 八十島義之助・花岡利幸：交通計画，技報堂，昭和46年6月，pp. 175。

(1974.10.30・受付)