

地方中核都市における機関分担モデルを用いた公共交通網評価手法の提案

A Modal Split Model and Evaluation of Public Transit System in a Local Core City

柴田頼孝* , 安藤朝夫** , 浦上章志***

By Yoritaka SHIBATA, Asao ANDO and Shoshi MIZOKAMI

Local core cities face transportation problems, which differ from those observed in major cities. As the former are mainly associated with declining public transit patronage, the potential remedy for such should be different from the one for the latter. Here we propose an approach to evaluate the public transit system in a local core city. Our study focuses on Kumamoto City, and consists of three major steps. We first conduct a traffic survey on bus transportation in downtown Kumamoto. Next we construct the link map of public transit of the area and the relevant data base that contains land use indices, transit fares, etc. Then we analyze the user characteristics by estimating the modal split model.

1. はじめに

公共交通は現在種々の問題を抱えている。特にバス輸送においては、交通渋滞による運行状況の悪化、利用者の減少と運賃値上げによる悪循環の発現等、早急な対策が必要とされている。また、交通施設の集積の進んでいる大都市と、地方中核都市においてはおのずからその対策も異なったものとなるはずである。

本研究では熊本市を事例として、バス輸送において路線網の再編、乗り換え施設の整備、運賃体系の見直し等のソフト的な対策を講じた場合について、公共交通の分担の増減の面から機関分担モデルを用いてそれを評価する手法の提案を試みるものである。

まず、バス路線の再編を評価出来るようにバスの

運行系統を考慮に入れた公共交通リンクマップを作成する。次にそのリンクマップ上における「最短経路」を探索する。これまでの研究(文献1)参照)では通常の時間最短経路のみを用いていたが、ここではさらに運賃最小経路も併せて求め、これらに公共交通ODを分流させるという方法を取る。次に、第2回熊本都市圏PT調査(文献2)参照)から得られる、ODペアに関するデータ(所要時間、運賃、迂回率等)に土地利用指標のデータ等を加えデータベースを作成する。そして、それをもとに機関分担モデル(マルチチョイス型、集計ロジットモデル)を作成する。さらにその推定結果である公共交通ODを実際のネットワーク上に流し、これをPT調査や実査から求まる断面交通流動と比較してモデルの再現精度の確認を行なう。最後にそのモデルを用いて、公共交通の改善案について分担量の面から評価を試みる。

* 学生会員 熊本大学大学院 工学研究科土木工学専攻
** 正会員 Ph.D 熊本大学助教授 工学部土木環境工学科
*** 正会員 工博 九州東海大学講師 工学部土木工学科

2. 路線バス利用状況及び運行状況実態調査

熊本市中心部における路線バスの現況を把握し、研究の基礎となる資料を集めるため、路線バス利用状況及び運行状況実態調査を実施した。

(1) 調査概要

調査は1988年7月に実施した。時間帯は7:30～10:30, 15:30～18:30である。対象としたバス停は熊本市中心部の3箇所(水道町, 通町筋, 市役所前, 図-1)である。調査内容を表-1に示す。ただし、混雑度については5段階評価とし、市役所前において調査員が外から見える範囲で調査を行なった。(表-2参照)原則としてバス停に発着する全路線バスについて調査し、定期観光バスと貸切バスについては対象から外した。なお、本文中で用いる語句の意味を表-3にまとめる。

(2) 調査結果

方向別捕捉台数を表-4に示す。熊本市のバス路線網は典型的な一点集中放射型であり、ほとんどのバス路線が交通センターに集中している。このことを反映して捕捉台数はかなりの数になっている。特に午前中の上りは23秒に1台という過密ダイヤとなっている。

運行状況については平均停車時間、平均遅れ時間、バス停間所要時間、バス相互間の追い越し台数等について集計した。平均停車時間については、乗降客数よりも信号の影響が大きことが確認された。平均遅れ時間は、下りについては3～5分程度であるが、上りについては5分を越え、かなり定時性が損なわれている。バス停間所要時間をもとにして、3停留場間の平均速度(3停留場間)を求めると、最低が5.5km/hとかなり深刻な状況にある。ちなみに路線バス(熊本市交通局)の平均運行速度は13.9km/hである。

表-2 混雑度の判断基準(判断は発車時)

混雑度1: 空席多数
混雑度2: 座席数程度
混雑度3: 座席数+数人の立客
混雑度4: 定員乗車
混雑度5: 定員以上

表-4 方向別捕捉台数(捕捉率: 94.0%)

方向	午前3時間	午後3時間
上り	480 台	374 台
下り	467 台	449 台

ある。バス相互間の追い越しについては、調査対象の3停留場を通る間に1台のバスが1回は何らかの形で追い越しを行っており、現況の運行本数は道路の容量の面から限界に近いようである。

利用状況については総乗降客数、混雑度毎の本数について集計した。表-5に総乗降客数を示す。この結果と熊本市交通局から提供頂いた資料をもとに水道町断面(図-1)における公共交通利用者数を算出した。また、混雑度(市役所前)については総本数の85%が混雑度1に相当し、都心部においてはバスの供給過多が推測される。ただし、水道町、通町筋においてかなりの乗降客数があることに留意する必要がある。

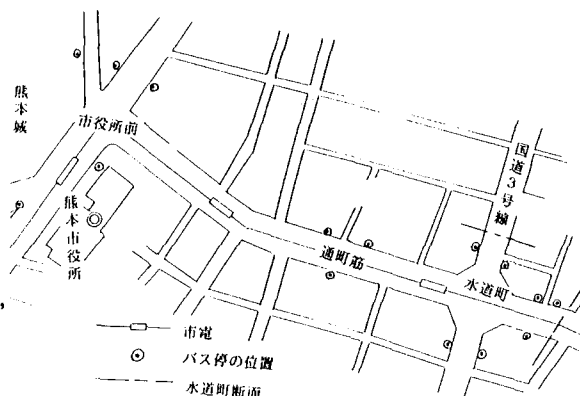


図-1 調査地点及び水道町断面

表-1 調査の内容

関連項目	調査項目
バス識別用	会社名, 系統番号, 経由地, 始発地, 行先
利用状況	乗降客数, 混雑度(市役所前のみ)
運行状況	到着時刻, 閉扉時刻, 発車時刻, 通過時刻

表-3 語句の意味

上り方向	水道町→通町筋→市役所前→交通センター
下り方向	水道町←通町筋←市役所前←交通センター
平均遅れ時間	時刻表を基準とした遅れ時間の平均(除: 早着)
捕捉台数	バス路線上に連続的に把握できた台数
捕捉率	捕捉台数の時刻表上の台数に対する割合

表-5 総乗降客数(単位: 人)

バス停	上り				下り			
	午前3時間		午後3時間		午前3時間		午後3時間	
	乗車客	降車客	乗車客	降車客	乗車客	降車客	乗車客	降車客
水道町	145	1900	50	430	660	135	1200	55
通町筋	75	2485	625	1435	410	545	2550	205
市役所前	40	860	130	285	185	580	610	85
合計	260	5245	805	2150	1255	1260	4360	345

3. 公共交通リンク図及びデータベースの作成
研究の基礎となるデータについて、その内容と作成の方法について概略を説明する。

(1) リンク図の作成

現況における実際のバス路線網は非常に複雑であり、そのまま解析に用いるには無理がある。そこで、第2回熊本市圏PT調査と整合性を持ち、バスの運行系統を反映出来るよう考慮した公共交通リンク図(図-2)を作成した。

ODトリップの発生、集中量の基礎データとして、PT調査のCゾーンレベル(熊本市圏を61分割、ほぼ校区レベルに相当)のOD表を用いる。そこで、各ゾーンにおいて代表的なバス停、駅を選定し、ODトリップをそのノードにおいて発生、集中させている。バス路線のリンク図化にあたっては対象バス路線の選定基準として最低サービス水準(運行頻度：3本/時)を設定し、基準を満たさない路線については除外した。また幹線道路の近くの細街路を走る路線については影響の無い範囲において幹線道路に集約を行なった。同一ノード内における乗り換えのためにはダミーリンクを設定した。さらに、バスの運行系統を考慮する必要から同一のノードペア間に複数のリンクを設定している場合もある。表-6, 7に今回設定した乗り換え所要時間、運行速度を示す。

(2) データベースの作成

機関分担推定モデルの推定に必要なデータベースの作成の方針を挙げておく。まず熊本PTにおける

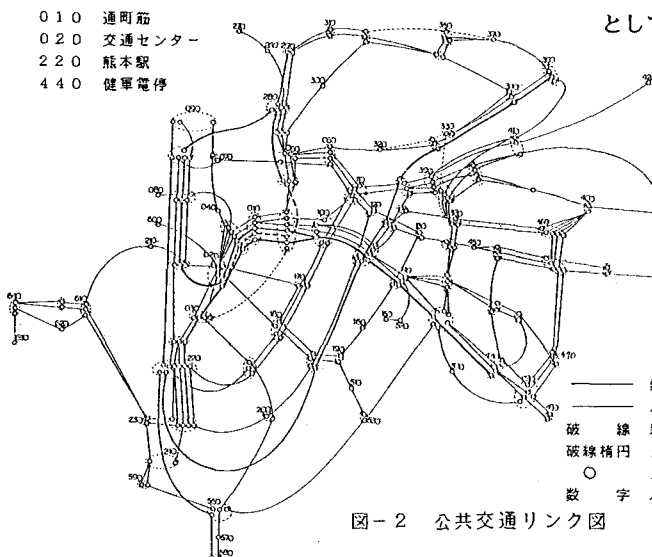


図-2 公共交通リンク図

データはそのまま利用することとし、その他のデータについては校区別に集計されているものは、熊本PTのCゾーンレベルに再配分(面積比：標高100m以上の地域は除く)した。統計資料については最新のものを利用し、利用する際には極力無次元化を行ない、スケール・バイアスを排除している。

次に、交通指標として本研究で用いる区分的直線距離、公共交通迂回率、最小公共交通所要時間、最小公共交通運賃について説明しておく。

区分的直線距離：隣接するゾーンの代表バス停留所間を直線で結んだネットワークを考え、その上で求めた最短経路(距離)。

公共交通迂回率：最短経路探索による総所要時間(分)/区分的直線距離(km)

最小公共交通所要時間：リンク図における最短時間経路探索によるODペア毎の所要時間。

最小公共交通運賃：上と同様に運賃最小経路の探索を行ない求めたODペア毎の運賃。(本稿では、この変数を考慮に入れなかったモデルと比較を行なう。)なお、内マトリップにおける所要時間・直線距離については、それぞれ隣接ゾーン間の平均所要時間・平均距離からそのゾーンの仮想半径を計算し、その1/3をとった値を用いている。(文献3)参照)また、運賃は0としている。

(3) 最小運賃経路探索

最小運賃経路探索の方法としては、最短時間経路探索と同じダイクストラ法を用いている。

運賃については、対キロ運賃制とし、初乗り運賃として、モード選択時に対キロ運賃と初乗り運賃の差額分を上乗せしている。

リンク図は最短時間経路探索が目的であったので、往復運賃が初乗り運賃より安い区間が存在する。そこで、そのような区間を利用して、初乗り運賃を避け、直前に出

表-6 乗り換え所要時間(分)

種別	幹線バス	支線バス	市電	鉄道
幹線バス	5	10		
支線バス	8	10		
市電	5	8	3	
鉄道	10	10	10	10(15)

表-7 運行速度(km/h)

種別	速度
バス(バスレーン)	15
バス(4車線以上)	13
バス(上記の他)	11
市電(将来・地下化)	20
市電(現況・都心部)	12
市電(現況・郊外)	13
鉄道	30

発したノードにUターンして他の系統のバス路線に乗るという不自然な経路選択が生じた。そこで、経路探索の際に、選択候補である次ノードと現ノードの直前のノードについて比較を行ない、同じノードにならないように処理している。

4. 交通手段分担の推定

(1) 機関分担モデル

交通手段別分担交通量を推定するにあたり、交通手段を以下に示す3つに分割した。今回の研究の主な目的は公共交通整備による分担関係の変化の予測であるが、バス、市電と鉄軌道をついにまとめることにより、公共交通全体としての分担の変化が推定できる。

全手段OD $\left\{ \begin{array}{l} \text{徒歩・二輪車} \\ \text{自動車・タクシー} \\ \text{バス・市電・鉄軌道（公共交通）} \end{array} \right.$

また、目的についても以下の3つに分割した。

全目的OD $\left\{ \begin{array}{l} \text{通勤・通学} \\ \text{私用・業務} \\ \text{帰宅} \end{array} \right.$

次に、機関分担推定のモデルとして式(1)のような集計型ロジットモデルを採用した。

$$P_j = f_j(a, X) = \frac{\exp(\sum_m a_{jm} X_{jm})}{\sum_j \exp(\sum_m a_{jm} X_{jm})} \quad j=1 \sim K \quad (1)$$

ここに、 X_{jm} : 交通手段 j における m 番目の説明要因、 a_{jm} : パラメータ、 K : 交通手段の数。

(2) パラメータの計算

モデル作成のフローチャートを図-3に示す。

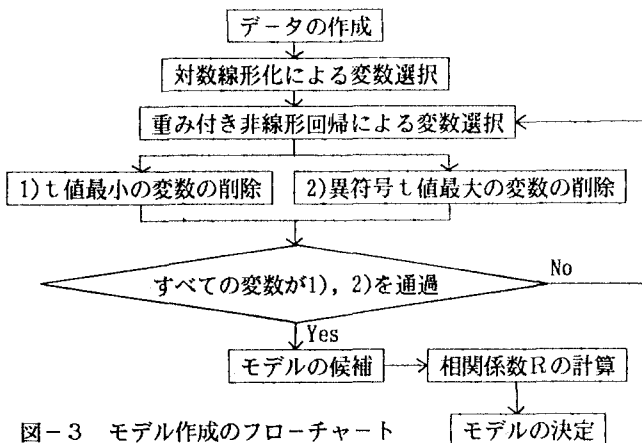


図-3 モデル作成のフローチャート

最初に分子の対数線形化により、目的別・手段別の説明変数を有意なものだけに絞りこんだ。検定の有意水準は5%である。その際、同一目的の3手段それぞれの式の中に同じ変数を含まないよう留意している。

次に、前述のロジットモデルを用いて非線形回帰を行った。まず、分担率を推定することを試みたが、実績値に対するあてはまりが良くなかった。これは、分担率による回帰ではトリップ数の大小による観測値の信頼性の差が反映されないためと思われる。そこで、こういう不都合を避けるため、(1)式に各ODペアのトリップ数を乗じることにより分担量を推定する。

回帰係数の求め方について。まず、式(2)により実績値と推定値の残差を求める。

$$SSE_i = \sum_{0,D} \sum_j (Q_{ij}^{OD} - f_{ij}(a, X) \sum_j Q_{ij}^{OD})^2 \quad (2)$$

ここに、 Q_{ij}^{OD} はPT調査によるゾーンOD間の目的 i 、手段 j によるトリップ実績値、 $f_{ij}(a, X)$ は目的 i に関する手段 j の分担率関数である。

この残差平方和SSE_iを最小とするために、多変数関数の極小化汎用サブルーチン(DMINF1)を用いて、有意水準1%検定を通るように変数選択を実施した。なおこの際、(1)式の中の変数ができるだけ出発地側の指標、目的地側の指標、ODペアに関する指標を含むようにしている。

変数選択の基準について。パラメータの推定を行った後、以下に示す基準をもとにして順次変数の消去を行ない、問題となる変数がなくなった時点で、その関数をモデルの候補とした。

① t 値の絶対値が最小となる変数。

② 事前に検討したパラメータの符号条件に対し、回帰結果の符号がこれと逆符号となる変数のうち、 t 値の絶対値が最大となる変数。相関係数 R の計算とモデルの決定について。変数選択の後、モデルの候補の中から各目的ごとに1つ、合計3つのモデルを選択する。そのため、各モデルについて相関係数 R を手段別に3つ、目的全体として1つ、合計4種類計算した。そして、公共交通の R が高く、全体の R が高いモデルを採用している。以上のようにして決定したモデル、説明変数を表-8、9に示す。

表-8は運賃を考慮に入れる以前のモデル、表-9は説明変数の中に運賃を加えて求めたモデルである。説明変数の内容がかなり変っているのが判る。また、相関係数Rによりどちらのモデルも十分な説明力を有していることが確認できる。

5. モデルの再現精度

前節で作成したモデルを用いて、現況の公共交通分担量を各ODペアごとに計算を行った。それをもとにしてモデルの再現精度について検討を行なう。検討の対象としては、運賃を考慮に入れていないモデル(表-8)を用いる。

(1) 最短経路リンク・フローの計算

本研究においては、各ODトリップは図-2のリンク図を基に、最短経路(所要時間最小)に沿って流れると仮定している。本研究の目的は、公共交通網の整備効果を、分担量の変化により表すことである。したがって、各ODトリップを各リンクごとに集計し、その値を最短経路リンク・フローと呼ぶことにする。

最初に、熊本PT調査のOD表をもとにリンク・フローの計算を行った。(以降OD実績値と呼ぶ)

次に、機関分担モデルにおける現況のリンク・フローの計算を行った。(以降現況計算値と呼ぶ)

また、路線バス利用状況実態調査と、熊本市交通局から提供いただいた資料をもとに水道町断面(図-1)におけるリンク・フローの算出も行なった。(以降リンク実績値と呼ぶ)

前述の3つの方法による集計値(水道町断面)を表-10にまとめる。また熊本市全域におけるOD実績値、現況計算値のリンク・フローの状況を図-4, 5に表す。

(2) 再現精度の検討

表-10について検討を加える。まず、リンク実績値と実査計算値について考察する。前者に比べて後者は水道町～白川公園間では低めの値が、水道町～電報局前間では若干大きめの値が計算されている。しかし、オーダー的には値が比較的接近しており、総計としては、その差は1割未満に収まっている。また、リンク実績値が1984年のデータであるのに対し、その後もバスの利用者は減少傾向にあり、現状ではこの数値より幾分低めの値が予想される。したがって、実査からの計算値は十分信頼できるものと考えられる。次にリンク実績値と現況計算値についてであるが、都心部においては実績値よりも低めに算出される傾向にある。これは、機関分担モデルの説明変数に駐車場の要因が直接的に含まれていないからであろう。ただし、総計としては、これも両者の差

表-8 説明変数一覧表(運賃を考慮に入れていない)

通勤・通学 R=0.9792 n=7305 (係数)			住宅 R=0.9904 n=8142 (係数)			私用・業務 R=0.9834 n=8163 (係数)		
徒歩・二輪車	FAMILY	家族数/世帯数(0)	0.4413	STUDEN	学生数/人口(0)	0.4921	RTLOFF	小売店数/面積(0)
	EMPLWK	就業数/従業者数(0)	0.5491	EMPLY2	二次産業従業者数比(0)	1.2592	WRKOFF	従業者数/事業所数(0)
	COMOFF	卸売・小売店舗数/面積(0)	0.4664E-2	RTIMNY	小売販売額/面積(0)	-0.3813E-6	RTDST	区分的直線距離(00)
	RTDST	区分的直線距離(00)	-0.7236	RTDST	区分的直線距離(00)	-0.6626		
自動車・タクシー	WORKER	従業者数/面積(0)	0.1219E-3	EMPLY3	三次産業従業者比(0)	-2.2496	FAMILY	家族数/世帯数(0)
	POPULA	人口密度(0)	-0.1387E-3	COMOFF	卸売・小売店舗数/面積(0)	0.3453E-2	EMPLY3	三次産業従業者比(0)
				RTLOFF	小売店数/面積(0)	-0.1067E-1	COMMYN	販売額/店舗数(0)
				MYWWRK	小売販売額/従業者数(0)	-0.1233E-3	POPULA	人口密度(0)
鉄軌道・バス	STUDEN	学生数/人口(0)	-0.8232	OFFICE	事業所数/面積(0)	0.6727E-3	EMPLY1	一次産業従業者比(0)
	EMPLY1	一次産業従業者数比(0)	2.2614	INDOFF	工業事業所数/面積(0)	0.2109E-1	EMPLY2	二次産業従業者比(0)
	OFFICE	事業所数/面積(0)	0.2290E-2	RTIARS*	売場面積/面積(0)	-0.7322E-5	OFFICE	事業所数/面積(0)
	WHEEL2	二輪車保有率(0)	-0.5035	DETOUR	公共交通迂回率(00)	-0.1168	WRKEMP	就業数/従業者数(0)
	DETOUR	公共交通迂回率(00)	-0.8376E-1	WRKOFF	従業者数/事業所数(0)	-0.5116	RTIARS	売場面積/面積(0)
	WRKOFF	従業者数/事業所数(0)	-0.7167E-1				DETOUR	公共交通迂回率(00)

(0) 出発地側の指標、(D) 目的地側の指標、(00) ODペアに関する指標、R: 相関係数、n: サンプル数、*: 5%検定は合格だが1%検定は不合格変数(他は1%検定合格)

表-9 説明変数一覧表(運賃も考慮に入れている)

通勤・通学 R=0.9790 n=7305 (係数)			住宅 R=0.9810 n=8142 (係数)			私用・業務 R=0.9843 n=8163 (係数)		
徒歩・二輪車	EMPLY1	一次産業従業者数比(0)	-2.4048	EMPLY2	二次産業従業者数比(0)	3.1209	WRKEMP	就業数/従業者数(0)
	COMOFF	卸売・小売店舗数/面積(0)	0.1673E-2	INDMNY	工業出荷額/面積(0)	0.9266E-7	RTDST	区分的直線距離(00)
	WHEEL2	二輪車保有率(0)	1.6601	RTIMNY	小売販売額/面積(0)	-0.6205E-6	TIME	最小公共交通所要時間(00)
	RTDST	区分的直線距離(00)	-0.7310	RTDST	区分的直線距離(00)	-0.3151		
自動車・タクシー	WRKEMP	就業数/従業者数(0)	-0.2103	RTIARS	売場面積/面積(0)	-0.8594	FAMILY	家族数/世帯数(0)
	WHEEL4	四輪車保有率(0)	0.1520	POPULA	人口密度(0)	-0.3051	EMPLY3	三次産業従業者比(0)
	WRKOFF	従業者数/事業所数(0)	0.6950E-1	FARE	最小公共交通運賃(00)	0.1806E-2	WRKEMP	就業数/従業者数(0)
							WRKOFF	従業者数/事業所数(0)
鉄軌道・バス	FAMILY	家族数/世帯数(0)	-0.7301E-1	EMPLY1	一次産業従業者比(0)	-14.620	EMPLY2	二次産業従業者比(0)
	OFFICE	事業所数/面積(0)	-0.1392E-2	OFFICE	事業所数/面積(0)	-0.1582	RTIARS	売場面積/面積(0)
	DETOUR	公共交通迂回率(00)	-0.1432	DETOUR	公共交通迂回率(00)	-0.3590	DETOUR	公共交通迂回率(00)

(0) 出発地側の指標、(D) 目的地側の指標、(00) ODペアに関する指標、R: 相関係数、n: サンプル数、全変数1%検定合格

が1割未満に留まっており、前節で提示したモデルはかなりの再現性があると思われる。

次に、図-4、5を比較して、このモデルの現況における再現精度を熊本市全域について確認することができる。

検討の結果、最短時間経路から求めたリンク・フローの手段別実績値と分担モデルからの計算値とは、ともに実査計算値によるスクリーンと整合的であり、モデル全体の性能は許容できるものと考えられる。

6. おわりに

前節においては、現況におけるモデルのあてはまりについてのみ触れているが、本研究では現況リンク図に公共交通施設整備の項目を加えて将来のリンク図とし、現況と同じトリップを発生させた場合に、表-10 輸送人員（水道町断面，双方向，終日，単位：人）

区 間	輸 送 人 員		
	リンク実績値	実査計算値	現況計算値
水道町～白川公園	18270	12645	17315
水道町～電報局前	36700	38700	34480
総 計	54970	51345	51795

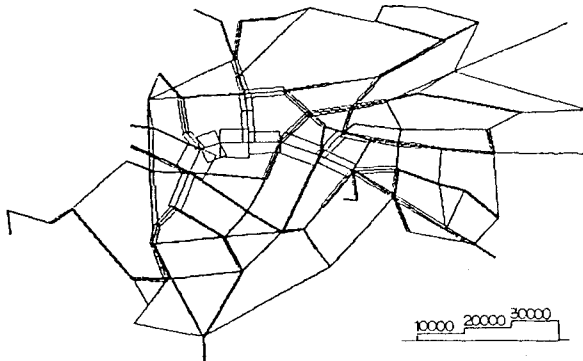


図-4 リンク実績値による全域におけるトリップの流れ

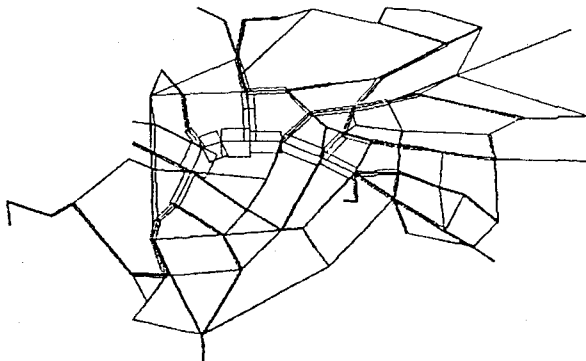


図-5 リンク現況計算値による全域におけるトリップの流れ

公共交通の分担がどのような影響を受けるかについて推定を行なった。整備項目としては、市電の都心部の地下化、環状方向のバス路線の新設、JR・市電とバスの乗り換え拠点の整備等である。推定結果によると、乗り換えの増加によるマイナスは余り見られず、運行速度の上昇、路線の新設による公共交通の分担の増加傾向が見られた。

ただし、ここでいう“将来”はあくまで現況の需要量のもとで交通施設の改善がなされた場合の、比較静的な変化を予測するためのもので、交通施設整備に伴う誘発需要量などは考慮に入れていないので、この点の研究を進める必要がある。その他に今後の課題としては次のようなものがある。まず、四輪車トリップと相関の高い変数を用意する必要がある。次に、P&RやR&R等の複合トリップを考慮する必要がある。また、説明変数の中に運賃を含むモデル（表-9）について、運賃における迂回率を意味する変数を用意して、もっと運賃の効くモデルにし、運賃体系の変更に伴う分担の変化について解析を進めて行きたい。

謝辞

本研究において、多大なる協力を頂いた北海道大学大学院安達英明氏に感謝いたします。また、各種資料を提供下さった熊本市交通局、福山コンサルタントの皆さまに謝意を表します。

参考文献

- 1) 安藤朝夫・柴田頼孝・安達英明・清上章志：熊本都市圏における公共交通問題の分析と改善案について，熊本開発研究センター研究年報，第1号，1989。
- 2) 熊本都市圏総合都市交通協議会：第2回熊本都市圏パーソントリップ調査（現況集計・解析編），1986，および同（計画策定編），1987。
- 3) 伊藤達也：東京都市圏における地価計測に関する研究，熊本大学卒業論文，1984。