

# トリップチェーン手法を用いた都市内 業務交通の発生集中量の分析

TRIP CHAINING ANALYSIS OF BUSINESS CAR-TRIP GENERATION

佐佐木 綱\*・西井 和夫\*\*

By Tsuna SASAKI and Kazuo NISHII

## 1. はじめに

交通計画を立ててゆくうえで人間の1日の行動パターンを把握しておくことは非常に重要である。特に、1日の人の動きが連鎖した一連のトリップから成っており、またそれは1日のタイムバジェット (time-budget) や個人属性のもとで規定されるとすれば、トリップの連鎖性、活動の場としての時間と空間との相互関係、そしてその結果として決められる行動パターンについても十分な配慮が必要となる。しかし、従来の方法ではこれらの諸関係は重視されず量的なトリップとして独立的に取り扱われてしまっているため、将来の生活様式の変化に伴うタイムバジェットの大きな変化に対応した交通需要の推計が不可能とみられる。

そこで本研究では、トリップの連鎖性や1日の行動パターンを崩すことなく需要推計を行うことを目的として、トリップチェーン手法を用いた需要推計モデルの開発を試みる。

これまでの研究としては Oxford 大学の T.S.U. (Transport Studies Unit) が中心的であり、その中でも Jones (1975), Dix (1977), Hensher (1978) は、今までのトリップチェーン研究の回顧と展望を行いながら、Goodwin, Heggie (1976) とともに交通発生量の基盤としての活動主体、活動空間にまでさかのぼって個人の行動選択のモデル化 (individual choice model) を目的に研究を進めている<sup>1)~4)</sup>。これらの研究では単にトリップの連鎖性だけに限定せず行動分析 (Activity Analysis) 的な立場が重視されているため、交通需要推計プロセスの開発という観点からすればややマイクロに偏っていると思われる。またオランダの Vidakovic (1974, 1977) はアムステルダムでの調査をもとにトリップチェーンの数

学モデル<sup>5),6)</sup>を提案しているが、その交通工学的な意味づけに関し問題を残す。また米国では M.I.T. の Adler, Ben-Akiva (1977) が買物等の自由トリップから成るトリップチェーンを対象として非集計的な行動モデルの提案を行い、そして Lerman (1979) はこのような非集計モデルとマルコフ再生理論を結合したトリップチェーンモデルを提案している<sup>7)~9)</sup>。これらは、非集計的な取扱いが基調となっているため個人の行動分析には有益である反面、需要予測のうえで必要な集計化に問題を残す。さらにマルコフ的アプローチとして、個人の行動パターンにおける時間的な制約を考慮できるマルコフ再生モデルが Kitamura (1981) によって提案されているが、理論モデルとしての特色をもつとはいえ、やや実証性に乏しい<sup>10)</sup>。

一方日本では、佐佐木 (1971)、近藤 (1974) が交通需要推計を念頭に置きながら1日の人間の行動軌跡をシステムチェックにとらえた吸収マルコフ連鎖モデルを開発し、従来の需要推計プロセスにおける発生集中、OD分布、交通機関の選択の各段階がモデル化されている<sup>11),12)</sup>。

そこで著者らは1日の交通行動の軌跡をより視覚的にとらえることにより、個々のトリップ連鎖パターンがどのような要因に規定されているかを分析した<sup>13)</sup>。その結果、都市内で自動車利用によってなされる1日の動きについてみれば、1日の最初のトリップの目的が何であるかによってトリップパターンに有意な差異を生じること、さらにその他の要因としてトリップメーカーの個人属性 (業種) などが挙げられることがわかった。そして業務目的で始まるトリップチェーンの約90%以上は、いったん自宅・勤務先などのベースを出発し帰宅 (帰社) するまでトリップ目的の変更がなく、業務目的のみで構成されるサイクルを形成することなどが明らかとなった<sup>14)</sup>。

一般に都市内の業務交通は顧客や取引先を相手とした

\* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

\*\* 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

業務活動の派生需要として生じ、その1日の動き（行動パターン）は活動時間内での訪問先（ソージャー）の数や場所に規定される。そこで本研究では、業務交通の中で第1トリップ目的が業務目的であり原則的にはそれ以降も目的変更のない車利用のトリップチェーン（以下業務トリップチェーンとよぶ）を対象として、その中に含まれるソージャーがどのように選択されるかに着目した分析を行うことにする。次いで、そこで明らかにされた諸性質を用い都市内業務交通の発生集中モデルを提案し、そして具体的な適用例を通じて種々の検討を加えることにする。

## 2. ソージャー数選択率曲線の分析

### (1) トリップチェーンに関する用語の定義

ここでの具体的な分析に入る前に、本研究におけるトリップチェーンに関する用語の定義を明らかにしておく。

トリップチェーンの記述に関しては、佐佐木(1967)、近藤(1976)が吸収マルコフ連鎖モデルを構築する過程の中で、特にベース(base)およびサイクル(cycle)の諸概念を中心に詳述している<sup>15),16)</sup>。本研究においても基本的にはそれらと同じと考えて差し支えない<sup>17)</sup>。

すなわち、ベースとは、本研究が自動車利用による業務トリップチェーンを対象としているので、1台の車が1日の業務活動を始める施設を指す。具体的には、業務活動拠点としての事業所（個人業主では自宅の場合もある）を意味する。なお、ここでの業務トリップチェーンを改めて定義すると、1日の第1トリップが業務目的で始まる一連のカートリップから構成されるものであり、したがって業務トリップチェーン数とは、こうした連鎖した一連のトリップを行う車の台数を示す。

サイクルとはベースを中心に連続したトリップがループ（閉路）を描くとき定義される。

一方、ソージャー(Sojourner)は1つの業務トリップチェーンにおけるベース以外の着施設であり、業務活動の対象施設を指す。なお、集計的にはこれらベースおよびソージャーの含まれるゾーンを、ベースゾーン、ソージャーゾーンとよぶ。

これらの諸概念が定まると、1日の業務トリップチェーンを視覚的に眺めることによってトリップ連鎖パターンという用語が定義される。これは、従来のトリップ単位でとらえらるべきODパターンという意味と混同されやすいが、ベースを起終点とするトリップチェーンの形状を模式的に表わしたものである。したがって、たとえば、1日のトリップチェーンがベースを起終点として

完結していれば、完全トリップ連鎖パターンとよび、逆に完結していなければ、不完全トリップ連鎖パターン、また、1サイクル1ソージャーの場合にピストン型、1サイクル2ソージャーをトライアングル型として1サイクル3ソージャー以上を巡回型のトリップ連鎖パターンなどとよぶわけである。

そして、本研究における具体的な分析対象データを京都市（あるいは大阪府）関連トリップチェーンとよぶことにするが、これは、京都市（大阪府）に少なくとも1つ以上の着施設をもつ業務トリップチェーンを意味し、昭和49年度全国交通情勢調査近畿地区トリップチェーンデータより抽出される。

### (2) ソージャー数の選択と業種特性

本研究では業務トリップチェーンの生成に関して、個々のトリップメーカーは、通常その日に立ち回るべき顧客や取引先等のソージャーを念頭に置き、勤務先（自宅、事業所）とソージャーとの位置関係やそこでの滞在時間を考慮してその1日の行動パターンが決定されると仮定している。もちろん、途中で何らかの理由によりその行動パターンを変更する場合も考えられるが、いずれにしても業務内容やtime-budgetの制約を受けることになり、その結果個々の業務トリップチェーンに含まれるソージャー数にはばらつきが生じる。そこで、あるソージャー数をもつトリップチェーンの全業務トリップチェーン数に占める割合をソージャー数選択率と定義し、各業種の特性をこの選択率のばらつき方から分析した。

その結果の一部を図-1、図-2に示す。これらは、京都市および大阪府関連の業務トリップチェーンデータより、建設業と小売業についてのソージャー数選択率をプロットしたものである。これらより、どの業種でもソージャー数の増加とともにトリップチェーンの発生率は逓減するが、その程度は業種によって異なる傾向をもつことがわかる。このことは、建設業、製造業等は、ソージャーとしておもに工場や作業所を選びそこでの滞在時間や所要時間も比較的長いので立ち回る頻度は相対的に少なくなり、一方小売業、サービス業等は顧客や得意先への搬入・商談が多く1日に立ち回るべきソージャー数も比較的多くなりがちであることから理解できよう。したがって別な表現をすれば、立ち回りの多寡という業務内容の差異がソージャー数選択率の逓減の程度の差異となって現われているといえる。

そこで、このソージャー数選択率に対して  $y = \alpha \beta^x$  ( $y$  はソージャー数選択率、 $x$  はソージャー数、 $\alpha$ 、 $\beta$  はパラメーター) の曲線を回帰し、この曲線をソージャー数選択率曲線とよぶことにする。表-1に京都市

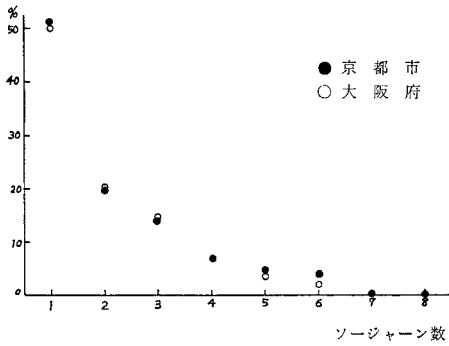


図-1 ソージャーン数選択率 (建設業)

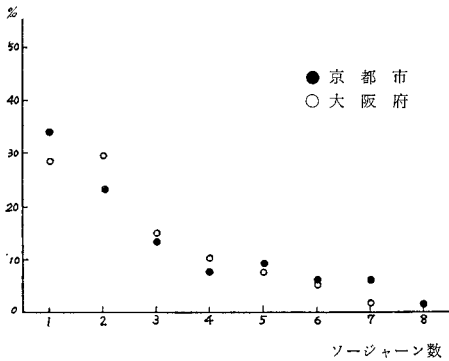


図-2 ソージャーン数選択率 (小売業)

表-1 ソージャーン数選択率曲線のパラメーター

業 種	$\alpha$	$\beta$	相 関 係 数
建設業*	0.8219	0.5482	0.9961
製造業	0.5757	0.6382	0.9903
卸売業	0.4945	0.6753	0.9840
小売業**	0.5328	0.6555	0.9808
公務***	0.4704	0.6905	0.9702
個人	0.8447	0.5379	0.9982
全業種	0.7218	0.5780	0.9973

\* 建設業には、このほかに運輸通信業、電気・ガス・水道業を含む。  
 \*\* 小売業には、このほかに金融保険不動産業、サービス業を含む。  
 \*\*\* 公務には、その他を含む。

関連業務トリップチェーンデータより得られた結果を示す。なお、ここでの業種分類は、トリップチェーンデータが自家用車の所有形態（業態）が法人である場合に産業大分類にはほぼ等しい 12 分類として個人については自営業として一括されているので、業態が法人の場合に 5 分類に統合し個人の場合にはそのまま取り扱うことによって計 6 業種設定した。法人の 5 分類への統合は、12 業種のそれぞれの  $\beta$  値とソージャーンとしてどのような施設（住宅、商業施設、事務所、工場など）を選ぶかを考慮して行った。この結果からも曲線の逓減の程度を表わす  $\beta$  値は、前述の業種特性（業務内容の差異としての立ち回りの頻度）を反映していることがわかる。なお、個人の  $\beta$  値は、1 サイクル 2 トリップのピストン型が多いため小さな値を示しているが、本来この自営業には

多種類の業種が含まれているので、当該業種の特性を明確に読み取ることは難しい。また、公務・その他についてはサンプル数が少なく、その  $\beta$  値だけでははっきりした特性を表現しきれていない。

### (3) ソージャーン数選択率曲線の理論式導出と実証的考察

本節では、前述のソージャーン数選択率曲線がいくつかの仮定を設ければ理論的にも  $y = \alpha\beta^x$  型の式になることを明らかにし、次いでそのために設けた諸仮定とそれに関連する業務トリップチェーンの諸性質についても併せて実証的な考察を行う。

まず、業務トリップチェーンを形成する都市内の車の運行に関して次の 3 つの仮定のもとで、ソージャーン数選択率曲線の理論式を導出してみよう。

仮定 ①：完全トリップ連鎖パターン形成

ベースから出た車は最終トリップでは必ずベースに戻り完全トリップ連鎖パターンを形成すること。

仮定 ②：ベースへの帰宅確率  $\bar{P}$  の一定

あるトリップエンド（ソージャーン）において次のトリップでベースに戻る確率  $\bar{P}$  は、それが何サイクル目の何トリップ目であるかにかかわらず一定であること。

仮定 ③：サイクル再起確率  $C$  の一定

いったんベースに戻ってきた車がさらに次の新たなサイクルを形成する確率  $C$  は、それが何サイクル目であるかにかかわらず一定であること。

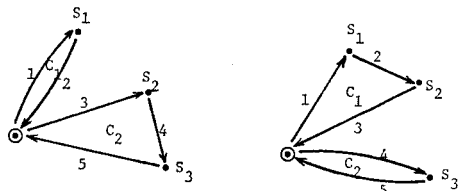
ここでまず、ソージャーン数  $s$ 、サイクル数  $l$  からなるトリップチェーンにおけるトリップ連鎖パターンの種類の数  $N_l^s$  について考えると、それは  $s$  個のソージャーンを  $l$  個に分ける場合の数であるから次式で表わすことができる。

$$N_l^s = \binom{s-1}{l-1} \dots\dots\dots (1)$$

ただし  $\binom{n}{r} = {}_n C_r$

たとえば、図-3 のように 2 サイクル 3 ソージャーンからなるトリップチェーンの場合、トリップ連鎖パターンの種類は  ${}_2 C_1 = 2$  で与えられる。なおここでのトリップ連鎖パターンとは、各ソージャーンへの訪問順序は問題とせず 1 サイクル中のソージャーン数の違いによって生じるパターンの種類を意味する。したがって 図-3 の [a] と [b] では、1 サイクル目  $C_1$  に含まれているソージャーン数が異なることから区別されたパターンと解釈されている。

次にソージャーン数  $s$ 、サイクル数  $l$  からなるトリップチェーンで考えられるトリップ連鎖パターンの生起確率  $Pr_l^s$  は、ベースへの帰宅 1 回につき  $\bar{P}$  (逆に立ち回り 1 回につき  $(1-\bar{P})$ )、また新たなサイクルを再起す



[ a ] [ b ]  
注) 図中の番号はトリップ番号

図-3 2 サイクル 3 ソージャーのトリップ連鎖パターン

る場合は1回につきC(逆に新たなサイクルをもはや生じない場合は(1-C))の確率が考えられるので、これらを用いて次式のように表わされる。

$$Pr_l^s = \binom{s-1}{l-1} \bar{P}^l C^{l-1} (1-\bar{P})^{s-l} (1-C) \dots (2)$$

たとえば図-3の[a]についてこの生起確率を考えてみると、1サイクル目でソージャー s<sub>1</sub>を訪れた後いったん帰宅し、2サイクル目ではソージャー s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>の2か所を訪れた後帰宅し、それ以降サイクルの再起はなく計2サイクルのトリップ連鎖パターンだからその確率は  $\bar{P}C(1-\bar{P})\bar{P}(1-C)$  となる。そして、図-3の[b]についても  $(1-\bar{P})\bar{P}C\bar{P}(1-C)$  が得られるので、結局この2サイクル3ソージャー数のトリップチェーンの全トリップ連鎖パターンの生起確率  $Pr_2^3$  は、式(2)に  $s=3, l=2$  を代入して求められる。

次に、ソージャー数 s のトリップチェーンは  $l=1, 2, \dots, s$  の s 通りだから、ソージャー数 s のトリップチェーンの生起確率  $Pr^s$  は、式(2)の関係をを用いて次式で表わされる。

$$Pr^s = \bar{P}(1-C) \left\{ \binom{s-1}{0} (1-\bar{P})^{s-1} + \binom{s-1}{1} (1-\bar{P})^{s-2} \bar{P}C + \dots + \binom{s-1}{l-1} (1-\bar{P})^{s-l} \bar{P}^{l-1} C^{l-1} + \dots + \binom{s-1}{s-1} \bar{P}^{s-1} C^{s-1} \right\}$$

$$= \bar{P}(1-C) \{ (1-\bar{P}) + \bar{P}C \}^{s-1} \dots (3)$$

$$\therefore Pr^s = \bar{P}C' (1-\bar{P}C')^{s-1} \dots (4)$$

ただし  $C' = 1-C$

さらに式(4)と前述の  $y = \alpha\beta^x$  を比較して次式に変形すれば、 $\alpha, \beta$  値の理論値を得ることができて、ソージャー数選択率曲線の理論式が導出される。

$$Pr^s = \frac{\bar{P}C'}{1-\bar{P}C'} (1-\bar{P}C')^s \dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 1-\bar{P}(1-C) \\ \alpha\beta &= \bar{P}(1-C) \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

次にこれらの仮定について実証的な考察を行うことに

表-2 完結率

	完全トリップチェーン数	全トリップチェーン数	完結率 (%)
京都市関連トリップチェーン	197 643	222 955	88.7
大阪府関連トリップチェーン	979 374	1 068 098	91.7
京阪神パーソントリップ調査	10 870 346	11 359 748	95.7

する。まず仮定①の完全トリップ連鎖パターンの形成に関し、表-2に京都市および大阪府関連のカートリップチェーンと昭和45年度京阪神パーソントリップ調査における完結率を示す。これよりパーソントリップチェーンは95.7%と非常に高く、カートリップチェーンではやや完結率が低いものの、約90%が完全トリップ連鎖パターンを形成していることがわかる。したがって、人の動きについていわれる1日完結性は、車の動きについてもほぼ満たされているといえよう。

また仮定②のベイスへの帰宅確率  $\bar{P}$  の一定に関し、完全トリップ連鎖パターンを対象とする場合に1サイクル中での運行についてはベイスへの帰宅確率  $\hat{P}$  を次式で定義する。

$$\hat{P} = \frac{\text{ベイスに戻ってきた車の台数の総和}}{\text{過渡的状態を移動する車の台数の総和}} \dots (7)$$

式(7)は、1サイクル中では何トリップ目であろうともベイスへの帰宅確率を一定としたときの計算値を求めるものであり、たとえば図-4のような1000台の車の運行について  $\hat{P}$  は次式で与えられる。

$$\hat{P} = \frac{1000}{1000+211+56+16+2} = \frac{1000}{1285} = 0.778 \dots (8)$$

なお、この  $\hat{P}$  は各サイクルごとに求められるが、仮定②ではどのサイクルにおいても一定としているため実際には各サイクルごとの帰宅確率を比較する必要があらる。

そこで、各サイクルに含まれるトリップ数ごとに集計しサイクル統合データを表-3のように求め、それをともに各サイクル目ごとの  $\hat{P}$  を計算し、表-4に示す。なお、この  $\hat{P}$  は、1サイクル中の平均帰宅確率であり、またここでは、当該サイクル内の各ソージャーにおけるベイスへの帰宅確率がその値に等しくかつ一定であるとみなされており、したがって個々のトリップチェーンを各サイクル目ごとに集計したときに定義されることになり、仮定②の検証のために個別のトリップチェーンに関する帰宅確率を議論するには問題を残

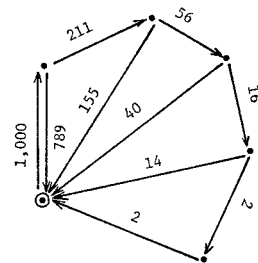


図-4 1000台の車の運行パターン例

表-3 サイクル統合データ (京都市, 大阪府)

Kyoto City				
Cycle	1st	2nd	3rd	4th
2	46 443	10 217	3 292	932
3	17 985	3 096	625	64
4	8 804	1 643	287	
5	4 874	572	13	
6	2 735	257		
7	1 649	36		
8	2 193			
9	647			
Total	85 330	15 821	4 217	996

Osaka Prefecture				
Cycle	1st	2nd	3rd	4th
2	261 054	53 695	11 091	3 238
3	104 616	18 865	3 233	90
4	53 129	7 793	748	
5	32 330	3 558	28	
6	17 728	1 924		
7	10 684	132		
8	12 171			
9	2 636			
Total	494 348	85 967	15 100	3 428

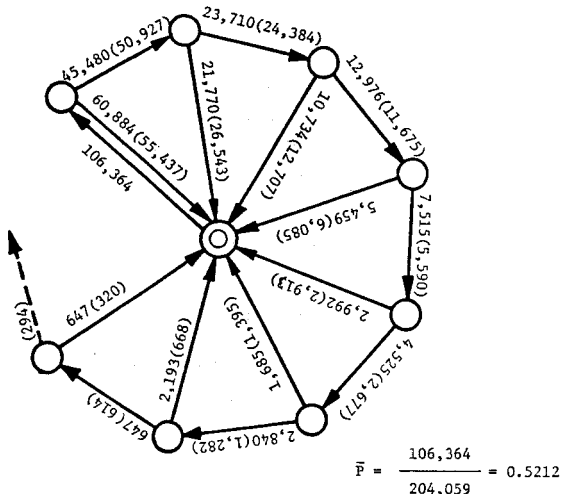


図-5 全サイクルを統合した場合の行動パターン (京都市)

表-6 サイクル再起確率の推定

	サイクル再起確率	サイクル数	トリップチェーン数	
			実績値	計算値
京都市	0.1810	1	69 509	69 885
		2	11 604	12 649
		3	3 211	2 290
		4	996	414
大阪府	0.1737	1	408 381	408 504
		2	70 867	70 937
		3	11 672	12 318
		4	3 428	2 139

す。

これをみると、各サイクル目における京都市と大阪府との差異はほとんどみられないが、サイクル数が多くなるにつれて車の運行に関する1日のtime-budgetによって1サイクル中に含まれるトリップ数が減少するために、結果的に帰宅確率はしだいに大きな値をとることがわかる。そこで、すべてのトリップチェーンが1サイクルからなるものとして前述のサイクル統合データをさらに統合し、平均的な1サイクル中のベイスへの帰宅確率  $\bar{P}$  を求めた。このことは1日の車の運行軌跡を忠実に再現することからすればサイクル間の関係を捨象したことになり、またベイスへの帰宅確率を平均的にしかとらえていないので仮定②は厳密な意味では成り立っていない。しかし、ここでは Sojourn 数選択率曲線と業種特性との関係を考えるために、この  $\bar{P}$  を用いてすべてのサイクルの平均帰宅確率と仮定した。このときの実績値と  $\bar{P}$  が一定の仮定のもとでの計算値との比較を図-5に示す。また表-5はこの  $\bar{P}$  を業種別に求めたものであるが、前述の  $\beta$  値と同様に  $\bar{P}$  値によっても業種特性の差異を読み取ることができる。また、京都市と大阪府との比較

表-4 各サイクル目の平均帰宅確率  $\bar{P}$

Cycle	京都市	大阪府
1st	0.494 9	0.485 6
2nd	0.629 6	0.616 5
3rd	0.773 1	0.758 3
4th	0.939 6	0.974 4

表-5 業種別平均帰宅確率  $\bar{P}$

業種	京都市	大阪府
建設業	0.548 5	0.537 7
製造業	0.500 2	0.499 6
卸売業	0.440 3	0.428 7
小売業	0.484 3	0.463 8
公務	0.502 2	0.505 5
個人	0.549 3	0.535 0
全業種	0.521 2	0.507 1

ではどの業種も京都市の方が大阪府に比べ  $\bar{P}$  値がやや大きく、京都市は大阪府ほど立ち回りの頻度が多くないことがわかる。

次に仮定③のサイクル再起確率について検討してゆくことにする。

いま、 $T$  台の車が仮定③に従って運行するとき、1サイクルした  $T$  台の車のうち  $T \cdot C$  台は2サイクル目を生起し、さらにこの  $T \cdot C$  台のうち  $T \cdot C^2$  台が3サイクル目を生起することになる。したがって、 $n$  サイクルしてそれ以上のサイクルを生起しない車、すなわち  $n$  サイクルからなるトリップチェーンの数  $T_n$  は、次式で表わされる。

$$T_n = TC^{n-1}(1-C) \dots\dots\dots (9)$$

そこで、実際のデータより各サイクル数別にトリップチェーン数を求め、次にサイクル再起確率  $C$  を一定としたときの計算値とこの実績値との残差平方和が最小となるような  $C$  の最良推定値を求めた。その結果を表-6

表-7 業種別サイクル再起確率

業種	京都市	大阪府
建設業	0.142 1	0.161 1
製造業	0.205 8	0.207 7
卸売業	0.196 0	0.208 9
小売業	0.230 8	0.211 8
公務	0.224 8	0.240 5
個人	0.168 8	0.148 4

に示し、また業種別の結果を表-7に示す。

これらより次の諸点が明らかとなる。

i) 表-6の結果より、仮定③を設けることは実用上それほどの問題とならないと考えられるものの、この推定方法では比較的量的に多い1サイクルのトリップチェーンのもつサイクル再起性に依存することになり、そのためにサイクル数が増える場合に過大評価をすることになる。しかし、結果的にはサイクル数の多いトリップチェーンがそれほど多く生じないので、この仮定の妥当性は一応保たれるものと考えられる。

ii) 業種別にみてゆくと、立ち回り頻度の少ないと考えられる業種（建設業、運輸通信電気業）はC値が小さく、逆に立ち回りの頻度の多い業種（小売業、卸売業、サービス業）はC値が大きくなっている。

最後に、このようにして求められた $\bar{P}$ 、Cを用いてソージャー数選択率曲線の理論式導出のときに明らかとなった関係式（式（6））から求めた $\alpha$ 、 $\beta$ 値と帰帰分析から得た $\alpha$ 、 $\beta$ 値と比較してみると、表-8のとおりである。これより、本研究における諸仮定が成立するとして導出される諸量と帰帰曲線のパラメーターとの適合性は高く、またそれぞれの業種特性を十分反映していることがわかる。

### 3. 発生集中量推計モデル

ここではトリップチェーン手法の中でのマルコフ的なアプローチを避けて、業務活動の拠点としてのベースと取引先・顧客が存在するソージャーとの関係をとらえ、さらに1日の車の運行パターンがどのようにソージャーを選択するかによって規定されるという考え方に基いて、業務交通の発生集中量推計モデルを提案する。

#### (1) モデルの定式化

本モデルによる推計フローは図-6に示すとおりであるが、以下各ステップの概要を述べてゆく。

≪ステップ1≫ 各ベースゾーンに発生するトリップチェーン数  $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) を予測する。この業務トリップチェーンの生成には一般的にベースゾーンにおける車利用による外出率、保有台数などの土地利用特性や社会経済指標が規定要因として考えられる。そこで本研究では、その最も簡単な形として各ゾーンの登録台数  $X_i$  を説明変数とする線形回帰式を用いた。すなわち、

$$T_i = b + aX_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 $T_i$ ：ベースゾーン  $i$  の発生トリップチェーン数

$X_i$ ：ベースゾーン  $i$  の登録台数

$a, b$ ：パラメーター

表-8  $\alpha\beta$  値と  $\bar{P}(1-C)$  値、 $\beta$  値と  $1-\bar{P}(1-C)$  値の比較

	業 種	$\alpha \cdot \beta$	$\bar{P}(1-C)$	$\beta$	$1-\bar{P}(1-C)$
京都市	建設業	0.4506	0.4706	0.5482	0.5294
	製造業	0.3674	0.3973	0.6382	0.6027
	卸売業	0.3339	0.3540	0.6753	0.6460
	小売業	0.3493	0.3725	0.6555	0.6275
	公務人	0.3248	0.3893	0.6905	0.6107
	個人	0.4544	0.4566	0.5780	0.5434
大阪府	建設業	0.4443	0.4511	0.5566	0.5489
	製造業	0.3600	0.3958	0.6606	0.6042
	卸売業	0.2939	0.3391	0.7366	0.6609
	小売業	0.3221	0.3656	0.7036	0.6344
	公務人	0.3397	0.3839	0.6857	0.6161
	個人	0.4543	0.4556	0.5395	0.5444

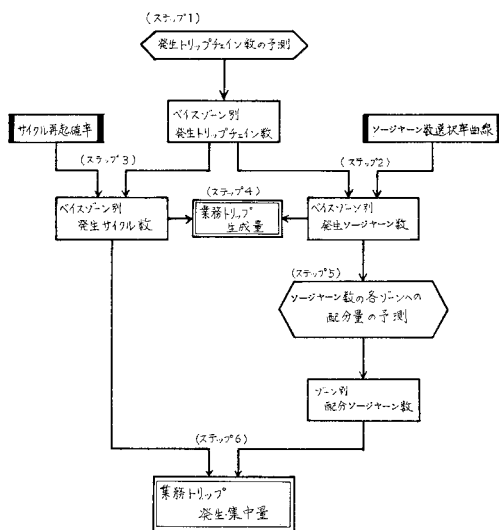


図-6 業務トリップ生成量および発生集中量の推計フロー

≪ステップ2≫ 次に、前章のソージャー数選択率曲線を用いてステップ1で得たベースゾーン別の発生トリップチェーンによって、どれだけのソージャー数が全体として生じるかを求める。これを式で書けば次式で与えられる。

$$TNS_i = T_i \sum_{s=1}^n s \cdot \alpha\beta^s \dots\dots\dots(11)$$

ここに、 $\alpha\beta^s$ ：ソージャー数選択率  
( $s$ ：ソージャー数)

$TNS_i$ ：ベースゾーン  $i$  からの発生トリップチェーンにより生じる総ソージャー数

≪ステップ3≫ ベースゾーン  $i$  で発生したトリップチェーンはサイクル再起確率  $C$  によって何サイクルかのトリップ連鎖パターンを形成するので、ベースゾーン別発生サイクル数  $TNC_i$  を求める。すなわち、式 (9) より  $n$  サイクルからなるトリップチェーンの数が運行台数  $T$  とサイクル再起確率  $C$  によって得られるので、 $TNC_i$  は次式で求められる。

$$TNC_i = \sum_n n T_i C^{n-1} (1-C) \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 $TNC_i$  : ベースゾーン  $i$  の発生サイクル数  
 ≪ステップ 4≫ いま、ソージャー数  $s$ 、サイクル数  $l$  の完全トリップ連鎖パターンを形成するトリップチェーンに関して、その中に含まれるトリップ数  $N$  は次式で求められる。

$$N = s + l \dots\dots\dots (13)$$

これは、いったんベイスを出発し、ソージャーを  $s$  箇所訪問するために  $s$  トリップ、そしてサイクルを  $l$  回形成するのにもベイスへの帰宅のための  $l$  トリップを必要とすることからも明らかである。

したがって、各ゾーンに  $TNS_i$  個のソージャー数と  $TNC_i$  個のサイクル数が存在するとき、この圏域全体のトリップ生成量  $TP$  は次式で与えられる。

$$TP = \sum_i TNS_i + \sum_i TNC_i \dots\dots\dots (14)$$

≪ステップ 5≫ ここでは、ベイスゾーン  $i$  より発生する総ソージャー数  $TNS_i$  がどのように各ゾーンへ配分されるかをアクセシビリティの概念を用いて予測する。

具体的にはベイスゾーン  $i$  とソージャーのある  $j$  ゾーンとの“相対的な行きやすさ”を示す相対的アクセシビリティを定義し、その大きさに比例させて  $TNS_i$  を  $j$  ゾーンに配分させることにする。すなわち、相対的アクセシビリティを式 (15) で定義しさらに式 (16) より  $j$  ゾーンへのソージャー数の配分量  $SS_j$  を得る。

$${}_i A_j = E_j^\alpha / t_{ij}^\gamma \dots\dots\dots (15)$$

$$SS_j = \sum_i TNS_i \cdot {}_i A_j / A_i \dots\dots\dots (16)$$

ここに、 ${}_i A_j$  :  $i$  ゾーンからの  $j$  ゾーンへの相対的アクセシビリティ

$A_i$  :  $i$  ゾーンからの全相対的アクセシビリティ

$$A_i = \sum_j {}_i A_j$$

$E_j$  :  $j$  ゾーンでの経済指標

$t_{ij}$  :  $i$  -  $j$  ゾーン間の距離

$TNS_i$  : ベースゾーン  $i$  で発生するトリップチェーンによって生じる総ソージャー数

$SS_j$  :  $j$  ゾーンに配分されたソージャー数

$\alpha, \gamma$  : パラメーター

≪ステップ 6≫ 前ステップまでに得られた各ゾーンのサイクル数  $TNC_j$  とソージャー数  $SS_j$  を用いて発生集中量は次式によって求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} U_i &= TNC_i + SS_i \\ V_j &= TNC_j + SS_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

ここに、 $U_i$  :  $i$  ゾーン発生量

$V_j$  :  $j$  ゾーン集中量

これは、完全トリップ連鎖パターンを仮定するときソージャー 1 か所につき発生集中がおのおの 1 回、またサイクル 1 回についても同様に発生集中がおのおの 1 回必要とするからである。

(2) 適用例

具体的な対象圏域としては京都市を取り上げ、城内 9 ゾーン域外 16 ゾーンの計 25 ゾーンに分割した (図 7 参照)。また対象データは、昭和 49 年度全国交通情勢調査結果より京都市関連の業務トリップチェーンを抽出した。

以下、前節で明らかにされた推計フローの各ステップについて順次検討を加える。

まずステップ 1 では、城内ゾーンは各ゾーンの登録台数による線形回帰で、また域外ゾーンは登録台数 1 台当たりの発生トリップチェーン原単位を求めた。域外ゾ

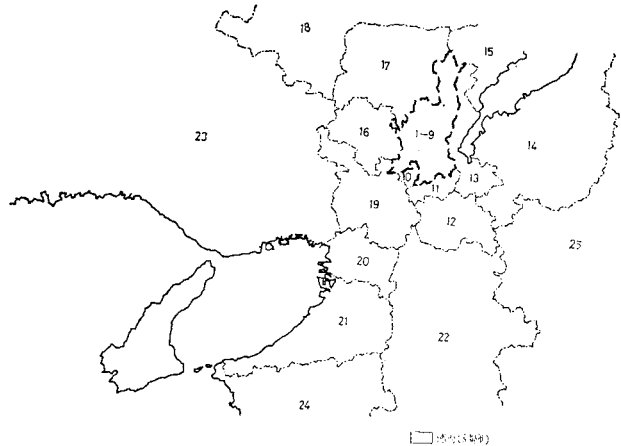


図-7 ゾーニング

表-9 域外ゾーンにおける業種別発生トリップチェーン原単位

(単位: 京都市関連業務トリップチェーン数/登録台数)

域外ゾーン	建設業	製造業	卸売業	小売業	公務	個人
10	0.270 23	0.302 00	0.598 84	0.246 68	0.041 53	0.107 18
11	0.218 18	0.414 23	0.464 71	0.346 35	0.137 36	0.083 06
12	0.088 50	0.296 24	0.242 24	0.079 34	0.074 18	0.031 53
13	0.038 74	0.108 66	0.084 58	0.062 14	0.014 78	0.036 07
14	0.008 23	0.036 64	0.056 13	0.024 52	0.021 75	0.009 38
15	0.019 79	0.041 67	0.000 00	0.048 22	0.040 70	0.013 01
16	0.184 21	0.422 13	0.280 00	0.156 12	0.097 74	0.037 64
17	0.000 00	0.280 00	0.000 00	0.000 00	0.089 55	0.053 15
18	0.027 28	0.015 05	0.006 67	0.009 58	0.029 03	0.005 97
19	0.008 08	0.029 45	0.007 85	0.019 48	0.016 12	0.004 72
20	0.008 29	0.016 01	0.018 17	0.010 75	0.009 78	0.003 62
21	0.002 27	0.009 93	0.004 39	0.000 00	0.004 44	0.000 92
22	0.003 66	0.013 25	0.017 07	0.005 54	0.003 11	0.001 97
23	0.001 85	0.004 44	0.006 46	0.001 52	0.005 68	0.000 91
24	0.000 00	0.003 73	0.004 97	0.000 00	0.000 00	0.000 28
25	0.003 87	0.001 93	0.000 00	0.000 00	0.001 88	0.000 43

ンにおける京都市関連業務トリップチェーンの生成に関しては、域外ゾーン発でしかも京都市内にソージャーをもちチェーン数を求める必要があり、域内ゾーン発のトリップチェーンとは同様に取り扱うことができないと考え、原単位（表-9 参照）による推計を行うことにした。

なお、得られた線形回帰式のパラメーター、相関係数を表-10 に示す。

次に、ステップ2および3で必要なソージャー数選択率曲線、サイクル再起確率は表-1、表-7 で既知であるので、それらを用いてステップ4における生成量を式(14)より求め、その結果を表-11 に示す。

実績値とモデル値を比較してみると、完全トリップ連鎖パターンについては発生トリップチェーン数の予測値およびC値の推定値の適合度も高いので、非常に良好な結果を得ている。また、不完全トリップ連鎖パターンを

表-10 発生トリップチェーン数の線形回帰式のパラメーター（京都市）

業種	完全トリップチェーン			全トリップチェーン		
	b	a	相関係数	b	a	相関係数
建設業	95.2	0.329	0.740	90.9	0.518	0.682
製造業	5.4	0.375	0.945	-36.1	0.572	0.966
卸売業	207.0	0.250	0.965	233.0	0.484	0.981
小売業	126.0	0.267	0.914	193.0	0.410	0.934
公務	38.7	0.305	0.907	98.0	0.412	0.882
個人	859.0	0.144	0.966	1730.0	0.164	0.963

表-11 トリップ生成量の推計（京都市）  
（単位：トリップ）

業種	完全トリップチェーン		全トリップチェーン	
	実績値	計算値	実績値	計算値
建設業	19 943	19 721	32 079	29 141
製造業	38 114	37 670	59 028	53 695
卸売業	34 350	33 327	61 773	54 449
小売業	27 712	26 667	44 850	40 629
公務	13 092	12 673	20 489	18 854
個人	170 375	164 997	245 309	218 055
全業種	303 586	295 053	463 528	414 822

表-12 業種別ソージャー施設（上位3位）

	1位	2位	3位
建設・運輸・通信 電気・ガス・水道	住宅 (26.8)	事務所施設 (23.9)	商業施設 (15.9)
製造	商業施設 (30.0)	工場 (29.1)	事務所施設 (18.3)
卸売	商業施設 (53.9)	事務所施設 (13.4)	工場 (12.2)
小売、金融・保険 不動産、サービス	商業施設 (30.7)	住宅 (23.2)	事務所施設 (17.7)
公務・その他	工場 (21.6)	商業施設 (19.8)	事務所施設 (19.1)
個人	商業施設 (32.4)	住宅 (24.3)	事務所施設 (13.5)

図中（ ）内は % を示す。

含めた全トリップチェーンについては、不完全トリップ連鎖パターンの比較的多い個人業種（自家営業）の適合度が低く、他の業種もやや過小評価となっている。

次にステップ5に関してであるが、まず各業種の顧客や取引先の種類に対応させることにしソージャー施設の種類を表-12 に示すように上位3種類を求め、次いで以下に示す3式の中で最も適当な構造式を回帰した。すなわち、回帰による適合度ばかりでなく実際のソージャー施設に対応する説明変数を見出そうとするもので、たとえば、卸売業であればソージャー施設として商業施設が53.9%も占めることから説明変数も従業者数密度を採用した。また、その他の業種では、ソージャー施設の種類の種類だけでは明確な判断ができなかったため、これら3式より適合度の良好な回帰式を採用した。なお、そのとき得られたパラメーターを表-13 に示す。

表-13 相対的アクセシビリティ式のパラメーター

業種*	$\alpha$	$\beta$	$\tau$	相関係数
1. 建設業	—	0.30	1.00	0.8063
2. 製造業	0.16	0.20	0.95	0.8550
3. 卸売業	0.14	—	0.60	0.8966
4. 小売業	0.02	0.20	1.10	0.8693
5. 公務	0.10	0.56	1.50	0.8186
6. 個人	0.02	0.38	1.40	0.8885

\*  $iA_j = E_j^\alpha H_j^\beta / T_{ij}^\tau$  (業種 2, 4, 5, 6)  
 $iA_j = H_j^\beta / T_{ij}^\tau$  (業種 1)  
 $iA_j = E_j^\alpha / T_{ij}^\tau$  (業種 3)

表-14 発生集中量の推計結果（全業種）

ゾーン番号	完全トリップチェーン		全トリップチェーン	
	実績値	計算値	実績値	計算値
1	19 592	20 444	26 362	28 666
2	23 647	24 538	33 260	35 306
3	21 228	22 585	29 911	31 246
4	31 232	26 584	52 448	38 912
5	22 268	26 514	43 862	38 965
6	25 527	27 625	34 633	38 339
7	26 465	19 707	39 624	27 042
8	23 836	23 993	44 256	34 610
9	40 454	24 688	57 981	33 598
10	8 195	8 653	12 241	12 166
11	12 261	9 881	16 994	13 491
12	4 191	5 961	5 400	8 019
13	4 402	4 791	7 162	7 021
14	4 776	3 772	8 573	5 776
15	874	1 149	1 114	1 640
16	3 100	3 494	4 485	4 838
17	1 504	1 512	1 965	2 064
18	1 224	1 531	2 146	2 389
19	6 357	9 420	9 831	13 014
20	16 689	13 729	20 725	17 195
21	1 803	5 012	1 974	6 469
22	803	3 287	2 269	4 895
23	2 661	4 288	5 490	6 426
24	232	1 157	394	1 651
25	265	738	428	1 085
合計	303 586	295 052	463 528	414 820
相関係数	0.9460		0.9480	



$$(I) \quad {}_iA_j = E_j^\alpha H_j^\beta / t_{ij}^\gamma \dots\dots\dots (18)$$

$$(II) \quad {}_iA_j = H_j^\beta / t_{ij}^\gamma \dots\dots\dots (19)$$

$$(III) \quad {}_iA_j = E_j^\alpha / t_{ij}^\gamma \dots\dots\dots (20)$$

ここに、 $E_j$ :  $j$  ゾーンの従業者密度  
 $H_j$ :  $j$  ゾーンの間人口密度  
 $t_{ij}$ :  $i-j$  ゾーン間距離 (分)

最後にステップ6として、前ステップで得られた各ゾーンのソージャー数とステップ3で得られた各ゾーンのサイクル数を式(17)に代入して、発生集中量を推計した。その結果の一部として全業種に合計した場合の完全トリップ連鎖パターンおよび全トリップ連鎖パターンのおおのの発生集中量の計算値と実績値を表-14に示す。

なお、全トリップチェーンの場合は不完全トリップ連鎖パターンを含むので、実績の発生量と集中量は一致しないため両者の平均値を実績値とした。

これらの結果より以下のことが明らかとなった。

i) 実績のソージャー数とサイクル数との量的な比率はほぼ2:1であるので、式(17)によって発生集中量を求めるときの適合度は各ゾーンへ配分されるソージャー数の推計値の精度に依存すると考えられる。そこで問題となるのは相対的アクセシビリティによって各ゾーンへのソージャー数の配分を決める方法にあり、特に本研究の対象圏域である京都市では比較的近距離に大阪市という大きな吸収源をもつため、域外ゾーンの相対的アクセシビリティは過大に評価される可能性をもつ。また、そのことは結果的に域内ゾーンについての過小評価を意味するので、ソージャー数の配分方法に改良の余地があると考えられる。

ii) 不完全トリップ連鎖パターンを含めた場合では、ステップ1の発生トリップチェーン数の予測値で異なるだけで、その他のステップでは完全トリップ連鎖パターンと同様の扱いをした。その結果、適合度に関しては完全トリップ連鎖パターンのみを対象とした場合と比較して生成段階で過小評価になっているものの、発生・集中量の傾向はよくとらえられているので、全トリップチェーンの生成に関する改良がなされれば、実用上の問題は解決されるであろう。

iii) 本モデルでは業務トリップチェーンの生成に関して、ステップ1においてベースゾーンの登録台数のみを説明変数とする簡便な方法をとったが、本来その生成機構が業務活動の形態に根ざすものであり、また他のベースゾーンのもつゾーン特性を考慮すべきであり今後の検討課題といえる。

## 4. 結 論

本研究では、トリップチェーン研究の中で需要推計を念頭に置きながら、その計量的分析ならびにシステムチックなモデルビルディングを意図し、具体的には都市内業務トリップチェーンに対して訪問先に着目した分析とそれに基づく発生集中量推計モデルの提案を行った。

これらの結果を要約すれば以下のとおりである。

(1) 業務活動の1日の動きを規定するソージャー数の選択は個々の業種の業務内容の差異を反映しており、本研究で定義されたソージャー数選択率曲線は、これをうまく表現している。

(2) また、このソージャー数選択率曲線は  $y = \alpha \beta^x$  の形で表わされるが、車の運行に関する諸仮定を設けることにより理論的にもこのような形となることが明らかにされた。

(3) なお、これらの仮定の中でベイスへの帰宅確率に関しては各サイクルの帰宅確率一定とみなして取り扱ったが、実際には1日のタイムバジェットによりサイクル数が増すにつれて大きな値をとる。したがって、本仮定は、実用的には1サイクルのトリップチェーンが大半を占めているため問題を生じることはないが、このような帰宅確率の性質とタイムバジェットとの関係についての分析が今後の課題といえよう。

(4) 発生集中量推計モデルの構築に際しては、比較的簡潔な推計フローによって業務交通の生成量・発生集中量が得られること、また、業務活動の活動拠点としてのベイスとソージャーとの結びつきの度合をアクセシビリティの概念を用いて表現することで、従来のトリップ単位の方法では取り入れることができなかった面をモデルに内包することができた。すなわち、従来の回帰モデルや原単位モデルのいずれも各ゾーンにおけるトリップ発生・集中と当該ゾーンの特性との関係のみしか考慮されないため、都市内業務活動に深く関係する事業所と各訪問先との関係あるいは業務内容の差異から生じる立ち回り型の交通行動などの諸性質が表現できなかったが、本モデルによりこの点は大きく改善されたといえる。そして、その適用結果より適合度も良好であり、実用性を具備するモデルであるといえる。

(5) 本モデルでは、トリップチェーン的アプローチにより都市内業務トリップの発生集中量推計方法の提案を行ってきたが、発生集中量自体がトリップ単位の諸量でありしかも需要推計プロセスの中での分布交通量推計段階に触れていないため、トリップチェーン的アプローチの特徴ともいえるトリップの連鎖性をより明確な形で表現できていないことも事実である。本モデルの分布交

通量推計への拡張に関しては、各ゾーンに配分されたソーテーションがどのような巡路を形成するかに着目することで検討中<sup>18)</sup>であり、その他の問題点と併せて今後の課題としたい。

最後に、本研究を遂行するにあたって貴重な討議を行い、また計算等にも協力していただいた京都大学大学院生、山崎聡一君（現在、神戸市役所勤務）、宇田将司君（現在、大阪府庁勤務）、川田 均君に対して深謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) Jones, P.M. : The Analysis and Modelling of Multi-trip Journeys, Oxford Univ. TSU Working Paper No. 6, 1975.
- 2) Dix, M.C. : Report on Investigations of Household Travel Decision Making Behavior, World Conference on Transport Research, Proceedings pp. 145~158, Rotterdam, The Netherlands, April, 1977.
- 3) Hensher, D.A. and Quasim Dalvi : Determinants of Travel Choice, SAXON-HOUSE, 1978.
- 4) Heggie, I.G. : Modal Choice and The Value of Travel Time, CLARENDON-PRESS, 1976.
- 5) Vidakovic, V.S. : A Harmonic Series Model of The Trip Chains, Proc. of the 6th Intl. Sympo. on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by D.J. Buckley, Sydney Australia, 1974.
- 6) Vidakovic, V.S. : A Distance Parameter of Trip-chain Process, Proc. of the 7th. Intl. Sympo. on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by T. Sasaki, Kyoto Japan, 1977.
- 7) Adler, T. and M.E. Ben-Akiva : A Theoretical and Empirical Model of Trip chaining behaviour, 1977.
- 8) Ben-Akiva, M.E. : Passenger Travel Demand Forecasting Applications of Disaggregate Models and Directions for Research, World Conference on Transport Research, Proceedings pp. 183~193, Rotterdam, The Netherlands, April, 1977.
- 9) Lerman, S.R. : The Use of Disaggregate Choice Models in Semi-Markov Process Models of Trip Chaining Behaviour, Trans. Science, Vol. 13, No. 4, 1979.
- 10) Kitamura, R. and T.N. Lam : A Time Dependent Markov Renewal Model of Trip Chaining (forthcoming), The 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Toronto, 1981.
- 11) Sasaki, T. : Estimation of Person Trip Patterns through Markov Chains, Proc. of the 5th Intl. Sympo. on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by G.F. Newell, Berkley California U.S.A., 1971.
- 12) Kondo, K. : Estimation of Person Trip Patterns and Modal Split, Proc. of the 6th Intl. Sympo. on Transportation and Traffic Flow Theory, Ed. by D.J. Buckley, Sydney, Australia, 1974.
- 13) 佐佐木 綱・西井和夫 : 都市内における自動車トリップパターンの分析, JSCE 第 33 回年次学術講演会, 1978.
- 14) 佐佐木 綱・西井和夫 : 訪問先に着目した都市内業務交通の発生集中量の推計, JSCE 第 35 回年次学術講演会, 1980.
- 15) 佐佐木 綱 : トリップパターンの一分類法, 交通工学, Vol. 4, No. 1, 1967.
- 16) 近藤勝直 : トリップチェーンの記述と予測, JSCE 第 31 回年次学術講演会, 1976.
- 17) 佐佐木 綱・西井和夫 : 前掲 13)
- 18) 佐佐木 綱・西井和夫・宇田将司 : 最短巡回問題に帰着した都市内業務交通の OD 分布量推計モデル, JSCE 第 36 回年次学術講演会, 1981.

(1981.10.1・受付)