

通勤・通学輸送需要の予測について

FORECASTING THE COMMUTER AND THE DAY-SCHOLAR TRANSPORTATION DEMAND

河上省吾*

By Shogo Kawakami

1. 緒 言

都市における旅客交通をその目的によって分類すると、通勤・通学、買物、業務、娯楽などのための交通に分けられる。このうち、通勤・通学交通は全旅客交通の60~70%を占め、しかも朝夕の短時間に集中するので単位時間当たりの交通量が最大になる。これと比較すると他の交通は一般に集中度、量ともに小さく、またその発生時間帯も異なる。したがって、都市の旅客輸送施設の計画を立案するには、通勤・通学交通を対象として考えておけば十分である場合が多い。

本研究では、このように将来の旅客輸送計画の策定において重要な意味をもつ通勤・通学輸送需要の予測について検討した。まず、通勤・通学者の発生、集中量を推定するための原単位および関数モデルについて、都市全体および近隣住区と考えられる小学校学区を対象として考察した。つぎに予測された発生交通量が通勤・通学者へどのように分布していくかを予測する分布交通量の予測モデルを提案し、これについて検討を加えた。

2. 都市を対象とした発生・集中原単位

まず、1つの都市全体の通勤・通学者の発生、集中量について考察する。旅客の発生・集中量を推定する方法には、原単位法と関数モデル法の2つがあるが、ここでは前者を用いることを前提とする。通勤・通学者の発生・

集中量を説明する指標（単位）としては、その発生・集中機構を考慮して人口と世帯数をとりあげた。そして、わが国の人口10万人以上の全都市をとりあげ、それらを人口規模により、人口10~20万人（69都市）、20~30万人（21都市）、30万人以上（21都市）の3つに分類し、都市（人口）規模と発生集中量の関係も考察した。この分析に用いた資料はすべて昭和35年10月1日に行なわれた国勢調査の報告書、市町村人口総覧によった。通勤・通学者そのものの数値は統計資料としてとられていないので、ここでは15才以上の就業者および通学者を通勤・通学者と考えた。就業者のうちには自宅で従業する者あるいは職場が自宅の近くにあり、いわゆる通勤交通と見なすことのできない場合もあるが、通勤交通現象を広義に解釈すると、自宅従業は偶然通勤先と居住地が一致したにすぎない、すなわち通勤距離0と考えることができるから、ここでは通勤距離を問題にせずに（通勤・通学交通のポテンシャルを表わすという意味において）、就業者と通学者の和を通勤・通学者数と考える。したがって、通勤距離が0でない実際の通勤者数を推定するためには、就業者と通学者のうちで自宅従業者の占める割合を何らかの方法で知り、全体からこれを除けばよい。

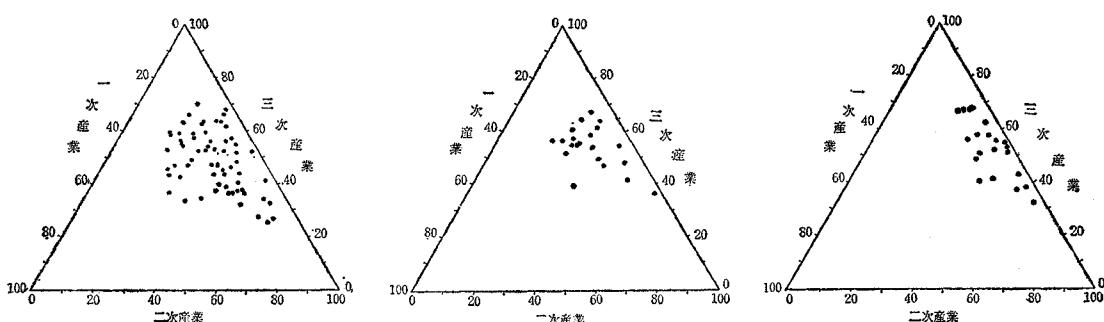
また都市の性格を知るために、その都市で従業している者の1, 2, 3次産業別比率を調べ、図-1に三角座標で表わしてみた。これによると、人口10~30万人の都

図-1 都市の産業別従業者の割合（%）

(a) 人口10~20万人の都市

(b) 20~30万人の都市

(c) 30万人以上の都市



* 正会員 名古屋大学助教授

市では1次産業従業者の比率が相当大きいが、人口が増加するにしたがって小さくなり、50万人以上の都市ではほとんど2,3次産業従業者で占められる。そして一般に川崎市のような工業都市のほかは2次より3次産業従業者の方が多くなっている。

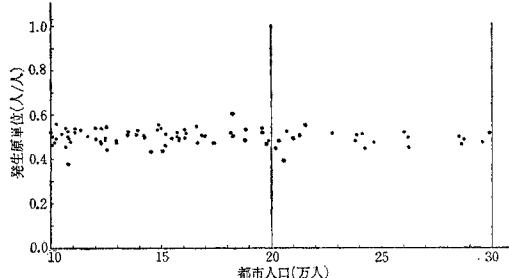
(1) 発生原単位

ある都市から発生する、すなわちそこに居住する通勤・通学者数と人口、世帯数などの関係を都市規模別に検討し、それぞれに対する発生原単位を求めてみた。都市の人口規模と人口を単位とした発生原単位(人口1人当たりの通勤・通学者の発生率)の関係を図示すると図-2(a), (b)のようになる。これによると人口を単位とする発生原単位の平均値は、人口規模10~20万人で0.499人/人、20~30万人で0.487人/人、30万人以上で0.503人/人で、いずれも平均値のまわりの分散は小さいことがわかる。ここでとりあげた全都市についての平均値は0.497人/人で、発生原単位は傾向として人口規模が大きくなるにしたがってわずかながら大きくなっているが、大局的にみると、人口規模と無関係にほぼ一定であることがわかる。したがって都市および人口規模による変動が小さい原単位が得られたわけである。この図において、発生原単位が特に大きいのは、一宮、大垣、松本、豊橋などで、いずれも織維関係の産業がさかんで、女子就業率の高い都市である。逆に小さいのは夕張、大牟田などで、いずれも石炭産業の都市であるのは興味深い。

つぎに通勤・通学者の発生量と世帯数との関係を調査し、これに対する発生原単位を求めたものが図-3(a), (b)(横軸は都市人口)である。この場合、発生原単位の

図-2 通勤・通学者発生原単位

(a) 都市人口10~30万人



(b) 都市人口30万人以上

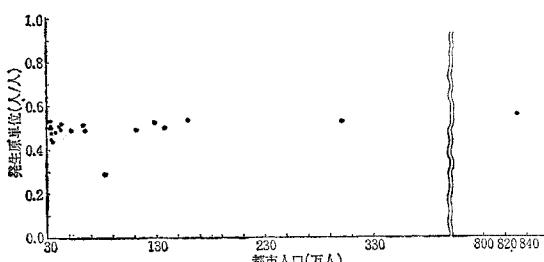
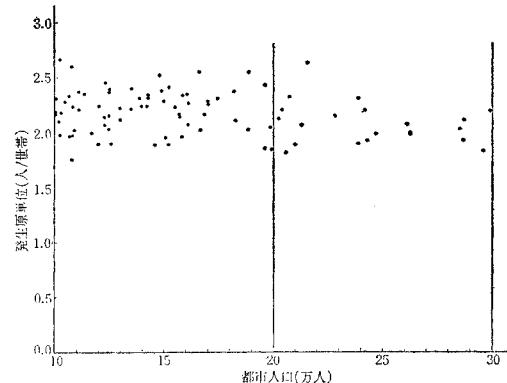
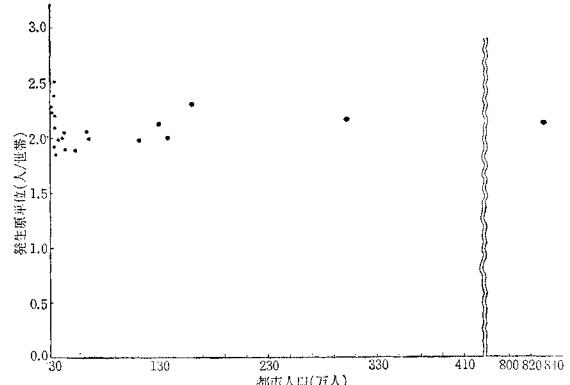


図-3 通勤・通学者発生原単位

(a) 都市人口10~30万人



(b) 都市人口30万人以上

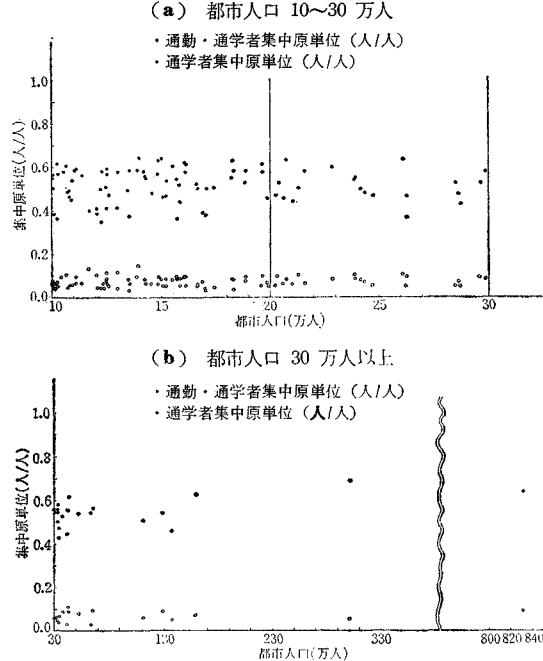


平均値は、人口規模10~20万人で2.21人/世帯、20~30万人で2.07人/世帯、30万人以上で2.09人/世帯で、各平均値に対する分散は小さいことがわかる。また全都市についての平均値は2.16人/世帯であるから都市および人口規模による変動は小さいことがわかる。世帯数を単位とした発生原単位は、人口を単位とした場合とは逆に、人口規模が大きくなるにしたがってわずかながら小さくなる傾向がある。これは大都市ほど世帯構成人員が小さくなっていることに起因すると考えられる。世帯を単位とした原単位が特に大きいのは一宮、大垣、豊橋、川越、岡崎、山形、長岡、浜松で東海地方の都市が多く、小さいのは夕張、大牟田、鹿児島である。

(2) 集中原単位

ある都市に集中する通勤・通学者はその都市に通勤・通学先を有する人で、都市では一般に夜間より昼間の人口が多いことからもわかるように、通勤・通学者の発生量より集中量のほうが多い。通勤・通学者集中量も原単位法により推定できるので、人口を単位とする集中原単位を都市の人口規模別に求めてみた。この結果を図-4(a), (b)に示した。これによると原単位の平均値は都市の人口規模が10~20万人で0.509人/人、20~30万人で0.512人/人、30万人以上で0.544人/人で、そ

図-4 通勤・通学者集中原単位



それぞれの分散はそれほど大きくなない。この原単位は、人口 10~30 万人の都市では人口の大きさに無関係にほぼ一定であることがわかる。30 万人以上の都市でも人口の大きさによる変動は小さいが、傾向として人口規模が大きくなるにしたがって原単位も大きくなっている。集

中原単位が特に大きいのは、大阪、東京都(区部)、名古屋などの大都市のほかは岡山、富山、福井、松本、水戸などである。逆に特に小さいのは豊中、八尾、守口、西宮、市川でいずれも大阪および東京の衛星都市で、住宅都市の性格を有するものばかりである。

ここでは集中量を通勤と通学を合計したものとして検討したが、これを分離し、通学者について図示すると図-4(a),(b) のようになり、その集中原単位は人口の大きさに無関係にほぼ一定なので、結局、通勤・通学者の原単位の変動は通勤者の変動によってもたらされていることがわかる。

以上のほか、集中原単位の単位として床面積、年間商品販売額、製造業年間出荷額などが考えられるが、これらのみであらゆる分野の通勤・通学者数を推定することは人口による場合より困難であろう。また床面積はその資料を得ることがむずかしい。

図-1(a),(b),(c) に示した各都市での従業者の産業別比率と発生・集中原単位の相関関係はほとんど認められない。原単位への影響力は、この比率よりむしろその都市の主要産業の業種などのほうが強いようである。集中原単位の大きい東京都、大阪、名古屋の産業別従業比率がほぼ等しいが、この比率と原単位の大きさが相関をもつとは断言できない。

また自宅従業者の発生量および集中量に対する割合を求めるとき、京都、名古屋の 2 都市における平均値がそ

表-1 人口を単位とする発生・集中原単位(人/人)

人口	都市名	発生原単位	集中原単位	人口	都市名	発生原単位	集中原単位	人口	都市名	発生原単位	集中原単位	人口	都市名	発生原単位	集中原単位
10	長岡	0.529	0.560	10	福井	0.534	0.637	10	甲府	0.493	0.573	10	長野	0.529	0.615
10	高岡	0.517	0.579	10	川越	0.520	0.461	10	川口	0.505	0.492	10	大宮	0.500	0.377
10	福井	0.534	0.637	10	和歌浦	0.504	0.381	10	船橋	0.511	0.370	10	大船渡	0.515	0.359
10	甲府	0.493	0.573	10	八王子	0.492	0.434	10	八千代	0.492	0.434	10	八日市	0.492	0.434
10	長野	0.529	0.615	10	武藏野	0.537	0.381	10	大分	0.481	0.587	10	別府	0.481	0.488
10	松本	0.554	0.627	10	平塚	0.489	0.445	10	延岡	0.477	0.492	10	宮崎	0.481	0.512
10	大垣	0.556	0.611	10	藤沢	0.481	0.402	10	大津	0.525	0.557	10	福島	0.521	0.627
10	沼津	0.493	0.556	10	小田原	0.494	0.508	10	相模原	0.471	0.379	10	岸和田	0.489	0.404
10	清水	0.498	0.544	10	大河内	0.492	0.431	10	豊中	0.480	0.261	10	守口	0.488	0.361
10	岡崎	0.546	0.515	10	大庭	0.489	0.445	10	吹田	0.497	0.391	10	八尾	0.470	0.340
10	一宮	0.603	0.621	10	藤沢	0.481	0.402	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	旭川	0.481	0.523	10	小田原	0.494	0.508	10	相模原	0.471	0.379	10	大庭	0.489	0.404
10	小樽	0.465	0.450	10	大庭	0.492	0.431	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	室蘭	0.431	0.474	10	大庭	0.489	0.445	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	釧路	0.435	0.453	10	大庭	0.489	0.404	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	帯広	0.499	0.535	10	豊島	0.480	0.261	10	豊島	0.480	0.261	10	守口	0.488	0.361
10	夕張	0.375	0.376	10	吹田	0.497	0.391	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	弘前	0.510	0.533	10	豊島	0.488	0.361	10	守口	0.488	0.361	10	守口	0.488	0.361
10	八戸	0.470	0.497	10	八尾	0.470	0.340	10	豊島	0.480	0.391	10	守口	0.488	0.361
10	盛岡	0.498	0.539	10	明石	0.472	0.415	10	奈良	0.506	0.487	10	守口	0.470	0.340
10	山形	0.530	0.577	10	奈良	0.506	0.487	10	津	0.516	0.581	10	守口	0.488	0.361
10	福島	0.509	0.581	10	津	0.516	0.581	10	四日市	0.535	0.605	10	守口	0.470	0.340
10	郡山	0.492	0.563	10	四日市	0.535	0.605	10	鳥取	0.510	0.573	10	守口	0.472	0.340
10	水戸	0.524	0.636	10	松江	0.534	0.600	10	松江	0.540	0.563	10	守口	0.470	0.340
10	日立	0.513	0.607	10	倉敷	0.540	0.563	10	岡山	0.521	0.629	10	守口	0.472	0.340
10	利根	0.532	0.587	10	宇都	0.471	0.498	10	宇都	0.492	0.493	10	守口	0.472	0.340
10	高崎	0.515	0.546	10	徳島	0.502	0.575	10	徳島	0.472	0.496	10	守口	0.472	0.340
20	高岡	0.503	0.577	20	新居浜	0.439	0.465	20	高知	0.514	0.568	20	高松	0.515	0.594
20	福井	0.534	0.637	20	高知	0.514	0.568	20	松山	0.479	0.531	20	松山	0.479	0.531
20	甲府	0.493	0.573	20	若松	0.452	0.477	20	大牟田	0.394	0.447	20	大牟田	0.394	0.447
20	長野	0.529	0.615	20	戸畠	0.475	0.534	20	小倉	0.466	0.497	20	小倉	0.466	0.497
20	松本	0.554	0.627	20	久留米	0.489	0.597	20	佐世保	0.451	0.461	20	佐世保	0.451	0.461
20	大垣	0.556	0.611	20	門司	0.458	0.463	20	鹿児島	0.478	0.525	20	鹿児島	0.478	0.525
20	沼津	0.493	0.556	20	佐賀	0.480	0.574	20	新潟	0.497	0.542	20	新潟	0.497	0.542
20	清水	0.498	0.544	20	八代	0.461	0.494	20	岐阜	0.532	0.559	20	岐阜	0.532	0.559
20	岡崎	0.546	0.515	20	大分	0.481	0.587	20	静岡	0.507	0.545	20	静岡	0.507	0.545
20	一宮	0.603	0.621	20	別府	0.496	0.488	20	名古屋	0.536	0.629	20	名古屋	0.536	0.629
20	旭川	0.481	0.523	20	宮崎	0.481	0.512	20	札幌	0.491	0.541	20	札幌	0.491	0.541
20	小樽	0.465	0.450	20	延岡	0.477	0.492	20	仙台	0.496	0.556	20	仙台	0.496	0.556
20	室蘭	0.431	0.474	20	富山	0.521	0.627	20	東京	0.555	0.636	20	東京	0.555	0.636
20	釧路	0.435	0.453	20	金沢	0.518	0.573	20	横浜	0.497	0.460	20	横浜	0.497	0.460
20	帯広	0.499	0.535	20	豊橋	0.551	0.573	20	崎嶺	0.515	0.541	20	崎嶺	0.515	0.541
20	夕張	0.375	0.376	20	函館	0.445	0.476	20	人	0.496	0.537	20	人	0.496	0.537
20	弘前	0.510	0.533	20	青森	0.448	0.448	20	以上	0.525	0.686	20	以上	0.525	0.686
20	八戸	0.470	0.497	20	秋田	0.477	0.521	20	秋田	0.477	0.521	20	秋田	0.477	0.521
20	盛岡	0.498	0.539	20	宇都宮	0.503	0.540	20	宇都宮	0.503	0.540	20	宇都宮	0.503	0.540
20	山形	0.530	0.577	20	千葉	0.509	0.492	20	千葉	0.509	0.492	20	千葉	0.509	0.492
20	福島	0.509	0.581	20	横須賀	0.487	0.426	20	横須賀	0.487	0.426	20	横須賀	0.487	0.426
20	郡山	0.492	0.563	20	布施	0.506	0.498	20	布施	0.506	0.498	20	布施	0.506	0.498
20	水戸	0.524	0.636	20	西宮	0.496	0.361	20	西宮	0.496	0.361	20	西宮	0.496	0.361
20	日立	0.513	0.607	20	和歌山	0.500	0.520	20	和歌山	0.500	0.520	20	和歌山	0.500	0.520
20	利根	0.532	0.587	20	岡山	0.521	0.629	20	岡山	0.521	0.629	20	岡山	0.521	0.629
20	前橋	0.515	0.546	20	吳	0.492	0.493	20	吳	0.492	0.493	20	吳	0.492	0.493
20	高崎	0.503	0.577	20	下関	0.472	0.496	20	下関	0.472	0.496	20	下関	0.472	0.496

表-2 通勤・通学者発生量Yと諸指標Xとの関係

用途地域	生産年令人口X		人口X		自宅外従業者数X		世帯数	
	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	相関係数	回帰方程式	
業務地域	$Y = 0.301X - 370$	0.722	$Y = 0.217X - 351$	0.741	$Y = 0.566X + 119$	0.635	$Y = 0.662X - 59$	
工業地	$Y = 0.215X - 377$	0.907	$Y = 0.147X - 357$	0.885	$Y = 0.328X + 75$	0.869	$Y = 0.601X - 284$	
住宅地	$Y = 0.181X - 10$	0.667	$Y = 0.139X - 104$	0.700	$Y = 0.386X + 114$	0.626	$Y = 0.398X + 197$	
業務・住宅混合	$Y = 0.120X + 235$	0.528	$Y = 0.090X - 197$	0.554	$Y = 0.242X + 371$	0.469	$Y = 0.277X + 335$	
業務・工業混合	$Y = 0.130X + 49$	0.389	$Y = 0.093X + 51$	0.393	$Y = 0.256X + 292$	0.340	$Y = 0.351X + 137$	
工業・住宅混合	$Y = 0.159X + 173$	0.728	$Y = 0.112X + 165$	0.729	$Y = 0.330X + 326$	0.681	$Y = 0.450X + 190$	
業務・工業・住宅混合	$Y = 0.084X + 582$	0.425	$Y = 0.063X + 542$	0.451	$Y = 0.173X + 728$	0.362	$Y = 0.190X + 744$	

それぞれ 31.1%, 28.3% になってい。参考として、人口 10 万人以上の都市における通勤・通学者の人口を単位とした発生・集中原単位を表-1 に示しておいた。

3. 小学校学区(近隣住区)を対象とした発生・集中原単位

2. で都市全体の通勤・通学者の発生・集中量について

図-5 (a) 業務地域

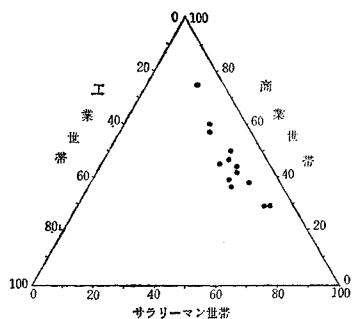


図-5 (b) 工業地域

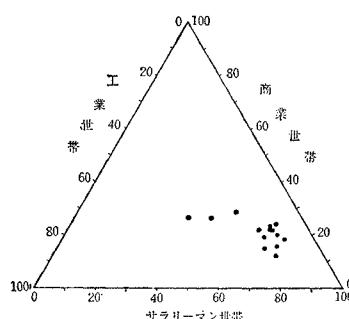


図-5 (c) 住宅地域

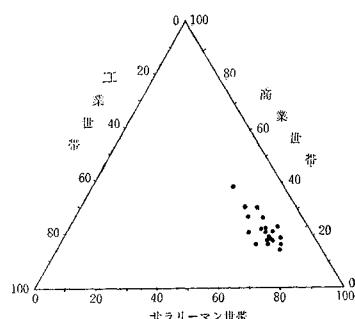


図-5 (d) 業務・住宅混合地域

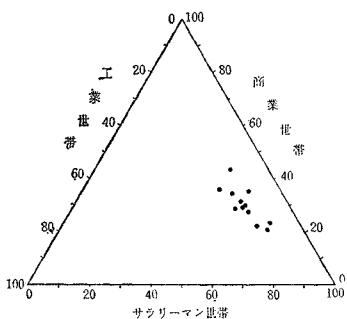


図-5 (e) 業務・工業混合地域

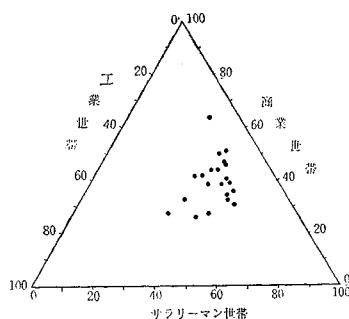


図-5 (f) 工業・住宅混合地域

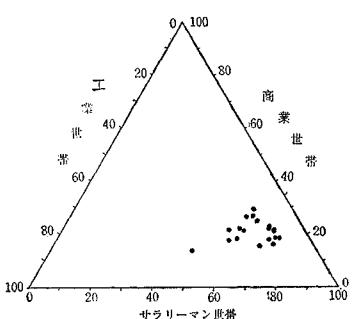
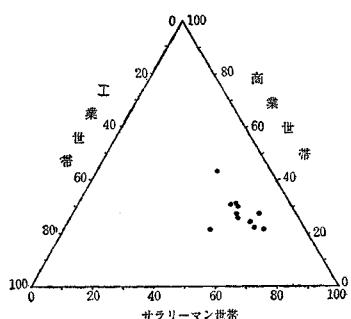


図-5 (g) 業務・工業・住宅混合地域



て検討したが、ここでは近隣住区と見なせる小学校の学区を対象として、鉄道、路面電車、バスなどの大量輸送機関を利用する通勤・通学者の分析を行なってみた。小学校の学区単位の資料はきわめてまれで、ここでは京都市計画局が集計したデータを基にして通勤・通学者の動態を分析したので、対象は京都市に限られる。

このデータは、昭和 35 年 6 月 7 日午前 7~9 時まで

の、市電、市バス、国鉄、私鉄などの旅客数を小学校の元学区(京都市では学区をこう名付けている)単位に集計したものである。この時間帯の大量輸送機関の旅客はほとんど通勤・通学者であり、またラッシュ時で旅客輸送量も最大となるので、このときの旅客について分析を行なわれれば、将来の輸送計画の指針となる。このデータが通勤・通学者の何パーセントをとらえているかを当日の終日交通調査結果からみると、約 90% で、残りはこれ以外の時間に通勤・通学したことがわかる*。したがって、このデータが京都市の通勤・通学者の動態を表

X	工業世帯数 X_1 , 商業世帯数 X_2 , サラリーマン世帯数 X_3	重相関係数
相関係数	回帰方程式	重相関係数
0.625	$Y = 3.359 X_1 + 0.462 X_2 + 0.810 X_3 - 138$	0.704
0.852	$Y = 2.177 X_1 - 0.677 X_2 + 0.885 X_3 - 406$	0.915
0.616	$Y = 2.205 X_1 + 0.702 X_2 + 0.315 X_3 + 5$	0.644
0.486	$Y = 0.994 X_1 + 0.964 X_2 + 0.088 X_3 - 131$	0.904
0.360	$Y = 0.499 X_1 + 1.061 X_2 + 0.109 X_3 - 67$	0.410
0.745	$Y = -0.271 X_1 - 0.194 X_2 + 0.823 X_3 + 173$	0.801
0.338	$Y = 0.351 X_1 + 1.984 X_2 - 0.356 X_3 + 261$	0.617

わしていると見なして分析しても大きな間違いはない。

そして、土地利用が通勤・通学交通の発生・集中におよぼす影響を調べるために学区を、その地域の用途（機能）によって業務、工業、住宅、業務・住宅混合、業務・工業混合、工業・住宅混合、業務・工業・住宅混合の7地域に分類した。この分類は参考文献1によったもので、各地域の分類に用いた指標はつぎのものである。業務地域は第3次産業従業者密度と第3次産業事業所密度により、工業地域は第2次産業従業者密度、工場密度、出荷額密度により、住宅地域は住宅密度、宅地率により分析し、いずれもこれらの指標の京都市の平均値を基準にし、学区の機能を決定している。

つぎに各用途地域の世帯構造の特徴を知るために、世帯をサラリーマン（勤め人、労務者）、商業（商業、サービス業、自由業）、工業（農業、鉱業、建設業、製造業）の3種世帯に分類し、その比率（%）を用途地域別に三角座標に表わすと図-5(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) のようになる。これによると業務地域は工業世帯が少なく、商業世帯とサラリーマン世帯の比率がほぼ等しく、住宅地域と工業地域の世帯構造はほぼ等しいことがわかる。

(1) 発生原単位

ある学区から通勤・通学者が発生するのは、そこに彼らが住んでいるからで、旅客発生の母体はその学区の住人である。そこで学区の旅客発生量を説明する指標として、人口、生産年令人口（15～64才）、自宅外従業者数、世帯数、業種別世帯数などを用いて、これらと通勤、通学者の発生量との関係の分析を試みた。ここでは発生量が、上記指標の一次式 ($Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_m X_m + a_{m+1}$, Y : 発生量, X_i : 指標, a_i : 定数) で表わされるものと仮定し、用途地域別に実測の資料を用いて最小自乗法により係数 a_i の値を決定した。各指標に対する発生量の回帰直線（平面）とそのときの相関係数を表-2に示す。この表によると、相関係数はいずれもあまり大きくないが、これらのうちでは業種別世帯数による回帰平面が最もよく適合している。しかし、この業種別世

* 7～9時の旅客をすべて通勤・通学者と考えた。定期客はすべて通勤・通学と考えると、定期客の90%が7～9時に乗車しているので、定期券を持たないで通勤・通学している人のこの時間に乗車する比率もこれと同比率であろうと考えた。

帯数に対する回帰平面において、工業、工業・住宅混合、業務・工業・住宅混合の各地域では係数の値が負になってしまっており、通勤・通学者の発生機構と矛盾するので、この方程式で将来の旅客発生量を予測するのは適当でない。

この業種別世帯数以外では、人口との相関が最もよい（しかし、業務・住宅、業務・工業、業務・工業・住宅各混合地域の発生量の人口に対する相関係数は小さく、0.55～0.39である）。用途地域ごとに人口と発生量の関係を図-6(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) に示す。そして、用途地域別に人口を単位とする発生原単位の平均値を求めてみたら、表-3のような値になった。この値は業務、住宅、工業・住宅混合、業務・住宅混合、業務・工業・住宅混合、工業、業務・工業混合の地域順に小さくなっていることがわかった。

表-3 用途地域の原単位

用 途 地 域	発生原単位(人/人)	集中原単位(人/人)
業 務 地 域	0.152	0.285
工 業	0.110	0.239
住 宅	0.129	0.307
業務・住宅混合	0.117	0.213
業務・工業混合	0.103	0.225
工業・住宅混合	0.127	0.237
業務・工業・住宅混合	0.112	0.160

図-6(a) 業 務 地 域

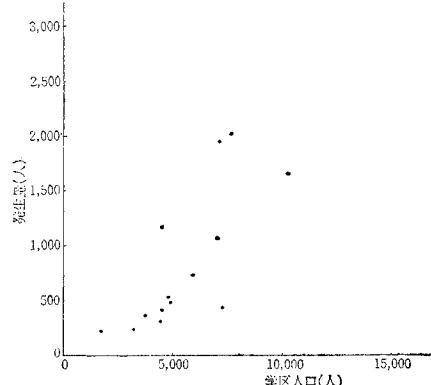


図-6(b) 工 業 地 域

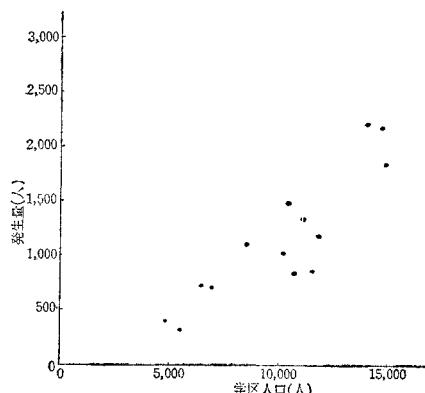


図-6 (e) 住 宅 地 域

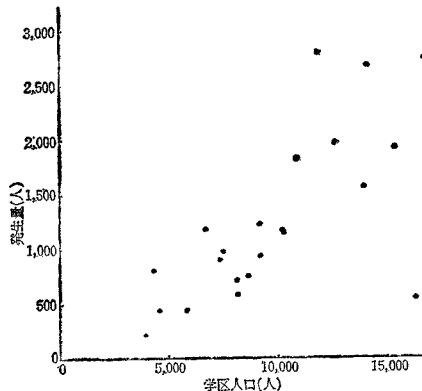


図-6 (f) 工 業・住 宅 混 合 地 域

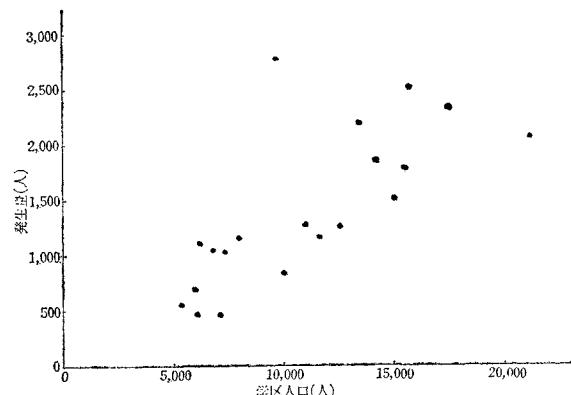


図-6 (d) 業 務・住 宅 混 合 地 域

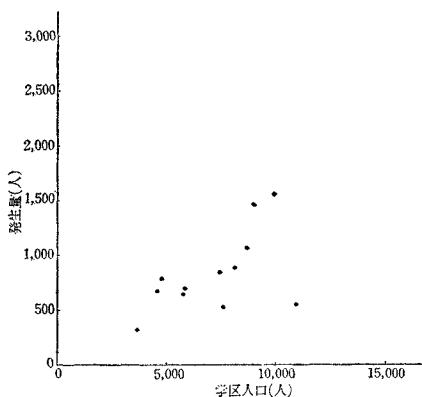


図-6 (g) 業 務・工 業・住 宅 混 合 地 域

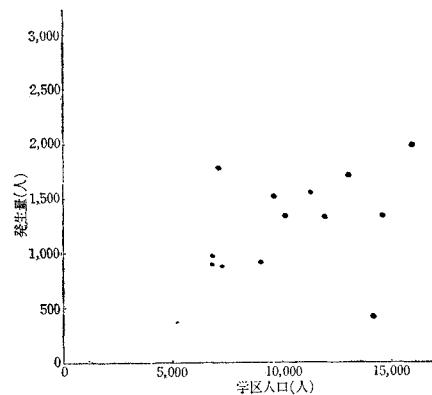
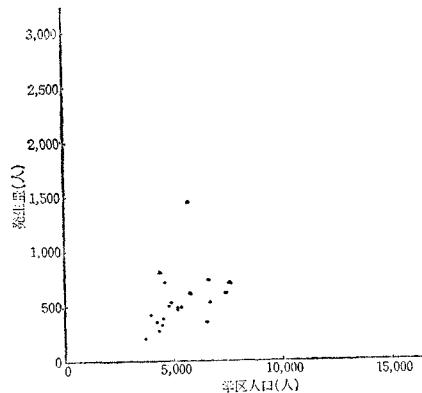


図-6 (e) 業 務・工 業 混 合 地 域



通勤・通学者の発生母体は 15~64 才の生産年令人口であるので、これとの相関関係が最も強いはずだが、分析結果によると総体的にわずかながら人口との相関の方が強いようである。しかしその差はさわめて小さい。ちなみに生産年令人口と人口の相関を調べると、どの用途地域でも相関係数が 0.99~1.00 であるから、相関の点からはいずれを発生量の説明量として用いてもよいといえるが、統計資料の得やすさ、将来予測の容易さなどの点から人口の方が適当であると考えられる。

また発生量と自宅外従業者数の相関が予想外に小さい

のは、ここにいう発生旅客は通勤と通学の二者からなりこのうち通学が比較的多いのと、自宅外従業者の大量輸送機関利用率も学区により変動するからであろう。

(2) 集中原単位

ある地区に通勤・通学者が集中するのはそこに通勤・通学先があるからで、その集中量を説明する指標としては、そこで従業する従業者数と就学する学生数の合計、工業従業者数、商業従業者数などが考えられる。これらの資料を用いて用途地域別に相関分析を行ない、表-4 のような結果（回帰直線（平面）と相関係数）を得た。ここで、学生数としては公立中学校を除いた中学校以上の学生数を用いた。これによると各用途地域とも従業者数と学生数の和に対する相関係数が工業従業者数と商業従業者数の両者に対する重相関係数より大きいことがわかった。前者は業務・工業・住宅混合地域における値が 0.35 で特に小さいほかはいずれも 0.72 以上である。

また用途地域とは無関係に学校（私立中学校、高等学校、大学）のある学区ばかりを取り出して集中量の従業者と学生の和に対する相関係数を調べたら 0.82 で比較的大きく、用途地域には無関係に学校の存在による集中量が相当あることが予想できる。

集中量の工業、商業各従業者に対する重相関がよくな

表-4 通勤・通学者集中量 Y と諸指標 X との関係

用 途 地 域	(従業者数+学生数) X (人)	工業従業者数 X_1 , 商業従業者数 X_2 (人)		
	回 帰 方 程 式	相 関 係 数	回 帰 方 程 式	重 相 關 係 数
業 務 地 域	$Y = 0.306 X - 119$	0.723	$Y = 1.745 X_1 + 0.246 X_2 + 753$	0.458
工 業	$Y = 0.219 X + 123$	0.772	$Y = 0.313 X_1 + 1.595 X_2 + 234$	0.673
住 宅	$Y = 0.280 X + 114$	0.877	$Y = 0.382 X_1 + 1.740 X_2 + 749$	0.371
業務・住宅混合	$Y = 0.154 X + 245$	0.788	$Y = -1.589 X_1 + 0.988 X_2 + 1116$	0.311
業務・工業混合	$Y = 0.290 X - 309$	0.899	$Y = 0.257 X_1 + 0.598 X_2 + 39$	0.806
工業・住宅混合	$Y = 0.217 X - 123$	0.911	$Y = 0.192 X_1 + 1.504 X_2 + 607$	0.197
業務・工業・住宅混合	$Y = 0.063 X - 442$	0.352	$Y = -0.004 X_1 + 0.463 X_2 + 487$	0.330

いのは、集中量には学生が含まれているのと、工業、商業各従業者の大量輸送機関利用率が学区により変動するからであると考えられる。

いま集中量と、従業者数と学生数の和との関係を示すと図-7(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g) のようになる。

図-7 (a) 業務地域

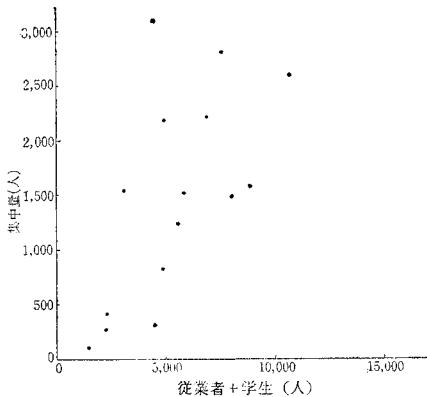


図-7 (b) 工業地域

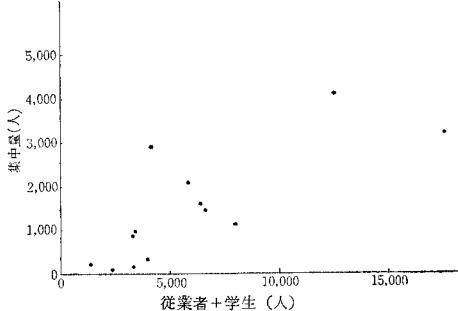
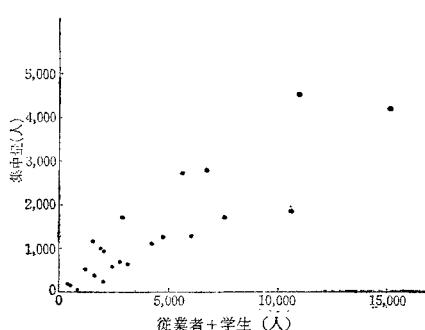


図-7 (c) 住宅地域



そして用途地域ごとに集中量の従業者数と学生数の和に対する原単位の平均値を求める表-3のようになる。集中原単位は住宅、業務、工業、工業・住宅混合、業務・工業混合、業務・住宅混合、業務・工業・住宅混合の地域順に小さくなっている。住宅地域の値が最大であるの

図-7 (d) 業務・住宅混合地域

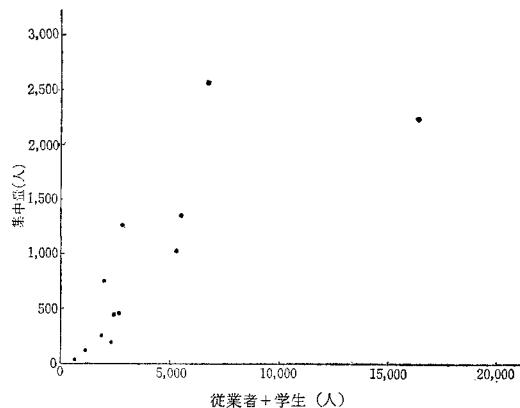


図-7 (e) 業務・工業混合地域

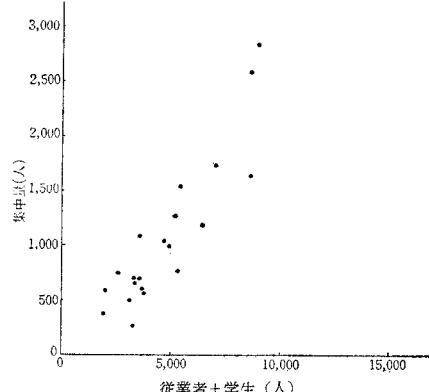
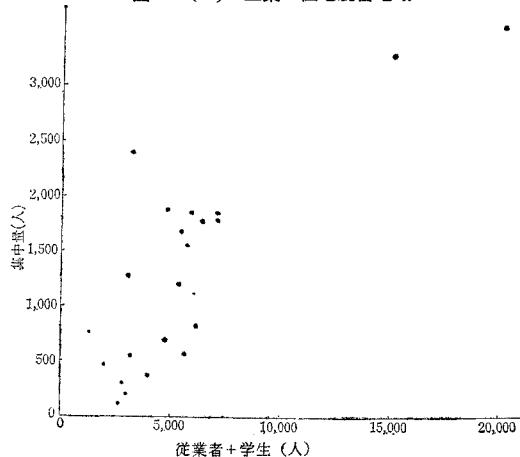
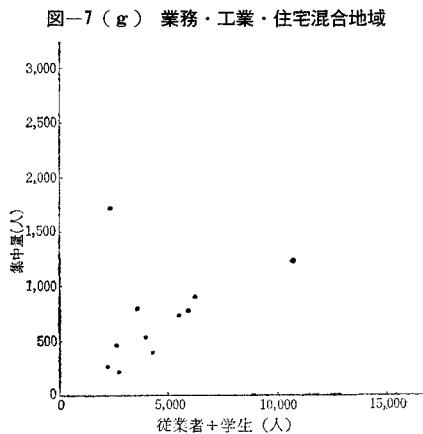


図-7 (f) 工業・住宅混合地域





は、学校、病院などの施設が多く、自宅従業が少ないからであると考えられる。

4. 分布交通量の予測モデル

分布交通量の予測モデルは既知の現在OD表から未知の将来OD表の推定を行なうためのものである。このモデルにおいては、将来OD表の合計覽すなわち各ゾーンの発生、集中交通量があらかじめ何らかの方法で推定されていることを前提としている。

(1) 従来の予測モデル

従来行なわれている予測モデルには、平均係数法、Detroit法、Fratar法、塚原法などの収束計算法を用いる現在パターン法、重力モデルと前記収束計算法を組み合わせたもの、遷移確率による推定法などがあるが、前二者はいずれも収束計算による方法を用いている。収束計算法の中ではFratar法を修正した塚原法の収束度が最もよいことが知られている。収束計算においては、現在OD表の傾向を将来OD表に反映させるために、現在OD表の値あるいは重力モデルによる計算結果を用い、各ゾーンの発生、集中量の変化率を考慮して将来の発生・集中量に調和する各OD間の交通量 x_{ij} を求めている。この計算を実際に行なうには、計算量が多いので電子計算機を用いるのが普通である。

つぎにここに述べた各予測モデルについて、簡単に考察する。

a) 現在パターン法 この方法はくり返し計算のため計算回数が非常に多くて繁雑である。計算方法を規定するために発生・集中量に調和した唯一の値 x_{ij} が得られるが、使用する計算法により得られる推定値が多少異なる。そして実績値によりモデルの適合度を検定するとき、予測結果が実績値と大きく異なる場合にも適合度をよくすることはむずかしい。利点は、ODパターンの変化が小さい場合に適切な推定値が得られることである。

b) 重力モデル法 現在OD表に重力モデルを適用したとき、きわめて適合度のよいモデルが得られたと

しても、それを用いて将来OD交通量の第一近似値を計算し、前述の収束計算法で修正すると、最終結果は必ずしも重力モデルの性格を反映したものにならない。なぜなら修正量が大きい場合は、重力モデルの性格とは異なる数値が得られることになるからである。

c) エントロピー法(遷移確率法) この方法には、OD交通を単純マルコフ連鎖と仮定するものとそうでないものの2つがある。いずれも地区間交通量の分布確率を表わす式を仮定し、同時生起確率が最大となる分布確率を求めて、これにより将来交通量を計算する。前者は都市内自動車交通に代表されるマルコフ連鎖とみなせる交通量の予測に、後者は自動車交通はもちろん通勤、買い物、観光交通などの交通量予測に利用できる。

従来の予測モデルは以上のようなであるが、本研究では以下に示す2つの予測モデルを提案し、その適否を京都市の行政区間通勤交通量を用いて検討してみた。

(2) モデル1

いま現在と将来の2時点でのOD交通量がOD表として表-5,6のように与えられたものとする。このとき現在から将来時点までに、ゾーン*i*から*j*へ行く交通量は $(x_{ij} - t_{ij})$ の変化をしたことになる。この変化量を Δx_{ij} とすると、

$$x_{ij} = t_{ij} + \Delta x_{ij} \dots (1)$$

となる。したがって将来交通量 x_{ij} を予測するためには Δx_{ij} を予測すればよい。この Δx_{ij} を推定するための情報としては、発生・集中交通量の予測による各ゾーンの発生、集中量の変化量 ΔT_i , ΔU_j しかない。そしてつぎの関係式が成立する。

$$\sum_{j=1}^n \Delta x_{ij} = \Delta T_i, \quad \sum_{i=1}^n \Delta x_{ij} = \Delta U_j \dots (n: ゾーン数) \dots (2)$$

表-5 現在のOD表

O \ D	1	2	.....	<i>j</i>	.....	<i>n</i>	T
1	t_{11}	t_{12}		t_{1j}		t_{1n}	T_1
2	t_{21}	t_{22}		t_{2j}		t_{2n}	T_2
<i>i</i>	t_{i1}	t_{i2}		t_{ij}		t_{in}	T_i
<i>n</i>	t_{n1}	t_{n2}		t_{nj}		t_{nn}	T_n
U	U_1	U_2	.....	U_j	.....	U_n	

$$(X_i - T_i = \Delta T_i, X_j - U_j = \Delta U_j)$$

表-6 将來のOD表

O \ D	1	2	.....	<i>j</i>	.....	<i>n</i>	X
1	x_{11}	x_{12}		x_{1j}		x_{1n}	X_1
2	x_{21}	x_{22}		x_{2j}		x_{2n}	X_2
<i>i</i>	x_{i1}	x_{i2}		x_{ij}		x_{in}	X_i
<i>n</i>	x_{n1}	x_{n2}		x_{nj}		x_{nn}	X_n
Y	Y_1	Y_2	.....	Y_j	.....	Y_n	

いま $\Delta x_{ij} > 0$ の場合について考えると、 Δx_{ij} は現在から将来時点までに増加する交通量であり、これはつぎの2つの原因によるものと考えられる。その1つはゾーン i から通勤する人が増加したからで、もう1つはゾーン j が吸収する通勤者が増加したからである。すなわち Δx_{ij} は i から発生する通勤者が増加したことによるものと、 j の吸収する通勤者が増加したことによるものの2つからなると考える。この考え方では、増加通勤者は住居がゾーン i に決まっていて、そこから通勤できる場所へ職を求める人と、職場がゾーン j に決まっていて、そこへ通勤可能な場所に住宅を求める人からなることに根拠を置いている。よって、 Δx_{ij} は i から通勤する人の増加量 ΔT_i に比例する部分と j へ通勤する人の増加量 ΔU_j に比例する部分の和からなり、比例定数はその相手ゾーン、(ΔT_i に対しては j , ΔU_j に対しては i) がもつ個有の値と考え、これは相手ゾーンに無関係に一定であるとする。すなわち、

$$\Delta x_{ij} = \alpha_j \Delta T_i + \beta_i \Delta U_j \quad \dots \dots \dots (3)$$

式(3)において α_j は増加発生量 ΔT_i が j に吸引される力を表わし、 β_i は増加吸収量 ΔU_j が i から吸収される力を表わしていると考えられる。この吸引係数 α_j, β_i はゾーン i, j がもつ個有の値であると仮定したが、通勤をはじめとして交通現象では距離すなわち所要時間を無視することはできない。 i, j 間の所要時間が大ならば当然 i, j 間の交通量は小さくなることが予想される。そこで交通に対する抵抗値として OD 間の所要時間 r_{ij} を導入し、式(3)を式(4)のように修正する。これは所要時間による交通に対する抵抗を考慮して、吸引係数を $\alpha_j/r_{ij}^r, \beta_i/r_{ij}^r$ と修正したわけである。 r は2時点で既知の OD 表を用いて適当な値を決定する。

$$\Delta x_{ij} = \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} \Delta U_j, \quad (r: \text{定数}) \quad \dots \dots \dots (4)$$

ゆえに、

$$x_{ij} = t_{ij} + \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} \Delta U_j \quad \dots \dots \dots (5)$$

そして各 OD 間の交通量の和は発生、集中量に一致しなければならないから、

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n \left(t_{ij} + \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} \Delta U_j \right) = X_i \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^n \left(t_{ij} + \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} \Delta T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} \Delta U_j \right) = Y_j \quad \dots \dots \dots (7)$$

が条件式として与えられる。また OD 交通量は必ず 0 または正でなければならないから、

$$x_{ij} \geq 0 \quad \dots \dots \dots (8)$$

という条件式も考えなければならない。

ここでは Δx_{ij} (すなわち $\Delta T_i, \Delta U_j$) を正と考えて考察を進めてきたが、これらのがれかが負の場合も全く同様に考えることができ、 $\Delta T_i, \Delta U_j$ の正負にかかわらず式(5)の仮定を採用することができる**。式(6), (7)より、

$$\begin{aligned} T_i + \Delta T_i \left(\frac{\alpha_1}{r_{i1}^r} + \frac{\alpha_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{\alpha_n}{r_{in}^r} \right) \\ + \beta_i \left(\frac{\Delta U_1}{r_{i1}^r} + \frac{\Delta U_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{\Delta U_n}{r_{in}^r} \right) = X_i \end{aligned} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\begin{aligned} U_j + \alpha_j \left(\frac{\Delta T_1}{r_{1j}^r} + \frac{\Delta T_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{\Delta T_n}{r_{nj}^r} \right) \\ + \Delta U_j \left(\frac{\beta_1}{r_{1j}^r} + \frac{\beta_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{\beta_n}{r_{nj}^r} \right) = Y_j \end{aligned} \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

したがって、

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_1}{r_{i1}^r} + \frac{\alpha_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{\alpha_n}{r_{in}^r} \\ + \frac{\beta_i}{\Delta T_i} \left(\frac{\Delta U_1}{r_{i1}^r} + \frac{\Delta U_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{\Delta U_n}{r_{in}^r} \right) = 1 \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_j}{\Delta U_j} \left(\frac{\Delta T_1}{r_{1j}^r} + \frac{\Delta T_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{\Delta T_n}{r_{nj}^r} \right) \\ + \frac{\beta_1}{r_{1j}^r} + \frac{\beta_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{\beta_n}{r_{nj}^r} = 1, \quad (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (10)$$

いま式(9),(10)で与えられる $2n$ 個の条件式を $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ が未知数である連立一次方程式と考えて解けば、条件式(6),(7)を満足する α_j, β_i を求めることができ、これらを用いると式(5)により将来時点の OD 交通量 x_{ij} を求めることができる。

ここで問題となるのは、式(5)を導いた基本的な考え方から α_j, β_i がすべて 0 または正数でなければならぬことと、 x_{ij} が $x_{ij} \geq 0$ (条件式(8)) を満足しなければならないということの2つである。

ところで多くの大都市は一様に発展途上にあり、人口も増加しつつあり、特に通勤交通量は増加している方がほとんどである。たとえ通勤者の発生・集中量が減少している場合でもその量はわずかである。したがって、わが国の都市について検討する限り、式(5)の $\Delta T_i, \Delta U_j$ は正となる場合が多い。 $\Delta T_i, \Delta U_j$ が 0 または正の場合は、 α_i, β_j さえ負にならなければ式(8)の条件は満足されるから、以下においては連立方程式(9),(10)が果してすべて非負の解 $(\alpha_1, \dots, \alpha_n, \beta_1, \dots, \beta_n)$ を持ち得るか、もしそのような解が存在すれば、それが得られるための条件は何かを検討する。

まず連立方程式(9),(10)を行列表示すると次式(11)を得る。

** ただし、このモデルでは、

(i) $\Delta x_{ij} < 0, \Delta T_i > 0, \Delta U_j > 0$

(ii) $\Delta x_{ij} > 0, \Delta T_i < 0, \Delta U_j < 0$

というような場合の説明は不可能である。

$$\left(\begin{array}{c} \frac{1}{r_{11}^T}, \frac{1}{r_{12}^T}, \dots, \frac{1}{r_{1n}^T}, \frac{1}{4T_1} \left(\frac{4U_1}{r_{11}^T} + \frac{4U_2}{r_{12}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{1n}^T} \right), 0, \dots, 0 \\ \frac{1}{r_{21}^T}, \frac{1}{r_{22}^T}, \dots, \frac{1}{r_{2n}^T}, 0, \frac{1}{4T_2} \left(\frac{4U_1}{r_{21}^T} + \frac{4U_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{2n}^T} \right), 0, \dots, 0 \\ \vdots \\ \frac{1}{r_{n1}^T}, \frac{1}{r_{n2}^T}, \dots, \frac{1}{r_{nn}^T}, 0, \dots, 0, \frac{1}{4T_n} \left(\frac{4U_1}{r_{n1}^T} + \frac{4U_2}{r_{n2}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{nn}^T} \right) \\ \frac{1}{4U_1} \left(\frac{4T_1}{r_{11}^T} + \frac{4T_2}{r_{21}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n1}^T} \right), 0, \dots, 0, \frac{1}{r_{11}^T}, \frac{1}{r_{21}^T}, \dots, \frac{1}{r_{n1}^T} \\ 0, \frac{1}{4U_2} \left(\frac{4T_1}{r_{12}^T} + \frac{4T_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n2}^T} \right), 0, \dots, 0, \frac{1}{r_{12}^T}, \frac{1}{r_{22}^T}, \dots, \frac{1}{r_{n2}^T} \\ \vdots \\ 0, \dots, 0, \frac{1}{4U_n} \left(\frac{4T_1}{r_{1n}^T} + \frac{4T_2}{r_{2n}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{nn}^T} \right), \frac{1}{r_{1n}^T}, \frac{1}{r_{2n}^T}, \dots, \frac{1}{r_{nn}^T} \end{array} \right) = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots(11)$$

ところで、線型代数方程式に関して次のような定理が
存在することが知られている。

[定理]

$$\text{連立方程式 } Ax = b, \quad \dots(12)$$

ここに、

$$A = \begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1m} \\ a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mm} \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}$$

が非負解 $x \geq 0$ をもつためには、

$$\left. \begin{array}{l} \frac{p_1}{r_{11}^T} + \frac{p_2}{r_{21}^T} + \dots + \frac{p_n}{r_{n1}^T} + \frac{q_1}{4U_1} \left(\frac{4T_1}{r_{11}^T} + \frac{4T_2}{r_{21}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n1}^T} \right) \geq 0 \\ \frac{p_1}{r_{12}^T} + \frac{p_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{p_n}{r_{n2}^T} + \frac{q_2}{4U_2} \left(\frac{4T_1}{r_{12}^T} + \frac{4T_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n2}^T} \right) \geq 0 \\ \vdots \\ \frac{p_1}{r_{in}^T} + \frac{p_2}{r_{2n}^T} + \dots + \frac{p_n}{r_{nn}^T} + \frac{q_n}{4U_n} \left(\frac{4T_1}{r_{1n}^T} + \frac{4T_2}{r_{2n}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{nn}^T} \right) \geq 0 \\ \frac{p_1}{4T_1} \left(\frac{4U_1}{r_{11}^T} + \frac{4U_2}{r_{12}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{1n}^T} \right) + \frac{q_1}{r_{11}^T} + \frac{q_2}{r_{12}^T} + \dots + \frac{q_n}{r_{1n}^T} \geq 0 \\ \frac{p_2}{4T_2} \left(\frac{4U_1}{r_{21}^T} + \frac{4U_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{2n}^T} \right) + \frac{q_1}{r_{21}^T} + \frac{q_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{q_n}{r_{2n}^T} \geq 0 \\ \vdots \\ \frac{p_n}{4T_n} \left(\frac{4U_1}{r_{n1}^T} + \frac{4U_2}{r_{n2}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{nn}^T} \right) + \frac{q_1}{r_{n1}^T} + \frac{q_2}{r_{n2}^T} + \dots + \frac{q_n}{r_{nn}^T} \geq 0 \end{array} \right\} \quad \dots(15)$$

式(15)の任意の解 P' に対して式(14)に対応する式(16)が成立することが、連立方程式(11)が非負解($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$)をもつ必要十分条件である。ゆえに式(15)が成立するとき式(16)が成立するかどうかを考察する。

式(15)の各式を辺々加え合せると次式(17)を得る。

$$\begin{aligned} & p_1 \left\{ \frac{1}{r_{11}^T} + \frac{1}{r_{12}^T} + \dots + \frac{1}{r_{1n}^T} + \frac{1}{4T_1} \left(\frac{4U_1}{r_{11}^T} + \frac{4U_2}{r_{12}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{1n}^T} \right) \right\} \\ & + p_2 \left\{ \frac{1}{r_{21}^T} + \frac{1}{r_{22}^T} + \dots + \frac{1}{r_{2n}^T} + \frac{1}{4T_2} \left(\frac{4U_1}{r_{21}^T} + \frac{4U_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{2n}^T} \right) \right\} \\ & + \dots \\ & + p_n \left\{ \frac{1}{r_{n1}^T} + \frac{1}{r_{n2}^T} + \dots + \frac{1}{r_{nn}^T} + \frac{1}{4T_n} \left(\frac{4U_1}{r_{n1}^T} + \frac{4U_2}{r_{n2}^T} + \dots + \frac{4U_n}{r_{nn}^T} \right) \right\} \\ & + q_1 \left\{ \frac{1}{4U_1} \left(\frac{4T_1}{r_{11}^T} + \frac{4T_2}{r_{21}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n1}^T} \right) + \frac{1}{r_{11}^T} + \frac{1}{r_{21}^T} + \dots + \frac{1}{r_{n1}^T} \right\} \\ & + q_2 \left\{ \frac{1}{4U_2} \left(\frac{4T_1}{r_{12}^T} + \frac{4T_2}{r_{22}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{n2}^T} \right) + \frac{1}{r_{12}^T} + \frac{1}{r_{22}^T} + \dots + \frac{1}{r_{n2}^T} \right\} \\ & + \dots \\ & + q_n \left\{ \frac{1}{4U_n} \left(\frac{4T_1}{r_{1n}^T} + \frac{4T_2}{r_{2n}^T} + \dots + \frac{4T_n}{r_{nn}^T} \right) + \frac{1}{r_{1n}^T} + \frac{1}{r_{2n}^T} + \dots + \frac{1}{r_{nn}^T} \right\} \geq 0 \quad \dots(17) \end{aligned}$$

この式(17)より、 $p_1, p_2, \dots, p_n, q_1, q_2, \dots, q_n$ の係数である { } 内の値がすべて正で、それぞれの値が等しい場合は式(15)を満足する任意の $\mathbf{P}' = [p_1, p_2, \dots, p_n, q_1, q_2, \dots, q_n]$ に対して式(16)が成立することがわかる。これは非常にきびしい条件であるが、十分条件であって必要十分条件ではなく、このほかにも式(11)の解がすべて 0 または正となる場合があることは予想できる。

(3) モデル 2

モデル 1 では過去および現在の OD 交通量が与えられることを前提とした将来予測を検討したが、ここでは 1 時点(現在)の OD 交通量と各ゾーンの発生、集中交通量との関係(OD パターン)をモデル式で表現し、これを用いて将来交通量予測を行なう方法について考察する。このモデルでは推定 OD 交通量 t_{ij}' はゾーン i の発生交通量 T_i に比例する交通量と、ゾーン j の集中交通量 U_j に比例する交通量の和で表わされ、比例定数はそれぞれゾーン j, i に個有の値であると考える。すなわち、

$$t_{ij}' = \alpha_j T_i + \beta_i U_j \quad \dots \quad (18)$$

このときも i, j 間の交通に対する抵抗となる所要時間 r_{ij} を考慮すると式(18)はつぎのようになる。

$$t_{ij}' = \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} U_j, \quad (\alpha_j, \beta_i, r : \text{定数}) \quad \dots \quad (19)$$

ここに r は経験的に定められる定数である。そして、OD 交通量の和は発生、集中交通量に一致しなければならないから、条件式として次式を得る。

$$\sum_{j=1}^n t_{ij}' = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} U_j \right) = T_i \quad \dots \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{ij}' = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} T_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} U_j \right) = U_j \quad \dots \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad \dots \quad (21)$$

これを変形するとつぎのようになる。

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha_1}{r_{i1}^r} + \frac{\alpha_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{\alpha_n}{r_{in}^r} \\ & + \frac{\beta_i}{T_i} \left(\frac{U_1}{r_{i1}^r} + \frac{U_2}{r_{i2}^r} + \dots + \frac{U_n}{r_{in}^r} \right) = 1 \quad \dots \quad (i=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad \dots \quad (22)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha_j}{U_j} \left(\frac{T_1}{r_{1j}^r} + \frac{T_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{T_n}{r_{nj}^r} \right) \\ & + \frac{\beta_1}{r_{1j}^r} + \frac{\beta_2}{r_{2j}^r} + \dots + \frac{\beta_n}{r_{nj}^r} = 1, \quad (j=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad \dots \quad (23)$$

したがって、このモデルではさきのモデル 1 で、 $t_{ij}=0$, $\Delta T_i=T_i$, $\Delta U_j=U_j$ とおいた場合と考えればよい。

条件式(22), (23)を $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ の連立一次方程式と考えて解き、 α_j, β_i を式(19)に代入すると発生、集中交通量に調和した推定値 t_{ij}' を求めることができる。 t_{ij}' は r の値により変動するので、

r をいろいろ仮定してみて実績値 t_{ij} に最も近い推定値を与える r の値を決める必要がある。その地域における発生・集中交通量は、将来もここに得た分布モデルにしたがって分布すると考えると、将来 OD 交通量は次式で予測することができる。

$$x_{ij} = \frac{\alpha_j}{r_{ij}^r} X_i + \frac{\beta_i}{r_{ij}^r} Y_j \quad \dots \quad (24)$$

このモデルでもモデル 1 の場合と同様に、式(19)を導いた基本的な考え方から $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ がすべて 0 または正でなければならない。 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ が 0 または正ならば、式(24)から x_{ij} は当然 0 または正で、 x_{ij} が $x_{ij} \geq 0$ という条件は考えなくてよいことがわかる。 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ がすべて 0 または正になるための条件はモデル 1 の場合とまったく同じなのでここでは省略する。

(4) モデルの適合度の検討

先に提案した分布交通量予測モデルの適否を、昭和 35 年 10 月 1 日と昭和 40 年 10 月 1 日の 2 時点での京都市区間通勤移動人口調査(国勢調査)の結果を用いて検討した。なお、国勢調査では同一区内の通勤移動人口が調査もれとなっているので、昭和 35 年の値は別の資料から求め、40 年の値は 35 年の区間相互移動人口に対する同一区内移動人口の比率を用いて推定した。昭和 35 年と 40 年の京都市通勤人口 OD 表を表-7, 8 に示す。そして区間相互および区内平均通勤時間 r_{ij} を表-9 に示す。

a) モデル 1 いま昭和 35 年の OD 交通量 t_{ij} と昭和 35 年から 40 年までの発生、集中量の変化 ΔT_i , ΔU_j , 所要時間 r_{ij} を用いて、式(11)を満足する α_j , β_i を求め、式(5)により昭和 40 年の OD 交通量 x_{ij} を推定し、実績値 e_{ij} と比較してみた。推定値 x_{ij} は r の値により変動するので、これを 0.5 から 0.10 きざみに 3.20 まで変化させて最も適合度のよい推定値を与える値を求めたら $r=2.6$ であった。適合度の尺度は次式(25)で与えられる E を用い、この値が小さいほど適合度がよいと考えた。

$$E = \sum_{i,j} (e_{ij} - x_{ij})^2 / e_{ij} \quad \dots \quad (25)$$

最適推定値と実績値を対応させて示したのが表-8 である。この例では、 α_j, β_i (表-8 に示した)のいくつかが負数となり、はじめの仮定に反する結果となった。また r の値の変化に対する α_j, β_i の変化は規則性がなく、不安定である。しかし、将来交通量の推定値 x_{ij} は r の変化にしたがって単調に増減するので、最適な r を求めることができるのである。この事実により、たとえ α_j, β_i が負数となり、モデル作成の仮定と異なった結果になってしまっても、 α_j, β_i を調整係数と考えれば、このモデルにより将来交通量の予測を行なうことは可能である。このとき x_{ij} は r_{ij} の影響を強く受けるので、所要時間の推定は

表-7 京都市通勤人口OD表(昭和35年)Model2 上段 推定値 下段 実績値($r=2.3$)

終点 起点	北区	上京区	左京区	中京区	東山区	下京区	南区	右京区	伏見区	計	α_j
北区	8788	6211	1999	5657	966	3827	927	2026	438		56.30
	8813	5768	1960	6223	846	3818	1004	2046	361	30839	(68.46)
上京区	1533	13247	1550	7882	684	4384	1284	1835	240		29.66
	1667	14022	1686	7198	846	3909	1018	1936	358	32640	(59.30)
左京区	1480	5317	19785	8606	2425	5010	1635	2790	778		73.41
	1523	5149	19403	9519	2303	5601	1540	2144	644	47826	(97.72)
中京区	706	2983	1198	18808	983	5662	1769	3329	239		58.53
	736	3369	1272	17919	1068	5910	1516	3549	339	35678	(114.43)
東山区	558	1928	1858	6122	16983	5650	2370	1389	1584		49.12
	456	1635	1961	6570	17184	5970	2295	1281	1090	38442	(71.43)
下京区	575	1708	828	5413	1056	30573	2936	2229	296		83.00
	393	1551	791	6090	1490	29609	2862	2218	610	45614	(139.55)
南区	290	1378	638	3881	1136	5609	13742	1591	750		87.07
	222	1056	563	3366	1082	5929	14382	1544	871	29015	(110.61)
右京区	798	2475	1400	8908	860	5089	1940	21427	361		140.19
	976	2882	1569	8157	826	4886	1681	21963	317	43257	(170.42)
伏見区	364	1549	915	4117	2601	4383	2614	906	22150		19.50
	307	1366	966	4351	2048	4555	2920	841	22244	39598	(41.12)
計	15093	36798	30171	69393	27693	70187	29218	37522	26834	342909	—
β_i	227.39 (202.55)	30.06 (3.77)	269.30 (230.77)	12.35 (-16.40)	155.53 (124.57)	14.27 (-22.48)	85.11 (61.74)	174.23 (139.39)	221.72 (189.82)	—	—

 $(E=2683.6)$ 表-8 京都市通勤人口OD表(昭和40年)Model1 上段 推定値 下段 実績値($r=2.6$)

終点 起点	北区	上京区	左京区	中京区	東山区	下京区	南区	右京区	伏見区	計	α_j
北区	10850	6038	2101	6305	862	3899	1208	2148	389		1745.3
	10361	5938	2235	6216	831	3852	1552	2348	468	33801	(-452.84)
上京区	1781	14415	1739	7315	840	4047	1145	1893	326		776.91
	1996	14534	1711	6672	816	3399	1447	2434	492	33501	(-362.16)
左京区	1694	5310	20619	9606	2342	5663	1789	2270	703		1234.4
	1952	5411	20698	9116	2267	5293	2041	2311	906	49995	(-335.27)
中京区	637	3173	1184	17019	1094	5400	1126	3770	450		424.56
	863	2755	1259	17445	880	4709	1897	3501	546	33855	(-545.25)
東山区	647	1829	2254	6792	18486	6220	3597	1483	1617		544.22
	585	1939	2318	6970	18611	6075	3180	1771	1476	42925	(-548.97)
下京区	399	1614	796	6074	1543	27982	2959	2450	800		328.63
	441	1352	817	4918	1321	29161	3265	2559	782	44616	(526.55)
南区	244	1071	585	3414	1050	6173	16498	1413	656		4461.1
	311	930	631	3107	991	4942	17072	1986	1134	31104	(-1343.0)
右京区	1667	3479	2083	8997	911	5526	4175	30180	481		2892.1
	1393	3805	1443	10477	1034	7269	3300	28151	627	57499	(-3054.9)
伏見区	529	1606	1204	4600	2233	4975	5578	990	31158		2886.9
	545	1872	1454	5203	2610	5185	4320	1535	30149	52873	(-3500.5)
計	18447	38536	32566	70124	29361	69885	38074	46596	36580	—	—
β_i	-720.74 (1220.5)	-316.47 (247.83)	431.71 (989.83)	686.25 (-508.52)	-847.84 (2090.3)	545.01 (-109.07)	-864.19 (504.92)	-3315.8 (6018.2)	-3347.3 (5353.0)	—	—

 $(E=4981.0)$

慎重に行なう必要がある。

b) モデル2 昭和35年の発生、集中量 T_{ij}, U_{ij} と所要時間 r_{ij} を用いて条件式(22), (23)を満足する $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ を求め、式(19)により推定値 t_{ij}' を求めた。先の場合と同様に、 r を 0.5 から

0.10 きざみに 3.20 まで変化させて最も適合度のよい推定値を与える値を求めたら $r=2.3$ であった。適合度の尺度は次式(26)で与えられる E を用い、この値、

$$E = \sum_{i,j} (t_{ij} - t_{ij}')^2 / t_{ij} \quad \dots \dots \dots (26)$$

が小さいほど適合度がよいと考えた。つぎにこの r によ

表-9 平均通勤時間 r_{ij} (分)

終点 起点	北 区	上 京 区	左 京 区	中 京 区	東 山 区	下 京 区	南 区	右 京 区	伏 見 区
北 区	16	24	39	33	50	40	55	45	66
上 京 区		9	28	15	35	21	32	33	44
左 京 区			16	30	37	39	48	44	56
中 京 区				9	28	17	27	25	38
東 山 区					13	30	34	50	33
下 京 区						9	24	33	38
南 区							13	39	36
右 京 区								16	66
伏 見 区									12

り昭和 40 年の発生、集中量を用いて OD 交通量を推定してみた。このとき α_j, β_i の一部が負数となったが推定値は実績値に最も近いものだった。すなわち r を 0.1 きざみで変化させる場合は、昭和 40 年も $r=2.3$ のとき実績値に対する適合度が最もよかったです。これは OD 交通量を式(19)で表わすなら、昭和 35 年から 40 年までに OD パターンが変化しなかったと考えられる。表-7,10 に 35 年、40 年の最適推定値と実績値を対応させて示し、それぞれに α_j, β_i を付記しておいた。

このモデルでも、先の場合と同様に α_j, β_i の値は r の変化に対して不規則に変動し、ここに得られたモデル(35 年)のように α_j, β_i がすべて正になるのはめずらしい。しかし、将来交通量の推定値 x_{ij} は r の変化にしたがって単調に増減するので r の最適値を求めることが可能である。またモデル作成の仮定で α_j, β_i はすべて正としたが、適合度の点から考えるとこの仮定は必ら

ずしも満足されてなくてもよいことがわかった。この場合、 α_j, β_i は x_{ij} を予測するための調整係数と考えればよい。また x_{ij} は r_{ij} の影響を強く受けるので、所要時間の推定は慎重に行なう必要がある。

ここで α_j, β_i について少し検討してみよう。モデル 1,2 を適用するとき、 r の変化を 0.2 きざみにすると、同じ r の値に対する推定値 x_{ij} は 0.1 きざみの場合と同値だが、このときの α_j, β_i の値はまったく異なった値となることがわかった。すなわち同じ r_{ij}, r に対して、同じ x_{ij} を与える α_j, β_i がいくつも存在することがわかった。

これはここで扱っているような連立一次方程式の解が唯一つであるという周知の事実と矛盾する。このような不合理の原因は方程式(11)の係数行列式(式(11))を $AX=b$ と表わしたときの $|A|$ の値がきわめて 0 に近い ($-10^{-20} < |A| < 10^{-20}$) ためで、計算機で r_{ij}, r の値を計算する場合に生ずるわずかの誤差が解 α_j, β_i に影響し、このような事が発生したわけである。したがって α_j, β_i が非常に不安定であるが、これから計算される x_{ij} の値は、 r_{ij}, r が一定ならつねに同じ値となるという性質があるので、 α_j, β_i がたとえ負となつても、将来交通量の推定値は妥当性をもつていいと考えてよいだろう。参考のために、もう一組の α_j, β_i を表-7,8,10 に()をつけて示しておいた。

以上よりこのモデルで将来交通量を予測する場合は、現在交通量の分析によって得られた r を用いて行なえば

表-10 京都市通勤人口 OD 表(昭和 40 年) Model 2 上段 推定値 下段 実績値 ($r=2.3$)

終点 起点	北 区	上 京 区	左 京 区	中 京 区	東 山 区	下 京 区	南 区	右 京 区	伏 見 区	計	α_j
北 区	10 697 10 361	6 430 5 938	2 156 2 235	5 638 6 216	989 831	3 784 3 852	1 212 1 552	2 346 2 348	548 468	33 801	81.37 (-188.99)
上 京 区	1 805 1 996	13 614 14 534	1 647 1 711	7 736 6 672	645 816	4 315 3 399	1 653 1 447	1 871 2 434	215 492	33 501	65.43 (-499.36)
左 京 区	1 759 1 952	5 420 5 411	20 924 20 698	8 441 9 116	2 422 2 267	4 874 5 293	2 094 2 041	3 119 2 311	941 906	49 995	106.26 (-371.02)
中 京 区	773 863	2 919 2 755	1 192 1 259	17 475 17 445	847 880	5 280 4 709	2 130 1 897	3 083 3 501	156 546	33 855	120.33 (-907.40)
東 山 区	719 585	2 151 1 939	2 141 2 318	6 564 6 970	18 341 18 611	6 010 6 075	3 304 3 180	1 658 1 771	2 037 1 476	42 925	69.85 (-360.47)
下 京 区	648 441	1 719 1 352	848 817	5 170 4 918	934 1 321	29 343 29 161	3 640 3 265	2 122 2 559	192 782	44 616	144.82 (-879.41)
南 区	331 311	1 283 930	642 631	3 471 3 107	1 037 991	5 054 4 942	16 891 17 072	1 643 1 986	751 1 134	31 104	144.72 (-413.30)
右 京 区	1 191 1 393	3 143 3 805	1 857 1 443	10 876 10 477	1 063 1 034	6 184 7 269	3 123 3 300	29 537 28 151	524 627	57 499	175.75 (-507.16)
伏 見 区	523 545	1 857 1 872	1 158 1 454	4 751 5 203	3 083 2 610	5 041 5 185	4 026 4 320	1 218 1 535	31 216 30 149	52 873	40.37 (-495.74)
計	18 447	38 536	32 566	70 124	29 361	69 885	38 074	46 596	36 580	—	—
β_i	191.96 (687.35)	-1.56 (489.43)	214.75 (947.48)	-19.07 (477.10)	125.77 (754.88)	-26.71 (627.18)	43.62 (499.48)	155.94 (998.64)	200.62 (975.52)	—	—

(E=4 359.4)

よいことがわかる。

c) モデル1,2の比較検討 モデル1には予測式そのものにあらゆる場合を表現できないという欠陥がある。またこのモデルでは r の最適値を求めるために2時点でのOD交通量を必要とし、モデルの予測能力を検討するためには3時点のOD交通量が必要である。これに対して、モデル2では1時点での交通量があれば最適な r が求められ、予測能力の検討には2時点のOD交通量があればよい。京都市の通勤交通量による検討では、昭和35年の r を用いて昭和40年の交通量を予測できることがわかった。

また推定値の実績値に対する適合度については、この例ではモデル2の方がわずかによかったが、両モデルにほとんど差は認められない。

したがってOD交通量の予測モデルとしては、現在OD交通量さえあればよいという簡便性をもつモデル2の方が優れていると考えられる。

5. むすび

都市における将来の通勤・通学輸送需要の発生、集中量を予測するための発生、集中原単位について検討した。

このとき原単位を求める対象として都市全体と、それを構成する小学校学区の2つをとりあげた。これは発生、集中量の予測に際して、前者により都市全体の値を、後者により学区ごとの値を求め、両者を比較検討することによって推定値の精度を上げることを目的としたからである。

つぎに分布交通量の予測モデルを2つ提案し、これらについて検討を行なった。ここに提案した予測モデルは、適切な推定値を与える点でほとんど差が認められないで、簡便性をもつモデル2の方が優れていると考えられる。従来の予測モデル（現在パターン法、重力モデル法）では、予測値と実績値の差が大きい場合にも、モデルを修正し適合度をよくすることはむずかしかった

が、ここで提案したモデルでは、 r および r_{ij} の値を変化させる（平均所要時間 r_{ij} は前もって与えられるものだが、正確な値はわからないので多少修正することは許される）ことにより適合度をよくすることが可能である。しかし、交通量の分布は地理的、社会的、経済的要因が複雑にからみ合った結果現われたものであるから、このモデルで完全に分布状態を表現することは不可能である。

将来において r あるいは r_{ij} の値が変化するような場合は、これらの値の予測が必要となるが、これはきわめて困難である。

最後に、本研究を行なうに際してご指導いただいた京都大学 米谷栄二教授、名古屋大学 毛利正光教授、京都大学 佐佐木 紹教授、大阪経済大学 香川一男講師ならびに資料収集その他でお世話になった京都市統計解析センターの久保 道氏をはじめとする方々と計画局の方々に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 京都市の機能地域：京都市統計解析センター、昭和40年5月
- 2) 全国都道府県市町村人口総覧その1, 2, 3, 4, 5, 6, 7：総理府統計局
- 3) 昭和35年6月7日実施した交通量調査の概要：京都市交通局
- 4) 京都市元学区別統計要覧 1962：京都市行政局統計課、昭和37年4月
- 5) 米谷栄二・明神 誠・溝畠靖雄：交通需要発生の地域原単位、土木学会誌、51卷6号、1966
- 6) 佐々木恒一・小林八一：道路交通量の推定、交通日本社、昭和37年10月
- 7) 計量分析：京都市計画局、昭和41年4月
- 8) 佐佐木 紹：遷移確率法によるOD交通量の推定（簡便法）、道路、No.303、昭和41年5月
- 9) 佐佐木 紹：遷移確率法によるOD交通量の推定（重力モデル法）、道路、No.304、昭和41年6月
- 10) 佐佐木 紹：遷移確率法によるOD交通量の推定（エントロピー法）、道路、No.306、昭和41年8月

(1967. 2. 3・受付)