

東京大都市圏における密度関数を用いた通勤流動の実態分析

A Study on Application of Density Function
to Commuting Flows in Tokyo Metropolitan Area

秋元伸裕*, 原田昇**, 太田勝敏***

By Nobuhiro AKIMOTO, Noboru HARATA and Katsutoshi OHTA

The purpose of this paper is to discuss the possibility of applying the Clark's density function into Tokyo Metropolitan Area using the commuting OD-data of the Population Census of Japan, and then to recognize the nature of commuting flow.

In the result, firstly, by applying the Clark's function we developed the regression model for the density of commuters. Secondly, we identified a lot of characteristics about the structure of commuting in Tokyo Metropolitan Area. And then we found that, with applying density function, we can grasp the macroscopic pattern of commuting flow and make more detailed reports about sectorial nature or interaction of CBD and BCC, and so on.

1. はじめに

首都圏のような、強力な都心業務地域を有する大規模な都市圏においては、都心への便利さと立地費用の関係から、基本的に都心を山の頂上とし、郊外に向かって指数関数的に低下傾向を示す、地価に代表されるような都市活動の分布傾向が知られている。このため、都市活動を反映する人口分布（人口密度分布）や、強力なCBDへの通勤者の分布も同様の分布傾向を示すと考えられる。

ところが、やはりこのような強力な都心部をもつ東京大都市圏において、一点集中構造の弊害として、都心部を中心とする異常な地価高騰、各種都市活動の集中による交通混雑の激化、近郊での住宅取得難

による遠距離通勤の増大等が近年盛んに指摘され、首都圏整備計画などでも、業務核都市の整備のような郊外自立核の育成の必要性を述べている。また一方では、夜間人口・従業員人口の郊外化も進んできつつあり、東京大都市圏の都市構造は、さらに錯綜し複雑化してきている。

ところで、このような都市活動分布を記述して分析する手法として、都市活動を各種人口密度で捉え、その郊外へ向けての指数降下的な分布に、各種の関数モデルを当てはめる研究が、経済学・地理学等の分野も含め古くからなされている。その中で、最も簡単なモデル式の適用のひとつに、C. Clarkの指数関数が知られている。この密度関数は、パラメータの数が少なく設定が容易で、一つの中心をもつ都市圏において、地形的制約などがなく人口が一様に分布できるという仮定のもとでは、比較的良好に当てはまるものとなっている。

* 学生員 工修 東京大学大学院 工学系(都市工学)
** 正会員 工博 東京大学助手 工学部都市工学科
***正会員 Ph.D 東京大学助教授 工学部都市工学科
(〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

また、この後で提唱されたさまざまな関数形も、この密度関数を改良したり、パラメータを増やすなどして発展させた形となっているものが多い。例えば、奥平の文献¹⁾にあるように、簡単な式形であるがゆえの単調な減少傾向の記述から、少しでも現実の都市に近づけるように、変曲点や極大点をもたせて都心部の密度減少や郊外の密度増加を表そうとしている。

さらに、指数関数形のものが雇用中心の郊外分散状況を記述しにくい面を改良するため、距離帯別に分割した関数形や、3次関数の結合などを用いたもの等がある²⁾。このほかにも、さまざまな関数形を用いた記述が提案できるが、Clarkの密度関数ほど容易には適用できない。そこで、パラメータ推定が容易なClarkの密度関数を、都市圏内の各ゾーンにも適用して、都市圏全体の都市構造をこれらの指数関数の和によって表し、郊外の雇用中心の分布状況を記述しようとする多中心モデルの試みもなされている⁴⁾。

この多中心モデルでは、扱う密度指標が夜間人口密度や従業密度のような、個々の都市が1つの指標で表されるものではなく、従業地と常住地の結びつきに着目して、通勤者数を常住地の面積で除した密度をもって、個々の中心(従業地)への通勤者分布の記述を試みている。東京大都市圏は、一極集中構造をもちながら、郊外に雇用中心が育ちつつあり、このような構造を多中心で捉えるには、個々のモデル式が単純なClarkの指数関数を用いることが適切であると考える。

本研究では、東京大都市圏における市区町村単位の国勢調査ODデータへClarkの密度関数をあてはめ、そのパラメータの設定状況の特性から適用性を考察する。そして、筆者が行った国勢調査の分析結果⁵⁾から把握した、都心、副都心、および業務核都市などへの通勤流動の特徴を、密度関数によってどのように表現できるかを検討して、実際の都市圏構造の把握と問題点の抽出を目的とする。

2. 東京大都市圏への密度関数の適用

(1) データと対象圏域

市区町村単位のODデータを実数で捉えるため、国勢調査の従業地データを用いるが、以前行った分

析と同様昭和45年と60年の2時点を扱う。対象圏域は、50km圏よりも広く、かつ東京都心部への通勤流動をほぼ完全に包含し、核都市への通勤も無理が少なく捉えられる、国勢調査「大都市圏の人口」による東京70km圏：東京大都市圏(図1)を対象とする。

対象圏域は1都7県に跨がり、市区町村数は292(ただし昭和45年に合わせて、川崎市は1市扱い)である。

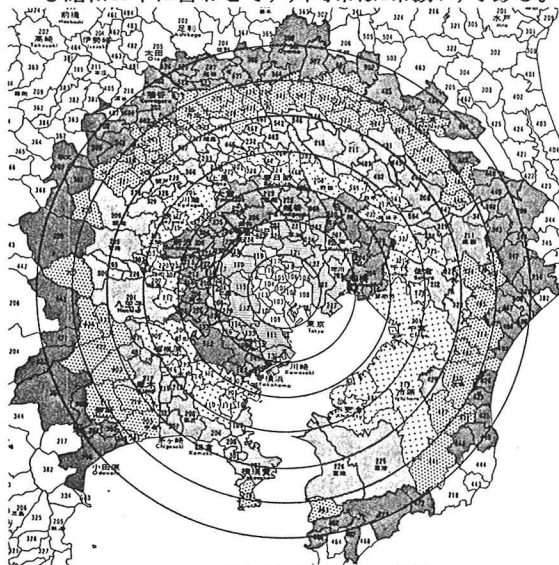


図1. 対象圏域(出典:文献8))

各市区町村での従業者のうち、70km圏内に常住している比率を確認しておくとして表1のようになり、全292都市中、昭和45年では90%以上が287都市、60年の場合は90%以上が272都市となり、90%未満の都市はいずれも70km圏の外縁部に位置している。

表1. 各市区町村従業者の70km圏内常住率

70km圏内常住率	市区町村数	
	45年	60年
80～85%	1	5
85～90%	4	15
90～95%	15	35
95～99%	178	166
99%以上	94	71
合計	292	292

(2) C. Clarkの密度回帰式

本研究では、次のように密度回帰式を適用する。

$$\rho(x) = \rho_0 \cdot \exp(-\beta x)$$

x : 従業地からの直線距離[km]

$\rho(x)$: 従業地から直線距離 x km離れた常住地の通勤密度[人/km²]

ρ_0 : 従業地における(外挿)通勤密度(ここでのY切片)

β : 密度勾配

ただし本研究では、通勤密度を、通勤OD数をその常住地Oの全域面積で割った値として定義する。また、直線距離は、各ゾーン(市区町村)の中心座標を、鉄道駅や役場を中心に設定し、この間の直線距離とした。また自ゾーンに常住する従業者に与える距離は0ではなく、ゾーン面積に応じた補正距離として $(2/3) \cdot (\sqrt{S/\pi})$ を与えた。

(3) 東京大都市圏各ゾーンへの適用

密度関数は、ある従業地へ向かう、常住地ごとの通勤密度の実績値分布で決定されるので、規模がある程度大きくないと、通勤者の常住地分布が広がらなかったり、距離との関係が明確に表れてこないことが考えられる。そこでまず、このように定義した密度関数を、70km圏内の各市区町村を従業地として292式設定し、それぞれの回帰式の特性を調べた。

図2～4に、回帰された各密度関数についての自由度調整済決定係数・切片・勾配(45年、60年)と、それぞれの場合の各ゾーンの従業規模を表す値としての従業密度(全従業者数をその面積で割ったもの)との、関係を示す。

自由度調整済の決定係数をみると、概ね従業密度が500～1000人/km²より少ないと大きくばらついている。この規模では、常住地が少ないがために決定係数が上がったり、あるいは指数回帰が意味をもたなかったりする場合との区別ができないと考えられる(図2-a, b)。

一方、Y切片の場合は、モデルによる従業密度の推定値でもあり、実績値との比例関係が予測できるが、これも密度500人/km²より小さいとばらつきが大きくなり、1000以上の部分で見られる比例関係から大きくはずれている(図3-a, b)。

また、勾配の場合も、小従業規模部でのばらつきが大きくなっている(図4-a, b)。経年的には、60年では決定係数や各パラメータのばらつきは縮小しているものの、規模に対する傾向は類似している。

表2-aに、従業規模の階級ごとの、各モデルの切片のt検定の結果について、頻度分布をまとめた。従業密度500人/km²以上のものは、ほぼすべて有意であり、これは勾配(表2-b)でも同様である。

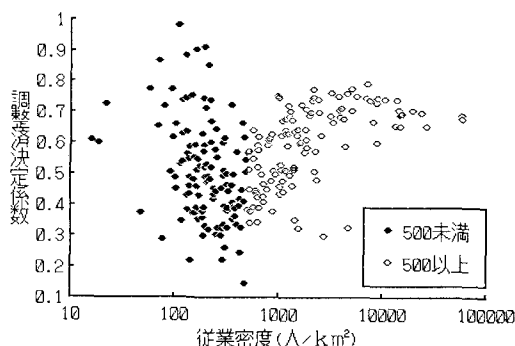


図2-a. 従業密度と決定係数の関係(45年)

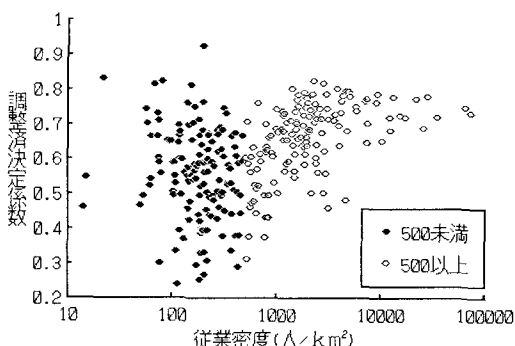


図2-b. 従業密度と決定係数の関係(60年)

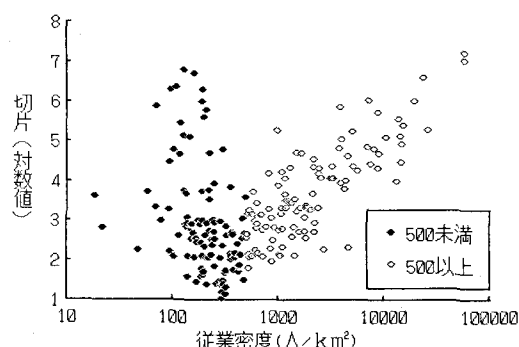


図3-a. 従業密度とY切片の関係(45年)

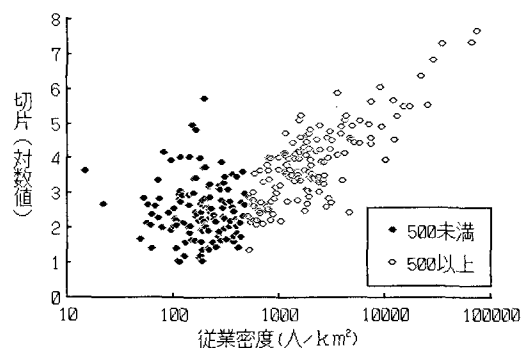


図3-b. 従業密度とY切片の関係(60年)

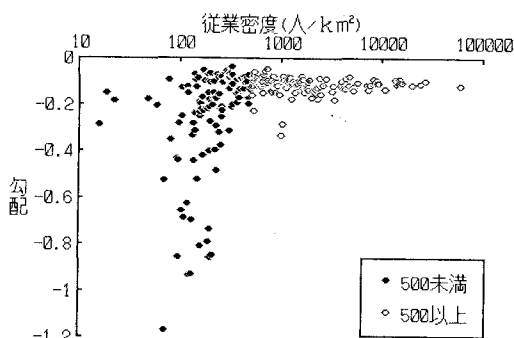


図4-a. 従業密度と勾配の関係(45年)

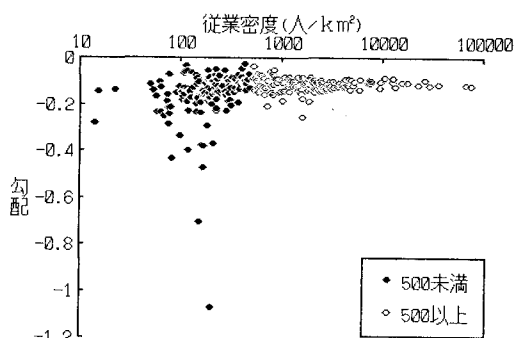


図4-b. 従業密度と勾配の関係(60年)

表2-a. 従業密度階級別, Y切片のt検定結果

従業密度 [人/km²]	t検定による有意水準				階級合計
	99%以上	95~99%	90~95%	90%未満	
- 100	4 (15.4) 12 (42.9)	7 (26.9) 6 (21.4)	4 (15.4) 3 (10.7)	11 (42.3) 7 (25.0)	26 (100.0) 28 (100.0)
100- 500	69 (47.6) 97 (80.8)	29 (20.0) 18 (15.0)	20 (13.8) 3 (2.5)	27 (18.6) 2 (1.7)	145 (100.0) 120 (100.0)
500- 1000	32 (94.1) 36 (100.0)	1 (2.9) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	1 (2.9) 0 (0.0)	34 (100.0) 36 (100.0)
1000- 5000	59 (100.0) 83 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	59 (100.0) 83 (100.0)
5000-10000	10 (100.0) 9 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	10 (100.0) 9 (100.0)
10000-	12 (100.0) 12 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	12 (100.0) 12 (100.0)

注) 上段:45年, 下段:60年, ()内は階級内合計に対する比率。

表2-b. 従業密度階級別, 勾配のt検定結果

従業密度 [人/km²]	t検定による有意水準				階級合計
	99%以上	95~99%	90~95%	90%未満	
- 100	5 (19.2) 15 (53.6)	8 (30.8) 7 (25.0)	7 (26.9) 3 (10.7)	6 (23.1) 3 (10.7)	26 (100.0) 28 (100.0)
100- 500	77 (53.1) 108 (90.0)	32 (22.1) 10 (8.3)	9 (6.2) 2 (1.7)	27 (18.6) 0 (0.0)	145 (100.0) 120 (100.0)
500- 1000	32 (94.1) 36 (100.0)	1 (2.9) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	1 (2.9) 0 (0.0)	34 (100.0) 36 (100.0)
1000- 5000	59 (100.0) 83 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	59 (100.0) 83 (100.0)
5000-10000	10 (100.0) 9 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	10 (100.0) 9 (100.0)
10000-	12 (100.0) 12 (100.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	0 (0.0) 0 (0.0)	12 (100.0) 12 (100.0)

注) 上段:45年, 下段:60年, ()内は階級内合計に対する比率。

このように、東京大都市圏における市区町村単位の密度曲線は、概ね従業密度500人/km²の市町村に対して、高い適用性をもっていると言える。500人/km²以上のゾーンの概要は表3のようになり、45年で70km圏内従業者の86%、60年で89%を説明することになり、概ね70km圏の流動パターンを把握できる。

表3. 従業密度500人/km²以上のゾーンの概要

	45年	60年
70km圏292ゾーン従業者数	1213万	1518万
500人/km²以上ゾーン数	115	140
上記ゾーン内従業者合計	1043万	1354万
比率 (%)	85.9	89.2

3. 密度関数のOD分析への適用

次に、密度関数を実際のゾーン間ODデータに当てはめてみる。まず、都心・副都心・核都市に対し実際に実績値と回帰曲線の関係性を調べ、その回帰曲線の特性を考察する。また、これら以外の従業地に

対する回帰曲線の状況も概観し、最後に回帰曲線を用いて、都心と核都市の間の相互の影響を調べる。

(1) 実績値と回帰曲線の関係

千代田区(都心)、新宿区(副都心)、浦和市(核都市)について、昭和60年の実績値と回帰曲線を示すと図5-a~cのようになる。全般的に、直線距離が大きいほど回帰曲線からの乖離が大きくなる。これは、従業地から遠く離れるに従って、通勤密度を直線距離だけでは説明し切れなくなる度合いが大きくなるからである。交通条件の善し悪しや方面別の違いが考えられる。

このことは、標準化残差(残差をその標準偏差で除したもの)の分布をみるとはっきりする。図6-a~cのように、各従業地をターミナルとする放射鉄道路線を中心として、鉄道の利便性の高い地域では実績値の方が大きく(正值)、逆に鉄道の不便な地域では推定値の方が大きく(負値)になっている。

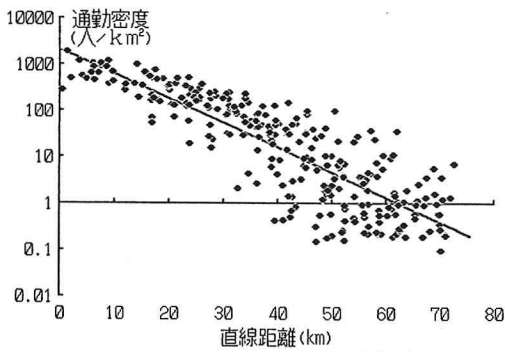


図5-a. 千代田区の密度曲線(60年)

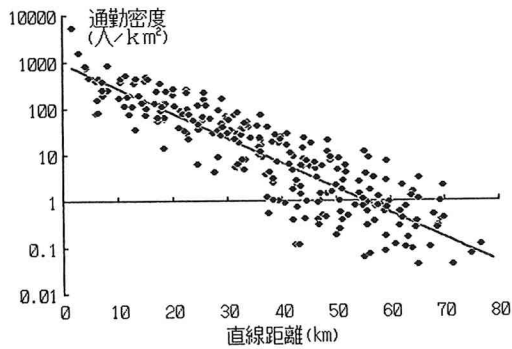


図5-b. 新宿区の密度曲線(60年)

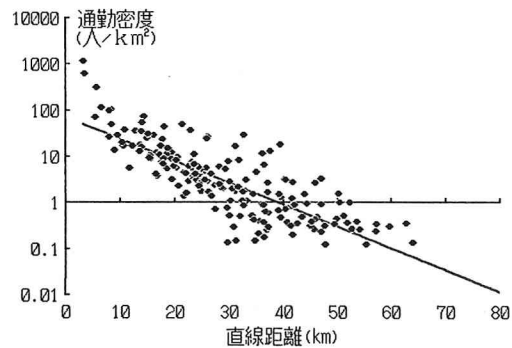


図5-c. 浦和市の密度曲線(60年)

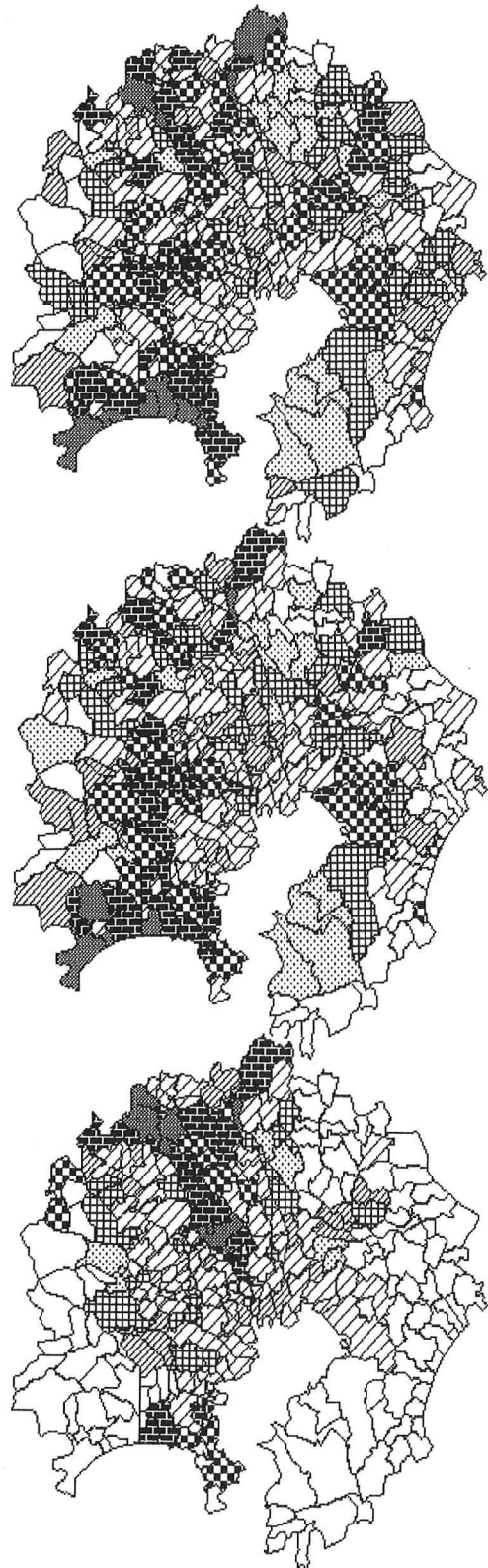
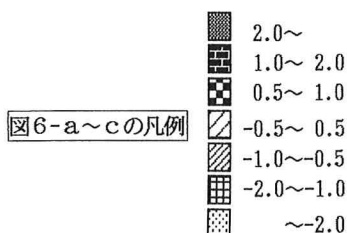


図6-a(右段上). 千代田区の標準化残差分布(60年)

図6-b(右段中). 新宿区の標準化残差分布(60年)

図6-c(右段下). 浦和市の標準化残差分布(60年)



(2) 回帰曲線の特性比較

次に、東京70km圏内の主要従業地である、東京都心3区（千代田・中央・港区）、副都心3区（新宿・渋谷・豊島区）、および首都圏整備計画等で業務核都市として位置づけられている都市のうち、都心からみた方向が異なる4つの都市（横浜市・立川市・浦和市・千葉市）に対する実際の回帰曲線の特性を、経年変化も含めて比較・考察する。なお横浜市については、以前行った国勢調査データの分析⁵⁾で従業者吸引力の強かった、西区および中区だけを、まとめて横浜都心として扱った。

都心3区では、決定係数は、いずれも昭和45年に0.68前後であったが、60年には0.70を上回っている。都心3区はいずれも勾配の変化が少なく、切片が上昇して各回帰曲線が上方にスライドした形となっている。その中で、港区の切片の増加が2倍以上と最も大きく、この15年間の通勤者の増加が大変激しかったことがわかる(図7-a、表4-a)。

副都心の場合、決定係数はいずれも上昇し、また3区とも切片の増加が大きい。特に、新宿・渋谷では2倍以上になっている。勾配の変化はあまり大きくないが、都心3区のうちの港区と同様、近距離帯での増加の度合いが強く、先の千代田、中央のように遠距離帯での増加が大きいのは、傾向が異なる(図7-b、表4-b)。つまり、東京都心のうち、千代田・中央区はすでに大きな従業者吸引力をもち、郊外化が進行してきているが、逆に港区や副都心3区は、遠距離帯での増加も大きい、これよりも近距離帯での増加が激しく、従業者吸引力がより強くなって、高密度が進んできていることになる。

4つの核都市を比較すると、決定係数が45年の時点で比較的大きく、これが減少傾向を示した横浜と、45年の時点で小さかった決定係数が、60年で増加傾向を示した他の3都市とは、変化の傾向が異なる。横浜では、切片の変化がほとんどなく、勾配が緩やかになって、通勤密度の増加は遠方のゾーンが中心である。他の3都市では、切片が増加し、かつ勾配が急になっており、近距離帯での通勤密度の上昇が顕著である(図7-c、表4-c)。都市間で比較すると、千葉の勾配が最も緩やかで、次いで浦和である。これらは、横浜2区に比べ市域の面積が大きく、従業密度が低くなるとともに、立川に比べて遠方から

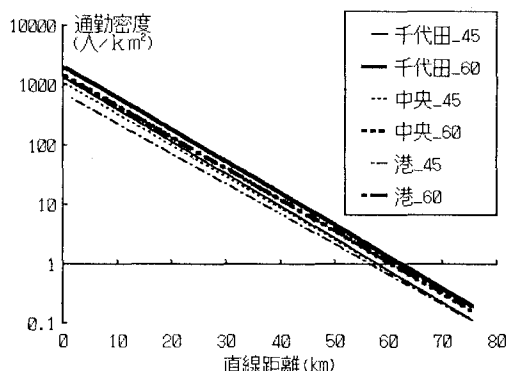


図7-a. 都心3区の密度曲線

表4-a. 都心3区の密度回帰・経年変化

項目\区名 年度	千代田		中 央	
	45	60	45	60
決定係数	0.6722	0.7305	0.6845	0.7465
Y切片	1339.1	2092.0	1100.3	1508.8
勾配	-0.1241	-0.1222	-0.1213	-0.1208

項目\区名 年度	港	
	45	60
決定係数	0.6926	0.7200
Y切片	718.7	1430.5
勾配	-0.1162	-0.1188

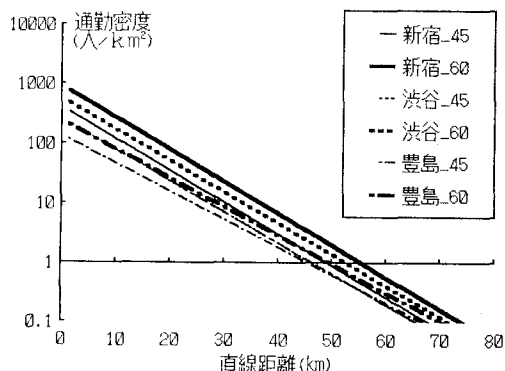


図7-b. 副都心3区の密度曲線

表4-b. 副都心3区の密度回帰・経年変化

項目\区名 年度	新 宿		渋谷	
	45	60	45	60
決定係数	0.7007	0.7780	0.7358	0.7718
Y切片	397.7	907.5	254.5	563.1
勾配	-0.1221	-0.1225	-0.1195	-0.1202

項目\区名 年度	豊 島	
	45	60
決定係数	0.6844	0.7184
Y切片	134.4	236.8
勾配	-0.1076	-0.1103

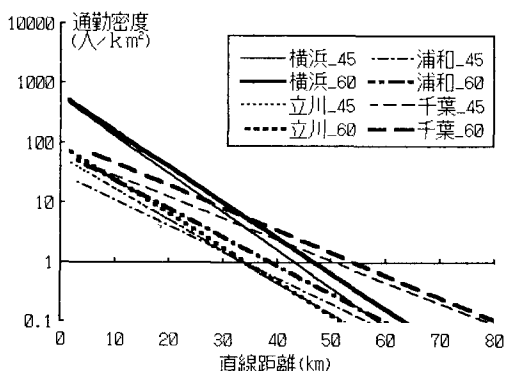


図7-c. 四核都市の密度曲線

表4-c. 4核都市の密度回帰・経年変化

項目\区名 年度	横浜 45	西・中区 60	立川 45	川 60
決定係数	0.7621	0.7539	0.6191	0.7120
Y切片	575.3	619.5	57.8	89.9
勾配	-0.1466	-0.1370	-0.1208	-0.1306
項目\区名 年度	浦和 45	60	千葉 45	60
決定係数	0.4919	0.6477	0.6087	0.6519
Y切片	30.2	70.7	64.0	110.6
勾配	-0.1000	-0.1092	-0.0820	-0.0866

の通勤密度も高く、相対的に勾配が緩やかになっているためと考えられる。両者とも近距離帯での増加が激しいため、郊外化ではなく高密度化が進展してきたことがわかる。

都心や核都市のように、従業規模の大きな都市に対する密度関数曲線は、その通勤者の分布距離帯状況の変化を、マクロ的な視点で捉えることができる。

(3) 従業規模の小さな都市への適用

従業規模が核都市よりも小さいが、45～60年の間で大きな従業者増加傾向を示した(参考文献⁵⁾)都市の回帰曲線の状況を調べる。このうち、厚木市と成田市についての回帰曲線は図8-a, bのようになり、各パラメータの変化は表5のようになる。厚木は60年時点での従業密度が500人/km²以上であるが、成田はこれより小さく、これが点のプロットで示される通勤者発生都市の数の差に現れている。両者とも決定係数があまり高くないが、厚木では近距離で増加し、成田では遠距離で新たに通勤者が発生して大きく増加している。この傾向は、ある程度指数曲線で表現できているものの、全体にばらつきが大きく、直線距離による説明力はあまり高くない。

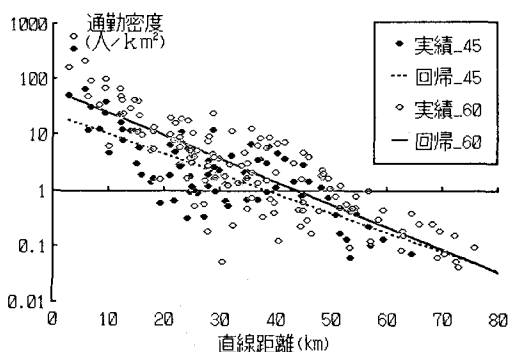


図8-a. 厚木市の回帰曲線

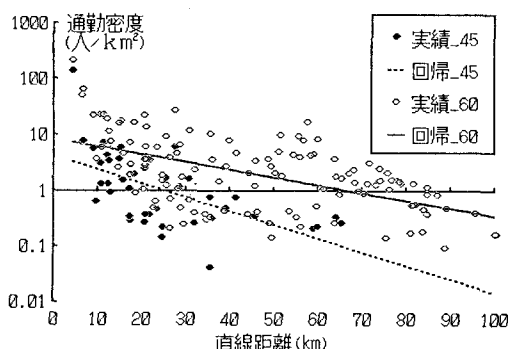


図8-b. 成田市の回帰曲線

表5. 厚木、成田の密度回帰・経年変化

項目\区名 年度	厚木 45	60	成田 45	60
決定係数	0.5674	0.6857	0.3486	0.2890
Y切片	22.84	62.44	4.14	8.19
勾配	-0.0814	-0.0943	-0.0567	-0.0316

(4) 方向別分析への適用

このように C.Clarkの密度関数を用いると、鉄道などの影響のほかに、都心等の場合放射鉄道路線による郊外化の進展の度合いの差なども、地理的分布として把握できる。そこで、多中心モデルとして適用している特性を生かして、複数従業地間相互の影響を分析することが考えられる。

次ページの図9-a, bは、東京都心部から放射鉄道に沿って、対象地域をセクター分割し、千代田区と浦和市への通勤ODデータを、方向別に密度関数にあてはめて、その曲線を並べたものである。セクター4は浦和市を含む、JR東北・高崎線方面のセクターであるが、60年における浦和市のY切片の成長を比較すると、千代田区のある都心側での分布が、郊外側よりも抑制されていることが、回帰曲線によって示されている。

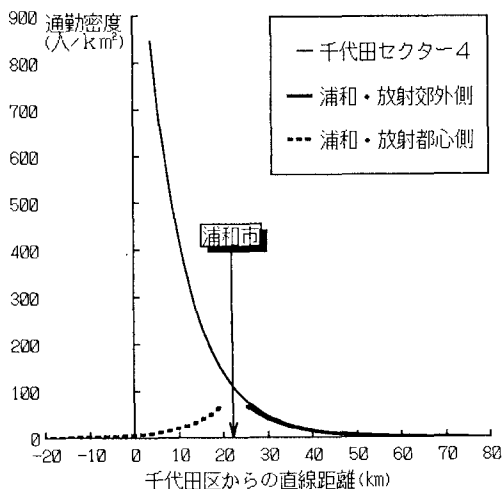


図9-a. 千代田区と浦和市の密度曲線(45年)

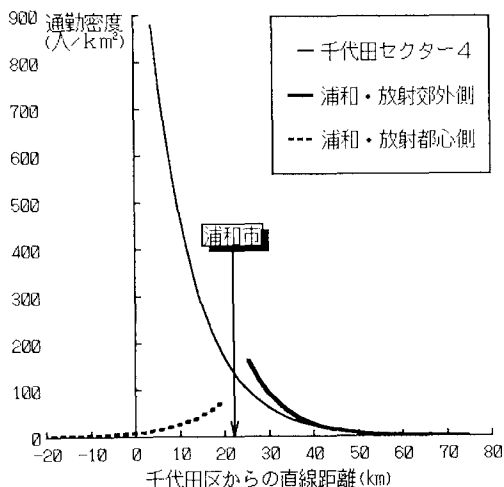


図9-b. 千代田区と浦和市の密度曲線(60年)

表6. 千代田区セクター4, 浦和市放射方向回帰結果

項目\区名 年度	千代田セクター4 45	千代田セクター4 60		
決定係数	0.7585	0.7437		
Y切片	1312.8	1317.8		
勾配	-0.1120	-0.1029		
項目\区名 年度	浦和・放射郊外側 45	浦和・放射郊外側 60	浦和・放射都心側 45	浦和・放射都心側 60
決定係数	0.5049	0.6404	0.8349	0.8362
Y切片	94.67	244.32	94.65	100.89
勾配	-0.1081	-0.1264	-0.1302	-0.1144

4. まとめと今後の課題

本研究により, 明らかとなった点を以下に示す。

- ① クラークの密度関数を東京大都市圏のODデータの密度(通勤密度)に適用すると, 概ね従業規模500人/km²以上の都市で有意な回帰式が得られる。
 - ② 特に都心・副都心や核都市など, 従業規模の特に大きな都市に対しては, 地理的条件や交通条件によるばらつきはあるが, 従業者の常住地の分布傾向やその変化を, マクロに記述・把握することができる。
 - ③ 逆に, 残差により, 地理的条件や交通条件の, 都市による差を把握することができ, これを利用して放射方向別の特徴を分析したり, 問題点を明示することができる。
 - ④ また, 多中心として設定しているため, 複数従業地間の影響にも考察を加えられる。
- また, 今後の課題としては, 以下等が考えられる。
- ① クラークの密度関数の特徴を生かした, 都心部のセクター別分析や, 核都市の方向別分析。
 - ② 多中心モデルとして, 都市圏全体に適用した場合の説明力の考察。
 - ③ 直線距離ではなく, 時間距離を用いることによる, 方向別の変動の平準化, 説明力の向上。
 - ④ その他のモデル式の適用性検討。

—主要参考文献—

- 1) 奥平耕造: 都市工学読本, 彰国社, 1976
- 2) HANI S. MAHMASSANI M. HADI BAAJ & CHEE CHUNG TONG: Characterization and evolution of spatial density patterns in urban areas, *Transportation* 15, 1988
- 3) C. CLARK: Population growth and land use, 2nd Ed.
- 4) 今岡・太田・原田: 通勤交通からみた東京都市圏の空間構造に関する研究, 第44回年講, 1989
- 5) 秋元・新谷・太田: 通勤交通からみた東京都市圏における常住地・従業地特性の研究, 土木計画学研究・講演集No.12, 1989
- 6) 秋元・新谷・太田: 首都圏における主要従業地への通勤者の常住地分布の実態分析, 第45回年講, 1990
- 7) 広瀬盛行: 東京大都市圏の地域構造と通勤交通, 土木計画学研究・講演集No.11, 1988
- 8) 総務庁統計局: 昭和60年国勢調査摘要データシリーズNo.2「大都市圏の人口」, 1989