

通勤鉄道の都心到達時間による 都市人口の推移の考察

柴垣 寛¹

¹正会員 東武計画株式会社 技師長 (〒131東京都墨田区向島1丁目32-3)

本研究は首都圏における通勤鉄道の開発に際して、その採算性に大きく影響を与える定住人口の予測を数量的に求めるために、都心への通勤時間や、そのほかの要因について重回帰分析法によって解析をおこなったこれらの要因を用いると、沿線の都市の人口の推移が実際の変化とよく適合し予測が可能となった。これを応用することによって通勤鉄道の採算性を向上するための方策として、通勤鉄道は線形の改良や速度向上などによって都心への到達時間の短縮をはかれば、沿線居住人口の増加と利用客の増加の程度を数量的に予測されるようになって、通勤鉄道の採算性に寄与することを数量的に確かめられるようになった。

Key Words: *commutation railrord, population density by commutation time, multiple regression analysis with weight*

1. はじめに

大都市圏において通勤・通学のために利用されている近郊鉄道は地域に多大の便益を供すると同時に、その運行速度の向上といった効用によって、沿線の都市の定住人口に多大な影響を与えている。この種の鉄道は沿線の定住人口によって輸送需要が大きく影響を受けているため、採算性の検討には、運行速度の向上によって増加が予測される沿線の定住人口の経年の変化を求めることが大切である。既に都市の定住人口の変動については様々な角度から分析がなされているが、本研究では考える範囲にわたって予測した総人口を配分し、解析をするものとは異なって、輸送手段としての近郊鉄道の運行速度が沿線都市の定住人口にどのような経過で数量的な変化をもたらしているかを線区単位で予測することを目的とする。

これには沿線の定住人口を人口密度で考えることが望ましく、人口密度を都心迄の距離によって表すC.Clarkの密度関数¹⁾によって解析する方法もあるが、本研究では人口密度に大きな影響を与える因子として都心までの時間距離であることが既に発表²⁾されていて、時間距離を用いた解析方法が実情にたいしてあてはまりが良いために時間距離を第一の要素として検討する。しかし大都市圏内の人口の分布とその経年変化を表すためには都心までの時間距離だけでは都市交通の輸送改善といった条件の変化を反映させるには不十分であるので、他に都

市の面積、鉄道線路数を変数として考慮して都市の人口密度の分布と経年変化を重回帰分析法によって検討する。

都市の人口密度の(時系列)変化については国沢・堀部のデータ貼り合わせ法によって解析³⁾された例も報告されていて、人口密度の経年変化について時系列をずらして重ね合わせることによって求めている。この時系列によって求めた都市の人口密度については衰退・急増・飽和・過飽和・その他の5項目にわけて論じてあるが、その現象の原因については触れられていない。本研究では通勤鉄道の沿線の人口密度は都心への輸送条件である都心迄の到達時間と鉄道線路数等の社会情勢によって変化しているという観点にたっているため、そのままでは応用が困難である。

また都市の人口密度については鉄道が整備されることによって、鉄道沿線の自治体単位の人口の伸びは長期間のデータの解析によって、正の相関⁴⁾があることと、それとは別に都心部における居住人口は、ある経過年数後には飽和状態になって静止状況、または減少に向かっていくことは既に発表³⁾されている。このような人口の変化の原因には触れられていないため、鉄道の運行速度の向上によるものか、否かは明らかではない。

都市の人口密度が年数の経過に伴って徐々にある種の均衡状態である飽和人口密度に接近する考えは既に都市の人口の推移を実際にロジステック曲線をあてはめて検討をした例⁵⁾が報告されているが、鉄道の運行速度の向上といった都市の動的な変化の影響には触れられていな

い。

また都市は年数の経過にともなって人口が増加し、やがて停滞し、減少に向かっていく場合がよく見受けられるが、この点については人口の社会増加率の観点から人口密度は平準化されるとして都心部の減少と郊外部の増加の傾向を説明⁶⁾している。これについては都市の与えられている条件の変化（例えば都心までの到達時間の短縮）による影響について触れられていない。

本研究では都市の与えられている条件の変化として、都心までの到達時間や鉄道線路数が大きな影響を持ち、さらに社会情勢の変化も数量的にあらわすことの可能性を追求したものである。これによって求めた都市の人口の予測は鉄道の経営改善の判断に必要な数値を与えるものである。

2. 都市人口の変化の状況

(1) 通勤鉄道と沿線都市定住人口

首都圏においては第二次大戦後、人口の集中に伴って業務活動のための輸送機関として通勤・通学鉄道の役割は大きく、その改良、建設がなされている。しかし初期投下資本が多額のため、その整備状況はなかなか進捗をみていない。しかも鉄道運賃が政策的に抑えられていることもあって、鉄道事業者はその採算性を確保するために苦慮している。一方社会資本整備の観点からは、都市近郊鉄道を建設することによって、地域の開発が期待されている。しかし鉄道新線そのものの採算性を向上させる具体的方策として考えられている鉄道運行速度の向上による輸送量の増加の数量的な解明は十分ではない。通勤・通学輸送を担う大都市圏鉄道の速度向上による鉄道旅客の増加の予測については、昭和40年前半頃までは輸送改善としては線路増設や車両編成両数の増大、列車増発に重点がおかれ列車の運行速度の向上までは手が回らなかったため、運行速度の向上による輸送量の変化については、実績値が少なく比較するデータが少なかった。しかし、昭和40年代になって首都圏の通勤鉄道の整備も進み、輸送改善の際に運行速度の向上が図られた区間でできて鉄道運行速度の違いを示すようなデータも揃ってきている。

第二次大戦の終了後日本経済の発展と共に首都圏の人口は伸び率に変化はあるものの一貫して増加している。しかし、個々の都市についてみると昭和40年代に入るまで緩やかな増加や減少を示している都市もあれば、ある時点から突然に著しい増加傾向に転じた都市もある。その傾向については、昭和39年より住民登録による定住人口の調査^{7)・8)}が全国的に発表されるようになって、数的に明瞭になってきた。一方東京都心については昭和50年頃より定住人口については増加が頭打ちとなりさら

に以後の人口は徐々に減少しその傾向が止らない区域もある。その理由として都心における業務要請の増加によって居住条件が悪化し、昼間人口は著しく増加しながら定住人口（夜間人口）が減少している。

首都圏における通勤・通学人口は都心に向かって流動しているが、一ヶ所に集中しているわけではない。都心の考え方として従業地中心をとって外挿通勤密度を用いる例¹⁾もあるが、ここでは都心として広がりをもった地域を考える。東京都の昭和45、50、55年の国勢調査⁹⁾によると、都の中心部の千代田、中央、港、新宿、文京、台東、墨田、江東、品川、渋谷、豊島の11区は昼間人口が定住人口である夜間人口を上回っている。これらの各区には業務機関及び教育機関が多く存在し、これらに通ってくる人口が多く、都心業務機能を果たして、都心を形成している地域とみなすこととする。本研究では都市までの到達時間として仮想中心を用いずに、これらの各区をほぼ囲むJ R山手環状線の各駅と、東側の浅草、押上、錦糸町、東陽町の各駅を都心入り口駅とし郊外の都市からの鉄道の到達時間をパラメータとして用いる。これらの各駅はターミナル機能を持ち、通勤用の急行電車、快速電車などの停車駅となっており、通勤・通学者はこれらの駅を経由してそれぞれの目的地にむかっている。従ってこれらの都心内部の交錯する交通需要は別個のもののみとし、本研究から除いて考える。

そこで大都市を中心として周辺に位置する集落・地域を自治体ごとに一つの単位として衛星都市¹⁰⁾と定義をする。これは一部に用いられている職住を一体化して、大都市とは独立している都市を示すものとは異なっている。首都圏のこれらの衛星都市については昭和40年代後半になるとその増加傾向が頭打ちとなって緩やかな増減を繰り返している都市もあれば、都心への通勤条件の改善として、線路新設、増設、鉄道運行速度の向上によって都心への到達時間の短縮がなされ、居住人口の増加傾向が上向きになっている都市もある。この点については鉄道が整備されることによって、鉄道沿線の自治体単位の人口の伸びは、ある経過年数後には飽和状態になって静止状況、または減少に向かっていることは、すでに発表³⁾されている。

この通勤条件の改善による沿線の人口推移については、通勤鉄道の線路増設による輸送力の増強をはかられたが、通勤時間の短縮がさほどはかられなかった線区と、輸送改善によって通勤時間の短縮がはかられた線区によって大きな差異があることは、既に発表¹¹⁾したとおりである。

(2) 衛星都市の人口の推移の形

首都圏における通勤鉄道の建設や改良を計画する際に、将来人口の推移の予測が重要な項目の一つである。都市

の定住人口としては住民登録人口がそれに相当している
ので過去のデータを調べてみる。衛星都市の住民登録人口は地域の開発や都心へのアプローチの改善、あるいは居住条件の変化によって増加したり、減少したり、あるいは変化の少ないといった様々な状況を示している。人口の推移を時系列としてとらえると、現在では指数曲線とされ増加にしろ減少にしろ数式的に示されるとされている。

指数曲線としては修正指数曲線、成長曲線、ロジスティック曲線⁵⁾等も予測に用いられている。定住人口の予測には、社会的な観点から居住可能な極限值が存在し、かつそれが既知であるならば応用することは適当と考えられる。しかし、都市の定住人口の極限值は簡単には求められないし、極限值についても都市の内的あるいは外的条件の変動によって変化していると推測される。しかし、ある時点では都市の与えられた条件のもとで、居住可能な人口には極限值が存在しているものと仮定し、その極限値を飽和人口と見做し、その時の人口密度を飽和人口密度と仮称し、都市の人口密度は年数の経過に従って飽和人口密度に接近すると仮定する。この際衛星都市の人口密度に影響を与える大きな因子として都心までの時間距離であることは既に発表²⁾されている。そこで衛星都市から都心入り口駅までの到達時間を t ¹²⁾ とし、衛星都市のゾーン中心として自治体庁舎の最寄り駅または急行電車や快速電車の停車駅（多くの場合一致している）から都心入り口駅としてJR山手環状線上の各駅及び浅草、押上、錦糸町の各駅をとり、平日の朝の通勤時間帯の急行電車など速度の高い電車の運行時間を用いる。

この t については費用としての運賃を考え、一般化費用として考察することもあるが、現在通勤費用が使用者負担が殆どである点から、通勤旅客の経路の選定には通勤時間の最短を主としているため、時間に限って検討を進める。

(3) ロジスティック曲線のあてはめの实例

都市の人口密度が飽和人口密度に接近する考えは既に衛星都市の人口の推移を実際にロジスティック曲線をあてはめて検討をした例¹³⁾が報告されている。そこで首都圏においていくつかの衛星都市を選びロジスティック曲線をあてはめて計算し、实例と比較をした。期間については住民登録の制度が確立し統計がそろいだした昭和39年から平成4年までの住民登録人口調査^{7), 8)}より人口密度を求めて試算をおこなった。サンプルとしては人口密度については東京の都心に近く緩やかな変動を示している都市として東京都杉並区、都心より離れ比較的はやくに増加を示した都市として東京都立川市、時間的に遅れて急激に増加を示した都市として千葉県柏市を選んだ。

ロジスティック曲線のあてはめは、次の式¹⁴⁾によった。

$$y = \frac{a}{1 + m \exp(-bx)} \quad (2.1)$$

ここに

y : 時系列データ (ここでは人口密度)

a : 極限值 (飽和人口密度に相当する)

m : 定数

b : 定数

x : 時系列 (ここでは年度)

である。この式を x について微分し、単回帰の式に変換してこれらの定数を求めるのであるが、その際、時系列のデータは差分の形でとめることが推奨され、差分の取り方として中点差分法を用いた。各都市の人口密度は公表された住民登録と都市の面積¹⁵⁾により求めた。この数値を用いて昭和39年から平成4年の全体の29のデータでロジスティック曲線をあてはめて極限值である a を求めると

杉並区	15633人/km ²
立川市	6751人/km ²
柏市	4516人/km ²

となる。昭和59年を例として実際の人口密度と予測値としてのロジスティック曲線の極限值 a との差を、将来の人口密度の増加可能量とすると、杉並区については全体29データの平均値15512人/km²と差は少なく、現在の条件では人口の増減が少ない人口の静止状態の都市と考えられる。しかし、立川市と柏市とを比べてみると、通勤輸送条件の改善が著しく将来の成長の可能性が大きいと思われる柏市は人口密度の増加可能量は約300人/km²であるのにたいして、通勤輸送条件の改善としては都心への到達時間の短縮や線路の増設が行われなかった立川市は、人口密度の増加可能量が大きくないと予想されるが、それにもかかわらずに柏市より大きい約450人/km²となっている。さらに念のために予測式としてロジスティック曲線を用いて人口密度の極限値を求めることが適当か否かを検討をしてみる。人口密度の予測としてはロジスティック曲線のスタートの時点も変曲点もわかっていない状態から出発すると考えて、人口密度の年次変化曲線の任意の点から10年毎に区切ってロジスティック曲線を求める。各都市について昭和39年から昭和50年まで、昭和40年から昭和51年まで、と以下同様にして12年間のデータ(差分を用いるため前後1年ずつの

データを加味するため実際は10個のデータとなる)を1区分ずつに区切って極限值である a を求めると、
 図-2.1 杉並区の極限值 a の推移 (14487~16823人/km²),
 図-2.2 立川市の極限值 a の推移 (-77109~11384人/km²),
 図-2.3 柏市の極限值 a の推移 (3746~10141人/km²)のようになる。ただし、立川市のマイナスの数値については極端に大きい値を示すため10分の1に縮小してある。図-2.1~3の示すように、データによっては変動が大きくあらわれている。これは非線形な連続関数である微分方程式を解くときに、時系列データを差分方程式に変換して解を求め、連続曲線を離散化したためおきる現象と説明¹⁶⁾されている。またロバート・メイが1973年にロジスティック曲線の数値実験¹⁷⁾を試み、或る条件のもとで、解が大きく上下に揺れ動くことが示されている。

そこで期間を長期に取って22年分のデータで同じ様に試算してみると立川市の例ではマイナスの数値はないが6164~16653人/km²と依然として変動が大きい。杉並区の14347~16536人/km²のように変動の少ない都市は極限值 a については変動が少なく適用は可能と考えられる。しかし、幻影解^{17), 18)}の存在が指摘され、条件によっては数値が大きく変動しているので、ロジスティック曲線の適用による極限值を求めることは一考を要する。これは人口密度の経年曲線のように理論曲線にたいしてゆれがある場合には差分方程式に変換する際の構造的な問題もある。たとえ時系列データを長期間とれば適用が可能としても、時系列が長くなるとその間に都市の発達や内的外的条件の変化が予想されるため、立川市や柏市のように人口密度が成長過程にある都市についてはそのまま使うのは無理がある。このような点から首都圏における衛星都市の人口密度をロジスティック曲線を用いて将来の極限值である飽和人口密度を推定することは無理なことと判断し、別のアプローチを考えることとする。

3. 飽和人口密度

(1) 衛星都市の飽和人口密度の算定

首都圏の衛星都市の人口の変遷を検討するにあたって昭和60年代に起こったバブル経済の影響によって急激な都心人口の減少や極端な遠距離通勤による人口の郊外への移動等の現象については、今なお調整期とみられるので昭和59年までのデータを中心として解析をすることにする。昭和59年から10年さかのぼり衛星都市の昭和49年からの10年の人口の変遷をみると、あまり大きく変動をしていない都市が幾つか存在している。少ない変動を示している都市は、首都機能への通勤、通学などがその都市の特性としてある種の平衡状態にあると考えて、そ

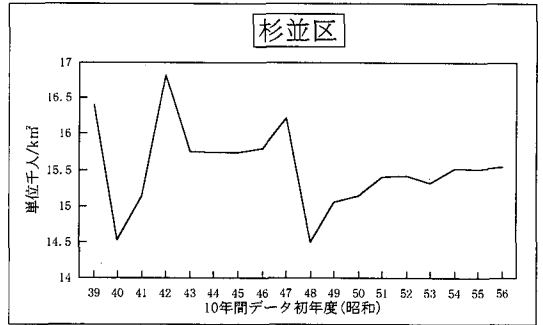


図-2.1 杉並区の極限值 a の推移

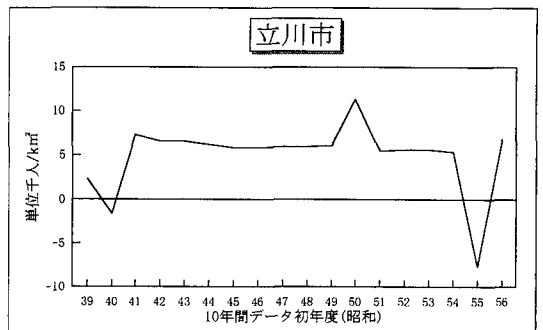


図-2.2 立川市の極限值 a の推移

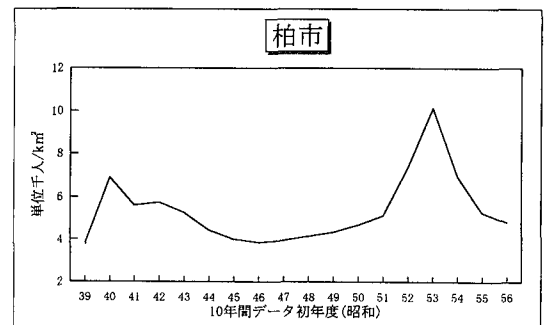


図-2.3 柏市の極限值 a の推移

の状態の定住人口が衛星都市の飽和人口密度になったと仮定をする。

昭和49年から昭和59年の10年間に増加率を上方、下方ともに10%の範囲の変動値に収まっている首都交通圏内の衛星都市を拾いだと、次の38市区の都市となる。

東京都 新宿区、目黒区、世田谷区、渋谷区、中野区、杉並区、板橋区、練馬区、足立区、葛飾区、江戸川区、立川市、武蔵野市、三鷹市、調布市、小金井市、小平市、国分寺市、国立市、田無市、保谷市、狛江市、清瀬市

神奈川県 横浜市 神奈川区、南区、保土ヶ谷区、磯子区、金沢区、港北区

川崎市 幸区、中原区、鎌倉市、逗子市、三浦市

埼玉県 飯能市、与野市、蕨市、上福岡市

これらの38都市について、基準の年として昭和59年を選び、都市の人口密度に相関を持っている項目として考えられる次の10項目を選んで飽和状態にある都市の人口密度の相関行列を求めた。

- (1) 都市の人口 = N_{59}
- (2) 都市の人口密度 = p_{59}
- (3) 都心までの到達時間 (分) = t
- (4) 都市の面積 (km^2) = M
- (5) 都市区域内鉄道線路数 (区域内通過線路数は1,起終点は0.5) = n
- (6) 都市区域内鉄道線路数当り面積 = M/n
- (7) 昭和49年迄の10年間の人口の過去伸率 = r
- (8) 昭和59年の都市人口密度の自然対数 = $\text{Log}(p_{59})$
- (9) 各都市の面積の平均に対する比率 = M/g (g は衛星都市の平均面積 (7.688km^2))
- (10) 都市の面積の二乗 = M^2

これらの10項目の相関係数行列は各項目の間で互いに独立しているものばかりではないので、得られた相関行列を検討した結果、(2),(3),(4),(5)の各項目を選んで重相関分析をおこなうことを検討する。これらの項目のうち都心到達時間 t については、首都圏における通勤・通学の輸送量は最大値を示す平日の朝の通勤時間帯において圧倒的に都心方向に向かう量が多いため、都心に向かう1方向を基準とした。都市の人口分布は駅の数が多い大きな因子¹⁹⁾であるが、駅数は輸送要請の増加によって適時増設されて、中長期の間には駅の数が増えることが多い。さらに駅数は都市内の線路数によっても左右されることを考慮に入れて都市区域内の線路数を用いた。都市区域内の線路数については区域内を貫通しているものを1とし、区域内で起終点になっているものは貫通しているものに比べて区域内発生輸送要請の片側方向を主に担っていることを考えにいれて0.5とした。基準変数として人口密度が時間距離の対数で計算するこ

表-3.1 都市人口密度関連相関行列

	$\text{Log}(p_{59})$	t	M/n	M
$\text{Log}(p_{59})$	1.0000	-0.8718	-0.0863	-0.5942
t		1.0000	0.6253	0.2373
M/n			1.0000	0.7117
M				1.0000

とが適当であるので昭和59年の人口密度の自然対数をとることとした。通勤・通学鉄道の各線区を別々にみると線区ごとの計算では定数項は不揃いであるが統合して計算することにより、線区を統一して表せるように考える。なお(7)項の昭和49年以前の10年間の過去伸率は相関関係が低いので検討から除外し、分析に用いた数値は表-3.1 都市人口密度関連相関行列である。これらを用いて以下のようにいくつかの予測式を想定した。

$$p_{59} = A \exp(Bt + CM) \quad (3.1a)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt + CM + Dn) \quad (3.1b)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt + CM^2 + Dn) \quad (3.1c)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt + C(M/n)) \quad (3.1d)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt)(M/n/g)^C \quad (3.1e)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt)M^C n^D \quad (3.1f)$$

$$p_{59} = A \exp(Bt)(M/n)^C \quad (3.1g)$$

ここに

A: 定数, B: 定数, C: 定数

である。

上記7式を用いてははじめに首都圏内38都市について重相関分析²⁰⁾をおこなった結果、重相関係数 μ は0.8798から0.9299までで予測値を求めるには、ある程度の誤差を認めて用いることとする。

前回¹¹⁾は式(3.1e)で計算をおこなったが、重相関係数 μ は0.8798であって、予測式のなかで最も小さい値を示した。ただ、どの予測式においても、横浜市南区の予測値は大きくはずれている。そこで38都市の飽和人口密度の重相関分析の結果求められた予測値と実績値との偏差を算出し、標準偏差を計算すると、横浜市南区についてのみはこの標準偏差の3倍を超過する偏差を示している。データが正規分布をしていると仮定した場合には標準偏差の3倍を超過するデータについては母集団とは異質とみなすことが通常行われている。このため、南区を除いてあらためて37都市について計算をおこなった。

これによってあらためて相関行列を求めたものが表-3.1 都市人口密度関連相関行列である。その結果最も重相関係数の高かったのは、式(3.1c)で0.971であり、低かったのは式(3.1e)で0.914であった。しかし実際に応用する場合を考えると、面積の項が二乗の形で入っている場合は、同じ面積で同じ線路数の都市を組み

合わせると、求める予測値（人口密度）が必ずしも一致しない。そこで重相関係数が高くても面積の大小に影響される値がでてきて好ましくないので検討から除外する。そこで都市の面積と都市区域内の線路数とを組み合わせた予測式に限って検討をすることにす。すなわち、式(3.1d)は重相関係数も0.953と比較的高く、求める定数は3個であるが、あてはまりが良いので首都圏における衛星都市の飽和人口密度を予測する式とする。求めた定数は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} A &= 20912 \\ B &= -0.024686 \\ C &= -0.025991 \end{aligned}$$

となつて

$$p_{59} = 20912 \exp\{-0.024686 t - 0.025991(M/n)\} \quad (3.1)$$

となる。これによって上記37都市の人口密度を基準変量とし、式(3.1)で求めた予測合成変量との相関係数Rは0.936348となり、前回発表した数字0.922589¹¹⁾より多少近似度が高くなった。これらの式は統計的に有意の差があるわけではないが、使い易い式として用いた。これは前回発表したサンプル数を26都市から37都市に増やし、通勤圏として遠い所も組み込み、また都心を形成する区を前回は除外していたが、今回はそれをも考慮して得られた数字なので応用範囲は広がったと考えられる。人口予測のように社会的現象は実験ができないので、サンプル数が少ないことはやむをえないことと考へ、検定統計量t値を求め確かさを調べて、応用の可能性を検討した。

これらの式(3.1)の定数のうちB,Cについて偏帰帰係数としてt-分布検定を行うと検定統計量 $t_0^{21)}$ はそれぞれ8.483, 7.458となり、有意水準5%のt値は自由度34の2.0336であつて、これより大きく、帰無仮説は信頼係数95%で棄却される。これによって式(3.1)は信頼性があると考えられる。

この式(3.1)で求める予測人口密度について首都圏の他の衛星都市に適合するかを検討する。東京都の都心については定住人口の流出が著しいが、周辺の衛星都市は定住人口の増加を見ている。中間になる都心入口駅の所在する带状の区をひとつの区域と見なすと、一つ一つの区としては人口の増減があるが全体では増減が少なく、都心の人口減少区域と郊外の人口増加区域の中間で変動が少なく、均衡状態にあると考へる。そこで都心入口駅の所在区として品川、目黒、渋谷、新宿、豊島、北、荒川、台東、墨田、江東の10区をまとめて人口の均衡し飽和人口状態になっている一つの区域と見なして昭和59年のデータで式(3.1)の予測値を求め検討をする。求めた予測値のうち江東区については実際の数値と予測値との偏差が標準偏差の3倍を超えているので外れ値

とし、また式(3.1)を求める際にデータとして用いた目黒、渋谷、新宿の各区を除いて検討する。飛び飛びにはなるがこれらの各区をあわせて一つの带状の衛星都市と仮定し、都心入口駅の所在する区域であるので、 $t = 0$ として式(3.1)で予測値を求めると18833人/km²となる。実際の数値は17770人/km²で約6%大きい近似値が得られた。また先の計算では検討するデータとしては考慮期間中に区の編成替えがあるため除外していたが、区の編成替えの後昭和59年ころから定住人口の変動が少なく飽和状態になっていると見られる横浜市戸塚区について $t = 33$ 分として式(3.1)で人口密度を求めると、昭和62年～平成6年の平均値6628人/km²の人口密度に対して予測値は6384人/km²で約4%小さい近似値が得られた。これによって式(3.1)で求めた人口密度を首都圏における衛星都市の飽和人口密度と想定することが確かめられた。

(2) 飽和人口密度の時間的变化

ここで想定した首都圏衛星都市の飽和人口密度は昭和49年から昭和59年の間で同じ値とはなっていない。各年別に計算をしてみると少ないながらも変化が見られる。まず37都市の人口の総合計では多少のゆらぎを伴いながらも1%程度の増加を示し、ほぼ変化がない状態である。しかしながら飽和人口密度の予測式の式(3.1)の定数項にも変動が見受けられる。

予測式の定数項のAは逆に1年平均で0.5%程度の減少がみられる。予測変量として用いた都心到達時間、1線路当りの都市面積に対する定数項も少ないながらも変動がある。このことは基本的には都市の飽和人口密度は必ずしも一定ではなく、首都圏の定住人口の動きとしては広さと快適性を求めて居住空間の拡大の方向にあって、そのため人口密度は減少しているものと考えられる。この点については人口密度の変化は共通の曲線にのると仮定³⁾している研究においても、飽和人口密度が低下する方向に変化したためと説明されている。また人口の社会増加率の観点から人口密度は標準化されるとして都心部の減少と郊外部の増加の傾向を説明⁶⁾している。この点については衛星都市の飽和人口密度が年数の経過とともに徐々に低下していることに関係があることを示している。

この傾向は短期間の予測にはほとんど影響を与えない程度であるが、10年あるいはそれ以上の長期間の予測になると必ずしも無視できない値となってくるので検討を行った。定数項のAは1次式で近似させても減衰指数曲線で近似させても短期間ではあまり変わらないが長期間を考へる予測には時間の経過によつてもマイナスとならない減衰指数曲線で近似させることにす。ほかの予測変量の定数項のB,CはAに比べ相対的に小さく

0.0002 から 0.0001 程度であるので、計算では1次式で近似させた。ここで予測式の定数項 A において τ^* を時間のパラメーターとして

$$A = A_1 \exp(-\beta \tau^*) \quad (3.2)$$

で示され

$$A_1 = 21886$$

$$\beta = 0.00574$$

である。また B, C については下付添字の記号を定数とし

$$B = -B_1 \tau^* + B_0 \quad (3.3)$$

$$C = -C_1 \tau^* + C_0 \quad (3.4)$$

であらわされ、

$$B_1 = 0.000216$$

$$B_0 = -0.02573$$

$$C_1 = 0.000103$$

$$C_0 = -0.02529$$

であって、また $\tau^* = 0$ は昭和49年とする。

定数 β について有意水準5%で無相関の検定を行うと検定統計量 t_0 ²¹⁾ は12.08となり t 値は自由度9で2.262であって、帰無仮説は棄却され、有意と判定した。

この数値は実際の人口密度のデータから推測するとき、日本の総人口の伸び率が低下している点や首都圏の人口集中が徐々に改善されている影響などを含んでいることなどを示しているものと考えられ、長期間の予測値を推定するには有効と考えられる。

(3) 人口密度への飽和状態への接近の形

衛星都市の都心への通勤輸送条件が改善された場合、都心までの到達時間や区域内の線路数が増加すると飽和人口密度を定める前提条件が変化することによって沿線衛星都市の飽和人口密度に変化が起こってくる。この前提のもとに衛星都市の人口密度はどのような形で飽和人口密度に接近していくかを調べる。過去の衛星都市の人口密度の変遷を見ると、都心への輸送改善として線路増設や新線の建設が行われると、今までの人口の緩やかな増減の傾向からあるタイムラグを経過して、突然人口密度の急激な増加が表れ、徐々にその増加率が小さくなりながら、ある極限值として前述の飽和人口密度に接近していく。

そこで年次を変数とした函数として人口密度の曲線を考える。衛星都市において都心への輸送改善がおこなわれるまでは、その都市のおかれた条件によってある緩やかな曲線で推移しているが、輸送改善が行われた後には人口密度の曲線が大きく変化している。変化の様子を見ると、輸送改善がなされて直ちに人口密度の曲線が変化するわけではなく、都心に近い衛星都市は比較的早く増加に変わり、都心から離れた衛星都市は遅れて増加に転ずる現象がある。輸送条件の改善の他にも社会情勢の変化の場合にもタイムラグがあり、時間的なずれ²²⁾ があ

ることが発表されている。

人口密度の曲線と類似をしていて、よく用いられるロジスティック曲線 (2.1) は a の 1/2 で変曲点を有し、横軸の位置にかかわらず一定である。都市が何かの条件によって急激な人口の増加を来すような場合には人口密度の曲線の変化はロジスティック曲線には似ているが都市のおかれた状態によって人口密度の増加率の変化を示す変曲点は異なっている。年次毎の人口密度の変化量を見ると、昭和 40 年代には毎年の人口密度の増加率が徐々に増加し、やがてピークをむかえ変化が小さくなっている。この人口密度の増加率のピークの点がロジスティック曲線の変曲点に相当するとみなし、変曲点からは極限值にむかって接近していく成長曲線と仮定して衛星都市の人口密度を予測する。

この衛星都市の人口密度の成長曲線の変曲点は実際の増加状況を検討してみると、多くの都市の人口密度の経年の曲線ではロジスティック曲線の a の 1/2 の近傍ばかりでなく離れている点でも変曲点となっている。そのため、衛星都市のおかれた環境によって変曲点の位置の変動が大きいため、そのままロジスティック曲線と見做して応用はできない。そこで人口密度の変化量の最大点をロジスティック曲線の変曲点に相当するものと見做し、その位置とその時点の人口密度の増加率を求め、前述の人口密度の成長曲線の極限值を想定ができてることによって、衛星都市の人口密度の成長曲線が定められる。

途中の変曲点まで衛星都市の人口密度は近似的に従来の傾向がそのまま直線として延長されると仮定した。輸送改善が行われる以前と以後の人口密度の変化は、緩やかな変化を示しているため、これらの異なった曲線を連続させるためにはより複雑な曲線での近似も考えられるが、過渡期間で短時間の変化であることを考慮し簡便な方法を用いた。この衛星都市の人口密度の変曲点を求めるには、毎年の人口密度の増減量に着目すると曲線で近似させることは可能な形をしているが左右対称の曲線ではない。そこで、人口密度の増減量を 3次曲線に近似をさせて経年変化曲線を試算してみた。この 3次曲線の極大値の年次をもとめて人口密度曲線の変曲点として推定し人口密度の変化の曲線を最初に求めた。しかし、人口密度の5箇年平均をとって求めた変曲点と3次曲線に近似させて求めた変曲点とは差が少なかったことと、また都市によっては人口密度の変遷を 3次曲線で近似させると変曲点が求まらない場合もあるので人口密度の 5箇年平均を用いて計算をした。

データとしては昭和40年代に輸送改善が行われ、都心への到達時間が大きく短縮された東北本線、高崎線、常磐線の沿線から大きく離れた数値を示す都市を除いた16の衛星都市をサンプルとした。輸送改善がおこなわれてから都市の人口密度の急激な変化が表れる変曲点を示

表-3.2 人口密度変曲点関連相関行列

	T	t	M/n
T	1.00000	0.72079	0.51227
t		1.00000	0.29670
M/n			1.00000

す輸送改善からの遅れの年数を T とし, $t, M, n,$ の他にいくつかの要素として p_s , 変曲点における人口密度の変化量 V 等を含めて相関行列を求めた. この T を基準変量とし, 求めた相関行列のなかで T に対して相関係数の大きい $t, M/n$ を予測変量として重回帰式を求めるために, 表-3.2 人口密度変曲点関連相関行列を用いた結果, 式(3.5)となる.

$$T = A t + B (M/n) + C \quad (3.5)$$

ここに A, B, C は定数であって, 求めた数値は

$$\begin{aligned} A &= 0.19428 \\ B &= 0.11345 \\ C &= -5.4405 \end{aligned}$$

である.

この式 (3.5) のうち定数 A, B について偏回帰係数として t -分布検定を行うと検定統計量 $t_0^{(21)}$ はそれぞれ 2.925, 1.564 となる. A については有意水準 5% の t 値は自由度13での2.16より大きく帰無仮説は信頼係数95%で棄却される. 一方 B は有意水準20%の t 値が自由度13での1.350であって信頼係数 80%で棄却される. B の信頼度は少し小さいが有意と判定される. これによって式(3.5)は信頼性があると考え.

つぎに変曲点の縦軸の位置は衛星都市によってまちまちであるので, 式(3.5)で求めた輸送改善から遅れて表れる変曲点における年度の人口密度を既に述べた1次近似式から求める. この変曲点から以降の年次については人口密度の変化量はそれまでの人口密度曲線とは独立の成長曲線とし, 成長曲線の形を定めるために曲線の始点である予測変曲点における勾配を次によって求める.

この曲線の時間軸を τ^* とし (ここでは3.2章に示すように暫定的に $\tau^* = 0$ に昭和49年を用いた), 輸送改善の行われた年を I 年後とし, その T 年後の $I + T$ 年に人口密度の変曲点があるものとする. また都市の人口密度曲線を $P(\tau^*)$ とし, 変曲点の人口密度を $P(I + T)$ とする. また緩やかに変化している都市の飽和人口密度は $p_s(\tau^*)$ で表す. 前と同様に幾つかの変数を考えて相関行列を求め, 基準変量として変曲点における変化量 V の対数 $\text{Log}(V)$ をとり, 予測変量として $t, M/n, P_u$ をとって重相関分析を行った. ここに P_u は未飽

表-3.3 重み付き密度伸び率相関行列

	Log(V)	t	(M/n)	Log(p_u)
Log(V)	1.00000	-0.80317	-0.52611	0.59622
t		1.00000	0.29670	-0.65146
(M/n)			1.00000	-0.80651
Log(p_u)				1.00000

和人口密度とし, 輸送改善がおこなわれてから T 年を経過した人口密度の予測変曲点における人口密度 $P(I + T)$ とその時点の飽和人口密度 $p_s(I + T)$ との差 $p_s(I + T) - P(I + T) = P_u$ である. V の予測式として

$$V = A \exp\{-B t + C (M/n)\} p_u^D \quad (3.6)$$

を用い, この式(3.6)の両辺の対数をとって

$$\text{Log}(V) = \text{Log}(A) - B t + C (M/n) + D \text{Log}(p_u) \quad (3.7)$$

として, 基準変量に $\text{Log}(V)$, 予測変量に $t, (M/n), \text{Log}(p_u)$ として重相関分析をおこなった. ここに

$\text{Log}(A)$: 定数, B : 定数, C : 定数, D : 定数

である.

この重相関分析を行う際に, 目的とする通勤鉄道の沿線衛星都市の人口を求めることが目的であるので, 衛星都市の面積の大きい都市ほど重みが付いていることが望ましい. そのため重み付きの重相関分析を行った.

まず 表-3.3 重み付き密度伸び率相関行列 が得られ, これから求めた定数は次の通りである.

$$\begin{aligned} \text{Log}(A) &= 15.973 \\ B &= 0.064626 \\ C &= -0.055995 \\ D &= -0.95840 \end{aligned}$$

である.

次に, 式(3.7)によって求めた $\text{Log}(V)$ を指数変換して人口密度成長曲線の変曲点における変化量 V (ここでは増加量) を求めた. これらの式(3.7)の定数のうち B, C, D について偏回帰係数として t -分布検定を行うと検定統計量 $t_0^{(21)}$ はそれぞれ 39.9, 19.6, 12.9 となり, 有意水準 5% の t 値は自由度14の2.145であって, これより大きく, 帰無仮説は信頼係数 95% で棄却される. これによって式(3.7)は信頼性があると考え.

これによって求めた定数によって衛星都市の人口密度の経年変化を予測することができる.

4. 人口密度の予測

(1) 人口密度の経年変化

首都圏衛星都市の飽和人口密度を求める際の定数 A

は短期間では多少の変動があっても、始めは一定と考えたが3.2章で記述したように昭和49年から昭和59年にかけて首都圏全体としては緩やかに減少している。長期間の予測には無視できない数字となるのでこの点を考えることとする。都市の人口密度は飽和人口密度に成長曲線の形で時間の経過に従って接近すると考え、一方この飽和人口密度は年数の経過に従って指数曲線で変化しているとする。

まず各衛星都市毎の人口密度の予測値を求める際に基準点として3.2章と同様に昭和49年をとり、 $\tau^* = 0$ とする。 $\tau^* = 1$ 年に輸送改善が行われ、その T 年後 (T は衛星都市によって異なる値を示している) に人口密度の変曲点が現れるとすると、 $\tau^* = 1 + T$ 年から人口密度が急に大きな増加量を示す。ここで改めて $\tau^* = 1 + T$ 年を人口密度の成長曲線を求める基準点として $\tau = 0$ 年とし、時系列としてみると、 $\tau = -T$ 年に輸送改善が行われ、 $\tau = -(1 + T)$ 年が予測値を求める際にもちいたデータの起点となる。これを概念的に示した図-4.1 衛星都市成長曲線 を参考にしながら都市の人口密度の経年の変化は以下のように考える。

都市の人口密度曲線は、 $\tau = -(1 + T)$ 年の \times を出発し、 $\times \sim \diamond \sim \bullet \sim \blacksquare$ を通る太い実線で示し、 $\tau \leq 0$ は直線 P' とし、 $\tau \geq 0$ は曲線 P_s とする。この曲線は、その年毎に人口密度の成長曲線の極限值 (変化している場合も変化していない場合も含めて) にたいして指数曲線の形で接近すると考える。都市の飽和人口密度が経年で変化している場合、図の $\circ \sim \blacktriangle$ を通る細い実線の曲線であらわされ p_s とする。飽和人口密度が変化しないと考える場合は $\circ \sim \triangle$ の X 軸に平行な直線で示され p_c とする。都市の人口密度は起点の $\tau = -(1 + T)$ 年を \times から出発し、輸送改善された $\tau = -T$ 年 \diamond を通過し、人口密度の変曲点のあらわれる \bullet までを直線で近似させる。人口密度の変曲点 $\tau = 0$ 年 \bullet 以降においては、第一に飽和人口密度が変化しない場合と第二に変化する場合とについて考える。

第一の飽和人口密度が変化しない場合、飽和人口密度は $\circ \sim \triangle$ を通る直線の細い点線であらわされる p_c である。この場合の人口密度の成長曲線は $\bullet \sim \square$ を通る太い点線で示され P_c とする。この P_c は成長曲線の形で時間の経過に従って p_c に接近する。第二の飽和人口密度が変化する場合、変化する飽和人口密度 p_s は $\circ \sim \blacktriangle$ を通る細い実線の緩い曲線である。この場合の人口密度の成長曲線 P_s は $\bullet \sim \blacksquare$ で示され、 p_c に接近する P_c と同じ割合で 極限值である p_s に接近するものとする。

変曲点 $\tau = 0$ における飽和人口密度は図の $0 \sim \circ$ であってこの時の p_s の値を p_c とする。また都市の人口密度は $\tau = 0$ においては $P' = P_s$ であって、 $0 \sim \bullet$ の

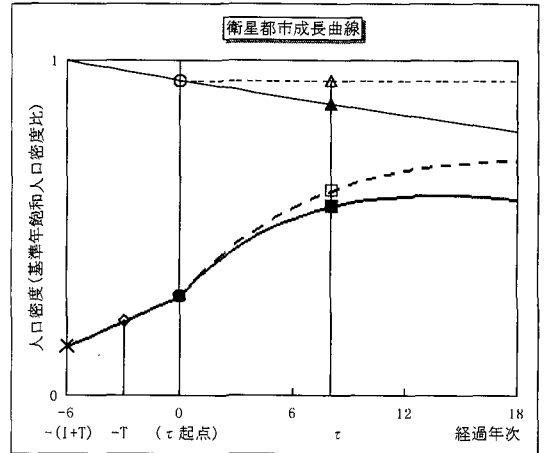


図-4.1 衛星都市成長曲線

値を P_0 とする。変曲点から τ 年たった場合、変化しない飽和人口密度は $0 \sim \circ$ で p_c とし、変化する飽和人口密度は $0 \sim \blacktriangle$ で p_s とする。また飽和人口密度が変化しない場合の都市の人口密度は $0 \sim \square$ の P_c であり、変化する場合は $0 \sim \blacksquare$ で P_s である。式(3.2) を参考にし

$$p_c = A_1 \exp(-\beta(1+T)) \exp(Bt + C(M/n)) \quad (4.1)$$

$$p_s = A_1 \exp(-\beta(1+T+\tau)) \exp(Bt + C(M/n)) \quad (4.2)$$

$$P_c = p_c - (p_c - P_0) \exp(-b\tau) \quad (4.3)$$

である。

また前述の仮定より

$$p_c : p_s = P_c : P_s \quad (4.4)$$

が成立するものとする。これを P_s について解くのであるが、 $\tau \leq 0$ の場合は $\times \sim \diamond$ の間の実績値を直線で延伸して $\times \sim \bullet$ を一次式とする。 $\tau \geq 0$ の場合は以下のように考える。

$Bt + C(M/n)$ の係数 B, C は式(3.3), (3.4) に示すように変化が少ないので定数とみなして P_s を求め、次の式となる。

$$P_s = \exp(-\beta\tau) p_c - (p_c - P_0) \exp((-b-\beta)\tau) \quad (4.5)$$

ここに b は変曲点における人口密度成長曲線の係数 V/p_u である。 p_u は 3.3章に示す未飽和人口密度である。

ここで首都圏の衛星都市が社会的な条件の変化として、鉄道線路の新設、増設、運行速度の向上といった輸送改善が行われた場合、衛星都市の人口密度が年数の経過に従って増加する人口密度曲線を求めることが可能である。

(2) 飽和人口密度の予測式による事例計算

常磐線沿線の各衛星都市を例にとり、実際の人口の変

遷と予測式による値を求め比較をした。

通勤鉄道においてもっとも通勤旅客の多いのは都心の入り口駅付近であって、通勤鉄道の輸送設備の規模を支配する区間で、鉄道建設計画ももっとも注目される区間である。常磐線のそれに相当する最も混雑する区間は松戸・北千住間であることを考慮すると、東京都を離れた千葉県と茨城県の常磐沿線の都市の人口の動きが予測の上で必要となる。これを計算してまとめたものが、図-4.2 常磐沿線人口予測 である。また代表的な数値について示しているのは表-4.1 常磐沿線人口予測抜粋 である。図-4.2、表-4.1 は双方とも次の4.3章のスピードアップをした場合の予測値もあわせて記載してある。

ここでは表示はしないが、常磐線沿線の東京都区内(荒川、足立、葛飾)は3区をひとつでまとめて見ると人口総数には変化が少なく、人口密度は緩やかな変化で上下をしていると見做され、鉄道建設計画の上では変化がないものとして扱える。

これによって首都圏の通勤・通学鉄道の輸送改善の際にスピードアップを図らない場合とスピードアップを図った場合の沿線衛星都市の人口予測の経年変化の違いが予測できる。

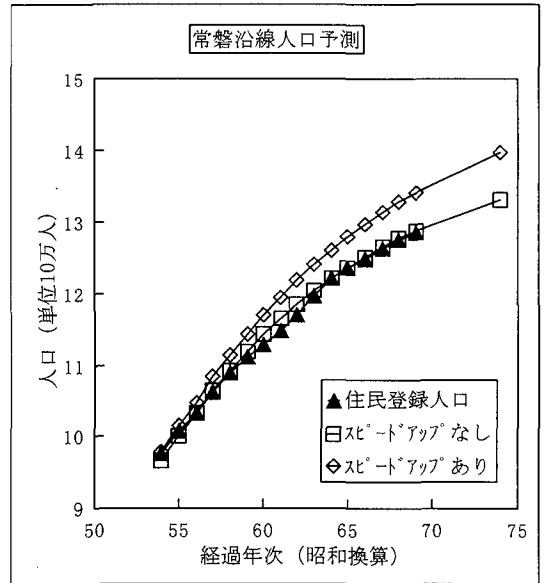


図 4.2 常磐沿線人口予測

(3) 飽和人口密度の予測式による応用計算

本研究では首都圏の通勤・通学輸送鉄道の投資効果を予測するために、鉄道運行速度の向上がどのように寄与するかを予測することを目的とする。そこで輸送改善としての線路増設と鉄道運行速度の向上がなされている常磐線北千住・牛久間を例として取り上げ、輸送改善の効果を沿線人口の増加数で調べる。以前に発表した常磐線の輸送改善としてスピードアップが標準軌間並みにできた場合を仮定して沿線の人口がどのように変化するかを計算を行った。スピードアップは都心入り口駅としての日暮里から牛久までで現行の54分から46分と8分の短縮を想定した。昭和39年から昭和59年までの間の常磐線沿線の千葉県と茨城県牛久間までの実際の人口の動きと予測式による予測人口である予測数*とスピードアップをはかった場合の予測人口である予測数**を一覧にすると 図-4.2 常磐沿線人口予測 表-4.1 常磐沿線人口予測抜粋 のようになる。図-4.2 では昭和54年以前はグラフ表示では重なって見えるので省略した。これを見るとスピードアップによって常磐線沿線の千葉茨城両県の人口は、輸送改善の行われた後、徐々に人口の増加がみられ、10年後には1%程度の増であって28年後には5%程度の増となり、以後はさらに差が開いていく。これは通勤鉄道のスピードアップが沿線居住人口の増加をもたらし、さらには通勤圏の拡大により利用客の増加が十分に期待されることを示している。この鉄道運行速度の向上による沿線人口の差について検討をする。常磐線の輸

表 4.1 常磐沿線人口予測抜粋

年次	住民登録数	予測数*	予測数**
昭和39年	376151	345482	350681
昭和44年	540156	549157	549364
昭和49年	770625	766718	770397
昭和54年	975513	966941	979377
昭和59年	1109982	1117906	1143371
平成元年	1220538	1220744	1260491
平成6年	1285768	1287829	1342091
平成11年		1331063	1396452

註 *スピードアップなし

**スピードアップあり

送改善からのタイムラグを経過し沿線の全都市の人口密度が急激に増加に転じ、それまでの経過と違った状態になった昭和59から平成5年までの10年間について母回帰の区間推定²¹⁾を行った。居住人口の増加が実際の人口(住民登録人口)の変遷とスピードアップを考えた場合の予測人口の変遷をみると、両者とも多少上に凸の形ではあるが、いくらかの偏差をもってほぼ直線とみなされる。この両者について回帰式を求め、それにたいする偏差が正規分布をしていると仮定して、95%信頼限界を求めた。その結果、実際の人口の変遷の母回帰式の上限とスピードアップを考えた場合の予測人口の変遷の母回帰式の下限とは互いに交差をしていないことから有意の差があるものと考えた。

5. 結論

通勤鉄道の都心への到達時間の短縮が沿線の居住人口にどの程度の影響をおよぼすかを数量的に把握するために、都心への到達時間および他のいくつかの要因を用いて相関分析法の重相関分析を適用することによって、十分に実用にたえられる数値を求めることができた。

成長過程にある都市において、どのように人口密度が年毎に変化していくかについては、単純にロジスティック曲線を適用することは問題があるため、飽和人口密度という概念を導入することによって沿線衛星都市の人口密度の変化の様子が実情によくあつて説明ができることを示している。またこの飽和人口密度も都市に与えられた条件の変化や社会情勢の変化によつても、変化していることを表している。これらの条件を加味して解明されたこの手法を用いて通勤鉄道のスピードアップが沿線都市人口の増加から利用客の増加を数量的に把握し、通勤鉄道のスピードアップが鉄道の経営におよぼす効果を数量的に求めることが可能になった。今後は鉄道運行速度の向上が沿線の人口の増加と輸送量の増加を数量的に予測することによって、鉄道の設備投資の採算性の予測を究めたい。

謝辞: この研究には日本鉄道建設公団から各種の貴重なデータの提供を受けたことに謝意を表すと共に信州大学奥谷教授のご指導と金沢大学の松浦教授に色々なご教示を受けたことに深く謝意を表すものである。

参考文献

- 1) 秋元伸裕, 原田 昇, 太田勝敏, 新谷洋二: 密度関数による東京大都市圏の通勤 O D 分析, 第25回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.19-22, 日本都市計画学会, 1990.
- 2) 天野光三, 青山吉隆, 藤田昌久: 都市人口分布形態に関する情報理論的研究, 土木学会論文集, No.142, pp.31-36, 1967.
- 3) 古藤 浩, 腰塚武志: 首都圏における人口増加の分析, 第25回日本都市計画学会学術研究論文集, pp.356-360, 日本都市計画学会, 1990.
- 4) 中川 大, 西村寿治, 波床正: 鉄道整備が市町村人口の変遷に及ぼしてきた影響に関する実証的研究, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.57-64, 1993.

- 5) 北郷 繁: Logistic Curve による人口統計, 土木学会論文集, No.36, pp.58-63, 1956.
- 6) 西川 智: 都市人口変動の実態と人口密度, 第17回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp.25-30, 日本都市計画学会, 1982.
- 7) 住民登録に基づく全国世帯数表: 法務省民事局, 1964以降.
- 8) 住民基本台帳に基づく全国人口・世帯数表 人口動態表: 自治省行政局, 1968以降.
- 9) 東京都の昼間人口: 東京都, 1970, 1975, 1980.
- 10) 最新都市計画用語事典: 都市計画用語研究会, ぎょうせい, p.16, 1994.
- 11) 柴垣 寛: 通勤鉄道の時間短縮が沿線人口に及ぼす影響の研究, 土木計画学研究・講演集 15(1), pp.425-430, 1992.
- 12) 時刻表: 日本国有鉄道, 1964, 1984.
- 13) 奥平耕造: 通勤輸送からみた住宅地の人口密度分布と発達に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第145号, pp.54-64, 1968.
- 14) 小林竜一: 需要予測の数学, pp.85-92, 至文堂, 1967.
- 15) 全国市町村要覧: 自治省行政局振興課, 1964.
- 16) 砂原善文: 連続と離散 - [1], 計測と制御, Vol.27, No.9, pp.41-49, 計測自動制御学会, 1985.
- 17) 山口昌哉: カオスとフラクタル, pp.56-86, 講談社, 1994.
- 18) 廣松 毅, 浪速貞夫: 経済時系列分析, pp.221-222, 朝倉書店, 1990.
- 19) 川上洋司, 大塚全一, 藤倉規雄: 郊外鉄道駅周辺における道路網形態と居住人口密度分布の関係について, 土木計画学研究・論文集, No.2, pp.77-84, 1985.
- 20) 芝 祐順: 相関分析法, pp.117-134, 東京大学出版会, 1982.
- 21) 久米 均, 飯塚悦功: 回帰分析, pp.48-50, 岩波書店, 1996.
- 22) 天野光三, 藤田昌久: 都市人口密度分布の成長過程に関する研究, 土木学会論文集, No.143, pp.16-21, 1967.

(1995. 5. 20受付)

A STUDY OF THE SATELLITE CITY'S DIFFERENT POPULATION BY COMMUTATION TIME

H o r o s h i S H I B A G A K I

This study is to analyze the governing factors using the regression analysis method to conclude that the shortening of the commutation time can contribute to the population increase of the satellite cities. Population density of satellite cities within the area are closely related to the trip time from the satellite cities to the business center of Tokyo. The population densities of the cities are depicted by using the exponential distribution curve.

The commutation time is one of the most important factors which governs the population distribution curve. However the other factors affect the curve considerably. This study got desirable consequence by applied regression analysis method.