特集　モデル開発の評価

実用的都市人口推定モデルの開発とその評価

城　信雄

将来の人口規模は，行政府にとってみれば都市計画の上で，企業にとってみればマーケティングなどの戦略の上で，もっとも基盤となる指標である．筆者を含めた当研究所のメンバーは5年以上もの期間にわたり，今回推定の対象とする東京都市圏の人口の動態を分析し，将来人口推計のいろいろの方法を試みている．

これから紹介するモデルはそれらの経験を生かして開発されたものであり，実用的でしかも運用のしやすさを目的としたものである．

本稿では，まず最初にモデル開発の要件としてなにが与えられ，そのためのアプローチをどのように展開していったかを示そう．つぎに，具体的なモデルの方法を紹介し，最後に，運用の方法と，モデル開発の評価および手法としての評価を，ほかの若干のモデルと比較して検討してみようと思う．

1.　モデル開発の動機とアプローチの方法

1.1　実用的将来人口推定モデル開発への要請

まず当初モデル開発に与えられた要請事項を列記してみよう．

(1)　対象地域と推定期間

将来人口推定の対象地域としては東京都，神奈川県，埼玉県のいわゆる東京都市圏とする．そして各行政区画単位，つまり区市町村別(約100の区市町村）の推定値を得たい．また将来の推定期間は12年先までで，しかもそれまで半年ごとの推定値を必要とする．

(2)　モデル運用上の3つの要件

つぎのような3つのモデルの運用上の要件が設定された．それらの要件とは，第1にすべての区市町村に適用できるモデルであるための汎用性を持っていること．第2にデータの追加，プログラムの変更などシステム運営が簡単であること．第3に人口変動の外的条件への柔軟性を有することである．

この3つの要件を達成することによって，人口推定業務は簡便化され，ルーチン化され，コスト削減の効果も十分あげることができる．

1.2　アプローチの展開方法

(1)　人口のダイナミックスの認識

与えられた要請事項を達成するためにまず最初に手がけなければならないことは，各区市町村の人口の増減を観察し，共通な要因，共通のパターンを見いだすことである．

(2)　推定方法の開発

つづいては標準化された要因とパターンから構成されるモデルを開発することである．

(3)　運用システムの開発

第3の手続きは推定方法の開発と併行してモデル運用の簡便性を考慮した実用的システムを開発することである．

以下，実際の方法を述べていこう．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

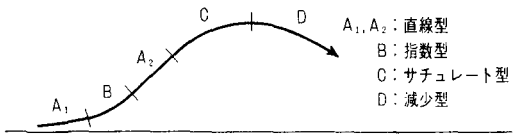

図 1　人口の成長パターン

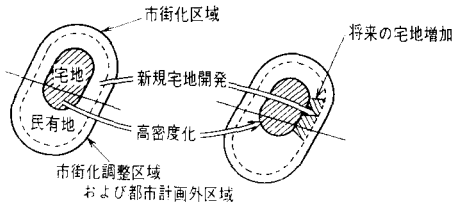

図 2　人口増加の 2 つのケース

2.　人口のダイナミックスの基本的認識

2.1　人口の増加パターンの標準化

(1)　4つの増加パターン

それぞれの都市の人口増加推移を共通の成長パターンの中に見いだすことが，基本的認識のまず最初のステップである．

図1の推移は，まず低密度の地域(A_1)に人々を引きつけるインパクトが加わると人口は急激に増加しはじめ(B)，その後は特別なインパクトが加わらないかぎり安定的に増加(A_2)し，成長の余裕が残り少なくなるとサチュレートし(C)，ついには住民の逃避による人口減少が起りはじめる(D)といったように直線型，指数型，サチュレート型，減少型の4つのパターンに，全体を分解できることを示している．たとえばBのパターンは東京都の多摩市や稲城市などが，A_2のパターンは埼玉県の川口市や神奈川県の横須賀市などが，Cのパターンは東京特別区の周辺区部などが，Dのパターンとしては東京や横浜の区部の一部などが例としてあげられる．

(2)　3つの変曲点

人口の増加パターンはいつまでも同じ形態のままではなく，いずれつぎのパターンへと移行していく．その変わり目を変曲点とよぶことにしよう．東京都市圏の各都市の人口密度（行政区画面積あたり）の推移をみると，ほぼつぎのように変曲点密度(変曲点での人口密度)が標準化できる．まずA_1からBへ変曲する変曲点密度は2,000人/km^2，BからA_2へは4,000人/km^2，A_2からCへは5,000人/km^{2}となっている．たとえば三多摩の各都市では，昭和25～30年にかけて，人口密度1,500人/km^{2}から2,500人/km^{2}の範囲内でA_1からBへ変曲し，5,000人/km^{2}を越えると，そろそろサチュレートしはじめている．

2.2　人口密度の標準化と開発面積の推定

(1)　2種類の居住空間

つぎの基本的認識のステップは，居住空間の状況の把握と今後の可能性を探ることである．人々が居住している空間は，いわゆる宅地とよばれるところである．図2は，人口増加が予想される2種類の宅地に注目したものである．

つまり，現在宅地である所（固定資産税の対象として公的に発表されている）では，今後住宅の高層化などによる高密度化が人口増加をもたらし，一方，とくに市街化区域内（都市計画法によりきめられている）の田畑などでは，新しい宅地開発によって人々が居住し人口増加をもたらす．このような，中心部の開発と周辺部の開発の2つのパターンは，東京都市圏内においては共通した動きとなっている．

(2)　高密度化の要因と範囲

高密度化の原因は，地価高騰，絶対面積の限界などにより，独立家屋から中層住宅を主体とした形態への変化がおもな要因である．東京都市圏内の都市では，立地している家屋形態の特性によってつぎのような標準的な人口密度（宅地面積あたり）が設定できる．まず独立家屋中心の市街地では80～100人/ha，独立家屋・アパート混合地域では100～300人/ha，中層アパート主体の市街地では300～400人/ha となっている．

(3)　宅地開発の要因と人口密度の推定

東京都市圏内の宅地開発は，産業用地としてよりも，住宅用地としての傾向がほとんどであった

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

し，今後もその傾向はつづくと思われる．宅地化促進要因としての交通の便益性（簡便的に東京都心20km圏内を便益性よしとする）と，都市化の程度をあらわす市街化率（市街化面積／行政区画面積）の2つの指標を考慮すれば，新しく開発される宅地での人口密度は，ほぼつぎのように標準化できる．まず市街化率60%以上の川口市や立川市では140人/ha以上，30～50%の春日部市や平塚市では 120～130人/ha，30%以下の寒川町や厚木市では110人/ha以下である．また便益性の良し悪しで，10人/ha 程度の差がある．

2.3 開発面積の推定

将来の宅地開発面積の推定はつぎのようにして行なう．まず市街化区域内の民有地のうち，宅地を除いた部分，つまり，田，畑，山林などを開発余地面積とする．つぎに，そのうち何割が今後将来(12年先)までに開発されるかを，過去からの開発状況，土地所有者の意向，行政的規制の程度などから各区市町村別に推計する．平均的には60～65%が12年先までに開発されると見込んだ数字が得られている．

3. モデルの構造と将来人口の推定方法

人口増加パターンの標準化，人口密度の標準化および将来の宅地面積の広さの推定によって，モデル開発の下準備はほぼ終わった．図3にもとづき将来人口推定の方法を示していこう．

3.1 将来の人口推定の方法

(1) 基本的な推定式

将来人口(12年先)は，次式で推定される．

将来人口＝現在人口＋増加人口

増加人口＝既存宅地内増加人口＋新規宅地内増加人口

2番目の式は，現在の宅地の広さと高密度化の程度，および将来開発される宅地面積と予想される人口密度，とによってそれぞれの増加人口の大きさが推定できることを示している．

(2) 上位計画からの配分

上述の手段で求められる各都市の増加人口の各都県での積み上げ値を，国や都県の行政側がめざしている都県の人口計画値の増加分に一致させることが，将来計画人口の観点から必要となってくる．そこで実際には各都県の12年先の人口の上位計画値の増加分をコントロールトータルとして各区市町村の増加人口の大きさに比例させて配分し修正された増加人口として上式が用いられる．

3.2 人口増加経過の推定

(1) 人口増加パターンの認識

つぎのステップは過去の人口増加推移をもとに各都市が今後，直線型，指数型，サチュレート型のどのパターンで推移していくかを判定することである．その判定されたパターンが何年かつづき変曲点密度に達すると，つぎのパターンへ移行し

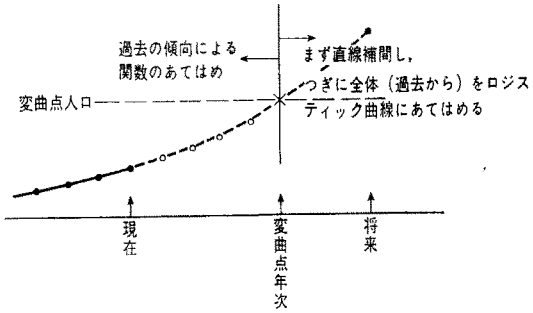

図 4 パターンへのあてはめ

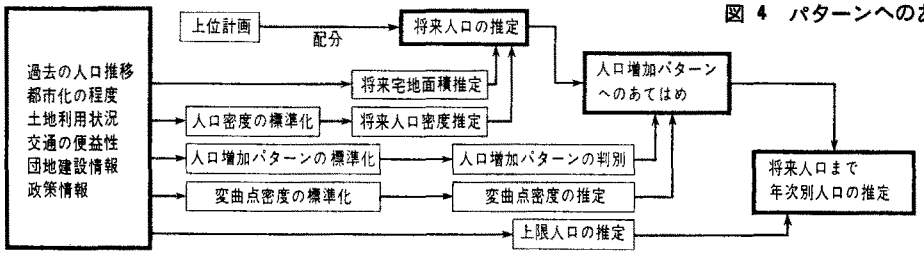

図 3 フローチャート

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

ていき，さらにはすでに推定された12年先の将来人口の点を通り，いずれは飽和状態に向かって進むようモデルを組んでいく．

(2) 上限人口の推定

長期的な将来人口推定には人の住める空間の限界を考慮することが必要である．上限人口は，人口密度の上限と開発余地面積とを乗ずることによって推定することができる．

(3) パターンへのあてはめ

変曲点に到達するまでは過去のパターンを用い，変曲点から将来(12年先)時点まではまず直線で結び，その後過去(12年前)から将来時点まで全体を上限人口に近づくロジスティック曲線でスムージングする．

3.3 人口減少地域のあつかい方

(1) 将来推定の方法

東京都特別区の大部分および横浜市の一部ではすでに人口が減少しており，いままでに示した方法ではこれら都心地域特有の現象は説明できない．そのため上限人口とは逆に下限人口を求め，ロジスティック曲線を上下に反転した曲線を用いて，簡便的な方法で将来を推定する．

4. モデルの運用と評価

4.1 運用の方法と開発の評価

(1) 運用方法

当モデルのシステムの運用は，データ，プログラムなどコンピュータ操作についてはきわめて簡便化されている．まず人口データについては，推定業務時点から過去12年間半年間隔でファイルしておけばよい．また，行政区画面積は常に一定であり，宅地開発余地面積，市街化面積，市街化人口などは最新のものを用意すればよい．これらの準備によって12年先まで半年間隔に人口推定値がアウトプットされるようプログラムが組まれている．また，いろいろの指標の標準値は，何年かごとにチェックを行なえばよい．

当モデルのシステムはすでに実際の人口推定業務に組み込まれており，モデル構造の改造を要する時までは，システマタイズされたことの効果は当分つづくであろう．

(2) モデル開発上の評価

当初，モデル開発に与えられた3つの要件についての評価を行なってみよう．まずモデルの汎用性については，過密または過疎による減少地域を除けば種々要因とパターンの標準化により多くの都市を同一方法で処理できる点でほぼ妥当である．

つぎにシステム運営のしやすさについては，プログラムの中身を変えることなく，データの追加，変更だけでよく，推定業務を非常に簡便化している点でこの面についてもほぼ妥当である．

ただ外的条件への柔軟性に対しては，団地建設などの情報を随時組み入れることは可能であるが，その他の個々の都市の固有の変化を逐一導入することはシステマティックには困難で，この要件に関してはもう一歩というところである．

(3) 人口推定値の信頼性

当モデルが将来人口を推定することを目的としている以上，推定値と実際とのフィッティングの良否は事後評価の対象として当然議論されなければならない．フィットの程度を10人の誤差以内とするか，1,000人程度の誤差でもよいのかは，人口推定値の使われる目標によって異なるが，統計的評価方法(たとえば相関係数)が一般にはよく使われる．しかし将来においてこのモデルの推定値が合っていたかどうかという評価もさることながら，将来見込まれる人口規模を基盤とした種々計画，戦略案の評価からのフィードバックを考慮した，修正可能ないわゆる計画人口としての評価がなされるべきである．各都県全体の人口計画値をコントロールトータルとして用いているのは，その点にあるわけである．

4.2 推定方法の比較と評価

(1) 直接的方法と間接的方法

将来人口を推定する方法は，W. Isard によれ

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

ば直接的方法，間接的方法の２つに分類されると言われている．前者の方法は，現在，過去の人口データだけを基礎にして将来を推定しようとするものであり，後者は，前者に加えてその地域および他の地域の過去，現在の経済，社会，政策などの要因を考慮しながら推定しようとするものである．当モデルは前者と後者の中間的方法である．当モデル以外にも直接的方法としての関数の外挿法，間接的方法としてのシステムダイナミックスによるモデルなどを以前に手がけた経験から，それらの比較について論じてみよう．

(2)　関数式の外挿法との比較

関数式の外挿法とは，将来の人口推定のために，いろいろの時間の関数，たとえば，一次直線，多項式，指数曲線，差分式，ロジスティック曲線などを過去のパターンにあてはめ，理論値と実際値とのあいだのもっとも適合度の高いものを選び，選ばれた式をもとに将来を推定する方法である．

この方法のよさは，ほかの地域情報や人口へ与える外的条件の考慮を必要とせず，その都市の人口変化パターンだけに注目すればよいことなど，推定式の信頼性の保証が得られれば，推定業務の簡便性についてはもっともすぐれている．しかし一方この方法の欠点は，式の説明変数が時間だけであるため，外的条件の挿入を困難にし，とくに居住空間のダイナミックスの考慮はまったくされていないことである．当モデルはそれらの欠点の是正に最大のポイントを置いたものである．

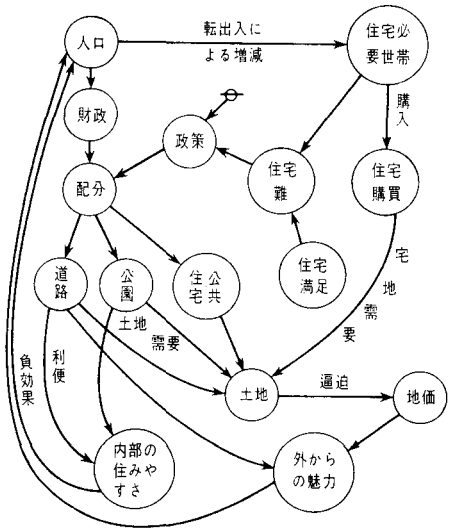

図 5　ＳＤモデルの例

(3)　システムダイナミックスモデルとの比較

システムダイナミックス(以後ＳＤとよぶ)による方法は，人口動態を取り巻く種々要因間の枠組が客観的に計量化されれば，人口増減へのインパクト分析を含めた人口推定にはかなりの威力を発揮する．しかしＳＤモデルは，人口の変動を左右する要因の複雑さや，住民の主観的，心理的要因の標準化の困難さなどから，単に実用的人口推定の目的のためだけには不向きである．また何十もの都市の将来人口を同時に推計しなければならない，という要件に対しても，地域的汎用性を持つＳＤモデル開発のための労力と費用ははかりしれない．筆者もＳＤモデルの汎用性をめざして，構造のちがった横浜市と八王子市の両市に，要因間の関係の度合が異なるだけでまったく同じ構造を持つモデルを適用してみたことがある(図５)．

両市への適用はほぼ成功し，似たような都市への汎用性はあると思われるが，ほかの都市について変数間の関係を計量化することはかなりの気力がいる．ただＳＤモデルはその構造の仮定と計量化が客観的であれば，具体的な予測分析もできるし，それより増して，計画評価，戦略評価のためのインパクトスタディにはもってこいである．

4.3　モデルの汎用性の範囲

(1)　居住の基本的ダイナミックスについて

人口増加，減少の動きの計量化については，図５のように自然増加，社会増加に注目するのが一般的である．しかしそれらの構造を計量化することの困難さについてはＳＤモデルのところで述べたとおりである．また，人々が住む原因をモデルで構築するよりも，住んでいる状態，つまり人々はいったいどのような土地利用の空間に張りついているのかを実態分析するとともに，その空間は

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

今後いったいどう変わるのか，という点に注目するほうが，客観的な方法としては妥当である．

(2) 人口減少地域への不適用について

当モデルはいわゆる都市型発展をとげている都市を対象としており，過疎または過密による人口減少地域への適用はできない．ただ過密による人口減少地域については下限人口密度を設定した簡便的なサブモデルで解決している．しかしそれでも図1のCからDへの山型パターンに対する説明力は現段階では，当モデルは残念ながら持ち合わせていない．また過疎による人口流出の要因は，土地利用の面からはほとんど説明不可能で，当モデルとはちがった方式を採用せざるを得ない．

むすび

漠大な労力と時間の消量の割には，出てくるアウトプットは単純という場合が社会を対象とした研究には多いように思われる．しかしモデル開発については，モデルの目標が十分達成されさえすればその構造は簡単であるに越したことはないし，経験の集約がモデルに生かされるならばけして浪費ではないはずである．

実用を目的としたモデル開発には，まず現場の実態把握とそれらを取り巻く環境の変化の認識が最初のステップであり，つづいて，オペレーショナルにするためのアプローチの展開方法と技術の開発が，基本的課題として必要のように思う．

参考文献

1) 城，倉林，浅賀："東京都市圏諸都市の人口成長経過予測に関する研究"，50年度日本都市計画学会論文集

2) W. Isard："Method of Regional Analysis", MIT Press, Inc. 1960

3) 城，上条，渡辺："SDを用いた汎用性のある都市住宅環境モデルの開発"，49年度日本都市計画学会論文集

じょう・のぶお　1948年生

1976年　慶応義塾大学工学部博士課程管理工学卒業

現在　㈱ジスト（日本総合技術研究所）勤務

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．