

地域SDモデルにおけるパラメータ同定

辻 稔 郎

1. はじめに — 研究の背景と目的 —
2. システムダイナミックスの特徴と地域SDモデル
3. 人口セクターにおけるパラメータ同定
4. おわりに

1. はじめに — 研究の背景と目的 —

システムダイナミックス (以下SDと略す) は、意思決定の合理性を確保するための一つの手法である。自治体経営では、公共的な意思決定の多面的な合理性を確保するため、多様な主体による多角的な検討を要する。地域計画の策定にあたり、多くの自治体でSDモデルが作成されてきたが、現在有効に活用されているとはいえない¹⁾。

その原因は、単に“SDが知られていない”ということの他にSDが持つ特徴および提供し得る情報の性質にあると考えられる。モデル構築における現実的問題として、SD固有の特徴を踏まえつつも、ある程度、実績値との適合が要請される。

実績値との適合性に着目したパラメータ同定に関連する研究は、樋口 (1996) や Oliva (2003) などがあるが、地域SDモデルに着目したものはあまり見られない²⁾。

本稿では、実績値 (もしくはその近似値) との適合にも配慮したパラメータの同定方法について人口セクターを事例として試論を提供することを目的とする。まず第2節において、SDの特徴と地域SDモデル固有の問題について論及する。システム分析では、①問題の明確化、②方程式の作成、パラメータの推定、③シミュレーションによるモデルの評価、④代替的選択肢の検討・政策提言といった段階・循環を経る。地域SDモデルが多くの自治体で作成されなくなったのは、実務レベルでの政策分析に足るモデルを作成し得なかったためであり、それは“実績値や実感をもとにモデル作成者がシミュレーションテストを繰り返して行う”という未知パラメータの同定方法の限界にも起因するのではないかという問題意識が本稿の根底にある。そこで3節では、人口セクターにおけるパラメータの同定について、試論を示し、最後にまとめと今後の課題を記す。

2. システムダイナミックスの特徴と地域SDモデル

2.1 SDの特徴

SDは、システムの動特性を連立差分方程式によるモデルによって分析するものである³⁾。自動制御研究を基盤としつ

つも、対象とするシステム全体を見渡すことを重視し、今日では、システム思考、学習といった分野におけるシミュレーションツールとしても広く利用されている。小林 (1993) によれば、SDのメリットは、①非専門家に対してモデルの全体像を細部まで伝達できる、②フィードバックを持つ複雑なシステムの研究に適用できる、③ハードなデータが欠けているような構成要素間の関係に対しても定式を与え、その関係が引き起こす効果を分析する機会を提供し得ることである。しかしテーブル関数の利用をはじめ、“恣意性が入りやすい”、などの問題点が指摘されることも事実である。

SDはいくつかある動的システムの分析手法の1つである。ある池に水位が100単位あるとして、ある任意の単位時間に水位 (水量) の4%が流入し、8%が流出するとする。

$$pond_level_t = \int_{t_0}^t (inflow_t - outflow_t) dt + pond_level_{t_0} \quad (1-1)$$

$$inflow_t = pond_level_t \cdot 0.04 \quad (1-2)$$

$$outflow_t = pond_level_t \cdot 0.08 \quad (1-3)$$

$$pond_level_{t_0} = 100 \quad (1-4)$$

$$\frac{d(pond_level)}{dt} = inflow(t) - outflow(t) \quad (1-1')$$

$pond_level_t$: t 期における池の水位

$inflow_t$: t 期における流入量

$outflow_t$: t 期における流出量

$pond_level_{t_0}$: 0期の池の水位

上記の状況を、システムダイナミックスのダイナモ文法に基づくダイナモ方程式では、

L 池の水位. K = 池の水位. J + DT × (流入. JK - 流出. JK)

N 池の水位 = 100

R 流入. KL = 池の水位. K × 0.04

R 流出. KL = 池の水位. K × 0.08

と記述する。計算間隔DTを1とすると、120単位時間で

水位は、約0.74に減少する。構造が複雑になっても方程式の記述とプログラミング言語（SDのC言語表現については補論を参照）もしくは特定のソフトウェアによるモデリングと数値計算を行えば、値の算出はある程度可能であり、非線形動学でも多くのシミュレーションが示される。

ではSDの特徴はどこにあるのか。遅れを伴う非線形多重フィードバックループに関する分析と、構造やパラメータの設定における多様性の許容が可能であることだが、モデル構築上の一つの特徴はテーブル関数にある。簡単には、モデル作成者が変数間の関係を主観的にプロットしていくような感覚で作成していくものである。まさにこの点がSDの特徴の一つであり、強みとも弱みとも解釈される。

主観的、恣意的な表現を許容できるからこそ、多様な価値観や事実認識を持つ主体間のコミュニケーションに利用できるのが、妥当性の検証においては、モデルの構造、パラメータや動的仮説の検証に対して、多くの参加者の合意が必要とされる。また検証の数値的な指標が、SDの特徴を踏まえたうえで提示されるのであれば、望ましい。

2.2 地域SDモデルの原型

図1、図2、図3はGoodman (1974) による居住コミュニティモデルの因果ループ図、プログラムとシミュレーション結果である。プログラムは筆者が訳書をもとにエクセルダイナモで記述している。

因果ループ図では、他の要素を一定として、変化の方向が同じであれば“+”、逆であれば“-”を付す。ループにおいて、“-”の数が奇数であれば負のフィードバックループとなる。システムの動特性において、負のフィードバックは収束、正のフィードバックは発散に作用する。

この居住コミュニティモデルでは、土地制約のもとで、やがては人口や住宅戸数が収束しようとする動特性を示している。文法上の説明は省略するが、住宅比（住宅/必要住宅数）

が高いほど、転入の魅力乗数は高いという関係は、下記のように記述されている。まず住宅比が0から2までとして、0.25刻みに、魅力乗数は、住宅比0のとき、0.05、0.25のとき、0.1、というようにプロットした点を、線形補完したものを作成する。そのため $(2/0.25) + 1 = 9$ (個) の数値が並べられている。転入魅力乗数は、住宅比のとった値に対するテーブル関数の値が返される。

A 転入魅力乗数. $K = \text{TABLE}$ (縦軸魅力乗数, 住宅比. K, 0, 2, 0.25)

T 縦軸魅力乗数 = 0.05/0.1/0.2/0.4/1/1.6/1.8/1.9/2

ここで正負のフィードバックループについて概観する。因果ループ図は、概念的であり、正式にはフローダイヤグラムが示されねばならない。②のループは、人口→(+)→流入→(+)→人口、という正のフィードバックループであり、ここでは標準流入率はその強さを決めることになる。標準流入率(0.145を基準ケースとする)を0.3にすると、人口の収束規模が、5195人程度から6524人程度にまで上昇し、その時期も早くなる。

④のループはやや長いが、人口→(+)→必要住宅数→(-)→住宅利用可能度→(+)→魅力→(+)→流入→(+)→人口という負のフィードバックループである。この負のループの強さの一つとして、認識期間がある。概念的には住宅比の情報を魅力として地域外の人々を知るための期間である。基準ケースでは5年としているが、ケース2で20年としてみると、いったん6000人程度まで上昇したあとと下降し、基準ケースと同程度に収束する。これは住宅比の情報が遅れて伝達されるために生じるものであり、動的システムの分析における時間の要素の重要性を示している。

わが国で総合計画策定時に作成された、いくつかのSDモデルには、Hamilton et al. (1969) の年齢階層別人口セクタ

図1 居住コミュニティモデル 因果ループ図
山内昭他訳 (1981)、p.356を参考に筆者作成

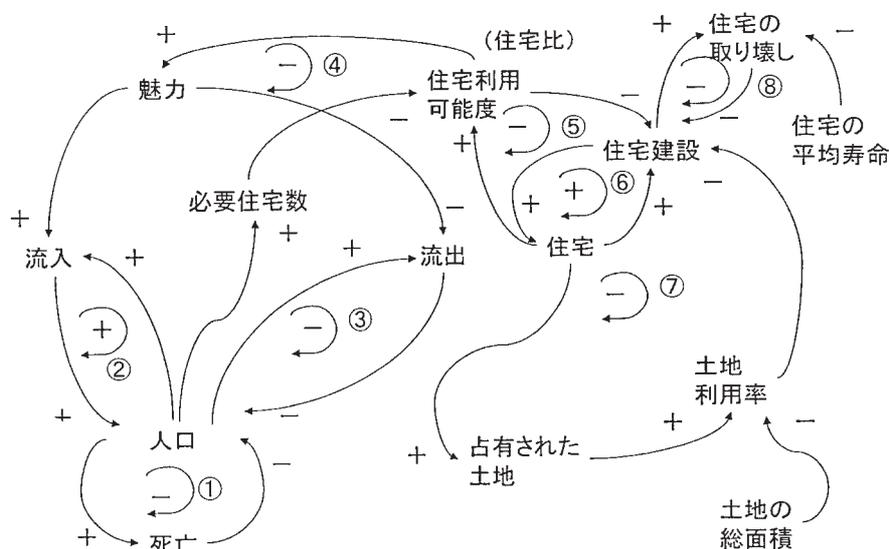


図2 居住コミュニティモデルのシミュレーション結果

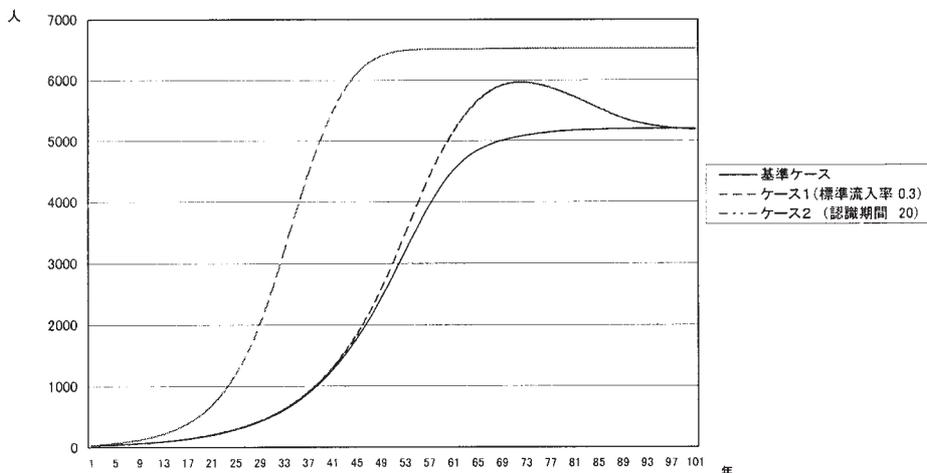


図3 居住コミュニティモデルのダイナモ方程式

NOTE 人口セクター
 L 人口 $K = \text{人口}_J + DT \times (\text{転入}_{JK} - \text{転出}_{JK} - \text{死亡}_{JK})$
 N 人口=30.3 単位 人
 R 転入 $KL = \text{人口}_K \times \text{標準転入率} \times \text{認識された転入を促す魅力乗数}_K$
 C 標準転入率=0.145
 A 認識された転入を促す魅力乗数 $K = \text{SMOOTH}(\text{転入魅力乗数}_K, \text{認識期間})$
 C 認識期間=5 *単位 年
 A 転入魅力乗数 $K = \text{TABLE}(\text{縦軸魅力乗数}, \text{住宅比}_K, 0, 2, 0.25)$
 T 縦軸魅力乗数=0.05/0.1/0.2/0.4/1/1.6/1.8/1.9/2
 A 転出乗数 $K = 1 / \text{転入魅力乗数}_K$
 R 転出 $KL = \text{人口}_K \times \text{標準転出率} \times \text{転出乗数}_K$
 C 標準転出率=0.02
 R 死亡 $KL = \text{人口}_K \times \text{死亡率}$
 C 死亡率=0.025
 NOTE 住宅セクター
 L 住宅 $K = \text{住宅}_J + DT \times (\text{住宅建設}_{JK} - \text{住宅取り壊し}_{JK})$
 N 住宅=10 *単位 戸
 R 住宅建設 $KL = \text{標準住宅建設率} \times \text{住宅建設乗数}_K \times \text{土地利用可能乗数}_K \times \text{住宅}_K$
 A 住宅建設乗数 $K = \text{TABLE}(\text{縦軸住宅建設乗数}, \text{住宅比}_K, 0, 2, 0.25)$
 T 縦軸住宅建設乗数=2.5/2.4/2.3/2/1/0.37/0.2/0.1/0.05
 C 標準住宅建設率=0.12
 A 住宅比 $K = \text{住宅}_K \div \text{必要住宅数}_K$
 A 必要住宅数 $K = \text{人口}_K \times \text{一人当たり住宅数}$
 C 一人当たり住宅数=0.33
 A 土地利用可能乗数 $K = \text{TABLE}(\text{縦軸土地利用可能乗数}, \text{土地利用率}_K, 0, 1, 0.25)$
 T 縦軸土地利用可能乗数=1/0.8/0.5/0.2/0
 A 土地利用率 $K = \text{住宅}_K \times \text{住宅当たりの土地面積} \div \text{総面積}$
 C 住宅当たりの土地面積=1
 C 総面積=1500
 R 住宅取り壊し $KL = \text{住宅}_K \div \text{住宅耐用年数}$
 C 住宅耐用年数=50
 SPEC DT=1/LENGTH=100/PRTPER=1/PLTPER=1
 PLOT 人口

一と、Forrester (1969) の魅力乗数を結合させた構造が組み込まれていた。ここで問題となるのが、魅力乗数の要素やテーブル関数の形状である。現実の地域社会システムを扱う場合、地域の魅力となる要素の選択や、テーブル関数の形状は、

モデルの作成者が、既存データや実感と照合させながらシミュレーションテストを繰り返し、同定するとされるが、“主観的である”、“恣意的である”との見解は常に存在していた。もちろん近年のSDモデル作成のパラダイムからは、多く

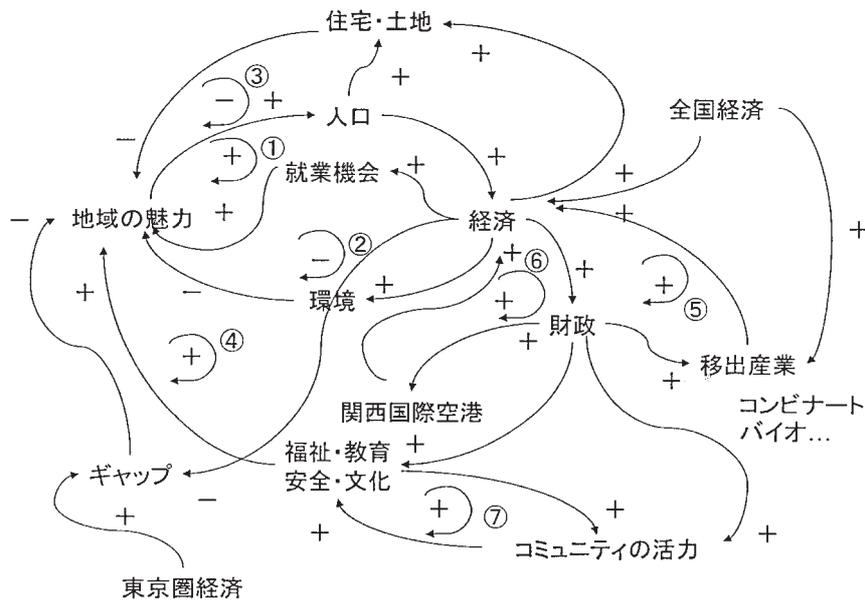
の参加者のもとでの協働によるモデル作成によって、ある程度は、モデルにおける信用や合意を形成できるとの主張もある。それは否定しない。しかしSDの特徴を踏まえたうえで、データオリエンティッドなパラメータやテーブル関数の形状の同定について考察がまったく不必要だということにはならない。大まかに、地域の社会経済システムの動特性を描写するならば、実績値との適合をさほど重視する必要はない。しかし、例えばバランス・スコアカードの仮説を動的シミュレーションによって検証しようという場合、実務レベルで議

論しようとするれば、マクロモジュールについて、ある程度の実績値との適合は必要である。

2.3 大阪府におけるフィードバックループ

次に研究対象地域である大阪府におけるSDモデル作成のための因果ループ図を試作した。主要なフィードバックループについて述べる。要素や因果関係は漠然としたものであるが、府域の将来像を構想するための手がかりとなるものである。

図4 大阪府SDモデルの概念 因果ループ図



ループ①：正のフィードバックループ

経済→(+)→就業機会→(+)→地域の魅力→(+)→人口→(+)→経済

例えば高度成長期には、全国経済の成長とともに、大阪経済も成長し、多くの人口が転入した。

ループ②：負のフィードバックループ

経済→(+)→環境→(-)→地域の魅力→(+)→人口→(+)→経済

経済成長とともに環境が悪化し、居住に対する魅力は減退する。高度成長期に公害により転出があったことはある程度想起できる。

ループ③：負のフィードバックループ

人口→(+)→住宅・土地→(-)→地域の魅力→(+)→人口

人口の増加とともに、一定の土地制約のもとでは地価の上昇や住宅の増加により、転出への圧力となる。逆に地価が下落すれば都心回帰の要因となるかもしれない。

ループ④：正のフィードバックループ

人口→(+)→経済→(+)→財政→(+)福祉・教育・

安全・文化→(+)→地域の魅力→(+)→人口

福祉や教育などの魅力要因が増せば、人口増加につながる(という仮説の)ループである。

現状では、グローバル化や東京一極集中のもと、資本や労働の移動の圧力にさらされ、なおかつ高齢化や環境、財政の制約で地域の魅力が減退していくといったシナリオも想起される。問題は、大阪府民や昼夜大阪府域に集う人々がどのような“大阪”を望んでいるか、それがどのような戦略のうえで可能になるかということであり、よりいえば本稿のような分析手法も“誰がどう使うか・使えるか”によって有用性の是非が下される。

3. 人口セクターにおけるパラメータの同定

3.1 モデルの構造と未知パラメータ

樋口(1996)でも述べられているように、政策変数の最適化や代替的選択肢の多様な主体による評価が可能になるには、“よいモデル”が作成されることが前提となる。現実の社会システムを対象とする場合、未知パラメータの同定をいかに行うかが問題である。

そして地域SDモデルにおけるよいモデルの要件には、あ

程度実績値との適合が要求される。本稿では表計算ソフト Excel によるモデリングを試みた⁴⁾。シミュレーションの期間は1970年から2050年である。人口セクターについて、男女別1歳階級ごとに算出している。社会増減の表現方法については、転入、転出に分ける場合も多いが、ここでは純流入 (= 転入 - 転出) としている。本モデルでは標準純流入率および転入出を促す魅力乗数を5歳階級ごとに設定している。これはモデルの過度の詳細化を避けることと、既存資料がある程度存在するためである。計算間隔は1(年)である。男子0歳の人口は以下のように表される。

$$pop_{man0t} = \int_{t_0}^t (birth_{mant} + ni_{man0t} - death_{man0t} - from_{man0t}) dt + pop_{man0t_0} \quad (3-1)$$

pop_{man0t} : t 期の男0歳人口
 pop_{man0t_0} : 0期の男0歳人口
 $birth_{mant}$: t 期の男出生者数
 ni_{man0t} : t 期の男0歳の純流入
 $death_{man0t}$: t 期の男0歳死亡者数
 $from_{man0t}$: t 期の男0歳からの移行

0期の男0歳人口は、レベル変数の初期値であり、実績値85.509(単位;千人)を与えている。出生者数は、本来はモデル内で内生的に解かれるべきであるが、ここでは、実績値の近似値を与えている。近似値としているのは男女比について未整理な部分を残しているためである。ダイナモ方程式では、

L 男0歳人口. K = 男0歳人口. J + DT × (出生者数. JK + 男0歳純流入. JK - 男0歳死亡. JK - 男0歳からの移行. JK)
 N 男0歳人口 = 85.509

と記述する。出生者数については、ダイナモ文法では、いったん補助変数としてテーブル関数を用いて時系列で与えるが、Excel表現では、データの利用に若干の利便性がある。

$$ni_{man0t} = pop_{man0t} \cdot ni_nrate_{man04} \cdot ammp_{man04t} \quad (3-2)$$

ni_nrate_{man04} : 男0～4歳標準純流入率
 $ammp_{man04t}$: t 期の男0～4歳転入出を促す認識された魅力乗数

男0歳純流入は、SDではレート変数である。ダイナモ方程式では、

R 男0歳純流入. KL = 男0歳人口. K × 男04歳標準純流入率. K × 認識された男04歳転入出を促す魅力乗数. K

と記述する(男04歳としているのは“～”を省略している

ためである)。ここで ni_nrate_{man04} は期間において一定の値であるが未知パラメータである。従来の地域SDモデルでは、基準年を定めてその年の純流入率の値を標準純流入率としていた場合が多い。認識された魅力乗数は以下のように示される。初期値はあとで述べる修正係数の初期値としている。

$$ammp_{man04t} = \int_{t_0}^t (amm1_t - amm2_t) dt + ammp_{man04t_0} \quad (3-3)$$

$amm1_t$: 転入出を促す魅力乗数1
 $amm2_t$: 転入出を促す魅力乗数2

$$amm1_t = \frac{amm_t}{ammpt_{man04}} \quad (3-4)$$

amm_t : 魅力乗数
 $ammpt_{man04}$: 男0～4歳認識期間

男0～4歳認識期間も未知パラメータである。概ね都市・地域のSDモデルでは、15年か20年としていた。

$$amm2_t = \frac{ammp_{man04t}}{ammpt_{man04}} \quad (3-5)$$

$$amm_t = f(lpr_t) \quad (3-6)$$

lpr_t : 府域の住宅地価指数対前年比

魅力乗数は、テーブル関数を用いて、府域の住宅地価指数の対前期比の関数としている。地価指数について、1985年より過去のデータは3大都市圏のデータを簡便に接続して作成した⁵⁾。ダイナモ方程式では、部分的であるが以下のように記される。

L 男04歳認識された転入出を促す魅力乗数. K = 男04歳認識された転入出を促す魅力乗数. J + DT × (転入出を促す魅力乗数1. JK - 転入出を促す魅力乗数2. JK)
 N 男04歳認識された転入出を促す魅力乗数 = 3.192
 R 転入出を促す魅力乗数1. KL = 魅力乗数. K ÷ 男04歳認識期間
 R 転入出を促す魅力乗数2. KL = 男04歳認識された転入出を促す魅力乗数. K ÷ 男04歳認識期間

$$death_{man0t} = pop_{man0t} \cdot death_rate_man_0 \quad (3-7)$$

$death_rate_man_0$: 男0歳死亡率

ダイナモ方程式では、以下のように記述している。

R 男0歳死亡. KL = 男0歳人口. K × 男0歳死亡率
 C 男0歳死亡率 = 0.0033

各年齢階層の死亡率は、厚生労働省の簡易生命表より与えている。本来は医療技術の進歩なども考慮に入れて、フィードバックループを組み入れるべきであるが、今回は一定とした。

$$from_{man0t} = pop_{man04t} \quad (3-8)$$

算出された各年齢の人口は、次の期には、1歳上の年齢階層へ移行する。ダイナモ方程式では、

R 男0歳移行. KL=男0歳人口. K

である。以上の様式で、男女別1歳階級別の人口を算出する。

3.2 未知パラメータの同定

本モデルでは、5歳ごとに、一定の純流入率を設定した。まず転出入を促す魅力乗数を乗じない形で、0～4歳、5～9歳といったように標準純流入率を求める。

$$ni_{man0t} = pop_{man0t} \cdot ni_nrate_{man04} \cdot ni_rate'_{man04t} \quad (3-9)$$

ここで $ni_nrate'_{man04t}$ は修正係数である。まず修正係数はすべて1としておく。 t 期の男0～4歳の人口の予測値を

$$pop_{man04t} = \sum_{i=0}^4 pop_{mani t} \quad (3-10)$$

とする。また t 期の実績近似値を、 pop_real_{man04t} とする。データ期間は1970年から2000年である。

予測値と実績近似値との差のデータ期間における2乗和を

$$E(ni_nrate_{man04}) = \sum_{t=1970}^{2000} (pop_real_{man04t} - pop_{man04t})^2 \quad (3-11)$$

とし、これを最小化するような値を求める。問題としては、

$$\min_{ni_nrate_{man04}} E(ni_nrate_{man04}) \text{ を解く。}$$

ここではExcelのソルバー機能を用いた。標準純流入率が求まれば、次に先ほど1にしていた各期の修正係数を未知パラメータとして、同様の方法で求める。

$$G(ni_rate'_{man04t}) = \sum_{t=1970}^{2000} (pop_real_{man04t} - pop_{man04t})^2 \quad (3-12)$$

問題としては、

$$\min_{ni_nrate'_{man04t}} G(ni_rate'_{man04t}) \quad (t=1970, 1971, \dots, 2000)$$

を解く。データ期間の各期の修正係数を求めるが、これもソルバー機能を用いた。この作業を1歳階級別の人口について、繰り返して各5歳階級別の標準純流入率と修正係数を求めた。

修正係数を求めたのは、予測値と実績近似値との差が次の年齢階層に移行するのをできるだけ防ぐためと、魅力乗数の値の目安を得るためである。表1は同定作業プロセスのなかでの男女別5歳階級別の標準純流入率である。

本モデルでは、社会増減を一括して純移動としている。人口移動の要因は様々なものがあり得るが、大別すれば居住型と就業型の移動に分け得る。人口移動の対象地域として、近隣府県、東京圏、その他の地域という分類があり、ここで近

表1 男女別5歳階級の標準純流入率(%)

年齢階層	男	女
0～4歳	-0.96	-2.41
5～9歳	-1.02	0.017
10～14歳	0.44	-0.55
15～19歳	1.32	1.89
20～24歳	1.00	1.80
25～29歳	-2.93	-3.27
30～34歳	1.30	2.12
35～39歳	-1.43	-2.69
40～44歳	0.019	0.29
45～49歳	-0.48	-0.81
50～54歳	-0.12	-0.00
55～59歳	-1.00	-1.33
60～64歳	0.47	-0.88
65歳以上	0.22	-3.51

隣府県との純移動を居住型の代理変数、その他の地域との純移動を就業型A、東京圏との純移動を就業型B、とする。

就業型Aは大阪府域の景気動向に左右され、就業型Bは本社機能の移転などによる、就業者の流出などを起因とするかもしれない。

府域の社会移動を年齢階層別に見ると、概ね15～19歳、20～24歳では、就学、就業により転入超過となり、20歳代以上から40歳代にかけて、住宅取得などにより、転出し、さらにその子供の階層も転出超過になるとされる。標準純流入率は、各年齢階層が持つ性質を表した、期間において一定の数値であり、修正係数は時系列で変動する。

ここで試論的に、地価の変動を転出の要因として、魅力乗数を標準純流入率に乗じてみる。大阪府域の地価指数の対前年比を求めて、これを補助変数とする。本来はSDモデル内でフィードバックループを形成させたのち、パラメータの同定を行うべきであるが、モデルの他のセクターが未完成であるので、今回はこのような形での試論提供とし、魅力乗数を乗じた形で試算した。テーブル関数については、

$$amm_t = lpr^{\alpha} \quad (3-13)$$

を念頭に、ExcelのLOOKUP関数を用いてテーブル関数に近似したものを作成し、標準純流入率を求めるのと同様の手続きでソルバー機能を用いて、 α を求めた。男0～4歳で、 α は約0.81、男5～9歳で約0.52となった。認識期間も同様にして求めている。図7は、住宅地地価指数対前期比と男0～4歳の認識された魅力乗数を示しているが、認識期間が約0.62と算出され、地価の上昇率が高いときには、転出圧力がかかるような構造となっている。その結果、地価の対前年比を魅力要素として、男0～4歳、男5～9歳人口の振る舞いがある程度再現した。平均絶対誤差率は、それぞれ1.8%、1.7%である。ただし同定作業の順序により、値が僅かであるが、変更され、また現実問題による制約(α を非負にする)を考慮しての同定であり、従来の“シミュレーションテストを繰り返して”という同定作業を完全にプロセス化したわけではない。また通常は魅力の要素に4つか5つの要因が置かれ、(モデル上の)認識期間は15年か20年である。今後はこ

図5 データ期間におけるSDモデルのシミュレーション結果と実績近似値

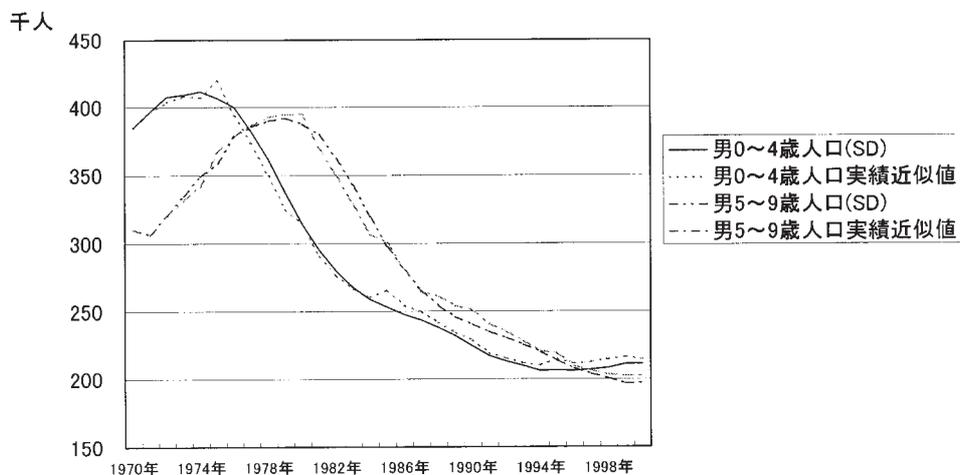


図6 年齢階層別のシミュレーション結果

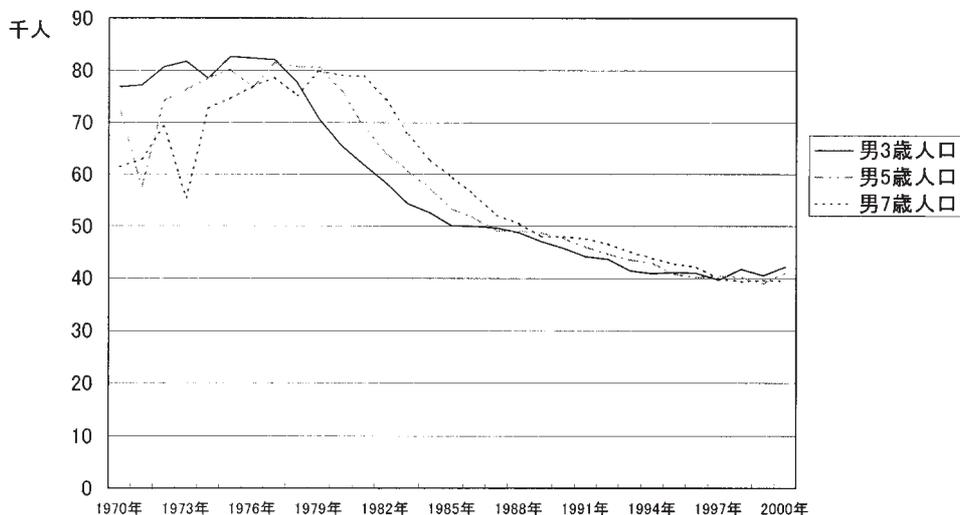


図7 住宅地地価指数前期比と認識された魅力乗数

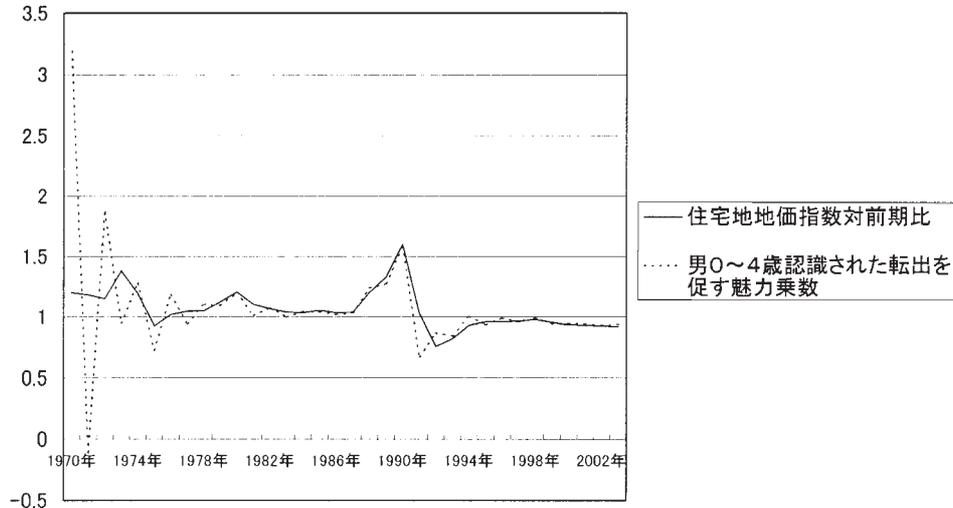


表2 年齢別のシミュレーション結果と実績値

(単位：千人)

	1975年SD	1975年実績	絶対誤差率
男3歳人口	82.680	85.532	3.335%
男5歳人口	80.188	80.843	0.811%
男7歳人口	74.623	75.526	1.196%
	1985年SD	1985年実績	絶対誤差率
男3歳人口	50.021	52.711	5.104%
男5歳人口	53.202	55.513	4.163%
男7歳人口	59.408	59.883	0.793%
	1995年SD	1995年実績	絶対誤差率
男3歳人口	41.143	42.694	3.632%
男5歳人口	40.712	42.057	3.198%
男7歳人口	42.668	43.777	2.533%
	2000年SD	2000年実績	絶対誤差率
男3歳人口	42.194	43.565	3.147%
男5歳人口	41.061	42.103	2.474%
男7歳人口	39.424	40.785	3.338%

これらのことを念頭に置きつつ、人口移動の研究を参考にしながらモデルの作成にあたるのが望まれる。1歳階級におけるモデル作成の強みは、各階級の初期値の凹凸が移行して生かされることである。しかしその反面、予測値と実績近似値との差が累積すれば長期では発散傾向を示す場合すらある。したがって本稿のような方法は、5歳階級の実績近似値をもとにして、予測値と実績近似値との差の累積を防ぐ方法であるともいえる。

4. おわりに

本稿では、5歳階級の人口について、フィードバックループを断ち切った形ではあるが、試論的に、実績値の近似値

と予測値との差の2乗和が最小になるように、標準純流入率を定めた。修正係数を考慮すれば概ね、5歳階級の各年齢階層の特質と一致する値を得た。さらに転出を促す魅力乗数を接続させ、2つの5歳階級別年齢階層について、ある程度の振る舞いの再現と、平均絶対誤差率1.7%、1.8%という値を得た。

またこれまでは、シミュレーションテストを繰り返して、モデル作成者がパラメータを同定するということが常であった同定プロセスの一部を、データのセットに若干の問題があるものの(5歳階級の男女比について、未整理な期間を残している)、予測値と実績近似値との差の2乗和を最小化するように、パラメータを同定することにより、改善への方途を示した⁶⁾。しかし安易なデータ依存は禁物であり、地域の

社会システムに関する質的構造を十分調査し、モデリング、シミュレーションテストをしたうえで、本稿のような手法が適用されるべきである。

今後の課題としては、複雑な多重フィードバックループを含んだ地域SDモデルについてのパラメータやテーブル関数の同定が不可欠となる。テーブル関数については、現実の社会システムの挙動を十分に観察すること、あるいは隣接科学の研究成果の検討が不可欠となる。また地価指数の上昇率などについて、価格メカニズムを含んだモデル作成も必要となる。さらに他のセクターの作成にあたっては、経済動学や計量経済学、社会会計、非線形最適化他、地域科学関連諸分野の研究成果を参考にしつつ、構造やパラメータを同定することが必要となる。

将来的には、参加型政策科学として、発展させていくことが大きな課題となろう。システム思考では、対処療法的施策（具体的定義が困難であるが）が、短期的には効果があるように見えて、長期的には問題を悪化させるという議論がある。しかしある問題では、対処療法的な措置をとらないと、問題自体が無に帰すほど地域社会の何らかの福祉水準が悪化するかもしれない。ここに公共的意思決定とシステム思考のジレンマがあり、総合計画の策定や進捗管理で、バーゲニングの必要性が主張されるのである。

補論 システムダイナミクスモデルのC言語表現

SDの汎用言語表現については、島田編（1994）でBAS ICに触れられているが、ここではC言語による例示を紹介する。多次元配列の導入などにより、今後実績値を用いた場合、非線形最適化などのアルゴリズムの考察が必要となろう。またここでは示していないが補助変数の順序に注意せねばならない。

L 所得水準. $K = \text{所得水準} \cdot J + DT \times \text{調整} \cdot JK$
R 調整. $KL = \text{計画中のストック} \cdot K \div \text{遅れ}$
R 計画. $KL = (\text{目標水準} \cdot K - \text{所得水準} \cdot K) / \text{調整期間}$
C 遅れ = 1
C 調整期間 = 0.5
N 所得水準 = 50
L 目標水準. $K = \text{目標水準} \cdot J + DT \times \text{修正} \cdot JK$
R 修正. $KL = \text{目標水準} \cdot K \times \text{成長率}$
C 成長率 = 0.05
L 計画中のストック. $K = \text{計画中のストック} \cdot J + DT \times (\text{計画} \cdot JK - \text{調整} \cdot JK)$
N 計画中のストック = 0
PLOT 目標水準, 所得水準
SPEC DT=.1/LENGTH=10/PRTPER=.1/PLTPER=.1

/*小林秀徳教授によるダイナモプログラム 「政策研究の動学的展開」 p.7-8 を一部変更*/
/*C言語表現 Toshiro Tsuji*/

```
#include <stdio.h>
#define DT 0.1 /*計算間隔 DT=0.1*/
#define delay 1.0 /*C 遅れ=1.0*/
#define adjust_time 0.5 /*C 調整期間=0.5*/
#define growth_rate 0.05 /*C 成長率=0.05*/
#define LENGTH 10.0 /*LENGTH=10.0*/
#define NUM 400 /*シミュレーションのため配列要素数。余裕をもって設定*/

int main(void){
    double time=0.0; /*時間*/
    /*レベル変数の配列変数の宣言と初期値の設定*/
    double GDP[NUM]={50.0,0.0}; /*N GDP=50*/
    double plan_stock[NUM]={0.0}; /*N 計画中のストック=0*/
    double target[NUM]={100.0,0.0}; /*N 目標水準=100*/

    /*レート変数の配列変数の宣言*/
    double target_growth[NUM]={0.0};
    double adjust[NUM]={0.0};
    double plan[NUM]={0.0};

    int i=1,j=1;
    for(i=1;i<=(int)(LENGTH/DT)+1;i++){
        /*level*/
        GDP[i]=GDP[i-1]+DT*adjust[i-1]; /*L 所得水準.K=所得水準.J+DT*調整.JK*/
        target[i]=target[i-1]+DT*target_growth[i-1];
        /*L 目標水準.K=目標水準.J+DT*修正.JK*/
        plan_stock[i]=plan_stock[i-1]+DT*(plan[i-1]-adjust[i-1]);
        /*L 計画中のストック.K=計画中のストック.J+DT*(計画.JK-調整.JK)*/

        /*rate*/
        target_growth[i]=target[i]*growth_rate; /*R 修正.KL=目標水準.K*成長率*/
        adjust[i]=plan_stock[i]/delay; /*R 調整.KL=計画中のストック.K/遅れ*/
        plan[i]=(target[i]-GDP[i])/adjust_time;
        /*R 計画.KL=(目標水準.K-所得水準.K)÷調整期間*/

        time+=DT;
    }
    printf(" TIME GDP target\n"); /*シミュレーション結果の表示*/
    for(j=1;j<=(int)(LENGTH/DT)+1;j++){
        printf(" %7.11f%7.21f %7.21f\n", (j-1)*DT, GDP
```

```

[j], target[j]);
/*時間、所得水準、目標水準*/
}
return (0);
}

```

[注]

- 1) 大阪府における事例としては、例えば大阪府（1978）参照。
- 2) 坂部（1990）では、社会増減の表現について、魅力乗数と回帰を比較している。
- 3) システムダイナミックスの基礎的事項については、島田編（1994）、小林（2002）などを参照。なお具体的な、モデリングとシミュレーションの方法については、CSMP（SD法専用ではない）、DYNAMOPのような専用言語を用いる場合、C言語、FORTRAN、BASICのような汎用言語を用いる場合、ステラ、パワーシム、ベンシムといったソフトウェアを用いる場合、DYNAMOPⅢ for Windows（エクセルダイナモ）を用いる場合が考えられる。
- 4) エクセルダイナモでは、シート Dyna1 でダイナモ方程式を記述し、エクセルダイナモのシート Dyna2 にモデルの全変数の値のシミュレーションが展開される。このシート Dyna2 を自ら、入力していくことにより着想を得た。テーブル関数の表現については、厳密にはSDソフトが構成するものを再現できていない。Excel表現では、因果ループ図やフローダイアグラムの付加がより要求されるであろう。Excelはマイクロソフト社の登録商標である。
- 5) 日本不動産研究所研究部「市街地価指数」より作成。
- 6) SDモデルにおいては、いわゆる「モデルの確率化」を基本的にはしない。しかし重回帰式を多用した地域SDモデルの解釈も含め論及すべき点が残されている。またソルバ一機能の適用の留意点についても考察の必要がある。

[参考文献]

- (1) Anderson, V., Johanson, L., System thinking basics, Pegasus Communicatins, 1997. (邦訳『システムシンキング』伊藤武志訳、日本能率協会マネジメントセンター、2001年。)
- (2) Forrester, J. W., Industrial Dynamics, MIT Press, 1961.
- (3) Forrester, J. W., Urban Dynamics, MIT Press, 1969.
- (4) Forrester, J. W., Information source for modeling the national economy, Journal of the American Statistical Association, Vol. 75, No. 371, 1980.
- (5) Goodman, M., System Dynamics notes, Wright-Allen Press 1974. (邦訳、山内昭他訳『システムダイナミックスノート』、マゴロウヒル好学社、1981年。)
- (6) 樋口透「システム・ダイナミックス・モデルにおけるパ

- ラメータ同定]、『駿河台論集』、第5巻、第2号、1996年。
- (7) Hamilton, H. R., et al., Systems Simulation for Regional Analysis; An Application to River-Basin Planning, Massachusetts Institute of Technology, 1969.
 - (8) 堀比呂志『資源・環境と経済成長』、至誠堂、1974年。
 - (9) INPMバランス・スコアカード研究会、石原俊彦（編著）『自治体バランス・スコアカード』東洋経済新報社、2004年。
 - (10) 金子隆一「人口統計学の展開」、『日本統計学会誌』、第31巻、第4号、2001年。
 - (11) Keloharju, R., Wolstenholme, E. F., A case study in system dynamics optimization, Journal of the Operational Research Society, Vol. 40, No. 3, 1989.
 - (12) 小林秀徳「システムダイナミクス研究の今日的課題」、『経済研究』（成城大学）、No. 120, 1993年。
 - (13) 小林秀徳『政策研究の動学的展開』、白桃書房、2002年。
 - (14) Mass, N. J., Economic fluctuations: A framework for analysis and policy design, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, vol. SMC-8, No. 6, 1978.
 - (15) Nelson, C. W., Krisbergh, H. M., A search procedure for policy oriented simulations: Applications to urban dynamics, Management Science, Vol. 20, No. 8, 1974.
 - (16) Oliva, R., Model calibration as a testing strategy for system dynamics models, European Journal of Operational Research Vol. 151, 2003.
 - (17) 大阪府土木部都市整備局「大阪府土地利用計画システムの開発に関する調査報告書」、1978年。
 - (18) 大阪府知事公室政策室計画課「大阪府の将来推計人口平成12年～42年 平成16年3月推計」、2004年。
 - (19) Patil, M. K., et al., Mathematical simulation of impact of birth control policies on Indian population system, Simulation, Vol. 41, No. 3, 1983.
 - (20) 坂部創一「羽生市ダイナミックモデルによる地域環境魅力の定量手法」、『環境情報科学』、第19巻、第1号、1990年。
 - (21) 坂西明子「地域間移動の要因分析」、『経済研究』（大阪府立大学）、Vol. 44, No. 2, 1998年。
 - (22) 島田俊郎編『システムダイナミックス入門』、日科技連、1994年。
 - (23) Senge, P. M., The Fifth Discipline, Doubleday/currency, 1990. (邦訳 守部信之他訳『最強組織の法則』、徳間書店、1995年。)
 - (24) Sterman, J. D., Appropriate summary statistics for evaluating the historical fit of system dynamics models, Dynamica, vol. 10, Winter, 1984.
 - (25) Sterman, J. D., A behavioral model of the economic

- long wave, *Journal of Economic Behavior and Organizations* 6, 1985.
- (26) Sterman, J.D., The economic long wave: theory and evidence, *System Dynamics Review*, Vol. 2, No. 2, 1986.
- (27) 辻稔郎「地域総合計画策定支援システムの活用に関する考察」、『地方自治研究』、第16巻、第2号、2001年。
- (28) 辻稔郎「Public Sector Accounting Dynamics Modelの開発に関する基礎的研究」、『地方自治研究』、第18巻、第1号、2003年。
- (29) 辻稔郎「地域SDモデルの今日的課題」、『産開研論集』、第16号、2004年。