

地域SDモデルにおけるパラメータ同定（その2）

辻 稔 郎

1. はじめに — 研究の背景と目的 —
2. SDモデルによるアプローチと地域SDモデル
3. 人口セクターの構造とパラメータの同定
4. むすびにかえて

1. はじめに — 研究の背景と目的 —

システムダイナミクス (System Dynamics 以下SDと略す場合がある) 法は、制御研究を基礎とした合理的な推論のための逐次決定による1つの手法である。わが国では、1970年代初頭以来、総合計画などの策定の際、この手法を用いたモデルが、頻繁ではないにせよ作成されてきた¹⁾。未知パラメータの同定は、この手法を部分的にでも実績値が存在する社会システムに適用する際に、必然的に生じる作業であるが、これまで実績値や実感をもとにシミュレーションテストを行いながらモデルの作成者が行っていたと、概ね推察される²⁾。また一定期間内でのトータルなモデルの完成を優先させるため社会増減の要因への年齢階層ごとの反応の程度(テーブル関数の形状など)は、同じであると仮定した場合も多いと推察される。そこで辻(2005)では、社会増減について純流入を想定し、最適化手法により標準純流入率を求め、さらに地価を魅力要因とする乗数の形状やパラメータについて論及した。

本稿はSDの特質に関する論及を加えつつ、人口セクターを事例に、転入と転出を想定し未知パラメータの同定を試みることを目的とする。第2節で、SDモデルによるアプローチの特質と地域SDモデルに伴う固有の困難な課題及び解決策について論及する。第3節では大阪府を事例として、年齢階層によって社会増減の要因への反応の程度が異なるという仮定のもと、人口セクターにおける未知パラメータの同定を試み、最後にまとめと今後の課題を記す。

2. SDモデルによるアプローチと地域SDモデル

2.1 SDモデルによるアプローチ

システムダイナミクス法は、連立差分方程式によるシミュレーションモデルによってシステムの動特性を分析する手法であり、制御理論の社会・経営などの分野への応用として発展してきた³⁾。基礎的枠組み⁴⁾としては、①システムの境界、②フィードバックループの構造、③レベル変数とレート変数のサブ構造、④レート変数のサブ構造としての、目標(望ましい値)、現状(観測値)、そのギャップとギャップを埋めるための行動、があり、それらをいかに見極めるかが重要となる。まず物理現象における動特性の例を示す。

ニュートンの運動の第2法則によれば、質点に力が働くと、その方向の力の大きさに比例した加速度を生じる。力を F 、加速度を a 、質量を m とすると、

$$F = m \cdot a \quad (2-1)$$

であり、この式の意味するところは“外力の総和=質点の質量×質点の加速度”である。これを直線運動の運動方程式という。

摩擦のないばねの単振動モデル⁵⁾は、変位を x 、質量を m 、抵抗係数を k とすると、

$$m = \frac{d^2x}{dt^2} - kx \quad (2-2)$$

で表される。解析的な一般解⁶⁾としては、

$$x = A \sin \left(\sqrt{\frac{k}{m}} t + \theta \right) \quad (A, \theta \text{ は定数}) \quad (2-3)$$

となるが、ここでシステムダイナミクスによるモデリングとシミュレーション⁷⁾を紹介する。簡単のためばねの重さは無視する。数値例は岡野他(1997)のものを用いている。

図1 ばねの単振動

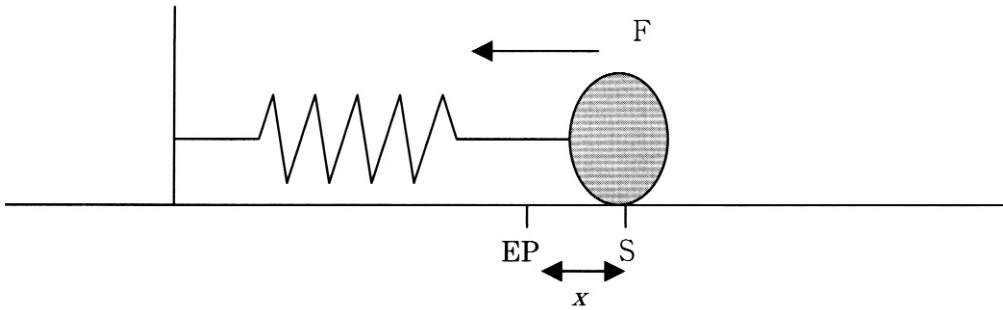
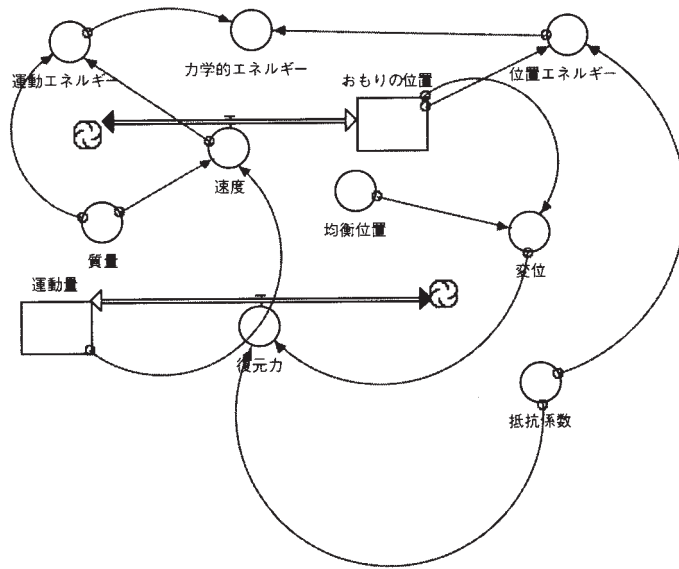


図2 単振動のSTELLAパイプダイアグラム



まず、おもりの位置は、変位としての速度を加えることにより求められる。

$$S_t = \int_{t_0}^t (v) dt + S_{t_0} \quad (2-4)$$

$$S_{t_0} = 0.2 \quad (2-5)$$

S : おもりの位置 (m)

v : 速度 (m/s)

運動量は質量と速度の積で表される物理量であることから、

$$v = \frac{P}{m} \quad (2-6)$$

となる。

m : 質量 (kg)

$$m = 0.36 \quad (2-7)$$

よって、v の大きさと向き (正負) は運動量により決まるが、運動量は、ばねの復元力が累積したものとす。

$$P_t = \int_{t_0}^t (F) dt + P_{t_0} \quad (2-8)$$

$$P_{t_0} = 0 \quad (2-9)$$

$$F = -kx \quad (2-10)$$

k : ばね係数 (N/m)

P : 運動量 (kgm/s)

F : 弾力性 (復元力) (N)

x : 変位 (m)

$$k = 25 \quad (2-11)$$

変位はおもりの位置から均衡位置を引いたものである。

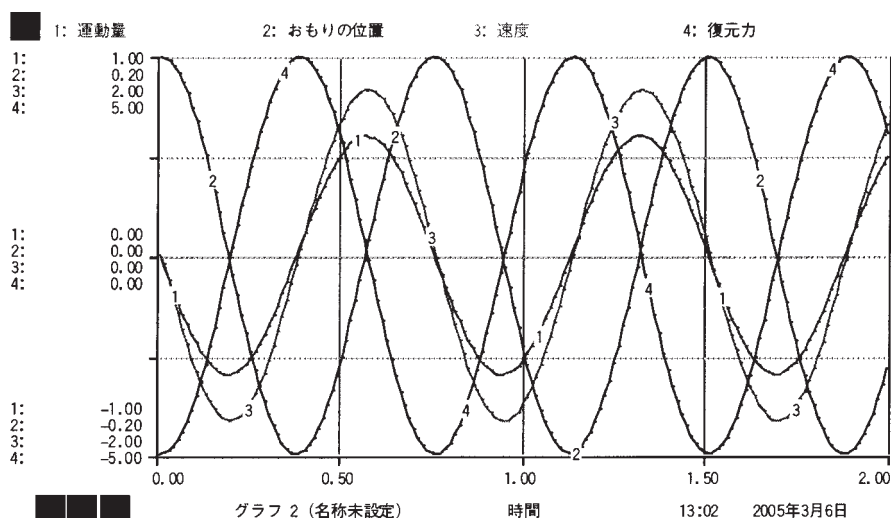
$$x = S - EP \quad (2-12)$$

EP : 均衡位置

$$EP = 0 \quad (2-13)$$

時間間隔DTは、0.0125sec、4次のルンゲ・クッタ法⁸⁾でシミュレーションすると、
図3のようになる。

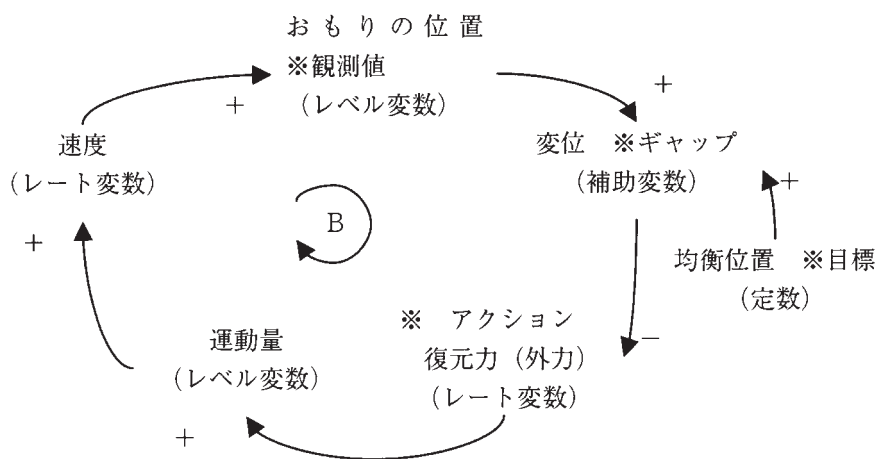
図3 単振動のシミュレーション結果



ここでは、おもりの位置は速度によって変化し、速度は運動量の影響を受け、運動量は復元力によって変化するが、復元力は変位を通じて、おもりの位置に影響を受けているという因果連鎖を表現している。

ここでSDの基礎的枠組みとの関係では、おもりの位置が観測値、目標が均衡位置、変位がギャップ、アクションが復元力に相当するとみることができる。

図4 単振動の因果ループ図



岡野他著 (1997) p. 30図3-16を参考に筆者加筆

※中央のBは balance feedback loop の略で負のフィードバックループ構造を示している。

物理学や工学の領域においては、運動方程式や解析解が示されるが、Forresterの功績は、このような物理学や工学分野の成果を基礎として、経営の領域に人間とコンピュータの学習と協働による情報処理の方法論と実装環境を構築したことにより、図4のような因果連鎖を逐次決定を前提としつつフィードバックループ構造として捉えることがSDの特質の1つである⁹⁾。

2.2 地域SDモデルの作成における課題

さて前述のような制御の構造を地域の社会経済システムに

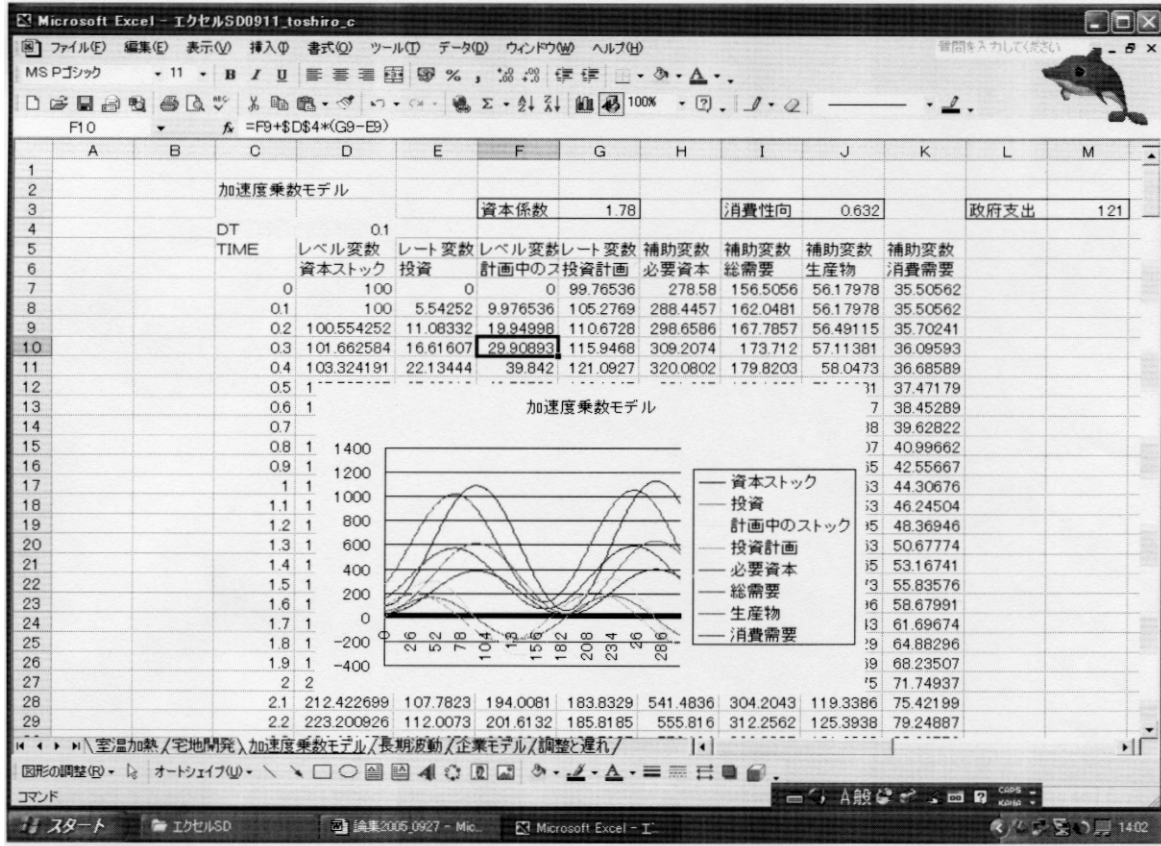
おいて見極めることは、非常に困難であり、また地域経営主体の主観により、モデルの目的、抽出する要素、因果関係などが異なる可能性は、十分にある。よって多くの地域経営主体の参加やコミュニケーションがモデルの有効度や妥当性を高めるために必要である。

これまで情報技術やその利用環境もあってモデルのプロジェクトに直接関わりのない住民や職員といったエンドユーザへの配慮は必ずしも十分でなかった。例えばスプレッドシートプログラムを用いたモデルの作成には、フローダイアグラムや因果ループ図、方程式リストを付加し伝達方法を工夫す

れば、ソフトウェアやその利用技術の普及を鑑みれば一考の価値があるであろう¹⁰⁾。図10は一例であるが、自らセルに因果関係を入力することにより、例えば、レベル変数は前期

のレベル変数と前期のレート変数により決定されるという逐次決定の構造が、経験的に理解、伝達できる。

図5 スプレッドシートプログラムを用いたモデリング



さて、たとえ構造に関する因果連鎖を想定しても、未知パラメータを同定しないと実証的なモデルが作成できない場合がある。以下そのような場合の同定方法について論及する。

3. 人口セクターの構造とパラメータ同定

3.1 モデルの構造

モデルの妥当性や信用性は、モデルの目的と切り離して議論することができない。とくに地域のモデルの場合、多くの参加者がアプローチ可能であることが望ましいとの観点から、遠回りのようであるが開発や利用環境に論及した。どのような目的にせよ、人口セクターの構造、とりわけ社会増減の表現は、モデルの生命線ともいえる。そこで次にプロトタイプモデルの準備として大阪府を事例に、人口セクターの構造とパラメータについてみる。男0歳人口はレベル変数であり、前期の値に単位期間の男子出生者数、転入者数を加算し、死亡者数、転出者数、次階層への移行者数を減じて求められる。ここでは計算間隔は1としている¹¹⁾。

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

- 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
- in_{man0t} : t 期の男0歳の転入者数
- out_{man0t} : t 期の男0歳の転出者数
- $death_{man0t}$: 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、実績値を時系列で与えている。辻(2005)では、出生者数を2で除したものを近似的に用いていたが、今回は出生者の性比を考慮している。

ダイナモ方程式では、

L 男0歳人口. $K = \text{男0歳人口} \cdot J + DT \times (\text{出生者数} \cdot JK + \text{男0歳転入} \cdot JK - \text{男0歳転出} \cdot JK - \text{男0歳死亡} \cdot JK - \text{男0歳からの移行} \cdot JK)$

N 男0歳人口 = 85,509
となる。

$$in_{man0t} = pop_{man0t} \cdot in_nrate_{man04} \cdot ammp_in_{man04t} \quad (3-2)$$

in_nrate_{man04} : 男0～4歳標準転入率
 $ammp_in_{man04t}$: t 期の男0～4歳転入を促す認識された魅力乗数

男0歳転入者数は、SDではレート変数であり、ダイナモ方程式では、

R 男0歳純流入. $KL = \text{男0歳人口} \cdot K \times \text{男04歳標準転入率} \times \text{認識された男04歳転出入を促す魅力乗数} \cdot K$

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)。標準転入率および標準転出率は、平成12年の国勢調査のデータから1年当たりの値を設定しているが、この年齢階層についてはデータがないので、5～9歳の値を参考に感度分析を繰り返し設定した。ダイナモ方程式では以下のようなになる。

C 男04歳標準転入率 = 0.0124

認識された男04歳転入を促す魅力乗数は以下のように示される。

$$ammp_in_{man04t} = \int_{t_0}^t (amm1_in_{man04t} - amm2_in_{man04t}) dt + ammp_in_{man04t} \quad (3-3)$$

$amm1_in_{man04t}$: t 期の男04歳転入を促す魅力乗数1
 $amm2_in_{man04t}$: t 期の男04歳転入を促す魅力乗数2

$$amm1_in_{man04t} = \frac{amm_in_{man04t}}{ammpt_{man04t}} \quad (3-4)$$

amm_in_{man04t} : t 期の男04歳転入魅力乗数
 $ammpt_{man04t}$: 男04歳認識期間

$ammpt_{man04t}$ は未知パラメータである。

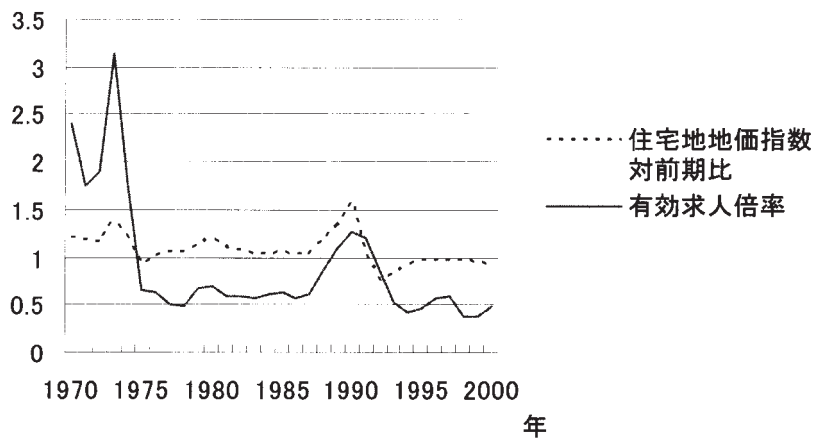
$$amm2_in_{man04t} = \frac{amm_in_{man04t}}{ammpt_{man04t}} \quad (3-5)$$

$$amm_in_{man04t} = f(lpr_t, w_t) \quad (3-6)$$

lpr_t : 府域の住宅地価指数対前年比
 w_t : 有効求人倍率

人口移動の要因については、賃金格差説、地価格差説などがある。通例、社会移動については居住型と就業型に分けられる。これまでの都市・地域を対象としたSDモデルでは、より多くの要因を用いていたが、今回は、居住と就業に関する単一の要因に絞った。

図6 住宅地地価指数前期比と有効求人倍率の推移



有効求人倍率；厚生労働省「職業安定業務統計」、大阪労働局「労働市場月報」
住宅地地価指数対前期比；日本不動産研究所研究部「市街地化指数」より作成。
※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。

$$out_{man0t} = pop_{man0t} \cdot out_nrate_{man04} \cdot ammp_out_{man04t} \quad (3-7)$$

out_nrate_{man04} : 男04歳標準転出率

$ammp_out_{man04t}$: 男04歳認識された転出を促す魅力乗数

男04歳の標準転出率については、感度分析を行い0.014とした。転入を促す魅力乗数は転出調整係数を認識された転入を促す魅力乗数で除して求める構造としている。

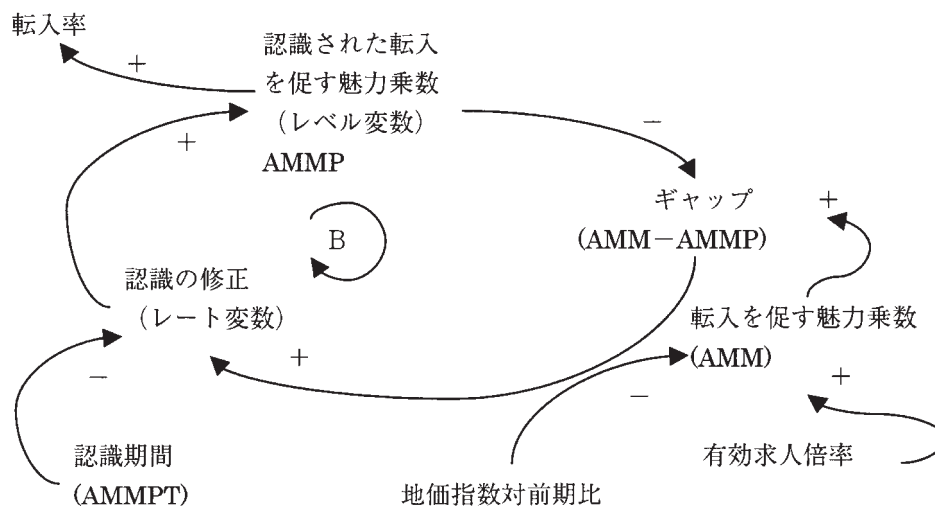
$$ammp_out_{man04t} = \frac{ammp_out_{man04t}}{ammp_in_{man04t}} \quad (3-8)$$

$ammp_out_{man04t}$: 男04歳転出調整係数

認識期間で平滑化しない段階の転入を促す魅力乗数の逆数とする場合も多いが、今回は認識された転入を促す魅力乗数の逆数に、当該年齢階層に固有の係数を乗じるという構造とした。転出の決意にも認識期間が必要であり、ここでは、認識された転入を促す魅力乗数の逆数を基礎とする強い仮定をおいた。そして調整係数を乗じて、転入と転出へかかる乗数の比を設定した。

図7に見られるように、単振動の例とは違い、目標にあたる部分が変化するような制御の構造となっている。

図7 認識された転入を促す魅力乗数における制御構造 因果ループ図



$$death_{man0t} = pop_{man0t} \cdot death_rate_man_0 \quad (3-9)$$

$death_rate_man_0$; 男0歳死亡率

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。

$$from_{man0t} = pop_{man0t} \quad (3-10)$$

各年齢別に算出された値が、次の期へ移行していく。ダイナモ方程式では

R 男0歳移行. KL=男0歳人口. K

t 期の男0～4歳の人口の予測値は次式であらわされる。

$$pop_{man04t} = \sum_{i=0}^4 pop_{manit} \quad (3-11)$$

また t 期の実績近似値を、 pop_actual_{man04t} とする。データ期間は1970年から2000年であるが、1975年から5年おきのデータはあらかじめ除き（2000年は含む）、それ以外の期については総務省のデータに当該年の総人口における性比を

乗じている。これは、5年おきの実データと、それ以外のデータとの凹凸を鑑み、同定作業には用いるべきでないと判断したためである。よって5歳階級別人口の上下の転換傾向と大よその数値的近似性が得られればよいとした。転入を促す魅力乗数については、以下のように設定した。

$$amm_in_{man04t} = (2 - lpr_t)^{\alpha_man04} \cdot w_t^{\beta_man04} \quad (3-12)$$

ここでは、地価の前期比が高いほど、転入への魅力を減退させ、有効求人倍率が高いほど転入への魅力を上昇させるという仮定をおいている。

3.2 未知パラメータの同定 (1)

$$E(ammpt_{man04}, ammp_{out_{man04t}}, \alpha_{man04}, \beta_{man04},) = \sum_{t=1970}^{2000} (pop_actual_{man04t} - pop_{man04t})^2 \quad (3-13)$$

とし、これを最小化するような値を求める。問題としては、

$$\min_{A_{04}, B_{04}, C_{04}, D_{04}} E(A_{04}, B_{04}, C_{04}, D_{04}) \quad \text{を解く。}$$

ただし

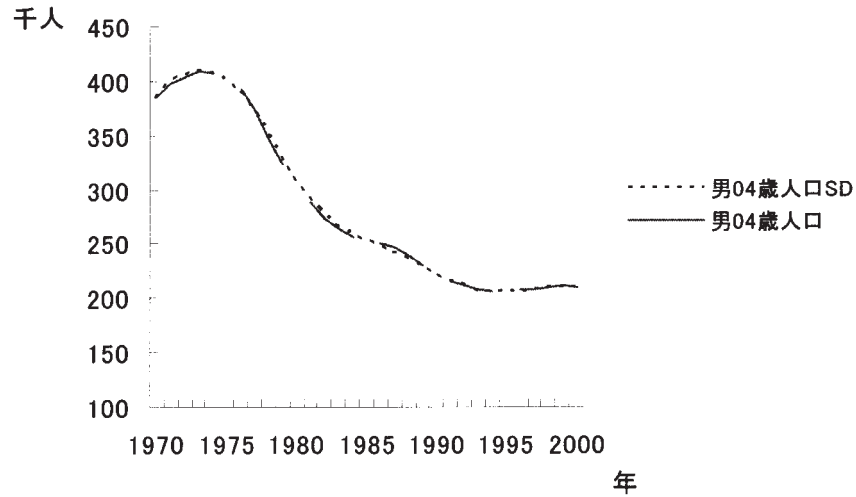
$A_{04} = ammpt_{man04}, B_{04} = ammpt_out_{man04}, C_{04} = \alpha_{man04},$
 $D_{04} = \beta_{man04}$ である。

$ammpt_{man04} \leq 20, ammpt_out_{man04} \geq 1, \alpha_{man04}$
 $\geq 0.01, \beta_{man04} \geq 0.01$

また以下のような制約を暫定的に設定した。

そして限界傾斜を観測しながらパラメータを探索した。制約条件の境界の値を初期設定としてExcelのソルバー機能を用いて部分的にパラメータの同定を行った(表1)。

図8 男0～4歳 人口シミュレーション結果



平均絶対誤差率 約0.6%

$A_{04} = 40 (-3.60), B_{04} \doteq 2.29 (0.00), C_{04} = 0.01 (12.48), D_{04} \doteq 2.61 (0.00)$

※括弧内は限界傾斜(ここではパラメータの単位当たりの誤差の二乗和の増加分)。

図9 男20～24歳 人口シミュレーション結果

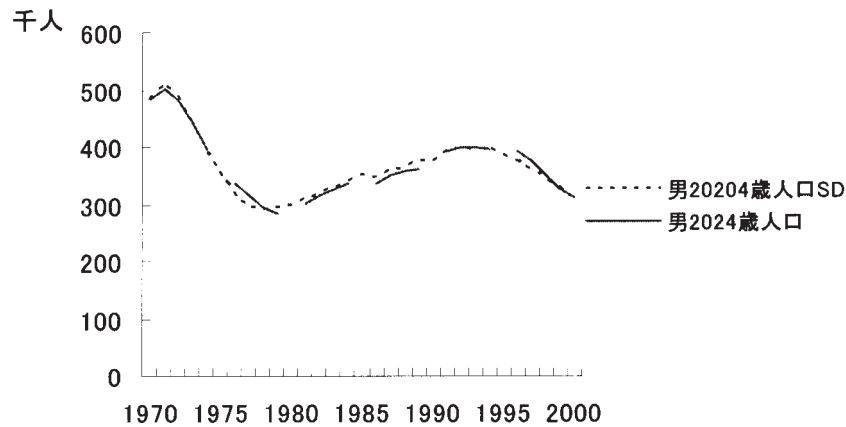


図8、9から動的な振る舞いについては再現しえていと解釈できる。平均絶対誤差率は概ね良好である。またプロットによる目視でも概ね上下転換を再現できている。ただしもとのデータセットの段階で無理がある可能性があるため、過度の最適化手法への依存は避けるべきであろう。男15～19歳の階層では、高度成長期に大量の転入があったと推察され

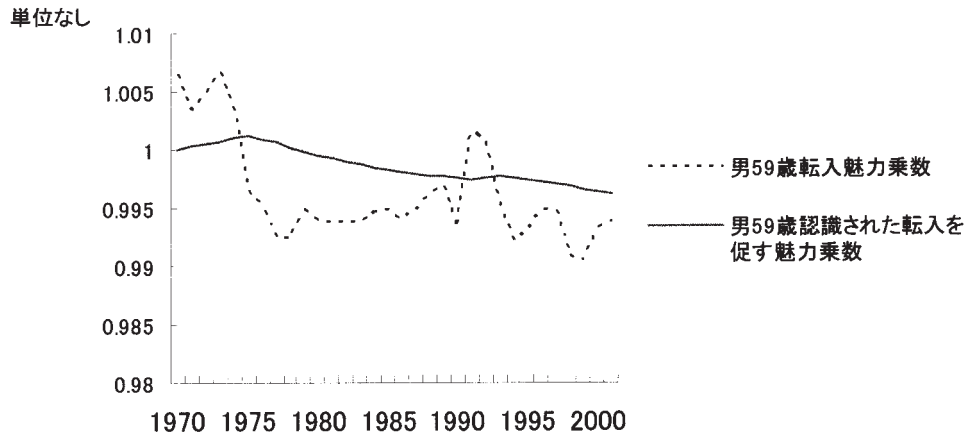
るが、標準転入率は平成12年の国勢調査データであるから、パラメータが大きい反応を示している可能性がある。図10では標準転入率の修正水準の制御が示されている。魅力乗数に乱高下があっても認識期間が長いから、緩やかに変化する構造となっていることが伺える。

表1 標準転入率、標準転出率及びパラメータの同定結果 (1) 括弧内は限界傾斜

階 層	標準転入率	標準転出率	認識期間	転出調整係数	α 居 住	β 就 業	平均絶対誤差率 (%)
男0～4	0.0124	0.0140	40.00 (-3.60)	2.29 (0.00)	0.01 (12.48)	2.61 (0.00)	0.60
男5～9	0.0141	0.0213	20.00 (-0.19)	1.61 (0.00)	0.01 (104.04)	0.01 (484.46)	1.50
男10～14	0.0089	0.0128	20.00 (-0.26)	1.00 (3726.08)	0.01 (470.14)	0.01 (243.47)	2.95
男15～19	0.0203	0.0118	14.33 (0.00)	1.00 (830.58)	16.84 (0.00)	7.61 (0.00)	3.10
男20～24	0.0373	0.0262	20.00 (0.00)	1.00 (1988.12)	0.01 (490.88)	0.09 (0.00)	2.06

※同定したパラメータについては小数点第2位での表記にとどめている。

図10 標準転入率の修正水準の制御



3.3 未知パラメータの同定 (2)

前節では、5歳階級ごとにシミュレーション値と実績近似値との差の2乗和が最小になるようなパラメータを試論的に順次求めた。しかし例えば0歳から4歳にかかわる未知パラメータの変化は、10歳から14歳の階級のシミュレーション値と実績近似値の差に影響を与える。ここでOliva (2003)が示すような、実績値とシミュレーション値との差に関する値の加重平均を最小にするパラメータを求めるアプローチ¹²⁾について考察する。

$$\text{Min}_p \sum_{i=1}^n w_i \sum_{t=T_0}^{T_f} f(y_{it} - d_{it})$$

p : (未知) パラメータ

y_{it} : i 番目の変数の t 期のシミュレーション値

d_{it} : i 番目の変数の t 期の実績値 (もしくは加工した実績近似値)

w_i : i 番目の変数のウェイト

ここで男0歳から男24歳までの平均絶対誤差率の加重平均の最小化を考える。5つの階層に0.2のウェイトを付している。合計で20個の未知パラメータを、平均絶対誤差率の加重平均を最小化するように同定する。その結果表2の同定結果を得た。順次同定した場合より平均絶対誤差率は下がっている。

表2 標準転入率、標準転出率及びパラメータの同定結果(2) 括弧内は限界傾斜

階層	標準転入率	標準転出率	認識期間	転出調整係数	α 居住	β 就業	平均絶対誤差率 (%)
男0～4	0.0124	0.0140	57.39 (0.00)	2.41 (0.00)	0.01 (0.00)	2.94 (0.00)	0.60
男5～9	0.0141	0.0213	20.17 (0.00)	1.39 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	1.01
男10～14	0.0089	0.0128	19.02 (0.00)	1.11 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	1.96
男15～19	0.0203	0.0118	15.58 (0.00)	1.00 (0.00)	14.47 (0.00)	6.86 (0.00)	2.76
男20～24	0.0373	0.0262	20.00 (0.00)	1.00 (0.00)	0.01 (0.00)	0.07 (0.00)	2.01

※ 平均絶対誤差率の加重平均は、1.67% (ウエイトは各0.2)。

※ 限界傾斜については、完全に0でないものもある。

ソルバー機能では、変化させるセルの数に限界(著者の利用環境では30)がある。本格的には集合族帰属テスト(Family-member test)¹³⁾を想定すれば汎用言語の利用を考慮せねばならないだろう。

4. むすびにかえて

SDアプローチの基本的枠組みであるところの“制御の構造”を地域の社会・経済システムにおいて見極めることは非常に困難である。また制御理論の援用が妥当と判断されるか否かは、議論のあるところであろう。よって多くの参加者による妥当性の検証や利用がモデルの有効利用のために不可欠である。故にそのための情報環境の整備、とりわけ、職員や住民といったエンドユーザの視点に立った現実的考慮が必要である。試論としてスプレッドシートプログラムの利用を提案した。

また地域には実績値としてのデータが一定の集計レベルで存在する。よって因果関係を優先させつつも、実績値や次善の手段として加工した近似値との適合性がモデルに求められる。その際、最適化手法による未知パラメータの同定は一定の役割を果たす。

第3節では、2節での議論を踏まえ、スプレッドシートプログラムを用いて、大阪府を対象に人口セクターの構造とパラメータの同定を、2つの段階を経て、部分的であるが試論的に試み、概ね良好な結果を得た。とくに1歳階級別のレベル変数を設定し5歳階級別に未知パラメータを同定することにより、ある程度集計レベルが低い指標の振る舞いを概ね再現できた。

しかしトータルモデルの構築に向けて、未知パラメータの数やモデルの規模の問題、さらには集合族帰属テストを考慮すれば、汎用言語の利用を考察する必要がある。

また有効求人倍率や地価指数をどのように再現するかといった課題が残されている。これには市場メカニズムのモデル化が要求されよう。さらには他のソフトウェアの利用やエンドユーザと専門家が共有できるモデリングとシミュレーションの環境を自治体経営におけるDSSとして構築することも課題である。

〔注〕

- 1) 初期の事例としては例えば小笠原(1974)参照。近年においても出井(2004)において、「中・長期財政計画策定支援システム」の確立を早急に図る必要があると述べられている。出井(2004)、pp. 160-182参照。
- 2) 近年の未知パラメータ同定研究に関しては例えば樋口(1996)、oliva(2003)参照。
- 3) 近年では、サプライチェーンマネジメントへの適用例も多い。地域開発の問題においても妥当性の検証の研究やグループモデルビルディング研究などの成果を活用することが多くなっている。Shi, et.al. (2005)参照。また宮川編著(2004) pp. 141-142、においては広い意味での経営情報システムにおけるモデルベースとして扱われている。
- 4) Forrester(1968), chapter 4, 4-17参照。
- 5) より一般的には例えば小野(1968)、pp. 37-40参照。
- 6) 解析解の求め方については例えば山田監修(1987)、pp. 9-10参照。
- 7) 岡野他著(1997)第3章参照。変位とばねの弾力性の符号の扱いが本稿では若干異なる。
- 8) 吉澤(1968) pp. 72-74参照。
- 9) 小林(2001)では「ダイナモ方程式モデルは微分方程式を近似するための数値計算ではない。直接実証的見地からモデリングしているのでオリジナリティはダイナモ方程式の

側にある」と述べられている。ルンゲ・クッタ法の利用については議論が分かれる可能性もあるが、システム思考によるモデリングのための、SD法の存在意義については、SDやシミュレーションの専門家において合意が得られるであろう。

- 10) スプレッドシートプログラムによるモデリングとシミュレーションの意義及び限界については、別の機会に論ずることとするが、ソフトウェアの利用可能性の高さにおいて一般性がある反面、計算間隔やシミュレーション期間の設定によっては困難な状況に直面することに留意する必要がある。
- 11) 計算間隔の設定は扱う問題にもよるが、基本的には0に近いほどよい場合が多い。本稿では得られる実績値との関連から1としている。
- 12) 詳しくはOliva (2003), pp. 556 – 562参照。
- 13) 詳しくはForrester and Senge (1980), pp. 220 – 221参照。

〔参考文献〕

- Barlas, Y., Formal aspects of model validity and validation in system dynamics, *System Dynamics Review*, Vol. 12, No. 3, 1996.
- 出井信夫『自治体の財政分析』、学陽書房、2004年。
- Forrester, J.W., *Principles of systems*, MIT Press, 1968.
- Forrester, J., Senge, P., Tests for building confidence in system dynamics models, *TIMS Studies in the Management Sciences* 14, 1980.
- Ge, Y., et al., System dynamics modeling for supply-chain management: A case study on a supermarket chain in the UK, *International transactions in operational research*, 11, 2004.
- 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。
- 小林秀徳「低成長下における政策研究の及び政策科学におけるシステムダイナミックスの意義」、『システムダイナミックス』、No. 2, 2001年。
- 松谷明彦・藤正巖『人口減少社会の設計』、中央公論社、2002年。
- 宮川公男編著『経営情報システム 第3版』、中央経済社、2004年。
- 宮城県企画部『宮城システム・ダイナミックスモデルⅡ開発調査報告書』、1984年。
- 小笠原睦「長期総合計画策定支援システム—兵庫ダイナミックス—」、『CULTURAL PROSPITY』、No. 2, (社)社会開発統計研究所、1974年。
- 岡野道治他『理工系システムのモデリング学習』、牧野書店、1997年。
- Oliva, R., Model calibration as a testing strategy for system dynamics models, *European Journal of*

Operational Research Vol. 151, 2003.

- 小野周『岩波講座 基礎工学1 力学I』、岩波書店、1968年。
- 相楽節夫他『システム同定』、コロナ社、1987年。
- Shi, T., Rodereic, G., Developing effective policies for the sustainable development of ecological agriculture in china :the case study of Jinshan County with a system dynamics model, *Ecological Economics*, 53, 2005.
- 辻稔郎「地域SDモデルにおけるパラメータ同定」、『産開研論集』、第17号、2005年。
- 内野明「21世紀日本の人口モデルにむけた基礎的考察」、『商学研究年報』、第28号、2003年。
- 渡辺一司『インダストリアルダイナミックスの基礎理論』、東洋経済新報社、1968年。
- 山田伸志監修『振動工学入門 第2版』、パワー社、1987年。
- 吉澤正『岩波講座 基礎工学4 数値解析I』、岩波書店、1968年。

〔参考資料〕

- Santa Babara Region Economic Community Project, October South coast regional impacts of growth study, 2003, <http://www.sbepc.org/pdf/RIGS/rigsfinal.pdf>