

論 説

経済と環境のシステムダイナミックス・モデル

—静岡県経済の将来予測—

山下隆之・高瀬浩二

要 約

人口減少社会の到来が明らかになったことから、日本経済の成長に対するその影響が懸念されるようになってきた。かねてより基盤産業での高齢化や過疎化の問題が顕在化していた地方経済では、これが一層深刻に捉えられている。本研究では、その影響の実態を明らかにするため、人口、経済および環境の将来予測に関する定量的把握の方法を提案する。

はじめに

本研究は、地域経済のシステムダイナミックス・モデル（SDモデル）をマクロ経済理論の観点から開発し、人口、経済および環境の定量的な将来予測に応用することを目的としている。システムダイナミックス技法を採用した理由は、下記の通りである。

- ・フローとストックの概念により、人口構造の変化や産業構造の変化を連続的に捉える手法であること。
- ・非線形な関係式を扱いやすいこと。
- ・複雑な相互依存関係を有する地域の諸問題をモデル化できること。
- ・地域経済・環境統計には時系列データが完備されていない領域があるため、計量経済的手法のみでは信頼に足るモデルの開発が難しいこと。

政策的観点から地域経済の問題を取り上げるとき、そこには動的な要素が多く含まれるが、従来の地域マクロ経済モデルの分析手法では細かな動的作用の分析は難しい。また、右肩上がりの高度経済成長期が終わり、高齢化や環境面での制約にどう対応していくかが問われている現在、経済成長率などの量的目標に加えて、質的目標の変化を考慮することも必要となる。

システムダイナミックスの分析手法は、J.W.フォレスト（J.W.Forrester）によって創案されたが、その“World Dynamics”モデルがローマ・クラブ報告の*The Limits to Growth* [1972] のシミュレーション・モデルの原型となったことで、世界中の注目を集めた。わが国でも、総合計画等との関連で、策定支援用のシミュレーション・ツールとして、システムダイナミックスによる地域モデルが開発された先事例がいくつかある。しかし、それらは思考実験ツールとしての

性格が強く、動学モデルとしての信頼性を追究するというよりは、住民等、自治体への参加主体とコミュニケーションをとることを狙っている。静岡県に関しては、1984年にシステムダイナミックス・モデルが開発されているが、産業連関表から供給面をみているため、経済成長の限界を探る目的には不向きな面がある。それに対して本研究では、地域経済モデルに投資等の調整過程をはっきりとした形で組み込むことで、経済活動の動的なシミュレーションを基礎におきながら、人口減少社会の静岡県の将来像を動的に描きだすことが可能になっている。

また、当時とは異なり、資源の消費を抑制し、環境に対する負担を出来るだけ小さくする循環型社会への移行が具体的に求められる現在では、地域経済が環境へ与える影響を試算することが強く求められている。安定的な経済成長を保持しつつ、より低環境負荷の生産や消費活動を行うことは、国民経済はもとより地域経済においても同様に企図されなければならない（環境省編 [2005]、静岡県 [2006]）。その目的のため、環境問題に関する研究成果と統計データを利用し、可能な範囲で静岡県SDモデルへ組み込む。

第1節では、モデル構築の前提である静岡県経済の特徴を探る。第2節では、人口動態のモデル化と地域マクロ経済モデルを提案する。第3節では、人口と経済の将来推計を行う。第4節では、静岡県SDモデルを環境問題に応用したシミュレーションを行う。

1. 静岡県経済の特徴

地域経済の成長と環境負荷を考えるモデル構築にあたって、静岡県の人口動態と産業特性を考慮しなければならない。まず、人口に関して言えば、県の合計特殊出生率は、全国平均を0.07～0.09上回るものの、1984年以降は全国動向と歩調を合わせて減少を続け、2003年に1.37となっている。地域経済の人口は社会移動や外国人の移動などの影響を受けやすい。社会移動に関しては、1995年以降、転出が転入を上回り、人口の減少が続いている。静岡県の経済的特徴は、製造業の役割が大きいことである。県内総生産の35%以上を製造業が占め、経済成長への寄与度も高い（表1）。

また需要面では、県内総支出の規模に匹敵する移輸出が行われている（表2）。移輸出の約87%が移出であることから、静岡県の成長には日本の他地域の経済動向が大きく影響すると考えられる。

表1 静岡県の実質経済成長と産業別寄与度

	金額 (億円)		構成比 (%)		伸び率 (%)		寄与度 (%)	
	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度
農 業	1,630	1,617	1.0	1.0	-11.8	-0.8	-0.1	-0.0
林 業	145	124	0.1	0.1	14.5	-14.9	0.0	-0.0
水産業	351	348	0.2	0.2	-6.9	-0.8	-0.0	-0.0
鉱 業	197	142	0.1	0.1	23.5	-28.3	0.0	-0.0
製 造 業	56,410	62,199	35.0	37.5	-9.0	10.3	-3.1	3.8
建 設 業	10,441	9,819	6.5	5.9	-7.4	-6.0	-0.5	-0.4
電気・ガス・水道業	4,724	3,937	2.9	2.4	-3.6	-16.7	-0.1	-0.4
卸売・小売業	15,111	14,526	9.4	8.8	3.6	-3.9	0.3	-0.3
金融・保険業	8,959	9,187	5.6	5.5	13.4	2.5	0.7	0.1
不動産業	18,804	19,520	11.7	11.8	3.4	3.8	0.4	0.4
運輸・通信業	9,644	9,538	6.0	5.7	-0.8	-1.1	-0.0	-0.1
サービス業	27,227	27,358	16.9	16.5	-0.2	0.5	-0.0	0.1
政府サービス	12,146	12,224	7.5	7.4	3.0	0.6	0.2	0.0
対家計民間非営利	2,928	3,204	1.8	1.9	7.6	9.4	0.1	0.2
小 計	168,717	173,742	104.7	104.7	-2.4	3.0	-2.5	3.1
輸入品に課される税・関税	121	125	0.1	0.1	5.4	3.5	0.0	0.0
(控除) 資本形成に係る消費税	908	821	0.6	0.5	-4.0	-9.6	-0.0	-0.0
(控除) 帰属利子	6,801	7,076	4.2	4.3	24.4	4.0	1.0	0.2
県内総生産	161,129	165,970	100.0	100.0	-3.3	3.0	-3.3	3.0

出所：静岡県生活・文化部統計利用室編『静岡県の県民経済計算』より計算。

表2 静岡県の実質経済成長と総支出

	金額 (億円)		構成比 (%)		伸び率 (%)		寄与度 (%)	
	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度	2001年度	2002年度
民間最終消費	72,479	74,435	45.0	44.8	-0.6	2.7	-0.3	1.2
民間資本形成	28,653	27,288	17.8	16.4	-5.2	-4.8	-0.9	-0.8
公的資本形成	7,324	6,811	4.5	4.1	-5.1	-7.0	-0.2	-0.3
政府最終消費	22,822	23,308	14.2	14.0	4.2	2.1	0.6	0.3
移輸出	150,287	155,770	93.3	93.9	-5.4	3.6	-5.2	3.4
移輸入	-125,176	-127,946	-77.7	-77.1	-4.0	2.2	3.1	-1.7
統計的不突合	4,993	7,142	3.1	4.3	5.9	43.0	0.2	1.3
県内総支出	161,129	165,970	100.0	100.0	-3.3	3.0	-3.3	3.0

出所：静岡県生活・文化部統計利用室編『静岡県の県民経済計算』より計算。

本研究では、上記の特徴を再現できるようなモデルを開発することとする。

2. モデルの方程式

本モデルは、人口、経済、環境の3セクターからなる¹⁾。

2.1. 人口動態のモデル化

静岡県は、これまで順調な増加を続けてきたが、2005年国勢調査の速報値や近年の人口動態統計調査等を参考にすると、人口減少局面への移行が推測される。

日本人人口の推計は、コーホート要因法 (cohort component method) により行った²⁾。1～100歳の人口は次の式で計算される。

$$P_{x+1} = P_x \times S_x + M_x \quad (2.1)$$

ここで、 P_x は x 歳の期首人口、 P_{x+1} は1年後の人口、 S_x は生残率、 M_x は純移動数を表す。人口は出生・死亡・移動を通じてその状態が変化するストック変数である。フロー、ストック、コンバータの表現を使うシステムダイナミックスの手法で記述すると次のようになる³⁾。

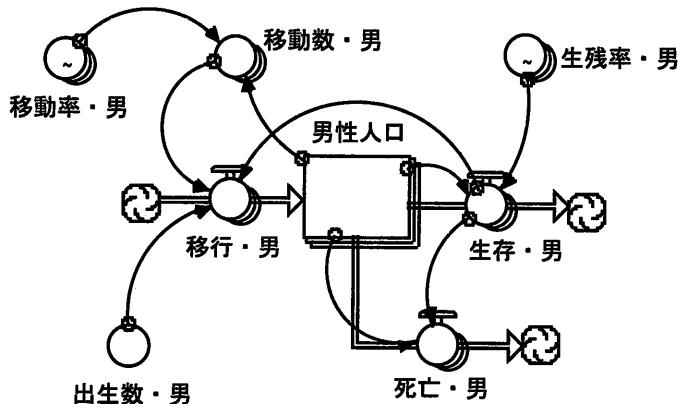


図1 人口モデルの構造

また、静岡県では、製造業を抱える県西部（浜松市等）を中心に外国人人口が急速に増加している。外国人人口に関しては、推計の基礎データとなる出生・死亡・移動に関する統計資料が揃

¹⁾ 本研究の経済セクターの詳細については、日本経済政策学会『経済政策ジャーナル』第4巻第2号（近刊）の拙著（山下）を参照のこと。なお、システムダイナミックスのマクロ経済モデルへの応用については、藤正毅・松谷明彦 [2001] でSNA統計の高度な記述方法としての可能性が検討されているが、本研究はマクロ経済の生産面を支える産業別の経済成長を予測するための手法の開発を目指している。人口減少が地域経済に与える影響についてのシステムダイナミックス・モデルにはKopainsky [2005] の研究があるが、そこでは人口や労働力が1本の微分方程式としてモデル化されているのに対して、本研究では人口統計を利用する。

²⁾ 人口推計は、(財)静岡総合研究機構との共同研究で行われた。推計の基本要素である出生率・生残率・移動率等の諸仮定は、国立社会保障・人口問題研究所の推計方法に準じて設定された。全国平均と静岡県の格差は加味されている。

³⁾ 本研究では、STELLA Ver.8でモデルを作成した。

わないため、従来のペースによる増加（1995年度から2000年度の年平均3,930人）を仮定した。

2.2. 需要のモデル化

経済の需要サイドは、県民経済計算の体系をモデル化する。県内総支出（gross domestic expenditure）の項目は、民間最終消費支出、総資本形成、政府最終消費支出、財貨・サービスの移輸入、統計上の不突合で構成されている。

$$GDE_t = CP_t + I_t + GI_t + GC_t + EX_t - IM_t + RSD_t \quad (2.2)$$

総支出は地域経済の1年間のフローの経済活動状況をまとめたものであるが、添え字の t はその期間を表す。

民間最終消費支出

民間最終消費支出は、県GDEの構成において大きな安定的な項目である。民間最終消費支出関数は、 t 期の実質所得が前期の実質所得に依存するケインジアン型の消費関数を仮定する。少子化の影響を知るためには、人口構成や世帯構成といった社会的要因も加味したい。このため、本研究では、人口増加を変数として追加した。

$$CP_t = CP(GDE_t, \Delta POP_t) \quad (2.3)$$

ここで、 POP は総人口数であり、 $\Delta POP_t \equiv POP_t - POP_{t-1}$ である。

民間総資本形成

民間総資本形成は、民間住宅投資、民間企業設備投資、民間在庫投資から構成されている。

$$I_t = IH_t + IP_t + J_t \quad (2.4)$$

民間企業設備投資や民間在庫投資が企業の行動であるのに対して、民間住宅投資は主として家計の行動である。したがって、経済成長の度合いと前期の住宅投資によって影響を受けると考えられる。本研究では、以下のような関数を考える。

$$IH_t = IH(\Delta GDE_t, IH_{t-1}) \quad (2.5)$$

ここで、 $\Delta GDE_t \equiv GDE_t - GDE_{t-1}$ である。

企業設備投資は、民間投資の中で大半を占めるものである。移出項目が極めて大きいことが静岡県の特徴であるから、移出品の需要者である（静岡県を除く）全国のGDE（ $JGDE_t$ ）の動向から設備投資関数を推計した。

$$IP_t = IP(JGDE_t, JGDE_{t-1}) \quad (2.6)$$

民間在庫投資が、総資本形成に占める割合はわずかであるが、これは変動の激しい需要項目である。生産と出荷のズレは景気変動と関係がある。在庫残高は、需要の変動に対する生産調整の

遅れから発生するが、企業は生産調整に1年以上の時間がかかるものと考えられる。企業の生産計画が前期の経済成長率に影響を受けるものと想定して、次の関数で推計した。

$$J_t = J \left(\frac{GDE_{t-1} - GDE_{t-2}}{GDE_{t-2}} \right) \quad (2.7)$$

公的固定資本形成

公的固定資本形成は、日本全体の経済成長に影響されると考え、次の式で推計した。

$$GI_t = GI(JGDE_t) \quad (2.8)$$

政府最終消費支出

93SNAでは、政府最終消費支出に新たに社会保障基金が計上されるようになった。このため、従来の政府最終消費支出と社会保障基金の2つに分けて推計した。

$$GC_t = GC1_t + GC2_t \quad (2.9)$$

$GC1$ が従来の政府最終消費支出、 $GC2$ が社会保障基金である。

政府最終消費支出は、経済モデルの外で決定されると考えるのが一般的であろう。しかし、経済社会の動きと必ずしも無関係に決定されているわけではない。本研究では、所得と高齢者比率(SNR)との間に、次のような一定の関係を見出した。

$$GC1_t = GC1(GDE_t, SNR_t) \quad (2.10)$$

1990年度からは以下の式が追加される。

$$GC2_t = GC2(POP_t, SNR_t) \quad (2.11)$$

移輸出・移輸入

移輸出は移出と輸出から構成され、また移輸入も同様に、移入と輸入から構成されている。移入と輸入はともに県民所得の大きさに依存しているから、まとめて次の式で表すことができる。

$$IM_t = IM(GDE_t) \quad (2.12)$$

移輸出は、移出と輸出を区別することとした。

$$EX_t = EXD_t + EXF_t \quad (2.13)$$

移出は、静岡県を除く日本のGDEの大きさに依存するものと仮定する。

$$EXD_t = EXD(JGDE_t) \quad (2.14)$$

他方で、輸出は対米ドル為替レートに依存するものと仮定する。

$$EXF_t = EXF(YEN_t) \quad (2.15)$$

統計的不突合

統計的不突合は、三面等価の法則のための調整部分であり、これまではその動きを理論的に論じることが難しいとされてきた。しかし、近年はその額が大きくなるとなり、正確なシミュレーションが求められるようになってきている。1975年度～2002年度にかけての静岡県の観測値は、県GDEと概ね次のような関係にあることが確認された。

$$RSD_t = RSD(GDE_{t-1}, GDE_{t-2}) \quad (2.16)$$

2.3. 供給のモデル化

経済の供給サイドは、次のマクロ的生産関数によってモデル化される。

$$\ln Y_{it} = A_i + \alpha_i \ln K_{it} + \beta_i \ln L_{it} \quad i = 1, 2, \dots, 14 \quad (2.17)$$

添え字の*i*は産業分類を表す。今回の推計では、県民経済計算の産業分類を使った⁴⁾。 Y_i は第*i*産業の生産量、 K_i は資本ストック、 L_i は労働力である。 A_i, α_i, β_i はパラメータであり、その値は計量経済学的手法により推計される。パラメータ A_i は、資本や労働の投入要素の変化では説明できない産出の変化をもたらすものと考えられており、「全要素生産性」(total factor productivity)と呼ばれる。全要素生産性TFPの値は多くの理由で変化するが、その変化は技術進歩によるものと解釈されることがある。

労働力

労働力は、 h_{it} を当該年度の労働時間数、 EMP_{it} を就業者数として、次の式から求められる。

$$L_{it} = h_{it} EMP_{it} \quad (2.18)$$

資本ストック

資本ストックは、ある時点に存在しているすべての機械設備の量である。資本ストックは、(粗)投資 I により増加するが、稼働が続けば機械設備は摩耗していく。資本ストックの一定割合 δ が摩耗すると仮定すると、 δ を減価償却率 (あるいは除去率) として、資本ストックと投資との関係は次のようにモデル化できる。

$$K_{it} = K_{it-1} + I_{it} - \delta_{it} K_{it-1} \quad (2.19)$$

$\Delta K_t \equiv K_t - K_{t-1}$ とすると、次式が得られる。

$$\Delta K_{it} = I_{it} - \delta_{it} K_{it-1} \quad (2.20)$$

他方で、財市場における企業活動を考慮すると、生産計画や投資計画は超過需要 $ED_i \equiv D_i - Y_i$

⁴⁾ 農業、林業、水産業、鉱業、製造業、建設業、電気・ガス・水道業、卸売・小売業、金融・保険業、不動産業、運輸・通信業、サービス業、政府サービス、対家計民間非営利サービスの14部門である。

によって喚起されるものと考えられる。 D_i は需要である。したがって、生産に必要な純投資と超過需要との間には以下のような関係があると想定される。

$$I_{it} - \delta_{it}K_{it-1} = v_i ED_{it} \quad (2.21)$$

(2.20) 式と (2.21) 式の関係から、資本ストックの成長は、前期の資本ストックに依存する要因と超過需要に依存する要因とからモデル化される。

$$\Delta K_{it} = K_i(I_{it}, \delta_{it}K_{it-1}, ED_{it}) \quad (2.22)$$

産業別の各期の投資額は、民間企業設備投資 IP_i に当該産業の前期資本ストックが全県の前期資本ストックに占める割合を乗じて求めることとした。(2.22) 式を次のように設定した。

$$\Delta K_{it} = \frac{K_{it-1}}{\sum K_{it-1}} I_{it} - \delta_{it}K_{it-1} + v_i ED_{it} \quad (2.23)$$

2.4. 静岡県SDモデルの全体像

以上から、静岡県SDモデルの全体像は次のようになる。

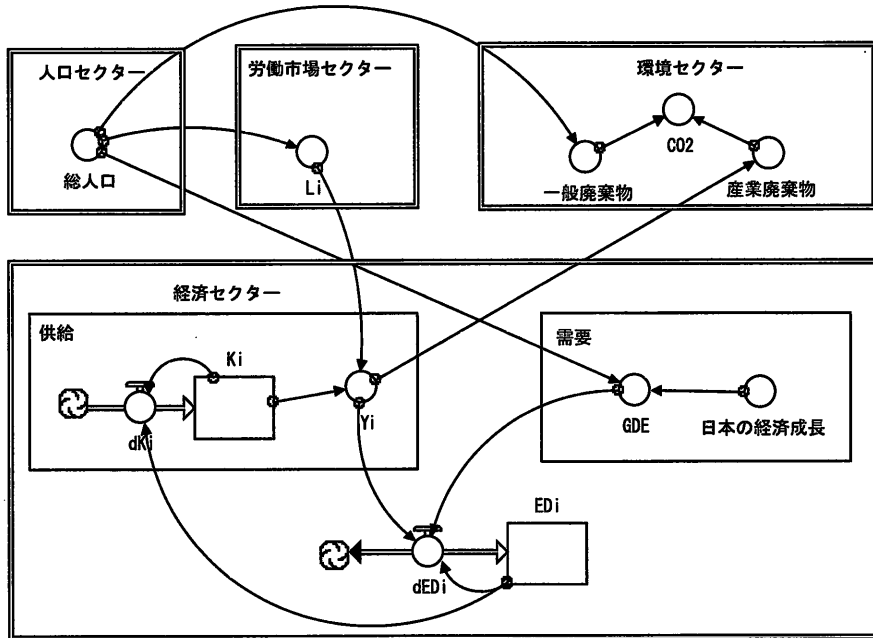


図2 モデルの全体像

県民経済計算の定義に従い、各産業の生産額 Y_i の合計に、輸入品に課される税・関税の推計値を加え、総資本形成に係る消費税と帰属利子の推計値を控除したものを県内総生産 (GDP) と

呼ぶことにする。GDEが示す需要面と、GDPが示す供給面の動きが各産業の市場を中心に調整されていく。

静岡県は全国平均と比べて高い経済成長率を記録してきたが、その構造的特徴はこのモデルにも反映されており、将来推計でも日本のGDE ($JGDE_t$) と比べて高めの成長率もたらされる(表3)。

表3 静岡県の経済成長率⁵⁾

	国 (観測値)	静岡県 (観測値)	静岡県 (国1.2%成長)	静岡県(21世紀ビジョン)
1975-90年度	4.10%	4.84%	—	—
1990-02年度	1.20%	1.80%	—	—
2003-20年度	—	—	1.46%	1.95%

2.5. 諸関数の推計

モデルを構成する諸関数は、主に『県民経済計算年報』の1975年度から2003年度までの名目データを1995年の暦年価格で実質化し、それをもとに推計された。労働者数は『国勢調査報告』、労働時間は『静岡県毎月勤労統計調査年報』、資本ストックは『民間企業資本ストック年報』から計算して求めた。各推計式の係数の下の括弧内は*t*値である。

推計結果

$$CP_t = 34972.39 + 0.225546 GDE_t - 0.439235 \Delta POP_t, \bar{R}^2 = 0.978910$$

(5.490421) (6.182530) (-3.65776)

$$IH_t = 273.0652 + 0.100786 \Delta GDE_t + 0.909424 IH_{t-1}, \bar{R}^2 = 0.774265$$

(0.398921) (2.765654) (9.723468)

$$IP_t = -9757.889 + 0.020756 JGDE_t - 0.014211 JGDE_{t-1}, \bar{R}^2 = 0.858927$$

(-4.116783) (3.645431) (-2.586963)

$$J_t = 20.20112 + 21460.83 \frac{GDE_{t-1} - GDE_{t-2}}{GDE_{t-2}}, R^2 = 0.404700$$

(0.085057) (4.321515)

$$GI_t = 910.0950 + 0.001440 JGDE_t, \bar{R}^2 = 0.740949$$

(1.325100) (8.623598)

$$GC1_t = 424.6213 + 0.036303 GDE_t + 45772.31 SNR, \bar{R}^2 = 0.958769$$

(-1.990591) (4.562388) (5.682050)

⁵⁾ 1.2%という値は、バブル経済崩壊後の1990年度から2002年度までの $JGDE_t$ の平均成長率である。21世紀シナリオは、国の21世紀ビジョンにおいて想定された成長シナリオで、 $JGDE_t$ が2003年～2013年が1.5%、2013年～2020年までが2.0%、2021年～2030年までは1.5%で成長するという仮定である。

$$GC2_t = -94013.03 + 0.025815 POP_t + 34662.81 SNR_t, \bar{R}^2 = 0.866621$$

(-2.286741) (2.235822) (2.906727)

$$EXD_t = -7653.379 + 0.030550 JGDP_t, \bar{R}^2 = 0.952336$$

(-1.387939) (22.79220)

$$EXF_t = 19753.01 - 38.80036 YEN_t, \bar{R}^2 = 0.547499$$

(15.51319) (-5.608787)

$$IM_t = 29061.13 + 0.635147 GDE_t, \bar{R}^2 = 0.959739$$

(8.984477) (25.36988)

$$RSD_t = -3243.368 - 0.141541 GDE_{t-1} + 0.188364 GDE_{t-2}, \bar{R}^2 = 0.692618$$

(-3.309207) (-2.246864) (3.063602)

$$\ln Y_1 = -0.498248 + 0.035763 \ln K_1 + 0.435009 \ln L_1, \bar{R}^2 = 0.810721$$

(-0.136584) (-0.347610) (2.864273)

$$\ln Y_2 = -4.877070 + 0.402385 \ln K_2 + 0.555787 \ln L_2, \bar{R}^2 = 0.870726$$

(-3.468996) (2.502896) (11.33655)

$$\ln Y_3 = -2.096010 + 0.045832 \ln K_3 + 0.502060 \ln L_3, \bar{R}^2 = 0.824908$$

(-1.152136) (0.289890) (7.978382)

$$\ln Y_4 = -6.449078 + 0.365710 \ln K_4 + 0.678283 \ln L_4 + 0.377592 D_1, \bar{R}^2 = 0.613648$$

(-1.268849) (3.734316) (2.157410) (4.265863)

D_1 は、1989～1992年度を1とするダミー変数

$$\ln Y_5 = -12.89846 + 0.603850 \ln K_5 - 0.207366 D_2 \ln K_5$$

(-2.070497) (8.122664) (-0.207366)

$$+ 0.863977 \ln L_5 + 0.093494 D_2 \ln L_5, \bar{R}^2 = 0.995113$$

(2.628443) (1.514078)

D_2 は、バブル崩壊後の1991～2002年度を1とするダミー変数

$$\ln Y_6 = -3.949689 + 0.355972 \ln K_6 + 0.544921 \ln L_6 + 0.262461 D_1, \bar{R}^2 = 0.896983$$

(-0.481984) (4.925643) (1.248832) (5.126688)

$$\ln Y_7 = -28.55864 + 0.861804 \ln K_7 - 0.430256 D_3 \ln K_7$$

(-3.459510) (20.57671) (-0.207366)

$$+ 1.803884 \ln L_7 + 0.194833 D_3 \ln L_7, \bar{R}^2 = 0.984245$$

(3.571612) (2.188273)

D_3 は、バブル崩壊後の1993～2002年度を1とするダミー変数

$$\ln Y_8 = -1.653801 + 0.444449 \ln K_8 + 0.386720 \ln L_8 + 0.091681 D_4, \bar{R}^2 = 0.954509$$

(-0.709128) (18.55550) (3.467328) (4.415299)

D_4 は、1989～1996年度を1とするダミー変数

$$\ln Y_9 = -9.768251 + 0.461261 \ln K_9 - 0.854079 \ln L_9 \\ \quad \quad \quad (-2.777889) \quad (8.448296) \quad (4.174451) \\ \quad \quad \quad + 0.1006033 D_3 \ln L_9, \bar{R}^2 = 0.980707 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (2.196948)$$

$$\ln Y_{10} = 3.869627 + 0.669977 \ln K_{10} + 0.069282 \ln L_{10} \\ \quad \quad \quad (3.137583) \quad (21.83276) \quad (0.846374) \\ \quad \quad \quad - 0.039690 D_1, \bar{R}^2 = 0.995654 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad (-2.152493)$$

$$\ln Y_{11} = -10.58218 + 0.305534 \ln K_{11} + 0.894140 \ln L_{11} + 0.078273 D_4, \bar{R}^2 = 0.965028 \\ \quad \quad \quad (-0.940667) \quad (6.870845) \quad (1.490038) \quad (2.421488)$$

$$\ln Y_{12} = -0.161810 + 0.451685 \ln K_{12} + 0.322854 \ln L_{12}, \bar{R}^2 = 0.995877 \\ \quad \quad \quad (-0.039705) \quad (16.05691) \quad (1.538653)$$

$$\ln Y_{14} = 4.841814 + 0.442692 \ln K_{14} + 0.038162 \ln L_{14}, \bar{R}^2 = 0.987379 \\ \quad \quad \quad (15.64242) \quad (24.34764) \quad (1.060637)$$

政府サービス部門は、下記の式で推計した。

$$Y_{13} = -2394.104 + 0.051020 GDE_t + 0.044444 L_{13}, \bar{R}^2 = 0.916702 \\ \quad \quad \quad (-0.957834) \quad (5.205933) \quad (1.288867)$$

統計的手法では決定できない一部のパラメータに関しては、感度分析等によってその値を求めた。モデル全体のあてはまりは、1975年度から2002年度までの観測値に対する累積二乗平均誤差が6.48%とかなり良好である。

3. 将来推計

構築されたモデルから、静岡県の将来像を探ることとしよう。シミュレーションの期間は、1975年度から2030年度にかけて行うこととした⁶⁾。

3.1. 人口推計

静岡県の日本人人口は2002年（373万391人）から既に減少局面に入っているが、外国人人口を加えた総人口は2006年（379万2340人）をピークに、2007年から減少へ転ずるものと考えられる。

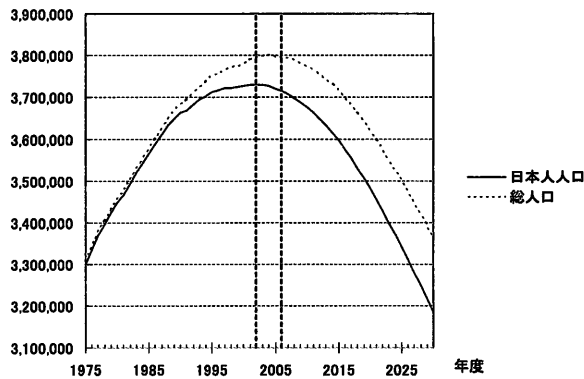


図3 静岡県の人口推計

3.2. 世帯数推計

世帯数は、人口に世帯主率をかけて計算される。世帯主率の将来推計は、国立社会保障・人口問題研究所の推計値に、全国平均と静岡県の格差は加味して設定された。

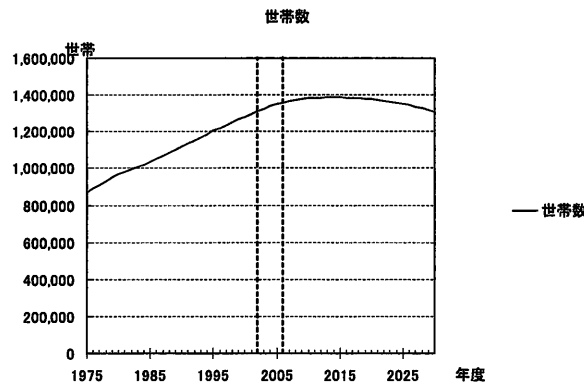


図4 静岡県の世帯数推計

⁶⁾ 将来推計の期間を2030年までにしたのは、現行の総合計画がこの期間を視野に入れているためである。

3.3. 静岡県GDPの将来推計

静岡県経済の動向は、日本の経済成長に大きく依存している。 $JGDE_t$ の成長率が1.2%、日本21世紀ビジョン・シナリオの各ケースに応じて、県GDPのシミュレーションを行ったのが次のグラフである。

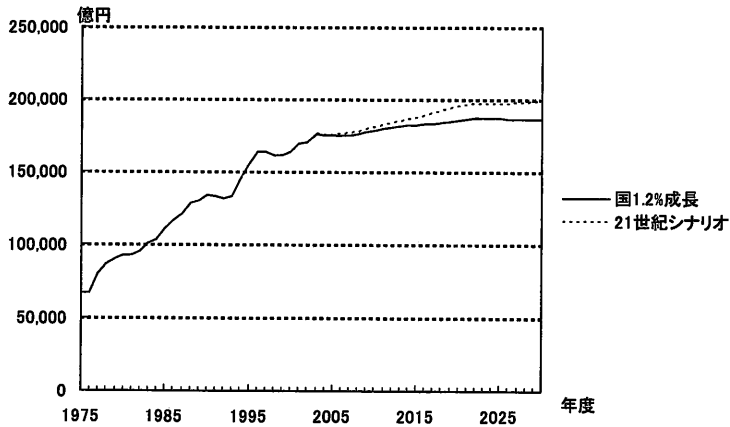


図5 静岡県GDPの将来推計

3.4. 一人当たりGDPの将来推計

たとえ経済全体が縮小傾向にあっても、人口減少は県民一人当たりの所得をしばらくは逆の方向へ変化させる可能性がある。下図は、人口一人当たりGDPの推移をみたものである。

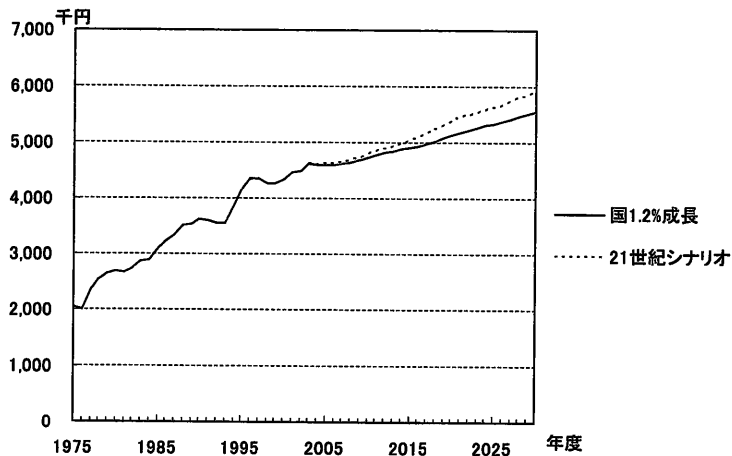


図6 一人当たりGDPの将来推計

3.5. 産業別の将来推計

日本21世紀シナリオの下での第一次産業、第二次産業、第三次産業の就業者数の推移と各産業別の生産額の推移を求めた結果は次のようになる。

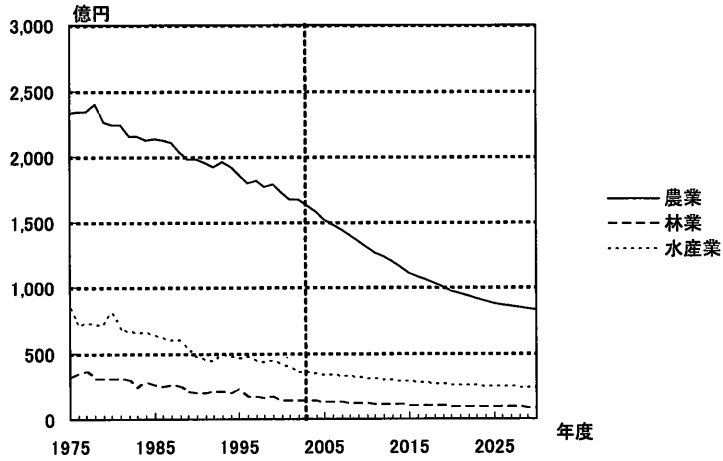


図7 第一次産業の将来推計

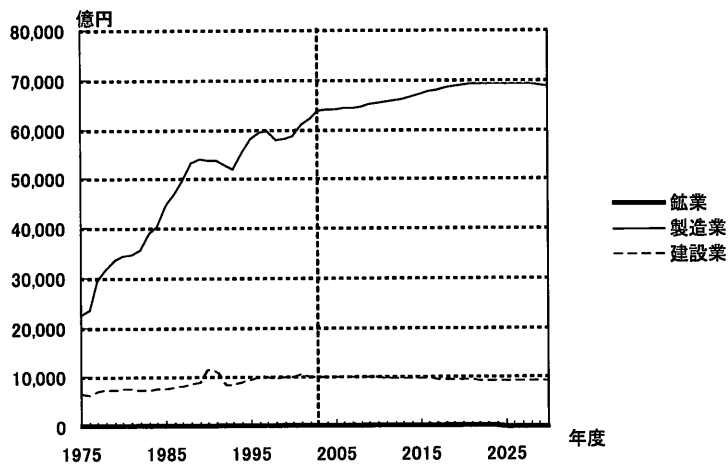


図8 第二次産業の将来推計

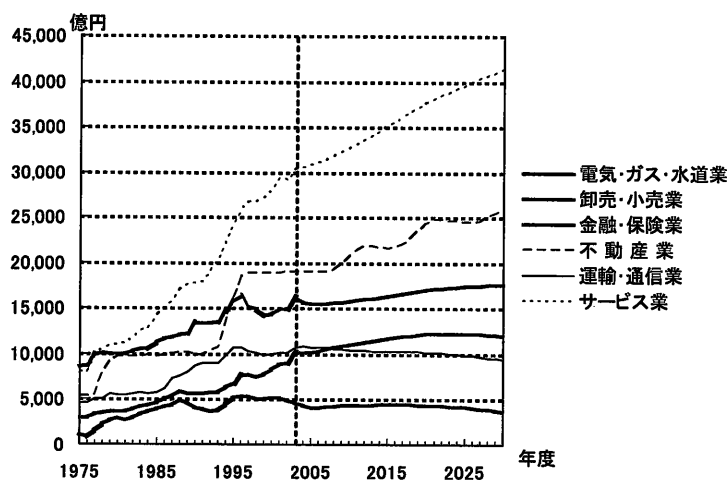


図9 第三次産業の将来推計

4. 環境セクター

環境セクターは、経済セクターで決定される産業の生産及び消費者の消費活動が環境に与える影響（環境負荷）を評価する役割を果たす。また、環境負荷は、人口学的要素とも密接に関わると考えられる。静岡県SDモデルでも、環境セクターと経済セクター及び人口セクターとの関連をモデルに取り組み必要がある。環境負荷の指標として、このモデルでは、一般廃棄物排出量、産業廃棄物搬出量、二酸化炭素排出量を考える。

4.1. 環境セクターのモデル化

4.1.1. 一般廃棄物排出量 (non-industrial waste)

一般廃棄物（以下、一廃）は、制度上、事業系一廃と家庭系一廃に分けられるが、統計上はその区別がされていない。事業系一廃には、小規模商店、飲食店等から排出される廃棄物が含まれる。家庭系一廃は文字通り、家庭から排出される廃棄物である。両者は主に家計による消費行動に密接に関わる。一廃総排出量の推定には、一人あたり排出量を経済変数及び人口学的変数によって説明するモデルを用いることが一般的である（Kinnaman [2003]、山川・植田 [2001] 等）。静岡県SDモデルの環境セクターでも、この方法を採用し、一廃排出量を、

$$NIW_t = POP_t \times (NIW/POP)_t \quad (4.1)$$

とした。ここで、 NIW_t は t 期の一廃総排出量（トン）、 POP_t は t 期の県内人口（人）、 $(NIW/POP)_t$ は t 期の人口一人あたり一廃排出量（トン/人）である。一人あたり一廃排出量は、

$$(NIW/POP)_t = \gamma_1 + \gamma_2 (GDE/POP)_t + \gamma_3 (POP/HH)_t \quad (4.2)$$

とした。ここで、 $(GDE/POP)_t$ は t 期の人口一人あたり県民総支出、 $(POP/HH)_t$ は t 期の平均世帯人員である。また、 γ_1 、 γ_2 、 γ_3 は回帰係数である。一人あたり一廃排出量を通して、環境セクターは、経済セクター（県民総生産）及び人口セクター（人口、世帯数）と関わることになる。1975年から2001年の静岡県データ（サンプルサイズ $n=27$ ）を用いて、一人あたり一廃排出量を、

$$(NIW/POP)_t = 0.423 + 3.025(GDE/POP)_t - 0.063(POP/HH)_t \quad (4.3)$$

(5.763) (5.718) (-3.742)

$$R^2=0.982, \bar{R}^2=0.980$$

と推定した。括弧内は t 値である。一人あたり一廃排出量は、所得が上がれば増加するものの、平均世帯人員が大きくなれば消費が効率的になるため、一人あたり一廃排出量は低下するという、予想通りの結果が得られた。(4.3) 式による予測値に人口セクターで予測された将来推計人口を乗じることで、一廃総排出量が推定される。

4.1.2. 産業廃棄物排出量 (industrial waste)

産業廃棄物（以下、産廃）は、製造業や建設業等での生産活動に伴って排出される廃棄物である。「静岡県廃棄物処理計画」によれば、平成11年度の静岡県での産廃総排出量は11,053千トンである。また、産業別排出量は、製造業が54.8%（6,054千トン）、建設業が19.5%（2,158千トン）、農業（1,439千トン）、電気・水道業が12.3%（1,360千トン）である。その他の年度については、産廃排出量は、生産額1単位あたり産廃排出量（産廃排出原単位）に生産額を乗じて推定した。

$$IW_{it} = (IW/GDP)_{it} \times GDP_{it} \quad i=1,2,3,\dots,14 \quad (4.4)$$

ここで、 IW_{it} は t 期の産業 i の産廃排出量（千トン）である。 $(IW/GDP)_{it}$ は t 期の産業 i の産廃排出原単位（千トン/億円）である。また、 GDP_{it} は t 期の産業 i の生産額（億円）である。排出原単位は、静岡県の直近の公表値である平成11年度実績値から、以下のように算出した。

$$\begin{aligned} (IW_1/GDP_1) &= 0.7702 \text{ [農業]} \\ (IW_5/GDP_5) &= 0.1072 \text{ [製造業]} \\ (IW_6/GDP_6) &= 0.2133 \text{ [建設業]} \\ (IW_7/GDP_7) &= 0.2869 \text{ [電気・ガス・水道業]} \\ (IW_8/GDP_8) &= 0.0013 \text{ [商業]} \\ (IW_{11}/GDP_{11}) &= 0.0004 \text{ [運輸通信業]} \\ (IW_{12}/GDP_{12}) &= 0.0007 \text{ [サービス業]} \end{aligned} \quad (4.5)$$

なお、ここでは、「静岡県廃棄物処理計画」に産業別産廃排出量が掲載されている産業のみ、排出量を推計した。

一廃とは異なり、産廃のある部分は工場内で減量化あるいは再利用される。したがって、実際

に廃棄物処理の対象となる（すなわち環境負荷につながる）産廃は排出量の一部である。「静岡県廃棄物処理計画」は、その適正処理対象量を産廃搬出量と呼んでいる。産廃搬出量は以下で定義される。

$$NetIW_{it} = IW_{it} \times (1 - RR_{it}) \quad i=1,2,3,\dots,14 \quad (4.6)$$

ここで、 $NetIW_{it}$ は t 期の産業 i からの産廃搬出量（千トン）である。 RR_{it} は t 期の産業 i の減量・再利用率である。減量・再利用率は、静岡県の直近の公表値である平成11年度実績値から算出した。

$$\begin{aligned} RR_1 &= 0.9882 \text{ [農業]} \\ RR_5 &= 0.6330 \text{ [製造業]} \\ RR_6 &= 0.0315 \text{ [建設業]} \\ RR_7 &= 0.8926 \text{ [電気・ガス・水道業]} \\ RR_8 &= 0.0000 \text{ [商業]} \\ RR_{11} &= 0.0000 \text{ [運輸通信業]} \\ RR_{12} &= 0.1053 \text{ [サービス業]} \end{aligned} \quad (4.7)$$

4.1.3. 二酸化炭素排出量 (CO₂)

二酸化炭素排出量は、廃棄物排出量とともに、産業及び消費活動を環境への配慮の観点から評価すべき環境負荷である。このモデルでは、CO₂排出量を以下の3つの起源に分類し推定する。

$$CO2ALL_t = CO2IND_t + CO2HH_t + CO2WST_t \quad (4.8)$$

ここで、 $CO2ALL_t$ は t 期のCO₂総排出量、 $CO2IND_t$ 、 $CO2HH_t$ 、 $CO2WST_t$ は、それぞれ生産起源、家庭起源、廃棄物処理起源のCO₂総排出量（千トン-CO₂）である。

生産起源のCO₂総排出量は生産額に比例すると考えられるので、

$$CO2IND_t = (CO2IND/GDP) \times GDP_t \quad (4.9)$$

として推定した。 $(CO2IND/GDP)$ は生産起源のCO₂排出原単位（千トン-CO₂/億円）である。また、 GDP_t は t 期の県内総生産額（億円）である。排出原単位については、国が詳細に推計を行っている平成7年度実績値から以下のように算出した。

$$(CO2IND/GDP) = 0.1813 \quad (4.10)$$

なお、元となる産業起源のCO₂排出量については、独立行政法人 国立環境研究所 地球環境研究センターによる「部門別CO₂排出量の1990-2003年度の推移」の公表値を元に、国と静岡県の産業別生産額を用いて按分した⁷⁾。

⁷⁾ 以上の推計は、土居英二教授（静岡大学人文学部）が考案した静岡県CO₂排出量の簡易推計法をもとにしている。

家庭起源のCO₂排出量は、以下で定義される。

$$CO2HH_t = POP_t \times (CO2HH/POP)_t \quad (4.11)$$

ここで、 $(CO2HH/POP)_t$ はt期の人口一人あたりの家庭起源CO₂排出量（千トン-CO₂/人）である。ここでは、一人あたり家庭起源CO₂排出量が人口学的変数によって説明されるモデルを考える。

$$(CO2HH/POP)_t = \lambda_1 + \lambda_2 (POP/HH)_t \quad (4.12)$$

ここで、 λ_1 、 λ_2 は回帰係数であり、 $(POP/HH)_t$ はt期の平均世帯人員である。世帯人員が増えると、暖房・冷房、自家用車の利用などの一人あたりエネルギー使用量が減るため、結果的に家庭起源の排出量が減少すると考えられる。1990年から2002年の静岡県データ(サンプルサイズn=13)を用いて、一人あたり家庭起源CO₂排出量を、

$$(CO2HH/POP)_t = 0.00240 - 0.000434 (POP/HH)_t, R^2=0.760 \quad (4.13)$$

(10.601) (-5.896)

と推定した。平均世帯人員が大きくなれば、一人あたり家庭起源CO₂が低下するという、直感通りの結果が得られた。上記、回帰式の予測値に人口を乗ずることで、家庭起源のCO₂総排出量が推定される。

廃棄物処理起源のCO₂排出量は、主に廃棄物の焼却処分により排出されるため、廃棄物処理量に比例すると考えられる。ここでは、

$$CO2WST_t = (CO2WST/WST)_t \times WST_t \quad (4.14)$$

で廃棄物処理起源CO₂排出量を推定する。ここで、WSTは適正処理の対象となる廃棄物量（千トン）、 $(CO2WST/WST)$ は廃棄物処理起源CO₂排出原単位（千トン-CO₂/千トン=トン-CO₂/トン）である。前述のとおり、WSTは一廃排出量と産廃搬出量の総和である。

$$WST_t = NIW_t / 1000 + NetIW_{1t} + NetIW_{5t} + NetIW_{6t} + NetIW_{7t} + NetIW_{8t} \\ + NetIW_{11t} + NetIW_{12t} \quad (4.15)$$

廃棄物処理起源CO₂排出原単位は、国が詳細に推計を行っている平成7年度実績値から算出した。

$$(CO2WST/WST) = 0.0963 \quad (4.16)$$

以上のように求めた生産起源、家庭起源、廃棄物起源のCO₂排出量の合計が県全体のCO₂総排出量となる。

4.2. 静岡県SDモデルによる環境改善シナリオ

環境セクターの動向は、経済セクターで決定される産業の生産及び消費者の消費活動に、大きく依存する。経済成長が持続することを仮定すると、環境負荷を将来的に低減させることは難しいと思われる。しかし、企業や家計が環境負荷を減らすような生産（「持続可能な生産」）および消費生活（「持続可能な消費」）を行うことで、ある程度の環境負荷の低減を見込むことが出来る。

ここでは、環境セクター独自のシミュレーション結果を例示する。「現状シナリオ」および「改善シナリオ」として、環境セクターのパラメータについて、以下の設定を置く。

現状シナリオ

前節で推計した減量・再利用率、CO₂排出原単位が将来も継続する。

改善シナリオ

- (1) 製造業の減量・再利用率（(4.7)式、 RR_5 ）が、現状（平成11年度実績値）の63.3%から、2006年度以降徐々に上昇し、2030年度には70%となる。
- (2) 建設業の減量・再利用率（(4.7)式、 RR_6 ）が、現状（平成11年度実績値）の3.15%から、2006年度以降徐々に上昇し、2030年度には30%となる。
- (3) 産業起源のCO₂排出原単位（(4.10)式、 $(CO2IND/GDP)$ ）が、現状（平成7年度実績値）の0.1813（千トン-CO₂/億円）から、2006年度以降徐々に低下し、2030年度には現状（平成7年度実績値）の90%（0.1631千トン-CO₂/億円）となる。

以上の「改善シナリオ」の設定値を図10に示す。

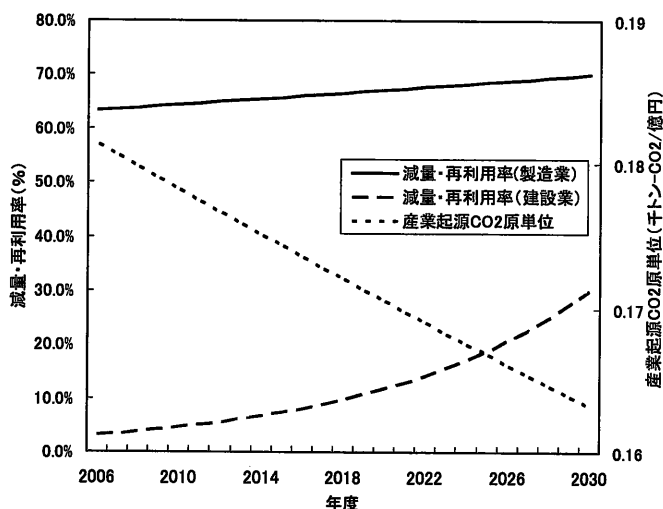


図10 「改善シナリオ」の設定

また、経済セクターについては、21世紀シナリオにしたがって、成長すると仮定した。

図11は、静岡県SDモデルによるシミュレーションの結果の県内CO₂排出量の予測値グラフである。21世紀シナリオにしたがって経済発展するとしても、環境セクターでの「改善シナリオ」が実現するならば、静岡県全体のCO₂排出量の低減の可能性があることが示された。

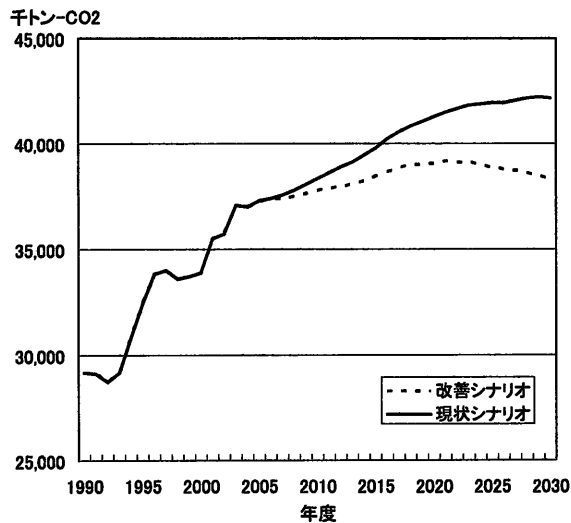


図11 県内CO₂排出量（推計値）

おわりに

以上、地域経済モデルによるシミュレーション分析を進めてきた。本研究の特色は以下のように整理される。

- (1) 地域経済モデルを人口モデルと同期させることで、人口減少社会の将来像を知ることができた。人口が減少局面を迎えた後も、県内総生産がしばらく上昇を続けるため、人口減少の影響が一人当たり所得に反映されるには、タイムラグが存在することがわかる。
- (2) 産業別の生産活動をモデル化することで、経済成長における地域特性を表現することができた。
- (3) 安定的な経済成長を保持しつつ、より低環境負荷の生産や消費活動を行うことは、企業や家計が改善の努力を行うことによって可能であることが示された。

以上のように、地域経済モデルをシステムダイナミクス・モデルとして構築することで、政策シミュレーションの組み合わせを自由に行うことができた。

県や国などの政策により、排出原単位を減少、減量・再利用率を増加、さらには二酸化炭素排出原単位を減少させるように生産者側が企業努力をする可能性も、将来的には考慮されるべきである。現状では、これらの排出原単位は固定的としたが、より詳細な情報（例えば、新技術の導入や法令等の見通し等）が得られた時点で、静岡県SDモデルにそれらを反映することが可能である。また、廃棄物管理政策、温暖化ガス低減策に起因した新規設備投資の増加、あるいは産業構造の変化などについて、経済セクターへのフィードバックを考慮することも今後の課題である。また、環境セクターで例示したシナリオの設定についても、詳細な検討が必要である。

謝 辞

筆者らは、土居英二教授から地域統計に関して多くのご指導をいただきました。この場を借りて、感謝の意を表します。なお、本研究の遂行にあたり、高瀬は平成18年度静岡大学人文学部若手研究者奨励費の補助を受けました。

参考文献

- Forrester, J.W. [1961] *Industrial Dynamics*. Waltham: Pegasus Communications. (J.W. フォレスター著、石田晴久・小林秀雄訳 [1971] 『インダストリアル・ダイナミクス』紀伊國屋書店).
- _____ [1973] *World Dynamics*. Cambridge Mass.: Wright-Allen Press.
- Kinnaman, T. C. ed. [2003] *The Economics of Residential Solid Waste Management*, Ashgate Publishing Company.
- Kopainsky, B. [2005] *A System Dynamics Analysis of socio-economic development in Lagging Swiss Regions*. Zurich: Shaker Verlag.
- Meadows, D. et. al. [1972] *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, 2nd ed., New York: Universe Books. (D.メドウズ他著、大来佐武郎監訳 [1972] 『成長の限界—ローマ・クラブ人類の危機レポート—』ダイヤモンド社).
- _____ [2004] *The Limits to Growth: The 30-Year Update*, Chelsea Green Publishing. (D.メドウズ他著、枝廣淳子訳 [2005] 『成長の限界—人類の選択—』ダイヤモンド社).
- Ruth, M. and Hannon, B. [1997] *Modelling Dynamic Economic Systems*. New York: Springer-Verlag.
- 小川一夫・得津一郎 [2002] 『日本経済：実証分析のすすめ』有斐閣.
- 環境省編 [2005] 『循環型社会白書 平成17年版』ぎょうせい.
- 静岡県企画部編 [2006] 『魅力ある“しずおか” 2010年戦略プラン 後期5年計画—富国徳 創知協働—』.
- 辻松郎 [2004] 「地域SDモデルの今日的課題」大阪府立産業開発研究所『産開研論集』第16号、13-29頁.
- 藤正巖・松谷明彦 [2001] 『システムダイナミクス (SD) モデルによる日本の経済構造 (1955-1998)』政策研究大学院大学.
- 堀比呂史 [1976] 『資源と環境と経済成長：システム・ダイナミクス手法によるマクロ経済分析』至誠堂.

森敬 [1993] 『戦後日本のマクロ計量経済モデル分析 (1953-1961)』 有斐閣.

山川肇・植田和弘 [2001] 「ごみ有料化研究の成果と課題：文献レビュー」 『廃棄物学会誌』 第12巻第4号、245-258頁.

資 料

国立環境研究所 地球環境研究センター 『部門別CO₂排出量の1990-2003年度の推移』

(<http://www-gio.nies.go.jp/database/db-j.html>).

国立社会保障・人口問題研究所ホームページ (<http://www.ipss.go.jp>).

静岡県 『県民経済計算年報』.

静岡県 『静岡県基本指標基礎調査業務報告書』、1999年.

静岡県 『静岡県の農林水産業』.

静岡県 『静岡県産業連関表』.

静岡県 『静岡県統計年鑑』.

静岡県 『静岡県毎月勤労統計調査年報』.

静岡県 『商業統計調査結果報告書』.

静岡県 『静岡県廃棄物処理計画 (平成14年3月策定：平成14～17年度の4か年計画)』

(<http://kankyou.pref.shizuoka.jp/recycle/keikaku/haikibutukeikaku.htm>).

静岡総合研究機構 『静岡県総合計画人口・経済フレーム分析調査業務報告書～静岡県SDモデルによる分析結果及び解説～』.

総務省 『国勢調査報告』.

内閣府 『日本21世紀ビジョン』 2005年.

内閣府・経済社会総合研究所 『県民経済計算』 (<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/>).

内閣府・経済社会総合研究所 『国民経済計算年報』.

内閣府・経済社会総合研究所 『民間企業資本ストック年報』 (<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/>).

日本貿易振興機構ホームページ (<http://www.jetro.go.jp/jpn/stats/>).