

地域別経済指標に基づく静岡SDモデルの開発とその拡張 —総括と政策提言—

上藤一郎・山下隆之・高瀬浩二
塚本高士・片岡達也・勝山敏司

はじめに

システムダイナミクス (system dynamics) による静岡 SD モデル開発と精緻化を契機に、これまでわれわれが取り組んできた地域経済分の研究は実にさまざまな分野に及んでいる。これらの研究は、言うまでもなく静岡県内における地域別の政策課題にアプローチすることを目的としており、地域経済に直面する喫緊の問題を主要な検討課題として一定の成果を上げてきた。そこで、われわれは、これまでの研究を集大成させ、その成果を成書として上梓することを本年度の主要な課題として取り組むこととした。

その結果として公刊させることとなったのが『地域経済分析ハンドブック—静岡モデルから学ぶ地方創生—』¹である。同書の構成は、前述のとおり研究成果の取りまとめを前提としているが、加えて、これら一連の研究成果に基づき最終章では「政策的提言」も行っている。そこで以下本稿では、まずこの政策的提言の主要部分を改めて示す。続いてこれらの政策的提言のうち、研究途上であるという事情もあって、十分な説明を加えることができなかった「産業と人口」の節について補足的な解説を試みる。これによって、これまでわれわれが取り組んできた地域経済分析に関する研究の総括に代えるとともに、今後の更なる研究の手掛かりとしたい。

1. 『地域経済分析ハンドブック』における「政策的提言」

(1) 需要面からみた経済成長—観光産業の振興—

需要主導型モデルに従うと、地域の総需要 E の変化は次のように分解される。

$$\Delta E = \Delta C + \Delta I + \Delta G + \Delta X - \Delta M$$

域内の民間消費 C を増加させる政策としては、所得税の減税や地産地消の推進等が考えられる。民間投資 I を拡大させる政策としては、企業誘致や新産業の創出等が考えられる。しかし『地域経済分析ハンドブック』で見たように、静岡県では経済成長における民間投資の寄与度が落ちてきている。政府支出 G の拡大には、従来は道路やダム等のインフラ整備が盛んであったが、近年は限界に近い。そこで移出 X を増加させる政策も地域の経済成長にとっては重要な要素となる²。

外需に期待するという意味においては、近年、観光産業が注目されている。周知のように、静岡県の伊豆半島は全国有数の観光地であり、宿泊業、飲食サービス業が基盤産業になっている市町が多い。観光産業は第1次産業から第3次産業まで幅広い業種を含む複合的な産業であることから、大きな波及効果が期待できる。しかし、観光需要には波があり、静岡県の宿泊者数がピーク時の2,765万人(1991年)から1,881万人(2014年)へと7割以下に減少している。それに伴い、旅行消費額は7,878億円(2003年)から5,566億円(2010年)、県内総生産に占める割合は2.04%から1.40%へとそれぞれ減

¹ 山下隆之編(2016)『地域経済分析ハンドブック—静岡モデルから学ぶ地方創生—』晃洋書房。

² M は移入を表す。

少している。

このような状況を考慮すると、新たに整備された富士山静岡空港や新東名高速道路を活用した観光需要創出が重要である。県が主導した富士山静岡空港については、空港を発着する観光・ビジネス客や送迎者の支出、空港関連支出などにより、開港4年で857億7千万円(年間約215億円)、雇用創出効果5,814人(年間1,453人)の経済波及効果をもたらしており、その効果は少なくない³⁾。

(2) 産業基盤を生かした経済成長－産業空洞化への対策－

需要主導型モデルは、内外からの需要増が地域の所得に及ぼす影響を明らかにするとともに、それらによる地域経済の成長可能性を示している。域外需要を取り込もうことができれば地域所得は増加する。とりわけ移出の役割は重要である。

また、地域政策にとっては乗数効果が重要である。新規投資や公共投資による需要増は、地域内で供給される財・サービスに対するさらなる需要を生み、産業間の波及効果を通じて所得と雇用を増加させるからである。しかし、対象が地元企業ではなく、域外の大企業である場合には注意が必要であろう。新規投資や公共投資による需要増は初期の段階から域外へ漏出するからである。企業誘致の実りが少ない場合は、こうした漏出が関係しているかもしれない。地域政策企画立案者は、乗数効果に与える地域特性を分析し、地域の産業基盤を生かすことが必要である。

ところで、産業空洞化(hollowing out of industry)という現象がある。国内企業の生産拠点が海外に移転することにより、当該国内産業が衰退していくことであるが、これは製造業の就業者比率の低下、つまり脱工業化(deindustrialization)の進行と関係がある。国内の脱工業化と輸出入や対外直接投資を通じた海外との関係については諸説があるが、一般にはマイナスの関係が産業の空洞化をもたらすものと考えられる。

日本は、1990年代半ばから、断続的にマイナスの脱工業化を繰り返すようになった。静岡県は1990年代に入るまで製造業の就業者比率を伸ばしてきたが、1992年度を境にして、全国動向ほどではないもののマイナスの脱工業化を経験するようになった。背景には、中華人民共和国(以下、中国)への対外直接投資があり、静岡県の企業では自動車関連の製造業が多く中国に進出してきた。これまで国や自治体は中小企業の海外進出を積極的に支援してきたが、自地域から海外へ転出することを計画している企業を引きとどめることも自治体にとっては重要である。

(3) 産業と人口－基盤産業の就業者と人口増加－

地域の就業者と人口には強い関係がある。例えば、2010年の国勢調査データを用いて、静岡県内の35市町の就業者数と人口の相関係数を求めてみれば0.998となり、強い正の相関が認められる。地域の働き手の数が当該地域の人口の大きさに大きく作用することは、当然のことと言えば当然であると言えよう。しかしこの特性を利用して、地域の基盤産業(主要産業)に産業振興の力点を置いた政策を採用すれば、それに伴う人口増加を定量的に評価することが可能となる。そのような試みの一つが総務省統計局の分析⁴⁾であるが、『地域経済分析ハンドブック』では、新たにモデルとデータの修正を行った上で分析を試みている。使用したデータおよび詳細な分析結果については、次節で取り上げる

³⁾ 静岡県文化・観光部空港利用政策課「富士山静岡空港県内経済波及効果分析結果」(受託：静岡大学富士山静岡空港地域経済波及効果分析調査研究プロジェクトチーム、2013年)による。

⁴⁾ 中村良平「地域産業構造の見方、捉え方」

総務省統計局 <http://www.stat.go.jp/info/kouhou/chiiki/> (2015年12月21日現在)

が、以下ではその結論のみを示しておこう。

回帰モデルの推定結果は以下の表 1 に示されている。この表の推定結果から、モデル①およびモデル②については、回帰係数および定数項のすべてにおいて有意水準 0.01 および 0.05 で有意性が認められ、決定係数の数値も高くデータに対する当て嵌まりの良いモデルであることが示された。この結果から、前述の統計局による試算と同様の結論を導き出すと、静岡県の場合、例えば各地域で人口 1 万人の増加を目的とした場合、各地域で示された第 1 基盤産業の就業者数を 1,497 人増加させるような産業振興政策を策定することが望ましいということになる⁵。但し、自衛隊の基地がある殿場市や小山町の場合、第 1 基盤産業が「政府サービス生産者」となっており、民間企業を前提とする産業振興政策とは異なる検討が必要となる。

表 1：回帰モデルの推定結果

回帰分析の結果		モデル①	モデル②
被説明変数		地域内の就業者数	地域の人口
説明変数		地域の基盤産業就業者数	地域内の就業者数
決定係数		0.940	0.988
定数項	推定値	-11526.911	17997.483
	P値	0.0074	3.365E-05
回帰係数	推定値	3.048	2.191
	P値	1.028E-21	5.151E-33

(4) 供給面からみた経済成長－技術開発の促進－

県内総生産は生産要素である資本と労働に依存し、そしてそれら生産要素を産出に変える技術に依存する。経済成長論からわかることは、公共政策が長期的に県内総生産を増加させようとするならば、貯蓄を増やし、投資を増やして、資本ストックを増大させることと、教育を改善し、技術の改善を促して、労働の生産性を上げることである。

技術進歩が生み出される背景として、近年、産業集積 (industrial cluster) が注目されている。現在、

⁵ 地域内の就業者総数を L_T 、地域内の基盤産業就業者数を L_B とすると、モデル①は次式の関係が成立することを意味する。

$$L_T = a + bL_B$$

地域の人口を P とすると、モデル②は次式の関係が成立することを意味する。

$$P = c + dL_T$$

これより、次の関係式が得られる。

$$P = c + d(a + bL_B)$$

従って、基盤産業の就業者の変化 ΔL_B は人口に対して次のような変化をもたらす。

$$\Delta P = db\Delta L_B$$

静岡県では、地元企業や大学、公設研究所の集積を生かした、3つのクラスターが構想され、事業化が推進されている。県東部には県立の研究機関を中核とするファルマバレープロジェクト（医療・健康関連産業）、県中部は県立大学が主導するフーズ・サイエンスヒルズプロジェクト（食品関連産業）、県西部には地元の企業と大学が連携するフォトンバレー（光・電子技術関連産業）の「静岡新産業集積クラスター」がある。クラスターは、国や県の資金等を活用するとともに、クラスター間の連携を強化することで新たな基盤産業の創出を図っている。

また、第1次産業においては、企業等の資本蓄積が十分でないことから、自ら技術開発を行って生産性の向上を図ることが困難な場合が多い。こうした地域では、企業等に代わり国・県等の公的資金を使った技術開発が重要である。

（5）高等教育の充実

内生的経済成長モデルによれば、経済成長のためには教育水準の高い人的資本の蓄積が重要である。しかし、静岡県の人口の社会移動では若い年代の流出が目立っている。

大学等の高等教育機関の収容力という面からみると、静岡県の学生収容力⁶は40%台と全国でも6番目に低く、静岡県の高等教育は、県内大学の収容力が少なく他都県の大学等に依存する割合が高いといえる。

このように、静岡県は学生が首都圏や愛知県に進学のために、転出(純転出)する人数が非常に多く、学生収容力が圧倒的に低い数値となって表れており、長期的にはこれを是正していくことが必要となる。ただし、単純に静岡県の学生は県内の大学に進学せよということは本来的に不可能であるし、首都圏や名古屋に近い本県の地理的特性上、相当数の学生が県外に進学することは前提とすべきことかもしれない。とはいえ、長期的な人的資本の蓄積を考えるならば、他の地方や首都圏からでも、「この大学なら進学したい」という特色ある大学や学部を県内に育てることは必要である。また、経済的理由から県内で自宅から通える大学に進学させたいという保護者のニーズもある。

また、南海トラフ巨大地震への不安を抱えながらも対策に必要な土木工学を研究する大学が県内になく、ものづくり県や健康長寿を謳いながらも中部と東部に工学部や医学部が無いため地域への人材供給に偏りがみられることなど、以前から静岡県の高学教育の課題とされている状況は一向に改善されていない。少子化の中で大学運営は一層厳しくなると考えられるが、こうした弱みを少しでも改善し、大規模地震対策や海洋資源の活用など、静岡県の特性を生かす方向で産官学が協力して行くことが重要である。

（6）女性の活躍推進

人口の流出に関しては、女性人口の転出者に対して転入が少ない状況も明確である。その背景として、東京都との比較では、静岡県の基盤産業である製造業だけでなく、雇用における成長分野である福祉・介護サービス等でも就業者は減少するなど新規の就職市場で首都圏の影響を受けている可能性が大きい。

女性の就業の状況を就業構造基本調査結果(2012年)からみると、静岡県は全国に比べて、有業女性の比率は50.3%で全国7位であるが、育児をしている有業女性の比率は5.30%と全国30位と低迷している。また、年齢階級別の有業率をグラフにするといわゆるM字カーブが描かれるが、中部地方で

⁶ 各都道府県の大学等の入学者数/当該県内高校の大学等への進学者数

静岡県より出生率の高い福井県⁷との比較では有業率はほぼ全年齢層で低く、全国と比較しても、ほぼ全年代で全国を上回っているのに対し、25歳～34歳の第1子誕生期に有業率が下回っている。

こうしたことから、特に子育てによる労働市場からの退出を極力減らすことが重要になる。具体的には、女性の戦力化に向けたキャリアパスなど企業の社員教育の見直し、出産期のブランクをマイナスにしない労務管理、出産から未就学児及び学童の保育体制、子育ての支援などについて福祉政策よりも産業戦略として、さらに積極的に取り組む必要がある。

女性の労働力が上昇することにより、県民経済計算上は供給面で成長力の上昇にプラスとなるとともに、需要面でも働く女性の所得の増加による消費の増加をもたらす。また、企業の経営上も、新たな商品・サービスの開発に新しい発想をもたらす効果も期待できる。

2. 基盤産業の就業者と人口増加の回帰分析

本節では、前節(3)の「産業と人口－基盤産業の就業者と人口増加－」で取り上げた回帰分析について詳述することを目的とする。既述のとおり、この回帰モデルは地域の基盤産業就業者数から人口の増減を予測することが最終的な目標であり、その基本的な考え方は総務省統計局の研究に依拠している。しかしながら、総務省の試みは全国市町村のデータをベースとしたものであり、また基盤産業の定義及び把握の方法についてもいくつか問題点が含まれていることは山下(2016)でも指摘しておいた。そこで総務省のモデルを修正し、静岡県内のデータに基づき改めて試みたのがこの回帰分析である。これは言わば総務省統計局が行った回帰分析の改訂版と看做することができるが、この改訂版の回帰分析についてもいくつか問題点が含まれており、これらについては更なる検討を要する。以下本稿では、具体的な問題点を指摘した上でこの回帰分析に関する検討経過を報告し、併せて今後取り組むべき課題について言及する。

2.1 試用したデータと回帰モデルの結果

一般に、被説明変数 y に対して k 個の説明変数 $x_1, x_2 \dots x_k$ が与えられる場合、被説明変数と各説明変数の関係がすべて線形であるという前提のもとで、回帰モデルは次のように示すことができる。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

ここで ε は誤差項と呼ばれ、説明変数では y を説明できないランダムなバラツキを意味する。また定数 $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$ は偏回帰係数と呼ばれ、母集団の偏回帰係数を意味する。例えばいま、 n 人を対象に被説明変数に該当する属性を含めた k 個の属性について調査したデータがあるとしよう。そうすると $n \times k$ 個のデータが存在するので、行列・ベクトル表記を用いて(2.1)式におけるデータとパラメータを表示すると

⁷ 2012年の合計特殊出生率は福井県が全国3位の1.60、静岡県1.52、全国1.41である。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad \mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

となる。ここで (2.1) 式の回帰モデルは以下のように表すことができる。

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.2)$$

なお $\boldsymbol{\beta}$ の推定については、通常の最小 2 乗法 (OLS; Ordinary Least Square Method) の場合、推定量 \mathbf{b} は以下のように定式化される。

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (2.3)$$

本稿で試みた回帰分析は $k=1$ の単回帰分析であり、パラメータの推定には (2.3) 式で定義された OLS を利用している。具体的に見ていこう。表 1 に示されているようにモデル①は、被説明変数 y が「地域内の就業者数」で、これは在住地で就業している静岡県内各市町の就業者数を示している。説明変数 x_1 は「地域の基盤産業の就業者」で各市町の基盤産業の就業者数を示しているが、これは同市町で在住している就業者のみならず他市町から通勤している就業者も含まれている⁸。一方、モデル②は、被説明変数 y が「地域の人口」で静岡県内各市町の総人口を示しており、説明変数 x_1 は「地域内の就業者数」で、これはモデル①における被説明変数と同様のデータである (表 2 参照)。

これら二つの回帰モデルは、就業者数の増減から人口増減を定量的に評価するモデルであり、その目的は、各市町における基盤産業の就業者数から各市町の人口数を予測することにある。つまり地域の政策という視点で言い換えると、産業政策を通じて人口増加を推し進めるための目標値を定めるモデルであると看做することができる。従ってこれら二つのモデルで着目すべきは、定数項ではなく回帰係数である。例えば、前節で「各地域で人口 1 万人の増加を目的とした場合、各地域で示された第 1 基盤産業の就業者数を 1,497 人増加させるような産業振興政策を策定することが望ましいということになる」と結論のみを述べておいたが、これらの数値はモデル①とモデル②の回帰係数に基づき算出されている。

具体的に解説しておこう。先ずモデル①における「地域の基盤産業の就業者数」の回帰係数は、3.048 であるため、前述の「第 1 基盤産業の就業者数を 1,497 人増加」させた場合、このモデルから「地域内の就業者数」は 4,563 人 (1497×3.048) の増加が予測される。更にこの予測値どおりの「地域内の就業者数」の増加が実現できたとすると、モデル②における「地域内の就業者」の回帰係数が 2.191 であるため、約 10,000 人 ($4563 \times 2.191 = 9997$) の人口増加が期待できることになる。当然のことながら、この回帰モデルによる予測は、人口 10,000 人の増加を政策の目標値とするとき基盤産業の就業者を何人増加させるべきかという問題に置き換え得ることは言うまでもない。

⁸ ここで言う基盤産業とは、地域における主要産業という意味を指す。このような意味での地域における基盤産業の把握方法については、上藤・山下・高瀬・塚本・片岡・勝山 (2015) 及び山下 (2016) の第 3 章を参照のこと。

表 2：回帰分析で使したデータ（2010 年国勢調査）

市町	総人口	地域内就業者数	地域の基盤産業	地域の基盤産業就業者数
静岡市	716,197	336,760	サービス業	122,342
浜松市	800,866	348,811	製造業	94,166
沼津市	202,304	82,953	サービス業	24,742
熱海市	39,611	18,224	サービス業	11,981
三島市	111,838	25,339	サービス業	17,826
富士宮市	132,001	42,489	製造業	20,971
伊東市	71,437	26,300	サービス業	15,402
島田市	100,276	29,021	製造業	12,447
富士市	254,027	99,865	製造業	40,399
磐田市	168,625	59,148	製造業	38,824
焼津市	143,249	41,367	製造業	20,700
掛川市	116,363	41,660	製造業	22,895
藤枝市	142,151	33,013	製造業	14,586
御殿場市	89,030	34,302	政府サービス生産者	4,714
袋井市	84,846	23,495	製造業	14,864
下田市	25,013	10,360	サービス業	5,811
裾野市	54,546	19,403	製造業	13,366
湖西市	60,107	31,842	製造業	23,040
伊豆市	34,202	10,164	サービス業	7,850
御前崎市	34,700	11,576	電気・ガス・水道業	795
菊川市	47,041	12,812	製造業	8,619
伊豆の国市	49,269	12,442	サービス業	9,595
牧之原市	49,019	20,209	製造業	12,073
東伊豆町	14,064	5,172	サービス業	3,892
河津町	7,998	2,289	サービス業	1,502
南伊豆町	9,516	2,858	サービス業	2,086
松崎町	7,653	2,065	サービス業	1,355
西伊豆町	9,469	3,416	サービス業	2,084
函南町	38,571	4,527	サービス業	5,120
清水町	32,302	5,986	製造業	3,948
長泉町	40,763	8,177	製造業	5,817
小山町	20,629	7,250	政府サービス生産者	4,257
吉田町	29,815	9,787	製造業	8,323
川根本町	8,074	3,002	サービス業	1,001
森町	19,435	4,857	製造業	4,351

2.2 回帰モデルの診断

前節で取り上げた二つの回帰モデルは、表 2 のデータからも明らかなようにクロスセクションデータを使用したものであり時系列データではない。このため回帰係数を用いた人口予測には、「過去の経験」が十分に反映されていない点で問題が残る。またこのようなデータの問題に限らず、回帰分析の適用条件をこれら二つの回帰モデルが満足させているかどうかをめぐる方法論上の問題点も検討すべき必要がある。そこで本節では、この後者の方法論的問題を取り上げ、その検討を通じて今後取り組

むべき課題をいくつか明らかにしておきたい。

よく知られているように、回帰分析は、統計学の中でも最も汎用性の高い手法の一つではあるが、その応用に際してはいくつか条件があり、これらの条件を満足させていなければよい推定結果を導き出すことができない。その一方、 t 検定や F 検定によって、回帰モデルの定式化が良好であると判断され、決定係数が高い値を示していたとしても、回帰分析に求められる諸条件を満足させているとは言い難い場合がしばしばあり得る。

一般に、回帰モデルに課せられる条件には、①被説明変数と各説明変数の関係は線形、②誤差項に自己相関（系列相関）がない、③誤差項の分散は均一、④誤差項が正規分布に従う、⑤各説明変数間に強い相関関係（多重共線性）がない、⑥データに極端な値（外れ値）がない等が挙げられるが、本稿で取り扱った二つの回帰モデルは、クロスセクションデータによる単回帰モデルであることから必然的に②と⑤の条件は問題外となる。残された問題に対する回帰診断（regression diagnostics）とその結果に基づくモデルの改良については未だ研究途上の段階であるが、現在進行中の試行錯誤の一つとして、①、③、⑥の問題に対する回帰診断とモデル改善の試みを以下示しておこう。

（１）回帰モデルにおける線形性の問題

(2.2) 式で定義された回帰モデルは、説明変数と被説明変数の関係が線形であることを前提としている。しかし Anscombe (1973) の例証で典型的に示されたように、実際にデータの散布図を見てみると、非線形なバラツキを示す場合が少なくなく、OLS の推定量の良さに影響を及ぼす。このため、本節でも二つの回帰モデルで使用した変数間の関係を散布図で確認しておく必要があり、それらを示したのが図 1 と図 2 である。

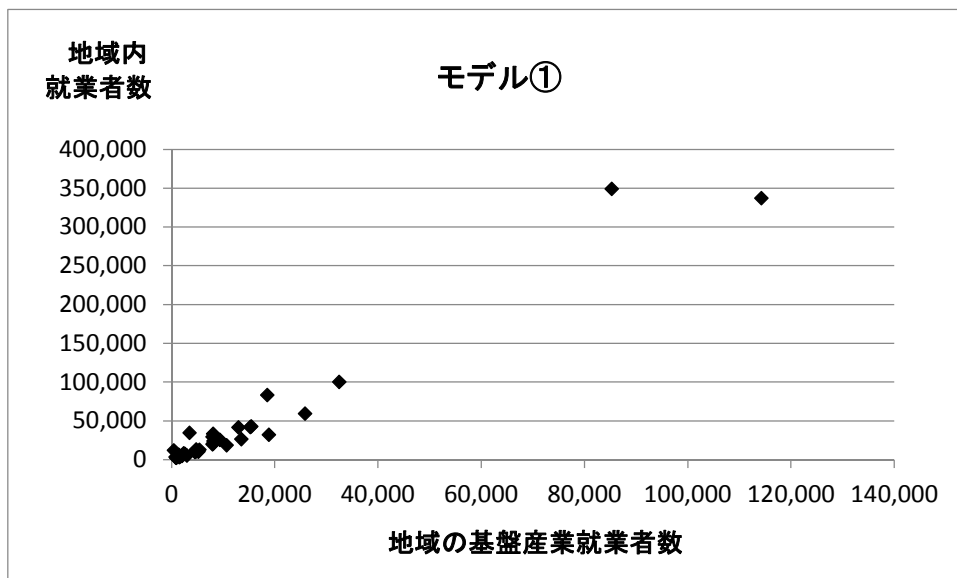


図 1：モデル①の散布図

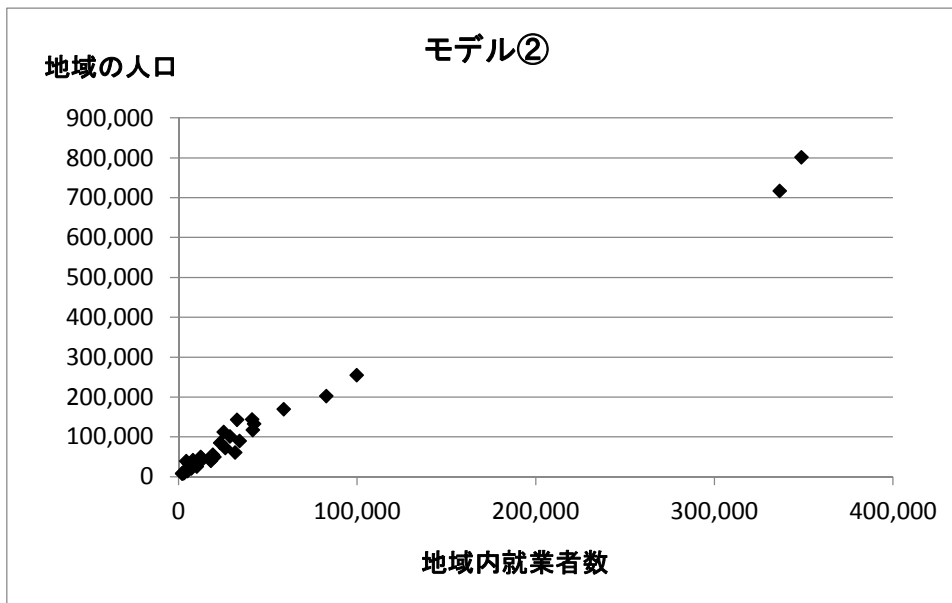


図 2：モデル②の散布図

これらの散布図を見ると、いずれも説明変数と被説明変数間に右上がりの線形の関係が確認できる。従って、回帰モデルにおける線形性という点では、モデル①もモデル②も問題がないと看做し得るが、他方、外れ値と推定し得る二つのデータが存在していることも確認できる。これは静岡市と浜松市のデータであるが、視覚的に見ると回帰係数の傾きに大きく影響を与えるような座標に布置しているとは考えらず、前述のとおりこれら二つのモデルは妥当なモデルであると看做し得る。なお静岡市と浜松市が外れ値に相当するかどうかについては後述する。

(2) 誤差項における分散均一性の問題

分散均一性とは、誤差項の各誤差 ε_i ($i = 1, 2, \dots, n$) が同一の分散を持つという仮定である。一般に古典的な回帰理論では、誤差項の期待値（平均）が 0、誤差項の自己相関（系列相関）なし、誤差項の分散が均一、多重共線性（説明変数間の相関）なしという、比較的ゆるやかな仮定を充足させていると、最小 2 乗推定量は最良線形不偏推定量（BLUE; Best Linear Unbiased Estimator）になり、大変良い推定値を与えることになるが、逆に誤差項の分散が不均一であると最小 2 乗推定量は BLUE にならず、その結果、 t 検定に良くない影響を与えることになることが知られている。そこで本節でもモデル①とモデル②において誤差項の分散が均一かどうか調べることにした。

誤差項の分散均一性を調べるにはいくつかの検定法が知られているが、本稿ではラグランジュ乗数検定（LM 検定）を試みた。いま、誤差 ε_i の推定値である残差 e_i と予測値 \hat{y}_i について以下のような回帰モデルを導入する。 u はこの回帰モデルにおける誤差項である。

$$e^2 = \delta_0 + \delta \hat{y}^2 + u \quad (2.4)$$

ここで、データから最小 2 乗法によって回帰切片 δ_0 と回帰係数 δ の推定を行い、更に決定係数 R^2 を求めた上で、以下のように定義される検定統計量 LM を計算する。

$$LM = nR^2 \quad (2.5)$$

この検定統計量 LM は、自由度 1 の χ^2 分布に従うため、それによって誤差分散は均一という帰無仮説と誤差分散は不均一という対立仮説をめぐる検定を行うことが可能となる。

モデル①とモデル②の検定結果を見る前に、養谷（1992）に従い残差と予測値の散布図から視覚的に分散均一性を確認しておこう。図 3 及び図 4 は、モデル①とモデル②の残差と予測値をそれぞれ散布図に表したものである。これらの散布図を見ると、図 3 のモデル①の場合、第 1 象限の散布が右上がり、第 4 象限の散布がやや右下がりになっているのに比べて、第 4 図のモデル②の場合は、 x 軸に対してほぼ水平になっていることが確認でき、モデル①に分散の不均一性が推測される。

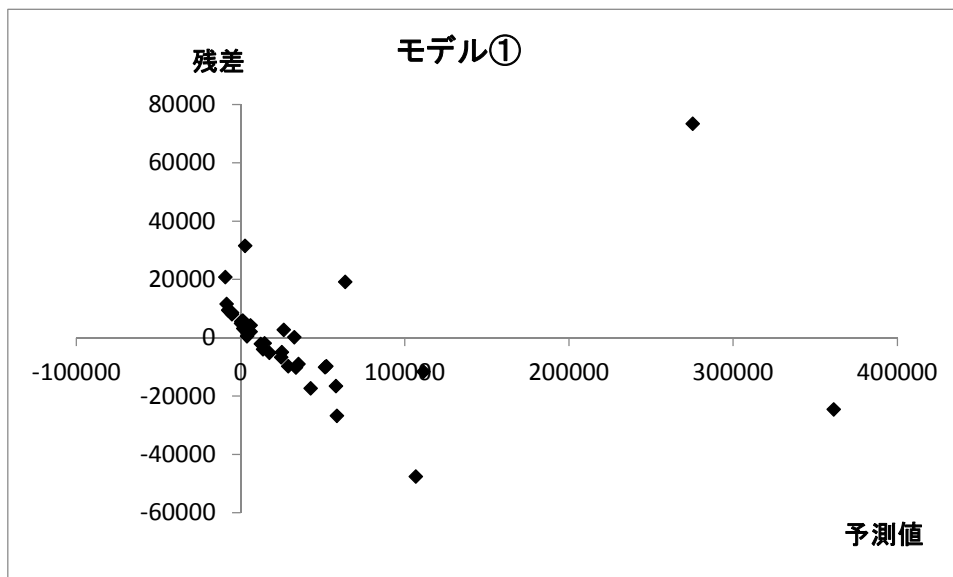


図 3：モデル①の残差と予測値の散布図

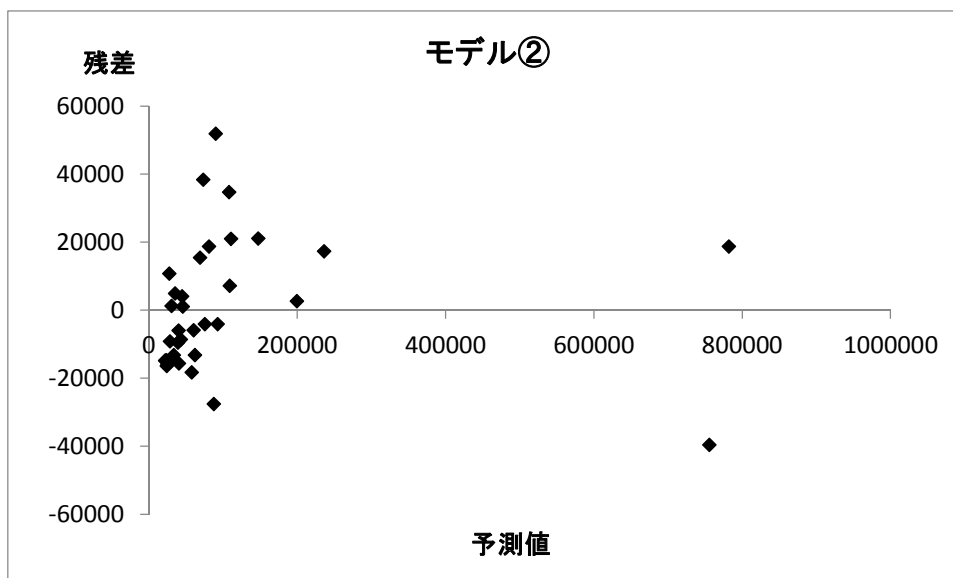


図 4：モデル②の残差と予測値の散布図

表 3 は、モデル①とモデル②における LM 検定の結果を纏めたものである。これを見ると、図 3 及び図 4 の散布図で示されたとおり、モデル①における誤差項が分散不均一で、モデル②については均一であることが確認できる。もともとこれらのモデルは、表 1 の結果を見ても明らかなように、決定

係数の数値も高く回帰係数も有意な差が認められ、また前節で確認したように説明変数と被説明変数間の線形性も担保されていた。それにも拘わらずモデル①において誤差項の分散不均一性が認められた要因の一つには、前述のように外れ値の影響があるものと考えられる。そこで次にこれら二つのモデルにおける外れ値の検討を行うこととする。

(3) 外れ値の問題

回帰モデルは、説明変数にせよ被説明変数にせよ、データに極端な値（外れ値）が存在していると回帰係数の値が不安定となり、推定結果や検定結果によく影響を与える。このため、回帰分析を行うに当たり、データに外れ値が存在しているかどうかを検討しておくことも必要である。外れ値を判断する方法としては、残差グラフなどによる視覚的方法と、記述的統計量による解析的方法に大きく分かれるが、本稿では、後者のうちで最も基本的なハット行列における作用点（leverage point）から外れ値の判断を試みた。

いま (2.2) 式の回帰モデルにおいて予測値 \hat{Y} のベクトル $\hat{\mathbf{y}}$ は、

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (2.6)$$

と表すことができる。ここで行列 \mathbf{H} を

$$\mathbf{H} = \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}' \quad (2.7)$$

として定義すると (2.7) 式は

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{H}\mathbf{y} \quad (2.8)$$

と書き換えられる。この \mathbf{H} は $\hat{\mathbf{y}}$ を与えるという意味でハット行列（hat matrix）と呼ばれ、外れ値の回帰診断では重要な意味を持つ統計量とされる。特に \mathbf{H} の対角要素 h_{ii} は、 i 番目の観測値の作用点またはポテンシャル（potential）と呼ばれ外れ値検出の一つの指標となる。本稿で試みたモデル①やモデル②のような定数項を含む単回帰モデルの場合、 h_{ii} は以下ようになる。

$$h_{ii} = \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\sum_{l=1}^n (X_l - \bar{X})^2} \quad (2.9)$$

但し、

$$1/n \leq h_{ii} \leq 1 \quad \sum_{i=1}^n h_{ii} = \sum_{i=1}^n h_{ii} = 1$$

である。この h_{ii} は、(2.9) 式からも明らかなように、観測値 X_i が平均値 \bar{X} の近傍に位置するとき $1/n$

に近づき、 X_i が \bar{X} より離れて位置するとき1に近づく。このような数学的性質があるため h_{ii} は外れ値の判断基準として意味を持つのであるが、説明変数が非確率変数であるため確率分布を仮定し一定の有意水準の下で検定を行うことはできない。そのためさまざまな判断基準が提案されているが、本稿では、 h_{ii} の平均値が $(k+1)/n$ であることから、その2倍の $2(k+1)/n$ を高い作用点と看做し外れ値の影響を判断した。なお、作用点の計算結果は表4に、また求められた作用点に関連する統計量の計算結果は表5に纏められている。

表4：モデル①とモデル②の作用点

市町	モデル① 作用点	モデル② 作用点	市町	モデル① 作用点	モデル② 作用点	市町	モデル① 作用点	モデル② 作用点
静岡市	0.548	0.445	藤枝市	0.029	0.029	河津町	0.040	0.036
浜松市	0.307	0.479	御殿場市	0.036	0.029	南伊豆町	0.039	0.035
沼津市	0.031	0.037	袋井市	0.029	0.030	松崎町	0.040	0.036
熱海市	0.030	0.031	下田市	0.035	0.033	西伊豆町	0.039	0.035
三島市	0.029	0.030	裾野市	0.029	0.031	函南町	0.035	0.035
富士宮市	0.029	0.029	湖西市	0.030	0.029	清水町	0.037	0.034
伊東市	0.029	0.030	伊豆市	0.033	0.033	長泉町	0.035	0.034
島田市	0.030	0.029	御前崎市	0.041	0.033	小山町	0.036	0.034
富士市	0.054	0.045	菊川市	0.032	0.032	吉田町	0.032	0.033
磐田市	0.051	0.030	伊豆の国市	0.031	0.032	川根本町	0.041	0.035
焼津市	0.029	0.029	牧之原市	0.030	0.031	森町	0.036	0.035
掛川市	0.030	0.029	東伊豆町	0.037	0.035			

表5：作用点の統計量

作用点の統計量	モデル①	モデル②
外れ値の判断基準	0.114	0.114
相加平均	0.057	0.057
分散	0.009	0.010
標準偏差	0.096	0.100
最大値	0.548	0.479
最小値	0.029	0.029
レンジ	0.520	0.451

表4の作用点に対して外れ値の判断基準となる数値は、表5にもあるようにモデル①及びモデル②ともに0.114である。この数値は既述のとおり h_{ii} の平均値の2倍に相当するが、作用点の相加平均は、モデル①もモデル②も単回帰で標本の大きさも等しいため(2.9)式の性質により等しくなる。この基準に照らし合わせて表4の作用点を検討すると、いずれのモデルにおいても静岡市と浜松市が外れ値として検出されることがわかる。一方、表5を見ると作用点の標準偏差は、モデル①より②よりもバラツキが大きいことが示されているがレンジを見るとモデル①の方が大きく、それが作用点の最大値(静岡市)の大きさに起因していることは明らかである。そしてこの作用点の大きさが、モデル①において誤差項の分散不均一性を齎した主要な要因の一つであると推察される。

2.3 回帰モデルの改良

以上の議論から、モデル①については分散不均一と外れ値、モデル②については外れ値の問題が含まれていることが明らかとなった。そこで本節の終わりに、モデル改良の一つの試みとして、外れ値に相当する静岡市と浜松市を除いたデータに基づき回帰分析を行った。当然のことながら、このような回帰分析は、静岡市と浜松市について人口予測を放棄することを意味するので、統計学的には意味があっても経済学的には依然として問題が残ることは指摘しておかなければならない。この問題点を充分認識した上で、外れ値を除外した回帰分析の結果を示しておこう。

表 6：外れ値を除外した回帰モデルの推定結果

回帰分析の結果		モデル①	モデル②
被説明変数		地域内の就業者数	地域の人口
説明変数		地域の基盤産業就業者数	地域内の就業者数
決定係数		0.807	0.930
定数項	推定値	-1217.900	10136.287
	P値	0.6607	1.776E-02
回帰係数	推定値	2.039	2.567
	P値	1.292E-12	1.882E-19
LM統計量		5.966	0.303

表 6 の結果を表 1 及び表 3 の結果と比較すると、まずモデル②については表 1 の場合と同様、定数項と回帰係数についていずれも有意な差が認められるが、モデル①については定数項について有意な差が認められないことが示されている。しかしこの回帰モデルの目的は、回帰係数を用いた人口増減予測にあるので、定数項に有意な差が認められなくても深刻な問題とはなり得ない。一方、LM 検定については、ここでもモデル②については分散が均一であると認められるが、モデル①については有意水準 $\alpha=0.05$ では帰無仮説棄却で分散不均一と判断されてしまう。しかしながら $\alpha=0.01$ では帰無仮説採択で分散均一と判断することができ、外れ値を除外した効果があったものと考えられる。以上の点から、外れ値を除外することである程度モデルの改善が図られたと看做すことができよう。ちなみに前節と同様、第 1 基盤産業の就業者数が 1,497 人増加したとすると、これらのモデルから得られる人口の増加は 7,836 人となり、本来のモデルの場合の 10,000 人と比べて予測値が過少評価されることは回帰係数の相違からも明らかであろう。

終わりに

以上本稿では、これまでの研究成果の総括として、『地域経済分析ハンドブック—静岡モデルから学ぶ地方創生—』で述べられた「政策提言」の要約を示すとともに、そこで残された課題の一つを検討した。具体的には、地域の基盤産業における就業者数の増減から地域の人口の増減を予測する回帰モデルの検討である。

一般に回帰モデルは、あらゆる統計的方法の中でも応用範囲の最も広い手法として知られている。そのこと故に、実に多くの問題に適用される反面、本来回帰分析に課せられる諸条件の問題はあまり意識されずに応用されている場合も多い。本稿では、そうした問題に焦点を当てたモデル改良の試み

を示すことで、問題の重要性を指摘するとともにより精度の高い予測値を求める必要性を再確認した。とは言え、本稿の試みは未だ研究途上の段階にあるもので、更なる検討を積み重ねていく必要がある。今後も引き続き検討していきたい。

追 記

本研究については、静岡県職員による分析結果も含まれているが、これらはあくまで個人的見解を示したものであり県の見解ではない。

なお本研究は、平成 27 年度静岡大学人文学部学部長裁量経費（代表者：上藤一郎）による援助を受けて行われた。

参考文献

Anscombe, F. J. (1973) "Graphs in statistical analysis", *American Statistician*, vol.27, pp.17-21.

Belsley, D. A., Kuh, E. and Welch, R. E. (1980) *Regression Diagnostics*, John Wiley.

Cook, R. D. and Weisberg, S. (1982) *Residuals and Influence in Regression*, Chapman and Hall.

蓑谷千風彦 (1992) 『計量経済学の新しい展開』多賀出版。

佐和隆光 (1979) 『回帰分析』朝倉書店。

上藤一郎 (2013) 「労働力移動から見た地域経済圏の統計的分類－オーダーメイド集計データを用いた静岡県の分析事例－」、『龍谷大学経済学論集』龍谷大学、第 52 巻第 3 号、81～99 頁。

上藤一郎・浅利一郎・山下隆之・高瀬浩二 (2011) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発－モデル分析に利用する地域統計データの整備とその精度－」、『地域研究』静岡大学、第 2 号、1～12 頁。

上藤一郎・浅利一郎・山下隆之・高瀬浩二 (2012) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発－地域統計データによる地域経済圏の統計的分析－」、『地域研究』静岡大学、第 3 号、27～39 頁。

上藤一郎・浅利一郎・山下隆之・高瀬浩二 (2013) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発－産業別にみた地域経済圏の統計的分析－」、『地域研究』静岡大学、第 4 号、27～39 頁。

上藤一郎・山下隆之・高瀬浩二・塚本高士・片岡達也・勝山敏司 (2014) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発－静岡県の人口移動に関する統計的分析－」、『地域研究』静岡大学、第 5 号、29～41 頁。

上藤一郎・山下隆之・高瀬浩二・塚本高士・片岡達也・勝山敏司 (2015) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発－静岡県内各市町における基盤産業の分析－」、『地域研究』静岡大学、第 6 号、29～41 頁。

山下隆之編 (2016) 『地域経済分析ハンドブック－静岡モデルから学ぶ地方創生－』晃洋書房。

山下隆之・浅利一郎・高瀬浩二 (2007) 「静岡 SD モデルによる静岡県の人口動態と地域社会の変容の分析」、『静岡大学経済研究センター研究叢書』第 5 号、1～15 頁。

山下隆之・上藤一郎・高瀬浩二 (2008) 「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発」、『静岡大学経済研究センター研究叢書』第 6 号、1～24 頁。

山下隆之・上藤一郎・高瀬浩二（2009）「地域別経済指標に基づく静岡 SD モデルの開発ー地域統計データの整備に向けてー」、『静岡大学経済研究センター研究叢書』第 6 号、1～25 頁。

山下隆之・上藤一郎・高瀬浩二（2011）「静岡県内市町村の相互依存関係に関する研究」、『経済研究』静岡大学第 15 巻第 4 号、195～211 頁。

山下隆之・上藤一郎（2011）「地域経済内の相互依存性に関する研究ー静岡県を事例としてー」、『日本経済政策学会中部部会 OnLine ワーキングペーパー』No.2。

<http://www.soec.nagoya-u.ac.jp/jepa/>

山下隆之・上藤一郎・高瀬浩二（2012）「静岡 SD モデルの開発ーシステムダイナミクスによる地域経済分析ー」、『経済研究』静岡大学第 16 巻第 4 号、157～172 頁。