

講演論文

日本経済モデル研究分科会

# SDによるバブル期以降の経済動向の可視化

内山 章

九州電力株式会社 経営管理室

Akira\_Uchiyama@kyuden.co.jp

キーワード：システム・ダイミクス，フィードバックループ，Causal Loop，ストック・フロー，重回帰式

## はじめに

経済の構成要素は多様で複雑な因果関係がある。一般的に因果関係があるといわれる経済指標間の関係でさえ、実績に基づき定式化しようとする、理論に合わない結果が出てくることがある。

その矛盾を追及することで、新たな理論が生まれるという繰り返しではないかと思っている。

例えば、輸出と為替レートの関係で見ると、一般的に円高になれば輸出が減少すると言われるが、輸出価格と輸出量のタイムラグに着目すると、日本のドル建ての輸出価格が上昇し、輸出量の減少は遅れるために、一時的に輸出総額が増え、その後減少していくというJカーブ効果という考えが出てきた。

また、この例であるとおり、「輸出」と表現しても、その数値の具体的な定義は、「輸出額の水準」「輸出増加額」「輸出価格」「輸出量」などと様々に捉えることができ、一般的に因果関係があるといわれる経済指標のどの定義に着目すればいいのか非常にわかりにくい。

事象を原因と結果の何れかに捉えるのかによって因果関係が異なる。

例えば、円高を防ごうとすると金利低下策が求められる点で円高進行は金利低下要因となる。

一方、金利上昇は円高要因となるということは、金利と為替レート変動の関係はどちらを原因かと捉えるのかによって、反対の結果となる。[1]

経済に関する議論を行う際、このように議論の前提となる、経済指標の定義や事象の捉え方、経済モデルの対象範囲などに違いがあると、経済に関する素人である私達一般人にとっては、何を議論しているのかが非常にわかりにくい。

従って、SD（システム・ダイナミクス）の特徴である「ダイナミクス」に着目し、「経済のダイナミクス」を表現するとともに、SDによって経済を可視化することにより、何がもたらされるかを

実感したいと思い、本研究を行った。

研究に当たっては、具体的な経済現象を可視化することが有用であるため、バブル発生前から現在までの動向に着目し、1986年1月以降の経済動向をSDモデルで表現した。

## 1. SDの特徴

SDとは、いわゆる制御工学の考えを経済・社会系に適用したものであり、「因果関係」「ストック・フロー」「フィードバックループ」「遅れ」に着目し、経済・社会のダイナミックな動きをシミュレートするものである。

SDモデルを作成する際には、「Verbal Modelの作成」「Causal Loop（因果関係図）の作成」「モデル化」「シミュレーション」「チューニング」「実行」「再チューニング」…のステップを経る。

例えば、経営計画立案にSDを適用する場合には、パソコン上で、何度もトライ＆エラーを繰り返し、実行に移す。

実行した結果が当初想定したSDモデルと乖離が出た場合、再度、モデル検証のステップを経て、次の経営計画を立案・実行していくという「仮想経営」「仮説検証型経営」を実行することである。

PowersimなどのSDツールを活用すると、「因果関係」などが可視化されるため、因果関係自体に対する議論が容易になり、因果関係に対する共通認識が醸成され、議論の土台ができることになる。

SDモデルにおける因果関係を表す矢印は「原因」「結果」を表すこととなるため、因果関係に加え、これらも可視化されることとなる。

更に、SDモデルにおける「ストック」「フロー」の表記は結局微分方程式を表すこととなるため、非線形のモデルにも対応が可能となる。（図1）

SDモデルにおけるフィードバックループは、ループの形態によって収束・発散・振動などを及ぼすこ

とがある点が特徴である。

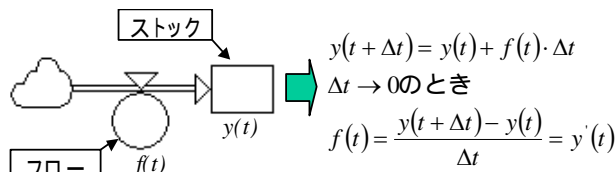


図1 SDにおけるストック・フローと微分の関係

## 2. 日本経済モデルへのSDの適用方法

推計に当たっては、例えば、目的変数とする経済指標  $y$  に対して、説明変数となる経済指標  $x, Z$  の重回帰式を推計する一方で、目的変数となった  $y$  は、別の重回帰式では説明変数とすることを続けることにより、「フィードバック」を表現する。(図2)

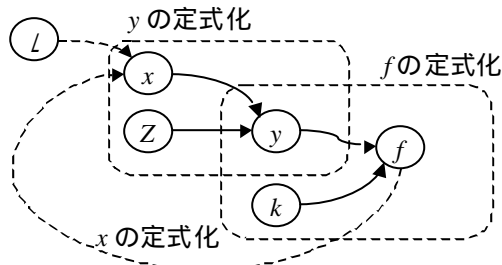


図2 重回帰式を用いたフィードバックループの構築

しかし、 $y$  の推計誤差を含んだ形で新たな目的変数  $f$  が推計されることとなる。その誤差を最小化するために、「フィードバックループ」を構成しているモデル全体に対し、最適化を行う。

また、図2における「 $f$ の定式化」については図3のように、直接  $f$  を目的変数、 $X, Z, K$  を説明変数とすれば、 $y$  の推計誤差の影響を受けにくくなるが、説明変数の数が多くなると、実態と合わない回帰係数となったりするため、その点を配慮し、説明変数を選定した。

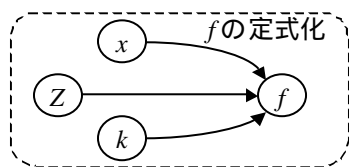


図3 図2における  $f$  を直接推計した場合

SDモデルの特徴である「フィードバックループ」については、経済はタイムラグ(遅れ)を伴ってダイナミックに動くものであることを考慮し、あえて、計量経済学における「同時方程式」は設定しない。図4の  $x$  の定式化において、遅れを考慮するため、「同時方程式」にはならない。

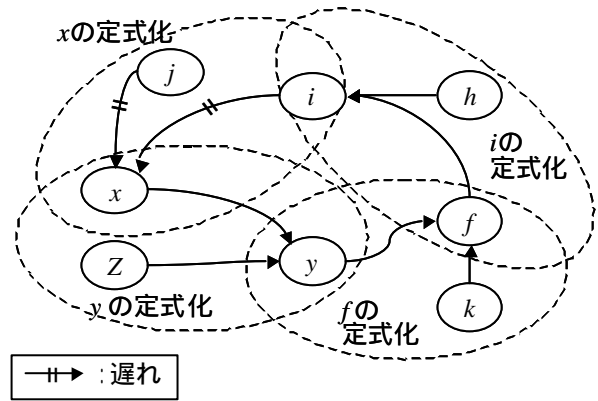


図4 「遅れ」を考慮したフィードバックループの構築

乗数効果などは、均衡解として求められるが、乗数効果が発揮されるまでには、遅れを伴うものであり、経済は連立方程式の解を求めるように、静的には動かないものと捉えた。(図5)

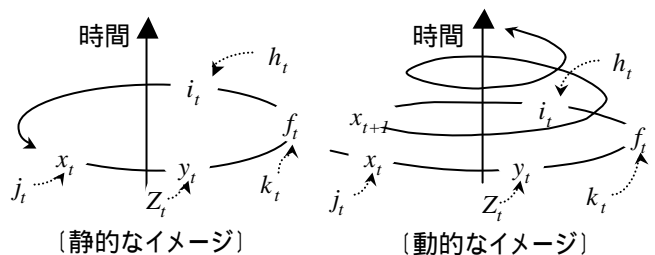


図5 静的なイメージと動的なイメージ

## 3. 日本経済モデルの定式化

### 3.1 データの諸元

バブル発生前から現在までの動向に着目し、更に、データ入手の容易性を考慮し、1986年1月から2003年10月の経済指標を基準に、主に重回帰式によって推計した。

上記期間内にはバブル生成、崩壊という大きな経済変動があり、重回帰式のパラメータを一定とすることはおかしいという議論もあるが、フィードバックループによる収束・振動の影響や、推計値と実績値の乖離があることが経済活動の分岐点と捉えることもできることもあり、あえてパラメータを一定とした。

### 3.2 各目的変数の定式化

GDP(10億円)については、民間企業設備投資(PI:10億円)、民間最終消費支出(PC:10億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$GDP_t = 0.776PI_t + 1.551PC_t + 110327.6 \quad (t: \text{時間})$$

(t 値=17.2) (94.3) (3.4) R(重相関係数)=0.998

通常 GDP の構成要素として民間企業設備投資、民間最終消費支出などがあり、これらを GDP の恒等式と捉えることが一般的であるが、これらの構成要素間にも因果連鎖があり、民間企業設備投資、民間最終消費支出の 2 つの要素で説明できるため、上記の重回帰式とした。

更に GDP の恒等式は、一般的には需要面の GDP と供給面の GDP が即時に均衡することにより、乗数効果などの理論や計量経済学における同時方程式の発生理由となっているが、今回、あえて均衡という概念を用いないこととした。

長期金利(LI:%) については、短期金利(SI:%)、米国長期金利(LIA:%)、ベースマネー(BM:兆円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$LI_t = 0.458SI_t + 0.228LIA_t - 0.02BM_t + 2.113$$

(25.4) (5.5) (-7.0) (5.7) R=0.971

パラメータの符号に着目すると、長期金利は米国長期金利が上昇するとそれに連動し上昇する傾向にあること、ベースマネーの供給量が増加すると低下すると見ることができ、符号の整合性は確保していると判断した。

短期金利(SI:%)については、民間企業設備投資(PI:兆円)、GDP(兆円) / 米 GDP(GDPA:1000 億<sup>ドル</sup>)、政府債務残高(GD:兆円)、1 期前の為替レート(e:円/\$)を説明変数とし、下式を推計した。

$$SI_t = 0.107PI_t + 3.354(GDP/GDPA)_t + 0.008e_{t-1}$$

(18.1) (20.7) (2.0)

$$+ 0.01GD_t - 32.171$$

(6.9) (-24.0) R=0.960

パラメータの符号に着目すると、短期金利は民間企業設備投資、GDP / 米 GDP の上昇、即ち、景気動向が上向くと上昇し、政府債務残高が増加するとリスクプレミアムの影響などから上昇する。また、為替レートが円高になると、円高を防ごうとすると金利低下策が求められる点などから、短期金利は低下すると見ることができ、符号の整合性は確保していると判断した。

株価(SP:円) については、東証 1 部売買高(SS:%)、

GDP(兆円) / 米 GDP(GDPA:1000 億<sup>ドル</sup>)、短期金利(SI:万株)、短期金利差(米 日)(SID:%)、国内銀行貸付金(BL:億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$SP_t = 0.067SS_t + 3256.785(GDP/GDPA)_t + 2084.17SI_t$$

(7.2) (7.1) (10.4)

$$- 1705.341SID_t + 0.005BL_t - 38450.44$$

(-14.4) (-8.3) (-7.4) R=0.912

パラメータの符号に着目すると、株価は東証 1 部売買高が増大し、株式市場が活性化している状況や景気動向がよく短期金利が高い水準や米国に比べ相対的に経済がよい状況では株価が高い水準であり、その中で短期金利が低下し、短期金利差(米 - 日)が拡大すると、株価が上昇するという関係となった。また、国内銀行貸付金が増大し投資先が株式市場に向かった場合にも、株価が上昇すると見ることができ、符号の整合性は確保していると判断した。

為替レート(e:円/\$)については、株価(SP:千円)、GDP(兆円)、GDP(兆円) / 米 GDP(GDPA:1000 億<sup>ドル</sup>)、短期金利(SI:%)、短期金利(SI:%)、輸入(IM:兆円)、ドル介入額(ei:兆円)、鉱工業生産指数(IIP)を説明変数とし、下式を推計した。

$$e_t = 0.416SP_t + 0.493GDP_t + 9.189(GDP/GDPA)_t +$$

(-2.5) (-12.7) (-3.6)

$$4.939SI_t + 2.217 SI_t + 27.573IM_t + 3.309ei_t$$

(8.4) (-1.4) (10.0) (3.3)

$$0.435IIP_t + 393.134$$

(-3.3) (13.8) R=0.85

パラメータの符号に着目すると、GDP、GDP / 米 GDP、株価、鉱工業生産指数が上昇し景気動向がよくなると、高い金利水準で円高に進む。一方、ドル介入の発生や輸入が増加すると円安に進むと見ることができ、符号の整合性は確保していると判断した。

輸出(EX:兆円) については、1 期前の為替レート(e:円/\$)、GDP(兆円) / 米 GDP(GDPA:1000 億<sup>ドル</sup>)、鉱工業生産指数(IIP)を説明変数とし、下式を推計した。

$$EX_t = 0.009e_{t-1} - 0.394(GDP/GDPA)_t + 0.041IIP_t$$

(11.3) (-30.8) (24.0)

$$+ 1.166$$

(5.5) R=0.945

パラメータの符号に着目すると、円安や鉱工業生産指数が増加すると輸出が増加し、米国の経済力が日本に比べ低下すると輸出が減少すると見てもでき、符号の整合性は確保していると判断した。

鉱工業生産指数(IIP)については、株価の6か月遅れの動向である[2]ことを考慮し、6か月前の株価と鉱工業生産指数の比(SP/IIP:円)を現在の株価(SP:千円)を説明変数とし、下式を推計の上、株価で除することにより、推計した。

$$SP_{t-6}/IIP_t = 8.833SP_t + 35.824$$

(27.6)      (5.5)      R=0.885

M<sub>2</sub>+CD(MS:兆円)については、ベースマネー(BM:兆円)と1期前の短期金利(SI:%)、1期前の国内銀行貸付金(BL:億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$MS_t = 3.623BM_t - 2.223SI_{t-1} + 0.768BL_{t-1} + 21.5557$$

(48.4)    (-4.1)      (40.7)      (2.3)

R = 0.990

パラメータの符号に着目すると、マネーサプライはベースマネーや国内銀行の貸付動向に応じ増加し、また、景気が悪化し低金利のときはマネーサプライを増加させる金融政策を取ることから、符号の整合性は確保していると判断した。

政府債務残高(GD:兆円)については、政府最終消費支出(GC:兆円)と下図の関係があり、下式を推計した。

$$GD_t = 0.0023GC_t^3 - 0.1519GC_t^2 - 5.4142GC_t + 537.28$$

R<sup>2</sup> = 0.9326

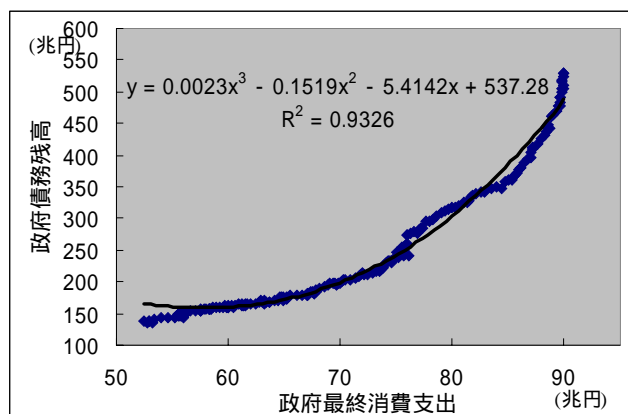


図6 政府債務残高と政府最終消費支出の関係

銀行保有国債(BHN:億円)については、政府債務残

高(GD:億円)、銀行保有株式(BHS:億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$BHN_t = 0.169GD_t - 0.272BHS_t + 51369$$

(44.5)      (-7.0)      (3.6)      R=0.952

パラメータの符号に着目すると、銀行保有国債は政府債務残高が増えるとその引受け先として増加し、銀行保有株式が増加すると資金運用先にシフトが見られ減少すると見てもでき、符号の整合性は確保していると判断した。

国内銀行貸付金(BL:億円)については、銀行保有国債(BHN:億円)、短期金利(SI:%)、M<sub>2</sub>+CD(MS:兆円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$BL_t = 9386.1MS_t - 2.954BHN_t + 48002.5SI_t + 359239$$

(42.5)      (-29.7)      (7.5)      (3.3)

R=0.957

パラメータの符号に着目すると、国内銀行貸付金はマネーサプライの増加や、景気回復に伴う金利上昇に伴い増加し、銀行保有国債が増加すると、資金運用先にシフトが見られ減少すると見てもでき、符号の整合性は確保していると判断した。

民間企業設備投資(PI:億円)については、国内銀行貸付金(BL:億円)、1期前の長期金利(LI:%)、1期前の輸出(EX:兆円)、公的資本形成(GI:億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$PI_t = 0.246BL_t - 6795.5LI_{t-1} - 2.027GI_t + 4.34EX_{t-1} + 300351.6$$

(25.4)      (-3.3)      (-20.6)      (33.5)

(9.4)      R=0.937

パラメータの符号に着目すると、民間企業設備投資は長期金利の低下や国内銀行貸付金増大に伴う資金供給や輸出の増による需要増大に伴い増加するが、公的資本形成が高水準の状況では景気低迷の状況で民間企業設備投資が低水準となると見てもでき、符号の整合性は確保していると判断した。

外生変数は以下のとおりとした。

諸外国の経済動向の影響を受けるものとして、米国の長期金利・短期金利・GDP、輸入

消費者などの動向によるものとして、民間最終消費支出、株式売買高

政策の影響を受けるものとして、マネタリーベース、ドル買い介入額、政府最終消費支出、公的資本構成、国内銀行保有株式高

### 3.3 日本経済 Causal Loop (因果関係図)

(3.2)で推計された個々の重回帰式に基づき、「Causal Loop (因果関係図)」を作成すると、図7のとおりとなり、各々の指標間の因果関係が明確化される。

本モデルでは、幾つかのフィードバックループが存在しているが、その中で以下の2つに着目する。

為替 金利 マネーサプライ 株価のループで正のフィードバックループとなっており、発散する構造となっている。

為替 輸出 設備投資 GDP のループで負のフィードバックループとなっており、収束する構造となっている。

このうち、のフィードバックループは、円高 - 金利低下 - 資産価格上昇というバブル発生メカニズム、逆に、円安 - 金利上昇 - 資産価格下落のバブル崩壊メカニズム[1]という一致している。

のループは、為替レートの部分で絡みあっているが、発散する構造となっている。のループに対し、の円高 輸出減 設備投資減 GDP 減 円安という負ループでのループにおける発散を抑制していると見ることができる。

この2つのループだけに着目すると、システム原型3)における「成功の限界」に相当していると見ることができる。

本モデルでは、複数のフィードバックループが絡み合った構造となっており、システム原型の8パターンのみで説明できるものではないが、フィードバックループの構造を理解する上で、システム原型の視点を持つことは有効と考える。

この「Causal Loop (因果関係図)」によって、モデルの対象範囲 各指標間の因果関係 フィードバックループの存在が可視化され、議論の透明性が増すことが期待される。

## 4. SDを用いた日本経済モデルのシミュレーション結果

### 4.1 モデル全体に対する最適化

重回帰により推計した式をもとに、モデル全体に対するフィードバックループを構築すると、重回帰式の推計誤差を含んだ形で新たな重回帰を行うことになるため、モデル全体で大きな推計誤差を含むようになる。

今回のモデルでは 短期金利 民間企業設備投資、M2+CD で実績との大きな乖離が発生した。

短期金利は、民間企業設備投資を説明変数としているため、この民間企業設備投資の乖離の影響を強く受けており、実績とシミュレーション値の相関係

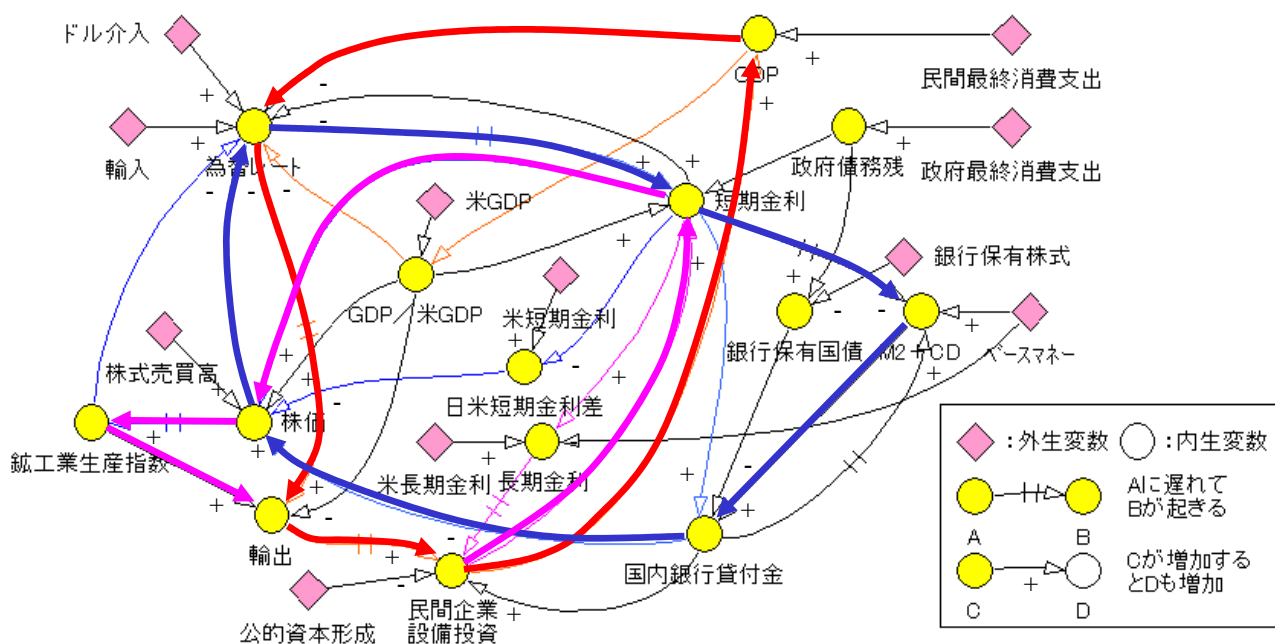


図7 今回モデルにおけるCausal Loop (因果関係図)

数は重相関係数 0.960 から 0.900 と低下した。  
(図 8)

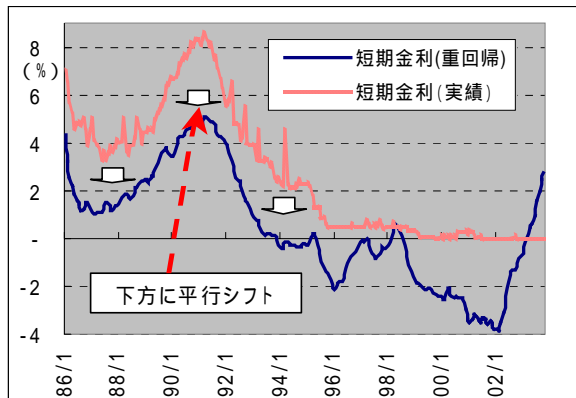


図 8 重回帰式による推計値と実績の乖離 (短期金利)

民間企業設備投資は、 $M_2+CD$  を説明変数として  
いるため、この  $M_2+CD$  の乖離の影響を強く受けて  
おり、実績とシミュレーション値の相関係数は重相  
関係数 0.943 から 0.842 と低下した。

$M_2+CD$  は、短期金利や国内銀行貸付金を説明変  
数としているが、短期金利と  $M_2+CD$  はフィードバ  
ックループを形成しており、また、 $M_2+CD$  と国内  
銀行貸付金も同様である。

従って、 $M_2+CD$  の重回帰式の重相関係数 (0.99)  
が高いものの、このフィードバックループの影響を  
強く受け、実績に比べ、ほぼ下方に平行シフトする  
とともに、実績とシミュレーション値の相関係数は  
0.953 と低下した。(図 9)

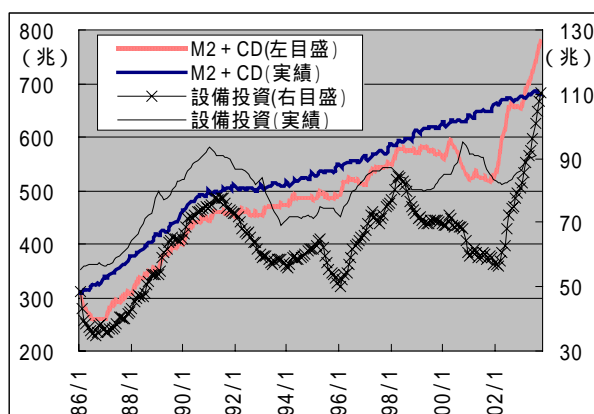


図 9 重回帰式による推計値と実績の乖離 (M2+CD, 設備投資)

今回のモデル作成に当たっては、ある意味で同時  
方程式が発生しないよう、遅れを考慮したが、フィ  
ードバックループの影響は大きなものとなった。

従って、実績との大きな乖離が発生した短期金利、  
民間企業設備投資、 $M_2+CD$ 、更に、定式化が困難

だった為替レートのパラメータに対し、モデル全体  
に対する最適化を行った。

最適化に当たっては、短期金利、民間企業設備投  
資、 $M_2+CD$  及び為替レートの実績と推計値の乖離  
の 2 乗値が最小となるよう Powersim の Solver の  
機能を用い、パラメータを推計した。

また、政策に関する遅れを可視化するため、ドル  
買い介入が為替レートに効果を及ぼす遅れとベース  
マネーが  $M_2+CD$  に効果を及ぼす遅れの 2 つの遅れ  
を新たなパラメータとして加え、最適化を行った。

#### 4.2 シミュレーション結果

短期金利(SI:%)については、民間企業設備投資(PI:  
兆円)、GDP(兆円)/米 GDP(GDPA:1000 億ドル)、政  
府債務残高(GD:兆円)、1 期前の為替レート(e:円/\$)  
を説明変数とし、下式を推計した。

$$SI_t = 0.177PI_t + 4.22(GDP/GDPA)_t + 0.014e_{t-1} \\ + 0.018GD_t - 45.62$$

$M_2+CD$ (MS:兆円)については、ベースマネー(BM:  
兆円)と 1 期前の短期金利(SI:%)、1 期前の国内銀行  
貸付金(BL:億円)を説明変数とし、下式を推計した。

$$MS_t = 3.51BM_{t-3.29} - 2.15SI_{t-1} + 0.745BL_{t-1} + 54.15$$

この最適化によって算定された、ベースマネーの  
マネーサプライに対する遅れの 3.29 か月について  
は、色々な解釈ができるものの、ベースマネーがマ  
ネーサプライに影響を及ぼし、均衡するまでの時間  
と解釈すれば、必ずしも、政策が瞬時に均衡解を与  
えるものではないとも言える。

民間企業設備投資(PI:億円)については、国内銀行  
貸付金(BL:億円)、1 期前の長期金利(LI:%)、1 期前  
の輸出(EX:兆円)、公的資本形成(GI:億円)を説明変数  
とし、下式を推計した。

$$PI_t = 0.126BL_t - 4356.3LI_{t-1} - 0.588GI_t + 5.79EX_{t-1} \\ + 260262.6$$

為替レート(e:円/\$)については、株価(SP:千円)、  
GDP(兆円)、GDP(兆円)/米 GDP(GDPA:1000 億ドル)、  
短期金利(SI:%)、短期金利(SI:%)、輸入(IM:兆  
円)、ドル介入額(ei:兆円)、鉱工業生産指数(IIP)を説  
明変数とし、下式を推計した。

$$e_t = 0.451SP_t + 0.603GDP_t + 12.8(GDP/GDP)_t + 4.124SI_t + 1.98SI_t + 21.47IM_t + 4.26e_{t-1,23} + 0.071IP_t + 453.5$$

この最適化によって算定された、ドル介入の為替レートに対する遅れの3.29か月については、色々な解釈ができるものの、ドル介入は約3か月のタイムラグを考慮した政策立案が必要とも解釈することができる。

最適化によって、短期金利については、最適化前に比べ、実績とシミュレーション値の相関係数が0.900から0.937と向上したものの、重相関係数0.960より低く、また、90年の高金利の動きは説明できない部分がある。また、低金利時代においては、短期金利がマイナスとなるなど、実態に合わない結果となった。更に、至近年では、民間企業設備投資などの影響を受け、実績に比べ、高いシミュレーション結果となっている。これらの乖離から、本モデルでは説明できない何か別の要因があることが推察される。

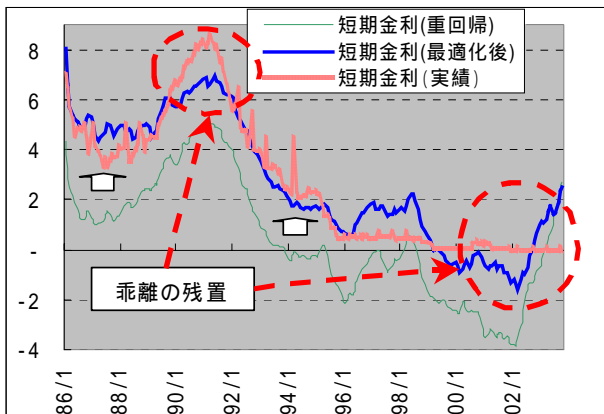


図10 モデル最適化後と重回帰式の比較(短期金利)

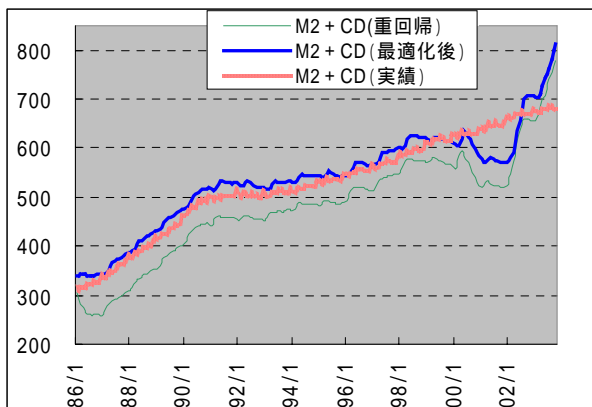


図11 モデル最適化後と重回帰式の比較(M2+CD)

M<sub>2</sub>+CDについては、最適化前に比べ、実績とシ

ミュレーション値の相関係数が0.957から0.953と若干低下したものの、重相関回帰モデルに対し、上方シフトし、適合がよくなっている。しかし、係数0.960より低く、至近年のベースマネーの供給増大傾向を受け、至近年では実績に比べ、高いシミュレーション結果となっている。信用乗数の至近年の悪化は、本モデルでは説明できない何か別の要因があることが推察される。

民間企業設備投資については、最適化前に比べ、実績とシミュレーション値の相関係数が0.842から0.858と向上したものの、重相関係数0.937より大幅に低下しており、やはり、フィードバックループの大きく影響を受けているとも言える。

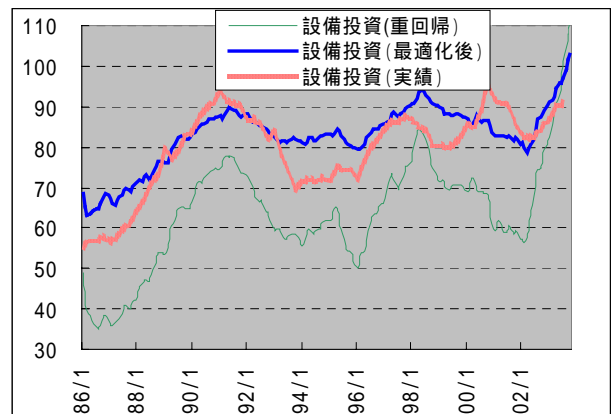


図12 モデル最適化後と重回帰式の比較(設備投資)

為替レートについては、重回帰式では重相関係数が0.850であったが、最適化の結果、実績とシミュレーション値の相関係数が0.867と向上した。

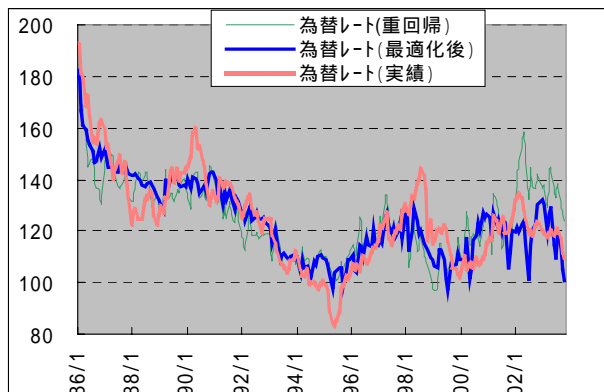


図13 モデル最適化後と重回帰式の比較(為替レート)

長期金利については、最適化前に比べ、実績とシミュレーション値の相関係数が0.935から0.939と向上したものの、重相関係数0.971より大幅に低下しており、やはり、フィードバックループの大きく

影響を受けているとも言える。

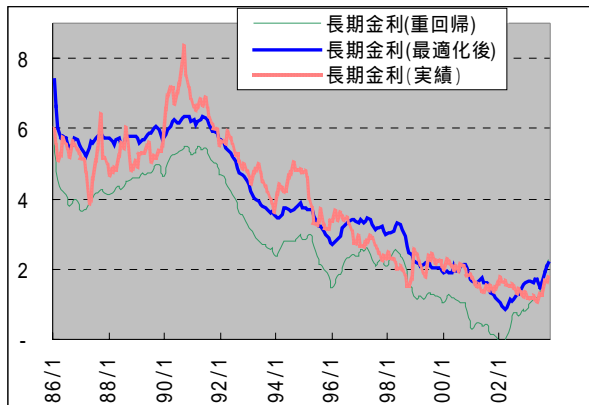


図14 モデル最適化後と重回帰式の比較(長期金利)

今回のモデルは86/1～03/10までの実績に基づき、外挿区間である03/10～04/6についてもシミュレーションを行ったが、信用乗数の至近年の悪化などの影響を受け、乖離が発生した。

#### 4.3 日本経済の安定度

今回作成したSDモデルにおいて、外生変数を一定とし、シミュレーションした結果、フィードバック・ループの影響により、収束していく様子が見られる。

バブルの発生・崩壊要因と言われる為替レート、短期金利、株価の動向を見ると、収束の進み方に概ね4つのパターンが見られた。

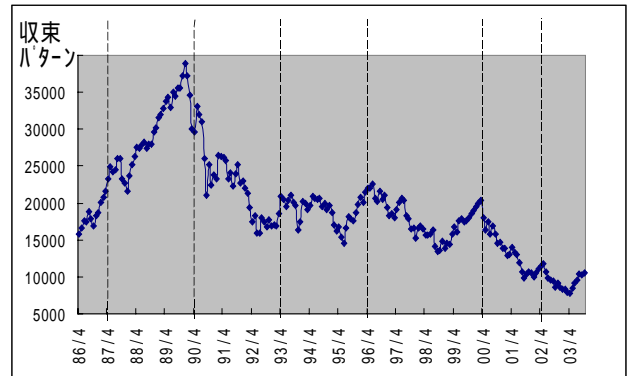


図15 株価の動向と収束のパターン

1つ目のパターンは、86年頃に見られる円高不況時のパターンである。図16では円高、金利安、株価低下の収束パターンとなっているが、むしろ、為替レート 金利 株価のループが負のフィードバックループとなっていると見ることができる。

2つ目のパターンは、景気回復パターンである。88年頃に見られる円高、金利安、株価上昇の収束パターン、即ち、為替レート 金利 株価のループが正のフィードバックループとなっており、「成功の限界(システム原型3)」における制約条件がなければ発散する場合である。株価は上昇する傾向にあるものの、制約条件としての別のフィードバックループの影響を受け、収束する形となっている。バブル発生時のフィードバックループという見方もできる。

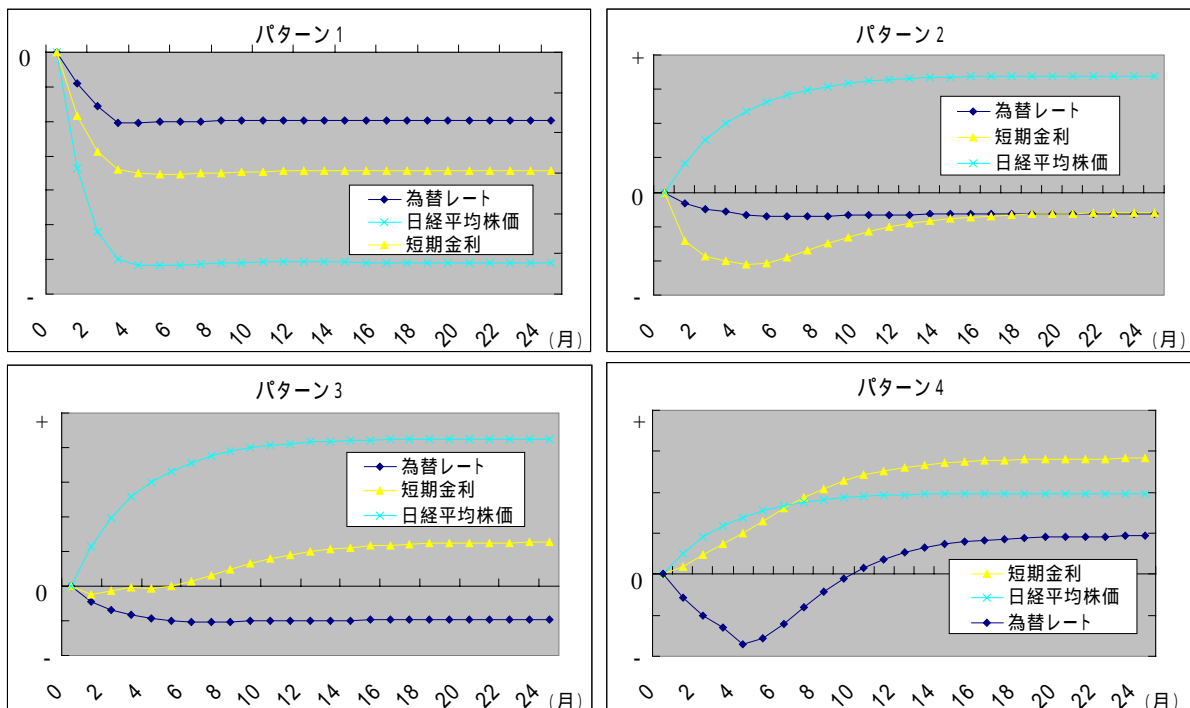


図16 収束のパターン



なお、2000～01年もこのパターンとなるが、この期間は株価が大幅に下落しており、景気が悪化した時期である。この要因がフィードバックループのもたらす影響というよりは、不良債権処理などの別の要因があると考えられる。

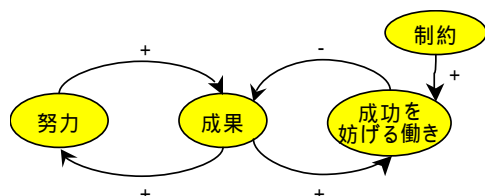


図17 「成功の限界」 出典：システム・シンキングトレーニングブック

3つ目のパターンは、景気低迷のパターンである。図16では円高、金利高、株価上昇の収束パターンとなっているが、むしろ、為替レート・金利・株価のループが負のフィードバックループとなっており、別のフィードバックループによる制約条件がなくとも、収束する場合である。

4つ目のパターンは、2002～現在に見られる新たなパターンである。図16では円安、金利高、株価上昇の収束パターンとなっているが、むしろ、為替レート・金利・株価のループが2つ目のパターンと同様、正のフィードバックループとなっていると見ることができ、新たな景気回復パターンと見ることができる。

なお、実際には、外生変数は常に変化しており、また、モデルの対象範囲や経済指標間の因果関係の捉え方によっては「Causal Loop (因果関係図)」の形状が色々定義することができるため必ずしも、バブル発生メカニズムとは言えないが、フィードバックループの関係についても着目しておく必要があると考える。

## おわりに

経済指標間にはお互いに因果関係があり、フィードバック・ループを形成しているものと考えられる。経済指標間の因果関係を「Causal Loop (因果関係図)」によって可視化することにより、議論の対象となるモデルの範囲、因果関係が明確化され、経済に関する議論が深まることを期待している。

経済指標間の因果関係を明確化するために、既存の重回帰モデルを用いたが、フィードバック・ループを形成するに当たっては、重回帰モデルに加え、モデル全体での最適化を行った。

このモデル全体での最適化による推計値が不偏推定量であるとの検証は行っておらず、この推計値が数学的に最適であるのかは不明である。

また、一般的な経済理論では、GDPは民間最終消費支出、民間企業設備投資などの恒等式で表され、需要面と供給面のGDPを一致させるが、この恒等式により、同時方程式が発生するが、今回、大胆にGDPは、民間最終消費支出、民間企業設備投資の重回帰式と捉え、ダイナミックな動きを持つものとしてSDモデルを構築した。

更に、86/1～03/10という約20年に及ぶ長い期間での傾向を一定のパラメータでモデル化することは、この間の数多くの経済情勢変化を説明できないという点もある。

しかし、モデル全体のフィードバック・ループの影響があるのかやモデルの推計値と実績の乖離から結果として経済情勢変化があったかを把握することは可能であり、今回のモデルは今後の経済動向を予測するというよりは、これらが主たる目的としている。

経済指標間の重回帰モデルの策定に当たっては、経済理論というよりは、因果関係のありそうな指標を重回帰モデルで評価したものであり、また、内生変数化すべき外生変数も多々あることから、これらの方を今後のモデル見直しに反映させていきたい。

経済指標間の因果関係の定式化に当たっては、非線形モデルや重回帰以外にも遺伝的プログラミング(GP: Genetic Programming)などの手法も考えられるため、今後、研究を深めていきたい。

## 参考文献

- [1] 「現代日本経済政策論 (岩波書店)」
- [2] 「システム・シンキングトレーニングブック」  
ダニエル・キム / パージニア・アンダーソン著  
日本能率協会マネジメントセンター P64