

設備投資行動に見る日本経済の構造変化について

Structural Change in Japanese Economy
with respect to Capital Investment Decisions

小林秀徳 Hidenori Kobayashi

中央大学

kobaken0@fps.chuo-u.ac.jp

Abstract :

In this paper I present a system dynamics model of Japanese economy, which consists of capital-to-production ratio and additional demand as endogenous variables so that if any change in her economic structure could be analyzed during the period of 1978 to 2007. Through simulation runs in the extrapolation of the model you can find an opportunity to economic growth, the peak of which will be in 2012. Since the model is closed the prophecy is without any guidance of the exogenous variables in itself.

キーワード : 設備投資 日本経済 構造変化 資本係数 追加需要

要旨 :

1978 年から 2007 年の日本の国民経済計算統計を用いて、macro の設備投資行動を定式化することによって、資本係数と追加需要が内生化した日本経済の SD model を構築する。該期間における経済構造の変化を検討することによって、flow-stock 構造の robustness が示されるとともに、外挿期間への延長により 2012 年を peak とする持続的成長の到来が予測される。

1. model の作成 *

設備投資に関する理論及び macroeconomics に関する SD の方法を用いた研究は数多い。しかし設備投資に関するいくつかの理論的特徴的要素を抽出合成して SD の方法で modeling し、かつ多くの人々の参加討議を念頭に置いた、data の長期系列の挿入が容易な free software を活用した研究、と言ったら恐らく見当たらないだろう。斯かる見識の例外たらんとして以下に一つの model を作成して呈示するものである。

1-1. 資本の定義

任意の与えられた必要資本に対して一組の DYNAMO 方程式 ①～⑧ によって資本を定義する¹。これにより唯一通りに定められる資本は stock 調整原理にしたがうと言われる。ここで耐用年数、遅れ、調整期間は正の定数であり、時刻 = 0 における資本には資本の初期値が与えられるものとする。

① 資本は投資を inflow、除却を outflow とする stock である。

L 資本.K=資本.J+DT×(投資.JK-除却.JK)

② 除却は更新投資に等しい。

R 除却.KL=更新投資.K

③ 更新投資は資本の一定割合である。

A 更新投資.K=資本.K/耐用年数

④ 投資は新規投資と更新投資の和である。

R 投資.KL=新規投資.K+更新投資.K

⑤ 新規投資は未実現投資の一定割合である。

A 新規投資.K=未実現投資.K/遅れ

⑥ 未実現投資は計画を inflow、実現を outflow とする stock である。

L 未実現投資.K=未実現投資.J+DT×(計画.JK-実現.JK)

⑦ 実現は新規投資に等しい。

R 実現.KL=新規投資.K

* Acknowledgement : 匿名査読者諸兄に謝意を表する。

¹ 資本の定義式は①であるが、①～⑧によって必要資本の関数としての定義がなされている。

⑧ 計画は必要資本と資本の差に比例する。

$$R \quad \text{計画.KL} = (\text{必要資本.K} - \text{資本.K}) / \text{調整期間}$$

必要資本が定数あるいは時系列として与えられれば、stock 調整原理にしたがう資本の変動は与えられた必要資本に対し DYNAMO により時間の関数が描く graph として呈示される。また資本の変動は、 ΔT が十分に小さい場合には、次の微分方程式の解によっても近似される。

資本を K 、新規投資を I 、必要資本を R 、 ΔT を dt とすると、①、②、③、④ より

$$\begin{aligned} \text{資本.K} - \text{資本.J} = dK &= (\text{投資.JK} - \text{除却.JK}) dt = (\text{新規投資.J} + \text{更新投資.J} - \text{除却.JK}) dt \\ &= (\text{新規投資.J}) dt = I dt \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。さらに、 $w=1/\text{遅れ}$ 、 $u=1/\text{調整期間}$ とすると、⑤ より

$$\text{未実現投資.K} - \text{未実現投資.J} = (\text{新規投資.K} - \text{新規投資.J}) / w = dI / w \quad \dots\dots\dots (2)$$

である一方、⑥、⑦、⑧ より

$$\text{未実現投資.K} - \text{未実現投資.J} = (\text{計画.JK} - \text{実現.JK}) dt = [(R.J - K.J) \times u - I.J] dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

であるから、(2)、(3)より $dI = w[u(R - K) - I] dt$ …… (4) を得る。 $dt \rightarrow 0$ のとき (1)、(4) の2式は微分方程式 $K' = I$ および $I' = w[u(R - K) - I]$ となるから1本に纏めて $K'' + wK' + uwK = uwR$ …… (5)

を得る。 R が定数であれば $K(t) = R$ は (5) の一つの特解である。したがって $w/u < 4$ のとき、 $a^2 + b^2 = uw$ 、 $a = -w/2$ とすれば、一般解は $K(t) = R + C_1 \exp(at) \sin bt + C_2 \exp(at) \cos bt$ である。ここで C_1, C_2 は任意定数である。新規投資と更新投資の和が現実の投資実績と一致するように必要資本を定めるものとする、任意の与えられた (耐用年数, 遅れ, 調整期間, 資本の初期値) に対して (資本, 必要資本) は唯一通りに定まる。

定められた (資本, 必要資本) に対して一組の DYNAMO 方程式 ⑨～⑫ によって (追加需要, 資本係数) を定義する。ここで (生産実績, 投資実績, 消費, 独立支出) は historical data として与えられるものとする。

⑨ 必要資本は総需要と追加需要の和に比例する。

$$A \quad \text{必要資本.K} = (\text{総需要.K} + \text{追加需要.K}) \times \text{資本係数.K}$$

⑩ 総需要は消費と設備投資と独立支出の和である。設備投資は新規投資と更新投資の和である。

$$A \quad \text{総需要.K} = \text{消費.K} + \text{新規投資.K} + \text{更新投資.K} + \text{独立支出.K}$$

⑪ 消費は生産に比例する。

$$A \quad \text{消費.K} = \text{生産.K} \times \text{消費性向}$$

⑫ 生産は資本に比例する。

$$A \quad \text{生産.K} = \text{資本.K} / \text{資本係数.K}$$

すでに新規投資と更新投資の和が投資実績と一致するように資本と必要資本を定めてあるから、生産が生産実績と一致するように決めてやれば、是により (追加需要, 資本係数) が唯一通りに定まる。

資本係数が一定で追加需要が恒等的に0であれば、一組の DYNAMO 方程式 ①～⑫ は乗数加速度 model と同じものになる。資本係数を v 、消費性向を c 、独立支出を G とすれば $R = \text{総需要} \times v$ 、 $\text{総需要} = c \times K / v + I + G$ だから (5) は $K'' + w(1 - uv)K' + uw(1 - c)K = uwG$ と書き直される。 G が定数なら $K = [v / (1 - c)]G$ は一つの特解となる。 v を加速度係数、 $1 / (1 - c)$ を乗数と呼ぶことに因んでこれを乗数加速度 model と言う。

一組の DYNAMO 方程式 ①～⑫ からなる SD model の merit は、資本係数が一定でなく、追加需要も0でなく、必要資本も定数でない一般的な場合において、(追加需要, 資本係数) が与えられれば、(資本, 必要資本) を実体的な内生変数として、(生産実績, 投資実績) を参照することなしに (生産予測, 投資予測) を導き出すことができるという点にある。予測値と実績値が一致するかどうかは (追加需要, 資本係数) の如何に因る。もし生産と投資の予測値と実績値を一致させるような (追加需要, 資本係数) が (生産実績, 投資実績) を参照することなしに構成されるのであれば、斯 model はその構成法と合わせて現実の構造を表すものであることが検証される。

ここで追加需要と資本係数が各1回ずつ左辺に置かれた DYNAMO 方程式 (すなわち追加需要と資本係数の各々の定義式) は、⑨～⑫の中には見当らないことに注意を要する。他の変数はすべて実体的定義が与えられているのに対し、この2変数は文脈的に定義されているに過ぎない。DYNAMO 文法はすべての変数が唯1回左辺に置かれて定義されることを要求する。したがって文脈的にのみ定義される変量は本来 DYNAMO 変数の範疇に入らず、table が与えられる外生変数となる。斯くしてこれらを内生化することが次なる theme となる。

1-2. 追加需要と資本係数の実体的定義

SD model ①～⑫に加えて、追加需要, 資本係数を各々左辺に置いた DYNAMO 方程式を作成しよう。これらの2変数に実体的定義を与えるためである。文脈的定義にしたがえば、⑨式から

$$A \quad \text{追加需要.K} = \text{必要資本.K} / \text{資本係数.K} - \text{総需要.K}$$

であるから、形式上追加需要に定義式を与えるのは容易であるが、これを⑬式として ①～⑫ に付け加えると、補助変数間に定義の循環がある「連立方程式 error」の message と共に compile が中止される。⑫式から

$$\text{A} \quad \text{資本係数} \cdot K = \text{資本} \cdot K / \text{生産} \cdot K$$

を⑭として付け加えた場合も同様の結果となる。すなわち形式的に DYNAMO 方程式を与えれば済むのではなく、実体的定義は実態的に意味ある定義でなければならない。

実体的定義をなすとは、追加需要とは何か、資本係数とは何かに真正面から答えることである。もちろんこの作業上の問は形而上学的なそれではなく、具体的な DYNAMO 方程式をもって答えることが要求される。

追加需要とは、必要資本を決定しようとする際に、現時点の総需要を満たすに必要な生産ではなく将来の総需要を満たすに必要な生産のための資本を指向するという、指向者の思惑に発する増加分である。投資が計画されてから実現するまでの遅れのため、任意の時点における新規投資は過去の計画の実現に他ならないから、現時点で適正と思われる投資と新規投資との間には差が生じる。この差の調整分が追加需要であると言い換えても良い。

$$\text{⑬} \quad \text{追加需要} = \text{適正投資} - \text{新規投資に等しい。}$$

$$\text{A} \quad \text{追加需要} \cdot K = \text{適正投資} \cdot K - \text{新規投資} \cdot K$$

資本係数は1単位の生産 flow を稼ぐのに必要な資本 stock の水準であり、したがって、時間の次元をもつ。資本の回転率の逆数と言っても良い。これは生産技術的な関係を反映するものであるから、需要に合わせた flow の調整変動を被る $\text{資本} \cdot K / \text{生産} \cdot K$ そのものではなく、その平滑値として定義するに相応しいものである。

$$\text{⑭} \quad \text{資本係数} = \text{資本産出比率の指数平均である。}$$

$$\text{L} \quad \text{資本係数} \cdot K = \text{資本係数} \cdot J + \text{DT} \times (\text{資本} \cdot J / \text{生産} \cdot J - \text{資本係数} \cdot J) / \text{平滑化定数}$$

斯くして、⑬、⑭の付け加えによって同時決定的な定義の循環が回避されるばかりでなく、是によって初めて(追加需要, 資本係数)が内生変数となり、投資実績を参照することなしに必要資本を決定することができるようになるのであるが、それでも依然として次の2つの問題が残る。

i) 追加需要は形式上実体的定義を与えられたことになるが、適正投資という文脈的にのみ定義される新しい変数を追加しているので、妥当性の吟味に用いられる実体を見つけるためには更なる検討が必要である。

ii) ⑫式と⑭式を同時に用いると $\text{生産} \cdot J = \text{資本} \cdot J / \text{資本係数} \cdot J$ が成り立つから、 $\text{資本} \cdot J / \text{生産} \cdot J - \text{資本係数} \cdot J = 0$ となって、資本係数は与えられた初期値に留まって変化しないことになる。これでは実体的定義とは言えない。

以下この2つの問題に一つずつ解答しよう。

1-3. 適正投資の実体的定義

一国経済全体の資本 stock は macro の設備投資によって変化するが、そこには macro の設備投資を決定する生身の macro 意思決定者が存在するわけではない。個別の資本 stock を個々に適正と考える水準に調節する多数の micro の意思決定者が存在して、各々が自由な行動をとるとき、その結果が集計されて顕れる全体変動が観察されるのみである。この全体変動を macro behavior と呼ぶが、斯かる全体変動が示す動学特性を理解するために、恰も背景において macro 意思決定者が調整的意思決定を下しているかのように、擬人法を使って説明される場合においても、そうした model の記述は、単に metaphor としての意味を持つのみであって、macro behavior は、多数存在する意思決定者が個々に下す同じような調整的意思決定の総和であるとか、平均的意思決定者の調整行動を比例的に整数倍したものであるとかいう、実証的内容規定を聊かも要求するものではない。繰り返すが macro の意思決定者が存在するわけではない。micro の意思決定者の誰かが示す典型的な行動を平均値として全体へと敷衍拡大したものが macro behavior になるのでもない。

例えば、個々の意思決定者が自らの資本について考える必要資本の水準は個々に異なるだろう。それへ向けて現有の資本を各自調節するという仮定が全員について当て嵌まるとしても、各個に異なる財務制約、視野の長短、管理技術、risk 回避等々の多様性の故に、誰の目標が何時達成されるかはその timing について random であると考えられる。この時、任意の時間内に目標が達成される件数は Poisson 分布にしたがい、達成にかかる待機時間の長さは指数分布にしたがうということを示し得る。更にこの時、全ての意思決定者の行動を集計化した結果としての全体変動は一次の指数遅れという macro 現象を顕すのである。この macro 現象を macro の stock 調整原理で model 化することが可能である。

この意味における macro の適正投資を、micro 的な個々の意思決定に分解して足し合わせるのではなく、macro 的な意思決定者を擬制して他の macro 指標との相関を検討した上で、適正の意味を幾通りかの macro 的な意思決定者の思惑に分解するという、macro から micro へという方向を以下では辿るものとする。ここで適正投資は stock 調整の意味からすべて新規投資に関わるものであることは言うまでもない。

時点 t における資本を $K(t)$ 、実質利子率を $r(t)$ 、生産を $Y(t)$ 、単位時間前の生産を $Y(t-1)$ とするとき、可能生

産 $E(t)$ を $Y(t)$ の時点 t における予測値、平均遅れを 1 とする $Y(t)$ の 1 次指数遅れ $Z(t)$ を $Y(t-1)$ の t における予測値として

⑮ 適正投資は $(E(t), K(t), r(t), Z(t), t)$ の関数である。

A 適正投資 $.K = f(\text{可能生産} .K, \text{資本} .K, \text{実質利率} .K, \text{指数遅れ生産} .K, \text{TIME} .K)$

⑯ 可能生産は資本を資本係数で割ることによって求められる生産の予測値である。

A 可能生産 $.K = \text{資本} .K / \text{資本係数} .K$

⑰ 指数遅れ生産は指数平滑法によって求められる単位時間前の生産の予測値である。

L 指数遅れ生産 $.K = \text{指数遅れ生産} .J + DT \times (\text{生産} .J - \text{指数遅れ生産} .J) / 1$

ここで、関数 f が特定化されなければならないのだが、これはひとまず置いて、第 2 の問題に先に答えておこう。

1-4. 逐次決定均衡

資本係数は⑨式と⑯式の右辺で用いられて決定的に重要な働きをするので、1-2のii)で述べた隘路は克服しておかなければならない。問題なのは⑫式の生産関数である。すなわち：

A 生産 $.K = \text{資本} .K / \text{資本係数} .K$

である。これは資本の稼働率が常に 100%であることを意味して総需要との過不足を一切考慮していない。すなわち需給の一般的不均衡を前提としている model だと言える。乗数加速度 model の動態均衡は資本が特殊解 $K = [v / (1 - c)] G$ の水準に収束して定常状態となることによって達成される。そこでは 資本=必要資本, 未実現投資=0, 総需要=生産 が成立する。

これを均衡を条件とした model に変更するためには、⑫式を

A 生産 $.K = \text{総需要} .K$

で置き換えれば良いのであるが、これだと当然のことながら連立方程式 error で落ちることになる。

SD の第一原理は「すべて逐次決定によって構成される system であること」に拠るので、これでは具合が悪い。ただし market 指向で生産を決定するなら逐次決定の先決順序は総需要が先であるから、⑫式は

R 生産 $.KL = \text{総需要} .K$

で置き換えることによって同時決定的循環定義を迂回することができる。これによって影響を受けるのは⑪, ⑭, ⑰の 3 本だけであり、各々次のように変更される：

⑪ 消費は生産に比例する。

A 消費 $.K = \text{生産} .JK \times \text{消費性向}$

⑭ 資本係数は資本産出比率の指数平均である。

L 資本係数 $.K = \text{資本係数} .J + DT \times (\text{資本} .J / \text{生産} .JK - \text{資本係数} .J) / \text{平滑化定数}$

⑰ 指数遅れ生産は指数平滑法によって求められる単位時間前の生産の予測値である。

L 指数遅れ生産 $.K = \text{指数遅れ生産} .J + DT \times (\text{生産} .JK - \text{指数遅れ生産} .J)$

⑭, ⑰ はこの変更によって変更前と変わるところはなく、全く同じ値になるのであるが、⑪は DT だけ前の生産に対して消費が決まるという関係に実質的に変更される。考えて見れば今日の昼飯にいくら使うかはその時点までに pocket に入った所得に依存するのであり、先決順序は消費に生産が先立つと考える方が尤もらしいとも言える。消費関数についてここでは議論する余裕がないので割愛するが、元々⑪の代わりに

A 消費 $.K = \text{指数遅れ生産} .K \times \text{消費性向}$

で消費を決定していれば、⑫式の rate 方程式への変更は消費にも何ら影響を与えないことが分かる。

1-5. 適正投資関数の計測

⑮の適正投資 X を計測しよう。関数 $X = f(E, K, r, Z, T)$ がどのような式で表されるかについて *a priori* に言えることは何もない。一般に k 番目の標本点 $(E_k, K_k, r_k, Z_k, T_k, X_k)$ について $X_k = f(E_k, K_k, r_k, Z_k, T_k) + \varepsilon_k$ が成り立つとき、代表値 $(m_E, m_r, m_K, m_Z, m_T, m_X)$ の回りに X を Taylor 展開してその 1 次の項のみをとり、

$$X_k = m_X + \beta_1 (E_k - m_E) + \beta_2 (K_k - m_K) + \beta_3 (r_k - m_r) + \beta_4 (Z_k - m_Z) + \beta_5 (T_k - m_T) + \varepsilon_k'$$

と書くことができる。ここで ε_k' には ε_k の他に Taylor 展開における 2 次以上の項すべてが含まれている。ただし、 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ は各々関数 $X = f(E, K, r, Z, T)$ の点 $(m_E, m_K, m_r, m_Z, m_T, m_X)$ における E, K, r, Z, T による偏微分係数の値である。さらに、 $\beta_0 = m_X - \beta_1 m_E - \beta_2 m_K - \beta_3 m_r - \beta_4 m_Z - \beta_5 m_T$ とおくと重回帰 model :

$$X_k = \beta_0 + \beta_1 E_k + \beta_2 K_k + \beta_3 r_k + \beta_4 Z_k + \beta_5 T_k + \varepsilon_k'$$

が得られる。次のように stepwise に最小二乗法を適用してこの式を特定化することを考える。

(step1) 重回帰 model : $X_k = \beta_0 + \beta_1 E_k + \beta_2 K_k + \beta_3 r_k + \beta_4 Z_k + u_k$ の係数 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ の推定値を求めて、平方和が最小になる残差の系列 $\{u_k\}$ を求める。

(step2) $\{u_k\}$ と同じ周期と初期位相を持つ時間の関数 $g(T_k) = \beta_5 \sin(\omega T_k + \theta)$ を推定する。

(step3) 重回帰 model: $X_k = \beta_0 + \beta_1 E_k + \beta_2 K_k + \beta_3 r_k + \beta_4 Z_k + \beta_5 \sin(\omega T_k + \theta) + v_k$ の係数 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ の推定値を求めて、平方和が最小になる残差の系列 $\{v_k\}$ を求める。

(step4) $\{v_k\}$ を表す階段関数 $h(T_k) = \gamma_1 D_1(T_k) + \gamma_2 D_2(T_k) + \gamma_3 D_3(T_k) + \dots$ を推定する。ここで $\{D_i(T_k)\}$ は対応する区間 I_i について $T_k \in I_i$ なら $D_i(T_k) = 1$ しかからざれば $D_i(T_k) = 0$ とする dummy 変数である。

(step5) 重回帰 model: $X_k = \beta_0 + \beta_1 E_k + \beta_2 K_k + \beta_3 r_k + \beta_4 Z_k + g(T_k) + h(T_k) + \varepsilon_k''$ の係数 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots$ の推定値を求めて i の追加を $\{\varepsilon_k''\}$ が十分に小さくなるまで繰り返す。

最終的に得られた重回帰に対する各種統計量、分散分析表、係数の平均値と標準誤差および t -value 等々は、次図に要約されている。

Regression Statistics					
重相関係数	0.998334				
決定係数 R^2	0.996670				
調整済み R^2	0.996587				
標準誤差	1925739				
観測数	372				
ANOVA					
	自由度	変動	分散	F	有意水準
回帰	9	4.02E+17	4.46E+16	12038.67	0.00E+00
残差	362	1.34E+15	3.71E+12		
全体	371	4.03E+17			
	係数	標準誤差	t	P -値	
Y切片	-2.299E+07	6.49E+05	-35.405	1.3E-119	
可能生産	1.6561	2.80E-02	59.166	3.5E-188	
資本	-0.3447	4.83E-03	-71.338	2.9E-215	
実質利子率	-1.739E+05	2.22E+04	-7.847	4.9E-14	
指数遅れ生産	-0.9391	3.64E-02	-25.802	4.9E-84	
サイクル	6.383E+06	1.73E+05	36.975	5.6E-125	
DUMMY1	-5.537E+06	4.54E+05	-12.194	6.9E-29	
DUMMY2	-6.296E+06	4.82E+05	-13.073	2.9E-32	
DUMMY3	5.412E+06	4.19E+05	12.910	1.3E-31	
DUMMY4	-5.497E+06	5.85E+05	-9.403	6.2E-19	

図1. 重回帰分析の結果

sample size は $N=372$ である。これは 12(月/年)×31(年) に当たる。 $DT = 1/12$ 年として simulation では DT 毎に全変数の値が計算される。したがって (適正投資, 可能生産, 資本, 指数遅れ生産) の data は元々372点が実行結果として与えられている。ただし、これらは全て model の定義式を前提にして計算された値であって、残差分散の自由度は $N - p - 1 = 362$ で良いとしても ($p + 1$ は偏差をとるための平均値の個数)、 $N = 372$ を無限母集団からの無作為抽出標本の size として考えることには無理がある。それでも最小二乗法により当て嵌まりの最も良い回帰式が特定化されていることに違いはない。計測の目的は分析概念たる適正投資を定義する式を得ることであり、適正投資自体は実証概念ではないから、そこに統計的推論を適用する余地は元々無い。

独立変数の内で純然たる外生変数は実質利子率だけである。これには月次 data として公開されているものを採集した²。サイクルには $\sin\{\sqrt{(1/2.5112)} \times (TIME.K - 1978.0131)\}$ の表す変位を与えた。4箇の DUMMY 変数が1という値をとる区間は、各々、[1981.5, 1983.5], [1985.5, 1987.5], [1994.5, 1997.5], [1997.5, 1998.5] である。

以上から言えることは、適正投資の回帰式は、兆円単位では

$$\begin{aligned} \text{適正投資} \cdot K = & -22.99 + 1.6561 \times \text{可能生産} \cdot K - 0.3447 \times \text{資本} \cdot K - 0.1739 \times \text{実質利子率} \cdot K - 0.9391 \times \text{指数遅れ生産} \cdot K \\ & + 6.383 \times \sin\{\sqrt{(1/2.5112)} \times (TIME.K - 1978.0131)\} \\ & - 5.537 \times \text{DUMMY1} \cdot K - 6.296 \times \text{DUMMY2} \cdot K + 5.412 \times \text{DUMMY3} \cdot K - 5.497 \times \text{DUMMY4} \cdot K \end{aligned}$$

と書くことができる、ということだけである。これはまた次のように書いても良い：

² <http://www.stat-search.boj.or.jp/>より日銀の統計に基づいて作成した。なお、実質利子率以外の諸変数の実績値については OECD の統計より簡便に線形補間して作成している。これらについて既存の月次 data を利用することは、部分的参照も含めて、期間の整合性等の理由により見送られている。

$$\begin{aligned}
 \text{適正投資} \cdot K = & -22.99 + 0.7170 \times \text{可能生産} \cdot K - 0.3447 \times \text{資本} \cdot K - 0.1739 \times \text{実質利子率} \cdot K \\
 & + 0.9391 \times (\text{可能生産} \cdot K - \text{指数遅れ生産} \cdot K) \\
 & + g(\text{TIME} \cdot K) \\
 & + h(\text{TIME} \cdot K)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

各変数の振る舞いは次図のとおりである。

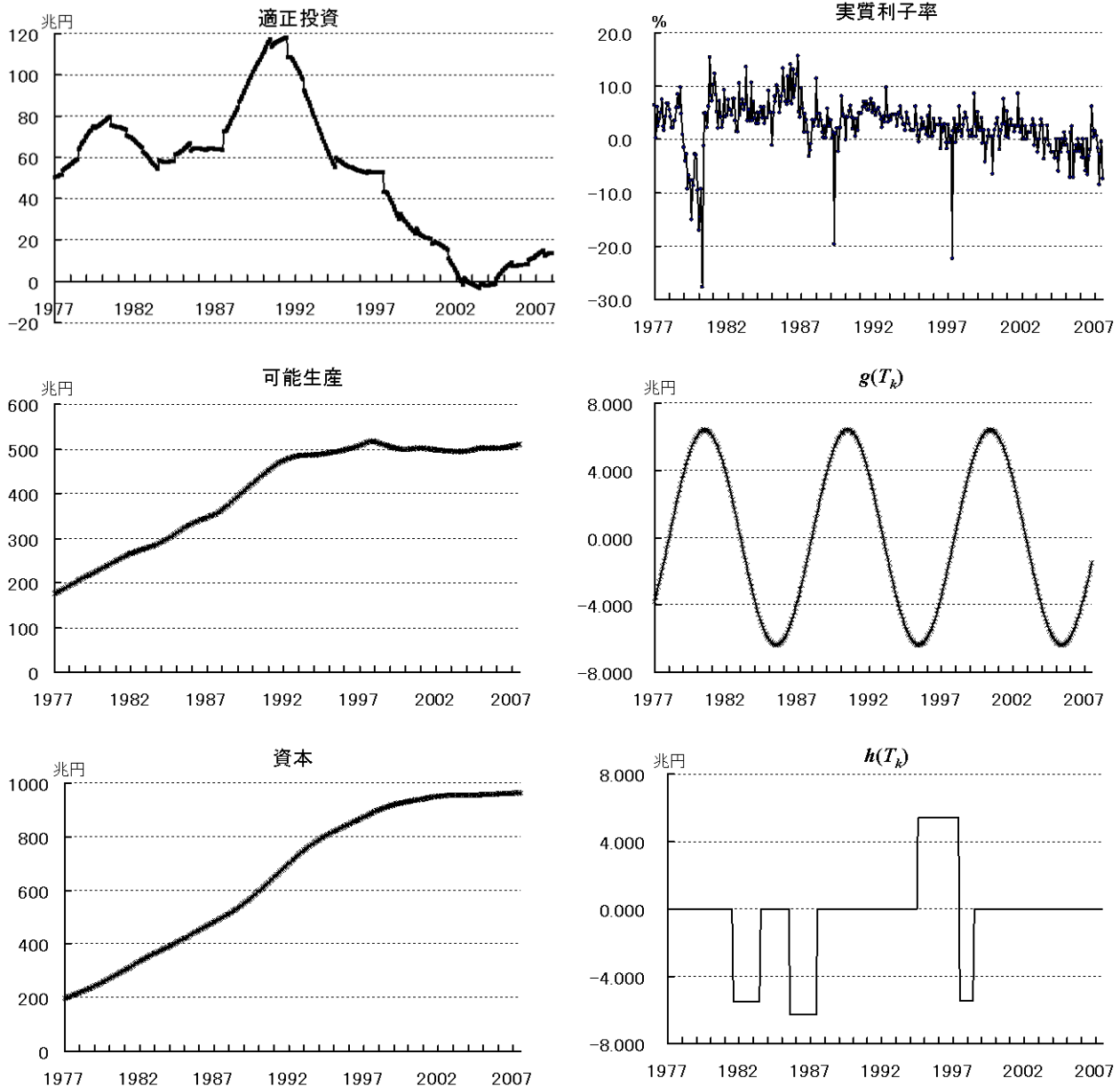


図2 各変数の振る舞い

1-6. SD model の検証

適正投資は分析概念であるから、適正投資の（可能生産、資本、実質利子率、指数遅れ生産、TIME の或る関数）に対する回帰を最小二乗法で計算した結果得られた予測式について、 F 検定により殆ど 0%の有意水準で帰無仮説が棄却されることが判っても、またすべての係数の平均値が各々の t 検定を通して如何に有意に符号条件を満たすものであるかが示されても、それで何かが実証されたことには全くならない。そうなるように適正投資の概念を構成したと言うに盡きる。しかし、追加需要、資本係数に実体的な定義を与えるに際し新たに導入された適正投資を、[可能生産、資本、実質利子率、指数遅れ生産、 $g(\text{TIME} \cdot K)$ 、 $h(\text{TIME} \cdot K)$] の関数として構成した結果、追加需要、資本係数を内生化した SD model ①～⑰ から導かれる（生産予測、投資予測）が（生産実績、投資実績）と一致する（これらは一般には全く一致しない）のであれば、section 1-1 の終わりに指摘した次の事柄を、われわれは達成したことになる。すなわち：

……(追加需要, 資本係数) が与えられれば、(資本, 必要資本) を実体的な内生変数として、(生産実績, 投資実績) を参照することなしに (生産予測, 投資予測) を導き出すことができる…… (そこで) 生産と投資の予測値と実績値を一致させるような (追加需要, 資本係数) が (生産実績, 投資実績) を参照することなしに構成されるのであれば、斯 model はその構成法と合わせて現実の構造を表すものであることが検証される。ここに、検証の意味する処は、当然ながら、現実の構造を表すものは斯 model 以外にないことを聊かも主張するものではない。

斯 model をその構成法と合わせて再掲すれば以下のようになる³：

L 資本.K=資本.J+DT×(投資.JK-除却.JK)
 R 除却.KL=更新投資.K
 A 更新投資.K=資本.K/耐用年数
 R 投資.KL=新規投資.K+更新投資.K
 A 新規投資.K=未実現投資.K/遅れ
 L 未実現投資.K=未実現投資.J+DT×(計画.JK-実現.JK)
 R 実現.KL=新規投資.K
 R 計画.KL=(必要資本.K-資本.K)/調整期間
 A 必要資本.K=(総需要.K+追加需要.K)×資本係数.K
 A 総需要.K=消費.K+新規投資.K+更新投資.K+独立支出.K
 A 消費.K=TABXL(Sheet1!B2)
 A 独立支出.K=TABXL(Sheet1!C2)
 R 生産.KL=総需要.K
 A 追加需要.K=適正投資.K-新規投資.K
 L 資本係数.K=資本係数.J+DT×(資本.J/生産.JK-資本係数.J)/平滑化定数
 A 適正投資.K=適正化1.K+適正化2.K+適正化3.K+DUMMY.K
 A 適正化1.K=B0+B1×可能生産.K+B2×資本.K+B3×実質利子率.K
 A 適正化2.K=B4×(可能生産.K-指数遅れ生産.K)
 A 適正化3.K=B5×sin(B6×TIME.K+B7)
 A DUMMY.K=TABXL(Sheet1!D2)
 A 実質利子率.K=TABXL(Sheet1!E2)
 A 可能生産.K=資本.K/資本係数.K
 L 指数遅れ生産.K=指数遅れ生産.J+DT×(生産.JK-指数遅れ生産.J)/1

ここでは4つの外生変数【消費, 独立支出, DUMMY, 実質利子率】に対して、Sheet1のB列, C列, D列, E列に各々4つの data 系列【消費実績, 独立支出実績, DUMMY 実績, 実質利子率実績】を準備して、simulation を実行するものとする。外生的 input DUMMY 実績には図2の $h(T_k)$ がそのまま与えられている。適正投資の方程式を構成している適正化1, 適正化2, 適正化3は前掲(6)式の右辺各行に対応するものである。ここで定義される適正投資は重回帰 model: $X_k = \beta_0 + \beta_1 E_k + \beta_2 K_k + \beta_3 r_k + \beta_4 Z_k + g(T_k) + h(T_k) + e_k$ が残差なし ($e_k = 0$ for all k) で成立するものとして与えられているので、計測に用いられた適正投資と simulation において計算される内生変数の適正投資との間には恒等関係がない。したがって「斯 SD model が設備投資から見た日本経済の構造を表すものである」は恒真命題ではなく、事実に照らして検証すべき実証命題である。それは simulation 結果の(生産, 投資)が現実の(生産実績, 投資実績)と蓋然的に一致することによって検証される。

適正投資は抑々検証すべき SD model が正しいとしたならばという仮定の下に現実の(生産実績, 投資実績)を用いて推定された。図2の適正投資の graph がそれである。次に適正投資の回帰を同じ仮定のもとに推定された(可能生産, 資本, 実質利子率, 指数遅れ生産, TIME の或る関数)に対して最小二乗法を適用して求めた。次に、適正投資の回帰式が誤差なしで成立するものとして内生変数たる(適正投資, 可能生産, 資本, 指数遅れ生産)を含む当初の SD model を用いて、外生的 input (消費, 独立支出, 実質利子率, TIME の或る関数)の下で simulation を実行した。実行条件は定数 parameter と初期値の設定を除いて(生産実績, 投資実績)とは独立である。得られた内生変数たる(生産, 投資)の graph は図3に見られるように、現実の(生産実績, 投資実績)

³ 方程式の書き方は DYNAMOIII に拠る。同 software は <http://polycysciences.jp/3b.html> より無料で download できる。

⁴ 本 model の定式化における消費の定義式は消費性向を定数とする比例式であるが、本稿では消費関数の議論を迂回しているため、消費実績を data input とし消費を外生変数として扱う便宜的措置がとられている。この点の詳細については補論 I を見よ。

を近似するものであった。適正投資と適正投資の回帰と内生変数たる適正投資の三者は図4に見るような異同を示す。

適正投資は外生的に与えられるのではなく、その値如何によって決まる（可能生産、資本、指数遅れ生産）の変化にしたがい内生的に決定される。それが元の推定された適正投資をなぞるように変動すべく仕向ける装置が、此処に定式化された SD model なのである。適正投資関数の予測精度を上げて、成し得るのは精々適正投資の回帰と適正投資を正しく残差なしで成立させるところまでである。このとき、内生変数たる適正投資と適正投資の回帰とが図4よりも一層 fit するかどうかは、投資と投資実績の差がいかほど小さくなるかに懸かっている。

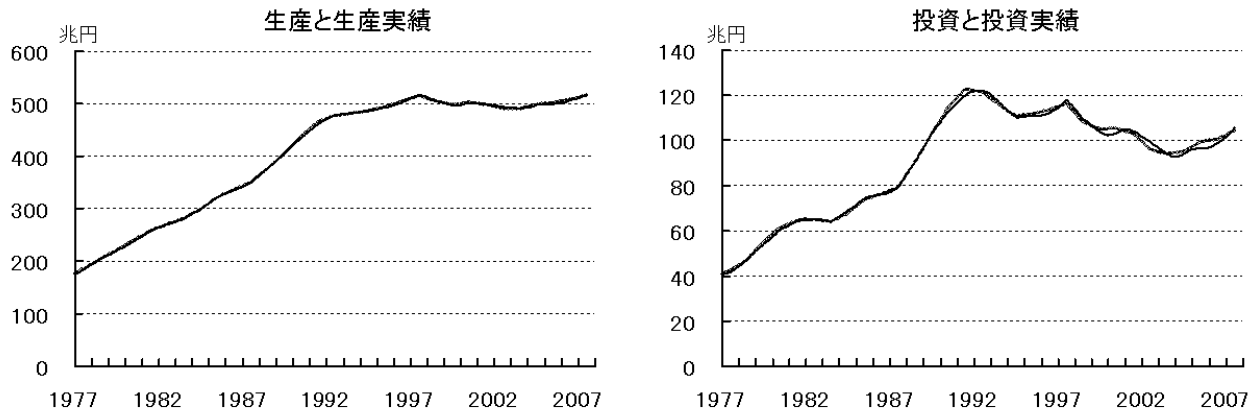


図3 予測値と実績値

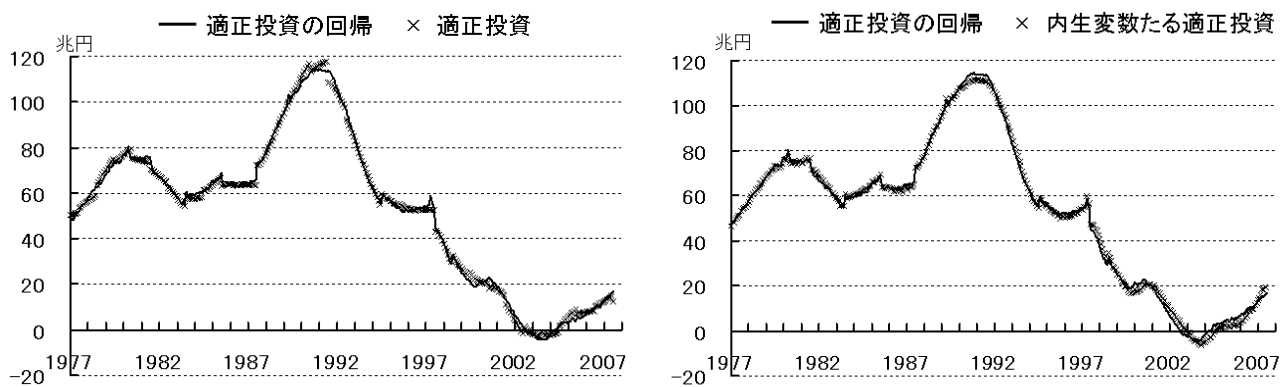


図4 適正投資三者の異同

適正投資の式を次のように変更し、 ε'' .K に回帰の回りの偏差を与えて simulation してみよう。

A 適正投資.K=適正化1.K+適正化2.K+適正化3.K+DUMMY.K+ ε'' .K

ここで回帰の回りの偏差は、図5に示す系列である。

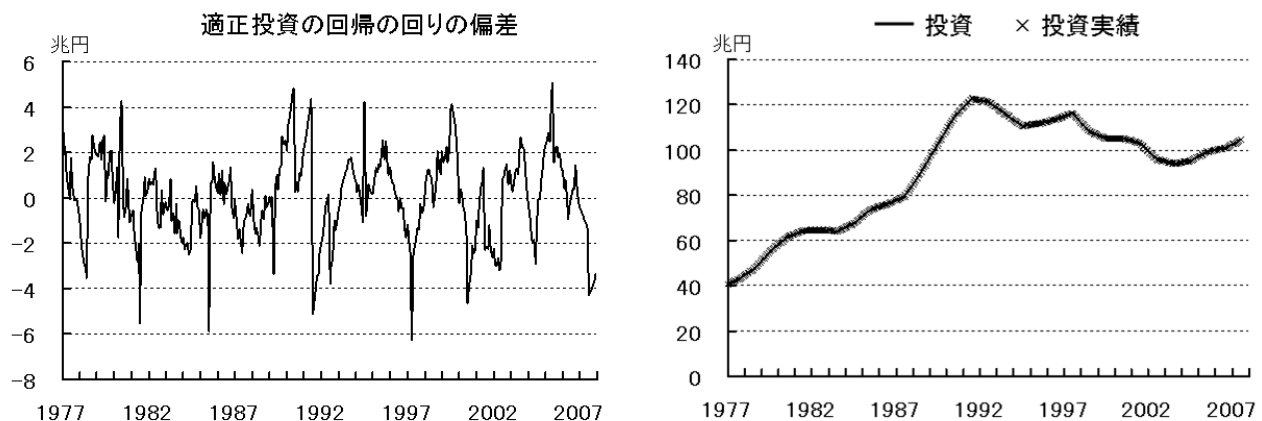


図5 適正投資の残差

図6 投資予測値と投資実績値

投資と投資実績の差は消滅して、予測値の graph と実績値の graph とが一致した図6の simulation 結果が得られる。この一致は恒真命題であるから、これによって実証性が増す訳ではないが（斯 SD model の実証

命題としての検証は既に図3によって済んでいる)、この変更は SD の次の step において役立つ。

次の step は、斯 SDmodel によって what-if 型の問に導かれる simulation を systematic に展開することによって、該 mental model のもつ未来への implication を認識することである。その過程から何らかの未来に対する洞察を得ることができれば、自らの投資決定を含む政策の議論に有効な論点を投入することになるだろうし、あるいはその過程から当の mental model の改訂が促されるのであれば、自ら構成員として参加している経済社会そのものについての理解をヨリ一層深めたことになる。

以上の SDmodel の flow diagram を図8に掲げておく。

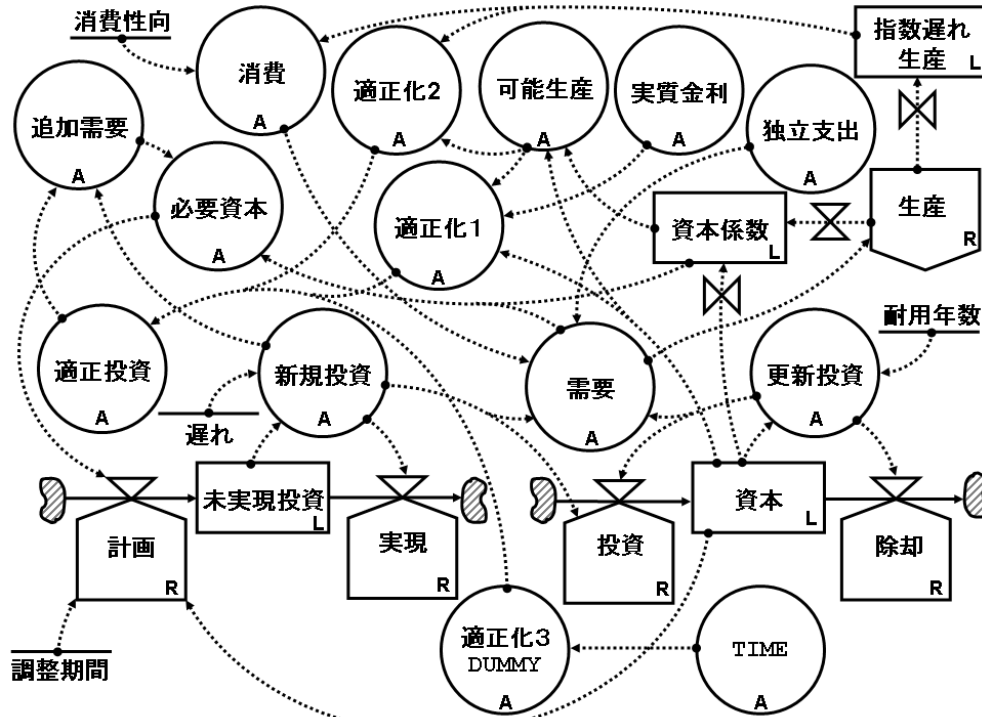


図8 flow diagram

2. 設備投資行動と日本経済の構造

日本経済の全体変動性をもたらす flow-stock 構造を SDmodel として定式化して、1977年から2007年という激動の時代における日本経済の構造変化を議論するのが本稿の目的であるが、第1節の modeling 作業により1箇の mental model を陽表化することができた。これは SD による分析を進める上で不可欠の step である。この model を用いて simulation を実行することから得られる未来についての予測と、mental model から直截導かれる未来予想との間に相容れない懸隔があることが認識されなければならない。この認識は複雑な system が示す counter-intuitive behavior として理論化される。

2-1. simulation 結果

simulation 結果を図9～12に示す。

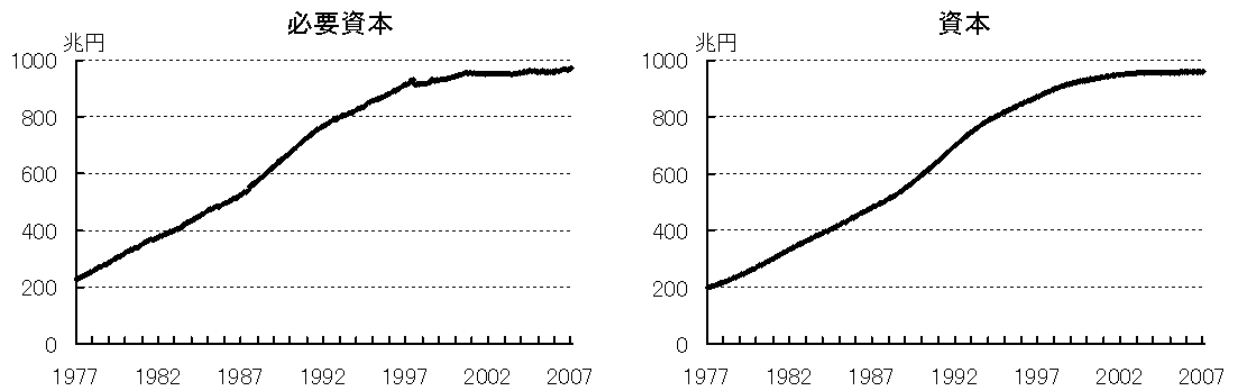


図9 必要資本と資本

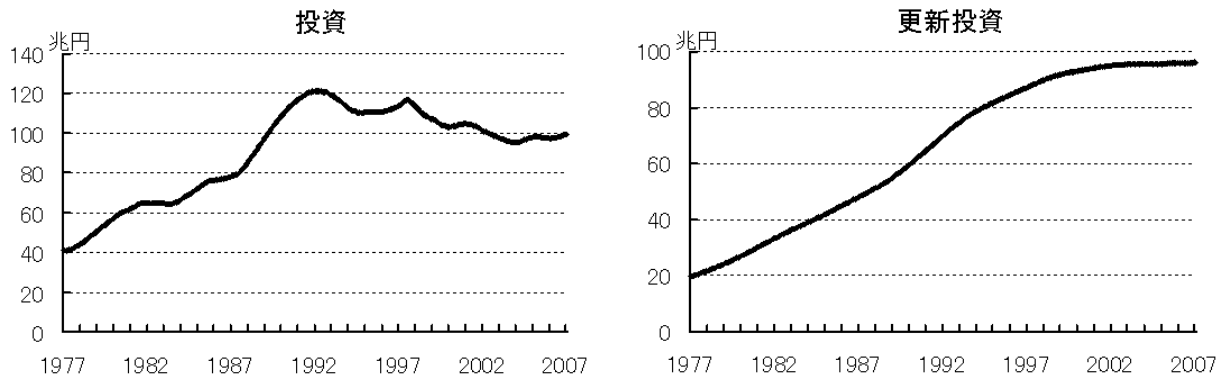


図10 投資と更新投資

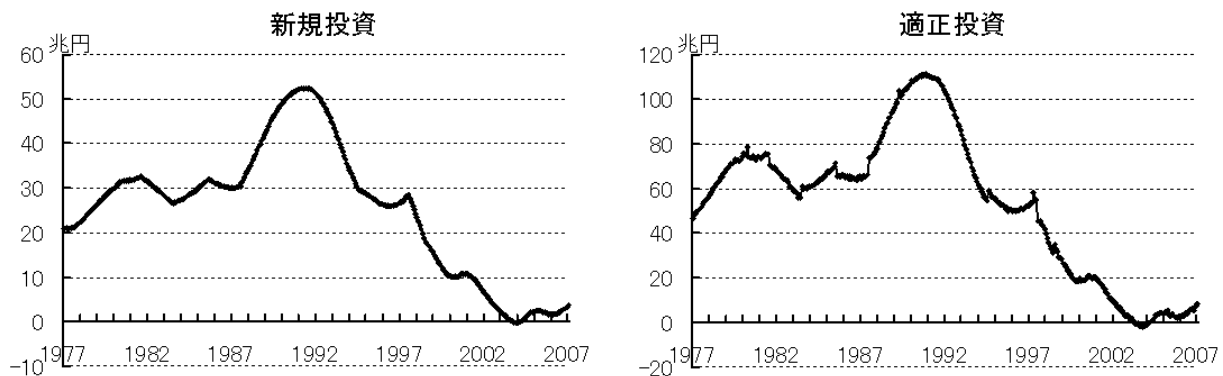


図11 新規投資と適正投資

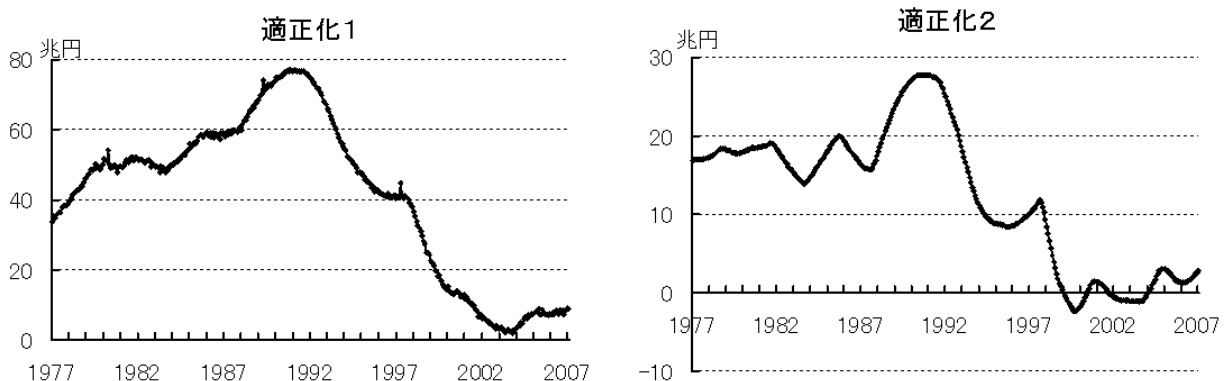


図12 適正化1と適正化2

2-2. 外挿法の導入

未来事象を simulation によって予測する場合に、DYNAMO では単に SPEC の LENGTH に任意の値を代入するだけで良い。本稿ではこれまで TIME の初期値に 1977 を与え LENGTH=30 としてきた。したがって 2007 年までの simulation 結果が手許に在り、図9~12はそれを graph にしたものであった。これを LENGTH=38 とすれば 2015 年までの未来予測が手に入る。外生的 input に対しては、次のようにして外挿法が適用される。

外生的 input は (消費, 独立支出, DUMMY, 実質利子率, ε'') の各系列と定数 ($b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$, 耐用年数, 遅れ, 調整期間, 平滑化定数) である⁵。これらの内、定数は変化しないものとし、(DUMMY, ε'') は ($\{0\}, \{0\}$) とする。また (独立支出, 実質利子率) には自由に test input を与える。消費は 2007 年以降は内生変数とし次式のような暫定的定義を与える。すなわち ① A 消費.K=指数遅れ生産.K×消費性向 である。

what-if 型設問の例として、test input に外生変数の最終の値を与えて flat に延長した場合の未来変動如何を問うというものがある。「独立支出が 120 兆円で頭打ちとなり実質利子率が 1.57%程度で constant に推移した場合に system の変動はどうなるだろうか」と問うのである。この段階で解答を予想してみると、ここ

⁵ これら定数の具体的な値については補論Ⅲを見よ。

までの simulation 結果は「投資が低迷して需要不足のために生産が減退しその結果適正投資がさらに低下して負の spiral に陥いる」というもの（現状そのまま）であったから、独立支出が 120 兆円程度では 1.57%でも高金利であり、何ら投資に向かう好材料はない。良くて精々現状維持、GDP はさらに低下する、と答えることになるだろう。少なくとも生産が上向きになると答えた場合には、その理由が厳しく問われる筈である。

外生変数（独立支出、実質利子率）に値を与え LENGTH=38 として simulation を実行すると 2015 年までの予測が得られる。これを見ると投資は 2007 年以降停滞するどころか 2012 年を peak とする急成長を呈している。

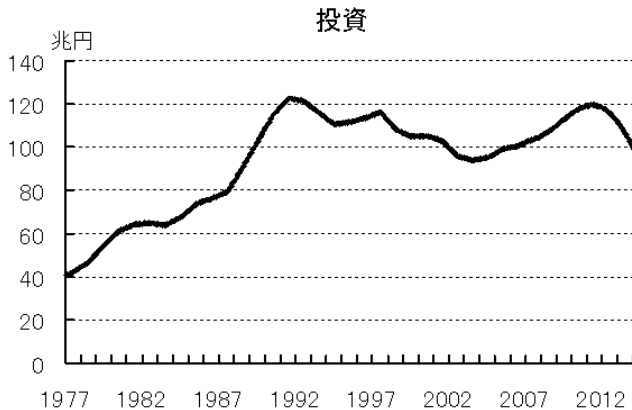


図13 設備投資の予測

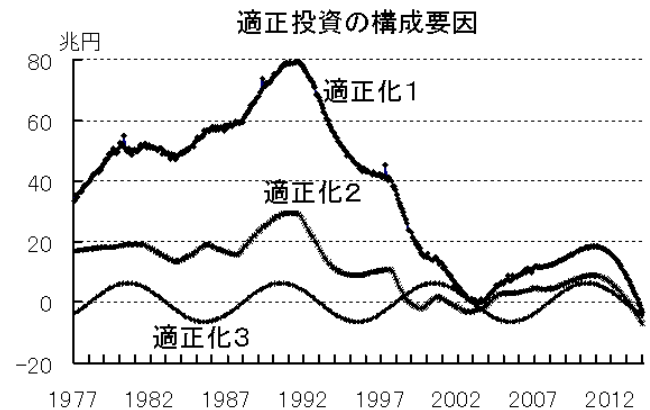


図14 適正化1・適正化2・適正化3

この予測は counter-intuitive なものであるが、そうなる理由を図14によって3つの適正化の潮時が重なるからだという具合に説明することができる。これも、既に定式化された SD model の持つ implication の一つであるから、何も摩訶不思議なことはないということを納得する過程で、mental model とその数式による表現との違いを理解する重要な機会が与えられたことになる。

ここで最も重要な点は、外生変数の guide に拠ることなく生成される変動は system の flow-stock 構造がもたらす帰結であるということの意味である。外生変数で外挿法を適用したのは次の2変数のみである。

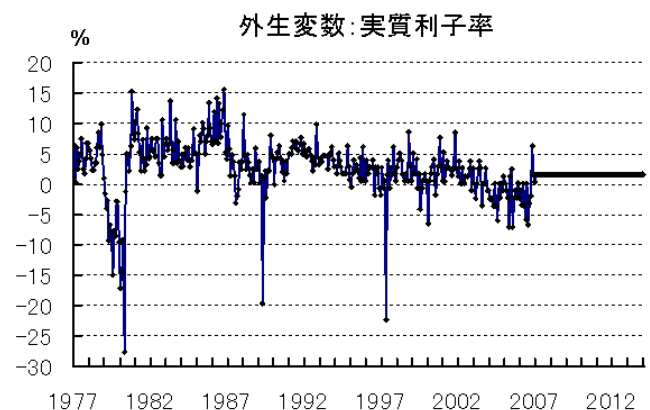
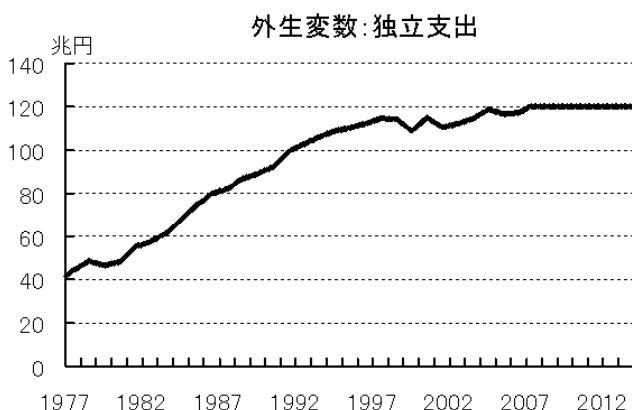


図15 外生変数の変動

2012 年を peak とする設備投資の成長を guide する種も仕掛けも其処にはないことが、一目瞭然に納得されよう。3つの適正化の潮時が重なる occasion は此の 40 年間にもう一度、そして唯一度だけ有り、それが 1980 年代末の彼の bubble の時代であることを知れば、2010 年の此の時点に立って、これから始まる未来に向けて何をしなければならないかが、自ずから悟られるはずである。2014 年以後に来るべき不良債権の後始末を今から考えて準備しておくことが賢明であろう。この言明は、以上までに検討されてきた model とは何の関係もなく、意味のない思いつきに発する警醒・警世の句に過ぎないと指摘されるかも知れないが、その指摘は的を射ていない。斯 SD model の利用価値は、こうした言明を多様に生み出す可能性にこそ存するのであるから。

人をして投資に向かわしめる何の好材料も与えられていないにも拘わらず、突如として設備投資の拡大がもたらされた動因は、正しく、model に組み込まれた flow-stock 構造にある。日本経済が通商摩擦、円高、stock 経済化、規制緩和、構造改革、金融 big bang、平成不況等々を経て大きく変化したと言われる 1977~2007 年の激動の時代を取り上げ、一つの構造の下に設備投資の変動を構成してみたところ、外生変数の guide なしで導

き出される dynamics が、現実の推移に対応した変動を再現することが確認された。ということは、そこに指定された構造が正しく現実の構造を擬えるものであるという主張が、現実の data によっては斥けられないことを示している。もちろん、この構造以外にも同じ内生変数の変動を導き出す model が幾らでも併存し得るので、これは現実を構造的に説明する唯一の正しい理論という訳ではなく、一つの候補であるに過ぎない。そのことを確認した上で、model に組み込まれた flow-stock 構造が因となってもたらされる設備投資の変動は、現実もそのように推移するかも知れないという、或る種の注意報になっている。その下で起こり得る事態に備えて政策代替案の開発を促すことは、現実の政策決定において重大な意味を持つと言わなければならない。上に掲げられた警世句は、その意味の「意味をもつ」のである。

2-4. 適正投資関数の意味

政策上の議論は一先ず置いて、適正投資関数の理論上の意味を解釈しておこう。適正投資関数は4つの parts から構成されていた。DYNAMO 変数適正投資を X 、適正化1を X_1 、適正化2を X_2 、適正化3を X_3 、DUMMY を X_4 として書きなおせば $X = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$ であり、右辺は各々

- (1) $X_1 = -22.99 + 0.7170 \times \text{可能生産} - 0.3447 \times \text{資本} - 0.1739 \times \text{実質利子率}$
- (2) $X_2 = 0.9391 \times (\text{可能生産} - \text{指数遅れ生産})$
- (3) $X_3(t) = 6.383 \times \sin\{\sqrt{(1/2.5112)} \times (t - 1978.0131)\}$
- (4) $X_4(t) = -5.537 \times \text{DUMMY1}(t) - 6.296 \times \text{DUMMY2}(t) + 5.412 \times \text{DUMMY3}(t) - 5.497 \times \text{DUMMY4}(t)$

となっている。これらはすべて macro 指標であることに注意しよう。

資本係数 v が一定だとすれば資本 K を v で割った可能生産は生産 Y に等しい。実質利子率を r とすれば、(1)式から $\partial X_1 / \partial Y > 0$, $\partial X_1 / \partial K < 0$, $\partial X_1 / \partial r < 0$ であることが判る。静学的比較においては、総資本が同じであれば総生産が大きいほど総投資も大きい。逆に総資本が大きいところでは、より少ない総投資でも同じ総生産を上げることができる。実質利子率が高いと、内部収益率が機会費用率を超えずに棄却される投資案が多く出て総投資は小さくなる。と理屈付ければ (1)式の符号条件は常識的な感覚と一致している。具体的な micro の意思決定者は macro の総投資が大きいほど business chance も大きくなると期待されるので、自らの生産能力を拡大することに積極的となり得る。彼が常識的な感覚の持ち主であれば、macro 指標としての総生産、総資本、および全成員にとって同一の実質利子率が認識されたとき、彼自身の設備投資の拡大縮小を総投資の大小に合わせて行動する、すなわち、(1)式の符号条件と同一方向の調整をする、と予想される。自らの個別生産、個別資本に関わりなく、総生産が大きいほど設備投資を大きく、総資本が大きいほど設備投資を小さく、実質利子率が低いほど設備投資を大きくする傾向を持つのである。3つの macro 指標が変化しない程度に短い期間内の micro の意思決定という意味で、これを短期適正化行動と名付けよう。斯かる短期適正化行動が多数集計された結果其処に顕れる全体変動を macro 現象としての短期適正化と呼ぼう。適正投資を構成する適正化1は、指標として micro の短期適正化行動を引き起こし、その結果、自己成就的に、macro 現象としての自らを帰結すると考えられる。この意味において、適正化1は、すなわち macro 現象としての短期適正化に他ならない。

この micro-macro 相互決定関係は、(2)式においても成立する。(可能生産-指数遅れ生産) は単位時間中における総資本の変化に伴う総生産の増大を表しており、総投資は是に比例的であるとする、すなわち総投資は総生産の増大によって誘発されるとする、加速度原理を弁える micro の意思決定者は、macro 指標たる総生産の増大を見て自らの設備投資を増やす。これを単位時間中の総資本の変化を考慮したという意味で中期適正化行動と名付ければ、macro 指標としての適正化2の自己成就性から、macro 現象としての中期適正化が顕れる。micro の意思決定者の中期適正化行動は positive feedback による持続的成長の思惑に基づく設備投資の増大傾向を生むが、乗数加速度 model で予想される総生産の fluctuation にしたがう macro 現象としての中期適正化を帰結する。

(3)式は景気循環理論において Juglar-cycle と呼ばれる正弦波の式である。この macro 変動が読めれば、個々の micro 意思決定者はこの波に乗って自らの設備投資を計画する適応行動をとるであろうと予想される。このような社会科学的法則に則って micro 意思決定者が行動を決めるという behavioral な仮定が、果たして現実的であるかどうか訝る向きも多かろうが、ここでもう一つの SD model を導入してこの疑問に答えよう。

次のような伝統的な受注残と在庫の model を考える：

- L 資本. $K = \text{資本. } J + \text{DT} \times \text{投資. } JK$
- L 未充足需要. $K = \text{未充足需要. } J + \text{DT} \times (\text{需要. } JK - \text{充足. } JK)$
- R 投資. $KL = \text{資本係数} \times \text{未充足需要. } K / \text{遅れ定数}$
- R 充足. $KL = \text{資本. } K / \text{資本係数}$

R 需要, KL=長期需要

これは未充足需要（受注残）に合わせて投資（在庫水準の引き上げ）を決定する model である。

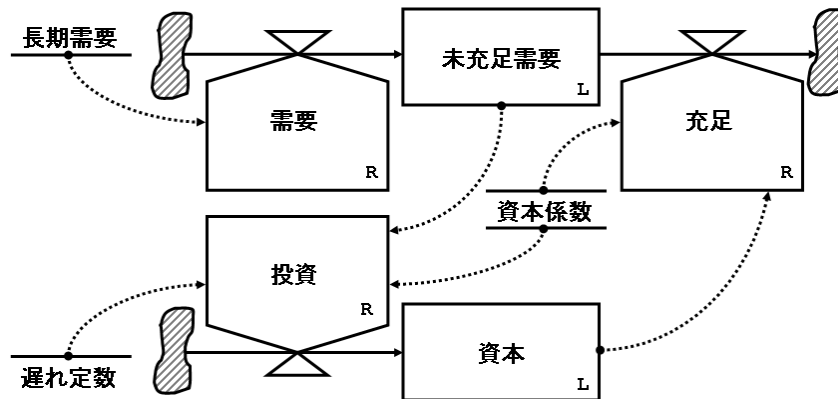


図16 受注残と在庫の model

資本を k , 投資を x , 充足を y , 未充足需要を z , 長期需要を Q , 資本係数を v , 遅れ定数の逆数を u とすれば、与式は次のような微分の形に書き直される。すなわち: $dk = x dt$, $dz = (Q - y) dt$, $y = k/v$, $x = uvz$ 。これにより、 $k' = x$, $y' = k'/v$ であるから、微分方程式: $y' = uz$, $z' = Q - y$ を得る。 z を消去すれば $y'' + uy = uQ$ となる。 Q が定数なら $y(t) = Q$ は一つの特解となる。同次の方程式: $y'' + uy = 0$ の一般解は、 $u > 0$ であれば C_1, C_2 を任意定数として $C_1 \sin \sqrt{u}t + C_2 \cos \sqrt{u}t$ となるから、一般解は正弦波: $y(t) = Q + A \times \sin(\sqrt{u} \times t + \theta)$ となる。この正弦波の周期は $2\pi/\sqrt{u}$ である。遅れ定数を 2.5 年とすると $2\pi/\sqrt{0.4} \approx 9.935$ であり、周期約 10 年の中期波動が得られる。投資は $x = vy'$ であるから、この変動に合致する投資: $x(t) = v\sqrt{u} \times A \times \sin(\sqrt{u} \times t + \theta + \pi/2)$ は周期 $2\pi/\sqrt{u}$ で 0 の回りを長期（無限）に安定した振幅 $v\sqrt{u} \times A$ で上下する波動を描く⁶。

微分方程式の解法を知らなくても DT を十分短くした SD simulation を試みれば同一の正弦波を確かめることができるし、長期に一定の需要の下で受注残と在庫が周期的に変動する事実を経験的に知っている管理者は多い。この波動が macro 指標の変動であるとき所謂景気変動 cycle が現出するのであるが、10 年周期の投資 cycle に合わせて設備投資を計画するのが理に適う。これが景気の波を読んでということであるなら、それは誰にとっても否定なしの心がけとなろう。一般に Juglar-cycle は中期波動と呼ばれるが、それは周期の長さに因んだものである。ここでは、長期的に一定の振幅と周期で振動し続ける macro 指標への適応行動という意味で、**適正化3**を長期適正化と名付けよう。

是によって macro 指標の変動に対する micro 的適応行動が、自己成就的に当の macro 指標の変動を現出する動因となる 3 つの場合として、短期、中期、長期の適正化が出揃った。合成された**適正投資**: $X = X_1 + X_2 + X_3$ は動因間で相互に相殺/同調を繰り返して、全体としての設備投資行動に変動性をもたらす主動因となる。

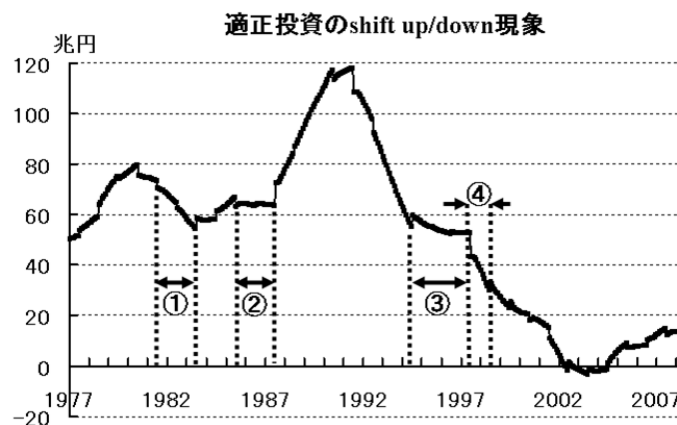


図17 受注残と在庫の model

残された (4)式の $X_4(t)$ はこれらとは全く意味が異なる。**適正投資**の graph を仔細に観察すると、graph が一旦 shift up (down) して、或る期間 up (down) した水準を維持し、やがて shift down (up) して元に戻る。

⁶ 正弦波の周期の計測については補論IIを見よ。

るといった現象を示す時間区間をいくつか取り出すことができる。この現象は図17に丸数字を標した区間において顕著である。適正投資の重回帰式を区分的に上下させるべく (0,1) の値をとる dummy 変数を導入して、係数の値だけ該当する区間の定数項を増減させるように最小二乗法で推定値を計算した結果が図1に示されている。この4つの時期、すなわち、① [1981.5, 1983.5], ② [1985.5, 1987.5], ③ [1994.5, 1997.5], ④ [1997.5, 1998.5] が各々他と区別される理由を考えよう。この理由は modeling から引き出すことができない。因みに：

①は Reagan の大統領就任1期目で双子の赤字が急激に増大した時期、②は円高不況として世に名高い時期、③は Clinton 大統領の1期目で、日米包括経済協議を抱えながら、America 経済は稀に見る好況、他方で円が極端な高騰を続けて円高 merit が享受された時期、④は Thai Baht 暴落に始まる Asia 通貨危機の時期である。

技術革新の集中的生起や産業構造の変化等々様々な説明が同時に可能かも知れないが、少なくとも、①～③の各期における shift 方向から、適正投資に対して外圧がもたらす経済外的 impact のもたらしたもの、すなわち、micro の意思決定者の外圧に対する心理的反応が設備投資を手控えさせる効果の集計された結果である、という憶測が成り立つ。これにより、 $X = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$ は 適正投資=短期適正化+中期適正化+長期適正化+外生攪乱 と解釈することが許されよう。macro の設備投資は、式で定義される適正投資を用いて計画された投資が遅れを経て資本ストックを調整する新規投資と、一定率で除却される資本設備を補う更新投資との合計である。

とすると、macro の設備投資の変動は図13のようになると予想される。其処には前後2つの peak が観察され、いずれも短期、中期、長期の波が同調することに拠る投資の急速な増大を示す。前の peak は bubble 期に、後の peak はこれから訪れる、と云々。これも一つの解釈である。解釈は多様であり得るのでその真偽を問うても意味はない。適正投資自体が macro の意思決定者の思惑の中に登場する分析概念なのであって、macro の意思決定者は modeling 上の擬制であるに過ぎない。SD modeling は、定式者の mental model を一定の文法により陽表化する作業である。其処から引き出される現実についての多様な擬似命題の真偽は、事実に照らしてではなく mental model に照らして検証される。したがって、SD による分析研究の成果としての言明は、分析者の思想 (mental model) の反映以外の何者でもない。その言明が communication を通して社会的・公共的意味を持つのは偏にその解釈の条理適性に依るのである⁷。

意味ある言明は「真である実証命題 (trivial 知識)」よりも「価値ある擬似命題 (instrumental 知識)」を志向する。model は道具であって trivia ではない。simulation の output はモノの譬えであって天の声ではない。言ってしまうと、SD は「尤もらしい譬え咄」を創作するための技術である。その技術を洗練するための研究という文脈で、公式の GDP 統計から或る時代の設備投資行動を再構成するための SD model を定式化してみたのである。この試みはある程度の成果を納めたと自負している。

2-5. 日本経済の構造

自己成就的予言と外生的攪乱によって構成される macro の適正投資を分析概念として、恰もその指標へ向けて調整を図るかの如く変動の軌跡を顕す macro の設備投資を再現する上で、留保事項は基本的外生 input としての系列 (消費性向, 実質利子率, 独立支出) および定数 (耐用年数, 遅れ, 調整期間, 平滑化定数) の決定方法のみである。定数については代替値を設定、与えられた quadruplet 毎に一々適正投資関数を計測し直し simulation を実行するという手続きで感度分析を行えば、結論が支持される定数値の区間を確定することができる。系列については、「消費関数についての理論」と「利子率と物価の決定に関する理論」の2つの展開を真正面から取り上げた後に取り扱いを定めるものとするが、これらについては少なくとも各1編の paper を要するので、孰れも別の機会に譲りたい。独立支出は、外生的攪乱と共に与件として取り扱う。

以上の留保条件を付した上で、日本経済の構造について SD modeling & simulation から得られた知見を箇条書きしてみると、次のような結論を得る：

- (1) stock-flow 構造の表現である SD model は、分析概念の実体的定義により、意味ある形で、日本の GDP 統計を長期に亘って再現することができる。
- (2) macro の設備投資行動から見た場合 1977～2007 年の日本経済は一つの構造を基に再構成できる。すなわち、或る意味でこの期間に経済構造の変化は無かったと考えられる。
- (3) 日本経済における 21 世紀前半の設備投資の停滞は、資本 stock の成熟化に拠るものであり、一つの構造的帰結を暗示している。
- (4) 日本経済の変動を或る構造に基づいて説明する上での分析概念たる適正投資は、1980 年代 bubble の期間に急速な上昇を示した。

⁷ 条理適性とは筆者の造語で「道理に適っていると感得される尤もらしさ」という意味の四文字熟語である。

(5) SD model によって擬えられる日本経済の構造が、将来においても変化しないとすれば、bubble 期と同じ理由で適正投資の急速な上昇が生じる機会が、今将に再び到来しようとしている。

以上の結論を以て本稿の結びとするが、尚、以下の4点について補論を付け加えて筆を擱きたい。

- I 消費は消費性向を比例定数として、生産ないしその遅れに比例的であるという定式化について。
 - II 現実の統計に裏付けられた Juglar-cycle の存在ならびに正弦波の周期と初期位相について。
 - III simulation input としての定数と初期値について。
 - IV DYNAMO 方程式による定義から始めて最後に flow diagram が出てくる本稿の論述の順序について。
- 以上である。

補論 I



図 I

予測することができるという点にある。これは需給均衡式1本しかなければ不可能なことで、そこを可能にするような missing equation を、「適正投資へと適応するための追加需要に基づく投資計画とその実現の構造」を表す model として与えたのである。C の与え方が消費性向実績の input であっても消費実績の input であっても、model の実証的意義には何ら影響しないのである。その故に、消費関数の議論を迂回して消費を外生とする便法が採用された。

補論 II

Regression Statistics					
重相関係数	0.988053				
決定係数 R^2	0.976248				
調整済み R^2	0.975989				
標準誤差	5108006				
観測数	372				
ANOVA					
	自由度	変動	分散	F	有意水準
回帰	4	3.94E+17	9.84E+16	3771.044	1.58E-296
残差	367	9.58E+15	2.61E+13		
全体	371	4.03E+17			
	係数	標準誤差	t	P-値	
Y切片	-2.688E+07	1.58E+06	-17.052	2.0E-48	
可能生産	1.9133	6.97E-02	27.468	4.8E-91	
資本	-0.3251	1.17E-02	-27.834	1.8E-92	
実質利子率	-4.197E+05	5.58E+04	-7.519	4.3E-13	
指数遅れ生産	-1.2272	8.98E-02	-13.670	1.1E-34	

図 II-1

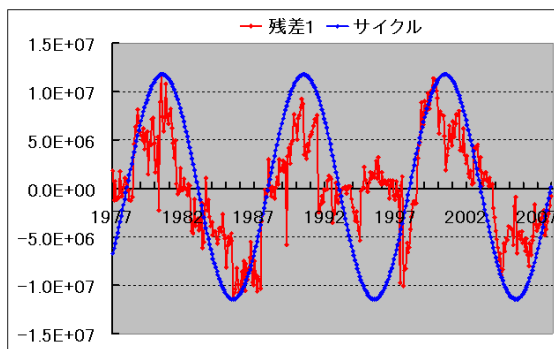


図 II-2

消費実績を DT だけ前の生産実績で割った消費性向実績を plot したものが左図であるが、消費性向が一定であるという仮定は curve fitting 上は抑々成り立たない。設備投資の変動性を理論的に考察する上で意味のある仮定と現実との突き合わせは重大な research theme となることは言うまでもないが、ここではこの問題を取り上げる余裕がなかった。これが消費を外生的 input として扱う理由のすべてであるが、そうしたことにより斯 model の実証性 test には何ら支障を来さない。消費関数の議論には立ち入ることなく、この点をここで確認しておきたい。

斯 SD model の merit は $Y=C+I+G$ という需給均衡が成り立つ下で、与えられた (C, G) に対して (Y, I) を

適正投資の (可能生産, 資本, 実質利子率, 指数遅れ生産) に対する回帰を計算すると図 II-1 のような結果が得られる。

回帰の周りの偏差系列 $\{\varepsilon_t\}$ を plot させれば図 II-2 のようになって、そこに正弦波が観察される。

周期と初期位相を推定するには次のようにすると良い。

- ① 一次変換: $\varepsilon_t \rightarrow \varepsilon'_t$ により、range が $-1 \leq \varepsilon'_t \leq 1$ となるように $\{\varepsilon'_t\}$ を定める。
- ② 任意の出発点、例えば $t_0=1978.0$ を定め、 ε'_t の系列を辿って最初の peak t_1 を求める。 $t=1980.4167=1980.5 - DT$ で初めて peak $\varepsilon'_t=1$ となるから $t_1=1980.5 - DT$ を得る。

- ③ $t \geq t_1$ に対して $n = \text{INT}\{(t - t_1) / 5\} + 1$ と置き、次のように $\theta(t)$ を定める:

$$n \text{ が奇数なら } \theta(t) = n\pi - \text{Arcsin}(\varepsilon'_t)$$

$$n \text{ が偶数なら } \theta(t) = n\pi + \text{Arcsin}(\varepsilon'_t)。$$

ここで $\text{Arcsin}(x)$ は x の逆正弦関数の主値、

$\text{INT}(\text{実数})$ は整数部を採る Excel 関数である。

この逆正弦関数の割り当てによって、すべての t に亘って $\sin \theta(t) = \varepsilon'_t$ となる系列 $\{\theta(t)\}$ が得られる。この data を用いて、 θ の t に対する線型回帰を計算すると、図 II-3 の結果が得られる。

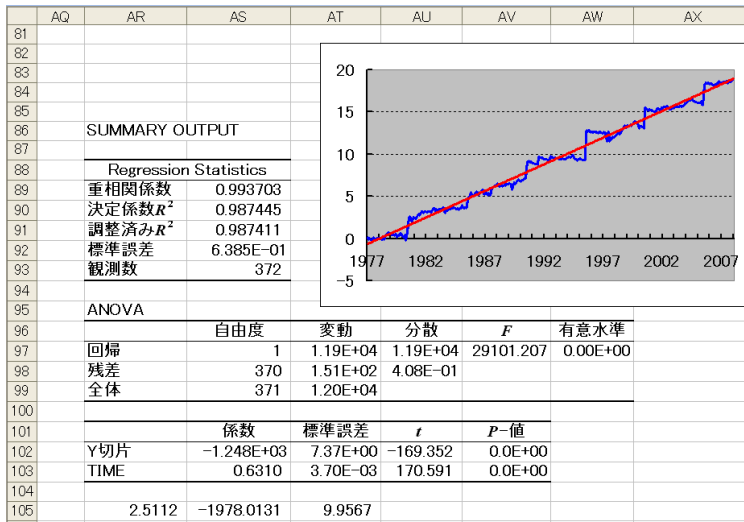


図 II-3

補論Ⅲ

simulation input に用いられた定数の値は次のとおりである：

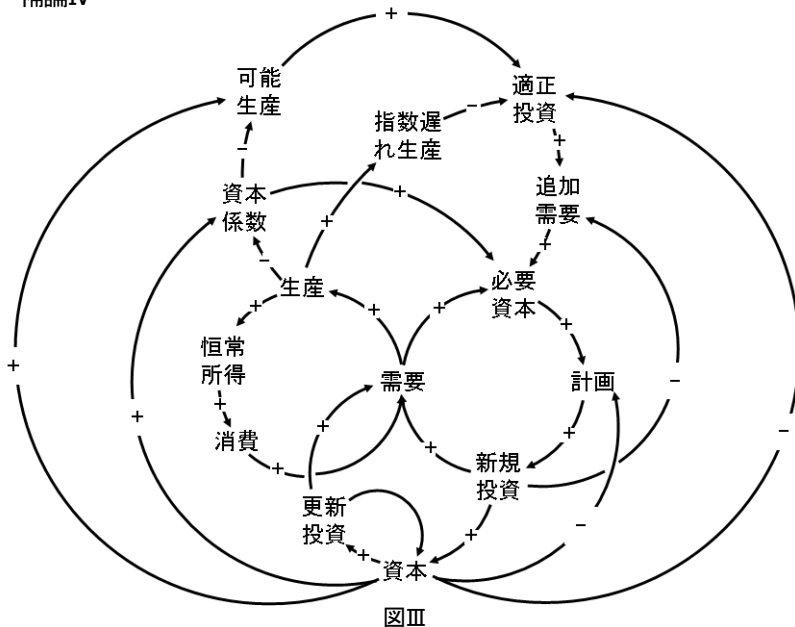
$B0=-22989377$, $B1=0.71700753$, $B2=-0.34470046$, $B3=-173906.92$, $B4=0.93908912$, $B5=6382832.1$, $B6=0.63104887$, $B7=-1248.2229$, 耐用年数=10, 遅れ=1, 調整期間=1.5, 平滑化定数=0.25
 $B0 \sim B5$ は図1の推定結果を、 $B6 \sim B7$ は図 II-3 の推定結果をそのまま用いた。耐用年数～平滑化定数は暫定値である。

同じく初期値の値は次のとおりである：

$TIME=1977$, 資本=197206945, 未実現投資=21063478, 資本係数=1.1247323, 指数遅れ生産=157377116

これらは1970年時点で level 変数に暫定値を与え、これを初期値として斯 SD model を simulation run した結果から得られた1977年時点の各 level 変数の値である。

補論Ⅳ



図Ⅲ

causal loop → flow diagram → equation という順番で SD modeling & simulation 作業を行うべしと言う論拠は presentation 上の merit にあると信じるが、いつでもその merit が実現するとは限らない。実際の日々の研究はいかなる system dynamicist においてもこのような整然たるものではなく、行きつ戻りつすることが当たり前であり presentation 用の causal loop は一番最後に完成さるべきものと言わねばならない。

図Ⅲの causal loop は正にそうして作られたものである。分析= modeling & simulation =に先だつて *a priori* にこうした認識があったとしても、それを直截議論することに意味があるかどうかは取り扱う問題に依る。

参考文献

- [1] Allen, R.G.D. (1967) *Macro-Economic Theory: A Mathematical Treatment* Macmillan
- [2] Forrester, J. W. (1961) *Industrial Dynamics* MIT Press
- [3] Randers, J. (1980) *Elements of System Dynamics* MIT Press
- [4] 小林秀徳 (2002) 『政策研究の動学的展開：エクセルシステムダイナミックス』 白桃書房