

## 《論文》

低成長下における政策研究の及び政策科学におけるシステムダイナミックスの意義

**Challenge of Policy Sciences and System Dynamics  
to the Economy under Low Rate of Growth**

小林 秀徳\*

**Abstract**

Lost Decade of Japanese Economy has been enforcing the academic society to account for the cause of it and present a prescription for the public. In this expository paper I propose the research strategy that might have been of help to the government for these ten years. Policy Sciences research and System Dynamics modeling are two key concepts of the strategy. The example illustrated here is from the macro economic modeling tradition for convenience of explanation. I like to indicate the way to escape the vicious cycle from which you are suffering now.

〈キーワード〉 政策科学、調整、遅れ、ビジネスダイナミックス

---

\*中央大学

## はじめに

後世の歴史家に筆を借りれば、1990年代の長期不況は貴重な教訓を21世紀の日本人に残したと特筆されよう。明治以来わが国が一貫して採り続けてきた欧米キャッチアップ政策が名実ともに大成功をおさめ、その成功の故に、定義的な必然性をもって一大政策転換に取り組みねばならぬ嵌めに陥った日本人が、最初にしたことと言えバブルに浮かれて花見酒に酔い痴れることだけだった。そのツケを支払うための10年間だったと言えバブルに浮かれなかった人たちは怒るかもしれない。

われわれは旧体制を清算して新しいシステムへと転換する創造的破壊の渦中に居る。そのことが生み出すさまざまな軋轢を不安な世相のバックグラウンドに聞きながら、抛るべき日本的慣行の復活を希うもの、身のほど知らずに世界級を僭称するもの、時代遅れの進歩主義を振り翳すもの等々、多様な論点が混沌として渦巻くさまを目の当たりにしている。

ここで‘そもそも論’に立ち返って、世の中のシステムとそれが今かかえている問題との関わりについて考えてみたい。重要なのは考察のための手法である。ここではひとつの手法が解説される。その手法を修得すれば、誰でも何時でも何処でも、さまざまな問題を克服するための検討がし易くなり、検討から明確な結論が引き出されることを体験でき、それを通してする処方箋の書き方に精通し得る—というものがあれば、逆境にある人々にとって何がしかの助けとなるだろう。

それは政策研究のための手法である。かつて経済成長華やかなりしころ、政策研究と言えバ経済学の独壇場だった。資源・環境の制約が成長の限界を世界に告げて早や30年、低成長下における最適政策についての標準的教科書は未だ現れていない。しかしこの間の政策研究の実践は政策科学と呼ばれる新しい学問の成立を促した。それは低成長の下でこそより一層重視されるべき政策研究に対して、情報化時代に相応しい手法を提供することをひとつの使命とする研究領域である。

洗練された手法が技術的に高度だと、それは専門家の領分であり普通の人々には係わりのないものと思われやすい。しかしもし政策研究が普通の人々の手許にないのなら、政策によって境遇を改善しようという善意に発する人々の意思は、専門家を通してしか実現されないことになる。何の根拠もないのに専門家を信用するのはたいへん危険なことである。覚醒剤取締の専門家がシヤブ漬けになり、核燃料の専門家が被曝事故の危険を放置する世の中である。専門家に対する世の中の処遇も、専門家が自らに課す倫理綱領も、別段こうした危険を最小化するように作られてはいない場所で、専門家を信用してはいけない。

システムダイナミックスによる政策研究の手法はある意味で技術的に高度である。しかし同時に普通の人々の守備範囲に納まるよう工夫されている。ちょうどハイテク仕様の乗用車を普通の人が難なく乗りこなすように、プロが使うのと同じ手法を素人が使って政策研究を実施することができるという状況を作り出すこと—それがわれわれの狙いであるから。

## 経済予測

国民の所得水準は、個々の国民がそれぞれでする意思決定の結果としてそれぞれがとる活動が寄せ集められて、それがあたかも社会全体の行動であるかのように事後的に決定される。それはちょうど目標水準と現実との間に生じるギャップを、時間をかけ努力をして調整する、強い意志を持った個人のように振る舞うのである。

この擬人化された国民全体は、現在の所得水準と何らかの方法で把握された目標水準との差を向こう何年間かで埋めようと計画を立てる。さまざまな理由でこの計画の実現には時間がかかる。実現した分がそれまでの所得水準に付け加えられ、目標水準へ向けて少しずつ所得水準は調整されていく。

これを次のような式で表現してみた。

- L 所得水準.  $K = \text{所得水準. } J + DT \times \text{調整. } JK$   
 R 調整.  $KL = \text{DELAYN}(\text{計画. } JK, \text{遅れ, } 1)$   
 R 計画.  $KL = (\text{目標水準. } K - \text{所得水準. } K) / \text{調整期間}$

時点Kの所得水準（所得水準. K）は時点Jの所得水準（所得水準. J）に期間JKの間に与えられた調整の年額（調整. JK）を期間の長さ（DT）分だけ足し込んでやることによって事後的に決定される。調整は目標水準と所得水準との差のうちの何割かを埋めるものとして計画され、計画はある種の遅れを経て実現する。

Jを期首、Kを期末と考え、時点Kの所得水準が決まったら、それに基づいて、次期末をLとし、1期分だけ未来へ向けて期間KLにおける調整計画を決定するのである。

このような式はダイナモ方程式と呼ばれ、システムダイナミックスの文法にしたがって記述されている。文頭のLとRはレベル（ストック）とレイト（フロー）の頭文字で、それぞれがレベル方程式、レイト方程式を表わしているという表示である。DELAYNは遅れを表わすダイナモ関数で、（）の中に（計画. JK, 遅れ, 1）と書いて「調整は遅れを平均遅れとする計画の1次の指数遅れである」と読む。

モデル記述の文法事項の解説はあとまわしにして、ここではこの一組の方程式が何を意味するかを検討しよう。このように方程式を書いてDYNAMOPⅢを実行するとただちに図1のようなシミュレーション結果が得られる。

図1は目標水準が初期の100から年率5%で成長していく場合に所得水準がどのようにこの変化についていくかを予測したものである。初期の大きなギャップを解消し、適応的な調整に成功していく過程で、所得水準は逆S字カーブを描く。

この典型的な適応パターンは、1985～95年の世界経済の統計データを用いて主要5ヶ国の国内総生産（GDP）の時系列を並べてみると、誰でも容易に観察することができる。日米英独仏の5ヶ国の国内総生産をそれぞれの通貨単位のまま並べたものが図2のグラフである。一目瞭然、各国の経済は目標水準と現実水準との間の初期ギャップの調整という図1の成長パターンを顕著に現わしている。

図1 目標水準へ向けての所得水準の調整

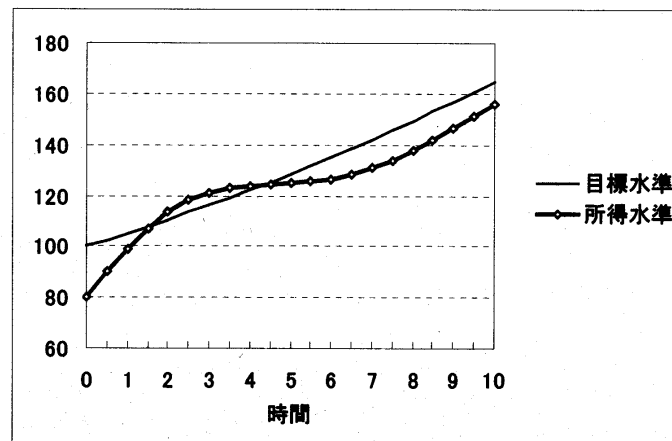


図2 日米英独仏各国通貨建て実質 GDP の推移

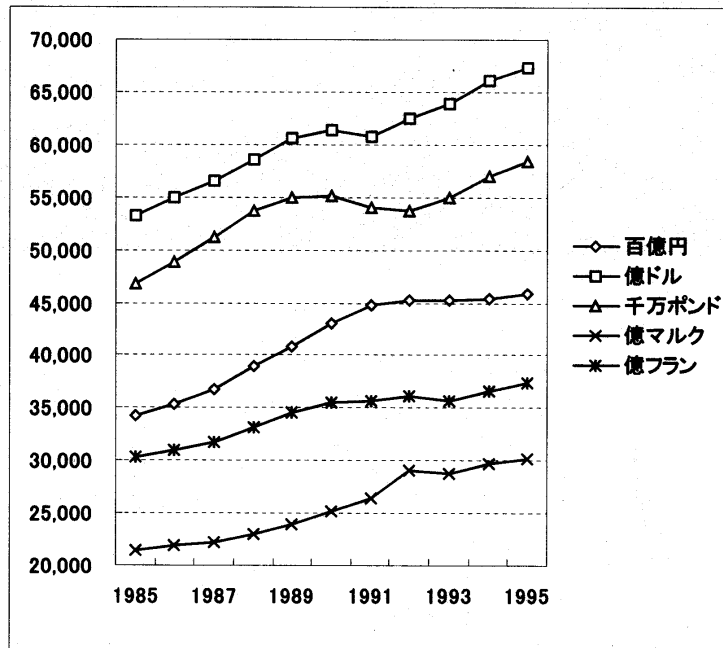


図2はもちろん単位が違うから縦の比較は意味をもたない。国際比較をしようとするとしても全部をドル換算したりしなければならぬが、そうすると為替の変動が災いして上で見た重要な事実がかえって見えにくくなる。

調整過程（世界はいつでもその途上にある）においては成長率は時々刻々変化するから、GDPの成長率の上下・高低に一喜一憂することがいかに無意味かが良く分かるだろう。80年代後半のアメリカの失速を見て「アメリカはもう終わりこれからは日本の時代だ」と言った人も、今の日本の低迷を見て「日本はもう終わりやっぱりアメリカだ」と言った人も、同じ程度に間違っている。それでは間違いをしないためにどのような代替的予測方法を採れば良いのか。以下ではこの間に答えようと思う。

世界的な経済成長下で定番化した陳腐な予測方式に代わるマシな予想の立て方は40年も前からわれわれの手許にある。図1の予測は経済統計を見て描いたアト知恵ではない。マクロ現象をミクロ行動のアナロジでモデル化したシミュレーションの結果である。（これが単なるアナロジでないことは後ほど明らかになる）

成長する経済にあっては予測も計画もその良し悪しがさほどパフォーマンスに影響を与えない。予想を上回る上昇を遂げたら結果オーライと言われるし、過大な計画を立てても遅れているうちに現実の方がそれを正当化してしまう。経済成長華やかかなりし頃は経営者も官僚も線型思考だけで済ませることができた。しかし世界が直面している現在のような低成長のもとでは調整と遅れが決定的な役割を演じる非線型の世界に居ることをいやでも思い知らされることになる。非線型の世界で誤りの少ない計画を立てようと思えば直観と電卓だけでは足りない。欠けているのはモデリングとシミュレーションの装備である。

では上で示したような方程式モデルを書いてなんらかのシステムを表現すればたちどころに図1のような結果を返してくれるパソコン用のソフトが手許にあればそれで足りるのだろうか。答えはイエス。足りる。もちろんモデルの中身が次の問題となる。

上のモデルではマクロの経済をミクロの意思決定のように擬人化してあつかっているが、因果関係という意味ではこれは正しくない。集計化された変数と変数（マクロ指標）の関係というものは定義的なトートロジーかまたは疑似相関を示しているにすぎないからである。そこには原因と結果という法則的な結びつきではなく、個々に自由な意志を持つ個体の変動（ミクロ行動）

が社会的なプロセスを経て全体の水準に集計化された諸結果同士の相関関係があるのみ。にもかかわらずその全体はあたかもそれ自体が意思と目的をもった存在であるかのように法則的な行動を示す。そうした全体運動の原理のうちのいくつかは過去40年間のシステムダイナミクス研究の成果として、ミクロの実体的行動に基礎付けられ解明されてきた。ここでとりあげる調整と遅れのプロセスはそうした理論的成果の一端である。

個々の行動主体は普通の人間である。手許にある装備（ハードとソフト）を使って目いっぱい戦略を立て・計画し・実施する主体である。彼らは必ず同時にマクロ変動についての予測も立てている。この普通人の予測が全員横並びで線型思考であるという場合に、そのことはそれなりの影響をマクロの変動におよぼすが、時としてその結果が個々の行動主体にとっては望ましくないものであるという事態が生じる。資産価値の一斉下落、金融恐慌、長期不況などその例はいくつもある。こうした個人で対処しようとしてもいかにともしがたいマクロの逆境を克服するためには社会全体が何らかの学習をしなければならない。

個々にモデリングとシミュレーションをして、その上で個々に行動を決定するような個人によって構成される世の中へと世間が変わり、そのことが個々にとって都合の良いような全体運動を引き起こす方向に作用するとしたら、そのような変化は人間が状況を制御し、不況をのりこえ、未曾有の危機に対処する能力を増大させることに役立つだろう。

政策科学はこうした可能性を追求する学問である。人の政策研究能力を増進することによって政策決定を改善すること。それは一研究者の為し得る業ではない。社会全体が自己意識に目覚め未来への創造的な挑戦に意図的に取り組もうとするとき、政策決定の改善がどうしても必要とされる。その必要性が認識され、問題が議論化され、改善策が決定され、行動案が実施され、社会的フィードバックを通して何らかの結果が出るまでの一連のプロセスは、すべて全体運動として帰結することによって初めて意味を持つ。ここでとりあげるのは、望ましい全体運動を予測して個が行動を決定するという作業をし易くするためのモデリングとシミュレーションの例示である。

### 【調整と遅れのシミュレーション】

冒頭に示した調整と遅れのモデルをフルに記述しておこう。次のようになる：

L 所得水準.  $K = \text{所得水準. } J + DT \times \text{調整. } JK$   
 R 調整.  $KL = \text{DELAYN}(\text{計画. } JK, \text{遅れ, } 1)$   
 R 計画.  $KL = (\text{目標水準. } K - \text{所得水準. } K) / \text{調整期間}$   
 C 遅れ = 1  
 C 調整期間 = 1  
 N 所得水準 = 50  
 L 目標水準.  $K = \text{目標水準. } J + DT \times \text{修正. } JK$   
 N 目標水準 = 100  
 R 修正.  $KL = \text{目標水準. } K \times \text{成長率}$   
 C 成長率 = 0.05  
 PLOT 目標水準, 所得水準  
 SPEC DT=0.1 / LENGTH=10 / PRTPER=1 / PLTPER=0.5

平均遅れの長さは1年、調整期間も1年、所得水準の初期値は50。定数はCで始まる方程式で、初期値はNで始まる方程式で与える。

目標水準もレベル方程式で表わされている。目標水準の初期値は100、每期そのうちの5%を年

率換算修正分として期首の目標水準に足し込んでいくことによって、目標水準は一定率で成長するという変動を、外生的な（モデル外で決まる）与件としてインプットすることができている。

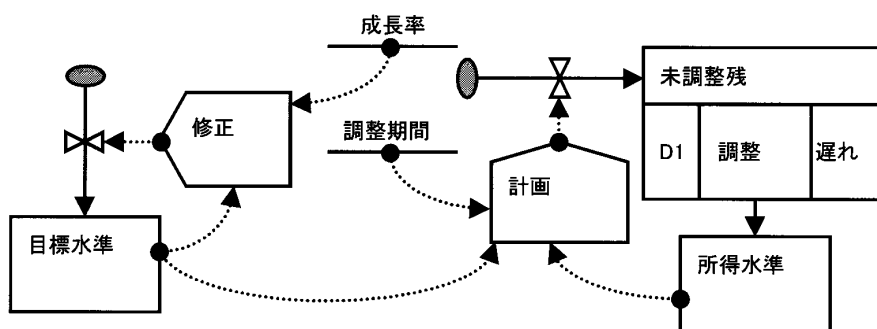
最後の2行はこのモデルをシミュレーションするための指定である。まずPLOTと書いて目標水準と所得水準のグラフを描かせる。SPECはシミュレーションのランの条件を与える式で、DT=0.1は期間の長さを0.1年として時間をこの幅で進め、0.1年経過ごとにすべての変数の値を更新させる。LENGTH=10は向こう10年間にわたる予測シミュレーションをせよということ。PRTPERはプリントパーと読む。ここには省略されているがPRINTで指定された変数の値を1年ごとに表出力せよという意味である。PLTPERはプロットパーと読んで、グラフの横軸になる時間軸を0.5年刻みにしてその間隔でPLOTに指定されているすべての変数の値を座標に書き入れよという指定を与えている。このままDYNAMOPⅢを実行すると図1で見たグラフが得られる。

このダイナモ方程式モデルはもうひとつの表現形式であるフロウダイアグラムによって図3のように示すこともできる。長方形で描いてあるのがレベル変数（Lで始まる方程式の左辺の変数）、五角形で描いてあるのがレート変数（Rで始まる方程式の左辺の変数）、横棒の上に乗っているのがパラメータ（Cで始まる方程式の左辺の変数）。未調整残の式は方程式リストにはないが、この4つに仕切られたボックスでダイナモ関数DELAYN（, , 1）を表わしている。必要ではないがついでにリストに加えておこうと思えば、次のような未調整残の式をつけたすことができる。

L 未調整残. K=未調整残. J+DT×（計画. JK-調整. JK）  
 N 未調整残=計画

フロウダイアグラムで、未調整残と書かれた4つに仕切られたボックスは「調整は計画の一次の指数遅れである」と読む。いろいろな計画がいつでも未調整分として溜まっていてそこから一部分ずつ流れ出しては所得水準を調整するのである。計画したものが調整として実現するまでの時間（遅れ）は、計画を構成しているプロジェクトごとにバラツキがあり、不確実性があるが、遅れで指定した長さを平均値とする確率分布にしたがう。

図3 フローダイアグラム



3つのパラメータ：成長率、調整期間、遅れがいろいろな値をとったとき所得水準の変動パターンは当然ちがったものになる。それぞれのパラメータがシステム変動に与える影響度合いを調べる（感度分析）によって、このシステムが持っているダイナミックな性質を知ることができる。実際に感度分析を実施すると以下のことがわかる：

命題：

成長率が小さいほど  
 遅れの長さが長いほど  
 調整機関が短いほど } ⇒ { 調整の失敗がもたらす  
 経済全体への  
 ダメージは大きくなる

この命題を補助定理に用いると次の定理が証明される

低成長経済においては政策研究能力が経済の死命を制する

図4の(a)～(f)を見るとわかるようにパラメータの値をひとつずつ動かしてみると成長率が小さいほど、遅れの長さが長いほど、調整期間が短いほど所得水準の縦の変動(振幅)が大きくなっていることがわかる。調整の結果が目標水準を超えてオーバーシュートする過剰反応性は現実の経済において生きている人間の生活に深刻なダメージを与える。

所得の過剰調整はそれに見合った過剰在庫、過剰生産設備、過剰信用を作り出し、次に訪れる下方調整局面に過剰分を削除せねばならぬという重荷を人々に背負わせる結果を招く。しかし下方調整もまた過剰反応性を顕わす(過剰に所得を低下させる)ので、人々は二重の負担を強いられることになる。バブルの清算を過剰不況の時期に無理矢理済ませようとするのは疲労困憊の馬に鞭を入れているのと同じで、下手をすると馬を殺してしまう。

図4(a)調整期間=0.5のケース

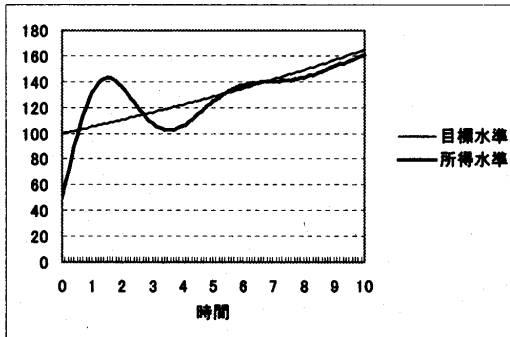


図4(b)調整期間=2.0のケース

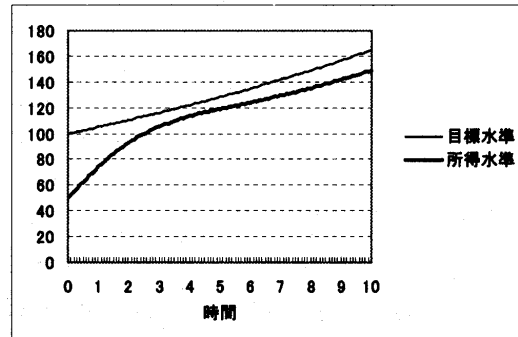


図4(c)遅れ=0.5のケース

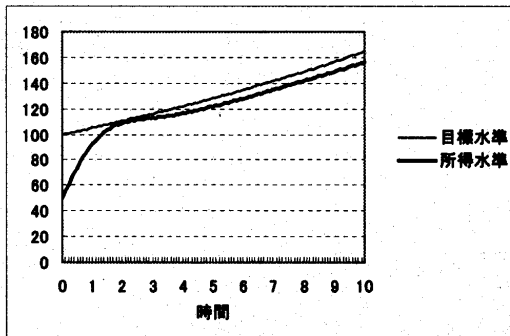


図4(d)遅れ=2.0のケース

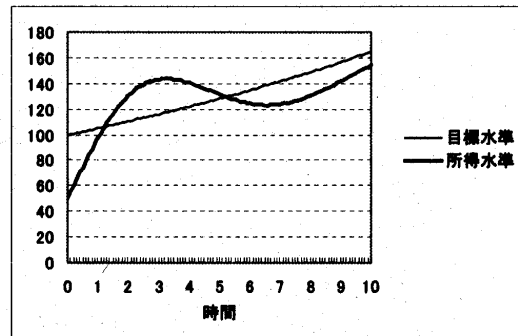


図4(e)成長率=0.01のケース

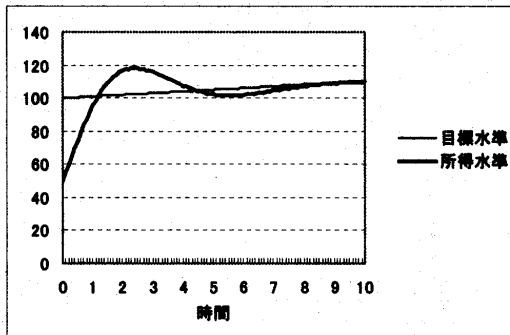
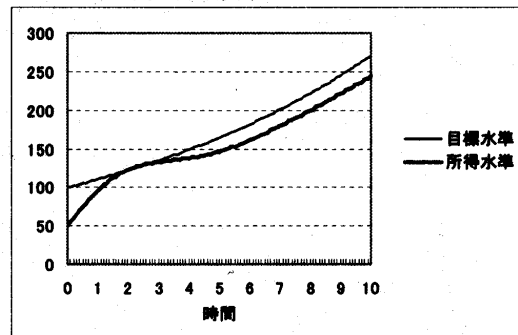


図4(f)成長率=0.10のケース



妥当な処方箋は、低成長を成熟社会の宿命として受け入れ、調整期間を長くとり遅れを短くしてやること。これが感度分析から導かれた政策提言である。この結論は線型思考の人には矛盾しているように見えるだろう。納得してもらうには百万言を費やすより自分でシミュレーション・リランを試してもらうのが一番である。無料で公開されているDYNAMOPⅢを使って心行くまでやってみてほしい。

調整期間を長くとするというのは、認識されたギャップを時間をかけて検討し小さな幅でギャップを解消するような計画を立てるということである。遅れを短くするというのとは計画された分についてはのんびりやらないで短い時間で実現するということ。長期計画というとはすぐ遠大なヴィジョンをイメージするがこれは間違いで、現在認識されているギャップの調整を長期の調整期間に振り分け、小分けして実施する初年度分の計画をしっかりと立て、次年度はまた新たなギャップの認識に基づいてもういちど計画を立て直すという、ローリング方式とセットになって初めて意味をもつ。ギャップ解消の計画には時間をかけた政策研究がどうしても必要で、調整期間を長くとりという処方箋はこのことを可能にする。遅れを短くするためには計画された調整が実現可能なものでなければならない。その上で管理運営能力が十分に発揮される必要がある。plan-do-seeの効率的なマネジメントサイクルの設計と手直しによって初めて遅れは短くなる。この設計・再設計の実施には政策研究が必要なことは言うまでもない。

調整期間と遅れがシステムの変動性に対してもつインパクトは丁度逆方向の働きを示すということは、このようなシミュレーションに頼らなくとも説明することができる。しかしその知識が現実の政策決定に役立てられるためには、普通の人に受け入れられる言語で語られ、納得を得る必要がある。システムダイナミックスのモデリングとシミュレーションを普通人の基本装備に入れることの意義はこれでわかってほしい。専門家であっても、学問業績をつくることではなく現実の問題解決に役立つことを目的とするのであれば、この方法の採用が有力な助けとなることに気づくはずである。

### 【世界的変動の予測】

図2のGDPのデータは日本銀行国際局の手になる『国際比較統計1996』からとった。原資料は各国の公的な経済統計に拠っている。同資料を使って簡単なモデリング&シミュレーションを実施すると世界経済全体（といってもここでは日米英独仏の5ヶ国）の変動予想が得られる。

その結果は図5のような形でパソコンの画面上に現れる。このグラフの縦軸の単位は億ドル(US\$)である。各国の水準比較もしたいので1990~95年の間の為替レートの平均値を使ってドル表示に直してある。すなわち固定レートで見た場合の予測だと言える。用いたレートは1ドルが113.76円、0.6181ポンド、1.5861マルク、5.4285フランである。

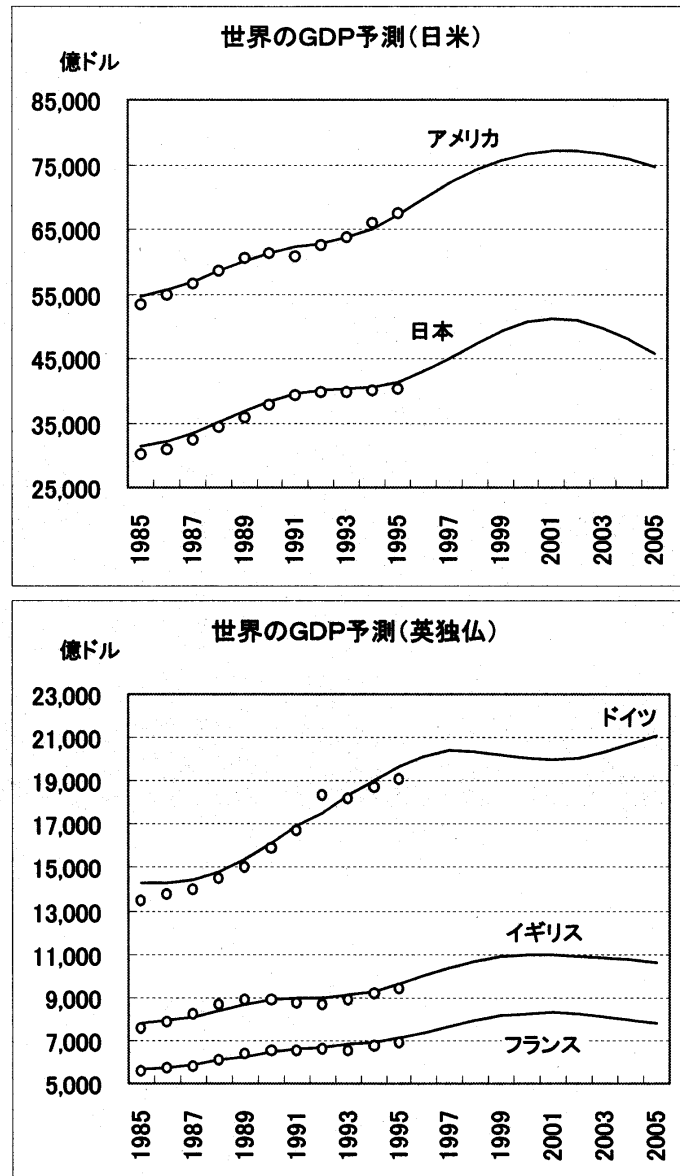
このグラフを読んで以下の事項を指摘することができる。

第一に、これは外生変数（モデル外で値が決まる指標）の将来変動のインプット予想にしたがって結果がそれと同じように変動するといった、他のモデリングではよく見かけられる無意味な予測とは違い、日米欧各国間の相互依存の構造の中に内生化されているシステムのもつ固有の変動が予測されているということ。

第二に1985~95年の11年間の各国実質GDPの変動をシミュレーション結果がよく近似しているということ。曲線で引かれているのがモデルのシミュレーション結果、丸印が実績値である。成長と停滞が交互に現れる、調整と遅れのモデルがもたらす典型的なシステム変動が、外形上、現実の世界経済の変動にピッタリとあてはまっているということである。



図5 シミュレーション結果



第三に1991～95年の日本経済の長期停滞はシミュレーション結果でもきちんとフォローできるものであるということ。これがバブルと不況の双方を含んだ時期をとりあげてひとつの構造で統一的に経済変動を説明するモデルであることは重要な意味を持つ。

第四にこのモデル化された構造が正しいとすれば、そしてその構造がそれ以後も続いたとすれば97～99年の日本経済はもっと成長していてもおかしくはないということ。1991～95年の停滞は調整のための自然な一局面であるのに、たまたまそれが長かったために人は勝手な理屈をつけて、もとの構造をささえていた調整システムのもとでは当然のように次の成長を準備するはずだった健全な投資マインドを抑え込んでしまった結果であろう。

第五にこの分析が的を射ているならば、日本は2001年をピークとする経済成長の軌道に難なく乗ることができるということ。このピークをアメリカは2002年に迎える。フランスは日本と同じ2001年、イギリスは2000年、ドイツは1997年である。ピーク後に再び訪れる停滞はドイツが2001年以降に示している変動と同じく、次の山に向けての成長を準備する。

ピーク後の停滞をここで深刻に考える必要はない。なぜならここに示されているのは、消費性向、輸入性向の他、各国間で互いにおよぼしあう外部効果の各種パラメータの値を1995年の時点で固定し、以後これらは一定のまま変化しないものとしてシミュレーションを継続した結果だからである。このような想定のもとでは、多くの場合、システムは定常水準のまわりを上下に振動しながら収斂していく。

ここで一定とされたパラメータはすべて比較的安定しているものばかりだが長期的には変化する。95～2001年の間パラメータは変化しないというのはもっともらしいひとつの想定であるにすぎない。この7年間の間にすべてのパラメータが少しずつ変化して、長期の将来はこの予想とは違ったものになる。むしろ望ましい水準にそれらを合わせる政策技術がいま必要とされているのである。役に立つ予測とはこのように望ましくない事態を回避しようとする人間の技術開発を促すのでアタル／アタラナイといった次元の問題ではない。この予測シミュレーションによって世界経済の基本的構造を理解すれば日本国政府が何をしなければならなかったかは自ずから明らかだろう。

それは景気対策の公共事業ではない。シミュレーション結果が示しているような1999、2000、2001年の3年間で20世紀の掉尾を飾る経済成長で締めくくるための一大国家プロジェクトを企画すれば良かったのである。それには1997年末の時点で生じている資本ギャップ（計算では年当たり45兆円の投資不足）を早急に埋める民間投資を調達可能にするために、資金提供と投資優遇とを税と補助金の両面から戦略的にセットしたのによって補われなければならなかった。

もちろんそうはしなかった。何故か。一つには日本の輸出増加による通商摩擦を懸念したこと。不良債権の処理が先だという建て前論が優勢だったこと。政権の不安定と官界の腐敗が国家プロジェクトに必要な支持の取り付けを不能にしたこと……等々、いくつも列挙することができる。重要なのは、ではどうしたら良いかということである。

## 【政策提言】

要点は3つ：どのような政策代替案を採用するにしろ、線型思考（不良債権の処理が先だという考え方もこの範疇に入る）を排して非線型の世界をとりあつかうことのできる装備を持ってモデリング&シミュレーションをした上で政策決定をせよ一別の言葉で言えば政策決定に政策研究を組み込むべしということ。

第二に、マクロの変動が逆機能的になっているときに順機能的だった時期のマクロ経済政策の手法はすべて効果を現わさない。ミクロ行動の集計化された結果についての理論的に裏付けられた知識を活用してモデリング&シミュレーションの援用により政策代替案を開発する努力が必要である。政策科学はそのための知識とソフトウェアの双方を提供する。

第三に、政策研究の手法は普通の人の手の届かない特殊技能者のものであってはならない。技術的に高度な分析と同じやりかたで普通の人が分析結果を追試できるよう、安価な支援ソフトを提供することが肝要である。たとえば減税が効果を持つかどうかの議論を財政の専門家だけにするのはバカげている。当の納税者のミクロの行動がその分析に参加することによって変わるのである。その結果として減税が消費拡大というマクロの効果を発揮するようになる。

以上の3つの要点はどれも欠けてもすべての政策提言を無に帰さしめる。

以上の提言は抽象的だと思われるかも知れない。では、景気対策、バブルの後始末、金融システムの安定化、といったことを唱えるのが具体的なのだろうか。これらは金額だけは具体的かも知れないが、アウトプットについての展望を何ら示すものではない。どれも線型思考から導かれるステレオタイプだと言わざるを得ない。現在の困難を克服するためにはしかるべきインテリジェンスが要るのである。

公共事業は本来の公共目的の達成を目指してなされるべきであり、どの事業にいかほどの資金を配分するかはフォーマルな政策研究の上で決すべきことがらである。不良債権はテナントの居ない一等地のビルと同じで金利さえ入ってくるようになれば優良資産に一瞬にして化ける。金融システムの安定性は日銀の信用が増せばひとりで解決する問題で、それがだめならどんな対策も無意味である。いずれも市場に任せておいたのではうまくいかないことが始めからわかっていた事柄だろう。規制緩和という名の規制で自縄自縛に陥り政府の本来の役割を忘れてはならない。

政府はだれ憚ることなく公的資金を使って国家プロジェクトを濟々と推し進めれば良いのである。その際、代替案の開発と選択の支援に政策研究を役立てられるかどうかで価値が決まる。その差は日米の競争力格差となって現れていることを見逃してはならない。日米もし戦わば圧倒的な政策力の差で再び敗れるだろう。

低成長の世はまさしく為政者の政策研究能力が問われる時代なのである。

### 【政策研究とモデリング】

以上の一連の展開は政策研究というものの具体的な有り様を例示するために述べられたものである。政策研究という言葉は一般には耳慣れないものであるから少し説明しておこう。政策研究と通常の学問研究との決定的な違いは、後者においては「どうなっているかを知ること」が目的であるのに対し、前者では「どうしたら良いかを知ること」が目的となっている点にある。それ以外に両者の間に大きな差はない。そこで用いられる手法は共通で20世紀通常科学の標準＝実証主義に基づいている。

実証主義に基づく科学の方法は、理想的には、次の二方向の推論によって構成される：

- (1) 「原理的な法則性」の証明とそれに先行する諸条件の成立の検証に基づいて、理論命題を「現実的予測」として提出する過程を通じて現実分析をなすこと
- (2) 「現実的予測」と現実分析の過程から採集された知識との乖離を説明する理論命題を新たな仮説として、「原理的な法則性」を証明し先行する諸条件の成立を検証する過程に返すこと。

こう難しく言ってしまうと政策研究も学問研究もなかなか開始できないだろう。そこで操作的なガイドラインが必要となる。最も有力な指図書は次のような「モデル・アナリシス」の手続きである：

現実についての仮像を一つのモデルとして表わし、モデルを操作することによって予測を引き出す—モデルと予測とをワンセットにして現実と突き合わせる—この作業を通して何がしかの知識を得る—得られた知識に基づいてモデルを改訂する。

この繰り返しによって「どうなっているか知識」も「どうしたら良いか知識」もおもむろに洗練されていく。この反復プロセスがうまく機能するためには、モデルを他人に見せて批判に晒すことが肝要である。見せられた人は自分の知っている事実と提示されたモデルとが相容れないものであることを発見して指摘する。この開かれた論駁可能性によって研究の科学性が担保される。

モデルそのものはあくまでも研究のための手段である。しかし研究によって得られた知識によってモデルを改善するというフィードバック＝結果が原因に繰り返される過程を研究と考えているのであり、良いモデルを作ることが自己目的化され、モデリングのためのモデリングに陥ってしまっても一向に構わない。無限ループの途上のどこかで便宜的に止めてみたとき、偶々そう見えたというだけのことであるから。

この意味において、モデルが批判の対象となることを前提して始めて政策研究は科学的な営為となり得る。かつその意味において、モデリング手法の改善が実証主義科学の重要な一翼を担うのである。モデルはブラックボックスであってはならない。

## 数理科学的裏付け

調整期間と遅れの長さがシステムの変動性に相反するインパクトを与えることはシミュレーションによらなくても示すことが可能である。この証明のやり方を次に説明して置くことにする。そうすることによってモデリング&シミュレーションの意義もより深く理解されるものと思われるからである。

### 【微分方程式による解析】

もう一度調整と遅れのダイナモ方程式を書いて置こう：

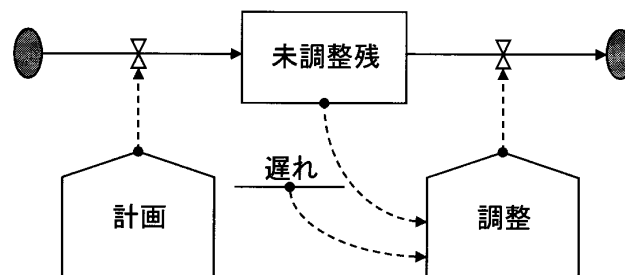
- L 所得水準.  $K = \text{所得水準. } J + DT \times \text{調整. JK}$   
 R 調整.  $KL = \text{DELAYN}(\text{計画. JK}, \text{遅れ}, 1)$   
 R 計画.  $KL = (\text{目標水準. } K - \text{所得水準. } K) / \text{調整期間}$

前節で触れた未調整残を使ってディレイ関数（一次の指数遅れ）を次のように書き直すことができる。これはそもそも一次の指数遅れというものの定義式に他ならない。

- L 未調整残.  $K = \text{未調整残. } J + DT \times (\text{計画. JK} - \text{調整. JK})$   
 R 調整.  $KL = \text{未調整残. } K / \text{遅れ}$

これをフロウダイアグラムで描くと図6のようになる。

図6 調整.  $KL = \text{DELAYN}(\text{計画. JK}, \text{遅れ}, 1)$



このような形にフロウダイアグラムまたはダイナモ方程式で表わされる関係を「調整は計画の一次の指数遅れである」と読むのである。

レベル方程式の両辺を遅れで割り算してやると

$$\text{未調整残. } K / \text{遅れ} = \text{未調整残. } J / \text{遅れ} + DT \times (\text{計画. JK} - \text{調整. JK}) / \text{遅れ}$$

となる。この式にレイト方程式を代入してやると

$$\text{調整. } KL = \text{調整. JK} + DT \times (\text{計画. JK} - \text{調整. JK}) / \text{遅れ}$$

を得る。右辺第1項を左辺に移項して両辺をDTで割ると

$$\frac{\text{調整. } KL - \text{調整. JK}}{DT} = (\text{計画. JK} - \text{調整. JK}) / \text{遅れ}$$

が得られる。ここで調整.KLを  $y(t)$  に、DTを  $\Delta t$  に書き直すと調整.JKは  $y(t-\Delta t)$  と書いても良いだろうから、計画を  $x$  に、(1/遅れ)を  $\lambda$  に書き直して、上の式は次の形に書き直される：

$$\frac{y(t)-y(t-\Delta t)}{\Delta t} = \lambda(x(t-\Delta t)-y(t-\Delta t))$$

ここで  $\Delta t \rightarrow 0$  とすると、微分方程式：

$$\dot{y} = \lambda(x-y) \quad \text{ただし} \quad \dot{y} = \frac{dy}{dt}$$

が得られる。

一般的にこれを指数遅れの微分方程式と言う。「 $y$ は $x$ の一次の指数遅れである」と読む。これを使って調整と遅れのダイナモ方程式モデルを書き直してみよう。

以上とは変数名を少し変えて、**所得水準**を $y$ 、**調整**を $z$ とすると

$$y.K = y.J + DT \times z.JK$$

だから

$$\dot{y} = z$$

である。

**調整**は**計画**の一次の指数遅れだから、上で見たように、**遅れ**の逆数を  $\lambda$  とすれば

$$\dot{z} = \lambda(\text{計画} - z)$$

と書くことができる。

**目標水準**を $x$ とし**調整期間**の逆数を  $\mu$  とすれば **計画** =  $\mu(x-y)$  だから

$$\dot{z} = \lambda \mu(x-y) - \lambda z$$

が得られる。また

$$\ddot{y} = \dot{z}$$

だから、この式は次のような定数係数非同次線型常微分方程式になる：

$$\ddot{y} + \lambda \dot{y} + \lambda \mu y = \lambda \mu x$$

かくして調整と遅れの3本からなるダイナモ方程式モデルは所得水準の微分方程式として1本にまとめられた。目標水準が一定率で成長していくとき、この微分方程式の解も本節で行ったシミュレーション結果と同じような軌道を描くはずである。

微分方程式の知識を使って微分方程式の解を求めてみよう。

**目標水準**の成長率を  $\rho$  として  $x(t) = x_0 e^{\rho t}$  が与えられたとすると、次式はこの微分方程式のひとつの特殊解になる：

$$y = \frac{\lambda \mu x_0 e^{\rho t}}{\rho^2 + \lambda \rho + \lambda \mu}$$

(但し  $\rho^2 + \lambda \rho + \lambda \mu \neq 0$ )。

特性方程式： $\gamma^2 + \lambda \gamma + \lambda \mu = 0$  の解は

$$\gamma = \frac{-\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 4\lambda\mu}}{2}$$

で、 $\lambda > 0$  だから  $\lambda > 4\mu$  なら  $\gamma$  の2根をとって  $\{e^{\gamma t}\}$  が基本解になる。 $\lambda = 4\mu$  なら重根で  $\{e^{\gamma t}, te^{\gamma t}\}$  が基本解である。一般解は特殊解とそれぞれ2つの基本解に任意定数をかけて一次結合をつくって求める。

問題になるのは（過剰調整と減退を生じる） $\lambda < 4\mu$  の場合で、以下のようなになる。

$\lambda < 4\mu$  というのは遅れが調整期間の4分の1よりも長い場合である。シミュレーションの出発点で想定した遅れ＝調整期間＝1年のケースはこの場合に当たる。特性方程式の判別式が負だから  $\gamma$  は2つの共役な複素根をとる。これが  $\alpha \pm \beta i$  と表わされるものとしよう。同次方程式：

$$\ddot{y} + \lambda \dot{y} + \lambda \mu y = 0$$

の一般解は  $c_1, c_2$  を任意定数として次式で与えられる。

$$y = e^{\alpha t} (c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t)$$

この解と前に挙げた一つの特解との和が求める非同時方程式の一般解である。

初期条件として所得水準の初期値  $y_0$  と目標水準の初期値  $x_0$  を用いて  $c_1, c_2$  の値を求める。ダイナモ方程式モデルではディレイ関数の4つ目の引数（初期値）を省略しているので自動的に初期においては 計画＝調整 が成立している。したがって初期条件は：

$$y(0) = y_0, \dot{y}(0) = \mu(x_0 - y_0)$$

となる。これを解いて次のように定数を定める。

すなわち：

$$\begin{cases} c_1 = y_0 - \xi x_0 \\ c_2 = \frac{1}{\beta} [\mu(x_0 - y_0) - \xi \rho x_0 - \alpha c_1] \end{cases}$$

$$\text{ただし } \xi = \frac{\lambda \mu}{\rho^2 + \lambda \rho + \lambda \mu}$$

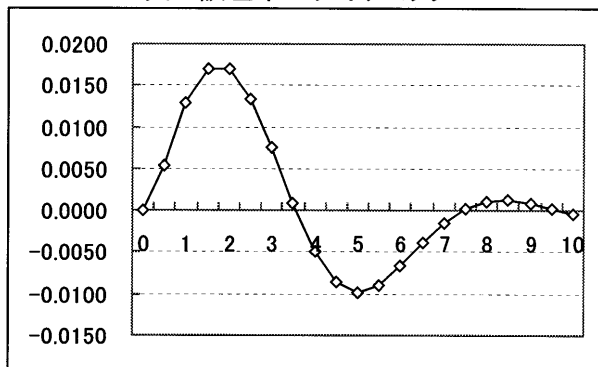
である。

以上の結果を使って、 $y(t)$  の  $[0, 10]$  の値を計算させてみると表1の3列目の数値が得られる。DT=0.1とおいたシステムダイナミクス・シミュレーションの結果とほぼ同じだが、2%に満たない範囲で誤差がある。誤差を時間の経過にしたがってプロットしてやると図7のようなサイクルが観察

表1 シミュレーション結果と微分方程式の解との比較

TIME	所得水準		
	ダイナモ方程式	微分方程式の解	誤差率
0.00	50.00	50.00	0.0000
0.50	74.57	74.18	0.0053
1.00	95.54	94.33	0.0128
1.50	110.50	108.65	0.0170
2.00	119.19	117.20	0.0170
2.50	122.74	121.12	0.0134
3.00	122.93	122.01	0.0075
3.50	121.56	121.46	0.0009
4.00	120.11	120.70	-0.0049
4.50	119.50	120.54	-0.0086
5.00	120.18	121.38	-0.0099
5.50	122.16	123.26	-0.0089
6.00	125.22	126.05	-0.0066
6.50	128.99	129.49	-0.0039
7.00	133.14	133.33	-0.0014
7.50	137.37	137.34	0.0003
8.00	141.54	141.37	0.0012
8.50	145.55	145.36	0.0013
9.00	149.41	149.27	0.0009
9.50	153.17	153.13	0.0002
10.00	156.91	156.99	-0.0005

図7 誤差率のダイナミクス



される。この観察から誤差はランダムなものではなく完全にシステムティックなものであることがわかる。

ダイナモ方程式モデルは微分方程式を近似するための数値計算ではない。直接実証的見地からモデリングをしているのでオリジナリティはダイナモ方程式の側にある。

システムダイナミクスモデルの近似として用いることのできる微分方程式の便利な点は、シミュレーションリランですでに得られている結果：

調整期間が短いほど、遅れが長いほどシステムの変動性が大きい  
といった命題を演繹的に証明できることである。

上で計算した  $c_1$ 、 $c_2$  を用いて

$$\sin \theta = \frac{c_1}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2}}, \quad \cos \theta = \frac{c_2}{\sqrt{c_1^2 + c_2^2}}$$

を満足する  $\theta$  を1つとれば、

$$A = \sqrt{c_1^2 + c_2^2}$$

とにおいて

$$e^{\alpha t} \{c_1 \cos \beta t + c_2 \sin \beta t\} = A e^{\alpha t} \sin(\beta t + \theta)$$

と書くことができる。  $-1 \leq \sin(\beta t + \theta) \leq 1$ ,  $\alpha = -\lambda/2 < 0$  ということから同次方程式の一般解  $y(t)$  は  $-Ae^{\alpha t} \leq y(t) \leq Ae^{\alpha t}$  の幅に拘束されて  $t$  が大きくなるにつれて振幅が小さくなっていく減衰振動曲線を描くことがわかる。

$\rho = 0$  のとき  $A = \mu(x_0 - y_0) / \beta$ ,  $\sin \theta = -\beta / \mu$  (ただし  $x_0 > y_0$ ) である。

したがって最初のリップル (一波) における振幅は、 $\arcsin(-\beta / \mu)$  の主値を  $\theta$  として、 $\beta t = \pi/2 - \theta$ ,  $\beta t' = 3\pi/2 - \theta$  を満たす ( $t, t'$ ) を求め  $A(e^{\alpha t} + e^{\alpha t'})$  を計算することによって求められる。

$\eta = \lambda / \mu$  とおくと

$$A = \frac{2(x_0 - y_0)}{\sqrt{4\eta - \eta^2}}, \quad \theta = \arcsin(-\sqrt{4\eta - \eta^2} / 2),$$

$$\alpha t = \frac{-\eta}{\sqrt{4\eta - \eta^2}} \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right), \quad \alpha t' = \frac{-\eta}{\sqrt{4\eta - \eta^2}} \left( \frac{3\pi}{2} - \theta \right)$$

となる。ただし  $-\pi/2 < \theta < \pi/2$ ,  $0 < \eta < 4$  .

これを用いて最大の振幅:  $H = A(e^{\alpha t} + e^{\alpha t'})$  の  $\eta$  に対する感度を調べてみよう。

$H$  の  $\eta$  による偏微分係数:

$$\frac{\partial H}{\partial \eta} = e^{\alpha t} \left\{ \frac{\partial A}{\partial \eta} + A \frac{\partial(\alpha t)}{\partial \eta} \right\} + e^{\alpha t'} \left\{ \frac{\partial A}{\partial \eta} + A \frac{\partial(\alpha t')}{\partial \eta} \right\}$$

の右辺の最初の括弧の中は

$$\partial A / \partial \eta = -2(2 - \eta)(x_0 - y_0) / (4\eta - \eta^2)^{3/2}$$

$$\partial(\alpha t) / \partial \eta = -\eta(\pi - 2\theta) / (4\eta - \eta^2)^{3/2} + \eta / (4\eta - \eta^2)^{1/2} \times \partial \theta / \partial \eta$$

$$\partial \theta / \partial \eta = \{ \arcsin(-(4\eta - \eta^2)^{1/2} / 2) \}' = -(2 - \eta) / \{ (4\eta - \eta^2)^{1/2} \times |2 - \eta| \}$$

だから、

(i)  $\eta < 2$  のとき

$$(x_0 - y_0) \times \frac{-4\sqrt{4\eta - \eta^2} - 2\eta(\pi - 2\theta)}{(4\eta - \eta^2)^2} < 0$$

(ii)  $2 < \eta < 4$  のとき

$$(x_0 - y_0) \times \frac{-4\sqrt{4\eta - \eta^2} - 2\eta(\pi - 2\theta) + 4\eta\sqrt{4\eta - \eta^2}}{(4\eta - \eta^2)^2}$$

分子の後ろの2つの項を  $2\eta$  で割ったものを  $f(\eta)$  とおくと

$$f(\eta) = -(\pi - 2\theta) + 2\sqrt{4\eta - \eta^2}$$

だから、

$$f'(\eta) = \frac{2(3 - \eta)}{\sqrt{4\eta - \eta^2}}$$

したがって、 $f(\eta)$  は  $\eta = 3$  で最大値をとり、最大値は

$$f(3) = 2\sqrt{3} - \frac{5}{3}\pi < 0$$

すなわち、 $2 < \eta < 4$  の範囲においても右辺の最初の中括弧の中は常に負となる。

2番目の括弧の中についても全く同様にして負となることが確かめられる。

以上により

$$\frac{\partial H}{\partial \eta} < 0$$

となることがわかった。

すなわち  $\eta$  の値が小さくなると最初の山と谷の落差が大きくなる。 $\eta = \lambda / \mu$  だから  $\lambda$  (遅れの逆数) と  $\mu$  (調整期間の逆数) は最大の振幅に対して丁度反対の影響をもたらすということが確かめられた。遅れが長いほど、調整期間が短いほど  $\eta$  は小さくなり、 $H$  は大きくなってシステムの変動性が増大する。調整期間は長くとれ、遅れは短くせよというわれわれの政策提言は、このことから裏付けられたことになる。

### 【陥り易い誤り】

現実の政策の議論において人が陥り易い誤りの一つを、ここに指摘することができる。計画と調整との間に遅れが全くないとすると、調整 = 計画となるから、方程式は次のようになる：

$$L \quad \text{所得水準. } K = \text{所得水準. } J + DT \times \text{調整. } JK$$

$$R \quad \text{調整. } KL = (\text{目標水準. } K - \text{所得水準. } K) / \text{調整期間}$$

すなわち目標と現実とのギャップを調整期間で割った値の分だけ直接所得水準が調整される。ここで二行目を一行目の式に代入すると

$$\text{所得水準. } K = \text{所得水準. } J + DT \times (\text{目標水準. } J - \text{所得水準. } J) / \text{調整期間}$$

を得る。これは本節で示した一次の指数遅れの別表現で「所得水準は目標水準の一次の指数遅れシステムダイナミクス No. 2



である」と言うのと同じである。平均遅れの長さは調整期間に等しい。この方程式からは過剰調整は一切生じない。したがって調整期間は短いほど良いということになる。このように適応的な調整と一次の指数遅れとは単独にとりあげれば同じ現象であるから、平均遅れの長さがシステムの変動性に与える影響も同一方向のものとなるはずである。

ところが本節で明らかにされたのはこの二つが重なると両者のパラメータが相反する効果をシステム変動に及ぼすということである。この事実を指摘することはパラドキシカルでさえあるだろう。計画とその実現との間に遅れがあるならば調整期間は長くとるほうが振幅が小さくなり、遅れは短いほうが振幅が小さくなるという事実にもかかわらず、人は調整期間も遅れも短いに超したことはないと思いがちである。

この事実がパラドキシカルであればあるほど、誤った認識を持つ人が多ければ多いほど、本節で示したような数学的証明が必要となる。しかしそれが数学的であればあるほど、そうすることによって普通の人の認識を改めようという望みからは程遠いものとなる。数学的な操作に幻惑されてことからの本質を見失いがちになるのもまた通弊である。

モデリング&シミュレーションのメリットは、このような数学的証明なしでも十分に同じ結論に普通の人が到達できる点にあるのだということを、強調しておかなければならない。調整と遅れという現象はいろいろなところに見受けられる。多くの人がかかわる意思決定においては、この現象の本質をつかんで、誤りの少ない方向へと進むことができるよう、人々の間に納得を作り上げていかなければならない。

全体運動として生じる指数遅れ現象における平均遅れの長さは、個々の行動結果がもつ達成時刻のランダム性に由来するので、大勢の人の調整行動における単位時間当たりの達成率が自覚的に修正されることによって初めて変化する。独りだけ正しく分かっているてもどうすることもできないのである。

このことの最も身近な例はバブルの膨張と崩壊に見出される。

株式や土地といったストックの価格は、各々がもつ基礎的価値のまわりで変動する。ストックの基礎的価値は、それが稼ぎ出すフローの未来永劫にわたる割引現在価値によって表わされる。経済構造の変化などにより特定のストックの基礎的価値が急激に変化したとき、その価格は新しい水準へと調整さるべく調整圧力を受けることになる。ストックが取り引きされる市場制度に固有の遅れ要因により、調整圧力は地価調整に不安定性を付け加える。このことを理解するために本章でとりあげた調整と遅れのモデルが役に立つ。

次のダイナモ方程式を用いて実験してみよう：

L 地価.  $K = \text{地価} \cdot J + DT \times \text{調整}$ . JK  
 R 調整.  $KL = \text{DELAYN}(\text{調整圧力}, JK, \text{遅れ}, 10)$   
 R 調整圧力.  $KL = (\text{基礎的価値} \cdot K - \text{地価} \cdot K) / \text{調整期間}$   
 A 基礎的価値.  $K = 100 + \text{STEP}(100, 2)$   
 N 地価 = 潜在価値  
 C 遅れ = 4  
 C 調整期間 = 2  
 PLOT 地価, 潜在価値  
 SPEC DT = .05 / LENGTH = 20 / PRTPER = 1 / PLTPER = 1

2行目の式：

$$R \text{ 調整. } KL = \text{DELAYN}(\text{調整圧力. JK, 遅れ, 10})$$

は「調整は調整圧力の10次の指数遅れである」と読む。10次の指数遅れは1次の指数遅れが10個直列に連なったもので、多段階の遅れプロセスを表わすものである。

4行目の式：

$$A \text{ 基礎的価値. } K = 100 + \text{STEP}(100, 2)$$

は「初期に100という水準であった基礎的価値が、時点2においてプラス100の200にステップアップし、以降この値を維持する」という基礎的価値の変動を人為的に与えるものである。

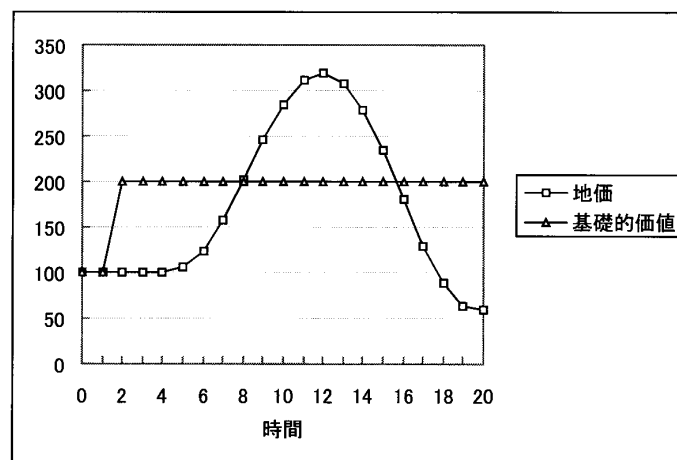
このモデルのシミュレーション結果は図8のようになる。

地価もその基礎的価値も初期においては100の水準にあるが、時点2において基礎的価値が200にステップアップすると、地価は新しい水準200へ向けて調整を開始する。しかし重層化した遅れのために、地価調整は緩やかに始まって次第に急速になる、という適応経路をたどり、200の水準でうまく減速することができず、オーバーシュートしてしまう。

基礎的価値の水準を離れて大幅に膨張したバブルはやがて崩壊し、地価は遅れを経て下方調整に向かう。しかし前と同じ理由で200の水準で止まることができず、基礎的価値を大幅に下回る水準へと過剰調整され、地価は長期にわたって低迷することになる。

アイザック・ニュートンの時代にもバブルはあった。この節で見たような分析はそのすべてをニュートンに負うものであると言っても過言ではない。当然彼ならここで見たようなバブルの本質を見抜いていただろう。しかも彼はバブルの膨張に対して責任ある立場にいた。しかし彼は個人的にもバブルで痛手を受けたのである。

図8 バブルの膨張と崩壊



ここから引き出される教訓は、バブルを膨らませたりそれで儲けようとしたりしてもミクロ的な対応はほとんど意味を成さない、ということである。調整と遅れはミクロ的なランダム事象が全体的運動となって現れる局面に本質的に付随する指数遅れ現象なのである。社会制度や政策、公的規制といったものは、この現象を踏まえてマクロ現象に翻弄される人々の助けとなるように仕組まなければならない。

調整と遅れに関する意思決定は、線型思考で対応を考えると必ず間違いを犯す。調整期間を短くして遅れを長引かせる政策は必ず過剰調整を生む。ヴィシヤスサイクル（悪循環）に陥ったとき一刻も早く循環を断ち切って元に復帰しようとするのは、ミクロ行動を不当に敷衍する誤謬である。そういうときこそ（マクロ対応としては）調整期間を十分長くとりじっくりと腰を据えて政策研究に取り組むことが肝要なのである。

逆境や危機にあってじっくり政策研究をしようと呼びかけるのには勇気が要る。失敗しても良

いから粉骨碎身、逡巡することなく押っ取り刀で駆けつけるのが武士の道だと言う人もいる。しかしそれは究極の責任回避である。これでは危機管理も有事立法も見直さなくてはなるまい。

恐らくここで提供された手法は普通の人々が政策研究に参加するための唯一の工夫である。微分方程式を知らなくても、統計学を勉強しなくても、普通の市民としての教養の上に、自分でモデリングをする習慣と、政策関連意思と、未来を創造する気概とを涵養することが、今現在最も必要とされているのではないだろうか。

## 参考文献

J.W. Forrester, *Industrial Dynamics*, MIT Press, 1961.

R.G.D. Allen, *Macro-Economic Theory: a Mathematical Treatment*, Macmillan, 1967.

宮川公男・小林秀徳共著 『システム・ダイナミクスー経営・経済系の動学分析』 白桃書房 1989.

Peter M. Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Doubleday, 1990.

小林秀徳 「指数遅れの解明」『RUPSリサーチレポート・シリーズ』 No.8, 2000.

John Sterman, *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, 2000.

小林秀徳 「新製品の市場投入」『RUPSリサーチレポート・シリーズ』 No.9, 2001.

