

## <2015 年経済学史学会大会報告要旨>

### 制御工学から見た経済学:カレツキからフィリップスへ

神武庸四郎

[注意] 紙幅制限のため用語説明・例証の多くは割愛されている。

#### I はじめに:基本的な視点

物理学によってみちびかれるメタ経済学の視点([4]参照)を適用したケーススタディーとして、次項ではサムエルソンの『経済分析の基礎』の方法的構造を簡単にふりかえり、それとの関連でカレツキの『経済変動の理論』に見られる議論の展開方法をまとめてみることにする。しかし、結論を先取りしていえば、この比較はあまり生産的ではない。むしろ、景気循環モデルにかんしてフィリップスとカレツキとを比較するほうが有意義であろう。フィリップスはモデル→政策→システム制御、という筋道を提示して、システム工学的な「現実的」理論モデルを構想しており、論理モデルと理論モデルとの対応をふまえてカレツキと比較することに、はるかに重要なメタ経済学的な意味がうかがいあがってきそうである。両者のモデルの具体的内容そのものはアレンによって詳しく解説されているが、経済量(オブザバブル)の測定というかたちの理論・現実連関についてアレンはまったく論じていない。ここにかれの解説の限界があるようにおもわれる。制御工学の用語法を超言語としてでなく分析上の理論モデルの公理的言語として、または解釈を実行するためのカズイステークとして用いることが当面の対象についてメタ経済学的な分析を可能にするであろう。

ところで、ここでシステム概念について一応の補足説明しておく。私は数学用語のカテゴリー、正確にはメタカテゴリーの表現形式を念頭に置いて、インプット→オペレーター→アウトプット、という図式そのものをシステムと定義しているが、それはシステム制御工学の用語法でいえば、インプット→伝達関数→アウトプット、という形式におきかえられる。しかし、制御工学的なシステム操作ではこのような形で限定的にシステムという用語がつかわれているわけではない。インプットとアウトプットとを除外した部分をシステムとよぶケースもある。以下では概念規定についてあまり硬直的な議論はおこなわないであろう。というのは、本報告で私は制御工学的な操作を対象化して利用することに主眼を置くつもりだからである。この点にあらかじめ注意を促しておく。

#### II 序論:比較研究をつうじた課題の提示

[α] 『経済変動の理論』の理論構成の特質

カレツキの理論モデルの意義をひとまず明瞭にするために、サムエルソンの『経済分析の基礎』にしめされているいくつかの特徴をまとめておく。それはつぎの3点に要約される:(1) オペレーターとしての微分・・・「連続性」の仮定,(2) 同質的粒子としての「個人」の経済行為・・・「社会性」の捨象,(3) 経済現象との対応・・・既存の数学モデルの一般化(解析力学的操作)。

こうした経済現象解釈の修正、批判そして拡充という意味をカレツキモデルはしめしている。以下、順をおってかれの議論を整理しておこう。(1) オペレーターとして差分の適用→微分オペレーターの回避、ただし、それを「混合」させた微分差分方程式を定立。(2) 社会の想定・・・資本主義システムの純粋状態が主役を演じる資本主義社会。(3) 経済現象との対応(実証)・・・所得、価格などのオブザバブルの固有値系列としての統計データ→それをつうじたオブザバブルの分析。(1)' カレツキの理論モデルをあらわす基本方程式(微分差分方程式)の具体的なかたち。これについては、のちにフィリップスのケースと比較するうえで便利であるという理由からここではアレンのまとめ方をひとまず採用することにしよう。それはつぎのように表現される:

$$\frac{dK(t)}{dt} = \frac{a}{\theta} K(t) - \left(k + \frac{a}{\theta}\right) K(t - \theta). \text{ 作用素であらわすと } (D + k)K(t) = \left(k + \frac{a}{\theta}\right)\Delta K(t) \text{ となる。}$$

$$\text{さらに変形して } (D - \left(k + \frac{a}{\theta}\right)\Delta)K(t) = -kK(t)$$

がえられる。また、アレンの要約にしたがって、のちのモデルでは固定資本への支出とストックへの支出の合計  $I$  について  $DI(t) = \alpha I(t + \theta) - \beta I(t)$  として  $\{D - \alpha\Delta\}I(t) = -(\alpha + \beta)I(t)$  が導かれる。

こうした変形の結果、左辺の  $\{ \}$  内はオブザバブル(経済量)をあらわし、右辺には固有値(観測値)があらわれるというかたちをとっている。微分オペレーターと差分オペレーターとの差によって表現される経済量とはなんだろうか。連続的な時間による変化率と、経済的意思決定からじっさいの取引の実現との関係をそれはあらわしている。しかし、さらに一般化してかんがえると、差分オペレーターは時間差  $\theta$  の存在、したがって時間順序 ( $\theta > 0$ ) をあらわしており、時間順序を導入した微分方程式が微分差分方程式にほかならない。したがって、微分方程式の解の挙動をふまえて解釈のくわえられるシステムを理論モデル化するうえで微分差分方程式は有効である。また、それにより時間順序をさらに拡大した「因果関係」—シーケンス—が把握可能になる。

このような微分差分方程式の応用にたいして、システムのインプット・アウトプット図式への組み換えを予想して差分オペレーターを用いないモデルの定式化も可能である。それはフィリップスによって提示されている。フィリップスはもっぱら微分オペレーターだけで政策モデルの定式化をこころみているが、それは理論モデルから政策パターンへの読み替えを容易にしている。かれの乗数・加速度因子モデルはカレツキ・モデルと同様のオブザバブル図式に変換できる。総供給  $Y$  について、単純化のため外生支出を 0 とすると、 $D^2 Y + aDY + bY = 0$  がえられる([5]参照)。この式を変形すると、 $\{D^2 + aD\}Y = -bY$  となって、オブザバブルと固有値  $-b$  との関係が明示される。この定式化は、しかし、現実経済の動的的時間発展的な側面を記述してその表現と解釈をもとめようとする立場からするとあまり説得力をもたない。つまり、経済現象を記述する歴史モデルとしてはカレツキのものにくらべて見劣りがする。じつは比較の意味は視点を変更することによってちがったかたちをとってくるというのが以下の議論のかなめである。

[ $\beta$ ] フィリップスの工学モデルの示唆する社会観

(1)基本的な議論の筋: 水流装置(仮想実験装置)による集計量間関係の導出→所得の状態(初期条件の「静態」的状态)に回帰する(安定化)政策手段の形式的位置づけ、すなわち、理論モデル→政策。(2)オペレーターを機能させる状態→総需要。(3)人間の特徴づけ: 人間=「水の分子」、すなわち流体を構成する因子として、同じ性質をもち、同じ入力に同じ応答をする無機的存在。したがって人間を同じ型のロボットとみなすこともできる。その意味でフィリップスモデルでは「ロボット教育」が前提となる。論理モデルとの関連でいえば、プロクルステスの寝台に縛りつけて理論=政策連関に適合した人間の集合体としてモデルをつくること、それがインプット集合(ドメイン)を構成するように作為をほどこすこと、これがフィリップスモデルでは不可欠となる。いわばモデル政策を前提としているわけである。そのばあいの「作為」こそ教育システムにほかならない。戦後の日本はその意味で「先進的」である。ロボット、より正確にはインプットに受動的に応答するだけのオートマトン人間の大量生産が戦後の文部官僚(かれらも準ロボットである)の目標となった感がある。数値基準(テスト・成績の点数、教員の「勤務評定」など)を通じて(とくに初等中等の)教育システムを制御し、結果的には大量の「ロボット」が生産された。しかし、このロボットはセルフコントロールの能力が著しく低い。コマンドがあれば応答するが、自己のコントロールにはあまり関心がない。そこから社会的な次元で深刻な問題が生ずる。(4) 政策の特徴: 三つの安定化政策類型: ①比例的安定化政策、②積分安定化政策、③微分安定化政策が設定される。これらは動的システムとしての総需要・総供給システムにたいしてその構造調整(発散・振動の抑止など)を企画するばあいの抽象的政策である。制御工学の用語法からすれば、①は静的素子であり比例制御動作を意味し、②は積分素子であって積分制御動作を指示する。これらはシステム制御の(操作可能な)「過去」につながるが、③の微分制御動作は「未来」に連結するであろう。個々の経済政策は工学的視点からすると補償(compensation)を意味すると解釈されるから、①はゲイン補償、②は位相おくれ補償、そして③は位相すすみ補償に対応する。さらに、フィリップスの制御論は非線形システムを視野にいれ

ているものの「確定システム」を対象としており、確率システム制御は考慮外におかれている。

じっさいの総需要・総供給システムは i) 閉ループではなく開ループ(フィードバックのない)システムであり, ii) したがって, 非循環的あるいは不可逆的である。これに可逆性をもたせるための工夫が工学的制御理論の基本である。伝達関数がユニット(参照入力[reference input]≡出力)となるように補助ループを挿入するというのがそれである。しかし, 工学的調整と異なり経済政策的調整ではタイムラグの調整ができない。さらに, たとえば公共支出のシステムのような補助ループをとりこんだばあい, その結果生ずる資本ストックの累積や外部効果(たとえば公害や利権集団の形成など)は不可逆的に経済過程に沈殿する。前者はカレツキが重視した要因である。しかし, かれはその政策的な意味を理論モデルとして明示しているわけではない。

[γ] カレツキとフィリップスとの比較—要約

(1)カレツキの理論モデルの評価

差分を $\Delta$ , 和分を $\Sigma$ であらわすと,  $Z$ 変換された空間でPID制御に対応するのは $P\Delta\Sigma$ 制御である。この用語法をふまえてかれの理論モデルを評価してみよう。資本主義システムのもとではあらゆるものが $A/D$ 変換をこうむってデジタル化されるから, 集計量にそくしてその複合体(国家をふくむ)を理論的に表現しようとするならば, さらにそれを制御対象にしようとするならば, カレツキは差分方程式表現に徹すべきであった。微分差分方程式モデルのばあい, 制御につながるアルゴリズムを検出するのがむずかしく, その意味で制御という発想は埒外におかれてしまう。かりにかれのモデルが差分方程式で構成されていたとすれば, そこでの制御動作はPID制御ではなく, いわば $P\Delta\Sigma$ 制御というかたちをとってより現実的な制御に帰着したであろう。いますこしくわしくいうと, 微分方程式あるいは差分方程式だけで構成される dynamical system(理論モデル)であれば, ラプラス変換あるいは $Z$ 変換によって時間軸を捨象し static operative structure に移し変えることができるから, モデルの「制御」はなんらかの代数(2項)演算と同値になる。この時間捨象操作こそ経済学的には「政策」を意味する。工学的には制御の「設計(synthesis)」である。この経済政策的視点の欠如がカレツキモデルの特徴であり, その意味でかれのモデルは経済史を形式的に表現する理論—経済史の理論!—ではあっても経済政策の理論とはなりえていない。そこがつぎのフィリップスモデルとの大きな差異である。

(2)フィリップスの理論モデルの評価

フィリップスは資本主義システムという概念をはじめから想定していなかったために「資本」の独自の意義に力点をおかずケインズの集計量モデルに依拠せざるをえなかった。またそのモデルを制御するうえでは工学的制御手法をそのまま機械的に適用するしかなかった。したがって集計量モデルの制御は工学的制御の近似的適用というかたちをとるほかなかったのである。その意味でかれのモデルは経済史の理論としては不適格である。しかし, 時間を捨象して政策的要素を抽出するうえでかれの理論はカレツキのそれよりも有力である。ケインズの指摘を俟つまでもなく, 集計量のフローを対象とした経済政策は「短期的」であるといえるかもしれない。もっと正確に言えば, 時間の捨象と取込みをつうじてはじめて可能になる集計的経済システム制御がこの種の経済政策であるともいえよう。そこでは歴史的時間は考慮外におかれストック(環境, 資本, テクノロジー)に主眼をおいた政策的視点は失われるであろう。フィリップスは時間領域と周波数領域との可逆的変換(ラプラス変換と逆変換)を前提とした工学的制御に理論の重点をおいたのである。フィリップスの理論モデルがかりに差分方程式に置きかえられていたらどうであろうか。そのばあいでも,  $Z$ 変換によって(可逆的)時間の捨象と取り込み(後者のばあいは逆 $Z$ 変換)を実行しつつ適当なサンプラーと単純化されたホールドによって $A/D$ 変換と $D/A$ 変換をおこなえば, 工学的制御の理論的可能性は維持されたであろう。他方, カレツキ流の微分差分混合方程式はかれの視点からすればあまり実効性のないことになる。いずれにせよ, かれの制御工学的理論モデルはもっとも抽象的な意味で経済政策の理論に帰着するといえよう。それでもやはり, フィリップスモデルの没歴史性はいかんともしがたいのであって, ケインズ理論への回帰が要請されるゆえんである。とはいえ, か

れの理論モデルは第2次大戦後の経済学の展開可能性についてアメリカの主流派経済学とはいくぶん異なる方向を提示していたようにおもわれる。フィリップスの導入した工学的視点は、上に示唆したように経済政策主体の問題をみちびく。そこにかんがえられる論点をいまずこし詳しく追求してみよう。まず、フィリップスの乗数加速度モデルにおける制御工学的特徴を抽出するために前出の微分方程式をもういちど引用しよう。すなわち、 $D^2Y+aDY+bY=0$  (①) である。ここで、独立投資のようなインプットを  $I$  とすると、 $D^2Y+aDY+bY=I$  (②) となる。①式は②式であらわされるシステムの自由応答とみなされる。こうした状態方程式がいったんあたえられて数学的演算がおこなわれうるのであれば、「現代」制御理論の手法をもちいた分析が可能となり、そのかぎりシステムの安定性や可制御や可観測の評価について論じうるであろう。

さて、ここまでで通常の経済学史的な比較研究はひとまとまりになるかもしれないが、私の課題はここからはじまる。カレツキとフィリップスの理論モデルの根拠となる構造概念のちがいをあきらかにすること、そこから社会システム分析の可能性をさぐる、そうしたメタ経済学的な課題があらためて設定されなくてはならない。

### Ⅲ 対論：複合的社会場における経済システムと制御システム

[ $\alpha$ ] 視点切り替えのための構造主義的概念構成 ([1] 参照)

構造化された (structuré) 構造、すなわち実在を模写する構造としてかんがえられたシステムのことを 構造システム とよぼう (機能システム という名称をつかうばあいもある)。カレツキの理論モデルは資本ストックをくみこんだ現実経済の模写をあらわす構造システムであって、経済史的事実の理論的整理としての意味をもつ。当然ながら、そこには政策 (制御!) の視点が欠けている。他方、構造化する (structurant) 構造、すなわち主体としての構造としてかんがえられたシステムは 存続システム あるいは 制御システム とよばれるであろう。フィリップスは集計量の因果連鎖図式—「フィリップス機械 (Phillips Machine)」—によって現実の経済を表現しようとしているのであって、それは制御システムとしての経済モデルの表現と見なされよう。その結果、システムの安定化 (参照入力と出力との関連の調整) を目的とする制御要素 (PID) 導入が可能となる。

[ $\beta$ ] 社会場における経済システム

「制御システムの応用対象としての経済学」というイメージから視点を切り替えると、複合する社会システムをどのように分析するかが問題となってくる。(1) 社会場の概念 ([2] 参照): 弁別可能要素 (個人) からなる「潜在社会」ないし可能的社会システムの集合が特定の視点から類別され現実化している社会的時空を 社会場 とよぼう。たとえば、政治の場、法の場、経済の場など、あるいはそれらの複合体をそのように名づけておく。(2) 社会場の安定化: 一般的にいえば、社会場を物理的な場に近い状態、つまり要素集合の不可弁別性が保障されるような状態の生起が可能となるならば、物理システムを対象とするシステム制御テクノロジーは社会システムに適用可能となる。とくに社会場の安定性を確保するには個性を抹消し可制御な教育システムが要請される。そのばあい、官僚制をつうじてオブザーバシステムあるいはフィルターシステムが装着されうることになる。そこに制御工学の社会システム・バージョンが案出されよう。他方、教育される人間としては社会の「流れに身を任せる」ロボット型の人間類型が必要になる。また、フィリップスの提示した安定化政策の立案と実行の主体は社会を構成する人間であるが、そこには「ハーヴェイロードの前提」と類似の仮定が必要になる。ロボットのなかから能動的に思考し実行への決断をくだす「人間」をどのようにして選抜するか、という矛盾を含む問いかけがおこなわれなくてはならない。この選抜方法も日本のようなばあいには官僚=ロボットが担当する。目標を言明する操作可能な「シンボル政治家」をトップにおき、その周りをたとえば栄典 (勲章・褒章) 制度により序列化された「権威」で補強しつつ調整を加えていくのである。そのときこの「政治家」は官僚の「輔弼」におうじて期待通り反応するオートマトンであればよい。いずれにせよ、資本主義システムに適合した「人間機械」の生産システムをつうじて実質的な政策主体が不在でも、型どおりの政策類型を実現する社会的条件は整えられている。その根幹はロボット化教育にある。それはその性質上、不可逆的であって、大学 (大学

院)修了まで連続した開ループ制御システム(存続システム)を実現する。

### (3) 社会システム概念の特徴

システム概念と社会システム概念との関連について簡単に整理しておこう。まず、構造としてのシステムないしシステム構造(以下、混乱のおそれのないときにはシステムと略称)は形式的(数学的)構造によって表現される。もっとも抽象的には超圏(メタカテゴリー)の構造としてシステムはあらわされる。ところで、機械の概念は工学上の制御システムに相当する。それ以外は社会システムであるかシステム一般であって機械ではない。したがって、官僚制は機械類似システムとして機械とみなしうる。社会システムは機械類似のオペレーターをもつが、その基本的な特性はクローズン・システムとして存続システムである。ここにはダブルコンティンジェンシー(非対称・不可逆・不確定な2項関係の内部化)という特質が見出される。もとより、可制御や可観測という機械特性を部分的にはしめすが、その特性はこのシステムに特有ではない。また、社会システムのドメインやコドメインは個別的抽象的には不可弁別性をもつと仮定されているが、基数  $n$  の人間集合のベキ集合として(潜在的ないし可能的なものをふくめた)諸社会システムの複合体はこの仮定と無矛盾ではない。後者の集合の基数は  $n! - (1 \text{元集合}(\text{singleton}) \text{の個数}) - (\text{空集合の個数} 1)$  であるが、個々のシステム構成要素の制御システム内部の役割におうじて社会システムの個数はさらに膨れ上がる。したがって、物理システムを社会システムに変換するには相対論的力学のような「読み替え」が必要になる。一般的に社会の存続システムはシステム構造であるが、原理的に可制御システムをそなえていないばあいが多い。

社会システムをその成分としての個人からかんがえよう。個人は工学的なシステムとみなすことができるが、それだけではおさまらない。社会のなかで個人は多様な心理的「外乱」にさらされる。それを内部情報化してフィードフォワード・コントロールをおこなうことも、またフィードバック・システムを実行することも人間には可能であろう。その典型的なかたちがセルフコントロール(→自己支配としての民主主義!)である。しかし、それは一元化できない制御対象である。しかも、個人は重層化した諸社会システムの「成分」である。

### (4) 経済システム概念の再構成

経済システムは①工学の応用できるものと②工学の応用できないものとに区別される。これらは、複合的社会場を土台として、しばしば全体システムのサブシステムとして入り混じっているから問題が生じることになる。物理システムは①に属する。①のなかに②が入り込んで全体システムをつくるというのが経済システムの一般形である。イギリスの工学者タスティン(Arnold Tustin)は1940年代にほぼ完成した「古典」制御—とくに周波数応答法によるシステムの安定性判別(Nyquistの方法)—の手法を経済システムに適用しようとした。かれは①および①と同等とみなされる経済諸量間の関係構造(たとえば、消費率=入力と受注率=出力との関係)の制御可能性を論じている。しかしながら、②のなかにふくまれるさまざまな社会システム要因のシステム論的な評価は当然のことながら、実行されていない。以上のような工学的視点から、もういちど、政策主体と人間のロボット化についてかんがえてみよう。経済システムを政策的に「制御」しようとするならば、そのひとつの手法として人間を、物理システムを構成する不可弁別粒子と同じく、同質的機械に変換することがかんがえられる。それは社会システムを物理システムへと変換することを意味するのであって、哲学者のいう「物象化」のシステムの意味にほかならない。象徴的な表現をするならば、現代の「物象化」の起点は人間をロボットシステムに変えることである。そうすれば「社会性」の配慮は、すくなくとも制御の面からは、大いに単純化されうる。そうした方向への社会の動きを前提としたうえでひとつの問題を提示しよう。デジタル制御工学のA/D変換器(サンプラー)およびD/A変換器(ホールド装置)という用語法との類推でいえば、社会にはH/R変換器とR/H変換器が存在する。Hは人間を、Rはロボットを意味する。まず、H/R変換器の役割を典型的に果たしているのは官僚制(会社、国家官吏などの組織)である。他方、このばあい逆変換の役割をはたすべき社会システムは家庭であろうが、あまり現実的な想定ではない。ばあいによると、ロボットのままたび

官僚制の入力になる人間がきわめて多いであろう。いずれにしても、この非対称性は支配＝命令する側にとって好都合である。しかし、支配者自体がロボット化して意思決定能力を喪失してしまうと、支配行為が定型化し支配ロボットと被支配ロボットとの機能分化が現出して、本来の意味での社会的諸関係は消滅するかもしれない。

#### (5) 社会システムの可制御と可観測

最後に、経済システムをふくむ社会システムの可制御性および可観測性についてもふれておこう。制御工学上の用語法を、ひとまず、(通常の用語法とは力点の置き所がやや異なるが)圏論における射の概念とむすびつけて規定しておく。モード集合からインプット集合への逆写像が存在する(インプットがすべてのモードに作用する[ただし、作用と射とは方向が反対])ならば、システムは可制御であり、モード集合からアウトプット集合への写像が存在する(アウトプットにすべてのモードが作用する[ただし、作用と射は方向が同じ])ならばシステムは可観測である。一般に、人工的な物理的多次元システムの制御にさいして特定の次元をもつシステムが不可制御のばあい、状態方程式の次数を引き下げて可制御にすることがしばしば実行される。それは社会システムとの関連でいえば、システムの「コーポレーション化」として特徴づけられよう([3]参照)。他方、システムの可観測性についても社会システムのばあいには重要な論点がありうる。工学システムのばあい、しばしばフィルターシステム(カルマンフィルター)が状態観測器(オブザーバ)として用いられる。社会システムにおいてもフィルターは重要な意味をもつであろう。たとえば、不可弁別性を実現してシステムの内部状態を同質化するばあい、多数決によるマイノリティの排除に見られるように、個性的で反抗的な、異論をとこなえる人間たちをフィルターにかけて消去するか影響を除去する(フィルタリング!)必要が生ずる。それは「コーポレーション化」にさいして常套手段となっている。

#### IV おわりに:問題の再提示

システムを運営する人間集団がつくりだす社会システムはその要素が弁別性をもつ分だけ、きわめて多数の部分システム(ベキ集合)をもたらす。そこには「潜在社会」が大量に生成するが、しかし、さらに合理化をはかるためにシステムの入出力集合のベキ集合を想定する必要が生じたときには「共変拡大」や「反変拡大」を考慮した可制御・可観測条件が「計算」対象になりシステムの合成は複雑をきわめることになる。こうした状況がシステムの安定性に付与するリスクを回避するためには少なくとも不可弁別の同質要素(たとえば、同型のロボット集団)を前提として制御システム設計がおこなわれなくてはならない。その結果、社会は消去されなくてはならないから、ついには社会システムの制御はできなくなる。

#### <主要参考文献>

- [1] 神武庸四郎(2002)「構造分析の方法論」『一橋論叢』第127巻6号.
- [2] " (2004)「社会的な場とコミュニケーション構造」『一橋論叢』第131巻6号.
- [3] " (2006)『経済史入門』有斐閣.
- [4] " (2013)「基礎物理学から見た経済学の『科学性』」(2013年度大会報告集).
- [5] Allen, R. G. D.(1959) *Mathematical Economics*, 2nd ed., London, Macmillan & Co(アレン[安井琢磨・木村健康監訳](1958)『数理経済学』上下2分冊, 紀伊国屋書店).
- [6] Kalecki, M.(1954) *Theory of Economic Dynamics*, London, Allen & Unwin(カレツキ[宮崎義一・伊東光晴訳](1967)『経済変動の理論』改訂版, 新評論).
- [7] Levine, W. S. ed.(1996) *The Control Handbook*, IEEE Press.
- [8] Phillips, A. W. H.(2000) *Collected Works in Contemporary Perspective* edited by Rober Leeson, UK, Cambridge University Press.
- [9] Tustin, A.(1953) *The Mechanism of Economic Systems*, London, Heinemann.