平成一一年一一月一日発行（毎月一日一回発行）

經濟論叢

第164巻　第5号

瀬地山　敏教授記念號

平成11年11月

京都大學經濟學會

経済論叢（京都大学）第164巻第5号，1999年11月

非平衡非線形経済システム試論

吉　田　和　男

I　均衡体系と非平衡

ワルラス以来の伝統的な経済学では，「均衡」という概念を軸に学問の構築が行われてきた。ワルラスの一般均衡体系はその論理の見事さに加えて，経済全体を一つの原理で捉えるという構想の壮大さからも経済学の基本におかれてきた。これはアダム・スミスの資本主義経済における「見えざる手」の理論的な基盤として，資本主義経済を分析するに当たり多くの経済学者の共通した基盤を形成してきた。この「均衡概念」は古典物理学の均衡概念から取り入れられたのである。しかし，経済学の発展は，その論理が力学的構造で示される古典物理学の均衡構造よりも，熱力学の「平衡理論」と同じ形式を持つところにいたる。すなわち，エントロピー最大化がもつ意味である平衡条件は，主体者均衡と同一の形式を持つことになった。

これに対して，多くのいわゆる偉大な経済学者はこの「近代」の落とし子とも言うべき機械論的な議論に反対し，資本主義経済の恐慌，インフレ，貧困など多くの矛盾に取り組み，ダイナミズム，不均衡に注目してきた。ケインズ，マルクス，シュンペータ，ウィクセル，カレツキー，ハイエクなど経済学史に燦然と輝く「哲学的」な内容を持つ大経済学者はその様な「挑戦者」であった。彼らは資本主義経済の中にある矛盾，進化などに着目して，その歴史的動学に大きな関心を持っていた。しかしながら，これらの経済学はそれぞれのスクールを作り，それなりの支持者を得てきたが，経済全体を構想するパラダイムとしては生き残らなかった。すなわち，問題意識はあっても結局は，整合的なモ

デルで表現が出来ないために，問題意識以上の論理展開ができないことになる。

この主流派の経済学では，変分原理に従って，平衡点の条件を求め，その安定条件などを調べる方法がことは経済学においても重要な方法を提供してきた。実際経済学においては，ワルラス以来，この方法による分析がすべての基本となってきた。すなわち，基本的には需要と供給という異なる利害を持つ経済主体者によって形成される市場均衡を分析の中心とするものであった。需要供給の一致しない不均衡状態を軸に動学的な分析も行われてきたが，これは均衡を前提とした一時的な過程であり，基本的には均衡分析の拡張でしかなかった。また，均衡理論は取引が行われる過程よりも結果を重視することとなり，理論は静学的な内容を持つことになる。戦後，ワルラスの一般均衡体系はヒックス (Hicks [1939])，サミュエルソン (Samuelson [1947]) などを経てアロー&デェブリュー (Arrow & Debreu [1954]) の示したモデルで最も洗練されたものとなった。各経済主体者に関しては，許容ベクトルの集合Kと下降ベクトルの集合Mが共通集合を持たない，すなわち，

$$M \cap K = \phi$$

となる，均衡点を求め，これが市場で価格パラメーターを含めた状態変数 x を考えて，この均衡点について，

$$F(x) = 0$$

というシステムの不動点が存在するという議論に集約できる。このような均衡点の性質を調べることが経済学の研究となる。そして，この均衡点の動学的性質を検討することがヒックス，サミュエルソンの動学問題の研究の上にアロー&ブロック&ハーウィッツ (Arrow & Block & Hurwitz [1959]) に代表される動学モデルよって発展させられることになる。この分析の形式は

$$\frac{dx}{dt} = F(x)$$

という力学系で与えられることで，その不動点の安定性に関して示されることになる。これを線形化して，

$$\frac{dx}{dt}=Ax$$

とすることで，この行列の性質を検討する事で安定性を示すことができる。ここでは固有値を求めるなり，リアプノフ安定条件を求めることで，経済システムの持つ仕組みが明らかになる。そして，現実の経済システムはこの様な自生的なシステムの外部から外乱が入ることで変動を受けることになる。

$$\frac{dx}{dt}=Ax+\varepsilon$$

とすれば，現実の経済が不均衡に見えても ε による外乱の影響にすぎず，これが仮に重要な役割を果たすとしても，それは経済システムの本質ではなく偶然の存在にすぎないことになる。その結果，均衡体系の性質を調べることの意味の方が大きく，不均衡を体系として理論化する必要はないこととなる。すなわち，非平衡は平衡状態に向かう移行過程にすぎず，重要ではないことが経済学だけでなく，1940年代まではほとんど総ての科学においても支配的であった。

そして，均衡状態での条件を求めることは，一定の明確な定理を示すことができ，これをデータによって検証する（正確には反証）ことが可能になり，ポッパー（Popper [1959]）の示すところの科学的扱いを可能にする。ハチンソンやサミュエルソンによって経済学がポパー主義的な科学としての立場を明確にしたことが，経済学に科学的論争を可能にし，大きく発展させた。

一方で，現実の経済の不均衡をこの行列が特定の性質を持つことで収束に時間がかかる場合と考えることになる。となると，このモデルにフィード・バックをかけることで，いかに不均衡をいかに解決するかの議論となる。モデルにフィード・バックをかけて

$$\frac{dx}{dt}=Ax-Kx+\varepsilon$$

とすれば，行列は $[A-K]$ となり，この固有値が負になるようにフィード・バック・ゲインKを設定することによって経済は均衡点に収束するようになる。これは仮に不安定な要素を持つ経済システムであっても政策を持ち込むことで

均衡をいかに速く達成できるかを示すことになる。

伝統的な社会科学の立場でもこのシステム論の世界に制約されてきた。ここで，システムが安定であるとは，システムの中にフィードバック機構が組み込まれており，外乱によって平衡状態から外れたときにフィードバックによって自動的に復元される仕組みが存在するような場合である。ヒエラルキー構造を持つフィードバック・システムによって安定性がもたらせることからホメオスタシスとしての平衡状態を考えることであった。

このように経済を均衡体系で理解することは科学的方法論に合致するだけでなく，現実に経済システムを持続的でしかも安定的な経済取引を行わせるシステムとして理解することができる。これはシステムのホメオスタシスを実現するものであり，これを均衡体系として理解することが容易な方法であった。そして，安定系として経済システムを均衡モデルを構成することは，状態変数をパラメータとの対応関係に置き直すことができることで，様々な政策的な含意も引き出せることになる。

II 非平衡体系非線形系

しかしながら，現実の経済を分析するには常にダイナミズムを持ち，ヒステリシスを持ちつつ，カオス的変動を行って，進化する状況を考えなければならない。一般企業が利潤を獲得する機会が無くなるまで競争するとしたら，均衡状況になければならないが，自生的なメカニズムで非平衡を実現しているとすると，これらの奇妙と見られている現象を説明することになる。

この非平衡状態を伝統的な均衡体系で理解しようとすると，二つのアプローチが生まれる。一つは先にも少し述べたように線形化した後，行列の性質からシステムの不安定性を主張することになる。独占の存在，ヴィクセル的不安定性，ケインズの価格硬直性，限定合理性，メニューコスト，インプリシット・コントラクトなど様々な主体者均衡における合理性を限定する仮説を持ってくることで，経済システムの不安定性を主張することになる。ロビンソン，カル

ドア，レイヨンフーブッド，クラウアー，ミンスキー，スラッファ，岩井，宇沢などケインズ派を中心に膨大な数の経済学者が資本主義経済の中に内蔵される不均衡動学を引き出そうと努力してきた。そして，近年ではルーカス，サージェント，バローなど伝統的な経済学の流れにある研究者も経済システムの不均衡を理解しようと努力すること自身は一般に行われるようになっている。

もう一つの方法は外乱による非平衡である。経済システムの本質は安定的であるが，経済システム外から来る外乱が状態を非平衡にとどめるとする。先に示した様に経済システムを表現したとき，

$$\frac{dx}{dt}=Ax+\varepsilon$$

に示される外乱が継続的に続けば常態は常に非平衡状態を継続することになる。システムの本質は均衡化であるが，非平衡の状況に置かれることになる。この ε がホワイト・ノイズであれば現実の状況は非平衡であるが，むしろこの外乱を除去することで，経済システムの本質を研究しようとすることになる。

これに対して，このシステムにおいて有色ノイズであると話は異なってくる。例えば，イワイ（Iwai [1984]）の様に，シュンペータのアイデアを援用して，イノベーターが均衡からの乖離を起こし，イミテーターによって均衡点に収束して行くことを考える。ε がある一致の水準で次々にイノベーションが入ってくると，状態は非平衡を続けることになる。この状態変数の平衡点は $x=0$ とはならず，$x=-A^{-1}\varepsilon$ となる。しかしながら，これは経済システムがさまざまな奇妙な非線形現象を示すことを理解しようとする経済学の問題の本質に迫ったものとなっていない。例えば，ノイズと考えられていたものが実際は非平衡非線形現象としての揺らぎであれば状況はまったく異なったものとなる。

経済システムが非線形要素を持ちながら非平衡系を常態とするメカニズムを持っている場合には現実に奇妙な現象を引き起こすことになる。そこで，経済システムを表現するには，線形部分 A と非線形部分 F を分離して，この非線形部分に注目しながら経済学の研究を進めなければければならないことになる。

このような「ゆらぎ」が生じるのは，現実の経済が複雑系を形成しており，非平衡非線形体系にあることを意味している。これまで無視されてきた非平衡状態における経済システムの本質を探るためには，非平衡非線形系を分析する方法が求められることになる。例えば，

$$\frac{dx}{dt}=Ax+F(x)+\varepsilon$$

という形で経済システムを理解することになる。先に述べた多くの不均衡動学の研究者達も本質的にはこの非線形項の果たす役割に着目している。しかしながら，これは一般的な解法がなく，結局アドホックな議論に陥ることになる。

そして，この非線形項を含む方程式は均衡からわずか離れたところでの挙動はヒステリシスを生じて，カオス的変動を行って，進化するという極めて不思議な現象が生じることになる。多くの経済学者が関心を持ってきたのもこの非線形項の果たしている役割である。

例えば，F が1次元の3次関数であるとして，方程式を

$$\frac{dx}{dt}=ax+bx^2+cx^3=ax(x-p)(x-q)$$

とすると，これは原点の周りで「微分負抵抗」の様な状況となり，安定な平衡点は2つになり，両者のいずれかに収束することになる。これを2次元の微分方程式で考えれば，a が負であってもリミットサイクルとなって非平衡が継続することになる。さらに，3次元以上の空間で考えると，カオスなどの複雑な挙動を出現するようになる。

これはポテンシャル関数が4次関数で示されているような場合であり，原点ではこれを最小にする極値となるがそれは安定的でなく，原点をわずか離れた所 p, q において極値が安定的になるような状況にある。すると，平衡を離れたところでの挙動は，非平衡（$x \neq 0$ という意味で）を続けることになる。3次元以上になれば，その挙動は極めて複雑になり，非平衡状況がわずかな外的ショックにより新たな軌道を形成することになり，「進化」の過程を辿ることになる。この様な状況はごく普通に起こることであり，経済システムを理解す

る上で大きな役割を果たすものと考えられる。ここでは，この非平衡状態においては様々な複雑な挙動を生むことになり，システムの進化を引き起こして行くことになる。これまで多くの経済学者が指摘したことを表現することが求められることになる。

しかしながら，多くの偉大な経済学者が指摘するにも係わらず，解法の困難性から経済システムを均衡体系として理解してその性質を研究することになる。人々の経済行動の合理性を仮定することがその理論的な性格を明確なものにすることができる。人々は「総てを知ることができない」から合理的な行動が出来ないのに，経済学では「それでは，人々は総てを知っていることを仮定しよう」から始まることになる。この様な議論からの脱却がさらなる展開が可能な形で進めることができるかが経済学における今後の課題である。

III　非平衡の経済システム

非平衡システムにおいては，システムの挙動が非線形微分方程式で記述されるような形となることから多重解となり，分岐を引き起こす。分岐を引き起こすものはゆらぎであり，ゆらぎが新しい安定状態へ自己組織化して行くことになる。分岐点から離れた点では決定論的記述で十分であるが，分岐点の近傍では確率論的な要因が本質的になる。

本論では，非線形非平衡の自己組織化のシステムを分析する一つの方法であるシナジェティクスの考えによって分析することとする。ハーケン（Haken [1978], [1983]）やワイルドリッヒ&ハグ（Weidlich & Haag [1983]）に従って，簡単に経済システムを次のように記述する。すなわち，ある閉鎖的な市場において，「売り手」の数が n_1 とし，「買い手」の数を n_2 とする。そして，全体の人数を $2N$ とすれば

$$n_1+n_2=2N$$

であり，両者の差を

$$n_1-n_2=2n$$

とする。ここで，

$$n=0$$

に留まれば，需給が均衡する状況である。それぞれのグループの人数は

$$n_1=N+n$$

$$n_2=N-n$$

となる。すなわち，n が正であれば，「売り手」が過半数になり，超過供給の状況になる。ここで次に売り手になるか買い手になるかの二つのグループの間を行き来する確率を考える。

売り手から買い手へ移る確率を $p_{12}(n)$

買い手から売り手へ移る確率を $p_{21}(n)$

とする。つぎに時刻 t における状態に関する確率分布を

$$p[n_1, n_2; t]=p(n; t)$$

と定義すると，これは当然のことながら

$$\sum_{n=-N}^{N} p(n; t)=1$$

を満たさねばならない。この確率分布の時間変化は次の様に示される。

$$\frac{dp(i; t)}{dt}=\sum_j [w(i \leftarrow j)p(j; t)-w(j \leftarrow i)p(i; t)]$$

ただし，$w(j \leftarrow i)$ は j から i に変化する遷移確率である。

ここで，確率の定義を満たされなければならないので

$$\frac{d}{dt}\sum_i=\sum_{ij}[w(i \leftarrow j)p(j; t)-w(j \leftarrow i)p(i; t)]$$

でなければならない。

ここで，買い手が一人増加する場合の問題を考える。すなわち，グループの人数の組合せが

$$\{n_1, n_2\} \rightarrow \{n_1+1, n_2-1\}$$

に変化する場合である。これはまた

$$n \rightarrow (n+1)$$

に変化するケースである。

今，この変化の確率を次のように示す。

$$w(n+1\leftarrow n)=w\uparrow(n)=n_2p_{12}(n)=(N-n)p_{12}(n)$$

$$w(n-1\leftarrow n)=w\downarrow(n)=n_1p_{21}(n)=(N+n)p_{21}(n)$$

$$w(n'\leftarrow n)=0 \qquad \text{ただし，} n'=n+1,\ =n-1$$

このように定義すれば，先の確率分布の時間変化は

$$\frac{dp(n;\ t)}{dt}=[w\downarrow(n+1)p(n+1;\ t)-w\downarrow(n)p(n;\ t)]$$
$$+[w\uparrow(n-1)p(n-1;\ t)-w\uparrow(n)p(n;\ t)]$$

となる。次に，この微分方程式を Tayor 展開して次の近似方程式を求める。

$$\frac{dp(n;\ t)}{dt}=\Delta n\frac{\partial}{\partial n}[w\downarrow(n)p(n;\ t)]+\frac{(\Delta n)^2\partial^2}{2\partial n^2}[w\downarrow(n)p(n;\ t)]$$
$$-\Delta n\frac{\partial}{\partial n}[w\uparrow(n)p(n;\ t)]+\frac{(\Delta n)^2\partial^2}{2\partial n^2}[w\uparrow(n)p(n;\ t)]$$

となる。ここで $\Delta n=1$ とおいて表現すれば

$$\frac{dp(n;\ t)}{dt}=-\frac{\partial}{\partial n}\{[w\uparrow(n)-w\downarrow(n)]p(n;\ t)\}$$
$$+\frac{\partial^2}{2\partial n^2}\{[w\uparrow(n)+w\downarrow(n)]p(n;\ t)\}$$

を得る。ここで

$$x=\frac{n}{N};\ \Delta x=\frac{\Delta n}{N}=\frac{1}{N}=\zeta$$

という全体で正規化した変数を導入する。x についての確率分布は

$$P(x;\ t)=Np(n;\ t)=Np(Nx;\ t)$$

で示される。ただし，これは

$$\int P(x;\ t)dx\fallingdotseq\sum_{x=-1}^{1}P(x;\ t)\Delta x=\sum_{n=-N}^{N}P(n;\ t)$$

によって規格化される。

$$w\uparrow(n)=N(1-x)p(Nx)=NW\uparrow(x)$$

$$w\downarrow(n)=N(1+x)p(Nx)=NW\downarrow(x)$$

こうすれば移流の係数は

$$K(x)=W\uparrow(x)-W\downarrow(x)$$

で示され，ゆらぎの係数は

$$Q(x)=W\uparrow(x)+W\downarrow(x)$$

で定義される。こうすれば次の Fokker-Planck 方程式が求められる。

$$\frac{dp(x;\ t)}{dt}=-\frac{\partial}{\partial x}[K(x)P(x;\ t)]+\frac{\zeta\partial^2}{2\partial x^2}[Q(x)P(x;\ t)]$$

がえられる。この方程式から直観的に分かることは確率分布の状態が二つのグループ間の遷移確率による $K(x)$ 以外に $Q(x)$ という「ゆらぎ」が状態の変化を引き起こすことである。この方程式は，確率の流れ

$$\frac{\partial P(x;\ t)}{\partial t}=-\frac{\partial}{\partial x}I(x;\ t)$$

を導入することで連続の方程式

$$I(x;\ t)=K(x;\ t)P(x;\ t)-\frac{\zeta\partial}{2\partial x}[Q(x)P(x;\ t)]$$

の形に書くことができる。また，これは境界条件

$$I(-1;\ t)=I(1;\ t)=0$$

を満たさねばならない。

一般的には定常での確率分布 P_s は Fokker-Planck 方程式の左辺がゼロとなるようなものであり，

$$\frac{\partial P_S}{\partial t}=0=-\frac{\partial}{\partial x}I(x)$$

であるから，これに境界条件を代入すれば

$$\frac{\zeta\partial}{2\partial x}[Q(x)P_S(x)]=K(x)P_S(x)$$

が求められる。これを解けば

$$P_S(x)=P_S(x_0)\frac{Q(x_0)}{Q(x)}\exp[N\phi(x)]$$

となる。ただし，

$$N\phi(x)=\frac{2}{\zeta}\int\frac{K(x')}{Q(x')}dx'$$

である。また，規格化の条件から

$$P_S(x_0)=Q^{-1}(x_0)\{\int Q^{-1}(x')\exp[N\phi(x')]dx'\}^{-1}$$

が必要となる。

この様なシステムは各要素が独立した遷移確率を持つことになれば，伝統的な経済学の理論と同じように，均衡理論で考えればよいことになる。しかしながら，これが他の要素に影響を受けて遷移確率が変わることになれば，事情は変わってくる。すなわち，経済の状況は「買い手」と「売り手」が価格などを通じて調整されるものとすると，とりあえず超過供給になれば価格が下落して「買い手」が増え，「売り手」が減る。すなわち，遷移確率 $p_{12}(n)$ が高まることになる。

従って，遷移確率が次のように示されると，

$$p_{12}(n)=v\exp(\alpha+\beta n)$$

$$p_{21}(n)=v\exp[-(\alpha+\beta n)]$$

と考えれば，

$$W\uparrow(x)=v(1-x)\exp(\alpha+\beta x)$$

$$W\downarrow(x)=v(1+x)\exp[-(\alpha+\beta x)]$$

である。ここから移流の係数を求めれば

$$K(x)=W\uparrow(x)-W\downarrow(x)=2v[sinh(\alpha+\beta x)-x\,cosh(\alpha+\beta x)]$$

となる。一方，ゆらぎの係数は

$$Q(x)=W\uparrow(x)+W\downarrow(x)=2v[cosh(\alpha+\beta x)-x\,sinh(\alpha+\beta x)]$$

となる。一般的な定常解は次のようになる。

$$\phi(x)=2\int\frac{sinh(\alpha+\beta x')-x'cosh(\alpha+\beta x')}{cosh(\alpha+\beta x')-x'sinh(\alpha+\beta x')}dx'$$

従って，大きな N に対し，P_S の極大は

$$K(x_m)=2v[sinh(\alpha+\beta x_m)-x_m\,cosh(\alpha+\beta x_m)]=0$$

を満たすものとなる。これは

$$x_m=tanh(\alpha+\beta x_m)$$

の解である。これは α，β の大きさにより解 x_m が1または3あることになる。

すなわち，それぞれの条件によって定常状態における確率分布の形状が異なることを意味している。

$0<\beta<1$ の時には α の値のいかんによらず解は一つになる。この場合は初期値の状況のいかんにかかわらず α の大きさによっていずれかに平均値のある単峰の分布に収束して行く。これは人々が大勢に追従しようとする力が弱ければ遷移確率の差によって単純マルコフチェーンのように一定の確率分布に収束することになる。詳細釣り合い条件が $x=0$ という形で表現され,「均衡論」によって議論しても可能であることが起こりうる。

しかし，$\beta>1$ 即ち，状態が与える変化への影響力が強ければ，α の値によって解が3つ生じることになる。α の絶対値が α_0 より小さい時には解は3つになる。ただし，α_0 は

$$cosh^2(\alpha_0-\sqrt{\beta(\beta-1)})=\beta$$

を満たす。この解が3つすなわち，極値が3つあることは定常状態での確率分布は極大値が2つの双峰型のものとなる。この場合には，初期の分布のいかんに関わらず双峰の分布に移って行く。こうなれば，経済システムはいつまでも非平衡を続けることになる。この結果，常に不均衡な状態が継続するようなメカニズムが生まれることになる。これは一般の価格メカニズムと比較して，非平衡が継続する場合が生じることになる。

この様に，単に価格が一定の率で調整されるようなモデルであれば，$x=0$ で平衡点を形成するが，人々の行動が状態に影響されて調整されることとなれば，不均衡の状況が定常状態として出現することになる。むしろ，現実のシステムでは，この様な状況の方が一般的であり，揺らぎによる選択が非平衡の状態を選択して行くこと，すなわち,「進化」を引き起こして行くことになる。

すなわち，ここでは人々の行動が非合理的であるために非平衡状態となるのではなく，価格などの調整力以外にも要素間の相互関係が生じることで非平衡を生むことになる。

IV　散　逸　構　造

この様な非平衡に関する関心は多くの学問でも同時に関心が持たれることとなり，非平衡非線形システムの研究が行われるようになる。いうまでもなく，これは熱力学の延長として進むことになるが，プリゴジン，ニコリス，スタンガー（Nicolis & Prigogine [1977], Prigogine [1984], Prigogine & Stengers [1984]）などによって発展させられた「散逸構造」はより一般的なパラダイムを示している。すなわち，ここでは非平衡系であることがシステムに進化をもたらし，常に自己組織化によって一つの形態形成を行うことになる。

前節で見たように，非平衡が定常状態で生じることになるのは，各主体は速い変化を行うのに対して，全体はその合計としてゆっくり変化することになり，各要素の合計としての全体が各要素を拘束するという「隷従原理」によって自己組織化される結果となる。すなわち，保存系のシステムでは全てコヒレントな軌道を辿ることになるが，散逸構造ではマクロ的なスケールでのコヒレンスを形成し，その構造は分岐パラメータの値に依存することになる。したがって，ある分岐点で構造が変化するような不安定性を生み出すことになる。

すなわち，分岐パラメータが小さい内は変動のゆっくりとした自由度だけが励起され，アトラクターは少数自由度のマクロ運動からなる。これが大きくなるに従って，次々と定性的な変化を生み出し，次第に複雑化して行くことになる。ここで，通常，空間的なパターンを形成するが，次に時間的な周期的軌道が生まれ，非周期的振動に至り，やがてカオスが発生する。

このような散逸構造論ではエントロピーが一方的に増大する閉鎖系でなく，エントロピーを出し入れする開放系を考えることとなる。非平衡安定系として，非平衡ではあるが，エントロピーの生成と負のエントロピーの取り入れがつりあうことで安定状態を作ることになる。この状態で，非線形要素が含まれることとなると，解は多値解となり，その解に向かって自己組織化されることとなる。例えば，化学反応において自己触媒がリミットサイクル等を作ることで複

雑な挙動を行うことになる。従って，ここでは，秩序が時間的に崩壊して行くのではなく，自ら秩序を作り上げるという自己組織化過程がその特徴となる。これは平衡から遠く離れたところで生まれる。平衡からの距離と非線形性の二つが系を秩序に導いていく。ニコリス＆プリゴジンはこのような熱力学的分岐の不安定性によって発現する秩序状態を散逸構造と呼ぶ。

このようなシステムでは，状態が平衡に近い定常状態にある時には，漸近安定であるが，平衡から離れたところでは熱力学的分岐は不安定になり，これを越えるとずれは増大し，新しい安定な定常状態に落ち着く。それが散逸構造である。しかしながら，これは巨視的系は常に自発的な雑音を作りだし，摂動を作りだしている。さらに，系外からも「ゆらぎ」がはいってくる。

この様な「ゆらぎ」は，古典物理学の世界では，安定的な平衡状態において存在できない過渡的な現象として捉えられ，いわば不要で理論的分折を妨げるものとして認識されてきた。しかし，散逸構造ではこのゆらぎが本質的に重要であり，これが自己組織化という基本的な現象の根源であることが認識されるようになった。

複雑系では常にどこかで矛盾が存在しており，平衡状態に至ることはない。そこで，現実の状態を非平衡系として理解することとなれば，議論の展開を図ることが可能になる。平均衡は平衡状態への移行過程ではなく，常態なのである。例えば，カオス運動のように，非平衡にあってもある領域に入って不規則な運動を行っているものと考えると，これもまた一つの安定状態と考えられる。そのシステムは不規則に動いていても大まかには，ある特定の体制の中にあることが認識される。このように，安定と非平衡が矛盾なく理解されることになる。

プリゴジンが指摘するように，要素が3つ以上の非線形システムにおいてはさらに複雑な現象が起こることになる。そこで，前節で需給に関して非線形システムで表現されるものが3種類の財の市場の相互関係が生じているとするとして，

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x(x, y, z) \\ f_y(x, y, z) \\ f_z(x, y, z) \end{bmatrix}$$

で示されることとする。そして，

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{xx}(x, y, z)x+f_{xy}(x, y, z)y+f_{xz}(x, y, z)z \\ f_{yx}(x, y, z)x+f_{yy}(x, y, z)y+f_{yz}(x, y, z)z \\ f_{zx}(x, y, z)x+f_{zy}(x, y, z)y+f_{zz}(x, y, z)z \end{bmatrix}$$

で表現されるとすると，例えば，この3財の間に補完，代替関係が存在すれば，この非線形パラメータが非線形要素となって複雑な動きを作ることになる（この非線形システムの分析に関しては森・蔵本［1994］や北原［1997］などを参照されたし)。今後，経済学研究においても非平衡非線形系の分析は不可欠のものとなる。

このシステムから理解されることは，伝統的な経済学の理論からは導きがたい複雑な現象を記述することが可能になる。

V 非平衡系としての経済システム

重要なポイントはこの様な非線形部分が非平衡を生じることである。これを直観的に説明できないが，多くの複雑系の特徴として平衡系とならないケースが一般的であることが示される。複雑系のメカニズムを定式化することで現実の非平衡系としての経済システムの分析に一歩近付くことが可能になる。

すなわち，複雑系である現実のシステムを考えるときには伝統的な均衡理論として理解することはできない非平衡システムとして理解することが適当となる。要素間の関係が強い複雑なシステムにおいては，要素間の相互依存により均衡点に留まることはなく，非平衡の状態が継続することになる。

このように，巨視的方程式の可能な安定分岐は確率的要因を考慮することから生まれる。先に見たようなマスター方程式で表現されると，系の状態変数の確率分布がゆらぎながら変動して行くことが示される。そして，これが非線形

の項を含むことから，非常に奇妙な動きをする事になる。この方程式を近似し，線形的遷移確率を持つと仮定したときのマルコフ過程に置き直して，その収束状態であるポアソン分布からのズレに着目すると，状態の変化は

$$\frac{d(x)}{dt}=\text{巨視的記述}+\text{ポアソン分布からのズレ}$$

に置き換えられる。このズレは成長の初期には影響は小さいが，時間が経過することによって，この寄与は圧倒的に大きくなり，平均値を動かして新しい状態に導かれる。そして，この様な構造を持つことはシステムに「進化」を生むことになる。すなわち，ゆらぎが時間的過程の中で構造の変化を生んで行くことになる。これは直観的にも理解されうるシステムの動態である。

さらに，非平衡開放系は分岐パラメーターを大きくして行くとほとんどすべてがカオスを示すことになる。すなわち，カオスは自然な運動形態であり，不規則運動カオスでありながら秩序であるところが自然なのである。カオスは初期値鋭敏性という意味で偶然性を含み限りなく複雑だが，精妙に自己組織化された運動であり，自己相似的なフラクタル構造を持つ端正なアトラクターを形成することになる。そして，「カオス（混沌）の中の秩序」とは端正な形態のアトラクターに内在することから系はゆらぎによってカオイックな挙動を通じて組織化されることを意味する。このために，分岐点から離れた点では決定論的記述で十分であっても，分岐点の近傍では確率論的な要因が本質的になる。

このように非平衡系での「ゆらぎ」の重要な役割は本質的に重要であり，これが自己組織化という基本的な現象の根源であることが認識される必要がある。経済システムを複雑系として捉えることによって，これまでの経済学が呪縛されていた「均衡論」から脱却することが可能になる。この様な非線形要素を含む経済システムの形成する非平衡に関する研究が進められて行くことに大きな期待を持っている。

参考文献

Arrow, K. J. and G. Debreu [1954] "Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy," *Econometrica*, 22.

Arrow, K. J., H. D. Block and L. Hurwitz [1959] "On the Stability of the Competitive Equilibrium II," *Econometrica*, 27, January.

Haken, H. [1978] *Synergetics; An Introduction-Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

——— [1983] *Advanced Synergetics: Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices*, Springer-Verlag, Gmbh & Co. KG.

Hicks, J. R. [1939] *Value and Capital: An Inquiry into Some Fundamental Principles of Economic Theory*, The Clarendon Press in University of Oxford.

Iwai, K. [1984] "Schumpeter Dynamics: An Evolutionary Model of Innovation and Imitation," *Journal of Economic Behavior and Organization*, 5 (2), June, pp. 159-190.

北原和夫 [1997] 『非平衡の統計力学』岩波書店。

森 肇・蔵本由紀 [1994] 『散逸構造とカオス』岩波書店。

Nicolis, G. and Prigogine, I. [1977] *Self-Organization in Nonequilibrium System: From Dissipative Structures to Order through Fluctuations*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Popper, K. R. [1959] *The Logic of Scientific Discovery*, London, Hutchinson.

Prigogine, I. [1984] *From Being to Becoming; Time and Complexity in the Physical Sciences*, W. H. Freeman and Company, San Fransisco.

——— and Stengers, I. [1984] *Order out of Chaos; Man's New Dialogue with Nature*, Bantam Books, New York.

Samuelson, P. A. [1947] *Foundation of Economic Analysis*, Harvard University Press.

Weidlich, W. and Haag, G. [1983] *Concepts and Models of Quantitative Sociology; The Dynamics of Interacting Populations*, Springer-Verlag, Gmbh & Co. KG.