

経済問題の多体物理学的アプローチ

田中美栄子

椋山女学園大学・生活科学部・生活社会科学科

名古屋市千種区星が丘元町17

email: mieko@ss.sugiyama-u.ac.jp

1、複合科学の開拓に向けて

経済学に限ったことではないが、社会科学や人文科学を自然科学と比較して見ると、前者は後者よりずっと主観的である。通常そのようなものだと一般に受け取られているために余り問題にされないが、よく考えて見るとこれはおかしいことである。自然科学が対象とするものは宇宙にせよ地球にせよ生命にせよデータがまだまだ揃っていないことが多く、もっと多くのデータを得るために日夜実験や観測が行われている。不完全なデータに基づいて考えを進める際には仮説や思い込み、または哲学が重要な役割をはたすことになる。一方、社会科学や人文科学が対象とするものは一応データが揃っている場合が多い。例えば1987年10月にそれまで好況の連続であった株価がニューヨーク証券取引所で大暴落し、その後約10年にわたる世界的不況の引き金となった。そういうことの起こった原因については後になっていろいろ議論されたが、少なくともそれが起ってみるまでは、データは揃っていたのにだれも真面目に考えてみようとはしなかったのである。これは自然科学が地震を予言できないのとは別次元の問題である。地震が予言できないのは主に地殻の内部に対する知識が不十分なことによる。これに対して経済データはもっと誰にでも見える形で示されている。データ量が膨大であることや、人間行動の不確定さが問題を難しくしていることは事実だが、一番本質的な問題は、動的な現象を扱う経済理論がないことと、もう一つは社会・人文系の学問の体質が古く、研究者達が自然科学分野に比べてあまりよく訓練されていないことが、これらの問題に対する真剣な取り組みをはばんでいることであろうと考えられる。現代社会においては比較的データの手に入れやすい社会・人文科学に解析的に訓練された研究者が手薄で、まだまだデータの足りない自然科学のほうに人知が集中して投入されている。地震予知は少々頑張ったくらいではできないが、経済のコントロールならばもう少し簡単であろうと思われる。

ところで、自然科学が動的な現象を扱う理論をもっているかということ、偉大なニュートン達のおかげで18世紀以後は或程度の道具を手に入れている。ものの運動を「力」に結び付け、微分方程式として表現してこれを解析的に解くという方法である。しかし微分方程式はいつでも解けるわけではない。ごく特定の形をした微分方程式だけについて厳密に解ける方法が知られており、それ以外は解析的には解くことができない。そこでそういった特定のもの以外については近似的に解くことが考えられてきた。いろいろある近似法のなかで一番有力なのは何といても摂動展開によるものである。これは解を微小なパラメータの

級数だと考えてその係数を逐次計算してゆく方法である。これは係数が級数の先の方へ行くにつれてだんだん小さくなって行くなれば有限項で切って近似解とできるが、逆に段々大きくなって行くような場合には無意味となってしまう。「力」がばねの伸びに線型、つまり比例するような場合を1次元調和振動子と呼び、これは厳密に解ける。また、厳密に比例しない場合でも大体比例するという場合には摂動展開を使って近似解を求めることができる。ところが1次元調和振動子に帰着せず、しかもそれから大きくはずれた運動、つまり非線型な運動に対しては摂動展開が無効となるために近似解を求めることが困難である。解析的な方法に頼る限り、非線型問題はたいへんな難題なわけである。

コンピュータを使って数値解を求めるのであれば事情は一変する。線型な方程式も非線型な方程式も、同じように扱えてしまう。そこで数値解の精度を上げたいという自然科学からの要求がコンピュータの発達をうながし、またコンピュータの進化によって数値解析の方法も進化して、両者はここ四半世紀の間に飛躍的に発展した。こうしてコンピュータを通して非線型問題にアプローチできる道が開かれた。こうやって扱える方程式は力学の方程式に限る必要はない。生態系でも、人間社会でも、経済問題でも変わりはない。また、方程式の形に書き表されている必要すらない。或る状態から次の状態にどうやって移るかについてのルールが決まっていれば変化の様子を計算し記述できる。ここに至ってコンピュータを道具とし、非線型力学の解析を通して得た知見をもとにした総合科学への端緒が開かれたのである。

しかし総合科学をやるといっても一昼一夜では道はつかない。まずだれがそれをするのが問題である。総合科学の開拓を本職として行うというのは実際にはかなり勇気のいる危険なことなのである。個人としては、もともと人はだれでも自分の目の前に提示された世界をなるべく総合的に理解したいという願望を持っている。にもかかわらず、シュレーディンガーがああ「生命とは何か？」の有名な序文の中で書いているように、現代の科学の知見は一人の人間がすべての分野の専門家になることを到底許さないほど多岐にわたり、自分の専門以外の分野について公式に発言するときは、自分自身をおとしめる結果になるかもしれないことをじゅうぶん覚悟してかかる必要がある。実際、自分が訓練を受けた分野以外のことについて習熟するには非常な努力を必要とするし、また、分野ごとに常識としていることが異なるために、別の分野の研究者の言っていることがひどく馬鹿げて聞こえるということもよくあることである。

このような困難を承知の上で、異なる分野の研究者が敢えて同一の問題に取り組んでみるという実験を公式にやってみることで科学に新しい風を吹き込もうという試みがここ10年ほどアメリカで盛んに行われている。その中心がゲルマンなどのノーベル賞受賞者の権威を表看板としたサンタ・フェ研究所である。[1] また、個々の大学でもInterdisciplinary Studies というような名前で学際分野の開拓を目的とした学科が作られたりした。一方、日本では（権威のない??）若手研究者を中心に「複雑系研究会」がここ数年活動しているが[2]、固定観念にとらわれない柔軟な目で総合的な科学を創造して行こ

うというエネルギーにあふれていて、将来への可能性を感じさせる。しかしこれを外から見れば、はっきりした研究の成果を出さず生産性に欠ける研究会だとの批判もあるようである。難しいのは、「複雑系」のような活動に短期間の成果を期待することの是非である。ただ、人間の寿命と比べて長すぎるようなタイムスケールの大計画は人間の活動としてはあまり魅力のないものになってしまう可能性が避けられない。また、教育の場での現象として、いろいろな大学で、情報、環境、人間、などをキーワードとした従来の学問区分にない名前の学部や学科が90年代に入ってから次々と作られたのも、総合科学という目標をめざしてのことであったと考えられるが、こちらのほうは何をやるのかという目標を欠いたケースが多くて、教員のほとんどが単に自分の孤塁を守り、その部署全体としては何をやっているのかがそこに学ぶ学生目からみても良く判らないという結果に終わっている場合が多いように見受けられる。

総合科学の開拓に必要な条件とは何であろうか？ 個人としてみれば手持ちの知識と経験は多いほうが有利ではあるが、一つの専門分野に永くいればいるほど他分野への寛容さは薄れて行くものであるから、各界の著名人を集めてくればいいというものでもない。サンタフェ研究所では著名人が核になっているが、それによって有利になるのは主として資金集めの面ではなかろうかと思われる。1987年に経済学の検討を目的に開かれたワークショップの記録[3]を読んでみても、きわめて良識に富んだ様々の考えが並んでいるものの、あっと驚くような卓見にはお目にかからない。ノーベル賞受賞者などが不用意なことを言う一国の科学政策にも影響が出るということもあるのであまり自由な発言ができないのかもしれない。それにやはりシュレーディンガーの序文のように、専門外のことに言及するのは非常に危険なことであるから、自分の社会的信用を傷つけないように、といった自意識が働けばたちまち専門分野の中に籠城してしまう他はなかろうと思われる。絶対に必要なのは旺盛な好奇心（野次馬精神）と希薄な自意識、それに強靱な推進力と十分な知識である。最後の要素を除けば若くて社会的地位もないほうが向いていると思われる。総合研究大学院大学は構成メンバーがそれぞれ総合科学とは反対の方向、つまりかなりの程度エスタブリッシュされた個別の科学を深化させるべく義務づけられているのが建前であることから、個々の研究者が自己完成のために行うことは有り得ても、組織としてはあまり向いているとは言えない。やはり学際分野の追求を建前とした研究所を共同利用研究所として作り、学際的学部の教員や大学院生が研修や共同研究を行えるようにするべきである。そういう環境を作らずに単にあちこちの大学に学際的な名前をつけた学部や学科を作るのは片手落ちだという気がする。また、名前をつけたからにはそれが何であるのかという定義づけを同時にしておくべきであろう。

2、動的な経済学の探求

近代経済学の柱となるのはワルラスの一般均衡理論である。需要と供給の均衡によって決定される価格を説明する過程は、精密な議論を可能にするという意味で大変科学的

な理論である。[4] しかし均衡価格というのは自然科学の立場から見ればつまるところ不動点(Fixed Point)であり、この状態に達すると系はそれ以上変化のない平衡状態に達するわけであるから、このうち価格の変化が起きるということになれば「じつはその不動点はカオスを内包していた」といった議論に行かざるをえない。現代の経済学者とは均衡理論に通曉した人のことであり、経済学者が動的な経済学について考えようとするとう衡を崩す要因としてカオス理論を取り入れる、といった考え方になるようである。自然科学の立場からは何故彼等がそんなに均衡点にこだわるのかあまり納得できない。更に言えば、何故経済学に不必要なほどの厳密性を重要なものとするのかあまり納得できない。

平衡状態にとらわれない動的な経済学となるとゲーム理論が主流となっているらしい。これも精密な議論を可能にするという点で人気があるようであるが、自然科学の目から見ると、局所的なところで厳密めいた議論を展開しようとしていて、本質をわざと見ないで済まそうとしているような、嘘くさい感じがする。

いわゆる文科系の研究者はドグマを神聖化しすぎるように思われる。ひとつの理由はその訓練過程で反対論者との、言葉による、論争が重要視されることによるのであろうが、批判に対して客観的な分析を加えずに議論に勝つことに熱心になる傾向がある。これは定量的、解析的な訓練を義務づけることによってかなりの程度改善されるはずである。それによって自然科学との接点も見出しやすくなると思われる。

結局のところ経済学とは総合科学なのであり、教科書に載っているような、厳密な議論に耐える部分というのはあまり本質にかかわらない部分なのではないか？

3、良いモデルを探す

社会現象のように十分複雑な問題にたいしては、すべての現象を同時に説明する理論を探すよりも、物事の本質を端的に表すことのできるモデルを作ってそれを調べてみるほうが有効である。それもひとつではなく、複数のモデルをいろいろと違った観点から作って調べてみると何が重要かが見えてくると思われる。そこで理論よりもまずモデルをいろいろ作って調べてみるのが近道であろうと思われる。

4、変数をどう取るか？

経済学の基本となる量は価格である。自由経済が各エージェントの独立な利得の追求に基づいた意志決定によって動いているながら全体としてバランスを保っているのは、需要と供給によって決まる価格が自動的に調整されるメカニズムがうまく働くからである。アダム・スミスは「国富論」のなかでこれを「見えざる手」と呼んだ。この価格は需要が増えると最初は高くなるが、売れることがわかれば供給が増えるのでこれによって下がるメカニズムが働き、ある安定した数値に落ち着く。経済学のもうひとつの重要な量は財である。この財がだれによって所有されている状態から別の誰によって所有されている状態に移行するかが経済状態を決める。

ひとつの出発点は財を商品と貨幣とに2分し、これらの運動を端的に記述する単純なモデルを立ててみることである。ちょっと考えると貨幣も一種の商品であるから、商品対貨幣という見かたをやめて2種の商品の交換と考えてもよいのであるが、この2つは決して同等の2種の商品というわけではない。すなわち商取引は、商品をつかった貨幣の獲得を目的として行われるのであり、貨幣が蓄積される（もうかる）ことは目的にかなった結果つまり成功とみなされるが、商品が蓄積される（売れ残る）ことは失敗につながる。これは貨幣はいかなる商品とも交換可能であるから常に需要があるのに対し、個々の商品（例えば紙、魚など）はいつでも無制限に需要があるわけではないことから明らかであろう。貨幣が余っても特に有害ではないが、紙が余ると保管場所が余分に必要となるし、魚や野菜などの生鮮食品が余ると腐って有害なものとなり、それを防ぎなければ多大の電気代を投入して冷凍しつづけなければならない。つまり商品は効率よく売れなければどこかに大変な不都合が生じる。このように、経済活動の底流には必ず最適化の概念が横たわっており、それに反した結果は「不経済」な活動となる。しかしながら貨幣はそれ自体では何の役にも立たず、さまざまな必要財と交換できてはじめて意味をなすものであるから、ここに言う最適化が、貨幣ばかりになる状態を至上とするような単純なものではない。むしろ最適な経済状態とは財と貨幣の流通がスムーズに行われている定常状態を意味する。定常状態においても価格は自然に上下するものであるが（つまり負のフィードバックが適当に働いてバランスを保っている）、経済メカニズムが弾力性を失って正のフィードバックが主流となり、価格の急騰や品切れ、または倒産などが次々と起こり、その結果ごく少数の会社のみしか生き残れないようないわゆる寡占状態などが出てくるようになると、健全な社会とは言えない状態となる。これは流通がスムーズに行われている状態とは質的に異なる社会の状態であるといつてよいであろう。こういった社会の質的変化がいかんして起こるかという問題には、従来の均衡理論に基づく経済学は無力であるといつてよい。むしろこれは理論物理学で扱う多体問題の相転移現象に近いものである。そこで経済学の専門家であるとかないとかいう縄張り意識を取り払い、経済学は本質的に多体問題なのだと認識さえすれば、もっと広い視野に立った新しい経済学の構築が可能なのではないかと思われる。われわれはこのような観点から、経済学の教科書をひもとくよりもまず、取引きのメカニズムを端的にあらわすようなモデルを作り、コンピュータ・シミュレーションで調べてみることから始めたわけである。

5、景気循環モデルの例

我々が試しに考察したモデルの詳細については他で詳しく述べたので[5]、ここではごく簡単にまとめておきたい。

連続的に分割可能な1種類の商品がN人の取引者によって交換されるというケースを考え、それに対して逆向きに貨幣が交換されるとする。すべての取引者が同じ商品の売り手でもあり買い手でもある。安い売り手から買って高い値段で売れば儲けが生じる。逆に買った価格よりも安く売れば損をするがそれでも商品が流通すればいずれは儲かる場合もあ

るから買い手さえつければ売ってしまう。取引者は取引きのたびに手持ちの商品の売り手としての価格と、別の取引者から商品を買うときの予算を決定する。買い手は一定日数 (l 日) の間だけ商品を在庫に留めた後に価格を決めて売りに出す。このとき売り手が設定する価格が高すぎると商品は売れずにたまってしまうから、売れないときは次回の取引きでは価格を安く、前の価格の $1/(1+a)$ 倍に、設定する。同時に買い手としての予算も同じ比率で縮小する。この手続きは売れるようになるまで繰り返される。ここに正のフィードバック効果が入っている。一方、商品が売れると次回の取引きでは価格を少し上げる。このやり方はいろいろ考えられるがとりあえず一定数だけ、前の価格に b を加えて、増加させる。また、買い手としての予算も同じ様に拡大する。この手続きも売れなくなるまで繰り返される。ここにも正のフィードバック効果が入っている。さらに特別の場合として、商品在庫がないために売れなかったという場合には予算は前回のままとし価格は前回の N 人がつけた価格の加重平均とする。こうして買い手となる取引者の順番を何らかの方法で (くじ引きなど) 決めれば取引引きが始まる。

面白いのは定数としての在庫日数 (l 日) をゼロでなくとっておけば、このシステムはパラメータ a と b のほとんどの値に対して準安定な運動を続けることである。更に詳しく見ると、 l が 5 以上なら a と b が 0.1 以下の領域で調べた限りでは、 a と b のほぼすべての値について完全に安定な振動系となることがわかる。この時の周期はパラメータの値にはあまり依存せず、むしろ系のサイズである N と同じオーダーである。これは多体系の振動としては期待通りであるといえる。このように安定な振動を保つに必要な負のフィードバック効果は、システム全体がもつ商品の総量と貨幣の総量が一定であり、そのために有限 (かつ正值) に押さえられていて、ある程度正のフィードバックが続いて起った後はどこかで必ず戻るしくみになっていることによって供給されている。

また、 l が 1 または 2 という小さい値の時には別の興味ある現象が現れる。まず、 a または b が小さいと (0.03 程度以下) 振動はまったく起らず価格は単調に変化して振動系を作らない。一方、 a と b が上のケースに比べて大きいときはカオスの崩壊を内包した振動系となる。平均価格の時間的推移を観察すると、一見安定な振動を続けるような様相を示すが突如として不安定となり価格崩壊を起こす場合が現れる。このとき、取引引きに実際に参加している取引者の数を調べると価格崩壊にともなってどんどん減少し、寡占状態に陥っていることがわかる。取引引きに参加できない取引者の貨幣と商品の保有高がゼロに近くなると少数の「強い」取引者とプレーできなくなり、非可逆的に脱落して行くのである。しかしまた、いったん起りかけた価格崩壊が途中で安定性を取り戻してまた振動状態に戻る場合もある。これらはパラメータ a と b の同じ領域に混在して現れ、カオス系と振動系の境界領域の非常に複雑度の高い状態として知られている「カオスの縁」[6] に対応する状態ができていたものと推察される。

6、もっとよいモデルをめざして

ここで扱ったモデルは多少単純化しすぎている点がある。単純化のために取り引きが決定論的に行われるように設定してあるが、実際の取り引きは確率論的である。買えばいいという条件が揃っていても人は必ずしもそのようには行動しない。したがって意志決定のどこかに確率を入れてやる必要がある。しかし実際には、決定論からのズレを確率として扱うのはマクロな見方である。ミクロに見ればどのようなズレにもそれなりの決定論的な理由があるのであって、それらを見捨ててすべてを確率とみて単純に扱うのがいいのか、あるいは個々の理由にまで立ち入った複雑な系を考えるべきなのかは問題別に決めなければならないことであろう。ここには地域環境、個性、嗜好、感情、歴史、それに単なる誤謬といったファクターが含まれるわけであるが、社会現象においてはこういったものが意外に重要な役割を担っているケースもあり、一概に見捨てることは危険である。一方、このような要素の重要性を強調するあまり、社会現象を科学のまな板に乗せることを頭から否定してしまうのはもっと危険である。あまり最初から立派な「科学」をつくらうとするよりも、各人が自分の学んだ知識を生かして、百人百様の社会モデルを作ってみたらおもしろいのではないだろうか。

ここで紹介したのは可能なモデルのほんの一例に過ぎないが、正と負のフィードバックがうまくバランスを保って安定な振動を続ける場合とバランスを失ってカオスに至る場合、およびその二つの状態の遷移領域としてのカオスの縁に対応する状態を一通り全部見ることができる。こういう具体的なモデルで遊んでいろいろ観察することにより、自然科学を学んだ人がもっと社会科学に目を向けてみたらいいのではないかと思う。

参考文献

- [1] M. Mitchel Waldrop, "Complexity : The Emerging Science at the Edge of Order of Chaos" (1992); 「複雑系」 (田中三彦、遠山峻征訳、新潮社, 1996)
- [2] 数理科学, 1996年6月号 (サイエンス社) に複雑系研究会の中心メンバーによる特集が組まれている。
- [3] P.W. Anderson, Kenneth J. Arrow, and David Pines, "The Economy as an Evolving Complex System", Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, (Addison Wesley, 1988) .
- [4] 福岡正夫"ゼミナール・経済学入門 (1986、日本経済新聞社)
- [5] 田中美栄子・長谷部勝也, 「景気循環のモデル」, 物性研究 vol.63, No.6 (1995) 803-808頁, 「第3回複雑系研究会報告」収録。
田中美栄子・長谷部勝也, 「景気循環のモデル (続)」, 物性研究 vol.64, (1996) 「第4回複雑系研究会報告」収録。
- [6] C. G. Langton, Physica D, vol.22, pp.120-149, 1986.
C. G. Langton, Physica D, vol.42, pp.12-37, 1990.

図1：間欠的に不安定になるが回復力をもつ場合。

図2 - 図4：非可逆的に寡占状態に至る場合。

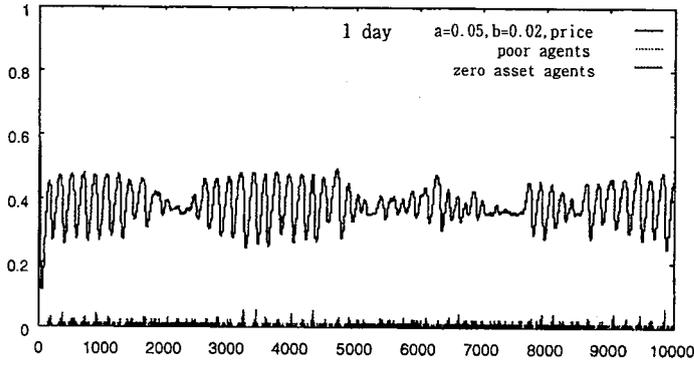


図1： $\ell=1$, $a=0.05$, $b=0.02$

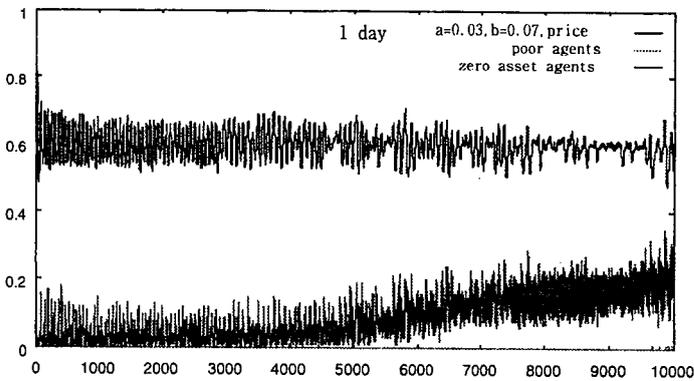


図2： $\ell=1$, $a=0.03$, $b=0.07$

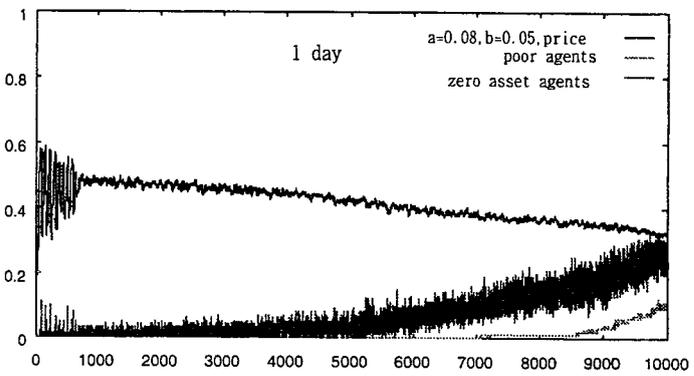


図3： $\ell=1$, $a=0.08$, $b=0.05$

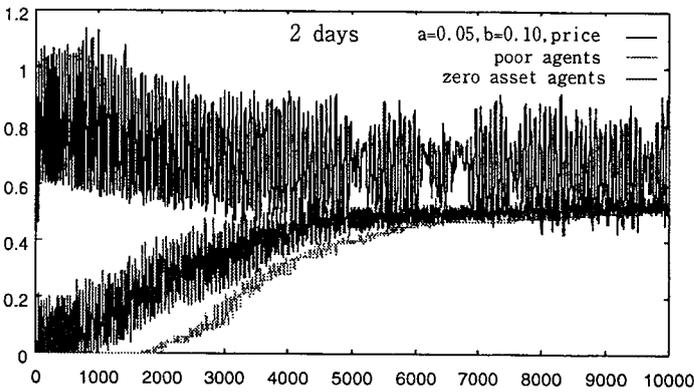


図4： $\ell=2$, $a=0.05$, $b=0.10$