

## 社会科学における複雑系

### 特別研究助成グループ

96年の夏、「週刊ダイヤモンド」の紹介(6/1号「経済学の変容」とミッチェル・ワールドロップ「複雑系」の翻訳のヒット以来、日本でも「複雑系」ブームの観がある。「複雑系(Complex System)」とはもちろんその振る舞いが「複雑な」システムのことだが、実際のところ何が「複雑さ(Complexity)」なのかは論者によって一定せず、フラクタル次元、エントロピー、系を記述するためのプログラムステップ数、階層の複雑さ、...など様々である。そして問題の「複雑系」の定義についても、「システム全体の振舞いをみれば、個々の要素の振舞いには還元できないような複雑な振舞いをする系」、「非線形重ね合わせによって構成される系」、「構成的にのみその振舞いを理解できるシステム」...といったようにやはり一定していない。とはいうものの、それが自然を表現するのに出来るかぎり単純な法則に還元することで本質は理解できるとしてきた要素還元主義的な科学観に根本的な変更を迫るもの、という漠然とした了解もしくは期待はあるように思われる。まだ対象とすべき問題自体ははっきりとは定義することはできないが、異なる分野の人々が何か根本的に新しいことが生まれそうだという期待を抱きつつ模索している状態が、この漠とした熱気の源泉ではあろうと思う。

ところが、ブームが一段落してくる2年目になっても前面に出される話題は、科学の基本設計に関するものというよりも、コンピュータ・シミュレーションを基礎とした自然科学系の新しい手法の開発と改良であることが多く、それらの結果だけがあまりにも喧伝され、独り歩きをしていることには危惧を覚えざ

るをえない。こうした懐疑的な見方は、すでにサンタフェ研究所内部からも出されており (Horgan[1995]), また, ブームとは独立に日本でカオス力学系を研究してきた研究者も「複雑系という言葉が使われるケースが増えてきたように思う。しかし, 残念ながら, きわめて表面的にただ『単純でない』という意味で使われ, その研究を標榜していても新しい視点が見られないことがある。還元主義からの脱却を訴えていても, ではどうするのかという積極的提案が全く欠けていることもある。単に全体が部分の和ではないというだけであれば, 非線形であれば自明であり, 早晚見放されてしまうであろう」(金子邦彦, 『数理科学』No.396,p.5) と距離をおいた見方をしている。

さて, サンタフェ研の活動の一角を B.Arthur の「収穫逡増の経済学」(Arthur[1990]) が構成しているように, もちろんこうしたブームは人文・社会科学分野にもおよんでいる。97年度よりスタートした進化経済学会でも, 収穫逡増や創発といった話題が数多く見られるように, 新しいツールを取り入れた研究が急増している。しかし多くの場合, それぞれの専門領域の基本的な考え方はそのままに, ツールの移植に終始することが殆どであり, やはりこうした科学観の変更が, 社会科学の基本的な考え方にどのような変容をもたらすのか, 全面的には論じられることは少ない。

この事態は, 自然科学の場合よりも一層深刻な意味をもつ。というのは, 人文・社会科学では, その対象とするシステムの構成要素が人間もしくは人間集団であるという, 自然科学との基本的な違いがあるからである。つまり, 電子や気体分子などと違い, 人間は他者の行動についての自らの認識や学習によって, その振る舞い方を変えうる存在であるから, 対象とするシステムを複雑系として捉えようとするとき, こうした主体が複雑系としてのシステムにどのように対処するのかという問題が浮上するのである。ここで冒頭の複雑系とは何かという問いは, モデル構築者にとっての問題に加えて, 構築されたモデル内部の主体にとっての問題という新たな問題を抱え込むことになる。

これを前向きに考えるならば, 主体の取り扱い方次第では, 複雑系について

の議論はさらに多様な広がりを見せることになるだろうが、一方で人文・社会のそれぞれの分野ではそれぞれに伝統的な主体の捉え方がある。複雑系としての社会システムへの言及に際して、主体モデルははたして従来のみでよいのか、それとも基本的な点で改めるべきことがあるのか、きちんとした対応が行われなければ、既存のディシプリンには何の変化も生じることはなく、一時の新しいシミュレーション・ツールの試験的導入で終わることになるだろう。

オリジナルにツールを開発した分野であれば、それでも対象に関して何らかの議論の進展は期待できる。これは数年前にブームとなったファジィ制御・ファジィ測度論の独自の展開を見れば了解できよう。そこには既存の専門分野が参考すべき指摘が数多くある。しかし具体的な対象の捉え方はそのままに、ニューラルネット、カオス、ファジィ、GA...といったツールを移植しただけでは、社会科学としてのものの見方は何も変わらない。

実際のところ、新古典派の強力なディシプリンの支配下にある経済学を例にとれば、この複雑系という話題がその基本設計（最適化の意味で合理的な主体、市場均衡）に変更を迫るものだと考える論者は少数派であるし、社会学ではもともと複雑なものを取り扱っているのだという意識や構成的にシステムを動くものとして議論することへの抵抗もあって、複雑系に呼応した形での幅広い議論が行われているようにはみえない。

もちろん、経済学でも社会学でも、今回のブームとは関係なく、複雑系としての社会の捉え方を正面から論じた先行者は、ルーマン、ハイエク、サイモン...というようにたしかに存在しており、一定の注目を浴びてはいるのだが、彼らの論じたことの意味に改めて大々的に光があたるようになったかといえ、非常に心細いのである。

したがってこのままでは、かつてのカタストロフ、フラクタル、カオスが取り上げられたときと同様に、複雑系への注目も、一過性の現象で終わる可能性が大きい。

われわれの共同研究グループが、操作性の高い具体的な社会モデルを構築し

ようという目標と同時に、方法論の次元に遡って複雑系が社会科学にとって持つ意味とは何か検討しようという目標を設定したのは、このような事態を憂慮してのことであった。

さて、本稿はそうした目標を持つ作業の初期段階の1ステップとして、人文・社会科学のいくつかの分野にあって、複雑系の議論がいかに行われているのか、それが各分野のディシプリンに対して持つ含意は何か、各分野の先行者たちはどのような議論をすでに行っていたのか、複雑系の議論を活かしていく方向は奈辺にあるのか、等について、ひとまず状況を見渡すことを目的としている。以下は、経済学、ファジィ工学、社会学、経営学、心理学、論理学、そして数学を専門とするメンバーそれぞれの立場からの、複雑系研究についての現場報告である。不十分なところもあろうが、人文・社会科学という分野において複雑系を論ずる手がかりとなればと願っている。

## 1. 経済学における複雑系

吉田 雅明

すでに冒頭で述べたことだが、社会科学において複雑系を考えるときには、自然科学の場合と違い、対象となるシステムとその観察者にとっての複雑さを考慮することに加えて、さらにそのシステムの中の主体にとっての複雑さの意味を考慮しなければいけない。複雑系として捉えたシステムの中で考察される主体はシステムの複雑さにどのような対応をしているのか、システムが複雑であることによってその行動はどのように規定されているのか、といった「実在の条件としての複雑さ」(塩沢由典 [1997b]) を考慮する必要がある。これは主体の捉え方、社会の捉え方に特異なディシプリンをもつ経済学にとっては、ときに基本設計の変更をも迫るものとなり、この問題への研究者のスタンスがそれぞれの「複雑系経済学」の基調を決めていると見ることもできる。

ところで実際には、主体の捉え方に関して基本設計の変更要求は、古くから提示されてきた。有名なものでは Simon[1945] 以来の満足化原理がきわめて具体的な提案であるし、1920年代から30年代にかけての社会主義計算論争の中で見いだされた知識が分散所有される市場 (Hayek[1935]) という視点は経済における複雑さを考える上での重要なポイントであった。にもかかわらず、基本設計の変更に関する議論はあまりとりあげられることがなかった。したがって、今日になって何故に複雑系経済学が話題にされるのかということになるが、その大きな理由は、近年のコンピュータ科学の展開の中で利用可能になったツール、カオス、セル・オートマトン、ニューラルネット、遺伝的アルゴリズム、実験ゲームなどが、こうした話題を具体的なモデルとして表現するための手段を与えてくれたという点である。ここに折角生まれた古くからの問題と新しいツールの結合の可能性を見過ごすわけにはいかないと思われるのだが、複雑系経済学に関して示された仕事の多くの部分はツールの移入の面ばかりが目立つのが現状である。

## 様々な「複雑系経済学」を整理するために

さて、「複雑系」に言及する経済モデルはやはり実に様々であり、何が「複雑系」なのかと、経済学に限定して探ってみても状況は明確ではない。新古典派経済学に対する態度も、塩沢のように複雑系経済学を考えることは経済学の根本的な再構築を要求するものとなると考えるものもいれば、西村和雄のように新古典派経済学の延長線上に複雑系は考えられるべきだというものもいる。この違いを考えるために、「複雑さ」を評価するいくつかの視点を設定し、「複雑系経済学」とされるものを構成する場合の重視されるスペックとしてオプションがあるのかを考え、ひとまず次のような一覧表を作ってみた。このリストの各項目は一部を除いて下に行くほどハイ・スペックの複雑系を示す。たとえば基本設計変更の必要なしと考え、一般均衡理論そのものが多数の

経済主体が活動する複雑系だとするならば、主体間の影響の項目を「多主体・相互依存なし」オプションを選択する以外は、すべて最上段オプションから

システムの力学系	想定される常態	時間構造	
線形システム 非線形システム	ユニークな平衡 複数平衡 ストレンジ・アトラクタ 非平衡状態	システム 可逆的 不可逆的	主体行動 可逆的 不可逆的

主体間の影響	主体計算の結合度	主体の合理性	
単一主体 多主体・相互依存なし 多主体・相互依存あり	リジッドな結合 ルーズな結合	完全合理性 限定合理性	視野 作用範囲 推論能力

なるロー・スペックの複雑系ということになる。非線形の最適化動学こそ複雑系という場合、システムの力学系の項目が「非線形システム」、想定される常態項目は「ストレンジ・アトラクタ」、あとはすべて最上段オプションということになる。また囚人のディレンマ繰り返しゲームをベースにするのであれば、システムの常態が「複数平衡」、主体間の影響が「多主体・相互依存あり」、ほかは基本的に最上段オプションとなる。複雑系関連で言及されることの多い、B. アーサーの収穫逡増モデルであれば、システムの力学系は「非線形システム」、想定される常態は「複数平衡」、システムとしての時間構造は「不可逆的」、主体間の影響は「多主体・相互依存あり」となり、他

は最上段オプションとなるものの、そのセカンド・サイバネティクスもしくはポジティブ・フィードバック・システムはそこそこハイ・スペックの複雑系を想定している。また、一般均衡をベースにしたカオス動学モデルであれば、システムの力学系は非線形システム、想定される常態は「ストレンジ・アトラクタ」となるが、一般均衡解を求めるまでの手順は一般均衡理論と変わらず、したがって、その他の項目は最上段オプションとなり、思われているよりはロー・スペックな複雑系を取り扱っていることがわかる。最後に、もしも主体にとっての複雑さとは、という先の問題をまともに考えるならば、まず主体の合理性項目は「限定合理性」、しかも推論能力まで有限という選択となる。このとき、システムが円滑に運行可能であるための条件を考えるならば、主体計算の結合度項目は「ルーズな結合」が選択され、併せてシステムの想定される常態項目は「非平衡状態」、またルーズな結合で多主体がそれぞれの行動を起こしてしまうため主体に関する時間構造は「不可逆的」となる。これは最もハイ・スペックな複雑系ということになる。

## 経済学の特殊事情—新古典派経済学に対するスタンス

このように見てしまえば、最上位スペックの複雑系経済学を作ってしまったばよいのではないかと思えるのだが（筆者もそう思うが）、そうはいかない特殊事情が経済学者にはある。経済学、とくに新古典派経済学は、体系の論理性、簡潔さ、数学的洗練度において、他の社会科学に対してきわめて優位にあると（多くの経済学者には）思われてきた。経済学帝国主義といわれようと、ある程度共通のテキスト群が整備され、議論は数理モデルを用いて、ある程度同じ土俵の上で行われ、展開され、そうした理論群の上に実際のデータを用いた計量経済学の蓄積もあり、それはあたかも仮説—演繹—検証という自然科学の手続きを保証しているようで、このようなことを大規模に行っている社会科学は他には見られないだろうという自負があった。しかし、いくら理論が数学的に洗練

されていようとも、人間はそれほど合理的に意思決定を行っているのか、本当に観察される状況は「均衡」といえるのだろうかという疑問は、経済学者といえども少なからず抱いてきたはずである。とはいえ、「こんなことを考えるのはアカデミズムとしての経済学からの『落ちこぼれ』にすぎなかった。既存の制度としての主流派経済学を単純に信じ込むか、あるいはとりあえず信じたふりをして、経済学のパズルを必死に解いていくのが、プロフェッショナルな経済学者の『仕事』であった」(高増明 [1997]p.199) ののである。

なお、このように言うとき、経済学は厳密な最適化を要求しているのではない、ただかたかた2、3の選択肢があるときその中の最良のものを選ぶという程度の主張しかしていない、という反論も出てこよう。しかし一般均衡理論の完成形であるアローのモデルは選択可能なすべての変数について厳密な最適化行動を要求している。個々の主体が現れた選択肢の最初の2、3個ごとに最適なものを選択しても、現れる順序に関係なくもとの一般均衡が保存されるという証明は行われていないはずである。また、もし、そのような選択を繰り返しているうちに全変数を考慮した最適解に到達すると主張するのであれば、個々の選択が実行されても主体の保有資源量ベクトルは変化しない、つまり当初の最適化問題が扱っている状況はなんら変わらないことをまず証明しなくてはならない。ここには時間は繰り返し可能であるという、われわれの直観に反する想定が要求されている。限定合理性を論じる際のベースとなる繰り返しゲームにしても、真の利得表は不変であることが想定されている。さらに、反証可能性が保証されていることが重要なのであって、仮説の非現実性は問題ではないという反論もあるかもしれないが、実証データによって経済学の理論のハードコアが反証されたことなど一度もないのである。実験経済学でゲームを実際の人間にプレイさせてみて、理論モデルの帰結と合わないときに行われることは、その状況と矛盾しないような均衡解を生み出すような、やはり別の最適戦略モデルの開発である。均衡に関しても、一般均衡など想定しておらず、部分均衡を想定するだけだ、という反論もあるかもしれない。しかし、部分均衡



が「他の事情は一定」として考慮しないことから明らかなように、それが一般均衡と整合的になる保証はどこにもない。そもそも観測されるデータが部分均衡状態を示しているという根拠などないのである。

また、最適化でなければ主体の行動モデルとしていったい何があるのか、という反応もあるだろうが、実際に観察される主体の行動モデルを作るのであれば、満足化原理（特殊ケースとして定型行動を含む）の方が相応しい、と思う。すると、競争が有効に行われている社会の中の複雑な主体行動はそれほど単純ではないという反論があるかもしれない。しかし、「複雑な行動」の記述という点については、定型的反応の組み合わせよっていかなる複雑な処理も可能になるというチューリング・マシンの万能性を想起すれば、満足化原理に対してこの批判は妥当しないことは明らかだろう。しかも情報収集、情報処理、変数操作の能力上の限界を考慮すれば、その「複雑な行動」が最適化行動であると考えてよい根拠はない。

しかしながら、経済学においてはこのような状況があまりにも長く続き、いつしかそれが「制度」のように固定化してしまい、新古典派経済学を批判しようとする者でさえも、「最適化行動・均衡という枠組みを外しての新古典派批判は単なる超越的批判にすぎない。批判は内在的でなければ意味をもたない」と考えるようになった。新古典派と同じ土俵に立った上で違う結果を出してこそ、その理論の問題点を浮かび上がらせることができる、という意見にも一理はある。かつて1960年代のケンブリッジ資本論争において、ポスト・ケインジアンが注目・評価されたのも、この点が大きい。しかし、現在問われていることは、われわれの経済そのものを複雑系としていかに理解すればよいのか、ということであって、経済学の理解でないはずである。だとすれば、このような限定にはそれほどの意味はないのではなかろうか。

複雑系に関連して、その研究スタンスの明確な2つの例を見てみよう。

97年前期、複雑系に対して対照的な姿勢をとる2冊の書物が出版された。その1つは、すでに触れた塩沢由典著「複雑さの帰結－複雑系経済学試論」(N

TT出版)であり、もう1つは京都大学経済研究所の複雑系経済システム研究センターのグループ(以下、経研グループと略記)による『複雑系の経済学—入門と実践』(ダイヤモンド社)である。前者は既述の通り、新古典派経済学の基本設計に根本的な反省を迫るものとして複雑系の思潮を捉え、後者は複雑系の議論を新古典派経済学の自然な延長線上にあるものとして捉える。経研グループ、たとえば西村和雄は、複雑系の議論を非線形現象に限定して捉える。たとえば、「新古典派経済学を基礎として、それを一般化することによって、複雑な現象を生み出す仕組みがより明確に見えてくる。本質を理解しない人間が現象を複雑にとらえているが、その背後にある自然界の法則は簡単であり、異なった現象の中にある同一性に気づけば、物事は簡単になる—これが単なる抽象的な哲学ではなく、自然から社会まで普遍的に存在する現象に裏づけられる体系となったときに、新しい見方と考え方が生まれる。それが複雑系のパラダイムへの転換であると思う。」(同書,p.135)ここではパラダイム転換という言葉は用いられるものの、とくに経済学における科学観の変更が必要だとは考えられてはいないように思われる。また、なぜ最適化・一般均衡モデルにこだわるかという点についても、「景気循環を生じるモデルを作るのに、外生的景気循環理論のように市場均衡を前提としないのであれば簡単である。最適化動学モデルでも循環が生じることを示すことにこそ意義がある」という反応を示す。たしかに最適化動学でなければ簡単すぎて鑑賞に値しないのかもしれないが、しかし、問題はモデルを作る上での技術的な困難の克服ではなかったはずである。対象となる経済社会をいかに把握できるかこそが問われているのではないだろうか。

一方の塩沢の態度はきわめてストレートである。塩沢の構想する複雑系経済学は「人間が有限の能力をもった存在であるという、じつに平凡な観察を理論形成の出発点に」(塩沢[1997b]p.195)おく。有限の能力というとき、それは1)視野の限界、2)合理性の限界、3)働きかけの限界を意味する。このうち、とくに第2の合理性の限界、すなわち人間の推論能力の限界を考えるこ

とは、計量論の理論を複雑系研究の一つのきっかけとしている塩沢にとって、直ちに新古典派経済学との訣別を意味する。つまり、最適化行動が実行不可能ならば、需要関数・供給関数を構成することも不可能になるからである。塩沢の構想を辿ってみよう。取引は基本的に相対（あいたい）取引として実行され、システム内部の相互作用はこれら相対取引の上に展開する。行動は定型的行動を基本とし、学習はそのパターンの獲得として理解される。定型的行動でシステムの動きに対応できるためには、システムとして何らかの定常性が保たれている必要がある。しかし、全体を記述すべき高次の非線形力学系を再構成することは目指すところではない。それは計量経済学における同定の困難を再現することになるし、方程式を実際に解くことは不可能だからである。むしろ複雑系経済学の目標は、経済システムがこのような大規模・相互作用系であることから何が生じるかを理解することにある。このようなシステムの中で有限の能力しか持たない個々の主体が行動できるための装置が、在庫や貨幣といった切り離し装置である。こうしてあるあそびの範囲で部分は独立性をもち、それらの部分の不断の調節を通じて経済全体の調節過程を理解しようという方針が立てられる。こうしたミクロの行動から自己組織される秩序として定常過程が発現するが、定常過程は定型的行動の前提条件でもあり、ここにミクロ・マクロ・ループという均衡理論に代わる考え方が示される。

塩沢は複雑系経済学の基本的な考え方を繰り返して強調してきた。しかしなかなか経済学における上述の思考制度は変わりそうもない。塩沢自身がいうように、複雑系を扱うための理論の要件を考えることは、従来のような厳密な解析を可能とする数理モデルにはならないこと、つまり「厳密科学の方法の放棄」を意味する（塩沢 [1997a]p.25）こともあり、抵抗はことのほか大きい。たとえ解析可能な数理モデルでなくとも、何らかの全体像を示しておくことは重要だろう。ともあれ、複雑系を論じる前に、新古典派経済学に対する態度がまず問題になるというのが経済学における特殊事情である。

## フル・スペックの複雑系経済学とは

「～は複雑系の経済学とはいえない」だけではどうも輪郭を有効には打ち出せない。また、漠然とした構想だけでは、いかにそれが的を得たものであろうとも、なかなか広く了解されることはない。そこで試みに、フル・スペックの複雑系経済学はどうすれば構築できるのか、例を挙げてみよう。基本的な考え方は吉田雅明 [1997] 第2部と同じだが、多少の拡張を加えてみた。もちろん、これが唯一の方法だというわけではない。

1) まず、経済主体は H.A.Simon のいうところの満足化原理に従うものとする。すなわち、経済主体はその出力変数（基本的に1変数—働きかけの限界に対応）の調整に当たって、経済システムの変数全体を見ることなく（視野の限界に対応）、行動に先立ってローカルな範囲で関連する少数の変数を考慮、それぞれの変数を重視する度合いをウエイトとした加重和計算を行い、その満足化基準と大小比較を行い（これらは大きな計算能力を要求しない—合理性の限界に対応）、それにより前期の出力値を上方もしくは下方に調整するものとする。調整出力行動は取り消しのできないものとする（主体行動に関する不可逆的時間に対応）。このような主体が多種・多数存在するものとする。

2) 主体の出力値、満足化基準およびウエイトはそれぞれの種類ごとに初期データとしてあておく。満足化基準値は入力加重和とのギャップが一定期間以上発生したときには修正されるものとする。

3) 上記の多種・多数の主体を相互結合型ニューラルネットワーク、もしくはセル・オートマトンにおけるユニットと見なし、組み合わせ（多主体・相互依存あり、主体計算におけるルーズな結合に対応）、シミュレーション・システムを構築する。組み合わせるに際して、同種主体をまず1つのネットワークとして構成し、そのネットワーク間の相互結合系として経済システム全体を表現することによりモデルの操作性を確保する。その際、一定期間ごとの取引関連出力をまとめることにより産業関連表を出力させ、また、GNPの変化を出

力させる。

4) 上で構築したシステムを動かすことにより、満足化基準値のセットの振る舞い、GNPおよび投入産出構造の変容パターンを実験的に観察する。このいずれも非線形システムとして振る舞うことになるが、各平衡状態だけでなくそれに至る以前の過程も明らかにされる(非線形システム、非平衡状態に対応)。前者は定型的行動の背景にある定常性がいかに形成されるかを明らかにし(塩沢のいうミクロ・マクロ・ループの具体化)、後者は経済構造変動への知見を与えるとともに、その平衡状態においては再生産理論にマイクロ・ファウンデーションを与える。

5) 1の段階で外部入力を明示することにより、政策・環境のシステムに対する影響を分析することが可能になる。この場合、このシステムの振る舞いが安定するとき、これが開放定常系であることがより明確になる。こうして構成される複雑系経済学が新古典派経済学とはまったく異なる基本設計に立つことは明白だろう。また、こうした体系をシミュレーション・システムとして具体化することも、それほど困難ではない。すでに、セル・オートマトンもしくはニューラルネットにおける蓄積があり、その関心および用途は異なるものの、システム構築および振舞いの検討に際しては大いに参照できるからである。

以上、直線的すぎるきらいもあるが、経済学において複雑系を論じる際の問題点ととりうる方向例を述べた。本節では言及することはできなかったが、カオス動学、カオス制御、ポジティブ・フィードバック、自律分散処理、進化ゲーム、内部観測、制度の自己組織化等々、複雑系経済学関連研究は実に多岐にわたり、それらはそれぞれの観点を持っている。これらについては稿を改めて報告したい(一部は後節関連箇所を参照)。

## 2. 複雑系とファジィ測度

### 複雑系におけるファジィ測度の可能性

高萩 栄一郎

#### 2.1. ファジィ測度-シヨケ積分モデル

ファジィ測度 (fuzzy measure) は, Sugeno[1974] により, 導入された概念であり, 非加法的な測度である。

よく, 朝礼などのあいさつで, 「1+1 は, 2 ではなく, 3 にも 4 にもなる」といわれたり, 複雑系で「全体は部分の総和以上である」といわれたりする。これを表現できるのがファジィ測度である。

$X$  を, 有限集合とする。たとえば,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  をある組織とし, その要素を人 (エージェント) とする。このとき, 各エージェントのある対象にたいする効果を  $\mu$  であわす。たとえば,  $\mu(\{x_1\})$  を  $x_1$  の 1 時間当たりの生産量とする。同様に,  $\mu(\{x_2\})$  を  $x_2$  の 1 時間当たりの生産量... というように定義できる。

ここで,  $x_1$  と  $x_2$  がいっしょに働いた場合を考える。このときの 1 時間当たりの生産量を  $\mu(\{x_1, x_2\})$  で表わす。このとき,

$$\mu(\{x_1, x_2\}) = \mu(\{x_1\}) + \mu(\{x_2\}) \quad (1.1)$$

という加法性がなりたっているだろうか。  $x_1$  と  $x_2$  の間には, 何らかの協力関係があったり, または, 非協力関係があったりして, 式 (1.1) が満たされているとは限らない。多くの場合,

$$\mu(\{x_1, x_2\}) > \mu(\{x_1\}) + \mu(\{x_2\}) \quad (1.2)$$

というような, 優加法的な関係がある。この場合, 2 人は, 分業や苦手なことを

補ったりして、補完的な関係が存在する。逆に、

$$\mu(\{x_1, x_2\}) < \mu(\{x_1\}) + \mu(\{x_2\}) \quad (1.3)$$

というような劣加法的な関係が存在する場合である。この場合、たとえば、2人が仲が悪かったり、労働のインセンティブが失われた場合などがあり、代替的な関係が存在するといえる。

上の例では、 $x_1$ と $x_2$ の2人の関係で述べたが、 $n$ 人の場合、 $2^n - 1$ 個の $\mu$ で表わすことができる。たとえば、 $n = 4$ の場合、 $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ の場合、 $\mu(\{x_1\})$ ,  $\mu(\{x_2\})$ ,  $\mu(\{x_3\})$ ,  $\mu(\{x_4\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_2\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_3\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_2, x_3\})$ ,  $\mu(\{x_2, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_3, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_2, x_3\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_2, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_3, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_2, x_3, x_4\})$ ,  $\mu(\{x_1, x_2, x_3, x_4\})$ となる。たとえば、 $\mu(\{x_1, x_2, x_3\})$ は、 $x_1, x_2, x_3$ がいっしょに働いたときの1時間当たりの生産量である。

この $\mu$ がファジイ測度といわれるもので、一般的には、

$$\mu: 2^X \rightarrow [0, +\infty) \quad (1.4)$$

$$\mu(\emptyset) = 0 \quad (1.5)$$

$$A \supset B \rightarrow \mu(A) \geq \mu(B) \quad (1.6)$$

と表わされる。式(1.6)は、単調性制約と呼ばれるものである。しかしながら、複雑性を分析する上で、この単調性制約は必要ない場合が多いと考えられる。そこで、ここでは、非単調なファジイ測度

$$\mu: 2^X \rightarrow R \quad (1.7)$$

$$\mu(\emptyset) = 0 \quad (1.8)$$

とする。

ファジイ測度に対応して、その積分として、菅野積分、シヨケ積分などが提案されている(室伏[1993])。組織の例で、 $x_1$ の労働時間を $h(x_1)$ 、 $x_2$ の労働時

間を  $h(x_2)$  とし、 $h(x_1) \geq h(x_2)$  の場合、その生産量は

$$[h(x_1) - h(x_2)]\mu(\{x_1\}) + h(x_2)\mu(\{x_1, x_2\}) \quad (1.9)$$

である。第1項が、 $x_1$ が単独で働いた分の生産量で、第2項がいっしょに働いた部分の生産量である。一般に、シヨケ積分は、

$$z = (C) \int h d\mu \equiv \int_0^{+\infty} \mu(\{x; h(x) \geq \alpha\}) d\alpha + \int_{-\infty}^0 [\mu(\{x; h(x) \geq \alpha\}) - \mu(X)] d\alpha \quad (1.10)$$

で定義されている。

ここでは、ファジィ測度と労働時間を与えて、生産量を計算しているが、逆に、生産量と労働時間を与えて、ファジィ測度を同定することも可能である。

## 2.2. エージェント間の相互作用

複雑系でいわれている相互作用、ファジィ測度でいわれている相互作用の意味は異なる。複雑系では、図 1.1 のように、エージェント間の刺激のやり取りで、相互作用を引き起こし、ひいては「創発」と名づけられた現象を引き起こすと考えている。図のエージェント全体の出力は、その相互作用により、個々のエージェントの出力の和とはならない。または、あたらしい何かを出力している（または、パターンで示している）。

この場合、相互作用は、初期状態 ( $t = 0$ ) から始まって、「時間」によって変化する。すなわち、「動的」なものである。

複雑系でいわれる相互作用が「動的」なのに対して、図 1.2 のように、ファジィ測度は、「静的」なものである。エージェント間の関係であるファジィ測度の値は、時間と関係なく、一定であるとする。

エージェント間の相互作用により全体の出力は変化していくが、そのエージェント間の関係がある値に安定することが多い。そのときの出力をファジィ



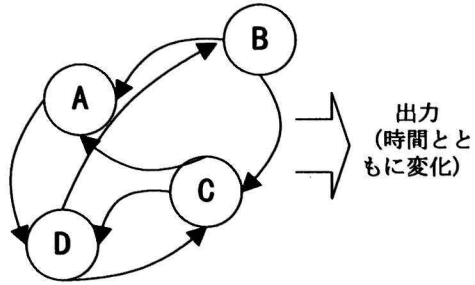


図 1.1: 複雑系の相互作用

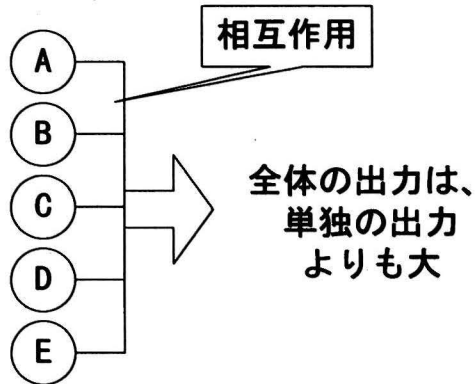


図 1.2: ファジィ測度の相互作用

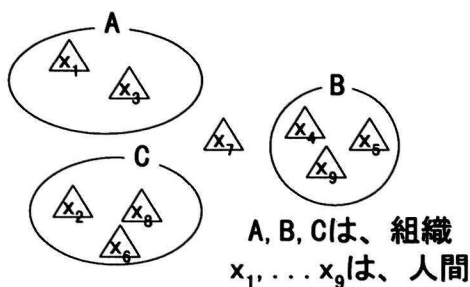


図 1.3: 組織間のモデル

測度で表現すれば、ファジイ測度は、その安定した関係での相互作用を表現しているとも考えられる。

これは、モデルを単純化するのに役立つ。たとえば、図 1.3 のような組織 (○) 間のモデルを考えた。組織を考えると人 (△) も必要であるとする。このとき、組織間の相互作用が重要であり、人と人との相互作用は重要でないので、ファジイ測度として表現することができる。人と人との相互作用を記述して、モデルを複雑にするより、ファジイ測度を利用して簡略化できる。

エージェント間の相互作用を解釈する手段として、ファジイ測度は有用である。ある 1 時点において、エージェント間の相互作用による事象や「創発的」な事象を評価する関数を想定する。コンピュータ上のシミュレーションであるので、条件を変えて、個々のファジイ測度を求めることができる。このファジイ測度により、ファジイ測度を解釈するツールにより、主体間の関係を求めることが可能である。先ほど、ファジイ測度は、「静的」と書いたが、 $\mu_t(A)$  のように時間を入れて記述することも可能であり、時間ともに変化するファジイ測度を解釈することもできる。

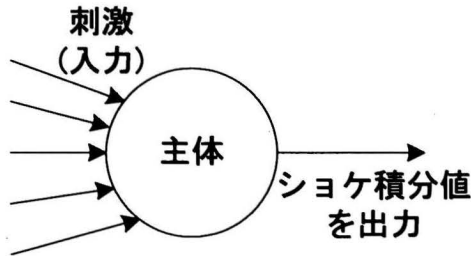


図 1.4: 入力値の相互作用

### 2.3. 刺激の相互作用

前節では、エージェント間の相互作用の関係を扱ってきた。ここでは、図 1.4 のような、エージェントに入力される刺激の相互作用について考察する。

エージェントやニューロンは、その入力である刺激を、あるルールにしたがって、出力値を変化させるものとする。よく行われる方法は、入力値の加重和、または、加重和がある閾値を超えるかどうか（満足化原理）などである。エージェントの意思決定は、入力値間のバランスや、必須事項があったり、いろいろな場合がある。ファジィ測度は、バランスや重み、必須事項、ロバストな評価を入れることのできるオペレータである。事実、And(最小値), Or(最大値), 加重和, 中央値などの演算を表現できるオペレータである。したがって、ファジィ測度を出力値を決定するためのオペレータとして、有用である。

### 3. ファジィ制御

高萩栄一郎

複雑系を社会に適用するうえで、人間の意思決定をどうシミュレーションモデルに取り入れるか重要である。本稿では、人間の意思決定をシミュレーションするツールとして、ファジィ制御（ファジィ推論）をとりあげ、説明する。

人間、特にその意思決定の担当者や専門家は、状況に応じて、いくつかの意思決定の（あいまいな）ルール（ファジィルール）を持っており、それを適用しているのではないだろうか？ もし、それらのルールの中間の状況が起こったら、うまく、それらのルールを補間して、意思決定を行っているのではないだろうか？人間のこのような意思決定をうまくシミュレートする方法がファジィ推論である。

また、Zadeh[1973]で、人間の思考を考える上で、重要な要素は、数値ではなく、ファジィ集合への言語ラベル（「かなり年を取っている人」の集合のような）であるとし、人間の推論の論理は、2値論理や多値論理ではなく、ファジィ真理値やファジィ関係、ファジィ推論であるとしている。実際、Zadeh[1973]で、ファジィアルゴリズムを使うことを提案している。

#### 3.1. ファジィ制御（ファジィ推論）

##### メンバーシップ関数

通常の集合では、その集合に属するか、属さないかははっきりと定まっている。例えば、年齢の集合を全体集合  $U = \{x; 0 \leq x \leq 150\}$  とし、65才以上の集合  $A$  は、 $\{x; 65 \leq x \leq 150\}$  となる。

このとき、この集合  $A$  は、特性関数  $\lambda_A$  を用いて、

$$\lambda_A : U \rightarrow \{0, 1\} \quad (1.11)$$



図 1.5: 65 才以上の特性関数

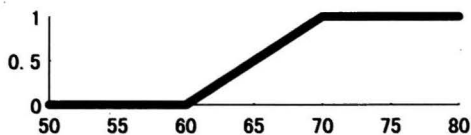


図 1.6: 老人のメンバーシップ関数の例

$$\lambda_A(x) = 1 \quad \text{if } x \geq 65 \quad (1.12)$$

$$\lambda_A(x) = 0 \quad \text{if } x < 65 \quad (1.13)$$

と表現できる (図 1.5)。

この時, 集合  $A$  を老人の集合と考える不自然なことが起こる。65 才の直前まで, 老人の集合に含まれず, 65 才になったとたんに老人の集合に含まれるということである。このとき, 老人の集合を下の図 1.6 のように表すとよい。すなわち, 0 と 1 の中間の値を認めるのである。この時, 特性関数の代わりにメンバーシップ関数と呼ばれる次のような関数を用いて表現できる。

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1] \quad (1.14)$$

$$\mu_A(x) = 1 \quad \text{if } x \geq 70 \quad (1.15)$$

$$\mu_A(x) = \frac{x-60}{10} \quad \text{if } 60 \leq x < 70 \quad (1.16)$$

$$\mu_A(x) = 0 \quad \text{if } x < 60 \quad (1.17)$$

このようなメンバーシップ関数で定義された集合をファジィ集合と呼ぶ。

## ファジィ推論

ファジィ推論とは、人間が普段使っているようなあいまいなルールを用いて、推論を行なおうとするものである。このファジィ推論を制御に応用したものがファジィ制御である。ここではマブダニが提唱した min-max 重心法(マムダニの推論法)を中心に説明する。

ファジィ推論の説明に移る前に、通常の論理と推論を簡単に説明する。まず、ルールを与える。例えば、「60才以上であれば、無料パスを支給」と言うものである。ここで、「60才以上である」という事実を与えられると「無料パスを支給」という結論を導く。この推論形式をモダスポネンスと言う。

ファジィ推論では、ルールと事実の部分がファジィ集合で与えられ、結論もファジィ集合で与えられる。

ファジィ推論の例として、「老人ならば医療費が多くかかる」というルールと「田中さんは少し老人である」という事実から「田中さんは医療費が少し多くかかる。」という結論を導くことが考えられる。

まず、ルールの前件部の部分がファジィ集合となる。そこに事実(例えば、老人であること)との一致度を求める。66才であれば、図 1.6 のメンバーシップ関数にあてはめ、一致度 0.6 を得る。この 66 という数字は、入力値にあたる。この一致度は、 $w = \mu_A(66) = 0.6$  と現す。

次に、ルール、後件部がファジィ集合となる。たとえば、医療費がたくさんかかるという部分は下のようなファジィ集合になる。これを  $B$  というファジィ集合とし、そのメンバーシップ関数を  $\mu_B$  とする ( $B$  の全体集合を  $V = [0, 50]$  とする。  $\mu_B : V \rightarrow [0, 1]$  )。

次に、推論結果は、後件部のファジィ集合を、ルールへの一致度 0.6 で頭切りする。したがって、推論結果のファジィ集合は図 1.7 の斜線の部分になる。したがって、結論のファジィ集合を  $C$  とすると、

$$\mu_C(y) = \min\{w, \mu_B(y)\} \quad (1.18)$$

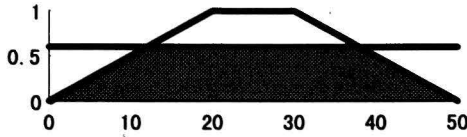


図 1.7: 「医療費が多い」のファジィ集合

となる。

前件部の条件は、常に1つだけであるとは限らない。たとえば、「老人で、職業を持たなければ、医療費は多い」といったルールが考えられる。このときは、まず、前件部の各条件の一致度を求め、それらの「AND」をとる。AND演算は、メンバーシップ関数の演算では、最小値となる。老人であるというファジィ集合を  $A_1$ 、職業を持たないというファジィ集合を  $A_2$  とし、このルールへの一致度を  $w$  とすると、

$$w = \min\{\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2)\} \quad (1.19)$$

となる。 $x_1, x_2$ は、入力値である。例えば、 $x_1$ は年齢、 $x_2$ は週あたりの就業時間が考えられる。

エキスパートシステムなどでは、通常同時に発火するルールは1つであるが、ファジィ推論の場合、複数同時発火する。たとえば、「若者であれば、医療費は少ない」や「中年ならば、医療費は中くらいである」といったルールである。

図4は、「老人ならば医療費が多くかかる」と「中年ならば医療費は、中くらいかかる」という2つのルールと、66才という入力の場合のものである。まず、66という入力を「老人ならば医療費が多くかかる」に適用する。まず、前件部、老人であるとの適応度は、0.6である。そこで、その0.6で、医療費が多くかかるというファジィ集合を頭切りする（図の横の斜線の部分）。同様に、「中年ならば医療費は、中くらいかかる」というルールを適用する。このルー

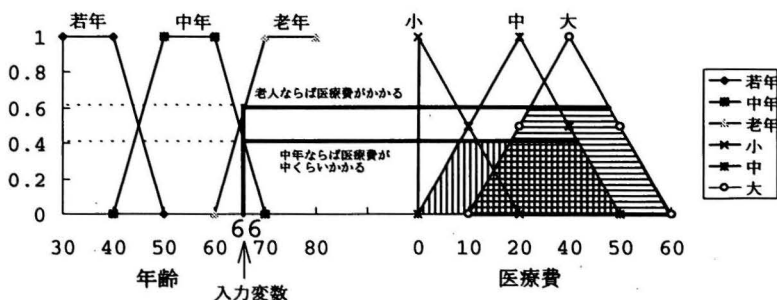


図 1.8: ファジィ推論の図解

ルへの一致度は,0.4であるので,医療費が中くらいかかるというファジィ集合を0.4で頭切りをする(図1.8の縦の斜線の部分)。

同時にルールが発火した場合のその統合は,その頭切りされたファジィ集合の和集合とする。(すなわち,和演算を行う。)図1.8では,頭切りされた2つのファジィ集合の和集合,縦または横の斜線の部分となる。

ルールが  $n$  個あり,それぞれの一致度が  $w_i$  としよう。各ルールの後件部のファジィ集合を  $B_i$  とする。すると各ルールの推論結果のファジィ集合は,

$$\mu_{C_i}(y) = \min\{w_i, \mu_{B_i}(y)\} \quad (1.20)$$

となる。そして,ルール全体の推論結果のファジィ集合は,

$$\mu_C(y) = \max\{\mu_{C_1}(y), \dots, \mu_{C_n}(y)\} \quad (1.21)$$

となる。

意思決定した値は,ファジィ集合としてのアウトプットは利用しづらい。そこで,非ファジィ化して,1点にすることが行われる。典型的な方法は,推論結果のファジィ集合の重心を非ファジィ化した値とするものである。すなわち,

$$y^* = \frac{\int y \mu_C(y) dy}{\int \mu_C(y) dy} \quad (1.22)$$



となる。図 1.8 では、斜線の部分の部分の重心となる。

and,or の計算に,min,max 演算を利用している (min-max 重心法) が, and 計算に積,or 計算に和を使うこともある (product-sum 重心法)。

### 3.2. 複雑系との関わり

ファジィ制御の研究の中で、制御規則の学習という分野がある。この分野で、複雑系の研究分野と関わりが大きい。実際には、ファジィルールやメンバーシップ関数の自動生成にニューラルネットワークが利用されたり (ニューロ・ファジィ)、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) が用いられたりしている (例えば富岡ら [1997])。

また、シミュレーションの中での主体の意思決定をファジィ推論 (制御) も行われている。例えば、吉田 [1997] は、企業グループの産出量の決定にファジィ制御を用いている。また、高萩 [1995] は、SD(System Dynamics) のレート変数 (主体の意思決定量) の決定に、ファジィ推論を用いる方法を提案し、そのシミュレーション方法、注意点などを述べている。

しかし、社会理論の範囲で、主体間の相互作用を念頭においたファジィ制御を用いたモデルは見当たらない。

新しい社会理論を構築する上で、次のようなモデルが考えられる。

1. 主体の数は中規模である。
2. 各主体は、限られた情報を入力として受け取る。
3. 各主体は、ファジィ推論の結果を出力とする。
4. 各主体は、意思決定の結果の状況から、自己の制御ルールを変更 (学習) する。
5. 各主体は、他の主体のルールから学習することもある。
6. 各主体は、基本的には、同じ機能を持っているが、初期のパラメータは、異

なる（パラメータは、学習されていく）。

学習方法としては、上記のニューロファジィや遺伝的アルゴリズムの技法を取り入れることが可能であろう。

## 4. 経営学における複雑系研究方法論の可能性と展望

矢澤 清明

### 4.1. 問題意識

かつて経営学における理論の乱立状況は、「理論のジャングル」(Koontz[1961])と形容された。その後多くの理論的展開があったにもかかわらず、多様なアプローチによる断片的理論が錯綜しているという意味で「理論のジャングル」状況は依然として変わっていないように見える。「理論のジャングル」状況は理論内容の多様化にもよるが、もう一つの主要因は研究パラダイムや研究方法論自体の問題である。

従来経営学を含む社会科学一般の研究パラダイムや研究方法論は、自然科学系のそれを先行規範として取り入れ強い影響を受けてきた。近年自然科学系においては「複雑系科学」或いは「複雑適応系科学」の研究パラダイムが新たなムーブメントとなっており、これらは従来の研究パラダイムを超える可能性を持つ方法論として社会科学分野にも大きな影響をもたらしつつある。複雑系の定義自体がまだ一般的に確立されているとは言えないが、とりあえず複雑系とは「多くの要素があり、その要素が互いに干渉し、何らかのパターンを形成したり、予想外の性質を示す。そして、そのパターンは各要素そのものにフィードバックする。」(Brian[1997])という定義に従えば、経営・経済・社会現象は、人間もしくは人間が構成する組織という自律的かつ能動的に活動するエージェント(主体的要素)が相互に干渉しあう複雑系ととらえることができる。このような観点に基づく研究が、経済学を中心として社会科学分野でも開始されつつある。しかし過去の経緯をたどると、自然科学系の新しい研究パラダイムの導入が必ずしも社会科学にとって生産的な成果をもたらしたとばかりは言えない。物質レベルの自然科学系の新しいツールを、

主体的自律性を持つ人間・社会<sup>1)</sup>に安易に擬人化して応用することは危険であり、単に時流にさおさすのみの結果となりかねない。経営学を含む社会科学分野では、多様なリアリティを取り扱うため様々なアプローチが共存しているが、それらの問題点を整理して複雑系研究のパラダイムがどのような意義を持つかについて見通しを立てておくことが重要であろう。

そこで本論では、社会科学分野、特に経営学分野における従来の研究方法論の問題点を指摘し、それらの問題点に対する「複雑系科学」・「複雑適応系科学」の意義を考察する。さらに社会科学分野への適用については、具体的な研究方法論を検討する必要がある。定義と同様に、複雑系の研究方法論についても明確な方法が確定しているわけではないが、一般的な共通認識となっているのがコンピュータ・シミュレーションによる人工（仮想）世界に基づく構成的方法である（金子・津田[1996]）。従来のいわゆる還元主義的方法では、現象を大域的な秩序パラメータに還元して記述していたのに対して、構成的方法では、いくつかの基本的な概念要素を組み合わせることで現象の人工システムを構成し理解する方法が用いられる。本論は、このような複雑系シミュレーションの経営学分野における可能性を検討することを目的としている。本論の構成は、以下の通りである。

#### 4.1. 問題意識

#### 4.2. 経営学における研究方法論再考—いくつかの対立図式・ 問題点と複雑系研究アプローチの意義

##### 4.2.1. 外部行動記述モデル／内部解釈モデル

##### 4.2.2. 環境—行動主体の2項モデル／エージェント相互作用モデル

##### 4.2.3. クロスセクション（共時性）／時系列

---

<sup>1)</sup>主体性や自律性を認めない機械論的な人間・社会観もありうるが、ここでは物質レベルと意識（認識機能）を持ち行動を選択する人間レベルの相違を主体的自律性という概念で示している。

(時間推移・経路依存性・不可逆性・未来志向性)

4.2.4. 状況独立性／状況依存性

4.2.5. 個別事例研究／統計的研究

4.3. 構成的方法に基づく複雑系シミュレーション

(Agent-Based Models)

4.4. 展望

## 4.2. 経営学における研究方法論再考—いくつかの対立図式・問題点と複雑系研究アプローチの意義

本節では、従来の経営学における研究方法論の問題点として、特に戦略的な経営行動を研究対象にする場合を念頭においていくつかの対立図式を指摘したい。対立図式という形式を用いたのは、必ずしもどちらか一方の立場を擁護するためではなく、場合によっては両者を使い分けたり何らかの形で止揚する必要があることを承知の上で、問題の所在をより明確にすることを意図したためである。またそれぞれの分類は、相互に独立とは限らず関連性を有する場合も含まれている。それは、社会現象・経営現象を複雑系としてとらえた場合に、複雑系の主題が相互に関連していることにもよる。具体的には、次のような対立図式・問題点を取り上げ、複雑系研究方法論との関連について考察する。

- ・外部行動記述モデル／内部解釈モデル
- ・環境—行動主体の2項モデル／エージェント相互作用モデル
- ・クロスセクション（共時性）／時系列（時間推移・経路依存性・不可逆性・未来志向性）
- ・状況独立性／状況依存性
- ・個別事例研究／統計的研究

#### 4.2.1. 外部行動記述モデル／内部解釈モデル

##### 4.2.1.1. 外部行動記述モデルと内部解釈モデル

1960年代から70年代にかけて経営学分野で盛んに研究されたコンティンジェンシー理論では、特定の環境に対して企業がとる適応的行動は、技術的・市場的環境条件に規定されると考え、外部的に観察される組織構造変数と環境変数とを直接的に関連づけて分析が行われた。このように外部から観測しうる変数をもとに組織行動を記述するコンティンジェンシー理論では、環境と組織行動を媒介する組織の主体的側面をほとんど考慮していない。コンティンジェンシー理論に代表される構造論的組織分析は、外部から観察可能な変数のみで現象を記述する外部行動記述モデルであり、内的な選択行為（選択メカニズム）に言及する余地を持たない。しかし本来自律的主体としての側面を持つ組織は、環境を自己内部の認識スキーマによって解釈し、その解釈された環境に対して適応行動をとっていると見るべきである。認知限界に制約される組織主体は、過去の経験や学習に依存した認識枠組みに基づいて戦略的決定を行っていると考えられ、外部的に観察される行動結果変数や環境変数によって組織を記述するのではなく、組織に内部化されている認識スキーマをより明示的に取り扱う内部解釈モデルの構築が必要である（矢澤 [1994]）。内部解釈モデルを考える場合、無意識的な身体的行動レベルから意識的な知識操作レベルまで多様なレベルを想定することができる。企業経営という行為は、市場経済制度や会計制度、取引慣行などの広い意味での社会制度上に成立しており、心理的には高次の精神的機能を要し社会文化的には一つの専門領域を形成している。こういったことを前提とすれば、経営学における内部解釈モデルは、第一義的には経営という「領域固有の知識」を反映したモデルであるべきであろう。内部という概念を用いると、内部・外部という2

分法の内部と誤解され、内部解釈は単なる個体内部の認識過程と解されがちである。しかしここで内部と言うのは、それだけの意味にとどまらない。松野 [1997] は、「内部解釈」と類似の〈内部観測〉という概念を貨幣のフローとストックの測定を例に、以下のように説明する。貨幣を計測することを考えた場合、フローとストックという2分法でダイナミクスを考えようとするが、はたしてどちらも独立に測定できるのだろうか。財布に持っている貨幣は、一体フローなのかストックなのか問題となる。これに対し松野は次のようにコメントする。

「フローを測定するには、ある有限の時間間隔が必要であって、そしてその時間間隔を指定しているのは我々であり、私であるわけです。しかもこの測定には、測定されるべき量を実現することあわせて含まれています。私の財布を通過していくお金のフローを私が測定するとは、少なくとも自己破産を回避する私の行為から成り立っているはず。このことは、結局、経験世界の内部で定量化される量が現れるとき、その量の実現と測定は実は楯の両面だ、ということです。それを担っているのが経験世界の内部で出現する測定、観測です（松野・佐々木・三嶋 [1997]）。」

このように内部解釈とは、主体が生きる経験世界の内部における解釈や理解を意味している。貨幣のフローを測定する場合であれば、経済的に生活を成立させるためには自己破産を回避する必要があるという経済生活に関する知識に基づいて、経験的世界の中で主体の行為を通じて量が測定されることになる。研究方法論的にこういった点を、考慮することが必要であろう。このような内部解釈モデルを明らかにするのに、外部観察法を用いるのでは元のもくあみである。例えばカオス系の観測記述で、状態を有限個のシンボルに落として表現する方法を用いた場合に、そのシンボルへのコーディングに

対する安定性が問題になる。そこで複雑系研究では、複雑系の記述不安定性に対してモデルを現象から導き出すのではなく、「基本的な手続き（プロセス）」の組み合わせによって現象を構成して理解する構成論的方法が用いられる（金子 [1997]）。内部解釈のような不可視な現象を記述する場合においてこそ、外部観察ではなく構成論的方法を適用することが必要になるだろう。またコンピュータ内に人工世界を構成するアプローチは、一回限りの歴史的現象研究への新しい方法を提供する。仮想的な構成を行う際の「基本的な手続き」には、当該領域で経験的妥当性を持つ「領域固有の知識」を用いることが考えられる。逆に言えば、「領域固有の知識」を内部解釈の基本的な手続きに該当するレベルで概念化するという方法が、社会科学分野では必要ではないだろうか。そうすることによって、「領域固有の知識」が一種の手続き的な準公理となりうる。従来の外部観察は、「領域固有の知識」を確定するための作業仮説の一次的ソースを提供するがそれだけでは不十分である。また、定式化された内部の認識枠組みに関する仮説が妥当なものかどうかを検証する方法も持っていない。しかし、構成的方法に基づいてコンピュータ上に仮想世界を創造してシミュレートすることによって、これらの検証がある程度可能になるだろう。このように社会科学分野の複雑系では「領域固有の知識」を「基本的な手続き」として用い、現象を人工的に構成して「領域固有の知識」の妥当性を検討する方法が検討に値すると思われる。

#### 4.2.1.2. 内部解釈モデルの生成・発展と関連トピックス

内部解釈モデル、言い換えれば認識スキーマは、動的なネットワークとしての環境への適応を通じてそれ自身を更改して生成・発展、学習を行うと考えられる。このような経営に関する認識スキーマの機能には、次の3つを考慮することができる。まず特定の認識枠組みに基づく選択的探索や類型化を用いることによって、探索コストを節約しつつ必ずしも最適性の保証はないがより的確な選択を可能とする (1) ポジティブな機能、状況変化などによって



選択的探索や類型化が逆機能のバイアスとなる(2)ネガティブな機能、多様な状況での経験がもたらす認識枠組み自体の更改・発展といった(3)学習機能の3つの機能である。このうち特に重要なのは、(2)ネガティブな機能を回避するための(3)学習機能であり、そのメカニズムの解明であろう。このような学習機能はまた、状況依存性との関連を持つが、この点については状況独立性/状況依存性の節で触れる。

このように、経営主体の認識スキーマを考慮することは、他の様々なトピックスとの関連を持つ。例えば経営戦略支援(経営者支援)システム(ESS:Executive Support System)・意思決定支援システム(DSS:Decision Support System)・発想支援システム等の情報システムの設計問題は、認識スキーマの機能と直接的な関わりを持っている。Sage[1991]は、認知的な偏向と欠陥の回避の手段としてのDSS利用法の研究を行い、Rockart & De Long[1988]は、ユーザーのメンタルモデルの支援・強化という視点からESSの効果を論じている。さらに大学・大学院(ビジネススクール)での経営専門家養成のための経営教育法や企業における人事配置を通じたキャリアパスのあり方は、認識スキーマの生成・発展、言い換えれば学習のプロセスに関わる問題でもある。大学・大学院でのケース・メソッドやビジネス・ゲームによる教育法は、実際の経営現場で直面する具体的問題に挑戦する機会を与えてビジネスに関する意思決定能力を養成しようとするものであり、個別の状況要因を取り込んだ教育法である点に特徴がある。これらに対しては、個別の特定問題にうまく対処できたとしても、他の状況での問題に対処可能という保証は全くないという批判があり、ケース・メソッドのような方法が有効であるための条件は、経営に関する認識スキーマの生成・学習プロセスと深く関連する。

また人事配置やキャリア・パスの設定も、それがもたらす認識スキーマへの影響を配慮することが必要であろう。経営管理者の職務経験と認識特性の関係については、Dearborn & Simon[1958]やWalsh[1988]らによって研究が行われている。Dearborn & Simon[1958]は、経営管理者は自分の出身部

門の活動や目標の視点に基づいて全般的な経営状況を把握しようとする傾向があることを指摘している。Walsh[1988]は、同様の観点から職務経験と認識特性の関係について分析した結果、両者に Dearborn & Simon の結果ほど強い相関が見られないという結論を出している。ただしその結果は、被験者全員が非常に成功した経営管理者であったことが一因であり、直ちに一般化はできないとしている。このことは、優れた経営管理者は直接的な職務経験に限定されないより汎用的な認識特性を有している可能性を示しており、経営に関する認識スキーマの学習を考える上で示唆に富む。以上のように、経営に関する認識スキーマを内部解釈モデルとして明示的に取り扱うことは、関連する様々な視点からも重要であると考えられる。

#### 4.2.2. 環境－行動主体の2項モデル／エージェント相互作用モデル

先に見たコンティンジェンシー理論の理論構造は、典型的な環境と行動主体（企業組織）の2項関係の分析枠組みであった。コンティンジェンシー理論に限らず社会科学一般では、多くの錯綜した因果関係のネットワークの中から研究者が明らかにしたい特定の因果関係が抽出されるが、その場合よく用いられる分析パターンが環境－行動主体の2項関係分析である。この場合には、環境は外部要素の総体として一元的に取り扱われ、それを構成する要素そのものにはあまり注意が払われない。これは、コンテキストを考慮して環境を下位レベルに細分化して分析する際にも基本的に同様である。しかし、例えば市場における競争戦略的な組織行動を分析するような場合、市場での競争相手との動態的な競争相互関係をより明示的に分析する必要がある（Day and Reibestein[1997]）。当面の社会現象の理解には、あるレベルでの何らかの仮説的・認識論的な切断が必要である。しかし、環境－行動主体の2項モデルの枠組みは、複数主体による市場の競争戦略行動の分析には不十分である。異質な複数のエージェントが関与する動的状況をネットワーク的相互関

係として捉え、特定状況下の相互作用関係を分析する枠組みを提供する方法論の確立が必要である。マルチエージェント手法を用いた人工世界の構造的シミュレーションは、エージェント間の相互関係を取り扱える点でこの場合の分析枠組みとしての可能性を持っていると考えられる。

環境-主体の2項関係でなく、多主体のネットワークを考える場合、そのネットワークの対象範囲の設定が問題となる。システム論に対しても、佐伯[1995]によって同様の問題が指摘されている。システム論では、人間や組織の行動を環境との相互作用状況におかれたオープン・システムとしてとらえるが、その場合に主体と環境との境界をどこに設定するかという問題が発生する。システムが境界を確定していく問題は「周回問題」と呼ばれるが、「複雑な」システムにおいては、その「周回」はあらかじめ安定してシステム間の相互作用によって与えられているのではなく、「周回」そのものをシステム自らが決めていかなければならないのである。

この問題についても、筆者はとりあえず振り所となるのは「知識の領域固有性」だと考えている。例えば、上記の市場における競争戦略行動のネットワーク範囲をどこまでとるかについて、競争戦略論を確立したポーター[1980]は、業界の収益構造を決める競争要因の認識枠組みを、業界内の競争業者間の敵対関係の他に、売り手（供給業者）、買い手（顧客）、新規参入業者、代替品の4つの外部要因を加えた5つの競争要因のモデルとして定式化している。このモデルは、認識対象のネットワーク範囲を業界内の競争業者ネットワークより広く、かつ無限定に拡張するのではなく、市場競争戦略に必要十分と考えられる5つのネットワーク範囲に確定していると解釈できる。このようにシステムのネットワーク範囲の決定は、「ある宣言的表現体系で表現され、それを前提として他の全ての事実を導きうる数少ない法則」として形式化される公理によってではなく、特定の領域で経験的に有効と確認された「領域固有の知識」を用いることによって可能であると考えられる。形式化された公理ではなく実質的に意味のある「領域固有の知識」を準公理として取り扱

い、その準公理の積み上げによって、視野に入れるべき有効なネットワーク範囲を経営知識ベースとして構築する方法が一つの現実的な研究アプローチではなかろうか。勿論公理でない以上、準公理的知識は随時テストされる必要はあるが、その場合にも複雑系研究アプローチの人工世界による構成的理解の方法が有効であると考えられる。こういった内容指向の知識処理研究の重要性はAI分野でも指摘されており、その具体化としてオントロジー工学も提唱されている（溝口・池田[1997]）。これらについては、最終節でもう一度触れることにしたい。

#### 4.2.3. クロスセクション（共時性）／時系列（時間推移・経路依存性・不可逆性・未来志向性）

組織の競争力の源泉を経営資源ベースでとらえようとする最近のCore Competence、より一般的にはResource Based Viewの研究に見られるように、組織の競争能力は歴史的な経路依存性を有する。組織行動の歴史性や未来志向性を視野に入れて、組織が自己組織化的に変遷していくプロセスを取り扱える分析方法論が必要である。従来の統計的手法では、大量サンプルを前提としたクロスセクションの分析が主であり、また個別事例研究ではある程度長期に渡る観察が可能であるが、多くの場合歴史的現象の外部観察になって、組織に内在する変遷プロセスを一貫した枠組みで取り扱うことが困難である。コンピュータを用いた人工世界による構成的方法は、進化的アルゴリズム手法などを用いて仮想世界の中であり得たかもしれない推移過程を分析することが可能であり、社会科学分野で特に問題となる歴史的現象研究への新しい方法論となる可能性がある。

#### 4.2.4. 状況独立性／状況依存性

前節の大量サンプルを前提とする統計的クロスセクション分析で取り扱えるのは、基本的には状況独立的な問題であり、個別状況に依存する問題はサンプル数が限定されるため分析対象としにくい。つまり分析レベルが、個別要因を排除したマクロの共通性が保証された部分に限られるという限界がある。例えば、自社の戦略の有効性が市場の競争相手の行動によって変化するような状況依存的な問題は取り扱いが困難である。結局このような場合には、競争相手の行動をパターン化してサンプル数を確保するか、さらにマクロ化して環境の状況パターンという捉え方をする他はない。またこのような場合、着目する変数以外の他の条件は同一と見なされるが、社会科学分野においてはこの前提自体が現実的でない場合が多い。

既に検討したように経営行動を理解するためには内部解釈モデルの観点から経営主体を把握する必要がある。以前このような立場から、戦略計画の立案内容に関するアンケート調査を行い、戦略内容の変数群から潜在的因子を抽出する統計的方法を用いて戦略策定における認識構造因子の分析を行った(矢澤 [1994])。平均計画期間が中長期にわたる戦略計画を分析対象としたこともあって、ある程度状況独立的な一般枠組みと考えられる認識因子が抽出された。しかし質問票の作り方の問題もあるが、統計的研究では状況独立的なマクロの枠組みを明らかにすることはできても、個別の状況に依存する認識因子、言い換えれば内部解釈モデルの詳細な分析は困難であり、別の方法を考慮することが必要である。認識スキーマの機能の中で特に重要と考えられるのが学習機能であるが、この学習機能はまた、状況依存性との関わりを持っている。現時点で筆者は、認識における学習機能は「状況の分節化」によると考えている。一般に人間を取り巻く環境の情報量は非常に多く、人間は日常的にそれに対処するため情報の一部だけに注目するという習慣を身につけている。つまり無限のパターンのある実世界をそのまま無限と感じてい

たのでは生きていけず、経験的に安全と危険といったように状況を分節する必要がある。中島 [1994] は、知能の本質はこのような状況の分節化にあると主張する。人間は、認識機能によって状況を分節化し、それに基づいて様々な状況に対応していると考えられる。分節化の程度は、その主体が活動するドメイン環境に依存し、またその主体の経験の蓄積とともに細分化の程度が増していく。分節化は必要に応じて細かくなるが、それ以上区別する必要がないところでとまる。例えば中島によれば、我々日本人は「雪」の種類をそれほど分類しないが、イヌイットの人々は「雪」をあらわす20種類以上の言葉を持っているという。学習に関して経営学分野の組織変革論では、過去との不連続性を強調する棄却学習 (unlearning) の重要性が主張されてきたが、状況の分節化では従来の枠組みは棄却されずに一つの状況として相対化されることになる。これは、「もし～の状況なら、～と判断される、或いは～の行動をとるべきである。」といった形式の「If - Then」型ルールとして記述可能である。いずれにしても人間や組織が存続するためには、その生存環境の特定状況に対応することが必要であり、そういった状況依存性を取り扱える分析枠組みがまた必要となる。

#### 4.2.5. 個別事例研究／統計的研究

経営学分野での研究スタイルは、特定の事例を対象とする個別事例研究と大量の事象データに基づく統計的研究に大別される。沼上 [1995a,1995b] は、この2つの研究方法を検討し、個別事例研究を擁護する立場から経営現象におけるマクロ法則定立化の可能性に対して否定的な見解を述べている。2つの方法を比較する際には、次の4つの基準が用いられる。(1) 内的妥当性：ある現象を説明できる代替的な理論が排除されている程度で、当該の解釈が他の解釈より説明力に富むこと。(2) 構成概念妥当性：操作定義 (測定尺度) と構成概念が一致している程度のこと。(3) 信頼性と追試の可能性：いつ測定

しても同じ対象であれば同じ値を示し、同じような研究手段で同等のデータに対してアプローチすれば同様の結論に達する程度。(4) 外的妥当性（一般化の可能性）：ある事例の観察から得られた変数間の関係が他の事例でも観察可能であるか否かを示す基準。これらの4つの基準は、自然科学をモデルとした法則定立的な実証主義的方法論の基準であり、これらに照らして個別事例研究と統計的研究の問題点が指摘されている。質的データを利用する個別事例研究は、(3) 信頼性と追試の可能性と(4) 外的妥当性（一般化の可能性）という基準を満たすことは困難であるという問題点がある。一方大量観察に基づく統計的研究は、経験的な世界における社会現象が多数の法則に支配されており、注意深い統制を行うことでひとつひとつの法則を経験的世界における規則性として確認することができ、その法則が社会的行為者の知識や行為から独立して安定的であるという社会科学観を前提としているが、そのような前提は非常に疑わしいと沼上は指摘している。このことは、「経営学におけるマクロ現象法則確立の可能性」が非常に限られていることを意味する。

沼上は、そのことをゲーム論のジレンマゲームの事例を用いて説明する。代表的なジレンマゲームとして、囚人のジレンマ、チキンゲーム、鹿狩りゲーム（調整ゲーム）などが知られている。囚人のジレンマにおいて、プレイヤーは協調（Cooperation）と裏切り（Defection）の2つの戦略のうち一つを選択する。その場合の戦略組み合わせの利得表は、下記表1の通りである。最初の数字が Player1 の利得で、後の数字が Player2 の利得である。

表1. 囚人のジレンマ

		Player2	
		協調	裏切り
Player1	協調	3,3	0,5
	裏切り	5,0	1,1

両者が協調した場合に両者が受ける利得を「CC」、2人とも裏切った場合

を「DD」とする。また一人が協調してもう一人が裏切った場合、協調したプレイヤーの利得を「CD」、裏切ったプレイヤーの利得を「DC」とすると、代表的なジレンマゲームでの利得の順位は次のようになる。

囚人のジレンマ	DC>CC>DD>CD
チキンゲーム	DC>CC>CD>DD
鹿狩りゲーム	CC>DC>DD>CD

ゲームの後に事後分析をしたとき、相手のプレイヤーの選択がわかっても双方がやはり自分の選んだ戦略で正解だったと思える選択肢の組み合わせを、ナッシュ均衡と呼ぶ。ナッシュ均衡にいるプレイヤーは、自分の戦略を変更すると利得が減少する。したがって合理的プレイヤーは、この戦略に従うしかない。囚人のジレンマでは、2人とも裏切る場合がナッシュ均衡になる。もし両者が協調していれば、表1の利得表では3が得られ裏切りの1より高い利得が得られるにもかかわらず、互いに相談できない非協力ゲームではお互いに不本意であってもナッシュ均衡に行き着くことになる。これに対しチキンゲームでは、一方のプレイヤーが協調し他方のプレイヤーが裏切る場合の2通りの組み合わせのナッシュ均衡が存在し、どちらを取るべきか一義的に定まらない。また鹿狩りゲームでは、2人とも協調する場合がナッシュ均衡であるが、相手のプレイヤーが合理的な判断をしない、或いは思いがけない判断をするかもしれないと考えられる場合には裏切りが望ましいことになる。このようにこれらのゲームでは、それぞれジレンマに陥ってしまう。沼上は、ナッシュ均衡は社会科学分野での「不変の法則」の成立には不十分で支配均衡を基準とする必要があり、囚人のジレンマでは支配均衡が存在するが、チキンゲームや鹿狩りゲーム（調整ゲーム）では支配均衡が存在しないことを指摘している。プレイヤーを企業とすれば、支配均衡が存在しないときには、他社の行動に対する自社の<読み>が各企業の行動選択に影響を及ぼすことになる。その場合には、「特定の産業特性の下で、個々の企業がどのような知



識に基づいて、どのような信念を持ち、どのような〈読み〉を生成したのか」を明らかにすることが必要になり、また社会現象の予測が原理的に困難になると沼上は主張する。前者は、本論で考察した内部解釈モデル（認識スキーマ）の問題である。このように、確かに社会科学分野においては主体の認識スキーマについての分析が必要であることは、沼上の考察からも明らかである。さらに本論で考察したようにエージェント間のネットワーク相互性に加えて時間推移に関わる時系列性、或いは〈将来への見通し〉といった未来志向性を考慮した場合、状況はまた変わってくる。

囚人のジレンマは、通常1回のゲームであるが、そのゲームを反復的にくり返す場合が、繰り返し囚人のジレンマである。繰り返し囚人のジレンマは、いつ対戦が終わるか分からない状況で、通常2人の対戦の総当たりをくり返して得点の総計で順位を争う。繰り返し囚人のジレンマについては、心理学的な実験研究や歴史的事例研究なども行われているが、特によく知られているのがコンピュータ選手権に基づく Axelrod[1984]の研究である<sup>2)</sup>。Axelrod によって行われた2回のコンピュータ選手権では、いずれもしっぺ返し（Tit for Tat:TfT）戦略が優勝した。しっぺ返しとは、最初は協調しその後は相手が前回とった手と同じ手をとる戦略である。このしっぺ返しは、また未来係数  $w$ （ゲームの次回の利得が前回に比べて割り引かれる度合い）が十分に大きいという条件を前提とすれば<sup>3)</sup>、集団安定となる。集団安定とは、ある集団の全個体が特定の戦略をとっているとき、突然変異した一個体が採用するいかなる戦略も侵入可能でない場合をいう。このように未来志向性を考慮した場合には、1回ゲームとは異なり協調的な戦略が安定性を得ることができる。1回ゲームでは、裏切りが支配均衡となった。繰り返しの場合でも、それが有限回であれば最終回では次回を考える必要がないため裏切ることにな

<sup>2)</sup> 繰り返し囚人のジレンマの研究経緯については、Axelrod[1984]の原著の他に、Poundstone[1992]、高橋 [1996,1997]、星野 [1997] 等が詳しい。

<sup>3)</sup> 未来係数  $w$  が十分大きいということは、未来が現在と同等に重要で割り引かれないことを意味する。

り、この論理で順次前にさかのぼって結局繰り返しゲームは1回ゲームと同じになる。繰り返しが無制限の場合、集団安定の観点から見れば、全面裏切り (ALLD: ALL Defection) も集団安定となる (Axelrod[1984])。しかし、TFT と ALLD が対戦する場合を想定した TFT と ALLD の2つが混在する集団では、未来係数  $w$  が十分大きく TFT の構成比率がわずか数%を超えると TFT が ALLD を駆逐する。全面裏切り ALLD は、未来係数  $w$  が十分大きい場合に TFT と混在していると、その集団安定性にはほとんど意味がなくなることになる (高橋 [1997])。

このように、1回ゲームで支配均衡が存在しても、未来時間を考慮した繰り返しゲームでは、1回ゲームとは異なった結果が導かれる。そして未来時間を考慮した場合でも、「集団安定性」や「進化的に安定な戦略 (ESS: Evolutionary Stable Strategy) <sup>4)</sup>」のような一般化の可能性が方法的にあり得ることが確認されている。但し現実的な観点から言えば、これらの概念がどの程度意味を持つかについては議論の余地は残る。一方では、戦略の善し悪しは対戦相手に依存して決まるため、しつぱ返しがあらゆる戦略の中で常に毎回優位に立つわけではなく、相手との相互作用性を考慮して個別事例毎に分析する必要もまたあると考えられる。

以上のようにここでは個別事例研究と統計的研究を対比して、沼上の議論に準拠してそれらの妥当性を検討した。沼上が主張するように、従来の自然科学をモデルとする法則定立的な実証主義的方法には、前提となる社会・経営に関する世界観に大きな制約がある。沼上は、統計的研究を批判して経営学知識のプラクティカルな有用性に悲観的な見解を表明し、個別事例研究に軸足を置いて統計的一般化に代わる何らかの一般化の方法を探る方向性を提

<sup>4)</sup>  $n$  個体間の対戦を2者対戦の総当りに分解し、各2者対戦の得点を線形に加えたものを各個体の評価とする。ある戦略個体Aが集団中で多数を占めていて、そこへ突然変異によって生じた(したがって少数で相互には戦わない)任意の戦略個体Bが侵入を試みた場合を考える。Aが侵入者Bと対戦した場合に、 $V(A|A) > V(B|A)$ であれば、戦略的個体Aを進化的に安定な戦略(ESS)という(ここで $V(a|b)$ とは、個体aが個体bと対戦したときのaの得点である)。集団安定性は、不等号が等号になる場合も含む(星野[1997])。

示している。本論では、統計的一般化に代わる方法論として、構成的方法に基づくコンピュータ・シミュレーションを用いる方法を検討する。既に見たように囚人のジレンマは、協調と裏切りの2つの選択肢しか持たないゲームであるが、コンピュータを用いた繰り返し囚人のジレンマの研究は、研究方法論の観点からみれば反復的に多様な戦略の組み合わせが可能な複雑系シミュレーションの一種と考えることが出来る。

Axelrodは、最近の著書(Axelrod[1997])で多くのエージェントとその相互作用の分析を扱う研究方法として複雑系理論に言及している。その中で、多くのエージェントとその相互作用パターンの変化の研究を行うには数学的手法では制約があり、複雑系理論の基本的な研究ツールはコンピュータ・シミュレーションであると述べている。コンピュータ選手権以後の遺伝的アルゴリズムを用いた戦略進化の研究も含めて、エージェントをベースにおいてその相互作用関係をコンピュータ・シミュレーションで分析する研究方法をAxelrodはAgent-Based Models (ABM)と呼んでいる。

このような方法が、本節で検討したいいくつかの対立図式に基づく従来の研究方法論の問題に対してどのような意義を持つかを次節で検討する。

#### 4.3. 構成的方法に基づく複雑系シミュレーション (Agent-Based Models<sup>5)</sup>)

本節では、前節で検討した従来の研究方法論の問題点に対して、複雑系研究方法論の一つである構成的方法によるコンピュータ・シミュレーションが持つ意義とそのモデル化に際しての問題点を考察する。

本論で検討している複雑系シミュレーションによる研究方法は、従来の方

---

<sup>5)</sup> 構成的方法に基づくコンピュータ・シミュレーションは、Axelrod[1997]が指摘するようにAgent-Based ModelingやBottom-Up Modeling、Artificial Social Systemsなどと言われる場合があるが、本論では主に複雑系シミュレーション、或いはAxelrodに従ってAgent-Based Models (ABM)という用語を用いる。

法と比較してどのような特徴を持っているのであろうか。経営学では先の統計的研究に見られるように帰納的な方法が用いられることが多いが、経済学ではむしろ演繹的方法が主流である。Axelrod は、複雑系シミュレーションとしての ABM (Agent-Based Models) を帰納法・演繹法とは異なる科学における第三の方法と位置づけている。ABM は、演繹法と同様に明示的なくつかの仮説の集合からスタートするが、そこから定理や一般原理の証明を行うのではなく、帰納的に分析可能なシミュレーション・データを生成する。しかしまた帰納法とも異なり、シミュレーション・データは実世界の直接測定からではなく、厳密に明示されたルール集合から得られる。帰納法はデータからのパターンの発見を行い、演繹法は仮説がもたらす帰結を説明するのに対し、複雑系シミュレーションである ABM は思考実験を行う方法であり、また直観の支援を目的とする。

このような特性は、帰納法の制約である実世界からのデータ入手可能性の困難さの問題を基本的に克服する可能性をもたらす。前節で既に検討したように外部観察に基づく統計的方法を適用することが困難な認識スキーマを扱う内部解釈モデルや状況依存性、未来志向性といった問題点に対して、複雑系シミュレーションはそれらを取り扱える方法論的な可能性を持っている。また社会科学モデルにおいて従来支配的であった演繹的方法を可能とするための合理性パラダイムを前提とせず、情報の部分性や視野・活動の限界、さらには合理性の限界、相互作用による非線形性といった現実的な実制約を考慮したモデル構築を可能とする。

以上の考察結果から、構成的理解に基づく複雑系シミュレーションによる方法は、社会科学分野、特に経営学において従来の研究方法論の問題点を克服する潜在的可能性を持った有望なアプローチと考えられるというのが、本論のひとまずの結論である。ただし実際に複雑系シミュレーションモデルを作成し、そこから意味のある結果を導くためには、考慮すべき問題点もまた多い。モデル評価の問題を含めて、次にそれらについて検討する。

エージェントをベースにして構成的な人工世界を構築するには、モデル設定をどのように行うか、そしてそのモデルの妥当性をどのような基準で評価するかが重要な問題となる。モデル設定に際しては、まずエージェントの活動仮説、或いは活動の源泉となるエージェントの基本的な認識スキーマに関する仮説の集合を設定する必要がある。複雑系シミュレーションにおけるモデル設定法については、これらの研究が開始されて間もないこともあり十分なコンセンサスは得られていないが、Axelrod[1997]やCasti[1996]の見解が参考になる。Axelrodは、ABMのような複雑系シミュレーションの目標は、様々な領域で見られる基本的なプロセスの理解を豊かにすることであると指摘し、調査対象が複雑であってもエージェントの活動仮説は単純であるべきだと主張する。同様にCastiも良いモデルの条件として、(a)単純性(記述の簡潔さ)、(b)明瞭性(関心のある研究者ならそのモデルを理解できそれを利用して同じ結果を導くことができる)、(c)脱偏見性(研究者からの偏見を受けず客観的である)、(d)扱いやすさ(コンピュータの費用を考えたときに採算の取れるモデル)を指摘している。さらに、複雑系モデルを構成するエージェントの数は、中規模が最も適していると指摘する。またコンピューター上に、仮想的な人工世界を構築する場合のリアリズムについて、シミュレーションのリアリズムは、データのリアリズムではなく、プロセス(変化過程)のリアリズムで評価されるべきであり、モデルの中に現実世界を忠実に複製することは、良いモデルを作るための必要条件ではないとの見解を示している。Axelrodはまた、複雑系シミュレーションモデルを作成するためのプログラミング環境やプログラミング言語の選択といった具体的なモデル化方法に言及しており、さらにABMを構成するプログラムが満足すべき目標として次の3つの条件を指摘している。(i)validity(プログラムがモデルを正しく実行していること)、(ii)usability(プログラムを実行して、そのアウトプットを解釈でき、それがどのように機能しているか理解することが可能である)、(iii)extendability(そのプログラムが将来のユーザーに対しても適用可能で

ある)。以上の他に、モデル作成における周回問題も考慮する必要がある。つまりエージェントと環境のどこに境界を引くかという問題である。全体の系からエージェントを切り出すというのは、系全体を対象として眺めることが出来る設計者の視点によるものだが、モデルにエージェント当事者の視点を組み込むことも内部解釈モデルの観点から必要になる（山田 [1997]）。

もう一つ重要なのが、作成されたモデルの妥当性の評価をどのように行うかという問題である。Casti[1996]は、非常に一般的ではあるが、モデルが現実のシステムを予言できることと納得のいく説明を与えるかどうかといった基準を提案している。複雑系シミュレーションにおいては、適用するアルゴリズムもモデルによって千差万別であり、モデルの恣意性や問題点を評価できるより客観的な基準の設定が必要であろう。この点で興味深いのが、Axelrod[1997]が提案している方法である。Axelrodは、自分のABMに基づく研究結果に対して、その結果が意外なものであったためプログラムミスの可能性を指摘された経験に基づき Alignment of computational models という方法を発案した。これは、2つの異なったモデルが同じ結果を導くかをテストするものである。Axelrodは、自らのAxelrod Culture ModelとEpsteinとAxtell[1996]が開発した Sugarscape model を用いて、2つのモデルの等価性を統計的に検証することを試みている。

別の方法としては、複雑系シミュレーションから得られた結果を、現実に照らして評価する検証方法も考えられる。複雑系シミュレーションが想定したのと同じ複数の状況が実在した場合、シミュレートされた結果はどの場合にも反復的に確認することができるであろうか。これは、シミュレーション結果の実際データに基づく追試の可能性の問題である。さらに複雑系シミュレーションから得られた結果が、社会一般に既知となった場合にも同じ結果がもたらされるか否かは、沼上の指摘と同じ構造の問題である。この場合、複雑系シミュレーションが典型的な帰納法と異なるのは、エージェントがシミュレーションによる結果を既に認識している状況自体をシミュレート出来

る可能性を持つ点である。

ここまで研究方法論を抽象的に論じてきたが、ここで経営学分野における複雑系シミュレーションの一つの具体的事例を取り上げてみたい。Midgley, Marks and Cooper[1997]は、非対称競争の特性を持つ寡占市場におけるマーケティング戦略を遺伝的アルゴリズム (GA) をベースとする繰り返し囚人のジレンマの分析フレームワークを用いて進化させる研究を行っている。これは、複雑適応系研究の良い研究材料と考えられる繰り返し囚人のジレンマ (星野 [1997]) のシミュレーション分析枠組みを、経営学分野の価格設定などのマーケティング戦略の進化シミュレーションに応用したものである。この研究は、アメリカの地域的に限定されたコーヒー市場を実際のシミュレーション対象としている。このように実際のコーヒー市場を対象とする研究では、ベースとなる繰り返し囚人のジレンマのシミュレーションとは異なり、エージェントの仮説をモデル化する場合にコーヒー市場のマーケティング戦略や戦略評価尺度に関する領域固有の知識が必要となる。Midgleyらは、マーケティング戦略への市場反応をマーケティング分野で開発された asymmetric market-share model と category-volume model を組み合わせてモデル化している。そしてこれらのモデルから得られた戦略に対する profit を利得表に使い、それを GA の適応度に設定する。先ほど見たように Axelrod や Casti は、エージェントの仮説を単純化する重要性を強調し、データの詳細さを重視しないが、特定分野におけるより実地的なシミュレーションにおいては、その領域に関する知識と実データ無しではモデル化が困難になると考えられる。Midgleyらの研究でもスキャナ・データが用いられており、より現実的なシミュレーションを行うためには、データの入手可能性が制約になる場合があることに注意を払う必要がある。この研究では、マーケティング戦略を GA を用いて進化させた結果、人工エージェントの戦略が過去の市場での人間マネージャーの戦略を上回るという興味深い結論を得ている。ただし、これは過去のデータに基づくものであり、市場反応を規定する構造が将来的に変化する場合も考

慮することが課題となろう。

本節では、複雑系シミュレーションの特性、モデル化における問題点などを考察したが、最後にこのような研究方法論の前提となる科学観に少々触れておきたい。繰り返し囚人のジレンマに GA を用いて過去の対戦史の記憶長を可変にして戦略を進化させた Lindgren[1991]の研究では、9割が ESS（進化的に安定な戦略）に到達して進化が停滞し、残りの1割は ESS では安定せず「終わりなき進化」を示したという。星野 [1997] は、このような Lindgren の研究を引き合いにして、自身の研究スタンスを「エージェント間の栄枯盛衰を遠くから等距離で観察する。そのとき凹レンズで細かく観察すると同時に、全体像を凸レンズで見る」と表現している。繰り返し囚人のジレンマで最良の戦略が無いように、エージェントの相互関係の分析結果は、どのようなエージェントが参加したかに依存し、それはある一つの事例の〈物語〉を示すものと解釈できる。従来の研究方法論では「法則定立」は疑われざる地位を占めていたが、吉田 [1990] が指摘するように「法則によると解されてきた事実が、じつは、遺伝的・文化的なプログラム（＝規則、ルール）によるものであった」という「法則定立から規則解明」への科学観の転換を複雑系シミュレーションは要請しているように思われる。

複雑系シミュレーションの特徴はコンピュータを用いる点にあるが、コンピュータ・シミュレーションは、理論研究の道具であると同時にエンジニアリングの特性も持っている。Lindgren の研究で現れた記憶長4の繰り返し囚人のジレンマの戦略を、人間が明示的に思いつくことは困難であろうし（星野 [1997]）、Midgley らの研究でも同様に人工エージェントの戦略が人間を上回るパフォーマンスを示す結果が得られている。エージェントの認識スキーマを明示的に取り扱える複雑系シミュレーションは、思考実験としての特性を通じて人間の意思決定や発想を支援するための工学的基盤となりうる可能性を持っており、経営学の知識がプラグマティックに役立つための装置として利用するという立場も可能であるように思われる。



## 4.4 展望

本論では、経営学分野における従来の研究方法論を再考していくつかの対立図式と関連する問題点を指摘し、それらに対する複雑系シミュレーションの意義とそのモデル化の方法について考察した。その結果、複雑系シミュレーションによる方法が持つ多様な潜在的可能性の一端が、ある程度明らかになったと思われる。ここでは、最後に触れた複雑系シミュレーションのプラグマティックな可能性と本論で重視した「領域固有の知識」の観点から、経営学研究から得られた知識の体系化についての将来展望を試みる。

経営学理論が断片化し錯綜している状況は冒頭で見た通りであるが、経営学が経営意思決定支援や経営教育・発想支援等にプラクティカルに役立つものであるためには、視点の定め方を含む経営のための認識構造と従来の経営学の知見を概念化して統合した経営知識ベースの形に経営学の知識が再編される必要がある。

このような経営知識ベースを構築するための方法論として、最近AI分野で提唱されているオントロジー (Ontology, Gruber[1992]) や内容指向研究の動向は注目に値すると思われる。オントロジーとは、本来哲学用語で「存在に関する体系的な理論 (存在論)」という意味であるが、人工知能の立場では「概念化の明示的な記述」、知識ベースの立場では「人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる概念/語彙の体系とその理論」と定義される (溝口, 池田 [1997])。このような理論が確立されることによって、本論でも考察したように経営学分野の「領域固有の知識」を準公理として取り扱い、その準公理的知識の積み上げによって、有用な経営知識ベースを構築することが可能になるかもしれない。さらに将来、この知識ベースと複雑系シミュレーターを統合することによって、状況定義を考慮した複雑系シミュレーションが可能となるかもしれない。

楽観は許されないが、複雑系シミュレーションは試みるべき魅力を備えた

テーマである。

【謝辞】 本研究は、専修大学平成8年度研究助成によるものである。記して感謝致します。

## 5. 社会学における複雑系的思考の起源と系譜

嶋根 克己

本稿は、社会学という専門領域において、複雑系的思考がその成立当初から含まれていたことを、社会学的システム理論形成の系譜から断面を明らかにすることを旨とする。この過程において、システム理論に代表される社会学的一般理論への志向と実証科学としての社会学の確立とが対抗的に作用していることを明らかにしていく予定である。したがって、複雑系的思考の社会学（学）研究への応用を試みたり、あるいは社会学的リアリティのなかから複雑系的思考あるいは社会システム論を抽出することは、ここでの直接的な目的とはしない。

### 5.1. 複雑系思考

わが国において「複雑系」あるいは「複雑適応系」なる言葉が喧伝されるようになったのは1990年代も半ば近くになってからのことである。しかしフランスの社会学者 E. モランは、1970年代半ばに複雑性的思考について論じている（Morin[1990]）<sup>6)</sup>。70年代半ばといえ、情報処理学（コンピュータ・サイエンス）は現在のように発展しておらず、コンピュータを用いてモデルの構築をめざす最近の複雑系研究とやや方向を異にするとと思われるが、モランの言説には今日に通じる情報と思考が多分に含まれている。

モランは複雑性思考の必要性を強調する論文のなかで、複雑性を次のように定義している。

---

<sup>6)</sup>モランは60年代なかばにアメリカ国内にある生物学研究所に所属しており、そこでの経験が後日複雑性を考察する契機の一つになったといわれている。

複雑性とはなにか？ まず第一に、複雑性は切り離しがたく結合した異質な構成要素によって織り成されたひとつの織物である。…第二に、複雑性は、実際には、われわれの現象の世界を構成する出来事、作用、相互作用、遡及作用、諸決定や偶発性によって織り成された生地である。(Morin[1990] 訳 22 頁)

今日用語で言い換えるならば、複雑系とは複数の異質なエージェントからなるシステム(系)であり、互いに相互作用をすることで個々の要素の単純な結合以上のふるまい、すなわち創発特性を持つものということになる。本稿では暫定的に複雑系を以上の様に定義する。また「複雑系的思考」とは、相互作用の結果としての創発特性を重視し、部分的にはなくシステムの全体的なふるまいに注目して現象を理解しようとする思考方法と定義しよう。

モランは、複雑系的な思考が発展する道筋について次のように論じている。

いまや、複雑性はわれわれのところに立ち戻ってきた。…世界の完全無欠なく秩序) ,…単純な第1次物質(原子)から成る世界の構成、といったものを明らかにすることに専念してきた物理学の発展そのものが、最後に、現実の複雑性に到達したのである。…最後に、生命は実体ではなく、自律性を生み出す驚くほど複雑な自己-生態 [=環境] -組織化現象だということが明るみに出された。以来、人類-社会的諸現象を理解するためには、現在、自然現象について求められている原理よりもいっそう複雑な原理にしたがわざるをえないことは明らかである。(Morin[1990] 訳 23-4 頁)

同様な視点は複雑系研究の中心的人物の一人である物理学者、マレイ・ゲルマンからも示されている(Gell-Mann[1994])。彼によれば、物理学の研究が単純で統一的な原理を追い求めた先に、単線的(リニア)な思考では解決でき

ない諸問題が出てきた。これを突破するのが、単純なものの相互作用から生まれる複雑なふるまいという複雑適応系の思考であるとされる。そしてこれはより複雑度の大きい生物学（分子生物学を含む）の領域にも応用されてきた。したがって人間—社会に関する研究はさらに複雑度は高いが、同じく複雑系的思考によって考察可能である。

さて、物理学や生物学などの自然科学を範例としながら人間—社会研究を行おうという企ては、なにも今日にのみ固有なことではない。少なくとも現代社会学の歴史のなかでは、社会学の成立期からその試みはなされてきたといえよう。次節以降では社会学における複雑系的な思考の系譜をたどりながら、それに影響を及ぼしてきたと考えられる科学的な発展の背景について知識社会学的な考察を加えることにしよう。

## 5.2. 成立期の社会学—社会有機体説

社会学の成立をいつの時代ととらえるかは論者によって異なるが、ここでは近代社会の形成と変動を契機とする「19世紀前半起源説」を採用する（細谷昂 [1976]）。そこでの2大巨人はいうまでもなく、A. コントと H. スпенサーである。両者は、自然科学についての膨大な知識を動員しながら「総合社会学」と呼ばれる壮大な理論体系を構築した。また社会の進化に関する一般法則を打ち立てようと試みた点に共通点を持つ。

特にスペンサーの社会学は「社会有機体説」と称せられ、当時の自然科学の知見—物理学、天文学、生物学など—を大幅に取り込み、自然科学的な法則性に準じる形で社会的な法則が追求されている (Spencer[1911])。

さてスペンサーが社会有機体的な議論を展開している特徴的な一節を引用しておこう。

社会は持続的な成長をとげる。その成長とともに各部分は以前と異なってくる。すなわち構造化が強まるのである。それぞれ

の異なった各部分は、同時に異なる活動を現わすことになる。……これらの活動は単に異質であるというだけでなく、他の各部分の存続を可能にするように関連づけられるように相違している。つまり相互的な依存が、各部の相対的な独立の原因になっているのである。個々の有機体がそうであるように、相互依存的な諸部分は、相互依存的になることによって、単なる集まりから同一原理にもとずいた構成体になるのである (Spencer[1887]p.450)。

こうした叙述には現在の複雑系的思考、あるいはシステム論ときわめて類似したアイデアが盛り込まれている。特に異質な諸部分が相互的に依存し合うことによってのみ全体が構成されうるという考え方は、現在のシステム理論の根底を支え続けているということができよう。

後に述べるようにシステムというアイデアの起源の多くは生物学に帰属することが多い。したがって当時の自然科学の知見を最大限に活用しようとしたスペンサーの社会学にも大きな痕跡を残したと判断できる。当時、細胞の発見という生物学・生理学的な大発見は社会学にも大きな影響をもたらさなはずはなかった。なぜなら細胞の集合による器官の形成、器官の総合としての生物有機体の存立という図式は、諸個人の集合による集団の形成、諸集団の集合による全体社会の形成という事象にたいするアナロジカルな説明に大変適していたからである。

そして社会有機体が生物有機体のアナロジーで説明されやすいという事実は、当時新しい科学として広まっていた進化論と結びついて、「社会進化論」として普及した。西欧社会を進化の最先端とする単線的な社会進化の法則は、当時の産業社会を肯定するイデオロギーとして、その担い手であるブルジョアジー、産業資本家たち、そして多くの人びとに広く受け入れられたことは周知の通りである。

### 5.3. 社会有機体論の終焉—デュルケムの場合

19世紀末から20世紀の初頭に活躍した社会学の巨頭たち—M. ウェーバー, G. ジンメル, E. デュルケムの3人—は、コント, スペンサーに次ぐ「社会学の第2世代」と呼ばれる。彼らはシステム論的な思考, あるいは社会有機体説とどのような関係を持ったのだろうか。ここでは E. デュルケムの場合を紹介することにしよう。

社会は個人的な現象に還元しえない独自の存在であるという主張を掲げて, 独自の学問領域としての社会学の確立を図ったのが E. デュルケムである。デュルケムは多くの著書を残しているが, 「社会分業論」(1893) は彼の社会学研究の出発点をなしている。そのなかで, 社会は「環節社会」から「有機的社会」へと進化するという命題を彼は残している。ここでは生物学を社会的結合形式のモデルとしたデュルケムの社会変動論を「分業論パラダイム」と呼ぶことにしよう。彼は, 社会の分化・分業は必然的に社会の構成を複雑にし<sup>7)</sup>, 同時に個人どうしを結び付ける紐帯の形式も変化するというのである。

デュルケムはその後「自殺論」(1897), 「宗教生活の原初形態」(1912) という大作を発表していく。前者は社会統計を援用した自殺研究であり, 後者はオーストラリアの民族誌を利用したモノグラフである。しかしこの両者には「分業論パラダイム」も自然科学的な用語法もみられない。両書においてデュルケムは, 社会学的な機能論をより一層発展させたといわれるが, なぜ生物学的なシステム論を放棄したのだろうか。

その理由は, デュルケムの機能論を発展的に継承した R. マートンの議論を借りると理解しやすい。デュルケムにとって—そしてある時期までの社会学という学問分野にとって—社会学という「科学」の確立は緊急の要請であっ

<sup>7)</sup>詳しくは Durkheim, E., 1950 を参照。そこでは社会, 特に政治社会のシステムの構成についてのデュルケムなりの見解が展開されている。またこの時代のデュルケムは「社会生理学」「社会物理学」などの語を用いており, 自然科学的を範型とした社会学を構築しようとする意図を読み取ることが出来る。

た。そのために自然科学を手本とする記述を借用せねばならなかったが、このことは同時に物理学や生物学的な進化論にならぶ社会についての一般法則の定立を急がせることにもなった。生物学的な進化論モデルの導入によるスペンサーの社会進化論が代表例である。しかし実証的な（つまりは経験科学的な裏付け）知見に欠けた社会の一般法則の定立を、マートンは「誇大理論」(grand theory)と呼び、排除した。そして社会学がめざすべき目標は、経験科学的な検証が可能な「中範囲の理論」であると主張したのである (Merton,1967)。

時代は逆上るが、実証可能な社会学の確立をめざしたデュルケムにとっても事情は同じであった。個人—集団—社会を細胞—器官—社会という生物学的なアナロジーで語ることは容易であるが、パラダイムの安易な借用と生物学的アナロジーの多用は、個別科学としての社会学の独立には寄与しないと判断されたのであろう。

かくしてごく少数の例外を除いては、システム論を応用した理論は社会学の主流—特に社会調査が発達したアメリカ社会学—から一時的に姿を消すことになる。

#### 5.4. 社会学的システム論の展開—ルーマンを中心に

「中範囲の理論」という言葉に集約されるような経験主義的研究が中心であった第二次世界大戦後のアメリカ社会学に、システム論を復活させたのは T. パーソンズである。パーソンズは、サイバネティクス、ホメオスタシスなど当時の生物学、生理学の最先端の概念を導入しながら社会システム論を構築した。通常これは「AGIL図式」と呼ばれている。パーソンズの社会システム論は、その当時軽視ないしは回避されていた grand theory をシステム論をベースに再構築する試みであり、一時期多大な影響を世界中の社会学研究者に与えた。しかし同時にその保守主義的性格についてグールドナー等から強い批判を浴びることになった (Gouldner,1970)。またその後のアメリカ社会



学は、反省的社会学、現実構成主義的社会学、シンボリック・インターラクショナリズム、エスノメソドロジーなどの影響下に置かれ、パーソンズの社会システム論は正当な後継者を持ちえないかのように思われた。しかしパーソンズの社会システム理論に複雑系的な思考を導入しながらドイツで引き継いだのが N. ルーマンである。

現代社会学という文脈において複雑系を論じようとするとき、N. ルーマンの社会システム理論は避けて通ることができないだろう。しかし残念ながら現在筆者はルーマン自身の著作に則してこれを語るることができない。そこで現在最も良くできたルーマン社会理論の入門書と思われるクニールとナセヒの著作を借りてルーマンの理論を素描することにしたい。ここでは本稿の文脈に則して、システム論形成にあたって生物学・生理学のパラダイム転換が与えた影響、ならびに社会システムの究極的な構成要素からみたシステム構成という2点にしぼって論じていく。

クニールとナセヒによれば、狭義のシステム理論は20世紀の30年代に始まる科学の発展によってもたらされた新しい成果である。特に動物生理学者 L. フォン・ベルタランフィが一般システム論になした貢献は絶大である。またウィナーの提唱したサイバネティクスなどもシステム論を構築するための基礎的な考え方を提供している。[Kueer und Nassehi, 1993, 訳 20 - 29 頁]

しかしルーマンのシステム論を特徴づけるのは—特にパーソンズのシステム論との比較において—「オートポイエーシス（自己産出）」という新たなパラダイムの導入である。オートポイエーシスというシステム理論におけるパラダイム転換は、チリの生物学者・神経生理学者である H. マトゥラーナと F. ヴァレラによって構想されたものである。ルーマンは生命現象を説明するための概念装置であるオートポイエーシスを社会システムの説明に拡張したのである。「オートポイエーシスという概念は、システムという統体の生産と再生産の自律的な諸形態の探究をうながすものであり、したがって、少なくとも、生命システム、意識システム、社会システムが、さまざまに異なった仕方

で、それぞれに固有なオートポイエーシスのあり方を実現する可能性を無視しない」とルーマンは述べる。[Kueer und Nassehi,1993, 訳 67 頁]。

ダーウィンの進化論がスペンサーの社会進化論やデュルケムの分業論パラダイムにたいして影響を与え、パーソンズのシステム論にたいしてウィナーやベルナルの生物学・生理学的知見が大きな影響を与えたように、ここでも生物学・生理学が提示した新たなパラダイムが社会学のシステム理論に影響を与えていることは興味深い。

次にシステムの最小の構成要素について考えてみる。スペンサーやデュルケムにおいては社会システムの最小の構成要素は個人であると想定されている。これは社会を観察するわれわれにとって感覚的に受け入れやすい視点である。また細胞と同じく、個人は社会を構成する最小の生命単位であり、この社会というシステムを分解することは最小単位である個人の生命現象を停止させることにほかならないと考えられているのである。

しかしパーソンズにとって個人（人間）は最小のシステムとはとらえられていなかった。彼の最晩年の著作に収められている“A Paradigm of the Human Condisions”では、ヒューマン・コンディション・システムの下位には物理－化学システム、人間有機体システム、行為システム、テリック・システムがA－G－I－Lに対応して位置しており、それぞれの下位にはさらに4つのセルが配されている(Parsons,1978)。細胞の発見の後に遺伝子の発見や生化学の発展があったことを考えれば、あるいは原子の背後にあるクォークの存在が知られるようになった限りは、社会システムにおいてももはや個人は最小のシステム単位ではありえないという帰結が導かれるのは当然であろう。晩年のパーソンズにとっては個人の行為でさえも社会の最小単位ではなく、行為システムの背後を支える人間的条件が問題とされるようになってきたのである。

これにたいして、パーソンズのシステム論はある種の構造を前提とし、その維持を目的とする機能論的な問題設定の立場にあることをルーマンは批判する。その上で彼はシステムの最小単位を、人間や行為にもとめることをや

める。ルーマンによれば、社会的なものは人間からなっているのではなく、コミュニケーションからなっているとされる。社会システムはコミュニケーション・システムであり、それは、継続的にコミュニケーションをコミュニケーションに結びつけることによって再生産されるのである。コミュニケーションは人間の行為の結果ではなく、社会システムの産物である。その結果「人間はコミュニケーションすることはできない。コミュニケーションだけがコミュニケーションするのである。」という難解な命題が導き出されるのである。[Kueer und Nassehi,1993, 訳 77 頁]

この命題について詳しく論じる余裕は現在の筆者にはない。しかし次のことは指摘しておきたい。パーソンズまでの社会学的なシステム論が、より下位のシステムを包摂することで成立するいわば「入れ子構造」を成していた。これにたいしてルーマンのシステム論では、オートポエシスという考え方の導入により、多種のシステムが「自己準拠的-閉鎖的なシステムとして、完全に切り離されて重なり合うことなく作動する」[Kueer und Nassehi,1993, 訳 84 頁]と説明される。ここがこれまでの社会学的システム論にない特徴であると筆者は考えている。しかしこの「自己準拠的-閉鎖的なシステム」概念が、やはりマトゥラーナとヴァレラの生理学的な知見に基づいていることも付け加えおく必要がある。

## 5.5. まとめ

ここまでの考察をもとに、社会学における複雑系的思考の流れについて当面の論点をまとめておこう。

1. 社会学における複雑系思考は、社会を独自のシステムとしてみなす点から発している。これは社会学の成立以来、ある種の社会学的伝統として継承されてきたものと近似している。

2. 諸個人 (=エージェント) 間の相互行為の結果として生じる「社会的なもの」 (=創発特性) という考え方も, 社会学が早くから導入していたアイデアのひとつである。
3. しかし以上は, 社会学固有の発見ではなく, なんらかの形で生物学や生理学のアイデアに影響を受けて形成されてきたと考えられる。
4. したがってたびたび訪れるシステム論的思考の社会学への導入という事態には, 生物学におけるパラダイム転換の影響があると思われる。

社会学における複雑系思考を考えるにあたって, 特に重要なのは最後の点である。少なくとも社会学的なシステム論の発展にとって自然科学は常に大きな影響力を持ちつづけてきたといえよう。特に個と全体の振る舞いや関係についての洞察をもたらす生物学や生理学における新たな知見は, その度に社会学になんらかの影響を及ぼしてきたと言っても過言ではない。

しかし同時に実証主義というもうひとつの科学主義は, 生物と社会のあいだの相同性からもたらされるアナロジカルな説明を拒絶してきたのも事実である。その意味で社会学は, 生物学的な知見に基づいた一般理論 (あるいは誇大理論) と実証主義的な「中範囲の理論」とのあいだを揺れ動いてきたということもできよう。この背後には, 人間は環境適合的な生物の一種にすぎないという一般的な認識と, 人間は意識を持ち社会を構成する独自の存在であるという認識との, 奥深い対立が隠されていると考えられる。

## 6. 心理学におけるシステム論的枠組みとしての複雑性

下斗米 淳

### 6.1. はじめに

とりわけ近年、いわゆる複雑性とよばれるシステム論的枠組みが注目されてきている。これがシステム論的枠組みである以上、そこには、例えば人間行動（認知機能や個体発達の過程）や、人間関係の変容、集合行動、あるいは社会のありようなど、多様な説明・予測対象があるはずであって、またこの理論の適用可能性の検討される必要があるであろう。そしてこのことの吟味を繰り返すことによって、複雑性というシステム論的枠組みをもって「複雑性の科学」としての位置づけがより一層可能になるものと思われる。

本稿では、まずもって心理学の立場からこの複雑性というシステム論的枠組みを概観し、その接点を探る試みとしたい。そしてそのことを通して、なによりも、心理学的事象におけるこの複雑性をもつシステム論的枠組みの適用可能性について、少なくとも議論の材料を提供しようとするのが目的である。

### 6.2. 心理学と複雑性

#### システム論の分類

システムという概念は、デカルト的要素還元主義に対峙する重要な概念であろう。しかしこのシステム論は歴史的に変遷を繰り返してきた。河本 [1995] によれば、「動的平衡システム」から「自己組織化システム」、そして「オートポイエーシス・システム」と、現在はシステム論も第3世代を迎えているという。まずは、これらのシステム論における特徴を簡単に指摘してみること

する。

## 動的平衡

まず第1世代として、「動的平衡システム」を挙げることができる。この「動的平衡システム」論には、システムが存在する環境において変化が生じても、システム自体の中に平衡を回復させる機能が備わっていると考えるところに特徴がある。いわばここで考えられているものは、外乱を表すある入力に対して平衡の回復という出力に至る、基本的には単一系のシステムであると言うことができよう。

この入出力システムという面からだけみても、心理学の領域における伝統的な学習理論で言われるS（刺激,stimulus）- R（反応,response）関係、あるいはS-O（有機体,organism）- R関係もまた該当することは明らかであろう。

## 自己組織化

第2世代には「自己組織化」が挙げられている。例えば、ニューロ・コンピュータを考えた場合、そのもっとも顕著な特徴は柔軟な学習能力にあると言えよう。このとき、学習が成立していく過程には要素間の結合の発達していくことが求められているのであって、環境からある入力をもたらされると、それに応じてシステム内部にある要素が以前の状態から出力を行い、その一部をまた入力に再帰させることで、あたかも自律的安定を獲得していくような過程が想定される。いわば、フィードバック・パスを考えて、求めている解パターンに対応するように自らが変化していこうとするシステムのことと表現できよう。

但し、実際には入出力の単一系システムにフィードバック・パスを仮定したもののみを指すのではなく、複数の入力に対して複数の出力をシステム内部

に仮定しそれ自体の中で自己回帰を求めようとする構造のもの、いわば複合的単一系とでも呼び得るシステムである。また、自己組織システムがとり得る自律的安定状態も、固定や定常状態ばかりではなく、周期解、局所解、カオス状態での平衡も創発されることがわかってきている(藤澤 [1997])。基本的には、単一系が複合的に構成され、システムからの出力としても直ちに推測できない状態での平衡を生み出すという点で、いかにも複雑性を帯びたシステム観とすることができるであろう。

### オートポイエシス

そして第3世代としての「オートポイエシス」とは、どのようなシステムを想定するのか。河本によれば、“構成素が構成素を産出するという産出(変形及び破壊)過程のネットワークとして、有機的に構成(単位体として規定)されたシステムのことである。このとき構成素は、次のような特徴をもつ。

(1) 変換と相互作用を通じて、自己を産出するプロセス(関係)のネットワークを、絶えず再生産し実現する。

(2) ネットワーク(システム)を空間に具体的な単位体として構成し、また空間内において構成素は、ネットワークが実現する位相的領域を特定化することによって自らが存在する。”(河本 [1995], 117頁)と述べている。

これはいわば、システム自体の機能や内部要素それ自体の階層性を問題にしているものと言えよう。要素を考えながらもそれを固定的に捉えず、要素間の関係も自己回帰を考えながら、しかし離散的に捉えようとするところが、自己組織化システムと異なるところであろう。

しかしながら、藤澤は、“特に、オートポイエシスが自己保存的で自律的なシステムであるという規定は複数のオートポイエシス間の構造的カップリング=相互依存関係との間で矛盾を引き起こす。つまり、1つの統一的システム=オートポイエシスであるという立論がそもそもの弱点であるといわねば

ならないのである”とし、“システムとは何かという根本問題に立ち返って検討を要する事態となった”(藤澤 [1997], 102頁)と述べている。

システム論の精緻化それ自体はさらに求められるべきものではあるにしろ、しかし「動的平衡」や「自己組織」がそうであるように、この「オートポイエシス」もまた多方面に影響を与える可能性は否定できないように思われる。

## 心理学理論との接点

本節では、上記のようなシステム論的枠組みの歴史的変遷に呼応して、心理学との接点がいかに考え得るか、概観してみることとしたい。

### (1)「動的平衡」

#### ホメオスタシス

Cannon, W.B. は、生活体が環境への適用や生命維持のために営む動的な平衡状態をホメオスタシス (homeostasis) と呼んだ。個体が生存する環境は定温・定圧でもなく、あるいは運動・静止によって心身活動は常に変動する。しかし一方で生活体には、呼吸器・循環器その他の諸器官の総合的活動により、体温や体液などの内部環境が恒常的状态になるような機構が備わっている。物の静的な恒常状態をスタティクス (statics) と呼ぶのに対して、生理的なバランスをとって恒常を維持しようとする状態をホメオスタシスとして区別している。

心理学が研究対象の1つとする人間の生理的反應、つまり環境変化という入力に対する出力としての生理的行動をめぐり、古くから「動的平衡」を志向するシステムが指摘されてきたと言える。そしてこれは現在においても、いわゆるストレス低減に関わる人間行動を対象とする研究領域においても、けっして



忘れ去られているものではないように思われる。

### 家族療法

1950年代の初期、カリフォルニア州パル・アルトで Bateson, G. の率いるグループが分裂病患者の家族コミュニケーション・パタンに関する研究を立ち上げた。そしてそこに参加していた臨床心理学研究者からは、家族ホメオスタシスという概念を提唱されている (Jackson & Weakland, [1961])。家族ホメオスタシスとは、家族の一員の状態が改善されると家族の他の成員に障害が現れるという、家族療法の中で得られた観察から生まれたものである。すなわち家族を、外部から脅威にさらすような事態が与えられると、安全性（これまでの恒常性）を保持するべく回帰しようとする、1つのホメオスタシスティックなシステムと考えたのである (Jackson [1959])。

この考え方は、家族を1つのシステムとし、そのシステム内の要素に家族成員をおき、そして家族システムには恒常的状态があつてそれに向けて成員間の相互作用が方向づけられるという3つの骨子から構成されているものであり、まさに「動的平衡」の考え方がとられていると言つてよいであろう。

### 認知的整合性理論

認知的整合性理論といつても、Osgood & Tannenbaum [1955] の適合性理論、Festinger [1957] の認知的不協和理論、Heider [1958] のバランス理論 (P-O-X モデル)、Newcomb [1968] の A-B-X モデルなど多岐にわたる。しかしながらこれらには、認知的整合性への志向性から捉えた人間観に共通点を見いだすことができる。

例として、Heider [1958] の P-O-X モデルを取り上げてみると、まずここでは、人 (P) と他者 (O) とある特定な対象 (X) との間には、バランス状態

とインバランス状態とを想定する。ここでいうバランス／インバランス状態とは、人（P）の認知世界における状態のことを意味しており、P-O、O-X、P-Xの関係性を、好悪感情などの心情関係あるいは所有や因果などの単位関係からポジティブ・ネガティブいずれかで認知し、その認知要素の積がプラスであるとき全体の関係性をバランスがとれたものとして、逆にマイナスであればインバランスな状態にあるものとして定義される。

そして人は、常にバランスのとれた認知世界に身をおくとき心理的には快の状態でありたい。しかしながらもし、人（P）がある事象を経験したとき、その事象が3つの認知要素関係においてインバランス状態であると判断された場合、心理的な不快が喚起され、その解消を図るべくバランス回復を志向しP-O、O-X、P-Xいずれかの認識を改めようと行動が動機づけられると考えるものである。

これに対して、Newcomb [1968] の A-B-X モデルは、このバランス／インバランス状態を認知世界だけの話とせず、対人関係システムの問題に展開し、コミュニケーションの発生メカニズムにこのインバランス状態の回復を位置づけて、当該の対人関係の変容にまで言及できるよう展開を試みたものである。

いずれも、認知的整合性を平衡状態として、その安定と回復を志向する考え方であり、この限りにおいては「動的平衡システム」とみなし得よう。

## (2) 「自己組織化」

### ゲシュタルト心理学

自己組織化システムは、システム内部の構成要素間のネットワークを問題にしたシステムが強調されていると言える。ニューラル・ネットワークでは、ニューロン間の協調と競合による自己組織化が問題とされ、内部に任意の内部

状態分布,すなわちパタンの生成や構成を考える。ここには決して全体を統括する制御システムはアブリアリに想定されず,個々の状況に合う内部状態を,その時々ニューロン間の協調と競合による結合関係をもとに構成すると捉える。ネットワーク研究の目的には,当該のネットワーク・システムが自己組織的で,自律的に安定化するための条件を探索することであり,そこで生み出されるパタンが問題となっていると言えるのであろう。

このシステム間の基本的立脚点には,それまでの「動的平衡システム」とは異なり,あるいはそれ以上に,非線形性が貫かれているとみることができる。前節における Heider [1958] のバランス理論 (P-O-X モデル) ,Newcomb [1968] の A-B-X モデルにおいても,認知要素の積算によりシステムの動態を考えている。ここには,事象を成立させているのは少数の認知要素であり,それを積算することで人間の多様な行動事象が説明,予測されるとするものである。

しかし自己組織性の基本的立脚点は,個々のシステム内部にある構成要素の結合によってもたらされる関係は新たなパタンを創出すると考えるところにあり,全体は部分の総和以上のものであるという非線形性であらう。

この主張は,ゲシュタルト心理学がすでに 1910 年代に論じていたものと同じであるとみてよからう。ゲシュタルト心理学は,20 世紀初頭に Wertheimer, M. の視知覚研究に始まるとされ感覚,情緒・感情,記憶・学習,社会心理学的事象など心理学全般も領域に広がった考え方の 1 つである。

ゲシュタルトの主張は,まず第 1 に,全ての複合体は要素の総和から成り立つとするモザイクテーゼの排除にある。第 2 に,もしある要素 A と B とが時空間的に近接してしばしばおこるとき A は B をよびおこすという連合テーゼの排除である。この 2 つのテーゼには,全ては相互に何の本質的関連の考えられない,単なる個々の要素の寄せ集めから成り立っているものと仮定している点が共通している。しかし,所与はそれ自体さまざまの程度に体制化されており,個々の要素部分は力学的なまとまりをもった全体の体制に規定されている

ので、これら2つのテーゼは排除されるべきだと主張するのである。また、いわゆる構成主義の心理学においては、知覚表象は感覚要素の集合であるとし、孤立的に与えられた局所的刺激と要素感覚との間に1対1の固定的な対応関係を考えていた。しかし現実には、このような1対1の固定的関係は認められず、この固定的関係をそのまま受け入れるとすれば、判断錯誤の存在などを別途補助的に仮定しなければならなくなってしまう。この問題に行き当たってはむしろ、この補助的仮定を積み重ねてまで固定的関係を維持するよりも、それを排除し部分に対する全体性を優位なものと考え全体の構造から部分が規定されるものとして部分をおくとした方がよいとの主張である。

### 場理論

ゲシュタルト心理学に影響を受けたいわゆるベルリン学派からは、電磁場の説明にみられるがごとく物理学の概念を援用し、心理学的事象も全体が一つの場の構造をなし内部の構成要素は相互依存的な関係にあるとの考え方がとられ、行動が個々の刺激よりの生活体と環境との全体に規定されることが強調されるようになった。この考え方からは、例えば Kohler, W. が大脳皮質の中の生理的場を考えるようになったのに対して、Lewin, K. は行動を規定する諸要因の総体を一つの場と考え、それを生活空間とよぶネットワークシステムが提案されてきた。Lewin の生活空間とはウロコ型のトポロジー空間を想定しているものであり、ネットワークの結節は認知対象で紐帯は相互依存性とされる。従って、一对の相互依存性の変化は生活空間全体に影響を及ぼし、そこで要素部分は単なる独立な部分の集積ではないと考えている。

そして、こうした立場から、今ある集団力学研究が触発されてきたのである。

### 認知的均衡理論

先には認知的整合性理論を「動的平衡システム」として位置づけた。しかし藤澤 [1997] は、“そもそも認知的均衡理論の先駆けとなったハイダーも、認知的均衡理論群の集大成を図ったフェスティンガーもレウインの弟子であり、彼らの業績が「場の理論」の部分的精密化であると考えれば、全体としての認知的均衡は認知要素間ネットワーク理論だということができよう。フェスティンガーは、彼の認知的不協和理論において、ネットワーク上の不協和の総量を問題としておりその意味でも個人の認知要素ネットワーク・システムが考慮されている。(藤澤 [1997], 76 頁)”と述べている。

これらは、自己組織化システムの特徴の1つとしての、ネットワーク全体のパタン創出を必ずしも中心的な問題に据えていたとは言えないであろう。しかしまた、“ネットワークの状態記述から変化の方向を示すものとして、いわゆる互報性や互酬性を前提とし、多くのセル・オートマトンやニューラル・ネットワークと同じく、平均場への収束をシステムの目的としたものである”(藤澤 [1997], 76 頁)とみれば、一つのパタンへの自律的組織化といっても良いのかも知れない。

### (3) 「オートポイエシス」

#### 心の社会論

Minsky [1985] (安西訳 [1990]) は、自分のしていることをしらないエージェント、それ自体は心ではない構成要素が、互いに結合関係をもつことによって初めて一つのシステムが構築され、それらがさらに高次の組織化と相互間の階層構造化を図るように繰り返され、そこに最終的に心的なシステムが出来あがっていく過程は、あたかも社会が組織化されていく過程と同様であると論じている。ここには、システム自体の機能や内部要素それ自体の階層性が問題にされていると言えよう。

離散数学は「自己組織化システム」に貢献したと言える。Prigogine [1984]の散逸構造が見いだされ、またカオス予測不能性やフラクタルが「複雑性システム」を導出することになった。

心理学において、この影響がどのように結実し得るか。心理学的事象へのこの「複雑性システム」を扱うことの意義づけは、まずは今後の展開を見つけていくことであろう。

### 6.3. 心理「システム」における複雑性の適用可能性

#### 自己組織性

心理システムが自己組織的であることは広く認識されているとあって良からう。ここでは、その論拠として、氏家 [1996] をもとに、心理システムの自己組織的特徴をあげて整理してみたい。

#### 非平衡的定常

例えば、認知的均衡理論において先述の通りに、心理システムには、少なくともある特定の定常状態を保持し続けようとする傾向が備わっていると考えられる。

氏家 [1996] によれば、“例えば、自己という構成概念は、われわれがさまざまな状況下でそれぞれ異なったふるまいをしても自分自身のアイデンティティを保つという特性を表している” (氏家 [1996], 132 頁) ことからわかる。しかしこのときの定常状態とは、平衡的定常状態である場合ばかりではない。“例えば、しばしばわれわれは葛藤や矛盾に直面する。それは、いつてみれば一時的な定常状態の乱れである。そのとき個人は、さまざまな方法で葛藤や矛盾を解消しようとしたり回避しようとする。ある人は、都合よく何かを忘れたり、葛藤や矛盾を否定したり、葛藤や矛盾を感じないですむよ

うにさまざまな合理化をおこなう。また、環境に働きかけて新たな情報をさがし求めたり、葛藤や矛盾を低減するような状況を作りだそうとする”（氏家 [1996] ,133 頁）。

ここには、入力と出力の間に平衡が保たれるような化学的システムは考えにくいのであって、システムの外からの入力に対して出力をすることでシステム自身の定常をとろうとする過程が、心理システムの特徴をより表現していると言えるのではなからうか。

### 非線形性

氏家 [1996] は次のような例証を挙げる。“例えば、ネガティブなできごとがわれわれの精神的身体的健康をそこねるという事実だが、そこには例外が多い。一定時間内にいやなできごとを三つ経験した人が、一つしか経験しなかった人より三倍健康をそこねるわけではない。数多いストレスにさらされながら、全く健康をそこねることなしに、うまくやりくりすることが可能なのである。子どもの発達に関するハイリスク要因の研究によれば、リスク要因が一定数を超えると、実際に障害をひき起こす確率が急激に増加する”（氏家 [1996] ,134 頁）。

こうした非線形性の問題は心理学において枚挙にいとまのないほど数多くの事象で観察することが可能であろう。例えば学習曲線を描いてみると、学習の初期においては練習の積み重ねにより作業量や学習成績は上昇していくが、ある程度のところで進歩が一時停滞し、そしてしばらくしてから再び若干の上昇が現れる。学習の高原現象（plateau）と呼ばれる事象である。これは、線形性としても理解はできようが、一方では少なくとも一見してそれは非線形である。

そして、この高原現象を考えると、また、臨界値があつて新たなシステムに移行している動態を見いだすことも可能なのではなからうか。ここに至れ

ば、散逸構造の視点からまた心理システムを眺めなおしてみる必要があるように思われる。

### 散逸構造

心理システムのなかには、入力によるゆらぎを保存せず散逸してしてしまう散逸構造をもったシステムがあり得るとすると、自己組織化を、それでもどのように生み出し得るのであろうか。氏家 [1996] は次のように述べる。外界の変化に敏感に心理システムはゆらぐ。しかし、

“ゆらぎが実際にはそれほどすばやく増幅されないということは、心理システムの定常状態が比較的高い構造安定性をもつことを意味している。つまり、システム内で起こったさまざまな変化は定着しにくいと考えてよい。心理学的には、この状態にある個人の学習効率がかなり低くなるといい変えられる。それほどコンスタントに経験は累積しないと考えられるのである。

もし、発達現象がゆらぎにもとづく自己組織化によってひき起こされるのだとすれば、最終的にはゆらぎは増幅され、システムの構造を変化させることになる。そのためには、奇妙ないい方ではあるが、システムはゆらぎを何らかの形で増幅しなければならない。その仕組みに要求されるのは、変化が起こるときには急激に起こるように、一定状態まではあたかもゆらぎの存在を無視することである。それは、進行する過程を少なくとも二つのレベルで設定することで可能となる。片方は、実際に出現するふるまいのレベルであり、もう一つはそのふるまいの記憶のレベルである” (氏家 [1996], 142 頁)。

そして、この2つを心理システムのゆらぎを増幅するパラメータとしてみた



とき、自己組織化の過程について次のように捉えている。

“ふるまうことによって記憶が作られ、記憶が作用することである特定なふるまいが出現する確率は変動する。例えば、われわれは、全く知らないことよりも少しでも知っていることを理解しやすい。はじめて見るものよりも、少しでも知っているものの方がより正確に知覚されるし、それへの働きかけはよりスムーズになる。そして、働きかけがひんぱんに起こるようになればなるほど、そのできごとやふるまいについての知識が増える。

これは、あるふるまいが起これば起こるだけ、ますますそのようなふるまいが起こりやすくなるということを意味している。記憶の量が少ない時点では、その記憶に関わったふるまいの回帰性は低いままにとどまる。それでも記憶量は増加するし、回帰性も高まる。そして記憶量が一定量を超えると、あるふるまいの生起はもはやゆらぎではなくなる。回帰性が急速に高まり（コントロールパラメータが一定値を越えたので）、ゆらぎは増幅しはじめる。システムの状態はやがて変化するのである”（氏家 [1996] ,142-143頁）。

### 感情のパラメータ化

以上のように考えてみると、ふるまいはそれ自体は元来事象であるが、記憶という非線形性のパラメータとの関連によってまた、システムの自己組織を生み出すパラメータとしても位置づけられる。

ところが、このふるまいは、感情という心理学において重要な概念の一つと極めて強い関係にあると言えよう。例えば単純に、われわれは好きなことをしたいし、嫌悪なものに対しては接近をしない、あるいは回避を試みようとする。このことは、氏家 [1996] によれば、感情がもつ動機づけの働きが、心理システムで発生したゆらぎを増幅するかどうかを決めるまたパラメータにな

り得るということである。

感情によって、サブシステムの非対称性がもし強まるとすれば、それらに対応したネットワークができあがることになるので、システムの組織化の様相がまた、他の感情パラメータがオンになった場合と異なることも想定されるであろう。

心理システムとして、感情をサブシステムに対するいわば外生的パラメータとして導入していくことも考慮されねばならないのではなかろうか。

#### 6.4. 最後に

これまで心理学は、人間の個体内行動 (intrapersonal behavior) や個人間行動 (interpersonal behavior) について、個別の状況において生じた行動を理解し予測し、制御することを志向してきたという言い方もできるように思われる。そしてその性質上、心の構造を問題にして、時代時代の科学的潮流を取り入れ発展してきたと言えよう。

本稿でみてきたように、心理学はその時々 of 科学的潮流と無関係ではなかったのであるから、もちろん「複雑性」というパラダイムに含まれる発想も、これまでの心理学において全くなかった新しいものばかりであるというわけでは必ずしもないであろう。しかし、システム論的枠組みとして体系づけられようとしている現在において、これまでの説明原理をもとめ制御科学として発展してきた心理学は、今後心理システムそのものの動態を扱う構造科学へと移行していくようになるのかも知れない。そして、心理学にこれまで以上に構造科学としての方向性が付加されて研究が進んでいくようになるとき、「複雑性の科学」の心理学への適用可能性がより一層明確になっていくものと考えられる。

## 7. 哲学・論理学方面から見た社会システムの理論と複雑系

金子 洋之

哲学、特に私が専門とするようなタイプの哲学<sup>8)</sup>の基本的な立場は、社会や社会システム、集団、組織、経済・政治的活動その他の集団的な力学からはかなり遠いところにある。そこでは、例えば言語の社会性とか、共同体、意味の全体論等の概念が持ち出されることはあっても、それらの概念そのものが問われているというよりは、他の概念の分析にあたっての制約条件とみなされることの方が圧倒的に多いように見える<sup>9)</sup>。

もちろん、哲学に社会哲学と呼ばれる領域があることは周知の通りであり、倫理学の一部をも含めてそこでの研究が上述の社会的諸現象とそれを支える原理を直接の研究対象としていることにまちがいはない。そのような分野においては社会を一つのシステムとして捉えること、そしてそのようなシステムについての理論のあり方が当然問題となるであろう。また、科学哲学の一部、特に生物学の哲学や認知科学的な方法論の分野では、複雑系研究で持ち込まれる様々なアイデアが重要な意義をもつであろうことも疑いない。以下の話はそうした分野の話題とまったく無関係というわけではないが、ここではあくまで分析哲学・言語哲学・論理学の哲学といった観点にとどまり（それ以外に立場を取りようがないというのが実情だが）、社会システムの理論構築と複雑系研究がそこでの議論にどのような意義を有するか、を検討してみたい。

<sup>8)</sup>しばしば「分析哲学」という名称が使われるが、「分析哲学」という特定の哲学的な立場があるわけではない（ただし、それでどんな傾向のことをやっているのかが示唆されるならば、それほど無意味な名称というわけではないが）。

<sup>9)</sup>もちろん「分析哲学」の内部にあっても、これが唯一の見方というわけではない。例えば、大庭健「はじめの分析哲学」を参照。

## 7.1. 言語の哲学と社会システムの理論

このような検討は、上に述べた分析的哲学の基本姿勢からすると無謀であり、実りのないものだという予想、予感は当然ながらある。この予想がどういふところに由来するのかを例を上げて考えてみよう。

言語哲学の基本的な問題の一つに「意味」をめぐる問題がある。この問題は、単独の問いというよりは、数多くの問題の束と考えた方がよいかもしれない。一つの問いに答えることが、他の多くの問いを誘発し、それらに答えようとする、元の問いに対する答えを論点先取することになりかねない、という意味で多くの纏れ合った問題群をなしているのである。そうした問題群の一つに「ある言語について意味の理論を構成するとすれば、それはどのような形のものになるか」という問いがある。これはかなり慎重かつ巧妙に選ばれた問いである。というのも、この問いは第一に高階の問いであり<sup>10)</sup>、第二に（日本語なり英語なりの）現実の具体的な理論構築の問題ではないからである。高階の問いであることによって、この問題は「意味とは何か」という重大かつ素朴な問いに直接答えることを回避し、問いそのものを解体・再配置（あるいは隠蔽）してしまう。さらに、具体的な意味理論の構築を要求しないことによって、問題のレベルを理論的な可能性のレベルにとどめることができる。こうして、「意味の理論」に関する問いは、同義性、翻訳、真理や指示といった意味論的概念、信念、知識等々の概念の相互的な関係ないしもつれを、無限背進に陥ることなく解きほぐそうとするのである。

もしこのような姿勢が分析的な哲学の基本姿勢であるとするれば、それが、社会的諸現象をシステムとして捉え、そのシステムについての理論構築を目指す、しかも具体的なツールを用いてモデル構築を行う、という方法論にそぐわ

---

<sup>10)</sup>「意味とは何か」とか「ある文の意味を理解するとはどのようなことか」といった問い自体が少なくとも二階以上の問いであり、「ある言語について意味の理論を構成するとすれば、それはどのような形のものになるか」という問題設定はそれらの二階の問いを含むより高次の問いだと考えられる。

ないことは容易に予想がつく。むしろ、社会システムの理論に類比されるべきなのは、哲学的「意味の理論」ではなく、言語現象についての具体的な意味論の構築の方であるように思われる。しかしこの類比において近いと感ぜられるのは、言ってみれば方法論の次元に過ぎないのであり、方法論の相違が互いにインパクトを受け及ぼすことの原理的障害には必ずしもならないと考えられる。

私自身は、「意味の理論」に代表されるような方法論を疑問視しているわけではないし、この問題がすでにカタのついた問題だと考えているわけでもない。その一方で、この社会理論プロジェクトの構想が単純に言語哲学の諸問題に結びつくと考えているわけでもない。しかしそれでもなお重要な接点はあると考えている。それは、例えば、信念という概念の問題を考えてみれば明らかになるかもしれない。哲学において「信念」がやっかいな概念であることは明らかだが、その理由は複数ある。細かい論点は抜きにしても、信念は、言語表現として単純には捉えられないある種のダイナミズムをもっている。具体的には、信念はノンモノトニックな挙動を示し<sup>11)</sup>、そのノンモノトニックな挙動を形式的なシステムとして解析しようとするれば、従来のスタティックな演繹の体系だけでは不十分であり、ダイナミズムを表現するための何らかの機構を用意するとともに、特定の内容に対する命題的態度の「強度」ないし「度合い」も問題にならざるをえない。また、信念と文脈依存性の問題は切り離すことができないように思われる。従来の研究から見た場合のこうした問題点は、社会的諸現象をモデル化するにあたっての困難とかなりの程度重なっている。もしそうであるとすれば、そうしたダイナミズムを捉えるための論理的概念やツールが社会的諸現象のモデル化にどれくらい使えるか、逆にシステムのモデル化のための道具がどれくらい言語哲学的な問題に適用できるかは

<sup>11)</sup> non-monotonic というのは、通常の演繹的推論における前提の水増しが成立しないということである。すなわち、通常の演繹的推論では、 $X \rightarrow C$  が成立する場合、さらに他の前提  $A$  が付け加えられても、元の推論は保存される、つまり  $X, A \rightarrow C$  は成立する。信念の場合この演繹関係に関する性質は必ずしも成り立たない。

気になる問題である。いささか不純ではあるが、そうした問題意識がこのプロジェクトに参加した理由の一つである。以下では、そうした分析哲学的・論理学的な問題と社会システム・複雑系の問題との連関をもう少し立ち入って検討したい。

## 7.2. 「意味」の概念

一つの問題を最初に取り上げよう。心脳同一論に対する批判として次のような問題設定がある。例えば、誰かが「将来、プロ野球の選手になって四番バッターになろう」とか「プロ野球の監督になりたい」とか考えたり、欲したりするとする。心脳同一論の立場からすれば、そうした意欲をもつこと、将来についてそのようなヴィジョンを描くことは、心の活動の一つであるとともに、それは脳の活動の一つでもある。というより、それは脳の中で何らかの過程が生ずることそのものである。もし、脳内の過程が何らかの方法で再現可能であるとすれば、同様の脳過程を誰にでも埋め込めるはずである。だが、その脳過程を野球など見たことも聞いたこともない人の脳内で再現したとすれば、どのようなことが生ずるであろうか。これが問題である。

これが心脳同一論に対する批判になるのは、仮にそのような脳の過程を、当の野球など見たことも聞いたこともない人の脳内で再現できたとして、たぶんその人は何かを考えたり欲したりするであろうが、その人の意欲の対象はどこにもない、というパラドクシカルな状況をわれわれが予測するからである。しかし事態はそれほど簡単ではないのかもしれない。

この問題をここで取り上げたのは、脳の内部状態や機能について何かを言いたいがためではない。むしろ、このような問題を考えるときにわれわれが前提にしていることがら、つまり意味の単位に関する分節化のあり方を見直す必要があるのではないかと考えるからである。例えば、上の話で、仮に脳全体を取り替えるという設定にすれば、パラドクシカルな趣は消えてしまうであろう。

パラドキシカルに思えたのは、「プロ野球の監督になりたい」という欲求を実現する脳過程が局所的なものであり、その部分だけを取り替えるということが暗黙の前提になっているからである。

もちろん、言語表現のレベルでは compositionality の原理<sup>12)</sup>を容易には捨てられないであろう。しかし、命題的態度の対象や内容の分析にあたっては、最終的に言語表現のレベルにとどまることはかなり難しいように思われる。その場合、何らかの形でメンタルなものの表現というレベルが必要になるのではないか。この表現レベルを、あくまで言語表現と相即的に確保すべきか、あるいはもっと内部機構に近い形で確保すべきか、言語表現と内部機構の中間に抽象的なインターフェースのレベルを設定するか、は意見の別れるところであろう。私自身としては、より内部機構に近いレベルで、例えばニューラルネットとその重みづけという形での「意味表現」を設定し、そこから通常の言語表現上のメカニズムへとどのように道筋をつけるか、さらに言えば、ネットレベルの論理が言語レベルの論理にどのように関係するか、という問題設定が興味深いように思われる<sup>13)</sup>。こうした議論は言語的な単位に即して「意味」の問題を考えるというわれわれの「意味」概念の改訂を示唆するからである。

しかし重要なことは、ここでいずれの立場を採るにしても、従来の手法を逸脱した何がしかの装置が必要だという点である。例えば、言語レベルに近い形式意味論においても、単なる集合論的な道具だけでなく、ダイナミズムを表現するための機構や自己言及を可能にし、文脈依存性を維持するための新たな道具が工夫されている。と同時に、これらの道具は、社会システムや複雑系を記述するための枠組をどのように構成するかを考えるにあたって、重要なヒントを示唆しているように思われる。

---

<sup>12)</sup> 文の意味は、その文の構成要素である語ないしその他の表現の意味によって決まる、という指導原理。

<sup>13)</sup> Jackson[1996]

### 7.3. 意味の創発

言語哲学においては、意味の問題を扱うに際して「翻訳」という概念がしばしば決定的に重要な役割を担っている。しかしながら、翻訳というものが、単語ごと、文ごとの対応というような単純な対応ではないにしても、翻訳される言語と翻訳する側の言語とが翻訳というプロセスを通していわば動かないものと仮定されている点で、言語そのものあり方をどれくらい捉えているか、疑問が残る。

クワインが翻訳の不確定性テーゼを示し、デヴィッドソンが「翻訳」から「根元的解釈」へと進み、malapropism を視野に入れたということは、言語のダイナミズムと柔軟さを考慮することへの一歩と見ることはできよう。しかしながら、ファイヤアーベントも指摘するように<sup>14)</sup>、翻訳を行うことによっていずれの言語も変化しないと仮定することは誤りであろう。また、様々な言語現象、特にピジン・クリオールのような現象からもわかるように、現実には単なる翻訳や解釈ではなく、新たな意味の創造ということがしばしばなされており、言語共同体内でのコミュニケーションのあり方や他の言語共同体との接触というようなより広範な現象を、単なる共同体の成員というミクロなレベルでのみ分析するのでは不十分であるように思われる。むしろ、そうした言語現象の解明を社会システムの記述レベルで行うことも可能であるし、社会的な諸現象の創発に類比することも可能であるように思われる。

このような方向での研究はもちろん、どのような手続きでもって行えばよいかということが明確なわけではなく、その意味で海のものとも山のものともつかない単なるお題目にすぎない可能性も十分にある。しかし、社会システムにおける決定のメカニズムを言語哲学に持ち込むという話は、規約概念一般についてのルイスの研究<sup>15)</sup>や言語の規約的意味に関するグライスの研究<sup>16)</sup>に

<sup>14)</sup>Feyerabend[1987],ch.10.

<sup>15)</sup>Lewis[1969]

<sup>16)</sup>Grice[1991]



見られるように、これまでなかったわけではない。ただし、彼らの手法は、いわばゲーム理論による均衡モデルであって、本論文の他の節で充分論じられているように、われわれにとって満足の行くモデルとはなっていない。したがって、ゲーム論的な均衡モデルに取って代わる新たな社会モデルの構想は、こうした規約の問題に応用可能であるとともに、その成否についての評価も比較的容易であると予想できる。

#### 7.4. 命題の論理からシステムの論理へ

さて、以上の話は、社会システムについての理論および複雑系研究が哲学にとってどのような意義を有するかという観点からの話であった。最後に言語哲学や論理学の側からこのプロジェクトへ何をもたらさうのかを簡単に検討したい。

論理学や意味論では、通常二つの手法が用いられている。一つは、何らかの理論、例えば自然数の理論や実数の理論を公理化・形式化し、その形式的システムの性質を証明論的な手法で調べたり、モデルを構成することによってそのシステムの強さを調べたり、といったやり方である。もう一つは、そうした形式化に際して用いられる記号言語を用いて、自然言語の断片を記述し、そのモデルを構成することによって演繹的な関係を解明するという手法である。いずれの手法に関しても、現在様々な拡張が研究されるようになってきた。その理由はいろいろあると考えられるが、ここでは互いに関連すると思われる二つの事柄に言及したい。

一つは、計算機科学において問題とされる様々な現象、例えば concurrency のような現象を記述するためには従来の手法だけでは十分ではなく、プロセスの概念や tempolarity, 循環現象のようないわばダイナミズムを表現できるような記述枠が求められるようになってきたことがある。第二に、これと関連して、論理という概念が拡張されるようになってきたこと、具体的には「命題」

ないし「文」という構造化されてはいるがきわめて不変的な対象についての論理から、より柔軟で、必ずしも言語化されない対象についての論理へと関心がシフトしてきたことがある<sup>17)</sup><sup>18)</sup>。

もちろん、こうした最近の進展において提案されているツールが直ちにここでの研究に流用できるというわけではない。論理学におけるモデル化の手法と社会の複雑な有り様をモデル化することの間にはいろいろな点で相違があることははっきりしている。その中で最も重要なのは、形式体系における要素間の関係は含意 implication の関係であるのに対して、社会システムにおける要素間の関係は基本的に因果的な関係として理解されている、という点である<sup>19)</sup>。そうした因果関係を論理的な含意関係に置き換えることはどの程度まで可能なのか、そしてその逆はどのように可能なのか（すなわち、自然システムや社会システムの形式体系へのコーデングとそこからデコーデングの可能性）。この点をきちんと見なくてはならないであろう。しかし、数理生物学や心理学の一部では、代謝システムや認知プロセスのモデルをカテゴリー論的な枠組みのもとで形式的な体系として記述し直すという作業がすでに行われており、それによって例えば様々な代謝システムの相違を形式的体系の側面から特徴づける、といった研究が行われている。こうした事情を考慮するならば、社会システムの記述を形式体系に関係づけるという作業が見込みのないものではないと推定できる。したがって、もしこの推定が正しいとすれば、先に述べたツールの応用も充分現実味を帯びてくるであろう。とはいえ、この問題は、複雑な社会システムを記述するための枠組みにどのようなタイプのものがあるか、そして「同一の」社会システムや社会的現象を記述する枠組み同士が

---

<sup>17)</sup> 例えば Devlin[1991] を参照。

<sup>18)</sup> この関心のシフトはもちろん「論理」というものをどのように考えるかという点で、様々な問題を引き起こす。つまり、言語的なレヴェルから離れることで、新たな対象領域を設定し、その領域の上で何らかのシステムティックな挙動が捉えられたとしても、それを端的に論理と呼ぶのには抵抗がある。それが、単なる代数的な構造で記述できるということではなく、その領域での論理だ、と言えるためにはどのような条件が必要なのか。しかしこの問いに答えることは、「論理とは何か」に答えることを含む点で、それほど容易には答えられないと思われる。

<sup>19)</sup> Rosen[1989], p.

どのように関係するのか<sup>20)</sup>、それらの記述枠を比較・評価する視点をどこに設定すればよいか、といった興味深いが難しい問題を含むと考えられる<sup>21)</sup>。

---

<sup>20)</sup> 記述の枠組みが違っているのに、なおそれらが同一のシステムを記述していると主張できるのはいかにしてか。

<sup>21)</sup> 例えば、ある現象を非線型方程式で記述できたとし、またその現象をシミュレートするニューラル・ネットのモデルが構成でき、さらには形式的な数学的体系のモデルとなっていることがわかったとして、それらの記述枠相互の関係はどう考えればよいか、といったことである。

## 8. “複雑さ”と次元

青木 憲二

### 8.1. はじめに

一見単純そうに見える中に潜む難しさを好む人はいるが、複雑さが好きな人はまれである。“複雑”な現象を目にした時、ひとは“単純化”して理解しようとする。つまり、いくつかの仮定を設け（明示、暗黙を含め）た上で、裏に隠された法則や規則性をさがしあて、論理的な言葉（例えば数学）を使って演繹し、その現象を説明しようとする。また、その時、理解できたように思える。

そういうことができそうにない“複雑”な現象の時どうするのか？ 例えば、発達した乱流、脳の働き、経済システムの進化等が挙げられるが、ここでは、もっと非常に単純な次のような場合を考えてみる。たくさん（数個ではなくまた無限に近い数でもない）の構成要素からなる系において、単純な規則を数百万ステップ適用した後に、初めて出現する現象があるとする。そして、この現象を人に説明する方法が、その規則を同様に数百万ステップ適用することしかなさそうな場合である。人はこれでこの現象を理解したと思えるのか？ 多分ノーであろう。なぜもっと少ないステップでこの現象が出ないのか、また、なぜこの現象が出て他の現象がでないのかには何も答えていない。

つまり、規則はわかっても、その現象の出現のからくりが、わかったようには思えない。それではこのように単純な規則に還元することなく、この現象をそのまま理解する方法はあるのか？ 人間が物事を理解するとはどういうことなのか？ こころへんのことは、いわゆる“複雑系の科学”がめざしていることなのだろう。

ところで、先程の例において、ある現象が出現したと”勝手に”思っているのは人間であり、そういった日常的空間を適切に表現する言葉としては幾何学がある。したがって、現象を要素還元して得られた規則（微分方程式等）から、時間の経過に伴って出現する大域的現象を、幾何学を使って調べる分野である”微分方程式の定性的理論（力学系の理論）”は、変化する現象を理解するための一つの枠組みを与えていると考えられる。

ここでの目的は、この理論を中心にして、現象のいくつかのモデルの関連性に配慮しながら、”複雑さ”と次元の関係を、おおづかみにながめてみることである。ここで、”複雑さ”とは何かについては問わないことにする。また、次元という言葉は、動きに関してその空間の自由度を表す整数のことで、普通の意味での滑らかな空間の次元である。複雑な図形（フラクタル）を表す場合の次元を、直接的にはイメージしていない。

私自身この分野が専門というわけではないので、間違いが多いかもしれないが、社会科学系の方々の、この方面への直感的な理解に少しでもお役にたてば幸いである。

## 8.2. 現象のモデル化

まずは、現象（気持ちは、社会現象、経済現象、自然現象も含めたあらゆる現象）の代表的な定式化を述べなくてはいけない。現象は、時間とともに変化している。現象の”状態”とは、一般に、ある時刻においてその現象を規定するいくつか（有限または無限個）のデータの組のことである。ここで、データの値（状態値）は、連続な実数を取れると仮定しておく。したがって、現象の時間変化は、その”状態”の時間変化とみなす。

動くもの変化するものを正確にとらえる言葉は関数であるので、変化する”状態”を記述する各データは、時間の関数になっている。すなわち、現象の時間変化、つまり、”状態”の時間変化は、いくつか（有限または無限個）の

関数（時間の）の組にモデル化される。逆に、ある現象を記述するこの関数の組がわかれば、我々はその現象を理解したように思える。したがって、ある現象を理解しようとする時、その現象を記述するこの関数の組を、もしあれば、探すことが問題となる。

この時、現象の長時間の変化より短時間の変化は捉えやすいと考え、その短時間の変化について、その関数の組は、次の条件を満たすと仮定する。

決定性原理：“状態”の次の瞬間までの変化（時間に関する微分）は、現在の瞬間における“状態”（と一般には時間）によって決定される。

これを定式化したのが微分方程式である。（一般には、次の瞬間の状態は、現在の瞬間における状態だけでなく過去のある時間の間の状態と関係するとも考えられるが、ここでは扱わない。）

つまり、微分方程式とは、現象を記述する関数の組が満たすべき条件を、時間（と空間）に関して局所的に定式化したものである。このように、微分方程式は、どの状態も、短い時間に関しては同じ規則に従っていることを暗黙に前提している。ここで、状態が有限個の関数からなる時、その定式化は常微分方程式となり、無限個の時、その定式化は偏微分方程式になると思える。

例えば、振り子の動きの場合、その“状態”の変化は、振り子の位置（角度）と、その時の速さを記述する2つの関数で表されると考える。そして、次の瞬間の状態は、現在の瞬間における状態が受ける力で決まるとし、ニュートンの運動法則より常微分方程式にモデル化される。

また、ある部屋（物理空間）の温度の変化を記述する場合、“状態”の変化は、部屋の各点毎の温度変化なので無限個の関数が必要になる。こういう場合、温度を表す関数を、時間だけでなく、その部屋の各点にも依存して決まるものと見れば、その“状態”の変化は、1個の多変数関数（この場合、4変数関数）で表せる。部屋の、ある点における温度変化は、その点の回りの温度分布にも依存するだろうから、“状態”の次の瞬間までの変化（時間に関する

る偏微分)は、現在の瞬間の物理空間における局所的な変化(空間に関する偏微分)を使って表現されることになる。したがって、ある部屋の温度変化を表すモデルは、自然に、偏微分方程式で記述される。常微分方程式の場合は、振り子の玉や惑星を質点と見るように、物理空間の広がりには考慮しない。

このように、時間とともに連続的に変化する現象は、無限小の時間の状態の変化を表わす微分方程式でモデル化される。したがって、あとはこの無限小の部分を無限に繰り返し足して(積分)いけば、現象の、ある初期状態から最終状態までが導かれる、つまり、現象を記述する関数の組が求まるはずである(偏微分方程式の場合はさらに無限小の空間も足していく)。ラプラスの世界観のもとになったモデルである。

しかし、ほとんどの微分方程式は、その解(微分方程式を満たす関数の組のこと)をよく知られている関数を使って表す(求積法)ことはできないし(偏微分方程式の場合は解の存在もあやしくなる)、たとえできたとしても、式からは解の大域的な振る舞いに関してほとんど何の情報も得られないことが多いので、次のようにして'解がどのように見えるか'(幾何的)を調べることが重要になる。

すべての"状態"からなる抽象的な空間(状態空間、相空間)を考えると、現象の、ある時点における状態は、その空間の1点で与えられ、したがって、現象の時間変化は、状態空間のある曲線で表せる。この時、状態空間の次元は、その状態を規定するデータの個数である。したがって、常微分方程式でモデル化される現象の状態空間の次元は有限次元、偏微分方程式の場合は無限次元である。偏微分方程式は、無限次元状態空間(関数空間)上の常微分方程式のように思えばよい。

例えば、振り子の動きの場合、その"状態"は、振り子の位置(角度)と、その時の速さの2つのデータで記述できると考えるので、その状態空間は、全ての位置と速さの組からなる2次元の空間となる。

また、部屋の温度分布の場合、ある時刻における状態をあらわす、部屋の

各点毎の温度からなる無限個のデータは、その部屋の空間上の1個の温度分布関数(3変数関数)と考えられるので、状態空間は全ての温度分布関数からなる集合(関数空間)となる。時間の経過に伴い部屋の温度分布が変わることは、その温度分布関数が別の温度分布関数に変わっていくこと、つまり、温度分布関数からなる状態空間上に、ある曲線を描くこととなり、前と同じように解釈できる。

この時、微分方程式は、状態空間の各点(状態)からの状態の変化方向(ベクトル場)を、局所的に指定していることになる。したがって、微分方程式の解とは、初期状態(状態空間のある点)から各状態の変化方向に沿って進む点の軌跡(解曲線)のこととなる。こうして、“状態”の変化を表すいくつかの関数(時間の)の組が、状態空間上の、ある曲線に幾何学化される。ここで、微分方程式が滑らかだというような適当な条件があると、状態空間は、その微分方程式をみたす互いに交わらない解曲線で埋め尽くされることになる(微分方程式の全ての可能な解を表現している)。したがって、そのような状態空間上の解曲線の束は、あらゆる初期状態からの、その現象の永遠の変化の様子をすべて表していることになる。

結局、現象の解釈は、状態空間における解曲線の束の幾何的な位置関係を大域的に調べればよいことになる。例えば、解曲線は閉じているかとか(周期的な現象)、有界であるか(飛び去ってしまわないような現象)のような定性的性質を調べる。

“力学系”とは、状態空間とその上の微分方程式(またはその微分方程式を満たす解曲線の束)の組のことをいい、状態空間の次元を、その“力学系の次元”という。ここで、状態空間は直線、平面やそれらの高次元対応物のようないわゆるまっすぐな空間だけでなく、円、円筒、球、ドーナツの表面(トーラス)やそれらの高次元対応物のような曲がった空間(多様体)を考えた方が自然な場合も多い。例えば、振り子運動の状態空間は、無限に長い円筒であり、振り子のすべての動きは、その円筒を埋め尽くす解曲線の束



で表現されている。

こうして、現象は、状態空間と、その上の曲線の束というように完全に抽象化（幾何学化）される。このように、微分方程式の研究に幾何学を導入したのは、約 100 年前に、太陽系の安定性に関連して 3 体問題（18 次元の力学系）の研究をしたポアンカレであり、“微分方程式の定性的理論（力学系の理論）”といわれる。

この理論は、結局のところ、短い時間での状態の変化に関する局所的規則（下のレベル）から時間の経過に伴って生成される大域的な幾何学的パターン（上のレベル）を調べるわけで、いわゆる“複雑系における創発現象”等を理解する一つの枠組みを提供しているとも考えられる。また、“カオス”という現象が、急に注目を浴びるようになったのは、今まで雑音として処理されてきたような現象が、コンピュータにより可視化（幾何学化）され、ある秩序をもつことがわかったためである。つまり、力学系の枠組みにおいてである。また、既に 100 年前に、ポアンカレは、この幾何学的アプローチにより、3 体問題において、今で言う“カオス”現象が起きる可能性を知っていた。

これまでの話は、時間、物理空間、状態空間が連続体であることを暗黙に仮定している。その意味で、今までの力学系を“連続力学系”という。ところで、それらが連続体というのは、あくまでも仮定であり離散的かもしれない。したがって、現象のモデルとして離散的なものもある。

例えば、常微分方程式の時間のみを離散化したモデルとしては、“可逆写像（逆写像を持つ写像）による離散力学系”と、常微分方程式の差分化から定まるような、“非可逆写像による離散力学系”がある。また、偏微分方程式の時間、物理空間、状態空間を全て離散化したようなモデルとして、“セルオートマトン”がある。その他に、時間、物理空間のみを離散化したモデル等、いろいろな離散化のモデルが考えられているようである (Jackson[1995])。

離散モデルは、単に連続力学系の近似ということだけでなく、それ自体として重要である。つまり、離散モデルの方が、現象をより忠実に反映したも

のであり、逆に、微分方程式はその近似にすぎない場合である。例えば、大気の流れのモデルは、大気を連続体とみて微分方程式にするが、実際には、大気は分子の集まりである。ただ、歴史的には、連続体と考える方が数学的に取り扱いやすいので、微分方程式が主に考えられてきた。しかし、最近はコンピュータの能力が高まり、離散モデルも実験的に、ある程度扱いができるようになってきて注目されているのだと思う。

また、これまでの一般的な話からは外れるが、具体的な現象のモデル化の例として“ニューラルネットワークモデル”がある。これは神経細胞網（ニューラルネットワーク）からなる脳の数理モデルであり、やはり力学系の枠組みで捉えられる。

### 8.3. 力学系の次元と複雑さ

#### 連続力学系の場合

微分方程式の解の大域的な様子は、力学系の次元  $n$  が高くなると一般に極めて複雑な振る舞いを示す。しかし、一般にモデル化は状態空間上の連立された方程式（たとえば、運動方程式だけでなくエネルギー保存則もあったりする）になるので、力学系の次元の高さだけで力学系の複雑さが決まるわけではない。例えば、古典力学における2体問題は  $n = 12$  であるが、いくつかの保存則等から2次元の状態空間上の力学系 ( $n = 2$ ) に帰着し、以下に述べるように振る舞いは単純である。

1次元力学系 ( $n = 1$ ) の場合は、勾配系のため、山に雨が降った時の流れと同じで単純である。2次元力学系 ( $n = 2$ ) の場合は、平面の位相的な特殊性（たとえば、閉じた曲線は平面を内と外に分ける）より、解の一般的な様子がわかる。しかし、3次元力学系以上になると、解の大域的な様子に関する一般的な性質は、線形や勾配系の場合以外、ほとんど何もわかっていないようである。つまり、個々の例をケースバイケースに扱わなければなら

ない。

例えば、摩擦等のある散逸系といわれる力学系の場合、現象の最も重要な特徴はその長時間経過後の振る舞い（どのような状態に落ち着くのか）であるが、それは普通、状態空間の中の次元の落ちたある集合（アトラクター）で代表される。

一般にはいろんな形のアトラクターが考えられるが、 $n = 2$  の場合、アトラクターは単純なものしかない。例えば、ほとんどすべての力学系のアトラクターは、孤立した点（平衡状態）か、閉じた曲線（周期運動）という単純な図形のみである (Hirsch & Smale[1976])。

しかし、 $n$  が 3 以上では、“構造安定”といわれる数学的に性質の良いと思われる力学系においても非常に複雑な図形（ストレンジアトラクター）がでてくる。例えば、ソレノイドのサスペンション ( $n = 4$ ) という数学的に構成された例がある (Stewart[1992])。

物理的な例として、構造安定ではないが、流体力学の偏微分方程式から導かれた、大気の流れを表す具体的な常微分方程式によるモデル（ローレンツ方程式、1963年）は  $n = 3$  であり、コンピュータで描かれた“カオス”的なアトラクターは有名である (Guckenheimer & Holmes [1983])。しかし、コンピュータが描くのは、離散的に近似された方程式を有限の精度で計算（1回の計算毎にまるめ誤差が発生）した結果であり、真の解を近似しているかはまったく保証がない。しかし、最近 (Mischaikow & Mrozek[1995]) ローレンツ方程式における“カオス”の存在が証明されたようである。

このように、複雑な現象を生み出すからくりは、いくつかの例を扱っている段階で、3次元の場合 ( $n = 3$ ) でも、一般的なことはまだ良く分かっていない。 $n$  がもっと大きい場合は、ほとんど手がつけられていないようである (国府 [1997])。

### 1.0.1 離散力学系 (可逆写像) の場合

可逆写像の離散力学系とは、ある状態空間から同じ状態空間への一対一写像 (逆写像を持つ写像) のことである。時間の経過は、その写像の繰り返し回数により与えられる。つまり、時間のみが離散的なモデルである。

連続力学系から時間をとびとびにとることによっても得られる。しかし、逆に、ある状態空間上の可逆写像が与えられた時、いつもそれが同じ状態空間上の連続力学系に拡張できるとは限らない。この意味で、可逆写像の離散力学系は、連続力学系より広い概念である。

しかし、可逆写像の離散力学系は、“サスペンション”という操作により、1次元高い状態空間上の連続力学系の再帰写像 (ポアンカレ写像) とみなすことができる。したがって、一般に、 $n$ 次元状態空間上の可逆写像による離散力学系は、 $n+1$ 次元連続力学系に対応していることになる。2次元状態空間上の可逆写像の離散力学系において“カオス”がみられるのは、それが3次元の連続力学系に対応しているからである。

例えば、複雑な振る舞いを示す重要な例として、馬蹄系 ( $n=2$ ) がある (1964年)。これは幾何学的に構成されているため、その複雑な振る舞いが完全に理解されている (Guckenheimer & Holmes[1983])。

また、簡単な2次式で定義されるエノン写像 ( $n=2$ ) のコンピュータ画像は有名である。しかし、ローレンツ方程式の場合と同じように、“カオス”の存在が証明されたのは最近である (Benedicks & Carleson[1991])。

したがって、この場合は、一般的なことは、2次元の場合 ( $n=2$ ) でもまだ良く分かっていない。

## 離散力学系(可逆写像)の場合

非可逆写像の離散力学系とは、ある状態空間から同じ状態空間への多対一写像(逆写像を持たない写像)のことである。可逆の場合と同様に、時間の経過は、その写像の繰り返し回数により与えられ、時間のみが離散的なモデルである。この定義からわかるように、可逆な離散力学系より更に広い概念である。

連続力学系(微分方程式)を近似した差分方程式としてもでてくる。当たり前であるが、近似が粗くなった時の離散力学系は、元の連続力学系とはまったく異なった振る舞いをする。つまり、同じ連続力学系から導かれても、近似度が低い時の離散力学系と、近似度の高い時の離散力学系とはまったく異なる力学系である。

例えば、非常に単純な1次元連続力学系(ロジスティック方程式)の差分化であるロジスティック写像は、パラメータ(近似度)を変えていくと"カオス"になることはよく知られている(山口[1986])。ここで、ロジスティック方程式(写像)は、生物(1種類)の個対数の変化を記述するモデルである。

非可逆の場合、可逆の場合と異なり一対一でないため、単純に可逆写像の場合と同じように、1次元高い連続力学系に対応させることはできない。ある非可逆写像の離散力学系に対応する連続力学系は、もしあるとすれば、その連続力学系の1次元低い状態空間上のポアンカレ写像を考え、更に、そのポアンカレ写像を、その状態空間のある一部の座標へ射影したようなものが、その元の非可逆写像自身となるようなものだろう(Jackson[1995])。

したがって、ロジスティック写像のような1次元状態空間上の離散力学系は、少なくとも3次元以上の連続力学系に対応していると考えられ、"カオス"になるのも不思議ではない。このように、一般的なことは、1次元の場合( $n=1$ )でもまだ良く分かっていない。

## セルオートマトンの場合

現象のモデル化の節で述べたように、セルオートマトンは、偏微分方程式で定義された連続モデルに対応した離散モデルと思える。したがって、その状態空間は“無限次元の”である。

例えば、部屋の温度分布に関して言えば、時間を離散、部屋の空間を離散（セルの集まり）と考えるだけでなく、状態値である温度も離散と考える。状態はセルの個数分のデータで決まるので、その状態空間の次元は、セルの個数次元という感じであろう。そして、部屋の各セルの周りの局所的な温度分布から、次の時間のそのセルの温度を決める遷移規則が、連続モデルの場合の偏微分方程式に対応している。

セルオートマトンを連続モデルの離散化と見てもよいが、現象によっては、これ自体がその現象の直接のモデル化と考えられる。モデルとしての豊かさは、離散力学系の場合と同じく、連続モデルと同じかそれ以上であろう。また、ある意味で中途半端な離散化である離散力学系に比べ、大胆に離散化されているので数値誤差がなくコンピュータ上にモデルを完全に実現できる利点がある。しかし、同じ理由から、数学的には更に扱いづらくなる。

問題は、この場合も局所規則（遷移関数）と、時間の経過とともに変わる大域的なダイナミクスとの関係である。しかし、一般的なことは、ほとんど何もわかっていないようである。単にコンピュータ上でプログラムを走らせるしか、今のところ方法はないようである。例えば、最も単純と思える物理空間が1次元的で、状態値が2個しか取れない場合であっても、連続モデルとの対応からそのダイナミクスは、かなり複雑になるであろうことは理解できる（ウルフラムの1次元モデル、例えば 吉永 [1996]）。

## ニューラルネットワークモデルの場合

ニューラルネットワークモデルとは、多数のニューロン（神経細胞）のモデルが、お互いにある局所的な関係（“重み係数”や“閾値”を含む関数や微分方程式で決まる）で結合したネットワークのことである。既に述べたように、神経細胞網からなる脳の働きという具体的な現象の数理モデルであり、一つの力学系の例である。

ニューラルネットワークモデルの“状態”とは、各ニューロンの値の組のことである。初期状態を決めると、そのネットワークの結合関係により決まるダイナミズムにしたがって、各ニューロンの値（状態）が時間とともに変化していくわけである。したがって、ニューロンの数、および、各ニューロン間の結合関係の強弱（“重み係数”や“閾値”）によって、このニューラルネットワークの力学系が決まる。

モデルの種類としては、今までと同様に、状態と時間がとる値を離散的とするか連続的とするかにより4つあり、更に、ニューロンの数も、有限と無限（空間的に離散的な場合と連続的な場合）のモデルがある。また、確率的に動作するニューロンから成るモデルもある（合原 [1988]）。

状態空間は、ニューロンの数とニューロンのとれる値（状態値）で決まる。連続な状態値を取る場合、この力学系の次元はニューロンの数に等しい。したがって、一般には非常に大きな次元をもつ力学系となる。

例えば、この見方からすると、人間の脳は、神経細胞の数からして  $10^{10}$  から  $10^{12}$ （百億から一兆）次元という超高次元力学系と考えられる（更に、結合関係を表す神経細胞の数以上のパラメータを持っている）。

この場合も、問題は、局所的な規則（結合関係）と、ネットワークの“状態”の大域的な振る舞いの関係である。

例えば、ホップフィールドモデルと呼ばれる、状態と時間が連続値をとり、結合が対称的な関係をもつようなネットワークの場合、状態の時間変化は、状

態空間上のある2次多項式（結合関係で決まるエネルギー関数）の値を減少させる方向に向かう。したがって、このモデルは、勾配系に似た力学系（勾配系そのものではない）として良く分かっているので、巡回セールスマン問題のような多くの組合せ最適化問題（ある2次多項式の離散空間上での最小値探索問題と解釈できる）に応用されている（上坂 & 尾関 [1990]）。

しかし、一般のモデルの場合、今までと全く同様、状態の振る舞いのからくりを知ることは難しい。

最近、各経済主体の行動が（従来の最適性ではなく）満足化原理に従う場合の経済のモデルの研究に、ニューラルネットワークモデルが利用されている（吉田 [1997]）。

#### 8.4. おわりに

例えば、連続力学系でいえば、 $n = 3$  で力学系の振る舞いが質的に変わったように、更に次元が高くなった時、力学系の振る舞いがまた質的に変わるのかもしれない。

ところで、生態系や経済の進化等は、力学系の次元が、時間とともに変化するような運動と考えられるらしい。これは、単に次元が大きいということから来る複雑さとはまた違った複雑さを運動にもたらす可能性がある（茶碗谷 [1996]）。今まで述べてきた力学系の枠組のままではとらえきれない。

これまで直接的には扱わなかったが、力学系の理論には、応用する上で重要な“分岐理論”がある。水の相転移における温度のように、現象はあるパラメータを伴って考えた方が多い場合が多い。そのような現象を、同じように幾何的（定性的）に考えるのが分岐理論である。

パラメータとともに、どのように力学系が質的に変化するかを調べる。力学系の構造安定性とからみ、今度は更に抽象的な力学系全体という大きな空間（無限次元）の中で、問題としている力学系が質的にどのくらい構造的に



不安定（退化している）なのかを、周りの力学系との関係でとらえる。

初等カタストロフ理論は、勾配力学系という比較的単純な連続力学系に限定した場合の局所的な分岐理論であるが、その重要性は今でも変わらない (Casti[1996])。実際、この理論は、定常状態の分岐モデルそのものの安定性を議論できるように一般化されたり、対称性を持つ定常状態の分岐現象にも適用できるように拡張されており、更に広い分野に応用を持つようになっている (Golubitsky, Schaeffer & Stewart [1985], [1988])。

勾配系に限定しない一般の分岐（一般カタストロフ）については、退化度（余次元）が低い場合においても、今まで個々の力学系について述べてきたことからわかるように、まだ良く分かっていない。

また、ニューラルネットワークモデルは、結合関係の強弱（“重み係数”や“閾値”）という多数のパラメータを含む力学系と考えられる。したがって、ある規則の下で結合関係の強弱（パラメータ）を変えていくという学習や自己組織化の研究は、力学系の分岐理論の枠組内で捉えられる。

## 関連図書

- [1] 合原一幸編. 別冊日経サイエンス 120. 日経サイエンス社, 1997. 「複雑系がひらく世界 科学・技術・社会へのインパクト」, 1997年6月.
- [2] R. Axelrod. *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, 1984. 松田裕之訳, 「つきあい方の科学」, HBJ 出版局, 1987.
- [3] R. Axelrod. *The Evolution of Strategy in the iterated prisoner's dilemma*. Pitman., 1987. in Lawrence Davis(ed.), Genetic algorithms and Simulated annealings.
- [4] R. Axelrod. *The Complexity of Cooperation*. Princeton University Press, 1997.
- [5] M. Benedicks and L. Carleson. *The dynamics of the Henon map*. 1991. *Ann. Math.*, 33, 73-169.
- [6] J. Biethahn and V. Nissen(eds.). *Evolutionary Algorithms in Management Applications*. Springer., 1995.
- [7] A.W. Brian. 「収獲逡増の経済学入門」. ダイヤモンド社, 1997. ダイヤモンド・ハーバード・ビジネス編集部, 「複雑系の経済学」.
- [8] J.L Casti. *Would-Be Worlds*. John Wiley & Sons., 1996. 中村和幸訳, 「複雑系による科学革命」, 講談社, 1997.

- [9] J.L. Casti. 「複雑性とパラドックス」. 白揚社, 1996.
- [10] Computer Today 9月号. 特集「複雑系とコンピュータ」. サイエンス社, 1997.
- [11] Computer Today 11月号. 特集「生命科学とコンピュータ」. サイエンス社, 1997.
- [12] G.S. Day and D.J.Reibestein(eds.). *Wharton on Dynamic Competitive Strategy*. John wiley & Sons., 1997.
- [13] D.C. & H.A.Simon Dearborn. *Selective Perception*. 1958. *Sociometry*, Vol.21.
- [14] E. Durkheim. *De la division du Travail Social*. PUF, 1893. 田原音和訳「社会分業論」青木書店,1971.
- [15] E. Durkheim. *Le Suicide*. PUF, 1897. 宮島喬訳「自殺論」中公文庫,1971.
- [16] E. Durkheim. *Les Formes Elementaires de la Vie Religieuse*. PUF, 1912. 古野清人訳「宗教生活の原初形態」岩波文庫,1941.
- [17] J.M. Epstein and R.Axtell. *Growing Artificial Society*. MIT Press., 1996.
- [18] R. Eve, S. Horsfall, M.(ed.) Lee. *Chaos, Complexity, and Sociology*. Sage pub.inc, 1997.
- [19] L. Festinger. *A theory of cognitive dissonance*. Stanford Univ.Press, 1957.
- [20] 藤澤等. 「複合システム・ネットワーク論」. 北大路書房, 1997.

- [21] M. Gell-mann. *The Quark and the Jaguar*. W.H.Freeman co., 1994.  
野本陽代訳, 「クォークとジャガー」草思社,1997.
- [22] 「現代思想」 11月号. 特集「複雑系」. 青土社, 1996.
- [23] A. Gouldner. *The Coming Crisis of Western Sociology*. Basic Books, 1970. 岡田直之他訳「社会学の再生を求めて」.
- [24] T. Gruber. *A Transition approach to portable ontology specifications*. 1992. *Proc of JKAW'92*.
- [25] J. Guckenheimer and P. Holmes. *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*. Springer-Verlag, 1983.
- [26] Simon H.A. *Administrative Behavior : A Study of Decision-Making Processes in an Administrative Organization*. The Free Press, 1945. Augumented 3rd edition: 1975.
- [27] F. Heider. *The psychology of interpersonal relations*. Wiley, 1958.
- [28] M.W. Hirsch and S. Smale. 「力学系入門」. 岩波書店, 1976.
- [29] J.G. Holland. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press., 1992.
- [30] 星野力. 「ゲームプログラミングと人工生命」. 共立出版, 1997. 松原仁・竹内郁雄編, 「bit 別冊 ゲームプログラミング」.
- [31] 細谷昂他編. 「講座・社会学史 1 社会学の成立」. 人間の科学社, 1976.
- [32] 細谷昂他編. 「講座・社会学史・1 社会学の成立」. 人間の科学社, 1976.

- [33] 伊理他編. 「計算の効率化と限界」数学セミナー増刊. 日本評論社, 1980.
- [34] 石渕久生, 富岡重信, 村田忠彦. 「遺伝的アルゴリズムによるファジィルールの生成と選択」. 1997. 「第13回ファジィシステムシンポジウム講演論文集」. pp65-66.
- [35] 伊藤昭. 「ゲーム理論とマルチエージェントシステム」. 1997. 「人工知能学会誌」, Vol.12, No.2.
- [36] A.S. Jackson. *Connectionism and Meaning: From Truth Conditions to Weight Representation*. Ablex Pub. Corp., 1996.
- [37] D.D. Jackson. *The question of family homeostasis*. 1959. *Psychiatric Quarterly Supplement*, 31, 79-90.
- [38] E.A. Jackson. 「非線形力学系の展望 I、II」. 共立出版, 1995.
- [39] J.H. Jackson, D.D. & Weakland. *Conjoint family therapy: Some considerations on theory, technique, and results*. 1961. *Psychiatry*, 24, 30-45.
- [40] 金子邦彦・津田一郎. 「複雑系のカオスのシナリオ」. 朝倉書店, 1996.
- [41] 金子邦彦・郡司ベギオー幸夫・高木由臣. 「生命システム」. 青土社, 1997.
- [42] 河本英夫. 「オートポイエーシス」. 青土社, 1995.
- [43] 経済セミナー 6月号. 特集「複雑系と経済学」. 日本評論社, 1997.
- [44] A. Kneer, G. und Nassehi. *Niklas Luhmanns Theorie sozialer Systeme*. Wilhelm Fink Verlag Munchen, 1993. 館野受男他訳「ルーマン 社会システム理論」新泉社, 1995.

- [45] 国府寛司. 力学系とカオス. サイエンス社, 1997. 「数理科学」.
- [46] H Koontz. *The Management Theory Jungle*. 1961. *Journal of the Academy of Management*, Vol.4, No.3.
- [47] K. Lindgren. *Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics*. Addison-Wesley, 1991. *ARTIFICIAL LIFE-II*.
- [48] N. Luhmann. *Vertrauen*. 1973. 大庭健他訳「信頼」勁草書房.
- [49] N. Luhmann. *Essays on Self-reference*. Columbia U.P., 1990. 土方透他訳「自己言及性について」.
- [50] 松野孝一郎・佐々木正人・三嶋博之. 「アフォーダンス」. 青土社, 1997.
- [51] R. Merton. *On Theoretical Sociology*. Free Press, 1967. 森東吾他訳「社会理論と機能分析」.
- [52] R.E.Marks Midgley, D.F. and L.G.Cooper. *Breeding Competitive Strategies*. 1997. *Management Science*, Vol.43, No.3.
- [53] M. Minsky. *The society of mind*. Simon & Schacter, 1985. 安西祐一郎訳 「心の社会」 産業図書 1990.
- [54] K. Minzer. *Thinking in Complexity*. Springer, 1997. 中村量空訳「複雑系思考」シュプリンガー・フェアラーク東京.
- [55] K. Mischaikow and M. Mrozek. *Chaos in the Lorenz equations*. 1995. *Bull. Amer. Math. Soc. (N.S.)*, vol.32, no.1.
- [56] 溝口理一郎, 池田満. 「オートロジー工学序説」. 1997. 「人工知能学会誌」, Vol.12, No.4.

- [57] E. Morin. *Introduction a la Pansee Complexe*. 国文社, 1993. ESF, 吉田幸男他訳「複雑性とはなにか」.
- [58] 中島秀之. 「世界の複雑性と状況依存推論」. NTT出版, 1994. 松岡正剛他編, 「複雑性の海へ」.
- [59] T.M. Newcomb. *Interpersonal Balance*. Rand McNally, 1968. In R.P,Abelson(ed.). *Theories of cognitive consistency*.
- [60] 西部忠. 「市場像の系譜学 「経済計算論争」をめぐるヴィジョン」. 東洋経済新報社, 1996.
- [61] 丹羽敏雄. 「微分方程式と力学系の理論入門」. 遊星社, 1988.
- [62] 沼上幹. 「個別事例研究の妥当性について」. 1995. 「ビジネス レビュー」, Vol.42, No.3.
- [63] 沼上幹. 「経営学におけるマクロ現象法則確立の可能性」. 1995. 「組織科学」, Vol.28, No.3.
- [64] 岡田章. 「ゲーム理論」. 有斐閣, 1996.
- [65] P.H. Osgood, C.E.& Tannenbaum. *The prnciple of congnyity in the prediction of attitude change*. 1955. *Psychological Review*, 62, 42-55.
- [66] T. Parsons. *Action Theory and Human Condition*. Free Press, 1978.
- [67] T. Parsons. *Action Theory and the Human Conditions*. Free Press, 1978.
- [68] M.E. Porter. *Competitive Strategy:Techniqus for Analyzing Industries and Competitors*. Free Press, 1980.

- [69] Poundstone.W. *Prisoner's Dilemma*. Doubleday, 1992. 松浦俊輔  
他,「囚人のジレンマ」, 青土社,1995.
- [70] I. Prigogine. *From being to becoming*. Freeman, 1984.
- [71] J.F. & D.W.Dc Long Rockart. *Executive Suppor Systems:the Emer-  
gence of Top Management Computer Use*. Irwin,Inc., 1988. 吉川武  
男訳「経営戦略支援システム」日経BP社,1989.
- [72] 佐伯啓思. 「自己組織性とポスト・モダン」. 吉田民人・鈴木正仁編,  
「自己組織性とはなにか」.
- [73] A.P. Sage. *Decision Support Systems Engincering*. John Wiley &  
Sons,Inc., 1991. 三森定道・明石吉三訳「認知心理学的アプローチに  
よるDSS」日刊工業新聞社,1993.
- [74] 清水剛. 「進化のシミュレーション」. 白桃書房, 1996. 高橋伸夫編著,  
「未来傾斜原理」.
- [75] 塩沢由典. 「近代経済学の反省」. 日本経済新聞社, 1980.
- [76] 塩沢由典. 「複雑さの帰結 複雑系経済学試論」. NTT 出版, 1997.
- [77] 塩沢由典. 「複雑系経済学入門」. 生産性出版, 1997.
- [78] H.A. Simon. *Administrative Behavior*. Free Press., 1945. 松田武  
彦・高柳暁・二村敏子,「経営行動」,ダイヤモンド社.
- [79] H.A. Simon. *The Sciences of the Artificia*. MIT Press, 1969. 稲葉  
元吉・吉原秀樹訳,「システムの科学」, パーソナルメディア.
- [80] J.M. Smith. *Evolution and the Theory of Games*. 1982. 寺本英, 梯  
正之訳,「進化とゲーム理論」, 産業図書, 1985.



- [81] H. Spencer. *First Principles*. 春秋社. 澤田謙訳「第一原理」.
- [82] H. Spencer. *The Principles of Sociology, vol.1*. Appleton and Co., 1887.
- [83] H. Spencer. *First Principles*. 春秋社, 1927. 澤田謙訳「第一原理」.
- [84] I. Stewart. 「カオスの世界像」. 白揚社, 1992.
- [85] 菅野道夫他. 「ファジィ制御(講座ファジィ5)」. 日刊工業新聞社, 1993.
- [86] M. Sugeno. *Theory of fuzzy integrals and its applications*. 1974. Doctoral Thesis, Tokyo Institute of Technology.
- [87] 菅野道夫, 室伏俊明. 「ファジィ測度(講座ファジィ3)」. 日刊工業新聞社, 1993.
- [88] 「数理科学」8月号. 特集「ニューラルネットの数理」. サイエンス社, 1991.
- [89] 「数理科学」7月号. 特集「脳のモデル化研究最前線」. サイエンス社, 1994.
- [90] 「数理科学」6月号. 特集「複雑系」. サイエンス社, 1996.
- [91] 週刊ダイヤモンド 11月2日号. 「複雑系」の衝撃. ダイヤモンド社, 1996.
- [92] 高萩栄一郎. 「ファジィ推論によるシステム・ダイナミックスのレート変数の決定-DYNAMOによる表現-」. 1995. 「専修大学商学研究所所報100号」.
- [93] 高萩栄一郎. 「集計オペレータとしてのファジィ測度-シヨケ積分モデル」. 1997. 「第13回ファジィシステムシンポジウム講演論文集」, 867-870.

- [94] 高橋伸夫編著. 「未来傾斜原理」. 白桃書房, 1996.
- [95] 高橋伸夫編著. 「日本企業の意思決定原理」. 東京大学出版会, 1997.
- [96] 寺野隆雄高玉圭樹. 「組織学習指向型分類子システム」. 1997. 「人工知能学会全国大会（第11回）論文集」, p201~204.
- [97] 増井重弘寺野寿郎. 「複雑系としてのカオスとファジィ」. 1997. 「第13回ファジィシステムシンポジウム講演論文集」, pp.619-622.
- [98] 寺野隆雄. 「学習するエージェントとその組織的問題解決」. 1997. 「オペレーションズ・リサーチ」, Vol.42, No.9.
- [99] 富永健一. 「社会学講義」. 中央公論社, 1995. 中公新書.
- [100] 氏家達夫. 「子どもは気まぐれ」. ミネルヴァ書房, 1996.
- [101] J.P. Walsh. *Selectivity and Selective Perception: An Investigation of Manager's Belief Structures and Information Processing*. 1988. *Academy of Management Journal*, Vol.34, No.4.
- [102] 山田誠二. 「適応エージェント」. 共立出版, 1997.
- [103] 山口昌哉. 「カオスとフラクタル」. 講談社, 1986. 講談社ブルーバックス.
- [104] 矢澤清明. 「戦略認識の構造」. 1994. 「専修大学経営研究所所報」, 第111号.
- [105] 吉田雅明. 「ケインズ - 歴史的時間から複雑系へ -」. 日本経済評論社, 1997.
- [106] 吉田民人. 「自己組織性の情報科学」. 新曜社, 1990.

- [107] 吉永良正. 「複雑系とは何か」. 講談社, 1996. 講談社現代新書.
- [108] Zadeh, L.A. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*. 1973. IEEE transactions on systems, man and syberbetics, SMC-3, No1, pp.28-44.