

## 複雑系としての脳 (Brain as a Complex System)

坂 恒夫  
(Tsuneo Ban)

### 1. はじめに

脳は典型的な複雑系だとされる。脳たとえば人間の脳は、百億個以上の神経細胞から成り、一つの神経細胞は、他の神経細胞と二十万個にも及ぶ繋がりを持つ。すなわち、脳は、相互に強い繋がりを持つ多数の要素から成るという複雑系としての典型的な性格を持つ。さらに脳は、意識・心理・思考という上部構造としての脳の外的現れと、無数の神経細胞のネットワークという脳の物質的基盤の間の関連が明確ではない。これは、脳科学の未発達によるのではなく、脳科学が持つ本来の性格と考えられる。脳の物理的構造が余りにも複雑なことから、システムの巨視的振舞と微視的構造を結び付けることができないのである。この巨視的事象と微視的事象の分離の確認、換言すれば巨視的事象は微視的事象に還元し得ぬことの確認は、複雑系思考の第一歩である。すなわち、脳の振舞の理解は、複雑系思考によって可能になると思われる。本論稿は、神経系の振舞からは推測し得ぬ巨視的事象としての脳の振舞、すなわち複雑系としての脳の振舞を、脳の微視的構造との関連を問いながら考察するものである。

巨視的事象としての脳事象には、生物行動、人間心理、経済行為などがある。これらの事象は、脳による動機付けを受けて生物や人間の振舞に現れる。すなわち、これらの事象は、脳の複雑系事象そのものである。複雑系としての脳は、これらの巨視的事象を通して現象する。従って、複雑系としての脳の振舞は、これらの巨視的事象から理解できる。複雑系としての事象把握の基本は、系の事象を要素事象に支えられながらも要素事象の和を超えたものとして捉えるところにある。このことから、上の諸事象が、神経細胞の集まりとしての脳構造の上部構造における事象として論じられ

るであろう。また、これらの事象は、同一の脳から派生する事象である。すなわち、これらの事象は、何らかの関連を持つに相違ない。人間行動、人間心理、経済行為は、脳を持つ人間の外面的、内面的、経済的現れである。これらは、脳構造の上部に生起する事象であり、事象として同じ構造を持つに違いない。複雑系の脳事象として統一的に把握できるに違いないのである。一見、何の関連もないと思われるこれらの事象が、同じ物理的基盤の上の複雑系事象として同じ構造を持つと思われるのである。この様に、脳の複雑系としての把握は、これらの事象の統一的把握を可能にすると思われる。この諸事象間の関連が考察されるであろう。

## 2. 複雑系と何か

複雑系としての事象把握の方法には、二種類がある [1]。一つは、複雑系の事象を要素事象の振舞を超えたものとして捉え、複雑系の巨視的事象を方程式で現象論的に表現し、方程式が解として示す事象変化で複雑系を理解する方法である。さらに一つは、複雑系は要素間が強い結び付きを持つことから、系を記述する方程式が非線形になると仮定し、非線形方程式が解として一般的に示す特異な振舞で、現実の事象を定性的に理解する方法である。本稿は、第二の方法すなわち複雑系思考と呼ばれる方法の脳事象への適用により、脳の振舞を理解しようとする試みである。

複雑系は、次の特色を持つ；「自己触媒系である」、「不確実性を持つ系である」、「進化する系である」、「自己組織系である」。これらの複雑系の特色を通して「複雑系とは何か」を考えることにする。

### (1) 自己触媒系である

自己触媒系という名称は、物理化学者プリゴジンが自らの著作で用いた名称で、化学反応を要素とする複雑系に対する名称である。同じ性格を持つ経済系に対しては経済学者ブライアン・アーサーが収穫逓増系と呼んでいる。物理系に対しては加速度系とでも呼べるものである。自己触媒系とは、化学反応において反応生成物が反応そのものを促進させる系である。反応生成物が増大すればするほど、反応速度が速くなり、反応生成物の増加が速くなる。すなわち、反応生成物の増大が加速するのである。通常の化学反応では、反応生成物が増大すると、反応生成物が乖離し反応基質に

なるという逆の反応が生じ、反応生成物の増大が減速する。このような通常の化学反応系に対して、自己触媒系という複雑系においては、反応生成物が加速度的に増大すると、複雑系思考は考えるのである。多数の化学反応を含む反応系の中に自己触媒系があれば、自己触媒系の反応生成物が急速に増大し、系の化学種の大部分を占めるようになると主張するのである。プリゴジンは、生物進化の初期における生体の素材である有機物の増大速度が、通常の化学反応からは説明できず、自己触媒反応によるのではないかと推論している。すなわち、生物の急速な進化は、自己触媒系の存在によって可能になったと推論している。また、経済学では、マーケット・企業などの経済要素の成長は、初期段階では著しく大きいがある大きさに達すると、土地・労働・資源などが有限であることから、減速すると考えている。すなわち、収穫逡減が古典経済学の法則となっている。これに対して、複雑系経済学者ブライアン・アーサーは、収穫逡増を主張する。すなわち、企業の生産量が増大すればするほど、企業の成長が大きくなるのである。その例として、ビデオ・テープレコーダにおける VHS 方式と  $\beta$  方式の争いを挙げている。VHS 方式は技術的に  $\beta$  方式より遅れていると考えられていたが、VHS 方式を採用した企業の初期の生産量が  $\beta$  方式より多かったことから、VHS 方式の市場シェアが圧倒的に多くなったのである。VHS 方式は、複雑系の収穫逡増則により圧倒的な市場シェアを占めるようになったのである。

## (2) 不確実性を持つ系である

複雑系の第二の特色は不確実性である。複雑系の不確実性は、複雑系を表現する方程式が非線形であることに起因する。この不確実性には、非線形微分方程式の解の一つであるカオスから派生するものと、非線形微分方程式の解の性質から派生するものの二種類がある。カオスとは、事象の時間変化を表す方程式に従いながらも、事象が繰り返しのないランダムな変化をして、事象の変化が予測し得ない解のことである。系の時間変化を正確に知ろうとして、系の振舞を微分方程式で表現しても、解がカオス状態にあるならば、系の未来の状態が判らないのである。すなわち、系の時間的展開は不確実なのである。さらに、カオス状態にある系は、系の初期状態の違いが指数関数的に増大するという特色を持つ。初期状態がわずかに

異なる二つの状態を考える。系の変化が線形微分方程式で表される線形系では、この二つの状態の違いは、時間に比例して線形的に増大するかも知れないが、長期間小さい値を保つ。一方、カオス状態にある非線形系では、違いが指数関数的に増大し、二つの状態は全く異なる状態になる。すなわち、線形系においては、以前の状態と似た状態に系があれば以前と似た時間変化をすると推測できるが、非線形系においては、以前と似た状態であっても同じ時間変化をすることは限らないのである。複雑系においては、系が以前と似た状態にあっても、以前と似た変化をすることは限らず、未来は不確実なのである。また、非線形微分方程式の解には、次の性質を持つものがある。どのような初期状態から系の時間変化が始まっても時間が経過すると同じ状態に収束する。また、ある解は初期状態のある状態を境にして全く異なる時間変化を示す。例えば初期値が、ある値より小さいと限りなく減少し、大きいと限りなく増大する。この様に、系が複雑系の場合、現在の状態から未来の状態を予測することが難しくなる。線形系ならば、現在の状態を恣意的に変えると、その変化に比例する未来の変化が期待されるが、複雑系では、系の状態の正確な表現が通常得られないから、未来を変えるために現在の状態を変えたとしても、期待通りの変化が得られるとは限らないのである。

### (3) 進化する系である

系の時間変化の議論は、通常、一つの構造を持つ系の上で行われる。例えば、物体の落下運動は運動方程式が表す構造の上で議論され、物体は落下あるいは上昇という同じ形態の運動をする。すなわち、通常系の時間変化の議論では、系の事象が一つの構造の上でいかに変わるかが問われる。ところが、複雑系の議論では、系の構造変化が問われることになる。複雑系では、一つの構造の下で系を規定する変数が増えると同時に構造自身も変化する。それでは、複雑系の構造変化は、どのように表現されるのだろうか。複雑系を記述する微分方程式には、系の状態を規定する変数と、系を取り巻く環境の状態を表す係数(制御パラメータと呼ばれる)が含まれている。環境が一定のときには、環境の状態を表す制御パラメータの下で微分方程式が解かれ、得られた解が系の時間変化を表す。環境が変化するときには、制御パラメータが変化して微分方程式の構造が変り、全く

異なる振舞をする解に変化する。この様に複雑系では、系を規定する変数が変わると同時に構造自体も変化する。ある時間変化をしていた系が、突然に構造を変えて、全く異なる時間変化をすることがあるのである。また、現在の構造が新しい構造に変化する時、可能な新しい構造に多数のものがあって、その中の一つが確率論的に選ばれりとされる。すなわち、構造変化においても不確実性が発生することになる。

構造変化は生物においても発生する。生物は、アメーバ状の簡単な構造の生物から、哺乳動物の複雑な構造の生物へと、構造を不連続的に変えて進化してきた。また、形態形成においては、卵細胞の簡単な構造から、生体の複雑な構造へと形態を変える。この様に、最も生物的な現象である生物進化と形態形成が構造変化を含んでいる。すなわち、生物進化と形態形成は、複雑系としての生物把握によって理解可能となる。ところで、生物進化と形態形成は、必ず簡単な構造から複雑な構造への構造変化である。構造変化に変化の方向がある。この変化の方向は、人間が歴史あるいは発達と呼ぶ変化の方向である。すなわち、社会事象を複雑系として把握することによって、社会の変化の方向を理解することができる。物理化学者ブリゴジンは、現在の構造が新しい構造に変る分岐点においては、多数の可能な新しい構造が大きな揺らぎとなって生滅しているとする。この多数の可能な新しい構造の中の一つが、確率過程によって選択されて新しい構造になるとする。すなわち、現在の構造と新しい構造を確率過程が結んでいるから、両者は必然的な関係を持たず、歴史換言すれば時間が不可逆的なものになるとする。この様に、複雑系として事象を把握することによって、構造を変えるものとして、進化をするものとして、歴史を持つものとして、事象を捉えることができるのである。

#### (4) 自己組織系である

複雑系の構造を作るものは、何だろうか。機械の構造は技術者によって作られ、社会の構造は政治家によって作られる。何が複雑系に構造を与えるのだろうか。上で述べたように、複雑系の構造変化すなわち新しい構造の誕生は、系が位置する環境が変わって、制御パラメータが変化することによって生じる。複雑系の構造を作るのは環境だろうか。だが、系が環境変化を受け入れる体制を持たなければ構造は変化しない。すなわち、構造変

化の原因は系自身にもある。これらの事情を表す複雑系の特色が、自己組織系という特色である。複雑系は、環境変化に応じて自己の構造を変えるのである。環境に開いた系であって絶えず構造変化をするものに生物がある。猛禽類は獲物との距離や周りの植生に応じて行動の構造を変えるし、人間は自己の社会活動の結果から絶えず学習して社会に対する認知構造を変えている。自己組織系は、環境変化に応じて構造を変える生物に与える名称として、最も相応しい名称と言えるのである。

自己組織系の自己組織する系と環境の関係は、ゲシュタルトの関係にあると言えよう。ゲシュタルトは、心理学者であるケーラーやコフカによって提唱された事象把握の方法で、生物の認識や行動における実行の形態のことである。生物の知覚や行動は、客体と主体を要素とする一つの場の中で、一つの構造を形成して行われると、ゲシュタルト心理学は主張する。場は、知覚や行動に関係する全てのものによって形成され、それらの一つが変わってもその形を変えるとされる。生物の知覚や行動は、この場の中で場に合致する構造を形作って遂行される。このとき形作られる構造は、曖昧で不完全であることはなく、必ず纏まりのある完全な構造だとされる。例えば、少女のようにも老婆のようにも見える図形があると、人間は必ず少女か老婆を見るのであって、少女と老婆の中間の曖昧な図形を見るのではないのである。それでは、これらの生物の振舞の原動力は何であろうか。ゲシュタルト心理学は、これを生物が場にもたらす非平衡だと考える。生物の食欲や性的願望が場に非平衡をもたらし、これが生物を行動に駆り立てるのである。プリゴジンは、同様な考えを生物の物質的条件に適用する。温度や物質濃度などの非平衡によってエネルギーや物質の配置を変えようとする力が生じ、これが原動力となって生物進化、形態形成および生体維持が行われると言うのである。この生物の特異な構造を、プリゴジンは、散逸構造と呼んでいる。生物は、非平衡系が持つ低エントロピーを自らの中に取り込み、自らのエントロピーを減少させて構造を複雑にしている。すなわち、生物は、非平衡が散逸する過程で生じる構造であり、非平衡がなくなれば消失する構造なのである。換言すれば、生物は非平衡が存在する場所で自己組織される複雑系なのである。

### 3. 複雑な物理系としての脳

脳は、驚くべき高度で多彩な機能を持っている。この機能は、物理系としての脳によって支えられている。その可能性と限界を物理系としての脳が与えている。複雑系思考は、系に生起する事象は系の物理構造を反映すると同時に物理構造に完全には還元し得ぬ事象であると考え。ここで、物理系としての脳を考えることにしよう [2]。

#### (1) 脳の構造

脳の構成を、本稿が必要とする範囲で考察すると次の様になる。まず、身体の感覚組織や運動組織と脳を結ぶ信号の通り道となる脊髄があって、その先に身体の反射活動や体液濃度などの調節作用を行う脳幹(延髄、中脳など)がある。これら是一緒にして脳幹-脊髄系と呼ばれる。脳幹の先には、個体維持や種族保存などの本能行動や、怒りや恐れなどの情動行動を司る大脳辺縁系(古皮質、旧皮質、中隔核、扁桃核、視床下部)がある。情動行動は本能行動を助ける役割を持つ。この外部には、人や物体の認知、言葉の理解や構成、新しい音楽や絵画の創造などの高度な知的行動を司る新皮質系(大脳)が大きく広がり、脳幹や大脳辺縁系を包んでいる。これから判るように、生物にとって最も基礎的な行動である反射活動・調整作用は最も身体に近い脳幹で行われ、次いで重要な行動である本能行動は脳幹の外側に位置する大脳辺縁系で実施され、生物にとって最も高次ではあるが本質的でない知的活動は、最も遠い新皮質系が受け持っている。

脳は、神経細胞(ニューロン)から作られている。神経細胞には核を持つ体細胞があり、体細胞からは多数の樹状突起と一本の軸索が出ている。樹状突起は、一つの神経細胞に最大10万個あって、他の神経細胞からの信号の入り口になっている。一方、軸索は、信号を他の神経細胞に伝えるためのもので、太さは一定で、長さが最大で1m程もある。軸索は、多数の軸索に枝分かれをしていて、その各々の先端は丸く膨らみ、シナプスを介して他の神経細胞の樹状突起に接合している。この接合によって、一つの神経細胞は、他の1千個から1万個の神経細胞と結合している。神経細胞を伝える信号は、電気信号である。神経細胞には、細胞の外部に対する内部の約-80mVの膜電位がある。神経細胞が外部刺激によって興奮すると、この膜電位が極端に小さくなり、パルス状の電位変化となって軸索を伝わ

て行く。電気信号が軸索を伝わる伝達速度は、9~110m/s で非常に速い。シナプスにおける軸索から他の神経細胞への信号伝達は化学的である。軸索の末端から化学物質が放出されて、それが接合している神経細胞の細胞膜電位を下げて、電気信号を神経細胞に伝達するのである。

## (2) 脳の進化

生物の脳は、どのように進化してきたのだろうか。上述の脳の構成が教えることは、機械的な行動を司る脊髄-脳幹系、生体維持の基礎となる本能的な行動を司る大脳辺縁系、生体の生存を確かなものにする知能的行動を司る新皮質系から成っていることだった。更に、これらの脳の各部分は、この順序で体幹から離れた場所に位置している。このことは、脳の進化が、脊髄-脳幹系、大脳辺縁系、そして新皮質系の順序で生じたことを意味するのではないか。実際、脊髄-脳幹系は爬虫類の脳と呼ばれるように爬虫類に典型的な脳であり、大脳辺縁系は哺乳動物に代表される脳、新皮質系は人間において発達した脳であり、この順序は生物進化のものと同じである。また、系統発生を繰り返すと言われる個体発生においても、生物は、このことを示している。胎児の初期段階の脳は、爬虫類の脳と同じ形態をしており、成長するにつれて、人間のものへと変っていく。

この脳の進化は、何を示しているのか。まず、自然が、生物進化の戦略として、一つの機能を持ったシステムを完成させ、その上に新しい機能を加える形で、脳を進化させたということである。この合理性は、機械製作の観点からも判ることである。高度の機能を持つ機械を一挙に作るよりも、簡単な機能を持つ機械を先ず作り、その上に高度の機能を加える方が、機械製作に容易のように思える。一挙に人間を作るよりも、哺乳類から作る方が容易だったのである。次に、この三つの形態の脳が存在するということは、これらの形態に何らかの生存上の利点があって、加速度的(自己触媒的)に個体数を増して進化したことを意味する。だが、何らかの進化上の制限があって、これらの形態以上の進化は、不可能となったと考えられる。すなわち、脳の進化の事実は、三つの形態に進化したという各々の形態の進化上の利点と、これらの形態を超えて進化できなかったという進化上の限界を示すと共に、これらの三つの脳の形態が支える機能は相互に還元し得ぬ独自の機能であることをも示しているのである。



### (3) 脳機能の局在性

脳機能の局在性の問題は、脳の持つ構造の問題であると共に、人間の脳機能の把握法の問題でもある。また、脳の持つ構造の問題は、自然が脳をいかに構築したかの問題でもある。経済学者で計算機科学者のハーバート・サイモンは、機械の製作が、部分的な機能を持つ諸々の部品を先ず製作し、次いでこれらを順序良く組み立てることによって行われるように、複雑な事象の認識は、事象を機能的纏まりのある部分に分割し、次いでこれらの関連を考察することによって行われると述べている。脳機能の局在性の問題は、上のサイモンの主張のように、脳という複雑なものの認識方法の問題であり、脳という複雑なものの製作に採った自然の戦略の問題である。現実の脳は、脊髄—脳幹系、大脳辺縁系および新皮質系という局在性を持つ。それでは、それぞれの部分系の内部においては、脳機能は局在性を持つのだろうか。これを、比較的詳しく研究されている新皮質系に見てみよう。十九世紀に始まった刺激電極による方法、あるいは現代の機能的磁気共鳴映像法 (fMRI) や陽電子放射断層撮影法 (PET) による大脳の機能局在の研究は、言葉をしゃべる、手を動かす、音が聞こえるなどの機能が、言語野、運動野、聴覚野として大脳に局在していることを示す。更に、運動野と感覚野においては足から顔に至る身体の各部分に対する分業体制が採られていることを示す。指先や舌など機能的に優れた身体器官に対応する部分は、これらの領野で大きな部分を占めているのである。これらのことは何を意味しているのか。身体の手・足・耳・目のように、大脳の各部分は、一つの固定した機能を持っているのだろうか。ここで注意せねばならないことは、手足などの身体の外的環境に近い部分から、脳の新皮質に近づくに従って、機能の局在性が小さくなることである。大脳には上述の分業体制が一応あるが、一部が外傷などで欠損すると、他の部分はその機能を代行する。すなわち、大脳には可塑性があって状況の変化に応じて自らを変えることができるのである。一方、手足などの身体の末端は可塑性を全く持たない。身体の末端の諸器官は、固定した機能を持って、固定した性質を持つ外的物体に働きかける。すなわち、この相互作用の系は、少数の要素を持つ単純な相互作用の系である。分析的思考で取り扱いが可能な単純な系である。勿論、現実の生物の振舞は、必ず脳の機能を含むから、

複雑系の振舞となるが、近似的扱いによって単純な系と見做せる系である。すなわち、生物は、機能の局在性がある分析的思考で扱える簡単な系から、自らの構造を変えるという可塑性によって諸機能を系全体で果たす複雑系へと進化したと考えられる。

#### (4) 脳機能の全体性

大脳は、著しい可塑性を持つとされる。特に幼児の時代は、極端な可塑性を持つとされる。重いてんかん病を患っていた六歳の子供は、左脳の大部分を取り除くという手術が必要であったが、結果は右脳が左脳の機能の肩代わりをして、手術による欠損の影響を免れていたのである。また、脳の構造は教育によっても変えることができる。文字を読み取る能力に欠陥があった九歳の少年は、教育によって神経系のつながりを変えられることとする一連の教育コースを受けた結果、読み取りができるようになり、脳検査で脳の活動領域を調べると、以前は不活性であった部分の活動が見られるようになったのである。学習によって神経細胞のつながりを変えられることができたのである。

大脳の可塑性すなわち脳機能の全体性を、なぜ脳は持つようになったのか。それは、生物が環境変化に微細に適応する過程で生まれたのではないか。反射行動で環境に適応する場合、比較的単純な環境変化に対して素早く反応する必要がある。すなわち、脊髄—脳幹系のような神経細胞を信号伝達路とする自動制御機械が、この要求に最も合致する系である。食欲・性欲・群集欲などの生命維持の基本である本能行動については、環境変化の微細に対応するのではなく生命主体の状況に基づいて行動するのだから、大まかで敏捷さはないが長く持続する行動、すなわち大脳辺縁系が司る行動が要求される。一方、物体の認知、言葉の発話などは、外的環境に対する膨大な情報、体験した事象に対する膨大な記憶、および生存に伴う記憶の更新を要求する。これらの要求に応えるメカニズムは、機能がコンピュータに似ている新皮質系以外にないのである。

それでは大脳の可塑性は、いかなる構造によって支えられているのか。それは、神経細胞間の結合を繋ぎ変えることによってである。人間の脳には約 1000 億個の神経細胞があって、これらは樹状突起と軸索を結び付けるシナプスによって相互に繋がっている。人間が誕生するとき、約 1000 億個

の神経細胞は既に存在するが神経間の繋がりはまだない。この繋がりは、子供の成長と共に、子供の置かれた状況に合った形に形成されていく。例えば、目の不自由な人は、視覚野は発達せず、代わって点字を読む触覚野が発達するのである。この様に、神経間の繋がりは、個人的体験や訓練によって変わる。過去の体験の記憶、現在の視覚の脳への取り込みなども、神経間の繋がりの繋ぎ変えによって行われるのである。神経細胞間の繋がりにには、弱肉強食の法則が働いている。あまり使用されない領野の神経細胞は、頻繁に使用される領野の神経細胞として使われて、他の領野の神経細胞との繋がりが形成されるのである。

#### 4. 脳現象としての生物行動

生物行動は、神経系と外的環境の間に位置する身体に生起する事象である。それは、神経系の振舞の身体的現れと呼べるものである。系全体の振舞は、要素の振舞から完全には推察し得ぬ上部構造の事象である、と複雑系思考は考える。生物行動は、神経細胞の個々の振舞からは推察し得ぬ身体の全体的事象、すなわち複雑系事象なのである。人間の脳には、脊髄—脳幹系、大脳辺縁系、新皮質系の異なる機能の三つの部分があり、生物の脳の進化も、この順序で展開したと考えられる。ここで、これらの脳の各部分の身体事象への現われを、これらの各部分が脳の主要な部分を占めて行動を規定していると思われる爬虫類、哺乳類および人間の時空認識の考察を通して考えることにする [3]。

##### (1) 爬虫類の行動

爬虫類は、機能的に劣る脳を持つから知能的には劣るが、人間と似た行動をするのだろうか。爬虫類は、知能の低い人間なのだろうか。爬虫類の行動の時空構造を、爬虫類そのものではないが、詳しく研究されている蛙の行動に見てみよう。レットビン等は、蛙の目が、周りの情景から視覚情報を得るのに、次の四つの神経構造を利用していることを示した；①明るい領域と暗い領域の境界(縁)に強く反応する縁検出構造、②縁が移動しているとき強く反応する移動明暗検出構造、③全体の照度が下がったときに強く反応する低照度検出構造、④小さな黒っぽい円形のものが見えたとときに強く反応する凸縁検出構造。すなわち蛙は、目のレンズが結ぶ視

覚像から視覚情報を得ているのではないのである。そうではなくて、物体の有無を示す縁検出、物体の移動を示す移動明暗検出、大きな物体が覆い被さることを示す低照度検出、ハエなどの虫の存在を示す凸縁検出だけの視覚情報を目から得ているのである。蛙は、障害物や敵の存在の認知、これらの移動の認知、天敵である鳥の接近の認知、餌である小さな虫の存在の認知だけが可能な世界に住んでいるのである。生物の生きる世界は、神経細胞系が持つ機能、すなわち身体が持つ機能に制限されているのである。

このような神経細胞系に支えられる蛙の世界を、もう少し詳しく調べることにしよう。蛙の行動世界の簡単なスケッチを試みよう。蛙は、物体の有無しか認知しない。どのような色の物体なのか、どのような三次元形態の物体なのか、どのような表情の物体なのか、を蛙は認知しない。蛙は、色・形・表情を持たない物体の世界に住んでいるのである。蛙の前に展開する物体の世界は、広がりだけを持つ物体が移動したり接近したりする世界である。蛙からの物体の遠近は、物体の形が大きくなるか小さくなるかで認知される。物体の形が大きくなることは、物体が近づいている徴であり、蛙は警戒態勢に入ることになる。まわりが急速に暗くなることは、カラスやトビが覆い被さったということであり、蛙は急いで逃げ出さねばならない。円状の小さな物体が動き回ることは、ハエなどの餌が飛んでいることであり、長い舌を出して捕獲せねばならない。蛙が生存する世界は、これらの事象のみで構成される世界である。すなわち、爬虫類の世界は、現時点を中心として僅かな時空的広がりを持ち、形は持たず大きさだけを持つ敵や餌などの少数の物体から構成される世界なのである。

## (2) 哺乳類の行動

哺乳類の行動は、大脳辺縁系が中心となって制御する行動であった。大脳辺縁系は、本能行動の中枢である。哺乳類は、生存のための食欲・性欲・群集欲などの本能を基盤としてまわりの環境に対峙する動物である。すなわち、哺乳類のまわりには、食物となる獲物、自分を捕食しようとする動物、子孫を残す異性、異性を求めて争う同性、生活を共にする集団が存在することになる。これらで構成される世界が、哺乳類の世界である。この世界の構成員である個々の生物主体は、情動を伴う本能に動かされて他の主体に働き掛ける。働き掛けの結果、欲求が満たされれば快感を覚え、満

たされなければ不快感を覚える。不快感が主体に蓄積すると、他の主体に対して怒りを感じ、怒りによっても欲求が他の主体によって妨害されれば、その主体に対して恐れを覚える。このように、主体間が本能に基づく欲求で結ばれると同時に、快感・不快感・怒り・恐れなどの情動によっても結ばれる世界が哺乳類の世界とすることができる。

それでは哺乳類は、いかなる時空の内に生きているのか。大部分の哺乳類は、外的環境の情報を聴覚神経系と臭覚神経系から得ている。これらの神経系は、外的環境から生体への信号の時系列によって空間情報を与える。ブッシュからのガサガサ音が大きく聞こえれば動物が近くにいる証拠である。また、だんだんと小さくなれば遠くに移動した証拠である。これは臭覚についても言える。すなわち、動物の臭いの大小が動物の位置の遠近を表し、臭いの増大や減少が動物の接近と離反を表すのである。このように、哺乳類においても、爬虫類と同様に、空間事象と時間事象が不分離な形で結び付いている。他の動物が近くにいることは、近い未来に、捕食者によって捕獲されることであり、餌にありついて食欲を満たせることである。また、動物が遠ざかることは、暫しの間、安穩に暮らせることであり、空腹を我慢せねばならぬことである。

だが、哺乳類における視覚の発達は、時空間に新しい次元を示すことになる。ほとんどの哺乳類は、色盲であるから色は知覚できないが、物体の形状は認知できる。すなわち、個々の事物を認知することができる。遠方に一匹の動物がいるとき、それが敵なのか、獲物なのか、中立物なのかを認知できるだけでなく、それが日頃見掛けるものなのか、見掛けぬ新参者なのかをも認知できる。個々の事物を、夫々の特色を持ったものとして、個々に異なる特性を持ったものとして、認知できるのである。爬虫類では、餌、敵、あるいは仲間として事物を認知できるだけであったが、哺乳類は、個々の事物を異なるものとして認知できるのである。例えば、犬は、近づく人間を、飼い主、侵入者、あるいは見慣れた人間として認知できる。この様に、哺乳類は、空間中に存在する事物を個々に同定することができる。すなわち、空間は、種々の異なる事物が散在する場所として把握されることになる。だが、時間は、爬虫類と同じように、事象の展開の中に内属したままである。犬は、日が暮れると毎日餌が出るから、夕暮れの今まもな

く餌が出るだろう、と予測するのみである。犬は、この家に自分が飼われる前、この家はどのようなであったか、この家から自分がいなくなったら、この家はどのように変わるか、とは決して考えないのである。哺乳類の時間は、事象の展開の中にのみ存在するのである。

### (3) 人間の行動

人間の行動は、新皮質が司る行動である。新皮質の機能的特色は、書き換え可能な記憶を持つことにある。新皮質は、個人の体験から不断に情報を収集して、新しい情報であれば記憶として蓄え、既に同種の記憶はあるが質的に新しいものであれば、記憶を書き換えるのである。蓄えられた記憶は、体験が与える情報と同じ価値を持つ。蓄えられた記憶と感覚器官を通して流入した情報は、神経系の変化として同じ形態を脳内で持つのである。記憶は、体験が与える情報と比較される。記憶と情報が合致すれば、事象が記憶と同じ変化を辿るとして、事象の変化が予測される。記憶と情報が不一致であれば、不一致の原因が探索されて、記憶が補完される。このように、記憶は、事象の変化を予測することを通して人間の生存を確かなものにする。だが、記憶が現実の情報と等価の機能を持つことから問題が発生する。記憶が現実と同じ実在性を持つのである。現実の変化によって記憶が変わるように、記憶という脳内の神経系の変化によって、現実が変化すると人間は考えるのである。原始種族や原始宗教の呪術は、この人間の傾向の現れであると考えられる。

記憶と現実の対比は、シンボルを生む。記憶と現実は、完全に合致することはない。全く同じ現実の繰り返しはないから、記憶と現実は一致することはない。だが、記憶と現実は、機能的に等しい場合がある。例えば、今テーブルの上にあるりんごは、昨日の三時のおやつに出されたりんごと、赤色の鮮やかさと外形の大きさの点で異なっている。だが、空腹を満たす点で、同じ機能を持っている。我々は、テーブルの上に同じりんごがあるとして手を差し伸ばして食べてしまう。色と形が個々に微妙に異なるりんごを、シンボリックに同じりんごとして把握し食べてしまうのである。このように大脳皮質の記憶は、言語・記号・音声などのシンボルによって事象を捉えることを可能にする。シンボルを操ることは、大脳皮質が発達した人間に固有の能力である。シンボルを操作することによって、人間は個々

の事象を離れて思考することができる。シンボルは、人間の抽象的思考を可能にするのである。

事象のシンボリック的把握は、時空の科学的把握を可能にする。事象の展開の中で未分離に絡まっていた哺乳類の時間と空間が分離し、それぞれの意味を持ち始める。記憶として脳内で把捉された事象は、事象に不分離に付き纏う時間性から開放される。人間が体験した事象の展開は、経過した順序に従って脳内で並べられる。並べられた過去の事象は、必要なとき取り出され参照される。記憶された過去の事象の展開が、現在の事象の展開と符合すれば、現在の事象の未来の展開が予測される。すなわち、過去・現在・未来が、時間の流れから分化して概念として把握される。科学的時間の誕生である。過去は、記憶化した体験であり、並び替えや参照などの操作を加えることができる。現在は、体験の時間系列の収束点であり、記憶が不断に生み出される地点でもある。未来は、記憶化した体験の時間系列が予測する事象であり、現在の事象との比較において存在している。

記憶された事象の抽象化によって生まれたシンボルは、事象を記述し表現することによって情報となる。情報は、個体間を自由に動き回り、社会全体の所有物となる。社会全体の所有物となった情報は、他人の体験と自分の体験を結び付ける。他人の体験が、自分の体験となる。すなわち、私の領域、他人の領域という個々の空間が消えて、一つの等質で全体的な空間となる。時間は、記憶によって既に等質化しているから、情報によって時空全体が密度の濃い等質なものとなる。現代社会の情報伝達技術の発達には、シンボルによる事象把握を可能にした新皮質系の脳進化の脳外における継続と言えるのではないか。書籍やデータベースなどの増大は脳の記憶機能の強化であり、光ファイバーなどの通信網の発達は神経細胞間の相互接続の強化である。現代社会は、脳構造を外的に発展させた構造を持つのである。現代社会で生きる主体を取り巻く環境は、自然環境から社会制度や社会組織などの人工環境に比重が移る。すると、個々の主体は種々の通信網で結ばれているから、主体間に情報の閉回路が形成されていて、自己触媒的現象が起こることになる。すなわち、複雑系の自己触媒的作用によって、一人の個人の意見が社会の支持を得て加速度的に広まったり、支持を得ていた意見が何らかの契機で急速に支持を失ったりする現象が見られる

のである。このように現代情報社会は、典型的な複雑系なのである。

## 5. 脳現象としての人間心理

人間心理も脳現象の一つである。神経系の振舞は、人間の感覚・知能・思考などの心理現象となって現れる。ここで、脳と人間心理との関連について考察する。発達心理学者ジャン・ピアジェは、人間心理は環境と人間主体との相互作用を通して発達すると主張する。すなわち、人間心理は、人間の環境への生物的な適応過程から発達すると主張する。これは、これまで考察した脳の神経系の発達とよく似ている。ピアジェの主張する人間心理の発達段階には、大きく分類すると①直観期(四歳から七歳)、②具体的操作期(七歳から十一歳)、③形式的操作期(十一歳から十五歳)がある。この順に、脳現象としての人間心理を考察することにしよう [4]。

### (1) 直観期

直観期にある子供の思考の特色は、自己中心性である。自己中心性は、次の様な子供の思考の特色である。直観期の子供は、彼または彼女に妹があるとき、「自分には妹があるが妹には兄あるいは姉はいない」と強硬に主張するときがある。すなわち、この時期の子供は、自分の立場で考えることはできるが、他人の立場に立って考えることができないのである。また、この時期の子供は、母親の手伝いをしていて手が滑って食器を十枚割ってしまった子供と、菓子入れの菓子を盗もうとして食器を二枚割ってしまった子供とでは、どちらが「悪い子」かと尋ねると、前の子供が「悪い子」と答えるという。子供の関心が割った食器の枚数に中心化されて、食器を割ることになった契機に関心が向かないのである。このように、この時期の子供の知的判断は、自己の一つの観点到に固定されていて、異なる観点あるいは他人の観点で行うことができない。この時期の子供は、一つの観点でしか環境に対することができず、異なる観点があることに思い至らないのである。この結果、この時期の子供の発話は、他人に対するものではなく、自分に対するもの、すなわち独語(モノローグ)になるという。これから判るように、この時期の子供は、唯一つの観点でのみ環境変化に対応し、観点を変える幅広い適応が不可能なのである。

この子供の環境把握法は環境の下に置かれた生物の最も原初的な環境把



握法と言えるのではないか。環境の下に置かれた生物は、自己の生存維持を目的として環境に対処する。すなわち、環境は、「自己に作用するもの」としての観点から眺められる。この観点は、必然的に自己中心性を生み出す。生物は、環境の全体から自己の生存に関わる部分のみを切り取って把握しようとするからである。系を構成する他の生物主体も、同じ環境の下に置かれていて、まわりの生物主体や外部環境から種々の影響を受けている。したがって一つの生物主体は、他の生物主体の環境把握によって間接的に影響を受けることになる。自己中心性は、この間接的な影響を無視することになる。だが、この自己中心性は環境の下に置かれた生物主体が行う最も原初的な環境対処法ではないか。環境が直接及ぼす作用に、生物主体は先ずもって対処せねばならないのである。これは、神経系の進化にも見られることである。生物進化において、神経系が最初に持った構造は、脊髄—脳幹系の反射神経系であった。すなわち、触覚・聴覚・視覚による環境から生物主体への直接的な刺激に最も素早く対応する構造であった。自己中心化された刺激に対応する構造であった。このように知能の自己中心性は、環境から不断の作用を受ける生物主体の最も原初的な環境対処法、生存を確かなものにする最も簡単で効率的な環境対処法なのである。

## (2) 具体的操作期

七歳から十一歳になると、子供は、具体的な事象に対してであるが、どのような問題にも間違いなく対応できるようになる。ビーズを、大きい順あるいは小さい順に、正確に並べることができる。中間の大きさのビーズから出発しても、間違いなく並べることができる。直径の異なるコップに同量の水を入れるとき、水の高さを推測することができる。同量の粘土を様々な形に変えたとき、粘土の量が変わらないことが理解できる。形を変えるときに一部を隠して、秤で重量が減ったことを示しても、「何処かに一部を落としたのではないか」と問うようになるのである。ピアジェは、具体的操作期の知能の特色は可逆性と保存性にあるとする。可逆性とは、事物に対する操作を元に戻し、異なる操作を再実行できるということである。可逆性によって、事物への操作の種々の可能性が理解でき、その結果の予測ができるようになる。すなわち、事象の変化の空間や時間からの分離が可能になる。事象が客観的な時空の中で展開するのを理解できるよう

になる。具体的操作期は、また、事象変化の保存性が理解できるときである。コップ一杯の水を半径が種々に異なるビーカーに注いだとき、水面の高さの違いが現れるが、水の量は変わらないことが理解できるようになるのである。事象の表面的な変化の裏に無変化なものがあることが理解できるようになったのである。

具体的操作期は、環境変化への完全な対応が人間に可能になったことを意味する。外部事物による生物主体への作用は、可逆性を持った可能性として考察される。この期の神経系は、感覚器官および外部事物と一緒にあって、事象の変化の予測という知的機能を果たす。直観期の子供との違いは、直観期の子供が事象の変化を現在の状態と記憶された状態との比較によって予測するのに対して、具体的操作期の子供は現在の状態に記憶の上で操作を加えて種々の状態に変えることによって予測することである。また、具体的操作期の子供は、具体的事物の中で思考する。記憶は、具体的事物に刺激されて蘇える。子供は、具体的事物の中で生きるのである。これは、生物を取り巻く事物の、客体としての認知と言えるのではないか。この期を通して人間のまわりの事物が、人間によって操作し得る客体として確立されることになる。この事物の客体としての確立は、人間の生存を強固なものにする重要な一歩であり、このことが、具体的操作期を一つの期として成立させたと言えよう。詩人・画家などの芸術家は、人間が事物と一体となって生きていた幼年時代に芸術の主題を求めることが多い。これは、この時期が、人間の生存にとって不可欠の時期であることと、心理の構造としても極めて安定したものであることの証しである。

### (3) 形式的操作期

形式的操作期は、人間の思考が具体的事物から離れて言語や記号を用いた抽象的なものになる時期である。思考の対象に対する形式的操作により、人間は具体的事物を離れて抽象的な思考ができるようになる。成人のように、具体的事物から独立して、数学的記号や言語を用いて、事象の展開を予測できるようになる。これは、時間と空間が事物から離れて独立なものとして把握されることを意味する。すなわち、時間・空間・物質という近代科学を構成する三つの要素が確立されたことになる。科学的探究を可能とする基盤が築かれたことになる。ピアジェは、この形式的操作を思考内

で行うことによって、人間は、思考で見出した事象の可能な変化の一つが具体的変化として実際に現れると考えるようになるという。すなわち、人間は現実の事象変化の全てを把握できる、事象は人間の思考の通りに変化する、と考えるようになるのである。この傾向は形式的操作を始めて獲得する青春期に最も強い、とピアジェは主張する。青春期は、自分は世界を知っている、世界は自分の思考通りに変化する、と考える時期なのである。すなわち、世界は私という主体を中心に動いている、と考える時期なのである。これは、一種の自己中心的な思考法である。直観期の自己中心性が、新しい形態となって形式的操作期に復活するのである。

形式的操作期は、言語や記号によって神経系内に取り込まれた外部事物が、神経系の他の部分によって変形・合成・削除などの操作を受けることが可能になる時期である。神経系が閉じたシステムになり神経系の完全な相互調整が可能となる時期である。また、形式的操作期は科学的思考が可能になる時期である。このことは、科学が閉じたシステムの産物であることを意味していないか。原因・法則・予測などの科学的概念は、閉じたシステムにおいてのみ成り立つ概念なのである。開いたシステムにおいては、不断に変化する外部事象によって、思考は時々刻々と変化する。外部事象の不断の変化は、科学的思考が一つの結論に収束するのを拒むのである。科学の確実性は、閉じた神経系においてのみ成り立つのである。ここに科学的思考の限界が看取される。科学は、閉じたシステムにおいてのみ成り立つ思考法である。実験によって外部事象に開かれているとする主張があるかも知れないが、実験は人工的な外部事象であり外部事象そのものではないのである。それでは、何故、このような形式的操作期が成立したのだろうか。それは、人間の生存に役立つからである。外部事象の変化が小さいとき、あるいは外部事象の変化が小さい系が人工的に作れるとき、科学は事象変化の予測ができて人間の生存に役立つのである。

ピアジェは、形式的操作期に成立する科学的思考によって知能の発達は終了するとしている。ピアジェの考えは正しいのだろうか。ピアジェは、人間を取り巻く外的環境として主に自然事象を想定していた。だが、個々の人間には他の人間も外的環境として存在するのではないか。他の人間も外的環境として、人間の感覚器官を通して、個々の人間に刺激を与えるの

である。外的環境としての他の人間は、自然事象の外的環境とは異なる性格を持つ。自然事象は受け身な振舞をして客観的に扱えるのに対し、外的環境としての人間は、能動的な振舞をして自らのあり方を変えると同時に、言葉などのメディアを通して他の人間に働き掛ける。特に、テレビ・電話・コンピュータ通信などの通信手段が発達した現代社会では、個々の人間を採り囲む外的環境としては他の人間に抛るものが圧倒的に多くなっている。他の人間は、これら通信手段を利用して何ら確実性を持たぬ個人的意見・願望・感情を押し付けてくる。現代社会における人間は、個々の人間あるいは人間の集団や組織などからの強い働き掛けの只中にいるのである。このような外的環境を生きる人間にとって、ピアジェが主張するように、形式的操作という科学的思考が、外的事象の展開を把握する最も合理的な方法であろうか。そこでは、事象の可逆性も保存性も成り立たないのである。一度実行した経済施策は決して可逆ではないし、事物の意味も決して同じ意味を保つことはないのである。現代社会の外的環境は、不断の変動の下にある。すなわち、現代社会の個々の人間は、人間の間での相互作用によって不断に変化する状況の下にあるのである。換言すれば、一つの神経細胞は、他の神経細胞からの無数の作用の下にあり、この作用を通して系としての自己の機能を果たす、という神経系と似た状況に人間は置かれていると言えよう。このような状況は、分析によって普遍法則を求めるという科学的思考によってではなく、事象を全体的で進化的に理解するという複雑系思考によって把握されると考えられるのである。

## 6. 脳現象としての経済

経済事象は、人間の知的振舞として現れるから知能現象であるが、知能現象は脳の機能的現れであるから脳現象となる。ここで、経済事象が、いかなる脳事象の現れであるかを考察することにする。経済体制は、①狩猟・牧畜・農耕経済、②産業(工業)社会経済、③情報社会経済の順序で進化したと考えられる。この順序で、経済事象と脳事象の関連を考察することにする [5]。

### (1) 狩猟・牧畜・農耕経済

この段階の経済は、自然を相手にする。動植物の振舞に対する知識と、

天候・まわりの植生などの環境に対する知識を下に、衣食住の生存の必需品を得ようとする。この経済系を生きる人間は、受け身な生き方を要求される。動植物の振舞を変えることは叶わぬし、自然の環境変化への対応も順応以外に方法がないのである。この受け身な生き方は、外的環境の現況に対する正確な認知と俊敏な対応を要求する。人間の欲求に即した外的環境の改良が不可能だから、外的環境の変化に可能な限りの確かつ迅速に対応しようとするのである。

上述の経済的機能は、いかなる経済系によって実現されるのだろうか。この期の経済が要求する知識は、外的環境の状況的知識と言えよう。現在の外的環境が示す動植物・天候・まわりの植生などの知識に基づき、経済主体は次の行動を準備する。すなわち、知識と行動が密接な繋がりを持つのが、この期の経済系の特色と言える。この経済の要求を可能とするのが、知識の収集と経済的行動を一つの経済主体に任せる経済系である。知識の収集と行動の実施の責任を一つの経済主体が持つ経済系である。原始狩猟社会は、この典型である。男は狩猟、女は家事の分業があるかも知れないが、狩猟するものは狩猟に対する知識と行動の全てに対して責任を持っている。中世代の牧畜農耕社会にしても、土地は貴族の所有物であったかも知れないが、実際の作業は全てが小作人に任せられていた。貴族の中には、農地のある田舎の領地を離れて都会に住み、小作料の徴収のみを仕事としていたものがあつたという。貴族は、農作業のすべてを農民に任せるべきことを知っていたのである。これから、この時期の経済システムは、外的環境の変化に迅速に対応できるように、認知と行動を同一の経済主体が行うシステムであることが判るのである。この経済システムの在り方は、脳幹—脊髄系の神経系の在り方に似ているのではないか。神経系が、外的環境の変化に迅速に対応する手段として、知覚系と筋肉系を直接結合するシステムを採つたように、経済系も、認知系と行動系を同一の経済主体に持たせるシステムを採つたのである。

## (2) 産業 (工業) 社会経済

産業 (工業) 社会経済は、工業によって支えられる経済である。この期の経済の基盤となる知識は、物理学・化学・生物学などの自然科学である。自然科学が示す自然の知識は、自然の表面に現れる知識ではない。それは、

自然の奥に潜む知識である。自然に実験という操作を施し特殊な人工系を作ると現れる知識である。すなわち、自然そのものが示す知識ではなく、人間によって改変された自然が示す知識である。このような自然科学の知識を利用する産業社会が生み出す生産物が、自動車・船舶・テレビなどの機械である。機械は、自然科学の客観的な知識を利用して付与された機能を正確に果たす。機械は、日常的知識を超える自然科学を利用するから高度な生産システムの下で生産される。すなわち機械は、生産する機械といえる工場で大量生産される。機械は、機械の機能を分割して部分的機能を持つ部品を作り、その部品を組み合わせることで製作される。全体の機能を部分に分割して、部分的機能を持つ部品を製作し、それらの部品を組み合わせることで全体的機能を持つ機械を製作するという機械の製作法が、自然科学・社会科学などの科学方法論になる。それだけではなく、この機械製作法は、行政組織・生産組織などの社会組織の構成法にもなるのである。

人間の意識を離れて機械のように機能する脳の部分は大脳辺縁系である。大脳辺縁系は、人間の本能を司る部分であった。食欲・性欲・群集欲などは、自身の身体を含めたまわりの状況が整えば、個々の人間の意識を離れて無意識的に生起し、欲望が満たされれば自動的に消滅する。この本能を司る系は、人間の意識はなれて客観的に動く機械そのものである。食欲・性欲・群集欲などの本能の制御中枢があつて、これらの本能が満たされないとき充足行動のスイッチが入り、満たされたときスイッチが切れる機械である。なぜ、産業社会の経済系は、大脳辺縁系の機構に似ているのだろうか。それは、脳の進化においても、経済の進化においても、主体の意思を離れて客観的に展開する事象が必要だったからではないか。人間は、世界の局所に生を受けたものとして外的事物に取り囲まれている。このような世界を生きるためには、人間の意思を離れて客観的に展開する事象が必要だったのである。あらゆるものが人間の意思との関連にあれば、全てが不確実になって事象の展開の予測が不可能になり、人間の生存は不断の冒険となる結果、人間は絶え間ない生の緊張に曝されることになる。これは脳幹－脊髄系の爬虫類の脳の世界である。この爬虫類の脳の世界から脱皮には、客観的に動く世界すなわち機械のような世界が必要だったのである。生物的には、大脳辺縁系の機械のように動く系によって、生存を客観的に

保障することが不可欠であり、経済的には、機械的組織で運営される生産設備によって、衣服・食品・建築材・薬品・交通手段などの生存のための必需品を確保することが不可欠だったのである。産業社会経済は、人間生存の物質的条件を保障するための経済なのである。また、産業社会経済の経済段階が、経済発展に本質的に重要な段階であることは、産業社会経済への経済発展が産業革命として把握されていることから理解できよう。脳幹-脊髄系から大脳辺縁系への進化が革新的な変化で大脳辺縁系という新しい組織の追加で生物が対処したように、産業社会経済への経済発展は産業革命となって経済に痕跡を残したのである。

### (3) 情報社会経済

情報社会は、主体間の情報交換が頻繁になる社会である。すなわち、自然環境に代わって他の主体が、個々の主体の外部環境としての地位を占める社会である。外部環境としての他の主体は、自然環境と著しく性格を異にする。自然環境は、受身的で主体に干渉しないのに対して、他の主体は、主体に対して意思や行動の変更を呼び掛ける。更に、外部環境としての他の主体は、私という主体と同じように固定した状態を持たない。取り巻く主体の作用を受けて自らの状態を変える。すなわち、情報社会の個々の主体は、相互に作用を及ぼし合って絶えず変動している。また、一つの主体が他の主体から作用を受けたとき、作用が主体の行動の変化となって現れるまでに思考や決断の時間が経過する。この行動の時間遅れは、システムに不安定性を持ち込み、システムをカオス状態にする。すなわち、情報社会は典型的な複雑系なのである。

情報社会の複雑系としての性格は、いかなる社会現象となって現れるのか。個々の主体間の情報交換は、情報の閉じた回路を形成する。すなわち、一人の主体が発した情報は、他の主体を経由して自分のところに戻ってくる。戻ってきた情報には他の主体の情報が加わっているから、主体は自分の発した情報であることが判らず、戻った情報に反応して再び情報を発する。すなわち、情報の加速度現象が生じる。情報が、主体の間を回っている間に情報の内容を強化する方向に加速度的に変化するのである。社会心理学で論じられている群集心理は、一つの例である。また、情報の加速度現象に心内の抑制作用が加わると、例えば、このような急激な変化は誤り

ではないかとの危惧が心内に浮かぶと情報変化は振動的となる。ファッションの流行の振動的性格はこの例となろう。情報社会の予測不可能性も、複雑系としての性格であろう。個々の主体は、元来、不確実な存在である。過去の記憶は正確ではないし、思考も完全には論理的ではない。また、行動についても、所期の目的が実現されることはまれである。このような不確実な振舞をする主体の間で情報交換を行ったとしても、情報は、真実に収束するのではなく、不確実性の中で震動するだけではないか。不確実な情報が行き交う情報社会での事象の予測は著しく困難となろう。このような社会では、主体の行動は、事象の予測に基づくのではなく、各自の意図や願望に基づいて行われると思われる。

経済現象には、いかなる複雑系現象があるのか。経営管理学者P・F・ドラッカーは、現代経済を支える経済は、個人と企業のミクロ経済、政府のマクロ経済、国境を越えるグローバル経済、および自由貿易連合のブロック経済の四つがあるとする。ここに、マクロ経済に基盤を置く政府の経済政策が全く有効性を持たなくなった原因があるという。経済政策が有効性を持つのは、経済が国境内に閉じ込められている場合のみで、経済がグローバル経済となって国境を越えると、外生変数が多くなって制御不能になるというのである。マクロ経済が無益になったとする経済のグローバル化は、社会の情報化によって可能になったのではないか。情報システムの発達によって、企業は、遠方の外国の経済においても、自国の経済のように振舞うことができる。情報社会においては、国家間の空間距離は意味を持たないのである。すなわち、情報社会になった結果、一国による経済制御が不可能になったのである。ケインズのマクロ経済学によれば、国の財政出動によって、国民の購買力が高まり、景気が好くなるはずだった。だが、テレビ・新聞・雑誌などによって、経済状況や経済予測、あるいは他人の経済行動の情報を得て、国民は得た購買力を貯蓄に廻してしまった。経済事象は人間主体によって担われる事象である。経済情報の交換は、客観的な事象についての情報交換ではなく、恣意的な事象についての情報の交換であるから、経済事象を不断の揺らぎの中に置く。情報の中の有力な情報は、複雑系の加速度現象によって、勢いを急速に増して経済系を支配し、経済現象となって表面に現れる。だが、この現象は、客観的現象ではなく主体



が無意識裏に形成した主観的現象に過ぎない。時の経過とともに崩壊し、新しい現象に席を譲るのである。このように経済事象は、説明は可能であるが、予測は不可能なのである。

それでは、情報社会の経済系は、どのような関連を新皮質の神経系と持つのか。それは、神経系の構造を延長したものと言えるのではないか。機械が人間の身体の機能を延長したものであるように、情報経済系は、神経細胞の強い相互作用によって機能する神経系を延長したものである。グローバル経済の国家間の経済の結びつきは、樹状突起による神経細胞間の結び付きではないか。企業の不採算部門の切捨ては、神経系の破損部分の迂回路の形成ではないか。一つの経済系における種々の産業の並存は、神経系における機能の分散処理ではないか。このように経済系の機能は神経系で可能となるもののみが可能となると考えられるのである。この立場から経済学で問題となっている不確実性について見てみよう。神経系は、不確実性にどのように対処しているのか。神経系は、系を外界に絶えず開くことによって対処しているように思える。系を外界に対して開放系にすることによって対処しているように思える。外界は、不断に変化している。この外界の変化に適応するためには、系を不断に開いておく必要がある。系を開放系にすることによって、野球選手が飛ぶボールの位置を確かめながらランニングキャッチするような美技が可能となるのである。また、神経系は、自らの構造を変えることによって、不確実性に対処しているように思える。神経系は、外界が送り込む情報の全てを認知するわけではない。認知行為の経済性から、神経系は、自らの持つ認知システムに合致するもののみを認知する。すなわち、認知システムに合致しないものは認知されないことになる。だが、認知すべき外界は、社会を見れば判るように、不断に不可逆的な変化を繰り返す。変化する外界を認知するためには、神経系は、外界の変化に合わせて自らの構造を変えねばならない。これが神経系の学習である。神経系は、外界の変化に対処するために、不断の学習によって自らの認知構造を変えているのである。製造業・銀行・小売業などの経済主体も、不断に変化する経済状況に適合するためには、不断に自らの構造を変える必要があるのである。

## 7. おわりに

上述の考察から次のことが推察される。神経系も、生物行動も、人間知能も、経済系も、①外的事象と主体の未分化な相互作用のシステム、②外的事象が主体の内部で合理化されるシステム、③主体間の相互作用によって規定されるシステムの三つの段階を経て変化し、その変化の段階を現実の系の構造の中に留めていた。この原因には、二つが考えられる。一つは、これらの変化の全てが、外的環境の下で生きる主体の生存を増強する変化であるということである。同じ状況と同じ目的が、同じ変化を与えたと考えられる。更に一つは、これらの変化の全てが脳の神経系に支えられた変化であるから、脊髄—脳幹系、大脳辺縁系、新皮質系という脳進化の痕跡を持つ脳の構造の現われだということである。だが、現実の系の構造変化は、これらの原因の重なりであると思われる。この三つの構造を経ての構造変化は、外的環境の下に生きる人間や生物の基本的な構造変化であり、構造変化の基盤となっている神経系が許し得る構造変化なのである。すなわち、この三つの構造を経る構造変化は、人間行動や社会意識の構造変化など、人間が経験する構造変化の一般的道筋を表していると思われる。この構造変化が生物の置かれた状況に適合した最も合理的な構造変化であることは、生物の進化過程が示している。芸術・科学・宗教などの人間による他の知的産物も、この構造変化に従っていると思われる。また、将来において人間が発展させるであろう社会制度・人間事象も、この構造変化を経過すると考えられる。

知能事象・経済事象は、神経系の上部構造である。すなわち、これらの事象の機能は、神経系の構造によって制限される。神経系のいかなる構造が、これらの事象を制限するのだろうか。また、これらの事象のいかなる形態が、神経系の機能を最大限に活かすのだろうか。これらの二つの問いは、同一の答えを持つのではないか。すなわち、経済系と知能系が神経系と同じ構造を持つとき、二つの系は最も発達した系となると思われる。このことは、電源から最大の電力を取り出すには、電源と同じインピーダンスを持つ負荷を接続せねばならない、という電気系の性質から推察できることである。これから、知能系は、客観的・固定的な事象把握である科学的思考を超えて、主観的・状況的な事象把握が可能な思考に発達すること

が期待される。神経系が、神経細胞間の密接な相互作用によって、記憶・学習・認知などの巨視的な機能を果たすように、知能系も、人間主体間の頻繁な相互作用によって、人間主体に特有な状況的な振舞を越えると同時に、外的環境の状況性に適確に応える知能になると思われる。経済系も同様に、企業・投資家・消費者などの経済主体間の相互作用が密になり、自然環境に変わって他の経済主体による人間環境が経済環境の主要な要素になって、個々の経済主体の独立した行為によって景気・失業率・成長率などの経済指標が決まるシステムになると思われる。そこでは、国家によるマクロ経済の制御は、国家が一つの経済主体に過ぎないことから不可能となることは言うまでもない。この極限に発達した知能系・経済系は、主体間の密な相互作用によって、事象の展開に不確実性が生じ、未来の予測が不可能な典型的な複雑系であることは、言うまでもないことである。

## 参考文献

- [1] 複雑系の事象を方程式で表現して方程式の解の具体的振舞から複雑系を理解しようとする複雑系把握法については、次の文献に詳しい。

ニコリス、プリゴジン『複雑性の探究』(安孫子、北原訳)みすず書房(1993年)。

E. Atlee Jackson『非線形力学の展望』(田中、丹羽、水谷、森訳)共立出版(1994年)。

非線形系において解が示す特異な振舞から複雑系を理解しようとするものには、次のものがある。

クラウス・マインツァー『複雑系思考』(中村量空訳)シュプリンガー・フェアラーク東京(1997年)。

坂恒夫「複雑系としての社会」岐阜薬科大学基礎教育系紀要(2002年)、第14号、6頁。

- [2] 「複雑な物理系としての脳」の考察には、次の文献を参考にした。

時実利彦編『脳と神経系』岩波書店(1976年)。

時実利彦『脳の話』岩波書店 (1962年).

M.A. フィッシャー、O. ファーシャイン『人と機械の知能』(玉井哲雄訳) トッパン (1989年).

スーザン・グリーンフィールド『脳の探求』(新井、中野訳) 無名社 (2001年).

武田暁『脳と物理学』裳華房 (1999年).

- [3] 「脳現象としての生物行動」の考察は、次の文献を参考にした。

ゲーザ・サモン『時間と空間の誕生』(松浦俊輔訳) 青土社 (1987年).

M.A. フィッシャー、O. ファーシャイン『人と機械の知能』(玉井哲雄訳) トッパン (1989年).

伊藤正男、佐伯胖編『認識し行動する脳』東京大学出版会 (1988年).

- [4] 「脳現象としての人間心理」の考察には、次の文献を参考にした。

ジャン・ピアジェ『知能の心理学』(波田野、滝沢訳) みすず書房 (1967年).

ジャン・ピアジェ『思考の心理学』(滝沢武久訳) みすず書房 (1968年).

M.A. ボーデン『ピアジェ』(波田野完治訳) 岩波書店 (1980年).

伊藤正男、佐伯胖編『認識し行動する脳』東京大学出版会 (1988年).

- [5] 「脳現象としての経済」の考察には、次の文献を使用した。

ジョン・K・ガルブレイス『不確実性の時代』(都留重人訳) TBS  
ブリタニカ (1978年).

アルビン・トフラー『第三の波』(徳山二郎監修) 日本放送出版協会  
(1980年).

ダイヤモンド編集部編『複雑系の経済学』ダイヤモンド社 (1997年).

塩沢由典『複雑さの帰結』NTT出版 (1997年).

田坂広志『複雑系の経営』東洋経済新報社 (1997年).

P・F・ドラッカー『新しい現実』（上田、佐々木訳）ダイヤモンド社（1989年）。

## あとがき

本学数学教授長田彰夫先生は、平成15年3月、本紀要十四号の発行を見届けるようにして定年退職される。本紀要の発刊は、先生と少なからぬ因縁を持っている。紀要論文の末尾を借りて、先生の本紀要への関わりを述べておこうと思う。

本紀要は、「教養教育が活力を持つには教養科も何らかの研究を行うべきだ」との文部省視学官の助言に基づき、「岐阜薬科大学教養科紀要」の名称で発刊された。当時教養科長の任にあった先生は、紀要の体裁を決めるべく懸命の努力をされた。紀要は「小粒でもぴりりと辛いのがよい」との先生の言葉で、B5用紙の半分ほどの大きさの雑誌となった。最も問題となったのは、表紙の雑誌名の字体であった。ワープロが持つ行書体、楷書体、ゴシック体などの字体は、すべて陳腐に思えた。学長あるいは市長に書いて戴くことも考えたが、余りにも大袈裟な所業のように思えた。そんなとき、目に留まったのは、本学玄関の「岐阜薬科大学」というプレートである。このプレートが、岐薬生への教養教育の充実を目途として発刊される紀要に相応しいように思えた。だが、どのようにしてプレートの文字を写し取るかが問題であった。版画のように墨を付けて写し取ることを考えたが、文字を明瞭に写し取る自信がなかった。このとき、卒業生が残した卒業アルバムが脳裏を過ぎった。卒業生も、このプレートに愛着を覚えたに違いない。先生は、お手伝いをしていた筆者を急き立て、図書館の階下書庫に並ぶ数十冊の卒業アルバムを片っ端から繰って行かれた。このようにして見つけたプレートの写真をコピーに取り、印刷業者に渡して出来上がったのが、本紀要のタイトル文字である。紀要を手に取り表紙を眺めると、プレートの写真が見つかったときの先生の笑顔と、山と積まれて埃をかぶったアルバムの大型本が、昨日のように記憶に蘇えってくる。

最後に、先生の退職後の一層のご活躍をお祈りしたいと思う。