

— 総説 —

複雑系としての生物

坂 恒夫

要約：生物が複雑系として考察されている。複雑系は、系を構成する要素の間に強い相互作用があり、系を記述する方程式が非線形微分方程式となる系である。複雑系は、僅かな初期値の違いによって系の振る舞いが大きく変わる、系の変化の予測ができない、方程式に従って変化しながらもランダムなカオスと呼ばれる変化をするなどの性質を持つ。複雑系の研究方法には、三つの種類がある。それらは、「散逸構造論」、「シナジェティクス」、「人工生命」と呼ばれる方法である。これらの複雑系科学における生命観および科学方法論が論じられている。複雑系科学は、進化、形態形成、創発性などの理解を目的として生物を探究する。これらの探究を通して、複雑系科学は、生物は散逸構造を持つ、生物の振る舞いは協同現象である、生命事象は計算過程である、などの個性的な生命観を得ている。

索引用語：複雑系、非線形現象、カオス、生命観、散逸構造、シナジェティクス、人工生命

Life as a Complex System

Tsuneo BAN

Abstract: The life is discussed as a complex system. A complex system is a system which contains strong interactions between its components, and which is described by nonlinear differential equations. A complex system has characteristics such as, sensitivity to initial conditions, unpredictability of behaviors, and a complex time evolution which is called chaos. There are three methods of research for complex systems. These methods are called '*dissipative structures*', '*synergetics*', and '*artificial life*'. The outlooks on life in these researches are discussed, and the scientific methodologies used are also discussed. The aim of research on life as a complex system in these researches is to understand evolution, morphogenesis, and the emergent complex behavior of life. Through these researches new outlooks on life are obtained. Life has a dissipative structure, life is a cooperative phenomenon, and life consists of a calculation process.

Keyphrases: complex system, nonlinear phenomena, chaos, outlooks on life, dissipative structures, synergetics, artificial life

1. はじめに

複雑系とは何だろうか。複雑系科学の研究者の間に「複雑系の決まった定義はない」、「複雑系を定義によって固定すべきでない」との主張があることから、複雑系科学を社会事象として外部から眺めて複雑系科学の明確化を図る科学ジャーナリストによる定義から出発して、これを考えることにしよう。雑誌「science」

の記者であった M・M・ワールドロップは、著書『複雑系』の中で、複雑系科学を次のように定義する。「ソビエト連邦はなぜ崩壊したのか」、「株価の暴落は如何に発生するのか」、「生命の進化は何に起因するのか」、「人間の心はどのように思考するのか」などの多彩な問いに答えようとするのが複雑系科学である²⁾。これらの問いは多彩であるが、共通の性格を持つとワールドロップは主張する。その性格の最初のものは、これらの問いが「答

えが判らない」と考えられてきた問いであることである。社会・経済・生物・人間などの系は、相互に強い結び付きを持つ膨大な要素から成っている。このことから、少数の要素から成る論理展開しか追うことができない人間にとって、これらの系は理解を超えるものとして現れることになる。また、これらの系は、適応的・自己組織的・創発的という性格を持っている。太陽と惑星の系のように他の系から独立して変化するのではなく、系が置かれた状況に対して自らを適応させるように変化するのである。この系の適応的振る舞いも、単にこれまでとは異なる振る舞いをするのではなく、自らの行動の構造を複雑にして状況に適応するという自己組織的振る舞いをするのである。すなわち、新しい振る舞いには、これまでの行動には無かったものを含むという創発性が見られるのである。このような性格を持つ振る舞いをして「理解し得ぬもの」と考えられてきたものが複雑系なのである。このような複雑系の複雑な振る舞いも、簡単な規則に従って生起しており、この規則を捉えることによって複雑系を理解することができる、と考えるのが複雑系科学なのである³⁾。

複雑系科学の対象は、社会・経済・生物・人間などの系である。これらの系の特色は、生きているものの系であることである。上で述べた複雑系を不思議なものとする性格、すなわち適応的・自己組織的・創発的という性格も、生きているものが持つ性格である。換言すれば、生きているものが示す不思議な振る舞いを、理解し得ぬものに変える試みが、複雑系科学の試みと言えよう。それでは、生きているものの振る舞い、すなわち生物の振る舞いは、複雑系科学の成立以前においては、いかに解明されてきたのか。これまでの生物研究において、研究遂行の思想的背景となっていたものは、人間が機械と精神から構成されている、とするデカルトの二元論であると言えよう⁴⁾。血液循環・反射運動・細胞代謝などは、物理化学過程として物質科学で解明し得るが、意思決定・倫理判断・創造行為などは、精神領域に属し科学的に解明し得ぬもの、との了解の下に、生物研究は進められてきたのである。この物質領域と精神領域の区別は、古代から近代の始まりまで神学と結びついて圧倒的な権威を誇ったアリストテレスとガレノスによる物質と精神が混交するアニミズム的説明を打破するために、不可欠であった⁵⁾。現代の生物学は、精神あるいは意識と呼ばれる生物の高次機能に属するものを科学の対象外に置き、物理化学過程に属し生物機械として説明し得るものに焦点を当てて、発展してきたのである。だが、生物研究が進んだ結果、生物の高次機能も物理化学過程として説明し得る、との意識を自然科学者が持つようになって、これまで非科学的領域とされた進化・思考・社会

などの分野が科学的領域と見なされるようになる。このような領域に対して、複雑系科学が固有の方法論を提示して、複雑系科学のみが解明可能であることを主張するのである。このような立場にある複雑系科学の方法論と生物観を明らかにしようとするのが本稿の目的である。

それでは、複雑系科学には、どのような種類があるのだろうか。筆者は、複雑系を扱う科学に、次の三種類があると考え、①散逸構造論、②シナジェティクス、③人工生命。散逸構造論は、物理化学者プリゴジンに代表される複雑系科学で、生体系は熱力学非平衡系に生じる散逸構造であると考え、非平衡反応系の動的過程を扱う反応速度式を基盤に、生体機能や生体構造の発生を論じる科学である。一方、シナジェティクスは、物理学者ハーケンの提唱する複雑系科学で、生体の組織や機能は生体構成要素の間の協同現象として生起するとし、秩序パラメータと呼ばれる少数の変数で生体を表現し、その動力学で生体構造や機能の変化を記述しようとする科学である。また、人工生命は、計算機科学の分野から派生した複雑系科学である。複雑系の複雑な現象も少数の規則に従って生じる現象であり、これを計算機上に表して現象の時間変化を追えば、複雑系の現象が理解できるとする科学である。本稿は、これらの複雑系科学が、いかなる方法論で生物を解明しようとしているのか、いかなる新しい生物観を社会にもたらしたのか、を論じようとするものである。

2. 「複雑なもの」としての生物

複雑系科学は、経済の景気変動、政治制度の変動、生体の高度の組織機能などを理解する試みから派生した科学であった。これらの領域は、人間社会にとって死活的重要性を持つことから、複雑系科学の誕生以前においても、哲学・科学・技術などの広い領域で、「複雑なもの」としての解明の試みがなされてきた。これらの試みの中で生物と関連を持つものに、システム科学と現象学がある。システム科学は、工学から派生した科学で、事象の制御を扱う科学である。生物を、体液濃度や体温などの生体の諸量を一定に保つ系、すなわち制御系として理解しようとする科学である。一方、現象学は、事象を要素に分解するという実証科学の方法では、意識・認知・判断などの人間的現象は理解し得ぬとして、事象が生起するそのままをいかなる先入見をも交えず把握するという現象学的方法を提唱する学である。複雑系科学の詳細を議論する前に、生物を複雑系という確立した方法で扱うのではなく、理解が困難な「複雑なもの」として扱うシステム科学と現象学の生物観から議論することにしよう。

システム科学と現象学は、物理・化学の探究手法に基礎を置く実証科学を生物・人間・社会の諸事象へ適用することに対する批判に学的基盤を持つと言える。これらの事象に実証科学の手法を適用することへの問題点は、「生の哲学者」と呼ばれるベルクソンの著作を繙けば明らかになるだろう。ベルクソンは、1859年生まれのパリの哲学者である。ベルクソンが哲学者として活躍した十九世紀後半および二十世紀前半は、電灯・電信・電車などが実用化されて、実証科学の成果が人間の身近なものになった時代であった。この実証科学の成果は、実証科学の方法を生物・人間・社会の諸事象に適用しようとする誘惑を学者・文学者などの文化人に与える。フランスの歴史家であり批評家であるテーヌ(1828～1893)は、ダーウィンの「自然淘汰による進化」の思想を機械的に社会に適用し、人間の歴史を動かす精神は、生得的なものである「人種」に偶然的なものである「環境と時代」が作用して形成されるとする⁶⁾。また、フランスの文学者ゾラ(1840～1902)は、クロード・ベルナールが『実験医学序説』で述べた科学方法論に依拠しつつ、人物の行動を決定する遺伝要因や社会環境を小説の中で実験的に操作することによって、人間や社会の現象を支配する法則を明らかにするという実験小説論を展開する⁷⁾。だが、法則に従って事象が展開することを示す実証科学の方法論の適用は、社会にペシミズムの雰囲気醸成することになる。事象が法則に従って展開するのならば、人間の創意が入り込む余地は全く無く、社会の不幸・悲劇・悲惨は、避けるすべも無く、決定されていることになるからである。ここに、生命事象は実証科学で把握し得ぬことを主張するベルクソン哲学が、社会に熱烈に受け入れられる基盤があったのである。

生命事象に関するベルクソンの著作『創造的進化』に基づき、ベルクソン哲学を概観すると、次のようになる⁸⁾。宇宙の本質は持続である、とベルクソンは考える。持続は止まることなく流れ続ける事象のことである。ベルクソンは、最初の著作『時間と自由』で、持続の概念を人間の意識に適用する。人間の意識は不断の流れである。例えば、あなたがテーブル上のりんごを見詰めるとき、りんごに注ぐ光線は絶えず変化し、あなたの心がりんごに寄せる関心も絶えず変化する。すなわち、あなたの心に生起するりんごの事象は、川の流れのごとく不断に変化している。この人間の意識のごとく、宇宙も不断に流れ続けると、ベルクソンは考えるのである。この持続する宇宙の事象は、持続しないすなわち歴史を持たない物質を対象とする実証科学では把握できぬ、とベルクソンは主張する。実証科学は、持続する事象から持続を剥ぎ取り、いつも同じ姿を見せる物質を作り出し、この物質の反復可能性から事象の法則を探ろうとする。この

ような持続せぬ物質を対象とする実証科学では、持続を本質とする宇宙や生命は把握し得ぬと主張するのである。それでは、持続はいかに把握されるのか。ベルクソンは、持続は直観によってのみ把握されるとする。生命は、遺伝と記憶により進化過程と生存過程のすべてを背景として、生命が置かれている世界との不断の交渉の下で持続するから、その生命の中に自らを没入して生命そのものを生きることによって把握する、という直観によってのみ把握されると言うのである。それでは、直観によって得られる生命像は、いかなるものか。それは、客体としての物質を積極的に自己の内に取り込み、それを非平衡と不安定の中に不断に置いて、創造と成長と進化を続ける生命の姿である。この生命の姿をベルクソンは「生命の躍動」と呼んでいる。生命は、生命の躍動によって、絶えず新しいものになっている。生命は、複数の可能性がある分岐点に必ず自己を置き、自己の生を決める選択を不断に実行し、新しい生を持つべく絶えず駆り立てられているのである。このような生命は、反復可能で持続のない事象を扱う実証科学によっては把握できぬ、とベルクソンは主張するのである。

それでは、ベルクソンが実証科学では扱い得ぬとした複雑なもの、すなわち生物・人間・社会などの事象を、システム科学はいかに捉えようとしたのか。システム科学は、N・ウィナーの著作『サイバネティクス』に始まると言ってもよい。『サイバネティクス』は、副題「動物と機械における制御と通信」から判るように、制御系の観点から生物と機械を論じるものである⁹⁾。これまでの実証科学は、ニュートン力学を基礎にしたものであった。ニュートン力学が少数の基礎法則に従う事象変化を扱うことから、実証科学者たちは懸命に事象の基礎法則を見つけ出そうと努力してきた。だが、サイバネティクスは、動物や機械の振る舞いが制御モデルで説明できることを示したのである。これは科学の新しい説明モデルであった。ニュートン力学の説明モデルが、太陽をめぐる惑星の運動に見られるように、同一の展開を繰り返す客観的な運動を示すものであったのに対し、サイバネティクスの説明モデルは、事象が人間によって制御できるものであり、人間の目的に従って形成できるものであることを示すモデルであったのである。事象に対する制御は、事象を入力と出力の観点から捉え、出力の値を目標値と比較し、ずれを小さくする入力を加える、というフィードバック制御によって説明されるが、出力値と目標値のずれの入力値への反映は、出力側の情報の入力側への反映を意味している。すなわち、サイバネティクスは、情報の伝達という新しい概念をも提示したのである。

システム科学の立場から、生物の振る舞いを特徴づけ

た科学者に、理論生物学者フォン・ベルタランフィがいる。ベルタランフィは、自然・生物・社会・機械の諸事象が同じ方程式で記述される、すなわちシステムとして同形性を持つことから、事象を記述する方程式の性格を調べることによって、これらの諸事象の統一的で総合的な把握が可能となると主張する。記述方程式の性格による諸事象の把握は、機能的まとまりを持つシステムとしての把握であるから、この事象把握を一般システム理論とベルタランフィは呼んでいる¹⁰⁾。一般システム理論は、どのような生物観を社会にもたらしたのか。ベルタランフィは、生物を開放化学システムと考える。物理学が扱う物理系が、振子の振動や惑星の公転運動から判るように、永遠に同じ運動を繰り返す孤立システムであるのに対して、生物は、環境から物質とエネルギーを取り入れ、生体の活動のために消費した後、不要物と劣化したエネルギーを環境に放出する開放システムであると言うのである。この開放システムという特色から、環境の変化にもかかわらず体温や体液濃度が一定値を保つ、初期条件の違いにもかかわらず同じ姿の生物に生長する、などの生物の特性が説明できるという。生体の状態を表す変数の時間的変化は、物質とエネルギーの流出入の釣り合いを表す微分方程式で記述されるが、生体の日常状態や成長が終了した状態は微分方程式の定常解に相当し、定常解は、生体すなわち微分方程式のパラメータのみの関数であって、初期条件によらないから、生物は上述の特性を持つのだというのである。

コンピュータ科学者であり経営学者でもあるH・A・サイモンは、システム科学を「人工物の科学」として捉え、機械をモデルに社会・生物・組織などの複雑なシステムを把握する新しい方法を提唱する¹¹⁾。サイモンは、例えば自動車という機械が、エンジン・変速機・ブレーキなどの部品からなり、その部品がネジ・歯車・金属板などの小部品から構成されるように、生物などの複雑なものも同様な階層構造を持つから、全体を部分に分解して部分間の機能的結合として全体を捉えるという階層構造的把握によって、生物は認識されると言うのである。なぜ生物は、階層構造を持つのか。それは、まず小さな部品から中位の部品を作り、中位の部品から大きな部品を組み上げ、大きな部品から機械を構成するのが、機械を制作する上で最も合理的であるように、巨大分子から単細胞生物へ、単細胞生物から多細胞生物へ、多細胞生物から哺乳動物へと進化するのが、生物にとって合理的であったからである。この進化の合理性をもたらすものは、形成された生体の安定性である。新しい生物種は、現在の生物種・物質種を基にして形成されるが、形成されたものの内、構造的に不安定なものは自然淘汰されて消失し、安定性を持つもののみが、新しい生物種として

確定され、次の高次の階層への生物進化の基盤としての役割を果たすと言うのである。

最後に、現象学における生物観を見ることにしよう。現象学は、自然という客体を人間という主体が客観事象として捉えるという実証科学的手法の人間科学・社会科学への適用に反対して、人間事象や社会事象は主体と客体が不可分に絡み合う事象であり、事象そのままの現われを先入見を交えず捉えようとする現象学的手法でのみ把握することができるという考え方である。現象学は、フッサールにより提唱され、メルロ＝ポンティー等によって発展させられたと言える。ここでは、コンピュータ科学による人間の認知や思考を理解する試みに反対して、人間事象は普遍的・客観的把握を旨とする実証科学では捉え得ぬ事象であると論じるヒューバート・L・ドレイファスの主張から、現象学における人間観・生物観を探ることにしよう¹²⁾。コンピュータ科学には、人工知能という分野がある。人工知能は、コンピュータ上に認知・推論・判断などの人間の知能を実現しようとする試みである。コンピュータは計算する機械であるから、この試みは知能という人間の生物的振る舞いを計算に置き換える試みである。すなわち、人間の思考が計算であることを示そうとする試みである。この試みは、知識は誰もが使用できる明示的な形で述べてこそ本当の知識であると説くプラトンに起源を持ち、数式を使用する自然の客観的表現に成功したガリレイによって発展させられ、コンピュータ科学による人間の思考の計算化によって最終段階に達した、とドレイファスは主張する¹³⁾。だが、特異な状況と特殊な個人の下で展開される人間の思考をコンピュータの一般的な計算に置き換えることは不可能であり、人工知能の試みは必ずや失敗に終るとドレイファスは警告する。人間は、身体を持った存在としてまわりの世界に働き掛け、過ぎ行く時間の中で現在の願望を未来に投げ掛けるという一回限りの状況の中で生を営んでいる。この人間存在の身体性と状況性が、思考の計算化の試みを拒む、とドレイファスは主張する¹⁴⁾。人間存在の身体性は、私の身体によって触れることができるものとしての事物を私に認識させる。例えば、テーブルの上の皿に盛られたりんごは、私が食べることができるものとして、触れると冷たい感じがするものとして、後ろに見えないりんごがあるものとして、私によって認知される。ところが、コンピュータ上に認知システムを作る場合、ある方向とある距離の幾何学的位置に存在するものとして、こちらから見える形状と色彩を持つものとして、認知されるのみである。また、人間存在の状況性は、二度と同じ姿を取らぬ一回限りのものとしての事物を認識させる。やはり、テーブルの上の皿に盛られたりんごを例に取ろう。りんごは、昨日のパーティ

一で食べたりんごを背景にして、または学生時代に信州で見たりんご園を背景にして、あるいは子供の頃に母が作ってくれたりんごジュースを背景にして認知される。人間の事物の認知には、このような認知主体の背景が必ず伴うから、普遍的で客観的な計算から成るコンピュータには、本当の事物の姿は認知し得ぬ、とドレイファスは主張するのである。

3. 散逸構造としての生物—プリゴジンにおける生物—

上述の「複雑なもの」としての生物観は、複雑系科学によって「複雑系」としての生物観に変わることになる。複雑系科学は、いかなる生物観を人間にもたらしめたのか。複雑系としての生物探究に対する考察は、プリゴジンによる探究から始めるのがよいだろう。なぜなら、プリゴジンによる複雑系としての生物探究は、これまでの実証科学の方法を踏襲していると思われるからだ¹⁵⁾。

(1) プリゴジンの生物観

プリゴジンの生物探究の最大の特色は、生物は非平衡が散逸する過程で生じる構造であるとする散逸構造論にある。だが散逸構造論は、プリゴジンの生物探究の特色の一つに過ぎない。ここで、プリゴジンの生物観の特色を通して、プリゴジンの生物探究を考察することしよう。プリゴジンの生物観の特色は、①散逸構造、②自己組織性、③非可逆性(歴史性)、④非線形性の四つにある。これらの特色を、この順序で考察することにする。

プリゴジンは、1977年、散逸構造の研究業績でノーベル化学賞を受賞する。このように、散逸構造は、プリゴジンの最重要の研究課題であった。プリゴジンは、生物を散逸構造として捉える¹⁶⁾。散逸構造とは、温度分布や物質濃度に非平衡があるところに発生する時間的あるいは空間的構造のことである。例えば、ビーカーに水を入れて底から加熱したとする。単位時間に加える熱量が小さいと熱伝導によって熱量が散逸するが、加える熱量が大きくなると対流という空間的構造を作り、さらに大きくなると沸騰という構造を形作って、熱量が散逸する。このように空間に非平衡があるとき、非平衡が散逸する過程で生れる構造が散逸構造なのである。地球には、太陽からの高温の熱エネルギーの流入と、宇宙空間への低温の熱エネルギーの流出がある。すなわち、温度の非平衡があることになる。太陽からの高温の熱エネルギーが低温の熱エネルギーに変わって、非平衡が散逸する過程で生れた構造が生物なのである。生物は、非平衡が無くなると消失する散逸構造なのである。プリゴジンは、都市などの社会組織も散逸構造であるとする。工場の立地条件が良いこと、あるいは土地が肥沃なことが原因となって、特定の場所に人間が多く住むようになると、す

なわち非平衡が生じると、そのまわりに市場・学校・公園・病院・図書館などが組織され、都市という散逸構造が生れると言うのである。

それでは、自己組織性とは何だろうか。それは、散逸構造の性格の一つである。機械や会社に代表される人工物の構造が、人間によって与えられるのに対して、散逸構造の構造は、構造を持つものが自らの構造を組織する、すなわち自己組織されるのである。散逸構造は、外部から課せられる非平衡の大きさに応じて、非平衡系が自らの構造を自己組織する結果、発生するのである。プリゴジンは、この自己組織性が、生物を最も特徴づけるとする。生物は、構造がないところに生れた非平衡による構造なのである。すなわち、生物の複雑な構造は、それまで考えられていたように、自然の偶然的な作用によって生れたのではなく、非平衡系の自己組織性によって生れたのである。現在においても生物は、自己組織性によって自己の構造を不断に複雑化している、と推察されるのである。この生物の自己組織性という性格は、新しい生物観を人間に与えたと言えよう。これまで生物は、物質の衝突や生体の突然変異という自然の偶然的過程によって、無機物質から生体高分子や単細胞生物を経て高等生物に進化したと考えられてきたが、非平衡系が散逸する過程で生物が自己組織されるという生物進化の必然的動力学を、プリゴジンは示したのである。

次に、非可逆性(歴史性)の特色について見てみよう。プリゴジンは、幼年時代に起源を持つ個人的関心から時間の解明に情熱を抱く¹⁷⁾。音楽が好きだったプリゴジンは、時間の芸術である音楽が展開する時間の構造を知りたく思ったのだった。時間の本質は何だろうか。プリゴジンによれば、それは非可逆性である。事象が決して逆に進まないこと、それが時間の存在を示している。ニュートン力学・量子力学・相対論の基礎方程式は、時間の反転($t \rightarrow -t$)に対して形を変えない。すなわち、これらの基礎方程式が記述する世界は、可逆な世界であって、時間が存在しない世界である。これらの物理世界においては、時間は事象を記述するパラメータに過ぎず、事象の展開は種々の状態の事象の併置に過ぎないのである。プリゴジンにとって時間は、生物の進化や社会の歴史のように、非可逆的に一方向に進むものであった。このような時間は、散逸構造における構造変化から発生する、とプリゴジンは主張する。前に述べたように散逸構造は、非平衡系が散逸する過程で現れる構造である。散逸構造は、非平衡の大きさ(制御パラメータ)が変わると、その構造を変える。この構造変化は、連続的ではなく不連続的に生じる。非平衡の大きさが閾値を越えると、現在の構造が突然に不安定になって新しい構造が生れるのである。この新しい構造には可能なものが多数存在し、

その一つが偶然によって選ばれるのだという。この偶然性が、散逸構造の構造変化を非可逆にするのである。この散逸構造の非可逆な構造変化が、生物の進化であり社会の歴史である、とプリゴジンは主張するのである。

それでは、この散逸構造の非可逆な構造変化は、どのような条件において可能となるだろうか。それは非平衡系が非線形系であることによって可能になるという。非線形系とは、系が非線形微分方程式で記述される系である。非線形微分方程式は、制御パラメータ(非平衡の大きさ)が変化するとき、分岐点(閾値)を越えない範囲では同じ性格の解を持つが、分岐点を越えるときにはまったく異なる性格の解を持つ。この非線形微分方程式の性質が、散逸構造の構造変化を可能にするという。制御パラメータが分岐点にあるとき、すなわち、非線形微分方程式系が決まった解を持たない不安定な状態にあるとき、系はゆらぎの状態にあって、多数の可能な解を示すゆらぎが大きく成長した状態になっている。このゆらぎが示す可能な解の一つが偶然に選択されることから、散逸構造の構造変化が非可逆変化となり、生物の進化や人間の歴史が説明されると、プリゴジンは主張するのである。また、非線形微分方程式の解は、変数の値を一時的に変えても、必ず元の状態に戻るという性質を持つ。この非線形微分方程式の解の性質は、圧迫したり刺激したりして心臓の心拍を一時的に変えても必ず元の定常状態に戻るなどの生物固有の振る舞いに符合することから、これからも生物現象は非線形現象であるとされるのである。

(2) プリゴジンの方法論

これらのプリゴジンの生物観は、いかなる科学方法論から生れたのか。物理化学者であるプリゴジンは、可能な限り物理化学の基礎方程式から出発しようとする。すなわち、生体は化学反応系であるから、反応速度式を基礎方程式として、形態形成などの空間的組織形成を記述する場合は、拡散項を持つ反応速度式を基礎方程式として、生体系解析を始める¹⁸⁾。化学反応系の反応速度式は、通常、非線形微分方程式である。この非線形微分方程式の解が持つ構造として、生体系の散逸構造が求まることになる。すなわち、生体反応系を記述する非線形微分方程式の非線形現象として、生物の振る舞いが説明されることになる。心臓の拍動や肺の呼吸運動など、生物が示す周期的運動も、反応速度式が解として持つ非線形化学振動として説明されるのである。一方、現在の構造から新しい構造への構造変化は、反応速度式の解の構造変化として、説明されることになる。また、生体反応系を記述する非線形微分方程式や生物集団系を記述する非線形差分方程式には、方程式に従って変化しながらも乱雑で不規則な動きをするカオスという解がある。系

がカオス状態にあるとき、その規則性のない動きにより、系の運動を予測することが不可能になる。すなわち、生物を記述する方程式には、生物の振る舞いを予測し得る解と予測し得ぬ解があることになり、生物の世界は、このような規則的解と不規則的解が共存する世界ということになる¹⁹⁾。このように、生物が示す複雑な振る舞いを現象面で捉えて数式表現をするのではなく、物理学・化学の基礎方程式の基盤の上で複雑系としての生物を論じるのがプリゴジンの複雑系科学の特色と言えよう。プリゴジンは、複雑系としての昆虫社会の解析においても、生態系の生長方程式(ロジスティック方程式)と同じ構造を持つ、食物の過不足を動力源として個体数変動を記述する方程式を、基礎方程式として解析するのである。

4. 協同現象としての生物

—シナジェティックスにおける生物—

独自の的方法論による複雑系の解析法を示し、脳科学・認知科学などの事象探究に新しい視点をもたらしたシナジェティックスについて考えることにする。

(1) シナジェティックスとは何か

物理学・化学・生物学・社会学など、幅広い分野の複雑事象を、一つの普遍原理で把握することを目指すシナジェティックスは、物理学者ハーマン・ハーケン(Hermann Haken)によって提唱された科学方法論である。ハーケンは「シナジェティックスは構造の科学である」と主張する²⁰⁾。銀河の渦巻き構造や雪の結晶構造など、構造は物質において見られるだけではなく、動植物の機能や形態、音楽や絵画などの芸術、言語や科学などの知的物事など、さまざまな領域に構造は存在する。シナジェティックスは、これらの構造に対して「いかなる形態を持つのか」ではなく「いかに形成されたのか」の観点から問い掛けるのである。しかもシナジェティックスは、この構造形成のプロセスを、自然科学・社会科学・人間科学の諸領域を包括する普遍原理から説明しようとする。それでは、この普遍原理とは何だろうか。第一のものは、これらの構造形成が協同現象であることであり、第二のものは、これらの構造が自己組織系であることである²¹⁾。例えば生物は、分子や細胞の多数の部分系から構成されている。これらの部分系が全体系に隷属することによって、生物は一つの生体としての機能を果たす。すなわち、生物が構造を持つことは部分系の協同現象なのである。構造がないところに構造が生まれるとき、系が取り得る多数の構造の一つが実現されることになる。構造が生まれる直前においては、系は、多数の可能な構造が成長と減衰を繰り返すゆらぎの状態にあ

る。このゆらぎの状態からの構造の発生は、部分系が協同現象によって全体系に協力することによって可能となる。この部分系の全体系への従属を、ハーケンは隷属原理と呼んでいる。隷属原理により、部分系の集合という多数の変数で記述される系が、少数の変数で記述される系になる、すなわち自由度の縮約が行われて、系の解析が著しく簡単になると言うのである。また、協同現象により発生した構造は、自己組織性という性格を持っている。系が置かれている環境が変わったとき、系は自らの構造を変えて環境の変化に应答するのである。それは、決して環境が強制するお仕着せの構造ではなく、系自らが形成した構造なのである。すなわち、構造変化は、系を記述する方程式の解の構造変化として、数学的に解析できることになるのである。

(2) シナジェティックスの方法論

それでは、シナジェティックスは、どのような手法で複雑系を解析するのだろうか。これをシナジェティックスの脳科学への適用から考察することにする²²⁾。シナジェティックスは、協同現象の科学であった。すなわち、複雑系は多数の部分系から構成されているが、部分系が隷属原理に従って全体のために協同することから、複雑系は全体としての構造を持つと考えるのである。人間の脳は、約一千億個の神経細胞からなり一個の神経細胞当たり 10^4 個の他細胞との結合を持つ複雑系である。脳波や脳磁波などの脳の振る舞いを解析するとき、これらの個々の神経細胞の状態を基盤とすれば、膨大な数の方程式となって解を得るのが不可能となる。そこで、シナジェティックスは、脳波や脳磁波などの脳の事象は、神経細胞の協同現象であり、部分系である神経細胞の隷属原理により、数個の秩序パラメータ(変数)で記述できると考えるのである。シナジェティックスは、事象の時間的変動を理解しようとする科学である。したがって、秩序パラメータの運動方程式が必要となる。運動方程式は、事象の実験データから得られる。脳波・脳磁波の場合、脳内の空間変化があるから、空間変化のモードの形態が調べられ、可能なモードの中から数種が選ばれて、事象の時間変化を記述する基盤($v_1(r)$ 、 \dots 、 $v_n(r)$; r :位置ベクトル)とされる。秩序パラメータ(ξ_1 、 \dots 、 ξ_n)は、系の状態($\xi_1 v_1(r) + \dots + \xi_n v_n(r)$)の各モードの係数として定義される。すなわち、この数個の秩序パラメータのダイナミクスを調べ、空間変化の各モードの大きさの時間変化として、脳事象の時間変化を説明しようとするのである。秩序パラメータの運動方程式は、実験データから推測される。シナジェティックスは、事象の構造変化に興味を持つ。たとえば、人間の認知における曖昧な把握から正確な把握への構造変化に興味を持つ。構造変化は非線形微分方程式によって表現できる

から、秩序パラメータの運動方程式は非線形微分方程式となる。秩序パラメータの非線形微分方程式が、実験データから求められるのである。秩序パラメータの運動方程式には、外部環境の状態を表す変数が制御パラメータとして含まれている。制御パラメータの大きさが変わると、運動方程式(非線形微分方程式)の解の構造が変わり、事象の構造変化が生じる、と説明される。たとえば、制御パラメータの大きさが変わると、運動方程式のポテンシャルの極小値の数が変化し、秩序パラメータの振る舞いに構造変化が生じるのである。このような方法で、シナジェティックスは、人間が物体に近づき物体の大きさが大きくなるときの曖昧な認知から正確な認知への認知構造の変化、てんかん状態における脳波のカオスの振る舞い、周波数が増大する音信号に指打ち運動で追従するときの脳磁波の構造変化を説明するのである。

(3) シナジェティックスの生物観

シナジェティックスは、協同現象の科学であった。すなわち、生物の振る舞いも生物を構成する要素による協同現象の産物ということになる。換言すれば、生物の振る舞いは部分の振る舞いを越える事物の全体的振る舞いということになる。このシナジェティックスの「全体は部分以上のものである」の発想は、システム科学の同種の着想とは異なっている。システム科学は、全体を構成する各部分が、機械の部品のように固有の機能を果たすことによって、全体としての新しい機能を創出すると考える。一方、シナジェティックスは、脳の神経細胞のように同質の各部分が隷属原理によって全体的なものに従うことによって、全体としての新しい振る舞いを創出すると考える。シナジェティックスにおいては、部分と全体が明確な論理的繋がりを持たず、全体的変化の運動方程式は事象の巨視的・現象的振る舞いの中に求められるのである。すなわち、協同現象によって生じる生物の振る舞いは、構成要素である物質の振る舞いから大きく隔たった新奇な振る舞いなのである。また、シナジェティックスは、生物の振る舞いは数個の秩序パラメータ(変数)の変化で記述できるとする。前に述べたように、約一千億個の神経細胞からなる脳の振る舞いである脳波が、5~7個の秩序パラメータで記述される力学系の運動として説明されるのである。この生物系の数個の秩序パラメータによる記述は、生物系の複雑性に起因する近似的記述ではなく、生物系の持つ本質的性格であるとシナジェティックスは考える。すなわち、構成物質の協同現象の結果、生物系が数個の秩序パラメータで記述される系となり、秩序パラメータの時間変動が生物の振る舞いそのものを表す、と考えるのである。生物の振る舞いは、必ず数個の秩序パラメータで記述される物質の協同現象であるとシナジェティックスは考えるので

ある。それでは、物質と心(精神)の関係を、シナジェティックスは、どのように捉えるのだろうか。シナジェティックスは、秩序パラメータの振る舞いを心そのものの振る舞いと考える²³⁾。すなわち、心の動きは、数個のパラメータで記述されると考えるのである。このシナジェティックスの主張に従って、心的事象を眺めてみよう。明確に区別し得る色の種類は七色、日常生活に便利な日の指標数は一週の七日、耳が聞き分ける母音の数は五個である。これらは、人間が事象を同時に取り扱い得る変数の数、すなわち人間事象の秩序パラメータの数を表しているのではないか。このように、生物の振る舞いや心の働きなどの生物事象は、生物を構成する物質の協同現象によって自由度が著しく減少した結果すなわち莫大な情報縮約が起こった結果生体表面に現れる秩序パラメータの運動そのものなのである。物質と心(精神あるいは意識)は、協同現象によって結ばれる一つの生体の物質事象と生物事象、すなわち同じ事象の裏と表と言えるものなのである。

5. 計算過程としての生物—人工生命における生物—

進化・自己増殖・形態形成などの生物固有の振る舞いをコンピュータ上に仮想的に実現し、生物特有の振る舞いが生じる条件を明確にしようとするのが人工生命(artificial life)による生命探究である²⁴⁾。人工生命も、生物を複雑系として捉え、固有の方法論で生物の謎を解こうとする。人工生命は、1987年、ラングトン(C. Langton)を中心とする研究者達によって開催された国際会議で産声を上げた。生物学・物理学・計算機科学・経済学・工学などの幅広い分野を包含する学際的研究領域を持つことをその特色としている。人工生命は、コンピュータ上に生命を実現するという固有の生命探究を通して、いかなる生物観を獲得したのであろうか。

(1) 人工生命とは何か

コンピュータの基本的枠組みを作ったとされるフォン・ノイマンは、自己増殖オートマトンの考察を行った²⁵⁾。オートマトンとは、コンピュータの機能を一連の論理過程として表示する概念モデルのことである。すなわち、フォン・ノイマンは、生物の自己増殖過程をコンピュータの一種の計算過程として考えていたことになる。自己増殖過程だけではなく生物の振る舞いそのものも、一種のオートマトン、換言すれば一種の計算過程であるとフォン・ノイマンは推察する。生物は、不断に変化する環境に対して、環境が生体に与える影響を計算して、最も効果的な振る舞いをするコンピュータなのである。このフォン・ノイマンの発想の延長に、人工生命の試みがあると言えよう。従って、人工生命にとって生命とは、

有機体上に現れる有機体特有の現象なのではなく、事物が特殊な論理過程を満たすとき、どのような事物の上にも現れる現象と言うことになる。物質の上でも数式の上でもコンピュータ・プログラムの上でも、事象が同じ論理で展開するならば、必ず現れる現象と言うことになる。このことから、人工生命は、事象の展開する論理の変更が容易なコンピュータ上に、生命と同じ振る舞いをする事象を構成的に実現し、生命が生命的振る舞いをする条件を知ることによって、生命を理解しようとするのである。すなわち、人工生命は、コンピュータ上の生命でもって生命を理解しようとする試みなのである。それでは、生命が示す種々の振る舞いの中で、人工生命が生命特有と考える振る舞いは何であろうか。それは、創発現象(emergence)である²⁶⁾。物質からの生命の発生、簡単な組織から複雑な組織への生物種の進化、簡単な構造から複雑な構造への形態形成、本能的振る舞いから知能的振る舞いへの行動の発達など、生物には、系の要素の振る舞いからは予想し得ぬ新しい振る舞いの創出がある。これらの創発的振る舞いをするが故に、生物は「生を持つもの」なのである。ベルクソンにとって「生命の躍動を持つこと」が生命である証しであったように、人工生命にとって「創発的振る舞いをする」ことが生命であることの証しなのである。この創出現象をコンピュータ上で仮想的に実現することによって、人工生命は、生命を理解しようとするのである。

(2) 人工生命の方法

生命現象を、生物を構成している物質の現象ではなく物質を離れた生命特有の現象、と考える人工生命は、生命現象の本質はコンピュータ上で把握できると考える。コンピュータ・プログラムによって展開する事象が生命と同じ振る舞いをすれば、コンピュータ上に生命が存在すると思えるのである。有機体上に展開する生命も、半導体チップ上に展開する生命も、生命という同じ論理の展開であると思えるのである。したがって、人工生命は、発生・進化・形態形成などの生命特有の現象を、コンピュータ上に実現することによって、生命を理解しようとする。この人工生命のコンピュータを使う生命表現は、通常のシミュレーション(模擬実験)の生命表現とは、シミュレーションが現実の模倣で架空の現実性しか持たないのに対し、人工生命は生命の本質の表現であるとする点で異なっている。人工生命は、生命特有の論理を追求する科学なのである。このコンピュータ上に生命現象を形成して生命を理解しようとする人工生命の方法を、人工生命は構成的理解と呼んでいる²⁷⁾。人工生命は、次の理由から、構成的理解によってのみ生命が理解できると考える。第一に、現実の生命現象は、生命を支える物質の現象と生命そのものの現象が複雑に絡み合

う現象であるから、生命そのものと思われる現象をコンピュータなどの抽象論理体の上に構成的に表現することによって、生命の振る舞いの本質が明確に理解できると考える。第二に、生命という複雑系は、強い相互作用を持つ要素から成り立つ非線形方程式で記述される系であるから、系を構成要素に分解し要素の振る舞いから系を理解しようとする古典物理学の方法によっては把握できず、コンピュータ上に展開する系の全体的で現象的な振る舞いから理解しようとする構成的理解によってのみ把握できると考えるのである。また、複雑系は非線形微分方程式で記述される系であるから、非線形現象であるカオスが、生命現象の本質に深く寄与していると思われる²⁸⁾。カオス状態にある事象は、方程式に従って時間展開をしながらも事象の展開の予測ができないなど、古典物理学の数学的手法で把握することができない。このことが、人工生命が構成的理解を求める第三の理由となっている。それでは、人工生命はコンピュータ上に生命現象をどのように表現するのだろうか。これを、ラングトンの生物集団のモデルに見てみよう²⁹⁾。ラングトンは、生物集団が示す振る舞いの探究に、二次元セルオートマトンを利用する。すなわち、二次元平面上に格子状のセルを作り、それを生物の存在場所とする。個々のセルにおける生物の存在・非存在は、周りのセルにおける生物の分布状況から決まるとし、この生物の存在を決める規則に従って、各セルにおける生物の現在の分布から、次段階の生物の分布を計算するのである。ラングトンは、生物集団の様々な初期分布の下で、この計算をコンピュータ上で繰り返し行い、生物集団の振る舞いの有様を探究した。この計算から、ラングトンは、 λ パラメータと呼ばれる変数が大きくなるに従って、生物集団の振る舞いが、絶滅状態、振動などの単調な変化、生物の振る舞いと似た複雑な変化を経て、ランダムなカオスの変化へと変ることを示し、生物的振る舞いは「カオスの縁」にある系に現れる現象であること、換言すれば生物は「カオスの縁」に存在することを示したのであった。

(3) 人工生命の生物観

最も印象的な人工生命の生命観は、生命は計算過程であるというものである。この生命観は、生命現象をコンピュータ上に実現しようとする試みから派生したものである。計算を専らとするコンピュータ上に生命を表現することは、生命を計算によって表すことに相当するから、この生命観が生れたと言ってもよい。コンピュータ上に人間の知能を実現しようとする人工知能の研究において、知覚・推論などの知能の振る舞いが計算から成り立つという計算理論が生まれたように、生命の発生・進化・形態形成などをコンピュータ上に表す過程から、こ

の生命観が生れたのである。感覚器官を通して環境変化を入力し、入力情報に基づいて行動の結果を予測し、生存を保障する行動を選択する、という生物の振る舞いは、単なる計算過程であるだけでなくコンピュータの振る舞いそのものである。それでは、コンピュータ上への生命表現から何が判ったのだろうか。人工生命の試みが明らかにしたものの一つに、生物進化の目的は、一つの生物種が他の生物種より優れたものに変ることによって生存を確保することにあるのではなく、個々の生物種が多様なものに変異することによって個々の生物種の共生を可能にすることにあることを示したことがある。金子・池上は、突然変異・遺伝子合体などで生物種が種類を変える生物進化モデルで生物種の種類と個体数の増減を調べた結果、環境に最も適合した生物種が個体数を増すのではなくして、変異の変化率が大きく次々と性格を変える生物種が生存を確保すること、生物系全体としては、変異によって生じた多数の生物種を共存させ、これらの生物種の個体数を絶えず変える生物系が、長期間の生存を保持することが示されたとする³⁰⁾。このように、生物系の特異な振る舞いの詳細が、生物系をコンピュータ上に表現することによって、明らかになるのである。生物系は、構成要素が複雑に絡み合う非線形系であり、振る舞いの数学的解析が難しく、時間的展開の予測が困難な系である。このような生物系は、事象の本質を表現すると思われる数理モデルを作成し、その時間的展開をコンピュータで計算して具体的振る舞いを観察する、というコンピュータを利用する手法でのみ理解できると人工生命は考えるのである。

6. 複雑系としての生物

これまでの考察から、ベルグソン哲学と現象学により実証科学では把握できぬものとされ、システム科学により理解のための種々の試みが行われた「複雑なものとしての生物」が、複雑系科学により「複雑系としての生物」として把握され固有の方法論で解明されたことが理解できよう。ここでは、上で考察した三種類の複雑系科学によって提示された生物観が、これまでの実証科学・システム科学・現象学・哲学などの生物観を補足して、生物の振る舞いに対する新しい視点を用意し、いかなる生物理解を社会にもたらすのかを考えることにする。

(1) 散逸構造論における生物

散逸構造論は、生物が非平衡系に生じた散逸構造であることを教えた。これは、プリゴジンが説くように、生命は存在するものではなくして生成するものであることを告げていると言えよう³¹⁾。これまで、実証科学・哲学などは、生物を探究するとき、生物の固定した存在

を前提にして構造や機能の解明を進めてきた。このような諸科学に対して散逸構造論は、生物は物質や機械のように存在するものではなくして、意識や社会のように物質を背景として生成流転するものであることを教えるのである。生物は、構造や機能を調べるための観察の対象になっているときにも、自己の形態や生物としての働きを改めて、新しい生物としての振る舞いをしているのかも知れないのである。このような生物に最も似た事象は、人間の心あるいは社会集団に生起する意識ではないだろうか。意識は、神経細胞あるいは集団構成員を媒体として、媒体の上に展開する媒体の運動状態を表示するものである。意識は、物が存在するように存在するものではなく、媒体の運動の統一的な一つのまとまりを暗黙の内に示すものなのである。生物すなわち生命も同様に、物質を媒体として展開する物質の運動状態の一つに過ぎず、媒体である物質の置かれた状況によって時々刻々変化するものなのである。すなわち、散逸構造論は、ベルクソンの生命論である「生命の躍動」を物質科学的に表現している、と言えるのである。だが、実証科学の一つである散逸構造論は、ベルクソン哲学と違って、生命が発生する場所と形態を示すことができる。それは、物質濃度や温度などの物質的非平衡が存在する場所に、非平衡系を記述する非線形微分方程式の分岐現象として発生するのである。物質的非平衡が存在する場所から、エネルギーの供給を受けて、系の分岐現象により、高分子が構成され、次いで高分子が単細胞生物に、単細胞生物が哺乳類などの高等生物に、物質は形を変えるのである。生物は簡単な構造のものから複雑な構造のものに進化してきたことを示すが、これは、分岐現象による簡単な構造から複雑な構造への物質の構造変化に過ぎないと散逸構造論は言うのである。生物進化は、進化の動力源である非平衡が許す可能な形態に向かって、あるいは非平衡系が置かれている状況の変化に合致する形態に向かって、分岐を繰り返し構造を変えていく物質の運動なのである。このように散逸構造論は、物質を下位階層とする上位階層として生命を把握するが、下位階層である物質と上位階層である生命の論理的結び付きを明らかにする点に特色を持つと言える。人間の意識や思考、社会の政治や経済も生物現象の一種である。すなわち、これらは心理的・社会的ストレスという不均衡があるところに発生する散逸構造であり、分岐現象によって不断に形態を変えると散逸構造論は教えるのである。

(2) シナジェティックスにおける生物

シナジェティックスは、協同現象の科学であった。すなわち、生物の振る舞いは、細胞・ニューロンなどの下位階層の運動が隷属原理によって全体の運動に隷属することにより現れる上位階層の運動であった。したがっ

て、生物の振る舞いは下位階層である細胞・ニューロンの運動からは導き得ぬ上位階層の運動となり、生物の振る舞いを記述する運動方程式は、下位階層の運動方程式から導くことができず、観察データから推測によって得るという発見的方法で求めることになる。これは一種の現象学的手法ではないだろうか。それも二重の意味で現象学的手法なのではないか。現象学は、客体と主体が不可分に絡み合っただけで事象を形成しているとする事象把握を行う学である。シナジェティックスは、下位階層(物質)の運動が上位階層(生物)の運動に従う、すなわち客体(物質)と主体(生物)の不可分な相互作用の下に生物の振る舞いがある点で現象学的である。次に、振る舞いを記述する運動方程式を、分析的手法ではなくして発見的手法で認識主体が見出す点で、現象学的である。このように、生物の振る舞いは、シナジェティックスにおいては、現象学的なのである。これは、散逸構造論が生物の振る舞いの方程式を物質の方程式から導き出すのに対し、シナジェティックスは、生物の振る舞いそのものから導き出そうとするからである。このように、シナジェティックスは、生物の振る舞いの把握において、現象学が実証科学に課した限界、すなわち認識は状況の中で行われるから実証科学の客観的認識は不可能だとする限界を、ある面において乗り越えようとしていると言えるのではないか。また、シナジェティックスは、生物の振る舞いが、協同現象の結果、数個のパラメータの運動に還元できるとする。莫大な数の細胞やニューロンから成り立つ大きな自由度の系である生物が、数個の変数で記述できるというのである。さらに、単に記述が可能というだけではなく、生物の振る舞いそのものが、数個の変数を持つ方程式に従う運動だとするのである。生物の振る舞いは、物質に対する上位階層の現象であるから、物質現象とは独立な方程式に従う現象だとするのである。このシナジェティックスの主張は、微視的現象と巨視的現象の新しい関係を教えるものであり、細胞と器官、神経と意識、感覚と認知など、生物に存在する微視的なものと巨視的なものとの関係、社会における微視的なものである個人と巨視的なものである社会意識との関係、脳に蓄積されている記憶と意識されている記憶の関係などに新しい視点を提供するのではないか。このように、シナジェティックスは、多数の細胞やニューロンからなる複雑系としての生物が、要素の協同現象によって創発した全体としての運動であり、数個の変数からなる簡単な非線形系の振る舞いとして記述し得る、という独自の生物把握を提供するのである。

(3) 人工生命における生物

人工生命が示した最も特異な生命観は、生命は計算過程であると言うものだった。この生命観の可否と、こ

の生命観が生命理解にもたらすものを、ここで考察することにしよう。物質が計算過程であることは、認めてもよいのではないか。これは、物理学創成期にガリレイが強調したことであり、また、今日の物理学の物質理解において確認されていることである。すると、生命現象は物質の上に展開する物質の運動の一つであるから、生命が計算過程であることは原理的に自明なこととなる。だが、人工生命が主張していることは、物質の運動から上位階層として創発された生命現象が計算過程に他ならないということである。物質から離れた現象としての生命の振る舞いが、論理過程のつながりに過ぎず、数式モデルや論理モデルで表現できるというのである。人間に関する事象を計算過程として探求する分野に人工知能がある。人工知能は、認知・推理などの人間事象を、計算過程によって現れる現象として捉え、コンピュータ上に実現する試みである³²⁾。前に述べたように、この人工知能の試みに対して、実現不可能とする現象学からの主張がある。だが、人工知能は知能という最も高度な生物事象を理解する試みであるのに対して、人工生命は生態系・細胞系・神経系などの集団的で物質的な生物事象を理解しようとする試みである。仮に、現象学の主張が正しいとしても、人工生命の試みは誤りとはならないであろう。また、人工生命は、進化をも一つの計算過程として捉え、非線形現象である進化は、言葉による概念モデルによっては把握できず、コンピュータで計算してみないと捉え得ないとする。人工生命が主張するように、進化が、生物環境への合理的な適応であり計算によって表されるとするならば、進化によって誕生した生物も、計算によって表される合理的な振る舞いをすると考えてよいのではないか。このように、生物が計算過程でないとする理由はないのである。この主張の形を変えたものに「生物は一種のコンピュータである」がある³³⁾。生物は、環境の変化を入力として取り入れ、自身の目標を効率的に実現する手段を計算し、環境に対して操作を加えるコンピュータだというのである。計算過程としての生物把握は、数式による把握であるから微分方程式で事象が記述されるのに対し、コンピュータとしての把握は、系の状態と系が置かれた環境によって、一定時間後の系の状態が決まるとする考え方であるから、チューリングマシン、セルオートマトン、あるいは計算機プログラムそのものを生物と見立てるモデルで事象が記述されることになる³⁴⁾。コンピュータをモデルとする生命探求は、生物進化、社会変化、生態系の変遷などの解明において試みられている。コンピュータをモデルとする生物把握は、対象とする生物の振る舞いが目的志向であるとき、効果を発揮する方法だと思われる。生物の振る舞いのかかなりの部分が目的志向であることから、この生

物把握も「複雑系としての生物」の有効な事象把握となるのではないか。

7. おわりに

複雑系科学は、物質を扱う実証科学の射程外に位置して生物固有の振る舞いと考えられてきた進化・創発性・形態形成などを、実証科学として理解する試みと言える。複雑系科学には、散逸構造論・シナジェティクス・人工生命の三種類がある。これらの複雑系科学はいずれも、生物事象に特有の新奇性の発現を、非線形方程式の非線形現象として説明した。物質事象と生物事象の関連については、散逸構造論が物質を記述する方程式の解として求まる事象として、シナジェティクスが物質の協同現象として現れる新奇性を持つ事象として、生物事象を把握するのに対して、人工生命は物質から離れた生命独自の事象として生物事象を把握した。また、これらの複雑系科学はそれぞれ、「生命は散逸構造である」、「生命は協同現象である」、「生命は計算過程である」とする特有の生命観を提示した。これらの生命観は、これまでの生物探究が持たなかった生命観であり、今後の生物探究に新しい方法論を提示すると思われる。

引用文献

- 1) 上田、西村、稲垣著『複雑系を越えて』筑摩書房(1999年)、196頁。
- 2) M・ミッチェル・ワールドロップ『複雑系』(田中、遠山訳)、新潮社(1996年)、7頁。
- 3) ジョン・キャストイ『複雑系による科学革命』(中村和幸著)、講談社(1997年)、75頁。
- 4) G・U・M・スミス『生命観の歴史』(八杉龍一訳)、岩波書店(1981年)、375頁。
- 5) G・R・ティラー『生物学の歴史』(矢部、江上、大和訳)、みすず書房(1976年)、1章。
- 6) 市川浩『ベルクソン』講談社学術文庫(1991年)、30頁。
- 7) 文献6)、32頁。
- 8) ベルグソン『創造的進化』(松浪、高橋訳)、河出書房新社(1970年)。
- 9) ノーバート=ウィーナー『サイバネティクス』(池原、彌永、室賀、戸田訳)、岩波書店(1962年)。
- 10) フォン・ベルタランフィ『一般システム理論』(長野、太田訳)、みすず書房(1973年)。
- 11) Herbert A. Simon “The sciences of the artificial”, The MIT Press (1969), chapter 7.
- 12) ヒューバート・L・ドレイファス『コンピュータに

- は何ができないか』(黒崎、村若訳)、産業図書(1992年).
- 13) 文献 12)、序論.
- 14) 文献 12)、第三部.
- 15) 坂恒夫「プリゴジンの複雑性」岐阜薬科大学基礎教育系紀要 (2000)、第 12 号、6 頁.
- 16) ニコリス、プリゴジヌ『散逸構造』(小島、相沢訳) 岩波書店 (1980).
- 17) I・プリゴジン『確実性の終焉』(安孫子、谷口訳) みすず書房 (1997)、第 II 章.
- 18) 文献 16).
- 19) 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)、第 3 頁.
- 20) Hermann Haken “The science of structure : synergetics ” Van Nostrand Reinhold Company(1981), chapter 1.
- 21) Hermann Haken “Synergetics - an Introduction -”, Springer-Verlag (1977).
- 22) Hermann Haken “ Principles of Brain Functioning” , Springer-Verlag (1996).
- 23) 文献 22)、chapter 20.
- 24) 有田隆也『人工生命』科学技術出版(2000).
- 25) J・フォン ノイマン『自己増殖オートマトンの理論』(高橋秀俊監訳) 岩波書店(1975).
- 26) 文献 24)、第 1 章.
- 27) 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)、33 頁.
- 28) 文献 27)、第 1 章.
- 29) 文献 24)、第 3 章.
- 30) 金子邦彦、池上高志『複雑系の進化的シナリオ』朝倉書店(1998)、第 2 章.
- 31) プリゴジン、スタンジェール『混沌からの秩序』(伏見康治他訳) みすず書房(1987)、第 III 部.
- 32) ゼノン・W・ピリシン『認知科学の計算理論』(佐伯、信原訳) 産業図書(1988).
- 33) P.A. Dufort, C.J. Lumsden 'Dynamics, Complexity and Computation'. In Lumsden, Brandts and Trainor, eds., “Physical Theory in Biology”, World Scientific (1997).
- 34) 文献 24).