

# 創造的構造設計に向けて

## — 複雑性理論による新しい工学の展開 —

国立舞鶴工業高等専門学校校長  
京都大学名誉教授

白石 成人

### 要 旨

われわれが見たり聞いたりする政治経済事象もさることながら、自然現象も極めて複雑である。ここで提起されている問題から、「複雑な事象なり、複雑な世界とはどのようなものを意味しているか」という疑問が出てくる。

「複雑さの科学」とは「複雑性が出現するシステムについての科学」であり、

「単純さの科学」とは「複雑性が消えるシステムについての科学」である

とも言われている。しかし、「複雑である」という表現は常にわれわれに共通理解をもたらすとは限らない。また、それなるが故に、そこには多くの未解決課題があるということもできるであろう。1980年代に、ハインツ・パージェルは「科学がまだまだ開発していない領域は複雑さである」と述べたが、いま漸くにして、複雑系のシステムについての解析が幅広く色々な分野で行われるようになってきた。本文は複雑系の科学（複雑性理論）を概観し、構造設計の新しい展開を模索するものである。

### 1 まえがき

#### — 複雑系の科学 —

1989年、「生物学的複雑さと情報に関する国際シンポジウム」International Symposium on Biological Complexity and Informationがわが国で開催された。これがおそらくわが国で開催された最初の複雑性に関する国際会議であったと言われている。爾来、約10年が経過したが、複雑性理論は色々な分野で研究され、数多の成果をもたらしてきた。土木工学の分野はまさに複雑な諸問題を対象とする工学であり、複雑性理論が最も活躍する分野の一つであると言っても過言ではない。

そもそも「複雑系とは何か」という問題がある。自然科学であれ、社会科学であれ、われわれが日常のあたりにする諸現象の大多数が極めて複雑なものであり、これを単純な論理で説明することは困難である。よく引用される例であるが、自然科学の法則には、単純性、明瞭性、脱偏見性、適用限界の厳密性が求められている。独立した完全剛体の衝突の問題は、その個数が少ない場合は古典的なニュートン力学によってその運動が記述され、個数が極めて多くなった場合はブラウン運動として確立統計論によってその運動を記述することが可能である。しかし、個体の数が100個であるとか500個であるとかというように中規模の個数の運動を考えるとすれば、ニュートン力学の基本法則が適用可能であることが解っていても極めて複雑であり、確率統計的に記述を試みても個々の運動に対する特性を把握するには論理的な飛躍がでてくることになる。

換言すれば、ここに提示されている問題は、まず、「複雑な事象なり、複雑な世界とはどのようなものを意味しているか」を考えることに外ならない。

「複雑さの科学」とは「複雑性が出現するシステムについての科学」であり、

「単純さの科学」とは「複雑性が消えるシステムについての科学」である

とも言われている。しかし、「複雑である」という表現は常にわれわれに共通理解をもたらすとは限らない。また、それなるが故に、そこには多くの未解決課題があるということもできるであろう。1980年代に、ハインツ・パーゼルは「科学がまだ開発していない領域は複雑さである」と述べたが、いま漸くにして、複雑系のシステムについての解析が幅広く色々な分野で行われるようになってきたと思われる。

大小様々な要因によって複雑な変動をする株式や国際通貨は複雑系として典型的なモデルであるが、この複雑系の特徴をジョン・キャストイは次のように表現している。

- (1) 複雑系を構成するエージェント（要素，行為者）の数は中規模である。
- (2) エージェントは知性と適応能力をもつ。(互いに影響を与え、学習により戦略を修正する能力をもつ)
- (3) どのエージェントも他のすべてのエージェントの行為を知ることはできず、ローカルな情報に基づいて判断を下す。

このようなシステムの下でどのような現象をわれわれは知ることができるかを以下に考えてみたい。

## 2 意外性の科学

複雑系と単純系とを区別する典型的な特徴は、奇妙で驚くべき振る舞い、明らかに直感と反する振る舞いが出現するか否かである。システム論でいう「創発」であり、システムを構成する各要素を分解して分析しても予測できないシステム全体の振る舞いである。この一つの好例が蟻が群生するときの組織構造である。

蟻は、巣を建設し、それを維持する。部屋やトンネルを掘り、縄張りを防衛する。個々の蟻は、単純で局所的な情報に基づいて行動し、全体を掌握して、個々の蟻に指示を与える支配者などはいない。どういうわけか各蟻は手にはいる情報を利用して、自分の役割を決定している。

米国のデボラ・ゴードンはアリゾナ州にいる収穫蟻について詳細な観察を行った。収穫蟻は巣の外において、4つの異なる仕事を分担している。すなわち、(1)食料の調達、(2)パトロール、(3)巣の維持、(4)廃物の処理(堆積)である。いま、いくつかの環境変化を与えると、この変化に対応して、個々の蟻は自分の持ち場で決断をし、仕事を切り替え、群落全体として整合性のある行動をとるようになる。

表-1 環境変化に伴う蟻の役割の選択的变化

環境の変化	蟻の当初の役割	蟻が切り替えた新しい役割
食料が増加した場合	廃物堆積係 パトロール係 巣の維持係	食料調達係
巣の入り口に障害物が出現した場合	飼育係 巣をつくる係 食料貯蔵係	巣を維持する係
未知の蟻の侵入	巣を維持する係	パトロール係

仕事の割り当ては、個々の蟻は行う決断による。この決断とは、まず、

- (1) どのような仕事を行うか（職種の選択）
- (2) その仕事をするかどうか（実行するか否か）

であるが、このような決断は局所的な情報に基づくものであり、全体情報を統括し指令を出す意思決定者は存在しない。このような仕事の割り振りは一匹の蟻だけの世界では存在しないし、それは、多くの蟻が存在し、局所的情報に基づく相互作用に影響されるものであり、予測不可能な意外性によって出現する創発的現象である。

この蟻の例は創発的現象の典型であるが、意外性の発生メカニズムは以下のように纏められる。

表-2 意外性の発生メカニズム

メカニズム	意外性
パラドックス	矛盾した現象
不安定性	小さな変化から大きな影響が生じる
予測不能性	振る舞いが規制を超越する
連結性	振る舞いが部分部分に分解できない
創発性	自己組織化するパターン

次に、上表に指摘されているメカニズムについて簡単に考察する。

\* パラドックス

この典型が「アローの不可能性定理」である。「アローの不可能性定理」とは、“各個人が提出したランキングをもとにして、民主的な意思決定のための最低限の要求を満たす集団ランキングを作り出す規則は存在しない”というものである。この定理が意味するところは、完全に民主的な条件を投票という形で集団としても意思決定を実現しようとしても、個人の選択要因が常に推移関係であるとは限らず、非推移関係となったとき、投票結果はパラドックスに陥る。例えば、“より年を取っている”という関係は推移的である。AはBより年を取っており、BはCより年を取っておれば、AはCより年を取っている。しかし、AがBを愛し、BがCを愛しても、AがCを愛するとは限らない。これが非推移的な典型である。この場合、個人の好みをまとめ上げ、その序列を集団として保存できる規則は存在しない。

\* 不安定性

構造物の設計において、われわれが常に考えなければならない部材や構造全体の座屈現象が不安定性の典型である。座屈限界値を超える荷重によって、それまでのつり合状態から別のつり合状態（あるシステムから別のシステム）に移行するものである。このような構造不安定性は設計に携わる者にとってはこれまで色々なケースで知り、馴染みの現象である。しかし、いま一つ単独システムに関わる不安定性があり、これはカオス系と関係する不安定性と言われている。

例えば、刀の鍛練の場合、高熱状態で延ばされた鉄は、折曲げられて、打たれ、また、引き伸ばされた状態で、折曲げられ、再び打たれて、延ばされるという過程を何度となく繰り返される。ある状態で、互いに近くに位置していた2点は繰り返される作業によって、どのような位置関係になるかは極めて複雑である。とくに、初期状態によってその挙動は大きく変化し、この不安定性は“初期条件に対する感度”で示される。

この“カオス過程と関係する不安定性”はシステムのダイナミックスの問題であり、初期条件に対して極めて敏感である。システムの状態は、わずかな初期条件の変化で、本来システムが示したであろう

状態から大きくくずれた状況を生み出し、その予測は極めて困難である。政治や経済現象に関わるシステムの解析で屢みられる不安定性である。

\* 予測不能性

それまで別々のグループの相手と勝負をし、それぞれ勝ち進んできたA、B 2人が将棋で対局しようとしているとする。対局する2名はそれぞれがどのような手を用いたか、それぞれの対戦者の技量についてもある程度の情報を得ているとする。このような場合、Aは、それまでのBの対戦記録を分析し、自らの秘めた戦術を展開して、勝利を得るような演繹的方法は存在するであろうか。答えは明らかにNoである。対戦者Bは、Aが自分の戦い方を研究分析し、その弱点がどこにあるか探すであろうから、それを避ける戦い方を考えることになる。換言すれば、生存ゲームに生き残るためには、“できるだけ早く進化しなければならない”のであり、A、B両者とも、常に、“最良の予想を新しい予想と入れ替え”ながら勝負をしなければならない。従って、過去のデータを論理的、演繹的に処理しても、最良の結果(勝利)を予測することは不可能である。

しかし、超大型コンピュータによって、膨大なシミュレーションが可能となれば、問題は別なものになるかも知れない。この場合、コンピュータ対コンピュータの対決となり、どのような結果になるであろうか。膨大な計算につぐ計算となり、果たして、実際のシミュレーション機能をなすのか否かも疑問である。(計算不能性)

\* 連結性

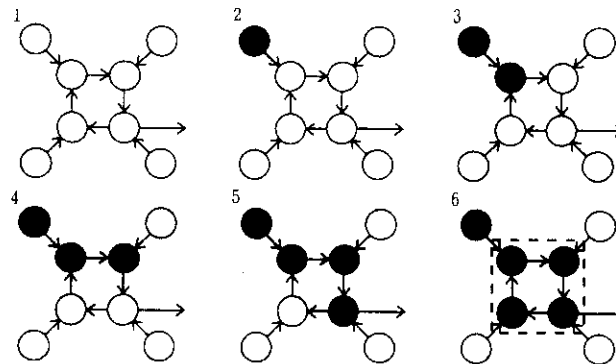


図-1 KaufmannのNetwork

上図はカウフマンネットワークといわれるものであり、カウフマンが細胞活動をモデル化して示したものである。いま、ある細胞が全くランダムに刺激を受けるとする。その信号を矢印に従い、次々と連携していくとするとき、上図のようなネットワークであれば、内包されている細胞は一つのリンクとなり、常時信号を受け続ける状態となる。(自己組織化)カウフマンは生物組織と遺伝子ネットワークとの関連をモデル化する過程で、自己組織化された遺伝子ネットワークと特定の細胞群(臓器の生成)が深く関わる可能性を示唆し、いろいろな要素が微妙な相互作用を与えあうとの考えを述べている。

\* 創発性

数学的に、1887年チェビシェフは中心極限定理を証明した。すなわち、ある確率変数がランダムに変動する非常に弱い要因の影響しか受けない場合、その変数は正規分布に従う。この意味するところは非常に多くのエージェントが複雑に作用しても、その全体挙動は非常に単純なものとなることである。しかし、このようなエージェントが単純な規則で互いに相互作用を及ぼすと、生じる社会は豊かで変化に富み、かつ複雑なものとなる。これをわれわれの日常生活での体験の中で考えてみたい。

複雑系の研究でよく利用される経験則がベキ乗則である。1949年、Gジップは“ある言語における単

語の使用頻度のランキングと頻度とはべき乗則に従う”というジップの法則を提案した。このジップの法則は、英文学の著名な作家の作品についても、中国語の作品についても成立するとされている。DNAの配列についても成立することが報告されている。これは、言語について言えば、個々の単語の意味よりも、言葉の相互作用を反映するものであり、単語と単語、DNAとDNAとの連結システムが複雑な特性を作り出すことを意味すると考えられる（創発的特性）。

### 3 予想と現実

#### — 仮想世界で産み出される法則 —

「もしあの時ある事態が発生していなければ、どのように事は推移していったであろうか？」という疑問は多くの人々が経験しているところである。例えば、高速道路の耐震設計震度が0.4であったら、どのような被害状況となったか？、また、その復旧に際してどのような問題がおきるであろうか？或いは、近畿地区である特定の断層で直下型の内陸地震が発生した場合、阪神地区にはどのような災害がでるであろうか？

このような問題をどのように考究していくべきかについては現在直接的な解答を与えるような手法はない。そこにはあまりにも多くの要因が関わりをもつ上、その一つ一つを的確に取り上げたとしても、更に、それを集大成しなければならないという課題がある。換言すれば、ミクロな世界のマクロな反応を予測しなければならないことになる。しかし、このような課題に果敢に挑戦している研究者も多い。その中の1、2について紹介してみたい。

#### \* 仮想世界TRANSIMS（交通・環境問題の例、米国）

ニューメキシコのある50万都市では、必ず感謝祭とクリスマスの間の土曜日になると普段は閑散としているメインストリートが大渋滞を起こしてきた。この交通混雑を解消するため、信号の点滅パターン、一方通行道路、左折レーン、橋梁の拡幅等の検討がなされたが、その効果を確認する有効な理論が存在していない。いま一つの問題は交通工学的改善が排気ガスにどのような変化をもたらし、環境基準に抵触する危険性があるか否かの確認であった。1991年、ロスアラモス研究所のCバレットは、個々の家、通り、それに移動する車や人間のすべてをコンピュータに入れた仮想都市を考えた。そのフレームは以下のものであるが、この仮想世界を彼はTRANSIMSと呼んだ。

#### 移動需要と輸送SystemのData：

この構成要素には、都市の地理的構造、道路、建物、乗り物の種類、商業地域や遊興地域等での特徴、人々の動き方と時間、交通信号パターン等の情報が入れられている。

#### 移動Route Planの作成：

ある特定の人々が移動する場合、その出発点から目的地までの最良ルートを選定する。ここでは、個人

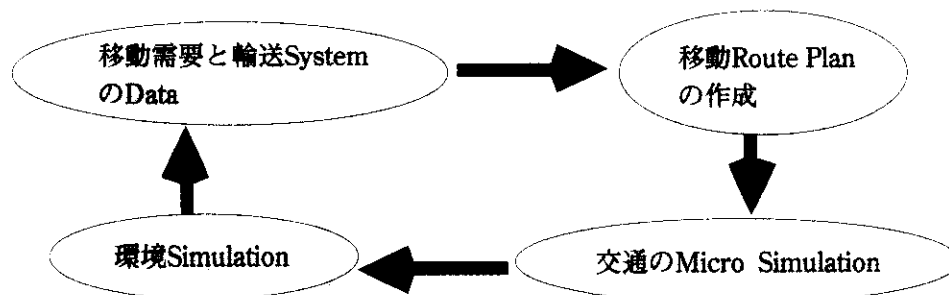


図-2 TRANSIMSのフレームワーク

がどのような考えでルートをとるかを色々変化させるプログラムが提供されている。

#### 交通のMicro Simulation :

このMicro Simulationは個々の人々の移動をモニターし、また、新しい行動プラン等も導入したり、さらには、地域の混雑度や事故等の要因を組み入れた最近情報に基づいてSimulationを行う。

#### 環境Simulation :

システムの中の車はその特性（エンジンの型、排気系統、タイヤ圧、スピード等）によってコード化される。車が交通網の中を進むについて排気ガスが発生するが、これを環境Simulationが処理し、都市上空を覆うガスのパターンを表示する。

パレットはコンピュータの中に構築された仮想都市の中で個々のエージェントがどのような動きをし、それがどのように時々刻々変化する交通動態を生み出すか、そして、大気環境にどのような変化をもたらすかを観察した。現実はこのモデル都市で問題となった色々な状態を、この仮想都市で簡単にsimulateすることができるが、パレットはその一例として、土曜日に発生している交通渋滞を解消するために、いくつかのチェックポイントで交通量をどのように制限すべきかというテーマを取り上げた。結果は、極めて複雑な交通形態が出現したが、交通信号等の制御から予測されたものとは必ずしも同じではなく、交通渋滞は時間的に現れたり、解消したり、交通量や時間によって複雑に変化すること、特異な状態もこの仮想都市においても発生することを示した。

#### \* 仮想世界CompuTerrarium（社会科学分野、米国）

歴史は、たった一度だけ行われた実験である。

われわれが教えられてきた歴史の中にも、突如として姿を消した文明や国家も数多い。また、もし、わが国が日露戦争で敗退していたら、どのような歴史的展開が考えられるか、そして、このような前提で、日本は20世紀を国際政治の中でどのように生きていくことになったであろうか、というような疑問や問題設定も容易にできるところである。このような問題に対して、米国Brookings研究所のJ EpsteinとR Acxelは社会科学の分野での再現可能な実験方法の研究をし、自然科学の分野でのsimulation技術を応用してコンピュータで行う”社会が発展していく実験場（仮想世界）”の作成を試み、これをCompuTerrariumと呼んだ。彼等が目的としたものは、「歴史の中のある要因を変化させたとき、どのようなになるか」と言うような問題を解決するものではなく、「対象となる要因をどのように発展させることができるか」ということを考究しようとしたものである。

CompuTerrariumについて簡単に述べる。この世界に居住するのはAgentであり、生活のエネルギー（食料）はSugarと呼ばれるものである。Agentの振る舞いは次のようなルールに従う。

- (1) AgentはSugarがある最も近い場所を探す。そこで、代謝を維持するために必要な分だけ食べ、残りを貯蔵する。
- (2) エネルギーとその他の資源を十分に貯蔵したならば、繁殖する。
- (3) 異なるAgentに対しては、現在の文化のIdentity（己の特徴）を維持する。もし異なるAgentに包囲されたならば、そのAgentと適合するよう自分の特徴ないしは好みを変化させる。
- (4) Sugarの濃度は周期的に変化する。（季節の導入）
- (5) 食料Pepperを導入する。  
自分が必要とする品物をもっている隣人を探す。  
もし見つけたら、互いに満足する価格になるまで、その隣人と交渉する。  
交渉が纏まったら、その価格で取り引きを行う。

(1), (2), (3) の条件の下では、仮想世界におけるAgentの振る舞いは、より能力のあるものが

能力の劣るものより常に優位にあり、広い範囲で多くの食料を得るという当然の結果が示された。しかし、(4)の条件が付加されると食料確保の能力による優位さよりも、貯蔵された食料を効率的に配分するAgentが繁栄し、より広い範囲で共同行動(好みを周囲に順応させる性質)がみられた。さらに、(5)の条件の下で、経済活動が可能となると、食料の交換時の価格が場所によっても時によっても変動し、富の蓄積に顕著な差が観察されてきた。

このようなsimulationが直ちに現在の世界経済の諸問題に対するsimulationとはならないことは当然である。しかし、社会科学の分野での実験的特性分析手法として期待される手法ではなかろうか。

#### 4 複雑性理論の構造設計への応用

土木構造物の設計では、基本的には特定構造物を単独体として設計することであることが多い。河川構造物や高速道路、地下埋設物、あるいは、地下鉄等、幾何学的にも機能的にも長い空間を対象にするものもあるが、一旦、基本計画が決定されれば、構造計画は幾つかに区分された構造対象に対して検討されることになることが多い。

また、過去においては公営住宅がいわゆる団地スタイルと言われたように、あるモデル形式を基本として建設され、行けども行けども同じスタイルの住宅が続き、その団地の住民でさえわが家がどこにあるか混乱するという事態もあったという噂も伝えられている。

では、土木構造物、特に、道路構造物の設計を行う場合に、どのような要因を検討しておく必要があるのかについて考察してみよう。よく知られている代表的要因は以下のようなものである。

- (1) 上位計画の目的と事業化計画での諸条件
- (2) 景観設計と構造形式選定
- (3) 強度設計の方法(設計基準等)
- (4) 部材製作、仮設方法
- (5) 維持管理上の諸条件

しかし、これからの(21世紀の)社会基盤構造物に求められるものは単純に個々の構造物がそれぞれ独立に所定の強度や剛度についての要件が満たされていけばよいというようなものではない。それぞれの構造物が属する構造系なり、地域社会システムが必要とする機能を維持することが必要であり、かつ、時代とともに急激に変化する諸条件に対応できるものでなければならない。一方、また、取り上げるべ

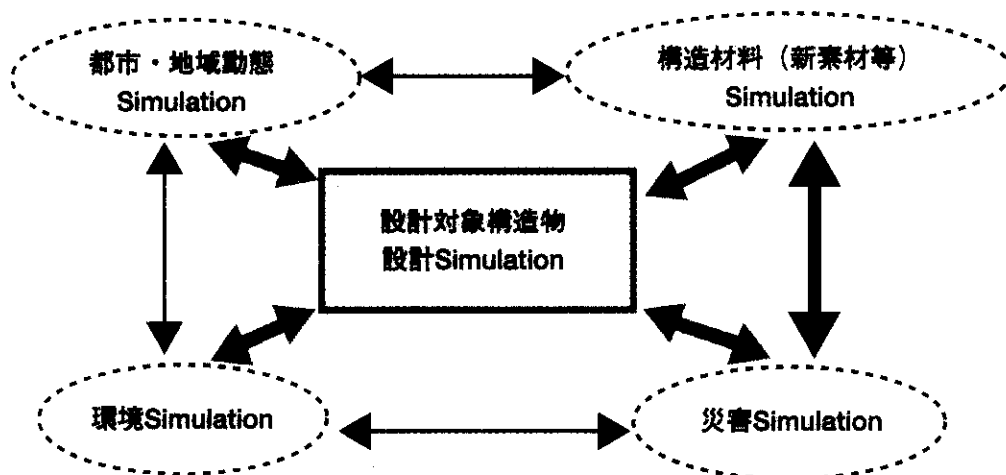


図-3 構造設計SimulationのFramework

き要因の数は極めて多いこと、その相互関係が複雑なことから、これを確定論的に的確に予測することは不可能に近く、検討する前に解決すべき課題が山積しているのも事実である。このような相矛盾する要件を取り上げるためには、シミュレーション手法の応用が考えられる。

このためのシミュレーションのフレームワークを示したのが図-3であり、各要素の概要は以下のようである。

#### 設計Simulation：

このシステムは構造物設計の主フレームをなすものであり、このフレームと連結するサブシステムより得られるすべての情報を取り入れる。また、構造設計指針、局部構造解析プログラム、座屈照査、振動解析プログラム、基礎地盤情報等を組み込み、構造物の初期のイメージ設計から、詳細設計まで可能でなければならない。

#### 都市・地域動態Simulation：

このシステムは設計対象となっている構造物の機能に関わる情報を取り込み、都市・地域の地理的構造、道路網情報(道幅、高さ制限、速度制限、歩道の有無、道路勾配、見通し等)、交通情報(各車の重量、大きさ、速度、移動時間、運転者の使用道路に対する好み等)、気象変化等の各種条件設定のもとで、交通のMicro Simulationを行う。

#### 構造材料(新素材等)Simulation：

長大構造物や高層構造物の設計においては、構造材料がその安全性評価に直接大きな影響を与えたとともに、構造形式を支配することになる。もとより、構造形式より、材料が選択される可能性もあるが、未来社会では資源循環型生産方式が産業形態として不可欠となる。このような目的から、今後これまでは異なる各種の新素材が開発される可能性が高く、これがどのような力学的、工学的課題をもつものか等を具体的にsimulateするのがこのシステムの目的である。

#### 災害Simulation：

1995年の阪神大震災はそれまでの公共構造物に対する一般的な安全神話を完全に葬りさるものであった。特に、1年前に発生した米国Northridgeの震災を調査したわが国の関係者は、“米国の耐震設計は幼稚であり、これに対してわが国の耐震設計は世界的に優れたもので、米国のような災害はない”と豪語していた。しかし、阪神大震災で目のあたりにしたものはNorthridgeで教えられたものと極めて類似したものであった。

構造設計を考えることは、ある構造物が地震等によって崩壊や損傷をうけた場合、これがその地域にどのような影響をもたらすかを検討することをも包含することになる。従って、このシミュレーション・システムが目的とするところは、地震、台風、津波、地盤沈下や地滑り等の発生メカニズムをsimulateし、構造物の損傷度やその分布、崩壊の照査を行い、災害特性を把握することにある。この情報をもとに、対象構造物の強度、構造形式、材料特性等の変化が各種の災害特性へどのように関わるか、また、構造群としてどのようなシステム特性が重要か等を考究することになる。

#### 環境Simulation：

環境問題は、特に、大都市の都心のみならずその周辺地域においても重要なものとなってくる。混合都市交通と排気ガス、交通渋滞と路上駐車、公共交通と個人交通の比率、住居環境の変化にともなうUrban Heating、公園緑地の大きさや複数の公園の相対的位置関係、都市内緑化度とその樹種、等の情報を取り込み、広域圏の排気ガス特性、光化学スモッグ、騒音等の特性をsimulateすることがこのシステムに要求される。

「構造設計とは何を行うことなのか」という問題に対して、複雑性理論は一つの見方を提示している



と思われる。それは、構造物をある地域の社会基盤施設と見たとき、重要なのは「構造物の複雑さ、構造計算の複雑さ」ではなく、色々な要素の繋がり、要素間の関係であり、要素自身ではないということである。また、新しい構造物や構造系の創造も、多様な要素が絡み合った集団の世界の中でのみ発生するものであるということが出来る。換言すれば、社会のニーズに応える新しい構造体の創造を考えるならば、それは個々の構造体の特性を見るだけではなく、むしろ、構造体を包含する集団にどのような変化が起こるかに着目しなければならないのではなかろうか。

## 5 結 び

複雑性理論はいまや多岐にわたる分野で応用されるようになってきた。特に注目されるのが、社会科学の諸問題の実験的研究方法としての期待が高まりつつある点である。土木工学の分野は工学の中でも最も社会科学との連携が強いものである。それだけに、土木工学が対象とする諸現象は複雑であり、また、どの段階であれ、一度、方針なり政策が決定された場合にはその変更が与える影響は広範囲に及び、修正や変更、あるいは廃止を行うことによる混乱も大きい。しかし、社会基盤の整備は常に必要なことであり、ここで問題となるのはその手法である。換言すれば、複雑系の科学に期待されるのもこの点であり、どのようなsimulation手法を考えればよいかという問題である。さて、Simulation法を適用するコンピュータが作る仮想世界に要求されるものは、忠実性、単純性、明瞭性、脱偏見性等である。すなわち、仮想世界 (simulation world) が具備すべきものは以下のようである。

- (1) 現実世界の問題をできるだけ単純化し、本質的と考えられるものを抽出する。
- (2) 個々のAgentの行動、相互作用のルールを確定し、シミュレーションで確認する。
- (3) 様々な初期条件の下で、プログラムをチェックし、データと統計資料を集める。
- (4) Agentが利用する単純な行動ルールと仮想世界で観察されるシステム全体の反応の関連を検討する。
- (5) Agentの行動ルールやシステムの各種のパラメータの影響度解析を行う。
- (6) Simulationの単純化や新たな要因や要素を追加して解析する。

このようにして構築された仮想世界から、われわれはどのようなことを学ぶことができるのであろうか。これまでの複雑系の科学の研究では、Agentが行動する世界の中では、

<1>遅かれ、早かれ、突然変異という不安定な状態が現われ、これが頻発するにつれてそれまでの古いシステムは対応できなくなる

<2>全集団としては、自己を再構築しようと試みる

<3>この後、古い生態システムは新しい生態システムに代わっていく

姿を示してきた。これを組織という面にとらえれば、組織の個々のメンバーは自己を維持することができなくなるが、組織は状況変化に応じた新たな自己組織化を行い、進化していくことになる。この組織をわれわれの地域の社会基盤、メンバーをそのための構造施設とするならば、構造物はつねに進化して行かなければならない。

社会基盤のための構造物は、その構造物が単体として考究されるのではなく、多くの構造施設との連携、連結されていること、人々がそれによってどのような影響をうけるものかを、マクロな立場とともにミクロな立場から、考える必要がある。複雑性理論は、この意味で、われわれに、構造物の創造的設計の必要性とそれがどのようにして達成できるかを示すのではなかろうか。