

テーマ :

イノベーション研究 : 理論編

場への学際的接近

西口敏宏

(一橋大学イノベーション研究センター教授)

本稿の眼目は、「場」に関する現代物理学、現代生物学および複雑系応用工学の三つのアプローチを概観し、組織論における来るべき「場」理論構築のための学際的準備作業を進めることにある。

「場」の概念を社会科学に応用した先駆者の一人であるゲシュタルト社会心理学者のレヴィン (1946) は、一般に相互に依存していると考えられる共在する事実の全体が場であると定義し、人とその現実を包含している生活空間は、心理学では一つの場とみなされなければならないと論じた。また、かれの遺稿集 (1951) を編集したカートライトは、レヴィンの場の概念は様々なスケールを持つとし、個人心理学では、個人の生活空間が場であり、集団心理学や社会学では、集団と集団にとって現存するその環境とから成っている集団の生活空間が、集団や制度の存在する場であると述べた。

「場」を組織論的に解釈し直した伊丹 (1991, 1992) は、その定義を、参与メンバーが、(1)情報は何に関するものか (アジェンダ)、(2)情報をどう解釈すべきか (解釈コード)、(3)情報媒体、の三要素の共有により、そこに高密度の情報相互作用が継続的に生まれ、メンバー間にマクロ

の情報秩序が生ずる枠組みであるとしている。臨界システムとしての場はメンバースhip、物理的空間、共通課題などによって定義付けられよう。

このような場の枠組みを用いた先駆的な実証研究としては、秋葉原という局所集中市場を分析した山下 (1990, 1991, 1993) や、東京都大田区に集積する中小企業ネットワークを研究した西園 (1996)、額田 (1997) などが代表的である。また、野中と紺野 (1997) は、暗黙知と形式知の四つの転換モード (共同化、表出化、連結化、内面化) を通じて組織知が創生されるとする知識創造理論 (野中, 1990; 野中と竹内, 1995, 1996) に、新たに「変位する場」の枠組みを導入し、組織知の四つの転換モードに対応して、それを支える場も、実存場、チーム場、サイバー場、道場場の四形態を遍歴すると論じている。本稿は、場に関するこうした既存の組織論的アプローチの知見を越えて、より学際的な考察を提供することによって、場への接近にさらなる付加価値を与えることを企図する。

1. 現代物理学のアプローチ¹⁾

場の進化

物体の質量を、不滅の物質的実体、万物の構成するとされていたものと結び付けて考えていた古典物理学に対して、ディラック (1947) の電子理論やアインシュタイン (1923, 1934) の相対性理論は、質量が実体とは無関係なエネルギーの一形態であることを明らかにした。エネルギーは運動もしくは過程 (プロセス) と関わるダイナミックな量であり、粒子の質量は特定のエネルギー量と等しく、粒子を静的なものとして捉えることはできない。むしろ粒子は質量、すなわちエネルギーを持った一つの過程 (プロセス)、ダイナミックなパターンと考えられる。

もともと物理学における「場」の概念は、19世紀にファラデーとマックスウェルによって電荷と電流の間の力を説明するために導入された。電場とは、電気を帯びた物体を取り巻く空間の状況であり、別の荷電体にも影響を及ぼす。また磁場は、運動中の電荷 (すなわち電流) によって発生し、その磁力は他の運動中の電荷に作用する。ファラデーとマックスウェルの古典電気力学の理論では、「場」こそが基本的な物理的実在であり、物体とは関係ないとされた。

アインシュタインの相対性理論は、これら二つの場を単一の「電磁場」に統一すると共に、デモクリトスやニュートンの古典的原子論では根本的に別々のものと捉えられていた物質と空間が実は分離不可能であり、物体があれば必ず重力場が存在することを提唱した。重力場は物体周辺の湾曲空間となって現れる。そこでは場が空間を満たし空間を湾曲させるのではなく、場と空間は不可分であり、場は湾曲空間そのものである。すなわち、アインシュタインの一般相対性理論では、重力場も空間構造 (空間の幾

何学的構造) も同一であり、物質と空間は一つの全体を成す不可分な部分であると理解されるのである。このような新しい理論的發展によって、宇宙全体をその構成要素である「基本的な建築ブロック」に分割して分析するという考え方は、全く不適切であると考えられるようになった (ボーム, 1976; ボームとハイラー, 1994)。

アインシュタインに影響を与えたマッハによれば、物体は周囲の空間構造を決定するだけではなく、逆に周囲からも影響を受ける。例えば、物体の慣性 (加速に対する物体の抵抗) は、物質の本質的な性質ではなく、宇宙のすべての物体と相互作用する手立てであり、物質は宇宙に他の物質があるからこそ慣性を持つと考えられる (マッハの原理)。さらに素粒子とその相互作用をめぐって展開された新しい「場の量子論」では、個体粒子と周囲の空間との古典的対比の問題は完全に解消され、物質場から励起された場の量子こそ基本的な物理的実在であり、空間中どこにでも存在する連続的媒体であることが記述されている。

要するに、現代物理学が解明したのは、物体は単独に存在するものではなく、周囲と不可分に結び付くと共に、物体の性質は周囲との相互作用という意味でのみ理解できる、ということであった。アインシュタインによれば、「新しい物理学では場も物質もという訳にはいかない。場が唯一のリアリティーなのである」。

このように現代物理学の場の理論では、粒子間に作用する力は、粒子の本質的な性質の現れであるとされている。古代ギリシャやニュートンの原子論で明確に分離されていた「力」と「物質」という二つの概念は、今やダイナミックな粒子の中に共通の原点を見出し、粒子は空間中に存在する連続場の凝集であり、粒子自体が空

間構造をも決定しているとされる。そして、この「場」こそがすべての粒子の根源であり、粒子の相互作用の根源でもあるとされているのである。

モノから出来事へ

場に関連して、現代物理学の提供するもう一つの重要な貢献がある。それは粒子間の相互作用を記述するダイナミックな枠組みを提示するハイゼンベルク (1958) の散乱行列 (scattering matrix ; S 行列) 理論である。散乱行列とは、粒子反応の大半を占める衝突もしくは散乱過程について、ハドロン (強い相互作用をする粒子) の関係する反応の確率を組 (行列) にまとめたものである。S 行列の概念は、1943 年にハイゼンベルクによって提唱され、その後 20 年の間に複雑な数学構造へと発展し、強い相互作用の記述に理想的なものとなった。

散乱行列理論の提示する新しい重要な視座は、物質を理解する際の「モノから出来事へ」の強調点の移行である。基本的関心はもはや粒子そのものではなくそれらの「反応」に向けられた。量子論も相対性理論も共にそのような移行を決定的にした。量子論は素粒子が様々な測定過程の相互作用の現れであることを明らかにした。それは孤立した物体ではなく、むしろ他の出来事を特定の形で相互に関連付ける事件、もしくは「出来事」なのである。一方、相対性理論は「時空」という見地から粒子を 4 次元のパターンとして、また物体ではなくむしろ「プロセス」として認識した。

散乱行列理論のアプローチはこれら二つの見方を統合し、相対性理論の四次元数学式を用いて、ハドロンの特性すべてを反応として記述することによって、粒子とプロセスの密接なつな

がり確立した。それはハドロンの構造を、様々な反応を経る傾向と定義し、これによって、構造という概念に本質的にダイナミックな意味合いを与えた。そして、個々の反応には、それを他の反応とつなぎ、プロセスのネットワークを構成する粒子が含まれ、粒子が相互作用のネットワーク、すなわち「出来物の織物」の一部であることを明らかにした。しかも、このようなネットワーク内の相互関連のあり方は確率論的にのみ定められる。ハイゼンベルクによれば、現代物理学ではもはや世界は物体ではなく関係性のグループに分割される。区別できるのは関係性であり、それが現象の中で最も重要な要素であり、世界は複雑な出来物の織物という姿を呈する。異なった種類の関係性が入れかわり、重なり合い、組み合わせきって、全体の生地が決められる²⁾。

このように現代物理学の知見は、古典的な物理場の概念に著しい進化をもたらした。その鍵は、粒子は孤立した静的実体ではなく、周囲の空間構造、すなわち場との不可分な相互作用においてのみ定義し得るエネルギーを持った一つのプロセス、ダイナミックな反応、確率論的な「出来事」であるという点である。そして、このような意味での場こそが、古典的原子論で二分されていた力と物質を統合し、周囲との関係性においてのみ成立する粒子という根源的アイデンティティーを新たに確立したのである。これは実に長い間、絶対的な素粒子、それ以上はいかなる分解も分析をも拒む唯一無二の最小構成単位を探し求め続けた挙句、現代の物理学がたどり着いた逆説的な結論ではあった。

2. 現代生物学のアプローチ³⁾

形態形成場

ドリーシュ (1914, 1927) が機械論で解くことはできないと主張した生物学に言う調整, 再成, 生殖を扱うため, 有機体論者は形態形成場 (morphogenetic field; もしくは胚形成場, 発生場) を提唱している。この考え方はもともとグルヴィチ (1922), ワイス (1939) らによって打ち出された。形態形成場は, 胚やその他の発生システムにおける特徴的な形態がどのように生成するのかを, エネルギー的観点から見れば確率論的な出来事を通じて, システムに指示を与えることによってコントロールする。すなわち, エネルギー的に可能な物理的プロセスの結果に対し, パターン化された制限を加える。そこには有機体の特性と無機的な電磁気系の特性との間に類似性のあることが示唆される。例えば, 鉄の磁石を分断すると磁場の特性により二つの完全な磁石が出現するように, 胚の二細胞期に片方の細胞を殺しても, 残りの細胞から生まれるのは半分の成体ではなく小さいが完全な成体であり (調整), 有機体の一部が切断されてもそこから新しい有機体が生まれ (再成), 親の体から離れた一部分が新しい一個の有機体になる (生殖) といった全体性 (wholeness) は, 形態形成場の働きによると考えられる⁴⁾。

形態形成場は, 生成システムの形態を決定する際に因果的役割を果たし, それ自体は直接観察できないが, 物理的変化を命ずることができるという点で, 既知の物理学的な場と類似している。電磁場も重力場も, 空間的構造ではあるが目に見えず, 触れることも聴くこともできない。その存在は電磁作用と重力作用を通して初めて知ることができる。同様に形態形成場も空間的構造であり, 物質的システムに及ぼす形態

形成作用を通してのみその存在が認知できる。

形態形成場は, その影響の及ぶ範囲内で「出来事」を命じ, それによって最終的な形態が実現される。最終的なシステムの一部を成す「形態単位」(morphic unit; 生物学の場合は, 形態形成の根源となる「胚」がその一例であり, この胚の回りにより高レベルの形態単位である細胞, 組織, 器官などが階層的に組織化される) がなければ, この場の存在を確認することはできない。この場が影響を及ぼす部分になされる命令作用を通してのみ, それは姿を現す。その存在は磁石の回りにできる磁場の「力線」にたとえられる。磁力線は空間的構造であるが, 鉄粉のような磁気を帯びることのできる粒子が振りまかれた時にしか姿を現さない。しかし, 鉄粉がなくとも, 磁場そのものは存在している。同様に, 形態形成場は最終的な形がまだ実現されていなくとも, 空間的構造として形態形成の胚の回りに存在していると考えられる。

量子力学において電子の軌道が確率論的にしか定められないように, 形態形成場一般もまた正確に定義することはできず, 空間における確率分析として与えられる (Suppes, 1970)。すなわち, 形態形成場は確率構造を持つ (ポッパー, 1967; ポッパーとエクレス, 1977)。

有機体理論によれば, すべてのシステムないし有機体は単純なものから複雑なものまで階層的に組織化されており, かようなシステムは様々なレベルにおける形態単位から成っている。化学及び生物システムは形態単位の階層構造から成り, そうした階層的組織化は, 典型的には「樹状」または「入れ子状」に図示できる。高レベルの形態単位は, 構成要素である部分の配置を何らかの方法で調整しなければならない。この調整は, 高レベルの形態単位の形態形成場

が、低レベルの形態単位の形態形成場に作用することによって行われると考えられる。従って、形態単位そのものだけではなく形態形成場も階層をなして組織化されていると想定される。

さらに仮説的には、ある形態単位の最終的形態が実現すると、過去の類似した形態からの継続的な「形態共鳴作用」(morphonic resonance; すなわち、時空を超えた形態同士の共鳴作用)がそれを安定化し維持すると主張される(シェルドレイク, 1987)。形態共鳴は、物理学における「エネルギー共鳴」(システムに作用する外力の振動数がシステムの振動数と一致した時に起こる共鳴)と共通して、選択性を持つ。すなわち、種々の振動数がいかに複雑に入り交ざっていても、システムはその中の特定の振動数にしか反応しない。形態共鳴もエネルギー共鳴も振動するシステム間に発生する。形態共鳴はシステムの自己同一性を維持する上で非常に重要だと考えられる⁵⁾。

運動場(ば)

動物の特殊化された運動に関与する構造の形態変化をコントロールする場は形態形成場ではあるが、この場合生ずるのは形態の実質的な変化ではなく運動である。従ってシェルドレイク(1987)は、こうした場を形態形成場の延長として「運動場」(motor field)と呼ぶことを提唱している。

生殖を司る包括的な場の最終形態は生存能力のある子孫の確立である。高等動物の有性生殖においては、精子はやみくもにではなく、特殊化された交尾行動の結果、卵子の付近へ向けて放出される。こうした生殖を司る包括的な場は、相手を見付け、求愛し、交尾するという一連の運動場を含む。生物はまず、相手からの視覚や

嗅覚などによる刺激と、ホルモン分泌による生理的摂動の結果、最初の運動場の影響下に入る。この場の終結点は、二番目の場の胚となっており、「場から場への連結」が行われる。

親が生まれた子の世話をする場合、新たな一連の運動場の活動が開始される。これらの場は引き続き親の生殖を司る包括的な場の下にありながら、共時的に子の発育と生存を司る場を助ける。その結果、動物の行動は「社会的広がり」を有するようになる。

多くの場合、こうした社会は維持され、行動は次第に複雑化してゆく。特殊な運動場のコントロールによって個体間に多様な「コミュニケーション」が行われ、分化した個別の役割を各個体が担うようになる。ここに「分業」が生まれる。ヒトは言うに及ばず、アリやミツバチなどの高度に発達した分業社会の諸々の役割は、すべて高レベルの運動場の守備範囲内にあると考えられる。こうした高レベルの場が、特殊化された個別の職務に関わる低レベルのクレオドをコントロールしていると想定されるのである(シェルドレイク, 1987)。

以上検討したように、ベルグソン(1911 a/b)の「生の哲学」の系譜を引くシェルドレイクらの現代生物学の仮説は以下のことを主張している。すなわち、(1)形態形成場が、生成システムの形態形成プロセスを、調整・再成・生殖などのメカニズムを通じて確率論的にコントロールし、その影響の及ぶ範囲における「出来事」を命ずることによって最終的形態を実現すること。(2)物理場と同じく、形態形成場の空間構造も、それ自体としては触知できず、その形態形成作用を通してのみその存在が知られること。(3)化学及び生物システムなどの有機体は、その形態単位の階層構造から成り、これに呼応する形態

形成場も階層的ガバナンス構造をなして組織化されているであろうことである。また、(4)一旦確立されたシステムの自己同一性を安定化させ維持する上で、形態共鳴が重要な役割を果たすであろうことが示唆された。さらに、(5)動物の特殊化された運動構造に関与する形態形成場の延長 (extension) として、運動場が提唱され、それら運動場が連結され、社会的広がりを生み、コミュニケーションと分業を生成する力動的プロセスが記述された。

3. 複雑系応用工学のアプローチ

ホメオカオスの場

パーソンズの古典的なシステム理論 (1952) によれば社会とは自己調整システムのことであった。すなわち、変化に対して諸制度のオーダーを組み替えることによってそれらの間のバランスを保ち、システムとしての機能を効果的に働かすよう維持するシステムだと規定された。そのメカニズムは人体の生理とのアナロジーによってよく理解できる。人体システムが調子よく機能しているときには、環境変化にうまく適応することができる。例えば、気温上昇に対し人体は汗腺調節によって体温を一定に保つ。これを生体のホメオスタシス (homeostasis, 恒常性) という。けれども、環境が激変すると、システム全体として適応し切れず調整不能に陥る。気温の例で言うと、その上昇が余りに過激だと人体は対処し切れずに生理的機能障害に陥るであろう。すると人体システムは不均衡状態に陥る (ギドンス, 1993)。ジョンソン (1964, 1966) は社会システムにこうした不均衡が生ずると、それは革命の必要条件となると論じた。ルーマン (1984) もパーソンズらの伝統を受け継いで社会システム理論の発展に貢献している。

しかしながら、こうした伝統的システム理論に対して、主として複雑系の研究者から新たな知見が寄せられ、その再検討が迫られている。根源的に多様化を生む機構が内在する生命系、多くのタイプの個体が相互作用する生態系などを含む複雑系を研究する金子 (1995, 1996 a/b, 1997)、金子・津田 (1996) は、弱い大自由度カオス (すなわち、不安定性の度合いは弱いが沢山の変数の関係したカオス) における安定性機構としてホメオカオス (homeochaos) を提唱している⁶⁾。ホメオカオスでは要素間の振動の引き込みと非同期化を巧くバランスさせており、実際多くの種類の振動は完全にばらけても揃ってもおらずカオス的遍歴 (chaotic itinerancy; つまり、各要素の変数の値がばらばらに振動する状態と、少数のクラスター (グループ) に分かれてほぼ共振する状態を行き来するプロセス) を示す (Tsuda, 1991)。そこでは突然変異率が適度に保たれることにより、弱い不安定状態が実現している。こういったホメオカオスは生態系の安定性のみならず、一般に多くの要素から成るシステムが多様性を保持しつつ安定性を達成するために重要だと考えられる。それは、従来固定点・静止状態のまわりでの揺らぎと想定されがちであったホメオスタシスの静的恒常性に対して、ダイナミカルな安定性を示しているのである。また古賀ら (1996) もカオス現象を含めた動的な解こそが定常解であると主張しており、グリック (1987) やウォールドロップ (1992) もカオスの均衡とはまさしく動く平衡状態であると論じている。

さらに、最近こういった非線形相互作用系モデルの工学的応用として、システムと環境の相互引き込みを通じて両者の不可分な関係性としての「場」を自己生成し、それに基づいてシス

テムのあり方が自己規定される知的マルチエージェント・モデル (三宅, 1996) や、自律分散システムを駆動するネットベース協調制御モデル (長尾他, 1996) が提案され注目を集めている。こうしたモデルに共通しているのは、予測不可能な環境変化に対応できる創発システム的设计原理として、中央制御ではなく、自律個としての構成要素間の自己言及性をそのアプローチの根幹に据えていることである⁷⁾。

この種のアプローチは次のような問いかけから出発する⁸⁾。生物は全く初めての状況に置かれても、それが自己にとっていかなる意味を持つのかを発見し、それなりに適切な行動をとることができる。これは考えてみれば非常に不思議なことである。なぜなら、その生物をとりまく環境は明白にその生物よりはるかに大きい自由度を持つため、生物の側からすれば環境は本質的に予測できないものとして現出するからである。それならば、このように前もって予測不可能な状況に対処するため、生物システムはいかなる戦略をとっているのか。

この疑問に対する答はこうである。生物システムは、自らの行為を通じて表現される身体性を通じて環境と不可分な相互作用関係を持ち、その不均衡な境界において創発への可能性を模索する。換言すれば、生物システムは起こり得る事象をあらかじめ分類し明示的に規定した上でシステム機能を設計するのではなく、自己言及によって必要な情報をリアルタイムに自己生成し、状況に応じてシステム自身がその時点での最適モデルを自己設計し、刻一刻変化する状況に対応する設計変更をも自律的に行うのである。

この考え方は、従来の知的人工システムにおいて採用されてきた設計方法、すなわち、疑似

的な神たる設計者が、システムと環境を分離し、相互に関わる事象の集合を規定するアルゴリズムやその評価測度を策定し、明示的なシステム機能を構築するやり方に対するアンチテーゼでもあった。なぜなら、従来の方法は、環境の複雑化につれてシステムの複雑性が指数級数的に肥大すると共に、事前に規定され得ぬ環境には対応できないという原理的限界を露呈していたからである。「問題空間」の定義から出発し、その中での操作・解決方法、初期条件、制約条件等をあらかじめ確定しなければことが始まらず、未知の事項はあらかじめデフォルトと設定して処理するか、ノイズとして捨象してしまうニューウェルとサイモン (1972) やサイモン (1976, 1982, 1996) の情報処理アプローチもこの範疇に属していた。しかしながら、現実の場面では問題は通常与えられるのではなく、発見されるのであり、そういった偶発的問題はあらかじめ問題空間として限定はできないのである (佐伯, 1988 a)。

他方、生物は予測し得ない環境の中でも、システムと環境の不可分な関係としての「場」を自己生成することにより、システム自身のあり方をそれ自身の観点から自己規定し、自己変革してゆくことができる。例えば、アメーバ状生物である粘菌 (physarum) の走性における環境適応的な形態形成に関する実験では、そのへりの一部分 (どこでもよい) に餌を与えると、それまでの進行方向を変え、同時にその形態も餌の方向に向かって再構築される。この場合、どの位置にいかなる刺激が与えられるかはあらかじめ予測できず、刺激を与える側の任意である。とすると、粘菌の再構築過程は、個体の各部分の機能は事前に固定されておらず、それらの相互関係に応じて規定され、粘菌を構成する

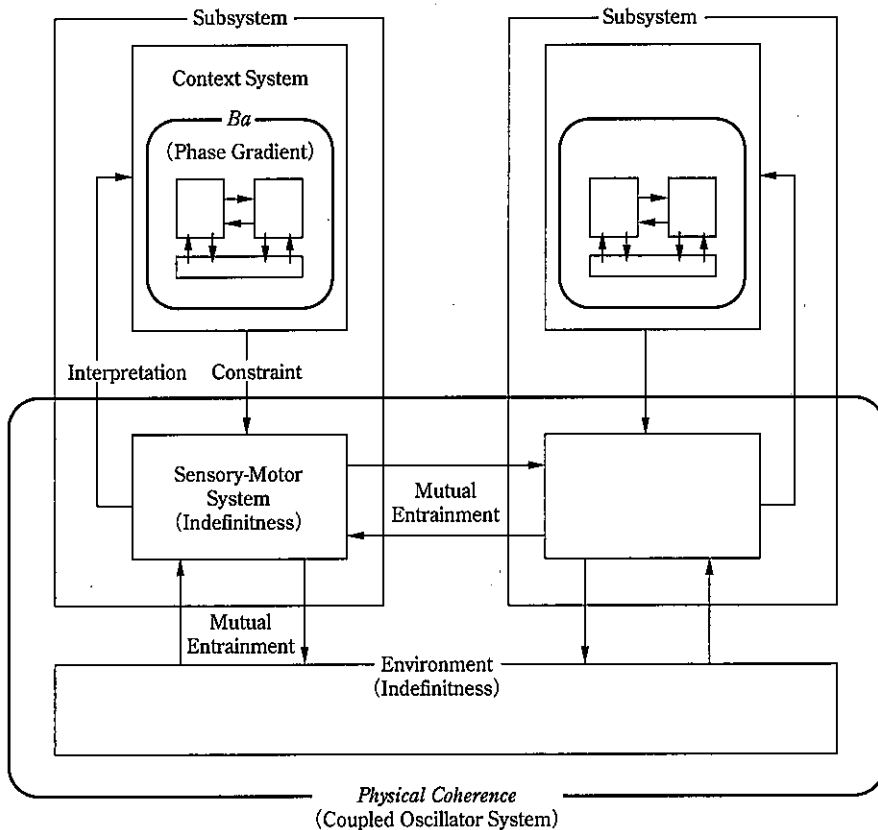
各サブシステムは自己規定のための情報を刻一刻リアルタイムに自己生成しているとしか考えられないのである⁹⁾。

かような生命体はサブシステム群から構成され、各サブシステムは機能表現の無限定性を持つ感覚運動系と、その拘束条件を生成するコンテキスト系を持つ(図1)。感覚運動系はリズムカルな性質を持ち、隣接する同様の系との間での相互引き込みを通じて、システム全体としての大域的な身体的コヒーレント状態を自己組織する。その時の空間的秩序が、各サブシステムのコンテキスト系によって解釈され、その内部に位相勾配(位相の空間微分)としての「場」を創成する。この「場」に基づいてサブシステ

ムごとに拘束条件が形成され、感覚運動系の機能表現が限定される。このようにして、身体的コヒーレンスを生成する感覚運動系と「場」を生成するコンテキスト系という論理レベルを異にする二つのアトラクター間での自己言及的力動を通して、サブシステムが相互に多様化し、協調的に機能分散するのである。

こうしたメカニズムの応用工学的表現が知的マルチエージェント・モデルである(図2)。同モデルに基づいて行われた歩行ロボット集団における、各々の相対位置に応じたグループ生成の機能分散実験では、このような相互引き込み効果による創発性がいかに発揮された(三宅, 1996)。同実験では、9体の歩行ロボットを

図1 自己言及モデルにおける場



出典: 三宅, 1996, p. 541.

3体ずつ3グループに分け、そこから全く任意に3体のロボットを様々な位置から突然除去(図中の*)してみると、最終的には各々2体ずつのロボットから成る三つのグループに自発的に再編成され、減じられて計6体となってしまったロボット集団によっても、3グループ編成という最初のグループ・ダイナミクスが再現された。これは、隣接ロボットの歩行リズムとの相互引き込みを通じて自己組織された各個の身体的コヒーレンスが、システムサイズの変化に対応してリアルタイムで生成し、個々のロボットがそれを解釈し、「場」が再編成され、歩行パターンが再限定されたことを意味している。しかも、このような個々のロボットの機能表現の間での相互補償性は、除去もしくは追加するロボットの数とその位置に依存せず観察された。

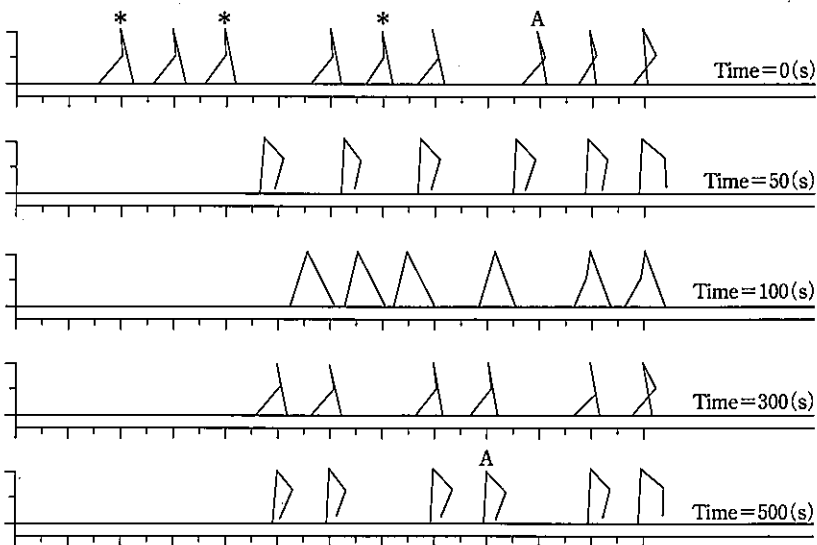
このような自己言及に基づく創発的設計は、前述した伝統的アプローチに比べて、予測できない環境下で特に有効だと考えられ、設計者の視点ではなくシステム自身の視点から拘束条件

を自己創造するという新次元を開拓するのである¹⁰⁾。

以上のような応用工学系の知見は、肥大化・自己閉塞し環境への適応能力を失ってしまった昨今の企業組織に、新たな秩序形成のためのよすがを提供する。現代の多くの企業組織は3大成人病、すなわち、頑健性の欠如、柔軟性の欠如、迅速性の欠如を病んでいる。頑健性の欠如とは、中央の管理機構の故障によるシステム全体の機能停止であり、柔軟性の欠如とは、ユーザーニーズの変化に呼応して生産・サービスシステムをフレキシブルに変更できないことである。そして、迅速性の欠如とは、生産・サービスシステムを短期間で構築・再構築できないことである(長尾他, 1996)。こうした組織の成人病を病む企業は、浅はかな対処療法にのみ依存し続けると、ある時点で不可逆的な境界を越え、死に至るであろう。根源的なパラダイムシフトのみが、重病人を蘇生させることができよう¹¹⁾。

以上論じたように、複雑系のアプローチは、

図 2 知的マルチエージェント・モデルのリアルタイム相互補償性



出典：三宅, 1996, p. 543.

ホメオスタシスを基盤とする伝統的システム理論に対して、弱い大自由度カオスにおけるダイナミカルな安定機構としてホメオカオスを提唱している。さらに、そうした非線形相互作用系モデルの工学的応用として、知的マルチエージェント・モデルやネットベース協調制御モデルを実例を通して検討した。それらの事例は、システムと環境の相互引き込みを通じて両者の不可分な関係性としての「場」を自己生成し、それによって予測不可能な環境変化にリアルタイムで対応する創発システムの設計原理を具現化したものであった。このような自己言及に基づく創発的設計は、伝統的システム・アプローチとは対照的に、設計者の視点ではなくシステム自身のプロセス知の視点から拘束条件を自己創造するという新次元を開拓する。こうしたアプローチは、制度疲労を患う昨今の企業組織の再生にも重要な示唆を与えられると思われる。

4. 結論と展望

「場」に関する現代物理学、現代生物学そして複雑系応用工学の豊富な知見に共通する重要なメッセージの一つを抽出すると次のようになる。すなわち、システム構成因子（粒子、胚などシステムを構成する基本単位）は、孤立した静的な実体ではなく、周囲の空間構造、つまり場と不可分な相互作用においてのみ定義し得るダイナミックな「世界内存在」（ハイデガー、1962 [1953]）である。その反応は、場との不可分な関係性における「確率論的な出来事」として把握され、階層性を有する場の連結を通して「社会的広がり」が生成される。予測不可能な仕方で揺らぐ環境変化に対応する創発システムが、共鳴や引き込み作用を通して、自己言及的にその臨界条件をリアルタイムに自己創造して

ゆくためには、ホメオカオス的な場は必要不可欠である。あらゆる組織体は場と不可分であり、組織体にとって場こそが唯一のリアリティーであると言える。「時間の矢」に従い、場は進化する（コヴニーとハイフィールド、1990、1995；ペンローズ、1989、1994、1997；ハメロフとペンローズ、1996）。

このような知見は、より伸縮自在で活力ある企業組織や組織間関係の構築に向けてある洞察をもたらす。すなわち、システム内外から来る揺らぎの大きさに対応する能力が、システム自体の創造性・生命力・学習力・環境適応力を定義付けるということである。ヤンツ（1980）が主張するように、健康で活力のある生態系や組織体は、一般に平衡から程遠い状態にあり、大きな時空的揺らぎを特徴とし、位相空間の中でも常に吸引領域境界付近をさまざましている。自己創出システムの大域安定性を保証するのは、このような不断の局所不安定性に他ならず、平衡に接近するほどシステムの弾力性は失われる。また武田（1997）は、システムが新しい刺激に出会った時、圧縮された位相空間を持ち不安定なアトラクター解を遍歴するカオス解から出発することが、極めて効率のよい学習方法であることを指摘している。本稿の考察が示唆したように、フラクタルな階層性を持った場の連結を意識的・戦略的にコントロールすることによって、企業組織や組織間関係をホメオカオス的に再編し、より丈夫な（robust）システムに作り変えてゆくことが重要であると考えられる¹²⁾。

また、伊丹（1991、1992）らの先駆的業績によってその重要さが認められていたにもかかわらず、従来の組織論では場の概念が今一つ宙に浮いた感があったのは、その概念体系の不整備もさることながら¹³⁾、オペレーショナリゼーシ

ジョン (操作化), すなわち概念を運用可能にし, それに基づいて実証研究を行う作業の欠如も関係していたと思われる。組織論における場の理論は, 「場の外貌」を記述するためには欠かせないシステムチックな諸指標とその測定方法を確立することによって, その存立理由を客観的に示す必要に迫られよう。

本稿が示唆したように, 場は, 場の諸作用の結果生ずる外的指標によってのみ, その存在が確認できるものである。これは, 例えば, 砂丘の形態を観察することによって, 初めてそこに作用した風の力動が間接的に把握できるようなものである。砂浜や干潮に残された血管模様や網状模様, また流水が泥に刻印したらせん形状を調べることによって, 水の運動を「事後観察」する手法も同様の結果をもたらす (シュベック, 1976)。こうした方法は, 有機体形成の基本的因子を, 運動状態のままで力の線として観察することを可能にする¹⁴⁾。また, 観察・測定のスケーリングを様々に変化させることによって, 同一対象のマクロ構造とマイクロ構造間の関連やフラクタル構造の有無を特定することも可能であろう。「見えない場」は, このような観察, 指標化と測定手続きによって, 可視的となる。そして, このような客観化を通じてのみ, 場の記述手段が整い, 比較可能性 (comparability) が生まれ, 場理論のさらなる発展と応用が期待できるのである。

本稿の範囲を超えるとはいえ, 組織場における測定指標の可能な項目例を幾つか示唆しておこう。組織場においては伊丹 (1991, 1992) が洞察するように, 参加者の心理的側面が切っても切れないファクターとなる。従って, 場を協調場と葛藤場という二つの転換モードに分けて捉え, 各々の外的指標を考察する必要性がある

かも知れない。また心理場 (psychic field) と物理場 (physical field) ないし制度場 (institutional field) とに分離して測定することも有用であろう。さらに, 共振, 共鳴, 同定 (調), 引き込み, 励起 (状態), 位相, 揺らぎ, カオス, 創発, 自己言及, 共生, (共) 進化など, 場理論にとっては馴染みの諸概念の運用・操作化についても, 注意深い客観化が求められるであろう。従来こういった諸概念が組織論的に語られるとき, 聞く者を鼓舞し動機付けるのに役立つ一方, そうした心理的効果以上の探究を緩和させ, ただ煙に巻くばかりであったことは否めない。組織場に関する来るべき実証研究には, こうした諸概念の科学的運用と実用化について先駆的模範を示すことが要請されよう¹⁵⁾。

本稿は, 来るべき場と進化のマネジメント序説のための準備作業として書かれた。その中心的メッセージを再度要約すると, 揺らぎの大きさにリアルタイムで対処する能力がシステムの創造性, 生命力と適応・学習能力を記述し, その進化プロセスにおいてはシステム自体と不可分に結び付いた場のあり方が決定的影響を及ぼすであろうということである。DNA 発見者クリック (1994) は進化のホメオカオス的傾向について次のように述べている。

進化は, すでにある生物から少しずつ段階的に変化を積み重ねてゆくプロセスである。この変化は日和見である。つまり何か新しい仕掛けが働き出すと, それがどんなに奇妙なものであれ, 進化はそれを利用しようとする。

すなわち, 既存の生物の構造に比較的簡単に起こる変化や改良が, いずれも進化によって選択されてゆく。この結果, 進化の

最終的なデザインは完全無欠というよりも、むしろゴタゴタした装置の集積といった方がふさわしくなる。驚いたことに、このようなゴタゴタの集積システムの方が、ストレートに仕事をするべくデザインされたシステムよりも、うまく機能してくれるのである¹⁶⁾。

ここに示唆されたような優れた生存能力を持つシステムは、プリブラム (1996) が高等動物の学習実験結果に基づいて主張するように、自己組織化された学習活動を無限サイクル的に行い、言わば絶えざる自己超越そのものを自己目的化した生存装置である。パツハの無限上昇カノン、エッシャーの不思議の環、ゲーデルの自己言及する数学的命題が思い起こされる (ホフスタッター, 1979)。アウシュビッツ収容所の生存者フランク (1969) によれば、「実存の自己超越性を生き抜くことによって我々は自己実現を成し得るのである」。実存的にも学問的にも成すべきこと成されるべきことは多い。

【注】

- 1) 本節の記述の多くはカブラ (1984, 1991) に依拠している。
- 2) こうした散乱行列理論を前提にジェフリー・チュー (1968, 1970, 1974) はブーツラップ仮説を提唱している。その見方によれば、自然は素粒子のような根源的実在には還元できず、むしろ構成要素が相互に調和を保ち合った自己調和という形で理解されるべきである。宇宙は互いに関連し合った出来事のダイナミックな織物 (web) であり、そこではいかなる部分の特性も根源的ではない。それらはすべて他の部分の特性に従うもので、そうした相互関係の全体的調和が織物全体の構造を決定する。

さらに1970年代にシュウォーツとヌーヴ

オーによって提案され、シャークとグリーンらが発展させた超ひも理論も注目値する。この理論は、靴ひもを引っ張って自らを持ち上げることでできる男についての古い諺にちなむ「靴ひも原理」と呼ばれるアイデアから生まれた。この考え方によれば、素粒子の集合を、これらと同じ粒子の自己矛盾のない組合せで構成されているものとして扱うことができる。そこには明確な自己言及性があり、すべての粒子が構成要素として働き、すべての粒子が構成要素と一緒に結び付ける力の場の量子として働き、そしてすべての粒子が構成要素の結合状態として現れる。プリンストンの4人の物理学者が発表したヘテロ超ひも理論と共に、この超ひも理論は、長い間探し求められて来た量子統一場の理論であるかも知れないと考えられている (ゲルマン, 1994)。

- 3) 本節の説明の多くはシェルドレイク (1987, 1994) に依る。
- 4) ちなみに、生物学的な形態形成 (morphogenesis) とは、有機体に特有な形態が生じて来る過程と定義でき、生物学的発生は後成的 (epigenetic) プロセスである。ウォディントン (1957, 1969) は、形態形成場の概念に歴史、すなわち発生の時間的側面をも採り入れた新しい概念である、クレオド (運命または必然を意味するギリシャ語 “chre” と経路を意味する “hodos” を合わせた造語) を提唱した。発生はクレオドによって明確な目的地点へ向かって運河化 (canalization ; 流常性を保とうとする傾向) されており、環境からの影響が、発生システムを軌道から外す方向に作用するかも知れないが、やがてそれは元の道筋へ戻ると主張されている。数学者ルネ・トム (1975) はこの考え方をトポロジカルに解析し、そのカタストロフィー理論によってフィールズ賞を得た。ただし、カタストロフィー理論は、その後あまりに多くのものを説明できると主張し始め、一時的な興奮を経て自滅した (合原, 1997, p. 126 ; サイモン, 1996)。
- 5) 前述したように20世紀の素粒子の研究は物質のダイナミズムを暴き出した。素粒子は独立した実在として存在するのではなく、相

相互作用という不可分なネットワークの部分として存在する。相互作用とは粒子の交換のことであり、エネルギーの相が絶え間なく変転する中で、粒子が生成と消滅を繰り返してゆく。粒子の相互作用は物質を構成する安定した原子、分子を作り上げるが、それは静的ではなく、リズムカルに振動している。原子、分子、結晶、細胞、組織、器官、そして有機体……これらはすべて絶え間なく振動する部分から成っており、各々独自の振動パターンと内なるリズムを持つ。「形態単位」も静的ではなく、常に動的である。こうして万物が、宇宙が、恒久的な運動と躍動を続け、エネルギーのコズミック・ダンスを舞っているのである(カブラ, 1984, 1991)。

なお、シェルドレイク(1987, 1994)の主張する時空を超えた「形態共鳴」には、ユング(1934, 1936, 1950, 1951, 1952)、ユングとパウリ(1955)、ポーレン(1979, 1986)らが提唱した「共時性」(synchronicity)、すなわち「意味のある符号」(meaningful coincidences)に通ずる一種の神秘的色彩がある。そうした神秘主義的傾向は、ノーベル物理学賞受賞後のジョセフソン(と彼の共著者)の一連の著作(1987, 1988, 1991, 1992, 1994; コンラッド, ホームとジョセフソン, 1988)にも顕著に見られる。また、若干視座は異なるが、それはドーキンス(1989)が挙げる、一旦他の軍団(たとえそれが模型であっても)との闘いに負けるとそれ以降「負け癖」の付くコオロギの事例や、ドシ(1982)の技術パラダイムの“trajectories”に関する議論、さらに、ピオリとセープル(1984)らが主張する社会組織やイノベーションにおける歴史的な“path dependency”仮説に共通する、ある種の確率論的決定論とも理解される。

- 6) 金子・津田(1996, p. 261)はホメオカオス概念提唱のいきさつを次のように説明している。「生体においてはカオスの状態が定常状態であり、いわゆる、変化しない、あるいは周期的、という意味の恒常性(ホメオスタシス)はむしろ生体にとっての異常な状態ではないか。比較的制御された次元の低いカオス状態を恒常的に保つことのほうが、外界と

情報的に遮断されないで生体を動的に安定化できると考えられる。このことを……ホメオカオスという言葉ではっきりと表現しようというのである」

これに類した前提に基づき、イベラル(1978)やイエーツ(1980)は生体の持つダイナミックな応答性を「ホメオキネシス」と呼び、レスラー(1979)は代謝系のカオス的な応答に着目し「カオスの維持」を、またゴールドバーガーら(1984)は心臓拍動のカオスが心筋梗塞の危機状況下で完全な同期状態に移行することを観測し「ホメオダイナミクス」を提唱している。いずれも、その意味するところは非常に似通っている。また、より文学的なアプローチによって西洋の科学と東洋の古典的英知(例えば、『易経』)を比較研究したウォルター(1994)は、科学と神秘主義を統合し超越する概念として「コ・カオス」(co-chaos)を提唱している。

ちなみに、ハーケン(1996)は、決定要因の自由度が僅かばかりに設定できる小規模システムならともかく、社会とか市場といった膨大なシステムにカオス理論を適用することの限界性を指摘しており、仮に何らかの有用性があるとすれば、それは幾許かの「定性的なヒント」を与えることであろうと論じている。これに対して、繰り返しになるが、金子・津田のホメオカオスは、生態系やその他一般に多くの変数から成るシステムが、多様性を保ちつつ大域的安定性を実現するための安定機構として提唱されているのである。またバク(1994)も、単純なシステムが少ない自由度において複雑な振舞いを示す古典的なカオス状態ばかりではなく、多自由度における大規模なシステムの振舞いを扱う統一概念として「自己組織化された臨界」(self-organized criticality)を提唱している。この概念は、雪崩、大地震、経済恐慌、恐竜の絶滅などを統一的に説明するとされている。

- 7) ここでは逐一論じないが、自己言及性、自己回帰性を鍵概念とするオートポイエシスや自己組織化に関しては多くの良い文献がある。例えば、ヤンツ, 1980; マトゥラーナとヴァレラ, 1980; プリゴジヌ, 1980; ルーマン, 1984; ウルリッヒとプロブスト,

1984 ; 今田, 1986, 1994 a/b ; 野中, 1986 ; 山口, 1986, 1994 ; トイプナー, 1989, 多田, 1993 ; 日置, 1994 ; 庭本, 1994, 1996 ; 河本, 1995 などを参照せよ。また, オートポイエーシス理論の検証不能性に関しては, Schepers and Schepers, 1996 を, 生物がその行為によって環境と不可分な絡み合いを演ずるという “affordance” の概念とその応用については Neisser, 1976 ; Gibson, 1979 ; Nishiguchi, 1997 を見よ。

- 8) 以下知的マルチエージェント・モデルに関する記述は三宅 (1996) に依拠しており, その要約である。
- 9) ということは, 粘菌に祖型的に現れるような生物のすべての活動が, 実行とモニタリング (評価) の両側面を持っており, かつ, その活動は常に非完結的であり, 実行しながら修正し, 動作を行いつつ計画を立て直し, 過去を生かしながらも未来へ向かって, 絶えず「変化の途上」にあることを示唆するものである (佐伯, 1988 b)。この非完結性, 変化の途上性については, 西口 (1997) の注 (3) における武道とスポーツのメタファーを参照せよ。

かような自己言及的創発は, 現在われわれの知る限り最も限界的に発達している器官の一つと思われるヒトの脳において顕著に見られる。大脳皮質の包含する神経細胞は, 有限の円周内に無限のフラクタル構造を閉じ込めるあのコッホ曲線 (マンデルブロ, 1977, 1983 ; グリック, 1987) にも似た存立と伴を持っており, 例え, 大脳皮質 1mm^3 の中には, 神経細胞 (ニューロン) が約 10 万個含まれており, それらが $10\sim 15\text{km}$ にも及ぶ軸索突起を伸ばし, 10 億個ものシナプスを介して結合し合っている (伊藤, 1988)。人間の皮質には全部で約百億個以上, すなわち, 銀河系の星を全部足し合わせた数にほぼ等しいだけのニューロンが詰まっているのである (クリック, 1994)。しかもそれらの結合が生成する記憶を含めた諸々の機能・働きは無限と言ってよい。

ヒトの記憶系は動作原理的に現在のコンピューターのメモリーシステムと異なっている。ヒトでは構造上記憶素子と演算素子が分離し

ておらず, 神経細胞ニューロン上に一体となっている。その情報処理はカオス的で, 記憶はニューロンのシナプスに分散し, 重層的に蓄えられていると考えられる。従って, 半導体ではメモリーが 1 ビットずつ局在しているため, 当該個所の損傷によって情報がそっくり消失するのに対し, ヒトの記憶の再現は損傷の度合に応じて段階的かつ不完全にとどまる。

さらに, ヒトの記憶はアドレス番地によってアクセスされるのではなく, 内容によってアクセスされる「連想記憶」である。ニューロン 1 個のサイクルタイムは 10^{-3} 秒程度で, ありふれた半導体素子より 10^6 倍以上遅いのに, システムとしての情報検索の効率と柔軟性では凌駕し得るのは, こうした検索メカニズムの違いによるのである。そして, ヒトの記憶系は, 運動・認知など, 用途別にハードウェアレベルから異なる複数のサブシステムから成っている (宮下, 1988)。

脳の活動の大部分は創発的である。驚嘆すべき脳の営みを実際に行うのは, それら多数の部分の相互作用に他ならない。科学的な意味での創発的というのは, 全体は部分の単なる総和ではないけれど, 原理的には, 部分の性質と働き, 及びそれらの相互作用によって全体の働きは説明できるというものである (クリック, 1994)。

脳の可塑性と記憶について, さらに詳しくは塚原 (1987) を, 脳内の相互作用同時性については茂木 (1997) を, フラクタル構造についてはその決定版と思われるマンデルブロ (1977, 1983) を見よ。また形式論理的アプローチを脱して, 意味の文脈依存性を扱う認知言語学の立場から「メンタル・スペース」理論を提唱し, 幅広い影響を与えたフォコニエ (1994) や, 同じく認知言語学の立場に基づいて, 統語論を意味論から分離するチョムスキー (1957) らの生成文法を批判し, 身体的経験と不可分なものとしての意味を重要視するレイコフ (1987) の「認知文法」も大いに参考となろう。

- 10) このようなプロセス知に基づいた新しい技術知の考え方とその創出方法は, 近年技術開発や設計学にも積極的に採用されており, あ

る意味では主流となりつつある。プロセス知の理論については、小山, 1997; 田浦, 1997; 柳生, 1997 a; 吉川と田浦, 1997 を、プロセス知の町工場や造船技術における応用に関しては、小関, 1997; 高武, 1997 を見よ。また、技術知創出プロセスにおける文脈性と暗黙性の重要性については、伊東, 1997; 岩田, 1997; 村上, 1997 を、設計におけるアブダクション (abduction; 思いつき, 仮説形成) の重要性に関しては、柳生, 1997 b; 吉川, 1997 を参照せよ。

なお、システム自身の視点から見たプロセス知に基づくアプローチを具現化したものとしては、自律分散型ネットベース協調制御装置としての産業用の無人搬送システム (automated guided vehicles, AGVs) が挙げられる。このシステムでは中央集中管理機構は存在せず各搬送車が自律個に対応しており、これら各自律要素が互いに協調して作業をする自律分散制御系を形成している。そこでは、加工機械同士が対話し、各搬送車は自ら所有する情報をもとに他の搬送車群と相談しながら、移動作業を実施すべき最適の搬送車を決定し割り当てるのである。各自律個は、大域的なデータ収納空間である「協調場」での自己言及を通じて、共時的に、その時点におけるシステム目的・状況・情報を把握し、リアルタイムで各自律個間の協調プロトコルを構築し、実行する (石田, 1993; 北森, 1993; 長尾他, 1996)。

このように、一本のプログラムに沿った処理ではなく、事象に応じてプログラムの流れが制御される仕組みは、システム工学では従来から事象駆動と呼ばれていた (平井・佐藤, 1988) が、明確に自己言及に基づく複数の自律個による「場」を介しての創発的設計は比較的最近生まれて来た。

- 11) 興味深いことに、先に述べたような「部分の相互作用の結果として現れる大域系が部分の環境となっている複雑系」としての経済や社会を考えようという動きは、最近の経済学にも見受けられる (小田, 1996; 有賀, 1997; 服部, 1997; 弘岡, 1997; 池上, 1997; 瀬地山, 1997; 吉田, 1997)。また、先に見た粘菌の例からも類推できるように、

人間の行動にもバクテリアとそっくりな部分があり、長い年月の進化を経て、人間がかつてバクテリアが持っていた内的作用を失って全く新たな精神作用を獲得したというよりも、進化の累積による多重構造を通して、その延長上で行動しているのであろうという認識も生ずるのである (菅野, 1996)。

- 12) 様々な被験者の指尖脈波カオスを、アトラクターの形状変化に図示して比較研究した金子と津田 (1996, pp. 250-251) は、赤子・青年・老人・アルツハイマー痴呆患者 (老人性痴呆患者の脈波で非常に特徴的なのは、カオス性が大変弱くなり、一つの周期成分が支配的になっていることである) らのデータに基づき、仮説的に次のように結論付けている。すなわち、「赤ん坊の指尖脈波は基本的に無構造であり、はじめはカオスというより雑音に近い。成熟するにつれ構造化が進み比較的次元の低いカオスになる。最大、構造化が進んだところではほぼ4次元相空間に埋め込まれたトラス崩壊後のカオスである。健康度が落ちるか、老化が進むとカオス度が落ちてアトラクターの構造が単純になり周期状態に近づく。周期構造だけになればそれは死を意味する」

またグリック (1987) は、フィードバック過程の非線形性が調整と制御の働きをすることに早くから注目していた生理学者たちが、カオスを健康状態として見始めていたことを指摘している。線形過程というものは僅かばかりでも押されると、ややづれたままになってしまいがちであるのに対して、非線形過程に全く同じ押し方をしてみると、一旦ずればしても再び出発点に戻る傾向があるのである。グリック (1987, 訳 494-495 頁) は叙述する。「このような制御現象について重要なのは、その丈夫さ (ロバスト) である。つまりその系は、小さなショックにどれだけよく耐え得るかということだ。生物系では、ある周波数範囲にわたって、系がどれだけよく機能できるか、という順応性が丈夫さと同じくらい重要になってくる。一つの状態だけにロックしたのでは、かえってその系をとりこにして、それが変化に順応するのを妨げることになってしまうからだ。生物というものは、予測を

許さずどんどん変っていく状況に、常に対応する必要があるのだ」

さらに心臓疾患における非線形ダイナミクスを研究したゴールドバーガーら(1984, 1990)は、健全な力学系の特徴とは、枝状に分かれた肺の気管支網や心臓の刺激伝導繊維のように、「広い範囲のリズムに適応できるフラクタル構造」であると提唱した。彼らは、各規模を通じて広い帯域のスペクトルを持つフラクタル過程は、真に豊富な情報を含むこと、またこれに比べて周期的状態は狭い帯域のスペクトルを表しており、情報を全く含まない単調な反復的シーケンスとして定義されることを発見したのである。

- 13) 伊丹(1992, p. 78)は指摘する。「現実には広く存在していることを多くの人々が認識しているにもかかわらず、それを議論するための概念体系が不整備なために分析や深い思考の対象になることが少ない現象がよくあるものである。「場」とそのマネジメントも、その一つの例であろう」
- 14) UCLAのラネガーによれば、現在までに知られる最古の有核 eukaryotic 細胞の化石は21億5千万年前の岩石から発見された。それらは単純で明確ならせんを描いており、形態というよりは、運動状態そのもののように見える(カウフマン, 1995, pp. 157-159)。言うまでもなく、化石は考古学にとって最も重要な外的指標であり、進化をもたらした考古学的な場の推定と探索に役立つ。例えば、エルドリッジとグールド(1972)の断続平衡(punctuated equilibria)説を見よ。
- 15) 直接「場」そのものを扱ったものではないが、1980年代末期にマサチューセッツ工科大学(MIT)の国際自動車プログラム(International Motor Vehicle Program)が提唱した自動車産業におけるリーン生産方式(lean production)という言葉が複雑系を取り扱う一組の概念を、1990年に入って航空機産業に適用し発展させた、同じくMITのリーン・エアクラフト・イニシアチブ(Lean Aircraft Initiative, 略LAI)は、リーン・エンタープライズ・モデル(LEM)という高度に階層的な運用モデルを提唱し成果を上げている。LEMでは、リーン哲学を定義す

る6大原則(principles)の下に、12の掛橋的運用(overarching practices)、さらにはその下には70の促進的運用(enabling practices)と支援作業(supporting practices)が階層的に組織されており、各々の運用作業(practices)には明確な測定基準(metrics; 例えば、データベース共有化、初期設計リリース以後のエンジニアリング変更件数、従業員一人当たりの訓練時間、スクラップ・手直し・修理率など、分野別に細かく体系化された測定基準)が規定されている。

LEMは具体的に三つの使いやすい形でユーザー(LAIメンバーに限定)に供給されている。すなわち、(1)壁掛け用の大きなサマリー・チャート、(2)1993-96年に行われたすべてのLAI第1期研究活動の成果(図表、ベンチマーキング測定結果、事実発見や論説のサマリー等)を掲載した電話帳厚のデスク・レファレンス・ハンドブック、そして(3)ハンドブックの全ハードコピーを収容すると共にテキスト・サーチやハイパーテキスト・リンク機能によってユーザーの特定の問に対して促進因子(enablers)や障害因子(barriers)をすぐ呼び出して確認できる、3.5インチ・ディスク収納のコンピュータ・ソフトウェアである。ユーザーによれば、これら三つのツールのうち、このコンピュータ・ソフトウェアが最も使い勝手が良く評判も良好とのことである。このような事例は、知識の形式化、実用化、オペレーションリゼーションとは何かを考えるに当たり、有用な資料を提供すると考えられる(*Aviation Week and Space Technology*, June 3, 1996, p. 79 and July 28, 1997, pp. 60-61)。

- 16) このような「ゴタゴタした装置の集積」が、巧く機能したトヨタにおける企業組織進化の事例研究としては、藤本(1996)の優れた業績がある。また、複雑系の重鎮カウフマン(1993, 1995)は「デコボコの風景」(rugged landscapes)という表現でこのようなカオスの状況を描写している。

参 考 文 献

合原一幸編, 1997. 『複雑系がひらく世界一科

- 学・技術・社会へのインパクト』(別冊『日経サイエンス』120) 東京:日経サイエンス社。
- 有賀裕二, 1997. 「複雑系とカオス経済動学」『経済セミナー』6月号, No. 509, pp. 29-32.
- Aviation Week and Space Technology*, 1996. June 3.
- Aviation Week and Space Technology*, 1997. July 28.
- Bak, Per, 1994. "Self-Organized Criticality: A Holistic View of Nature." In Cowan, Pines, and Meltzer (eds.), 1994.
- Bergson, Henri L., 1911 a. *Creative Evolution*. London: Macmillan.
- Bergson, Henri L., 1911 b. *Matter and Memory*. London: Allen and Unwin.
- Bohm, David, 1976. *Fragmentation and Wholeness*. Jerusalem: Van Leer Jerusalem Foundation.
- Bohm, David, and Hiley, B., 1994. *The Undivided Universe*. London: Routledge.
- Bolen, Jean Shinoda, 1979. *The Tao of Psychology: Synchronicity and the Self*. New York: Harper and Row.
- Bolen, Jean Shinoda, 1986. "Synchronicity and Tao." In Yuasa and Takemoto (eds.), 1986.
- Bunge, M. (ed.), 1967. *Quantum Theory and Reality*. Berlin: Springer Verlag.
- Capra, Fritjof, 1984. *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels between Modern Physics and Eastern Mysticism*, 2nd ed. Toronto: Bantam Books.
- Capra, Fritjof, 1991. *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels between Modern Physics and Eastern Mysticism*, 3rd ed. Boston: Shambhala.
- Chew, Geoffrey F., 1968. "'Bootstrap': A Scientific Idea?" *Science*, 161 (May): 762-765.
- Chew, Geoffrey F., 1970. "Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?" *Physics Today*, 23 (Oct.): 23-28.
- Chew, Geoffrey F., 1974. "Impasse for the Elementary Particle Concept, *The Great Ideas Today*," *Encyclopaedia Britannica*.
- Chomsky, Noam, 1957. *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
- Conrad, M., Home, D., and Josephson, B. D., 1988. "Beyond Quantum Theory: A Realist Psycho-Biological Interpretation of Physical Reality." In Van der Merwe, A., Selleri, F., and Tarozzi, G. (eds.), pp. 285-293.
- Coveney, Peter, and Highfield, Roger, 1990. *The Arrow of Time: A Voyage through Science to Solve Time's Greatest Mystery*. New York: Fawcett Columbine.
- Coveney, Peter, and Highfield, Roger, 1995. *Frontiers of Complexity: The Search for Order in a Chaotic World*. New York: Fawcett Columbine.
- Cowan, George A., Pines, David, and Meltzer, David (eds.), 1994. *Complexity: Metaphors, Models, and Reality*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Crick, Francis, 1994. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Charles Scribner's Sons.
- Dawkins, Richard., 1989. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press. (リチャード・ドーキンス 日高敏隆・岸 由二・羽田節子・垂水雄二訳『利己的な遺伝子』1991 東京: 紀伊國屋書店)。
- Dirac, P. A. M., 1947. *The Principles of Quantum Mechanics*, 3rd ed. Oxford: Oxford University Press.
- Dosi, Giovanni, 1982. "Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change," *Research Policy*, 11: 147-163.
- Driesch, H., 1914. *History and Theory of Vitalism*. London: Macmillan.
- Driesch, H., 1927. *Mind and Body*. London: Methuen.
- Einstein, Albert, et al., 1923. *The Principle of Relativity*. New York: Dover.
- Einstein, Albert, 1934. *Essays in Science*. New York: Philosophical Library.
- Eldredge, Nigel, and Gould, Stephen Jay, 1972. "Punctuated Equilibria: An Alternative to Phyletic Gradualism." In Schopf (ed.), 1972.

- Fauconnier, Gilles, 1994. *Mental Spaces*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Frankl, Victor E., 1969. "Reductionism and Nihilism." In Koestler and Smythies (eds.), 1969.
- 藤本隆宏, 1996. 「社会システムの実証分析への進化概念の応用について」東京大学経済学部 ディスカッション・ペーパー, 96-J-10.
- Gell-Mann, Murray, 1994. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York: Freeman.
- Gibson, James J., 1979. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston, MA.: Houghton Mifflin.
- Giddens, Anthony, 1993. *Sociology*, 2nd ed. London: Polity Press.
- Gleick, James, 1987. *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking Penguin. (ジェイムズ・グリック 上田 亮監修・大貫昌子訳『カオス——新しい科学をつくる』1991 東京:新潮文庫).
- Goldberger, Ary L., et al., 1984. "Nonlinear Dynamics in Heart Failure: Implications of Long-Wavelength Cardiopulmonary Oscillations," *American Heart Journal*, 107: 612-615.
- Goldberger, Ary L., Rigney, David R., and West, Bruce J., 1990. "Chaos and Fractals in Human Physiology," *Scientific American*, February.
- Gurwitsch, A., 1922. "Ueber den Begriff des embryonalen Feldes," *Archiv fuer Entwicklungsmechanik* 51: 383-415.
- Haken, Hermann, 1996. "Synergetics as a Bridge between the Natural and Social Sciences." In Khalil and Boulding (eds.), 1996.
- Hameroff, S., and Penrose, Roger, 1996. "Conscious Events as Orchestrated Space-Time Selections," *Journal of Consciousness Studies*, 3: 36-53.
- 服部茂幸, 1997. 「収獲増の経済学と複雑系」『経済セミナー』6月号, No. 509, pp. 23-28.
- Heidegger, Martin, 1962 (1953, 7th German ed.). *Being and Time*. San Francisco: Har-
- per.
- Heisenberg, Werner, 1958. *Physics and Philosophy*. New York: Harper Torchbooks.
- 日置弘一郎, 1994. 「自己組織モデルの再検討」『組織科学』28(2) : 4-12.
- 平井成興・佐藤知正, 1988. 「ロボットの行動の制御」伊藤正男・佐伯 胖編, 1988 所収.
- 弘岡正明, 1997. 「技術革新のダイナミズムと進化経済学」『書齋の窓』6月号所収.
- Hofstadter, Douglas R., 1979. *Goedel, Escher, Back: An Eternal Golden Braid*. New York: Free Press.
- Iberall, A. S., 1978. "A Field and Thermodynamics for Integrative Physiology," *American Journal of Physiology*, 233: 171.
- 池上 惇, 1997. 「文化システムと社会進化の経済性」『書齋の窓』7・8月号所収.
- 今田高俊, 1986. 『自己組織性——社会理論の復活』東京: 創文社.
- 今田高俊, 1994 a. 『混沌の力』東京: 講談社.
- 今田高俊, 1994 b. 「自己組織性論の射程」『組織科学』28(2) : 24-36.
- 石田好輝, 1993. 「自律分散システムの情報処理の特徴」『計測と制御』32(10) : 830-836.
- 伊丹敬之, 1991. 「情報の場としての企業」神戸シンポジウム発表論文.
- 伊丹敬之, 1992. 「場のマネジメント序説」『組織科学』26(1) : 78-88.
- 伊藤正男, 1988. 「認知機能の神経科学的基礎」伊藤正男・佐伯 胖編, 1988 所収.
- 伊藤正男・佐伯 胖編, 1988. 『認識し行動する脳——脳科学と認知科学』東京: 東京大学出版会.
- 伊東道生, 1997. 「暗黙知と知の創発」吉川弘之監修, 1997 b 所収.
- 岩田修一, 1997. 「新材料の発見における文脈性」吉川弘之監修, 1997 b 所収.
- Jantsch, Erich, 1980. *The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. Oxford: Pergamon Press. (エリッヒ・ヤンツ 芹沢高志・内田美恵訳『自己組織化する宇宙——自然・生命・社会の創発的パラダイム』1986 東京: 工作舎).
- Johnson, Chalmers, 1964. *Revolution and the*

- Social System*. Stanford, CA.: Stanford University Press.
- Johnson, Chalmers, 1966. *Revolutionary Change*. Boston, MA.: Little Brown.
- Josephson, Brian D., 1987. "Physics and Spirituality: The Next Grand Unification?" *Phys. Educ.*, 22: 15-19.
- Josephson, Brian D., 1988. "Is the Fundamental Basis of Life Chemistry or Intelligence?" A Talk at the 1988 Londau Meeting.
- Josephson, Brian D., and Pallikari-Viras, Fotini, 1991. "Biological Utilisation of Quantum Nonlocality," *Foundations of Physics*, 21: 197-207.
- Josephson, Brian D., and Rubik, Beverly A., 1992. "The Challenge of Consciousness Research." Presented at the Athens Symposium on Science and Consciousness.
- Josephson, Brian D., and Carpenter, T., 1994. "Music and Mind: A Theory of Aesthetic Dynamics: On Self-Organization," *Springer Series in Synergetics*, 61: 280-287.
- Jung, Carl G., 1934. "The Archetypes and the Collective Unconscious." In Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. vol. 9.
- Jung, Carl G., 1936. "The Concept of the Collective Unconscious." In Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. vol. 9.
- Jung, Carl G., 1950. "Concerning Mandala Symbolism." In Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. vol. 9.
- Jung, Carl G., 1951. "On Synchronicity." In Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. vol. 8.
- Jung, Carl G., 1952. "Synchronicity: An Acausal Connecting Principle." In Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. vol. 8.
- Jung, Carl G., and Pauli, Wolfgang, 1955. *The Interpretation of Nature and the Psyche*. New York: Bollingen.
- Kauffman, Stuart A., 1993. *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York: Oxford University Press.
- Kauffman, Stuart A., 1995. *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. New York: Oxford University Press.
- Khalil, Elias L., and Boulding, Kenneth E. (eds.), 1996. *Evolution, Order, and Complexity*. London: Routledge.
- 金子邦彦, 1995. 「相互内部ダイナミクス系としての生命観——アイソロガス多様化理論」『現代思想』23(13): 86-97.
- 金子邦彦, 1996 a. 「多様性の起源, 維持, 進化」『計測と制御』35(7): 496-501.
- 金子邦彦, 1996 b. 「複雑系——カオスのシナリオから生命的シナリオへ」『現代思想』24(13): 79-86.
- 金子邦彦, 1997. 「多様性を生み出すカオス」合原一幸編, 所収.
- 金子邦彦・津田一郎, 1996. 『複雑系のカオスのシナリオ』東京: 朝倉書店.
- 河本英夫, 1995. 『オートポイエーシス——第三世代システム』東京: 青土社.
- 北森俊行, 1993. 「自律分散システムと自己組織化——事例からの考察」『計測と制御』32(10): 797-800.
- Koestler, Arthur, and Smythies, J. R., (eds.), 1969. *Beyond Reductionism: New Perspectives in the Life Sciences*. London: Hutchinson.
- 古賀 勝, 平澤宏太郎, 大林正直, 村田純一, 1996. 「一般化学習ネットワークにおけるカオス制御方式」『計測自動制御学会論文集』32(6): 844-853.
- 小関智弘, 1997. 「町工場のプロセス知」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- 高武淳夫, 1997. 「船体曲面加工のプロセス知」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- 小山照夫, 1997. 「プロセス知の情報モデル」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- Lakoff, George, 1987. *Women, Fire, and Dangerous Things*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lewin, Kurt, 1946. "Behavior and Development

- as a Function of the Total Situation.” In Lewin, 1951.
- Lewin, Kurt, 1951. *Field Theory in Social Sciences : Selected Theoretical Papers*, edited by Dorwin Cartwright. New York : Harper. (クルトン・レヴィン 猪股佐登留訳『社会科学における場の理論』1956 東京：誠信書房).
- Luhmann, Niklas, 1984. *Soziale Systeme : Grundriss einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt am Mein : Suhrkamp. (ニクラス・ルーマン 佐藤 勉監訳『社会システム理論』(上・下) 1993, 1995 東京：恒星社厚生閣).
- Mandelbrot, Benoit B., 1977. *Fractals : Form, Chance, and Dimension*. San Francisco : Freeman.
- Mandelbrot, Benoit B., 1983. *The Fractal Geometry of Nature*. New York : Freeman.
- Maturana, Humberto R., and Varela, Francisco J., 1980. *Autopoiesis and Cognition : The Realization of the Living*. Dordrecht, Holland : D. Reidel Publishing. (マトゥラーナとヴァレラ 河本英夫訳『オートポイエーシス——生命システムとは何か』1991 東京：国文社).
- 三宅美博, 1996. 「知的マルチエージェントの機能分散と自己言及」『計測と制御』35(7) : 540-544.
- 宮下保司, 1988. 「記憶のメカニズム——認知神経科学の試み」伊藤正男・佐伯 胖編, 1988 所収.
- 茂木健一郎, 1997. 『脳とクオリア——なぜ脳に心が生まれるのか』東京：日経サイエンス社.
- 村上陽一郎, 1997. 「技術の文脈依存性」吉川弘之監修, 1997 b 所収.
- 長尾陽一, 太田英明, 占部博信, 中野信一, 熊谷貞俊, 1996. 「自己分散システムのためのネットワークベース協調制御」『計測自動制御学会論文集』32(6) : 967-974.
- Neisser, Ulric, 1976. *Cognition and Reality*. San Francisco : Freeman.
- Newell, Allen, and Simon, Herbert A., 1972. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- 西口敏宏, 1997. 「二重らせんの組織間関係と共進化——自己言及メタモデルの提唱」『組織科学』30(3) : 62-78.
- Nishiguchi, Toshihiro, 1997. “Coevolution of Interorganizational Relations: Toward a Self-Referential, Double-Helix Model (仮題).” In Nonaka, Ikujiro, and Nishiguchi, Toshihiro (eds.), forthcoming.
- 西園春華, 1996. 「大田型技術システム」一橋大学商学部修士論文.
- 庭本佳和, 1994. 「現代の組織理論と自己組織パラダイム」『組織科学』28(2) : 37-48.
- 庭本佳和, 1996. 「組織統合の視点とオートポイエーシス」『組織科学』29(4) : 54-61.
- 野中郁次郎, 1986. 「組織秩序の解体と創造——自己組織化パラダイムの提言」『組織科学』20(1) : 32-44.
- 野中郁次郎, 1990. 『知識創造の経営——日本企業のエピステモロジー』東京：日本経済新聞社.
- Nonaka, Ikujiro, and Takeuchi, Hirotaka, 1995. *The Knowledge-Creating Company : How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. New York : Oxford University Press.
- 野中郁次郎・竹内弘高, 1996. 『知識創造企業』東京：東洋経済新報社.
- Nonaka, Ikujiro, and Konno, Noboru, 1997. “The Concept of the *Ba*.” To appear in Nonaka and Nishiguchi (eds.), 1997.
- Nonaka, Ikujiro, and Nishiguchi, Toshihiro (eds.), *Knowledge Creation* (仮題), forthcoming, New York : Oxford University Press.
- 額田春華, 1997. 「大田区分業集積群の柔軟性」中小企業総合研究機構ディスカッションペーパー, No. 2.
- 小田宗兵衛, 1996. 「複雑系としての経済」『計測と制御』35(7) : 536-539.
- Parsons, Talcott, 1952. *The Social System*. London : Tavistock.
- Penrose, Roger, 1989. *The Emperor's New Mind*. Oxford : Oxford University Press.
- Penrose, Roger, 1994. *Shadows of the Mind : A Search for the Missing Science of Consciousness*. Oxford : Oxford University Press.
- Penrose, Roger, 1997. *The Large, the Small,*

- and the Human Mind*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piore, Michael J., and Sabel, Charles F., 1984. *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*. New York: Basic Books.
- Popper, Karl R., 1967. "Quantum Mechanics without 'the Observer'." In M. Bunge (ed.), 1967.
- Popper, Karl, and Eccles, John C., 1977. *The Self and Its Brain*. Berlin: Springer International.
- Pribram, Karl H., 1996. "Interfacing Complexity at a Boundary between the Natural and Social Sciences." In Khalil and Boulding (eds.), 1996.
- Prigogine, Ilya, 1980. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. Freeman. (イリヤ・プリゴジーン 小出昭一郎・我孫子誠也訳『存在から生成へ』1984 東京: みすず書房).
- Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. *Collected Works of C. G. Jung*, vol. 8. New Jersey: Princeton University Press.
- Read, Herbert, Fordham, Michael, and Adler, Gerhard (eds.), 1968. *Collected Works of C. G. Jung*, vol. 9. New Jersey: Princeton University Press.
- Roessler, O. E., 1979. "Recursive Evolution," *Biosystem*, 13: 193.
- 佐伯 胖, 1988 a. 「認知科学からの接近」伊藤正男・佐伯 胖編, 1988 所収.
- 佐伯 胖, 1988 b. 「プランと実行——その情報処理過程」伊藤正男・佐伯 胖編, 1988 所収.
- Scheper, Willem J., and Scheper, Gert C., 1996. "Autopsies on Autopoiesis." *Behavioral Science*, 41(1): 3-12.
- Schopf, Thomas, J. M. (ed.), 1972. *Models in Paleobiology*. San Francisco: Freeman.
- Schwenk, Theodor, 1976. *Sensitive Chaos: The Creation of Flowing Forms in Water and Air*. New York: Schocken. (テオドル・シュベンク 赤井敏夫訳『カオスの自然学』1986 東京: 工作舎).
- 瀬地山 敏, 1997. 「複雑系としての経済——進化経済学の課題」『経済セミナー』6月号, No. 509, pp. 14-18.
- Sheldrake, Rupert, 1987. *A New Science of Life: The Hypothesis of Morphic Resonance*, 2nd ed. New York: St. Martin's Press.
- Sheldrake, Rupert, 1994. *Seven Experiments that Could Change the World*. London: Fourth Estate.
- Simon, Herbert A., 1976. *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*, 3rd ed. New York: Free Press. (ハーバート・A・サイモン 松田武彦・高柳 暁・二村敏子訳『経営行動』1989 東京: ダイアモンド社).
- Simon, Herbert A., 1982. *The Sciences of the Artificial*, 2nd ed. Cambridge, MA.: MIT Press. (ハーバート・A・サイモン 稲葉元吉・吉原英樹訳『システムの科学』1987 東京: パーソナルメディア).
- Simon, Herbert A., 1996. *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed. Cambridge, MA.: MIT Press.
- 菅野重樹, 1996. 「機械の心」『早稲田学報』6月号, pp. 26-31.
- Suppes, P., 1970. *A Probabilistic Theory of Causality*. Amsterdam: North Holland.
- 多田富雄, 1993. 『免疫の意味論』東京: 青土社.
- 武田 暁, 1997. 『脳と力学系』(物理のたねあかし No. 2) 東京: 講談社.
- 田内幸一編, 1991. 『市場創造の課題と方法』東京: 千倉書房.
- 田浦俊春, 1997. 「プロセス知の情報モデル」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- Teubner, Gunther, 1989. *Recht als autopoietisches System*. Frankfurt am Main: Suhrkamp. (グンター・トイブナー 土方 透・野崎和義訳『オートポイエーシス・システムとしての法』1994 東京: 未来社).
- Thom, Rene, 1975. *Structural Stability and Morphogenesis*. Reading, MA.: Benjamin.
- Tsuda, Ichiro, 1991. "Chaotic Itinerancy as a Dynamical Basis of Hermeneutics in Brain and Mind." *World Futures*, 32: 167-184.
- 塚原伸晃, 1987. 『脳の可塑性と記憶』東京: 紀伊國屋書店.

- Ulrich, Hans, and Probst, Gilbert J. B. (eds.), 1984. *Self-Organization and Management of Social Systems : Insights, Promises, Doubts, and Questions*. Berlin: Springer. (ウルリッヒとプロブスト編 徳安 彰訳『自己組織化とマネジメント』1992 東京:東海大学出版会).
- Van der Merwe, F., Selleri, F., and Tarozzi, G. (eds.), 1988. *Microphysical Reality and Quantum Formalism*, vol. 1. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Waddington, Conrad H., 1957. *The Strategy of the Genes*. London: Allen and Unwin.
- Waddington, Conrad H., 1969. "The Theory of Evolution Today." In Koestler and Smythies, J. R. (eds.), 1969.
- Waldrop, M. Mitchell, 1992. *Complexity : The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York: Simon and Schuster.
- Walter, Katya, 1994. *Tao of Chaos : Merging East and West*. Austin, Texas: Kairos Center.
- Weiss, P., 1939, *Principles of Development*. New York: Holt.
- 柳生孝昭, 1997 a. 「設計プロセスの圏論的モデル」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- 柳生孝昭, 1997 b. 「設計から見たアブダクション」吉川弘之監修, 1997 b 所収.
- 山口昌哉, 1986. 『カオスとフラクタル』東京: 講談社.
- 山口昌哉, 1994. 「問題提起にこたえて」『組織科学』28(2) : 13-23.
- 山下裕子, 1990. 「場と秩序」一橋大学商学研究科博士課程単位修得論文.
- 山下裕子, 1991. 「情報の相互作用の『場』としての組織と市場」田内幸一編, 1991 所収.
- 山下裕子, 1993. 「市場における場の機能——秋葉原の価格形成プロセス」『組織科学』27(1) : 75-86.
- Yates, F. E., 1980. "Physical Causality and Brain Theories," *American Journal of Physiology*, 238 : 277.
- 吉田和男, 1997. 「制度論とその可能性」『書齋の窓』5月号所収.
- 吉川弘之, 1997. 「歴史科学としての新しい工学体系」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- 吉川弘之監修・田浦俊春・小山照夫・伊藤公俊編, 1997 a. 『技術知の位相——プロセス知の視点から』東京:東京大学出版会.
- 吉川弘之監修・田浦俊春・小山照夫・伊藤公俊編, 1997 b. 『技術知の本質——文脈性と創造性』東京:東京大学出版会.
- 吉川弘之・田浦俊春, 1997. 「一般設計学のプロセス知」吉川弘之監修, 1997 a 所収.
- 湯浅泰雄・竹本忠雄編, 1986. 『生命と宇宙』(科学・技術と精神世界 No. 2) 東京:青土社.