

進化ダイナミクスにおける自己・非自己循環原理¹の探求

— 構成的認識²の理論と実践 —

村瀬 雅俊

`murase [at] yukawa.kyoto-u.ac.jp`

京都大学基礎物理学研究所

統計動力学

京都大学学際融合教育研究推進センター

統合複雑系科学研究国際ユニット

宇宙総合学研究ユニット

(2010年11月5日受理)

複雑なシステムを理解する科学的な道すじとは、それを物理的なエネルギー交換のレベルにまで還元することではなく、それらの構成要素について記述し、これら構成要素内の、あるいは各構成要素間の、機能関係を明らかにすることである。私たちの言語能力は、一つの複雑なシステムを獲得し、かつ使う、生得的な能力なのだ。

ジョージ・ミラー 『ことばの科学—単語の形成と機能』より

遺伝子の働きには、遺伝プログラムが達成されるにあたって、経験に一定の余地を残すよう定められているメカニズムがある。要するに各人は、遺伝的に決定されないように遺伝的に決定されているということがわかってきたかのような具合だ。

アンセルメ、マジストレッティ 『脳と無意識—ニューロンと可塑性』より

¹ 自己・非自己循環原理に関しては、生命現象の包括的理解およびその意味論の構築 — すなわち、メタ生物学という新しい学問の創造 — を意図した拙著『歴史としての生命 — 自己・非自己循環理論の構築 — 』(京都大学学術出版会、2000年)を参照していただきたい。なお、その原理に基づく認識過程の成立と破綻に関しては、拙著「こころの老化としての分裂病 — 創造性と破壊性の起源と進化 — 」(中村雄二郎、木村 敏 監修、『講座・生命 2001 Vol. 5』、河合出版)に詳しい論考を試みた。

² 構成的認識とは、数学者のヘルマン・ワイルの定義によると、断片的な現象の背後にある普遍的生成原理を探求することである(ヘルマン・ワイル『数学と自然科学の哲学』、岩波書店、1959年、P41)。発達心理学では「構成」、発生生物学では「後成」の字をあてる。

*本稿は、編集部の方から特にお願ひして執筆していただいた記事である。

1. はじめに

疑問は単純であればあるほど、答えるのが難しい。答えるのが難しい。2005年6月1日（水）～2日（木）の2日間、津田一郎氏（北海道大学）が国際高等研究所において主催する研究会『ダイナミックスからみた生命的システムの進化と意義』³に、私はゲスト・スピーカーとして参加した。その際に、「進化とは何か？」という疑問を参加者全員に投げかけてみた。しばしの沈黙が続いて、「そのような、いわゆる進化の定義は、一連の研究会が終了する頃に、おのずとみえてくるのではないか」という発言があった。主催者・津田一郎氏の弁である。

進化は、私たちの思考や行動にあまりにも密着している。そのために、進化のメカニズムを客観的にとらえることはかえって困難となっている。すなわち、進化とその意味論を、純粹に進化生物学や対象論理学のみに基づいて考察することには限界があるように思われる。それでは、どのような立場・アプローチが可能であろうか。

私は、まず進化に象徴される予測不能性・新奇性に着目したい。そして、この予測不能性・新奇性を、新しい‘もの’の出現においてとらえるのではなく、新しい‘意味’の獲得への契機となる、新しい‘ものの見方’の創出—すなわち、創造—としてとらえてみたい。これまでの要素還元論的方法論では、‘もの’あるいは‘要素’にばかりとらわれてきた。その影響もあってか、ダーウィンの自然選択原理が — 階層的なレベルの違いはあるにせよ — 生命体としての‘もの’あるいはその構成‘要素’に働くという暗黙の前提があった（Keller, 1993）。しかし、私には、この前提を再検討する必要があるように思われる。

創造とは何か

創造性の発現とは、今まで誰も気づかなかった類似性の発見—「同定」—である。

（湯川秀樹、物理学者）

数学的創造とは、長い間知られていたが互いに無関係であると考えられていた事実間に、思いもよらなかった共通点を提示すること。

（アンリ・ポアンカレ、数学者）

有機的創造過程とは、二つの互いに無関係なシステムが接統—「連合」—されるとき、突然以前にはなかった特性が生ずること。

（コンラット・ローレンツ、動物行動学者）

脳は、視野の比較的大きな部分からの情報を照合することによって与えられた情報を超える。

（セミール・ゼキ、認知科学者）

色は、形・大きさ・動きなどと独立には扱えない。

（ワシリー・ガンディンスキー、画家）

創造すること、それは統合することである。

（ティヤール・ド・シャルダン、哲学者）

対立物の結合

（カール・グスタフ・ユング、心理学）

³ 本稿は、国際高等研究所の許諾を得て、研究報告書 0820 に加筆・修正した。

‘もの’あるいは‘要素’それ自体の‘数’に劇的な変化が起こらないにもかかわらず、それに関する古い‘ものの見方’が捨てられ、突如として新たな次元が開示されるような新しい‘ものの見方’が創出することがある。そのような場合、‘もの’あるいは‘要素’が関与する‘過程’の選択 — すなわち、**過程選択** — が働いたと見ることはできないのではないだろうか。しかも、その際に出現する予測不能性・新奇性は、動物行動学者のローレンツ（1973）が指摘した「**連合**」 — すなわち、それまで互いに独立して存在していたシステム同士の相互作用の出現 — に代表されるような、生物進化に限定された諸現象に必ずしもとどまらない。

例えば、新たな機能発現や秩序形成を伴う相転移現象（Kauffman, 1993; Pollack, 2001; 2010）、個体の発生・成長・老化現象（Murase, 1996; 村瀬, 2000 ; 2001; 2008; 2010）から、予期しない疾患の発生や思いもかけない新理論の構築につながる認識の飛躍（市川, 1993）、学問の発展につながる「**類推**」や「**同定**」に基づく創造性の発現（湯川, 1949）、すぐれた芸術作品を鑑賞する際に体験される — 作品をも鑑賞者をも超克した新たな次元の創出となる — 価値生成（中村, 2006）、経験の意識的および無意識的な刻印と、それに基づく主体の運命への深刻な影響（アンセルメ、マジストレッティ（2004）、さらには禅修行などにおける悟り（ユング, 1939）や神秘体験（ニューバーグ、ダギリ、ローズ, 2001）に至るまで、幅広く存在しているように思われる。これらの諸現象の相違は、単に時間スケールと空間領域の相違に過ぎず、その根底に働く普遍原理こそ、**自己・非自己循環原理**として探求できるのではないだろうか。これが、私の主張していきたい立場・アプローチである。

こうした立場・アプローチによって、進化を狭義で使われてきた生物進化よりもはるかに広い領域の一般問題として考察できる。そして、こうした一般問題の特殊な場合として、進化の問題を根本的に議論できるのではないだろうか。こうしたイメージは、以下のような図式（図1）で捉えておきたい。

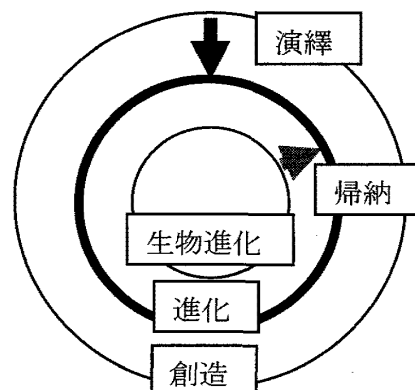


図1 帰納（特殊から一般へ）と演繹（一般から特殊へ）

2. 認識の2次元—生得的対象認識と後成的メタ認識—

そこで、私は具体的な対象の1つとして、進化とは一見全くかけ離れた細胞運動という現象を取り上げ、そこから逆に進化を理解する糸口を探そうと思う。

細胞運動という現象を取り上げる主な理由として、以下の3点が挙げられる。

第1に、細胞運動はそれ自体として進化を経てきた生命現象である。

第2に、この現象は純粹に客觀的にとらえることが可能である。

第3に、私自身が1980年代初頭から10余年の歳月をかけて取り組み、細胞運動という対象の認識 — すなわち、**対象認識** — において、ある1つの全体としての理解に到達することのできた生きたテーマである (Murase, 1992)。

ただし、私はここで細胞運動という1つの明確な対象に対して、2つの互いに相補的なアプローチ — すなわち、**対象認識**と**メタ認識** — をともに探求してみたい⁴。**対象認識** — すなわち、対象の認識 — は、私たち人間に生まれながらに備わっている、いわゆる生得的なメカニズムで行われている。その事実は、動物行動学者のコンラット・ローレンツや発達心理学者のジャン・ピアジェらによって明らかにされてきた。具体例を1つ挙げるならば、冒頭に引用したミラーの言葉にあるとおり、私たちの言語能力こそ生得的な能力である。

これに対して、**メタ認識** — すなわち、認識の認識 — とは、「ものの見方」に関する認識である。それは、**対象認識**の能力とは対照的に、生まれつき備わっている能力ではなく意識的な学習を通して後天的に獲得する、いわゆる創発

⁴ 言語認知心理学者ジョージ・ミラーは、複雑なシステムを理解する1つの方法として、自分自身で理論を構築してみることが必要であると述べている。実際に、言語を学習し理解しようとする、莫大な時間がかかり多大な努力も必要である。しかし、その学習過程を学び理解することは、言語そのものを学習するよりもかなり容易である。これは朝永振一郎のいう、数学が本当にわかるためには、その数学を作った数学者の心理に少しでも近づかなければならないということに対応しているように、私は思う。もちろんこうした認識のあり方は、科学者にのみ必要とされているわけではない。発達心理学の主要テーマの1つとして、「心の理論」がある。この「心の理論」とは、私たちは他者にも、自分と同じように心があり、考えたり、意図したり、何かを求めたりするということを知っている、ということを示している。表現された不完全で多様なパターン（言語学でいう意識的に表現された**表層構造**）を正しく理解することは必ずしも容易ではない。そればかりでなく、時には誤りさえ起こりうる。私たちに要求されるのは、表現の形式的な受容ではなく、その表現に込められた意図や伝達したい内容（言語学の言葉でいう無意識的な知的活動の総体である**深層構造**）を的確に理解することなのである。

的な能力なのである⁵。私たちは、日常言語を自由に使いこなしているにもかかわらず、どのようにしてその言語を獲得するにいたったかをほとんど意識することがない。なぜなら、言語能力の獲得に関する認識 — つまり、メタ認識 — は生得的な能力ではなく、学習によってはじめて獲得される後天的な能力であるからに他ならない。そのような見解は、言語認知心理学者のジョージ・ミラーや認知心理学者のアルベルト・オリヴェリオらによって提示されてきた。

私自身も 1990 年代初頭から 10 余年を経て、ようやくメタ認識を意識できるようになってきた（村瀬、2000；2001）。おそらく、先行する対象認識という体験を十分に経て、はじめてメタ認識という体験へと移行できるのではないだろうか。ここに、対象認識とメタ認識を明確に区別しつつ、両者をともに探求する意味がある。しかも、メタ認識とは、私たち人間が対象をどのように認識するのかという働きを知ることであり、それによって「認識とは何か？」という単純ではあるがはるかに深遠な疑問に対する 1 つの見解を提示することに通じるのである。

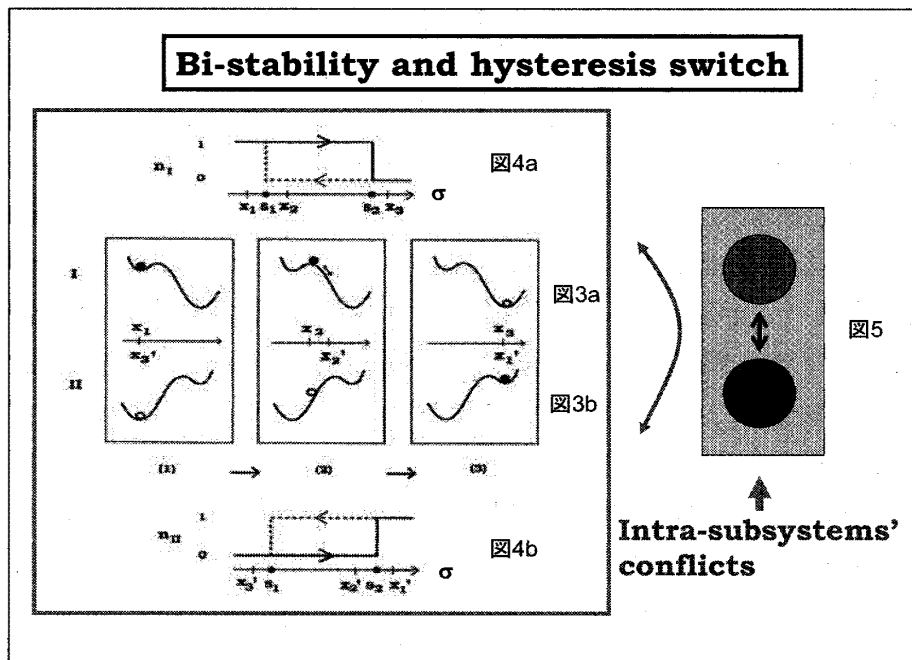
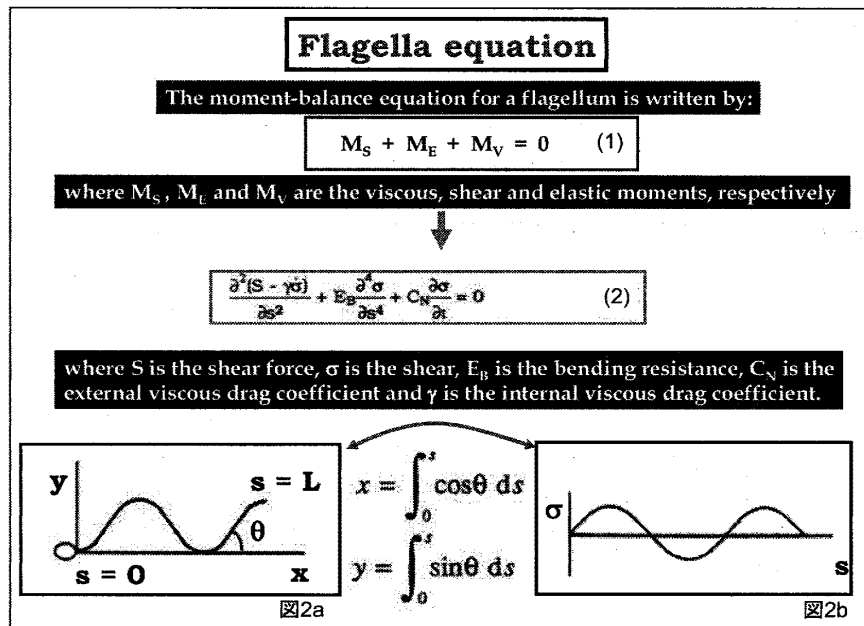
ここで、私はローレンツの「認識とは進化である」という言葉を引用したい。何かを認識することは、それに続く認識に生かされなければ、発展は望めない。1 つの方法に固執し、先入観をもつことによって、認識が固定化され静的になる限り、ますます多様化し変化しつづける環境に適應することはできない。自らの認識を刷新し、それを新しい形へと変えていく、いわゆる知識の再構築が必要である。認識をこのようにダイナミックな側面から眺め、その創発的・動的過程の意味を探ること、つまり、認識について知るメタ認識をとことん探求することによって、逆説的に意外にも進化ダイナミックスにおける創発的・動的過程に対する洞察を得ることが可能となるに違いない。

すなわち、ある特定の細胞運動という現象に対して、対象認識とメタ認識を駆使する相補的なアプローチは、従来までのように複雑な進化現象を直接の対象とし、その対象認識をどこまでも探求していく単一的なアプローチとは根本的に異なっている。このアプローチの違い故に、「進化とは何か？」という単純な疑問に対して、普遍的な原理をもって答えることができるのではないか。

⁵ 対象認識とは、「外」的に表現されている表層構造に対する、暫定的な理解である。構成的認識とは、表現されている現象においては明らかではないが、その背後に「内」的に存在している普遍的生成原理を探ることである。たとえば、意識的に使用しうる言語能は、生得的な能力である（チョムスキー、1963；レネバーグ、1976；ミラー、1997）。その背後で無意識的に働く深層構造として、心理学者ユングが発見した集合的無意識（ユング、1972；1973；1987；1999）がある。この集合的無意識も、生得的な能力である（ユング、パウリ、1976）。対象認識とは別に、対象に対する「ものの見方」を認識する — いわゆるメタ認識 — は、生得的な能力ではなく学習によって獲得されるという点で、後天的能力である（オリヴェリオ、2005）。このメタ認識を駆使することによって、表層構造から深層構造を再構成する — いわゆる構成的認識 — が効率よく達成できる。

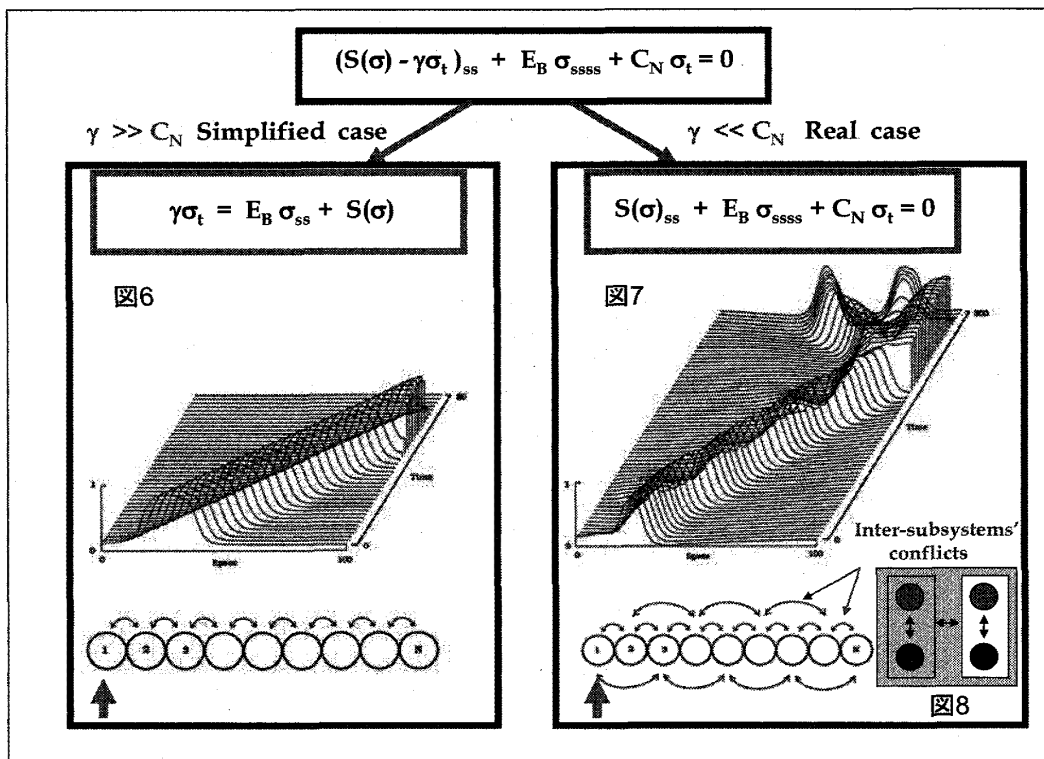
3. 生体運動—カオスの制御と秩序の生成—

精子の運動を駆動する鞭毛は、図2aに示されているように、基本的に平面運動を示す。鞭毛に沿って空間座標 s ($0 \leq s \leq L$, L は鞭毛の長さ) を導入する。鞭毛の屈曲運動は、その内部のフィラメントが相互に滑り運動を起こすことに起因している。鞭毛の根元では、フィラメントの滑り運動は起こらない。そのために、任意の点における屈曲角度 θ は、滑り量 σ に比例する (図2b)。これらの前提の基で、モーメントの釣り合いの方程式 (1) を立てて、鞭毛運動の基礎方程式 (2) を導くことができる。ここで、 S は、滑り力である。



鞭毛が屈曲運動をするのは、この滑り力の向きが交互に逆転するからである。その機能は、互いに逆向きの力学ポテンシャル（図 3a、b）と滑り力の on-off が滑り量と運動履歴によって決まるというヒステリシススイッチ関数（図 4 a、b）によって与えられる。図 5 は、鞭毛運動という対象認識が深まっていく過程を、後から再構成して捉える目的で描かれている。簡単化のために、上記 2 つの対立する運動系を、2 つの対立した○が 1 つの単位として統合されている様子を表している。

鞭毛の形状は、空間座標 s と滑り量 σ によって与えられる（図 2 a、b）。そこで、上記の図 3、4 によって規定される滑り力 S を、基礎方程式（2）に代入して解の挙動を調べる。



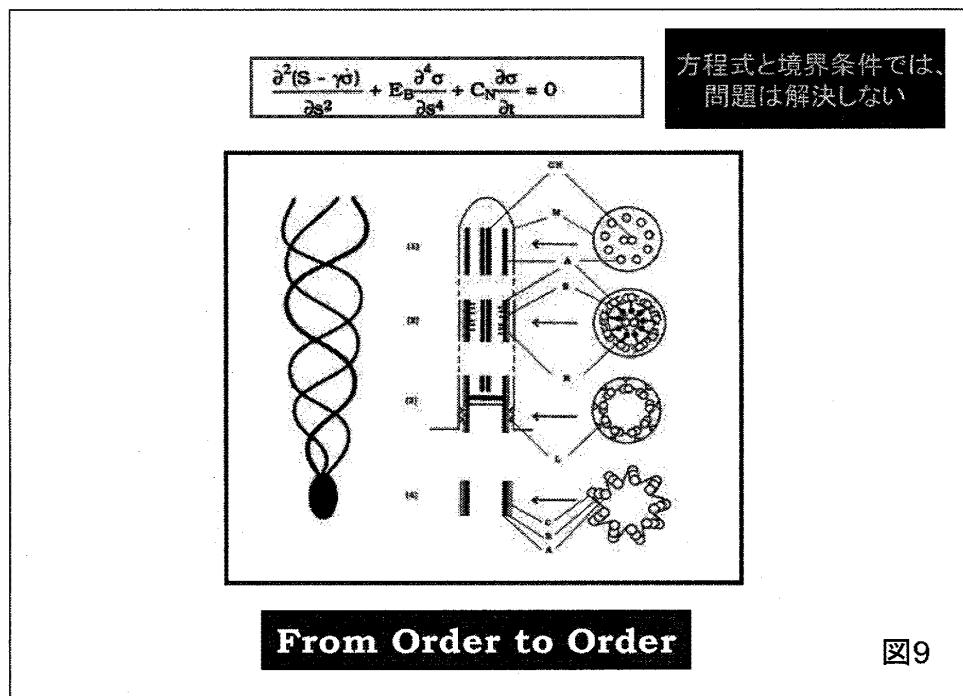
鞭毛内部の粘性抵抗 γ が、外部の粘性抵抗 C_N より十分に大きい場合には、基礎方程式（2）は図 6 上部のように、時間 t に関する 1 階偏微分と空間 s に関する 2 階偏微分からなる偏微分方程式—いわゆる、反応拡散方程式—に単純化できる。この場合は、鞭毛における空間相互作用は、図 6 下に模式的に表したように、最近隣単位同士の引力的相互作用だけである。この単純な引力的相互作用のために、鞭毛の左端に形成された屈曲はスムーズに右端へと伝播する。

実際には、鞭毛内部の粘性抵抗 γ は外部の粘性抵抗 C_N よりも著しく小さい。その場合は、基礎方程式は図 6 上部のように、時間 t に関する 1 階偏微分と空間 s に関する 2 階と 4 階の偏微分方程式になる。そのイメージは、図 7 下に表したように、最近接相互作用は斥力的となり引力的に働く次近接相互作用と拮

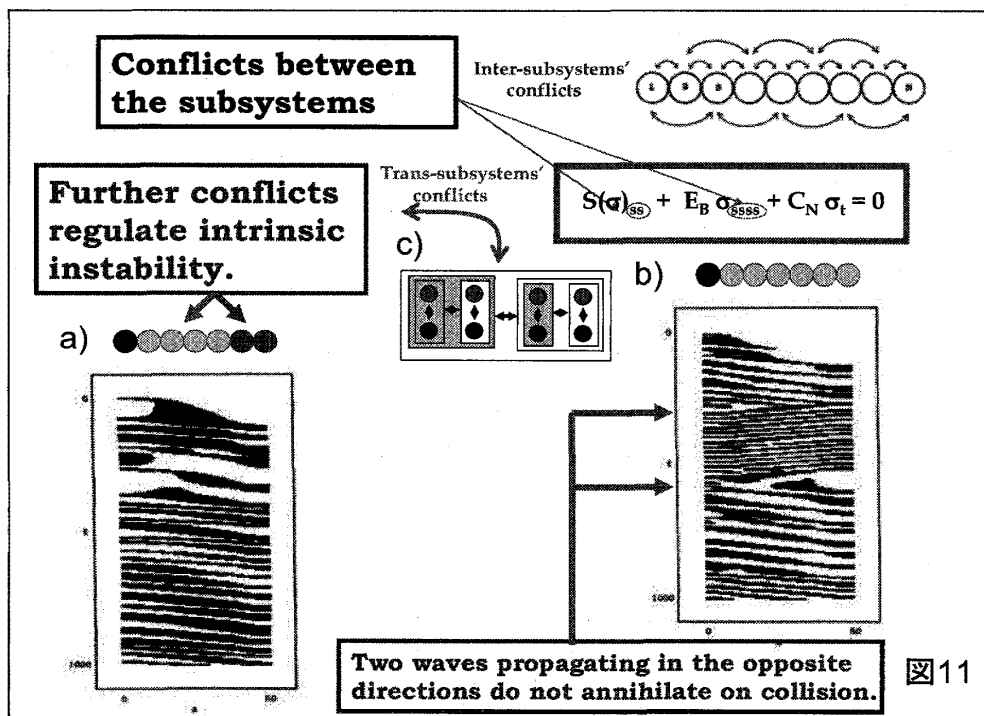
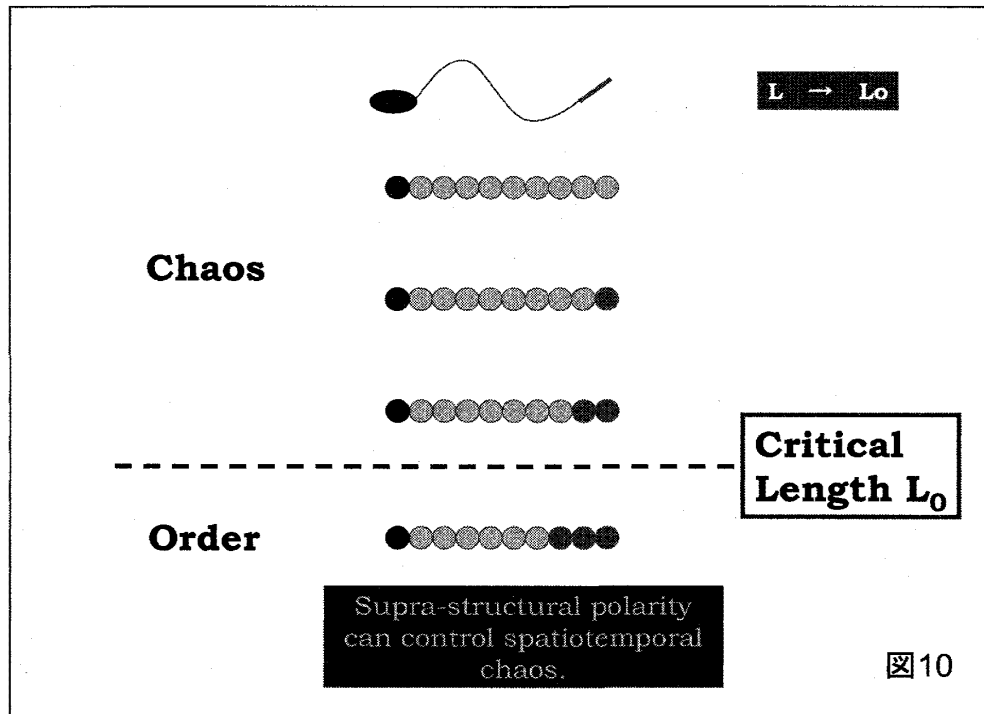
抗する。こうした、空間次元に関する相互作用の対立が1つの鞭毛というシステムに共存する状況を、図8のように示す。その意味は、図5で表された1つの「内部対立する単位」と別の「内部対立する単位」との間の新たな対立がより高次の単位として統合されている、ということである。

鞭毛内部の粘性抵抗 γ と外部の粘性抵抗 C_N との大小関係によって、図6と図7の相違が数値計算によって示されている。先にも、述べたように現実のパラメータは、図7のケースに対応する。このケースの特徴は、1つの屈曲波の伝播が反射したり、途中で分岐したり、合体したりする。実際、互いに逆向きに運動する2つの屈曲波は、ソリトンの的に互いにすり抜けたりもする。さらに、鞭毛に沿った空間座標ごとに、波長や周波数が異なるといった非定常性が見られる。実際に、このタイプの方程式は、**時間・空間カオス**を再現する **Kuramoto-Sivashinsky** 方程式と同じような構造を持っている (Murase, 1992)。

まず問題となるのは、こうした多様な運動現象が現実を観測されているかどうかである。そこで、さまざまな生物種の鞭毛運動を調べてみると、生物種の違いによって、多様な運動形態が報告されていることが明らかになった。ところが、別の生物種では、一方向にのみ屈曲運動が伝播するという秩序だった鞭毛運動パターンが報告されていたのである (Murase, 1992)。そこで、次なる問題は、このような時間・空間カオスを再現するような鞭毛運動の基礎方程式から、どのようにして一方向にのみ運動を伝播する秩序ある鞭毛運動を再現することができるのか、ということになる。これは、1950年代頃から半世紀近くの間、細胞運動に携わる研究者にとって、大変大きな「なぞ」であった。

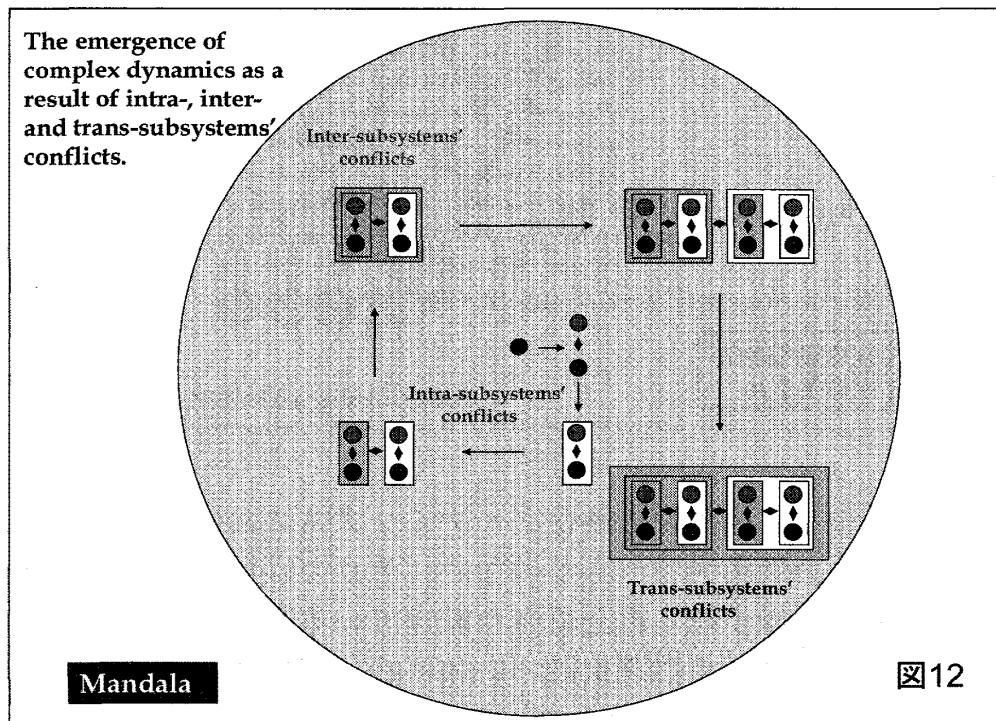


この「なぜ」は、基礎方程式だけをいくら眺めていても決して解くことはできなかった。鞭毛両端の境界条件を、自由端や固定端などに置き換えて見ても無駄であった。基礎方程式に基づく運動システムは、それ自体を制御する機構を持ち合わせてはいないからである。結論から言えば、問題解決の鍵は、鞭毛に沿った長軸方向の構造的非対称性に気づくか否かであった (Murase, 1992)。



従来までの、鞭毛運動の理論では、鞭毛の構造的な異方性は全く考慮されていなかった。図9のように、鞭毛の先端領域はフィラメントの滑り運動を引き起こす‘運動性酵素’が存在していない。そこで、図10に模式的に示したように、その先端領域の長さ L を少しずつ長くしていく。すると、ある臨界長 L_0 で、一方向の進行波が選択的に励起されるようになった。その様子を、図11aに示してある。図11bは、先端領域の長さ L が0の場合、屈曲波の進行方向が逆転する様子を示している。図11cの意味は、1つの「内部対立する単位」と別の「内部対立する単位」との間の対立がより高次の単位となり、それらが空間的位置の相違に関して互いに対立しながらさらに高次の単位として統合されている、ということである。

これまでは、鞭毛運動に関する対象認識がどのように進展していったかについて述べてきた。ここで、視点を変えて対象認識の認識であるメタ認識を考えてみたい。図12にその概略を示した。1つの単位が対立による分裂と共存による統合を繰り返しながら、より高次の構造が構成されていく様子を、時計回りの矢印で描いている。対立から統合にいたるには、ある種の飛躍を必要とする。私は、この飛躍こそ相転移の本質—すなわち、進化ダイナミックスの本質—ではないかと考えている。こうした構図は、曼荼羅の本質ともいえるのである（村瀬、2001）。



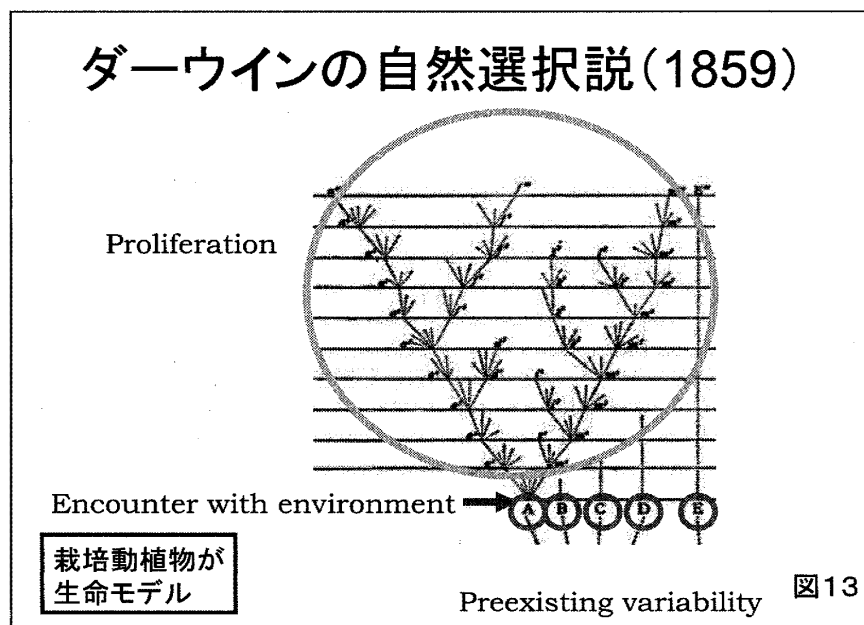
次節では、ダーウィンの自然選択説を具体例として取り上げ、科学史上における、認識の飛躍的发展—つまり、認識の系統発生—が対象としているシステムの規模によらずに普遍的に捉えられることを示そうと思う。

4. ダーウィンによる自然選択説の提唱と再発見 ー認識の系統発生としての科学史ー

19世紀はじめ、チャールズ・ダーウィンは、さまざまな飼育動植物が各生物個体の遺伝的変異に基づく人為選択によって著しく品種改良されることに着目した。そして、自然界に生息する野生生物種における新種の起源も、家畜生物の場合と同じように、生物個体の遺伝的変異に基づく自然選択によって論理的に説明できるという洞察に至った。これが、1959年に抜粋という形で出版された『種の起源』である。

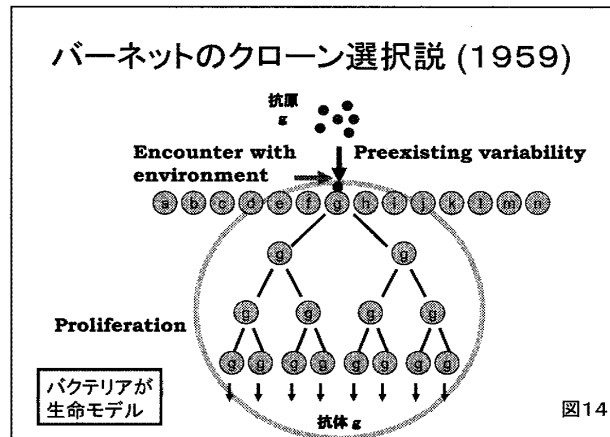
この自然選択説は、以下の3段階から説明される（図13）。

- 1) 遺伝的変異を伴う多様な個体が存在する (Preexisting variability)。
- 2) それぞれの個体が特定の環境に遭遇する (Encounter with environment)。
- 3) 特定の環境に適応した個体が子孫を増やす (Proliferation)。



本論では、この自然選択説を進化ダイナミクスにおける基本原理として捉らえて、後の議論を展開するつもりはない。そうではなく、ダーウィンの自然選択説が形を変えて繰り返し再発見され続けている事実、私は注目していきたい。というのは、この自然選択説のいわゆる‘再構成’過程に、時代精神を超えたある種の‘一貫性’が存在しているように思われるからである。そして、こうした観点を持つことによって、前人未到の大発見という主観的かつ創造的な認識過程の背後に潜む、客観的表現形式を取り出すことができると期待するからである。

そこで、まず自然選択説が繰り返し再発見されてきた科学史をたどってみよう。ダーウィンの『種の起源』（1859 年）出版からちょうど 100 年後に、免疫学者のバーネットは『獲得免疫に関するクローン選択説』（1959 年）を出版した。当時の免疫学における挑戦的問題とは、私たち高等生物の免疫系がどのようにして、いまだかつて遭遇したこともない病原体を‘認識’して、免疫応答を引き起こすかを説明することであった。



ここでクローンとは、1つの‘親’細胞から分裂によって増殖したすべての‘子孫’細胞をさす。バーネットは、免疫の分野に入る以前は、単細胞生物である細菌（バクテリア）を研究していた。細菌は分裂を繰り返し、子孫細胞を増やす。ところが、この過程で突然変異が生じてしまう。そのために、同一‘親’細菌のクローンとはいえ、多様な‘子孫’細菌が集団（コロニー）として存在することになる。こうした細菌のコロニーに潜む多様性を眺めていたバーネットは、ちょうど飼育動物の多様性を眺めていたダーウィンと同じような状況にあった。そして、ダーウィンが生物種のレベルで提唱した自然選択説を、細胞種のレベルで再発見することになり、後にノーベル賞に輝くのである。

さらに興味深いのは、19世紀ではダーウィンに先駆けてウォレスが自然選択説を提唱し、また20世紀ではバーネットに先駆けてイエルネが自然選択説を提唱していたという事実である。その事実は、何を意味しているのだろうか。それは、その時代ごとにおいて、断片的な知識がある程度蓄積されると、その知識を包括するような新概念が一貫性をもって再構成されること、しかもそれが特定の天才だけに限られることなく普遍的に再構成されることを如実に物語っている。こうした一貫性・普遍性・再現性こそ、「認識の科学」が立つべき根拠のように、私には思われる⁶。この問題は、次節で改めて論考したい。

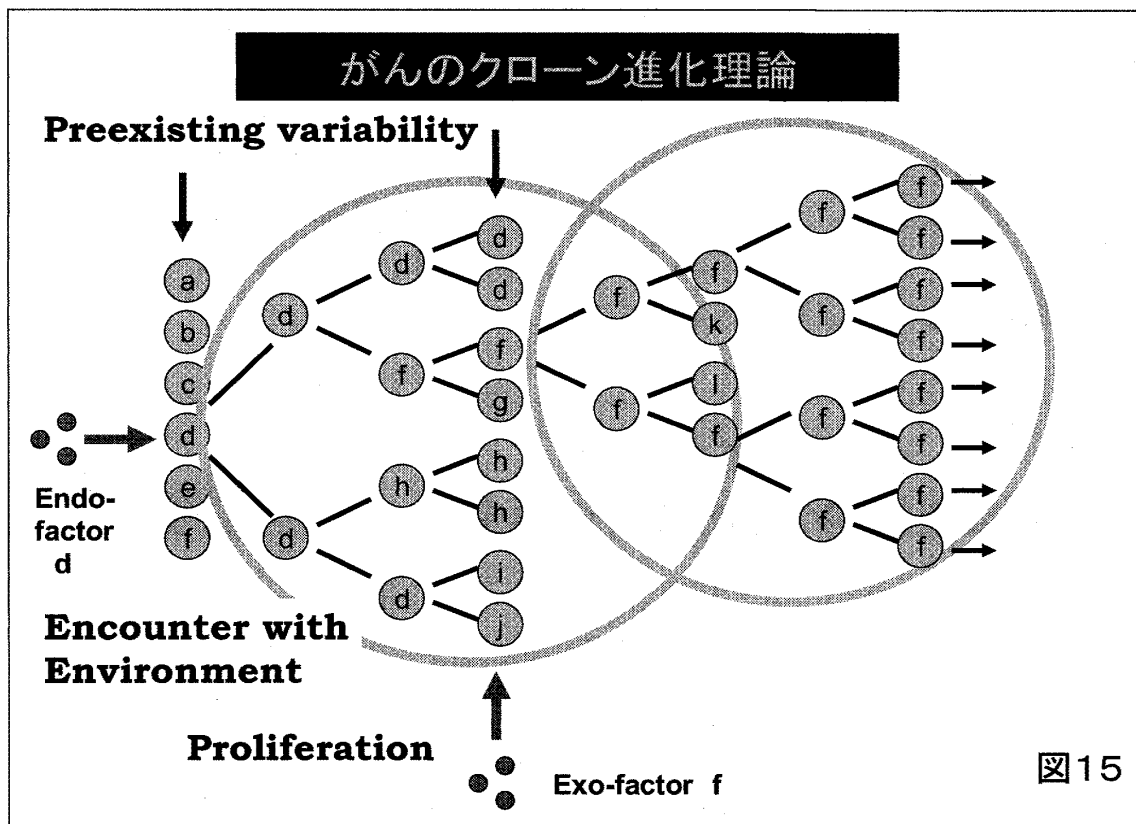
⁶ 黒木登志夫『健康・老化・寿命』（中公新書、2007年、p179）にも、「科学の世界では、何か新しいことが、同時に独立して報告されることが珍しくない。それは、偶然というより必然である」と述べられている。ユング（1955）は、こうした同時発生的現象を共時性と呼んでいる。

さて、バーネットによる免疫応答理論の核心は、クローン選択説—言い換えるならば、細胞レベルのダーウィニズム—である。それは、以下の3つの段階で要約することができる。

- 1) 免疫系において、突然変異によってあらかじめ多様な細胞集団が存在する。
- 2) その多様な細胞の中で、病原体がもつ抗原決定基と相補的な抗体分子を細胞表面にもつ細胞が、当該の病原体と遭遇する。
- 3) 病原体の抗原決定基に適合した細胞が増殖する。

説明すべき対象が生態系から免疫系へと変わっているが、その根底には同一の原理が働いていることが理解できる。そして、この免疫系のクローン選択説が提唱されて、さらに四半世紀を経た 1970 年代半ばに、同じ細胞レベルのダーウィニズムががんのクローン進化理論として再び、そしてまたもや独立した2人によって提唱されたのである (Cairns, 1975; Nowell, 1976)。正常細胞が分裂を繰り返すうちに、突然変異を蓄積し生体内環境での制御を逸脱し、分裂能、転移能、そして薬剤耐性能を次々と獲得する。このがん化のプロセスを、クローン進化理論として捉えたのである⁷。

⁷ 1980 年代以降、脳卒中を抜いて我が国の死亡率トップとなったがんは、人類にとっても生命にとっても古くからある病気である。たとえば、古代エジプトのパピルスに象形文字による乳がんの記載がある。また肉食恐竜のゴルゴサウルスにも脳腫瘍の痕跡がある。これまで、がんをはじめとする多くの病気は、体の内部から生じると考えられてきた。がんの遺伝説である。しかし、100 年ほど前に、ニワトリの肉腫から、がんウイルスが発見され、ウイルスによる発がんという考えが生まれた。がんの感染説である。続いてウサギの耳にコールタールを繰り返し塗ることによって、がんを実験的に初めてつくりだすことに成功し、化学物質による発がんという考えが生まれた。がんの化学刺激説である。空気中に飛散したアスベストによる中皮腫は、皆さんの記憶に新しいことと思う。がんの環境説である。このように、病気の原因として、環境の重要性が少しずつ理解されてきた。大切なことは、古代インドの「盲人と像」のたとえのように、これらの説すべてを統合してはじめて、発がん過程が正しく理解できる、ということである。そして、こうした科学史における認識の系統発生を特徴づける「内」→「間」→「超」の発展過程が、進化過程と相同なのではないか、と私は考えている。



本庶佑（1984）は、免疫系と並んで外界認識系として重要な役割を担う神経系、さらには発生系においても、ダーウィンの変異と選択に基づく選択説が働いているのではないかと、という魅力的な仮説を提唱した。その根拠の1つとして、発生過程に見られる細胞死をあげている。実際に、細胞死は、神経、肺、心臓、四肢や軟骨と広範囲にわたっており、選択説を考える上での有力な証拠のように思われる。

G.エーデルマン（1987）は、神経系を神経細胞集団における1）発生レベルでの細胞死を伴う選択と2）経験や学習レベルでのシナプス強度の増幅を伴う選択の総体として、神経細胞群選択説を提唱した。

ここでも、神経系に対してそれぞれ独立に選択説が提唱されたこと、しかも、本庶もエーデルマンも免疫系研究者としてクローン選択説を十分に踏まえて、同じような形式の理論を再び提唱したことに注目したい。

1996年、私はアルツハイマー病やプリオン病に代表される神経変性疾患の理論として、細胞内分子選択説を提唱した（Murase, 1996）。それまでの免疫系、発生系、神経系における細胞レベルの選択説とは異なり、神経細胞という長寿命細胞の内部における分子代謝反応系に対する拮抗阻害性を新たに獲得していく分子沈着過程に着目している点が、この理論の大きな特徴である。

選択説が個体レベル、細胞レベル、そして分子レベルでそれぞれ独立に提唱されてきた科学史を眺めてみると、認識の系統発生に統一性が見て取れる。対象が生物種、細胞種、あるいは分子種を問わず、外的には一見バラバラに点状にしているかに思われる存在が、内的には相互の関連性によって1つの全体として捉えられるのである。つまり、新理論提唱に伴って認識が深まっていくプロセスに対してメタ認識を試みてみると、「外」に開いた構造から「内」に閉じた構造への相転移として表現できるのである。

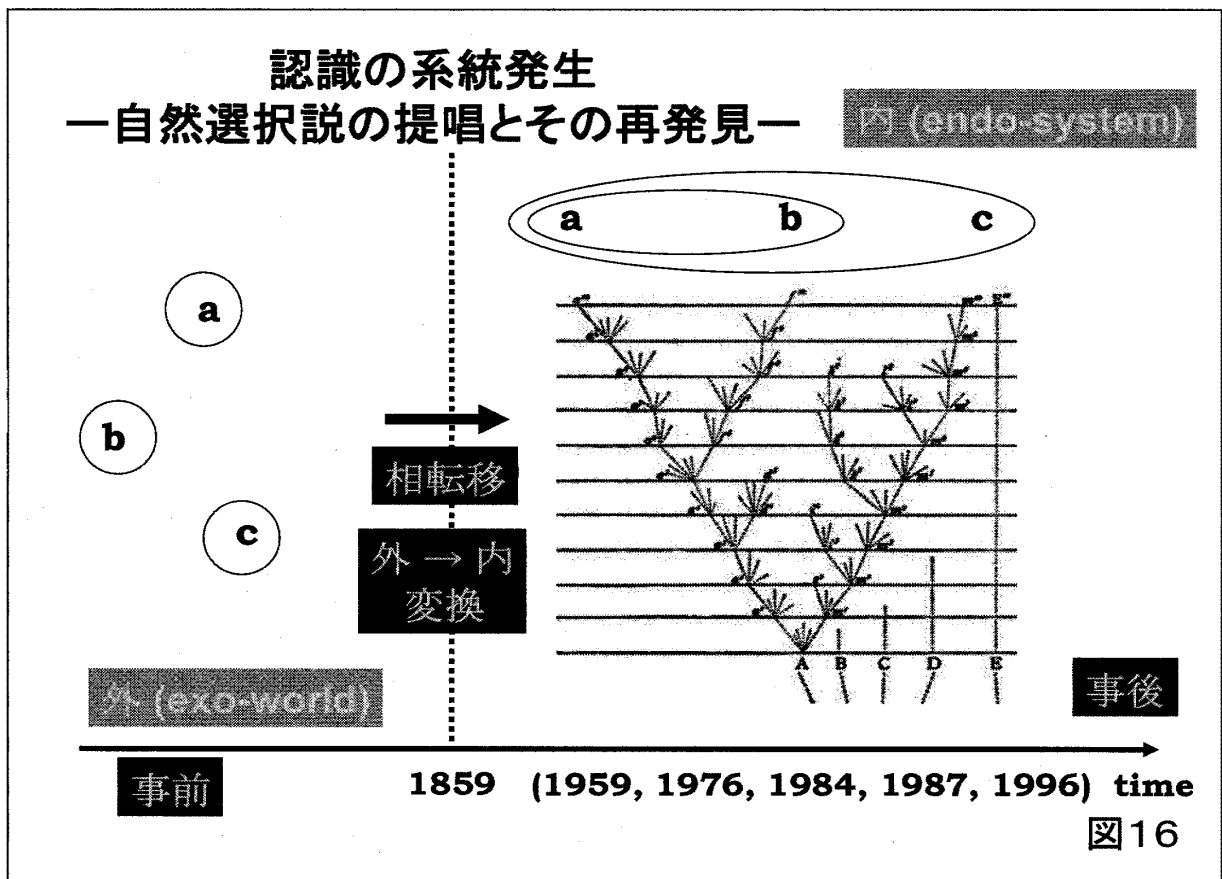


図16の右上に描いてあるベン図は、図12の曼荼羅と同型である。なぜなら、曼荼羅で、2つの対立する単位の方のみを入れ子的に描いていくと、この種のベン図が構成できるからである。こうした共通性は、以下でもしばしば強調することになる。

5. 構成的認識の理論と実践

－発生的認識論・進化論的認識論・原型論の統合－

5-1. 理論の概説

発達心理学者のピアジェは、子どもの発達過程に着目して、いわゆる「**発生的認識論**」を提唱した。それによると、子どもは、ある種の臨界期を越えると、不完全な対象から、完全な理論を構築することができるようになる、という結論に到達した。

動物行動学者のローレンツは、人間の「認識」という特殊な機能を解明するためには、人間の他の器官と同じように、系統発生（すなわち進化）に基づいた理解が欠かせないことを主張した。こうした主張は、のちにリードルらによって「**進化論的認識論**」として提唱されるようになった。

精神病理学者のユングは、神話の分析や精神疾患の治療を通して、人類には、人種や時代に左右されない共通な無意識構造、いわゆる集合的無意識が存在するという「**原型論**」を提唱した。この集合的無意識というのは、心の生得的な形式を規定しており、時代背景や断片的な知識に応じてその内容は規定されると考えた。

私は、この3つの理論を統合した、「**構成的認識論**」を構想しようと思う。

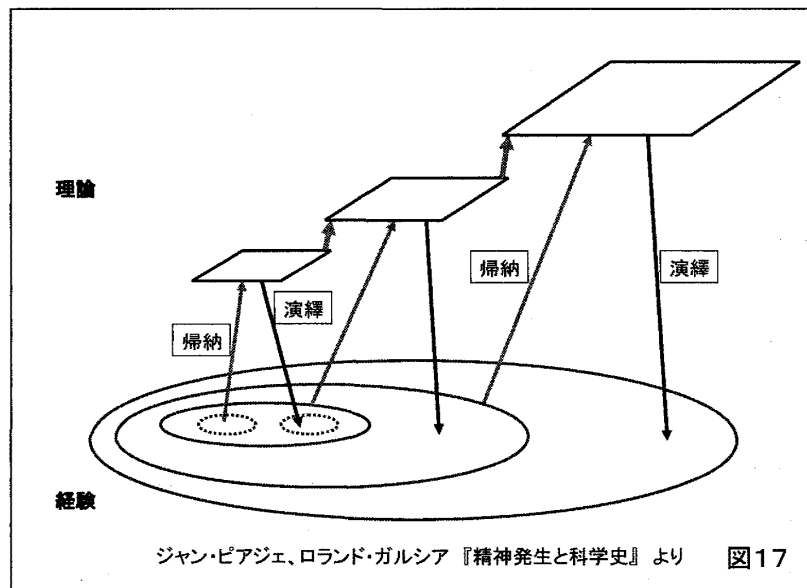
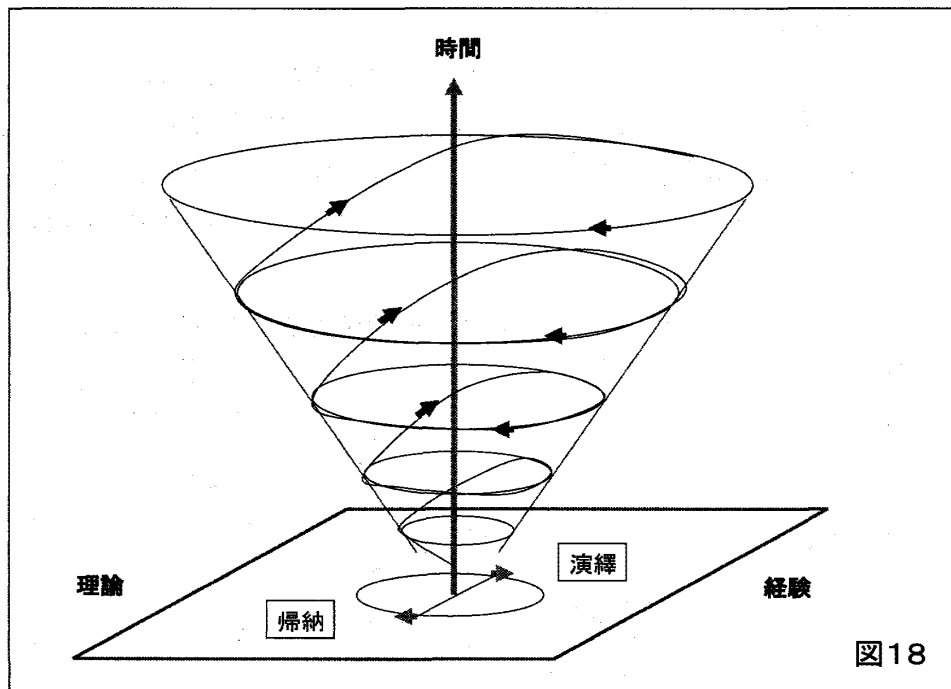


図17は、ピアジェ、ガルシアの理論構築図である。この図では、時間の発展（図では、左から右へと移行する）とともに、経験領域は拡大されていき、それに伴って理論も発展する。図17の下に描かれているベン図は、図16と同型である。

5-2. ピアジェによる「内」→「間」→「超」の発展原理

ピアジェは、個人による認識の発達過程においても、科学史に見られる人類による認識の発達過程においても、同一の発展原理—すなわち、対象「内」分析 → 対象「間」比較 → 「超」対象へ向う発展の一般原理—が存在することを指摘した。ここで、「超」対象とは、メタ対象と同義である。実際に、図17のベン図が発展していく図式からもわかるとおり、経験領域が大きくなるにつれて理論はますます高次化する。

この図を、90度左回りに回転すると、図18のようならせん構造図が得られる。ここで、理論—経験 は、客体—主体、環境—生体などと置き換えることが可能である。その意味は、こうした循環がより原始的な状態から発展するとした進化論的認識論の骨子となっている。

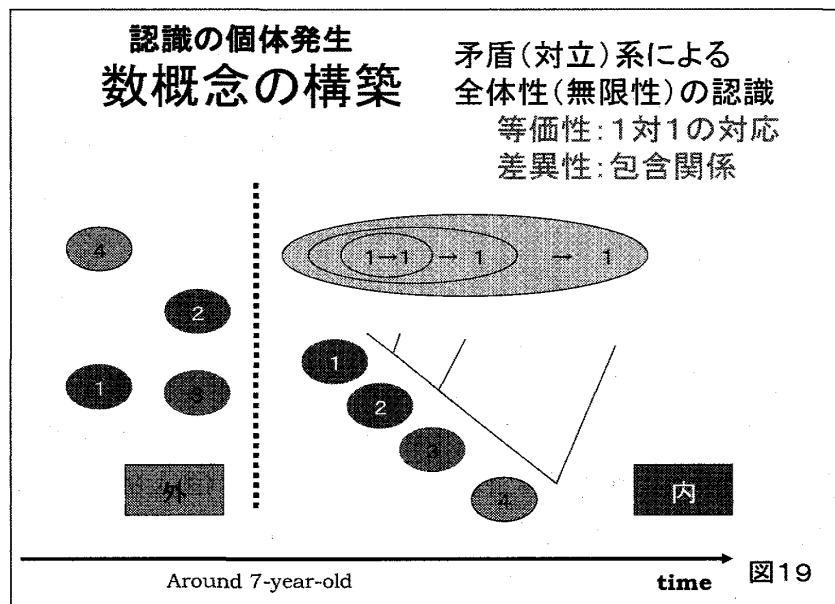


不完全な1次情報から、完全な理論が構成されるプロセスが、対象「内」分析 → 対象「間」比較 → 「超」対象へ向う発展過程である。このとき、与えられた対象「内」の情報を超えた、新しい情報の生成が必要となる。その新たな情報の起源を対象（環境）に求めるのではなく、主体の脳や心（主体）に求めたのが、ユングであり、言語に関して同様の議論を展開したのが、生成文法で知られるノーム・チョムスキー（1963、2003、2004）である⁸。

⁸ このように指摘留守と、遺伝に基づく生得説に力点を置いているような印象を与えるかもしれない。しかし、そうではなく遺伝も環境もどちらも重要である、という後成説（プランバーク、2006）の立場に近いことは、図18に循環過程として明示した通りである。

5-3. 概念の構築

一方、視点を認識の個体発生に移してみよう。発達心理学者ジャン・ピアジェ（1952）によると、数概念ができあがるには平均7～8歳の臨界期を超える必要があるという。それ以前の子どもは、1歳から6歳までの間に毎年1つつ新しい数を習得する。ところが、7～8歳の臨界期を過ぎると、新しい数そのものを習得するのではなく、数を作り上げる操作が習得される。数概念を構成するのに必要な操作とは、1）等価性、すなわち1対1の対応づけ（見かけの相違にかかわらずに保存される関係）、および2）差異性、すなわち単位の単純な反復（ $1 + 1 = 2$ 、 $2 + 1 = 3$ 、・・・）に基づく入れ子構造化による包含関係である。

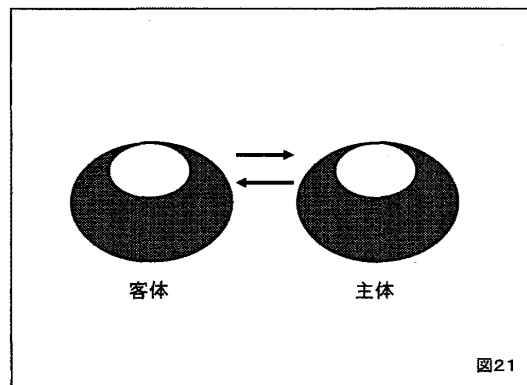
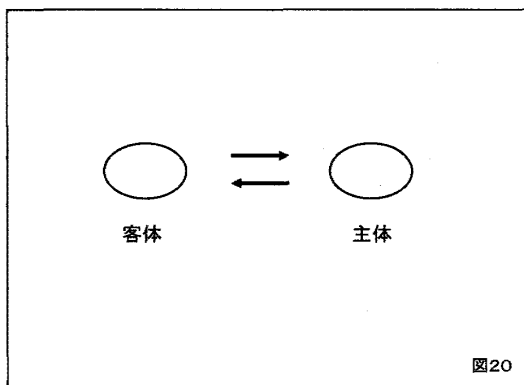


この等価性と差異性からなる有限の操作によって、無限の自然数が構成できるという点は、ダーウィンが自然選択説を提唱する際に、有限の操作として遺伝的変異—すなわち、遺伝による保存性と突然変異による差異性—に着目することによって、無限とも思える生物種の多様性を再構成できることに気づいた点と相同の関係にある。

実際に、認識の個体発生として見られる子どもの数概念の構築をスケッチすると、図19のように図式化できる。7～8歳の臨界期以前には、外的世界にバラバラに存在していた数が、臨界期以後に、包含関係によって1つの全体として内的構造化が起こると考えることができる。そのメタ認識は、先に指摘したように「外」に開いた構造から「内」に閉じた構造への相転移として捉えられる。

5-4. ユングの集合的無意識、チョムスキーの生成文法、そして環境汚染

人間には、「集合的無意識」という生得的な心的構造がある。このようなイメージ形式には、内容はない。しかし、私たちが具体的な経験に出会うことによって、はじめてイメージとして意識される。つまり、どのような内容がイメージ形式から出来上がるかは、その時々時代精神に左右されるばかりでなく、どのような素材に慣れ親しむかにも依存する。そのため、はじめはイメージがあることさえ気づかない。科学的発見がなされるのということ、こうしたプロセスの結果として新たな構造化が生じるということである。



これまでは、図20のように、客体と主体は単純な構造として考えられてきた。しかし、主体と一言に言っても、意識できるレベルと意識できない無意識レベルがある。しかも、無意識にはフロイトの言う個人的無意識とユングの言う集合的無意識がある。客体においても、意識できる対象と意識に上らない背景的な対象がある、という事実注目しておく必要がある。そこで、重要なことは、図21のように、客体にしる、主体にしる、階層構造が存在しているという点である。新しい情報は、そうした階層性からもたらされるという視点を忘れてはならない。

工学者の鈴木良次（1993）は「生物的自律性」という論考の中で、拘束条件を創出する仕掛けがあれば、従来の機械とは異なる‘自律的’な機械が可能であると述べている。その創出の仕掛けとして、鈴木は階層化された上位の拘束条件の必要性を指摘している。私が特に注目するのは、工学者の鈴木が心理学者であるユングの集合的無意識に言及している最後のくだりである。

つまり、われわれの行動は未熟なうちは意識的に行われている。ところが、習熟の度合いが高まるにつれて無意識的に行われるようになる。こうした個人レベルでよく体験されることが、集団レベルでも起こるとすれば、上位の拘束条件が無意識レベルに組み込まれた、と考えられるのではないだろうか。この

集合的無意識に相当する仕組みが組み込まれれば、機械は生物的自律性を獲得するであろう、という主張である。

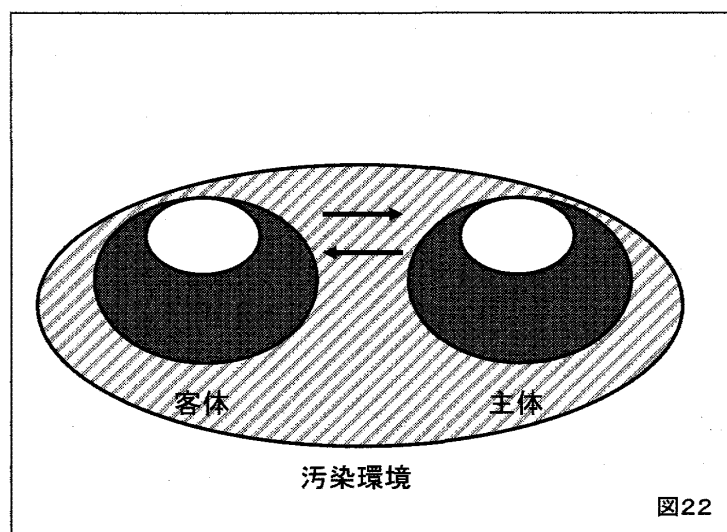
哲学者の市川浩（1993）は、「自律性」ではなく「自由」という言葉を用いて論考している。市川が指摘するのは、例えば、しゃべるときにはしゃべろうとする内容を考えるだけで十分で、舌の動きまで細かくコントロールしているわけではない。このコントロール不要によって、意識レベルは「自由」を獲得していることになる。しかし、その反面、完全にコントロールできないということに、心身分離の危機が潜んでいることになる。

意識がこうした自由を獲得する過程を、心理学の立場から論考したのが、ユング（1939）である。ユングが主張するのは、意識の一面性である。この特性は、意識それ自体の特性による。したがって、どんな意識も、同時に起こっている多くの表象の中から、ほんのわずかなものしか心にとどめることはできない。それ以外のすべての表象は陰に退くことになる。これが、心の分裂の危機となるというのである。

村瀬（2004、2005、2006）は、現代の汚染環境による認識不良の問題を取り上げている。認知科学では、「すべての人間の認知プロセスは、‘環境’によらずに基本的にみな同じである」という前提が置かれてきた（ニスベット、2003）。もし、この前提が間違っているとしたら？ 同じ対象を見ていても同じように知覚されず、私たちの世界認識の普遍性に対するこれまでの常識が一変してしまうのではないだろうか。‘環境’として、内部環境、外部環境、およびそれらの組み合わせが考えられる。図22に模式化したように、人工物による環境汚染とその認識過程への影響という現代的問題は、ユングの集合的無意識による認識過程への影響に匹敵する大問題である、と私は考えている⁹。

⁹ 『生物から見た世界』の著者、生物学者のフォン・ユクスキュルが、次のことを明らかにした。「多種多様な生物が存在するように、それぞれの生物が認識し生活できる環境も多種多様に存在する」ということを。例えば、ハチは私たちが見ている可視光に加えて、紫外線まで知覚することができる。クサカゲロウは、ヒトには聴くことのできない超音波で鳴き交わし、交尾相手を探す。ヘビは動物から出ている赤外線、つまり熱線を感じ取る。そのため、暗闇でも獲物を見つけることができる。ある種の電気魚は、10Hz 程の電磁波を使って獲物を探す。このように、多種多様な生物が生きている環境、認識できる環境は、それぞれ異なる。

『世界観の心理学』を著した、精神病理学者のカール・ヤスパーは、多様な生物が異なる環境に生きているように、人間ひとりひとりも異なる環境を認識して生きているという結論に行き着いた。つまり、個別性の心理学が必要なのである。この個別性の心理学は、心理学者のカール・ユングの『タイプ論』にはじり、膨大な著作によって集大成された。



5-5. 構造主義再考

言語学に関して、チョムスキー以前の言語学に代表される構造主義言語学とチョムスキーの立場をそれぞれ概観しておきたい。従来までの言語観は、人間の「外」に存在する客体としての言語（Externalized 言語）を信じて疑わなかった。この「直接観察可能」な言語現象に対象を絞った構造主義言語学は、音韻現象を中心とする分類学的記述に終始し、その結果、一種の閉塞状態に陥って学問的命運がつきてしまった（福井、辻子、2003）。

生成文法では、「言語」（Internalized 言語）という概念を、一貫して人間が心や脳の「内」にもっている言語能力という意味で捉えている。つまり、「言語」とは人間を離れては存在せず、「言語の本質」とは、あくまでも人間の心や脳の「内」にこそ存在する。その意味では、言語の研究は人間の脳の研究に他ならないといえる。この考えのもとに、チョムスキーは数概念の構築にも言及している。チョムスキーによると、数概念の構築機能は、言語機能の副産物ではないかという。実際に、文の長さは無限に長くできるし、言語の方が数よりも古くかつ普遍的に使用されているようである。したがって、数概念の構築にも、言語の習得と同様に、生得的機能が働いていると考えたのである。

構造主義では、主体をはなれて外的に存在する客体の実在性を前提とし、その対象に対する構造分析を進めていた。図23に示しているように、この場合は2つの最基底構造から、対立的な背反分岐、非対立的な非背反分岐、および収斂の操作を繰り返すことによって、構造の構築が可能となる。

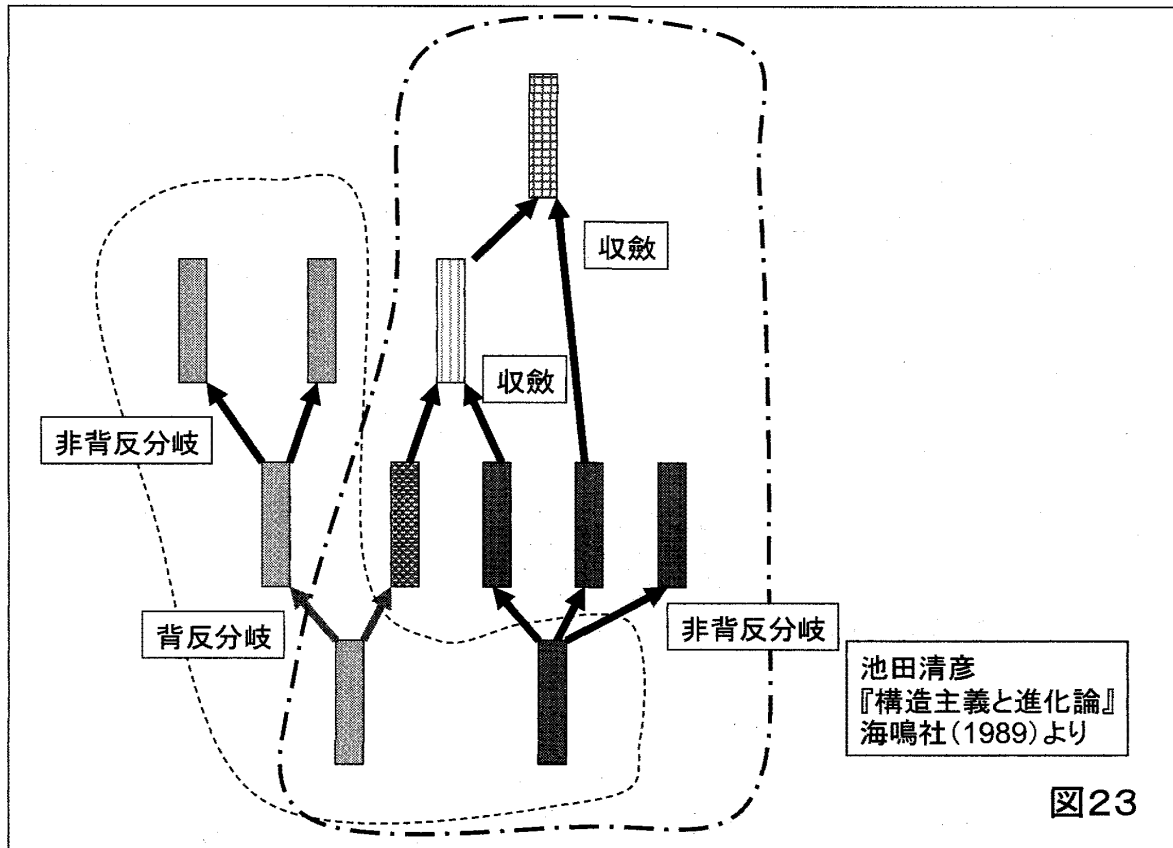
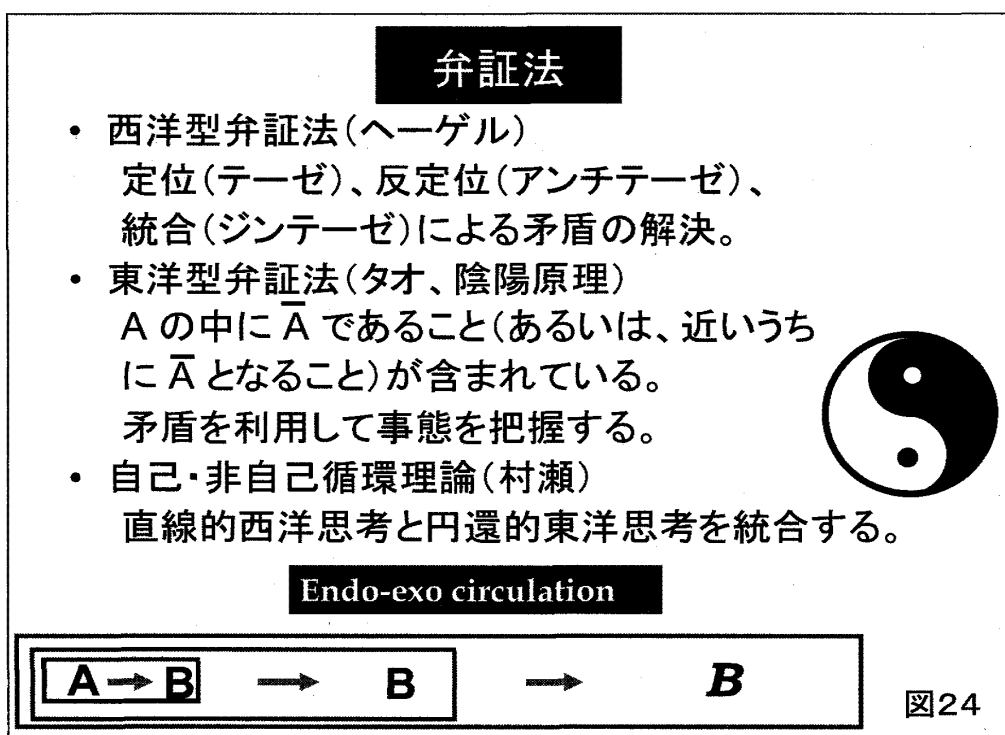


図23

確かに、主体を離れて、客体として独立した構造を分析する限り、客観主義の限界を超えることはできない。客観主義とは、一方から他方を再構成できるという立場である。しかし、最基底構造として、全く異質な2つを前提とするとうどうであろうか。一方は主体的なもの、他方は客体的なものを考えてみる。すると、構造主義の立場をさらに有効に発展することが可能なのではないだろうか。つまり、理論生物学者の郡司幸夫(2002、2003)が指摘しているように、2つの齟齬から何かが発生する。それをを用いて、生命にアプローチ可能となるのではないか。私が提唱している自己・非自己循環理論(2000)も、こうした主張と同型である。

5-6. 弁証法再考

このように眺めてくると、従来までのヘーゲルの弁証法と私の主張する自己・非自己循環理論とは、どのような点で異なるのか、という疑問がわいてくる。その答えは、図24に概説しているとおりでである。一言でいうならば、西洋型弁証法では矛盾対立を前提とするが、最終的には矛盾対立の解消—すなわち、矛盾対立する二項のどちらかに一面化—することが目標とされている。ピアジェの発生的認識論においても、主体と客体の混沌とした状況を前提とするが、最終的には客体側に一面化するプロセスが強調されている。



これに対して、東洋型弁証法というのは、矛盾の解消を目標とはせず、逆に矛盾を利用して事態を把握することを目標としている。禅問答で、あらゆる言論がことごとく論破されてしまう。その理由は、矛盾のない論理そのものを根本から打破したところから、再出発することを身をもって納得する必要があるからである。禅については、参考資料を参照していただきたい。

私の立場は、西洋型弁証法に一面化することでもなく、また逆に東洋型弁証法に一面化することでもない。その両者を統合してこそ、自然現象の把握とその伝達が可能となる。どちらの方法にも、利点と欠点がある。両者をともに駆使することによって、はじめて自然の神秘が理解できるようになるのではないだろうか。

6. 自己・非自己循環過程としての進化 —開いた過程と閉じた過程の循環—

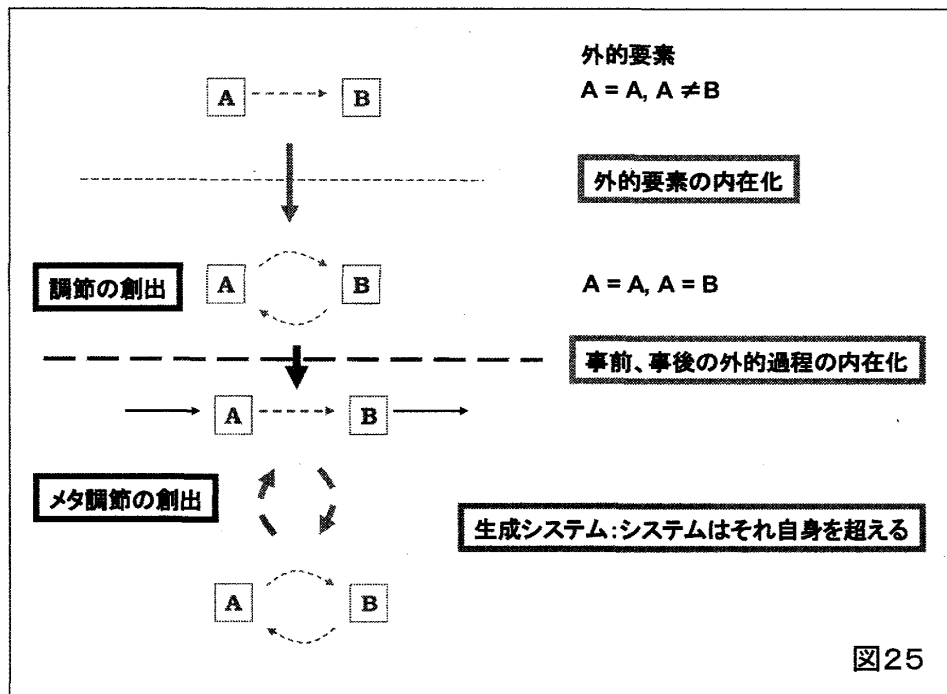


図25示したような、はじめにAがBに変化するという過程だけを考える。 $A \rightarrow B$ で表示した過程は、フィードバックがなく「外」に開いた過程である。つぎに、 $A \Leftrightarrow B$ といったフィードバックのある「内」に閉じた過程を考える。生体では、空間的部域差があるために、AがBに変化する一方で、逆にBがAに変化している。こんどは、 $A \rightarrow B$ から $A \Leftrightarrow B$ の変化の過程を考える。以下、同じ過程を繰り返していくことによって、高次構造が構成される。

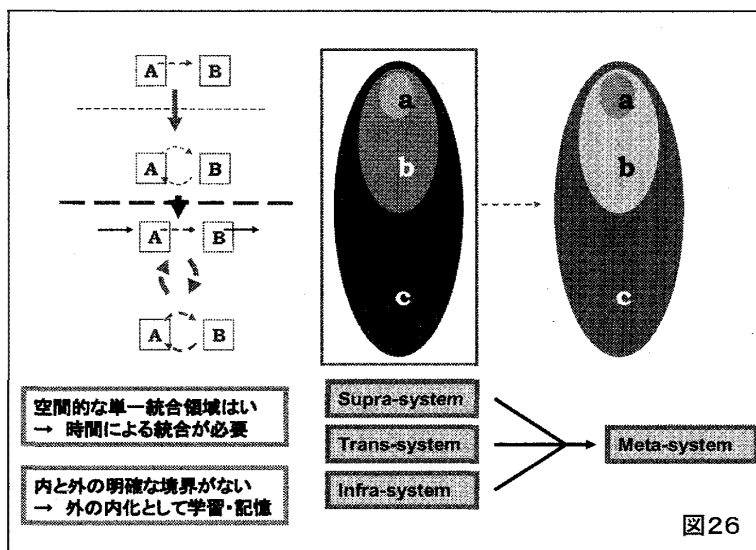
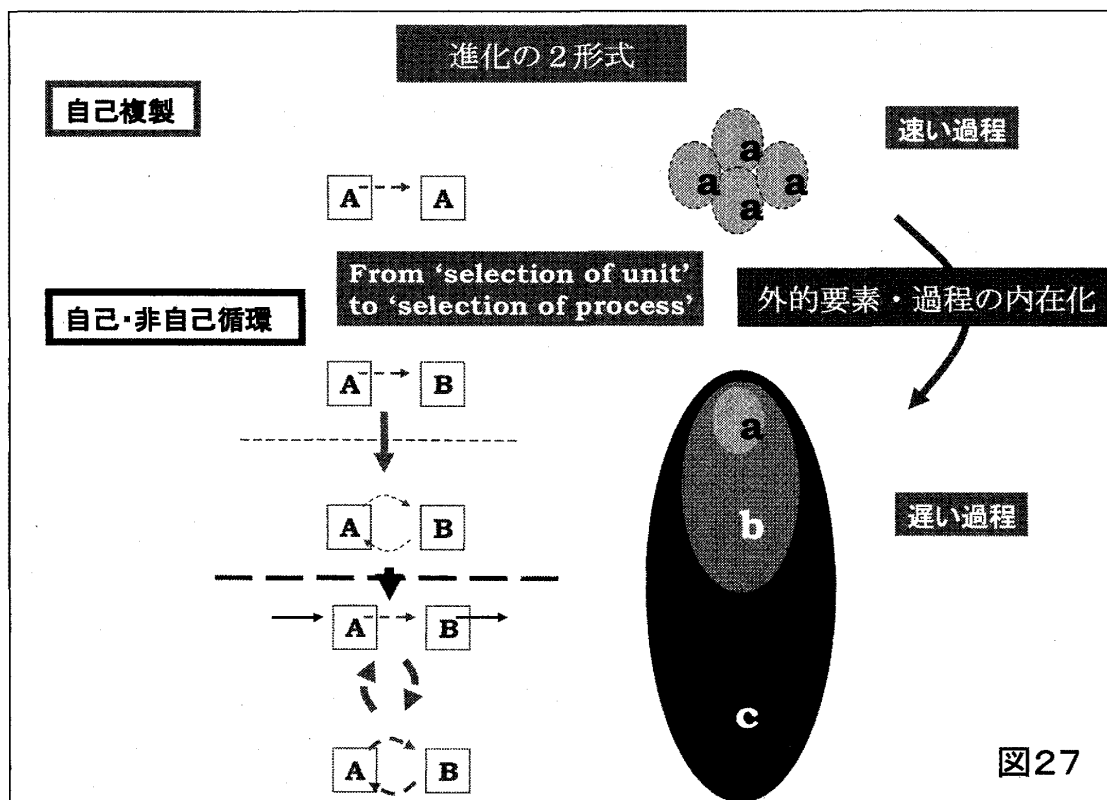


図 26 に表示したように、過程から過程が作られる過程は、どこまでも続く。要素としては、AとBしかないにもかかわらず、この過程から過程への構成原理は無限の連鎖を生み出さう。この構造図は、図 16、17、19 に示したベン図と同型である。ヴァレラ（2001）も指摘しているように、この構成原理は、局所的にも全体的にも等しく成立している。それは、二者択一を越えながら、過去の構造に条件付けられつつ、生成を繰り返す過程の連鎖となる。



さて、いよいよ「進化とは何か？」という問題の核心に迫ろう。図 27 に示したように、進化には2形式がある。1つは、自己複製という増殖過程における変異と選択の過程である。これは、ダーウィンの自然選択過程である。そして、もう1つが、「外」なる要素・過程を「内」へと内在化する自己・非自己循環過程である。両者の相違は、構成される構造の相違から明白である（図 27 右上と右下）。一方は単細胞バクテリア的で、他方は多細胞生物的である。後者の特徴として、部分 a と生体個体 c の関係は、単細胞バクテリアと多細胞生物の関係として捉えられる点である。

認識にも、対象認識とメタ認識の2次元があることを、すでに指摘した。進化の2形式というのは、認識の2次元と対応している。要するに、「生命とは何か？」、「認識とは何か？」、「進化とは何か？」というあらゆる疑問に対して、私は自己・非自己循環過程と統一的に答えたい。

7. おわりに

神経ネットワークには、可塑性がある。そのために、経験そのものが、ネットワークに刻印され、それが新たな経験となって過程の連鎖がはてしなく構成される。その新たな経験は、意識の領域をすり抜けて、無意識の領域にもおよぶようになる。鈴木良次が述べたように、これは新たな拘束条件の成立に他ならない。

しかし、その効果には両面性が必ず存在することを、忘れてはならない。一方では、それは学習として生物機能に不可欠な過程である。ところが、他方では、それはトラウマの形成を促し、精神ばかりでなく身体へ、さらには生物自体の運命にまで影響を及ぼしかねない。

「心と体」については、特に複雑な関係がある。痛みを具体例として論考すると、これまでは、痛みは体のどこかで生まれるもので、脳や心で生まれるものではない、と考えられてきた。体こそ痛みの発生源であり、脳はその信号をただ受動的に受け取るだけだ、という考えである。しかし、現在では、脳は体から発せられた信号を単に受動的に受け取るのではなく、逆に痛みの情報を発信したり調整したり、能動的に痛みの発生過程に関与していることが分かってきた。

極端な例をあげると、痛む足を切断した後でも、ないはずの足の痛みが続くことがある。幻肢痛と呼ばれる現象である。この場合は、痛みのきっかけとなった外的要因がなくなっても、慢性の症状が永久に続く。その意味では、ある種の記憶と言える。「心と体」を二元論的に分けて考えているかぎり、環境因子の影響は身体に同じように起こると考えてしまう。しかし、「心と体」を一元論的にとらえなおすと、いままで見落としてきた心の次元を取り込むことによって、環境因子の影響は身体には必ずしも同じように起こらず、一見矛盾した状況が生じることになる、という新たなものの見方が成立する。

さらに、「心と体」を一元論的にとらえることで、先に指摘したような脳が痛みを作り出す現象とは、まったく逆の現象—つまり、身体が心の状態をつくり出す—という現象も理解できることを以下のように説明できる。

実際に、私たちがストレスにさらされると、脳からある種のホルモンが放出される。このホルモンは血流にのって身体の臓器の1つである副腎皮質に運ばれ、それを刺激する。すると、今度は逆に、副腎皮質から脳の活動を抑制するホルモンが放出され、やはり血液を介して脳に運ばれ、脳の反応性を抑制する。こうした制御回路を、フィードバックループと呼ぶ。このフィードバックループが、適宜、働いたり働かなかったりすると、私たちは環境に適応したり、不適応になったりする。これが、ハンス・セリエが提唱した汎適応症候群という

概念である。

たとえば、副腎皮質の機能が低下すると、脳への抑制シグナルが働かず、脳はますます盛んに活動する。そうすると、それまでは何でもない環境因子—例えば、化学物質など—に過敏に反応するようになる。逆に、副腎皮質の機能が亢進すると、脳の活動が必要以上に抑制される。その結果、感覚機能の低下やうつ症状に陥る。身体の臓器1つの機能次第で、心の状態がいとも簡単に変わる。風邪をひいて味覚がいつもと違うな、と思った経験が、みなさんもあるように、身体の機能の変化は、さまざまな知覚を変えてしまうのである。

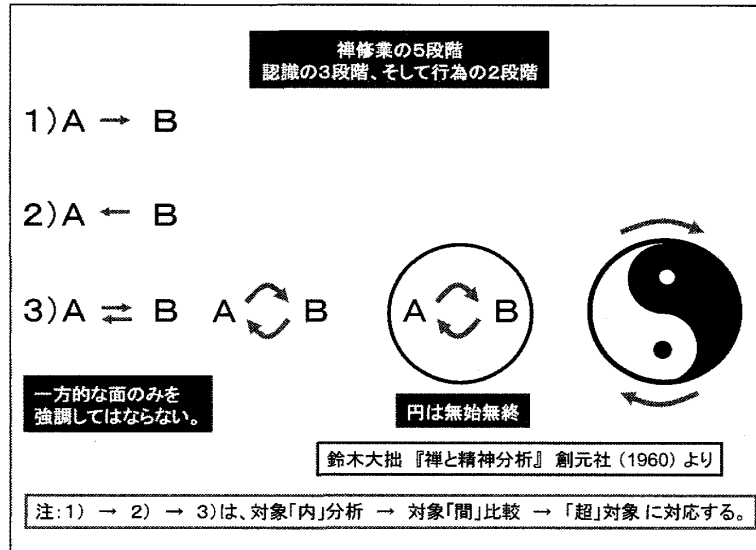
ランナーズハイという言葉は、運動すると気分が良いという意味である。こうした経験をもつ読者も多いことと思う。そのメカニズムとして、運動によって脳によるセロトニン分泌量がふえることが分かってきた。セロトニンは、他のニューロンをうまく調整するホルモンである。そのために、気分が良いと感じられる。

サル集団には、セロトニンの分泌量が少ない個体は何頭かいる。その個体は、外敵からの危険や餌場のありかといった好機に対する感受性が高い。そのため、サル集団が全体として存続するのに有利に働いていると考えられている。それぞれが異なっているというこうした個別性こそが、集団の利益といえる。

このように、私たちが見落としてきた次元の中にさまざまな要因があるために、ある人には環境の影響が顕著に認められなくても、別の人にはその影響が現れるという事態となる。つまり、現象を全体として眺めてみない限り、その現象を捉えられないばかりか、問題の本質がわからなくなってしまう。

このように眺めてくると、顕在化した問題ばかりでなく、潜在的な問題にも目を向ける必要がある。その意味では、脳科学は、意識レベルを超えて無意識レベルへと積極的に展開していくことが、これからますます必要となるのではないだろうか。

参考資料



禅修業の五位

- 1) **正中偏**：一即多、多の中の一、つまり、一が多の中にあるから、多を多として語れる。（正と偏は易学の陰と陽のごとく両極）。
- 2) **偏中正**：多即一、一が多の中にあれば、多もまた一の中にある。多は一を一たらしめるもの。
- 3) **正中来**：‘正中’は、それ以前の位の‘正’とは異なる。抽象的な言葉が、肉体を帯びるようになる。抽象的な教理が一人の人間へと転じ、ありとあらゆる仕事に従事するようになる。「私」という矛盾的自己同一が、一体として出現する。一すなわち神は、多すなわち差別の世界の「外」に存在せず、両者は区別できずに一つであって、しかもそれぞれの個性を失っていない。ここで、動かずして動く真の「自己」が出現。それは、「外」に見える‘おのれ’ではなく、「内」に輝く‘いのち’。そこには、なんらの不安（すべてを知っていないという不安）もない。**転移の場**である。
- 4) **兼中至**：兼とは二つながらの意味である。上記に続いて、プロセスが見えてくる。この混沌の世界に入るのが「私」なのだ。この「私」は、有限であって無限、移ろい行くものであって永遠、限定されていて自在、相対であって絶対。禅者は自己の所証を実地の現実のまっただなかにその力を最高度に発揮する。
- 5) **兼中到**：到は行為の完結。禅者は目的地に達する。しかし、目的地といっても、実は陰もない無目的の地である。禅者の**外面**については言うべきこともなく、また意味もない。**内面**の生活に没頭し去っている。

禅の教えとは、自己は自己の自覚を、他者を助けその人の自覚を促す。

正：絶対、無限、一、神、暗（未分化）、平等、理

偏：相対、有限、多、世界、明（分化）、差別、個物

文献

- F. アンセルメ、P. マジストレッティ (2004)『脳と無意識－ニューロンと可塑性』青土社 2006 年
- 市川 浩 『<身>の構造－身体論を超えて－』講談社学術文庫 (1993)
- G. M. エーデルマン『脳から心へ－心の進化の生物学－』(金子隆芳 訳)新曜社 (1995)
- G. M. Edelman “Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection” Basic Books (1987)
- A. オリヴェリオ『メタ認知的アプローチによる学ぶ技術』(川本英明 訳)創元社 (2005)
- J. Cairns “Mutation selection and the natural history of cancer” *Nature* **255**, 197-200, 1975
- Kauffman, S. A. “The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution” Oxford University Press 1993
- 郡司幸夫 『生成する生命－生命理論 I』哲学書房 2002
- 郡司幸夫 『私の意識とは何か－生命理論 II』哲学書房 2003
- L. Keller “*Levels of Selection in Evolution*” Princeton University Press (1999)
- M. バーネット『免疫理論－獲得免疫に関するクローン選択説－』(山本 正、大谷杉士、小高 健 訳)岩波書店
- 本庶 佑『生体の多様性発現における選択説 I』科学 54, 324-331 (1894)
- 本庶 佑『生体の多様性発現における選択説 II』科学 54, 495-502 (1894)
- E. H. レネバーグ (1967)『言語の生物学的基礎』大修館書店 1974 年
- K. ローレンツ (1973)『鏡の背面－人間的認識の自然史的考察』(谷口 茂 訳)思索社 1974 年
- 中村 英樹 『生体から飛翔するアート－21 世紀の《間知覚的メタ・セルフ》へー』水声社 (2006)
- R. ニスベット 『木を見る西洋人 森を見る東洋人－思考の違いはいかにして生まれるか』(村本由紀子 訳)ダイヤモンド社 2004 年
- ニューバーグ、E. ダギリ、V. ローズ 『脳はいかにして<神>を見るか－宗教体験のブレイン・サイエンス』PHP 研究所 2003 年
- G. ミラー 『ことばの科学－単語の形成と機能－』東京化学同人 (1997)
- M. Murase “*The Dynamics of Cellular Motility*” John Wiley & Sons (1992)
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/49123>
- M. Murase “Alzheimer’s Disease as Subcellular ‘Cancer’ – The Scale Invariant Principles Underlying the Mechanisms of Aging” *Prog.*

- Theor. Phys.* **95**, 1-36 (1996).
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/48880>
- M. Murase, Endo-exo circulation as a paradigm of life: towards a new synthesis of Eastern philosophy and Western science, pp. 1-10, in Murase, M. and Tsuda, I. Eds., What is Life? The Next 100 Years of Yukawa's Dream, *Progress of Theoretical Physics, Supplement* **173**, 2008.
- M. Murase, Environmental pollution and health: an interdisciplinary study of the bioeffects of electromagnetic fields, *SNSAI, An Environmental Journal for the Global Community, No.3*, 1-35 (2008).
- M. Murase, The origin and evolution of life by means of endo-exo (or self-nonself) circulation, *Viva Origino* (2010) in press
- 村瀬 雅俊 『歴史としての生命 — 自己・非自己循環理論の構築 —』
 京都大学学術出版会 2000 年
- 村瀬 雅俊 「こころの老化としての‘分裂病’ — 創造性と破壊性の起源と進化 —」『講座・生命 Vol. 5』河合出版 230-268 (2001)
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/48889>
- 村瀬 雅俊 「電磁波と生体への影響 — 作用機序解明をめざす統合生命科学 —」
 科学・社会・人間 88、37-51、2004
<http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/48881>
- 村瀬 雅俊 (編著) 『電磁波と生体への影響』物性研究 82-1、45-192、2004
<http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~busseied/online/2003-em-contents.html>
- 村瀬 雅俊 (編著) 『電磁波と生体への影響 — 作用機序の解明に向けて —』
 物性研究 84-2、223-362、2005
- 村瀬 雅俊 (編著) 『電磁波と生体への影響 — 分子機構と総合評価の検討 —』
 物性研究 86-5、621-730、2006
- P.C.Nowell “The clonal evolution of tumor cell populations: acquired genetic ability permits stepwise selection of variant sublines and underlies tumor progression. *Science* **194**, 23-28, 1976
- J. ピアジェ 『発生的認識論』(滝沢武久 訳) 文庫クセジュ 1972 年
- J. ピアジェ (1952) 『知能の心理学』(波多野完治、滝沢武久 訳) みすず書房 1960 年
- Pollack, G. “Cells, Gels and the Engines of Life: A New, Unifying Approach to Cell Function” Ebner & Sons, 2001
- Pollack, G. “Phase Transitions in Cell Biology” Springer 2010
- 鈴木良次 「生物の自律性」『岩波講座 宗教と科学 6 生命と科学』(編集委員

- 河合隼雄、清水博、谷 泰、中村雄二郎) 242-267、1993 年
ノーム・チョムスキー『生成文法の企て』(福井直樹、辻子美保子 訳)
岩波書店 (インタビュー集) 2003 年
ノーム・チョムスキー『言語と認知ー心的存在としての言語ー』(加藤泰彦、加
藤ナツ子 訳) 秀英書房 (日本での講演録) 2004 年
ノーム・チョムスキー『文法の構造』(勇 康雄 訳) 研究者 1963 年
C.G.ユング (1939)「禅の瞑想ー鈴木大拙によせてー」『東洋的瞑想の心理学』
湯浅泰雄、黒木幹夫 訳、創元社 (1983)
C.G.ユング (1921)『タイプ論』(林 道義 訳) みすず書房 1987 年
C.G.ユング (1936)『原型論』(林 道義 訳) 紀伊国屋書店 1999 年
C.G.ユング (1939)「禅の瞑想ー鈴木大拙によせてー」『東洋的瞑想の心理学』(湯
浅 泰雄、黒木幹夫 訳) 創元社 1983 年
C.G.ユング (1963) ユング自伝 1ー思い出・夢・思想ー(河合隼雄、藤縄 昭、
出井淑子 訳) 1972 年
C.G.ユング (1963) ユング自伝 2ー思い出・夢・思想ー(河合隼雄、藤縄 昭、
出井淑子 訳) 1973 年
C.G.ユング、W.パウリ (1955)『自然現象と心の構造ー非因果的連関の原理ー』
海鳴社 1976 年
F.ヴァレラ、E.トンプソン、E.ロッシュ『身体化された心ー仏教思想からのエ
ナクティブ・アプローチ』工作舎 2001 年
H.ワイル 『数学と自然科学の哲学』岩波書店 (1959)
湯川秀樹 (1949)『湯川秀樹著作集 1 学問について』(科学的思考について)
岩波書店 23-40、1989 年