

カオスと組織進化 (1)

長谷川 光 圀

1 カオスの発見と諸研究

ゆらぎをつうじての自己組織化ダイナミクスにおいて、核心部分を成すのは、カオス辺縁 (edge of chaos) とそこでの進化 (evolution) である。

まず、カオスについて、述べておこう。カオスに関する研究は、19世紀のイギリスの数学・物理学者ハミルトン (積分解の微小なずれを補正する解法¹⁾) やフランスの数学・物理学者ポアンカレ (3体問題で保存量不足により積分解が得られない非可積分系の提唱²⁾) に遡るが、決定的な影響力を持ったのは、アメリカの気象学者ローレンツ (1963年の方程式による比較的単純な系が無限に複雑なパターンに行き着く現象の数学的証明³⁾) であった。ちなみに日本の物理学者上田皖亮は1961年には電気回路でカオス現象を観測し、カオス概念は1975年にアメリカの数学者リーとヨークによって明確にされた⁴⁾。その後、カオスは生物学、社会学、そして経済学において、最近では経営学においても盛んに用いられるようになってきている⁵⁾。カオスには、2つ

- 1) <http://jiten.biglobe.jp/> [カオス理論]。19世紀における一般的非線形微分方程式の解法手段は、ハミルトン等の成果に代表される積分法による求解と微小なずれ (カオスの源) を補正する摂動法である。この積分法による解が得られる系を、リュウベールは可積分系と呼んだ。
- 2) Poincare, H., *Les Methodes Nouvelles de la Mecanique Celeste*, 1893, *La Science et l'hypothese*, 1902.
- 3) Lorenz, E.N., "Deterministic Nonperiodic Flow", *Journal of Atmospheric Sciences* Vol.20, 1963 pp.130~141.
- 4) 上田皖亮は、1961年に非線形常微分方程式を解析する電気回路で発生したカオスを物理現象として明らかにしていた。が、日本の学会では、注目されなかった。リーとヨークは、カオス研究を広く一般化させた。Li, T.Y, and J.A, Yorke, "Period Three Implies", *American Mathematical Monthly* Vol.82, 1975. p.986.
- 5) 塩沢由典, 『市場の秩序化/反均衡から複雑系へ』, 筑摩書房 1990年。西部忠編, 『進化経済学のフロンティア』, 日本評論社 1996年。ダイヤモンド編集部, 『複雑系の経済学』, ダイヤモンド社 1997年。出口弘, 『複雑系としての経済学/自律的エージェント集団の科学としての経済学を目指して』, 日科技連出版社 2000年。河合忠彦, 『複雑適応系リーダーシップ』, 有斐閣, 1999年。桶田宏昭編, 『複雑系の経営学』, 税務経理協会 1999年。高木晴夫監訳, 『複雑系の組織論』, ダイヤモンド社 2003年。

の意味がある。つまり、一つは、哲学的で全くの“混沌”を、もう一つは数学的で“決定論的システムがつくり出す非周期的振動”を表す。ここで言う決定論的システムとは、決定論の法則に支配される系であるという意味であり、非周期的振動というのは、専らランダムや不確定性に支配され、法則性のない予測不可能な非周期的振舞いという意味である。そこで、カオス研究の発展に決定的な影響力を持った3次元ローレンツ・モデルを見ておこう。気象学者ローレンツは、大気対流に見られるカオスの振舞いを数値的に研究するために時間に依存する変数 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $Z(t)$ について3次元の非線形常微分方程式を表した。この式は、その後ローレンツ・モデルと呼ばれるようになった。

$$\frac{d}{dt} X = -10(X - Y)$$

$$\frac{d}{dt} Y = -XZ + rX - Y$$

$$\frac{d}{dt} Z = XY - \frac{8}{3} Z$$

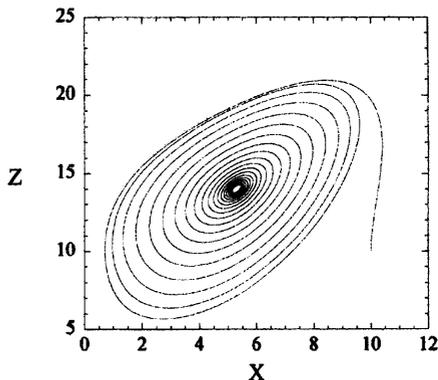
ここで、 X ：対流運動の強度に比例する変数、 Y ：上昇の流れと下降の流れの温度差に比例する変数、 Z ：垂直方向の温度の歪みに比例する変数である。

但し、藤淵知康の解析⁶⁾では、

これらの変数は位相空間上の変数として扱われる。

ローレンツ・モデルでは、パラメーター r の値によって解の振舞いが変化

第1図 周期的振舞い



出所：<http://hatano-lab.iis.u-tokyo.ac.jp/> 藤淵知康，「ローレンツモデルにおけるカオスの定量的解析」，7頁。

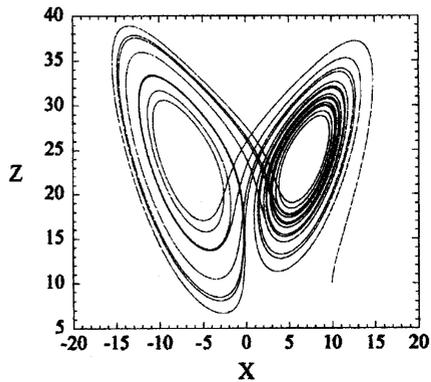
6) <http://hatano-lab.iis.u-tokyo.ac.jp/> 藤淵知康，「ローレンツモデルにおけるカオスの定量的解析」，彼の論文は、簡潔にして理解が容易である。この説明も、彼の論文に参考している。詳しくは、次の文献を参照。Lorenz, E.N., “Deterministic Nonperiodic Flow”, *op. cit.*, pp.130~141.

する。 $r < 24.74$ では、解は時間とともにある値に収束する(第1図を参照)。対して、 $24.74 < r < 145$ では、 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $Z(t)$ の解は非周期的振舞いを示す(第2図を参照)。さらに、初期値がわずかに異なる2つのケースの $X(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $Z(t)$ の解の時間変化について見てみる。非周期的振舞いをするカオス状態では、解の間の位置空間における距離の時間変化を計算すると、

指数関数的に増大していくことが観察される。これが、“バタフライ効果(effect of butterfly)”である。即ち、“北京で蝶が羽ばたくと、翌日のニューヨークでは嵐が起る”という逸話であるが、なぜ蝶なのかというと、図形が左右の大きな羽に見え、蝶の形に似ていたというところにある。

生命現象の原理を追求する生理学においても、カオスの研究は、一般的になりつつある。その研究のシナリオは、野崎大地と山本義春によれば、大まかに見て(1)単一ニューロンのレベルでは、カオスの存在が精度の高い実験で確認されているが、生体機能が働いた結果として発現する生体信号がカオス系であることを証明する研究段階、(2)カオスを生み出す系のダイナミクスについての詳細な解明を行う研究段階、そして(3)カオスが生体機能の働きにおいて果たす役割について研究する研究段階、に分けられると⁷⁾。また、目下の研究の主流は、(1)の研究段階にあるとしている⁸⁾。経済学においても、積極的にカオス理論を導入する試みがされている。例えば、カオス・モデルを用いて時系列の予測を行う研究、不均衡経済の分析にカオス理論を用いる研究、複数世代にまたがる経済動学の研究等。時永祥三は、い

第2図 カオスの振舞い



出所：<http://hatano-lab.iis.u-tokyo.ac.jp/> 藤瀬知康，「ローレンツモデルにおけるカオスの定量的解析」，7頁。

7) <http://www.p.u-tokyo.ac.jp/> 野崎大地，山本義春，「生理学とカオス」，4頁。

8) 野崎大地，山本義春，「前掲稿」，4頁。

う。カオス制御が必要とされる分野やその意義については、次のように整理される。不均衡経済モデルに見られるように、カオス的な状況の下で経済モデルに変動要因が含まれ、システムはいつまでたっても安定しない。しかし、課題として、ある経済政策をとることにより、不規則に変動する経済モデルから、安定した挙動へと移行させる方法を見いだす必要があったとする。例えば、混乱する市場や経済環境を、政府の政策で鎮静化するなどの例が考えられる。カオス制御により不動点に移行させるほかに、周期的な振動に対応するアトラクター (attractor) を目標とする場合もある。勿論、アトラクターにこのような周期振動が含まれている必要がある。周期振動へのシステムの移行は、経済動学では季節的な変動を許した上での経済の安定化等として解釈できるであろう⁹⁾。

然らば、カオスを生成する系、即ち複雑系 (system of complexity) とは何か。ここでは、グランスドルフとプリゴジンの散逸構造論 (dissipative structures) に着目しよう。というのは、散逸構造論は、生命の誕生や進化の問題に決定論的立場からアプローチできることを示唆しているからである。グランスドルフとプリゴジンは、先ず熱力学の科学反応系において散逸構造が自発的に形成される場合の3要件を規定した。その第1要件は、周囲の環境とのエネルギー、物質の交換に関する開放性、第2要件は、平衡から遠く離れた非平衡状態を続けるための各種条件、そして第3要件は、ゆらぎの働きによって引き起こされる反応鎖として自己触媒的あるいは相互触媒的ステップ (autocatalytic or crosscatalytic step) の存在である¹⁰⁾。自己触媒というのは、反応に加わっている分子の内、自己と同じ分子を作るために自己自体を必要とすること、相互触媒というのは、別の中間分子を作った上で自己と同じ分子を作ることを意味する。さて、3要件がでせろうと、化学反応系にお

9) 時永祥三, 「カオスと経済動学—理論と応用」, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol.47, 2002年, 102~108頁。

10) Nicolis, G., and I. Prigogine, *Self-Organization in Nonequilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order through Fluctuation*, JOHN WILEY & SONS, 1977, pp.55~60. Jantsch, E., *THE SELF-ORGANIZING UNIVERSE: Scientific and Human Implication of the Emerging Paradigm of Evolution*, PERGAMON PRESS, 1980, p.31. 芹沢高志, 内田美恵訳, 『自己組織化する宇宙』, 工作社 1985年, 78~80頁。

いて結果として逃走プロセスを特徴とする非線形的な挙動が現れる。サイバネティクス的には、その挙動は正のフィードバックと呼ばれ、与えられた基準値との差を消そうとするのではなく、ゆらぎの働きを通じて自己触媒的に増大させていくような挙動である。散逸構造は、2つのタイプの挙動を示す。一つは、平衡に近いところで示す振舞いであり、孤立系同様に、ここでは新たな秩序が形成されない。対して、平衡から遠く離れたところ、即ち非平衡状態では、不安定な状態がある点まで続いた後、ゆらぎの働きと自己触媒的作用あるいは相互触媒的作用をつうじて新しい秩序が形成される。われわれは、この新しい秩序形成活動を自己組織化といい、その構造化を散逸構造という。散逸構造が存在している間は、エントロピーが生産され続けるが、できたエントロピーはシステム内に蓄積されず、自由エネルギーや新しく反応に加わる物質を外部環境から導入し、エントロピーや最終反応生成物を外部環境に放出する。つまり、システムは周囲の環境とエネルギーや物質を交換することで非平衡状態を維持し、逆にこの非平衡状態が交換プロセスを持続させる。そして、平衡を失ってよろめきながらも、前に進み続けることのみ、散逸構造は持続的に自己を再新し、ある特殊な体制、即ち大域的に安定した時空構造を維持することができる¹¹⁾。

2 カオス辺縁と進化—カウフマン創発理論—

さて、いよいよ核心部分、即ちカオス辺縁とそこでの生命と進化活動の研究に入ろう。ここでの研究は、カオス理論と散逸構造論の発展の延長線上にあるカウフマンの創発理論 (theory of emergence) を詳細に検討し、企業組織の進化を解明する理論的基礎にすることである。まず、カウフマンの意見を聞こう。生物学における非常に大きい謎は、生命が生まれてきたことであり、われわれが目にする秩序が生じたことである。創発理論は、窓の外のすばらしい秩序の創造を、何らかの基本的な法則が反映した当然の結果であると、説明してくれるだろう。われわれは、圧倒的倍率で勝ち抜くことによっ

11) Jantsch, E., *Ibit.*, p.31. Nicolis, G., and I. Prigogine, *Exploring Complexity*, Free-man, 1989.

て生じた存在ではなく、宇宙の中のしかるべき居場所をもつ存在であり、生じるべくして生じた存在であると¹²⁾。十分に複雑な化学物質の混合物は、自発的に結晶化してそれら自体を合成する化学反応のネットワークを集団的に触媒できる可能性を持っている。・・・また、これらの集団の自己触媒系 (system of collective autocatalysis) は、自己自身を維持し、複製し、進化する能力をも合わせ持っている¹³⁾。私は、生命の創発に多くの関心を持っているわけではないが、生命の創発と進化は、同じ集団の自己触媒系の振舞いから生ずるのである。以下の研究でも、この点に注意しておいてほしい。

さて、進化であるが、企業組織においても、進化は類似の集団的な自己触媒作用を営む系から生ずるものと考えられる。即ち、基本原理は同じである。しかし、化学反応系では分子の集団的自己触媒作用が創発を引き起こすのであるが、組織では経営資源、特に人、位置、コミュニケーション (フォーマルとインフォーマルを含めて) から成る協同的自己醸生の働きが進化を引き起こすのである。

生物学者のほとんど、つまりダーウィン主義の継承者達は、個体発生の秩序が進化によって一片一片つなぎ合わせて作られた恐ろしく複雑な仕掛けの分子機械の働きに起因していると考えている。対して、カウフマンは、これと逆の命題を提案する。即ち、“個体発生でみられる美しい秩序のほとんどは、非常に複雑な調節的ネットワークにおいてよくみられる驚くべき自己組織化の当然の結果として、自発的に生じるものである”¹⁴⁾。われわれは、これまで多くの思い違いをしていたように思われる。秩序は、広大で、生成力を持つ、自然に生ずるものである¹⁵⁾。ゲノム (genom) のネットワークでみられる創発的な秩序は、進化理論において考え方の論争、おそらくは考え方の革命をもたらすことを予感させる。・・・私は、“生物における秩序

12) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, OXFORD UNIVERSITY PRESS, p.24. 米沢富美子監訳, 『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 日本経済新聞社 2002年, 51頁。

13) Kauffman, S., *lbit.*, p.24. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 51～52頁。

14) Kauffman, S., *lbit.*, p.25. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 53頁。

15) Kauffman, S., *lbit.*, p.25. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 53頁。

の多くが淘汰 (selection) の結果などではなく、自己組織化された系の自発的秩序 (spontaneous order of self-organized system) である”と提案すると¹⁶⁾。秩序は、広大で生成力を持つ、打ち寄せるエントロピーの波と闘って得たものではなく、無償で利用でき、次々に起こる生物のあらゆる進化を支えるものである。生物の秩序は、あたり前であり、自然の淘汰によって勝ち取られた思いもよらぬ偶然の産物ではないと¹⁷⁾。彼は、着実に生命と進化を統一的に支配する普遍的法則を組み立て始めている。企業組織の進化もまた、その普遍的法則に支配されることになるだろう。自己複製的な物質代謝を行う多数の分子、多細胞生物を形成するために自らの振舞いを調節できる細胞、そして生態系や経済・社会システムもまた、その普遍法則を共有できるであろう。彼は、いう。実験仮説として採用すべき一つのすばらしい可能性は、大胆で繊細であるが、“生命は多くの場合、秩序とカオスの間でかろうじて平衡を保ちながらある状態 (regime) に向かって進化する”というものであると¹⁸⁾。この仮説を強調する効果的な名言は、“生命 (と進化) は、カオスの辺縁に存在する”ということである。物理学の比喩を借りると、生命は、相転移点付近に存在するということになる。水には、固体の水、液体の水、そして水蒸気という3種類の相がある。同じ考え方は、複雑適応系にも当てはまることが明らかになりつつある。例えば、接合子から成体への成長をコントロールするゲノムのネットワークは、凍結した秩序の状態、気体的なカオスの状態、そして秩序とカオスの間のある種の液体的状態の3つの状態において存在できると考えられる。また、ゲノム系は、カオスへ相転移する直前の秩序の状態にあるというすばらしい仮説があり、これを支持するかなりのデータもある。もしそのような系が凍結した秩序状態に深くはまりすぎてしまうと、柔軟性が足りなくて、進化に必要な遺伝的活動の複雑な連鎖を調和的に働かすことができなくなる。逆に、もしその系が気体的なカオス状態に深くはまりすぎてしまうと、十分に秩序化することができない。“カオス

16) Kauffman, S., *Ibit.*, p.25. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 54頁。

17) Kauffman, S., *Ibit.*, p.25. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 54頁。

18) Kauffman, S., *Ibit.*, p.25. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 55頁。

の辺縁—秩序と意外性の妥協点—の近辺にあるネットワークが、複雑な諸活動を最も調和的に働かせることができるし、また進化する能力を最も兼ね備えているのである”と¹⁹⁾。同様のことは、企業組織についても言える。即ち、人間の思考、コミュニケーション、そして活動は、3つのタイプに大別できる。第1のタイプは、保守的に思考し、コミュニケーションし、活動する人間である。このタイプは、まさに凍結した秩序状態に一致する。第2のタイプは、破壊的に思考し、コミュニケーションし、活動する人間である。このタイプは、カオスの状態に相当する。そして、第3のタイプは、優れて柔軟に思考し、コミュニケーションし、活動する人間である。これは、秩序とカオスの間の状態に当てはまる。また、組織でも、保守的に思考し、コミュニケーションし、活動するタイプの人間に落ち入ってしまうと、柔軟性が足りなくて進化機能をうまく働かすことができない。破壊的に思考し、コミュニケーションし、活動する人間に深く入りすぎると、進化的秩序を形成することができない。結局に、企業組織の進化においても、秩序の状態とカオスの状態の間の相転移領域でしか、進化機能がうまく働かないのではなからうか。そこで、この相転移領域におけるカオス辺縁の特定化について、さらにカウフマンの主張を詳しく見ることにしたい。

以下の課題は、カウフマンのカオス辺縁（あるいは相転移点）での生命と進化の創発論に焦点を合わせながら、その理論体系を克明に解明していくことであり、加えて仮説として定式化することにある。

第1仮説 系の進化は、ゆらぎから始まる。

万物は、ゆらぎ (fluctuation) を持っている。ヤンツは、いう。熱力学的秩序を超えたところで、散逸構造が自発的に形成されても、それで動的な発展が終わるわけではない。間断なく起こり続けるゆらぎが、その動態系内に吸収されてしまうなら、できあがった散逸構造も原則として安定する。しかし、一般的に言って、非平衡系の構造が安定していることは、まずありえない。ゆらぎが大きく育っていく。・・・ここで言うゆらぎとは、濃度等のマ

19) Kauffman, S., *Ibit.*, p.26. 米沢富美子監訳、『前掲書』, 55～56頁。

クロ的変数のゆらぎではない。系の動的な活動、例えば反応や拡散の速度を変えてしまうメカニズムのゆらぎであると²⁰⁾。また、このゆらぎは、内部的に自己増幅する。このゆらぎの内部的な自己増幅がなければ、自己組織化もまたありえないと²¹⁾。

企業組織においても、勿論、ゆらぎは存在する。人的資源では、 $1/f$ ゆらぎが理想である。基本的には、公式的な思考や活動の中に見られる逸脱で、例えば、自由裁量が働く思考や不可避的な自由活动で表される。その他の経営資源で言えば、予備や余力を指している。私は、ゆらぎを“自由な活動”で表現することがあるが、それ以上のことを包含した広義の意味で用いている。

第2仮説 系の進化は、反応系の触媒作用によって促進され、加速される。

物理化学に見られるように多くの化学反応は、非常な困難を伴いつつ進行し、長い時間をかけてやっと少量の分子Aが分子Bと化合して、分子Cが生じる。しかし、触媒作用 (catalysis) が存在すると、反応は大幅に促進され、非常に速く進むことになる。比喩的に、鍵と鍵穴の例を持ち出すと、AとBがDの鍵穴にはまることによって、Cを作る化学反応ははるかに起こりやすくなるというものである。この場合、DはAとBを結合させてCを作るための触媒作用であるが、分子A、B、そしてCもまた他の反応の触媒となりうる。自己の複製に対して触媒能力を持つ化学物質の系、これが生物の核心である。集団的に自己触媒作用を営む系では、分子達が自己自体を形成する化学反応のスピードを増加し、自己促進的な進化ネットワークを作り上げるということになる²²⁾。この際に、触媒反応のスピードは、ゆらぎによって少なからず影響を受けるということである。

20) Jantsch, E., *THE SELF-ORGANIZING UNIVERSE : Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*, op. cit., p.42. 芹沢高志, 内田美恵訳, 『自己組織化する宇宙』, 100~101頁。

21) Jantsch, E., *ibid.*, p.44. 芹沢高志, 内田美恵訳, 『前掲書』, 105頁。

22) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE : The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.49. 米沢富美子監訳, 『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 95頁。

企業組織にも、似た作用を見てとれる。システムは、そこに参加している人々が自分の意見や体験をコミュニケーションを通して交換することで始めて成立され、維持される。純粹理論的に言えば、複数の人々がコミュニケーションする際には、コミュニケーションに一定の内容を与えたり、もしくはコミュニケーションを受け取ったりする可能性は、すべての人に等しく存在する²³⁾。組織システムでは、それは、インフォーマル・コミュニケーションとしてよく知られている。このインフォーマル・コミュニケーションは、現状改革の思考を広める最も有力な手段（即ち、醸生作用の手段）である。対して、組織システムのフォーマル・コミュニケーションでは、それは現実的でない。フォーマルなコミュニケーションでは、一定のコミュニケーションを開始したり、情報を受け取ったりする機会が少数の人と位置に集中し、他の人々と位置にはそうした機会にめぐまれない。このことは、フォーマル・コミュニケーションのネットワーク化において一層顕著になる。このネットワーク化は、コミュニケーション軌道の分業的公式化であり、ネットワーク上の人と位置は、通常通過的な位置であるから情報がひとたびネットワークに取り入れられると、受け手のコミュニケートに関する規定（情報の発信と処理）は送り手のコミュニケートを規定するという関係が繰り返され続けられなければならない²⁴⁾。従って、フォーマル・コミュニケーション・ネットワークでは、現状改革の思考の伝播は非常に遅々としたものになる。

カウフマンは、進化ネットワークを作り続ける時に、化学反応に“魔法 (magic)” が現れるという。つまり、仮に点をボタン、線を糸とし、床の上に1万個のボタンがばら蒔かれているとしよう。そして、先ずランダムに2つのボタンを選んで糸で繋ぐ。次に、新たに2つのボタンをランダムに選んで、再び糸で繋ぐ。これを続けるのであるが、最初はほぼ確実に、以前取り上げたことのないボタンを取り上げることになる。しかし、続けていると、やがてランダムに2つのボタンを取り上げた時に、その片方は前にすでに選

23) 沢谷豊，長谷川幸一訳，『公式組織の機能とその派生的問題』，新泉社 1996年，54頁。

Luhmann, N., *Funktionen und Folgen formaler Organisation*, Duncker & Humblot, 1964.

24) 沢谷豊，長谷川幸一訳，『前掲書』，57頁。

んだボタンであったケースが増えてくる。従って、この新しく選んだ2つのボタンの間に糸を結ぶ時、結局は3つのボタンを一緒に結ぶことになる。要するに、一対のボタンをランダムに選んで糸で繋ぐ作業を続けていると、しばらくしてボタンはより大きな塊、即ち“巨大なクラスター”へと相互に連結されるようになる。つまり、糸とボタンとの比が0.5%を超えると、突然巨大なクラスターが形成されるというものである²⁵⁾。この魔法は、企業組織の中にも見られる。例えば、一部の従業員の知的水準やスキルが高くなると、その人々に接触している従業員達を刺激し、自己研修を盛んにし、やがて従業員全体に自己研修のブームを引き起こすという有名なデモンストレーション効果(effect of demonstration)として知られている。これを比喩的にいえば、大海のうちに大きな島を1つあるいは2つだけ最初に作る努力をしておけば、後は自動的に次々と島々がつくられるというものである。これは、最小臨界努力の理論 (theory of minimum critical effort)²⁶⁾としても知られている。

第3仮説 進化する系は、自己触媒作用あるいは自己触媒作用のセットを創発する。

突然に巨大クラスターが形成されるという魔法は、自己触媒作用においても見られる。即ち、化学反応系において、十分多くの反応が触媒作用を受けると、触媒された反応に非常に大きな網状組織 (web) が突然に形となって現れると²⁷⁾。カウフマンに従って、物質代謝の反応グラフを用いて明らかにしよう。第3図では、円は化学物質を、4角は反応を、そして矢印は化学反応に始点を持ち、反応の生成物に終点を持つことを示す。話を具体的にするために、4種類の単純な化学反応を考える。先ず、1種類基質と1生成物反応を見ておこう。これは、1種類の基質Aが1生成物Bへと変換される (可

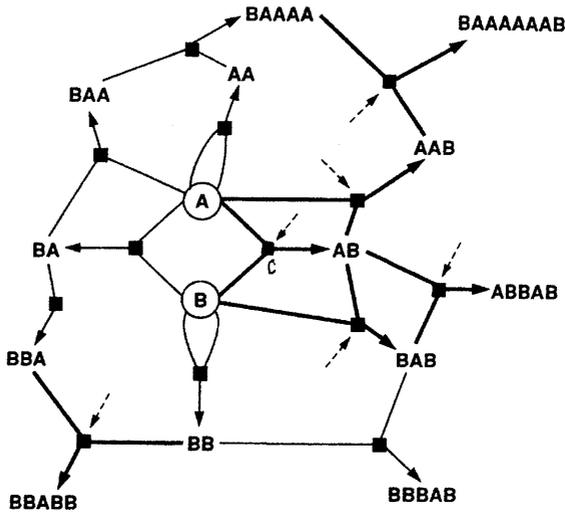
25) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.56. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 105頁。

26) 稲田献一, 宇沢弘文, 『経済発展と変動』, 岩波書店 1972年, 95~96頁。

27) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.58. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 108頁。

逆的反応も、可能である) というものである。最初に、Aを出て、AとBの間にある小さな4角へ入る実線をかく。そして、4角を出てBで終わる線をかく。この線と4角は、AとBの間の反応を表す。次に、AとBの分子を考えよう。この種の反応は、結合されて、より大きな分子のABまたはBAを形成する。逆反応では、ABまたはBAは分解されて、AとBになる。AとBから出て、この反応を表す4角に入る2本の線及び4角を出てABまたはBAの形成で終わる線によって表される。話を、2種類の基質と2生成物反応に移そう。この種の反応の典型は、1つの基質から原子の小さなクラスターを引き離し、

第3図 自己触媒作用



化学反応の仮想的なネットワークを表現したこの図は、反応グラフと呼ばれる。小さい分子(AとB)が結合して、大きな分子(AA, BB等)が形成され、それらはまた結合してさらに大きな分子(BAB, BBA, BBABB等)が作られる。同時に、これらの長い分子は分解して、単純な部分原子に再び戻る。おのおのに反応して、2つの部分分子は線で4角に結ばれる。矢印は、化学反応に始点をもち、反応の生成物に終点を持つことを示す(反応は、可逆も可能)。この化学反応を加速するため、触媒を加える。図の中で、破線の矢印がついている化学反応は触媒効果を受けているとする。触媒作用を受けている化学反応の基質と生成物を結ぶ線は、太線で表している。その結果、反応グラフの中で、触媒作用を受けた部分グラフを示す太線の網上パターンが得られる。

このクラスターを2番目の基質の1つまたはそれ以上の原子に結合させることで生ずる。この種のもう1つの反応は、2種類の基質から出てその反応を表す4角に入る線の対、さらに4角から出て2つの生成物へと繋がる線によって表現される²⁸⁾。われわれの理解せんとするところは、ある分子はどのような条件で自己触媒作用あるいは自己触媒作用のセットを作ったり、その生成物になったりするののかということである。カウフマンは、各分子の2重の役割に注目する。即ち、役割の一つは、ある反応の成分あるいは生成物となることであり、もう一つの役割は、他の反応の触媒になることである。そして、どの分子がどの反応の触媒になるかを解明することである。第3図は、この目的で描かれていると²⁹⁾。即ち、図は、反応系の一つ一つの分子がどの反応一複数の反応でもよい一の触媒になるかを調べ、これらすべての触媒作用に対して対応する反応を表す4角の先端に破線の矢印を描き、これに太い線を引くという忍耐強い努力によって作成された。彼は、いう。系が部分的な自己触媒セットを含むためには何が必要であるか考えてみる。先ず、一連の分子は触媒作用を受けた太線の反応によって繋がれていなければならない。次に、自己触媒セットの中の分子はいずれも、同じセット内のある分子から出る破線の矢印によって触媒作用を受けて生成されるかあるいは系外から供給(素材分子として)されるかでなければならないと³⁰⁾。

企業組織の中でも、似た活動が生ずる。つまり、コミュニケーション・ネットワークに特徴的なことは、フォーマル・ネットワーク上の位置は普通通過的な位置なのであり、受け手の行動に関する規定は、同時に次のコミュニケーションから見れば、送り手の行動に関する規定になっているということである。これによってネットワークを通る情報は、それ自体が公式的なものとなり、かなり閉鎖的なものとなる。しかし、フォーマル・コミュニケーション・ネットワークは、非公式的な要素が入ってくることを排除するものではない。即ち、公認された例外や条件付き、誰もが誰とでもコミュニケーションでき

28) Kauffman, S., *Ibit.*, p.58. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 110頁。

29) Kauffman, S., *Ibit.*, p.60. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 113頁。

30) Kauffman, S., *Ibit.*, pp.60~61. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 114頁。

31) 沢谷豊, 長谷川幸一訳, 『公式組織の機能とその派生的問題』, 73頁。

るネットワーク等が存在する³¹⁾。これは、準公式的ともいべきコミュニケーションであるが、これらの手段を用いて、小集团的に現状改革への意見がまとまり次第（自己醸生作用のセット）、上司へ意見書の提出がなされることになる。これは、組織では日常的に珍しいことではない。

第4仮説 進化する系は、集团的な自己触媒作用を創発する。

自己触媒作用あるいは自己触媒作用のセットは、ほぼ必然的に創発される。だが、カウフマンは、進化にとって決定的なことは、集团的な自己触媒作用を営む分子系の創発であるという³²⁾。上のボタンと糸の例のように、系の中の分子の多様性と複雑化が増加すれば、化学物質の数に対する反応の数の比、つまり反応グラフから化学物質の節点（第4図の黒点）を繋ぐ線を節点そのものよりも常に多く持つことになる。系の中の分子自体が、ある反応に触媒作用を及ぼす分子の候補となり、それらの反応によって系内の分子集団そのものが形成される。反応の数と化学物質の数との比が大きくなれば、系の中の分子によって触媒作用を受ける反応の数は、増加する。触媒作用を受ける反応の数が、化学物質の節点の数とおおよそ等しくなると、触媒作用を受けた反応の巨大な網状の組織（web）が形成され、集团的自己触媒作用を営む系が、突然に出現する。即ち、生命と進化の働きを持つ物質代謝が結晶化するのである。

カウフマンの分析を詳しく見ていこう。先ず、系の中の分子の多様性と複雑さが増すにつれて、反応グラフの中で反応の数と化学物質の節点の数との比もやはり増加することを示す（図を参照）。次に、4つの単量体（monomers）から成る高分子、ここではABBBを考えてみる。この高分子は明らかに、AをBBBに、ABをBBに、ABBをBにそれぞれ結合することで作られる。即ち、高分子ABBBは、3種類の異なる反応によって作ることができる。高分子の長さを1原子分だけ長くすれば、分子当たりの反応の数は増加する。例えば、高分子ABBBAは、AとBBBA、ABとBBA、ABBと

32) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.62. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 116頁。

BA, そしてABBBとAから形成される。長さLの高分子は、内部にL-1個の結合を持つ。従って、長さLの高分子は、L-1個の方法でより小さい高分子から形成される³³⁾。しかし、これは、化学者達が結合反応と呼ぶもので、小さな分子を小さな部分から組み立てる反応しか説明していない。問題は、分子の多様性と複雑さが増すにつれて、反応グラフの中で反応の数と分子の数との比に何が起こるかである。単純な線形の細長い高分子に対して、簡単な代数計算により次のことが分かる。即ち、分子の長さが長くなれば、分子の種類数は指数関数的に増加する。対して、ある分子を別の分子へと変換するための反応の数は、それよりずっと速く増加する。要するに、分子の多様性と複雑さが大きくなればなるほど、化学反応の道筋を表す線は、反応グラフの中で飛躍的に密になる。反応の線の数と節点の数との比は、爆発的に増加し、反応グラフは、可能性でいっぱい満たされると³⁴⁾。だが、この分析の段階では、集団的自己触媒作用を営むネットワークが生成していないし、生命も進化も身ごもってもいない。

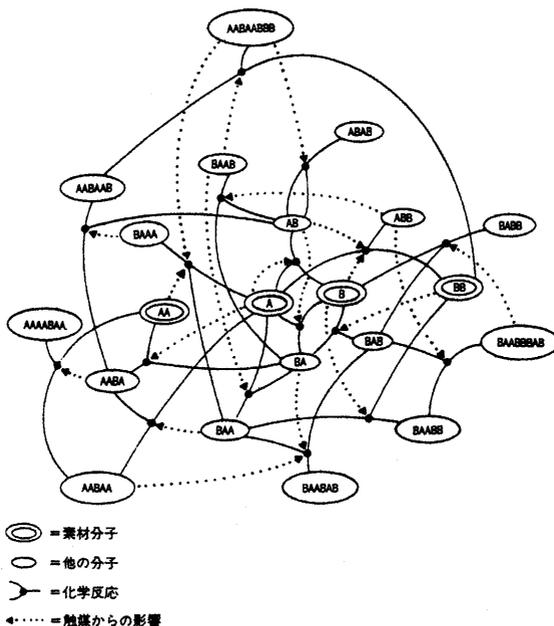
かくして、カウフマンはいう。いくつかの単純なモデルを作る時が、やってきたと³⁵⁾。最も単純なモデルは、様々な目的に対して非常に役立つ。先ず、ここでのモデルについて、次の仮定を設定する。つまり、それぞれの分子は、例えば100万分の1という決まった確率で、ある与えられた反応に触媒作用を及ぼす酵素として機能できるとする。この単純モデルを用いれば、それぞれの高分子がどの反応の触媒となりうるかを、100万回に1回だけ表が出るように偏ったコイン投げで決定することになる。このルールによって、どの高分子に対しても触媒作用を及ぼせる反応がランダムに割り当てられ、固定される。ランダムな触媒ルールは、他面触媒作用を受ける反応を太線で表し、触媒からそれぞれが作用する反応へと伸びる破線の矢印を描くことも可能になる。そして、化学反応系のモデルが、集団的に自己触媒作用を営むセットを内包しているかどうかを調べることができる。彼は、いう。ここからが、

33) Kauffman, S., *lbit.*, p.62. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 116頁。

34) Kauffman, S., *lbit.*, p.62. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 117頁。

35) Kauffman, S., *lbit.*, p.63. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 117頁。

第4図 集团的自己触媒作用



集团的自己触媒である。小さな自己触媒系の典型的な例で、素材分子(A, B, AA, BB)が分子の自己維持ネットワークの中に組み込まれている。反応は小さい黒丸で表している。各黒丸は、大きな高分子と、それが分解してできた生成物とを、結び付けている。点線は触媒を意味し、矢印は、触媒に始点を持ち、触媒の影響を受ける反応に終点をもつ。

出所：Kauffman, S., *AT HOME IN THE UNIVERSE: the Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1995, p.65.

最も肝心の要点である。今述べた、触媒ルールのどれを採用した場合でも、モデルの分子集合の多様性の数が臨界値（あるいは閾値）に達すると、触媒作用を受けた反応を示す太い線の部分が巨大化して結晶になると言うことである³⁶⁾。この創発は、必然的なものである。例えば、ランダムな触媒ルールを用い、すべての高分子がどの反応の酵素として働くのにも、100万分の1の確率を持っていると仮定する。この単純モデルにおいて分子の多様性が増加すれば、反応の数と高分子の数の比が大きくなる。分子の多様性が十分に

36) Kauffman, S., *Ibid.*, p.63. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 118頁。

大きくなれば、ある点で反応の数と高分子の数との比が100万対1に達する。この多様性が実現された時、平均的には各高分子がそれぞれの反応に1回の触媒作用を及ぼす。100万対1に100万分の1を掛けると、1になる。そして、触媒作用を受けた反応の数と化学物質の数との比が1.0になると、太い線の部分、即ち触媒作用を受ける反応に、網状組織が突然に非常に高い確率で形成される。この網状組織が、いわゆる集団的触媒作用を営む分子の集まりであると³⁷⁾。

第4図は、自己複製を行う物質代謝のモデルの一つが、実際にどのように見えるかを網状組織で示したものである。このモデルでは、いくつかの単純な素材分子が連続的に供給されるものと仮定している。具体的には、モノマーAとB、及び4種類の可能な2量体AA, AB, BA, BBである。この系では、集団的な自己触媒作用を営む物質代謝を結晶化させる。勿論、複雑な集団的触媒作用のセットは、何百種、あるいは何千種といった分子の要素を持つことになる。

化学反応系の単純モデルではあるが、モデルにおいて集団的触媒作用の創発をシミュレーションできたことに対し、その分析努力に敬意を表するしかない。ただ、似た創発現象は、企業組織においても存在している。すべてのフォーマル・コミュニケーション・ネットワークは、分業の原理 (principle of division) に基づいている。それ故に、このネットワークは、かなり閉鎖的で、特殊になる。このことから、小集団による現状改革のトップ経営者への意見書の提出は、組織全体の視点を欠いたものにならざるをえない。しかし、現状改革の意見書を提出する小集団の数が多様化し、内容が複雑化するにつれて、またそれが臨界値 (あるいは閾値) を超えると、会社役員を一同に変えさせることになる。即ち、事態を解決するために会社役員を一同に会しての集団討議 (協同的触媒作用) の始まりである。例えば、世界的に有名なシアーズ革命が、地域事業部の再編をめぐる経営幹部会議、本部役員と現場管理者が互いに敵視し合っ

37) Kauffman, S., *Ibit.*, pp.63~64. 米沢富美子監訳、『前掲書』, 119頁。

めの親睦・企画会議（2日間プランニング・ミーティング）、そして社内の抗争、泥試合、不協和音に終止符を打ち、かつ仕入部と販売部の対立と派閥にカンフル剤を打つための本社スタッフ、仕入組織の代表、販売組織の代表、集団討議の社内公開の3日間チャレンジ・ミーティングを経て実現されたことはすでに周知のことである³⁸⁾。このような事例は、枚挙に遑がない。

第5仮説 進化する系は、非平衡状態にある開いた反応系である。

生命と進化の出現には、集団的自己触媒作用のセットだけでは不十分である。生きた系は、実際に食べて排出する。生きた系は、外部から物質とエネルギーを取り込み、生命と進化のゲームにおいて象徴的で複雑な分子を作る。この意味で、生きた系は、開いた熱力学的系であり、化学平衡から常に離れた状態にある。平衡状態は、生きた系にとって死を意味する。

カウフマンは、いう。非平衡状態にある開いた系が従う法則は、閉じた系が従う法則とは非常に異なっていると³⁹⁾。単純な場合を考えよう。ビーカーの中に、外部の供給源からAの分子を一定の速度で継続的に加える。分子Bは、その濃度に比例した速度でビーカーの外部へ放出する。AはBに変換し、BはAに変換すると想定しよう。このケースでは、2種類の分子は、閉じた系が到達したような平衡には決して行き着くことはない。これは、Aをたえず加え、Bをたえず放出しているからである。こうした系でも、常識的には何らかの定常状態に落ち着くだろうと思われる。しかし、この定常状態では、分子Bに対する分子Aの比は、閉じた系の際の値よりも大きくなる。要するに、熱力学的な平衡状態の時よりも、その比は大きくなるということである。換言すれば、単純な場合には、物質とエネルギーの流れに対して開いた系は、定常状態に落ち着くが、その定常状態は、閉じた熱力学的系の際に見られる平衡状態と異なると⁴⁰⁾。

38) 堤清二、鈴木敦之訳、『シアーズの革命—The Big Store 巨大企業の危機を救った男たち』、ダイヤモンド社 1989年、104頁、144頁、180～181頁。

39) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.52. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』、100頁。

40) Kauffman, S., *Ibit*, p.52. 米沢富美子監訳、『前掲書』、101頁。

今度は、はるかに複雑な開いた系、即ち生きた細胞を考えよう。体内の細胞は、約10万種の異なる分子の振舞いを調節している。この際、物質とエネルギーは、細胞の境界を横切って出入りする。細菌でさえ、何千種類かの異なる分子の活動を調節しているのである。非常に単純な開いた系は、熱力学的な化学系の振舞いを理解したからといって、それが細胞の理解にまでつながると考えるのは傲慢である。化学反応と酵素の複雑な細胞内ネットワークがいかに振舞うかということや、どんな法則がその振舞いを支配しているのかと言ったことは、まだ誰にも分かっていない(次に、この分析と議論を開始するのであるが)。しかし、単純な開いた熱力学的系は、少なくとも出発点であり、それ自体すでに魅力的なものである。非平衡化学系は、どんなに単純なものでも、化学物質の濃度が空間的、時間的に変化するような非常に複雑なパターンを形成することができる。プリゴジンは、系の構造を維持するために、物質とエネルギーを散逸し続けるそのような系を“散逸構造”あるいは“散逸系”と呼んだ⁴¹⁾。

非平衡状態にある開いた系は、企業組織においても一般的な考えになりつつある。まず、組織は、外部環境から経営資源(つまり、人、資金、物質、エネルギー、情報等)を調達し、生成された製品やサービスを配給し、不要となった廃棄物を外部に放出することでエントロピー(entropy)をコントロールしているといえる。その際、組織と人の関係は、非平衡状態にある。貢献と報酬の関係が、環境変化にさらされているのである(同様のことは、組織秩序の関係にも見られる)。他面、シルバーマンは、組織の環境適合理論の基礎にオープン・システム・モデルの存在を指摘し、組織は生存のために環境からのニーズを充足しなければならないとしている⁴²⁾。換言すると、組織は継続事業体(going concern)であるが、環境は常に変化している。例えば、競合する製品が出現すると、従来の製品は売れなくなる。競合企業が

41) Kauffman, S., *Ibit.*, pp.52~53. 米沢富美子監訳、『前掲書』, 101~102頁。そして、次の文献。Nicolis, G., and I. Prigogine, *Exploring Complexity*, op. cit., 1989.

42) Silverman, D., *The Theory of Organizations: A Sociological Framework*, Heineman, 1970, p.116.

新しい生産方法を導入すると、価格が低下する。新しい原料が開発されると、同じ製品を安く生産できる。顧客の嗜好が変わると、製品構成も変わる。IT革命が起こると、組織の情報ネットワークも変わる。組織は、存続のためにはそうした環境の変化に逸速く対応し、あるいは環境の変化を先取りしなければならない。そして、組織は、開いた系として、分業化のパワーと統合のパワーのバランスをкаろうじて維持していかなければならない。

第6仮説 系の進化は、秩序とカオスの間のカオス辺縁（あるいは相転移点付近）に向かって、集団的自己触媒作用を営む系がкаろうじて平衡を保たれた状態のまま、かつ遺伝可能な変異を伸縮的に受け入れることで進化する。

カウフマンは、いう。比喩を物理学から借りてくると、生命は、相転移点付近に存在するということになる。水には、固体の氷、液体の水、そして水蒸気という3種類の相がある。似たような考え方が、複雑適応系にも当てはまることが明らかになりはじめた。例えば、接合子から成体への成長をコントロールするゲノム (genom) のネットワークは、凍結した秩序状態、気体的なカオス状態、そして秩序とカオスの間のある種の液体状態の3つの状況において存在できる。そして、ゲノムの系は、カオスへ相転移する直前の秩序状態にあるという考え方は魅力的であり、これを支持するかなりのデータもある。もし凍結した秩序状態に系が深くはまりすぎると、柔軟性が足りなくなって、成長に必要な遺伝的活動の複雑な連鎖が調和的に働かなくなる。逆に、もし気体的なカオス状態に系が深くはまりすぎると、十分に秩序化することができない。カオスの辺縁 (edge of chaos) —秩序と意外性の妥協点—の近辺にあるネットワークが、複雑な諸活動を最も調和的に働かせることができるし、また進化する能力を最も兼ね備えているのであると⁴³⁾。

企業組織にも、類似の現象が見られる。一つは、大企業組織病に象徴され

43) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.26. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 55~56頁。

る保守的思考や硬直的活動がそれで、活動がリスク回避的になり、新しいビジネスチャンスに挑戦しようという企業家的意欲を減退させた状態である。これは、凍結した秩序状態に相当する。もう一つは、労働組合による過度のストライキや生産工場の設備の破壊行為がそれである。これは、生産機能の停止という意味で、カオスの状態に相当する。勿論、無能な経営者による組織の混乱も考えられる。そして、組織の進化は、凍結された秩序状態とカオスの状態との間のある種の緊張状態において生ずると言うことは、大きな確率でありそうである。具体的事例に、危機の崖っ縁から生還した日産自動車(以下、日産)を取り上げよう。1999年の日産の負債額は、実に2兆1000億円で、負債額で世界最大の自動車会社になっていた。銀行からの融資機会は、完全に閉ざされた。ゴーンは、いう。それにもかかわらず、真に問題なのは、経営者陣をはじめ従業員全体に危機感が感じられないことであると⁴⁴⁾。これは、日産が凍結した秩序状態に深くはまりすぎて、柔軟性が足りなくなって進化に必要な遺伝的活動の連鎖が働かなくなっている事態である。そこで、彼が、執った方法は日産に進化に必要な柔軟性を持たせる戦略であつた。第1に日産の改革のコアとなる諸部門の社員600人との面談(再生のアイデア交換と意識革命)、第2に日産労働組合との信頼関係の確立、第3に再生実行部隊としての9つの“クロス・ファンクショナル・チーム”の編成、第4に日産“リバイバル・プラン”の発表である⁴⁵⁾。また、彼はいう。企業の生命は、人です。企業がよい事業をするには、ビジネス・モデルだけでなく、精神的な部分も含め思想が末端まで浸透する必要があると思います。これは、変革のさなかにあると。そして、何よりも重要なのは、人員合理化に対する従業員の不信に自ら対話で対処し、同時に遺伝可能な変異(heritable variation)を柔軟に受け入れることができる“隠れた人材”を発掘し育てる戦略の実行であると⁴⁶⁾。これらによって、日産は、カオス辺縁に向かってかろうじてバランスを回復しながら協同的自己醸生作用の振舞いを結集しつつ、

44) 長谷川洋三、『カルロス・ゴーンが語る「5つの革命」』、講談社 2004年、18頁。

45) 長谷川洋三、『前掲書』、60頁、65頁、67頁、69頁。

46) 長谷川洋三、『前掲書』、173頁。

進化を遂げていったと考えられる。

だが、先走りしてはいけない。ほとんどの生物学者達は、遺伝情報の安定的な貯蔵庫としてのDNAやRNAは、適応進化にとって欠くことができないものと考えている。そうだとすれば、もし生命が集団的な自己触媒作用とともに始まり、後にDNAと遺伝暗号を組み入れることを学んだとすれば、まだゲノムが存在しない時期に、そうした自己触媒セットは、なぜ遺伝可能な変異や自然淘汰を実現することができたのであろうか。これは、鋳型による複製 (self-reproduction) という魔法か、あるいはタンパク質のための遺伝暗号という魔法か。カウフマンは、いう。私の同僚のバグリとファーマーは、自己組織化系のセットがある種の空間的な器、例えばコアセルベートや脂質2重膜小胞、の中にひとたび閉じ込められれば、自己維持的な物質代謝のプロセスは、系の中のそれぞれの分子量のコピーの数を実際に増やすことができる。原理的には、器に入ったこの系は、全体が2倍になれば2人の子供に分裂することができる。つまり、自己複製が起こりうるのである⁴⁷⁾。また、彼等は、そのような系の中で変異と進化が起こりうることを発見したと⁴⁸⁾。即ち、自己触媒系のネットワークがせっせと自分の務めをはたしている間にも、ランダムで触媒作用を受けていない化学反応が時として起こる。これらの自発的なゆらぎ (fluctuation) は、セットの要素ではない分子を生む傾向を持つ。こうした新しい分子は、分子種のいわば周辺部にあるものと考えてもよい。例えば、自己触媒セットを取り巻く化学的な霞 (penumbra) のようなものである。もし新しい分子の1つがそのネットワーク自体の形成に対する触媒作用の助けとなれば、それは、ネットワークの要素として1人前のものとなる。新しいループが、物質代謝に加わることになる。もしでしゃばり屋の分子が以前起きていた反応を抑制するならば、古いループがセットの中から除去されてしまうかもしれない。どちらにしても、遺伝的な変異は明ら

47) Kauffman, S., *AT HOME IN UNIVERSE: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, op. cit., p.72. 米沢富美子監訳、『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則—』, 134頁。

48) Kauffman, S., *lbit.*, p.72. 米沢富美子監訳、『前掲書』, 134頁。

かに起こりうるのであると⁴⁹⁾。かくして、ゲノムなしでも、自己触媒セットが進化できると考えてよい根拠が存在するわけである。

さて、上述のように、進化は、単に変化する能力、即ち遺伝可能な変異を起こす能力以上のものを要求する。ダーウインの物語にうまく調和するためには、生命を持った系は、先ず内部に順応性と安定性の間の妥協点を見いだすことができなければならない。変化する環境の中で生き残るためには、ほぼ安定でなければならないことはいうまでもない。しかし、永久に変化しないでいる程に安定的であってはならない。そして、非常にわずかな内部の化学的ゆらぎがぐらついている全体の構造の崩壊を引き起こす程に不安定であってもならないのである⁵⁰⁾。

49) Kauffman, S., *lbit.*, pp.72~73. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 134~135頁。

50) Kauffman, S., *lbit.*, p.73. 米沢富美子監訳, 『前掲書』, 136頁。