HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 自己組織化臨界現象と「進化」:「経済システム」分析への応用可能性 |
| Author(s) | 富森, 虔児 |
| Citation | 經濟學研究, 50(1), 142-163 |
| Issue Date | 2000-06 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/32190 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 50(1)_P142-163.pdf |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

経済学研究 50−1
北海道大学 2000.6

# 自己組織化臨界現象と「進化」

## —「経済システム」分析への応用可能性—

富森虔児

### 第一節　複雑系科学革命

1990年代において，それ自体がまさしく創発的爆発といえるような「複雑系」の科学の飛躍的発展がみられた。それは，かつてアインシュタインの相対性理論が，ニュートン力学に支配されていた自然科学の世界に一つの革命をもたらしたに匹敵するような科学のパラダイム革命をもたらしつつあるかの感さえある。

筆者自身は，その90年代において，複雑系科学が挑戦しようとした主題に比べればはるかにささやかなテーマに取り組みつつあった。

その一つは先進経済のなかではかなりユニークといわれてきた「日本的システム」の解明とその転換を展望するというテーマであり，いま一つは旧集権経済の市場経済へのシステム移行の問題であった。そして，このようなテーマに取り組む過程で，すでに折に触れて繰り返し指摘してきたように，筆者は既成の経済学的パラダイムの無力を痛感しつつあった。リチャード・ネルソンとシドニー・ウインターの先駆的業績（①）を端緒に，80年代以来急速に盛り上がった「進化経済学」が，このような状況にあった筆者を当然にもひきつけることになった。

だが，すでに別稿で論じたように，ネルソン，ウインターの進化経済学は，その多くのエネルギーを経済学の既成のパラダイムに対する批判，とりわけ新古典派経済学批判に注ぎ込んだあまりか，理論の数学的定式化を急ぎすぎ，その結果もっぱら技術進歩によるマクロダイナミックス理論の確立に矮小化してしまったきらいが認められた（②）。彼らに次いで登場したジェオフリー・ホジソンの進化経済学（③）は，これに対して経済現象の有機的性格を強調しつつ進化経済学にあらたな一頁を加えるものであった。システム転換のようなテーマに取り組んでいた筆者にとっては，当然にもこうしたホジソンの接近法は，はるかに直接的な示唆をあたえることになった。

だが，そうした歩みの中にあった筆者が，同時に進みつつあったはるかに巨大な科学革命のうねりの意味を直ちに悟ることはなかった。——それは遠吠えのように耳に入って来てはいたが，所詮，「自然科学の問題である」とする筆者自身の今から考えれば誤ったといえる狭量な態度によって排除された。一部の経済学者が「複雑系」のアイデイアを使い始めていることにも気づかないわけではなかったが，それらは，前記のようなシステム転換の問題意識に触れるところは大きくなかった。

スチュワート・カウフマン（④）との出会い，そして筆者としては，実際はそれに少し先行したジェームス・トレフィル（⑤）との出会いが，このような筆者の方向を決定的に変えさせるような衝撃的な影響をあたえることになった。これ以来，複雑系科学の活用こそがシステム転換の経済学を飛躍させるのではないかとのほとんど「確信」に近いものが筆者をとらえるに至ったのである。

だが，このように基本的に自然現象の説明原理として考え出されてきた「複雑系科学」をこのように経済システムの分析に利用することの

可能性についてはなお反論の可能性の少なくないであろうことを筆者も十分考えているつもりである。肝心のカウフマンとトレフィルがこの点で対立する立場をとっていることもまず指摘しておく必要があろう。両者のこの問題での見解を以下に引用しておこう。

「私やサンタフェの研究者や，あるいは複雑系研究者が，ビジネス，マネージメント，政府，組織などの実際的な問題と複雑系との，潜在的なつながりに興味をもっているのはなぜか。…

それは，分子の始まりから細胞へ，そして生物へ，生態系へ，そして最後にわれわれ人間が進化させた社会構造の発生までの生命発展の歴史の中で，自己組織化と自然淘汰のテーマや，盲目の時計職人と見えざる手のテーマがすべて関連しあっていると考えるからである。」（④，432頁）

「複雑系の科学の研究は非常に新しい分野なので，まだ答えの見いだされていない問題が数多くある。その中で私見では最も重要なものの一つは，はたして複雑系を統括するような一般法則というものはあるのか，それとも個々の複雑系はそれぞれ別個に扱われねばならないのかという問題である。この種の問いに対しては，イエスという答えにもノーという答えにも歴史上たくさんの先例がある。自然界には一見まったく異なるように見えながら同じ法則に従う系の例もいくらでもあるし，一見同じように見えながらまったく違う法則に支配されている系の例にも事欠かない。…

このような観点からみると複雑系はどこに位置するのだろうか？　人間の脳とアダム・スミスの市場をともに記述するような〈複雑系の第一法則〉といった一般則が存在するのだろうか？　それともそれら二つの異なる現象は，銀河と台風がともに渦巻き形状をもつというのと同じ意味で，複雑性という特性を共有しているにすぎないのだろうか？　私の予想を言わせてもらえば，あらゆる複雑系に通底するような一般則を探求してもたぶん不首尾に終わるであろう。つまり，私は，脳と経済システムの関係は結局のところ，（同じ熱力学の第一法則に支配される…　筆者）星と熱帯湖との関係よりは，むしろ台風と銀河に似ているという結論になると考えている。…　これと逆の見解を雄弁かつ熱を込めて述べたものとして，スチュワート・カウフマンの著書 At Home in the Universe（④）をお勧めしておく。」（⑤，294—296頁）

見られる通り，そして fair にもトレフィル自身が自らの考えをカウフマンのそれと公然と対置しているように，両者のこの問題での見地はまったく異なっている。

これまで述べたことからすでに明らかなように，筆者のこの問題での立場は，当然カウフマンらのそれに大きく傾斜したものである。それどころか，カウフマンが「複雑系」を経済やビジネスの領域で利用する場合には主として技術の進歩やせいぜい市場の爆発的成長のような問題に限られていたのに対して，筆者はさらにこれをシステム転換の問題に活用しようというのである。それは，無謀とまでは言えなくも，少なくともあまりにも大胆に過ぎる試みといえるかもしれない。その試みがどの程度成功するかどうかは，結局これから予定している筆者の研究成果全体の説得力の如何によって答えるほかないが，それに先立って次のような起こりうる批判にあらかじめ反論しておくことを読者に許していただきたい。

それはあらゆる理論的営為に対して，いわばその足を引っ張る形で出てくるありがちな理論不信の唱導に関連する。つまり，一定の理論的主張に対して，その理論の立証不完全を根拠に当該理論の仮説的限界を云々する類の批判である。もちろんどのような理論も可能な限りの立証によって裏付けられるべきことはいうまでもない。だが，自然科学の理論を含めて，およそどのような理論も完全に立証されることはないのであり，その限りで，理論には何がしかの仮

説性がつきまとわざるを得ないのである。

事実，一時は絶対の権威を認められたダーウイニズムにしても，最初から一つの仮説に過ぎなかったのであり，にもかかわらずそれが持っている説明力が人を捉えたのである。後で取り上げるように，ダーウインの仮説は今日仮説としても多くの限界をもっていることが認識されている。だが，依然として一定の枠内ではその説明力が否定されてはいないのである。

当然，複雑系科学にしても「まだ答えの見いだされていない問題が数多くある」仮説の段階に止まっているのである。カウフマンは複雑系によって生命の誕生を説明しようとし，トレフィルは複雑系によって人間の脳の機能の基本的説明を与えようとする。これらについては，次節でよりくわしく紹介するが，実はいずれも今の段階では立証されたものではない。むろんこれからある程度は立証が試みられそれなりの前進が可能であろうが，ひょっとすると永遠に完全な立証は行われないかもしれないのである。にもかかわらず，こうした理論仮説が必要とされ受け入れられるのは，それによって諸事象の説明がされる場合に，今までの説明では得られなかった説得力が認められ，あらたに何かが「見えてくる」からである。科学的営為というのはこのような意味でエキサイテイングなのであり，同時に人間の能力の限界をどこまでも露呈してやまないのである。だからこそ，科学的営為のきわみにチャンレジすることをいとわないアインシュタインやカウフマンのような人に限って，かえってどこかで「神」を見ているとも言えなくはないのである。

もちろん，こうした議論によって筆者は，以下の筆者の議論の不十分さに対する弁解とするつもりはさらさらない。ただ，およそあらゆる理論に避けられない仮説性の限界をもって，複雑系の経済システム論への応用という大胆な試みをあきらめるわけにはいかないということに過ぎない。

なお，複雑系の考え方，とりわけ「複雑系の自己組織化による創発」の考え方を経済システム論の中心的方法に据えるということは，決して進化論的考え方の応用をシステム論において放棄することではないこともここで一言触れておきたい。「自然界の秩序の多くは，複雑さの法則により，自発的(spontaneously)に形成されたものである。自然淘汰(selection)がさらに形を整えて洗練させるという役割をはたすのはもっとあとになってからのことなのだ」(④,23頁）といわれるように，「自己組織化と自然淘汰をともに包含する枠組み」(④，25頁）がここでも考えられる予定である。自己組織化が第二節，第三節で取り扱われ，自然淘汰と進化は第四節の主題となる。

## 第二節　自己組織化(self-organization)と創発(emergence)

(1)「複雑系の特徴はそれが数多くの動因をもっていて，それらの動因がたがいに影響しあうところにある」(④，287頁)。これが複雑系概念の基本的定義であり，みられれる通りそれ自体は実は非常に単純でさえあるのである。

また，こうした複雑系の実例をわれわれのまわりから見出すこともそれほど難しいことではない。トレフィル自身が例示しているテーブルの上に砂粒を積み上げ創られる砂山も一種の複雑系であれば，何よりもかれがこの本の主題とした「脳」もまた多様なニューロンとそれらをつなぐシナプスで創られた複雑系である。さらに，多様な細胞と器官によってなる多細胞動物は複雑系の最高の典型であるといえるだろう。

また，複雑系は自然界に止まらず，人工物の中にも数多く見出される。さまざまの人工的技術――テレビ，ファクシミリ，コンピューター――はいずれも数多くの要素の絡み合いの中で機能しているのであり，その意味でまぎれもない複雑系である。当然，社会的システムも――筆者のもう一つのテーマである「日本的システム」も含めて――多様な要素のさまざまの相互

関連によってなる複雑系以外のなにものでもない。

問題は，こうした複雑系の諸例を単に列挙するだけでなく，さらにこれらすべてを統一的に包含するような法則のようなものがいったい考えうるのかということである。

スチュワート・カウフマンに代表されるサンタフェ研究所の科学者たちに対する賛美が惜しまれてはならないのは，彼らこそがこの難題に真っ向からの挑戦を試み，それなりの成功を収めたからである。

先に引用したことから知られる通り，カウフマンは複雑系の創発に関わるかれの「法則」がビジネスやマネージメントや政府のような領域の問題をも包みうる可能性を強烈に予感し，またその点を主張してもいるのだが，その分析作業の焦点は生命の発生という生物学的主題に集中している。「法則」の基本を理解するために，われわれもまずカウフマンにしたがって，生命という最も典型的な複雑系の誕生をめぐって「複雑系の創発」の基礎的説明を行っておかねばならない。

(2)複雑系科学の説明が現れる前においては，生命の誕生はおおむねダーウイン主義の考え方に沿って説明されていたと言ってよい。その「ダーウインは，有効な変化は極めて少しずつ積み重なっていくことにより進化が起きたと主張した。したがって，もっとも初期の多細胞生物たちも徐々に多様化していったはずである」（④，32頁）と考えた。つまり，「ダーウインの命題全体の中で最も重要な前提――は，漸進主義すなわち，ゲノムあるいは遺伝子型に対する突然変異は，生物の性質つまり表現型に対して小さな変異しか起こさないという考えである。さらに，その古い考え方は，小さな有用な変異が少しづつ蓄積され，長い時間をかけて，現存の生物に見出される複雑な秩序を作ることができたという仮定に基づいている」（④，276頁）。

そして，かようなダーウイン主義の流れに沿ったものが，「キップリング（あるいは…ほとんどの進化生物学者）」（④，85頁）たちによる「自己複製を行う裸の（単一の…筆者）RNA分子から生命が始まったという仮設」（④，85頁）なのである。

カウフマンによれば，このような伝統的なダーウイン進化論的説明には，少なくとも二つの難点が認められる。

第一は，「すべての生き物は最小限の複雑さを兼ね備えていて，それを下回ると生きていけなくなるように見える」（④，85頁），つまり「どんな生物も閾値以上の複雑さをもって生じたようにみえる」（④，86）のであり，「複製を行う単純なRNAから，そのような世界がどのように現れるのだろうか」（④，86頁）という根源的難点である。

第二は，今日，すでに明らかにされてきている地球上での生命発生の周知の歴史的事実と，上記のようなダーウイン進化論的説明が必ずしも整合しないことである。

類似の描写は他にも多くあるがさしあたり，カウフマンによってそうした地球の生命史を描けば概略次の通りである。

「地球上の生命の最も初期の痕跡は34億500万年前，すなわち地球が十分冷えて，液体の水を維持できるようになってから3億年後のものである」（④，28頁）「おそらく現在の古菌類と関係していると思われる単純な単細胞生物が，そしてのちには，おそらく初期の菌類のさきがけと思われる長い筒状の細胞が，大域的な共栄圏を形成し，その状態はだいたい30億年という長い時間続いた」（④，30頁）

「30億年――地球の年齢の大部分に相当する年月――にわたって，生物圏には，こうした単細胞という生命形態だけが存続した」（④，30頁）

「多細胞生物が登場したのは，おそらく8億年ほど前である」（④，31頁）

「そしておよそ5億5000万年前，カンブリア

紀における「生物の大爆発」の際にすべての可能性が解き放たれた」(④, 31頁)「生物の主要な〈門〉のほとんどすべてが，この進化の創造の爆発でつくり出されたのである。われわれの属している脊椎動物のみが，少し遅れてオルトビス紀になって登場している」(④, 31頁)。

とりわけここで重要なのは「カンブリア紀の種の大爆発の，すばらしく，そして不思議な特徴」つまり「進化の図表が上から下に向かって埋められていったことにある。」つまり，「たがいに非常に異なった身体をもつ生物の〈門〉が多数生まれることにより，自然は急激に前進した。そして，その基本的なデザインがより精密化されることにより，綱，目，科，属が形成されていった」ことである (④, 32頁)。「多細胞生物たちが徐々に多様化していった」つまり「進化の図表」がいわば下から上へと埋められたと考えるダーウイン主義の説明は，こうした事実と整合しえないのである。

このような認識を基礎にカウフマンは，生命の創発を，ダーウインを超えて，基本的に次のような内容をなす,「自己組織化臨界現象」(self-organized criticality, ④, 60頁) によって説明する。

「生命が出現する前の化学的システムにおいて分子の多様性が増加し，その複雑さがある閾値を超えた際に，生命現象が創発したと考えることができる。もしこれがほんとうなら，生命とは，単一の分子の性質（すなわち詳細）の上に成り立つのではなく，たがいに相互作用している分子系の集団的性質の上に成り立つものとなる。生命は全体として創発し，つねに全体として存在してきたことになる。生命は部分の上に成り立つのではなく，部分がつくり出す全体の集団的・創発的性質の上に成り立つものとなるのである。」(④, 52頁)

このような命題はカウフマンの同じ著書においてさまざまに繰り返される。すなわち「生命が複雑な化学系の本来の性質であることを，わかってもらいたいと考えている。化学スープの中で分子の種類の数がある閾値を超えると，自己を維持する反応のネットワーク――自己触媒的な物質代謝――が，突然生ずるであろうことを，ぜひとも納得してほしいのである。私は主張する。生命は単純な形ではなく，複雑で全体的な形をもって現れた。そして，それ以来複雑で全体的なままであるのだ。」(④, 93)

「複雑 complex で全体的 whole な生命，創発的 emergent である生命は，別な意味で結局単純であり，われわれが住む世界から生じた自然な結果だということになる」(④, 93)

「さまざまな種類の分子の混合物がどこかに十分蓄積されれば，自己触媒系――自己維持的，自己複製的な物質代謝――が生じる見込みが，ほぼ確実なものになるということである。」(④, 96)

要するに，相互反応する高分子化合物の多様な種類がある閾値を超えたところで，「自己触媒的な物質代謝」を行う単細胞生物が「分子形態が臨界点を超えた爆発を起こして地球全体に広がった。」(④, 287頁) これが34億500万年前のことで，それがおよそ「30億年という長い時間続いて」後に，こうした単細胞生物の多様な集団の相互反応がさらにある閾値をこえたところで，最初の多細胞生物がおよそ8億年前に発生，その可能性がカンブリア紀の大爆発において解き放たれたというのである。

分子の「自己組織化臨界現象」による生命の創発というカウフマンのかかる命題は，生命の歴史の現実を整合的に説明しうるというだけで，今のところ基本的には仮説の域を出るものではない。

だが，生命史の整合的・説得的説明ということのほかに，この命題をサポートする二点にとくに触れておく必要があろう。

一つは，カウフマンの好む「ボタンと糸の〈ランダムグラフ〉」(④, 105頁) というおもちゃのモデルの与えている示唆である。

このモデルは複数のボタンの中から二つのボ

タンをランダムに取り出し，これを一本の糸で結び合わせることを複数の糸によって順繰りに行うという至って単純なものであり，だれでも簡単に実験できるものであり，筆者も実際に試みてみたものである。

結ぶ糸の数が次第に増えて行き，それがある閾値――この例では糸の数がボタンの数のちょうど半分を超えるところ――に達すると，「魔法が起こる！」のである。すなわち「糸とボタンの比が0.5を超えると，突然，ほとんどのクラスターが交差的に連結されることになり，一つの巨大なクラスターが形成されるのである。」(④，106頁)

念のため，カウフマンの「ランダムグラフ」実例図（原著のFigure3.3，④，原著55ｐ）を再録（第一図）するとともに，筆者自身の実験結果による糸の数とクラスターのサイズの関連グラフを示しておく（第二図)。

むろん，これはたかがおもちゃの話にすぎない。だが，その点を十分認めた上でいうカウフマンの次のような主張を否定すべき理由を筆者は見出し得ないのである。

「このおもちゃの問題から，私が読者に養ってほしいと思う直感は，単純なものである。…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，触媒された非常に大きな織物が突然〈結晶化〉する。こうした織物は，ほぼ確実に自己触媒的であることがわかる。そして，ほぼ確実に自己機能的である。生きているのである。」(④，108頁)

「ランダムグラフ」のおもちゃのモデルが，「自己組織化による創発」の考え方に直感的示唆を与えているにすぎないとしても，第二にあげるべき，スタンリー・ミラーの1952年に行った実験は，少なくともある段階で，「自己組織化による創発」を直接的に立証したものであると言ってよいだろう。かれは，この実験で「フラスコを，メタンや二酸化炭素，その他の気体で満たした。これらの物質は原始の地球の大気に含まれていたと考えられていたものである。彼はフラスコに火花を散らせた。これはエネルギーの供給源としての稲光を真似たものである。彼はまった。…そして何日かたってから，分子の創造性についての証拠という報酬が，彼に与えられたのである。茶色のねばねばしたものがフラスコの壁と底に付着していた。分析してみると，このタール状の物質は豊富な種類のアミノ酸を含んでいることが明らかになった。ミラーは，生物の出現前の化学についての実験を世界ではじめて行ったことになる。」(④，72頁）のである。

(3)むろん，ロバート・シャピロの引用によってカウフマンも認めているように，「たとえ生命のさまざまな要素が合成されうるということを科学者が示せていたとしても，それらを一つの物語の中に，筋が通るようにまとめあげるのは容易ではない。」(④,73頁,Robert Shapiro, Origin: A Skeptic's Guide to the Creation of Life and Earth, NY. Summit 1986,⑥より）

生命の創発の説得的な説明も，そうした限界を決して免れるものではないだろう。にもかかわらず，ここで使われている「自己組織化による創発」の論理は，生命以外の複雑系の発生についてもそれなりの説明力を示しているのである。

冒頭に見たように，トレフィルなども，社会現象への適用については，カウフマンの行き方に疑義をはさみながらも，脳科学においてはこれを積極的に活用しようとしているのである。

ところで，「人間の特殊性を定義するものが大脳皮質である」(⑤，46頁)ことは，化石学，解剖学を含めて諸科学の一致して認めているところだが，さらにその大脳皮質が約1,000億個（これは銀河系にかる星の数に匹敵するといわれる）にも及ぶニューロンと呼ばれる神経細胞がそれらを接合するシナプスによって複雑につながれた基本的には化学回路をなす複雑系であることも確認されている。

トレフィルは，このような「ニューロンの数を一つずつ増やしてそれらをつなげていく」こ

第一表

| | 登場時点 | 脳体積 |
|---|---|---|
| アウストラピテクス・アファレンシス | 400万年前 | 約400立方センチメートル<br>（チンパンジー・人間の新生児と同じ） |
| ホモ・ハビリス<br>ホモ・エレクトウス | 200万—150万年<br>—50万年前 | 700—1200立方センチメートル |
| ネアンデルタール人<br>ホモサピエンス | 15万年前<br>20万年前— | 1500立方センチメートル<br>平均1400立方センチメートル |

とを，テーブルに砂粒を少しずつ積み上げる例と対比しながら考えてみた上で次のように述べるのである。

「二つの可能性が考えられる。すなわち，ニューロンがつけ加わるにつれて新しい性質が徐々に発達していくかもしれないし，あるいは砂山の場合に見たように新しい性質は複雑系の創発的現象として突如出現するかもしれない。

もちろん，このような実験を実際に行うことはできない。しかしながら，砂山のような単純なものが創発的なふるまい（ここでは砂山がある段階で突然雪崩現象を起こすことを指している…筆者）を示すことができるならば，ニューロンの集合体にもそれは可能なはずである。そこで私は，われわれの脳にニューロンをつけ加えていくにしたがって他の複雑系で起こるのと類似のふるまいが見られるということを，仮説として立てることにする。つまり，あるレベルの複雑性にまで達すると，新しい種類の現象が出現するとするのである。」（⑤，296—297頁）

さらにかれは，これに続けて，「単一のニューロンでさえ結構複雑であることや，脳の中でそれらが複雑につながっていることを考えると，創発的性質にも何段階かあって，それらが異なるレベルの複雑性において順次出現すると考えることも理にかなっているように思われる。」とし，ここから「意識とか知能とかいう言葉で表している現象は，このような連鎖の中での高いレベルの創発的性質ということになろう」（⑤，297頁）と結論づけていくのである。

なお，トレフィルは同じ著書の別な個所で，「きわめて粗っぽい目安であること」を自認しながら，「人類の進化に関する議論の中で，…人間の知的能力の大まかな目安として脳全体の体積が何立方センチメートルかという数値を用い」（⑤，48頁）た上で，次の分類を確認している。

脳の段階的な創発的性質がこうした脳体積の発展と結びついているのが，トレフィルの考えであることは明白であり，同時にこの立場から，「この系統樹のどの時点でわれわれの祖先は他の生物と根本的に違ったものになったかのだろうか？」と問うた上で，化石学者のリチャード・リッキーおよびロジャー・ルーテインらと，それは「ホモ・エレクトウスからである」という見解を共有していることを明言しているのである。

ジェームス・トレフィルの目的は，これらの立論によって人間のサルとの境界線を明確にすることだけでなく，同時にコンピューターの機能と人間の脳機能の境界を示そうというところにもあるのだが，ここではそうした点には立ち入らない。

いずれにせよ，以上によって，トレフィルもまた「自己組織化臨界現象」による創発の考えによって脳という高度の複雑系の発生を説明しようとしているのは明らかなのであり，筆者のここでの目的にとってはその点を確認するだけで十分なのである。

## 第三節　自己組織化臨界現象と経済システム

「自己組織化臨界現象による創発」の「法則」が，さまざまの複雑系の発生を説明する統一的な原理となりうる可能性は以上の説明によってほぼ理解され得たであろうと考える。

いよいよ，ここでこの「原理」が経済なり，経済システムの問題にどの程度利用できるかという点が問われることになる。

すでに述べたように，スチュワート・カウフマンはその可能性を強く予感しているだけでなく，その著書の随所でこうした可能性を明示的に言及しているのである。そうした言及の代表的な部分をさらに示せば，たとえば以下の通りである。

「技術の進化も，実は，生物が生まれる前の化学進化や，適応的な共進化と同じような法則によって支配されている。〈急速な経済成長は，商品とサービスの多様性が閾値を超えたときに始まる〉という理論は，化学的な多様性が閾値を超えたときに生命の起源が始まるのと同じ論理に従っている」(④，58，斜体は筆者)

「生物に適用できる話は人工物に対しても使えるかもしれない。…会社も技術も舞台の上で栄枯盛衰をみせたあと，いずれ消えてしまう。自動車の登場は輸送手段としての馬車を絶滅に追いやった。馬とともに馬車もなくなり，それとともに鍛冶屋や馬車製造業も消えていく。自動車が現れると，石油産業やモーテル，舗装道路，交通事故裁判所，郊外のショッピングセンター，ファーストフード店のドライブスルーなどが出てくる。…一つの生き物が絶滅すると，他の生物が支えていたニッチが変わってしまい，隣人たちを絶滅させることにつながるかもしれない」(④，422—423)

要するに，これらによって彼が言いたいことは，技術もまた多様な関連の中で共進化するものであり，それによって商品やサービスの新たな多様化をもたらすこと，そしてそうした商品やサービスの多様化がある閾値を超えると，そこで自己組織化臨界現象による創発による急速な経済成長が結果するのではないかという点である。

カウフマンが指摘する種類の急速な経済成長は，事実，今日にいたる諸経済の歴史の中にも容易にその実例が見出されうるのである。

1955年以来の日本の高度成長もいってみれば，そのような商品やサービスの多様化をともなった自己組織化臨界現象による創発の一つの典型例だったとも考えられるが，さらにもっと身近な例としては，——おそらくカウフマンも十分意識していたと思われるが——90年代アメリカのIT革命に引っ張られた未曾有の好況の持続をその最も典型的な例とすることが出来よう。

すなわち，そこでは80年代以来のPCの技術革新が，ハード，ソフト両面を包む技術の共進化発展によってもたらされ，それが新たな商品とサービスの多様化を結果したこと，しかもそれがある閾値を超えたところで，爆発的な市場の創発をもたらしていると考えられるからである。

こうした持続するアメリカの好況を説明するものとしては，基本的には供給派経済学を継承する「ニューエコノミー」論の説明が一方には存在する。それによれば，情報化革命は生産性の成長をもたらし，それがインフレの抑制を可能としたことが好況の「永遠性」の根拠となっているということだが，その辺については，アメリカでの情報化革命による生産性の上昇が実はそんなに大きいものではなく，景気は，むしろ主として株式市場のバブル的拡大によって押し上げられているとする理論(たとえば⑦)や，日米の景気落差は結局両者における需要爆発の有無によるという見解(吉川洋⑧)などいくつかの有力な反論がすでに展開されており，筆者もそうした反論の立論を基本的には支持するものである。

むろん，そこに大いにバブル性が見出されるものの，それによってのみ今日のアメリカの景気持続を説明するには無理もあると思われる。IT革命による自己組織化臨界現象と需要の創

発的爆発こそが，その軸心であると考えるのが最も妥当であり，カウフマンの「法則」が，そうした理解を助けていることを強調しておきたい。

ただ，カウフマンに欠落している以下の点を敢えて指摘しておかねばならない。

それは，彼の議論がもっぱら技術の共進化発展とそれによる商品とサービスの多様化の閾値・臨界点の突破ということに限定され，そこにビジネスや経済のシステムの関連を見ていない点である。

たとえば，何故にアメリカにおいてIT革命の先行的展開があり，日本がその点でなお立ち遅れているかは，まさしくこうしたシステムの問題に関連していることが明らかであるとも思われるからである。つまり，もともと両者のシステムは，前者が個人別の機能的技能にベースをおき，後者が多かれ少なかれ集団的な文脈的技能（この点については青木，奥野⑨）に基礎をおくという点で本質的に相違しており，IT革命における企業間関係や企業・消費者関係のイノベイティヴな展開には，明らかに個人別の機能的技能に基づくシステムの方が有利であると考えられるからである。個人別のマイクロビジネスやいわゆるSOHO (small office, home office)の展開がビジネス関係の革新における核心をなしていることはつとに指摘されているところであり，このことは何故にアメリカ型の個人別機能的技能社会が，ここで優位に立つかを何よりも雄弁に語っていると言えよう。

考えてみれば，もともとカウフマンが主題とした生命の発生にしても，たんに高分子化合物の多様な絡み合いがある閾値を超えただけでなく，それが展開された環境において何らかの条件が恵まれてこそ始めて可能となったのではないかとも考えられる。つまり，「化学スープの中で分子の種類がある閾値を超えると，自己を維持する反応のネットワーク――自己触媒的な物質代謝――が，突然生ずる」とカウフマンはいうが，やはりその際，条件となる化学的スープには，さまざまの周辺条件――自己組織化臨界現象のためのシステム的条件のようなもの――の充足が必要であろうと考えるべきではないかということである。だからこそ生命の発生には地球誕生後5億年の時間がかかったのであり，単細胞生物から多細胞生物に至るのに30億年の時間が必要とされたと考えることが出来るのではなかろうか。

ところで，技術とシステムの関連については今一つ次の点も指摘しておくべきだろう。

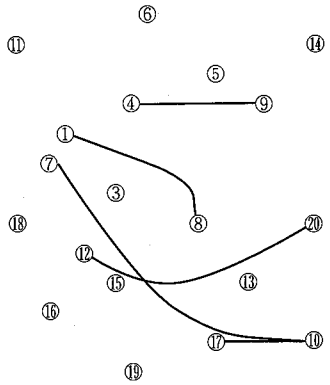
システムの条件に支えられねば技術の自己組織化臨界現象も起こり得ず，その限りでシステムは技術革新が支えているのが一方のこととすれば，反対に技術革新の展開がシステムの革新につながるのも他方の真実であるだろうことである。再びアメリカのIT革新に即してこのことを敷衍すれば，アメリカ的システムがこうした革新の有利な条件をなしたとともに，IT革新がアメリカのシステムのさらなる変異をもたらしつつあるのではないかということである。要するに，システムと技術革新の関連はこのような相互性において認識されるべきだということである。

こうした，システムと技術革新の相互関連の中での，自己組織化臨界現象と経済成長の創発の今一つの好例は先に指摘したように55年以降の日本に見られる戦後型システムの確立と技術革新の展開に見られるのだが，そこでもシステムと技術の相互関連をおさえることが非常に重要であると考えられる。また，この例については，アメリカの今日の事態と異なって，システムの自己組織化のほうがやや先行し，それが技術の自己組織化とつながって創発的経済成長を結果した側面がことの主要な側面であったようにも考えられる。こうした，技術とシステムの相互関連のなかでの自己組織化臨界現象と経済成長の創発的爆発の問題を分析することの可能性，とりわけそれを「日本的システム」と高度成長の関連で分析することの可能性は，複雑系科学を筆者のような目的で利用しようという場合には決定的な意味をもつことになろう。だ

が，その辺の詳細な展開は別稿の課題とし，先に進むことにする。

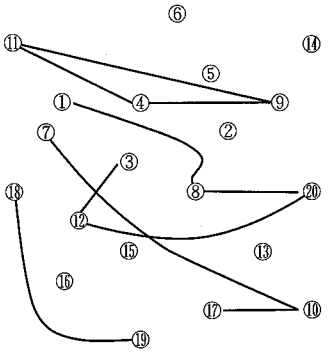
第一図　「ランダムグラフ」の実例図

(a)



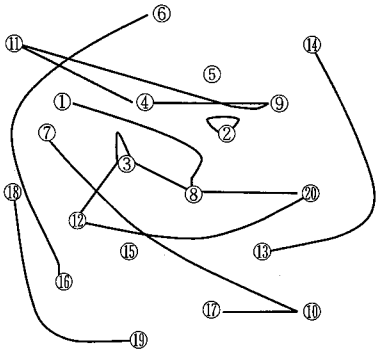
糸の数／ボタンの数＝5／20

(b)



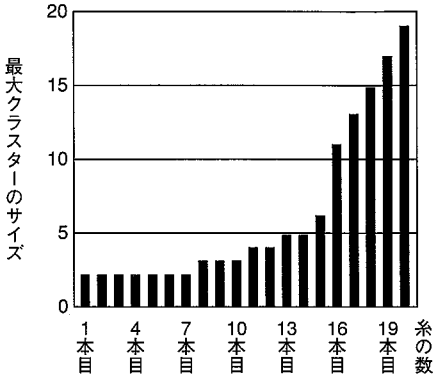
糸の数／ボタンの数＝10／20

(c)



糸の数／ボタンの数＝15／20

第二図　糸の数と最大クラスターのサイズ




ボタン数24での実験例

## 第四節　進化

前節までに詳しく見てきたように，生命現象から経済システムに至るあらゆる複雑系の創発，飛躍は相互関連し絡み合う多様な要素がある閾値を超える時に起こる「自己組織化臨界現象」(self-organized criticality) によって基本的な説明を与えられるべきものであった。しかし，このことは一つの複雑系の創発の後に続くべき自然淘汰と進化の過程を排除するものではない。むしろ，生命やシステムのような複雑系のダイナミックスの全過程は，自己組織化と進化の組み合わせの中でこそはじめてその全容が把握されると考えられるのである。つまり，カウフマンの言う「自己組織化と自然淘汰をともに包含する枠組み」が要求されることになるのである。本章では，このうち後者，すなわち自然淘汰のなかでの狭義の「進化」の問題を考えてみることにしたい。そこでは，ダーウインの漸進主義が主役を果たすことになろう。

### Ⅰ「進化」とはなにか

「進化」という言葉は使用される頻度が多く，それだけに乱用，誤用の少なくない言葉の一つであると言ってよい。ましてそれが経済学にお

いて使われる場合はそうであるようである。筆者も所属する「進化経済学会」(JAFEE)もすでに4回に及ぶ大会を経ているが,いまだに「進化経済学とはなにか」について学会員の統一的コンセンサスが出来ているとは必ずしも言えず,むしろその辺の多様な理解と,志向する方向の多様性がかえって学会のエネルギーとなっているとも言えるのである。そうした,現状のなかで「進化」を話題とする以上,どうしても「進化」の含意について一応の整理を行っておくことが不可欠であろう。

周知の通り,「進化」はevolutionの翻訳から来るものであり,evolutionはラテン語の*evolve*もしくは*evolvere*を語源とする(前者名詞,後者動詞)。そして,このラテン語の本来意味するところが,「巻物を開いていく」ということであること,言いかえれば巻物に書かれたストーリーが次第に展開していくということであることもすでに知られている。

この言葉が後にダーウインによって使われ,そのことによってダーウインの考えそのものが「進化論」(the theory of evolution)の名によって知られるようになったわけだが,その際に次の二つの点について特別の留意を加える必要がある。

第一は,ホジソンの指摘があるように(③,p.37),この言葉を最も好んで使ったのは19世紀の進歩主義思想を代表するハーバート・スペンサーであったのであり,ラマルクやダーウインのような進化論を代表する人たちはむしろこの言葉の使用を当初はためらっていたということである。ホジソンによれば,ダーウインがこの言葉を採用したのは,かれの代表作「種の起源」の第6版になって始めてであったのであり,それもごく控えめなかたちで使ったにすぎないとのことである。

第二に留意されるべきは,ダーウインがこうしてevolutionという言葉を採用してからも,それは本来のラテン語の意味とは当初から異なっていたこと,つまりここでの主たる含意は,遺伝子の変異が自然淘汰によって選択されて種の変質という結果につながるということであり,すでに書かれたシナリオにしたがって展開することを意味する*evolvere*とは基本的に異なるということである。

ダーウインのevolutionに関わる上記の留意点とは別に,日本語の「進化」という言葉に関連して,藤本隆宏氏の指摘する次の点を今一つ指摘しておかねばならない。すなわち,「日本に進化論が初めて紹介された時期において,ダーウインよりもスペンサーの進歩主義哲学の影響が大きかったことがあるといわれる。その進歩主義の影響から"evolution"に多分に進歩というニュアンスを含んだ〈進化〉という訳語が当てられ定着したのである」(⑩135頁)ということである。生物進化論のいう進化とは,要するに一定の環境のなかでの――遺伝子の変異とそれに対する自然選択を媒介としての――適応化の過程なのであり,決してそれは絶対的な「進歩」を本来意味するものではない。それにもかかわらず,「進化」がしばしば「進歩」とほぼ同意義に使われるのはややミスリーデイングとも言えるこのような日本語表現によるものであり,しかもその訳語の源泉にこうした事情のあったことを心にとめておくこともあながち無駄ではないだろう。

要するに,遺伝子の変異が,一定の環境条件のなかでの適応性によって選択され,それを媒介に種が変質することが,「進化」の基本なのであり,それは進歩であるよりも「適応化」というべきものなのである。だからこそ,環境条件の変化によって,これまでの適性(fitness)もまた失われうるものであり,したがって「適性」や「適応化」も常に環境条件との関係での相対性から免れがたいことが確認されるべきなのである。

ここまでの議論は,基本的に生物進化のコンテクストでのものだが,経済システムの進化の問題を考える場合もこの点に限って言えば何ら変わるところはないと言うべきであろう。

ジェオフリー・ホジソンは,基本的にはこの

ような見地に立ちつつさらに進んで，進化経済学を分類論的に規定して，(1)発展的(developmental)ではなく発生的(genetic)。(2)個体発生的(ontogenetic)でなく系統発生的(phylogenetic)(前者はあらかじめ決まったシナリオによる展開のかたちをとる)。(3)定まった最終目標に向かうようなものではなく(consummatory)，非完了的(non-consummatory) とした。

この稿での筆者の立場も，基本的にホジソンのこうした規定と同一の線の上に立っている。ただ，これとは別に，さらに生物進化と経済進化の共通点と相違点についてもう少し詳しく考えておきたい。

## Ⅱ　生物進化論と進化経済学

進化論は本来生物進化論として展開されたものであり，ごく最近になってようやくその考え方を経済学に導入する試みがはじまったのである。その意味で，少なくとも出発点では，進化経済学は生物進化論の一つのアナロジーとして始まった。だが，もともと生物進化論も仮説性を強く帯びたものであること，また，前節でみた「進化」の意味が，生物進化も経済進化もともに包みうるものであることを考えれば，仮説理論としての進化経済学を，それ自体独自の学問的営為として考えることに何らの問題もない。重要なのは，あくまでも創られるべき進化経済学の経済理論としての有効性と説得力につきると言うべきであろう。

だが，一方で，進化を生物について考える場合と経済について考える場合の条件の相違は明かでもあり，それらの点をあらかじめ整理しておくことも必要であろう。

まず，この問題についてリチャード・ネルソンが，生物進化論と進化経済学の共通点と相違点を述べているので，議論の出発点として紹介しておこう (⑪，以下邦訳は筆者)。第一に，両者の共通点としてかれが指摘するのは次の諸点である。

(1)「両者とも，注意の焦点は時間を経て変化しつつある変数もしくは変数の集合におかれ，かつ理論的追求は観察される変化の背後にあるダイナミックな過程の理解に対してなされる。」

(2)「これらの理論は，問題の変数なりシステムが何らかのランダムな変異もしくは動揺にさらされていること，しかもそれらの変異をシステマテイックに選択するメカニズムのあることを提起する。また，理論の予測力と説明力の多くは，このシステマテイックな選択プロセスにかかっているのである。」

(3)「どちらにおいても選択の過程を生き延びたものを保存しようとする強い慣性力が働くと考えられている。しかし，多くの場合，同時に新しい変異を導入し続けるべき力も働いており，それがさらなる選択の対象となっていくのである。」

両者の共通点としてこれらの指摘自体には筆者も同意するものである。だが，ここには，両者をともに包むべき重要な一点が欠落していることを見逃すべきではないだろう。それは，先にも見たように，適応性の選択なるものがあくまでも特定の環境条件との関連のなかでの相対的なものであり，環境を超えた絶対的なものではとうていありえない点である。この点は，生物進化を考える場合にも当然念頭に置かれるべきところだが，経済システムのダイナミズムを分析する場合にはさらに重要となるとも考えられるのである。

ついで，ネルソンの言う両者の相違点である。彼によれば，それは次の諸点となる。

(1)「多くの種の進化において，性や結婚が主要な役割を果たすという事実は，生物学では重要だが，経済学ではまれにしか意味をもたない。」

(2)「世代概念は生物学では使われるが，技術，企業，制度の進化の分析には簡単には適用されない。」

(3)「ある種の経済進化論はあえて（個体が後天的に獲得した形質は遺伝しうるという…筆者）ラマルク主義の立場をとるが，この考えは生物

学ではすでに信用を失っている。」

(4)「経済進化論では，グループ選択が強調される。」

これらも，おおむね首肯できる議論だが，ここでも若干の留意点を追加しておく必要があると思われる。

第一は，性，結婚，世代のようなコンセプトは，たしかに一見経済進化には無縁のように見えるが，少なくともアナロジーとしては，これらに類することが十分に考えられるということである。

例えば，既存の複数の企業から複数の人材がスピンオフして新たな企業をつくる場合などは，明らかに，親企業から出た「遺伝子」が新たな邂逅を通して，新たな「世代」をなす企業を生み出すことになり，少なくともここに結婚や世代のアナロジーを見いだすことは許されるだろう。

第二は，生物進化においては「遺伝子」が，染色体に宿り，したがってしばしば物理的な力の働きなどによっても偶然の変異をとげることがあるのに対して，経済進化においての「遺伝子」は，人間の意識もしくは人間の集団の意識・行為に宿る点で本質的に異なることである。こうした意識的行為に関わるからといって,「遺伝子」の変異の結果が必ずしも意識によってコントロールできるものでもないことは，カウフマンも指摘した「盲目の時計職人」が導く技術の発展の例が示している通りである。だが，少なくとも，こうして「遺伝子」の意識との関わりがあればこそ，経済進化へのラマルク主義の一定の妥当性が認められると考えるべきであろう。

第三に，ネルソンが示していない点として，生物進化と経済進化のタイムスパンの違いを考えておくべきだろう。すなわち，生物進化におけるタイムスパンは数万年から数億年にかけてのものであるのに対して，経済進化は，せいぜい数十年長くても1世紀程度のタイムスパンで考えられることである。まさに，カウフマンがいうように，「生物と人工物はそのスケールや複雑さや壮大さにおいて大きく異なる。とくにその進化の過程に費やされる時間は比べものにならない」（ ④，344頁）のである。

## Ⅲ　「適応地形」と進化

以上において「進化」概念にとって基本的に留意されるべき諸点を確認してきた。これらの準備の上に立って，さらに進化が展開さるということは，いったいどういうことなのかのごく抽象的な説明を，モデルを通して述べてみたい。とくに断らない限り，ここでのモデルはカウフマンのNKモデルによっている（④，310—316頁）

説明の単純化のため，ここでは生物進化の場合では普通に考えられる二倍体交配個体群ではなく交配のない半倍体個体群に即して問題を考える。

また，さまざまの遺伝子の一定の環境に対する適応度は非負の数値で表現されうるものとする。遺伝子型は複数の遺伝子の組み合わせで表され，各遺伝子には1か0の値が与えられる。1は当該の性質の存在，0は非存在を示すものとする。かくて，一つの遺伝子型は，遺伝子が三つの場合，例えば（0，0，1）というふうに与えられる。遺伝子型の一つを0から1（もしくは1から0）に変えれば，遺伝子型は，（0，1，1）となるが，これは先の遺伝子型に隣り合っている遺伝子型ということになる。遺伝子型の適応度は，構成する遺伝子の適応度の平均によって決まり，各遺伝子の適応度は他の遺伝子との組み合わせによっても変わりうるものとする。

### (1)ランダムな適応地形

まず遺伝子が三つの場合（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）について，適応度がまったくランダムに与えられる場合を考える。下表の適応度の数値は筆者がまったくランダムに与えたものである。

これが，ランダムな適応地形の一例である。

第二表

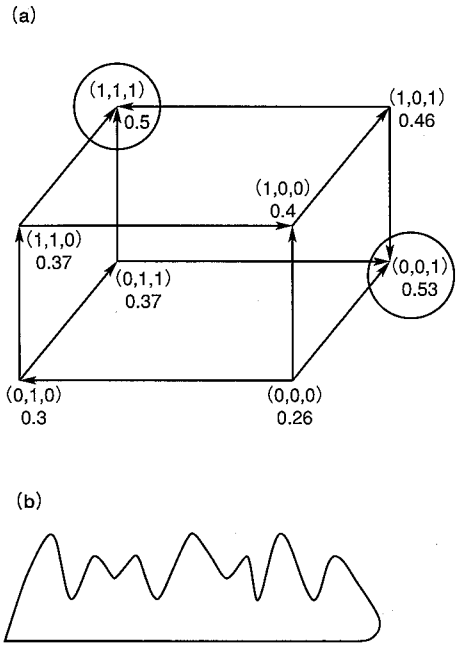
| 遺伝子型 | 各遺伝子適応度 | | | 遺伝子型適応度 |
|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ, | Ⅱ, | Ⅲ | |
| (0, 0, 0) | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.26 |
| (1, 0, 0) | 0.7 | 0.3 | 0.2 | 0.4 |
| (0, 1, 0) | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.3 |
| (0, 0, 1) | 0.3 | 0.7 | 0.6 | 0.53 |
| (0, 1, 1) | 0.1 | 0.2 | 0.8 | 0.37 |
| (1, 0, 1) | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.46 |
| (1, 1, 0) | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.37 |
| (1, 1, 1) | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0.5 |

この適応地形の上を，適応歩行することによって遺伝子型が次第に進化する問題を考えてみる。歩行は，当然一つの遺伝子を０から１，もしくは１から０に置きかえることによって一歩一歩行われる以外にない。その際，適応度の数値が上がれば前進し，下がれば動かないとする。このことは進化の実際では，選択を通して行われることは言うまでもない。さて，ここであげたランダムな適応地形では，どの地点から出発しても結局二つの局所的ピーク，この場合は（０，０，１）と（１，１，１）のいずれかに到達することによって終わることになる。したがってたまたま後者のピークすなわち（１，１，１）にたどり着いた場合は，それが必ずしも最高のピークではないにもかかわらずそれ以上の歩行が不可能となる。この関連を視覚的にわかりやすく示そうというのが，次の直方体である。ここで矢印は歩行の方向を示し，○で囲われたのは局所的ピークをあらわしている。

問題は，ランダムな適応地形における局所的ピークの数である。視覚的に見えやすくするために，ここでは遺伝子がわずか三つのきわめて単純な遺伝子型を考えたため，局所的ピークの数は二つとなった。生物においてはもとより，経済システムのようなものを考える場合もそれを構成する部分要素のようなもの（つまり遺伝子にあたるようなもの）は，おそらくもっと多くなると考えられる。その場合，局所的ピークの数ははるかに多くなると予想される。

遺伝子の数がＮ個とすると，確率論的には局所的ピークの数は２のＮ乗／Ｎ＋１となる。

第三図




その理由は以下のように説明される。すなわち，Ｎ個の遺伝子がある以上，一つの遺伝子型に隣接する遺伝子型はＮ個存在する。したがって，この遺伝子型が局所的ピークとなる確率は，１／Ｎ＋１となる。各遺伝子は，それぞれ０と１に分けられる（ある性質があれば１かなければ０）から，可能な遺伝子型は２のＮ乗個存在することになるため，可能な局所的ピークの２のＮ乗／Ｎ＋１となるのである。遺伝子が三つの先の例では，この式から８／３＋１＝２となるが，Ｎの数が増大すれば，局所的ピークの数は一気に増えてしまう。例えば，関連する部分要素が，六つ存在するシステムの場合(例えば，「日本的システム」の場合も，作業編成の集団主義，長期雇用制，年功賃金制，文脈的技能主義，メインバンクシステム，企業集団

など，ちょっと考えただけでも６つ以上の要素システムが浮かんでくる)，局所的ピークは64／７＝9.13となる。９個もある局所的ピークのなかには，最高のピークよりもかなり低いこともありうるし，さらに局所的ピークが多ければ，わずかの歩行でこうした局所的ピークにつかまることになり，ピークの高さも総じて限られることになる。要するに，このようなランダムな地形は，「月面」のようにギザギザしており（第三図b)，基本的に「進化」にはなじまないのである。

第三表

| 遺伝子型 | 各遺伝子適応度 | | | 遺伝子型適応度 |
|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ, | Ⅱ, | Ⅲ | |
| (0, 0, 0) | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.30 |
| (1, 0, 0) | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.43 |
| (0, 1, 0) | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.40 |
| (0, 0, 1) | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 0.43 |
| (0, 1, 1) | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 0.60 |
| (1, 0, 1) | 0.8 | 0.3 | 0.8 | 0.63 |
| (1, 1, 0) | 0.2 | 0.8 | 0.2 | 0.40 |
| (1, 1, 1) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.80 |

⑵遺伝子間の優位性の相互連関と多様な適応地形

にもかかわらず，生物の歴史には多様な進化が現実に認められているし，システムもまたそれなりの進化を遂げてきたとも考えられるのである。つまり，進化地形の多くは，ここまでに見たランダムな地形をとっていないと思われるのである。

そのような意味で，地形のランダム性に影響を与えると考えられのが，遺伝子相互間の優位性の相互関連(*epistatic interaction*)の度合いであると考えられている。

つまり，さまざまの遺伝子の優劣は，当該の遺伝子だけでなく，他の遺伝子の状況によっても影響を受けており，そうした遺伝子間の優位性の相互関連を見逃してはいけないということである。

例えば，体積の大きな脳は，二足歩行とまっすぐな背骨との関連で優位性をもたらすが，もし四足歩行と関連すれば，首だけで重い脳を支えねばならず，大きな脳の優位性は大きく損なわれることになるかもしれない。また，日本的な集団主義的協調は，長期雇用のもとでこそよりよく機能しうるのであり，短期雇用のもとでは非協力的ゲームの生起しやすい条件が生まれることによって，その機能が少なからず阻害されることにもなるだろうということである。

結論から言えば，こうした遺伝子間の優位性の相互関連が非常に少なければ，適応地形はなだらかになり，「進化」の登山はより容易となるが，そうした関連が多くなるごとに地形はランダム地形に近づき「進化」はより困難となるということである。

ふたたびもっとも単純な遺伝子三つからなる遺伝子型に即して，まず優位性の相互関連がまったくない場合を考えてみよう（カウフマンのNKモデルでは遺伝子の数N＝３に対して，これに影響する他の遺伝子の数K＝０と表現される)。つまり各遺伝子はそれぞれ独立の事情により，適応度へのより良いかより悪いかに分かれる場合を見る。よい場合を１，悪い場合を０とすれば，各遺伝子の適応度，遺伝子型の適応度平均は第三表のような単純なものとなる。

（１，１，１）の遺伝子型の適応度がもっとも高いのは，明らかであるが，同時にどこから出発しても隣接のより適応度の高い地点に移行することで，容易にもっとも高いピークに到達することが可能となる。ふたたび直方体上で矢印で歩行順を示しておく。ここには局所的ピークはなく，山形はカウフマンの表現によれば，さながら富士山のようになだらかで単純である。

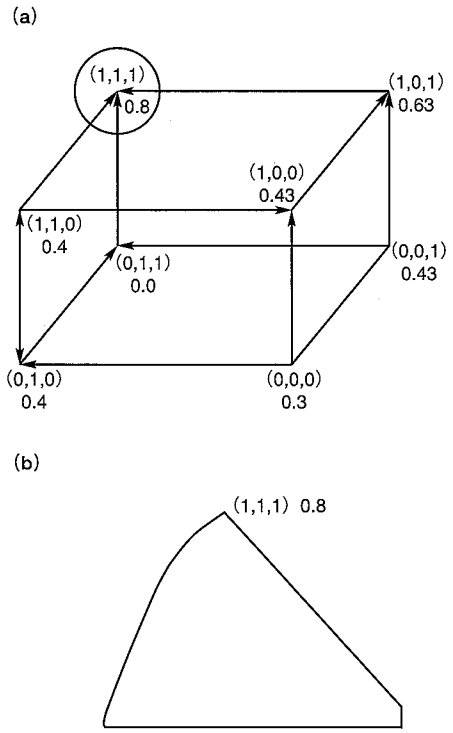
この場合を出発点に，次第にKの数を増やしていくと，適応地形は次第にデコボコになり，K=N—１，すなわち他の遺伝子すべてが

それぞれの遺伝子に影響を与えるにいたると，適応地形は全くランダムになり，山は月面のようなギザギザ状態になる。言い換えれば，２のＮ乗/Ｎ＋１個の局所的ピークをもつ地形となる。

なぜならば，Ｋの数が次第に増加するということは，個別遺伝子の変異が多数の遺伝子に影響を及ぼすことを意味し，しかもそれらの遺伝子が受ける影響がそれぞれ異なるばかりか，場合によっては相拮抗することも十分考えれることになるからである。つまりＮ＝３の単純な遺伝子型で見ても，遺伝子Ⅱの１から０への変化は，遺伝子Ⅰ に対しては適応度への貢献を引き上げるポジテイヴな影響を与えながら，同時に遺伝子Ⅲに対してはその適応度への貢献を引き下げるネガテイヴな貢献をするようなことが十分ありうることになるからである。Ｎ＝３の場合のランダムな地形の例はすでに第一表，第一図 a,b で示しているので再度それを参照して頂きたい。だが，ここでももう一度念を押して置く必要があるのは，Ｎ＝３のような単純な場合には，局所的ピークはたしかに二つだけであるが，Ｎの増大とともに，こうした局所的ピークの数は幾何級数的に増えていくこと，従って「進化」の登山はますます困難を極めることになることである。

これら二つの中間のケース，すなわち今のＮ＝３のような単純な遺伝子型ではＫ＝１であるケースでは，結果も上の二つの中間となるのは言うまでもない。つまり，ここでは各遺伝子は他の一つの遺伝子との間にのみ優位性の相互連関をもつ。例えば遺伝子Ⅰは遺伝子Ⅱとの間にのみこのような連関を持ち遺伝子 Ⅲとの間には何らの相関を持たない。また，遺伝子Ⅲは遺伝子Ⅱと弱い相関を持つとしよう（厳密にはこのケースの平均のＫ値は１ではなく４／３である)。第四表がそのケースの一つの数値例を示したものである。

第四図



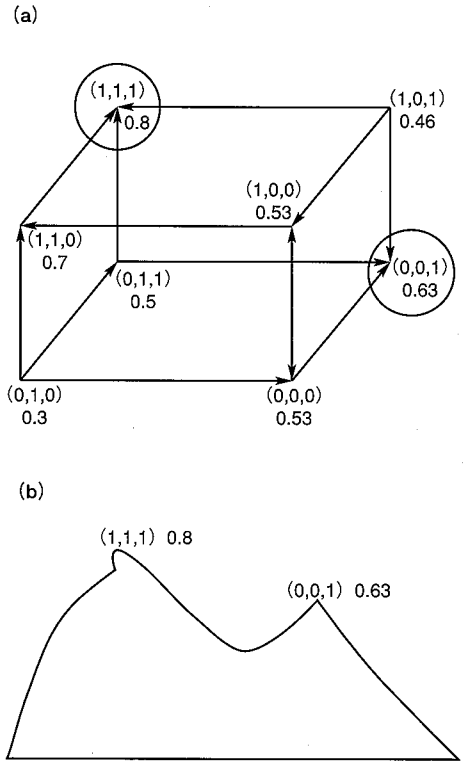

第四表

| 遺伝子型 | 各遺伝子適応度 | | | 遺伝子型適応度 |
|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ, | Ⅱ, | Ⅲ | |
| (0, 0, 0) | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.53 |
| (1, 0, 0) | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.53 |
| (0, 1, 0) | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.30 |
| (0, 0, 1) | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.63 |
| (0, 1, 1) | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.50 |
| (1, 0, 1) | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.46 |
| (1, 1, 0) | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.70 |
| (1, 1, 1) | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.80 |

第五図によってより視角的に把握されうるように，ここには二つの局所的ピークがあるが，両者には微妙な相違も認められる。より低い方のピークは一旦そこにたどり着けば動きが止まるという意味でたしかに局所的ピークに違いないといえるが，他のどの地点からも，ここにたどり着くことなく，最高のピーク，(１，１，１）に向かうルートはどこからでも開かれているの

である（矢印をたどることによって読者はこの点を確かめることができるはずである)。しかし，（0，0，0）および（1，0，1）からの出発の場合，道順の方向を誤れば，より低い局所的ピークに捉えられてしまうことになるのである。山形はしたがって第五図ｂのようなものと思われる。

第五図




⑶雇用と労働のシステムにおける example

なだらかな適応地形とギザギザ地形の中間的な地形の今一つの例として，日本的雇用と労働編成のシステムを example として取り上げておきたい。単純化のために，このシステム問題に関連する要素システムは，長期雇用（Ⅰ）と文脈的技能[1]（Ⅱ）と集団主義的作業編成（Ⅲ）に限定され，これら要素システムと背後にあるべきあらゆる他の要素の関連は一切無視される。しかも，ここでの優位性の相互関連は，第五表(a)に示されるようなものとする[2]。（Ⅰ）について１は，長期的雇用制の存在，０はその非存在すなわち短期雇用制の存在。（Ⅱ）についての１は文脈的技能の要請の存在，０は機能的技能の要請の存在。（Ⅲ）について１は集団主義的作業編成，０は個人の職務規定の明確化に基づいた個人主義的作業編成の存在をそれぞれ意味するものとする。

さて，今一つこの例で次のような前提をあらかじめ設定する。それは，今問題としている産業では，（Ⅱ）が０であること，つまり機能的技能を要請することが当該産業の条件にあっているという前提である。例えば，今日の銀行や，コンピューターソフト業界のように財務のプロやソフト開発の優れた技能者への期待が大きい産業を考えてみようということである。つまり（Ⅱ）が０ならば，その適応度は，0.9であり，１であれば0.4であるような状況を考えようというのである。雇用制と作業編成はそれ自体は産業に対して中立だが，日本の社会では他の諸条件の影響で短期雇用は長期雇用より－0.2程度の劣位にあるもとのとする。ここでは他の要素からのマイナス効果がない場合，（Ⅰ）の１は0.9,（Ⅰ）の０は0.7と考える。（Ⅲ）についても他の要素からのマイナス効果がない限り0.9とする。このような場合，上の関連表のもとでは，適応度は次の(第五表(b))のようになろう。

みられる通り，ここでは局所的ピークは二つとなる。第六図で見られるように，（１，１，１）すなわち，長期雇用，文脈的技能，集団主義的

---

１）文脈的技能は，特定の組織の文脈の中で要求される技能で，特定の機能にのみ関連する機能的技能と対置される。(くわしくは⑨)

２）三つの要素システムの間の優位性関連にはそれなりの根拠があるが，ここではその詳細な説明はやらない。ただ，この example は筆者が後に予定している日本的システムの転換の可能性を論ずるところで取り上げる。こうした関連を考える根拠はそこで述べることにする。

**第五表**

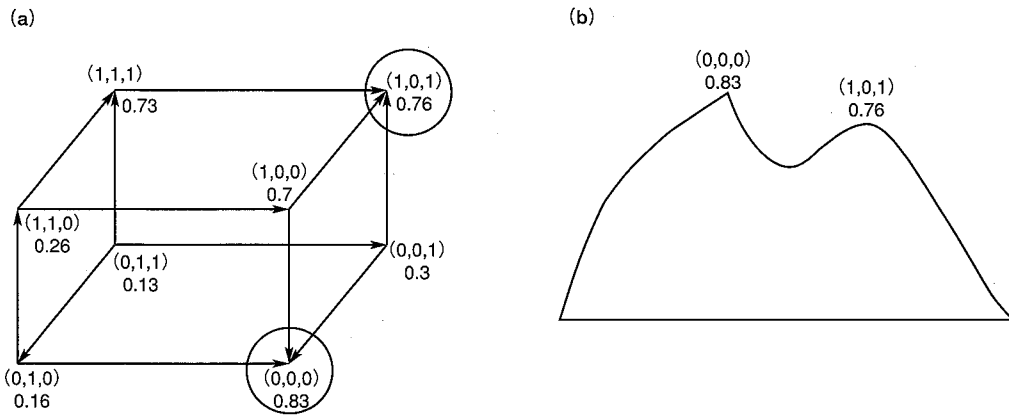
(a)

| | | |
|---|---|---|
| (Ⅰ), (Ⅱ) 間の優位性関連 | (0, 0) | 双方にマイナス効果なし（短期雇用は機能的技能に適合） |
| | (0, 1) | 双方に−0.4の効果（短期雇用は文脈的技能と不適合） |
| | (1, 0) | 双方に−0.1の効果（長期雇用は機能的技能とやや不適合） |
| | (1, 1) | 双方にマイナス効果なし（長期雇用は文脈的技能と適合） |
| (Ⅱ), (Ⅲ) 間の優位性関連 | (0, 0) | 双方にマイナス効果なし（機能的技能は個人主義と適合） |
| | (0, 1) | 双方に−0.1の効果（機能的技能は集団主義とやや不適合） |
| | (1, 0) | 双方に−0.5の効果（文脈的技能と個人主義は全く不適合） |
| | (1, 1) | 双方にマイナス効果なし（文脈的技能は集団主義と適合） |
| (Ⅰ), (Ⅲ) 間の優位性関連 | (0, 0) | 双方にマイナス効果なし（短期雇用は個人主義と適合） |
| | (0, 1) | 双方に−0.5の効果（短期雇用は集団主義と全く不適合） |
| | (1, 0) | 双方に−0.2の効果（長期雇用は個人主義と少し不適合） |
| | (1, 1) | 双方にマイナス効果なし（長期雇用は集団主義と適合[2)]） |

(b)

| 遺伝子型 | 各遺伝子適応度 | | | 遺伝子型適応度 |
|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ, | Ⅱ, | Ⅲ | |
| (0, 0, 0) | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.83 |
| (1, 0, 0) | 0.6 | 0.8 | 0.7 | 0.70 |
| (0, 1, 0) | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.16 |
| (0, 0, 1) | 0.2 | 0.8 | 0.3 | 0.30 |
| (0, 1, 1) | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.13 |
| (1, 0, 1) | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.76 |
| (1, 1, 0) | 0.7 | 0.0 | 0.2 | 0.30 |
| (1, 1, 1) | 0.9 | 0.4 | 0.9 | 0.73 |

**第六図**



作業編成の組み合わせという伝統的な日本的方式から出発しても，技能の性質を変えるだけの（1，0，1）という局所的ピークに登ることが出来る。最高のピーク（0，0，0）に至るルートはないが，それでも局所的ピークは最高のピークと比べてそんなに低いものではない。このことにはわが国の一部産業の今後の進化の方向を暗示する興味深い示唆が見出されるが，その辺の詳細はさらに別稿で取り上げたいと考える。

⑷上昇のための時間と高さ

以上において，主として三つの遺伝子からなる単純な遺伝子型について，「進化」の基本を説明してきた。

ここでは，単一の遺伝子の変化によって隣の遺伝子型に移る，一歩一歩の進化が考えられた。それによって平均適応度が上昇すれば，選択・淘汰によって，「進化」の山を一歩登ることとなり，平均適応度が下がれば，選択・淘汰によってそこに留まる状況が考えられた。その意味で，ここでの「進化」は，文字通りダーウイン的漸進主義の姿をとった。

また，このことによって，いったん局所的ピークに捉えられれば，そのピークが，最高のピークよりかなり低くてもそこに留まらざるを得ない所以も容易に理解され得たと思われる。つまり，局所的ピークの隣は，適応度がより低いのであり，一歩づつの歩行をする限り選択・淘汰によって歩行を止められることになるからである。システムの「進化」に関連して，若干敷衍して言えば，仮に現状が最高でないことがわかっていても，一つのシステムは，今ある局所的ピークから容易には脱出できないということなのである。

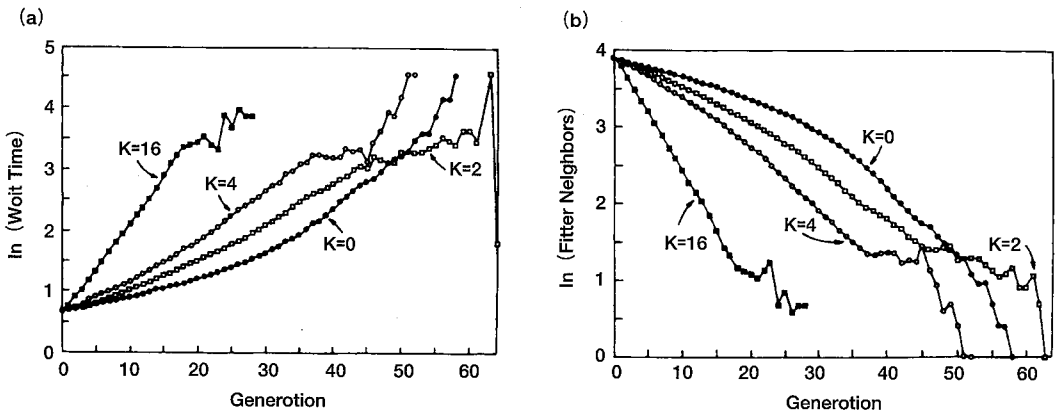
ところで，ここまでの説明はもっぱら視覚的にもわかりやすい直方体による制約を受けたため，遺伝子型は遺伝子三つの単純なものとなった。そのせいで上昇に要する時間（上昇を求めての単一遺伝子の変異試行の回数…カウフマンはこの回数を「世代」と呼んだ）の問題や，上昇できる高さが，上昇するごとに次第に長く，低くなっていくことについては十分な説明とはなり得なかったと思われる。

したがって，カウフマンによる計算の結果の図（第七図④323頁，第八図④316頁）によって，その要点を要約することによって，それらの点を確認しておきたい。

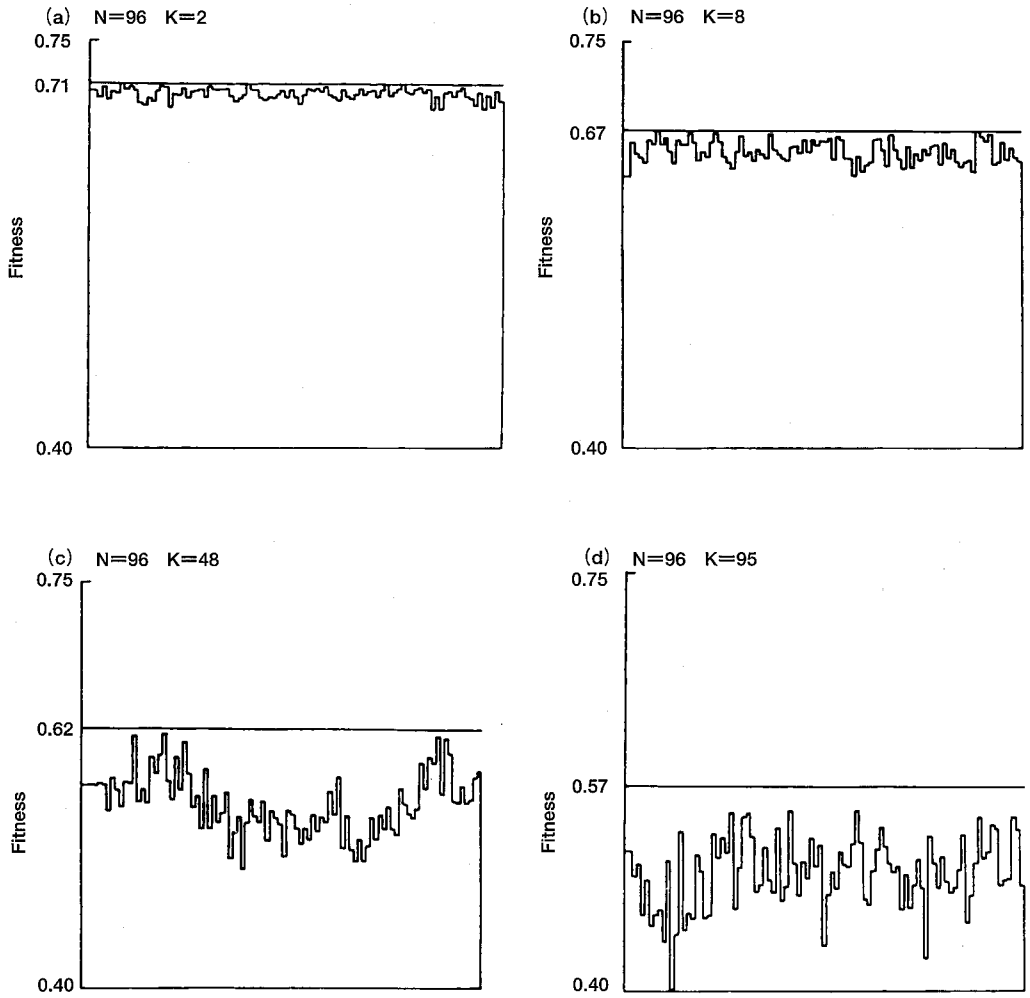
⑴N＝96の場合の待ち時間の長さ（上昇方向を見出すまでの試行回数）は，「世代」を経る毎に（「進化」の歩行を重ねる毎に）指数関数的に長くなる（縦軸の対数目盛に注目）。

⑵K値が大となるにつれ，この傾向はいっそう強くなる。

第七図



第八図




(3)K 値が小さければピークの適応度は高く，N−1個に及ぶ隣接遺伝子型の適応度との差は小さい。(つまり，なだらかな傾斜の高い山)。

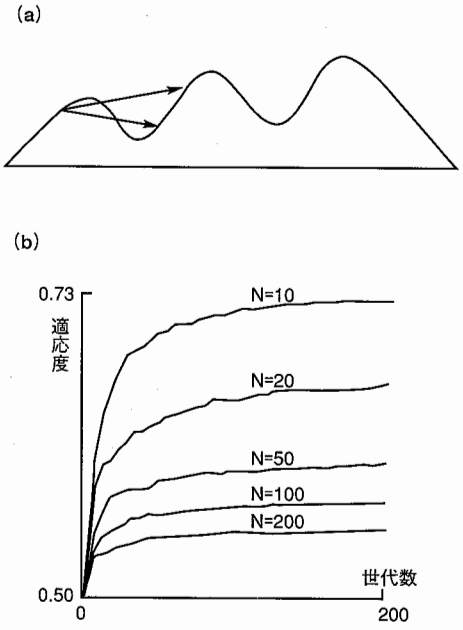
(4)K 値が大となるにつれ，ピークは低くなり，隣接点との高度差は大きくなる（次第に月面のようにギザギザ状となる)。

これらの説明の詳細は，④の参照を薦めるにとどめここでは省略する。ただ，適応度の平均的な地点から出発して，適応地形を登る場合，最初はより高い地点の存在する確率は50％であるが，登るにつれて，より高い地点が，より低い地点より急速に少なくなっていくことは簡単に理解できるところであり，したがって一歩上昇のための時間がより長く，上昇高度がより小さくなるだろうことは感覚的にも明瞭であるとしてよいだろう。

(5)適応地形の飛び越え

これまでは，遺伝子の一つを変異させることによって，隣接の適応度のより高い遺伝子型へ

第九図




カウフマン④349頁

一歩一歩登っていく「進化」を考えた。その点で，まさしくダーウイン式の漸進主義の典型とも言うべき「進化」が扱われたわけである。

だが，これとは別に，複数の遺伝子が同時に変異して「適応地形図の上を遠くまで移る」ような「進化」も当然，あり得るのである。それは，あたかも第九図のような適応地形を矢印のように飛び越えるような「進化」となる。

すぐ理解されるようにこの場合は，隣の遺伝子型に一歩動くことに比べて，適応度の飛躍的な変化の可能性が当然高まる。もちろん，「飛躍的な変化」には，上昇･下降の両方の可能性のあることが見落とされるべきではない。

試行を続けることによって，上昇の確率が，下降の確率に比べて指数関数的に小さくなること，上昇の距離も小さくなることは，一歩一歩の歩行の場合と変わらない。また，カウフマンの図（上掲第九図(b)）が示しているように，遺伝子の数Nが増大するごとに，試行による上昇の幅は小さくなり，必要な試行回数は増大していくことが知られる。つまり，「生物が複雑になればなるほど，生物にとって有益な劇的変化を，自然淘汰を通して起こすことはますますむつかしくなるのである」(④，349頁)。

以上のような，適応地形の飛び越えの実例は，生物界では5億5000万年前のかの「カンブリア紀の進化の大爆発のときのように，身体の主要な構造がまったく異なる種すなわち門がはじめに現れる」(④，350頁）という事実のなかですでに確認されている。また，スチュワート・カウフマンは，こうした「カンブリア型の多様化パターン」を新技術の初期進化の特質にも適応しており，そうした議論の妥当性も十分認められる。

だが，われわれにとってより重要な問題は，こうした適応地形の飛び越えのような進化がはたして経済システムの問題にも適応できるかどうかということである。

この点で，以下の二点を考慮されるべき点として特に指摘しておきたい。

第一は，経済システムはやはり高度に複雑なシステムであり，関連するNの数も少なくないだろうことである。だが，この問題は，当面の問題にとって捨象可能な要素を除いてよい場合には，部分システム（例えば先の「雇用・労働のシステム」[3]など）に分析する形で解決可能かもしれない。

第二の問題は，経済や経営のシステムの場合

3）先のわれわれのモデルでは，(1，1，1）から出発したシステムが，全要素を転換していきなり（0，0，0）に移行するようなことがこの例となる。だが，他の捨象した諸条件の捨象がここでも可能かどうかは考えておかねばなるまい。たとえば，社会の全体的条件の圧力で短期雇用の存続が困難となった場合，つまり(0，0，0)が(1，0，0）に引き戻されたとすると，先の数値例では平均適応度の低下が起こってしまうのである。ただ，モデルでの遺伝子Ⅰ，Ⅱ間の不適合度や，Ⅰ，Ⅲの間の不適合度の数値がもう少し小さいとなると，二つの遺伝子の同時変異という飛躍（つまり，1，1，1から1，0，0への移行）がよりよい結果につながることになるかもしれない。この辺は，与えられる条件次第となるということである。

は，失敗は市場からの退去を結果することがままあるのであり，飛躍への試行のリスクは非常に高いことである。たしかに一歩一歩の歩行でも下降の可能性はあるが，その場合の移動は，隣への移動であり，下降の幅も，市場でのサーバイブそのものを損なうものでない程度ですむことが十分あり得る。これに対して，飛び越えへのチャレンジはまかり間違うと奈落の底への転落になりかねないのであり，普通の状況ではこうした選択がされ得ないと考えるのが妥当ではないかとも思われる。

敢えて言えば，普通ではない状況，経済自体がなおカオス的混乱，もしくはそれに近い「カオスの縁」にある時に，このような飛躍への試みにもなんらかのインセンテイブが与えられうるかもしれない。このへんの究明は後の課題としたいところである。

## Ⅳ　共進化と適応地形の変容

「進化」に関連して最後に述べておかねばならないのは，「共進化」とそれによる適応地形の変形の問題である。

ここまでの議論は対象となる複雑系―「種」であれ「システム」であれ―が，相互に影響しあうことはなく，それぞれに当てられる適応地形もおのおの独立するなかで，基本的には不変であると仮定されてきた。だが，ここで複雑系相互の共進化による影響と，それによる適応地形の変容をさらに考慮に入れていかねばならない。多少長くなるが，再びこの関連でのカウフマンの言葉を引用しておきたい。

「種は適応地形の上を進化するだけでなく，たがいに共進化するのである。適応地形は固定され不変であると仮定したわれわれの理想化は誤りである。環境の変化にともなって，適応地形も変化するのである。そしてある一つの種の適応地形は，その種のすむ場所に影響をもつ他の種が，自分たちの適応地形の上で適応度を高めようとする行動するために，変形を受けてしまう。コウモリとカエル，捕食動物と被食動物は共進化しているのである。コウモリが適応度を上げようと行動をすると，そのことがカエルの適応地形を変えてしまう。種はダンスを踊るように，たがいに結びついた適応地形の上で共進化しているのである。

…生物の共進化は，生物自身も，生物が相互作用する仕方も，ともに変えてしまう。…つまり共進化の進化，つまり共進化のプロセス自体がさらに進化するのである！」(④，372頁)

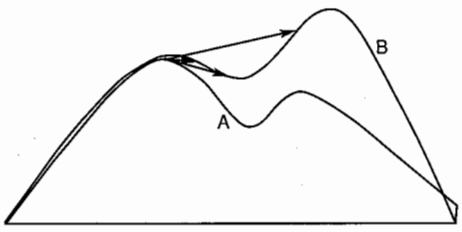
「ある生物たちがより適したところを求めて適応地形の上の丘をよじ登ると，そのことが共進化のパートナーたちの適応地形を変形させてしまう。」(④，394―395頁)

かかる共進化とそれによる適応地形の変化の例を，経済システムの中に探し出すことはそれほど難しいことではない。

a,b,c,d…の企業が共進化することによって，それぞれの企業に与えられていた適応地形が変容することもこうした例だし，さらにはアジア，アメリカ，日本などの共進化的発展によってそれぞれの国の企業の適応地形が変わるだろうし，それとともに相互の共進化の関連そのものも進化していくと考えることが出来よう。

このようなかたちで，適応地形が変容する一つの例として，第十図のような状況つまり，適応地形Aが共進化によってBに変容した場合を考えてみよう。見られる通り，かつての最高ピークは新たな地形では，より低い局所的ピー

第十図



クのやや下になってしまう。この企業がここでとるべき選択は基本的に二つ，すなわち一歩歩行によって新しい局所的ピークをめざすことと，リスクを冒しながら，より高い山頂に向かって飛躍を試みることである。いずれの場合にも，適応度がかえって下がる危険はあるが，当然，一歩歩行の方が，低下幅は小さく危険はそれだけ少ない。

**参考文献**


①Richard Nelson & Sydney Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, MA: Harvard University Press,1982

②富森虔児「進化経済学の成果と限界—システム転換の経済学を求めて」『経済学研究』(北大)，第48巻第4号，1999

③Geoffery Hodgson, *Economics and Evolution*, Polity Press, 1993

④スチュワート・カウフマン著（米沢冨美子監訳）『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，1999 (Stuart Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and complexty*, Oxford University Press,1995)

⑤ジャームス・トレフィル著（家泰弘訳）『人間がサルやコンピューターと違うホントの理由』，日本経済新聞社，1999 (James Trefil, *Are We Unique*, John Wiley & Sons, Inc.1997)

⑥Robert Shapiro, *Origin: A Skeptic's Guide to Life and Earth*, NY.Summit, 1986

⑦佐藤祐一，永井靖敏編著『アメリカ経済の繁栄はいつまで続くか』，東洋経済新報社，1999

⑧吉川洋『転換期の日本経済』，岩波書店，1999

⑨青木昌彦，奥野正寛編著『経済システムの比較制度分析』，東京大学出版会，1996

⑩藤本隆宏『生産システムの進化論』，有斐閣，1997年

⑪Richard Nelson, "Recent Evolutionary Theorizing About Economic Change", *Journal of Economic Literature*, Vol. XXXIII,pp.48-90, 1995