

つながりのいのち — ゲノム情報システムの自己展開

Life as a Linked System — Self-development of the Genome Information System

垣谷 宏子

論文構成

I はじめに

II ゲノム情報システム

- II-1 原始生命体の誕生 — ゲノム情報システムの創成
- II-2 生命の営み — ゲノム情報の発現
- II-3 生命のつなぎ — ゲノム情報の伝達

III 自己展開による発展

- III-1 環境変化への適応 — ゲノム情報の変化
- III-2 生物の進化 — ゲノム情報システムの自己展開
- III-3 生態系の形成 — ゲノム情報の淘汰

IV 展開の方向を決めるもの

- IV-1 物質系の原理
- IV-2 生態系による評価
- IV-3 物質、エネルギー、そして情報

V 自己展開における情報化

- V-1 情報分子ゲノムの分離
- V-2 非情報化システムの有効性
 - V-2-1 種多様化の促進
 - V-2-2 生態系の安定化
- V-3 生命の始まりの情報化

VI おわりに

I はじめに

地球生命系は40億年の歴史を持つ。単細胞生物として始まった生命は、多細胞生物への発展を含め、多様な生物種を生み出し、多様な生態系を形成して現在に至っている。この生物進化の過程は地球生命系の自己展開の過程である。それは生命系自らが変化、発展してきた過程である。地球生命系の自己展開を可能にしたのは、生命系が創り出したシステムの自己展開可能性にある。地球生命系はゲノム情報システムとして創り出された。情報システムは基盤となる情報の変化に応じて発展する。基盤情報を変化させる機構を内包する情報システムは、自己展開を起こし、多様な系に発展していく。自己展開可能なゲノム情報システムが、地球生命系としての自己展開を繰り返し、多様で多彩な生物進化の過程を実現してきたのである。

地球生命系のゲノム情報システムは、その自己展開の過程で、新たな方式による人の知識情報システムを創り出した。この自己展開が人の知性進化を促し、人の繁栄を築いてきた。地球生命系は2系の自己展開情報システムを創り出したのである。この知識情報システムを含めた分析は次稿に譲ることとする。

本稿では、地球生命系の自己展開をゲノム情報システムの視点で捉える。この視点から、地球生命系の自己展開の方向を決定する物質系の原理、その評価システムとしての生態系の役割を明確にしていく。この認識の基に、地球生命系の自己展開過程における情報化、非情報化の有効性を示し、原始生命形成過程の情報化について考察する。

II ゲノム情報システム

II-1 原始生命体の誕生—ゲノム情報システムの創成

地球生命は生命をつなぐことを本性として創り出された存在である。地球生命系の始まりは、次世代に生命をつなぐシステムが創り出された時であると言える。この最初のシステムを原始生命体と呼ぶ。原始生命体が誕生した原始地球環境には、太陽エネルギーによって作り出された反応性の高い有機物質が満ちていた。これを糧として原始生命体は生命の営みを始めた。このシステムの創出は試行錯誤方式による。太陽系の惑星として地球が誕生したのは、およそ46億年前と考えられている。原始地球の海洋の中で多くの試みがなされ、数億年のときを経て、生命をつなぐシステムが創り出されていった。生命の営みの始まりは、多様な形で試みられたと考えられる。多様な素材、多様な様式での営みが始まっていたであろう。それらの多くの試みの中で、現生生物のルーツとなるものが誕生した。現在の科学的知見では、現生生物のルーツは共通であると考えられている。40億年のときの過程を経て、現生生物に生命をつなぎ続けることに成功したシステムが、地球生命系の起源となる原始生命体である。

原始生命体はゲノム情報システムとして創り出された。それはゲノム情報を基盤とする生命の営みのシステムであり、生命をつなぐシステムである。ゲノム情報を基盤として生物個体の形成、生物機能の発現を行い、ゲノム情報の伝達によって次世代に生命をつなぎ、ゲノム情報の変化によって発展、進化していくシステムである。

II-2 生命の営み—ゲノム情報の発現

地球生命系の生物個体は、ゲノム情報に基づいて形成され、ゲノム情報に基づいて機能発現

する。ゲノム情報が変われば個体としての形態が変わり、機能が変化する。生物個体は、その個体を持つ特定のゲノム情報を基盤とする情報システムである。

現代の情報化社会は多様な情報システムを作り出している。人社会が作り出す情報システムとのアナロジーで、生物個体の情報システムを捉えることは、生物認識を進める方策のひとつである。この捉え方が昨今のバイオ科学、バイオ技術を飛躍的に発展させてきたと言えよう。一方、その違いを明確にすることは、生命認識をさらに進めていく上で極めて重要である。ここではその違いとして、システムの持続可能性をとりあげる。生物個体は人社会が作り出す情報システムとは異なり、高い持続性を持つ情報システムである。この高度の持続性は個体における情報分子と機能分子の役割分担で実現される。情報分子の実体はゲノム情報を担うゲノムであり、機能分子の実体はタンパク質などの特定の機能を担う生体物質である。機能分子は情報分子が保有する情報を基に産生される。多様な生命活動を実践する機能分子は、活動の結果としての劣化を免れ得ない。劣化した機能分子が新たな機能分子で置き換えられることによって生命活動は持続していく。新たな機能分子はゲノム情報を基に産生される。情報分子が劣化することなく保存されていることで、機能分子の新たな供給が可能となり、生命活動の実践システムは持続していく。もちろん、新たな機能分子の供給には素材が必要である。この素材を生物個体は外部から取り入れる。生物個体は外部との物質交換が可能なシステム、つまり、物質に関する解放系である。解放系としてのゲノム情報システムが高い持続性を持つ生物個体を実現する。生物個体は自ら素材を取り入れ、情報を基盤に個体を形成し、機能を発現していくことを実現したシステムである。

II-3 生命のつながり—ゲノム情報の伝達

地球生命の本性は生命をつなぐことにある。生命をつなぐことは生命の営みをつなぐことである。自己と同様の生命を営むシステムを、自己とは別に新たに形成することである。原始生命体のゲノム情報システムは、ゲノム情報を基盤に個体を形成し、機能を発現する。ゲノム情報は生命の営みの基盤となる情報である。このゲノム情報を伝えることで、生命の営みをつなぐことを実現したのが原始生命体である。

単細胞生物の細胞分裂はゲノム情報の複製から始まる。複製されたゲノム情報のそれぞれを分裂2細胞に伝達することで、次世代個体への生命の営みの引き継ぎがなされる。単細胞生物では細胞分裂そのものが次世代個体の生産、次世代への生命の営みの継承である。それはゲノム情報を伝達することで実現される。

原始生命体で実現した生命をつなぐ方式は、多細胞生物においても受け継がれている。多細胞生物の始まりは1個の細胞である。この始まりの細胞の由来は生殖様式によって異なる。有性生殖による次世代生産においては、次世代個体の始まりの細胞は受精卵細胞であり、前世代の両性からの生殖細胞の融合によって作られる。無性生殖では種によって様式が異なる。前世代の体細胞がそのまま次世代個体の始まりとなる場合、また、受精を経ない生殖細胞が、単為生殖によって、次世代個体に発生していく場合もある。次世代の個体発生は多様な様式で進行していくが、その始まりが1個の細胞であることは変わらない。それは単細胞生物から多細胞生物への進化過程の再現である。多細胞生物での生命の継承は、この始まりの細胞にゲノム情報が伝達されることで実現される。多細胞生物は、始まりの1個の細胞から細胞分裂を進め、細胞分化を経て、統御された個体を形成し、機能を発現していく。それらは全て、始まりの細

胞に前世代から引き継がれたゲノム情報に依存する。

単細胞生物、多細胞生物を通じて、前世代から伝達されたゲノム情報を基に次世代形成はなされる。地球生命系の生命のつながりは、ゲノム情報の引き継ぎによって実現された。生命の営み、それ自体をつなぐのではなく、その情報を伝える方式を創り出したことで、“生命のつながり”が可能になったのである。

生命をつなぐ地球生命系の本性は、ゲノム情報を次世代に伝達することによって達成される。この生命継承方式はゲノムを中心とする生命認識をも生み出す。ドーキンスによる認識はその典型でもある。それは「生命の起源以来、生き続けてきたのは遺伝子であり、生物個体はそのための乗り物である。」と表現される。確かに、次世代に伝達され続けてきたのは遺伝子、その総体としてのゲノムである。この認識はその事実を示すものである。しかし、我々の思索の対象となるのは生命の営みそのものである。生命の営み、生物個体の形態、機能、さらには、種、生態系、これらの生命の営みのみごとさに魅せられ、そのしゅみを明らかにしたいとの思いが、生命への思索を駆り立てるのである。その思索の対象の中に、もちろん、ゲノムも含まれる。ゲノムはゲノム情報を表現する実体である。ゲノムは生命の営みを実現し、この営みを次世代につなぐための実体として位置付けられる。40億年に亘って生命をつなぎ続けた地球生命の本性は、次世代にゲノムを伝える方式で実現した。ゲノムは地球生命の本性を実現したみごとな実体である。

Ⅲ 自己展開による発展

Ⅲ-1 環境変化への適応—ゲノム情報の変化

ゲノム情報システムとして誕生した原始生命体は、ゲノム情報を基に生物個体を形成し、生物機能を発現する。さらには、ゲノム情報を伝達することで生命の営みを次世代につなぐ。ゲノム情報システムの創成によって、次世代への生命のつながりは実現した。しかし、この方式による生命のつながりも、全く同一のゲノム情報のみを伝えることでは、40億年に亘って生命をつなぎ続けることはできなかった。地球生命が生きてきた40億年の地球環境は大きな変化を続けてきている。この変化する環境の下で、生命をつないでいくには、環境変化への適応が求められる。変化する環境に応じて、生物の形態、機能が適合していかねばならない。生物の形質はゲノム情報に依存する。環境変化への適応にはゲノム情報の変化が必要となる。次世代に伝達するゲノム情報を変化させることで、次世代個体の形質は変わり、環境への適応の可能性が生まれる。自己と同一の生命の営みを持つ個体を生み出すと共に、自己とは異なる営みが可能な個体を生み出す。自己複製と変異、その両機能を持つことによって、40億年に亘る生命のつながりは実現したのである。

地球生命系の生命をつなぐ本性はゲノム情報システムの三要素の統合によって実現された。その何れの要素が欠けても生命の系は続かなかつたと言えよう。情報システムとして作り出される生物個体は、個体としての持続性を高めた。ゲノム情報を伝達することによる次世代個体の生産は、生命の営みをつなぐことを可能にした。次世代に伝えるゲノム情報の変化は、生息環境の変化による生命の消滅を避け、生き残りの可能性を開いた。この三要素を統合することで、地球生命系のゲノム情報システムは創り出された。この統合システムが、激しい地球環境の変遷の中においても、生命をつなぎ続ける生命系の創出を成し遂げたと言えよう。

Ⅲ-2 生物の進化—ゲノム情報システムの自己展開

生息環境の変化の下での次世代への生命のつなぎは、次世代に伝えるゲノム情報を変化させることによって可能になった。ゲノム情報の変化による生物個体の形態、機能の変化は、環境への適応を可能にする生き残り戦略であると同時に、多様な生物種を生み出す戦略でもある。システムの基盤情報を変化させることで、情報システムは自己展開を始める。基盤情報の変化がシステムの構造、機能を変え、多様なシステムへの発展の可能性が生まれる。この基盤情報を変化させる機構を内包する情報システムが自己展開可能な情報システムである。地球生命系のゲノム情報システムは自己展開可能な情報システムである。生物個体の基盤情報であるゲノム情報は、次世代への伝達段階で変化の可能性を持つ。ゲノム情報の変化は、次世代個体の形質を変化させる。変化内容に応じて、新たな形態、新たな機能を持つ生物個体となる。新たな生物種が誕生し、新たな生態系が形成されていく。ゲノム情報の変異による生物進化、ゲノム進化である。それはゲノム情報システムが情報を変化させる機構を持つことで始まった自己展開である。生物進化はゲノム情報システムの自己展開の過程である。

情報の変化は情報を表現する物質の変化で起こる。ゲノム情報を表現する物質はDNAの塩基である。4種の塩基の一次配列がゲノム情報となる。塩基配列の変化は様々な機構で生じる。生命をつなぐための基本機構である細胞分裂時にも、塩基配列の変化は容易に生じる。細胞分裂時におけるDNA複製は、2種の塩基が作る塩基対によって進行する。形成される塩基対の安定性が、ゲノム情報の正確な複製を保証する。塩基対の安定性は2種の塩基が形成する水素結合の強さに依存する。特定の2種が安定な結合を形成するが、その安定性はエネルギー状態で決まる相対的なものである。不安定な塩基対もわずかながら形成される。これが塩基配列の変化、つまり、ゲノム情報の変化を引き起こす。もちろん、細胞はこの誤りを修復する機能を持つ。多くの誤りは修復されていくが、一定の確率で未修復のものが残り、これが次世代に伝達されることになる。この誤りは、自己複製の視点からは誤りとみなされるが、生物進化、発展の視点では、この変化が生命系の自己展開の起動となる。

ゲノム情報の変化は、環境変化に適応するための方策である。この変化を積極的に起こすための様々な機構が、生物の生き残り戦略として、進化の過程で開発されてきている。有性生殖の機構はその中核をなすものである。性のしくみは、染色体交差等の遺伝子ブレン드의機構と共に、次世代の種内におけるゲノム情報の多様化を実現するためのものである。

ゲノム情報の変化を起こすしくみが、種内多様化による生き残りを可能にし、新しい種の誕生を促進させてきた。この変異機構が、多様な生物種を生み出し、多様な生態系を創り出してきたのである。自己展開可能なゲノム情報システムの創成により、地球生命系は生命のつなぎという生命の本性を実現し、生命の発展という多様な生物進化を可能にしたと言える。

Ⅲ-3 生態系の形成—ゲノム情報の淘汰

生物個体の基盤情報であるゲノム情報の変化が、新たな生物種を生み出す可能性を作る。この変化は特定の方向性を持つものではなく、ランダムに起こる突然変異である。多くの変異は個体としての生存そのものを不可能にする。しかし、突然変異体の中には、生存可能な個体を形成し、さらには、これまでの既存個体とは異なる機能を持つものが現われる。それは新種を生み出す可能性となる。しかし、個体として生存可能な全ての突然変異体が新種として固定されていくものではない。突然変異体が生き残る条件は、生態系の中に安定な生息地位を獲得で

きるかどうかである。

生態系は多様な生物種が、互いに関わり合いを持ちながら生息しているシステムである。安定な生態系では、それぞれの種が安定な生息地位を持つ。生物種間の関わり合いの基本は食物連鎖である。特定種の安定な個体数は、被食者、捕食者の状況に応じて定められていく。生物種間の多様な共生関係は、この食物連鎖を可能にする手段である。生態系は、そこに生息する多様な種の間で形成される食物連鎖、共生などの相互関係によって維持されているシステムである。この生態系の中に安定な生息地位を獲得することができる時、ゲノム情報の突然変異体は新しい種として固定されていく。これとは逆に、安定な生息地位が得られないとき、突然変異体は消滅せざるを得ない。また、新たに生じる突然変異体のみならず、既存生物種においても、生態系の中での生息地位が奪われるとき、種は個体数を減じ、絶滅に至ることになる。生息環境による生物種の自然淘汰である。生態系は、ゲノム情報に起こる突然変異体の生き残りを評価するシステムとしての機能を果たす。

生態系は生物種という情報システムを要素とする統合系である。生息する生物種間の関わり合いが、生態系の統合の様式を作り出す。生態系のシステムそのものは情報システムではない。生態系全体の統合過程、統合様式は情報として記録されてはならず、その形成、機能が情報で制御されるものでもない。系としての基盤情報を持たないシステムは、その構成要素間の相互作用に応じて、システム全体の構造を作り、機能を生み出す。生態系は生息する生物種間の相互作用によって試行錯誤的に形成されていく統合系である。その様式は生息する生物種に応じて作り出される。それぞれの生物種間の食物連鎖、共生などの相互作用の統合系として、個々の生態系独自のシステムが形成される。生態系のシステムは準安定系であり、その様相は生息する生物種の状況に応じて変化していく。既存種の個体数変化、また、突然変異体として生まれる新種、これらの構成要素の変化に応じて、新たな食物連鎖、共生の関わり合いを作り、新たな様相の生態系を形成していく。また、生態系はその物理的無機環境に依存して形成される。陸、海等の地形条件、気温、降雨量などの気候条件、これらの無機環境を基に、その地域特有の生物種の有機的関わり合いが作られていく。

このように、生態系のシステム形成は基盤情報に基づくものではなく、その無機環境を基に、生息する生物種間の相互作用に応じて試行錯誤的に進行する。生態系のシステム形成過程は情報化されることはなかった。この非情報化システムとしての生態系が、自由度の高い柔軟なシステム形成を可能にし、この方式が無機環境に応じた多様な生態系を創り出し、多様な生物種の出現を促し、育み、結果として生物種の持続性を高めてきたのである。この点についてはV章2節で考察を進める。

ゲノム情報システムとして創り出された地球生命系は、ゲノム情報の変異によって自己展開を引き起こしてきた。その自己展開過程で生まれるゲノム情報の突然変異体は、非情報化システムである生態系の試行錯誤方式による形成過程で淘汰されていく。生態系による生物種の淘汰過程は、生物ゲノム情報の淘汰過程でもある。地球生命系 40 億年の進化の過程は、ゲノム情報淘汰の過程である。

IV 展開の方向を決めるもの

IV-1 物質系の原理

生物のゲノム情報システムの自己展開はゲノム情報の変異から始まる。この変異はランダムに起こる突然変異であり、生態系はその評価システムとしての機能を果たす。突然変異による新種生物のみではなく、既存種を含めて、生態系における安定な生息地位の確保が生き残りを保証し、生息地位の不安定化が絶滅を招く。生息環境による生物種の淘汰である。淘汰の判定は生態系としての持続可能性による。その判定は物質系の原理に則るか否かである。

地球生命系の生物体は物質で構成されており、その生命活動の源は太陽エネルギーである。地球生態系の基本構成は、光合成によって有機物質の生合成を行う生産者、それを糧とする消費者、これらの生物死骸を糧として無機物質に還元する分解者、これらの生物群による物質循環系である。この地球生態系における各生物群の生命活動の源となるのは、光合成を行う生産者によって取り込まれた太陽エネルギーである。この太陽エネルギーを取り出すことで、地球生命系の生命活動は営まれる。

地球生態系の持続可能性、その安定性は、生態系における生命活動が、物質系の原理に則って進行しているかどうかによる。系の安定性を決める物質系の原理は、安定な物質循環、安定なエネルギー流の確保である。地球生態系を構成する生産者、消費者、分解者群による食物連鎖は、無機物質、有機物質を介した各元素の物質変換を進行させる。この物質循環系が安定であることが求められる。また、光合成によって生命系に取り込まれる太陽エネルギーは、生命活動を担った後、最終的には宇宙に発散されていく。このエネルギー流が安定であることが求められる。

IV-2 生態系による評価

生態系に生息する多様な生物種による多様な食物連鎖、多様な共生関係が、生態系全体の物質循環、エネルギー流を作り出す。地球生態系、また、それぞれの地域生態系が、それぞれの時点における準安定な動的平衡系として維持されるには、安定な物質循環、安定なエネルギー流が条件となる。この物質系の原理に基づいて、生態系における生物種の生息環境による淘汰は判定される。生態系の物質循環、エネルギー流の安定化に寄与する生物種は、生態系全体の食物連鎖、共生関係によって生存が可能になる。逆に、生態系の物質循環、エネルギー流の不安定化を引き起こす生物種は、生態系全体からの環境圧により、縮小、排除されていくことになる。

不安定化を引き起こした生態系は、新たな生物種による新たな相互作用を模索し、新たな動的平衡系へと移行する。新たな動的平衡系への遷移は、生態系の試行錯誤方式による自己組織化過程である。生命をつなぐことを本性とする地球生命系の自己展開の過程は、生態系の自己組織化による動的平衡系の形成、系の内部発展による崩壊、新たな動的平衡系への遷移の連続過程である。その遷移の過程に、それぞれの生物種の変化が実体としてかわり、その変化の過程が生物種の変遷としての生物進化過程となる。地球生命系の自己展開の過程はゲノム情報システムの自己展開過程であり、生態系はその評価システムである。ゲノム情報の変異は、試行錯誤方式による生態系形成の自己組織化過程で淘汰されていく。淘汰の判定は生態系としての持続可能性、つまり、物質系の原理に則るかどうかである。

生態系による評価は、創出された後のゲノム情報システムの自己展開、つまり、生物の進化過程のみを対象とするものではない。ゲノム情報システムの創成そのもの、すなわち、生命の起源の段階においても、原始生態系による評価がなされている。地球生命の始まりはゲノム情報システムとして創出された原始生命体である。原始生命体は従属栄養生物であり、栄養源として取り入れた有機物質から、生命活動のエネルギーを取り出す。この過程で、有機物質は無機物質に変換される。原始生命体は、有機物質を無機物質に変換する分解系としての役割を持つ。物質循環の視点から捉えると、原始生命体の誕生は、原始地球の物質系によって促されたと考えられる。原始地球の海洋においては、宇宙から地球表面に流れ込む豊富なエネルギーをもとに、無機物質から有機物質への変換が進行し、大量の有機物質が蓄積されていた。この化学進化の結果として原始生命体は誕生した。物質循環の視点から捉えると、原始生命体は、大量に蓄積された有機物質を無機物質に変換する分解系として位置付けることができる。原始生命体の誕生は、有機物質に偏っていた原始地球の物質系によって支えられたのである。原始地球における原始生態系は、原始生命体の誕生によって、有機物質と無機物質の安定な物質循環系を形成することができたと言える。

IV-3 物質、エネルギー、そして情報

太陽からのエネルギー流の基本は地球生命の活動には影響を受けない。それほど、太陽エネルギー流は絶対的な力を持つ。地球上の物質系はこのエネルギーを得て変化していく。生命はその変化の一環である。この物質変化は局所的に進行する。局所での物質変化則を満たせばよい。しかし、その総体は地球物質としての保存則から免れ得ない。変化する物質を対象とするとき、保存法則は物質循環によって満たされる。無機物質の変化、有機物質の変化、それらを併せた変化、全ての物質変化は循環系の一環として位置付けられねば、特定箇所滞り、また、不足していく。準安定な物質循環系が形成されないとき、系は新たな循環系形成に向けて移行する。生命の誕生も、生物の進化も、この物質循環の原理の基で進行してきた。地球生命系の自己展開の過程は、不可逆な非平衡過程である。この非平衡過程において、特定の時点、特定の地域での生態系の形成は、準安定な動的平衡系の実現である。そのあり方は、地域環境、地球環境を通じて多様な形質を創り出し、多様な生物種を育む。

豊かな生命系は、物質系を基に作り出され、生命活動は太陽エネルギーによって維持されている。地球生命系、その存在の基盤は物質系の原理によって支配される。物質がなければ存在自体が否定され、エネルギーがなければ活動が否定される。生命系のゲノム情報システムの価値は物質系を基盤として発揮される。物質、エネルギー、情報、これは現代社会のキーワードであるが、地球生命系のキーワードでもある。これを基盤に、地球生命系の自己展開は進行してきた。地球生命系において、物質は存在の基盤、エネルギーは活動の源、情報は発展のしくみである。それは人社会における多様なシステムを含め、地球自然系におけるあらゆる機能システムの原理であると言える。

V 自己展開における情報化

V-1 情報分子ゲノムの分離

地球生命系はゲノム情報システムとして生まれ、ゲノム情報の変異によって自己展開を引き

起こし、発展してきた。それは地球生命系の生命をつなぐ本性を実現してきた。この発展は、ゲノム情報システムにおいて、情報を担う分子をゲノムとして分離することによって可能になった。情報分子を機能分子と分離することで、機能分子の新陳代謝が進められ、ゲノム情報を基盤に個体機能の維持を図ることができる。次世代への生命のつなぎは、生命の営みに必要な全情報を持つゲノムを伝達することで可能になる。このゲノムを変異させることで、生息環境の変化への適応能力を持つことができる。個体保持、次世代生産、環境適応、これらの生命の基本機能は、ゲノム情報の発現、複製、変異の機構で進行する。分離された情報分子ゲノムの保持、加工で生命の基本機能は営まれてきたのである。自己展開可能なゲノム情報システムの創成とその自己展開、つまり、地球生命系を誕生させ、自己展開を可能にしたシステムの本質は、情報を担う分子を独立させ、その操作機構を開発することにより、生命をつなぎ続ける機能を創り出したことにあると言えよう。

生命のゲノム情報システムにおける生体ゲノムは高度な情報媒体であり、ゲノム情報は極めて優れた情報ソフトである。この優秀なハード、ソフトへの高度化は、生命の情報システムにおいて、情報分子をゲノムとして分離したことで実現した。ゲノム情報の表現原理は現代の情報技術と共通である。DNA が持つ 4 種の塩基の一次配列がゲノム情報となる。ゲノム情報媒体は表現素子の多様性、極小性に優れ、その情報集積度は現代の情報技術を遥かに上回る。ハード面での優秀性である。ソフト面においては、我々はその有能性の全てを把握しきれていない。形態形成、個体保持、次世代生産、生命機能の全てがこのゲノム情報に記載され、さらには進化の機構も組み込まれている。生物個体に存在するゲノム情報が生命系の自己展開を起動し、発展させていく。この緻密で壮大な機能を持つソフトを、現代の情報技術で組み立てることは容易ではない。40 億年の生物進化の過程で巧妙に編み出されてきたゲノム情報、そのハード、ソフト両面に亘るみごとさは、現代においても、人の知性の及ばぬところである。このみごとなハードとソフトが、40 億年の生命をつなぎ、多様な生物種を生み出してきたのである。

V-2 非情報化システムの有効性

生態系はゲノム進化の評価システムである。生態系の形成過程は試行錯誤方式であり、この過程は情報化されることはなかった。特定の情報に束縛されることのない生態系形成方式が、多様な生物種を育み、生命のつなぎを確実にしてきたのである。

V-2-1 種多様化の促進

ゲノム情報システムの自己展開は、Ⅲ章で述べたように、ゲノム情報の変異を起源とする。変異は新たな形質を持つ生物種を生み出す機会となる。この変異は方向性を持たない突然変異であり、その生き残りの判定は生態系によってなされる。生物種の生息環境による自然淘汰である。判定の基準は物質系の原理であり、安定な物質循環、安定なエネルギー流の形成への寄与である。突然変異によって新たに誕生する生物種は、生態系に生息する他の生物種との間に新たな相互関係を作り、安定な生息地位の獲得を模索する。それは生き残りの可能性への模索である。突然変異による新種の形質は予測不可能である。予測不可能な新種が、既存生物種との間に新たに作り出す相互関係も、また、予測不可能である。予測不可能な新種が予測不可能な相互関係を作り出す。その可能性への試みの全てを受け容れ、安定化を模索する過程が、情

報化されていない試行錯誤方式の生態系形成過程である。予め定められた情報に束縛されることのない、柔軟で自由度の高いシステム形成の方式が、あらゆる突然変異種のあらゆる相互関係形成の試みを受け容れることを可能にしてきたのである。この方式が特有の生物種間で作られる、特有の食物連鎖、共生関係を編み出し、多様な生物種の誕生を促し、育んできたと言える。

生態系の基本構造は、生産者、消費者、分解者の生物群による食物連鎖である。この構造が生態系全系の安定な物質循環、安定なエネルギー流を形成していく。しかし、その形成は定められた様式では進まない。生態系のおかれた多様な無機環境が、その地域特有の生物種を生み出し、種間に特有の共生関係を育んでいく。想像を超える形質をもつ生物種が、驚くような共生関係を作り出し、みごとに生命の営みを繰り広げている。情報化されることのない生態系形成方式が、地域環境に適合する多様な生態系を作り出し、その中で多様な種間の関係を編み出し、多様な生物種を誕生させてきた。生態系は、物質系の原理に基づくゲノム進化の評価システムとしての役割を担うが、それは、また、生命生存の可能性を最大限に実現し、生物種の多様化を促進していくシステムでもある。

V-2-2 生態系の安定化

生態系に生息する全ての生物種は、常にゲノム変異の可能性を持つ。次世代に生命をつなぐ過程は、ゲノム変異の過程でもある。生物種のゲノム変異は、生存能力を変え、生存状況を変化させる。特定の生物種に起こる変異は、それと関わりを持つ生物種の生存に影響を及ぼす。さらに、この影響は、直接の関わりを持つ生物種のみではなく、これらと次に関わりを持つ生物種の生存にまで波及していく。生態系に生息する全ての生物種は、相互関係の連鎖を介して、生態系全系と関わりを持っている。特定種のゲノム変異が、生態系全系の生物種の生存に影響を及ぼすことになる。

生態系の安定性は、そこに生息する生物種の多様性に大きく依存する。生物種の多様性が乏しいときには、種間に形成される相互関係は単純にならざるを得ない。ある生物種と食物連鎖、共生関係で結びつく種が単一となる場合もある。このような種間相互関係が乏しい生態系においては、特定種で起こる生存状況の変化は、これと関係を持つ種の生存条件に致命的な影響を及ぼすことになる。この影響は、続く相互関係を介して、連鎖的に生態系全系の種に及び、生態系そのものの崩壊を招くことにもなりかねない。

他方、生態系に生息する生物種の多様性が豊かであるときには、種間で形成される相互関係も多様で豊かになる。このような生態系では、特定種の生存状況の変化によって、これと関わる種の生存条件が厳しくなっても、他の種との関わりがあれば、状況が緩和される可能性が生まれる。この緩和によって、特定種との関係改善を待つことも可能であり、また、新たな相互関係を作り出すことも可能となる。このように、多様な生物種が生息する生態系においては、形成される種間の相互関係の多様性が、生態系内部で起こる変化の影響を緩和し、吸収していく。生態系に生息する生物種の多様化が、内部変化に対する柔軟性を生み出し、生態系全系の崩壊を回避し、その安定性を獲得していく。豊かで多様な生物種が生息する生態系では、生態系そのものが安定化され、持続可能性を高めていく。この生態系の安定性、持続可能性の高さが、そこに生息する生物種の生存可能性を高めていくことになる。それは生物の生き残りの様式であり、確実な生命のつなぎの実現である。

生態系、それは地球生命系の自己展開の要となるシステムである。ゲノム情報システムとして創成された地球生命系、その自己展開の起点はゲノム変異にある。生態系はこのゲノム変異の評価システムであり、自己展開の方向は物質系の原理に基づいて定められる。試行錯誤方式による生態系形成過程は、ゲノム変異種による生き残りの模索を最大限に受け容れる。この方式が生物種の多様化を促進し、この多様化が生態系そのものの安定性を高め、そこに生息する生物種の生存可能性を高める。情報化された生物個体システム、情報化されなかった生態系形成過程、この絶妙の組み合わせが、地球生命系の豊かな自己展開を実らせてきたのである。

V-3 生命の始まりの情報化

ゲノム情報システムは情報分子を分離することで、地球生命系を起動し、自己展開を可能にした。一方、生態系の形成過程は、情報化されないことで、生物種の多様化を促進し、生命のつながりを確実にしてきた。地球生命系の自己展開過程は、情報化、非情報化、双方の有効性が見事に活かされてきた過程である。情報化、非情報化の視点から、生命の起源、原始生命体の形成過程を捉えることは、地球生命系の自己展開への認識をさらに深める。

原始生命体の形成は試行錯誤方式による。それは原始地球の海洋で進行し、その物質環境が原始生命体の形成を促した。有機栄養生物としての原始生命体の誕生で、原始生態系における物質循環が成立していったと考えられる。この原始生命体が自己展開可能なゲノム情報システムの始まりである。一般には、試行錯誤方式による原始生命体の形成過程は情報化されなかったと言われる。この情報化がなされていれば、この情報に従って、“生命の誕生”は現在に至るまで頻繁に起こっているはずである、と言われる。

40億年の地球生命系の発展を、ゲノム情報の自己展開として捉えるとき、新たな認識が可能になる。原始生命体形成の過程が情報化されたシステム、これが原始生命体そのものである。原始生命体の形成過程とは、有機物質、無機物質から生命システムが作り出される過程である。この過程を情報化したものが、原始生命体を持つゲノム情報である。原始生命体から現生物に至るまで、全ての生物細胞は細胞外の有機物質、無機物質を体内に取り入れ、これを基に自らの細胞機能を維持し、細胞分裂によって新たな細胞を形成する。この過程はその生物細胞が持つゲノム情報に従って進行していく。誕生期の原始生命体細胞において、細胞外からの物質の取り入れ、これを基にした自己システムの形成がどのような様式で実現されていたのかは未解明ではある。しかし、この過程が誕生期の原始生命体細胞が持つゲノム情報に従って進行していたことは確かである。そのゲノム情報こそが、原始生命体そのものの形成過程を情報化したものであると考えられる。

生命の起源とは次世代に生命をつなぐシステムの形成であり、その最初のシステムが原始生命体である。それは自らを創り出した過程をゲノム情報として組み込むことで可能となったシステムである。原始生命体自らの形成過程をゲノム情報として組み込み、この情報に従って、細胞外から取り入れた物質を基に新たな生命体を作り出し、生命をつなぐことを実現したのである。それは自らの形成過程のゲノム情報に基づく再現である。地球生命系の自己展開を起動し、進展させてきたゲノム情報システム。そのゲノム情報の原型は、原始生命体の形成過程の情報化である。この原型情報が、新たな生命を作り出すシステムとして、細胞を機能させてきたのである。

地球生命系における生命をつなぐ過程とは、原始生命体の形成過程の情報を原型として、新

たな生命体が作り出される過程である。この視点に立てば、“生命の誕生”は、現在に至るまで、生命系の全ての継代過程で繰り返されていることになる。その様式は原始生命体の誕生様式を原型として、多様な様式に発展してきた。それはゲノム情報の変異に起動する展開である。その発展、展開の過程が、生命のつなぎの過程であり、生物の進化の過程であり、地球生命系の自己展開の過程である。

VI おわりに

地球生命はゲノム情報システムとして創成された。その自己展開が生命をつなぐことを可能にした。システムの基盤情報をゲノム情報として分離し、情報の操作機構を作り出すことで、生命の営みは実現されてきた。この自己展開は試行錯誤方式による生態系形成により、物質系の原理に則って進行してきた。情報システムである生物個体と非情報化システムである生態系、この絶妙な調和の中で、地球生命系は多様な生物種を育み、豊かな発展を進めてきた。生命をつなぐことを本性とする地球生命系は、地球物質と太陽エネルギーを基に、情報を巧妙に取り入れることで、40億年に亘る壮大な生命のつなぎを実現してきたのである。

単細胞生物、多細胞生物ともに、個体における生命の営みは前世代から引き継ぐゲノム情報に基づく。多細胞生物の個体形成は、始まりの細胞に伝達されるゲノム情報に従って進行する。それは40億年に亘るゲノム進化の過程を再現するものである。さらに、原始生命体は生命の誕生過程を情報化したシステムである、との認識に立つとき、次世代個体の始まりの細胞が形成される過程は、生命の誕生過程の再現であると捉えることができる。次世代個体の形成は生命のつなぎの実質であり、その形成過程は生命誕生の段階から始まる現生物への進化過程の再現である。

地球生命系の自己展開過程で、ゲノム進化の結果として創り出されたのが、人の知識情報システムである。それは新たな自己展開方式を持つ。新たな方式の自己展開は新たな展開、新たな発展を繰り返し広げる。この自己展開が人の知性進化を促し、人の驚異的な繁栄をもたらしてきた。次稿では、人の知識情報システムの考察を進め、本稿で明らかにしてきた地球生命系の自己展開の認識を基に、現代の人类社会の課題を捉えていくことにする。

参考文献

- 岩槻邦男 1999:「生命系—生物多様性の新しい考え」岩波書店
- 垣谷宏子 1999:「地球環境システムの安定化を求めて」『光がもたらす生命と地球の共進化』 中部経済新聞社
- 垣谷宏子 2000:「地球生命系の発展と安定化」『生体とエネルギーの物理—生命力のみなもと』 裳華房
- 垣谷宏子 2006:「つながりとしての生命認識」名古屋商科大学論集, Vol.50-2, P21 ~ 32
- 倉谷 滋 2005:「個体発生は進化をくりかえすのか」岩波書店
- ドーキンス1991:「利己的な遺伝子」紀伊國屋書店
- 中村桂子 1993:「自己創出する生命」哲学書房
- 中村 運 1994:「生命進化 40 億年の風景」化学同人
- マトゥラーナ、バレーラ 1997:「知恵の樹」筑摩書房
- ルーミス 1990:「遺伝子からみた 40 億年の生命進化」紀伊國屋書店
- ワトソン 2006:「ワトソン遺伝子の分子生物学—第 5 版」東京電機大学出版局