

情報化社会に対応した倫理を生命体の活動のしくみから考える試み

唐澤 信司

(宮城高専名誉教授)〒981-1233 宮城県名取市小山1丁目3-6, E-mail: shinji-karasawa@cup.ocn.ne.jp

あらまし 情報は活動を組織する際に使われ、情報の実体は活動とすると、情報化社会における生き方を考える際に、生物が周囲環境において活動を組織して誕生して進化した経緯が参考になる。生物の活動組織は生態系と共に誕生した。その基本は数億年以前に形成されて、細胞分裂によって引き継がれて進化した。生物が誕生から進化した生化学反応で活動を組織したしくみを活動の概念で把握して、倫理学の参考になるようにまとめた。

キーワード 生物の起源、自己組織化、自律分散組織、細胞分裂、生態系、生命体の倫理学

Biological Study of Ethics for the Human who lives in the Information Society

Shinji KARASAWA

1-3-6 Oyama, Natori-shi, Miyagi-ken, 981-1233 Japan E-mail: shinji-karasawa@cup.ocn.ne.jp

Abstract The organization of activities uses information. The activity is the substance of information. The organization of primitive creatures provides a guideline when we think about how to live in an information society. The life is a system of activities. The first creature was born together with an ecosystem. The fundamentals of present creature were formed before several hundred million years. The principles for a life have been taken over by cell division. Essentials of life for updated ethics are summarized by the concept of activity.

Keyword Origin of life, Self organization, Distributed autonomous system, Cell division, Ecology, Ethics of life

1. はじめに

インターネットなどの情報技術を用いて世界中から情報を入手することができるようになった。しかし、いくら多くの情報を得たとしても、自分の認識では相手は部分であるが、相手の認識では自分が部分である(図1.参照)。倫理の課題は個人の実世界で活動である。



図1. 倫理のために説明したい事柄: 個性の起源および実社会と情報の世界との相違の起源を明らかにすること。

Fig.1. Objectives of this article for the ethics: To clarify the origin of individualities of a mind and differences between a real world and the information.

古代ギリシャの時代から倫理学では認識論が論議されてきたが、倫理の問題は事情を理解することによって軽減する。著者は個々の生物が実世界において需用に対して供給する活動で認識とか情報が関わっており、生命の起源と進化の研究は発達した認識や情報処理のしくみの基本を明確にできる。それが情報化社会に処す際に参考になると考えた。こうして、本文は生物のしくみから情報が如何なるものかを論ずるので、生殖補助医療や遺伝子組み換え食品などを論議する生命倫理(bioethics)とは趣を異にしている。

元来、情報の実体は活動であり、活動は個体の単位で行われている。活動は個体内と外部の世界と関係するので情報も個体内と外部世界に関係する。通常、必要とされる情報は個人によって相違し、時間の経過と共に更新される。記憶されて変化しない情報が大量に増加した今日、その情報の利用が個人によってなされるので、認識の個人差も増大している。

このような問題は人間が生物であるとして、基礎が同じであることを理解すれば個人間の摩擦はかなり解消される。細胞内の情報の伝達は物質の伝達によっており、その活動に関するしくみは細胞分裂の際に複製されている。人間の意識的な活動であっても、その基礎には無意識的な生命活動の仕組みが関与している。

世代交代で循環する生命は未来の活動に備える活動を生み、夢や希望を生んだ。それらの情報には活動の実態がないものもある。人工的な情報の世界が増大している環境において、実世界での生き方を理解するには生物学的な視点による人間の理解が役に立つ。

本文は、活動の概念によって生命誕生から人間の活動までを簡明に把握ができることを示すとともに、その生物という活動組織の進化の歴史を情報に関係した言葉で情報化社会における生き方を考える際に参考になるようにまとめたものである。

2. 生命を誕生させた環境

2.1. 生命誕生を探究する目的

今日の近代的な社会は複雑な活動をしていて、その活動を要約するのが困難である。また、今日の生物が具備している仕組みから生物のしくみの原理や本質を抽出することは難しい。そこで、現代は如何なる世の中かを配慮しながら生命誕生および初期の生物のしくみの進化を活動という概念で理解することを試みた。

生物は図2.に示すように複製する活動を繰り返すことによって存在した。生物は再生する活動を続けるので未来の生命活動を可能にしている。

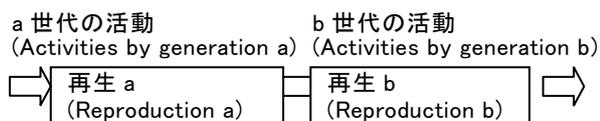


図2. 巡回する自己複製によって存在し、再生活動によって未来の生命活動を可能にしている生物

Fig.2.A creature exists through a self-reproduction, and the activities of future are guaranteed by the reproduction.

図3.に示すように生物は物理的な物質と相違して活動して状態を変化させ、変化した状況によって活動を変える。生物は変化を続けている。

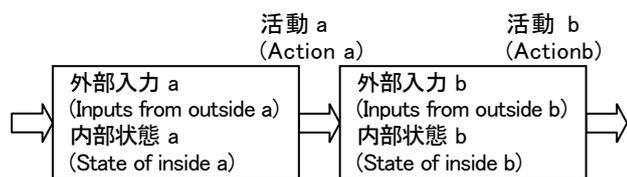


図3.活動は状態を変化させ、変化した状況によって活動を変えて変化を続ける生物

Fig.3.A creature changes reaction according to the situation and a situation is changed by the activity. So every thing is on the move.

2.2. 生命体が誕生した環境

[生命誕生のスープの形成に関する仮説]

さまざまな物質が反応している環境でなければ活動を続ける生命体は誕生できない。以下に示す事実から著者は原始地球環境で有機物質が多量に生成されたという仮説を提案した[1]。

原始地球の大気も表1.に示す火星や金星のように二酸化炭素(CO₂)で構成されていたが、地球では海(H₂O)ができたので表2.に示すように水に溶解易いCO₂は海水に溶け込んだと考えられている。

表1. 地球型惑星の大気に於けるCO₂の体積百分率 [2] p.87

Table 1. Volume percentage of CO₂ in atmosphere of terrestrial planets

地球 (Earth)	0.037%	金星 (Venus)	96%	火星 (Mars)	95%
------------	--------	------------	-----	-----------	-----

表2. H₂O 1ccに対する気体の溶解度[cc] [2] p.503

Table 2. Solubility of gas [cc] to 1cc of H₂O

CO ₂	1.71	N ₂	0.024	O ₂	0.049
-----------------	------	----------------	-------	----------------	-------

その原始の海に地殻に多量に存在した鉄(Fe)が溶けた。そのFeの酸化によっても炭酸水から酸素が取り除かれ、図4.に示すように有機物質が多量に生成されたという説を提案した。

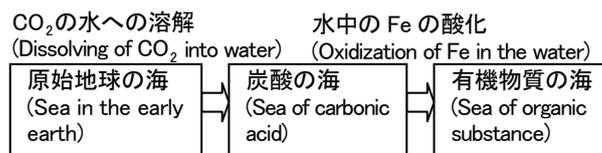


図4. 最初の生命が誕生し原始の地球の環境

Fig 4. Environments of early earth where the first life was born

[実験による検証] 炭酸水に鉄粉あるいはスチールウールを加えると鉄は酸化して酸化鉄ができるが、水面には浮遊物質が生成される。その浮遊物質はエックス線分析に結果、鉄の炭化物であった。

[無機化学による解釈] 電気陰性度のポーリングの値を表3.に示すが、炭素が(2.5)であり、水素の値(2.1)より大きい。そこで、鉄は炭酸水中でH₂Oの酸素よりCO₂の酸素と結合する。

表3. 電気陰性度のポーリングの値
酸素からの離脱し易さ

Table 3. Electronegativity for deoxidization

C	2.5	H	2.1
---	-----	---	-----

表4. イオン化傾向
炭素との結合の強さ

Table 4. Ionization tendency for combination with C

Fe	>	H
----	---	---

鉄に酸素を奪い取られたCO₂のCはHよりイオン化傾向(表4.)が大きいFeと結合して鉄炭化物(Fe₃C)となる。Fe₃Cという比率は炭酸(CO₃)の3個の酸素原子の代わりに3個の鉄原子が炭素原子に結合している。

鉄炭化物は金属結合、共有結合、イオン結合のいずれともつかないような中間的な物質であり、水中で分解する傾向がある[3]。CaC₂(通称カーバイド)は水を加えると分解してアセチレン(H-C≡C-H)を発生するが同様な反応でFe₃Cなどの炭化鉄が加水分解すれば酸化鉄と有機物ができる。

2.3. 有機分子の合成と分解

生命誕生以前にランダムな反応で多くの種類の有機分子を作られた。図5.に示すように有機物分子は、脱水縮合で高分子化合物になり、それは加水分解できる。同様な現象は酸素のやりとりでも起こり、脱酸素反応で合成され、それが酸化反応で分解する。

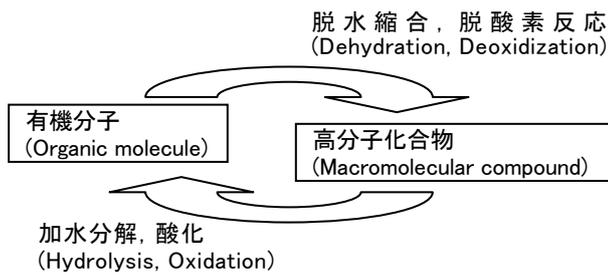


図5. 有機物の合成と分解
Fig. 5 Synthesis and dissolution of organic matter

2.4. 膜による生命体の形成

水面に浮かぶ膜は並列の接着力で同じ分子が液体の表面に規則正しく並んだものである。水面の膜は分子の疎水部を外気側に親水部を水中にして外気と水中の境界に形成される。この膜は亀裂が入っても膜を形成したときと同じ方法で封じ直すので安定に存在する。

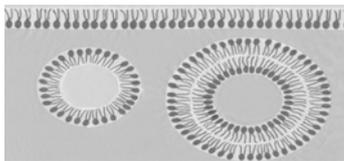


図6. 水面上の膜、水中のミセル、および二重層で水中に小胞を作るリン脂質分子群
Fig. 6. Lipid molecules make a membrane on the surface of the water. In aqueous environments, those molecules make micelles and liposome of bilayer.

水中では膜の分子の疎水性尾部が水を避けて集まり、図6. に示すように疎水性尾部が親水性頭部の層に挟まる二重層の構造となる。この小胞領域内において継続する活動が組織できる。このような分子の結合で細胞膜やリボソームの構造が形成される[4]。

2.5. H⁺による活動のエネルギーの供給

水素イオン(H⁺:プロトン)は原子核だけで電子を持たないので移動し易い。水から酸化鉄に酸素が失われると水にはH⁺が多く含まれる。リボソームの膜の外液に多くのH⁺が含まれていると、膜にH⁺が侵入して膜を構成する分子と結合する。すると膜にH⁺の濃度勾配ができて膜の内部の電位が外部より低くなる。この電位差はH⁺を内部に移動させるように働く。従って、外液のH⁺濃度が高い溶液に囲まれた小胞はエネルギーと水素原子の補給を自然に受けることができる。

2.6. 物質の伝達による活動の制御

反応は稼働条件により制御される。そこで、特定の分子や物質が反応を開始する条件であれば、その物質によって選択的に反応を稼働させることができる。

反応によって生成された物質を次の反応の稼働条件にすれば、連鎖反応を引き起こすことができる。

必要な物を外から取り込み、不必要な者を外に放出する連鎖反応ができる。その連鎖反応を循環させれば、連鎖する複数の反応が継続するようになる。

もし、この循環する反応で必要な物を外から取り込み、不必要な者を外に放出すれば、活動のエネルギーを細胞内に取り込むことができる。最初は波のような運動が繰り返される環境において、一連の反応が繋がって循環する反応が組織できる。その循環する反応が、循環反応で蓄えられたエネルギーにより駆動されるならば、自立して循環する連鎖反応が活動し続けるようになる。単一の分子では生命活動は不可能である。

3. 生命活動の組織の形成

3.1. 自己複製する活動の組織の誕生

循環する連鎖反応は活動を継続するので新しい機能を付け加えることができる。H⁺は電荷と質量を持っているので、細胞内にH⁺の流れができれば、H⁺の流れに伴って物質が移動できる。そこで細胞膜を通過するH⁺の流れに伴う物質に含まれる分子が膜の分子と結合して膜に新たな機能を付加する可能性がある。その付加機能として複製する反応ができると流れによって複製品が生産される。

複雑な構造を持つ構造体も複製という活動により容易に数を増すことができる。生物は自己複製によって存在するようになった。

3.2. 進化のメカニズムと発明のメカニズム

生き物は変化した状態に対して次の活動を決める。活動の結果、状態は活動の前後でステップ状に変化する。変化している途中でも、状況を把握すれば活動を変えることができる。活動はIf-Thenという間歇的なしくみで組織されるので、ステップ・バイ・ステップで進行する。生命活動によって生態系の状態が変化する。そこで生命活動に有利な機能を具備した生物が生き残る。生物は実世界で需要に対して供給する機能を改善することを試みて実世界で有効であるかが検証される。この進化のしくみは発明のしくみと同じである。それは産業社会でも同じである。

需要が多ければ、それに対応する活動が活発になされて、需要が多い発展可能な分野の進歩は著しい。原理は同じものでも、もしパフォーマンスが劇的に進展すれば、装置は劇的に変化する。そのような分野では、消失した過去の経緯を推定する作業に困難がある。

3.3. 最初の生命活動の機能を担う構造体



図7. セントラルドグマによるタンパク質複製
Fig.7. Reproduction of protein by the central dogma

図7. に示す方式は DNA(Deoxyribonucleic acid)から RNA(Ribonucleic acid)を作り RNA からタンパク質を作るというタンパク質を作る流れはセントラルドグマといわれている。この方式はタンパク質を作る細胞内の情報の流れを示している。

タンパク質分子は特定の物質により自身の立体構造を変化し(conformational change), その後, しばらくすると元の構造に復帰する。この分子は有機物分子の反応の触媒にもなる。そのタンパク質を複製できるセントラルドグマで現在の生命活動を担うことになった。

しかし, このタンパク質は糸状に作られ3次元構造で機能する。それを実際に作るには作る作業を実行する細胞が必要である。その細胞は生命誕生後の化学進化時代に形成されたに違いない。著者は細胞の膜に作られた生命活動に寄与する機能を持つ領域が稼働している状態で同様な機能を持つタンパク質がオーバーラップして作られるようになり, 年月をかけてそのしくみが進化し, 生命活動のさまざまな機能をタンパク質が担うようになったと考える。

3.4. タンパク質分子の構造

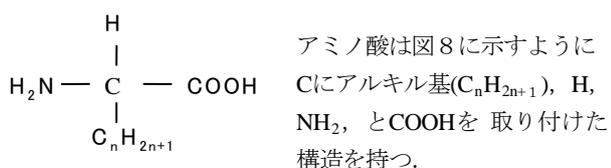


図8.アミノ酸の分子構造
Fig. 8. Molecule of amino acid

タンパク質はあるアミノ酸のNH₂と隣接するアミノ酸のCOOHが脱水結合(ペプチド結合)し, 細胞膜の外端には塩基のアミノ基(NH₂)のN末端と細胞の内端には酸で親水性のカルボキシル基(COOH)C末端を持つとする糸である。

アミノ酸の側枝が連ねられたタンパク質の糸は側鎖のアルキル基の相互作用により立体構造となる。アミノ酸には側鎖の性質によって電荷をもつアミノ酸と中性であるが永久双極子モーメントを持つアミノ酸がある。それゆえタンパク質分子は疎水性の部位や親水性の部位を持つことができる。生命体の組織は膜にできたタンパク質分子の機能によりH⁺が一方向に移動させ, 連鎖反応を行うことができる。

3.5. 細胞内の分子器官の形成

現在, 細胞の分子生物学において分子レベルの生命活動のしくみが解明されつつあるが, 単細胞生物の時代に細胞の器官が分子進化によって形成された。特殊な機能を持つ膜の領域が細胞内部に侵入する。陥入して細胞内部に取りこまれて小胞になる[5]。

他方, 発生学では多細胞生物は一個の受精卵から出

発して, 細胞分裂を繰り返し, 袋状になり, やがて器官を形成する過程を明らかにしている。その多細胞生物の器官の形成される過程は単細胞内の器官を分子が形成する過程に類似しているので, 単細胞に機能を付加する分子のしくみが器官として分業する生体のしくみの基礎になったと考えられる。

4. 生体の情報システムの形成

4.1. 本能的で活動する組織

巡回する連鎖反応で, エネルギーを余分に蓄える仕組みを持てば, 蓄えたエネルギーを外部の駆動力が不足した時に利用して活動を継続させることができる。

生物は生命活動を続けるために必要な生化学反応を連鎖して活動を循環させている。

草花は種から芽をだし, 葉を広げ, 花を咲かす。そして花から実ができて種となる。その循環する活動はその部分の活動も未来に備えると解釈できる。

遺伝子によって伝えられる活動の種類は非常に多い。多くのしくみは同時に稼働させられていると意識できない。無意識の動機で行なわれる生命活動は本能といわれている。人間の活動は主體的と言われるがその起源は無意識の動機で行なわれる生命活動にある。

4.2. 情報伝達分子を必要とする細胞分裂のしくみ

細胞が大きくなるに従い細胞膜は強いストレスを受ける。強いストレスを受ける場所の膜は補強する必要がある。細胞はある程度大きくなると膜によって補強し, 条件を満たせば同時に細胞の個数を増やことができる。しかし, 膜によって分割された時に, それぞれの細胞が生き残るにはしくみが必要である。

その方法, 細胞液中に生命活動に必要な器官を分散させ, それを作る指令をする物質を細胞液内に放出することである。

実際の生物の細胞には細胞液中にタンパク質を作る小胞(リボソーム)が分配されている。必要がある場所でその情報を指令する信号分子を作り, その指令は細胞膜およびリボソームで受ける。リボソームは製造を制御する情報伝達物質と原料のアミノ酸を入力してタンパク質を作っている。

4.3. 光量で感度が自動調節される視細胞のしくみ

生活は外部から情報を収集することが必要である。各種の感覚は対応した反応によっている。触覚は力学反応, 嗅覚は化学反応, 聴覚は音に対する反応, そして光に対する反応が視覚の起源である。生物の感覚器官では拮抗する反応を組み合わせることで活動状態を調節して性能が発揮できるようにしている。

例えば, 視細胞には図9.に示すようにリーガンド作動チャネルと電位作動チャネルがある[6]。

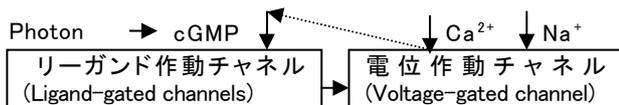


図9. 視細胞のチャネルの反応
Fig.9. Reactions of channel in a photoreceptor cell

網膜における視細胞(杆体および錐体)の外節部の原形質膜に埋め込まれたリーガンド制御型イオンチャネルは cGMP (cyclic Guanosine Mono-Phosphate)で開く。

明るいところではロドプシンが一連の連鎖反応を経て cGMP を分解してチャネルが閉じる。

暗い所ではcGMPがチャネルを開き細胞外部から Na^+ が流入して細胞質の Na^+ 濃度が高くなり、膜電位が上昇するので、電圧依存性 Na^+ イオンチャネルの感度が上がる。膜電位が上昇した状態では少し膜電位が上昇するだけで、 Na^+ の流入する電位感受性イオンチャネルを開くので感度が高くなる。

明るい時、ロドプシンがcGMPを分解してチャネルが閉じる。この時、 Na^+ - K^+ ポンプが働いていて膜電位は静止電位に下がり出力の感度は低下する[7]。この時、 Na^+ に混じって流入する Ca^{2+} がcGMPの生産を阻害するので、明るい時にロドプシンによりcGMP分解されて Na^+ と共に Ca^{2+} が減少するが、この Ca^{2+} の減少でcGMPの生産が上がるので、 Ca^{2+} の反応は感度を上げる。この遅い反応で明るい場合にも順応がある。

4.4. 無意識的な視覚活動による視覚

網膜には光りを照射すると出力する ON 中心領域と光りの照射を止めると出力する OFF 中心領域が交互にある。そこで、ON 領域と OFF 領域の出力を積分して出力する細胞群は光のスポットが移動した時に出力が移動する。この移動した網膜の領域の方向に眼球を動かして移動する映像を見続けることができる。

網膜には中心部に錐体(明視力)の密度が非常に高く杆状体(暗視力)が存在しない黄斑部がある。黄斑部に写した映像を分析する。他方、黄斑部以外の領域にある杆状体からは視点以外の移動した映像からくる刺激で視野の映像だけを取り出すことができる。

左右の網膜に映る映像の相異からは立体的に視ることができる。視覚は意識的な活動と複数の無意識的な活動によって実現している。その様子を図 10.に示す。



図10. 視覚のための意識的な活動と無意識的な活動
Fig.10. The vision and unconscious activities for vision

直接的に眼球運動の制御回路は中脳にある。その活動を基礎にして、関連する神経回路を系統的に付け足して高度な判断が実現できる。

視覚で昆虫を捉えているカエルなどの両生類の脳の神経回路は古皮質までであるが、鳥類や哺乳類は神経回路を新皮質まで系統的に連結させて、回路の形成でイメージを記憶して高度な視覚を実現している。

5. 情報表現の組織化

5.1. 生命体の情報組織の起源

最初に分子が信号として使われた。信号に使われる分子と反応する受容器は錠と鍵の関係で対応していて、受容器は錠によって活動が繰り返される。その再演するしくみに情報の起源がある。

図 11 にネガとして残される情報を示す。



図 11. 実物とその情報の記憶
Fig.11. A real thing and the memory as an information

生物は酵素 タンパク質とその基質の対によって反応を行うようになった。酵素によって活動が制御できる。その酵素タンパクを作る領域でその酵素により促進される活動が制御できる。こうしてタンパク質を作る場所にも活動に関する情報が記憶された。

5.2. 新旧のシステムが両立して移行する進化

生物の進化においては既存のしくみが稼働していて新しいプロセスが付け加えられる。新旧のしくみがオーバーラップして稼働する期間がある。

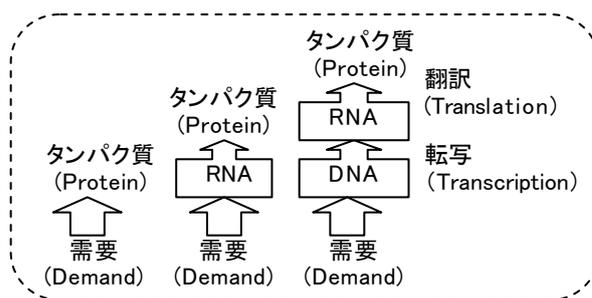


図 12. タンパク質を作る設備の進化
Fig.12. Evolution of the equipments those make a protein.

図 12. にタンパク質を作る設備の進化の様子を示す。タンパク質を作り出す設備はタンパク質のように複雑である。タンパク質を作る設備は進化して RNA を使うようになった。RNA は作る作業が簡単である。タンパク質を作る設備の進化の最後の段階で DNA が使われた。DNA は DNA 自身を複製することが簡単であり、DNA から RNA を作るのも簡単である。

ところで、生まれたばかりの動物が立ってすぐに歩く。昆虫は変態して成長する。そのような学習なしで行う活動を行う機能は遺伝により獲得している。一連の活動には構造タンパク質や酵素タンパク質をタイミングよく放出することが必要である。動作や行動がどの様に DNA の塩基配列に組み込まれているかは十分な解明がまだなされていない。

5.3. 要素の処理を時分割で繰り返すしくみ

成分が多い情報を正確に区別するには、種類の少ない基本的な要素の処理を時分割で繰り返し、その結果の組み合わせを解読する。この階層的な情報組織によって高い信頼性と回路の稼働効率の向上が得られる。

情報の時分割階層構造のしくみを図 13. に図示する。

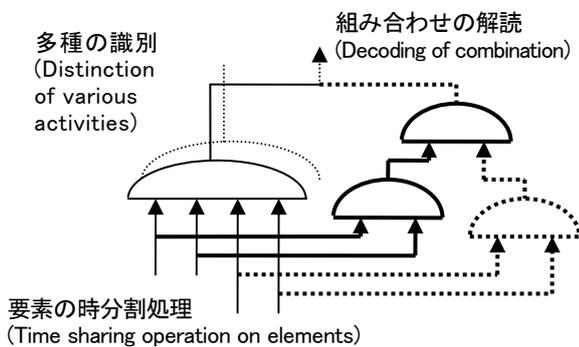


図 13. 層構造の情報により信頼性と稼働効率を改善した組織
Fig.13. A system for improvement of reliability and operating efficiency by layered structure of information

現在の生物の大部分は遺伝子情報を時分割階層構造で表現している。DNA は塩基配列の遺伝情報を 4 種類の塩基を 3 個組み合わせたコドンという情報の単位で 20 種類あるアミノ酸の一つを指定している [8]。この遺伝子暗号で表現したアミノ酸の配列を m-RNA に転写し、暗号情報を付けた t-RNA でアミノ酸を運搬し、m-RNA と t-RNA をリボソーム RNA に入力してアミノ酸を配列したタンパク質を合成している。

5.4. 言語活動を行う脳の神経回路のしくみ

脳神経系における信号である正のインパルスである。それが神経回路で接続されている場所の分子から電子を奪い励起状態にして反応を起こす。そこで、インパルスは接続された場所に稼働するタイミングを伝え、その場所の生化学反応の効果が意味を持っている。活動のタイミングの信号であるインパルスを回路から切りだして分析しても意味は分からない。言葉の意味は話し手と聞き手の脳の神経回路に依存する。お互いに使う言葉の意味を共通にしておれば、言葉により情報交換ができる。そのしくみは言葉で記憶を担う大脳の新皮質のしくみに形成された。

単語を組み合わせる文章にする言語表現の階層構造は図 13. に示す構造である。大脳では視床の各部の活動が他

を抑圧し合い「勝利者全部取り」で選択された活動が新皮質を巡回して活動を一時的に継続する。新皮質では神経細胞群を解読器群とした回路網の活動により連合調節された活動に終わるが、階層構造でオーバーラップして解読する活動によってその信頼性が高くなる。

6. あとがき

本報告では、「活動」という概念によって生物のしくみを説明することを試みた。本報告では情報の実体は活動にあるとした。例えば、連鎖反応では活動が転送されるので情報が転送されるというようにして、生物の情報に関わる事柄を説明した。

情報だけでは本来の役割がはたせない。最終的に情報で活動するのは個人の人間である。一般的には個人の問題を取り上げることは困難であるが、情報に関わる生物の個体という個人ならば研究の対象にできる。

生物の情報処理を調べてみると遺伝子暗号の時分割の階層構造は言語の構造と同じであり、有機分子により単細胞内の器官が形成されるのと、細胞分裂により多細胞生物の器官が形成されるのは酷似している。そこで、情報の起源を生命誕生までさかのぼり、化学分子による生命活動の誕生から説明することを試みた。

生物の進化では新しいしくみが既存の組織に協力する形で加えられて、その後新しいしくみに取り替わられて既存のオーバーラップした部分が消失した。この領域では解明されていない事柄が見出されたが、それらは研究すべき課題として今後に残されている。

本報告は生物学的であるが、人間の情報に関する事柄を解明するヒントになることがあれば幸いである。

文 献

- [1] 唐澤信司, “二酸化炭素を多量に含む海水から鉄による脱酸素反応で生成される有機分子の膜における連鎖反応の組織化” 第 1 回アストハイロジワークショップ, pp.23-24, 2008.
- [2] 国立天文台編, “理科年表”, 丸善, 2008.
- [3] 内海誓一郎, “無機化学各論<後篇>” 現代無機化学講座 3, pp.174, 技報堂, 1970.
- [4] 中村運, “H₂O の生命科学-細胞生命のしくみ-”, 培風館, pp.22, 2004.
- [5] B. Alberts, D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, J. D. Watson, “Molecular biology of the cell”, 3rd Ed., New York, Garland Science, Chap.13, 1994.
- [6] F. Delcomyn, “Foundations of neurobiology”, W.H. Freeman and Company, Chap.2, 1998.
- [7] J. G. Nicholls, A. R. Martin, B. G. Wallace, “From neuron to brain”, 3rd ed., Sinauer Associates, Inc., pp.572, 1992.
- [8] J. D. Watson, N. H. Hopkins, J. W. Roberts, J. A. Steitz, A. M. Weiner, “Molecular biology of the gene”, Vol.1, 4th Ed., The Benjamin/Cummings Pub. Co. Inc., pp.431, 1987.