

素粒子や原子のミクロの世界を基軸にした脳と心の組織化

Organization of Brain and Heart based on Microscopic World of Elementary Particles and Atoms

藤原 昇
FUJIWARA Noboru

まえがき

中東や欧米の一神教では人間と他の生物とは本質的に違うものとされてきた。そして「心」は人間だけがもつものと思われてきた。東洋ではどうだったのだろうか。仏教などにおける「輪廻の思想」は動物も含めた輪の中で無限に転生を繰り返す、と考えている。日本ではどうだったのだろうか。「一寸の虫にも五分の魂」との諺がある通り、生き物と人間とは繋がった関係として捉えていた。一方、私たちの「魂」は、洋の東西を問わず、永遠であると考えられていた。

私たちの「心」は脳の働きによる。その脳は神経細胞でできており、神経細胞はタンパク質などの高分子でできている。その高分子は水素、炭素、酸素などの原子でできている。このようにして物質組織の構成要素をどんどん分解してゆくと最後には2個のクォークと電子に行き着く。つまり世界の全ての物質組織は3種の要素から成り立っている。この3種の究極要素からこのように多様な物質組織がどのような原理の下に生成されるのか、私たちの「心」はどのような組織の産物なのだろうか。死後の世界について云々されるが果たしてどうなのだろうか。私たちの捉える事柄は対象を正しく反映しているだろうか。これ等について本論文は「物質組織」の立場から論じる。

I クォークから高分子へ

この章では、それ自身は「心」とは無縁な「クォーク」から「高分子」生成までのプロセスについて簡潔に紹介し、「心」の誕生に導く素過程を追う。その中で、ミクロの世界の法則がマクロの物質世界の多様性といかに関わっているかを明らかにする。

I-1 究極の物質要素としてのクォークと電子

この宇宙を構成する地球、月などの比較的安定な物質組織は、その要素を辿ると2種のクォークと電子に行き着く^{注1)}。これらの3種の物質要素は、少なくとも現代科学では、もうこれ以上分割できない究極の物質要素と考えられている。もっとも宇宙線の中には中性微子（ニュートリノ）も含まれるが、これは他の粒子との相互作用が弱すぎて物質組織の構成要素にはならない。これを含めれば、この宇宙の物質は2種のクォークと2種のレプトン（電子と中性微子）から成り立っている。以下では2種の「クォーク」と「電子」を物質の構成要素として扱う。

さて2種のクォークはアップクォーク（u）とダウンクォーク（d）である。2個のuと1個のdが強く結合して陽子（p）となり、1個のuと2個のdが強く結合して中性子（n）となる。陽子と中性子が生成されたのは今から137億年前、宇宙創成（Big Bang）時の超高温、超高密度状態での出来事であった。クォークとクォークの結合は極めて強く、一度生成された陽子や中性子をクォークに分解するのは不可能である。それ故、今から40年

ほど前までは陽子や中性子を素粒子と呼んでいた。以下では陽子 (p^+)、中性子 (n) 及び電子 (e^-) の3種を実質上の物質要素として話を進める。

I-2 素粒子から原子へ

宇宙の温度が下がるに従って、陽子、中性子及び電子の3つの要素から多様な物質が順次組織化されてゆく。まずは原子である。原子の核になるのが原子核である。陽子と中性子から成り、核力と呼ばれる強い相互作用で組織化され通常的环境下では壊すことができない。陽子の数により区別され、その種類は200種類を超える。というよりも僅か約200種類しか存在しない。3種の要素から約200種類の物質要素が生成され、これらの要素からさらに多様な物質が組織化されてゆく。最も単純な水素原子は陽子と電子各1個からなり宇宙創成の初期段階で生成された。

何故原子は約200種しかないのか。陽子は正の電荷を持っており、互いに電気的な反発力が働く。この力は重力と同じ遠距離まで及ぶ。一方核力は近距離力で隣の核子(陽子や中性子)程までにしか及ばない。従って陽子が集まると電気的な反発力が足し合わさってどんどん強くなり、核力を上回って、それ以上結合できなくなる。ウランやプルトニウムなどの重い原子核が不安定で壊れやすいのはこのためである。莫大なエネルギーを生成する原子炉、原子爆弾等はこの性質を利用している。

原子核は電気的に正に帯電しているの、負の電荷をもつ電子との間に引力が働く。電子が陽子と同じ数だけ結合して電気的に中性な原子となる。電子の原子核への結合は核子の結合に比べて極めて弱い。この事が多様な物質組織を生成してゆくキーポイントの一つである。地球のような環境でさらなる組織化が可能であり、また太陽の下では色々な組み換え反応が可能となる。

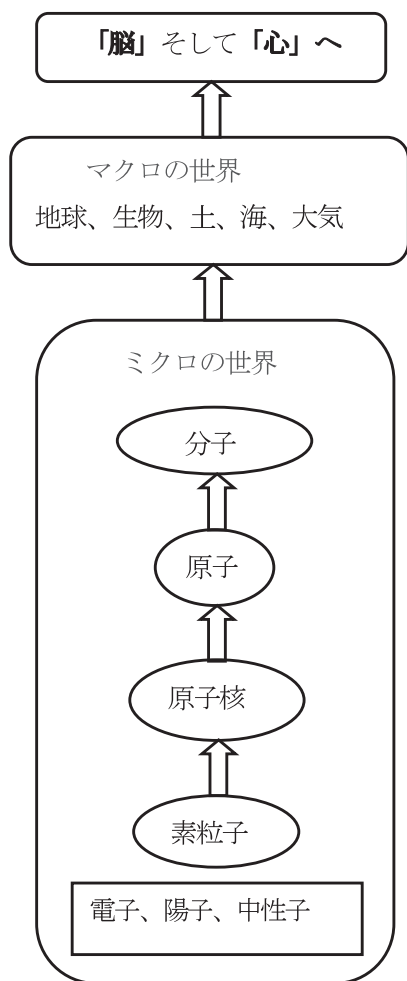


図1 物質の階層構造

さて脳の形成に至る物質の組織化の過程(図1)で極めて大事な役割を演じる法則がある。それは「パウリの排他原理^{註2)、1)}」である。何故水は H_2O なのか、何故酸素は O_2 なのか、何故二酸化炭素は CO_2 なのかに答える法則である。この法則に従うが故に現在の物質組織が存在するのである。この原理が少しでも違っていたら現在の物質世界は別の世界になっていたであろう。

I-3 パウリの排他原理

原子などのミクロの世界は我々の見聞きするマクロの世界の法則とは異なった法則に支配されている。量子論によると、原子核に結合する電子の軌道は主量子数 n ($1, 2, 3, 4 \dots$ の整数)、軌道角運動量の量子数 l ($l \leq (n - 1)$)、角運動量方向成分に関する量子数 m ($-\ell, -(\ell - 1), \dots, 0, \dots, (\ell - 2), (\ell - 1)$)、電子の自転(スピン)角運動量方向成分に関する量子数 s ($-1/2, 1/2$) という不連続な量子数のセット $\{n, l, m, s\}$ で指定される。原子核の周りの電子軌道で最も内側の軌道である主量子数 $n = 1$ の軌道(K軌道)の場合は、表1に示すように $l = 0, m = 0$ で量子数のセット ($n,$

ℓ 、 m 、 s) は、 $(1, 0, 0, -1/2)$ 及び $(1, 0, 0, 1/2)$ の2つの状態しかない。

「パウリの排他原理」は“量子数のセットで指定される一つの状態に電子が1個しか入れない”という制限である。パウリの排他原理はミクロの世界特有の法則であり、マクロの世界にはない制限である。電子のK軌道には量子数のセットで指定される二つの状態があり、電子が2個入れる。水素原子は電子を1個しか持っていないのでK軌道には1個の空席がある。一般に原子は電子軌道に空席のない状態が安定である。ヘリウム原子はK軌道を2個の電子が占めており空席がない。単独で安定であり、分子を構成しない。つまりヘリウム原子は物質のさらなる組織化には関与しない。

水素原子は電子の空席が1個あり、2個の水素原子が互いに相手の電子を共有して電子軌道の空席を埋める方が

K軌道	n	ℓ	m	s
	1	0	0	-1/2
	1	0	0	1/2

表1 K軌道の量子数セット

より安定である。つまりエネルギーの低い状態が実現される。水素は水素分子 H_2 として存在する所以である。

1個の水素原子は極めて活性で物質のさらなる組織化に積極的に関与することになる。良く知られているように、アルカリ金属はいずれも電子1個の空席があり水素

原子同様に極めて活性な元素である。

主量子数 $n = 2$ の電子軌道が原子核の周りの内側から2番目の軌道 (L軌道) である。この軌道の ℓ は0と1の2通りあり、 $\ell = 0$ に対して m は0、 $\ell = 1$ に対して m は-1、0、1の3通り、 s は-1/2、1/2の2通りである。従って量子数のセット (n 、 ℓ 、 m 、 s) は $\ell = 0$ に対してはK軌道と同じく2通り、 $\ell = 1$ に対して6通りで、L起動には全部で8通りの量子数のセットがある。ネオン原子 (Ne) は電子の席がK軌道に2個、L起動に8個、合計10個あり、全ての電子軌道の座席が詰まった状態である。従ってヘリウム原子と同様ネオン原子は単独で安定であり分子を形成しない。

酸素原子 (O) は電子の数がK軌道に2個、L起動に6個、合計8個あり、L軌道に2個の空席がある。炭素原子 (C) には電子の数がK軌道に2個、L起動に4個、合計6個あり、L軌道に4個の空席がある。互いに電気的に中性の原子が集まり、電子を共有することにより、これらの空席を埋めるべくさらなる安定を目指して組織化が進む。炭素原子は空席が4個もあり有機物の生成や生命の誕生に極めて重要な役割を演ずる。生命体の主要な高分子であるタンパク質はアミノ酸によって合成される。アミノ酸分子が何故そのような構造なのかはミクロの世界の“法則”の帰結である。尚、原子核を構成する陽子や中性子もこの「パウリの排他原理」に従う。

I-4 原子から高分子へ

<水の分子>

水素分子や酸素分子で存在するよりも結合して水の分子に組織化された方がより低いエネルギー状態となり安定な分子となる。低いエネルギー状態に移るので結合の際にエネルギーを放出する。水素ガスが酸素の下で燃焼あるいは爆発するのはこのためである。酸素原子には2個の空席があり、水素原子には1個の空席がある。1個の酸素原子と2個の水素原子で互いに電子を共有し、空席を埋め合う事によって水分子 H_2O となる。この結合により酸素原子も水素原子もより安定な状態になる。

水分子は全体として電気的に中性であるが、電荷の分布が少し偏っている。水素原子側が正に、酸素原子側が負に偏極している。水の分子が互いに十分離れておれば力が働かない。しかし互いに近付くと、一方の水分子の負の電荷と他方の水分子の正の電荷が引き合うようになる。水は環境の温度によって気体、液体、固体と変化する。こ

の水の巨視的な性質は我々の感知しないミクロの世界の法則の結果である。

＜アミノ酸のペプチド結合と高分子＞

図2はタンパク質の元になるアミノ酸分子である。アミノ酸の種類は20種あり図のRで区別される。Rの最も簡単なのが水素Hである。水素は1個、炭素は4個、酸素は2個の空席を持っており多様な結合が可能である。このアミノ酸が次々と脱水縮合により結合して高分子が生成される(ペプチド結合)。つまり一方のアミノ酸のOH(図2で右端上)と他方のアミノ酸のH(図2で左端下)が結合して水分子として独立し、一方の炭素の空席と他方の窒素の空席が電子を共有する。どのアミノ酸と結合するかはDNAの遺伝情報に従う。結合の仕方によって色々な種類のタンパク質が合成される。「脳」もその一つである。マクロな世界で見る物質がミクロの世界の法則に従って生成され、またそれぞれの物質の巨視的な性質はミクロの世界の法則に従った結果である。

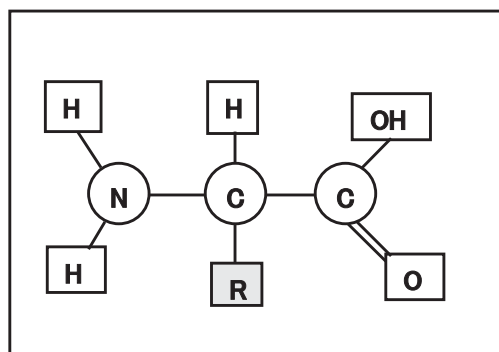


図2 アミノ酸

DNAの鎖を作る糖の結合や糖鎖の各糖に遺伝情報を伝える塩基が結合するのも脱水縮合による結合である。二重螺旋構造の一つの鎖の塩基が他の鎖の塩基と結合するのは電気的な力である。これは一方の塩基の水素が正に偏極し他方の塩基の酸素または窒素が負に偏極しており、弱い電気的な力で結合する。水素を媒介にするので水素結合と呼ばれている。

以上、マクロな生命体にとって重要な物質要素である水、タンパク質等をミクロな立場から見てきた。そして「パウリの排他原理」が現在するマクロの世界の物質組織を形成するための基本的

な役割を演じていることを述べた。言うまでもなくタンパク質等の高分子は意志で結合したり分離したりしているのではない。環境への物理・化学的な適応反応である。

II 巨視的世界の法則

II-1 偶然と必然

個々の原子や分子に着目したミクロの世界の素過程には温度や熱といった概念がない。温度や熱はあくまでも集団を扱うマクロの世界の物理量である。ある環境の下での一つの原子または分子に着目した場合、その振る舞いは偶然に左右される。例えばマクロの世界で一定の密度、一定の温度の水素分子のガス集団があったとする。水素分子1個1個の運動量を測定できたとして、その運動量は小さなものから大きなものまで実に色々な運動量をもっている。ミクロの世界では、他の分子と衝突する毎にその運動量は大きく変化し定まった運動量をもたない。いわば偶然の出来事である。

ところがこのガスをマクロに観察した場合、事情は一転する。このガスが孤立した一定体積の容器に入れ外界と一定の温度で接していれば気体の圧力は一定の値、つまり必然の値となる。圧力は内部の分子の運動エネルギーにより決まる量なので分子の運動エネルギーの平均値は一定の環境(温度や容器の堆積など)の下では一定の値になる。つまりマクロの世界ではミクロの世界の統計的な振る舞いを見ていることになる。その振る舞いは環境を一定にすれば一定の状態になる。つまり必然である。

体内の色々な反応もミクロの世界での1個1個の分子に着目すれば結合するものもあれば分解するものもある。つまり偶然の世界である。ところがマクロの世界で見ればその環境に応じて一定の方向に一定の割合で、必然の現象として反応が進む。原子や分子の振る舞いを統計的に見れば必然の巨視的物法則に従っているのである。一つ

一つの原子や分子の振る舞いや結合・分解は、ミクロの世界の法則に従うが、その集団の振る舞いは巨視的世界の法則に従う。

II-2 無秩序から秩序へ—物質系の組織化に関する二つの補助法則—

巨視的世界の法則として熱・統計力学の三つの法則がある。第一法則はエネルギー保存則、第二法則はエントロピー増大の法則、そして第三法則は絶対零度で物質系（完全結晶）のエントロピーは一定の値になる、との法則である。絶対零度でエントロピーの値を基準値としてゼロとする。

第一法則は巨視的世界だけでなくミクロの世界でも厳密に成り立っている。集団の振る舞いに関する最も重要な法則は第二法則の「エントロピー増大の原理」である。物事はトータルに見れば無秩序に向かう、という原理である。しかし物質集団に着目すれば、系の温度が下がるにしたがって組織化される。つまり物質集団のエントロピーは減少する。46億年前に誕生した地球は高温無秩序の世界であった。地球の温度が下がるに従って順次組織化され生物が誕生し、太陽の下で現在の緑豊かで多様な命を育む水の惑星となった。そこで補足的に物質系の秩序化に関する以下の二つの「補助法則」を提言する。

物質系の組織化に関する補助法則Aとして「外部からエネルギーや物質の入らない孤立系では、エントロピーを外部に捨てながらよりエネルギーの低い安定な状態に向かう」を付け加える。結果として物質系は組織化の方向に向かう、つまりエントロピーの低い安定な状態に向かう。水素ガスと酸素ガスが一緒になればエネルギーを外部に放出して水蒸気になる。つまり2個の分子が1個の分子に結合し、より高い秩序の物質組織が形成される。この場合、組織化により、物質系の減少したエントロピーより、外部に放出された光（電磁波）がより多くのエントロピーを持ち去っており、全体としてはエントロピーが増加している。

宇宙に分散していた物質が重力により集まり衝突して徐々に大きな塊に成長する。この場合重力エネルギーが熱エネルギーに変わる。そして光（電磁波）を放射してエネルギーを宇宙に放出する。物質系は分散した状態に比べエントロピーの低い組織化された状態となる。ミクロの立場からのエントロピーSは次の式で与えられる²⁾。

$$S = k \cdot \ln(W)$$

Wは粒子（原始または分子）の取り得る状態の数である。kは Boltzmann 定数と呼ばれ 1.38×10^{-23} J/K である。Jはエネルギーの単位ジュール、Kは絶対温度の単位ケルビン。絶対零度で状態の数Wは1でエントロピーは零である。物質系は宇宙空間に光エネルギーによるエントロピーを捨てながらいずれの日か絶対零度に近づく。宇宙全体のエントロピーが増大して行くにもかかわらず、物質系は秩序立った低いエントロピーの状態に移って行くのである。

物質系の組織化に関する補助法則Bとして「外部から低いエントロピーのエネルギーを吸収してそのエネルギーを物質組織内に取り込み、種々の触媒を通して不安定な高エネルギー物質を組織化する」ということである。「低いエントロピーのエネルギー」は「質の高いエネルギー」つまり使えるエネルギーである。物質系から外部に放射するのは吸収したエネルギーより高いエントロピーのエネルギーである。低いエントロピーの外部エネルギーを吸収して自発的に組織化を進め、かつ組織が不安定であるが故に物質循環の輪を形成する。それが生物である。太陽エネルギーを利用した光合成に始まり、多くの生命組織を生成し、またその死によって組織が分解され新たな命の材料になる。命の循環である。

生命反応には多くの触媒が関わっている。二重螺旋の DNA をコピーする場合に、同じ環境で塩基同士が結合したり離れたりするのは触媒の作用による。タンパク質合成の際のアミノ酸の結合やその分解も同様である。生命創生の要素であるタンパク質や DNA などの高分子は水や酸素分子と同様、化学反応の結果生成された物質組織の一種である。環境（触媒等も含む）に適応して変化しているのである。

Ⅲ 物質組織としての生命体

Ⅲ-1 高分子からウイルスへ

ラテン語で「毒」を意味するウイルスはインフルエンザ・ウイルスなどで知られ、人類の敵でもある。ウイルスはエネルギー代謝機能を持たず、またタンパク質合成の材料も持ち合わせていない。他の生物の細胞を利用して自己複製を行う。いわば寄生虫である。ウイルスはタンパク質の殻とその内部に詰め込まれた核酸（DNA または RNA）だけからできている。最も単純なウイルスの模式図を図3に示す。ウイルスは細胞の核が独立したようなもので、「ウイルスの本体は遺伝子」とも言える。その大きさは数 $0.01 \mu\text{m}$ から $0.1 \mu\text{m}$ で普通の細胞の $100 \sim 1000$ 分の1程度である。多くの場合ウイルスはその名の通り病原体として作用する。しかし宿主の生存に有利に働く例もある。この場合は宿主に対して外来遺伝子の運び屋として作用する。親から子へ伝わる垂直伝播に対して遺伝情報の水平伝播である。

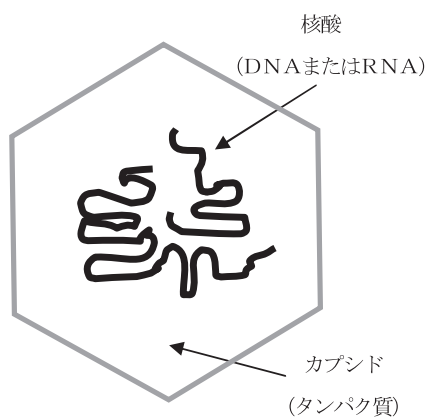


図3 ウイルスの模型図
(10万分の1mm から1万分の1mm)

ウイルスが他の細胞に辿り着くとウイルスの先端と細胞の表面が化学反応を起こし、細胞の壁を溶かしてウイルスが細胞内に入る。精子が卵子に入るのと似ている。ウイルスの核酸が宿主細胞内の糖、塩基、アミノ酸などの素材で複製を合成する。精子の場合は卵子の中で増殖するのではなく卵子の遺伝子と合体する。

ウイルスは寄生する細胞を求めて移動し、細胞内に侵入する。ウイルスはまるで「意思」を持って活動しているように見える。しかしこの移動は「意思」ではなく、物質の親和性による移動と考えられる。精子が卵子に向かうのと同様、ウイルスとある種の細胞との間に親和力があるか又はそこへ導く物質が存在しているので移動する。水滴ど

うしが近づくと小さな水滴が大きな水滴に引き寄せられて一つになるように。環境に適応した物理・化学反応である。ウイルスは周りの環境が整えば活動し、そうでなければじっとしている。死んでいるのではない。

Ⅲ-2 真核細胞そして共生

ウイルスの自己増殖能力に加えてエネルギー代謝機能をもっているのが単細胞である。タンパク質や核酸を合成する材料をもっている。生物は、好熱菌などの極限界微生物やメタン菌などの「古細菌」、大腸菌などの「真正細菌」及び動植物や真菌などの「真核生物」の三つに大別される¹⁾。古細菌や真正細菌を併せて「原核生物」と呼んでいる。原核生物は真核生物の細胞より1桁小さく約 $1 \mu\text{m}$ 程度の大きさである。動くための鞭毛をもっている。

生物進化の初期の段階で、古細菌または真正細菌から核酸が小器官として独立し細胞内の「核」となったのが真核細胞で、核酸が細胞の外に出たのが「ウイルス」とも考えられる。メタン菌は嫌気条件（無酸素の環境）で有機物を材料にメタンを生成することでエネルギーを得る。有機物分解の最終段階を担っている。細胞質内で行われる代謝、複製、タンパク質の合成は全て環境に適応した化学反応である。

「真核生物」の細胞は古細菌や真正細菌等の原核細胞と異なり、膜で外と隔てられた小器官、DNA 内包の膜で包まれた核、また独自の DNA を持ちかつ膜で外と隔てられたミトコンドリアや葉緑体を持っている。これは、原核細胞の中に、何か他の生物が食べられるような形で入り込み、細胞内で「共生」した結果、ミトコンドリアや葉緑体を持つ真核細胞が生まれたとの考えが一般的である。ミトコンドリアのお蔭で酸素を利用したエネルギー効率の良い生物が誕生した。

ここで興味深いのは「原核細胞の中に異なった特性の原核細胞が取り込まれ、あたかもそれ全体が一つの組織であるかの如く振る舞い、またそれが遺伝して行く」ということである。遺伝子の水平伝播である。生殖細胞にウイルスが侵入し、DNA の一部をウイルスの DNA で置き換えることなども度々起こったのではないだろうか。水平の混合があると、生物の進化を従来の系統樹で表すのは不適切かもしれない。

さて、真核細胞に「意志」はあるだろうか。答えは「否」である。真核細胞の活動はやはり環境へ適応した物理・化学反応であり、意思で活動しているのではない。

Ⅲ-3 単細胞の集団行動から多細胞生物へ

集団が一つの個体のように振る舞う事で頭に浮かぶのはイワシの群れである。特に敵に狙われたときは見事な集団行動を見せる。イワシの中に指令を出す統率者がいるわけでもないのに、何万尾のイワシが右に左に完璧に統率の取れた行動を示す。蟻や蜂の集団も同じである。「一体の生き物」のように行動する。

多細胞は単細胞が多数集まって群を成し、一つの個体のように振る舞う事から始まったと考えられている。そしてそれぞれの細胞がしだいに高度な役割分担をするようになって多細胞生物が誕生した。複数の原核細胞が一つになり機能分担して真核細胞が誕生したように、元々独立な生物として機能していた真核細胞が互いに結合して一つの個体として組織化された。一つの個体として機能するためには細胞の役割分担と細胞同士のコミュニケーション機能が不可欠になる。情報のやり取りは電気信号やホルモンその他の物質が担う。エネルギーを細胞全体に行き渡らせないといけないので“エネルギーの運び役”も備えなければならない。その運び役とともにホルモンその他の情報を担う物質が行き来することになる。

何故このようなさらなる組織化が起こるのだろうか。物質組織は常に無秩序（エントロピー）を外部に吐き出しながらさらなる自己組織化が進む。つまり秩序化である。陽子、中性子が結合して原子核を形成し、それに電子が結合して原子となる。この組織化は要素間に相互作用が働くからである。原子は電氣的に中性であるにも関わらず、さらに再編成が進む。つまり複数の原子が共同で互いの原子軌道の空席を埋め合い、より安定になろうとする。これが分子である。大きな分子になれば当然電荷の偏在が起こり、これがさらなる相互作用の原因となり組織化を引き起こす。但しこの組織化によって外部に放出されるエネルギーは次第に小さくなってゆく。合成のエネルギーが小さいということは逆に分解のエネルギーも小さいということである。

また外部にエネルギーを放出して結合するのでエントロピーが外部に放出される。組織の外部も含めた系全体としては無秩序が進むが、2節の補助法則 A, B に従って、生成された新しい物質組織は秩序化され、より安定な状態に移る。一般に分子からなる系の温度が高ければ、その系を構成する分子の運動エネルギーが大きい。運動エネルギーが分子の結合のエネルギーより大きければ、衝突しても分子同士の結合が進まない。逆に小さければエネルギーを放出して分子同士が結合し組織化が進む。常温近くで、触媒の助けを借りながら、結合したり分解したりするのが DNA やタンパク質などの高分子である。物質組織はエネルギーを放出して組織化した方がより安定になる。

生体高分子は高分子であるが故に組織が複雑である。環境変化によって組織化が進行し、また条件によっては分

解も進む。太陽の下でエネルギーの高い物質組織を生成し、逆にそれを分解することによって活動のエネルギーを得る、それが生物である。たまたま地球環境が生命高分子の反応（結合と分解）に適した環境であったために生物が誕生したのであり、またこれらの高分子は地球環境下で不安定であるからこそ生物が誕生したのである。

さて多細胞化のためには細胞同士の接着が必要である。それは膜たんぱく質などの細胞接着分子の相互作用によって担われる。細胞接着分子は単独または複合体を形成して、様々な情報伝達分子と相互作用し、細胞形質の制御を行う。多細胞生物の形成、臓器等の機能分化などは億年単位の時間スケールで進化してきたものである。多細胞生物のそれぞれの機能の働きはやはり周辺環境への適応で物理・化学的相互作用の下で進行する。

IV 神経細胞

IV-1 多細胞には司令塔が必要

半ば独立な細胞が集まって一つの組織として機能するためには、組織の外（環境）との係り合いで組織全体がどう振る舞うかを判断する器官が必要である。その役目を担っているのが動物の場合、神経細胞である。単細胞の場合、その活動を左右するのは環境に適応した物理・化学反応であった。動物などの多細胞の場合はそれだけでは不十分である。外部環境に対して沢山集まった細胞群が一つの組織として対応しなければならない。

外部情報を捉えるのが感覚細胞であり、組織の運動を受け持つのが筋肉細胞である。餌なのか敵なのか、餌を捕らえるのか敵から逃げるのか、などを判断し一つの組織として行動しないとイケない。感覚細胞、神経細胞、筋肉細胞の間の情報伝達は電気信号である。ある外界の状況に対して一つの行動が対応している場合は、環境に適応した物理・化学反応で済む。しかし行動の「選択肢」が複数ある場合は選択の判断をしないとイケない。選択判断する機能をもつようになって初めて「意思」や「心」に繋がる機能が芽生えてくる。

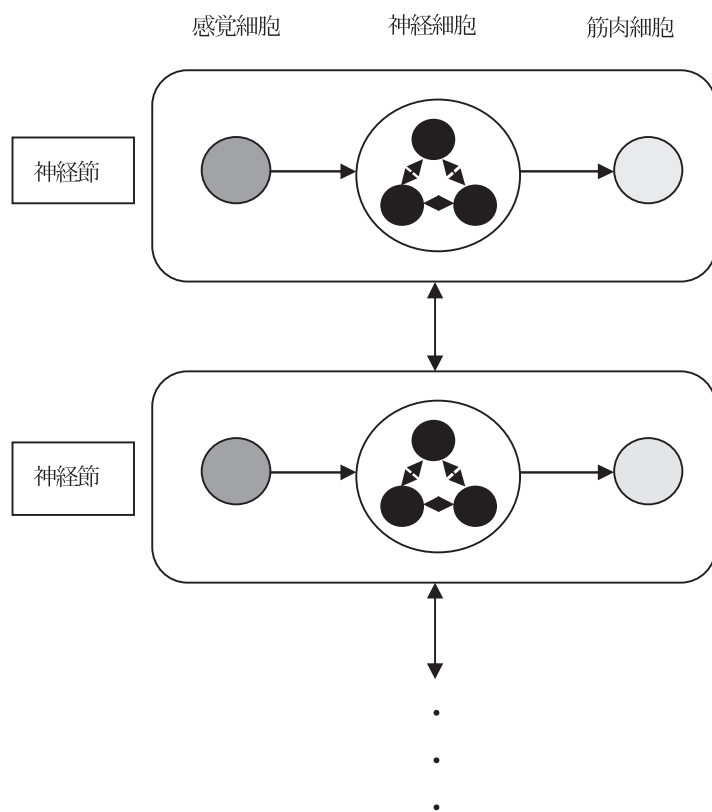


図4 神経節の模型

神経細胞は、通常の細胞と同じくその内部に細胞核をもっており遺伝因子 DNA を包み込んでいる。細胞体の大きさは人間の場合約 $10 \mu\text{m}$ ほどである。細胞体の外に樹状突起が沢山出ており、これがこの神経細胞に入る情報の入力部である。この樹状突起が情報を求めてアンテナを張り巡らすのである。そしてその神経細胞の判断結果が次の神経細胞の樹状突起に伝えられる。

図4に最も単純な神経節の模式図を示す。神経節内で神経細胞（黒丸）が感覚細胞（濃い灰色の丸）、筋肉細胞（薄い灰色の丸）と繋がっている。3個の神経細胞がネットを構成して共同で判断を下す。それぞれの神経節毎に特定の情報入力に対して特定の行動が対応している。但し他の神経節ともゆるやかに連携が保たれている。ムカデの足の運びなどはそれぞれの足の連携プレイが重要である。

「五感」が我々の感覚器官である。「生きる」ためには「餌」を外部環境から摂取し自身の内部にそれを取り込まなければならない。そうしようとする動機は食欲本能である。この本能を満たすためには外部情報を感知する「感覚器官」が必要である。それが目を通した視覚、耳を通した聴覚、鼻を通した臭覚、舌を通した味覚そして皮膚を通した触覚である。

IV-2 神経細胞ネットワーク

図5は神経細胞の機能を示す模式図である。コンピュータによる情報処理に応用されているニューラルネットワークのモデルである。外部からの諸々の情報にそれぞれの重率を掛け、その信号の総和が閾値を超えれば一定の信号を出力する。これが判断結果であり、行動のネットワークへと繋がる。行動の結果が入力情報の重率(W)にフィードバックされ、しだいに精度の高い判断を下すように組織化される。つまり学習機能をもっている。さらにこの判断結果は他の判断結果と連結・統合されて次の神経細胞に伝えられ、より高度な判断が下せるように多くの神経細胞が繋がってゆく。このニューラルネットワークは同じ入力情報に対してはほぼ同じ結果を出す。

図5の判断結果を出すニューラルネットワークが記憶のネットでもある。さらに経験を積み重ねることにより、これが他のニューラルネットワークと連結し、順次より高度な統合ネットワークが形成されてゆく。神経細胞の「自己組織化」である。一方、「考えたり想像したりする行為」は外部からの入力信号なしに行われる。この機能は「言葉」を仲介して行われると考えられる。「リンゴ」を想像するときは「リンゴ」を口ずさみながら思い浮かべる。また「夢」は言葉の他に外部刺激や電気信号のノイズが特定のニューラルネットワークを刺激し連想機能が働くと考えられる。

ここで強調しなければならない事は、例えばリンゴを見てそれを認識した場合に、見たままのリンゴが脳に描かれているのではない。眼の網膜に映った像とそれを認識する脳のネットワークが1対1に対応しているだけである。脳による認識はあくまでも実体そのものではない。従って錯覚や幻想もある。脳による認識は必ずしも客観的な認識ではないのである。

植物には植物プランクトンから大木に至るまで実に多くの種類がある。そして生き延びるために色々な戦略を取

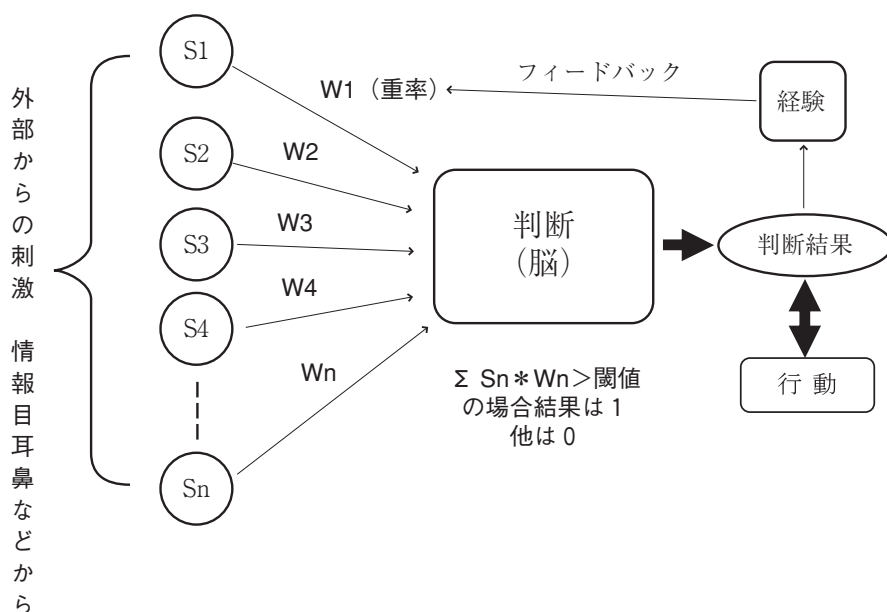


図5 神経細胞の情報処理

る。しかしその戦略は外部環境と1対1に対応する物理・化学反応の一つと考えられ自ら選ぶ選択肢はない。ましてや喜怒哀楽はないであろう。組織化が進み、動物が誕生して、雄と雌が分離すると、子孫を残すためには相手とのコミュニケーションが不可欠になってくる。ここから本格的な「心」の形成が始まると考えられる。十二支に現れる鼠、

牛、虎、鳥、蛇などには喜怒哀楽がある。つまり大小に関係なく大脳を持った動物（脊椎動物）には喜怒哀楽があるといえる。

V 脊髄から脳へ

本章では脳細胞のネットワークが如何に形成され、そして物質組織から如何に「心」が育まれるかを「本能」と「思考の制御」の観点から述べる。

V-1 神経節から脊髄・大脳へ

原生動物から無脊索動物へ、そして脊索動物へと進化し大脳が誕生した³⁾。ここでいう「進化」とは環境との相互作用による物質組織の変化であり、進歩ではない。昔から「人間は万物の霊長である」と言われているが、生物という視点から見ると単細胞、多細胞、植物、動物、人間等でどれが最も進歩した存在か、等の議論は無意味である。

すでに述べたように神経細胞が必要になるのは多細胞生物になってからである。多細胞生物が単細胞の単なる集合体ではなく、一つの組織体として振る舞うためには細胞同士の連携が必要になる。その連携の役を演じるのが神経細胞である。良く知られているように、神経細胞組織は大きく分けて脊髄、脳幹、小脳及び大脳からなる。脊髄と脳幹は心拍、呼吸、血圧、体温などを調整する生命維持の機能つまり自律神経系を担う。自己保全の目的の為に自己の意思とは無関係に機能する部位である。小脳は知覚機能と連携し、体のバランスや運動を制御している。訓練によってその機能は高度になるが、「意志」でその機能を左右することはできない。脳幹の一部である間脳は大脳と下位中枢神経との情報の入出力の交差点になっている。大脳を除いた他の脊髄、脳幹、小脳は生命維持のための神経系で思考とは関係なく機能する。いわゆる環境（臓器の場合はその臓器の周辺）への物理・化学的適応の一つである。「意思」や「思考・心」とは直接の関係はない。

さて「大脳」は本書の中心テーマである「思考・心」の機能を司る器官である。小脳も経験を積み重ねるにつれてその機能が高度になってゆくが、どちらかと言えば生まれながらにして備わっている機能である。ところが大脳は経験を通して形成されてゆく器官である。大脳の左側（左脳：意識脳）は言語認識、論理的思考、長期記憶などに関係し、右側（右脳：無意識脳）は直観、ひらめき、イメージ記憶、瞬間記憶、芸術、創造などに関係する。いずれにせよ誕生後の経験や教育の積み重ねによって形成される。無脊椎動物の「地方分権型」神経節の連鎖が進化して、脊椎動物の脊髄、間脳、小脳となり、さらにその先に大脳が発達し「中央集権型」の機能をもつようになっていった。

V-2 行動の選択から「心」が生まれる

神経節の連鎖から進化した脊椎動物の脊髄、脳幹、小脳は生命維持に係る機能が中心で、意識せずに働く。つまり選択の余地がなく視覚器官及び体内の種々のセンサーから入る情報が一定の条件を満たせば一定の出力つまり動作を生み出す。これ等の器官は生まれながらにして持っている機能をベースに、訓練によって、さらに高度な機能に鍛え上げられてゆく。つまり神経細胞ネットの連携・統合が進む。これは環境への適応であり、意識や思考とは無関係である。

- 1) 外敵から身を守る
- 2) 食す
- 3) 異性を求める
- 4) 子を慈しみ育てる

表2 四つの本能

ところが例えば哺乳類には表2に示す4つの本能的機能が備わっている。1)の「外敵から身を守る」は即時・

即物対応の行動が要求される。この場合は自律神経が重要な役割を演じる。一方、2) 食す、3) 異性を求める、4) 子供を慈しみ育てる、はいずれも本能に根ざした行動であるが、即時・即物対応の必要はない。ただ同時に2つの動作はできないので、いずれかの行動を「選択」しなければならない。選択のためには「判断」が求められる。

その判断を可能にするには、2), 3), 4) の3つの選択肢それぞれについて色々な情報が、それぞれの選択肢毎に連結・統合されていること、さらにそれら連結・統合された3つのネットワークをさらに統合するネットの形成が不可欠である。しかもそれぞれの事象は必ずしも目の前の現実の事象ではない。「思い浮かべる」能力が必要である。次第に高度な「イメージ」や「概念」の形成が進み、そして「思考」や「想像」が出来るようになる。

かくして大脳の高度なネットワークが形成され、概念化が進み同時にそれらが記憶となって積み重なってゆく。これが「心」の形成につながってゆく。心の形成では「異性を愛すること」が重要な役割を演じる。「子供を慈しむこと」はすでに子供が目の前に居るのだが、「異性を愛する」はその対象が既存ではない。想像し獲得することから始めないといけない。努力と長い時間が必要であり、想像機能の形成に大きな役割を演じることになる。これらの「愛」は恋人や子供だけでなく周りの人達や他の生き物に対する愛にも繋がってゆく。また「芸術」を生み出すエネルギーにもなる。

「心」の形成はその人の育った環境と時代背景に依存することが多い。和辻哲郎の著作「風土」⁴⁾によれば「自然環境が人間生活、文明、文化、芸術を規定する」と述べている。これはまさに、大脳の最も総合的な神経細胞ネットの連結・統合ネットである「心」の形成が、周りの環境の下でなされた経験や教育の積み重ねの下に形成されることを意味している。

V-3 「心」と「客観性」

日本語には「心」を含む言葉が多い。「こころずかい」、「こころもとない」等々精神活動を起こす元を表している。昔、「心」は脳の働きと結びつけてはいなかった。「腹黒い」、「腑に落ちない」、「ハートを射る」など脳ではなく心臓、胸その他の臓器と結び付けられていた。「心」を「脳」と結び付け始めたのは十八世紀から十九世紀にかけてのヨーロッパの医者達であった。

仏教神話に「群盲像を評す」の話がある。何人かの盲目の人がそれぞれ像に触って、像とはどんなものかを語る。科学は客観的でなくてはならない、と言う。誰が試しても同じ結果が得られなければ科学的事実とは言わない。科学でなくても周りの状況を客観的に把握できなければ毎日の生活に支障を来す。赤ん坊の頃からの経験や教育の積み重ねで、眼で捕らえた情景は、四角は四角として、三角は三角として認識されるようになる。そして毎日の新たな経験を通して脳の認識が修正されまた付け加えられる。

そもそも四角を視たとき、眼底に移った像はほぼ四角としても、電気信号として脳に伝えられ、それによって励起された脳の神経細胞ネットワークの配列は四角とは無関係である。神経細胞のパターンと四角の図形とが一对一に対応しているだけである。同じパターンの神経細胞が励起されれば四角と判断する。このことは眼だけではない。聴覚、臭覚、触覚から入る刺激についても同様である。身体の外から入るあらゆる刺激を客観的に捕らえることができなければ毎日の生活が困難になる。私達の捕らえた周りの情景、状況が客観的かどうかはその認識に基づいて起こした行動の結果でしかわからない。経験から正しいだろう、と思うだけである。逆に経験が邪魔をして錯覚を起こすことも度々である。

我々が認識する事柄の「客観性」は確かだろうか。ここで言う客観性とは「私達の五感から入力される情報に対する認識の客観性」である。敵が自分に向かって来ているのか、遠ざかっているのか、などの客観性である。認識

する対象物に対する客観性ではない。対象物全体を客観的に捉えるのは不可能である。目で認識できるのはあくまでも可視光線によるその外観とその動きであり、物質組織の内部は見えない。ましてや細胞や分子は見えない。

「私」と言う個体は、五感から入る情報で自分の世界を作っている。今2人が同じ場所で周りの景色を見、周りの風の音、川の音、小鳥のさえずりを聞いているとしよう。それぞれの見聞きしている世界は同じ世界なのだろうか。もっとも、同じ経験、同じ教育により共通部分は多い。多いからこそ話しが通じる。ここで「共通」というのは「両者の認識が同じ事象に対応している」という意味で、それぞれの認識した世界が同じとはかぎらない。妄想性人格障害などの病気の人は、周りとの共通部分が少なく、客観性を一部失っている。その個体がもっている世界は他の人の世界と大きく異なっている。

自分の周辺を客観的に捉えることが出来なければ生命を維持することが困難となる。社会の状況や自然の法則を客観的に捕らえることができなければ、社会や自然に適応することが困難となる。だが我々は自然や社会を我々の時空スケールでしか見ていない。自然や社会は色々な時空スケールで複合的に動いている。我々が捕らえるのはせいぜい十年から百年の時間スケールである。それ以上の時間スケールで動いている世界を捉えることは難しい。人間は自分の世界で生きているのである。夢は見ている人にとっては目が覚めない限り現実の世界なのである。夢の中で、夢なのが現実なのかの判断はできない。眼が覚めてはじめて夢であることに気付く。私という個体にとってはあくまでも自分の脳に描いた世界が現実の世界なのである。

死の直前に夢を見る。母が迎えに来た。にっこり笑って呼んでいる。その周りには一面に彼岸花が咲いていた。「お父さんも、祖父ちゃんも、祖母ちゃんも待っているよ」と母が呼んでいる。たまたま死を免れた人の死の瀬戸際の夢である。「天国などあるはずがない、科学的ではない」とよく言う。しかし現実には客観性とは無関係にそれぞれの個体にとっては自分の世界が唯一の現実の世界である。その世界が天国であれば現実に天国なのである。それぞれの個体にとっては自分の認識する世界しかない。その世界が妄想でも自分の世界である。死の直前、極楽の世界を訪れれば自分は極楽に行ったのであり、地獄の夢を見れば地獄に行ったのである。家族のいる天国の夢を見るか地獄の夢を見るかは、自分がどのような生き方をしたかによるのであろう。

V-4 心の死は世界の死

「脳死」は「心の死」を意味する。そして私という「個体」は単なる物質に変わる。「心」の存在そのものが無いのである。天国も地獄もない。物質に転化した身体組織は焼却されて二酸化炭素、水及び灰になる。或いはバクテリアの餌となり分解されて再度生物界に還元される。物質は不滅であり、生物の間を循環する。しかし喜怒哀楽の「心」はその組織の内側にあり、一度限りである。

「死」は、私という個体にとっては「世界の死」である。世界や宇宙は客観的存在であるが、私の死によってそれを認識することができないからである。私は「内」なる「心」で「外」を認識しているが、「外」から見た私は単なる生物の一個体である。世界と関わりをもっているのは脈々と続く人間集団であり、生物集団である。原子の一つが人間の身体組織に直接的には関係しないが、その集団は個体を左右するのと同じである。

「心」は物質組織の一つである神経細胞が編み出したトップレベルの「ネットワーク」である。「私」なるものはその物質組織の内側にいる。その内側から外界を見ているのである。自分にとって他人はあくまでも外界の一部である。神経細胞ネットワークが編み出したものが「心」であれば、それがどう作られるかが「心」の中身を左右する。生まれながらにしてもっているネットワークに、自分の外、つまり環境とどう相互作用しそれを積み上げてきたかに「心」は依存する。

「豊かな心」は、他人を敬い愛することができるかどうか、楽しむことができるかどうか、深くものを考えることができるかどうか、忍耐強く事に当たることができるかどうかであり、これらは愛に恵まれたかどうか、じっくり思いに耽る時間があつたかどうか、我慢した経験があるかどうか、等の経験の積み重ねに依存している。これらの事柄は物質的に豊かであったかどうか、教育を受ける期間が長かつたかどうか、多くの事を覚えたかどうか、等ではないであろう。

人間の体は神経細胞、神経調節物質、ホルモンなどによって「脳」の下にコントロールされ一体となって機能している。人間の集団つまり社会も同様である。言葉、食料、お金などが全体を結びつける機能を果たしており一つの組織つまり一つの生命体として機能している。同様に地球上の生物集団も「一つの生命体」として機能している。時間と空間のスケールが人間集団のスケールよりはるかに大きいので「一つの生命体」であることに気付きにくい。全体をつないでいるのは食糧を中心にした環境であることは言うまでもないが、それ以外に、ウイルスやバクテリアも重要な情報伝達物質なのではないか。ウイルスやバクテリアは多細胞生物の構造も変える。通常の垂直伝播による進化に加えて水平伝播によって遺伝子が変わる。万年億年の時間をかけて変えてゆく。

鼠から人間そして象に至るまで基本的な構造が一緒だけでなく、生涯に使う単位体積当たりのエネルギーも同じである^{5)、6)}。大きな時空スケールで見ると、あらゆる生物が一体となって一つの生命体を組織し、細胞またはDNAを最大にする原理の下に活動している。そのために一部の種を絶滅させることもあり、また一部の種を繁栄させることもある。人間はその「掟」を超えているのかもしれない。

最後に人間とロボットとの違いについて一言触れる。その違いは色々挙げられるが、最も大事な事は他を愛する「心」をもっているかどうか、喜怒哀楽の「心」をもっているかどうかの違いである。

まとめ

本書で述べた内容をまとめると以下の通りである。

- 1 身体を構成するタンパク質やDNAなどの高分子を含め全ての物質組織を構成する分子は我々の生きているマクロの世界の法則とは異なるミクロの世界の法則「パウリの排他原理」で成り立っている。
- 2 物質系の組織化に関する法則Aとして「外部からエネルギーや物質の入らない孤立系では、エントロピーを外部に捨てながらよりエネルギーの低い安定な状態に向かう」、法則Bとして「外部から低いエントロピーのエネルギーを吸収してそのエネルギーを物質組織内に取り込み、種々の触媒を通して不安定な高エネルギー物質を組織化する」を提言。
- 3 人間を含めて、あらゆる生物は物質組織の一形態である。
- 4 生まれながらにしてもっている四つの本能、つまり①外敵から身を守ること、②食すこと、③異性を求めること、(水)子を愛し育てること、は即時性、即物性の点でそれぞれ異なっている。今、どの行動をとるかの選択が思考の源泉であり大脳の発達を促した。
- 5 外敵から身を守るとは即時的、即物的行動であるが、特に③の「愛」は広い時空間の中で育まれる行為である。ここから「概念」、「想像」そして「心」が育まれる。
- 6 「心」は物質組織の営みの結果を概念化した内なる神経細胞ネットワークを通して感じ取っているのであり物質組織を離れては存在しえない。物質組織の情報は遺伝子を通して次の世代に引き継がれが、「心」は生きる事を通して「文化」として「文明」として次の世代に受け継がれる。
- 7 外界事象の脳による認識は外界事象そのものではなく、あくまでも外界事象と1対1に対応する認識にすぎな

い。脳での認識は外界事象の脳への投影である。それが一定の客観性をもっているかどうかは行動結果の検証または周辺の人による検証によって確認される。脳に投影された事柄と外界とは別物であることに注意しなければならない。夢や幻は客観的現実ではないが、夢や幻なのかどうかの判断は自分ではできない。

8 人間にとって「死」とは「内なる心」の死であり生命活動が停止した単なる物質組織となることである。

物質構造の立場から「心」の成り立ちを論じた。人間を含む全ての物質組織はミクロの世界の法則とマクロの世界の法則の帰結であること、選択が思考の源泉であること、他を愛する事が「豊かな心」を育むこと、「脳」による我々の認識は必ずしも客観的であるとは限らないことが本論文の結論である。

注及び文献

注1) 宇宙創成 (Big Bang) の段階では6種のクォークと6種のレプトン及びそれらの反粒子があった(小林、増川の理論で「素粒子の標準理論」とされている)。現在、高エネルギー加速器を用いてこれらの粒子を人工的に生成できる。

注2) 1925年にヴォルフガング・パウリ (Wolfgang Pauli) が提唱したフェルミ粒子(陽子、中性子、電子など)に関する仮定。当時は仮定であったがその後ミクロの世界の原理として厳密に成り立っていることが証明されている。

- 1) 藤原昇、池原健二、磯部ゆう 著「自然学」—自然の共生循環を考える—：東海大学出版会 2004年11月20日
詳細は「量子力学」の出版物を参照
- 2) C. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", The Bell System Technical Journal, Vol. 27, 1948, pp. 379-423.
- 3) 甘利俊一監修 岡本仁編「脳の発生と発達」東京大学出版会 2008年9月12日 初版
- 4) 和辻哲郎の著作「風土」：岩波書店、1979年5月第一刷発行、2005年4月第46刷発行
- 5) N. Fujiwara, "Origin of the scaling rule for fundamental living organisms based on thermodynamics" BioSystems 70(2003) 1-7
- 6) N. Fujiwara, "The scaling rule for environmental organizing system in a gravitational field" BioSystems 73(2004) 11-116