

15 「生命世界の非対称性」

読み終わって見たら初版は1992年、思っていたより古い本だったのが意外だった。

前から探していたのだが、先日「生命世界の非対称性」を八重洲ブックセンターで偶然見つけ早速読んだ。そして、やっと繋がった！と思った。

定年退職後、数学、物理学、量子論、素粒子論、一般相対性理論、電磁気学、分子生物学などいろいろな本を読みノートに整理してきた。

自然界の現象や生命がなぜそうなっているのか？その真実を知りたいとずっと思っていた。

そして今、生命の神秘と素粒子の非対称性が繋がっていることがわかった。

根気強くやってきたことが実を結んで素直に嬉しい。

地球上には数百万種といわれる多種多様な生物が棲息している。生物は単純なものから徐々に高等生物に進化していった。

対称性という観点から生物を見るとどうなるだろうか？

まず動物は、高等なものから哺乳類、鳥類、爬虫類、両生類、魚類など脊椎動物はほとんどすべてが左右対称。地球上で最も種類が多いといわれる昆虫類、さらに甲殻類（カニ、エビなど）、軟体動物（タコ、イカなど）あたりまでは、ほぼ左右対称である。

クラゲなどの腔腸動物、ヒトデのような棘皮動物になると、回転対称性を持つものが出てくるが、動物全体の形態を見ると圧倒的に左右対称が多く、ごく一部に回転対称が見られる程度であることがわかる。

一方植物はどうか。

木の幹から枝が出る様子、茎や根が枝分かれする状況にも対称要素はみられない。茎に付く葉についても対称性はなく、むしろ太陽の光がよく葉に当たるように広い意味での螺旋形で、上に行くほど小さくなっている。

このように、植物には左右対称の要素はほとんどなく、しいて言えば円錐形の回転軸か広い意味での螺旋軸だけである。むしろ植物は陽当たり、風当たりなど環境の影響の結果このようになっていると考えることができる。

動物や植物の内部器官はどうか？

人間の体内をみると胃、腸、心臓、肝臓、膵臓は対称でなく、対称なのは肺と腎臓である。これは他の動物もほぼ同じ状況である。必要な機能を、限られた体内に効率よく収めるためにそのようになったものと思われる。

植物については、葉や花といった部分に左右対称性があるものの高等植物のみで蔓などは螺旋状であり、多くの部分で対称ではなく全体として対称性は低いことがわかる。

生物は水中で誕生したが、水中を漂うだけの下等なものは球形で何の問題もない。しかし、海面に近い方、海底に近い方の差を感じるようになれば、上下の区別ができて球対称からクラゲのように回転対称が必要になる。さらに餌のある方向に動くことや、天敵から速やかに逃げる必要が出てくれば、魚のように前後の区別が必要となる。当然左右対称でなければバランスよく動くことができない。

陸上の植物は、動物のように動く必要はないので、左右・前後の区別は必要ない。しかし、水中と違い重力の影響を直接受けるので、倒れないようにしっかり根を張る必要が出てくる。当然上下の区別があるので、円錐形をした回転対称か螺旋対称にならざるを得ない。

植物による光合成の結果大気中に酸素が満ち、陸上に動物が棲息できるようになる。

陸上に出た動物は重力の影響をまともに受け、すばしこく動いて餌を追ったり天敵から逃げるなど、意のままに動くためには左右対称が不可欠である。

機能向上のため、部分的に形態の非対称性を示すことがあるがこれは例外的である。

次に、マクロの視点から分子レベルで見るとどうなるか？

すべての生命現象は核酸とタンパク質に由来している。核酸は遺伝の担い手ですべての細胞に含まれ、生命に必要な設計図が書き込まれている。

核酸であるDNAは二重螺旋構造で、糖、リン酸、塩基から構成され、これが単位となり直線状に繋がって1本の螺旋ができています。

糖、リン酸はDNA全体にわたって共通であるが塩基は異なる。塩基にはアデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)の4種があり、その組み合わせは必ずA-T、G-Cである。

こんな単純な構造のDNAで効率よく遺伝情報を伝えている。

生命にはタンパク質、脂肪、糖などさまざまな物質が必要であるが、DNAにはタンパク質の設計図のみが暗号化されているだけである。

タンパク質は20種類のアミノ酸が直線状につながったもので、タンパク質の種類はアミノ酸の配列順序で決まる。DNAの並んでいる塩基が3個で1組となり、1つのアミノ酸を指定している。

4種の塩基3個がつくる暗号は $4^3 = 64$ 種類である。アミノ酸は20種あるので、1つ以上の暗号で同じアミノ酸を指定していることになる。

64通りの暗号は1966年までに解読されたが、それにより遺伝暗号がすべての生物に共通しているという驚くべき事実が明らかになった。アメーバも大腸菌も、チューリップも、松の木も、魚もヒトも、全く同じ遺伝暗号を用いている。このことは生物が共通の祖先から進化してきたことを意味している。新薬の実験が人間でなくマウスでよい、というのもこういう理由による。

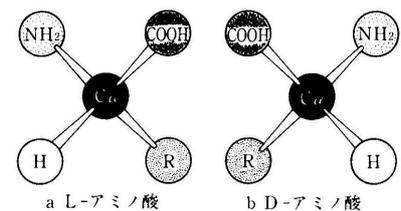
われわれは人間だけが特別な高等動物だと思っているが、ある意味では大腸菌と変わりがないのである。

ここから化学の話になる。

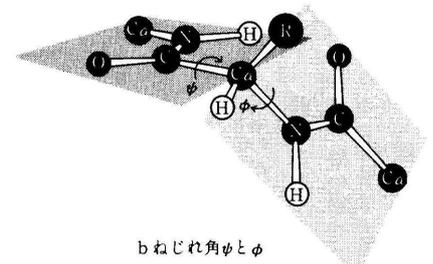
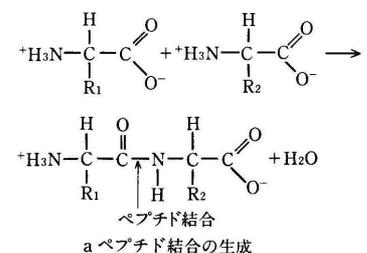
アミノ酸の構造は中心に炭素原子(C)があり、炭素の4本の枝にカルボキシル基(-COOH)、アミノ基(-NH₂)、水素原子(-H)、側鎖(-R)が結合している。この側鎖(-R)のところにはアミノ酸の種類により、メチル基(-CH₃)やイソプロピル基(-CH(CH₃)₂)などが付く。このように、すべて異なった原子または原子団がついている炭素原子を不斉炭素原子という。

そしてここがとても重要なのだが、この不斉炭素原子は光学異性体をもつ有機化合物に必ず含まれるという事実がある。

光学異性体とは、通常の物理的、化学的性質は全く変わらず自然光に対する性質も変わらないが、唯一の違いは光の特殊な性質である



アミノ酸の基本構造



b ねじれ角φとψ
ペプチド結合

「偏光」に対しての違いがある。(光は電磁波の1種で、縦波と横波が直交して同時進行するが偏光はどちらか1方向のみの波をいう)

光学異性体は分子構造で見ると、それぞれが鏡像体(手のひら対称:対掌性)で重ね合わせることができない。

それらをD型 [Dextro : 右側を意味するラテン語] ---右旋性物質, L型---左旋性物質と区別し、ある物質に対して鏡像体が存在する場合キラル (Chiral : 語源はギリシャ語で手や足を意味する) と呼ぶ。

鏡像体は味や香りの違いなど、微妙な性質の違いを示すことがある。医薬品や農薬でいうと、その薬効がD型とL型で異なることがある。

例えば、気管支拡張薬として使われるイソプロピル・ノルアドレナリンは一方がその鏡像体の800倍も効果が高い。

最も典型的な例はサリドマイドだろう。鎮静剤として販売されていたものを、妊婦が“つわり”の痛み止めに服用した結果奇形児ができてしまった。

一方の鏡像体が胎児に奇形を生じさせることが、動物実験によって示されている。おそらく当時の製薬会社を含め社会一般が、鏡像体に性質の違いを示すことがある事実を知らなかったためだろう。

医薬品の場合、対象が人間であるだけに問題は深刻である。

DNAのもとである核酸と、タンパク質の基本単位であるアミノ酸は、キラルな物質でD型とL型が存在する。そして不思議なことに核酸はD体、タンパク質はL体のアミノ酸のみでできている。

植物のタンパク質も動物のタンパク質も、下等生物も高等生物もすべて核酸はD型、アミノ酸はL型で作られているのである。

地球上の全生物が片側のキラリティーだけでできている。ミクロの分子レベルでみる生物の世界は非対称なのである。

実験室でアミノ酸の合成を行えば、必ずD型とL型が同量できてくることを考えれば、全生物が共通してD - 核酸, L - アミノ酸のみでできているという事実は全く驚きである。

タンパク質による消化酵素や酸素運搬などの働きは、タンパク質の構造によって決まってくる。そのタンパク質の構造はアミノ酸によって決定される。アミノ酸はDNAによって作られるのであるから、タンパク質の働きは遺伝子に支配される。

従って、アミノ酸の配列さえ遺伝子で指定しておけば、複雑なタンパク質の構造まで自動的に指定される仕組みになっていなければならない。

しかし、DNAの構造は単純でパラエティーが少ない。DNAの単純さは、遺伝情報伝達物質として間違いを起こさず確実に遺伝情報が伝達されるために必要なことである。それでも時々誤りがおきて、難病・奇病の悲劇が生まれている。

一方、高度な働きをするタンパク質はより複雑な構造をしているはずである。それを単純な遺伝子の組み合わせでどう実現するか？

それはアミノ酸どうしの結合「ペプチド結合」の立体構造に秘密がある。難しくなるので細かいことは省略するが、アミノ酸どうしが結合するときの回転角度(ひねり方)が原子の種類によって決まっているので、とりうる構造にはかなりの制約がある。これはアミノ酸の中心が不斉炭素原子でできていることによる。

最初を決めておけば、あとはそれ以外にはなり得ない巧妙な仕組みにより、複雑なタンパク質が誤り

なくできるようになっているのである。このような自然の技には全く感服してしまう。

このようなことを発見する人間も凄いと思うが。

タンパク質のもとになるL - アミノ酸は、われわれが食物として摂取した動植物のタンパク質である。タンパク質は消化酵素によって体内で分解されアミノ酸となる。

地球上のすべての生物のタンパク質はL - アミノ酸のみからできているので、分解してできたアミノ酸もL - アミノ酸だけである。

微生物や植物は、20種すべてのアミノ酸を自分で作れるが、動物にはその能力が欠けてしまっている。ヒトの場合は8種のアミノ酸が体内では合成できず、食物から直接摂らなくてはならない。

これを必須アミノ酸といい、牛乳や卵などが良質のタンパク質といわれるのは、8種の必須アミノ酸すべてを、ほぼ体が必要とする割合で含んでいるからである。

生物の世界はマクロで見れば左右対称なのに、ミクロで見れば左右対称が崩れていることが判った。

外観の多様性にもかかわらず、分子のレベルで眺めればこの地球上の生物は驚くほど似ている。ヒトも桜の木もナメクジも大腸菌も驚くほど似ている。

食物の代謝，呼吸系，神経系，循環系の仕組み，タンパク質の合成や遺伝の仕組みの大筋はそっくりである。さらに、生体を構成している分子や、これらの分子間の見事な連繋プレーもそっくりなのである。これらは何億年も前から生存している細菌や昆虫、地球の歴史からみればごく最近登場した哺乳類にも共通している。この地球上に存在する膨大な数の生物が、同じキラリティーの分子からできていることも全く同じだ。

このことから、地球上の生物が共通の祖先から進化してきたのは間違いない。

それでは、なぜ現在のキラリティー（D - 核酸，L - アミノ酸）に決まったのだろうか？

この原因を探求していくと、素粒子間に働く力や宇宙全体の対称性の問題になる。

さらに、キラリティーの確立は、生命の起源とは切っても切れない問題だということも明らかになってくる。

ここからは素粒子の話になる。

自然界にあるすべての力は4種類、1 重力，2 電磁気力，3 強い核力，4 弱い核力ということになっている。重力，電磁気力はいいとして、「強い核力」は原子核中の陽子と中性子を結びつける力で、原子核をまとめている力である。

「弱い核力」は、素粒子間に働く力で原子核の崩壊を促す力として現れる。

この4種類の力の中で唯一非対称性を示す力があり、それが弱い核力である。

電子には陽電子、陽子には反陽子というように、すべての粒子には電氣的性質が逆でそれ以外の性質がほとんど同一な「反粒子」が存在する。

電氣的に中性の状態から始まった原始の宇宙には、粒子と反粒子が同数ずつあったはずである。しかし、現在の宇宙は粒子だけからできており反粒子は存在しない。宇宙の進化の過程で反粒子は消滅したことになる。この現象を説明するためには、粒子と反粒子の入れ替えにおいて対称性が破れていなければならない。

粒子の入れ替えは、電荷の変換C（Charge Conjugation：粒子の+電荷を反粒子の-電荷で反転させる）、パリティ変換P（Parity：物理現象を鏡像反転させる）の2通りあり、CとPが同時に起こることをCP変換といっている。このCP変換において、弱い核力についてだけ対称性がわずかに破れてい

るのである。

これまで、なぜ弱い核力だけC P対称性が破れているのか謎であったが、小林・益川理論により証明されていたことが実証された。それは、陽子や中性子を構成する素粒子のクォーク（最小の粒子でこれ以上分割できない）は2種でひとつの世代をつくり、2種類×3世代=6種類のクォークが存在すれば、C P対称性が破れるというものである。

第3世代のクォーク（トップクォークという）が崩壊し、第1世代のクォーク（ダウンクォークという）になる際にC P非保存となることが、数学的に小林・益川行列によって証明されるが、複雑なので省略する。

その予言どおり、高エネルギー加速器を使った実験によってクォークは実在し、しかも6種類あることが明らかになった。この実績により、小林・益川氏がノーベル賞を受賞したのは記憶に新しい。

これまで、なぜ「C P対称性の破れ」の証明が凄いことなのか理解できなかったが、現在の地球の姿や生命の神秘を解き明かすことに繋がっているとは思わなかった。

全く等量存在しているD型とL型のアミノ酸から、シミュレーションにより、最終的にはいずれかの型だけになるという結果が導かれる。条件として次のことを仮定する。

- 1．各々が自己複製する能力があり
- 2．複製は逆の型により妨害され
- 3．DとLは対を作って全く別の物質となって系の外に出る
- 4．エネルギーや物質の出入りがあり、熱力学的平衡状態にない

これだとD型になるのかL型になるのかわからないが、どちらということあまり問題ではない。最終的にどちらか一方になってしまうということが重要なのである。

この世界は対称性に支配されているように見えていた。物理法則の起源をたどっていくとき、われわれの住む空間が備えている基本的な性質にたどり着く。

物理法則の基本である、エネルギー保存の法則、質量保存の法則、運動量保存の法則などの保存則は、空間の対称性に由来している。これは、ネーターの定理として証明されている。（ネーターはドイツの女性数学者）

世界は基本的には対称性に支配されているが、その対称性は完全無欠ではなく、微妙に破れたものであることが明らかになった。

この事実が現在われわれの住む地球の姿、生命の起源、生物の進化に関して重要な鍵を握っていたのであった。この地球が如何に神秘的で素晴らしく、そして奇跡的なものであるかを知り非常に感動した。

そして、これまで自分が積み重ねてきたことが、1つの成果を見たことに充分満足した。

(2 0 1 1 . 0 4 . 2 3)