HOF 01-081

本田財団レポートNo.81

「分子の世界の右と左」

東京大学教養学部教授　黒　田　玲　子

略　歴

氏名：黒田玲子（くろだれいこ）

東京大学教授（大学院総合文化研究科広域科学専攻生命環境科学系・教養学部化学教室）、理学博士

学歴

昭和45年　御茶の水女子大学理学部化学科卒業
同 45年　東京大学大学院理学系研究科化学専門課程修士課程入学
同 50年　同博士課程修了、理学博士

職歴

昭和50年　英国ロンドン大学キングスカレッジ化学科 Research Associate、同生物物理学科 Research Associate、Research Fellow、Honorary Lecturer、英国 Institute of Cancer Research、Senior Staff Scientistを経て
昭和61年　東京大学助教授（教養学部化学教室）
平成４年　同上教授
現在に至る

研究分野：化学 {分子のキラリティー認識の構造化学的・分光学的研究、およびDNAの塩基配列認識機構の化学的・分子生物学的研究} {錯体化学、核酸の化学、X線結晶学、分光学、分子生物学等}

賞罰：第13回　猿橋賞（1993）
第１回　日産科学賞（1994）

文部省大学審議会・科学技術庁航空電子等技術審議会・特許庁工業所有権審議会・通商産業省産業技術審議会委員、科学技術会議専門委員、科学技術庁顧問、厚生省遺伝子治療研究評価会議、新技術事業団新技術審議会、千葉県科学会議委員など。

日本語著書：『生命世界の非対称性』、中公新書、中央公論社（1992）
『バイオサイエンスで健康を考える』、丸善、分担執筆（1994）
訳書：『ゆかいな生物学』マグロウヒル（1991）
『教養の化学』東京化学同人（1989）
研究論文：原著論文（英文）116編、総説・解説（英文７編、和文９編）

このレポートは、平成７年１月25日パレスホテルにおいて行われた第69回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

目　　次

はじめに

Ⅰ．右の世界、左の世界 …… 6

(1) 香り、味、医薬品における鏡像関係 …… 6

Ⅱ．分子の世界 …… 7

1．偏光 …… 7

(1) 右水晶と左水晶 …… 8

(2) パストゥールの酒石酸の実験 …… 9

(3) 乳酸の実験 …… 10

(4) キラリティーはどこからくるか …… 12

(5) 推理小説を楽しく読む …… 13

Ⅲ．対称とは、非対称とは …… 14

1．靴と靴下の原理－キラルとアキラル－ …… 14

2．対称な生物界　－マクロの世界－ …… 15

3．非対称な生物界－ミクロの世界－ …… 16

おわりに …… 21



はじめに

今日は、「分子の世界の右と左」というタイトルを付けさせて頂きました。右の世界と左の世界と申しますと、政治の話か、あるいは、右の脳と左の脳の話ではないかと期待していらっしゃるのではないかと思います。しかし、それとは違い私は分子の世界の右と左ということをお話したいと思います。

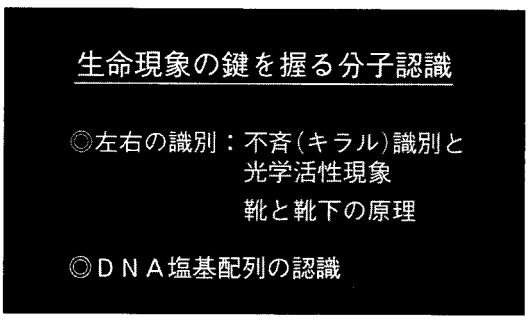
右と左というのは、ペアで使われて大体同じ数だけあると我々は思っていますが、生命世界、特に分子の世界では、右と左のバランスが非常に崩れています。その理由を考えていくと、宇宙全体が対称なのか、あるいは生命とは何なのか、また、生命の起源とは何かという非常に大きな問題に関係してまいります。

時間のスケールでは、生命が誕生した35億年前、あるいは、宇宙ができた45億年前の話になり、空間のスケールでも、分子よりも更に小さい原子を構成している素粒子の間に働く力のパリティーにも関連があるかもしれないということであります。

右と左の話をする前に、まず右と左とはどういうことか、皆さんお分かりだとは思いますが説明いたしますと、右手と左手を鏡に映すと右手は左手になり、当然ながら左手は右手になります。右手と左手は違うものですから、重ね合わせることはできません。私の左手の掌はこちら側を向いていますが手の甲もこちら側を向いています。右手は掌がこちら側を向いて逆なわけですね。掌と手の甲を同じ側にすると今度は、親指と小指が逆側にいくということです。ですから右手と左手とは違うものでお互いに鏡に映したものが違

うものだということですね。ところが、お互いに鏡に映したものでも同じものがあります。

化学や物理の嫌いな方が、かなりいらっしゃるのではないかと心配していますが、私の話には皆さんのお嫌いな亀の甲とか電磁波の出てくるスライドが用意してございまして申し訳ないのですが、見掛けが難しいだけで話はそれ程難しくありません。また、スライドが沢山準備してあるということは、この部屋が暗くなりますから寝ていても他の人には見つからないようになっておりますので、どうぞ安心しておやすみになって下さい。

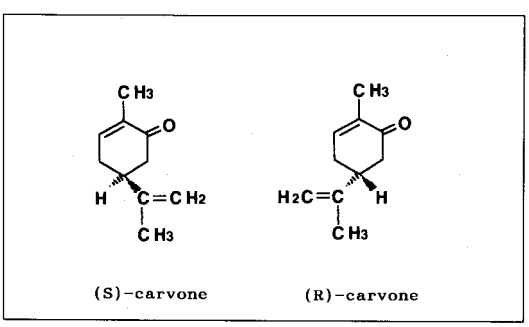


〔図１〕

最初に「生命現象の鍵を握る分子認識」と書きました。私が研究しておりますのは、右と左(キラリティ)の認識だけでなくDNAの塩基配列の認識の研究もしております。今日は右と左の認識のお話をしますが、両方の分野を組み合わせたような研究もしております。今日の話には、キラルとか光学活性という言葉が出てきます。それから、これは私が名付けたものですが、「靴と靴下の原理」ということもお話いたします。このような分子の世界のことが実は非常に我々の実生活にも関係してくることだというお話です。

Ⅰ．右の世界、左の世界

(1)　香り、味、医薬品における鏡像関係



〔図２〕

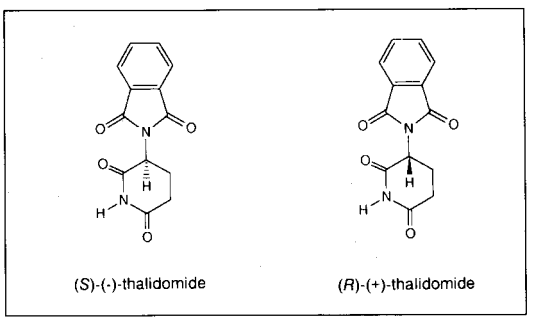
皆さんはスペアミントガムというものをご存じだと思いますが、ハッカのような香りですね。もう一つ、キャラウェーの種やピクルスを漬ける時に入れるディルという細い香草、その２つの香りを思い出して頂きたいのですが、全く違う香りです。ところが、**図２**に亀の甲でお見せしますと、左側がキャラウェーの種とディルの香りの主成分で、右側がスペアミントガムの香りの主成分です。香りの全く違うものなのに分子構造でみてみると非常に似ている。要はこの２つは我々の右手と左手の関係になっているということです。

Taste and Chirality of amino acids

Amino acid	D	L
Alanine	Sweet	Sweet
Asparagine	Sweet	Tasteless
Histidine	Sweet	Tasteless
Isoleucine	Sweet	Bitter
Leucine	Sweet	Bitter
Tryptophane	Sweet	Tasteless
Tyrosine	Sweet	Bitter

〔表１〕

次はアミノ酸ですが、これにもほとんど右手型と左手型があります(**表１**)。それをなめて見ると、一方は甘いのにもう一方は味が無かったり苦かったりするということがあるんですね。これは、右手と左手のようにお互いに鏡に映しただけなのに、味が全く違うという例です。



〔図３〕

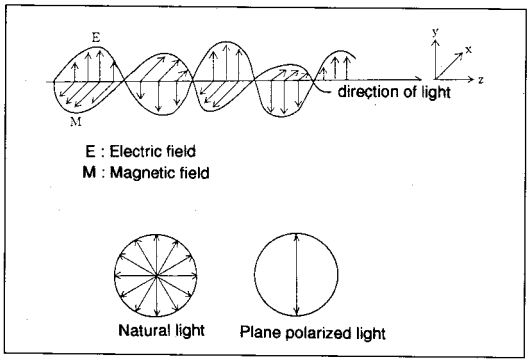
図３はサリドマイドというものです。1960年代に鎮静剤として売られていたサリドマイドという薬を、妊婦が偶然に服用して奇形児が生まれたということは、まだ皆さんのご記憶に残っていると思います。そのサリドマイドの分子構造をお見せしますと、このように右手と左手の区別があるということになります。下には左手型、右手型と書いてあります。つまり図のＳはラテン語の左、Sinisterシニスターの頭文字Ｓ、Ｒは右、Rectusレクタスの Rです。左というのはよこしまで悪いというシニスタで、英語でも右はライトで正しいとか権利ということで、どうも不公平だと思うのですが。さてサリドマイドのＳ型の方だけが奇形を生じたということが動物実験で明らかになっています。薬としては右と左が同じ数だけ入っていたのですが、左側と右側に分けて動物実験をしてみるとＳ型の方だけが奇形を産む性質があったということです。サリドマイドの場合には胃の中で右型と左型が行ったり来たりしたり、種差があるなど、複雑な話があってそう簡単ではないのですが、薬の作用が右手型と左手型で全く違うという例であります。

Ⅱ．分子の世界

１．偏光

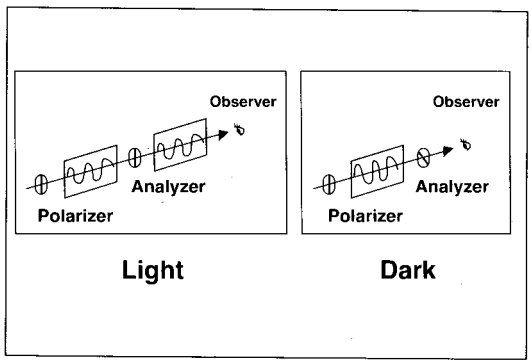
今まで３つの例でお話をしました。香り、味、薬の効き目がお互いに鏡に映しただけなのにどうして違うのであろうか。その疑問に答えていくのが、今日の講演の趣旨であります。

今度は光の話をいたします(**図４**)。光には進行方向があるということは皆さんご存知だと思います。Ｘ線も、ガンマ線も、光も、電磁波ですが、光の

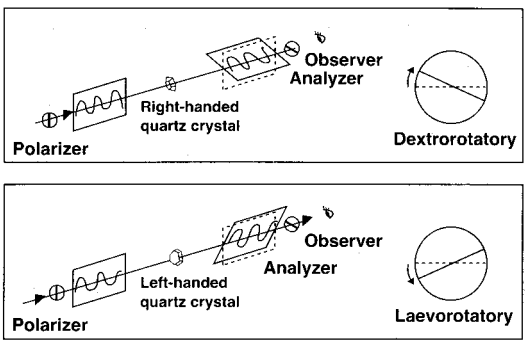


〔図４〕

進行する方向に電場と磁場が直交して振動しているというものなんです。この辺にある普通の光は光の進行方向に振動する電場がいろんな方向を向いています。ところが、そこへ偏光板という板を入れますと、ある特定の方向にだけ電場が振動する光を取り出すことができます。そういう光のことを偏光といいます。変な言葉を出しましたがこれに関連してあとで面白いことがでてまいりますのでちょっと覚えておいて下さい。



〔図５〕



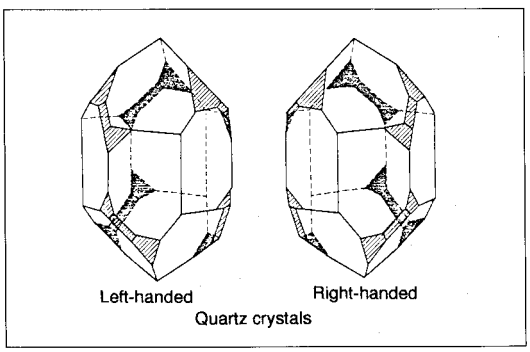
〔図６〕

この偏光というものと今の偏光板を使うとちょっと面白いことができます(図５)。このひまわりの種のように見えるのが偏光板で、この縦方向に振動している電場の光だけが通ることを表わしてあるのです。つまり、この板を通すと線にそった方向に偏光している光だけが通ります。２つの板を同じ方向に置いておくと光を通す面が同じなので、右端にいる観察者は、「あ、光が来たなぁ」と、視野が明るいと思うんですね。ところが、２枚目の偏光板を90度方向に回転すると、振動面が全く重なりませんので、右端にいる目玉(観察者)には光がこない、つまり視野が真っ暗だと感じるということです。このことを覚えているとあとで推理小説が楽しく読めるようになりますのでちょっとだけ覚えておいて下さい。

(1) 右水晶と左水晶

２つの偏光板の間に水晶の結晶を入れます(図６)。２つの偏光板を丁度90度の関係に置いたので観察者は光が来ないと思っていた。そこへ水晶を入れたら視野が明るくなったということが報告されました。どうしてかと思って板を右に回転してみますと、また視野が真っ暗になった、というわけです。

これはこの水晶が偏光面を右に回転する力があるということであります。それをラテン語から来た英語ですが「デキストロ・ローテイタリー」といい、デキストロとは、右ということで、ローティションは回転です。日本語では右旋性、右に回転する性質とよびます。ところが別の水晶は、２枚目の偏光板を左に回転しないと視野が暗くならなかったということです。これを「レボ・ローティタリー」といって、これは左ということですが、左旋性、左に回転するということです。つまり、水晶には光を右に回転する性質のものと左に回転する性質のものがあるということです。

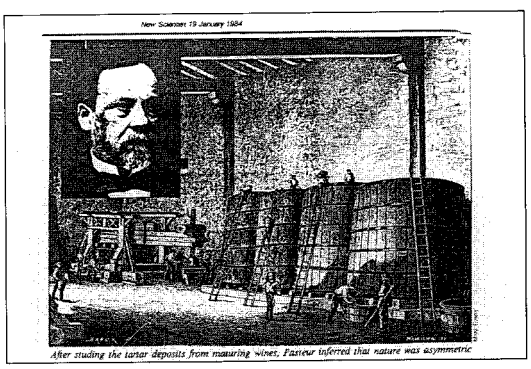


〔図７〕

図７が左水晶と右水晶の外形をスケッチしたものです。昨今、水晶で未来を予測することがはやりましたが、皆さんが持っていらっしゃる水晶がありましたら、必ず右水晶か左水晶のどちらかですから、偏光の回転の実験でちょっと試してみるのも面白いかもしれません。

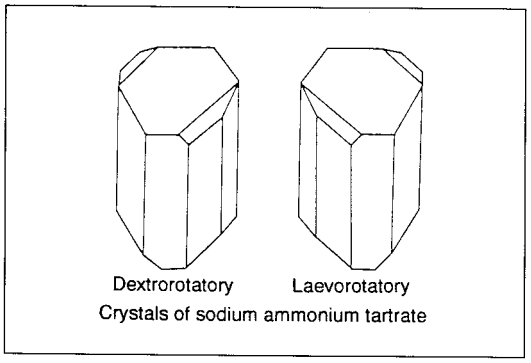
(2)　パストゥールの酒石酸の実験

溶液でも光を回転する性質のあることが分かりました。その研究をしたのがルイ・パストゥールでフランスの有名な化学者です。**図８**は、当時のワイン工場です。ワインはこんな大きな樽でつくっていたのですが、この下に沈殿物が出てきます。ワインのボトルを開けた時に下におりがあることに皆さんは気付かれたことがあるかも知れませんが、それと同じもので、酒石酸といわれるものです。パストゥールがその酒石酸といわれる白い粉を水に溶かして、先程の偏光板２つからできた回転式の機械にかけてみますと、酒石酸は光を右に回転した、つまり、この水溶液は光を右に回転する力があったということです。

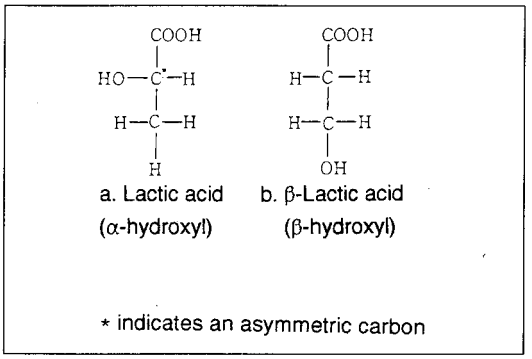


〔図８〕

ところが、同じ酒石酸を実験室でつくってみたら光を全く回転させなかったのですね。同じ物質なのにどうしてなのかということをパストゥールは研究しました。光を全く回転しない水溶液から結晶を作ってみると**図９**のように結晶の外形には２種類ありました。もっとも私には同じに見えますが、大



〔図９〕



〔図10〕

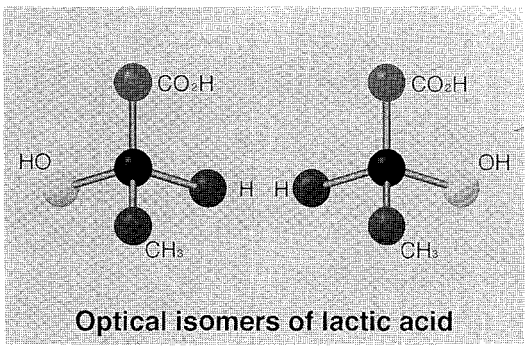
きさは大体１ミリ以下、形もこんなに奇麗ではないのですが、パストゥールは観察力の鋭い人ですから、ここに丁度鏡を置いたように右手と左手の関係になっている結晶があるということに気が付いたのです。そこでパストゥールは結晶の山を右型の山と左型の山に分け、それぞれの水溶液を作って、回転式の機械にかけてみました。そうすると一方がデキストロ・ローティタリーですから光を右に回転し、もう一方はレボ・ローティタリーですから、光を左に回転したというわけです。両方が同じ数だけ入っていたから光を全然回転しなかったに過ぎなかったということです。つまり、ワインの発酵でできるものは、このうちの右型だけですが、実験室で合成すると両方が同じ数だけできてくるということがポイントなんですね。

(3) 乳酸の実験

久し振りに運動したときに翌日筋肉が痛くて困るということがありますが、あれは乳酸が筋肉の中にたまったからなのですね。筋肉痛でできる乳酸は光を右に回転する性質があります。ところが、別に実験室でつくってみると光を回転しない。パストゥールの酒石酸と同じように光を右に回転するものと左に回転するものが同じ数だけあったので、お互いの性質が打ち消しあっていたということになります。

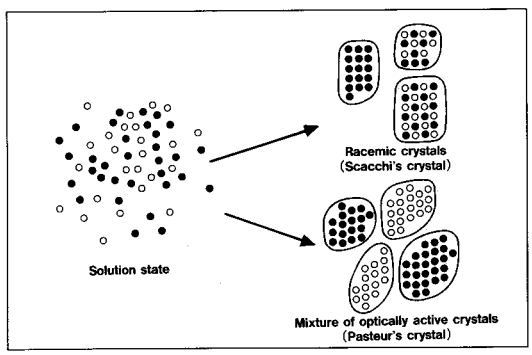
どういうものが光を回転するのかをいろいろ考えてみますと、乳酸には**図10**のように不斉炭素といわれる炭素があって、そのためこの化合物には右手と左手のような違いがあるということが分かりました。COOH、OH、H、CH_3といった４つとも違う原子基が炭素に結合しています。右側の分子の場合は、炭素の回りに水素が２つと、同じものが付いていて、右と左の区別はないのですが、左の方には右と左の区別がある。どいうものが右と左の区別があるのかということは、経験によって炭素の回りに４つ違うものが付いていることが必要なのだということが分かりました。

それでは、三次元で立体的にどのような構造をしていたら右と左の区別ができるのだろうか、という方向に学問は発展していきました。そして今、われわれはX線の構造解析法とか分子軌道法といった科学の先端の研究により、化合物が立体的にどんな構造をしているか分かっています。その正しい答えに導いたヒントになったものが、右か左かというキラルな観点だったのです。



〔図11〕

図11には今の乳酸を色つきで書いてあります。この2つは鏡を置くと右手と左手の関係になっています。赤丸と緑の丸を重ねると青と黄色が逆側に来ます。青と黄色を重ねると今度は赤と緑が逆にいく。先程、私の右手と左手を重ね合わせようとして、親指と小指を重ね合わせると、掌と手の甲は逆にいくし、右手と左手の甲を同じにすると親指と小指が今度は逆側に向きますとお話しました。それと同じことが起きているのです。パストゥールの発見によって化合物が立体的にどんな構造をしているかということも確立されてきたということです。



〔図12〕

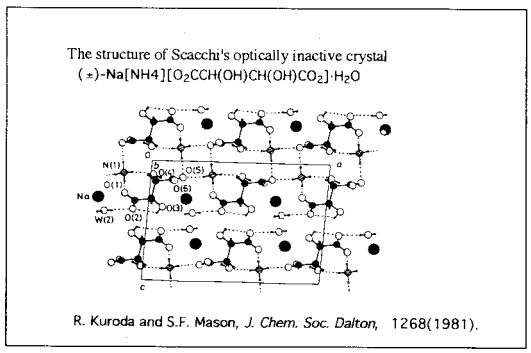
パスツールの酒石酸の実験にもどってみましょう。黒丸と白丸が右型と左型の化合物を表わしています。実験室でつくると黒丸と白丸は同じ数だけできてくる。パストゥールが結晶をつくったら黒丸だけの分子が集まって結晶をつくり、一方白丸の分子だけが集まって別の結晶をつくった。顕微鏡で見ると黒丸の結晶と白丸の結晶はお互いに鏡に映した形をしていたので、彼はそれを分けることができ、片方が右旋性で片方が左旋性だったということなんです。

ところがイタリアにスカッチという人がいまして、パストゥールの実験を追試してみました。結果は彼がどんなに実験をしてもパストゥールのような結晶が得られなかったのです。一つの結晶の中に右型と左型分子が同じ数だけ入っていて右の結晶とか左の結晶という区別が無かったのです。これはどうしてなのだろうか、パストゥールが間違っていたのだろうか？実はそうではなく、この分子にはとても面白い性質があったのです。

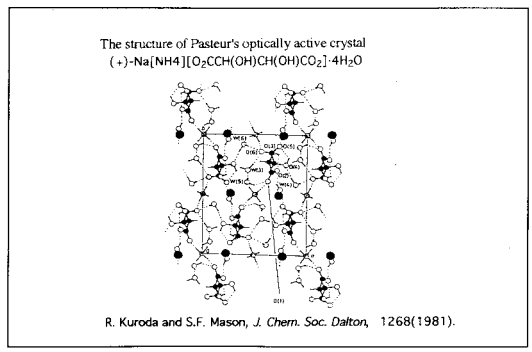
この水溶液(solution stateと書いてありますが)、温度が27度以下では、下のような結晶を作るのですが、27度以上だと上の結晶になります。スカッチはイタリアで、パストゥールはフランスで実験をしました。エア・コンのない時代でしたので、スカッチが実験をしたときの部屋の温度が27度以上、従って水溶液の温度も27度以上あったので、上の結晶になったということです。ですから、フランスがもう少し赤道に近かったらパストゥールによる光学活性の発見、それから導かれた有機化合物の立体化学というものも進歩はかなり遅れたのではないかと考えられます。

(4) キラリティーはどこからくるか

私の仕事の話を少しいたしますと、一体どうしてこういう化合物が右と左を見分けていて、こういう時は隣は右だといいとか、こっちだったら違うとか、キラリティーという言い方をしますが、どのようにして相手のキラリティーを見分けているのか、その構造を分子的に研究をしました。



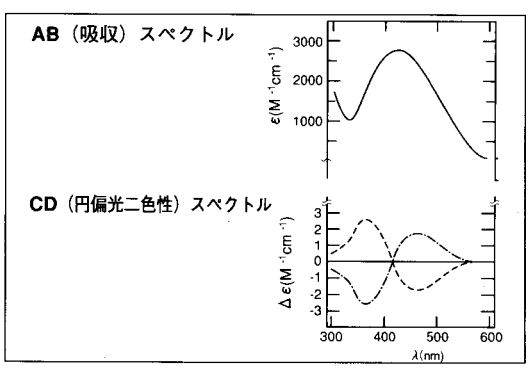
〔図13〕



〔図14〕

図13はパストゥールの酒石酸塩の結晶構造を原子レベルで決めたもので、私がイギリスにいた時にやった仕事です。

一方**図14**は同じことをスカッチの結晶についてやったものです。これで分かったことは、水素結合という非常に弱い力が分子の右と左を認識しているのだというものであります。



〔図15〕

光の話に戻ります。**図15**はある化合物の普通の吸収スペクトルです。アブソープションで、ＡＢと書きますが、右の化合物でも左の化合物でも同じスペクトルを示します。ところが偏光を使うと、左の化合物は右の化合物の丁度符号を逆転したスペクトルを示すん

ですね。これをCDサーキュラ・ダイクロイズムといいます。コンパクトディスクの無かった頃はCDというのはクリスチャン・ディオールを除けばサーキュラ・ダイクロイズムのことでした。ところが最近はCDといえば大方の認識はコンパクトディスクで、われわれは、ちゃんと、ABCDとつながって喜んでいたのですが、なんとなく市民権がだんだんなくなってきたような気がします。私のやっている研究は、キラリティーを使って右と左を決めることだけではなく、化合物の電子状態がどうなっているのかをこのCDスペクトルを使って解明しようとしています。

(5) 推理小説をたのしく読む

ここでちょっと頭の休憩をして頂こうと思います。今迄の話を我慢して聴いて下さった方のために、アメリカの女流推理小説作家、パトリシア・コンウェルの作品「証拠死体」の一部をご紹介しましょう

『ミス・ハーパーのバスルームで見付かった咳止めの有効成分は、デキストロ・メトルファンというコデインとよく似た物質なの。デキストロ・メトルファンは相当大量に服用しない限り害はないわ。』といっている。このデキストロというのは先程デキストロ・ローテイタリーといいましたよね、ラテン語で右ということ、あれが出てきたのです。ミス・ハーパーのバスルームで見付かった咳止めの有効成分はデキストロ・メトルファンというコデインに似た物質で、沢山飲まない限り害は出てこないと言っています。『私は続けた』と。『私』というのはこの小説のヒロインでミス・スカーペッタという女性検屍官です。『デキストロ・メトルファンはこれのｄ異性体だけれど、この同じ化合物のｌ異性体もあるの。これは、レボ・メトルファンといってモルヒネより５倍も強い麻酔薬よ。』と。このレボというのはレボ・ローティタリー、左旋性といったあれですね。ですから、デキストロ・メトルファンとレボ・メトルファンというのは、右手と左手の関係になっているものだということが分かります。デキストロ・メトルファンというのは咳止めの薬ですが、レボ・メトルファンというのはモルヒネより５倍も強い麻酔薬だということがこの推理小説の中にちゃんと書かれています。『検出する場合、この２つの薬品の違いは旋光計という回転式の光学機械にかけたとき、デキストロ・メトルファンは光を右に回転するけどレボ・メトルファンは左に回転するってことだけ。』ここの所は私の話を寝ないで聴いて下さった方には、きっと回転式の機械というのは、ああ、あの、そうかそうかと納得がいったと思います。『「つまり、その妙な機械がないとその２つの薬物は見分けが付かないってわけだ」とマリーノが結論付ける。』マリーノというのはちょっ

と間抜けな警部補という役なんですね。その妙な機械というのが先程から私が電磁波や偏光など出してきて、右水晶と左水晶では逆に回転するといった話をした例のあの偏光板が２枚ある機械なんですね。この推理小説の前のスライドでも示しましたが、右型分子と左型分子とではABスペクトルだと同じスペクトルを示すのに、CDだと符号が逆転するのと全く同じ原理ですね。一方はモルヒネの５倍も強い麻酔薬なのにもう一方は咳止めである。このミス・ハーパーという人は非常にプライドの高い女性で、人には咳止めの薬を飲んだと思わせて実は自殺をしたという話になっています。ということで、右と左というのは実は推理小説を楽しく読むために大いに役立ったということになります。

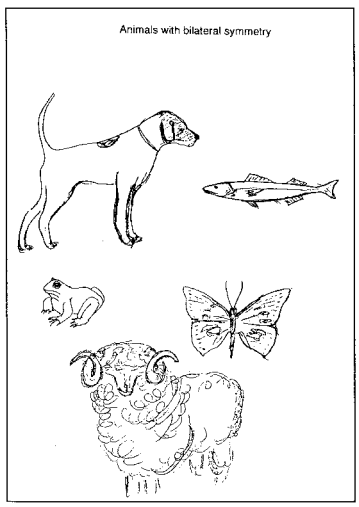
Ⅲ．対称とは、非対称とは

１．靴と靴下の原理－キラルとアキラル－

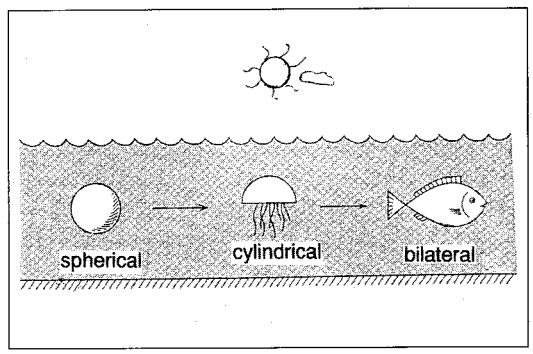
考えてみると、右と左の違いが出てくるのがどういうわけか生命体に関係したことなのです。ワインをつくる時にできた酒石酸は右旋性で実験室でつくると右と左が同じ数だけ入っている。筋肉痛でできる乳酸は右型デキストロだが実験室でつくると右と左が同じ数だけある。それから、サリドマイドもメトルファンも右と左で薬の効き方が違った。香りもスペアミントとキャラウエーでは異なる。どうしてこんなふうに異なるんだろうかということが疑問になってきます。そこでその原因を考えるときに、靴と靴下の原理というお話をいつもいたします。皆さんが料亭などに上がって、和食を頂いて少しアルコールも入って出ていらっしゃるといった場合、男性の靴はよく似ていて、他人の靴を間違えて履いて帰る人がおられるそうですが、余程酔っぱらっていない限り、右足に左の靴を履き、左足に右の靴を履いて帰る人はいないわけです。ところが靴下の場合はどうか。靴下には右左の区別がありません。靴には右・左の違いがあります。それからわれわれの足にも右と左の違いがあります。靴と靴下の原理を化学の言葉でいうと、キラルな、キラルとは右と左の違いがあるということですが、右と左の違いのあるものは（キラル）、左右の違いのあるものと相互作用すると、相手が右か左で作用が違ってくる。ところが、たとえ左右の違いがあっても、相手方に違いがなければ（アキラル）、差は生じてこないということなのです。われわれの足のように右と左の違いがあるものは、相手が靴のように右と左の違いのあるものだと間違って履くと気が付く。しかし、相手が靴下のように左右の違いのないものだと差が生じてこないということです。それを専門用語でいうとキラルな

もの同志が相互作用するとキラリティーによって差が出てくるけれども、片方がキラルであっても、片方がキラルでなければ差は出てこないということです。そうすると香りや味や薬の効き方が右と左で違いますね、キラルなものの右と左で作用が違うということは、われわれが右と左の違いがあるものでなくては困るわけです。靴と靴下の原理が働くわけですから、その相互作用する相手方もキラルでなければいけないということになります。これまでに生体に関連したことに特にキラルなことが多いことをみてきました。そこで生物界をながめてみましょう。

2．対称な生物界－マクロの世界－



〔図16〕



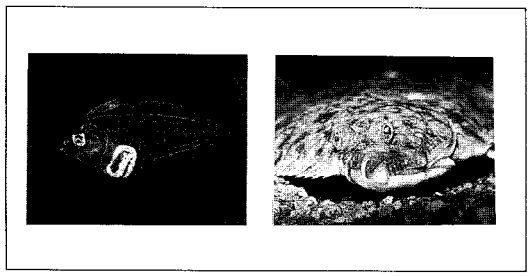
〔図17〕

動物を見てみるとほぼ左右対称です。鏡を中心に置いたように、右の部分と左の部分からできている。羊の角の巻き方もそうです。右型の羊や左型の犬というのはいません。つまり、動物はキラルではない、右と左の区別のない存在であるということが分かります(図17)。

最初の生物は海の中で誕生したといわれていますが、大体丸い形をしていたと考えられています。海と同じような比重で浮いていて、風の吹くまま、波にゆられて動いていた。そして重力の方向や太陽のある方向の違いが出てきますと円錐型のくらげのようなものになる。しかし、このままでは美味しいえさのある所にも行くことができず天敵からも逃げられない。つまり、思った方向へ速やかに動けるようになると更にもう一つ対称性が落ちて、左右相称、われわれのようなものになるんですね。動物は進化の過程で右と左のバランスがとれてきているのは当然であります。このあと陸地に上がって爬虫類や哺乳類になるわけですが、昆虫なども右と左のバランスが崩れていたら空を飛べませんし、動物も駆けたり、跳んだりできないわけで、左右対称で

あったのは必然的だということになります。ただ、こういう話をいたしますと皆さん必ず「左右対称でないひらめの例はどう説明するのですか」とおっしゃいます。そのことを予測して私はひらめのスライドを用意して来ています。

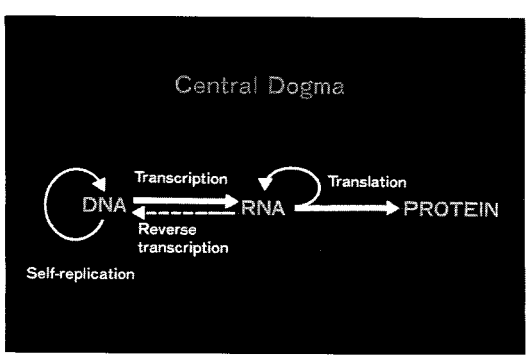
これはひらめの顔の部分を拡大していますが、たしかに目は片方に寄っていて左右対称ではありません。キラルな存在です。しかし、ひらめも生後30日目までの幼魚のうちはこのようにすいすいと泳いでいてこの時は、右と左のバランスがとれています。ところが30日経つとどうしてか分かりませんが海の底に沈みます。片側を下にして沈むと頭もまだ軟骨ですから、目も片側に寄り、色素の分布も片方に寄ってカモフラージュに適したようになる。やはり、これも理由があって左右対称が崩れているということであります。このように考えますと動物は結構左右対称であった。しかし、われわれは、なめたり、においをかいだり、薬を飲んだりすると右と左で薬効が違ったりしましたから、靴と靴下の原理が働くのであればわれわれもキラルでなければいけないのですね。しかし、これまでみてきたところでは、動物は右の部分と左の部分の両方からできているものだということになってしまって、おかしいのではないかと思われるかもしれません。そこでもう一度、靴と靴下の原理を考えて見ましょう。皆さんが靴を間違えて履いた時のお話をしました。ところが小さな子供が大人の靴を履いて遊んでいるような場合、右と左を履き間違えても関係ないんです。靴が大きくてブカブカです。ということは、靴と靴下の原理が働く、つまり、相互作用を考えるときには、同じ大きさのスケールの話をしなければならないということです。



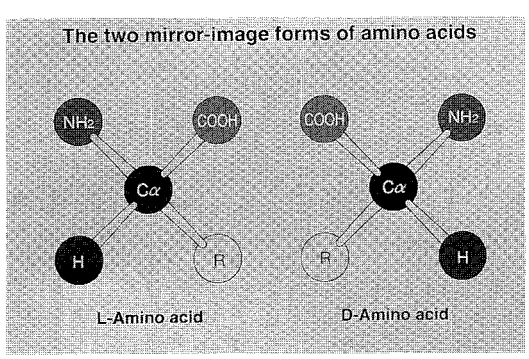
〔図18〕

3．非対称な生物界－ミクロの世界－

先程から、亀の甲を出してお話をしたのは分子の世界での右と左の話です。



〔図19〕

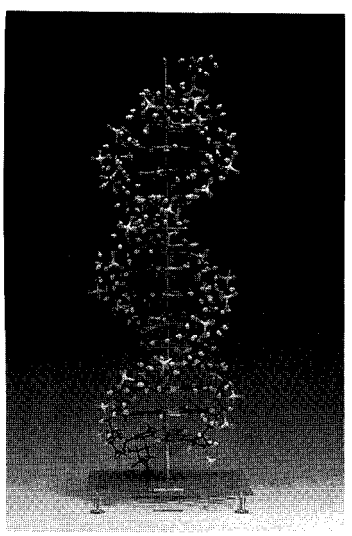


〔図20〕

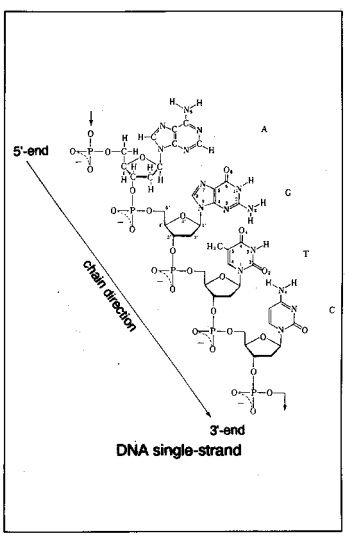
そして今、お話したのは動物界のマクロの世界の話でありまして世界が全く違うんですね。ですから理由を考えるのであれば生命世界を分子のレヴェルで見てみなければいけないということになります。

生命世界には、セントラル・ドグマというものがありまして、DNAからRNAへ、そしてタンパクへと情報が伝えられていきます。DNAの上にはわれわれの設計図のような遺伝情報が書かれている。それがRNAに移されてタンパクになるのです。DNAの上にはタンパク情報しか書かれていません。この三大役者とでもいえる生命世界の重要な３つの分子について、その分子レヴェルで構造を見てみましょう。

タンパクというのはここにはプロティンと書いてありますが、アミノ酸からできています。アミノ酸には20種類あってそれが一次元に紐のようにつながってできたものです。アミノ酸の構造を見てみますと乳酸のように色の違うものが４つ中心の炭素原子に付いています。右型と左型があるということです。なめると味が違うという話を先程いたしましたが、生命世界のタンパク質を構成しているアミノ酸はＬ型だけで、Ｄ型を含んだ生命体というものは全くありません。それは人間だけでなく、動物も植物も大腸菌もアメーバーやナメクジもみなそうです。すべてこちら側でこれが鏡に映ったものから構成されているものは全くないのです。(タンパク質を構成していないアミノ酸はD型のものも生体中に存在します。)



〔図21〕

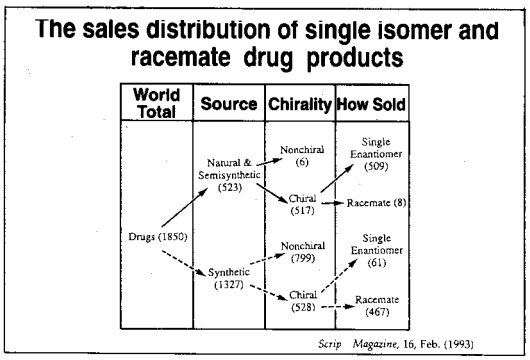


〔図22〕

これはDNAの二重螺旋の構造です。DNAには中心に塩基対があって、外側に酸素とかリン、糖などが付いています。

１本の鎖を拡大してみますと(図22)、この糖にはやはり右型と左型があり、

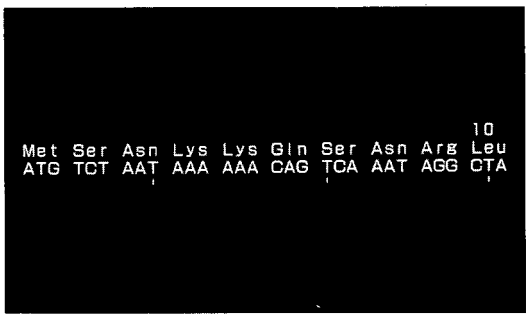
そして驚くことにこの地球上の全生物のDNAを構成している糖は右型です。鏡に映した糖を使っている生命は全くありません。つまり、生命世界というのは対称性の片側に寄っているのです。マクロのレヴェルでみると、羊の角の巻き方も蝶の模様も左右対称になって右型と左型の違いはありませんが、分子のレヴェルで見てみると生命世界というのは対称性の片側に寄っているということです。ですから相手方の分子に右と左の違いがあれば、靴と靴下の原理が働いて、香りや味が異なったり、薬の効力が違ったりするということになります。



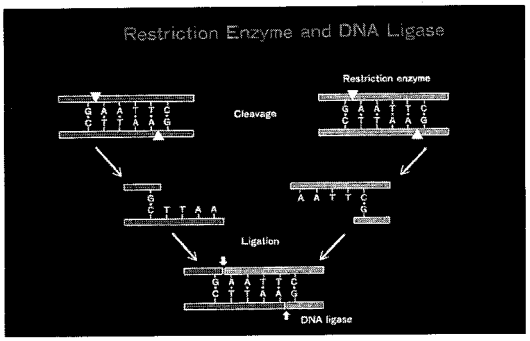
〔表2〕

そうすると心配になるのは、右と左の違いのある薬がどんな割合で今、売られているのか、それから右と左の違いのあるものは分けて売られているのだろうかということです。93年の統計の中の1850個の薬についてみますと、天然のものというのは右と左の違いのあるものが結構あってそれも天然は片側しかつくらないのですね。そのうちの一方だけ、右なら右だけを薬として売られているのが517のうち509もあるということです。ラセメートというのは、右と左が同じ数だけ入っているということでパストゥールの研究に由来した名前です。ラテン語で一房のブドウのことをラセムスといいますが、ワインをつくる時に出てきた仕事なのでラセメート、ラセミ酸と呼ばれています。これは天然に由来したものですからほとんど片側だけなのですね。ところが、実験室で合成しますと、右と左はお互いに鏡に映しただけですから、性質はほとんど同じです。ということで同じ数できてきますし、分けるのが大変に難しい。右と左の区別のないものが799個で区別のあるものが528個もあるのですが、そのうち右と左を分けてあるものは、61個で残りの467個は薬の中に右と左が同じ数だけはいっているということになります。サリドマイドもこういう薬であったということですね。メトルファンというのは右と左と分けて薬として売られているということになります。従って、分けるのが難しく、また、お金もかかって薬が高くつきますので強制はできませんが、右と左ということは特に医薬品の場合、重要であると思います。

そこでまた、DNAに戻りますが、4つの塩基があってそのA.G.T.Cという文字がどのように並んでいるかだけが遺伝情報なのです。人間の場合には塩基が30億もあって、A.G.T.Cがどう並ぶかだけが情報なのです。A.G.T.Cの



〔図23〕



〔図24〕

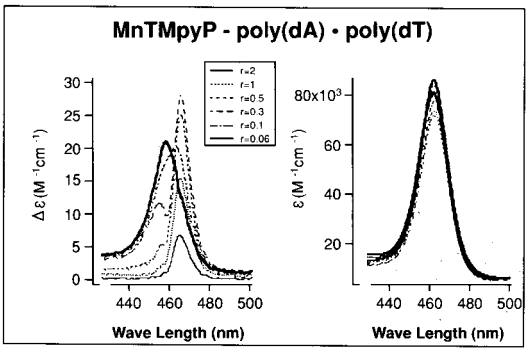
4つの文字が、たとえばATGTCTAATとなっていますと、これは塩基3つずつでタンパクを暗号化していまして、ATGだとメチオニンというアミノ酸、TCTはセリンというアミノ酸ということです。塩基が1個置きかわっただけで違うアミノ酸になってしまうということでありますから大変怖いと思います。DNAは塩基の種類にかかわらず二重螺旋をとり基本構造は同じですが、たとえばAがくるかTがくるかの極くわずかの違いが情報なのです。そこで遺伝情報がどのようにして読まれているのか、大変興味があるところです。

これはある酵素全部で280個のアミノ酸からできているタンパクの最初から10個目までのアミノ酸を書いたものです(**図24**)。

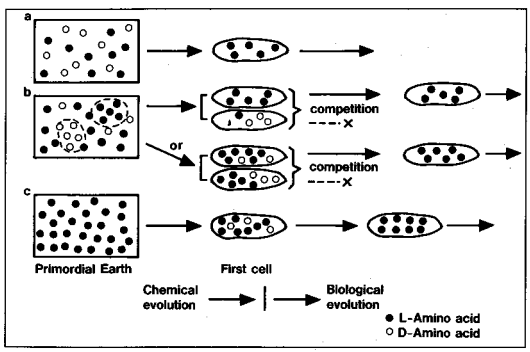
この酵素はGAATTCという順番にDNAの塩基配列が並んでいるときに、GとAの間でDNA鎖を切断します。蛙でも大腸菌でもヒトでも全く同じ化学物質であるDNAでできていますから、各々のDNAのGAATTCというところでDNAを切ります。先程のアミノ酸の配列とDNAの塩基配列とでお見せした酵素でヒトと大腸菌のDNAで切り、この2つをただ試験管の中で混ぜておきますと、くっ付いてヒトと大腸菌の組換DNAができてきます。今はこういう技術を使って、糖尿病の治療に使うインシュリンを大腸菌につくらせるというようなことをやっていますが、その基本となるのは、ヒトのインシュリンの遺伝暗号の部分のDNAを切って大腸菌の中に組入れるということです。このタンパクがDNAの塩基配列(情報)を読んでいるのです。

私が今やっている研究は、一体どういうふうにして塩基配列が読まれているかということに興味をもっています。酵素は分子量が3万とか10万位になりますが、もっと小さな分子量が1,000位の化合物で塩基配列がどのようにして読まれるのか、あるいはそういう化合物を使ってDNAを切ることができないかといった実験をしております。そして比較的小さな化合物でDNAの塩基配列を読むものをつくることに成功しています。その時にDNAをど

ういうところから読むか。DNAには、メジャーグループとマイナーグループという２つの溝があってそこから情報を読むのですが、メジャーグループ側からDNAの遺伝情報を読んでいるか、あるいはマイナーグループ側から読むかを決めるのにキラリティーを使うと分かるということを最近発見しました。**図25**の左側が先程でてきたCDスペクトル、右側がABスペシャルですが普通の吸収スペクトル(AB)では差がないのに、CDではDNAのマイナーグループ側から塩基配列を読んでいる時は、短波長側にピークが出て、メジャーグループ側から読むと長波長側にピークが出るいうことで調べられる、ということを発見したのであります。



〔図25〕



〔図26〕

どうして香りや味や薬効に違いが出るのかという疑問に答えたいということで話を始めたのですが、分子レヴェルで見るとわれわれは右と左の違いのある存在であり、なお、その対称性の片側だけに片寄っている。われわれを鏡に映したような生物体が何処かにいるかもしれないのですが、鏡の中の一方の世界にいるというのがわれわれ生命体であります。

どうして、今の型になったんだろう。鏡に映した型でもいいのではないかという疑問が起きてきます。それから一体何時今の型になったのだろうか、進化の歴史をたどっても恐らく今と同じ型であっただろうとは思われるのですが、いろいろな説があって、簡単に証明はできません。最初の生命が誕生した頃の大気には片側の物質しかなかった。赤丸しかなかったから、赤丸の生物ができたんだという説がありますが、右と左とは非常に性質が似ています。赤と青はお互いに鏡に映した対称体ですね。同じ数あったのに偶然赤丸だけの生物ができたという楽観的な考え方はないという人もいます。また、地球ができてから生命の誕生まで10億年もあったのだから、10億年に１回位こういうことがあってもいいという説や、統計には必ず“ゆらぎ”があってそれが場所的、空間的にゆらぎが起きると全体では同じ数だけあるけれども

部分的に赤が集まってきたり、青が集まってきたりすることがある。そういうところから赤丸の生命、あるいは青丸の生命ができたのではないかなどと、いろいろな説があります。

- gravity
- electromagnetic force (responsible for ordinary chemical reactions)
- strong nuclear force (which holds atomic nuclei together)
- less well-known weak nuclear force.

〔表3〕

今の型になる、つまりDの糖でLのアミノ酸からできている生命体ができたのは、原子核の中の素粒子の間に働く非常に弱い力の間のパリティーが保存されていないためではないかということがいわれました。力にはこのほかに重力や電磁波、強い核力があるのですが、この弱い核力のパリティーが保存されないということを発見した李と楊という人は1957年にノーベル物理学賞を受賞しています。昨年は平安遷都1200年で世界賢人会議(平安会議)が京都で開催されましたが、その会場に楊さんも出席されていて私も少しお話をすることができました。

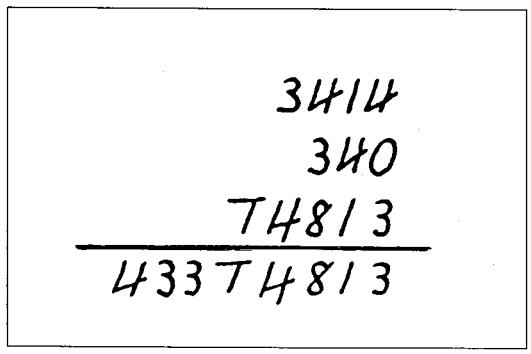
1979年に統一理論というこの4つの力を統一する理論というのが出てノーベル物理学賞が与えられていますが、それでもやはり素粒子の中のある力には右と左のパリティーが崩れている。その非常に弱い力のバランスの崩れを入れて計算すると、D－アミノ酸とL－アミノ酸では、L－アミノ酸の方がほんの少し安定だというんですね。そのほんのわずかの違いのためにこの地球上の総ての生命体が鏡の中の片側になっているのだという人もいますし、それに否定的な人もいまして相変わらず決着が付かないのですが、そんなところで非常に面白いということになります。

おわりに

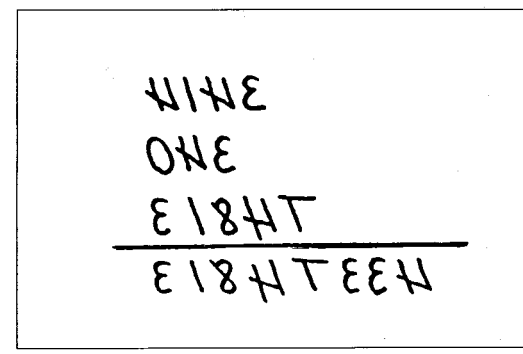
素粒子の非常に弱い力の差が宇宙全体の対称性の崩れを説明しているのではないか、そしてそれが生命体が全く片側に寄っているということの原因ではないかとも考えられています。あるいは、全く偶然ではないかということもあります。原因はともかくとして生命体というのはマクロのレヴェルで見ると左型の生物とか右型の生物というのは普通はいないのですが分子の世界で見てみると、完全に片側に寄っているためにいろいろなことが起きてくるのだということであります。大体1時間飽きずに聴いて下さいましたので最後に足し算のクイズを出します(**図27**)。これはマーチン・ガードナーの本から採らせて頂きました。

3414＋340＋74813＝43,374,813

この計算は全く正しくないように見えますが、実は正しいのです。どうして正しいのでしょう。当然、今日私がお話したことに関係しています。右と左を変えればいいのです。これを鏡に映してみますと何が見えるでしょうか(図28)。



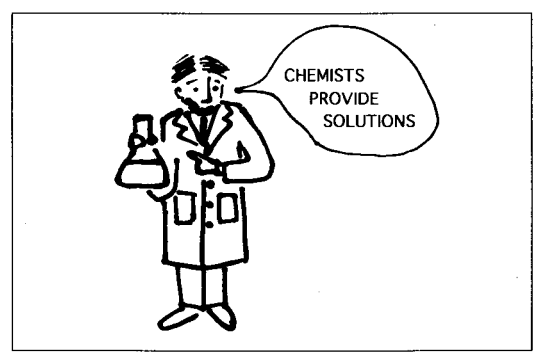
〔図27〕



〔図28〕

9 ＋ 1 ＋ 8 ＝18

これを裏からみると3414なんですがこれを＜NINE＞ナインと無理に読むんです。340は＜ONE＞ワン、74813は＜EIGHT＞エイトということでエイティーンとなって9＋1＋8＝18とこの計算は正しかった、そのヒントはちゃんと右と左に関係しているということです。



〔図29〕

－最後にもうひとつ下らないスライドを－

私は化学者ですから分子のレヴェルでいろんなことを調べている。そこをもう少し宣伝したかったのでこれなんですが、このジョークお分かりでしょうか。

Chemist Provides Solutions

ソルーションというのは溶液ですが、問題の解決、解答ということでもあ

ります。問題の解答を与えるということで化学者というのは水溶液を作るだけでなく、問題に答えも出すということを言っている、というスライドなのです。やはり分子レヴェルでいろいろ見てみると違う世界が開けてくる、ということであります。

どうも長いことご静聴ありがとうございました。

本田財団レポート

No. 1 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　ローマ1977」の報告　昭53.5
電気通信大学教授　合田周平
No. 2 異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって　昭53.6
東京大学教授　公文俊平
No. 3 生産の時代から交流の時代へ　昭53.8
東京大学教授　木村尚三郎
No. 4 語り言葉としての日本語　昭53.10
劇団四季主宰　浅利慶太
No. 5 コミュニケーション技術の未来　昭54.3
電気通信科学財団理事長　白根禮吉
No. 6 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　パリ1978」の報告　昭54.4
電気通信大学教授　合田周平
No. 7 科学は進歩するのか変化するのか　昭54.4
東京大学助教授　村上陽一郎
No. 8 ヨーロッパから見た日本　昭54.5
NHK解説委員室主幹　山室英男
No. 9 最近の国際政治における問題について　昭54.6
京都大学教授　高坂正堯
No.10 分散型システムについて　昭54.9
東京大学教授　石井威望
No.11 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　ストックホルム1979」の報告　昭54.11
電気通信大学教授　合田周平
No.12 公共政策形成の問題点　昭55.1
埼玉大学教授　吉村　融
No.13 医学と工学の対話　昭55.1
東京大学教授　渥美和彦
No.14 心の問題と工学　昭55.2
東京工業大学教授　寺野寿郎
No.15 最近の国際情勢から　昭55.4
NHK解説委員室主幹　山室英男
No.16 コミュニケーション技術とその技術の進歩　昭55.5
MIT大学教授　イシェル・デ・ソラ・プール
No.17 寿命　昭55.5
東京大学教授　吉川俊之
No.18 日本に対する肯定と否定　昭55.7
東京大学教授　辻村　明
No.19 自動車事故回避のノウハウ　昭55.10
成蹊大学教授　江守一郎
No.20 '80年代―国際経済の課題　昭55.11
日本短波放送専務取締役　小島章伸
No.21 技術と文化　昭55.12
IVA事務総長　グナー・ハンベリュース
No.22 明治におけるエコ・テクノロジー　昭56.5
山本書店主　山本七平
No.23 西ドイツから見た日本　昭56.6
電気通信大学教授　西尾幹二
No.24 中国の現状と将来　昭56.9
東京外国語大学教授　中嶋嶺雄
No.25 アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス　昭56.10
オハイオ州立大学教授　ブラッドレイ・リチャードソン
No.26 人々のニーズに効果的に応える技術　昭57.1
GE研究開発センターコンサルタント　ハロルド・チェスナット
No.27 ライフサイエンス　昭57.3
㈱三菱化成生命科学研究所人間自然研究部長　中村桂子
No.28 「錬金術　昔と今」　昭57.4
理化学研究所地球化学研究室　島　誠
No.29 「産業用ロボットに対する意見」　昭57.7
東京工業大学教授　森　政弘
No.30 「腕に技能をもった人材育成」　昭57.7
労働省職業訓練局海外技術協力室長　木全ミツ
No.31 「日本の研究開発」　昭57.10
総合研究開発機構(NIRA)理事長　下河辺　淳
No.32 「自由経済下での技術者の役割」　昭57.12
ケンブリッジ大学名誉教授　ジョン F. コールズ
No.33 「日本人と西洋人」　昭58.1
東京大学文学部教授　高階秀爾
No.34 「ディスカバリース国際シンポジウム　コロンバスオハイオ1982」報告　昭58.2
電気通信大学教授　合田周平
No.35 「エネルギーと環境」　昭58.4
横浜国立大学環境科学研究センター教授　田川博章
No.36 「第3世代の建築」　昭58.7
㈱菊竹清訓建築設計事務所主宰　菊竹清訓
No.37 「日本における技術教育の実態と計画」　昭58.8
東京工業大学名誉教授　斎藤進六
No.38 「大規模時代の終り―産業社会の地殻変動」　昭58.8
専修大学経済学部教授　中村秀一郎
No.39 「ディスカバリーズ国際シンポジウム　ロンドン1983」の報告　昭58.9
電気通信大学教授　合田周平
No.40 日本人と木の文化　昭58.10
千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授　小原二郎
No.41 「人間と自然との新しい対話」　昭59.2
ブラッセル自由大学教授　イリヤ・プリゴジン
No.42 「変化する日本社会」　昭59.3
大阪大学教授　山崎正和
No.43 ベルギー「フランドル行政府産業使節団」講演会　昭59.7
No.44 「新しい情報秩序を求めて」　昭59.7
電気通信大学教授　小菅敏夫
No.45 「アラブの行動原理」　昭59.10
国立民族学博物館教授　片倉ともこ
No.46 「21世紀のエネルギーを考える」　昭60.1
イタリア国立エネルギー研究機関総裁　ウンベルト・コロンボ
No.47 「光のデザイン」　昭60.7
石井デザイン事務所　石井幹子
No.48 「21世紀技術社会の展望」　昭61.1
第43回日経ハイテクセミナー
No.49 「星をつぶす法」　昭61.5
文部省宇宙科学研究所所長　小田　稔
No.50 「ひまわりVA太陽光は人間の生活にどう役立つか」　昭61.5
慶応義塾大学教授　森　敬
No.51 「エコ・テクノロジーの宇宙的観察」　昭62.2
コーネル大学天文学および宇宙科学教授　カール・セーガン
No.52 「人間はどこまで機械か」　昭62.2
東京大学教授　古川俊之
No.53 「中国人とどのようにおつきあいすべきか」　昭62.2
東京外国語大学教授　中嶋嶺雄
No.54 「舞台の奥のヨーロッパと日本」　昭62.5
演出家　寺崎裕則
No.55 「日米関係の現状と展望」　昭62.5
経団連特別顧問　大河原良雄
No.56 「私の半導体研究」　昭63.1
東北大学教授　西澤潤一
No.57 「生物学者の科学的責任」　昭63.4
コレージュ・ド・フランス名誉教授　ジャン・ドーセ
No.58 「最近の宇宙論をめぐって」　昭63.3
上智大学教授　柳瀬睦男
No.59 「科学・技術研究の国際的規模：その展望と考察」　平1.7
ローマ大学教授　パオロ・マリア・ファゼラ
No.60 「温室効果による地球環境の変動と対策」　平1.9
中央大学理工学部教授　安藤淳平
No.61 「組織の進化論」―企業及び軍事組織における進化―　平2.3
一橋大学商学部教授　野中郁次郎
No.62 「ファジー理論の誕生と進化」　平2.9
カリフォルニア大学バークレー校教授　ロトフィ・アスカ・ザデー
No.63 「遷都問題について」　平2.12
通産省工業技術院　国際研究協力課長　八幡和郎
No.64 「クリーンエネルギーとしての水素利用」　平2.12
東海大学工学部　応用物理学科教授　内田裕久
No.65 「地価インデックス債による土地問題の解決」　平3.1
一橋大学経済学部教授　野口悠紀雄
No.66 「"宇宙のひとかけら"としての人間の視座」　平3.4
松下技研㈱主幹研究員　佐治晴夫
No.67 「建築と自然」　平3.5
シュツッツガルト大学軽量建築研究所教授　フライ・オットー
No.68 「先端科学技術と経済成長」　平3.7
東京大学　先端科学技術研究センター教授　竹内　啓
No.69 「自然界におけるゆらぎ, フラクタルおよび秩序」　平3.9
東京大学理学部教授　鈴木増雄
No.70 「エコ・テクノロジーと飢餓の克服」　平4.4
国際マングローブ生態系協会会長　M.S.スワミナタン
No.71 「開放型の情報技術」　平4.5
明治大学教授　西垣　通
No.72 「地球環境問題と日本の役割」　平4.9
三菱化成生命科学研究所室長　米本昌平
No.73 「冷戦後の日米関係」　平4.10
日本経済新聞社国際第一部長　小島　明
No.74 「エネルギー技術の動向」　平5.6
東京大学工学部教授　茅　陽一
No.75 「シナジェティックス：自然と人類における
協同と自己組織化について」　平5.6
シュツッツガルト大学教授　ヘルマン・ハーケン
No.76 「見捨てられる東京」　平6.1
東京大学工学部教授　月尾嘉男
No.77 「生物の多様性と新しい微生物学」　平6.3
日本海洋科学技術センター Deep Star プロジェクトリーダー
東洋大学工学部教授　掘越弘毅
No.78 「これからの暮らしと経済」　平6.9
元経済企画庁長官・経済評論家　高原須美子
No.79 「フラクタル, 認識と印象の統合」　平7.7
エール大学教授, IBM名誉フェロー　ブノワ・B・マンテルブロー
No.80 「円高の進展と中小企業の展望」
法政大学経営学部教授　清成忠男　平7.7
No.81 「分子の世界の右と左」
東京大学教養学部教授　黒田玲子　平7.8