

補記 7 (p. 39 参照), ここでは台風も, 火も生命も熱力学的な消耗過程としては一視同仁とし, お互いにある意味で rival になるであろうと考へている。大気のアンバランスは上昇気流の可能性をあたへるが, 現実には何かの機会に台風が発生し, このアンバランスを餌に発達しながら襲ってくる。そして上陸すると海上のように栄養がないので急速に衰へるのが通例である。なお生物の繁茂する状況よりも全地球が死せる荒地となった方が熱力学的消耗には好都合のようであるが, 例へば砂漠化するとその熱砂からの輻射は平均して波長が短くなり, エントロピーの増大速度は小さくなる。これに対して生物が繁茂し気候温和となると地表からの輻射も平均して長波長にずれ, エントロピー増大速度は大きくなる。太陽から地球がうけとるエネルギーを Q , 太陽表面の温度を T_1 , 地表の温度を T_2 , 輻射で失うエネルギーは定常状態ではやはり Q とかくと, 太陽とそのまわりの空間を含めた系のエントロピーの増大速度は

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{Q}{T_1} + \frac{Q}{T_2}$$

故に T_2 が低いほど dS/dt は大きくなる。また $Q = Nh\nu$ と書き, ν を地球が空間に輻射する平均の波長, N を光子の数とすると, ν は T_2 に比例し, N は ν が小さいほど大きくなるので, これから見ても dS/dt は T_2 が低いほど大きくなることがわかる。

補記 8. 実験を伴はない空想はやはり弱い。そこで, 例へば (2.1) の A にあたる糖類, それに粘土とアミノ酸数種と, 無機磷酸, それに数種の金属イオンを含め, 滅菌した溶液で, (2.1) のようなサイクルや, 自己制御性や, hierarchy が生ずるかどうか, 実験できないであろうか。生命を人工でどうこうするといった大それた計画など今の所前途遼遠であろう。しかしその片鱗であるサイクルの安定性や, リーゼガング環に似た空間的構造などができれば, 以上の空想も少しは信頼するに足るであろう。

特に第7図 a, b のような酵素反応のブロック線図をたよりに, 制御性のよい (計算のうまい) 反応系をくみだてられたらと考へている。

補記 9, hierarchy や情報固定が行はれたら, それで生命といへるだろう。いへてもいへなくても私はここで突放してしまったのである。それは鉄道の操車場にある坂路を想い出したからである。ここで突放された貨車は, 一応行く所まで自己運動をつづけて行く。生命の起源も, これを科学的に詳細に追かけることなどできない話ではないが, 今の所は望みが大きすぎる。しかしこまでもってきて突放せば, あとは何らかの自己運動で発展をつづけ, 何とかなったであろう, という所で私は筆をおきたいのである。

知れない。

補記 3 (p. 18, 36 参照), 一般に相変化の場合でも, 平衡論の場合は問題にならないが, 速度論的には蒸発などに対してはエネルギー差が flux を阻むむきにはたらき, その逆の変化ではエントロピーの差がやはり阻害的にはたらくので, 蒸発熱の大きい液体は蒸発速度が小さく, またエントロピーの小さい結晶面への昇華蒸着では, そのエントロピーがネックになることがある。

補記 4 (p. 20, 25, 26, 33, 35 参照), 神経相関をもった動物 (例へばタコ) の行動には計算機に似たものがあるが, つまり神経回路の情報伝達がアナログ的またはディジタル的な回路素子で組立てられ, 例へば inhibitory gate がはたらくと目的遂行を断念する (Young の著書) といった具合である。しかし神経をもたない単細胞の生物でも, 例へば毛細管の液柱の中に入れておいたゾウリムシが meniscus の所で反転をくりかへす中に反転に習熟して面にふれると巧みに反転して液柱内に戻りようになるそうである。大脳のある動物の条件反射に似ているようであるが, ここでは細胞内の反応や拡散を第 7 図のような回路モデルやブロック線図であらはしたとき, 情報の伝達や所理, それによる反応に神経相関と似に所があることを物語っている。空間的でない化学反応の相関も。酵素の特異性などを考へ, モデル的に回路図であらはすと神経のない生物でも生活目的にあはせて計算 (情報所理) を行い制御を行う系であることが想像できる。故に生命の起源をたずねるのは, 化学系よりなる制御系または計算機の起源をたずねることになるのであろう。

補記 5 (p. 23, 35 参照), 相互誘導⁽³⁾というのは, 結晶など形成する chemical potential の場が特異な形によって誘起され, 形成の場がまた形を誘導し, 双方からみあって進んで行くのをいう。この際特異な形を情報と見ると, 形が保たれつつ発展して行くのは, 一種の記憶とも解される。なお全くの偶然の機会に一気に結晶などの複雑な形が形成されるとすると, 上の補記 2 のネックで阻止されるが, 負エントロピーをつみ重ねて発展する相互誘導では, それよりも遙かに容易に形成が進むものと思はれる。

四
四
五

補記 6 (p. 35 参照), イギリスの生化学者 N. W. Pirie は盛に Bernal を攻撃しているが, 私にはその趣旨がよく呑みこめない。古来論争というものは不毛に終ることが多いから, それにはふれないことにして, Pirie が機械的進化類似の過程⁽¹¹⁾といっているのは (みずず書房編, 生命の起源), 私のいう最大原理と何か関係がありそうな気がすることを述べておこう。

低く、かつ条件が悪いと耐久力^{*}がなく鎮火する。生物では同じく化学エネルギーを消耗するにしても経営が巧みというか、また不利な条件では種子やタマゴとなって耐久力を発揮し、無生物的な暴風や火災を圧倒して地球上に繁栄したともいへる。今日でも地表が砂漠化すると大気のアンバランスは大きくなり、暴風雨のくるう大古に逆戻りするかも知れない。地表の緑化は天然のじゅん環と対抗し、光合成→消耗（自養性、他養性双方の生物による）という温和なじゅん環を発展させたのであろう（補記7参照）。

生命とは結局（地球化学の遺産で）熱力学的な E. F. 消耗過程の発展したもので、地球上でも生命に対抗する各種の消耗過程の可能性はあっても、生物は巧妙なやりくりや制御や耐久性でこれらを圧倒しきったのであろう。そして人類がその他の生物を圧倒したように、生命は生命 like な他の過程（火や暴風を含め）の一つ、(2.1) のサイクルのようなものの一つから発達したのであろうが、他を圧して、それらを無生物界として“自己と区別し”、生命という特殊な過程をこの地上に繁栄させているのであろう。

補 記

補記 1 (p. 9, 11 参照), A. Gulick は無機の磷酸イオンの役目をのべている。

American Scientist 43, p. 479 (1955); Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 69, Art 2, p. 309.

補記 2 (p. 10, 17 参照), 酵素の特異性はある種の反応物質（基質）だけを通す点で整流とは異なるが空間的な Gestalt に対応している。空間的構造を考へない化学系でおお電気回路の配線の類推ができるのはこのためで、特異性をもった酵素はプリント配線をした一枚の絶縁板のようなもので、そのつきかさなりで特色のある情動的相関を生ずるように、特異性を持った酵素系の集りをブロック線図であらはすと、回路網に匹敵する制御性や計算機類似の性質が出てきてもよいのであろう。その解析にブール代数などの使はれる時代がくるかも

* 生物は条件が悪いと（哺乳動物以外は）耐久力のある子種を残すか、火の方は火種がのこにくい。これは高温を必要とするためと、子種のように高分子構造や化学的安定性を利用することができないからであらう。

のは疑問であるが、何かあったから生命に発展したのだろう。ところでそれはただの釘である。下部組織がなくて釘だけでは、記憶装置だけで電子計算をやろうとするようなもので、何にもならない。私の考へでは、自己制御性をもった化学系はすでに“生命の第一段階”である。その反応系は合成能力もあり、それによる発展の大事な釘が核蛋白質であろうと、またそれより低級な化合物だったとしても、それは釘だけのもので、これを過大に見ることはできない。いいかへると“核蛋白質様のものが発展して生物になった”のではなく、それが“生命の発展過程にまきこまれた”のであろう。6 で述べたようにある合成の系列と、その系列に支へられたサイクルの組合せの中に、いろんな物質が反応系列の起点として、核としてとりこまれたであろうし、またそれは必ずしも異物でなく系内で合成され、或は更にそれが熱雑音か何かで変更をうけたもの (g に対して g') であってもよい。とにかく系列にまきこまれ共に発展したのであろう。

ここでもう一度偶然にふれておこう。反応の活性化のエネルギーやエントロピーをあたへるものは熱雑音的な偶然である。偶然がネック克服の力を統計的必然としてあたへてくれる。しかしそれだけではだめで、**反応の場や拡散の場**がないと現象は進まない。このような強度因子であらばされる可能性は偶然性には支配されない。この中で熱雑音と混って(最大原理的に内容をもった)情報も可能性の現実化を支配しているのである。

モスクワでのシンポジウムでは“地球上での生命の起源”ということに議題が絞られた、“宇宙の生命”などいい出す逸脱を防ぐためだったらしい。しかし地球上にも我々生物以外にも生命類似の現象が他にもなくはない。一つは台風で、これは大気のアンバランスを餌として発生し発達し衰滅する渦で、上昇気流の通路と見ると“一種の開放系”といへる。それから遊離酸素が大氣中に現われると火が生物の一つの敵 (rival) としてあらはれる。これも可燃物の化学エネルギーを餌として消耗し、消耗にあたってある程度巧妙なエネルギーのやりくり(経営)の下に発展しようとする開放系であるが、反応の安定性が

路はあとの話である。そのあとの話の消耗路を構成するのに必要な諸物質^{*}だけが、光によって合成されても、放電で準備されても、それらは何の足しにもならない。その一番大事な F. E. が大量に当時の光合成で補給されたであろうか。

このことは他養性をとる考へ方と関係がある。Blum⁽²⁰⁾ のようにこれを認めながらも懐疑的な人もある。他養性とは私は (8.1) の $(dG_a/dt + dG/dt) < 0$ の過程と考へている。地球上では今日は光合成などがポンプのようにはたらいて、全体の F. E. のレベルを保っている。消耗に対して補給の $dG'/dt > 0$ が存在している ($dG_a + dG + dG' \sim 0$)。しかしそれは生命の一派生機能で、生命とは本来は F. E. の高いレベルをひきさげる消耗路であろう、という私の見方からすると、当時の他養性即ち地球化学的遺産の消耗機能から出発した、という説に賛成するのである。

代謝はいつ頃から始まったのであろうか。Oparin は coacervate のある段階からと考へているようであるが、水源があって自然に放水路ができるには、はじめから僅かでも水がとおっているからではなからうか。生命も代謝 (といって悪ければ第2図のようなサイクル) がついたのであろう。私は“食物がさきだ”といったが、その F. E. を自ら消耗させようとする動向が、いわば物理的・化学的な代謝の形をとり、その反応機構が発展して生物の形をとり、生物学的代謝に移ったのであろう。というなら、代謝ともいへない気まぐれなサイクルから、いつ頃から代謝らしくなったか、生物らしくなったか、という意味にとっておけばよいのであろう。

Haldane⁽¹¹⁾ は virus 様の核蛋白質を生命の始まりにおこうとして議論をまきおこした。しかし hierarchy の頂点または起点に何か釘がある。それがあれば以後生命に発展できそうで、その釘に核蛋白質は今日でいへば好適である。昔からそんな優秀なものがあったとする

* 可能性を現実性へ転化させる鍵になる物質が、可能性なしにあらわれて見ても、マジナイにもならない。

(20) H. Blum (鎮目訳), 自然の進化 (みすず); 同, American Scientist 43, p. 595 (1955).

根拠として例へば Oparin⁽¹⁾⁽¹¹⁾ をはじめ多くの人々は、新しい生命がのびようとしても既存のものにくわれてしまう点をあげている。そのとおりであろうが、自然発生説の根底にある、偶然的要素の扱い方にも問題があるので、Haldane⁽¹¹⁾ の如きも細胞のできたのは、偶然のうまい機会によってであろう、という考へ方をしている。情報理論からいうと偶然は雑音である。雑音の中からあるスペクトルがぬき出され総合されて、“天啓となる”ようなことは、科学的ではない。Oparin は階段を踏むべきことを述べているが、私はこの階段をふんでも負エントロピーの高い準位にのぼるところに、**エントロピー的ネック**があり(補記 3 参照)これを偶然の機会だけで(私のいう相互誘導なしに、補記 5 参照)こえられる確率は $\exp(-\text{Neg. Entropy}/k)$ ⁽¹²⁾ に比例した小さいものであろう、と考へている。こういう kinetics に関する検討を留守にした空想は科学の栄養(1 参照)にはならない。初期のものはこのネックが小さく、自然発火や自然消滅しやすかったが、今日のように複雑化し、負エントロピーがますます共にそれは著しく困難となり、他方安定性や耐久性はましてきたので、新発生はおさへられてしまったのであろう。

化学エネルギーの起源について、Oparin⁽¹⁾ の意見は地球化学的であり、Bernal⁽¹¹⁾ らは太陽光線に原因を求めている。しかし日光のエネルギーの蓄積は今日でも問題になっている。特殊な化合物の合成には、光や放電が役立ったことはあったであろう。それらの物質は量は少くとも、生命の起源に大きい役割を果たしたであろう。しかし生物となるものの栄養となる多量の有機物、その F. E. はやはり地球化学的なものに求むべきではあるまいか。

というのは、私は“生物よりその食物の方が先”だと考へているからである。水源があれば水路は自然と啓かれる。巨大な F. E. が準安定に存在すれば、これを消耗すべき化学的、熱力学的な**通路**は、何でもしていつかはできあがるべきもので、この F. E. が先でその消耗

* 自然では大規模な偶然は起らない、小規模の範囲では重要な役目を果たしているから規模を大きくして見ると必然の糸につらぬかれるものらしい。

の形にかける。 K は摩擦に関する定数、 μ はこの粒子の濃度からきまる chem. pot. で $f(t)$ は random force である。 $\text{grad } \mu$ は各分子相互の力の平均で、 $f(t)$ はそれから外れた熱雑音 (thermal noise) にあたる量である。よく必然性は偶然性をつらぬいて云々などというが、我々はそんな空言にまどはされる必要はない。ただ偶発的な力である $f(t)$ もネックを越えるときなど、その活性化エネルギーをあたへることになるので、この熱雑音があるから“必然性もつらぬかれて行く”と見られる場合もある。

最大原理の行はれているときも、個々の動きはならして見ると (8.2) の $\text{grad } \mu$ のような力で動いているが、同時に $f(t)$ のような熱雑音的なものにみだされながら進んでいることになる。熱雑音以外にも外乱が入るので、このような外乱の下で右往左往しながら、同時に (サーボモーターをもった相似計算機のように) 情報を介しての制御により舵をとり、optimum のみちを見つけようとしているのである。最もよいみちがすぐみつからない (克服に時を要する) こともあろうし、at random の右往左往でなく、計数計算機にみられるように適当な記憶装置で過去を記録しながら optimum を求める学習 (動物心理でもみられる) (15) も行はれてよいことになる (補記4参照)。

9 総括

ここで簡単に従来の学説⁽¹¹⁾に対する私見をのべておこう。何しろ大古の問題でこまかいところまで想像するのは危険で、大掴みにすることが何より必要と思はれるのに、今日では多少生化学的に話がこまかくなりすぎている。例えば Bernal の粘土説に対して、今日アルミニウムが生体で重要な役目をしていない、といって反論するのは、大古のことを今日の生化学の知識ではかりすぎている。立派な階段ができてしまへばハシゴなど不要になる (補記6参照)。

自然 (偶然) 発生説は今日何人も否定し去っているが、その理論的

* このような平均された力は、最大原理を達成させるようにはたらいっている、とみることができる。

よう、せきとめられた水は、その位置エネルギーがなるべく迅速に消耗されるようなみちをえらぶ。水や生体にかぎらずすべての変化がこの方針に沿って動員されているように見える。故に湖の水がはけ口を求めて地盤をけずるのもエネルギーの利用と考へられる。F. E. を何に利用するかというと、その消耗速度を大きくするような現象を生ぜしめるために、といっておけばよいのであろう。

という目的論的のようであるが、結局はこの原理は物理の範囲では自然法則を変分原理の形で綜括したものだから、これを人間の目的意識と結びつけ、目的論と結びつけるのは**本末顛倒**になるのである。⁽¹⁹⁾何らそういったものなしに、客観的に自然の動向をながめた法則と見るのが正しいのである。

最高能率をねらっても移行の途中にネックがあればそれが達成されるとは限らない。またその克服に時間もかかり、time lag のあることもある。それに外乱も加わるので、舵とる必要も生じてくる。情報とは（舵の角度のような）物理的な形態で、一般には一種の時系列であるが、雑音（noise）ではなく**内容**または**意味**をもっている。**情報理論**では故意にこの内容や意味を捨象して、時系列の形式的な複雑さだけを計量しようとしているが、情報という以上何らかの意味が予想され、それだけに“物理学の概念”として異端視されてきたのである。しかし最大原理から見るとその optimum の方向に制御したり、舵をとる情報とそれに関りのない外乱や雑音とがある。この“最大原理の達成に意味のある情報”を考へると、その内容など物理学の領域でも市民権があたえられそうである。

この事情を分り易くするものに、Brown 運動の Langevin の式がある。今巨視的には x 方向に拡散する粒子は、実は細かくは Brown 運動で右往左往しているが、その平均の速度を v 、加速度を a 、質量を m とかくと、その式は

$$ma = -Kv - \text{grad } \mu + f(t) \quad (8.2)$$

(19) 杉田、一橋論叢 22, No. 3, p. 38 (1949).

* 生細胞に寄生した virus の情報など何になるのであろうか。雑音の一種なのであろうか。

(ネック因子を介しての情動的な関連はない)では最大原理と極小定理とは同じ内容で、かつ物理的にみちびき出せる。つまり流量と強度因子の間
の関係を変分原理におきかえたものになる。しかし情動的相関が入りこん
できて、レスポンスが物理的な力関係だけではきまらなくて、情報回路を
介して制御される(一種のアナログ計算または判断が介入してくる、補記
4 参照)ようになるとこの原理は物理的な結論ではなくて、例えば淘
汰のような生物的な事情の結果としてあらわれたものであろう。結論とし
ては(8.1)のような式が同じように行われるとしても、それは物理的な力
関係から直接出てくるものではなさそうである。

結局物理系では分子統計的な淘汰で最適なものを実現されるというのが
この原理で、生物系ではその代りに生物的な淘汰でマクロに見ると似より
の原理が行われるということになるものらしい。

さきに定常状態では平衡状態と違って強度因子が消えないといった
が、いろいろの自由度の中であるものでは強度因子が消えていること
がある。私はこういうのを**平衡坐標**と呼んだことがある。生体のよう
な流動系の中でも化学平衡や膜平衡などが見られるのはこのためで、
私はこれを**準平衡**と呼んだこともある。これに対して強度因子の消え
ない自由度または反応坐標を**流動坐標**と呼んでいる。定常状態とい
うのは無用の混乱を起す強度因子は消失して平衡坐標には準平衡をもた
らし、流動坐標にのみ強度因子が存在している現象ともいへる。この
定常状態の準平衡をみだしたとき、復元作用があらはれると流動平衡
は安定となる。しかし7で述べたように減衰しない脈動になる場合も
ある。これを極小(最大)原理からどう解釈してよいかの問題がある
(17)のである(上の註参照)。

F. E. を利用するという表現は**目的論的**である。しかしそれは F. E.
の消耗過程が自然にある変化の動因となっていて、この変化に着
目して利用云々といって見たまでである。しかしその変化を全体との
関連でながめると、そのように動いた方が全体の動きは円滑になっ
ている。最大原理を別の表現を使って表はすと、自然はその F. E. をな
るべく速やかに消耗できるようなみちをとっておて変化する、ともいへ
る。

* 太陽の光で、光合成に対応して蒸発して、雨によって水源は補われるのが前記のポンプに相当して
いる。

$$\left| \frac{dG}{dt} + \frac{dG_a}{dt} \right| : \max \quad (8.1)$$

という形をとっている。物理系では結局はPrigogineの極小定理と同様のことになるらしいが、生物に使うとき極小定理の形で使うと迷理におち込むこともある。この原理の統計理論にもとずいた一般の解明の努力はOnsagerとMachlupにも見られるが、この原理の正体を十分つきとめたことにはなっていない。

Ohmの法則をはじめ(5.1)のような線型の式がこの原理から出てくるので、つまり(5.1)のような法則を変分原理にいかへたものともいえる。それだけならこの原理はなくもがなのようであるが、線型でなくても、また L_{ik} や σ などのネック因子が定数でなく、情動的相関で変化する場合でも、この大きい動向は間違っていないのではあるまいか。しかしそれは私の感じだけで、証明はできない。このように正体が分らないだけに常識にたより、細心の注意をはらってこの法則を使う必要がある。それにしてもこの大法則をうまく使いこなすことは必要であろう。

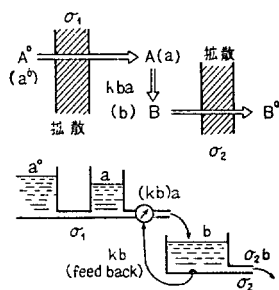
この原理を表明すると、自然は利用し得るF. E.を最も能率よく利用している、ともいへる。無用の消耗をしないからエントロピー生成は極小になるのであろう。生体では安定性を重んずるが、この“安定ということ”と、“最も能率よく”ということとは無関係ではない。最高能率の経過を辿るなら、それから外れようとしないから安定であろうし、外乱が何かで外れたら安定な状態に戻る復元力を生ずるのであろう。このことは L_{ik} を定数とした範囲で熱力学的にも証明されている。 L_{ik} が定数でなく、情動的相関があるときでも、自然は最高能率をめざして舵をとり制御しているのではあるまいか、といって第8図や第9図のような例では、極小定理や最大原理があてはまるかどうか、私は疑問に思っている。

註 私の予想では、純粋な力関係(強度因子の)だけで関係しあっている系

(18) L. Onsager and S. Machlup, Phys. Rev. 91, No 6, p. 1505 (1953).

* ここでF. E.の消耗に対し、これを補うポンプとして光合成があるか、そのはたらきにはふれなくて話を進めることにする。

第 9 図



れ他が不安定で不安定系から安定系へは振動的に或は緩和的に移行する。一般にこのような開放系の initial response は振動を伴うこともあり、極大、極少を伴って移行することもある。⁽¹⁾

このほかエネルギーのや

りくりもあるような流動平衡のモデルを考へることもできる。⁽¹⁷⁾

前世紀の力学的自然観は相対性原理や量子論、統計熱力学などによって根本的に動揺してはいるが、今日なお物理学の中に機械論的なカスが残っている。情報の相関の概念もこのような機械論を打破する一つの有力な手がかりとなるであろう。⁽⁴⁾そしてこの新しい flexible な理論は生物学や生命の起源を論ずるときなど最も有力な武器となるであろう。世間で問題としている“不可逆過程の熱力学”など、私の著書も含めてかきなおさなければならない、と私は信じている。

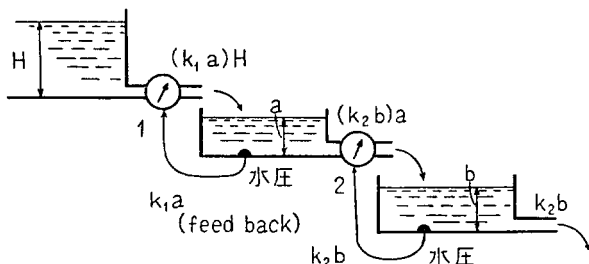
情報の概念が物理的にはっきりなると、情報理論や制御理論の応用もまた軌道にのるであろう。これらは工学の畑で発達したもののだけに生化学者にはなじみにくく、今日気持の相当のギャップがあるようである。しかし生命の起源を論ずるとき生化学の立場だけから見ていては木を見て森を見ないような結果になりかねない。中でも化学反応系の安定性を考へるようなとき、新しい制御理論の展開に生化学者も注意をはらはれることを切望してやまない。

8 最大原理

最大原理⁽¹²⁾は今日物理学ではまだ十分に確められていないが、一大自然法則の片鱗のようである。⁽⁹⁾Prigogine は定常状態に於けるエントロピー生成の極少定理をうたっている。私は等温過程に限定して、ある系の F. E. を G 、その外系のものを G_a と書いたとき

$$\left. \begin{aligned} \frac{da}{dt} &= (k_1 a)H - (k_2 b)a \\ \frac{db}{dt} &= k_2 ba - k_3 b \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

第 8 図



と対等である。ここで H は左端の貯水池の水位で、これは一定とし、 $k_1 a$, $k_2 b$ は A, B の水圧を活栓 1, 2 に feedback していることを示している。この場合定常流 ($da/dt=0$, $db/dt=0$) に対して $a=\bar{a}$, $b=\bar{b}$ とし、それから小さい偏差を α , β とかくと、 α , β については減衰しない振動になる。故にそういう脈動流も一つの安定な解になる。詳細は別に論じたので、ここでは略すが、このような脈動が減衰する場合もある。また定常流が二つ以上の解を持つ場合もある。例へば第 9 図の系では

$$\left. \begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \sigma_1(a^\circ - a) - (kb)a \\ \frac{db}{dt} &= kba - \sigma_2 b \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

四
五
五 i) $\bar{a}=a^\circ$, $\bar{b}=0$ と ii) $\bar{a}=\sigma_2/k$, $\bar{b}=\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\left(a^\circ - \frac{\sigma_2}{k}\right)$ の 2 つの定常解があり、 $a^\circ k < \sigma_2$ なら i) が安定、 $ka^\circ > \sigma_2$ なら ii) が安定で、それぞ

(1)
* Oparin の著書の第 44 図では活栓 1, 2 はかえられるか流動中は一定値である。第 8 図で k_3 は定数であるが、いろいろの値をとらせることはできる。

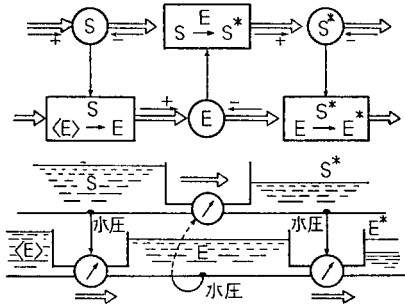
(17) 杉田, 小林理研報告, 8, No. 3, p. 192 (印刷中)。

のようになる。第4図の feedback もこういう情報の相関を考へてのことである。第7図は(2.1)のような大古の水界で反応路の形成をモデル的に示してみたものである。⁽¹⁾

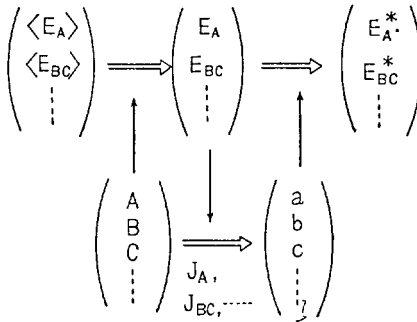
また Oparin の著書には Burton の装置が引いてあるが、ここで活栓に情報が feedback されるとすると第8図のようになる。

ここで水槽 A, B の水量(水位に比例)を a , b とすると自己触媒的($k_2 b$ など)な反応の式

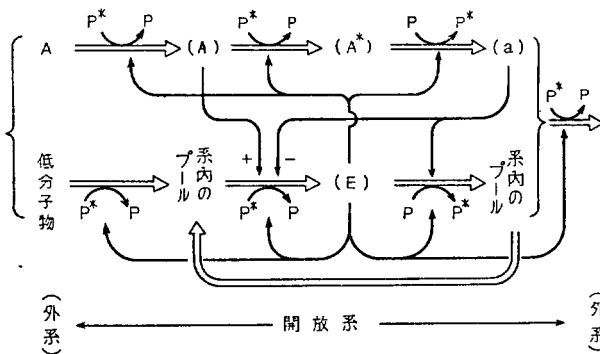
第6図



第7図 a



第7図 b



(thermal noise) さへも何らかの方法で滅殺され、全体として意味のある情動的相関になっているに違いない。意味というと物理学にそぐはない概念のようであるが、あとで8で述べる最大原理の意味では、そのはっきりした内容が考へられるようである。何かそういった相関になっているのであろう。

この**情動的相関**の考へ方は自然観の上に新しい変化をもたらすこと(4)(5)になろう。従来の不可逆過程の熱力学では(5.1)のような式で flux は強度因子でしばられている。可能性のあるところにはその現実化の flux があらはれる。所で細胞分裂の可能性とは、分裂のときに起る化学変化の反応の場(強度因子)が有限である($E \neq 0$)ということ、 $E=0$ ならば化学平衡で変化の可能性はない。ところで $E \neq 0$ でも反応が凍結されていると($\sigma=0$) 分裂は起らない。故に可能性と現実性の一致しないような複雑な現象に、可能性があれば必ず現実化の flux のあらはれる(5.1)などの式(ここで L_{ik} や σ を定数とみて)にもとづく一種の機械論を、最新の理論としてあてはめることはできないのである(これでは発展ということも理解できない)。我々はそういう**硬化**した理論ではなく、情動的相関で L_{ik} なども parameter として変化する flexible な理論で以て生体や複雑な物理的・化学的現象を扱わねばならないのである。

例へば流動平衡の性質も、簡単なものは流体力学的な復元作用のようなもので説明できるが、複雑なものになると情動的相関を考へないと説明できないであらう。例へば Quastler⁽¹⁶⁾ は基質を S として $S \xrightarrow{E} S^*$ という酵素反応に対して $\langle E \rangle$ を E の precursor, E^* を不活性化されたものとして



のような反応のブロック線図を描いている。ここで $\Rightarrow$ で物質の流れを、 $\rightarrow$ で情報の伝達を示して、これを流体モデルであらはすと第6図の下

* coacervate の分裂についても、もしそれが起るとすると何らかの情動的相関を考える必要があるのであろう。

(16) H. Quastler, Transactions of the 9th Conference on Cybernetics, 1952. p. 167.

今正エントロピーの密度を s , その flux を J_s , エントロピー成生を Φ と書くと

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -\operatorname{div} J_s + \Phi \quad (7.1)$$

$n_E = -s$ (負エントロピー) を考へると

$$\frac{\partial n_E}{\partial t} = -\operatorname{div} J_n - \Phi \quad (7.1')$$

J_n は負エントロピーの flux であるが, 今酵素などの部分の負エントロピーを考へ, n_E' , J_n' などと書き, 酵素の変化に関係した化学反応を考へ, それに伴う負エントロピーの flux を J_{iE} , J_{Ej} などと書くと

$$\frac{\partial n_E'}{\partial t} = -\operatorname{div} J_n' + \sum_i J_{iE} - \sum_j J_{Ej} \quad (7.2)$$

となる. ここで Φ は便宜上無視してある. この J_{iE} , J_{Ej} などが化学的な情報の伝達で, この flux が信号電流に相当し, それによるテープなどの形態が活性化エントロピーにあたり, これで制御されて電信機を動かす電流が (5.1) や (5.2) の J_i や I_j にあたっている. 即ち情報とは強度因子をとおして直接の力関係ではたらかけるものではなく, 間接に σ や L_{ik} をとおして信号としてはたらくもので, 化学系の場合も事情は同じである. ただ生体の場合その負エントロピー ((7.1') の n_E) がすべて活性化エントロピー ((7.2) の n_E') としてはたらいっているわけではないので, 普通情報理論⁽¹³⁾でやっている計算は過大評価になりそうである. 故にこれに関係した n_E' だけをとって (7.2) を考へてみるのである.

L_{ik} や σ などのネック因子は他の物質例へば高分子物に吸着される低分子物などによって変化する. 故にこれに関係した低分子物の拡散や化学反応の flux も信号電流にあたることになる. 工学系では雑音は情報の滅殺になる. 化学系の場合も, 反応系相互の交渉は雑音になることもあるであろうが, 生体のように統制のとれた系では熱雑音

* パンチ・カードなどのエントロピーを云々することも無意味ではない (熱力学的な測定にはかからないが, 位相空間を考えると, エントロピーは云々できるだろう) か, その問題は省略しよう.

feedback のことにふれると、環境に順応しようとする努力は、頂点にある g に（量的ではなく）**質的に**反映したであろうか。私は一応そういう feedback はなく、物理的・化学的にはあたへられた情報より一つおぼえに出発し、不適当なものは物理的にも環境にまけて自然消滅するか、他の生命類似体との相関の中で消えてしまったであろうと考へている。故に個体では質的な feedback はないが、その種族というか“一連の流れ”には運命の消長あり、この点では質的にも**間接的な** feedback になっているのであろう。というのは、現代に比べると浮動的だといっても、切角の記憶を feedback があったといってみだりに変更するようでは、都合のよい時はよいが悪い時は悪い、という以上に feedback を正しく記憶装置に入れて再編成するようなことは、下等生物ではできないような高級な**思慮判断**を要することだからである。

動物の神経のはたらきを見ても多くは多少の記憶と、あとは一つおぼえの習性や本能で行動している（補記 4 参照）⁽¹⁵⁾。多少とも判断を行っているのは人類くらいで、その中の学者でも一つおぼえで一生をすごすことがある。

ルイセンコ学説のいうように、遺伝に関する性質にも feedback があるのであろうか。あるとしても正、負の何れであろうか。遺伝的性質を修正する方向の feedback ならよいが、その逆に變へて行くようなものは出てこないであろうか。そういう情報回路の実験的解明がまたれるのである。

7 情報と負エントロピー、流動平衡

情報とは上述の σ などに関係したある物理的形態で、私は**活性化エントロピー**（正しくは活性化の自由エネルギーを考へべきであろうが）に關係したものと考へている。そして情報の伝達は負エントロピーの flux と考へている。

(15) 岡本彰祐、現代生物学講座（共立社）第 4 巻、第 3 章、p. 167; 第 5 章、p. 239.
小野嘉明（同上）、第 5 章、p. 264.

少こけおどして、固定された情報を持った反応の起点、それに連なる系列、その末端の代謝と環境への順応、それにより起点の量的増加や質的发展といった循環が、発展の芽をもっていると考へただけである。

g では一応情報が固定されているといったが、初期のものでは後で8で述べる雑音などによりその情報は多少変更されて行くであろうし、 g, g' などの競合もこのような変更をうけたもの同志の競合かも知れない。時には g より g' の系列がはやくのびてしまうとしても、末端の代謝の方では g の系列のものにまけるということもあるかも知れない。結局一定の g から一応は一つおぼえに系列を发展させつつ、現実との対決、つまり環境への順応で不適当なものは物理的にも淘汰され（さきに述べた質的发展にあたる）右往左往しながらのびて行くところは、計算機でのいわゆる“学習”に似ている（補記4参照）。またこういう意味で**起点**または**頂点**にくる g には間接に“過去が記憶されている”と考へ、こういう発展段階に入ったときを、私は**生命の起源における第二段階（本段階）**と考へている。

今日の DNA や核蛋白質は高度に固定化されていて、virus の如きは純粋な核蛋白質で、そのあるものは代謝も行はず専ら情報としてはたらき、しかも寄生した細胞の生活をみだす情報（一種の雑音または外乱）としてはたらいっている。これから見て今日の virus は生物と無生物の中間（情報の固定が不十分）と見るよりも、進歩した生活体の破片のように考へるのも意味のあることである（9 参照）。今日のように進歩してしまった生物では、貯蔵される情報量も大きく、それは簡単には動かし難いものであろうが、無生物より生物への発展過程では貯蔵量も少く、かつ相当浮動的で、それだから発展も可能だったわけであらう。

* 物理的世界には、この他放置した蓄電池の $PbSO_4$ の極板で粒子の再編成の起るような自然淘汰もある。これも最大原理の一つの形と見ると生物の場合と無関係ではない。生物の場合は弱いものが必ずしも淘汰されるのではなく、生物界の相関や調和で淘汰も行われるが最大原理はこの相関や調和も考へて適用すべきものなのである。物理現象に対しても、やはりそこまで考へて適用すべきものなのであろう。

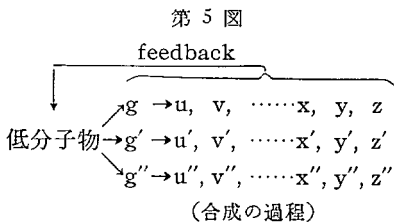
現象のどこかに似ているのである。

前にもふれたように、第2図のサイクルのような動力源があると、いろいろの物質が造り出されるだけでなく、いろいろの**反応の系列**の生起する可能性をもっている。故に準安定とはいへなくても、過飽溶液からいろいろの可能性の析出が起り、また**競合**も起るのに似ている。そして競合が**折出の核**により支配されるように、系内に g, g', g'' などいろいろの物質ができる可能性があり、それぞれが以後の反応系列の**起点**として競合ったことが考へられる。故に私は異なる coacervate 間の競合ではなく、同一 coacervate 内の“化学的な競合”を重視したいのである。

今系内で

$$\begin{array}{l} g, u, v, \dots\dots\dots \\ g', u', v', \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{array}$$

などの反応の系列が生ずる可能性あり、これ以外にも各様の合成反応の起る可能性があるとす。 $g, g' \dots\dots$ の中には異物（雨滴の核に海塩がきいたり、霧の核に煙の成分がきいたりするように）の場合もあるで



あろうが、ここでは系内で合成される物質である場合を考へたい。この競合は第5図の示すように a) 起点または核となる $g, g' \dots\dots$ …の造られる速度、b) こ

れを起点として、 u, v, w と系列がのびる速度にまず依存するであろう。次に c) その下位の諸反応が環境に順応してサイクルを*発展させると、下級の代謝に培われて**間接**に g に feedback するよう*なものが支配的となるであろう。故に hierarchy という言葉が多

* hierarchy のどの段階から feedback するか問題であるか、生活の主体は末端のエネルギー代謝（つまり外系の F. E. を消耗する main pathway の反応）と思われ、ここが盛に動くとき g に feedback する、と考へておくことにしよう。

(ii) **情報の節約** (6.1) で見られるような関係は、骨の部分が出てくると解剖学で大体の骨格がわかり、筋肉がつき皮膚がついて旧形が復元されるのと似ている。また慶弔電報など簡単な記号から長い電文がつづられるのと似ている。骨格の場合は解剖学が暗号解読簿となり、生体の場合は生化学的な反応の法則が解読簿となって g の骨格に肉をつけて行くのであろう。

そうだとすると従来のように成体の情報或は負エントロピーを分子的に計算して、これを全部必要な情報と考へると情報量の過大評価になるであろう。こう考へると、受精卵や芽胞の中に個体の情報が圧縮されているとしても不思議ではない。といってそれは**前成説**を意味するわけではない。前成説とは、物理的・化学的な法則性が肉をつけ皮をつけてくれるところまで、全部そのまま何らかの形で圧縮されているという考へで、情報理論から見ても甚だ無茶な考へ方である（本稿をかいいたあとで Elsasser の *Physical Foundation of Biology* をよんだが、これについてはまた改めて論評したい）。

雪の華の形は微妙で、その負エントロピーも小さくはないが、その情報は一片の結晶核によってもたらされ、あとは物理的な法則性で、特に**相互誘導**と呼んでいる過程（補記5参照）あのような形にでき上ってしまうわけである。また NaBr の過飽和水溶液から自然に放置すると NaBrH_2O の核の方ができ易い（情報があたえられ易い）ので結晶水を持ったものが析出する（階段法則）⁽¹⁴⁾。しかしこれに NaBr の結晶を入れてやると、これが情報となって、結晶水のないものが析出する。情報とは可能性のあるとき、それを現実化するみちをきめる信号で、過飽和という可能性がなければ NaBr の一片を投じようと、 NaBrH_2O を投じようと無効である。こんな簡単な現象でさへ、結晶水を持ったものと持たぬものとの**競合**があり、生命

(13) H. Quastler, *Information Theory in Biology* (1953); H. Jacobson, *American Scient.* 43, No. 1, 119 (1955).

* 簡単な H_2O でもあの雪の華の負エントロピーをつくるのだから、少い情報量から出発しても、相互誘導で複雑な形かてきえることは驚くにあたらない。

(14) M. Volmer, *Kinetik der Phasenbildung* (1938).

rarchy は相当早くからあらはれたのではあるまいか、でないと発展しないからである。ところで情報の固定^{*}とはある形態を必要に応じて維持し続けることなので、hierarchy の末端の盛に活動しているところを固定しては不便である。するとその頂点に近く外乱も比較的うけにくい部位の反応系または物質が記憶装置として発達するのであろう。また記憶装置をこのような hierarchy の頂点におくことによって貯蔵すべき情報量の節約になるのであろう。といって頂点だから特に大切だというのではなく、大切だといへば有機体だからみな大切なのである。

今情報貯蔵に関係する物質を g とかいて、これが他の u, v などの化学物質を合成する反応のネックを情動的に支配するとして（発生のときの誘導もこういう作用であろう）、そのネック因子が

$$\sigma_u(g), \sigma_v(g, u), \sigma_w(u, v) \dots\dots\dots (6.1)$$

となっているとしよう。 w 以下には g は直接にはきかないが、間接に支配されたとするとこれも情報の節約になる。 w より下位に力源代謝などがあるとすると、 g の影響は更に間接になる。遺伝子は発生の初期のみを支配する、といはれている事情と対応しているであろう。

末端から上位への feedback を考えると g に関する反応の σ_g にきくことになる。その結果 g が変質（進化？）するか、ただ量的にのみふえるかは反応式の構造によるであろう。

ここでは核酸のことから想像して、 g のような情報固定の物質を考へたが、こういうものがどうして発生したのであろうか。首尾一貫した想像図としては、まへに述べた高分子物合成の過程でポリヌクレオチドのようなものもできる可能性があり、これが更にこの化学系にまきこまれて、そこで起る反応の系列を (6.1) のような形で支配する発端となったのではあるまいか（後で述べる結晶の核参照）。

* 反応系の中で速度論的に大事な意味を持った分子的形態や構造で、あとのべる活性化エントロピーを持ったものに対応している。こういう形態について Gamow らの研究がある。Advances in Biol. and Med. Physics (ed. by Lawrence et al) IV, p. 23.

殖などを制御し、悪条件の下では耐久性を発揮している^{*}。このように情報を固定化させると共に、その情動的相関に一種の **hierarchy** をもたせることが生命の発展に必要なようになってくるようである。いいかへると現在動いている反応系を安定に保つ（個体保持）はたらしただけでなく、その反応系の性質を保ち、それと同じものを自分以外につくり出す（種族維持）設計図のようなものを、この制御系の情報回路の中に備へるようにならないと、生命をもったものに発展するわけには行かないようである。

hierarchy というのは、ある反応のネック因子が別の反応系によって情動的に影響されるが、後者は前者の情報に左右されないとき、これを命令系統のように考へてそういうのである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。力学系には反作用があり不可逆過程の理論にも相反定理などの示す相互交渉があるが、情報の場合はそのはたらしが常に一方交通で伝達されるのが特色である。現在の生体では、情動的相関にこのような hierarchy の順位がつけられる場合があり、その頂点にあるのが遺伝子などであろう。ただしこのような hierarchy は一方交通といっても、別の情報路を介しての feedback があり、例へば血糖量のレベルが変るとそれより上位にあると思はれるホルモンの産出にひびくとか、また適応酵素の場合下位にある基質の存在量が、その上位にくる（その反応を触媒する）と思はれる酵素の産出に影響している。このように一応順位をつけて見ても下位においたものから上位への（同じ情報路を通るのではないが）情報伝達があるわけで、全体として上位→下位の伝達の方が常態で、下位→上位の方はどちらかというとき feedback として特別扱った方が便利なような情動的相関の系統が想像されるとき、これを hierarchy とよぶことにする。

初期の化学系に今日のような情報回路を期待することは無理であろうが、化学的な集合体に生ずる相関は何ら特殊な装置を必要としないので、自己制御性と共にそういう性能を幾分備へた一種の hie-

* 個体が保てないと、より耐久力の大きい種子に移り、条件がよくなると活動力のある成体へと turnover している。

6 生命の起源

以上で生命の起源を考へる準備ができただけで、これだけではまだどうして今日の生命にまで発展したかは分らない。

ただいへることは、外系に高位の化合物が存在すれば、それを熱力学的に消耗する**通路**の発展すべき可能性はあるわけで (9 参照)、現実の問題として自然発火程度の不安定な性能の悪い通路が、いろんな物質を合成し、いろんな化学反応を実現させ、空間構造も創り出しながら、よりよき通路になろうとして optimum を求めるように発展したことはあり得ることである。これを電位差計の原理ではたらしき、サーボモーターで適正值を自ら求めるアナログ計算機と比べて見ると面白い。また適正值の近くで多少の hunting はあってもそれを収斂させて行くところは、偶然性と必然性の関係 (8 参照) を想い出させる。私にはこういう系の**情報回路**はある意味で計算機を構成しているのではないか、と考へている (補記 4 参照)。

(i) **情報の固定** 犬も歩けば棒にあたるというのが、自然発火と自然消滅を繰返している程度では、めざましい発展はない。切角見出した近似解も忘れてしまうと最初から出発しなおすより他はない。故に反応路を保つための適正解が複雑になるにつれて、一度得た近似解は忘れないで記憶して、ここを出発点としてさがし求めるようにしなければならない。いいかへると自己制御性や安定性だけでなく、情報面の**耐久性**のようなものが要求されてくる。生物の特色の一つにはこの耐久性にあり、特にバクテリアの芽胞や高等植物の種子などにそれが見られる。動物でも成体に対してタマゴという**耐久性**の大きい時代がある (9 参照)。なお DNA のヌクレオチドの間の結合は強固で、代謝回転しないともいわれている。

他方耐久力の大きい状態では活動力を欠いている。細胞など盛に分裂をくりかへしている時は放射線に対しても一般に弱い、活動力は旺盛である。この両天秤を少しでも両立させるため、少し高等な生物では細胞核内に記憶装置をおいて、この記憶にもとずいて増

も、無関係なものも、有害なものも出てくるかも知れないが、その中で役立つものは発展し、役立たないものは発展しないで、その中消滅するとなると、自然はある方向に自ら舵をとって進んで行くもののようにも見える。私はこの傾向を⁽¹²⁾最大原理とも呼んでいる。その説明はあとで8ですが、微視的には全く乱雑で（情報としては雑音にあたる）、いろんな構造のものをつくり出す可能性を内包しながら、巨視的にみると一つの秩序性を以ってある方向に（舵の角度を情報として）舵とって行ったとすると、反応の安定性、恒常性を向上させるに役立つ構造や、またそれにふさわしく、それと情報的相関を保っている化学反応の形式を二次的に（無構造の化学的なるものを一次⁽¹⁰⁾的とすると）発展させて行ったことは想像に難くない。とすると今日の生体の特色はこの二次的のものが著しいのかも知れない。

空間的なものがあらはれると、単純な化学系での情報的相関によっていた時代に比べて制御性能は格段に進化したものになるであろう。私はこの段階を第一段階の後半と考へている。空間的な構造または秩序性が大切であるという点には私も反対ではない。ただそれを大古での一次⁽¹⁰⁾的な出発点とは考へたくない、というだけである。

しかしこの程度ではまだローソクの焰の程度にすぎない。焰でも反応のエネルギーを、ここでは熱というベクトルの flux の形に移転させ、ろうの蒸発や分解を行い、焰の物質代謝を保ち、焰自体は流動しながら、そこに空間的構造をとっている。焰は coacervate と違って高温で、等温過程ではなく、熱の形でエネルギーの flux が著しいが、しかし多少の空間的構造を得た coacervate の様子をしのばせてくれるような気がする。

焰も安定性を失うと自動制御という hunting を起して風もないのに揺れたり、少しの風でも経営不能となったりする。他方適当なホヤをつけると燃焼は安定化する。空間的な構造が安定性を増大させる例で、ホヤを外すと忽ち焰は不安定になる。

(12) 杉田, 小林理研報告 1, No. 2, p. 88 (1951); 同 7 No. 1, p. 1 (1957).

うとしても、その秩序性がいはば**エントロピー的なネック**（補記3参照）となって、その実現の見込は少いであろう（9参照）。しかし大古の coacervate 時代のものなら、相当の頻度で自然発火していたに違いない。これらはエネルギー的またはエントロピー的なネックで定量的な問題である。ここで自然発火というのは第2図のような反応が自然に“サイクルを開始し”進行しはじめることをさしている。

それにしても反応が多少とも安定化し、恒常性をもつと、その副産物である合成物、高分子物などでモヤモヤした空間の部分も大きくなり、野放しの反応の反応熱で爆発して散ってしまうことも少なくなるであろう。すると外系からの A などの拡散や、内でできた a などの外部への拡散が問題となり、**ベクトル的な拡散とスケーラーな化学反応との相関が問題**となってくる。ところで“不可逆過程の熱力学”によると、ベクトル的な flux を J_i ベクトル的な強度因子を X_k 、ネック因子を L_{ik} などと書くと、一般的には

$$J_i = \sum L_{ik} X_k \quad (5.1)$$

となるが、この右辺の X_k には化学変化などのスケーラーなものは explicit には入って来ない。これに対して化学反応の flux を I_j 、強度因子を E_j 、ネック因子を σ_j のように書くと、これも Ohm の法則に似た

$$I_j = \sigma_j E_j \quad (5.2)$$

のような形になるが、この右辺にはベクトル的な X_k は直接にはきいてこない。しかしこの二種類の現象はお互いに“ネック因子を介して”影響しあうわけで、つまり情報を介しての相関⁽⁴⁾はあるわけである。すると空間的にも不均質性のあらはれる可能性がある。Liesegang の縞など、このような相関から生ずるものと思はれるが、単なる不均質ではなく、一種の空間的秩序性、或は構造があらはれ、これがこの系の安定性に有効に働くことも想像できる。これも空想小説の域を出ていない。しかし空間的な構造⁽¹⁰⁾の中で、化学反応の安定化に役立つもの

* 水ガラスの水溶液に CuSO_4 などの金属塩を入れたときの chemical garden の現象は、ベクトル的な拡散と不溶性の錯塩をつくる反応との、情報的な相関によるものであろう。

- 理的な理由などは一応問題にしないことにする。

(4.2) の右辺の () の中の量がこの反応の強度因子にあたる。これを**反応の場**といってもよからう。ところで化学反応などの rate processes 相互間の影響がこの“強度因子を介して”ではなく、“**ネットワーク因子 σ** を介して”起るとき、これを**情報的相関**と呼ぶことにしよう。⁽⁴⁾⁽⁵⁾強度因子が存在するとき、反応の**可能性**があるといい、可能性があっても $\sigma \neq 0$ ならば現実には起らない。故に σ の値は**可能性の現実性**への転化を制御しているともいへる。この σ を変化させる物理作用やその伝達を“化学系における**情報**”と呼ぶことにしよう。その熱力学的な解釈はまたあとで述べる。

私がこの情報的相関による自己制御性を重視しているのは、生物ができて行く上に“**野放しの反応**”は困るからで、といって特殊な制御装置を考へることもできないからである。ところが化学系の情報的相関によるのなら、いろんな物質が作り出され、吸着され混りあう^{*}だけで制御性のあるものがあらはれる確率があるからである。これに対して空間的構造や分子的な秩序性に原因を求めると、そういうものの構成される**確率**は、吸着層での混合によるよりずっと小さいであろう。私も以前は特殊な**空間構造**を持った coacervate の発達が第一段階かと思っていたが、そういう空間的なものはこの段階の後の方で発達したのではないかと最近考へるようになったのである(補記2参照)。

5 空間的構造の発展

以上はほんの話の緒口で、少しぐらいの安定性ができたからといっても、吸着層程度の空間構造と、あとは化学的な情報的相関にたよる程度では制御性にも限度があり、当時の水界は物理的にはあれていたと思はれるので、やはり自然発火や自然消滅をくりかえす不安定な状況だったに違いない。なお自然発火については、今日のように高度の秩序性をもった生物は、物理的・化学的に好条件の下で自然発生させよ

* 黒色火薬でも木炭末と硝石だけでは燃焼が悪く、硫黄とのある混合状態で燃焼は安定化する。

着の場所を呈供はするとしても、この開放系を発達させる場となるものは開放系の反応に伴ってつくりあげられたのではないか、という点である。

上に述べたような coacervate が発達したとしても、開放系の反応が制御されていない間は、反応熱で爆発したり分散消滅したこともあったに違いない。しかし coacervate をつくる物質やこれに吸着される金属イオンか何かで、(2.1) の“反応を調節”するような触媒作用があらはれると話は変わってくる。第4図はこの事情を示唆している。今日の酵素のようなものは当期待できないとしても、その触媒活性の絶対値の大きいことが必ずしも問題ではなく、その大小が自在に“制御できる”ことが大切な点である。

これを説明するために先ず**ネック因子**というものを考へて見よう。(2.1) の $B+C \rightarrow b+c$ の反応を考へ、例へば B のモル当りの chemical potential (ch. p.) を

$$\mu_B = \bar{\mu}_B + RT \ln c_B \quad (4.1)$$

として見る。ここで c_B は B の濃度 (正しくは活量をとる) である。そこで反応速度を

$$J_{BC} = \sigma (e^{(\mu_B + \mu_C)/RT} - e^{(\mu_b + \mu_c)/RT}) \quad (4.2)$$

$$= k_1 c_B c_C - k_2 c_b c_c \quad (4.2')$$

の形に書いたときの

$$\sigma = k_1 e^{-(\bar{\mu}_B + \bar{\mu}_C)/RT} - k_2 e^{-(\bar{\mu}_b + \bar{\mu}_c)/RT} \quad (4.3)$$

がネック因子で、 k_1, k_2 は夫々正逆両反応の速度恒数である。

第4図の制御弁はこの σ の変化に相当し、モデル的には J_A については A の情報で (正しくは吸着層の c_A で) σ はまそうとし、a の情報で減少し、そのかねあい (2.1) は野放しではなく適当に制御されると考へている。この自動制御の方でいう**自己制御性**に似たものが化学系にあらはれたとすると、私はこれを**生命の起源の第一段階**と考へてよいのではないかと思っている。これをモデル的に示したのが後に出てくる第7図である。これは大ざっぱな試案で、(2.1) を認めるとしてもどういう反応段階の σ が影響うけるのか、 σ が変化する化学物

そうに思はれるからである。

分解すれば化学エネルギーを放出できる化合物も分解反応のネックに阻まれ、例へばこれを克服する**活性化エネルギー**がない、というのが準安定の解釈である。ところで当時の水中には前記の A, B, C などいろいろの天然の有機化合物がとけ込んでいたに違いない。ところでこれらが例へば浅海の粘土などに吸着されるとすると、濃度が高まって第2図のような反応も自然に起ったかも知れない。Oparin は⁽¹⁾Bernal の粘土説を批判しているが、この問題には立ち入らないことにする。粘土説でなくても、全く関係なしにできている coacervate への吸着でもよい。

ところでこのような反応は**自然発火**のようなもので、安定とはいへず、条件がよければ燃えひろがり、忽ち燃えつきたり、反応熱で爆発したり、条件が少し悪いと自然消滅したりして、恒常的な反応とはならず、故に A, B, C など準安定に保たれたのであろう。この段階では反応路としての開放系は気まぐれに発生したとしても、生命には“ほど遠い”ものだったに違いない。

しかしこの程度の自然発火でもエネルギーのやりくりに関与した P^* のような物質が、 $(P^* \rightarrow P)$ で反応を活性化する以外に、その余力で)他の高分子の合成に関与する可能性はなかったかと考へるのである(第4図参照)。アミノ酸の天然の合成は想像されているが、アミノ酸からポリペプチドや蛋白質に進む反応は熱力学的にみて F. E. の落差に逆行することになる⁽¹⁰⁾ので、何かのポンプ作用が必要になるわけである。それはそれとして私のいいたいのは、こうして合成された高分子物が吸着層のまわりに集って、coacervate をつくったのではないかということ、準安定の解消過程の開放系とは別に生じた coacervate は吸

(11) 近藤洋一、亀山忠典訳編、生命の起源(みすず書房)、この中に Bernal その他の人の所説が収められている。なお日光の紫外線で粘土吸着層で合成が起ったかどうかとも、この際問わないことにする(9参照)。石田周三、現代生物学講座(共立社)、第8巻第5章に諸説の紹介あり。

* 火というのは反応のエネルギーのやりくりで保たれている現象で、経営がうまく行かないと可能性はあっても立ち消えてしまう。ここでは火と違って等温過程を主に問題にしているが、反応エネルギーのやりくりの点では似ているので、発火とか鎮火とかいっておいた。

pump のような過程も含めて“現象論的にみて”，これを代謝ポンプと考へているのである。⁽⁷⁾

このように考へたからといって，ただちに生命が物理や化学で解明できたことにはならない。ただその特色を物理や化学の考へ方のワクにはめこんでみたまでである。例へばポンプ作用による建設（または再建）と熱力学的な崩壊とのかねあいで後者がかてば衰弱や老化となり，成長期には前者がまさっているであろう。このように考へたのも，結局“生きている”ものが生きていない自然とどのように違うかをはっきりさせるため，物理のワクにはめこんで見てその違いもはっきりなるであろう。以下このように考へながら生命の起源を考へて見ることにする。

4 大古の地球上の世界

地球物理的または地質学的なことは，どんなにみ力的でも素人の私には何もいへない。ただ太古の水界には天然に相当高エネルギーの有機化合物が溶け込んでいたことを前提しよう。⁽²⁾ その起源は地球化学的遺産としておこう（9 参照）。当時の地表では日射によって上昇気流を生じ，はげしい雷雨や暴風雨を生じていたに違いない。今日なら緑の植物がしげっていて，その光合成で利用されるのは日光のエネルギーの数百分の 1 にすぎないが，気候を間接に緩和し温和な方法で生物的に利用しているが，^{*} 当時はこのエネルギーをもてあますかのよう⁽³⁾に，暴風雷鳴を伴って消耗していた（9 参照）のであろう。他方物理的には動揺期にあった地上の世界でも，化学的には停滞⁽²⁾していたと考へるのである。というのは化学的に生起すべきはげしい現象は生起しつくし，一応の淀みがあらわれ，高エネルギーの化学物質も準安定な状態で存在していた，と見るのである。そのように想像する地球化学的な根拠は素人の私には分らない。ただ生物のようなテンポののろい発展を示す存在が発生するためには，化学的にはげしい動乱の渦中では都合悪

* これだけ化学エネルギーを貯えるには，今日の進歩した光合成のないころは，困難だったかも知れない（9 参照）。とすると初期の生物が嫌気性（anaerobic）だったこともうなずかれる。

ねかへりで A や a などとも変化するはずであるが、両水源の容量を大きくとるか、水位を一定に保つ制御装置をつけると一定になる。このとき“この制御装置は開放系の中には加へない”で考へることにする。このような系にあらはれる流動は面白い特色を持っているが、それは後の話(7 参照)として、ここでは(3.1)について注目したい。今日の不可逆過程の熱力学では生体のような流動系でも、その中で強度因子によって物質代謝の flux が(3.1)の形にかけると考へられるが、問題はネック因子の σ にあるのである。従来の理論ではこれを定数のパラメーターとしているが、生現象を考へるとき、特に生命の起源を考へようなときはこのような機械論ではだめなので、あとで7で問題(4)(5)するように、この σ の変化を中心に考へて行かねばならないということである。

生体の特色の一つは分子の秩序性を持った微妙な構造である。(10) 実はこの空間的な構造の生命の起源で占める役割を過大にみてはならないというのが私の主張であるが、それは後の話(5 参照)として、こういう形態は分子や原子の熱運動だけでも崩れ去るべき運命のものである。その崩壊が代謝ポンプで補償され大体恒常に保たれているというのがエントロピー代謝の考へ方であるが、ポンプ作用で構成され、凍結されて構造を保っている場合もある。(8) またこの凍結のため酵素を不活性化するとか、そのため pH を一定に保とうとして代謝と結びつけるとか、現象論的にみると凍結のため代謝ポンプをはたらかせている場合もある。ただ全体を通じては不断の崩壊と再建のかねあいの上に、秩序性をもった形態が保たれていることが目立つのである。

例へば細胞内と外とで K^+ や Na^+ の一定の濃度差が保たれ、細胞が死ぬとこの特異な形態は物理的・化学的な過程で崩れてしまう。それが生きているから熱力学的な崩壊過程に抗して一定の形に保たれているのだとすると、その“生きている”ということを物理や化学の言葉や考へ方のワクにおさめると、どうなるであろうか。私は sodium

(9) I. Prigogine, Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes.

(10) 赤堀四郎, 現代生物学講座(共立社), 第8巻, 第5章 p 318 (1958).

や栄養物や排泄物まで含めて物理的に大観するのは閉鎖系としてみる傾向が強く、注意しないと部分である開放系の微妙な特色を見落す危険がないでもない。全体は部分の単純な集りではないというが、部分の性質はまた全体のものとは違っているからで、全体の性質に氣を奪われると部分系の（生体も部分系である）特色は cancel しあって見落されることにもなりかねない。故に、原理的には“外系まで含め”て閉鎖系^{*}とみても、“部分をとり出して”開放系とみても同じだとしても、ここでは開放系として扱って行くことにする。

第3図で $A-a$ の水位差が管に通水させる動因となっている。これを強度因子、管内の流量 (flux) を容量因子とよぶことにすると、後者の J は Ohm の法則に似た

$$J = \sigma(A-a) \quad (3.1)$$

の形に書ける場合が多い。しかし一般には A^* のような状態を通らねばならないことがあり、 A^*-A の水位差は代謝ポンプで克服することになる。代謝ポンプというのは第3図の場合でも、また第1図のように特別な device のないときでも、エネルギーのやりくりがあるときモデル的にそう呼ぶのである。ここで開放系であるという特色は、その系が“動力源になり得る”ということ、その“動力で代謝ポンプを駆動できる”ということである。 A^* はエントロピーの低準位に対応することもある。この“低準位は開放系だから保たれる”，とよくいわれるが実は開放系であるため動力源となり、そのやりくりがあるから、つまり代謝ポンプのはたらきで保たれるので、私がエントロピー⁽⁸⁾一代謝^{*}といっているのもこれをさしている。

開放系を支配する A, a などの強度因子が一定ならば、その系は定常状態^{**}になっている。開放系でモノが流れると、通則としてはそのは

* (前ページの脚註)等温変化の取扱で熱源まで含めて孤立系として扱うか、問題の部分だけとり出して扱うかは便宜上のことであるが、実際上はとり出して扱う方が便利である。

* 光合成まで考えると、地球上を全体として考えても閉鎖系にはならないが、ここではそれを一応除外して閉鎖系とみることにする。自養生物の発生した大古の水域はそれに近かったかも知れない。

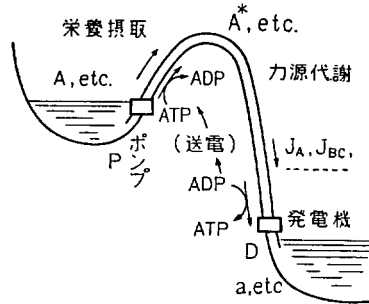
(8) M. Sugita, Journal of Physical Society of Japan 10, 316, 1955.

** すべての強度因子 $=0$ となるのが平衡状態、ある種の0でない強度因子が一定値をもっていて、外見上恒常に見えるのが定常状態である。

3 開放系と代謝ポンプ

サイフォンでは何ら特別な装置なしにエネルギーのやりくりが行われるが、その代りに下降する水路に発電機をおき、その電力で他端の水を押し上げることもできる。第3図はそれを示したモデルで、左上の貯水池 A の位置エ

第3図

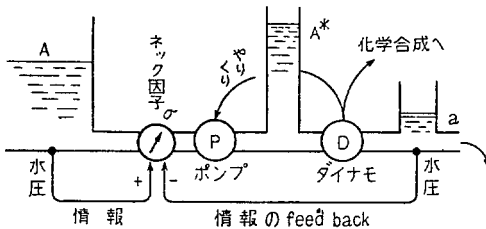


ネルギーが栄養価にあたり、水の流通が力源代謝、電力によるポンプ作用は磷酸代謝に相当している。例えば第2図の P を ADP , P^* を ATP (adenosine triphosphate) と考へ

ると(補記1参照)、これが分解エネルギーをやりくりしてくれるのは一種のポンプに相当している。これを代謝ポンプと呼ぶことにする。

第3図は生体でのエネルギーのやりくりや、それに伴う $P \rightleftharpoons P^*$ のような物質循環のサイクルを簡単化してモデル的に表はしてみたまでで、これを更に別の水路モデルで表はすと第4図のようになる。ここで情

第4図



報の feedback が入れてあるが、その意味はあとで述べる(7参照、特に第7図参照)。

ここで A, a 両水源も含めて考えると、全体としては閉鎖系とみても

よろしい。故に開放系とみるか閉鎖系とみるかは(生体自体を閉鎖系とみるのは困るが)便宜上のことである(脚註次ページ)。私のように水源

たるところに起っているとすると珍しい結果にはならないが、吸着か何かの原因で $P \rightleftharpoons P^*$ のサイクルとの結合が局所に限られる場合は第 1 図のサイフンのような開放系との類推が可能となり、面白い特色があらわれる。開放系の特色についてはまたあとで述べる。

ここで第 2 図のようなサイクルは単なる思いつきで、A だけなら準安定でいるものを、このようなサイクルを行はせると $A \rightarrow A^* \rightarrow a$ でエネルギーを出すことを示したものである。ということは $4H \rightarrow He$ という過程が太陽の内部で Bethe のサイクルとして、“空間的構造に関りなく”行われているのに似ている。第 2 図のような反応系の意義はあとで 3 及び 4 でまた詳論することにする（補記 2 参照）。

代謝をこのように物理的に大観することは、特に生命の起源を論ずるときなど大切であろうが、それだけでは生物学にならない。というのは、大観する代りに部分系（でかつ開放系）である生体に主眼をおいてみると、この流路の特殊な機能や現象こそは生物学の主な問題となるものだからである。たとへばこの特殊な機能を保ち、流路を発展させるために、エネルギーのやりくり以外に生体は個体の修復や増殖を行っている。それは個体の“生存する期間”に限度があるからであろうが、なぜいつまでも流路としての機能を保って行けないのであろうか。またその機能や性質を子孫にゆずるにあたり、有性生殖とか、遺伝の法則とか進化とか微妙なものを示している。ゆえに大観すれば熱力学的な F. E. の消耗過程にはかならず、この点に関する限り無生物界と同じ法則に従っているとしても、それがどのような微妙なものに発展しているか、無生物界とどこが違ってきているか、が問題となる。また単なるモデル的表現では普通歴史とか発展ということは一応“捨象”されるが（一種の機械論）、我々の場合これが一番大切なことになってくる。例えば空間的構造ははじめてから生命に本質的だったのであろうか。生命の起源論とは、生命のなかった地球上に、どうしてこのような特殊な通路が発展したか、その特殊性の発展を想像してみることにするのである。

1 図のサイフォン（開放系になる）がまさに適切で、そのはたらきは水が“流れていること”から生じてくる。この水がきれると、形はあっても“残骸”にすぎない。このことは生体で代謝があるので、それにより代謝が保たれているのを印象づけるであろう。

ここで一方の管では水は“重力に抗して上昇”している。ここだけ見ていると水力学に反するようであるが、実は他方の管を下降する水からのエネルギーのやりくりがあるから、重力に抗しての上昇も可能となる。このエネルギーのやりくりと、重力に抗しての上昇は後で生命のはたらきを考える時大切な考え方を示している。

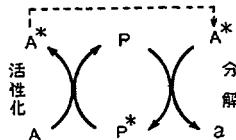
このサイフォンに類似な過程を化学的に考えてみよう。A や B+C, ……を高位の化合物と考え、これが分解その他の反応で



などに変化し、この際エネルギーを放出するものとしよう。A や B, C などは a や b, c などより高位だとしても、その反応がネックに阻まれるとすると flux は、 $J_A \sim 0$, $J_{BC} \sim 0$ などとなり、A や B, C は高位に凍結され、この化学系は準安定ということになる。ここで適当な触媒があると (2.1) の活性化エネルギーのバリアを低くすることもできるだろうが、そうでなくても適当な物質が (2.1) の反応で放出されるエネルギーをうけとめて高位になり、そのエネルギーで A などバリアの頂点にもって行くとすると、サイフォンとよく似たエネルギーのやりくりになる。例へば P をその適当な物質とし（補記 1 参照）、 A^* を A の活性化された

第 2 図

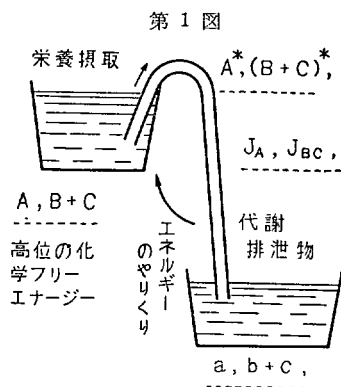
ものとし、 $A^* \rightarrow a$ で $P \rightarrow P^*$ となり、ついで $P^* \rightarrow P$ と共役して $A \rightarrow A^*$ に押し上げられるものとしよう。実際の糖分解などと比べると、こんな簡単なことにはならないが、ここではそれをモデル化して簡単に考へているのである。



ここで A や B, C などが溶液中に分散していて、(2.1) の反応がい

私は生命について次のように書いたことがある。⁽⁷⁾ “クラゲは寒天に似ているが、寒天と違って代謝がある。代謝を大観すると、化学エネルギーの大きい物質が摂取されて、化学エネルギーの低い物質として排出されている。この過程を物理的に見ると、問題の生体とそのまわりの栄養物や排泄物や大気も含めた外界とからなる、全系^{*}の化学的な F. E. (free energy) が消耗されて行く過程に他ならない,” と。virus の中には代謝は行はないものもあるようであるが、そういう例外を一応除外すると、いわゆる生現象とは地球上での化学エネルギーのある種の消耗過程で、生体は化学的に高位 (high potential) の化合物を低位のものにおとす“通路”にすぎない (9 参照)。カンズメでは滅菌によってこの通路が封じてあるので、高位の化合物は高位のままで保たれている。生命の現られるまでの大古の水界でも、この通路が現られんとして未だ現れざる状態なので、高位の化合物は高位のまま準安定に停滞していたのであろう。なおエネルギーそのものは不滅であるが、F. E. には消耗がある。このことの説明は省略しよう。⁽⁷⁾ 食物の栄養価もこの F. E. に関係した量である。

このように生体を“大観する”と化学的な流路にすぎない。第 1 図の高位の水槽を高位の化合物にたとえ、低位の水槽を排泄物のたまり



と考えると、生体はその間のパイプにあたる。しかしただのパイプのような単純な流路ではなく、“特殊な機能”を以て流通に努めている通路で、かつその“機能は流通によって保たれ”ている。このことをモデル的に示すと第

(7) 現代生物学講座 (共立社) 第 3 巻 “生化学より見た生命”, 第一章 (杉田)

* こういう系は閉鎖系である。

くなる。それはそれとして空想は、“科学的に真である”ことは主張しないまでも、真を求める科学の栄養となるものでなければならない。また空想を忘れた科学は栄養不良となる。

生命の本質が分るかどうか、とうてい分らないという人でも何かを分らせようとしているわけである。これをわからせるには、地球の歴史をふりかえり、何かが起ったとしてそれを推理で一応追かけてみるのも一つの方法となる。生命という、無生物界とは異なる特色のある現象がどうしてあらわれたか、を想像するには、生命とは何かをその人なりに考え、つまり“生命論の略図”を描いて、これを地球の歴史の中にはめこんでみて、その是非を検討してみるのも一法である。つまり生物界と無生物界とどのように違っているか、どのような関連があるかを反省して見ることである。このように考えると今はまだ小説でも、いつかは小説から科学へと進化するものと思はれる。

生命の起源を論ずるには宇宙物理、地球物理、地球化学をはじめいろいろ専門知識を動員しなければならないが、それは私一人の手におえることではなく、ことに我国はセクショナリズムを以て得意とするだけに、異なる専門分野の知識を綜合するなど思いもよらない話である。結局私は私にできることを、一人の日本の学者にできる範囲で、生命の起源論の推理の物理的うらづけに努めただけである。即ち地球化学的遺産として化学エネルギーに富んだ準安定な水界に、これを消耗する熱力学的な反応路があらわれ、それが制御性のよい安定な反応系に発展する過程を考えてみたのである。特に生化学の人々に不足しがちな、新しい“情報と制御の理論”の立場から在来の所説を検討してみようとしたもので、その限り科学といってよいであろう。しかし精密な思考よりも空想の馬に鞭を加えるような結果になってしまったことは、おわびするより他はない。

2 生命とは何か

*（前ページの脚註）こういうのに経験ノイローゼという診断を下した人がある。

障害でそれは不可能となった。

1 生命の起源は科学の対象となるか

自然科学の生命は実証的ということであろう。では生命の起源を論ずるときはどうであろうか。部分的なことは実験できても、全体をとおしての実験には困難が多いであろう。科学の本質として reproducible ということを強調しすぎると、宇宙の歴史や生命の歴史を再現して見るのでないと、それを論じて見ても科学にはならない、ということにもなりそうである。

そういう気むずかし屋に対しては、これは一つの“推理小説”のようなものである、と弁明しておいてもよい。そのような推理は実は科学に必要なものなので、そのよい例は進化論である。これも初期に於ては推理小説のようなものであったかも知れない。今日でも実験室の規模で実証してみよといわれると困るかも知れない。しかし生物学の多くの問題が進化を考えることによって説明され、この考えなくしては生物学を理論づけることは困難なほどである。とするとこの推理は単なる有用という程度を超えて本質的なものになっている、といってよい。今日科学に背いて教えに屈する人々を除けば、誰も進化論を小説だと思ってはいない。理論的思考の放棄を望まない以上、reproducible であろうとなかろうとこの理論を認めるより他ないのである。

宇宙の創生記やその雄大な進化説もまだ半ば推理小説である。実証のキメ手が十分でないからで、こういう場合に昔は自然哲学が思弁によって科学の隙間を埋めようとしたことがある。しかしそういうモノは今日では科学の門前払いをうけるようになっている。空想が入るのはよろしい。それだけなら科学から排斥はされない。科学に反することや無知は困るが(9 参照)、空想そのものは健康である。空想を排撃する態度は科学的ではなく、似而科学的なのである。問題はこの空想の中に哲学的な主観のようなものが入り込む所である。そういうものが推理小説にまぎれこんでくると、たださえ実証実証と叫びすぎて、炎症(脚註次のページ)を起しかけた自然科学者のノドを通らな

は し が き

生命の起源は今日各方面の関心をひいている。1957 年夏にはモスコウで生化学を中心とする国際シンポジウムが開かれ、また同年中に A. I. Oparin の“生命の起源”の改訂版が出され、つづいて英訳も出て、1958 年秋には日本訳も出版された。⁽¹⁾ この老教授の精力的な研鑽には頭が下るばかりであるが、問題が熱力学的となり、更に“情報と制御”の問題にふれてくると私にも一言あるのである。

生命の起源を論ずるのに熱力学の筋金を忘れてはならない、⁽²⁾⁽³⁾ ということは私の年来の主張であったが、この老教授は最近発展している開放系の熱力学の成果をとり入れ、生化学の成果を理論的に体系だてている。しかしここで反応系の間の情報的相関と私が呼んでいる事情を考慮に入れたなら、理論のすじは一層具体的となり、すっきりしてくるのではないかと思はれるのである。実はこの概念に私が到達したのは 1958 年の 7 月頃で、そのまへ 6 月上旬の京都大学の基礎物理学研究所での生体物理の会で情報理論にふれたとき、ノドまできていながら口に出せなかったものである。ついで 7 月中旬北大での生体高分子の会で新しい概念を述べようと思っていたが、健康上中止してしまった。8 月に入り箱根で開かれた人工内臓の研究会に出席して、自動制御に関する討論に加わっている間にその思想は具体化し、帰京後数日して 8 月 27 日になってこれを“生命の起源”の問題に適用してみよう、⁽⁴⁾ と思いたったのである。これから述べる所はその生々しい思いつきの記録で、不完全な所も多い。また Oparin 教授の引用されている私の論文にも、⁽⁵⁾ 勿論こんな考え方は未だ述べられていない。この機会に文献を調べこの方面の研究の動向をも論じたいと思ったが、視力の

(1) オパーリン著、石本真訳、地球上における生命の起源 (1958, 岩波)。

(2) 杉田, 科学 18, p. 202 (1948); 同, 過渡的現象の熱力学 (1950, 岩波)。

(3) 杉田, 小林理研報告 5, p. 171 (1955); 同, 熱力学及び分子統計論 (1957, 南山堂)。

(4) 杉田, 小林理研報告 8, No. 2, p. 159 (1958)。

(5) 杉田, 物性論研究, 第 2 集 4 巻, 5 号 p. 612 (1958); 同, 生体物理化学シンポジウム第 4 集 (印刷中)。

(6) 杉田, 小林理研報告 (Bull. Kobayasi Inst.) 5, No. 3, p. 171 (1955)。

substances in a coacervate. On the one hand direct coupling of the vector fluxes of diffusion, J_i of (5.1), and the scalar intensive factors of chemical reactions, I_j of (5.2), or vice versa is forbidden, while on the other the *informational correlation* between diffusion and chemical reactions can be possible, then the structure in space or the molecular order will be realized by such correlation. If such structure is once obtained, then the self regulating character or the hierarchy will be of much higher degree than those due to pure chemical correlation.

At present the structure or the molecular order of an organism is highly extended and very important. However, the author has the opinion that such a structure might be obtained in a rather *later stage* in the history of life.

We will stress here that the *first step* to the origin of life must be the acquirement of the stability of the energy consuming chemical cycles. Such stable processes are sometimes called *flux equilibrium* (Fließgleichgewicht) and maintained in this case in a *structureless* system. Only chemical correlations with informational character is sufficient for such stability.

Let us consider the synthetic reactions, which are promoted by the energy released. There may be many possibilities of series of reactions in such system. We will assume here that there are some substances (g), each of which serves as the starting point of a sequence of reactions like crystallit in super-saturated solution serving as the *nucleous* of crystal growth. There may be competition between these substances g_1 , g_2 , and so on in a coacervate. Starting from one of them, which may be endogenous as well as exogenous, a sequence of chemical synthesis proceeds and the synthesized compounds will regulate the energy consuming cycles as catalyzer. The competition between g_1 , g_2 and so on in the same coacervate may be more probable than that between different coacervates. If so, the information of the substance g , which conquered others by natural selection, must be solidified and the molecule g serves as the *memory*, like that of automatic computer. Then the behaviour of *learning* or *self programming* similar to the computer may be expected. The sequence of chemical synthesis may be called the *hierarchy*. If the chemical synthesis of this system acquires the memory of the past, we will call this stage the *second step* to the origin of life.

The structure in space is neglected at first in our consideration. However, if the cycle is stabilized and coacervates grow large in size by these synthesis, there must be diffusion of

of fluxes were negligibly small. However, if they were adsorbed on some materials like clay, these reactions might be ignited because of enriched concentration. Then heat of reaction accumulates, which might destroy the adsorbed layer, and the fluxes of these reactions might disappear again.

If we take the important role of some inorganic ions of phosphorus into account, then a part of the energy released can be transferred to A, B, C and so on as the energy of *activation*, and the other part to some chemical *synthesis*. An example of such energy transfer is designed by fig. 2. The reactions had to be intensified by such activation due to energy transfer but they are not yet the stabilized one.

During the ignition of these reactions, many polymer compounds including protein-like one might be synthesized, and some of them composed together might be so called coacervates. If we take the existence of metallic ions into consideration, which can be adsorbed on these synthesized compounds and play the role of catalyzer for the reactions of A, B, C and so on, the reactions might have the possibility of *stabilization*. If we assume for instance, that the adsorption is hindered by the information of a, and that the decomposition of A is promoted by A, then the cycle of fig. 2 might get the *self regulating* character and the cycle might be stabilized. Let us assume that a and A have no influence on the intensive factors (E) of the corresponding processes but have influence on the neck factor (σ) and regulate the fluxes indirectly through the following formula (5. 2):

$$I = \sigma E,$$

which is analogous to the Ohm's law. In such cases we will call the action of a and A the *information*.

生命の起源と情報理論

杉 田 元 宜

Origin of Life and Information Theory

Motoyosi Sugita

contents

Intoroduction,	 5
1. Can the Origin of Life be studied Scientifically,	 6
2. What is Life,	 7
3. Open System and Metabolic Pump,	11
4. The Ancient State of the Earth,	14
5. The Structure in Space and its Development,	17
6. The Origin of Life,	 20
7. Information, Negative Entropy, and Flux-equilibrium,	... 26
8. Maximum Principle,	31
9. Summary and Conclusion,	35
Additive Remarks.	39

synopsis

In this report the origin of life is discussed from the view-point of information theory. It is assumed in general that organic compounds of high energy were dissolved in the ancient sea water and that the system stayed in meta-stable state. Let us denote these compounds by A, B, C and so on. The energy consuming reactions like $A \rightarrow a$ (decomposition of A) or $B + C = b + c$ might be possible thormodynamically but the magnitudes