

講演論文

# 創発自己組織系としての自然

伊東 俊太郎

目次

- 1 導入
- 2 宇宙の誕生と形成
- 3 生命の誕生と進化
- 4 結論

キーワード：宇宙と生命の起源、創発、自己組織化、対称性の自発的破れ、動的平衡、自律性、環境との相互作用

## 1 導入

まず今日は何を話したいのかという、今日の私の話の目的ですね、これをまずお話をしようと思います。今日の講演の目的は、17世紀以来続いてきており、そして本質的にはまだその影響下に現在の世界観がつくられているデカルトの「機械論的自然観」というもの——皆さんこれをいつも意識しているとは限らないと思うんですけども、それは現代の科学研究をしている人たちの前提として払拭されていない——「科学革命」の結果できあがった「機械論的世界像」というものが今や変わらなければならないということなのです。この「機械論的自然観」というものはもう既に、実質的には破綻しているのだが、必ずしもその事がまだ一般には自覚されていない。デカルトの自然観の批判ということがあっても、それに代るものがまだ明確に提起されて

いない。今日のお話では「創発自己組織系としての自然」ということでこれを提起してみたい。もっとも2時間という短い時間で話すわけですから、本当に要約的なものになりますけれども、それを具体的な例に沿って、「宇宙の形成」と「生命の誕生」というこの2つの側面をとり上げてこの新しい自然観を論じてみたい、これが今日のお話の目的なんです。

それではまずデカルトのこの自然観というのはどういうものかという事をさきに述べておきましょう。これは皆さん、哲学史でもうお習いになっているかもしれないが、デカルトの「機械論的世界像」というのは要するに一言で言えば、その自然を機械として見るわけです。つまり自然から生命だとか、意識だとか、質だとかいろんなものを皆取っちゃって、単なる「幾何学的延長」として考えるんですね。その色も匂いもない、単なる幾何学的延長ですよ。それをバラバラに切り分けると粒子になりますけれども、そういうもののダンスとしてこの世界を記述していく。機械と類比的に、機械として世界を見る。そこに生えている木でも何でも機械だという。我々の体も機械だと、彼は言っているわけですね。ただし、人間には「我考える」ということがあるから、人間はそこところは他のものと違う。「我思う故に我あり」でね。他のところは皆、機械だというわけです。ところで今日私がちょっと新しい論点を強調したいのは、この機械論がやったことは、そういうふうになら自然から質的なもの、生命的なもの、意識的なものを取り除いて、一様な延長に還元するのだが、そして延長というのは、単なる広がり、幾何学的広がりですが、ここで私が強調したいのはですね、デカルトの自然学の本質はこうすることによって自然から一切の能動性、自律性を奪ったということなんだろうと思う。この事はあまりはっきり哲学史も書いていないんじゃないだろうか。自然から自らの能動性ですね、それから自律性ですね、そういうものをすべて取り去ってしまったということなんだと思うんですね。だから人間の数学的な設計による機械的操作によって、すべてが解決されると考

えるわけですよ。自然自身の能動性、自律性、自己形成性、そういうものを剝奪してしまった。

それで、今日ここで提起しようとする新たな自然観はそれに対抗するものです。で、今後はそう考えなければいけないと思われるものです。つまりここに新たに提起しようとする自然観は、自然に自己形成性を認める。自己組織性を認める。それは自然は、自分を自分で新たにつくっていって、自分で自分を形成していく、そういう創発のシステムだ。この創発というのは、英語でいうと emergence なんですね。それまでの基礎にあるものを土台としながらも、その上に環境との相互作用を通して新しい質のものができあがってくる、それが創発なんです。自然とはこうした「創発自己組織系」(the emergent system of self-organization) なんだということなんです。

それewith つぎに創発の形成史、生成史というのを一瞥しておきたいのですけれども。最初にこの図1を見ていただこうと思うんです。これは創発の生成史で、それには自然史と文明史があります。

まず右側に、「自然誌」があります、Historia Naturalis。宇宙がまず形成されて、その宇宙の中に銀河系が作られ、その銀河系の中に太陽系が作られ、さらにそこの中で地球が発展し、そしてその上に生命が生じ、そしてその中からヒト、生物学的な意味のヒト、ホモ・サピエンスが出現する。これらはすべて環境条件との相互作用による創発だったと思うんですね。新しいものがそういうふうに出てくる。それから左の方にいくと「文明誌」と書いてある。Historia Civilisationalis。これは人間ができてからのことで、人間が加わりますから、その前の創発とはちょっと違いますね。創発といっても、人間の加わる創発ですが、まず「人類革命」。ここで人間ができあがって、それを基盤として農業が創発する。農業というのが新しくこの中につくられていく「農業革命」。そしてその農業が発展した後に、その中の幾つかの場所に都市が成立する。これが「都市革命」。そして都市革命が成立し、そして発展していった中から「精神革命」が成立す

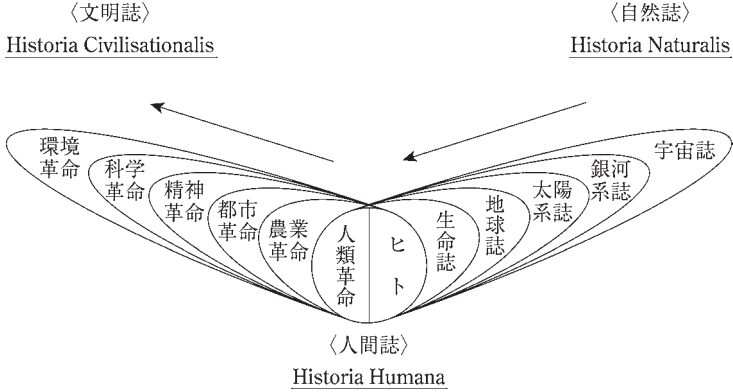


図 1

る。つまり仏陀、キリスト、孔子、ソクラテス、そういうような人たちの精神革命が現われる。そしてそういう精神革命の後に、17世紀に先ほど言った「科学革命」というのができる。これはギリシアの精神革命の遺産を継ぎながらもそれを超えて、また新しい質の科学が西欧に出現してくるわけです。そして現在はそれをも超えて、新しい「環境革命」という新しい質の文明に我々は向かわなければならない。そうするといろんなものが変わっていかなければいけないんですが、自然観もそこで大きく変わらなければならないだろうということなんです。

だからこういう創発の形成史という点では一つながりにつながっているのですが、その間に、「人間誌」というものがあるわけです。これは猿人から、そして新人に至るまでの歴史があるわけです。この人間史が自然史と文明史の両方をつなぐわけです。同じ創発といっても右側と左側では違うわけです。左は人間のほうが入ってくる創発です。右はそうではない、自然そのものの創発なんです。

で、今日はこの全部やるわけにはいかない。今まで私は主に文明史の五つの革命、「環境革命」を入れれば六つの革命のことについて述

べてきたから、今日は右側のこと、宇宙誌のほうをとり上げるが、これももちろん宇宙誌も全部できない。全部できないが、この宇宙誌の始まりと生命誌の始まりの二つをとり上げて、そこのところに焦点を定めて考察することによって、「機械論的自然観」から「創発的自己組織系其自然観」へ、変換する手掛かりを得たいというのが今日の話の目標です。

しかし現代の宇宙論や生命論をよく見れば、その転換がもう既になされていると私には思われる。ただ個々の自然科学の記述ではそういうことがいわれていないし、気づかれていない。というのは自然科学者は個別的に研究していますからね、こういう新しいことがあった、こういう新しいことが生じた。そういう個々の現象に興味を持つから、その全体の自然像がどういふふうに変わってきているのかということにはあまり注目しない。例えばスチュアート・カウフマンの『自己組織化と進化の論理』という本が1995年に出た。それからリー・スモーリンの『宇宙は自ら進化した』という本が97年に出ている。それから立木教夫先生が訳されたジョン・グリビンのこの『宇宙進化論』は93年の出版。こうしたものはすべてそういう新しい方向に棹さしているものですね。でも今言ったような自然観の根本的な変革ということに光をあてていない、どれも。皆、個別的に科学の新しい局面に目を奪われているから。でも方向としてはもうこちらの方に向いているということは、これらの本を読むと明らかですね。これは私の勝手な見解ではないと思うのです。

## 2 宇宙の誕生と形成

さて、それでは次に宇宙の誕生と形成はどうなっているのでしょうか。要点だけを述べるということになりますが、話をどこから始めましょうか。

話をまず第一に、1929年から始めたらどうだろうか。1929年にアメ

リカの天文学者エドウィン・ハッブルが、「宇宙の膨張」というものを発見した。彼は銀河を観測していたんですが、そしたらどんどんその銀河が遠くへ離れていく。それは「レッドシフト」という、つまりそのスペクトルが赤いほうに偏っていくということを発見したのです。ここで「ドップラー効果」というものを説明しないとイケないのですが、それをとぼしてさらにその膨張していく速度は、その銀河までの距離に比例するということが分かった。つまり遠ければ遠い銀河ほど速く離れていくということなんですね。 $V(\text{速度})=H_0R(\text{距離})$ 。 $H_0$ をハッブル定数というけれども、そういうことを発見した。簡単に言えば、この「宇宙の膨張」が問題の始まりだったと言っていいでしょう。

その前の1922年にロシアの科学者フリードマンは、アインシュタインが1915年に出した一般相対性原理の宇宙方程式を解くと、宇宙の膨張ということが出てくることを証明していた。けれどもアインシュタインはそれを信じなかった。アインシュタインは宇宙が膨張しているなんて、そんなことはないからというので、宇宙項という、膨張に対抗する力の項を入れて、やはり宇宙は静止していると考えていたんですね。これはアインシュタインが自分のおかした間違いだと悔やんだそうですが、それを解いてみると、フリードマンが言ったように、膨張するということが理論的に出てくる。だからこのハッブルはそれを実証したと言っていいでしょう。

その次は、1947年という年を考えてみましょう。ジョージ・ガモフという、アメリカに帰化したロシアの科学者が、「ビッグバン説」というものを提唱する。これがどういうことかと言うと、ハッブルの発見で宇宙がどんどん膨張していくのがわかった。つまりいろいろな天体がどんどん離れていくことがわかった。そうすると、それを逆にたどってみる。逆にたどってゆくと過去には宇宙が一点に集中していたことになる。そして一番最初は、すごい超高温で超高密度のガモフが「イーレム」とよんだものになる。このイーレムはバーンと

爆発して宇宙の膨張ということが起ったんだと、こういう事を言ったわけですね。この宇宙の膨張を理論的仮説として、「ビッグバン」とよばれた。ビッグバンとはバンという大きな音をあらわしているのです。大きいバンという音をたてて爆発したというのですから、これはあだ名みたいなものですね。これはガモフの理論を茶化して、他の人が名付けた言葉なんですけれども。今じゃ経済現象でもビッグバンなんて言うようになってしまっています。

そこで重要なことは、宇宙は膨張したんですが、膨張した宇宙の温度はどんどんどんどん下がっていく。温度が下がって行って、もしこれが本当に成り立つとするとですね、5K から7K、これ絶対温度ですからすごく低いんですが、絶対温度は、 $0^{\circ}\text{C}$  が273K ですね。だからこれずいぶん低い温度です。この5K から7K の背景放射 (background radiation) があるはずだとガモフが予言したのです。つまり宇宙の燃えカス、どんどん温度が下がった燃えカスの果てから弱い電波がやってくるはずだという予言をしたんです。これはもうちょっと後の、1956年にそういう予言をした。

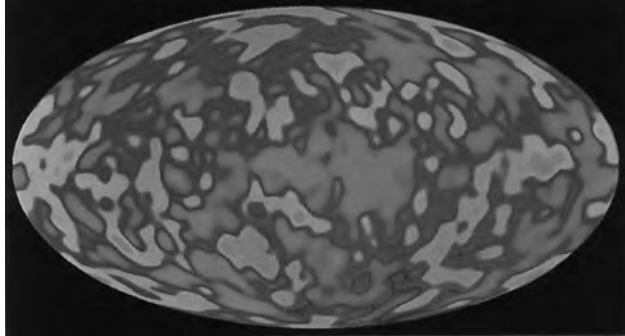
そうしたら、9年目の1965年、これは三番目の事件だと言っていいと思います。1965年、ウイルソンとベンジマスという二人、彼らはアメリカのベル研究所の電波研究の技師たちです。彼らが高性能のパラボラアンテナを回してですね、宇宙からの電波を探索していたわけですね。何もこのビッグバン説を検証しようというのではなく、いや彼らは全然ビッグバン説なんか知らない技師ですよ。ただ衛星放送をやる時に雑音を消さなければいけない。雑音がないようにしようというので、雑音がないかどうかを調べていたわけですね。しかし、いろんな雑音を取っていても、どうしても雑音を取りきれないどころか、宇宙のすべての方向から弱い電波が一様にやって来る。どうしてもそれを取り除くことができない。それが絶対温度3K の「背景放射」の発見だったのですね。しかしこれは彼らにはどうしたことなのかとわからないわけです。そこでこのベル研究所はプリンストン大学のそば

にありますから、プリンストン大学に行って、これはどういうことですかと訊ねにいったら、そこにはディッケという理論物理学者がおり、ちょうどビッグバンのことを研究していたんですね。あつ、それは背景輻射だよ。あのガモフの予言していた背景輻射だ。それをあなた達は観測しちゃったんだ、こう言ったんですね。そうしてびっくりして、それじゃあ無くなるはずがない、それは宇宙の果てからやってくるんだということになり、それで1978年にこの二人はノーベル賞をもらうんです。3Kの「背景輻射の発見」でノーベル賞をもらうんです。彼らは全然ビッグバン説を知らなかったんだけれども、それを検証したということでもらうことになってしまった。ディッケにやればいいじゃないかといっても、ディッケは計算していたけれども、3Kじゃかった、10Kでしたね。彼の計算だと。それはちょっと外れた。またこれを実際観測したわけではなかった。

そこで四番目に入りますが、このようにビッグバン説は実証されたわけです。その前には「定常宇宙論」というのがあって、全然宇宙というのはいつも定常的で変わらないという説もあったんですよ。この対抗理論が完全に潰れて、それにとって代わってビッグバン説が正しいということになりました。そして1977年にはスティーブン・ワインバーグというアメリカの理論物理学者——かれは別の業績の「電弱統一理論」でノーベル賞をもらうのですが——このビッグバンの標準理論を提出するのです。それが『宇宙創生はじめの三分間』という本ですね。この邦訳はダイヤモンド社から出ていて小尾信彌先生が訳されています。つまり宇宙がビッグバンが始まってから、何秒後にはどうなり、どうなり、どうなってこんな宇宙ができましたという standard theory を出したんですね。その後の人は皆大体これに沿って、これを多少修正して宇宙の歴史を書いていますね。

さて五番目のこととして、1989年の COBE によるこの「背景輻射」の観測の事実をあげましょう。地上からこの観測をやるといろんなものに妨害されるので、衛星を飛ばして、邪魔のないところでその





COBE の観測データをもとに作成した全天の温度分布図。宇宙初期のゆらぎを示している。我々の銀河系の中心が図の中心にあたる＝ロイター

出典：毎日新聞、1992年4月24日夕刊

### 写真1 COBE による「ゆらぎ」の発見

background radiation を調べようということで、COBE という観測用の衛星を飛ばしたんですね。これがビッグバンの事実を確かめましたのですけれど、同時に驚くべき発見をしましたね。つまりビッグバンで宇宙が広がっていくんだけど、その広がっていく時のエネルギーや物質の分布が一様でなくて、そこに多少「ゆらぎ」があるということを発見したんです。本当のわずかなゆらぎがあることがわかったんです（写真1参照）。この「ゆらぎ」というのが重要で、次の創発の源泉となります。つまり銀河が形成されるということはこのゆらぎがなくて、まったく一緒だったらおきません。密度の多い所と少ない所とがゆらいでおる。多い所ではどンドンどンドン固まって行って銀河ができてくるんですね。ですからここにおける「ゆらぎ」の発見というのは、非常に重要なことですよ。ほんのわずかなゆらぎをこんなに鮮明に拡大してみせたものです。驚くべきことです。

その次の新しい事実は、2003年の WMAP という。これも COBE と同じような、しかしもっと優れた機能を持った宇宙観測衛星です

ね。

これはインフレーションという、いわゆる「ハッブル膨張」以前のすごい速さの膨張で、それで「インフレーション」とよばれている説——これは佐藤勝彦さんという日本の物理学者と、アラン・グースというアメリカ人の学者が出した説ですけれども——これが間接的に実証されたということと、これによって「ハッブル定数」が決って、宇宙の年齢がより正確に決まりました。ハッブル定数の逆数が宇宙の年齢になりますから、それが137億年。非常に精密に決ったんです。それまでは150億年とかね、あるいは200億年とかいろいろ言われていました。137億年に決まったのがすごい。

もっとおそるべき発見は、星雲だとか恒星だとかいろいろ光っているものを対象として天文学はやってきましたね。あるいはX線を出しているものを研究するX線天文学というのがありますね。しかし光も出さなければX線も出さない。何も放射していないダークマターという「暗黒物質」。それがあって、光っていて、通常天文学が問題にしている部分はたったの4%だという。今までの天文学がやっているのがたったの4%だったらいやになってしまいますね。ダークマター、まだ何であるかわからない。だからダークなんです、これが今や何であるかを、盛んに明らかにしようとしている。これが23%。もっと驚くべきなのは、残り73%というのはダークエネルギー、「暗黒エネルギー」、これはもっとわからない部分だということで、大変なことになっているんですね。だから今の宇宙論、わからない事がそんなに多くなってしまった。でもダークマターがあるという事は事実なんです。重力を及ぼしていますからね。それで銀河がああいう形に固まっているわけで、ダークマターがなかったらバラバラになってしまうはずなんです。だからある事は確実だが、それが何であるかはわからない。こういう状態だということです。

さて、話を戻して、「創発自己組織性」の問題に入ろうと思うんですが、その為には、図2を見ていただきたいです。これはビッグバン

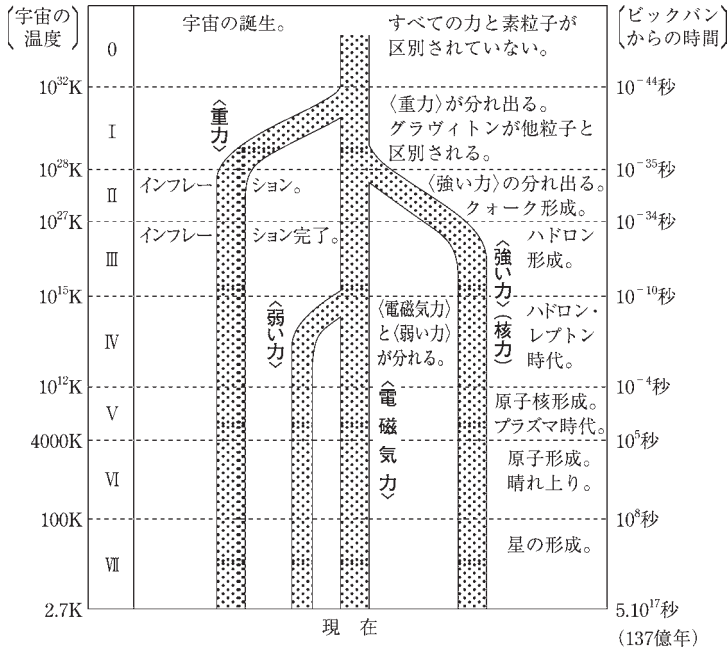


図2 対称性の自発的破れと宇宙の形成

宇宙が時間を経るに従って温度が下がり、その結果、対称性が自発的に破れ、さまざまな力が分化して、相互作用しながら宇宙を形成する。

以来宇宙の温度が段々段々下がってくるにつれて、宇宙の四つの力（重力、電磁気力、強い力、弱い力）がどのように分岐してきたかを示しています。これは同時に宇宙形成の過程を示していると私は考えます。

初めは本当に一つだった力が、そこから重力が分化してきた。だけどその他のものが一緒になっている。その次に、強い力というものが出た。そしてさらにそこから電磁気力と弱い力が分離して今日に至っている。ですから今はこの宇宙には、この四つの基本的力があるわけで、それが宇宙の森羅万象をつくり上げている。ビッグバ

ンからどのくらい時間がたつと、温度がどのくらいに下がって、そのように環境条件が変化してきますと、ひとりでに、自分自身で——これが大切ですね——「対称性」が破れるわけです。これを spontaneous breakdown of symmetry と言います。「対称性の自発的破れ」。温度が下がるという環境条件によって対称性が自発的に破れるんです。誰が破るのでもないんです。自発的に破れて、そしてまず重力とそうでない力が分かれ、それからまた強い力と重力が、それから最後に弱い力と電磁気力が分かれたということになるんですね。

ついでに重力の本性はニュートンとアインシュタインが明らかにしましたね。電磁気力はファラデーとマクスウェルが明らかにしました。弱い相互作用はフェルミは明らかにして、強い相互作用は湯川秀樹が明らかにしたんです。ですからこの四つの宇宙の基本的力のうちの一つの解明は日本の物理学者がなしとげたのです。これは湯川先生のえらいところですよ。

ここで私の言いたいことは、「対称性の自発的破れ」(spontaneous breakdown of symmetry) というこのことなんですよ。これによって宇宙的力が分かれ出て、それが宇宙形成の段階となるフェーズをつくっているというわけです。まずこの一番初めに重力が分かれる以前のところ、これをフェーズ0にします。フェーズ0とおいておいてこれは、「量子的ゆらぎ」といいまして、このエネルギーが物質になってみたり、それはまた物質がエネルギーになってみたりしてゆらいでいるわけです。すべての素粒子が分かれておらず、まだ力も分岐していない。このへんのところをやる理論というのはまだあまりよくはつきりできていません。おそらく「超弦理論」というのがこれでしょうが、まだ完成されていません。

その次の段階がフェーズIで、このところで膨張が始まり、そして重力が分かれ出て、グラヴィトン(重力子)という粒子がきつと出来上がったはずですが、まだこのグラヴィトンつかまえていません。けれどもあるはずですよ。それが重力を媒介する。このグラヴィト

ンが行ったり来りすることによって物質粒子の間に重力がはたらくわけで、それをやる媒介粒子ですけれども、そういうものが出来たはずで

です。

それからその次は第Ⅱのフェーズは、これはさきにのべた「インフレーション」が起る段階ですね。そしてここでクォークができるんです。素粒子をつくっている基本粒子クォークですね。このクォークができるためにはどういうことが起っているか。CP 対称性が破れなければならない。このCはチャージで電荷をさし、Pはパリティなんですけれども。この要するに、電荷の変換とパリティの変換を同時にやるのがCP 変換ですが、これによって物質と反物質の対称性が自発的に破れることが示されます。「物質」と「反物質」がエネルギーから「対創成」によって等量にできるわけですが、この物質と反物質はプラスとマイナスと電荷だけが違う。後は皆同じなんです。そっくりなんです。電荷だけが違って、これが一緒になるとエネルギーになってパーッと消えていくわけです（対消滅）。ですから一番初めに物質ができた時に、等量で一緒にできたはずなんです。これはディラックの理論でできたはずなんです。ところがこの世の中には、どこにも反物質はないわけです。反物質があったら、物質と一緒に消えていきます。ただし人工的には作れます。加速器の中では人工的に反陽子だとか、反電子、つまり陽電子というのは作っていますよね。けれども日常的にないでしょう。我々は正の物質の世界しか知らないんです。これはどうしてでしょうか。これはCP 対称性が破れたからなんです。このC変換をやって、P変換をやって完全に元に戻れば、物質と反物質が等量にある。だけどここで対称性が破れて少し違いが出てくるんですね。このへんのところは小林誠さんの『消えた反物質』という本によく書かれています。これはちょっと難しい本ですが、非常に良い本です。このCP 対称性が自発的に破れて物質だけの世界になった。反物質がこの世から消えたというわけです。ここで正の基本粒子クォークとレプトンがつくり出される（表1）。

素 粒 子	ハ ド ロ ン	バ リ オ ン	陽子 (p) <uud>	ク ォ ーク と レ プ ト ンの 世 代	ク ォ ーク	u (アップ)	第 1 世 代
			中性子 (n) <udd>			d (ダウン)	
			ラムダ粒子 ( $\lambda$ )		第 2 世 代	c (チャーム)	
		etc.	s (ストレンジ)				
		メ ソ ン	パイ中間子 ( $\pi$ ) <u $\bar{d}$ >		第 3 世 代	t (トップ)	
			ケー中間子 ( $K$ ) <u $\bar{s}$ >			b (ボトム)	
	レ プ ト ン	電子 (e)	レ プ ト ン	e (電子)	第 1 世 代		
		ミュー粒子 ( $\mu$ )		$\nu_e$ (電子ニュートリノ)			
		タウ粒子 ( $\tau$ )		第 2 世 代	$\mu$ (ミュー粒子)		
		電子ニュートリノ ( $\nu_e$ )			$\nu_\mu$ (ミューニュートリノ)		
		ミューニュートリノ ( $\nu_\mu$ )		第 3 世 代	$\tau$ (タウ粒子)		
		タウニュートリノ ( $\nu_\tau$ )			$\nu_\tau$ (タウニュートリノ)		
ゲ ー ジ 粒 子	光子 ( $\gamma$ )	ク ォ ーク と レ プ ト ンの 世 代					
	弱中間子 (w)						
	グルーオン (g)						

表1 クォーク・レプトンと素粒子

そこから次は、そのインフレーションが終了したところを第Ⅲフェーズにして、ここでハッブル膨張がはじまります。その次の第Ⅳフェーズでは、この電磁力と弱い力が分かれてくるのですが、ここでハドロンができるのです。ハドロンというのは一体どんなものかという、素粒子の表(表1)で書いておきましたように、バリオンとメソンから成ります。それでバリオンというのは陽子や中性子のことで、それらは原子核をつくっています。そしてメソンはそれを媒介しています。それがハドロンです。直訳すれば、バリオンが「重粒子」で、ハドロンは「強粒子」でしょうか。これは原子核をつくっていますから「核子」ともよばれています。レプトンは「弱粒子」と訳せばいい。メソンは「中間子」ですね。これらができるんです。

それができ上って、そしてその次のフェーズⅤで、原子核ができるのだけれども、まだそれが電子をつかまえていない、プラズマ状態の

時代。そして4000Kぐらいのところで、つまり105年ぐらいたったところで原子が形成されます。原子核が電子をつかまえるわけですね。そうすると原子ができるわけです。それまでは電子が勝手に動いていますから、光と衝突し、光子と衝突していて、光が通り抜けられない。原子核が電子をつかまえてくれて、そこで原子がつくられ、初めて宇宙は晴れ渡る。これを宇宙の「晴れ上がり」というんです。宇宙がきれいに晴れ上がって、光がやっと通るようになった。つまり宇宙が見えるようになる。

そしてその次、100Kぐらいの所へ下がって行って、そこでその原子が集って、はじめて原始星をつくるということなんですね。つまり環境との関係で対称性が自発的に破れ、いろいろな力が分れて、その相互作用によってさまざまな段階の物質粒子が形成され、宇宙の階層的秩序を創発させてくる。いま、環境との関係というのは、これは温度が下がっていくということです。これによる対称性の自発的破れによって四つの力が分化し、そして分化するだけではない。それが分れた後は協力しているわけです。今、この四つの力、皆、働いていますからね。分化すると同時にばらばらになるわけではなしに、それが協力しあってこの世界をつくっている。だから宇宙形成とはそういう環境との相互作用による自発的な相転移（phase transition）ですね。

要するに宇宙の生成はそういう「創発自己組織系」の発展だということなんです。ちょっとふり返ってみると、まず第1にクォークの自己形成。これはCP対称性の自発的破れによって出ずる。それで基本粒子は初めてそういうことによって自己形成する。CP対称性の破れということが自発的に起るわけです。この「自発的破れ」という概念の形成には南部陽一郎さんという日本の物理学者の方が大きく貢献しています。ついでに図2の四つの力の分化のダイアグラムも佐藤勝彦さんと佐藤文隆さんが世界で最初につくったんだということを、私は知らされて驚いた。今では外国の宇宙論の本にみなこれが載せられている。とっても良い図で標準理論をうまく図にしている。私もそれを

使わせていただいたが、すこしそれを宇宙形成と関係させてモディファイしてあります。

それから第2、核子つまりハドロンの自己形成です。これはグルーオンという粒子が媒介していますが、このように温度が下がって、対称性が自発的に破れますと、この核子が自己形成される。強い力が分離したところで原子核の自己形成がなされる。これも「対称性の自発的破れ」で出てくる。四番目は、原子の形成。そして五番目に原始星がつけられる。こういうことになって我々の宇宙ができ上がってくる。これは皆基本的には対称性の自発的な破れによっているのですね。環境的条件の変化によって対称性が自発的に破れて、そのことによってさまざまな力が分離され、その力によって粒子が結合されてですね、階層的な秩序が自律的に創発される。このようにして宇宙は形成されるのだから、それは「創発自己組織系」の発展だと言っていいと思うんです。

### 3 生命の誕生と進化

次に生命の問題の方へまいりましょう。さきほど申し上げたように、宇宙は137億年の年齢を持っているんだけど、地球は46億年です。そして生命の歴史は38億年。要するに地球の温度が下って固まり出しますと、周りを囲む大気の水蒸気が雨になって地球上に海ができます。現在の地表の約70%は海ですけれども、この水ができるということが生命の誕生にとってまず第一の出来事だと思いますね。この水ができなければ生命がないんです。地球の上に水ができたということ、これはもう crucial なことです。地表の70%が豊かな水に恵まれている。ほとんど奇跡と言うべきです。火星だってかつては水があったらしいが、それが地下に潜ってしまって、いまそれを探索しようとしています。金星なんかにはまったく水がない。この地球に水が恵まれているのは、この惑星と太陽との距離によって、太陽エネルギー



の摂取量が程よいからです。

この水の惑星の上に生命が誕生したのであるが、その前に生命とはいったい何なのかということをはっきりさせておかねばならない。生命には四つの特性があると思う。自然が発展してきて生命ができたというとき、次の四つの特性が自己形成された。

まず第一に、囲いがある。生命は膜に囲まれていて、その中で生命活動が行われる場が与えられているということ。これはやはり言わなければいけないんじゃないかと思いますね。その生命活動の場を保障する囲いがあるということです。

第二番目に、自己維持が行われている。自分で自分自身を保持し成長させる。普通の言葉で今までは「代謝」(メタボリズム)と呼ばれていたことですが、これは一種の「自己組織系」だと言っていると思う。自分で自分自身をいつもつくっている。福岡伸一さんのいま評判になっている本『生物と無生物の間』ではどう言っておられるかという、生物とは「動的平衡の流れ」であると言っておられる。これはなかなか良い定義ですね。「動的平衡の流れ」——平衡状態である、定常性を保つんだが、それは静止でなく流れなんだと。いつも皆さんがいろいろなものを食べますね。それは消化されるでしょう。そしてそれはどうなるのかと言うと、内臓を通過しているだけじゃないですよ。シェーンハイマーが放射性元素 $^{15}\text{N}$ をつかって明らかにしたように、それをずうっと追っていくわけですよ。何と驚いたことに、食べたものが一度全部体をつくるんですね。そして出ていくものは前にあった古い元素なんです。だからもう3日、4日たったらもう皆さんの体もうすっかり前と違っちゃってしまっている。外見的には同じだけれども、それくらい内部で自己維持を行っているんですね。それを言っているのが、「動的平衡の流れ」であるという意味ですが。これはベルタランフィーが言っていた「流動平衡」と表現しても、私はよいと思う。流動しながら平衡を保って維持しているわけですね、自分の体を維持している。だけどそれは流動によっているわけです。

ね。だからそれは動的な自己組織系だ。

それから第三番目が、自己増殖する。これは子孫をつくるということです。これは生命のない無生物はやっていないですね。つまり自己複製というより自己創生。自己複製ということをやったら、中村桂子さんが異議をさしはさまれて、書いておられますね。自己複製なんかしていない、子どもは違っているじゃないかと。だからこのハプロイドというものになって、それがまたディプロイドという、つまり両親のDNAをもらって新しい生命がつけられていくわけでしょう。自己創生でなければいけないと。複製なんかじゃ決していないということをおっしゃられるけれども、それは中村さんの言う通りじゃないかと私も思う。しかしとにかく同じ種のを自己増殖するということですね。それを可能にしているのが、いわゆる核酸という物質なんですね。先ほどの代謝というものを可能にしているのはタンパク質です。その他に脂質だとか、他にもいろんなものがあるけれども。そういうわけで核酸がそういう自己増殖を行うものものになっているわけです。そしてこの核酸にはDNAとRNAがあるということ、これは皆さん、ご承知の通りです。ここに遺伝情報が入り込んでいて、それが伝わっていくということになるわけですね。ところでこのDNAというのは、モノの「オペロン説」が明らかにしているように自己調節をやっているんですね。ある物質がやってくると、スイッチがオンになって遺伝子が働く。来ない時にはオフになっていて働かない。そういう自己調節をやりながら、そういう情報を出したり、統制、コントロールしているわけですね。個体をつくり上げるDNAの全体を「ゲノム」というが、これもまた自己組織系であると言っていいと思う。

第四番目に、生物は進化する。これも生物の特徴である。もちろん宇宙も進化するけれども、生物の場合DNAが変化するわけですね、長い時間たつと遺伝子情報がいろいろ変化しているわけです。そのことによって変わると、自然環境と適合するものと適合しないもののができてきて、適合したのはどんどん子孫を増やすけれども、適合しな

いのは亡びてしまうから、それで変わっていくんだという。突然変異と自然選択。この二つでもってすべて説明しようというのがダーウィン説を新しくまとめた「総合説」なのですが、この考え方には、私は必ずしも賛成できない。つまりダーウィン説というのは、先ほど17世紀のデカルトの機械論は、自然から能動性、自律性をとりのぞくと申しましたが、あれを生物界に徹底していった考え方だと思うんです。だから突然変異、これ何か放射線なんかがやって来て、遺伝的に変わっちゃう。全く受動的ですよ、生物はね。それから自然選択、これもまったく受動的で生物の側に何ら能動性もないですね。亡びていくものと栄えるものがそれで決められる。ダーウィン説は機械論を19世紀になって、生物学の領域では最も遅く完遂したものだ、こういうふうに言っている面があるだろうと思うんです。ダーウィンの考え方は多面的だから、こういうふうにはばかりとれないかもしれないが、こう解釈するといわゆる「ダーウィニズム」の意図がよく分かるような気がする。それからまたそれに反対した今西錦司さんの「主体性の進化論」というものの意義も多少理解しやすくなるかなと思う。ダーウィン説には当時の資本主義社会の competition とか、優勝劣敗とかの考え方が入ってきて、そしてああいうダーウィン説になっていると言われているが、たしかにそういう面もあるが本質的には、生物におけるデカルトの機械論的思考の徹底であると言っていると思うんですね。

さらに evolution とは何か。evolution とは e は ex で、「外に」でしょう。「外に展開する」ということだから「進化」という訳は正しかったのかどうか。直訳すれば「外展」ですね。外に向かって展開すると。ですから「多様性」と「複雑性」の度合がね、大きくなるということを行っているに過ぎない。それが進歩の「進」と一緒になってね、「進化」という言葉ができたが、これは啓蒙思想の「進歩」と一緒になってきた言葉で、本当は「多様化」なんですね。ダーウィン をそういうふう読みかえすことができると思います。

もとに戻り、生命はそういうわけで四つの特性を認めることができる。もういちどくりかえすと、生命には囲いがある。それから自己維持する、そして自己増殖する。そしてさらに進化する。この四つのことを「創発自己組織系」という観点から見直してみなければならない。そうなるダーウィンの進化論も再検討が必要となるでしょう。ここでは進化も「創発自己組織化」という観点を導入せねばならないでしょう。その前に生命の誕生と展開を理解するために、その分子生物学的基盤や実験的事実について若干述べておきます。

生命の分子生物学の基盤は1953年にワトソンとクリックによってつくり上げられました。つまりDNAの構造がわかってきたわけです。DNAとRNAの構造が分かってきて、セントラル・ドグマというものが出されました。これは図3の示すように、DNAが転写されてRNAができ、それが核の外に出て、タンパク質をつくる情報を与えるのですね。ところがそのタンパク質が逆にDNAをつくったり、あるいはRNAに転写する時に、酵素として働くんですね。そうするとそのどっちが先なのか、DNAとRNAのような核酸が先なのか、タンパク質が先なのかという、ニワトリと卵の関係なんです。これが分子生物学のセントラル・ドグマのもっているパラドックスで、この問題を最初にかねばならない。そしてこの問題をとくことが、生命体の「自己組織化」ということと深く関係していると思いますが、そのことは後にとり上げます。

DNAというのは複雑な形をしていますが、本質的には図4のような構造をなしています。Pというのはリン酸塩があって、Rはリボースという糖、Bは塩基であって、本質的に言うと、こういうふうになっているんです。そしてこのB、ベースというのが情報を与えるわけです。塩基がね。この塩基には、アデニン (A) とシトシン (C) とグアニン (G) とチミン (T) と四つがあって、その四つのうちの三つが組みになると一つのアミノ酸をきめる情報となるわけです。このチミンのところがウラシル (U) に代っているメッセンジャー RNA

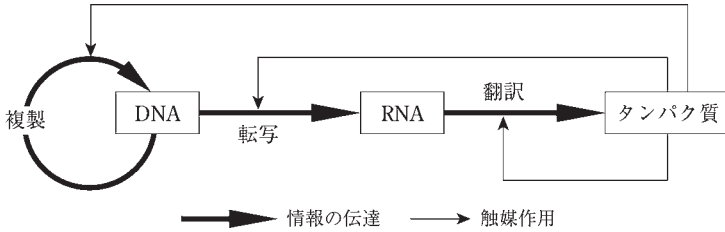


図3 セントラル・ドグマの構造

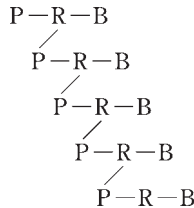


図4 DNAとRNAの基本的構造

が出ていって、情報を与える。

細胞の中のリボソームといういわばタンパク質製造工場があって、そこの所にトランスファーRNAがその三つの塩基の組に対応するアミノ酸を引っ張り込んできて、それをつなげてタンパク質をつくり上げていく。この辺のところはなかなかうまく自己調節していると思いますね。

その前にDNAが「二重らせん構造」をつくっていて、四つの塩基のところではAにはT、逆にTにはA、CにはG、GにはCという風に、一方のDNAと他方のDNAの間にきちんと対応ができています。ですからこの二つが細胞分裂のとき分れていっても、まったく同一の情報をもつものとなり、これがRNAに転写されるときもその情報が正確に伝えられる。タンパク質が形成され、このタンパク質が酵素となって核酸がつくられ、両者の相互作用によって生命体はつくられてゆきます。

前置きはこのぐらいいして、つぎにいよいよ生命の誕生の過程に入り、そこにおけるその「創発自己組織化」について述べなければいけません。そこでどこから話を始めるべきか。

まず生命の進化が始まる前に、化学進化 (chemical evolution) というものがあった。つまり地球が形成されて10億年間はまだ生物が生じない。その間、生命をつくる基本的な物質がまず進化を遂げてつくられなければならなかったわけです。

まず1924年にロシアのオパーリンがコアセルベートというものを見つけました。いろんなコロイド物質が混ぜられていてその間に、さっき言った、生命の囲いのようなものができて、そうしてそこに物質の出し入れがあったり、あるいはこれが2つに割れていくとかいったような非常に生命体に類似したものをつくりだした。コアセルベートというのは、単にコロイドの集合体ですが、何か生命体と似ている。これが生命の誕生を問題にした第一段階とってよいでしょう。そして『生命の起源』という本をオパーリンは1936年に書いて、これが非常に有名になりました。

その次、二番目に、1953年に、これはアメリカのユーリ (ノーベル賞受賞) とミラーが一緒になって、地球が形成された頃にあったと思われる、大気中のメタンとアンモニアと水と水素などを一緒にして、それに火花放電を与えたら (図5)、なんと有機化合物—生命体をつくっているアミノ酸などがその所にできてしまった。アミノ酸はタンパク質のもとになるもので、それが化学的に合成できるんだということを、この実験は示したのです。この実験は生命体をつくる物質の「化学進化」を考える上で非常に大きな意味をもったと思います。

生命体が成立するためには、その前提となる物質として、タンパク質と核酸の両方がなければなりません、まえに申したように一つ (タンパク質) は物質代謝の基体であり、もう一つ (核酸) は自己維持と自己増殖の基体になるものですから、この両方がなければならぬわ

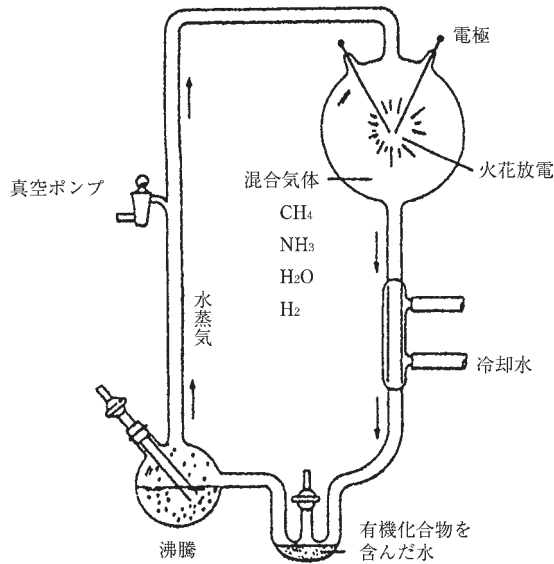


図5 ユーリ・ミラーの実験

けです。まずこの核酸のほうはさっき言ったように、リボースと塩基、リン酸塩が一緒になって、何らかの仕方によって一緒になって、そうしてそこにヌクレオチドができる。それがまた、たくさん結び付いてポリヌクレオチドという高分子になる。これがRNAに他ならないわけです。

これを「RNA ワールド」と名付けておきましょう。このRNA ワールドというのが自律的に自己組織的に作り出されたとしてもいいと思うんですね。そのためには、たとえば塩基というのが、どういうふうにして化学的にできたかということが先行しなければいけません。これはシアン化水素が重合して化学的に作り出される。

それからリボースというのは、ホルムアルデヒドからやっぱり化学的に作り出される。つまりこのような高分子というものは放っておいても何らかの機会に、何らかの仕方ですら分子同士が自分で自律的に結

び付いて高分子ができてくるのですね。江上不二夫先生がそういうことを盛んに言っておられました。つまり放っておいても、自律的自己組織的に結び付いてでき上がってくる。

もちろん化学者は、そのいろんな個々の過程においてまだ実験的に確定できないところもあると言うでしょう。しかしそのすべてが現在の地球の状況のなかで、しかも試験管の中の合成ではなく、地球史のどこかの段階で鉱物や何か触媒となって反応が進み、結局「RNAワールド」ができてきたと考えてよいでしょう。

それからタンパク質のほうはどうかと言うと、これはメタンとアンモニアと二酸化炭素でアミノ酸ができる。これはミラーとユーリが実験的にやったことですね。そしてそれが結び付いてペプチドとなり、さらにそれが重合して、ポリペプチドとなり、これがプロテインになる。つまりタンパク質になる。これも自己組織化の過程だと考えていいと思う。まだ実験的にミッシングリンクはないことはないけれども、原則的にこれも地球史のなかでの環境との相互作用による自己組織化の過程だと言っていいと思う。こういうものが地球上で、生命の発生以前にそれをつくる素材が自己形成されていった。こちらの方を「タンパク質ワールド」と名付けておきましょう。

この「タンパク質ワールド」とさきの「RNAワールド」が結び付いて、「RNPワールド」がつくられた。そしてこの「RNPワールド」ではRNAはタンパク質形成のためのメッセンジャーとして情報を与えると同時に自分自身をつくる触媒の役割も果たしていた、ということが1989年にアルトマンにより明らかにされた。つまりRNAが一人二役やってくれていたんですね。これで前に触れたセントラル・ドグマのパラドックスが消滅したと言っていいと思うんです。「RNPワールド」ができた後で、RNAをDNAに変えて核の中に大事に収められたというわけです。この「RNPワールド」の形成というのは、自己組織的なものだと思うのです。一番初めはRNAが一人二役やってしまって、生命を形成してゆく。この「RNPワールド」の誕



生こそ生命の誕生であると、私は考えたい。「RNA ワールド」と「タンパク質ワールド」が結合して「RNP ワールド」ができ上がることが、生命の誕生であり、それはまさに「創発自己組織化」の過程なのだと思う。

その後、生命ができあがってからどうなったのかということは、もうこの表（表 2）に任せましょう。38億年まえに生命が誕生してから、我々のところに来るまでにね、地球上の生物は五回、大変革の経験をしているんです。

その最初が38億年ぐらい前、「全球蒸発」ということが行われた。水の一滴もなくなるわけじゃないけれども、大部分が蒸発しちゃった非常に暑い時があったようです。私はこの時に実は生命が誕生したんじゃないかと思う。水が少なくなったとき、わずかな水溜りのような所で、この熱のエネルギーを利用して有機物質が共存して「分子共生」(molecular symbiosis) ともいうべき状態で生命ができあがったんじゃないかというような気がする。時代的にこの「全球蒸発」と「生命の誕生」は関係あるんじゃないだろうか。

次には5億7000万年前、つまり表で570と書いてある所を見てください。つまりカンブリア紀の直前です。これヴェンド-カンブリア紀(V/C)境界と言って、ここでまた大変なことが起った。これ以前の「エディアカラ生物群」というのがあったんですよ。硬い骨格の欠いた生物がたくさんいたのですが、これがすべて絶滅してしまった。これはグールドの『ワンダフル・ライフ』を読むとよいのですが、これが全部死んで、次のカンブリア紀の大爆発が起る。この大爆発でほとんど今ある生物の分類学的なほとんどの門の起源となるようなものがいっぺんにできたのです。その生物たちの形がグールドの本に出てきますが、実に面白い奇妙な形をしたものがたくさんあります。また眼をもった動物もこのときはじめて現れました。

次に、440と書いてあるところ見てください。4億4000万年前です。これはオルドビス・シルル紀(O/S)境界です。ここでも大変なこと

	年代 単位 100万年	地層名	生物界の現象	大変動
↓ 新生代 ↑	現在→ 2	第四紀	ホモ・サピエンスの成立	K/T境界
		第三紀	人類の登場 哺乳類の多様化と繁栄	
↓ 中生代 ↑	65	白亜紀	恐竜大絶滅	
	136	ジュラ紀	恐竜時代	
	190	三疊紀	最初の哺乳類	P/T境界
	225	ペルム紀	生物の大量絶滅	
	古 生 代	280	石炭紀	パンゲア大陸の成立 爬虫類・昆虫類の出現
240		デボン紀	節足動物の出現 最初の陸上動物（両生類）	
395		シリル紀	最初の陸上植物（シダ類） 原始魚類の出現	
440		オルドビス紀	大量絶滅 最初の脊椎動物	
500		カンブリア紀	水生動植物大爆発	V/C境界
570				
↑	1300	先カンブリア時代	多細胞生物出現 真核生物の出現	全球蒸発
	3000		酸素大気の始まり	
	3500		最古原核生物	
	3800		生命誕生	
	4600		地球誕生	

表2 地球と生物の歴史

が起りました。大量絶滅の非常な危機がやってきて、この時、生物の上陸が始まっています。まず植物が上陸するんです。その次に動物が植物を追って上陸する。動物は植物の葉緑体がつくってくれる糖に依存しているわけですから、いつも植物が一步先にいってそれに動物がついてくる。

その次の境界がどこかという、ペルム・三畳紀 (P/T) 境界と言われているものですが、ここではじめて哺乳類が出現してくる。ペルム紀と三畳紀の間にはやっぱり大きな変換期があった。

最後の変換期は白亜・第三紀で (K/T) 境界と呼んでいるけれども、65、つまり6500万年前です。そこではどういことが起こったか。中生代の主役であった、恐竜が全部消えてなくなった。哺乳類は恐竜の間でもう小さくなって、その陰に潜んでなんとか生きていたのが、恐竜が絶滅したので今度は哺乳類はいっぺんにニッチを広げて、自分たちの領域を拡大した。

このように地球上の生物は、周囲の気候変動や天体（隕石）との衝突などによって断続的に亡び、新たな生物がまた自己形成的につくり出され、平衡に達して落ちつくというふうに進化してきたので、ミクロな変化が連続的に起って、そのまま現在に到っているというものではありません。これを進化の「断続平衡」と言います。

さて次の絶滅があるとしたら、これは六番目の絶滅期ということになりますが、これが100年後にくるのか、1000年後に来るのかわかりません。しかしこれは人間が、その知の進歩そのものによって絶滅するという、今までの絶滅とは非常に違う、人間自身のつくり出した「環境危機」によって絶滅するということが起こるかも知れない。これがいつ来るかわからないが、私は前から2050年が分かれ目であるということを書いてきたけれど、これは環境省の統計やアメリカのワールド・ウォッチ研究所のレスター・ブラウン氏の資料によって推測していたことです。今、東大でも2050年プロジェクトというものを立ち上げている。現在の小宮山宏総長が中心になってサステイナビリティ

(持続可能性)の研究組織をつくって、2050年までに何をしなければならぬかが追究されています。東大の松井孝典さんが最近、『地球システムの崩壊』という本を出されたけれども、このままゆけば100年後には人類は存在しないかも知れないと言っておられる。あるいは松井さんの言われる通りかもしれないけれども、私はそれまでに人類は別の途を選択できると信じています。それゆえに私のいう「環境革命」を是非とも成功させねばならない。これに失敗したら、それはもう後世にとって大変なことになると思っています。

さて、ここで「まとめ」に入ります。生命の誕生と発展は、環境との相互作用を通じての「創発自己組織系」の展開であるということです。生命が誕生するとやがてシアバクテリア(ラン藻)のような「原核生物」(prokaryote)というものが出来ます。これはまだ細胞の中に核をまだもっていません。しかし葉緑素をもっていて光合成を行い、大気中のCO<sub>2</sub>をO<sub>2</sub>に変えてゆきます。このラン藻(シアバクテリア)の大繁殖により、大気の成分は一変して、いよいよ好気性の核をもった「真核生物」(eukaryote)がつくられてきますが、その最初の形はアメーバやゾウリ虫やミドリ虫(ユーグレナ)の類だけれども、このユーグレナの例を取ってみると、その細胞には核があって、その中にDNAがおさめられ、自分と同じものを複製する情報をたくわえている。またこの情報によってタンパク質をつくるリボソームという、いわばタンパク質製造工場がたくさんある。さらに葉緑体を持ち、これが光合成をおこなって、水と二酸化炭素から糖をつくって、酸素を外に出す。さらにミトコンドリアという、この糖を分解してエネルギーに変え、これによって活発な運動が可能となる。さらにこの運動をうまくやるように調整する鞭毛がある。ところで、このユーグレナという最初の「真核動物」における細胞内のこのような小器官体(オルガネラ)はもともと別の独立な生きものであったのだが、その証拠に葉緑体のなかにもDNAがある。ところが環境の変化に応じて、困ったときにはそれらが皆長所を出し合って、エネルギーをつく

るのが得意なもの、タンパク質をつくるが得意なもの、光合成ができるもの——そういうものが集まって、共生して協力する体制ができたというわけです。このことをリン・マーギュリスという女性の生物学者が強調して「共生進化」(symbiotic evolution)と呼んだ。今まで進化というと優勝劣敗で強いのが弱いのを亡ぼして、それに取って代わるというイメージがあるが、それとは全然違う「共生進化」というのは、みんなが長所を出し合って助け合って新しい形態の生物をつくっていく、これが「共生進化」です。これがいま、進化論のなかで非常に大きなテーマになっています。進化というのは排他的で他をうち亡ぼすことによって起こるというイメージから、共生進化説では困難な環境に直面したときに、互いに力を出し合って新しい発展をつくる——そこに複雑化と多様化ということが生み出されるとする。

ところで私はこのような過程を通してやはり「対称性」が破れたと思う。生命の形成においても、その対称性ということが広い意味にとられるけれども、要するにそれまでは非生命界が物質界一色だった。その中で生命界が分かれ出た。重力とか四つの力が分かれて対称性が破れて宇宙が形成されたように、物質界から生物界が分かれ出てきて対称性が自発的に破れた。やはりこの意味で対称性の自発的破れがあったというふうに、私は言っているんじゃないかと思います。

しかも重要なことは、ここで環境と相互作用しながら、対称性が破れるのであって、地質学的な年代の変化と生物学的な変化は両方とも結びついています。だから地球の変化と生物の変化というのは一緒に進化しているわけで、それでこれを「共進化」(co-evolution)といいます。生物と地球の共進化ですね。そういうことがここでなされている。このような生物と地球との一体性を「ガイア」と名付けましょう。「ガイア仮説」というのは皆さんご存じですよ、NASAのラウロック博士が言い出した。地球が生物に影響を与え、生物がまた地球に影響を及ぼしながらともに成長し一体化していることを意味しています。しかしこの一体性をこわしてしまうのが、ほかならぬ「環境破

壊」なんですね。

#### 4 結論

そこで結論としてここで言おうとすることは、機械論的な自然に代わって、創発自己組織系として自然という概念ですね。the emergent self-organizing systemとしての自然という見方。それは自分で自分をつくっていく、新しい秩序をつくり出してゆき、分化し、多様化していく。その時に自分で自分の秩序をつくっていくんですから、エントロピーが減少するんですね。今日はエントロピーのことをあまり触れなかった。この辺のところは立木教夫先生が、情報のことと一緒にやってくださるとありがたいんですが。必ず秩序ができあがる時にはエントロピーが減少しているんです。熱力学の第二法則によると、エントロピーは常に増大するけれども、それは環境と相互作用をしない、閉鎖系での話なんです。環境と相互作用している開放系では、自律的、autonomous にエントロピーが減少させられる。生物は「非平衡開放系」なんです。現に我々はエントロピーを減少させて生きている。これを、シュレーディンガーは、我々は「負のエントロピーを食べて」生きていると言ったのですね。つまりエントロピーを増大させないで、それを捨てて秩序を維持しながら生きていくわけですね。「散逸構造」(dissipative structure) と言いますが、そういうことを見ても見ていくことが必要です。このことを非常に強調したのがノーベル賞をもらったプリゴジンです。ですからプリゴジンは今日の自然観の転換に非常に大きな貢献をしている人ではないかと思えます。

それでは哲学的に言って、あるいは世界観的に言って、このことがどういう帰結を生むかという、まず第一に、人間対自然といった対立がなくなる。これまで自然は人間にとって他者である。だからこれを支配し、征服して「人間の王国」を建てるといようなことをフランス・ベイコンなんかが言ってきた。デカルトも基本的にそうです

ね。人間の理性が自然の外に出る。そしてそれを幾何学で操作していくといったような考え方。その人間対自然の対立がここで消える。この両者は共に創発自己組織系の発展の系列の中で収められる連続的なものなんですね。だから人間は自然の主人、支配者どころか、自然の子孫そのものなんですね。そういう考え方の変換をしなければ、本当に人間と自然との「共生」ということも言えないでしょう。そういう自然観の変換をまって初めて、共生という概念が重みをもつ、真実性をおびてくると言えると思う。

それから精神と物質の対立。これも今までずいぶん言われてきた。この対立が消える。何故なら、精神というのはこういう自然の「創発自己組織化」の発展の中のどこかで、生命が誕生したように心もまた誕生したんです。たぶん、これは大脳の新皮質の形成と結びついていると思うけれども、そこに心が生じ、精神といわれるものが成立してきたと思う。ですからそれはやはり連続していることで、これを絶対的に対立したものにする必要はないし、精神世界と物質世界というものを二分して何か水と油のようなものなんだというふうには考えなくていい。それはやはり連続したものの中での「創発」なのです。

宗教と科学というものがそもそも対立するものなのかどうかという問題も生じてくる。この対立も消えるんだろう、と私は思っているんですね。そのためには、科学がどんなふうにいる、変わりつつあるか、それにともなって自然観もどう変ってきているかを考えなくてはいけない。と同時に、宗教も今まで通りの宗教でいいのかどうかということが、やはり問題になると思うんですね。神とは一体、何なのか。神とはこのような自然の創発自己組織的な発展を可能にしているものと言えるのではないだろうか。そうすると *deus sive natura* ですね。神即自然、これはスピノザの言葉だけれども。ゲーテや宮澤賢治の立場もそうだったと、私は思う。だからそういう立場に立つと、これは Panentheism とも Panenphysism とも言え、両者は結局同じことで、この間、全然矛盾がなくなる。この帰結するところは大きいだ

ろうと、私は思っています。そして最近の思想界では「自然主義的神学」(naturalistic theology)とか、それから「自然主義的倫理」(naturalistic ethics)、それから「自然主義的哲学」(naturalistic philosophy)というような術語が哲学辞典に載っていて、詳しくとり扱われるようになっていきます。

ですから、ジョージ・ムーアが『倫理学原理』(*Principia Ethica*)で主張した「自然主義的誤謬」(naturalistic fallacy)——つまり自然のことでもって倫理のこと論ずるのは間違いなんだという主張を、多くの倫理学者はムーアを引用してステレオタイプに言うのですが、これはムーアが間違っていたんだと逆にとらえてみる必要があります。「自然主義的誤謬」ということはすぐには言えないので、逆に「自然主義的倫理」ということが、今世紀の哲学ではさかんに論ぜられるようになった。この自然観・倫理観は廣池千九郎博士のものを通ずるところがあるんじゃないかと思えますね。どうでしょうか、それは皆さんのほうが詳しいから考えていただきたい。私は、根底には通ずるものがあるんじゃないかという気がする。

どうも一瀉千里に走ってきたようです。それで分かりにくかったところ、疑問に思われるところもありましたら、おっしゃっていただいて、今後皆さんと議論してゆきたく存じます。話はこれで終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

#### 参考文献表

Aはこの稿の主題——「創発自己組織系としての自然」——に直接かかわると思われる著作、Bは「宇宙の形成」、Cは「生命の誕生」にそれぞれ関わるもの、Dはその他本稿で論じられた問題に関係あることをとり扱っている書物というふうに分類してみた。

#### ㊦

- 1 スチュアート・カウフマン著・米沢富美子訳『自己組織化と進化の論理』日本経済出版社、1999。(Stuart Kauffman, *At Home in the Universe—The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*, Oxford Univ. Press,



1995.)

- 2 リー・スモリン著・野本陽子訳『宇宙は自ら進化した—ダーウィンから量子重力理論へ』NHK出版、2000。(Lee Smolin, *The Life of the Cosmos*, Oxford Univ. Press, 1997.)
- 3 I. スチュアート & M. ゴルビツキー著、須田不二夫・三村和男訳『対称性の破れが世界を創る』白揚社、1995。(I. Stuart and M. Golubitzky, *Fearful Symmetry*, Penguin Books, 1992.)
- 4 エーリッヒ・ヤンツ著、芹沢高德・内田美恵訳『自己組織化する宇宙』工作舎、1986。(E. Jantsch, *The Self-Organizing Universe*, Pergamon Press, 1980.)

Ⓑ

- 1 S. ワインバーグ著、小尾信彌訳『宇宙創成はじめの三分間』ダイヤモンド社、1977。(Steven Weinberg, *The First Three Minutes—A Modern View of the Origin of the Universe*, Basic Books, 1977.)
- 2 佐藤文隆『宇宙のはじまり』岩波書店、1989.
- 3 二宮正夫『宇宙の誕生』岩波書店、1996.
- 4 J. グリビン著、立木教夫訳『宇宙進化論』麗澤大学出版会、2000。(John Gribbin, *In the Beginning: The Birth of the Living Universe*, Viking, 1993.)
- 5 小林誠『消えた反物質』講談社、1997.

Ⓒ

- 1 Robert M. Hazen, *Genesis—The Scientific Quest for Life's Origin*, Joseph Henry Press, 2001.
- 2 Pier Luigi Luisi, *The Emergence of Life—From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge Univ. Press, 2006.
- 3 石川統他著『化学進化・細胞進化』(シリーズ進化学3) 岩波書店、2004.
- 4 柳田弘志『生命の誕生を探る』岩波書店、1989.
- 5 黒田玲子『生命世界の非対称性』中央公論社、1992.

Ⓓ

- 1 J. モノー著、渡辺格・村上光彦訳『偶然と必然』みすず書房、1972。(J. Monot, *Le hazard et la nécessité*, Édition du Seuil, 1970.)
- 2 I. プリゴジン & I. スタンジェール著、伏見康治・伏見譲・松枝秀明訳『混沌からの秩序』みすず書房、1987。(Ilya Prigogine & Isabelle Stengers, *Order out of Chaos—Man's New Dialogue with Nature*, Bantam Books, 1984.)
- 3 Paul F. Lurquin, *The Origins of Life and the Universe*, Columbia Univ.

- Press, 2003.
- 4 John Gribbin, *Genesis—The Origins of Man and the Universe*, A Delta/Eleanor Friede Book, 1981.
  - 5 丸山茂徳・磯崎行雄『生命と地球の歴史』岩波書店、1998.
  - 6 川上伸一『生命と地球の共進化』NHK ブックス、2000.
  - 7 嶺重慎・小久保英一郎編著『宇宙と生命の起源』岩波書店、2004.
  - 8 和田純夫『宇宙創成から人類誕生までの自然史』ベレ出版、2004.
  - 9 リチャード・フォーティ著、渡辺政隆訳『生命40億年全史』草思社、2003.  
(Richard Fortey, *Life: An Unauthorized Biography*, Harper Collins, 1997.)
  - 10 スティーブン・グールド著、渡辺政隆訳『ワンダフル・ライフ』早川書房、2000.  
(Stephen Jay Gould, *Wonderful Life*, W. W. Norton and Company, 1989.)
  - 11 J. E. ラブロック著、スワミ・プレム・プラブッタ訳『地球生命圏—ガイアの科学』工作舎、1984.  
(Jim E. Lovelock, *Gaia—A New Look at Life on Earth*, Oxford Univ. Press, 1979.)
  - 12 蔵本由紀『新しい自然学—非線形科学の可能性』岩波書店、2003.
  - 13 中村桂子『自己創出する生命』筑摩書房、2006.
  - 14 福岡伸一『生物と無生物のあいだ』講談社、2007.
  - 15 武村政春『脱DNA宣言—新しい生命観に向けて』新潮社、2007.
  - 16 藤原昇一・池原健二・磯辺ゆう『自然学—自然の「共生循環」を考える』東海大学出版会、2004.
  - 17 松井孝典『地球システムの崩壊』新潮社、2007.
  - 18 広瀬立成『対称性から見た物質・素粒子・宇宙』講談社、2006.
  - 19 都甲潔・江崎秀・林健司『自己組織化とは何か』講談社、1999.