

生命の起源研究の話題から； 原始の海は熱かったか？

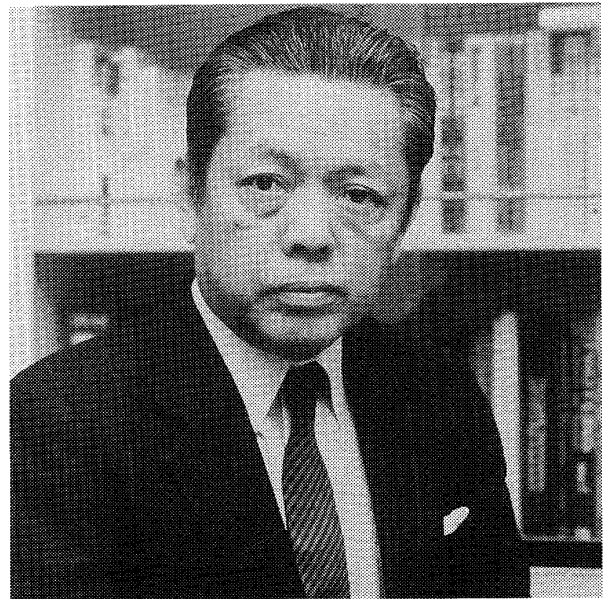
Hydrothermal Origin of Life: Some Recent Topics in the Study of Life

大島 泰郎

ただ今、丁寧なご紹介をいただきましてありがとうございます。

私現在、東京薬科大学におります大島でございます。今日このような晴れがましい会にお招きいただきましてどうもありがとうございます。大変光栄に感じております。それから、私初めてこの札幌学院大学を訪問いたしました。施設が素晴らしいし、パンフレットを見ましても意欲的な運営をされているので感銘を受けました。是非私どもの大学にもこういう意欲的な制度を取り入れたいというふうに思っております。ですから今回私の方が大変勉強もさせていただきました。その点でも大変感謝しております。

本日は「生命の起源」ということでお話しをさせていただきますが、これは言うまでもなく「生命とは何か」ということと裏腹の関係にあります。一番簡単に言いますと、生命の起源の研究をしていて「どんなことが見つかったのか」、「どんな実験をしたら生命の起源の上で一步先へ進められた」と言えるかということ、を、「生命とは何か」ということを決めないで始めれば、これはゴールを決めなくてマラソンを始めたようなものです。どちらへ向かって走って行くべきか、誰が一番速いかわからないことになってしまいます。ですから、昔から生命の起源に関しては多くの



大島 泰郎 氏

考え方が発表されてきましたし、それぞれその時代の人間のもっている知識を総動員して考えてきました。今日の私の話は、背後に「生命とは何か」という命題が潜んでいるというお考えのもとで聞いていただければと思います。

この「生命とは何か」という課題が、また大変難しいといいますが、今お話しをいただきました佐藤先生のような物理学者から見たら信じられないことだと思いますが、生物学というのは生き物とは何であるか決めないで始まっています。定義なしで学問が始まるなどということは物理系の先生には信じられないことだと思うのですが、生物学はもともと生物とは何かという定義なしで始まりまし

た。今でも生物学者を集めてきても、皆が納得する「生命とは何か」という答えがない。しかももっと驚いたことには、幼稚園の子どもを連れてきて石ころと金魚と草花を並べて「どれが生きてますか」、「どれが生き物でないですか」と言ったら、誰もまず間違えることはない。ですから、誰も生命というのとは何かは良く知っている。なのに専門の学者と言えども「何をもって生命と決めるか」ということになりますと、「厳密な答えがない」と言う非常に変わった課題であります。それで、今から「生命とは何か」はとても限られた時間のなかでお話しできませんので、今日は「生命の起源」、一番裏腹の関係になります課題をお話しいたします。

生命の起源は3つの方向で調べることができます。1つは最初の生命がどうやってできあがったかを再現して見せる。最終的には、原始生命をつくってみるというやり方です。それから2番目は、逆に現在から過去に向かって生命の歴史を辿っていけばいつかは最初の生命に辿りつくはずですから、そういう歴史を辿るというやり方があります。それから3番目には、私ども生命は進化の産物ですから、今生きている我々自身の仕組みを調べることで最初の生命を推定すること、即ち「歴史を読み取る」というやり方があります。ですからこの3つのやり方で、それぞれ現在の分野でどのようなことが問題とされているかを並べれば、生命の起源に関する解説としては完全になるのですけれども、今お話ししたなかの2番目の「生命を辿る、歴史を辿る」というのは今日はお話ししません。なぜしないかと言うと、それはその分野の専門家であります秋山先生がここにおられるから、とても私にはできない。それから私の信念にもとるからです。私は今紹介を受けましたようにもともと理学部の化学科を卒業いたしました。大学院から「生物化学」という生物学と化学の中間的分野へ進みました。1960年ころ

に出た教科書の1ページ目の第1章の第1節に「生化学者とは」という節がありました。そこにこういうことが書いてありました。「生化学者というのは化学者に会うと生物学の話をし、生物学者に合うと化学の話をする」。この先で、少しあまり教育の場では適切な話ではないのですが、「生化学者が別の生化学者に合うと話すがないから、女の話をする」と書いてありました。これは教科書の最初のページに書いてあったので、以来、私はこれを忠実に守ることにし、専門家のいる前では絶対にその専門の話はしないというのが私の信念でありますので、今日は生命を辿る方はお話しいたしません。ですから1番目の方向で今どのようなことが問題になっているかということからお話しいたします。

現在の生命の起源の考え方は、よく知られておりますように今世紀の前半にロシアの生化学者でありましたオパーリンが言い出した考え方に基礎を置いております。私の最初のスライドをお願いいたします。

最初のスライドはそのオパーリンのお墓です。オパーリンは1894年の生まれでしたので今から5、6年前になりますが、生誕100年を記念しますシンポジウムを1994年にモスクワで行いました。会期中に「一度オパーリンのお墓を訪ねよう」ということになりました。これは、そのときの写真であります。参加者がお花を供えております。彼はロシアのいろいろな分野で貢献のあった人、重要な人を集めているモスクワ市内の特別なお墓に葬られております。寺院のなかにお墓がありまして、たとえば政治家や、歴代の書記長か何かのお墓も傍にありますし、それから私の好きなシャリアピンなどという歌手のお墓もこの近くにあります。オパーリンのお墓がある一角は、だいたい科学者ばかりが集まっているところです。

オパーリンは1922年、まだ30になる前に生命の起源に関する学説をある学会で発表い

たしました。そのときは居並ぶ大家から「何の根拠もない絵空事だ」と言って非常に激しく非難されたのだそうでありまして、その批判にめげずにすぐに出版にかかりまして、彼の最初の「生命の起源」と題する本を出しました。ロシア語で書かれたとても小さな本、「本」と言うよりもパンフレットに近いのです。1924年に出版して、以後、生物学が進歩しましたのでその進歩を取り入れて、何回も書き替えましたが、一番基本になる考え方は変わっておりません。それは物質が発展して生命にいたったというものであります。

次のスライドお願いいたします。

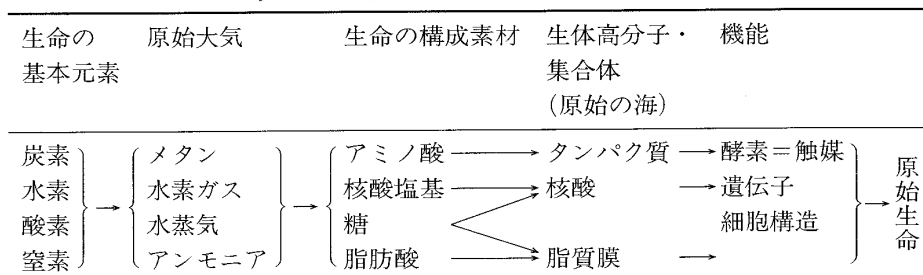
次のスライド(表1)がそれを概念的に書いたものですが、大昔の地球を包んでいた大気(原始大気)、それをオパーリンは、実はあまり根拠なくほとんど直観的にメタン・アンモニア・水蒸気、それに水素というふうを考えました。それに当時の地球の上で自然に得られるエネルギー、たとえば太陽からの紫外線でありますとか、上空の雷とか、そういうものが働いてそこで自然に起こった化学反応の結果、生命を構成している基本材料と言ってよろしいかと思いますが、アミノ酸とか、核酸塩基であるとか、糖などができて、それが当時の海に溶け込んだ。その海のなかでタンパク質に似た物質、あるいは核酸に似た物質ができて、それらがうまく組み合さって最初の生命が生まれたという考え方、物質が発展して生命になったという考え方を出しました。後にキルピンがこの過程、単純な物質が

次第に複雑な物質に、それから複雑な化学反応を行う系ができあがって最後に生命になる過程を「化学進化」と名付けました。それからまた、アミノ酸とか、塩基とか、糖が溶け込んだ栄養豊かな海ができあがったというのは、イギリスの生物学者ホールデンが原始スープと呼びました。「昔の海は栄養豊かなスープのようであった」というのです。

オパーリンの生命の起源に関する考え方は1930年ころから次第に受け入れられていきました。1つは、彼の本が各国の言葉に翻訳されたこと。それから今名前を挙げましたホールデンという人は、もともとはオパーリンがロシア語で本を書いていることは知らないで、全く独立にほぼ同じ考えに達して、イギリス人ですから当然ですが英語の本を書きました。やはり言葉は重要で、英語で本が出たことがこういう考え方が世界に広まるきっかけになったと思いますが、オパーリンの本も各国の言葉に訳されてこういう考えが浸透しました。しかし、初めのうちはこれが自然科学のなかでは風変わりな課題であって、実証、証明、そういうことは不可能な分野だと思われていたようでありましてけれども、それは違います。ただ単に実験の技術がそこまで及んでいなかっただけで1950年ころから、化学進化だけではなくて、先程挙げました3つのやり方、生命の歴史を辿ること、それから現在の生き物から読み取ること、この3つの道全部が実験的な研究ができるようになりました。

次のスライドお願いいたします。

表1 生命の構成要素と化学進化概念



これはミラーという人なのですが、最初に化学進化の実験的な研究を始めたのはユーリーという先生と、その大学院生ミラーです。この2人が始めたというのは今では高等学校の生物の教科書に出ておりますので、高等学校のときに生物を取った方々は皆知っているのですが、ミラーはその実験をするときにまだ21歳でした。アメリカと日本と学校教育のトータル的年数は同じですから、本来ですと正規に大学を卒業するのは一番順調にいても22歳のはずです。21歳で当時シカゴ大学にいましたユーリーのもとに大学院生として入ることになりました。どこかで飛び級をしてきたのでしょうか。そのとき、ユーリーはちょうどそのころ原始地球の出来方を考えていました。ユーリーは、原始地球というのは冷たい星雲のガスと塵が材料になってそれが集まってできあがったので、表面が熱い状態になることはないと思っていました。現在の地球の内部が溶けているのは、一度天体ができあがってから重い物が下に沈み、軽い物が上へいく摩擦熱と、それから放射性の元素をたくさん取り込んでいますからその放出する熱が内部を溶かしていくので、表面は過去の歴史のなかで溶けたことはないと思っていましたので、その条件のもとで原始地球の大気がどのようなものであるかということ計算してみました。そこへ大学院生としてミラーが入ってきたものですから、ユーリーは原始地球ではどのような化学反応が起こるかをテーマにしました。ミラーは大学院生として入ってきたばかりなのですけれども自分で実験の装置を考え出して、原始地球の小さなモデルを作るということを行いました。

次のスライド(図1)を。

図1は教科書に良く出ている解説の図でありまして、ミラーは2つの円いフラスコをガラス管でつなぎました。1つのフラスコのなかに入っている水は海の代わりで、その海が温められ海から立ち昇った水蒸気がもう1つ

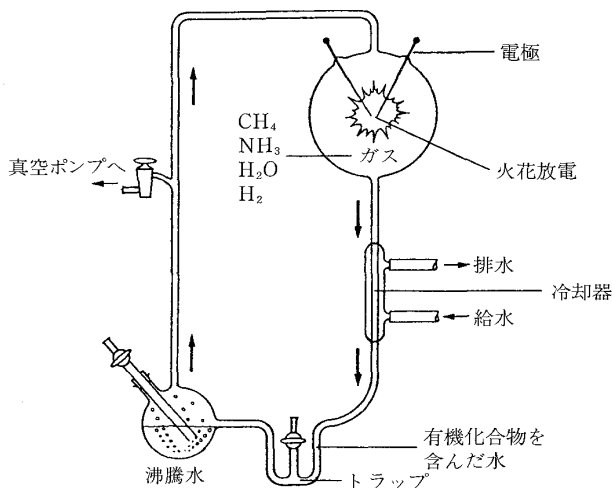


図1 ユーリー・ミラーの装置

のフラスコ、即ち大気圏に入りますと、そこに先生のユーリーが計算して予測した原始地球の大気、それはたまたま直観的にオパーリンが予言したものと定性的にはほぼ同じであったわけですが、メタン・アンモニア・水素の混合ガスであって、そこへ水蒸気が入って雷の代わりに放電して、そして冷却器で水蒸気が冷却され、即ち雨になり、この水滴のなかに放電のエネルギーを受けてできあがった物質が溶け込んで海へ戻るという装置であります。この装置は簡単な装置でありますけれども大変うまくできていて、少し物理化学的なことを言いますと、化学反応が平衡に達しないように、即ち図だけ見ていると気が付きませんが、このなかには水蒸気がいつも動き回っています。ですから放電エネルギーを受けたらその物質をすぐその場から退かしてしまうという非常に巧みな装置であります。これで1953年にミラーは「この海のなかに我々の体をつくっているタンパク質の構成アミノ酸であるグリシンとかアラニンが簡単にできる」ということを発表して大きな衝撃を与えました。以後、この種の実験、即ち原始地球の真似事をつくってそこでどのようなことが起こるか、という研究が世界のいろいろな大学・研究所で行われるきっかけになりました。

次のスライドお願いいたします。

秋山先生もその研究室を訪問されたことがあります。アメリカのポナンペルマという人の研究室で使われていた装置であります。放電を始めると3日目くらいにはなかの放電が見えませんが、そのくらい褐色の油の物質がいっぱいできてしまいます。このできあがった化合物を分析すると、今日ではタンパク質を構成している20種類のアミノ酸のほとんどのすべてのメンバー、それからいろいろな糖とか脂肪酸・有機酸、それから核酸塩基、いろんなものが取れるということがわかりました。ですから日本だけではなく各国の高等学校の教科書にこの実験が紹介されて、生命の始まり、生命の素材をつくる所はまるで問題が解決されたかのように書かれています。

しかし、困ったことに1960年代の終わりから宇宙の観測が進みますと地球のできあがる歴史の考え方が変わってまいりました。これももう皆さんご存じのように今では、小さな天体の塊が衝突し合って地球のような惑星ができたというように考えられますと、衝突のときの熱のために表面の岩石はドロドロに溶けてしまう。岩石が溶けるのですから1,500度~2,000度くらいの温度を考えなければいけません。そうなりますとユーリーの計算は結果が変わってしまいます。温度が変わりますとこの大気圏の主成分は、むしろ今日の火山ガスの成分に近くCO₂（二酸化炭素）、あるいはCO（一酸化炭素）を主体としてメタンではなくなってしまう。そういうような条件のもとで放電の実験をしても全く何もできないわけではありませんけれども、メタン・アンモニア・水素といった混合ガスのときのように生体に関係のある物質がたくさんできるというわけにはいかなくなってしまう。そこでユーリー・ミラーの実験が全部違っているというわけではありませんけれども、この実験の条件は正しくない。シナリオを少し変えて、これは地球の上では

起こらなかったが他の天体の上で起こってそれが地球に届けられたとか、あるいは地球ではごく限られた場所でだけ起こったとか、少し筋書を変えなければいけなくなりました。

次のスライドお願いいたします。

先程ご紹介いただきましたように、私は1983年に東京工業大学に行くことになりました。そこへ行ったらびっくりしたことに理学部が加速器をもっています。これは日本の大学の理学部としては、ひょっとしたら東京工業大学の理学部だけ。自前で加速器をもっているのですから、簡単にそれを利用した実験ができます。バンデグラーフ型の加速器という非常に小さい加速器なのですが、そのお陰でプロトンを加速する実験ができました。太陽からプロトンが放出され、太陽系の内部では最も重要なエネルギー源の一つです。加速器を使うと、それを真似することができる。地球の表面で起こっても良いのですが、むしろ惑星間の間の塵のような所、あるいは隕石のような所で、このプロトンを受けて何か生命に関係のある物質ができないかという実験を行いました。

この写真には、加速器の部分は何も写っていません。壁があってその向こうが加速器なのですが、そこで加速されたプロトンが最後にガラスの容器の所へぶつかるようになっていきます。ガラス器の内部には、二酸化炭素など新しい考え方の原始大気モデルを入れて、それから海の代わりに水も入れてあります。こういう装置を使って実験をします。そうすると次のスライドのように、二酸化炭素と窒素ガス・水蒸気といったような今日の火山ガスに近い成分からでも、いろいろな種類のアミノ酸、たとえばグリシンとかアラニン・セニン・アスパラギン酸といったようなアミノ酸ができてきていることがわかります。ですから、私どもは生命の材料ができるための実験、ユーリー・ミラーの実験は100%正しいわけではないけれども、しかし簡単なガスか

ら生命の素材ができるということを実験的に証明したという意味ではやはり価値があって、多少の修正は必要ですけれども、ユリー・ミラーの実験の学問的な意味はやはり高いものがあるというふうに思っています。

この他にもいろいろな実験の可能性があり、若い人の自由な発想が望まれるのです。ミラーが21歳であったように、それからオペリンが説を出したのは30前であったように、若い人が是非たくさん参加して欲しいのです。実験にはまだまだ可能性があり、たとえば、海の底では熱水が噴出する場所があります。その岩石圏のなかをマグマに温められた水分が固い岩石のなかで圧力を跳ね返して動いているときには、水が超臨界と呼ばれる状態、水が液体とも気体ともつかないような状態になりますので、そういう特殊な条件の所、温度が高く、すごい圧力を受けているような所で、やはり二酸化炭素とか一酸化炭素から生命の材料ができるのではないかと、というような考え方で、特殊な装置をつくって調べようとしています。アメリカのNASAでは、星と星の間の塵の上で生命の材料ができないかというので、高真空のなかで砂（シリカ）の上に素材となるガスを吹き付け、紫外線を当てて実験をしています。いろいろ工夫をこらした研究が行われています。ですからとても楽しみの多い研究分野です。ですけれども、今日は時間の関係がありますので、第3の研究のやり方、現在私どもが生きている所から歴史を読み取る方法をお話いたします。

1950年代に、タンパク質のなかのアミノ酸の並び順を決めるということができるようになりました。そうするとびっくりしたことに同じ働きをしているタンパク質、たとえば動物のなかで血液のなかにあって酸素を運んでいるヘモグロビンはどの動物も同じように見えたのにも関わらず、動物ごとにアミノ酸の並び順は少しずつ違っているということがわ

かりました。しかもこの違いは、生物の分類学が教えてくれた近い関係の生物の間はあまり変わっていません。たとえばヘモグロビンですと、私たちとゴリラとチンパンジーは全然変わっていないのです。皆一緒なのです。ですけれども、中くらいの高等さのサル、日本ザルくらいになりますと1ヶ所違う。それが馬とか犬になりますと10ヶ所くらい違う。そういうように生物の系統が離れば離れるほど、違いが大きいということがわかってきました。

そこで次のスライドお願いいたします。

今日ではタンパク質だけではなく、遺伝子の中の塩基配列を調べて、それがどのくらい似ているかも調べます。それらの結果から、系統の関係を描くことが出来ます。このようにして描いた系統関係は、化石から調べられていた系統と非常に良く似ている。そうすると、この方法は化石に乏しい古い時代の進化の様子が調べられることになります。生物のタンパク質・遺伝子の構造から、生物の進化を論ずるといって新しい学問領域が1970年ころから成立してきました。「分子進化学」と呼びますが、これは化石の記録が残らない、あるいは残っていても非常に情報が乏しい微生物の進化を論ずることができる。目に見えない大きさの微生物を「どれがより進化していて、どれがより原始的か」ということが決められます。化石ではほとんどそういうことができないので、たいへん威力があります。この分子進化学が発達して、1980年ころから地球の生物は大きく3つのグループに分けなければいけないということになってまいりました。

次のスライド(図2)は現在の分類学を表わしていますが、3つのグループに分けるといことになります。この考え方はもちろん非常に新しいものです。専門家は1980年ころからこういう考え方に達したのですが、10年ほどはなかなか受け入れられなくて、1990年

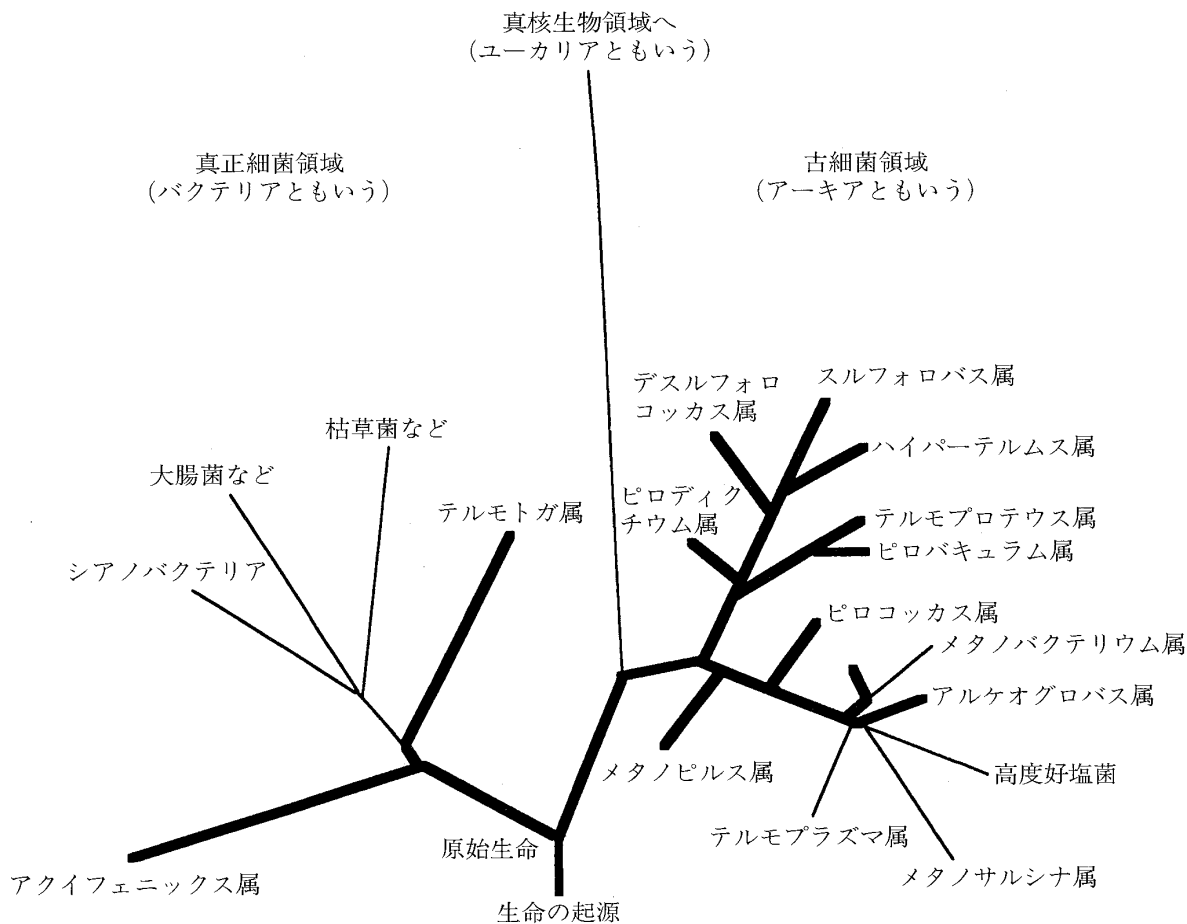


図2

ころになってようやく採用されるようになり、この10年間に出了専門分野の教科書、たとえば「生化学」「微生物学」「一般生物学」というようなタイトルの本の全部が、この新しい分類学を取り入れているのです。なぜか高等学校の教科書は未だに無視しているのです。ですから今ここにおられる学生の方も初めて聞くのだと思いますが、今日の分類学では地球上の生命を3つのグループに分けます。1つは真正細菌（本物の細菌の意、あるいは英語ではただ単にバクテリア Bacteria と呼ぶ）。それからもう1つは古細菌、アーキア Archaea と呼ばれるグループ。それから最後に真核生物（ユーカリア Eukarya）と呼ばれる3つのグループに分かれます。住所と同じで生物の分類学もずっと階層になっています。皆さんは郵便を出すときにわざわざ日本

国とは特に書かないですけれども、それから始まって都道府県があって、市町村があって、というのと同じで分類学も階層になっていますが、私が今お話ししているのは一番上の階層で、ドメイン（領域）と言います。日本語では領域という意味です。ですから今3つのドメイン、真性細菌のドメイン、古細菌のドメイン、それから真核生物のドメインです。皆さんがご存じの生き物の99%までが、真核生物のグループです。即ち人間からはじまって、動物から植物からカビからイーストからミドリムシから皆このなかに入っています。真正細菌のドメインには、大腸菌とかジフテリア菌であるとか、あるいはランソウ（＝シアノバクテリア）が入ります。古細菌のドメインに属する細菌は、非常に奇妙でほとんど日常生活で接することがありませ

ん、飽和に近い食塩水である塩田に住んでいるバクテリアでありますとか、酸素があったらすぐに死んでしまうメタン菌と呼ばれるメタンをつかって生きていくバクテリア、それから温泉のなかに住んでいるような、非常に変わった環境に住むものが多いのですが、恐らく今から 20 億年以上前の世界では、真正細菌と古細菌の両方は争って、ほぼ均等に地球を分け合っていたとされています。この進化の意味していることはこういうことです。原始生命ははじめ 2 つの道に分かれ始め、一方は真正細菌に属するバクテリアにいくグループ、もう一方は古細菌に分かれた。では我々高等生物は何かと言うと、それは両方の合の子です。それは細胞の共生説と呼ばれる考え方で、コスモスという非常に有名な科学教育のテレビ番組をつくったりしたことで有名な天文学者のカール・セーガンという人の最初の奥さんであったリン・マーギュリスという人の説です。ですから共生説を出した最初の論文はリン・セーガンという

名前が出ております。細胞の共生説というのは、我々高等生物の細胞はあるバクテリアの細胞に別のバクテリアの細胞が侵入して、侵入した方ははじめは侵入したつもりであったのですが、やがて虜になってしまっていて、それが単なる細胞の部品に退化したというものです。ただ、この説は生化学的な事実がとてよく合うので、生化学者からはたいへん人気になりましたけれども、ウィークポイントがありました。それは侵入を受けた肝心要の細胞が何であるかがわからなかったのですが、それがこの分子進化の結果わかりました。点線で書いてあるのはこの辺がどうしても誤差が多いので点線で書いてありますが、侵入を受けたのが古細菌、侵入したのはバクテリアだということで、今はほぼ関係している専門家の間で意見が一致しています。

次のスライド (図 3) お願いいたします。

真核細胞は高等で、たくさん細胞のなかに小さな部品をもっていますが、特にそのなかに 2 重の膜をもったできあがっている部品、

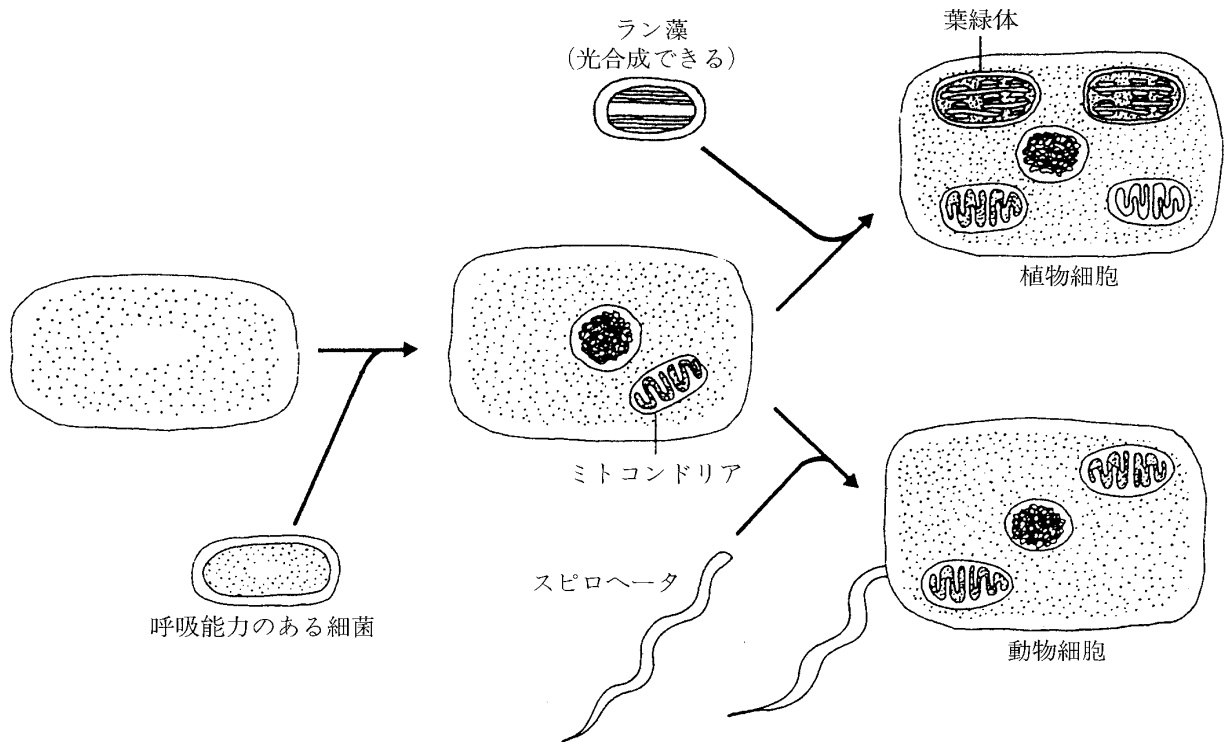


図 3 細胞進化の共生説

ミトコンドリアと葉緑体（植物にしかない）と呼ばれる部品は、ずれももともとバクテリアであったということです。たとえば、ミトコンドリアや葉緑体のなかに独立したDNAがあることからわかります。また、このなかでは独立して独自のタンパク質がつけられるといったような生化学上の事実からとてもよく合うものですから、生化学者はすぐに高等生物は下等な細胞が共生してできあがったという共生説を受け入れたのです。

それから次のスライド（図4）お願いいたします。

ここではATPアーゼ、ATPという細胞のなかのエネルギー通貨をつくるとても大事な酵素を調べています。真核細胞は2種類のATPアーゼを持ち、1つはミトコンドリア（あるいは葉緑体）の内膜の上にあります。もう1つはリソソームとか、液胞とかゴルジ体とかその他いろんな名前の膜が1重膜でできている部品の膜の上にあります。ところがその2つのATPアーゼは性質が違ふ。一方の

ミトコンドリア、葉緑体という2重膜の内膜に付いている方のATPアーゼは、真正細菌のATPアーゼと同じ。それから1重膜の方は古細菌のATPアーゼと同じ。そこで古細菌が真正細菌の侵入を受け、やがて真正細菌は二重膜の部品に退化したとするととてもよく説明できます。図4の上にあるように、真正細菌は侵入しようとした。相手の膜を押しやって自分自身を相手の膜で包むようにして内部に侵入しましたから2重膜になって、そのときもともと持っていたATPアーゼは内膜に付いたままです。侵入を受けた側のATPアーゼも膜の上にあったのですが、偶然その部分が内部に陥没して1重膜の器官をつくと、もとのATPアーゼは一重膜の上に残ってしまう。こうして、生化学的な事実は共生説とよく合う。これは正しい結論だということで、教科書に採用されるようになりました。

図2の中で太い線で書いたのは、「超好熱菌」と呼ばれる特別の温度の高い所で生きているバクテリアが、進化的にどんな位置を占めているかを書いてあります。超好熱菌というのは90度か、あるいはそれよりも高い温度で生きているバクテリアのことです。90度以上の超好熱菌は、真正細菌のドメインにも古細菌のドメインにもどちら側にも見つかる。しかも、どれも系統「樹」の根元なのです。すべてが根元に近いのですから、このまま遡って根元も超好熱菌であったと言えます。我々の全生物の共通する最初の祖先は超好熱菌であったというふうに言えると思います。それを支持するいくつかのデータもあります。

先程挙げました図2は、もちろん全生物の名前は書き込めないで、随分省略があります。ですから少し真正細菌の根元に近い部分を拡大します。図5に示すように、生育の上限の温度を比べると、根元の方から95度（アキフェックスと呼ばれる属の細菌）、90度

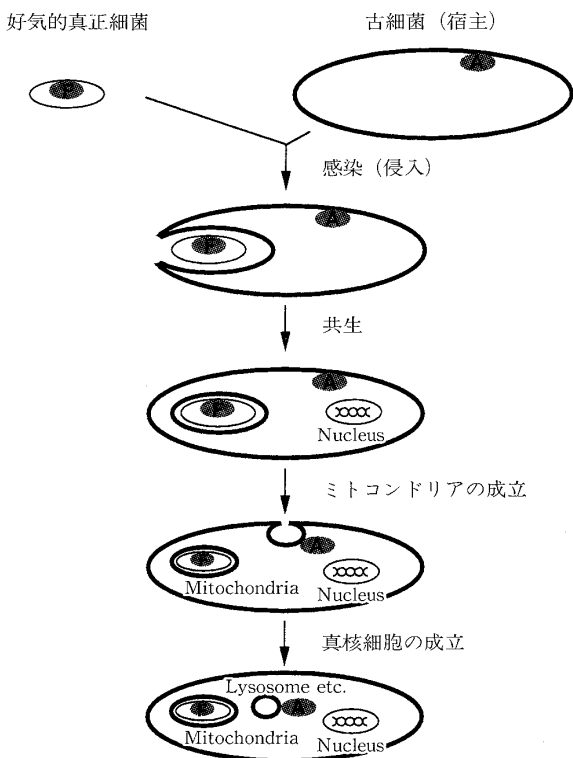


図4 ATPアーゼの進化と細胞構造

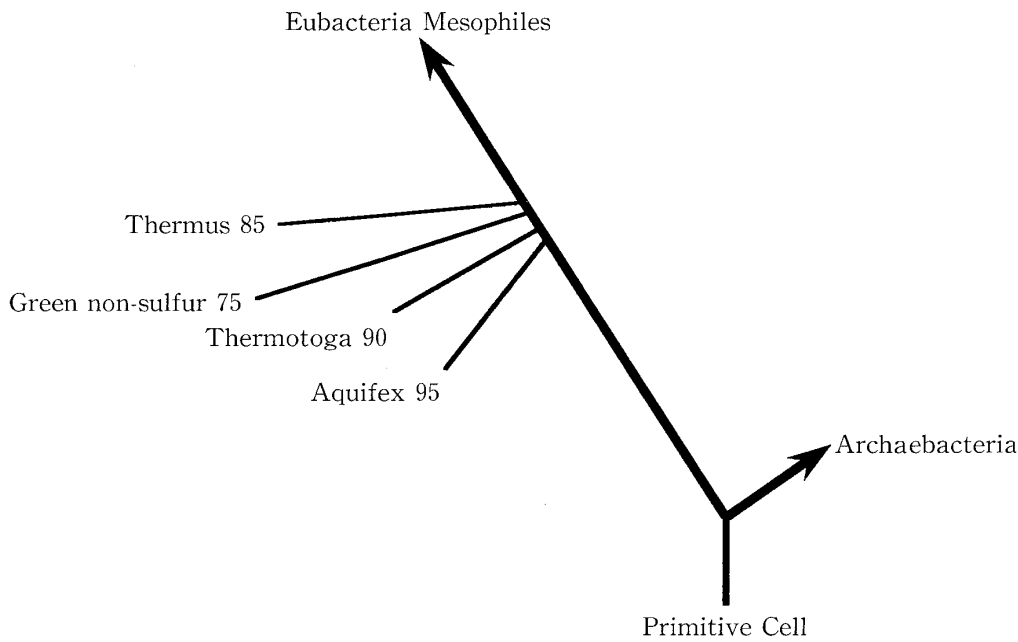


図5 下等真正細菌と生育温度

(テルモトガ属), それからこれは属名がいくつかありますがまとめて緑色非イオウ細菌と呼んでるものが75度,その上にテルムス属の菌が85度まで.根元からほぼきれいに温度の順に並んでいるのです.根元へいくほど高い.しかも,ちゃんと例外があるというところをもっともらしいです.これが全部揃っていると嘘っぽくなるわけですがけれども,ちゃんと例外があるところがいかにも本当らしい.ですから,恐らく原始生命は100度か,それを超えるくらいの温度の中でも生きていける細菌です。「100度超えたら生きていないだろう」と? それは違います.海底火山とか,先程お話ししました海底の熱水の噴出口の周辺は,水圧のために100度になっても水は沸騰しません.そういう所からは100度を超える温度で生きる生き物が取れているのです.原始地球はどうであったかと言うと,高い二酸化炭素の圧力で抑え付けられていましたから,海は100度になっても沸騰などはしません.ですから,たぶん100度くらいの所で生まれたのではないかと思うわけです。「真正細菌

の側だけでは,ずるいじゃないか」とおっしゃる方がいるかもしれませんが,古細菌側を見てもほぼ同じ傾向があります.ほぼ同じ傾向という言い方をしたのは,真正細菌側よりもっと例外が多いからなのですけれども,だいたい根元に近いものほど高い温度だという傾向は読み取れます.ですから,一番最初の生き物はとても高い温度の所で生きていた生物のように思われます.

最初の生命が生まれたころは,海の温度は100度もあった.そのなかから,最初の生命が生まれてきたというふうに考えられるようになりました.生命の「熱水起源」というわけであります.この考え方を支持する生化学的な証拠もあります.

たとえば,一つの細胞内の遺伝子のセットを「ゲノム」といいます.超好熱菌のゲノムは小さいのです.どのくらい小さいかと言うと,文字数(DNAというのATGC 4つの文字からなる一種の言語です)に直して,150万文字です.これがどんなに小さいかと言うと,大腸菌がこの3倍あります.超好熱菌だっ

て、何十億年の進化をしてきました。その間ゲノムも大きくなってきたはずなのですが、それでもまだ大腸菌の3分の1くらい。ですから有名なゲノム計画では、小さいものが決めやすいので、たくさんの超好熱菌のゲノムの構造が全部わかってしまっています。これも先程の温度と同じで、少し例外が多いのですが、根元に行くほど小さい傾向があります。遠くいくほど大きくなります。

次の例は糖の代謝です。細かいことはどうでも良いのですが、ポイントはこういうことです。我々は今でも筋肉のなかでやりますが、グルコースを乳酸まで分解していくと、いわゆる解糖系で2個のATPを獲得しますが、超好熱菌の代謝では1個しか取れない。これは特殊な代謝の経路を採用しているからです。ですからこれは原始的で、わざわざ2個ATPが作れてエネルギー通貨で言えば2単位取れるのに、1のものに進化するはずがありません。1個しか取れないということはこちらの方が古いということです。代謝の上からも超好熱菌はより原始的と言えます。

もう1つ代謝の話がございます。ATPをエネルギーの通貨だと言ったのですが、それよりも単純な分子がADPです。ATPはリン酸基が3つ付いてます。ADPは2個です。ある種の超好熱菌は、この一回り小さな分子をエネルギー通貨とする代謝系を使います。中には、もっと単純でアデノシン(=A)が付いていないただのPP_i、すなわち単なるピロリン酸をエネルギー源として代謝を行うものがあります。非常に原始的な性格が超好熱菌にありますから、超好熱菌は原始的な生き物であり、したがって最初の生命は熱いお湯の中から生まれてきたということが言えます。

もしこの考え方を支持していただけたなら、次のようにいえます。タンパク質の代表は、タンパク質(蛋白質)というのとはもともと「蛋」というのは中国語で卵ですから、卵の白身がタンパク質の代表なわけでありませ

が。ゆでると固まる。そこで、誰もがタンパク質は熱を加えたら固まると思っておられますし、生化学の教科書には「熱で変性するのはタンパク質の属性である」と書いてあります。しかし、それはきっと違います。約40億年前、最初の生命の生まれたころのタンパク質は、とても丈夫で熱変性などしなかったはずなのです。今日我々が教科書で知っているタンパク質は、およそ40億年の進化の間にあちらこちらで傷み、ぼろぼろになった分子のことです。私が主張したいのは、私が研究しているような超好熱菌のなかのタンパク質こそ本物のタンパク質であるということです。実際、超好熱菌のタンパク質は100度くらいで変性するものはありません。

それで今日はもう時間がないので、詳細は申し上げませんが、タンパク質、あるいは酵素は今いろんなところで使われます。洗剤だけではありませんので、たとえば若い人のジーンズ、ストーンウォッシュというのがありますけれども、ストーンウォッシュという名前のおり石などは使っていません。新しいジーンズを作るときには、好熱菌から取ったセルラーゼという酵素で処理されるのです。何が良いんですか、あんなの。新しい方が良いと思うのですが、これで表面を傷つけると若い人に喜ばれ、売れるのだそうで、何が傷ついたズボンが良いのかよくわかりませんけれども、バイオの会社が儲かってますから、ストーンウォッシュ大いに結構だと思います。そのほか酵素はいろいろ利用できます。丈夫な酵素は利用しやすいはずで

最近の生命の起源の考え方をもう1つだけご紹介いたします。次のスライドお願いいたします。

最初に、「生命の定義は誰も一定したものがない」と言ってそれ以上お話ししませんでした。私の専門分野であります生化学、あるいは分子生物学をやっている人が生命をどう定義しているかと問われれば、それは「進化

する分子を部品とした情報機械」です。要するに生命というのは子孫を残すことが大事で、子孫を残すということは「どういう生物になりなさい」という情報を子どもに伝えているだけの機械です。情報機械ですから、コンピュータと対比することができます。部品がコンピュータの場合はトランジスタ、あるいはそれが集積したICでできあがっているのに対して、生命は有機の分子でできている情報機械です。

情報機械ですから、当然生命もソフトウェアとハードウェアに分けることができます(表2)。生命のソフトウェアは遺伝子です。遺伝子の化学的な物質としての実態は核酸です。人などの生物ではソフトウェアはDNAですけれども、ウィルスのなかにはRNAを遺伝子としているものがありますから、まとめると核酸と言えます。ハードウェアは、機械に当たるところですから酵素、あるいは細胞の構造ですが、そのどちらにしても主役はタンパク質です。ですから一言で言ってしまうと、生命とは核酸をソフトウェアとしてタンパク質をハードウェアとする情報機械です。

生命の起源はそうすると3つの考えにまわってしまう。1つはソフトウェアから始まった。あとからハードウェアがくっついてくる。第2はハードウェアが始まった。あとからソフトウェアがくっついてくる。もう1つ3番目は一番虫がいい考えで、両方同時に始まった。皆さん方がコンピュータを買うときはたぶんこの3番目で、コンピュータだけ買ってソフトは何も買わないという人はまじいと思うのですけれども、たまにはいる

のです。いるといいますのは、10年よりもっと前に非常にまだ情けないパーソナルコンピュータが出始めたときに、私は小学校の高学年であった長男と3年生であった次男の2人にコンピュータを習わせることが目的で8ビットのコンピュータを買いましたが、「何もゲームさせるためではない」というつもりであったのでソフトは買いませんでした。そうすると私の思惑どおり勝手に自分たちでBASICを覚えて、さらには機械語も駆使して自分たちでゲームを作るようになったのです。ここまではしめしめであったのですが、いろいろ悪いことがあって、たとえば次男はまだ英語を習ったことがなかったのに、BASICを始めますと後には英語の試験まで強くなって、なにせスペル1つ間違えてもコンピュータ受け付けてくれませんから、スペルにはものすごく強いのですが、発音する必要がないので絶望的な英語を習った。たとえば、イエスなどと言わないのです。彼はワイイーエスと全部スペルをアルファベットですばやく言うという、すごい英語を習ってしまったので困ってしまったのです。ところがそれをやったら「あーこれが生命の起源だ」と思ったのです。パーソナルコンピュータというのは、昔も今も値段というのはちっとも変わらないのです。そのころでも何10万円なのです。ですからそう簡単には子どもに買ってやれないので、近所の同級生が、ソフトは数千円ですから(そのころはカセットテープ)、ソフトウェアだけ買ってうちへ遊びにくるわけです。ですからソフトウェアのみを起原とする例です。ついでに言うと、ウィルスはまさにソフトウェアです。ほとんど本体が遺伝子だけで周りにタンパク質の殻を被っただけの存在がウィルスです。これが感染する。これが私は進化論からいくとおかしいと思っていたのです。要するに、なぜ皆さん方はインフルエンザにかかるのか。何も得しないのならば、インフルエンザに対する抵抗性を獲

表2 生命は「進化する分子情報機械」

	ソフトウェア	ハードウェア
役割	生命情報の保存	生命情報の処理
生物学的部品	遺伝子	細胞・酵素
化学的実体	核酸DNA/RNA	

得した人が進化で生き残って、今ごろは500万年も進化したのですから誰も風邪をひかないはずなのです。それは何か風邪をひいて得することがあるはず。それを自分の子どもを見ていたら思いついたのです。わが家の子どもは、近所の子どもがソフトを買ってきて「使わせて欲しい」と言ったら、自分のコンピュータで遊ぶ時間を割いてちゃんと友達に使わせる。なぜじっと傍で我慢して友達がゲームやっているのを見ているかと言うと、何回かそれをやると子どもの間で交渉が成立して、違法なのですけれどもコピーを取らせてもらう。要するにソフト・ライブラリーが増える。恐らく人間もそうなのです。ウィルスが運んでくる外来の遺伝子で儲かることがある、というふうに思ったのです。

それからハードウェアだけ、それもあります。我々の赤血球は細胞が赤血球に分化した途端にDNAは捨てててしまいます。ですから我々の赤血球はハードウェアだけです。ソフトウェアはもっていない細胞＝情報機械ですが、それだけ見事に高い山の上に行けば、高地適応して高山病にならないようにヘモグロビンが変化してみせます。これはコンピュータで言えば、ゲームのソフトもフロッピーを抜いてしまっても、1度立ち上げてしまえばスイッチを切るまではゲームができるのと同じです。ハードウェアだけの生物現象は見ることができます。このように生命の起原は3つの考え方に分類できます。

数年前、RNA(核酸の一種)がタンパク質

のように働く分子、即ちハードウェアの役を果たせるということがわかりました。今日では触媒として酵素のように働くRNAのことをRNAの酵素という意味で「リボザイム」と呼びますが、このリボザイムが発見されると、ハードウェアもRNA、ソフトウェアもRNAでできた生物を原始生命と考えたら良いのではないかということになりました。そういう考え方が非常に有力になって「RNAワールド仮説」と呼ばれる仮説ができあがりました。即ち原始生命はRNA(核酸)をソフトウェアとしてもハードウェアとしても使っていた。これはとても人気を博して、今では一部の教科書は、これで生命の起原の基本的な問題は解決されたと書いてあります。しかし、RNAワールド説は完全ではありません。2つ欠点があります。1つは、確かにハードウェアとして働くRNAは発見されましたが、大部分は分解反応です。厳密な意味で合成反応を触媒するRNAは1つも見つからない。ですから化学反応が限定されている。もう1つ、生体の高分子のなかでRNAがとびっきり熱に弱いのです。ですから、生命が熱水から始まったとする説とRNAワールド説は矛盾してしまう。これを解決する道を探ることは、当面の大きな課題の一つであります。私は是非若い人がこういう問題にチャレンジして欲しいと思います。この分野のコマーシャルをして、私の話しを終わりにしたいと思います。どうぞご静聴ありがとうございました。

大島講演に対するコメントと質疑

司会：大島先生，どうもありがとうございます。
ました。

それでは先程と同様にご質問をお受けしたい
と思います。

上島：「生命の進化」で常識となっています
ダーウィン説についてお聞きします。高等生
物と下等生物の大きな違いというのは，意思
ですとか，意識ですとか，感情ですとかです。
別な言葉を言えば，精神ですとか，魂ですと
か，そういった言葉に置き換えられると思う
のです。我々の肉体はすべて地球上に存在す
る元素でできていると，今のお話を伺いまし
た。しかしながら，我々と同じようなほとん
どの哺乳類，犬，馬，イルカ，鯨がもってい
るような自我，意識や感情というものを単純
にダーウィンの時系列的な進化の必然という
ふうを考えるよりも，下等生物が高等生物に
移行するとき何らかの外部からの干渉が
あったと解釈するのが相当ではないかと私は
思っています。人間の意識を単純に電気信号
の伝達，神経細胞の伝達で片付けて良いもの
かどうかをお聞きしたいと思います。

大島：もちろん今のご質問はとても難しいご
質問で，完全な答えはありません。

私が主張したいことと言うか，私の立場を
こういうふうに説明したらおわかりいただけ
るかと思います。先程「生命とは何か」と聞
かれたら，「機械である」と答えるという立場
をお話いたしました。私どもの立場は，「分子
を部品とする機械だ」という考えに立って，
脳神経の働きなどを含めて生命の現象のすべ
てを説明したいと思っています。今ご質問の
ように「じゃあ，それが魂，あるいは脳・神
経活動の始まりも説明できるか」と言われた
ら，それは「絶対できる」とは誰も答えな

だろうし，「できない」とも答えられない。た
だ，私どもは，生命に関わる複雑な現象でも，
それを構成している部品に分解して，その部
品1つ1つの性質や構造を決めれば，全体が
総合的に理解できるという立場を取っている
わけですが，これで「必ず解明できるか」と
いう今のようなご質問には「絶対に解けます」
とは答えられない。この立場で我々はいける
ところまでいく。それで「もうだめだ」となっ
たら考え直すけれども，今はこの立場でやる
ことがまだたくさんあります。脳神経の問題
にしてもです。ですからいける限りは，生命
は分子を部品とする機械として説明できる
という立場にしがみつくといいですか，これ
を守り抜くつもりです。

先程，私が「高等生物は2種類の下等な生
物の混ざりだ」と言ったのですけれども，こ
の考えを支持する例を一つあげると，脳のな
かではアセチルコリンエステラーゼという非
常に重要な酵素があります。どんなに重要か
というと，知られている限りの酵素で，これ
ほど活性の高い酵素はないのです。それは脳
から出た信号物質であるアセチルコリンは速
やかに消さなければ，次の信号が伝わるはず
がありませんから。ですから，信号物質を分
解するためのアセチルコリンエステラーゼは
我々の知っている限り，何千種の酵素が調べ
られたなかで最も活性が高い。ところが，こ
の酵素の構造が，バクテリアが自分の餌を消
化するためのセリンプロテアーゼという酵素
の構造とそっくり同じなのです。ですから，
これは進化的にバクテリアのセリンプロテ
アーゼをちょっとひとひねりして，神経の働
きのなかの部品に変えたという強い証拠で
す。ですから，そういう考え方で進化的な起

源も含めて、脳の部品の1つ1つの、脳を構成している要素をそういう目で調べ抜いて、それでなおかつ人間の思考とか記憶が説明できるならこの立場を放棄しない、というのが我々の立場であります。

男性：今の質問の答えに関して少し疑問があります。神経のニューロンの応答時間は、酵素の活動の早さでなく、シナプスの膜電位が立ち上がって落ちる早さが決めていると思うのです。この落ちる速度を決めるのは酵素ですか。

大島：少なくとも神経伝達物質は、仕事が終わったら速やかに除去しないと、次の信号が伝わらなくなります。

男性：膜電位が落ちる速度が決めるならわか

るのですけれども、神経の応答速度を決めるのは酵素ですか。

大島：次の信号を伝えられるための回転の速度は、各素反応毎に速度が違います。膜電位の分極は膜の物理化学的な現象ですから、酵素反応より速いと思います。しかし、系全体は一番遅いところで決まってしまう。アセチルコリンではその分解の酵素反応、グルタミン酸を伝達物質とする系ではその膜を介しての取り込み、ということは結局はやはり取り込みの酵素の反応が一番遅いと予想されます。

司会：まだいろいろとご質問あるかと思いますが、休憩させていただきます。

この次は岩田先生の講演です。