

# 生命科学（ライフ・サイエンス）の動向から見た 「道德科学研究」の一課題

細川 幹夫

## 目次

- 序説
- 一、生命科学（ライフ・サイエンス）の動向概観
- 二、「生命」をどう捉えるか
  - (一) 生物物理学的アプローチ
  - (二) 生化学（分子生物学）的アプローチ
- 三、生命の連絡に関する実像の探究

## 序説

広池千九郎著『道德科学の論文』の第三緒言第二条に「将来・・・引き続き研究を必要とする諸項目の大意」が三四項目にわたって示されている。この項目の一部は研究されてきたが、第一項目に掲げられている「生物及び人間の生命の連絡に関する研究」については、これまであまり着手された気配がない。かつて筑波大学の辰巳修三教授が取り組んだことはあったが、その後だれも着手していない。それはこのテーマを専門に研究する研究員がいなかったせいもあるし、また「生命」の研究が難解であったためもあり、さらにこの研究テーマの重要性

がよく理解されなかったということもあつたのではなからうか。

その詮索はともかくとして、最近、このテーマが重要になってきた。それは「生命科学（ライフ・サイエンス）」という科学が急速に発展してきたからである。その発展の引き金になった大きな原因は、世界人口の増大とそれに伴う食糧難や飢餓、資源の枯渇というような危機への認識であり、さらに先進工業国によって引き起こされた大気・水・大地の汚染というような地球規模の環境問題の発生、恒常的な原子力戦争の可能性や遺伝子操作による生物兵器開発の可能性によって、人類の生存の条件が脅威にさらされはじめたことにある。

このような危機を生みだした根本的な原因は、われわれの住んでいる地球自然が無敵なものではなく、有限なものであるということにある。つまり、これまで人類は地球の資源や自然は無敵であることを暗黙の前提にして、その資源や自然を発達した科学技術力を使って開発して、人類の繁栄を達成しようとした。ところが、人類は食糧とエネルギーの危機に遭遇し、また健康をむしばむ公害問題にぶつかって、従来の「無限の資源や自然」という考え方から発想の転換を余儀なくされるようになってきた。今後この危機を乗りこえて新しい時代を生き延びるためには、人類は宇宙船地球号という狭い閉鎖世界の中でどのように生きるかという問題にとり組まざるをえない。

このような先行きの暗い地球問題に対して、プリンストン大学のG・K・オニール教授のような途方もない計画（つまり、ラグランジュ定点に壮大な人工衛星を建造し、そこへ人類を移住させるというもの）もあるにはあるが、いまのところ人類が住める天体は地球以外にはなく、人類と地球環境との相互関係はいま大きな問題になっている。これが一九六〇年代後半に世界で「環境科学」という新しい科学を生みだし、相前後して「生命科学」をも生みだした原因であるが、なかでも広池千九郎の残した課題「生物と人間の生命の連絡に関する研究」は重

要な研究課題である。

一般に、一九三〇年代と一九八〇年代の世界人類の抱える諸問題は酷似しているといわれている。一九二八年に出版された『道德科学の論文』において提示された課題が現代にのみがえるのは、そのためであろう。道德科学（モラロジー）の目的は人類の生存・発達・安心・平和・幸福を実現する専門学たんとするところにあるのである。

本稿は、環境科学や生命科学の動向から見た道德科学の課題、「生物と人間の生命の連絡に関する研究」に端緒を開く試みである。

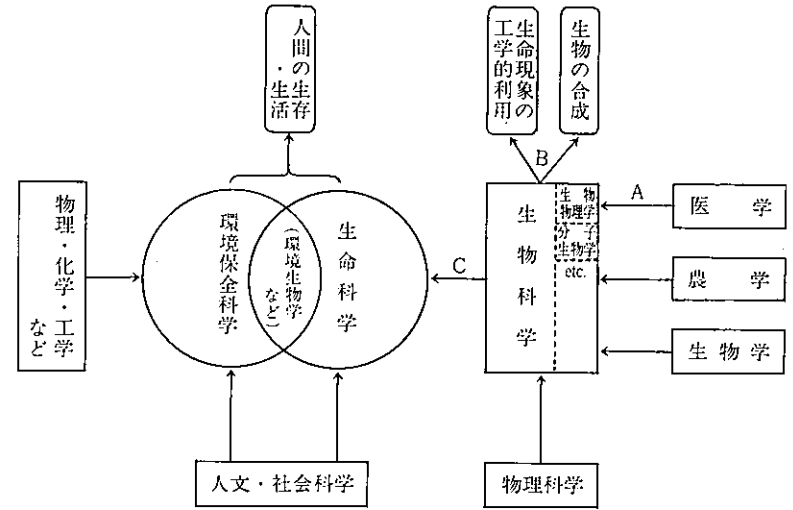
## 一、生命科学（ライフ・サイエンス）の動向概観

生命科学という用語は life science の訳語であるが、この言葉はいつ頃から、どのような意味をもって使われはじめたのであろうか。

まず「いつ頃か」という点について、三菱化成生命科学研究所の所長であった江上不二夫は「四〇年ほど前（一九四〇年頃）に用いられたことはあるようだが、それが学問的社会的要請によって広く用いられるようになったのは一九六〇年以後のことだ」という。柴谷篤弘もほぼ同じような時代を指摘している。<sup>(1)</sup>

それに対して、松尾孝領は「一九七〇年代以降の科学・技術の重要な課題として生命科学がとりあげられるようになった」とし、生命科学は環境保全科学と相前後して成立したことを認めている。この点では、渡辺格も同じような社会的時代的背景を考えているようだ。<sup>(2)</sup>

第1図 生命科学への発展を示す模式図



生命科学の意味内容も必ずしも一様ではない。まず、生物化学専攻の江上不二夫は、生命科学がしだいに醸成されてきた歴史過程を「生命力説から生化学、分子生物学、生命科学へ」という流れの中で捉えながら、しかも生命科学は一九六〇年以後の社会から要請された「人間生活のための生物学」であると捉えている<sup>5)</sup>。これに対して分子生物学者の渡辺格は、人間の「宇宙船地球号での生き方」を認める新しい人間観の台頭の中で生命科学を位置づけ、人間の危機に 대응する総合的なライフ・サイエンスを構想しているようだ。したがって、「それは分子生物学によって融合された自然科学に裏打ちされた社会科学・人文科学をも含んでいる<sup>6)</sup>」。

このような広がりをもった総合的な生命科学の性格づけは、松尾孝嶺もとっている。松尾によれば、一九七〇年代になってから科学・技術のあり方が根本的に問い直されてきた。それは科学・技術の発展による物質文化の向上が、他面で自然破壊や環境の汚染を急速

に進め、人類の生存を脅かすようになってきたからである。そして、人間生活の科学が置き忘れられているとの反省がおこり、生活科学の発展が企画されるようになり、さらに分子生物学などの輝かしい成果もあって、生命そのものの科学の重要性が強調されるようになった。このようにして、人間の生存を守るための科学が重要になってきた。これらの諸問題はいずれもライフ・サイエンスの言葉の中に含まれているので、価値の問題も組み込まれている。

松尾の考える「生命科学への発展を示す模式図」は、第一図のように描かれている<sup>5)</sup>。この図式については多少議論する余地はあるが、しかし松尾の考え方を理解する上でそれは大いに役立つし、また、われわれの生命科学に対する理解と展望にも大いに参考になると思われる。

生命科学は誕生したばかりで、その性格規定や研究動向はまだ明確であるとはいえない。しかし、その意義と課題は一応理解できるのではなからうか。生命科学は、これまで分化発展してきた諸科学をもう一度統合して、人間生活のために役立てようとする科学である。

本稿の目的は生命科学の動向をこれ以上詳細に検討することではないので、この程度にとどめるが、筆者がとり上げようとする「生物と人間の生命の連絡に関する研究」の意義や方向は、生命科学や環境科学に関連させて位置づけられるのではないかと考えている。

## 二、「生命」をどう捉えるか

「生物と人間の生命の連絡に関する研究」で最も困難なのは「生命」の概念把握である。生命をどう捉えるか

がまず問題になる。

「生命」という言葉がいつ頃造られ、その意味内容がどのように変遷してきたかは定かではないが、現在では次のような二種類の意味内容をもっている。第一の意味は「生物が生物として存在しうるゆえんの本源的属性として、感覚・運動・生長・増殖のような生活現象から抽象される一般概念」（広辞苑）であり、第二の意味は「物事の存在にかかわるような大切な点・もの」という意味である。後者は第一の意味から発展したものと考えられるから、生命は生物の本源的属性から抽象される一般的概念だということになる。

このような一般的概念の内容はどのようなものであろうか、もつと具体的に検討してみよう。人文学的な概念はさておき、まず最初に、自然科学的な概念についてみてみよう。

自然科学の分野で「生命」の把握を目的とした学問といえば、生物学や生理学があり、農学や医学のような技術の分野もある。しかし、近代科学としての生物学・生理学の発展は、物理学や化学よりもはるかに遅れていた。その遅れの原因は、すでにA・コントが『実証哲学講義』の中でとり上げていることであるが、この学のもつ総合的性格のゆえである。この総合的性格は理論生物学専攻の柴谷篤弘も指摘している。

柴谷によれば、生命を簡潔に定義することはむずかしいという。この地球上には、千変万化、実に多彩な姿かたちをとった生命が満ちみちており、表面的な観察から、それらの生物のすべてに共通する属性をひき出すことは、容易なことではないからである。これらの多彩な形態に執着しているかぎり、生命を簡単なことばで定義することはとてもできない、と言うのである。

ただ、彼は生命探求の歴史過程と現代の生物学の段階を、次のようにみている。

生物学が動物学と植物学で代表されるという準備時代は過ぎ去って、現在では生命の科学の基礎となる観点

は、物理学や化学から、医学や農学で従来主としてとりあつかわれてきた諸問題にまでひろくわたっている。

生物学はいまでは一つの壮大な総合科学で、そこではいろいろな領域がわちがたく融合しながら、生命の基本的理解をめざしているのである。<sup>(6)</sup>

ここにもるように、生物学における生命観を最初にとり上げると、問題が複雑になって得策ではない。そこで、近代科学としての生命の科学の基本的な動向を、その実際の歴史過程を無視して、物理学と化学の動向から解明してゆくのが最もよいルートとなろう。

#### (一) 生物物理学的アプローチ

「生命の科学」は物理学の側面からも探求され、現在では「生物物理学」という専門領域も成立しているほどであるが、そもそも物理学は生命現象をどのようにみているのか、生命現象にどのようにアプローチしているのかをみてみよう。

【エネルギー論的見解】 まず最初に、伝統的な物理学（エネルギー論）の立場から、生命現象にアプローチした物理学者がいる。たとえば、フランスの物理学者A・ブータリックは、物理学のエネルギー論を基礎にして「生命の物理」現象をかなり詳細に探求している。その内容は紙数の関係もあって、ここでは触れられないが、訳者の真木昌夫はブータリックのアプローチの欠陥を「量子論からも生命現象に言及してもらいたかった」という形で論評している。<sup>(7)</sup>

【エントロピー論的見解】 これに対して、現代の物理学の成果（量子論）から生命現象にアプローチしたものに、E・シュレーディンガーの『生命とは何か―物理的にみた生細胞―』がある。シュレーディンガーは古典的な物理学の諸法則から生命現象を説明したのではなく、新しい量子力学の立場から生命現象を眺め、熱力学の

第二法則から導かれるエントロピー (entropy) の原理を使って生命現象の属性の説明を試みたのである。

まず物理学的な観点から自然現象を見ると、それは統計学的な法則を示している。統計学的法則とは、ものごととは放っておけば自然に無秩序な状態へ変わってゆく傾向があるということである。ところが、「生命は秩序のある規則正しい物質の行動であって、それは秩序から無秩序へと移り変ってゆく傾向だけを基としているものではなく、現存する秩序が保持されていることも一役買っている」のである。

シュレーディンガーは生命あるものは崩壊して平衡状態になることを免れることに注目している。生命というものだけある特徴として、生物が生きている時には、動くとか、周囲の環境と物質を交換するとか等、「何かすること」を続けており、しかもそれは生命をもっていない一塊の物質が同じような条件の下で「運動を続ける」だろうと期待される期間よりも、はるかに長い期間にわたって続けられるのである。生きていない一つの物質系が外界から隔離されるか、または一樣な環境の中におかれる時には、普通はすべての運動がいろいろな種類の摩擦のために、はなはだ急速に静止状態になり、電位差や化学的なポテンシャル差はならされて一樣になり、化合物をつくる傾向のあるものは化合物になり、温度は熱伝導により一樣になる。そのあげくには系全体が衰えきって、自力では動けない死んだ物質の塊になる。目に見える現象はなにな一つ起こらない、ある永久に続く状態に到達するわけである。物理学者はこれを熱力学的平衡状態、あるいは「エントロピー最大」の状態と呼んでいる<sup>(8)</sup>。

ところが生物体はこの平衡状態になるのを免れている。これははなはだ不思議な現象であると考えられ、人間はその謎を超自然的な力に求め、それをこれまで「生命力」(vital force) とか、「エンテレキー」と呼んできた。ある一派はいまだにそれを主張し続けている。

このような生気論的な考え方に対して、シュレーディンガーは生きている生物体が崩壊するのを免れる理由を、次のように考えている。すなわち、生きている生物体はものを食べたり、飲んだり、呼吸したりして、外界からとり入れた物質を物質代謝によって吸収・同化している。換言すれば、生物は常に物質の交換をしながら生きているわけである。その場合に、生物は現在流行しているカロリー（エネルギー含有量）計算で示される食品を食べていくのではない。というのは、生物体は一方で常にエネルギーによってエントロピーを増大させ、生体を無秩序にする作用をもっているからである。これは生物が死の状態に近づくことを意味している。生物が生き続けていく唯一の方法は、周囲の環境から「負のエントロピー」を絶えずとり入れることである。そこで生物体が生きるために食べるのは「負のエントロピー」（生物体の秩序を保つエントロピーのことで、正確な物理学用語を使えば、「自由エネルギー」のこと）である。これをもう少し逆説的に言うならば、物質代謝の本質から言えば生物体が生きている時に生じる「正のエントロピー」はすべて外に排出せざるをえないのである<sup>(9)</sup>。

【弁証法的見解】 著名な物理学者であるシュレーディンガーのこのような物理学的生命観は激しい議論をまき起こしたが、それだけに影響はすこぶる大きく、生物物理学成立の先駆けとなった。たとえば、ノーベル生理学医学賞の受賞者であるA・ルヴォフは、シュレーディンガーのエントロピー説を正しく受けとめて議論している。すなわち、「シュレーディンガーは、すべての自然現象はエントロピーの増大を意味し、生物は継続的にそのエントロピーを増大し——つまり、正のエントロピーを産出し——ついには、死というエントロピーの極大状態に接近するものであると述べている。たしかにそのとおりだと思う。生物とは環境からたえず負のエントロピーをとり入れてこそ、生き続けることのできるものだ」とシュレーディンガーは述べた。彼によれば、負のエントロピーとは、「…秩序の尺度なのである。」<sup>(10)</sup>「彼によれば、生物とは環境から秩序を汲み上げることによって、その固有な秩序を維持していくものである。」

この考え方はプリルアンによって裏打ちされているが、ルヴォフによれば、シュレーディンガーの考え方は物理学的観点からも生物学的観点からも「検証」されるべき問題である。そして、ルヴォフは生物の秩序の唯一の源泉が生物の秩序の再生産にあることは認めながらも、「生物の秩序の維持はその再生産と同様に同じ物質代謝という過程に依存しており、その物質代謝はエン트로ピーの増大と相関関係がある」ことを認め、シュレーディンガーの表現が誤解を産みやすいことも指摘している<sup>(11)</sup>。

このルヴォフの指摘は、生命現象にブータリツクの認めたエネルギー論的側面とシュレーディンガーの認めたエン트로ピー的側面の両側面が存在することを認める弁証法の見解である。この生命の二面性は、現在では、遺伝子を構成している核酸 (nucleic acid) の中に認められている。つまり、核酸は「安定性」と「可変性」を同じ構造の中に秘めていて、遺伝物質が示すこの二面的な機能こそが生命がもつ重要な様相の一つになっているのである。

核酸は生化学の領域で発見されたものであるので、この問題は生化学的アプローチのところでもとり上げることにしてしよう。

## (二) 生化学（分子生物学）的アプローチ

生命現象に対する近代科学的アプローチは、化学の領域で最も早く成功を収めたといえよう。生命そのものへの関心はもともと生物学や医学の領域ではじまったといえるが、その有機体論的生命観は、L・パスツールなどにもみられるように、生命力や生気論を前提にしたものであった。

化学の世界にも、はじめこのような生命観が存在した。無機化学 (inorganic chemistry) と有機化学 (organic chemistry) の区別が、その名残りをとどめている。つまり、生物体 (有機体) 内でおこる化学変化は、生体外 (無機物) でおこる化学変化とは根本的に異なるという考え方であった。

ところが、一八二八年にドイツの化学者であるF・ウエーラーが無機物のシアン酸アンモニウムから有機物の尿素を合成してから、有機物と無機物の間にあった越えがたい障壁がゆらぎはじめ、生命力や生気論を前提にする生命観は後退しはじめた。その後、フランスの著名な微生物学者であるL・パスツールが発酵現象に対する酵母の研究によって、一八六〇年に生物体の最小構成単位である生細胞には不可思議な生命力が宿っていることを証明したかに見えたが、やがてドイツのノーベル化学賞受賞者E・ブフナーの明快な発酵実験によって、その考え方は退けられることになった。これによって、近代の合理的・機械論的な生命観が急速に台頭してきたのである。

このような研究動向の中から、生命現象を近代科学的にとり扱う生化学 (biochemistry) が出現し、やがて生命現象の根源にある遺伝子の化学的研究が深まるにつれて分子生物学 (molecular biology) や分子遺伝学が成立するようになった。そして、その影響を受けるようになった生物学には生物工学や遺伝子工学のような分野も開拓され、生物学は急速に近代科学の様相を整えるようになってきている。このような科学史観を江上不二夫もとっている。それが「生命力観から生化学、分子生物学、生命科学へ」という図式なのである<sup>(12)</sup>。だが、ここで生化学的アプローチの全体の歴史に触れるつもりはない。本題に返ろう。

生化学では、生命の本質をどう捉えているのか。学生時代からしばらくの間生化学を専攻していた筆者にとって、生命の化学的解明の動向に関して今でも鮮明に記憶している二つの講演がある。一つはドイツの生化学者でノーベル化学賞受賞者のA・ブーテナントの講演であり、もう一つはソ連の有名な生化学者A・I・オパーリンの講演である。両方とも一九五五年の四月と十一月に日本生化学会（会長児玉桂三）が開催したもので、これら

の講演は第二次大戦後の日本の生化学研究の遅れをうめるために重要な役割を担った。

ブーテナント教授は、京都で開かれた第十四回日本医学会において、まず最初に「生物化学における最近の課題と成果」について述べ、その中で化学的観点から見た生命の本質に触れている。<sup>13)</sup>

【ブーテナントの見解】 テュービンゲンの生理化学者F・クヌープによれば、生命の特徴とは地球上に最初に出現した生活細胞からはじめて現在の生命をもった個体に至るまで、何世紀もの間絶えることなく保持されてきた化学的な働きである。この化学的な働きとしての生命の特徴から見ると、つぎの四つの特徴がある。

まず第一に、生命は抽象的に定義されるものではなく、ただ生命をもった有機体の営みは化学的物質の配列や組織と密接に関連している。

第二に、個々の生命現象——たとえば、物質代謝や形態変化、成長・発育・運動等の過程、刺激に対する反応、精神的諸過程など——は、物質の組成や配列そのものが特異的に化学的な変化をする過程と関連して現れ、その化学反応はそれぞれ対応する生命現象に必要なエネルギーを供給している。

第三に、生活細胞の内部やその周辺で営まれるいろいろな化学変化についての知識を総合すると、今日では生活細胞を「絶えず変転しつつある物質」と定義しなければならぬ。このことは生活細胞内にある化学物質の組成や構造は静的な状態にあるのではなく、絶えず動的状態にあるということを示している。その動的現象には、細胞を構成する物質と細胞の内外を循環する物質とが同程度に含まれているのであり、生活細胞中の構造や形態は識別できるものでもほとんどすべて常に溶けこみ合い、分解し、そして再び新しく合成されているのである。このような物理化学的に「循環動的平衡」(Fließgleichgewicht)とでも名付けられる現象の背後には大きな神秘が存在するのである。

このような現象は、同位元素の標識をつけた化合物を使った代謝研究によって確認されたものである。たとえば、人間の血液中の蛋白質はその半分以上が十日以内に分解され、それと同時にその半分以上が新しく合成されていること、また人間の筋肉などに含まれるすべての蛋白質の成分はその半分以上が八十日以内に分解されると同時に合成されていることが判明している。非常に安定しているように見える骨や歯の構造も同じような過程で分解と合成をうけている。

第四に、個々の生活細胞や有機体は絶えず変転しているだけでなく、生活有機体の間に常に関連性が保たれている。この化学過程はあらゆる生物の循環——常に新しい個体が生成し、生殖、発育、成長、性的成熟、退化、老衰、死亡の経過をたどり、ついには崩壊してしまふ——過程の中の無数の現象の一部分だけを表している。大きな循環過程の中では、常に新しい有機物が無機物から造り上げられている。いったん造り上げられた有機物は最後には物質代謝によって燃焼してしまひ、無機物となって再び循環過程の振り出しに戻ってしまうが、その過程でいろいろな多くの生物体を通り過ぎるのである。

このような事実から生物化学的方法によって生命現象を追求することが課題になってくる。そして、生命の特徴である化学的な働きの本質は何か、また生命と関連のあるすべての化学反応はどのように起こるのか、また生物を構成している物質が分解し、それと同時に合成されるのはどのような機構によるものか(↓ワトソークリックの研究の項参照)、またエネルギーの獲得とその利用はどうして行なわれるかなどの点について知識を得ることができるであろう。しかし、さらに地球上ではじめて生命を賦与された小さな物体がどのようにしてこの化学的な働きを始めたかという問題、すなわち原始発生(Urzeugung)の本質に対する問題と生物進化の問題(オパーリンの研究)がおこってくる。

ブーテナントは、そのような疑問に答えることによって生命についての本質的な知識が得られると信じながらも、このような方法では生命全体の実体を把握することはできず、ただその重要な一面の知識しか得られないことに留意すべきである、と賢明に述べている。それは彼が原始生命体であるビールスやガン細胞の研究を通じて生命の本質の理解につとめていて、まだ核酸の重要性が今日ほど注目されていなかった時代でもあったからであらう。

つぎに、オパーリン教授の講演は「現代自然科学の成果から見た生命の起源」というもので、日本生化学会創立三十周年記念、第二八回日本生化学会総会で行なわれたものである。

【オパーリンの見解】 L・パスツールによって非常に精確に行なわれた実験により、生命の自然発生説が完全に否定されて以来、生命の起源の問題は科学者には手におえない問題だとされていたが、その厚い壁を打ち破る新しい道を開いたのがオパーリンである。彼の研究の特徴は、生命の謎の解明はたとえ最小の生命であっても生命を合成することによって完成すると信じているところにある。したがって、彼の研究は「生命の起源」の解明に集中しているのである。<sup>(1)</sup>

オパーリンの説く弁証法的唯物論によれば、生命—その本質、起源、発展—とは、次のとおりである。

物質はつねに運動状態にあり、その発展は一連の段階を経過する。ここで物質の運動状態には、以前にはなかった性質をもつます新しい、より複雑で完成されたものが生じる。地球は誕生後の非常に長い期間、生命をもたなかったことを疑う余地はない。しかし物質の発展過程において、最初のもつとも原始的な生物が地球上に現れ、質的に新しい運動形態である生命が生じた。こうした事態においても、物理と化学の古い法則はもちろん残っていたが、いまや・・・以前になかった新しい、より複雑な生物学的法則が付加さ

れたのである。

このように、生命はその性質上物質的である。しかし生命は全物質に不可分な共通の性質ではない。生命は生物にしかない。生命は無生物界とは質的に異なる物質の特殊な運動形態であり、・・・これは無機的自然を支配する法則だけに解消しうるものではない。だから、弁証法的唯物論は生命の認識という問題自体を、機械論とは異なるやり方で示すことになる。機械論の場合、生命の認識という問題は、生命を物理と化学とでもっとも完全に説明することである。反対に弁証法的唯物論の立場からは、生命の認識で主要なことは、生命を物質の特殊な運動形態とみなせること、物質の他の形態と生命との質的な区別を定めることである。<sup>(2)</sup>そこでオパーリンは、地球上の生命の起源についてまだ非常に図式的ではあるが、生命の発生にいたる物質進化の全過程を三つの基本的段階に分けている。その第一段階は一次的有機物質（炭化水素とその最も簡単な誘導体の発生）、第二段階は複雑な有機化合物（炭水化物、アミノ酸、ポリフィリン、ヌクレオチド、および特に有機化合物の最高形態としての蛋白質の発生）、第三段階は物質代謝を行うことのできる蛋白質、つまり真の生命の発生である。

第一段階の説明はあまり重要ではないので省略するとして、第二段階を証明する研究として有名なS・ミラーの実験をとり上げている。それは生命の重要な構成物質である必須アミノ酸の合成に関する実験であつて、原始大気の中に存在していたとおもわれるメタン、水素、アンモニア、水蒸気の混合物の中で数日間放電を行い、その結果混合溶液中にグリシン、アラニン、その他の生物体構成に必要なアミノ酸を検出した。これによって、第二段階までの可能性は実験的に確かめられた。

ところが、ここで問題なのはこの種の合成で得られるアミノ酸やその他の複雑な有機物がラセミ体として得ら



れることである。生体を構成するものは光学的に活性な不斉体であって、光学的に不活性なラセミ体ではない。生体によらずに不斉合成を行うことは難しいのである。これは生命の起源の問題の解明にとって困難な障害となっている。これはL・パストールの研究以来、常に指摘されてきた問題である。また、ワトソンと共にノーベル賞を受賞したF・クリックは、生命の起源に関して、生命は地球上に誕生したのではなく、種が宇宙のどこから飛んできたのだというパンスペルミア説を打ち出しているほどである。<sup>16)</sup>

このような困難な不斉体の合成に対して、オパーリンは水晶などによる円偏光ないしは楕円偏光という光化学反応の可能性を指摘し、この難問を解決しようとしている。

さらに、地球の水圏の条件での蛋白質の始源的合成過程におけるきわめて大きな困難は、アミノ酸がポリペプチドに縮合する際に越えなければならないエネルギー障壁に関するものである。計算によれば、アミノ酸残基の間にペプチド結合を作るためには非常に多量のエネルギー、すなわち一モル当たり平均約三キロカロリーが消費される。そのためにアミノ酸の水溶液中では、この反応そのものは実際には簡単に起こらない。しかし、いまこの問題の解決への実験が続いており、蛋白質合成の熱力学的可能性は残されている。

最後の第三段階の研究では、現在の学者の大部分がここに知識の重大な裂目があることを認めている。生命のもっとも特徴的な性質は物質代謝であり、この特性によって生命を物質の質的に特殊な運動形式としてみることができるといえる。いかなる生物も、新しい物質やそれに含まれるエネルギーを次々と絶えず同化できなくては、生存することはできないのである。

原形質内では、これらの反応が時間的に一定の様式で組織され、たがいに組合わされて統一された完全体系をつくっている。これらの反応は、厳密に一定の順序で、一定の規則的な配列で行なわれる。生きている原形質で

おこなわれている化学反応は、たがいに時間的に厳密に調整され、調和を保ちつつ一つの配列に組合わされているだけでなく、この配列のすべてが与えられた外界の条件に驚くほど適合して、生体全体の自己保存と自己再生産を合法的に生みだしている。

この生命体のもつ秩序の形成について、アメリカでは、生命が非常に複雑な単一の核蛋白質の形で生じたという観点が広く行なわれている。この観点の基礎は、生命の本性は遺伝子であるというモルガンの学説から出発しているのであるが、オパーリン自身は水溶液中で合成される高分子化合物の凝集性に注目している。つまり、いろいろな蛋白質の希薄水溶液からコアセルベート液滴が生成し、この構成蛋白質は周囲の水溶液とははっきり区別された界面をもつ多分子系をつくるのである。

このコアセルベート液滴の発生は生命の発生にとって非常に重要な歩みであった。蛋白質のコアセルベート液滴はまわりの溶液からいろいろな物質をつかまえて吸着する目ざましい性質をもっている。この場合、液滴の蛋白質と化学反応をおこし合成することもできるが、分解もおこすことができる。この分解と合成の速度の関係が、その液滴の存立にかかわっている。すなわち、ある組成や構造によって合成が分解より早いときには、この液滴はその条件において動的に安定な構造になり、逆の場合には、その安定性を失い、結局は消失の運命にある。

原始地球水圏においてコアセルベート液滴の形成自身が、確固たる必然性をもってこの個々の系の自然淘汰を生みだしたにちがいない。動的に安定な液滴はそこにまわりの溶液から集まった有機物によって大きくなり、ある大きさになると娘液滴に分かれる。組織化された物質の量が増加し、コアセルベート液滴の数が増加するとともに、その組織の質がまったく一定の方向に絶えず変化していった。そのさい組織化された物質の増大過程において、自然淘汰によって複雑な触媒（酵素）のもっとも完全な組合わせのみがいつでも保存された。これにより

複雑な蛋白質の動的な安定性がつくられ、エネルギー反応や合成反応が調和的に結合し、そしてその系のある存在条件における絶えざる自己更新と自己保存のために必要な反応の促進がもつとも完全に行なわれたのである。結局、これは秩序ある物質代謝をもった蛋白質の発生、すなわち生命の発生をもたらしたのである。

おおよそこのように述べた後、オパーリンは生命の起源の問題はもつとも簡単な生物でも合成できるようになつたときにはじめて、解決されると考えてよからうと結んでいる。

オパーリンの生命起源論において最大の弱点とみられるのは、ワトソン・クリックの遺伝子DNAモデルをあげて等閑視していることである。これをどのように位置づけるかによって、彼の生命の起源に関する総合的理論は一層充実していたかもしれない。

【古典的見解の意義】 生命への生化学的アプローチに関して、これまでブーテナントとオパーリンの学説をとり上げてきた。その理由は、彼らの理論がいまから見れば補足しなげなければならないところもあるが、生命の問題を非常に総合的に捉えていて、最近の中範囲理論や微視的理論に対していわば「巨視的理論」(Grand theory)としての役割をもっていること、しかも個々の研究を位置づけるための枠組みになるという意義を有していると考えられるからである。

ブーテナントの残した課題である「生体を構成している物質が分解し同時に合成される機構や、エネルギーの獲得」(物質代謝)という循環動的平衡の問題や、オパーリンの残したコアセルベート液滴の凝集や分裂、生命の進化という問題に関して、J・D・ワトソンが明快な解答を与えているようにおもふ。その秘密は遺伝子が握っているのである。そこで、最後に、遺伝子の構造と機能という生命の根本問題に触れたJ・D・ワトソンの学説を紹介し、今日の分子生物学ならびに分子遺伝学の研究水準を簡単に述べてみよう。

クリックと共同研究して一九五三年に有名なDNA二本鎖モデルを提起し、後に三四歳の若さでノーベル生理学医学賞を受賞したJ・D・ワトソンは、『遺伝子の分子生物学』という名著を書き、その中で遺伝子の構造と機能を非常に体系的に緻密に議論しながらまとめ、今日の分子生物学の研究水準を提示している。

【ワトソンの見解】 「メンデリズムから見た世界」によると、まず生物学的なレベルでの生物の研究は、二つの大きな概念をもたらした。それらは(一)ダーウィンとワラスの自然淘汰による進化説(初期の原始的な生物からたえず進化を行って発達してきたこと)、(二)細胞説(すべての生物は細胞からできているという認識)。(三) 遺伝の染色体説(染色体の機能は遺伝の制御であること)である。

この染色体が遺伝を支配するのは、その中に遺伝子があるからである。遺伝子是对立遺伝子と呼ばれるいろいろな違った形で存在することができる。メンデルはそれぞれの形質に対応する遺伝子は親から子に伝えられるものとしたが、このことに関する物質的な基礎は、還元分裂の際の相同染色体の配分の仕方にある。二つの遺伝子が一つの染色体上にあるときには、一緒に伝達される傾向がある(連関)。異なった形質の遺伝子は時として互いに無関係に伝えられることがあるが、それはこの二つの遺伝子が別々の染色体上に存在するためである。連関が完全であることはめつたにないが、それは還元分裂のとき、相同染色体同士が互いに接合し、同じ箇所を切断して十字状に再結合(交差)するからである。この接合過程で、父方の染色体上の遺伝子と母方の染色体上の遺伝子とが一部交換されて一緒になる。

一つの遺伝子に対するいろいろな対立遺伝子は、その遺伝子自身に伝達されうる変化(突然変異)が起こることによって生ずる。普通、遺伝子は非常に安定していて、染色体の複製のときには正確に写しとられる。突然変異は稀にしか起こらず、起こってもたいは有害な結果をもたらさず。しかし、ごく稀に起こる有益な突然変異

の集積が、進化論の前提になっている遺伝的変異の基礎となるという点では、むしろ積極的な役割を果たしているのである。<sup>17)</sup>

ワトソンはつぎに「細胞は化学の法則にしたがって生きている」ということを論述している。彼によれば、細胞の成長と分裂は、細胞外の分子の挙動を支配している化学の法則と同じ法則に基づいている。細胞だからといって生きている状態に特有の原子をもっているわけではない。すなわち、細胞は化学者の直感と熱心な努力とによっていつかは造り出すことができるような分子しか合成していないのである。したがって、生細胞にのみあてはまるような特別な化学は存在しない。<sup>18)</sup>

この考え方は、生気論的な見解や、生体に特有な高次の生物学的法則の存在することを示唆したオパーリンの考え方とは根本的に違つた見解だといえよう。ただ、ここで注意すべきことは、ワトソンの意味する化学の概念は進歩した化学概念であるということである。つまり今日の化学の中には、たとえば熱エネルギーや量子論、立体構造力学などの物理学の基本的概念はどうぜん内包されていて、すでに物理化学的概念になっているし、さらに生命を研究対象にする物理化学は「生物物理化学」と呼んでもよい、融合した概念になっているのである。

ワトソンによれば、細胞の成長と分裂は、化学エネルギーを利用してできるかどうかにかかっている。ところで、このエネルギーはもと太陽からの光子のエネルギーに由来するものであつて、これが光合成植物によって細胞内の分子の結合エネルギーに変えられ、そのうちのあるものが次の食物源として、いろいろな微生物や動物に利用されるのである。生化学者はその最も輝かしい最初の成果から、食物分子が細胞内の他の分子に変えられ、利用できる形の化学エネルギーに変えられるかを知った。食物分子内のエネルギーは、大部分還元された炭素化合物の共有結合に含まれている。このエネルギーは、分子が酸化還元反応によってさらに酸化の度合の大

きな炭素化合物に変えられる際に放出される。ほとんどの生物では、最終的な酸化剤は分子状の酸素である。グルコースのような有機分子を完全に酸化すると二酸化炭素と水になる。

しかし、大部分の有機分子は直接酸素によって酸化されることはない。それらはNADのような補酵素によって酸化されることが多い。還元された補酵素（たとえばNADH）は次の別の分子（たとえばFAD）によって酸化されて、新しい還元型補酵素（FADH）と、もとの酸化型の補酵素（NAD）を生じる。このようなサイクルを何回か経た後、分子状酸素が反応して水を生じ酸化還元連鎖は終わる。

酸化還元サイクルの間に取り出されたエネルギーは、全部が熱として放出されるのではない。エネルギーの半分以上は、新しい化学結合に変換される。この変換には、リン原子が重要な役割を果たしている。大部分の共有結合よりも、使用しうるエネルギー含有量の高いリン酸エステルが造られる。このリン酸基は、高エネルギーの形で受容体分子に移転される。最も重要な受容体はADPである。ADPにこのリン酸が付け加えられると、ATPができる。光合成の最初の段階は、ADPのリン酸化によるATPの生成であることがごく最近の実験によって明らかになった。この場合は、光リン酸化と呼ばれている。ADP→ATPの変換は、すべての細胞のエネルギー代謝の心臓部にある。

細胞に含まれている非常に大きな分子、すなわちタンパク質と核酸に関する化学者たちの理解は、数年前までは現在ほど確固たるものではなかった。ごく最近になってやっと、それらの構造を追究するのに物理学的、化学的手段が互いに協調しあえるようになった。今では、われわれは遺伝物質であるDNAはもちろんのこと、ミオグロビン、ヘモグロビン、トリプシンなど多くの巨大タンパク質の重要な特性を事実上すべて理解している。すべての場合に、低分子に適用できる化学法則と同じ化学の法則があてはまる。生物学の考え方に対して、これま

組換えられたDNAとは何か。それは二種類またはそれ以上の生物の部分を集めて造られた新しい生物のものではない。たとえば、象徴的な空想例でもって説明すれば、人魚だつて造り出せるようになるかもしれない。このDNA組み換え技術は、新発見の化学物質である制限酵素を使う。制限酵素は、DNAの鎖の中のあ

るものにマイケル・ロジャーズ著『バイオハザード』(一九七七年)がある。

組換えられたDNAとは何か。それは二種類またはそれ以上の生物の部分を集めて造られた新しい生物のものではない。たとえば、象徴的な空想例でもって説明すれば、人魚だつて造り出せるようになるかもしれない。このDNA組み換え技術は、新発見の化学物質である制限酵素を使う。制限酵素は、DNAの鎖の中のあ

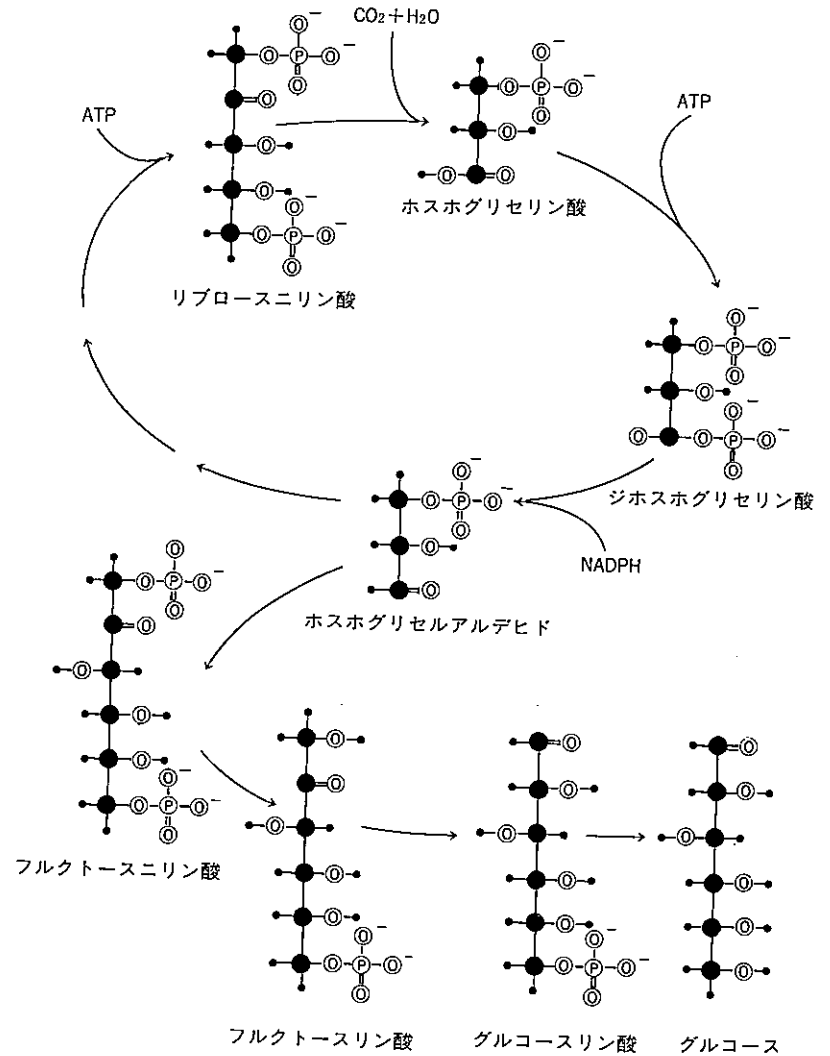
るものにマイケル・ロジャーズ著『バイオハザード』(一九七七年)がある。

組換えられたDNAとは何か。それは二種類またはそれ以上の生物の部分を集めて造られた新しい生物のものではない。たとえば、象徴的な空想例でもって説明すれば、人魚だつて造り出せるようになるかもしれない。このDNA組み換え技術は、新発見の化学物質である制限酵素を使う。制限酵素は、DNAの鎖の中のあ

るものにマイケル・ロジャーズ著『バイオハザード』(一九七七年)がある。

組換えられたDNAとは何か。それは二種類またはそれ以上の生物の部分を集めて造られた新しい生物のものではない。たとえば、象徴的な空想例でもって説明すれば、人魚だつて造り出せるようになるかもしれない。このDNA組み換え技術は、新発見の化学物質である制限酵素を使う。制限酵素は、DNAの鎖の中のあ

第2図 光合成のメカニズム



(A.ローラー著、渡辺格・鈴木肇之訳「分子生物学入門」培風館、45頁参照)

る決まった言葉の並びだけを切断するので、一度切断した遺伝情報を組み換えて再結合し、自然界ではかけ合わせ不可能な生物間の雑種を造ることもできる。たとえば、ポマト (pomato) はじゃがいも (potato) とトマト (tomato) とをかけ合わせて造り出されたものである。

この組み換え技術のもたらす恩恵としては、たとえばこういう事例が考えられる。ロジャーズによれば、ある科の植物には根に細菌のつまった小さなこぶがある。「それは空中窒素を固定する——すなわち、土壌から直接窒素を吸収し、それを生物体に有用な形に変換する——働きをする。これは悪くない特徴だ。というのは、世界のほとんどの食用作物は、窒素固定ができず、人工の窒素肥料を必要とするからだ。……だから、もし窒素の固定法を教えてくれる遺伝子を単離でき、それを、なんとかして、小麦に入れられれば、たいへんすばらしい食用作物を手に入れることになるのは明らかである。」<sup>20)</sup>

また、哺乳動物のインシュリン生産の暗号を組み込んである遺伝子を大腸菌に移植でき、しかも、その遺伝子が発現することができれば、われわれはインシュリン生産工場を手に入れることができる。その他、さまざまな病原が分子遺伝学的に解明されてくれば、それを克服するDNA組換え技術が開発されるであろう。このように、組み換えDNAの応用による恩恵には、計り知れない側面があるのである。

表に計り知れない恩恵があるとすれば、裏には恐ろしい危険も潜んでいる。「DNA組換え技術は、斬新で重要な実験を可能にしたけれども、それと同時に、潜在的に危険なさまざまな性質——抗生物質耐性から発癌性まで——を、本来はそういう性質をもっていない微生物に写すことも可能にした。最悪の場合には、治療法もない新奇な病気を造り出すかも知れないのだ。しかも……思いもかけず、まったく偶然に新奇な微生物ができ、外へ漏れるかもしれないことだ。」<sup>21)</sup>

たとえば、シミアン・ウイルス四〇 (SV40) とはこうなのがある。「SV四〇は、一九六〇年、新しい小児マヒワクチン製造に使われるはずだったアカゲザルの腎臓から単離された。このウイルスは、猿そのものには、何の病気も引き起こさないもので、長い間見逃されていた……。ところが、これをハムスターの新生児に注射してみると、腫瘍ができた。それどころか、試験管で培養したヒトの細胞にも同じことが起こった。」この「SV四〇は、すでに適当な研究材料として方々で使われており、このウイルスを使っている研究者の血液を検査してみれば、中には感染している人も大勢いることがわかる。」<sup>22)</sup>

【問われる科学者の責任】 このように新しい型の生物公害が発生する可能性がある。この公害こそ「バイオハザード」と呼ばれるものである。したがって、その危険性のアセスメント（事前評価）が非常に大切になってくる。このような動きの中で、分子生物学者たちの社会的責任、自主規制、倫理観が問われるようになってきた。科学者にはもはや価値中立的態度は許されない事態が生じたのである。

このような責任の問題が生命科学の中に含まれていることは、すでに触れたことである。

### 三 生命の連絡に関する実像の探究

前節では、生命現象に関する物理学的ならびに化学的なアプローチについて触れてきた。この二つのアプローチのうち、特に分子生物学の目の覚めるような著しい成果に対して驚きの念をもっていても、なおかつ、そのアプローチに機械論的な臭いを感じて不満足におもう読者がいてもおかしくはない。彼らはずきに生物学的アプローチを待望していることであろう。

伝統的な生物学的アプローチは、これまでたしかに物理化学的アプローチに対してアンチテーゼを提起する役割を果たしてきた。生物学的アプローチの影響はブーテナントやオパーリンの所論の中にも含まれている。しかし、生物学的アプローチは科学的に検証する際に、これまで検証不可能な、きわめて漠然とした部分を残してきているのである。

また、L・フォン・ベルタランフィの『生命—有機体論の考察』（一九四九年）のような著作は、有機体論的哲学にもとづく生命現象の体系化の試みとしてはそれなりに評価できるが、R・シュルドレイクが指摘するように、「有機体論が自然科学を内面から揺るがす影響力をもつためには、検証可能な予測を生み出すことが必要である。これはまだ、実現にいたっていない」<sup>23</sup>のである。つまり、ある理論が科学かどうかを判断する基準は、反論または反駁に対して、その検証が明確にできるかどうかにある。

この基準をよく自覚している生命のニューサイエンスの旗手シェルドレイクは、「形態形成論」という新しい仮説を設定して、生命現象の正統的アプローチである機械論に立ち向かおうとしている。彼の『生命のニューサイエンス』（一九八一年）は雑誌『ネイチャー』で「焚つけの書？」と酷評されたが、少なくとも世界の科学界で議論を沸騰させただけの価値はある話題作である。この革命的な新しいアプローチが科学として容認されるか、あるいはまったくナンセンスな空像として葬り去られるかは、しばらく時間を要する。彼自身もいま自分の仮説の検証に取り組んでいるところであるからである。

本稿では、未検証の理論仮説にはこれ以上触れるつもりはない。それよりも、これまでの生命の自然科学の研究成果にもとづいて、生物と人間との間にどのような生命の連絡が考えられるか、より応用実践的な面に着目したい。なぜならば、いま人類の生存の基礎的条件が大きく揺らぎはじめ、いろいろな側面から見、きわめて危

機的な状態にあると考えられるからである。

人類の生存の条件を根底から大きく揺るがしている問題とは、周知のように、人口増である。つい最近、米国商務省人口統計局は世界人口は二〇四〇年に一〇〇億になるだろうとの予測を発表した。<sup>24</sup>その予測に対してさまざまな反響があるが、大きくは二つに分けられる。

まず第一に、地球上での食糧生産能力は何億人分に相当するであろうかという問いである。この問いに關係する基礎的研究はこれまでたくさん試みられているが、しかしまだその明確な数値を提出した研究者はいないのではなからうか。少なくとも筆者はまだ知らない。

このような時期に、わが国のある民間のテレビ放送局では、早速六五億人分であろうとの見解を流した。この数値がどのような条件下で算出されたものか、詳しい説明はいっさいなかった。だが、人口増の問題はいまにはじまった問題ではないので、もしこの数値がある程度の信ぴょう性をもつと仮定すれば、二〇四〇年に一〇〇億の人口になるとの予測は正しくないのではないか。なぜならば、食糧難によって飢餓や病気が発生したり、それが引き金になって内乱や戦争などが起こる可能性もあり、一〇〇億人には到達しないとも思われるからである。もし到達するとしても、もっと時期が延びるのではないか。このような素朴な疑問も出ている。しかし、この場合でも、人口増のかわりに、飢餓や病気、内乱や戦争という困難な問題が人類の行く手に大きく立ちはだかつているのである。

第二に、かりに食糧生産能力が一〇〇億人分以上あり、人口増が予測どおりになると仮定した場合には、ほぼ五〇年間で五〇億の人口が増加することになる。その場合、もちろん国により、地域によって、人口増には大きな差異があることも十分に予測されていることだ。だが地球全体で考えれば、人類の生存のためには、食糧増産

のための技術開発、新しい可耕地の開拓、湖沼や海洋の開発等の問題、衣料、住宅、飲料水その他の用水、資源、各種エネルギー等の確保が不可欠になる。その他に、教育の問題も重くのしかかってくる。

そうになると、地球環境と生命の連絡・循環に大幅な変化が生じ、その他の社会的文化的環境条件にも激しい変化が起こるであろう。このような変化に対する、より確実な予測と対応計画が必要になってくる。なぜならば、人口が地球の許容範囲の限界に近づけば近づくほど、宇宙船地球号のシステム計画には余裕がなくなり、失敗が許されなくなる。失敗は宇宙船の命とりになるのである。そこでは、環境アセスメント(事前評価)の研究がますます重要になってくる。

したがって、そのような予測と計画を可能にするための基礎的な研究が、いま生命科学や環境科学に求められているのである。その詳細な研究動向と課題については、また稿を改めて論じたいとおもう。

〈注〉

- (1) 江上不二夫『第二版 生命を探る』、岩波書店、一九八〇年、一頁
- (2) 柴谷篤弘『生命の探求—現代生物学入門—』、中央公論社、昭和四一年、二二頁
- (3) 松尾孝嶺他『生命科学ノート』、東京大学出版会、一九七四年、「はしがき」、二二頁
- (4) 渡辺格『新しい人間観と生命科学』、講談社、昭和五四、五八年、「まえがき」参照
- (5) 江上、前掲書、十一頁
- (6) 渡辺、前掲書、十八頁以降、一〇八一—一五頁参照
- (7) 松尾、前掲書、「はしがき」と二四頁参照
- (8) 柴谷、前掲書、二頁
- (9) A. Boutaric, *La Physique de La Vie*, Presses Universitaires de France, 1948 (Collection, Que sait je?, No. 184)
- (10) 真木昌夫訳『生命の物理』、白水社、一九五二年、四頁
- (11) Erwin Schrödinger, *What is Life?, Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press, 1962, 1969.
- (12) 岡小天・鎮目恭夫訳『生命とは何か—物理的にみた生物細胞』、岩波書店、昭和二六年、一一二頁、一一四—一五頁
- (13) シュレーナーマンガール、前掲訳書、一一六—一八頁
- (14) Andre Lwoff, *L'Ordre Biologique*, The M.I.T. Press, 1962, 1969.
- (15) 松代愛三・下平正文訳『生命の秩序』、みすず書房、一九七三年、一六三頁
- (16) ルヴォフ、前掲訳書、一六四頁
- (17) 江上、前掲書、一頁参照
- (18) Adolf Butenandt, *Vorträge von Professor Dr. A. Butenandt in Japan*, Vorberitet von Der Japanischen Biochemischen Gesellschaft bei der Einladung zum XIV Japanese Medizinischen Kongress in Kyoto, April 1955.
- (19) アベキサン・ド・ロヴィッチ・I・オバーリン、日本生化学会訳『オバーリン教授講演録—現代自然科学の成果から見た生命の起源』、日本生化学会、昭和三十年十一月、参照
- (20) A・I・オバーリン、石本真訳『生命—その本質、起源—』、岩波書店、一九六〇年、七—八頁
- (21) Francis Crick, *Life Itself, Its Origin and Nature*, Simon & Schuster, 1981.
- (22) 中村桂子訳『生命—この宇宙なるもの』、思索社、昭和五七、五八年参照
- (23) James D. Watson, *Molecular Biology of the Gene*, Third Edition, W.A. Benjamin, Inc., 1976.
- (24) 三浦謹一郎他訳『第3版 遺伝子の分子生物学』上巻、物化学同人、一九七七、一九七九年、二五—二六頁
- (25) ワトソン、前掲訳書、六一頁。原文と照合して、一部修正したところあり。
- (26) ワトソン、前掲訳書、六一—六三頁。原文と照合して、一部修正したところあり。
- (27) Michael Rogers, *Bohazard*, Harold Matson Co., 1977.
- (28) 渡辺格・中村桂子訳『遺伝子操作の幕あけ』、紀伊国屋書店、一九七八年、九四頁
- (29) ロジャーズ、前掲訳書、一五頁
- (30) ロジャーズ、同訳書、五八—五九頁
- (31) Rupert Sheldrake, *A New Science of Life*, Muller, Blond and White, Ltd., 1981.

幾島幸子・竹居光太郎訳 『生命のニューサイエンス』  
工作舎、一九八六年、一六頁

(24) *Nature*, Vol. 293, No. 5830, 24—30, September 1981,  
Macmillan Magazines Ltd., pp. 245—246.

(25) たとえば、『世界の人口二〇四〇年二一〇〇億』、『東京  
新聞』、昭和六三年四月四日朝刊参照