サイトカイニン (cytokinins)

—その作用機作を中心として—

倉 石 晉

(Susumu KURAISHI)

東京大学教養学部生物学教室

1. 発見の歴史

植物ホルモンとして有名なオーキシンやジベレリンの発見は 1930 年代にさかのぼるが、サイトカイニンは、それらよりはるかにおくれ、1955 年に発見された⁽¹⁾。タバコのカルスの細胞分裂促進作用を研究していた Wisconsin 大学の研究グループは、当然のことながら、細胞分裂と DNA の関係に注目していた。ある日、培養液の中に DNA を加えカルスの生長を調べたところ、今まで経験したことがないほどの勢いで、カルスの増殖が観察された。それに力を得て、新しく購入した DNA を培養液に加えてみたが、生長促進作用は認められず、ただ、古くなった DNA か、または新しい DNA でも、それを加水分解することによって初めてそのような生理作用を示す物質ができることがわかった。こうして、この DNA が分解されて生じたと思われる新しい化合物の遊離、構造決定がなされ、図 1 に示すような化合物が問題の物質であることがわかり、一般名としてカイネチン (kine-tin) という名が与えられた⁽²⁾。

2. サイトカイニンの定義

このようにして見いだされた化合物は、細胞分裂を促進することから、cytokinesis にあやかって、カイネチンという名称が与えられ、さらに、このような化合物全体の総称としてカイニン (kinin) なる名前も与えられた⁽³⁾。ところが、カイニンという名前はすでに動物で使われていることから、一般名はサイトカイニン (cyto-kinins) としようという提唱がなされた。しかし、この言葉を植物の細胞分裂促進物質全体にまで適用させるかどうかについて議論がわかれた。私としては、カイネチンの発見者たちが集まって提唱した、つぎのような 1965 年の定義に従うことが、発見者に敬意を表する意味でも

妥当ではないかと考える。すなわち、サイトカイニンはアデニンのアミノ基に置換基を有する化合物で、その生理作用としては細胞分裂を促進させるものであり、さらに組織の誘起、側芽伸長促進、ageing の進行を停止させることをはじめ、いろいろな代謝にも影響を与える化合物の総称である。したがって、現在までのところ、ジフェニル尿素、ロイコアントシアンなどは確実なサイトカイニンとしての証明が行なわれていないから含めないほうがよい⁽⁴⁾。

3. サイトカイニンの生理作用

発見の糸口となったように、サイトカイニンはタバコの髓から形成されたカルスの細胞分裂を促進するものであり、その際オーキシンを必要とする。オーキシンとカイネチンが適当濃度培養液に添加されるとカルスの細胞分裂が促進されるので、もしもカイネチン濃度がオーキシンに比べて高ければ、芽や葉の形成、ならびに生長の方向にすみ、カイネチン濃度が低く、オーキシン濃度が高ければ、当然のことながら発根促進作用を示す⁽⁵⁾。いま述べた芽や葉の形成促進作用は、カルスの生長促進作用とともに、たいへん劇的な現象である。頂芽優先などで通常生育しにくい側芽の原基に、マイクロピペットでその原基の部分にだけサイトカイニンの溶液を処理すると、側芽は著しく生長を始める⁽⁶⁾。

以上のように、細胞分裂に関係していると考えられる現象以外に、オーキシンやジベレリンと同じように、アベナ子葉鞘の生長促進作用を示すこと⁽⁷⁾や、オーキシンとはちがって茎の肥大生長を示すような例も報告されている⁽⁸⁾。さらにサイトカイニンは、オーキシンではほとんど生長促進作用を示さない葉の生長促進作用にも働くことは注目に値する⁽⁹⁾。変わったところでは、ブドウの果実の肥大生長を、ある種のサイトカイニンが促進したり⁽¹⁰⁾、ブドウの性の転換にも作用するという報告もある⁽¹¹⁾。

サイトカイニンのもう 1 つの大きな特徴である生理作用として、葉の黄化防止があげられよう⁽¹²⁾。この作用も細胞分裂とはあまり関係がないと考えられる生理作用の 1 つである。通常、葉を切りとって放置しておくとう黄色くなって枯れていくが、あらかじめサイトカイニン溶液を噴霧しておいた葉ではかなり長い間緑色を保つ。さらに面白いことは、切りとった葉の一部にだけサイトカイニン処理を施すと、処理した部分だけが緑色を保ち、他の部分は黄色くなって枯れてしまう⁽¹³⁾。

サイトカイニン処理した植物が異常環境に耐えると

いう報告が幾つかなされている。すなわち、耐熱性⁽¹⁴⁾、耐寒性⁽¹⁵⁾を獲得したり、レントゲン照射により生じた異常生長を回復すること⁽¹⁶⁾や、ウイルスに対する感染性を低下させること⁽¹⁷⁾などは、一種の異常環境に対する抵抗性獲得の1例である可能性がある。

植物ホルモンの作用は比較的高等植物に限られ、下等植物や、動物で作用を現わすことは少ないといわれているが、サイトカイニンではコケ⁽¹⁸⁾、緑藻⁽¹⁹⁾はもとより、酵母⁽²⁰⁾、大腸菌⁽²⁰⁾、ぞうりむし⁽²¹⁾、ヒドラ⁽²²⁾、あるいは肺炎菌⁽²³⁾などでも生理作用を示すことが報告されている。また、吉田肉腫⁽²⁴⁾に対する作用なども知られているが、これらの生理作用はほとんど1950年代に続いて報告されたもので、1960年代にその後の詳細がないのは、私たち植物生理学者にとって大変奇妙な感がある。このような面での追試が行なわれることが望ましい。

4. サイトカイニンの構造と作用性

化学構造と生理作用の関係を追求することは、作用機構を解明するうえで1つの重要な手がかりになると考えられる。図1-aで示されるようなカイネチンの構造のうち、まずフラン環のかわりにベンゼン、チオフェン、ピリジン、ナフタレン環と置換してもカイネチンと同様な強い生理作用を示す。ところが、アントラセンやフルオレン環のような比較的大きな構造を持った化合物と置換すると、カイネチンに比べ、かなりの生理作用の衰えを示す。上記のような共鳴構造を持った化合物ばかりではなく、シクロヘキサン環をフラン環のかわりに置換しても、カイネチンとほぼ同じ生理作用を示す。そればかりか、直鎖の飽和炭化水素、あるいは不飽和の炭化水素をフラン環のかわりに置換しても、ほとんど同じ程度の生理活性を示す。このことは、カイネチンの作用でフラン環の特異性があまりないことを示しているが、それだからといって側鎖をとり除くとほとんど生理活性を示さないことから、特異性を持たないが、生理活性には重要な作用を示すものと考えられる^(25,26)。さらに側鎖の電気陰性度を変化させる目的で、メチル基、メトキシ基、アミノ基、ニトロ基、クロル基などを置換しても、とくにそれらの差による生理作用の差は認められず、むしろ、これらの置換される位置の差によって著しく生理作用が変化することが示された⁽²⁵⁾。プリン環それ自身は側鎖に比べて水溶性であることから、サイトカイニンの側鎖はある程度の脂溶性を与えるためのものであり、分子の水溶性/脂溶性の比がある値であるならばサイトカイニンとしての生理作用を示すという仮説が提出された⁽²⁵⁾。

図 1

言いかえれば、サイトカイニンの側鎖はアデニンに脂溶性を与えるためだけであるといえるが、最近、実験的にこの仮説が正しいことが示された⁽²⁷⁾。

プリン核の6位（アデニンのアミノ基の位置）以外に側鎖を置換した化合物では、生理作用は今までのところ認められず、プリン核の6位に側鎖を持つことが、サイトカイニンとしての必須条件であると考えられる⁽²⁸⁾。一方、プリン核自身の構造については、イミダゾール環を変えたような化合物（図1-b）がサイトカイニンとしての生理作用を示さないことから、最初はプリン核の重要性が強調されてきたが、図1-dにあるようなベンズイミダゾール化合物も若干のサイトカイニンの作用を示すことから⁽²⁸⁾、プリン環の中でもイミダゾール環がサイトカイニンの生理作用に関して重要な働きをしていると考えられるようになった。

5. サイトカイニンの植物体分布

当初DNAの分解産物にすぎないと考えられていたサイトカイニンが植物体にも存在することが報告されて以来⁽³⁰⁾すでに10年近くたち、現在では40種以上の植物の抽出液中にサイトカイニン活性のあることが知られている。言いかえれば、サイトカイニンはDNAの分解産物として考えるだけではなく、立派な植物ホルモンの一員として考えることが必要になってきた。Lethamは1964年、トウモロコシの抽出液から純粋な結晶を得、それにゼアチン（zeatin）と名づけ、さらにその構造も図1-cで示されるものであるとした⁽³¹⁾。

6. サイトカイニンの作用機作

サイトカイニンの作用機作を論ずるとき注意しなければならないことは、サイトカイニンの作用の多面性から

考えて、対照生理現象の差によって作用機作も異なる可能性があることである。たとえば、細胞分裂促進作用と葉の黄化防止作用とを同じ機作で論じてよいかどうかは、疑問視されねばならない。さらに、サイトカイニンによる細胞分裂の機構を論ずるにあたっては、処理後、数日あるいは数十日たって出現するようなカルスの細胞分裂促進作用と、タマネギの根端細胞で知られているような処理後 30 分で出現するような現象とを、同一視してはならない。事実、サイトカイニンはカルスの細胞分裂に直接作用するのではなく、特別な細胞分裂促進物質の合成を促進し、その結果、細胞分裂を促進するのだという考えが提出されている⁽³²⁾。

A) サイトカイニンと窒素代謝

タバコをはじめ数多くの成熟葉は、それを切りとって水溶液に浮かべると、次第に黄化し、枯れていく。そのとき、サイトカイニン水溶液に成熟葉を浮かべると、長時間にわたって緑色を保つ。この際、葉の核酸量や蛋白質量を調べると、それらは大体葉緑素含量の減少と平行し、とくに RNA 量はサイトカイニンによって高い値が保たれる^(33,34)。さらに、放射性オロチン酸やロイシンを培養液に加えると、サイトカイニン処理した葉のほうに放射能のとりこみが増加する⁽³⁴⁾。これらのことから、サイトカイニンは核酸・蛋白質合成を促進し、その結果として葉が長期間にわたって緑色を保つという結論が下された^(33,34)。Mothes の研究室では最初、切りとったタバコの葉の全面に放射性アミノ酸を処理し、その放射能がサイトカイニン処理部分に集まること、またその集まりが、アクチノマイシン D、クロラムフェニコールなどのような核酸・蛋白質合成の阻害剤でおさえられることから、サイトカイニンは核酸・蛋白質合成を促進するため緑色を保つと述べた⁽¹³⁾。しかし、その後、サイトカイニン処理によって集まったアミノ酸量と、蛋白質中にとりこまれたアミノ酸量との比を調べると、集まったアミノ酸のほうが、蛋白質にとりこまれたものよりはるかに多いことを見いだした⁽³⁵⁾。さらに、 α -アミノ酪酸のように蛋白質中にとりこまれないアミノ酸もサイトカイニン処理部分に集まることから、サイトカイニンは直接、核酸・蛋白質合成に関与しているのではなく、アミ

ノ酸が集められたために 2 次的に蛋白質合成が促進されたという考えが有力になってきた。葉ではないが、サトウダイコンなどの塊根から切りとった薄い円板状の組織を、サイトカイニンで処理すると肥厚するが、その肥厚はクロラムフェニコールによる肥厚阻害と直接の関係がないことも、サイトカイニンと蛋白質合成の間にあまり密接な関係が存在しないことを物語っている⁽³⁶⁾。サイトカイニンによって集められる物質は特異性がないわけではなく、たとえば、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Na^{+} などは集められないばかりか、 Rb^{+} 、 K^{+} 、 PO_4^{3-} などにいたっては、移動阻害作用が観察されている⁽³⁷⁾。

さらに、Kuraishi は放射性ロイシンを飼料用カブの成熟葉に処理したところ、サイトカイニンにより蛋白質へのとりこみが促進されているという Osborne⁽³⁴⁾ と同じような結果を観察したが、それは見かけ上のとりこみの増加によるもので、実はサイトカイニンが蛋白質の分解を抑制しているため放射能が多く見いだされるにすぎず、サイトカイニンは全体の蛋白レベルを上げるほど、蛋白質合成を促進しているのではないと結論した(図 2)⁽³⁹⁾。この場合も、微量な特定の蛋白質の合成の促進すらもしていないと極言しているわけではなく、特殊な蛋白質の合成が促進され、それが蛋白量の維持に関与しているという可能性までも否定しているのではない。

Guttman は、タマネギの根をサイトカイニン処理すると細胞分裂中の時間は短縮されるが、分裂と分裂の間隔はかえって延長されることをみた⁽³⁹⁾。また、そのような組織では RNA 量が増加することも報告した⁽⁴⁰⁾。Jen-

図 2 ^{14}C -L-ロイシンのとりこみと ^{14}C -L-ロイシン標識蛋白質の分解

- A) とりこみは3日目でカイネチン処理のほうが未処理のものに比べて増加する。
B) 24時間 ^{14}C -L-ロイシンで標識後、蛋白質の分解をみる。カイネチン処理のほうが分解が著しくおくれる。

sen らはこの RNA の増加を同じタマネギの根端細胞を用いて詳細に検討し、RNA の見かけ上の増加はサイトカイニン処理後、わずか 30 分で 2 倍になることをみた。しかし、この増加も結局は RNA の合成量が増加したのではなく、分解がおさえられたために現われた現象であると結論している⁽⁴¹⁾。Srivastava はタバコの葉を用いて RNA 量の維持を観察し、サイトカイニン処理した組織では RNase の活性が低く、そのため RNA の分解がおさえられ、その結果 RNA 量が維持されるものとした⁽⁴²⁾。一方、Maciejewska-Potapczyk はインゲンで、RNase や DNase は、サイトカイニン処理により活性は変化しないが、オーキシンとの共存下では数倍も活性が上がると報告している⁽⁴³⁾。また、Anderson らはタバコの成熟葉で、サイトカイニン処理により peptidase の活性が低下することを報告している⁽⁴⁴⁾。これらの互いに矛盾した結果は、単に材料の差によるものか、あるいはサイトカイニンの作用のうで重要な問題であるのか、はっきりしない。

Roychoudhry らはココヤシの果汁中に浮遊している核を集め、それに対する放射性リンのとりこみとサイトカイニンの作用を調べ、サイトカイニンは核内での RNA へのとりこみを促進するが、細胞質では何の影響も示さないことを見いだしている。さらに、サイトカイニンが核内の RNA から細胞質の RNA への移動を促進することも観察している⁽⁴⁵⁾。ナンキンマメの子葉で、サイトカイニンによるリン酸のとりこみ促進が見られたが、これは直接サイトカイニンがとりこみに関与しているのではなく、ヌクレオチドの precursor プールのレベルで作用し、その結果、核酸合成の促進がおこったにすぎないとし⁽⁴⁶⁾、Srivastava も同様にメチル化アルブミンカラムで核酸を分離して、とくにサイトカイニンによる質的な変動を認めていない⁽⁴²⁾。Vanderhoef らもサイトカイニン処理したダイズ胚軸から RNA を抽出し、メチル化アルブミンカラムで分離したところ、サイトカイニンはリボゾーム RNA の生合成をおさえるが、D-RNA (DNA-like RNA) はほとんどおさえないことを見いだした⁽⁴⁷⁾。

そのほか、オオムギの葉の RNA を分別してみると、とくに分子量の大きな RNA がサイトカイニン処理によって維持され、その RNA はおそらくポリゾームであろうという考えもあり⁽⁴⁸⁾、また、それとある程度関係があるかもしれないが、やはり葉の細胞で、サイトカイニン処理により小胞体が維持されることも調べられている⁽⁴⁹⁾。以上のデータをまとめて考察すると、たしかにサ

イトカイニンは RNA 量を増加させるが、それがサイトカイニンの直接の作用ではなく、核酸・蛋白合成を進行しやすくするために細胞を維持するのがサイトカイニンの本来の作用であるように思われる。

Fox はサイトカイニンの 1 種ベンジルアミノプリンに標識し、その行方を追求したが、そのラベルは転移 RNA 分画にとりこまれること⁽⁵⁰⁾、また、そのとりこまれた転移 RNA を分画すると特定の転移 RNA 分画に放射能が集中することを見いだした⁽⁵¹⁾。イースト、肝臓、大腸菌からとられた転移 RNA を加水分解し、タバコカルスで RNA 中のサイトカイニン活性を定量すると、いずれの転移 RNA にもサイトカイニン活性が見られ、さらにセリン-t-RNA で強い活性の存在が見られたが、アルギニン-t-RNA、グリシン-t-RNA、フェニルアラニン-t-RNA、バリン-t-RNA、アラニン-t-RNA では活性は認められなかった⁽⁵²⁾。転移 RNA 中のこのサイトカイニン活性を持つ化合物は、Hall らによりゼアチンと同様な構造を持つ化合物であるとされた⁽⁵³⁾。さらに、このペンテニルアミノプリンはセリン-t-RNA 中のアンチコドンの近くに存在することが知られたため⁽⁵⁴⁾、ペンテニルアミノプリンがアンチコドンを転移 RNA から浮き上がらせ、メッセンジャー RNA と結びつきやすくするように作用し、その結果、蛋白合成が促進され、サイトカイニンによる分化や生長をひきおこさせるという説が提唱された⁽⁵⁵⁾。

一般的に、転移 RNA 中の微量ヌクレオチドは、転移 RNA のポリヌクレオチド鎖が形成されたあとで、メチル基などが付加されて完全な転移 RNA が合成される。このような形成過程をセリン-t-RNA 中のサイトカイニンにもあてはめてみると、サイトカイニンの形でポリヌクレオチド形成中にくみこまれねばならない。すなわち、DNA 上で転移 RNA が形成されるときに、サイトカイニンに相応した特殊な塩基が DNA 中にあり、それによって転移 RNA 中にサイトカイニンがくみこまれねばならない。

以上のようなことは、現在まで知られている転移 RNA 生合成の過程から考えて理解しにくい。さらに、ベンジルアミノベンズイミダゾールのようなプリン核を持たない化合物がサイトカイニンとしての生理活性を持つこと⁽²⁹⁾から考えて、転移 RNA 中にプリン核のかわりにベンズイミダゾールがとりこまれなければならないし、そのような転移 RNA が生理活性を示さなければならない。以上述べたことから考えて、現在までの知識では、外から加えられたサイトカイニンがそのままの形で転移

RNA 中にとりこまれる可能性は、きわめて考えにくいことである。

モヤシの胚軸および根から s-RNA を抽出し、その単位 RNA 中のサイトカニン量を調べると、根のほうが胚軸より約3倍も多い⁽⁵⁶⁾。さきの Letham⁽³¹⁾ の考えによれば、根のほうが胚軸よりも活性なサイトカニンが多いことになるが、もしそうだとすると、根における種々なサイトカニンによる生理作用が報告されていなければならない。しかし、サイトカニンは根の生長を阻害する^(5,31)ほかは、とくにきわだった生理作用が報告されていない。これらの事実は相矛盾するもので、根の中の転位 RNA 中のサイトカニンは別の考えで扱わなければならない。根でサイトカニンが形成され、それが茎を通して上方に移行し、芽や葉でサイトカニンの活性を示すことが議論されてきた⁽⁵⁷⁾。セリン-t-RNA 中のサイトカニンは、別の見方からすると、活性型のサイトカニンではなく、サイトカニン生合成の1つの過程である可能性がある。すなわち、転移 RNA が分解されたとき、種々のヌクレオチドとともにサイトカニン-ヌクレオチドが遊離する。ここで生じたサイトカニン-ヌクレオチドがサイトカニンの真の前駆物質であり、これが茎を通して芽や葉に至り、そこでサイトカニンの活性を示すということも考えられる。

以上のように、転移 RNA 中のサイトカニンが活性型であるという考えと、転移 RNA 中のサイトカニンはサイトカニンの前駆物質であるという考えは、今後、実験的な裏打ちが大いに望まれる。もし、転移 RNA 中のサイトカニンが前駆物質にすぎないとしたならば、サイトカニンの作用機構はまったく別のものを考えねばならない。

B) サイトカニンと炭素代謝

サイトカニンが呼吸を阻害することは、かなり多くの研究者によって認められていることで、ブロッコリー⁽⁵⁸⁾、エンドウの茎⁽⁵⁹⁾、培養組織⁽⁶⁰⁾をはじめ、十数種の植物について知られている一般的なサイトカニンの生理作用の1つである。一般的に、植物ホルモンを処理したことによって生ずる生理現象は、呼吸の増加を観測しうるような現象がほとんどであるから、サイトカニンによって炭酸ガスの放出、あるいは酸素呼吸が阻害されるということは、きわめて考えにくい。しかし、葉の黄化防止のさいに、充分な ATP 量が存在しなければ⁽⁶¹⁾、あるいは炭水化物が存在しなければ⁽³³⁾、サイトカニンの作用が生じないという事実は、サイトカニンによる呼吸阻害作用と相まって、サイトカニンの作用点の

1つが炭素代謝であるという可能性を思わせる。

Sugiura⁽⁶²⁾ は、タバコの葉のサイトカニンによる呼吸阻害は Crabtree 効果、すなわち解糖の阻害による呼吸阻害作用であるとしたが、Lustinec ら⁽⁶³⁾ は、サイトカニンがグルコース-6-¹⁴C からの放射性炭酸ガスの放出を促進し、グルコース-1-¹⁴C からの炭酸ガスの放出を阻害することから、ペントースリン酸代謝を阻害するとした。一方、Bergmann⁽⁶⁰⁾ は、TCA 回路の有機酸を培地に加えることによって、サイトカニンによる呼吸阻害が回復すること、および嫌気条件下でもサイトカニンによる炭酸ガスの放出がおさえられることから、解糖が阻害されるものとした。Tuli⁽⁶⁴⁾ らは市販の種々の酵素のサイトカニンによる活性の阻害を見たが、そのなかで、hexokinase, pyruvic kinase の阻害が大であることから、解糖系の酵素を直接おさえることによって呼吸をおさえるのだとした。

サイトカニン処理した葉ではニコチンアミドヌクレオチドの酸化型が増加することが、切りとられたタバコやハウレンソウの葉⁽⁶⁵⁾などでみられ、またサイトカニンの作用は外から酸化型のニコチンアミドヌクレオチド、あるいは酸化型のグルタチオンを加えると促進され、逆の還元型を加えるとサイトカニンの作用を打ち消したり、ときには植物を枯らしてしまうような作用も認められた⁽⁶⁶⁾。また、生体内のニコチンアミドヌクレオチド・レベルに影響を及ぼすような代謝阻害剤である κ-クロロマーキュリー安息香酸などが、サイトカニンによってひきおこされた生理作用をさらに促進することもみられた⁽⁶⁷⁾。これらの結果は、生体内のある酸化還元レベルの微妙な変動が特定の生化学反応に結びつくような反応に、サイトカニンが強く関係している可能性を持ち、サイトカニンの作用点を探すうえでの1つのヒントになりうると思われる。また、サイトカニンの生理作用の出現が生体内の酸化還元レベルで変動するとすれば、サイトカニンの分布が一定であっても、酸化還元レベルの変動によって生理作用があらわれたり、消えたりする可能性もある。さらに、サイトカニンそれ自身が NADP や NAD を増加させ、その結果大きな生理作用をひきおこすとしたら、これは植物体内での1種の増幅装置とも考えられ、植物ホルモンが微量で有効であるという1つの理由になるかもしれない。

7. おわりに

この小文は、サイトカニンの作用機作の全テーマ、全論文をまとめようとしたものではなく、数多くの点で

わざと割愛した部分が多い。これらは他日、別の形で印刷にしたいと考えている。

今後の見通しとしては、サイトカイニンの作用機作が、最初のねらいであった細胞分裂から離れた面で研究されており、もう少しこの面の研究がなされてもよいのではなかろうか。とくに、タマネギの根端細胞を用いた1ダースにも及ぶ論文があるが、1964年のJensenらの研究を最後に打ち切られているのは、私には不可解なことである。サイトカイニンがプリン化合物であることから、核酸との関係を強く云々されているようであるが、ニコチンアミドヌクレオチドもこれまたプリン化合物であり、サイトカイニンの類縁化合物であるという考え⁽⁶⁵⁾も、今後の研究を行なううえで考えられねばならないことであろうし、またサイトカイニンの作用機作の研究は、従来の常識からはなれた自由な見地から、まったく新しいアイデアで進めたほうが、あるいは核心をついた研究が行なわれるのではなかろうか。

文 献

- 1) C. O. Miller, F. Skoog, M. H. Von Saltza and F. M. Strong : *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1392 (1955).
- 2) C. O. Miller, F. Skoog, F. S. Okumura, M. H. Von Saltza and F. M. Strong : *ibid.*, 77, 2662 (1955).
- 3) C. O. Miller, F. Skoog, F. S. Okumura, M. H. Von Saltza and F. M. Strong : *ibid.*, 78, 1375 (1956).
- 4) F. Skoog, F. M. Strong and C. O. Miller : *Science*, 148, 532 (1965).
- 5) F. Skoog and C. O. Miller : *Soc. Exp. Biology Symposia*, 11, 118 (1957).
- 6) T. Sachs and K. V. Thimann : *Nature*, 201, 939 (1964).
- 7) A. R. Schrank : *Arch. Biochem. Biophys.*, 77, 258 (1958).
- 8) T. Hashimoto : *Bot. Mag. Tokyo*, 74, 110 (1961); M. Katsumi : *Physiol. Plantarum*, 15, 115 (1962).
- 9) S. Kuraishi and F. S. Okumura : *Bot. Mag. Tokyo*, 69, 300 (1956).
- 10) R. J. Weaver, J. van Overbeek and R. M. Pool : *Nature*, 206, 952 (1965).
- 11) S. S. Negi and H. P. Olmo : *Science*, 152, 1624 (1966).
- 12) A. E. Richmond and A. Lang : *ibid.*, 125, 650 (1957).
- 13) K. Mothes : *Naturwissenschaften*, 47, 337 (1960).
- 14) L. Engelbrecht and K. Mothes : *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 79, 246 (1960).
- 15) S. Kuraishi, T. Tezuka, T. Ushijima and T. Tazaki : *Plant & Cell Physiol.*, 7, 705 (1966).
- 16) R. D. Powell and M. M. Griffith : *Botan. Gaz.*, 124, 274 (1963).
- 17) Z. Király and B. I. Pozsár : *In Host-parasite Relations in Plant Pathology*. ed. by Z. Király and G. Ubrizsy, Budapest, 61 (1964).
- 18) B. S. Gorton, C. G. Skinner and R. E. Eakin : *Arch. Biochem. Biophys.*, 66, 493 (1957).
- 19) J. Brachet : *Exptl. Cell Res.*, 14, 650 (1958).
- 20) D. Kennell : *ibid.*, 21, 19 (1960).
- 21) R. Guttman and A. Back : *Science*, 131, 986 (1960).
- 22) C. G. Skinner, P. D. Gardner and Wm. Shive : *J. Amer. Chem. Soc.*, 79, 2843 (1957).
- 23) W. Braun, W. Firshein and J. Whallen : *Science*, 125, 445 (1957).
- 24) Y. Ogawa, Y. Abe and K. Fujioka : *Nature*, 180, 985 (1957).
- 25) S. Kuraishi : *Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ. Tokyo*, 9, 67 (1959).
- 26) F. M. Strong : *In Topics in Microbiological Chemistry*, Wiley, New York, 1958, p. 98.
- 27) K. Rothwell and S. T. C. Wright : *Proc. Roy. Soc.*, B 167, 202 (1967).
- 28) J. H. Rogozinska, J. P. Helgeson and F. Skoog : *Physiol. Plantarum*, 17, 165 (1964).
- 29) S. Kuraishi and T. Yamaki : *ibid.*, 20, 208 (1967); L. Engelbrecht, H. Bräuniger and A. Koine : *Flora*, 158, 109 (1967).
- 30) P. L. Goldacre and W. Bottomley : *Nature*, 184, 555 (1959).
- 31) D. S. Letham, J. S. Shannon and I. R. McDonald : *Proc. Chem. Soc.*, 230 (1964).
- 32) H. N. Wood and A. C. Braun : *Ann. New York Acad. Sci.*, 144, 244 (1967).
- 33) M. Sugiura, K. Umemura and Y. Oota : *Physiol. Plantarum*, 15, 457 (1962).
- 34) D. J. Osborne : *Plant Physiol.*, 37, 595 (1962).
- 35) K. Mothes and L. Engelbrecht : *Dtsch. Akad. Wiss.*, 1, 367 (1959).
- 36) L. Engelbrecht and K. Nogai : *Flora*, 154, 267 (1964).
- 37) A. Enayat and W. Höfner : *Planta*, 66, 221 (1965).
- 38) S. Kuraishi : *Physiol. Plantarum*, 21, 78 (1968).
- 39) R. Guttman : *Chromosoma*, 8, 341 (1956).
- 40) R. Guttman : *J. Biophys. Biochem. Cytology*, 3, 129 (1957).
- 41) W. A. Jensen, E. G. Pollock, P. Healey and M. Ashton : *Exptl. Cell Res.*, 33, 523 (1964).
- 42) B. I. S. Srivastava : *Ann. New York Acad. Sci.*, 144, 260 (1967).
- 43) W. Maciejewska-Potapczyk : *Nature*, 184, 557 (1959).
- 44) J. W. Anderson and K. S. Rowan : *Biochem. J.*, 98, 401 (1966).
- 45) R. Roychoudhury, A. Datta and S. P. Sen : *Biochim. Biophys. Acta*, 107, 346 (1965).
- 46) W. J. G. Carpenter and J. H. Cherry : *ibid.*, 114, 640 (1966).
- 47) L. N. Vanderhoef and J. L. Key : *Plant & Cell Physiol.*, 9, 343 (1968).
- 48) B. I. S. Srivastava : *Arch. Biochem. Biophys.*, 110, 97 (1965).
- 49) M. Shaw, P. K. Bhattacharya and W. A. Quick : *Can. J. Botany*, 43, 747 (1965).
- 50) J. E. Fox : *Plant Physiol.*, 41, 75 (1966).
- 51) J. E. Fox and C-M. Chen : *J. Biol. Chem.*, 242, 4490 (1967).
- 52) F. Skoog, D. J. Armstrong, J. D. Cherayil, A. E. Hampel and R. M. Bock : *Science*, 154, 1354 (1966).
- 53) R. H. Hall, M. J. Robins, L. Stasiuk and R. Thedford : *J. Amer. Chem. Soc.*, 88, 2614 (1966).
- 54) H. G. Zachau, D. Dütting and H. Feldmann : *Angew. Chem.*, 78, 392 (1966); K. Biemann, S. Tsunakawa, J. Sonnenbichler, H. Feldmann, D. Dütting and H. G. Zachau : *ibid.*, 78, 600 (1966).
- 55) D. S. Letham : *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 18, 349

研究者の一現代像

中原 和郎

英雄が時代を作るのか、時代が英雄を生むのか、これは昔から人口に膾炙した問題であるが、私はこう考える。英雄とは時代の推移を洞察して、自からその推移の方向にむかって先手を打つ人であると。そうすると、あたかもその人が新しい時代を作ったかに見えるのである。

新しい学問が起こるときにも、そこに英雄的研究者の出現がある。それは新しいタイプの研究者である。この場合にも、新しい学問が突如として1人の研究者によって建設されるのではない。多くの人の研究が、知らず知らずのうちに学問をひとつの方向に進展させてゆくのである。その進路を見透して、先頭をきって進むのが、いわば英雄的研究者であろう。その驥尾に付いて新しい学問の開拓に協力するのは立派であるが、大勢の人がドッとそちらの方に行き出してから、バスに乗り遅れまいとヒシメキ合うのはみっともない姿である。

この意味での英雄的研究者というのは、古典的ドグマを恐れない大胆不敵さ、奇想天外的な思いつき、そんなものをもつ型破りな研究者であって、そんなのが新しい学問の開拓に英雄的役割を演ずることになるのである。もちろん、伝説を打破するだけでは駄目である。それにとってかわる新しいものを、正確な実験と、精密な推理とによって築き上げなければならないのである。

私は先日、友人から貸りて“Watson-Crick”のあの Watson の近著“The double helix”を読んだ。副題には“A personal account of the discovery of the structure of DNA”とある。なんてキザな奴だろう。ノーベル賞を鼻にかけて、自から personal account として発見のてんまつを best seller でもねらったような

通俗本に仕立てるなんて、およそ学者らしくもない”と感じたのは、私自身の古くさいものの考え方からであったのであろう。ところが驚くべし！一読するに及んで、この不快な予感 は完全に消失した。同時に、今日の DNA 時代を作り出した英雄的研究者の実像を見せつけられた。好むと好まざるとを問わず、新しい学問が新しいタイプの研究者によって作り出されたことに思い当たらざるを得なかったのである。

“The double helix”の成功は、なみなみならぬ Watson の文才によるというよりも、むしろ彼がマセた子供みtainな生意気な調子で、ありのままの事態を剽軽な言葉で書いたことによると思う。そこには、同学の先輩達が敬称もなしに不躰けに登場させられ、あるいはその頑迷さが嘲笑され、あるいはその思いつきの良さが“利用価値あり”という意味で論評されている。それだけだと後味がよくないのだが、同時に自分自身の知恵の回りのわるさ、無学の程度なども、ありのままにぶちまけられている。好感のもてる卒直さである。

私はいま、Watson の“The double helix”の宣伝のためにこの文を書いているのではない。むしろ、Watson 自身の時にはヒッピー族の一員とも見えかねない身嗜み(の無さ)、人を人とも思わぬ辛辣無遠慮な(しかもよく真相をとらえた)記述ないし批評、生き馬の目も抜かんばかりの学問上の権謀術数、等々。現代の一部青年研究者を代表するであろう性格をよくあらわしていることに注目したいのである。

昔流の“お行儀”なんてまったくない自己中心主義者であり、少々誇大妄想狂の臭もする。目的のためには手段を選ばぬという誹りも全然免れるとは思われないが、結果的には実力の勝利といえる。こんな連中がドヤドヤ輩出すれば、学界の封建性なんか一瞬にして吹っとんでしまう。恐ろしいようでもあり、頼もしいようでもある。(国立がんセンター研究所長)

[Watson “The double helix”は江上不二夫教授の邦訳“二重らせん”が出ていることを科学朝日の書評で知った。追記しておく]

(1967).

- 56) 渡辺 昭, 新田 毅, 倉石 晋, 西村弥彦, 八巻敏雄, 庄野邦彦: 日本植物学会第 32 回大会報告 (1967).
- 57) H. Kende and D. Sitton : *Ann. New York Acad. Sci.*, 144, 235 (1967).
- 58) R. R. Dedolph, S. H. Wittwer and V. Tuli : *Science*, 134, 1075 (1961).
- 59) M. Katsumi : *Physiol. Plantarum*, 16, 66 (1963).
- 60) L. Bergmann : *Planta*, 62, 221 (1964).
- 61) K. Mothes and L. Engelbrecht : *Phytochem.*, 1, 58 (1961).

- 62) M. Sugiura : *Bot. Mag. Tokyo*, 76, 359 (1963).
- 63) J. Lustinec, E. Petrů and V. Pokorná : *Experientia* (Basel), 18, 187 (1962).
- 64) V. Tuli, D. R. Dille and S. H. Wittwer : *Science*, 1477 (1964).
- 65) Y. Yamamoto and H. Ohya : *Bot. Mag. Tokyo*, 75, 368 (1962).
- 66) S. Kuraishi, T. Tezuka, K. Kasamo, T. Ushijima and T. Tazaki : *Planta*, in press.
- 67) S. Kuraishi, K. Kasamo, T. Tezuka, T. Ushijima and T. Tazaki : *Physiol. Plantarum*, 21, 1003 (1968).