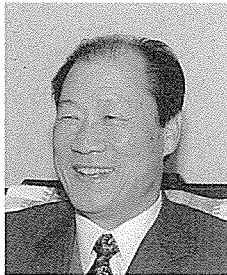


DNA가 파헤친 유전의 신비

왓슨 크릭의 DNA구조해명은 1953년 4월25일자 「네이처」지(誌)에 불과 1백28행의 짧은 논문으로 발표되었다. 그 구조는 많은 실험결과 등을 명쾌하게 설명할 수 있게 하였고, 또 신비에 싸였던 유전자의 기능을 일거에 해명해주었다. 이로써 생명현상의 가장 신비스런 현상의 하나인 유전이 거의 완벽하게 물질론적으로 밝혀지게 된 것이다.

1950년까지만 해도 유전물질 즉 유전자는 단백질일 것이라고 생각되었다. 피부색이 희고 검고, 어떤 유전병이 있고 없고, 키가 크고 작고, 성격이 어둡고 등등, 유전형질에는 한없이 많은 종류가 있다. 이렇게 많은 수의 형질을 나타내게 할 수 있는 물질이라면 그만큼 다양성이 풍부한 물질이라야 할 것이다. 이런 다양성을 지닌 물질이라면 단백질밖에 없다고 생각된 것이다. 예를 들어 동식물의 체내에 풍부히 존재하는 녹말이나 셀룰로스(cellulose)를 보면 포도당 분자 한가지만의 수많은 연결체이어서 분자구조가 아무런 정보를 간직하고 있지 않은 것이다.



河斗鳳
(서울대 명예교수)

한때 유전물질을 단백질로 측정

반면, 단백질은 20종의 아미노산의 연결체이다. 이 아미노산들이 어떤 순서로 몇 개가 늘어서서 연결되느냐에 따라 무한히 많은 종류의 단백질 분자가 만들어질 수 있다. 영어에서 26개의 알파벳이 너댓개 또는 많아야 열개 정도가 연결되어 하나의 단어를 만드는데 그 단어 수가 헤아릴 수 없이 많은 것과 같다. 단백질의 경우, 예컨대 A와 B라는 두 아미노산 한분자씩만으로 구성된다고 하여도 A-B와 B-A의 두종류가 생기게 된다. (아미노산의 연결방

식으로 말미암아 이 두가지는 입체적으로 서로 같지 않다.) 또 A, B, C의 세종류의 아미노산 한분자씩만으로 구성된 것에도 6종류가 있을 수 있고, 4가지가 하나씩으로만 연결된 것에는 4!, 즉 24종류가 가능하며, 20종류의 아미노산이 각 한분자씩만으로 연결된 것에는 20! (또는 2×10^{18}) 종류나 있을 수 있다. 보통 생물체 내에 있는 단백

질은 아미노산이 스무개 정도가 아니라 수십개 또는 수백개가 연결되어 있으므로 그 결과 만들어질 수 있는 단백질의 종류 수는 가위 무한대라고 할 수 있는 것이다.

이와 같은 다양성을 갖는 물질은 단백질 외는 없기 때문에 당시는 무한히 많은 유전 정보를 반영할 수 있는 물질도 단백질일 수 밖에 없다고 생각되고 있었던 것이다. 그러나 단백질이라고 하는 물질이 어떻게 형질이라고 하는 유형 무형의 특징을 나타내게 되는가에 대해서는 참으로 막연하기만 하였다. 물질이 생명현상을 어떻게 나타내는가, 또는 생명=물질이라는 생명물질론을 어떻게 구체적으로 명시할 수 있는가 하는 것이 결국 생물학의 최대의 과제가 된 것이다. 그러나 유전자는 단백질이 아니고 뜻밖에도 DNA일 것임을 시사하는 실험결과가 나온 것은 훨씬 전인 1944년이였다.

미국 록펠러연구소의 에이브리(Avery)는 ‘폐렴균 III형으로부터 추출한 DNA에 의한 형질전환(形質轉換)의 유도’라는 논문에서 폐렴균의 한 균주에 다른 균주의 DNA를 섞어주면 유전형질이 바뀐다는 사실을 보고한 것이다. 폐렴쌍구균(肺炎雙球菌)에는 R형과 S형이라는 두가지가 있다. 이중 S형이 독성을 가지고 있어서 이것을 동물에 주사하면 폐렴에 걸리게 된다. 이 S형 균은 젤라틴과 같은 두툽한 껍질을 쓰고 있는데 이 껍질 때문에 동물체 내에 들어가도 파괴되지 않고 그 독성을 발휘할 수 있게 된다. 반면에 R형은 이 껍질이 없어서 독성이 없다. (R형은 껍질의 재료인 다당류를 만드는 데 필요한 효소를 합성하지 못하는 돌연변이체이다.) 독성이 있는 S형에도 또 I, II, III의 세가지형이 있다. 에이브리의 논문보다 훨씬 앞선 1928년에 영국의 그리피즈(Griffith)는 이미 어떤 실험을 통해, II형에서 유래된 독성이 없는 R형의 균 소량과 열처리해서 죽인 독성이 없는 S형의 균 다량을 동시에 흰 쥐에 주사하였더니 쥐들이 죽는다는 것을 알았다. 그리고 이 죽은 쥐의 혈액 속에는 독성이 있고 살아 있는 S형 폐렴균이 들어 있었는데 이 S형은 II형이 아닌 III형이라는 것을 발견하였다. 이와 같은 균의

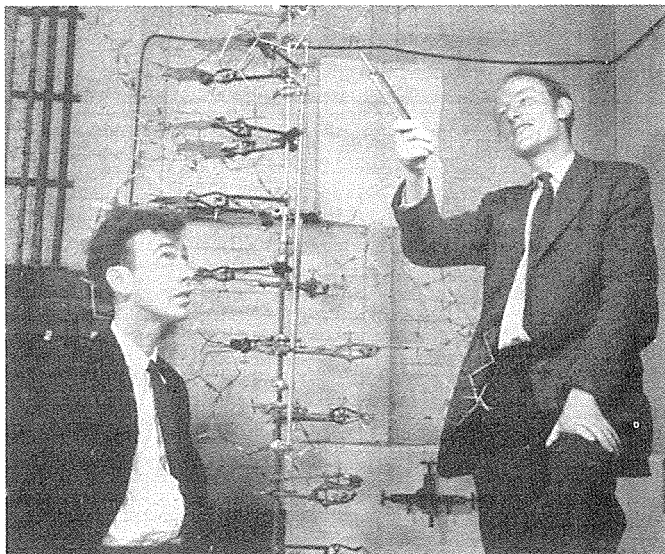
형질의 변화는 영구적이고 유전성이었다. 몇대를 거듭해서 배양해도 독성을 가진 S III균은 그대로 유지된 것이다. 또 폐렴균의 다른 균주를 써서도 그와 같은 형질전환 현상을 볼 수 있었다. 그리피즈의 이 발견은 세균에 있어서는 종의 연속성이라는 것이 성립되지 않음을 의미하는 것이었다.

DNA의 유전자입증 연구 활발

앞에서 말한 에이브리는 그리피즈의 논문발표 2년 후에 똑같은 실험을 쥐를 사용하지 않고서도 할 수 있다는 것을 알았다. 그는 독성이 있는 S형을 열처리해서 죽인 다음 R형과 섞어서 배양접시 속에서 배양하면 그 속에서 형질전환이 일어나며, 또 S형을 갈아서 세포내용물을 쏟아내게 한 다음 여과지로 걸러서 내용물만 받아 이를 R형과 섞어주면 역시 R형의 형질이 전환될 수 있다는 것을 알았다.

에이브리는 형질전환을 일으키는 이 물질이 무엇인가를 밝히기 위해 10년간을 소비한 끝에 이것이 DNA임을 알았다. 그리피즈와 에이브리의 실험결과는 지금에 와서는 S형과 R형 사이에 유전자(=DNA)의 재조합(再組合)이 일어났기 때문이라는 것이 밝혀져 있다. 유전자가 DNA일 것임을 시사하는 실험결과들은 1940년대에 이 외에도 더러 있었으나 당시의 대부분의 생물학자들은 여전히 유전자=단백질이라는 개념에서 벗어나지 못하고 있었다. 그것은 DNA라는 물질에 관한 인식이 아직 부족한 탓이기도 하였을 것이다.

그러나 1952년 결정적인 실험결과가 보고되었다. 허시(Hershey)와 체이스(Chase) 두사람은 대장균에 기생하는 파아지(bacteriophage)로 다음과 같은 실험을 하였다. 파아지는 세균에 기생하는 바이러스(virus)를 말하는데, 다른 바이러스와 마찬가지로 단백질과 DNA로만 구성되어 있으며 단백질이 겉껍질을 구성하고 DNA가 그 속에 들어있다.



▲ 왓슨(왼쪽)과 크릭이 그들이 해명한 DNA구조의 모형 앞에서 있다.

허시와 체이스는 파아지의 1종인 T₂파아지가 대장균에 침입할 때 파아지 전체가 들어가는지, 아니면 속의 DNA만 들어가는지 또는 속은 남겨두고 껍질인 단백질만 들어가는지를 방사성 동위원소 ³²P와 ³⁵S를 이용하여 조사하였다. 단백질에는 황(S)이 들어 있으나 인(P)은 들어있지 않고, 반면에 DNA에는 S는 없고 P는 들어있다. 허시 등은 파아지의 단백질과 DNA를 ³⁵S와 ³²P로 표지한 다음 대장균에 감염시키고 대장균의 체내에 들어간 것이 무엇인가를 방사선 측정으로 조사한 것이다. 그 결과 대장균의 체내에 들어간 것은 DNA 뿐이고, 이 DNA로부터 새로운 단백질 껍질과 DNA가 대장균 체내에서 합성되어 새로운 파아지가 대량 만들어지고(번식되고) 있음을 알았다. 이것은 DNA가 바로 유전자임을 입증하는 가장 직접적인 증거로서 유전자의 물질적 본질을 의문의 여지없이 밝혀놓은 것이었다.

그 당시 DNA에 관해서는 많은 화학적 지식이 축적되어 있었다. DNA는(뉴클레오티드, nucleotide)라고 하는 단위물질의 길다란 연결체인데, 이 단위물질은 A, T, G, C로 표기되는 4종의 염기(鹽基)물질 중 어느 하나와 당류, 그리고 인산(磷酸)이 각 한분자씩 결합되어 구성된 물질이다. 이 단위물질, 그리고 그것의 구성성분들에 관해서는 소상히 알려져 있었으나 이 단위물질들이 어떻게 연결되어 DNA라고 하는 커다란 분자를 구성하고 있는가에 관해서는 전혀 밝혀지지 않고 있었다. 또 간단히 말해서 DNA의 단위물질은 4종류 뿐이어서 단백질의 단위물질인 아미노산 20종에 비하면 턱없이 적은 수인데 어떻게 그 많은 유전형질을 발현(發顯)시킬 수 있는가 등 의문은 한이 없었다.

DNA가 유전자임이 밝혀진 다음 과제는 당연히 이 물질이 어떻게 유전형질을 발현시키는지 하는 의문의 해결이다. 이 과제에 결정적인 돌파구를 제공한 것이 유명한 왓슨(Watson)과 크릭(Crick)의 DNA구조 해명이다. 이 두사람은 1950년대 초엽에 주로 X-선 회절법을 통하여 DNA의 구조가 소위 '이중나선(二重螺旋) 구조'를 하고 있음을 밝혔다.

즉 4종의 단위물질이 수없이 많이 연결되어 길다란 사슬을 형성하고, 이 사슬 두가닥이 마치 사다리를 비틀어놓은 것처럼 서로 감긴 나선구조를 하고 있으며, 그리고 사다리의 발판에 해당하는 것은 양쪽 사슬에서 뺀어 나온 A, G, T, C의 네 염기인데, 이들은 한쪽 사슬의 A와 반대쪽 사슬의 T 그리고 G는 C와 서로 마주보고 짝지어 있다는 것이다.

유전형질과정 등 소상히 밝혀져

왓슨-크릭의 이 구조 해명은 1953년 4월 25일자 「네이처(Nature)」지에 불과 1백28행의 짧은 논문으로 발표되었는데, 발표되자마자 전세계의 주목을 순식간에 끌게 되었다. 그 구조는 이제까지의 많은 실험결과들을 명쾌하게 설명할 수 있게 하였고, 또 신비에 싸였던 유전자의 기능을 일거에 설명할 수 있게 하였기 때문이다. 이 논문의 발표로 유전의 신비를 물질론적으로 해명하는 수많은 연구가 유발되었고, 그 결과 DNA가 자기증식(自己增殖)을 하는 기작도 밝혀졌으며, 또 DNA가 또하나의 핵산인 RNA를 합성하면서 그 속에 자신의 유전정보를 옮겨주고 이 RNA가 DNA로부터 받은 유전정보에 따라 특정 단백질을 합성함으로써 유전형질을 나타내게 하는 과정 등이 소상히 밝혀졌다.

유전정보(遺傳情報)라는 것도 다름아닌 뉴클레오티드 사슬에서 4종의 염기(A, T, G, C)의 배열순서임이 명백하게 되었다. 이것으로 생명현상의 가장 신비스런 현상의 하나인 유전이 거의 완벽하게 물질론적으로 밝혀지게 되었다. 지금부터의 과제는 이 DNA의 기능이 어떻게 조절되느냐, 즉 무엇이 어떤 기작으로 이 유전자의 기능을 on-off시키느냐 하는 문제일 것이다. 이 문제가 해결되면 하나의 수정란이 부모로부터 받은 DNA에 의하여 완전한 하나의 개체로 형성되는 전과정이 물질론적으로 밝혀지게 될 것이다. DNA구조의 해명은 현대생물학에서 가장 획기적인 업적이라고 할 수 있다. 왓슨 등은 이 업적으로 1962년 노벨 생리학상을 수상하였다. ㉔

(다음 호에 계속)