

現代를 변화시킨 20대 發明·發見 ⑳

# 細胞의 腦

## 2重나선의 발견

—데이비드 볼티모어—

와트슨과 크리크의 2중나선은  
과학의 새로운 영역을 넓혔다.



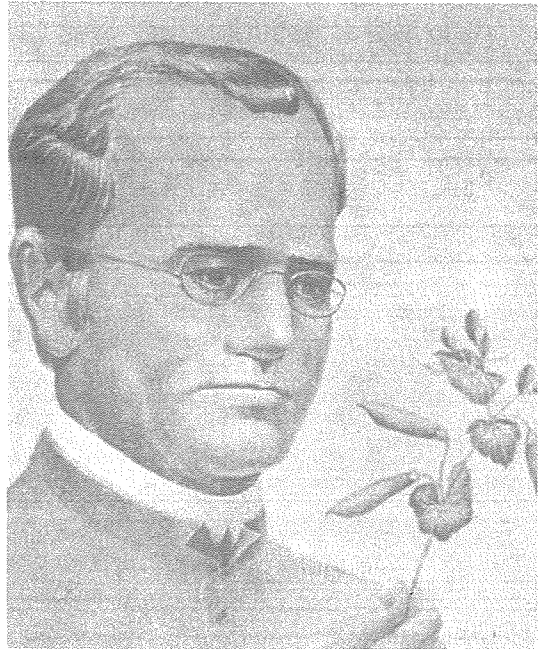
▲제임스 D. 와트슨(左), 프란시스 크리크(右). 이들은 1953년 DNA의 구조를 밝혀냄으로써 오늘날 유전공학의 길을 열었다.

생물학의 신비는 우리 일상생활 속에 깊숙히 스며들고 있다. 인간은 식량을 마련하기 위해 식물을 가꾸고 동물을 키운다. 온기를 간직하기 위해 나무를 태운다. 또 가죽과 면 또는 양모를 몸에 걸친다. 지난 술한 세기에 걸쳐 인간은 생물계를 이용하는데 더욱 익숙해졌다. 그러나 1950년대 이전까지 생물이 영위하는 방법에 관해 우리가 알고 있던 지식은 고작해야 피상적인 것 이었다. 그런데 그것이 바뀌었다. 하나의 발견이 생물시스템에 대한 우리의 새로운 이해와 이 시스템을 다루는 힘의 주요한 발전기 구실을 하고 나선 것이다. 그것은 바로 제임스 D. 와트슨(James D. Watson)<sup>1)</sup>과 프란시스 크리크(Francis Crick)<sup>2)</sup>가 1953년 DNA 구조를 해명하면서 비롯된다.

어떤 과학발견도 무에서 생기지는 않는다. 생물학에서 생물의 기초를 이루는 구조에 대한 관심은 와트슨과 크리크의 1 페이지에 지나지 않지만 생산적인 논문이 발표되기 1세기 전부터 있었다. 그러나 1950년 전 생물학은 과학자들에게 DNA 구조의 발견이 불을 붙인 혁명에 미처 대처할 수 있는 준비를 하나도 제공하지 못

했다. 이 발견의 중요성을 이해하자면 생물 시스템에 관한 2 가지 줄기의 연구를 자세히 들여다 보아야 한다. 그 하나는 생화학 또는 생리학적인 흐름이며 다른 하나는 유전학적인 흐름이다.

생물학에 대한 생리학적인 접근으로 19세기에 시작되어 오늘날까지 계속되고 있는 줄기찬 성공담을 가져 왔다. 이 방법은 생물을 공장으로 보고 그 공장 속의 기계들이 무엇으로 만들어졌으며 어떻게 작동하고 어떤 식으로 통합되어 있는가를 분석하여 이해에 도달하려는 것이다. 모두가 합쳐 시스템의 기능을 발휘하게 만드는 복잡한 메카니즘을 푼다는 것은 언뜻 보기



▲멘델  
완두콩의 유전연구로 유전학의 기초를 구축했다.

에 논리적인 방법으로 보인다.

한편 유전학적인 접근은 기계가 아니라 청사진을, 기계학이 아니라 의사결정의 방법을, 그리고 정보와 역사에 관해 추궁하는 것이다. 공장에 비유한다면 유전학은 기름이 묻은 기계에서 떠나 중역실로 가서 계획의 입안자, 의사결정자, 컴퓨터, 역사적 기록을 분석한다. 이것은 공학적인 접근 보다 차라리 경영대학원식의 어프로치라고 할 수 있다.

오늘날 생물학에서 공장이라는 것은 세포를 뜻한다. 19세기의 생물학자들은 생물시스템이 세포라고 불리는 개개의 적은 단위로 구성되었다는 것을 알았다. 20세기의 생물학자들은 이 세포 속에서 일어나는 일들과 구조를 분석하는데 관심을 돌렸다. 세포는 믿을 수 없을 정도로 복잡하고 어떻게 조직화 되었으며 통합되어 있는가 즉석에서 해답을 얻을 수 없었다. 생물학자들은 세포의 뇌, 바꿔 말해서 세포의 중추가 무엇인지 찾아낼 필요가 있었다.

그 해답은 19세기 유전학의 첫번째 실험에서 나타내기 시작했다. 그레고르 멘델 (Gregor M-

차 례

〈1900 - 1919〉

- 〈1〉 플라스틱이 바꾼 세계
- 〈2〉 IQ 테스트와 합성
- 〈3〉 아인슈타인의 멋진 해
- 〈4〉 혈액형발견이 구제한 듯한 인명
- 〈5〉 수의 재판
- 〈6〉 휴지통에서 나온 진공관
- 〈7〉 식량증산의 길을 튼 잡종옥수수
- 〈8〉 진공소제기에서 揚力을 얻은 현대 항공술

〈1920 - 1939〉

- 〈9〉 산업발전을 떠맡친 發明의 수레바퀴
- 〈10〉 제 2의 의학혁명
- 〈11〉 人類의 뿌리를 밝힌 타우의 어린이
- 〈12〉 原子를 깬 이야기
- 〈13〉 宇宙의 始初를 찾다
- 〈14〉 DDT가 깨버린 알꺃질
- 〈15〉 TV時代의 幕을 올린 튜브

〈1940 ~ 1959〉

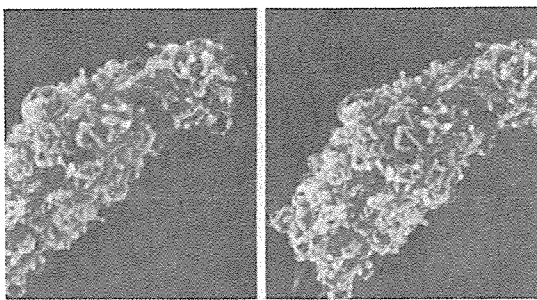
- 〈16〉 女性을 解放시킨 避妊劑
- 〈17〉 現代科學의 얼굴 - 컴퓨터
- 〈18〉 藥物로 고친 精神病
- 〈19〉 트랜지스터에서 초LSI까지
- 〈20〉 細胞의 腦 2重 나선의 발견
- 〈21〉 레이저가 연 光産業

endel)<sup>3)</sup>은 완두콩의 색깔과 구조의 유전에는 규칙성이 있다는 사실을 알게 되고 유전자로 현재 알려진 유전의 기초단위가 있다고 가정했다. 그 뒤 연구자들은 이 유전자가 세포핵 속에 있는 뭉뚱한 소체이지 같은 모양의 염색체의 위에 있다는 것을 밝혀냈다. 이렇게 세포의 뇌는 발견되었으나 이 뇌의 구조와 조직을 뚫고 들어갈 방법이 없었다.

그로부터 50년간 가장 우수한 생물학자들이 이 벽을 뚫고 들어가는 연구를 거듭한 결과 유전학이 탄생하게 된 것이다. 유전학은 뛰어나게 아름답고 통찰력이 풍부한 과학이었으나 가상적인 대상을 다루되 기계적이 아니라 편의상으로 정의를 한 유전의 단위를 다루는 과학이었다. 이리하여 1950년대 초에는 유전학이라는 기념비적인 지적 구조물과 생리학자 및 생화학자들의 소산인 세포활동에 관한 보다 상세한 내용을 우리는 소유하게 되었다. 그러나 중역실과 공장의 현장을 묶는 고리가 무엇인지 알 수 없었다. 와트슨과 크리크는 바로 이 고리를 제공했던 것이다.

지금와서 되돌아 보면 이들의 접근방법은 유전자의 소재를 분석하는데 생화학의 힘을 응용

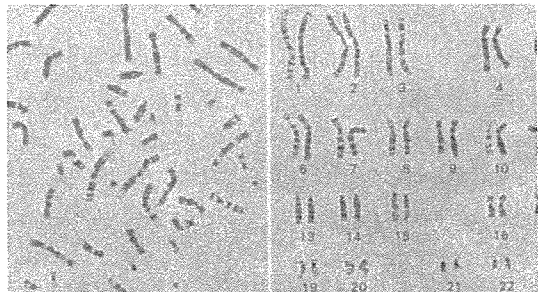
▼사람의 염색체. 사람의 몸을 만들고 있는 세포는 각각 46개의 염색체를 갖는다. 사진은 남자의 염색체이며 가장 긴 염색체로부터 순차적으로 번호를 붙여 정리해 나가면 1~22번까지의 쌍을 이루고 나머지 2개가 쌍을 이루지 않은 염색체가 된다. 이것은 x, y염색체라고 하며, 성을 결정하는 염색체다. 남성의 경우는 2쌍과 x, y염색체의 조합이 되고 여성의 경우는 22쌍과 x, x염색체의 조합이 된다. 유전자는 이들 염색체의 특정한 장소를 타고 있다. 예컨대 ABO식의 혈액형을 결정하는 유전자는 제 9 염색체상에 있다.



▲사람의 배양세포의 염색체를 주사형 전자현미경으로 관찰하면 가는 섬유가 쿠프 모양으로 튀어나가거나 꼬이고 있는 것을 알 수 있다. 지면에서 20~30센티 정도 눈을 떴고 오른쪽 눈으로 오른쪽 사진, 왼쪽 눈으로 왼쪽 사진을 주시하면서 그림을 겹치면 염색체가 입체적으로 보인다(3만 4천배)

했다. 그러나 당시에는 유전자를 만든 소재가 무엇이었는지 분명하지 않았다. 1944년 미국 록펠러연구소의 오즈월드 에이버리(Oswald Avery)와 그의 동료들은 한 실험에서 유전정보를 전달하는 화학물질이 데옥시 리보핵산 또는 DNA라는 것을 비쳤고, 1952년 두번째 실험에서 미국 콜드 스프링 하버 연구소의 알프레드 허쉬(Alfred Hershey)<sup>4)</sup>와 마더 체이스(Martha Chase)는 이 결론을 추인했다. 따라서 와트슨과 크리크는 어디를 추궁해야 할 것인가 알고 있었다. 그러나 DNA의 구조를 해명할 수 있는 유일한 현미경은 빛이 아니라 X선을 사용한 것이었다.

X선을 사용하여 분자의 구조를 연구하는 일은 영국과학의 하나의 '특기'였다. X선 결정학으로 알려진 이 기술은 1912년 처음으로 소금의 결정해석에 쓰였고 1930년대에는 더 큰 분자에 응용되었다. 1950년대 초에는 런던의 두 연구자로osalind 프랭클린(Rosalind Franklin)과 모리스 윌킨스(Maurice Wilkins)<sup>5)</sup>가 각각 독립적으로 높은 해상도를 가진 DNA사진을 찍는 데 성공했다. 그러나 X선 사진은 광선으로 찍은 사진과 같지 않다. X선을 수렴하는 렌즈가 없기 때문에 수학이 유리렌즈를 대신한다. 그래서 DNA를 보는데 필요한 수학은 DNA의 구조가 이렇게 되었을 것이라는 추리를 근거로 한 모델에서 계산을 하게 되는 것이다.



와트슨과 크릭은 당시 정확하지 못한 정보와 믿음직하지 못한 도구로 연구를 계속하고 있었다. 그래서 이들은 통찰력과 육감과 분석을 섞어가면서 X선의 영상과 모순이 되지 않는 DNA구조 모델을 만들어 냈다. 이들의 승리는 개성적이며 지성의 승리였다. 이들은 X선 영상과 모순되지 않는 것은 2개의 서로 얽힌 2중 나선이라는 사실을 발견했다. 과학자들은 오늘날에 이르기까지 DNA의 상세한 구조에 대한 논의가 많으나 와트슨과 크릭의 모델은 너무나 완벽한 것이어서 당시에는 거의 주저없이 받아들였다.

와트슨과 크릭은 유전자의 구조가 2개의 사슬이 서로 상대방의 구조를 상보하는 모양으로 배치되고 사슬마다 그 위에는 4종류의 화학단위(염기)가 타고 있다는 것을 발견했다. 그리고 이 단위는 생물체의 성장과 증식을 위해 필요한 명령부호를 형성하고 있다. 이 발견 뒤에 계속된啓發은 굉장한 것이었다. 우선 유전자는 정보를 디지털 방식으로 축적하며, 이 디지털 부호는 4문자로 되어 있는 암호라는 것, 그리고 서로 상보적인 사슬, 2중나선이라는 사실 때문에 유전자는 정확하게 복사된다는 것 등이 밝혀졌다. 4종류의 문자는 이른바 무한한 ‘컴퓨터 테이프’ 상에 배열되어 있어 유전자는 저마다 단독으로 존재하는 것처럼 보여도 실제로는 ‘정지’와 ‘출발’의 신호로 구획된 테이프상의 한 영역에 지나지 않는다는 것도 확인되었다.

▼오즈월드 에이버리(1877~1955). DNA가 유전자라는 것을 처음으로 발견했으나 죽은 뒤에 그 업적이 평가되었다.



오늘날 DNA와 컴퓨터 테이프의 비유는 더욱 명백해지고 있다. 컴퓨터가 2진 코드를 사용하는 것만을 제외한다면 DNA는 1930년대 후반에 앨런 튜링(Alan Turing)<sup>6)</sup>이 처음으로 고안한 튜링의 원리를 구체화한 것이라고 볼 수 있다.

만약에 생물학자들이 정보이론에 정통해 있었다면 1944년 오즈월드 에이버리가 지적했던 가늘고 긴 분자의 실이 컴퓨터와 꼭 같은 방법으로 정보를 축적한다는 사실을 더욱 빨리 고안해냈을 것이다.

DNA의 구조가 일단 밝혀지자 생리학과 유전학의 연결은 곧 이루어졌다. 세포의 뇌는 염기 배열의 형태로 코드화되어 있는 일련의 정보를 주사하는 테이프 해독장치였던 것이다. 이 정보는 최종적으로 3차원의 구조를 가진 단백질로 바뀌는 것이다.

세포의 뇌는 실질적으로 컴퓨터와 유사한 점을 갖고 있다. DNA에 저장된 정보량은 방대하며 지난 15년간 개발된 여러가지 방법으로 분자생물학자들은 대량의 DNA부호의 덩어리를 마음대로 해독할 수 있게 되었다. 이 정보는 다시 대리세포의 구실을 하는 컴퓨터에 넣어서 우리가 암호로 바꾼 정보를 이해하는 것을 돕고 있다.

DNA구조의 해독은 현대 생물학 혁명의 시작에 지나지 않았다. 와트슨과 크릭의 발견 이래 20년간 과학자들은 DNA를 복제하는 단백질 DNA를 절단하는 단백질, 그리고 DNA를 봉합하는 단백질을 발견했다. 단백질의 이런 종합된 능력은 분석과학을 합성과학으로 변모시켰다.

1974년에 이르러 분자생물학자들이 한 동물에서 1개의 유전자를 끄집어 내어서 이것을 다른 동물의 유전자 세트속에 삽입할 수 있게 될 전망이 트였다. 특히 인간의 유전자를 박테리아, 효모, 바이러스의 유전자 속으로 삽입하는 방법을 발견했다.

이런 단세포 생물과 바이러스를 조작하는 기술은 2가지 용도에 사용할 수 있다. 첫째로 유전자의 상세한 내용을 들여다보기 위한 분자현미경으로서 사용할 수 있고, 둘째로 유전자에 코



▲로잘린드 프랭크린

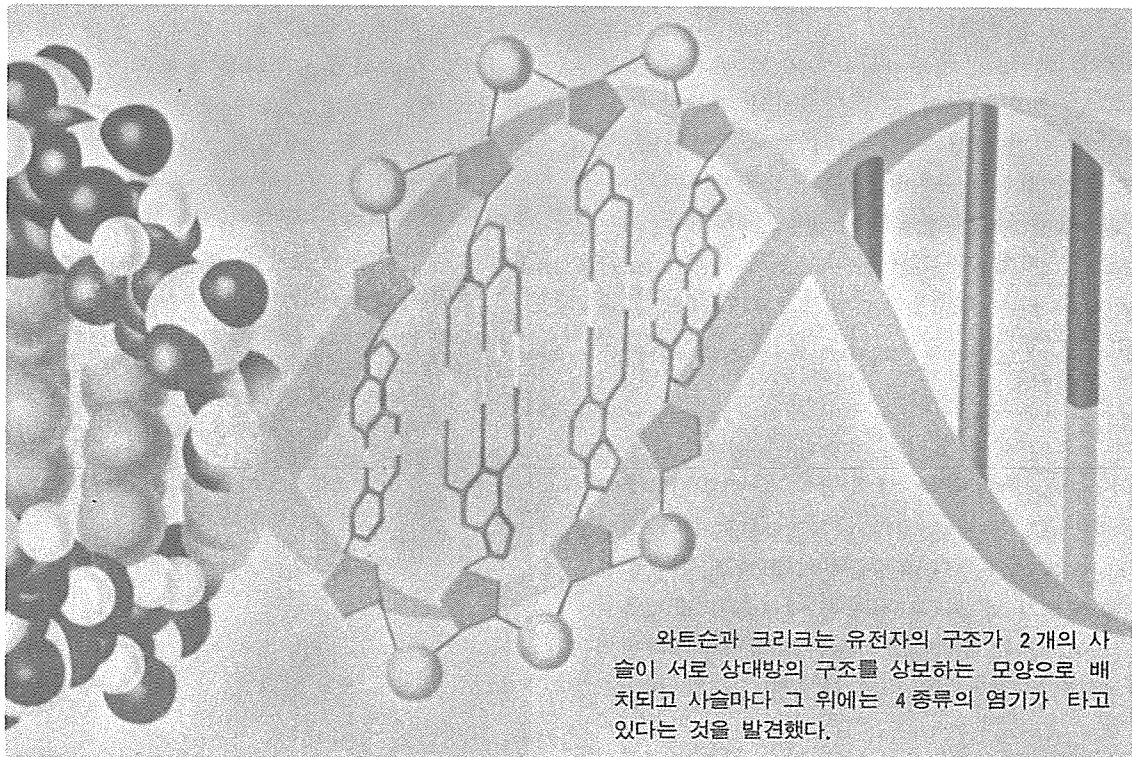
그녀는 X선을 사용 DNA 사진을 찍는데 성공했다.

드되어 있는 단백질을 합성하는 공장으로 이용할 수 있다. 이로써 기초 과학자들은 분석능력

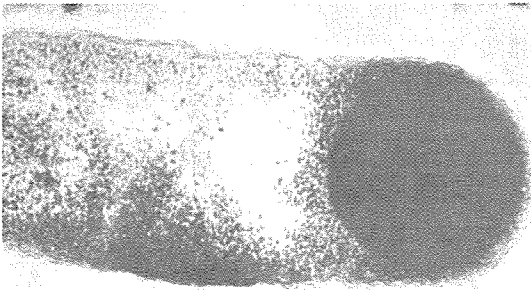
을 크게 확대할 수 있게 되었다. 또 보다 실용면에 관심을 둔 사람들에게는 종전에 적은 양밖에 입수할 수 없었던 단백질을 대량으로 생산할 수 있는 능력을 주게 되었다.

그뒤 10년간 많은 승리를 거두었다. 예컨대 암 유전자가 발견되었고, 면역시스템이 해명되었으며, 암치료에 쓸모가 있을지 모른다고 밝혀진 항바이러스성의 단백질인 인터페론이 대량으로 생산되었다. 이것은 다만 주요한 성과의 일부에 지나지 않는다. 앞으로 더 많은 성과들이 뒤를 이을 것이다.

1984년은 분자생물학에서 기대할 수 있는 극적인 진보가 바야흐로 시작되는 시점에 있는 것이다. 생물학의 가장 큰 수수께끼인 인간의 신경계의 기능까지도 앞으로 몇 십년 내에 해명될 전망이 내다 보인다. 또 많은 신약과 새로운 화학합성법 그리고 에너지 생산과 마이크로 일렉트로닉 소자의 새로운 생산 방법들이 생물학적인 구조와 기능에 관한 지식에서 나올 수 있다고 전망된다.



와트슨과 크릭은 유전자의 구조가 2개의 사슬이 서로 상대방의 구조를 상보하는 모양으로 배치되고 사슬마다 그 위에는 4 종류의 염기가 타고 있다는 것을 발견했다.



▲이 대장균은 유전공학으로 인슐린을 생산하고 있다. 세포질 중의 오른쪽에 보이는 둥근 덩어리가 인슐린이다.

그러나 생물시스템을 인간에게 봉사하도록 활용할 수 있다는 전망으로 누구나 미칠듯 기뻐하고 있는 것은 아니다. 이런 전망은 결국 인간이 다른 생물을 포함한 주변의 모든 요소를 조절하고 지배한다는 것을 의미한다. 그런 힘의 사용법은 철학적이며 실용적인 견지에서 심각하게 고려해야 할 필요가 있는 것이다. 인간은 우리의 환경을 어디까지 제어해야 할 것인가? 우리의 개입이 끝내 미치는 영향에 관해 우리는 어느 정도 알고 있는가? 이런 질문에 대답하려면 장기간에 걸쳐 집중적이며 신중한 고찰이 요구된다. 특히 하나의 측면인 인간의 특성까지 조작할 수 있는 현대 생물학의 힘에 관해 최근 몇 해째 광범위한 논의를 불러 일으켜 왔다.

복잡한 다세포생물의 유전을 조작하는 것은 단세포 미생물의 경우보다는 훨씬 어렵다고 하지만 우리는 스스로의 유전구조를 조작할 수 있는 잠재능력을 갖고 있다. 적어도 생쥐의 경우 유전조작은 일상적인 일처럼 되어가고 있다. 그러나 최근 실험적인 연구에 쓰이고 있는 이 기술은 인간에게 그대로 적용될 수 있다고는 말할 수 없다.

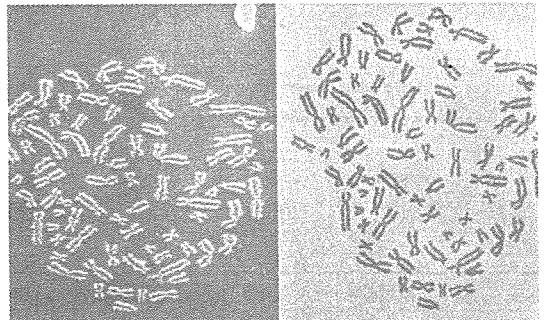
이 점을 이해하기 위해 현재 사람들이 생각하고 있는 2종류의 유전공학의 차이를 분명히 해둘 필요가 있다. 그 하나는 체세포의 유전공학이다. 이 유전공학은 세포의 유전자를 조작하여 유전병을 치료하되 미래 세대에 인계될 유전자는 손을 대지 않는다. 이런 치료법은 가능하고도 바람직한 것으로서 널리 받아 들여 지겠으나

그 유효성에는 한계가 있을지도 모른다. 예컨대 가까운 장래에는 적혈구를 수정하여 낱세포병과 같이 태어날 때부터의 유전의 잘못을 정상으로 되돌릴 수 있을지는 모르나 혈액세포의 이식 기술만 있다면 유전자를 수정하는 따위의 절차는 불필요한 것이다.

이와는 대조적으로 다른 하나의 유전공학은 생식계열의 유전공학인 바 이것은 한 세대에서 다음 세대로 인계되는 유전자에 수정을 가하는 것이다. 이런 절차로 어린이가 양친의 유전병을 물려받는 것을 방지할 수는 있겠으나 심각한 문제들을 제기하고 있다. 어떤 유전자를 바꾸는 것이 적절한가? 또 인간의 유전에 개입함으로써 어떤 결과를 가져올 것인가 우리는 완전히 알지 못하고 있다.

다음 세대로 인계될 유전자를 수정한다는 것은 가설로서는 가능하다고 하지만 실험적인 경험에서 본다면 오늘날도 실행할 수 있는 치료법은 아니다. 이 방법을 실현하기 위해서는 정상적인 유전자를 이상 유전자가 존재하는 곳에 삽입하지 않으면 안된다. 현재로서는 생쥐 속에 유전자를 무작위로 삽입하는 방법은 알고 있으나 염색체의 적당한 장소에 유전자를 집어 넣어 이 유전자들이 적절하게 기능을 다할 수 있게 하자면 아직도 아득한 위치에 있다. 사실은 우리가 생식계 유전 공학이 요구하는 절대적인 정확도를 가지고 유전자를 대치하는 방법을 아직도 모르고 있는 것이다.

▼사람의 암세포에서 잡은 염색체의 광학현미경상(右)과 주사형 전자현미경상(左). 염색체는 나선구조를 한 것처럼 보인다. 암세포에는 보통의 세포보다도 염색체수가 많은 것이 있다(1,650배)







▲ 유전공학의 미래를 전망하는 상징적인 그림.

물론 분자생물학은 불과 31년전 DNA 구조발견에 기초를 둔 아직도 젊은 과학이다. 인간의 질병을 치료한다는 가장 복잡한 응용의 길이 이제 방금 개발을 시작한 시점에 있으나 앞으로 2~3년 내에는 실현될지 모른다. 그러나 다음 세대로 인계되는 유전자를 수정하기 위해, 이 새로운 기술을 사용하는데 있어서 심각한 장애가 가로 놓여 있다. 이것은 인간의 유전을 바꿔야 할 것 인가의 여부를 둘러싼 윤리적인 어려운 문제를 망각 해야 한다는 뜻은 아니다. 그와는 반대로 이것은 인간의 존엄성에 관련된 심각한 문제이며 이 논의는 우리 스스로의 아이덴티티(본질성)에 대한 우리의 견해를 조명할 수 있기 때문이다. 그러나 흔히 예측할 수 없는 경로를 통해 불가능한 것이 가능하게 되는 경우가 있다. 우리는 이 미래의 기술을 우리의 생활 속에 통합시킬 준비를 갖추고 있어야 하며 또 그런 능력도 갖고 있다. 이런 기술에 어떻게 대응할 것인가 하는 것이 우리가 착수할 수 있는 가장 도전적인 연구분야의 하나인 것이다.

(玄源福 譯)

註

1) 왓슨(James Dewey Watson, 1928~) : 미국 분자생물학자. Chicago 대학, Indiana 대학을 졸업한 뒤 Kopenhagen, Cambridge에 유학, 1956년 Harvard 대학 교수, 1968년 Cold Spring Harbor 생물학 연구소장. Cambridge 대학 체제중에 F. H. C. Crick와 협력하여 DNA 이중나선 구조모형을 확립하고 1962년 이 업적으로 노벨 생리의학상을 받았다. 그 뒤 유전 정보 전달기구의 연구를 계속하고 있다.

2) 크릭(Francis Harry Compton Crick, 1916~) : 영국 분자 생물학자. 1938년 London 대학 University College를 졸업 후 X선 회절에 관한 연구를 하던 가운데 생물학에서의 핵산의 중요성에 눈을 돌리고 1953년 J. D. Watson과 함께 DNA 2 중나선 모형을 확립했다. 1962년 이 업적으로 노벨 생리의학상을 받았다. 1959년 Royal Society 회원, 1962년 이래 Cambridge의 의학연구회의 분자생물학 연구소원이 되었다. 그 후에도 생체물질의 구조결정, 아미노산코드 등 문제에 관해 뛰어난 연구를 계속하고 있다.

3) 멘델(Gregor Johann Mendel, 1822~1884) : 오스트리아의 생물학자. 완두콩의 유전연구로 유전학의 기초를 구축했다. 그의 Mendel's Laws(멘델의 법칙)은 ① 우열의 법칙 ② 분리의 법칙 ③ 독립유전의 법칙 등 3개로 나눌 수 있으며 유전학의 기초가 되었다.

4) 허쉬(Alfred Day Hershey, 1908~) : 미국 생물학자. 미시건주 태생. Michigan 주립대학을 졸업하고 학위를 딴 뒤

1934~50년 Washington 대학에서 연구. 1950년 Carnegie 연구소 유전학부로 옮겨 1962년에는 부장이 되었다. 1943년 M. Delbrück와 만나 파리의 유전학연구로 들어가 1945년 파리의 유전자 재결합 현상을 발견, 1952년 DNA가 유전물질이라는 것을 입증하는 실험을 하여 DNA 2 중나선구조 발견의 배경을 제공했다. 1969년 노벨 생리의학상을 받았다.

5) 윌킨스(Maurice Hugh Frederick Wilkins, 1916~) : 영국 생물물리학자. 뉴질랜드 태생. 1940년 Cambridge 대학을 졸업. 제 2차 세계대전 중에는 미국에서 원폭개발 계획에 종사했으며 1946년 London 대학 King's College의 교직에 부임. 의학연구회의 생물물리연구소에 소속되었다. DNA의 X선회절에 의한 구조결정, 메신저 RNA의 결정화 등 업적을 올렸고 1962년 핵산의 구조결정 업적으로 노벨 생리의학상을 받았다.

6) 튜링(Alan Turing, 1912~54) : 영국의 수학자. 케임브리지대학을 나온 뒤 제 2차대전 중 영국정부의 요청으로 Oxford 근처 Bletchley Park라는 작은 동네에서 동료 과학자들과 독일 최고사령부의 군사암호를 해독하는 기계를 고안, 이때 독일은 U-boats로 영국선박을 격침하고 있었는데 Enigma라고 불리는 암호기계가 이 격침지령을 보내고 있었다. 튜링은 Colossus라는 이름의 최초의 디지털 컴퓨터를 설계 하여 Enigma 암호를 끝낼 수 있게 된 연합국 승리에 큰 전기를 가져왔다. 전후 그는 Manchester 대학의 전산기그룹에 참여했으나 1954년 자살했다.