

찰스 버치, 존 캡 『생명의 해방- 세포에서 공동체까지』

제 2장. 진화

I

찰스 다윈은 전체 구성 중 하나의 독특한 유기체는 다른 존재에 대해 완벽하게 적응하는 것에 놀랐으며, 적응의 기원에 관한 현대적 관점을 제공하였다. 또한 그는 ‘극도의 완전성과 복잡성을 갖춘 기관’이 자신의 이론을 결정적으로 검증한다는 것을 알았다. 2장에서, 1절은 진화의 기반을 구성하는 우연(chance)을, 2절은 몇몇 우연한 돌연변이를 보존하고 증가시키는데 자연선택이 어떻게 작동하는가를 설명한다. 자연선택은 진화에 작용하는 두 가지 대원칙으로서 우연과 필연을 생각하게끔 하는 그런 방식으로 일어난다. 하지만 실제로 동물의 자연선택은 부분적으로 상황에 대한 그들 자신의 지적이고 합목적적인 반응에 의존한다. 3절은 진화 과정을 위해 미리 설정한 목적이 없다고 해도, 실제로 목적이 진화과정의 일부분임을 설명한다.

II

2.1. 1절: 우연과 돌연변이

첫 번째 세포가 가지고 있는 원래의 유전 정보는 아주 정확하게 계속하여 다음 세대에 전달된다. 아주 드물게 정확성을 벗어나 차이를 가지고 복제되기도 하였다. 즉 뉴클레오티드의 서열이 원래의 순서에서 벗어나 변화를 일으키는데 이는 돌연변이로서 진화의 기본적인 요인이다. 결과적으로 수십억에 이르는 종은 각 종에게 상이한 정보를 공급하는 DNA 종류의 차이에 의해 생성됨을 알 수 있다. 또한, 돌연변이에 관한 과학적 지식은 현존하는 생물을 연구함으로써 얻을 수 있다. 즉 수백만에서 수십억 중에 한 번은 증식하는 세포의 복제가 부정확하게 일어난다. 생식세포의 복제에서 오류나 사고가 일어난다는 것은 뭔가 새로운 것이 시작됨을 암시하며 이것이 돌연변이의 출현이다. 사실 돌연변이는 생물의 적응능력을 감소시켜 해를 끼치는 유전정보를 만들어낸다. 그러나 돌연변이가 우연히 생존과 생식의 기회를 증진시키는 특성을 지닌 정보를 전달할 수 있을지도 모른다.

ex) 1. 곤충에 DDT에 저항성을 갖도록 DNA 분자에 변화가 일어나서 돌연변이가 생겼다면 그런 경우는 행운을 가져다주는 사고에 속한다.

2. 혈우병: 인간의 DNA에 변화를 주는 돌연변이는 고도로 해로운 것이다. 불행히도 특정 돌연변이에 의해서 유발된 것으로 밝혀진 인간의 유전병은 현재 1,600종이 넘는다(Birch, 1975b: 10)- 이것은 돌연변이에 의한 창조가 치러야할 대가 중의 하나로 볼 수 있다.

(요약하면, DNA가 정확성의 차이와 서열의 이탈에서 돌연변이를 발생시키고 그것은 진화의 기본적인 요인이다. 즉, 생식세포의 복제에서 오류나 사고가 일어나 새로운 것이 시작되는 것이 돌연변이의 출현이며 예를 들어, 인간의 DNA에 변화를 주는 돌연변이는 혈우병이다.)

모노는 돌연변이를 우연에 의한 사고이며 진화에서 우연은 결정적인 역할을 한다고 설명한다. 우연적 사건에서 목적(purpose)의 역할도 지대하며, 이는 인간의 진화에서 결정적으로 중

요하다. 돌연변이의 유발원인은 우주광선, X선, 다른 종류의 방사선 등이다. 환경의 직접적인 영향에 의해, 그리고 그 환경에서 생존과 생식의 기회를 확대시키는 그러한 방법으로 돌연변이가 생성되는 구조를 상상하는 것은 가능하다. 예를 들어, 극심한 추위가 추위 저항성 돌연변이를 유발할 수 있고, DDT가 DDT저항성을 지닌 돌연변이를 유발할 것이라고 상상할 수 있다. 방사선 같은 몇몇 환경성 스트레스는 돌연변이를 유발할 수 있지만 그 효과는 아주 미미하다. 방사선 저항성과 같은 장점을 부여한다는 관점에서 오히려 적절할 수 있다.

(요약하면, 모노는 돌연변이는 우연에 의한 사고라고 정의하고, 진화는 우연이 결정적 역할을 하며, 목적은 인간의 진화에서 결정적으로 중요하다.)

유전정보가 변화하는 현상은 창조과정에서 대단히 비효율적인 방법이라고 생각될지도 모르지만 변이를 생성하는 이러한 방법으로부터 두 가지 특별한 유전적 메커니즘이 최고의 가치를 끌어낼 것으로 보인다. 즉 유성생식을 통한 유전자 재조합과 유전적 변이의 저장이다. 라마르크는 환경의 변화→습관의 변화→체형의 변화→유전자의 변이를 이끈다고 설명하였다. 그는 오리물갈퀴를 예를 들었는데, 그의 이론은 나중에 획득형질에 관한 분쟁으로 인해 실험적으로 허구로 밝혀졌다. 획득형질이란, 조류가 물에 빠지지 않으려고 발을 휘젓는 시도를 하며 이 새로운 형태의 운동은 체형변화, 즉 발가락 사이의 물갈퀴 발생으로 이어지는 것을 의미한다. 기린의 목이 나뭇잎을 먹기 위해 목을 늘리기 시작하여 대대로 노력해서 목이 길어짐과 같다. 돌연변이는 1910년 모건에 의해 처음으로 확인이 되었는데, 즉 빨간 눈을 가진 정상적인 초파리를 사육하는 과정에서 흰 눈을 가진 초파리가 발견되었다. 그리고 돌연변이는 멘델의 법칙에 따라 자손에게 전달되며, 진화에 필요한 변이의 원천 공급자이다.

돌연변이는 서로 다른 생물체에 존재하는 유전자 차이의 궁극적 원천이다. 변이의 2차적 원천도 있는데 그것은 유성생식의 방법으로 이루어지는 유전적 재조합이다. 무성생식과는 다르게 유성생식은 자손에게 다양성을 증진시킨다. 모든 생식 세포가 동일한 유전자 구성(DNA)을 갖는 것은 아니다. 아마도 동일한 구성을 갖는 것은 하나도 없을 것이다. 인간이 어떤 유전자 구성을 갖느냐는 것은 우연 혹은 기회의 문제라고 할 수 있다. 이러한 기회가 유성생식 집단에서 유전적 다양성의 광대한 풀을 형성하는 역할을 담당하는 것이다.

2.2 자연선택

자연선택(natural selection)은 유성생식을 통한 돌연변이와 유전자 재조합에서 유래된 유전적 변이의 풀(pool)에서 작용한다.

자크 모노는 『우연과 필연』에서 우연을 순수한 기회의 영역으로부터 유래되어 필연의 영역으로, 그리고 가장 융통성이 없는 확실성의 영역으로 들어간다고 언급했다. 필연은 고도의 생존능력과 생식능력을 부여받은 개체는 자신의 특징을 후손에게 물려주어 세대를 계승해 나감에 있어 그런 능력을 덜 호의적으로 부여받은 개체보다도 필연적으로 더 공헌할 것이라는 의미이다. 그러나 우연 변이로부터 추정되는 개념은 모노가 언급했던 의미처럼 결정론적 필연의 종류는 아니다. 자연선택의 작용은 그보다 훨씬 난해하다. 한편, 토르프(Thorpe 1978)는 습관과 전통, 행위적 발명이 진화 이야기에서 점증적 역할을 담당해 왔다고 언급했다.

자연선택은 자연에서 실제로 발생하였던 사실이다. 수정란에서 성체로 발생해가는 과정에 있는 생물체 전체는 자연선택의 영향 아래 있으며, 구조적, 진화적 유전에 의해 부여된 제약 안에 있다. 만일 집단이 유전적 변이성을 풍부하게 저장하고 있다면, 자연선택은 집단을 새로운 환경에 적응하게끔 전이시킬 수 있을 것이다. 우리가 서로 다른 종이라고 부를 수 있는 상태로 가는 데는 보통 수천 세대의 장구한 시간이 요구된다. 서로 다른 종이라고 칭할 만큼 큰

차이를 가진 집단이란, 한두 개 정도의 유전자가 아니라 꽤 많은 수의 유전자에서 차이점을 가질 것이다.

진화는 연속적 과정이며, 오늘날에도 여전히 진행되고 있다는 증거가 무수히 많다. 진화란 자연에서 단일 종의 집단 사이에 약간의 분기가 이루어졌거나 또는 전혀 이루어지지 않은 상태에서부터 아예 다른 종이라고 부를 만큼 큰 분기가 일어난 상태까지 모든 단계를 포괄하기 때문이다. 동,식물의 자연선택에 관한 현대적 연구 결과는 진화의 바로 그러한 측면을 보여주고 있다. 우리는 오늘날 자연에서 서로 다른 종이라고 부를 수 있을 만큼 큰 차이를 보여주고 있는 몇몇 생물 집단을 발견할 수 있다. 자연이 아무 변화가 없을 만큼 대단히 뚜렷한 형태로 나누어진다는 린네(Linnaeus)의 낡은 발상은 더 이상 유지될 수가 없다.

2.3 자연선택에 의한 진화론의 발달 3단계

1. 1859년 다윈의 <종의 기원>; 대담한 윤곽

2. 1930년 비로소 가능해졌다. 3명의 유전학자가 각각 독립적으로 자연선택의 유전적 이론을 발전시켰으며 즉 영국의 피셔와 홀데인 그리고 미국의 라이트이다.

3. 1953년 왓슨(James Watson)과 크릭이 DNA 분자의 구조를 밝혀내는 데서 시작되었으며 돌연변이와 자연선택의 문제를 분자적 용어로 해석하는 문을 활짝 열어주었다.

자연선택의 난해한 작용을 이해하는 몇 가지 발상은 와딩턴이 환경적 영향에 대한 유전적 동화라고 불렀다.

다윈은 앞으로 적응할 특수한 외부 영향과는 무관하게 유전적으로 구축된 것이라고 해야 맞다. 우리는 타조의 조상에게서 굳은살을 형성하는 남다른 능력이 있는 유전자 변이가 일어났다고 예측할 수 있다. 땅에 닿을 때 마찰이 생기 것은 하나의 환경적 스트레스이다. 타조는 가장 적절하게 적응하여 살아남도록 피부를 두텁게 하는 유전자를 가진 종족이 발생하게끔 자연선택이 일어났을 것이다.

-와딩턴: 이 과정을 환경적 영향에 대한 유전적 동화라고 불렀다. 그것은 라마르크주의가 아니라 철저히 다윈주의적 과정이다. 중요한 점은 유전적 동화가 자연선택이라는 단순한 모델의 '치고 빠지는 요소(hit and mis element)를 감소시킨다는 것이다. 각 생물체는 물려받은 유전자와 발달 환경에 반응하여 가장 적절하게 적응해 가면서 고도로 생존과 생식의 기회를 기록할 것이다.

2.4 목적을 향하여

모노는 그의 저서 『우연과 필연』(Chance and Necessity)에서 돌연변이는 우연의 문제이며, 한번 도입된 변이에는 필연성이 있다고 보았다. 그러나 그는 진화에서 목적을 무시하지는 않되, 목적이 배제되어야 한다고 강력하게 주장함. 목적적 행위는 진화의 과정에 어떠한 영향도 미치지 않는다고 생각하였다. 와딩턴은 타조의 굳은살 생성에 관한 다윈의 철저한 해석이 바로 획득 형질의 유전적 동화라는 자신의 개념을 잘 풀이해 준 것으로 설명하였다.

사과를 먹는 초파리의 원 개체들 가운데 유연성 면에서 유전적 차이가 생김. 몇몇 개체는 결코 오류를 범하지 않았기에, 항상 사과만을 선택했다. 그러나 몇몇 개체는 유전적으로 좀더 유연성을 가지고 숙주를 선택했기에, 사과가 아니라 호두에서 발견되었다. 그들의 생명은 호두에서 시작되었기 때문에, 호두에서 생명을 유지하게끔 '숙주 조건화'가 일어날 것이다. 사과라는 과거의 환경에서는 생존의 가치가 없었던 돌연변이가 호두라는 새로운 환경에서는 유리하게 적응할 수 있다.(Andrewartha & Birch, 1954)

곤충의 획득 행동이 어떤 의미가 있으며 어떤 목적에 합치하는지의 여부는 아마도 논쟁의 여지가 남아 있을 것이다. 그러나 획득 행동이 처음부터 유전자에 의해 프로그램된 것은 아니고 적응에 의한 행동인 것만은 확실하다. 사례로 박새를 들 수 있다. 박새가 우유를 마시기 위해 병을 개봉하는 법을 학습 후 먼저 병 꼭대기에 있는 종이 뚜껑을 열고, 그 다음에 금속 뚜껑을 개봉한다. 그러한 습관은 세대를 이어가면서 학습이 이루어진 결과이며 박새의 유리한 행동변화가 시작된 것이 결국에는 유전적 형질마저 결정할 것이라고 추측하였다. 이 학습은 개체 수준에서 일어나는 일이며, 박새는 일정한 욕구를 가지고 목적을 달성하는 행동을 학습. 왜냐하면 박새는 유전적 변화를 초래할 것으로 추정되는 새로운 환경에 대해 재치 있는 적응을 폭넓게 수행하기 때문이다. 모노의 일반적인 진화 이론: 진화에서 중요한 전환점은 새로운 생태적 공간의 침입 시점과 일치한다. 그 시작은 원시 어류가 육상에서 일종의 탐험을 감행하기로 '선택'한 데서 비롯되었을 것이다. 바닷물에 고구마를 씻는 특정한 원숭이 무리는 생물학적 측면보다도 문화적 측면에서 다른 원숭이 무리와 차별성을 보인다. 마라이스는 비비원숭이(수목생활, 산중생활)의 행동상의 차이를 문화적이라고 설명했다.

2.5 인간의 진화

우연과 필연 및 합목적적 행동을 통하여, 원숭이처럼 생긴 생물은 오스트랄로피테쿠스(손을 정교하게 사용하기 시작) → 호모에렉투스(불의 사용법을 최초로 발견) → 호모 사피엔스(현생 인류)로 변모되었다. 진화과정은 해부학적으로는 뇌와 사지가 큰 폭으로 변하였다. 이보다 더 중요한 두 가지 현상이 출현하였다.

1. 뇌가 발달하면서 지능이 형성되어 추상적인 사고 능력이 생겨남.
2. 언어라는 수단을 통하여 의사소통 능력이 부여된 점.

; 인간은 고도로 발달된 상징적 사고 능력과 언어사용 능력을 가진 유일한 생물종이다.

문화는 인간에게서 학습된 정보구조가 발달한 것을 관찰할 수 있으며, 교육을 통해 학습되고 세대를 따라 전달되는 특징이 있다. 즉 인간은 유전적 유산뿐만 아니라 풍요로운 문화적 유산도 획득한다. 단세포 생물에 이르기까지 모든 동물은 학습능력을 보유하고 있는 것으로 생각된다. 그러한 학습능력은 고등동물, 곧 조류와 포유류 및 특히 인간의 경우에 유난히 높은 수준을 보여준다. 문화가 축적되고 발전해감에 따라, 자연 선택적 강점을 가장 잘 이용할 수 있는 개인들, 즉 효과적인 사냥꾼이나 효율적인 도구제작자, 그리고 수완 좋은 지도자 등이 그 강점의 이득을 많이 보게 된다. 인간의 그러한 특징에서 자연선택이 작동한다는 사실을 훌륭하게 통찰한 내용이 1864년 알프레드 러셀 월리스가 발표한 논문에 잘 나타나 있다. 다음 글은 다윈의 『인간의 후손』(The Descent of Man)이 출판되기 7년 전에 쓴 글이다.

“인간의 정신적, 도덕적 성품은 인간을 열악한 환경에 대항하여 더욱 좋은 길로 인도하고, 또 안전과 안보를 위해 서로를 결합시켜야만 했는데, 이러한 방향으로 조금씩 일어난 모든 변화들이 보존되고 축적되었을 것이다. 정신 조직의 급속한 향상이 일어나서 이제까지 짐승보다 우위에 있었지만 그래도 가장 저급한 단계에 있던 인간종족을 한층 끌어올렸을 것이다”(Hardy, 1966:36에서 인용).

기어츠는 행동능력을 갖추는 데 필요한 부가적 정보를 공급받기 위해서 우리는 차례로 점점 더 비중 있게 문화적 자원에 의존해야만 한다(Geertz, 1965: 112)고 강조했다. 문화적 진화는 매우 느리고 더딘 과정이지만, 문자를 발명하면서부터 문화적 진화 과정은 엄청난 속도를 내

기 시작하였다. 또한 칼 포퍼(Karl Popper, 1972); 인간의 발달에서 문화의 역할을 논증하기 위해 간단한 정신 실험을 제안하였으며, 그는 문화를 '제3의 세계'라고 불렀다. 반면에 제1의 세계는 물리적, 제2의 세계는 의식계라고 칭하였다.

포퍼의 실험은 현존 인류와 그때 당시의 조상 사이에 존재하는 주요한 차이가 유전적이 아니고 문화적이라는 사실을 직시하도록 해준다. 그리고 "인간은 가장 독특한 진화의 산물"이라고 도브잔스키는 서술하였다.

인간의 역사에 대한 생물학적 이해를 통해 우리는 인간과 전 인간을 구별하는 결정적인 특질이 역사의 특정한 시기에 어떤 한 개인에게서 처음으로 나타난 것이 아님을 알 수 있다. 그렇게 결정적인 순간이나 결정적인 개인은 애당초 존재할 수가 없다.

진화란 집단의 여행이다. 돌연변이, 유전자 재조합, 그리고 자연선택은 집단에서 발생하는 현상이다. 인간의 유전자 풀은 어떤 한 개인에게 속한 것이 아니라, 특정 시기에 살고 있는 인류의 집단 전체에 속한 것이다. 진화의 가장 본질적인 현상은 전체로서의 집단에서 서로 다른 종류의 유전자 비율내지 빈도가 변화하는 것이다.

테이야르 드 샤르댕은 "최초의 인간은 균중이다. 그리고 균중일 수밖에 없다. 그의 유년기는 수천 년으로 이루어져 있다"고 언급했다. "인간은 아주 조용하게 이 세계에 들어왔다. 사실 인간은 아주 부드럽게 그 과정을 밟았다. 세월에도 파괴되지 않은 석기들에서 나타나듯이, 우리가 그때의 인간을 단순히 힐끗 쳐다보기만 해도, 우리는 그들이 희망봉에서 베이징까지 전 세계에 걸쳐 흩어져 있었음을 알게 된다"(Teilhard de Chardin, 1959).

기어츠 식의 표현에 의하면, "사람들(men)은 저마다 생일이 있다. 하지만 인간(man)에게는 생일이 없다." 최초의 인간의 균중이라는 증거를 우리는 집단유전학과 고생물학에서 찾아볼 수 있다.

진화과정에서 일어나는 일이란, 다양한 형질을 가진 집단이 점차적으로 이동하는 방식으로 이루어진다. 비유하자면, 좋은 긴 여행길에 오르는 것이다. 그 여행은 전형적으로 환경이 변화할 때 시작된다. 무엇보다도, 화석은 인류 진화의 이러한 그림을 뒷받침 하는 증거가 된다.

III

진화의 전 과정이 절대적으로 우연에 기초한다는 자끄 모노의 주장은 정당하다. 무작위적 돌연변이는 생물 다양성의 기초가 된다. 와딩턴은 자연선택 과정을 통하여 발달하는 표현형의 역할을 보여 주었는데, 이것은 선택이 이루어진 유전자와 환경의 영향에 의해 형성된다. 즉, 개체 생물체가 취하게 될 실제 모습은 환경의 영향을 지대하게 받는다. 그리고 차례로 환경은 자연선택에서 직접적인 역할을 담당한다. 진화의 실제적인 과정은 진화하고 있는 동물의 합목적적 행동을 떠나서는 이해할 수가 없다. 특히 지능이 있는 동물의 끊임없는 탐구활동은 새로운 행동양식을 낳고 자연선택의 과정에 영향을 미친다. 진화가 불연속적으로 보일 때조차도 여전히 근본적으로 연속적인 과정이다. 예를 들어, 인간과 다른 생물 사이에는 그다지 큰 틈이 존재하지 않는다. 인간은 독특한 존재이지만, 그럼에도 전적으로 자연의 일부분이다. 진화의 이미지는 항상 높은 곳을 향하여 새롭게 전진하는 운동으로 비쳐졌다. 개별 종에 초점을 맞추어, 어느 한 종이 다른 종보다 우월하게 경쟁에서 이기는 것이 바로 진화라고 생각되었다. 사회적 다윈주의 (Social Darwinism)라는 틀 속에서 진화는 심지어 경제적, 정치적 경쟁을 지지해왔고, 그러한 경쟁이 가장 우월하며 가장 강한 존재들의 생존과 번영을 낳을 것이라는 믿음을 지지하기까지 했다.

생태의 이미지는 종들이 따로따로 분리되어 독립적으로 발달한다는 개념을 신봉하지 않으며, 종마다 다양한 가치를 지닌다는 판단을 옹호한다. 만물은 상호의존적이기 때문에, 모두가 필연적인 존재들이다. 인간은 자신의 오만과 환경을 조작하려는 시도가 생명의 그물망을 파괴한다는 사실을 깊이 깨달아야 한다. 이러한 관점에서는, 인간이 자기 자신에 대해 합목적적 변화를 주도하는 행위자가 아니라 단순히 전체 그물망의 일부로 경험하는 깊은 영적 변화가 요구된다. 진화는 권력이든 복잡성이든 그칠 줄 모르고 계속 증대되는 어떤 목표를 향하여 무섭게 돌진하는 무자비한 경쟁과정이다. 그러므로 지적인 목표는 환경에 적응해가는 행동을 산출하는데 중요한 역할을 한다. 즉 환경이 변화할수록 지능의 역할도 증대된다. 인간의 문화가 생태학에서 엄청나게 중요한 변수이며, 생명의 그물에 새로운 요소들을 기필코 도입시키는 요인이 된다. 또한 진화에 대한 모든 관점은 동시에 생명에 대한 관점이다. 살아있는 생명체는 진화론이 주장하는 방식대로 진화할 수 있는 종류라야 한다.

참고자료

◎ 장 바티스트 라마르크(1744-1829) 『동물 철학』(1809) ; 획득형질-기린의 목(나뭇잎을 먹기 위해 목을 늘림. 대대로 노력해서 목이 길어짐.)

◎ 찰스 다윈 (1809-1882) 『종의 기원』 (1859); 자연 선택설-기린의 목 (본래 기린은 두 종류가 있었다. 즉 짧은 목을 가진 기린, 긴 목을 가진 기린이다. 그러나 자연 선택설에 의해 목이 긴 자손만이 살아남는다.)

◎ 자크 모노 (1910-1976); 분자생물학자, 『우연과 필연』 (1971);
 물활설; 호모 사피엔스의 출현 이전부터 시작되는 것으로 그것은 현대인의 영혼 깊숙이 뿌리를 박고 있다. 깊은 강물이나 높은 산정에는 더욱 영묘한 영혼이 살고 있으며, 인간이나 동물이 지니고 있는 명료한 목적보다도 훨씬 측량하기 어려운 목적을 품고 있다. 인간이 자기 자신의 중추신경계의 강렬한 합목적적 작용에 대하여 품고 있는 의식을 무생물인 자연 속에 투영하는 일이다.

“내가 말하고자 하는 것은 인구 폭발이나 자연 환경의 파괴 또는 메가톤급의 핵의 위협이 아니고 훨씬 심각하며 중대한 질환, 즉 영혼의 질환에 관한 것이다. ”

“현대인의 영혼의 질환은 도덕적, 사회적 존재의 근원을 침식하고 있는 이러한 허위에서 일어나고 있다.”- 과학의 공업 기술적 부산물; 폭탄, 자연 파괴, 위협적인 인구 증가

“물활설의 전통은 가치, 도덕, 의무, 권리, 금지의 기초를 신화적 내지는 철학적 개체 발생에서 구하고 있었던 것인데 과학은 이 모든 것들을 파멸시켜 가고 있는 것이다.”

물활설적 체계; 생물적 인간을 무시하고 경멸하며 구속하려 하고 인간의 동물로서의 성질에 내재하는 특징을 혐오케 하고 또 공포를 불러일으키게 해왔다.

지식의 윤리; 인간의 최고 자질인 용기, 애타심, 관용, 창조적 야심을 인정케 한다.

(DDT; 살충제, DNA; 디옥시리보 핵산, 유전자의 본체, 분자생물학; 생물체를 구성하는 분자의 구조와 그 기능을 조사하여, 생명 현상을 물리학적 수단으로 체계적으로 해명하려는 학문 분야)