과학철학 게재 논문, 2010년6월30일

생태적 제한에서 상관적 구성으로[1),2)]

최종덕(상지대, 과학철학)

<초록>

이 논문은 진화생물학과 발생생물학이 만나는 지점인 발생학적 제한 개념을 다룬다. 제한 개념을 통해 발생계의 존재론적 위상을 질문한다. 우선 제한 개념이 기존의 자연선택 개념과 연합가능함을 제시한다. 물리법칙에 순응하여 선택된 형질의 기초가 바로 발생론적 구조임을 밝힌다. 여기서 진화론은 발생학과 만난다. 발생생물학에서는 적응의 진화론적 한계를 제한constraints 이라고 부른다. 발생진화생물학은 선택의 물리적 제한 및 생태적 상보성을 고려한 확장된 진화론이다. 필자는 기존의 제한 개념인 물리적 제한physical constraints과 형태학적 제한morphological constraints을 설명하고, 나아가 새로운 생태적 제한ecological constraints 개념을 제시한다. 생태적 제한 개념은 기존의 제한과 달리 시간적 인과적 계기와 공간적 상보성을 포함한다는 논지를 통하여 발생학적 구성의 의미를 도출한다. 발생학의 상관적 구성력은 생명종의 존재론적 동등성을 보여준다. 그리고 상관적 구성력은 종 의존적이기는 하지만 종 불변적이 아니라는 명제를 전개한다.

주요어 : 상관적 구성력, 생태적 제한, 발생진화, 존재론적 동등성, CES분석

1. 서론

1.1 진화론적 발생학의 등장

현대발생학은 생명개체의 발생 메커니즘을 분자 수준에서 해명하려는 실험과 이론의 종합체계이다. 현대 개별과학 모두가 실험과 이론의 종합체계이므로, 현대발생학이 실험과 이론의 종합체계라고 말하는 것은 너무 당연한 말이 된다. 그러나 그런 강조를 하는 이유가 있다. 타당한 실험에 의존하지 않은 채, 현상에 의존하여 설명하던 과거의 발생학과 다르다는 점을 강조하는 데 있다. 과거의 서술주의 발생학과 현대의 실험주의 발생학의 차이는 중요하다. 서술주의 발생학은 자연적 현상에 근거하여 개체 발생 역시 자연적 흐름에 거스르지 않을 것이라는 추측의 근거만을 가질 뿐이다. 물론 과거 역사 속에서 나타난 서술주의 발생학이 현대과학의 기준에서 볼 경우 매우 유치한 수준이었지만, 현대 발생학을 잉태하게 한 무한한 상상력을 제공했었다는 점에서 나름대로 가치가 있다.

발생학 교과서 서론이나 1장에 천편일률적으로 등장하는 발생학의 역사를 여기서 다시 서술할 필요는 없다. 그러나 전성설과 후성설의 논의는 그것이 비록 미성숙의 서술주의 과학이라 할지라도 나름대로 중요한 의미를 갖는다. 전성설과 후성설의 철학적 의미를 이해한다면 현대발생학의 의미를 더 깊이 파

1) 본 논문은 상지대학교 2009년 교내연구비 지원에 의해 연구되었음.
2) 본 논문은 2009년 7월 다윈 탄생 200주년 기념 연합학술대회에서 발표한 내용을 개정한 것임. 그리고 심사위원들의 심사평에 따라 재수정한 것임.

고들 수 있다. 특히 진화생물학과 발생생물학이 융합한 진화발생생물학evo-devo 은 전성설과 후성설의 차이를 무색하게 만든다. 진화생물학은 진화 전후 관계를 연속적으로 이해하지만 발생생물학은 발생하는 발현 형질들 사이의 관계를 비연속적으로 간주한다. 이러한 차이는 이미 모든 것을 갖고 태어난다는 전성설의 연속주의와 환경의 변화에 조응하는 후성설의 불연속주의 간의 차이 및 그 철학적 의미의 차이와 유사하다. 특히 진화발생학에서 기관 사이의 계열적으로 발생하는 발현 순서의 관점에서는 연속적이지만 해당 발생 발현형질 사이에는 연속적인 인과관계를 찾기 어렵다는 사실은 실증과학이 아닌 과거의 서술주의 역사 속에서 전성설과 후성설의 논의가 왜 중요한지를 깨닫게 한다.

1.2 논문의 목적

분자 차원의 생화학과 만난 현대 발생학은 생명의 비밀을 파헤치는 성궤이기도 하다. 그만큼 실용적인 영향력 또한 크다. 초파리 연구가 그렇게 많은 이유는 초파리 자체가 궁금해서가 아니라 모든 생명종의 비밀을 알고 싶은 생명지식의 유토피아로 들어가는 입구를 제공하기 때문이다. 그 작은 초파리 안에 그 큰 코끼리를 담고 있기 때문이라는 수사법을 사용해도 좋다. 의미론적으로 볼 경우 현대발생학은 초파리에서 인간에 이르는 생명의 발현현상들이 유전자 차원에서 밀접하게 연관하고 있음을 보여준다. 이러한 거대한 지식의 성과는 말 그대로 혁명적이었지만, 여전히 생명의 비밀을 풀기에는 문턱조차 다다르지 못한 상태이다.

발생학은 실험과학의 최전선이면서 동시에 서술과학의 흔적을 가장 많이 가지고 있는 양면성의 과학 장르이다. 또한 발생학이 보여주는 인문학적 상상력은 무궁할 정도다. 다윈도 이러한 발생학적 상상력이 중요하다는 것을 시인했다. 다윈의 발생학은 <종의 기원> 14장에서 집중적으로 다뤄졌다. 당시의 발생학은 개체발생이 계통발생을 반복한다는 반복설(theory of recapitulation)이 지배적이었다. 그러나 다윈은 헤켈(Ernst Haeckel 1834-1919) 중심의 반복설에서 벗어나[3] 현대적인 의미의 '상동'과 '상사' 개념을 출발시켰다는 점에서 전환점을 제시했다. 서술발생학에서 실험발생학으로 전이하는 과정에서 다윈의 역할이 중요했다는 뜻이다. 헤켈은 방대한 관찰자료를 근거로 발생학을 주장했다. 다윈이 보기에 헤켈의 근거자료가 방대했지만 적절한 논거로는 미흡하다고 여겼다. 다윈은 기존의 상상력에서 벗어나 형태학이라는 새로운 상상력을 도입하였다. 그 결과가 상동과 상사 개념을 도입한 새로운 해석들이었다. 그만큼 발생학은 철학적 함의를 그 어느 과학 장르 이상으로 많이 갖고 있다. 철학적 함의는 단순한 상상력으로 그치는 것이 아니라 발생학의 실천적 연구에 창의적인 상상력을 제공한다는 점이다. 그런 점에서 발생학이 갖는 철학적 의미를 타진하는 일은 실증적 연구 배후의 세계관을 탐험하는 계기가 된다고 본다.[4] 특히 이 논문은 진화생물학과 발생생물학이 만나는 지점인 발생학적 제한 개념을 구체적으로 분석하여 그로부터 철학적 의미를 산출하고자 한다.

구체적으로는 기존의 제한 개념에서 새롭게 도출한 생태적 제한 개념으로부터 '불연속적 연속성'이라는 철학적 존재론의 유추를 시도하는 논증을 제시할 것이다.

2. 진화론적 적응과 발생론적 제한constraints

3) 특히 <종의 기원> 5판(1869) 이후에 더 강조되고 있다.

4) 현재 생물과학의 탐구 여정은 하루가 다르게 새로워지고 있지만 비약적인 경계를 무수히 넘어야 할 것 같다. 그러한 지식의 비약은 단순히 실험실에서만 이루어지는 것이 아니라 연구자의 세계관과 시대의 자연관이 적절한 바탕을 마련해 주어야 한다. 그런 점에서 철학은 지식을 찾아가는 세계관과 연구자의 실험정신 등에 보이지 않는 정신적 배후가 될 수 있다.

잘 알려진 바와 같이 진화는 변이와 선택의 자연적 메커니즘을 통해 이뤄진다. 왜 변이가 일어나는지, 그리고 변이의 다양성 중에서 왜 그렇게 그것만이 선택되어야 하는지 등의 분야는 아직 미지의 영역으로 남아있다. 알 수 없다는 말은 그 메커니즘이 존재하지 않는다는 뜻과 전혀 다르다. 다만 현재 인간이 이루어낸 과학 지식의 차원에서 알 수 없을 뿐이라는 뜻이다. 나아가 현재 시점에서 미래 과학의 획기적인 발전을 통해 알 수 있게 될 것인지조차 확신할 수 없다. 어쨌든 생명체는 지금까지 진화되어 왔으며 진화의 방향과 목적지를 알 수 없지만 지금까지 진화된 현존 생명체의 기능과 모습은 환경에 적응하는 힘과 자신의 고유한 틀을 보존하는 힘 사이의 적절한 조화라고 보면 된다. 현존하는 생명종의 상태를 최적화라고 판단하기에는 현실적으로 쉽지 않다. 왜냐하면 현존하지 않는 다른 생명종과와 비교해야만 비로소 검증할 수 있기 때문이다. 그러나 변이체들 중에서 선택된 것과 선택되지 않은 것이 원리적으로 그리고 현실적으로 공존할 수 없기 때문에 그러한 검증은 실제로 불가능하다. 현 시점의 상태를 작동하게 하는 자연적 원리를 구명하는 물리과학과 달리 진화생물학은 장구한 시간에 얹혀있는 느린 변화를 해명하는 학문이기 때문에 앞서 말한 현 시점 기준으로 한 경험적 검증은 원천적으로 불가능하다. 그러나 그 과거의 흔적은 우리 유전자 안에 고스란히 남아있다. 남아있는 연속적인 생명의 흔적을 통하여 우리는 과거를 현재의 과학으로 다룰 수 있게 되었다.

어쨌든 시간 경과에 따라 변이는 일어난다. 표현형 차원에서 변이는 유전자 차원에서 변이를 동반해야만 발생학은 과학으로 가능하다. 비록 중립가설에 의하면 유전자 차원의 선택이 일어나는 것을 인정하지만, 기존 진화론 주류의 흐름은 표현형 차원의 변이를 주로 다루어왔다. 여기서 표현형은 환경에 적응하여 누적된 결과이지만, 그 환경조건이란 물리적 제약이 반드시 따른다. 물리적 법칙을 위배하는 환경적응이란 없다는 뜻이다. 즉 변이가 선택되는 과정은 무한 진화를 상정하지 않는다. 쉬운 예를 들어서 2.5톤 무게의 코뿔소가 하늘을 나는 코뿔새로 진화하지 않는다. 그보다 먼저 코뿔소가 아니더라도 지나치게 무거운 생명체가 하늘을 나는 새로 될 수 없다.[5] 정확히 말해서 새는 새가 되기 위해서 먼저 뼈와 내장의 무게를 줄인 개체표현형 혹은 피부층의 적절한 변화를 가져온 개체표현형이 선택의 우선권을 자연적으로 혜택 받았을 것이다. 이러한 선택의 과정은 물리법칙에 국한된다. 그래서 다윈은 이런 선택을 자연선택이라고 부른 것이다. 자연선택은 물리 법칙의 보편성에 절대 순응한다. 선택의 과정이 물리적 한계 안에서 일어난다는 사실로부터 진화론은 발생학과 만나는 생명의 역사가 이뤄진다. 진화론의 입장에서 발생학은 물리법칙의 한계를 통한 비약의 자연을 보여주었다. 발생학의 입장에서 진화론은 생명사의 연속성을 보여주었다. 이러한 조우는 적응의 진화론적 한계를 제시한 제한constraints 개념을 통해 잘 나타나고 있다.

def. 1: 제한은 적응진화의 물리적 한계이다.

제한 개념은 진화종합설 이후 적응진화론에 밀려 최근에서야 다시 논의되기 시작하였다. 발생학적 제한 개념을 최초로 정의한 사람은 메이나드 스미스이다. 그에 의하면 발생학적 제한이란 발생계의 구조, 특성, 성분 및 역학관계에 의해서 표현형의 다양성이 제약을 받거나 혹은 변이 표현형의 형성이 편중되는 것을 의미한다.[6]

---

5) As John Maynard Smith remarked,"if there were no constraints on what is possible, the best phenotype would live forever, would be impregnable to predators, would lay eggs at an infinite rate, and so on". (The Problems of Biology. Oxford,1986, p.97)

6) Maynard smith et al. (1985) defines a developmental constraints as a "bias on the production of variant phenotypes or a limitation on phenotypic variability caused by the structure, character, composition, or dynamics

그동안 제한 조건들이 무시되어 온 이유는 단지 표현 형질 상으로 드러난 선택결과에서 긍정적 효과 혹은 드러나 보이는 적응만이 눈에 띌 뿐 부정적 작용 혹은 항상적 기능을 하는 제한 조건들은 눈에 띄지 않았기 때문이다. 그러나 무한히 많은 변수가 존재하는 우리 자연계에는 적응 조건뿐만이 아니라 잠정적인 제한 조건이 더 많을 수 있다는 사실이 밝혀지기 시작했다. (i)적응 과정조차도 세계의 물리법칙을 위배할 수 없다는 단순한 아이디어와 (ii)자연계가 생태학적으로 상관성을 갖는다는 두 가지 대척적인 관점이 새롭게 조명되면서 제한 개념이 진화론의 새로운 연구영역으로 정착하였다. 발생진화학은 선택의 물리적 제한 및 생태적 상보성을 고려한 확장된 진화론이라고 말해고 과언이 아니다.

def.2 : 발생진화학은 (i)선택의 물리적 제한과 (ii)생태적 상보성을 고려한 확장된 진화론이다.

확장된 진화론은 제한의 자연현상을 면밀하게 주목하게 되었다.[7] 이에 필자는 제한의 다양한 접근을 새로운 각도에서 다음과 같이 정리해 보았다. 제한에 대한 기존 개념은 물리적 제한physical constraints과 형태학적 제한morphological constraints으로 설명될 수 있다. 이러한 기존의 두 가지 제한 개념을 설명하고 본고에서 논증하려는 새로운 제한 개념을 제시하고자 한다. 생태적 제한ecological constraints이 그것이다. 생태적 제한 개념을 논증하기 위해 먼저 기존의 두 가지 제한 개념을 설명하고자 한다.

3. 기존의 두 가지 제한 개념

3.1 물리적 제한

이 중에서 물리적 제한은 생물학적 진화가 세계의 물리법칙을 벗어나지 않는 보편적임을 보여준다. 절지동물의 탈피 과정을 통하여 물리적 제한의 의미를 살펴본다. 절지동물문은 전체 동물종의 85%를 차지하고 있다. 절지동물의 가장 중요한 외형적 특징은 탈피과정을 겪는다는 점이다. 곤충처럼 성체가 되면 탈피가 멈추기도 하지만 갑각류처럼 온 생애 동안 지속적인 탈피를 하는 경우가 많다. 탈피는 일종의 형태를 유지하는 뼈의 크기 변화를 가능하게 한다. 형태 유지틀을 외골격이라고 부르지만 개체의 성장을 제한하는 물리적 한계를 갖는다. 이러한 제한으로부터 절지류는 탈피라는 선택의 적응결과를 갖게 되었다. 이 적응결과는 생물학적 대변이에 해당하지만 가장 단순한 물리적 제한 양상을 보여준다.

땅위에서 사는 코코넛 게는 무게가 무려 5 kg에 버금간다. 지리적인 격리 덕분에 지금까지 종의 생존을 겨우 보장받아왔지만 자신의 무게와 절지기관 즉 다리의 크기 때문에 많은 진화론적 제약을 받는다. 예를 들어 다른 게나 소형의 보통 절지동물과 달리 탈피 과정이 매우 힘들어서 한 달 내내 탈피 과정을 치루는 경우도 있다. 탈피는 내부 장기 등의 체형 성장이 가능하기 위해 필수적인 과정이다. 실제로 탈피를 하는 과정에서 많은 코코넛 게 개체들은 죽는다. 오랜 시간 동안의 탈피과정에서 지나친 에너지 소모로 인해 스스로 죽기도 하지만 포식자에 쉽게 노출되어 잡혀 먹히는 경우가 많기 때문이다. 이러한 특수한 경우가 있지만, 바로 그런 이유 때문에 대부분의 절지동물은 그 크기가 작다. 탈피가 아닌 내골격계의 포유류는 탈피 적응진화와 다른 방식의 진화로 선택되었다. 탈피 적응으로부터 벗어나면서 비로소 체형 크기가 획기적으로 커지는 진화를 겪는다. 상대적으로 절지동물문은 지구상 동물종의 대부분을 차지하는 곤충류처럼 크기가 작다. 그 이유는 다음과 같다.

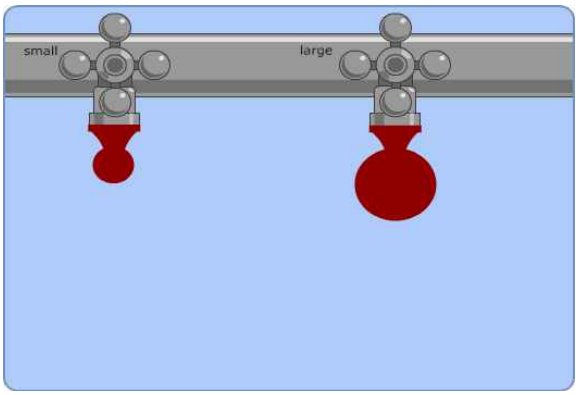
---

of the developmental system." Sansom(2003), p.494에서 재인용

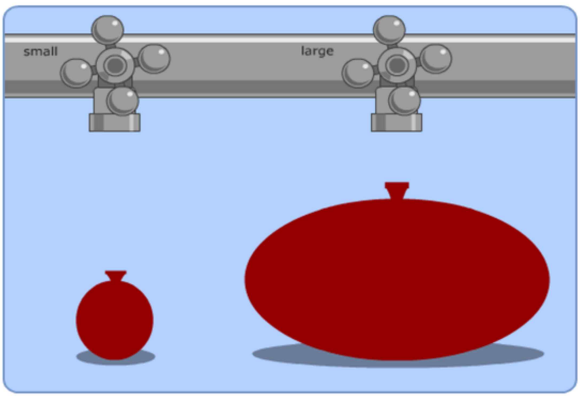
7) Okasha 2005, p.3-5

절지동물의 대표적인 개미는 에너지 소모율과 이동속도 등 환경요인에 생존하는 적응된 방식으로 진화된 경우이다. 6개의 다리는 빠르게 이동하고 무거운 먹이감을 수송하는 데 유리해졌다. 만약 이런 개미가 길이의 차원에서 2배로 커진다고 할 경우 산술적으로 몸체의 부피는 길이의 3제곱인 8배가 될 것이다. 체중의 경우도 부피의 증가 폭만큼 늘어난다고 볼 수 있어서, 길이의 증가는 체중을 3제곱 가깝게 증가시킨다. 개미의 다리 길이와 다리의 폭의 차원에서 다시 보자. 즉 다리 길이가 2배로 커졌다는 것은 다리 폭도 2배로 늘었다는 것인데, 이렇게 겨우 2배로 늘어난 다리 길이와 폭을 갖는 상대적으로 가는 다리로서 8배 늘어난 체중을 지탱하기 어려울 것이라는 추측을 할 수 있다. 만약 개미가 길이의 차원에서 3배가 되었다면 그 상황은 어려운 추측이 아니라 다음과 같은 분명한 예상이 가능하다. 이렇게 길이가 3배로 늘어나면 체중은 27배로 되기 때문에 이동은커녕 그 자리에서 폭삭 주저앉게 될 것이라는 분명한 예측을 할 수 있다. 절지동물이 형태가 일정 크기 이상으로 커질 수 없는 이유는 결국 물리적 한계 때문이다. 이를 우리는 생물학적 제한이라고 일렀다. 생물학적 제한은 물리적 제한의 한 양상일 뿐이다.

그래서 개미는 코끼리처럼 크게 진화할 수 없다. 진화의 방향이 아무리 무작위라고 하여도 물리법칙의 한계 안에서 진화는 작동한다는 뜻이다. 우주 공상과학영화에서 지구 수호대가 산더미만한 괴물 게와 전투를 벌이는 모습이 자주 등장한다. 이런 갑각류의 형태는 영화에서나 가능하지 생물계에서는 불가능하다. 크기에 커짐에 따라서 그 원래 형태가 증가한 무게를 지탱할 수 없기 때문이다. 그 물리적인 이해를 아래의 그림을 통해 유추할 수 있다.[8)]



크기가 다른 양쪽 풍선에 수도꼭지를 틀어 물을 채운다.



물을 채우고 풍선을 떨어뜨리면 작은 물풍선은 원래의 둥근 모양을 유지하지만, 큰 물풍선은 자체 무게를 이기지 못하여 모양이 찌부러진다.

수도 파이프 꼭지에 크기가 다른 2개의 고무 풍선이 각기 매달려 있다고 하자. 수도꼭지를 틀어서 각기 풍선에 물을 담는다. 물을 담으면 풍선이 늘어나고 늘어난 풍선을 수도꼭지에서 떼면 작은 풍선은 원래의 본 모습을 유지하지만 큰 풍선에 담긴 물은 그 량이 많아서 자기 무게 때문에 풍선의 둥근 원래 모양을 유지할 수 없고 그림처럼 찌부러질 것이다. 이러한 변화는 물리적인 변화이면서 동시에 아주 상식적으로 알 수 있는 자연적인 변화일 뿐이다. 풍선의 원래 모양을 유지하려면 풍선이 작을수록 유리할

8) http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/_0_0/constraint_05 에서 따온 그림임.

것이다. 달리 말해서 원래 모양을 유지하기 위해서라도 풍선은 일정 크기 이상 커지면 곤란하다는 추측을 할 수 있다. 이는 갑각류가 공상과학 영화처럼 커질 수 없는 중요한 이유이다. 만약에 풍선 대신에 외골격인 갑각류 껍질이라고 하자. 그렇다면 종의 형태가 커질 경우 겉껍질이 자기 무게를 이기지 못하고 스스로 무너지게 되는 것에 비유될 수 있다. 이것은 단순한 비유가 아니라 물리적인 엄연한 현실이다. 그래서 물리학적 형태와 크기는 생물학적 제한의 우선 조건이다.

3.2 형태학적 제한

제한에는 물리적 제한 외에 다른 방식의 제한이 있다. 형태학적 제한이 그것이다. 형태학적 제한은 보편적 조건으로 드러나는 물리적 제한과 달리 생명종마다 고유한 구조적 제한을 의미한다. 형태학적 제한의 뚜렷한 사례로서 성비性比 조절의 발달 제한을 들 수 있다.[9] 성비 조절을 진화생물학에서는 좀 더 나은 종의 번식을 위해 적응한 선택의 결과라고 본다. 반면에 발달생물학에서는 종 자체가 계통적으로 갖고 있는 조절능력의 기능으로 본다.

생식세포인 난자의 예를 들어보자. 원시 생식세포로부터 두 번의 감수분열을 거쳐 난모세포를 거쳐서 성숙 난자가 형성한다. 특히 포유류에서는 모든 난원세포 분열과 변형은 출생 전후에 이미 완성되어 많은 일정 수의 난모세포가 형성된 채로 유지되다가, 사람인 경우 사춘기 때부터 주기적으로 2차 감수분열을 통해 난자가 배란된다. 결국 포유류는 일정한 수의 난자 개체수가 (사람인 경우 30만개의 제1 난모세포에서 대략 400개 정도의 난자만이 남는다) 있다는 뜻이 된다.[10] 이렇게 일생을 통해서 난자의 일정 수는 성비 조절의 제어기능과 후손증식을 제어하는 전형적인 발달 제한의 한 사례이다.

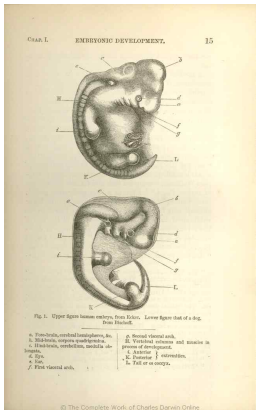
이렇게 발달 제한은 발생 계통의 기능, 역학성dynamics, 구조 등이 원인이 되어 생긴 표현형질의 한계 혹은 편차로서 정의된다. 그러한 제한은 선택의 기회보다는 장애의 요인이 되는 경우가 될 수 있다. 물론 그 장애 요인은 직접적으로 그리고 단독적으로 발현되는 표현형으로 나타나지 않는 경우가 대부분이다. 선택의 기회는 환경에 대한 우연적 적응에서 비롯된다. 발달 제한은 유전자 공간, 형태공간 morphological space, 행동공간에서 우연보다는 인과적 방식으로서 구조화된 결과이다. 다시 말해서 우연의 의한 기회로 형성된 것이라기보다는 일종의 자연법칙의 한계 조건에 의해 생긴 결과라는 뜻이다. 그렇게 구조화된 결과는 일정 기간 동안 항상성 혹은 형태 계획body plan을 유지한다. 발달 제한은 계통수로 전해오는 종 고유의 내적 구조를 갖게 된다.

3.3 혹스 유전자를 통해서 본 발생의 시간적 계기

한 개체의 발달 과정이 계통적 발생의 계열을 쫓는다는 가설은 맹렬한 비난을 받아왔지만, 그 대신 상동구조를 자연스럽게 인정하게 되었다.[11] 에른스트 마이어의 공헌이라고 해도 과언이 아니다. 새의 날개와 포유류의 팔다리의 구조적 형태가 서로 같다는 것은 이미 다 알려진 대로다. 이런 사실은 마이어가 처음 밝혀낸 것은 아니고, 다윈이 이미 지적했었다. 물론 다윈이 처음 말한 것도 아니고 서술주의 생물학에서 설명되기도 했다.

---

9) 다음의 사례는 본인의 기존 논문에서 다뤄진 내용임을 밝힌다.
10) 김한화 외, 발생생물학, 정문각, 50-52쪽
11) The keywords of developmental biology are phylogeny, homology and constraints.



사람의 배아와 개의 배아의 유사성을 강조한 다윈의 그림[12)]

발생 과정에서 기관의 발현은 모종의 순서대로 계기적이다.[13)] 순차적 유전자 발현differential gene expression이 일어난다는 뜻이다. 그렇다고 해서 발현의 전후 단계 사이의 유전적 인과성을 찾기 어렵다. 전단계 발현과 후단계 발현 사이에서 물질과 에너지 유출입의 인과관계를 현재로서는 밝힐 수 없다. 물질적 요인에 근거한 인과성을 찾는 대신에 발생학은 발현 계기의 순서와 질서를 정해주는 생물학적 결정요인morphogenetic determinant이 무엇인지를 찾고자 한다. 다시 말해서 유전물질의 차원에서는 비인과적이지만, 구조형태의 차원에서는 인과적 계열이 존재하는 것이 발생학의 특징이다.

대장균 글루코오스 실험을 통해 알아낸 효소 유도 현상은 복잡한 유기체에서 특정한 기능의 효소를 계속 생산하게 하는지 아니면 멈추도록 하는지를 제어하는 단백질과 DNA 사이의 결합여부에 달려 있다. 이를 찾아낸 자콥은 호메오박스의 구조와 그 논리를 아주 쉽게 풀어썼다.[14)] 유전자 복제는 결국 DNA 복제이다. 그런데 DNA의 특정 부위를 복제하려면 단백질 단위로 분해해야 한다. 그러나 그렇게 쉽게 DNA를 분해했다면, 지구에 존재했던 생명종은 이미 자신의 종의 정체성을 잃어버렸을 것이다. 왜냐하면 단백질 단위로 풀어서 분해하는 과정에서 아미노산 유실, 순서 바뀜 등 다양한 외부 환경 때문에 일어날 수 있는 유전자 변형이 생기기 때문이다. 그래서 복제의 안정성을 유지하기 위하여 DNA와 똑같은 유전자군을 우선적으로 복제한다. 그것이 mRNA이다. 메신저 RNA를 풀어서 염기들을 복사하기 위하여 먼저 DNA가 mRNA를 복제할 준비가 되어야 한다. 언제 mRNA를 전사하는지 언제는 mRNA를 전사하지 않는지 그 여부에 따라 유전자의 활동이 조절된다. 이러한 조절의 신호는 유전자 정보의 중요한 요소이다. 대장균 글루코오스 실험은 락토오스 억제단백질이 DNA서열에 결합해 있을 경우 유전자는 활동을 멈추고 마치 유전자 스위치가 꺼진 상태와 같다. 반면 결합되어 있지 않다면 효소 생산이 활성화된다. 이러한 박테리아 차원의 유전자 스위치 개념을 찾아낸 것은 아마도 발생학의 가장 큰 혁명과도 같다고 여겨진다. 이러한 성과 위에서 그 유명한 초파리의 호메오박스를 찾을 수 있었다.

이미 대중적 지식이 되어버린 호메오박스의 잘 알려진 결과를 다시 정리한다면 다음과 같다. 염색체수가 4개인 초파리 염색체 중에서 3번 염색체는 2개의 복합체로 구성되어 있다. 3개의 유전자로 순서지워진 1번 바이소락스 복합체는 파리 몸 뒷부분의 형태를 조절하며, 5개의 유전자로 순서지워진 2번 안테

12) Darwin, The descent of man, London: John Murray. 1st edition(1871), p.10
13) 이양림(1993),13쪽
14) F.Jacob(1998) 2장

나피디아 복합체는 몸 앞부분 형태를 조절한다. 이 8개의 호메오 유전자 안에 180개의 모종의 동일한 순서와 단백질을 갖는 염기쌍 서열이 존재한다는 것을 발견하였다. 이러한 발견은 모든 형태의 발생을 관리하는 기본적인 공통구조가 있다는 것을 뜻하기 때문에 생명과학의 엄청난 성과라고 평가된다. 180개 염기쌍 서열구조가 마치 네모난 상자와 비슷하다고 해서 그 호메오 유전자를 호메오박스 혹은 줄여서 혹스Hox라고 부르게 되었다.

혹스의 어느 단백질이 어떤 발현을 하는지, 그리고 어떻게 촉발을 하는지 그 인과관계는 밝혀진 것이 거의 없다. 순서대로 또한 계기적으로 형태 혹은 기관의 발현을 하게 하는 암호를 갖고 있다는 점이 밝혀진 것만 해도 현대발생학의 획기적인 성과라고 평가된다. 왜냐하면 그 호메오박스가 초파리에만 있는 것이 아니라 모든 동물에 있다는 것이 점점 밝혀지고 있기 때문이다. 더욱 중요한 것은 다른 종의 차이에도 불구하고 호메오박스 안의 염기서열이 아주 비슷하다는 점이 밝혀지면서 혹스 유전자의 의미는 생물학의 역사를 바꿔 놓을 정도로 중요해졌다. 이러한 실험발생학의 생물학적 의미는 모든 동물의 기관 발현이 대부분의 동물에게 동일하게 적용된다는 사실에 있다. 초파리의 내장 부위의 배열은 쥐의 내장 부위 배열순서와 같으며, 초파리의 앞뒤 날개는 코끼리의 앞뒤 다리 부위와 동일한 위치 배열 및 발현 순서를 갖는다는 점이다. 과학의 놀라운 전환이었으며, 진화론의 근거가 단순히 화석 차원이 아니라 현대 생화학 차원에서 여실히 밝혀진 혁명과도 같았다.

3.4 구조적 상관성의 암시

분자 차원의 혹스 유전자의 존재는 구조적 상관성의 존재를 암시한다. 이러한 추론은 다음과 같다.

첫째, 발생학적 비약은 연속성의 누적에서 나타난다는 입장이다. 종간 상동 연관성을 밝힌 마이어의 성과는 매우 높이 평가해야 한다. 그런 마이어조차 생명종을 뛰어넘는 혹스 의존적 상동성을 인정하지 않았다. 그러나 이제는 실험적으로 검증된 엄연한 사실로 인정되고 있다. 혹스 의존적 상동성은 결국 모든 생명종은 동일한 생명의 기원을 갖는다는 <종의 기원> 기본구조를 실험적으로 검증하여 재천명한 것과 같다. 동일 선조를 갖는 생명종 특히 동물 생명종 간에는 종의 차이를 보여주는 비약이 있기는 하지만, 그러한 비약조차도 연속성의 누적이 간헐적으로 나타나는 경우라고 해석할 수 있다.

둘째, 개체마다 동일한 구조발생이 재현된다는 점이다. 이러한 개체 재현성은 발현 계기의 연속성, 다시 말해서 발현하는 시간적 순서가 동일해야 한다는 뜻이다. 나는 이를 시간적 연속성이라고 부른다. 시간적 연속성은 발현 시기의 스위치가 켜지고 꺼지는 계기가 일정한 순서대로 이루어진다는 점이다.

셋째, 개체순환적이기 위해서는 개체의 형태가 모듈구조의 반복으로 구성된다는 모듈구조의 반복성이 부각되어야 한다. 모듈 구조는 단위정보의 집합으로서 집합마다의 정체성을 지닌 정보군의 특성을 갖는다. 나는 이를 공간적 연속성의 한 종류라고 간주한다. 여기서 문제는 어떤 과정을 거쳐서 어떻게 특정한 단위정보군을 축조할 수 있느냐의 문제이다. 그리고 그러한 정보군들이 어떤 과정을 거쳐서 구조반복을 발현시킬 수 있느냐의 둘째 문제이다. 현대 발생계 이론에서 첫째 질문에 대하여는 물리화학적인 과정으로 그 설명이 시도되어 왔다. 둘째 질문에서는 진화생물학적 과정으로 설명되어 왔다.

발현의 시간적 연속성이 깨지면서, 부분적으로 결손을 일으키는 유전현상들이 나타날 수도 있다. 이러한 결손 유전은 탄생된 개체가 성체로 되기까지 미흡한 구조적 장애 및 기능적 결손을 일으킨다. 그러나

많은 경우 이러한 구조적 장애 및 기능적 결손을 가져다 준 해당 유전형은 그 개체가 속한 전체 종의 유전자군 지도를 바꾸지는 못한다. 개체에서 나타난 표현형 상의 장애 및 결손 발현은 종 전체의 유전형 변화를 가져다주지 않는다는 뜻이다. 이러한 특성은 발생계가 갖는 항상성의 가장 중요한 특징 중의 하나이다. 여기서 진화종합설의 일반적인 이론과 가장 차이가 난다. 진화론 일반에서는 표현형의 누적은 유전형의 변화를 가져다주는 중요한 요인의 하나인 반면, 발생학 일반에서는 종 고유의 유전형 유전자군을 보전하고 외부 환경에 저항하는 항상성이 더 중요하게 여겨지기 때문이다. 이 차이는 다음 절에서 논의할 '상관적 구성력' 개념을 통해 조율될 수 있다.

4. 진화발생학 해석의 새로운 시선: 생태적 제한과 공진화

4.1 생태적 제한 : 시공간적 연속성

물리적 제한은 겉보기에 적응과 상반되는 결과를 낳을 수 있다. 적응은 선택에 이롭게 적용되지만 물리적 제한은 선택에 도움이 되지 않거나 장애가 되는 경우가 생긴다는 뜻이다. 영양과 치타의 생존의 관계를 보자. 빨리 달려야만 생존가능한 영양의 경우, 영양의 긴 다리가 운동속도와 다리의 강도에 미치는 상반된 영향력의 상관적 제한이 존재한다.

def.3 : 상관적 제한은 일종의 역학적 제한mechanical constraints과 더불어 환경에 조응하는 반응적 제한을 포함한다.

상보적 제한은 자연선택이 이루어지는 과정에서 좀 더 나은 최종의 적응 결과를 산출하기 위한 일종의 상황적 역변수들이다. 그래서 전체적으로 보면 일종의 공진화의 한쪽 요소로 나타난다. 이러한 상관적 제한을 나는 생태적 제한이라고 부르는 것이다. 생태적 제한은 군집 내부의 종간 조화 혹은 종간 경쟁에서 드러난다.[15] 내가 제안하는 생태적 제한 개념은 오카사(Samir Okasha)의 영역구성(niche-construction)의 생태적 개념에서 유추한 것이다. 오카사가 말하는 '영역구성'이란 비버가 댐을 쌓거나 거미가 거미줄을 치거나 혹은 인간이 경작하는 것처럼 유기체가 환경을 적절하게 이용하거나 적용하는 능력을 의미한다.[16] 오카사 이전에 사용하던 '구성' 개념과 약간의 차이가 있다. 그러나 환경을 이용하는 능력이 바로 환경에 조응하는 유기체 내부의 내적 형질이라는 점에서 기존의 발생학적 구성 개념과 연관한다. 바로 이 점에서 나는 생태적 제한 개념을 탄생시켰다.

생태적 제한은 불연속적 연속성의 진화를 함의한다. 다시 말해서 겉으로 보기에는 불연속적으로 보이지만 구조적으로는 연속적이라는 명제이다. 생태적 제한이 제시하는 연속성에는 시간적 연속성과 공간적 연속성 모두를 포함한다. 시간적 연속성이란 발생의 계기로 설명된다. 현재 발생계에서 인과적 연속성은 이미 정설로 되어 있다. 그런데 공간적 연속성의 개념은 매우 생소하다. 공간적 연속성이란 시간적 계기와 다르게 공간적 계기로서, 실제로는 공간적 상보성을 의미한다. 공간적 분리된 집단, 혹은 종, 혹은 타계체들 사이에서 상보적 연관성이 존재한다는 점이다. 이러한 공간적 상보성을 나는 공간적 연속성이라고 표현했다.

---

15) 결국 생태적 제한은 선택단위가 개체뿐만이 아니라 집단에서도 가능하다는 다수준 선택이론의 부분적 가능성을 간접적으로 시사한다. 그런 점에서 생태적 제한 이론에 대한 확증이 미흡하다.

16) Okasha 2005, p.2

생태적 제한은 적응진화와 밀접한 상관성을 보여준다. 그러나 생태적 제한 역시 적응과는 다른 방식의 형질발현이다. 단지 생태적 제한이 적응이 아니면서 적응과 상관적이라는 뜻은 생태적 제한은 공진화의 양상으로 나타나는 경우가 많기 때문이다.

def.4 : 생태적 제한은 집단 간 공유 공간 혹은 집단 내 자기 공간에서 개체들 사이의 공간적 인과성을 유지한다.

생태적 제한은 공진화의 원동력이다.[17] 동시에 생태적 제한은 집단간 공유 공간 혹은 집단 내 자기 공간에서 개체들 사이의 공간적 인과성을 유지한다. 인과성 개념은 원래 물리적인 차원에서 시간적 인과에 국한된다. 쉽게 말해서 공간적 인과란 논리적으로 모순이다. 물리적인 논리에 국한될 때 그렇다. 그러나 생태적 차원에서 공간적 인과라는 개념이 허용된다. 앞서도 말했지만 보통은 공간적 인과라는 개념 대신에 공간적 상관성이라는 표현을 사용하지만, 본고에서 공간적 인과성이라는 표현을 나는 굳이 사용하고자 한다. 왜냐하면 생태적 제한 개념을 발생학적 계기와 연관지으려는 필자 의도를 갖고 있기 때문이다.

치타와 영양의 관계는 일종의 거시적 공진화이다. 군집 안에서 혹은 군집 간 초거시적 공진화가 일어나는데, 나는 이를 생태적 진화의 전형적인 양상으로 간주한다. 치타는 영양을 사냥하기 위하여 빠른 다리를 가져야 한다. 그러나 치타 역시 심장의 상응적 진화를 거치지 않은 채 빠른 다리만 가졌다고 상상을 한다면 그런 상상 속의 치타는 벌써 멸종되었을 것이다. 강력한 다리만으로 진화했다고 가정하자. 그런 다리로 영양을 잡기 위해 빠른 속도를 계속 유지하다가 심장 과부하로 죽는 경우가 생기기 때문이다. 영야의 경우도 마찬가지다. 영양도 치타에게 잡히지 않기 위하여 빨리 달려야 하고 빨리 달리기 위하여 다리의 길이가 길게 진화되어야 했을 것이다. 그러나 관절과 뼈의 상응적인 진화 없이 혹은 발바닥 표면 등의 물리적 상태의 적절하고도 상응적인 진화를 거치지 않은 채, 그저 가늘고 길기만 한 다리를 가졌다고 치자. 그렇다면 영양 역시 마찬가지로 오랜 과거에 이미 멸종되었을 것이다. 반면 산양과 같이 험준한 산악지대에서 빠르게 달릴 수 있는 다리보다는 강건한 다리가 필요한 동물의 경우, 그 동물의 두툼한 정강이뼈는 적응 조건이지만 긴 다리는 제한 조건이 된다. 이렇게 적응과 제한은 단일 사태에서만 볼 경우 서로 모순적인 용어처럼 보이지만 선택이라는 결과적 사태에서 볼 경우 적응과 제한은 최종적인 결과를 산출하기 위한 상보적 변수이다.[18] 그래서 개체 진화를 말하기 위하여 기관 진화의 상보적 진화를 거론해야 하며, 이 경우 제한의 발생학적 진화의 관점이 적용되어야 한다. 결국 적응주의는 발생학적 진화의 필터 중의 하나일 뿐이지 적응주의가 진화의 전부는 아니라고 필자는 간주한다.

개체 진화는 집단 진화 안에서 상보적인 선택과 적응이 일어날 수 있다. 불행히도 이 논의는 진화생물학계에서 집단선택의 종말을 선고한 1966년 윌리엄스[19] 이후 거의 금기시되어온 논점이다. 그러나 최근 조금씩 거론되고 있으며 특히 집단 개념 대신에 생태 개념을 대치할 경우, 집단 간 혹은 종 간 거시적 공진화의 초점이 재조명될 수 있다. 특히 발생학적 구성주의에서는 개체가 속한 발생계에서 개체를 조명한다. 여기서 말하는 발생계(developmental system)를 적절하게 설명한 오마야의 정의를 인용해보자.

---

17) 적응이 생존과 증식에 도움되는 방향으로 작용하는 되먹임 현상positive feedback 이며 제한은 장애가 되는 방향의 되먹임 작용이지만negative feedback, 적응과 제한은 독립적인 영향 인자가 아니라 서로 최적의 선택결과를 찾아가는 상호변수이다. 이를 나는 “적응과 제한의 상보성”이라고 표현했다. (참조: 최종덕,적응과 제한의 상보성, 과학철학5권2호,2002, 127쪽)

18) 최종덕(2002), 126쪽

19) G.C. Williams (1966)

“발생계는 분자구조와 분자활동 차원의 유전자를 포함하기도 하지만 다른 생명종의 개체와의 관계를 포함한 내적 관계 및 상관적 관계까지 다 포함하며 나아가 무생명 환경과의 상관성까지를 포함한다.”[20]

그레이 교수는 추후 발생계라는 모호한 표현 대신에 발생학적 구성 (developmental contruction)이라는 개념을 사용했다.[21] 발생학적 구성을 가장 잘 드러내는 자연의 특징이 바로 생태적 제한이라는 명제가 나의 입장이다.

def.5 : 발생학적 구성developmental contruction을 가장 잘 드러내는 자연의 특징이 바로 생태적 제한이다.

거꾸로 말해서 생태적 제한을 통하여 발생학적 구성의 의미를 강조하려는 것이 본고의 중요 논거이다.

4.2 발생학적 구성

발생학적 구성체는 단위 생명 개체의 범위를 확장한다. 앞서 이미 말했지만 생태적 제한 개념은 발생학적 구성체 개념을 잘 설명해 주고 있기 때문에 앞의 절에서 논의한 생태적 제한 개념을 통해 아래와 같은 의미를 정리할 수 있다.

1) 생태적 제한은 시간적 연속성과 더불어 공간적 연속성을 포함한다.
2) 발생학적 개념이지만 공진화 개념과 밀접하게 연관한다.
3) 발생 스위치 개념은 단순히 시간적 계기를 구현하는 것 외에 공간적 상보성을 반영하는 시스템이다.
4) 물리적 인과의 범주 안에 있지만 비결정론적 시공간 관계를 보여준다.
5) 개체 생명은 발생계 안에서 생명의 존속이 가능하다.

이러한 특성을 지니는 것을 나는 생명의 ‘상관적 구성력’the power of relative construction이라고 부르려고 한다.[22] 생태학적 제한은 상관적 구성력의 발생학적 표현이다. 상관적 구성력은 어디로부터 오는 것인가? 발생학적 사유와 진화론적 사유가 서로 상충되는 측면이 있기는 하지만 근원적인 생명기원론에서 발생학적 이론과 진화론적 이론은 동일한 입장을 갖는다. 다시 말해서 상관적 구성력의 형성은 발생계 이론에서도 진화론적 이론을 충실하게 따른다는 점이다.[23] 유전 정보를 실은 정보군이 형성되는 과정에서 볼 경우 물리화학적 법칙을 따른다는 점에서 굴드는 전통적인 적응주의자 입장에 동의한다. 그러나 그 이후 진화단계에서 비선형적 변화를 갖는다는 주장을 한다는 점에서 굴드는 기존 적응진화론자와 다르다. 물리화학적 조건들에 따라 형성된 유전자군 구조는 진화적 시간을 거치면서 구조 자체의 특성 및 환경적 요인들 등에 의해 변화를 거치게 될 것이다. 이러한 변화의 과정을 진화생물학적 변화라고 했다. 그래서 진화생물학적 변화는 물리화학적 변화와 밀접하게 연관한다. 그러나 시간이 흐름에 따라 생물계는 순수한 물리법칙에 의존하는 무생명계와 달리 독특한 내적 구조를 갖게 된다. 이것의 대표적인 것이 바로 종 마다 다른 상관적 구성력이다.

종 의존적 상관적 구성력은 종 내부 개체 발생이 종간 계통발생과 연관함을 보여주었다. 개체발생과 계

---

20) Oyama 1985, p.123
21) Gray 1992에서 처음으로 “발생학적 구성주의”라는 표현을 사용했다.
22) 여기서 relation의 개념은 다음과 같이 정의한다. “A relation between a thing x and a thing y is a bonding relation if,and only if, the states of y alter when the relation to x holds." (Mahner/Bunge,1997, p.26)
23) Gould 1980, Chap.6 Early Life, pp. 219-221

통발생이 연관하다는 생각은 이미 다윈의 <종의 기원>에서도 등장했지만, 1970년대 굴드 교수에서 본격적으로 논의되기 시작했다. 이러한 굴드의 생각은 엘드리지 교수와 함께 단속평형punctuated equilibria 이론을 내놓게 되었다.[24] 단속평형설은 아직까지 논란이 많은 이론이지만, 그 이후 기존의 진화생물학과 새롭게 도약한 현대발생학을 서로 조화시키는 의미있는 지렛대가 되었다.[25] 단속평형설은 기존의 계통진화가 연속적이라는 사실을 비판하면서 불연속적 계기들의 발생을 강조하였다. 이런 점에서 내적 구조력 이론은 기존의 단속평형설과 다르다 왜냐하면 단속평형설은 불연속적 계기를 주장하여 외형적으로는 시공간 연속성을 보여주는 상관적 구성력의 특징에서 벗어나기 때문이다. 상관적 구성력은 앞서 말했듯이 물리화학 법칙의 세계를 따르지만 상관적 구성력의 진화론적 기원을 물리화학적으로 역추적할 수 없다. 다시 말해서 인과적 법칙에 따르지만 결정론적 법칙에는 따르지 않는다는 뜻을 포함한다.

def.6 : 상관적 구성력은 종 의존적이지만 종 불변적이지 않다.

상관적 구성력은 생태적 제한 개념으로 설명가능하다. 상관적 구성력은 종마다 다르지만 종마다 불변적인 것은 결코 아니다. 종 고유의 상관적 구성력은 종 고유의 유전형 유전자군을 보전하고 외부 환경에 저항하는 힘을 가졌다. 바로 이러한 이유 때문에 종 간 사이에서 발생학적 근연관계가 부재한다고 말하기도 한다. 이러한 입장은 굴드의 입장과 많은 점에서 유사하며, 굴드가 말한 단속평형 이론의 주요한 방향이기도 하다. 그런데 굴드의 단속평형론은 주로 형태학적 제한 개념에 의존한다. 그러나 나는 앞서 논의했듯이 형태학적 제한 외에 생태학적 제한 개념의 중요성을 강조했다. 굴드의 형태학적 제한 개념 안에는 물리학적 제한 개념을 포섭하고 있다. 그러나 생태학적 제한 개념은 이 논문에서 처음 제시한다. 단속평형론을 수용하면서도 발생의 연속성을 주장하는 나의 입장은 생태적 제한 개념에 의존한다는 사실을 보여주는 것이다.

발생학과 진화론이 중첩되면서 근연적으로는 불연속적으로 보이기는 하지만 장구한 지질학적 시간으로는 연속적인 발생 계기가 존재한다는 것을 말하게 되었다. 연속적인 누적이 일시적인 불연속적 전환으로 보인다는 뜻이다. 근연적으로는 인과관계가 없어 보이지만 발생학적 계기와 발달 순서가 존재한다고 말한다. 발생학적 계기는 애매한 표현이지만 다음의 두 가지 뜻을 담고 있다. 하나는 큰 범주로서 대규모 종 간 형태적 연관성이 있다는 점이다. 다른 하나는 작은 범주로서 종 내 개체의 개체발생의 발현 순서가 일정한 순서대로 나타난다는 점이다.[26]

4.3 존재론적 동등성

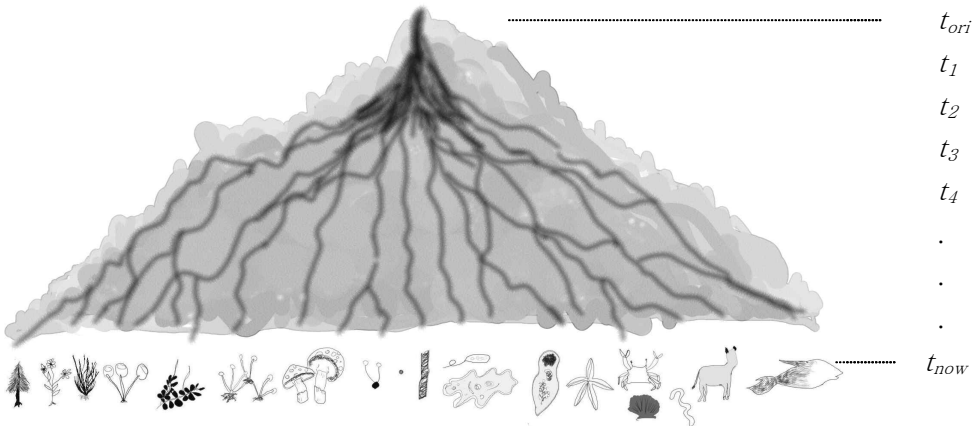
생태적 제한 개념은 무한히 다양한 생명종 사이의 존재론적 동등성을 시사한다. 신종합설에 의한 적응진화론은 종의 분화를 대체로 변이와 적응의 과정으로 설명하는 편이 강하다. 반면 발생 진화는 적응진화 외에 분기에 의한 진화를 더 강조한다. 특히 앞서 논의했듯이 시간적 연속성과 더불어 공간적 연속성을 부각한 생태적 제한 개념은 종이 분기되는 전체의 인과적 흐름을 알 수 없지만 분기 그 자체의 물리적 과정 안에서만 가능하다. 물리적 과정에서 모든 종은 동등한 변화절차를 겪는다는 것이다. 따라

24) Eldridge,N./S.J.Gould, 1972, pp82-115
25) Sean B. Carroll /김명남 역 (2007) 33쪽
26) 개체발생의 발현 순서가 계통의 발생 순서와 같다는 주장은 아직은 검증되지 않은 상태이며 설득력도 약하다. 따라서 본고에서는 다루지 않는다.

서 오늘에 존속하는 생명종의 후손들은 서로 존재론적으로 동등하다는 자연철학적 해석이 가능하다. 쉽게 말해서 진핵세포에서 다세포 생명으로 그리고 박테리아로부터 어류로 다음으로 양서류에서 파충류로 더 나가 포유동물로부터 쥐에서 침팬지를 거쳐 호모사피언스로 이렇게 단계적으로 진화한 것이 아니라는 점이다. 단계적 생명 진화는 철저하게 인간이 인위적으로 만든 생명의 서열화 논리를 통해 만들어졌다. 실제의 진화에서 볼 때 현존 생명종은 그 자체로 분기의 결과적인 존재이며, 따라서 서로 동등하다.

def.7 : 현존의 생명종은 그 자체로 서로 동등한 존재론적 지위를 갖는다.

이러한 존재론적 동등성은 생태적 제한 개념의 발생학적 발현에서 가장 잘 드러난다. 이 점은 철학적 존재론의 위상을 이해하는 데 중요한 시사점을 준다고 생각한다.



이를 은유적으로 설명할 수 있는 상징적인 그림을 제시한다. 이 그림은 산꼭대기에서부터 흐르는 빗물이 어떤 방향으로, 어느 계곡 길을 만들어 가는지 예측할 수 없음을 보여준다. 물이 정상에서 시작하여 상류에서 흐르다가 임의의 지점에서 분기한다. 생명의 탄생t_{ori} 으로부터 임의의 지점에서 임의의 시간 t_1, t_2, t_3 에서 분기하지만 실제로 그 분기하는 물리적 과정은 인과적으로 작동한다. 이렇게 흐른 물길들이 다다른 곳이 바로 오늘날 t_{now} 존속하는 생명종들의 현존성이다. 모든 생명종 각각은 단계별로 진화한 위계적 존재가 아니라, 각각 모두가 진화의 종착지인 진화론적 존재의 결과들이다. 그래서 모든 생명종들은 서로에게 동등하다. 현존의 동등성은 현 시점 t_{now} 에서의 생명종은 t_4에서 t_3로 다시 t_2에서 t_1으로 거슬러 결국 동일선조의 시점인 $t_{ori.}$ 의 동일한 기원을 갖기 때문이다. 따라서 진화발생학의 논리에서 시간적 연속성은 공간적 연속성을 낳게 한다. 이런 점에서 생명종의 동등성은 논리적으로 생태적 제한의 공간적 연속성 개념에서 유추한 논리적 개념이기도 하다.

5 상관적 구성력의 존재론적 의미

5.1 상관적 구성력의 방법론

생태적 제한은 생명 전일주의 (holism)과 무관하다. 생태적 제한이나 상관적 구성력의 개념이 구체적인 생명체에 대한 기술이 아니라 추상적이고 보편적인 발생 시스템 일반에 해당하는 성격이라고 비판하는 입장도 있다.[27] 상관적 구성력은 생명 전일주의 논의를 탈피하는 좋은 논거이다. 한 유기체가 배아 상

태로부터 성장하여 성체에 이르는 과정에서 상관적 구성력은 발달의 발현을 키고 끄는 스위치의 원천이다. 상관적 구성력은 한 유기체의 부분들이 어떻게 하나의 유기체로 성장하는지composition, 그리고 환경이 어떤 방식으로 조성되는지environment, 또한 고립된 개체가 아니라 환경 및 타 개체와 어떤 방식으로 구조화하는지structure의 방식으로 설명된다. 즉 상관적 구성력은 부분조성composition, 환경environment, 환경과의 관계structure 의 약자를 따서 CES 분석을 통해 설명이 가능하다. 상관적 구성력을 설명하는 CES 분석은 대상을 모호하게 만드는 전일론적 해석을 피하며 동시에 대상을 원자화시키는 환원론적 해석을 벗어나는 방법론을 제시한다.

def.8 : 상관적 구성력의 도구이론인 CES분석은 전일론적 해석과 환원론적 해석 양자 모두에 치우치지 않는다.

물론 상관적 구성을 접근하는 방법이 아직까지 구체적으로 정형화되지 않았다. 그 결정적인 이유는 상관적 구성력은 내적 구조(internal structure/endostructure)를 포함하기 때문이다.[28] 내적 구조 개념은 자칫 홀리즘을 옹호하는 개념으로 전락할 수 있지만 CES 분석으로 그런 위험성을 막을 수 있다. 반면 내적 구조는 환원론 방식으로 진화발생계를 다룰 수 없음을 간접적으로 시사한다. 바로 이런 점으로 인해 상관적 구성의 개념으로부터 철학적 존재론의 의미를 다양하게 추출할 수 있다. 물론 아직 정립된 이론은 아니지만 그 철학적 제안을 중요하다. 단순히 철학적인 의미만이 아니라 실험생물학의 창조적 영역을 확장하는데 큰 기여를 할 수도 있다.

5.2 발생학적 존재론의 가능성

발생계 이론과 기존 진화종합설이 만나는 가장 실질적인 범주는 생태적 제한의 발현이다. 그만큼 생태적 제한의 발현과 그 상관적 구성력이 갖는 철학적 의미는 매우 크다. 가장 중요한 의미는 생명의 연속성이 부각되고 있다는 점이다. 다 아는바와 같이 기존의 서구 형이상학은 거시 존재와 미시 존재 사이의 불연속적 위계에 기반한다. 예를 들어 현상과 본질의 존재 층위를 달리 한다는 점이다. 존재와 현상 사이에 존재론적 위격의 차이를 분명히 존속시키는 일이다. 혹은 신과 인간 사이의 존재 격차를 확고히 한다. 서구 종교의 기본적인 세계관의 하나이다. 신에 대한 경외를 성역화하려면 인간의 존재와는 질적인 위격이 다르며 보다 높은 위상에 절대적인 신의 존재를 위치시켜야 한다. 또 다른 한편으로는 정신과 물질 혹은 정신과 신체를 철저하게 구분하여 존재의 불연속성을 강조하는 일이다. 존재를 이분화하는 서구 관념론의 전통은 존재의 불연속성을 가정해야만 가능한 일이었다. 여기서부터 실체론적 존재론이 형성된다.

린네의 종분류법 역시 실체론적 존재론의 기반에서 탄생하였다. 실체론은 위계적 사유구조와 깊이 연관한다. 린네의 종 분류는 철저하게 위계적 분류방식을 채택하여 종과 종 사이는 절대 넘나들 수 없는 불변의 존재론적 성곽을 전제한다. 생명종의 영역이 불변의 고정 범주로 되려면 종의 탄생은 필연적으로 절대자로부터 설계된 것이어야만 했다. 그러한 설계도면에는 반드시 목적이 있고, 목적을 수행하기 위한 원리들이 적혀있다. 그 원리의 하나는 절대자에서 인간종으로, 다시 침팬지 등의 포유류로, 나아가 파충류와 양서류 그 밑으로 원핵세포에 이르는 생명종의 단계가 빈틈없는 서열 질서로 설계되어 있다는 점이다. 다시 말해서 린네의 종 분류는 종의 고정성과 더불어 종간 위계서열 구조를 함의했다.

---

27) Mahner/Bunge (1997), p.300
28) Mahner/Bunge 1997, p.27

다윈 진화론의 핵심 중이 하나는 동일조상이론인데, 동일 조상이론은 설계이론을 정면으로 부정한 셈이다. 이로서 다윈의 등장은 바로 린네의 실체론적 존재론에 대한 거부를 공식화했다. 진화론은 존재의 실체론적 장르에서 변화론적 장르로의 전환을 가져다주었다. 존재의 위계가 붕괴된다는 뜻은 본고의 철학적 핵심인 존재의 연속성을 거듭 주장하는 것과 같다. 현대발생학이 보여준 생명의 연속성은 이러한 서구 전통적인 형이상학을 반성하게 하는 중요한 계기가 될 것이다.

참고문헌

김한화 외(2006),「발생생물학」, 정문각

최종덕(2002),「적응과 제한의 상보성」, 『과학철학』 5-2, 105-130

최종덕(2004),「도덕감에 대한 진화발생론적 접근」,『과학과 철학』15집, 55-70

최종덕(2008),「생물학과 의학의 상관성: 발생학적 신호 개념을 중심으로」,『의철학연구』6집. 19-34

Ishihara/이화자 역(2008) 『도해 발생생물학』, 정문각

Carroll,S.B. / 김명남 역(2007), *이보디보*,(한국어판,2007) 33쪽

Conner,J.K./Agrawal,A., "Mechanisms of Constraints", J. Evol. Biol. 18(2005) 238-242

Jacob,F.(1998), *Of Flies, Mice and Men*, Harvard Univ. Press,1998, 우리말 번역 <파리. 생쥐, 그리고 인간>

Darwin(1871), *The descent of man*, London: John Murray. 1st edition, p.10

Eldridge,N./S.J.Gould(1972), “Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism”. In T.Schopf(1972),ed., *Models in Paleobiology*, pp82-115

Gould, S.J.(1980), *The panda's thumb*, Chap.6 Early Life, pp. 219-221

Gray, Hens(1992), “Death of the Gene: Developmental Systems Strike Bark”. In Griffins(ed.) *Trees of Life: Essays in the Philosophy of Biology*. Kluwer, Dordrecht

Griffiths PE/Gray RD(1994), “Deveopmental Systems and Evolutionary Explanation”, *Journal of Philosophy* 91: 277-304

Kalat,J.W.(1998), *Biological Psychology*, 6th. ICP

Laland,K./Odling-Smee,J./Feldman,M, "On the Breadth and significance of Niche Construction" Biology and Philosophy(2005) 20:37-55

Lewontin,R(1982), *Human Diversity*, Scientific American Books, Part2

Mahner,M/ Bunge Mario(1997), *Foundations of Biophilosophy*, Springer

Meinhardt,H(1988), "Bildung geordneter Strukturen bei der Entwicklung hoeherer Organismen" in Kueppers,B(hr.) *Ordnung aus dem Chaos,* Piper

Maynard Smith, John (1986), *The Problems of Biology*. Oxford,1986

Oyama, S(1985), *The Ontogeny of Information*. Cambridge Univ.

Okasha,S.(2005), "On Niche Construction and Extended Evolutionary Theory", Biology and Philosophy(2005) 20: 1-10

Sansom,R.(2003), "Constraining the adaptationism debate" Biology and Philosophy 18, 493-512

Tauber, Alfred I/Podolsky(1997), *The Generation of Diversity*. Harvard

Williams G.C.(1966), *Adaptaion and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*, Princeton Univ. Press, 1966

From ecological constraints to the developmental construction

Jongduck Choi (Sangji Univ.)

- abstract -

This paper is described on the concept of developmental constraints which is the meeting point of evolutionary biology and developmental biology. I would moreover find the ontological status of developmental system through the concept of constraints. I will show that the concept of constraints could be associated with the concept of natural selection and that the phenotypic traits selected by the umbrella of physical law is sustained in a developmental homeostasis. I suggest however that the developmental homeostasis is introrelated with its environments. I will call the homeostasis impacted by environments a "ecological constraint". It is important that I distinguish the ecological constraints from the physical constraints or morphological constraints. I will show how a correct understanding of the ecological constraint can resolve the some philosophical issues about the notion of correlational construction. These philosophical issues implies (i) that the meaning of ecological constraints includes not only the correlatedness in space, but also the causal succession in time and (ii) that the correlational construction shows ontological equality of species.

Key Words : correlational construction, ecological constraints, developmental evolution, ontological equality