

부산대학교 의학전문대학원 의료인문학실 개설 기념 심포지엄

'진화와 의학: 인문학과의 만남'

- 일시: 2015 년 1 월 23 일 (금) 오후 2 시-6 시
- 장소: 양산부산대학교병원 재활병원 지하 1 층 강당
- 주최: 부산대학교 의학전문대학원 의료인문학실
- 후원: 부산대학교 의학전문대학원, 한의학전문대학원, 치의학전문대학원, 부산대학교 의료인문학연구회

초대의 글

안녕하십니까?

양의 해가 밝았습니다. 새해에도 건강하고 행복하시기를 기원합니다.

최근 과학의 드높은 발전으로 인해 인간을 들여다 보는 것은 점점 더 흥미로운 일이 되고 있습니다. 과학과 의학을 철학과 역사를 통해 들여다 보는 것은 여전히 중요하지만, 인간을 통찰하는 많은 지식과 지혜의 근간에는 점점 과학이 자리잡고 있는 것 같습니다. 바야흐로 학제간에 활발히 일어나는 융합의 창으로 인간과 인간됨을 성찰하는 것이 당연한 시대가 된 것 같습니다.

이번 심포지엄은 부산대학교 의학전문대학원 의료인문학실 개설 기념으로 마련되었습니다. '진화-의학-인문학'이라는 큰 주제 하에 과학철학, 의철학, 진화심리학, 진화의학의 흥미로운 논증과 이야기가 펼쳐질 것입니다. 많은 참석 바랍니다. 감사합니다.

부산대학교 의학전문대학원 의료인문학실장 교수 백승완

순서

사회: 부산대학교 의료인문학연구회 총무 송용중 교수

14:00-14:10

개회사: 부산대학교 의학전문대학원 의료인문학실장 백승완 교수

축사: 부산대학교 의학전문대학원 이원석 원장

심포지엄

시간	제목	연자
14:10-14:50	진화의학의 인과론과 질병 이해	최종덕 상지대 교수
14:50-15:30	성선택으로 우리의 덕을 적절히 설명할 수 있는가?	김성한 숙명여대 교수
15:30-15:50	Break	
15:50-16:30	진화와 의학: 몸의 공간에서 시간의 몸으로	강신익 부산대 치전원 교수
16:30-17:00	진화의학의 이슈와 사례	김건일 부산대 의전원 교수
17:00-17:50	아름다움의 진화심리학	주명진 형주병원장
17:50-18:10	토론 질의 응답	

진화의학의 인과 개념¹⁾

최종덕(상지대)

<http://eyeofphilosophy.net>

1. 근접원인과 궁극원인²⁾

원인에는 두 가지가 있다. 하나는 현재 시점에서 문제를 야기한 직접적 원인이며, 이를 근접원인proximate cause이라고 한다. 다른 하나는 현재의 문제를 일으킨 역사적 과거를 추적하여 그렇게 될 수밖에 없었던 충분한 이유를 찾아내는 것이며, 이를 궁극원인ultimate cause이라고 한다. 근접원인과 궁극원인을 구분한 것은 마이어인데, 근접원인은 물리화학적 조건으로 원인을 추적할 수 있지만, 궁극원인은 진화의 역사적 추론*historical inferences*을 통해 추적할 수 있다고 하였다.³⁾

근접원인과 궁극원인을 이해하기 위하여 다음과 같은 가상의 이야기를 생각해 보자.(최종덕 2008, 크로스로드) 한 청년이 경찰서에 강도상해 피의자로 잡혀와 조사를 받고 있다. 그의 이름은 누현이며 나이는 17세이다. 경찰은 청년이 다니던 학교의 담임선생님에게 연락을 해봤지만 3개월 전에 이미 학교를 그만 둔 터라 관심 없다는 답변만을 들었다. 누현이의 친척들조차 경찰서에 잡혀간 그를 외면하였다. 마스크와 경찰은 마치 처음부터 범죄인 유전자를 가지고 태어난 것처럼 누현을 대한다. 술집에 갈 돈이 당장 궁해서 그런 짓을 했는지 또는 편의점 주인에게 양값을 하려고 했는지 등 경찰은 그에게 강도짓을 하게 된 직접적인 원인을 캐물을 뿐이다. 사람들은 17살의 누현이가 어떤 불우한 환경에서 성장하였는지에 대해서는 관심이 없다. 이런 상황을 과연 청소년 한 개인의 책임으로만 돌릴 수 있을까? 우리가 그를 진정으로 이해하고자 한다면 문제가 된 강도 행위 이전에 오늘의 누현이의 성격을 만들게 된 여러 가지 요인들, 부모와의 심각했던 갈등, 학교에서 왕따를 당해왔던 과거의 정신적 아픔들, 유아기의 불충분했던 건강상태 등 전반적인 그의 삶의 역사를 되짚어 봐야 한다. 현재 시점에서 그의 성격과 과잉 행동양식을 이해하려면 그가 자라온 인생사를 추적하여 그 안에서 궁극적인 원인을 찾아야 한다는 뜻이다.

진화생물학에서 근접원인을 밝히는 일은 과학탐구의 기본조건이지만, 나아가 궁극원인까지를

1) 한국과학철학회(2011년10월1일)발표 원고와 최종덕(2014) 1장을 참조하여 재편집한 것임

2) 최종덕(2014) 1장

3) Mayr 1997, 67

고려해야 한다는 점이 매우 중요하다. 궁극원인이 진화론에서 어떤 역할을 하는지 니코 틴버겐의 사례를 들어보자. 철새가 이동하는 원인을 찾는 연구는 아래 두 가지로 나뉘질 수 있다. 하나는 근접요인을 찾는 연구이다. 계절 변화에 따라 낮의 길이가 달라지고 이것이 철새의 생체 호르몬 변화를 유도하며, 결국 해의 방향에 따라 이동하게끔 하는 생체동력을 제공한다. 그래서 철새는 계절에 따라 먼 지역을 이동한다고 해석한다면 이것은 근접요인에 따른 설명이다. 반면 계절의 변화에 따라 이동한 결과 먹이를 확보할 수 있었던 개체들과 계절이 변해도 이동하지 않고 서식지를 유지하는 개체들이 있었을 때, 이동하는 개체들이 더 많은 번식을 하게 되고 이동한 후속 세대의 유전자들이 적응과 존속에 성공적이었고 그 결과 오늘날의 철새 행태가 형성되었다고 해석한다면 이것은 궁극원인에 따른 설명이다.⁴⁾

궁극원인을 밝히는 것은 현대 생명공학의 성과를 현실화시키기 위해서도 필요하다. 몇 년 전 배아줄기세포 복제가 큰 사회적 관심을 불러일으킨 적이 있었다. 그리고 대학과 기업 연구소를 중심으로 생명공학, 유전공학의 논문과 국제특허 신청이 계속 쏟아져 나오고 있다. 마스크 역시 첨단 의료기술의 혜택을 염원하는 무수히 많은 환자와 그 주변 사람들의 희망을 반영하듯이 대중들의 호기심을 자극하는 방식으로 이 연구결과들을 포장하는 경우가 많다. 그러나 이런 발표가 곧 실제로 의료복지 기술에 직접 적용되는 경우는 매우 드물다. 왜 그럴까?

그 이유로는 대략 다음의 두 가지를 들 수 있다. 하나는 생명공학의 연구대상인 생명 기능의 단위들 사이의 공간적 상관성을 밝혀내지 못했기 때문이다. 해당 인체 부위 혹은 기능, 생체 분자의 개별 기능만을 밝혔을 뿐, 그 사이의 상관적 작용을 아직 모르기 때문이다. 다른 하나는 종의 분지 과정을 거치는 시간적 상관성이다. 즉 문제가 되고 있는 현재의 해당 형질이나 기능이 과거의 해당 형질이나 기능으로부터 어떠한 변이와 적응과정을 거쳤는지에 대한 엄밀한 인과작용을 잘 모르기 때문이다. 바로 이런 이유들 때문에 연구성과로 발표된 꿈만 같은 생명공학기술들은 재환을 희망하는 현실의 환자들에게 직접 적용하기가 쉽지 않은 것이다. 궁극원인을 무시하고 근접원인만을 통해 문제를 해결하려 한다면 아마 연구이론과 임상 현실 사이의 실질적 적용 간극은 더 커져만 갈 것이다. 물론 실험실에서는 근접원인을 밝히는 작업이 수행된다. 근접원인 탐구의 효율성을 높이기 위해 궁극원인이 반드시 고려되어야 한다는 점이다.

[표] 근접원인과 궁극원인

근 접 원 인	● 원인과 결과 사이에 일대일 방식의 인과율이 적용된다. ● 결정론적 방정식으로 환원 가능한 인과관계의 원인 요소이다.
궁 극 원 인	● 원인과 결과 사이에 복잡하고 우회적이고 거리가 멀고 혹은 역사적 통시성의 관계에 놓여진 원인 요소이다. ● 원인과 결과 사이에 일대일 대응이 아닌 다층적 연관관계로 대응된다.

4) Tinbergen(1963) p.411.

구체적 사례를 들어 설명하겠다. 미국 피츠버그대학교 연구팀은 TLR4(Toll-like receptor 4)라는 유전자의 변이가 태반의 염증 유발 또는 미숙아 출산과 매우 밀접한 연관성이 있다고 발표하였다. 해당 유전자는 백혈구의 면역작용 발현의 원인이 된다고 한다. 통상적으로 질병의 유전적 요인을 찾는 일은 근접원인 탐구의 전형이다. 한편 TLR4 유전자의 기능적 역할만이 아니라 그 유전자 면역기능이 다른 조직과 어떻게 상관성을 갖는지 혹은 산모와 태아 사이의 면역관계가 진화론적으로 유의미성이 있는지를 탐구하는 일은 궁극원인 탐구의 전형이다. 궁극원인은 직접적으로 추론되거나 증명되지 않지만 그런 탐구를 통해서 실효성 높은 근접원인을 찾을 수 있을 것이다. TLR4는 외부 이물질을 감지하여 신호를 발생시키는 수용체 단백질이다. 그 역할은 외부 박테리아(LPS)를 감지하여 염증 형성 즉 선천적 면역반응을 일으키는 데 있다. 그런데 TLR4 외부 이물질을 직접 감지하는 것이 아니라 CD14 라는 단백질에 결합된 LPS를 감지할 뿐이다. 어느 범주를 맡은 수사관(TLR4)이 범인(LPS)을 찾고 있다고 치자. 수사관은 범인의 인상착의를 전혀 모른다. 수사관은 다만 범행 사용했을 것으로 추정되는 총기(CD14)를 지닌 사람을 범인으로 추측하여 그런 사람을 추적하는 것과 비슷한 상황이다. 대식세포의 외부 물질 포착작용은 선천 면역의 진화과정에서 형성되었다. 면역의 진화는 자기 self가 비자기 non self를 감지하여 비자기를 무용하게 만드는 작용에서 시작한다. 이런 진화론적 작용에서 볼 경우 LPS라는 비자기의 정체성은 고정되지 않고, CD14 단백질의 결합여부에 따라 바뀔 수 있을 정도로 유동적이다. 그래서 TLR4 단백질 유전자가 태아 염증을 일으킬 수 있는 기작을 근접원인의 관점에서 연구하는 일선 연구자도 이미 진화론적 궁극원인의 추론 방식을 은연중에 사용하고 있다. 다른 말로 해서 면역계의 진화-계통발생학적 이해는 유전자 수준의 근접원인 탐구의 유효성을 더 높여줄 수 있다.

2007년 <네이처> 유전학지 발표에 따르면(Nature Genetics 39) 남성 사망의 원인, 두 번째인 전립선암 발생에 관여하는 유전자 10개 이상을 추가로 확인했다고 한다. 관련 유전자들이 전립선암을 일으키는 근접원인의 충분요인은 아니지만 필요요인인지, 혹은 인과관계처럼 보이지만 실제로는 상관관계에 지나지 않는 지를 분석하는 것이 우선이다.

표 : 필요조건과 충분조건

필요조건	충분조건
남자는 아버지가 되기 위한 필요조건이지만 충분조건은 아니다. (아버지가 되기 위해서는 남자라는 필요조건만이 아니라 자식을 가지고 있다는 또 다른 필요조건이 있어야하기 때문이다.)	그가 아버지라면 이미 그가 남자라는 것의 충분조건이다. (예: “최근 스마트폰은 전과 달리 통화기능만으론 충분한 것이 아니야”)

표 : 인과관계와 상관관계

인과성	상관성
유리잔을 손에서 놓친 것이 유리잔을 깨트린 것의 원인이다. (인과적이면 상관적이다)	유리잔이 깨진 것과 바람이 불었던 현상은 상관적일 수 있다. (그러나 인과적이라고 말하기 어렵다)
인과관계는 상관관계를 포함하지만, 그 역은 아니다. 즉 상관적이라고 해서 인과관계가 있다는 것은 아니다.	

특정의 유전자(군)들의 변이는 전립선암을 유발하는 데 관여하지만 직접 원인이라고 말할 수는 없다. 실험군 표본대상 미국인 2,000명을 대상으로 연구한 결과, 8번 염색체의 특정 마커가 전립선암 유발에 관여된다는 연구가 발표되었다. 그런데 아프리카계 미국인이 백인계 미국인보다 이 단백질 마커가 무려 4배 이상 발현된다는 것으로 밝혀졌다.(Nature Genetics, 2006년6월)

이런 연구들을 통해서 볼 때 (i)특정 염색체 상의 단백질 마커, (ii)전립선암 진행에 관여하는 TGF- β (Transforming growth factor β) 신호전달, 혹은 (iii)전립선암에 관여하는 10개 정도의 관련 유전자 등에 관한 다양한 연구보고는 근접원인 탐구방식으로 간주될 수 있다. 한편 유럽계 미국인과 아프리카계 미국인 사이의 발현빈도 차이에 대한 연구도 매우 유의미하다. 이는 유전자의 기능적 관점만이 아니라 계통발생학적 관점도 필요하다는 것을 의미한다. 즉 근접원인 탐구와 더불어 진화론적 궁극원인에 대한 탐구가 병행됨으로써 전립선암에 대한 이해를 상승시킬 수 있다는 것이다.

인간 게놈지도 프로젝트에 참여했던 벤티(Craig Venter)는 2010년 미코플라스마 제니탈리움 Mycoplasma genitalium 즉 최소 유전체minimal genome의 기능을 갖는 인공 박테리아 Synthetic Bacterial Cell를 만들었다고 발표하였다. 인간이 원하는 기능을 수행하는 인공 박테리아를 만들기 위해서는 유전체에 필수적으로 있어야 하는 단백질 암호 유전자essential protein-coding genes의 계통진화를 고려해야 한다. 단백질 암호는 생명의 기능을 담당하는 정보이기도 하지만, 그 안에 진화의 시간이 농축되어 있어서 어떤 형질이 발현될지 알 수 없는 생명의 블랙박스라고도 은유될 수 있다. 단어를 이해하려면 문장을 파악해야 하고, 문장을 파악하려면 문단의 방향을 이해해야 하듯이, 생명기능의 정보를 이해하려면 생명의 발생과 환경의 조건들을 고려해야 한다. 인공 박테리아를 만드는 연구에서 이러한 생명사적 연관성 또는 진화의 궁극원인에 대한 연구를 고려하지 않으면 연구 결과에 취약성이 있을 수 있다. 근접원인과 더불어 궁극원인을 강조한 굴드J.S.Gould는 기능탐구에 치우친 유전자 근접원인론을 아래와 같이 평가하였다.

무를 슬개골이나 손톱의 형태학적 신체 구조에 해당하는 유전자는 존재하지 않는다. 신체는 개별 유전자로 구성된 신체 부분들로 원자화될 수 없다. 어떤 신체 부분이든지 보통은 몇 백 개 이상의 유전자가 조합되어 축조되며, 이 유전자들의 축조 방식은 선천성과 후천성의 조합 및 내재성과 외재성의 조합을 만들어 주는 환경의 영향을 받아 마치 만화경의 그림 통로처럼 채널화되어 있다.⁵⁾

소버는 근접원인에 기반한 연구가 통상적인 과학방법론이기 때문에 그 필요성을 충분히 인정하였다. 그러나 소버는 생물학 연구에서 근접원인을 사용하는 방법은 필요조건이지만 충분조건이 될 수 없으며, 근접원인에만 기반한 성과는 자칫 우연적 발견에 의한 결과일 수도 있음을 시사하였다. 그는 궁극원인을 무시한 유전자 원자론을 ‘콩주머니 유전학’(Beanbag genetics)이라고 불렀다. 콩주머니 유전학이란 멘델의 유전법칙처럼 유전자와 형질 사이에 수학적 관련성이 있다는 뜻으로 마이어에 의해 처음 사용되었지만 이후 유전자 결정론을 비유하는 데 사용되었다.(Sober 1993, 186) 근접원인론은 콩주머니 유전학을 설명하는 데 유효하지만 실제로 원인은 다양하게 존재하며 그런 원인조차도 장구한 시간 추적을 필요로 하는 것이기 때문에 직접 그 원인을 밝히기는 쉽지 않다. 특성의 유전자가 특성의 표현형질의 원인이라는 식의 설명은 아직 이루어지고 있지 않다. 진화론적 궁극원인을 고려하지 않는다면 근접원인론으로 밝혀진 인과관계는 충분하고 성공적인 설명력을 갖추기 쉽지 않다. 충분하고 성공적인 설명력으로 보이더라도, 그 결과는 의도하지 않은 부산물을 얻게 된다.

감기의 간단한 사례를 들어보자. 우리는 감기가 진행되어 사람의 기관지를 붓게 하는 리노바이러스의 간단한 유전체 메커니즘조차 모르고 있다. 리노바이러스에 대항하는 사람과 동물의 어떤 면역 유전체는 그 구조는 동일하지만 전혀 다르게 발현하기 때문이다. 바로 그런 이유 때문에 우리는 아직 이 단순한 바이러스조차 확실히 파악하지 못하고 있는 실정이다. 단순한 바이러스도 생명의 기나긴 역사를 가지고 있기 때문이다. 그 생명의 역사란 바이러스가 환경에 적응하는 과정을 의미하며, 끊임없는 변이로부터 새로운 선택을 취하는 진화론적 생존의 역사이다. 이러한 생존의 역사를 기웃거리는 것이 궁극원인의 탐구이다. 궁극원인의 탐구방식은 명확한 결과를 제시해주지 못하더라도 단백질 연구를 비롯한 생명 단위의 블랙박스를 여는 시작점이다.

2. 진화론적 인과

과학은 경험세계를 인식하는 체계화된 이론을 구축한다. 이를 위해 가설이 필요하고, 그 가설을 검증한다. 관찰을 통한 검증은 그 자체로서 이론지식의 폭을 넓히는 중요한 통로가 된다. (Brandon 1997) 물리과학에서는 검증 가능성의 차이를 비교하여 이론과 가설을 나누기도 한다. 이런 점에서 이론과 가설 사이의 질적 간격이 크다. 반면 생명의 진화를 다루는 생명과학 연구에서는 가설과 이론 사이의 질적 차이가 크지 않다. 설정된 이론이 진화론적 장구한 시간

5) Gould(1980) p.91.

을 다루므로 실증적 검증의 문을 통과하기 어렵다. 이 때문에 진화론에서의 많은 이론들이 가설의 지위로 하향 평가되기도 한다. 이렇게 진화생물학은 물리과학의 이론적 지위와 다르다.

특히 자연상수라 불려지는 상수의 경우를 보면 물리학과 진화생물학 사이의 차이를 쉽게 알 수 있다. 물리학에서는 플랑크 상수처럼 소수의 기본상수들이 존재한다. 이러한 변수값은 언제 어디에서나 작용되기 때문에 상수라고 불리운다. 상수는 한번 정확히 측정되었다면 다시 측정될 필요가 없다. 진화생물학에서 그러한 기본 상수는 존재하지 않는다. 진화론에서 선택 강도(strength of selection, 변이율(mutation rate, 이주분리정도(migration rate와 같은 가장 중요한 변수값들도 상수가 아니며 상수일 수도 없다. 진화 변수값들이 특정 장소 특정 시점에서 정확히 측정되었다고 쳐도, 다른 환경 다른 개체군에 접하면 그 값은 반드시 다시 측정되어야만 한다. 그래서 진화생물학에서의 변수들을 파악하기 위하여 물리과학 이상의 더 많은 시간과 노력이 필요하다. 당연한 말이기도 하지만 생물학적 변수값은 물리학적 기본상수와 같은 법칙성이나 투사성에서 많이 미흡하다. (Brandon 1997) 장구한 시간을 다루는 진화생물학에서 과학적 인과율의 특성은 현존 대상의 역학관계를 다루는 물리과학의 전형적인 인과성과 다르다.

그러나 진화생물학에서 인과율이 존재하지 않는다고 말할 수 없다. 단지 예측을 할 수 없기 때문에 없는 것처럼 보일 뿐이다. 진화생물학에서 말하는 진화의 과정 역시 물리적 시간에 지배되며 중력법칙에 지배되며 단순한 물리적 지향법칙에 지배되는 것은 당연하다. 최적화 선택의 과정은 매우 복잡하고 상관적이지만 아무리 그렇다하더라도 미세 차원의 변화과정에서 물리적 인과를 벗어나는 일은 없다. 나는 이를 중층적 인과라고 부른다. 중층적 인과에는 두 가지 통로가 있다. 하나는 매우 복잡하고 상관적이지만 동일 공간에서 인과작용이 일어나는 공간적 중층성이다. 다른 하나는 공간적 중층성 외에 시간적 선후에 따르는 인과가 있다. 이를 시간적 중층성이라고 부르겠다.

인과적 중층성이 가장 복잡하게 드러나는 분야가 진화생물학이다. 그 중에서 시간적 중층성이 잠자고 있는 분야는 계통학이다. 이 발표문은 계통학에서 인과 특성이 어떻게 발현되는지 알아보려한다. 인과성과 예측가능성을 분리시킨다면 진화생물학에서 인과성의 문제를 정식화할 수 있다는 것이 이 발표문의 기본 입장이다. 진화의 과정이 필연적 인과로 해석될 수 없는 것은 당연하다. 그렇다고 해서 랜덤한 우연이 아니라는 점이다. 이런 생각이 중층적 인과에 대한 본 발표문의 사유기반이다. 그러한 우연을 굴드는 역사적 우연이라고 했다. 구체적으로 역사적 우연에 대한 비티와 트라비자노의 해석을 도입하여 진화인과의 가능성을 진단한다.

나아가 이러한 인과 해석의 사회학적 상관성을 타진한다. 광우병 사태나 황우석 사태 등 생명과학과 관련한 사회적 이슈에서 소위 과학성을 자처하는 정치권력 이면의 지식권력 그룹이 과학적 인과율을 어떻게 오도하고 있는지를 보여준다. 비티가 제시하는 인과성 해석을 통해서

오도되지 않는 과학지식을 대중에게 보여줄 수 있다.

3. 물리적 제한

진화는 항상 새롭고도 유일한 new and unique 자연현상을 지속적으로 만들어내는 과정이다. 일정한 생명진화의 변수를 찾아내는 것도 어렵고, 미래 혹은 다음 단계의 진화결과를 예측할 수 없다. 특히 유기체 종의 존속은 태양계 행성의 하나인 지구 및 태양계 전체의 물리적 환경에 의존되어 있다. 다시 말해서 생명종은 일정하게 주어진 지구 기후 등의 자연의 미시환경 속에서 변이와 적응을 거친 과정의 소산물이면서, 동시에 판구조 변화 및 행성충돌 등의 행성 차원의 거시환경을 통한 선택과정의 소산물이기도 하다. 전자는 미시진화 과정이며 후자는 거시진화라고 할 수 있다. 6,500만년 전 유카탄 운석충돌에 의한 대량멸종의 계기 혹은 K-T 지층경계 유발사건 등 외에 6억년 이래 혹은 선캠브리아 기 이후 6건 수준의 K-T 사건 이상의 대멸종 계기가 확인되었다.(Ayala 2005, 98) 이러한 불연속적 계기들을 관통하는 진화를 거시진화, 그리고 한 계기 내의 진화를 미시진화라고 부른다. 미시진화에서는 변이에 따른 적응의 연속적 과정을 중시하고, 한편 거시진화에서는 광범위한 종의 멸종에 따르는 불연속적 과정을 중시한다. 거시와 미시의 진화과정을 연쇄적으로 설명할 수 있는 아이디어는 계통발생학과 연관한다.

아얄라는 아래와 같이 두 가지 수준에서 계통진화가 진행된다고 한다. (Ayala 2005, 106)

첫째 시간 흐름에 따라 개체군내의 연속적인 변화이다. 이러한 변화는 크게 봐서 자연선택, 변이 유전적 표류나 여타의 집단유전학적 과정에 의해 유발되며 개체 수준에서 작용되는 대립형질 변형과 같다. 이러한 변화는 기존의 계통수 내에서 일어나는 진화이다. 형태학적 변화가 일어나야만 실질적인 진화라고 할 수 있는데, 굴드에 의하면 드물기는 하지만 기존 계통수 안에서 그런 진화가 일어날 수 있다고 보았다.

둘째 생명종의 기원과 멸종에 관한 과정이다. 계통진화론에 따르면 대부분의 형태학적 변화는 새로운 종의 출현과 연관한다. 진화의 흐름은 결국 기존 계통수 내에서 이루어지는 진화라기 보다는, 새로운 종의 탄생과 멸종의 유형patterns에 따른 결과이다. 그래서 개체 유기체에 앞서 종 수준이 거시진화 연구의 단위가 된다. (Ayala 2005, 106) 기존의 미시진화 과정 연구는 지질학적 거대 진화의 시간과 양상과 같은 대진화 패턴에 관해 말해주는 것이 많지 않다는 것이 굴드의 생각이다. 생물학이 물리학에 대해 관계할 수 밖에 없는 그런 방식 그대로 거시진화는 미시진화에 대해 마찬가지로 모종의 관계를 갖는다. 굴드에 대한 일반적인 편견과 달리 굴드는 미시진화의 과정에 대하여 부정적이지 않았다. 다만 고생물학자로서 그는 진화의 패턴을 미시진화보다는 거시진화에 의한 형성에 비중을 더 크게 두었다는 점이다. 이런 이유로 계통진화론에 있어서 굴드의 주요한 입장은 진화적 변화의 매개자로서 개체간 선택보다는 종간

선택에 비중을 두게 된 것이다. 다시 말해서 굴드 역시 일반적인 미시진화 이론에서는 개체간 선택에 대한 선택수준 입장을 부정하지 않았다는 점이다.

임의의 환경에서 임의의 조상일 경우 그 진화론적 결과가 어떻게 될 것인지 굴드는 가정을 했다. 어떤 생명의 형태가 우세하게 될 지를 결정하는 데 있어서 특정의 환경에서 일어난 자연 선택 기제가 충분히 유효하다고 생각해보자. 그렇다면 그러한 상황에서 동일한 진화결과만이 지구를 지배하게 될 것이다. 굴드는 자연선택의 기제가 매우 중요하다고 생각했지만 적응주의 자연선택만이 지배적인 진화력의 기제라고 보는데 반대했다. 굴드의 이런 생각은 독창적이기 보다는 <종의 기원> 서론 맨 마지막 줄의 다윈 이야기를 발전시킨 것으로 여겨진다. “Furthermore, I am convinced that Natural Selection has been the most important, but not the exclusive, means of modification” (Darwin 1859, 서론; Mentor판) 그렇다고 해서 진화적 결과를 원리적으로 설명불가능한 것으로 간주하지 않았다. (Beatty Replying) 단지 적응주의 자연선택 기제 단독으로 특정 진화의 산물을 충분히 설명할 수 있다는 점을 부정했다.

생명의 탄생과 멸종의 관점에서 볼 때 진화 과정은 생명의 가지치기이며 좁은 의미에서 계통 발생의 흐름이다. 유일한 생명종은 유일한 환경에서 형성된다는 아이디어는 브랜든의 진화론적 주요 입장이기도 하다.(Brandon and Antonovics 1996) 새롭고 유일하다는 뜻은 비가역적이라는 의미와 같은 맥락이다. 진화의 비가역성은 진화생물학에서 인과성에 대한 물리적 법칙 혹은 물리적 인과율이 존재하지 않음을 간접적으로 함의한다. 그렇다고 해서 인과성이 없다고 말할 수 없다. 진화에서 선택의 과정은 넓은 의미의 인과적 과정에 해당하기 때문이다. 적응 역시 인과적 작용범주 안에 있다. 1톤의 무게가 나가는 코뿔소의 앞다리가 하늘을 나는 날개로 변이되는 것을 상상할 수조차 없다. 혹시 그런 변이가 설정되더라도 적응의 과정에서 단연코 실패한다. 다시 말해서 생물학적 변이의 과정은 비예측적이기는 하지만 행성계 차원의 물리적 역학의 인과성 범위를 넘어서지 못한다. 즉 생물학적 변이과정 역시 물리적 인과성으로 제한되어 있다. 당연한 말이기도 하지만 이를 물리적 제한physical constraints이라고 부른다. 미시진화의 특징은 이러한 물리적 제한 내에서 수많은 변이가 생성된다는 점이다. 현대 분자생물학은 무한에 가까운 변이의 확충성을 유전자 차원에서 입증하고 있다. 왜 그러한 유전자 변이가 유도되었는지 인과적으로 밝히고 있지 못하다. 그러나 변이가 무작위적이기보다는 물리적 환경의 인과적 영향을 받은 결과라는 데 동의하고 있다.

4. 개체들의 차이와 변이

변이는 선택진화의 선결조건이다. 정확히 말하자면 수적으로 매우 다양한 변이가 전제되어야만 적응과 그 결과의 선택이 가능하다. 선택이 가능하기 위하여 선택 대상 개체수가 많아야 한다는 뜻이다. 개체수가 많다는 것은 개체와 개체를 서로 구분할 수 있도록 개체간 형질의

차이가 있다는 것을 의미한다. 다윈의 혁명적인 발견이란 자연의 생명계 안에서 바로 이러한 사실을 찾아내었다는 데 있다. 반복된 말이지만 진화는 변이로부터 시작한다. 변이가 어떤 인과적 과정이 있는지를 검토하는 일은 중요하다.

개체간 형질의 차이가 거의 무한에 가까우며 또한 그중에서 적응된 형질의 차이가 세대를 이어가며 안정적으로 발현되는 개체들의 결과를 변이라고 한다. 변이는 환경 변수의 관점에서 볼 수 있고 한편으로 유전 변수의 관점에서 볼 수 있다. 물론 환경변수와 유전변수는 독립적인 변이변수는 아니다. 상호 연관적이라는 뜻이다. 환경은 변이의 필요조건이지만 충분조건은 아니다. 환경에 의하지 않은 유전변이도 가능하다는 뜻이다. 현재 분자 차원의 유전자 개념을 다윈이 알지 못했으나, 모든 유전변이가 환경변이가 아니라는 점을 파악한 것은 혁명적인 인식의 변화였다. 다윈은 물론 유전에 의한 변이를 검증할 수 없었다. 그러나 다윈은 환경에 의한 변이로는 설명할 수 없는 그 무엇이 있음을 인지했다. “변이는 환경에 의해 기인하지만, 그렇다고 해서 환경에 대한 적응적 반응이 아니다.” (Darwin 1883, vol.2, 236) 여기서 환경과 변이 사이의 인과성 여부는 진화생물학의 인과성 문제와 직결된다.

개구리의 알처럼 자손을 많이 생산해야만 그 중에서 살아남는 확률이 높아진다. 종의 존속을 위해 번식의 수를 늘리는 메커니즘 자체가 자연선택의 결과이다. 동시에 번식의 수를 늘림으로써만 자연선택의 메커니즘이 비로소 작동될 수 있다. 이 논리는 일종의 동어반복적 순환논리이다. 이렇게 동어반복으로 보이는 자연선택이론은 진화생물학이 비판받고 있는 주요 논점 가운데 하나다. 그러나 형식논리의 관점에서 볼 경우에만 이를 동어반복이며 자기순환으로 인정된다. 생명논리에서는 이는 자기순환도 아니며 동어반복이 아니라 역사적historical 기회chances이다. 곧 랜덤 변이random variation의 한 양상이다.(Beatty, 2011)

역사기회는 다음의 몇몇 생물학적 특징에 의존된다. (1)우선 번식의 후손들의 수가 많아야 한다. 포식 위험이 높은 생명종 혹은 그런 환경에서 탄생하는 자손의 수를 증가시키는 일이 유일한 번식의 가능성이다. 개구리가 5천개 내외의 수많은 알을 낳는 것도 그런 이유이다. 1,000만개 이상 알을 낳는 어류는 생각보다 많다. 가장 많은 알을 낳는 것으로 알려진 복어과 개복치는 약 3억 개의 알을 거의 방류 수준으로 낳는다. 대부분은 주변 포식자에 의해 먹히지만 그 중에서 성체로 살아남는 개체도 따라서 많아질 가능성이 높다. (2)그리고 수많은 자손들은 그 어느 하나도 동일한 모습이나 형질을 가지는 것이 없다. 동일한 유전자를 갖는 어떤 동일한 자손도 없다는 뜻이다. 이를 개체 차이성이라고 부르자. 이러한 개체차이성은 동일종 내 모든 개체들에게 적용되며, 일란성 쌍둥이 자매에게도 적용된다. 즉 인간 쌍둥이 형제들의 유전자가 전적으로 동일하지 않으며 3억 개의 알을 낳는 개복치의 알들이 전부 성체가 된다고 가정한다면, 그 3억 개 성체들 각각의 발현유전군은 그 어느 것도 같을 수 없다. 유전자가 형질로 발현되는 과정에서 동일한 발현결과가 없다는 뜻이다. 바로 이러한 사실로 인해 적응의 성공과 실패가 갈려지며 선택의 대상이 가능해진다. (3)이러한 개체 차이성도 변이의 하나다.

그러나 환경에 의한 변이와 다르다는 것을 쉽게 이해할 수 있다. (4) 앞의 2번의 경우처럼 주어진 유전자를 가진 알 각각이 성체로 자라면서 유전자 발현이 달라진다. 이 과정에서 환경의 영향을 받게 된다. 그렇다고 해서 성체 이전 알 자체의 유전자가 동일하다는 것이 아니다. 유전자를 구성하는 염색체 디엔에이 배열상의 차이는 개체가 속한 환경과 무관하게 대립유전자의 교환으로 생성된다. 다윈은 환경에 의한 변이를 인지했고 유전에 의한 변이를 추정할 수 있었다. 그러나 변이의 메커니즘 중에서 염색체 배열상의 차이에서 온 변이메커니즘을 알지 못했던 것은 당연하다. 그럼에도 불구하고 한 배에서 출산한 새끼들이 그 수에 관계없이 즉 자손수가 2 이거나 3억 이거나 관계없이 다양한 변이체들의 집합이라는 점을 인지했다는 것은 다윈진화론 형성에 특별한 계기를 주었다. 형질이나 겉모양은 같더라도 염색체 배열에 있어서 모두 다르다는 점이다. 이러한 차이는 곧 선택이 가능한 자연적 설정에 해당한다. 인과의 측면에서 볼 때 이러한 변이는 인과 사이의 예측을 허용하지 않는다. 다윈은 <종의 기원> 이후 이 문제에 많은 시간을 할애했다.

환경과 변이의 인과성은 있으나 그 인과관계는 너무 복잡하여 예측불가능unpredictable 관계에 있다. 다윈은 변이를 두 유형으로 나눠보았다. 하나는 원리적으로 예측불가능한 변이의 유형이며(what he called "undefinite or fluctuating" variation), 다른 하나는 현재 수준으로 예측할 수 없지만 원리적으로는 예측가능한 변이의(he called these "definite" variation) 유형이다. 다윈은 대부분의 변이가 전자에 해당한다고 믿었다.(Darwin 1872, 5-8; 1883, vol2, 260-282) ; 1872:expressions) 이와 관련하여 비티는 랜덤변이와 랜덤표류를 구분한다. 랜덤변이random variation와 랜덤표류random drift 모두 비예측적 영역이지만, 랜덤표류는 단순한 확률범주인 반면 랜덤변이는 역사적 우연범주라고 표현했다. (Beatty, 2011) 비티의 이런 구분은 변이를 해석하는 굴드의 입장을 정리한 것이라고 한다.

Beatty는 우연변이chance variation 개념을 통하여 계통진화에서 변이와 확률의 인과관계를 설정한다. (Beatty, 2011) 아알라는 그런 인과는 굴드의 계통 진화가 진행되는 과정에서 드러난다고 생각했다.

5. 역사적 우연

필연성 개념에 대비하는 것으로서 우연성 개념은 그 폭이 넓다. 우연적이라는 수식어를 필연적이지 않은 모든 상황들을 일컬을 경우, 우연 개념의 의미는 다양하게 확장될 수 있다는 뜻이다. 필연성은 논리와 사실의 범주로 나눌 수 있다. 마찬가지로 필연에 대응되는 우연성도 논리적 우연성과 사실적 우연성으로 나눌 수 있다.

아래의 인과 구획에서 논리적 필연성 범주의 대표적 분야는 수학이다. 사실적 필연성으로 인과를 다루는 분야는 물리과학을 포함한 통상의 과학 분야이다. 시공간 특히 공간적 인과성을

다루는 것이 기존의 동역학이다. 과학 중에서 진화과학은 필연성의 인과 연구분야라고 할 수 없다. 그러나 전적인 우연에 속한다고 하면 과학의 지위조차 얻을 수 없을 것이다. 그래서 진화과학과 같은 연구분야를 일반적 우연성의 범주가 아닌 역사적 우연성의 범주에 귀속시키고자 하는 것이 비티의 전략이다. 물론 비티에게서 처음 시작된 시도는 아니고 굴드에게서 그 기원을 찾는다.

논리학		우연
수학	(i) 논리적 필연성	(iii) 논리적 우연성
	(ii) 사실적 필연성	(iv) 사실적 우연성
자연과학 일반		비과학
		진화과학
근접원인 의존적 법칙적 인과율		시간중층성에 기인한 역사적 우연
예측적 인과		비예측적 인과
		원리적으로 예측적 인과 (물리적 제한)

사실적 필연성의 범주는 기존의 물리과학의 인과율이다. 연역법칙이거나 근접원인을 예측할 수 있는 전통적 인과 범주이다. 반면 사실적 우연성 범주는 공간의존적 법칙적 인과는 아니지만 시간에 따른 중층 인과가 적용된다고 본다. 그 시간이 만약 생명진화의 시간처럼 장구한 시간일 경우 인과 간 관계를 예측할 수 없다. 나는 이를 시간중층성에 기인한 역사적 우연 historical contingency이라고 부른다. ‘우연성을 비예측성으로 해석하는 관점’ unpredictability version of contingency 은 진화의 미래 결과가 어떻게 변형될 것이라는 설명이 불가능하다는 입장이다. 그러나 무작위적 확률과정과는 전적으로 다르다. “우연성”이라는 말 자체가 전사건에서 후사건으로 이르는 과정에서 비예측적 산물이 만들어진다는 뜻을 내포한다. 단순히 물리적 우연chance과 다르다는 뜻에서 역사적 우연이라고 했다. 이렇게 역사적 우연과 물리적 우연chance 사이의 개념차이도 중요하다.

트라비자노는 찬스우연이라는 개념을 통하여 랜덤변이random variation와 랜덤표류random drift를 설명한다. 반면 굴드는 랜덤변이를 역사적 우연historical contingency에 랜덤표류를 확률적 우연stochastic에 분류했다. 굴드 생물철학의 핵심은 많은 진화생물학만이 아니라 일반생물학의 많은 논제들도 역사적 우연에 속한다는 주장했다는 데에 있다. 이 점에 대하여 굴드 비판그룹에서도 동의한다. 자연선택 진화는 역사변이 혹은 돌연변이가 발생하는 그런 역사

적 조건들에 의존하고 있다는 데에 전적으로 동의하고 있다는 뜻이다.

역사적 우연이라는 의미가 받을 수 있는 몇몇 오해가 가능하다.

- 1) 굴드비판그룹에서도 진화의 비가역성에 대하여는 큰 논란이 없다. 단지 비가역성의 문제를 열역학 제2법칙으로 확산시킬 경우 논쟁으로 되고 있기는 하다.
- 2) 역사적 우연이란 우연이기는 하지만 홀리즘 혹은 신비주의 비결정론이나 무작위적 우연과는 다르다는 것을 강조한다. 최소한 필연적 과정은 아니지만 인과성 자체를 부정하는 것이 아니라는 뜻이다. 이런 점에서 굴드의 역사적 우연의 개념을 나는 역사적 제한historical constraints이라고 부른다. 제한은 발생생물학적 개념이지만 현재는 기존의 진화적 개념을 설명하는 데 자주 사용하고 있다.
- 3) 임의의 초기 조상계통과 임의의 환경이 주어졌다고 하여도 자연선택 진화이론은 동일한 진화 산물을 보장하기에 충분하지 않다는 뜻을 강조한다. (Beatty Replying)
- 4) 자연선택이 아닌 행성충돌과 같은 우발적 사건에 의한 적합성도 많다. 그래서 굴드는 realized fitness 와 expected fitness 의 차이를 매우 중요하게 생각했다. (Sterelny 2003, 258) 자연선택이 아닌 진화의 변화는 곧 표류의 한 방식이다. 굴드는 여기서 표류 현상이 종 차원에서는 중요할 것으로 기대했다. (Gould 2002, 735-738)

인과성에 대한 Gould	
random variation	random drift
historical contingency category	stochastic category
contingency	chance
variations	
unpredictable class	predictable class
causal dependency	
- 신비주의 비결정론과 무관 - 진화산물이 인과적으로 설명될 수 있음을 부정하지 않는다. - 적응만이 진화의 결과를 보장하는 설명으로 불충분하다 - 동일선조, 동일환경에도 다른 진화산물이 가능하다.	