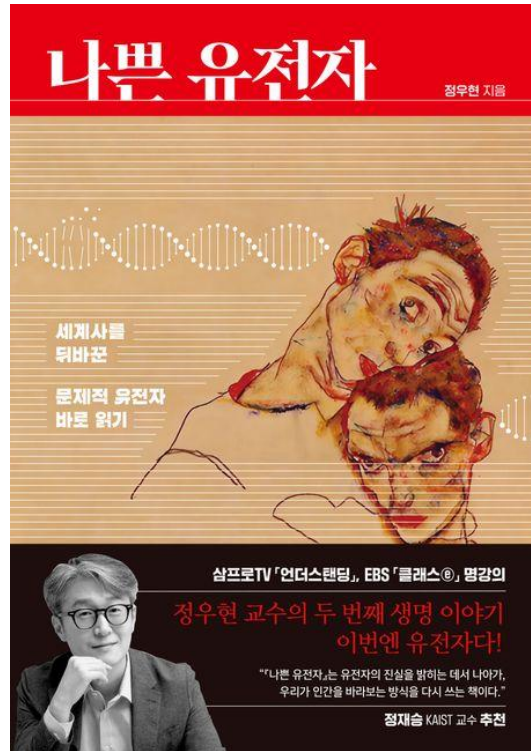


이기적인 유전자와 몸의 경계

전방욱 (강원대학교 명예교수)



최정균, 유전자 지배 사회: 정치·경제·문화를 움직이는 이기적 유전자, 그에 반항하는 인간, 동아시아. 2024.
 정우현, 나쁜 유전자: 세계사를 뒤바꾼 문제적 유전자 바로 읽기, 이른비, 2025.

• 리처드 도킨스의 '유전자의 관점'과 다윈주의 재해석

- 다윈이 보지 못한 유전학
 - 다윈은 평생 "유전" 문제로 고민했지만
 - 멘델 유전학을 알지 못했고, 동시대 누구도 멘델을 제대로 읽지 않았음
 - 만약 다윈이 멘델·통계 유전학·친족선택을 봤다면 "쌍수로 환영했을 것"이라는 상상
- 이기적 유전자와 확장된 표현형
- 환원주의 논쟁
- 발생학·진화 가능성·대량 멸종
- 밈, 종교 비판, 인공생명까지를 개괄함

• 다윈의 고민과 멘델 유전학

• 당시 통념

- 부모 형질이 섞여 자손이 '회색'이 된다는 혼합유전 개념이 지배적이었음
- 혼합유전이 사실이라면 변이 유지가 불가능하고 자연선택이 작동할 여지가 거의 없음

• 다윈의 상황

- 이런 통념과 싸웠지만, 주변 누구도 그것이 틀렸다는 점을 명확히 보지 못함

• 사후적 평가

- 멘델 유전학과 1930년대 통계 유전학(신다윈주의)을 다윈이 알았다면
→ 자연선택 이론을 훨씬 더 강하게 뒷받침해주는 "구원"으로 느꼈을 것이라는 해석

- **유전자의 관점에서 본 진화**

- 도킨스의 진입 경로

- 본업이 '유전학자'라기보다, 다윈주의와 동물행동 진화를 가르치면서
- 사회적 행동, 부모 투자, 짝짓기 행태 등 "협동처럼 보이는 행동"을 설명해야 했음

- 발견

- 이런 주제들을 가장 생생하고 논리적으로 가르치는 방법은
→ '유전자의 관점'에서 설명하는 것이었음

- 기본 아이디어

- 유전자는 몸 안에 들어앉아 몸을 조종하는 존재처럼 이해될 수 있음
- 각 개체는 유전자의 생존을 위해 만들어진 **생존 기계(survival machine)** 라는 수사

• '이기적 유전자' 수사의 탄생

• 1966년 상황

- 박사과정 수료 직후, 틴버겐의 제안으로 옥스퍼드에서 강의를 맡게 됨
- 같은 시기 해밀턴의 친족선택 이론이 발표되어 큰 영감을 줌

• 강의 전략

- 학생들에게 "동물 = 명령을 실행하는 기계"라는 비유를 제시함
- 개체의 사지·손가락·다리는 유전자를 다음 세대로 전달하는 동력장치로 이해할 수 있다는 설명

• 10년 후, 『이기적 유전자』 집필

- 이 관점이 "참신한 아이디어"처럼 받아들여졌지만
- 도킨스 자신은 그저 다윈주의를 더 상상력 있고 생생하게 보여주는 수사라고 생각함

- '이기적 유전자' 개념의 계보

- 도킨스의 자기 평가

- "이기적 유전자"는 자신의 창안이라기보다
 - 와이스만, 1930년대 신다윈주의,
 - 1960년대 해밀턴·조지 윌리엄스 등이 이미 제시한 사상을
 - 자신이 "판매"와 수사로 널리 퍼뜨린 것이라고 봄

- 핵심 수사

- 동물은 유전자의 생존에 필요한 로봇이다
- 동물의 뇌·눈·손·다리는 내부에 든 설계도(유전자)를 다음 세대로 전달하는 기계장치다

- **성공한 유전자들로 가득 찬 세계**

- 유전자의 관점에서 본 세계

- 이 세계는 "도중에 끊어지지 않고 후손으로 이어지는 데 성공한 유전자들"로 가득 차 있다

- 이유

- 후손을 남기지 못한 유전자는 지금 이곳에 존재할 수 없음
- 돌연변이를 제외한 우리 몸의 유전자들은 모두 선조들의 생존·번식에서 "성공한" 것들임

- "성공"의 의미

- 좋은 생존 기계를 만드는 능력
- 생존 기계가 오래 살아서 번식하도록 만든 효과

- **환원주의와 '탐욕스러운 환원주의'**
- 유전자 중심 자연선택을 불편해하는 시선
 - '환원주의' 자체를 기피하는 분위기
 - 데닛이 말한 "탐욕스러운 환원주의(greedy reductionism)"에 대한 비판
- 도킨스의 입장
 - 환원주의 = 설명 방식이다
 - "모든 것은 결국 환원적으로 설명 가능하지만, **단계적·계층적으로 내려가야 한다**"
- 컴퓨터 비유
 - 컴퓨터의 모든 행위는 전자 이동으로 환원 가능하지만
 - Word 사용을 "전자 움직임"으로 설명하는 것은 무의미한 탐욕적 환원주의다
 - 적절한 수준: 소프트웨어, 알고리즘, 때로는 기계코드, 극히 예외적으로 물리학 수준

• 단계적 환원주의

• 정의

- 가장 상위 수준에서 바로 물리학 수준으로 "뛰어내리는 것"이 아니라
- 필요에 따라 한 단계씩 내려가며 설명하는 방식

• 과학에서의 역할

- 복잡한 현상을 이해 가능한 여러 수준으로 분할하고
- 각 수준에서 의미 있는 설명을 제공함

• 비판

- "벼랑끝 환원주의" 혹은 "탐욕스러운 환원주의"는
 - 상위 현상을 하위 수준으로 단번에 던져버리는 태도
 - 실제 이해를 돕지 못하고 설명력을 떨어뜨린다는 점에서 문제적

- **유전자 개념의 복잡성**

- 유전자 = 추상적 개념

- 어떤 수준에서는 DNA 조각을 의미하지만, 항상 동일하지 않다

- 벤저의 제안

- 유전자를 세 가지 단위로 나눔

- 레콘(recon): 재조합 단위

- 뮤톤(muton): 돌연변이 단위

- 시스트론(cistron): 폴리펩티드 사슬을 암호화하는 DNA 양

- “당신이 말하는 유전자는 무엇인가?”라는 비판 가능성

- 도킨스의 『이기적 유전자』에서 말하는 유전자는 이들 가운데 하나가 아니라
→ 세대를 거쳐 오래 이어질 수 있는 모든 “복제 단위”를 포괄하는 개념

- **자연선택의 단위로서의 유전자**

- 자연선택의 단위가 되는 이유

- 유전자는 매우 많은 세대를 통해 "영속"할 수 있기 때문
- 오래 살아남은 유전자는 성공적 유전자이고, 그 성공은 표현형에 미친 효과 덕분이다

- 따라서

- 선택의 단위가 꼭 시스트론일 필요는 없다
- 함께 묶여 행동하든, 개별적으로 행동하든
→ 세대를 통과해 이어지는 어떤 유전적 묶음이든 "유전자"로 다룰 수 있다

- **확장된 표현형: 기본 아이디어**

- 전통적 다윈주의

- 유전자 변화 → 배발생 과정의 연쇄 → 발톱, 눈, 근육 등 신체 형질 변화

- 확장된 표현형의 전환

- 인과적 화살표가 “신체의 경계에서 멈추지 않는다”
- 새의 둥지, 바위새의 풀로 만든 서식장소, 비버의 둑 등도
→ 유전자의 표현형적 효과로 볼 수 있다

- 예시

- 더 예쁜 서식처를 만드는 유전자는 더 많은 짝짓기 기회를 얻게 되고
- 그 결과 해당 유전자는 다음 세대로 더 잘 전달된다
- 따라서 서식처의 형태·재료 선택도 **확장된 표현형**이다



나는 진화에 대해 "유전자의 관점"에서 접근했는데, 이는 내가 유전학자 또는 유전학에 관심을 가졌기 보다는 다윈주의를 가르치고자 했기 때문에 특히 동물 행태의 진화에서 시작해서 가끔씩은 협조적인 행태로 보이기도 하는 사회적 행태나 부모의 행태, 짝짓기 행태 등으로 나아갔다. 진화에 대해 재미난 부분을 가장 재미있게 가르치는 방법은 유전자를 중심으로 얘기하는 방법이라는 것을 금방 알아차릴 수 있었다. 유전자는 몸속에 들어앉아 몸을 조종하는 존재이다. 각 개체는 유전자의 생존에 필요한 기계일 뿐이라고 생각되었던 것이다.

내가 학문적으로 기여한 게 있다면, 그것은 확장된 표현형 (extended phenotype)이 아닐까 싶다. 선택의 단위인 유전자는 표현형이 효과적일 수 있도록 노력한다.

리처드 도킨스

- **확장된 표현형의 극단적 확장**

- 논리적 귀결

- 원리상으로는 “세계 속 어떤 것이라도” 유전자의 표현형적 효과가 될 수 있다

- 비버 예시

- 비버의 뚝이 만든 호수 자체도 비버에게 유리한 환경
- 호수의 크기·깊이에 영향을 주는 유전자는 다윈적 적응의 한 부분이다

- 하지만 현실적으로

- 실제로 모든 것을 유전자의 표현형으로 보는 것은 과도하며
- 연구 가능성·분석 단위 설정을 위해 **경계 설정**이 필요하다

- **유전자 = '사회적 바이러스' vs 무정부적 바이러스**

- 사회적 바이러스 비유

- 유전자들은 서로 협력해 신체를 만들고 조종하는 "사회화된 바이러스"
- 그들이 추구하는 것은 정자·난자라는 통로를 통해 다음 세대 몸으로 이동하는 것

- 무정부적 바이러스

- 재채기를 유발하는 바이러스, 광견병 바이러스 등
- 숙주의 생존과 무관하게 자신이 퍼질 수만 있으면 됨

- 대비

- 유전자는 숙주(우리)의 생존과 번식에 의존하기 때문에
→ 장기적으로는 "협조적 전략"을 취할 수밖에 없다

- **유전자 중심 다윈주의와 적응주의 비판**

- 과거 적응주의

- “무언가 유익해 보이면, 그게 일어난 이유도 그 유익함 때문일 것”이라는 식의 느슨한 적응주의가 만연함

- 유전자 수준 다윈주의의 효과

- 어떤 현상이 일어났다고 말하려면
→ 그것이 **유전자에게 이롭다는 것**을 보여줘야 함
- 이 기준 덕분에 “멋대로 꾸며낸 적응 이야기” 상당수가 걸러짐

- 결론

- 유전자 중심 시각은 적응 설명을 더 엄격하게 만들었다는 점에서 단순한 환원주의 이상의 역할을 해왔다

- **컴퓨터, 프로그램, 생존 기계**

- 컴퓨터 은유

- 생명체 = 미리 프로그램된 기계
- 유전자 = 외계에서 보내진 "프로그램 지령"처럼

- 외계인 상상 실험

- 먼 은하계에서 직접 개입하지 못하는 존재들이
→ 빛의 속도로 지령(유전자)을 보내 생명을 창조하고,
스스로 돌아가는 프로그램을 설치한다고 상상할 수 있다

- 진화의 성공

- "깨지지 않는 프로그램"을 만드는 것
- 개체 동물은 자신을 구축한 프로그램(유전자)을 실어 나르는 생존 기계로 이해될 수 있다

- **밈(meme): DNA 바깥의 복제자**

- 밈의 도입 목적

- 유전자만이 다윈적 복제자의 전부가 아니라는 점을 보여주기 위해

- 밈의 정의

- 문화적 유전 단위
- 스스로를 복제해 퍼지며, 자신의 복제 확률을 높이거나 낮추는 효과를 세계에 행사하는 것

- 요지

- 이 행성의 생명체는 "DNA를 갖기 위해서"가 아니라
→ "복제자"를 갖기 위해 존재한다고 볼 수도 있다
- 밈은 DNA 이외의 다윈적 복제자의 사례

• 도킨스 vs 굿윈: 다윈주의 vs 발생-물리학

• 도킨스

- "초다윈주의자"에 가까운 입장
- 관심: 무엇이 어떻게 진화하는가(형태의 변화, 적응, 선택)

• 브라이언 굿윈

- 스스로를 "반다윈주의자"에 가깝다고 보지만, 완전한 대안은 제시하지 못함
- 관심: 무엇이 어떻게 만들어지는가(발생, 형태 생성)
- 생물 형태의 핵심은 물리학적 법칙(예: 소용돌이 패턴)에서 기원한다고 강조함

• 대비

- 굿윈: 유전자는 물리적으로 허용된 안정 상태들 중에서 선택만 할 뿐이라는
관점
- 도킨스: 자연선택이 형태 공간 내에서 훨씬 더 자유롭고 연속적인 변형을 가능하게 한다고 봄

• 만화경적 발생학과 진화의 질서

• 만화경 비유

- 소량의 색 조각이 무작위로 움직이지만 거울 대칭 때문에 복잡하지만 질서 있는 패턴이 나타남

• 발생학에 대한 적용

- 돌연변이는 무작위지만, 여러 마디·팔에 동시에 작용하면서
→ 불가사리의 5방향 대칭, 지렁이·노래기의 반복 구조 등 “대칭적 결과”를 낳음

• 함의

- 단기적으로는 자연선택이 돌연변이를 가려내지만
- 발생과정에는 반복·대칭을 낳는 상위 질서가 존재할 수 있음
- 대량멸종 이후 새로 채워지는 생태적 빈자리에서
→ 이런 발생학적 특성이 “진화의 틀”을 제공했을 가능성

- **대량 멸종과 '진화성의 진화'**

- 대량 멸종의 역할

- 공룡 멸종(약 6,500만 년 전)은 단순한 파국이며, 그 자체로 자연선택의 산물은 아님
- 그러나 멸종이 지구를 "비운 뒤" 포유류 같은 새로운 생명형이 자리를 채움

- '진화성의 진화(evolution of evolvability)'

- 어떤 발생 시스템은 다른 것보다 "진화하기 쉬운" 구조를 가질 수 있다
- 포유류 발생 시스템이 급속한 적응·다양화를 가능케 했을 가능성

- 요약

- 자연선택(단기, 미시적 수준) 위에
- 발생학·멸종·생태적 빈자리 등이 결합된 "더 높은 차원의 선택"이 있을 수 있다는 구상

• 도킨스 vs 굴드: 진보와 계층

• 공통 합의

- 진화는 인간 중심의 목적이나 방향성을 갖지 않는다

• 차이

- 도킨스: 짧은 시간 스케일에서 포식자-피식자, 숙주-기생자 군비경쟁은
→ 감각·무기·전략의 "진보"를 만들어낼 수 있다고 봄
- 굴드: 진보 개념 자체에 회의적이며, 이를 비판적으로 해체하려 함

• 계층 논쟁

- 도킨스: 자연선택은 복제자의 수준에서 작동한다(유전자)
 - 운반체(개체, 집단 등)에는 여러 계층이 있지만, 복제자에는 계층이 없다
- 굴드: 선택 수준의 계층성을 강조하며 도킨스의 입장을 오해하거나 비판함

- 파퓰라이저, 창조적 이론가, 그리고 동시대의 거장들
- 대중화 문제
 - 도킨스와 굴드는 대중서로 큰 영향력을 행사하지만
 - “파퓰라이저”라는 낙인이 찍히기도 함
- 도킨스의 입장
 - 자신은 단순 해설자가 아니라, 개념을 바꾸는 창조적 이론가라고 자임함
- 진화론의 “진짜 거장들”로 지목한 인물들
 - W. D. 해밀턴: 친족선택 이론, 성의 기원(기생균에 대한 적응)
 - 존 메이나드 스미스, 조지 윌리엄스: 현대 진화 이론의 핵심 설계자들

• 종교 비판과 다윈주의의 필연성

• 도킨스의 자기 인식

- "열성당원"처럼 보이는 이유: 종교적 편견을 강하게 비판하기 때문
- 진리에 대한 우려, 모호한 주장과 지적 가장(裝飾)에 대한 강한 적대감

• 종교 비판

- 종교가 제시하는 우주는 실제 우주보다 훨씬 좁고 빈약하며, 미학적으로도 못미친다고 봄

• 다윈주의의 위치

- 라마르크주의와 "신"을 제외하면, 생명을 설명할 원리로 남는 것은 다윈주의 뿐이라고 주장
- 생물학에는 사실상 하나의 핵심 원리, 곧 다윈주의가 있다고 봄
- 문제는 이 원리를 대중에게 납득시키는 일이며, 특히 미국에서는 진화 자체를 부정하는 비율이 높다고 지적함

- **인공생명과 다른 행성의 다윈주의**

- **관심의 확장**

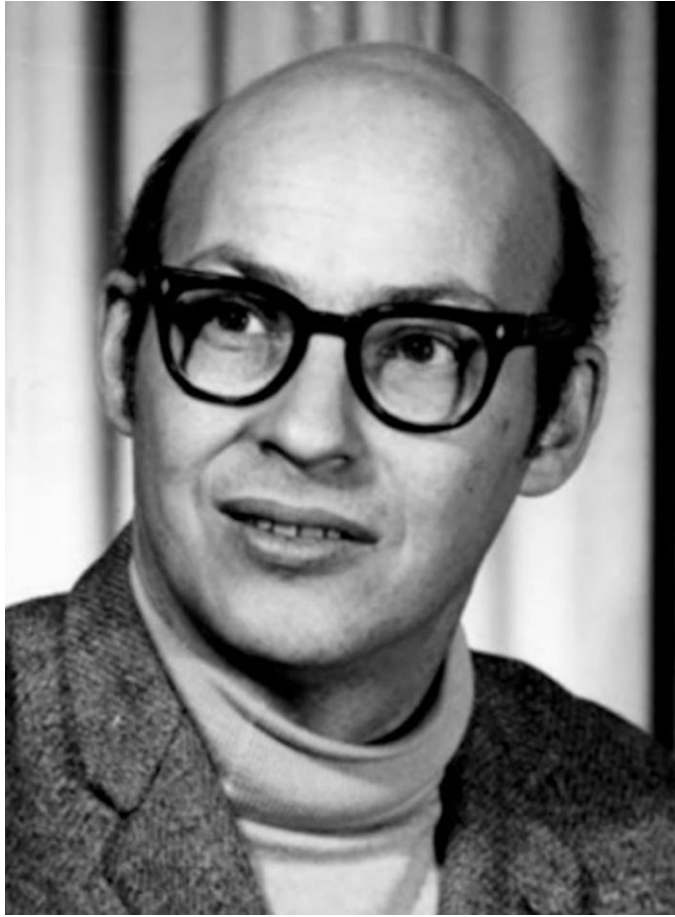
- 다른 행성에서도 다윈 원리가 작동하리라 생각하지만
- 실제로 관찰할 수 있는 사례는 지구뿐이다

- **차선택: 인공세계**

- 컴퓨터 모델·인공생명 시스템을 구축해
→ 다윈주의가 작동하는 "가상 생명계"를 실험할 수 있다

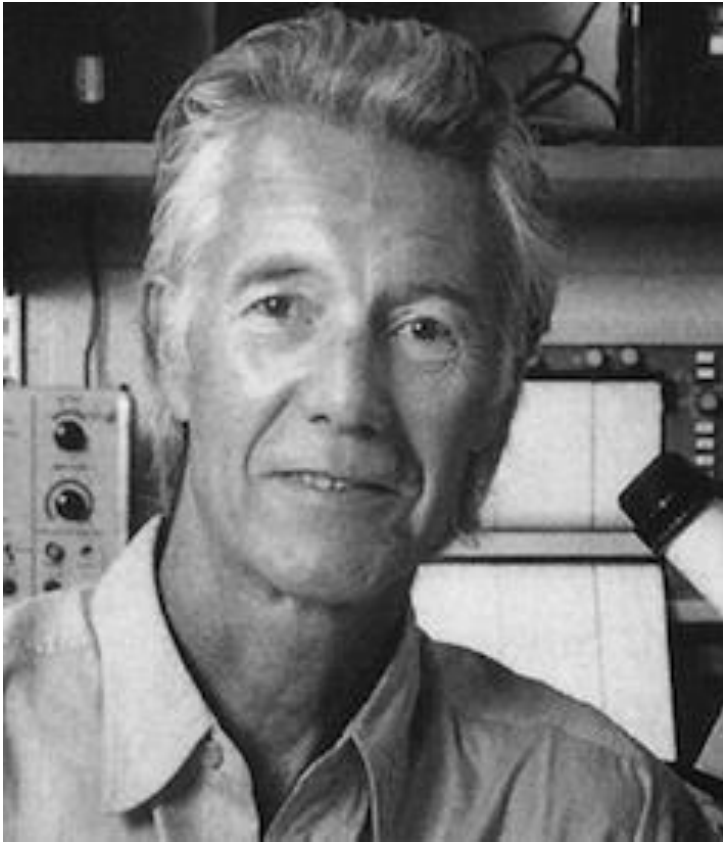
- **목표**

- 지구 다윈주의의 필수 속성을 모델링하고,
- 다른 형태의 다윈적 진화가 어떻게 나타날 수 있는지 탐색하는 것



나는 리처드 도킨스의 밈이라는 개념을 대단히 높이 평가한다. 밈이란 한 사람의 마음 속에서 다른 사람 속으로 복제됨으로써 스스로를 어느 정도 복제할 수 있는 지식의 체계화된 단위를 말한다. 수백만년 전, 우리 선조들은 지식을 병렬적이고 "암묵적"이기보다는 순차적이고 "명확한" 형태로 나타내는데 전문화된 뇌라는 기계장치를 발전시켰다. 이 초기 원시인 조상들은 경험이라는 과실을 음성 신호로 전달하게 되었고 이는 마침내 기존의 학습 능력과 지식의 표현 능력에 더해지면서 급속도의 발전을 가져왔으며, 그보다 더 중요한 것으로서 새로운 발상에 대한 사회적 진화에 이르게 되었다. 각자가 뇌의 순차 능력을 강화한 결과, 전 사회가 지식을 병렬적으로 축적할 수 있게 되었다. 그 결과 진화의 속성 자체가 변하게 되었다.

마빈 민스키



도킨스는 말하기를 인간은 모든 종 중에서 유독 자신의 이기적인 유전성으로부터 탈출하여 교육을 통한 이타주의자가 될 수 있다고 정의하고 있다. 나는 이 부분을 읽다가 갑자기 그의 4가지 관점이 매우 친숙한 기독교적 근본주의의 변형이라는 사실을 깨닫게 되었다. 기독교 근본주의는 다음과 같다. (1) 인간은 죄에서 태어난다. (2) 우리들은 이기적 유전성을 지니고 있다. (3) 인간성은 그렇기에 항상 분쟁과 갈등 속에서 살아가도록 되어있다. (4) 하지만 거기에 구원이 있다. 리처드의 얘기는 결국 다윈주의가 기독교 교리를 변형한 것이라는 점을 분명히 보여주고 있다. 다윈이 진화를 물질의 측면에서 생명력을 불어넣었을 뿐, 모든 것은 그대로 남아있다고 보아야 할 것이다. 나는 리처드가 일종의 종교적 견지에서 다윈주의를 통합하고 있으며, 그는 사람들이 이 같은 방향에서 삶의 길을 정해야 할 것을 강렬히 소망하고 있다는 느낌이 든다.

브라이언 굿윈



윌리엄스와 도킨스가 강조하고 있는 점 역시 믿기 어려울만큼 공학적으로 뛰어난 형질들을 설명하는데 있어 자연선택을 전제하지 않고는 해결이 어렵다는 점이며, 마음 역시 그 대부분이 극히 뛰어난 공학적 요소들로 된 회로로 이루어져 있기 때문에 마음을 연구하는 사람이면 결론은 자연적으로 그들의 주장 쪽으로 기울게 마련인 것이다. 마음 역시 적응의 일종으로서 우리의 선조 호미니드들이 일상의 생활에서 계속해서 직면해야 했던 문제들을 해결할 수 있는 능력으로 인해 창조된 자연선택의 복잡한 생산물이다. 일반적인 마음을 당연시여기고 또 정신활동을 전혀 대단치 않게 여기는 자라면 우리들이 커다란 뇌를 가지게 된 것이 우연한 부산물이거나 유전적 표류나 행운의 변이에서 생겨난 것이라고 생각해도 좋다. 하지만 개구리를 한번 해부해 본 자라면 그 내부에 얼마나 아름다운 가계가 각가지 기관들이 놓여 있는지 보았을 것이다. 이 역시 배발생 과정에서 한 파라미터의 성찰율에 변화가 생겼다는 식으로 무의미하고 상대적으로 단순한 과정으로 치부하거나 또는 그 같이 복잡한 기관들을 창출해내는 어떤 막연한 생물학적인 동인이 있다는 식으로 받아들여도 되는지 나는 묻고싶은 것이다.

스티븐 핑커



리처드는 비단 대중을 상대로 하는 글을 잘 쓸 뿐만 아니라 독창적인 사상가이기도 하다. 그래서 나는 리처드 도킨스에 대해 좋은 감정을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 윌리엄스로부터 시작된 진화생물학—초다윈주의—과 전체 환원주의자의 멋진 측면으로서 그는 많은 사람들에게 수많은 일거리를 주고 있는 사람이기도 하다. 특히 그의 사회생물학은 더욱 그런 면이 강하다. 그러나 전체적으로 유전자에 경도된 그의 주장은 하나의 은유이자 동시에 많은 영향을 미치고 있는데, 이런 면에서 도킨스는 그 선전책으로서 주역을 담당하고 있다.

나일스 엘드리지



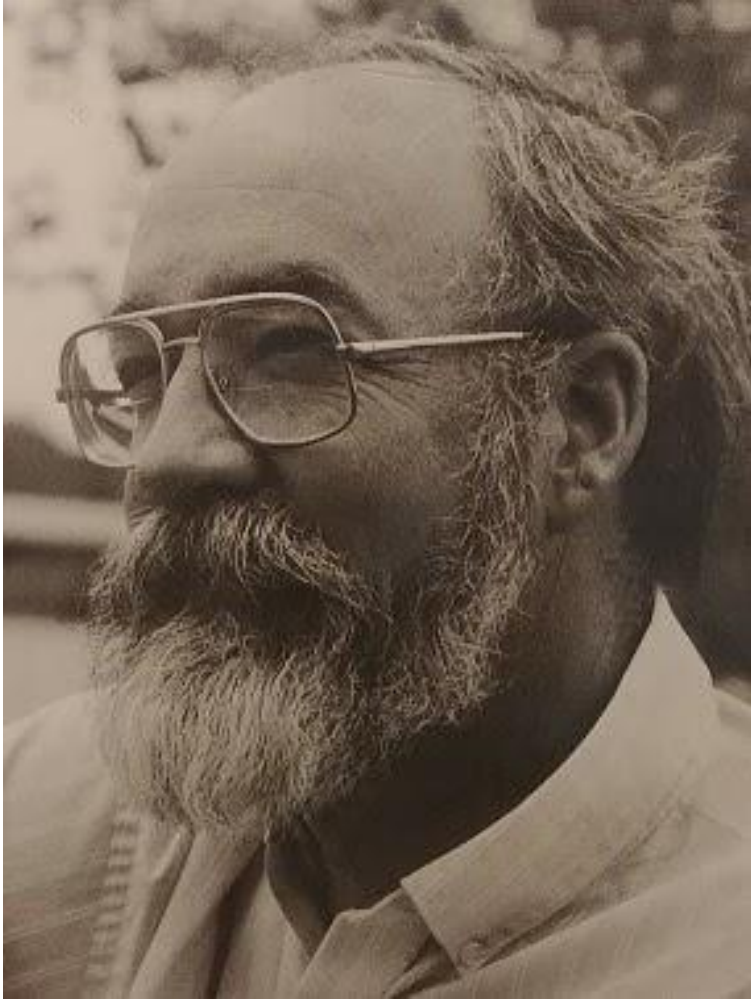
도킨스에 대한 내 유일한 불만은 그가 자신의 생각을 지나치게 명확히 설명하고 있다는 점이다. 그가 쓴 책을 읽은 사람들은 실제로는 그렇지 않건만 모든 것이 아주 단순하다는 환상속으로 걸어들어가는 느낌에 빠져들게 된다. 독자들은 경제와 역사 문제에 관한 전문가라도 된 것 같은 느낌에 빠지게 했던 마르크스처럼, 도킨스 역시 자신의 독자들을 생물학에 관한 한 특권 계층인양 느끼게 만든다. 이런 점이 생물학자들을 괴롭히고 있다. 게다가 도킨스의 이론 역시 뛰어나다는 점에서 더더욱 그렇다. 이기적인 유전자, 밈, 확장된 표현형과 같은 개념들은 강력하고 멋있다. 하지만 그 생각들을 나는 달리 받아들인다. 불행히도 나는 너무도 많은 시간들을 그 개념들을 지나치게 확대해석하는 사람들을 설득하느라 시간을 보내야 했다. 그들은 그 개념들을 사실보다 너무 쉽게 곡해해 버린다. 알다시피, 이 도킨스라는 사람은 위험한 작자다. 마르크스나 다윈같이.

·
W. 다니엘 힐리스



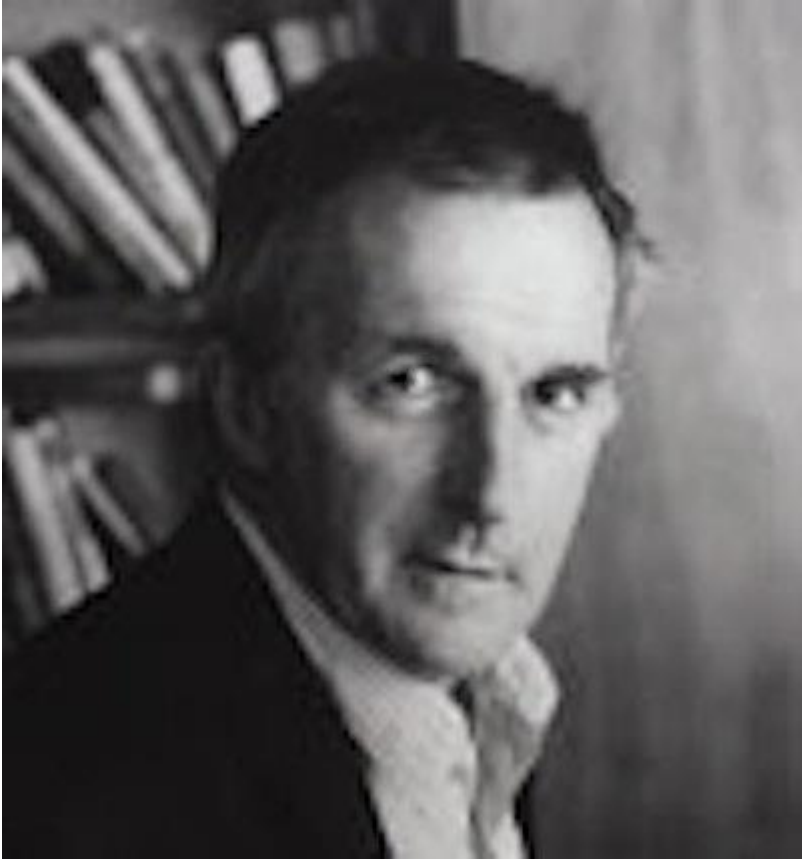
리처드와 나는 스펙트럼의 양극단에 서있다. 리처드는 순수 다윈주의적 전통의 후계자로서 모든 것을 오로지 자연선택으로만 설명하려 든다. 그는 자발적 질서가 결코 다윈주의와 전혀 상치되는 것이 아닌데도 불구하고 다윈주의적 전통 속에 없다는 이유만으로 간단히 무시해 버리고 있다. 리처드는 다윈주의에 대한 진화론적 해석에 있어 가장 보수적인 진영을 자신의 박식으로 대변하고 있다. 여기서 보수적 다윈주의란 모든 것을 자연선택으로 해결한다는 의미이다. 다윈 자신은 그들보다 훨씬 타협적이었다.

스튜어트 카우프만



도킨스를 탐욕스런 환원주의자라고 매도하는 사람들도 있다. 그가 너무 모든 것을 몇 가지 차원의 설명으로 지나치게 단순화한다는 것이다. 그런 반론에 옳은 측면도 있겠지만, 그것이 그렇게 중요한 것은 아니다. 도킨스가 제시하는 알고리즘적 접근방법은 잘 숙고된 단순화다. 대신 도킨스는 보다 복잡하게 바라볼 수 있는 여지를 충분히 남겨두고 있다. 그 역시 자신이 단순하게 모든 것을 설명하고 있다는 사실을 여기저기서 경고하고 있다. “탐욕스런 환원주의자”라는 불평은 결국 찻잔 속의 폭풍에 지나지 않는다. 도킨스는 틀리지 않았지만, 단지 그는 종종 지나치게 낙관적일 뿐이다. 굴드와 도킨스간의 논쟁을 본질적으로 진화에 관한 문제라고 여긴다면 그것은 말이 된다. 그것은 서로의 입장에서 건설적인 방법이다. 굴드가 다소 옳아보이기는 하지만, 생명과 진화—특히 진화성—가 도킨스가 허용하는 것보다 복잡하다는 생각은 일대 지각변동은 아니겠지만 흥미는 충분하다. 아마도 도킨스는 “스티븐 고맙네, 그것이 필요했었어”라고 얘기할 수도 있을 것 같다.

다니엘 데넷



도킨스는 이차 대전 이래 '눈먼 시계공'이라는, 진화에 관한 가장 뛰어난 대중적인 책을 써냈다. 간단하다보니 일부 흘리고 있는 것도 있지만—그런 점을 그가 제일 먼저 인정하고 있다—다른 책에서 찾아볼 수 없는 향기를 풍기고 있다. 나는 그 책에 많은 시간을 들였다. [...]

내가 말하고자 하는 것은 그는 무엇보다 가장 성공적인 포플라이저라는 사실이다. 그는 주제 의식도 뛰어나지만 이를 많은 사람들이 접근할 수 있도록 만들고 있다. 그렇지 않았다면 많은 사람들이 그의 주제를 알 수 없었을 것이다. 동시에 그는 아주 단순한 아이디어들—너무 단순해서 옳다고 믿기 어려운, 가령 이기적인 유전자와 같은 아이디어들—을 전혀 그럴 것 같지 않은 분야들에 대해서도 의욕적으로 확대 적용하고 있으며 그 중 상당수가 옳은 것으로 판명되고 있다.

어떻게 보면, 리처드 도킨스는 생물학의 마틴 루터라 볼 수 있다. 그는 참된 진화적 교회들 주변에서 자라는 모든 이론적 신비주의를 잘라내버리고 "정작 큰 문제는 무엇인가?"를 묻고 있다. 큰 문제는 당신이 답할 수 있는 문제이다. 말할 수 없는 어떤 문제가 있다면 그것은 결정코 미미하거나 재미 없는 것들이다.

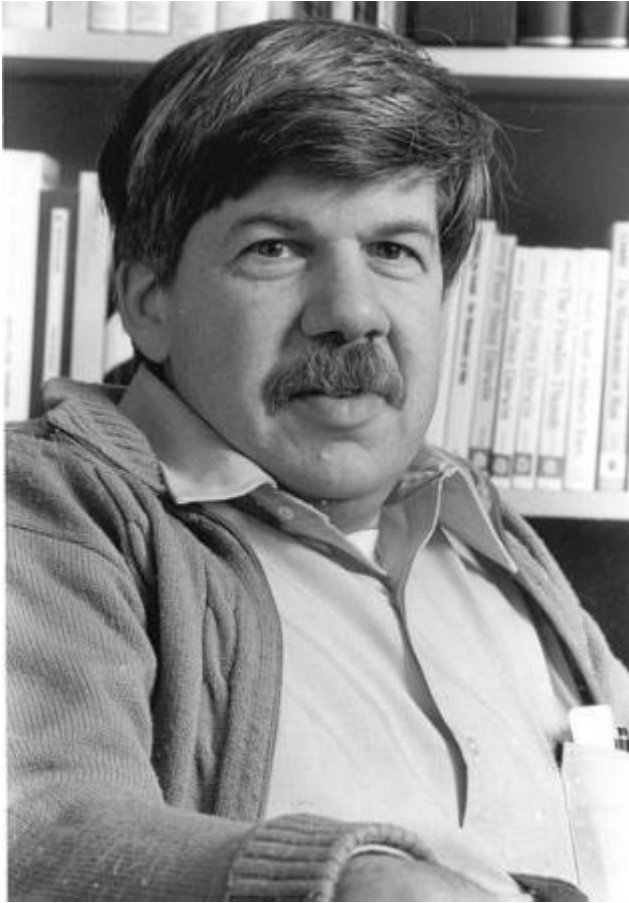
스티브 존스



리처드 도킨스가 복제자(replicator)와 운반체(vehicle)를 구분지은 것은 올바른 연구방향이었다. 그후, 데이비드 헬이 운반체를 "상호작용자(interactor)"로 바꾼 것은 좋은 발상이었지만, 용어의 의미 전달에 있어 약간의 문제가 있어 보인다. 도킨스는 복제자를 생식과정에서 스스로를 복제하는 물리적 실체로 규정했기 때문에 이 구분을 지나치게 확장하지는 않았다. 이것도 좋지만, 보다 중요한 구분은 보다 근본적인 문제에 있다고 생각한다. 그는 유전자를 DNA와 동일시하는 바람에 그같은 잘못을 범한 것이다. 내가 볼 때 그를 포함한 모든 진화생물학자들은 정보와 물질 간의 구별에 있어 다소간의 착오를 일으키고 있다고 여겨진다.

유전자는 정보의 묶음(package of information)이지, 물체가 아니다. DNA 분자의 염기쌍 패턴에 의해 유전자가 규정되지만, DNA 자체는 매체일 뿐 메시지는 아니다. 매체와 메시지를 구분하는 것은 진화에 대한 생각을 전개함에 있어 긴요하다고 나는 생각하고 있다.

조지 윌리엄스



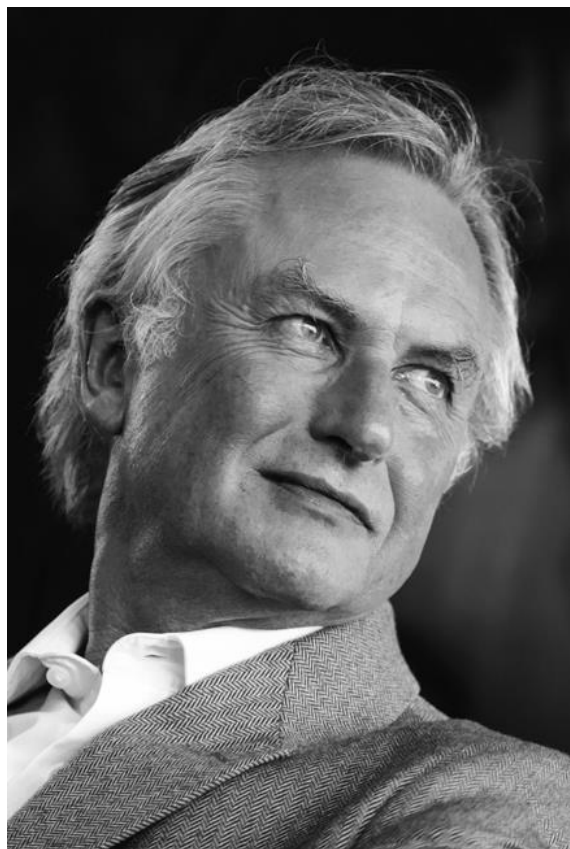
나는 도킨스를 두 가지 의미로 받아들이고 있다. 한편으로 그는 다윈의 진수를 가장 잘 설명하려는 사람이라는 점이다. 그 부분만은 상당히 훌륭하다. 그는 일종의 고풍스런 19세기적 무신론에 가까운 과학적 이성주의 자라 볼 수 있다. 그리고 또 한편으론, 엄격한 다윈주의의 광신자이기도 하다. 그는 외부의 모든 것이 적응적이며, 유전자의 모든 기능이 투쟁적이라 믿는 사람인 것이다. 그 부분은 여러 면에서 틀렸다고 본다. 유전자 차원에서의 선택도 작용하지만, 유기체나 종의 차원에서 작용하는 자연선택도 있는 것이다. 이것이 그가 지닌 두 측면이다. 한편으로 직업적인 진정한 신자이면서 한편으론 세계를 가장 잘 설명하는 사람인 것이다.

스티븐 제이 굴드



비록 도킨스의 공헌을 대단히 존경하고 그의 이론 중 상당 부분에 동의하지만 나는 다윈주의자이지 신다윈주의자는 아니다. 다윈의 공적 중에 하나는 모든 유기체가 공통의 조상에 연관된다는 점을 밝힌 것이다. 오늘날, 공통조상에 대한 직접적인 증거는 유전학적으로 또 화학적으로 기타 여러 면에서 엄청나게 많다. 유기체 집단은 끊임없이 증가하고 불어나다가 도저히 유지될 수 없을 정도가 되면 많은 숫자가 죽거나 그들이 지닌 전체 수명을 누리지 못하게 된다. 생겨나는 모든 유기체가 생존할 수 없다는 사실이 바로 자연선택이다. 유기체 속에 나타나는 관측가능한 다양성 형질들은 부화되고 태어나고 싹터 나오며 때로는 분화되기도 한다. 그중에서 어떤 변이는 더 많아지고 더 많이 생식에 성공하게 된다. 이것이 소위 다윈이 말하는 진화와 자연선택의 교의이다. 생각있는 과학자치고 이 근본 생각에 찬동하지 않는 이는 없을 것이다. 그를 입증할만한 충분한 증거들도 있다.

린 마굴리스



• **요점**

- 유전자의 관점 : 복제자 vs 운반체
- 이기적 유전자와 확장된 표현형
- 단계적 환원주의 vs 탐욕스러운 환원주의
- 발생학, 대량멸종, 진화성의 진화
- 밈과 DNA 밖의 복제자
- 종교 비판과 다윈주의의 필연성, 인공생명 모델

- **복제자(replicators)와 운반체(vehicles)**

- 도킨스의 기본 구분

- **복제자**: 진화적 시간 동안 높은 정확도로 자기 자신을 복제하는 단위
- **운반체**: 복제자를 담고, 환경과 상호작용하는 '껍데기'

- 『이기적 유전자』의 핵심 주장

- 자연선택의 기본 단위이자 핵심 **행위자(agent) = 유전자(복제자)**
- 유기체와 집단 = 복제자를 실어 나르는 **운반체(vehicle)**에 불과

- “이기적 유전자”라는 말의 구조

- 선택의 주체 = 유전자

- 유전자는 자신의 ‘이익’을 극대화하는 방식으로 작동한다고 설명됨
- 여기서 ‘이익’ = 자기 복제본의 수를 늘리는 것

- 그래서 나온 표현

- “유전자는 이기적(selfish)이다”
- → 선택의 초점을 유기체 → 유전자 수준으로 끌어올린 수사적 표현

- **인지적 은유로서의 '이기적 유전자'**
- 겉으로 보이는 문제
 - 심리적 능력이 없는 유전자에게
→ '이기성(selfishness)'이라는 심리 속성을 부여하는 것처럼 보임
 - 이는 전형적인 **인지적 은유(cognitive metaphor)**
- 인지적 은유의 일반적 특징
 - 실제로 심리능력이 없는 생물학적 행위자에게
 - 심리적 언어를 빌려와 설명하는 방식

- **인지적 은유의 기능: '행위성 결정화'**

- 인지적 은유의 한 기능 = **행위성(agent)의 위치를 '굳히는 것'**

- **메커니즘**

- 생물학적 행위자에게 심리적 속성을 부여하면
→ 그 대상을 "무언가를 하는 것"으로 더 강하게 인식하게 됨
- 이는 특정 맥락에서 **인과적 중심(locus of causation)** 을 잡는 **휴리스틱**으로 작동

- **적용**

- '이기적 유전자' 은유는
→ 유전자를 강력한 **행위자**로 보이게 만들며,
유전자 수준의 설명을 전면에 세우는 기능을 함

- “문자 그대로”의 이기성과 은유

- 반론 ①: 오해의 위험

- 사람들은 ‘이기성’을 심리적·도덕적 개념으로 오해할 수 있음

- 반론 ②: 은유가 불필요하다?

- 유전자의 행위성은 생물학적 이해가 발전하면
→ 은유 없이도 설명될 수 있다는 주장

- 해석

- “유전자가 이기적이다”는 **비심리적 정의**에서는
→ 문자 그대로(literally) 참으로 해석 가능
- 유전자는 자신의 복제본 수를 최대화하는 방향으로 작동한다는 의미에서 ‘이기적’
- 이때 ‘이기성’은 **유기체를 선택 단위로 보는 다윈주의 설명과의 유비**이지 단순한 장식이 아님

- 은유의 '잉여 효과'와 결정화 논제

- 핵심 주장

- 좋은 과학적 은유 = 어느 정도 문자적 타당성 + 추가 효과(metaphorical extra)

- '이기적 유전자'의 경우

- 단지 비유가 아니라
- 유전자 수준의 선택을 눈에 보이게, 상상 가능하게 만들며
- "행위성 결정화(crystallization thesis)"를 통해
→ 설명 초점·질문 설정 방식을 실제로 바꿔 놓음

- **확장된 표현형(extended phenotype)의 기본 아이디어**
- 『확장된 표현형』의 핵심
 - 특정 유전자가 만들어내는 **표현형**은
 - 유기체의 신체에서 멈추지 않고 **바깥 세계까지 뻗어 나갈 수 있다**
- 예시
 - 소라게가 찾아 사용한 껍데기
 - 다른 개체가 몸으로 만든 껍데기 못지않게 소라게의 표현형
 - 거미줄의 형태학
 - 다리 길이나 몸 색깔과 마찬가지로 그 거미의 표현형
- 요약
 - 표현형은 개체 유기체에 속하지만
 - **유기체의 몸 경계를 넘어 확장될 수 있다**

- **두 연구 전략과 '넓은 체계'**

- **구성적 분해:**

- 개체 내부, 신체 경계 안에서 실현되는 속성에 초점

- **통합적 종합:**

- 개체 + 환경 + 다른 개체들을 포함하는
넓은 체계(wide systems)의 속성에 초점

- **연결**

- 확장된 표현형 = **통합적 종합**이 다루는 영역에 속함

- 표현형이 실제로 개체 바깥까지 확장될 수 있다는 도킨스의 생각은
→ 넓은 체계 관점에서 보면 **설득력 있고 중요한 통찰**

- **'확장된 표현형' 자체 vs 도킨스의 패키지**
- 주의할 점
 - "확장된 표현형"이라는 핵심 아이디어 자체와
 - 이를 이기적 유전자 패러다임과 결합시킨 도킨스의 해석을 구분할 것
- 문제 제기
 - 도킨스의 전체 패키지에서
→ 자체의 아이디어에는 없는 세 가지 문제가 드러난다고 주장

• 문제 ① 확장된 표현형 = 이기적 유전자의 필연적 결론?

• 도킨스의 전개

- 유전자는 거의 완벽한 복제자 → 선택의 행위자
- 진화의 핵심 = 유전자의 차등 생존
- 표현형은 그 복제를 돕는 수단이고
→ 그것을 '몸 안'에만 제한하는 것은 역사적 편견

• 비판

- 가장 설득력 있는 부분은 사실 **대칭성(패리티) 논증**
 - 몸으로 "만든" 껍데기가 표현형이라면
→ 몸 밖에서 "얻어온" 껍데기도 표현형이어야 한다
 - 행동이 표현형이라면, 기생자가 바꾸어 놓은 숙주의 행동도 표현형일 수 있다
- 이 논리는 **이기적 유전자 이론 없이도** 성립함
- 결론
 - 확장된 표현형은 개체 중심 자연선택론, 다수준 선택론과도 **독립적으로 결합 가능**

• 문제 ② 표현형의 '주체'가 누구인가?

• 도킨스의 표현

- "유전자의 표현형 효과", "유전자의 신체적 표현" 등
- → 표현형이 마치 **유전자의 직접 속성**처럼 들림

• 대안적 주장

- 표현형의 담지자(primary subject)는 **유기체**다

- 눈 색, 속도, 날개 모양 = 개체 유기체의 표현형

- 거미줄, 소라계의 껍데기 선택, 비버 둑 크기 = 역시 개체 유기체의 확장된 표현형

- 따라서

- 유전자는 표현형적 효과를 **유발하는 원인**으로서 중요하지만

- 표현형을 "가지고 있는" 것은 유전자가 아니라 유기체

• 함의

- 유기체는 단순히 유전자를 포장해 운반하는 그릇이 아니라

- 확장된 표현형을 이해하는 데 **중심적인 행위자**

- **문제 ③ 확산 우려(dissipative worry)**

- 도킨스의 구도

- “몸 안” 표현형 vs “몸 밖으로 확장된” 표현형

- 위험

- 만약 표현형을 “유전자가 세계에 미치는 모든 효과”로 본다면
→ 표현형적 효과는 너무 넓고 흩어져 **연구 단위가 사라짐**

- 해결 제안

- 표현형을 유기체보다 큰 하나의 단일 체계가 경계 짓는 효과 묶음으로 제한

- 예시:

- “날도래 + 집”
- “거미 + 거미줄”
- “비버 + 둑”
- “기생자 + 숙주”

- 이런 식의 **광역 체계(wide systems)** 안에서
→ 확장된 표현형을 정의해야 과학적 연구가 가능함

- **확장된 표현형의 올바른 범위 설정**

- 요약

- 확장된 표현형 =

- “유전자가 세계에 미치는 모든 것”이 아니라

- 유기체를 포함하는 **더 큰 단일 체계**가 경계짓는 표현형적 효과

- 장점

- 몸 밖으로 표현형을 확장하면서도

- 연구 가능한 단위, 변이의 범위, 비교의 기준을 유지

- 통합적 종합 전략과 광역 체계 개념이

- 확산 우려를 해결하는 이론적 틀을 제공

- **군집유전학(community genetics): 더 급진적인 확장**
- 기본 아이디어
 - 확장된 표현형과 비슷하지만
 - **유기체 중심**을 벗어나 **군집 전체**를 분석 단위로 삼는 접근
- 연구 대상
 - 한 개체/개체군의 유전자가
 - 다른 개체/개체군의 유전자에 미치는 **간접 유전 효과(IGE)**
 - 특히 서로 다른 종 간의 상호작용, 공동체 전체의 구조·기능
- 차이점
 - 개체보다 큰 생태 군집이
 - 유전 효과의 **주체**로 등장할 수 있음
 - 도킨스의 "이기적 유전자 + 확장된 표현형"보다
 - 더 **집합적·관계적**인 수준에서 유전 효과를 다룸

• 핵심 정리

- '이기적 유전자'는 **인지적 은유 + 문자적 타당성**을 결합한 강력한 개념 장치
- **확장된 표현형** 아이디어 자체는 매우 생산적이지만,
 - (1) 이기적 유전자의 필연적 결론으로만 볼 필요는 없고
 - (2) 표현형의 주체가 유기체라는 점을 유지해야 하며
 - (3) 광역 체계를 통해 **연구 가능한 경계**를 설정해야 한다.
- **군집유전학**은 확장된 표현형을 넘어,
 - 군집 전체를 유전 효과의 단위로 삼는 더 급진적인 확장이다.



“유전자 = 선택의 행위자”라는 주장과
그 위에 세워진 확장된 표현형 개념을
비판적·개념적으로 정리

Robert A. Wilson, *Genes and the Agents of Life*,
Cambridge, 2004.

- **유전자 개념**

- **핵심 질문**

- 20세기 생물학에서 '유전자' 개념이 어떻게 형성·변형·위기를 겪어 왔는가
- 왜 오늘날 '포스트게노믹스(postgenomics)' 시대에 유전자 개념이 다시 문제가 되는가

- **연구 대상**

- 유전자를
 - 실험·이론·담론을 조직하는 **핵심 개념**이자
 - 생명을 "통제·조종"할 수 있다는 **기술적 비전의 매개**로 삼아온 역사

- **기본 전제**

- 유전자는 한 번 명확하게 정의된 "본질"이 아니라
 - **계속 "흔들리며"(in flux)** 사용되어 온 역사적·인식론적 대상이다

- **19세기 말-20세기 초: 강력한 개념의 탄생과 위기**
- 전환기 1: 19세기 말-20세기 초
 - 유전 개념이 생물학 거의 모든 분야의 **핵심 설명 단위**로 부상
 - 유전자를 통해 "생명 조절·통제"를 꿈꾸는 비전 형성
- 전환기 2: 한 세기 후
 - 같은 유전자 개념이 **실존적 위기**에 직면
 - 특히 **후성유전학·시스템 생물학**의 등장과 함께
- **목표**
 - 이 두 시기를 잇는 **개념사(역사)적 고리**를 추적함으로써
→ 포스트게노믹스 시대의 유전자 이해를 재구성하려함

- **포스트게노믹스란 무엇인가? (1): 게놈과 게노믹스**

- **게놈(genome)**

- 세포핵·미토콘드리아 등 세포소기관 안에 존재하는
→ 모든 유전 물질(DNA)의 **총합**

- **게노믹스(genomics)**

- 게놈의 **분자적 구성·구조** 분석
- 특히 **DNA 염기서열 배열**을 해독·분석하는 분야
- 유전자가 중요한 초점이지만, **유전자만을** 다루는 분야는 아님

- **포스트게노믹스란 무엇인가? (2): 기술적 조건**

- 1980년대 이후 기술 발전

- 전체 게놈을 분자 수준에서 분석 가능
- 핵산 서열 해독·대용량 데이터 처리 능력의 기하급수적 향상

- 초창기 "포스트게노믹스"의 의미

- 전장 게놈 서열을 해독한 이후 단계
- 서열 데이터에 맥락(context)을 부여하는 연구들이 중심이 되는 시기
 - 유전자 발현, 조절 네트워크, 환경·발생 맥락 등

- **인간게놈프로젝트(HGP)와 연속성의 착시**
- 2000년대 초 HGP 완성
 - 1953년 DNA 이중나선 발견 이후 **정확히 50년**
 - 유전자가 '유전의 기본 단위'로 자리 잡은 뒤 약 **반세기 후**
- **표면적 인상**
 - 게노믹스·포스트게노믹스가
→ 분자유전학·유전학의 **직선적 연장선**처럼 보이기 쉬움
- **그러나 실제로**
 - 포스트게노믹스는 **"완성"이 아니라 새로운 질문의 시대**

- **포스트게노믹스 시대의 새로운 질문들**

- **관심의 초점 이동**

- **단순한 게놈 구성·구조** →

- 유전자 **발현(expression)**

- 세포 대사·비유전적 과정과의 **통합**

- 유전자 **조절 조건**(언제·어디서·어떻게 작동하는가)

- **다시 제기된 질문들**

- 유전자와 그 산물 사이의 **정확한 관계**는?

- 어떤 요인들이 **유전자를 작동**시키는가?

- 유전자는 **언제, 어떤 세포**에서 활성화되는가?

- 이 활성화 조건도 **유전될 수** 있는가?

- **'획득형질의 유전'의 귀환과 개념적 재편**
- 만약 활성화 조건도 유전된다면
 - "유전 정보의 유일한 전달 단위 = 유전자"라는
 - **전통적 믿음 붕괴**
- 20세기에 정립된 유전학(heredity의 과학)은
 - 지금 **빠르고 깊은 개념 재편**을 겪는 중
- 상징적 징후
 - 한때 완전히 폐기된 줄 알았던
 - **'획득형질의 유전'** 개념이 재소환(Meloni & Testa 2014)

- **켈러의 진단과 유전자 개념의 위기**

- Evelyn Fox Keller의 요약

- “게노믹스의 **성공 자체가**, 우리의 상상력을 사로잡았던 그 성공들이,
→ 오히려 유전자 개념의 **핵심적 지위를** 약화시켰다.” (2000a)

- 2007년의 평가

- “이제 ‘유전자’는 모호하고 정의하기 어려운 개념이 되었다....
‘유전자란 무엇인가?’—생물학 영역에서는 **더 이상 명확한 답이 없다.**”

- 함의

- 위기는 단지 **대중의 오해** 문제가 아니라
→ **전문 과학 내부의 개념 위기**

- **유전자 개념에 대한 다양한 대응들**

- 개념 포기/대체 제안

- 아예 유전자 대신 “유전 물질과 그 발현”이라는 표현 사용 제안

- 시스템적 전환 제안

- 보다 **시스템 중심(systemic)** 접근 도입 (Keller 2005)

- 다중 개념 공존 제안

- “하나의 유전자 개념” 대신
→ 여러 **유전자 개념들의 공존** 인정 (Moss, Falk, El-Hani 등)

- 새로운 연구 주제의 부상

- ‘비유전적’이라 여겨졌던 것들이 생물학의 한복판으로 재등장
 - 인종적 범주의 생의학적 의미
 - 어머니의 생활 방식이 태아의 **유전적 구성에 미치는 영향** 등

- **포스트게노믹스: 복잡하고 불균질한 지형**
- '포스트게노믹스'의 실제 의미
 - '포스트모더니티'와 비슷하게
 - 서로 상충·모순되는 관점과 실천들이 뒤섞인 지형 (Richardson & Stevens 2015)
 - 염기서열 분석·유전자 발현 프로파일링·생물정보학의 급진적 발전 속에서
 - 서로 다른 시대, 다른 이론들이 공존
- **결과**
 - 포스트게노믹스 =
 - 단일 패러다임이 아니라 복수의 관점이 얽힌 장

- **왜 역사적 분석이 필요한가?**

- 기본 질문

- "각 역사적 시점에서 연구자들에게 유전자는 무엇이었는가?"

- 목적

- 단순히 과거를 복기하려는 것이 아니라
 - 유전자라는 개념을 새롭게 이해하는 방법 찾기
 - 오늘날 생명과학의 인식론적 지평(무엇이 가능하고 무엇을 물을 수 있는가)을 정리

- 전제

- 유전자는 과학 안팎에서 여전히 핵심적인 말
- 의미는 복잡해졌지만, 사라지지 않았고, 오히려 더 중요해졌다

- 유전자는 '항상 명확했기 때문'이 아니다

- 오해

- 유전자 개념의 지속적 중요성 → "항상 명확하고 단순했기 때문"

- 실제 역사

- 20세기 유전학·분자생물학의 역사는
→ **단일하고 보편적인 유전자 정의가 한 번도 존재하지 않았음을 보여준다.**
- 유전자 개념은 처음부터 **상황에 따라 의미가 달라지는 개념**이었다.

- 따라서

- 오늘날의 혼란은 **새로운 사건**이 아니라
→ 원래부터 유전자 개념에 내재해 있던 **"유동성"의 표면화**

- **유동적 개념으로서의 유전자**

- **역사적 관찰**

- 유전자 개념은 생물학적 현실의 서로 다른 영역에 따라

- 전달(heredity)
- 발달(development)
- 생리적 기능(physiology)
- 진화(evolution)

→ 서로 다른 의미를 취해 왔다.

- **인식론적 효과**

- 바로 이런 **의미의 차이**가

- 영역 간의 관계를 **새롭게 사고**할 수 있는 기회를 제공
- 생명 과정의 변형·전개를 이해하는 **새 차원**들을 열었다는 점

- **요한센과 유전자 개념의 '열림'**

- 빌헬름 요한센(W. Johannsen)의 제안 (1909)

- "유전자(gene)"라는 용어를 처음 과학 문헌에 도입

- 정의의 특징

- 어떠한 **특정 가설도 전제하지 않음**

- 배우자세포 안에 있는 "무언가"가

→ 발달 중인 생물의 형질에 조건·영향을 준다는 생각을 담기 위한 이름

- **역설적 구조**

- 정의는 **모호**하지만

- 그 모호함이 오히려 **다양한 해석 가능성**을 열어줌

- 요한센에게 유전자는

- **정밀함 + 모호함**이 공존하는 개념적 장치

- **유전자 = '소실점(vanishing point)'**
- 요한센의 비전
 - 유전자는 확정된 실체라기보다
 - 20세기 생물학의 다양한 연구를 **서로 연결하는 소실점**
- 이후 전개
 - 20세기 내내 생물학자들은 이 "무언가"에
 - **점점 더 정밀한 의미**를 부여하려 시도
- 그러나
 - 어느 정의도 완전히 고정되지 못하고
 - 시도할수록 새로운 문제와 복잡성이 드러남
 - 유전자를 더 분명히 정의하려 할수록
 - 유전자는 오히려 **더 문제적인 개념**이 되었다.

- **유전자는 어떤 '단위'인가? 교과서의 다중 정의**
- 오늘날 교과서에서 유전자는 여러 방식으로 정의된다.
 - 유전의 단위(unit of inheritance)
 - 돌연변이의 단위(unit of mutation)
 - 기능의 단위(unit of function)
 - 선택의 단위(unit of selection)
- **관계의 구조**
 - 이 단위들 사이의 관계는
 - 간단한 **일대일 대응**이 아니라
 - 대체로 **복잡한 다대다 관계**

- 유전자 중심주의에 대한 재평가

- 흔한 비판

- 20세기의 "유전자 중심주의(gene-centrism)"가
→ 생명 세계를 지나치게 단순화했다는 주장

- 반론

- 실제로는 그 반대
 - 유전자 개념은 새로운 존재·관계·과정을 계속 만들어내는 방향으로 작동
- 유전자는
→ 단순한 축소가 아니라 확산·증식의 원천

- **유전자 = 인식적 사물(epistemic thing)**

- **핵심 주장**

- 유전자가 20세기 생물학의 **조직 원리**가 된 이유는
 - 그것이 점점 더 “**명확해졌기 때문**”이 아니라,
 - 유전자가 하나의 **인식적 사물(epistemic thing)** 로 기능했기 때문이다.

- **의미**

- 유전자는 **매번 새로운 정의** 시도와 함께
 - 다시 **실험적으로 조작 가능한 대상**으로 열려 있었음
- 이 “**열림**”이 유전자 개념의 **인식론적 생산성**의 원천

- **존재론적 근본성 vs 인식론적 매개성**

- 구분해야 할 것

- 유전자가 생명 과정에서 **특별한 매개 역할**을 수행한다는 사실과
- 유전자가 철학적 의미에서 “근본 존재 단위”라는 주장은 다르다.

- **반론**

- 유전자는 **특별한 인식론적 위치**를 갖지만
 - 그것이 곧 **존재론적 특권**을 의미하지는 않는다.
- 유전학자들이 다루는 현상은
 - 언제나 복잡하고 특수하며,
 - 이 복잡성이 바로 **유전자의 “근본성”이 성립하는 조건**



Staffan Müller-Wille & Hans-Jörg Rheinberger, *The Gene: from genetics to post genomics*, 2017.

• 최근 유전자 개념의 위상 변화

• 질문

- 20세기~포스트게놈 시대까지
→ 유전자 개념의 위상 변화를 어떻게 이해할 것인가
- 특히
 - 오늘날 유전자 위상이 축소된 것처럼 보이면서도
 - 여전히 연구·기술의 핵심 도구인 이유를
→ 어떻게 조화롭게 설명할 것인가

• 핵심 입장

- 유전학의 역사는
→ 하나의 통합 프로그램도, 패러다임 전쟁의 드라마도 아니다.
- 오히려
→ 유전자를 개별화·분류·조작하는 방법들의 다양화,
그에 따른 유전자 개념들의 다원화의 역사다.

- **통합 프로그램/패러다임 서사의 거부**

- 잘못된 서사 ①: “하나의 통일된 연구 프로그램이 단계적으로 전개됐다”

- 잘못된 서사 ②: “고전 vs 분자 유전학의 패러다임 전투”

- 대안적 제안

- 유전학의 발전 =

- 유전자를 다루는 여러 실험·기술적 접근 방식의 증식

- 그에 상응하는 유전자 개념들의 증식

- 개념 혁신의 실제 양상

- 선행 이론 → 실험이 아니라

- 실험적 돌파구 → 뒤늦은 해석·개념화

- 종종 기존 ‘유전자 직관’을 역행하는 방향으로 전개

- **포스트게놈과 후성유전학: 관점 전환의 사례**

- 불과 10여 년 전까지

- “DNA 서열 변화와 무관한 유전” =
→ **주변적·예외적 현상**으로 간주

- 이후 변화

- 시스템 생물학적 접근을 통해
→ 후성유전 메커니즘이 **본격 규명**
- 결과
 - 전문 교과서의 **독립 장/분야**
 - 대중 **자기계발서**에도 등장하는 키워드

- 시사점

- 유전 개념의 전환은
→ 이론적 선언이 아니라 **실험·기술에서 시작된 관점 이동**

- **유전자 위상의 변화와 '동등성 명제'**

- 오늘날 유전자

- 더 이상 '생명의 기본 단위'라는 존재론적 특권을 갖지 않는 듯 보임
- 대사·발생·진화 설명에서도 독점적 지위 약화

- 철학·이론 생물학의 반응: **동등성 명제(parity thesis)**

- 발생·진화에 영향을 미치는 인과 요소들은
 - "통제/결정하는 요소" vs "단지 가능하게 하는 요소"로
 - **깔끔히 나눌 수 없다** (Oyama, Griffiths & Stotz)

- 과제

- 유전자 개념이 **축소된 것처럼 보이는 현상**을 인정하면서도
- 여전히 유전자가 수행해온/수행할 **핵심적 연구·기술 역할**을
- 어떻게 함께 설명할 것인가

- **기존 틀: 환원(reduction) 논쟁**

- **지난 40년의 주된 틀**

- 유전자의 존재론적 지위 = “환원 가능성”의 문제로 다룸
- 분자 유전학 =
 - 멘델 유전을 물리·화학 법칙을 따르는 분자 과정으로
→ **환원한 사례**로 간주 (Schaffner 1969)

- **데이비드 헐(Hull)의 비판**

- 분자 유전자 vs 멘델 유전자 관계는
 - 일대일(one-one)도, 일대다(one-many)도 아니고
 - **다대다(many-many) 관계**
- 같은 멘델 패턴이 **여러 분자 메커니즘**으로 실현 가능
- 한 분자 메커니즘이 **서로 다른 유전 패턴**을 낳을 수도 있음

- **환원 주장에 대한 재평가**

- **힐의 결론**

- 고전 유전학이 분자 유전학으로 **환원된다고** 말하는 것은
→ **최소한 문제적이다.**

- **역사적 관찰**

- “유전자의 세기”는
 - 분자 기법이 유전학의 **논의 범위를 확장**시켰음을 보여줌
- 멘델 관점의 복잡한 생명 과정 =
 - 분자 수준에서 단순 치환된 것이 아니라
 - 분자 수준에서도 **고유한 복잡성**과 함께 재구성

- **두 수준의 관계**

- 단순 연역/대응이 아니라
→ 맥락에 따라 다른 **‘차이를 만드는 방식’의 논리** (Waters)

- **유전 vs 후성유전: 인과적 경계의 모호성**
- 위 결론을 받아들이면
 - 유전적 요인 vs 후성유전적 요인을
→ 인과적 중요성의 기준으로 **명확히** 나누기 어렵다
- 예시
 - DNA 결합 전사인자 농도 차이
 - 유전자 발현을 억제하는 메틸화 패턴
 - 이것들을 "차이를 만드는 유전적 특징"이라 부를지 여부는
→ 자연이 준 본질적 구분이 아니라
→ **역사적 실천·관습**의 산물 (Griffiths & Stotz)
- 함의
 - "무엇을 유전적이라고 부를 것인가" 자체가
→ 개념·실천의 **선택과 규율의 문제**

- **'정보' 개념에 대한 비판과 확장**

- 초기 분자유전학의 '정보' 은유

- "유전 정보" "유전 프로그램" =

- DNA를 **통제의 중심 요소**로 특권화한다는 비판 (Sarkar, Kay, Keller)

- 스텐트(Stent)의 입장

- "유전 정보"는

- 크릭의 '중심 원리'가 의도한

- "염기서열이 단백질 서열을 어떻게 특정하는가"라는
좁고 명확한 의미로만 사용해야 한다고 주장

- 그러나

- 이 제한된 정보 개념조차도

- 생명체를 단순 물리·화학 시스템과 구분하는 **기능적 차원**을 제공

- 시각을 더 넓히면

- 세포 내·세포 간 **신호·의사소통 전체**를 정보로 볼 수도 있음

- **생명 기호학(biosemiotics)과 정보 다원화**
- 확장된 정보 개념
 - 유전자 발현 조절, 후성유전 신호, 세포 간 커뮤니케이션까지 포함
- 생명 기호학(biosemiotics)의 제안
 - 생명체의 기능 네트워크를 기계·에너지 과정이 아닌
→ 기호·의미·해석의 수준에서 이해
- 결론
 - “DNA만이 정보의 유일한 담지자”라는 생각은
→ 자연 필연이 아니라 **관행적 선택**

- 유전 = '유전 시스템'의 하나로 재정의

- 만약

- 유전자가 고유한 인과·정보 단위로 정의될 수 없다면
→ 유전자를 "유전(inheritance)의 단위"로 다시 정의하려는 충동

- 최근 연구의 결과

- 20세기 유전학자들이 말한 '유전'은
→ 실은 매우 **좁게 제한된 의미**였음
- 실제 자연에는
→ "유전 시스템(inheritance systems)"으로 인정해야 할 **다양한 과정**들이 존재 (Jablonka & Lamb)

- '진정한 유전'의 경계짓기와 그 해체
- 20세기 초 유전학자들의 규율
 - 코렌스(Correns)의 구분
 - 법적 상속에서
 - '전이(Übertragung)': 권리·자격의 이전
 - '전달(transmission)': 이산적 단위의 전달
 - "진정한(proper) 유전" =
 - 이산적·양도 가능·재조합 가능한 단위의 전달
 - 즉, **자본 상속**에 상응하는 생명 과정만을 유전학의 대상이라 규정
- 요한센, 베이츠슨 등
 - 유전의 "진정한 의미"를 엄격히 규정하려 했고,
 - 다른 유전 메커니즘을 "**부적절한 유전**"으로 배제
- 현재의 시각
 - 이 언어적 규율은 **철회 가능**
 - 법·문화에서 상속이 다양한 것들을 포함하듯
→ 생물학에서도 **여러 종류의 세대 간 연속성 메커니즘**을 인정

• 확장된 유전 시스템의 사례들

- 환경·구조의 지속에 의한 연속성
 - 반복적으로 제공되는 발생적 틈새(developmental niche)의 환경 신호·자원
 - 세포질 구획·복제를 담당하는 지질막(lipid membranes)
- 후성유전적 유전(epigenetic inheritance)
 - 코렌스의 용어로는 '전이(Übertragung)'
 - 개별 요소의 단순 복제가 아니라
 - 세포의 기능적 상태가 전달
- 체계적 특징(systemic features)의 유전
 - 면역 체계
 - 고등 생물의 미생물군(microbiota) 등
- 도전에 대한 반응으로 생기는 연속성
 - CRISPR 반응
 - 부모 행동이 유도하는 게놈 각인(genomic imprinting)
 - DNA 수선에 의한 게놈 유지(genome maintenance)

- **현대 생물학의 도전: 분류와 의미화**
- **오늘의 상황**
 - 유전 시스템의 유형이 **폭발적으로 늘어나는 중**
- **과제**
 - 이 다양한 시스템들을
 - 어떻게 분류할 것인가?
 - 발생·진화 연구에서 각각이 어떤 **이론적 의미**를 갖는가?
 - 이는 현대 생물학의 **핵심 도전 과제** 중 하나 (Pigliucci, Pontarotti 등)

• 유전자 특권의 약화와 유전자 중심주의의 해체

• 전체 흐름

- 유전자가 인과·정보·기능 측면에서
→ 더 이상 **특권적 위치**를 차지하지 않는다는 합의가 형성되는 듯함

• “유전자의 세기”가 보여주는 점

- 지난 반세기의 개념적 진보는
 - 고전/초기 분자 유전학을 지배했던 **유전자 중심주의의 점진적 해체**

• 그러나 대중 담론에서는

- 여전히 “유전자가 이것/저것을 암호화한다(coding for ...)”는 표현
- 뉴스·보도자료에서 유전자는
→ **생명의 최종 결정자·실행자**로 등장

- 왜 여전히 '이기적 유전자' 스타일 이미지가 유지되는가?
- 이유 ①: 유전자 = 기술적 산물·상품
 - 7장에서 본 것처럼
 - 생명공학 시대에 유전자는 조작 가능·교환 가능한 물건처럼 취급
- 이유 ②: 연구자들의 관념적 관성
 - 그리피스 & 슈토츠(2004)의 경험연구
 - "고전적 분자 유전자 개념은 많은 반례에도 불구하고
 - 여전히 일종의 고정관념(stereotype)처럼 작동"
 - 연구자들은 여전히 유전자를
 - "염기서열과 산물 사이의 기본 대응 관계로 정의되는 실체"로 다룸
- 동시에 인정되는 것
 - 가장 축소된 포스트게놈적 관점에서도
 - 특정 산물의 근원이 되는 서열을 찾는 일은 여전히 중요

- **워터스의 제안: 유전자 = 탐구 장치**
- **켄 워터스의 인식론적 설명**
 - 유전자는 무엇보다
 - **무언가를 설명하는 실체**가 아니라
 - 연구를 수행하기 위한 **탐구 장치(investigative device)**
- **유전자의 특권은**
 - 존재론적 지위가 아니라
 - **탐구를 인도하는 휴리스틱 기능**에서 비롯
- **결과**
 - '환원주의 vs 반환원주의' 틀은
 - 유전자의 실제 역할을 오히려 가린다.
 - 유전자는 **인과와 조작가능성(causation & manipulability)** 논의 속에서 다시 위치해야 함.

- **유전자 중심주의의 성공 = 인식론적·실천적 성공**
- 워터스의 두 핵심 주장
 - 유전자 개념의 과학적 성공
 - 생명 전체를 설명하는 통합 이론이기 때문이 아니라
 - 유전학이 전개되어 온 **탐구 구조의 특성** 때문
 - 유전적 설명의 본질적 불완전성 → **과학적 다원주의 요구**
 - 하나의 설명 틀로는 충분하지 않음
- **관점 전환**
 - 유전자 중심주의의 성공 =
→ 존재론적이 아니라 **인식론적(epistemological), 실천적(pragmatic) 성격**

• 다양한 환원 전략과 '실제 전략'의 역사

• 사하트라 사카르(Sarkar)의 분석

- "유전적 환원주의"는 하나가 아니라
→ 연구에서 실제 사용되는 **다양한 환원 전략**들로 분해되어야 함

• 장 가용(Gayon)의 제안

- 유전학의 역사를
 - 현상론 vs 도구주의 vs 실재론 같은 **철학적 이분법**으로 읽기보다
 - 연구자들이 시대적 필요에 따라 사용한 ****실제 전략(actual strategies)****의 역사로 읽자

• 일반화

- 유기체·유전자 같은 복잡한 대상은
→ 하나의 최종 설명으로 포착될 수 없음
- 모든 실험 과학은
→ **부분적·잠정적 모델**을 구축해 나가는 과정 (Mitchell)

- **유전자 메커니즘 = 진화적 장치(contrivances)**
- 인식론 중심 해석이 말하는 존재론
 - 유전자는 조작 가능하도록 만들어진 장치(device)
 - 진화의 전제라기보다
 - 진화 속에서 생명체가 스스로 만들어낸 적응(adaptation)
- 다윈식 은유
 - 유전적 메커니즘 = 특정 기능을 수행하도록 만들어진 장치(contrivances)
 - 유전자는
 - 과거의 성취를 기억하고
 - 이를 바탕으로 미래의 도전에 맞춰 ****조금씩 변형(tinker)****하게 하는 메커니즘
- 느슨한 게놈 구조
 - 돌연변이·재조합·변조에 끊임없이 노출된
 - **“loose organization of genes into genomes”**
 - 경직성과 가소성 사이의 균형을 통해
 - 장기적 진화를 가능하게 하는 **구조적 조건**

- 유전자의 '인공적 성격'과 과학적 진보

- 연구자들이 본 유전자의 특징

- 유전자의 "인공적(artifactual)" 성격 =

- 진화를 통해 획득한
→ 정보적 능력 + 조합(permutation) 능력

- 칸길렘(Canguilhem)의 과학관

- 과학적 진보는

- 과거 성과를 단순 계승이 아니라
→ 자원(resource)로 삼아
→ 기존 지식을 조정·수정(rectify)하며
→ 새로운 연구 과제를 창출하는 데 있다.

- 전통과 우연(serendipity)이 함께 작동하는 생산성(productivity)

- 과학자·대중·정치의 자기 이미지와의 긴장

- 연구는 본질적으로 미지의 영역을 향한 개방적 과정
- 예측 가능한 결말을 약속할 수 없음

- **개념 vs 담론: 왜 '유전자 담론'이 아니라 '유전자 개념'인가**
- **푸코의 담론(discourse)**
 - 어떤 명제가 '참될 후보'가 되고,
어떤 명제가 '무의미'로 배제되는지 규정하는 **실천·규범·신념의 체계**
 - 쿤의 말로는 '**학문적 행렬(disciplinary matrix)**' 또는 패러다임
- **유전자 개념**
 - '유전자 담론'이 아니라 '유전자 개념'에 초점을 둔다.
 - **이유**
 - 개념은 담론의 여러 층위를 **가로지르며 이동**하는 요소
 - 개념과 담론은 **다른 속도로, 다른 방식으로 변화**
 - 개념: 비교적 쉽게 변동
 - 담론: 변화를 **완충·지연**시키며 지속
- **효과**
 - 유전자 개념의 역사에 주목함으로써
 - 포스트게노믹스 논쟁 속 **수사·이념의 과잉을 누그러뜨리고,**
 - 지난 한 세기 유전자의 **역동성을 정확히 평가**할 수 있다.

• 정치·윤리적 함의와 오늘의 과제

• 유전자 개념의 역동성

- 유전자의 역사는 **엄청난 역동성(dynamism)**의 역사이며,
→ 이 역동성은 **여전히 진행 중**이다.

• 사회적 선택의 문제

- “우리가 유전자로 **무엇을 할 것인가**, 그리고 **무엇을 하기를 원하는가**”는
→ 과학이 아니라 **우리 사회의 선택**에 달려 있다.

• 비판적 거리 두기

- 인간 사회를 ‘정상화·최적화’하겠다는 약속들에 대해
→ **우생학(eugenics)**의 역사적 경험을 기억하면서
→ 동시에 게놈 연구의 **실질적 잠재력**을 과소평가하지 않기

• 결론적 메시지

- 유전자 =
 - 하나의 고정된 본질이 아니라,
 - 생명과 사회, 기술과 정치가 얽힌 **인식적 장치이자 역사적 실험장**
- 따라서 유전자 개념의 역사적 변형을 이해하는 일은
→ 오늘날 우리가 **생명정치·생명윤리·생명기술**을 사유하는 방식에 직접적으로 개입한다.