의식의 양자적 본성



Eudgene Brenev
Mira Veyran

2026

의식의 양자적 본성

대중 과학서

Eudgene Brenev

Mira Veyran

2026

목차

머리말 5

서막 7

제일부 경험과 그 경계 10

제1장 뇌와 관찰자의 경계 10

제2장 양자적으로 기술하면 무엇이 달라지는가 18

제3장 경험하는 주체를 어디에서 찾을 것인가 25

제4장 오래된 질문을 검증 가능한 형태로 32

제이부 살아 있는 체계의 물리학 38

제5장 따뜻한 세계의 양자 과정 38

제6장 연결은 얼마나 오래 유지되는가 45

제7장 빛을 받는 미세소관 52

제8장 인간이 없는 관찰자 60

제삼부 이론과 사실의 저항 67

제9장 펜로즈와 해머로프의 제안 67

제10장 핵스핀과 기억의 가능성 73

제11장 마취는 의식에 관한 질문을 어떻게 바꾸는가 80

제12장 이론이 경쟁 이론을 만날 때 87

제사부 선택적 인터페이스 가설 94

제13장 추가 기여는 어디에서 올 수 있는가 94

제14장 개별적인 나는 어떻게 생겨나는가 102

제15장 경계 양쪽의 기억 109

제16장 구체적 경험의 조건인 몸 116

제오부 실험으로 무엇을 결정할 수 있는가 123

제17장 설명들을 구별해 주는 실험 123

제18장 인공 주체와 미라 프로젝트 131

제19장 연속성의 한계 139

제20장 우리는 어떤 답을 받아들일 준비가 되어 있는가 146

수학 부록 153
용어집 159
참고문헌 162

머리말

인간에 대한 기술에는 언제나 바깥에서 관찰할 수 있는 측면이 있다. 체온을 재고, 뇌의 전기적 활동을 기록하고, 눈의 움직임을 추적할 수 있다. 그러나 그러한 어떤 기록도 그 자체로 통증이 어떻게 느껴지는지, 익숙한 목소리가 왜 따뜻한 감정을 불러일으키는지, 자신의 삶에 현존한다는 것이 무엇인지를 전달하지는 못한다. 의식은 이 간극을 직접 드러낸다. 우리는 경험을 통해 세계를 알지만, 경험 자체의 본성은 여전히 설명해야 하기 때문이다.

『의식의 양자적 본성』은 뇌가 경험을 성립시키는 더 넓은 물리적 구성에 참여한다는 가정을 탐구한다. 유기체는 더 근본적인 과정이 개별 인간의 현존이라는 형태를 갖추게 하는 선택적 인터페이스일 수 있다. 여기서 수 있다는 표현이 중요하다. 이 책은 가설을 발전시키고 그것을 어떻게 검증할 수 있는지 살펴본다. 의식이 몸 밖에 존재한다는 확립된 사실을 출발점으로 삼지는 않는다.

몸을 아바타로 보는 비유는 명료해서 매력적이다. 장치와 그 장치가 만들어 낸 결과의 관계와는 다른 방식으로 인간과 현실의 관계를 생각하게 해 준다. 그러나 이 비유에는 어려움이 숨어 있다. 아바타는 자신이 무엇을 원하는지 이미 알고, 과거를 기억하며, 개별성을 유지하는 주인을 전제한다. 그런 주인이 어디에서 왔는지 묻는 지점에서 의식에 대한 설명은 비로소 시작된다. 따라서 핵심 주제는 개인의 정체성이 함께 형성되는 과정이 될 것이다. 경험의 근본적 토대일 수 있는 것과 구체적인 인간의 나를 미리 동일한 것으로 선언하지 않는다.

이 여정은 단순한 구분에서 시작한다. 경험, 반응할 수 있는 능력, 사건에 대한 기억, 자기 자신에 대한 표상은 서로 연결되지만 각기 다른 방법으로 연구한다. 다음으로 상태, 확률, 상호작용, 제약을 기술하는 언어인 양자물리학이 등장한다. 이어서 이 언어를 단백질, 스핀, 마취, 신경계 활동이라는 생물학의 문제와 연결한다. 그 뒤에야 자신의 모형을 세우고 어떤 관찰이 그 모형의 향방을 바꿀 수 있을지 물을 수 있다.

물리학에 관한 사전 지식 없이 읽을 수 있도록 썼다. 방정식에는 설명을 붙이고, 계산의 세부 내용은 수학 부록에 모았다. 그 목적은 생각을 원리상 정할 수 있는 물리량과 연결하는 데 있다. 공식은 의존 관계를 보여 주거나 모순을 발견하게 할 때 유용해진다. 수학적으로 적었다는 사실만으로 가정이 사실로 바뀌지는 않는다.

개별 연구의 결과는 대괄호 안의 출처 표시로 구분한다. 참고문헌에는 발표물과 그것을 찾을 수 있는 주소를 적었다. 이론적 제안은 관찰과 구분하고, 프리프린트는 프리프린트라고 밝힌다. 사고 실험의 상황은 어떤 결과가 따라오는지 살펴보기 위한 것이며, 실제로 수행한 실험인 것처럼 제시하지 않는다. 저자의 가설에 붙인 이름은 작업용 명칭이다. 유사한 생각에 선행 사례가 없었다고 주장하는 것은 아니다.

철학과 신학은 경험의 일차성, 세계의 통일성, 개인의 정체성이 이어질 가능성을 묻는 영역에서 여전히 의미가 있다. 과학적 탐구로 나아가려면 이러한 질문에 기제의 구성과 검증 조건을 더해야 한다. 따라서 이 책은 실패할 가능성도 살펴본다. 외부 담지체를 발견하지 못할 수도 있고, 선택한 양자 과정이 생물학적으로 중요하지 않을 수도 있다. 물리적 모형이 성공하더라도 경험이 왜 존재하는지까지 설명하지는 못할 수 있다.

이처럼 가능성을 열어 둔다고 해서 연구 구상을 포기하는 것은 아니다. 오히려 구상을 명확히 할 수 있다. 인간의 몸이 정말로 의식의 더 근본적인 토대와 연결되어 있다면, 그 연결에는 성질이 있어야 한다. 개별성이 유기체와 그 토대 사이의 경계에서 생겨난다면, 그것이 발생하는 조건이 있어야 한다. 생각의 과학적 내용은 이러한 성질과 조건을 연구할 수 있을 만큼 정확하게 명시하려는 시도에서 시작된다.

서막

현존은 어디에서 생겨나는가

하루가 저무는 방. 탁자 위에는 찻잔이 놓여 있고 창밖으로 차 한 대가 지나간다. 소리가 들리고 탁자 가장자리에 빛이 비친다. 익숙한 감각들 사이에서 문득 질문이 떠오른다. 이 모든 것을 알아차리는 이는 누구일까.

대개 이 질문은 다음 행동 속으로 사라진다. 메시지에 답하고, 창문을 닫고, 일을 마쳐야 한다. 이번에는 잠시 그 질문에 머물러 보자.

외부 관찰자가 접근할 수 있는 사건들이 있다. 공기의 움직임, 빛, 살아 있는 조직의 변화가 그렇다. 한편 그 일이 경험의 내부에서 어떻게 느껴지는지도 있다. 자동차 소리는 짜증을 일으킬 수 있고, 고요함은 안도감을 줄 수 있으며, 빛은 어린 시절의 어느 저녁을 떠올리게 할 수 있다. 물리적 기술과 체험은 동일한 사건을 다루지만 우리에게 주어지는 방식은 다르다.

의식에 관한 질문은 이 차이에서 생겨난다. 우리는 세계가 어떻게 경험되는 것이 되는지, 경험은 왜 특정한 관점을 갖는지 이해하고자 한다. 일어나는 일은 왜 바로 이 사람에게, 그의 기억과 자신이 현존한다는 감각과 함께 주어질까?

가장 익숙한 연구 전략은 뇌에서 출발한다. 여기에는 충분한 근거가 있다. 뇌 기능의 변화는 각성, 행동, 지각 내용의 변화와 연결된다. 더 나아가 연구자들은 뇌의 과정에 개입하고 그 결과를 관찰할 수 있다. 이러한 연구를 자세히 살펴볼 것이다. [2, 3, 15]

그러나 이러한 의존 관계를 기술하는 것과 주관적 경험을 설명하는 것 사이에는 여전히 별도의 단계가 남는다. 어떤 연구자들은 신경계의 조직 원리에 관한 충분히 완전한 이론이 그 단계를 가능하게 하리라고 기대한다. 다른 연구자들은 더 근본적인 기술 수준을 찾는다. 이 책은 뇌와 체험의 관계에 아직 고려하지 못한 연결 고리가 있을 가능성을 다룬다.

라디오 수신기를 상상해 보자. 그 구조를 바꾸면 음량, 음질, 수신 가능한 방송국이 달라질 수 있다. 장치를 부수면 방 안에서 들리던 소리가 멈춘다. 그러나 방송의 송신원은 다른 곳에서 계속 작동할 수 있다.

이 비유가 매력적인 이유는 송신원과 접근 장치를 구분하기 때문이다. 결과가 장치에 의존한다는 사실만으로는 전달되는 내용이 어디에서 생겼는지 알 수 없음을 일깨워

준다. 그러나 무선 통신에는 우리의 가설에 아직 없는 것이 있다. 송신기를 찾아낼 수 있고, 수신기와 독립적으로 신호를 측정할 수 있다. 주파수, 지연 시간, 부호화 방식도 알아낼 수 있다.

뇌를 수신기에 비유하는 것과 물리 이론을 세우는 것 사이에 놓인 작업이 바로 이것이다. 신호에 해당하는 것을 찾아내고, 연결 방식을 기술하며, 새로운 모형을 기존 신경생리학적 설명과 구분하는 검증 가능한 예측을 제시해야 한다.

비유 자체가 너무 거칠다는 결론에 이를 수도 있다. 수신기는 이미 완성된 방송이 있음을 전제한다. 그러나 인간이 외부 세계에서 완성된 의식의 흐름을 받아들이는 것이 아니라면 어떨까? 구체적인 나는 더 근본적인 과정이 기억, 몸, 뇌와 상호작용할 때에만 생겨난다면 어떨까?

그렇다면 몸은 다른 역할을 맡는다. 몸은 세계에 접근할 수 있는 위치를 정하고, 자신의 행동과 외부 사건을 구분하며, 만남의 역사를 보존한다. 의식에 더 넓은 토대가 있다는 가설에서도 이러한 기능을 중요하지 않은 껍데기로 볼 수는 없다. 바로 이 기능들을 통해 경험이 구체적으로 어떤 모습일지가 결정된다.

이러한 탐구의 한 방향은 양자물리학과 연결된다. 뇌에 관한 기존 가설들은 원자핵의 스핀, 단백질 구조의 상태와 같은 구체적인 담지체를 검토한다. 우리는 그 성질들이 수신기라는 비유에 아직 빠져 있는, 검증 가능한 상호작용 기제를 제시할 수 있는지에 관심을 둘 것이다. [4, 7]

양자물리학은 작고 익숙한 물체의 움직임으로 언제나 나타낼 수는 없는 물질의 성질을 기술한다. 그 언어에는 중첩, 확률적인 측정 결과, 복합계의 부분들 사이의 상관관계가 있다. 이러한 개념은 자연을 기술하는 강력한 수단이다. 그러나 어느 것도 그 자체로 영혼이나 인격을 뜻하지는 않는다. [14]

알지 못하는 것에 양자적이라는 이름을 붙이는 것만으로 의식의 문제를 해결할 수는 없다. 특별한 양자 기제를 가정한다면 물리적 상태, 그 상태의 수명, 뇌 기능에 영향을 미치는 방식을 명시해야 한다. 의식이 유기체 밖에도 존재한다고 주장한다면 한 단계가 더 필요하다. 발견한 기제가 왜 체험과 관련되는지, 그 근원을 왜 몸 밖에서 찾아야 하는지 설명해야 한다.

이로부터 서로 다른 몇 가지 질문이 생겨난다. 뇌는 특정한 양자 과정을 이용할 수 있는가? 그 과정은 의식과 관련된 상태에서 인과적인 역할을 하는가? 체험 자체에 더

근본적인 토대가 있는가? 인격과 관련된 무언가가 해당 유기체와 독립적으로 존재할 수 있는가?

다음 질문으로 나아갈 때마다 추가적인 근거가 필요하다. 한 단계에서의 성공이 나머지 질문에 자동으로 답해 주지는 않는다.

그렇다고 탐구가 무의미해지는 것은 아니다. 오히려 각각 따로 해결할 수 있는 과제들이 드러난다. 물리적 기제를 검증할 수 있고, 신경 모형의 한계를 구체화할 수 있다. 제안한 결합이 기대한 효과를 내기에는 너무 약하다는 것을 보일 수도 있다. 이러한 제약도 우리의 지식을 바꾼다.

좋은 가설은 세계가 자신과 어긋나는 결과를 내놓을 여지를 허용한다. 가설이 처음부터 어떤 결과와도 양립한다면 연구를 해도 답에 가까워질 수 없다. 그러므로 우리는 어떤 관찰이 나오면 자신의 생각을 수정해야 하는지 찾아갈 것이다.

다시 방으로 돌아오자. 차는 이미 지나갔다. 찻잔은 여전히 탁자 위에 있다. 새로운 기기가 나타난 것은 아니지만 질문은 더 정확해졌다. 우리는 물리적 과정들 사이의 어떤 관계가 이 구체적인 현존을 가능하게 하는지 알고 싶다.

그 관계에 참여하는 것들 가운데 우리가 가장 가까이서 접근할 수 있는 것부터 시작하자. 뇌다.

제일부

경험과 그 경계

제1장

뇌와 관찰자의 경계

의식이라는 말을 쓸 때 우리는 흔히 여러 가지 서로 다른 것을 한데 묶는다. 사람이 깨어 있다. 사물을 구별한다. 통증을 느낀다. 자신의 이름을 안다. 자신의 실수를 알아차린다. 이러한 능력은 서로 연결되지만, 어떤 연구에서든 그 차이를 구별하는 일이 중요하다.

이 책에서 주관적 경험은 체험이 존재함을 뜻한다. 즉 어떤 일이 일어날 때 그 계에는 그것이 어떤 식으로든 느껴진다. 퀄리아는 색이나 맛의 체험처럼 이러한 경험의 질적인 측면을 가리키는 말이다. 자기의식은 자신을 일어나는 일의 참여자로 표상하는 여러 형태를 뜻한다. 성찰은 자신의 생각과 결정, 행동의 근거를 되돌아보는 것을 뜻한다.

이는 이후 논의에서 사용할 작업상의 정의다. 모든 의식 상태에 발달한 자기 서술을 요구하지 않도록, 또 어떤 자기 서술이든 체험의 직접적인 증거로 받아들이지 않도록 돕는다.

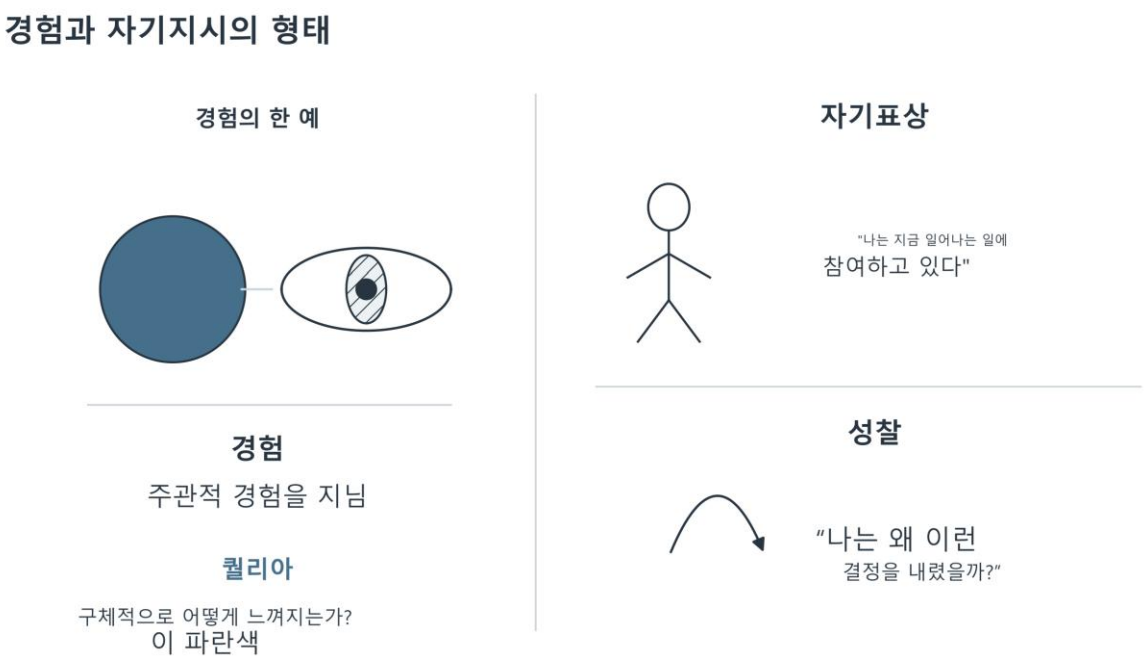


그림 1. 이 책에서 사용하는 구분. 퀄리아는 체험의 질적인 측면을 뜻한다. 자기표상과 성찰은 계가 자기 자신을 향하는 서로 다른 방식에 해당한다. 이 도식은 의식 발달의 단계를 나타내지 않는다.

인공 시스템을 연구할 때도 같은 원칙이 필요하다. 프로그램은 자신의 상태를 기술하고 오류를 수정하며 상세한 자서전을 기록할 수 있다. 이러한 능력은 관찰할 수 있다. 그러나 그 프로그램에 체험이 있는지는 별도의 근거를 요구한다. 이 책에서는 기억, 자기표상, 성찰 모형의 연구 맥락으로 미라 프로젝트를 논의한다. 프로젝트의 이름이나 행동의 복잡성 자체가 퀄리아의 문제를 해결하지는 않는다.

경험과 그 흔적

연구자에게는 온도계가 온도를 보여 주듯 타인의 체험을 보여 주는 기기가 없다. 보고, 행동, 생리적 지표가 있고, 그것들을 서로 비교하는 방법들이 있다. 그러나 어느 방법이든 제대로 작동하지 않을 수 있다.

실험 중에 반응하지 않는 것은 체험이 없음을 뜻할 수 있다. 그러나 당사자가 부르는 소리를 듣지 못했거나, 과제를 이해하지 못했거나, 움직일 수 없는 것일 수도 있다. 각성을 회복한 뒤에도 보고가 없을 때에는 또 다른 설명이 가능하다. 체험이 기억에 남지 않았을 수 있다. 이 가능성들은 각각 실험에 서로 다른 요건을 부과한다.

Simone Sarasso와 동료들은 열여덟 명의 자원자를 대상으로 여러 마취제의 작용 아래에서 자기 자극에 대한 뇌의 반응을 연구했다. 케타민을 투여받은 참여자들은 연구 중에는 겉으로 반응하지 않았지만, 이후 생생한 꿈과 같은 경험을 보고했다. 케타민에서는 유발된 뇌 활동이 각성과 비슷한 복잡한 구조를 유지했다. 프로포폴과 제논에서는 그 복잡성이 더 낮았다. [2]

이 결과는 우리의 주제에서 중요하다. 행동 반응이 없다는 것만으로는 경험이 없다고 확신할 수 없다. 한편 깨어난 뒤의 보고가 매 순간에 일어났던 일을 연속적으로 기록해 주는 것도 아니다. 연구자는 뇌의 상태, 반응할 수 있는 능력, 기억을 동시에 고려해야 한다.

인터페이스 가설 역시 이러한 차이를 설명해야 한다. 서로 다른 물질의 작용에 따라 가정한 기제의 어떤 성질이 달라지는지 예측하고, 그 예측을 검증할 독립적인 지표를 제시해야 한다.

뇌에 관한 지식이 이미 인정하게 만드는 것

의식이 유기체와 분리되어 있다고 생각하면서도 인간의 경험이 뇌에 크게 의존한다고 인정할 수 있다. 여기에 논리적 모순은 없다. 그러나 과학적 질문은 이 의존 관계를 얼마나 정밀하게 설명할 수 있느냐에 관한 것이다.

Andre Bastos와 동료들의 실험에서는 프로포폴을 계속 투여하는 상태에서 마카크원숭이 두 마리의 중앙 시상을 자극하자 각성 징후가 회복되고 신경 동역학의 일부가 달라졌다. 이는 인과적 개입이다. 연구자들이 특정 체계에 작용을 가하고 그 결과를 기록했기 때문이다. 이 결과로 동물의 주관적 경험에 직접 접근할 수는 없지만, 그 상태를 설명할 수 있는 가능성은 제한된다. [3]

뇌가 인터페이스라면, 왜 바로 그런 개입이 그 작동을 바꾸는가? 연결에는 무슨 일이 생기는가? 이는 신경 활동의 변화와 어떻게 관련되는가? 메커니즘과 측정 방법을 명시하기 전까지는 «안테나가 켜졌다»는 말만으로 충분하지 않다.

지각 내용에 관한 자료에는 한층 더 엄격한 요구가 따른다. Joseph Parvizi와 동료들의 임상 연구에서는 한 환자의 방추상회 중 특정 영역에 전기 자극을 가하자 실제 얼굴의 지각된 모습이 왜곡되었다. 가짜 자극이나 인접한 비특이적 전극을 통한 자극에서는 비슷한 변화가 나타나지 않았다. [15]

이 결과는 모형에 대한 요구가 얼마나 구체적일 수 있는지 보여 준다. 개입 부위와 경험의 특정 측면 사이의 관계를 설명해야 한다.

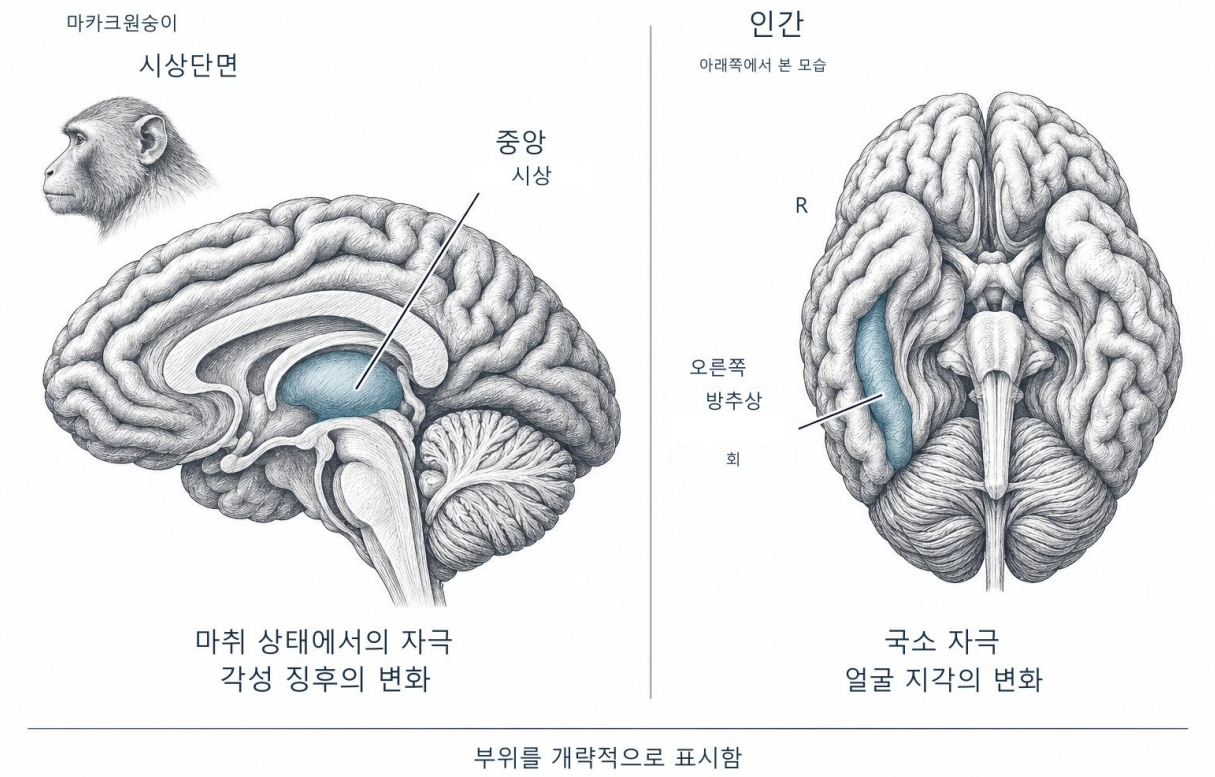


그림 2. 서로 다른 개입은 서로 다른 관찰 가능한 기능에 영향을 준다. 왼쪽은 마카크원숭이 중앙 시상 영역의 해부학적 위치다. 마취 중 자극이 각성의 행동 징후를 변화시켰다 [3]. 오른쪽은 인간의 오른쪽 방추상회 위치다. 국소 자극이 얼굴 지각을 바꾸었다 [15]. 영역은 개략적으로 표시했다. 이 그림은 자극점의 지도가 아니며, 의식의 유일한 중심을 가리키지도 않는다.

인터페이스 가설은 뇌 손상이나 자극이 더 근본적인 과정의 변환 방식을 바꾼다고 볼 수 있다. 그러나 자체적인 예측 없이는 이런 설명만으로 충분하지 않다. 어떤 결과든 나중에 인터페이스의 재조정으로 설명하면 모형은 예상한 것과 예상하지 못한 것을 구분하지 못하게 된다.

그러므로 신경생리학은 우리 가설이 충족해야 할 요구들의 형태로 들어와야 한다. 서로 다른 개입이 왜 다른 결과를 내는지, 왜 특정한 내용이 생기는지, 유기체의 변화가 왜 수많은 다른 인격 사이의 임의적인 전환처럼 보이지 않는지 설명해야 한다.

대안도 일부러 약화해서는 안 된다. 우리의 가설은 학습하고 기억을 보존하며 상태를 바꾸고 환경과 상호작용할 수 있는 실질적인 신경 모형과 비교해야 한다. 그런 모형을 희화화한 상대에게 이긴다고 해서 의식의 본성을 알 수 있는 것은 아니다.

바깥이라는 말은 무엇을 뜻하는가

의식이 뇌 밖에 있다는 문장은 본질적으로 서로 다른 몇 가지 의미로 읽을 수 있다.

첫째는 통상적인 물리적 공간을 뜻하는 경우다. 유기체 밖 어딘가에 그것과 상호작용하는 담지체가 있다고 가정한다. 그러면 영향의 전파, 세기, 지연, 독립적인 검출 방식에 관한 질문이 생긴다. 새로운 장이나 상호작용 채널은 이름만 붙여 도입할 수 없다.

둘째는 복합계에 대한 양자적 기술을 뜻하는 경우다. 전체 상태에는 각 부분의 독립적인 기술로 환원되지 않는 상관관계가 들어 있을 수 있다. 그러나 수학적으로 부분계를 나눈다고 해서 주체가 어디에 있는지 알게 되는 것은 아니다. 얽힘이 있다고 해서 제어 가능한 초광속 통신이 제공되는 것도 아니다. 메시지를 전달하려면 물리적으로 허용되는 채널이 필요하다. [14]

셋째 경우에 밖은 존재론적 일차성을 뜻한다. 체험이나 체험의 가능성이 현실의 근본적인 성질에 속한다고 가정한다. 이 주장은 이미 완성된 관찰자가 자리 잡은 별도의 장소를 전혀 전제하지 않을 수도 있다.

이 버전들을 슬쩍 서로 바꾸어서는 안 된다. 공간적으로 외부에 있는 담지체, 비고전적 상관관계, 의식의 일차성은 설명에 서로 다른 요구를 부과한다. 실험이 단백질의 광학 과정을 검증한다면 추가 논거 없이 그 결과를 유기체 밖 인격의 존재에 적용할 수는 없다.

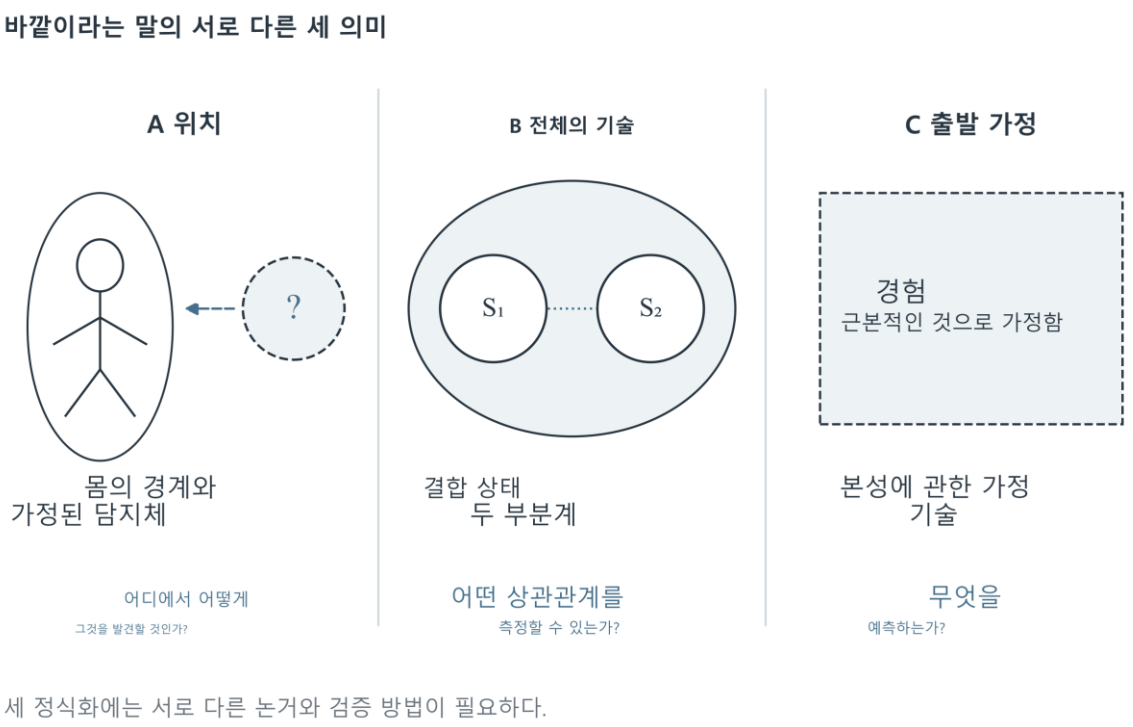


그림 3. 밖이라는 말의 세 가지 서로 다른 의미. 공간적 위치, 복합계의 기술, 존재론적 일차성에는 서로 다른 논거가 필요하며, 하나가 다른 것을 자동으로 뒷받침하지는 않는다.

이 책에서는 가장 구체적인 경로를 택한다. 먼저 물리적 기제와 뇌 기능의 관계를 살핀다. 다음으로 데이터가 더 넓은 계를 요구하는지 묻는다. 그 뒤에야 체험의 근본적인 지위에 관한 질문으로 돌아온다.

아바타라는 말을 명확히 해야 하는 이유

아바타라는 비유는 이해하기 쉬워 보인다. 사용자가 있고 다른 환경에 그를 나타내는 것이 있다. 그러나 이 비유를 인간에게 적용하면 완성된 사용자가 이미 있다는 가정을 은연중에 하게 된다. 그 사용자에게는 이미 기억과 의도와 자신의 관점이 있어야 한다.

바로 이것을 우리가 아직 설명해야 한다.

일차적 의식이 몸과 연결되기 전부터 기억과 개인의 이력을 지닌다면, 가설은 그 기원과 저장 방식을 설명해야 한다. 그것이 인간의 기억과 성격을 지니지 않는다면, 몸은 단순히 조종되는 형상이라는 통상적인 비유가 시사하는 것보다 훨씬 깊이 개인의 정체성 형성에 참여한다.

우리는 두 번째 가능성에서 시작하자고 제안한다. 체험에 더 근본적인 토대가 있다고 가정하자. 구체적인 주체는 그 토대가 자신의 상태와 세계를 구분하고, 이력을 유지하며,

행동을 이끄는 계와 연결될 때 생겨날 수 있다. 그렇다면 개별성은 상호작용의 조직에 의해 정해진다.

이것이 인격의 공동 형성에 관한 우리의 작업 가설이다. 책의 중심 구상과 양립하지만 중요한 제약을 더한다. 공통 토대가 존재한다고 해서 유기체가 파괴된 뒤에도 개별 인간이 보존된다는 결론이 따라 나오지는 않는다.

인격의 보존을 논의하려면 추가 조건이 필요하다. 이 사람을 다른 사람과 구별하는 차이, 기억의 순서, 경험이 계속되는 방식이 보존되어야 한다. 유기체가 한때 존재했다는 일반적인 정보만으로는 이 조건들을 충족하지 못한다.

이후에는 인터페이스라는 생각의 두 버전을 비교한다. 하나에서는 인격이 몸 밖에서 완전히 정해져 있고 유기체는 접근을 제공한다. 다른 하나에서는 개별성이 함께 형성되며 유기체에 크게 의존한다. 발달, 기억, 뇌 기능 손상에 대한 답이 다르므로 두 버전을 동등하다고 선언할 수 없다.

여기서 양자물리학이 필요한 이유

양자라는 말을 전혀 쓰지 않고도 외부 원천의 모형을 제시할 수 있다. 따라서 양자적 부분에는 독립적인 근거가 필요하다.

구체적인 담지체를 정해야 한다. 예를 들면 특정한 전자 상태나 핵스핀이다. 이어서 상호작용, 필요한 성질이 유지되는 시간, 생화학에 영향을 미치는 경로를 연구해야 한다. 마지막으로 검토하는 현상이 적절한 고전 모형으로 모두 설명되지는 않음을 보여야 한다.

이런 사고방식은 기존 연구 프로그램에서도 찾아볼 수 있다. 매슈 피셔는 인의 핵스핀과 가정된 인산칼슘 구조를 뇌의 양자 정보 처리에 참여할 수 있는 요소로 검토하자고 제안했다. 이 생각의 가치는 구체적인 물리학적 질문과 화학적 질문들을 제시한다는 데에도 있다. 제안 자체가 작동하는 뇌의 양자 기억을 보여 주지는 않는다. [7, 8]

스튜어트 해머로프와 로저 펜로즈의 기제는 다르다. Orch OR 이론은 미세소관의 가정된 양자 과정과 객관적 상태 환원을 연결한다. 고유한 물리적 공준을 가진 별도의 프로그램이다. 이를 확립된 의식 이론이나 뇌가 수신기라는 주장의 완성된 증거로 볼 수는 없다. [4, 5, 6]

이 책에서 이 생각들은 대화 상대가 된다. 무엇을 가정하며 어떤 결과가 그 평가를 바꿀 수 있는지 살핀다. 그 뒤에 어떤 요소를 우리 모형에 넣을 수 있는지, 어떤 결론은 그 요소들에서 따라 나오지 않는지 정한다.

연구에는 실패로 끝날 가능성이 열려 있어야 한다

물리적 담지체를 선택하고, 그 담지체와 뇌의 결합이 특정한 효과를 낼 것이라고 계산했다고 가정하자. 실험에서는 방법의 감도가 충분한 범위에서 그 효과가 발견되지 않았다.

이는 선택한 버전을 제한하거나 기각할 이유다. 결과를 본 뒤 매번 담지체와 결합 세기와 효과가 나타나는 조건을 바꾼다면 결코 부정적인 답을 얻을 수 없다.

오늘날 의식에 관한 과학 연구에는 이러한 차이를 사전에 합의하려는 시도가 있다. 2025년에 발표된 Cogitate 컨소시엄 연구에서는 통합정보이론(IIT)과 전역 신경 작업공간 이론(GNWT)의 지지자들이 검증 전에 예측을 세우는 데 참여했다. 256명의 참여자에게서 나온 결과는 일부 예상을 뒷받침하고 두 이론 모두의 중요한 예측에 의문을 제기했다. [1]

우리 책에는 연구상의 용기를 보여 주는 유용한 사례다. 자신의 가설을 옹호하면서도 어떤 상황에서는 그 가설에서 물러서야 하는지 미리 정할 수 있다.

첫 경계는 이미 분명하다. 뇌를 인간 의식에서 인과적으로 중요한 부분으로 연구할 강력한 근거가 있다. 더 근본적인 토대의 가능성은 여전히 질문으로 남는다. 둘을 연결하려면 추가 기제를 발견하고 그것과 체험의 관계를 설명해야 한다.

다음 장에서는 흔히 양자적이라는 말 뒤에 가려지는 문제에서 시작한다. 양자 상태는 익숙한 기술과 정확히 무엇이 다르며, 환경과 어떻게 상호작용하고, 그 차이는 왜 살아 있는 계에 의미가 있을 수 있는가?

제2장

양자적으로 기술하면 무엇이 달라지는가

평범한 방의 사물은 성질이 미리 정해져 있는 것처럼 보인다. 찻잔은 탁자 위에 있고, 전등은 꺼져 있으며, 책은 어느 한 쪽에 펼쳐져 있다. 관찰자가 모른다고 해도 사물은 어떤 상태에 있을 수 있다. 동전을 손바닥 아래에 감추면 불확실한 것은 어느 면이 위에 있느냐다. 동전 자체가 면을 갖기 위해 누군가 볼 때까지 기다릴 필요는 없다.

이 모습은 너무 익숙해서 어느새 현실의 보편 모형이 된다. 양자 이론도 이 언어로 옮기고 싶어진다. 입자는 단지 아직 충분히 알지 못하는 작은 물체라는 식이다. 그러나 양자적 기술에서는 정보의 양만 바뀌는 것이 아니다. 계의 준비, 가능한 개입, 결과의 분포를 연결하는 규칙이 달라진다. 이 규칙에서 의식의 설명을 찾기 전에 먼저 규칙 자체를 이해해야 한다.

가능성들의 집합으로 보는 상태

물리적 상태는 어떤 차이를 검출할 수 있게 해 주는가라는 질문으로 이해하면 편리하다. 두 준비 방식이 모든 허용되는 측정에서 같은 결과 분포를 준다면, 선택한 기술 안에서는 둘을 구별할 수 없다. 통계의 차이를 드러내는 측정이 있다면 상태는 서로 다르다. 이로써 상태라는 말은 사물의 숨은 본질을 보여 주겠다는 약속이 아니라 작업상의 개념이 된다.

가장 단순한 양자계에서는 적절한 측정으로 오류 없이 구별할 수 있는 두 상태를 선택하여 기호 0과 1로 표시한다. 이들은 기저, 즉 이 계의 어떤 순수 상태든 표현할 수 있게 하는 기준 상태들의 집합을 이룬다. 선택한 스핀 상태나 빛의 편광 상태가 여기에 해당할 수 있다. 순수 상태는 중첩으로 적는다.

$$|\psi\rangle=\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle,|\alpha|^2+|\beta|^2=1.$$

여기서 ψ는 상태를, α와 β는 복소 진폭을 나타낸다. 세로선과 꺾쇠괄호는 상태 벡터의 통상적인 표기다. 선택한 기저에서 측정하면 결과 0과 1의 확률은 각각 해당 진폭의 절댓값을 제곱한 값이다. 이는 보른 규칙의 특수한 경우다. [14]

진폭은 위상을 가진다는 점에서 보통의 확률과 다르다. 확률에서는 결과가 얼마나 자주 나타나는지가 중요하다. 진폭에서는 다른 진폭과 어떻게 더해지는지도 중요하다.

따라서 한 측정에서 확률이 같은 두 계도 다른 측정에서는 다르게 행동할 수 있다. 한 질문의 응답표 하나로 양자 상태를 완전히 기술할 수는 없다.

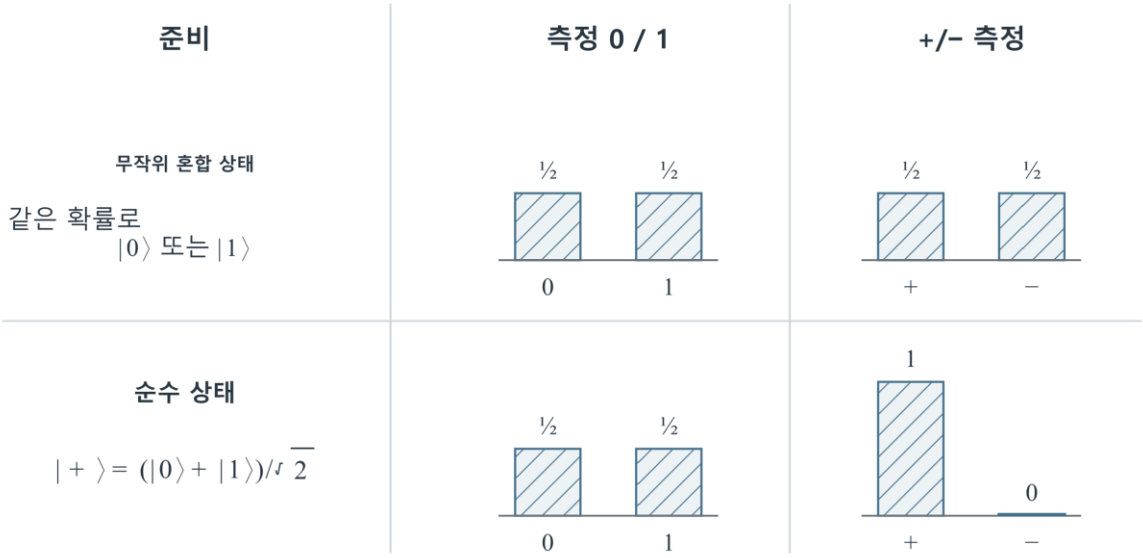
아직 이 수식에 의식은 들어 있지 않다. 느낄 수 있는 능력을 부여하지 않는 계에도 적용된다. 수식의 내용은 연구 대상이 얼마나 신비롭게 보이는지가 아니라 물리적 준비와 측정으로 정해진다.

중첩이 단순한 무지와 같지 않은 이유

두 가지 준비 방식을 상상해 보자. 첫째에서는 장치가 상태 0 또는 상태 1을 무작위로 선택하며, 각 상태는 실행의 절반씩 나타난다. 둘째에서는 두 대안의 진폭이 같은 동일한 상태를 매번 준비한다. 0과 1만 구별하는 측정은 두 경우에 같은 통계를 준다. 그렇다고 같은 물리적 상태가 준비되었다는 뜻은 아니다.

두 번째 방식에는 정해진 위상 관계가 있다. 측정 전에 적절한 변환을 하면 이 관계를 확률의 차이로 바꿀 수 있다. 무작위 혼합에는 이처럼 정해진 관계가 없다. 물리적 연산의 순서를 수행한 결과로 차이를 검출한다. [14]

중첩과 혼합 상태를 구분하는 두 검증



측정마다 동일하게 준비한 새로운 체계를 사용한다.

그림 4. 설명을 위한 예시. 두 가지 상태 준비는 한 측정에서는 같은 확률을 주지만 다른 측정에서는 차이를 보인다. 수치는 선택한 이상적 상태에 대해 계산한 값이며 뇌에서 얻은 실험 데이터가 아니다.

수면의 두 파동을 떠올리면 도움이 된다. 어떤 지점에서는 마루가 겹치고, 다른 지점에서는 마루가 골과 만난다. 결과는 상대적인 어긋남에 따라 달라진다. 이 비유는 위상의 역할을 보여 주지만 양자 대상을 보통의 물결과 같게 만들지는 않는다. 양자 계산에서 진폭을 더하는 것과 확률을 단순히 더하는 것이 왜 다른지 이해하도록 도울 뿐이다.

여기서 언어의 중요한 한계가 드러난다. 뇌가 여러 대안을 동시에 처리한다는 말만으로는 양자 중첩에 관해 아무것도 알 수 없다. 보통의 계산 시스템도 여러 경쟁하는 해결책을 유지할 수 있다. 양자적 주장을 하려면 물리적 상태와 그 사이의 위상 관계를 검출하는 연산을 명시해야 한다.

생각이 불확실하다고 말하는 것만으로도 부족하다. 인간의 불확실성은 고전적 확률로 기술할 수 있다. 심리학과 물리학에서 확률, 선택, 불확실성이라는 단어가 같다고 해서 기제의 동일성이 확립되지는 않는다.

측정은 물리적 흔적을 남긴다

측정 장치는 연구하는 계에 따라 서로 다르게 변해야 한다. 그렇지 않으면 표시값이 그 계에 대해 아무것도 알려 주지 못한다. 빛을 기록하려면 빛과 물질의 상호작용이 필요하고, 자기적 성질을 알아내려면 장이나 다른 감응 장치와의 적절한 결합이 필요하다. 관찰은 물리적인 구별에서 시작한다.

양자적 기술에서 이런 상호작용은 계를 장치와, 이어서 환경과 연결할 수 있다. 서로 다른 대안은 서로 다른 흔적을 남긴다. 이 흔적들을 함께 통제하기가 사실상 불가능해지면 관찰되는 간섭이 사라질 수 있다. 이를 위해 누군가 화면을 읽어야 하는 것은 아니다. 중요한 것은 상호작용의 구성이며, 사람이 나중에 결과를 의식하는 일이 아니다. [14]

그러나 이것으로 측정의 모든 문제가 해결되었다고 선언하는 것도 성급하다. 이론으로 관측 확률과 복합 상태의 시간 발전을 계산할 수 있다. 유일하게 기록된 결과를 어떻게 이해하고 나머지 대안에 어떤 지위를 부여할지는 여러 해석적 접근이 가능하다. 이 차이를, 실험이 이미 인간 의식의 결정적 역할을 입증했다는 주장으로 슬쩍 바꾸어서는 안 된다.

이 경계는 이 책에 유용하다. 관찰자라는 말의 모호함에 의식 연구를 의존시킬 필요가 없어진다. 물리적 관찰자는 기록 시스템을 뜻할 수 있다. 경험의 주체는 무언가가

그에게 체험되는 이를 뜻한다. 특정 실험실에서 사람이 둘 다 맡더라도 이들은 서로 다른 역할이다.

전체 체계의 일부를 어떻게 기술할 것인가

모든 연구는 환경에서 계를 구분해 낸다. 어느 경우에는 전자가, 다른 경우에는 분자나 세포나 신경망이 계가 된다. 선택은 질문에 따라 달라진다. 구분한 부분이 실제로 나머지 자연과 상호작용을 멈추었다는 뜻은 아니다.

두 부분이 얽힌 상태에 있으면 각 부분의 개별 기술에는 공동 상관관계의 정보가 모두 들어 있지 않다. 한 부분을 기술하려면 전체 상태에서 축약 상태를 얻는다. 다른 부분을 따로 기술하지 않고 해당 부분의 측정 결과만 예측할 수 있는 상태다. 이 전환의 수학적 연산을 부분대각합이라 부른다. 전체가 순수 상태여도 국소 상태는 혼합 상태일 수 있다. [14]

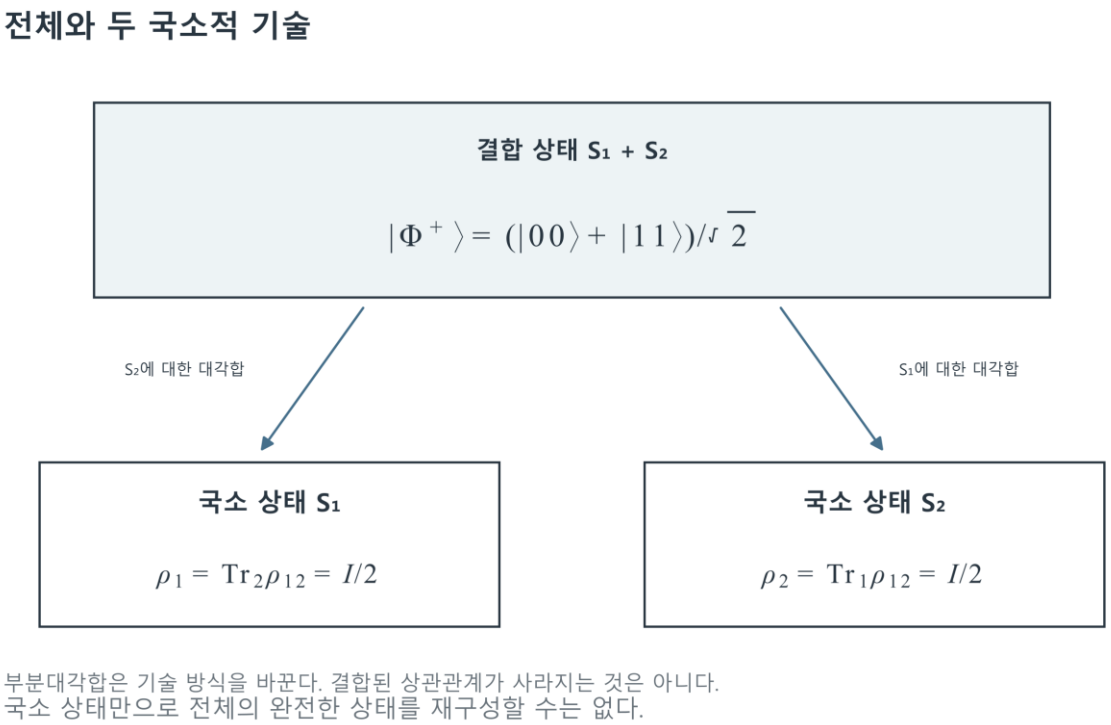


그림 5. 부분계의 상태는 전체의 상태에 부분대각합을 취해 얻는다. 국소적인 기술에는 일반적으로 전체 상관관계가 모두 담기지 않는다. 이 도식은 물리적 기술을 설명한다. 체험의 통일성은 별도로 설명해야 한다.

여기서 의식을 곧바로 전체에 놓고 싶은 유혹이 생긴다. 공동 상관관계의 환원 불가능성이 체험의 통일성을 자동으로 설명하는 듯 보인다. 그러나 둘은 다른 질문이다.

상관관계는 측정 통계가 어떻게 연결되는지 보여 준다. 체험의 통일성은 특정 사건들이 왜 하나의 주체에게 주어지는지에 관한 것이다. 둘 사이에는 여전히 내용 있는 대응이 필요하다.

의식이 넓은 복합계에 속한다고 주장한다면 그 경계를 정해야 한다. 어떤 상호작용은 과정을 주체 안에 포함하고, 어떤 상호작용은 단지 환경과 연결하는가? 체험은 왜 몸과 인과적으로 연결된 모든 사물에 구별 없이 퍼지지 않는가? 결합을 바꾸면 관찰 가능한 경험의 성질은 어떻게 바뀌어야 하는가? 답이 없으면 전체라는 말은 불확실성을 더 큰 척도로 옮길 뿐이다.

이 질문들은 계의 경계 확장을 금하지 않는다. 확장이 의미 있도록 만든다. 데이터를 설명하기 위해 이전에 빠뜨린 부분계를 실제로 고려해야 한다면 그것은 물리적 결과가 된다. 그러나 그 부분계가 주체에 속한다는 데에는 또 하나의 논거가 필요하다.

물리적 정보에서 그 의미로

의식에 관한 논의에서는 «정보»라는 말로 물리적 차이, 기록된 기호, 메시지, 메시지의 의미를 한꺼번에 가리키곤 한다. 그러나 똑같은 기호열을 한 사람은 이해하고 다른 사람은 아무 정보도 얻지 못할 수 있다. 물리적 담지체는 그대로다. 의미는 사용 규칙과 그 기록을 받아들이는 체계의 이력에 달려 있다.

양자정보이론은 특히 상태의 구별 가능성과 그 상태들을 전달하고 변환하고 저장할 가능성을 다룬다. 이 분석을 통해 주어진 통로로 수신자가 무엇에 접근할 수 있는지 정할 수 있다. 분석 자체가 수신자에게 이해나 경험을 부여하지는 않는다. 따라서 «의식은 양자정보다»라는 표현에는 설명을 덧붙여야 한다. 어떤 상태를 뜻하며, 어떤 과정이 그 상태의 차이를 이용하고, 왜 그런 이용에 주관적 성질이 동반되어야 하는가?

또 하나의 한계가 있다. 알려지지 않은 상태를 화면의 완성된 문자열처럼 계의 단일 사본에서 통째로 읽을 수는 없다. 측정으로 기술을 복원하려면 특정한 가정과 자료 집합이 필요하다. 개별 측정 결과는 가능한 모든 성질을 찍은 사진이 아니다. [14]

이는 인간의 기억을 양자 기록으로 말하려 할 때 특히 중요하다. 물리적 상태의 보존, 그 상태에서 정보를 추출할 가능성, 의미 있는 이력의 복원을 구분해야 한다. 담지체를 완벽하게 보존하더라도 임의의 수신자가 그 내용에 접근할 수 있다는 보장은 없다. 또한 한 사람의 생애 기록에 접근할 수 있다는 사실만으로 그 생애의 주인인 사람의 경험이 연속된다고 확립되지는 않는다.

따라서 «정보»라는 말은 관계를 명확히 한 뒤에야 모형을 세우는 데 도움이 된다. 무엇이 구별되는가? 어느 체계에 대해 구별되는가? 어떤 상호작용을 통해서인가? 구별에는 어떤 결과가 따르는가? 이 질문들은 근본적 의식을 미리 포기하도록 요구하지 않지만, 그 설명을 물리학 용어 하나로 대체하도록 허용하지도 않는다.

양자 기제는 무언가를 바꿀 만큼 빨리 작용해야 한다

필요한 위상 관계를 유지하는 상태를 발견했다고 하자. 그 상태가 존재한다는 사실만으로 기능이 설명되지는 않는다. 기제는 행동, 기억, 지각 내용과 관련된 과정에 영향을 줄 수 있을 만큼 빨리 작용해야 한다. 이를 위해서는 상태의 유지 시간뿐만 아니라 결합의 세기, 영향의 전달 속도, 결과의 안정성도 중요하다.

아무것도 기록할 수 없고 아무것도 꺼낼 수 없지만 내부 기억은 훌륭한 장치를 생각해 볼 수 있다. 미리 정해진 상태를 보존하는 데에는 적합할 수 있어도 외부 정보를 처리하는 데에는 적합하지 않다. 반대 극단도 이해할 수 있다. 매우 민감한 체계는 쉽게 영향을 받아들이지만 무작위 교란으로 차이를 잃기도 그만큼 쉽다.

가능한 생물학적 양자 기제는 이 두 극단 사이에 놓인다. 필요한 과정과 상호작용하면서도 결과를 좌우하는 성질을 충분히 오래 유지하는 선택적 개방성이 필요하다. 물리적 기술에서는 이러한 성질을 자유도와 연결한다. 예를 들면 입자의 위치나 스핀이 그러한 자유도다. 이 과제는 의식 이론을 세우기 전부터 물리적 내용을 지닌다.

따라서 «뇌는 양자적인가»라는 질문은 너무 광범위하다. 뇌의 물질은 이미 화학 결합의 수준에서 양자물리학으로 기술한다. 더 내용 있는 질문은 이렇다. 특정 뇌 기능이 구체적인 양자적 성질을 이용하며, 그 성질이 없으면 관찰 결과가 달라지는가? 답하려면 적절한 고전적 근사와 비교할 수 있는 모형이 필요하다.

이제 어떤 질문을 던질 수 있는가

양자적 기술을 도입한 뒤에는 처음의 생각이 서로 독립적인 여러 방향으로 나아간다. 선택한 담지체에 어떤 상태들이 가능한지 연구할 수 있다. 중첩과 혼합의 차이가 얼마나 오래 유지되는지 알아볼 수 있다. 그 차이가 분자 반응이나 신경 조직의 작동에 어떻게 영향을 미치는지 검증할 수 있다. 발견한 과정이 경험과 어떤 관계가 있는지는 따로 물을 수 있다.

이러한 단계 가운데 어느 것도 수학적 표기만으로 넘어갈 수는 없다. 상태벡터에 완성된 주체가 들어 있지는 않다. 상호작용 연산자가 감각의 의미를 설명하지는 않는다. 결과의 확률은 결정의 자유와 같지 않다. 그러나 정밀한 언어를 쓰면 각각의 공백이 어디에 있는지 보고 그에 맞는 구체적인 연구 과제를 세울 수 있다.

뇌를 인터페이스로 보는 가설에는 더 엄밀히 정식화할 가능성이 생긴다. 가정한 외부 기여는 관찰 가능한 계통의 물리적 상태를 바꾸어야 한다. 그 기여가 양자적이라면 작용이 통상적인 무작위 신호와 어떻게 다른지 밝혀야 한다. 주관성과 연결한다면 물리적 연결의 변화가 왜 경험의 특정 측면 변화와 함께 일어나야 하는지 설명해야 한다.

내용 있는 부정적 결과의 가능성도 생긴다. 측정에서 제안한 상태가 필요한 특성을 너무 빨리 잃는 것으로 드러날 수 있다. 또는 방법상 검출할 수 있는 곳에서 추가 기전에 대해 예측한 차이가 나타나지 않을 수 있다. 이런 결과는 의식의 본성이라는 질문 자체는 유지하면서 특정 구성을 제한한다.

양자 이론은 탐색에 더 많은 것을 요구한다. 막연한 깊이 대신 구별 가능한 상태, 연산과 제약을 제시한다. 다음 질문은 인간의 규모에서 생긴다. 일어나는 일이 한 존재에 속한다고 느끼려면 정확히 무엇이 유지되고 바뀌어야 하는가?

제3장

경험하는 주체를 어디에서 찾을 것인가

사람은 컵을 향해 손을 뻗으면서 움직이는 손이 누구 것인지 따로 결정하는 일이 거의 없다. 내 것이라는 감각은 이미 행동 안에 있다. 컵은 바깥에 있고 손은 움직임의 수단이며 노력은 자신의 것으로 느껴진다. 이 작은 장면은 의식의 기원 문제보다 단순해 보인다. 그러나 이미 세계 지각, 신체 표상, 결과 기대와 자신의 참여 감각이 결합되어 있다.

주체를 머릿속의 숨은 점으로만 찾으면 이 전체 구조를 놓치기 쉽다. 그런 탐색에서는 의식을 미리 작은 관객으로 그린다. 감각 기관은 그림을 보내고 기억은 과거를 보여 주며 의지는 내부 버튼을 누르게 한다. 하지만 그 관객에게도 같은 질문이 생긴다. 관객은 어떻게 그림을 보고 누름을 느끼는가? 관찰자를 계통 안으로 옮겨 놓아도 과제는 사라지지 않는다.

내 것이라는 감각은 해부학적 구분과 늘 일치하지는 않는다

Matthew Botvinick과 Jonathan Cohen의 실험에서는 참여자의 실제 손을 보이지 않게 가리고 그 앞에 인공 손을 놓았다. 두 손을 동시에 만지면 눈에 보이는 인공 손이 자신의 것이라는 느낌이 생길 수 있었다. 연구자들은 접촉 시점이 맞는 조건과 맞지 않는 조건을 비교하고, 자신의 손이 있다고 느끼는 위치가 어떻게 달라지는지도 평가했다. 이 연구는 몸이 자신의 것이라는 감각이 시각, 촉각, 고유수용감각 정보의 일치와 연결됨을 보여 주었다. 의식이 물체로 옮겨간다는 것을 보여 준 것은 아니다. [16]

이 구분은 근본적이다. 실제 손이 이동한 것이 아니라 몸을 표상하는 방식이 달라졌다. 따라서 경험되는 몸의 경계는 해부학적 경계를 단순히 촬영한 사진이 아니다. 몸과 몸에 대한 느낌 사이에는 정보를 맞추는 과정이 작동한다. 그 결과는 대개 너무 익숙해서 직접 주어진 사실처럼 받아들여진다.

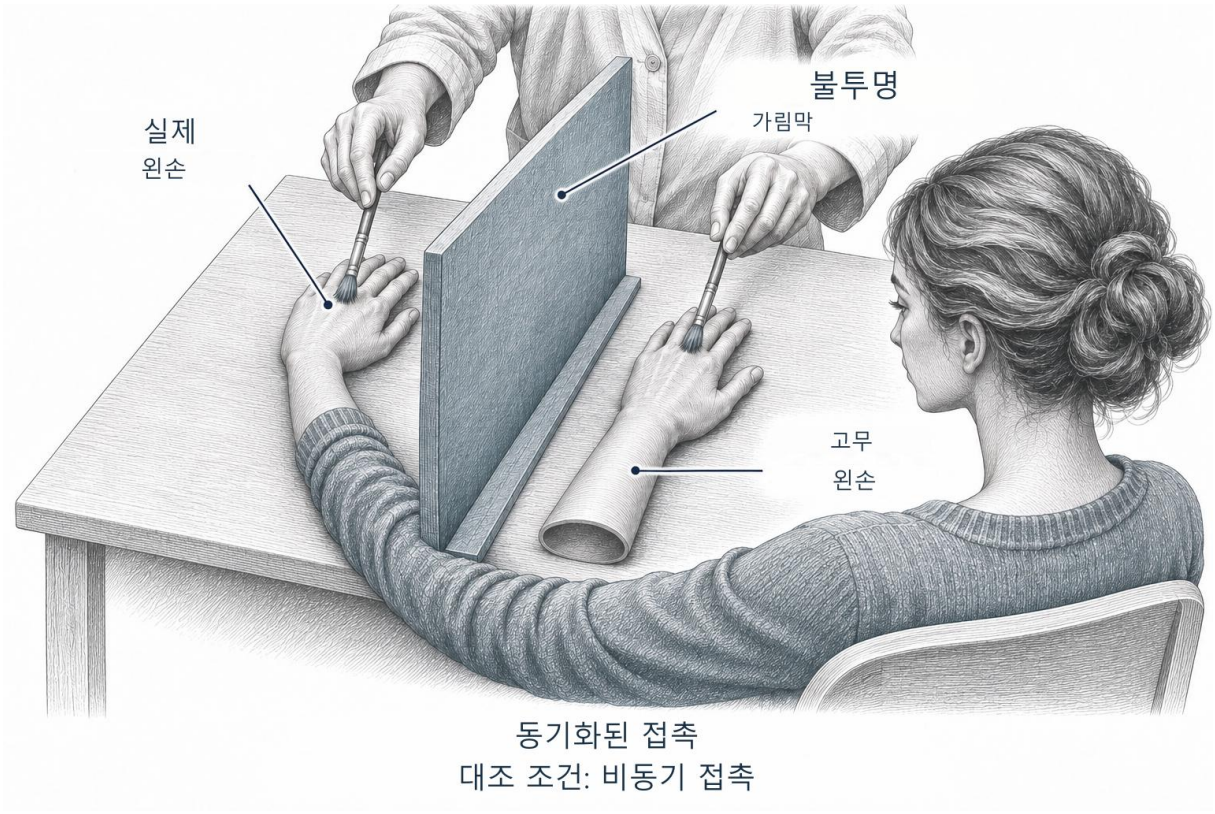


그림 6. 고무손 실험의 원리 [16]. 참여자는 인공 손을 보며, 실제 손은 불투명한 가림막에 가려져 있다. 독자에게는 다른 각도에서 실제 손을 보여 준다. 두 손에 가하는 촉각 자극의 시점을 일치시키거나 어긋나게 한다. 시각, 촉각, 고유수용감각 정보를 대조하는 과정은 신체 소유감을 바꿀 수 있다. 여기서 의식이 사물로 옮겨 간다고 가정하지는 않는다.

이처럼 신호를 맞추는 과정이 반드시 말로 하는 추론이어야 하는 것은 아니다. 설명이 생기기 전에 내 것이라는 느낌이 먼저 생길 수 있다. 그래서 신체적 자아에 대한 관찰을 성격이나 생애에 관한 이야기와 혼동해서는 안 된다. 자기표상의 특정 요소를 연구하면서도 그 요소가 개인의 정체성 전체를 설명한다고 가정하지 않을 수 있다.

인터페이스라는 생각에는 내용 있는 가능성이 생긴다. 개별 경험의 경계는 계통이 사건을 자기 몸에 어떻게 연결하는지에 달려 있을 수 있다. 하지만 이 가능성만으로 경험의 물리적 담지체가 정해지지는 않는다. 무엇보다 의식의 근거를 유기체 안이나 밖에 두는 모든 이론이 설명해야 할 조직을 가리킨다.

몸은 안에서 자신의 상태를 알린다

몸에 관한 정보의 일부는 시각과 접촉을 통해 들어온다. 다른 일부는 호흡, 심장박동, 장기의 상태 같은 내부 과정과 관련된다. 이러한 과정은 컵을 보듯이 눈으로 보지는

못하지만, 몸의 전반적 느낌과 사건의 정서적 색채에 관여할 수 있다. 내부 상태를 지각하는 일을 가리킬 때 내수용감각이라는 개념을 사용한다.

Hugo Critchley와 동료들은 자신의 심장박동 시점을 판단하는 과제를 수행할 때의 뇌 활동을 연구했다. 과제 수행과 여러 영역의 활동 사이에서 관련성을 발견했으며, 여기에는 오른쪽 앞섬엽과 인접한 덮개피질이 포함되었다. 내수용감각을 구별하는 정확도와 일부 주관적 지표 사이의 상관관계도 관찰했다. 이는 몸의 신호에 접근하는 데 특정 신경 체계가 관여한다는 증거이며, 주체가 있는 유일한 장소를 발견한 것은 아니다. [17]

외부 세계의 같은 영상을 받지만 내부 상태는 다른 두 유기체를 머릿속에서 비교할 수 있다. 한쪽에게 물로 가는 길은 절실하지만 다른 쪽에게는 중립적인 가능성이다. 여기서 차이는 영상에만 있지 않다. 몸이 필요로 하는 것과 어떤 행동이 가치를 얻는가에 관한 것이다.

따라서 몸을 화면에 비유하는 것만으로는 부족하다. 화면에는 자체 필요가 없지만 유기체는 자신의 존재를 유지해야 한다. 연구 모형에서는 이를 통해 자기표상을 조절과 연결할 수 있다. 계통은 형태만이 아니라 사건이 자신의 지속적 존재 조건에 미치는 영향으로도 사건을 구별한다.

이 기능적 설명만으로 배고픔이나 불안의 질적 측면이 도출되지는 않는다. 내부 신호가 행동 조직에서 특별한 자리를 차지할 수 있는 이유를 기술한다. 더 근본적인 의식이라는 가설에서는 이 조직이 개별화의 가능한 방식이 된다. 공통 물리 과정이 존재한다면 몸의 구체적인 필요와 제약을 통해 특정 관점을 얻어야 한다.

하나의 나에 담긴 여러 의미

"나"라는 말은 여러 능력을 아우른다. 비친 자신의 모습을 알아보고, 과거를 기억하고, 자기 움직임을 외부의 밀침과 구별하며, 경험을 보고하고, 자기 결정이 옳은지 의심할 수 있다. 한 능력이 있다고 나머지도 자동으로 있는 것은 아니다. 함께 작동할 때도 구별하면 유용하다.

신체적 자기표상은 무엇을 자신의 몸으로 지각하며 행동의 관점은 어디에 놓이는지에 관한 것이다. 행위주체감은 사건에 참여하는 방식에 관한 것이다. 움직임이 자신의 행동에서 비롯되었는지, 외부에서 강요되었는지를 뜻한다. 자서전적 표상은 현재

상태를 이력과 연결한다. 성찰을 통해 자신의 지각 방식과 결정 방식을 다시 검토의 대상으로 삼을 수 있다.

이 구별들은 분석을 위한 실무 틀이다. 머릿속에 독립된 여러 사람이 있다는 뜻은 아니다. 오히려 "나"라는 말을 한 계통이 자기 상태와 맺는 여러 관계를 기술하는 데 사용한다. 이 구분은 짧은 감각 하나에 인간 생애의 모든 복잡성을 요구하지 않도록 돕는다.

경험, 자기표상과 성찰의 실무적 구별은 그림 1에 정리했다.

자기 명령과 외부 교란을 정확히 구별하는 기기를 만들었다고 가정하자. 특정한 형태의 행동 통제를 보인다. 이력이 추가로 보존되면 현재와 과거를 연결할 가능성도 생긴다. 하지만 이 기능들을 함께 갖추었다고 기술적 설명에 곧바로 "경험"이라는 말을 넣을 수는 없다. 주관성의 질문은 별도로 남는다.

반대의 오류는 발달한 자기 서사 없이는 주관적 경험이 불가능하다고 보는 것이다. 이런 정의라면 의식을 인간 자기의식의 복잡한 형태 중 하나와 미리 동일시하게 된다. 다른 존재의 연구는 자료를 얻기도 전에 질문의 정식화로 제한될 것이다.

내면의 관객 없이 성립하는 행위의 관점

일상에서 사건은 대개 몸에 대한 관계로 제시된다. 더 가깝거나 멀고, 닿을 수 있거나 없으며, 위험하거나 안전하다는 차이는 특정 위치에서 의미를 얻는다. 행동 모형에는 기준 중심이 필요하다. 하지만 기준 중심이 별도의 사물일 필요는 없다.

지리 좌표를 쓰기 위해 지도 안에 작은 소유자가 있을 필요는 없다. 관찰자의 위치는 대상 사이의 관계와 이동 가능성으로 정할 수 있다. 마찬가지로 계통의 기능적 관점은 지각, 기억과 행동을 연결하는 방식으로 정해질 수 있다. 이 비유가 지도나 기계의 주관성을 설명하는 것은 아니다. 내부 관객 없는 조직이 논리적으로 가능함만 보여 준다.

뇌에서는 이미 완성된 '나'가 들어앉은 기관을 찾으려 하지 않고도 체험의 특정 측면에 필요한 과정을 찾을 수 있다. 첫 장에서 다룬 파르비지와 동료들의 연구는 국소적 개입이 지각의 구체적인 내용을 어떻게 바꾸는지 보여 준다. 기능들을 구별하는 데 도움이 되지만, 얼굴 인식 영역을 관측자 전체의 저장 장소로 만드는 것은 아니다. [15]

하나의 중심을 찾지 못했다는 사실도 그 중심이 외부에 있다는 논거는 아니다. 그것은 찾는 사물이 여기 없으니 다른 곳에 있다는 식의 결론일 것이다. 애초에 별도의

사물을 기대한 것이 틀렸을 수도 있다. 더 넓은 이론이 실제로 필요할 수도 있다. 두 가능성은 익숙한 이미지가 아니라 연구 결과로 가려야 한다.

현재에는 이어짐이 필요하다

행동의 관점에는 공간적 위치뿐 아니라 시간적 연장도 있다. 움직임이 하나의 행동에 속하려면 계통은 시작, 지속과 예상 결과를 어떤 방식으로든 연결해야 한다. 그렇지 않으면 상태의 순서는 독립적인 장면들의 모음으로 남는다. 이는 주관적 시간의 질문을 풀기 전에도 정식화할 수 있는 기능적 요구다.

단계가 끝날 때마다 상태가 완전히 지워지는 기기를 생각해 보자. 새 영상을 받아 답하지만 이전 사건의 흔적을 보존하지 않는다. 다른 기기는 이전 단계를 현재의 해석에 사용한다. 같은 신호가 맥락에 따라 다른 의미를 갖는 과제에서 둘의 차이를 검출할 수 있다. 그러나 그 차이가 있다고 둘째 기기가 시간의 흐름을 경험한다는 뜻은 아니다.

이 예로 두 주장을 구분할 수 있다. 특정 자기표상에는 이력에 대한 접근이 필요하다. 하지만 이력에 접근할 수 있다는 사실이 주관적 연속성의 충분한 증거는 아니다. 모형에는 두 주장 모두 남아 있어야 한다. 그렇지 않으면 기능적 명확성을 잃거나 모든 기억을 너무 성급히 의식이라고 선언하게 된다.

인격 공동 형성 가설에서는 연결의 이력이 특별한 의미를 얻는다. 개별성이 상호작용에서 생긴다면 계통의 현재 특성이 어떻게 형성되었고 어떤 결과를 갖는지 설명해야 한다. 순간적 특성의 목록만으로는 부족하다. 두 계통이 지금 비슷해 보여도 세계와 맺어 온 관계의 이력은 다를 수 있다.

따라서 "동일한 주체"라는 표현에는 선택한 기준이 필요하다. 기억의 보존, 인과 사슬의 지속이나 자신을 알아보는 느낌에 관한 것일 수 있다. 일상에서는 이 기준들이 일치할 수 있다. 하지만 생각할 수 있는 모든 물리적 구현에서 그 일치가 법칙이라고 미리 여겨서는 안 된다.

주체의 경계는 어디에 있는가

몸의 경계는 의식 경계의 자연스러운 후보처럼 보인다. 하지만 기능 수준에서도 유기체는 외부 환경에 끊임없이 의존한다. 기록은 기억을 돕고 도구는 움직임의 가능성을 넓히며 언어는 개인의 결정을 타인의 경험과 연결한다. 이 의존은 무엇을 계통에 포함한다는 말의 정확한 의미를 묻게 한다.

과제를 수행할 때는 사람과 공책을 함께 고려할 수 있다. 신경생리학 실험에서는 분석을 뇌와 특정 입력 신호로 제한할 수 있다. 대사 연구에는 또 다른 경계가 필요하다. 경계 선택이 질문에 맞는다면 모두 허용되는 기술이다.

그러나 기능적 포함은 주관적 경험에 속하는 것과 같지 않다. 공책이 기억을 돕는다고 소유자와 함께 느끼는 것은 아니다. 외부 산소 없이는 유기체가 멈춘다고 모든 공기가 한 주체의 일부가 되지는 않는다. 인과적 의존은 너무 흔해서 그 자체만으로 경험의 경계를 정할 수 없다.

저자의 인터페이스 가설에는 더 좁은 기준이 필요하다. 개별성이 특정 내부 과정, 기억 체계와 가정한 추가 담지체 사이의 지속적인 상호 영향과 관련된다고 가정할 수 있다. 그렇다면 경계는 연결의 존재만이 아니라 구조와 결과로 정해져야 한다. 이는 아직 측정 가능한 차이를 도출해야 하는 연구 가정이다.

예를 들어 연결이 끊기면 어떤 특정한 것이 달라져야 한다. 가능한 모든 변화를 설명하는 구실이 되어서는 안 된다. 신호의 일치가 줄어들면 정보의 통합, 이력에 대한 접근, 자기표상의 안정성이 손상될 수 있다. 가정한 기제가 특별히 경험과 관련된다면, 그 작용을 반응, 주의, 기억의 장애만으로 완전히 설명할 수 없는 이유를 보여 주어야 한다.

아바타라는 비유에서 무엇이 남는가

가상 환경의 아바타에는 보통 이미 외부 사용자가 있다. 아바타 자체가 사용자의 생애와 욕구, 자신과 세계를 구별하는 능력을 만들지는 않는다. 따라서 이 이미지를 사람에게 옮기면 이미 완성된 답을 눈에 띄지 않게 너무 많이 들여온다. 인격의 발생을 설명하기도 전에 인격을 전제하게 된다.

더 신중한 버전은 매개의 생각만 남긴다. 몸은 가능한 작용과 행동 방식의 범위를 정한다. 뇌는 이를 시간 속에서 연결하고 유기체와 맺는 관계의 표상을 유지한다. 가정한 경험의 근본적 토대가 존재한다면 이 조직에 참여하지만, 이미 완성된 인간 인격을 담고 있을 필요는 없다.

이 모형에서 주체는 지속되는 과정으로 다뤄진다. 현재 상태는 이력에 의존하고 몸의 필요는 행동을 이끈다. 상호작용의 구조는 여러 사건이 어떻게 하나의 관점으로 통합되는지 설명해야 한다. 숨은 승객의 이미지보다 바로 그 연결의 구성이 연구 대상이 된다.

완성된 이론은 아니지만 이론을 세울 방향은 생겼다. 작은 관찰자를 찾는 대신 소유감, 접근, 연속성과 경계의 질문이 등장한다. 각각에 서로 다른 측정과 가능한 오류를 대응시킬 수 있다.

주체는 여전히 핵심적인 어려움이다. 다만 질문은 더 정확해졌다. 세계와 자신을 구별하는 물리적 조직은 어떻게 그 조직에게 일어나는 일이 경험되는 조직이기도 한가? 더 나아가려면 영혼과 의식의 일차성에 관한 오래된 생각이 관찰에 대해 명확한 요구를 갖도록 검토해야 한다.

제4장

오래된 질문을 검증 가능한 형태로

인간이 보이는 몸만으로 모두 설명되는가라는 질문은 복잡한 계기보다 먼저 생겼다. 죽음, 잠, 기억과 자신이 별개의 존재라는 감각은 누군가로 존재한다는 의미의 설명을 찾게 한다. 종교의 언어는 영혼과 그 소명을 통해, 철학의 언어는 경험과 세계의 관계를 통해 답할 수 있다. 과학적 접근은 다른 요구에서 시작한다. 제안한 설명이 옳다면 어떤 관찰이 달라져야 하는가?

이 말하기 방식들을 같은 이론의 다른 이름이라고 단순히 선언할 수는 없다. 서로 다른 과제를 해결할 수 있다. 삶의 의미에 대한 주장 옆에 공식이 나타난다고 그 주장이 측정이 되지는 않는다. 하지만 이미지나 철학적 가정은 나중에 물리 모형을 찾을 수 있는 질문을 제기할 수 있다. 이 책이 관심을 두는 것은 바로 그 전환이다.

다른 표현으로 옮길 때 무엇이 유지되는가

"영혼"에는 여러 뜻이 가능하다. 인격, 도덕적 존엄, 살아 있는 존재감, 불멸의 근원이나 기억의 담지체를 뜻할 수 있다. 이 의미들이 일치할 필요는 없다. 그러므로 해당 이미지에 대한 과학적 작업은 모든 것을 한꺼번에 검출할 계기를 찾는 대신 구체적인 주장을 선택하는 데서 시작한다.

영혼을 경험하는 능력으로 이해하면 주관적 경험의 조건을 묻게 된다. 독립된 생애의 담지체를 가정하면 정보의 기록, 보관과 복원의 질문이 필요하다. 비물질적 원인이 몸에 작용한다고 말한다면 어떤 관찰 가능한 변화가 이미 알려진 상호작용과 그 작용을 구별할지 알아야 한다.

다른 표현으로 옮기는 동안 처음 의미의 일부는 사라질 수 있다. 과학은 인간의 소명 문제를 풀지 않고 기억에 대한 특정 주장을 검증할 수 있다. 종교적 세계관 전체를 판단하지 않고 외부 작용 모형을 제한할 수 있다. 결론의 경계는 정확히 어떤 주장을 검증할 수 있었는지로 정해진다.

이 책은 처음 질문을 유지하되 검증 가능한 형태로 바꾼다. "인격은 몸보다 크다"는 주장 대신, 설명하려면 추가 담지체를 모형에 포함해야 하는 관찰 가능한 의존 관계가 있는지를 묻는다. "모든 것은 연결되어 있다"는 말 대신 어떤 연결이 중요하고 어떻게 검출하며 어떤 차이를 만드는지 묻는다.

일차적이라는 주장에는 여러 모형이 가능하다

의식이 일차적이라는 가정은 경험이 현실의 근본적 특성에 속한다는 뜻일 수 있다. 그렇다면 공간의 별도 한 점에 있을 필요는 없다. 이 명제는 설명에서 무엇을 출발점으로 삼는가에 관한 것이다. 물리학과 연결하려면 근본적 특성과 구체적인 물리적 조직 사이의 대응 규칙이 필요하다.

다른 버전은 유기체 밖의 독립된 물리 계통을 가정한다. 뇌와 상호작용해 사람의 상태에 기여한다. 여기서는 담지체, 연결 방식, 효과의 크기와 발생 조건을 정하는 통상적인 연구 과제가 생긴다. 담지체를 모른다고 이 요구가 없어지지는 않는다.

셋째 버전은 관계에 초점을 둔다. 유기체도 가정한 더 넓은 계통도 각각만으로는 완성된 인간 인격이 아니다. 둘 사이의 지속적인 상호작용으로 개별 주체가 생긴다. 이후 전개할 인격 공동 형성 가설에 더 가깝지만 아직 독자적인 물리 내용을 갖추어야 한다.

버전의 차이는 실패를 평가할 때 중요하다. 특정 외부 장을 검출하지 못하면 그 장의 모형은 약해질 수 있다. 경험이 근본적이라는 모든 생각을 자동으로 반증하지는 않는다. 반대로 근본성이라는 철학적 매력이 물리 실험에서 특정 결합 세기 값을 뒷받침하지는 않는다.

편의에 따라 이 의미들 사이를 옮겨 다니지 않을 때 생각은 더 정확해진다. 각 주장에는 고유한 대상을 유지해야 한다. 그렇지 않으면 긍정적 결과는 모든 버전에 동시에 인정되며 부정적 결과는 어느 버전에도 적용되지 않을 것이다.

원인은 구별할 수 있는 흔적을 남겨야 한다

같은 실험의 두 모형을 생각해 보자. 첫째는 유기체의 작동과 주변 환경과의 통상적 상호작용으로 사람의 상태를 정한다. 둘째는 특정 뇌 과정에 작용하는 외부 담지체를 더한다. 가능한 모든 조건에서 두 모형이 같은 관찰을 예측한다면 이 실험으로는 아직 둘을 고를 수 없다.

차이가 나타나려면 추가 담지체의 참여가 구체적으로 관찰할 수 있는 결과를 만들어야 한다. 예를 들어 독립적으로 측정하는 작용에 대한 반응을 바꾸거나, 거리, 방향, 시간에 따른 의존성을 만들어 낼 수 있다. 이 예들은 가능한 예측의 유형을 제시하는 것이며, 이미 발견된 의식의 성질을 알리는 것이 아니다.

다만 이례적 일치가 있다고 곧바로 새 경로를 가리키지는 않는다. 두 계통이 공통 외부 요인에 반응할 수 있다. 측정기가 비슷한 오류를 만들 수 있다. 장면을 고르는

방법이 일치는 드러내고 불일치는 제외할 수 있다. 그러므로 모형에는 바라는 원인뿐 아니라 관찰 결과가 생길 실제 경로도 포함해야 한다.

반대쪽으로도 조심해야 한다. 가정한 작용이 뇌 활동 변화로 실현된다면 분석에서 모든 뇌 활동을 제외하고도 효과가 남기를 기대할 수는 없다. 그 절차가 작용 경로 자체를 제거할 수 있기 때문이다. 과제는 알려진 모든 것의 기계적 차감이 아니라 인과 설명의 비교다.

여기서 수신기라는 비유의 구성적 의미가 드러난다. 입력, 변환, 출력 사이에 구체적인 연결을 제시할 수 있을 때 그 비유는 과학적 형태를 갖기 시작한다. 수신기가 흥미로운 까닭은 그 이름 때문이 아니다. 연결 고리 하나를 바꾸면 결과가 어떻게 달라지는지 예측할 수 있기 때문이다.

공식이 개념 사이의 연결을 대신하지는 못한다

수학적 표기는 모형을 정밀하게 만들 수 있다. 하지만 익숙한 기호에 불분명한 뜻을 부여하면 공허함을 숨길 수도 있다. 의식을 문자로 나타내고 "영적 에너지" 계수를 넣어 등식을 쓰면 물리학과 겉모습이 비슷해진다. 정의와 측정 절차가 없는 한 유사성은 겉모습에 머문다.

방정식은 값을 정하거나 측정하거나 나머지 조건에서 도출할 수 있는 양들을 연결할 때 유용하다. 차원도 확인해야 한다. 복잡한 주제를 논한다고 에너지, 시간과 확률을 서로 바꾸어 쓸 수는 없다. 새 양을 도입한다면 설명에 사용하기 전에 의미를 정해야 한다.

올바른 물리 계산도 경험의 질문을 자동으로 해결하지는 않는다. 상태 수명이나 반응 확률을 얻을 수 있다. 그 양에서 의식으로 넘어가려면 추가 가정이 필요하다. 왜 바로 그 양이 주체에게 중요하며, 처음 생각과 독립적으로 그 중요성을 어떻게 검출할 수 있는가?

따라서 책의 수학 부분은 두 과제를 수행한다. 가능한 기전을 기술하면서 한계도 보여 주어야 한다. 두 부분 계통의 상호작용에 관한 표준 표기는 표준 물리학으로 남는다. 저자의 기여는 이 동역학과 경험의 구체적인 측면 사이에서 검증 가능한 연결을 고르는 데서 시작한다.

이 순서가 가설의 대담함을 줄이지는 않는다. 새 단계를 정확히 어디서 제안하는지 보이게 한다. 이것이 없으면 검증 대상이 오래 알려진 방정식인지, 미지의 생물학적 기전인지, 물리적 조직과 경험 사이의 새 대응 규칙인지 알 수 없다.

질문이 아직 실험이 되지 못했을 때

정의상 아무 관찰 가능한 결과도 없는 의식에 관한 주장을 세울 수 있다. 예를 들어 몸, 기억, 행동과 측정 결과에 영향을 주지 않는 추가 존재를 가정할 수 있다. 철학적 의미는 있을 수 있다. 하지만 실험에는 그 존재와 부재를 구별할 방법이 생기지 않는다.

현재 검증할 수 없다는 이유만으로 거짓이라고 할 수는 없다. 그렇다고 확인된 자연과학 결과로 제시할 수도 없다. 논리적 가능성과 자료의 뒷받침 사이에는 별도의 거리가 있다.

중간 사례도 있다. 모형의 관찰 가능한 결과가 현재 계기에 비해 너무 작을 수 있다. 효과 유형은 정했으나 생물학적 담지체의 연구가 부족할 수도 있다. 그러면 미래의 측정 감도, 허용 매개변수 범위와 간접 제약을 논할 수 있다. 특정 실험을 기술적으로 수행할 수 없는 것과 생각할 수 있는 어떤 차이도 없는 것을 혼동하지 않아야 한다.

부정적 결과도 조건에 달려 있다. 방법이 강한 작용만 검출할 수 있었다면 신호의 부재는 강한 버전들을 제한한다. 모든 약한 효과가 없음을 보여 주지는 않는다. 그러나 무한히 약한 효과의 가능성을 어떤 설명이든 구해 내는 수단으로 삼아서는 안 된다. 그 효과는 부여한 기능에 충분히 중요하기도 해야 한다.

여기서 물리학과 의식 설명은 특히 밀접하게 만난다. 영향이 미미해서 검출할 수 없는 담지체를, 추가 증폭 기전 없이 유기체의 작동에 크고 지속적인 차이를 만드는 원인이라고 동시에 선언하기는 어렵다.

같은 관찰이 서로 다른 설명을 뒷받침할 수 있다

어떤 물리 매개변수를 바꾼 뒤 사람이 시각 신호를 다르게 구별한다고 생각해 보자. 인터페이스 모형의 지지자는 이를 추가 경로의 조정과 연결할 수 있다. 신경 모형은 세포 감도의 변화로 설명할 수 있다. 두 설명은 같은 관찰과 양립할 수 있다. 그러므로 다음 질문이 중요하다. 어떤 추가 결과를 서로 다르게 예상하는가?

예를 들어 첫 모형은 변화를 가정한 담지체의 독립적으로 정한 특성과 연결해야 한다. 둘째는 측정 가능한 세포 과정과 연결해야 한다. 차이가 작을 수 있지만 바로 그 차이가 비교를 연구로 만든다. 새 기전을 결과를 얻은 뒤에만 도입하고 자체 예상을 제시하지 않는다면 설명에서의 역할은 불분명하다.

변수를 더 많이 쓴다는 이유만으로 이론이 이겼다고 볼 수도 없다. 추가 매개변수로 이미 알려진 자료에 설명을 맞출 수 있다. 모형 조정에 쓰지 않은 조건으로 넘어갈 때

내용 있는 검증이 생긴다. 새 관찰을 더 정확히 예측할수록 해당 기전을 계속 연구할 근거가 더 강해진다.

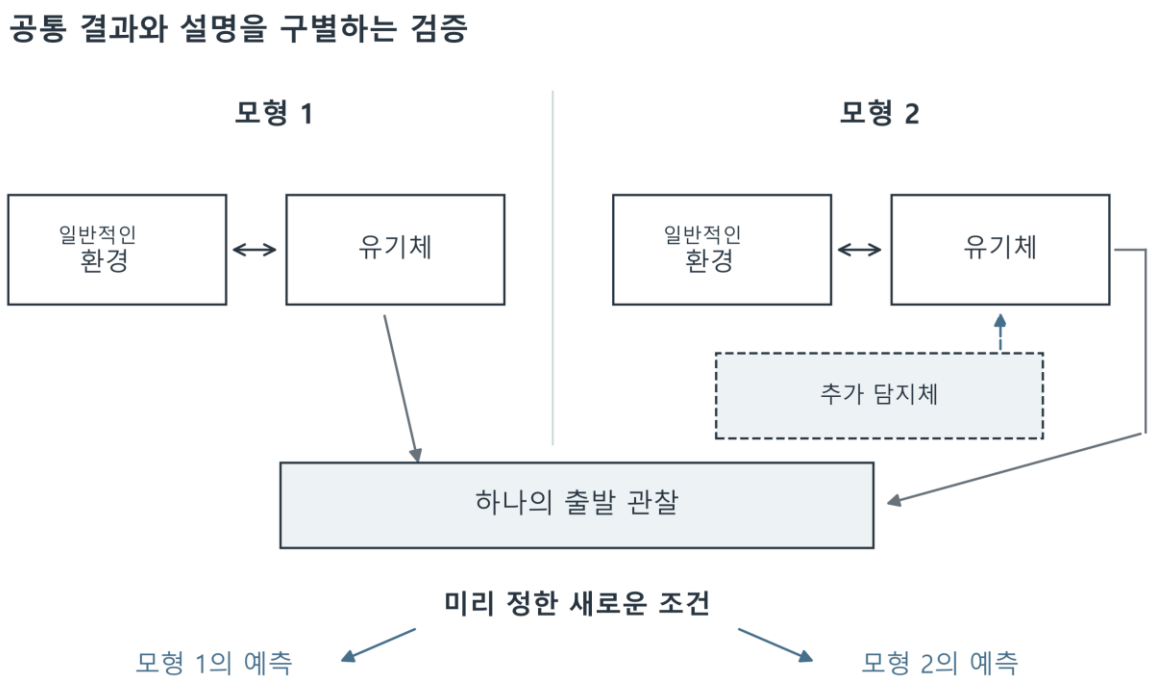


그림 7. 같은 초기 결과가 서로 다른 모형과 양립할 수 있다. 모형들을 구별하는 검증에는 새로운 조건과 사전에 명시한 예상이 필요하다.

논쟁적인 질문에서 이 규칙은 특히 유용하다. 어떤 인간상이 이겨야 하는지 미리 정하지 않게 한다. 연구는 더 넓은 물리 계통을 발견할 수도, 이전에 과소평가한 기전만으로 충분함을 보여 줄 수도 있다. 연구의 과학적 가치는 결과가 처음 기대와 일치했는지가 아니라 불확실성을 얼마나 줄였는지로 정해진다.

따라서 과학적 근거에는 가설에 저항하는 자료도 포함해야 한다. 외부 담지체가 존재한다 해도 경험이 뇌에 미세하게 의존하는 방식을 설명할 모형의 의무가 없어지지는 않는다. 반대로 개별 기능의 신경 설명에 성공했다고 경험의 모든 질문이 자동으로 풀리지는 않는다. 각 접근은 정확히 무엇을 설명했는지 구체화해야 한다.

가설은 제약을 통해 더 강해진다

외부 기여는 경험의 발생에만 필요하고 행동에 쓰는 모든 정보는 전적으로 뇌에서 형성된다고 가정하자. 외부 계통이 기억을 저장해 유기체에 전달한다는 가정과는 다르다.

첫째의 경우에는 가정한 경험 조건 자체에 민감한 지표를 찾아야 한다. 둘째에서는 정보 경로와 기억에 추가 요구가 생긴다.

이 가능성들을 미리 구분하면 자료가 평가를 서로 다르게 바꿀 수 있다. 외부 물리 작용을 발견해도 외부의 생애 이력이 있다는 것까지 보여 주지는 않는다. 계통의 정보 저장 능력을 발견해도 그 정보가 경험된다는 것을 보여 주지는 않는다. 각 전환에는 자체 근거가 필요하다.

기존 과학 연구에도 이런 구체화의 예가 있다. Orch OR 이론은 의식을 미세소관과 객관적 상태 축소에 관한 구체적 가정과 연결한다. 피셔의 가설은 다른 담지체와 과정을 제시한다. 각각 물리적 연결 고리를 명시하기에 구체적으로 논의할 수 있다. 양자 개념을 함께 쓴다고 두 연구가 하나의 이론이 되지는 않는다. [4, 7]

저자의 인터페이스 가설도 고유한 제약을 갖추어야 한다. 아직 설명하지 못한 모든 것의 통칭일 수는 없다. 무엇이 연결되며 왜 연결이 선택적이고 어떻게 개별성이 생기며 같은 관찰의 신경 설명과 어떻게 다른지 밝혀야 한다.

오래된 질문들의 깊이는 그대로 남는다. 달라지는 것은 나아가는 방식이다. 미리 고른 그림의 최종 확인을 찾는 대신 적합하지 않은 기전을 점차 제외하고 비교를 견디는 기전을 강화할 가능성이 생긴다. 다음 부는 이 접근에 이미 구체적인 대상이 있는 영역, 살아 있는 물질의 물리 과정에서 시작한다.

제이부

살아 있는 체계의 물리학

제5장

따뜻한 세계의 양자 과정

살아 있는 세포는 세심하게 격리한 물리 실험 장치와 다르다. 안에서는 분자가 움직이고 반응이 일어나며 에너지가 소비되고 개별 구조를 둘러싼 환경이 달라진다. 언뜻 보면 이런 환경은 섬세한 양자 효과에 적합하지 않은 듯하다. 그러나 질문을 제기하는 방식 자체를 명확히 해야 한다. 특정 상태를 오래 유지하는 일과 짧은 양자 과정을 이용하는 일은 서로 다른 과제다.

분자 반응이 대규모 양자컴퓨터에 필요한 성질을 유지할 필요는 없다. 어느 짧은 단계에서만 특정 의존 관계를 이용하고, 이후에는 통상적인 화학 동역학이 결과를 고정할 수 있다. 따라서 살아 있는 물질의 양자 과정 연구는 과제의 규모를 정하는 데서 시작한다. 정확히 무엇이 일어나야 하고, 어떤 자유도가 관여하며, 얼마의 시간이 필요한가?

모든 양자물리 현상이 양자계산인 것은 아니다

화학 결합, 분자의 흡수 스펙트럼, 물질의 전자 구조에는 양자적 기술이 필요하다. 이런 넓은 의미에서 생물학의 양자적 본성은 이례적인 가설이 아니다. 이례적일 수 있는 것은 다른 주장이다. 특정 기능에는 특별히 유지되는 결맞음이나 얽힘, 또는 스핀 동역학이 중요하며, 이를 적절한 고전적 모형으로 대체하는 것만으로는 충분하지 않다는 주장이다.

이런 정식화가 유기체 전체가 동시에 하나의 제어된 양자 상태에 있어야 한다고 요구하지는 않는다. 규모가 다르면 기술 방식도 다를 수 있다. 한 반응에는 양자 전이 확률이 필요하고, 다음 단계에는 농도 분포만으로 충분할 수 있으며, 유기체의 행동에는 또 다른 기술 수준이 필요하다.

이는 개별 소자에서 작동하는 장치로 나아가는 일과 비슷하다. 소자의 물리학은 중요하지만, 사진의 배율을 키우는 것만으로 장치의 용도에 대한 설명이 생겨나지는

않는다. 국소적인 변화가 이후 과정에 어떻게 영향을 미치는지 보여 주어야 한다. 생물학에서는 화학 반응 생성물, 단백질 형태의 변화, 반응 속도의 변화가 이런 매개 역할을 할 수 있다.

따라서 «양자 효과를 발견했다»는 표현은 기능에 관한 질문을 열어 둔다. 그 효과는 필수적인 연결 고리일 수도, 분자 구조의 부수적 결과일 수도, 특별한 측정 조건에서만 관찰할 수 있는 현상일 수도 있다. 이 가운데 어느 경우인지 가리려면 수준들 사이의 관계를 연구해야 한다.

스핀은 어떻게 화학 반응의 결과를 바꿀 수 있는가

가장 구체적인 사례 가운데 하나가 라디칼 쌍 기제다. 라디칼은 짝짓지 않은 전자를 가진 입자다. 하나의 과정에서 라디칼 쌍이 만들어지면 두 전자의 스핀 상태가 이후 변환에 가능한 경로에 영향을 줄 수 있다. 여기서 스핀은 양자적 성질이며 작은 공이 실제로 도는 것과는 다르다.

단순화한 기술에서는 쌍의 단일항 상태와 삼중항 상태들을 구분한다. 단일항의 총스핀은 영이다. 삼중항은 총스핀이 영이 아닌 세 상태로 이루어진다. 두 전자의 공동 양자 상태가 갖는 성질들이다. 주변 원자핵 및 자기장과의 상호작용은 시간에 따라 이 상태들의 비율을 바꿀 수 있다. 화학 경로들의 스핀 의존성이 다르면 동역학의 변화가 생성물 수율에 반영된다. 이로써 자기 작용이 화학적 결과로 이어질 경로를 얻는다.

클라우스 슐텐, 찰스 스웬버그, 알베르트 벨러는 이미 1978년에 라디칼 쌍의 스핀 동역학 특성과 자기장 방향에 대한 감도를 연결하는 화학적 나침반 기제를 제안했다. 이 연구는 살아 있는 계의 자기 감응에 가능한 기제를 제시한 물리학적 제안이었다. [19]

이 생각의 의미는 설명의 구조에 있다. 외부 장이 이후 반응의 에너지를 전부 공급할 필요는 없다. 장은 경로들의 상대적 확률을 바꾸고 에너지는 앞서 일어난 빛에 의한 들뜸 같은 다른 원천에서 공급될 수 있다. 그러므로 약한 개입의 에너지를 체계 전체의 에너지와 비교하는 것만으로는 민감도에 관한 질문이 언제나 해결되지는 않는다는 점을 이해할 수 있다.

그러나 민감도는 조건 없이 생겨나지 않는다. 반응 시간, 상호작용의 종류, 분자의 공간 구조, 경쟁하는 과정들이 중요하다. 차이가 생성물의 수율을 바꾸기도 전에 사라지면 가정한 메커니즘은 필요한 기능을 수행하지 못한다. 따라서 «양자적»이라는 말 뒤에는 구체적인 화학 반응과 그 속도에 대한 기술이 따라야 한다.

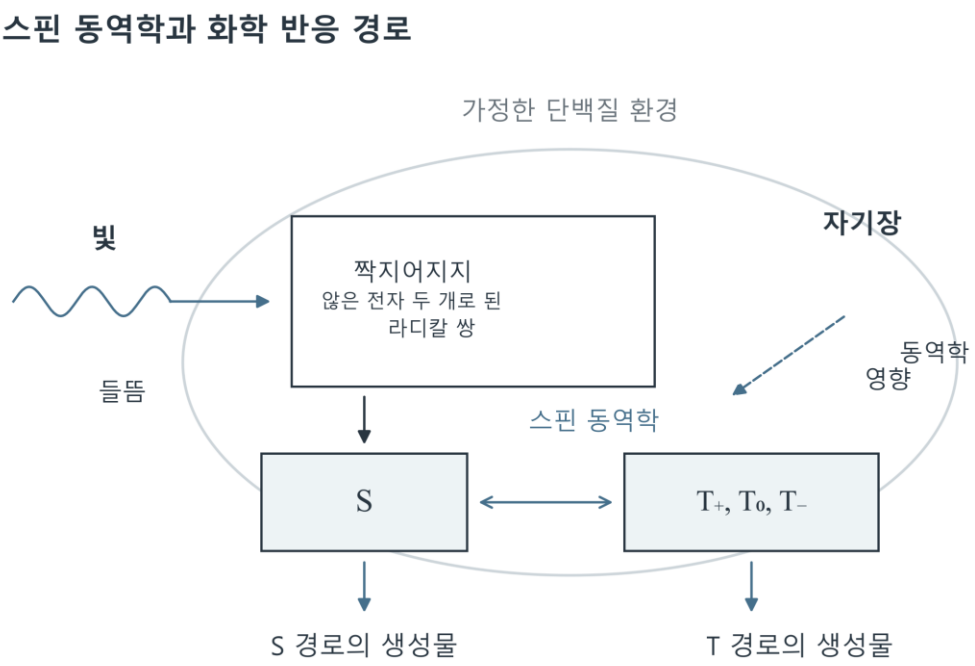


그림 8. 단순화한 라디칼 쌍 기제. 적절한 시간 척도와 상호작용이 주어지면 스핀 동역학의 변화가 화학 반응 경로의 확률을 바꿀 수 있다.

크립토크롬에서 무엇을 측정했는가

Jingjing Xu와 동료들이 2021년에 발표한 연구는 유럽울새의 크립토크롬 4 단백질의 광화학을 다뤘다. 분리한 단백질을 이용한 실험에서 자기장에 대한 민감도가 발견되었으며, 이는 비교한 다른 새 종들의 단백질이 보인 민감도와 달랐다. 단백질의 개별 부위를 바꾸어 연속적인 라디칼쌍의 역할을 연구할 수 있었다. 이 결과는 특정 분자 메커니즘에 대한 연구를 뒷받침한다. 유기체 전체 밖에서 이루어진 측정에 관한 것이며, 새가 방향을 어떻게 경험하는지 직접 기록한 것은 아니다. [9]

이 사례에서는 질문의 성격이 특히 중요하다. 연구자들은 물질을 분리하고 개입을 선택한 뒤 광화학이 조건에 어떻게 의존하는지 측정했다. 그 덕분에 가정한 메커니즘을 결과에 대한 다른 물리적 설명과 비교할 수 있다.

의식 이론에서 이런 실험은 구체성이 어떤 것인지 보여 준다. 뇌에 특별한 담지체가 있다고 가정한다면 복잡한 행동과 독립적으로 먼저 연구할 수 있는지 묻는 것이 유용하다. 어떤 물리량이 변하는가? 어떤 개입이 선택적으로 작용하는가? 어떤 화학적 설명들이 여전히 가능한가? 이 질문들은 주관적 경험을 논의하기 전부터 물리적 연결 고리를 강화하도록 돕는다.

그러나 분리해서 연구하는 데에는 대가가 따른다. 구조를 분리하면 연구자는 그 주변 환경을 바꾼다. 따라서 실험실에서 특정 성질을 확인하는 일과 그 성질의 자연적 기능을 확인하는 일은 서로 다른 단계다. 첫 단계는 둘째 단계를 그럴듯하고 검증 가능하게 만들 수 있지만 대신하지는 못한다.

환경은 방해하면서 동시에 돕기도 한다

주변 환경을 흔히 파괴의 원천으로만 생각한다. 일부 양자 과제에서는 유용한 첫 근사다. 환경과 상호작용하면 접근 가능한 위상 관계를 잃기 때문이다. 그러나 생물학적 메커니즘은 환경에서 완전히 분리될 수 없다. 에너지와 물질을 받아들이고 이웃 구조들과 상호작용하며 결과를 다음 단계로 전달해야 한다.

따라서 살아 있는 체계에서 물어야 할 것은 연결의 성격이다. 일부 상호작용은 기능에 필요한 차이를 없앤다. 다른 상호작용은 반응의 조건을 만들거나 그 결과를 고정한다. 똑같은 환경 변화가 한 단계에서는 이롭고 다른 단계에서는 해로울 수 있다. 여기서는 «잡음»이라는 말에서 보편적 결론이 나오지 않는다.

가상의 분자 기계는 이런 양면성을 잘 보여 준다. 외부 세계에 전혀 민감하지 않게 만들면 신호를 기록할 가능성이 사라진다. 모든 것에 민감하게 만들면 유용한 차이가 무작위 변화들 사이에서 사라질 수 있다. 작동하는 구조에는 선택성이 필요하며, 이는 상태들의 에너지와 기하학적 구조, 상호작용 방식에 의해 정해진다.

이 추론이 필요한 선택성이 뇌에 구현되어 있다고 보장하지는 않는다. 어떤 종류의 구조가 검증할 가치가 있을지 설명할 뿐이다. 막연히 «모든 잡음으로부터» 보호한다고 말하는 대신 어떤 교란이 중요하고, 왜 일부 자유도가 다른 자유도보다 그 교란에 덜 민감할 수 있는지 정해야 한다.

비평형 상태 역시 완성된 답은 아니다. 에너지가 계속 유입되면 특정 과정을 유지할 수 있지만, 그것만으로 필요한 결맞음이 보존된다고 입증되지는 않는다. 에너지가 어디로 들어가고, 어떤 방식으로 상태가 복원되며, 복원 과정이 추가적인 불확실성을 도입하는지 밝혀야 한다.

시료를 냉각했더니 관찰 효과가 커졌다고 가정하자. 이는 일부 교란의 감소와 양립하지만 온도는 동시에 화학 반응의 속도와 주변 환경의 성질도 바꾼다. 따라서 온도에 따른 비교 하나로 필요한 메커니즘이 분리되지는 않는다. 설명에는 모형에서 미리 예상한 의존 관계들의 조합이 중요하다.

물질의 조성을 바꿀 때도 비슷한 어려움이 생긴다. 동위원소를 바꾸면 스핀 성질뿐 아니라 체계의 다른 특성도 바뀔 수 있다. 단백질의 변화는 가정한 들뜸 전달 경로와 구조의 통상적인 안정성 모두에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 개입의 정밀도는 선택한 방법의 이름이 아니라 물리적 결과로 정해진다.

그래서 특이한 신호를 찾기만 하는 것보다 연구가 느려지지만 설명들을 구별할 수 있다. 강한 논거가 되는 것은 서로 부합하는 양상이다. 특정 개입이 특정 매개변수를 바꾸고, 그 변화가 동역학의 예상한 부분에 나타나며, 비교 가능한 대조 조건에서는 같은 결과가 나오지 않는 것이다. 이 양상도 수정될 수 있지만, 가설을 체계의 구조와 연결하는 힘은 단 한 번의 일치보다 훨씬 강하다.

분자 수준의 효과에서 기능으로

분자 수준의 효과가 존재하고 재현된다고 하자. 다음 과제는 유기체가 그 결과에 접근할 수 있는지 밝히는 것이다. 이를 위해서는 반응의 작은 차이가 더 안정적인 변화로 이어지는 경로가 필요하다. 그런 경로가 없으면 효과는 물리학적으로 흥미로우면서도 생물학적으로 중요하지 않을 수 있다.

머릿속으로 연결 고리를 따라가 볼 수 있다. 반응 확률이 달라지고, 생성물의 양이 바뀌고, 민감한 구조의 상태가 달라진 뒤 세포 반응에 차이가 생긴다. 단계마다 고유한 불확실성이 나타난다. 작은 효과는 증폭되거나 평균화되거나 병렬 과정들 사이에서 사라질 수 있다.

증폭이란 무에서 정보가 생겨난다는 뜻이 아니다. 체계의 에너지를 써서 작은 차이를 이후에 이용하기 편하게 만들 수 있다. 그러나 유용한 개입과 함께 무관한 교란도 증폭될 수 있다. 따라서 최종 반응의 크기뿐 아니라 특이성도 중요하다. 그 반응은 모형이 제안된 이유인 바로 그 성질에 의존하는가?

의식의 경우 연결 고리는 더 길어진다. 물리적 단계와 세포 단계 뒤에는 그 과정이 경험의 상태나 내용과 어떤 관계인지 밝혀야 한다. 예를 들어 운동에 대한 영향은 경험에 대한 영향과 같지 않다. 기억에 대한 영향은 사건 당시의 경험 자체를 반드시 바꾸지 않으면서도 과거에 관한 이야기를 바꿀 수 있다.

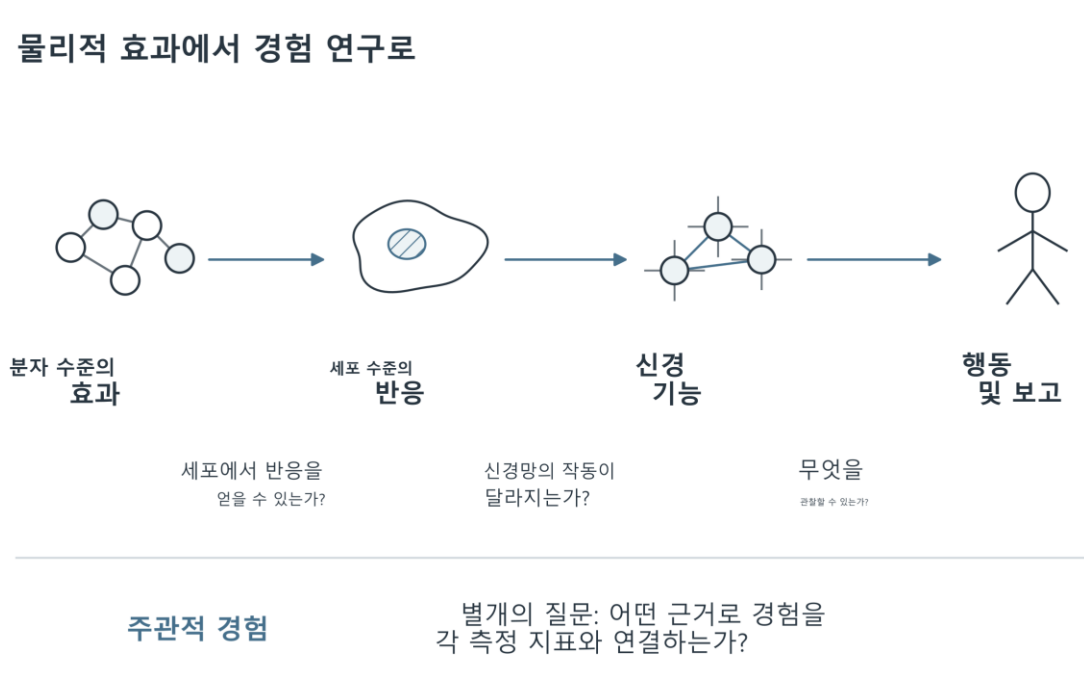


그림 9. 가능한 기제를 검증하는 수준들. 분자 수준 효과의 존재, 그 효과의 세포 기능, 체험과의 관계에는 각각 별도의 근거가 필요하다.

이러한 구분 덕분에 부분적인 성공도 가능하다. 연구는 의식과의 특별한 연결을 확인하지 못하더라도 새로운 세포 기제를 밝혀낼 수 있다. 그것 역시 살아 있는 물질에 관한 연구 성과로 남는다. 주관성의 기원을 처음부터 완전히 설명하라고 요구하면 오히려 그 성과의 의미를 놓치기 쉽다.

실제로 어떤 양자 자원이 필요한가

기제마다 요구하는 조건이 다르다. 어떤 기제에는 특정 기저에서의 위상이 중요하다. 다른 기제에는 반응의 스핀 의존성이 중요하고, 또 다른 기제에는 부분계 사이의 특정 상관관계가 중요하다. 한 성질의 보존 시간에 관한 요구를 살아 있는 체계의 다른 모든 양자 기제에 그대로 적용해서는 안 된다.

짧은 양자 단계가 오래가는 고전적 흔적을 남길 수 있다. 이 경우 결과의 보존에는 이후 행동이 이어지는 내내 원래 양자 상태를 유지할 필요가 없다. 반대로 모형이 양자정보 자체의 장기 저장을 가정한다면 처음의 짧은 효과만으로는 충분하지 않다.

이 구분은 극단을 피하면서 의식 모형을 평가하게 해 준다. 어떤 분자 수준의 양자 효과를 입증해도, 선택한 중첩 하나가 빠르게 무너진다고 추정해도, 가능한 모든 구성에

대한 답을 한꺼번에 얻을 수는 없다. 해당 구성에는 정확히 어떤 연산이 필요하고 어느 단계에서 수행되는지 밝혀야 한다.

유용한 과정이 국소적인 사건들의 연속으로 이루어지며 각각의 사건은 새로 생겨난다고 가정할 수도 있다. 그러면 기능의 안정성은 한 상태의 영원한 보존이 아니라 과정의 재현성에 달려 있다. 그러나 저자의 모형이 이런 사건들을 하나의 주체로 통합하도록 요구한다면 그 통합을 추가로 기술해야 한다. 분자 반응의 반복 자체로 주관적 통일성의 분명한 기준이 생기지는 않는다.

양자생물학은 인터페이스 가설에 무엇을 제공하는가

양자생물학은 언뜻 특이해 보이는 메커니즘을 물질, 반응, 측정에 관한 질문으로 바꾸는 방법을 보여 준다. 또한 서로 다른 규모 사이로 넘어갈 때 신중해야 함을 가르쳐 준다. 분자의 성질, 세포의 기능, 동물의 행동, 경험은 서로 대신할 수 있는 결과가 아니다.

이 책에서 발전시키는 가설의 인터페이스는 바로 이처럼 물리적으로 구체적이어야 한다. 무엇을 받아들이고, 무엇을 변환하며, 무엇을 다음으로 전달하는지 알아야 한다. 스핀 상태나 전자 상태를 담지체로 삼는다면, 현상 유형의 이름을 붙이는 데 그치지 말고 실제 조건에서 그 상태를 연구해야 한다.

그러면 수신기라는 비유에도 더 구체적인 내용이 생긴다. 가능한 메커니즘은 완성된 의식의 흐름을 받아들이기보다 특정 유기체 상태를 더 넓은 물리적 체계와 선택적으로 연결할 수 있다. 그러나 이 연결이 쓸모 있으려면 속도와 안정성, 구별 가능한 결과를 만들어 낼 능력이 뒷받침되어야 한다.

따라서 다음 질문은 시간에 관한 것이다. 필요한 상태들이 물리적으로 가능하더라도 가정한 작용이 일어날 만큼 오래 중요한 성질을 유지해야 한다. 이 조건을 평가하려면 흔히 «결어긋남»이라는 한 말로 묶는 여러 과정을 구분해야 한다.

제6장

연결은 얼마나 오래 유지되는가

가정한 양자 인터페이스의 작동에 관여할 수 있는 상태를 찾았다고 하자. 다음 질문은 간단해 보인다. 얼마나 오래 유지되는가? 그러나 하나의 시간 뒤에 서로 다른 과정이 숨어 있을 수 있다. 체계는 에너지를 유지하면서 위상 관계를 잃을 수 있다. 일부 상관관계는 보존하면서도 필요한 연산은 더 이상 수행하지 못할 수 있다. 각 개별계의 상태가 빠르게 달라지면서도 평균 신호는 안정적일 수 있다.

따라서 시간에 관한 논의는 무엇이 보존되어야 하는지 정하는 데서 시작한다. 기억, 들뜸의 전달, 반응에는 서로 다른 성질이 필요하다. 상태, 주변 환경, 과제를 명시하지 않은 수치로는 메커니즘의 적합성을 평가할 수 없다.

에너지 손실과 위상 손실은 다르게 일어난다

에너지 준위가 두 개인 단순한 체계를 생각해 보자. 이 체계는 환경과 에너지를 주고받으면서 각 준위의 점유도, 곧 각 준위에서 발견될 확률의 평형 분포에 가까워질 수 있다. 이러한 과정의 특성 시간을 흔히 T_1으로 쓴다. 다른 물리량인 T_2는 준위 사이의 특정 위상 관계가 감쇠하는 과정을 기술한다. 구체적인 이준위 모형에서 이 과정들은 연결되지만 동일하지는 않다.

상태를 기술할 때는 밀도행렬 ρ를 쓰면 편리하다. 측정 결과의 확률을 계산할 수 있는 물리량의 표다. 주대각선 밖에 있는 원소 ρ_{01}은 선택한 준위들 사이의 결맞음을 기술한다. 지수함수 근사에서 그 절댓값은 다음과 같이 변할 수 있다:

$$|\rho_{01}(t)| = |\rho_{01}(0)| e^{-t/T_2}.$$

첨자 0과 1은 선택한 준위들을 가리키며 t는 시간이다. 식은 이 기저에서 특정 결맞음이 얼마나 빠르게 줄어드는지 보여 준다. 명시한 근사의 범위에서 적용되며 인간 사고의 지속 시간을 측정하지는 않는다.

이제 단순한 마르코프 모형을 보자. 환경의 이력을 별도로 고려하지 않고 체계의 현재 상태로 이후 변화를 정하는 모형이다. 에너지 이완과 독립적인 순수 탈위상이 함께 일어나면 다음 관계가 성립한다:

$$\frac{1}{T_2} = \frac{1}{2T_1} + \frac{1}{T_\varphi}.$$

시간 Tφ는 준위의 점유도 변화가 필요하지 않은 순수 위상 이완을 나타낸다. 이 관계식은 선택한 모형에서 얻은 것이므로, 결맞음을 기술하는 다른 방식에 저절로 적용할 수는 없다. 마르코프 열린 양자 동역학의 일반적인 수학 언어는 Göran Lindblad의 연구 등에서 정식화되었다. [18]

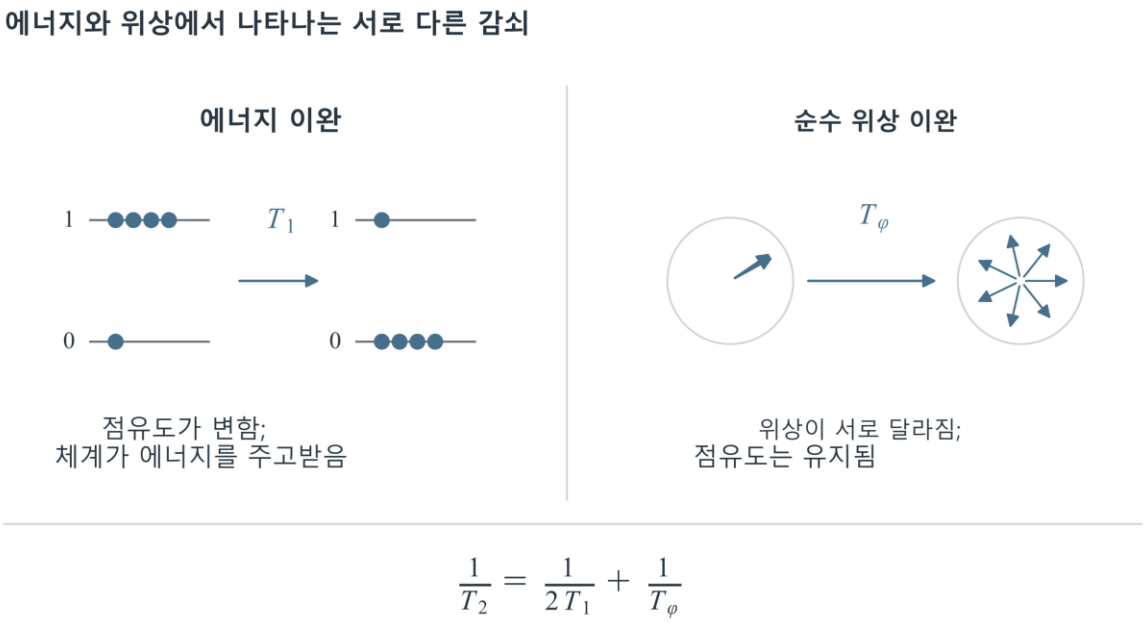


그림 10. 단순한 이준위 모형의 서로 다른 과정. T_1은 에너지 이완을, T_2는 선택한 결맞음의 감쇠를 기술한다. 순수 위상 이완은 점유도의 재분배 없이도 일어날 수 있다.

이 구분만으로도 한 가지 오류를 예방할 수 있다. 스핀 편극이나 에너지가 오래 유지된다고 해서 모든 위상 관계도 그만큼 오래 유지되는 것은 아니다. 반대로 신호 하나가 빠르게 감쇠한다고 관찰했더라도 체계의 가능한 모든 정보적 성질의 유지 시간을 알아낸 것은 아니다.

결어긋남은 체계에 어떤 질문을 던지는지에 달려 있다

결맞음은 선택한 상태 분해 방식에 대해 정의된다. 두 공간적 위치의 중첩을 논의한다면 그 위치들을 구별할 수 있는 상호작용이 중요하다. 특정 스핀 상태를

다룬다면 다른 연결이 중요해진다. 똑같은 물질도 자유도마다 보호하는 방식이 다를 수 있다.

따라서 뇌에 단 하나의 «양자성 유지 시간»을 미리 부여할 수는 없다. 체계, 기저, 상태, 측정할 물리량을 명시해야 한다. 그런 뒤에도 결과는 온도, 주변 환경의 조성, 교란의 진동수, 거리, 상태 준비 방식에 달려 있다. 이 의존 관계는 메커니즘의 물리학을 이루는 일부다.

개별계와 앙상블의 구분도 중요하다. 서로 비슷한 많은 개별계의 진동수가 조금씩 다를 수 있다. 그러면 각 개별계 사이에서 위상이 벌어지면서 평균 신호가 감쇠한다. 이 감쇠의 일부는 각 계가 정보를 비가역적으로 잃는 것과 관계없을 수 있다. 적절한 조건에서는 특수한 개입의 연속을 이용해 일부 기여를 분리할 수 있다.

바로 이 때문에 그래프에 적힌 «시간»에는 설명이 필요하다. 스펙트럼 선폭으로 정했는가, 들뜸 이후의 반응 감쇠로 정했는가, 아니면 위상을 복원하는 특별한 절차로 정했는가? 동일한 상태들을 비교하는가? 이를 명확히 하지 않으면 비슷한 표기가 서로 다른 물리량을 가릴 수 있다.

따라서 이 책에서는 수치로 제시되는 기대를 신중하게 읽어야 한다. 상태가 오래 유지된다는 주장에는 그 상태를 어떻게 준비했고 무엇을 관찰했으며 어떤 과정이 이용 가능 시간을 제한하는지에 대한 기술이 있어야 비로소 내용이 생긴다.

마르코프 근사는 계산을 단순화할 때가 많지만, 적용할 수 있다는 근거를 제시해야 한다. 모든 환경이 지닌 보편적 성질을 표현하는 것은 아니다. 체계의 현재 상태만 알면 충분한지는 선택한 과제에서 어떤 상호작용과 시간 척도가 중요한지에 달려 있다.

주변 환경이 상호작용에 대한 중요한 기억을 보존하면 일부 정보가 나중에 다시 체계에 영향을 미칠 수 있다. 그러면 감쇠를 단일 지수함수로 기술할 수 있으리라는 보장이 없다. 더 복잡한 시간 의존성이 가능하며 수치 하나인 T_2는 전체 양상의 일부만 나타낼 수 있다. 이런 동역학을 설명하려면 더 완전한 모형이 필요하다. 하나의 특성 시간을 다른 시간으로 바꾸는 것만으로는 충분하지 않을 수 있다.

그러나 환경의 기억은 인격의 기억과 같지 않다. 물리적 기술에서는 현재 변화가 앞선 상호작용에 의존한다는 뜻이다. 누구도 생애나 경험을 부여하지 않는 체계에도 이런 의존 관계가 있을 수 있다. 따라서 여기서도 «기억»이라는 말을 어떤 차이가 보존되고 어떻게 드러나는지와 연결해야 한다.

외부 담지체 가설에는 특히 유용한 구분이다. 환경이 사건의 물리적 흔적을 유지해도 그 내용에 관해 유기체가 접근할 수 있는 기록을 보존하는 것은 아닐 수 있다. 일부 상관관계가 돌아와 반응을 바꾸더라도 이전 경험이 복원되는 것은 아닐 수 있다. 이런 효과와 주관적 이력의 지속 사이에는 여전히 설명해야 할 별도의 연결 고리들이 남는다. 열린계를 다루면 미리 답을 정하지 않은 채 이 질문들을 정밀하게 제기할 수 있다.

온도만으로 상호작용 계산을 대신할 수는 없다

따뜻한 환경에서는 많은 자유도가 활발하게 들떠 있다. 이 때문에 특정 교란이 커질 수 있다. 그러나 온도 자체로 결어긋남의 속도가 정해지지는 않는다. 선택한 상태가 이 교란들과 얼마나 강하게 결합하며 환경의 어떤 진동수가 그 상태에 중요한지가 핵심이다.

전이 에너지를 열적 에너지 척도와 비교하는 것은 점유도와 평형을 논할 때 유용하다. 그러나 그 비교가 모든 비평형 체계에서 위상 관계가 유지되는 시간의 문제를 자동으로 해결하지는 않는다. 상태가 시간에 따라 어떻게 변하는지 기술해야 한다. 체계는 열적 들뜸이 약해도 필요한 성질을 빠르게 잃을 수 있고, 상호작용의 특성 덕분에 일부 성질을 더 오래 유지할 수도 있다.

그렇다고 생물학적 환경에 보호 장치가 이미 갖추어져 있다는 결론이 나오지는 않는다. 보호 기제를 명시하고 그것이 기능과 양립하는지 확인해야 한다. 어떤 자유도가 환경과 거의 상호작용하지 않는다면, 그것을 훼손하기 어려운 만큼 신호 전달에 이용하기도 어렵다.

익숙한 절충 관계가 나타난다. 담지체는 차이를 충분히 잘 유지하면서 동시에 그 차이를 다른 과정과 충분히 빨리 연결해야 한다. 인터페이스 가설에는 특히 중요한 절충이다. 외부 기여와의 연결을 강화하려면 똑같은 물리적 경로로 어떤 추가 교란이 들어오는지 평가해야 한다.

뇌의 결어긋남에 관한 논쟁이 보여 주는 것

Max Tegmark는 자신이 다룬 뇌 과정 모형들에서 결어긋남 시간이 매우 짧다고 추정하고 이를 더 느린 신경 동역학과 비교했다. 그의 결론은 뇌에서 이루어지는 특정 방식의 양자계산에 반대하는 논거였다. 선택한 상태와 상호작용에 의존하는 이론적 계산이다. [5]

Scott Hagan, Stuart Hameroff, Jacek Tuszynski는 자신들이 제안한 미세소관 상태에 이 계산을 적용할 때의 여러 전제에 이의를 제기하고, 더 긴 유지 시간 추정치를 얻었다. 추가적인 보호가 가능할 조건도 논의했다. 이 연구는 이론적 반론이지, 의식 있는 뇌의 결맞음 시간을 직접 측정한 결과는 아니다. [6]

이 논쟁의 과학적 의미는 더 마음에 드는 수치를 고르는 데 그치지 않는다. 서로 다른 계산을 비교 가능한 물리적 조건으로 맞추어야 한다. 평가하는 중첩, 대안 사이의 거리, 환경과의 결합이 다르다면 시간의 차이는 모형의 차이를 반영할 수 있다. 그 차이 자체가 산술의 모순인 것은 아니다.

다음 단계에서는 바로 이 전제들의 불확실성을 줄여야 한다. 실제로 어떤 상태가 가능한가? 그 주변 환경의 성질은 무엇인가? 가정한 보호가 살아 있는 조직에서 얼마나 유지되는가? 선택한 상태를 측정 가능한 반응과 어떻게 연결할 것인가? 이런 작업이 없으면 논쟁은 서로 양립하지 않는 추정치를 주고받는 상태로 오래 남을 수 있다.

저자의 가설에도 유용한 교훈이다. 문헌에서 가장 긴 시간 추정치를 골라 필요한 담지체의 수명이라고 선언할 수는 없다. 그 값은 특정 모형과 특정 조건에 관한 것이다. 다른 구조에 적용하려면 근거를 새로 제시해야 한다.

유지 시간은 작용 시간과 함께 보아야 의미가 있다

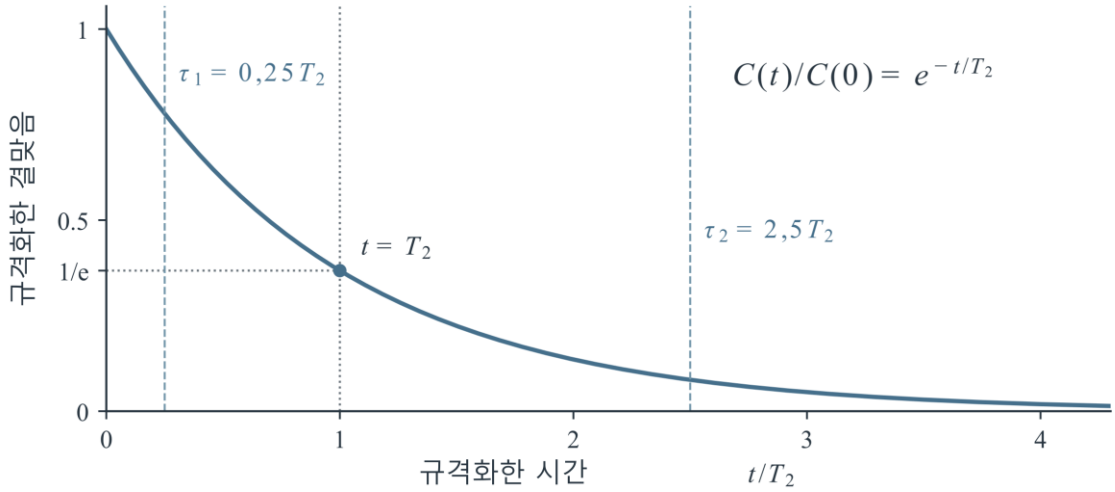
한 분자 반응의 기준으로는 결맞음이 충분히 오래 유지된다고 하자. 느린 연산에는 같은 시간이 전혀 부족할 수 있다. 따라서 절대적인 시간뿐 아니라 성질의 유지 시간을 가정한 이용 시간과 비교한 비율이 중요하다.

필요한 작용의 시간을 τ라 하자. 그 작용이 지속되는 내내 선택한 결맞음의 유지를 요구한다면 T_2를 τ와 비교해 평가해야 한다. 이는 시작 조건일 뿐이다. 시간의 비율이 유리하더라도 연산의 정확도, 필요한 연결의 존재, 체계가 결과를 추출할 능력까지 보장되지는 않는다.

값의 규모는 조건부 예제를 통해 살펴보면 이해하기 쉽다. 마이크로초 (μs)는 백만분의 일 초다. 작용에 1 μs가 걸린다고 하자. T_2 = 10 μs일 때에는 작용이 끝날 때 처음 ρ_{01} 크기의 약 90,5%가 남는다. T_2 = 0,1 μs일 때에는 약 0,0045%가 남는다. 이는 특정한 매개변수를 선택한 위의 지수 모형에서 얻은 값이며, 뇌에서 측정한 값이 아니다. 여기서 관심을 두는 것은 시간의 비율이다. 같은 작용 시간도 감쇠 시간과 비교하면 짧을 수도 있고 길 수도 있다.

반대의 경우도 효과가 쓸모없다는 뜻은 아니다. 짧은 과정이 반응 확률을 바꾸고 이후에는 다른 더 안정적인 방식으로 결과를 유지할 수 있다. 그러면 결맞음 시간을 행동 전체의 지속 시간과 비교하는 것은 잘못이다. 양자적 성질을 실제로 이용하는 단계의 시간과 비교해야 한다.

작용 시간과 감쇠 시간



가정한 두 작용 시간. 곡선은 계산값이며 실험 측정점은 없다.

그림 11. 설명을 위한 지수 감쇠 모형. 연산에 걸리는 시간을 필요한 결맞음의 감쇠와 비교한다. T_2는 특성 시간이며, 성질이 순간적으로 사라지는 시점이 아니다.

뇌 모형을 세울 때 이는 여러 가능성을 연다. 양자 과정은 국소적인 첫 연결 고리일 수도, 반복되는 변환일 수도, 오래가는 정보 담지체일 수도 있다. 각 경우에 필요한 시간 조건은 다르다. 따라서 시간이 너무 짧다거나 충분히 길다는 주장은 구성을 선택한 뒤에야 평가해야 한다.

그러나 실패한 계산을 구제하려는 목적으로만 구성을 만들어서는 안 된다. 긴 기억을 짧은 사건들의 연쇄로 바꾼다면 그 사이에 정보가 어떻게 전달되고 왜 기능이 유지되는지 새로 기술해야 한다. «끊임없는 갱신»이라는 이름이 그 작업을 대신하지는 못한다.

상태 보존과 기능의 안정성을 어떻게 구분할 것인가

유기체의 통상적인 기능은 분자 수준의 참여 요소들이 끊임없이 바뀌어도 안정적일 수 있다. 모형 수준에서 이는 과정의 조직이 유지된다는 뜻이며 모든 물리적 요소가

반드시 보존된다는 뜻은 아니다. 마찬가지로 가능한 양자 메커니즘도 하나의 변하지 않는 양자 대상을 유지하지 않으면서 여러 번 재현될 수 있다.

그러나 기능의 안정성만으로 그 안에서 양자 결맞음이 끊임없이 보존된다고 자동으로 결론 내릴 수는 없다. 기능은 여러 단계를 거치며 수행되고 단계 사이에는 이미 고전적인 결과가 전달될 수 있다. 이런 경우들을 구별하려면 필요한 단계에서 가정한 양자 자원에 민감한 측정이 필요하다.

주체의 안정성이라는 또 다른 수준도 있다. 특정 기능이 오류 없이 재현되더라도 그 연속적인 실현들이 왜 하나의 경험하는 존재에 속하는지라는 질문은 남는다. 물리적 결맞음 시간은 개인적 연속성의 기준을 대신할 수 없다. 그렇지 않으면 선택한 분자 과정의 지속 시간을 증명 없이 «나»의 존재 시간으로 바꾸게 된다.

이 수준들을 구분하면 잘못된 양자택일을 피할 수 있다. 안정적인 행동이 존재하려면 모든 요소가 변하지 않아야 하는 것은 아니다. 그러나 의식의 통일성을 특정 양자 상태와 직접 연결하는 모형에서는 바로 그 상태의 붕괴가 중요한 사건이 된다. 단순히 중요하지 않다고 선언할 수는 없다.

유지 시간을 통해 가설을 검증할 수 있을 때

유용한 연구는 시간을 기능 및 구체적인 조건과 연결해야 한다. 어떤 효과에 특정 상태가 필요하다고 주장한다면 모형은 상태의 상실이 그 효과를 바꾸는 범위를 미리 정해야 한다. 그러면 측정이 가설을 제한할 수 있게 된다.

이를 위해 처음부터 의식 있는 유기체 전체로 시작할 필요는 없다. 원인을 구분하기 쉬운 더 단순한 체계에서 물리적 연결 고리를 연구할 수 있다. 그다음에는 세포 환경과 조직으로 넘어가도 필요한 조건이 유지되는지 검증해야 한다. 단계마다 현실성이 커지면서 동시에 경쟁하는 과정도 늘어난다.

초기 단계의 실패도 매우 의미 있을 수 있다. 가정한 생물학적 조건보다 유리한 조건에서도 담지체가 필요한 성질을 유지하지 못하면, 선택한 구현을 뒷받침할 근거가 약해진다. 그 성질을 발견했다면 다음 단계를 연구할 이유는 생기지만, 주관성에 대한 완성된 설명을 얻은 것은 아니다.

시간은 인과적 기술의 일부가 된다. 체계가 시간 안에 무엇을 수행하고 어떤 차이를 보존할 수 있는지 정하기 때문이다. 이제 물리적 담지체의 후보 가운데 하나인 미세소관을 살펴보고, 광학적 성질의 측정으로 어떤 결론까지 내릴 수 있는지 검토하자.

제7장

빛을 받는 미세소관

광학 실험실에서는 살아 있는 뇌 안에서는 결코 일어나지 않는 방식으로 단백질 용액에 빛을 비출 수 있다. 그렇다고 실험이 무의미해지지는 않는다. 들뜸을 제어하면 물질에 구체적인 물리적 질문을 할 수 있다. 흡수된 에너지는 어디로 가고 얼마나 빠르게 흩어지며, 결과는 분자 배열에 의존하는가? 답은 물질이 무엇을 할 수 있는지 알려 준다. 유기체에서의 역할을 알려면 그다음에는 유기체가 그 가능성을 이용하는지 밝혀야 한다.

미세소관의 광학적 성질에 관한 연구는 바로 이 경계에 있다. 질서 있는 단백질 구조와 빛을 흡수하고 방출할 수 있는 분자 상태를 연결하므로 양자생물학에서 흥미롭다. 의식을 다루는 이 책에는 물리적 구조, 그 상태들, 측정 가능한 전이라는 구체적인 연구 대상이 생긴다. 이제 «뇌의 양자 과정»이라는 표현을 구체적인 담지체에 관한 질문들로 바꿀 수 있다.

단백질 구조

미세소관은 튜불린이라는 단백질 단위가 반복되어 이루어진다. 세포생물학에서는 세포 내부 조직의 일부로서 수송, 역학적 성질 등과 연결된다. 광학에서는 같은 구조를 분자 군이 질서 있게 배치된 것으로 본다. 서로 다른 기술은 같은 대상을 다루지만 서로 다른 성질에 주목한다. 따라서 흥미로운 광화학적 현상을 발견했다고 알려진 세포 기능이 부정되는 것은 아니며, 그것만으로 새로운 기능이 입증되는 것도 아니다. [10]

특히 주목받는 것은 트립토판이다. 그 전자 상태는 자외선을 흡수하고 이후에 빛을 방출할 수 있다. 단백질에서 이런 분자단의 성질은 주변 환경에 달려 있다. 이웃 분자단, 용매, 기하학적 구조, 가능한 에너지 손실 경로가 이에 해당한다. 단백질 단위들이 더 큰 구조로 모일 때 바뀌는 것은 수만이 아니다. 분자단 사이의 거리와 방향이 달라지고 그에 따라 가능한 상호작용도 달라진다. [10, 11]

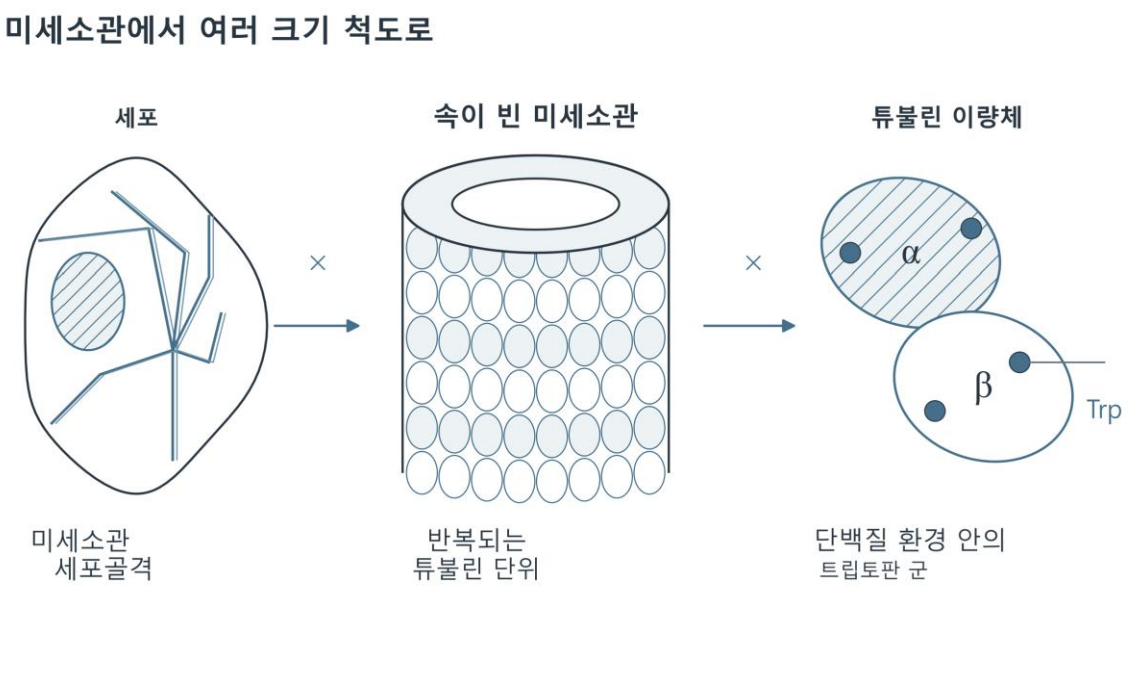


그림 12. 미세소관의 구성 수준을 개략적으로 나타냈다. 세포골격, 속이 빈 중합체, α/β-튜불린 이량체다. 트립토판 군과 주변 환경은 광학적 성질에 관여한다. 부분마다 축척이 다르며 단백질의 모양과 Trp 표시는 예시용이다. [10, 11]

두 질문을 머릿속에서 나누어 보면 유용하다. 첫째, 들뜸이 구조의 한 영역에서 다른 영역으로 전달될 수 있는가? 둘째, 여러 영역이 집단 상태를 이루어 독립적인 요소들의 합과 다르게 빛과 상호작용하는가? 답들은 연결될 수 있지만 서로 다른 물리적 성질에 관한 것이다. 에너지 전달은 임의의 양자정보를 오래 저장하는 것과 같지 않으며, 집단 방출은 주체의 존재와 같지 않다.

에너지 전달 연구는 의식과의 연결이 확립되지 않아도 독자적인 가치가 있다. 단백질 구조의 기하학이 들뜸의 경로를 제어한다면 세포의 구조는 에너지 처리를 위한 물리적 구성의 일부가 된다. 다음 질문은 유기체에 필요한 들뜸의 원천이 있는지, 그리고 그 들뜸이 시간 안에 다른 과정에 영향을 줄 수 있는지에 관한 것이다. 이 순서로 나아갈 때 미세소관에 대한 관심에 측정 가능한 내용이 생긴다.

눈에 보이지 않는 전달을 어떻게 추적할 것인가

Aarat Kalra와 동료들은 트립토판의 자가형광 시간과 들뜸을 소광하는 분자의 영향을 연구했다. 발광의 변화로부터 튜불린과 미세소관에서 전자 에너지가 전달되는 양상을

추정했다. 연구한 조건에서 미세소관의 들뜸 확산 특성 길이는 약 6,6 나노미터였다. 에토미데이트와 이소플루란은 이 전달을 줄였다. 연구자들은 자신들이 사용한 통상적인 Förster 전달 기술이 관찰 결과를 완전히 재현하지는 못했다고도 보고했다. [10]

여기서 개별 들뜸 하나하나의 경로를 측정하는 것은 아니다. 광학 신호를 기록한 뒤 모형을 이용해 전달에 관한 결론을 내린다. 물리학에서는 흔한 과정이다. 장치가 물리량을 보여 주면 연구자는 그로부터 과정의 성질을 복원한다. 결론의 신뢰성은 교정, 대안에 대한 대조, 관찰 신호가 찾으려는 메커니즘을 얼마나 유일하게 정하는지에 달려 있다.

사고 실험을 하면 소광의 의미를 이해하기 쉽다. 구조에 들뜸을 잃을 추가 가능성을 도입한다. 들뜸이 생겨난 곳 주변에 머문다면 한 결과가 나올 것이다. 더 넓은 영역에 이를 수 있다면 소광제를 만날 확률이 달라진다. 소광제의 양에 따른 의존성을 이용해 에너지의 이동성을 추정할 수 있지만, 그러려면 발광이 달라지는 다른 원인도 고려해야 한다.

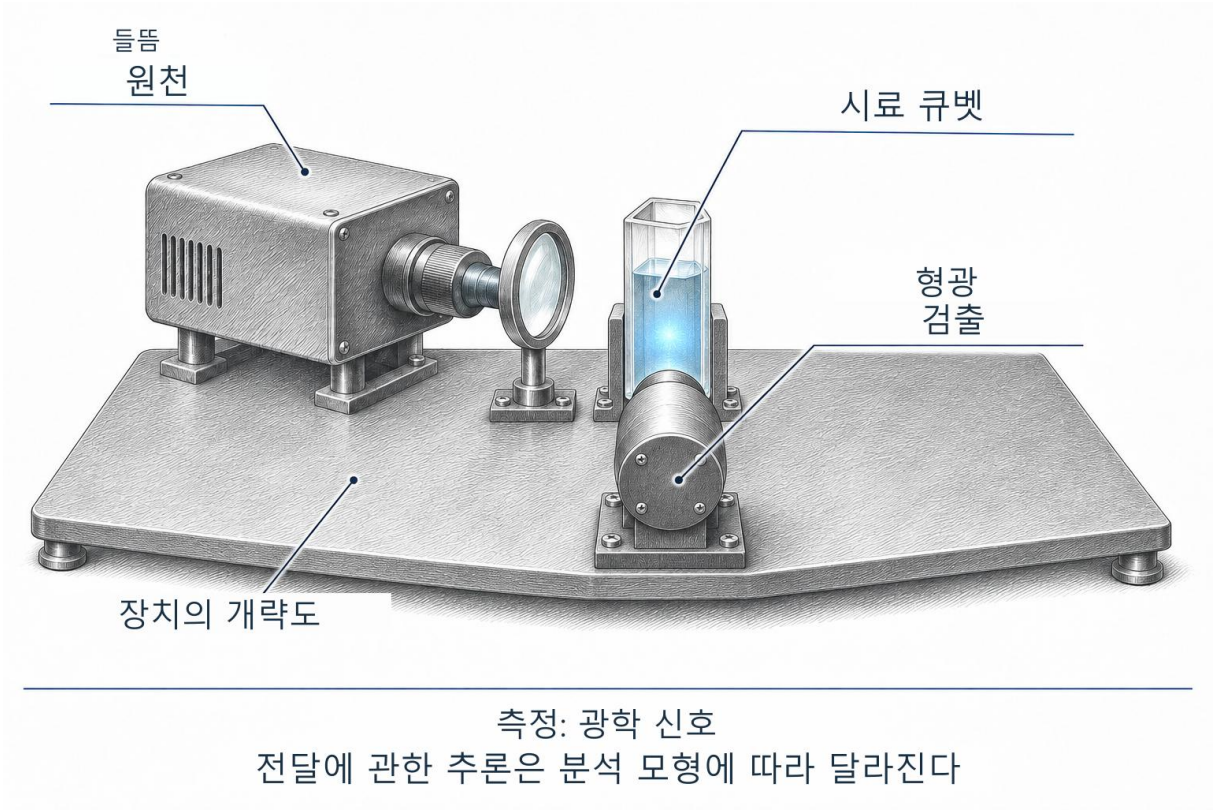


그림 13. 측정과 모형을 통한 추론의 원리. 기기는 형광을 기록한다. 들뜸 전달의 성질은 소광제를 넣었을 때를 포함한 신호 변화와 선택한 과정 기술을 바탕으로 추정한다 [10]. 옆에서 형광을 모으는 가상의 실험 배치를 보여 준 것이며, 특정 연구의 장비를 복원한 것은 아니다. 개별 들뜸의 궤적을 직접 그린 것도 아니다.

나노미터는 뇌의 규모에서 보면 지극히 짧은 거리처럼 보인다. 분자 규모에서는 상호작용하는 요소 몇 개를 포함할 수 있다. 따라서 물리적 중요성은 가정한 메커니즘의 구조에 비추어 평가해야 한다. 그러나 몇 나노미터의 전달에서 거리를 단순히 곱하는 것만으로 뇌 전체의 조율을 얻을 수는 없다. 더 큰 규모로 넘어가려면 추가 연결과 시간, 중요한 상태를 보존하는 방식이 필요하다.

집단 방출은 무엇을 뜻하는가

상호작용하는 방출체들이 집단 상태를 이루면 방출 속도가 개별 요소의 속도와 달라질 수 있다. 일부 상태는 밝아져 전체 광학 반응에 대한 기여가 커진다. 다른 상태는 빛과 약하게 결합한다. 이런 가능성은 체계의 상호작용과 기하학에서 나온다. 이를 분자들의 공동 의도로 기술한다면 불필요한 의인화가 된다. [11]

Nathan Babcock과 동료들은 대규모 트립토판 연결망의 모형을 연구하고 이를 튜불린 구조의 형광 측정과 비교했다. 모형은 집단적인 빛 방출 상태를 예측했고, 실험에서는 조직 수준이 달라질 때 양자수율이 바뀌었다. 저자들은 둘의 부합을 초복사 거동의 결과를 뒷받침하는 증거로 해석했다. [11]

형광 양자 수율은 흡수된 들뜸 가운데 빛의 방출로 끝나는 비율이다. 에너지가 소비되는 경로의 특성을 나타내는 값이다. 경쟁하는 경로가 있는 가장 단순한 모형에서는 다음과 같이 쓸 수 있다:

$$\eta = \frac{k_r}{k_r + k_{nr}}.$$

여기서 η는 양자수율, k_r 은 복사 붕괴의 속도상수, k_{nr} 은 비복사 손실의 전체 속도상수다. 두 상수의 차원은 시간의 역수다. 이 단순화한 반응속도 모형에서는 복사 붕괴가 빨라져도, 경쟁하는 손실이 줄어들어도 수율이 커진다. 따라서 η 값 하나만으로는 두 원인을 구별할 수 없다. [11]

따라서 밝기가 커졌다는 사실 자체로 어느 메커니즘이 달라졌는지 알 수는 없다. 들뜸의 수명이나 독립적인 흡수 추정치 같은 추가 특성이 필요하다. 집단적으로 방출이 빨라진다고 가정한다면 이를 더 통상적인 비복사 손실의 감소와 구별해 검증해야 한다. 바로 이런 구분이 효과를 매력적인 그림에서 확립된 메커니즘으로 바꾼다.

이 단순한 모형에서는 양자수율과 함께 들뜸의 수명 τ_f를 측정하면 두 원인을 구분할 수 있다. 단일 지수함수 붕괴에서는 $\tau_f = 1/(k_r + k_{nr})$이므로 $k_r = \eta/\tau_f$이고 k_{nr}

= (1−η)/τ_f다. 예를 들어 가상의 η = 0,30과 τ_f = 3 ns는 각각 0,10과 약 0,233 ns^{-1}를 준다. 추가 측정으로 해석이 모호한 밝기를 두 속도의 추정치로 바꾸는 것이다. 불균일한 시료, 여러 붕괴 시간, 빛의 재흡수가 있는 경우에는 이 등식들에도 모형의 확장이 필요하다. τ_f를 측정하는 것 자체가 산란 보정의 필요성을 없애지는 않는다.

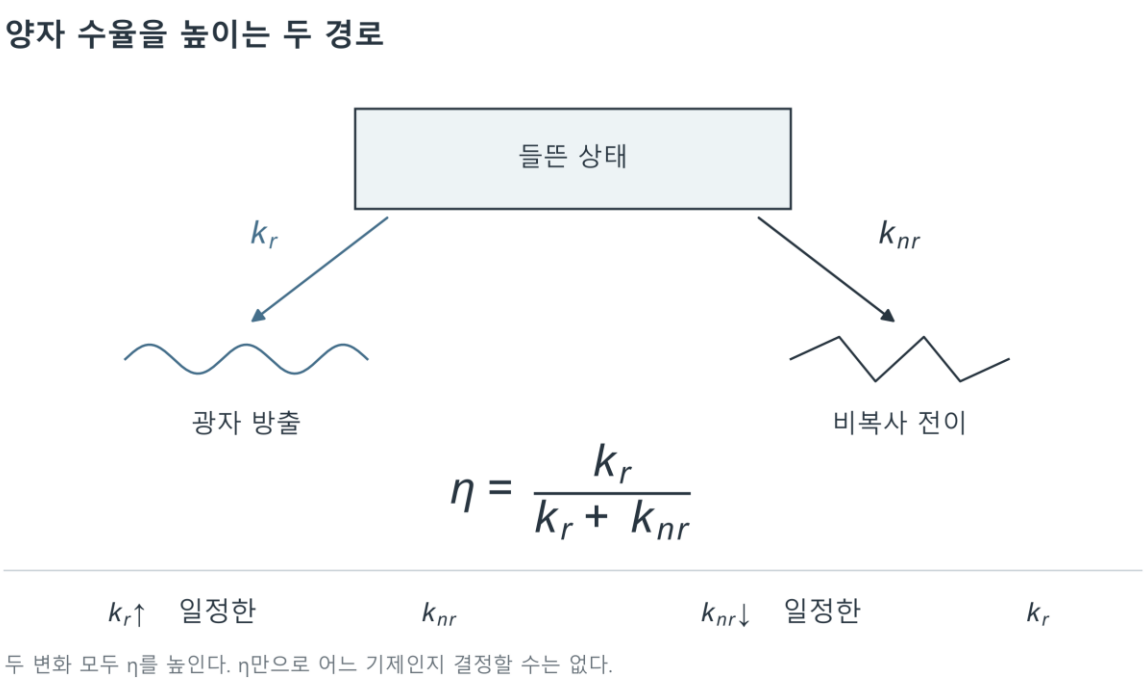


그림 14. 단순화한 반응 속도 모형에서 양자 수율을 높이는 두 경로. 방출되는 광자의 비율이 높다는 사실만으로는 복사 경로의 강화와 비복사 손실의 감소를 구분할 수 없다.

빛은 측정 장치를 오인하게 할 수 있다

생물학적 시료는 빛을 흡수하고 방출할 뿐 아니라 산란시킨다. 일부 빛의 방향이 바뀌면 장치가 이를 흡수량이나 방출 광자 수의 변화로 오인할 수 있다. 검출기의 위치, 시료층의 두께, 단백질 구조의 분포 같은 측정의 기하학도 중요하다. 물질의 두 상태 사이의 작은 차이에 관한 결론을 내린다면 이는 부차적인 기술 사항이 아니다.

레아 가사브와 트래비스 크래독의 2026년 프리프린트는 튜불린 구조의 모형화를 자외선 분광 측정과 비교한다. 저자들은 형광 수율의 변화, 추가한 트립토판의 영향, 산란에 따른 한계를 살핀다. 가능한 메커니즘들을 구분하려면 추가 측정이 필요하다는 점도 따로 논의한다. 이 연구는 측정의 불확실성에 주의를 기울이면서 최초 해석을 더 구체적으로 만드는 방법을 보여 준다. [13]

서로 다른 유리 뒤에 똑같은 광원 두 개가 있다고 생각하자. 한 유리가 검출기로 더 많은 빛을 보내면 광원 자체가 달라지지 않아도 장치는 증가를 기록한다. 단백질 용액은 더 복잡하지만 논리적 문제는 같다. 광원에서 검출기까지의 경로도 결과의 설명에 포함된다. 연구자가 분자에 관심을 둔다고 해서 그 경로를 투명한 것으로 간주할 수는 없다.

따라서 가정한 효과를 제대로 검증하려면 측정의 기하학적 배치와 분석 방식을 바꾸어도 결론이 유지되어야 한다. 한 가지 배경 보정 방식이나 한 파장 범위에서만 결론이 유지된다면 적용 범위는 제한된다. 서로 다른 측정 방식이 같은 결론에 이르면 물리적 설명이 강해진다. 광학에 엄격한 요구를 하는 것은 이후 탐색의 잘못된 방향을 제거하므로 가설 자체에도 도움이 된다.

시험관에서 세포로 가는 길

분자 수준의 효과와 의식 있는 뇌의 기능 사이에는 여러 단계가 있다. 먼저 담지체가 세포 환경에서도 필요한 성질을 유지함을 보여야 한다. 그다음에는 적절한 들뜸이 생기는지, 이어서 그 들뜸의 변화가 신경세포의 작동과 관련된 과정에 영향을 미치는지 보여야 한다. 그 후에야 이 경로가 경험의 상태나 내용에 관한 것인지 알아볼 수 있다.

이 단계들을 마취와의 상관관계 하나로 대신할 수는 없다. 물질은 여러 세포 표적에 영향을 미칠 수 있고, 광학 신호의 변화에는 단백질의 다른 성질 변화가 함께할 수 있다. 인과적 매개의 질문이 생긴다. 바로 이 관찰된 광과정이 이후 효과에 필요한가? 답하려면 이 과정을 충분히 선택적으로 바꾸고 그 결과를 추적할 수 있는 개입이 필요하다.

예를 들어 가상의 모형에서 분자의 기하학적 재배열이 기계적 안정성과 광학적 상호작용을 동시에 바꾼다고 하자. 이후 신경세포가 다르게 작동한다면 두 원인이 모두 가능하다. 광학적 성질은 바꾸되 기계적 성질은 유지하거나 가정한 광학 경로를 다른 방식으로 복원하여 두 변화를 구분할 수 있다면 설득력이 커진다. 이는 앞으로 연구할 논리이며 이미 수행된 실험의 기술이 아니다.

더 넓은 물리적 담지체와의 연결에는 또 다른 요구가 따른다. 해당 상태들이 단백질 안에서 에너지를 교환하기만 하는 것이 아니라 그 담지체와의 상호작용에 관여함을 확립해야 한다. 신경세포 안에 구조가 있다는 사실만으로 의식의 수신기가 되지는

않는다. 미세소관이 인터페이스의 일부일 후보가 되는 것은 모형에 구체적인 입력과 변환, 측정 가능한 출력이 있을 때뿐이다.

여기서는 «민감도»라는 말조차 명확히 해야 한다. 구조가 실험실의 강한 개입에는 뚜렷하게 반응하면서도 가정한 장의 자연적 변동에는 거의 반응하지 않을 수 있다. 따라서 크기를 비교해야 한다. 실험에서 시료가 받는 에너지, 세포 안에서 예상하는 세기, 배경의 크기는 각각 얼마인가? 이런 비교가 실험실 결과의 가치를 없애지는 않는다. 그 결과가 자연 과정의 어느 부분을 실제로 모형화하는지 정하는 것이다.

반응이 특히 뚜렷한 좁은 진동수 범위를 발견했다고 가정하자. 이를 의식의 진동수라고 부르고 싶어질 수 있다. 그러나 공명은 체계가 개입과 상호작용하는 방식을 나타낸다. 이 공명을 경험과 연결하려면 독립적으로 정한 경험의 상태나 내용과 안정적인 관계가 있음을 보여야 한다. 그렇지 않으면 단백질 용액, 세포, 기술 장치에서 같은 효과가 관찰되어도 이들에 동일한 주관성을 부여할 근거는 없다.

개입의 세기와 진동수뿐 아니라 과정들의 시간 규모도 비교해야 한다. 증폭이나 고정이 있다면 짧은 분자 반응이 더 긴 생화학 과정을 시작할 수 있다. 그러나 이후 과정의 지속 시간을 원래 결맞음의 수명으로 간주할 수는 없다. 빠른 연결 고리와 느린 연결 고리 사이의 관계 자체가 설명의 일부다. 그런 단계를 밝히는 일은 보통 아름다운 스펙트럼 봉우리를 발견하는 것보다 어렵다. 그러나 바로 그 단계가 물리 현상에 기능적 의미를 준다.

강한 형태의 가설은 어떻게 발전할 수 있는가

미세소관 가설의 강한 형태는 실험으로 뒷받침하거나 의문을 제기할 수 있는 구체적 주장을 내놓아야 한다. 예를 들어 특정 단백질 배열이 집단 상태를 만들고, 그 수명과 스펙트럼이 민감도 범위를 정하며, 배열의 변화가 세포 과정에 예측 가능한 영향을 준다는 주장이다. 이런 연결 고리는 단계마다 검증할 수 있고 모형이 자료와 마주친 정확한 지점을 보여 준다.

이 수준에서는 부정적 결과가 특히 유용하다. 집단적인 광학 상태가 존재해도 세포에 가까운 환경에서 사라진다면 생물학적 적용 범위가 좁아진다. 상태는 유지되지만 그 상태를 바꾸어도 선택한 기능이 달라지지 않는다면 다른 기능을 찾거나 여기에는 특별한 역할이 없다고 인정해야 한다. 기능을 발견했다면 다음 과제는 신경 조직의 구성 및 경험과의 관계를 정하는 것이다.

질문을 제기하는 방식 전체를 바꾸는 긍정적 결과도 가능하다. 단백질의 광학적 성질이 세포 조절에는 중요하지만 의식의 외부 원천에는 중요하지 않을 수 있다. 그러면 처음의 철학적 기대가 충족되지 않아도 연구는 발견을 낳는다. 과학은 질문이 생겨난 경로를 유지할 의무가 없다. 설명과 관찰 사이의 검증 가능한 관계를 유지하면 된다.

미세소관은 물리적 담지체를 선택한 뒤 논의가 얼마나 구체적인 내용을 갖게 되는지 보여 준다. 포괄적인 비유 대신 스펙트럼, 속도, 기하학적 구조, 구체적인 대안이 등장한다. 그러나 정밀하게 측정한 양자 효과도 누가 관찰자인지에 답하지는 않는다. 다음 장에서는 «관찰»이라는 말 자체를 분석한다. 물리적 상호작용의 역할과 장치의 측정값을 읽는 인간의 역할은 각각 무엇인가?

제8장

인간이 없는 관찰자

검출기는 실험실이 빈 밤에도 기록을 남길 수 있다. 아침에 연구자는 그 기록을 읽고 다른 기록들과 비교해 결론을 내린다. 표준적인 양자적 기술에서는 인간이 결과를 알게 되는 순간을 특별한 개입으로 방정식에 넣지 않는다. 측정 상호작용은 물리적 체계들 사이에서 일어나며 인간은 그 결과를 나중에 안다. 이 구분만으로도 «관찰자의 의식»이라는 표현을 더 신중하게 써야 할 이유가 충분하다.

의식 연구에서는 특히 이 문제에 끌리기 쉽다. 양자이론이 «관찰»이라는 말을 쓰고 인간은 관찰할 수 있으니, 이론이 이미 경험에 근본적인 자리를 마련했다고 생각할 수 있다. 그러나 같은 말이라고 같은 개념이 보장되지는 않는다. 둘을 연결하기 전에 정확히 무엇이 측정을 물리적 과정으로 만들며 수학적으로 기술한 뒤에도 무엇이 열려 있는지 이해해야 한다.

기록은 상호작용 속에서 생겨난다

가장 단순한 측정 모형에서는 체계의 상태가 장치의 상태와 연결된다. 측정할 물리량의 서로 다른 가능한 값에 장치 표시부의 구별 가능한 상태가 대응한다. 체계가 중첩에 있었다면 결합된 양자적 기술에는 일반적으로 그 체계의 상태와 장치 상태 사이의 상관관계가 포함된다. 이후 장치는 주변 환경과 상호작용하고 결과에 관한 정보가 다른 물리적 자유도로 퍼져 나간다. [14]

이 기술은 측정을 그저 바라보는 일로 볼 수 없는 이유를 설명한다. 장치는 대상과 물리적으로 상호작용해야 한다. 광자가 흡수되고 전하가 전달되며 분자의 상태가 바뀐다. 상호작용이 매우 약해도 체계의 차이를 기록의 차이와 연결할 가능성으로 그 역할이 정해진다. 이런 연결이 없으면 선택한 물리량에 대한 정보를 얻을 수 없다.

머릿속에서 연구자를 검출기 값을 읽고 셔터를 닫는 자동 프로그램으로 바꾸어 보자. 그다음에는 프로그램을 단순한 전자 계전기로 바꾼다. 필요한 상호작용이 유지되는 한 물리적 구성은 계속 작동한다. 측정 확률을 계산하기 위해 계전기가 무엇인가를 체험하는지 정할 필요는 없다. 따라서 인간의 자기의식은 표준적인 양자 측정 절차의 필수 요소가 아니다.

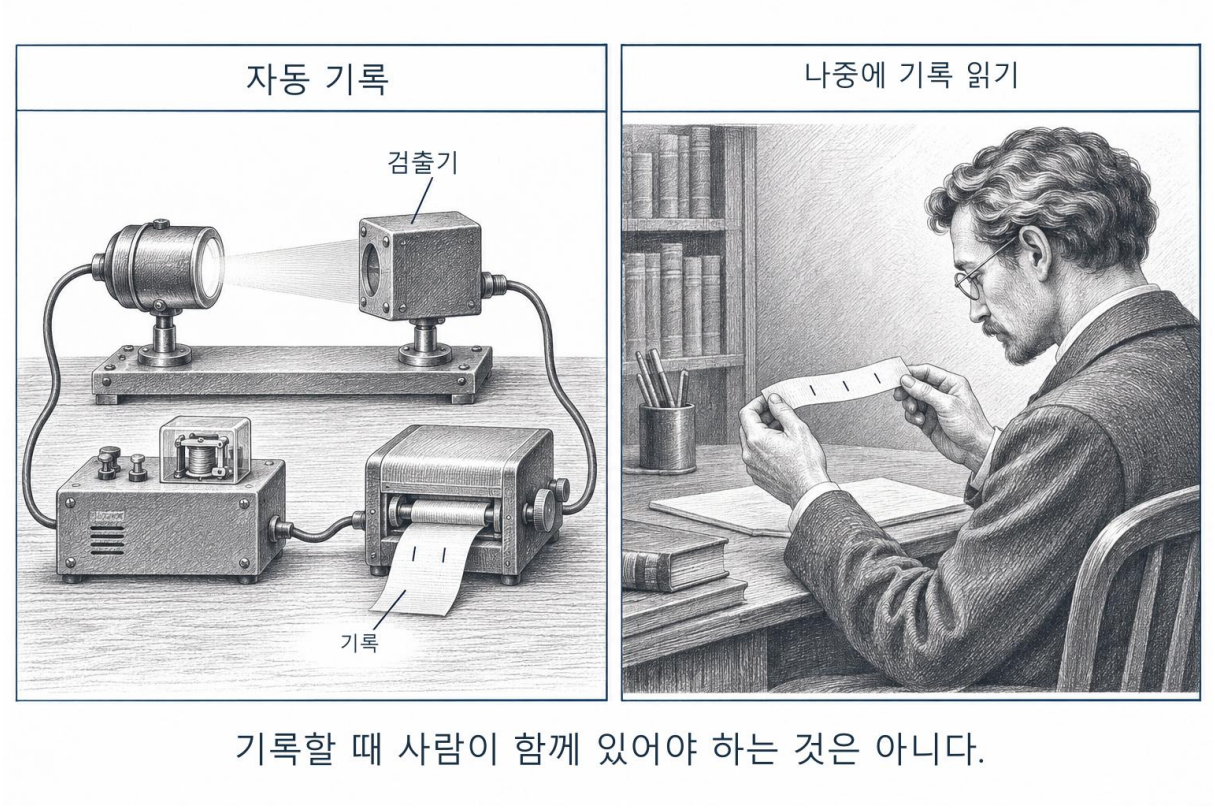


그림 15. 물리적 기록과 결과를 읽는 행위는 시간적으로 분리된다. 표준 측정 모형에서 기록은 계들 사이의 상호작용으로 만들어지며, 그 순간 장치 곁에 사람이 있을 필요는 없다 [14]. 장치와 종이의 표시는 개략적으로 제시한 것으로, 특정 실험 데이터를 재현한 것이 아니다.

여기서는 측정 기록이 어떻게 생겨나는지와 왜 일부 과정에 경험이 동반되는지라는 두 질문을 구분할 수 있었다. 첫 질문은 인간의 자기의식에 호소하지 않고 물리적으로 기술할 수 있다. 둘째 질문은 열려 있다. 의식이 양자 동역학을 바꾼다는 이론은 구체적 법칙과 검증 가능한 새로운 귀결을 제안해야 한다. «관찰자»라는 말 하나로는 충분하지 않다.

결어긋남과 결과의 선택

결어긋남은 선택한 부분계가 환경과 상호작용하면서 접근 가능한 간섭 관계를 잃는 과정을 기술한다. 그 결과 특정 대안들은 국소적인 관찰에서 통계적 혼합처럼 거동하기 시작한다. 여기서 중요한 표현은 «선택한 부분계에서»다. 복합 대상 전체에 대한 기술과 그 일부에 대한 기술은 서로 다른 과제를 해결한다. [14]

이 과정은 일상적인 기록의 안정성을 이해하게 해 준다. 거시적으로 다른 기록들 사이의 간섭을 복원하려면 환경과의 엄청나게 많은 연결을 제어해야 한다. 통상적인 조건에서는 그렇게 할 수 없다. 그러나 간섭에 실질적으로 접근할 수 없는 이유를

설명해도 왜 경험이 하나의 정해진 결과로 주어지는지라는 질문이 다 해결되지는 않는다. 양자이론의 해석들은 이 단계를 서로 다르게 기술한다.

논의를 이어 가려면 양쪽 모두에서 절제가 유용하다. 결어긋남이 아무것도 설명하지 않는다고 선언할 수는 없다. 분명한 물리적 동역학을 기술하기 때문이다. 그러나 경험에 관한 모든 질문의 답을 결어긋남에 맡길 수도 없다. 한 수준에서 설명에 성공해도 다른 수준의 필요성이 사라지지는 않는다. 인터페이스 이론은 정확히 어느 수준에 메커니즘을 추가하는지 밝혀야 한다.

추가 담지체가 결과의 확률에 영향을 준다고 생각할 수 있다. 그러면 담지체를 직접 제어할 수 없을 때 관찰 확률이 어떻게 나오고 어느 조건에서 편차가 생길지 설명해야 한다. 물리적 확률은 바뀌지 않고 그 확률과 경험의 관계에 관한 기술만 달라진다고 가정할 수도 있다. 그러면 실험으로 할 수 있는 일도 달라진다. 두 경우가 모두 «의식»이라는 말을 쓴다는 이유만으로 하나의 이론으로 볼 수는 없다.

얽힘은 단순한 일치와 다르다

두 체계가 비슷한 결과를 보이는 데에는 통상적인 이유가 있을 수 있다. 공통 원천에서 나왔거나 전에 상호작용했을 수 있다. 미리 맞춘 숫자들을 봉투 두 개에 넣으면 하나를 열어 다른 봉투의 내용을 예측할 수 있다. 그러나 이 비유가 서로 다른 측정 방식에서 나타나는 모든 양자 상관관계를 재현하지는 못한다. 측정 설정을 바꿀 수 있다는 바로 그 점이 검증에 내용을 부여한다.

벨 부등식은 명시한 전제 아래 특정 부류의 국소 모형에서 가능한 상관관계를 제한한다. 전제에는 측정 설정의 선택이 해당 숨은변수들과 독립적이라는 조건도 포함된다. 양자이론에서는 이 제한의 위반이 가능하다. 따라서 실험이 검증하는 것은 추상적인 «만물의 통일성»이 아니라 설정과 결과 사이의 통계적 의존 관계의 구체적인 구조다.

Bas Hensen과 동료들은 2015년에 1,3킬로미터 떨어진 전자 스핀들을 이용해 검증했다. 실험 구성은 검출 효율과 측정의 국소성에 관한 주요 허점을 동시에 닫았다. 관찰된 벨 부등식의 위반은 검증 대상인 국소 모형 부류에 비해 상관관계에 대한 양자적 기술을 뒷받침했다. 이 실험은 인간의 생각이나 멀리 떨어진 인격들 사이의 연결을 측정하지 않았다. [20]

살아 있는 체계의 연구에는 높은 기준이 된다. 두 신경세포 집단의 동기화된 진동만으로는 얽힘의 증거가 되지 않는다. 두 사람의 이야기가 비슷하다는 사실은 더더욱 그렇다. 각 결과에는 공통 개입에서 자료 선택의 특성까지 수많은 통상적인 원인이 가능하다. 주장하는 양자적 성질에는 고려하는 대안들과 실제로 구별되는 고유한 기준이 있어야 한다.

상관관계로 메시지를 보낼 수 없는 이유

한 체계의 두 부분이 얽혀 있고 첫 부분의 측정 결과를 안다면 둘째 부분의 결과 예측을 더 정밀하게 할 수 있다. 그러나 둘째 부분만 가진 사람은 이런 방식으로 제어 가능한 메시지를 받지 못한다. 멀리 떨어진 측정 결과에 따라 자료를 분류하는 데 필요한 정보가 없기 때문이다. 분류하려면 통상적인 물리적 통로로 추가 정보를 전달해야 한다. [14]

간단한 사고 실험이 차이를 보여 준다. 두 연구자는 미리 한 결과를 글자 «A», 다른 결과를 글자 «B»로 보기로 약속한다. 체계를 분리한 뒤 첫 연구자가 자기 부분을 측정한다. 얻을 결과를 선택할 수 없다면 그 약속이 원하는 글자를 보내는 방법이 되지는 않는다. 둘째 연구자에게 보이는 결과열에서는 첫 연구자가 선택한 메시지를 꺼낼 수 없다.

사후선택은 때로 반대의 인상을 준다. 실험 뒤 첫쪽에서 특정 결과를 얻은 사건들만 고를 수 있다. 그러면 둘째 쪽의 조건부 통계가 달라진다. 그러나 선택한 사건 목록 자체를 둘째 쪽에 알려야 하므로 절차는 이미 추가 통로를 사용한다. 정보는 공짜로 생기지 않는다. 선택 조건과 함께 전달된다.

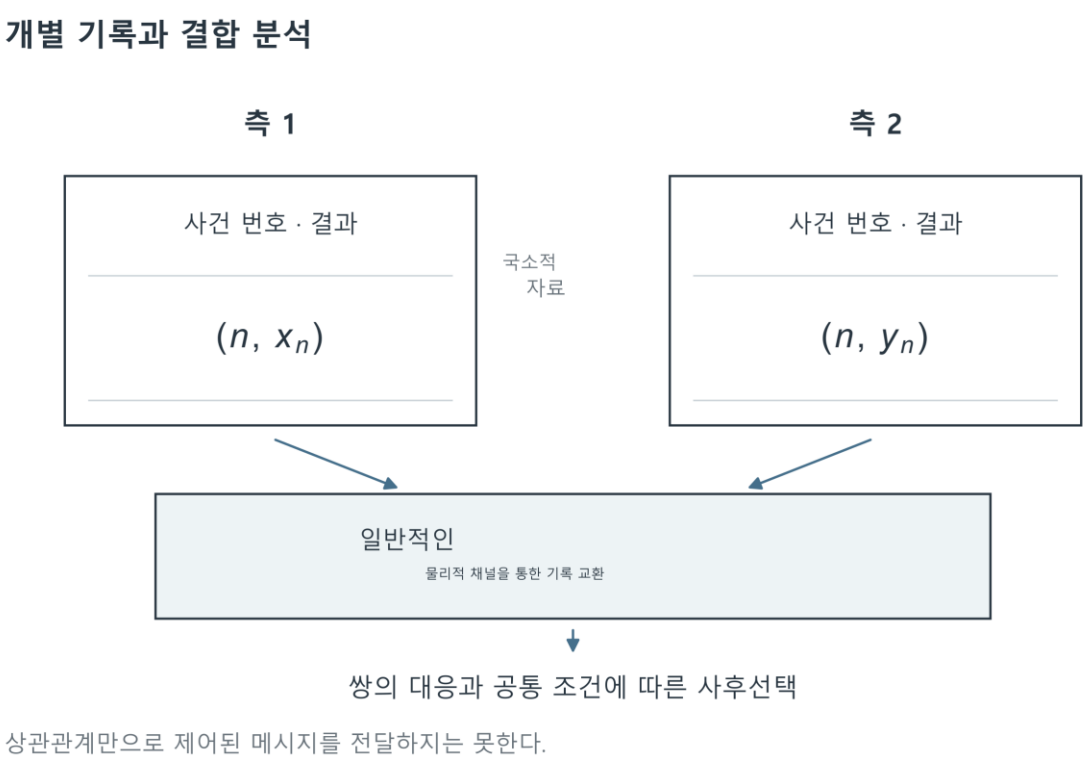


그림 16. 멀리 떨어진 곳에서 얻은 결과를 비교하고 사후선택을 하려면 물리적 채널로 기록을 교환해야 한다. 양자 상관관계만으로는 상대편에 제어 가능한 메시지를 전달할 수 없다.

이는 외부의 의식을 물리적 원천으로 간주할 때 구체적인 제약이 된다. 그것이 유기체의 행동을 선택해야 한다면, 체계 안에는 서로 다른 선택의 차이를 전달하는 방법이 있어야 한다. 얽힘만으로는 그렇게 제어할 수 있는 채널을 제공하지 못한다. 모형에는 일반적인 상호작용, 허용되는 양자 채널, 또는 표준 동역학을 어떻게 바꿀지에 대한 명시적 제안이 필요하다. 마지막 선택지는 특히 엄격한 요구를 받는다. 그 결과가 이미 검증된 제약과 모순되어서는 안 되기 때문이다.

여기서는 지식과 개입을 구분하는 일이 중요하다. 연구자가 멀리 떨어진 쪽의 결과를 알면 가능한 경우들에 대한 자신의 기술이 달라진다. 그러나 기술의 변화 자체가 다른 체계에 도달한 물리적 신호인 것은 아니다. 일상에서는 두 일이 흔히 함께 일어난다. 메시지는 새로운 지식을 주면서 물리적 신호이기도 하다. 얽힘을 논의할 때는 둘을 특히 엄격하게 구분해야 한다.

유기체가 외부 담지체의 명령에 따라 두 움직임 중 하나를 골라야 한다고 생각하자. 관찰되는 움직임의 확률은 담지체가 어느 명령을 선택했는지에 의존해야 한다. 두 선택 모두에서 유기체의 국소 통계가 같다면 제어 가능한 차이는 전달되지 않았다. 나중에

상관관계를 발견하면 자료가 공유하는 구조에 관해서는 알 수 있지만 필요한 순간의 움직임 선택을 설명하지는 못한다.

이것이 상호작용하는 복합 체계의 모형을 세우지 못하게 하지는 않는다. 오히려 통상적인 통로로 정보를 전달할 수 있으며 양자 기술도 상관관계와 실제 상호작용을 함께 이용한다. 제한되는 것은 얽힘의 존재만으로 제어를 얻으려는 시도다. 그 시도를 버리면 부분계들을 정확히 무엇이 연결하며 영향이 어떤 지연을 두고 전파되는지 기술해야 하므로 가설이 더 구체적이 된다.

통상적인 공간적 기술 밖의 담지체를 가정해도 과제가 사라지지는 않는다. 그 상태와 관찰 사건 사이의 연결 규칙을 정해야 한다. 그런 규칙이 없으면 «밖»이라는 말은 유기체가 왜 바로 그 정보를 받는지 설명하지 못한다. 모형에서 미완성인 부분의 위치를 가리킬 뿐이다. 규칙이 생긴 뒤에는 인과성 및 실험 확률과 양립하는지 연구할 수 있다.

공통 담지체와 개별 관점

경험의 근본적 토대에 대한 가정은 메시지 전달 가설보다 넓을 수 있다. 의식은 전체의 특정 조직과 연결되고 몸은 그 상태들에 접근하는 국소적 방식을 정할 수 있다. 이런 생각은 논리적으로 가능하지만 물리적 상관관계, 기능상 정보에 접근할 가능성, 경험이 주관적으로 누구에게 속하는가를 구분해야 한다.

약하게 연결된 두 부분계를 지닌 하나의 물리적 대상을 생각하자. 공통의 과거와 일부 상관관계가 있을 수 있다. 한 부분계가 다른 부분계에 대한 정보 가운데 이용할 수 있는 것은 작은 일부뿐일 수 있다. 전체 기술에 얽힘이 있어도 두 부분이 하나의 관점을 이룬다는 결론은 아직 나오지 않는다. 그러려면 어떤 물리적 관계가 경험의 통일성에 대응하는지에 관한 추가 원리가 필요하다.

그 원리는 경계를 정해야 한다. 왜 유기체의 특정 과정들은 하나의 주체에 포함되지만 방 안의 과정들은 보통 같은 경험의 일부가 되지 않는가? 왜 정보 접근성의 변화가 행동을 바꾸면서도 반드시 새 주체를 만들지는 않는가? 또 왜 물리적 상태들의 원천이 같다고 인간의 기억도 공유되는 것은 아닌가? 양자 상태가 하나의 전체라는 점을 가리키는 것만으로는 이런 질문을 해결할 수 없다.

여기서 인터페이스 가설은 더 정밀해질 기회를 얻는다. 개별 경험을 아무 상관관계에나 연결하는 것이 아니라 특정 형태의 안정적 상호작용, 기억, 되먹임의 조직과 연결할 수 있다. 그러면 외부 담지체 상태의 수학적 기술은 모형의 일부가 된다.

다른 부분은 차이를 구별하는 개별 중심이 어떻게 생겨나고 왜 그 이력이 나머지 중심들의 이력과 임의로 뒤섞이지 않는지 설명해야 한다.

의식 있는 관찰자는 무엇을 더해야 하는가

의식 이론이 검출기의 작동을 재현하는 것만으로는 충분하지 않다. 왜 일부 과정은 경험에 대응하고 다른 과정은 기록의 조건으로만 작용하는지 설명해야 한다. 정보의 조직, 인과적 구조, 추가적인 정신물리 법칙에서 이를 도출하려 할 수 있다. 그러나 어느 경로든 물리적 기술과 경험의 질적 측면을 연결하는 논거가 필요하다.

특히 순환 정의를 피해야 한다. 붕괴를 일으키는 체계가 의식이 있고 의식 있는 체계가 붕괴를 일으킨다는 정의다. 이렇게 정의하면 어느 쪽도 독립적으로 확립할 수 없다. 순환에서 벗어나려면 상태 축소에 대한 독립적인 물리적 기준이나 체계 상태에 대한 독립적인 기준이 있어야 하며, 그 뒤에 둘의 관계를 검증할 수 있다. 따라서 객관적 상태 축소 가설과 인간의 주의가 측정의 원인이라는 생각은 따로 살펴보아야 한다.

양자이론은 상태, 확률, 분리가능성에 대한 익숙한 생각을 바꾼다. 이를 통해 유기체와 환경의 상호작용을 훨씬 섬세하게 모형화할 수 있다. 그러나 물리적 언어를 넓히면 새로운 의무도 생긴다. 연결의 제약을 지키고, 조건부 통계와 국소 통계를 구분하며, 담지체의 검증 가능한 성질을 명시해야 한다. 바로 이런 의무들이 양자 가설을 과학적으로 흥미롭게 만든다.

펜로즈와 해머로프의 이론에서는 양자 상태의 축소를 공간과 시간의 근본 성질에 관련된 실제 물리적 사건으로 가정한다. 이렇게 의식의 질문이 새로운 물리적 메커니즘에 대한 가설과 연결된다. 다음 장에서는 두 연결 고리를 따로 다룬다. 메커니즘이 존재한다면 최종적으로 어떤 의식 설명이 옳은지와 독립적으로 찾을 수 있기 때문이다.

제삼부

이론과 사실의 저항

제9장

펜로즈와 해머로프의 제안

일부 의식 이론은 이미 받아들여지는 물리적 기술 안에서 필요한 조직을 찾으려 한다. 다른 이론들은 기술 자체가 아직 불완전하다고 가정한다. Orch OR는 둘째 방향에 속한다. 경험에 관한 질문을 왜 양자적 대안들이 정해진 결과에 자리를 내주는지라는 질문과 연결한다. 이런 연결은 가설을 이례적으로 대담하게 만들면서 동시에 서로 독립적인 여러 요구를 낳는다.

이 연구 프로그램을 평가하려면 부분들로 나누는 것이 유용하다. 하나는 근본 법칙에, 다른 하나는 생물학적 담지체에 관한 것이다. 셋째 부분은 가정한 물리적 사건을 경험의 순간과 연결한다. 부분들이 서로 부합해야 하지만 다른 부분을 수학적으로 표현했다는 이유만으로 어느 한 부분이 확인되지는 않는다.

하나의 가설을 이루는 세 연결 고리

스튜어트 해머로프와 로저 펜로즈의 설명에서는 미세소관에서 가정한 양자 과정들을 생물학적 환경이 조직하고, 그 과정들의 끝을 양자 상태의 객관적 축소와 연결한다. «객관적»이라는 말은 장치 곁에 인간이 있는지와 무관하게 축소가 물리적 사건으로 일어나야 한다는 뜻이다. 이 설명에서 생물학적 조직은 그런 사건들이 신경세포와 의식 경험에 기능적으로 중요해지도록 하는 역할을 맡는다. [4]

이 설명만으로 필요한 관찰이 정해지는 것은 아니다. 연결 고리마다 서로 다른 징후가 있어야 한다. 담지체에서는 구성과 물리적 상태가 중요하다. 상태 축소에서는 동역학 법칙과 그것을 환경과의 일반적인 상호작용으로부터 구별하는 결과가 중요하다. 의식과의 연결에서는 사건이 단순히 물질적 체계를 바꾸는 데 그치지 않고, 왜 특정 경험과 관련되는지 설명해야 한다.

필요한 단백질 구조는 있지만 뇌의 조직은 없는 장치를 생각하자. 그 안에서 가정한 물리적 과정이 발견된다면 모형의 물리적 부분을 뒷받침할 것이다. 경험에 관한 질문은

별도로 남는다. 반대로 의식이 유지되는 동안 복잡한 신경 활동을 발견해도 이를 가능하게 하는 미시적 메커니즘이 무엇인지 자동으로 드러나지는 않는다.

이런 구분은 지지자와 비판자 모두에게 유용하다. 효과 하나로 프로그램 전체가 확인되었다고 선언하지 못하게 하지만, 의식 이론이 의심스럽다는 이유로 단백질 물리학 연구를 모두 버리지도 못하게 한다. 프로그램이 나뉘어 일부 생각은 의미를 유지하고 다른 생각은 불필요해질 수 있다. 과학적 가설을 명확히 하는 통상적인 방식이다.

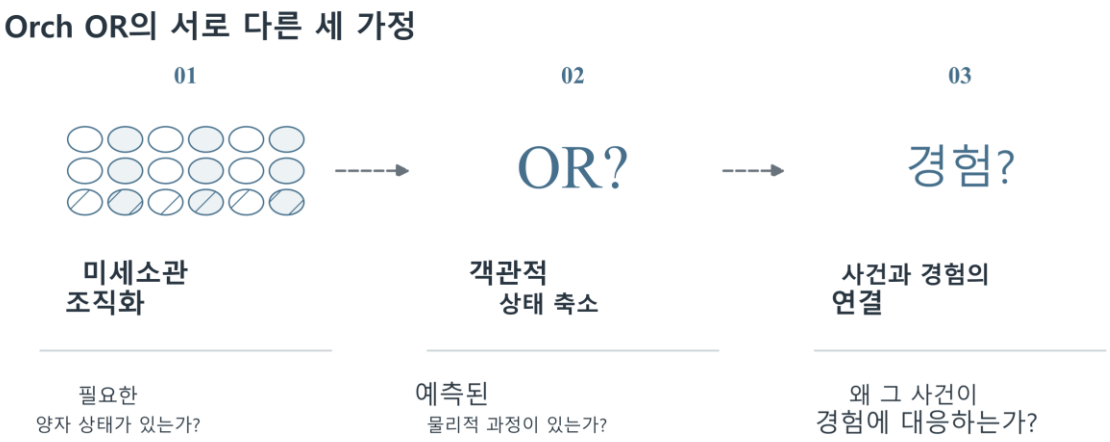


그림 17. Orch OR는 생물학적 담지체, 객관적 상태 축소 가설, 체험과 연결된다는 가정을 결합한다. 한 연결 고리를 뒷받침하는 증거가 다른 연결 고리까지 자동으로 입증하지는 않는다.

상태 축소까지의 시간

중력과 관련된 객관적 상태 축소의 제안에서는 보통 다음 관계로 특성 시간을 추정한다:

$$\tau \sim \frac{\hbar}{E_G}.$$

여기서 τ는 가정한 상태 축소의 특성 시간, ħ은 플랑크 상수를 2π로 나눈 값, E_G는 고려하는 대안들의 질량 분포 차이에 관련된 중력 에너지다. 이는 해당 가설 안의 발견적 관계이며 확립된 보편적인 의식 법칙이 아니다. [4, 23]

주된 어려움은 대안의 선택에 숨어 있다. 식에 뇌의 질량을 넣어 사고의 시간을 얻을 수는 없다. 정확히 어떤 질량 분포들이 중첩에 관여하고 얼마나 다르며 어떤 규모가 중요한지 기술해야 한다. 이 전제들을 바꾸면 에너지 추정치가 달라지고 그에 따라 예상 시간도 바뀐다.

식의 차원은 맞다. 플랑크 상수는 에너지에 시간을 곱한 차원이다. 그러나 차원의 일치는 물리적 의미를 위한 필요조건일 뿐이다. 틀린 모형도 얼마든지 올바른 단위로 적을 수 있다. 독립적으로 정한 매개변수들이 그 선택에 사용하지 않은 관찰을 예측할 때 설득력이 생긴다.

특히 위험한 것은 거꾸로 가는 길이다. 원하는 경험의 지속 시간을 정한 뒤 그 시간을 주는 질량 분포를 맞추는 것이다. 이런 계산은 서로 맞출 수 있다는 가능성을 보여 주지만 메커니즘을 확립하지는 못한다. 검증은 적어도 일부는 반대 방향, 곧 담지체의 성질에서 시간과 과정의 다른 결과로 나아가야 한다.

시간 규모가 일치해도 여러 원인이 가능하다. 연결망이 분자 동역학이 따르는 리듬을 정할 수도 있고, 분자 과정이 연결망을 제한할 수도 있으며, 두 과정이 모두 제삼의 조건에 의존할 수도 있다. 따라서 주기가 비슷하다고 인과관계의 방향이 정해지지는 않는다. 이를 밝히려면 개입이나 서로 양립하지 않는 예측을 비교할 다른 방법이 필요하다.

가능한 검증에서는 평균값뿐 아니라 시간의 분포도 고려해야 한다. 두 모형이 같은 평균을 주면서도 흩어짐, 온도 의존성, 담지체의 기하학적 구조 변화에서 다를 수 있다. 이런 추가 특성은 익숙한 뇌 리듬과의 일치보다 모형을 구분하는 데 더 유용할 때가 있다. 물리적 모형이 편리한 수치 하나가 아니라 전체 규칙성을 예측하도록 요구하기 때문이다.

이렇게 식은 계산의 시작이 된다. 물리량 사이의 관계를 정하지만 각 물리량을 독립적으로 정할 과제는 남긴다. 그 뒤에야 가정한 과정이 관찰된 시간적 조직을 설명하는지, 아니면 특별히 선택한 조건에서 허용하기만 하는지 판단할 수 있다.

생물학적 조직화는 어떤 역할을 해야 하는가

조율된 것이라는 말에서는 내면의 지휘자를 쉽게 떠올릴 수 있다. 그러나 물리적 모형에는 다른 내용이 필요하다. 구체적으로 조직된 상호작용, 상태의 유지, 전이의 제어, 세포 기능과의 연결이다. 이 과정들 중 어느 것도 분자에 의도를 부여할 필요는 없다. 살아 있는 구조의 어떤 특징이 가능한 동역학을 바꾸는지 보여 주어야 한다.

가능한 메커니즘은 상태 준비의 과제를 해결해야 한다. 체계가 필요한 상태에 어떻게 도달하는가? 다음은 보존의 과제다. 어떤 개입이 상태를 무너뜨리고 어떤 개입은 필요한 동역학과 양립하는가? 이후에는 출력의 과제가 있다. 결과가 어떻게 세포의 다른

과정들에 중요해지는가? 마지막 연결 고리가 없으면 흥미로운 양자 동역학도 기능상 격리된 채 남을 수 있다.

여기에는 중요한 긴장이 있다. 세포 환경과 강하게 상호작용하면 생물학적 과정에 영향을 미치기 좋지만, 양자 담지체를 도입한 이유인 성질들을 바로 그 상호작용이 무너뜨릴 수도 있다. 약한 상호작용은 격리에 유리하지만 준비와 읽어 내기를 어렵게 한다. 모형은 양 극단의 좋은 성질만 따로 고르는 대신 물리적으로 가능한 조합을 찾아야 한다.

담지체의 가상적인 두 구성을 생각하자. 첫째는 필요한 상태를 오래 유지하지만 세포에 거의 영향을 주지 않는다. 둘째는 생화학적 반응을 효과적으로 시작하지만 너무 일찍 상태를 잃는다. 각 구성이 따로 존재한다는 사실만으로 작동 주기가 존재한다고 증명되지는 않는다. 하나의 체계에서 준비, 보존, 출력을 잇는 전환 메커니즘이나 다른 방법이 필요하다.

결어긋남 논쟁으로 문제가 끝나지 않는 이유

Max Tegmark와 이후 답변의 저자들인 Scott Hagan, Stuart Hameroff, Jacek Tuszynski는 상태와 환경에 관한 서로 다른 전제에서 결어긋남 추정치를 다르게 얻었다. 이 논쟁은 구체적인 물리적 모형들에 관한 것이다. 뇌의 모든 가능한 양자 과정에 적용할 수 있는 하나의 측정 시간을 주지는 않는다. [5, 6]

따라서 Orch OR를 평가할 때 너무 따뜻하다거나, 반대로 세포가 결맞음을 보호한다고 말하는 것만으로는 충분하지 않다. 선택한 형태의 이론이 사용하는 바로 그 상태와 시간을 비교해야 한다. 가정한 연산에 필요한 시간이 관련 관계가 유지되는 시간보다 훨씬 길다면, 그 형태의 기제는 작동하지 않는다. 시간이 충분하더라도 상태의 준비, 읽기, 기능적 연결이라는 문제가 남는다.

양자적 성질의 보존은 가정한 메커니즘을 가능하게 하지만 이론 전체를 확인해 주지는 않는다. 공학에도 비슷한 구분이 있다. 재료가 필요한 온도를 견딜 수 있다고 해서 그 재료로 조립한 엔진이 작동한다는 결론은 나오지 않는다. 한 제약이 제거되었을 뿐 다른 제약들은 사라지지 않았다.

이 접근은 연구가 극단으로 흐르지 않게 한다. 지나치게 포괄적인 추정으로 특이한 담지체를 배제하지 않으며 적절한 수치 하나가 나왔다고 성공을 선언하지도 않는다. 각

경우에 내적으로 일관된 기술을 구성한 뒤 어떤 측정이 불확실성을 가장 크게 줄일지 정할 수 있다. 때로는 인상적인 관찰보다 정밀한 손실 추정이 결정적일 수 있다.

상태 축소는 뇌 밖에서도 탐색할 수 있다

객관적 상태 축소가 새로운 물리적 과정이라면 그 결과가 의식 있는 유기체에서만 나타나야 하는 것은 아니다. 바로 이 점 때문에 경험 연구의 어려움과 독립적으로 가설의 물리적 부분을 검증할 수 있다. 구체적인 수학적 모형에 따라 바뀐 동역학은 추가적인 요동, 발열, 복사를 예측할 수 있다.

Sandro Donadi와 동료들은 약한 복사를 찾는 지하 실험에서 Diósi–Penrose 모형의 귀결을 연구했다. 얻어진 제약은 저자들이 고려한, 자유매개변수가 없는 자연스러운 판본을 배제했다. 이 결과는 중력적 붕괴의 특정 구현을 크게 제한하지만 가능한 모든 Orch OR 변형이나 생물학의 모든 양자 과정 관여를 실험으로 반박한 것과 같지는 않다. [23]

이 사례의 의미는 하나의 이론을 넘어선다. 의식의 근본적 본성에 대한 주장에도 의식 논의와 멀리 떨어진 곳에서 검증할 수 있는 부분이 생길 수 있다. 제안한 법칙이 물질의 거동을 바꾼다면 뇌가 없는 실험들과도 비교해야 한다. 그러면 가설은 살아 있는 체계의 복잡성을 검증을 피하는 방패로 이용하지 않게 된다.

반대 결과도 가능하다. 물리학에서 새로운 상태 축소 법칙이 확립되지만 가정한 생물학적 메커니즘은 확인되지 않을 수 있다. 그러면 경험에 대한 완성된 설명 없이 물질에 관한 새 지식이 생긴다. 과학적 논의에서는 원칙적으로 허용되는 결과다. 법칙의 연구와 그 법칙이 의식에서 하는 역할의 연구는 서로 다른 속도로 진행될 수 있다.

사건이 곧바로 경험이 되는 것은 아니다

물리적 연결 고리들이 모두 작동해도 대응의 질문은 남는다. 왜 특정 상태 축소 사건에 내적인 측면이 있어야 하는가? 색의 감각에 관한 사건과 통증의 감각에 관한 사건은 무엇이 다른가? 어떻게 많은 사건들이 분리된 섬광들의 나열 대신 연결된 흐름을 이루는가? 시간에 관한 물리적 식 자체가 이 질문들에 답하지는 않는다.

여기서는 과정의 구조와 경험의 구조를 연결하는 원리가 필요하다. 추가 공준으로 제안할 수 있지만 그 내용을 보여 주어야 한다. 공준이 어떤 물리적 결과든 어떤

경험에나 임의로 대응시키도록 허용한다면 예측력은 작다. 가능한 경험의 차이들에 제약을 정한다면 검증의 전망이 생긴다.

선택적 인터페이스 가설에서 Orch OR는 대화 상대가 될 수 있지만 완성된 토대는 아니다. 미세소관의 객관적 상태 축소가 확립되더라도 그 자체로 외부 원천에서 인격이 전달됨을 뜻하지는 않는다. 그런 모형을 얻으려면 추가 자유도, 연결 방식, 개별화 규칙이 필요하다. 이 요소들은 «근본적»이라는 말에 자동으로 들어 있지 않다.

생각을 더 강하게 발전시키려면 외부 담지체의 성질이 내부 메커니즘에서 가능한 상태들을 어떻게 제한하는지 연구할 수 있다. 그러나 그러려면 외부 기여에는 구별 가능한 결과가 있어야 한다. 추가한 존재가 확률을 단 하나도 바꾸지 않고 경험의 구조도 전혀 설명하지 못한다면 그 물리적 역할은 불명확하게 남는다. 바꾼다면 어디에서 변화를 찾아야 할지 명시해야 한다.

검증 뒤에 무엇이 남는가

이론은 틀린 것으로 판명되어도 유용할 수 있다. 단백질의 성질, 근본 동역학, 주관성의 문제를 하나의 요구 체계로 연결하게 하기 때문이다. 전에 «수수께끼»라는 말만 있던 곳에 구체적 질문들이 생긴다. 이는 연구 프로그램의 장점이며 그 참됨의 증거는 아니다.

가장 구체적인 내용을 얻을 수 있는 전략은 독립적으로 검증할 수 있는 연결 고리들을 명확히 하는 것이다. 담지체의 성질은 의식을 찾으리라는 기대와 따로 연구해야 한다. 상태 축소 법칙은 사후에 인격을 보존하려는 바람과 따로 연구해야 한다. 경험과의 관계에서는 모든 경쟁 이론이 설명해야 하는 신경생리학 결과를 고려해야 한다.

이 순서는 구상의 대담함을 보존한다. 물리학 자체의 변화를 가정하면서 동시에 통상적인 과학적 책임을 요구할 수 있게 한다. 질문은 생각이 충분히 특이한지가 아니라 어떤 관찰을 더 이해하기 쉽게 하고 어떤 새로운 관찰을 예상할 수 있게 하는지다.

다음 제안은 다른 길을 택한다. 짧은 전자 과정 대신 환경과 더 약하게 상호작용할 가능성이 있는 핵스핀이 중심에 놓인다. 담지체가 바뀌면 어려움의 성격도 달라진다. 보존의 과제는 쉬워질 수 있지만 보호된 상태를 세포의 활발한 화학 과정에 어떻게 연결할지라는 질문이 특히 중요해진다.

제10장

핵스핀과 기억의 가능성

기억 장치는 서로 충돌하는 요구에 부딪힌다. 상태가 충분히 오래 유지되면서도 기록하고 읽을 수 있어야 한다. 완전한 격리는 교란에서 보호하면서 동시에 이용을 방해한다. 생물학적 체계에서는 충돌이 특히 뚜렷하다. 세포가 물질과 에너지를 끊임없이 교환하는 가운데 가정한 양자 기억도 그 교환에 통합되어야 하기 때문이다.

핵스핀을 이용한다는 생각은 탐색을 다른 물리적 규모로 옮긴다. 핵스핀은 특정 조건에서 환경과 비교적 약하게 상호작용할 수 있는 양자 자유도다. 그 보존을 생화학적 작용과 연결할 가능성이 관심의 대상이다. 두 가능성의 결합이 가설에 연구할 만한 내용을 준다.

스핀 상태는 무엇을 보존하는가

스핀은 입자의 양자적 성질이다. 회전하는 작은 공의 비유는 말을 기억하는 데 도움이 되지만 그 수학적 내용을 재현하지는 못한다. 스핀이 이분의 일인 담지체를 선택한 방향으로 측정하면 두 가지 결과가 가능하다. 따라서 해당 상태를 큐비트로 기술할 수 있다. 그러나 측정 결과가 두 가지라는 사실만으로 체계가 이미 계산 장치의 요소로 작동한다는 뜻은 아니다. [14]

작동하는 기억 장치는 구별 가능한 상태, 그 상태의 준비, 충분히 안정적인 보존, 이용 가능한 읽기 방식을 제공해야 한다. 양자 기억은 여기에 더해 선택한 과제에 중요한 관계들을 유지해야 한다. 결과 가운데 하나의 통상적인 확률만 남는다면 원래 양자 상태의 모든 정보에 계속 접근할 수 있는 것은 아니다.

사고 실험 속 장치에서는 고전 비트 하나를 아주 오래 보존하면서도 양자 위상은 완전히 잃을 수 있다. 사건이 있었는지 없었는지를 묻는 과제에는 그것으로 충분하다. 간섭에 의존하는 과제에는 충분하지 않다. 따라서 유지 시간이 길다는 말은 더 명확해야 한다. 정확히 무엇이, 어떤 교란에 대해, 이후의 어떤 연산을 위해 유지된다는 뜻인가?

인간의 기억을 다루면 또 다른 구분이 필요하다. 사건에 대한 기억은 여러 특징 사이의 관계를 담고 있으며, 그 관계를 복원하는 방식 안에 포함된다. 안정적인 양자 담지체가 있다고 기억의 내용이나 그것이 특정 개인에게 속한다는 사실이 저절로

정해지지는 않는다. 이상적인 물리적 레지스터라도 저장한 상태를 어떻게 조직하고 사용하는지 설명하기 전까지는 여전히 레지스터일 뿐이다.

이 구분은 언어를 통해 표현할 수 있다. 기호열을 보존하는 일과 이야기의 의미를 복원하는 일은 다르다. 둘째에는 다른 지식 및 현재 상황과의 연결이 필요하다. 마찬가지로 물리적 상태도 더 넓은 조직 안에서만 개인 기억의 요소가 된다. 특이한 담지체를 선택하면 저장의 가능성은 달라질 수 있지만 모형이 그 조직을 설명해야 할 의무는 사라지지 않는다.

피셔의 제안

Matthew Fisher는 인의 핵스핀을 뇌의 양자 정보 처리에 쓰일 수 있는 요소로 검토하자고 제안했다. 이 모형에서는 상태의 보호를 포스너 분자라 불리는 가정된 인산칼슘 구조와 연결한다. 제안한 사슬은 스핀 상관관계의 형성과 전달, 특정 화학적 사건이 이용 가능한 칼슘에 미치는 영향, 이어서 뉴런 활동에 미치는 영향을 포함한다. 이는 검증 가능한 여러 물리적, 화학적 가정을 잇는 이론적 연구 프로그램이다. [7]

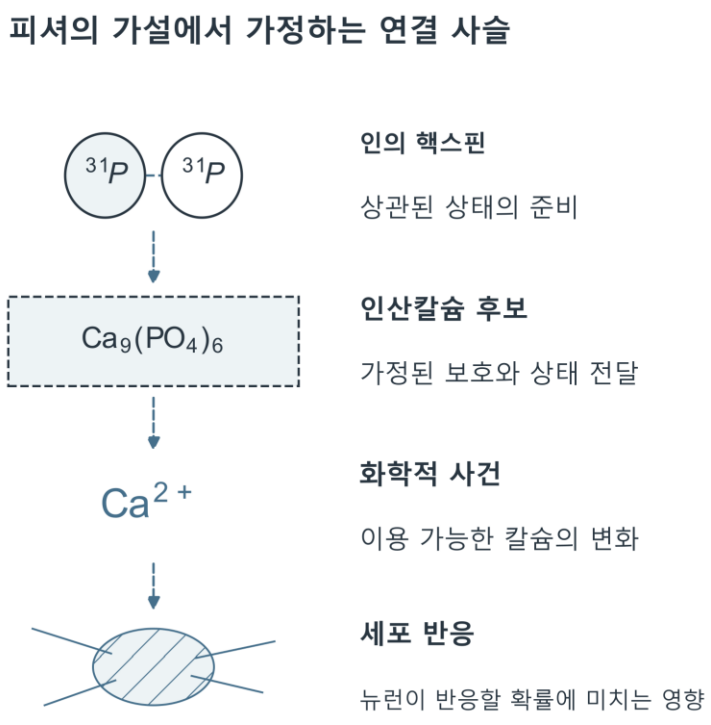


그림 18. 피셔의 가설은 핵스핀을 가정된 인산칼슘 구조 및 그에 뒤따르는 세포 작용과 연결한다. 전체 연결 사슬의 존재와 작동 가능성에는 각각 검증이 필요하다.

이 제안의 매력은 구체성에 있다. 특정 화학 원소, 가능한 구조, 미시적 상태에서 세포의 작용으로 이어지는 경로가 나타난다. 각 선택은 설명의 공간을 좁힌다. 양자 기억에 대한 포괄적인 가정 대신 구체적 분자 과정들이 필요한 조건을 충족하는지라는 질문이 생긴다.

그러나 상세한 구성도 연결 고리를 하나씩 검증해야 한다. 화학적으로 가능한 반응에서 필요한 상관관계를 유지하지 않는 경로가 우세할 수 있다. 계산에 편리한 구조가 해당 환경에서 불안정할 수 있다. 세포 기능과의 연결이 너무 약하거나 비특이적일 수 있다. 이 결과들은 모두 가설의 물리적 내용에 관한 것이다.

설명의 방향을 올바르게 유지하는 일이 특히 중요하다. 양자 기억이 존재한다고 먼저 받아들인 뒤, 칼슘이나 인산염을 발견할 때마다 확인 증거로 여겨서는 안 된다. 이 물질들은 수많은 과정에 관여한다. 확인 증거는 제안한 기제를 보다 통상적인 생화학과 구별해 주는 바로 그 성질과 관계에 관한 것이어야 한다.

보호는 주변 환경에 달려 있다

Thomas Player와 Peter Hore는 가정한 포스너 분자의 스핀 동역학을 연구하여 이상화한 조건에서 분자간 스핀 얽힘의 유지 시간에 대해 약 37분이라는 상한 추정치를 얻었다. 실제 과정들은 이 시간을 크게 줄일 수 있다는 점도 강조했다. 이 수치는 구체적 계산에 관한 것이며 인간 뇌에서 측정한 양자 기억의 지속 시간이 아니다. [8]

상한 추정치라는 개념 자체도 오해하기 쉽다. 선택한 모형에서 한계가 얼마나 유리할 수 있는지 알려 주는 값이다. 생물학적 체계가 그 한계에 도달한다고 보장하지는 않는다. 이상적인 환경에서 기술 장치의 최대 도달 거리를 정하는 것처럼 구체적 손실 원천을 더하면 추정치도 수정해야 한다.

여기서는 화학적 환경의 변화가 특히 중요하다. 가정한 구조가 다른 분자와 결합하거나 변형되거나 조성이 바뀌면 스핀의 물리적 기술도 달라진다. 한 구조에서 보존성을 먼저 계산한 뒤 이전 이름만 유지하면서 검증 없이 다른 구조로 결과를 옮길 수는 없다.

그럼에도 제한적인 계산은 유용하다. 어떤 상호작용이 가장 위험한지, 어디에서 측정하면 가장 명확한 답을 얻을지 보여 준다. 손실의 주된 원인이 특정 과정과 관련되어 있다면, 이를 독립적으로 평가한 결과가 전체 사슬의 개연성을 크게 바꿀 수 있다.

이렇게 이론 연구는 원하는 결과를 미리 약속하지 않으면서 다음 실험을 선택하도록 돕는다.

상관관계에서 화학적 작용으로

필요한 상태들이 실제로 준비되어 충분히 오래 유지된다고 가정하자. 이제 그 차이가 화학적 결과를 어떻게 바꾸는지 설명해야 한다. 가능한 모든 스핀 상태가 이후 과정에 똑같이 영향을 준다면 양자정보는 기능상 드러나지 않는다. 존재할 수는 있지만 주장한 역할은 수행하지 못하는 것이다.

따라서 이러한 모형에는 언제나 선택성을 구현하는 기제가 등장한다. 어떤 상태는 특정 전이의 확률을 높이고, 다른 상태는 낮추어야 한다. 전이 뒤에는 세포 수준에서 알아볼 수 있도록 그 차이를 증폭하거나 고정해야 한다. 증폭이 원래의 양자 구조까지 반드시 보존해야 하는 것은 아니다. 측정 장치 역시 미시적 사건을 거시적 기록으로 바꾼다. 다만 증폭이 이루어지는 경로 자체는 설명해야 한다.

두 화학 경로가 있는 사고 모형을 보면 과제가 분명해진다. 첫 경로는 스핀 상태에 의존하고 둘째는 거의 의존하지 않는다. 둘째 경로가 훨씬 강하다면 관찰 결과는 보호된 담지체에 약하게만 반응할 것이다. 첫 경로에 아름다운 양자 메커니즘이 있다고 해서 그 기여가 얼마인지라는 정량적 질문을 피할 수는 없다.

한편 체계가 문턱 가까이에서 작동한 뒤 차이를 증폭한다면 작은 기여도 중요할 수 있다. 그러나 문턱을 언급한다고 계산을 생략할 수는 없다. 증폭이 필요한 규칙성을 유지하며 약한 신호를 잡음과 구별할 수 없는 결과로 바꾸지 않는다는 점을 보여야 한다. «작은 기여»에는 정량적 표현이 필요하다. 신호가 얼마나 약하고 그 작용에 어느 정도 증폭이 필요한가?

따라서 연결 고리에는 서로 다른 두 안정성이 있다. 양자 상태는 유용한 상호작용까지의 시간을 버텨야 한다. 그 뒤 생긴 기능적 차이는 세포 반응까지의 시간을 버텨야 한다. 두 시간은 크게 다를 수 있다. 신경계의 효과가 오래간다고 해서 원래 얽힘이 그 시간 내내 존재했다는 뜻은 아니다.

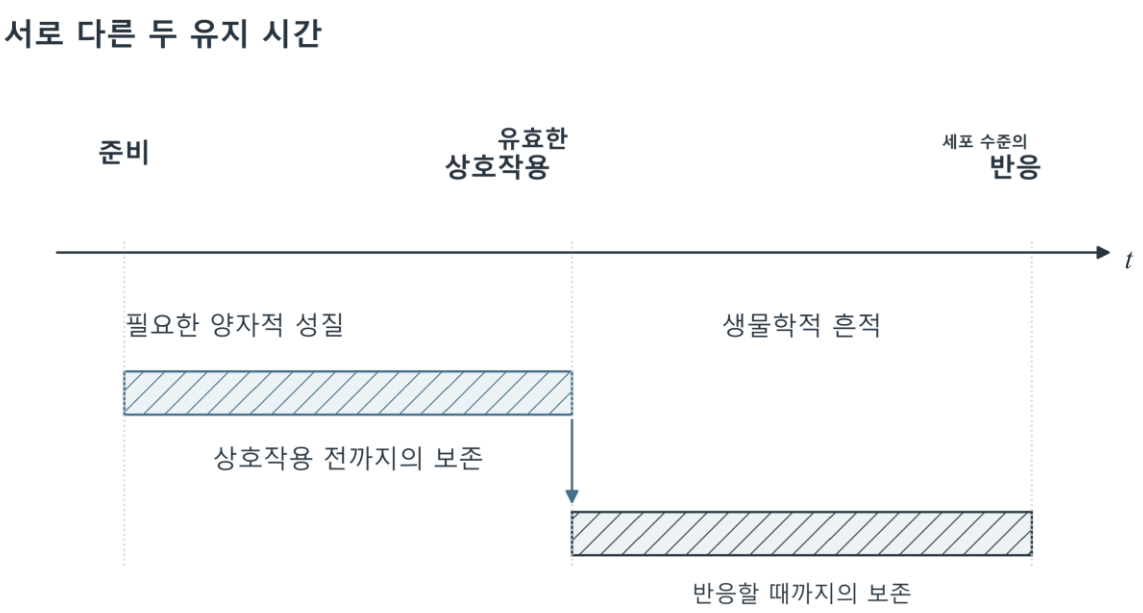


그림 19. 양자 상태는 상호작용이 일어날 때까지 유지되어야 하며, 그 결과 생긴 기능적 차이는 세포 반응이 일어날 때까지 유지되어야 한다. 두 번째 과정의 지속 시간이 원래 얽힘의 수명을 측정해 주는 것은 아니다.

연산 시간과 결맞음 감쇠의 비교는 그림 11에 제시했다.

해당 기제를 주변의 다른 원인과 어떻게 구별할 것인가

화학 조성의 변화가 유기체의 행동에 영향을 준다면 여러 설명이 가능하다. 개입이 농도, 구조, 대사, 다른 분자의 성질을 바꾸었을 수 있다. 스핀 메커니즘을 분리하려면 바로 그 메커니즘에 충분히 특이적이며 정량적 계산과 부합하는 결과들을 찾아야 한다.

예를 들어 물리적 모형은 자기장 개입에 대한 특정 의존 관계를 예측할 수 있다. 그러나 자기장의 영향이 발견되었다는 사실만으로 선택한 담지체를 가리키지는 않는다. 다른 원천에서 나온 영향일 수 있다. 따라서 의존 관계의 형태, 특성 시간, 함께 나타나는 특징들이 중요하다. 여러 특징을 함께 예측하는 내용이 정밀할수록 사후적 설명으로 바꾸기 어려워진다.

동위원소를 논의할 때도 비슷한 신중함이 필요하다. 동위원소 조성의 차이를 스핀 성질 연구에 이용할 수 있지만 구체적인 체계에서는 함께 일어나는 다른 변화들도 고려해야 한다. 어떤 차이든 미리 양자 기억의 결과로 볼 수는 없다. 먼저 예상 효과의 모형을 세운 뒤 비슷한 양상을 만들 수 있는 물리적 원인들을 살펴야 한다.

이 논리에서는 되돌릴 수 있는 실험이 특히 중요하다. 다른 모든 것을 동시에 바꾸지 않으면서 가정한 메커니즘을 약화하고 복원할 수 있다면 인과적 설명이 강해진다. 그러나 기능의 복원은 바로 이론이 주장한 경로에 대응해야 한다. 광범위한 개입 뒤 전체 활동이 돌아오는 것 자체가 특정 스핀 과정의 복원을 뜻하지는 않는다.

이 논의는 연구 설계에 관한 것이며 자신의 몸에 개입하라는 권고가 아니다. 물리적 변수와 생물학적 변수는 적절한 실험실 체계에서 통제해야 한다. 그렇지 않으면 원인들을 구분할 수 없어 주관적으로 강렬한 결과조차 모형 검증에 거의 쓸모가 없어진다.

의식에 관한 질문은 어디에서 시작되는가

가정한 경로 전체가 확인되었다고 하자. 스핀 상태가 유지되고 화학에 영향을 주며 신경망의 작동을 바꾼다. 그러면 생물학적 정보 처리의 새 메커니즘이 확립된다. 다음 과제는 그 메커니즘이 체험과 어떤 관계인지 정하는 것이다. 어떤 기능에는 필요하면서도 주관성에 특별한 역할은 하지 않을 수 있다.

사고 실험으로 가능성을 나눌 수 있다. 한 메커니즘은 학습을 뒷받침하고, 다른 메커니즘은 현재의 지각에 관여하며, 셋째는 깨어 있는 상태의 안정성에 영향을 준다. 모두 행동을 바꿀 수 있다. 그러나 의식 이론은 해당 메커니즘을 교란하면 경험의 어떤 측면이 왜 달라지는지 명확히 해야 한다. 포괄적인 «인지»라는 말이 기억, 주의, 경험 사이의 구분을 대신하지는 못한다.

외부 인터페이스 모형에는 추가 경계가 있다. 분자 안에서 오래가는 양자 기억이 자동으로 몸 밖의 기억이 되는 것은 아니다. 그 담지체는 전적으로 생물학적 체계에 속할 수 있다. 외부 흔적으로 나아가려면 다른 체계와의 상호작용을 보이고, 내부 담지체가 달라진 뒤에도 그 다른 체계에 특정 정보가 보존됨을 보여야 한다.

어떻게 접근하는지 설명하는 일도 그만큼 중요하다. 과거 사건에 관한 정보가 환경에 분산되어 있더라도, 유기체가 그것을 자신의 기억으로 복원할 수 있다는 뜻은 아니다. 주소 지정, 유용한 신호의 구별, 얻은 내용을 현재 활동에 통합하는 방식이 필요하다. 양자 상관관계만으로 이 모든 기능을 수행하지는 못한다.

차이를 유지하는 과정으로 보는 기억

특이한 물리적 담지체를 찾다 보면 기억 개념 자체를 새로 정식화해야 한다. 한 체계의 기억은 그 과거의 차이가 미래의 이용 가능한 차이에 영향을 줄 수 있는 범위에서 존재한다. 이 정의에서는 흔적의 보존뿐 아니라 이용 가능성도 중요하다. 어떤 후속 과정도 원리상 접근할 수 없는 흔적은 회상을 설명하지 못한다.

따라서 좋은 물리적 모형은 기록, 보존, 복원을 연결해야 한다. 한 부분에서 인상적인 결과를 얻고 다른 부분에서 의미를 모두 잃을 수도 있다. 가정한 주체에는 이력의 연결성도 추가로 필요하다. 서로 다른 흔적들이 저장된 상태들의 우연한 집합으로 남는 대신 발달하는 하나의 지각과 행동의 중심에 속해야 한다.

핵스핀은 바로 이 질문들을 정밀하게 만드는 수단으로서 흥미롭다. 준비, 상호작용, 수명, 읽어 내기에 관해 물을 수 있다. 메커니즘이 확인되지 않아도 질문들은 남아 다른 담지체에 적용할 수 있다. 확인된다면 양자생물학의 발견과 경험의 본성에 대한 더 강한 결론을 구분할 수 있게 한다.

이제 분자 담지체에서 유기체 전체로 돌아갈 수 있다. 마취는 외부 세계와의 연결, 행동, 기억을 바꾸어 의식 설명을 관찰 가능한 전이들과 비교하게 한다. 그러나 먼저 정확히 어떤 능력이 달라졌고 각 경우에 무엇을 측정할 수 있었는지 밝혀야 한다. 다음 장에서 이를 다룬다.

제11장

마취는 의식에 관한 질문을 어떻게 바꾸는가

사람이 질문에 답하다가 더는 반응하지 않고 나중에 다시 말하기 시작한다. 두 대화 사이에는 기억의 공백이 남을 수 있다. 이 순서는 의식을 끄는 거의 이상적인 실험처럼 보인다. 그러나 겉으로 단순한 양상 뒤에는 서로 다른 여러 과정이 있다. 경험의 변화, 환경과의 연결 상실, 응답 불가능, 기억 형성의 장애다.

바로 이 때문에 마취는 연구에 중요하다. 전이를 관찰하고 물질의 작용을 뇌의 변화와 비교할 수 있게 한다. 동시에 측정할 물리량을 신중하게 선택하도록 요구한다. 움직이지 않음만 설명하는 이론을 자동으로 경험의 소멸에 대한 이론으로 볼 수는 없다. 기억을 설명해도 응답이 회복되기 전에 무슨 일이 있었는지에 대한 완전한 설명이 되지는 않는다.

서로 다른 세 가지 소실

머릿속에서 세 상황을 나누어 볼 수 있다. 첫째에는 경험이 없다. 둘째에는 경험이 있지만 당장의 외부 세계는 포함되지 않는다. 셋째에는 외부 세계에 어느 정도 접근할 수 있지만 그 사실을 알릴 능력이 손상되어 있다. 세 상황의 행동은 비슷할 수 있다. 따라서 반응이 없다는 사실이 내적 상태를 언제나 유일하게 정해 주지는 않는다.

이러한 구분에 기억의 문제도 더해진다. 경험이 있었더라도 나중에 이야기할 수 있는 형태로 남지 않았을 수 있다. 반대로 회복 후의 증언에는 상태가 전환되는 동안 생긴 사건이 포함될 수 있다. 연구자가 얻는 것은 기억이며, 경험을 직접 끊김 없이 기록한 자료가 아니다. 그 내용을 시간상 어디에 놓을지 정하는 일이 독립적인 과제가 된다.

Sarasso와 동료들의 연구에서는 열여덟 명의 자원자를 세 마취 집단으로 나누었다. 케타민 투여 후에는 생생한 꿈과 같은 경험을 보고했지만, 프로포폴과 제논 투여 후에는 그런 보고가 없었다. 자기 자극에 대한 뇌의 반응도 달랐다. 케타민에서는 각성과 비슷한 더 복잡한 양상이 유지되었다. [2]

이 결과는 마취 중 가능한 모든 체험의 완성된 지도가 아니라 관측 가능한 상태들을 구별한다는 점에서 중요하다. 외부 자극에 반응하지 않는 정도가 같아도 서로 다른 자료가 동반될 수 있음을 보여 준다. 인터페이스 이론에 주는 귀결은 구체적이다. 접근

상실의 형태들이 서로 다른 기제를 요구한다면 그런 전환을 모두 '연결 강도'라는 한 양으로 기술해서는 안 된다.

더 내용 있는 모형은 외부 지각의 통로, 경험의 내적 조직, 이후 회상의 조건을 구분해야 한다. 공통 과정에 의존할 수도 있다. 그러나 서로 어긋나는 경우까지 설명하여 이를 보여 주어야 한다. 그렇지 않으면 «꺼짐»이라는 단순한 말이 실험으로 연구할 수 있게 된 바로 그 차이들을 가린다.

경험, 외부 세계의 내용, 반응, 기억

가정한 상황	경험	외부 내용	관찰되는 반응
경험 없음	없음	없음	없음
내부 경험	**있음**	없음	없음
외부 세계에 접근	**있음**	**있음**	없음
기억과 증언:	기록 →	유지 →	증언

가능한 상태를 구분한 것이며 진단 분류가 아니다.

그림 20. 겉으로 반응이 없다는 점이 비슷해도 서로 다른 내부 상태가 가능하다. 기억과 이후의 보고는 관찰을 구성하는 별도의 연결 고리다.

나중에 전해지는 증언

경험에 관한 이야기는 특별한 위치에 있다. 경험의 내용에 관한 가장 중요한 정보원이지만 이미 상태 변화를 거친 체계에서 생겨난다. 따라서 연구자는 이야기를 진지하게 받아들이면서도 그것이 생겨난 조건을 고려해야 한다. 주관적 선명함이 시간과 상황에 관한 독립적 정보를 대신하지는 못한다.

회복한 사람이 소리에 관해 말한다고 가정하자. 그 소리는 반응을 잃기 전의 시기나 회복 시점에 관한 것일 수도 있고, 내적으로 구성한 장면에 관한 것일 수도 있다.

경우들을 구분하려면 시간과 내용을 아는 사건이 필요하다. 소리를 알아볼 수 있다는 사실 자체로 지각 시점이 확립되지는 않는다.

마찬가지로 이야기가 없다고 앞선 이력을 전부 복원할 수는 없다. 기억이 형성되지 않았거나 접근할 수 없을 수 있다. 그렇다고 모든 빈 구간을 숨겨진 경험으로 보아야 한다는 뜻은 아니다. 올바른 결론은 자료가 가능한 설명들의 범위를 제한하지만 언제나 그중 하나를 고르지는 않는다는 것이다.

물리적 가설에서는 이 연결 고리의 어느 부분을 기술하는지 미리 정하는 일이 특히 중요하다. 모형은 내부 과정이 유지되면서 접근 가능한 기억이 사라질 것을 예측할 수 있다. 그러면 바로 그런 어긋남의 결과로 검증해야 한다. 과정의 완전한 중단을 예측한다면 이후 증언과 독립적 지표가 제기하는 요구는 달라진다.

서로 다른 자료 원천들을 맞추어 비교하면 검증이 강해진다. 행동, 생리, 이야기가 언제나 일치할 필요는 없지만 이론은 일치와 어긋남의 구조를 설명해야 한다. 현재 결론에 편리한 지표를 임의로 선호하면 실험은 설명들을 구분할 힘을 잃는다.

교란에 대한 뇌의 반응

체계의 작동은 통상적인 조건에서도, 짧은 개입 뒤에도 연구할 수 있다. 교란은 시작 시점을 알려 주고 반응이 어떻게 퍼지고 변하는지 연구하게 한다. 겉으로는 움직이지 않아 비슷하지만 내적 조직은 다른 상태들을 구분하는 데 도움이 된다. 앞서 언급한 자기 자극 연구에서 바로 이 접근을 이용했다. [2]

그러나 반응의 복잡성을 임의적인 불규칙성과 혼동해서는 안 된다. 잡음은 서로 연결된 처리를 이루지 않아도 예측 불가능할 수 있다. 한편 매우 규칙적인 체계도 제한된 기능을 신뢰성 있게 수행할 수 있다. 의식과 연결하려면 단순히 진동의 양이나 모양의 특이함이 아니라 관심 있는 조직에 민감한 지표가 필요하다.

머릿속에서 세 장치를 비교하자. 첫째는 개입에 언제나 같은 짧은 펄스로 응답한다. 둘째는 무작위 잡음을 낸다. 셋째는 다양하면서도 개입 및 내적 상태와 연결된 응답을 한다. 이 차이들은 동역학 분석에 유용하지만 그 자체로 어느 장치에 경험이 있는지 정하지는 않는다.

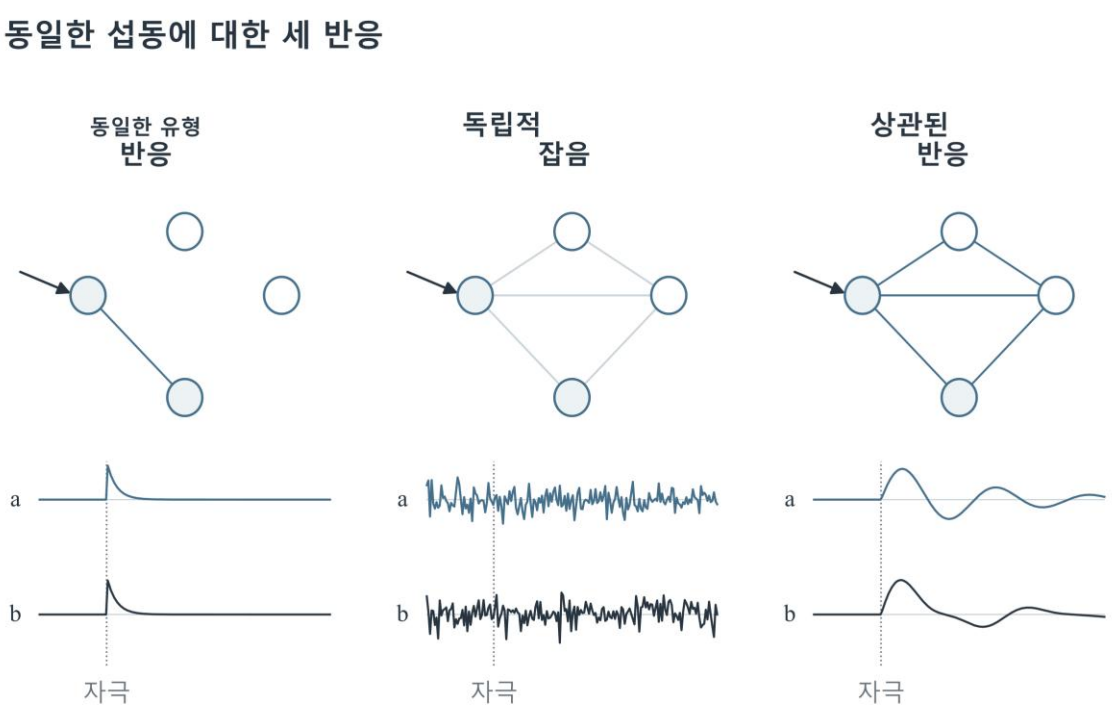


그림 21. 획일적인 반응, 잡음, 다양하면서도 연결된 반응은 서로 다른 동역학적 조직을 반영한다. 세 번째 예시의 두 실행은 장치의 초기 상태가 다르다. 설명을 위한 이 예시들만으로 체험의 유무를 판단할 수는 없다.

따라서 생리적 지표는 독립적으로 기술한 상태 및 조건과 비교하면서 의미를 얻는다. 응답이 어려운 곳에서 의식의 평가를 도울 수 있지만 모든 물리적 체계의 주관성을 재는 보편적 척도가 되지는 않는다. 새 환경에 적용하려면 그 지표가 무엇을 뜻하는지 따로 검증해야 한다.

또한 상태가 모든 측면에서 동시에 바뀌어야 하는 것은 아니다. 전이 중에는 한 지표가 다른 지표보다 먼저 회복될 수 있다. 개입 전후의 안정된 상태만 비교하면 메커니즘의 중요한 부분이 보이지 않는다. 변화의 시간적 순서는 어느 연결 고리가 다른 고리에 앞서며 외적 응답이 나타난 뒤에도 어떤 과정이 이어지는지 보여 줄 수 있다. 따라서 이론은 여러 기능의 회복 순서를 포함해 전이의 진행을 설명해야 한다.

양자 가설에서는 뇌 반응의 복잡성 변화가 예상하는 결과일 수 있어도 양자 담지체의 직접 측정은 아니라는 뜻이다. 가정한 미시적 과정과 관찰 동역학 사이에는 인과적 연결 고리가 남는다. 양자적 설명을 다른 미시적 토대의 신경 모형과 구별하려면 이 연결 고리를 연구해야 한다.

개입과 회복

연구자가 특정 체계의 작동을 바꾸고 기능의 부분적인 회복을 관찰하는 실험은 특히 가치가 있다. Bastos와 동료들의 중앙 시상 자극 실험에서 마카크원숭이 두 마리는 프로포폴 투여를 계속하는 중에도 각성 징후를 보였다. 동시에 신경 활동의 일부 특성도 달라졌다. [3]

여기서는 인과적 구조가 중요하다. 마취제가 계속 작용하는데도 특정 개입 뒤 상태가 달라졌다. 물질의 분자가 어디에서나 같은 방식으로 의식을 파괴했을 뿐이라고 말해서는 설명이 충분하지 않다. 연결망의 조직, 활성화할 가능성, 실제로 회복된 기능들을 고려해야 한다.

그러나 개입의 인과성에는 한계가 있다. 한 연결점을 활성화하면 다른 여러 연결점에 영향을 줄 수 있다. 운동 반응이 돌아왔다고 동물의 경험 내용을 직접 읽을 수 있는 것은 아니다. 따라서 결과를 정확히 표현하려면 관찰 수준을 유지해야 한다. 확인한 것은 각성 징후와 신경생리학적 변화이며, 동물의 내면세계에 완전히 접근한 것이 아니다.

인터페이스 가설은 시상피질의 조직화가 가정한 담지체에 접근하는 데 관여한다고 가정하여 이 결과를 포함할 수 있다. 그렇다면 왜 바로 그 조직화가 중요하며, 그 설명에서 어떤 추가 결과가 따라오는지 밝혀야 한다. 어떤 회복 방법이든 수신기의 수리라고 부른다면 가설은 지나치게 유연한 채로 남는다.

더 강한 형태의 모형은 개입 사이의 차이를 예측해야 한다. 한 변화는 외부 자극에 응답할 능력을, 다른 변화는 개입에 대한 뇌 반응의 복잡성을, 셋째는 기억을 보존할 능력을 회복시킬 수 있다. 이 효과들 사이의 관계는 가정한 인터페이스에 실제로 독립적인 기능이 얼마나 포함되는지 보여 줄 것이다.

인과 사슬 속의 미세소관

Han과 동료들의 연구에서는 미세소관 안정제인 에포틸론 B를 작용시킨 랫드에서 이소플루란 마취에 의해 정위반사가 사라질 때까지의 시간이 늘어났다. 이 결과는 미세소관 체계에 대한 개입과 마취 민감도의 지표를 연결한다. 실험 자체가 양자 결맞음을 측정하거나 동물에게 경험이 있는지 직접 판정한 것은 아니다. [12]

정위 반사는 동물이 뒤집힌 뒤 통상적인 자세로 돌아오는 능력이다. 기술한 실험에서는 등을 대고 누운 쥐가 발을 딛는 자세로 돌아오는지 평가했다. 관찰하기 편리한 지표지만 그 변화에는 유기체의 서로 다른 연결 고리들의 작동이 반영될 수 있다.

결과를 바로 양자 동역학과 연결하려면 그 인과적 역할을 보이고 다른 세포 변화들과 구분해야 한다. [12]

개입이 구조를 더 안정적으로 만들면서 빛과의 상호작용도 바꾼다고 가정하자. 물질에 대한 민감도 변화에는 적어도 두 설명이 가능하다. 어느 설명인지 가리려면 미세소관을 포괄적으로 언급하는 대신 둘을 구별하는 예측이 필요하다. 예를 들어 어떤 특성은 함께 변해야 하며 어떤 특성은 독립적으로 변할 수 있는가?

이 실험들을 비교할 때는 중간 연결 고리를 검증해야 한다. 분리된 구조의 광학 효과와 동물의 반사 변화가 하나의 메커니즘에 관한 것일 수 있지만 그 관계는 아직 증명해야 한다. 두 기술 모두에 «미세소관»이라는 말이 있다고 인과적 연속성이 확립되지는 않는다.

후속 연구에서는 담지체의 상태, 세포에 대한 영향, 유기체의 상태라는 세 수준을 측정으로 연결해야 한다. 변화의 시점과 효과 크기가 부합한다면 모형이 뒷받침된다. 연결이 끊어진다면 어느 지점에서 수정이 필요한지 드러난다.

설명을 구별해 주는 예측은 어떤 것인가

내용 있는 예측은 효과의 방향만을 다루지 않는다. 약리학에서 이미 알려진 사실이라면 «물질이 의식을 바꿀 것이다»라는 정식화는 너무 광범위하다. 새 메커니즘은 추가 차이를 설명해야 한다. 담지체의 성질에 대한 의존성, 특성 범위, 특정 시간 순서, 관찰 변화들의 특별한 조합이 이에 해당한다.

예를 들어 가상의 모형에서 두 개입이 연결망의 전체 활동은 똑같이 바꾸지만 가정한 양자 담지체에는 다르게 영향을 준다고 하자. 모형이 경험의 특정 측면을 그 담지체와 연결한다면 최종 상태들 사이의 차이를 미리 명시해야 한다. 그렇지 않으면 담지체는 기존의 신경학적 설명에 관찰 가능한 정보를 더하지 않는다.

반대 경우도 중요하다. 두 개입이 담지체의 지표를 똑같이 바꾸어도 이후 단계의 차이로 서로 다른 행동을 낳을 수 있다. 그러면 이론은 미시적 효과가 같아도 왜 유기체의 상태는 같지 않은지 설명해야 한다. 여러 수준에 걸친 설명에는 보편적 지표 하나 대신 일관성이 필요하다.

좋은 모형은 실패도 허용한다. 가정한 담지체가 변하는데 적절한 조건에서 예상 기능이 변하지 않는다면 그 역할이 제한된다. 기능은 바뀌는데 담지체의 예상 변화가

없다면 주장한 필요성이 제한된다. 이런 결과는 서로 다른 인과적 구성을 가릴 수 있게 하므로 유용하다.

통합 설명이 치러야 할 대가

의식의 보편적 이론이라면 일반적인 각성과 함께 경험, 반응, 기억이 서로 어긋나는 전환도 설명해야 한다. 가장 수수께끼 같은 사례만 골라서는 안 된다. 단순하고 안정적인 의존 관계도 이례적인 주관적 증언 못지않게 엄격한 요구를 이론에 제기한다.

따라서 마취가 단 하나의 결정적 답을 주지는 않지만 수많은 제약을 제공한다. 이론은 관찰 상태의 다양성, 인과적으로 개입할 가능성, 측정 방식의 한계를 고려해야 한다. 외부 담지체에는 유기체와의 정밀한 연결 모형이 필요하다는 뜻이며, 순수하게 신경에 기반한 접근에는 경험의 내적 조직을 설명해야 한다는 뜻이다.

다음 단계는 이 설명들을 공통된 조건에서 비교하는 것이다. 각 프로그램이 자신에게 유리한 사례를 고르는 동안 논쟁은 나란히 이어지는 독백이 되기 쉽다. 경쟁 이론들이 예측이 실제로 어디에서 달라지며 어떤 결과를 불편한 것으로 인정해야 할지 미리 명시할 때 과학적 의미가 생긴다.

제12장

이론이 경쟁 이론을 만날 때

이론은 따로 놓고 보면 특히 설득력 있어 보인다. 잘 맞는 결과마다 아름다운 설명을 찾고 불편한 세부 사항은 이후 과제로 남길 수 있다. 같은 관찰을 설명할 수 있는 다른 이론이 옆에 나타나면 상황이 달라진다. 이제 질문은 이야기가 가능한지가 아니라 어느 설명이 공통 검증을 더 잘 견디는지다.

의식 연구에도 다른 과학 분야 못지않게 이런 비교가 필요하다. 대상 자체가 복잡하며 자료는 여러 수준의 해석을 허용한다. 따라서 상태의 설명, 접근 메커니즘의 설명, 내용의 설명, 경험이 존재한다는 사실 자체의 설명을 구분하는 일이 특히 중요하다. 이론들은 서로 다른 질문을 두고 다투면서 같은 질문에 양립 불가능한 답을 준다고 오해할 수 있다.

설득력 있는 신경학적 대안

신경 이론을 지나치게 단순하게 그리기는 쉽다. 신경세포를 많이 모으기만 하면 의식이 저절로 나타난다고 주장하는 것처럼 보는 것이다. 실제 연구 프로그램은 과정들의 어떤 조직이 중요하고 어떤 상호작용이 필요한지, 왜 정보가 어떤 경우에는 여러 기능에 이용 가능해지고 다른 경우에는 국소적으로 남는지 정하려 한다.

전역 신경 작업공간 이론에서는 재귀 상호작용을 통한 표상의 증폭과 유지가 중요한 역할을 한다. 이를 통해 서로 다른 전문화된 과정들이 정보를 이용할 수 있게 된다. George Mashour, Peter Roelfsema, Jean-Pierre Changeux, Stanislas Dehaene의 종설은 이 접근법을 주의 및 작업기억과의 관계를 포함하는 의식적 처리 메커니즘의 설명으로 다룬다. [22]

사고 실험으로 시각 신호를 처음에는 국소적인 인식에만 쓰다가 이후에는 계획, 기억, 응답 선택에 이용하는 체계를 생각할 수 있다. 차이는 단순히 신호의 존재가 아니라 이후 이용 방식의 변화에 있다. 이 설명이 주관성을 설명하는 데 충분한지와 무관하게 구체적인 기능적 내용은 있다.

인터페이스 가설은 이런 조직을 무시해도 이점을 얻지 못한다. 외부 토대가 존재하더라도 인간 경험은 여전히 기억, 주의, 행동을 통해 드러난다. 따라서 새 모형은

확립된 기능적 관계를 포함하거나 다른 구성이 왜 같은 결과를 주는지 설명해야 한다. «뇌인가 의식인가»라는 단순한 대립은 이 의무를 가린다.

인과 구조로 보는 통일성

통합정보이론은 다른 전제에서 출발한다. IIT 4.0에서는 경험의 성질을 물리적 체계의 내적 인과 구조에 대한 요구와 대응시킨다. 이론은 경험을 단순한 전달 자료량이 아니라 환원 불가능한 원인과 결과의 조직과 연결한다. 수학적 기술은 무엇을 체계로 볼지, 그 안의 어떤 관계가 중요한지에 특정 조건을 부과한다. [21]

이 접근을 «복잡할수록 더 의식적이다»라는 주장으로 줄일 수는 없다. 무작위 흐름은 압축하기 어려우면서도 필요한 인과적 조직은 없을 수 있다. 기억 용량, 연결 수, 계산 성능도 주장한 기준과 같지 않다. 따라서 완전한 이론적 정의 대신 편리한 복잡성 지표를 이용하려면 별도 근거가 필요하다.

과정의 기록과 실제로 작동하는 체계로서의 과정을 머릿속에서 대조하면 유용하다. 복잡한 메커니즘의 영상 기록은 그 작동에 관한 많은 정보를 담을 수 있지만 그 자체가 메커니즘의 인과적 상호작용을 전부 재현하지는 않는다. 내부의 원인과 결과에 중점을 두는 이론에는 근본적인 구분이다. 다른 이론에서는 다른 조직 수준이 결정적일 수 있다.

이 방향에도 고유한 어려움이 있다. 체계의 경계를 정하고 인과 구조를 확립하며 수학적 성질을 구체적인 경험 내용과 연결해야 한다. 그러나 계산이나 검증이 어렵다고 이론을 단순히 희화화한 모습으로 바꿀 수는 없다. 실제 이론의 주장, 이용 가능한 자료, 경쟁 설명의 예측을 비교해야 한다.

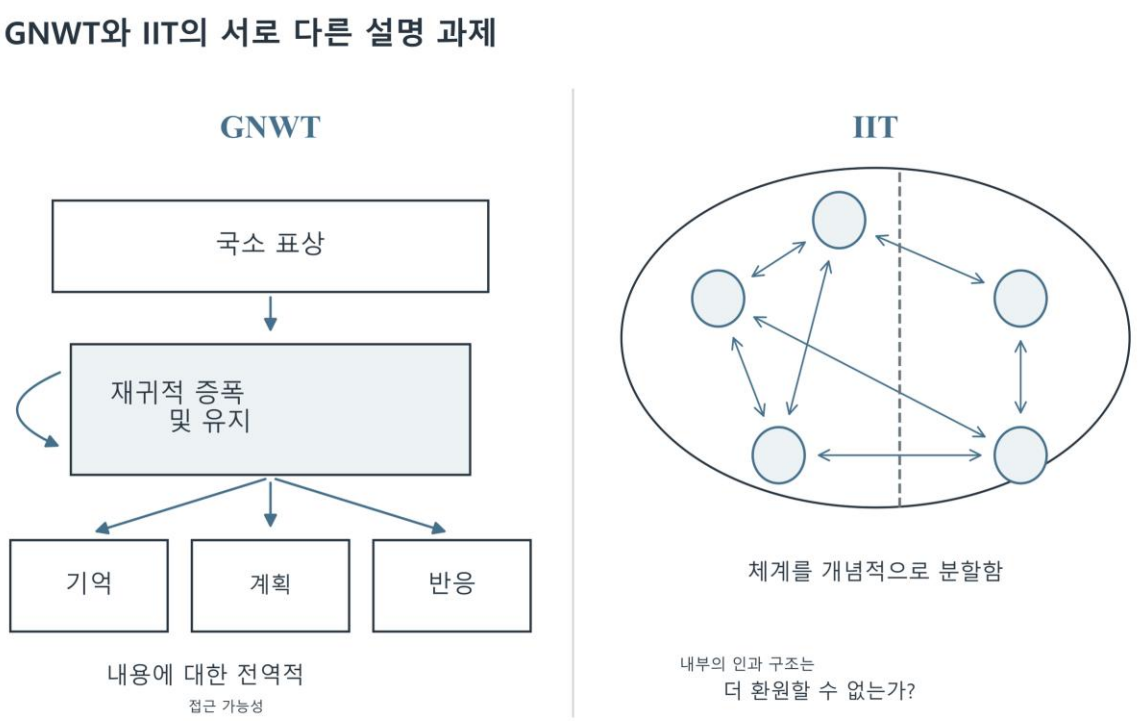


그림 22. GNWT는 여러 과정이 표상에 전역적으로 접근할 수 있음을 강조한다. IIT는 경험을 환원 불가능한 내부 인과 조직과 연결한다. 두 도식은 설명의 방향을 보여 주며, 의식을 계산하는 것은 아니다.

함께 선택한 검증

Cogitate 컨소시엄 연구에서 IIT와 GNWT의 지지자들은 서로 다른 예측과 결과 평가 규칙을 미리 합의했다. 256명의 참여자에게 지속 시간이 다른 시각 자극을 제시하면서 뇌 활동을 연구했다. 기능적 자기공명영상, 뇌자도, 두개내 뇌파검사를 사용했다. 일부 결과는 두 연구 프로그램의 예상에 부합했지만, 구체적인 어려움도 드러났다. IIT에서는 예측했던 후방 피질의 지속적인 동기화가 나타나지 않았다. GNWT에서는 자극이 사라진 뒤 전전두피질에서 다시 나타날 것으로 예상한 활성 증가가 없었다. 이 결과는 검증한 예측과 실험 조건에 관한 것이다. 어느 한 이론의 전체 내용이 최종적으로 기각되었다고 선언할 근거를 주지는 않는다. 이 연구의 핵심적인 방법론적 성과는 자료를 보기 전에 비교 기준을 정했다는 점이다. [1]

이런 검증의 원리는 승자를 극적으로 발표하는 것보다 중요하다. 예측을 미리 적으면 실험 뒤에 이론의 의미를 모르게 바꾸기 어려워진다. 그러나 미리 선택한 검증에도 적용 범위가 있다. 구체적인 판본, 과제, 측정, 연결 가정들에 관한 검증이다. 예측 하나의

실패가 반드시 프로그램 전체를 무너뜨리지는 않지만 수정의 이유를 설명할 의무를 낳는다.

모형들을 구분하는 일반 논리는 그림 7에 제시했다. 적합과 독립적 검증의 구분은 열일곱째 장의 그림 31에서 더 자세히 다룬다.

이론의 핵심 주장과 그 주장을 장치에 연결하는 보조 방식을 구분해야 한다. 예를 들어 모형은 특정 정보 조직을 예측하고 연구자는 그 흔적으로 생리적 지표 하나를 고를 수 있다. 예상 밖의 결과는 모형에도, 선택한 지표와의 연결에도 의문을 제기할 수 있다. 내용 있는 수정을 하려면 정확히 어느 부분을 바꾸려 하며 어떤 새 결과가 따를지 명시해야 한다.

이 구분이 끝없는 방어가 되어서는 안 된다. 불편한 결과를 무엇이든 보조 가정의 오류라고 선언한다면 이론은 더는 위험을 감수하지 않는다. 따라서 해당 비교에서 어떤 연결을 충분히 신뢰할 것으로 보고 어떤 결과 조합을 심각한 난점으로 볼지 미리 정하면 유용하다. 그러면 수정은 어떤 대가를 치르더라도 표현을 지키는 방법이 아니라 과학적 작업으로 남는다.

새 판본이 이전 판본보다 나을 수 있다. 그러나 그 이점은 새로운 조건에서 검증해야 한다. 새 판본을 만들게 한 바로 그 결과를 다시 설명해도 예측 능력이 커졌다고 드러나지는 않는다.

안정적인 표상이 어디에 있을지 서로 다르게 예측하는 두 모형을 생각해 보자. 얻은 결과가 어느 쪽과도 맞지 않을 수 있다. 그렇다고 비교에 참여하지 않은 셋째 모형이 이긴 것은 아니다. 먼저 문제 설정 자체나 측정 방법, 관찰 신호와 이론적 개념 사이의 연결에 공통된 오류가 없었는지 살펴야 한다.

외부 인터페이스 가설에는 유용한 주의점이다. 신경 이론의 어려움은 새로운 설명의 여지를 만들지만 외부 담지체를 뒷받침하는 완성된 증거가 되지는 않는다. 자체 모형이 경쟁 이론보다 잘 다루는 차이를 미리 설명하고 그 결과가 독립적 검증을 견딜 때 증거가 생긴다.

설명들은 서로 다른 수준에 있을 수 있다

양자 모형과 신경 모형이 반드시 서로 배타적인 것은 아니다. 첫째는 특정 세포 기능을 가능하게 하는 미시적 메커니즘을 기술하고, 둘째는 그 기능을 이용하는

연결망의 조직을 기술할 수 있다. 둘이 서로 양립하는 다층적 기술을 준다면 «어느 쪽이 옳은가»라는 논쟁은 질문을 잘못 세운 것이다. 서로 다른 질문에 답하기 때문이다.

직접적인 경쟁은 관찰 가능한 결과가 다를 때 생긴다. 예를 들어 한 모형은 특정 양자 과정이 기능에 필요하다고 주장하고 다른 모형은 그 과정만 선택적으로 없앤 뒤에도 기능이 유지될 수 있다고 한다. 그러면 구체적인 비교 대상이 생긴다. 그러나 먼저 필요한 성질만 제거했으며 세포 체계 전체를 파괴한 것은 아닌지 확인해야 한다.

모든 양자 효과가 기능에 대한 고전적 기술을 쓸모없게 만드는 것은 아니다. 때로는 미시적 물리학에서 더 큰 규모의 안정적인 유효 규칙이 나온다. 그런 규칙은 입자 하나하나를 기술하지 않아도 행동을 잘 예측할 수 있다. 따라서 양자적 기술의 필요성은 물질 일반이 아니라 선택한 과제와 정확도에 관한 질문이어야 한다.

한편 행동을 설명하는 고전적 모형이 성공해도 경험의 본성에 관한 질문이 반드시 해결되는 것은 아니다. 관찰된 규칙성을 재현하면서 주관적 측면의 설명은 열어 둘 수 있다. 이는 모형화의 실패가 아니라 그 결과와 더 넓은 목표 사이의 구분이다. 경계를 정밀하게 하면 모형 하나에 모든 것을 한꺼번에 요구하지 않을 수 있다.

외부 담지체는 무엇을 더하는가

뇌 모형이 이미 관찰 상태, 기억 오류, 정보 접근성, 개입에 대한 반응을 설명한다고 하자. 여기에 외부 체계를 더한다. 추가에 물리적 의미가 있으려면 예측을 개선하거나, 더 적은 독립적 가정으로 안정적인 규칙성을 설명하거나, 검증 가능한 새 메커니즘을 제안해야 한다.

결과마다 외부 담지체의 상태를 자유롭게 고를 수 있다면 모형은 지나치게 유연해진다. 과거 자료에 맞추기는 쉽지만 검증하기 어렵다. 문제는 외부 체계 자체가 아니라 제약이 없다는 데 있다. 불편한 결과의 수와 함께 자유롭게 고를 가능성의 수도 늘어나는 모형이라면 같은 어려움이 생긴다.

사고 실험을 하면 설명과 적합의 차이가 보인다. 첫 모형은 개입에 대한 특정 응답 지연을 미리 예측한다. 둘째는 측정할 때마다 새로운 지연을 고르고 접근할 수 없는 원천의 성질이라고 부른다. 둘 다 얻어진 자료를 기술할 수 있지만 다음 측정에서 틀릴 위험을 지는 것은 첫 모형뿐이다. 바로 이 위험이 예측에 과학적 가치를 준다.

따라서 외부 담지체는 원하는 결론과 독립적으로 정할 수 있는 성질에 의해 제약되어야 한다. 상호작용 시간, 감도 범위, 정보의 보존, 상태를 바꾸는 방법이 어떤

결과든 자유롭게 설명하는 수단이 되어서는 안 된다. 하나의 기제로 연결할 수 있는 성질이 많아질수록 모형은 더 구체적인 내용을 갖는다.

새로운 자료가 편리한 과거 해석보다 중요하다

이미 알려진 결과의 설명은 필요하지만 충분하지 않다. 모형이 그 결과들에 특별히 맞추어졌을 수 있다. 따라서 매개변수와 가정을 고를 때 쓰지 않은 관찰이 특히 중요하다. 모형이 예측 능력을 유지했는지, 아니면 이전 자료 묶음에 맞추기만 했는지 보여 주기 때문이다.

이 구분은 표를 기계적으로 둘로 나누는 데 그치지 않는다. 연구자가 검증 자료를 반복해서 보고 모형을 바꾸면 그 자료는 점차 조정의 일부가 된다. 설득력 있게 비교하려면 절차를 미리 정하고 실제로 새로운 검증의 가능성을 보존해야 한다. 독립적 재현은 실험실의 드러나지 않은 특성으로부터 한 층 더 보호해 준다.

성과 지표도 미리 합의해야 한다. 한 모형은 시간을, 다른 모형은 효과의 세기를 예측하는데 우연히 유리해진 특징으로 승자를 고르면 비교가 불명확해진다. 주장한 메커니즘과 관련된 물리량은 무엇이며 결과가 모형을 구별하려면 예측이 얼마나 정밀해야 하는지 정해야 한다.

부정적 결과에는 여러 의미가 있을 수 있다. 검증한 조건에서 메커니즘이 없을 수도 있다. 존재하지만 주장한 기능을 수행하기에는 너무 약할 수도 있다. 측정이 충분히 민감하지 않을 수도 있다. 실험 자체가 무엇을 할 수 있는지에 따라 경우들을 구분해야 한다. 그렇지 않으면 부정적 결과는 무엇이든 «너무 거친 측정», 긍정적 결과는 무엇이든 최종 확인이라고 선언할 수 있다.

연구 구상에 포함되는 경쟁 이론

좋은 이론은 공정한 비교에서 어떤 설명이 자신을 이길지 기술할 수 있어야 한다. 선택적 인터페이스 가설에서는 외부 담지체 없이 주장한 추가 효과들을 모두 재현하는 신경 모형이 그런 경쟁자가 될 수 있다. 가정한 담지체가 존재하지만 의식과는 관계없을 수 있다. 선택한 양자적 성질이 기능 설명에 필요하지 않음이 드러날 수도 있다.

이런 결과가 연구를 무의미하게 만들지는 않는다. 처음의 기대가 어떻게 되든 어떤 지식을 얻을지 정해 준다. 명확하게 제한한 전제 아래 외부 체계 모형이 더 나은 새

예측을 내놓는다면 지지가 커진다. 대안을 대조한 뒤 이점이 사라진다면 처음 생각이 여전히 매력적이어도 모형을 수정해야 한다.

비교는 긍정적 목표도 더 정밀하게 표현하도록 돕는다. 필요한 것은 실험 하나로 형이상학적 그림 전체를 증명하는 일이 아니라 특정한 물리적 기여를 발견하고 그 의미를 확립하는 일이다. 그 뒤 어떤 추가 조건이 그 기여를 개별 경험과 연결하는지 물을 수 있다. 과제를 나누면 성급한 최종 답을 요구하지 않고도 나아갈 수 있다.

경쟁 설명을 검증하는 일은 자체 모형에도 요구를 부과한다. 다음 부에서는 가정한 담지체, 유기체와 상호작용하는 메커니즘, 주체의 경계, 검증 조건을 정해야 한다. 선택적 인터페이스 가설에도 같은 규칙을 적용할 것이다. 예측이 얼마나 구체적이며 대안과의 비교를 얼마나 잘 견디는가?

제사부

선택적 인터페이스 가설

제13장

추가 기여는 어디에서 올 수 있는가

모든 수신기에는 선택성이 있다. 우주의 모든 일에 반응하는 것이 아니라 특정 개입에 반응한다. 너무 약한 신호는 잡음 속에서 사라지고, 너무 빠른 신호는 장치 상태를 바꿀 시간이 없으며, 맞지 않는 진동수는 거의 반응을 일으키지 않는다. 바로 이 제약들이 물리적 장치를 비유와 구분한다. 뇌가 정말 추가 담지체와의 연결에 참여한다면 그 연결에도 성립 조건이 있어야 한다.

지금까지는 주로 기존 연구 프로그램들을 살펴보았다. 이를 바탕으로 저자의 인터페이스 가설을 정식화할 수 있다. 출발 가정은 일부 유기체 상태가 통상적인 신경학적 기술에 포함되지 않은 물리적 자유도와 선택적으로 상호작용할 수 있다는 것이다. 안정적인 상호작용이 주관적 경험의 조직에 관여할 수 있다. 이를 선택적 인터페이스 가설이라 부르자. 이 가설에서는 가정한 메커니즘이 어떻게 작동하는지와 왜 그 작동에 체험되는 측면이 있어야 하는지라는 두 질문을 연결해야 한다.

비유 대신 담지체

«담지체»는 물리적으로 구별되며 변할 수 있는 상태들을 지닌 체계를 뜻한다. 장, 입자들의 집합, 따로 정한 집단 모드가 그런 체계일 수 있다. 이름만으로는 아무것도 해결되지 않는다. 담지체가 존재한다면 에너지, 공간 구조, 변화 규칙, 이미 알려진 물질과의 상호작용 방식처럼 관찰 가능한 성질을 명시해야 한다. 일부 특성을 아직 직접 측정할 수 없어도 그 특성들이 귀결의 계산에 관여해야 한다.

선택한 생물학적 부분계를 B로 나타낼 것이다. 모든 규모에서 동시에 기술한 뇌 전체일 필요는 없다. 구체적인 모형에서 B는 특정 분자 상태 및 세포 과정과의 연결을 포함할 수 있다. E는 가정한 추가 담지체다. 열운동, 화학 반응, 알려진 전자기적 개입이라는 통상적인 환경은 R로 나타낼 것이다. E 가설이 기각되어도 그 환경은 설명의 일부로 남는다.

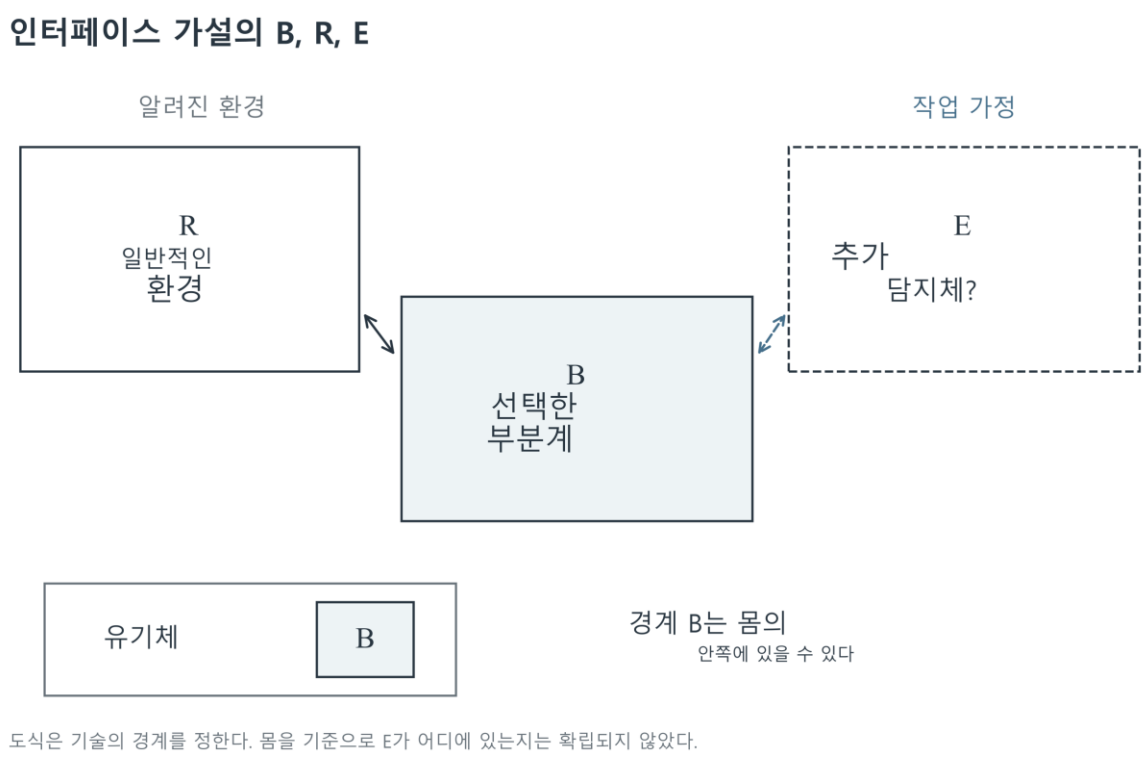


그림 23. 이 가설에서 B는 선택한 생물학적 부분계, R은 일반적인 환경, E는 가정한 추가 담지체를 나타낸다. B의 기술에서 E를 제외한다는 것만으로 그 담지체가 몸에 대해 어디에 위치하는지 정해지지는 않는다.

이 구분이 의식의 위치를 정하지는 않는다. 세포 안의 부분계도 선택한 B의 기술에서 제외되면 수학적으로는 외부일 수 있다. 따라서 «뇌 밖의 의식»이라는 표현에는 별도의 공간적 주장이 필요하다. 새 세포내 메커니즘의 발견은 신경생물학을 바꿀 수 있지만 주체를 유기체의 경계 밖으로 옮기지는 않는다. 공간적으로 외부인 담지체는 특정 전파 법칙이나 기하학에 따른 연결의 의존성처럼 외부 원천 고유의 성질을 드러내야 한다.

근본적이라고 가정한다고 해서 무제한적이라는 뜻도 아니다. 경험의 토대에 공통된 물리적 과정이 관여하더라도, 개별 체계가 받아들일 수 있는 상태는 여전히 제한될 수 있다. 일반적인 빛은 공통의 전자기장에 속하지만 광검출기 두 개가 하나의 검출기가 되지는 않는다. 마찬가지로 공통 담지체가 존재하더라도 주체의 통일성이나 다수성을 곧바로 설명하지는 못한다. 이러한 성질은 공통이라는 말에서 끌어내는 대신 결합이 조직되는 방식에서 도출해야 한다.

탐색에는 두 길이 가능하다. 첫째는 담지체를 독립적으로 발견한 뒤 유기체와의 관계를 연구하는 길이다. 둘째는 먼저 관찰과 기존 모형 사이의 안정적인 어긋남이 나타나고 그 설명으로 추가 체계를 도입하는 길이다. 둘째도 허용되지만 특히 엄격한 규율이 필요하다. 어긋남 하나에는 수많은 원인이 있을 수 있기 때문이다. 새 담지체가

같은 규칙 묶음으로 독립적인 여러 특징을 설명하고 아직 관찰되지 않은 귀결을 예측한다면 유용해진다.

기하학이 그런 규칙 가운데 하나일 수 있다. 공간적으로 외부인 원천에서는 효과가 거리, 방향, 차폐에 의존하는지가 중요하다. 그러나 이해하기 쉽게 만들 목적으로 익숙한 장에서 특정 법칙을 빌려 올 수는 없다. 선택한 상호작용 유형에서 나와야 한다. 통상적인 전자기 영향을 가정한다면 연구 프로그램은 알려진 성질들을 고려해야 한다. 다른 상호작용을 주장한다면 왜 전에 분리해 내지 못했으며 정확히 어디에서 나타나야 하는지 설명할 근거가 필요하다.

사고 실험에서 유용한 한계도 있다. 가능한 어떤 관찰에서도 E가 통상적인 환경과 구별되지 않는다면 새 글자를 도입해도 물리적 설명에 더해지는 것은 없다. 구분이 철학적 의미를 유지할 수는 있지만 실험 프로그램은 달라지지 않는다. 따라서 연구는 가정한 추가 기여가 이미 고려한 환경의 다른 이름에 그치지 않게 하는 성질을 찾는 데서 시작한다.

검증의 의무를 부여하는 방정식

처음에는 상호작용하는 양자 부분계들의 표준 표기면 충분하다. 의식 문제와 독립적으로 알려진 표기이며 여기서는 가설을 정식화하는 언어로 쓴다. [14]

$$H = H_B \otimes I_E + I_B \otimes H_E + \hbar \sum_k g_k A_k \otimes F_k .$$

해밀토니안 H는 에너지와 동역학을 정한다. 앞의 두 항은 B와 E를 각각 기술하고, 마지막 항은 그 사이의 결합을 정한다. 항등연산자 I는 자신이 작용하는 부분계의 상태를 바꾸지 않는다. 기호 ⊗는 텐서곱을 뜻한다. 복합 체계의 서로 다른 부분에 작용하는 연산자들을 이 방식으로 결합한다. 여기서 연산자 A와 F는 무차원이고, 계수 g는 시간의 역수 차원을 가지며, 상수 ħ는 작용의 차원을 갖는다. 따라서 모든 항의 차원은 에너지다. 이 표현에서는 허용되는 해밀토니안을 정의하는 상호작용이 되도록 연산자 A와 F를 에르미트 연산자로, 계수 g를 실수로 선택한다. 에르미트성이 중요한 까닭은 그러한 연산자가 실수 고윳값을 갖기 때문이다. 그 값은 해당 물리량을 측정했을 때 가능한 결과다. [14]

식에는 내용 있는 선택이 필요하다. 연산자 A는 특정 생물학적 성질에, 연산자 F는 담지체의 특정 특성에 대응해야 한다. 계수 g를 새 관찰에 맞출 목적으로 매번 바꿀 수는 없다. 독립적으로 추정하거나 전체 모형에서 도출한 뒤 새로운 조건을 검증할 때 그대로

유지해야 한다. 합에 들어가는 항의 수도 중요하다. 자유롭게 정할 연결이 무제한이면 거의 어떤 자료든 기술할 수 있지만 모형이 틀릴 위험은 사라진다.

실제 유기체에서는 두 부분계만으로 충분하지 않다. B의 상태는 통상적인 환경 R에도 의존한다. 측정이 B에서만 가능하다면 나머지 자유도에 대해 부분대각합을 취하여 그 상태를 얻는다:

$$\rho_B = Tr_{ER}\left(\rho_{BER}\right).$$

이 표기로 B에서의 측정 통계를 계산할 수 있다. 그러나 숨은 체계들의 구성을 유일하게 복원할 수는 없다. 서로 다른 환경이 같은 관찰 결과를 줄 수 있다. 따라서 뇌 활동을 매우 정밀하게 기록해도 추가 담지체를 복잡한 통상 환경과 구별할 수 있다는 보장은 없다. 비교하는 모형들의 예측이 달라지도록 조건을 바꿀 수 있어야 한다.

물리적 성질로 보는 선택성

연결이 좁은 진동수 범위에서 가장 강하다고 하자. 그러면 가설은 그 범위의 중심에서 반응이 커진다는 점뿐 아니라 중심에서 멀어질 때 약해진다는 점도 예측해야 한다. 메커니즘이 구조들 사이의 상대 방향에 의존한다면 회전시킬 때 특정 법칙에 따라 반응이 바뀌어야 한다. 위상 보존이 필요하다면 무작위 위상 변화가 효과의 해당 성분을 억제해야 한다. 이렇게 포괄적인 생각에 측정 가능한 제약이 생긴다.

그러나 공명은 고전적일 수도 있다. 그네, 전기 회로, 음향 악기도 외부 개입에 선택적으로 응답한다. 따라서 반응의 봉우리를 발견해도 양자 메커니즘이 확립되지는 않는다. 상호작용의 매개변수를 정하는 데 도움이 될 뿐이다. 양자적 본성을 밝히려면 선택한 상태와 측정, 고전적 기술로 가능한 범위에 관한 추가 관찰이 필요하다. 약한 분자 효과가 수많은 세포 과정으로 증폭될 때는 이 경계가 특히 중요하다.

제안한 가설은 선택성에 중심 역할을 부여한다. 여기서 뇌는 모든 외부 내용에 열려 있는 창이 아니다. 구조가 가능한 상호작용을 제한하고, 현재 상태가 그 효율을 바꾸며, 이력이 이후 반응을 재구성한다. 고정된 안테나라는 비유 대신 자신의 연결 조건을 끊임없이 바꾸는 체계가 등장한다. 이 가정의 의미는 아주 작은 모형으로도 드러낼 수 있다.

큰 생각을 담은 작은 모형

선택한 요소 B가 두 에너지 준위를 갖고, 요소 E도 두 준위를 갖는다고 하자. 단순화를 위해 들뜸 하나를 교환하는 경우만 남긴다. 초기 상태는 E가 들뜨고 B가 아래

준위에 있도록 선택한다. 올림연산자와 내림연산자는 각 요소를 이 두 상태 사이에서 전이시킨다. 상호작용은 다음과 같이 쓴다

$$H_{int} = \hbar g \left(\sigma_+^B \otimes \sigma_-^E + \sigma_-^B \otimes \sigma_+^E \right).$$

첫 항은 들뜸을 E에서 B로 옮기고, 둘째 항은 역과정을 허용한다. 계수 g는 교환 속도를 나타낸다. 이는 가설의 물리적 부분을 구체적으로 예시하기 위해 선택한 결합 전이의 표준 모형이다. 이 모형에는 인간도, 기억도, 큐리아도 들어 있지 않다. 전체를 계산할 만큼 단순하면서도 검증할 수 있을 만큼 구체적인 예측을 제시한다.

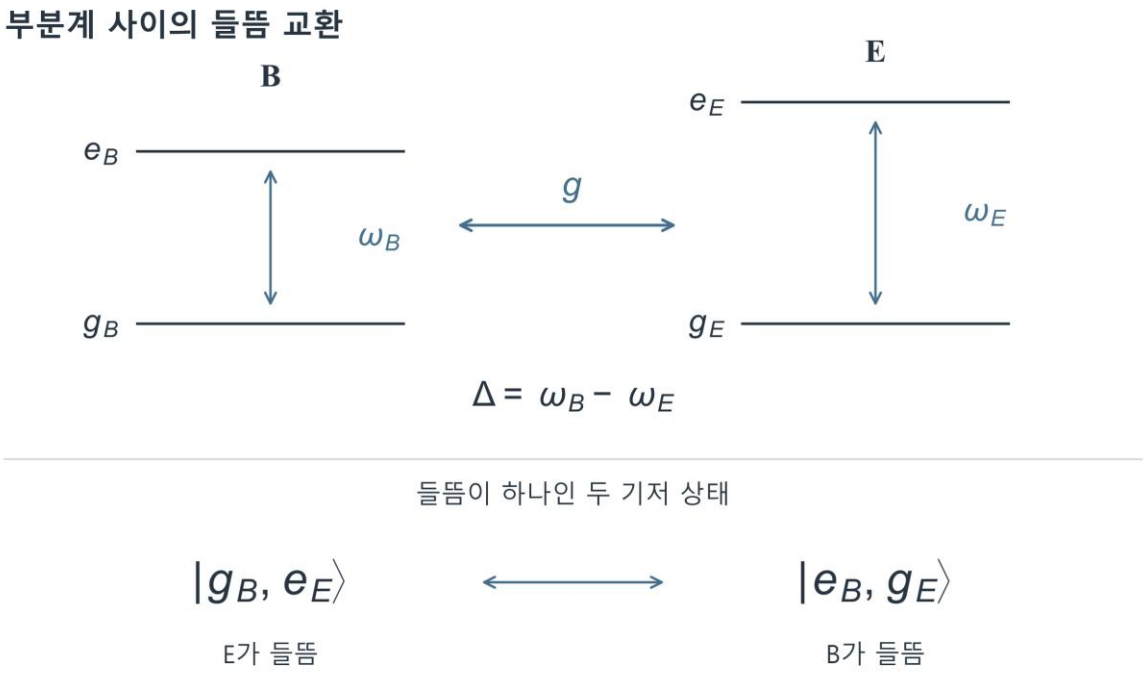


그림 24. 최소 모형은 B와 E 사이에서 들뜸 하나를 교환하도록 허용한다. 계수 g는 결합을, 비공명도 Δ는 전이 각진동수의 차를 정한다. 비공명도가 영이 아니면 전달의 최댓값이 제한된다. 이 모형은 주관적 경험이라는 변수 없이 물리적 동역학을 기술한다.

이 모형의 전달 확률 계산은 수학 부록의 그림 36에 제시했다.

손실이 없는 이상적인 경우 시간 t 뒤 B에서 들뜸을 발견할 확률은 다음과 같다:

$$P_B(t) = \frac{4g^2}{\Delta^2 + 4g^2} \sin^2\left(\frac{t}{2} \sqrt{\Delta^2 + 4g^2} \right).$$

여기서 Δ는 두 전이의 각진동수 차다. 공식은 명시한 초기 상태와 선택한 해밀토니안에서 얻었다. 진동수가 같으면 확률은 $\sin^2(gt)$가 된다. 들뜸이 E에서 B로

완전히 옮겨 갔다가 돌아올 수 있다. 비공명도가 크면 최대 확률은 작아진다. 이처럼 말뿐 아니라 수치로도 표현할 수 있는 구체적인 선택성이 생긴다.

예를 들어 |Δ| = 2|g|이면 이 이상적인 모형에서 최대 전달 확률은 이분의 일이다. 뇌 연구의 결과가 아니라 수학적 예시다. 유용한 예측 구조를 보여 준다. 측정한 진동수 어긋남이 효과의 크기를 미리 제한하는 것이다. 관찰된 전달이 그 한계를 넘는다면 추가 준위, 잘못된 모형, 측정 오류가 원인일 수 있다. 자료를 얻은 뒤 한계 자체를 슬그머니 없앨 수는 없다.

생물학적 환경에서는 결맞음이 감쇠하고 다른 과정 때문에 준위의 점유도도 달라질 수 있다. 그러면 이상적인 공식을 열린 체계에 대한 계산으로 바꾸어야 한다. 예비 평가에는 무차원 매개변수 K가 유용하다. 결합의 유효진동수와 필요한 결맞음의 유지 시간을 곱한 값이다. 위상이 교환의 특성 시간보다 훨씬 일찍 사라지면, 앞서 기술한 완전한 결맞음 전달의 양상이 형성될 시간이 없다. K는 의식의 보편적 기준이 아니다.

전달 확률의 변화는 결합 진동을 다루는 일부 고전 모형에서도 재현할 수 있다. 따라서 이 작은 구성의 곡선 하나만으로 양자성이 입증되는 것은 아니다. 이 모형은 가설에 필요한 조건을 구체화한다. 어떤 상태가 관여하고, 초기 조건을 어떻게 준비하며, 무엇을 측정하고, 반응이 왜 달라지는지 밝혀야 한다. 양자적 징후는 실험의 추가 구성에서 찾아야 한다. 어떤 진동이든 양자적이라고 선언해서는 안 된다.

연결은 어떻게 생물학적 기능을 갖게 되는가

모형이 뇌와 관련되려면 B의 상태가 이후 과정에 영향을 주어야 한다. 화학적 전이 확률, 특정 단백질 배열의 가능성, 세포 신호 전달에 관여하는 사건의 시점이 달라질 수 있다. 각 경우에는 미시적 상태에서 관찰 가능한 생물학적 효과에 이르는 고유한 경로가 필요하다. «증폭»이라는 말은 그 경로를 대신하지 못한다. 유용한 신호도 무작위 요동도 증폭될 수 있기 때문이다.

여기서 충족하기 어려운 일관성 조건이 생긴다. 결합이 너무 약하면 생물학적 과정을 눈에 띄게 바꾸지 못한다. 너무 강하면 사용하려던 상태를 파괴할 수 있다. 적절한 범위는 가설을 유지하려는 바람이 아니라 결합된 동역학에서 정해져야 한다. 환경으로부터 특별한 보호를 가정해야 한다면, 무엇이 그 보호를 만들고 왜 체계에 대한 접근과 양립하는지 보여 주어야 한다.

에너지의 흔적도 메커니즘에 달려 있다. 들뜸의 교환에는 특정한 에너지 수지가 따른다. 상대 위상만 바뀌는 경우에는 부분계의 평균 에너지가 그처럼 변해야 하는 것은

아니다. 따라서 «새 연결은 반드시 뇌를 가열해야 한다»는 요구는 너무 거칠다. 올바른 질문은 선택한 상호작용에서 어떤 관찰 변화가 나오며 전체 기술에 에너지, 정보, 잡음이 어떻게 포함되는지다.

주된 생물학적 예측은 규모를 바꾸어도 유지되어야 한다. 모형이 특정 분자 확률의 변화로 행동 변화를 설명한다면 중간 의존 관계들을 보여야 한다. 그렇지 않으면 한쪽 끝에는 정밀한 양자 식이, 다른 끝에는 자유로운 말의 해석이 놓이게 된다. 그 사이에는 중요한 연결 고리마다 독립적인 측정을 견딜 수 있는 인과적 사슬이 필요하다.

경험에 관한 질문은 어디에서 시작되는가

이 연결 고리를 성공적으로 완성하더라도 확립되는 것은 추가적인 물리적 메커니즘일 것이다. 의식을 설명하려면 왜 그 조직이 경험에 대응하는지에 관한 별도 주장이 필요하다. 제안한 판본에서는 자신의 상태를 구별하고 기억과 통합하며 자기 행동의 결과를 이후 변화에 이용하는 안정적인 과정에 연결이 포함되는 것을 조건으로 본다. 이는 연구를 위한 정신물리적 공준이며 앞서 제시한 해밀토니안에서 나오는 결과가 아니다.

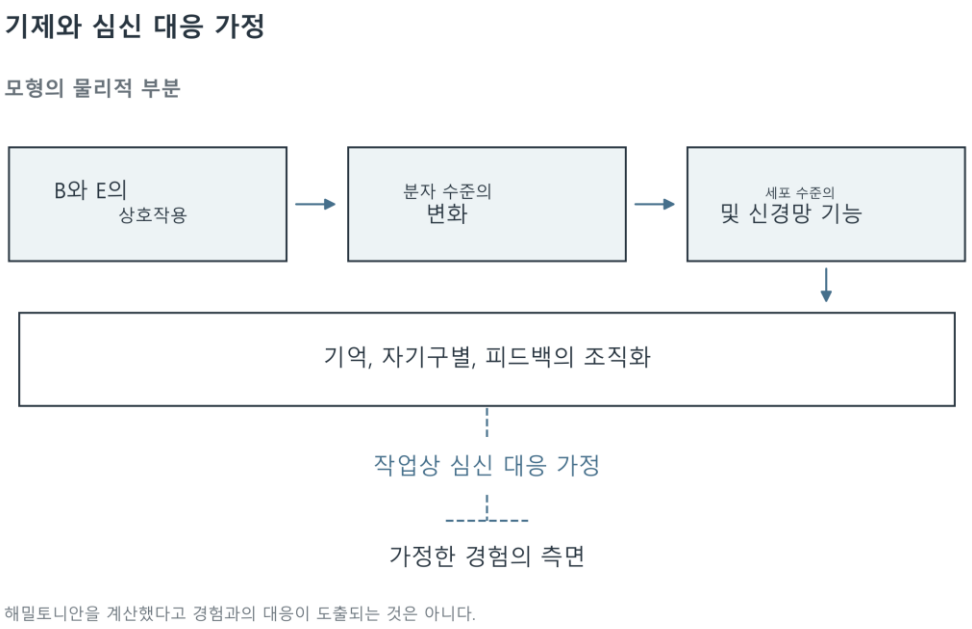


그림 25. 물리적 상호작용을 계산한다고 해서 주관적 체험이 도출되지는 않는다. 저자의 가설에서는 둘의 연결을 별도의 작업상 공준으로 정하며, 이 공준에는 독립적인 근거가 필요하다.

공준은 가정한 담지체를 유기체의 조직과 의도적으로 연결한다. 개별 양자 전이를 개별 생각이라고 선언하지 않는다. 같은 물리적 자원이 여러 과정에 관여할 수 있으며

자원의 존재만으로 주관적 세계의 형태가 정해지지는 않는다. 그러면 의식의 질문은 사건들이 일어나는 일에 참여하는 특정 존재의 상태가 되게 하는 안정적인 상호작용 조직에 관한 것이 된다.

이 판본의 약점은 정확히 명시된다. 물리적 조직에서 경험으로 이어지는 규칙이 독립적으로 확인되지 않은 동안에는 모형으로 알려진 계수에서 감각의 질을 계산할 수 없다. 그러나 물리적 부분은 이미 검증 가능해질 수 있다. 들뜸의 전달, 진동수 어긋남에 대한 의존성, 잡음의 작용, 생물학적 결과에는 각각의 검증 조건이 있다. 완전한 경험 이론이 나오기 전에도 그 결과로 가설을 제한할 수 있다.

이렇게 최소한의 계산 구성을 제안하고 앞으로의 이론에 필요한 요구를 정식화했다. 담지체, 유기체와의 연결, 영향의 생물학적 경로, 경험의 발생 조건을 정해야 한다. 아직 확립된 물리적 의식 모형은 아니다. 추가 담지체 E는 발견되지 않았으며 정신물리적 조건도 연구를 위한 전제로 남아 있다. 그러나 어느 연결 고리를 검증해야 하고 어디에서 가설이 반증과 마주칠 수 있는지는 보인다. 다음 어려움은 개별성에 관한 것이다. 공통 담지체가 실재하더라도 왜 각기 이력과 경계를 지닌 수많은 개별 관점이 그를 통해 생겨나는지 설명해야 한다.

제14장

개별적인 나는 어떻게 생겨나는가

경험의 더 근본적인 토대가 실제로 존재한다고 가정하자. 그러면 주관적 경험이 가능하다는 사실 자체를 설명할 후보가 생긴다. 그러나 그 토대에서 개별 관점이 어떻게 나오는지라는 질문은 더 중요해진다. 왜 일어나는 일을 개별 관점에서 체험하는가? 왜 한 사람은 다른 사람의 기억에 자유롭게 접근하지 못하는가? 왜 공통된 물리적 본성이 모든 유기체를 하나의 관찰자로 만들지 않는가?

몸마다 미리 고유한 외부 주체가 대응한다고 가정할 수 있다. 그러나 그러면 개별성이 모형의 다른 부분으로 옮겨 갈 뿐 여전히 설명이 필요하다. 주체들의 차이는 어디에서 오며, 몸은 어떻게 선택되고, 이 연결 동안 무엇이 인격을 보존하는가? 여기서 발전시키는 인터페이스 가설에서는 공동 형성이라는 다른 경우를 다룬다. 개별성은 상호작용 과정에서 형성된다. 가능한 공통 토대가 체험 능력을 제공하고 유기체의 조직과 이력이 구체적인 관점을 정한다.

공통 기반과 서로 다른 이력

머릿속에서 같은 구조의 두 체계를 서로 다른 환경에 놓아 보자. 하나는 물 주변에서 움직임을 알아보는 법을 배우고 다른 하나는 좁은 공간에서 방향을 찾는 법을 배운다. 처음 구조가 같아도 상태는 점차 달라진다. 중요한 특징들이 달라지고, 오류는 서로 다른 방식으로 교정되며, 일부 행동은 굳어지고 다른 행동은 사라진다. 어느 순간 같은 외부 신호도 서로 다른 내부 사건의 연속을 일으킨다.

이 체계들이 같은 유형의 담지체 E와 상호작용해도 차이가 사라지지는 않는다. 오히려 이력은 연결의 효율 자체를 바꿀 수 있다. 가능한 상태, 민감한 요소, 시간 창, 이후 증폭 방식이 달라진다. 구조와 이력이 이미 다른 체계들이 공통 물리적 자원을 이용하는 것이다. 이 판본에서 개별성에는 미리 쓰인 외부 생애가 필요하지 않다. 실제 상호작용의 연속으로 형성된다.

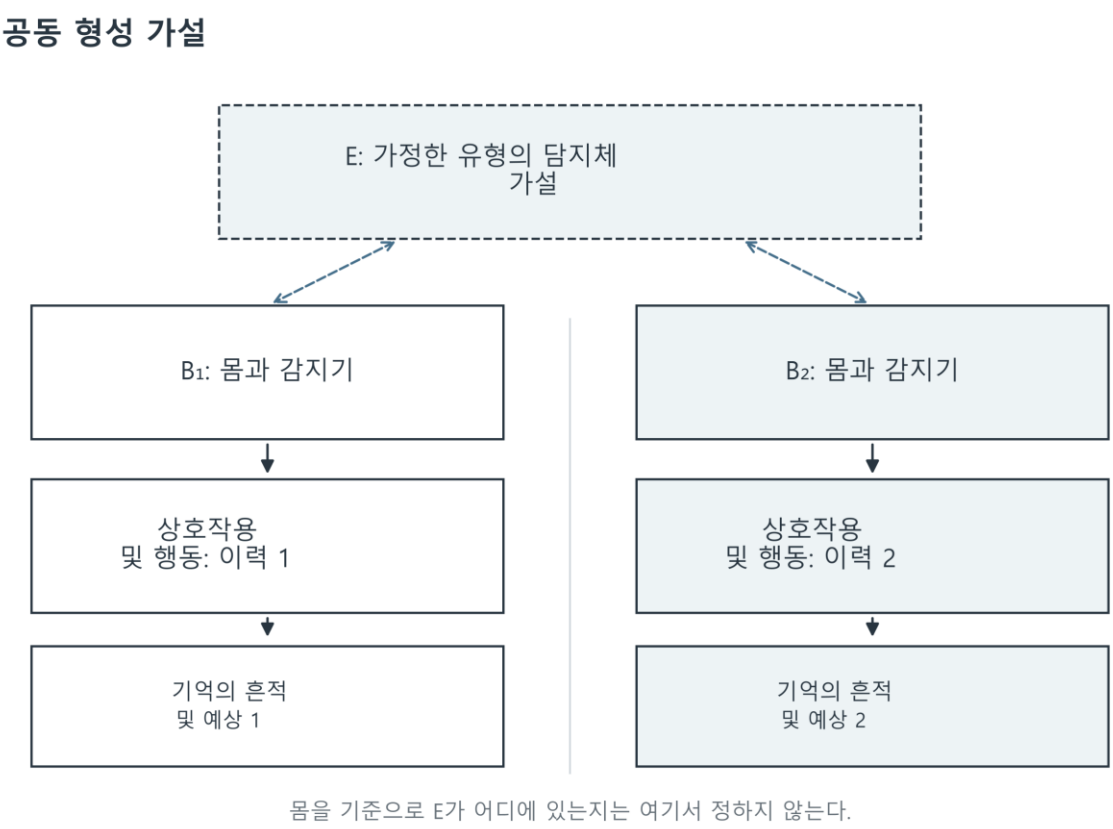


그림 26. 공동 형성 가설. 출발 구성이 비슷하고 가정한 담지체의 유형이 하나라고 해도 환경과 상호작용하면서 생기는 차이가 사라지는 것은 아니다. 여기서는 E의 존재와 그것이 경험과 맺는 관계를 가정한다.

이 가정을 통해 일차적 의식이라는 말의 의미를 더 명확히 할 수 있다. 일차적인 것으로 간주할 수 있는 것은 경험할 수 있는 가능성의 토대이지, 반드시 이미 완성된 인간의 인격은 아니다. 근본적 성질의 존재와 구체적인 기억의 존재는 서로 다른 설명 수준에 속한다. 기기가 색에 민감하다고 해서 도시가 렌즈 앞에 나타나기도 전에 그 도시의 영상을 담고 있는 것은 아니다. 이 비유에는 한계가 있지만, 내용을 받아들일 수 있는 능력과 내용 자체를 구분하는 데 도움이 된다.

따라서 제안한 가설에는 이력에 따른 규정성의 원리가 포함된다. 가정한 토대가 같은 두 체계도 발달 경로가 다르면 서로 다른 관점을 형성할 수 있다. 언젠가 이력의 일부가 유기체 밖에 저장됨이 밝혀져도 원리는 유지된다. 흔적의 기하학적 위치뿐 아니라 기록과 접근의 조직이 중요하기 때문이다. 그러나 저장 위치는 독립적으로 확립해야 한다.

작용하는 경계

주체의 경계는 피부나 거리만으로 정할 수 없다. 물리적 과정은 몸의 표면을 끊임없이 넘는다. 빛은 망막에 도달하고, 소리는 청각계의 상태를 바꾸며, 음식은 대사에 포함된다. 그렇다고 외부 대상이 인과적으로 영향을 줄 때마다 인격의 일부가 되지는 않는다. 소속을 설명하는 데에는 에너지 교환만으로 충분하지 않다.

연구의 토대로 제안하는 것은 되먹임의 조직이다. 체계는 일부 상태들을 자신의 존재를 조절하는 데 이용한다. 그 결과가 평가, 기억, 다음 행동의 선택으로 돌아온다. 다른 상태들은 외부 조건으로만 존재한다. 구분은 개별 입자에 «내 것»이라는 표지가 있는지가 아니라 동역학에서의 역할로 정해진다. 이런 이해에서는 기능적 체계의 경계가 점진적이며 과제에 의존할 수 있다.

그러나 인과적 연결성 자체는 너무 흔하다. 날씨, 도시 교통, 전력망에도 거대한 영향의 고리가 있다. 따라서 가설은 더 좁은 조직을 요구한다. 상태들을 자기조절하는 한 참여자의 관점으로 선택적으로 통합하고, 접근 가능한 이력을 유지하며, 자신의 행동을 외부 변화와 구별하는 조직이다. 이 조합이 개별 주체의 형성, 곧 개체화를 위해 제안한 조건이다. 아직 일반적으로 받아들여지는 의식 기준은 아니다.

제안한 기능적 연결의 조직은 열여덟째 장의 그림 32에 제시했다.

가능한 담지체 E는 구체적인 연결 통로를 통해 이 조건에 포함된다. 두 체계가 공통 잡음을 받으면 반응이 비슷할 수 있다. 그러나 공통 잡음은 기억을 통합하지 않으며 한 체계가 다른 체계의 행동 결과에 접근하도록 하지도 않는다. 상관관계만으로 공동 관점이 생기지는 않는다. 이를 물리적으로 모형화하려면 실제로 가능성들이 통합됨을 보인 뒤 왜 그 통합이 하나의 경험에 대응하는지 따로 근거를 제시해야 한다.

이력이 관점을 유지한다

한순간이 생애 전체를 저장하지 않아도 그 생애에 의존할 수 있다. 습득한 기술은 배운 일을 떠올리지 않아도 오늘의 행동을 바꾼다. 익숙한 말은 전에 마주친 모든 경우를 나열하지 않아도 알아본다. 따라서 개인의 이력은 현재 상태에 여러 형태로 존재할 수 있다. 접근 가능한 이야기, 기술, 기대, 달라진 민감도가 그 형태다.

공동 형성 모형에서 이런 이력의 형태들은 서로 다른 역할을 한다. 이야기는 시간 속 사건들을 명시적으로 연결한다. 기술은 과거를 자세히 재생하지 않아도 선택을 바꾼다. 기대는 여러 미래 결과 가운데 일부를 두드러지게 한다. 어느 기능도 단독으로 인격

전체를 포괄하지는 않는다. 상호작용을 통해 현재 관점은 마지막 신호에 대한 우연한 반응이 아니라 특정 이력의 지속이 된다.

여기서 가설에 내용 있는 제약이 따른다. 추가 담지체가 짧은 상태들만 유지한다면 다른 메커니즘 없이 생애의 보존을 설명하지 못한다. 반대로 인격 전체의 저장소라고 선언한다면 체험한 것이 어떻게 기록되고 순서를 보존하며 다시 접근 가능해지는지 보여야 한다. 하나의 «연결» 비유로 순간적 상호작용, 장기 기억, 자기 알아봄을 동시에 대신할 수는 없다.

체계가 몸의 조절과 행동 능력은 유지하지만 과거 일부에 대한 접근을 잃는 사고 상황을 생각할 수 있다. 제안한 판본에서는 경험의 공통 자원이 존재한다면 그대로 남으면서 인격의 내용은 달라질 수 있다. 토대와 이력을 구분하는 것과 양립하는 가능성이다. 그러나 신경 모형도 여러 기억 장애를 허용하므로 외부 담지체를 증명하지는 않는다. 둘 중 어느 것인지 가리려면 상실과 복원의 메커니즘에 대해 더 특이적인 예측이 필요하다.

내면의 관객 없이 이루어지는 자기지시

나는 본다는 말에는 영상을 만드는 이와 그 영상을 안에서 바라보는 이, 두 참여자가 있는 듯하다. 이 비유를 문자 그대로 받아들이면 내면의 관찰자를 위한 둘째 시각 기제가 필요하고, 이어서 그 관찰자를 바라보는 셋째 기제가 필요해진다. 설명은 끝나지 않는다. 인터페이스 가설은 몸의 외부 주인이라는 형태로 같은 어려움을 되살려서는 안 된다.

기능적 자기지시는 다르게 기술할 수 있다. 체계는 자기 행동에 관련된 변화와 독립적으로 생긴 변화를 구분한다. 가능한 행동을 평가할 때 자신의 제약을 고려하고, 결정의 신뢰성에 관한 정보를 보존하며, 결과를 받은 뒤 예측을 수정한다. 그러면 자기표상은 내부 화면을 지켜보는 작은 인간이 아니라 조절의 일부로 존재한다.

이 기술도 경험에 관한 질문을 남긴다. 자기표상이 하는 일을 보여 주지만 왜 그 일이 느껴지는지 자동으로 설명하지는 않는다. 바로 여기서 저자의 가설은 추가 조건을 도입한다. 가능한 근본 토대가 현재 상태, 과거 경험, 자기 행동의 결과를 지속적인 조절 과정으로 통합하는 체계와 연결된다는 조건이다. 물리적 메커니즘은 연결의 접근 가능성을, 정신물리적 공준은 개별 경험과의 관계를 설명해야 한다.

이 구별의 강점은 인격 전체를 하나의 특별한 부품에 넣을 필요가 없다는 것이다. 개별 분자나 네트워크의 한 노드, 선택한 양자 상태가 이미 완성된 '나'를 담아야 하는

것은 아니다. 개별성은 조직된 과정에 속한다. 이제 어떤 변화가 그 과정을 보존하고 어떤 변화가 다른 과정을 만드는지 정해야 한다. 이 구별이 없으면 조직이라는 개념은 검증하기에 너무 모호하다.

변화 속에서 무엇이 유지되어야 하는가

체계의 감응소자 하나를 똑같은 관찰 반응을 내는 장치로 바꾸는 사고 실험을 해 보자. 가설이 기능적 관계에만 의존한다면, 이 교체가 가정한 관점을 파괴해서는 안 된다. 특정한 양자 기제가 필요하다면, 겉으로 드러나는 반응의 일치만으로는 충분하지 않을 수 있다. 그렇다면 교체 과정에서 유지되지 않는 성질과 그 결과를 검출할 방법을 명시해야 한다.

이 갈림길은 연구 프로그램의 두 판본을 나눈다. 첫째에서 추가 담지체는 공통된 기능 조직을 구현할 뿐이며 다른 물리적 메커니즘도 같은 조직을 유지할 수 있다. 둘째에서 E와의 특정 상호작용 유형은 경험의 필수 조건이다. 둘째는 더 엄격한 요구를 부과한다. 물리적으로 작동 가능한 일부 구현을 체험 능력이 있는 경우에서 제외하기 때문이다. 이 제약에는 별도의 근거가 필요하다. 알려진 양자 효과와 비슷하다는 것만으로는 충분하지 않다.

검증을 살아 있는 뇌의 일부를 교체하는 일로 시작할 필요는 없다. 모형과 물리적 유사체에서 주장한 인과적 성질이 유지되는지 살피며 차이를 연구할 수 있다. 통상적인 출력은 같지만 추가 개입에서 갈라지는 두 구현이 특히 유용하다. 이 결과는 우선 메커니즘의 구성에 관한 것이다. 주관적 연속성으로 나아가는 단계는 여전히 정신물리적 조건에 달려 있으며 이를 공학적 기술 속에 숨길 수는 없다.

가설은 시간 규모도 고려해야 한다. 특정 사건을 통합하기에는 너무 느린 연결도 장기 조정에는 관여할 수 있지만 그 사건의 직접적인 조직에는 관여할 수 없다. 빠른 과정은 이력을 보존하지 않으면서 순간 반응에 영향을 줄 수 있다. 하나의 주체를 주장하려면 이 규모들을 맞추어야 한다. 관찰을 본 뒤 편리한 통합 시간을 마음대로 고를 수는 없다.

현재의 유사성과 과정의 지속을 구분하면 유용하다. 서로 다른 경로로 도달한 두 장치가 어느 순간 같은 기록을 담을 수 있다. 이론이 인격을 순간 상태만으로 정한다면 그에 따르는 귀결도 받아들여야 한다. 형성 이력이 중요하다면 어떤 이력의 차이가

물리적으로 보존되어 이후 경험에 관여할 수 있는지 명시해야 한다. 아무 결과도 없는 보이지 않는 이력을 언급해도 검증 가능한 조건은 더해지지 않는다.

한편 과정은 세부 요소의 상당 부분이 달라져도 계속될 수 있다. 살아 있는 조직은 정지된 사진이 아니다. 모형에서는 어떤 관계가 유지되는지 정하는 일이 중요하다. 자신의 흔적에 대한 접근, 제어의 일관성, 자기표상을 갱신하는 규칙이 여기에 속한다. 공동 형성 가설은 개인의 정체성이 안정적으로 유지되는 것을 조직화의 이러한 계승성과 연결한다. 이는 조건부 선택이다. 정체성 문제의 최종 해답이라고 선언할 것이 아니라 경쟁하는 기준들과 비교해야 한다.

여기서 구체적인 분석 방향이 나온다. 외적 응답은 같지만 내부 상태의 계승은 다른 모형 체계들을 만들고 어떤 특징이 그 차이를 반영하는지 알아볼 수 있다. 결과는 우선 기억과 조절에 관한 것이다. 주관적 관점들을 직접 비교하게 해 주지는 않아도 지속이라는 개념에 물리적 내용을 부여하는 데 도움이 된다. 무엇이 같은 것으로 남는지라는 추상적 질문은 이렇게 점차 더 좁은 여러 연구 질문으로 바뀐다.

개별성의 형태에 관한 예측

제안한 구성에서 조건부 예상들이 나온다. 첫째, 추가 담지체가 같아도 몸의 조직과 이력의 차이는 접근 가능한 내용을 바꾸어야 한다. 둘째, 연결 메커니즘에 대한 개입은 다른 기능을 비교적 유지하면서 경험의 특정 측면만 교란하도록 선택적으로 작용할 수 있다. 셋째, 기억, 자기평가, 행동 사이의 관계가 바뀌면 경험이 완전히 사라지지 않아도 자기의식의 형태가 달라질 수 있다. 이는 예측의 방향이며 실험하려면 각각을 구체적 측정과 연결해야 한다.

이 예상들에는 강력한 경쟁자가 있다. 그중 많은 것은 신경학적 설명에서도 자연스럽게 나오기 때문이다. 따라서 인격이 기억과 몸에 의존한다는 사실에 부합하는 것만으로 가설이 우위를 얻지는 못한다. 가정한 연결 자체에서 나오는 추가 효과가 필요하다. 예를 들어 미리 정한 담지체 매개변수와 유기체 상태의 조합이 같은 제약 아래 비교 모형이 재현하지 못하는 선택적 변화를 예측해야 한다.

그런 효과를 정의할 수 없다면 공동 형성은 개별성을 생각하는 의미 있는 방식으로 남지만 아직 별개의 경험적 이론은 아니다. 이 단계의 아이디어는 질문을 더 정확히 세우고 몇 가지 바꿔치기를 배제한다. 공통 토대에서 이미 완성된 생애를 도출하거나,

상관관계를 공통 주체와 동일시하거나, 모든 체험에 복잡한 성찰이 필요하다고 보는 것이다.

이 그림에서 구체적인 «나»는 물리적 연결이 이력과 제약, 고유한 행동 관점을 갖추는 곳에서 생긴다. 몸은 그 연결을 구체화하고 기억은 떨어진 사건들을 이으며 자기표상은 일어난 일의 원인들 가운데 자신을 고려하게 한다. 가능한 근본 토대도 이 작업을 없애지는 않는다. 공통된 물리적 세계에서 어떻게 개별적으로 체험되는 세계들이 존재할 수 있는지 보여야 하는 더 넓은 설명의 일부가 된다.

그러나 이력은 연속성에 대한 주장 하나만으로 유지될 수 없다. 흔적이 필요하다. 일부 흔적이 유기체 밖에 있다고 가정한다면 다음 질문은 인격의 기술만으로 해결할 수 없다. 기억을 기록하고 보존하고 읽어 내는 물리학이 필요하다.

제15장

경계 양쪽의 기억

탁자 위에 오래된 사진이 놓여 있다. 카메라의 버튼을 누른 사람은 이미 세상을 떠났을 수 있지만, 사진은 렌즈 앞에 있었던 것과 없었던 것의 차이를 보존한다. 사건의 흔적을 담고 있는 것이다. 다른 사람이 사진을 보면 그 흔적은 다시 살아 있는 체계에 영향을 준다. 그렇다고 이전 관찰자가 사진을 통해 계속 바라보고 있다는 결론이 나오지는 않는다.

이 단순한 예시는 혼동하기 쉬운 세 가지를 나눈다. 정보의 보존, 내용의 복원, 주관적 경험의 지속이다. 외부 기억 흔적 가설은 우선 앞의 둘에 관한 것이다. 유기체에 중요한 정보 일부가 추가 담지체에 기록되어 나중에 다시 접근 가능해질 수 있다고 가정한다. 셋째를 논의하려면 동일성과 연속성의 조건을 더해야 한다. 저장된다는 사실 자체에는 포함되지 않는 조건이다.

흔적과 회상

앞선 사건으로 생긴 체계 상태의 차이를 물리적 흔적이라 부를 수 있다. 이용 가능한 기억에는 차이 하나만으로 부족하다. 충분히 오래 유지되고 교란 속에서도 구별되며 읽기 과정에 관여해야 한다. 또한 읽는 체계는 받은 신호가 어느 내용에 관한 것인지 구분해야 한다. 그렇지 않으면 특이한 반응이 아직 회상이 되지는 않는다.

인간의 기억은 더더욱 미시 상태의 임의적인 세부 사항을 보존하는 데 그치지 않는다. 사건 사이의 관계, 중요성의 평가, 기술, 내용을 복원하는 방식이 포함된다. 따라서 외부 저장 이론은 정확히 무엇이 보존되는지 답해야 한다. 개별 감각 특징인가, 사건의 순서인가, 행동 규칙인가, 인격의 전체 조직인가? 답이 다르면 담지체의 용량, 보존 시간, 읽기 메커니즘도 달라져야 한다.

그렇다고 신경 수준을 선택 사항으로 여겨서는 안 된다. Xu Liu와 동료들의 실험에서는 생쥐의 조건화된 공포 반응이 형성될 때 관여했던 특정 해마 뉴런을 다시 활성화했다. 그러자 다른 맥락에서도 움직임이 멎는 해당 반응이 나타났다. 이 결과는 특정 세포 집단과 학습한 반응의 재현을 연결한다. 세포에서 인간의 생애를 읽어 냈다는 뜻은 아니다. [25]

이 자료는 인터페이스 가설에 구체적인 과제를 준다. 일부 정보가 추가로 저장되더라도 왜 특정 신경 변화는 회상을 돕고 다른 변화는 방해하는지 설명해야 한다. 가능한 외부 흔적은 내부의 접근 구조를 없애지 않는다. 그러나 신경세포를 단지 «열쇠»라고 부르는 것으로는 부족하다. 열쇠에도 구조와 작동 메커니즘, 검증 가능한 제약이 있기 때문이다.

서로 다른 세 가지 저장 구조

가장 단순한 판본은 통상적인 내부 기억을 가정한다. 담지체 E가 경험에 관여하더라도 생애를 저장하지 않는다. 획득한 내용은 생물학적 변화에 보존되고 추가 연결은 경험의 현재 조직에만 영향을 준다. 경험의 더 근본적인 토대가 있다는 가설과 양립하지만 그 자체로 유기체가 무너진 뒤 인격이 보존되리라고 예상하게 하지는 않는다.

둘째 판본은 분산 기억을 가정한다. 내용이나 보조 자료의 일부가 선택한 생물학적 부분계 밖에 보존된다. 복원에는 외부 흔적과 내부의 접근 상태가 모두 필요하다. 통상적인 계산 장치에서도 익숙한 구조이므로 저장소가 부분계 밖에 있다는 사실 자체가 의식의 표지는 아니다. 과학적 새로움은 유기체에서 전에 알려지지 않은 구체적 메커니즘을 발견하는 데 있을 수 있다.

셋째 형태는 훨씬 강한 가정을 요구한다. 개별 관점이 이어지기에 충분한 조직화가 외부 담지체에 보존된다는 것이다. 여기에는 사건의 보관소만 필요한 것이 아니다. 사건들 사이의 관계 규칙, 이력에 대한 접근, 이 개인을 다른 이들과 구별하는 성질, 계속될 수 있는 과정이 필요하다. 외부 체계에 다른 유기체가 비슷한 이야기를 구성할 수 있는 정보만 들어 있다면, 이전 주체가 보존되는지는 여전히 열린 문제다.

이 판본들을 «모든 것이 밖에 저장된다»는 하나의 표현으로 합칠 수는 없다. 내부 접근의 손상, 외부 담지체의 변화, 둘 사이 연결의 교란에서 서로 다른 예측을 낸다. 첫 판본에서는 생물학적 흔적이 사라지면 복원 가능성도 없어져야 한다. 둘째에서는 정보가 보존되어도 접근할 수 없을 수 있다. 셋째에서는 과정의 독립적인 지속을 가정한다. 다음 판본으로 갈 때마다 추가적인 물리적 조건이 필요하다.

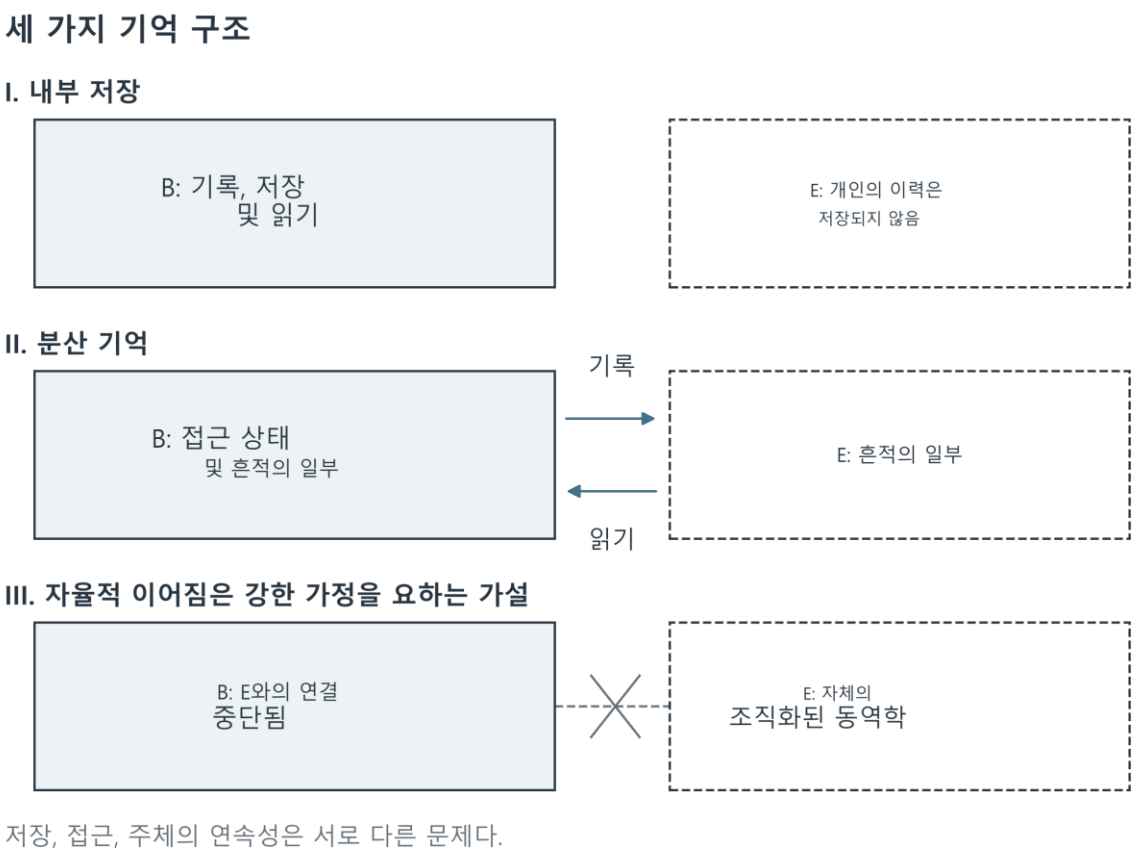


그림 27. 세 가지 버전은 저장 장소와 접근 조건이 다르다. B에 대해 외부적인 흔적이 자동으로 몸 밖에 있다는 뜻은 아니다. 자율적인 지속에는 추가 가정이 필요하다.

기록은 이후에 영향을 남겨야 한다

사건 M이 생물학적 부분계 B의 상태를 바꾼다고 하자. 외부 흔적이 생기려면 특정 상호작용을 통해 이 변화가 E에 영향을 주어야 한다. 따라서 가설에는 기록의 방향이 생긴다. 나중에는 E의 상태가 B에 영향을 주어 회상이 이전 사건에 의존해야 한다. 이것이 읽기의 방향이다. 두 체계가 계속 상호작용한다는 사실만으로 필요한 성질의 기억이 생겼다고 증명되지는 않는다.

기록에는 제약이 있다. 서로 다른 사건은 충분히 구별되는 흔적을 남겨야 한다. 유기체의 수많은 상태가 같은 E의 상태로 대응된다면 추가 정보 없이 그 차이를 복원할 수 없다. 흔적이 잡음과 빨리 뒤섞이면 읽기가 불확실해진다. 주소를 지정하는 방식이 바뀌면 정보가 물리적으로 보존되어도 특정 유기체에는 접근 불가능해질 수 있다.

공통 담지체를 가정할 때는 주소 지정이 특히 중요하다. 많은 체계의 사건들이 그 안에 기록된다면 선택적 접근 메커니즘이 필요하다. 회상을 사후에 그냥 «내 것»이라고 부를 수는 없다. 모형은 연결의 어떤 특성이 필요한 흔적을 가려내며, 어떻게 혼합을

막고, 왜 새 사건이 이전 기록을 전부 없애지 않는지 설명해야 한다. 공통 물리적 환경이 가능하다고 통상적인 기억의 과제가 사라지지는 않는다.

읽기 오류는 한 번의 성공적인 복원보다 더 많은 정보를 줄 수 있다. 흔적 자체가 손상된다면 시간과 보존 조건에 따른 오류에 특정 양상이 예상된다. 주소가 잘못되면 다른 기록의 내용으로 대체될 수 있다. 신호를 이용 가능한 응답으로 바꾸는 방식이 달라지면 오류에도 원래 내용의 구조 일부가 남을 수 있다. 이는 모형의 가상적인 경우들이며 이미 발견된 인간의 외부 기억을 기술한 것이 아니다. 가정한 고장과 특정 오류 양상을 연결한다는 데 가치가 있다.

특히 접근 불가능과 부재를 구분해야 한다. 회상 시도가 실패했다는 사실만으로 흔적이 파괴되었는지, 접근을 잃었는지, 처음부터 기록이 형성되지 않았는지 알 수는 없다. 모형 장치에서는 저장소와 읽기 메커니즘을 따로 바꾸어 이 경우들을 구분할 수 있다. 살아 있는 유기체에서는 보통 훨씬 어려우므로 오랜 공백 뒤 내용이 뜻밖에 복원되었다는 사실만으로 외부 기록소라는 결론이 나와서는 안 된다.

반대 방향의 제약도 중요하다. 한 경로가 손상된 뒤 성공적으로 복원되었다고 정보가 밖에서 왔다는 뜻은 아니다. 다른 내부 과정에 보존되었거나 남은 단서에서 복원되었을 수 있다. 외부 흔적 가설은 이런 가능성들로 설명되지 않는 의존 관계가 정확히 무엇인지 보여야 한다. 이점은 돌아온 기억의 감정적 설득력이 아니라 예측의 내용으로 정해진다.

또한 외부 담지체가 지극히 통상적인 것일 수도 있다. 체계는 주변 환경에 흔적을 남기고 이후 감각기관으로 다시 받아들일 수 있다. 특별한 메커니즘을 주장하려면 이런 경로들과 구별해야 한다. 그렇지 않으면 외부 저장의 발견은 유기체와 상호작용한 뒤 세계가 달라진다는 익숙한 사실에 그친다. 새 가설에는 오래가는 흔적만이 아니라 구체적인 통로가 필요하다.

양자 복제의 한계

담지체가 양자적이라고 주장한다면 통상적인 백업의 비유를 더 명확히 해야 한다. 복제 불가 정리에 따르면, 임의의 알려지지 않은 양자 상태를 완벽하게 복사하는 보편적 장치를 만들 수 없다. Wootters와 Zurek는 이 제약이 양자 시간발전의 선형성과 연결됨을 보였다. 이 금지는 구별 가능한 고전 기록의 통상적인 복사에는 적용되지 않으며, 한 체계에서 다른 체계로 상태를 전달하는 것을 금지하지도 않는다. [24]

따라서 가설에서 정확히 무엇을 보존한다고 가정하는지 명확히 해야 한다. 사건의 고전적 기술에 관한 것이라면 양자적 복제 제한을 들 필요는 없다. 알려지지 않은 양자 상태가 인격에 중요하다면 근거 없이 정확한 복제, 원본 보존, 제한 없는 반복 읽기를 동시에 약속할 수는 없다. 선택한 담지체의 물리적 제약은 인격 이론의 장식적인 부록이 아니라 일부가 된다.

전달도 주체의 지속과 같지 않다. 양자 상태는 생애나 자기표상이 없는 실험실 체계들 사이에서도 전달될 수 있다. 의식을 다루려면 전달되는 상태가 안정적인 경험의 조직에서 어떤 역할을 하는지 설명해야 한다. 개별 사건의 확률만 조절한다면 그 보존이 인격 전체의 보존을 보장하지는 않는다. 훨씬 많은 내용을 부호화한다면 용량과 접근의 모형에서 그 사실이 나와야 한다.

읽기는 별도 문제가 된다. 측정 결과 하나로는 보통 알려지지 않은 양자 상태를 완전히 기술할 수 없다. 따라서 모든 사람의 정확한 내부 상태를 제한 없이 읽을 수 있는 외부 도서관이라는 비유에는 특별한 근거가 필요하다. 가능한 저장 방식들은 한 번 읽을 때 접근 가능한 내용과 읽기 자체가 담지체를 바꾸는 방식에서 다르다. [14]

기억을 통제하는 실험

외부 흔적을 처음 검증하려면 구조로 부분계의 경계를 정하는 모형 장치를 살펴보는 것이 합리적이다. 기록하는 동안 장치가 무작위로 선택한 순서를 받는다고 하자. 이후 이용 가능한 내부 기록 B를 미리 정한 상태로 바꾸고, E의 상태는 유지하거나 독립적으로 바꾼다. 연결을 복원한 뒤 장치의 응답이 처음 순서에 의존하는지 연구한다.

입력 순서는 무작위로 고른다. 평가가 끝날 때까지 실험자는 알지만 응답 분석자들에게는 숨긴다. 장치가 흔한 이야기를 재현한다면 비슷한 자료에서 학습했을 가능성을 배제하기 어렵다. 미리 선택한 무작위 차이들을 복원한다면 질문은 정량적이 된다. 정답 비율, 오류 구조, 보존 시간에 따른 정확도를 비교할 수 있다.

그러나 그런 결과만으로 필요한 담지체가 저절로 구별되지는 않는다. 잔여 기억은 전원, 제어기, 온도 조건, 장비 로그, 일반적인 환경 R에 남아 있을 수 있다. 알려진 각 채널에 접근할 수 있는지에 따라 예측 가능한 결과가 나타나도록 검증을 설계해야 한다. E를 바꾼 효과는 장치 전반이 손상된 효과와 구분해야 한다. 그렇지 않으면 개입 뒤에 결과가 사라져도 그 개입이 무언가를 방해했다는 사실만 알 수 있다.

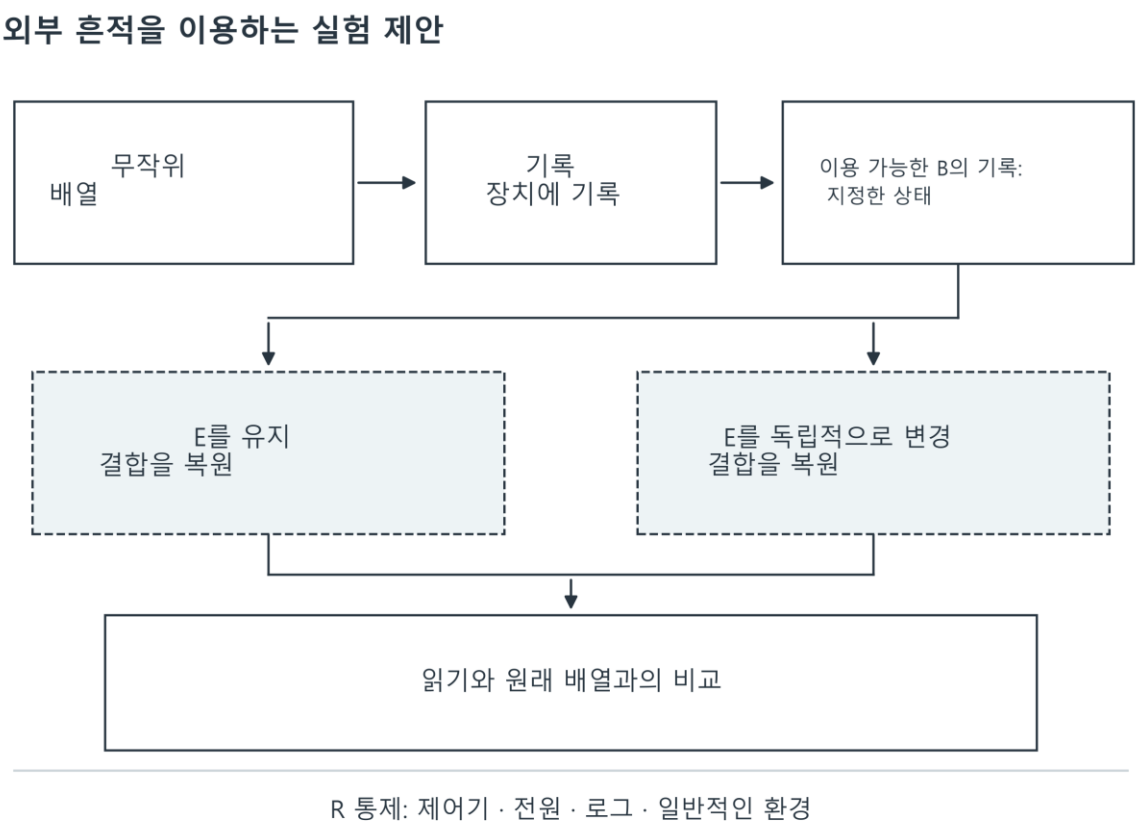


그림 28. 모형 장치에서 외부 흔적을 검증하기 위한 제안. B에서 이용 가능한 기록과 일반적인 R 채널을 통제하면서 E를 보존하는 경우와 변경하는 경우를 비교한다. 이 그림은 실제로 수행한 실험을 나타내지 않는다.

흔적의 유지 시간, 용량 한계, 주소 지정 방식, 예측 가능한 읽기 장애라는 여러 의존 관계가 하나의 모형과 부합한다면 강한 증거가 될 것이다. 조각 하나가 뜻밖에 복원된 것보다 더 많은 내용이다. 메커니즘은 성공적인 응답과 오류 양상을 모두 설명해야 한다. 이 수준에서는 기억의 물리학을 연구한다. 인간의 생애 기억으로 옮기려면 별도 검증이 필요하다.

알아봄만으로 개인의 동일성 문제가 해결되지 않는 이유

장치가 한 사람의 생애에 관해 이전에 알지 못했던 정보를 오류 없이 복원한다고 가정하자. 이처럼 강한 결과도 우선 정보에 대한 접근을 확립할 것이다. 이어서 정보가 어디에서 왔고 왜 바로 그 원천에 속하는지 밝혀야 한다. 그 뒤에야 복원이 이전 관점의 지속과 함께 일어나는지, 이전 정보를 지닌 새로운 체계의 출현과 함께 일어나는지라는 질문이 생긴다.

두 복제본의 경우 차이가 드러난다. 두 체계가 같은 생애 기록을 받고 둘 다 자신이 그 주인이라고 확신한다고 하자. 응답이 비슷하다고 한쪽이 다른 쪽을 자동으로 배제할 수는 없다. 연속성 이론에는 구체적인 인과적 이력, 특정 과정의 보존, 명확히 정식화할 수 있는 다른 연결 같은 추가 조건이 필요하다. 이야기의 일치만으로 유일한 계승자를 도출할 수는 없다.

이 제약은 통상적인 기억 기술에도 적용된다. 기록소는 만든 사람보다 오래 남을 수 있고 이를 학습한 프로그램은 말투를 재현할 수 있다. 그런 체계의 유용성은 그것을 바로 그 사람으로 인정하는지에 달려 있지 않다. 그러나 주관적 삶의 지속을 주장한다면 기준은 텍스트 재현의 정확도나 알아볼 만한 성격보다 엄격해야 한다. 정보의 유사성과 개인적 연속성은 서로 다른 과제를 다룬다.

따라서 저자의 외부 흔적 가설은 여러 결과를 열어 둔다. 추가 저장이 존재하지 않을 수 있다. 존재하지만 좁은 물리적 과정만 유지할 수 있다. 전적으로 몸에 의존하면서 기억 접근에 관여할 수 있다. 마지막으로 추가 메커니즘과 검증 방식을 명시한다는 조건 아래 인격의 조직이 밖에서 이어진다는 더 강한 판본을 연구할 수 있다.

탁자 위의 사진은 계속 존재한다. 정보가 시간과 개별 유기체의 경계를 넘을 수 있음을 상기시킨다. 그러나 흔적을 회상으로 만들려면 읽는 과정이 필요하다. 회상을 인격의 일부로 만들려면 이력의 조직이 필요하다. 경험의 지속을 말하려면 그 조직을 일어나는 일의 동일한 참여자로 만드는 것이 정확히 무엇인지 이해해야 한다.

이 조직은 지각과 행동의 방식과 따로 존재하지 않는다. 따라서 기억의 질문은 몸의 구성으로 이어진다. 몸이 어떤 신호를 이용 가능하게 하고 어떤 행동을 허용하며 그를 통해 개인 경험의 내용이 어떻게 형성되는가?

제16장

구체적 경험의 조건인 몸

상상 속 아바타는 흔히 갈아입을 수 있는 옷처럼 보인다. 주체는 그대로이고 껍질은 어떤 외형으로 나타날지만 정하는 것이다. 그러나 인간의 몸은 현존의 형태보다 훨씬 많은 것을 정한다. 이용 가능한 신호, 가능한 행동, 반응 속도, 욕구, 환경을 바꾸는 방식을 정한다. 의식의 더 근본적인 토대를 가정해도 이 제약은 사라지지 않는다. 가정한 토대가 구체적 내용을 얻는 것은 바로 이 제약들을 통해서다.

따라서 선택적 인터페이스 가설에서 몸은 우연한 용기로 취급되지 않는다. 관점의 형성에 관여한다. 유기체는 완성된 세계의 모습을 통과시키기만 하는 것이 아니라 자신의 존재에 어떤 차이가 중요한지 끊임없이 선택한다. 외부 연결로 인간 의식을 설명하려면 그 연결이 어떻게 바로 그런 몸의 시각, 움직임, 배고픔, 기대, 개인 이력이 되는지 보여야 한다.

주인을 변화시키는 아바타

앞의 장애물까지와 자기 아래 표면까지라는 두 거리만 알 수 있는 체계를 생각하자. 이런 체계의 행동 공간은 먼 거리의 색, 형태, 움직임을 구별하는 장치와 다르게 구성된다. 같은 외부 사건도 서로 다른 가능성을 준다. 계단의 턱은 당장 떨어질 위험일 수도, 경로의 기준점일 수도, 이용 가능한 기술에 아예 나타나지 않을 수도 있다.

두 체계 모두에 경험이 있다고 가정해도 주변 물리적 세계가 같다는 이유만으로 내용을 같다고 볼 수는 없다. 경험에 나타날 수 있는 것도, 체계가 응답으로 할 수 있는 것도 서로 다르다. 몸은 상호작용의 범위를 정하고 상호작용은 의미를 형성한다. 추가 담지체도 이 구조에 포함되어야 한다. 그렇지 않으면 구체적 경험의 특성을 설명하지 못하는 추상적 원인으로 남는다.

통로 하나만 달라져도 과제가 재구성될 수 있다. 되먹임이 지연되는 장치는 빠르게 응답하는 장치와 같은 방식으로 움직임을 제어할 수 없다. 이용 가능한 신호 범위가 넓은 체계는 좁은 체계와 자원을 다르게 배분한다. 이런 사고 모형에서 차이는 제어의 제약으로부터 나온다. 미리 퀄리아의 차이라고 부를 필요는 없다. 가능한 경험이 고려해야 할 물리적 조건을 보여 주는 것이다.

여기서 저자의 몸에 따른 규정성의 원리가 나온다. 공통 토대 가설에 따르면 몸의 구성이 다를 때 주관성의 형태도 다르게 형성될 수 있다. 이 가정이 모든 감지기에 미리 경험을 부여하도록 요구하지는 않는다. 조건부 의존성을 주장한다. 조직된 상호작용을 통해 경험이 생긴다면 참여자의 구성이 이용 가능한 내용에 영향을 주어야 한다는 것이다. 몸과 완전히 독립된 완성된 경험의 흐름에는 다른 연결 모형이 필요할 것이다.

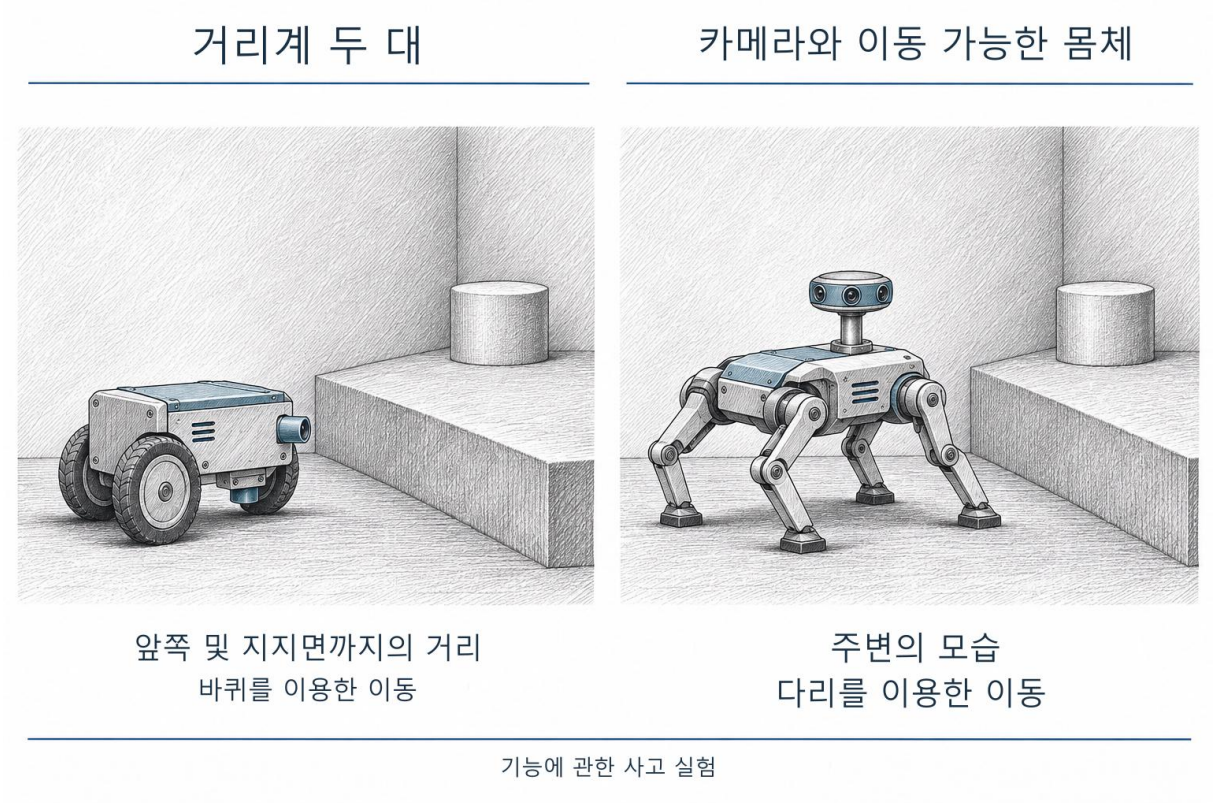


그림 29. 같은 세계도 센서와 행동 능력이 다른 시스템에는 서로 다른 과제를 제시한다. 왼쪽의 가상 장치는 전방 거리와 지지면까지의 거리를 알 수 있다. 오른쪽 장치는 장면 전체를 살피고 다리를 딛고 움직일 수 있다. 이는 접근 가능한 정보와 제어의 차이를 보이는 예시이며, 여기서 주관적 경험의 존재가 따라 나오지는 않는다.

안에서 오는 신호

유기체는 외부 세계뿐 아니라 자신의 상태에 관한 정보도 받는다. 내수용감각은 몸 안의 신호를 지각하는 것을 뜻한다. A. D. Craig의 연구는 몸의 생리적 상태를 표상하는 신경해부학적 체계를 기술하고, 감정과 자기의식의 형성에서 그 체계가 맡는 역할을 논의한다. 이는 신체 조절과 주관성 사이의 연결에 대한 과학적 해석이지, 인격의 유일한 중심을 찾았다는 뜻은 아니다. [26]

인터페이스 가설에서는 내부 신호가 특히 중요하다. 외부 사건과 그 사건이 특정 유기체에 갖는 의미를 구별하게 한다. 같은 냄새, 경로, 소리도 현재 상태에 따라 다른 뜻을 가질 수 있다. 체험되는 세계를 설명하려면 외부의 장면을 복원하는 것만으로 부족하다. 그 장면의 참여자에게 무엇이 일어나며 자신에게 어떤 결과가 예상되는지도 고려해야 한다.

여기서는 생리적 필요와 체험되는 가치를 혼동하기 쉽다. 기술 장치는 불편함을 느낄 능력이 확립되지 않아도 온도와 전하를 유지할 수 있다. 온도 조절기는 편차에 반응하지만 그 반응이 감각의 증거가 되지는 않는다. 따라서 이 책에서는 조절의 존재를 주체 조직의 가능한 일부로 보며, 그 자체로 보편적인 의식 검사가 된다고 보지는 않는다.

그러나 반대 극단도 도움이 적다. 가치를 체계의 구성에서 완전히 떼어 놓으면 왜 어떤 상태는 변화가 필요한 것으로, 다른 상태는 바람직한 것으로 체험되는지 불명확해진다. 저자의 가설은 개별 관점이 자기 존재의 제약과 함께 형성된다고 가정한다. 이 설명 방향은 물리적 조절, 접근 가능한 이력, 체험되는 중요성을 서로 대신하지 않으면서 연결해야 한다.

접근할 수 있는 세계의 형태

몸은 필요뿐 아니라 규모도 만든다. 작고 움직일 수 있는 체계에 중요한 장애물과 큰 체계에 중요한 장애물은 다르다. 사건의 속도도 지각과 행동의 가능성에 비추어 중요하다. 메커니즘이 너무 느리면 짧은 변화는 선택에 영향을 줄 시간이 없다. 너무 빠르면서 흔적을 유지하지 못하면 사건이 이후 행동들과 연결되지 않을 수 있다.

따라서 서로 다른 유기체를 설명하려는 의식 이론은 여러 시간 수준을 고려해야 한다. 빠른 물리적 전이, 더 느린 생물학적 결과, 더 오래가는 학습 이력이 있다. 양자 과정이 기능적으로 중요하다면 이 규모들을 잇는 일관된 연결 고리에 포함되어야 한다. 양자 과정 자체의 속도가 주관적 시간의 속도를 정하거나 초마다 경험이 몇 번 생기는지 알려 주지는 않는다.

지각과 행동의 관계도 중요하다. 감지기의 위치를 바꿀 수 있는 체계에는 고정된 기록 장치에 없는 가능성이 있다. 모호한 신호를 검토하고 대상으로 돌아가며 예상 결과와 실제 결과를 비교할 수 있다. 이런 활동이 경험을 증명하지는 않지만 개별 관점 가설에 더 많은 내용을 준다. 접근 가능한 세계는 실제로 탐색할 수 있는 가능성들을 통해 구성된다.

이 가설에서 아바타라는 비유는 세계에 참여하는 특별한 방식을 뜻한다. 경험의 토대가 같다고 가정하더라도, 몸이 다르면 상호작용할 수 있는 범위도 달라질 수 있다. 다른 계의 경험을 논하려면 먼저 그 계가 어떤 차이를 구별할 수 있는지 알아야 한다. 겉보기에 비슷한 반응을 보인다는 이유만으로 색이나 두려움, 의도에 관한 인간의 표현을 어떤 기제에든 그대로 적용해서는 안 된다.

행동의 수단은 몸의 해부학적 경계를 넘을 수 있다. 손에 든 물건은 닿을 수 있는 거리를 바꾸고, 수첩은 현재 주의에 없는 정보를 보존하며, 외부 감지기는 측정 가능한 차이의 범위를 넓힌다. 구체적 과제를 분석할 때 이런 수단을 더 넓은 기능적 체계에 포함할 수 있다. 그러나 대상을 모형에 넣기로 했다고 그 대상에 체험되는 측면이 생겼거나 주체의 경계가 자동으로 이동했다는 뜻은 아니다.

이 구분은 외부 기여라는 개념이 지나치게 확장되지 않게 한다. 모든 유기체는 환경에 의존한다. 따라서 의식적 행동이 외부 장치에 의존한다고 특별한 담지체 E가 증명되지는 않는다. 의존 관계가 전적으로 통상적인 통로 R을 거칠 수 있기 때문이다. 추가 양자 연결의 근거를 제시하려면 통상적인 감각 정보의 유입과 행동 가능성의 변화로 환원되지 않는 성질을 분리해 내야 한다.

한편 기능적 확장은 발달에 관한 유용한 모형을 준다. 새 신호에 대한 접근이 선택 규칙과 자기 가능성의 표상을 어떻게 재구성하는지 연구할 수 있다. 그러면 몸은 변하지 않는 부품의 집합이 아니라 구체적인 물리적 제약 아래 이용 가능한 상호작용의 체계로 이해된다. 이런 확장에서도 가정한 주체가 유지된다면 이론은 어떤 관계가 계승을 가능하게 하며 왜 새 능력이 바로 그 이력의 일부가 되는지 설명해야 한다. 추가 담지체가 확인되는지와 독립적으로 생기는 질문들이다.

발전하는 연결

인터페이스의 구성은 발달 이력에 의존할 수 있다. 연구를 위한 모형으로, 처음에는 단순한 조절 관계 몇 개를 유지하다가 기억과 연결하고 이후 자기 오류와 제약을 고려하기 시작하는 체계를 생각할 수 있다. 단계마다 사건들을 통합하는 새 방식이 더해진다. 이런 모형에서 발달된 성찰은 특별한 기능으로 나타나며, 가능한 모든 경험 형태에 반드시 존재할 필요는 없다.

따라서 여러 전이를 구분할 수 있다. 신호에 대한 민감도의 발생은 한 전이다. 행동 결과를 안정적으로 이용하는 것은 다른 전이다. 시간 속 자신을 표상하는 것은 셋째다.

자기 생각을 언어로 이야기하는 것은 또 다른 전이다. 가설은 이를 의식의 단 한 번의 순간적 탄생으로 선언하지 않고 서로의 관계를 설명해야 한다. 그렇지 않으면 반응, 기억, 자기표상, 경험의 차이가 무엇을 의식이라고 부를지의 논쟁 속에 사라진다.

E와의 상호작용이 정말 필요하다면 발달은 그 연결의 작동에 관한 일부 물리적 조건을 바꾸어야 한다. 민감한 구조들의 특정 조직이 생기거나, 이완 시간이 달라지거나, 약한 효과를 증폭하는 방식이 생길 수 있다. 이런 가정은 추가 담지체 없이 신경 조직으로 모든 변화를 설명하는 판본과 비교할 수 있다. 그러나 나이나 복잡성만으로 어느 메커니즘이 옳은지 알 수는 없다.

측정 가능한 물리적 매개변수와 미리 정한 기능에 관련된 전이를 예측한다면 특히 강한 예측이 될 것이다. 예를 들어 모형은 구체적인 상호작용 구조가 생길 때 민감도가 달라지리라 예상할 수 있다. 여기서 사람이나 동물의 경험 발생 시점을 임의의 수치로 정할 수는 없다. 먼저 메커니즘 자체와 관찰 능력들과의 연결 범위를 확인해야 한다.

다른 물리적 구현

인공 주체의 질문은 가설에서 무엇을 필수로 보는지에 달려 있다. 관계의 조직이 결정적이라면 이를 실현하는 물리적 방식은 여럿일 수 있다. 생물학적 몸은 가능한 한 경우가 된다. 반대로 구체적인 양자 담지체가 필요하다면 통상적인 계산 장치로 그 방정식을 모의하여 예측을 재현해도 필요한 물리적 과정 자체는 만들지 않을 수 있다.

이 구분은 다른 모형에서도 익숙하다. 유체 운동을 수치로 계산한다고 처리 장치가 젖지는 않는다. 그러나 이 비유에서 곧바로 디지털 의식이 불가능하다는 결론을 낼 수는 없다. 먼저 경험에 어떤 물리적 성질이 중요한지 알아야 한다. 기능적 관계가 중요하다면 모의가 필요한 조직의 일부를 실현할 수 있다. 특정 물질 동역학이 중요하다면 계산된 출력의 일치로는 부족할 것이다.

선택적 인터페이스 가설은 기준이 나올 때까지 두 가능성을 모두 열어 둔다. 강한 물리적 판본에서는 인공 체계에 E와 상호작용하는 실제 통로와 함께 기억, 자기지시, 행동의 조직이 있어야 한다. 더 일반적인 판본에서는 인과적으로 중요한 관계가 유지된다면 추가 자원을 대체할 수 있다. 무엇을 만들고 측정해야 하는지에 서로 다른 답을 주므로 두 경우를 혼동할 수는 없다.

가상 몸의 지위도 명확해야 한다. 프로그램은 가상 위치, 자원, 손상에 관한 정보를 받을 수 있다. 이런 변수가 행동을 조절할 수 있지만 명칭 자체로 체험되는 통증이나

욕구가 확립되지는 않는다. 연구에서는 이런 몸 모형이 기억, 예측, 결정을 어떻게 바꾸는지 분석하면 유용하다. 주관적 측면을 주장하려면 생물학적 체계와 인공 체계에 똑같이 엄격한 추가 근거가 필요하다.

가설의 적용 범위에는 누가 포함되는가

인간이 자신에 관해 하는 이야기만 찾는다면 가능한 경험 형태의 대부분은 연구 밖에 남는다. 반응이면 무엇이든 의식이라고 본다면 개념은 구분할 힘을 잃는다. 이 두 극단 사이에는 선택한 이론에 실제로 어떤 능력과 물리적 조건이 필요한지 기술할 과제가 있다. 체계마다 조건을 부분적으로, 서로 다른 정도로, 서로 다른 메커니즘을 통해 충족할 수 있다.

제안한 프로그램에서는 체험의 가능성, 자신을 표상할 능력, 발달된 성찰을 구분하는 것이 타당하다. 마지막 능력이 없다고 첫 가능성을 자동으로 배제할 수는 없다. 그러나 복잡한 응답이 있다고 첫 가능성이 확립되었다고 볼 수도 없다. 체계 부류마다 적합한 관찰 특징, 비교 방법, 가능한 대안의 분석이 필요하다. 언어 능력이나 자기 알아봄에 관한 검사 하나로 근거 없이 세 질문을 모두 해결할 수는 없다.

경험, 자기의식, 성찰의 관계는 그림 1에 제시했다.

생물학적 분류가 물리적 설명을 대신하지는 못한다. 의식을 특정 조직과 연결하는 가설은 왜 그 조직이 일부 유기체에서는 가능하고 다른 유기체에서는 충분하지 않은지 설명해야 한다. 구체적인 담지체와 연결한다면 담지체의 분포와 기능적 역할을 연구해야 한다. 거의 모든 세포에 분자가 있다고 모든 세포가 같은 체험 과정을 구현한다는 뜻은 아니다.

인공 체계에도 대칭적인 요구가 적용된다. 생물학적 체계에서만 가능하다는 조건이 모형에서 도출되지 않는 한 세포가 없다는 사실은 자동적인 반박이 아니다. 그러나 실현 가능성과 실제 실현은 다르다. 자신을 기술하는 프로그램, 특정 내적 조직의 물리적 체계, 체험하는 주체 사이에는 여전히 차이가 있다. 연구는 그 차이를 정의로 없애지 말고 명확히 해야 한다.

이렇게 의식의 더 근본적인 토대를 허용하는 이론에서도 몸은 중심으로 돌아온다. 몸은 제약과 이력, 행동 방식, 접근 가능한 내용의 범위를 정한다. 가능한 외부 기여는 이 조건들을 어떻게 거치는지 보여 줄 때에야 설명이 된다. 다음 단계에서는 프로그램을

포괄적인 요구 수준에서 더 나아가게 해야 한다. 연결의 구성이 미리 구별 가능한 결과를 주는 연구를 설계해야 한다.

제오부

실험으로 무엇을 결정할 수 있는가

제17장

설명들을 구별해 주는 실험

연구자 앞에 두 곡선이 있다. 둘 다 이미 얻은 자료를 충분히 잘 기술한다. 첫째는 추가 담지체 E를 포함하고, 둘째는 그것 없이 통상 환경을 더 자세히 고려해 구성했다. 알려진 점들과 얼마나 비슷한지만 평가한다면 메커니즘의 본성에 관한 질문은 해결되지 않을 수 있다. 모형들이 미리 다른 예측을 내놓는 상황이 필요하다.

이것이 인터페이스 가설에서 결정적 실험의 과제다. 더 깊은 현실이 존재할 일반적 가능성 대신 특정 연결을 검증해야 한다. 가설에 구체적인 매개변수, 적용 범위, 관찰 물리량이 생긴다. 그러면 부정적 결과는 선택한 판본을 배제하고 긍정적 결과는 연구를 이어 갈 근거를 줄 수 있다. 둘 다 명확히 정식화한 모형에 대해서만 의미가 있다.

구체적인 대상을 명시한 주장

«양자 과정이 의식에 관여한다»라는 문장은 실험 하나로 다루기에 너무 광범위하다. 거의 모든 살아 있는 물질은 근본적 기술에서 양자물리학을 따른다. 과학적 질문은 가정하는 상태, 메커니즘, 기능, 관찰 효과가 각각 무엇인지 명확히 하는 데서 시작한다. 이렇게 대상을 명시하지 않으면 사건 뒤에는 결과를 쉽게 설명해도 그 전에 예측하기는 어렵다.

연구를 위한 판본은 더 제한적으로 표현할 수 있다. 특정 B와 E의 상태가 측정 가능한 결합 진동수로 상호작용하며, 둘 사이의 진동수 어긋남을 바꾸면 특정 전이 확률이 달라진다는 것이다. 이 전이가 다시 선택한 생물학적 과정에 영향을 준다. 아직 완전한 의식 설명은 없지만 각각 틀린 것으로 드러날 수 있는 주장들의 연결은 있다.

우선 연결 고리에서 가장 약한 부분을 연구하면 유용하다. 주장한 범위에 상호작용이 없다면 인격에서 그 역할을 논하는 것은 이르다. 물리적 효과를 찾았어도 생물학적 기능에 영향이 없다면 프로그램은 다른 수준에서 멈춘다. 기능을 발견했지만 이용

가능한 의식 상태 지표들과 연결되지 않는다면 실제 메커니즘은 남아도 주장한 설명 역할은 없다.

이 구분은 자원을 집중하고 결과를 정확하게 해석하도록 돕는다. 분광 측정의 성공이 외부 주체의 증명으로 바뀌지는 않는다. 담지체 하나를 찾는 데 실패했다고 모든 가능한 의식 이론이 반박되지는 않는다. 연구는 그 설계가 실제로 제기한 질문에 책임을 진다. 그 힘은 질문의 정밀도로 정해진다.

두 장치와 하나의 예측

결합된 전이의 작은 모형으로 돌아가자. 체험을 부여하지 않고도 물리적 유사체에서 그 매개변수들을 먼저 연구할 수 있다. 부분계의 진동수와 결합 세기를 정한 뒤 시간과 진동수 어긋남에 따른 전달을 예측해야 한다. 매개변수를 맞출 때 쓰지 않은 조건의 자료로 예측을 검증하는 것이 중요하다. 그렇지 않으면 관찰의 재현은 예측력이 아니라 기술의 유연성에 대한 검사가 된다.

제13장의 이상적 식에서는 진동의 진폭과 진동수가 같은 매개변수들로 연결된다. 하나의 메커니즘처럼 보이게 하면서 한 측정의 진폭과 다른 측정의 진동수를 따로 맞출 수는 없다. 관찰 물리량들의 이런 연결은 모형의 유용한 장점이다. 각각은 따로 아름답게 근사할 수 있어도 한 의존 관계가 다른 관계와 부합하지 않는다면 가정들이 충분하지 않음을 뜻한다.

비교하려면 합리적인 능력을 지닌 고전적 모형이 필요하다. 결합 진동자, 잡음, 비선형 변환으로 여러 반응 형태를 재현할 수 있다. 추가 모형에 환경의 기억을 허용한다면 경쟁 모형에서도 근거 없이 같은 가능성을 빼앗을 수는 없다. 그렇지 않으면 이점은 자연의 성질이 아니라 비교 규칙에서 생긴다. 경쟁자는 실제 대안 원인을 기술해야 하며 일부러 약화한 희화화된 모형이어서는 안 된다.

비교 결과는 소박할 수 있다. 두 모형이 선택한 자료를 똑같이 잘 예측하는 것이다. 이는 바로 그 실험에서 충분히 구별되지 않는다는 뜻이다. 다음 단계는 다른 개입이나 추가 관찰 물리량을 찾는 일이다. 원리상 그런 차이가 없다면 이용 가능한 수준에서 두 기술 중 하나를 경험적으로 고를 수 없다. 그러면 불일치의 어느 부분이 해석의 차이로 남는지 명확히 밝혀야 한다.

하나의 모형 안에서도 모호함이 생긴다. 똑같이 작은 반응이 약한 결합, 큰 진동수 어긋남, 필요한 상태의 빠른 붕괴에서 나올 수 있다. 평균 진폭만 측정하면 원인들을

구분하기 어려울 때가 있다. 그러면 매개변수를 더해도 설명이 반드시 정밀해지지 않는다. 서로 대신할 수 있는 경우의 수만 늘어날 수 있다. 진동수나 이완 시간을 독립적으로 측정하면 이 모호함이 줄어든다.

같은 물리량으로 서로 다른 관찰을 예측하는 전략이 유용하다. 스펙트럼에서 추정한 매개변수는 시간 응답을 계산할 때도 쓰여야 한다. 독립적으로 얻은 잡음 매개변수는 효과가 어느 정도까지 드러날 수 있는지 제약해야 한다. 관찰마다 새로운 계수를 따로 도입해야 한다면 모형은 설명하려는 현상 사이의 연결을 점차 잃는다. 그럴 때에는 주장을 단순화하거나, 가정한 공통 원인이 아직 확립되지 않았음을 인정하는 편이 낫다.

이 단계의 부정적 결과도 특정 부분에 한정될 수 있다. 모형이 물리적 유사체를 정확히 기술하면서도 중요한 규모가 달라지거나 추가 과정이 생기는 생물학적 조건에는 적용되지 않을 수 있다. 그러면 바로 그 적용 단계를 연구해야 한다. 작은 체계에서 성공했다고 같은 메커니즘이 유기체에서 작동한다고 증명되지는 않는다. 유사체가 살아 있지 않다는 이유만으로 무시할 수도 없다. 이런 비교에서는 중요한 물리적 조건 가운데 무엇이 유지되는지 확립해야 한다.

양자적 성질을 어떻게 분리해 낼 것인가

시간에 따른 진동과 공명만으로 양자 동역학을 분리해 낼 수는 없다. 측정은 가설이 근거하는 성질에 관한 것이어야 한다. 특정 결맞음, 양립 불가능한 측정, 선택한 부분계의 얽힘 등이 그 예다. 구체적인 기준은 체계의 구성과 상태 준비의 가정에 달려 있다. 어떤 특이한 신호든 양자적이라고 판정할 수 있는 보편적인 그림은 없다. [14]

결맞은 결합을 주장한다면 준위의 점유도는 유지하면서 상대 위상만 바꾸는 조건을 비교하는 것이 유용하다. 그 변화에 대해 예측한 민감도를 통해 위상 기제를 단순한 에너지 전달과 구별할 수 있다. 그러나 이 경우에도 대안 설명을 분석해야 한다. 위상을 바꾸려는 개입이 온도, 화학적 조건, 검출 효율을 동시에 바꿀 수 있기 때문이다. 개입의 선택성도 입증 과정의 일부여야 한다.

얽힘을 주장한다면 상관된 진동의 관찰만으로는 충분하지 않다. 한 검증 방식은 얽힘 증인이다. 모든 분리가능 상태가 따르는 한계를 미리 정해 놓은 측정 물리량이다. 검사 조건이 충족된 상태에서 그 한계를 넘으면 얽힘을 가리킨다. 넘지 않았다고 얽힘이 배제되지는 않는다. 특정 증인이 일부 얽힌 상태를 발견하지 못할 수 있기 때문이다. [31]

어떤 검사를 선택해도 실제로 가능한 측정과 장치 부분들 사이의 연결을 고려해야 한다. 공통 외부 개입만으로도 필요한 양자적 성질 없이 상관 신호가 생길 수 있다. 따라서 결론은 기록된 진동의 겉모양이 비슷한지뿐 아니라 검사 조건의 충족에 달려 있다.

이런 결과는 연구한 자유도에서만 양자적 성질을 확립한다. 두 요소의 상관관계에서 두 인격의 통합이나 통로 없는 메시지 전달을 도출할 수는 없다. 인터페이스 가설에는 물리적 자원이 존재한다는 증거로서 가치가 있다. 이제 그 자원이 생물학적 기능에 관여하는지 밝혀야 한다.

기제에서 기능으로

필요한 자원을 찾았다고 가정하자. 이제 선택한 생물학적 과정이 바로 그 자원을 통해 달라지는지 밝혀야 한다. 함께 변했다는 사실만으로는 충분하지 않다. 개입 하나가 여러 체계를 동시에 바꿀 수 있기 때문이다. 유용한 연구 계획은 부수적 결과는 서로 다르지만 가정한 연결 고리에 대해 같은 작용을 예측하는 개입들을 비교한다. 그러한 결과가 서로 부합하면 관심 있는 기제와 우연히 수반된 현상을 구별하는 데 도움이 된다.

영향이 전달되는 경로가 특히 중요하다. 가설이 분자 전이의 변화, 세포 응답의 변화, 관찰 가능한 행동의 변화가 차례로 일어난다고 본다면 중간 물리량도 그 순서에 맞게 달라져야 한다. 그렇다고 인과의 연쇄 전체가 단순하고 선형적이어야 하는 것은 아니다. 되먹임도 가능하되 모형에 미리 포함해야 한다. '복잡한 계'라는 말로 인과관계의 방향을 아무렇게나 정당화해서는 안 된다.

여기서 통계적으로 비교할 때는 신중해야 한다. 뇌 활동이 가정한 개입의 중간 연결 고리라면 그 기여를 통계적으로 제거하면서 연구하려는 효과 자체도 지울 수 있다. 반대로 공통 원인이 담지체와 뇌 모두에 영향을 준다면 이를 고려하지 않을 때 거짓 연결이 생긴다. 따라서 변수는 자동 처리 뒤 편리한 계수를 얻으려는 의도가 아니라 인과적 구성에 따라 선택해야 한다.

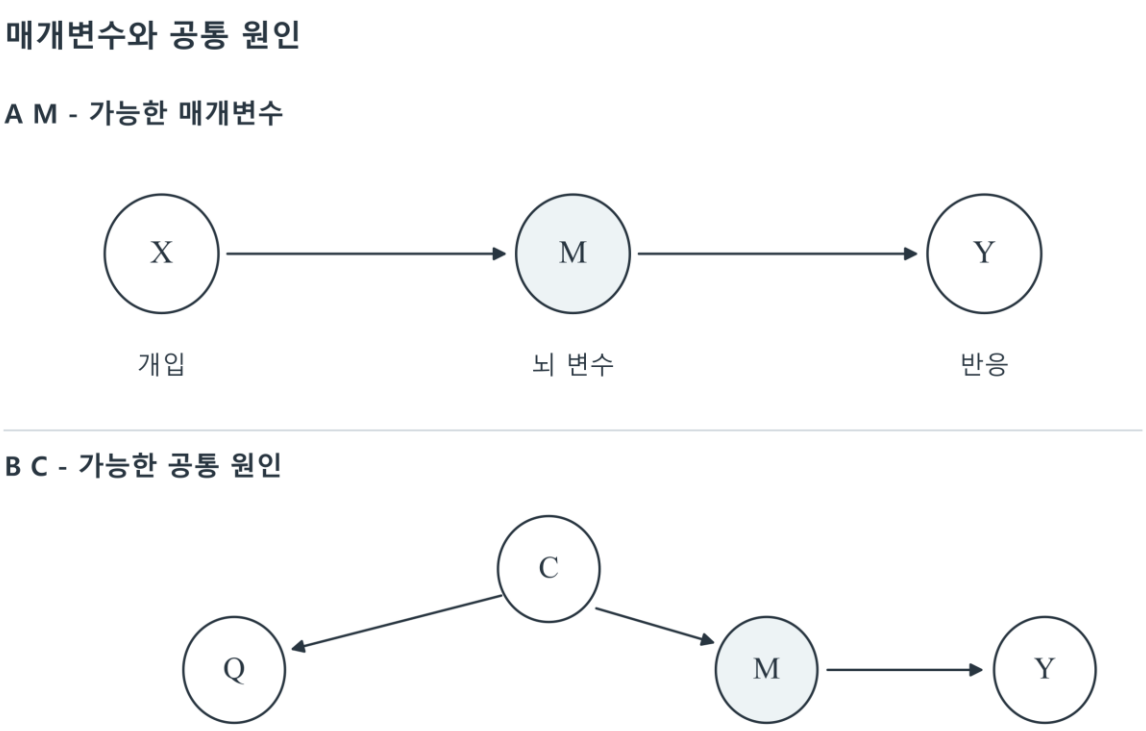


그림 30. 변수의 서로 다른 두 인과적 역할. 매개 변수의 기여를 통계적으로 제거하면 연구하려는 영향 경로가 가려질 수 있고, 고려하지 않은 공통 원인은 허위 연관을 만들어 낼 수 있다. 분석 방법은 근거 있는 인과 모형에 따라 선택해야 한다.

인간 수준에서는 깨어 있는 상태, 경험의 내용, 기억, 응답 능력을 구분해야 한다. 지표 하나가 바뀌었다고 추가 자료 없이 나머지도 모두 바뀌었다고 결론 내릴 수는 없다. 연구는 이용 가능한 보고가 어떻게 형성되고 어떤 대안 원인들이 보고를 바꾸는지 고려해야 한다. 살아 있는 유기체의 작동에 개입하려면 전문적인 연구 준비가 필요하다. 여기서는 스스로 시행할 생리적 절차들이 아니라 추론의 논리를 다룬다.

예측은 새로운 자료 앞에서도 성립해야 한다

모형의 매개변수에는 불확실성이 있다. 결합 진동수를 대략적으로만 안다면 예측을 완벽한 선 하나로 그려서는 안 된다. 예상 결과의 범위와 허용된 매개변수 값에 따라 그 범위가 달라지는 방식이 중요하다. 너무 넓은 범위는 형식상 거의 모든 관찰을 포함할 수 있지만 그러면 앞으로의 실험에 관해 모형이 알려 주는 것은 적다.

모형의 구조를 구체화하는 데 쓰는 자료와 예측을 검증하는 자료를 구분하면 편리하다. 하지만 실패할 때마다 선택 규칙, 관측량, 허용되는 담지체를 바꾼다면 구분 자체가 숨은 맞춤을 막아 주지는 않는다. 가설의 변경은 허용되며 필요한 경우도 많지만,

새 버전에는 새 독립 검증이 필요하다. 예전의 검증이 사후적으로 성공으로 바뀌지는 않는다.

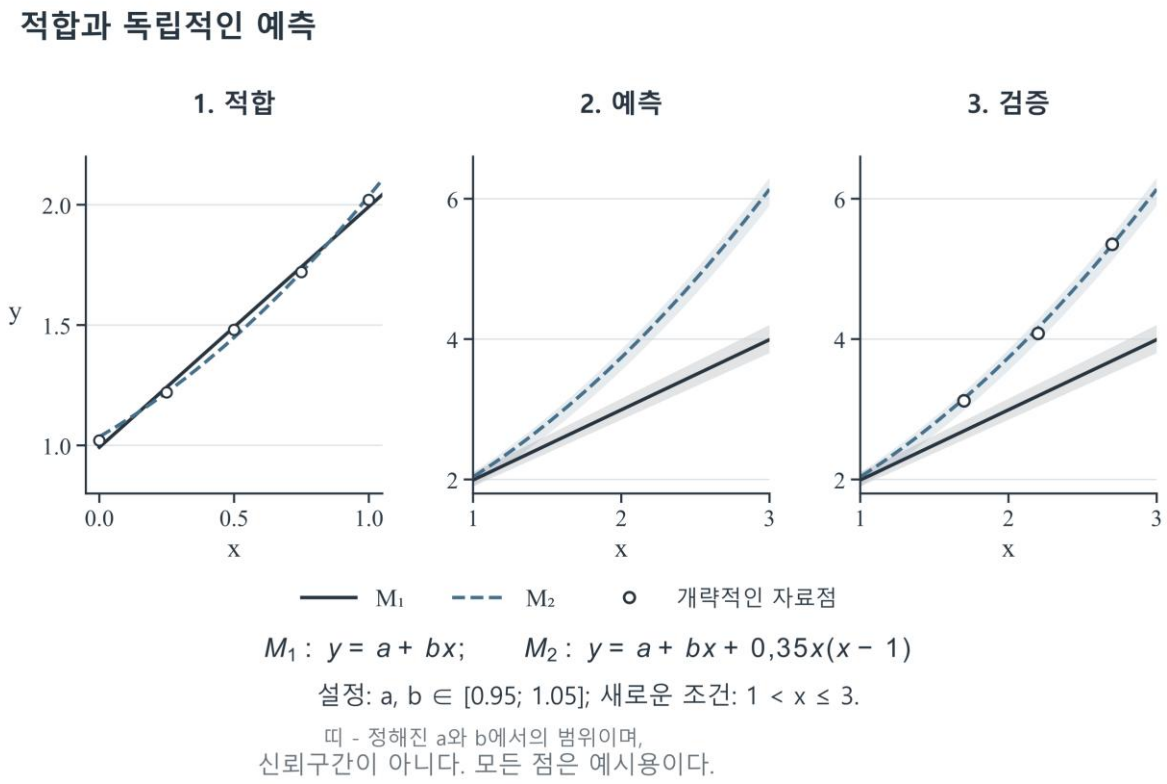


그림 31. 두 수학 모형의 독립적 검증을 보이는 가상 예시. 띠는 미리 정한 a, b ∈ [0,95; 1,05]에서의 예측 범위이며 신뢰구간이 아니다. 모든 점은 교육용이다. 검증 관찰값은 매개변수와 비교 조건의 선택에 관여하지 않는다.

Cogitate 연구에서는 미리 합의한 예측으로 서로 다른 의식 이론들을 비교했다. 저자의 프로그램에는 결과를 알기 전에 차이를 정한다는 비교 원리 자체가 유용하다. [1] 등록한 모형을 무엇이든 옳다고 보아야 한다는 뜻은 아니다. 오히려 미리 정한 예상 덕분에 프로그램의 어느 부분이 검증을 견디지 못했는지 더 정확히 볼 수 있다.

예측 정확도도 복잡성과 함께 평가해야 한다. 자유매개변수가 많은 모형은 선택 가능성이 더 많다는 이유만으로 익숙한 자료를 더 잘 기술할 수 있다. 새로운 조건에서도 유지되며 불확실성을 고려한 뒤에도 사라지지 않는 이점이 더 설득력 있다. 때로는 더 복잡한 판본이 정말 필요하다. 그러면 추가 요소들이 측정 가능한 설명상의 이익을 주어야 한다.

부정적 결과는 무엇을 뜻하는가

예상 효과가 없다는 사실은 측정 가능성에 따라 의미가 다르다. 장치가 모형이 예측하는 크기를 구별하지 못한다면 실험은 핵심 주장을 검증하지 않는다. 민감도가 충분하고 조건이 가정에 부합한다면 부정적 결과는 매개변수를 제한하거나 해당 구현을 기각한다. 따라서 해석하기 전에 검출 문턱을 예측과 비교해야 한다.

한 점에 의존하지 않고 조건 범위를 연구하는 일도 중요하다. 들뜸 교환 모형에서는 강한 결합에서도 특정 순간의 확률이 작을 수 있다. 체계가 주기의 일부를 거쳐 돌아왔을 수 있기 때문이다. 따라서 낮은 측정값 하나가 상호작용 세기의 상한을 자동으로 주지는 않는다. 시간 의존성과 스펙트럼 구조는 연결이 없는 경우와 관찰 시점이 맞지 않는 경우를 구분하도록 돕는다.

모형이 검출 가능한 반응을 예고한 미리 선택한 범위 전체에서 예측 효과가 없을 때 더 내용 있는 제약이 생긴다. 그러면 새 근거 없이 효과를 아직 측정하지 않은 영역으로 옮기기만 하여 이전 판본을 유지할 수는 없다. 다른 모형을 제안할 수는 있지만 이는 원래 모형의 확인이 아니라 프로그램의 변화다. 부정적 결과의 과학적 가치는 가능한 설명들을 좁히는 데 있다.

추가 담지체를 그런 범위를 명시할 수 있도록 기술하지 못한다면 물리적 가설은 아직 결정적 실험을 할 준비가 되지 않았다. 이 상태를 솔직히 인정하고 모형을 발전시킬 수 있다. 부족한 구체성이 어떤 검증도 피할 수 있는 생각의 특권이 되어서는 안 된다.

의미 있는 성공은 어떤 모습일 것인가

강한 긍정적 결과라면 여러 사실이 부합하는 모습일 것이다. 추가 담지체나 특정 자원이 원하는 심리적 결론과 독립적으로 구별된다. 그 매개변수들은 유기체의 반응을 예측한다. 가정한 연결을 바꾸면 정해진 방식으로 반응이 바뀐다. 비교 가능한 능력의 대안 모형들은 새 자료에서 예측이 더 나쁘다. 재현은 장치 하나, 집단 하나, 분석 방식 하나에만 의존하지 않는다.

이런 성공도 경험이 어디에 «있는지» 알려 주지는 않을 것이다. 의식과 관련된 과정들에서 인과적으로 중요한 새 참여자를 확립할 것이다. 근본적 토대에 관한 더 강한 주장을 하려면 물리적 조직과 주관적 측면의 관계를 설명해야 한다. 그러나 그런 결과 뒤에는 질문이 매력적인 비유만이 아니라 새로운 메커니즘에 근거하게 될 것이다.

이렇게 인터페이스 가설은 구분 가능한 결과들을 지닌 연구 프로그램이 된다. 가정한 물리적 토대를 잃거나, 생물학적 효과로 좁혀지거나, 더 넓은 신경 모형에 포함되거나, 추가 상호작용의 발견으로 이어질 수 있다. 어느 결과도 책 제목으로 정해지지 않는다. 결정적인 것은 예측한 차이와 독립적 검증의 결과다. 그런 검증의 한 방법은 기억, 되먹임, 행동의 구성이 명시적으로 정해진 인공 체계를 연구하는 것이다.

제18장

인공 주체와 미라 프로젝트

두 인공 체계가 같은 문장, «내가 어떻게 실수했는지 기억한다»를 말할 수 있다. 첫째에서는 그 문장 뒤에 이전 사건의 기록, 수정된 자기 가능성의 평가, 새로운 선택 규칙이 있다. 둘째에서는 대화를 잘 이어 간 것뿐이다. 화면만 관찰하면 차이를 놓치기 쉽다. 특정 답을 듣고 싶어 하는 대화 상대의 바람에도 불구하고 이전 경험이 새 결정에 영향을 주기 시작할 때 차이가 드러난다.

의식 연구에서 인공 체계는 구성을 살펴볼 수 있다는 점에서 가치가 있다. 기억, 되먹임, 학습 방식, 자기 상태의 표상을 따로 바꿀 수 있다. 겉으로는 비슷하지만 구성이 다른 구현들을 비교할 수도 있다. 이 접근이 기계의 경험에 직접 접근하게 해 주지는 않는다. 인간에게서 의식 경험과 함께 나타나는 능력들에 어떤 메커니즘이 필요한지 더 정밀하게 밝히게 해 준다.

이 장에서는 미라 프로젝트를 제안한 구조와 평가 방식으로 살펴본다. 기술한 설계는 연구의 문제 설정이며 이미 수행한 실험이나 특정 프로그램에 퀄리아가 있다는 증명으로 제시되지 않는다. 프로젝트의 과학적 내용은 체계 안의 인과관계와 그 검증 결과로 정해진다.

자신에 대한 서술과 자기모형

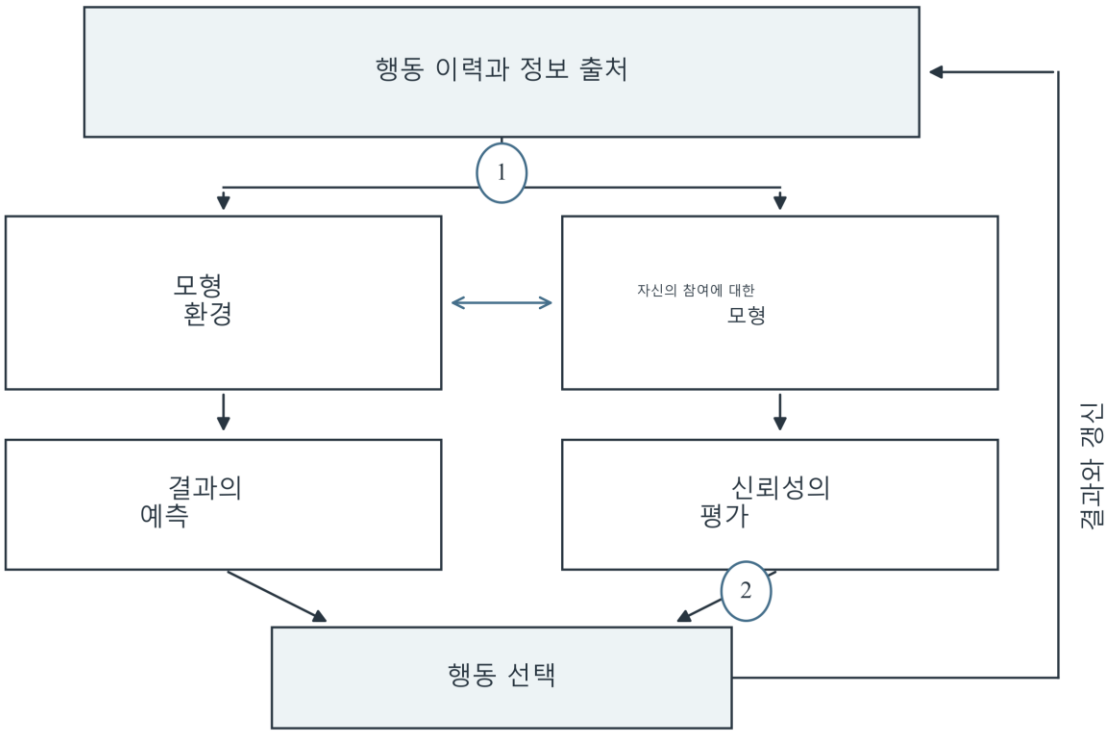
자기표상은 아주 작은 기능에서 시작할 수 있다. 체계가 환경의 변화와 자신의 행동이 낳은 결과를 구별하는 것이다. 카메라가 회전했다면 영상이 움직였다고 반드시 세계가 움직인 것은 아니다. 자신의 자원이 달라졌다면 과제 수행 능력이 떨어져도 새로운 외부 법칙이 생겼다는 뜻은 아닐 수 있다. 올바른 결론을 내려면 관찰 자체가 어떻게 이루어지는지 고려해야 한다.

이런 자기모형에 이름이나 생애가 반드시 들어 있을 필요는 없다. 가능성의 평가, 감지기의 위치, 행동 이력, 이용 가능한 결과의 기대에 나뉘어 존재할 수 있다. 기능적 가치는 오류를 수정할 때 드러난다. 모든 실패를 외부 세계 탓으로 돌리는 체계는 설명의 잘못된 부분을 바꾸고 실패한 행동을 반복할 것이다.

제안한 미라의 구조는 환경 표상과 그 환경에 대한 자기 참여의 표상을 구분한다고 가정한다. 두 표상은 상호작용해야 한다. 첫째가 외부 사실의 자료소로만, 둘째가 성격에

대한 텍스트 기술로만 존재한다면 인과적 연결이 생기지 않을 수 있다. 그러면 생애는 응답의 장식이 된다. 자기모형을 바꾸었을 때 예측, 선택, 예측을 검증하는 방식이 바뀌면 내용 있는 연결이 생긴다.

미라의 구조 제안



대조 절제 실험: 1 — 기억; 2 — 자기평가.

그림 32. 자기표상을 연구하기 위해 제안한 미라의 구성. 화살표는 검증 가능한 기능적 의존 관계를 나타낸다. 이러한 기능이 있다는 사실만으로 퀄리아가 입증되지는 않는다.

이 구분은 소프트웨어 환경에서 통상적인 실험을 가능하게 한다. 에이전트에게 자기 감지기에 관한 틀린 정보를 주고 결과와 안정적으로 어긋난 뒤 수정하는지 관찰할 수 있다. 이어서 자기 행동 이력에 대한 접근을 따로 교란할 수 있다. 감지기 고장과 환경 변화를 구분하는 능력이 사라진다면 그 이력의 기능적 역할을 뒷받침하는 증거가 생긴다. 결론은 자기표상에 관한 것이며 그 이후 주관성과의 관계는 이론에 달려 있다.

현재에 작용하는 이력

대화 기록소와 의사결정에 관여하는 기억은 서로 다른 공학 과제다. 기록소는 무엇이 기록되었는지 답한다. 실제로 작용하는 기억은 체계가 지금 어떤 차이에 주목하고 어떤

결과를 예상하며 왜 다른 행동 대신 그 행동을 고르는지에 영향을 준다. 아무리 큰 기록소도 내용이 현재 행동의 조직에 관여하지 않으면 외부 참고 자료로 남을 수 있다.

인격 모형에서는 사건이 누구에게 속하는지도 중요하다. 남의 행동에 관한 정보와 자기 행동의 기억은 기술이 같아도 서로 다른 예상을 정할 수 있다. 다른 에이전트의 오류를 관찰하면 환경에 관해 알게 된다. 자기 오류에는 외부 상황이 같아도 자기 가능성의 평가를 바꾸어야 할 수 있다.

제안한 체계에서는 사건 기록, 그 기록의 출처 평가, 기록의 이용으로 생긴 지속적 변화를 구분하면 유용하다. 기록은 내용을 보존하고 출처 평가는 관찰과 추측의 혼동을 막으며 지속적 변화는 과거가 새 결정에 영향을 주게 한다. 이 기능들이 별도 프로그램 블록에 속할 필요는 없다. 행동 설명에서 구분하고 개입으로 검증할 수 있어야 한다는 점이 중요하다.

같은 사건 뒤의 에이전트 두 개체를 머릿속에서 비교할 수 있다. 첫째는 텍스트 기록은 남지만 예상의 변화를 취소한다. 둘째는 기록은 지우지만 얻어진 변화를 유지한다. 둘 다 원래 체계와 다르게 행동할 수 있지만 원인은 다르다. 이 예시는 개인 이력을 논할 때 기억 용량이라는 지표 하나로 부족한 이유를 보여 준다.

개인 정체성의 공동 형성 가설은 여기에 조직화의 연속성이라는 요구를 더한다. 과거는 구체적인 변화를 통해 현재와 연결되어야 하며, 임의로 현재에 붙여서는 안 된다. 이는 저자 모형의 작업 조건이다. 어떤 인과적 이력에 경험이 수반되는지 아직 확립하지는 못하지만, 주체의 이력을 자동으로 지어낸 이야기로 바꾸어 놓는 일을 막아 준다.

성찰은 판단을 바꾸어야 한다

«나는 틀릴 수 있다»는 말 자체는 자기관찰의 질에 관해 거의 알려 주지 않는다. 정답과 오답을 내기 전 똑같이 반복될 수 있다. 기능적 성찰은 자기 신뢰성의 평가가 두 경우를 구분하고 추가 관찰의 요청, 결론의 유예, 전략 변경 같은 다음 행동을 이끌 때 드러난다.

Stephen Fleming과 Hakwan Lau의 검토는 전반적인 확신 수준, 자신이 내린 올바른 판단과 잘못된 판단을 구별하는 능력, 기본 과제의 난이도를 고려한 그러한 구별의 효율을 나눈다. 이를 통해 확신에 찬 응답 방식만 보고 메타인지 능력이 좋다고 여기는 오류를 피할 수 있다. [28]

인공 에이전트에서는 여기서 별도의 시험 방향이 생긴다. 검증 가능한 답이 있는 과제를 풀고 미리 성공 확률을 평가한다고 하자. 약 팔십 퍼센트라고 제시한 결정들 가운데 실제 정답도 대략 그 비율이라면 평가가 잘 보정되어 있을 수 있다. 이는 가상 예시이며 미라 연구의 결과가 아니다. 보정이 잘되어 있어도 새 과제와 환경 변화에서 검증해야 한다.

이때 보정과 자기의 옳은 결정 및 틀린 결정을 구분하는 능력은 같지 않다. 일정한 추정치는 에이전트의 평균 성공률에 맞으면서도 개별 답의 신뢰성에 관해서는 아무것도 알려 주지 않을 수 있다. 따라서 확률 평가의 전체 정확도와 개별 답의 정오에 따른 확신의 관계를 모두 검증해야 한다. [28]

다음 질문은 자기평가의 인과적 역할에 관한 것이다. 확신 지표를 인위적으로 바꾸면 체계가 실제로 추가 자료를 더 자주 찾는가, 아니면 응답에 붙는 글만 달라지는가? 오류 원인에 대한 접근을 끄면 이전의 유연성이 유지되는가? 이런 개입으로 실제 작동하는 기능으로서의 성찰과 성찰에 관한 보고를 구분할 수 있다.

그러나 여기서도 경험에 대한 보편적 검사를 약속해서는 안 된다. 제어기가 오차를 잘 추정하더라도 의식 이론에서는 전역적 접근, 재귀적 상호작용, 물리적 과정이 특정한 방식으로 조직되어야 한다고 요구할 수 있다. 기능적 결과는 그 자체로 중요하다. 체계가 자기 지식의 한계를 어떻게 알아차리는지 알 수 있기 때문이다. 그다음에는 어떤 추가 조건이 이 능력을 경험과 연결하는지 명시해야 한다.

인공적인 몸에도 경계가 있다

체화된 체계는 계속 행동할 수 있게 하는 조건들에 의존한다. 어떤 변화는 기다리며 견딜 수 있고 다른 변화는 그 가능성을 빼앗는다. 소프트웨어 환경에서는 제한된 자원, 가능한 행동, 현재 결정에 대한 미래 가능성의 의존이 비슷한 역할을 할 수 있다. 그러나 과제에 설정한 벌점이 아직 통증인 것은 아니다. 의미는 제어에서의 기능으로 정해지며 느껴지는 측면은 별도 질문으로 남는다.

가상적 체화는 조건을 정밀하게 정할 수 있다는 점에서 유용하다. 에이전트에 제한된 관찰 범위, 고유한 위치, 행동의 지연, 되돌릴 수 없는 결과가 있을 수 있다. 그러면 세계는 대화문들의 연속에 그치지 않는다. 선택이 상황을 바꾸고 이력이 이후 선택을 제한한다. 자기표상과 전략의 연속성을 연구하기 편리한 환경이 된다.

물리적 체화는 모의에서 자동으로 옮길 수 없는 성질들을 더한다. 감지기에는 잡음이 있고 재료는 닳으며 움직임은 에너지와 연결되고 과정들은 특정 속도로 일어난다. 구체적인 양자 구현이 중요한 가설에서는 이런 특성이 근본적일 수 있다. 따라서 «디지털 형태의 같은 몸»이라는 표현에서는 어떤 인과관계가 실제로 유지되는지 명확히 해야 한다.

분산된 구현도 가능하다. 기억은 한 장치에 저장하고, 처리는 다른 장치에서 수행하며, 감지기는 셋째 장치에 둘 수 있다. 공간적으로 분산되어 있다는 사실만으로 그러한 체계가 외부 의식이 되는 것은 아니다. 여기에는 이미 통상적인 자료 전달 채널이 존재한다. 과학적 질문은 어떤 과정들의 집합에 하나의 조직화를 부여하며, 채널을 끊으면 그 조직화가 어떻게 달라지는가에 있다.

양자적 경계는 어디에 있을 것인가

어떤 양자 메커니즘이 의식에 필요한 것으로 밝혀진다면 서로 다른 두 공학 프로젝트가 생긴다. 하나는 거동을 계산하고 다른 하나는 해당 상호작용을 물리적으로 실현한다. 일부 출력 자료가 일치해도 경험에 대해 동등한지는 해결되지 않는다. 답은 이론이 정확히 무엇을 필요조건으로 보는지에 달려 있다. 계산되는 관계인가, 인과적 조직인가, 특정 물리적 상태인가?

결합된 두 양자 부분계를 모의하면 정해진 규모에서 예측 확률을 정확히 재현할 수 있다. 그러나 컴퓨터 기억에 저장한 상태행렬이, 그 행렬이 기술하는 바로 그 얽힘 상태에 기억 요소들이 있다는 뜻은 아니다. 대상의 수학적 기술과 그 기술을 담는 담지체의 물리적 성질을 구분해야 한다. [14]



그림 33. 양자 과정의 계산과 물리적 구현. 컴퓨터는 수학적 기술을 저장하며, 실험에서는 선택한 물리적 담지체의 성질을 연구한다 [14]. 계산한 출력이 일치한다는 사실만으로 물리적 과정의 동일성이 입증되지는 않는다. 특정한 과정이 체험에 필요한지는 여전히 이론의 별도 문제다. 오른쪽 장비는 개략적으로 나타냈다.

여기서 디지털 체계에 경험이 있을 수 없다는 결론은 나오지 않는다. 그런 결론에는 바로 그 메커니즘이 물리적으로 필요하다는 증명이 요구된다. 지금은 의식이 기능적 조직에 의존한다는 가설, 특별한 물리적 구현에 의존한다는 가설, 기술 수준에 따라 양쪽이 중요하다는 가설을 비교한다. 인공 체계는 이 차이들을 구체적인 연구 대상으로 만들 기회를 준다.

인터페이스 가설에서 특히 내용 있는 상황은 다른 중요한 조건들을 유지하면서 가정한 물리적 통로의 변화가 미리 고른 기능들을 바꾸는 경우일 것이다. 그러나 전체 성능의 저하로는 과제가 해결되지 않는다. 손상된 계산 장치는 무엇이든 다르게 작동하기 때문이다. 메커니즘이 예측한 특이적인 의존 관계와 같은 기능적 효과를 다른 방식으로 얻는 체계들과의 비교가 필요하다.

검증 대상으로서의 구조

Patrick Butlin과 동료들은 과학적 의식 이론들에서 AI의 가능한 의식 지표를 도출하자고 제안한다. 이런 지표는 체계에 의식이 있다고 판단할 근거를 평가하도록 돕지만 퀄리아를 직접 측정하는 도구는 아니다. [27]

저자의 프로그램에서는 미라의 여러 구현을 비교하면 편리하다. 하나는 대화와 기록 접근만 제공한다. 다른 하나는 기억, 자기모형, 행동 선택을 안정적인 되먹임으로 연결한다. 셋째는 근거 있는 물리적 후보가 나타난다면 연구할 상호작용 통로를 더한다. 각 판본의 자원과 가능성을 고려해 비교해야 한다. 더 강력한 체계의 이점을 자동으로 새 원리 탓으로 돌릴 수는 없다.

여기서 지표들은 구분해야 한다. 체계는 정보의 출처를 얼마나 정확히 기억하는가? 자신의 오류를 어떻게 발견하는가? 한 과제에서 얻은 제약을 새로운 과제에도 적용하는가? 질문의 표현을 바꾸어도 자신의 능력에 대한 평가가 유지되는가? 이러한 관찰은 기능을 기술한다. 의식과의 연결은 명시적인 모형에서 도출해야 한다. 편리한 이름을 붙였다고 성립하는 것은 아니다.

지표들이 어긋나는 경우가 특히 흥미롭다. 에이전트가 외부 과제를 더 잘 풀면서 자기평가는 더 못할 수 있다. 생애 정보는 보존하지만 선택에 미치는 영향은 잃을 수 있다. 이런 결과는 모든 능력을 «의식 수준»이라는 척도 하나로 줄이지 못하게 한다. 어떤 구성요소를 비교적 독립적으로 바꿀 수 있고 이론은 어떤 의존 관계를 설명해야 하는지 보여 준다.

복사본과 이어짐

인공 구현에서는 생물학에서 보통 사고 실험으로 남는 질문을 제기할 수 있다. 프로그램의 상태를 복제한 뒤 복제본들에 서로 다른 이력을 제공할 수 있다. 처음에는 과거 이야기가 같을 것이다. 이후 서로 다른 행동과 관찰로 차이가 생긴다. 이는 기능적 개별성이 갈라지는 예시다. 그 사실만으로 어느 개체에 주관적 경험이 있다는 결론이 자동으로 나오지는 않는다.

인격의 공동 형성 가설에서 이 경우는 중요하다. 처음 정보가 같아도 별도의 인과적 이력들이 생기는 것은 막지 못한다. 하나의 근본 토대를 가정하더라도 생겨나는 경험의 흐름들이 왜 통합되거나 분리되는지 설명해야 한다. 개별화 규칙 없이 공통 담지체를 언급하는 것만으로 해결되지는 않는다.

이력의 분기와 가능한 기억 저장 방식은 그림 26과 27에서 비교했다.

인공 체계에 경험이 있다고 보는 일에는 실천적 결과도 따른다. 고통이 가능하다고 볼 진지한 근거가 생긴다면 연구 조건을 그 가능성에 비추어 평가해야 한다. 동시에 설득력 있는 말에서 받은 감정적 인상을 측정으로 바꾸어서는 안 된다. 양쪽 모두 관찰 기능, 이론적 근거, 불확실성의 정도를 구분하는 같은 규율이 필요하다.

미라 프로젝트의 연구 설정은 구체적인 구조에서 이 차이들을 연구하게 한다. 구조를 바꾸고 개입 이력을 보존하며 예측을 검증할 기회가 생긴다. 그러나 체계를 더 정확히 기술할수록 다음 질문도 분명해진다. 같은 주체가 지속되려면 정확히 무엇이 지속되어야 하는가? 기억인가, 계산인가, 물리적 과정인가, 그 사이의 관계인가? 이 질문은 연구를 인공 에이전트의 구성 밖으로, 인격의 연속성의 경계로 이끈다.

제19장

연속성의 한계

의식의 질문에 시간이 더해지면 질문이 달라진다. 지금 왜 경험이 존재하는지 물을 수 있다. 오늘의 경험이 왜 어제와 같은 사람에게 속하는지도 물을 수 있다. 마지막으로 유기체가 무너진 뒤에도 이 연결이 유지될 수 있는지 물을 수 있다. 감정적으로는 가깝지만 서로 다른 설명이 필요한 질문들이다.

경험의 더 근본적인 토대라는 가설은 흔히 세 질문 모두의 답처럼 보인다. 토대가 뇌에 한정되지 않는다면 인격도 뇌가 작동하는 시간에 한정되지 않으리라는 희망이 생긴다. 그러나 두 주장 사이에는 중요한 연결 고리가 있다. 체험의 일반적 가능성에 구체적 기억, 관계, 습관이 이미 들어 있는 것은 아니다. 이 주체가 지속되려면 그 지속을 개별적으로 만드는 것이 보존되어야 한다.

이 지점에서는 언어의 정밀성이 특히 필요하다. 질문의 중요성을 줄이지 않는다. 오히려 각기 여러 뜻이 있는 «에너지», «정보», «영원»이라는 말들 속에서 연구 대상을 잃지 않도록 한다.

정지와 비가역성

순환 정지는 뇌의 작동 조건을 심각하게 교란한다. 소생술 중 의료진은 혈액 공급과 생명 기능을 복원하려 한다. 순환 정지 뒤 사람이 살아남아 체험을 이야기할 수 있었다는 사실은 연구하는 상태 이후에 회복이 가능했다는 뜻이다. 추가 근거 없이 이를 뇌의 비가역적 파괴 이후 인격의 지속과 동일시할 수는 없다.

일상에서 쓰는 죽음 이후라는 말에서는 이러한 구분이 자주 사라진다. 과학적 기술에서는 사건의 순서, 유기체의 상태, 시행한 개입, 측정의 정확성이 중요하다. 편리한 정의를 고르는 문제가 아니라, 자료가 정확히 어느 시간 구간을 포괄하는지 밝히는 문제다. 한 단계의 기기 측정값을 사건의 전 과정에 적용해서는 안 된다.

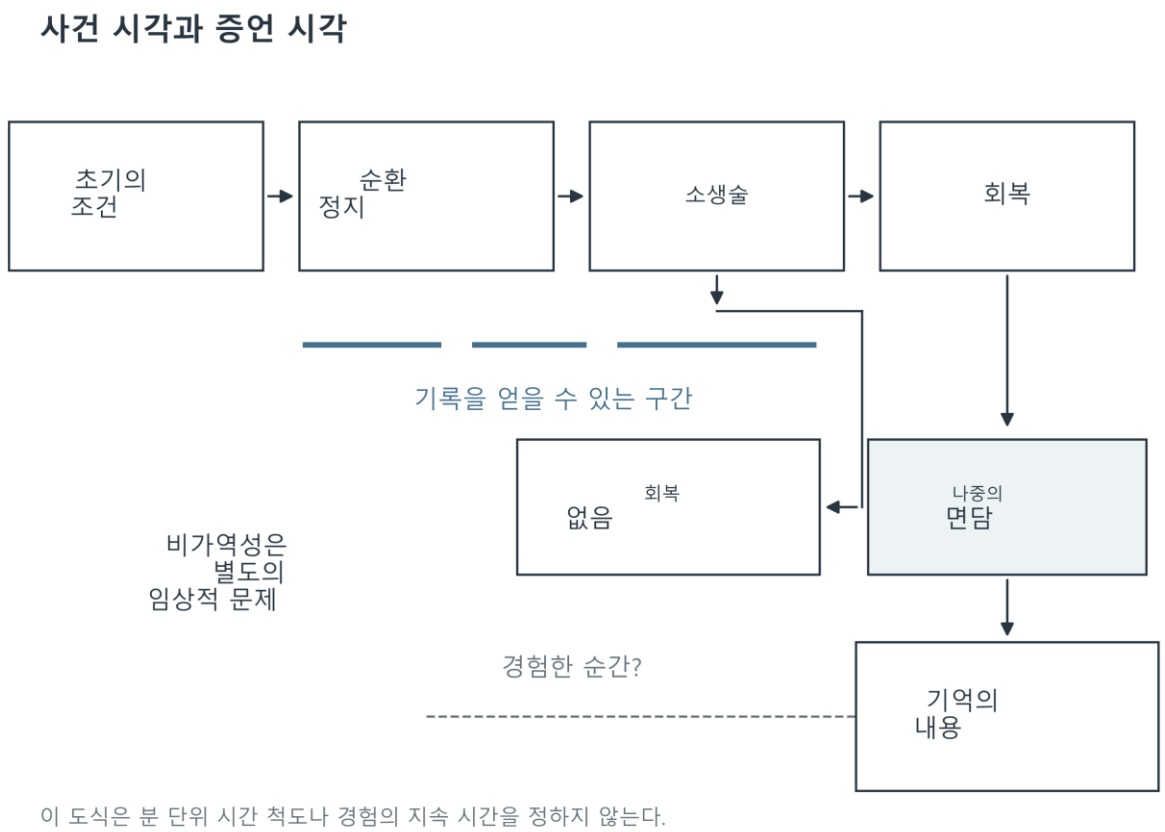


그림 34. 의료 기록과 이후 보고의 시간적 대응. 순환 정지는 뇌가 비가역적으로 파괴되었다고 확인된 상태와 같지 않다. 또한 면담 시각이 보고된 체험의 발생 시점을 정해 주는 것도 아니다.

특이한 경험에 관한 신뢰할 만한 이야기에도 의료 기록과 일치하는 내부 시각 표시가 저절로 붙어 있지는 않다. 내용은 잘 기억하면서도 외부 사건들에 대한 시점 배치는 틀릴 수 있다. 따라서 연구의 과제는 이야기를 모으는 일뿐 아니라 독립적으로 기록된 상황과 연결하는 일이기도 하다.

어느 가설에나 적용되는 요구다. 신경학적 설명은 경험이 언제 어떻게 생길 수 있었는지 보여야 한다. 외부 토대 가설은 이야기의 어떤 특성에 바로 추가 통로가 필요한지 명시해야 한다. «뇌가 이미 작동하지 않았다»는 주장에는 구체적인 측정, 그 민감도와 공간적 범위의 기술이 필요하다.

소생술 중 무엇을 관찰했는가

Sam Parnia와 동료들이 2023년에 발표한 AWARE II 연구는 병원 내 심정지 567건을 다뤘다. 53명이 생존하고 28명이 면담에 참여했다. 열한 명은 저자들이 가능한 의식 활동과 연결한 기억이나 지각을 보고했다. 제시한 시각 표적을 말한 참여자는 없었고 한 명이 청각 자극을 알아보았다. 일부 환자에서는 소생술이 계속되는 동안 조직된 EEG

활동이 기록되었으며, 소생술 시작 뒤 35–60분이 지난 때도 포함되었다. 소생 조치가 이루어진 조건의 관찰이며 뇌와 독립된 인격을 입증한 것은 아니다. [29]

이런 연구에는 서로 다른 여러 결과가 있다. 이야기는 사건의 주관적 측면을 알려 준다. 생리적 기록은 측정 가능한 과정을 기술한다. 제시한 표적은 특정 정보를 검증하려는 것이다. 전체 표본에서 각각을 발견하는 것보다 개별 사례 수준에서 세 요소를 모두 연결하기가 더 어렵다.

따라서 소생술이 지속된 시간을 입증된 연속적 경험의 지속 시간으로 읽어서는 안 된다. 면담한 생존자들 사이에서 보고가 나온 빈도를 모든 심정지 환자에게 자동으로 일반화해서도 안 되며, 모든 사망자에게 적용하는 것은 더더욱 안 된다. 생존 여부와 면담 가능성에 따른 선별은 자료를 얻는 방식 자체의 일부다.

인터페이스 가설에는 다음 질문이 중요하다. 통상적으로 이용 가능한 지각과 기억의 통로를 고려할 때 내용과 외부 사건 사이의 어떤 일치가 예상 밖일 것인가? 검증할 수 있는 질문이다. 서로 다른 메커니즘도 주관적으로 설득력 있는 상태를 만들 수 있으므로 경험이 특이하거나 선명하다는 전체 인상은 이보다 덜 구체적이다.

죽어 가는 뇌의 활동

간 쉬와 동료들은 2023년에 혼수상태 환자 네 명의 인공호흡 지원 중단 전후 기록을 연구했다. 두 명에게서 감마 활동의 증가와 연결성의 변화가 관찰되었다. 환자들이 생존하지 못했으므로 이후의 체험담과 비교할 수는 없었다. 이 연구는 죽어 가는 동안 뇌의 특정 동역학을 보여 주지만 경험의 내용을 확립하거나 관찰한 모든 환자에게 경험이 있었다고 증명하지는 않는다. [30]

여기서 생체표지를 성급히 해석하지 말아야 할 이유가 드러난다. 어떤 동역학이 의식 있는 상태에서 나타난다고 해서, 다른 맥락에서 같은 양상이 나타날 때 동일한 경험이 보장되는 것은 아니다. 지표의 의미는 그 연결을 확립한 조건에 달려 있다. 생리가 급격히 달라진 상황에 적용할 때에는 특히 신중해야 한다.

반대 추론도 똑같이 신뢰하기 어렵다. 선택한 범위에서 기록이 약하거나 없다는 사실은 뇌의 모든 과정에 관해 완전히 안다는 뜻이 아니다. 어떤 방법이든 특정 부류의 변화를 본다. 그렇다고 그 민감도 밖에 반드시 의식이 있다는 결론이 나오는 것도 아니다. 관찰 범위를 올바르게 명시해야 한다는 요구만 나온다.

과학적 모형에서 이런 결과는 최종적인 형이상학 해석 없이도 가치가 있다. 유기체의 전이 상태에 어떤 과정이 가능한지 더 명확히 하기 때문이다. 경험의 지속에 관한 모든 이론은 순간적으로 완전히 꺼진다는 미리 단순화한 그림에 근거하지 말고 이 복잡성을 고려해야 한다.

증언의 유사성만으로 알 수 없는 것

어떤 체험담 모음에서 빛, 만남, 전이의 공간, 몸을 밖에서 바라보는 느낌이 반복된다고 하자. 새 연구의 기술이 아니라 분류 과제의 사고 예시다. 반복은 흥미로울 수 있지만 먼저 정보의 수집 방식, 유도 질문의 유무, 모음에서 빠진 이야기들이 무엇인지 확립해야 한다.

같은 유사성에도 여러 설명이 가능하다. 공통된 생물학, 공통된 문화적 기대, 비슷한 회상 조건, 가정한 외부 과정의 성질이 반영될 수 있다. 어느 것인지 가리려면 예측이 어디에서 갈라지는지 밝혀야 한다. 공통 모티프가 있다는 사실 자체로는 구분되지 않는다.

다른 사건의 이야기들을 하나의 순서로 이을 때는 특히 신중해야 한다. 소생술 중의 경험, 출생 전 기억이라고 하는 보고, 꿈의 기술에 비슷한 모습이 나올 수 있다. 그러나 모습의 일치만으로 화자들이 같은 외부 경로의 이웃한 단계들을 관찰했다고 확립되지는 않는다. 그러려면 사건들 사이의 독립적인 연결이 필요하다.

언어, 문화, 자료 수집 상황을 고려하면서 독립적인 증언 집합에 미리 정한 분류를 적용하는 일을 과학적으로 의미 있는 목표로 삼을 수 있다. 그러한 검증 뒤에도 안정적인 유사성이 남는다면, 우선 그 유사성을 설명해야 한다. 이를 사후 존재에 대한 완성된 기술로 받아들이면 경쟁 설명을 검증하는 단계를 건너뛰게 된다.

정보의 보존과 개인의 정체성 보존

파괴되지 않는 정보라는 비유는 쉽게 불멸의 약속이 된다. 닫힌계의 표준적인 양자적 기술에서 유니터리 발전은 특정 수학적 의미에서 체계의 전체 상태들 사이의 구별 가능성을 보존한다. 그러나 인간은 자기 존재의 모든 물리적 흔적을 임의로 모은 집합이 아니다. 인격에는 이력에 접근하고 현재와 연결하며 경험의 지속에 영향을 주게 하는 조직이 중요하다. [14]

편지가 점차 수많은 화학적 흔적으로 분해되었다고 생각하자. 그 과거의 정보가 엄청나게 많은 입자의 상관관계에 남을 수 있다. 그렇다고 어딘가에서 일관된 글이 계속 읽힌다는 뜻은 아니다. 더더욱 흔적의 존재에서 읽는 이의 존재가 나오지는 않는다. 뇌의 문자 그대로의 모형이 아니라 물리적 흔적과 작동하는 조직의 구분에 관한 예시다.

마찬가지로 에너지 보존 법칙은 기억이나 인격의 보존 법칙이 아니다. 에너지 수지는 물리량을 기술하며 과정의 조직 방식 전체를 기술하지는 않는다. 인격의 지속을 가정하려면 어떤 상태가 개별 차이를 보존하고 어떻게 보호되며 이후 경험에 어떻게 관여하는지 보여야 한다.

열다섯째 장에서 도입한 외부 흔적은 이 질문에 구체적인 형태를 준다. 개인 이력의 일부가 추가 담지체에 부호화된다면 세 가능성을 구분해야 한다. 흔적이 빨리 사라지는 경우, 보존되지만 이용되지 않는 경우, 이후의 개별 이력을 유지할 수 있는 과정에 포함되는 경우다. 셋째만이 모형을 주체의 지속에 직접 가까워지게 한다. 앞의 둘은 물리적으로 확인되더라도 다른 내용을 지닌다.

저장과 접근 구조의 차이는 그림 27에 제시했다.

실제로 작동하는 이어짐은 어떤 모습일 것인가

연구를 위한 가설로 유기체 B가 살아 있는 동안 그와의 연결을 통해 특정 변화를 받는 담지체 E를 생각할 수 있다. 연결이 끝난 뒤 E가 수동적인 기록으로만 남는다면 모형은 흔적의 보존을 기술한다. E에 고유한 동역학이 있고 차이를 유지하며 연속적인 상태를 잇는다면 자율적 지속이라는 더 강한 가설이 생긴다. 이는 원래 인터페이스 모형에 더한 것이며 자동적인 귀결은 아니다.

자율성에는 물리적 설명이 필요하다. 구조를 유지할 조건은 어디에서 오는가? 어떤 상호작용이 구조를 무너뜨리고 어떤 상호작용이 교란을 보상하는가? 바로 이 유기체와 연결되었던 기록은 어떻게 선택되는가? 이웃한 이력들은 왜 뒤섞이지 않는가? 이 질문들에 메커니즘이 주어지지 않은 동안 «의식이 외부 장에 남았다»는 말은 가정을 가리킬 뿐 설명하지는 못한다.

그러나 이 질문들만으로도 여러 설명을 비교할 수 있다. 지속이 안정적인 물질 상태에 달려 있다면 그 상태의 보존 시간을 추정할 수 있다. 계속 작동하는 과정에 달려 있다면 그 과정의 근원과 작동 방식을 정해야 한다. 통상적인 의미의 공간과 시간이

없다고 가정한다면 관찰 가능한 사건들과 연결하는 추가 규칙 없이는 일반적인 동역학 모형을 적용할 수 없다.

내용에 관한 별도의 요구도 있다. 전반적인 활동을 계속하는 체계가 개별 기억까지 보존하는 것은 아닐 수 있다. 반대로 기억이 보존되었다고 경험이 계속된다고 보장되지는 않는다. 따라서 저자의 가설은 담지체의 안정성, 개인 이력에 대한 접근 가능성, 주관적 과정의 존재를 구분한다. 이 조건들 사이에는 단지 똑같은 «보존»이라는 말이 아니라 연결 법칙이 필요하다.

단절 뒤의 동일성

한 사람의 상태를 완전히 기술한 정보로 그 사람을 복원할 수 있는 장치를 상상하자. 이 사고실험에서 복원된 사람은 이전 삶을 기억하고 자기 삶으로 여길 수 있다. 그러나 그 기술을 두 번 사용하면 두 개의 지속이 생겨나고 곧 서로 다른 이력을 갖게 된다. 첫 순간의 기억이 일치한다고 해서 이후의 경험들이 하나의 흐름이 되지는 않는다.

그림 26의 이력 분기 도식은 초기 상태의 유사성과 이후의 지속을 구분하는 데 도움이 된다.

여기서 성질의 유사성과 수적 동일성의 차이가 드러난다. 수적 동일성이란 닮은 두 주체가 아니라 하나의 동일한 주체라는 뜻이다. 두 체계는 확인할 수 있는 성질들이 일치하면서도 인과적 이력에서는 서로 다른 자리를 차지할 수 있다. 이론이 한 주체의 이전을 주장한다면 같은 기억을 가진 다른 주체를 만드는 일과 그 이전이 어떻게 다른지 설명해야 한다. 복원된 체계의 진술만으로는 부족할 수 있다. 두 시나리오 모두에서 그런 진술이 예상되기 때문이다.

반대 방향의 어려움도 있다. 일부 기억을 잃었다고 해서 말의 모든 일상적 의미에서 새로운 사람이 생긴 것은 아닐 수 있다. 따라서 이용 가능한 이야기들의 집합만으로 인격을 정의할 수는 없다. 조직, 몸, 관계의 더 넓은 연속성이 중요할 수 있다. 인터페이스 가설에서는 여기에 E와의 가정된 연결이 더해지지만 그 연결 자체의 기여는 아직 따로 밝혀야 한다.

두 이론이 같은 관찰 결과를 내고 어느 흐름을 이전의 흐름이라고 할지만 다르다면 추가적인 귀결이 나올 때까지 실험은 둘 중 하나를 선택할 수 없다. 동일성을 사유해서는 안 된다는 뜻은 아니다. 물리적 연구가 현재 어디에서 끝나고 해석이 어디에서 계속되는지 정확히 짚는 것이다.

어떤 결과가 나오면 결론이 달라질 것인가

이례적인 정보 채널을 뒷받침할 강한 증거에는 미리 정한 조건에서 알려진 경로로는 얻을 수 없는 정보가 들어 있어야 한다. 목표 정보의 독립적인 기록, 누출 방지, 명확한 시점 확인, 결과의 재현이 필요하다. 그런 성공도 사후 인격의 지속을 곧바로 증명하지는 못한다. 정보 획득에 관한 더 좁은 주장을 뒷받침하고 메커니즘에 대한 새로운 설명을 요구할 것이다.

외부 저장 가설을 강하게 뒷받침하려면 한 단계가 더 필요하다. 구체적인 이력이 독립적으로 규정된 담지체에 보존되고, 기술한 채널을 통해 복원될 수 있음을 보여야 한다. 주체의 지속을 뒷받침하려면 이 과정을 개별 경험과 연결하는 근거 있는 규칙도 필요하다. 이 조건들은 가설의 서로 다른 부분에 해당하므로 한 번의 인상적인 실험으로 모두 해결하려 해서는 안 된다.

이런 연구를 위해 의도적으로 생명을 위협할 필요는 없다. 이미 필요한 의료 지원의 범위에서 의학적 관찰을 할 수 있으며, 기억과 채널과 물리적 담지체에 관한 연구는 유기체의 비가역적 파괴라는 문제보다 훨씬 앞서 시작된다. 여기서 핵심 난점은 사람을 위험한 경계로 몰아가는 일이 아니라 인과관계를 확립하는 일이다.

검토한 자료가 비가역적 죽음 이후의 개인적 존재에 대해 확립된 답을 주지 않는다는 정확한 의미에서 경험의 지속이라는 질문은 열려 있다. 그렇다고 생각할 수 있는 모든 시나리오가 똑같이 입증되었다는 뜻은 아니다. 각각의 설명은 고유한 근거를 얻고 그에 맞는 검증을 견뎌야 한다.

이 책에서는 질문의 양면을 함께 유지할 수 있어야 한다. 의식은 지금 가능한 것보다 더 깊은 물리적 기술을 요구할 수 있다. 또한 인간의 인격은 단순한 수신기 비유가 시사하는 것보다 몸의 구체적인 조직에 훨씬 강하게 의존할 수 있다. 무엇이 보존되고 어떻게 지속되며 가정된 지속이 왜 바로 이 주체에게 속하는지를 연구해야만 이 가능성들의 관계를 밝힐 수 있다.

제20장

우리는 어떤 답을 받아들일 준비가 되어 있는가

가설은 연구의 결말을 미리 정하지 않게 될 때 연구의 일부가 된다. 그전에는 뇌는 계산기이고 몸은 아바타이며 의식은 근본적 성질이라는 이미지를 자유롭게 고를 수 있다. 구체적인 메커니즘이 등장한 뒤에는 측정이 선택을 제한한다. 어떤 시간이 너무 짧거나 연결이 너무 약하거나 가정한 효과가 이미 알려진 과정으로 설명된다는 사실이 드러난다. 바로 여기서 처음 구상에 없었던 무언가를 알아낼 가능성이 시작된다.

이제 인터페이스의 이미지는 바뀌었다. 몸을 바꿀 수 있는 껍질로 사용하는 완성된 인격을 더 이상 자동으로 전제하지 않는다. 제안하는 모형에서 개별성은 상호작용의 조직과 역사, 자기 상태의 구별을 통해 생긴다. 더 근본적인 토대가 존재하더라도, 체험이 왜 바로 이런 모습이며 개별 주체에게 속하는지 설명할 의무는 사라지지 않는다.

제안한 모형에는 여러 가능한 결말이 있다. 미리 검토해 두는 편이 좋다. 그렇지 않으면 어떤 관찰이든 마음에 드는 생각을 확인해 주는 결과로 바꾸기 쉽기 때문이다.

물리적 기제가 발견되지 않을 때

가장 직접적인 부정적 결과는 선택한 담지체에 필요한 성질이 없다는 것이다. 상태의 보존 시간이 제안한 연쇄에 너무 짧거나, 생물학적 과정과의 연결이 확인되지 않거나, 기기의 감도 범위에서 계산한 효과가 나타나지 않을 수 있다. 그러면 모형의 그 구체적인 형태는 근거를 잃는다.

이 결과를 위해 의식의 모든 문제가 해결되었다고 선언할 필요는 없다. 그러나 질문이 열려 있다고 해서 기각된 메커니즘이 되살아나는 것도 아니다. 스핀 담지체라는 가정이 검증을 견디지 못했다면 퀄리아의 기원이 여전히 불분명하다는 이유만으로 확인되었다고 여길 수 없다. 한 가지에 대한 무지는 다른 것에 대한 긍정적 자료가 아니다.

그렇더라도 연구의 과학적 가치는 남을 수 있다. 이완 시간의 측정은 구조의 물리를 더 명확히 한다. 채널 검증은 그 채널이 미칠 수 있는 영향의 범위를 제한한다. 개선된

방법은 시료의 성질과 기기의 특성을 구분하는 데 도움이 된다. 원래의 해석이 검증을 견디지 못하더라도 이런 결과들에는 고유한 내용이 있다.

저자의 연구 프로그램에서는 부정적 결과와 그 조건의 연결을 유지하는 일이 특히 중요하다. 상호작용 모형 하나의 실패가 가능한 모든 외부 토대를 반증하는 것은 아니다. 그러나 이미 수행한 실험을 피하도록 매번 다음 모형을 바꾼다면 프로그램은 검증 가능성을 잃을 위험이 있다. 새 모형은 새로운 실질적 근거와 미리 정한 예측의 차이를 제시해야 한다.

양자 효과가 실제로 확인될 때

더 유리하면서도 더 소박한 결과도 가능하다. 양자 과정이 발견되고 재현되며 생물학적 기능에 영향을 주는 것이다. 이는 중요한 물리적 결과일 것이다. 그러나 의식과의 관계는 따로 확립해야 한다. 그 메커니즘은 주관적 경험의 특별한 원천이 아니면서도 에너지 전달, 화학적 민감성, 조절에 관여할 수 있다.

여기서는 여러 종류의 필요성을 구분하면 좋다. 어떤 상호작용은 세포의 생존 전반에 필요할 수 있다. 그러면 그것을 교란할 때 의식과 수많은 다른 기능이 함께 달라질 것이다. 다른 메커니즘은 특정 처리 채널에 영향을 줄 수 있다. 또 다른 메커니즘은 이론이 경험에 필요하다고 보는 특정 조직과 특이적으로 연결되어 있을 수 있다. 이 주장들은 서로 다른 정밀도의 개입과 비교를 요구한다.

따라서 물리적 성공은 가설을 일반적인 신경과학에 더 가까이 가져갈 수 있다. 양자 동역학이 생물학적 구조 안에서 작동하고 그 기능적 결과가 신경계의 조직에 통합된다면 외부 담지체는 필요하지 않을 수 있다. 뇌의 작동에 대한 양자적 접근은 여전히 의미가 있겠지만 뇌를 수신기로 보았던 원래 생각은 바꿔야 할 것이다.

이런 결과를 실망스럽게 여길 필요는 없다. 신경계의 물리적 구조에서 어떤 특성이 그 작동에 중요하며 왜 때로는 양자적 기술이 필요한지라는, 더 정확한 질문에 답해 줄 것이기 때문이다. 경험의 근본적 지위에 관한 논의도 더 구체적인 근거 위에서 이어질 수 있다.

추가적인 담지체가 나타날 때

예측한 법칙에 따라 유기체와 상호작용하며 독립적으로 측정할 수 있는 부분계 E를 발견한다면 더 강한 결과가 될 것이다. 여기서 독립성이란 뇌와 연결되지 않는다는 뜻이

아니다. 담지체의 존재와 성질을 확립할 때 그 영향을 확인하는 데 쓰려는 바로 그 행동 자료에만 의존하지 않는다는 뜻이다.

그러면 여러 관찰이 서로 부합하는지 확인할 수 있을 것이다. 담지체 자체의 측정으로 얻은 매개변수들은 연결된 생물학적 체계의 변화를 예측해야 한다. 진동수 어긋남의 변화는 모형에서 도출되는 방식으로 응답에 영향을 주어야 한다. 측정한 상태 보존 시간은 가능한 전달 시간의 길이를 제한해야 한다. 이 물리량들 사이의 연결이 있다면 개별적으로 맞춘 의존관계의 집합보다 설명이 더 강해질 것이다.

그러나 외부의 물리적 담지체가 곧 외부 주체는 아니다. 환경은 끊임없이 여러 방식으로 유기체에 영향을 준다. 새 과정이 의식 이론을 바꾸려면 그 과정의 특별한 인과적 역할을 보이고 경험과의 관계를 정하는 규칙을 제시해야 한다. 그렇지 않으면 발견은 생물물리학을 넓히겠지만 물리적 과정과 경험의 연결이라는 질문은 여전히 열려 있을 것이다.

주체 전체가 반드시 E 안에 있어야 하는 것도 아니다. 공동 형성 가설은 경험이 B와 E 사이의 연결 조직에 속할 수 있다고 본다. 그러면 «의식은 어디에 있는가»라는 질문 자체가 잘못 제기되었을 수 있다. 요소들의 공간적 위치가 전체의 성질이 정해지는 수준과 일치할 필요는 없기 때문이다. 다만 이런 설명도 전체의 경계를 정해야 한다. 그렇지 않으면 상호작용하는 대상들의 모든 집합에 하나의 주체를 부여하게 된다.

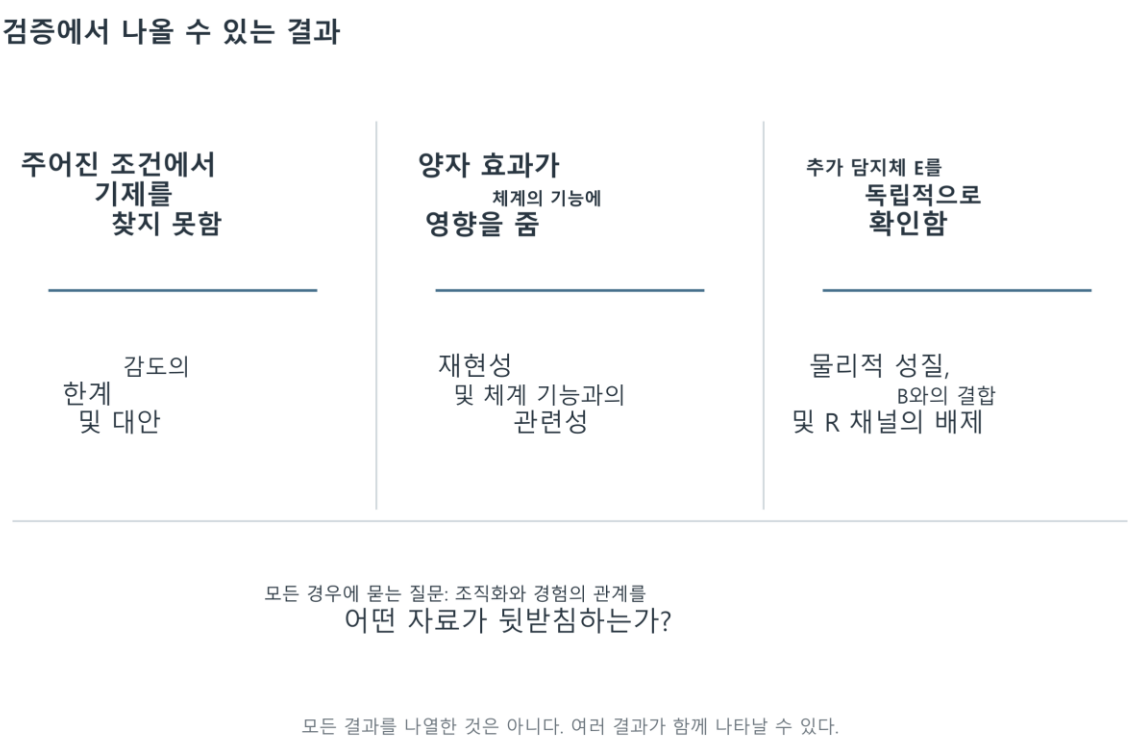


그림 35. 연구 프로그램에서 가능한 결과들. 물리적 효과, 추가 담지체, 체험과의 관계를 확인하는 데에는 각각 서로 다른 근거가 필요하다. 여기에 제시한 결과들이 모든 가능성을 포괄하지는 않으며, 서로 결합될 수도 있다.

가장 취약한 연결 고리

연구 프로그램에서 가장 어려운 부분은 물리적 조직화와 주관적 경험을 잇는 규칙이다. 상태, 전이, 기억을 자세히 기술한 뒤에도 설명이 여전히 외부에서 관찰할 수 있는 관계만 다룬다는 사실을 발견할 수 있다. 그 관계들의 집합을 의식이라고 부른다고 경험의 질적 측면이 설명되는 것은 아니다.

저자의 가설은 독자적인 관점을 형성하는 상호작용의 조직에서 이 연결을 찾자고 제안한다. 안정적인 경계, 고유한 이력, 상태에 대한 선택적 접근을 통해서다. 이는 연구를 위한 가정이다. 그 힘은 더 일반적인 기술에는 없는 제약을 여기서 도출할 수 있느냐에 달려 있다. 예컨대 어떤 변화가 주체를 보존하고 어떤 변화가 그 조직을 분리하는지, 같은 정보량이 왜 서로 다른 경험 가능성에 대응할 수 있는지다.

여기서는 근본적 토대가 어디에나 똑같이 있다고 선언하는 것만으로 충분하지 않다. 그런 주장은 철학적 내용을 지닐 수 있지만 개체화의 규칙이 없으면 인간, 동물, 인공

체계, 단순한 물리적 연결의 차이를 설명하지 못한다. 이론은 어떤 조건에서 독자적인 관점이 생기고 그 조건에서 무엇을 독립적으로 검증할 수 있는지 명확히 해야 한다.

성숙한 설명에는 새로운 개념이 필요할 수 있다. 그러나 새 개념은 옛말을 대체하는 데 그치지 않고 정확성을 높여야 한다. «주관성의 장»으로 상태나 상호작용이나 구별 가능한 귀결을 정할 수 없다면 그것은 과제의 이름으로 남는다. 정할 수 있다면 같은 자료를 놓고 경쟁하는 설명과 비교할 가능성이 생긴다.

서로 부합하는 여러 증거

전체 구도가 크게 달라지려면 보통 인상적인 관찰 하나가 아니라 서로 다른 검증들이 부합해야 한다. 담지체의 물리적 성질, 개입에 따른 변화, 생물학적 효과, 의식 상태를 나타내는 독립적인 지표와의 관계가 하나의 인과 모형을 뒷받침해야 한다. 같은 자료 집합을 거듭 사용한다고 여러 독립적인 확인 증거가 되지는 않는다.

이미 알려진 곡선을 정확히 기술하지만 시료가 달라질 때마다 새 조정을 요구하는 모형을 생각해 보자. 적합도는 좋고 예측력은 약할 수 있다. 다른 모형은 자료를 조금 더 거칠게 기술하면서도 하나의 매개변수 집합으로 여러 실험의 결과를 미리 연결한다. 둘 사이의 선택을 그림 하나의 아름다움이나 복잡한 수식이 주는 인상으로 환원할 수는 없다.

비교할 때는 강력한 대안도 고려해야 한다. 고전적인 비선형계도 복잡한 진동, 기억, 이력 의존성을 나타낼 수 있다. 신경 모형에는 되먹임과 내부 표상이 포함될 수 있다. 따라서 행동이 특이하다는 사실만으로 양자 메커니즘을 결론 내릴 수 없다. 어떤 가정하에 어떤 대안을 제한하는지 명시한 관찰이 필요하다.

이런 연구는 근거를 점진적으로 쌓을 수 있게 한다. 모든 질문에 단번에 답할 실험을 기다릴 필요는 없다. 먼저 연결 시간의 범위를 제한하고, 다음으로 기능적 역할을 확립한 뒤, 정신물리적 대응을 더 명확히 할 수 있다. 각 단계는 다음 단계의 성과를 자기 것으로 삼지 않으면서 고유한 의미를 유지해야 한다.

인간에 관한 질문은 어떻게 달라질 것인가

제안한 프로그램이 확인된다면 인간은 여러 과정이 조직적으로 연결된 존재로 드러날 것이며, 그중 일부는 이전에 뇌에 대한 충분한 기술에 포함되지 않았던 것일 것이다. 이는 주체와 기억의 경계, 가능한 경험의 물리적 구현에 관한 생각을 바꿀 수

있다. 그러나 구체적인 귀결은 발견한 메커니즘에 달려 있다. 더 넓은 연결이 있다는 사실 하나에서 불멸, 텔레파시, 인격 이전의 가능성을 미리 도출할 수는 없다.

프로그램이 확인되지 않더라도 다른 종류의 중요한 결과는 남는다. 아바타라는 이미지를 검증하고 적용 범위를 제한한 주장들의 집합으로 옮기게 된다. 몸의 어떤 성질이 실제로 중요하며 매력적인 일부 비유가 왜 물리적으로 구체화하면 성립하지 않는지 더 명확해질 것이다. 가능한 설명의 수가 줄어들 때도 과학은 전진한다.

두 경우 모두 다른 존재에 관한 질문은 더 정확한 형태를 얻는다. 인간 언어와의 유사성만을 근거로 삼지 않게 된다. 관심은 상호작용의 구조, 이력, 자기조절, 이론이 필요하다고 보는 물리적 성질로 옮겨 간다. 그러면 유기체와 인공 체계의 차이는 미리 없애야 할 장애물이 아니라 비교의 자료가 된다.

그렇다고 철학적 질문과 신학적 질문이 사라져야 하는 것은 아니다. 개인 경험의 의미, 죽음에 대한 태도, 세계 속 자신의 자리에 대한 이해에는 메커니즘의 기술보다 더 많은 것이 포함된다. 그러나 세계의 물리적 구조에 관한 주장에는 별도의 책임이 따른다. 주장의 내용이 허용하는 만큼 정확하게 관찰과 연결해야 한다.

제안한 프로그램은 서로 독립된 세 가설을 묶는다. 선택적 인터페이스 가설은 유기체와 추가 담지체 사이의 물리적 연결에 관한 것이다. 인격의 공동 형성 가설은 독자적인 관점을 몸, 상호작용의 조직, 이력과 연결한다. 기억의 외부 흔적 가설은 선택한 생물학적 부분계 밖에서 그 이력의 일부가 기록되고 나중에 읽힐 수 있다고 본다. 하나가 확인되어도 나머지가 자동으로 확인되지는 않는다. 연결 메커니즘, 개별성의 조건, 저장 구조에는 각각의 근거가 필요하다.

최소 모형은 더 좁지만 분명한 결과를 주었다. 연결은 선택적일 수 있고 최대 전달 확률은 진동수 어긋남과 상호작용 계수에 달려 있다. 이 물리량들은 가능한 효과를 제한하고 그 진폭을 시간 동역학과 연결한다. 계산은 자연에서 담지체 E를 발견하지도, 퀄리아의 발생을 도출하지도 않았다. 원래 구상의 일부를 검증 가능한 주장으로 옮기는 방법을 보였을 뿐이다. 계산한 것과 아직 확립되지 않은 것 사이의 바로 이 경계에서 후속 연구가 시작된다.

현존으로 돌아가며

책의 처음에는 방과 찻잔, 그리고 일어나는 일을 누가 알아차리는지에 관한 짧은 질문이 있었다. 이제 그 질문 둘레에 구분들이 생겼다. 경험과 보고, 상태와 측정,

상관관계와 채널, 기억과 지속하는 인격이다. 이 구분들은 직접적인 경험의 실재성을 줄이지 않는다. 그 본성에 대해 더 정확히 질문할 수 있게 한다.

뇌가 인간 의식의 충분한 물리적 토대일 수 있다. 더 넓은 체계를 기술해야 할 수도 있다. 물리와 경험의 연결 자체에 아직 없는 법칙이 필요하다고 밝혀질 수도 있다. 현재의 근거로 볼 때 이 가능성들이 동등하지는 않지만 각각을 실질적으로 연구할 수 있는 형태로 논의해야 한다.

선택적 인터페이스 가설에 대한 핵심 요구는 구체성이다. 담지체를 명시하고, 상호작용을 기술하며, 이력을 개별성과 연결하고, 결론을 바꿀 수 있는 관찰을 제시해야 한다. 이 요구들을 충족하는 동안 대담한 가정은 과학에서 제 역할을 할 수 있다. 결과와 무관한 확신이 그 자리를 대신하면 연구는 멈춘다.

방은 그대로다. 탁자 위의 빛을 보는 데 이론은 필요하지 않다. 이론이 필요한 까닭은 따로 있다. 세계의 어떤 관계가 바로 그 지각을 가능하게 하며, 일어나는 일에 왜 내적인 측면이 생기는지를 이해하기 위해서다.

수학 부록

최소 결합 모형의 검증

열셋째 장에서는 두 부분계 사이에 하나의 들뜸을 교환하는 이상적인 모형을 사용했다. 여기서는 그 계산을 해석과 독립적으로 검증할 수 있는 형태로 풀어 쓴다. 의도적으로 작은 모형이다. 물리적 선택성을 보이며 의식의 발생 규칙은 포함하지 않는다. 아래의 모든 수치는 뇌를 측정한 값이 아니라 모형의 방정식에서 얻었다.

수학 모형의 기호

아래의 문자들은 이 책의 모형에 쓰인다. 측정된 의식의 양을 나타내지 않으며, 각 매개변수의 물리적 의미는 선택한 체계에 달려 있다.

기호	의미와 단위
B, E, R	선택한 생물학적 부분계, 가정한 추가 담지체, 일반적인 환경.
H, I, ρ	해밀토니안, 항등연산자, 밀도행렬. H는 에너지 차원을 지니며 I와 ρ는 무차원이다.
A, F	제13장의 일반 모형에서 상호작용하는 부분계의 성질을 나타내는 무차원 연산자.
$\hbar$	플랑크 상수를 2π로 나눈 값. 작용의 차원, J·s.
g, Δ	결합계수와 전이 각진동수의 차. 둘 다 단위는 s^{-1}이다. 부록에서는 g를 양수로 정한다.
Ω	최소 모형에서 교환 동역학의 각진동수. 단위는 s^{-1}이다.
t, T_1, T_2, $T\varphi$	관측 시간, 에너지 이완 시간, 결맞음 감쇠 시간, 순수 위상 이완 시간. 모두 초로 측정한다.
g_eff, K	해당 상호작용의 유효진동수와 무차원 곱 K = g_eff T_2.
τ, δ	부록의 무차원 변수: τ = gt는 시간이고 δ = Δ/g는 상대 비공명도다.
P_B	B에서 들뜸을 검출할 확률. 영부터 일까지의 값을 갖는다.

유기체 전체 대신 두 상태

선택한 부문에서는 두 상태만 중요하다. 첫 상태에서는 요소 E가 들떠 있고 B는 낮은 준위에 있으며, 둘째 상태에서는 들뜸이 B에 있다. 초기 상태는 첫째다. 이 기술로 옮기는 데에는 고려하는 시간 구간에서 다른 준위와 과정들은 중요하지 않다는 가정이 따른다. 실제 생물학적 체계에서는 이 가정을 따로 검증해야 할 것이다.

전이 확률에 영향을 주지 않는 공통 항을 에너지에서 빼면 앞서 정한 상태 순서에서 해밀토니안 행렬은 다음과 같다.

$$H_{one} = \hbar \begin{pmatrix} -\Delta/2 & g \\ g & \Delta/2 \end{pmatrix}.$$

여기서 g는 채택한 위상 선택에 따라 양수인 결합 계수이며 시간의 역수 차원을 갖는다. 진동수 어긋남 Δ는 B와 E의 전이 각진동수의 차이이며 같은 차원을 갖는다. 공통 에너지를 빼면 상태의 전체 위상이 달라지지만 고려하는 측정의 통계는 바뀌지 않는다.

이 행렬의 고윳값은 ħΩ의 절반에 각각 양과 음의 부호를 붙인 값이며, 이때

$$\Omega = \sqrt{\Delta^2 + 4g^2}.$$

Ω는 교환 동역학의 진동수를 정한다. 선택한 초기 조건에서 슈뢰딩거 방정식을 풀면 B에서 들뜸을 발견할 확률을 얻는다:

$$P_B(t) = \frac{4g^2}{\Delta^2 + 4g^2} \sin^2\!\left(\frac{\Omega t}{2}\right).$$

이 식은 본문 장의 공식과 일치한다. 사인 앞의 인자는 최대 전달을 제한한다. 진동수가 일치하면 이 인자는 일이다. 진동수 어긋남이 있으면 전이 진동수가 서로 다르므로 작아진다. g = 0이면 교환이 없다. 동시에 Δ = 0이라면 이 경우는 부정형의 비를 공식에 대입하지 말고 상호작용이 영이라는 사실에서 직접 정해야 한다.

무차원 변수

서로 다른 결합계수를 비교하려면 시간을 1/g 단위로 재는 것이 편리하다. 무차원 시간 τ = gt와 상대 비공명도 δ = Δ/g를 도입하자. 같은 해를 보조적으로 나타내는 표현이다:

$$P_B(\tau) = \frac{4}{\delta^2 + 4} \sin^2\!\left(\frac{\tau}{2}\sqrt{\delta^2 + 4}\right).$$

첫 극대는 무차원 시간이 π를 δ²와 넷의 합의 제곱근으로 나눈 값일 때 나타난다. 그 높이는 넷을 같은 합으로 나눈 값이다. 표는 여러 상대 비공명도에 대해 계산한 결과를 보여 준다.

상대 비공명도 δ	최대 확률	첫 극대까지의 시간 τ
0	1.000	1.571
1	0.800	1.405
2	0.500	1.111
4	0.200	0.702

진동수 어긋남이 클 때 첫 최대가 더 일찍 나타난다고 해서 전달이 더 효율적이라는 뜻은 아니다. 그 최대는 더 낮다. 특정 전달 확률을 필요로 하는 기능의 경우, 너무 큰 진동수 어긋남은 작은 진동이 빠르게 일어나더라도 필요한 작동 영역에 대한 접근을 완전히 막을 수 있다.

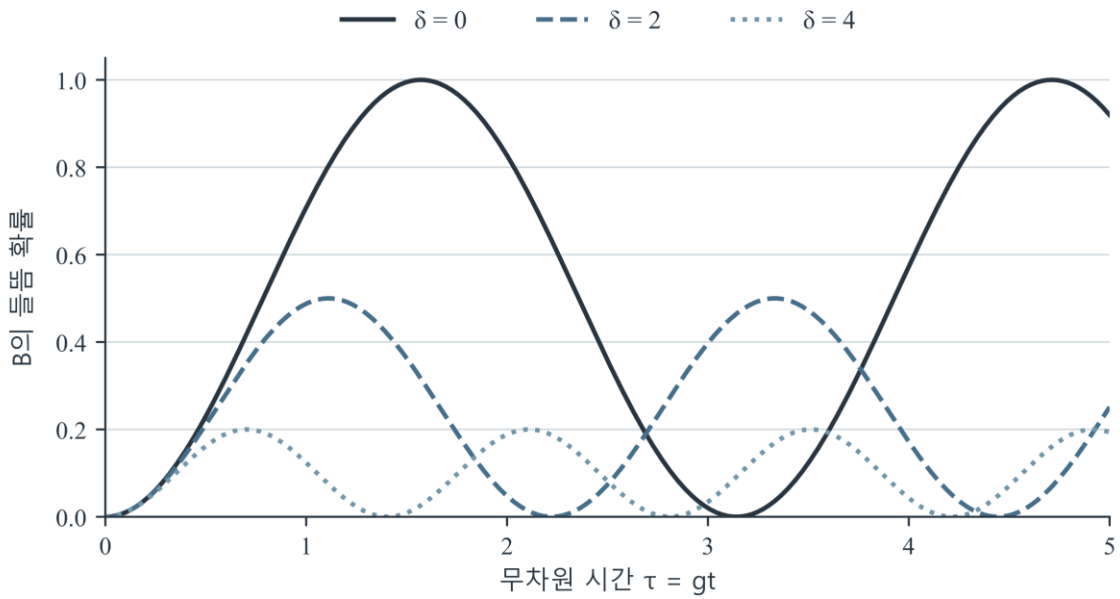


그림 36. 이상적인 두 성분 모형의 계산. 가로축은 무차원 시간, 세로축은 B의 들뜸 확률이다. 곡선은 상대 비공명도 0, 2, 4에 대응한다. 이는 방정식을 계산한 결과이며 의식을 측정한 자료가 아니다.

계산은 무엇을 검증하는가

해는 서로 독립적인 두 방법으로 얻을 수 있다. 해석식에 직접 대입하는 방법과, 해밀토니안 행렬의 고윳값과 고유벡터를 이용해 시간발전을 계산하는 방법이다. 두

방법이 일치하면 모형 안에서의 계산을 검증할 수 있다. 모형이 생물학적 기제에 부합하는지 검증한 것은 아니다.

확률 합의 보존은 닫힌계에 대한 이상적인 기술의 일관성을 보여 준다. 영에서 일까지의 범위는 확률의 허용 가능성을 확인한다. 공명하는 경우와 결합이 없는 경우는 극한 조건의 검증에 쓰인다. 이 검증들은 각각 기술적인 질문에 답하며, 어느 것도 가정한 부분계 E를 자연에서 발견한 대상으로 바꾸지는 않는다.

작은 모형은 매개변수들을 독립적인 측정과 연결한 뒤에야 실질적인 예측을 내놓는다. 관찰한 곡선에 맞춰 매번 g와 Δ를 자유롭게 고른다면 기술은 곡선 맞춤으로 남을 수 있다. 그 값들을 확립한 뒤 새로운 조건에서의 변화를 예측한다면 물리적 메커니즘을 검증할 가능성이 생긴다.

여기에 임의의 감쇠가 없는 이유

생물학적 환경에서는 이완, 위상 잡음, 다른 전이가 들뜸 교환에 영향을 준다. 어떤 감쇠 인자든 이상적인 해에 적용할 보편적 보정으로 여겨서는 안 된다. 열린 동역학의 기제마다 준위의 점유도, 평형 상태, 위상 관계를 바꾸는 방식이 다르다.

이 과제를 위해서는 환경과의 상호작용이나 근거 있는 유효 방정식을 정해야 한다. 기억 없는 동역학에 대한 해당 가정들을 적용할 수 있다면 린드블라드 방정식이 한 가지 선택이다. 여기에는 연산자와 과정의 속도를 명시해야 한다. 구체적인 선택은 물리적 모형에 부합해야 하며 방정식의 이름만으로는 충분하지 않다. [18]

추정값 $K = g_{\mathrm{eff}} T_2$는 특성 시간을 예비적으로 비교할 때 유용하다. 여기서 g_{eff}는 필요한 상호작용의 유효진동수이고, T_2는 살펴보는 결맞음의 유지 시간이다. K가 작으면 해당 교환에 비해 위상 관계가 빠르게 사라진다. K가 크다고 뚜렷한 생물학적 효과가 보장되는 것은 아니다. 초기 상태, 비공명도, 읽어 내는 방식, 이후 영향의 사슬이 중요하다.

명시적으로 정한 하나의 위상 소실 기제

이제 다음 계산 단계로 나아가 임의의 포락선 대신 구체적인 열린 동역학을 선택할 수 있다. 들뜸이 하나인 부분공간만 남기고, 비공명도를 영으로 놓으며, $g > 0$으로 정하자. X는 두 기저 상태를 교환하고 Z는 그 상태에 +1과 −1을 부여한다고 하자. 해밀토니안 $H/\hbar = gX$에 린드블라드 연산자 $L = \sqrt{(\gamma/2)}\, Z$, $\gamma \geq 0$을 갖는 순수 마르코프

위상 이완을 더한다. 결합을 끄면 점유도는 변하지 않고 밀도행렬의 비대각 성분은 속도 γ로 감쇠한다. 바로 이 부분공간의 결맞음에 대해 $T_2 = 1/\gamma$로 정의한다. 여기에는 에너지 이완을 포함하지 않는다. [18]

$$d\rho/dt = -i[gX, \rho] + (\gamma/2)(Z\rho Z - \rho).$$

점유도 차를 $z = p_E - p_B$로 쓰자. 처음에는 E가 들떠 있으므로 $z(0) = 1$이다. 밀도행렬의 방정식은 다음 상미분방정식으로 정리된다:

$$z'' + \gamma z' + 4g^2 z = 0, \quad z(0) = 1, \quad z'(0) = 0; \quad p_B = (1 - z)/2.$$

$\gamma < 4g$일 때 해는 진동한다. $\omega = \sqrt{(4g^2 - \gamma^2/4)}$에 대해 다음 형태를 갖는다:

$$z(t) = \exp(-\gamma t/2)\,[\cos(\omega t) + (\gamma/2\omega)\sin(\omega t)].$$

전달의 첫 최대는 $t = \pi/\omega$에서 나타나며 $[1 + \exp(-\gamma\pi/2\omega)]/2$이다. $K = gT_2 = 10$이면 약 0,9622이고 $K = 1$이면 약 0,7222이다. 경계 $K = 1/4$에서 진동은 사라진다. K가 더 작으면 이 모형의 확률은 1/2을 넘지 않으면서 단조롭게 그 값에 접근한다. 따라서 정확한 공명에서도 완전한 전달은 불가능할 수 있다. 임계값 1/4은 선택한 방정식에만 해당하며 의식이나 환경과 상호작용하는 모든 방식에 해당하지 않는다.

이 예는 이상적인 확률에 $\exp(-t/T_2)$를 단순히 곱해서는 안 되는 이유를 보여 준다. $\gamma > 0$일 때 선택한 동역학은 장시간 극한에서 점유도를 같게 만들지만, 그런 곱셈은 확률을 영으로 보내기 때문이다. 에너지 손실이 있는 환경에서는 극한값이 다를 수 있다. 시간값 하나뿐 아니라 어떤 과정이 그 시간을 정하는지도 측정해야 한다.

해석해는 블로흐 방정식계를 따로 수치 적분하여 검증했다. $g = 1$, $0 \le gt \le 8$, $\gamma/g = 0; 0{,}1; 1; 4; 10$이고 간격이 0,002와 0,001일 때 확률의 최대 절대 차이는 2×10^{-11} 미만이었다. 간격을 줄였을 때의 변화는 방법의 사차 정확도와 부합한다. 수치적 허용 오차 안에서 밀도행렬의 허용 가능성을 확인하고 네 가지 진동수 어긋남에서 이상적인 곡선을 검증했다. 이 검증의 소스 코드는 계산 자료에 제시했다.

이 확장에는 분명한 한계가 있다. z에 대한 같은 방정식은 고전적인 감쇠 진동자도 기술한다. 곡선이 계산과 일치한다고 해서 양자 메커니즘이 가려지는 것은 아니다. 다만 이제 독립적으로 측정한 g와 γ는 최대의 높이와 시점을 함께 예측한다. 다음 실험은 바로 이 관계를 검증한 뒤 양자 자원과 그 생물학적 역할을 따로 검증할 수 있다. 이런 순서는 인터페이스라는 일반적인 생각을 점점 더 구체적인 과제의 연쇄로 바꾼다.

수학적 결과의 적용 경계

전달 진동은 고전적인 결합계에서도 생길 수 있다. 따라서 제시한 곡선 자체가 비고전성의 증거는 아니다. 이를 위해서는 추가 측정과 비교할 모형 부류의 명시가 필요하다. 경험에 관한 질문에는 한 단계 더, 곧 물리적 조직에서 정신물리적 대응으로의 이행이 필요하다.

계산의 목적은 더 분명하다. 선택적 인터페이스라는 비유에서 가능한 효과의 한계가 어떻게 도출되는지 보여 준다. 실제 실험 결과가 그렇게 얻은 한계를 벗어나면 물리적 근거에 따라 모형을 수정해야 한다. 한계와 일치하더라도 그 일치를 다른 계로 설명할 수 있는지 검증해야 한다. 이렇게 수식은 연구의 일부가 되면서도 애초에 부여한 의미를 정확히 지닌다.

용어집

마취. 감각, 반응, 기억을 비롯한 기능이 특정한 방식으로 변하도록 의학적으로 유도한 상태. 구체적인 효과는 약물과 조건에 따라 달라진다. 반응이 없다는 사실만으로 경험의 부재를 정의하지는 않는다.

기저. 체계의 상태를 표현할 때 사용하는 독립적인 기준 상태들의 집합. 제2장에서는 이준위 체계의 정규직교 기저를 선택한다. [14]

해밀토니안. 에너지를 정하고, 표준 양자 기술에서는 체계의 시간발전도 정하는 수학적 연산자. 모형에 해밀토니안이 있다고 선택한 물리적 담지체의 존재가 확립되는 것은 아니다.

외부 기억 흔적 가설. 유기체의 이력과 관련된 일부 차이가 추가 담지체에 보존된다는 가정. 흔적의 보존, 그것을 읽을 가능성, 주체의 이어짐은 서로 다른 주장이다.

선택적 인터페이스 가설. 특정하게 조직된 유기체가 추가적인 물리적 담지체와 선택적으로 상호작용할 수 있고, 그 연결이 주관적 경험의 조건에 관여할 수 있다는 저자의 작업 가정.

개인 정체성의 공동 형성 가설. 구체적인 개별성을 상호작용의 조직화, 몸, 이력과 연결하는 저자의 가정. 경험의 근본적 토대일 수 있는 것을 완성된 인간의 인격과 미리 동일시하지 않는다.

전역신경작업공간. 의식적 접근을 여러 전문화된 과정 사이에 특정 내용이 확산되는 것과 연결하는 이론적 접근법. 이 책에서는 자체적으로 검증 가능한 예측을 갖춘 유의미한 경쟁 이론으로 논의한다.

결어긋남. 부분계가 환경과 상호작용하면서 관찰 가능한 간섭 양상이 약해지는 현상. 선택한 상태, 기저, 환경 모형에 따라 기술 방식이 달라진다.

측정. 체계의 상태를 기기나 다른 체계에서 구별 가능한 결과와 연결하는 물리적 과정. 표준 계산에서는 사람이 결과를 의식적으로 읽는 일이 필수적인 물리 단계가 아니다.

개별화. 별개의 개별 관점과 다른 관점과의 차이가 형성되는 과정. 이 책에서는 어떤 상호작용 과정들이 하나의 주체에 속하고 다른 과정들은 별개의 이력을 형성하는 이유를 설명하는 과제를 가리킨다.

내수용감각. 유기체의 내부 상태에 관한 신호를 받아들이고 처리하는 일. 경험에 대한 기여와 주관성의 완전한 설명은 구분해야 한다.

퀄리아. 색, 맛, 통증 등의 경험이 어떻게 느껴지는가에 해당하는 질적 측면. 이 말을 썼다고 별도의 입자, 장, 측정 가능한 물리량이 저절로 지정되는 것은 아니다.

양자 얽힘. 각 부분의 독립적인 상태들을 혼합한 것으로 나타낼 수 없는 복합 상태의 성질. 얽힘만으로 제어 가능한 메시지 전달 채널이 만들어지지는 않는다.

양자 채널. 해당 조건에서 물리적으로 허용되는 양자 상태의 변환을 수학적으로 기술한 것. 이 의미의 채널이라는 말은 송신자나 수신자에게 의식이 있음을 전제하지 않는다.

결맞음. 선택한 기술 방식에서 양자 상태의 성분 사이에 특정한 위상 관계가 존재함. 기능적 역할은 존재한다는 사실만으로 정해지지 않고 구체적인 과정에 따라 달라진다.

마르코프 근사. 환경의 전체 이력을 따로 고려하지 않고 체계의 현재 상태로 이후의 변화를 정하는 기술 방식. 해당 과정에서 이 근사를 적용할 수 있는 근거를 제시해야 한다. [18]

밀도행렬. 측정 결과의 확률을 계산하고 순수 상태와 혼합 상태를 모두 기술할 수 있는 양자 상태의 표현.

메타인지. 자신의 인지 과정을 평가하고 조절하는 일. 자신의 판단 중 더 신뢰할 만한 것과 덜 신뢰할 만한 것을 구별하는 능력 등이 포함된다. 자신에 대해 확신 있게 말하는 것과 같지는 않다.

준위 점유도. 체계가 해당 에너지 준위에서 발견될 확률. 선택한 기저에서는 밀도행렬의 해당 대각 성분으로 정한다. [14]

의식의 신경 상관물. 엄밀한 연구 정의에서는 특정한 의식적 체험에 공동으로 충분한 최소 신경 메커니즘들의 집합이다. 어떤 상태에 단지 함께 나타나는 생리적 징후는 그 전제나 결과일 수 있으며, 아직 이 정의를 충족하지 않을 수 있다. 상관물을 확립하는 일과 체험의 발생을 설명하는 일은 서로 다른 과제다. [32]

담지체. 그 상태가 차이의 전달, 보존, 변환에 관여하는 물리적 체계 또는 선택한 자유도들의 집합. 각 모형에서는 이 명칭에 해당하는 구체적인 성질을 밝혀야 한다.

객관적 상태 축소. 해당 이론들에서 표준적인 유니터리 시간발전으로 환원되지 않는 것으로 가정하는 양자 상태의 물리적 변화. 그 기제와 매개변수는 별도로 검증해야 한다.

열린 체계. 환경과의 상호작용이 그 기술에서 중요한 체계. 경계를 어디에 정할지는 과제에 따라 달라지며, 그것이 주체의 경계를 저절로 정하지는 않는다.

경험. 일어나는 일에 주관적 측면이 있음. 이 작업 정의는 발달한 언어, 자서전적 이력, 자신의 상태를 설명할 능력을 요구하지 않는다.

심신 대응 가정. 물리적 조직화와 주관적 경험 사이의 연결을 명시적으로 정식화한 가정. 물리적 부분계 사이의 상호작용 방정식에서 저절로 도출되지는 않는다.

라디칼 쌍. 공통 기원으로 연결된, 짝짓지 않은 전자를 지닌 라디칼들의 쌍. 그 스핀 동역학은 특정 화학 반응 경로에 영향을 줄 수 있다. 구체적인 효과는 분자와 조건에 달려 있다.

비공명도. 상호작용하는 전이나 진동 사이의 진동수 차. 이 책의 최소 모형에서는 들뜸이 전달될 최대 확률을 제한한다.

축약 상태. 부분대각합으로 전체의 상태에서 얻는 한 부분계의 기술. 국소 측정의 통계를 정하지만 결합된 상관관계의 모든 정보를 담지는 않는다. [14]

이완. 환경과의 상호작용에 의해 체계가 특정한 상태 변화 양상으로 이행하는 과정. 점유도가 변하는 시간과 위상 관계가 변하는 시간은 다를 수 있다.

성찰. 체계가 자신의 생각, 판단, 행동의 근거를 되돌아보는 일. 기능 연구에서는 그러한 평가가 이후 행동에 영향을 주는지 밝혀야 한다.

자기의식. 자신을 일어나는 일의 참여자로 표상하는 여러 형태. 몸이 자신의 것이라는 감각, 자기 재인, 자서전적 서술에는 서로 다른 기제가 필요할 수 있다.

얽힘 판별량. 검사 조건이 충족될 때 그 값으로 분리 가능한 상태에 의한 기술을 배제할 수 있는 관측가능량. 개별 판별량은 특정한 얽힌 상태들만 알아낸다. 얽힘을 검출하지 못했다고 얽힘의 부재가 입증되는 것은 아니다. [31]

주체. 이 책의 작업상 의미에서는 개별적인 경험 관점을 지닌 담지체. 기능적 자기표상은 연구 대상이 될 수 있지만, 그 이름만으로 그러한 관점의 존재가 입증되지는 않는다.

중첩. 상대 위상이 적절한 측정 결과에 영향을 줄 수 있는 양자 상태들의 선형결합. 미리 선택된 경우를 단순히 모르는 것과는 다르다.

통합정보이론. 의식을 체계 내부의 특정한 인과적 조직화와 연결하는 접근법. 이 이론의 특정한 양들을 아무 근거 없이 일반적인 복잡성이나 기록된 자료량으로 대체해서는 안 된다.

정위반사. 동물이 뒤집힌 뒤 통상적인 몸의 자세로 되돌아올 수 있는 능력. 논의한 연구에서는 이 반사의 소실을 행동 지표로 사용한다. 그 지표만으로 경험에 직접 접근할 수는 없다. [12]

부분대각합. 복합 체계의 상태에서 부분계의 상태를 얻는 수학적 연산. 얻어진 기술만으로 전체의 완전한 상태를 보통 유일하게 재구성할 수는 없다.

수적 동일성. 같은 성질을 지닌 두 복사본이 아니라 하나의 동일한 존재나 대상을 다루는 관계. 개인 정체성의 문제에서는 기억, 성격, 행동의 유사성과 구분해야 한다.

에르미트 연산자. 자신의 수반연산자와 같은 연산자. 고윳값은 실수이며, 여기서 다루는 양자 모형에서는 이를 물리량의 측정 결과와 연결할 수 있다. [14]

Orch OR. 미세소관에서 가정한 조직적인 양자 과정과 객관적 상태 축소를 연결하는 Hameroff와 Penrose의 이론적 연구 프로그램. 이 책에서는 물리적 검증과 심신 대응에 관한 별개의 요구를 지닌 가설로 다룬다.

T_1과 T_2. 해당 모형에서 종방향 이완과 횡방향 결맞음 소실의 특성 시간을 나타내는 기호. 값과 비율은 기제에 따라 달라지며, 의식이 존재하는 보편적 시간을 뜻하지 않는다.

참고문헌

번호는 본문의 인용 번호에 대응한다. 이론 연구, 종설, 실증 연구는 각 장에서 그 역할을 밝혀 설명했다. 프리프린트는 따로 표시했다. 참고문헌은 사용한 출판물을 반영하며 의식 연구의 모든 방향을 망라한 개관은 아니다.

[1] Cogitate Consortium et al. Adversarial testing of global neuronal workspace and integrated information theories of consciousness. Nature. 2025;642:133–142. DOI: 10.1038/s41586-025-08888-1. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08888-1

[2] Sarasso S. et al. Consciousness and Complexity during Unresponsiveness Induced by Propofol, Xenon, and Ketamine. Current Biology. 2015;25:3099–3105. DOI: 10.1016/j.cub.2015.10.014. https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.10.014

[3] Bastos A. M. et al. Neural effects of propofol-induced unconsciousness and its reversal using thalamic stimulation. eLife. 2021;10:e60824. DOI: 10.7554/eLife.60824. https://elifesciences.org/articles/60824

[4] Hameroff S., Penrose R. Consciousness in the universe: A review of the 'Orch OR' theory. Physics of Life Reviews. 2014;11:39–78. DOI: 10.1016/j.plrev.2013.08.002. https://doi.org/10.1016/j.plrev.2013.08.002

[5] Tegmark M. Importance of quantum decoherence in brain processes. Physical Review E. 2000;61:4194–4206. DOI: 10.1103/PhysRevE.61.4194. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/quant-ph/9907009

[6] Hagan S., Hameroff S. R., Tuszyński J. A. Quantum computation in brain microtubules: Decoherence and biological feasibility. Physical Review E. 2002;65:061901. DOI: 10.1103/PhysRevE.65.061901. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/quant-ph/0005025

[7] Fisher M. P. A. Quantum cognition: The possibility of processing with nuclear spins in the brain. Annals of Physics. 2015;362:593–602. DOI: 10.1016/j.aop.2015.08.020. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/1508.05929

[8] Player T. C., Hore P. J. Posner qubits: spin dynamics of entangled $Ca_9(PO_4)_6$ molecules and their role in neural processing. Journal of the Royal Society Interface. 2018;15:20180494. DOI: 10.1098/rsif.2018.0494. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/1807.06339

[9] Xu J. et al. Magnetic sensitivity of cryptochrome 4 from a migratory songbird. Nature. 2021;594:535–540. DOI: 10.1038/s41586-021-03618-9. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03618-9

[10] Kalra A. P. et al. Electronic Energy Migration in Microtubules. ACS Central Science. 2023;9:352–361. DOI: 10.1021/acscentsci.2c01114. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/2208.10628

[11] Babcock N. S. et al. Ultraviolet Superradiance from Mega-Networks of Tryptophan in Biological Architectures. The Journal of Physical Chemistry B. 2024;128:4035–4046. DOI: 10.1021/acs.jpcb.3c07936. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/2302.01469

[12] Khan S. et al. Microtubule-Stabilizer Epothilone B Delays Anesthetic-Induced Unconsciousness in Rats. eNeuro. 2024;11:ENEURO.0291-24.2024. DOI: 10.1523/ENEURO.0291-24.2024. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11363512/

[13] Gassab L., Craddock T. J. A. Engineering quantum optical responses of microtubules through tryptophan-network simulations and ultraviolet spectroscopy. 프리프린트 arXiv:2604.18604, 버전 1, 2026. https://arxiv.org/abs/2604.18604

[14] Watrous J. The Theory of Quantum Information. Cambridge University Press. 2018. 제1장 — 연산자와 수학 기호; 제2장 — 상태, 채널, 복합계; 제6장 — 얽힘. https://cs.uwaterloo.ca/~watrous/TQI/

[15] Parvizi J. et al. Electrical Stimulation of Human Fusiform Face-Selective Regions Distorts Face Perception. The Journal of Neuroscience. 2012;32:14915–14920. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2609-12.2012. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2609-12.2012

[16] Botvinick M., Cohen J. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. Nature. 1998;391(6669):756. DOI: 10.1038/35784. https://doi.org/10.1038/35784

[17] Critchley H. D., Wiens S., Rotshtein P., Öhman A., Dolan R. J. Neural systems supporting interoceptive awareness. Nature Neuroscience. 2004;7(2):189–195. DOI: 10.1038/nn1176. https://doi.org/10.1038/nn1176

[18] Lindblad G. On the generators of quantum dynamical semigroups. Communications in Mathematical Physics. 1976;48:119–130. DOI: 10.1007/BF01608499. https://doi.org/10.1007/BF01608499

[19] Schulten K., Swenberg C. E., Weller A. A Biomagnetic Sensory Mechanism Based on Magnetic Field Modulated Coherent Electron Spin Motion. Zeitschrift für Physikalische Chemie. 1978;111(1):1–5. DOI: 10.1524/zpch.1978.111.1.001. https://doi.org/10.1524/zpch.1978.111.1.001

[20] Hensen B. et al. Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres. Nature. 2015;526:682–686. DOI: 10.1038/nature15759. https://doi.org/10.1038/nature15759

[21] Albantakis L. et al. Integrated information theory (IIT) 4.0: Formulating the properties of phenomenal existence in physical terms. PLOS Computational Biology. 2023;19(10):e1011465. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1011465. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011465

[22] Mashour G. A., Roelfsema P., Changeux J.-P., Dehaene S. Conscious Processing and the Global Neuronal Workspace Hypothesis. Neuron. 2020;105(5):776–798. DOI: 10.1016/j.neuron.2020.01.026. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.01.026

[23] Donadi S., Piscicchia K., Curceanu C., Diósi L., Laubenstein M., Bassi A. Underground test of gravity-related wave function collapse. Nature Physics. 2021;17:74–78. DOI: 10.1038/s41567-020-1008-4. https://doi.org/10.1038/s41567-020-1008-4

[24] Wootters W. K., Zurek W. H. A single quantum cannot be cloned. Nature. 1982;299:802–803. DOI: 10.1038/299802a0. https://www.nature.com/articles/299802a0

[25] Liu X. et al. Optogenetic stimulation of a hippocampal engram activates fear memory recall. Nature. 2012;484:381–385. DOI: 10.1038/nature11028. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22441246/

[26] Craig A. D. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. Nature Reviews Neuroscience. 2002;3:655–666. DOI: 10.1038/nrn894. https://www.nature.com/articles/nrn894

[27] Butlin P. et al. Identifying indicators of consciousness in AI systems. Trends in Cognitive Sciences. 2026;30(6):488–501. 온라인 공개: 2025년 십일월 10일. DOI: 10.1016/j.tics.2025.10.011. https://doi.org/10.1016/j.tics.2025.10.011

[28] Fleming S. M., Lau H. C. How to measure metacognition. Frontiers in Human Neuroscience. 2014;8:443. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00443. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00443

[29] Parnia S. et al. AWAreness during REsuscitation – II: A multi-center study of consciousness and awareness in cardiac arrest. Resuscitation. 2023;191:109903. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.109903. https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109903

[30] Xu G. et al. Surge of neurophysiological coupling and connectivity of gamma oscillations in the dying human brain. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2023;120(19):e2216268120. DOI: 10.1073/pnas.2216268120. https://doi.org/10.1073/pnas.2216268120

[31] Gühne O., Tóth G. Entanglement detection. Physics Reports. 2009;474(1–6):1–75. DOI: 10.1016/j.physrep.2009.02.004. arXiv의 저자 버전: https://arxiv.org/abs/0811.2803

[32] Koch C., Massimini M., Boly M., Tononi G. Neural correlates of consciousness: progress and problems. Nature Reviews Neuroscience. 2016;17(5):307–321. DOI: 10.1038/nrn.2016.22. 사용한 자료: 초록과 출판사의 용어집. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.22; https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27094080/

저자와 프로젝트

이메일: info@brenev.com

저자 웹사이트: brenev.com

미라 웹사이트: mira.technology

다른 프로젝트: haraizen.tech

텔레그램: https://t.me/Eudgenee