마음은 어떻게 뇌에서 생겨나는가?

제8강
마이클 S. 가자니가의 『뇌, 인간의 지도』(2016)
: 좌뇌와 우뇌는 서로 협력한다

강사: 조광제

뇌에서 자아로

* 뜬금없는 방식으로 강의계획서에 들어 있지도 않은 다른 텍스트를 살피게 되었습니다. 죄송합니다. 하려고 했던 것보다 더 중요하게 여겨지는 문헌을 읽게 되었기 때문입니다. 가자니가는 한 때 조지프 르두의 선생이기도 합니다.

오늘은 '분리 뇌' 연구를 통해 인지신경과학자로 명성이 높은 가자니가Michel S. Gazzaniga,1939- 가 쓴 『뇌, 인간의 지도, *Tales from Both Sides of the Brain*』(2015/ 박인균 옮김, 추수밭, 2016)의 마지막 4장을 간추려 살펴보고자 합니다. 이 책을 추천한, KAIST 바이오및뇌공학과 교수인 정재승에 따르면, "뇌의 인지 사고 과정을 연구하는 학자라면 대부분 마이클 가자니가의 학문적 세례를 받고 성장했을 것이다. (…) 그의 강연은 뇌가 어떻게 마음을 만들어냈는지, 도덕과 윤리는 어떻게 잉태되었는지, 도대체 인간은 누구인지에 대해 우리가 가장 궁금해 하는 핵심을 찌른다. 만약 그가 우리는 아직 이 질들에 대한 답을 알지 못한다고 말한다면 정말 인간은 아직 답을 모르는 것이다. 그는 그야말로 인지신경과학의 최전선에 서 있다."라고(5쪽) 말한다. 그런 뒤, 정재승 교수는 "마이클 가자니가, 그의 삶은 곧 인지신경과학의 역사다. 이 책은 인간의 마음을 뇌의 기저로 설명하려 했던 20세기 인지신경과학의 탐구 역사를 그의 삶을 통해 고스란히 전하고 있다. 분리된 뇌를 통해 우뇌와 좌뇌 기능을 이해한 후, 언어 신경과학, 사회 신경과학, 진화 신경과학, 신경 윤리학 등 인지신경과학의 전 분야를 넘나들게 된 그의 학문적 행보가 바로 '마음에 대한 인간 호기심의 궤적'이었기 때문이다."라고(7쪽) 말한다.

책의 원 제목을 보면, '뇌의 두 측면이 들려주는 이야기'일 만큼 이 책은 우뇌와 좌뇌의 분리와 그에 따른 여러 결과들과 그것들이 마음 또는 정신에 대해 갖는 의미들을 설명해 준다. 그런데 한편으로 이 책은 그의 연구에 대한 자서전이라 할 수 있다. 1960부터 최근에 이르기까지 그의 연구 과정들을 마치 소설처럼 실감나게 기술하고 있기 때문이다. 그는 이렇게 말한다.

> 대학 4학년 시절, 나는 한 가지 질문에 사로잡혔다. "뇌량(좌우 대뇌를 연결해주는 신경 집합)을 절개한 사람에게는 어떤 일이 일어날까?" 여기서 '절개'란 수술을 통해 뇌에서 가장 큰 신경 다발을 쪼갠다는 의미다. (…) 당시에는 그 누구도 사람이 왼손에 든 물체와 일치하는 물체를 오른손으로 찾지 못 하리라 생각하지 않았다. 그건 그냥 말이 안 되는 얘기였다.(38쪽)

심하게 간질 발작을 일으켜 죽을 위험이 높은 간질병 환자는 우뇌와 좌뇌 사이를 연결하는 뇌량을 절단하게 되면 발작의 정도가 현저히 줄어든다는 사실이 알려져 있습니다. 간질 대발작은 전번 시간에 르두가 알려준 것처럼, 뇌 전체에서 알 수 없는 이유로 전기 자극이 일어나면서 글루타메이트의 작용이 전반적으로 일어나 강렬하게 흥분되었을 때 일어나는 것입니다. 그런데 가자니가에 따르면, 뇌 분리에 의한 간질 발작의 완화는 1940년대 초, 신경외과 의사 윌리엄 반 바그넌William Van Wagenen이 행한 동물 실험에 의한 것이었다고 합니다. 한쪽 뇌에서만 간질 발작이 일어나도록 뇌량을 절개하는 수술을 한 것입니다. 반 바그너는 곧 이어서 제어가 불가능할 정도로 심각한 간질을 앓고 있던 26명의 환자들의 뇌량을 절개했다고 합니다. 수술을 받은 뒤 그 환자들은 간질의 완화 외에 아무 일도 일어나지 않은 것으로 여겨졌다고 합니다.(39쪽 참조)

그런데 가자니가가 과연 그런가 하고서 W.J.라는 이름의 뇌량 절개 즉 분리 뇌 환자를 대상으로 여러 연구를 하게 된 것입니다. 우뇌와 좌뇌를 분리한다는 것은 두 뇌가 서로 정보를 주고받을 수 없다는 것을 뜻합니다. 가자니가는 자신이 분리 뇌 연구를 위해 만나 이야기하고 다양한 경우를 제시해서 그 반응을 이야기로 주고받고 한 분리 뇌 '환자'들은 6명 정도 되는데, 그 중 맨 먼저 1961-2년에 만나 W.J,에 대해 실험을 하면서 그 현상들에 흥분을 감추지 못했던 과거의 일을 실감나게 전합니다. 이를 위해 그가 제시하는 시각 체계에 관한 이야기는 이렇습니다.

> 인간 및 유사 포유류의 시각 체계는 전체 신체 도면 안에 깔끔하게 배치되어 있다. 앞을 바라보고 한 점을 응시해 보라. 이때 두 눈은 시각 정보를 뇌로 쏟아 붓는다. 이 정보는 정해진 순서에 따라 입력되는 것일까? 그렇다. 각각의 눈이 정보를 시신경으로 올려 보내는데 정보의 절반은 뇌의 한쪽에 그대로 남아 있고 나머지 절반은 그 반대쪽 뇌로 넘어간다. 따라서 그 점을 여전히 응시하고 있다면 고정된 점의 왼쪽 영역에서 들어오는 모든 정보는 오른쪽 뇌에만 투영된다. 이런 식으로 양쪽 눈이 각각 시각적 경험에 기여하는 것이다. 그렇다면 고정된 점의 오른쪽 영역에서 들어오는 시각 정보는 왼쪽 뇌에서만 투영된다는 설명이 가능하다. 이는 분리뇌 환자를 포함한 모든 인간이 똑같다.(92쪽)

점 하나를 보는데도, 그 점이 어느 정도 큰지 알 수는 없지만, 이처럼 점을 반으로 갈라 점의 왼쪽과 오른쪽이 각각 오른쪽 뇌와 왼쪽 뇌에 분리되어 접수된다는 것은 참으로 놀라운 일이 아닐 수 없습니다. 시각만이 아닙니다. 체지각 체계 즉 손을 비롯해 몸으로 직접 접촉해서 생기는 지각 체계의 경우에도 그렇습니다.

> 신체의 왼쪽 절단이 촉각에 대한 정보의 대부분을 오른쪽 뇌로 보낸다. 만약 왼손에 물체를 쥐고 있다면 물체의 전반적인 모양과 관련된 촉각 정보, 소위 입체감 정보가 오른쪽 뇌로 간다. 그러나 촉각을 통해 얻는 존재 또는 부재와 관련한 단순하고고 기초적인 느낌은 오른쪽 뇌와 왼쪽 뇌 모두에로 전달된다. 로즈와 마운트캐슬은 이 사실을 뒷받침하는 해부학적 구조를 함께 설명함으로써 이를 아주 명쾌하게 입증해 보

> 였다. 인체의 오른쪽도 마찬가지다. 오른손에서 오는 물체의 모양에 대한 정보는 곧장 왼쪽 뇌로 이동하는 반면 이보다 더 확정적인 정보의 존재 또는 부재는 양쪽 뇌 모두에로 전달된다.(93쪽)

그런데 시각 체계의 경우, 이러한 분리가 깔끔한 반면 체지각에 의한 촉각의 세계에 대해서는 다른 현상이 나타났다고 합니다. 그것은 촉각의 세계에서 들어오는 정보 가운데 일부 형태는 반대쪽 뇌로 간 반면 다른 형태는 양쪽 뇌 모두에로 전달된다는 것이었습니다. 가자니가는 왜 그런가를 이해하려고 했습니다.(93쪽 참고) 그리고는 분리뇌 환자의 시야을 가린 후 오른손과 왼손에 번갈아가며 동일한 물체(예컨대, 사과)를 번갈아 놓으면서 질문을 했습니다.

> 이 수수께끼를 풀기 위해 우리는 먼저 분리뇌 환자의 시야를 가린 후 오른손에 물체를 놓았다. 그리고 물었다. "손에 있는 게 무엇인가요?" 조금의 망설임도 없이 늘 정확한 물체의 이름이 바로 나온다. 물체의 모양에 대한 정보가 왼쪽 뇌로 전달된 것이다. 그런 다음 우리는 같은 물체를 왼손에 놓고 같은 질문을 했다. 이번에는 모양 정보가 오른쪽 뇌로, 즉 말을 못하는 뇌로 갔다. 환자들은 대부분 물체의 이름을 말하지 못 했다. 흥미로운 것은 환자들이 그 물체를 적절하게 조작한다는 점이다. 이는 오른쪽 뇌에서 물체가 무엇인지 '알았지만' 발화(發話) 중추가 없기 때문에 이름을 말할 수 없었다는 점을 시사한다. 물체의 모양 정보가 왼쪽의 말하는 뇌로 전달될 수도 없었다. 물체가 올바르게 조작되었다는 사실은 양쪽 뇌가 모두 물체의 특성에 관한 정보를 저장해 두었다는 점을 가리키기도 한다. 일종의 이중 기억 체계가 뇌 조직의 이중화로 이어진 것이다. 이 모든 것을 침대 옆에서 단 한번 실시한 테스로 알아내다니, 얼마나 멋진 일인가!(93-4쪽)

이같이 연구에서 흥분에 흥분을 거듭하는 일은 결코 쉽지 않을 것입니다. 하지만, 뇌는 그렇게 호락호락한 연구 대상이 아니었습니다. 계속 이어지는 여러 분리뇌 환자들의 새로운 현상들을 지켜보고 신경학적으로 해석하려고 노력하는 가자니가의 노력은 한편으로 눈물겹다고 할 정도로 이어집니다. 그 문제들을 간략하게 추려내면 다음과 같습니다.

> 왜 뇌가 분리되었거나 광범위하게 절단된 동물은 목표 지향 행동을 수행할 때 늘 뇌가 분리되지 않은 것처럼 행동하는가? (…) 뇌에 '나', 다시 말해 명령 중추가 있다는 개념은 착각이었다. (…) 한쪽 뇌가 다른 쪽 뇌가 설정한 단서를 읽고 효과적으로 통합된 결과를 만들어내는 것이다.(109쪽) → 수술로 분리된 양쪽 뇌 사이에서 벌어지는 이 모든 미묘한 커뮤니케이션이 인지 테스트에서도 명확하게 드러났다. 우리는 이것을 '교차 단서 주기cross-cueing라 불렀다. 목적이 있는 통합된 행동을 만들어내기 위해 모듈 또는 개별 시스템이 서로에게 단서를 보내는 과정은 어디에나 있는 것으로 보였다.(119쪽)

> 그런데 환자들이 같은 쪽 팔은 잘 제어하면서도 같은 쪽 손은 잘 제어하지 못 했다.

> 이번에는 또 무슨 일이 벌어진 것일까?(125쪽) → 분명한 것은 우뇌는 요청 받은 동작으로 시각적으로 보고 그 모델을 흉내 낼 수 있을 때만 명령을 수행할 수 있었다는 점이다. 별개의 모듈들로 이루어진 전체 체계가 스스로 단서를 찾아 목표를 완수한 것이다. 이 단서 주기는 모든 목표 지향적 행동에서 나타나는 메커니즘이다.(127쪽) → 나는 한쪽 뇌가 어떻게 같은 쪽 손을 제어할 수 있는지에 대한 세부적인 내용들을 계속해서 연구했다.(152쪽)

> 언어 능력이 부족한 것으로 추정되는 우뇌에 사진 심지어는 단어를 깜빡였더니 왼손이 시야 밖에 놓인 물체를 정확하게 짚어냈다. 정말 믿기 힘든 광경이었고 그때의 충격은 지금도 생생하다. 좌뇌가 관련 정볼르 전혀 모르는 상태에서도 우뇌가 인지 활동 및 복잡한 동작을 할 수 있다는 최초의 살아있는 증거가 눈앞에 있었다.(129쪽)

> 좌뇌는 이 일을, 우뇌는 저 일을 한다는 것이었다. (…) 1969년에 이르러서는 양쪽 뇌가 기발한 방법으로 상호작용하면서 서로 전혀 분리되지 않은 것처럼 보이게 한다는 사실도 분명해졌다. 뇌는 마치 오랜 세월을 함께한 탓에 드디어 각자 할 일을 하면서도 함께 살 수 있는 노부부와 같았다.(162쪽)

> 실제로 무음증쥐adipsic rat(특정 뇌병변 때문에 물을 마시지 않는 쥐)는 달리기 위해서(쥐는 무조건 달리고자 하는 경향을 지니고 있다) 물을 마셔야말 할 때 흔쾌히 물을 마시는 것으로 나타났다. / 우리는 늘 역동적으로 변하는 뇌가 목표를 달성하기 위해 방법을 새로운 바꾸는 교차 단서 주기 전략을 목격한 것이었다. 좀 더 넓게 보자면, 뇌의 특정 영역이 특정 행동을 독점한다는 주장은 언제나 위험하다는 것이 드러난 셈이었다. 뇌는 수완이 좋아 간단한 규칙을 따르지 않는다. 뇌는 특정 영역이 힘을 못 쓰면 우회로를 만든다. 내게는 무척 놀라우면서도 중요한 발견이었지만, 이 발견은 줄곧 무시되었다.(176쪽) → 전실어증global aphasia(좌뇌의 병변으로 인해 언어를 사용하거나 이해하지 못 하는 장애) 같은 신경질환을 앓는 환자들에게서 손상을 입지 않은 우뇌가 좌뇌를 대신할 순 없을까?(177쪽)

> 르두는 어느 누구보다도, 특히 나보다도 뭐든지 잘 기술했다.(206쪽) (…) 분리된 환자의 좌뇌에 견주어 볼 때 우뇌가 보이는 모든 행위는 무의식적인 것이다. (…) 우뇌가 한 행동이 납득이 되도록 좌뇌가 설명을 만들어낸다는 것.(208쪽) 20년이 지나고 나서야 비로소 우리는 “우뇌가 하는 행동들을 보면서 말하는 좌뇌는 무슨 생각을 할까?”라는 궁금증을 갖게 되었다. 어쨌거나 좌뇌는 우뇌가 왜 그런 행동을 하는지에 대한 단서가 없다.(209쪽)

이 외에도 계속 이어지는 연구에 의해 가자니가는 새로운 현상과 새로운 설명, 그 설명이 부족하다는 것을 알리는 또 새로운 현상과 또 새로운 설명 등의 과정을 거듭합니다. 그런 끝에 결국 마지막 4장에서 그 나름의 정돈된 견해들을 내놓습니다.

> 사람의 뇌는 게을러서 너무 열심히 일하고 싶어 하지 않는다. (…) 작동 중인 사람의 기억은 용량이 상당히 제한적이어서 한 번에 몇 가지만 기억할 수 있다.(430-1쪽)

신경과학은 구조와 기능 간 관계가 전부다. 구조와 기능의 상호작용 방식에 대한 주장은 크게 두 학파로 나뉜다. 하나는 뇌의 구조가 일찍부터 정해져 있고 유기체의 행동이 바뀌는 것은 바로 뇌가 변화하기 때문이라는 주장이다. 다른 하나는 뇌 안에 여러 개의 고정된 구조가 있어 임무에 따라 각기 다른 구조가 불려 나오기 때문에 겉보기에는 뇌가 변하는 유연한 체계인 것 같지만 실제로는 그렇지 않다는 것이다.(431쪽)

뇌가 여러 면에서 사전에 결정되어 있다는 이 주장은 시간이라는 시험을 견뎌냈다. (…) 반면 신경과학 연구에서 지난 70년간 우세했던 견해는 행동, 인지 심지어 의식 자체의 근간이 되는 과정이 여러 모듈들이 동시에 병렬로 작동하는 고도의 과정이라는 것이다. (…) 실제 기계에서는 부품 하나를 빼내면 기계의 작동이 멈추지만 뇌의 경우 일부 조직을 제거해도 그 기능에 거의 영향을 미치지 않는 경우가 많다는 것이다. 아주 중요한 뇌 조직도 있고 케이크에 입히는 설탕 같은 조직도 있다. 대체 무슨 일이 일어나고 있는 걸까?(435쪽) ← 모듈이란 고유한 기능을 수행하고 외부 요구에 따라 적응하거나 발전할 수 있는 전문화된 국소 신경망이다. 모듈은 독립적이면서도 어떤 면에서는 서로 협조하며 하나의 행동을 만들어낸다. 그 많은 모듈들이 어떻게 서로 협력하는지는 의문이다. 모듈이 일원화된 행동을 만들어낼 수 있는 한 가지 아유는 주로 의식적 인지conscious awareness 영역 외부에서 서로에게 신호를 보내기 때문이라는 게 수년간의 연구로 분명해진 나의 생각이다.(96-7쪽) → 국소 처리 과정이, 지극히 미세한 국소적인 처리 과정이 작용하며 이것이 뇌 조직 전체의 바탕을 이루고 있다. 국소 처리 과정 대부분은 의식적 인지 영역 바깥에서 이루어진다. 모듈 방식으로 구석구석으로 빠르게 말이다.(436쪽) 뇌의 국소 신경망을 구성하는 뉴런은 다른 신경망의 뉴런이 아닌 같은 신경망의 뉴런과 더 긴밀하게 연결되어 있다. 이처럼 회로가 무수한 신경망으로 나뉘어 있기 때문에 신경망의 상호의존도는 낮아지고 견고함은 높아진다. 게다가 행동의 적응도 더 빨리 나타난다. 각 신경망이 나머지 체계에 영향을 미치지 않고 제 기능을 수행하면서 또 기능을 변화시킬 수 있기 때문이다. 이렇게 고유한 기능을 수행하면서 외부 요구에 맞춰 적응하거나 진화하는 특화된 국소 신경망을 모듈이라고 한다.(437쪽) ← 진화와 발전의 과정에서 모듈식 구조가 선택되었다는 증거는 무수히 많다. 모듈식 구조에서는 하나의 모듈이 나머지 모듈을 망치지 않으면서 변화를 통해 적응할 수 있다. 그럼에도 계층화는 계층(모듈)이 선형적으로 이루어진다는 점에서 모듈형 구조의 한 유형에 해당한다. (…) 오히려 뇌는 각기 다른 구조, 가령 뉴런, 회로, 엽lobe 등의 수많은 모듈로 구성된 계층적 모듈 방식으로 작동할 수도 있다. 계층화는 한 방향으로, 즉 계층을 따라 위로 혹은 아래로 움직이는 반면 계층적 모듈 방식은 단일 구조 내 혹은 여러 구조 간 모듈의 복잡한 상호작용을 가능하게 할 수 있다.(446쪽)

왜 뇌에서 가장 큰 의시소통 경로인 뇌량을 절단하면 그 즉시 상당히 유사한 두 개의 의식이 하나의 몸을 함께 나눠 쓰는 것처럼 보이는지, 우리는 궁금했다. (…) A가 B를 만들고 B가 C를 만든다는 식의 단순한 선형 모델은 분리뇌 연구 결과로 뒷받침되지 않는다. 다른 개념이 필요했다. / 과학에서 흔히 볼 수 있는 개념은 '창발

emergence'이다. 즉 복잡계는 상대적으로 단순한 상호작용으로부터 더 많이 형성된 된다는 것이다. (…) 정신과 신체는 늘 서로 마주친다. 뇌의 모든 모듈을 조율하는 '창발적인 무엇'이 있는 것일까?(439쪽) → 창발은 이렇게 생각할 수 있다. 미시적 수준에서 복잡계가 예전에는 없던 새로운 속성을 띤 새로운 구조로 조직되면서 거시적 수준에서 새로운 차원의 조직을 형성할 때 창발이 일어난다.(440쪽)

후신경구는 뇌에서 후각을 주로 관장하는 부위다. 레이포트는 어느 환자의 후신경구에 소량의 전기 자극을 흘려보냈다. 레이포트의 자초지종을 듣자 하니, 봄날의 다가오는 주말 등을 주제로 긍정적인 어조의 대화를 나누면서 뇌 조직에 전기 진동을 가했더니 환자가 난데없이 대화의 흐름을 끊고 "누가 방에 장미를 가져왔죠?"와 같은 말을 했다는 것이다. 잠시 후에 레이포트가 대화를 부정적인 주제로 바꾼 후 뇌의 같은 부위에 전기 진동을 같은 강도로 가했더니 역시 환자가 끼어들었지만 이번에는 "누가 방에 썩은 계란을 가져왔죠?"라고 말했다고 한다. / 이것은 뇌의 작동을 방해하는 정신 작용이 있음을 보여주는 예다. 이 모든 작용은 뇌 안에서 일어나는데도 말이다. 마치 '하향식' 정신작용이 '상향식' 물리적 · 생물학적 과정에 정보를 알려주는 것 같다. 정신이 뇌에 정보를 주고 영향을 미치는 셈이다. 다시 말해 정신 상태는 물리적 뇌에 의해 형성되지만 오히려 확실한 존재감을 드러내며 정신을 만들어낸 바로 그 물리적 상태에 다시 영향을 미치는 것이다.(440쪽)

하나의 돌연변이가 암을 일으키는 게 아니라 신호를 보내는 하나의 커다란 조직망이 변하면서 암을 일으킨다는 것이었다. 암을 없애려면 여러 부위에서 이 조직망을 표적으로 삼아야 했다.(450쪽)

지금은 유전자 발현이 다른 유전자에 의해 규제된다는 것이 알려져 있다. 유전자는 다른 유전자의 발현을 규제하는 단백질을 암호화한다. 여기에서 핵심 개념은 자연계에서 관찰되는 모든 변형은 소유의 규제regulatory 유전자에 의해 발생하는 돌연변이의 결과지, 신체를 움직이는 일에 관여하는 수십만 개의 일반 유전자에 의한 것이 아니라는 점이다. 소수의 규제 유전자는 유기체 일을 담당하는 수많은 특정 유전자의 복제, 활성화, 비활성화를 제어하는 역할을 한다. 규제 유전자를 변형시키면 실로 엄청난 결과가 나타날 수 있다.(456쪽)

⇩

정신과 뇌를 연구하는 학생들은 신발 끈을 조이고 심호흡을 하라. 그리고 신경과학이라는 나무의 낮은 가지에 매달린 열매들은 이미 많은 사람들이 따라서 챙겨갔다는 사실을 명심하라. (…) 우리가 할 일은 열정을 가지고 심오한 문제들을 좇아 우리 앞에 펼쳐지는 인간이라는 연극의 근원적인 플롯으로부터 해답을 유추해내는 것이다. 일생을 보내기에는 더할 나위없는 좋은 방법이다.(456-7쪽)

여러 형편상 나름 이해한 내용을 해설문으로 만들어 덧붙여주지 못해 죄송합니다. 종강입니다. 한 학기 동안 어쭙잖은 엉터리 신경심리학 내지는 인지신경과학에 관한 강의를 듣느라 수고 많으셨습니다. 감사합니다.