

호모 리플리쿠스(*Homo replicus*): 모방, 거울뉴런, 그리고 mim*

장 대 익†

서울대학교 자유전공학부

우리는 모방하는 동물이다. ‘참된 모방(true imitation)’은 한 행위가 행해진 것을 보는 것으로부터 그 행위를 하는 법을 새롭게 배우는 것이라고 할 수 있다. 우리는 타 개체의 기술과 지식을 모방함으로써 다른 동물의 세계에서 찾아보기 힘든 문화와 문명을 이룩할 수 있었다. 이런 의미에서 모방 능력이 어떻게 진화하고 발달하는지를 묻는 것은 중요하다. 또한 인간이 아닌 다른 동물들이 참된 모방을 할 수 있는지, 그리고 모방 학습 측면에서 인간과 동물이 구체적으로 어떻게 다른지를 알아보는 작업도 매우 흥미로운 과제이다. 이 논문에서 나는 우선, 인간과 다른 동물들의 모방 능력에 대한 경험적 연구들을 검토해볼 것이다. 이런 비교 연구를 통해 동물과 인간의 모방 능력의 차이에 주목할 것이며, 그들에게서 보이는 복제 충실도의 차이가 왜 발생하는지에 대해 논의할 것이다. 그런 다음에 모방의 신경생물학적 메커니즘에 대한 최신 연구들을 검토할 것이다. 하전두회(inferior Frontal Gyrus, IFG)와 하두정엽(inferior Parietal Lobule, IPL)으로 구성된 인간의 거울 뉴런계(mirror neuron system)가 이 대목에서 가장 중요하게 등장한다. 거울 뉴런계는 타 개체의 행동을 이해하고 공감하고 따라하는 데에 필수적인 신경세포 다발이다. 나는 거울 뉴런계의 기능과 진화에 대한 최신 연구들을 소개할 것이다. 인간의 모방을 가능하게 하는 신경 메커니즘에 대한 연구는 처음에 거울 뉴런계와 후부상측두이랑(posterior Superior Temporal Sulcus, pSTS)로 구성된 ‘핵심 모방 회로’에 집중되어 있었다. 하지만 더 최신의 연구들은 핵심 모방 회로 밖에서도 모방의 신경 메커니즘이 작동한다는 사실을 말해준다. 마지막으로 나는 이러한 모방의 심리학과 생물학이 문화 진화에 어떤 함의를 지니는지를 탐구한다. 구체적으로 나는 mim과 거울뉴런계의 관계를 탐구한 최신 연구를 통해 문화 진화에 대한 mim학적 접근을 시도할 것이다.

주제어 : 모방, 복제충실도, 거울 뉴런계, 핵심 모방 회로, mim, 문화

* 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음(2010.11 ~ 2012. 4). 매우 유익하고 적절한 지적을 해주신 모든 심사위원들께 감사한다.

† 교신저자: 장대익, 서울대학교 자유전공학부 교수, E-mail: djang@snu.ac.kr

만일 외계인 과학자가 인간의 행동을 관찰한 후 학명을 지어줬다면 무엇이라고 했을까? 어쩌면 ‘복제하는 인간’이라는 뜻으로 ‘호모 리플리쿠스(*Homo rplius*)’라고 했을지 모른다. 인간은 모방하는 동물이다. 우리는 타인의 행동을 따라함으로써 그가 학습한 내용을 쉽게 자신의 것으로 만드는 능력을 가진 존재다. 다른 동물들에 비해 인간은 더 정교한 모방 능력을 진화시켰기에 지식과 기술의 비유전적 전달을 가능하게 만든 유일한 존재가 되었다. 심리철학자 블랙모어(S. Blackmore)는 인간이 이렇게 독특한 존재로 진화할 수 있었던 것은 자연계에서 우리가 가장 뛰어난 모방 능력을 가졌기 때문이라고 말한다. 그녀는 이런 인간을 ‘밈 기계(memetic machine)’라고 부른다[1].

그렇다면 인간이 아닌 다른 동물들의 모방과 인간의 모방 행동은 구체적으로 어떻게 다른가? 누군가의 무엇을 따라할 때 우리의 뇌에서는 어떤 일이 일어날까? 더 근본적으로 타인의 행동을 이해할 때 작동하는 신경 메커니즘은 무엇인가? 우리의 모방과 다른 동물들의 모방은 어느 측면에서 얼마나 다르며 그 차이는 어떠한 신경 메커니즘의 차이로 설명될 수 있는가? 그리고 이러한 모방의 진화학과 신경학은 인간 본성을 이해하는데 어떤 함의를 갖는가? 여기서 나는 모방과 거울 뉴런(mirror neurons)에 대한 최신 연구들을 소개함으로써 이런 질문들에 답하고자 한다. 그리고 모방의 진화 및 신경학이 인간의 인지 및 문화의 진화에 관한 밈학적(memetic) 이해를 높이는데 어떤 기여를 할 수 있는지를 간략히 검토해보고자 한다.

모방이란 무엇인가?

모방¹⁾의 진화와 신경 메커니즘에 대한 논의에 앞서 모방이 어떤 행위인지부터가 규정되어야 한다. 손다이크(E. Thorndike)는 모방을 “한 행위가 행해진 것을 보는

1) 이 논문에서는 인간의 모방 능력뿐만 아니라 다른 동물들의 모방 능력에 대해서도 다뤄진다. 인간의 경우에는 성인과 아이, 그리고 정상인과 환자에 관해 주로 다뤄지고, 동물의 경우에는 영장류와 포유류에 대해서 주로 다뤄질 것이다. 하지만 언어 발달이 완성되기 전인 영아기의 모방 능력에 대해서는 거의 논의되지 않을 것이다. 모방의 주체에 대한 특별한 언급이 없는 경우에는 성인의 모방 능력에 관한 것임을 밝힌다.

것으로부터 그 행위를 행하는 법을 새롭게 배우는 것”이라고 정의했다[2,3]. 이 정의에 따르면 모방 속에는 관찰과 학습의 요소가 필수적으로 포함되는데 둘 다 있어야 참된 모방(true imitation)이다. 이때 ‘참된 모방’이란 “새롭거나 있을 법하지 않은 행위나 발언, 그리고 본능적 성향이 없는 행위들을 복제하는 행위”를 뜻한다[4, 5]. 그렇다면 이 참된 모방과 유사 모방 행동은 어떻게 구분되는가?

블랙모어는 참된 모방을 단순한 전염(contagion), 개인적 학습, 그리고 비모방적 사회적 학습과 구분한다[3]. 가령, 하품을 하는 사람을 보면 나도 덩달아 하품을 하게 될 때가 있다. 옆 사람들이 웃으면 나도 덩달아 웃게 되는 경우도 마찬가지다. 흔히 하품이나 웃음이 전염된다고들 하는데 전염도 남을 따라하는 것이긴 하다. 하지만 하품과 웃음을 모방했다고 할 수 있는가? 위의 정의에 따르면 모방에는 학습이 포함되어야 하는데, 하품과 웃음, 그리고 기침 등의 행동은 타인을 통해 꼭 배우지 않더라도 수행할 수 있는 선천적 행동이기에 모방이라고 할 수 없다.

또한 개인적 학습도 모방이라고 할 수는 없다. 그것은 개체가 환경과의 상호작용을 통해서 특정 반응이나 행동을 하도록 만드는 것인데, 크게 고전적 조건화와 조작적 조건화를 통해 가능하다. 하지만 이 두 조건 형성 과정에는 타 개체를 관찰하는 과정이 전혀 포함되어 있지 않기 때문에 개인적 학습이 모방은 아니다.

반면 사회적 학습은 타 개체를 보는 과정이 포함된 학습이다. 따라서 관찰과 학습이 포함된 모방도 일종의 사회적 학습이다. 그렇다면 모방과 사회적 학습은 어떻게 구별되는가? 물론 모방을 제외한 사회적 학습도 있는데, 자극 강화(stimulus enhancement), 장소 강화(local enhancement), 목표 따라 하기(goal emulation) 등이 그것이다. 가령, 고구마를 씻어서 먹을 수 있게 된 일본 원숭이(Japanese macaque)의 사례를 들어보자. 1950년대에 일본 고시마 섬에는 일본 원숭이들이 서식하고 있었다. 그들에게 사육사들은 밭에서 캔 고구마를 해변가 모래밭에 던져주었고, 흙과 모래가 묻어 있는 고구마를 일본 원숭이들이 그냥 먹고 있었다. 1953년 어느 날 ‘이모’(Imo)라 불리는 젊은 암컷 한 마리가 그런 고구마를 물가로 가져가서 씻어먹기 시작했다. 흥미로운 것은 이런 새로운 행동을 이모의 친척들이 따라 하기 시작하더니 두 세대 만에 그 집단의 거의 모든 원숭이들이 고구마 씻는 행동을 할 수 있게 된 점이다. 사회적 학습 과정이 있었던 것은 분명해 보인다[1, 6, 7].

그렇다면 이 원숭이들은 참된 모방을 한 것일까? 그렇지 않다. 이 행동은 사회

적 학습 과정 중에서 ‘자극 강화’에 가깝다. 원숭이들은 고구마를 물에 씻어먹는 이모의 행위를 관찰하고 자신에게도 고구마가 주어졌을 때 물가에 가서 씻어 먹었다. 흙과 모래가 묻지 않은 고구마는 그들에게 보상이 되었을 것이고, 이 후 고구마가 주어질 때마다 원숭이들은 물에 씻어 먹게 된 것이다. 타 개체의 행위를 관찰함으로써 학습을 하긴 했지만 행동 자체를 배운 것이라고 보긴 힘들다. 오히려 ‘고구마’(자극)가 있으면 ‘물에 씻어 먹는다’(반응)는 것을 적절한 보상이 매개가 되어 자극이 강화 된 것일 뿐이다. 그리고 원숭이는 고구마를 쥘거나 물을 이용하는 행동을 원래부터 할 줄 알았기 때문에 새로운 행동을 배운 것도 아니다.²⁾

요컨대, 우리는 타 개체의 행동을 관찰하고 그로부터 새로운 행위를 배우는 과정이 참된 모방이라고 할 수 있다. 하지만 개인적 학습은 이 관찰 과정이 포함되지 않기 때문에 그런 모방이 될 수 없으며, 전염성 행동은 원래 할 수 있었던 선천적인 것이기에 모방이 아니다. 또한 자극 강화와 같은 사회적 학습은 보고 학습하는 것은 맞지만 새로운 행동 자체를 배우는 것이 아니라 환경에 대한 학습일 뿐이기에 참된 모방이라 할 수 없다.

동물의 모방적 행동

그렇다면 인간이 아닌 다른 동물들은 참된 모방을 정말로 할 수 있을까? 아직까지는 통제된 실험의 상황이 아닌 경우에 참된 모방을 지속적으로 그리고 넓은 범위 안에서 보여주는 동물 종은 발견되지 않았다. 하지만 자극 강화와 같은 사회적 학습을 ‘모방적(imitative) 행동’이라고 부를 수 있다면 그와 비슷한 행동들은 쉽게 발견된다. 또한 실험을 위해서 고도로 훈련된 동물들의 경우 참된 모방을 보여주는 사례도 존재한다. 그렇다면 인간이 아닌 다른 동물들에게 널리 퍼져 있는 모방적 행동은 어느 정도의 정확성을 가진 행동일까? 그것은 인간의 모방과 정확히 무

2) 장소 강화는 타 개체를 관찰하여 특정 장소에 대한 선호와 기피를 학습하는 과정이며 목표 따라 하기는 타 개체가 특정 행동을 하는 것을 보고서 그 행동의 결과만을 다른 신체 부위나 방법을 이용하여 따라하는 학습이다. 따라서 이 두 유형의 사회적 학습도 개인적 학습의 하나인 조작적 조건화를 통한 자극 강화 사례와 기본적으로 유사하다[3].

엇이 다를까?

사실 이런 물음은 개념적인 것이라기보다는 경험적인 것이다. 실제로 동물이 달성할 수 있는 모방의 수준이 어디까지인가를 경험적으로 묻는 물음이기 때문이다. 그동안 많은 동물 연구자들이 동물의 모방 능력을 연구하기 위해서 여러 가지 실험적 패러다임을 제시해왔다. 모방적 행동은 각 개체가 달성할 수 있는 정도가 있다. 모방자가 관찰한 행동과 이후에 그가 행한 행동이 얼마나 일치하는지를 통해서 모방의 정도가 측정될 수 있다. 하지만 그것만으로는 동물이 과연 어디까지 모방할 수 있는지가 불분명하다. 왜냐하면 객관적 측정이 가능하려면 모방자는 따라해야 하는 상황을 분명히 이해하고 있어야 하기 때문이다. 이것이 전제되지 않는다면 동물이 모방 능력에 의해서 모방적 행동을 하는 것인지 아니면 우연히 관찰 행동과 실행한 행동이 일치하게 된 것인지를 구분할 수 없게 된다[8]. ‘나처럼 해봐(Do as I do)’ 패러다임은 이런 문제의식에서 출발한 실험 패러다임이다.

‘나처럼 해봐(Do as I do)’ 패러다임

이 패러다임은 동물들에게 몇 가지 몸짓을 보여주고 ‘이것을 해라(Do this!)’라는 명령을 해 그 행동을 하도록 학습시키는 방법이다. 그동안 비인간 영장류, 개, 앵무새, 돌고래를 대상으로 실험이 이루어졌는데 이때 시범자는 다 인간이었다. 가령, 침팬지의 경우에는 시범을 보인 행동의 30% 정도를 학습했다. 간혹 인간 시범자의 행동을 정확하게 복제해내는 침팬지도 있었지만 그 경우에도 다른 손이나 손가락을 사용하는 등의 결점을 보였다. 어쩌면 이것은 시범자가 보이는 행동을 가능한 정확하게 따라해야 한다는 것을 침팬지가 이해하지 못한 경우일 수도 있을 것이다[9].

여기서 중요한 것은 통계적 성공률만이 아니다. 시범자의 행동 유형에 따라 침팬지의 모방 성공률이 달라질 수 있기 때문이다. 실제로 침팬지는 물체와 물체가 연관된 행동은 잘 따라했다(object-to-object 조건). 가령, 공을 그릇에 가져다 놓는 것과 같이 한 물체를 다른 물체 쪽으로 가져가서 무엇인가를 하는 행동은 비교적 잘 했다. 하지만 그릇의 바닥을 치는 행위와 같이 한 물체에 어떤 행동을 가하는 것이나(one object 조건), 그릇을 머리에 쓰는 행위와 같이 물체를 자신의 신체와 결합

하는 행위(object-to-self 조건)는 전혀 따라하지 못했다. 한편 오랑우탄이나 개를 대상으로 한 실험에서도 모방의 수준과 정도에 있어서 침팬지와 같이 물체와 물체가 연관된 행동만을 따라할 수 있었고 정확도도 떨어졌다.³⁾

조이 실험(The Joy experiment)

‘조이 실험’은 ‘조이(Joy)’라는 개의 모방 능력에 대한 실험으로서 기본적으로 ‘나처럼 해봐’ 패러다임에 속해 있다⁸⁾. 하지만 이 실험은 행동의 유형을 다소 달리했다. 예컨대 이 실험을 통해 조이의 물체 지향적 행동(object-oriented actions)과 신체 지향적 행동(body-oriented actions), 기능적 행동과 비기능적 행동, 그리고 친숙한 행동과 새로운 행동을 구분하여 모방능력을 측정했다.

여기서 물체 지향적 행동은 물체에 특정한 운동을 수행하는 행동인 반면 신체 지향적 행동은 물체가 없이 신체의 움직임으로만 이루어진 행동이다. 기능적 행동은 행동의 결과가 개체에 필요한 그런 행동인 반면, 비기능적 행동은 행동의 결과가 아무런 역할을 하지 못하는 그런 행동이다. 친숙한 행동과 새로운 행동을 구분하는 기준은 개체의 운동 목록에 그 행동이 학습되어있는지의 여부이다.⁴⁾

조이 실험의 결과는 ‘나처럼 해봐’ 패러다임 하에서 개를 대상으로 했던 실험 결과와 마찬가지로 움직임을 높은 충실도로 따라하지는 못했다. 하지만 새로운 발견도 있었다. 가령, 새롭지만 친숙한 행동들로 이루어진 어떤 행동을 보았을 때, 조이는 그 행동이 물체 지향적이든 아니면 신체 지향적이든 간에 상관없이 잘 따라했다. 잘못 따라 한 경우도 모방 능력의 한계라기보다는 기억능력의 한계로 인한 불일치일 가능성이 있다. 가령, 특정 행동의 앞과 뒤에 어떤 행동이 놓여있는지에 대해 잘못된 추론을 하게 되면 모방의 정도는 낮아진다.

3) 침팬지에 관한 연구는 Tomasello et al.(1993)[10]와 Myowa-Yamakoshi & Matsuzawa(1999)[9], 오랑우탄의 경우는 Call(2001)[11], 앵무새의 경우는 Moore(1992)[12], 돌고래는 Herman(2002)[13], 그리고 개의 경우는 Topal et al.(2006)[14]을 참조할 것.

4) 이 세 가지 기준은 각각 독립적인데, 가령, 물체 지향적 행동에는 기능적 행동과 비기능적 행동이 모두 들어있을 수 있고, 친숙한 행동에도 물체 지향적 행동과 신체 지향적 행동이 들어있을 수 있다.

이 주장을 뒷받침하기 위하여 연구자들은 훈련의 경험이 없는 행동을 모방하게 하는 실험을 한다. 그런데 이 새로운 행동이 조이의 운동 목록에 존재하는 행동이나 움직임들로 구성된 것이라 해보자. 이 경우 조이는 관찰한 것을 대강 맞추기 위해서 자신의 운동 목록에 있는 비슷한 행동을 선택하여 바로 행한다. 그리고 운동 목록에도 없는 아주 기괴한 행동의 경우에도 따라하라는 명령을 받게 되면 조이는 순간적으로 어떤 행동이든 행동의 나열을 만들어내는 모습을 보였다[15]. 이 실험 결과들에 따르면 동물에서의 모방적 행동은 대체로 본능적인 것으로 보인다.

그렇다면 만일 시범자가 물체 지향적인 행동을 선보이다가 대상이 되는 물체를 없애고 무언극 형식의 행동을 하면 어떤 일이 벌어질까? 흥미롭게도 조이는 그 행동의 대상이 되는 물체를 주변에서 찾은 뒤 행하였다. 가령, 시범자가 허공에서 무언가를 떨어뜨리는 행위를 보이면 조이는 그 행위를 하기 위해 주변에서 떨어뜨림을 만한 실제 대상을 찾은 후 떨어뜨렸다[16].

조이의 모방적 행동은 기능적인 역할을 충실히 한다. 동물의 어떤 행동은 행동 자체가 아니라 행동의 결과 또는 행동과 환경의 상호작용에서 의미가 발생한다. 조이 실험에서는 관찰시에 물체가 관여되었는가에 따라 물체 지향적 행동과 신체 지향적 행동을 구분한다. 그리고 독립적인 기준으로서 그 행동이 기능적인가를 살핀다. 반면 앞의 '나처럼 해봐' 패러다임에서는 기능적인 것을 빼고 물체와 개체의 관계로만 행동을 구분했다.

두 가지 행동 실험(Two-action test)

'조이 실험'을 포함한 '나처럼 해봐' 패러다임은 실험 설계상에 있어 문제점을 안고 있다. 동물에게 어떤 행동을 따라하게 명령한 뒤 그 행동을 따라했는지를 관찰하는 것이 이 패러다임의 기본적인 구조이다. 하지만 따라한 그 행동이 특정한 물체나 장소에 연관되어 있다면 그 물체나 장소에 대한 강화된 주의가 모방적 행동을 만들어 낼 수 있을 것이다. 예컨대 '나처럼 해봐' 패러다임 하에서는 동물이 따라한 행동이 모방에 의한 것이었는지 아니면 자극 강화에 의한 행동이었는지를 판별해 내기 힘들다.

이러한 약점을 보완하기 위해 실험 심리학자들은 새로운 실험 패러다임을 제안

했다. 바로 ‘두 가지 행동 실험(Two-action test)’이라는 이름의 패러다임이다. 어떤 행동이 특정한 물체와 장소와 연관되어 있고 특정한 결과를 산출한다고 하자. 특정한 환경 하에서 같은 결과까지 산출하는 행동은 수없이 많이 있을 수 있다. 그 중에서 어떤 두 행동을 뽑아서 두 실험 동물 집단에 보여준 뒤 각 집단에서 모방의 정도를 측정한다.⁵⁾ 동일한 환경에서 어떤 행동을 보여주었는지가 그 동물의 모방적 행동에 영향을 줄 수 있는지는 두 집단의 비교를 통해서 알 수 있다. 많은 실험 사례들에서 동물들은 각 집단에서 시범자가 보여준 행위를 따라했다. 이렇게 되면 행동을 제외한 다른 부분들은 모두 동일하기 때문에 그 행동에 대한 복제가 일어났음을 확인할 수 있게 된다.

‘두 가지 행동 실험’ 패러다임 하에서는 신체 부위 수준(body-part imitation), 행위 수준(action level), 움직임 수준(movement level)으로 모방의 세 단계를 실험할 수 있다. 신체 부위 수준의 모방은 단지 관찰한 신체 부위를 사용하는 것이고 행위 수준은 신체 부위를 넘어서 어떠한 특정한 행위를 따라하는 것이며 마지막으로 움직임 수준의 모방은 시범자의 행위의 궤적을 정확하게 따라하는 것이다.

두 가지 행동 실험 패러다임에서 진행된 연구들 중 마모셋 원숭이(marmosets)에 대한 실험이 있다. 시범을 보인 행위는 필름 통 뚜껑을 여는 것인데, 한 집단에서는 손을 이용해 제거하였고, 다른 한 집단에서는 입을 이용해 필름 통을 제거하였다. 대조군으로는 아무것도 관찰하지 않은 집단을 두었다. 손을 이용하는 것은 마모셋 원숭이에게 있어서 평범한 수행인가 하면 입을 이용하는 것은 평소에 거의 관찰되지 않는 행동이었다. 실험 결과는 손을 이용한 집단에서는 관찰자들이 모두 손을 이용해 뚜껑을 제거했고, 입을 이용한 집단에서는 관찰자 중 일부는 입을 이용해 제거하였고, 일부는 손을 이용해 제거하였다. 이 실험의 결과가 평소에 거의 관찰되지 않는 행동인 입을 이용하는 행위가 모방되었다고 말할 수 있는 충분한 근거가 될 수 있을까? 마모셋 원숭이가 모방을 한 것이 아니라 원래 좋아하는 행위가 뚜껑을 여는 행위에 영향을 미친 것이라고 보아도 되지 않을까? 이 반론에 대응하기 위해 두 번째 실험에서는 상황을 살짝 바꾸어 같은 실험을 진행했다. 실험 방법을 살짝 바꾼 또 다른 실험을 살펴보자.

5) 두 가지 행위가 평소에 일어날 가능성이 같아야 한다는 전제가 있다.

두 번째 실험에서는 필름 뚜껑을 더 강하게 닫아놓아 손으로는 뚜껑을 열지 못하고 입으로만 뚜껑을 열수 있게 해두었다. 결과는 입을 이용했던 집단에서는 대다수의 관찰자들이 입을 이용하여 뚜껑을 여는데 성공했지만 손을 이용했던 집단은 아무도 뚜껑을 열지 못했다. 뚜껑을 세게 닫아 놓았기 때문에 뚜껑을 열기 위해서는 입으로 여는 행위가 꼭 필요하다. 하지만 그것을 관찰하지 못하고 손으로 여는 모습만을 관찰한 집단은 생소한 행동인 입을 사용하는 것에 대한 힌트를 얻을 수 없었던 것이다. 일단 이것은 사용하는 신체 수준에서 모방이 일어났다는 것을 입증하는 결과이다. 마모셋 원숭이가 여는 과정에 관여하는 행위나 움직임을 모방하는 지에 대해서는 또 다른 분석이 필요하다.

행위 수준과 움직임 수준에서의 모방이 일어나는 지를 실험을 통해 입증하기 위해선 통계적 기법이 사용된다. 모방을 통한 학습은 새로운 행동이 전에 비해 빈도가 증가하는 과정이다. 바로 여기서 통계적인 유의미성을 검증하는 절차가 필요하다. 행위의 모방이란 신체 수준의 모방보다는 복잡하다. 같은 신체부위를 사용하는 것을 넘어서 그 신체부위의 특정한 움직임이 필요하다[17]. 신체부위만 따라하는 것은 행동을 학습했다고 말하기에는 부족하기 때문이다. 움직임 수준의 모방은 행위 수준의 모방을 시범자의 정확한 운동 궤적을 따라하는 것이라고 보면 된다.

행위 수준이나 움직임 수준은 연구자들이 정한 매개변수를 이용해 수학적으로 검증가능하게 만들어진다. 예를 들어 마모셋 원숭이가 필름통 뚜껑을 열기 위해 사용하는 얼굴의 각 부위를 지정해서 그 지정한 점들의 무게중심이 시공간을 움직인 궤적을 시범자의 것과 비교하는 방법으로 움직임이 얼마나 정확하게 맞는지 측정한다. 마모셋 원숭이는 행위 수준은 물론 움직임 수준에 있어서도 관찰하지 않은 집단에 비해서 통계적으로 유의미하게 시범자의 행동과 유사한 행동을 보였다 [18, 19].

복제 충실도의 정도와 수준

우리는 앞에서 인간이 아닌 다른 동물들이 얼마나 정확하게 모방적 행동을 할 수 있는지에 대해 크게 ‘나처럼 해봐’ 패러다임과 ‘두 가지 행동 실험’ 패러다임을 소개했다. 후자는 전자의 보완용이다. ‘나처럼 해봐’ 패러다임에서는 동물들이 어

면 유의 행동은 잘 따라했지만 그 개체가 정말로 관찰을 통해서 그 행동에 대한 사회적 학습을 했는지 아니면 개인적 학습 과정을 통하여 그 행동을 배웠는지에 대해서는 정확하게 입증할 수 없는 한계를 지녔다.

하지만 그 패러다임에서 밝혀진 일련의 사실들은 우리가 앞으로 모방적 행동의 여러 수준을 이야기 할 때 반드시 고려해야 할 한 가지 구분을 제시해줬다. 그것은 물체 지향적 행동과 신체 지향적 행동의 구분이다. 인간이 아닌 다른 동물들은 신체 지향적 행동에 있어서 모방을 하는데 매우 큰 어려움을 겪는다. 신체 지향적 행동 중에도 기능적 역할을 하는 행위는 잘 따라할 수 있지만 물체가 있어야 할 자리에서 물체를 뺀 행위나 기능적이지 않은 순수한 신체 지향적 행위의 경우는 거의 따라하지 못했다. 침팬지와 조이 등은 물체가 없는 상황에는 상당히 당혹스러워했고 일부러 대체 물체를 찾아서 행위를 완성시키려는 모습을 보였다.

반면 ‘두 가지 행동 실험’은 시범자의 행동과의 매칭 정도를 측정하기 위한 파라미터를 설정하고 대조군을 두어 실험함으로써 동물의 모방 능력에 대한 입증을 시도했다. 그리고 세 가지 수준, 즉 신체, 행위, 그리고 움직임 수준으로 나누어 실험을 하였다. 이 중 신체 수준의 모방은 새로운 행동에 대한 학습이라고 보기는 힘들기 때문에 실질적으로 의미가 있는 수준은 행위 및 움직임의 수준이다. 마모셋 원숭이의 경우에는 행위 수준뿐만 아니라 움직임 수준에서도 모방적 행동을 잘 했는데, 움직임의 수준에서까지 모방적 행동을 보일 수 있는 동물은 그리 많지 않다. 오히려 모방적 행동을 하는 동물들의 경우 대개 행위 수준까지의 모방적 행동을 보이며 그보다 더 아래의 결과 수준의 모방적 행동은 더 쉽게 하는 경향이 있다. 따라서 움직임의 모방은 참된 모방에 부합하는 모방의 수준이라 할 수 있다. 한편 행위 수준의 모방은 행동의 방식을 배우는 경우인지 아니면 행동을 통해 환경을 배우는 것인지가 불확실하기 때문에 참된 모방으로 바로 편입되기 힘들다. 물론 결과 수준의 모방은 사회적 학습 중 결과 따라 하기에 속하므로 참된 모방이

표 1. 모방적 행동의 유형과 수준

	결과 수준	행위 수준	움직임 수준
물체 지향적 행동	o	o	o
신체 지향적 행동	X	o	o

될 수는 없다. 위와 같이 우리는 ‘두 가지 행동 실험’ 패러다임을 통해 모방적 행동을 세 수준으로 나눠서 평가함으로써 인간과 동물의 모방 능력에 대한 이해를 높였다.

휴버와 그 동료들은 위의 두 가지 실험 패러다임에서 나온 모방적 행동의 수준을 나누는 기준들을 결합했다. 표 1에서처럼 물체 지향적 행동에서의 세 가지 수준의 매칭과 신체 지향적 행동에서 두 가지 수준의 매칭이 있다(신체 지향적 행동은 결과 자체가 행위와 같기 때문에 행위 수준부터 시작한다). 이와 같은 이론 틀로 우리는 특정 동물의 복제 충실도를 다섯 가지 경우에 대해 경험적으로 연구할 수 있다. 연구 결과들은 대체로 인간이 아닌 다른 유인원과 개의 경우에는 물체 지향적 행동을 모방하는 데에는 어려움이 없지만 신체 지향적 행동의 복제에서는 그 복제 충실도가 현격히 떨어진다[8]. 물론 유인원은 개에 비해 좀 더 정밀한 모방을 할 수 있는데 이는 진화 경로와 신체 구조의 차이 때문으로 이해될 수 있다.

모방의 수준을 이야기 할 때, 인간이 아닌 다른 동물과 인간이 가지는 큰 차이점은 인간은 방식을 정확하게 따라하려고 하는 본능과 따라할 수 있는 능력을 함께 가졌다는 점이다. 하지만 인간이 소통 수단인 언어를 가지고 있기 때문에 상대방으로 하여금 정교하게 따라하게 하는 것이 가능하다고 이야기 할 수 있다. 구체적인 언어 지시가 없이도 인간은 정교하게 몸의 움직임을 따라할 수 있는 능력이 있을까? 어린 침팬지와 아이들을 대상으로 한 다음의 실험을 살펴보자[20].

실험에는 플라스틱으로 만든 먹이 상자를 이용한다. 상자의 종류는 두 가지가 있다. 하나는 투명한 소재로 되어있어 상자안의 내부구조가 다 보이게 되어 있고, 다른 하나는 검은 소재로 되어 있어서 상자안의 내부구조를 볼 수 없게 되어있다. 그렇지만 내부를 볼 수 있느냐 없느냐의 차이 말고는 구조가 동일하다. 상자는 위 부분과 아랫부분으로 나뉘어 있다. 칸막이가 그 둘을 분리시켜주는 역할을 한다. 그 중 아랫부분에만 먹이와 먹이를 빼낼 수 있는 문이 있고, 윗부분에는 원통형의 구조물과 그 구조물 아래에는 윗부분의 내부로 통하는 구멍이 있다. 먹이를 얻기 위해서는 사실 윗부분은 불필요한 부분이고, 아랫부분만이 필요한 부분이라고 할 수 있다(그림 1).

침팬지와 아이들은 윗부분의 원통형 구조물을 막대로 툭툭 치고 원통형 구조물을 막대를 이용해 빼낸 뒤, 윗부분에 난 구멍을 통하여 막대를 한 번 집어넣는 행

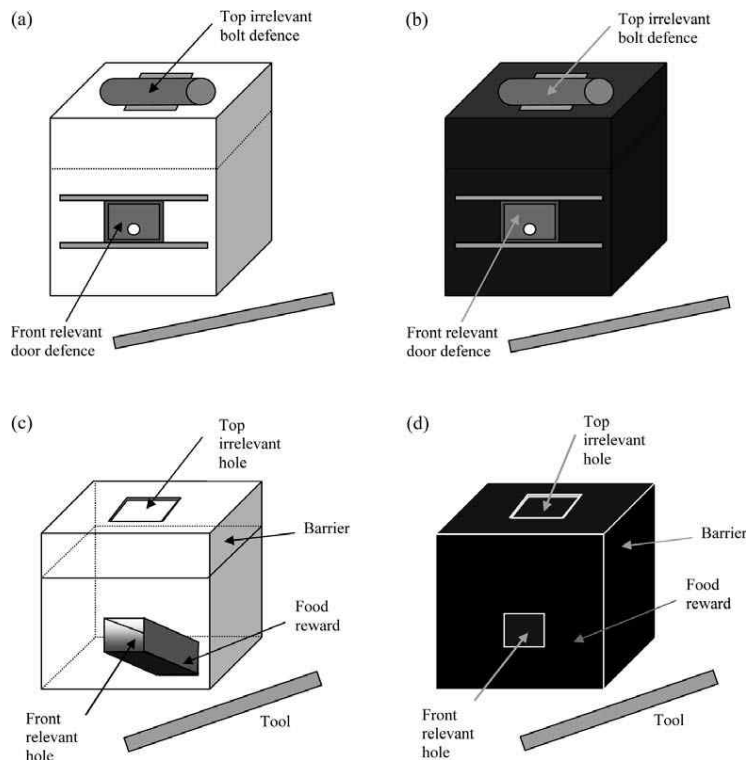


그림 1. 실험에 사용된 상자. (a), (c)는 투명한 상자의 외관과 투시도. (b), (d)는 불투명한 상자의 외관과 투시도(출처: [20]).

위를 관찰한다. 이어서 아래부분의 문을 열고 막대기를 이용해 먹이를 빼내는 행위를 관찰한다. 그리고는 직접 상자를 앞에 두고 시범자의 행위를 바탕으로 먹이를 얻으려고 시도하게 된다. 침팬지와 인간의 아이들은 상자의 종류에 따라서 각각 어떠한 모방 행위를 보였을까?

침팬지는 불투명한 상자를 가지고 실험했을 때는 대략 시범자의 행위를 잘 따라하였다. 하지만 투명한 상자로 실험을 했을 때는 시범자의 행위를 따라하지 않았다. 상자가 분리되어 있다는 것을 알고 상자 윗부분에 행해진 행위가 먹이를 얻는데 어떠한 인과적 힘도 없음을 마치 아는 것처럼 불필요한 행위들을 알아서 제거한 뒤 먹이를 얻는데 필요한 행위만을 따라한 것이다.

하지만 인간은 상자가 투명하든 투명하지 않은 시범자가 보여준 행위들을 따라 하려는 노력을 보였다. 실험의 중립성을 위해서 실험자는 아이들에게 어떠한 언어적 지침을 주지 않거나 제한된 지침만을 주었고, 시범을 보인 뒤 방에서 나가는 조건도 실험하였다. 인간 아이들도 투명한 상자를 보았을 때, 윗부분이 보상을 얻는 것과는 전혀 관계가 없음을 알고 있음에도 아이들은 무작정 따라한다는 것은 놀라운 사실이다. 왜냐하면 이러한 행동은 보상을 얻는 결과에 도달하는 효율적인 방법이 아니기 때문이다. 이러한 결과는 침팬지가 오히려 인간보다도 효율성 면에서 더 영리한 모방을 하고 있음을 나타낸다.

왜 이런 차이가 있을까? 어쩌면 인간의 독특한 생애사(life history)의 진화에 그 비밀이 있을지 모른다. 인간은 다른 영장류에 비해서도 유아기가 매우 긴 종이다. 즉, 미숙한 상태로 태어나 상대적으로 오랫동안 돌봄을 받아야만 하는 종인 것이다. 이런 상황에서 유리한 모방 전략은 ‘무작정 따라하기’일 것이다. 인간이 다른 동물들이 가지지 못한 신체 지향적 행동을 모방하는 능력을 가지고 있는 것은 바로 이런 이유 때문일 것이다[8].

모방적 행동의 신경 메커니즘

앞서 살펴보았듯이 여러 동물 중의 모방적 행동에는 여러 가지 수준이 존재한다. 그렇다면 이러한 모방적 행동에 관여하는 신경적 메커니즘은 무엇일까? 각각의 수준에서 작동하는 독립적인 메커니즘을 예상해볼 수도 있을 것이다. 하지만 모방 능력이 포유류, 영장류, 그리고 인간으로 이어지면서 점점 고도화된다는 사실을 알고 있기에, 모방적 행동을 담당하는 단일 메커니즘이 존재할 개연성이 더욱 높아졌다. 20년 전 이탈리아 파르마 대학의 연구팀에 의해 발견된 거울 뉴런은 최근에 모방적 행동을 신경과학적으로 이해하는데 없어서는 안 될 필수적인 요소가 되었다. 거울 뉴런은 무엇이고 어떤 기능을 하며 모방적 행동과는 어떤 관련이 있을까?

거울 뉴런의 발견

마카크 원숭이 뇌 안의 F5영역의 발견으로 처음 시작된 거울 뉴런계(mirror neuron system)에 대한 연구는 지난 20여 년 동안 수많은 성과들을 내 놓았다. 거울 뉴런은 다른 행위자가 행한 행동을 관찰하기만 해도 자신이 그 행위를 직접 할 때와 똑같은 활성을 내는 신경세포이다. 이 뉴런들이 인간 뇌에서는 하전두회(Inferior Frontal Gyrus)와 하두정엽(Inferior Parietal Lobule)에 존재하는데 이 부분을 두정엽-전두엽(P-F) 거울 뉴런계라고 일컫는다. 이 P-F 거울 뉴런계 외에도 이것에 시각정보를 제공해주는 후부 상측두구, 그리고 거울 뉴런계의 작용을 통제하고 상위 수준으로 조직하는데 활성화되는 전두엽 부분이 함께 작용하여 복잡한 거울 뉴런 반응이 일어난다[21].

우리는 거울 뉴런계를 통해 타인의 행동을 관찰하는 것만으로도 그의 행동을 온몸으로 이해할 수 있으며, 그 행위를 나의 운동계획과 비교해 실행으로 바꾸는 과정을 용이하게 함으로써 타인의 행동에 대한 모방을 가능하게 한다. 전자는 공감에 관한 것이며 후자는 모방 능력에 관한 내용이다. 공감은 도덕성의 기초이고 모방은 문화의 동력이다.

거울 뉴런은 원래 원숭이의 뇌에서 처음 발견되었다. 이탈리아 파르마 대학의 신경과학 연구팀이 원숭이의 특정 행동과 특정 뉴런의 활성화 관계를 연구하고 있었다. 그러던 어느 날, 원숭이가 뭔가를 질 때 활성화되는 복측 전운동피질(Ventral Premotor Cortex, 이른바 'F5영역')이 갑자기 활성화되는 일이 발생했다. 그런데 그때 그 원숭이가 뭔가를 쥐었던 것이 아니라 그저 인간 실험자의 쥐는 행동을 그 원숭이가 보던 순간이었다. 연구자들은 이미 F5영역이 운동과 연관된 영역임을 알고 있었지만 원숭이가 할 때가 아니라 볼 때도 그 영역이 활성화된다는 사실은 그때 우연히 발견된 것이다. 통념과는 달리, 지각과 운동이 연동되어 있음을 뜻하는 놀라운 발견이었다. 즉, 원숭이가 어떤 운동을 수행할 때 활성화되는 F5영역의 뉴런들은 다른 개체(원숭이 또는 인간)가 똑같은 운동을 수행하는 것을 관찰하는 경우에도 동일하게 활성화된다[21, 22]

원숭이에서 타 개체의 행동을 관찰할 때 활성화가 되는 영역이 F5영역만은 아니다. 상측두구(Superior Temporal Sulcus)의 피질 영역도 타 개체에 의해 행해진 행동

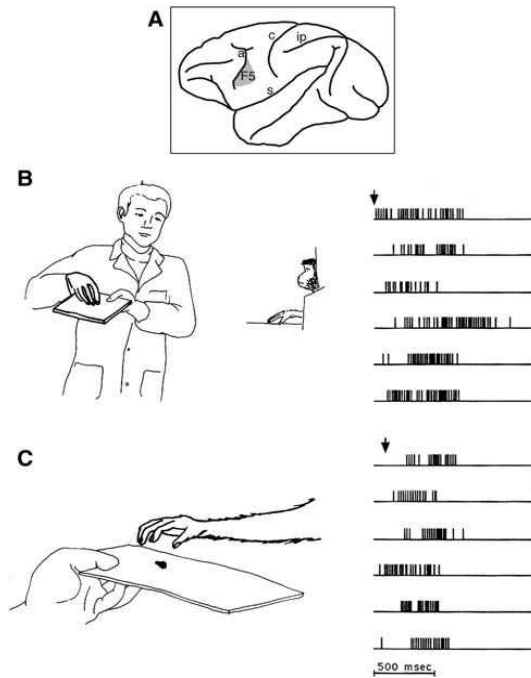


그림 2. 행위를 관찰할 때(B)와 행위를 실행할 때(C) 마카크 원숭이의 F5영역(A)의 단일 세포에서 나타나는 신경 활성화도. 행위를 실행할 때 발화하지만 같은 행동을 타 개체가 행하는 것만 관찰하여도 그 세포가 활성화된다(출처: [21]).

을 관찰할 때 활성화된다. 특히 상측두구 피질의 일부는 목적 지향적인 손 운동을 관찰하는 동안 활성화된다[23, 24]. 그런데 상측두구 영역은 F5영역보다 많은 수의 운동들을 부호화하고, F5영역뿐만 아니라 복측 전운동피질 전체에도 간접적인 신호를 보낸다. 하지만 상측두구 영역에 있는 뉴런은 운동과 관련된 특성을 가지고 있지 않다[24].

F5영역과 상측두구 영역 사이에 거울 뉴런계를 형성하는 또 한 부분의 피질영역이 존재한다. 바로 두측(rostral) 하두정엽인데, 이 부분은 상측두구로부터 입력을 받아 F5영역을 포함한 복측 전운동영역으로 출력으로 내보내는 역할을 한다. 두측 하두정엽의 P-F영역의 뉴런들은 대부분 감각 자극에 대해 반응하지만, 그 중 받은 원숭이가 특정한 운동을 수행할 때 발화하는 운동 특질을 지진다. 다시 감각 자극

에 반응하는 P-F영역의 뉴런들은 체감각 뉴런(33%), 시각 뉴런(11%) 그리고 이 두 가지 기능을 동시에 수행하는 뉴런(56%)로 이루어져있다. 시각에 반응하는 뉴런들의 40%는 행위 관찰에 구체적으로 반응하고, 또 그것들 중 약 2/3이 거울 반응 특징을 지닌다. 그리고 거울 반응을 보이는 뇌의 영역은 크게 두측 하두정엽과 복측 전운동피질이라고 할 수 있는데, 상측두구는 거울 반응에 필수적으로 관여하지만 운동 특질을 결여하고 있어 엄격하게 말하면 거울 뉴런계에 포함될 수 없다[24].

F5영역의 뉴런들이 시각 입력에만 반응하는 것은 아니다. 가령, 특정 행동이 실행될 때 나는 소리를 듣는 경우에도 그 행동을 그대로 하는 것과 같은 활성화가 일어나는데, 행동을 할 때와 그것을 관찰할 때 그리고 그 행동이 수행될 때 나는 소리를 듣는 상황 모두에서 발화하는 뉴런을 ‘시청각 거울뉴런(audiovisual mirror neuron)’이라 부른다[25].

인간의 뇌에도 거울 뉴런회로가 존재한다. 이 사실은 경두개 자기 자극법(TMS), 뇌파(EEG), 뇌자도(MEG) 연구 등을 통해 밝혀졌다. 경두개 자기 자극법은 빠르게 변화하는 자기장을 이용하여 전류를 만들어내는 전자기 유도를 통해 뇌 안의 뉴런들을 탈분극시키거나 과분극시킬 수 있는 비침습적인 방법이다. 이 기법을 통해 연구자들은 물체를 잡는 사람을 보거나 무의미한 팔 운동을 하는 사람을 보는 관찰자들의 손과 팔의 근육에서 운동유발전위를 측정하였다. 실험 결과 두 조건 모두에서 관찰자의 운동유발전위가 뚜렷하게 높게 나왔다. 그런데 그 관찰자들이 동일한 행동들을 직접 실행할 때에도 이 근육들의 운동유발전위는 높게 나온다[26].

한편 뇌파 연구도 인간 거울 뉴런의 존재를 입증한다. 뇌파 중 ‘뮤(μ) 파’는 피험자가 운동을 실행하고 있을 때 비동기화 되는 특성을 가지고 있다. 흥미롭게도 이 뮤파가 다른 이에 의해 수행된 행동을 관찰하는 동안에도 비동기화 된다. 운동하는 것을 보기만 해도 몸은 마치 운동을 하고 있는 것과 같은 효과를 나타내는 것이다[21].

인간 거울 뉴런계의 기본 회로는 원숭이에서 발견된 회로와 똑같다. 후부(posterior) 상측두구는 관찰된 타 개체 행동의 상위 시각정보를 제공한다. 이 정보들은 거울 뉴런계를 이루고 있는 나머지 두 신경계인 두측 하두정엽과 후부 하전두회/복측 전운동피질 복합체로 보내어진다. 이 부분은 두정엽-전두엽 거울 뉴런계(P-F 거울뉴런계)라 불리는데 이는 운동 관찰, 운동 실행, 모방을 하는 동안에 발화

된다[27].

그렇다면 이런 인간과 원숭이의 거울 뉴런계는 어떤 기능을 하는 것일까?

거울 뉴런과 타 개체의 행동 '이해'

거울 뉴런에는 두 종류가 있음이 밝혀졌다. 행위와 관찰이 세부적인 부분까지 일치할 때에만 발화하는 '엄격하게 일치하는 거울 뉴런'과, 같은 목표를 가진 행위 (예를 들어, 손으로 땅콩을 까는 행위와 입으로 땅콩을 까는 행위처럼 방식은 다르지만 행위의 목적이 같은 경우)에 대해서는 같은 활성화를 보이는 '폭넓게 일치하는 거울 뉴런'이 그것이다. 엄격하게 일치하는 거울 뉴런과 폭넓게 일치하는 거울 뉴런의 비율을 살펴보면 후자가 거울 뉴런의 대다수이다. 즉, 세부적인 운동 방식의 부호화보다는 목표의 부호화가 우선시 된다고 할 수 있다[28].

그렇다면 거울 뉴런이 부호화하는 것은 무엇인가? 원숭이에 대한 흥미로운 실험으로는 다음과 같은 것이 있다. 원숭이가 손을 움켜쥐어야 물체를 잡을 수 있는 집게와 움켜쥐었던 손을 풀어야 물체를 잡을 수 있게끔 되어 있는 집게가 있다. 원숭이에게 이 두 집게를 가지고 물체를 집게 하는 경우에 거울 뉴런은 어떻게 활성화될 것인가? 과연 이 둘을 구분할까? 두 조건에서 원숭이 손 모양은 반대였지만 결과는 F5영역의 뉴런들이 두 조건에서 물체를 잡을 때 거의 동일하게 활성화되었다[29]. 즉, 목표만을 부호화 한 것이다. 원숭이의 거울 뉴런계는 단지 목표와 연관된 행동만을 부호화할 수 있을 뿐, 목표를 알기 어려운 신체의 이동을 부호화하지는 못한다[30]. 실제로 두정엽과 전운동피질 그리고 일차운동피질에 있는 뉴런들은 신체 부위의 움직임을 부호화하기보다는 운동의 목적을 부호화한다[31].⁶⁾ 이를 통해 우리가 알 수 있는 것은, 거울 뉴런계가 단순히 수행되는 행위와 관찰되는 행위를 일치시키는 기능만을 하는 것이 아니라, 그 보다 더 미묘한 차이들을 반영한다는 사실이다(그림 3).

그렇다면 행위의 목표를 넘어서 의도까지도 부호화할 수는 없는가? 원숭이의 거

6) 그렇다면 거울 뉴런이 물체의 크기에 따라, 그리고 종류에 따라 다르게 부호화를 할까? 원숭이에게 여러 가지 물체를 잡도록 했을 때 물체의 종류는 거울 뉴런의 활성화에 영향을 주지 못하는 반면 쥐는 물체의 크기는 영향을 준다[29].

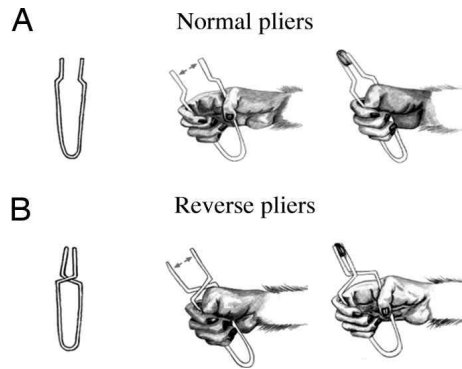


그림 3. 서로 다른 방식으로 조작되는 집게를 집을 때 원숭이의 손 모양. A는 보통 집게로 손을 오므려야 물체를 잡을 수 있는 구조이고 반대로 B는 오므렸던 손을 피야만 물체를 잡을 수 있도록 설계되어있다. 손의 모양이 정반대인 두 동작은 물체를 잡는다는 같은 목표를 가지고 있기 때문에 거울 뉴런이 두 조건에서 모두 활성화되었다(출처: [29]).

울 뉴런이 의도를 구분하는지에 관한 실험이 있다[30]. 가령, 원숭이는 두 가지 과제를 수행하거나 관찰하는데, 하나는 먹이를 입에 가져가 먹는 것이고 다른 하나는 먹지 않고 먹이를 (머리 옆에 매달려 있는) 통에 담는 것이다. 실험 조건 상, 먹거나 담는 행위는 거의 비슷한 팔과 손의 동작을 필요로 한다. 먼저 직접 과제를 수행하게 한 조건에서 거울 뉴런의 1/4~1/3는 두 가지 의도에 똑같이 발화하였고, 나머지 뉴런들 중 75%는 먹기를 위한 행위에서 25%는 담기를 위한 행위에서 발화하였다. 한편 관찰만 하게 한 실험에서도 이와 비슷한 결과가 나왔다. 이런 결과는 원숭이의 거울 뉴런이 의도를 포함한 행위를 일정 정도 구분할 수 있음을 시사한다. 특히 의도 중에서도 먹기와 같이 생존에 필수적인 행동에 대해서는 강한 반응을 보임을 알 수 있다.

인간 거울 뉴런계의 경우는 어떤가? 원숭의 것과는 달리 우리의 거울 뉴런계는 운동이 실행되는 방식, 운동의 목표, 운동을 실행하는 자의 의도 모두를 정교하게 부호화할 수 있다. 운동이 실행되는 방식을 ‘어떻게’, 운동의 목표를 ‘무엇을’, 그리고 운동을 실행하는 의도를 ‘왜’라고 놓는다면, 행위를 관찰할 때 표면적으로 알 수 있는 것은 ‘어떻게’이고 그 다음 수준이 ‘무엇을’이며 가장 높은 수준이 ‘왜’일 것이다[28]. 앞서 살펴보았듯이 원숭이의 경우에도 상대방의 ‘무엇을’에 대해서는

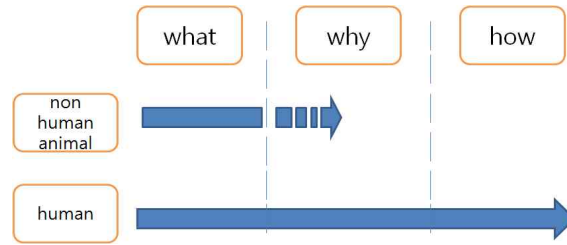


그림 4. 동물과 인간의 거울뉴런이 부호화하고 있는 행위의 유형

정교한 부호화가 일어난다. 하지만 ‘무엇을’에 대한 관찰이 어려운 상황, 가령, 무언극이 행해지는 상황에서는 원숭이의 거울 뉴런은 활성화되지 않는다. 즉, 원숭이의 거울 뉴런은 타 개체의 행위가 ‘어떻게’ 실행되는지에 대해서는 추적하지 않는다는 것이다[32]. 그리고 원숭이의 거울 뉴런은 ‘왜’에 대해서는 생존에 필수적인 행위 정도에만 관심을 보이는 정도이다. 반면 인간은 이 세 가지 수준을 넘나들면서 타인의 행위를 이해할 수 있는 능력이 있다[28, 33].

인간 거울 뉴런계의 이런 특성은 인간의 사회 인지(social cognition)에 대한 기존 연구들에 새로운 해석을 제공하기도 한다. 인간은 누구나 타인의 마음을 읽는 능력을 가지고 있는데 연구자들은 우리가 ‘마음 이론(theory of mind)’을 장착하고 있기에 가능하다고 말한다. 그리고 이 마음 이론은 어떤 인지적 기제를 통해 습득한 시각 정보를 정교화 하는 ‘추론적 과정’을 통해 작동한다고 보았다[34]. 하지만 거울 뉴런의 발견과 후속 연구들은 타 개체의 마음을 읽는 과정이 그러한 복잡한 추론 과정이 아닐 수도 있음을 시사한다. 왜냐하면 거울 뉴런계는 시각 정보를 곧바로 운동신호 형식으로 변환시켜주는 기제를 이용하여 타 개체의 행동을 이해하기 때문이다. 즉 단지 ‘미러링(mirroring)’을 통해 타 개체의 마음을 읽을 수 있다는 뜻이다[21].⁷⁾

그렇다면 거울 뉴런계에 문제가 생기면 어떤 일이 일어날까? 물론 인간의 거울

7) 마음 이론과 미러링을 상보적으로 보는 연구자들도 있다. 가령, 거울 뉴런계의 한 부분인 하전두회 영역은 피험자가 의도에 주의를 기울이고 있든 아니든 주어진 자극의 시각적 특질에 기반해서 의도성을 ‘미러링’을 통해 처리하고, ‘마음 이론’에 관계된 네트워크는 주어진 자극의 시각적 특질에 매우 둔감하지만 피험자가 관찰된 행동의 의도성에 주의를 기울일 때 활성화된다는 연구도 있다[33].

뉴런계 중 한 군데라도 문제가 생기면 타인의 행동을 이해하는데 문제가 생긴다. 예컨대 자폐증을 앓고 있는 사람은 사회적 상호 작용에 실패하고 언어적·비언어적 의사소통에 장애를 가지고 있으며 특정 행동을 반복하는 상동증을 보이기도 한다. 자폐증은 3세 이전의 발달 과정에서 이상이 생겨 나타난다고 알려져 있지만 그 원인에 대해서는 아직 여러 가설들만이 존재할 뿐이다. 흥미롭게도 몇몇 연구자들은 자폐증의 증상이 거울 뉴런의 기능과 연관이 있으며, 따라서 자폐증의 원인이 거울 뉴런계의 손상 때문이라고 주장한다[21, 35, 36]. 이런 주장은 이른바 ‘깨진 거울(broken mirror) 가설’이라고 불리는데, 몇몇 학자들은 이것이 뇌파, 경두개 자기 자극법, fMRI 등의 기법을 통해 입증되고 있다고 주장한다. 예컨대 감정적 표현을 관찰하고 모방하는 과제에서 자폐증을 앓고 있는 아이의 경우 정상적인 발달 과정을 거친 아이들과 비교했을 때, fMRI 기법을 통해 하두정엽에서 약한 활성화 일어난다는 사실이 확인되었다. 또한 증상이 심각할수록 활성화 정도가 낮다 [37].

거울 뉴런계와 핵심 모방 회로

이제 거울 뉴런과 모방과의 관계에 대해 이야기해보자. 상대방이 환경과 타 개체를 대하는 방법들 중 생존과 번식에 효과적인 것들을 모방하는 행동은 그 개체에게도 큰 이득을 줄 것이다. 어떤 효과적인 행동을 습득하기 위해서는 수차례의 시행착오를 거쳐야 하며 반복에 의해서 행동을 익혀야 하는데 거기에는 만만치 않은 비용이 든다. 이런 비용을 절감할 수 있는 획기적인 혁신이 바로 모방이다. 초기의 어설픈 모방이라도 그것이 적응적이면 자연선택을 통해 점점 더 정교해질 것이다. 모방은 생존의 측면에서 적응적인 것만은 아니다. 무엇이든 정확히 따라하거나 성공한 개체를 잘 따라할 수 있는 개체는 번식의 측면에서도 유리할 수 있다 [1].

물론 이런 모방 능력이 인간 종에서만 진화한 것은 아니다. 모방 행위는 영장류, 돌고래, 개, 새, 심지어 어류에서도 발견되는데, 이 종들은 대부분 물체와 연관되어 있고 행위의 목표와 결과가 분명한 행위들을 쉽게 모방한다. 그러나 무언극의 경우처럼 행위의 목표가 사라질 때는 모방을 잘 하지 못하고 행위 자체를 그대

로 잘 따라하지도 못한다. 즉, 타 개체의 행동을 이해함에 있어서 그들의 거울 뉴런계는 ‘어떻게’(방식)나 ‘왜’(의도)가 아니라 ‘무엇을(목표)’에 더 민감하다.

그렇다면 모방을 가능하게 하는 신경 메커니즘은 무엇일까? 거울 뉴런이 모방에 관여하는가? 한다면 구체적으로 어떤 역할인가? 모방은 어떤 행위의 관찰을 그 행위의 실행으로 변환시키는 과정이다. 거울 뉴런계는 어떤 행위를 관찰할 경우에도 활성화되지만 그 행동을 모방할 때도 활성화된다. 하지만 거울 뉴런계가 모방 행위에 인과적으로 관여하고 있다는 주장에 반론을 펴는 학자들도 있다. 논리는 이렇다. 모방 이전에 행위에 대한 관찰이 선행되는데, 관찰 시에 활성화된 거울 뉴런이 그 직후에 일어나는 모방 행위에서도 겹쳐져서 활성화되기 때문에 엄격한 의미에서 거울 뉴런에 의해서 모방이 일어난다고 확신할 수 없다는 것이다. 즉, 행위 관찰과 모방을 하는 동안 활성화된 같은 부위가 같은 행위를 관찰함으로써 발생하는 활성일 수 있다는 것이다[38].

하지만 세 가지 다른 조건(행위에 대한 관찰, 관찰을 포함하지 않는 행동의 실행, 그리고 모방)에서 거울 뉴런의 발화가 중첩되는 것을 보여주는 많은 뇌 영상 자료가 존재한다. 더욱 흥미로운 사실은 이 세 가지 조건에서 활성화의 정도가 서로 다르다는 점이다. 가령, 행위 실행 조건에서는 행위를 관찰하는 조건보다 더 많은 활성이 일어났고, 행위를 모방을 할 때는 가장 높은 활성을 보였다[38]. 따라서 우리는 거울 뉴런이 행위 관찰, 행위 실행, 그리고 모방의 조건들 모두에 반응하는 세포임을 알 수 있을 뿐만 아니라, 왜 모방 조건에서 가장 높은 활성을 보였는지도 이해할 수 있다. 왜냐하면 모방은 행위 관찰과 실행을 모두 포함하는 과정이기 때문이다.

거울 뉴런계가 모방 과정에서 모종의 인과적 역할을 한다는 주장은 여러 실험들을 통해 입증되었다. 예컨대 후부 하두정엽을 반복적인 경두개 자기 자극(rTMS: repetitive TMS)을 통해 손상을 준 경우, 대조 집단에서는 점 자극(dot stimulus)에 의한 버튼 누르기 과제 수행도가 그대로였으나, 버튼 누르는 손가락을 보고 버튼을 누르게 한 실험 집단에서는 과제 수행의 정확도가 떨어졌다[39].

‘기타 코드 따라 하기’ 실험은 또 다른 입증 사례이다[21]. 이 실험은 모방을 하는 조건과 모방을 하지 않는 조건에서 수행되었다. 모방을 하는 조건에서는 기타 코드를 잡는 손동작을 관찰하게 하고 연습하게 한 뒤에 그것을 따라하게 했다. 반

면 모방을 하지 않는 조건에서는 기타 코드를 잡는 손동작을 관찰만 하게 한 후 따라하지는 못하게 했다. 그러자 관찰 시기에는 두 조건에서 거울 뉴런계가 모두 활성화된 반면, 모방 시기에는 모방을 한 조건에서만 활성화되었다.

거울 뉴런계와 모방의 관계에 대한 이런 결과들에 종합하여 야코보니는 거울 뉴런계 중심의 ‘핵심 모방회로(core imitation circuitry)’를 제안한다. 이 회로에는 거울 뉴런계 외에도 그 뉴런계에 시각 정보를 입력해주는 후부상측두이랑(posterior Superior Temporal Sulcus)이 포함되어 있으며, 인간이 아닌 다른 영장류들에서도 이 핵심 모방회로가 발견된다[40]. 그렇다면 앞서 언급한 모방의 수준 차이들도 이 회로로 설명할 수 있겠는가?

이에 대한 대답의 단서는 어쩌면 또 다른 ‘기타 코드 따라 하기’ 실험에서 발견될 수 있을 것이다. 그것은 친숙한 행동과 새로운 행동의 모방들 사이에 어떠한 신경 활동의 차이가 존재하는지를 밝히는 실험이었다[41]. 실험의 내용은 인간에게 기타 코드를 잡는 손동작을 관찰하게 한 뒤 따라하게 하여 뇌의 활성 정도를 측정하는 것이었다. 실험 결과, 친숙한 행동(즉, 이미 연습해 본 적이 있는 코드 잡는 손동작)을 따라하는 경우에 거울 뉴런계는 활성화되었다. 물론 이것은 전혀 이상할 것이 없는 결론이다. 하지만 흥미로운 점은 새로운 행동(연습해보지도 않았고 처음 보는 기타 코드 잡기 손동작)을 하는 경우에 친숙한 행동을 하는 경우보다 거울 뉴런계를 비롯한 여러 영역들의 활성화 부위가 더 넓었다는 사실이다. 그렇다면 모방의 수준 차이를 발생시키는 뇌의 부위는 구체적으로 어디일까?

배외측 전전두피질과 모방 학습

모방 행동이 간단한 과정은 아니기 때문에 핵심 모방회로가 다른 뇌 부위와 함께 작용하여 다양한 모방적 수준을 만들어낼 것이라는 생각은 꽤 그럴 듯하다. 우리는 기존의 운동 목록에 없던 새로운 행동을 따라할 수 있는데, 그 행동의 하부 단위가 기존의 운동 목록에 존재할 경우에는 그런 모방 학습이 더 쉽게 일어난다. 그런데 이런 모방 학습은 핵심 모방회로만으로는 일어나지 않으며 모방 행동을 조절하는 또 다른 메커니즘을 필요로 한다. 배외측 전전두피질(Dorsolateral Prefrontal Cortex)은 여러 개의 친숙한 행동들을 조합하고 연결시키는 역할을 하는 부위로서

모방 학습을 가능하게 한다[40].

전두피질은 인간과 인간이 아닌 다른 동물들과 가장 많은 차이를 보이는 뇌 영역이라고 할 수 있다. 인간과 가장 가깝다는 침팬지의 경우에도 전두엽의 크기에 있어서는 큰 차이를 보인다. 크기의 차이는 당연히 기능의 차이로 이어진다. 인간만의 특성이라고 여겨지는 이성적 행동들의 중추가 바로 이곳이라고 생각하면 마치 전두엽 크기의 몇 배 차이가 인간과 침팬지 간의 건널 수 없는 강을 만들었다고도 볼 수 있다. 그렇기 때문에 이성적 인지 과정 말고도 모방에 있어서도 배외측 전전두피질의 역할은 중요하다. 새로운 행동이 기존에 알고 있는 행동들로 구성되어야 한다는 가정이 있기는 하지만 배외측 전전두피질의 존재는 인간과 다른 동물들 간에 모방능력의 수준 차이를 잘 설명해준다.

이 부위에 의한 모방 학습은 단지 행위 수준에서의 모방이 아니다. 그것은 움직임 수준에서 새로운 행동을 기존의 행동들로 잘게 분리하고 재조합한 후 모방하는 것을 뜻한다. 이 분리와 재조합을 담당하는 부위가 바로 배외측 전전두피질인 것이다. 인간이 아닌 다른 동물들이 타개체의 움직임에 대해 인간만큼 정확한 모방을 하지 못하는 이유는 바로 그들의 배외측 전전두피질이 상대적으로 덜 발달되어 있기 때문일 것이다[8]. 앞의 조이 실험에서 조이가 친숙한 행동은 잘 모방했지만 새로운 행동을 잘 따라하지 못했다는 것을 다시 한 번 떠올려 보자. 조이가 새로운 행동을 모방하지 못했던 이유는 시각 입력을 운동 신호로 곧바로 변환시켜주는 핵심 모방회로의 문제 때문이 아니다. 새로운 행동을 기존에 알던 행동들로 인식하고 그것들을 이어주는 데 필요한 처리과정에서 기억과 연산 등의 인지과정에 문제가 있었기 때문이다. 배외측 전전두피질은 그런 처리과정을 담당하고 있다.

거울 뉴런과 연합 계열 학습

그렇다면 모방에 중요한 인과적 역할을 담당하는 거울 뉴런계는 어떻게 발달하는가? 거울 뉴런계는 모방 기능 때문에 진화했을까? 실험심리학자 헤이즈(C. Heyes)는 모방 능력의 진화와 발생에 관하여 매우 흥미로운 가설을 제시했다. 그녀는 모방을 ‘위한’ 적응 기제는 존재하지 않으며 모방도 개인적 학습의 일종이라고 주장한다[42, 43]. 그녀의 가설은 연합 계열 학습(associative sequence learning) 모형인데,

‘연합 학습’이란 자극과 자극, 또는 자극과 그에 대한 특정한 반응이 반복적으로 발생함으로써 그것들의 연합을 인식해가는 과정을 말한다. 개인적 학습에서 조건화 과정과 사회적 학습에서의 강화 현상 등이 모두 연합 학습에 포함될 수 있다. 그녀는 모방도 이러한 연합 학습이 순차적으로 이어지는 것일 뿐 새로운 종류의 학습은 아니라고 주장한다.

연합 계열 학습 모형으로 모방을 설명할 때 연합이 나타나는 양상을 수평적 축과 수직적 축 이 두 가지로 나눌 수 있다(그림 5). 왜냐하면 참된 모방은 타 개체로부터 운동의 ‘방식’을 배우는 것이기 때문이다. 타인의 운동 행위에서 나온 감각 자료를 나의 운동과 일치시키는 작업은 수직적 축이고, 그러한 운동의 일련의 나열은 수평적 축으로 나타내어진다. 즉 어떤 새로운 행동을 모방하게 될 때 목표 대상의 연속적인 행위를 잘게 쪼개 뒤, 각각의 쪼개진 감각 자료들과 나의 운동을 결합하는 수직적 연합 학습이 일어나고, 그것들 간의 수평적 연합 학습을 통해 모방 학습이 이루어진다.

그렇다면 연합 계열 학습의 관점에서 거울 뉴런은 어떻게 이해될 수 있을까? 이 관점에서는 모방을 가능하게 하는 거울 뉴런이 연합 학습을 통해 만들어진다. 즉, 기존의 운동 특질을 가지고 있는 운동뉴런이 경험에 의해서 감각 자극과 신경적 연관을 맺어 거울 뉴런으로 발달하게 된다. 가령, 우리가 주먹을 쥐게 되면 그에 해당하는 운동 뉴런이 활성화 되는데, 그 때마다 우리는 대개 주먹을 쥔 모습을 보게 된다. 이때 연합 학습이 일어나서 나중에는 보는 것만으로도 운동 뉴런이 활성화된다는 것이다. 즉, 보는 것과 하는 것의 짝결속을 통한 연합 학습이 거울 뉴런계를 만들어냈다는 주장이다. 그렇다면 이 연합 학습을 통해 같은 행동뿐만 아니라 다른 행동들에 대해서도 거울 반응을 일으킬 수 있다. 가령, 내가 물체를 놓

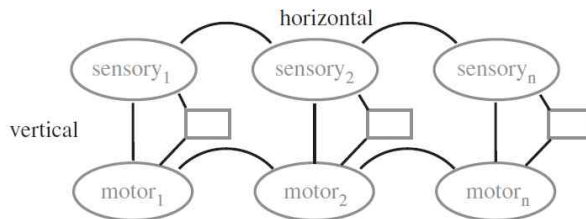


그림 5. 모방의 연합 계열 학습(ASL) 모형(출처: [43]).

으면 상대가 물체를 잡는 것과 같은 일상적인 상황에서 우리가 알고 있는 거울 반응과 반대의 거울 반응이 일어날 수 있다(42, 44, 45, 46).⁸⁾

헤이즈는 연합 학습이라는 일반적 학습 메커니즘만을 상정하는 것이 많은 복잡한 현상들에 대한 단순하고 유연한 설명을 제공해 줄 것이라고 주장하고 있다. 모방 학습이라는 문화적 학습이 특별한 적응적 메커니즘을 가지는 것이 아니라, 학습이라는 일반 메커니즘이 문화적인 맥락 속에서 빚어진 결과라는 것이다. 즉, 문화적으로 전달되는 것은 그 내용뿐만이 아니라 그 내용을 산출하는 것을 가능하게 하는 특정 회로까지 포함한다.

그렇다면 거울 뉴런은 모방을 위한 적응인가, 아니면 일반 학습 메커니즘의 결과인가? 거울 뉴런계를 발견하고 연구팀을 이끌어온 주요 연구자들은 대체로 전자의 입장이다.

즉, 거울뉴런은 그 자체로 감각뉴런과 운동뉴런의 특징을 동시에 가짐으로써 관찰된 행동을 자신의 운동으로 변환시키는 특정 세포 다발이다. 이 다발은 다른 학습 메커니즘과는 구별되는 ‘모방’을 가능하게 했다. 그리고 이 거울 뉴런계는 전두 피질의 몇몇 부분이 함께 작용하여 모방의 수준을 높이게 되었다. 반면, 연합 계열 학습 모형을 제시한 헤이즈는 모방도 연합 학습의 일종일 뿐이며 모방만을 담당하는 특정한 신경 메커니즘을 상정할 필요가 없다고 반박하고 있다.

따라서 이 두 진영은 문화를 바라보는 시각에서도 차이점을 드러낼 수밖에 없다. 거울 뉴런을 모방을 위한 적응이라고 보는 입장에서는 모방능력을 생물학적(유전적) 요인으로 귀속시키려 하고, 모방을 통해 전달되는 내용에 대해서만 문화라는 이름을 붙일 것이다.

하지만 모방을 연합 계열 학습의 일종으로 보는 이들은 전달되는 내용뿐 아니라 모방능력 그 자체도 연합 학습에 의해 문화적으로 전달된 ‘그 무엇’으로 이해하려 할 것이다. 그러나 양 진영은 모두 계통적 진화와 개체적 발생을 거쳐 형성된 거울 뉴런계의 모방 능력 자체에 대해서는 이견이 없다.⁹⁾

8) 헤이즈는 이러한 거울 뉴런을 ‘반거울뉴런(counter-mirror neurons)’이라고 부른다(42, 47).

9) 헤이즈는 거울 뉴런계가 모방을 위한 적응이 아니라 학습을 위한 적응인 연합 계열 학습의 부산물일 뿐이라고 주장하지만, 거울 뉴런계의 존재 및 효능 자체를 부인하는 것은 아니다.

모방, 거울 뉴런, 그리고 밈

앞에서 살펴본 모방의 정의, 유형, 기능, 그리고 신경 메커니즘에 대한 최신 연구들은 인간의 모방 능력이 얼마나 중요한 것인가에 대해서도 많은 것을 시사한다. 우리는 참된 모방을 할 수 있게 됨으로써 다른 동물들과는 완전히 다른 진화적 경로를 걷게 되었다. 참된 모방이 새로운 종류의 복제자를 탄생시켰기 때문이다. 이 복제자는 우리 인간을 유전자와는 독립적으로 이끄는 힘을 갖는다. 이에 대해 이미 도킨스(R. Dawkins)는 『이기적 유전자』(1976)에서 ‘밈(meme)’이라는 이름을 붙여 소개한 바 있다[48]. 밈은 유전자와는 완전히 독립적으로 진화할 수 있는 복제자로서 다윈 진화의 필수 요소인 변이, 선택, 대물림의 조건을 만족시킨다. 밈학(memetics)은 밈의 관점에서 인간의 문화 전달과 진화를 설명하려는 자연주의적 시도이다[49]. 밈학의 대표 논자인 블랙모어는 우리가 큰 뇌를 가지게 되고 동물과 확연히 차이가 나는 모방능력을 가지게 된 것은 바로 밈 선택의 결과라고 말한다. 그녀는 인간과 동물의 차이는 모방의 정확도 차이보다 더는 참된 모방을 할 수 있느냐 없느냐의 차이이다[50]

예를 들어보자. 동물의 물체 지향적 행동은 사실 신체 지향적 행동보다 목표 지향적이고 효율적이다. 가까운 시간의 범위 안에서 신체 지향적 행동은 거기에 드는 비용에 비해 얻는 편익이 적다. 때론 편익이 아예 없기도 하다. 그렇다면 겉으로 보기에 이렇게 비효율적인 행위는 동물에서 인간으로 왜 거꾸로 진화하게 되었을까? 그에 대한 해답은 커다란 뇌 자체가 아니라 커다란 뇌가 만들어지게 된 과정에 있다.

거꾸로 생각해보면 인간은 이렇게 전두피질의 크기 증가가 절실한 환경에 서식했으며, 뇌를 가지고 살아갈 때 생기는 비용을 감수하더라도 큰 뇌로 인해 생기는 적응적 이득이 그만큼 컸다는 이야기이다. 블랙모어는 이 커다란 뇌가 모방 능력에 대한 적응이라고 본다. 여기서 말하는 모방 능력은 기계적 관점에서 잘 따라하는가도 있지만 어떤 내용을 따라 할지에 대한 것도 함께 의미한다. 효율적이고 새로운 사냥기술을 누군가 만들었다고 할 때 그것을 따라하는 행동은 적응적인 행동이다. 그 기술을 습득함으로써 인해 추후에 더 많은 사냥감을 얻을 수 있기 때문이다. 따라하는 행동과 관련된 유전자는 집단에 퍼지게 되고, 잘 따라하는 개체에

대한 성선택(sexual selection)은 물론 성공한 사람을 따라하라는 구체적인 수준의 선택도 뒤따라 일어나게 된다. 무엇이든 잘 따라하는 개체는 이성에게 매력적으로 보인다. 사회적으로 성공한 개체가 하는 행동을 무엇이든 따라하게 하는 메커니즘은 그리 복잡한 과정은 아니면서도 적응적일 수 있다(사회적으로 성공한 개체의 어떤 행동은 따라하고 어떤 행동은 따라하지 않는 지침은 복잡하다). 이렇게 있는 그대로를 따라하게 하는 모방 메커니즘이 작동하면서 인간은 비효율적인 것처럼 보이는 신체 지향적 행동까지도 움직임 수준에서 정확히 모방할 수 있게 된 것이다. 앞서 논의했듯이, 있는 그대로의 움직임까지도 모방하는 신경 메커니즘이 아직 완전히 밝혀진 것은 아니지만, 블랙모어의 이런 설명은 진화적 관점에서 동물과 인간에서의 나타나는 모방의 차이점에 대한 궁극적 설명으로서 설득력을 지닌다고 할 수 있다.

이런 관점에서라면 인간의 모방 능력이 인간의 유전자와는 독립적인 문화 전달자 ‘밈’의 탄생을 촉발시켰고 그 밈은 다시 인간의 모방능력을 발달시키는 역할을 했다고 이야기할 수 있을 것이다. 밈은 모방을 통해서 사람들의 뇌로 퍼져나가며 나름의 진화의 과정을 겪는다. 밈에 대해서 적응도나 변이가 존재한다는 것은 많은 학자들이 인정하지만 복제에 있어서 반대를 한다. 왜냐하면 복제하는 실체를 찾는 것이 어렵다고 생각하기 때문이다. 밈학을 통해서 인간의 모방 능력과 문화를 설명하는 것은 ‘그저 그럴듯한’ 이야기일 뿐이라는 것이다. 하지만 정말 그럴까?

앞서 언급된 모방의 신경 메커니즘에 대한 최신 연구들은 밈의 실체에 대해서도 새로운 함의를 준다. 신경과학적 관점에서 밈을 정의하고 측정하려는 맥나마라(A. McNamara)의 시도는 이런 의미에서 상당히 흥미롭다[51]. 그는 밈이 전달되는 과정을 다음의 네 가지 과정으로 나눈다. 첫째, 동화(assimilation) 과정은 한 개인으로부터 나온 다양한 감각을 인식하는 것이다. 둘째, 보존(retention) 과정은 정보의 기억과 같은 과정이다. 셋째, 표현(expression)은 타인이 인식할 수 있는 형태의 말이나 몸짓 그리고 운동 행위를 하는 것이다. 마지막으로 전달(transmission)은 그것이 다른 사람에게로 이동하는 과정이다.

물론 이 네 가지 중에서 어느 하나도 빠져서는 안 된다. 하지만 표현과 전달 과정은 특히 중요한데 왜냐하면 이 두 과정에는 운동이 필수적으로 개입되기 때문이

다. 또한 동화와 보존만으로는 단순한 자극 이상이 될 수 없다. 맥나마라는 표현과 전달, 그리고 동화와 보존의 연속을 통해 밈이 전달된다고 주장한다. 이런 맥락에서 모방을 자극들의 학습에 의한 연합으로 본 헤이즈의 주장은, 이러한 연속적인 흐름에 대한 고려 없이 모방을 그저 개인 안에서 구성되는 신경 구조로 본다는 점에서, 맥나마라의 접근과 대비된다고 할 수 있다.

맥나마라는 한 발 더 나아가 밈을 내적 표상으로서의 밈(internal representation of a meme, 이하 ‘내표밈’)과 외부 표상으로서의 밈(external representation of a meme, 이하 ‘외표밈’)으로 구분한다. 유전자와 같이 밈은 복제되는 성격을 지닌 동시에 어떤 정보를 지니고 있다. 밈의 경우에 그러한 정보가 전달되고 저장되는 방식에는 두 가지가 있는데, 하나는 인간의 중추신경계에 존재하는 방식(‘내표밈’)이고, 다른 하나는 외부 세계에 존재하는 방식(‘외표밈’)이다. 외표밈은 외부에 존재하기 때문에 쉽게 관찰될 뿐만 아니라 과학기술(제조기술 및 정보통신기술 등)의 발달로 인

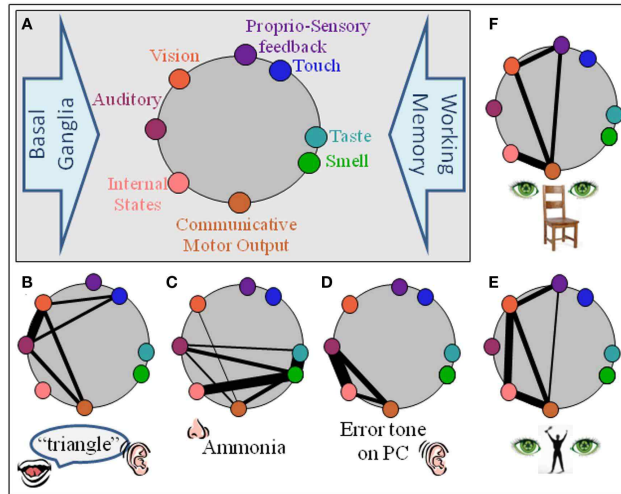


그림 6. (A) 내표밈의 신경적 구성요소의 도식적 표현. 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각 등의 감각 자극과 내적 상태는 밈의 필수 구성요소는 아니다. 운동 균형을 담당하는 기저핵과 작업 기억도 필수 구성요소는 아니지만 내표밈에 영향을 주는 요소이다. 하지만 소통적 운동 산출은 내표밈의 필수 구성요소다. (B~F) 다양한 내표밈들을 구성하는 신경적 구성의 형태들(발음된 단어, 암모니아 냄새, PC에서 나는 소리, 승리의 몸짓, 의자). 모든 예에서 소통적 운동 산출이 포함되어 있으며 감각 자극에 있어서는 각기 다른 구성을 가진다(출처: [51]).

해 계속적으로 그 복제 충실도가 높아지고 있다. 반면 내표mim은 외표mim을 인식하고 전달(운동 행위를 통해)할 수 있게 해주는 mim 특수적인(meme-specific) 신경 연결들로 구성된다. 맥나마라에 따르면 mim 특수적 신경 연결들은 다양한 감각 신경들과 내적 상태를 관장하는 변연계, 그리고 소통적 운동 산출(Communicative Motor Output)을 담당하는 신경 영역 등으로 이루어져 있다(그림 6).

맥나마라는 소통적 운동 산출은 다른 감각들이나 내적 상태를 나타내는 신경들과는 달리 mim을 구성하는 데 있어서 필수불가결한 요소라고 말한다. 이것은 mim의 전파에서 표현과 전달 과정이 반드시 필요하다라는 것을 생각하면 충분히 이해가능한 주장이다. 이런 의미에서 소통적 운동 산출의 역할을 담당하는 신경 다발은 거울 뉴런계와 유사하다고 할 수 있다. 그렇다면 이것은 거울 뉴런계와 다른 뇌 영역들의 연결들로 mim(들)을 정의할 수 있음을 시사한다. 이런 맥락에서 모방을 통해서 전달되는 복제자인 mim의 실체와 작동에 대해 회의주의에 빠질 필요가 없다. 오히려 이 논문에서 논의된 모방의 인지신경학적 연구들은 인지 및 문화 진화를 설명하기 위해 새로운 복제자인 mim을 상정하는 입장을 옹호하는 데에 사용될 수 있을 것이다.

결 론

우리는 모방하는 동물이다. 우리는 타 개체의 기술과 지식을 모방함으로써 다른 동물의 세계에서 찾아보기 힘든 문화와 문명을 이룩할 수 있었다. 이런 의미에서 모방 능력이 어떻게 진화하고 발달하는지를 묻는 것은 중요하다. 또한 인간이 아닌 다른 동물들이 참된 모방을 할 수 있는지, 그리고 모방 학습 측면에서 인간과 동물이 구체적으로 어떻게 다른지를 알아보는 작업도 매우 흥미로운 과제이다.

이 논문에서 나는 인간과 다른 동물들의 모방 능력에 대한 경험적 연구들을 핵심적으로 검토해보았다. 그리고 거울 뉴런계에 관한 연구 결과들을 통해 모방의 신경학적 메커니즘에 관해 논의했다. 거울 뉴런계는 타 개체의 행동을 이해하게 하는 데에 필수적인 신경세포 다발인데, 나는 이 거울 뉴런계의 기능과 진화에 대한 최신 연구들을 소개함으로써 모방의 유형과 수준에 따라 어떠한 신경학적 메커

니즘이 작동하는지를 정리해보았다. 마지막으로 나는 이러한 모방의 신경 및 진화학이 문화의 진화를 설명하는 데에 어떤 함의를 지니는지를 논의해보았다. mimetic은 문화 진화를 설명하는 하나의 유력한 입장인데, 나는 mimetic과 거울 뉴런계의 관계를 탐구한 최신 연구를 소개함으로써 mimetic의 존재와 기능에 대해 회의적인 시각을 불식시키려고 했다. 호모 사피엔스의 거울 뉴런계의 존재와 기능, 그리고 우리의 모방능력의 특징은 인간에게만 존재하는 문명의 폭발과 문화의 진화를 이해하는 데 핵심적인 단서가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Blackmore, S. (1999), *The Meme Machine*, Oxford University Press; 김명남 옮김 (2010), 『밈』, 바다출판사.
- [2] Thorndike, E. L. (1898), Animal intelligence: an experimental study of the associative processes in animals, *Psychological Monographs: General and Applied* 2-4, i-109.
- [3] Blackmore, S. (2001), Imitation and the definition of a meme, <http://www.strbrasil.com.br/English/Scientia/imitation.htm>
- [4] Thorpe, W. H. (1963), *Learning and instinct in animals*, London: Methuen.
- [5] Heyes, C. (1996), Genuine imitation, In *Social Learning in Animals: The Roots of Culture*, by Heyes, C. M. & Galef, B. G. J. (eds.), San Diego, CA, US: Academic Press: 371-389.
- [6] Kawai, M. (1965), Newly-acquired pre-cultural behavior of the natural troop of Japanese monkeys on Koshima Islet, *Primates* 6, 1-30.
- [7] Galef, B. G. (1992), The question of animal culture, *Human Nature* 3-2, 157-178.
- [8] Huber, L., Range, F., Voelkl, B., Szucsich, A., Viranyi, Z. and Miklosi, A. (2009), The evolution of imitation: what do the capacities of non-human animals tell us about the mechanisms of imitation?, *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364-1528, 2299-2309.
- [9] Myowa-Yamakoshi, M. and Matsuzawa, T. (1999), Factors influencing imitation of

- manipulatory actions in chimpanzees (*Pan troglodytes*), *Journal of Comparative Psychology* 113-2, 128-136.
- [10] Tomasello, M., Kruger, A. C. and Ratner, H. H. (1993), Cultural Learning, *Behavioral and Brain Sciences* 16-3, 495-511.
- [11] Call, J. (2001), Body imitation in an enculturated orangutan (*Pongo pygmaeus*), *Cybernetics and Systems: An International Journal* 32-(1-2), 97-119.
- [12] Moore, B. R. (1992), Avian movement imitation and a new form of mimicry: tracing the evolution of a complex form of learning, *Behaviour* 122-(3-4), 231-263.
- [13] Herman, L. M. (2002), *Vocal, social, self-imitation by bottlenosed dolphins*, In *Imitation in animals and artifacts*, by Dautenhahn, K. & Nehaniv, C. L.(eds.), Cambridge, MA, US: MIT Press: 63-108.
- [14] Topal, J., Byrne, R. W., Miklosi, A. and Csanyi, V. (2006), Reproducing human actions and action sequences: “Do as I do!” in a dog, *Animal Cognition* 9-4, 355-367.
- [15] Whiten, A., Horner, V., Litchfield, C. A. and Marshall-Pescini, S. (2004), How do apes ape?, *Animal Learning and Behaviour* 32-1, 36-52.
- [16] Range, F., Viranyi, Z. and Huber, L. (2007), Selective imitation in domestic dogs. *Current Biology* 17-10, 1-5.
- [17] Chaminade, T., Meltzoff, A. N. and Decety, J. (2005). An fMRI study of imitation: action representation and body schema, *Neuropsychologia* 43-1, 115-127.
- [18] Bugnyar, T. and Huber, L. (1997), Push or pull: an experimental study on imitation in marmosets, *Animal Behaviour* 54-4, 17-831.
- [19] Voelkl, B. and Huber, L. (2007), Imitation as faithful copying of a novel technique in marmoset monkeys, *PLoS ONE* 2-7, e611.
- [20] Horner, V. and Whiten, A. (2005), Causal knowledge and imitation/emulation switching in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and children (*Homo sapiens*), *Animal Cognition* 8-3, 164-181.
- [21] Rizzolatti, G. and Fabbri-Destro, M. (2010), Mirror neurons: from discovery to autism, *Experimental Brain Research* 200-(3-4), 223-237.
- [22] di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V. and Rizzolatti, G. (1992),

- Understanding motor events: a neurophysiological study, *Experimental Brain Research* 91-1, 176-180.
- [23] Perrett, D. I., Harries, M. H., Mistlin, A. J., Hietanen, J. K., et al. (1990), Social signals analyzed at the single cell level: Someone is looking at me, something touched me, something movedp, *International Journal of Comparative Psychology* 4-1, 25-55.
- [24] Rizzolatti, G. and Craighero, L. (2004), The mirror-neuron system, *Annual Reviews Neuroscience* 27, 169-192.
- [25] Kohler, E., Keysers, C., Umilta, M. A., Fogassi, L. and Gallese, V. (2002), Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons, *Science* 297-5582, 846-848.
- [26] Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G. and Rizzolatti, G. (1995), Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study, *Journal of Neurophysiology* 73-6, 2608-2611.
- [27] Iacoboni, M. (2009a), *Mirroring People*, Picador; 김미선 옮김 (2009), 『미러링 퍼플』, 갤리온.
- [28] Thioux, M., Gazzola, V. and Keyers, C. (2008), Action understanding: how, what and why, *Current Biology* 18-10, R431-434.
- [29] Umilta, M. A., Brochier, T., Spinks, R. L. and Lemon, R. N. (2007), Simultaneous recording of macaque premotor and primary motor cortex neuronal populations reveals different functional contributions to visuomotor grasp, *Journal of Neurophysiology* 98-1, 488-501.
- [30] Rizzolatti, G. and Sinigaglia, C. (2010), The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations, *Nature Reviews Neuroscience* 11-4, 264-274.
- [31] Kakei, S., Hoffman, D. S. and Strick, P. L. (2001), Direction of action is represented in the ventral premotor cortex, *Nature Neuroscience* 4-10, 1020-1025.
- [32] Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. and Rizzolatti, G. (1996), Action recognition in the premotor cortex, *Brain* 119-2, 593-609.
- [33] de Lange, F. P., Spronk, M., Willems, R. M., Toni, I. and Bekkering, H. (2008),

Complementary systems for understanding action intentions, *Current Biology* 18-6, 454-457.

- [34] Frith, C. D. and Frith, U. (1999), Interacting minds-a biological basis, *Science* 286-5445, 1692-1695.
- [35] Altschuler, E. L., Vankov, A., Hubbard, E. M., Roberts, E., Ramachandran, V. S. and Pineda, J. A. (2000), Mu wave blocking by observation of movement and its possible use as a tool to study theory of other minds [abstract 67.23]. Presented at the 30th annual meeting of the society for neuroscience, New Orleans, 4-9 November 2000.
- [36] Williams, J. H. G., Whiten, A., Suddendorf, T. and Perret, D. I. (2001), Imitation, mirror neurons and autism, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 25-4, 287-295.
- [37] Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y. and Iacoboni, M. (2006), Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders, *Nature Neuroscience* 9-1, 28-30.
- [38] Gallese, V., Gernsbacher, M. A., Heyes, C., Hickok, G. and Iacoboni, M. (2011), Mirror Neuron Forum, *Perspectives on psychological science* 6-4, 369-407.
- [39] Heiser, M., Iacoboni, M., Maeda, F., Markus, J. and Mazziotta, J. C. (2003), The essential role of Broca's area in imitation, *European Journal of Neuroscience* 17-5, 1123-1128.
- [40] Iacoboni, M. (2009b), Neurobiology of imitation, *Current Opinion in Neurobiology* 19-6, 661-665.
- [41] Vogt, S., Buccino, G., Wohlschläger, A. M., Canessa, N., Shah, N. J., Zilles, K., Eickhoff, S. B., Freund, H. J., Rizzolatti, G. and Fink, G. R. (2007), Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: Effects of practice and expertise, *NeuroImage* 37-4, 1371-1383.
- [42] Heyes, C. (2010), Where do mirror neurons come from?, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 34-4, 575-583.
- [43] Heyes, C. (2012), Grist and Mills: on the cultural origins of cultural learning, *Philosophical Transactions of The Royal Society B* 367-1599, 2181-2191.
- [44] Newman-Norlund, R. D., van Schie, H. T., van Zuijlen, A. M. J. and Bekkering, H.

- (2007), The mirror neuron system is more active during complementary compared with imitative action, *Nature Neuroscience* 10-7, 817-818.
- [45] van Schie, H. T., van Waterschoot, B. M., Borris, M. and Bekkering, H. (2008), Understanding action beyond imitation: reversed compatibility effects of action observation in imitation and joint action, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 34-6, 1493-1500.
- [46] Heyes, C., Bird, G., Johnson, H. and Haggard, P. (2005), Experience modulates automatic imitation, *Cognitive Brain Research* 22, 233-240.
- [47] Catmur, C., Gillmeister, H., Bird, G., Liepelt, R., Brass, M. and Heyes, C. (2008), Through the looking glass: counter-mirror activation following incompatible sensorimotor learning, *European Journal of Neuroscience* 28-6, 1208-1215.
- [48] Dawkins, R. (1976), *The Selfish Gene*, Oxford University Press; 홍영남 옮김 (1993), 『이기적 유전자』, 을유문화사.
- [49] 장대익(2008), 「일반 복제자 이론: 유전자, 밈, 그리고 지향계」, 『과학철학』 11 권 1호, 1-33
- [50] Blackmore, S. J. (2007) Imitation makes us human, In *What makes us human?* ed. by C. Pasternak, Oxford: Oneworld, pp.1-16.
- [51] McNamara, A. (2011), Can we measure memes?, *Frontiers in Evolutionary Neuroscience* 3-1, 1-7.

1 차원고접수 : 2012. 11. 9
2 차원고접수 : 2012. 11. 19
최종게재승인 : 2012. 12. 20

(*Abstract*)

Homo replicus
imitation, mirror neurons, and memes

Dayk Jang

College of Liberal Studies, Seoul National University

We are imitating animals. True imitation can be defined as a learning to do an act from seeing it done by others. We have been building culture by imitating others' skills and knowledge with high fidelity. In this regard, it is important to ask how the faculty of imitation has evolved and how imitation behaviors develop ontogenetically. It is also interesting to see whether nonhuman animals can imitate truly or not and how different imitation learning is among human and non-human animals. In this paper, first I review empirical data from imitation studies with human and nonhuman animals. Comparing different species, I highlight their different levels of copying fidelity and explain the reason why they are showing the difference. Then I review recent studies on neurobiological mechanisms underlying imitation. The initial neurobiological studies on imitation in humans suggested a core imitation circuitry composed of mirror neuron system [inferior parietal lobule(IPL) and inferior frontal gyrus(IFG)] and the posterior part of the superior temporal sulcus(pSTS). More recent studies on the neurobiology of imitation, however, has gone beyond the studies on the core mechanisms. Finally, I try to find out implications of psychology and biology of imitation for cultural evolution. I argue for a memetic approach to cultural evolution, along the lines with a recent study on measuring memes by mirror neurons system.

Key words : imitation, copying fidelity, mirror neuron system, core imitation circuitry, memes