



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

금화조는 울음소리를 의미 있는 범주로 다룬다— 그러나 그것은 언어와 같지 않다

《Science》에 실린 한 연구는, 금화조가 단지 서로 다른 울음소리를 듣는 것인지, 아니면 자기 발성 레퍼토리를 행동적 의미를 담은 범주로 조직하는 것인지를 검증했다. 실험실 변별 과제에서 새들은 11 가지 울음 유형을 모두 학습했고, 범주를 새로운 발성자에게로 일반화했으며, 비슷한 맥락에서 쓰이는 울음소리들 사이에서 음향적 유사성만으로 예측되는 것보다 더 자주 체계적인 오류를 저질렀다. 이는 범주적 지각과 조작적 형태의 의미에 대한 강력한 증거다. 이것은 금화조가 인간과 같은 언어나 통사 구조, 개방형 어휘, 또는 사람과 대화할 수 있는 통로를 가지고 있다는 증거는 아니다.

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Categorical and semantic perception of the meaning of call-types in zebra finches*, Julie E. Elie, Aude de Witasse-Thézy, Logan Thomas, Ben Malit, and Frédéric E. Theunissen, *Science* 389, 1210–1215 (2025) · DOI: 10.1126/science.ads8482

여기서 '의미' 라는 단어는 매우 조심스럽게 쓰이고 있다

금화조 (zebra finch) 는 사회생활을 하는 데 우리의 허락이 필요하지 않다. 이들은 배가 고플 때, 서로 떨어졌을 때, 구애할 때, 경계할 때, 짝과 접촉할 때, 또는 다룰 때 울음소리를 낸다. 동물행동학자들은 이런 소리들을 **울음 유형 (call-type)** 으로 나눌 수 있다. 경계 울음소리, 접촉 울음소리, 구걸 울음소리 같은 실용적 범주로, 소리의 형태와 새가 그 소리를 낼 때 하고 있는 행동으로 정의된다. 더 어려운 질문은, 새들 자신도 울음소리를 그런 식으로 나누는가 하는 것이다.

《Science》에 실린 한 논문은 좁지만 중요한 주장을 편다. 다 자란 금화조는 자기 발성 레퍼토리 안의 울음유형을 범주화할 수 있으며, 이들이 저지르는 실수는 행동적으로 관련된 울음소리들이 음향만으로 예측되는 것보다 새의 지각 공간 안에서 서로 더 가까이 있음을 시사한다는 것이다.

바로 이 지점에서 **의미론적 (semantic)** 이라는 단어가 논문에 등장한다. 이는 새들이 인간적 의미의 단어를 가지고 있다는 뜻이 아니다. 통사 구조나 대화, 혹은 새의 뇌 속에 숨겨진 사전을 뜻하는 것도 아니다. 여기서 '의미' 는 조작적 (operational) 이다. 두 울음소리가 비슷한 사회적 맥락에서 쓰이고, 새들이 소리만으로 설명되는 것보다 그 둘을 더 자주 혼동한다면, 행동적 범주가 지각을 형성하고 있는 것으로 보인다.

깔끔하게 정리하면 '새가 언어를 가지고 있다' 가 아니다. 그것은 이렇다. 금화조는 자기 울음소리를 기능적 범주로 다루는 것으로 보이며, 그 범주 가운데 일부는 이 실험의 제한적이고 검증 가능한 의미에서 마치 의미를 담고 있는 것처럼 행동한다.

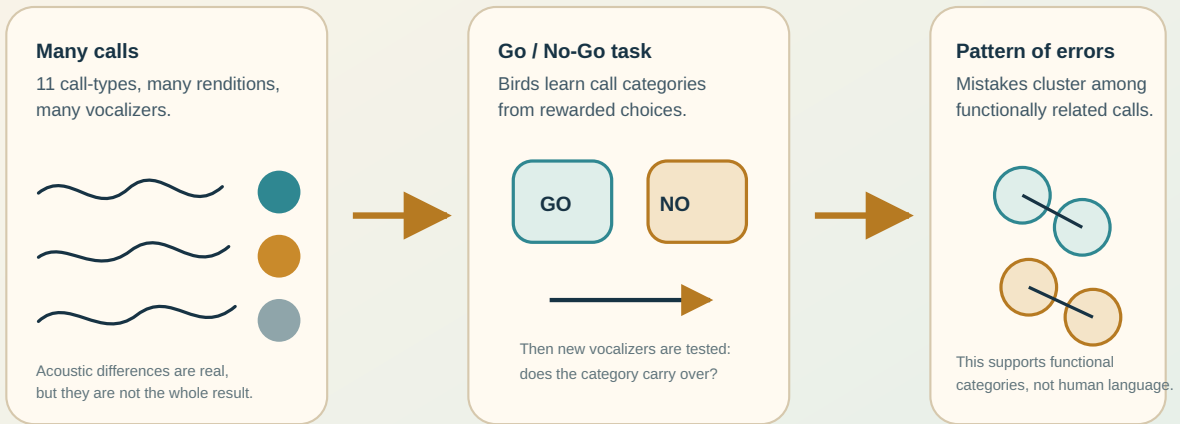


금화조 (*Taeniopygia guttata*) 는 다양한 울음소리 레퍼토리를 지닌 매우 사회적인 명금류로, 이 덕분에 동물이 발성 신호를 어떻게 범주화하는지 연구하는 유용한 모델이 된다.

Christoph Moning / iNaturalist CC BY 4.0

Meaning here is operational

Call categories are tested by behaviour, not by reading a bird's mind.



증거의 흐름을 보여 주는 개념도. 11 가지 울음 유형의 여러 발성 사례를 Go/No-Go 변별 과제에 제시했다. 핵심 결과는 새들이 범주를 새로운 발성자에게도 일반화했고, 실수의 양상도 단순한 음향적 유사성보다 울음소리의 기능에 더 가깝게 묶였다는 것이다.

The Clean Paper CC BY 4.0

저자들이 검증한 것

저자들은 금화조 레퍼토리에 대한 기존의 동물행동학적 지도에서 출발했다. 이 종은 대략 **11 가지의 행동 목록 (ethogram) 기반 울음 유형**을 가진다. 접촉, 짝 결속과 등지 행동, 경계, 공격 또는 비친화적 행동, 구걸, 그리고 수컷의 노래와 연관된 울음소리들이다.

이 분류는 인간이 만든 것이다. 이는 음향적 특징, 소리가 만들어지는 맥락, 그리고 그 소리가 사회적 상황에서 일반적으로 수행하는 기능을 함께 고려한다. 그러나 인간이 만든 행동목록이 곧바로 동물의 정신적 지도가 되는 것은 아니다. 이 연구는 서로 연결된 세 가지 질문을 던진다.

첫째, 금화조는 그 모든 울음 유형을 변별할 수 있는가?

둘째, 이들은 개별 사례를 단순히 외우는 것이 아니라, 이전에 들어 본 적 없는 발성자에게로 울음 유형 범주를 일반화하는가?

셋째, 이들이 실수를 저지를 때 그 실수는 음향적 유사성만을 따르는가, 아니면 울음소리의 행동적 의미도 따르는가?

핵심은, 이 실험이 새에게 울음소리가 무엇을 뜻하는지 설명하라고 요구하지 않는다는 점이다. 이 실험은 통제된 과제에서 새의 행동이 범주와 의미의 통계적 흔적을 지니는지를 묻는다.

실험은 어떻게 작동하는가

이 논문에서는 세 가지 용어가 큰 무게를 지닌다.

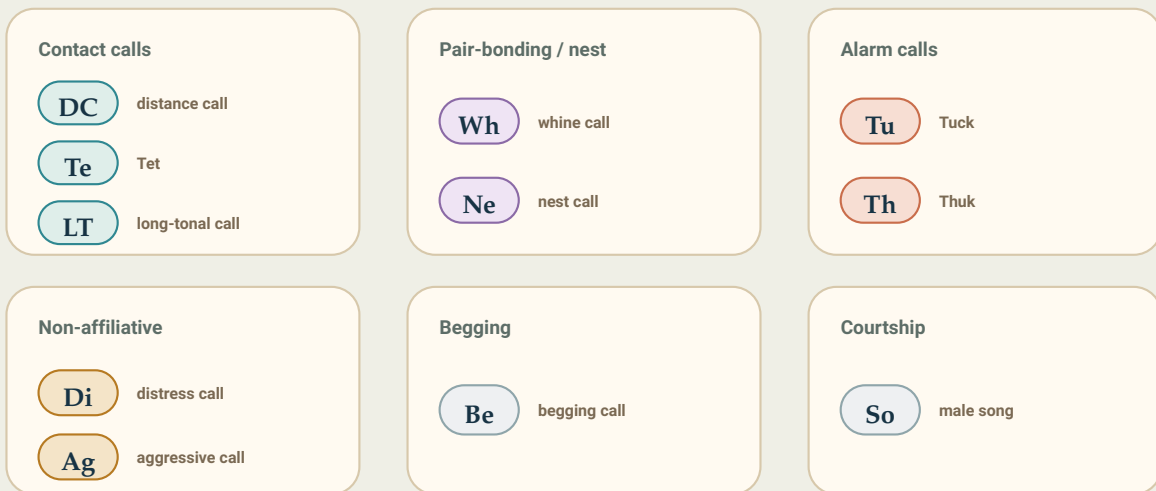
울음 유형은 금화조 소리의 한 범주다. 이 논문은 **행동목록 기반** 울음 유형을 사용하는데, 이는 행동 목록에서 물려받은 범주, 즉 소리가 어떤 음향적 형태를 띠는지, 새들이 언제 그 소리를 내는지, 그리고 그 소리가 어떤 사회적 상황에 속하는지를 뜻한다. **발성자 (vocalizer)**는 단순히 녹음된 울음소리를 낸 개별 새를 말한다. **음향적 형태**는 측정 가능한 소리 패턴이고, **행동적 기능**은 그 울음소리가 보통 어디에 쓰이는지를 말한다.

논문에서 검증한 11 가지 울음 유형은 추상적인 이름표가 아니다. 이는 저자들이 새들에게 변별하도록 요구한 레퍼토리다.

- **접촉 울음소리:** 원거리 울음소리 (distance call, DC), Tet(Te), 긴 순음 울음소리 (long-tonal call, LT).
- **짝 결속과 둥지 행동:** 낑낑 울음소리 (whine call, Wh), 둥지 울음소리 (nest call, Ne).
- **경계 울음소리:** Tuck(Tu), Thuk(Th).
- **비친화적 울음소리:** 고통 울음소리 (distress call, Di), 공격 울음소리 (aggressive call, Ag).
- **구걸:** 구걸 울음소리 (begging call, Be).
- **구애:** 수컷의 노래 (male song, So).

The 11 call-types are concrete categories

The paper asks whether zebra finches sort these calls the way ethologists do.



These are ethogram-based labels: categories from sound shape plus social context, not human words.

논문에서 검증한 11 가지 울음 유형을 넓은 사회적 기능에 따라 묶은 것. 이 이름표들은 원 논문에서 가져온 행동목록 기반 범주다. 이것들은 '단어'가 아니지만, 독자에게 새들이 변별해야 했던 구체적인 레퍼토리를 보여 준다.

The Clean Paper CC BY 4.0

주된 과제는 **Go/No-Go 청각 변별**이었다. 새는 불이 켜진 키를 쏘아 6 초짜리 재생을 시작했다. 보상되는

울음소리에서는 기다리는 것이 옳은 행동이었다. 소리가 끝난 뒤 먹이통이 올라오고 새는 씨앗을 얻었다. 보상되지 않는 울음소리에서는 기다려 봐야 아무 일도 일어나지 않았다. 효율적인 행동은 재생 중에 다시 쪼아 소리를 중단시키고 다른 시행을 시작하는 것이었다. 따라서 새가 소리를 중단시키는 행동은, 그 새가 어떤 소리를 '보상되는 범주가 아닌 것'으로 다루는지를 드러낸다.

각 검사에서 한 가지 울음 유형이 보상되고 나머지 열 가지는 보상되지 않았다. 그런 다음 저자들은 보상되는 울음 유형을 바꿔 가며 레퍼토리 전체를 훑었다. 또한 여러 발성자가 낸 여러 발성 사례를 사용했고, 똑같이 반복되는 경우는 거의 없었다. 이것이 중요하다. 새는 녹음 하나를 단순히 외울 수 없었다. 잘 해내려면, 서로 다른 새들의 목소리와 서로 다른 사례에 걸쳐 무엇이 그 울음 유형에 해당하는지를 배워야 했다.

뒤에 나오는 '지각 공간'은 뇌 스캔이나 동물 안에 실제로 있는 지도가 아니다. 그것은 실수로부터 추론한 지도다. 두 울음 유형이 자주 혼동되면, 그 둘은 이 행동적 지도 안에서 더 가까이 놓인다. 저자들은 이를 소리 특징만으로 만든 음향 지도와 비교한다. 이 주장은 새들의 오류 지도가 단지 비슷한 소리 쪽으로가 아니라 울음소리의 기능 쪽으로 끌려갈 때에만 흥미로워진다.

저자들이 발견한 것

새들은 레퍼토리 전체를 변별할 수 있었다. 다 자란 금화조 12 마리, 즉 수컷 6 마리와 암컷 6 마리가 11 가지 울음 유형에 걸쳐 검사받았다. 거의 모든 검사가 성공했다. 울음 유형 변별 검사 **131 건 중 127 건**이 유의미했다. 실패한 소수의 경우는 특정 새와 특정 울음 유형과 관련되어 있었고, 전체적인 양상은 모든 울음 유형이 우연 수준을 넘어 변별되었다는 것이다.

중요한 점은 이 레퍼토리가 서로 또렷이 분리된 소리들의 단순한 집합이 아니라는 것이다. 어떤 울음 유형들은 음향적으로 서로 뭉쳐 있고, 다른 것들은 서로 이어지며 넘나든다. 그런데도 새들은 그 범주들을 배웠다.

이들은 범주를 새로운 발성자에게로 일반화했다. 두 번째 실험에서 새들은 소수의 발성자로부터 두 가지 울음 유형을 변별하도록 배웠다. 다음 날, 같은 보상 규칙으로 새로운 발성자들이 추가되었다. 새들은 보상 피드백을 통해 모든 새로운 사례를 배웠을 리 없는 검사 초반에 그 새로운 울음소리들을 올바르게 분류했다. 이는 개별 소리를 단순히 외운 것이 아니라 울음 유형에 대한 범주적 지각을 뒷받침한다.

범주는 새로운 보상 규칙을 압도할 수 있었다. 가장 강력한 행동상의 반전은 저자들이 과제를 불일치 (incongruent) 조건으로 만들었을 때 나타났다. 새로운 발성자의 울음소리에는, 새들이 그 울음 유형에 대해 배웠던 것과 반대되는 보상 규칙이 부여되었다. 만약 새들이 새로운 음향 사례를 그대로 따랐다면 곧바로 적응해야 한다. 그런데 초기 반응은 앞서 배운 울음 유형 범주를 따랐고, 그 결과 체계적으로 잘못된 보상 판단을 내놓았다. 하루가 지나면서 새들은 이 임의의 새로운 규칙을 천천히 배워 나갔다. 이는 자연적인 울음 유형 범주가 새 규칙의 학습을 방해할 만큼 충분히 확고하게 형성되어 있었다면 정확히 예상할 수 있는 결과다.

실수는 단지 음향적인 것만이 아니었다. 저자들은 울음소리들 사이의 분류기 혼동으로 만든 음향 공간과, 새들의 행동적 오류로 만든 지각 공간을 비교했다. 두 공간은 서로 관련이 있었다. 소리는 여전히 중요했다. 그러나 같은 행동적 또는 의미적 상위 범주에 속하는 울음 유형들은 음향 공간에서보다 새들의 지각 공간에서 서로 더 가까이 있었다. 논문은 이를 **의미 자석 효과 (semantic magnet effect)** 라고 부른다.

수치로 보면, 의미 상위 범주에 따른 묶임은 음향 지도에서보다 지각 지도에서 약 **2.43 배 더 강했다**. 쉽게

말하면, 새들의 실수는 단지 비슷한 소리 쪽으로만이 아니라 기능적 의미 쪽으로 끌려갔다.

여기서 '의미론적'이란 무엇인가

이 부분이 가장 조심스러운 대목이다. 일상 언어에서 '의미론적'이라는 말은 금세 '단어'로 바뀐다. 이 논문이 증명하는 것은 그것이 아니다.

이 연구는 '의미론적'이라는 말을 행동적·비교인지적 의미로 사용한다. 어떤 울음 유형이 추정되는 의미를 갖는 것은, 그것이 경계, 접촉, 구걸, 공격, 짝 결속, 구애 같은 사회적 기능과 연관되어 있기 때문이다. 만약 새들이 같은 넓은 사회적 범주에 속하는 두 울음 유형을 음향이 예측하는 것보다 더 자주 혼동한다면, 이들의 지각 공간은 그 기능적 범주에 의해 형성되고 있는 것이다.

이것은 진지하게 받아들일 만한 결과다. 이는 새가 단지 스펙트로그램을 듣고 있는 것이 아님을 시사한다. 새는 종 고유의 울음소리를 행동적으로 조직된 범주로 다루고 있다.

그러나 이것은 여전히 간접적이다. 저자들은 동물의 마음을 읽을 수 없으며, 그들 스스로도 그렇게 말한다. 이들은 행동, 즉 변별과 일반화, 그리고 체계적인 오류로부터 내적 표상을 추론한다.

유용한 비유는 '새의 단어'가 아니다. 오히려 이에 가깝다. 새의 청각 체계가 울음소리들 사이의 거리를, 그 울음소리들이 무엇을 위한 것인지에 따라 일그러뜨리는 것처럼 보인다는 것이다.

이 연구가 증명하지 않는 것

- 이것은 인간과 같은 언어를 보여 주지 **않는다**. 이 결과에는 통사 구조도, 문법도, 합성적 의미도, 개방형 어휘도 없다.
- 이것은 금화조가 '단어'를 가지고 있음을 보여 주지 **않는다**. 울음 유형은 행동적 맥락에 묶인 종 고유의 발성 범주이지, 자유롭게 재조합될 수 있는 상징적 이름표가 아니다.
- 이것은 인간과의 대화나, 새와 이야기하기 위한 해독된 통로를 보여 주지 **않는다**.
- 이것은 정신 상태에 직접 접근하지 **않는다**. 의미는 새의 마음 속에서 관찰된 것이 아니라, 과제 행동과 오류 구조로부터 추론된 것이다.
- 이것은 새들이 새로운 의미를 이해했음을 보여 주지 **않는다**. 새로운 발성자에게로의 일반화는 서로 다른 개체들의 소리에 걸친 울음 유형 범주의 일반화다.
- 이것은 이 범주들이 어떻게 발달하는지를 규명하지 **않는다**. 이 연구는 다 자란 새를 검사했으며, 노출과 발달이 의미 자석 효과를 어떻게 형성하는지는 앞으로의 과제로 남아 있다.

근거는 얼마나 탄탄한가?

울음 유형의 범주적 지각에 관해서는 증거가 강하다. 이 설계는 새들에게 레퍼토리 전체를 변별하도록 요구하고, 여러 발성자가 낸 여러 발성 사례를 사용하며, 새로 들은 발성자를 울음 유형에 따라 분류하는 일반화 검사를 포함한다. 불일치 보상 조건은 특히 유용한데, 범주가 새로운 임의의 규칙을 방해할 수 있음

을 보여 주기 때문이다.

조작적 의미의 의미 지각에 관해서는 증거가 좋지만 더 추론에 의존한다. 의미 자석 효과는 단순한 비유가 아니다. 저자들은 음향적 거리 지도와 행동적 거리 지도를 비교하여, 행동적으로 관련된 울음 유형들이 음향에서보다 지각에서 더 강하게 뭉친다는 것을 발견한다. 이는 울음소리의 기능이 지각을 형성한다는 생각을 뒷받침한다.

인간과 같은 의미에 관해서는 증거가 없으며, 그럴 필요도 없다. 이 논문은 구체적인 수준에 머물러 있을 때 오히려 더 흥미롭다. 동물의 의사소통은 인간의 말을 닮았을 때에만 가치를 갖는 것이 아니다.

왜 중요한가

대중이 빠지기 쉬운 유혹은 뻔하다. 새가 울음소리를 의미 있는 것으로 듣는다면, 다음 헤드라인은 우리가 동물의 언어를 해독하고 있다고 말하려 든다. 그런 비약은 과학의 어려운 부분을 건너뛰는 것이다.

조심스러운 결과가 더 낫다. 이 결과는 연구자들이 동물의 마음을 번역하는 척하지 않으면서도 '의미'를 검증할 수 있는 방법을 보여 준다. 이들은 동물이 인간 연구자가 나눈 범주를 실제로 구분하는지 물을 수 있다. 새로운 사례가 범주에 따라 분류되는지 물을 수 있다. 오류가 음향적 유사성을 따르는지 아니면 사회적 기능을 따르는지 물을 수 있다. 이렇게 하면 오래된 질문, 즉 '동물의 울음소리는 그 동물 자신에게 무언가를 의미하는가?'를 더 정밀하게 실험할 수 있다.

또 인간에게만 언어가 있고 다른 동물의 소리는 그저 소음이라는 식의 단순한 서열에서도 벗어나게 한다. 금화조는 작고 종고유한 발성 레퍼토리를 가진다. 이 연구는 그 레퍼토리 안에서 새들이 사회적 쓰임에 묶인 구조화된 범주를 지각한다는 것을 시사한다. 그것은 우리의 언어가 아니다. 그것은 그들 자신의 방식으로 검증된, 그들의 의사소통 체계다.

핵심 요약

《Science》에 실린 한 연구는 다 자란 금화조를 대상으로, 이들의 발성 레퍼토리에 있는 11 가지 울음 유형을 검사했다. 청각 Go/No-Go 과제에서 새들은 모든 울음 유형을 변별했고, 학습한 범주를 새로운 발성자의 울음소리로 일반화했으며, 불일치 조건에서는 그것이 잘못된 보상 판단으로 이어질 때조차 처음에는 울음 유형 범주를 따랐다. 이어서 저자들은 음향적 유사성과 행동적 오류를 비교하여, 비슷한 사회적 맥락에서 쓰이는 울음 유형들이 음향 공간에서보다 새들의 지각 공간에서 더 강하게 뭉친다는 것을 발견했다. 이는 범주적 지각과 조작적 형태의 의미 지각을 뒷받침한다. 새들은 자기 울음소리를 소리만이 아니라 기능적 범주에 따라 조직하는 것으로 보인다. 이것은 인간과 같은 언어나 통사 구조, 단어, 정신 상태에 대한 직접적 접근, 또는 새와의 대화를 보여 주지 않는다.

과장 없이 보면

논문이 보여 주는 것: 다 자란 금화조는 자기 레퍼토리의 11 가지 행동목록 기반 울음 유형을 변별할 수 있다. 이들은 울음 유형 범주를 새로운 발성자에게로 일반화한다. 그리고 이들의 체계적인 오류는 음향적 유사성만을 넘어 행동적 또는 의미적 범주에 의해 형성된다.

그렇듯하지만 증명되지 않은 것: 금화조가 울음소리 의미에 대한 내적 표상을 가진다는 것, 행동상의 ‘의미 자석’ 효과의 바탕에 그와 유사한 신경 지도가 있다는 것, 발달과 노출이 다른 학습된 지각 범주와 유사한 방식으로 이 범주들을 형성한다는 것.

보여 주지 않는 것: 인간과 같은 언어, 문법, 개방형 어휘, 인간적 의미의 상징적 지시, 주관적 정신 상태에 대한 직접적 증거, 인간이 금화조와 이야기할 방법.

주요 한계: 이 연구는 자연 상태의 야외 상호작용이 아니라 **다 자란 새 12 마리**를 대상으로 한 실험실의 조작적 조건형성 과제를 사용한다. ‘의미론적’이라는 것은 행동과 오류 구조로부터 추론된 것이다. 발달의 문제는 여전히 열려 있다. 이 결과는 유연한 합성적 언어가 아니라, 고정된 종 고유의 레퍼토리에 관한 것이다.

일반 독자는 어느 정도 확신을 가져야 하는가? 금화조가 이 과제에서 자기 울음 유형을 범주화하고 변별할 수 있다는 점은 높은 확신을 가져도 좋다. 이들의 오류가 음향적 유사성만이 아니라 기능적 범주를 반영한다는 점은 상당한 확신을 가질 만하다. 이것이 인간적 의미의 새 언어에 대한 증거라는 점은 낮은 확신에 머물러야 한다. 적절한 태도는 이렇다. 이것은 의미 있는 발성 범주에 관한 강력한 동물인지 연구 결과이지, 동물과 대화하게 된 ‘두리틀 박사’의 순간이 아니다.

출처

Science 389, 1210-1215 (2025)

<https://doi.org/10.1126/science.ads8482>

Author manuscript in PMC —PMCID PMC12721838

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12721838/>

Behavioral data and analysis code —Zenodo

<https://zenodo.org/records/13623969>

Zebra finch acoustical database —Figshare

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11905533.v1>