



The CLEAN PAPER

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

뉴멕시코 화석 기록이 공룡의 마지막 장을 더 복잡하게 만든다

Science 연구가 뉴멕시코 나쇼비토 층원의 연대를 소행성 충돌 전 마지막 수십만 년으로 다시 좁혔다. 백악기 말 공룡에 대한 가장 좋은 증거 대부분이 더 북쪽에서 나오기 때문에 중요하다. 새로운 남부 기록은 서부 북아메리카가 마지막까지 하나의 균일하고 쇠퇴하는 공동체가 아니라 지역별로 다른 공룡 동물상을 유지했음을 시사한다. 전 세계 모든 공룡 생태계가 충돌 전까지 번성했다는 증명은 아니다. 지역 화석 기록 하나가 전 지구 이야기를 지나치게 매끈하게 만들 수 있음을 보여준다.

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

Paper: *Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality*, Andrew G. Flynn, Stephen L. Brusatte, Alfio Alessandro Chiarenza, Jorge García-Giron, Adam J. Davis, C. Will Fenley IV, Caitlin E. Leslie, Ross Secord, Sarah Shelley, Anne Weil, Matthew T. Heizler, Thomas E. Williamson, and Daniel J. Peppe, *Science* 390, 400-404 (2025) · DOI: 10.1126/science.adw3282

마지막에 가까운 남쪽의 증인

마지막 공룡 이야기는 흔히 북부 대평원을 통해 전해진다. 몬태나, 다코타, 헬크리크의 세계다. 그 기록은 익숙해질 만큼 좋고, 익숙함은 종종 자신을 완전함으로 위장한다. 역사가 우리를 위해 친절하게 서류를 정리해 둔 것이 아니므로 화석은 고르게 분포하지 않는다.

새로운 *Science* 논문은 남쪽의 증인을 하나 추가한다. 연구진은 뉴멕시코 산후안 분지의 나쇼이비토 층원(Naashoibito Member)을 연구했다. 화석을 품은 이 암석 단위의 연대는 수십 년 동안 논쟁거리였다. 화석이 더 오래됐다면 소행성 충돌 직전의 마지막 순간에 대해 거의 말해주지 못한다. 반대로 백악기 아주 말기의 것이라면 의미가 크다.

논문의 답은 두 번째다. 새로운 지질연대학과 자기층서학을 이용해 연구팀은 나쇼이비토 층원의 주요 공룡 화석층이 백악기-고제 3기(K-Pg) 경계에서 약 **34만 년 이내**에 놓인다고 주장한다. 이는 뉴멕시코의 공룡을 '마지막'에 충분히 가깝게 놓아 오래된 질문에 말을 보탬 수 있게 한다. 소행성 충돌 전부터 공룡이 긴 쇠퇴 중이었는가, 아니면 많은 생태계가 충돌이 닥칠 때까지 지역적으로 다양한 상태였는가?

신중한 답은 '공룡은 모두 잘 지내다가 쿵 하고 끝났다'가 아니다. 문장 리듬은 좋지만 과학적 예의가 나쁘다. 더 좁고 유용한 답은 이렇다. 서부 북아메리카에서 연대가 잘 정해진 남부 기록은, 후기 공룡 동물상이 모든 곳에서 동시에 다양성을 잃으며 사라지는 하나의 공동체가 아니라 여전히 지역별로 구별되는 공동체였다는 그림을 지지한다.

그것이면 충분하다. 더 요란한 모자를 씌울 필요가 없다.



뉴멕시코의 Bisti/De-Na-Zin Wilderness. 더 넓은 산후안 분지 지역의 배드랜즈 경관이다. 이 이미지는 맥락을 위한

것이며 *Science* 논문의 증거가 아니다. 연구의 주장은 풍경이 아니라 연대가 정해진 화석층에 기반한다.

Bob Wick / BLM California CC BY 2.0

여기서 '34 만 년 이내'란 무엇을 뜻할까?

소행성 충돌과 백악기-고제 3 기 경계의 연대는 약 **6605 만 2 천 년 전**으로 정해져 있다. 문제는 화석이 들어 있는 암석이 이 선에서 어디에 놓이는가다.

저자들은 공룡 뼈 자체를 직접 연대측정하고 끝내지 않았다. 나쇼이비토 단면의 사암에서 나온 화산 기원 광물 입자, 특히 사니딘을 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ **지질연대학**으로 측정하고, 이를 암석에 기록된 지구 자기장 역전 기록인 **자기층서학**과 결합했다.

간단히 말하면 한 시료는 최대 퇴적 연대가 **6687 ± 4 만 년 전**, 다른 공룡 화석층 시료는 **6638 ± 8 만 년 전**이며, 자기 패턴은 단면 상부를 백악기의 마지막 역자극 구간에 놓는다. 이 제약들을 합치면 주요 공룡 화석층은 K-Pg 경계에 매우 가까워진다. 초시계가 아니라 지질학적 시계지만, 논쟁을 바꾸기에는 충분히 가깝다.

연구진이 한 일

연구팀은 서로를 필요로 하는 두 종류의 작업을 결합했다. 먼저 나쇼이비토 층원의 연대를 좁혔다. 이 단위는 더 오래된 캄파니아기 암석 위, 초기 팔레오세 암석 아래에 있지만 정확한 연대는 논쟁적이었다. 과거 해석 중 일부는 약 7000 만 ~6900 만 년 전으로 놓았고, 다른 해석은 백악기 최말기라고 주장했으며, 일부 주장은 기록 일부를 팔레오세까지 밀어 넣기도 했다. 저자들은 지층 단면을 측정하고 공룡 화석 산지를 시료 채취했으며, 쇠설성 사니딘 입자를 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 방법으로 연대측정하고 알려진 자기극성 구간과 단면을 연결했다.

두 번째로 이 동물상이 주변 맥락에서 어떤 모습이었는지 물었다. 캄파니아기, 마스트리흐트기, 초기 팔레오세에 걸친 서부 북아메리카의 육상·담수 척추동물 출현 데이터를 모으고, 생태학·생물지리학 방법으로 동물상이 지역별로 달랐는지 균일했는지 시험했다. 핵심 개념은 **지방성 (provinciality)** 이다. 같은 동물이 어디에나 있는 것이 아니라 각 지역이 서로 다른 공동체를 갖는지 보는 것이다.

이는 후기 공룡사에 대한 한 설명이 마스트리흐트기에 서부 북아메리카가 더 균질해져 지역 차이가 줄고 보다 범지역적인 동물상이 됐다고 보기 때문에 중요하다. 더 균일하고 다양성이 낮은 체계라면 소행성 충돌 전부터 취약했다고 상상하기 쉽다. 지역 구조가 남아 있었다면 이야기는 달라진다.

무엇을 발견했나

핵심은 연대다. 공룡을 포함한 나쇼이비토 시료 두 개가 후기 마스트리흐트기 제약을 제공한다. 사암 시료 H08-Sand-08 의 최대 퇴적 연대는 **6687 ± 4 만 년 전**이었다. 부분적인 람베오사우루스아과 하드로사우루스 골격이 나온 '34-Bone Site' 시료는 최대 퇴적 연대가 **6638 ± 8 만 년 전**이었다. 자기극성 기록과 결합해 저자들은 주요 나쇼이비토 공룡 화석층을 K-Pg 경계에서 약 **34 만 년 이내**로 배치한다.

이렇게 되면 산후안 분지 기록은 더 북쪽의 잘 알려진 헬크리크 동물상과 대체로 동시대가 된다. 또한 나쇼

이비토 공룡과 가장 초기 팔레오세의 Nacimiento 동물상 사이에는 약 **70 만 년**이 놓인다. 비조류 공룡을 멸종 경계의 잘못된 쪽에 실수로 놓고 싶지는 않기 때문에 중요한 차이이다. 지저분할 뿐 아니라 틀린 일이기도 하다.

생태학적 결과가 나머지 절반이다. 저자들이 분석한 백악기 최말기 구간에서 서부 북아메리카에는 **두 개의 생물지리적 지방 (bioprovince)** 이 있었다는 증거가 나왔다. 공룡만 따로 분석해도 연구가 다른 백악기 최말기의 모든 시간 구간에서 두 지방으로 나뉘었다. 논문은 이런 지역 차이가 소행성 충돌 전에 하나의 균일한 동물상으로 단순히 붕괴하지 않았다고 주장한다.

그 원인은 단순한 남북 경계선만은 아니었다. 분석은 백악기 지방 구조를 형성한 주된 요인으로 **온도**를 가리키며, 지리는 부차적 역할을 한다. 더 따뜻한 남부 지역은 용각류 같은 일부 동물에게 유리했을 수 있고, 더 서늘한 북부는 하드로사우루스아과 같은 다른 동물에게 유리했을 수 있다. 핵심은 모든 지방이 다른 곳보다 '건강했다' 는 것이 아니다. 백악기 말의 지도에 여전히 구조가 남아 있었다는 것이다.

이 연구가 증명하지 않는 것

- 전 세계 모든 공룡이 소행성 충돌 전까지 번성했다는 것을 **증명하지 않는다**. 저자들도 이것이 여전히 주로 북아메리카의 그림임을 분명히 한다.
- 일부 집단·지역·분석에서 나타나는 쇠퇴 증거를 **지우지 않는다**. 지나치게 매끈한 대륙 전체의 쇠퇴 이야기에 반대하는 것이지 멸종 전 스트레스의 모든 형태를 부정하는 것이 아니다.
- 소행성이 중요하지 않았다는 것을 **보여주지 않는다**. 충돌은 여전히 경계에서 핵심 사건이며, 이 논문은 어떤 종류의 생태계가 그 충돌을 맞았는지를 묻는다.
- 뉴멕시코를 전 지구를 보여주는 완벽한 창으로 **바꾸지 않는다**. 북부 산지가 지배하던 기록에 빠져 있던 남부 자료점을 추가한다.
- '충돌 전까지 번성했다' 를 안전한 제목으로 **만들지 않는다**. 그것은 가장 넓게 부풀린 주장이지 가장 깨끗한 결과가 아니다.

근거는 얼마나 탄탄한가?

나쇼이비토 공룡 화석층의 연대에 대해서는 본문 증거가 의미를 바꾸기에 충분히 강하다. 연구진은 쇄설성 사니딘의 방사성동위원소 연대와 자기층서학을 결합했고, 핵심 연대는 백악기 최말기 해석과 맞는다. 이 논문은 화석이 훨씬 오래된 것인지, 백악기 최말기인지, 심지어 팔레오세인지에 관한 과거 논쟁도 직접 다룬다.

다만 기술적 주의점은 남아 있다. 상세 지질연대학, 자기 해석, 데이터 표는 *Science* 보충자료에 있다. 본문은 필요한 주장과 숫자를 제공하지만 모든 방법론 세부사항을 달린 문제로 취급하기 전 최종 출판 단계에서 보충자료를 다시 확인하는 것이 좋다.

더 넓은 생태학적 주장에는 증거가 유용하고 시사적이지만 모델 의존성이 더 크다. 저자들은 출현 데이터셋, 군집화, 재표본화를 이용해 생물지리 지방을 추론한다. 질문에 맞는 도구지만 결과는 화석 표본 편향, 분류학적 배정, 시간 구간 나누기, '발견되지 않음' 을 처리하는 방식에 영향을 받는다. 화석 기록은 빠진 이빨이 있는 데이터다.

따라서 가장 안전한 해석은 나누어서 하는 것이다. 뉴멕시코 기록은 실제로 중요하고 백악기 말에 가까운 남부 기록이다. 서부 북아메리카가 마지막까지 지역 동물상 구조를 유지했다는 결론은 저자들의 분석으로 잘 뒷받침된다. 여기서 전 세계 공룡의 건강 상태로 뛰어넘는 것은 피해야 한다.

왜 중요한가

공룡 쇠퇴에 대한 오래된 논쟁은 공룡만의 이야기가 아니다. **하나의 화석 기록이 얼마나 큰 이야기를 대신 할 수 있는가**에 관한 문제이기도 하다.

백악기 말의 가장 좋은 기록이 북부 대평원에서 나온다면, 그 기록으로 대륙을 대표하고 다시 그 대륙으로 세계를 대표하고 싶은 유혹이 생긴다. 효율적이다. 동시에 지역 패턴이 표 없이 엘리베이터를 타고 전 지구적 이야기로 올라가는 방법이기도 하다.

뉴멕시코 결과는 이야기를 덜 매끈하게 만든다. 남쪽을 보라고 말한다. 경계 가까이에 공룡 화석층이 있고, 북쪽을 단순 복제하지 않는 동물상이 있으며, 마지막 시기까지 온도와 지역 생태가 중요했다는 증거가 있다.

그렇다고 소행성 충돌이 덜 재앙적이 되는 것은 아니다. 오히려 재앙의 윤곽이 더 선명해진다. 충돌은 하나로 단순화된 생태계의 끝에 온 것이 아니라, 여전히 각자의 구성을 가진 여러 지역 세계를 덮쳤다.

더 조용한 교훈도 있다. 좋은 연대측정은 서사를 바꾼다. 확실한 연대가 없는 화석군은 '빠가 붙은 소문'이 되기 쉽다. 시간표의 올바른 자리에 놓이면 같은 화석이 증거가 된다.

핵심 요약

Science 연구는 오랫동안 연대가 논쟁적이었던 뉴멕시코의 공룡 화석층 나쇼이비토 층원을 다시 분석했다. 쇄설성 사니딘 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정과 자기층서학을 이용해 주요 공룡 화석층을 백악기-고제 3기 경계에서 약 34만 년 이내로 제약했다. 따라서 이 공룡들은 북아메리카에서 알려진 가장 마지막 비조류 공룡들 가운데 하나이며, 더 북쪽의 헬크리크 동물상과 대체로 동시대다. 이어 연구진은 서부 북아메리카 척추동물 출현 자료를 생태학·생물지리학적으로 분석해 백악기 말에도 지역 구조가 남아 있었다고 주장한다. 공룡은 두 개의 생물지리 지방으로 나뉘었고 온도가 이런 차이의 중요한 동력으로 보인다. 결과는 하나의 저 다양성 공룡 동물상이 대륙 전체에서 균일하게 쇠퇴했다는 단순한 그림에 제동을 건다. 전 세계 공룡이 건 강했다거나 모든 쇠퇴 논쟁을 해결했다거나 마지막 순간까지 모든 공룡이 번성했다는 증거는 아니다. 더 좋은 연대를 가진 남부 기록이 북아메리카의 마지막 장을 더 지역적이고 구조적이며 덜 매끈하게 만든다는 것이 핵심이다.

과장 없이 보면

논문이 보여주는 것: 뉴멕시코 나쇼이비토 층원의 공룡 화석층은 백악기 최말기이며 K-Pg 경계에서 약 34만 년 이내일 가능성이 높다. 서부 북아메리카 척추동물 기록은 마지막 시기까지 지역별 생물지리 지방이

지속됐음을 지지한다.

그렇듯하지만 입증되지 않은 것: 많은 공룡 생태계가 소행성 충돌 직전까지도 견고했다는 것, 온도가 서로 다른 북부·남부 동물 세계를 유지하는 데 기여했다는 것, 단순한 대륙 전체 쇠퇴라는 오래된 이야기가 지나치게 평탄하다는 것.

보여주지 않는 것: 전 세계 공룡이 번성했다는 것, 어느 집단이나 지역도 쇠퇴하지 않았다는 것, 소행성이 주된 멸종 촉발 요인이 아니었다는 것, 뉴멕시코 하나가 전 지구 백악기 말 역사를 다시 쓴다는 것.

주요 한계: 지역적 화석 기록, 모델에 의존하는 지방성 분석, 화석 표본 편향, 그리고 상세 지질연대·출현 데이터 방법을 *Science* 보충자료와 최종 확인할 필요가 있다는 점.

일반 독자는 얼마나 신뢰해도 될까? 뉴멕시코가 중요한 백악기 말 남부 공룡 기록을 제공한다는 데에는 높은 신뢰가 적절하다. 서부 북아메리카가 마지막까지 지역 동물상 구조를 유지했다는 데에도 상당한 신뢰를 둘 수 있다. 이를 '소행성이 올 때까지 공룡은 어디서나 멀쩡했다'로 압축하는 데에는 낮은 신뢰만 두어야 한다. 실제 결과가 더 좋다. 마지막 장은 하나의 평평한 대륙 전체 이야기가 아니었다.

출처

Flynn et al., Late-surviving New Mexican dinosaurs illuminate high end-Cretaceous diversity and provinciality, *Science* 390, 400-404 (2025)
<https://doi.org/10.1126/science.adw3282>