



The CLEAN PAPER

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

新墨西哥州的化石記錄讓恐龍的最後一章更複雜

一項 *Science* 研究把新墨西哥州納阿紹伊比托段的年代重新確定在小行星撞擊前最後幾十萬年。這很重要，因為白堊紀末最好的恐龍證據大多來自更北方。新的南方記錄表明，北美洲西部臨近末日時仍存在地區各異的恐龍動物群，而不是一個統一、逐漸衰落的群落。它沒有證明世界各地的每個恐龍生態系統直到撞擊前都在繁盛，而是說明地區性化石記錄為何會讓全球故事顯得過於平滑。

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

末日將近時的南方見證

人們談起最後的恐龍，往往從北方大平原說起：蒙大拿州、達科他州，以及 Hell Creek 的世界。那裡的化石記錄已經豐富到令人熟悉；而熟悉感很容易冒充完整性。化石分布並不均勻，因為歷史從來沒有體貼到替我們整理歸檔。

一篇新的 Science 論文增添了一位南方見證者。作者研究了新墨西哥州 San Juan 盆地的 Naashoibito 段。這是一個含化石的岩層單位，其年代數十年來一直存在爭議。如果那些化石更古老，它們對小行星撞擊前最後時刻所能提供的資訊就很有限；如果它們屬於白堊紀最晚期，就會非常重要。

論文的答案是後者。研究團隊運用新的地質年代學與磁性地層學，主張 Naashoibito 段主要含恐龍層位距白堊紀—古近紀界線約 **340,000 年** 以內。這讓新墨西哥的恐龍足夠接近終點，能夠回應那個老問題：恐龍是否早已長期衰退，還是撞擊發生時，許多生態系仍保有各自的區域多樣性？

謹慎的答案並不是「恐龍全都過得很好，然後砰的一聲」。這句話節奏不錯，卻不太厚道。更精確、也更有用的答案是：在北美西部，一份年代測定可靠的南方記錄支持這樣的圖景——晚期恐龍動物群仍然具有區域差異，而不是同一個低多樣性群落同時在各地衰退。

這樣就夠了。不需要再替它戴上一頂更招搖的帽子。



Bisti/De-Na-Zin Wilderness in New Mexico，是位於廣義 San Juan 盆地區域內的一片新墨西哥州荒地景觀。這張圖提供的是背景脈絡，而非 Science 論文的證據：研究的論證建立在經過年代測定的含化石地層上，而不是風景。

這裡的「在 340,000 年以內」是什麼意思？

小行星撞擊與白堊紀—古近紀界線的年代約為 **6605.2 萬年前**。問題在於含化石岩層相對於那條界線位於何處。

作者並沒有直接替恐龍骨骼定年，然後宣布事情已經定案。他們使用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地質年代學，為 Naashoibito 剖面砂岩中的火山礦物顆粒，尤其是 sanidine，進行定年；並將這些年代與**磁性**地層學結合，也就是岩石保存下來的地球磁場反轉記錄。

簡單說：一個樣本給出的最大沉積年齡為 **66.87 ± 0.04 百萬年**，另一個含恐龍樣本給出的最大沉積年齡為 **66.38 ± 0.08 百萬年**；磁性模式則將剖面上部置於白堊紀最後一個反向極性時段。綜合這些限制條件，主要含恐龍層位非常接近界線。這是一座地質時鐘，不是秒錶，但已經足以改變這場爭論。

作者做了什麼

研究團隊結合了兩類彼此不可或缺的工作。首先，他們縮小了 Naashoibito 段的年代範圍。這個單位位於較古老的 Campanian 岩層之上、早期 Paleocene 岩層之下，但其確切年代一直有爭議：一些早期解讀將它定在約 70-69 百萬年前，另一些則主張它屬於白堊紀最晚期，甚至有少數說法把部分記錄推到了 Paleocene。作者測量剖面、在含恐龍的地點取樣，以 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 方法為碎屑 sanidine 顆粒定年，並將剖面與已知的磁極性時段對應起來。

其次，他們探討這個動物群放在整體脈絡中呈現出什麼樣貌。他們整理了北美西部橫跨 Campanian、Maastrichtian 與早期 Paleocene 的陸生及淡水脊椎動物出現資料，接著使用生態學與生物地理學方法，檢驗各動物群究竟具有區域差異，還是趨於一致。關鍵詞是**省域性**（provinciality）：不同區域是否有各自獨特的群落，而不是到處都是同一批動物。

這很重要，因為關於恐龍晚期歷史的一種說法認為，北美西部在 Maastrichtian 變得更加同質化，區域差異減少，動物群也更加廣布。一個更均一、低多樣性的系統，或許更容易被想像成在小行星來臨前就已經相當脆弱；一個具有區域結構的系統，則講述了不同的故事。

他們發現了什麼

年代測定是關鍵。兩個含恐龍的 Naashoibito 樣本都提供了晚 Maastrichtian 的年代限制。一個砂岩樣本 H08-Sand-08 得出的最大沉積年齡為 **66.87 ± 0.04 百萬年**。來自「34-Bone Site」的樣本含有一具不完整的 lambeosaurine hadrosaur 骨骼，得出的最大沉積年齡為 **66.38 ± 0.08 百萬年**。結合磁極性記錄後，作者將 Naashoibito 主要含恐龍層位定在距 K-Pg 界線約 **340,000 年以內**。

這使 San Juan 盆地的記錄與更北方、較廣為人知的 Hell Creek 動物群大致處於同一時代。它也將 Naashoibito 恐龍與最早期 Paleocene 的 Nacimiento 動物群分隔約 **700,000 年**；這很重要，因為沒有人希望不小心把非鳥類恐龍放到滅絕界線的錯誤一側。那會很不整齊，而且也是錯的。

生態學結果是另一半。作者在所分析的白堊紀最晚期各時段中，都發現北美西部存在**兩個生物省**的證據。單獨分析恐龍時，在研究涵蓋的所有白堊紀最晚期時段裡，恐龍也都分成兩個生物省。論文主

張，這些區域差異並沒有在小行星撞擊前直接崩解，匯成單一而均一的動物群。

驅動因素並不只是南北地理位置。他們的分析指出，在白堊紀，**溫度**是塑造這些生物省的主要因素，地理則扮演次要角色。較溫暖的南方區域可能有利於某些動物，例如蜥腳類；較涼爽的北方區域則有利於另一些動物，例如 *hadrosaurines*。重點不是每個生物省都比其他省更健康，而是白堊紀晚期的版圖仍有其結構。

這並不證明什麼

- 這不證明地球各處的恐龍都一直繁盛到小行星撞擊。作者明確指出，這仍主要是一幅北美圖景。
- 這不抹去某些類群、區域或分析中顯示衰退的證據。它反駁的是過度平滑的全大陸敘事，而不是所有可能的滅絕前壓力說法。
- 這不表示小行星不重要。撞擊仍是界線上的主要事件；這篇論文問的是，遭受撞擊的是什麼樣的生態系。
- 這不會把新墨西哥變成觀察整個地球的完美窗口。它補上了一個南方資料點，而過去的記錄主要來自北方地點。
- 這不代表「繁盛直到撞擊」可以放心拿來當標題。那是範圍最寬泛的主張，並非最準確呈現研究結果的說法。

證據有多強？

就 Naashoibito 含恐龍層位的年代而言，正文證據已經足以讓這項結果受到重視。作者將碎屑 *sanidine* 顆粒的放射性同位素年代與磁性地層學結合，而關鍵年代與白堊紀最晚期的解讀相互吻合。論文也直接處理了較早的爭議：這些化石究竟古老得多、屬於白堊紀最晚期，還是甚至屬於 *Paleocene*。

但仍有一項技術上的保留。詳細的地質年代學、磁性解讀與資料表位於 *Science* 補充材料中。論文正文提供了必要的主張和數字，但在把每一項方法細節視為已經定案之前，出版前的最後檢查仍應查閱補充材料。

至於更廣泛的生態學主張，證據具有啟發性且很有用，但更依賴模型。作者運用出現資料集、聚類與重抽樣來推斷生物省。這是適合用來處理該問題的工具，但也表示結果取決於化石取樣、分類學歸屬、時間分箱，以及如何處理未出現的記錄。化石記錄是會缺牙的資料。

因此，最穩妥的解讀需要分開來看：新墨西哥記錄是一份真實而重要的白堊紀晚期南方記錄；北美西部在接近終點時仍保有區域動物群結構的結論，得到作者分析的充分支持；但不應從這裡直接跳到對全球恐龍健康狀況的判斷。

為什麼重要

關於恐龍衰退的老爭論，不只是恐龍的問題。它關乎一份化石記錄究竟能承載多大的分量。

如果最完整的白堊紀末期記錄來自北方大平原，人們很容易讓那份記錄代表整個大陸，再讓整個大陸代表全世界。這很有效率。但這也是區域模式如何搭電梯、沒買票就變成全球故事的方式。

新墨西哥的結果讓故事不再那麼平滑。它說：往南看。這裡有一個接近界線的含恐龍單位。這裡的動物群並不只是北方動物群的翻版。這裡有證據顯示，即使到了最後階段，溫度與區域生態仍然重要。

這不會讓小行星顯得沒那麼具災難性。若真要說，反而讓災難顯得更加鮮明。撞擊並不是發生在一個已被簡化的單一生態系末期；它撞上的是一組仍各有自身格局的區域世界。

這篇論文還有一個更安靜的教訓。可靠的定年會改變敘事。一個沒有可靠年代的化石群，可以變成一則長著骨頭的傳聞。把它放到時鐘上正確的位置，同一批化石就成了證據。

重點摘要

一項 Science 研究重新檢視了新墨西哥州的 Naashoibito 段，這是一個年代長期存在爭議的含恐龍單位。作者運用碎屑 sanidine $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年與磁性地層學，將主要含恐龍層位限制在距白堊紀—古近紀界線約 340,000 年以內，使其成為北美已知最晚的非鳥類恐龍記錄之一，並與更北方的 Hell Creek 動物群大致處於同一時代。接著，他們分析北美西部脊椎動物出現資料的生態與生物地理特徵，主張白堊紀晚期動物群仍保有區域結構：恐龍分成兩個生物省，而溫度似乎是造成這些差異的重要因素。這項結果反駁了這樣的想法：一個單一、低多樣性、遍及整個大陸的恐龍動物群，在小行星撞擊前均勻衰退。它不證明全球恐龍都很健康，不解決所有衰退爭論，也不顯示所有恐龍都繁盛到最後。它顯示的是，一份年代更可靠的南方記錄，讓北美最後的故事更具區域性、更有結構，也不那麼平滑。

務實檢視

論文顯示了什麼：新墨西哥 Naashoibito 段的含恐龍層位屬於白堊紀最晚期，可能距 K-Pg 界線約 340,000 年以內；北美西部脊椎動物記錄支持接近終點時仍持續存在區域生物省。

合理但尚未證實的是什麼：許多恐龍生態系在小行星撞擊前仍然健全；溫度有助於維持北方與南方不同的動物群世界；舊有的單純全大陸衰退說法過於平滑。

它沒有顯示什麼：恐龍到處都很繁盛；沒有任何類群或區域正在衰退；小行星不是主要的滅絕觸發因素；新墨西哥單獨就改寫了白堊紀末期的全球故事。

主要限制：區域性化石記錄；依賴模型的省域性分析；化石取樣偏差；詳細的地質年代學與出現資料方法仍需對照 Science 補充材料進行最後檢查。

一般讀者應有多大信心？對於新墨西哥如今提供了一份重要的白堊紀晚期南方恐龍記錄，可以有很高信心。對於北美西部在接近終點時仍保有區域動物群結構，可以有相當高的信心。至於把這件事濃縮

成「恐龍在小行星來臨前到處都沒事」，可信度很低。真正的結果更好：最後一章並不是一個平坦而遍及整個大陸的故事。

來源

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>