

# 1924 – L'intuzione di John Joly

## The Radioactivity of the Rocks.<sup>1</sup>

By Prof. JOHN JOLY, D.Sc., F.R.S.

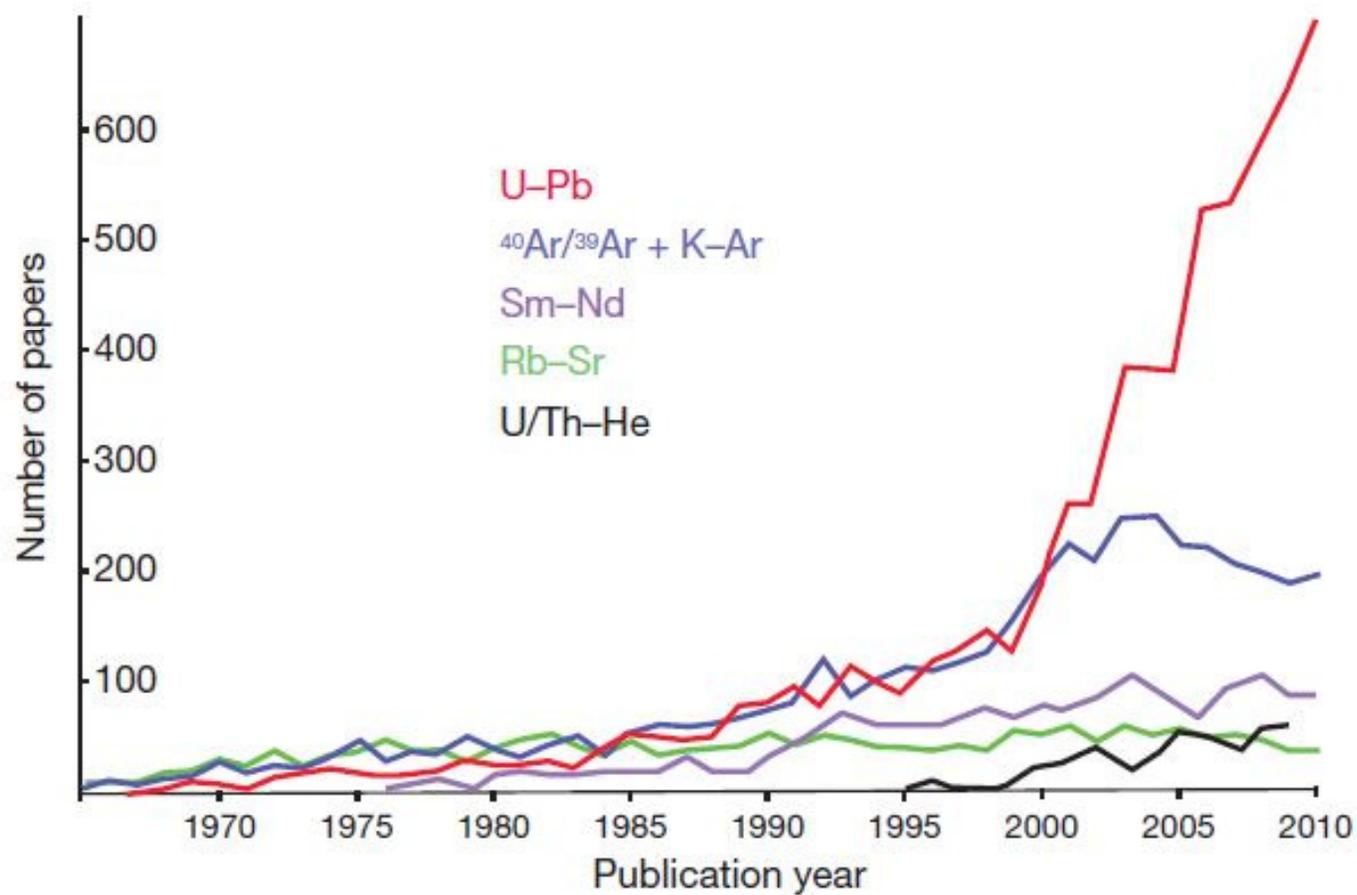
THE subject of the radioactivity of the rocks is one which offers to the geologist considerations of the first importance respecting the history of the surface features of the globe. To the chemist it offers considerations even more fundamental in character, for it appears to throw a certain amount of light on the past history of the chemical elements during geological ages—knowledge attainable in no other way at the present time.

The fact that the radioactive elements of the uranium family are widely, indeed universally, distributed in the rocks was determined, in the first instance, by the present Lord Rayleigh, who in 1906 published an extensive research on rocks of various kinds. Later it was found that elements of the thorium family are just as widely distributed; and further, it was found that there appears to be a certain well-sustained relation between the amounts of these elements present in igneous rocks when the uranium and the thorium content of the same chemical division of the rocks are compared.

active substances, uranium and thorium, then we can account for the observed constancy of ratio. For if granites, for example, take from the parent magma a certain quantity of both the parent radioactive elements without disturbing their primal ratio, and if diorites and syenites take a different quantity, but still without disturbing the original ratio, then in subsequent ages the ratio of uranium to thorium, varying in the same manner both in granites, diorites, syenites, and the mother magma, will continue to be alike in all.

This subject naturally leads us to the interesting conclusion reached by Lord Rayleigh that the first formed silicate in rocks—zircon—is most exceptionally rich in radium. We seem to know little about mineral genesis in rocks. Hence we find here a tempting field for speculation. The oxide of zirconium is isomorphous with the oxides of uranium and thorium. It seems probable that herein is some explanation of the accretion by zircon of radioactive elements from the magma. The radioactive centre thus originating becomes the centre of a minute field of intense ionisation. These

Il metodo U/Th: uno strumento di analisi in rapida ascesa....



Cosa è il metodo di datazione U/Th

E' una tecnica di datazione assoluta basata sulle proprietà di due elementi radiogenici (emettitori alfa) che hanno un'emivita di 4.470.000.000 ( $^{238}\text{U}$ ) e di 75.380 ( $^{230}\text{Th}$ ) anni

Il contenuto di uranio e di torio sono confrontati (si usa il rapporto) per ottenere una stima dell'età del campione.

Si tratta di un caso particolare di decadimento in quanto sia l'isotopo genitore che l'isotopo 'figlio' decadono nel tempo.

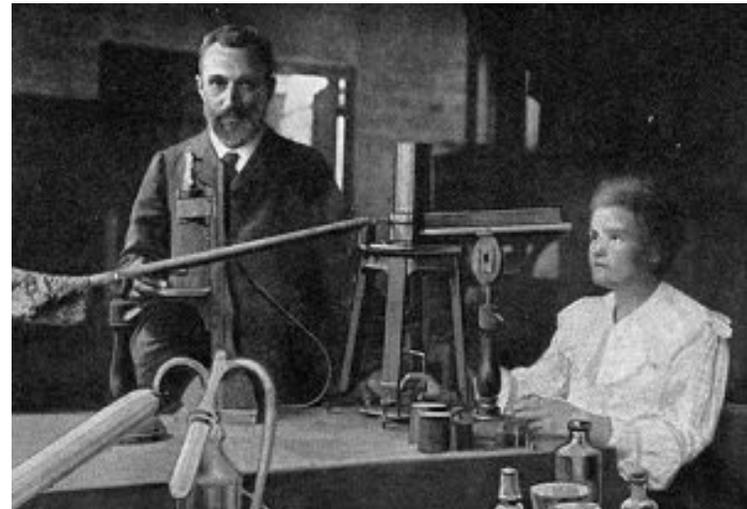
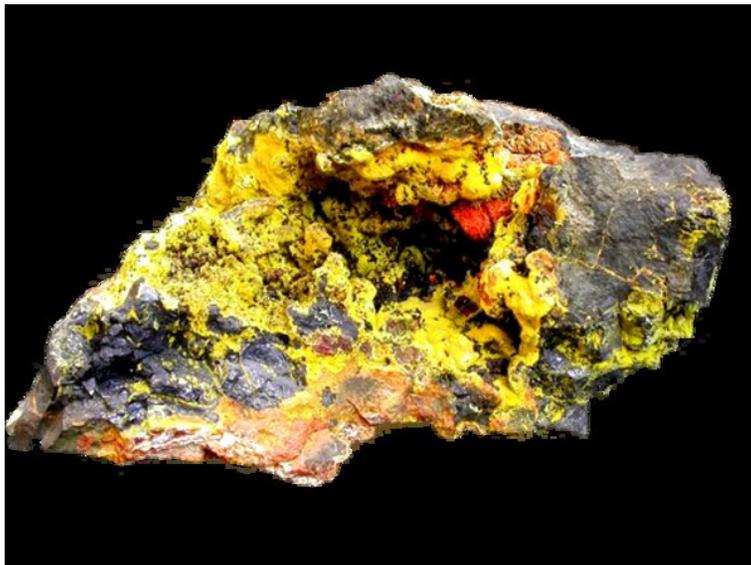
L'uranio è un metallo pesante radioattivo che ha una concentrazione media nella crosta terrestre di circa 3 mg/kg.

È un elemento litofilo (presenta in quasi tutti i tipi di rocce).

Può formare minerali propri (uraninite ( $\text{UO}_2$ ), **pechblenda** ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ), davidite  $[(\text{Fe}, \text{Ce}, \text{U})_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{V}, \text{Cr})_5\text{O}_{12}]$  oppure entrare nel reticolo cristallino di altri minerali come elemento minore (o in tracce).

Ha diversi stati di valenza (+2, +3, +4, +5 e, più comune, +6) ma si trova generalmente come uranile  $\text{UO}_2^{2+}$

Il ciclo geochimico dell'U inizia con l'alterazione delle rocce e la solubilizzazione in acque meteoriche



## Geocronologia U–Th–Pb

Il metodo di datazione U/Th (Ivanovich e Harmon, 1992) si basa sul decadimento di alcuni isotopi della “famiglia radioattiva” del  $^{238}\text{U}$

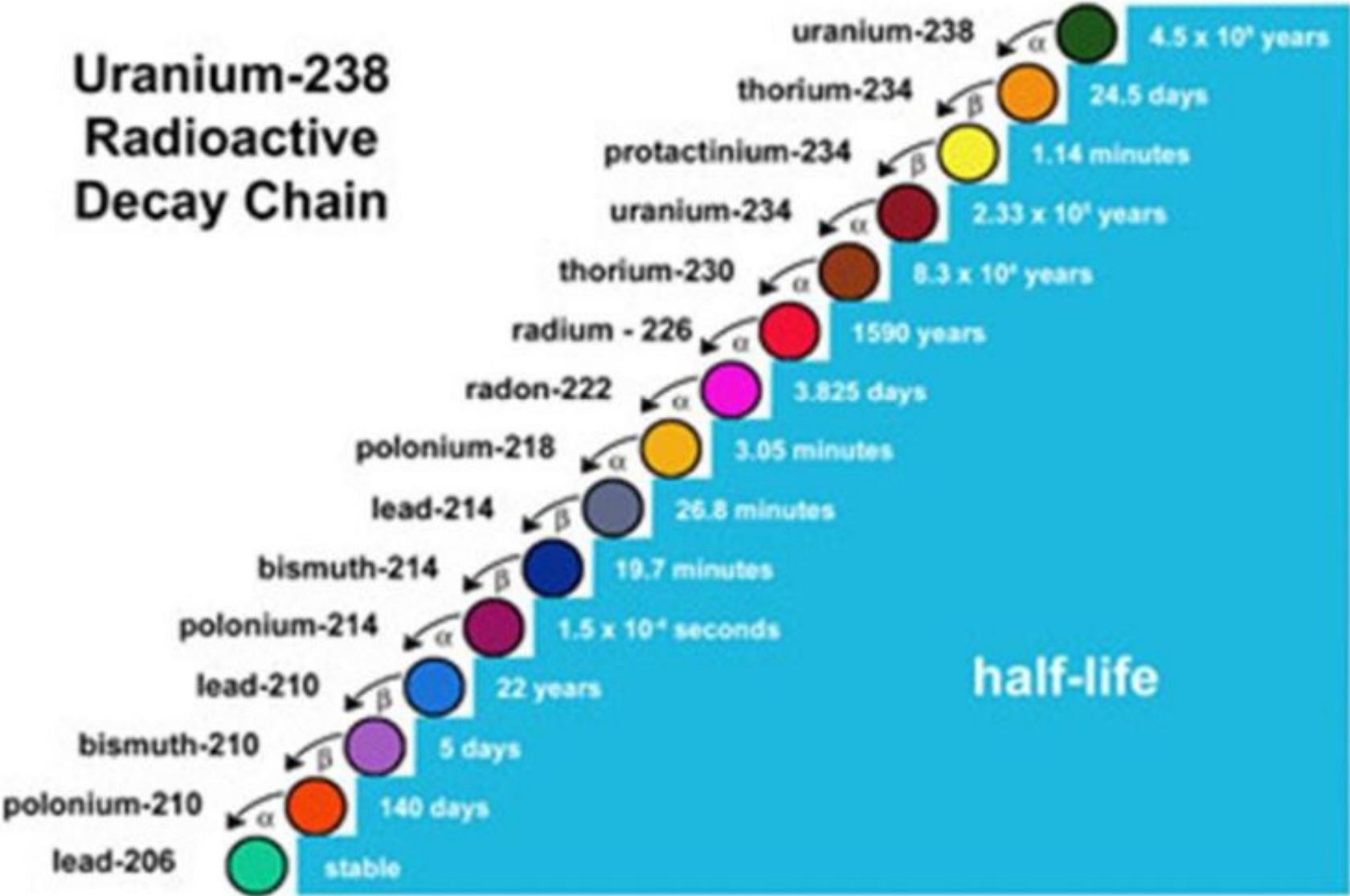
A partire da  $^{238}\text{U}$ , le reazioni di decadimento portano alla formazione di  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Pa}$  (protoattinio),  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$  e così via sino al  $^{206}\text{Pb}$ , che è stabile.



Trascorso un arco di tempo pari a circa **10 volte** il tempo di dimezzamento più lungo presente nella famiglia del  $^{238}\text{U}$ , ossia circa 750.000 anni (il tempo di dimezzamento più lungo è quello del  $^{230}\text{Th}$  pari a 75.200 anni) si osserva che **solo l'isotopo iniziale ( $^{238}\text{U}$ ) decresce senza interruzioni**, e solo l'ultimo figlio (l'isotopo stabile  $^{206}\text{Pb}$ ) cresce mentre gli altri isotopi intermedi sono in equilibrio.

# Geocronologia U-Th-Pb

## Uranium-238 Radioactive Decay Chain



## Principi base del metodo di datazione U/Th

Fenomenologia:

Il decadimento dell'isotopo  $^{238}\text{U}$  nella struttura cristallina del carbonato di calcio  $\text{CaCO}_3$  in seguito alla precipitazione dei carbonati disciolti in acqua.

Gli isotopi dell'uranio  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ , entrambi radioattivi, tendono naturalmente a decadere secondo uno schema semplificato:

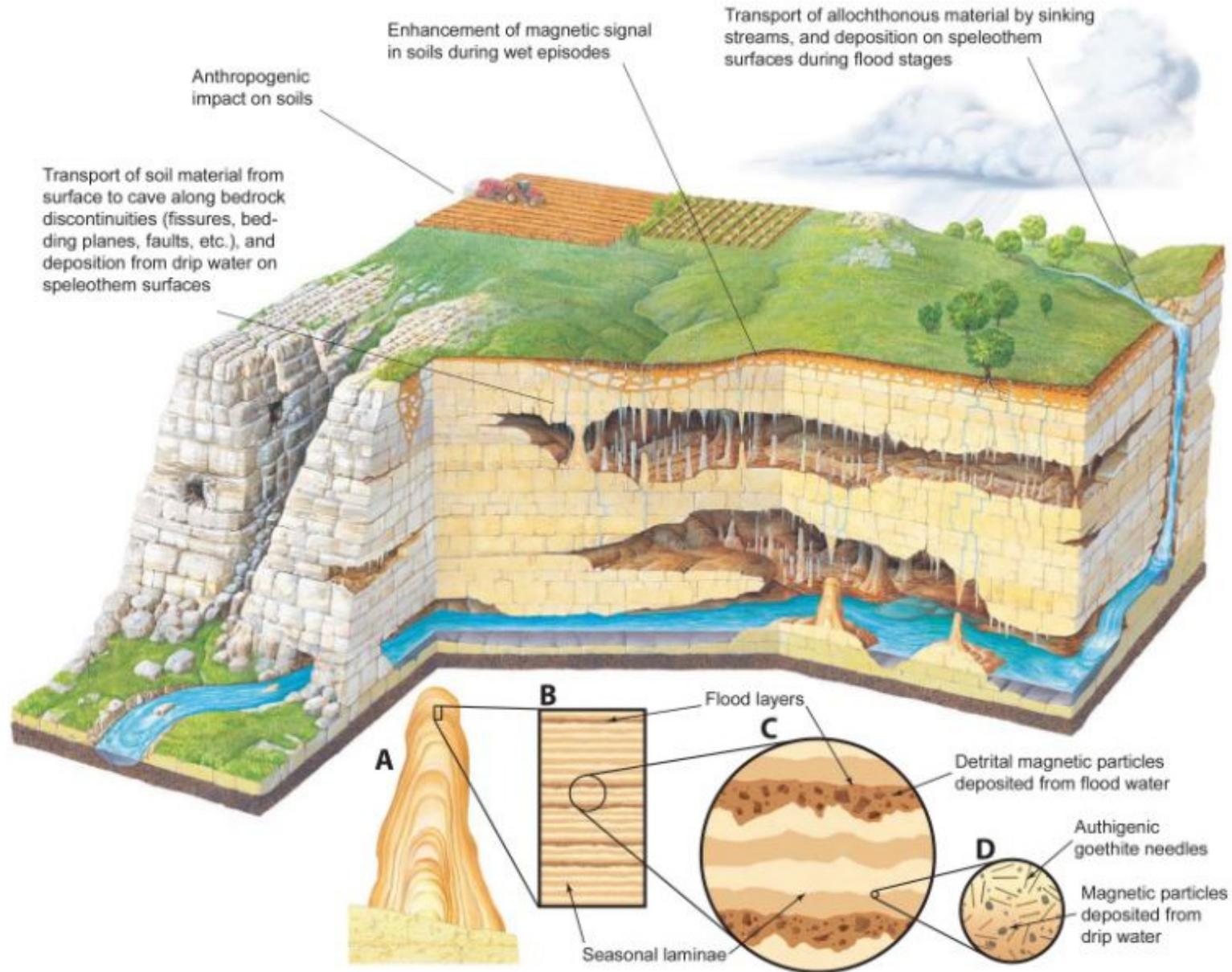


**Il  $^{230}\text{Th}$  è assente all'inizio del processo (t=0) poiché insolubile in acqua.**

Gli atomi di  $^{230}\text{Th}$  continueranno ad aumentare, in seguito al graduale decadimento di  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ , fino al raggiungimento dell'equilibrio di attività tra nuclide padre e nuclide figlio, stimato a 600 mila anni.

(considerando  $^{238}\text{U}$  il nuclide padre), equivalente a circa 8 volte il tempo di dimezzamento del  $^{230}\text{Th}$  (75.690 anni).

# Gli ambienti ipogei e la geocronologia U–Th–Pb

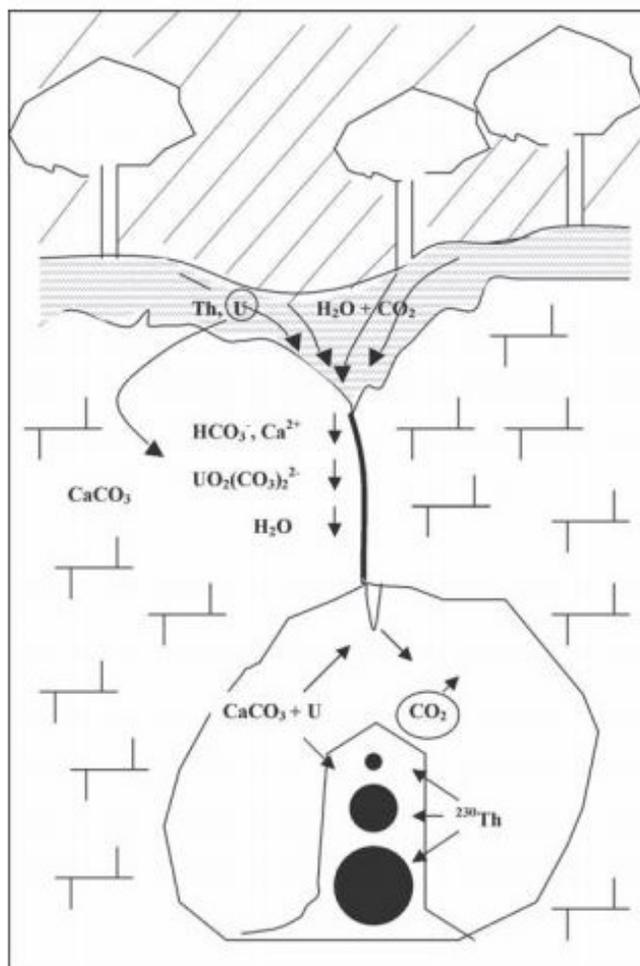


## Gli ambienti ipogei e la geocronologia U–Th–Pb

Assunzione del **sistema chiuso**:

- Il contenuto di torio al momento della formazione dei cristalli di calcite è zero
- Non sia avvenuta solubilizzazione (leaching) o apporto (incorporation or uptake) di uranio e torio nel corso del tempo





Quando si verifica la precipitazione del  $\text{CaCO}_3$ , l'uranio, e in particolare gli isotopi  $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$  che sono presenti in soluzione, entrano a far parte della struttura cristallina del minerale. Il torio, invece, essendo pressoché insolubile, non è presente all'interno dello speleotema all'atto della sua formazione. A partire da questo momento, il nuclide  $^{234}\text{U}$  genera per decadimento radioattivo  $^{230}\text{Th}$  e il tenore di quest'ultimo tende ad aumentare nel tempo fino al raggiungimento dell'equilibrio di attività tra nuclide padre ( $^{234}\text{U}$ ) e nuclide figlio ( $^{230}\text{Th}$ ). Detto equilibrio si raggiunge in un tempo pari a circa 8 volte il tempo di dimezzamento del  $^{230}\text{Th}$  (75.690 anni) e quindi ca. 600 mila anni (limite di applicabilità del metodo).

Nel calcolare l'età di uno speleotema, si deve però tenere conto anche del decadimento dell'eccesso di  $^{234}\text{U}$  rispetto al nuclide genitore  $^{238}\text{U}$ . Tale eccesso generalmente caratterizza le acque naturali e gli speleotemi che da esse si formano.

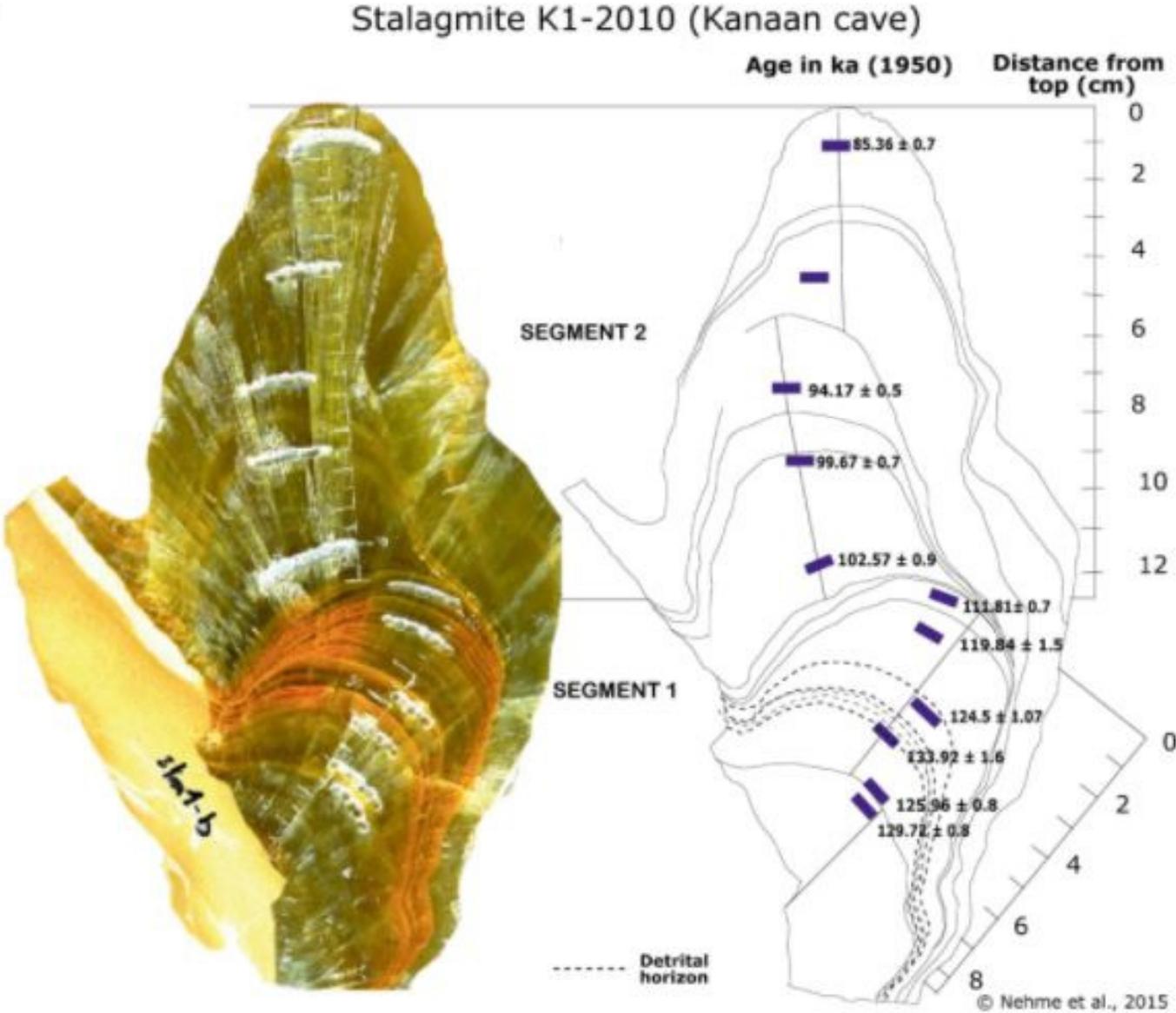
Se si considerano i due decadimenti, l'equazione generale che descrive il disequilibrio  $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$  è la seguente:

$$\left(\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}}\right) = \left(\frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}}\right)[1 - e^{-\lambda_{230}t}] + \left[1 - \left(\frac{^{238}\text{U}}{^{234}\text{U}}\right)_{t=0}\right] \frac{\lambda_{230}}{(\lambda_{230} - \lambda_{234})} [1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})t}]$$

dove  $\lambda$  è la costante di decadimento, cioè l'inverso del tempo di dimezzamento.

Questa equazione ha due incognite:  $\tau$  e  $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}_{t=0}$ , cioè il rapporto di attività iniziale tra i due isotopi dell'uranio, e pertanto può essere risolta con metodo grafico (nomogrammi) oppure analiticamente attraverso iterazioni successive (Ludwig 2003).

L'acqua che circola in un massiccio carbonatico prende in carico sia carbonato di calcio sia una minima quantità di uranio.



## **METODO U/Th: LE TECNICHE ANALITICHE**

### **La spettrometria alfa**

La spettrometria alfa è la tecnica che originariamente è stata utilizzata per la determinazione diretta dei rapporti di attività di uranio e torio necessari per il calcolo dell'età degli speleotemi. La tecnica si basa sul conteggio delle particelle alfa emesse con energia caratteristica da ciascun radionuclide. La strumentazione è costituita da uno o più rivelatori del tipo silicon surface barrier o da lithium-drifted silicon detectors, da altrettanti amplificatori del segnale elettronico, da un discriminatore e da un analizzatore di impulsi e da un computer per la gestione dei dati (Ivanovich & Harmon 1992; Goldstein & Stirling 2003).

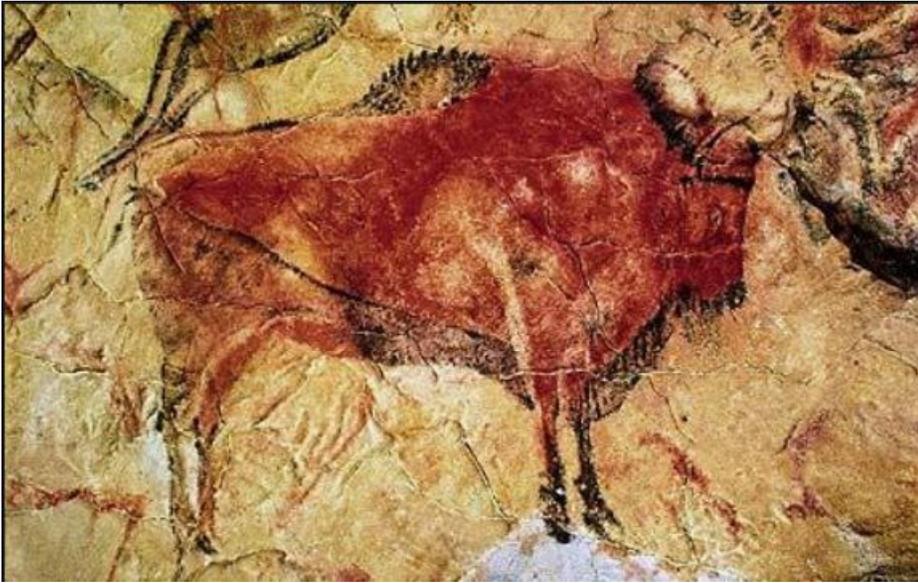
## METODO U/Th: LE TECNICHE ANALITICHE

### La spettrometria di massa

La spettrometria di massa è una tecnica basata sulla misura dei rapporti tra le abbondanze isotopiche di un dato elemento. A partire dalla metà degli anni Ottanta (Edwards et al. 1987) è stata impiegata sempre più spesso per la determinazione dei rapporti atomici tra isotopi dell'uranio e del torio. Conoscendo le costanti di decadimento dei radionuclidi d'interesse, i rapporti atomici sono "tradotti" nei rapporti di attività corrispondenti, da utilizzarsi nel calcolo dell'età (Ivanovich & Harmon 1992).

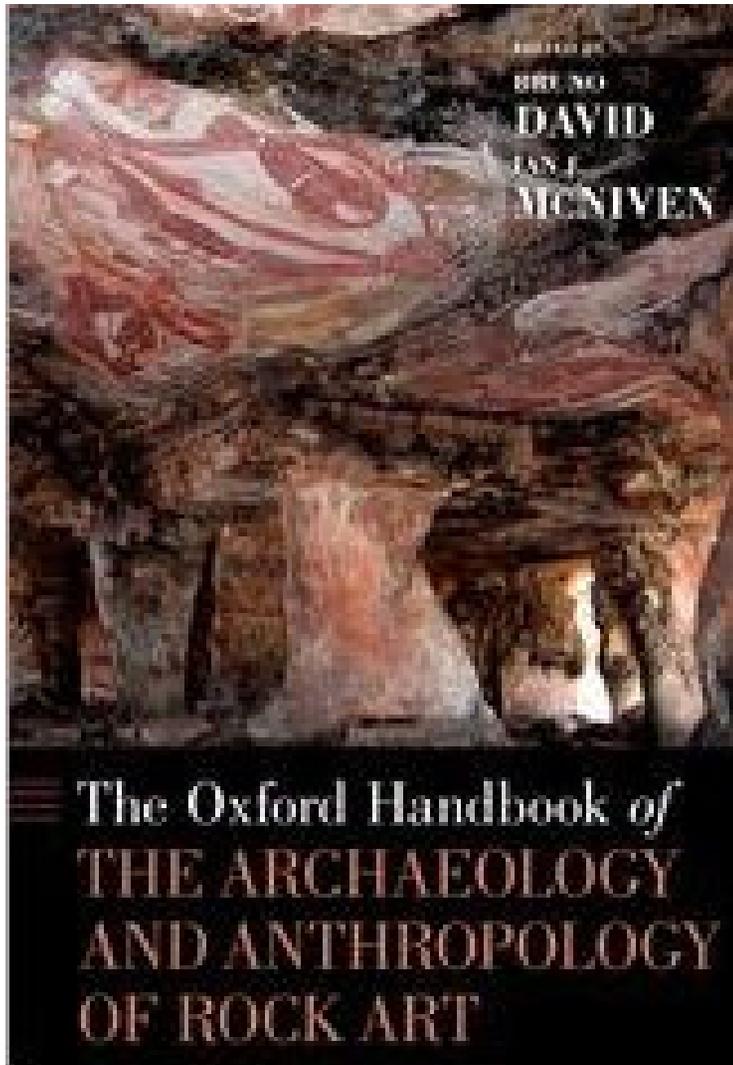
Le sorgenti più comunemente usate negli spettrometri di massa impiegati per le datazioni degli speleotemi sono la **sorgente a termoionizzazione**, la **sorgente al plasma** e recentemente la **sorgente ad ablazione laser**

L'uomo di Altamura (128.000 – 178 mila anni fa



Le grotte di Altamira





## Uranium-Thorium Dating of Cave Art

---

### Oxford Handbooks Online

#### **Uranium-Thorium Dating of Cave Art**

Alistair W.G. Pike

The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art  
*Edited by Bruno David and Ian J. McNiven*

Subject: Archaeology, Archaeological Methodology and Techniques, Scientific Archaeology  
Online Publication Date: Jun 2017 DOI: 10.1093/oxfordhb/9780190607357.013.24



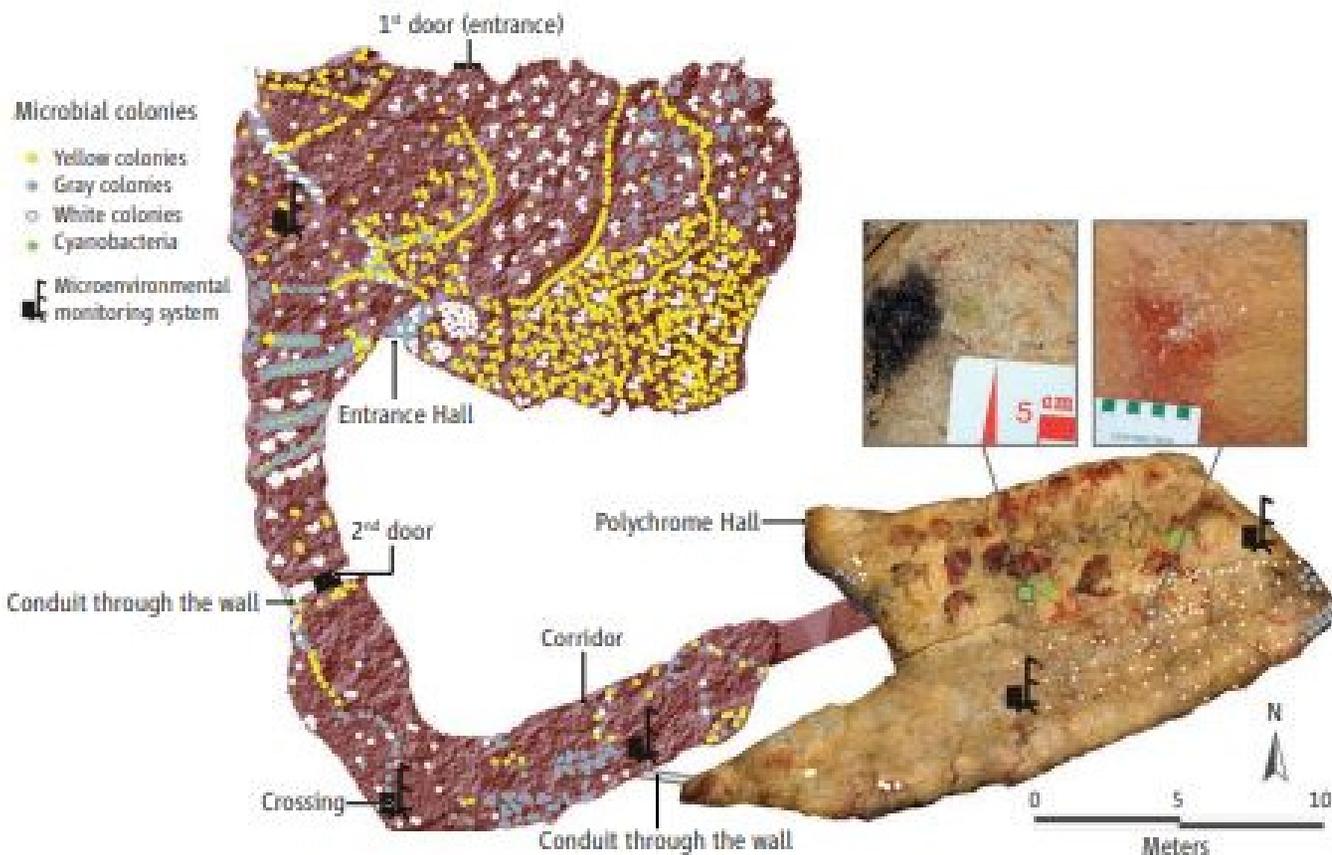
POLICYFORUM

CONSERVATION

**Paleolithic Art in Peril: Policy and Science Collide at Altamira Cave**

Despite evidence of damaging human impacts, cave paintings may again be threatened if visitors are allowed access.

Cesareo Saiz-Jimenez,<sup>1\*</sup> Soledad Cueva,<sup>2</sup> Valme Jurado,<sup>1</sup> Angel Fernandez-Cortes,<sup>2</sup> Estefania Porca,<sup>1</sup> David Benavente,<sup>2</sup> Juan C. Cañaveras,<sup>2</sup> Sergio Sanchez-Mora<sup>2</sup>



**Spatial distribution of the visible microbial colonies on the ceiling at Altamira Cave.** The Polychrome Hall features dozens of paintings of bison, deer, and other animals, spread across 150 square meters of cave ceiling that were painted more than 14,000 years ago. [Figure modified from (10)]



08 ottobre 2014

## Arte rupestre: in Indonesia è antica come in Europa



Cortesia Kinez Riza/Nature

✉ Mail  Stampa

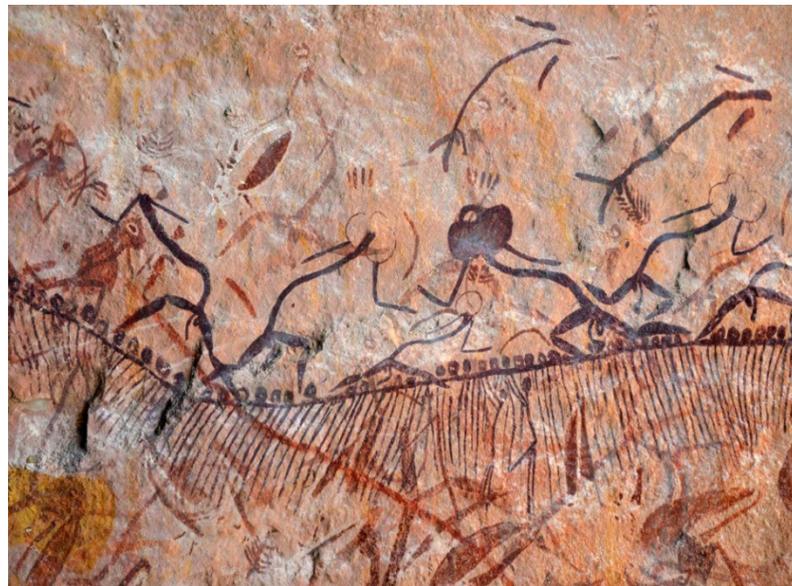
L'Europa non è l'unica parte del mondo dove, circa 40.000 fa, la creatività umana conobbe l'esplosione testimoniata dall'arte rupestre. Lo rivela la datazione delle pitture sulle pareti di alcune caverne dell'isola di Sulawesi, in Indonesia, rivelatesi contemporanee di quelle dei più antichi artisti europei: le impronte di mani risalgono in entrambi i casi a circa 40.000 anni fa, e le raffigurazioni di animali a 35.000. Questa coincidenza temporale suggerisce che già i primi gruppi umani che uscirono dall'Africa fossero in possesso di questa abilità *(red)*

## Pleistocene cave art from Sulawesi, Indonesia

M. Aubert<sup>1,2\*</sup>, A. Brumm<sup>1†\*</sup>, M. Ramli<sup>3</sup>, T. Sutikna<sup>1,4</sup>, E. W. Saptomo<sup>4</sup>, B. Hakim<sup>5</sup>, M. J. Morwood<sup>‡</sup>, G. D. van den Bergh<sup>1</sup>, L. Kinsley<sup>6</sup> & A. Dosseto<sup>7,8</sup>



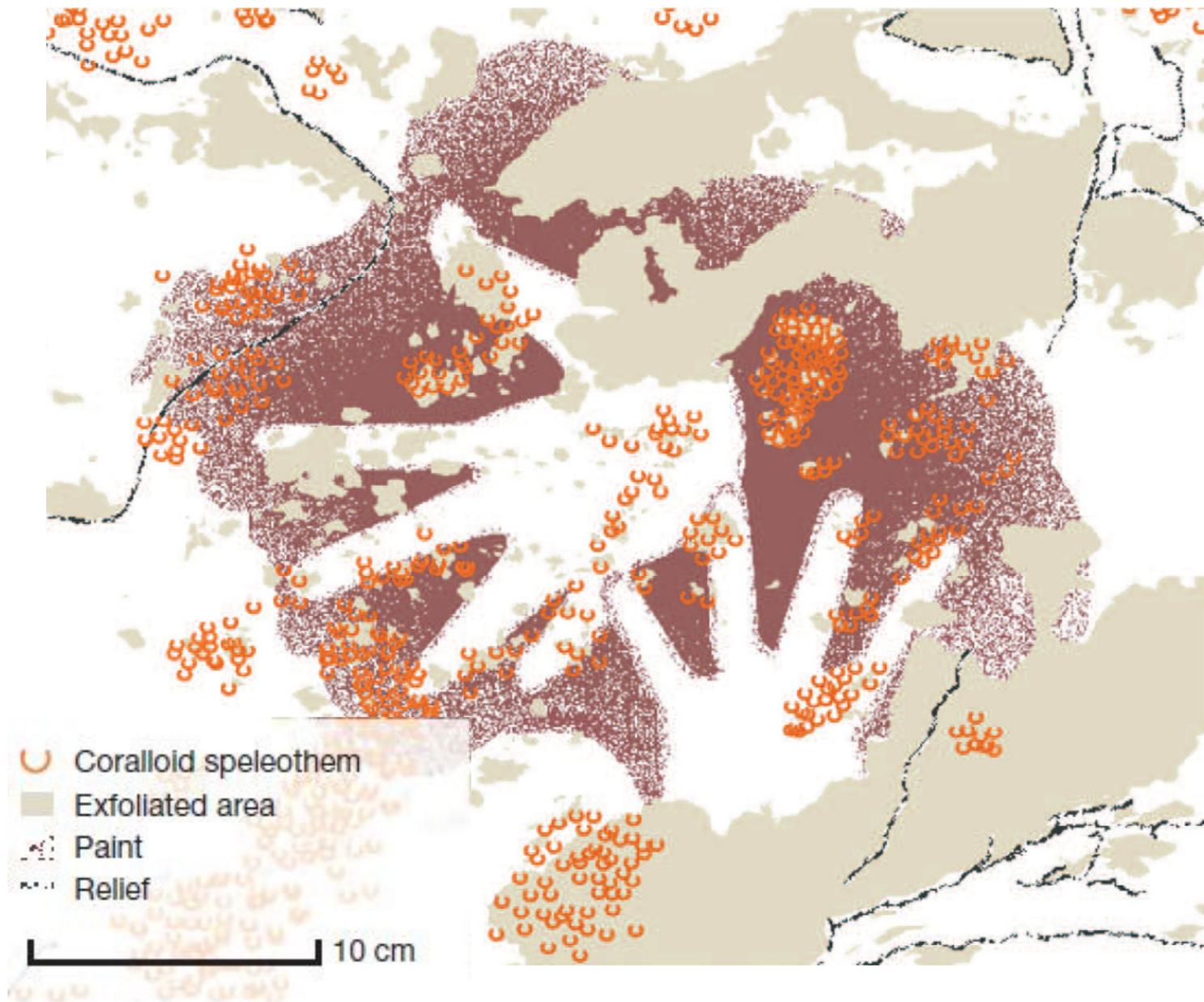
Using uranium-series dating of coralloid speleothems directly associated with 12 human hand stencils and two figurative animal depictions from seven cave sites in the Maros karsts of Sulawesi, we show that rock art traditions on this Indonesian island are at least **compatible in age with the oldest European art**.



The earliest of these is characterized by human hand stencils (made by spraying wet pigment around hands pressed against rock surfaces) and, less commonly, large naturalistic paintings of endemic Sulawesian land mammals, including the dwarfed bovid anoa (*Anoa* sp.), Celebes warty pig (*Sus celebensis*) and the 'pig-deer' babirusa (*Babyrousa* sp.).

These wild animal species are most commonly depicted in profile as irregularly infilled outlines.





## METHODS SUMMARY

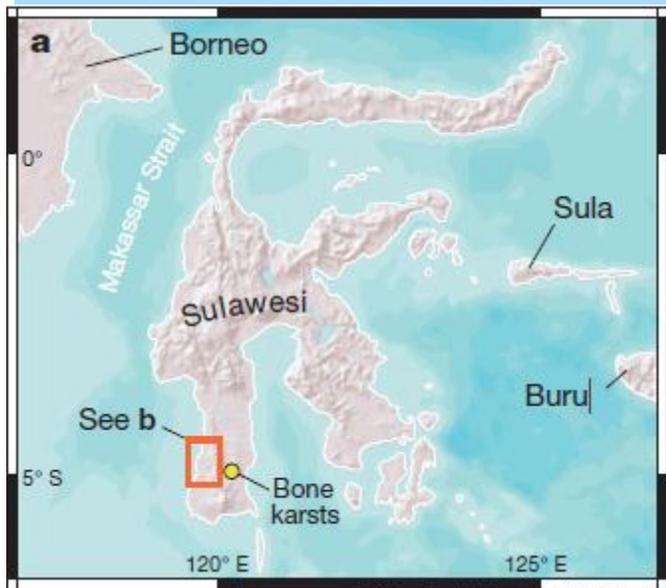
A small segment (100–200mm<sup>2</sup>) of each coralloid was removed from the rock art panels using a battery-operated rotary tool equipped with a diamond saw blade.

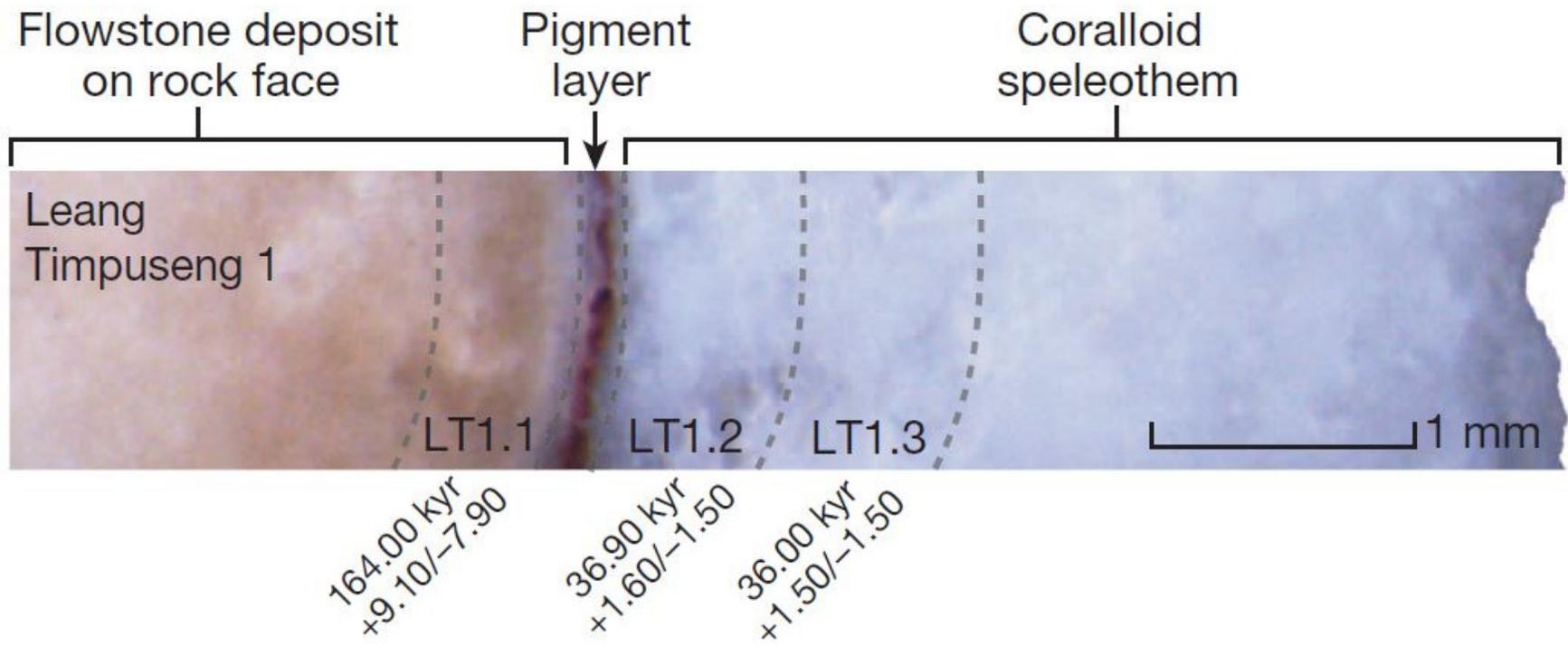
Each sample was sawn in situ so as to produce a continuous microstratigraphic profile extending from the outer surface of the coralloid through the pigment layer and into the underlying rock face.

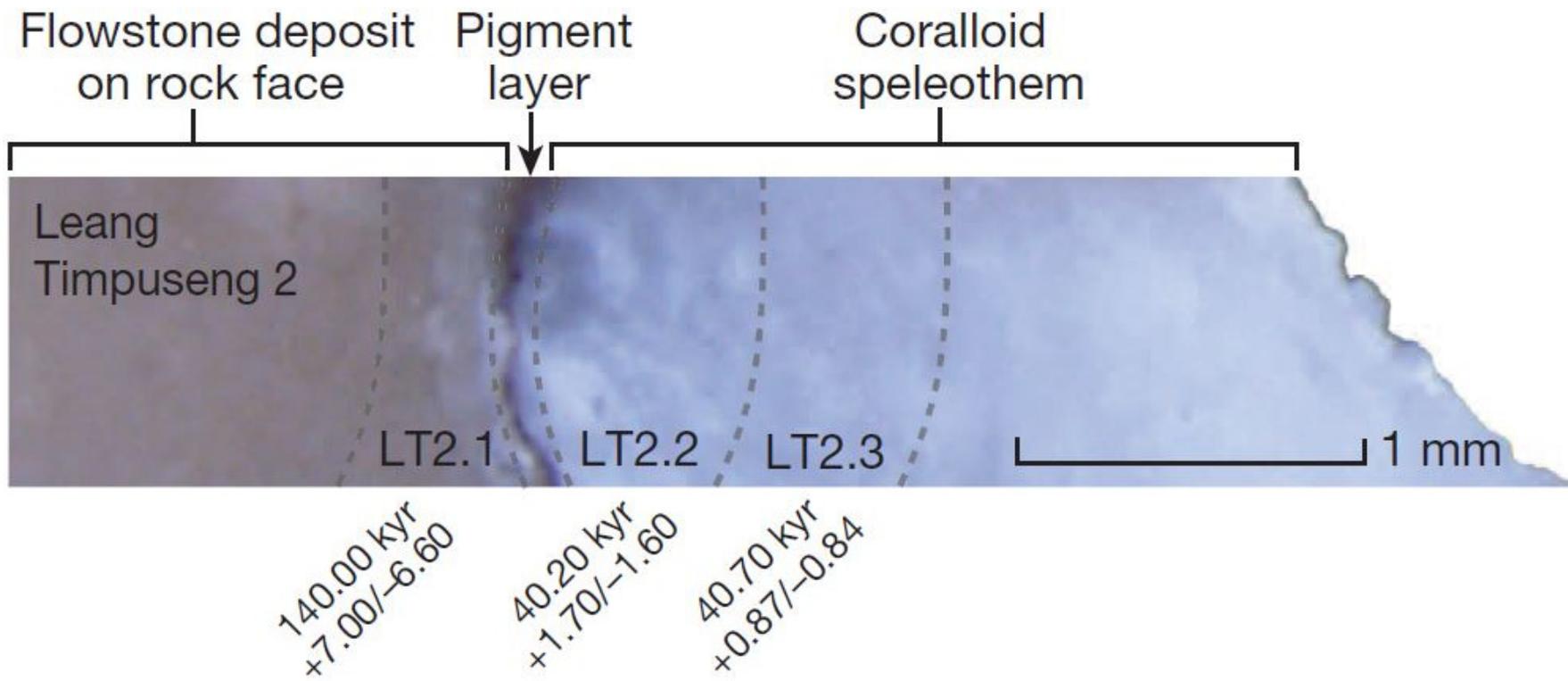
The identification of a pigment layer overlain by an extensive accumulation of calcite laminations within each coralloid.

In total, we obtained 55 uranium-series age determinations

The uranium series isotopes were measured on a ThermoFinnigan Neptune Plus Multi-Collector inductively coupled plasma mass spectrometer at the Research School of Earth Sciences, Australian National University.





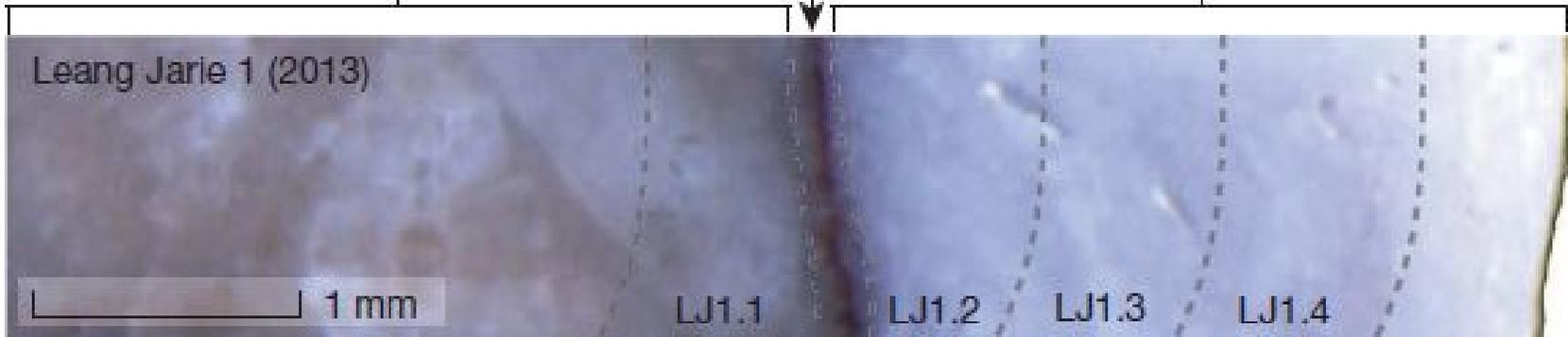


**c**

Flowstone deposit  
on rock face

Pigment  
layer

Coralloid  
speleothem



177.00 kyr +32.00/-24.00	34.00 kyr +3.30/-3.30	26.60 kyr +0.66/-0.67	17.20 kyr +1.30/-1.30
-----------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Dating results from Sulawesi suggest that **figurative art was already part of the cultural repertoire of the first modern human populations to reach this region more than 40 kyr ago**. It is possible that rock art emerged independently at around the same time and at roughly both ends of the spatial distribution of early modern humans.

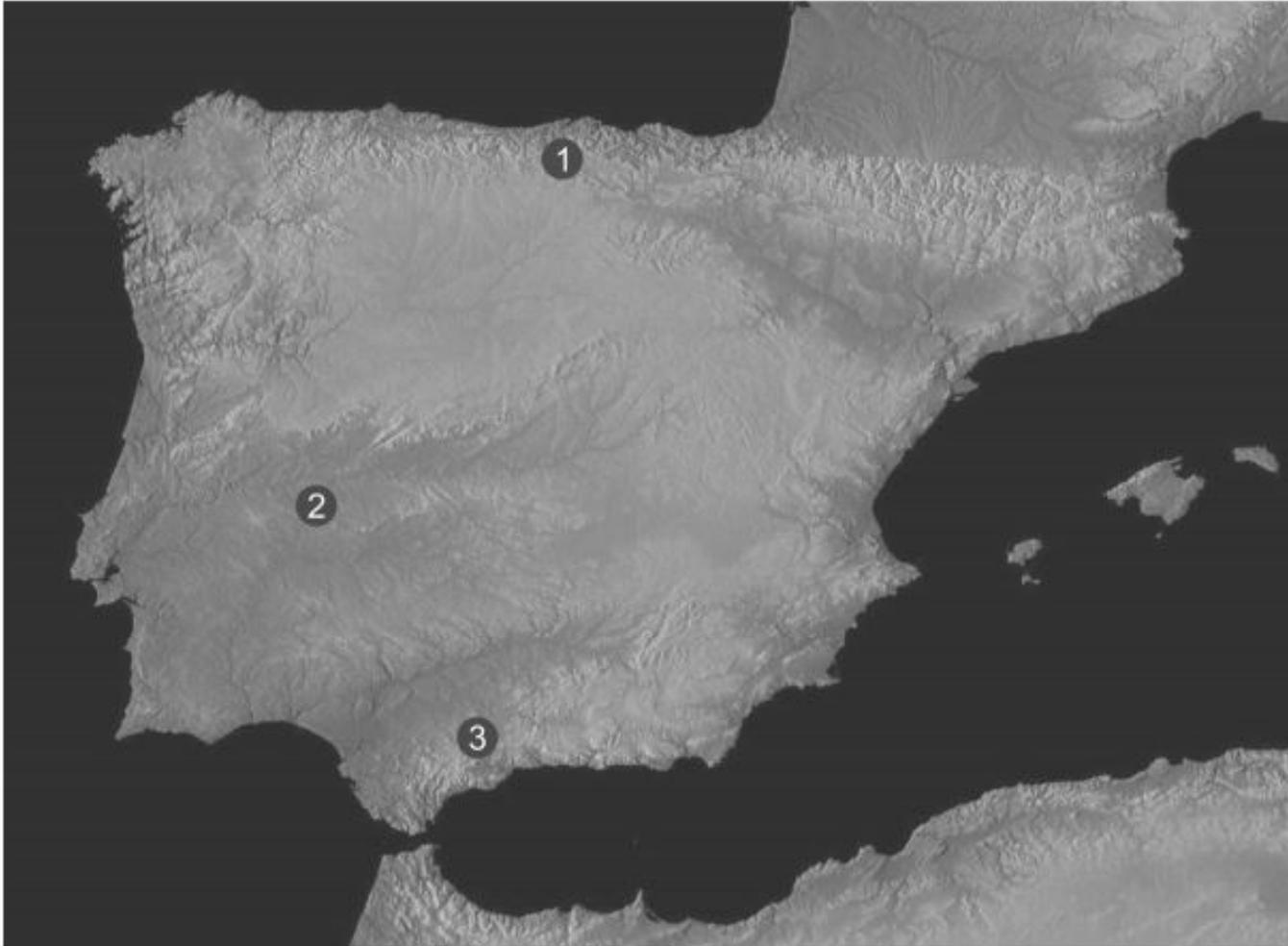
An alternative scenario, however, is that cave painting was widely practised by the first *H. sapiens* to leave Africa tens of thousands of years earlier, and thus that naturalistic animal art from Leang Timpuseng and Leang Barugayya, as well as Chauvet Cave in France, may well have much deeper origins outside both western Europe and Sulawesi. If so, **we can expect future discoveries of depictions of human hands, figurative art and other forms of image-making dating to the earliest period of the global dispersal of our species**.

PALEOANTHROPOLOGY

# U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art

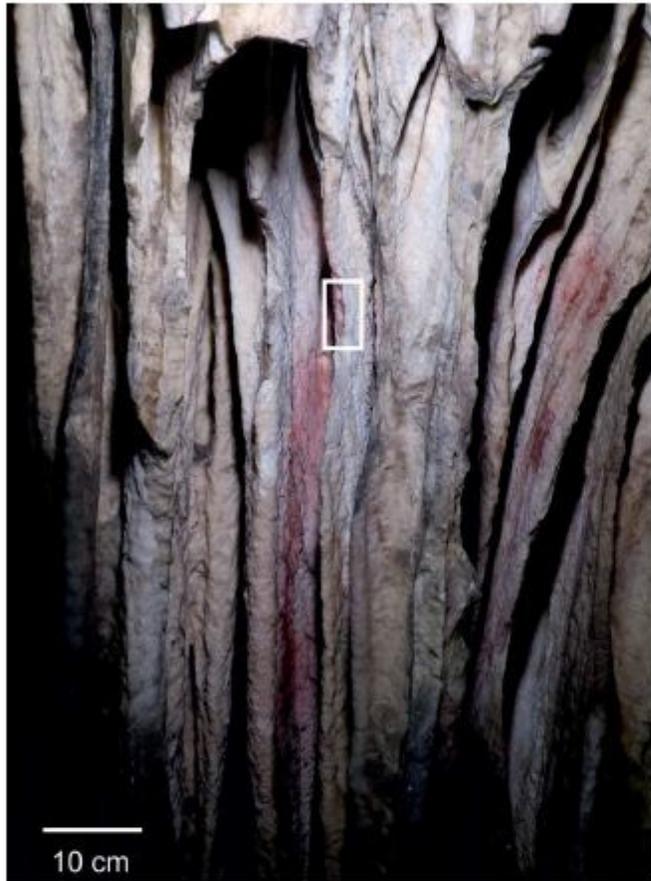
D. L. Hoffmann,<sup>1\*</sup> C. D. Standish,<sup>2\*</sup> M. García-Diez,<sup>3</sup> P. B. Pettitt,<sup>4</sup> J. A. Milton,<sup>5</sup> J. Zilhão,<sup>6,7,8</sup> J. J. Alcolea-González,<sup>9</sup> P. Cantalejo-Duarte,<sup>10</sup> H. Collado,<sup>11</sup> R. de Balbín,<sup>9</sup> M. Lorblanchet,<sup>12</sup> J. Ramos-Muñoz,<sup>13</sup> G.-Ch. Weniger,<sup>14,15</sup> A. W. G. Pike<sup>2†</sup>

The extent and nature of symbolic behavior among Neandertals are obscure. Although evidence for Neandertal body ornamentation has been proposed, all cave painting has been attributed to modern humans. Here we present dating results for three sites in Spain that show that cave art emerged in Iberia substantially earlier than previously thought. Uranium-thorium (U-Th) dates on carbonate crusts overlying paintings provide minimum ages for a red linear motif in La Pasiéga (Cantabria), a hand stencil in Maltravieso (Extremadura), and red-painted speleothems in Ardales (Andalucía). Collectively, these results show that cave art in Iberia is older than 64.8 thousand years (ka). This cave art is the earliest dated so far and predates, by at least 20 ka, the arrival of modern humans in Europe, which implies Neandertal authorship.



**Fig. S1.**

Map of the Iberian Peninsula. The dots indicate the locations of the three cave sites (1: La Pasiega, 2: Maltravieso, 3: Ardales).



**Fig. 3. Speleothem curtain 8 in section II-A-3 in Ardales cave with red pigment, painted before at least 65.5 ka ago. (Left) Series of curtains with red paint on top, partially covered with later speleothem**

