

# 太空與海洋世界

## — 太空部份 —

朱延祥

國立中央大學太空科學研究所

研究室：科學四館818室，分機：65764

E-mail: [yhchu@jupiter.ss.ncu.edu.tw](mailto:yhchu@jupiter.ss.ncu.edu.tw)

第六週(107年5月31日)

四、彗星與小遊星

五、恐龍滅絕原因的探討

六、冰河時期的成因

# 彗星的大小與組成

**彗核**的大小由數百公尺到數百公里不等，其形狀一般均不甚規則，彗核中85%由冰所組成，其餘則為灰塵，小石礫與太陽系原始物質，包括氫，甲烷(CH<sub>4</sub>)，阿摩尼亞(NH<sub>3</sub>)，乾冰等。密度甚低，以哈雷彗星為例，平均約為0.3公克／立方公分，因此可推測其中含有甚多的空隙。彗核一般均有自轉現象，週期由數小時到數天不等。在地球軌道附近，彗星物質的流失率約為每秒0.1噸到10噸。

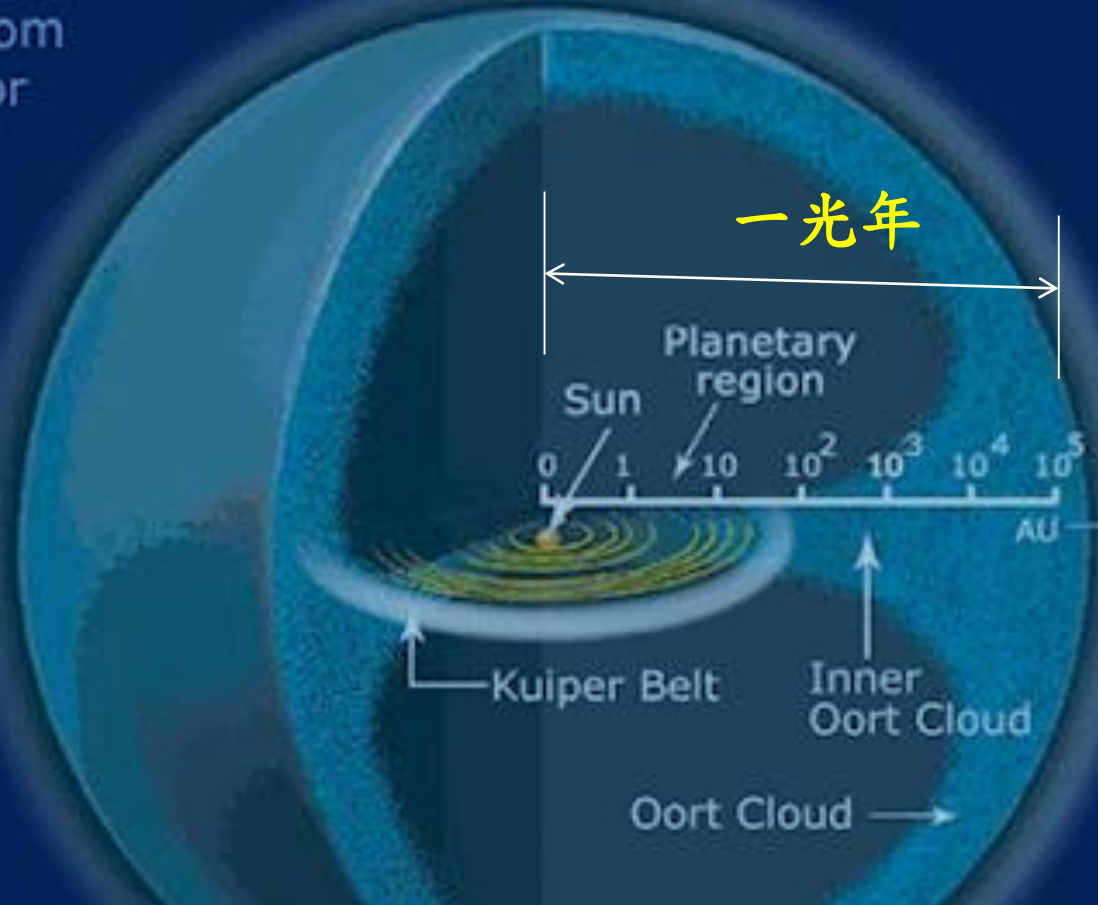
**彗髮**的大小由幾萬公里到幾千萬公里不等。其成份除了含有彗核的噴出物之外，包括灰塵與各種彗核中的氣體分子與離子，另因彗核噴出物與太陽輻射(包括光子與粒子)的作用，亦含有原本不在彗核中的一些有機物質，包括HNC, HNCO, HC<sub>3</sub>N, CH<sub>3</sub>CN, NH<sub>2</sub>CHO, HCOOH, HCOOCH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CS, SO, H<sub>2</sub>CS, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 以及C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>。

# 彗星的家鄉—Oort塵雲與Kuiper帶

Comets come from the Oort Cloud or the Kuiper Belt



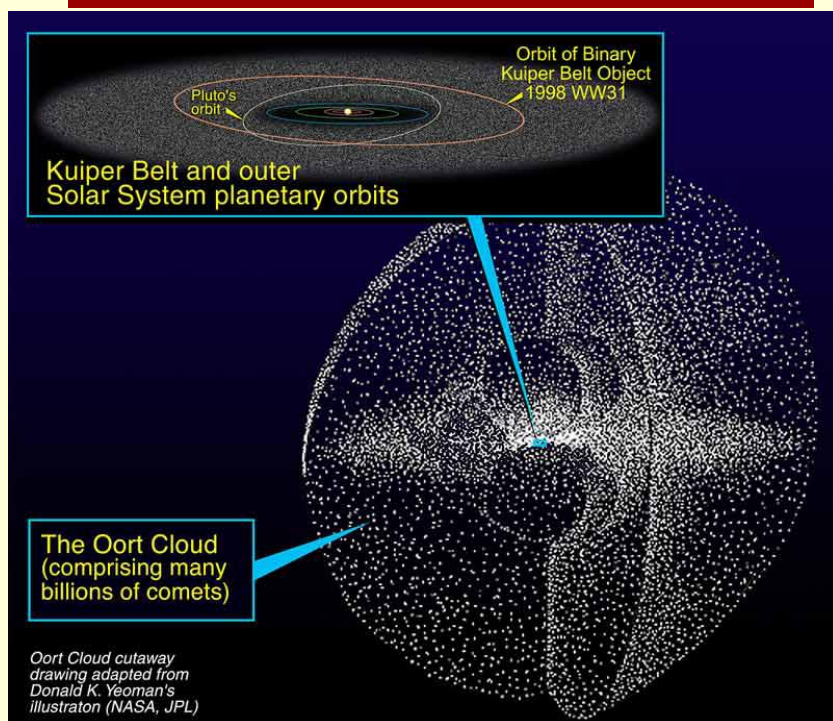
This comet sphere was proposed in 1950 by the Dutch astronomer Jan Oort



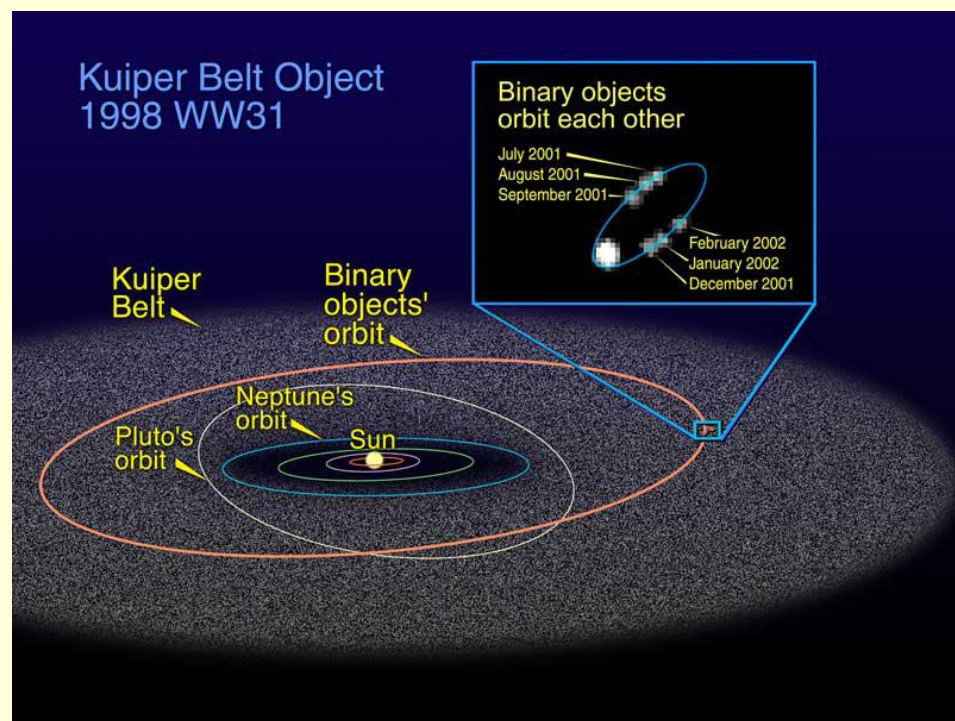
科學家估計，Oort塵雲中約有超過4000億顆彗星，其典型大小約1-2英里寬。當太陽接近鄰近恆星約兩光年的距離時，太陽的Oort塵雲將與鄰近恆星的Oort塵雲交會重疊，導致雙方原支配的少數彗星，受到對方重力吸引影響，改變原運行軌道，進入對方重力作用範圍，成為對方的一員。

# 彗星的家鄉—Oort塵雲與Kuiper帶

## Oort塵雲—太陽系的邊界 (長週期彗星的源地)

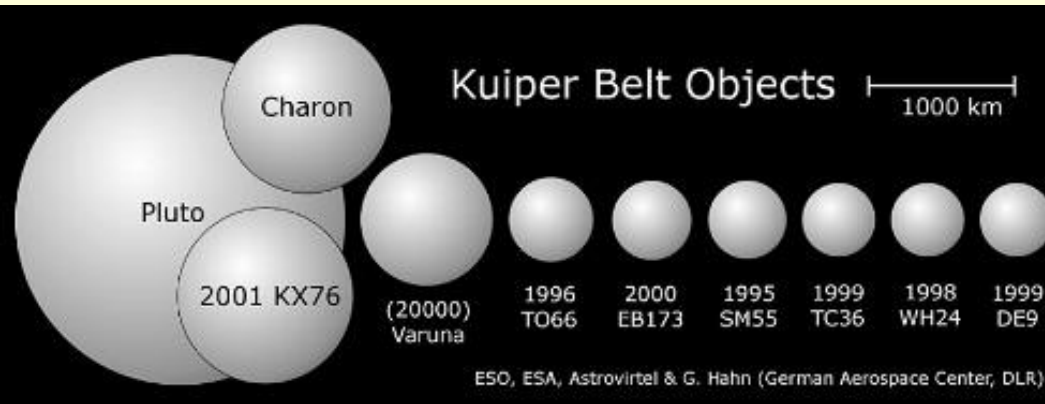


## Kuiper帶—太陽系的邊陲 (短週期彗星的源地)



**Kuiper帶—係指太陽系中位於海王星(Neptune)軌道以外的區域  
其中含有大量的冰狀碎塊(Ice Debris)繞著太陽運行**

# Kuiper Belt 中的物體

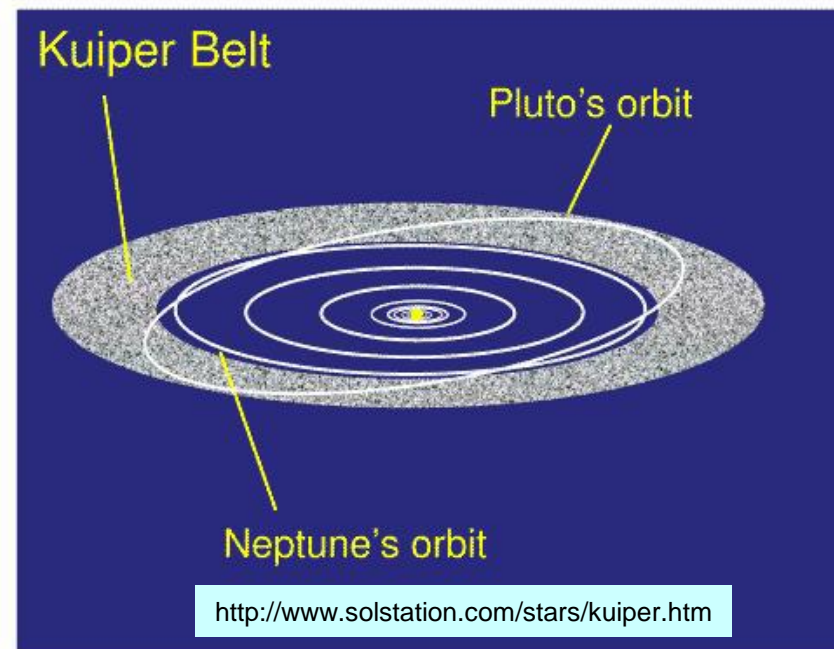


<http://www.solstation.com/stars/kuiper.htm>

Relative Sizes of Large Kuiper Belt Objects

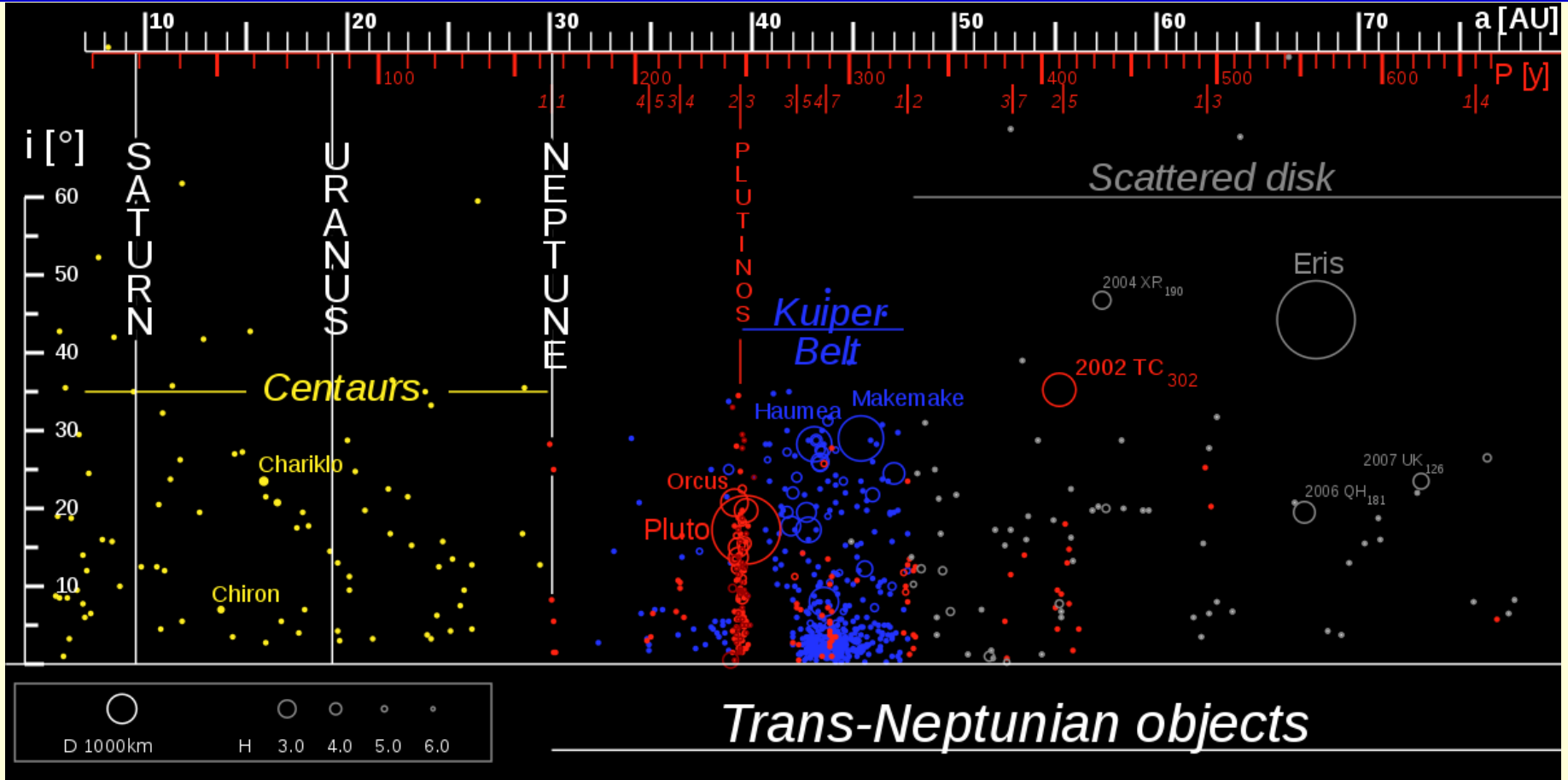
ESO PR Photo 27b/01 (23 August 2001)

© European Southern Observatory



Kuiper Belt在1992年才被科學家發現，涵蓋的範圍大約在30到50AU之間，其中主要含有原始太陽系早期的物質，包括冰，甲烷，甲醇(酒精)，一氧化碳，二氧化碳，灰塵，石礫以及其他物質。科學家發現Kuiper Belt中含有超過十萬個直徑大於100公里的天體，其組成成份大約為冰和岩石各半。另外超過十億顆直徑為公里級的彗星，以及為數更多的大小在10到50公里的天體在海王星與冥王星軌道範圍內的Kuiper Belt中運行。

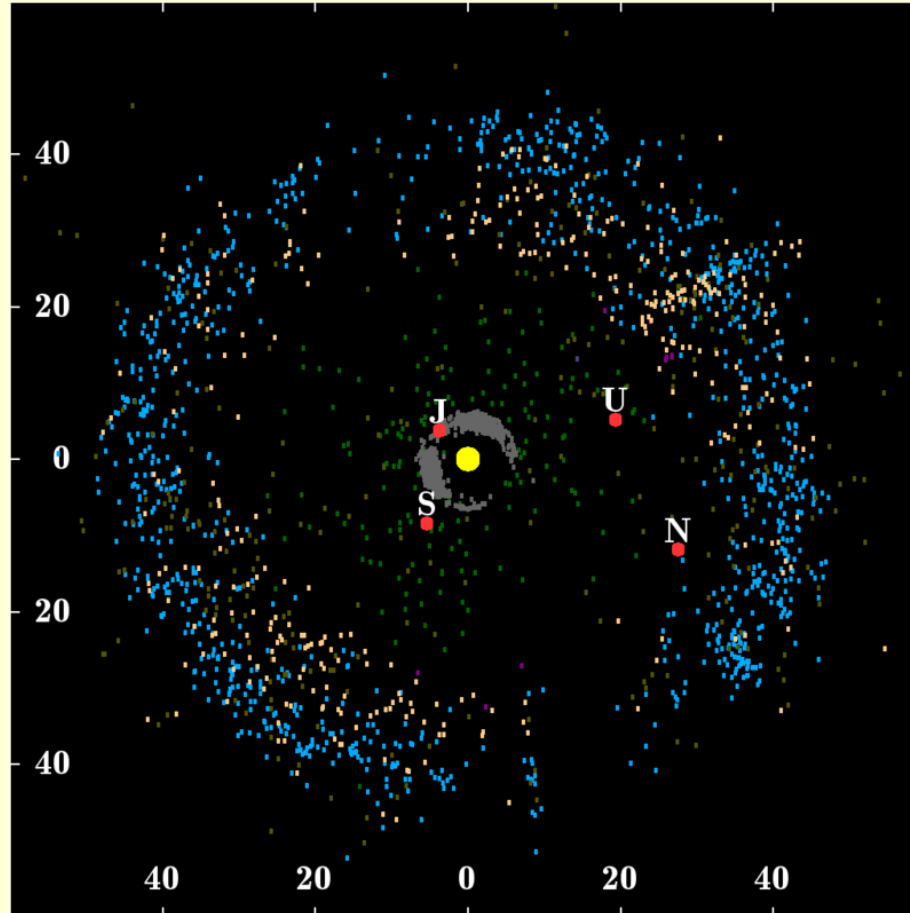
# Kuiper Belt附近以及更遙遠的天體



[https://en.wikipedia.org/wiki/Eris\\_\(dwarf\\_planet\)#/media/File:TheTransneptunians\\_73AU.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Eris_(dwarf_planet)#/media/File:TheTransneptunians_73AU.svg)

在土星與海王星軌道之間存在有許多繞日運行的冰質小天體，受到行星重力作用，其公轉軌道非常不穩定，軌道穩定期間通常只有數百萬年，這些具有小遊星與彗星特性的天體特稱為半人馬族小行星 Centaur Minor Planets。當這些天體軌道因重力擾動作用而變成長橢圓形後，在近日點附近受太陽輻射作用而出現彗髮與彗尾特性。科學家估計此類天體直徑大於1公里者約有44000多個。

# Kuiper Belt附近以及更遙遠的的天體



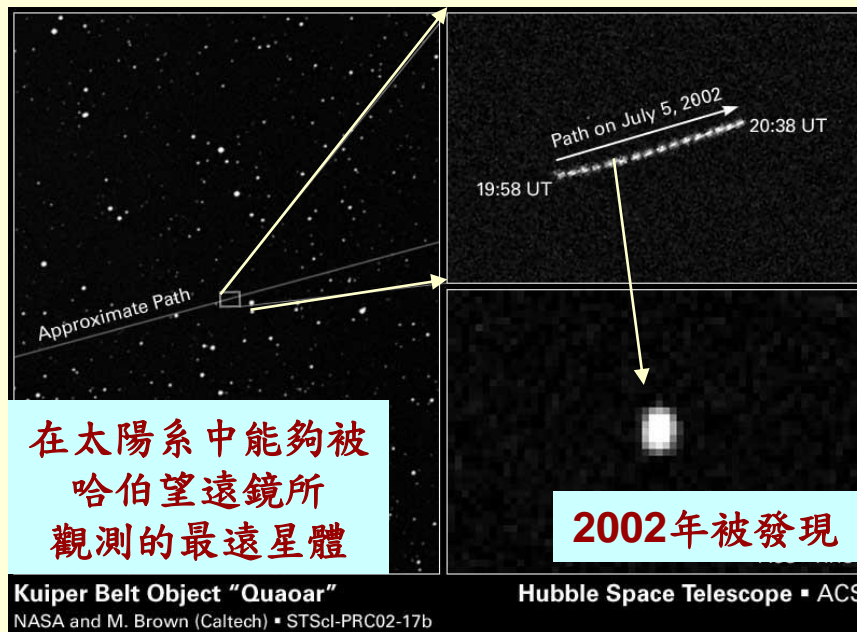
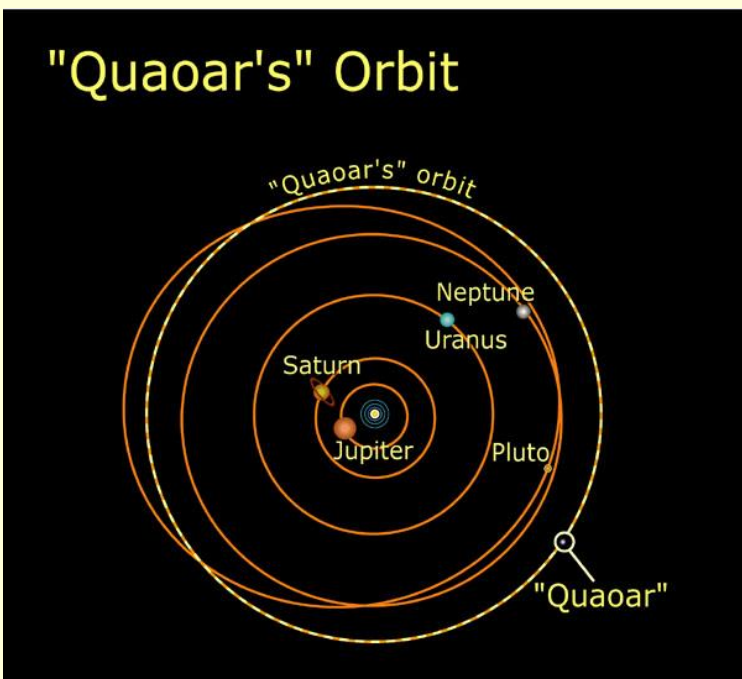
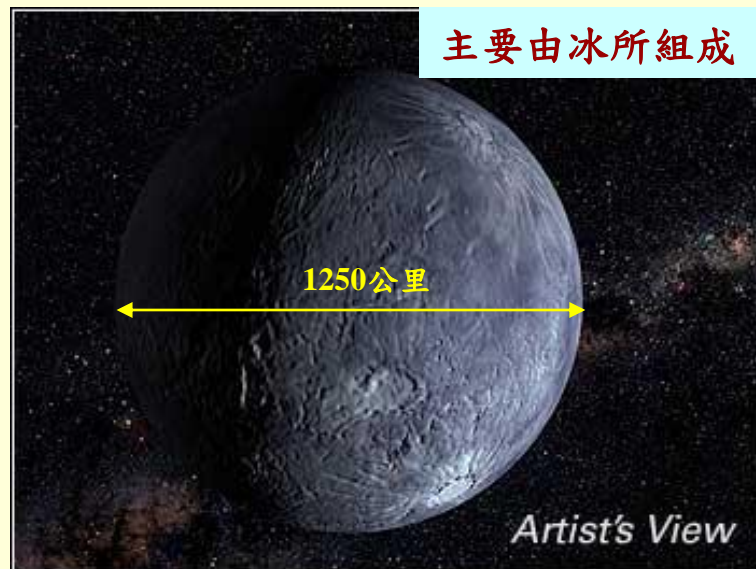
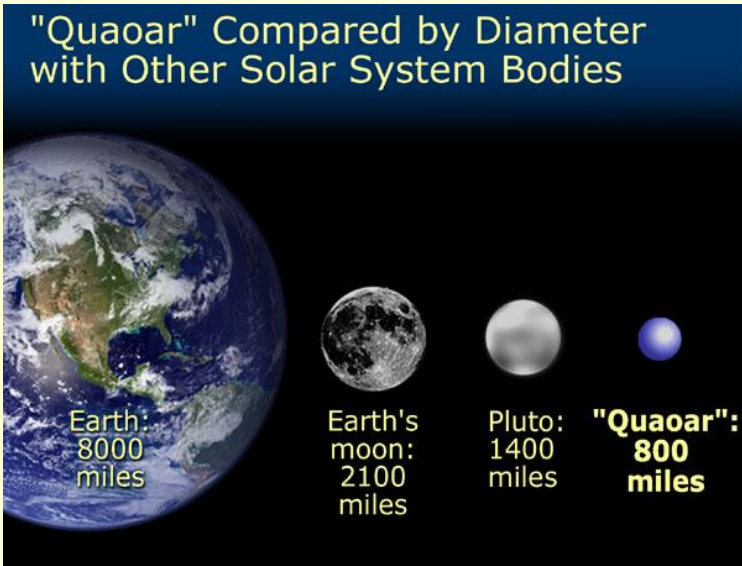
[https://en.wikipedia.org/wiki/Centaur\\_\(minor\\_planet\)#/media/File:Kuiper\\_belt\\_plot\\_objects\\_of\\_outer\\_solar\\_system.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Centaur_(minor_planet)#/media/File:Kuiper_belt_plot_objects_of_outer_solar_system.png)

Positions of objects in the outer Solar System within 60 astronomical units (AU) from the Sun. Epoch as of January 1, 2015. ■ Sun ■ Jupiter trojans (6,178) , Jupiter (J), Saturn (S), Uranus (U) and Neptune (N) ,

■ Centaurs (44,000) ■ Kuiper belt (>1,000) ■ Scattered disc ■ Neptune trojans (9)

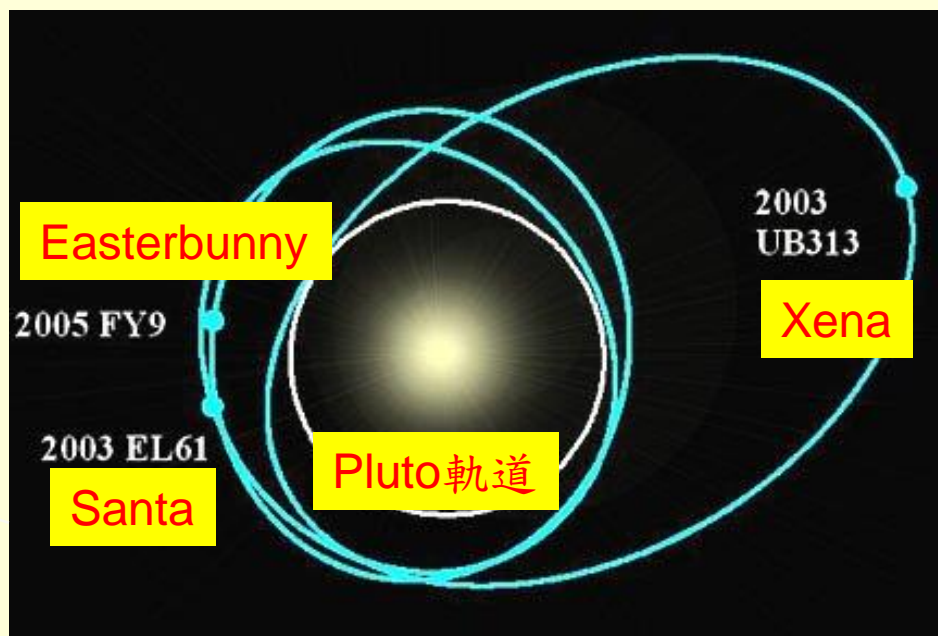
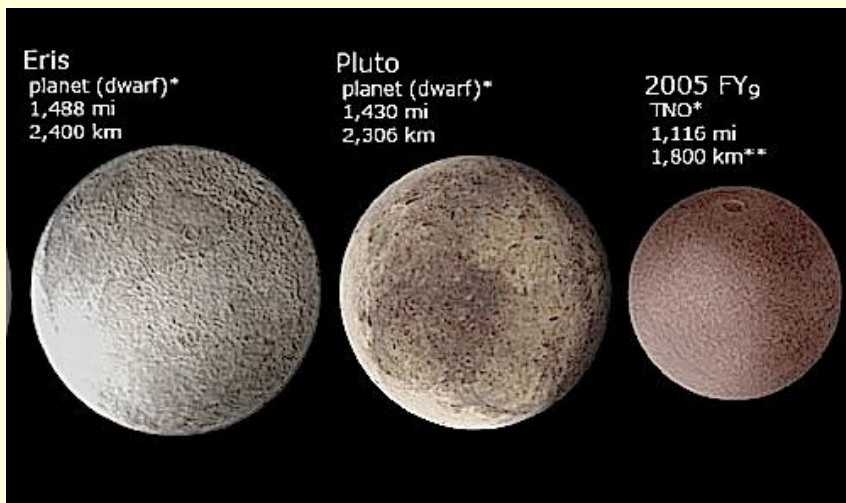
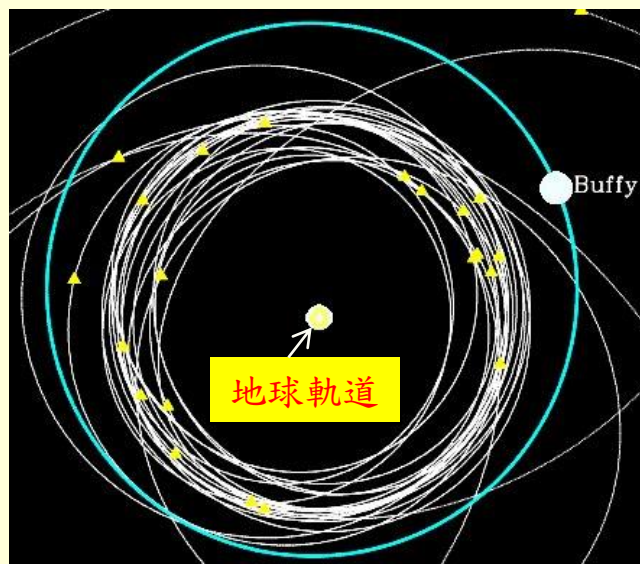
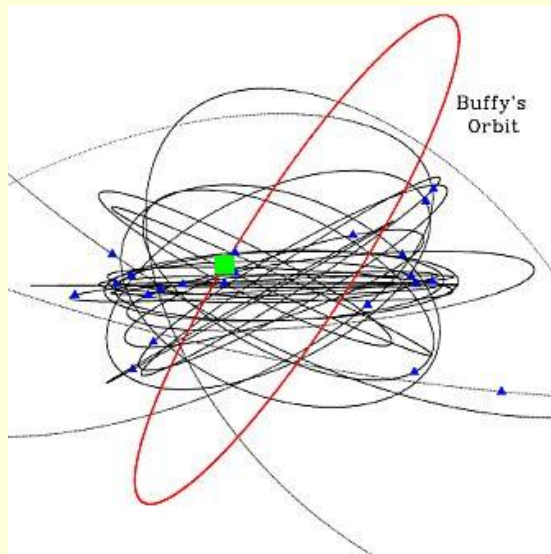


# 在Kuiper帶中的大型似彗星天體—Quaoar



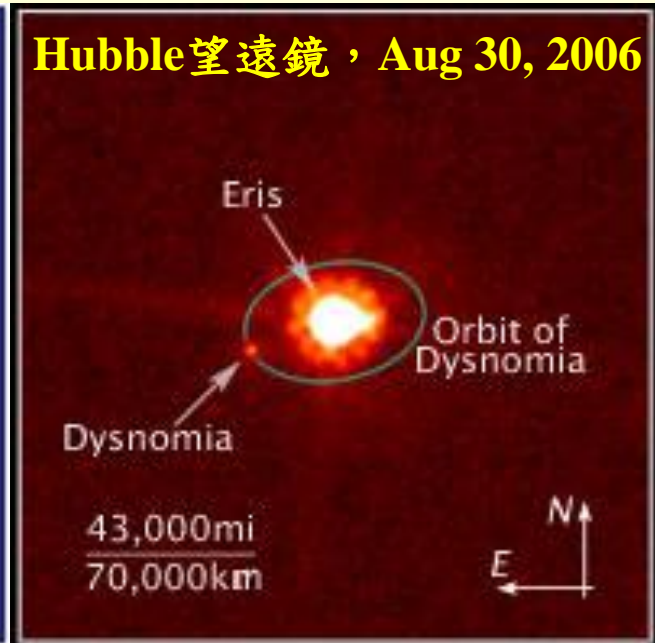
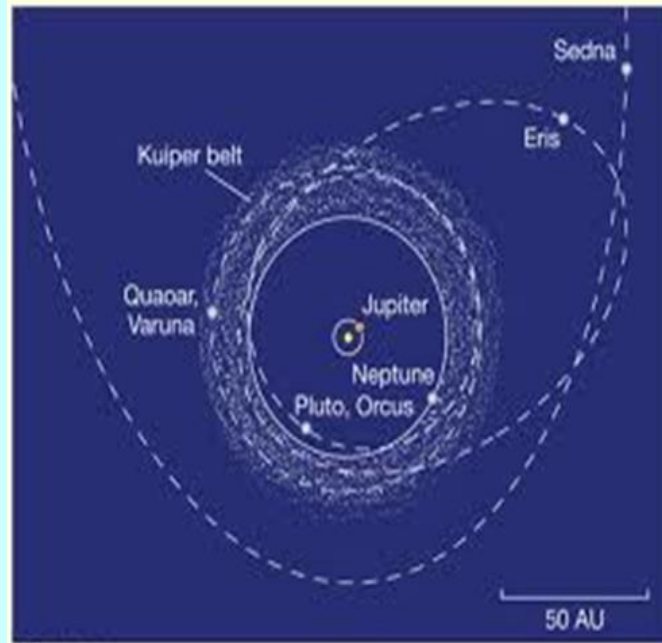
# Kuiper帶中比冥王星還大還遠的其他天體

**Buffy(2004XR190)** – 圓形軌道，公轉週期440年，軌道傾角47度，距離太陽50AU，星體直徑約為冥王星的一半。鑒於Buffy之高傾角軌道，科學家相信Buffy有可能係源自另一顆鄰近太陽的恆星的Oort塵雲中的物體，當太陽經過此恆星時，將Buffy吸引而進入太陽引力控制範圍，成為太陽系家族一員。

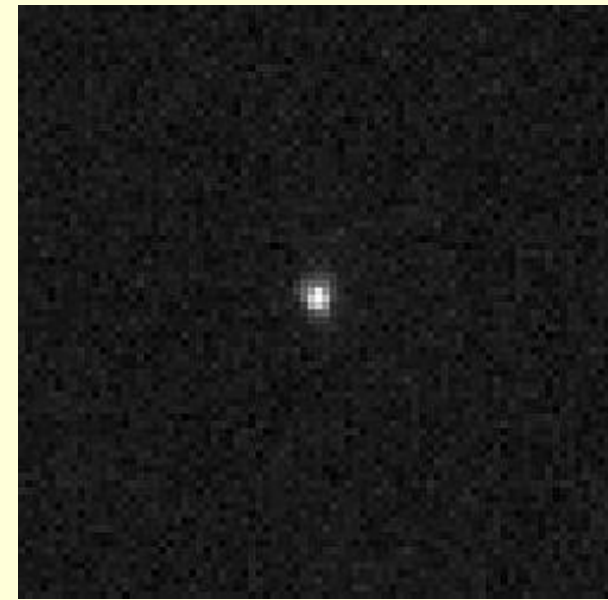
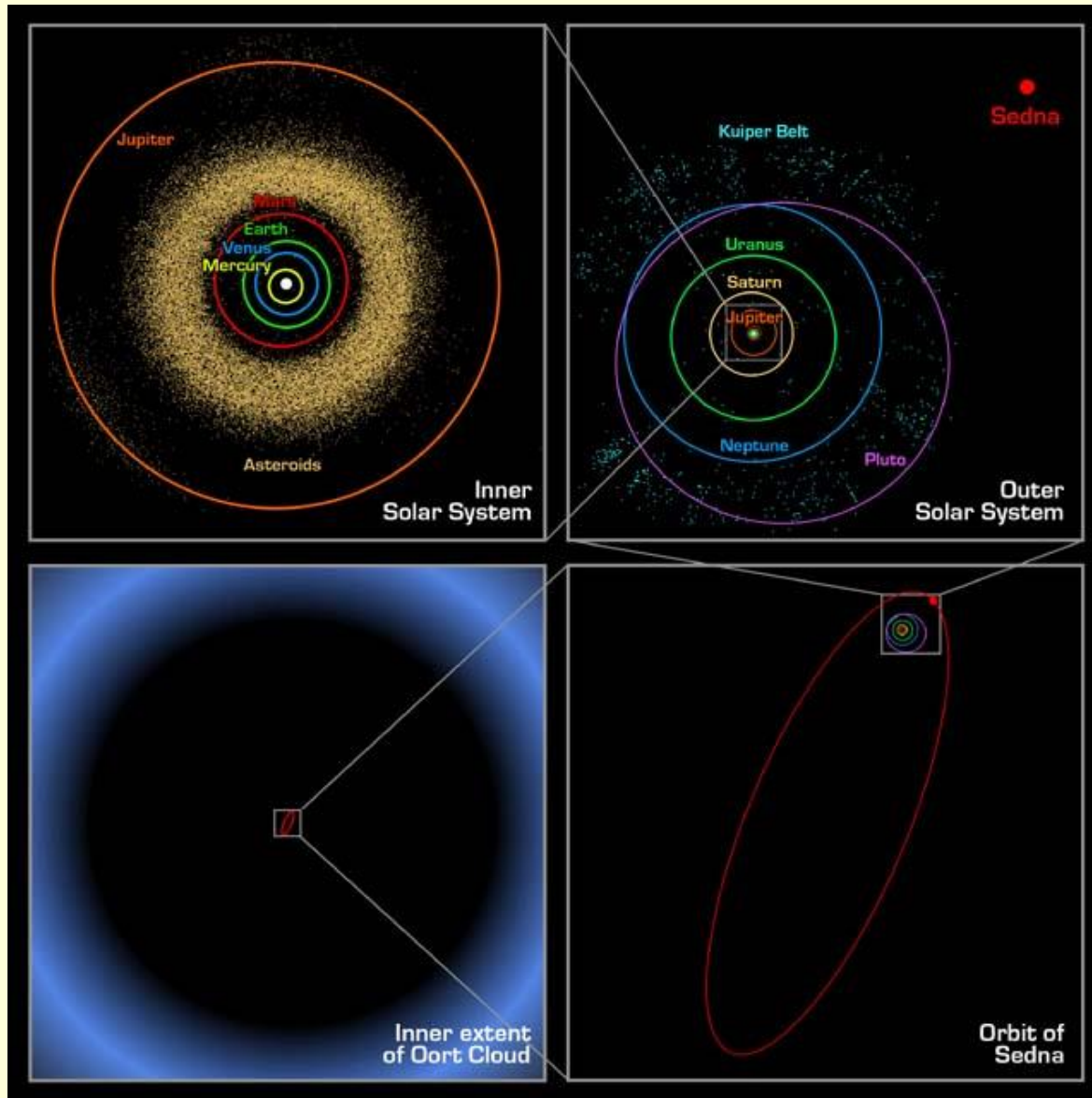


# 在Kuiper帶中一些大型天體-Eris

**Eris**的正式名稱為**2003UB313**(又稱**Xena**)，係Kuiper帶中的一員，主要由冰所組成，係在**2005年7月**被發現，在**2006年2月**計算出其大小，發現直徑約為**1860±250英里**，比冥王星要大約**30%**。表面溫度為**-418F**，可反射**60%**的入射光。與冥王星相似，**203UB313**亦有一個表層佈滿甲烷冰層的衛星**Dysnomia**。此物體的發現引起科學家對於行星定義的爭論。

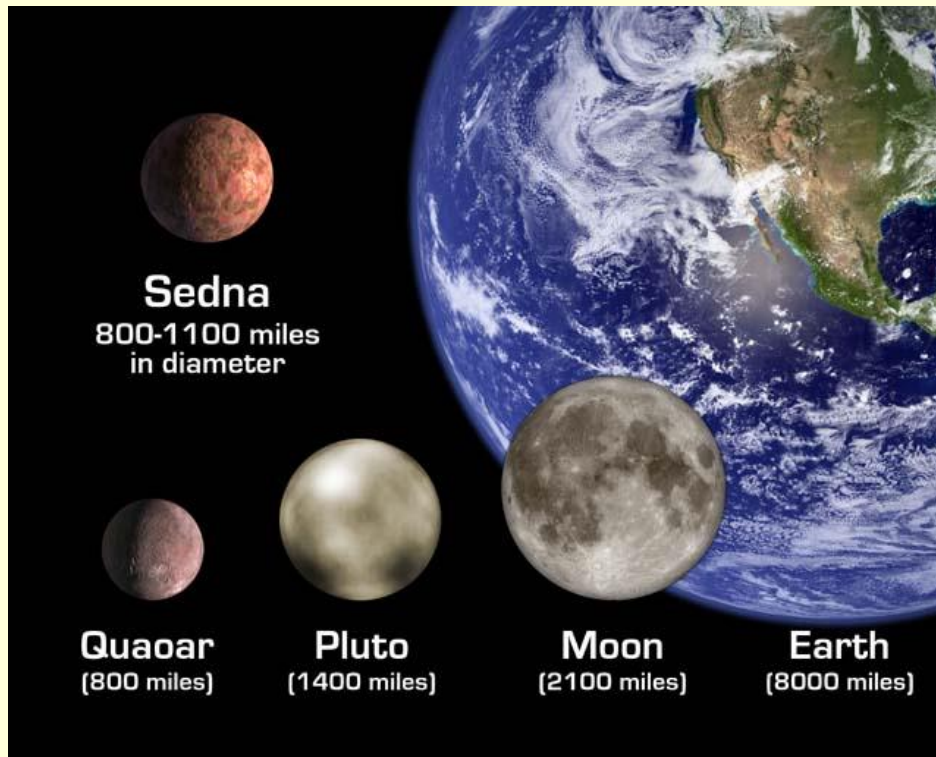
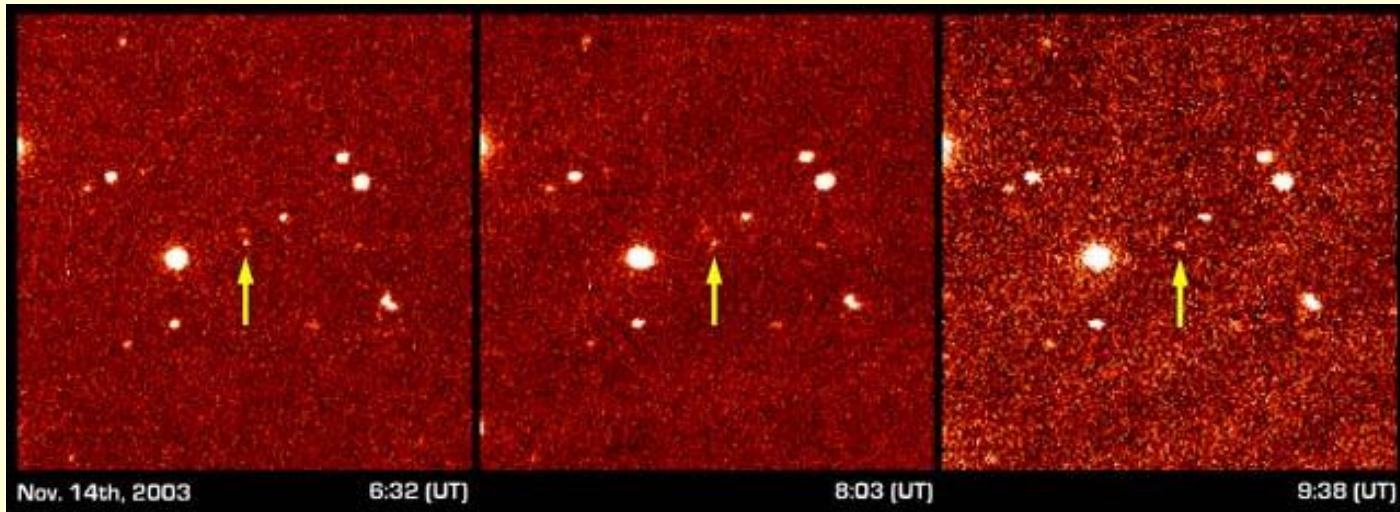


# 彗星Sedna—運行於Oort塵雲與太陽系之間



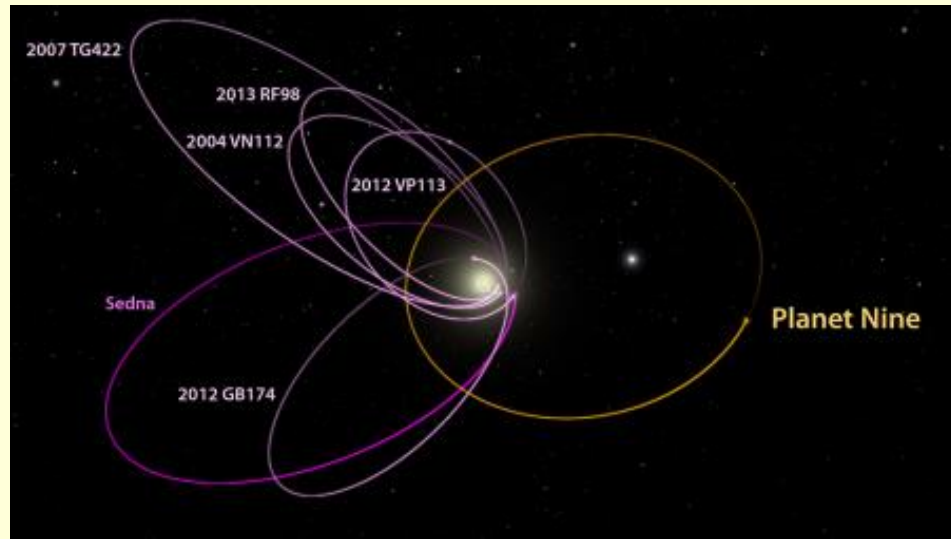
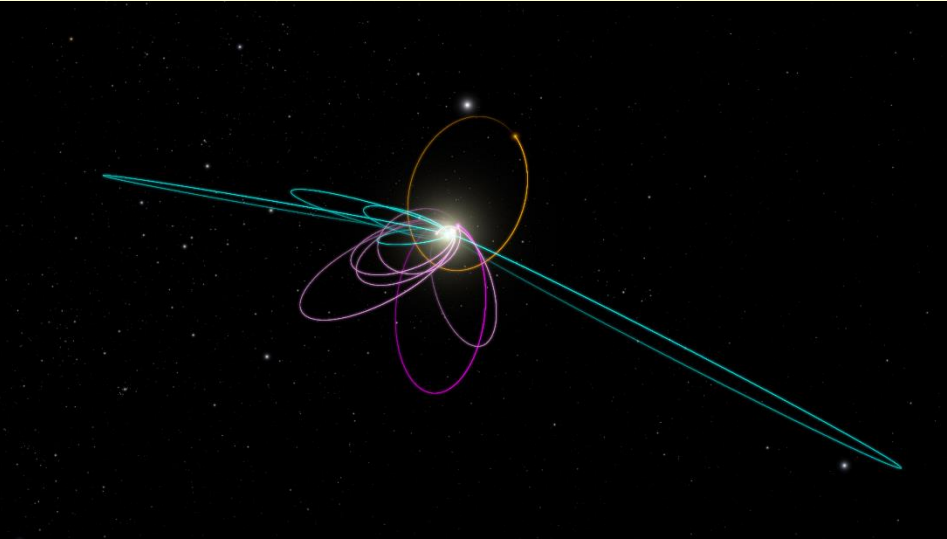
在2003年由Hubble望遠鏡所拍攝之Sedna照片  
軌道週期為11,400年，近日點為76AU，遠日點937AU，  
表面溫度12k，自轉週期10.3小時

# 彗星Sedna的大小



為太陽系中離太陽最遠的大型天體之一，比冥王星還要遠三倍。繞太陽一週須一萬五百年，相信起源於Oort塵雲中。表面溫度-400F，直徑約1800公里，自轉週期為20天左右，和冥王星的6天以及地球的24小時與木星土星的10小時相比要慢的多。它比Quaoar的1250公里要大，組成成份不明，但相信係由冰與岩石所組成。

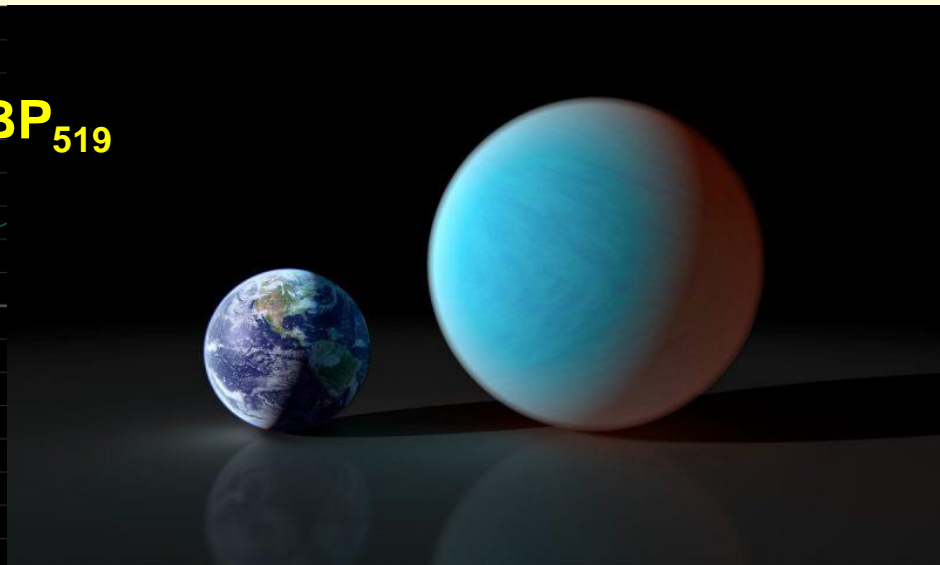
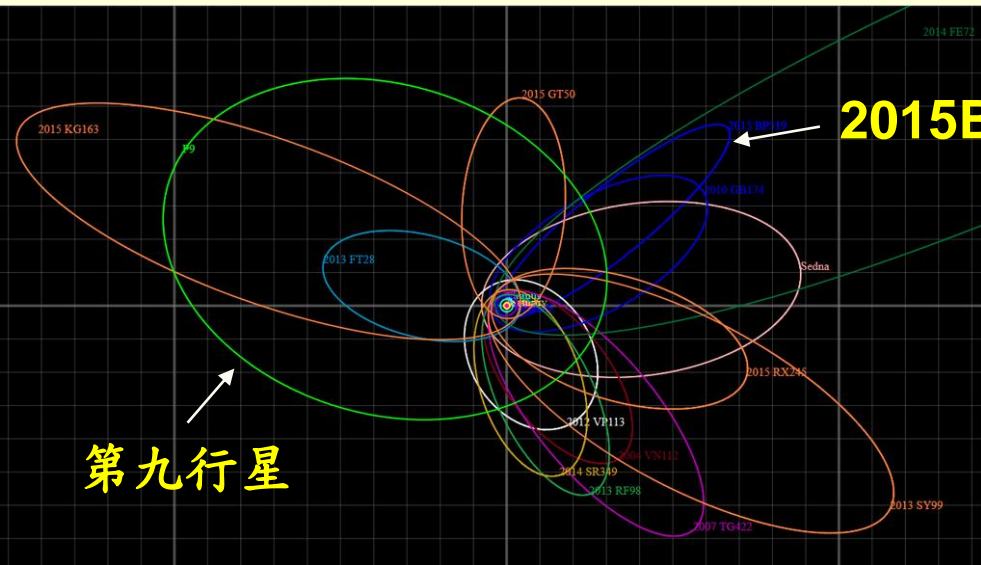
# 第九行星-Planet X



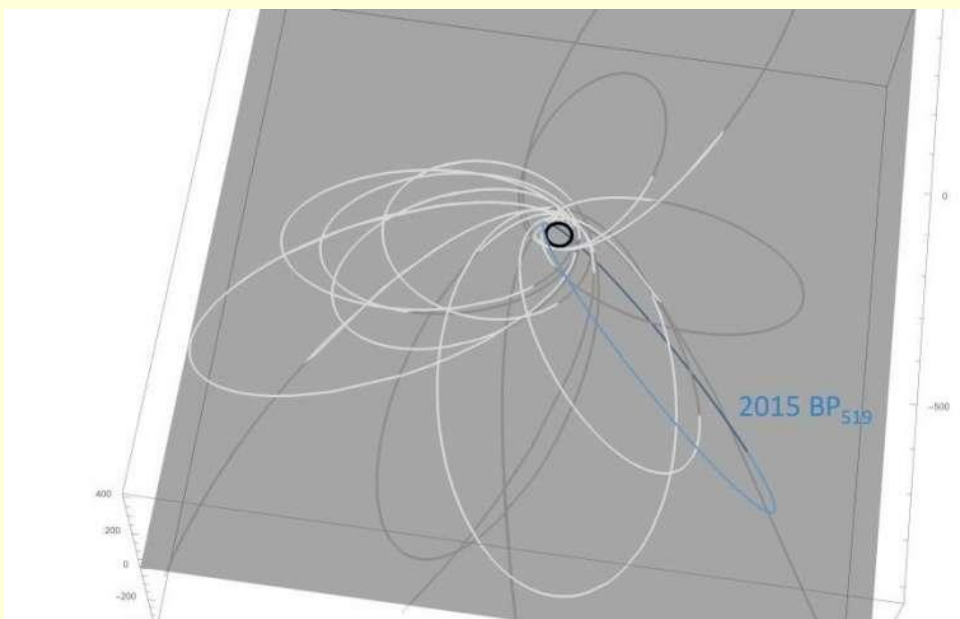
<https://www.caltech.edu/news/caltech-researchers-find-evidence-real-ninth-planet-49523>

加州理工學院科學家在前(2016)年一月提出科學預測，顯示距離太陽約600AU之處(約為天王星公轉軌道的20倍)，或許存在一顆直徑比地球直徑大2-4倍，質量大10倍的巨大天體，以10,000-20,000年的週期繞太陽公轉，距日距離為200-1200AU之間，離心率為0.6，其重力足以影響並改變太陽系邊緣古柏帶中13個天體運行軌道，使得其中6顆天體以30度傾角方式，穿越黃道面繞日運行。計算顯示，這些星體公轉軌道具有如此高相似性的機率，只有0.007。此外，此巨大星體的高離心率逆行軌道，亦可以解釋其他四個古柏帶中的天體軌道平面(上圖左綠色軌道)，與此巨大天體與六顆天體軌道所形成的公轉平面正交垂直的現象。此巨大天體目前仍未被真正觀測到，若證實存在(將被稱為第九行星Nine Planet))，則是繼海王星(1846年預測存在並觀測證實)與冥王星(1906年預測存在，1930年被觀測到)以來，人類第三次根據觀測的其他星體軌道異常現象，發展理論預測並發現新行星的存在。

# 第九行星-Planet X



[https://en.wikipedia.org/wiki/2015\\_BP519#/media/File:Planet\\_nine-etnos\\_now-new3.png](https://en.wikipedia.org/wiki/2015_BP519#/media/File:Planet_nine-etnos_now-new3.png)



Becker et al., 2018, draft)

今(2018)年5月16日學者利用位於智利的4公尺直徑光學天文望遠鏡，發現在海王星軌道以外編號為2015BP<sub>519</sub>的天體(暱稱為Caju)公轉軌道，亦深受假設存在的第九行星的影響，具有該天體直徑約為400-700公里，公轉週期8912年，離太陽35-824AU之間，目前位於距離太陽55AU處，公轉軌道主要半軸為450AU，軌道離心率為0.92，軌道傾角54度。左圖為受第九行星重力影響的其他天體公轉軌道，軌道深(白)色部分為在黃道面以下(上)。

<http://earthsky.org/space/new-evidence-planet-9-2015-bp519-caju>

# 存在於內太陽系(火星軌道範圍內)的彗星與小遊星

## ***THE INNER SOLAR SYSTEM***

This animation shows the motion of the inner part of the solar system over a two-year time period. The sun is at the center and the orbits of the planets Mercury, Venus, Earth and Mars are shown in light blue (the locations of each planet are shown as large crossed circles). Comets are shown as blue squares (numbered periodic comets are filled squares, other comets are outline squares). Main-belt minor planets are displayed as green circles, near-Earth minor planets are shown as red circles.

The individual frames were generated on an OpenVMS system, using the PGPLOT graphics library. The animation was put together on a RISC OS 4.03 system using !InterGif.

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Animations/Animations.html>

中心黃點—太陽，藍色圓圈—水星，金星，地球與火星軌道  
⊕—行星位置，綠色圓圈—小遊星帶中的物體，  
紅色圓圈—近地球的小遊星，藍色正方形—彗星



# 存在於中太陽系(木星軌道範圍內)的彗星與小遊星

## *THE MIDDLE SOLAR SYSTEM*

This animation shows the motion of the middle part of the solar system over a two-year time period. The sun is at the center and the orbits of the planets Mercury, Venus, Earth Mars and Jupiter are shown in light blue (the locations of each planet are shown as large crossed circles). Comets are shown as blue squares (numbered periodic comets are filled squares, other comets are outline squares). Main-belt minor planets are displayed as green circles, near-Earth minor planets are shown as red circles.

The individual frames were generated on an OpenVMS system, using the PGPLOT graphics library. The animation was put together on a RISC OS 4.03 system using !InterGif.

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Animations/Animations.html>

中心黃點—太陽，藍色圓圈—行星軌道  
⊕—行星位置，綠色圓圈—小遊星帶中的物體，  
紅色圓圈—近地球的小遊星，藍色正方形—彗星

# 存在於外太陽系(木星軌道範圍外)的彗星與小遊星

## ***THE OUTER SOLAR SYSTEM***

This animation shows the motion of the outer part of the solar system over a 100-year time period. The sun is at the center and the orbits of the planets Jupiter, Saturn Uranus and Neptune are shown in light blue (the locations of each planet are shown as large crossed circles).

Comets: blue squares (filled for numbered periodic comets, outline for other comets)

High-e objects: cyan triangles

Centaur: orange triangles

Plutinos: white circles (Pluto itself is the large white crossed circle)

"Classical" TNOs: red circles

Scattered Disk Objects: magenta circles

The individual frames were generated on an OpenVMS system, using the PGPLOT graphics library. The animation was put together on a RISC OS 4.03 system using !InterGif.

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Animations/Animations.html>

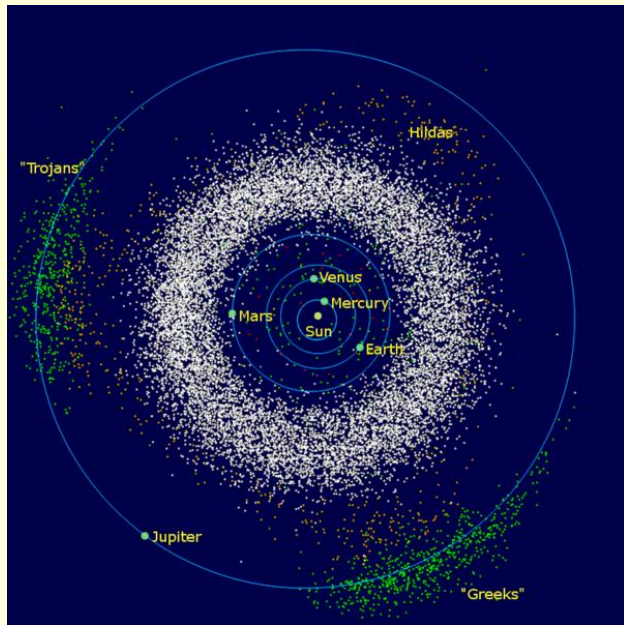
中心黃點—太陽，藍色圓圈—行星軌道，紅色點—Kuiper帶天體



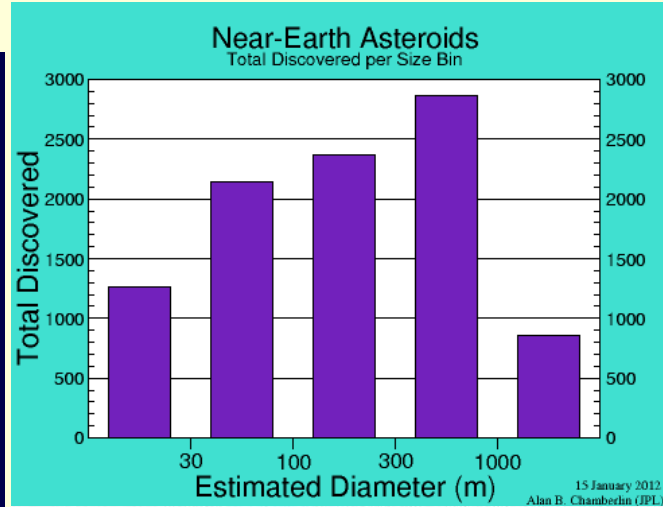
行星位置，橙色三角形—具高離心率彗星，

紫紅色圓圈—散佈於黃道面的天體，藍色正方形—彗星

# 近地小遊星(NEA)與對地威脅小遊星(PHA)



<http://www.skyandtelescope.com/astronomy-news/wise-revived-for-asteroid-hunt/>

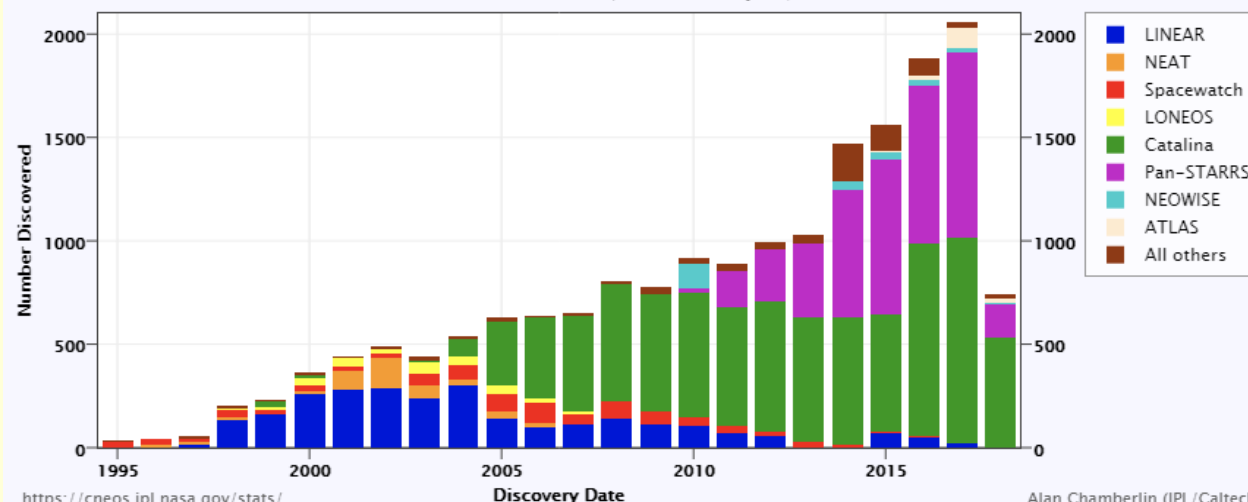


小遊星(Asteroid)是繞太陽公轉的石質或金屬質(鐵及鎳)的物體，其大小由數十公尺到將近1000公里，絕大部分集中在火星與木星的小遊星帶中，少部分位於木星軌道中。據估計，太陽系中約有3000萬個小遊星，其中80%以上的小遊星大小在100公尺以內，而大於1公里以上的小遊星估計超過100萬個。**小遊星帶中最大的物體為Ceres，直徑為950公里**，具有石質核心與水構成的冰凍外殼，2014年哈柏望遠鏡偵測到**Ceres大氣層中有水汽**。公轉軌道在0.983到1.3AU (天文單位)之間的小遊星，特稱為**近地小遊星(Near Earth Asteroid – NEA)**。國際上有許多單位、組織長期監測小遊星，美國國會要求美國政府在2020年之前，將90%的直徑大於140公尺的PHA偵測並定位出，目前絕大多數的小遊星係由Pan-STARRS以及Catalina 監測網偵測得。**中央大學鹿林山天文台**為參與Pan-STARRS全球監測網的成員之一。

[http://en.wikipedia.org/wiki/Near-Earth\\_object](http://en.wikipedia.org/wiki/Near-Earth_object)

<http://neo.jpl.nasa.gov/faq/>

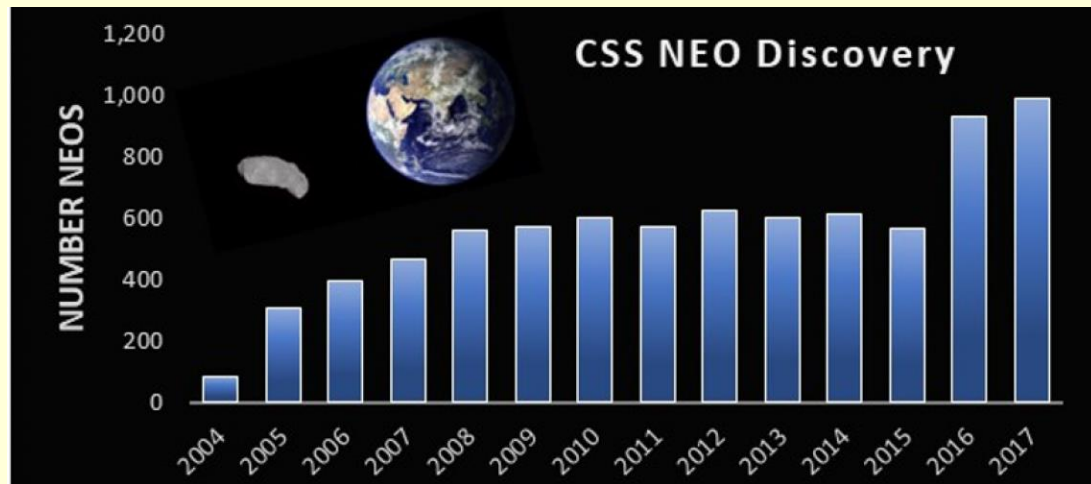
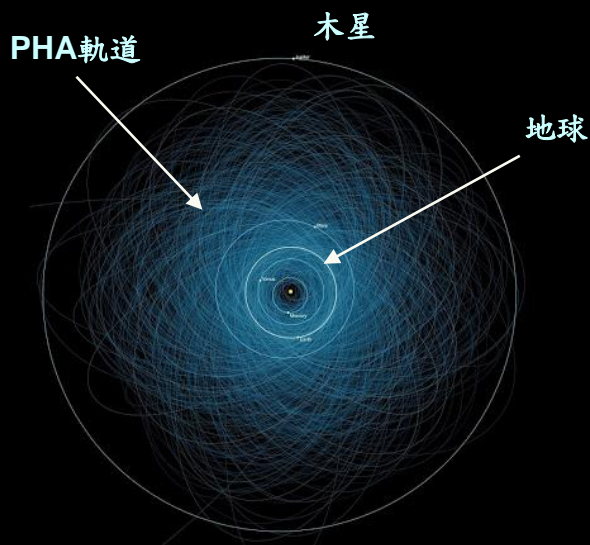
Near-Earth Asteroid Discoveries by Survey  
All NEAs (as of 2018-May-25)



Alan Chamberlin (JPL/Caltech)

<https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/>

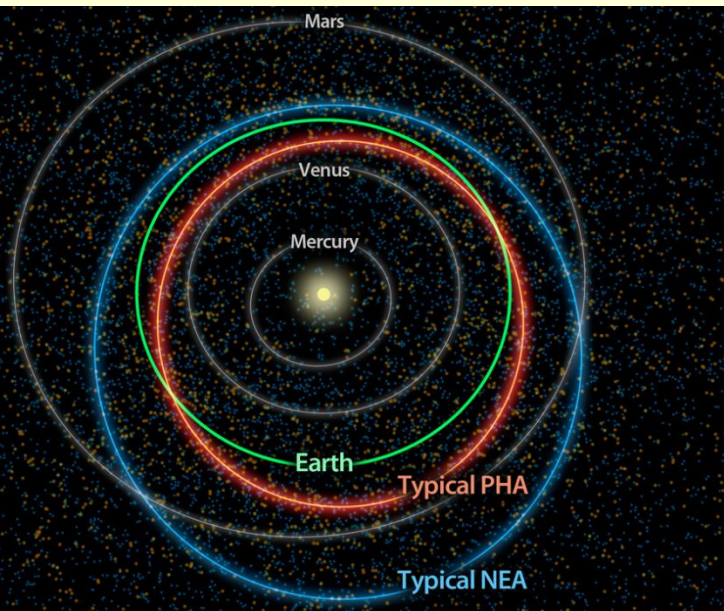
# 近地小遊星(NEA)與對地威脅小遊星(PHA)



<https://catalina.lpl.arizona.edu/news/catalina-sky-survey-posts-record-year-near-earth-asteroid-discovery-2017>

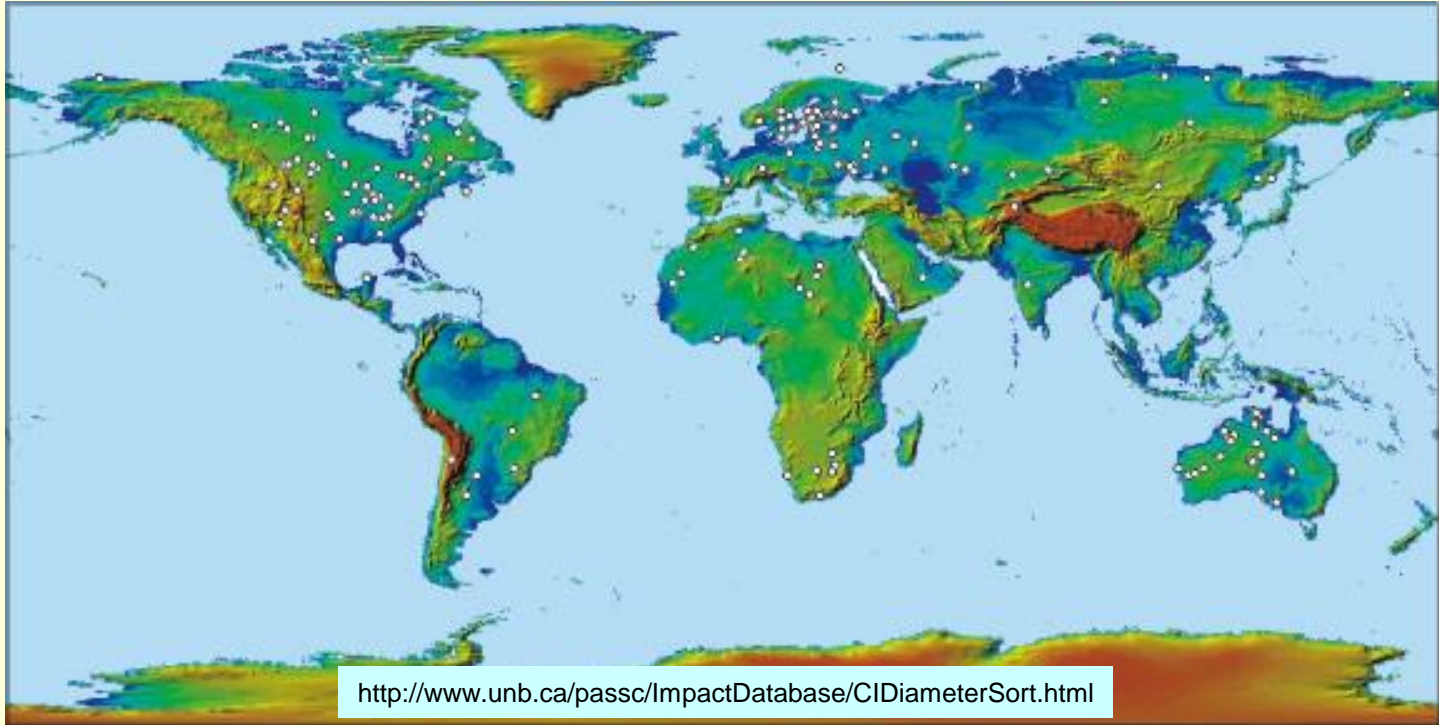
美國亞利桑納大學(Univ of Arizona)的Catalina Shyky Survey計畫由NASA支助，為地球上主要監測近地物體(Near-Earth Object, NEO)的機構，目前共發現約有17800多個NEO。NEO主要由近地小遊星(Near Earth Asteroid - NEA)所構成，少數107個是彗星，絕大部分對於地球暫時都沒威脅。目前太陽系中約有**1573**個直徑大於140公尺，運行軌道最近地球時在750萬公里以內的對地球有威脅的小遊星(Potential Hazardous Asteroid - PHA)，最大的一個約為0.9公里。雖然科學家預估在未來數百年間PHA不致於撞擊地球，但若受到其他因素影響，導致現有軌道的改變，則不排除有撞擊地球的可能，產生毀滅性災難。目前已發現12000多個NEA，直徑大於1公里的NEA約有872個，**其中153個屬於PHA**。

<http://www.astrowatch.net/2013/08/does-one-of-these-asteroids-have-our.html>



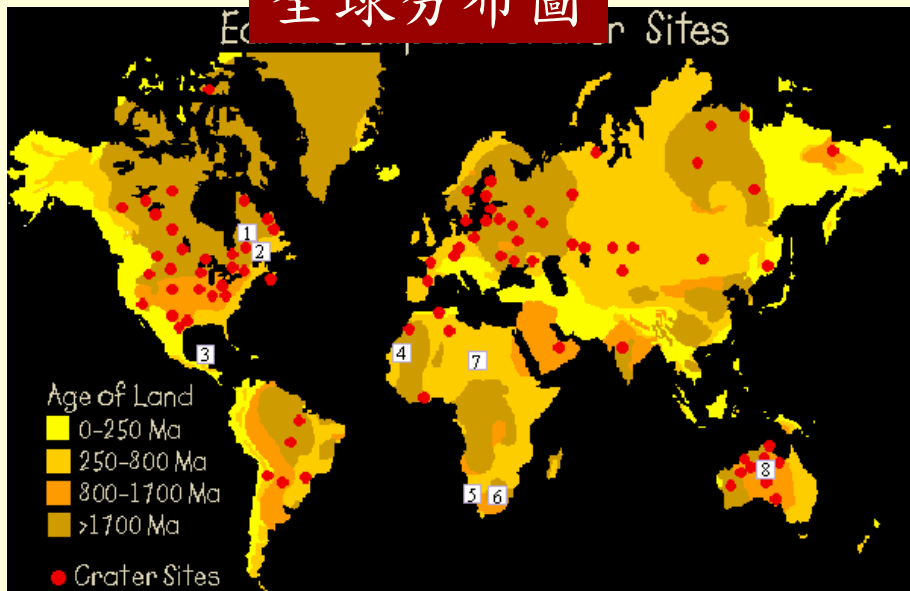
# 全球隕石坑分布圖

目前全球已證實的隕石坑總數為172個



# 彗星與小遊星撞擊地球的證據－隕石坑

全球分布圖



直徑1.2km  
約5萬年前

美國Arizona



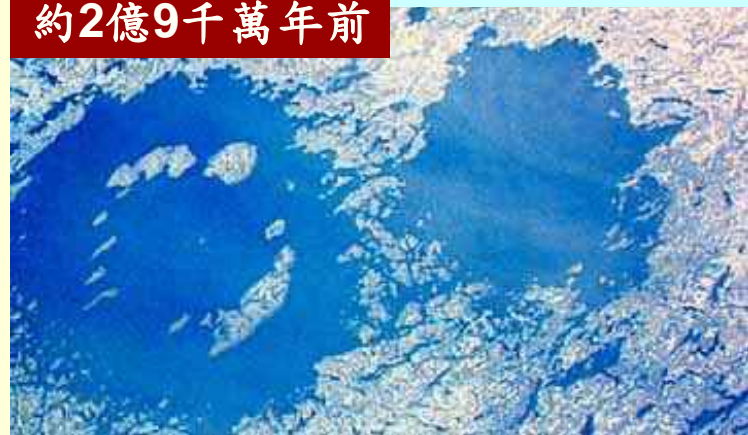
直徑45km  
約1千萬年前

帕米爾高原  
(阿富汗邊界)



直徑22與32km  
約2億9千萬年前

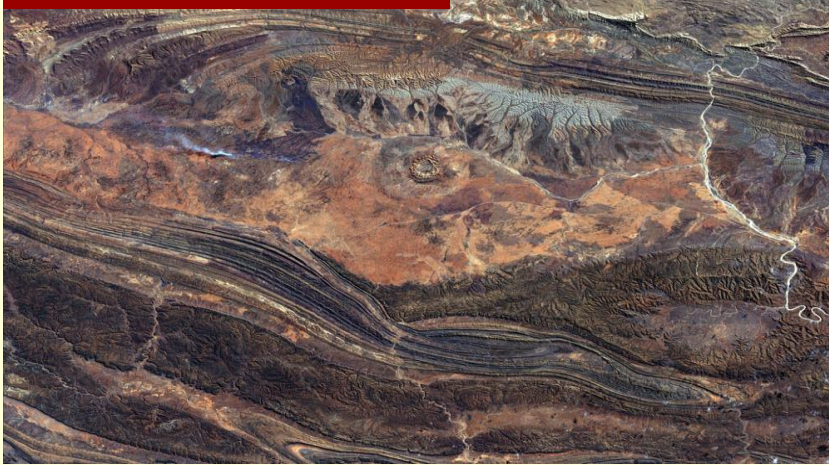
加拿大Quebec



# 其他古老的隕石坑

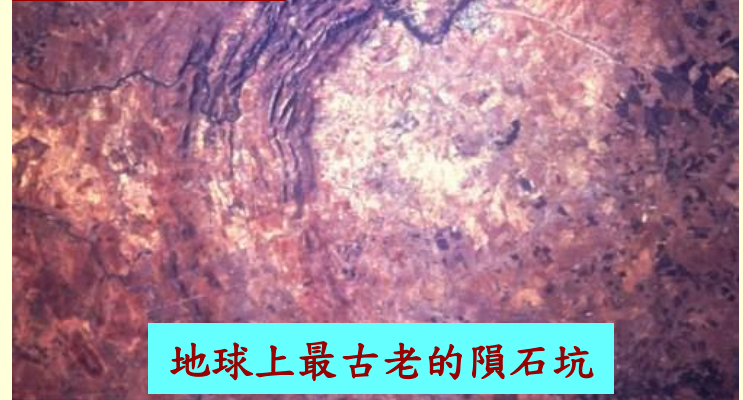
直徑24km  
約1億4千2百萬年前

澳洲  
Northern land



直徑300km  
約20億2千  
3百萬年前

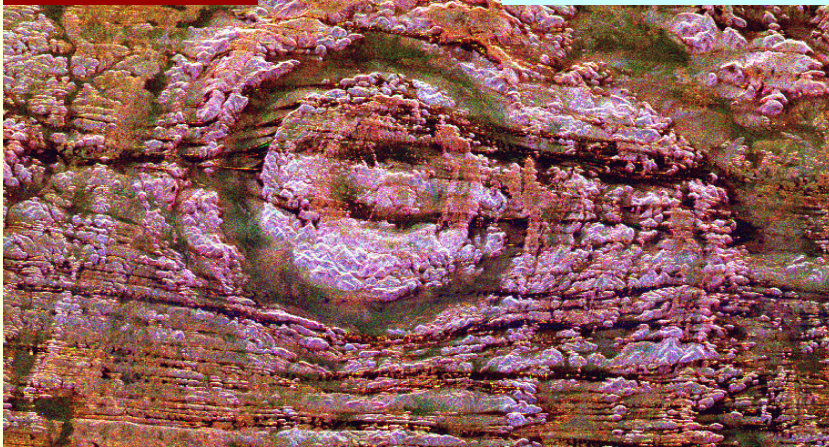
南非  
Vredefort



地球上最古老的隕石坑

直徑17km  
約2億年前

非洲查德北方  
薩哈拉沙漠

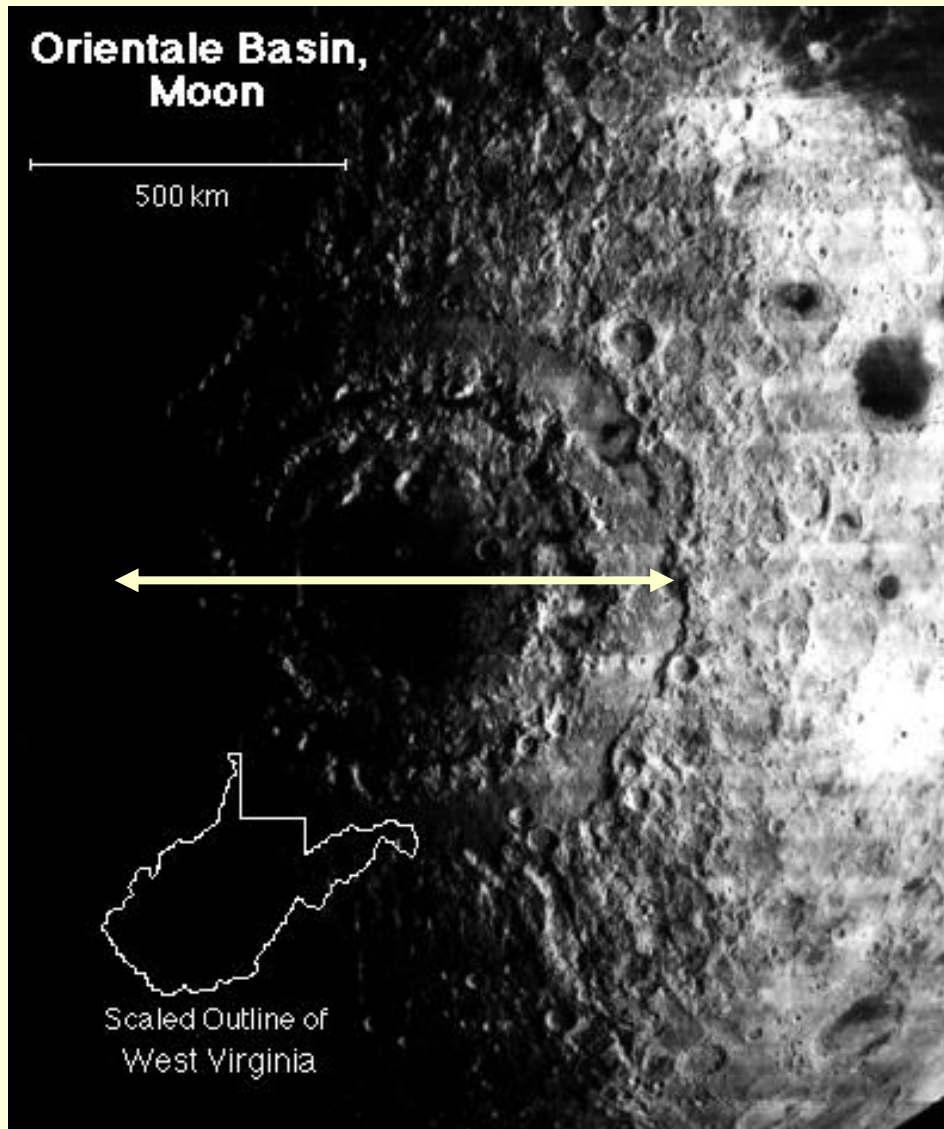


直徑100km  
約2億1千2  
百萬年前

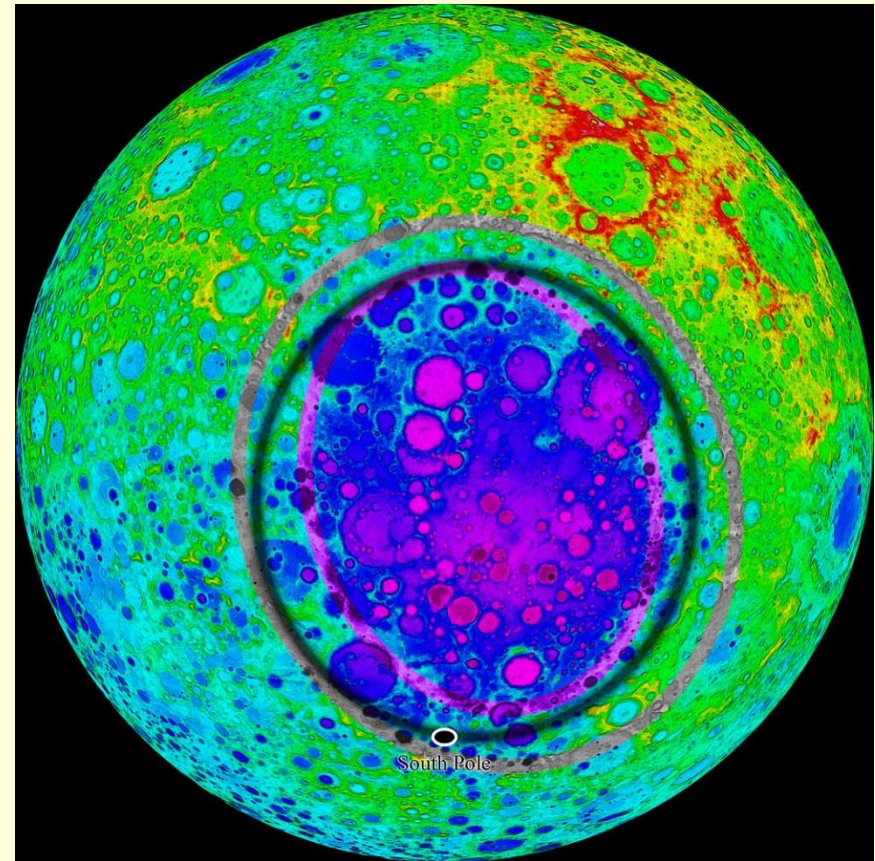
加拿大Quebec



# 月球上的隕石坑



月球南極的Aitken盆地  
(直徑2500公里，深13公里)  
(43億年前的巨大天體撞擊結果)



[http://en.wikipedia.org/wiki/South\\_Pole%E2%80%93Aitken\\_basin](http://en.wikipedia.org/wiki/South_Pole%E2%80%93Aitken_basin)

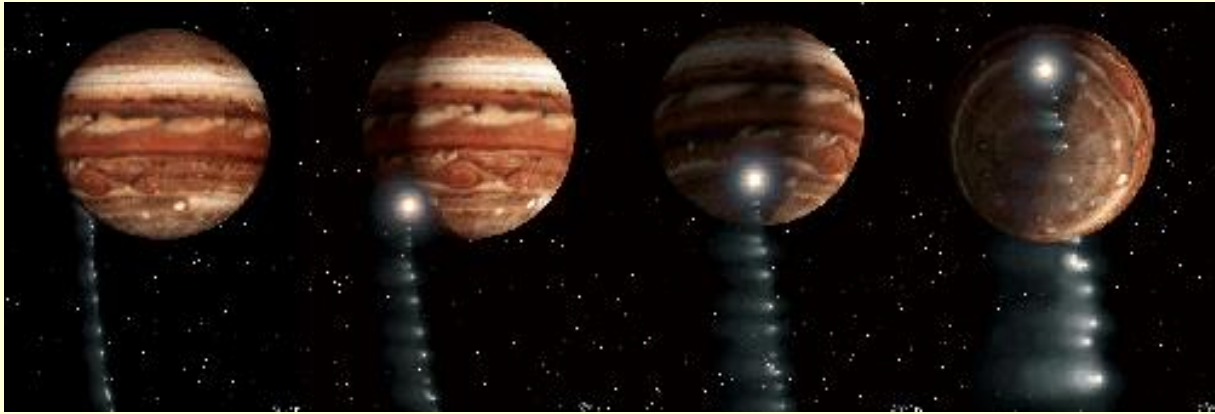


# 彗星撞擊其他行星實例

彗星：Shoemaker-Levy 9

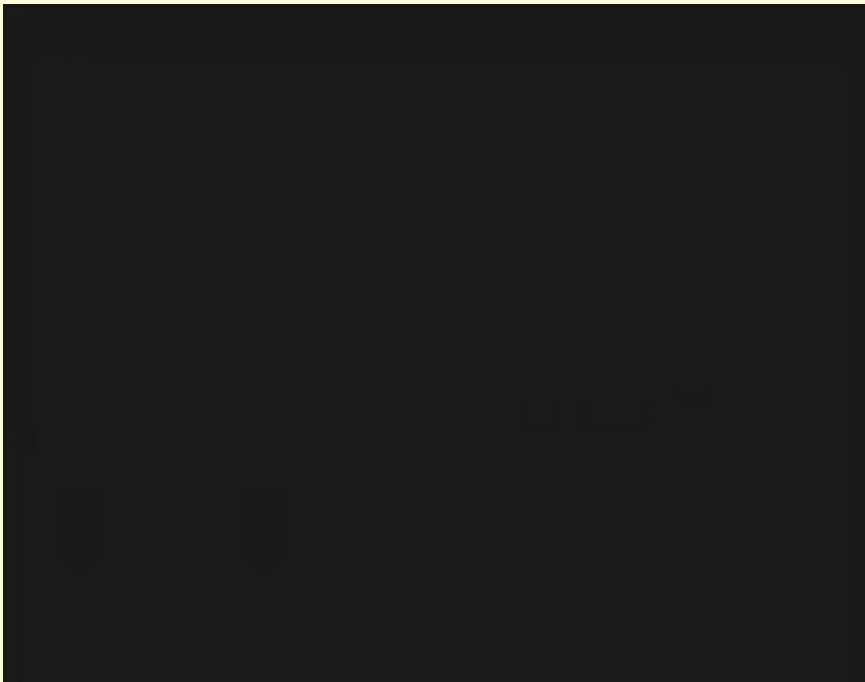
時間：1994年7月19日

SL彗星碎成大小約2公里九塊碎片，以每秒60公里速度先後撞上木星，最大的一次撞擊，產生直徑約12000公里的巨大撞擊痕跡，溫度達24000度，產生的向上噴發物質，高達3000公里，激發出的強烈震波，以每秒450公尺速度越過木星表面約兩小時之久。



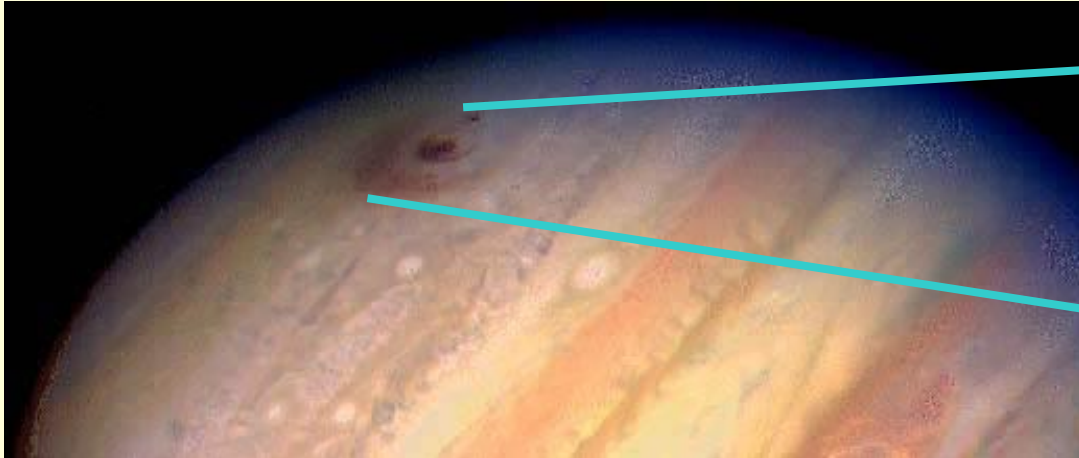
綜合影片

哈伯望遠鏡拍攝實況

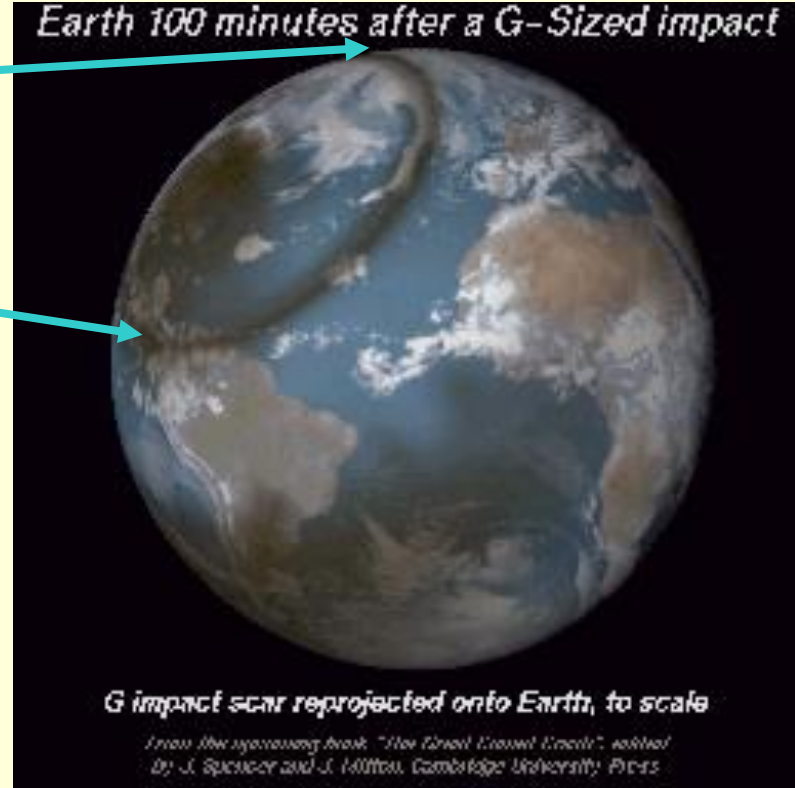


# SL9彗星在木星上產生之撞擊點的大小

木星上的撞擊範圍



投射到地球上的範圍



小行星Apophis撞擊地球的模擬結果

NASA在2017年11月修正Apophis於2036年4月13日撞擊地球的機率，由原先4.5萬分之一修至百萬分之四。預測會距地球3萬公里距離，掠過地球。

# 撞擊能量對照表

事件	能量(焦耳, J)	相對能量倍數
兩輛1.6噸的車以時速90km/hr互撞	$9.6 \times 10^5$	1
1噸TNT炸藥爆炸	$4.2 \times 10^9$	4,271
20百萬噸氫彈爆炸	$8.4 \times 10^{16}$	87,500,000,000
1990年全美國產生的電力	$1.0 \times 10^{19}$	10,400,000,000,000
100億噸質量的SL9彗星撞擊木星所釋放的能量	$9.0 \times 10^{21}$	9,375,000,000,000,000
木星一天所接收到太陽輻射的總能量	$6.6 \times 10^{22}$	68,750,000,000,000,000

\*1 BTU = 252 (small) calories = 1,055 J =  $2.93 \times 10^{-4}$  kWh.

# 意外事件致命機率

Cause of death	Chances
Motor vehicle accident	1 in 100
Homicide	1 in 300
Melanoma (黑色素瘤皮膚癌)	1 in 300
Fire	1 in 800
Firearms (手槍)accident	1 in 2,500
Electrocution (觸電)	1 in 5,000
<b>Asteroid/comet impact</b>	<b>1 in 20,000</b>
Passenger aircraft crash	1 in 20,000
Flood	1 in 30,000
Tornado	1 in 60,000
Venomous bite or sting	1 in 100,000
Food poisoning by botulism (臘腸桿菌中毒)	1 in 3 million



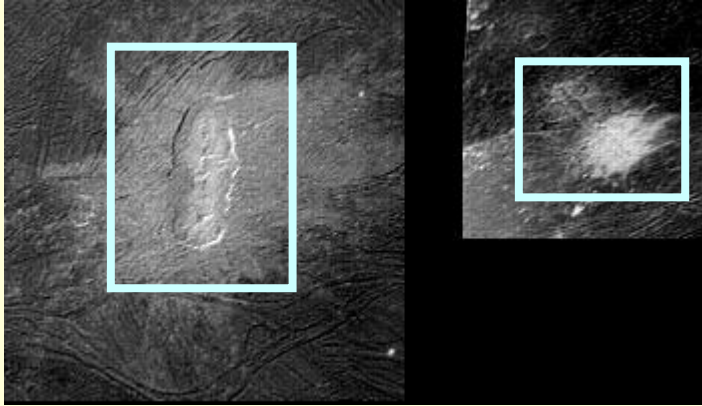
<http://www.psi.edu/projects/ktimpact/ktimpact.html>

(C.R. Chapman & D. Morrison, 1994, *Nature* 367, 33-40 )

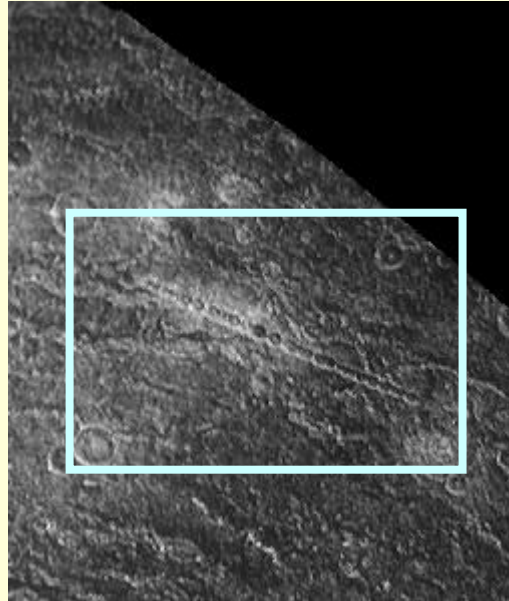
# 彗星撞擊其他天體的證據－隕石坑鏈

(彗星先因潮汐作用碎裂成串後再撞擊天體)

木星衛星Ganymede



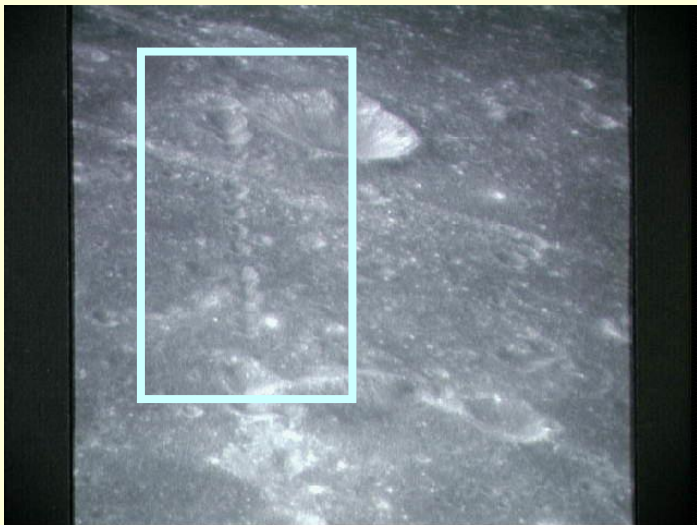
木星衛星Callisto



SL9彗星撞木星



月球



彗星因結構相對鬆軟，極易因自旋現象再加上受到行星重力的潮汐作用的影響，而被扯裂成許多碎片，再撞擊到天體，形成隕石坑鏈

# 彗星撞地球的可能影響

- 一、改變環境，造成生物的滅絕。
- 二、產生隕石坑，改變地形地貌。
- 三、提供生命的奠基石—氨基酸。
- 四、在大氣中補充凝結核，提供下雨的機會。
- 五、帶來大量水分，提供地球海洋與湖泊中水的來源之一。  
在太陽系中，水主要存在三個地方：
  - 原始小遊星帶中天體的內部，估計含水量與地球上的總水量相當。
  - 離太陽3-5AU範圍內的原始太陽塵雲中，估計含水量約為地球總水量的20倍。
  - 總彗星的含水量，估計約為地球總水量的50倍。

# 恐龍滅絕原因探索

## 可能原因

### 一、天體(隕石)撞擊說

### 二、火山噴發說

—隕石撞擊與火山噴發結果改變地球環境造成恐龍滅絕

### 三、氣候變異說

—地球全面且持續的乾旱，寒害，或酷暑

### 四、造山運動說

### 五、自相殘殺說

### 六、瘟疫傳染說

### 七、種的老化說

—種屬的老化，造成抵抗力的衰弱與不足

### 八、其他

# 地質年代表

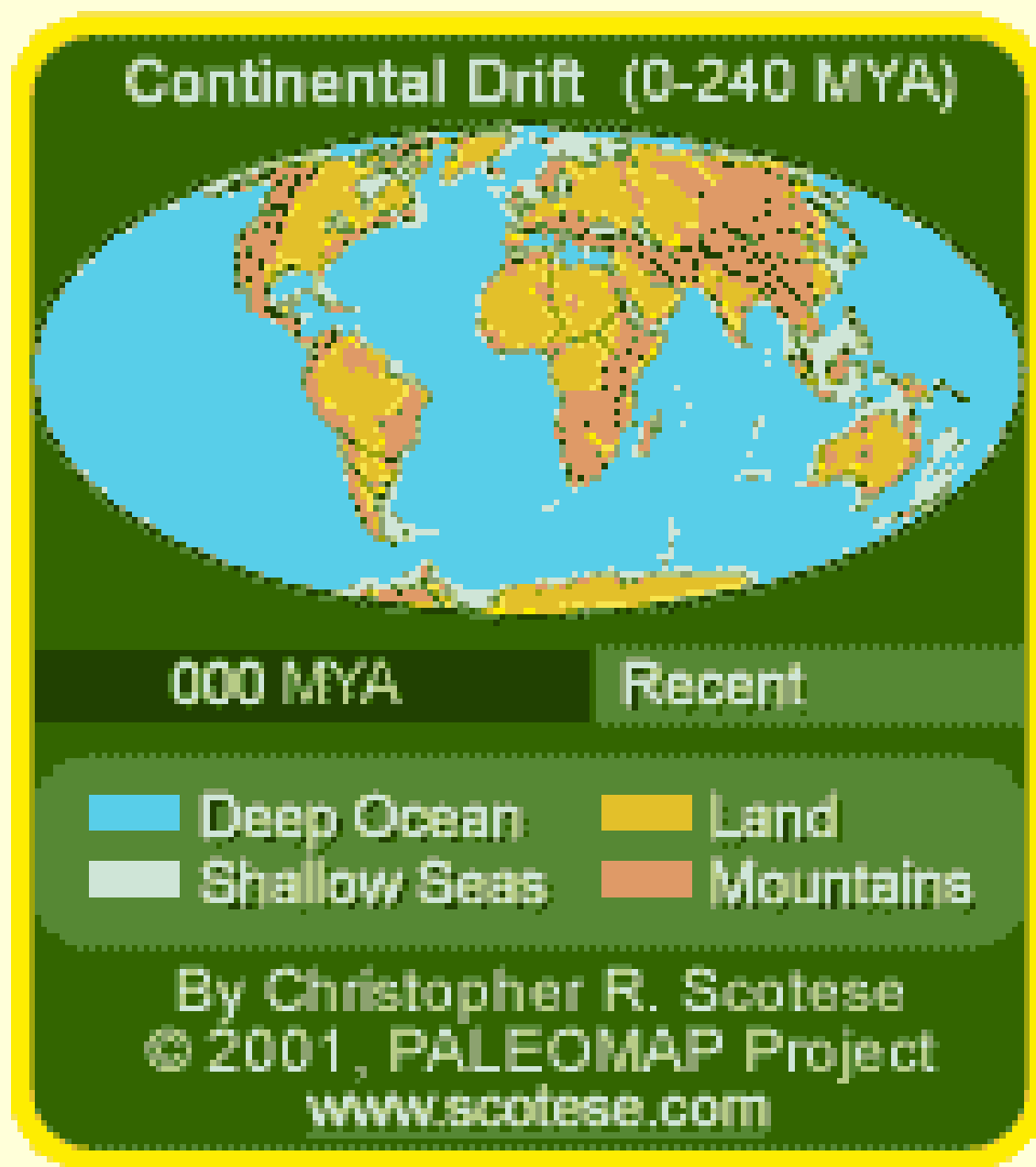
顯生宙Phanerozoic		單位：百萬年
新生代Cenozoic		
第四紀Quaternary		
全新世Holocene		現代Today--0.01
更新世Pleistocene		0.01--1.8
第三紀Tertiary		
上新世Pliocene		1.8--5.3
中新世Miocene		5.3--23
漸新世Oligocene		23--36.5
始新世Eocene		36.5--53
古新世Palaeocene		53--65
中生代Mesozoic		
白堊紀Cretaceous	← 70%海洋生物滅絕	65--145
侏羅紀Jurassic	← 50%地球生物滅絕	145--208
三疊紀Triassic		208--248
古生代Palaeozoic		
二疊紀Permian	← 90%海洋生物滅絕 70%脊椎動物滅絕	248--290
石炭紀Carboniferous		290--360
泥盆紀Devonian	← 70%地球生物滅絕	360--410
志留紀Silurian		410--438
奧陶紀Ordovician	← 60%地球生物滅絕	438--510
寒武紀Cambrian		510--570
元古宙Precambrian		
元古代Proterozoic		
震旦紀Sinian		570--800-
		800--2,500
太古宙Archaean		
太古代Archaean		2,500--4,600

恐龍滅絕年代

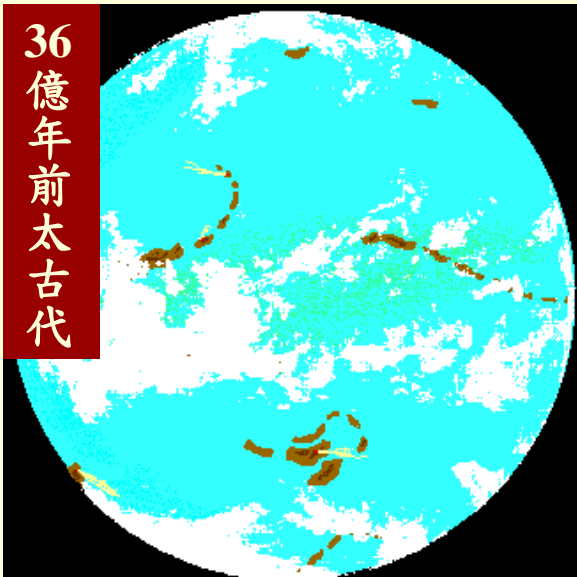
史上最大滅絕



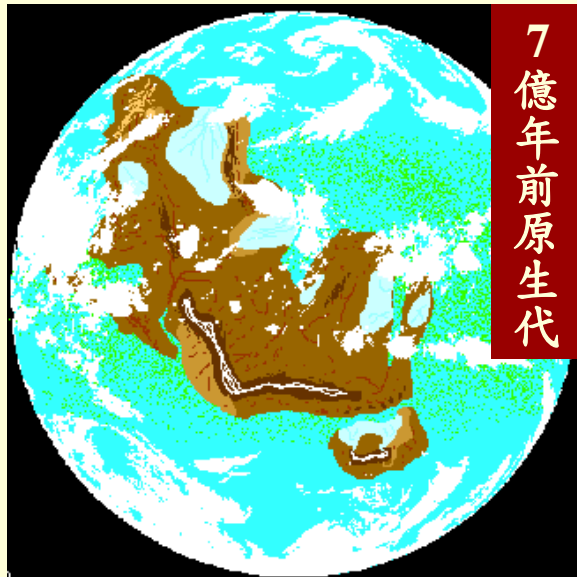
# 地球板塊運動(現在—2億4千萬年前)



36億年前太古代

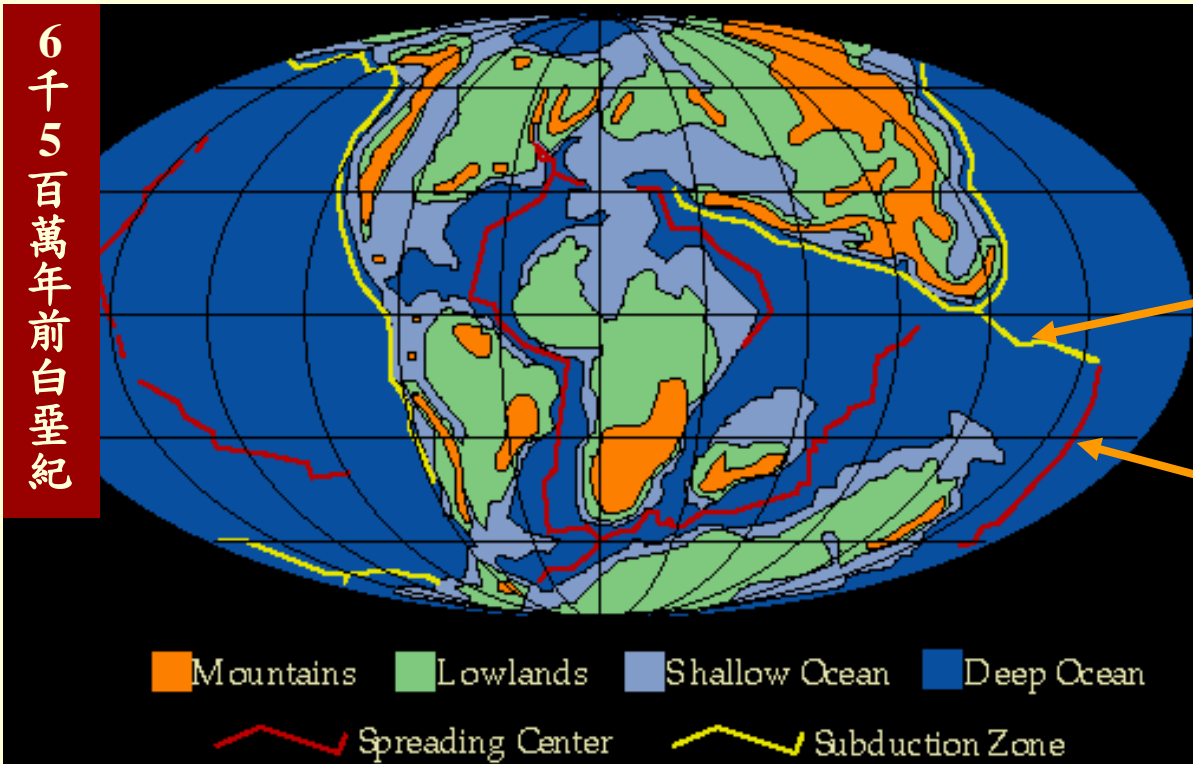


7億年前原生代



# 地球古陸塊的變遷—板塊運動的結果

6千5百萬年前白堊紀



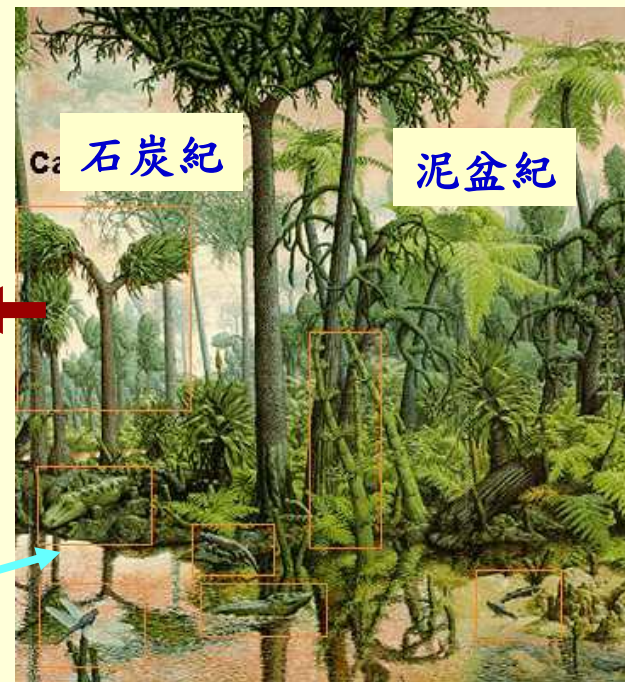
板塊邊界—下沉區

板塊邊界—上升區

# 恐龍時代的想像景象



最老的恐龍出現在  
2億3千萬年前的三疊紀



爬蟲類時代

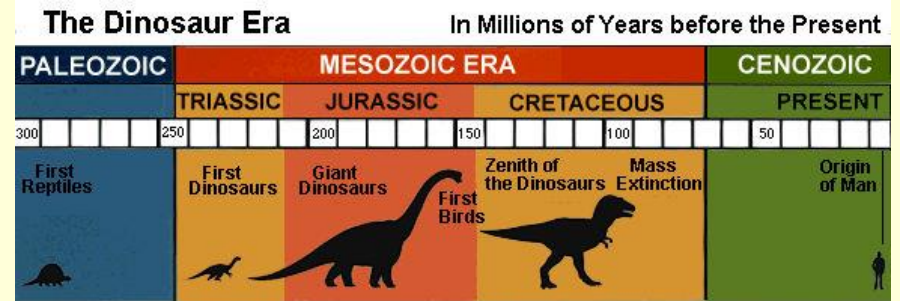
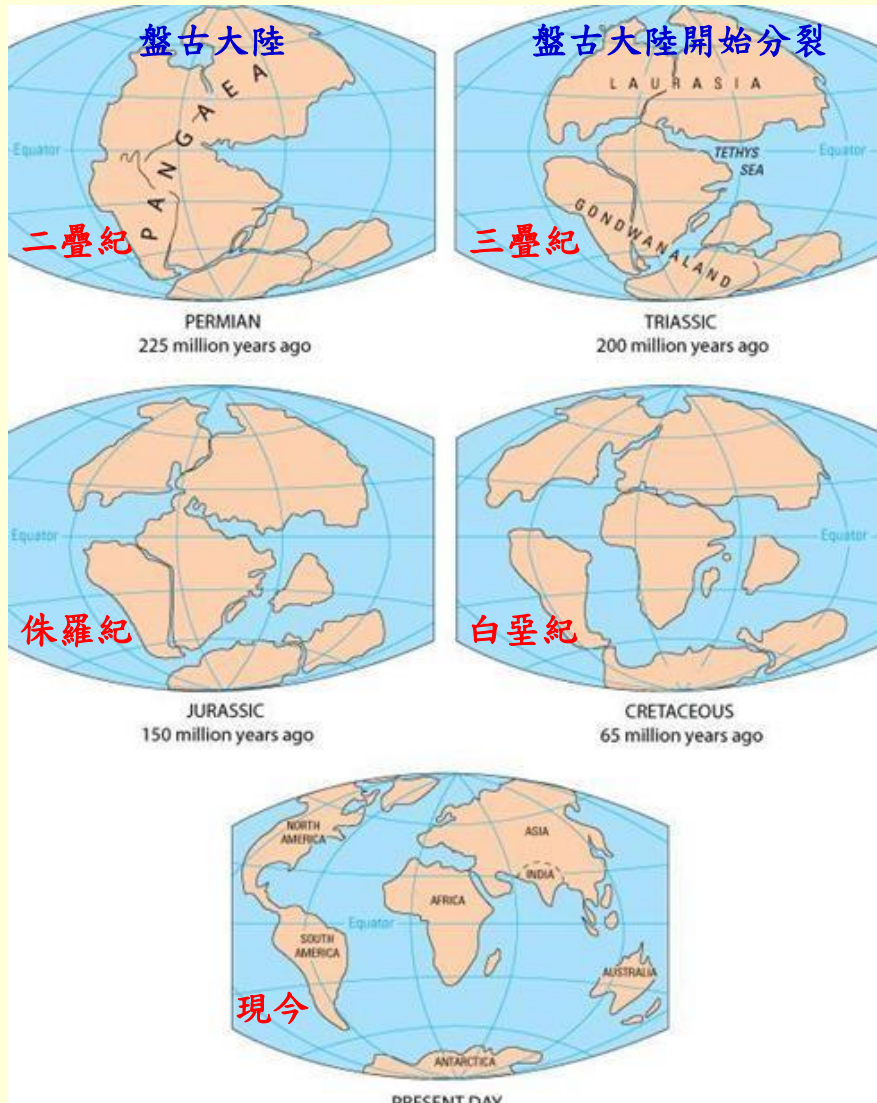


恐龍時代結束

(6500萬年前)

恐龍出現在地球上並支配地球生物的時間長達1億6千萬年

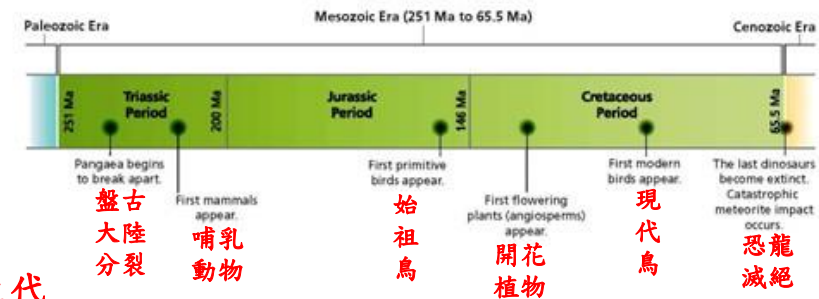
# 恐龍時期的地球環境



[http://www3.canisius.edu/~grandem/whatisadino/whatisadino\\_print.html](http://www3.canisius.edu/~grandem/whatisadino/whatisadino_print.html)

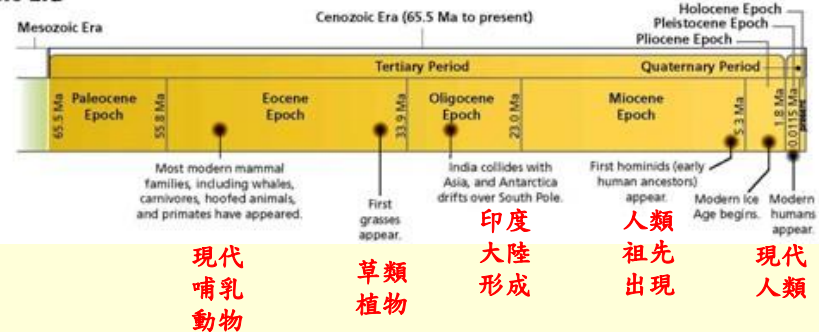
## 中生代

### The Mesozoic Era



## 新生代

### The Cenozoic Era

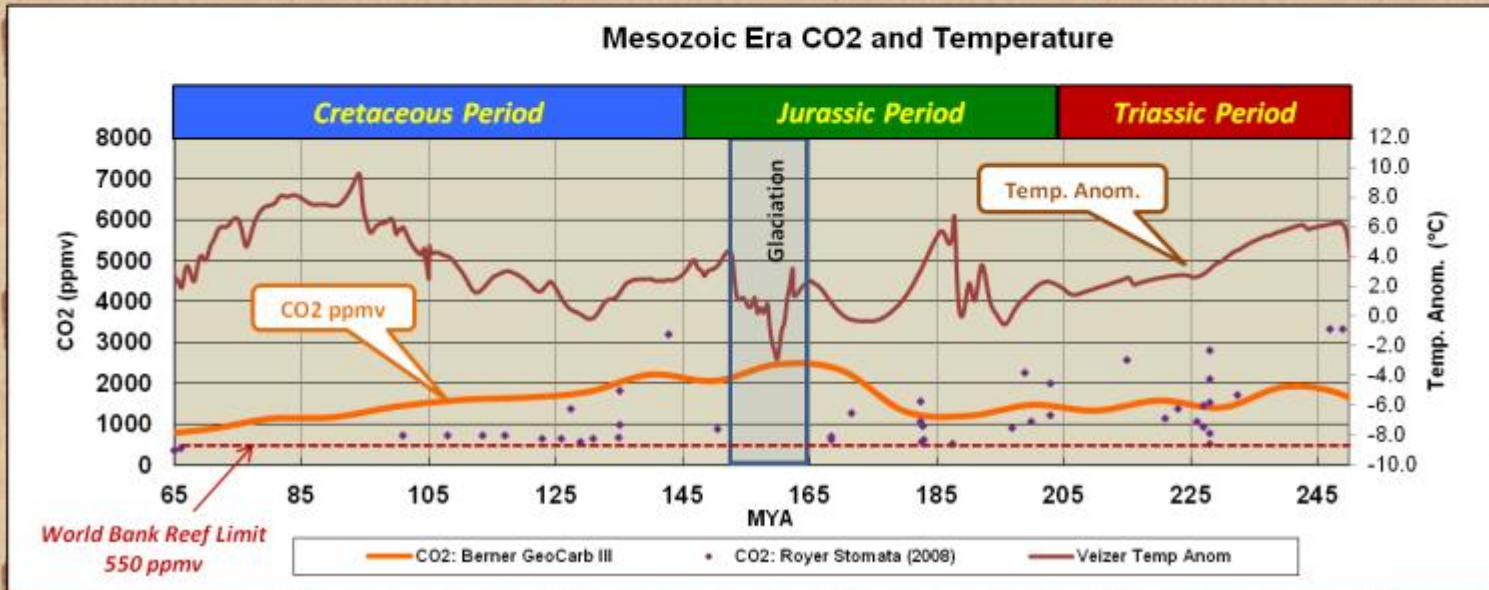


[http://i.usatoday.net/communitymanager/\\_photos/science-fair/2011/02/21/pangaeax-large.jpg](http://i.usatoday.net/communitymanager/_photos/science-fair/2011/02/21/pangaeax-large.jpg)

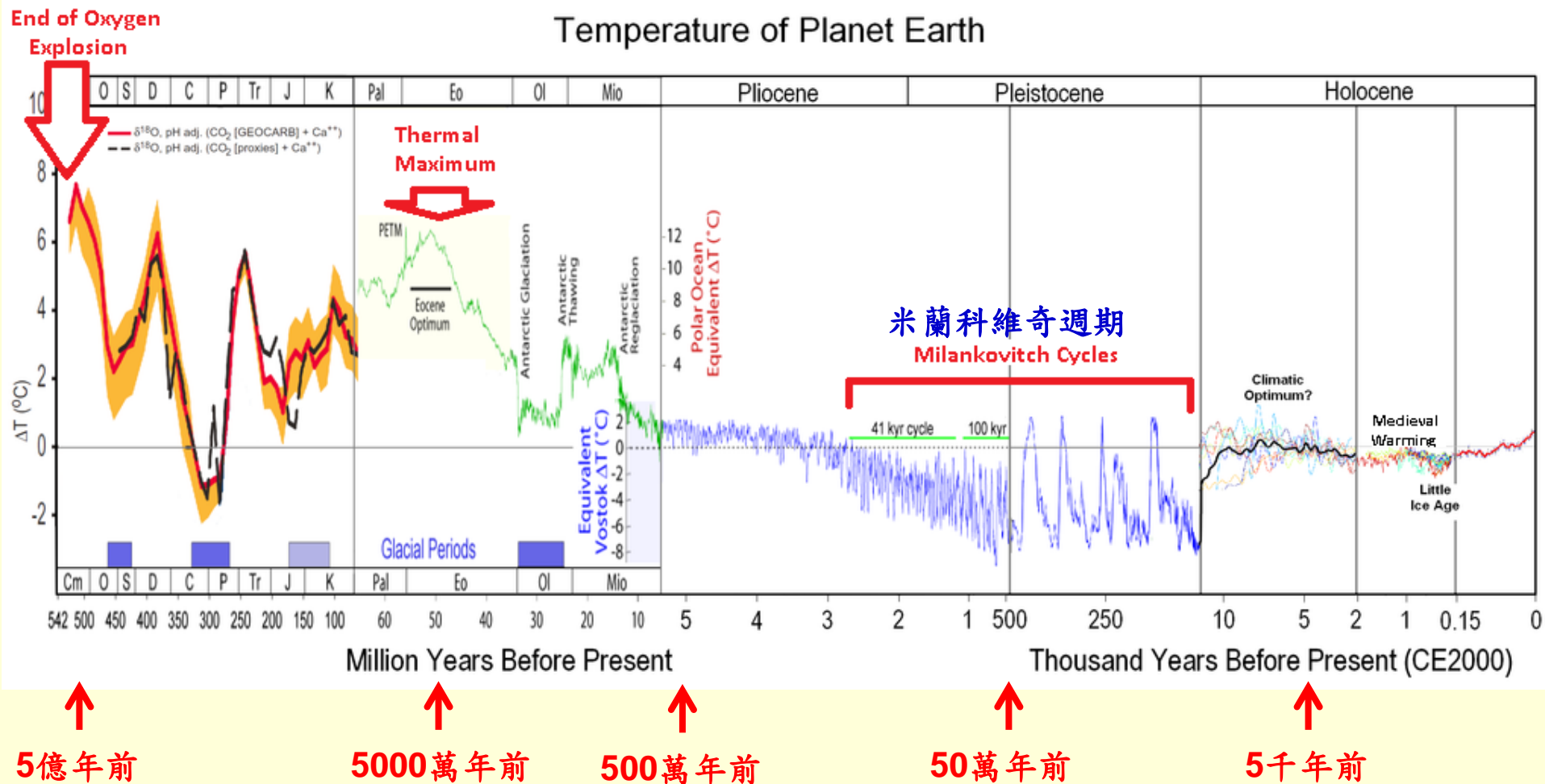
# 恐龍時期的地球環境-中生代

## Coral Reefs of the Mesozoic Era

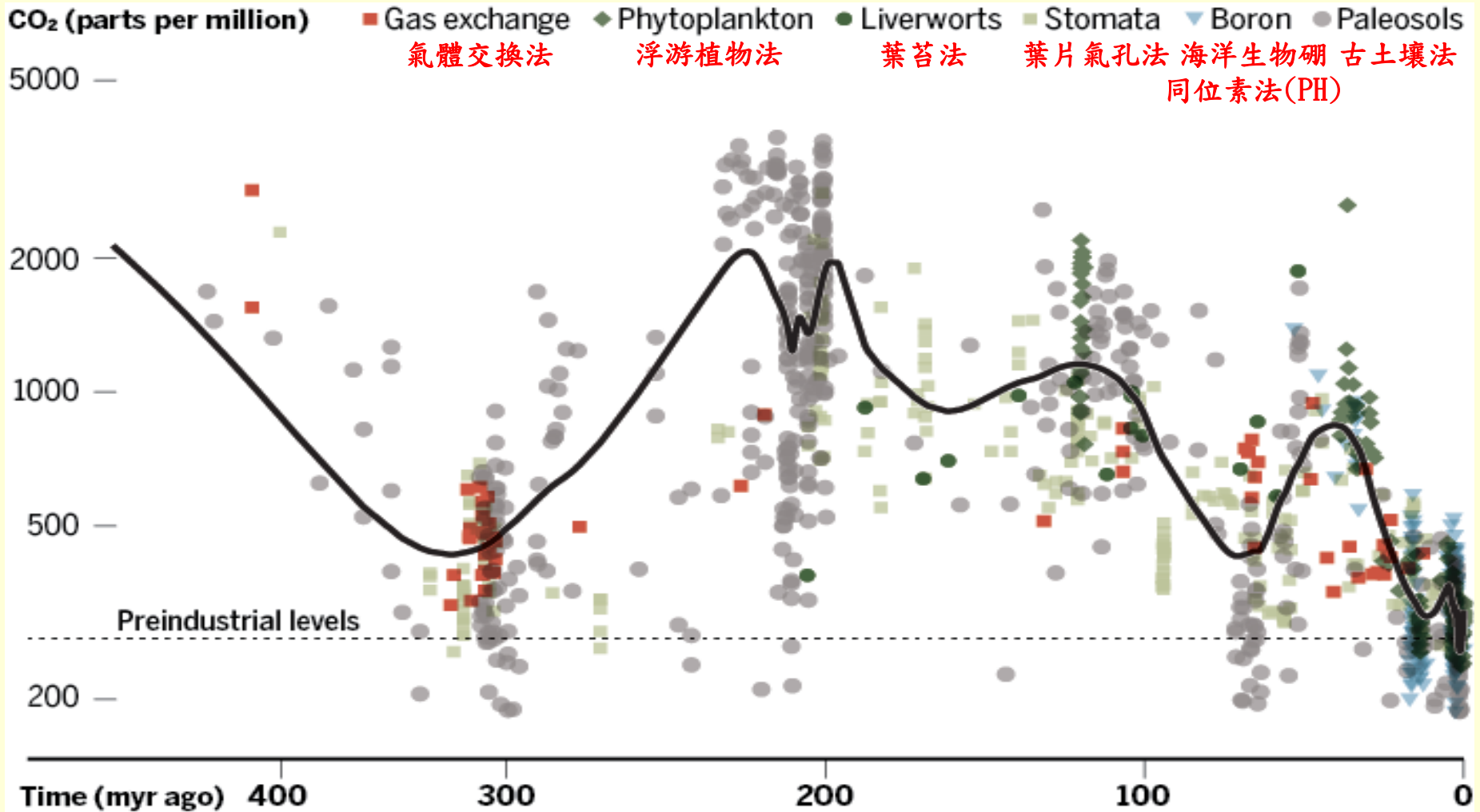
Source: Corals of the World Online <http://coral.aims.gov.au/speciesPages/html/key/reefs-mesozoic.html>



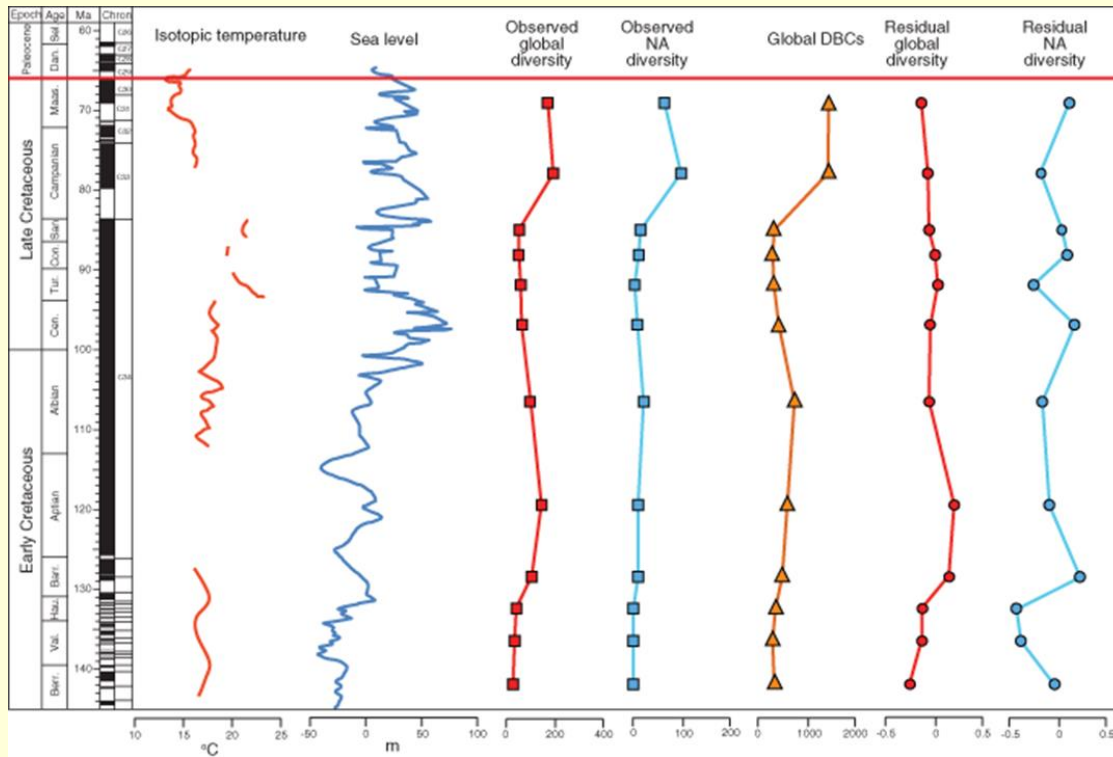
# 寒武紀生命大爆發後地球大氣溫度之變動



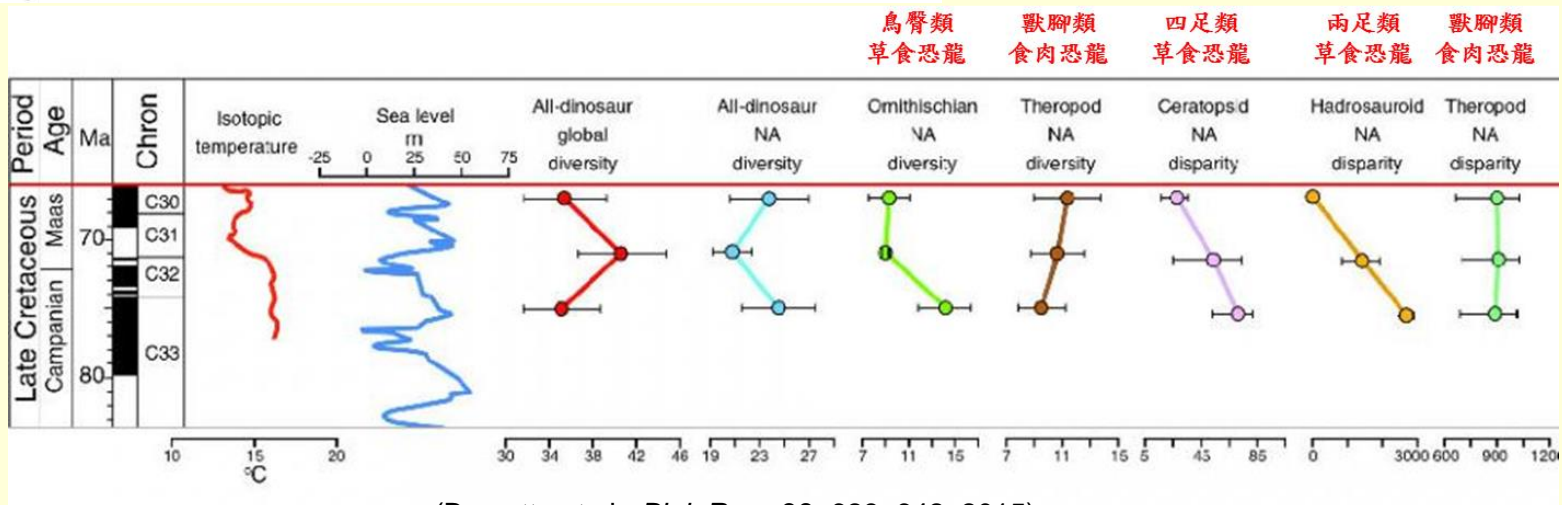
# 過去五億年地球二氧化碳濃度之變動



# 白堊紀末期的地球環境



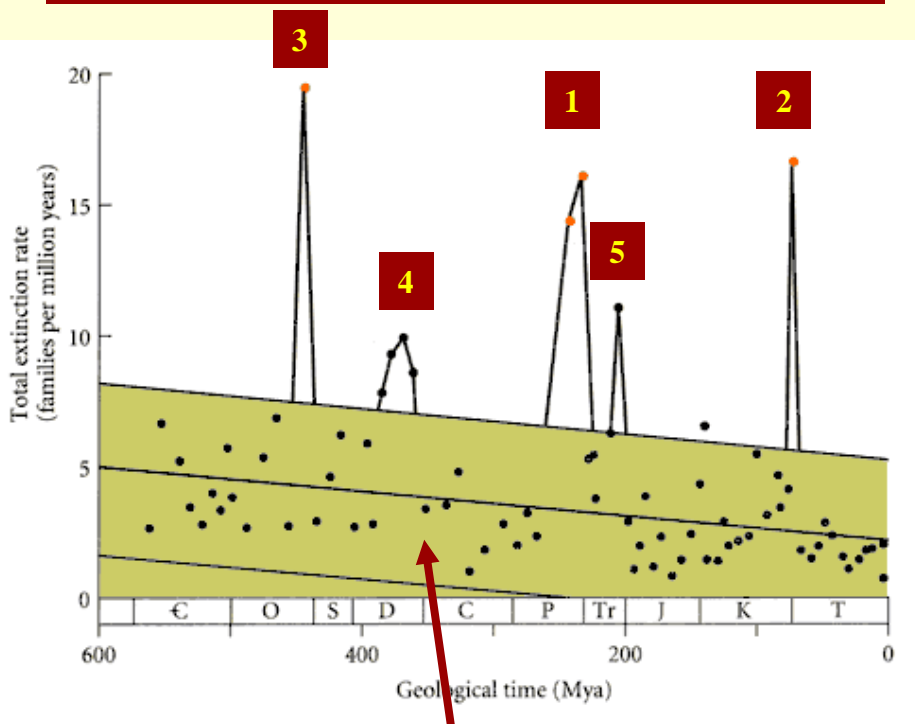
- 恐龍多樣性並未有下降趨勢 甚至有增加趨勢
- 大氣溫度與海平面高度變化頻繁且劇烈
- CO<sub>2</sub>濃度亦顯著下降，與溫度降低趨勢吻合
- 草食恐龍種類多樣性與差異性顯著減少，肉食恐龍則略有增加
- 伴隨有印度德乾(Deccan)火山長期劇烈噴發事件





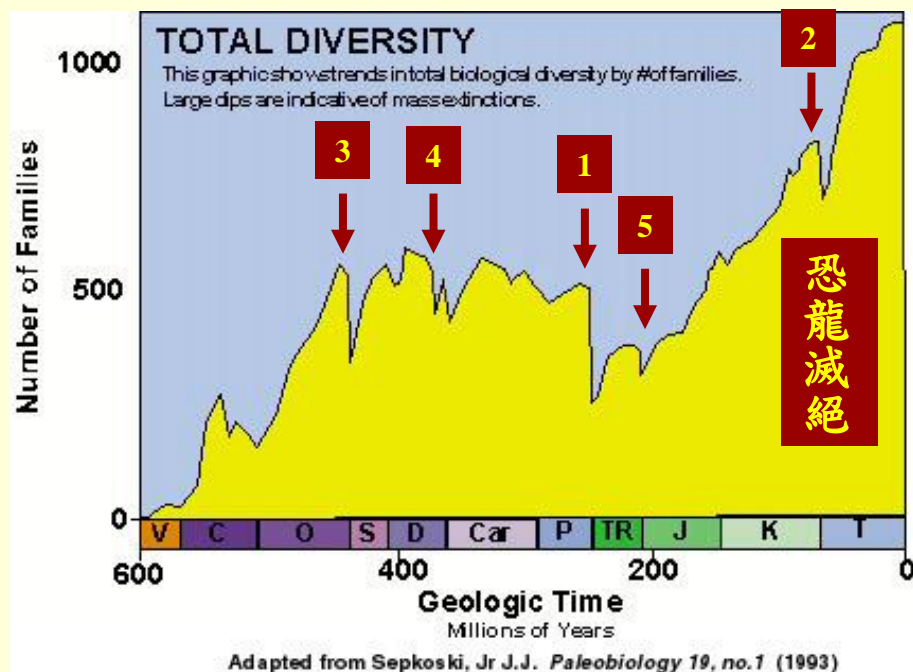
# 地球史上最大的五個生物滅絕事件

## 海洋生物種屬滅絕率隨時間的變動

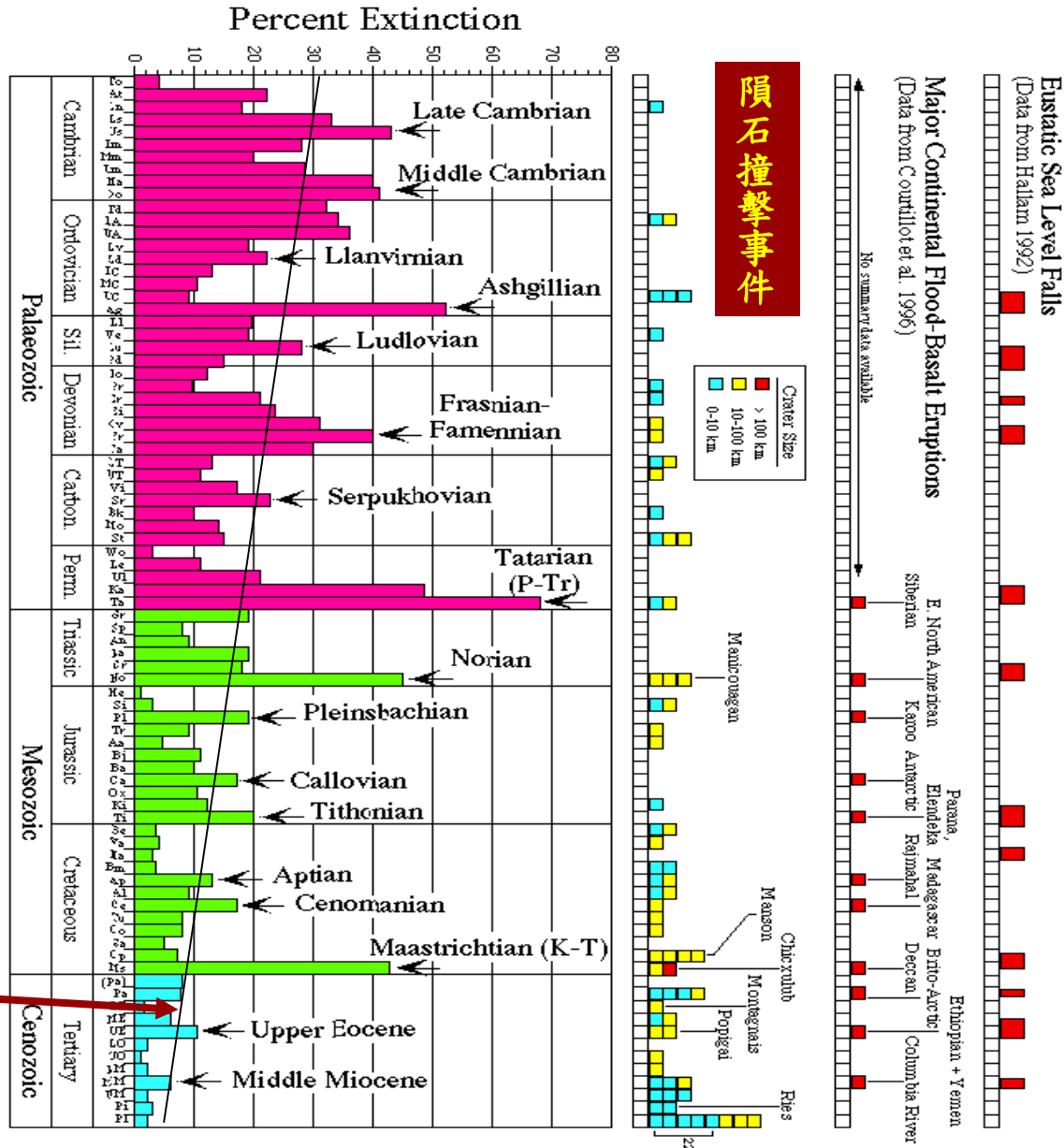


生物滅絕背景值

## 全部生物種屬的數目隨時間的變動



# 生物滅絕事件與隕石撞擊事件



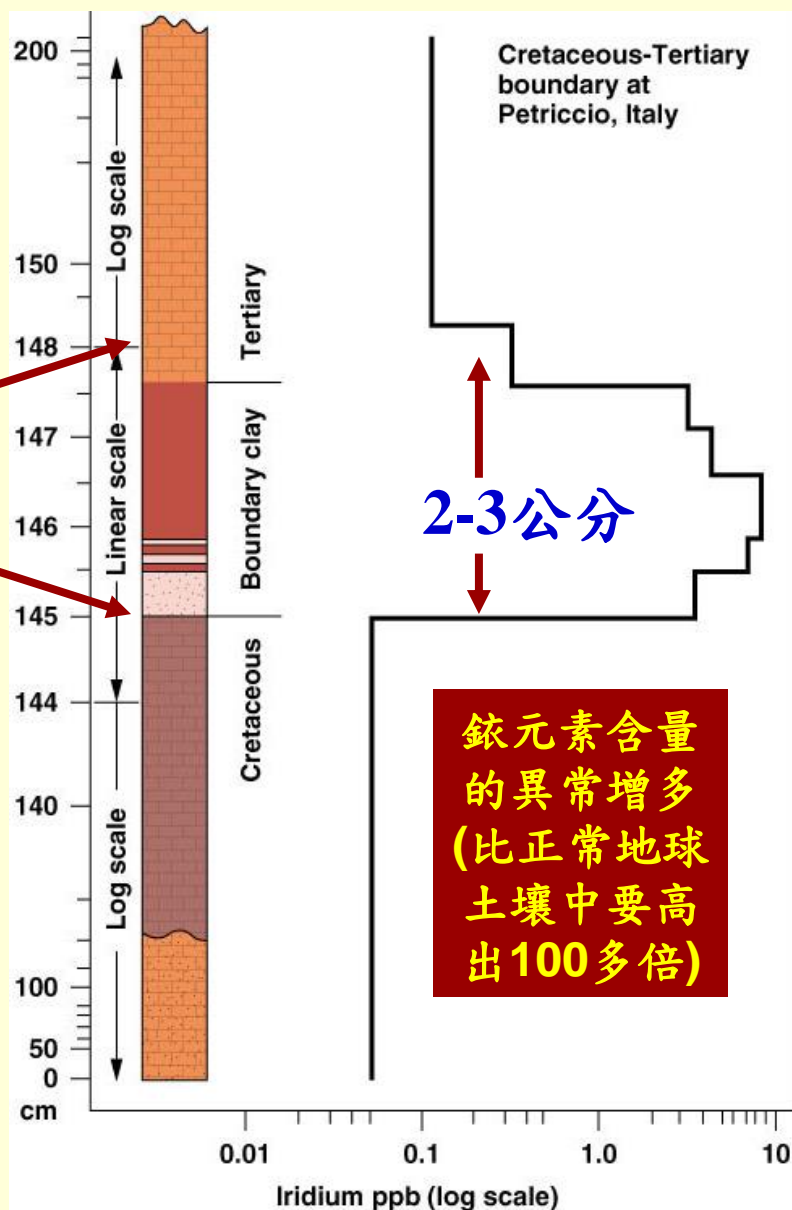
# 恐龍滅絕隕石說的證據(1)－銩元素的異常

白堊紀／第三紀邊界黏土層

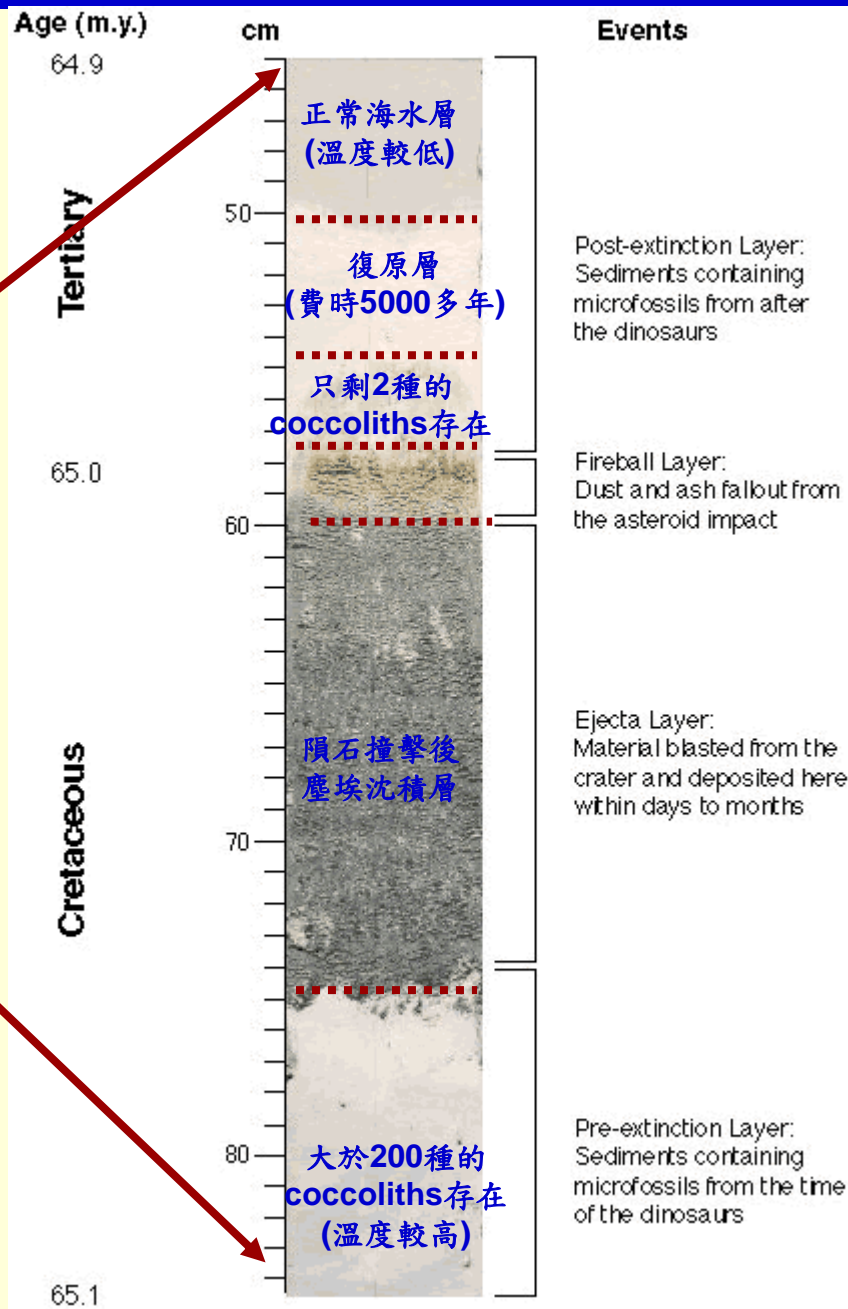
Cretaceous/Tertiary (K/T) boundary clay



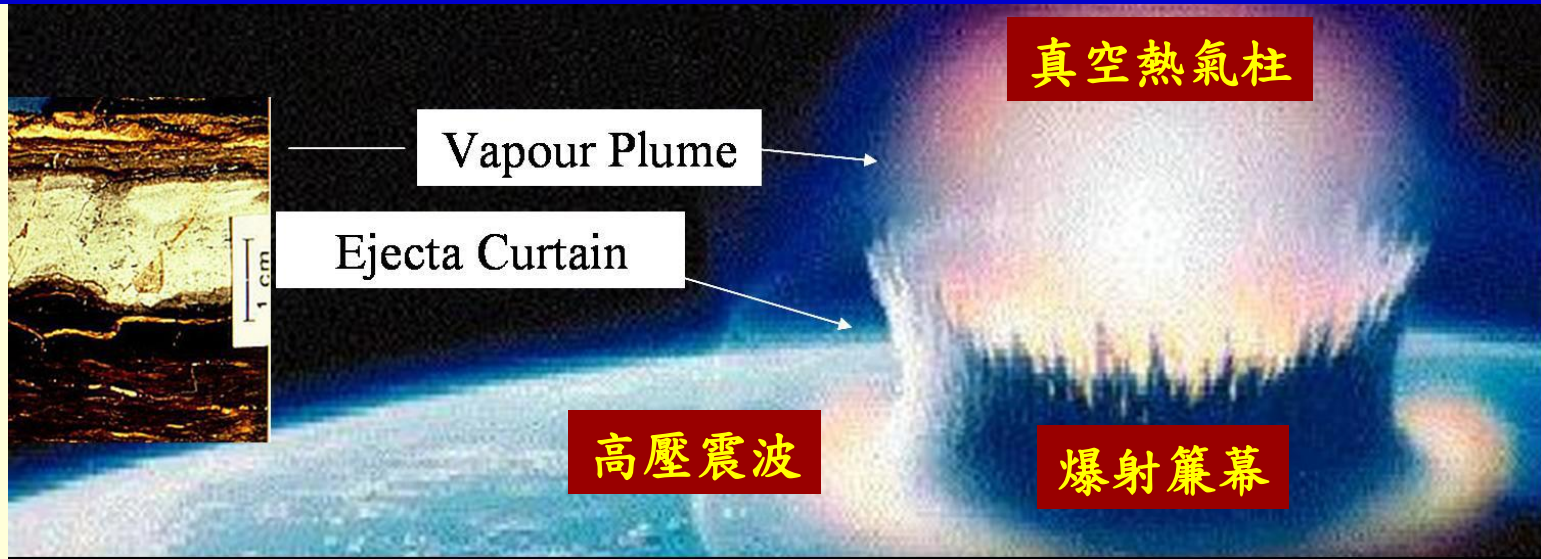
銩元素在地球上的含量十分稀少，但在地球以外的岩石中，包括月球以及小遊星隕石中，銩元素的含量則相對十分豐富。因此若有來自外太空的物體撞擊地球，所產生的殘骸中，必含有豐富的銩元素。



# 恐龍滅絕隕石說的證據(2)－海洋生物滅絕

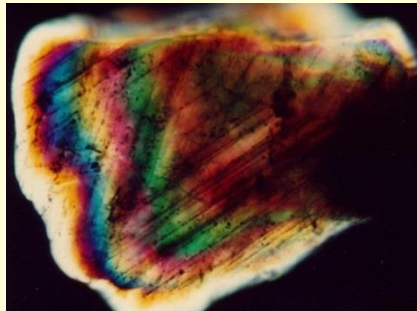


# 隕石撞擊的瞬間與後續產物



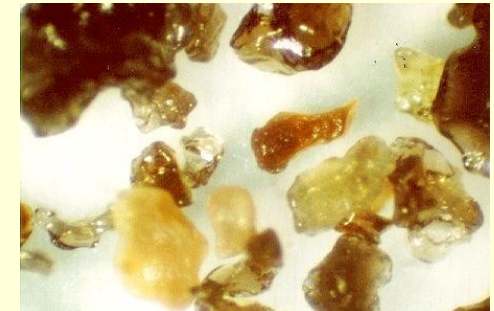
## Spherules

中空玻璃狀的物體，大小約1-2 mm，係撞擊後所噴起的物質冷卻後的產物



## Shocked Quartz

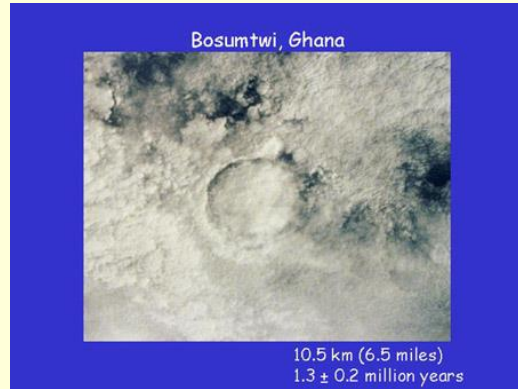
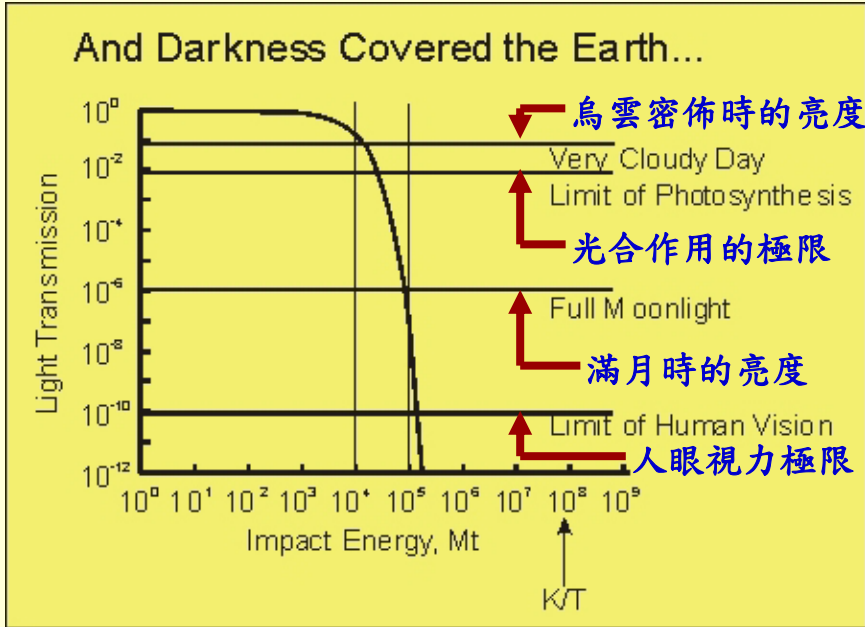
此石英剖面顯示係受到高壓高溫作用下而形成的層狀結構



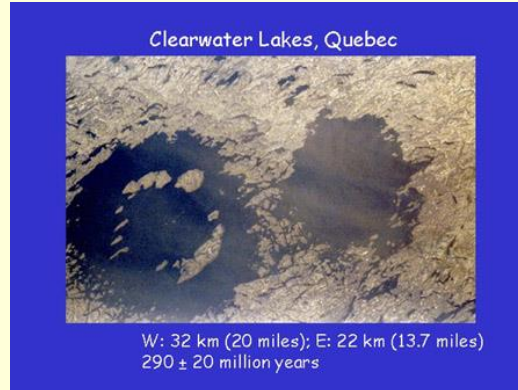
## Tektites

類似玻璃狀的物體，大小約數公分，係地表土壤被高速巨型物體撞擊後的產物

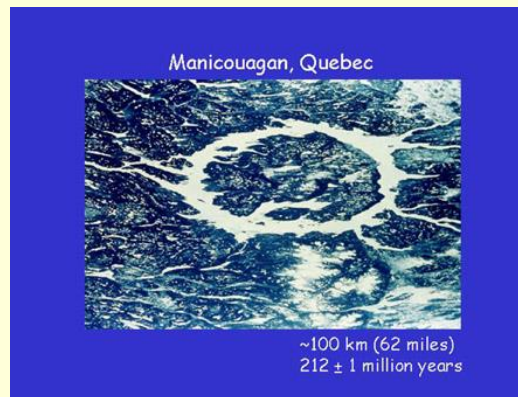
# 不同等級的隕石撞擊後大氣灰塵遮蔽情形



相當於10<sup>4</sup>百萬噸  
炸藥爆炸能量  
(光線穿透率只剩  
百分之一)



相當於10<sup>6</sup>百萬噸  
炸藥爆炸能量  
(光線穿透率為0)

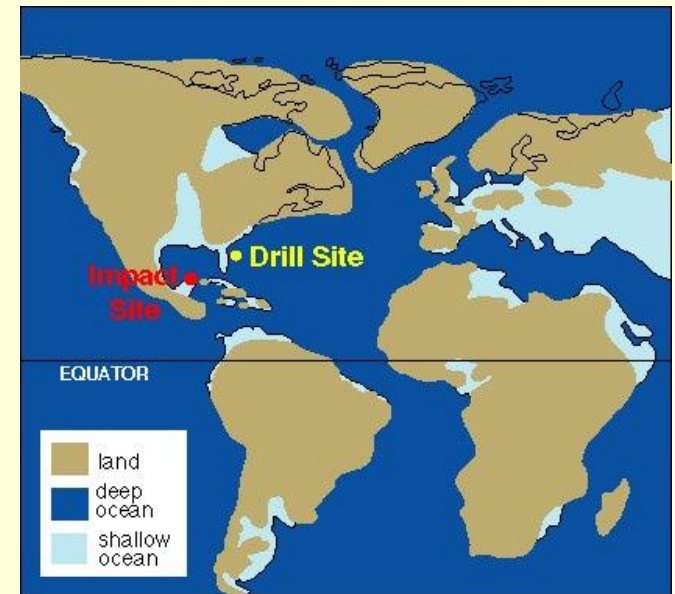
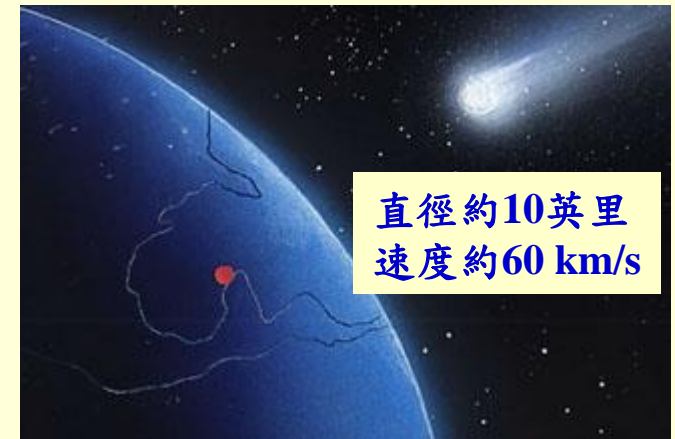
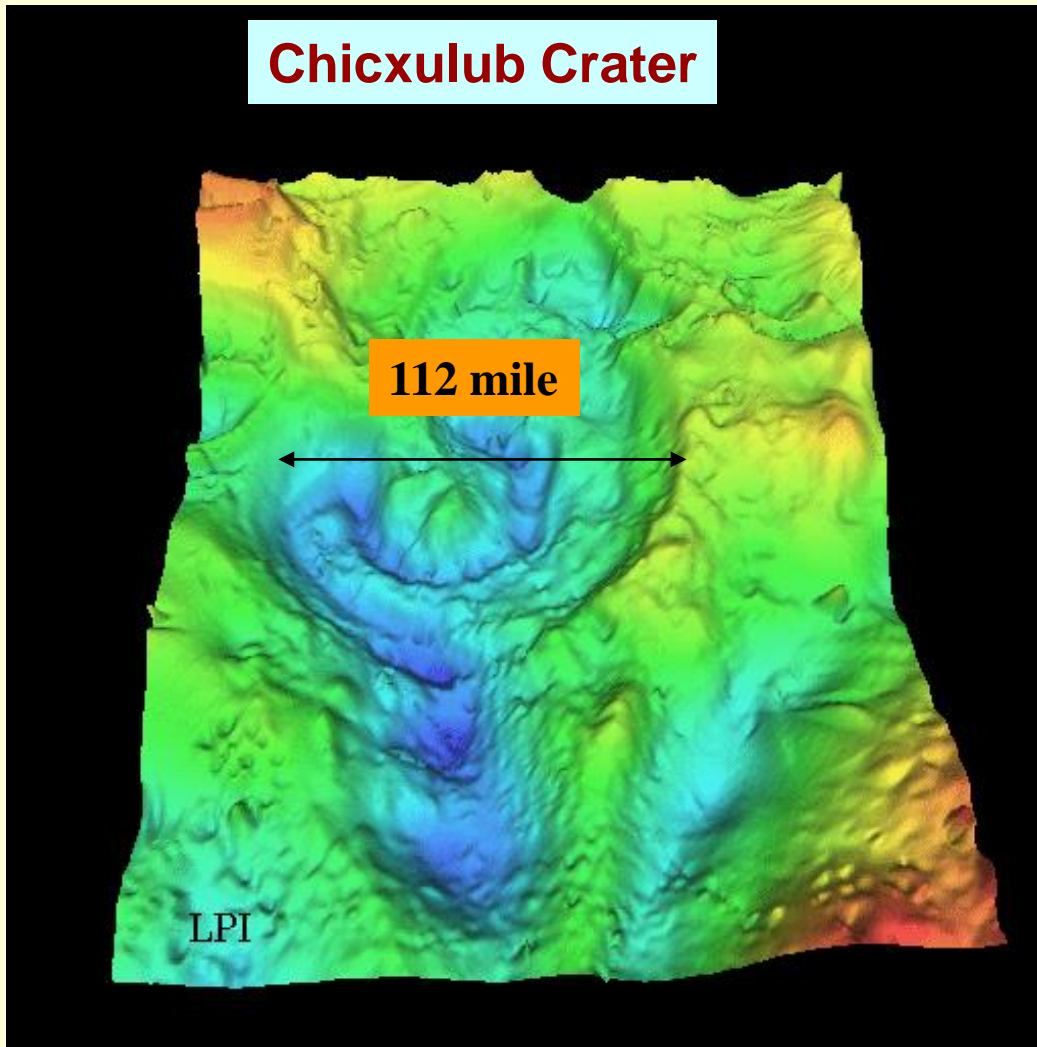


相當於10<sup>7</sup>百萬噸  
炸藥爆炸能量  
(光線穿透率為0)

Size of Bolide	Energy: millions of tons of TNT	Frequency (how often): once every	Size of Crater	Example
70 m	10s	200 yrs	<1 km	Meteor Crater, AZ
140 m	100s	2000 yrs	2-3 km	small lunar crater
300 m	1,000s	10,000 yrs	4-5 km	
700 m	10,000s	60,000 yrs	8-9 km	Bosumtwi, Ghana
1.4 km	10,000-100,000s	300,000 yrs	20 km	Aorounga, Chad, Africa
3 km	100,000-1 million	2 million yrs	35 km	Clearwater Lakes, QU
7 km	1-10 million	15 million	60 km	Manicouagan, QU
14 km	>10 million	90 million	180 km	Chicxulub?
	~1 billion	even longer!	300 km	Chicxulub?

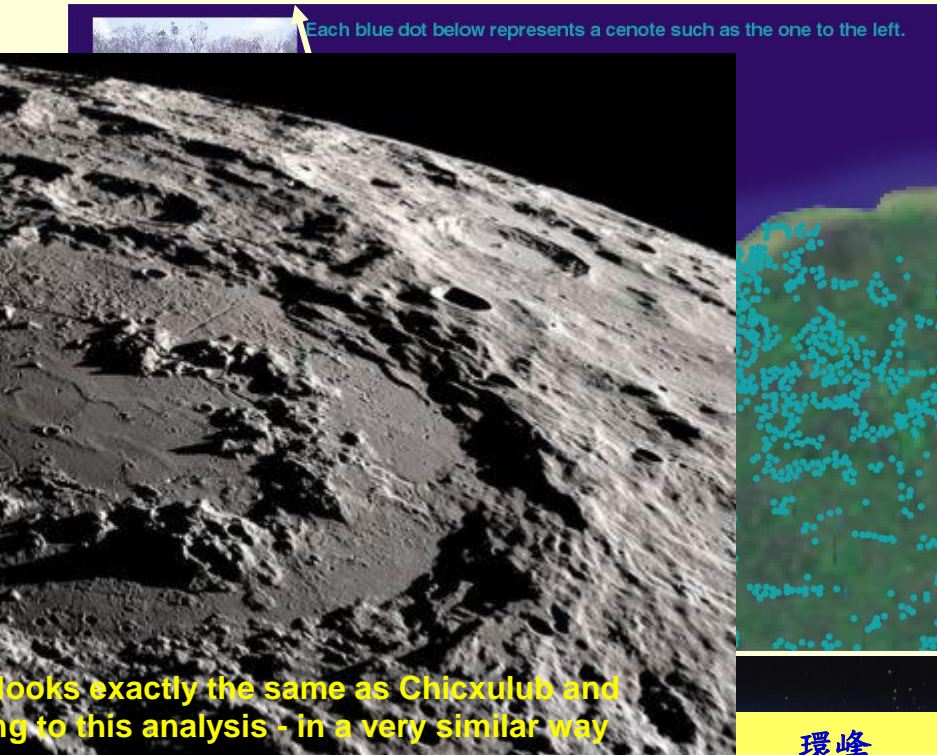
# 6500年前造成恐龍滅絕之小行星撞擊地球的地點示意圖

## -墨西哥猷加敦半島-



# Chicxulub Crater 撞擊證據

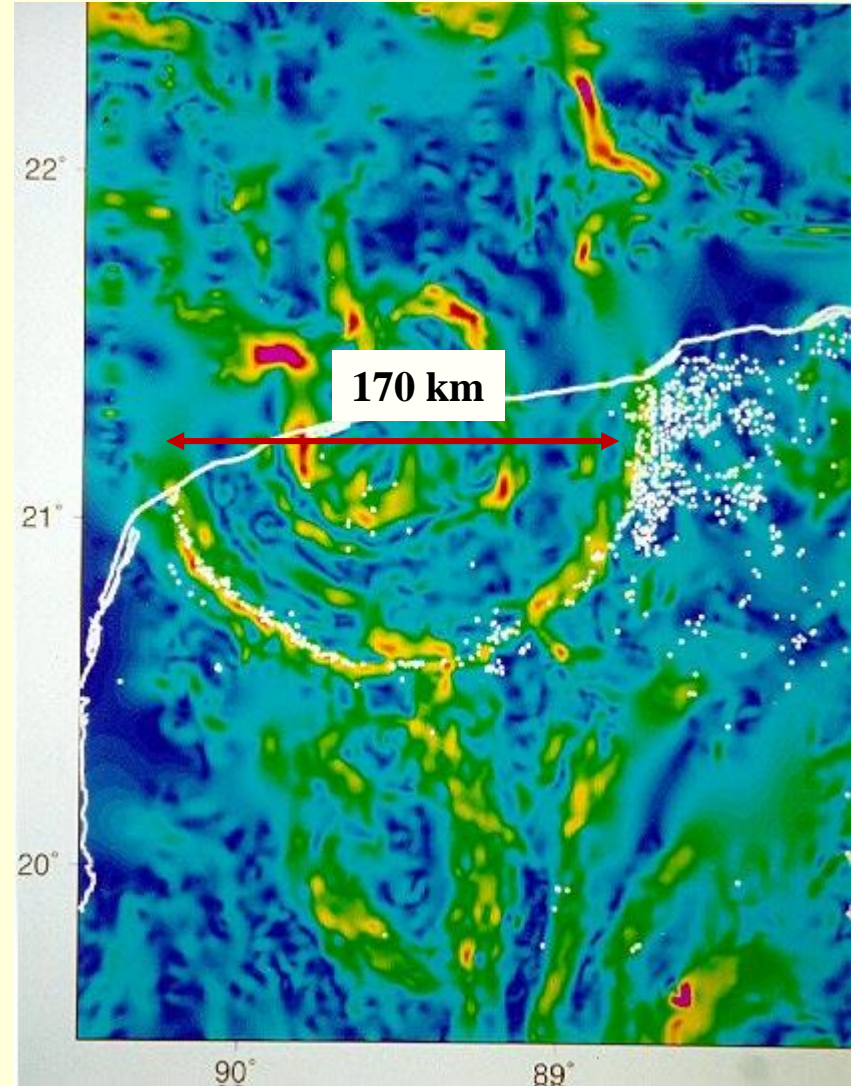
地下水泉孔洞的異常分布



環峰  
Peak Ring

坑緣環  
Crater Rim

重力分布異常





# Chicxulub Crater 撞擊證據

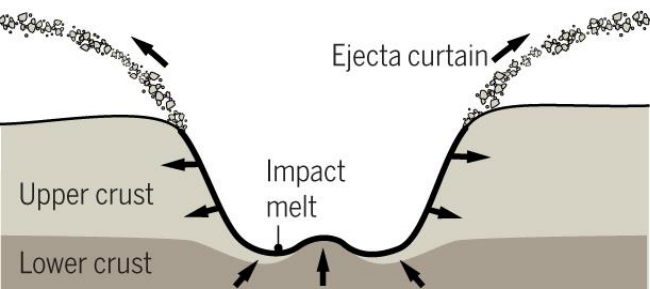
## Probing ground zero

Since April, scientists have been drilling into Chicxulub crater, where an asteroid impact 66 million years ago led to one of Earth's biggest mass extinctions. Researchers are now sampling rocks from a buried peak ring, Earth's only preserved example.

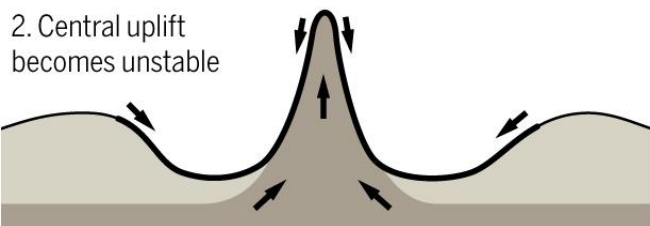
### Making the mounds

Impact shocks could make rocks behave like fluids, piling deep crustal rocks on top of rocks of shallower origin.

1. Postimpact excavation and beginning of uplift



2. Central uplift becomes unstable

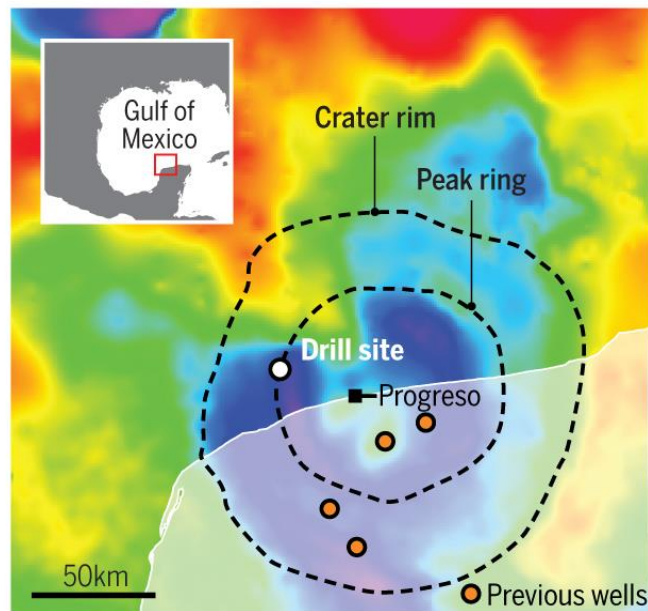


3. Uplift collapses to form peak ring



### Buried treasure

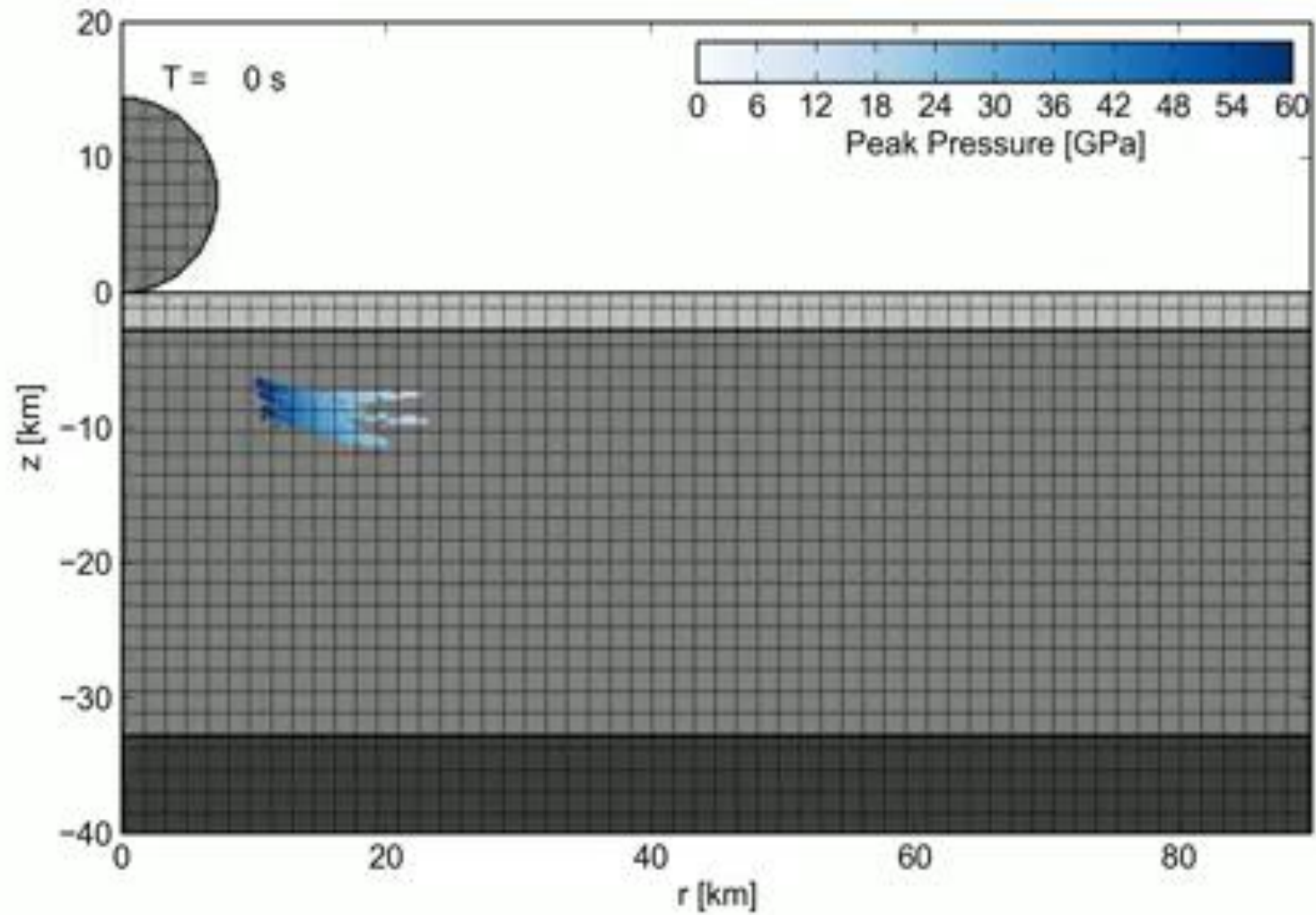
Offshore from Progreso, Mexico, scientists will drill into the crater's peak ring, partially seen by geophysical remote sensing. Onshore wells have been drilled into the crater before, but few were cored and none reached the peak ring.



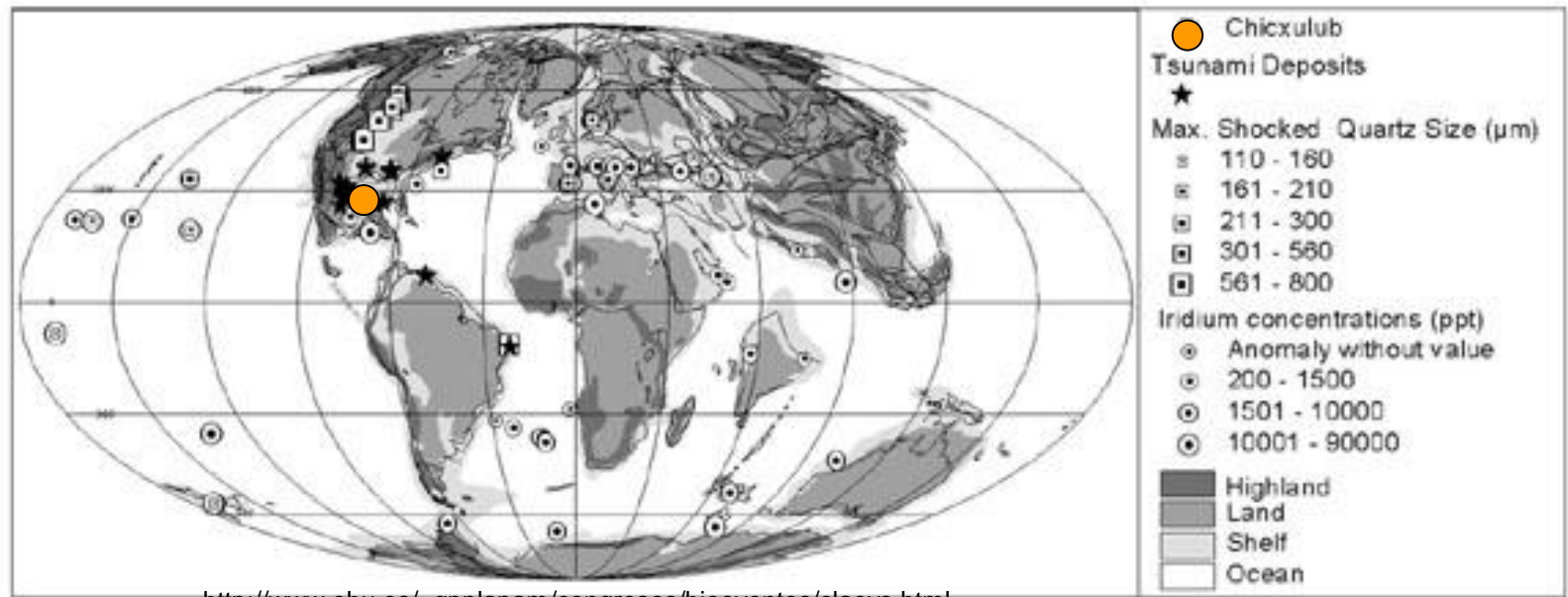
<http://www.sciencemag.org/news/2016/11/update-drilling-dinosaur-killing-impact-crater-explains-buried-circular-hills>

環峰是隕石撞擊地表先形成坑緣環後，再因撞擊處地表反彈(高達十公里)，並與坑緣環回落堆積而成，科學家估計，環峰約在撞擊後數分鐘內便形成。環峰在太陽系中隨處可見，但此環峰是地球上保存最好的一個。科學家在2016年4月鑽探顯示，環峰主要由擠壓的火山花崗岩加上撞擊前的生物和沉積物所形成，其上覆蓋有厚度達約800公尺的撞擊引起各種擾動的沉積物質，此結果再次證實6千5百萬年前隕石撞擊事件導致恐龍滅絕。

# Chicxulub Crater 撞擊證據



# Chicxulub 隕石撞擊後的結果

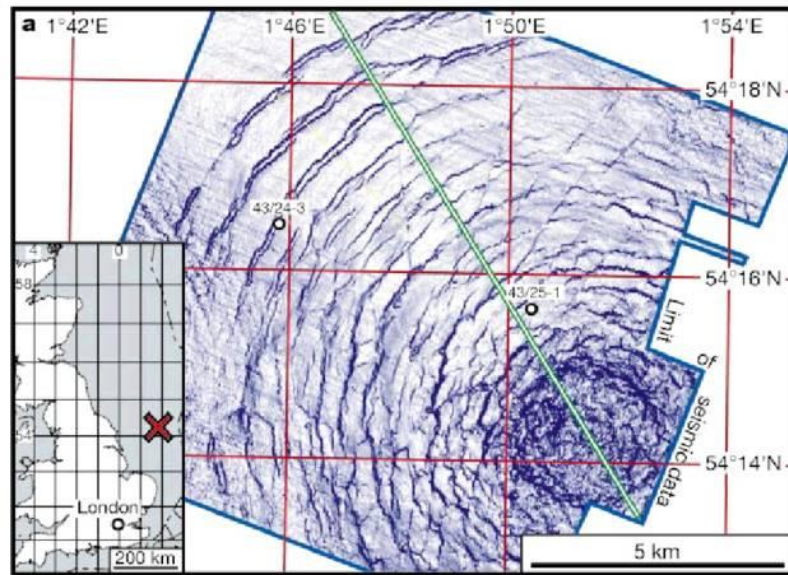


<http://www.ehu.es/~gpplapam/congresos/bioeventos/claeys.html>

- 一、隕石爆炸，產生巨大火球，爆炸物四射，揚起蔽日濃煙，熾熱礫石由天而降，二氧化碳濃度急遽增高，改變大氣與海洋性質。
- 二、激發出浪高**50-100**公尺的巨浪，產生海嘯。
- 三、隕石所含濃度異常的鉭元素隨大氣流動而分佈至全球各地。
- 四、高壓高溫下因震波的擠壓所產生的衝擊石英(**Shocked Quartz**)隨隕石的爆射物質而分布至遠方。

# 6千5百萬年前的其他隕石撞擊地球事件

## Silverpit隕石坑



位置：英國北海  
直徑：20公里

## Boltysch隕石坑



位置：烏克蘭  
直徑：24公里

## Shiva隕石坑



位置：印度外海  
直徑：約500公里

# 恐龍滅絕時間表

## 爆炸期(撞擊發生—爆炸後數小時間)

現象—火球，蕈狀雲，熱震波，海嘯，地震，  
狂風猛浪，天降炙石，森林大火)

## 黑暗期(數小時—數個月間)

現象—煙塵蔽日，溫度降低  
臭氧耗竭(紫外線入射)  
酸雨發生(海水酸度增加)

## 寒冰期(3~4個月—數百年間)(核子冬天)

現象—冰雪遍地，溶解緩慢  
浮游生物死亡  
植物停止生長或死亡  
動物大量凍死  
二氧化碳增加  
食物鏈被破壞

# 恐龍滅絕時間表(續)

## 滯暖期(數百年—數千年間後)

現象—死劫海洋

酸性海水(浮游生物大量死亡)

二氧化碳大增

溫室效應(海水上升2到5度)

地球生態破壞

## 滅絕期(數千年—數萬年間)

現象—恐龍滅絕

不育(生殖力被破壞)

過熱

棲息地被破壞

遺傳變異

食物鏈被打斷