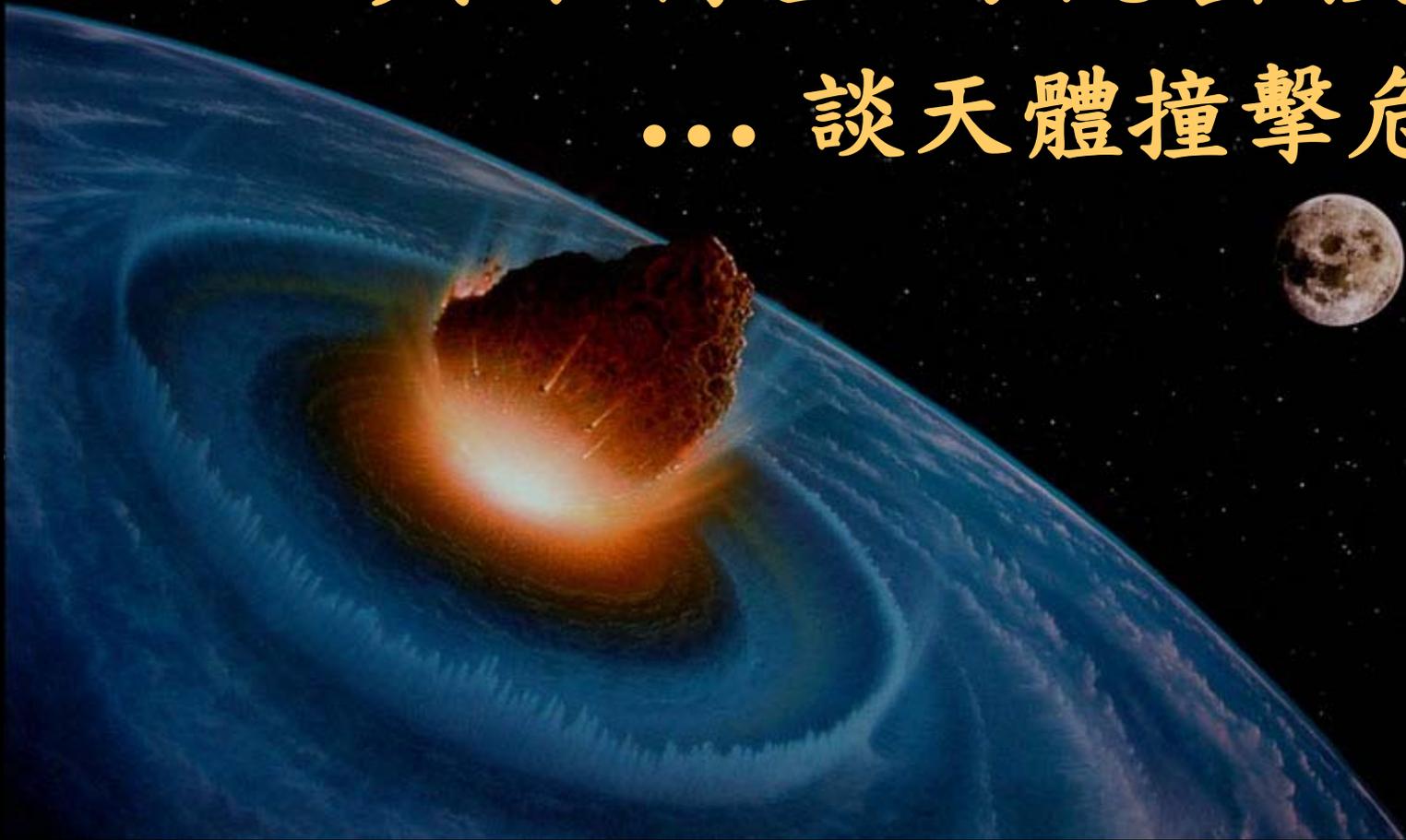


與小行星的親密接觸

... 談天體撞擊危機



中央大學天文研究所、物理系

陳文屏

熱鬧的宇宙

天體的碰撞

太陽系天體的碰撞

6500萬年前火燒地球村？

下一次什麼時候？

殺手天體在哪裡？有多少？

如果撞過來了，有哪些撇步？

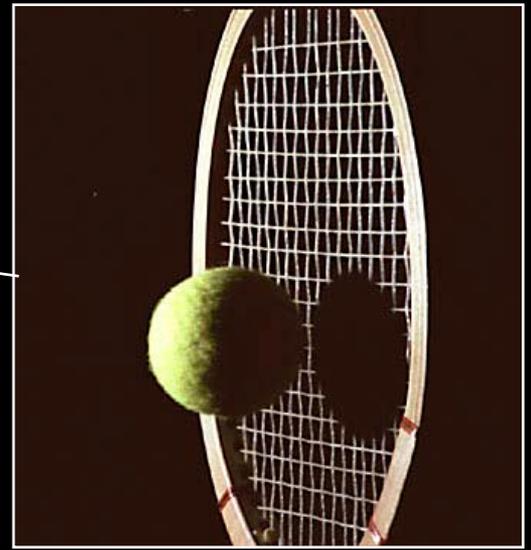
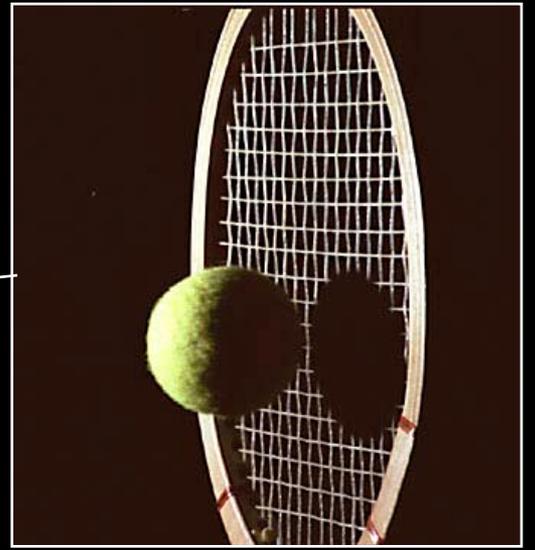
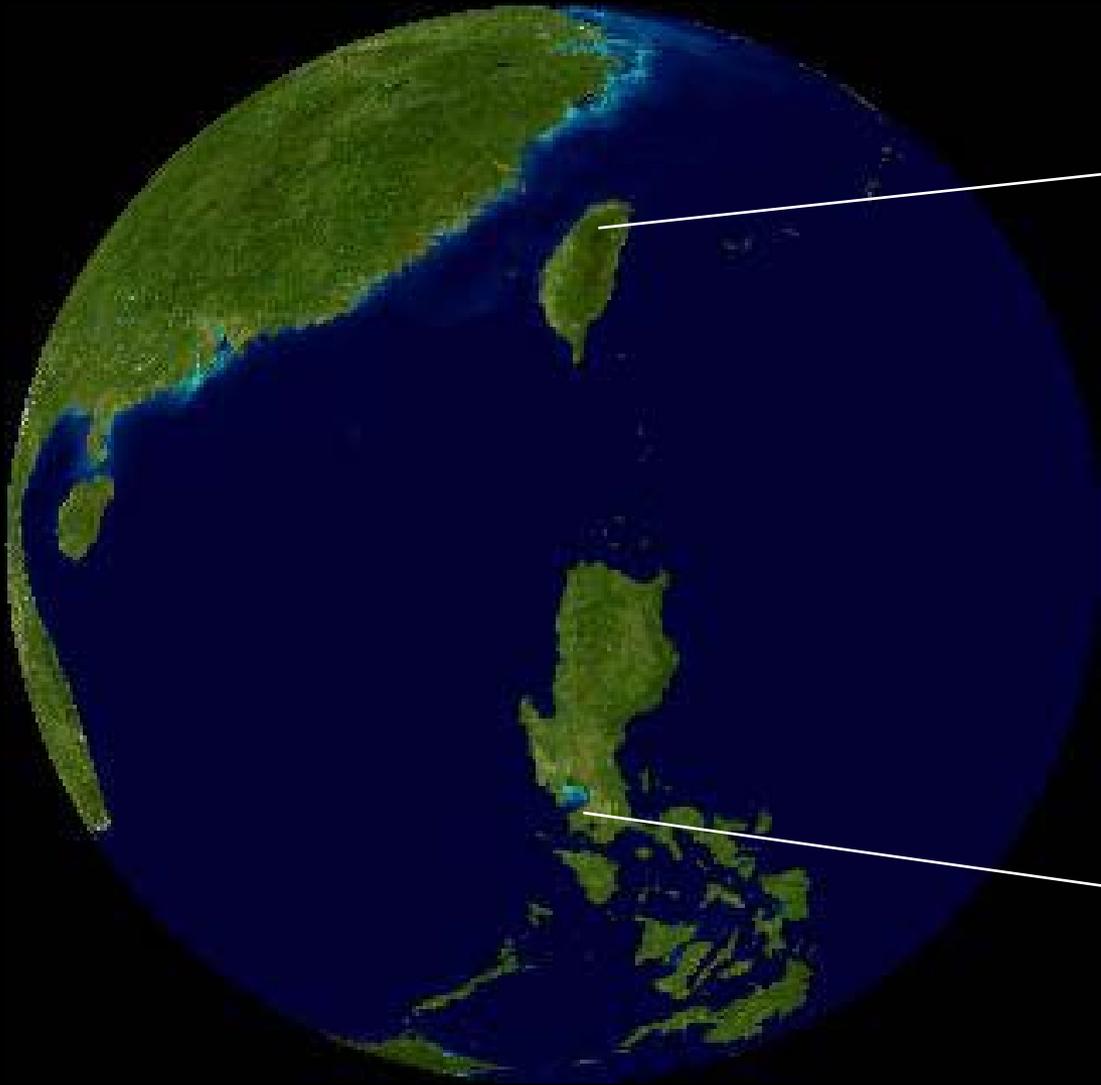
我國有哪些相關研究？

結論與感想



浩瀚的宇宙

天體	相對距離尺度
<p>地球 </p>	<p>桌上的一粒鹽；0.3 mm</p>
<p>月球 </p>	<p>一指外的胡椒</p>
<p>太陽 </p>	<p>門口（4公尺）的番茄</p>
<p>木星—太陽系最大的行星 </p>	<p>大樓口（20公尺外）的木瓜子</p>
<p>冥王星—曾經是最遠的行星 </p>	<p>隔棟大樓（150公尺外）的一粒細沙</p>
<p>半人馬座α星—最近的恆星 </p>	<p>馬尼拉的番茄！</p>



什麼叫做「浩瀚」？

- ✓ 光速為300,000公里/秒
- ✓ 這樣的距離相當於繞地球七圈半
- ✓ 這樣的速度到月球只需一秒多（眨眼的時間）
- ✓ 到太陽需約五百秒（～下課的時間）
- ✓ 到半人馬座 α 星須4.3年（～讀大學的時間）
- ✓ 跨越銀河系約需5～10萬年（人類演化的時間）
- ✓ 到最近的星系費時數百萬年（大地演化的時間）
- ✓ 而目前已知的銀河系超過數億個

一些天文數據

- 銀河系當中的恆星

太陽半徑：70萬公里

鄰近恆星距離：4~5光年 → 10^{19} cm

→ 距離為物體大小的 10^8 倍

- 星系之間

星系大小：5~10萬光年

星系間距離：百萬光年

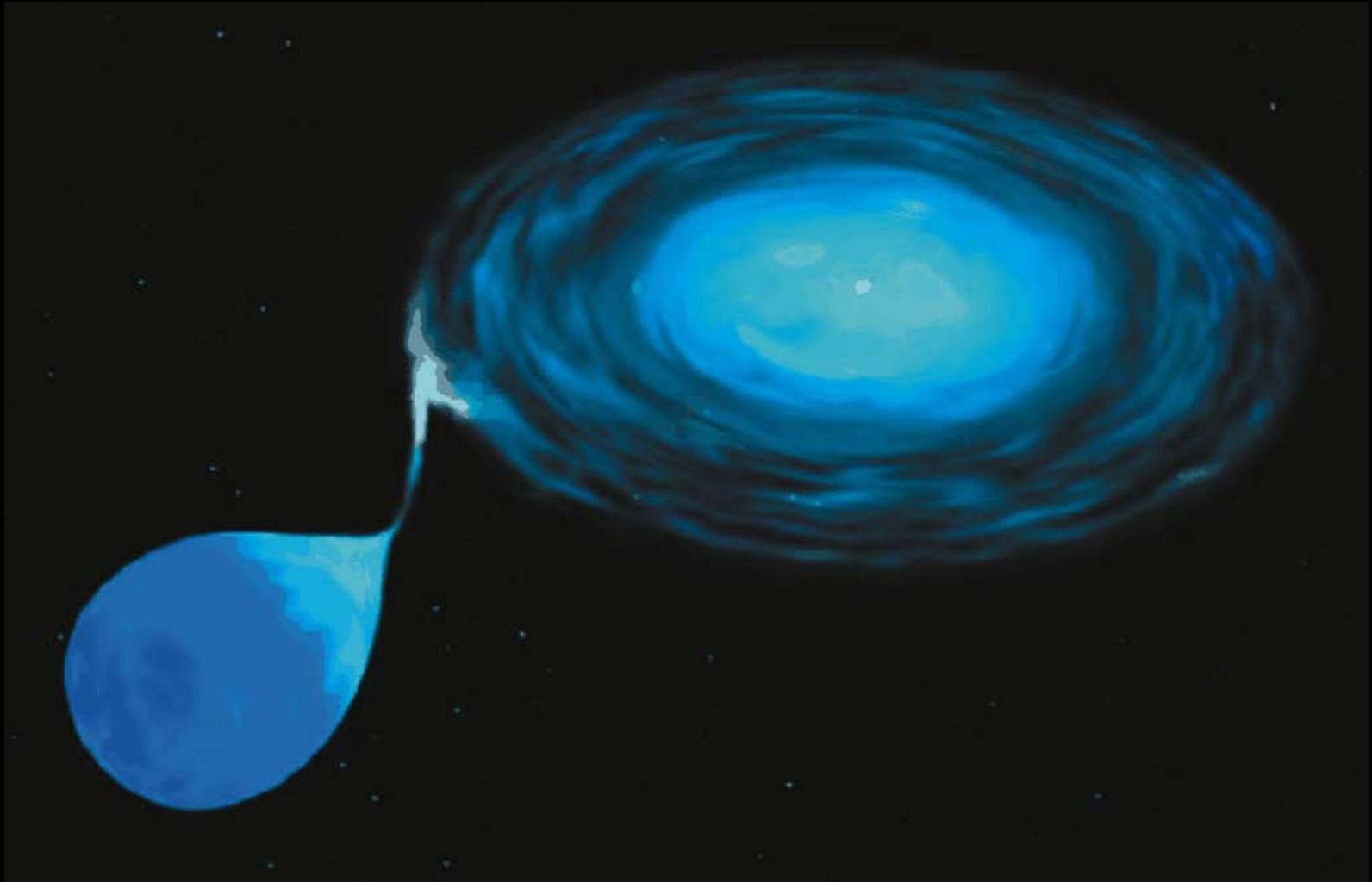
→ 距離為物體大小的~10 倍

如果撞了呢？

→ 恆星間非常（非常）空曠 → 不易相撞

相對而言，星系之間很擁擠！

緊密雙星最終結合——
你心（星）中有我，我星中有你

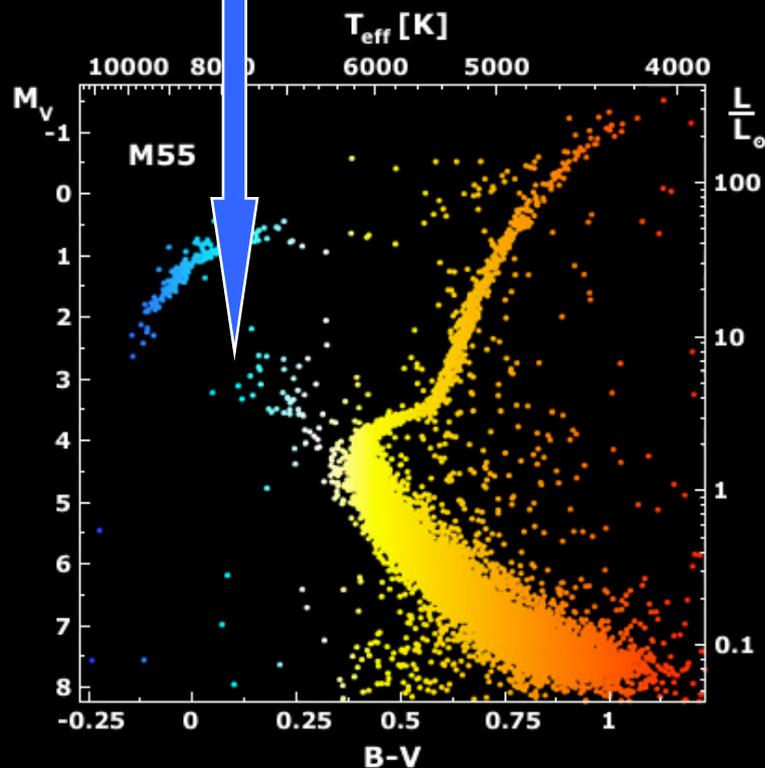


藍色的流浪星 (blue stragglers)

星團



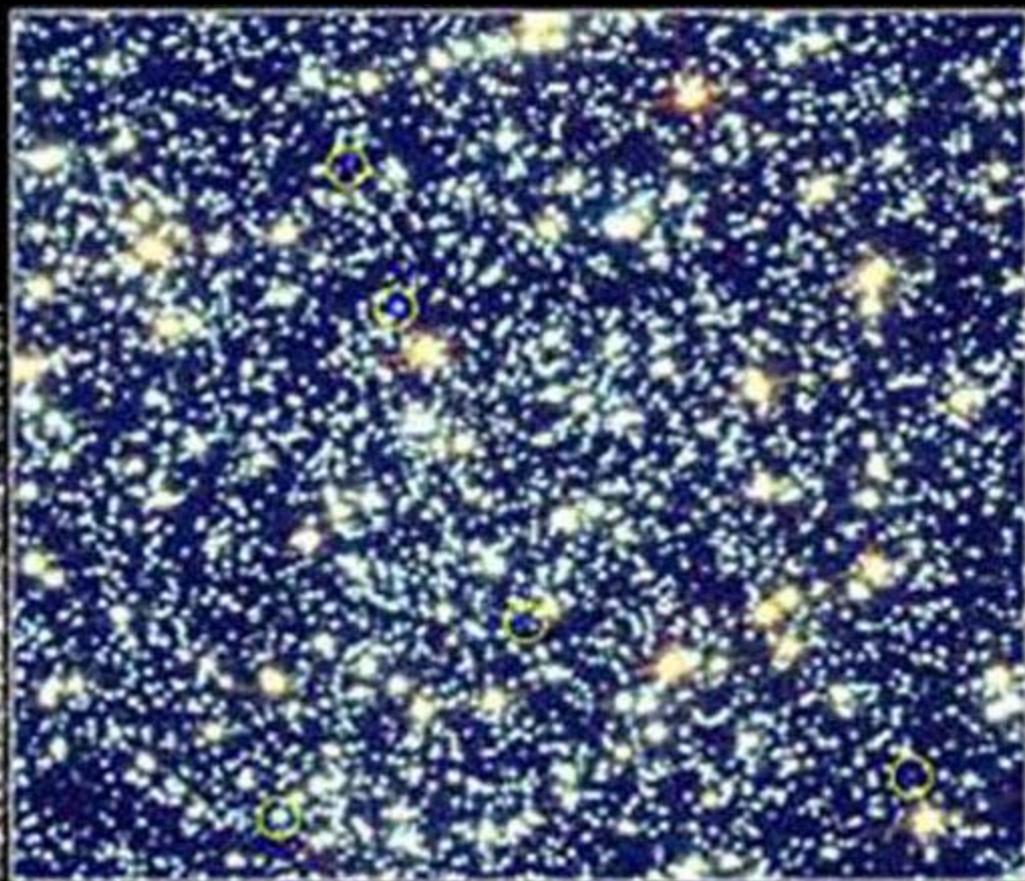
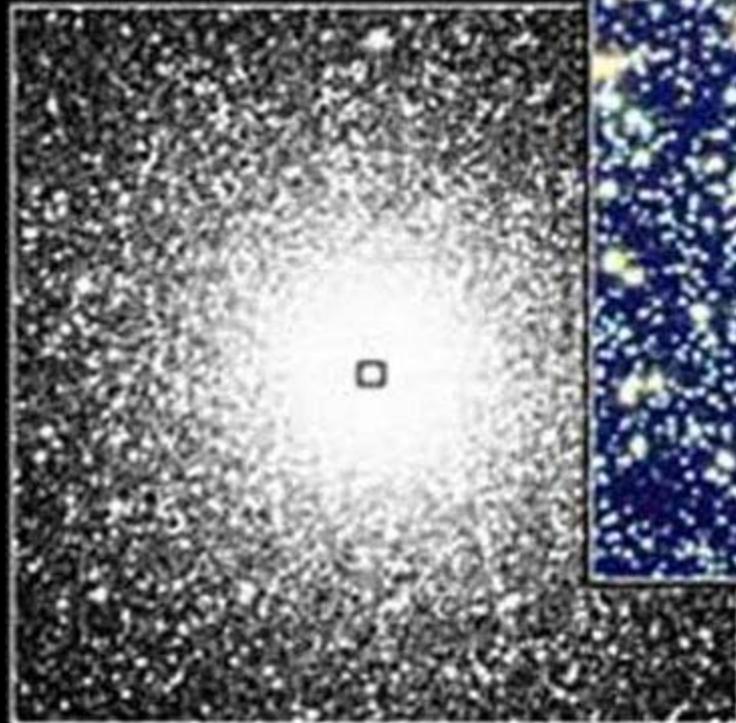
恆星赫羅圖



↑ 恆星亮度

← 恆星表面溫度

Ground



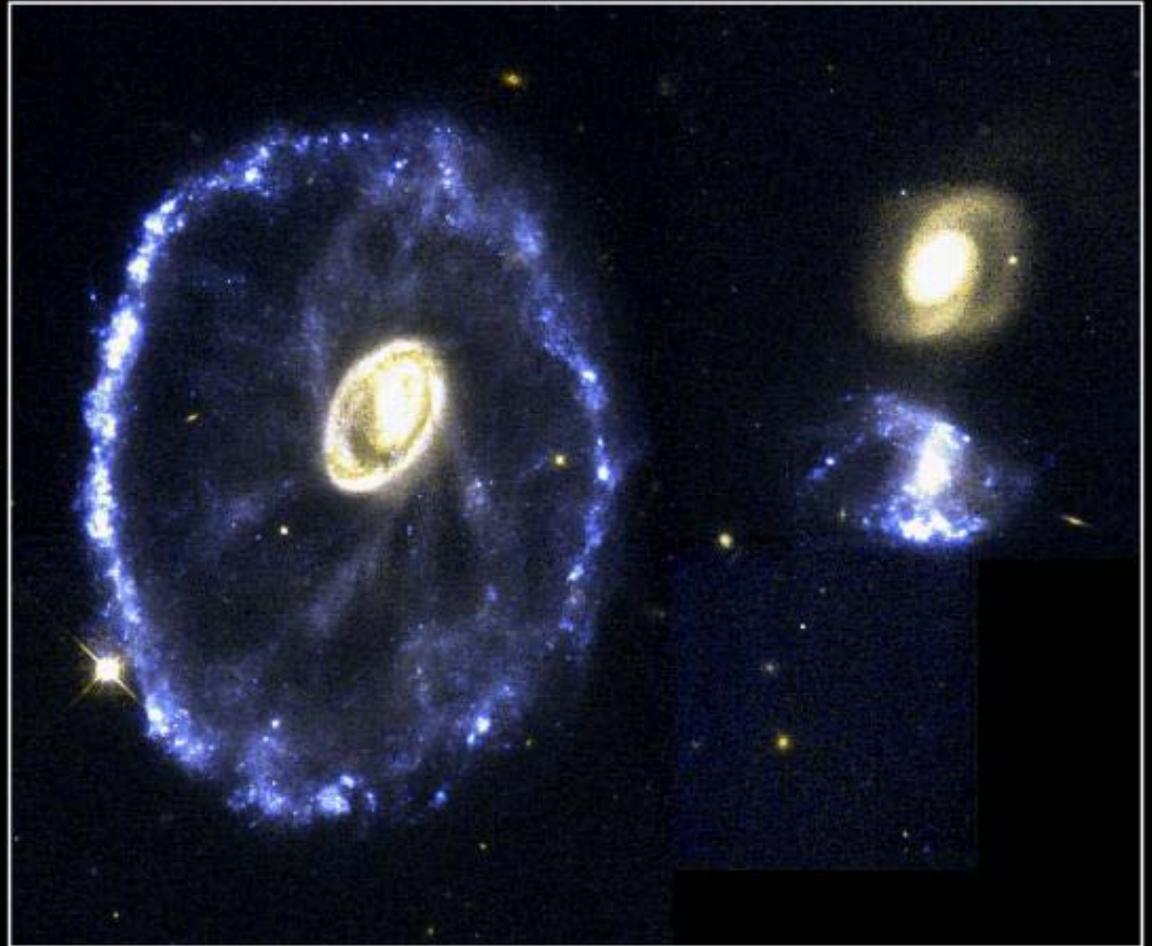
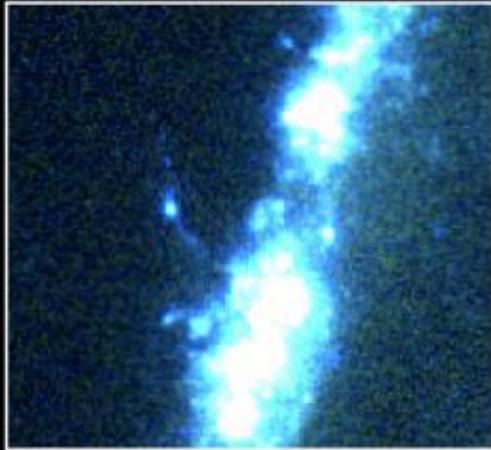
HST

星系碰撞



NGC4038/4039

「觸角」星系 (Antennae galaxies)

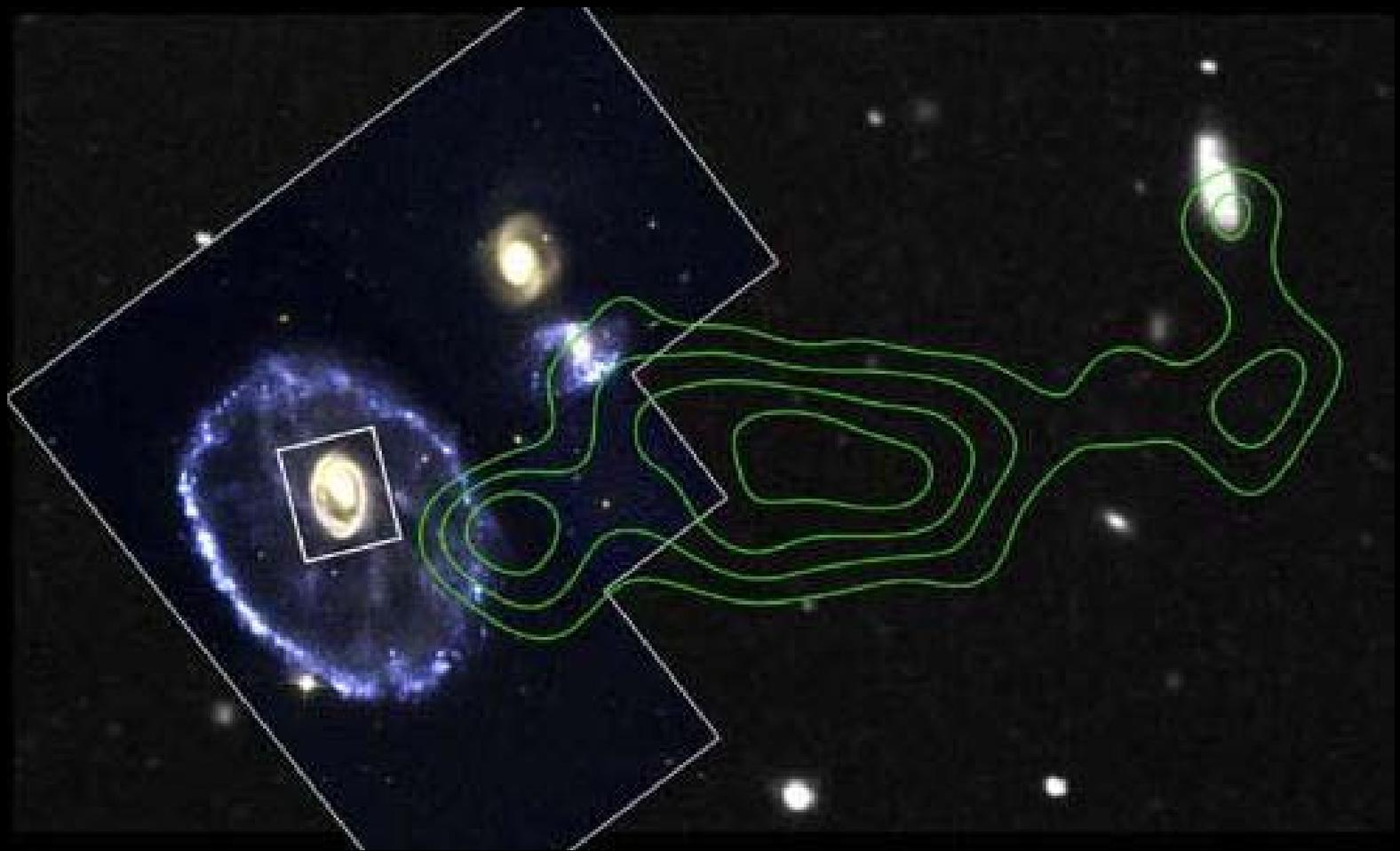


Cartwheel Galaxy

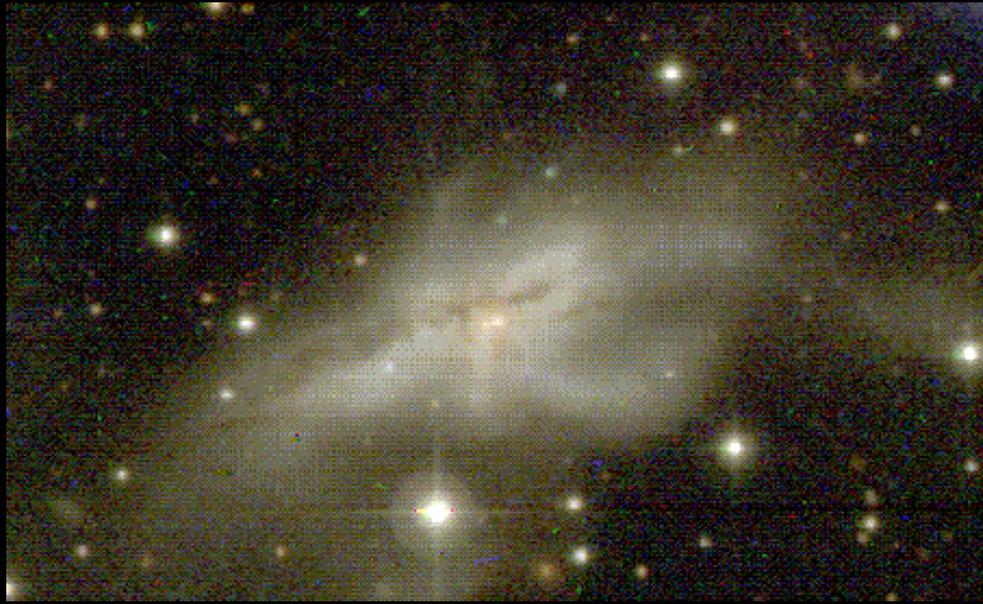
PR95-02 · ST ScI OPO · January 1995 · K. Borne (ST ScI), NASA

HST · WFPC2

12/23/94 zgl



穿越後擾得烏煙瘴氣、雲氣裊裊



← NGC6240 星系的
核心恆星正以高
速運動

M64 (又稱「睡美人星系」)
的核心與星系其他部
分運動方向相反 →



Spiral Galaxy Pair NGC 3314



Hubble
Heritage

Polar-Ring
Galaxy
NGC 4650A

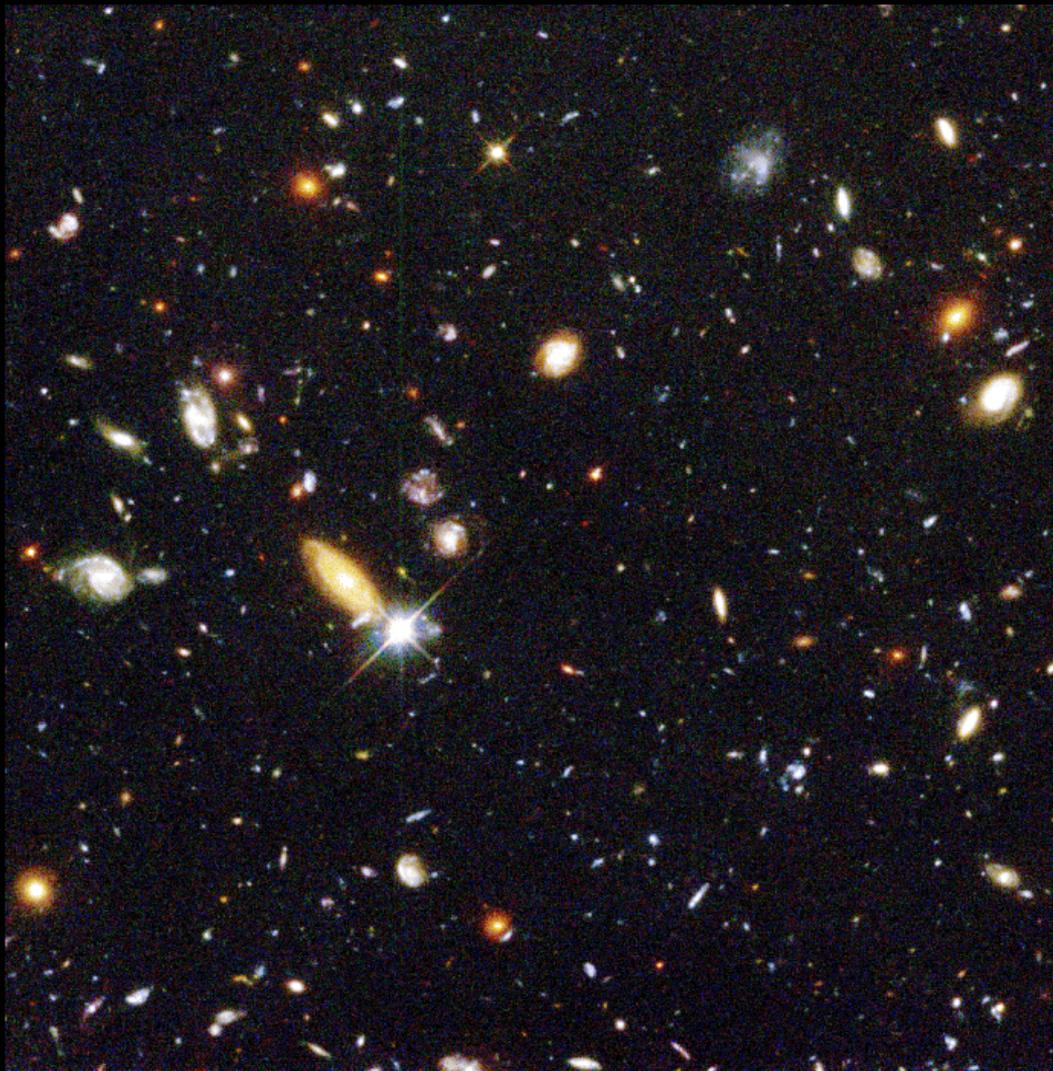


Hubble
Heritage

Galaxies NGC 2207 and IC 2163



Hubble
Heritage



Hubble Deep Field (哈柏深景影像) 看到的是古老宇宙

相當於10天的曝光時間，可以看到約30等的天體

Hubble Deep Field

HST · WFPC2

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

在宇宙我們這個小角落

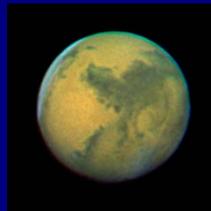
太陽系中各式天體



雲氣收縮、中央溫度升高、點燃核子反應 → 太陽

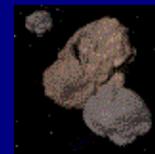
雲氣縮成扁盤狀、盤中灰塵凝集 → 小行星

✓ 繼續凝集 → 行星



❖ 旁邊扁盤中的灰塵繼續凝集 → 衛星

❖ 不成形 → 外行星的環



✓ 不成形 → 留在原地，例如小行星帶

→ 被拋到遠方 → 歐特雲中的彗星核

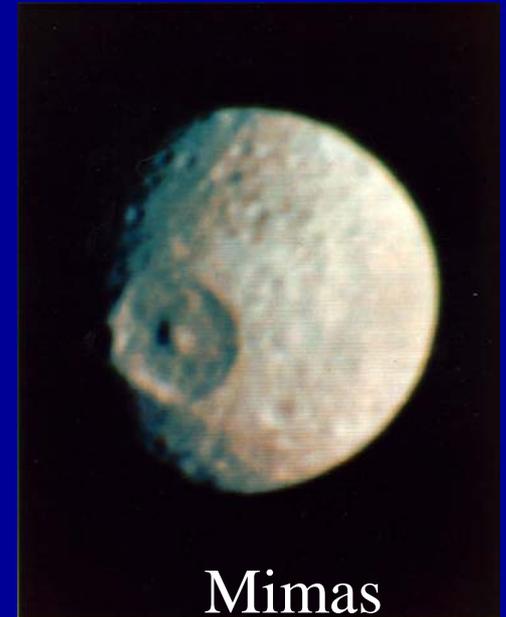
不小心進入太陽系內圍 → 彗星



那，剩下的東西呢？

太空中充滿了大小碎渣
到處遊走

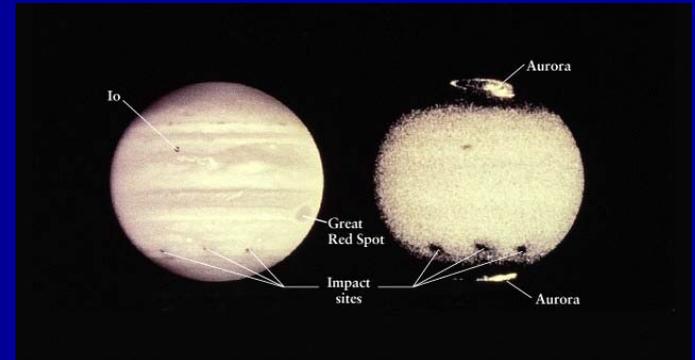
→ 太空處處「槍林彈雨」



月球表面有大量撞擊的痕跡



Gaspa 小行星表面也有很多撞擊證據



木星也曾被撞
得鼻青臉腫

如沙粒般的碎渣掉入地球大氣 → **流星**

• 地球撞向留在軌道上的彗星殘渣 → **流星雨**

• 大一點的如小石，燃燒剩餘部分落到地面 → **隕石**

• 再大一點的呢？



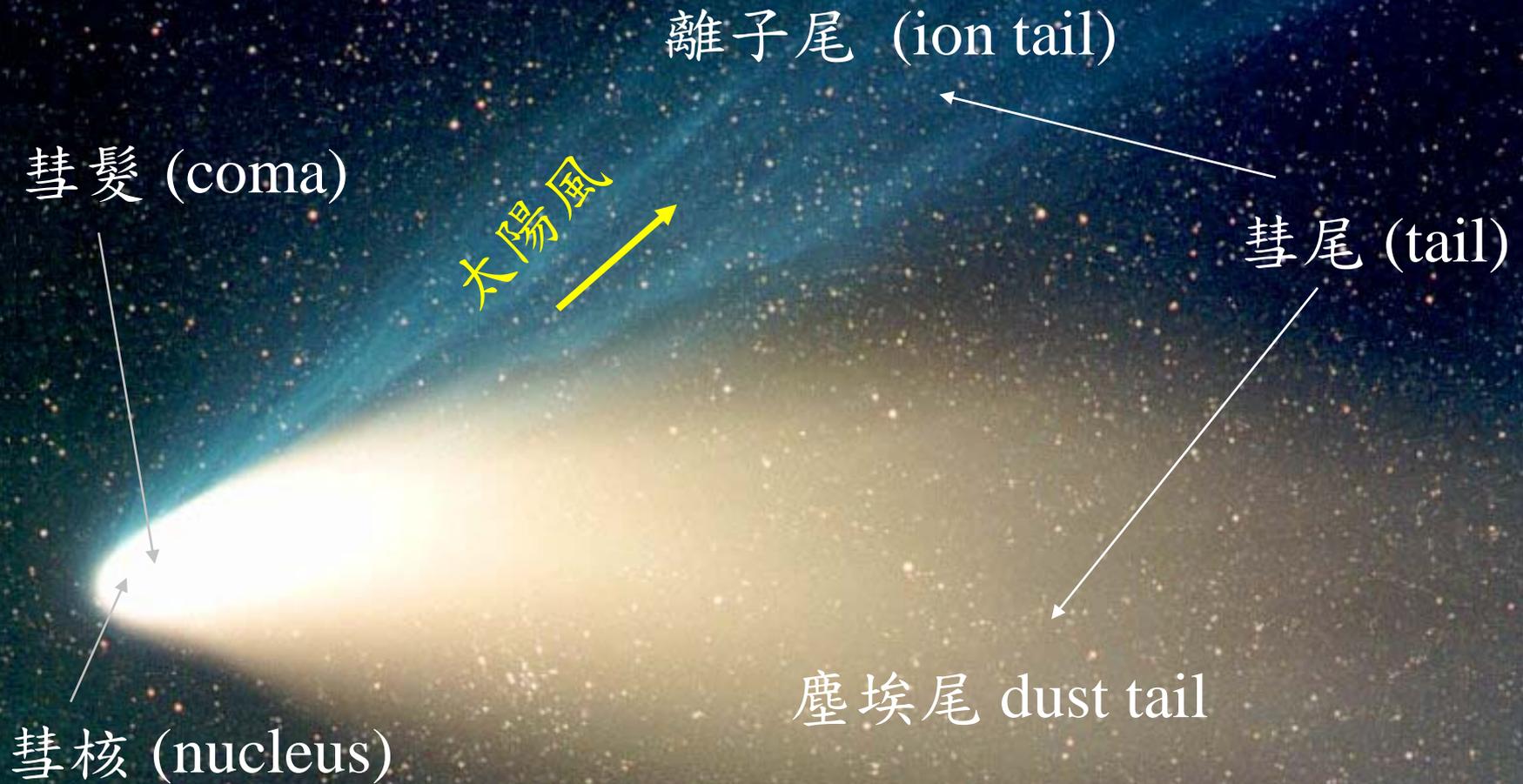
Barringer Meteor Crater, Arizona, USA



1927 年所攝「通古斯加地方」(Tunguska)
離1908 爆炸點約20公里的森林



冰體受熱 → 蒸發、昇華 → 彗星 (comet)





小行星 (asteroid, minor planet) Ida 及其衛星 Dactyl
Ida (大小約55 km)

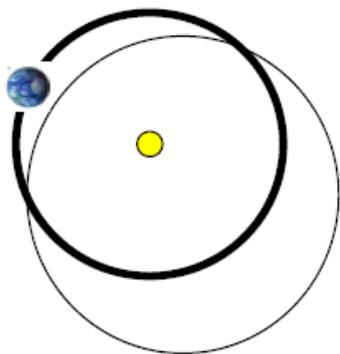
近地天體 (near-Earth objects, NEOs) 的種類

Apollo

Semimajor Axis ≥ 1.0 AU

Perihelion ≤ 1.02 AU

Earth Crossing

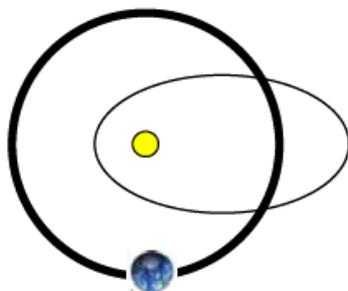


Aten

Semimajor Axis < 1.0 AU

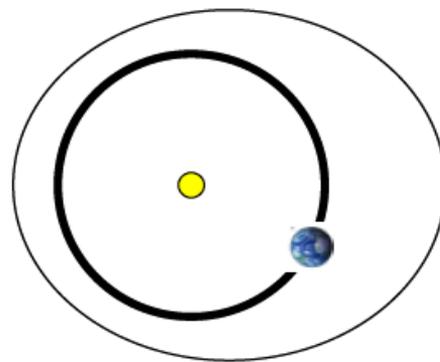
Aphelion ≤ 1.0167 AU

Earth Crossing



Amor

1.02 AU $<$ Perihelion ≤ 1.3 AU

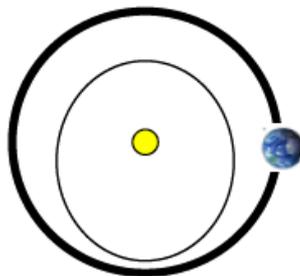


Inner Earth Objects (IEOs)

Aphelion < 0.983 AU

Always inside Earth's orbit

(aka Apohele)



Type	Near-Earth Population
Apollo	62% of known asteroids
Aten	6% of known asteroids
Amor	32% of known asteroids
IEO	6 known asteroids

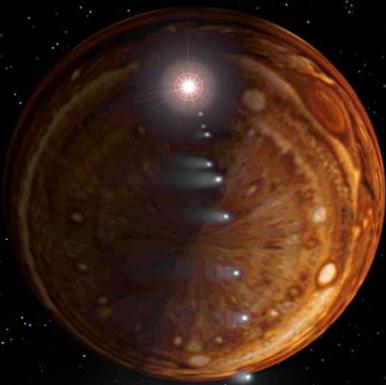
和地球最近距離 < 0.05 AU 且體積夠大 \rightarrow 潛在危險天體 (potentially hazardous objects, PHOs)



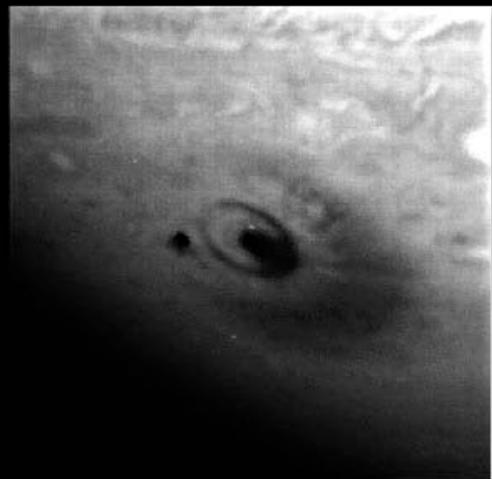
1994年夏天 彗星撞木星



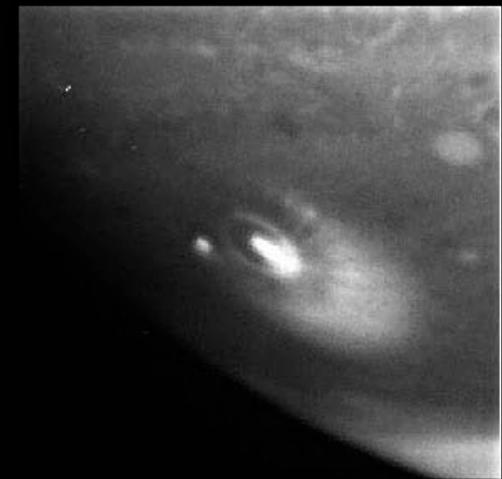
G Impact Site



Green



Methane



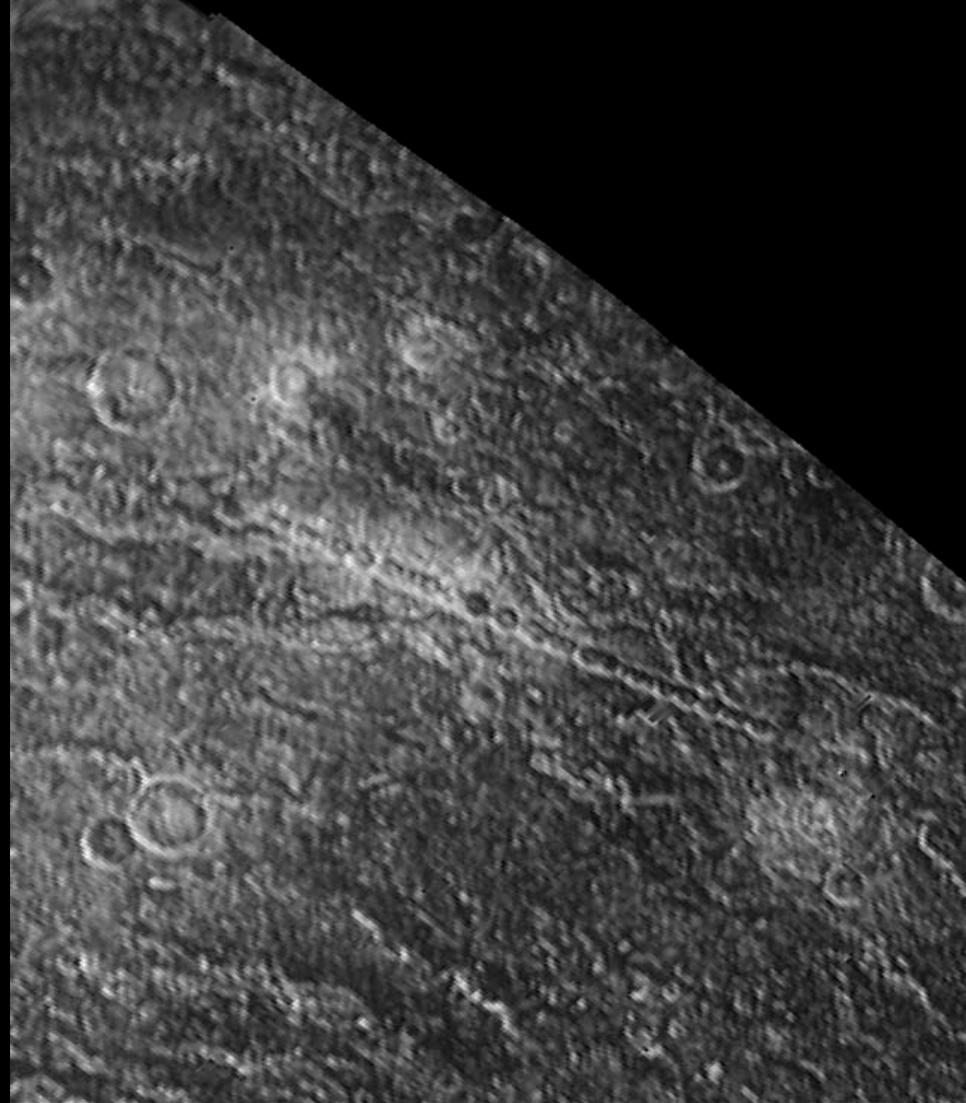
18 July 1994

G 碎塊撞擊疤痕大小與地球比較

Earth 100 minutes after a G-Sized impact



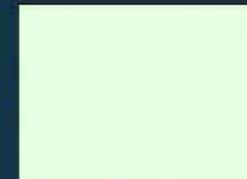
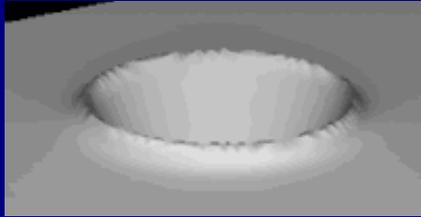
G impact scar reprojected onto Earth, to scale



木星衛星 Callisto 表面的串狀隕石坑



會發生在月球與木星，也會發生在地球
事實上已經發生過，而且也隨時隨地正在發生



ChixImpact@0:00

ChixImpact@7:15

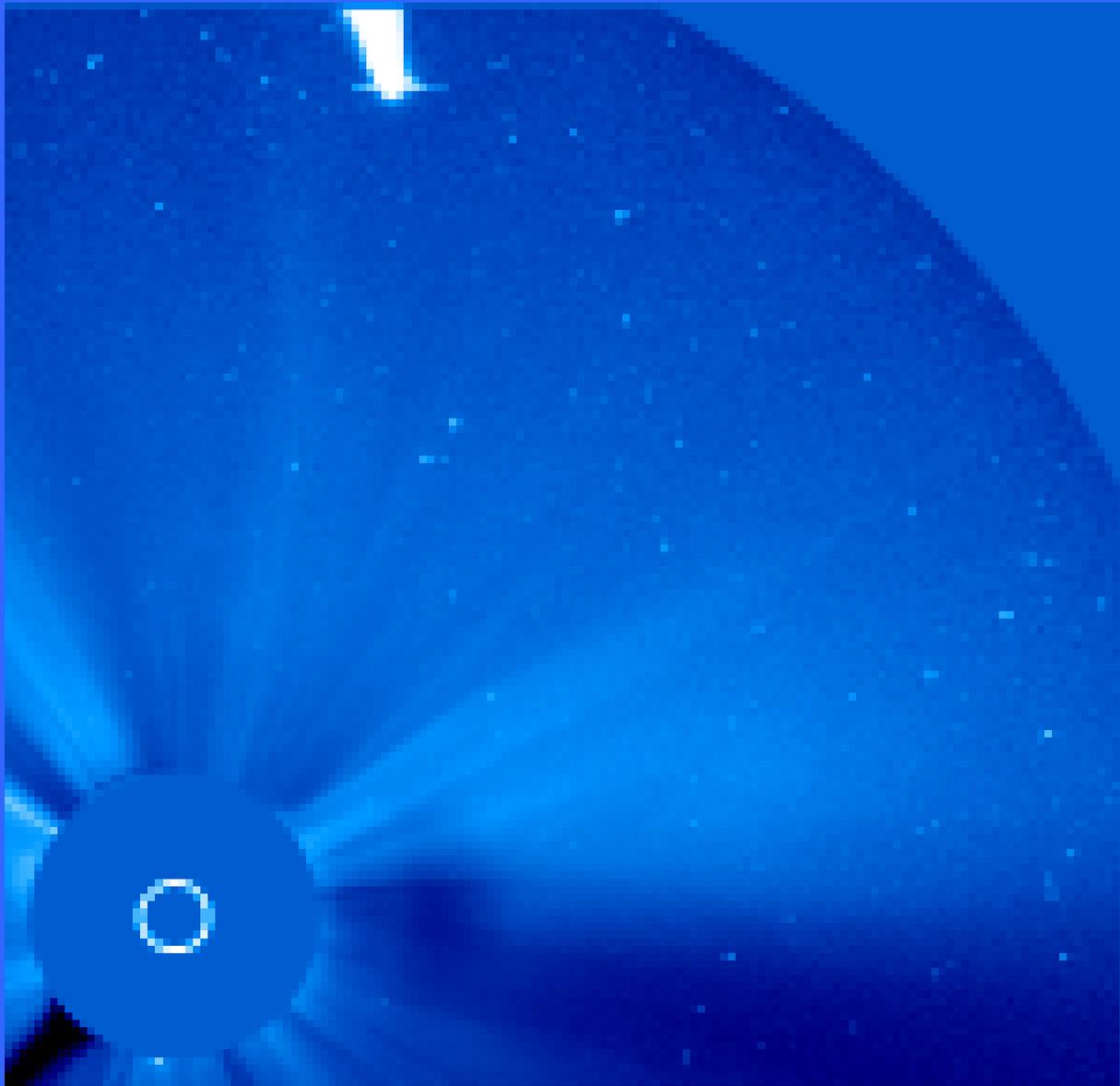
ChixImpact@11:29

ChixImpact@19:25

ChixImpact@30:00

ChixImpact@33:25

ChixImpact@37:02



彗星撞太陽



子彈—200公克、每秒超過
1000 公尺

汽車—2000 公斤、每秒 10
公分

$$E = (1/2) m v^2 = (3/2) k T$$

汽車 $m \rightarrow 1$ 萬倍

子彈 $v \rightarrow 1$ 萬倍； $v^2 \rightarrow 1$ 億倍

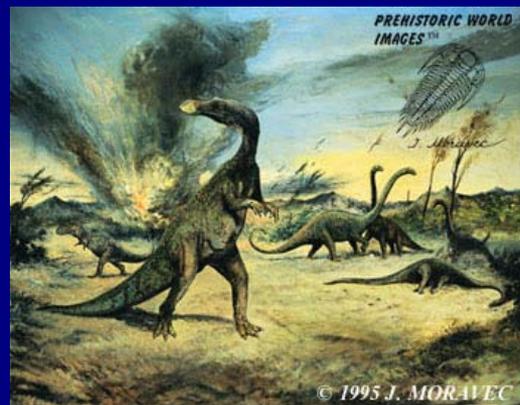
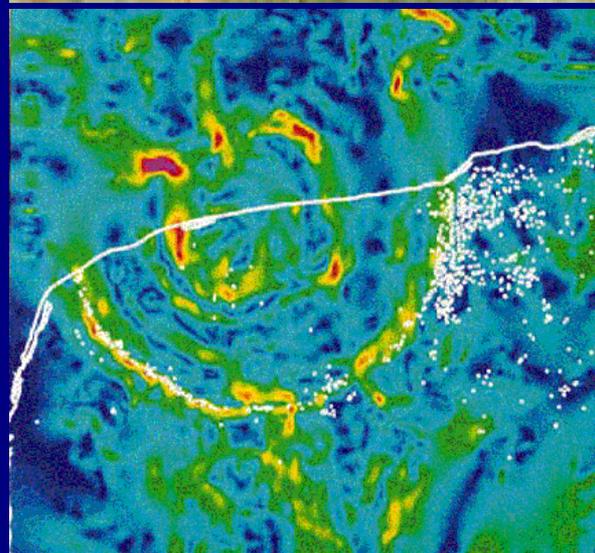
➡ 子彈 $E \rightarrow 1$ 萬倍

快的東西殺傷力很可怕！

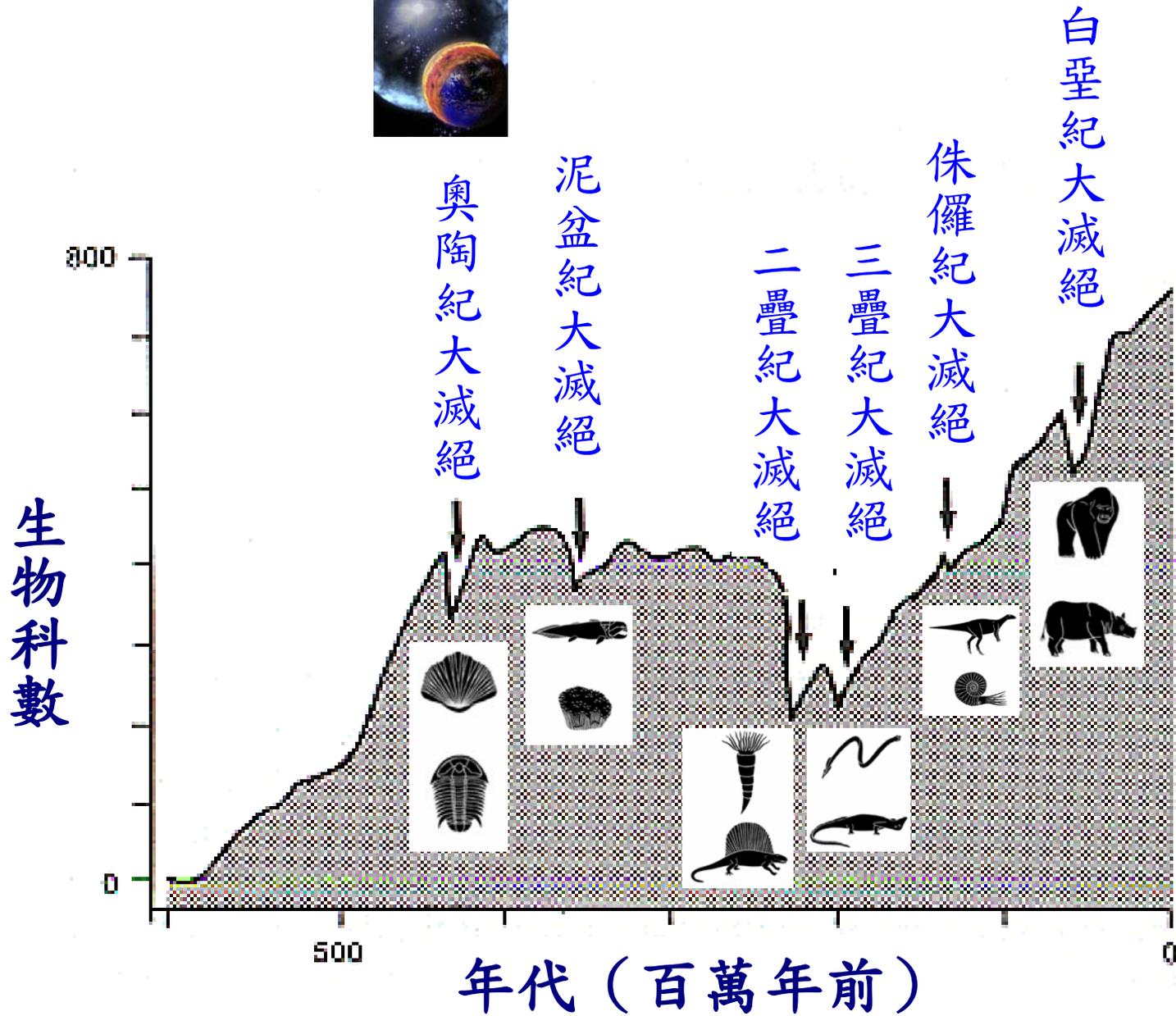


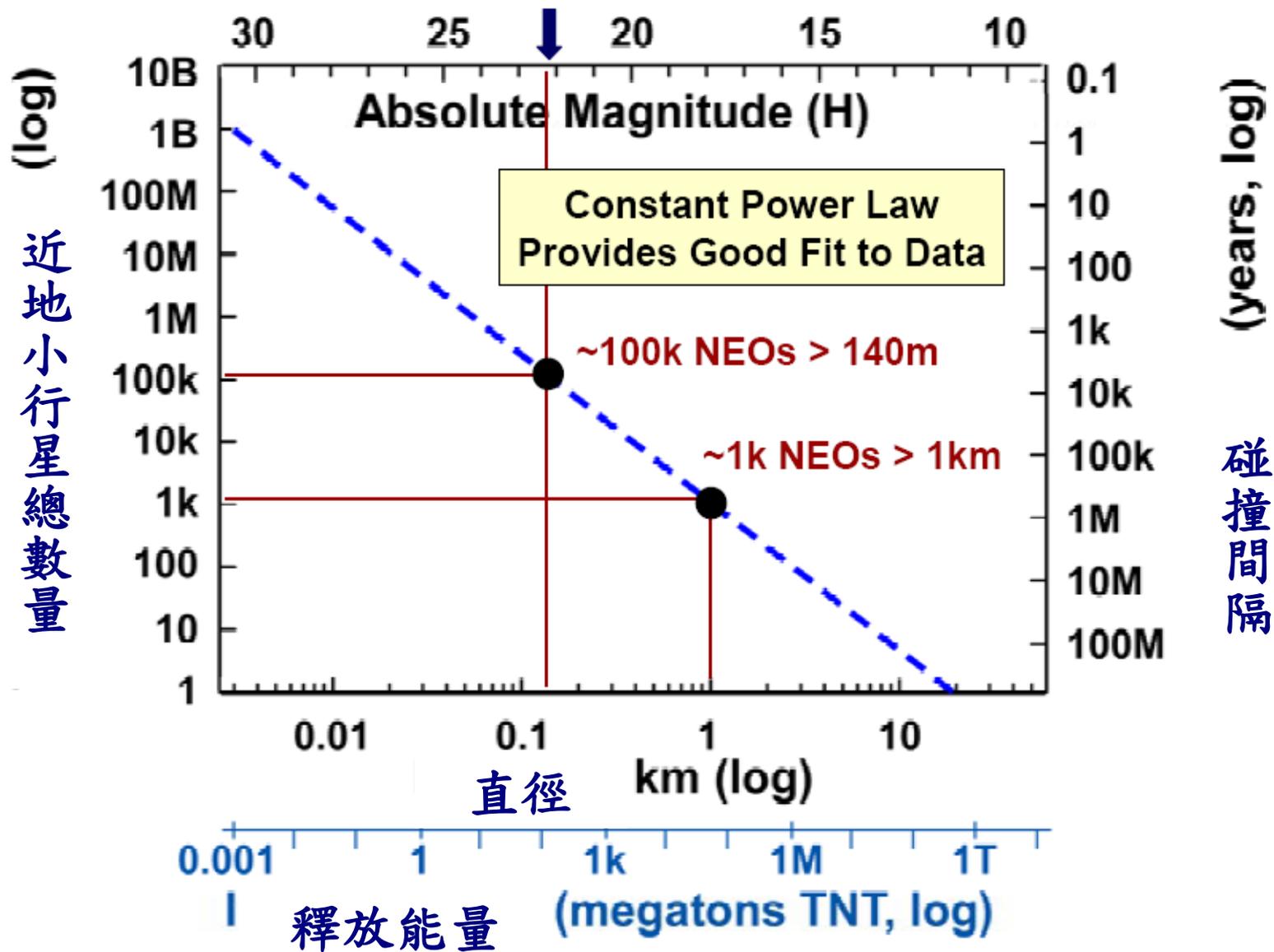
恐龍怎麼滅種的？

6500萬年前的撞擊！



© 1995 J. MORAVEC





已知NEO 的數量，越小的越多；每小10倍，數量增加100倍

恐怖名單

- 每個晚上平均有上億個天體掉進地球大氣
- 約有 2,000 個超過一公里直徑的天體與地球軌道「交錯」→ 這些 NEOs 萬一與地球相撞，將毀掉全球 1/4 的人口
- 超過 500 公尺者約 10,000 個
- 超過 100 公尺者約 300,000 個
- 超過 10 公尺者約 1 億 5000 萬個
- 有可能與地球相撞的天體當中，約 70% 屬於小行星，其他為彗星

撞擊機率

如_____般的隕石：每_____

- 花生、1 小時、10 次
- 蒜頭、1 小時、1 次
- 柚子、10 小時、1 次
- 籃球、月、1 次
- 50-m 小行星、100年、1 次 (足夠把台灣毀掉)
- 1-km 小行星、10萬年、1 次
- 2-km 小行星、50萬年、1 次

水能載舟，也能覆舟

- 彗星遊走在黑冷的太空中，得以孕長複雜的分子，有些可能是生命的前身
- 地球上大量的液態水可能由彗星帶來，提供了滋養生命的溫床
- 部分生物大滅絕乃天體碰撞的結果

問：下一次甚麼時候？

答：不知道！我們對小東西知道的不（夠）多

怎麼辦？

能怎麼辦？

我們應該比恐龍高明些吧 😊

George E. Brown, Jr. Near-Earth Object Survey Act (2005由布希總統簽署) ——

NASA 在生效日一年內提出

- (1) 分析清點 NEOs 的方法；
- (2) 建議方案並估計預算；
- (3) 改道（減少損失）方案

目標：在 **15 年內** 對於直徑大於 **140公尺**（只造成區域性災難），而近日點小於 1.3 AU 的 NEOs，予以偵測 (detect)、追蹤 (track)、建檔 (catalog)，與述性 (characterization)，達 90% 完整

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION

Near-Earth Object
Survey and Deflection
Analysis of Alternatives

Report to Congress



March 2007

美國加州民主黨眾議員 (1920-1999)，畢生致力推廣科學與科學政策擬定，身後仍有多項實驗室、圖書館及法案以其名之



有沒有解厄之道？

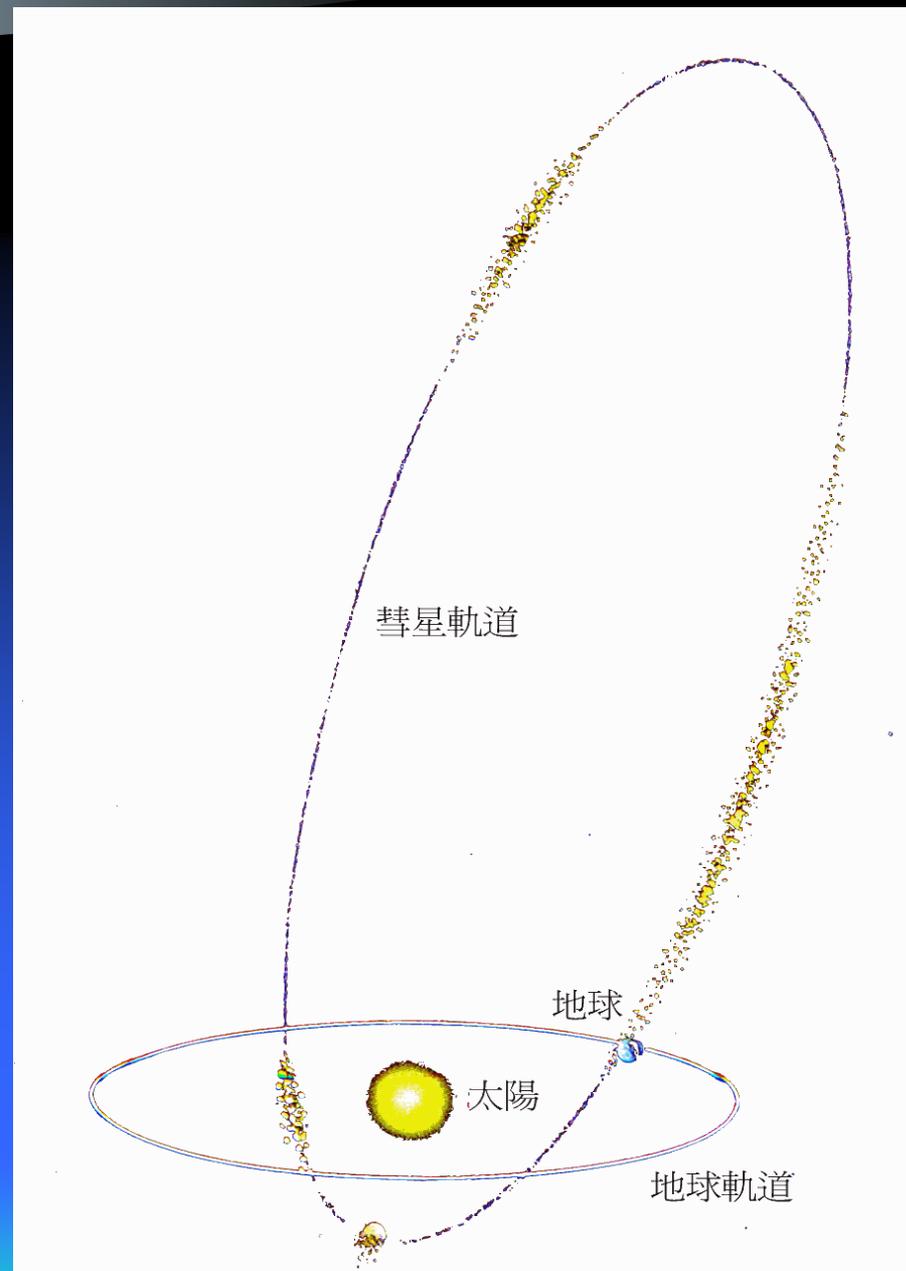


- **炸掉？** 傳統炸彈（接觸地面或深層爆炸）、核彈（地面或深層、即刻或延遲引爆）、撞擊 ...
這個方法最快，但是 ... 放多少炸藥？放在哪裡（它們的罩門在哪？）誰去放？怎麼放？萬一真炸成功了呢？
- **融化掉？** 陽光聚焦、雷射脈衝（蒸發表面物質）...
- **改變軌道？** B612 Mission、重力牽引 ...

假如有辦法...需要多久的備戰時間？

神龍首尾都不見的
彗星，這樣的致命
碰撞只有 6 個月的
預警！

六個月能做什麼？



- 我們對太陽系內的大天體（行星、衛星）已經有了不少瞭解
- 但是對於小型天體（彗星、小行星）知道不多（因為它們又遠、又暗，又...無趣？）

下個月會否出現個超級大彗星？

- 建構太陽系天體的基本「磚塊」，包含了最原始的物質，保留了太陽系形成與早期演化歷史
- 最具挑戰的太空任務就是探訪這些小傢伙
→ Deep Impact, Rosetta 任務

Near –Earth Asteroid Tracking (NEAT)



- 兩座1.2公尺口徑望遠鏡搜尋「近地小行星」

Lincoln Near Earth Asteroid Research (LINEAR)

Home
Contact
Site map



LINCOLN LABORATORY
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY



Space Guard in Japan

Nec cum fiducia inveniendi



Nec sine spe

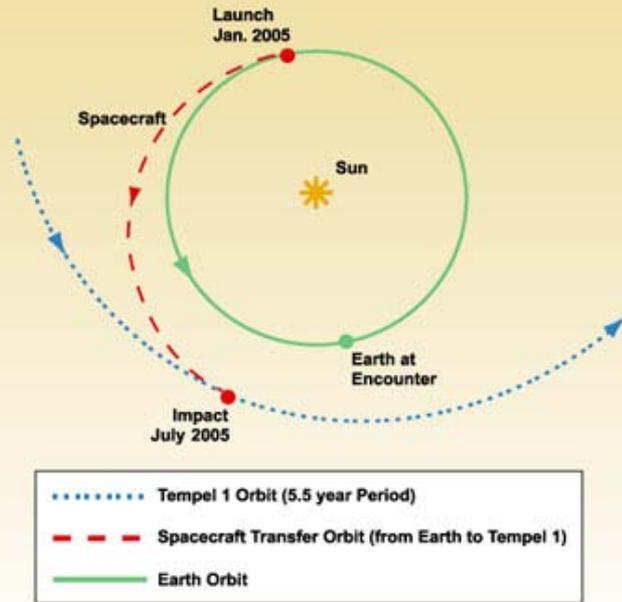


Space Watch (USA, Arizona)





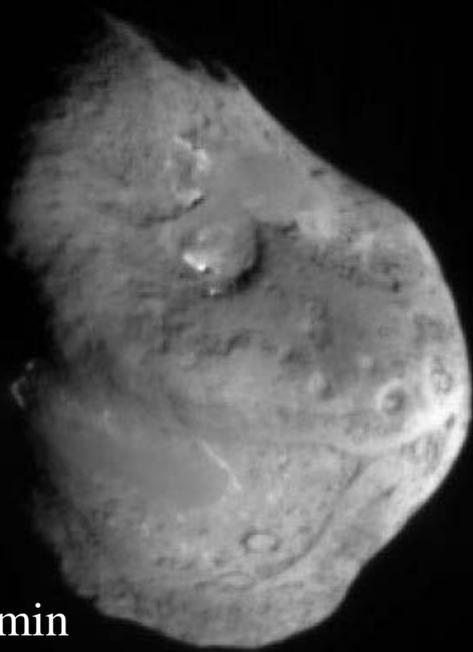
2005年1月發射



7月4日抵達譚普一號 (Temple 1) 彗星，釋放370公斤子船「撞擊號」自行導引以時速36,000公里撞向彗星。預期產生大小、深度達十幾公尺到幾十公尺的坑洞，藉此研究彗星表面塵埃、氣體噴出，以及內部結構。

母船「飛掠號」撞擊後改變軌道，以500公里近距離觀察撞擊結果，並將結果傳回地面 NASA Deep Space Network



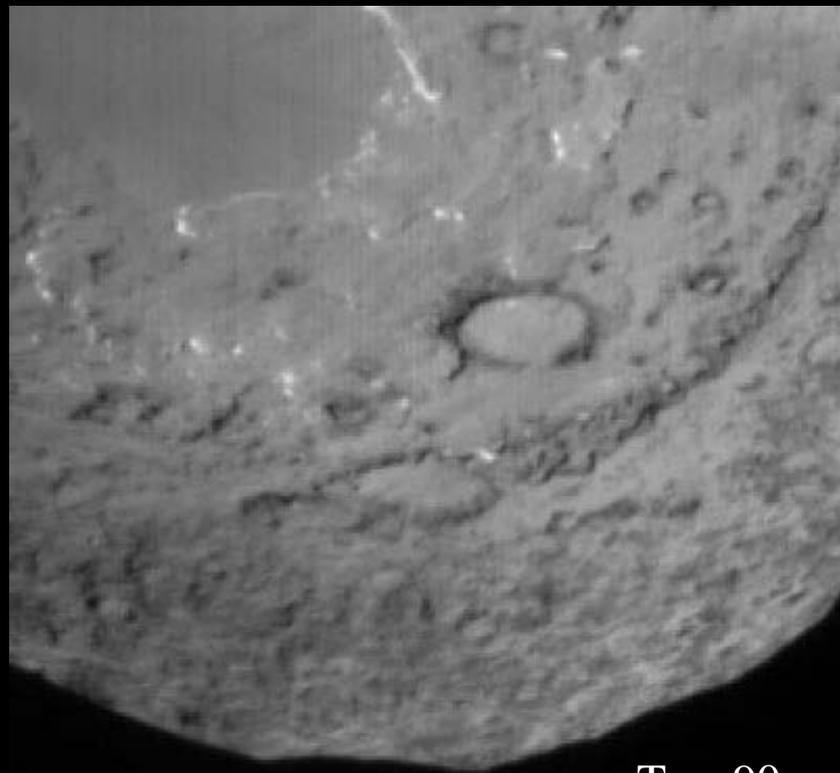


T = -5 min

台灣時間 2005/7/4
2 : 15 pm



撞擊成功！

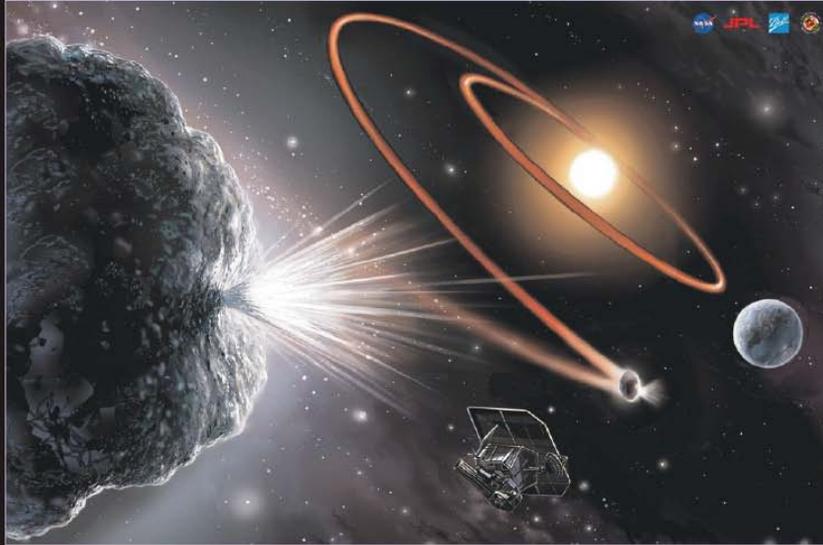


T = -90 s



DEEP IMPACT FIRST LOOK INSIDE A COMET
IN TAIWAN MAY 28, 2004

INSTITUTE OF ASTRONOMY, NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY



BEIJING ASTRONOMICAL OBSERVATORY



LULIN ONE-METER TELESCOPE



MAIDANAK OBSERVATORY



KISO OBSERVATORY

INVITED SPEAKERS:

K. MEECH (HAWAII)

S. SUBITA (TOKYO)

T. KADONO (JAMSTEC)

X. ZHOU (BAO/NADD)

J. WATANABE (NADJ)

Z.Y. LIN/ W.H. IP (NCU)

W.H. SUN (NCU)

W.P. CHEN (NCU)

AND MORE...

THE DEEP IMPACT MISSION
 IMPACT FLASH IN THE LAB
 CRATERS & PROJECTILE PENETRATION
 BAO PROGRAM
 ISHIGAKI ASTRON. OBS. PROGRAM
 LULIN PROGRAM
 KENTING PROGRAM
 MAIDANAK PROGRAM

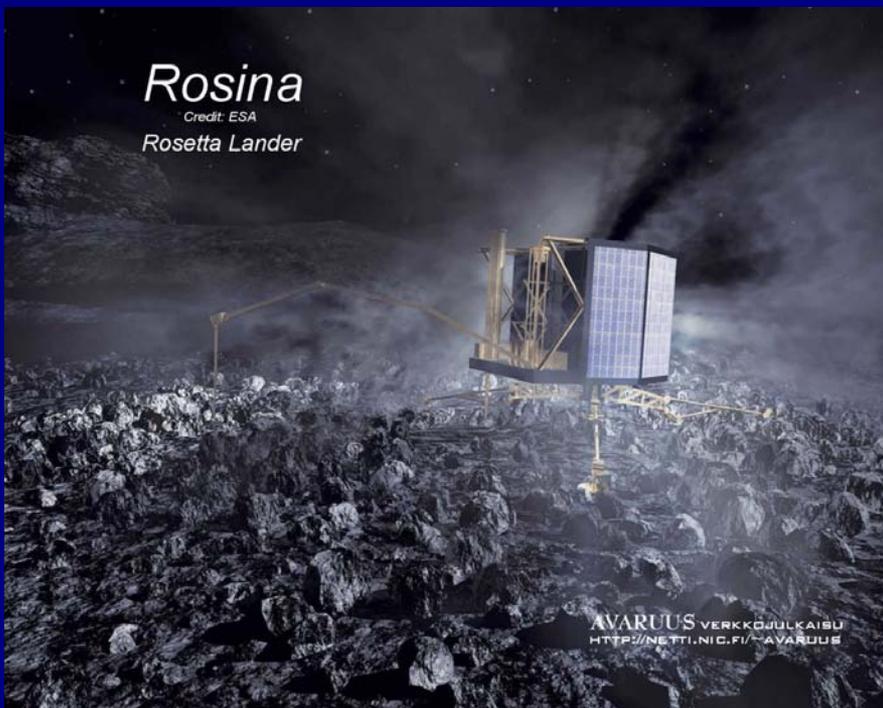
For more information, please contact: tracy@astro.ncu.edu.tw



Rosetta

Credit: ESA

AVARUUS VERKKÖJULKAISU
[HTTP://NETTI.NIC.FI/~AVARUUS](http://netti.nic.fi/~AVARUUS)

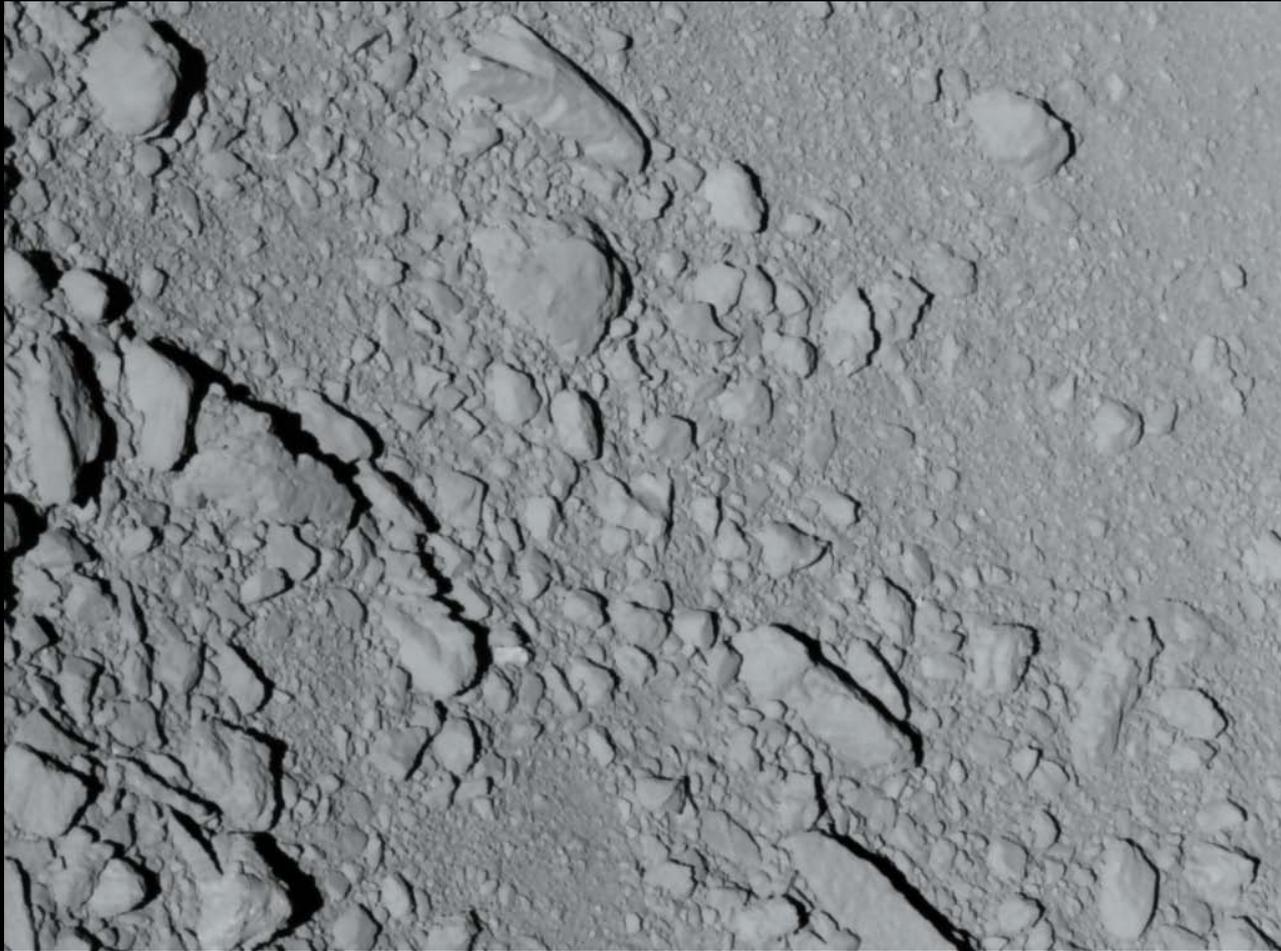


Rosina

Credit: ESA

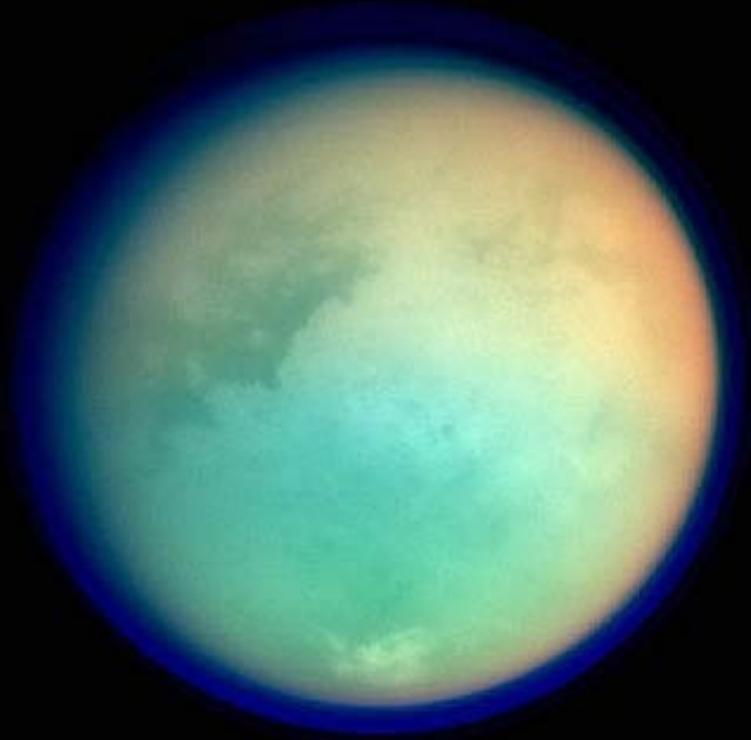
Rosetta Lander

AVARUUS VERKKÖJULKAISU
[HTTP://NETTI.NIC.FI/~AVARUUS](http://netti.nic.fi/~AVARUUS)



日本小隼號 (Hayabusa) 太空船於 2005年11月登陸糸川小行星 (Itokawa) 前所拍攝的小行星表面影像。當時太空船距離小行星250公尺，影像的範圍約為25公尺見方。

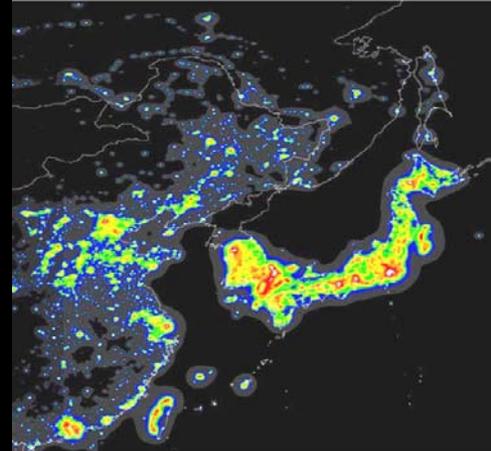
泰坦表面滿佈鵝卵石。圖
中央石頭約如手掌大小

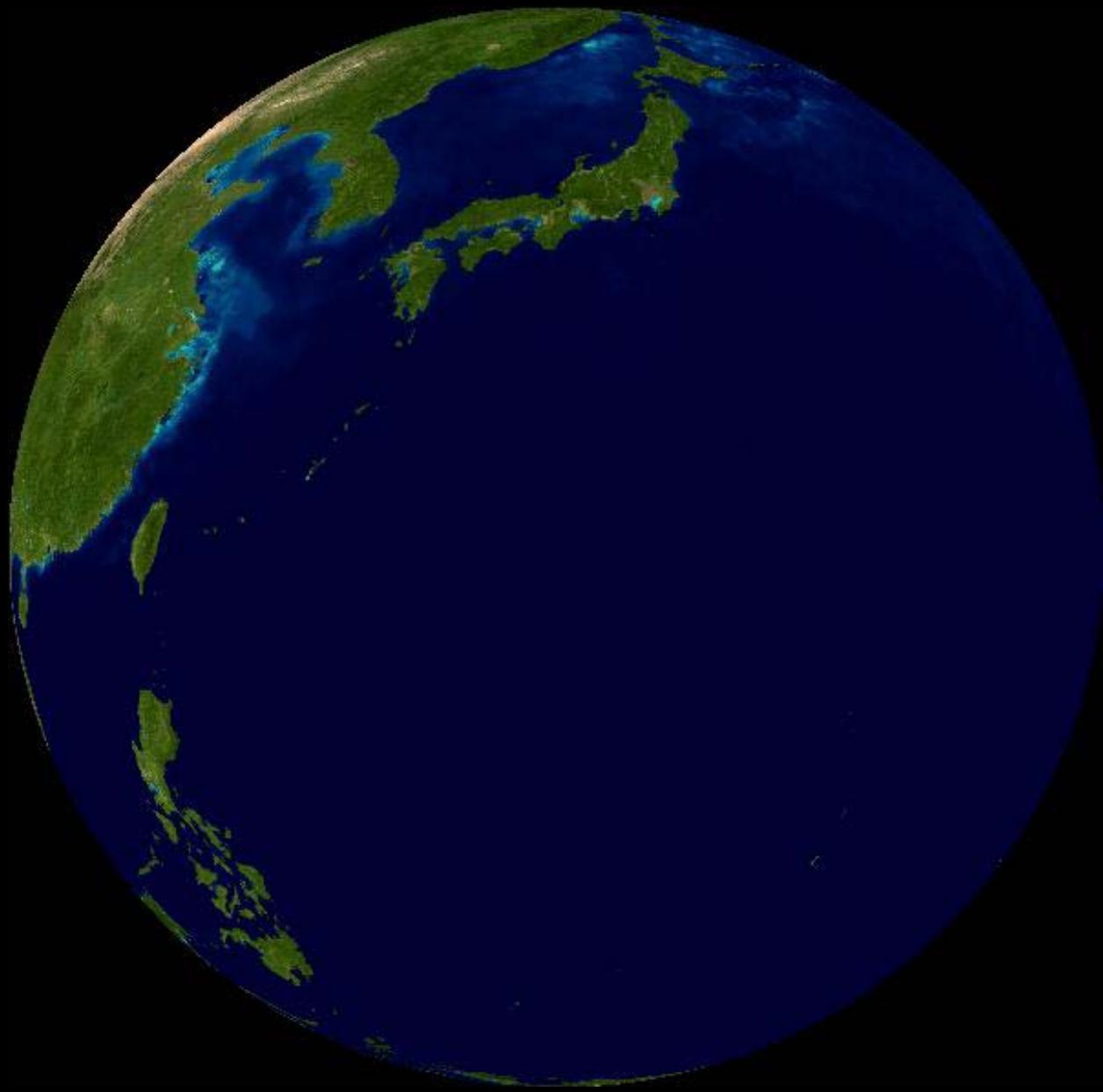


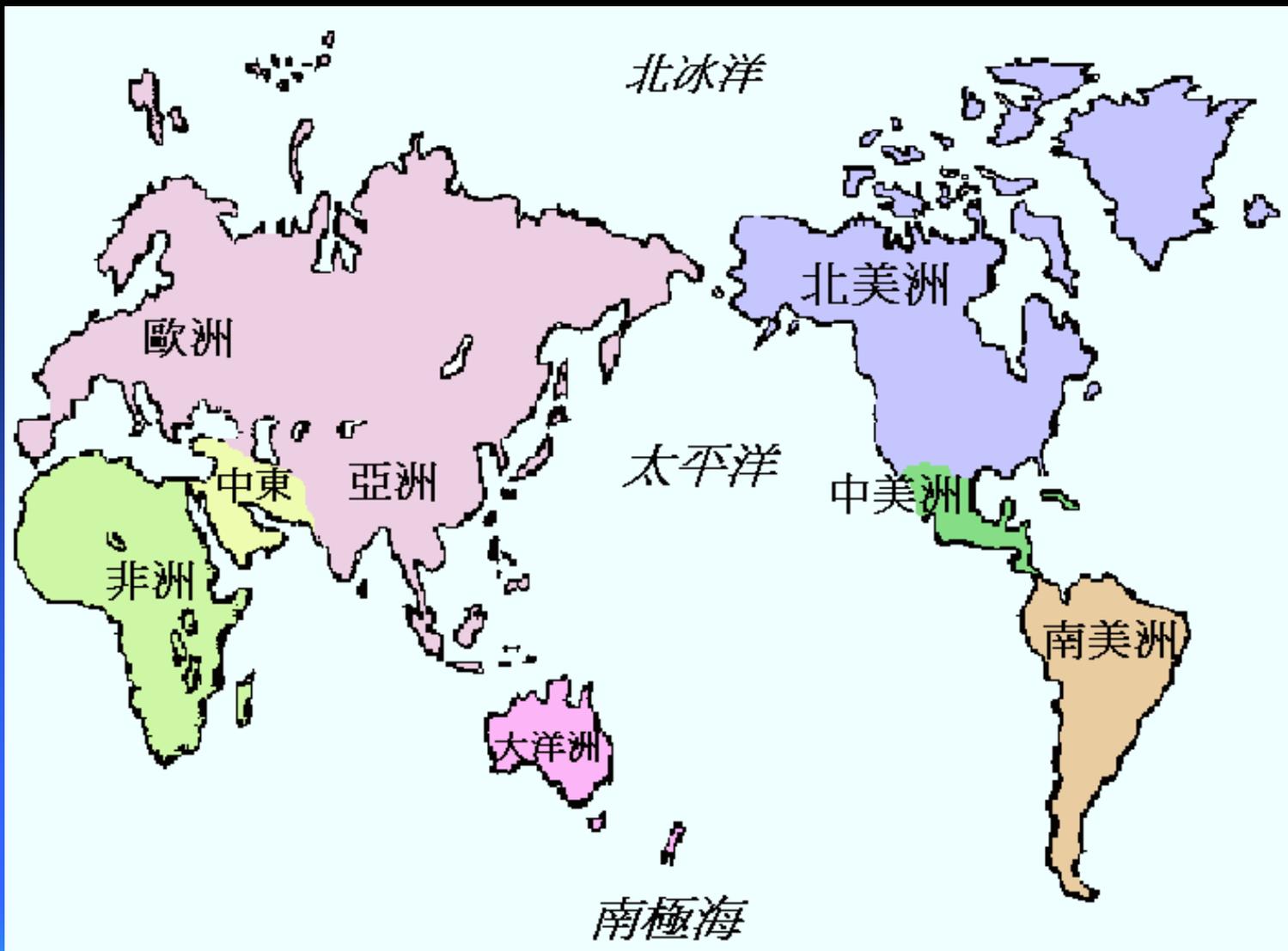
土星衛星泰坦大氣以氮氣
為主，另富含甲烷。



我國參與的相關研究







Bootstrapping ...

TAOS 中美掩星計畫

Taiwan-America Occultation Survey



位於台灣；
運作中

Pan-STARRS 泛星計畫

Panoramic Survey

Telescope

and

Rapid Response

System



位於夏威夷；
建造中

LULIN OBSERVATORY

鹿林天文台

海拔 2862m; 在大氣逆溫層以上



從玉山 (~4000 m) 眺望鹿林山



LELIS



SLT



窄波段巡天計畫

中美掩星計畫
3號望遠鏡

超輕型望遠鏡

中美掩星計畫
4號望遠鏡

控制中心
1m望遠鏡

中美掩星計畫
1, 2號望遠鏡



LOT



TAOS

Lulin Observatory

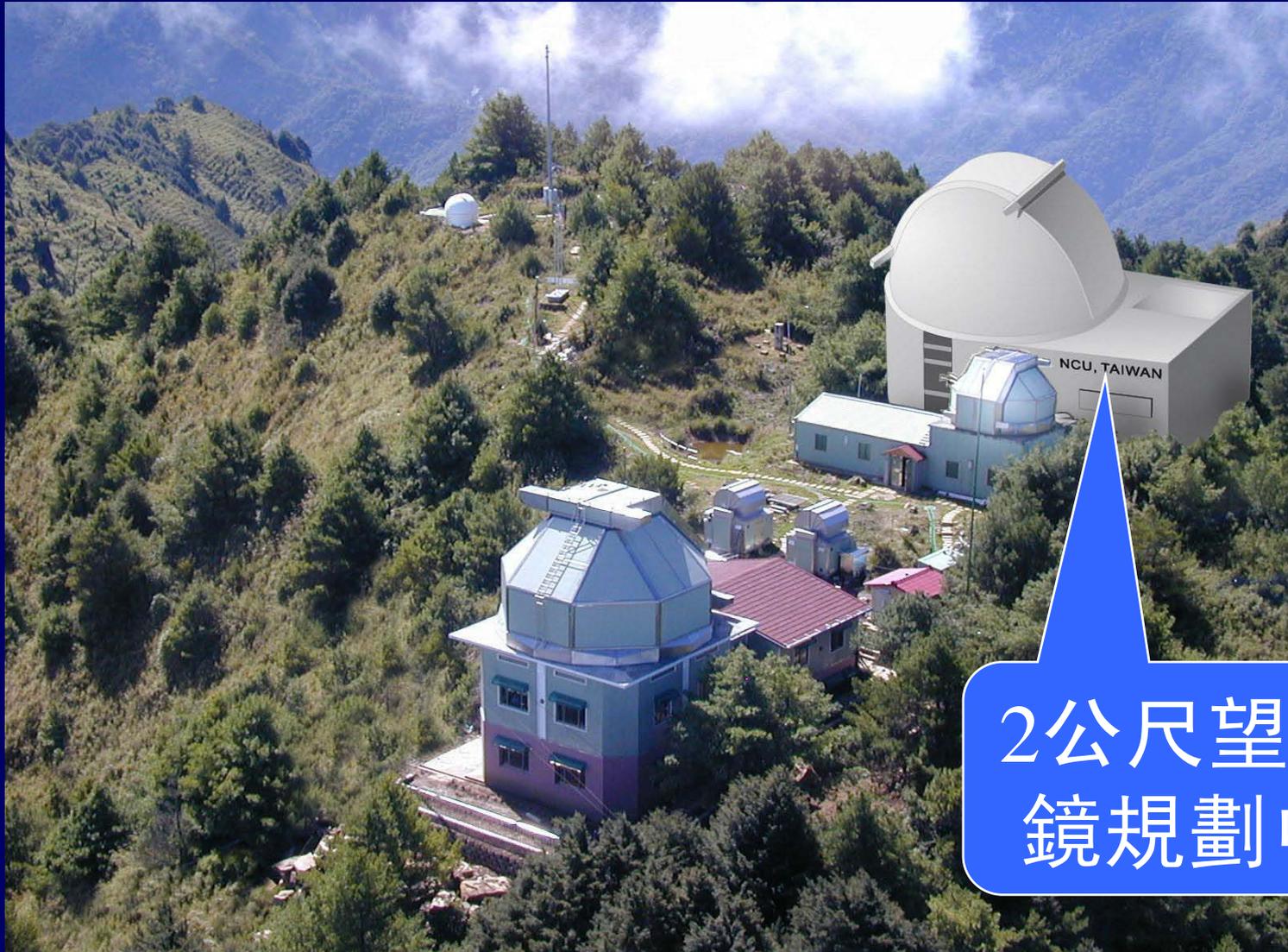
胼手胝足 —— 1980年代的鹿林



筆路藍縷——2002年10月的鹿林



以啓山林——2009年10月的鹿林？



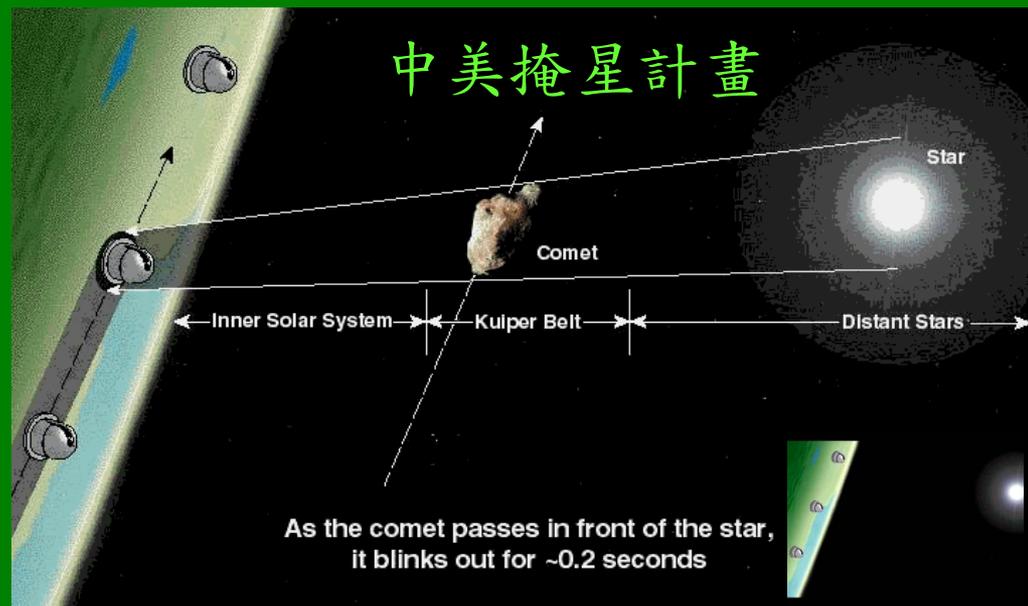
2公尺望遠
鏡規劃中

中美掩星計畫 TAOS (Taiwan-America Occultation Survey) 由我國、美國與韓國合作，利用太陽系小天體遮掩恆星的技術，統計「看不見」的小天體數量。從2005年起觀測，至今已經收集超過10億筆光度資料，計畫極受國際矚目。



遙遠彗星核反射陽光微弱，能藉由「掩星」技術偵測它們的存在

鹿林山



TAOS 望遠鏡陣列

鹿林天文台
2862 m

TAOS 是目前世界上唯一系統性清點
太陽系外圍直徑 1-2 公里天體的計畫

以獨特相機讀
取技術測量恆
星快速 (5 Hz)
亮度變化



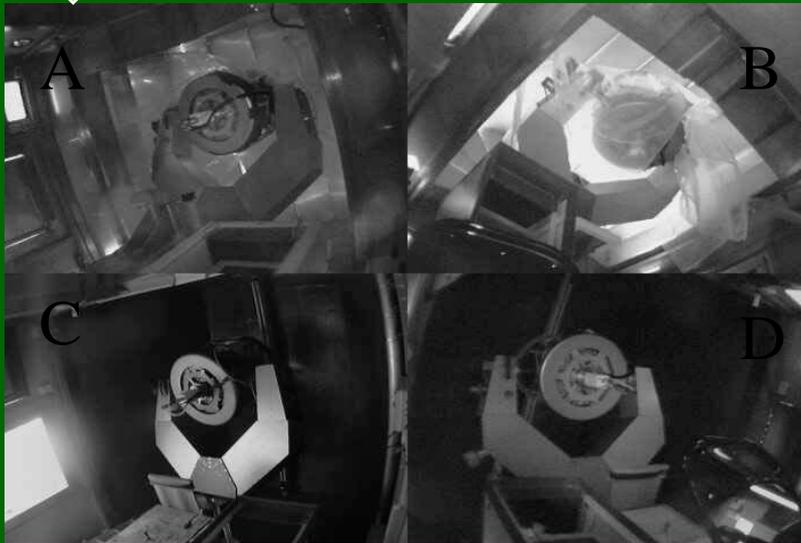
每晚資料量~100 GB

設備

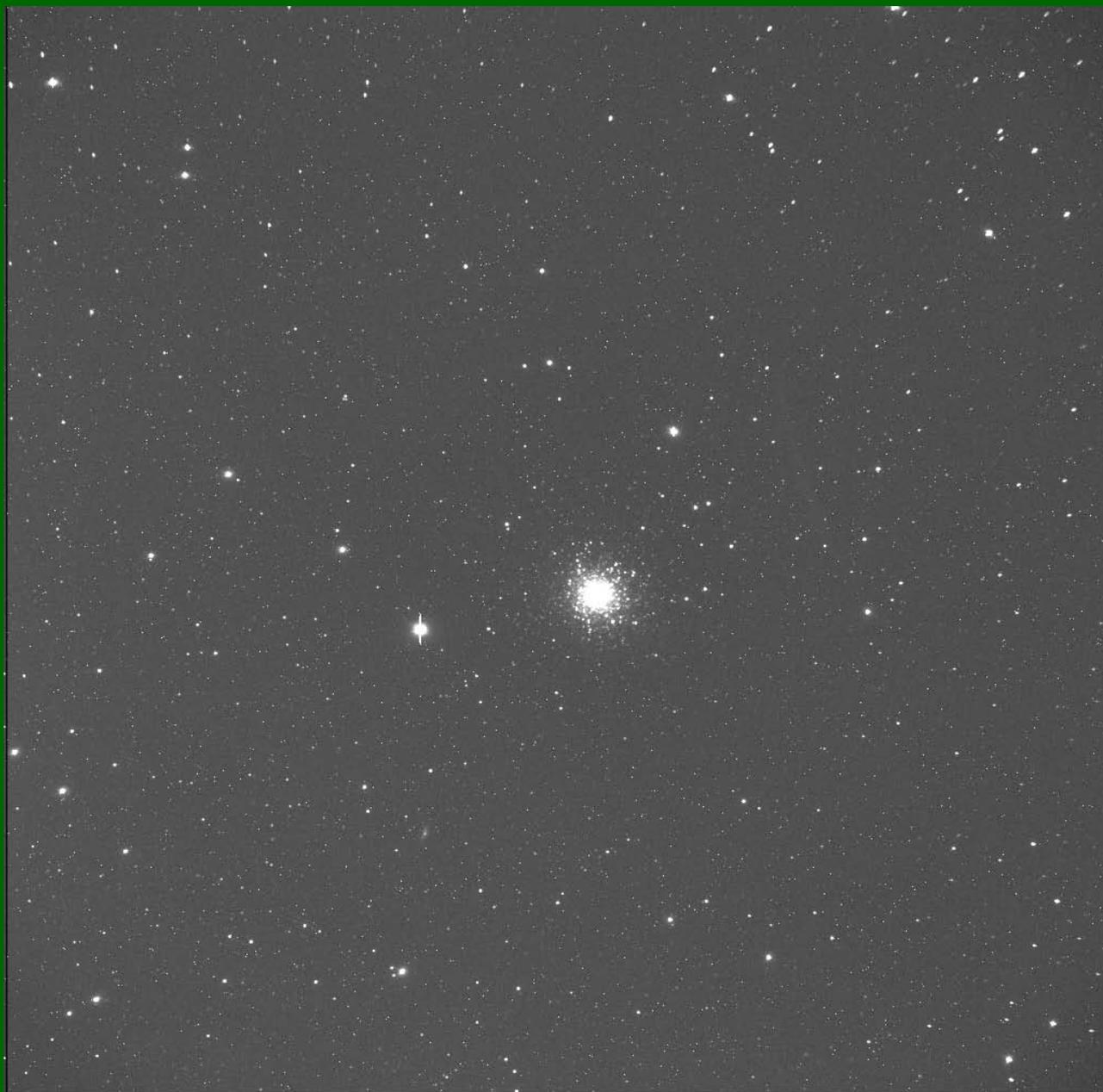
- ❑ 50 cm f/1.9 Cassegrain by Torus
- ❑ SI800 camera (2K sq EEV) by Spectral Instruments
- ❑ Self-designed, customer-made enclosure



↓ × 4



即時 webcam 監視系統與天空狀況



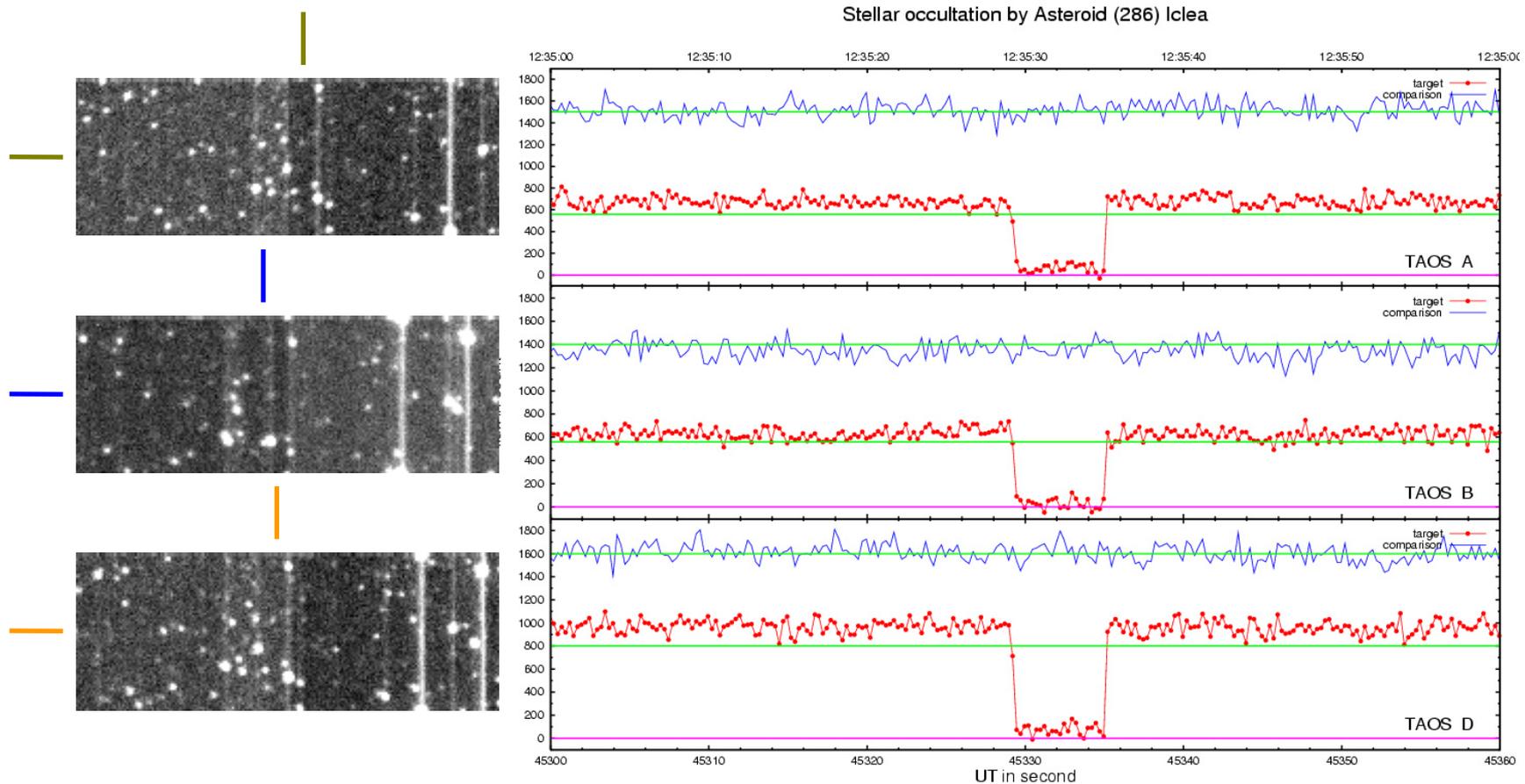
0.5°

TAOS
超廣角
望遠鏡

1.7°

TAOS

2006 Feb 06 three TAOS telescopes detected a predicted occultation of TYC 076200961 ($m_V \sim 11.83$) by **(286) Iclea** ($m_V \sim 14.0$ mag, $D \sim 97$ km)





中美掩星計畫（TAOS）於2006年12月26日的例行觀測中，碰巧在恆春附近發生了規模6.5的強烈地震，因而以不同於地震儀的方式記錄下了這個驚人的地震發生過程。右方動畫影像是由TAOS其中一具望遠鏡的觀測資料中取出當天20:34:42至20:35:59之間所拍攝的影像製成。影像中，星星的軌跡劇烈擺動就是由於第一次地震發生時，強烈的震動所造成。

TAOS計畫使用4具口徑50公分的望遠鏡，配備有高速CCD攝影機，可以對視野內的恆星進行高達每秒5次的測光，用以監測由古柏帶天體（Kuper Belt Objects, KBO）對背景恆星所造成的掩星事件，藉此發現太陽系外圍為數眾多，但卻因體積小、距離遠而昏暗不易見到的彗星或小行星等太陽系小天體。

Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System (全天搜尋望遠鏡與快速反應系統)

IfA  [Institute for Astronomy,
University of Hawaii](#)

MPG   [Max Planck Institute
Extraterrestrial Phys](#)
[Max Planck Institute
for Astronomy](#)

JHU  [The Johns Hopkins University
Department of Physics and Astronor](#)

UK    [Queen's Un
Belfast](#)
[ICC](#) [Durham University](#) [University of Edinburgh](#) [Queen's Unive
Belfast](#)

CfA/LCO    [Las Cumbres Obser
Global Telescope N](#)
[Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics](#)
[Las Cumbres Observatory Global Telescope Net](#)

Taiwan   

Pan-STARRS (泛星計畫)

Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System

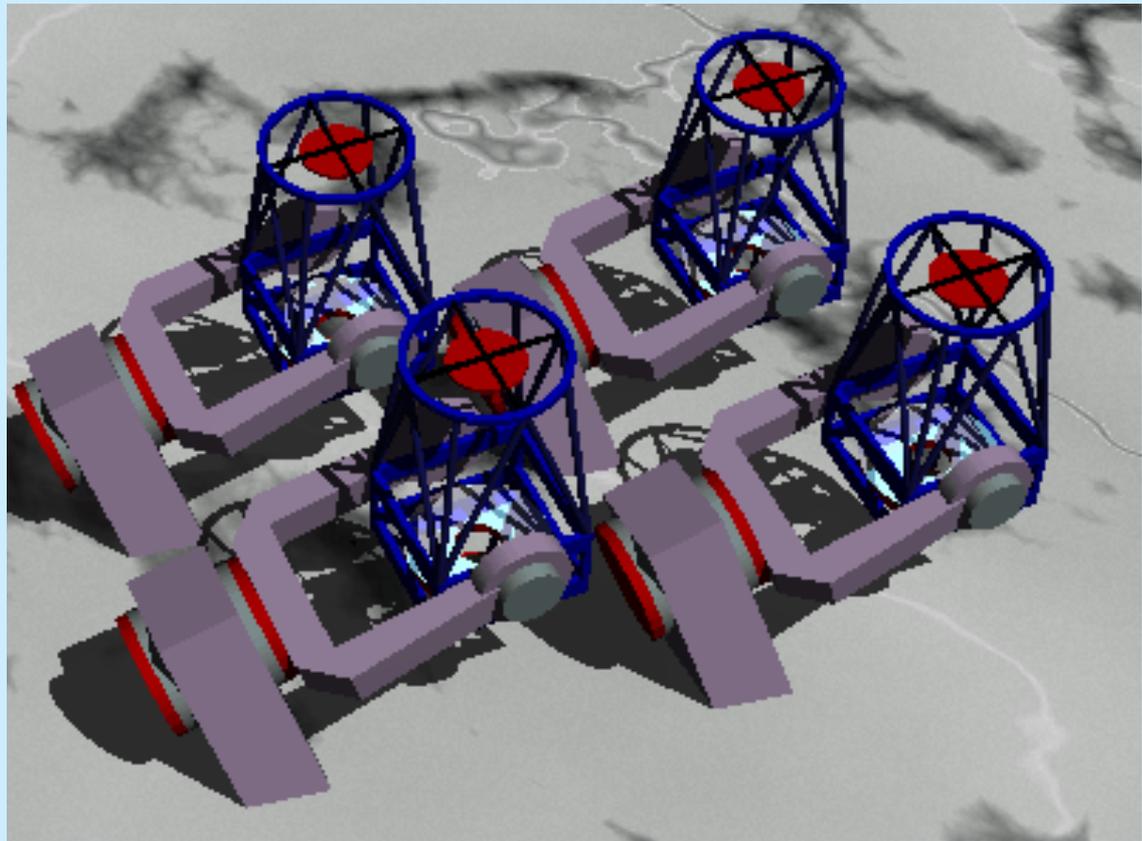
四座1.8公尺超廣角
(7度平方) 望遠鏡

革命性CCD相機
(Orthogonal Transfer CCD)
(14億畫素)

每4~7天巡天一次，
找出所有變化的天
體與現象

位置變化：小行星、
彗星等

亮度變化：超新星、
變星等



… 有如幫宇宙拍一部十年電影

美國國務院透過空軍委託夏威夷大學建置 (US\$60M)

PS1 (US\$10M, 營運費用, 三年半)

University of Hawaii (UH) 美國夏威夷大學

Max Planck Institute for Astronomy in Heidelberg, the
Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in
Garching 德國

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics/ the Las
Cumbres Observatory 美國哈佛大學

Johns Hopkins University 美國約翰霍普金斯大學

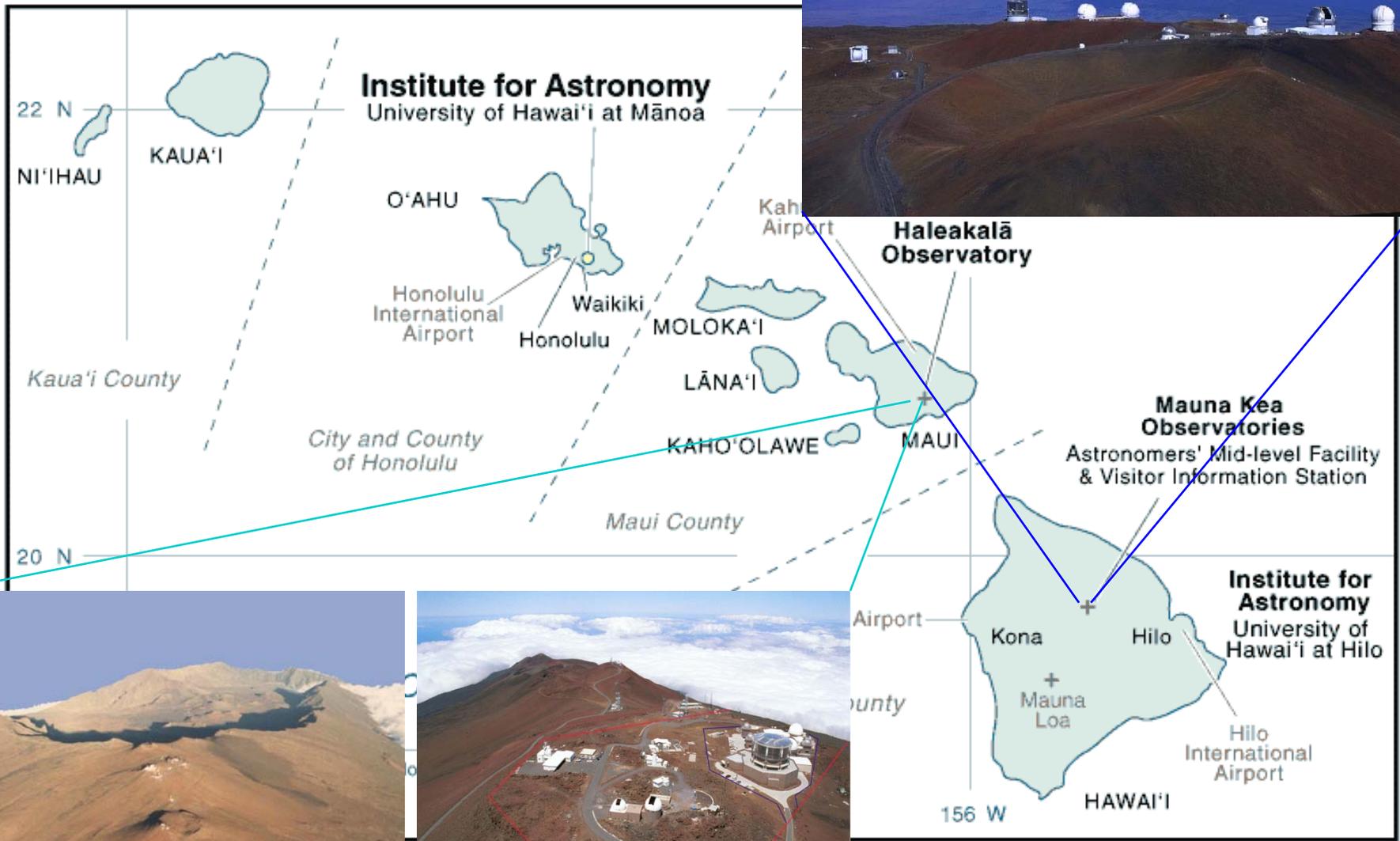
Durham University/University of Edinburgh/Queen 's
University Belfast 英國

Taiwan (中大、清華、台大、成大、中研院), 每年
US\$0.22M, 共三年 台灣



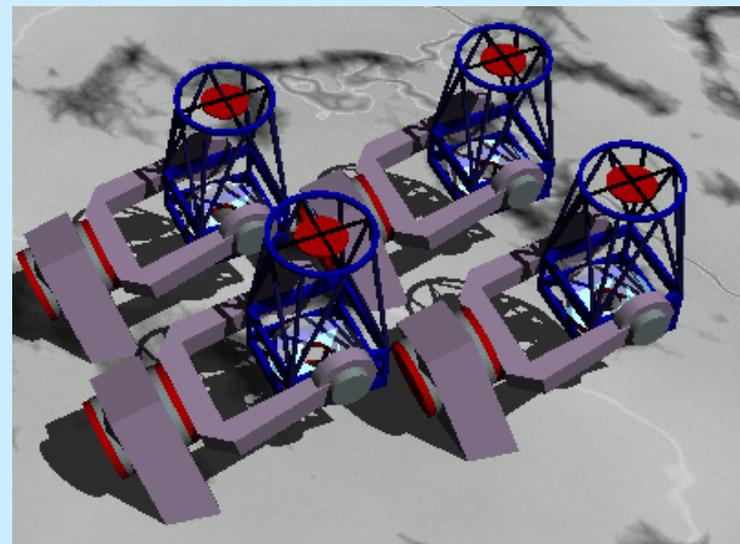
美國夏威夷島

PS4- Mauna Kea, Hawaii

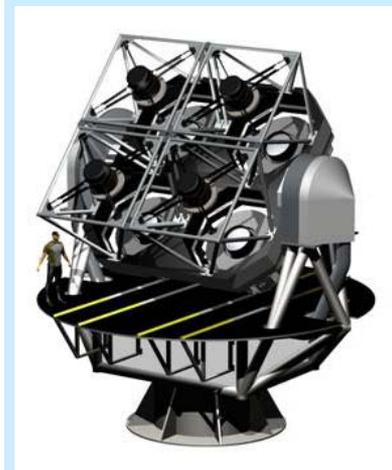
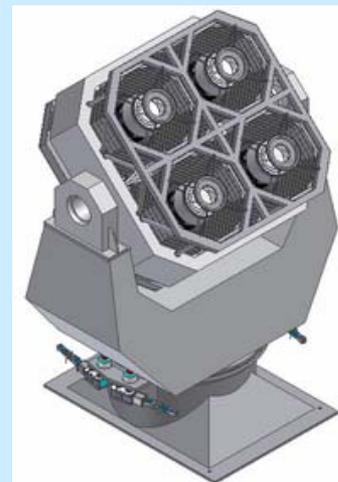
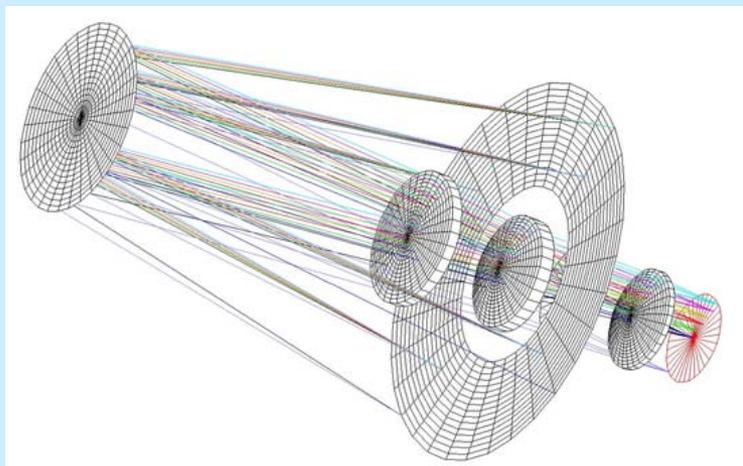


PS1- Haleakala, Maui

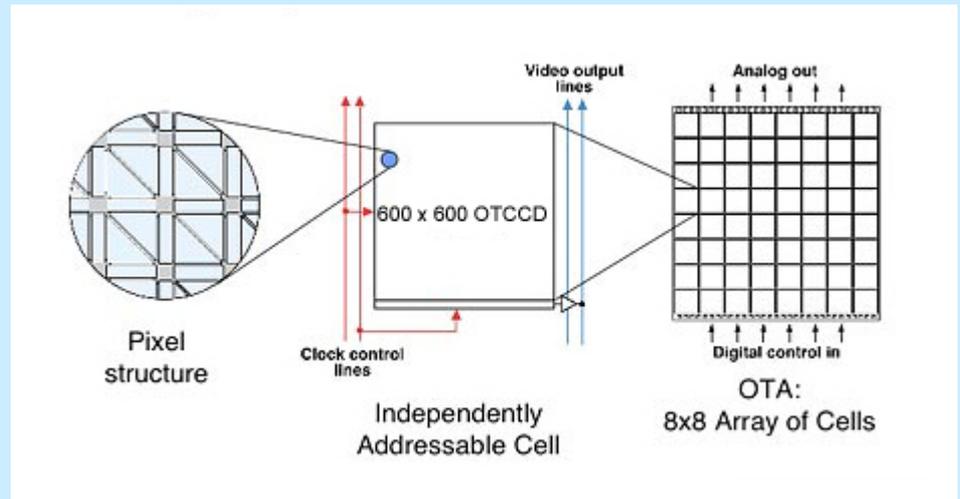
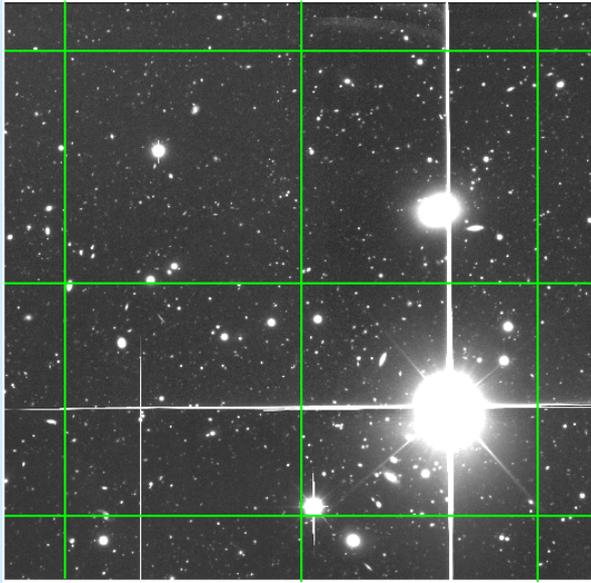
超廣角望遠鏡



PS4?



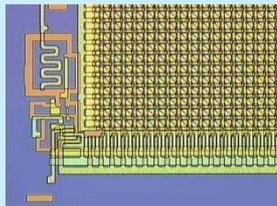
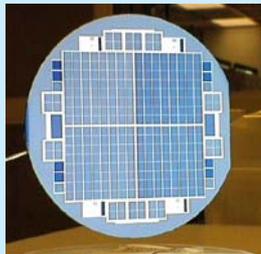
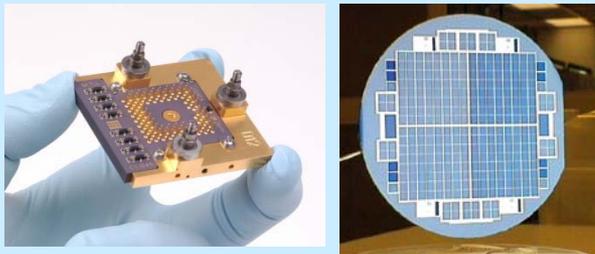
革命性的偵測器

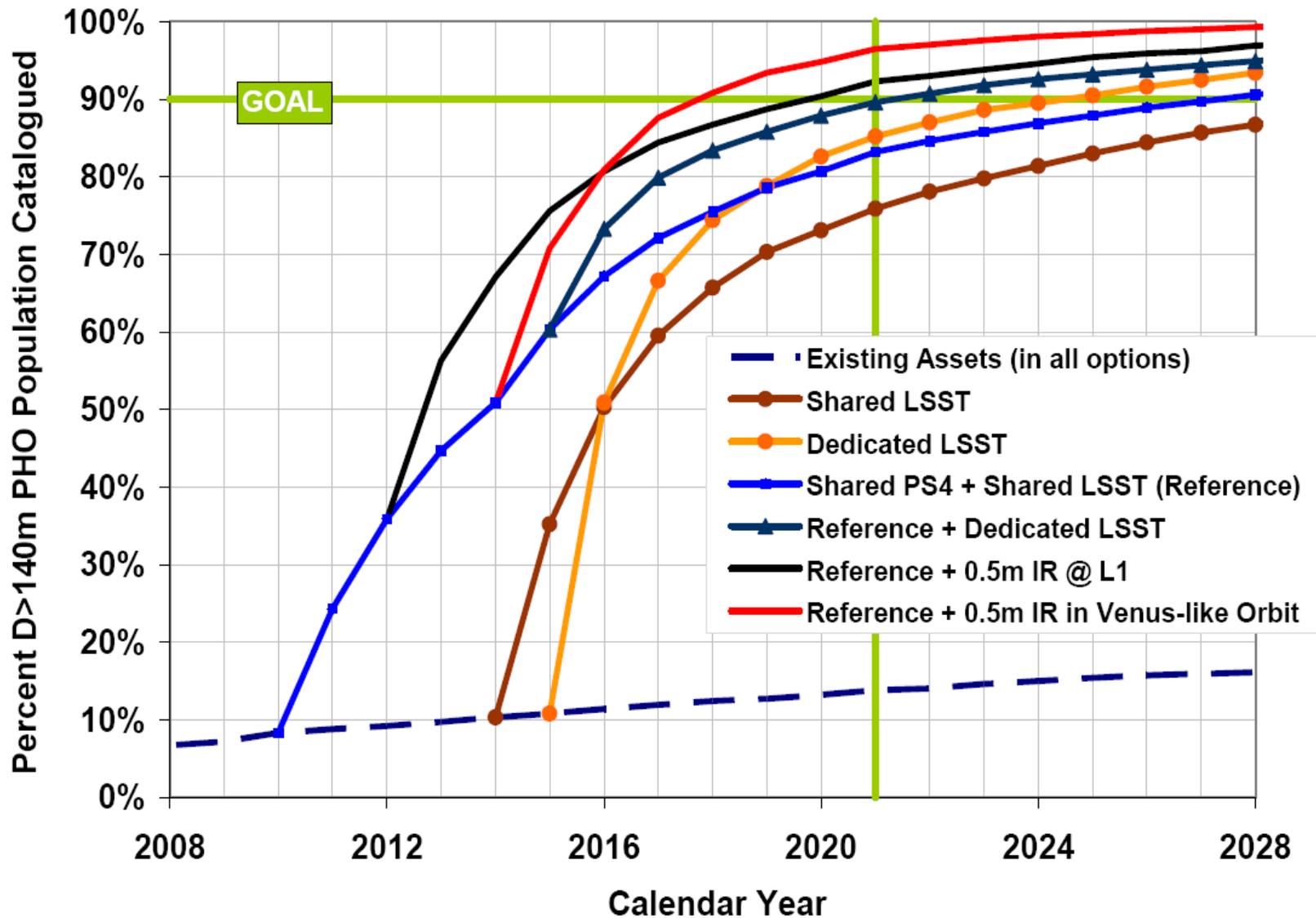


Independently addressable orthogonal transfer CCDs (cells)

- Reducing cost by increasing yield
- Fast readout: Gigapixels in 2 s
- On-Chip guiding
- Minimizing effects of bright stars
- Compensating for image motion
- 14 億個畫素

每晚資料量~數TB





泛星計畫將產生大量極有價值的天文資料（尤其是太陽系的研究），對於「時變宇宙」將有革命性貢獻

結論

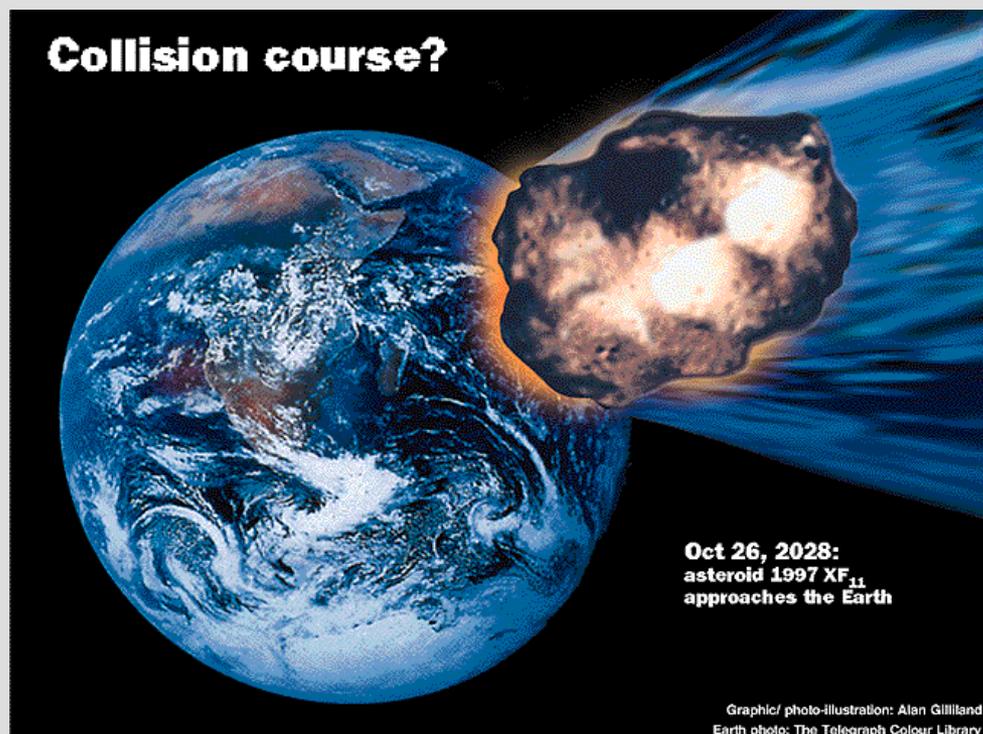
- ❖ 動態的宇宙哪有所謂「天地不老」？
- ❖ 大、小尺度的天體皆隨時在改變，彼此交互作用，彼此「乒乒乓乓」
- ❖ 地球被撞是遲早的事情，但是人類文明應該比恐龍更有招架能力吧
- ❖ 有了「外侮」才知何謂「生命共同體」？
- ❖ 到底誰該擔心呢？是杞人憂天嗎？天垮下來了，誰來頂著呢？



Arecibo 電波天線於2001年
3月4日取得 1950DA 的影像
，當時小行星距離地球 22
倍月球距離

<http://www.planetary.org/html/news/articlearchive/headlines/2002/1950DA.htm>

B2002年7月26日
BBS 新聞



<http://www.xyz.org/impact/et19980313a.html>

Scientific American November 2003, pp. 54-61

The Asteroid Tugboat

Russell L. Schweickart, Edward T. Lu, Piet Hut
and Clark R. Chapman

Mercury, November-December 2003, pg 15

ARE ASTRONOMERS CRYING WOLF?

*By generating scary headlines, NEO searches have
become a victim of their own success.*

David Morrison

天塌下來， 誰來頂？

「小行星撞地球」不只是電影情節，它真的會發生！為了保護地球生物與棲境，歐美先進國家都嚴陣以待，台灣當然也不能落人後。中央大學陳文屏教授肩負科學家的強烈使命感，不僅要盡一份保衛家園的責任，更要為台灣在國際天文學術領域掙一席之地。——編輯部

2003/12 科學人雜誌

我們常說「天塌下來有大人頂著」，但要是真的地球將與小行星或彗星碰撞，也就是天真的要塌下來了，那麼「大人」在哪？憑什麼總是歐、美、日等先進國家的科學家可以充當「大人」？我們國家「未來的主人翁」在哪裡？天體撞擊事件隨時都發生，幾年前的彗星撞木星，再看看月球斑斑表面，都是活生生的證據。撞擊所造成環境

巨大變遷，甚至生物大量滅絕，我們絕對不該掉以輕心。這種危機雖然不像颱風、地震或流行性感冒般耳熟能詳，但威脅的規模卻是全球性的。那麼到底誰該負責找出可能與我們相撞的小行星或彗星？天文學家嗎？國外的天文學家嗎？找到以後誰來擔心如何拯救世界？但願我們的科學家與工程師也勉勵自己，有「玩真的」本事，而非在自己領域的茶壺裡興風作浪。

1950年代，美國國家地理學會主導利用廣角望遠鏡拍攝全天空照片，後來更估計星系距離，繪製出宇宙的立體地圖。地理學會顯然認為「認識我們所在之處」並不止於地面，還包括太空。1960年代，美國空軍以當時最先進的儀器，在紅外波段研究宇宙天體。美國空軍顯然不只要高飛，眼光向下，同時也把眼界朝上，把領空延伸到太空。這些例子給了我很大的啟發，這是國力的全面展示，也是多元社會支持科學研究的最大縱深。

宇宙：一百三十多億年

太陽系：四十六億年

類似人類的生物：三百萬年前

如果把地球的四十六億年歷史製作成一年的電影，於元旦開演時地球剛剛形成，整個一、二月份地球仍遭受大量小行星轟擊而處於熔融狀態。終於海洋形成，最原始的生命大約在三、四月之際出現。之後生命展開漫長的演化，一直要到十一月廿八日左右才有陸地生命。如果電影繼續放映，像是恐龍這樣的生物直到十二月12日才出現，然後在聖誕夜滅絕，接著哺乳類動物以及鳥類大量出現。

人類呢？在這部電影中，直到除夕當天才出現類似人類的生物，而直到除夕傍晚他們才學到製作石器。秦始皇統一天下時，影片放映到最後14秒鐘，而 國父推翻滿清相當於元旦凌晨前0.6秒

上次立法院什麼時候打架？上次月考第幾名？爲什麼別人總有新手機？這些重要嗎？有多重要？

人類做為時空過客，實在應該珍惜這部影片的劇情與道具，努力成為影片續集的主角，讓世代子孫永續經營，向宇宙拜年！