

# 地球系統科學概論 — 天文篇

陳文屏

中央大學 天文所、物理系

# 課程概要

8/7 (09~12; 13~16) 8/8 (09~12)

- 從太空看地球、從地球看太空  
--- 宇宙的地理與歷史
- 太陽系走一遭  
--- 地球與月球、其他的行星、彗星、流星等等
- 恆星、銀河系、其他天體



放眼望去，一半是天！

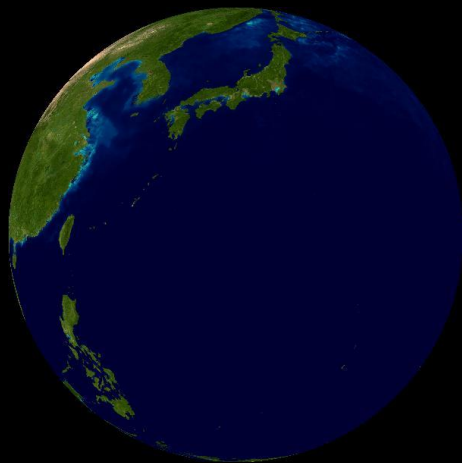


天地輪遞，一半是夜！





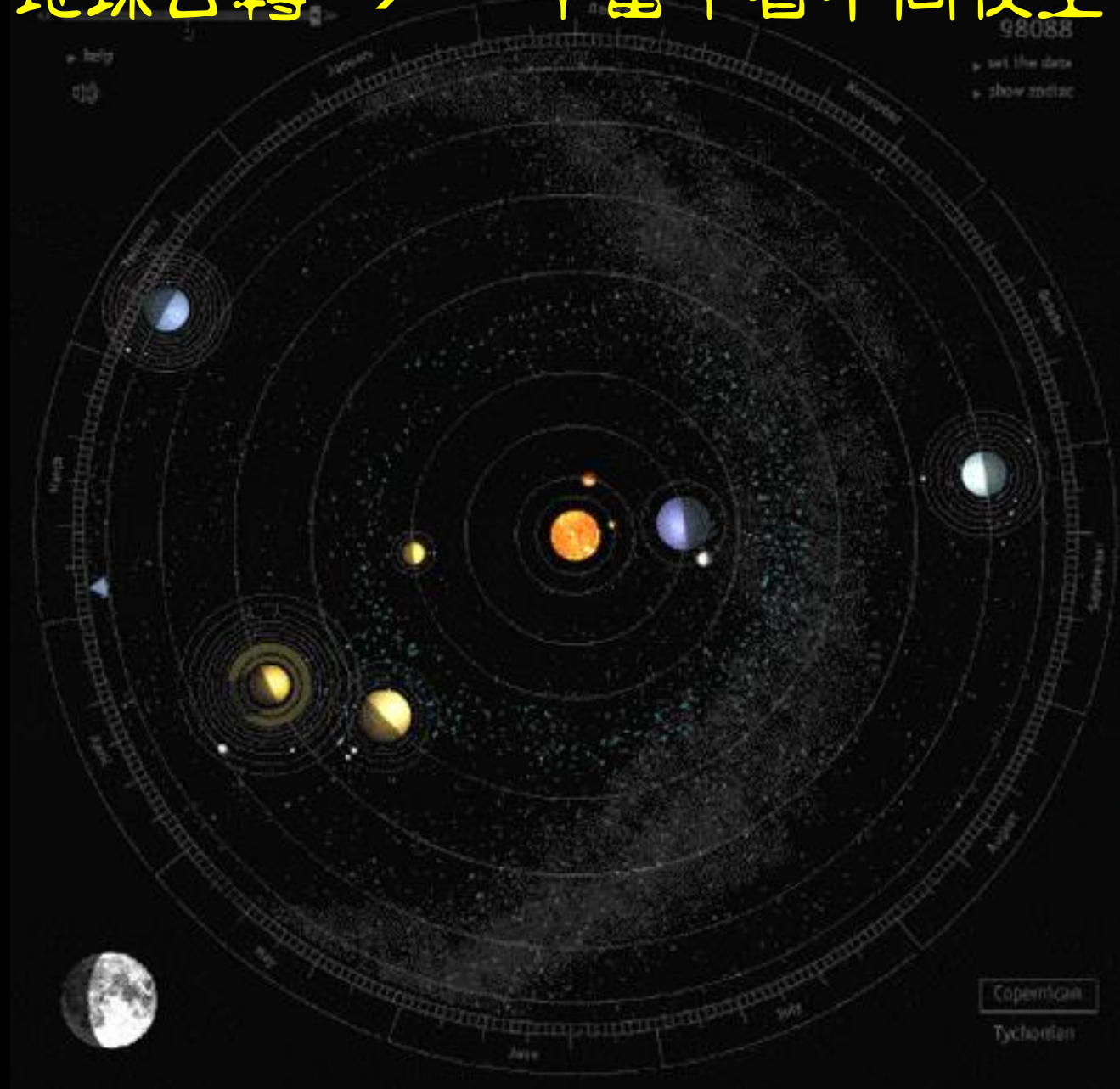
地球自轉 → 一天當中看不同夜空

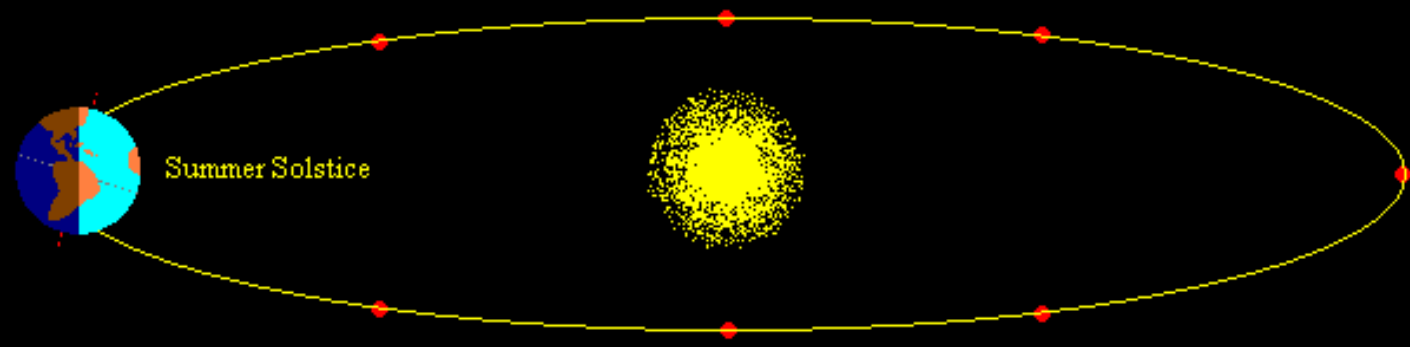
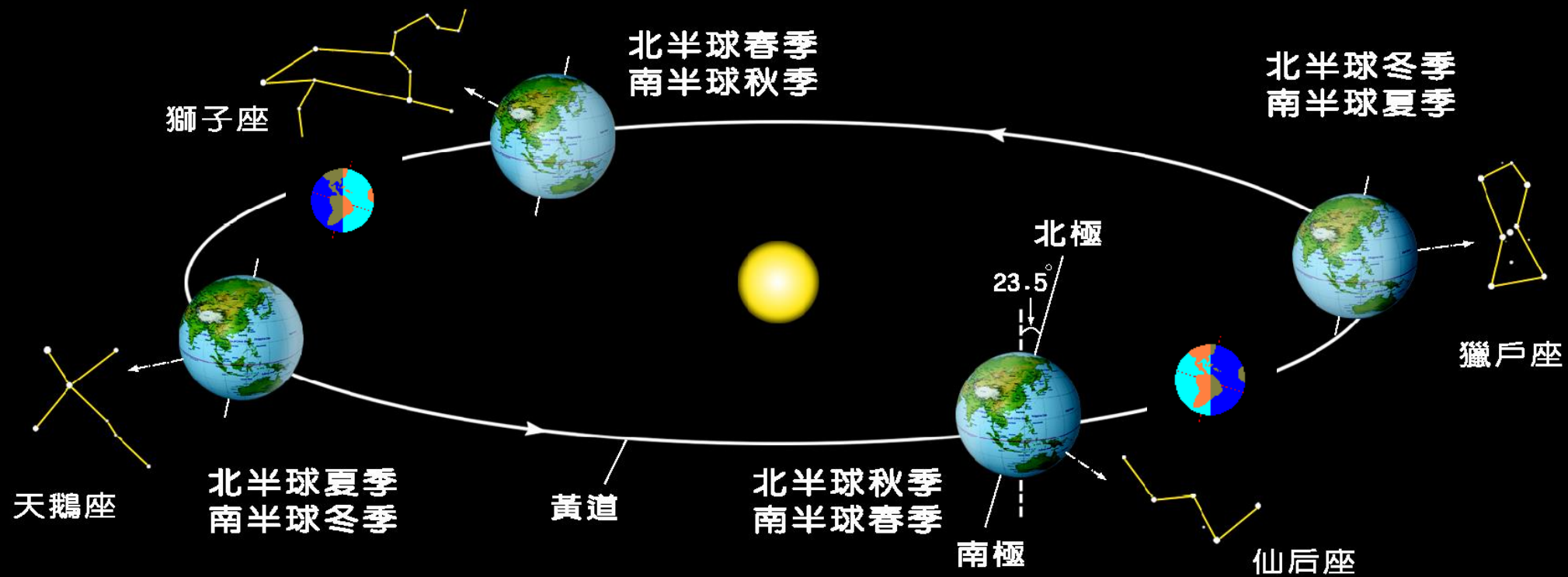


# 地球公轉 → 一年當中看不同夜空

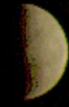
日春夏、日秋冬，此四時，運不窮；  
日南北、日西東，此四方，應乎中；  
日水火、木金土，此五行，本乎數

天體	星期	英文	
日	日	Sunday	太陽的日子
月	一	Monday	月亮的日子
火	二	Tuesday	Tiu 日耳曼戰神
水	三	Wednesday	Woden 北歐主神
木	四	Thursday	Thor 日耳曼雷神
金	五	Friday	Frigga or Freya 女神
土	六	Saturday	土星的日子



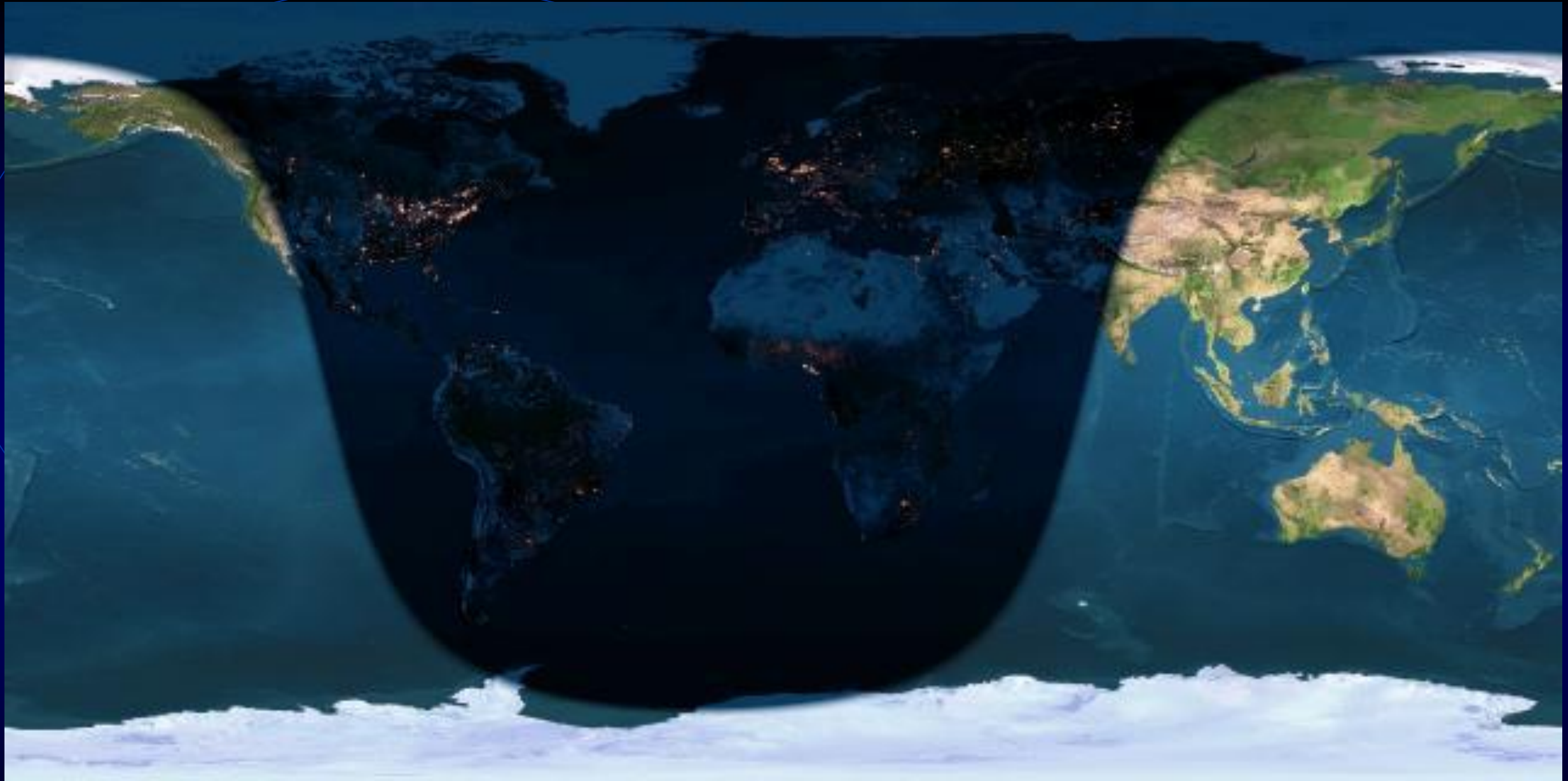


# 太陽是明亮的光源









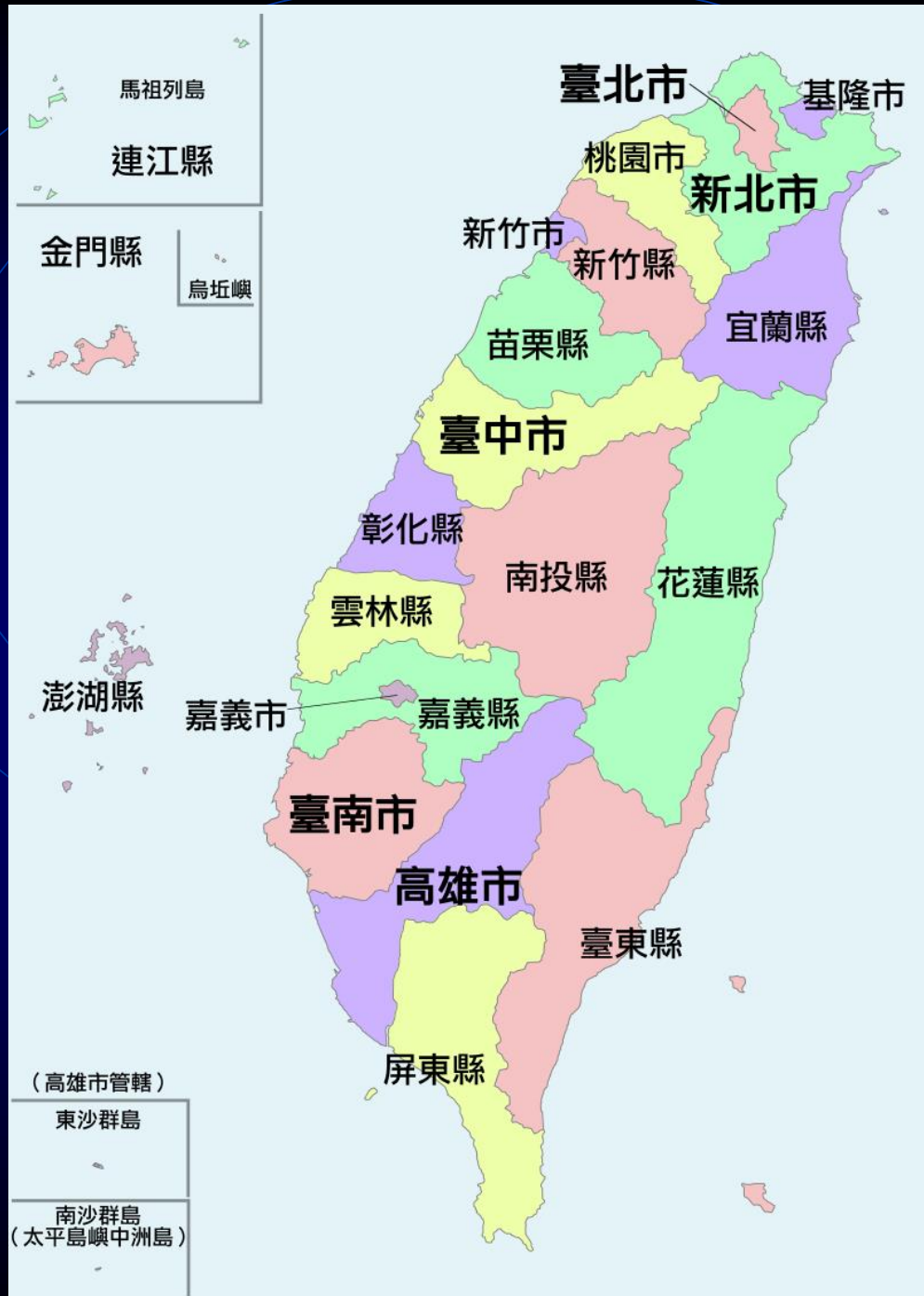
白天與黑夜

Living Earth

<http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth>

# 空照圖

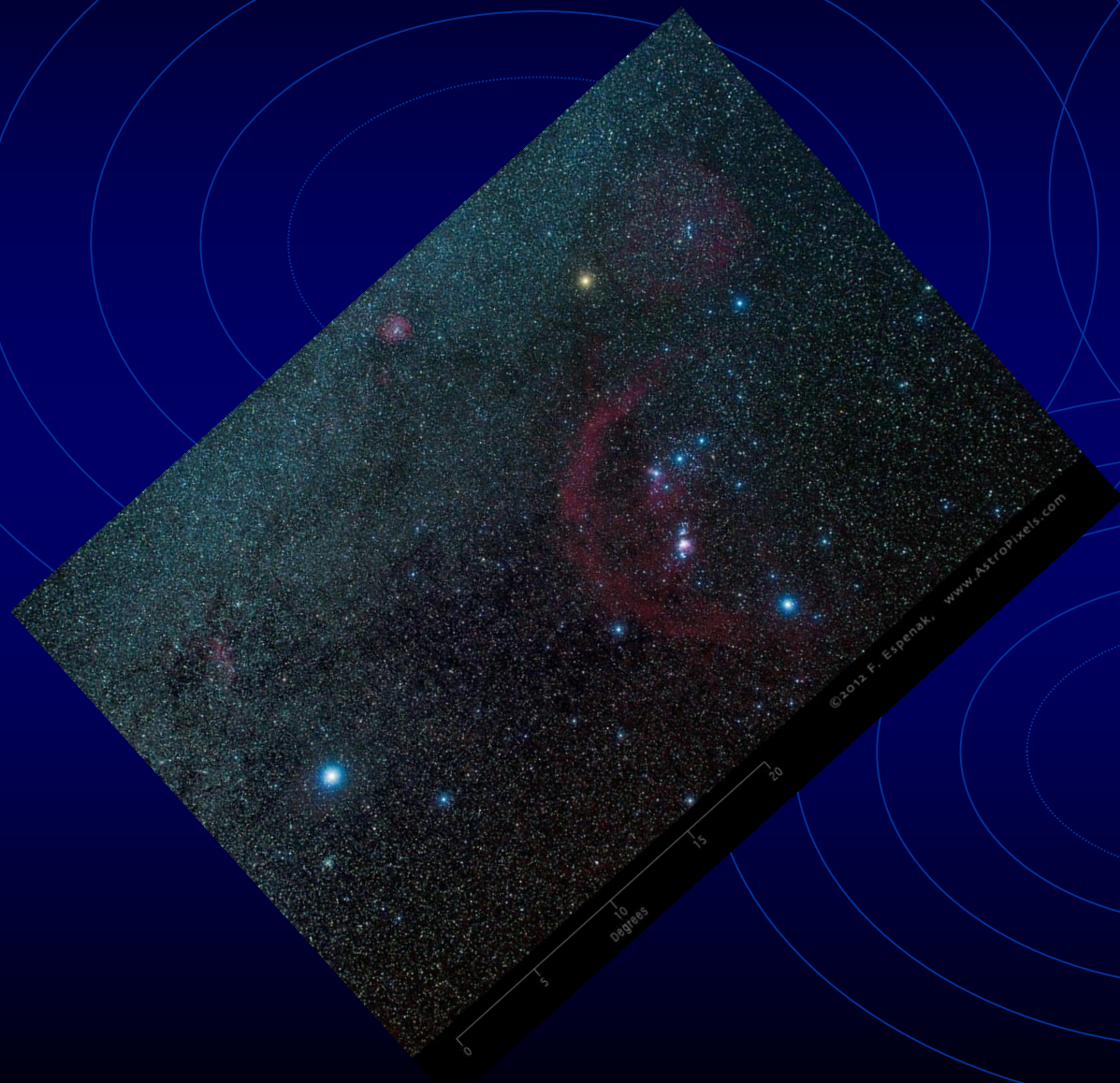




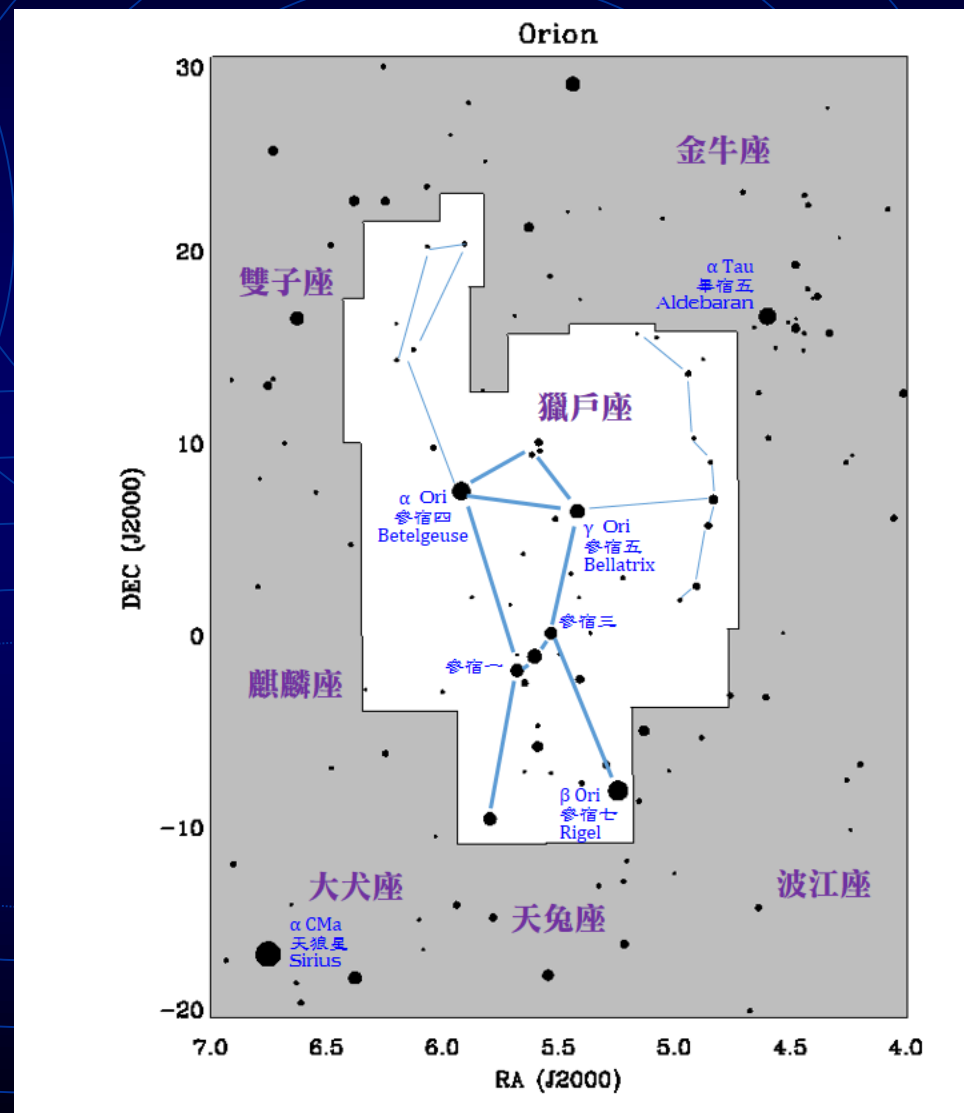
# 行政區

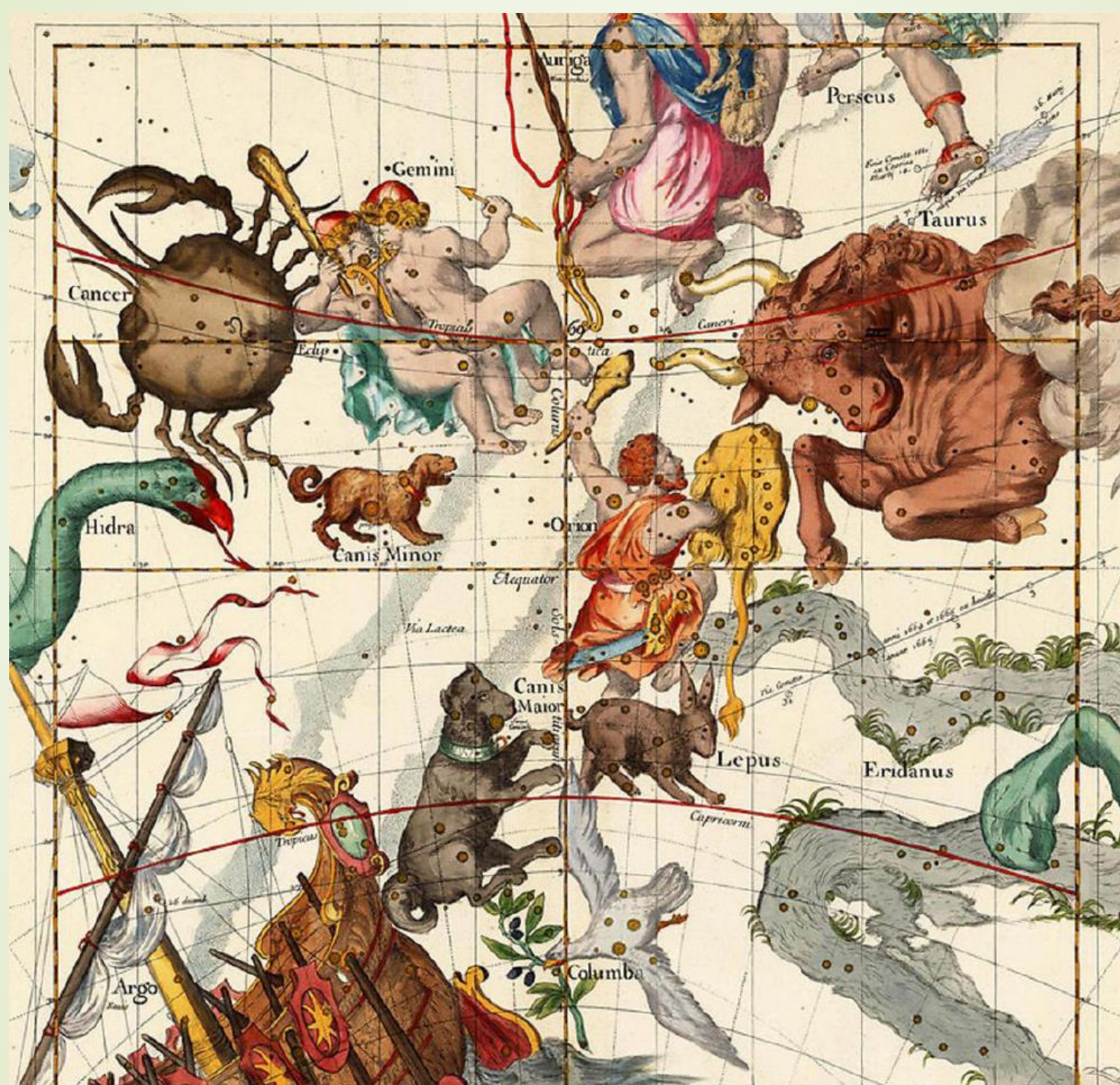


# 星空照片



# 天圖







英仙

雙子

金牛

巨蟹

長蛇

小犬

獵戶


大犬

天兔

波江

南船

天鴿



星星有亮、有暗，有近、有遠  
看起來相近，相差可能千億里

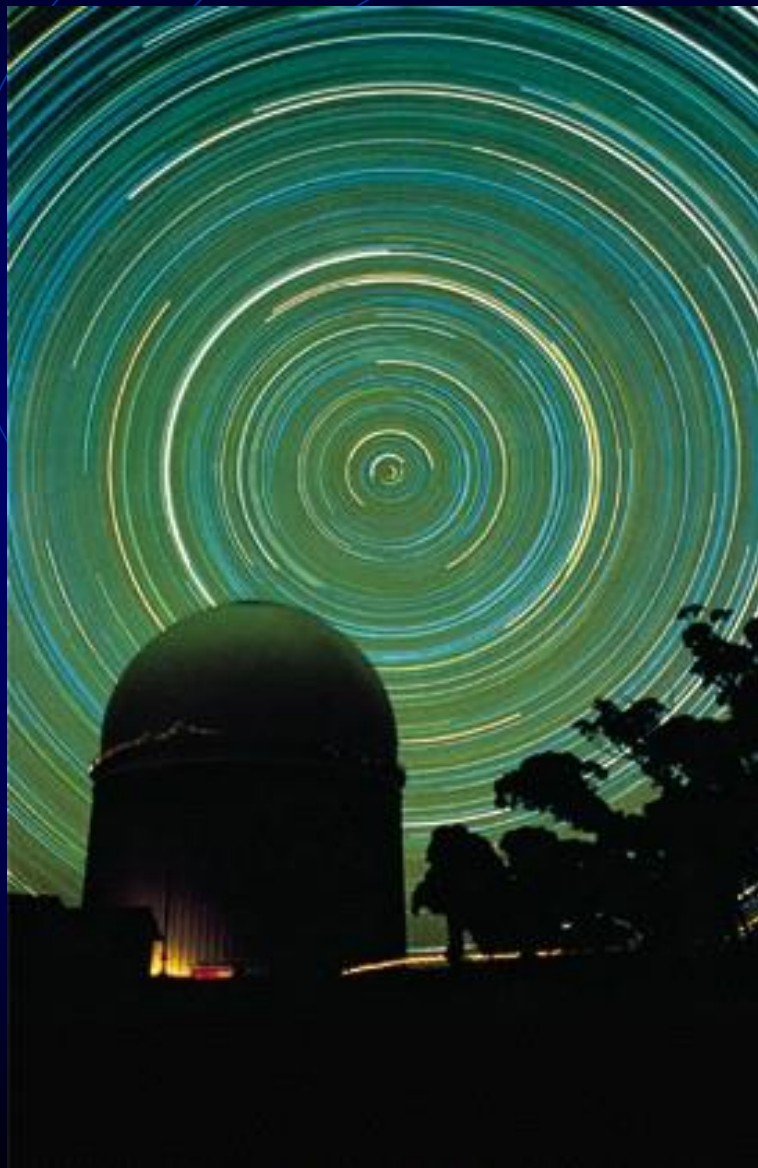
# 獅子座



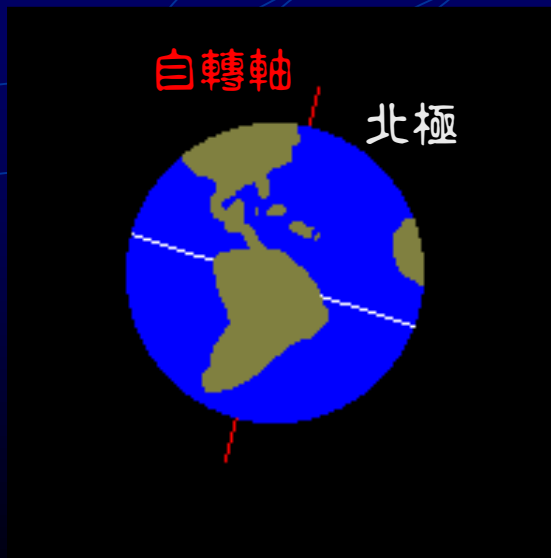
亮星「看起來」構成特殊圖樣，該區域稱為「**星座**」  
全天空共分成**88**個以星座命名的天區



# 地球自轉 → 周日運動

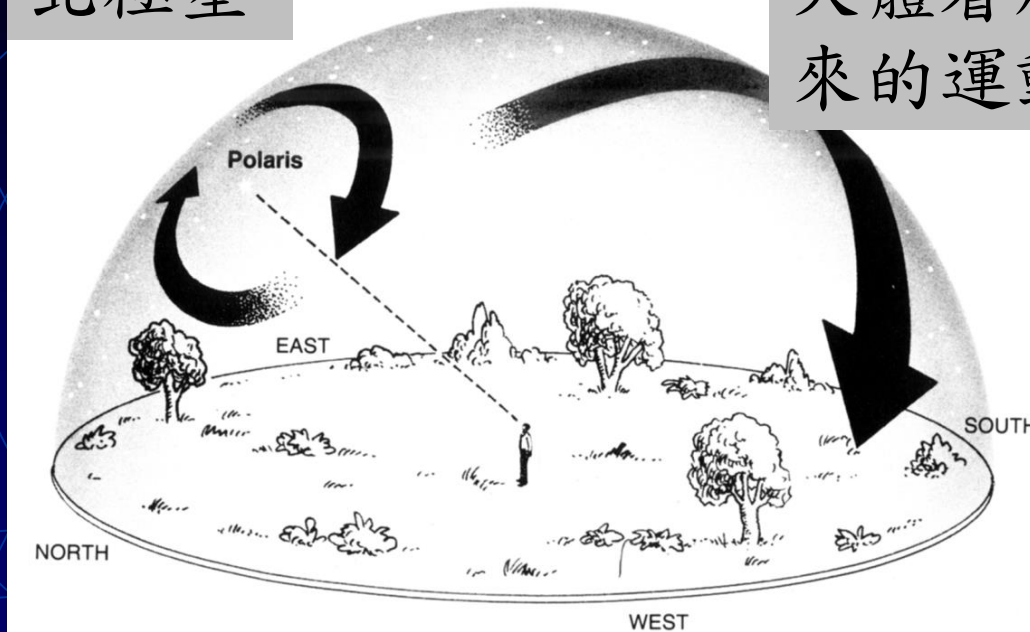


天北極：地球  
自轉不動點



北極星

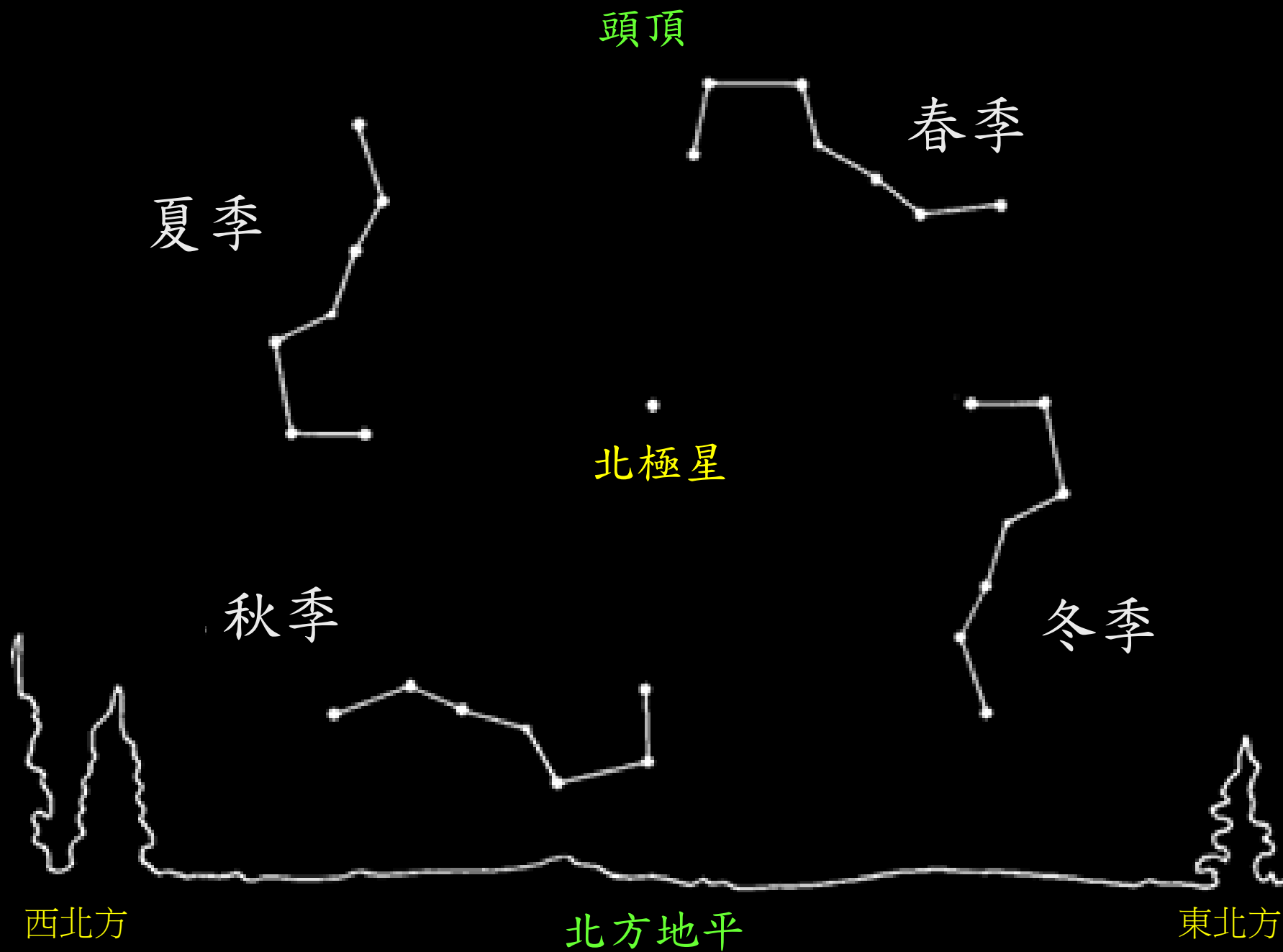
天體看起來的運動



隨著地球自轉，一夜當中  
星星似乎繞著天極運動。  
其實星星並沒有動。

小北斗

大北斗



25 度

10 度

大北斗

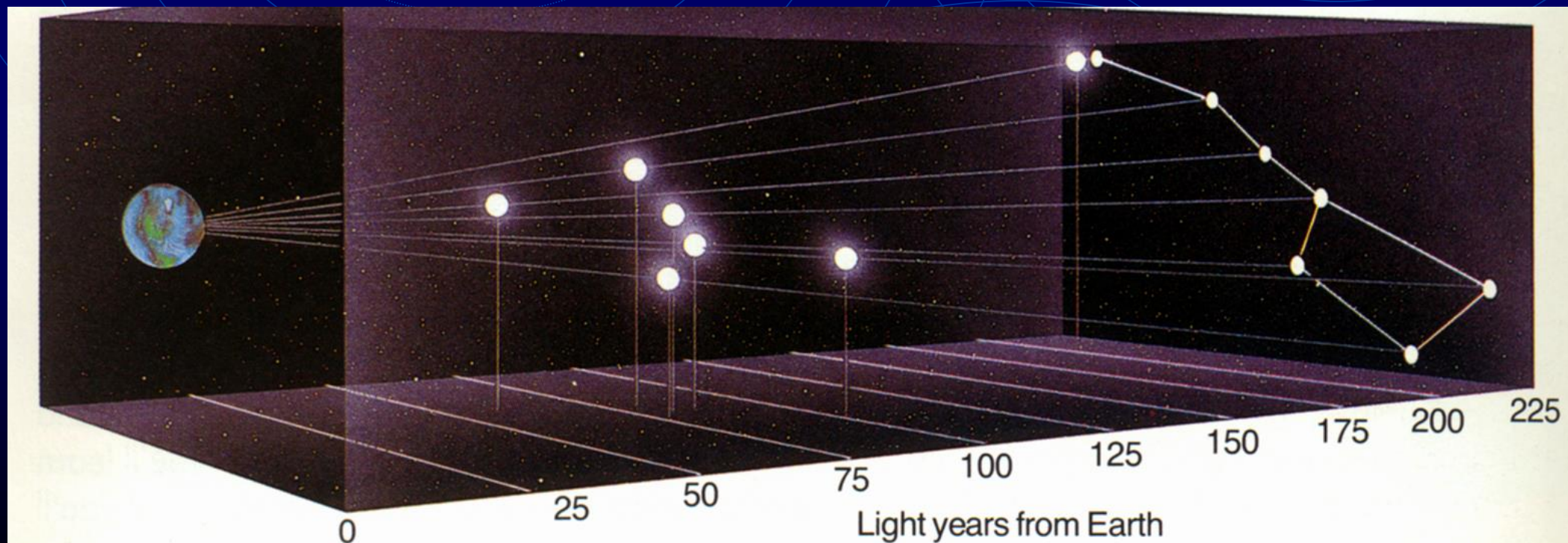
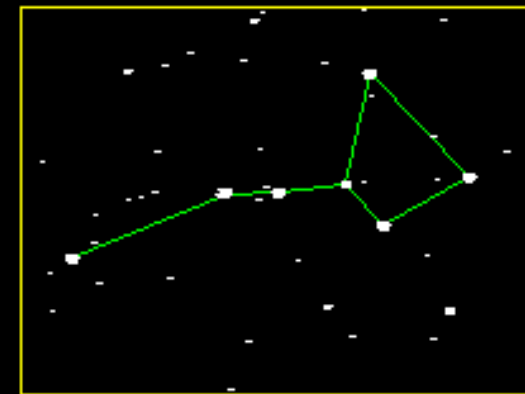
(屬大熊星座)



圖 1-1 我國古代將宇宙天體的次序結構與封建等級的社會制度相對應。圖示為漢武梁祠石刻，象徵天帝的星座位於北極星附近，位置不動，周圍為皇族、將相，臣民則拱皇帝而行，北斗七星成為天帝的座車。

星座的圖樣由不同距離的恆星所「投影」出來，它們彼此可能相隔很遠。這些恆星在太空中快速運動，圖樣其實一直在變

100000 BC



# 地理、歷史、社會

# 物理、化學、數學 ...

• 歷史——發生過的事情 ... 怎麼知道？

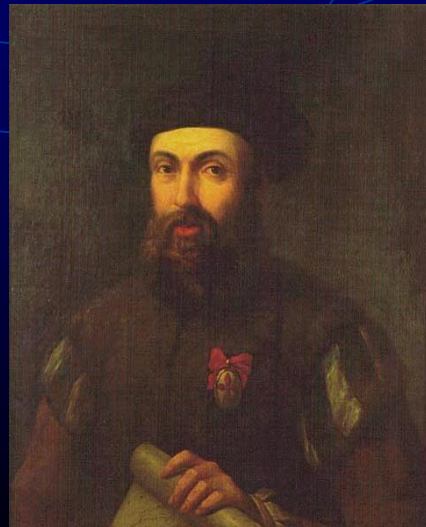
記載、考古、推敲

• 地理——周遭的事物 ... 怎麼知道？

耳聞、目睹、探險



鄭和（馬三寶）  
（1371 - 1433）  
中國明代航海家



哥倫布 Christopher Columbus  
（1451 - 20 May 1506）義大利  
探險家，發現美洲新大陸



麥哲倫 Ferdinand Magellan  
（1480 - 1521）葡萄牙探險家，  
首先航行地球一圈



哥白尼 Nicolaus Copernicus  
(1473 - 1543) 波蘭天文學家，  
主張日心說

伽利略 Galileo Galelei  
(1564 Feb 15 - 1642 Jan 8)

義大利天文學家，首先  
使用望遠鏡觀察宇宙

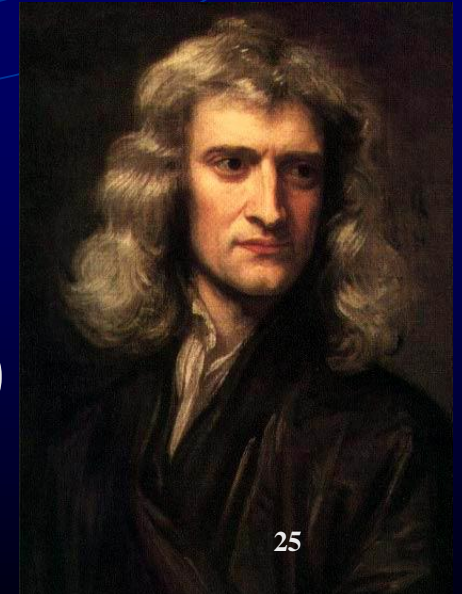


刻卜勒 Johannes Kepler  
(1571 Dec 27 - 1630 Nov  
15) 德國天文學家，發現  
行星運動定律



牛頓 Sir Issac Newton  
(1643 Jan 4 - 1727 Mar 31)

英國科學家，發現  
萬有引力定律





# 再次開展視野的工具

# 太空航行技術

## Breakthrough Initiative

Breakthrough Listen

Breakthrough Message

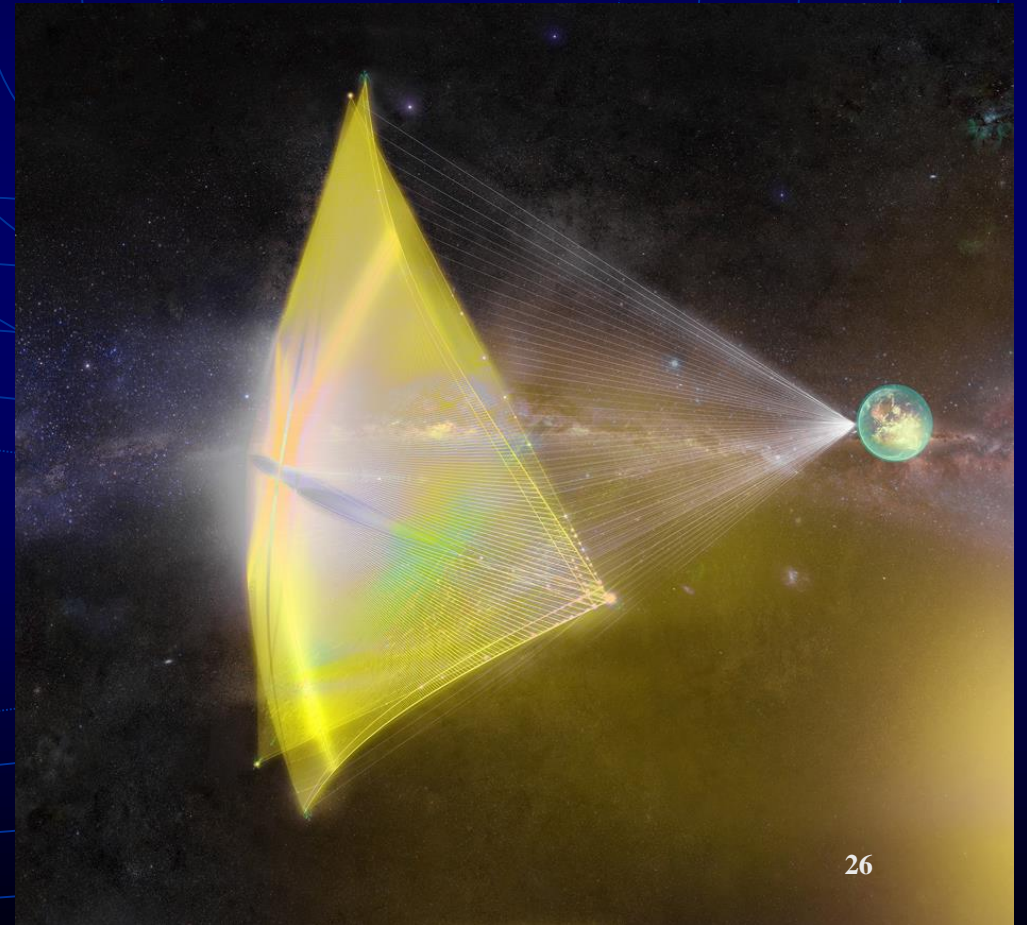
Breakthrough StarShot

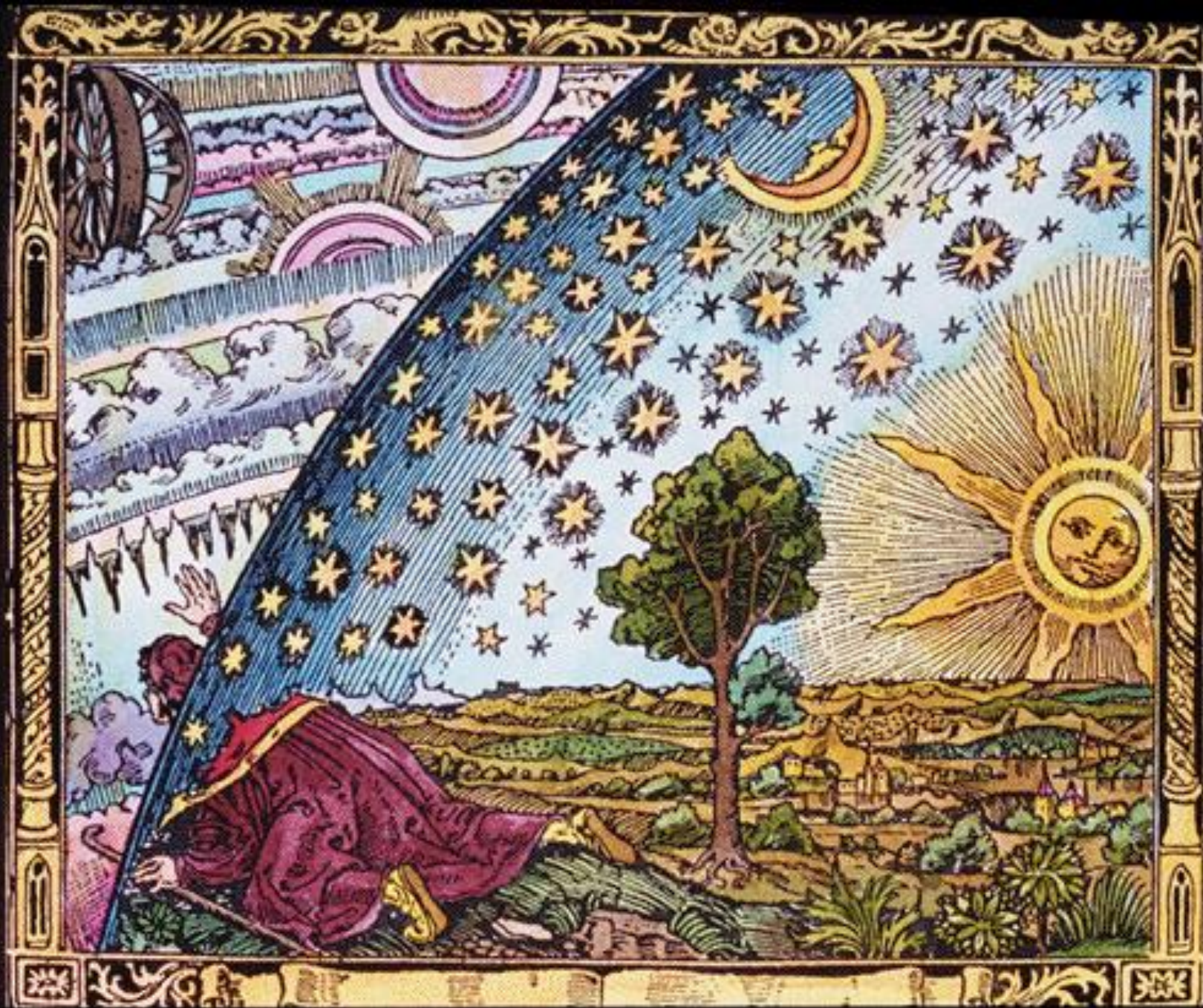
(突破星擊)

從地球上發射一兆瓦雷射，推動一公尺大小的「風帆」，以加速一公克的晶片「太空船」

20秒加速到 20% c，數小時抵火







星；三天到冥王星；20年到南門二





# 浩瀚的宇宙



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

# 什麼叫做「浩瀚」？

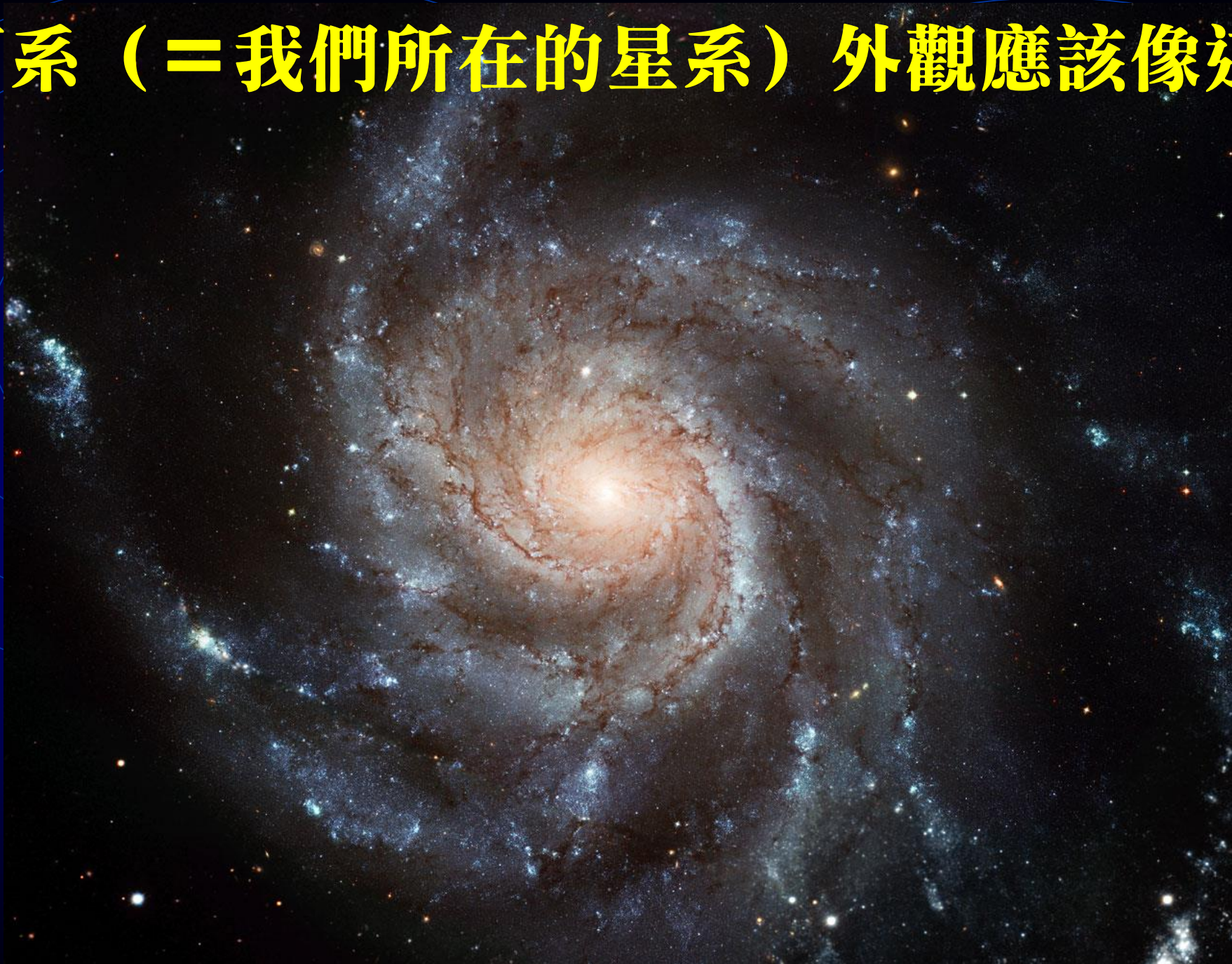
- 光速為 300,000公里/秒
- 卅萬公里相當於地球圓周七圈半
- 這樣的速度到月球只需一秒多（眨眼的時間）
- 到太陽需約五百秒（下課的時間）
- 到半人馬座  $\alpha$  毗鄰星須 4.3 年（ $\sim$ 讀大學的時間）
- 跨越銀河系約需 5~10 萬年（人類演化的時間）
- 到最近的星系費時數百萬年（大地演化的時間）
- 目前已知的星系超過數千億個 ...

# 太陽系附近 太空中某個角落



恆星  
與  
星團

# 銀河系（=我們所在的星系）外觀應該像這樣



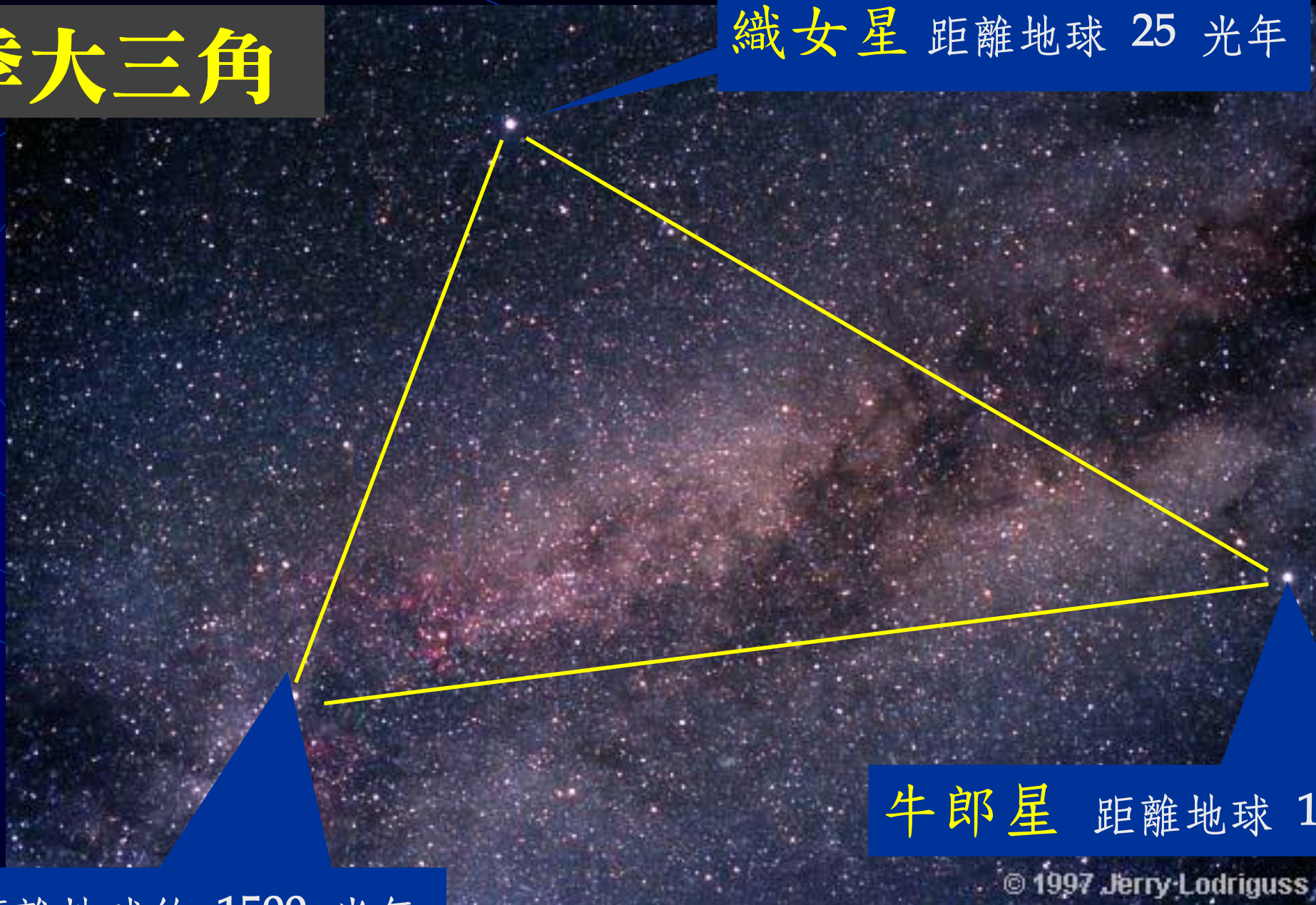
# 夏季大三角

織女星 距離地球 25 光年

牛郎星 距離地球 16 光年

天津四 距離地球約 1500 光年

© 1997 Jerry Lodriguss



今晚走出戶外，一眼望去，16年前、25年前、1500年前發出的光線，同時映入眼簾——我們看到了16年前、25年前、1500年前天體的樣子！

但是我們看不到它們「現在」的樣子…  
咳，咳，何謂「現在」？

利用望遠鏡收集光線，配備靈敏的儀器來紀錄光線，我們甚至可以看到100億年前的宇宙！



# 哈伯極深星場

(Hubble Ultra-Deep Field)

3h 32m 39.0s,  $-27^{\circ} 47' 29.1''$

(天爐座)

2003~2004觀測 2009增加紅外波段資料

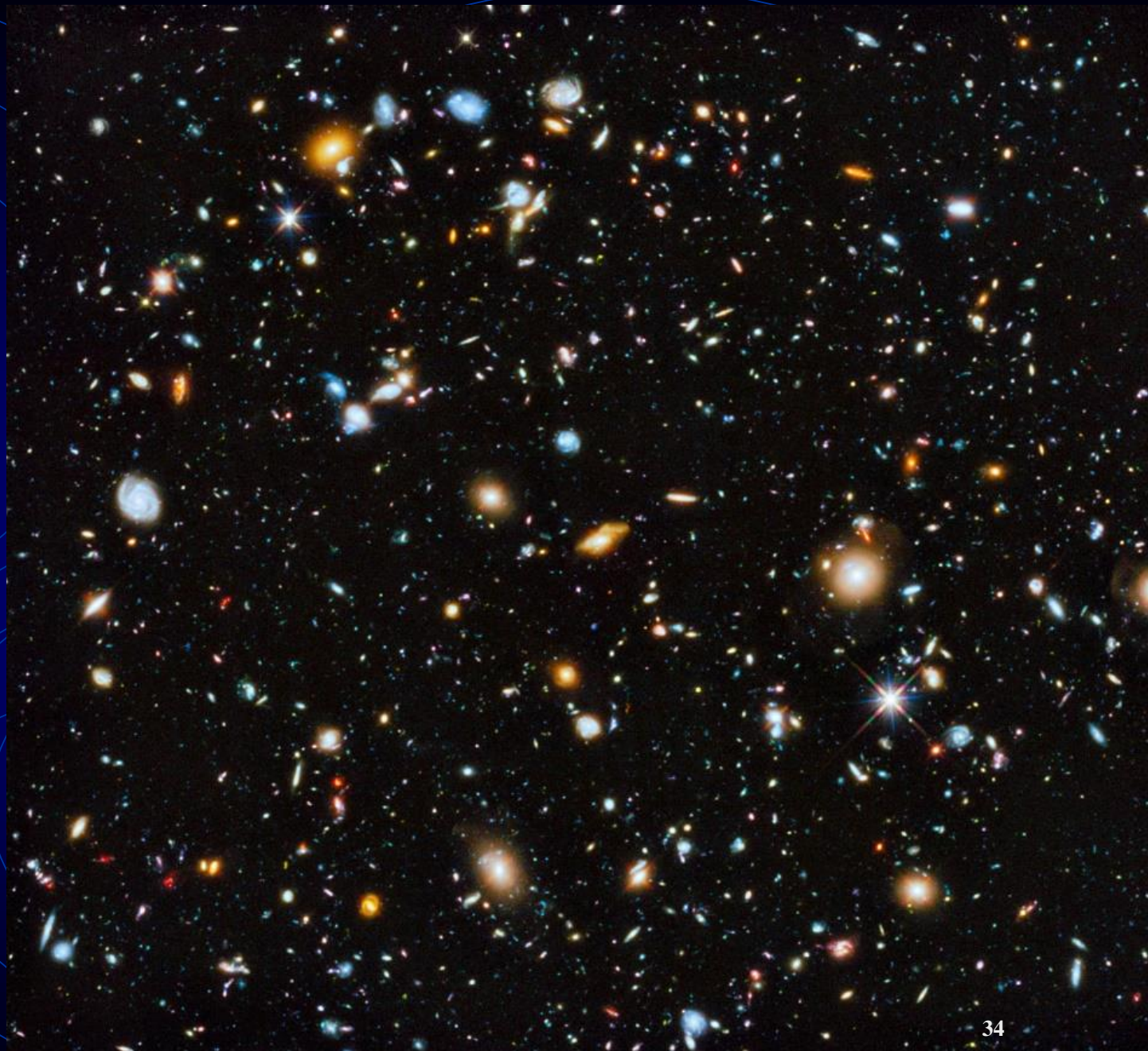
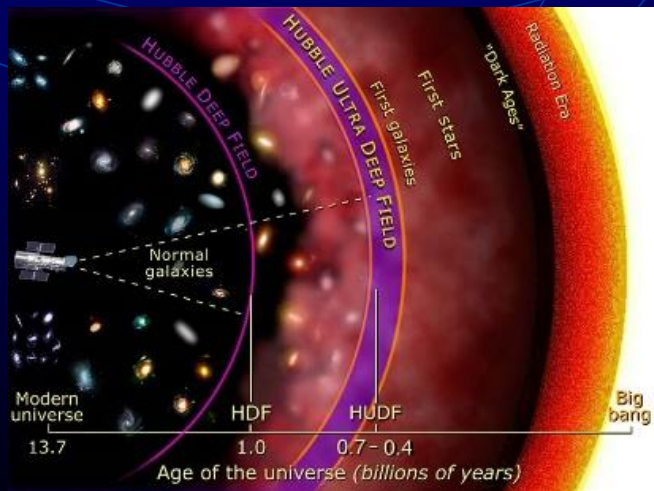
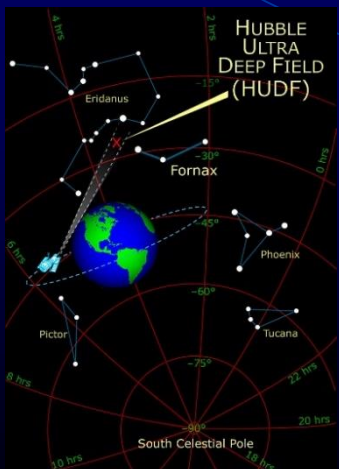
2012 eXtreme Deep Field (XDF)

2013 佈最後最理數據

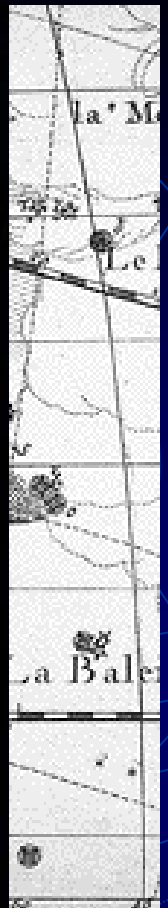
**我們目前看到最遠(最早)的宇宙**

從紫外到紅外，最遠達132億光年

總曝光時間23天 包含~10,000 個星系



To Infinity and Beyond ...

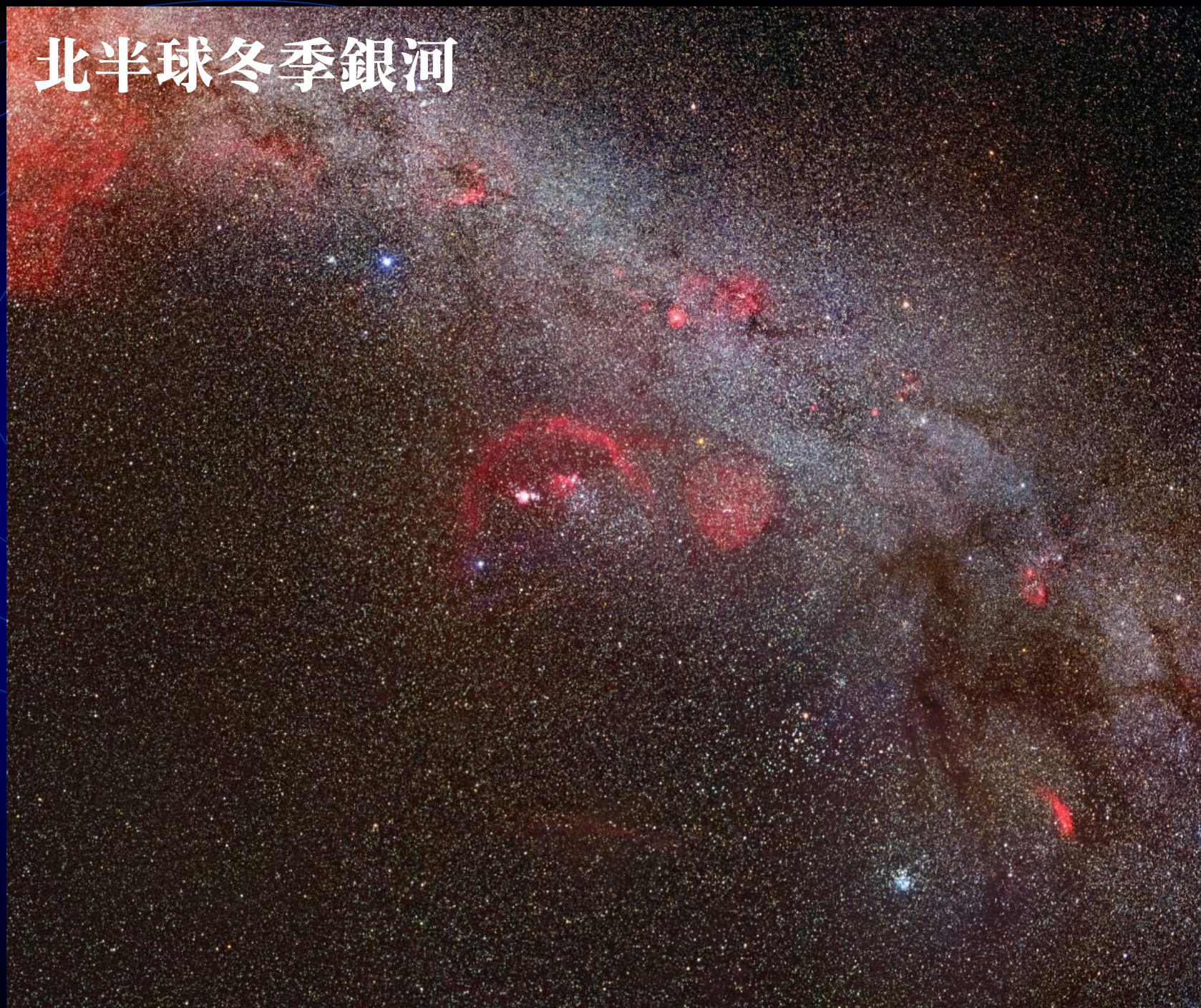




# 北半球夏季銀河



# 北半球冬季銀河



濃密的太空塵埃雲氣遮擋了背後的光線

Barnard 72 in Ophiuchus  
(蛇夫座)

# 星星也有生、老、病、死 源於塵土、歸於塵土



星星之間有極寬廣的空間，但是 太空 ≠ 真空

星際暗雲  $\xrightarrow[\text{旋轉}]{\text{收縮}}$  初生星球 + 扁盤 + 剩下的環繞塵氣

溫度上升、塵消氣散

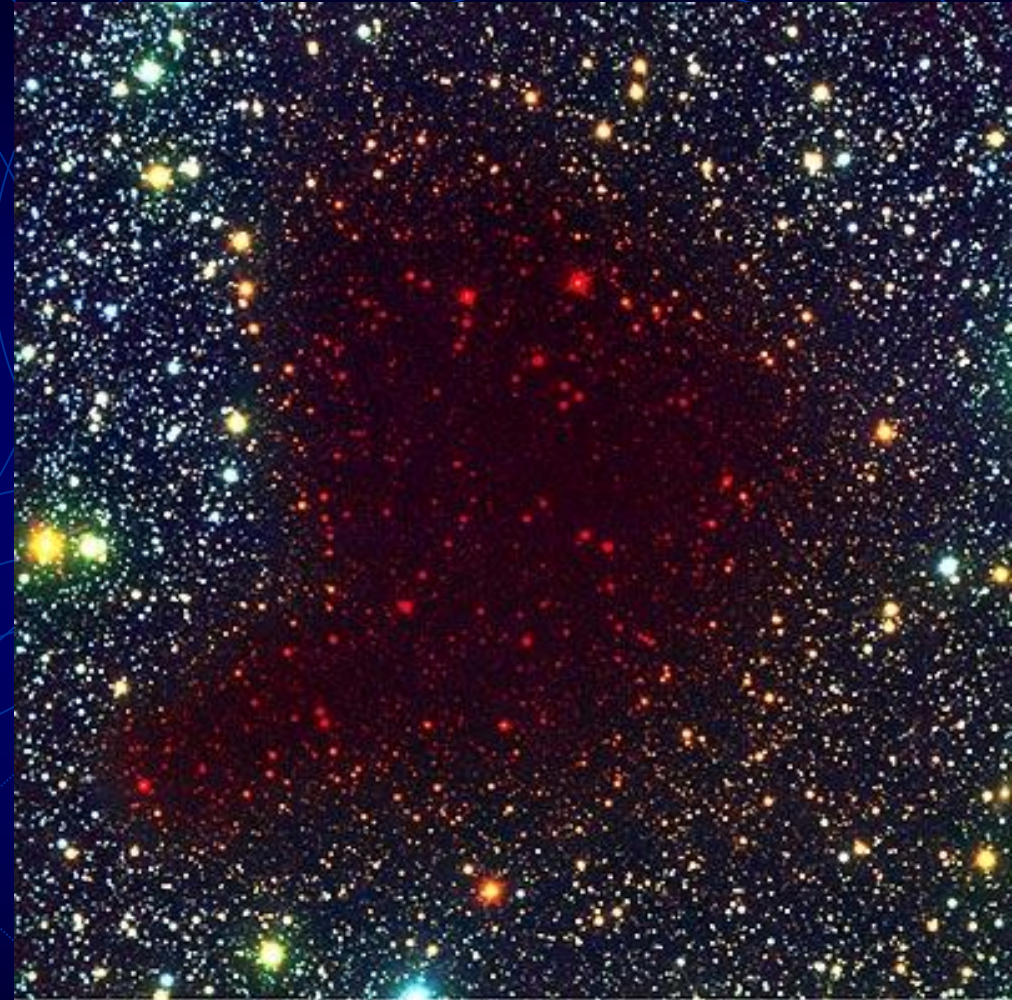
年輕太陽 + 盤狀物質

星際塵埃 → 塵塊 → 小行星 → 行星

# 濃密的太空塵埃雲氣遮擋了背後的光線



Pre-Collapse Black Cloud B68 (visual view)  
(VLT ANTU + FORS 1)



Seeing Through the Pre-Collapse Black Cloud B68  
(VLT ANTU + FORS 1 - NTT + SOFI)





恆星誕生

Kagaya 先生



畫得跟真的一樣美！

© KAGAYA

# 恆星誕生

CFHT J.-C. Cuillandre & G. Anselmi



真得跟畫的一樣美！

# 太陽系的形成

太空雲氣收縮、溫度升高、點燃核子反應 → 太陽

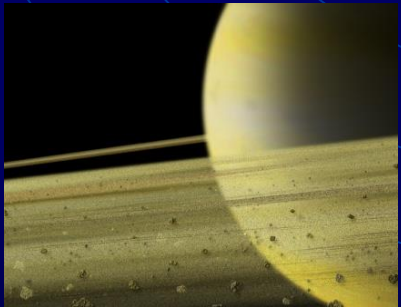
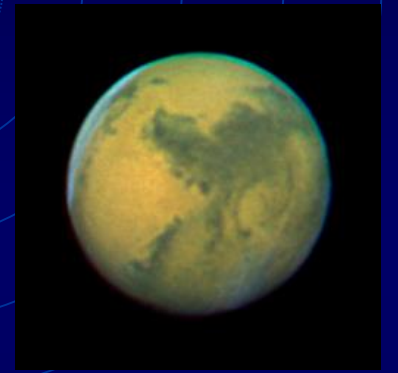
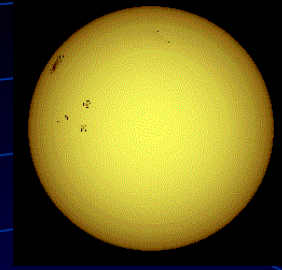
雲氣縮成扁盤狀、盤中灰塵凝集 → 小行星

✓ 繼續凝集 → 行星

◆ 旁邊扁盤中的灰塵凝集 → 衛星

◆ 不成形 → 外行星的環

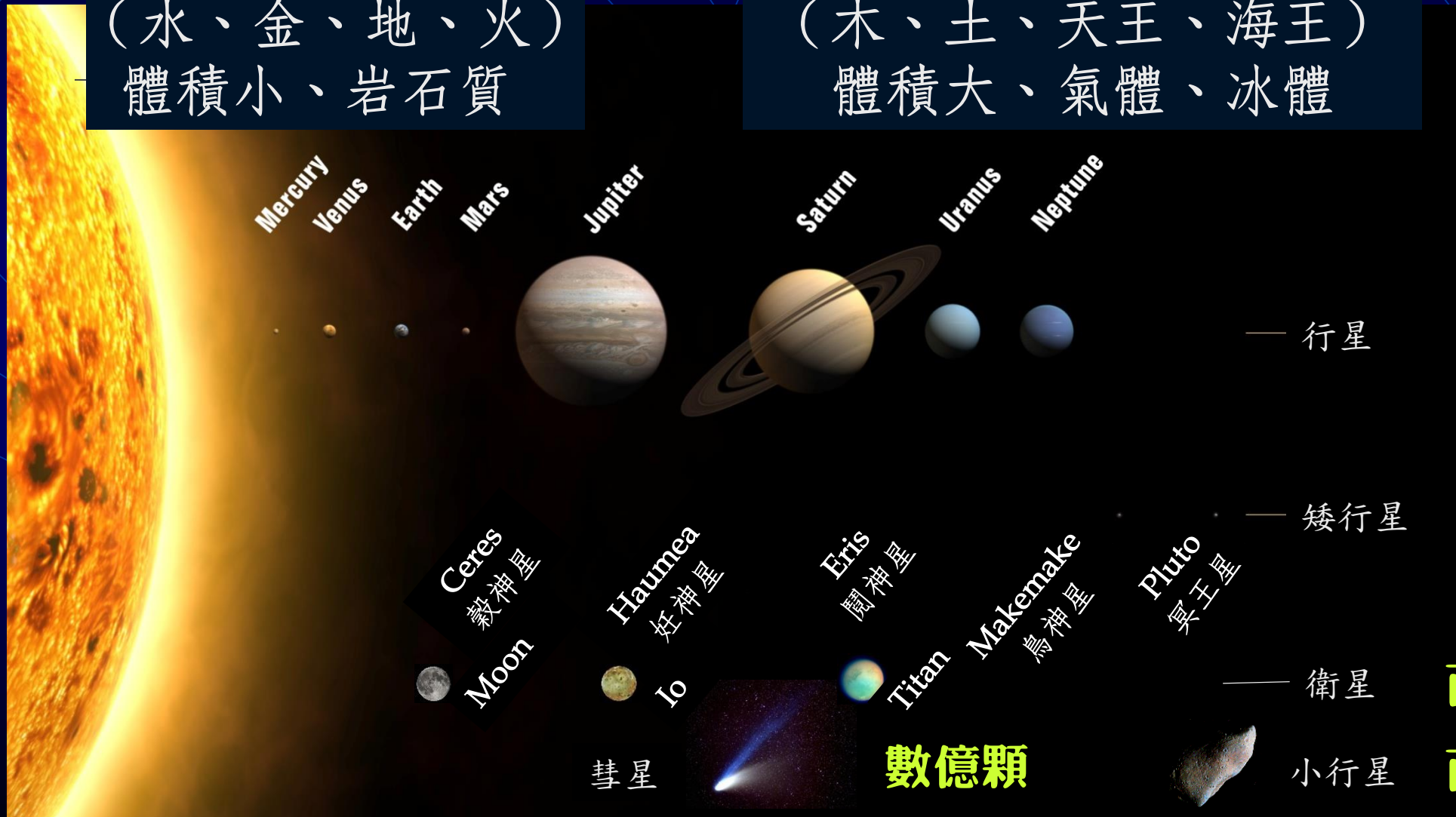
✓ 不成形 → 留在原地，小行星帶、古伯帶  
→ 被拋到遠方 → 歐特雲中的彗星核  
進入太陽系內圍 → 彗星



# 太陽系家族之「巨口名簿」

靠內部的行星  
(水、金、地、火)  
體積小、岩石質

靠外部的行星  
(木、土、天王、海王)  
體積大、氣體、冰體



# 槍林彈雨的太空

- 剩下的大小碎渣在太空中  
遊走，萬一撞到地球 → **流星**

彗星留在軌道上的殘渣 → **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 ...



2010年8月英仙座  
流星雨@鹿林

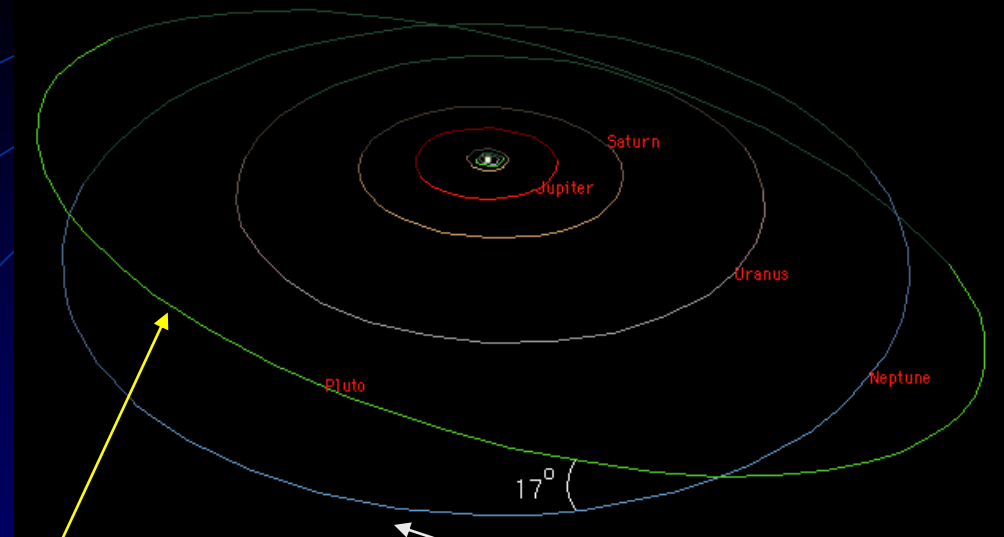


# 鹿林彗星



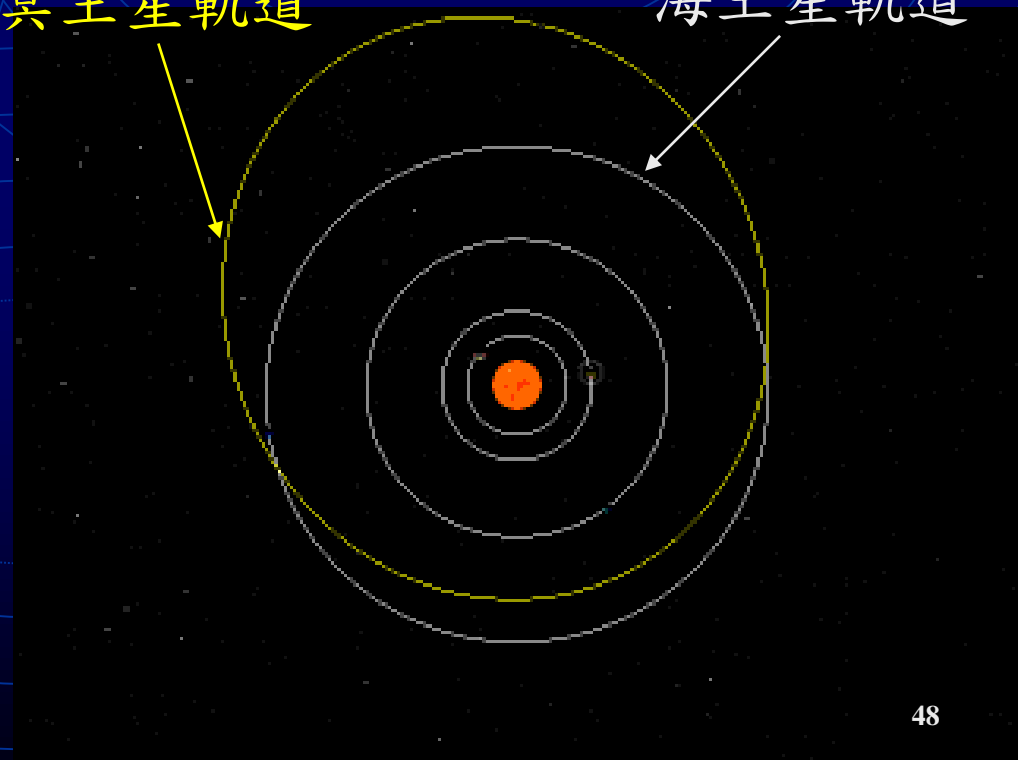
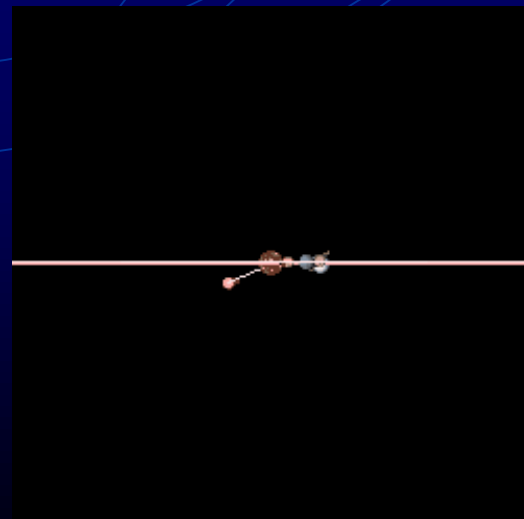
冥王星的橢圓軌道比其他行星狹長，且與黃道面傾角也較大(17度)

離太陽遠，但體積比月亮還小，不像其他同樣距離遠的大型行星，眾多性質與行星格格不入

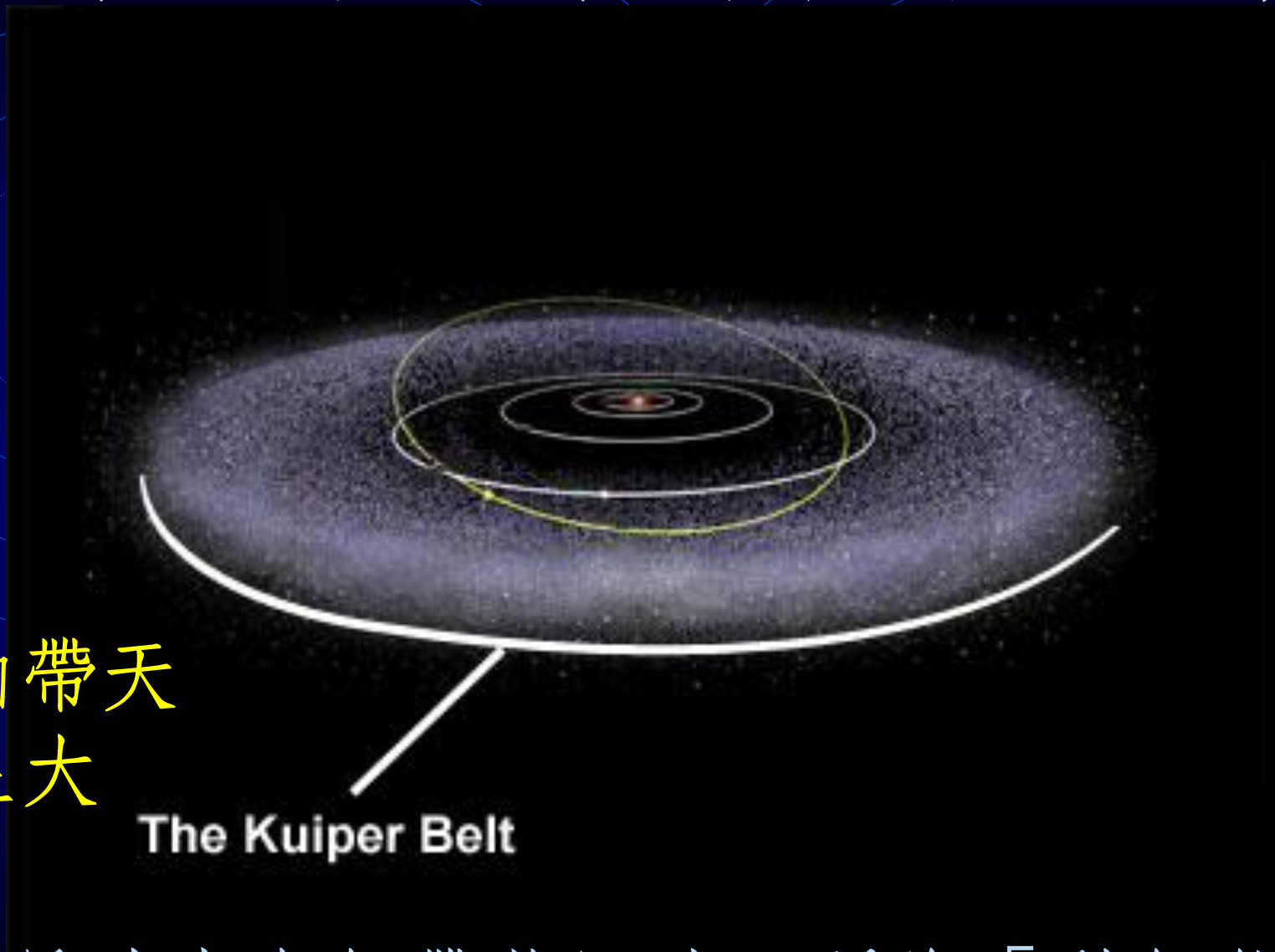


冥王星軌道

海王星軌道



絕大多數小行星分佈在小行星帶中，位於火星與木星之間



Kuiper belt  
objects  
(KBOs)

也叫做

trans-  
Neptunian  
objects  
(TNOs)

有些科伊伯帶天  
體比冥王星大

海王星外也有個帶狀區域，稱為「科伊伯帶」



2003年10/21 所拍攝 2003  
UB<sub>313</sub> ( **閼神星** ) 的影像；  
三幅影像間隔 1.5小時

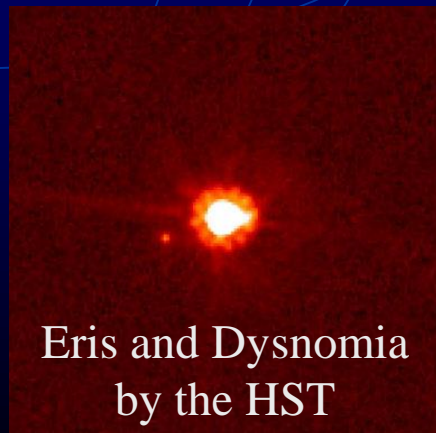
2005年才發現，確定矮行星  
性質

矮行星當中，質量最大，比  
冥王星重了27%，但冥王星  
體積最大

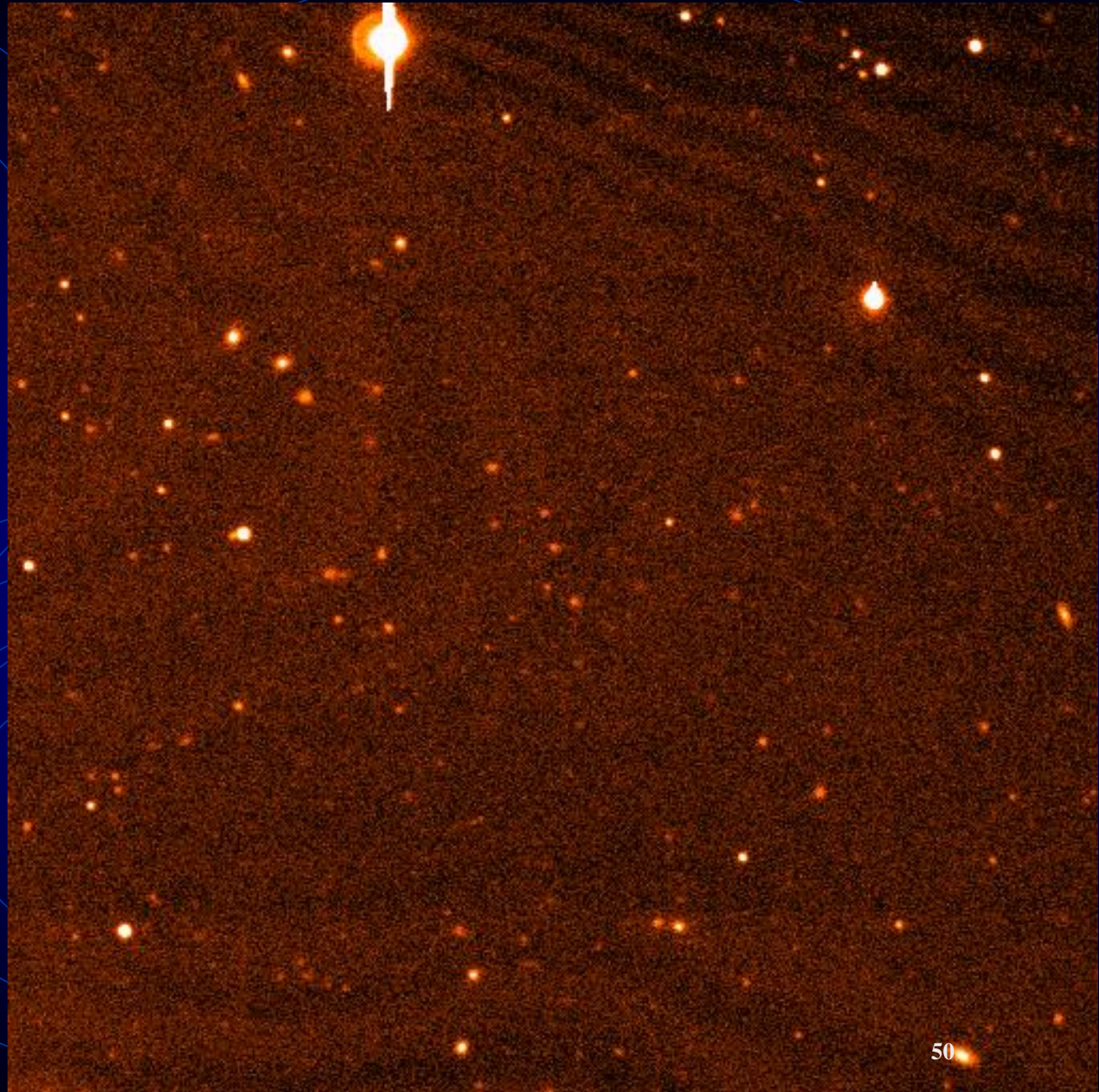
**閼神星**

= 136199

= **Eris**



Eris and Dysnomia  
by the HST



## 這下冥王星怎麼辦 ...

把冥王星「降級」？ 或其他都升級成「行星」？

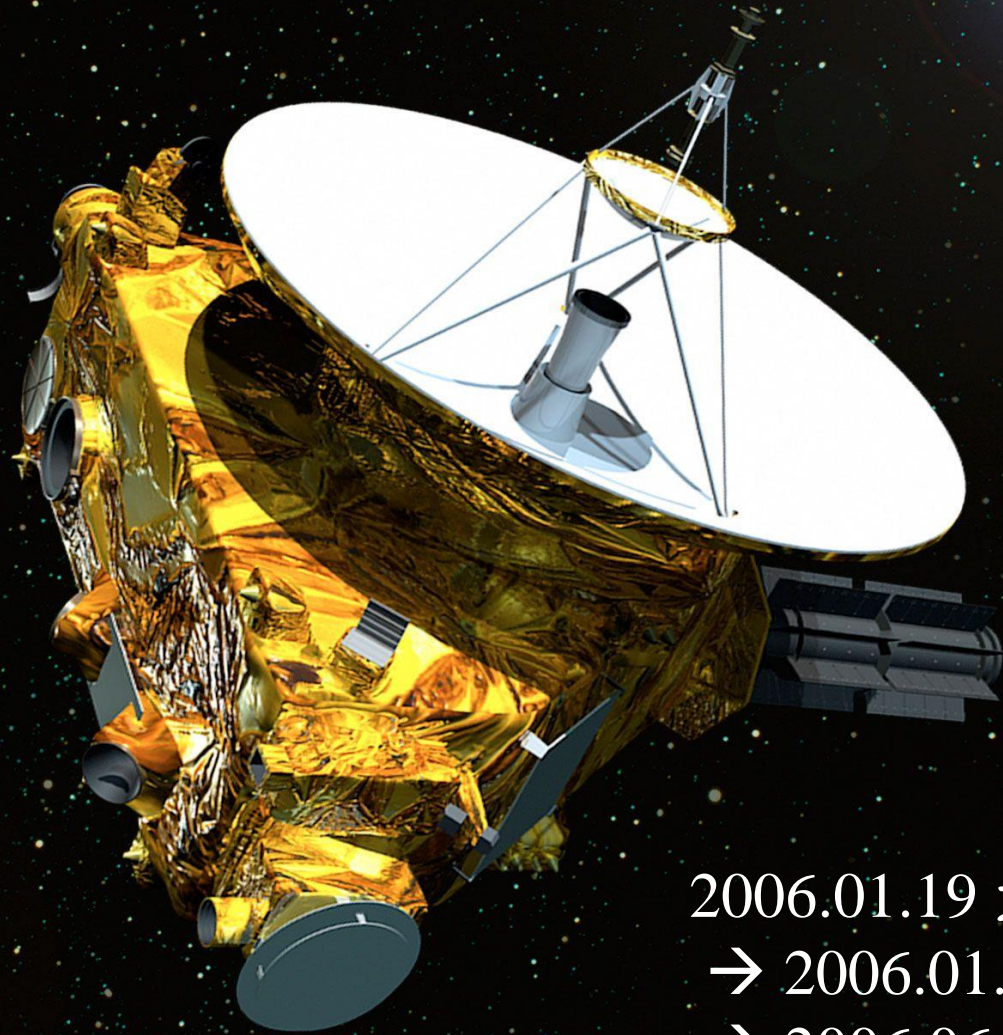
- ✓ 發現鬩神星及其他類似天體的 Mike Brown 贊成將冥王星除名
- ✓ 行星科學家 Alan Stern 不贊成除名 ... 想出矮行星 (dwarf planet) 這個名詞

### 矮行星：

非行星，也非衛星；繞日運行，質量夠大 → 引力把自己拉成球體，但未能清除軌道中其他物質 ( $D > 838 \text{ km}$ )

太陽系中可能有上百，甚至上千個矮行星

# 新視野號 New Horizons



- 2006.01.19 地球
- 2006.01.20 月球
- 2006.06 小行星 APL
- 2007.02 木星
- 2015.07.14 冥王星
- 2019.01 2014 MU<sub>69</sub> (Ultima Thule)



July 11, 2015



July 13, 2015

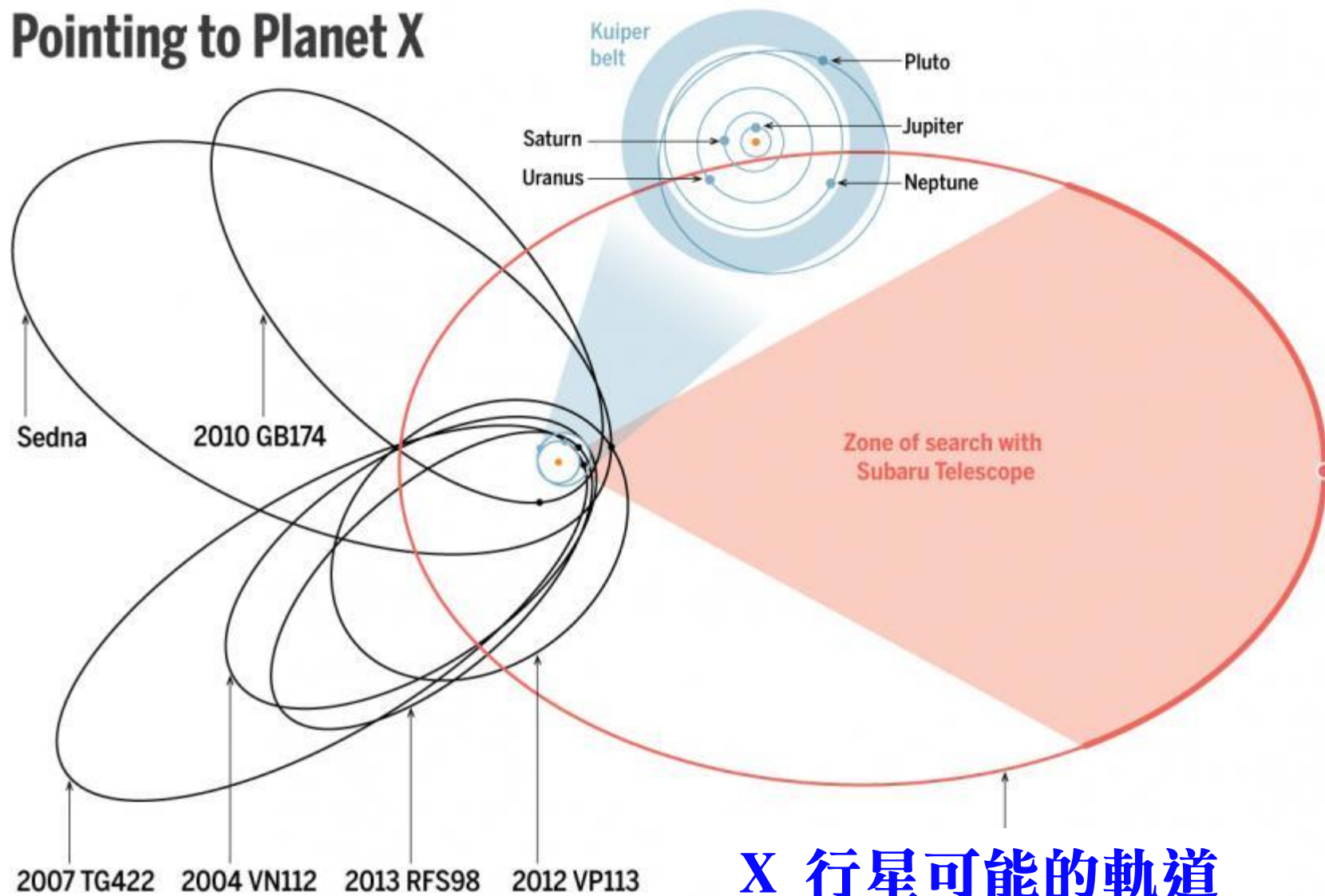
[Animation video](#)

# 第九顆行星？



- 太陽系外圍天體的軌道群聚 + 電腦模擬  
(2016/02) Konstantin Batygin & Mike Brown  
(Caltech) → **推論**冥王星之外有顆海王星大小的行星
- 繞日週期15,000年，最近 200 au，最遠 600~1200 au
- 偵測這樣的天體亮度不是問題，很多望遠鏡（哈伯、凱克）都做得到，問題是天空很大，要往哪裡找？
- 速霸陸的視野夠大（凱克的75倍）→ 正在搜尋，預計5年內有結果

# Pointing to Planet X



**X 行星可能的軌道**

# 尋找其他的世界

直接看



如何知道恆星周圍有行星？

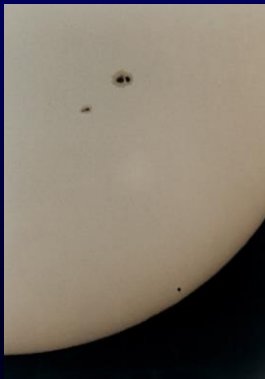
**困難**：行星不發光！

→ **擋光** 或 **反光** 或者 **對恆星的影響**

恆星太亮、太近

位置變化

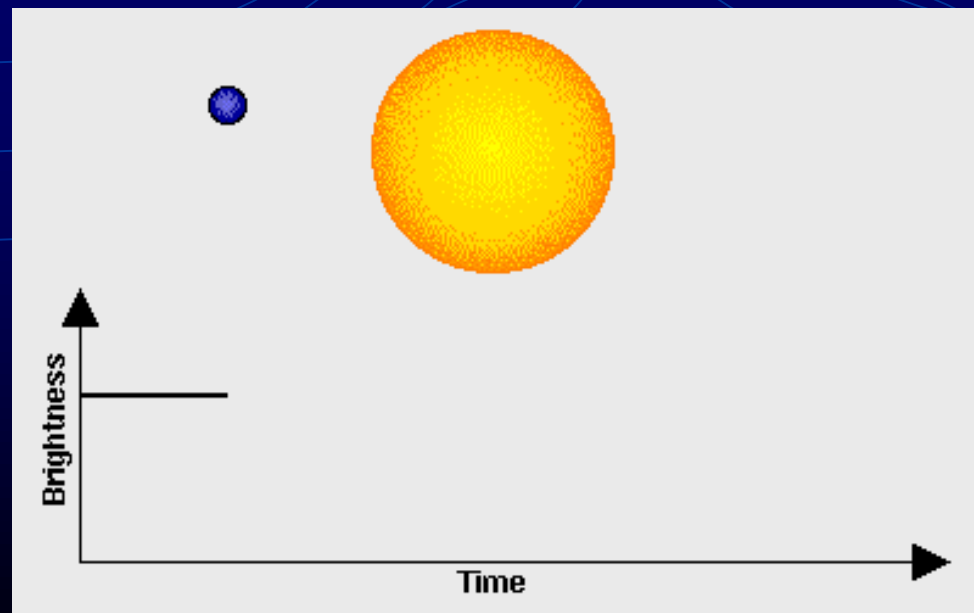
亮度變化



# 偵測行星存在的方法

## 1—凡走過必留下痕跡

若行星繞恆星時，恰巧擋住恆星的光（像日食般），恆星的**亮度**會以特別的方式變化





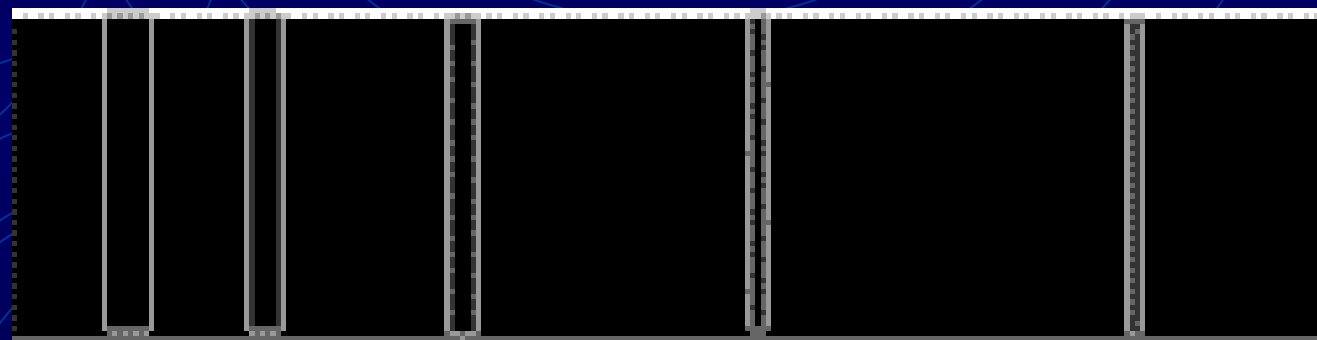
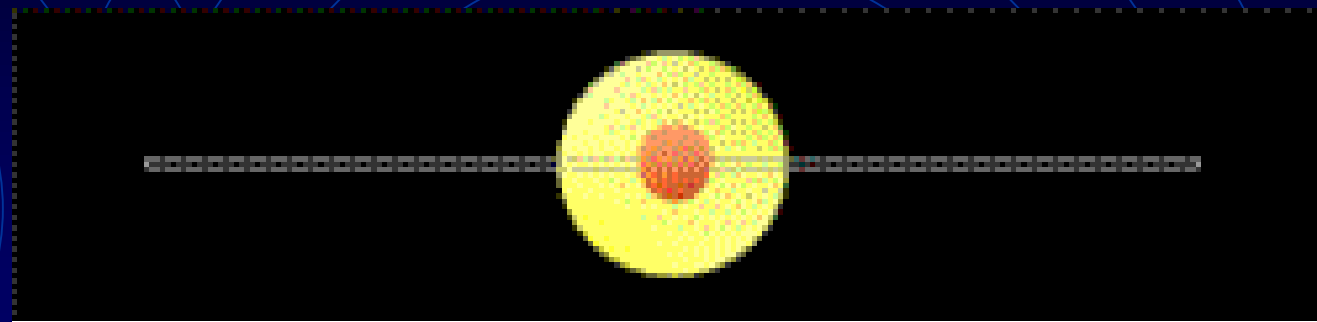
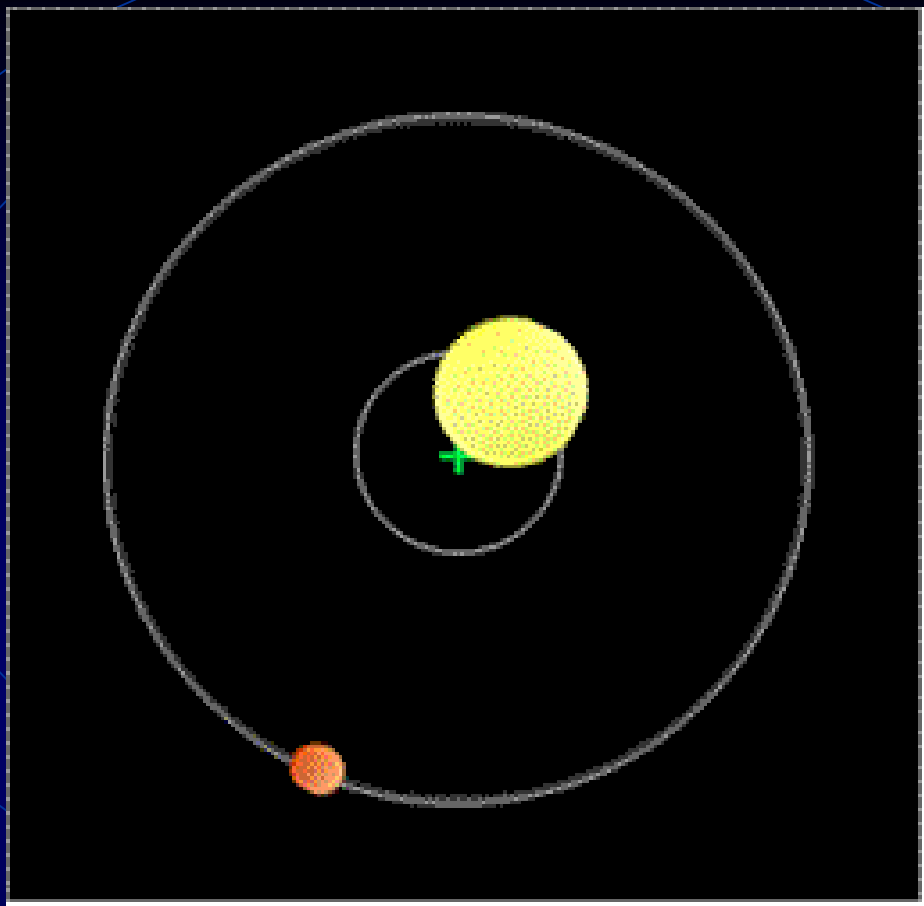
# 偵測行星存在的方法

2 一若要人不知，除非己莫為

如果恆星周圍有行星，那麼恆星的**位置**與**運動**就會受到行星（萬有引力）的影響



# 都卜勒效應



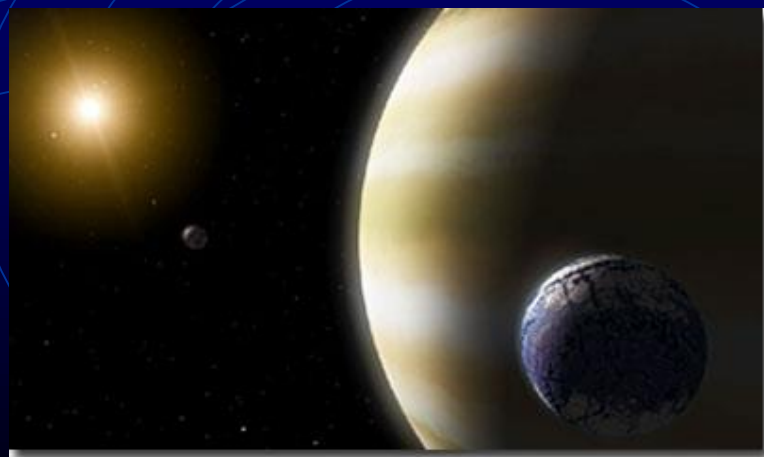
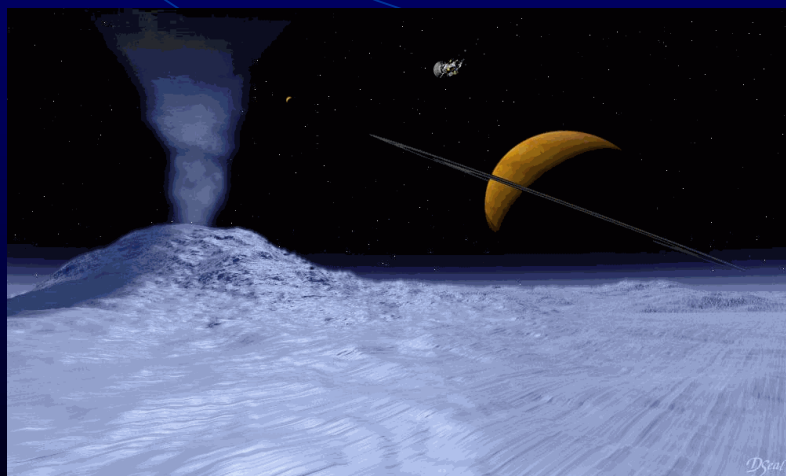
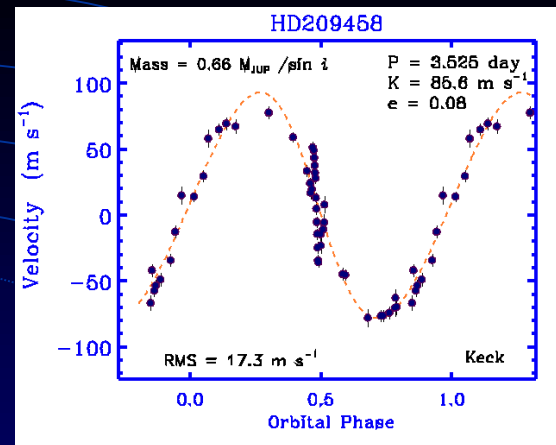
原本在太空中走直線的恆星，因為與行星互繞，而會「走螺線」

恆星因為與行星互繞，而在沿「視線」方向會「前後擺動」

目前已經在太陽系以外發現了幾千個  
恆星周圍有行星 **系外行星**

extrasolar planets; exoplanets

絕大多數利用「前後擺動」或「掩星」  
的原理所發現



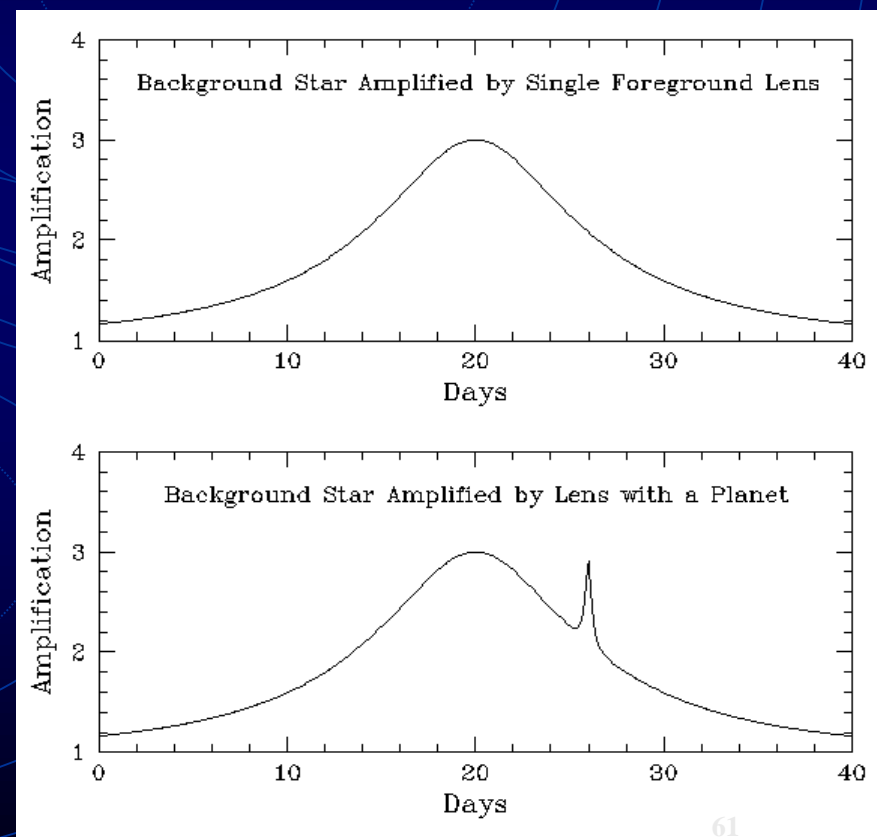
Super-earths  
超級地球 → earths

# 偵測行星存在的方法

3 — 擋住了，但更亮！

如果行星（前景）精準地正好位於我們和遙遠恆星（背景點光源）之間，那麼恆星的**亮度會增亮**

「重力透鏡」效應 行星造成額外增亮



# 其他偵測系外行星的方法

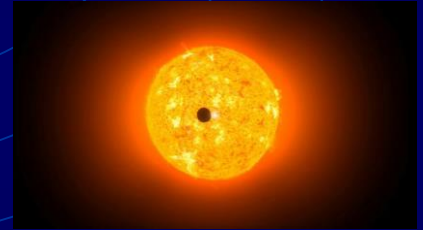
## 4 --- 脈衝星 (pulsar) 計時

第一顆系外行星利用此技術發現



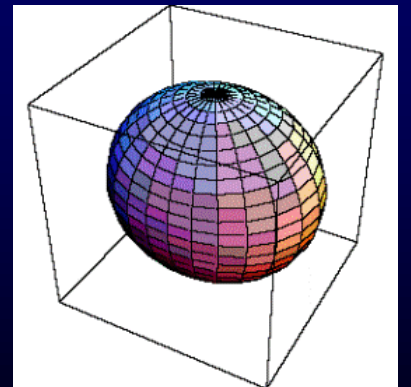
## 5 --- 已知行星掩星計時

其他行星所造成的擾動



## 6 --- 星震

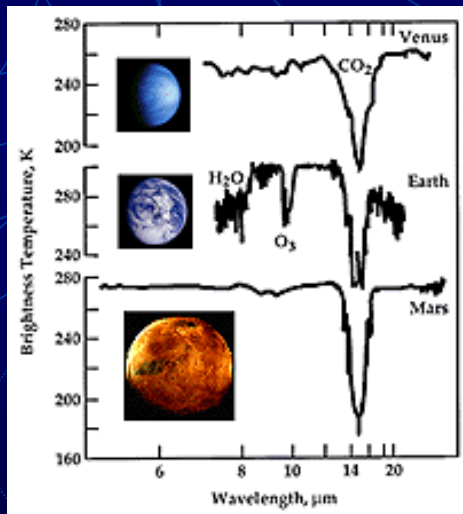
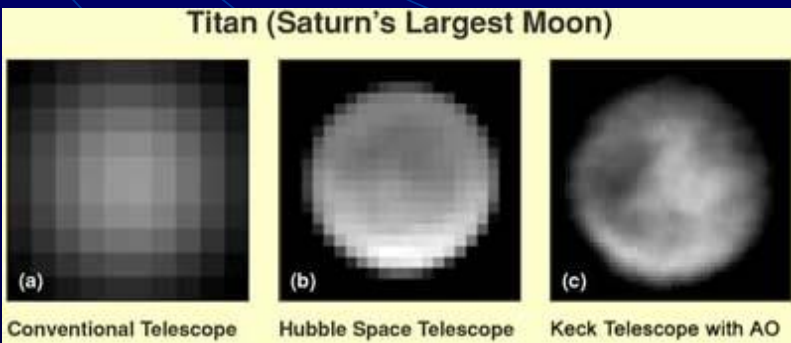
行星存在改變了星震模式



...



越來越大的  
望遠鏡

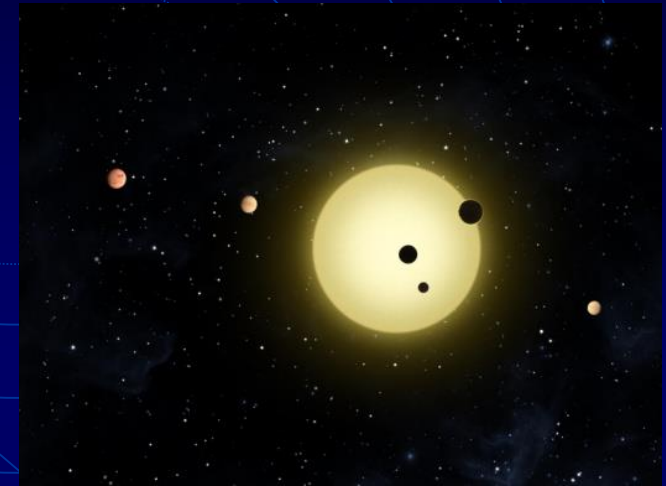
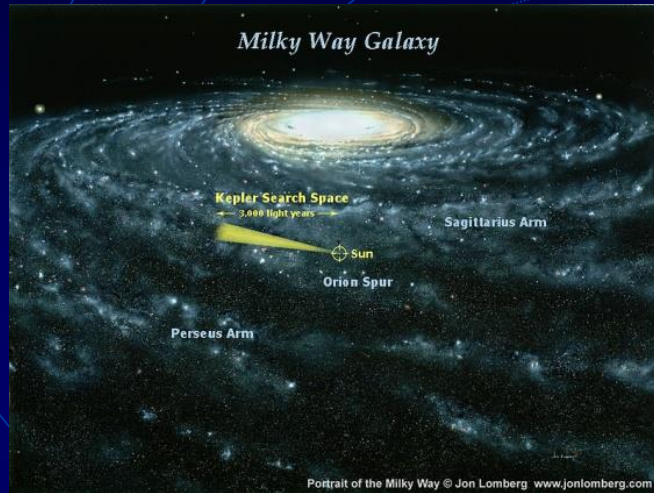


越來越看得清  
楚的觀測技術

越來越靈敏  
的偵測儀器



# 克卜勒太空望遠鏡

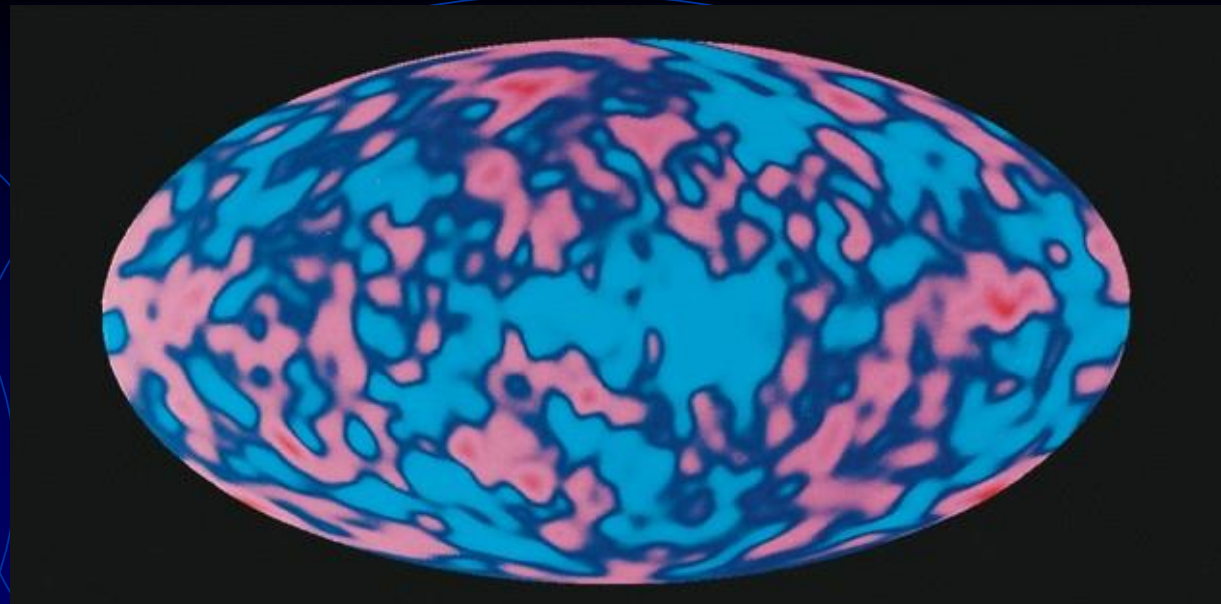


- 利用掩星方式尋找（地球般大小）的系外行星
- 2009.3發射；同樣天區監測14萬顆恆星
- 望遠鏡口徑0.95 m；位於地球 L2 軌道
- 截至目前為止發現數千顆可能的系外行星





# 宇宙是個甚麼東西？



宇：上下四方（空間）

宙：古往今來（時間）

太古之初，混沌一片

而後 輕者上浮為天 重者下沈為地

而後 天地之間有了萬物

而後 — 很久、很久以後 — 有了萬物之靈

**哈柏定律** 描述宇宙現在處於  
**膨脹**狀態——越遠的星系，離  
我們越遠的速度越快

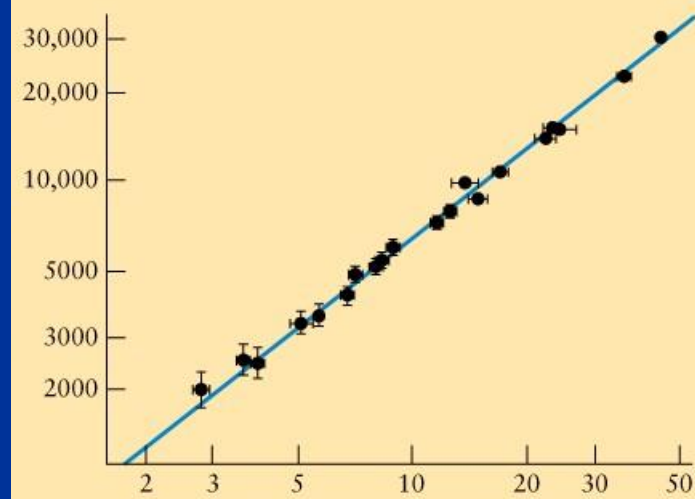
**宇宙微波背景輻射** 充斥在太空中，  
表示宇宙始於一團高熱（**大霹靂**）

**輕元素的宇宙含量** 最老的天體氦元素仍然 25%

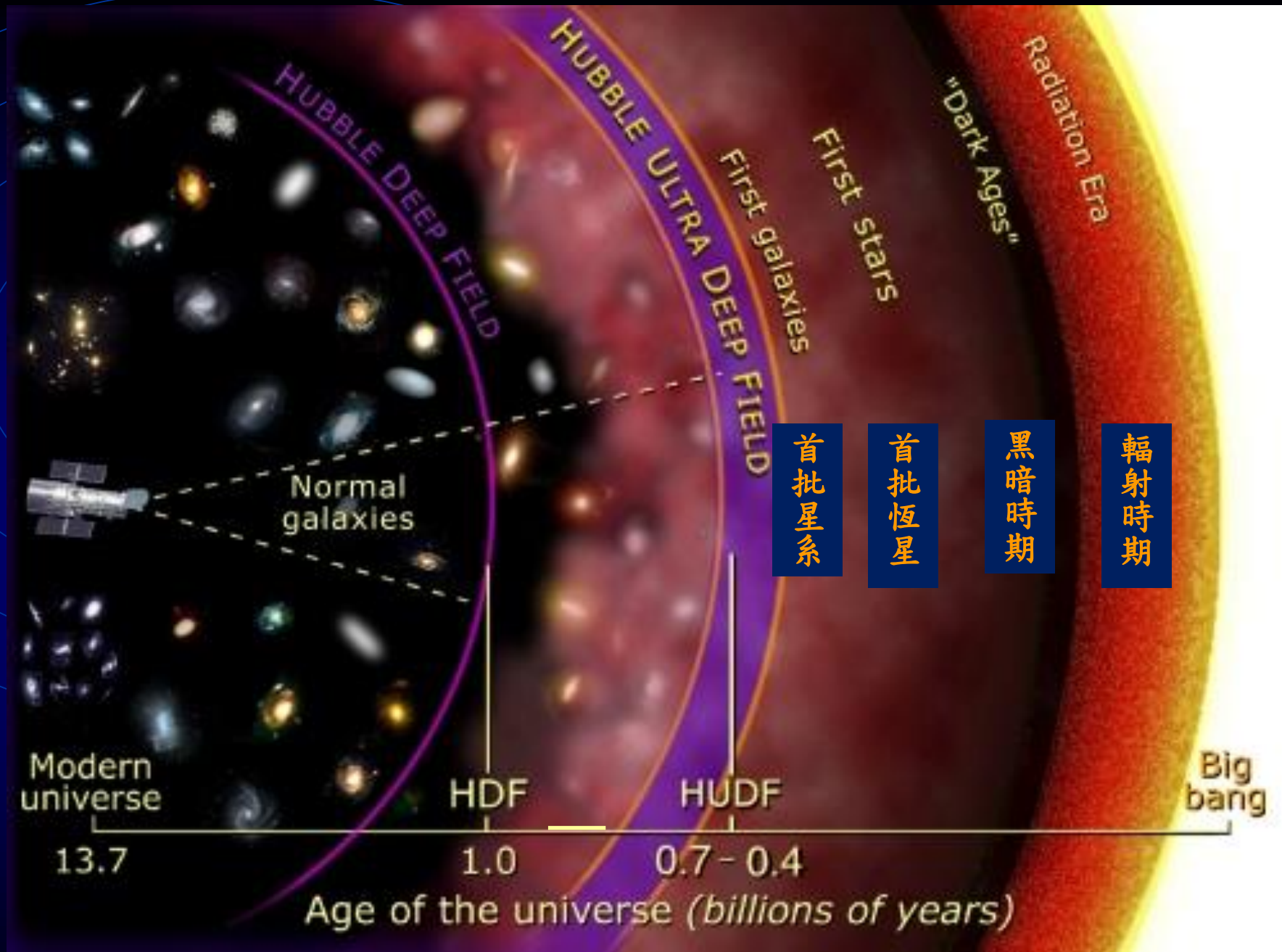
**沒有發現「極其古老」的天體**

這上下古今，稱做「宇宙」的東西  
居然有個起點！

星系後退速度 (km/s)



星系的距離 (3百萬光年)



現在年齡137億年

宇宙年齡 4~7億年時

宇宙創生

# 接觸未來 vs 回到未來



時間似乎有個方向，過去在我們後面，已經無法改變，  
... 而未來則在我們前方 ...  
過去或未來可以改變，可以聯絡嗎？

# 時間逆轉的矛盾

## *Grandfather paradox* (祖父矛盾)

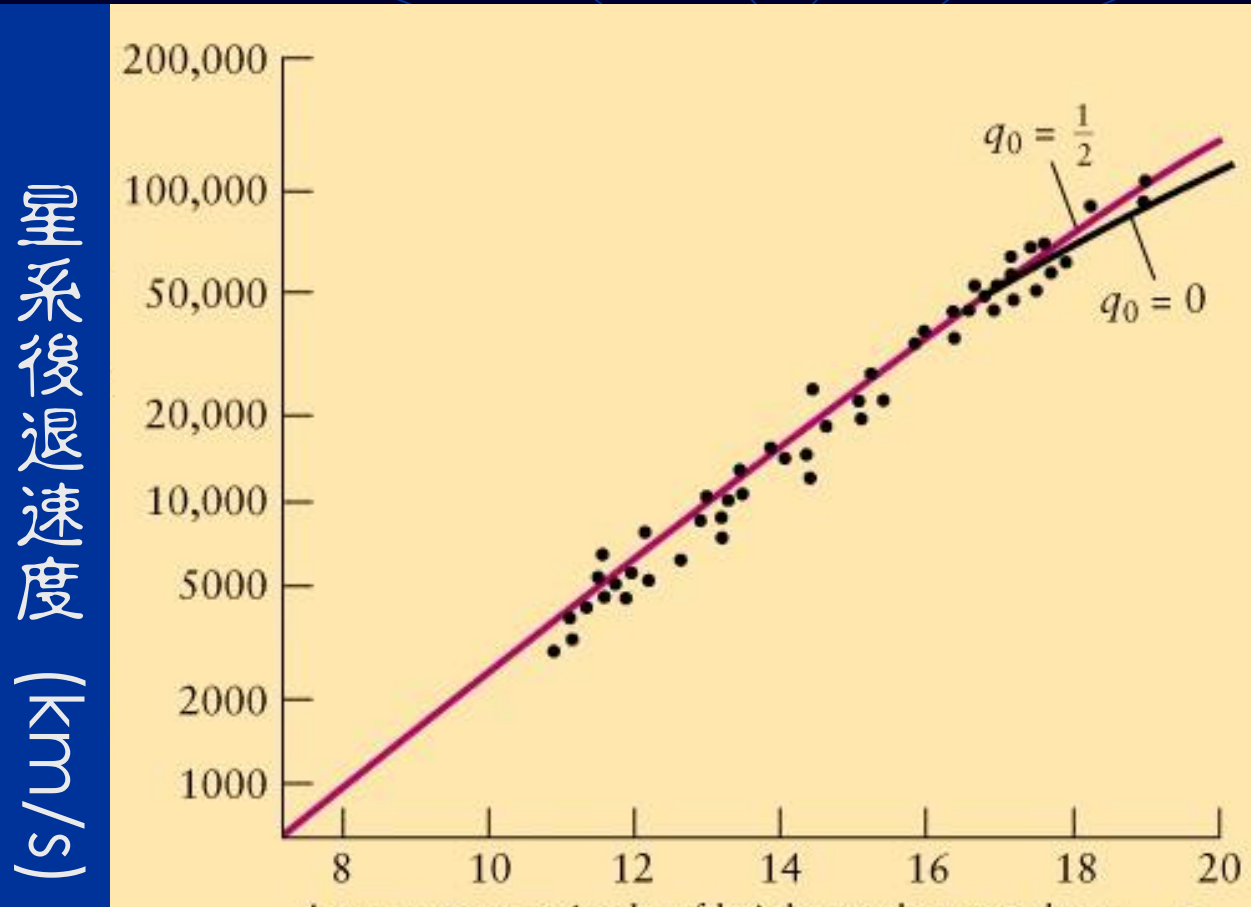
- 如果某人利用時光機回到過去，把他的祖母殺死了，當時她還沒有遇見你的祖父…
- 那，他根本就不可能存在，還坐時光機 …

## *Autoinfanticide /autofanticide* (自謀矛盾)

- 如果回到過去，卻殺死了嬰兒時期的自己 …

我們其實不太瞭解「時間」這個東西！

... 而且，好像以前的宇宙膨脹得比較慢？怎麼回事？



星系團當中最明亮的成員星系

- 目前的觀測證據顯示，宇宙是開放的，也就是將會無限擴展下去
- 這幾年研究顯示宇宙在**加速**膨脹  
→ **黑暗能量 (dark energy)**  
想像向上拋銅板，不但不減速，反而向上加速！？
- 死寂宇宙將加速到來？

我們以為比較瞭解「空間」，其實不然！

宇宙：137億年前

太陽系：46億年前

類似人類的生物：3百萬年前

把地球四十六億年歷史製作成一年的電影。於元旦開演時地球剛形成，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。之後生命展開漫長演化，一直到11月28日左右才有陸地生命。之後電影繼續放映，像是恐龍這樣的生物直到12月12日才出現，然後在聖誕夜滅絕，接著哺乳類動物及鳥類大量出現。



## 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，而滿清被推翻相當於元旦凌晨前 0.6 秒

上次何時跟好朋友鬧彗扭？這回考試第幾名？為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！

# 結論

- 宇宙的歷史與地理 ——

宇宙最讓人無法理解之處，  
在於其居然可以理解！ —— 愛因斯坦

- 發現新世界 ——

除了太陽以外，銀河系處處是行星系統  
我們真的只是恆河中一粒細沙

- 宇宙新面貌 ——

還有很多…不知道答案，甚至不知道問題怎麼問