

泛星計畫簡介



陳文屏

中央大學天文所

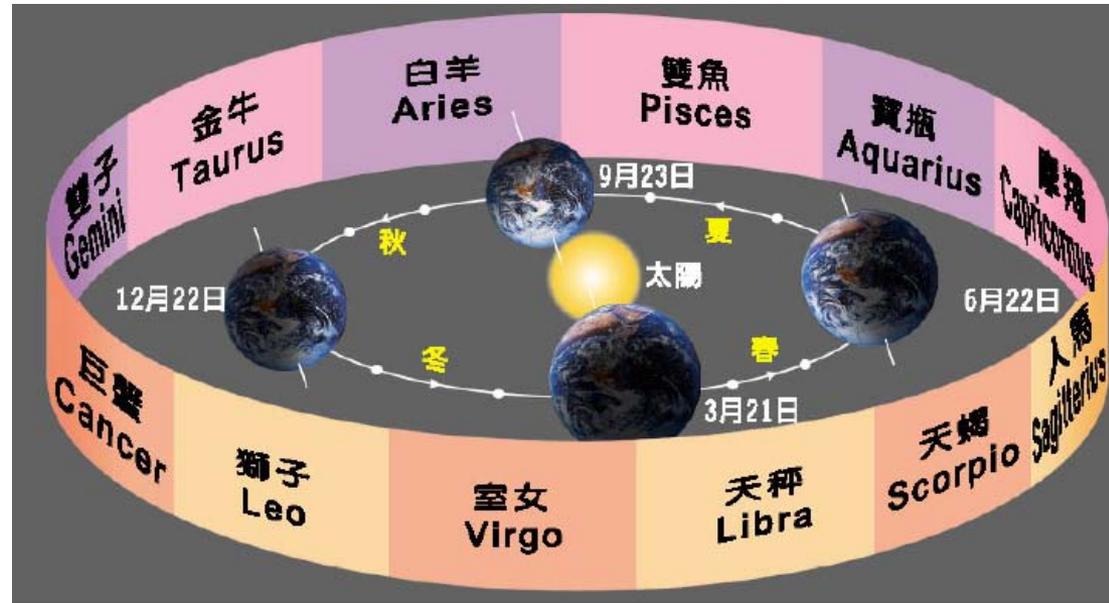
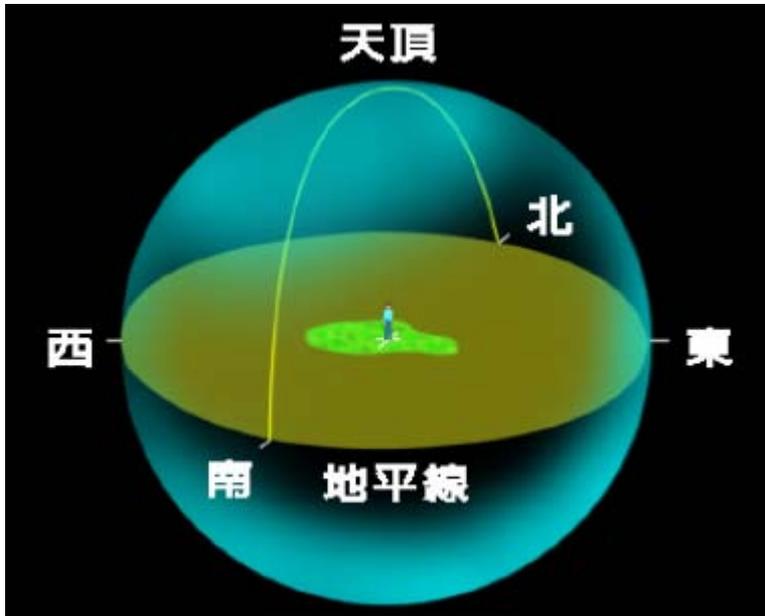
2010.12.18

天文前沿計畫教材研討會



Photo by Rob Ratkowski

天球

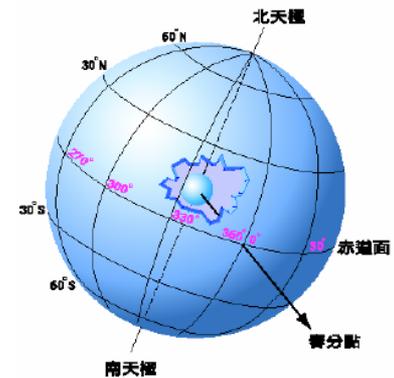


天球上天體沒有距離資訊
兩個天體相離的「角度」

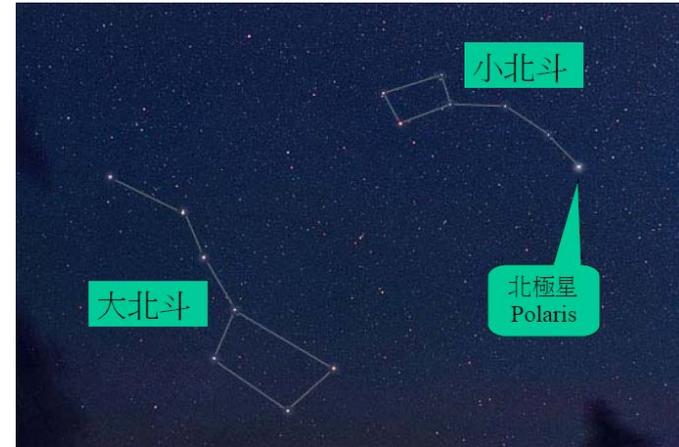
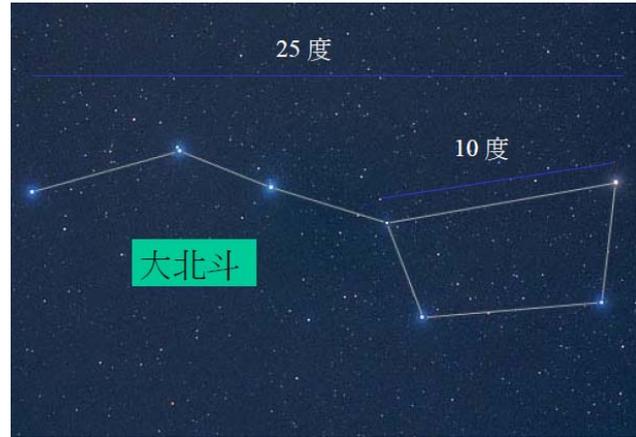
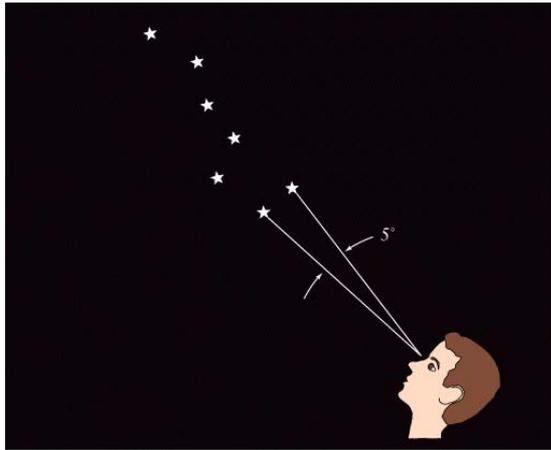
1 度 (degree) = 60' 角分 (minutes of arc; arcminutes)

1 角分 = 60 = 60'' 角秒 (arcseconds)

1 角秒 = (1/3600) 度 ; 相當於2公里外看1元硬幣



天球面積

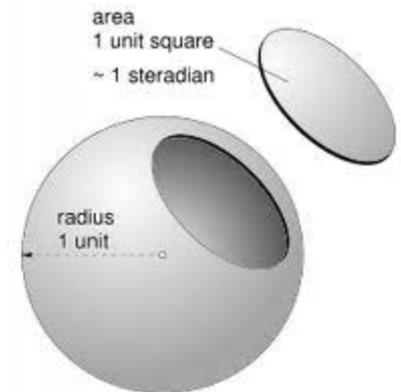


全天空 $4\pi (180/\pi)^2 = 41253$ 平方度

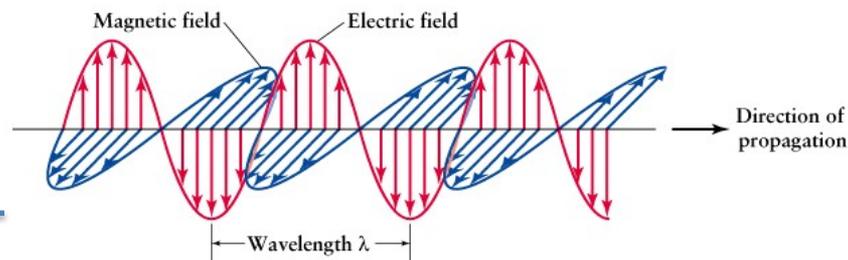
鹿林一米望遠鏡視野為10角分X10角分

→ 要巡視完整個天空需要
41253 x 36 ~150萬次

廣角史密特望遠鏡 FOV = 6° → 1146 次

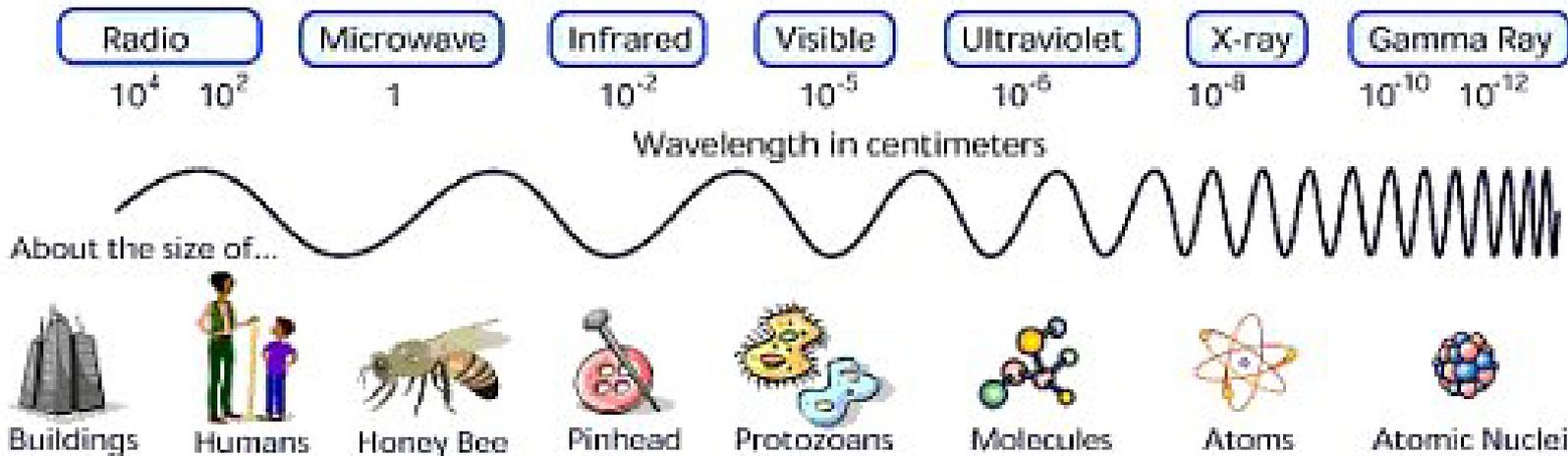


電磁波

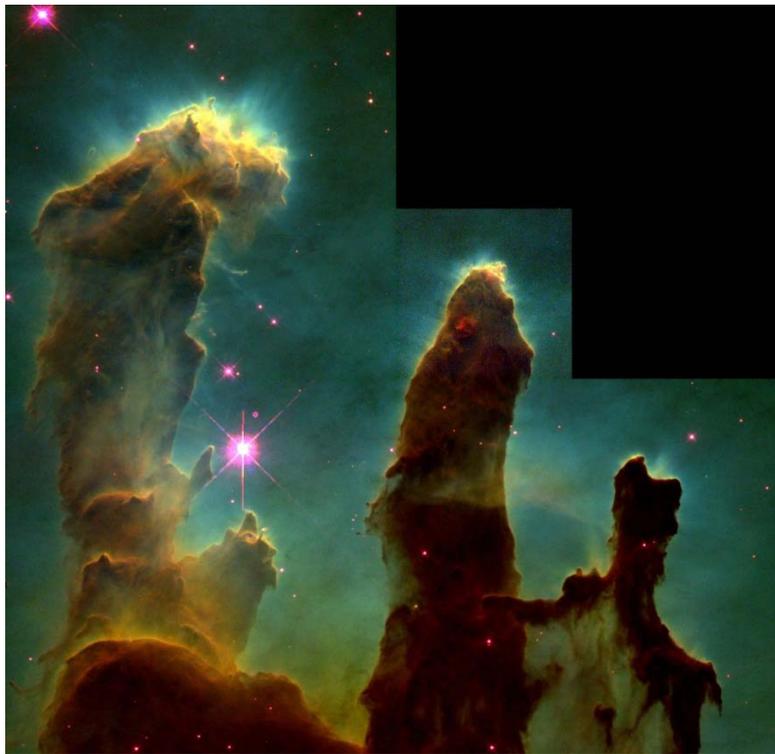


- 電場與磁場震盪，傳遞能量
- 在真空中，所有能量的電磁波以光速前進

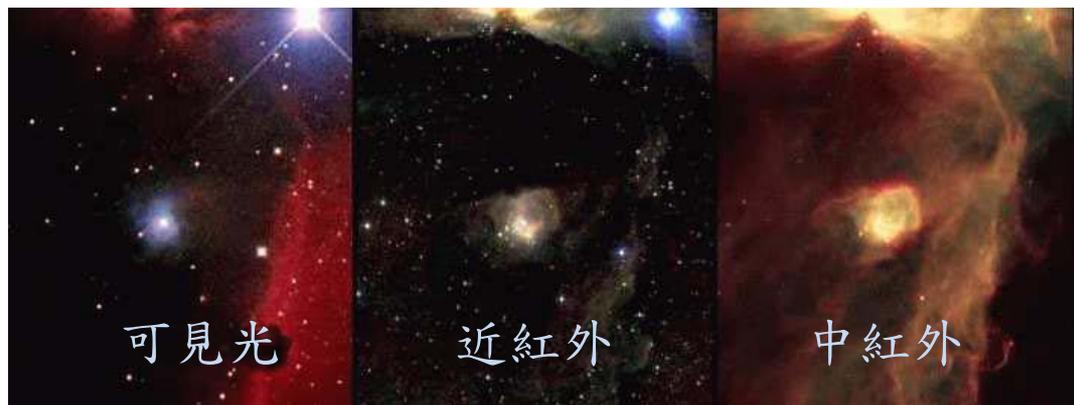
(無線) 電波 紅外 可見光 紫外 X射線 伽馬射線



天體發射的電磁波



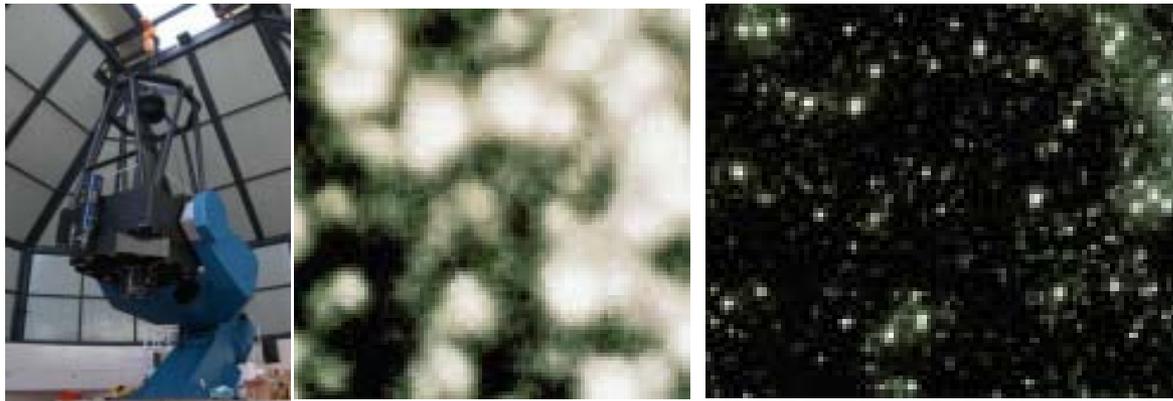
不同狀態（溫度、密度）與成分的天體發射不同電磁波



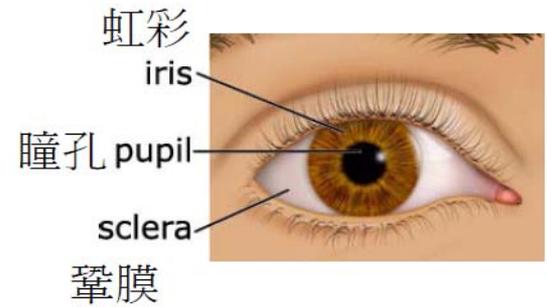
接收電磁波：望遠鏡



- 收集光線：口徑越大，單位時間收集的光量越多
- 光學成像：口徑越大，看得越清楚（成像越清晰）
- 大氣擾動造成星點影像晃動，需要良好天文觀測地點（晴天率高、氣流穩定、高海拔），或將望遠鏡置於太空
- 一般設計口徑越大，視野越小



接收電磁波：偵測器



電磁波 → 電子 → 訊號

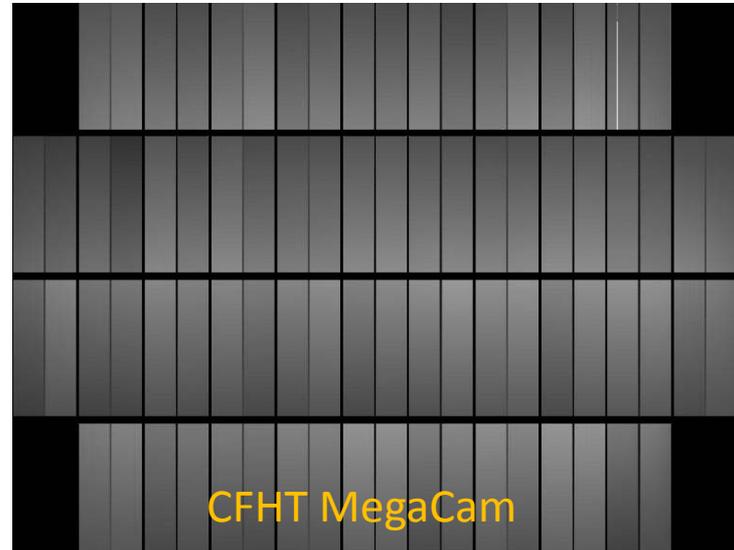
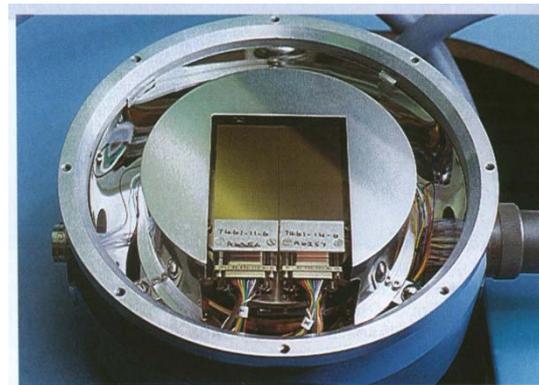
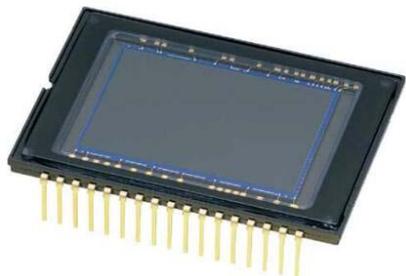
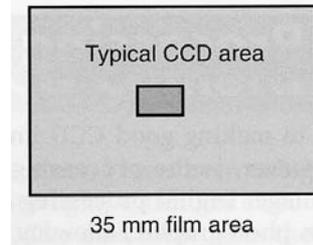
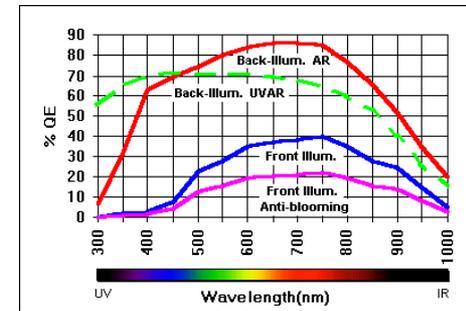
電子相機（接收機）

靈敏（同樣多的光，產生很多電子）

感應波段寬

尺寸大 → 視野大

量子效應



帕羅馬巡天計畫

- 美國國家地理學會資助，加州理工學院使用帕羅馬山 48" 史密特望遠鏡，14" 柯達玻璃底片（視野6度）
- 1949年11月開始，1956~1958年完成
- 1986年起，配合其他（南天）計畫，陸續將底片影像掃瞄數位化
→ Digital Sky Survey (DSS)



美國天文十年規劃書

(Astronomy Decadal Survey)

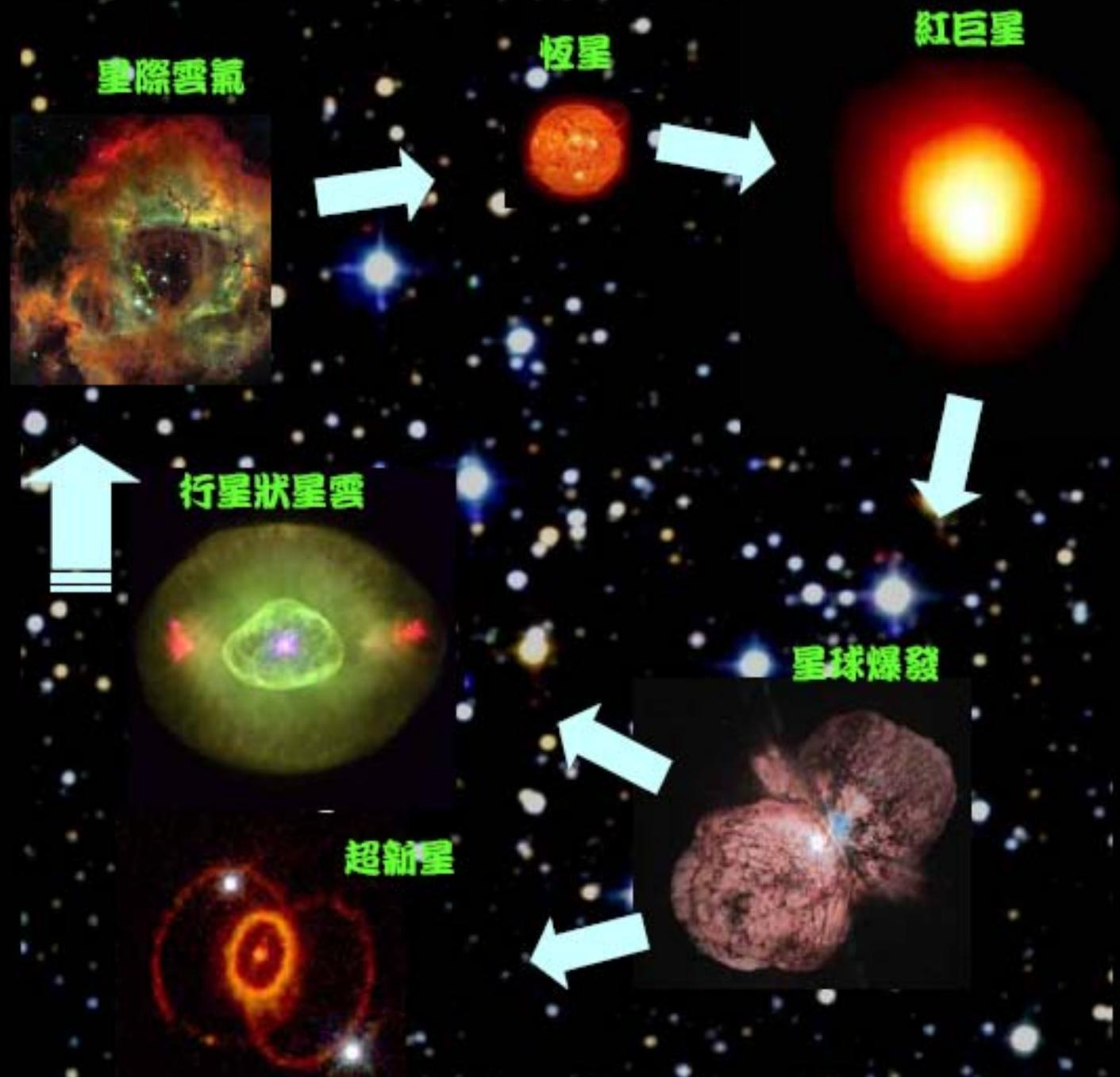
- 1970 年代的天文與天文物理 (1972) : VLA, (HST)
- 1980 年代的天文與天文物理 (1982) : VLBA
- 天文與天文物理的十年發現期 (1991) : Great Observatories
- 新世紀的天文與天文物理 (2001) : JWST、ALMA
- 天文與天文物理的新世界與新地平 (Astro2010) : 時變現象 (LSST)、太空紅外巡天 (WFIRST) ...

- **看得清楚**（解析度）—— 角度（細節）、
能量（光譜）
- **看得暗**（靈敏度） 越遠的宇宙 = 越老的宇宙
越微弱（眾多）的天體

下個挑戰維度：時間

天體在不同時間尺度如何變化？

恆星的生老病死



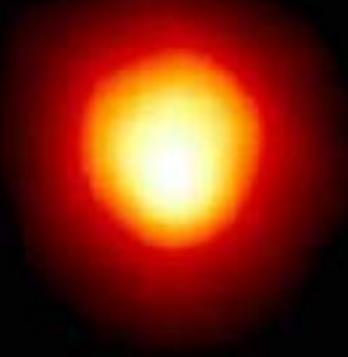
星際雲氣



恆星



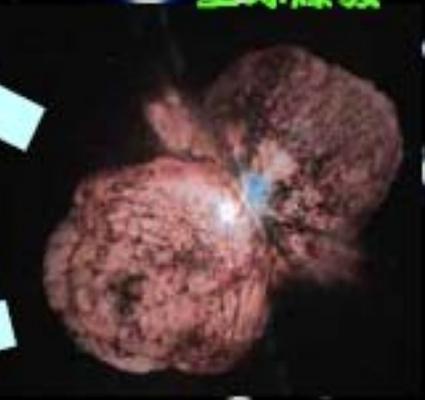
紅巨星



行星狀星雲



星球爆發



超新星

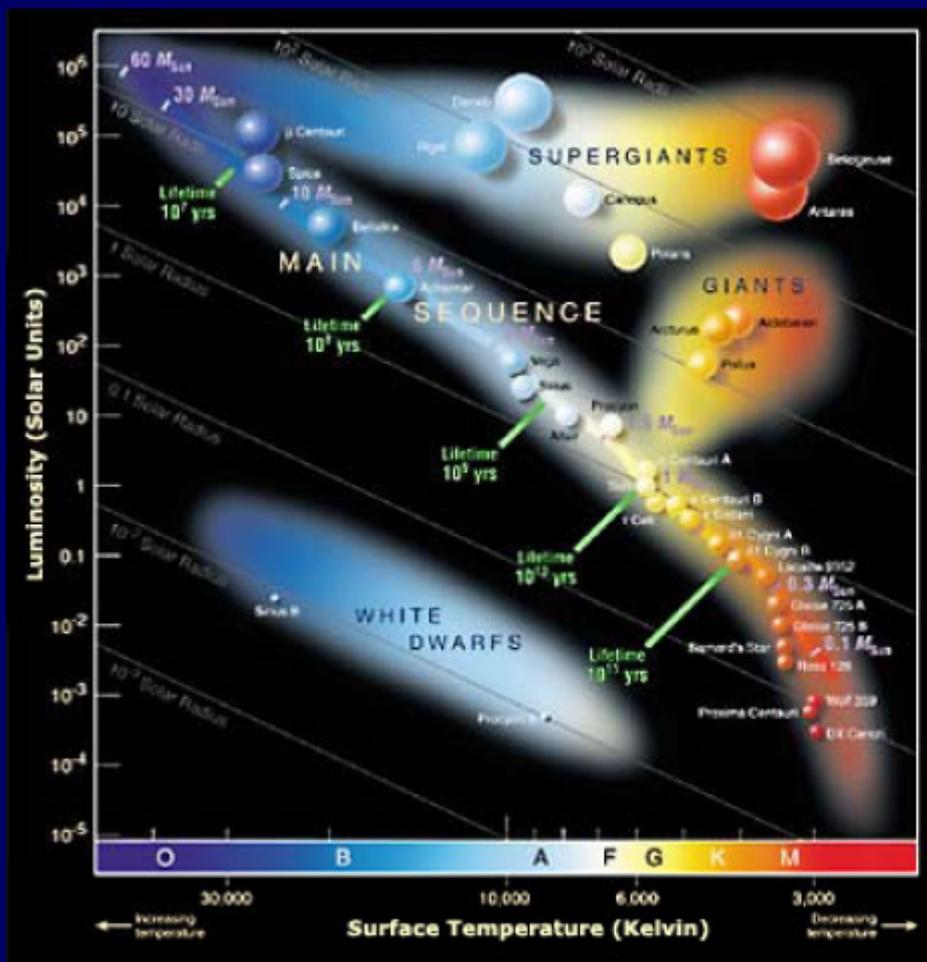


恆星光度 VS 表面溫度 Hertzsprung-Russell diagram

強 ↑

光度

↓ 弱

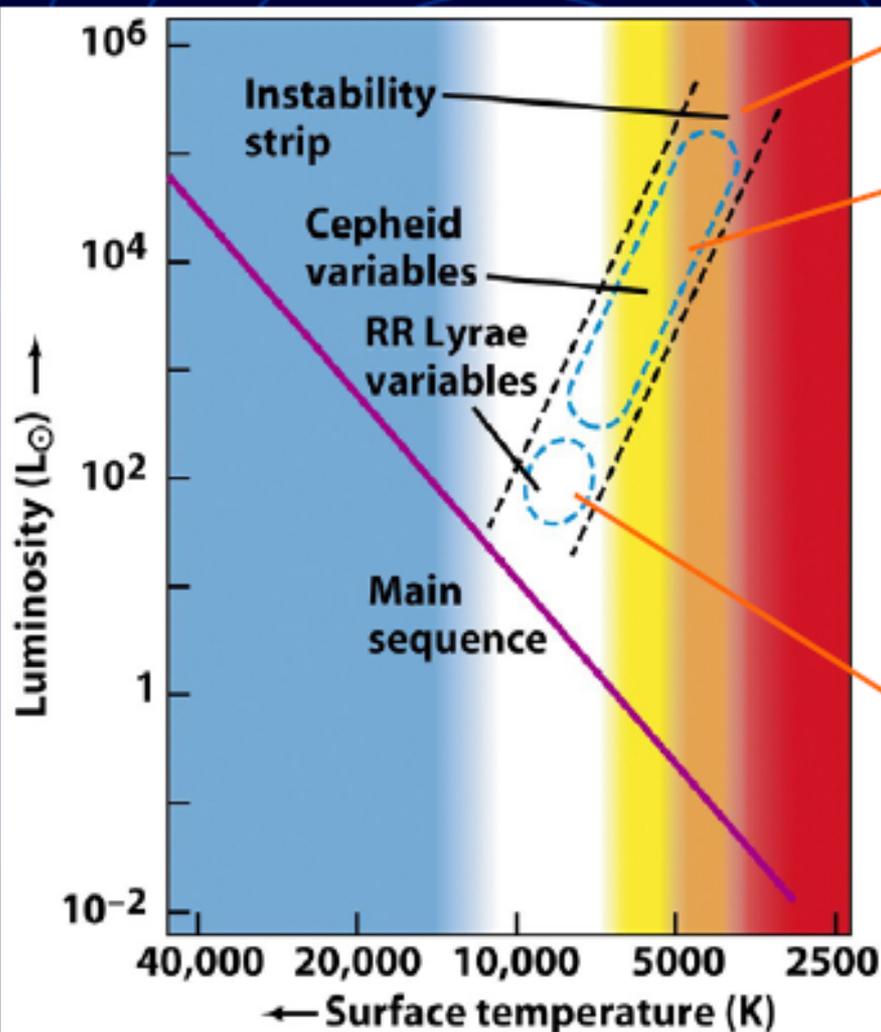


在赫羅圖上
90%的恆星集中在一條帶狀分佈，
稱為「主序」
(main sequence)，
這些恆星遵循
「表面溫度越高，
光度越強」的關係

高 ← 表面溫度 → 低

O B A F G K M L T Spectral types

變星 (Variable Stars)



不穩定帶 → 星球脈動

位於不穩定帶中的大質量星球，稱為 Cepheid variables (造父變星) 或簡稱 Cepheids。P > 1 d

位於不穩定帶中的低質量星球稱為 RR Lyrae variables (天琴座RR變星)。它們的週期 < 1 d

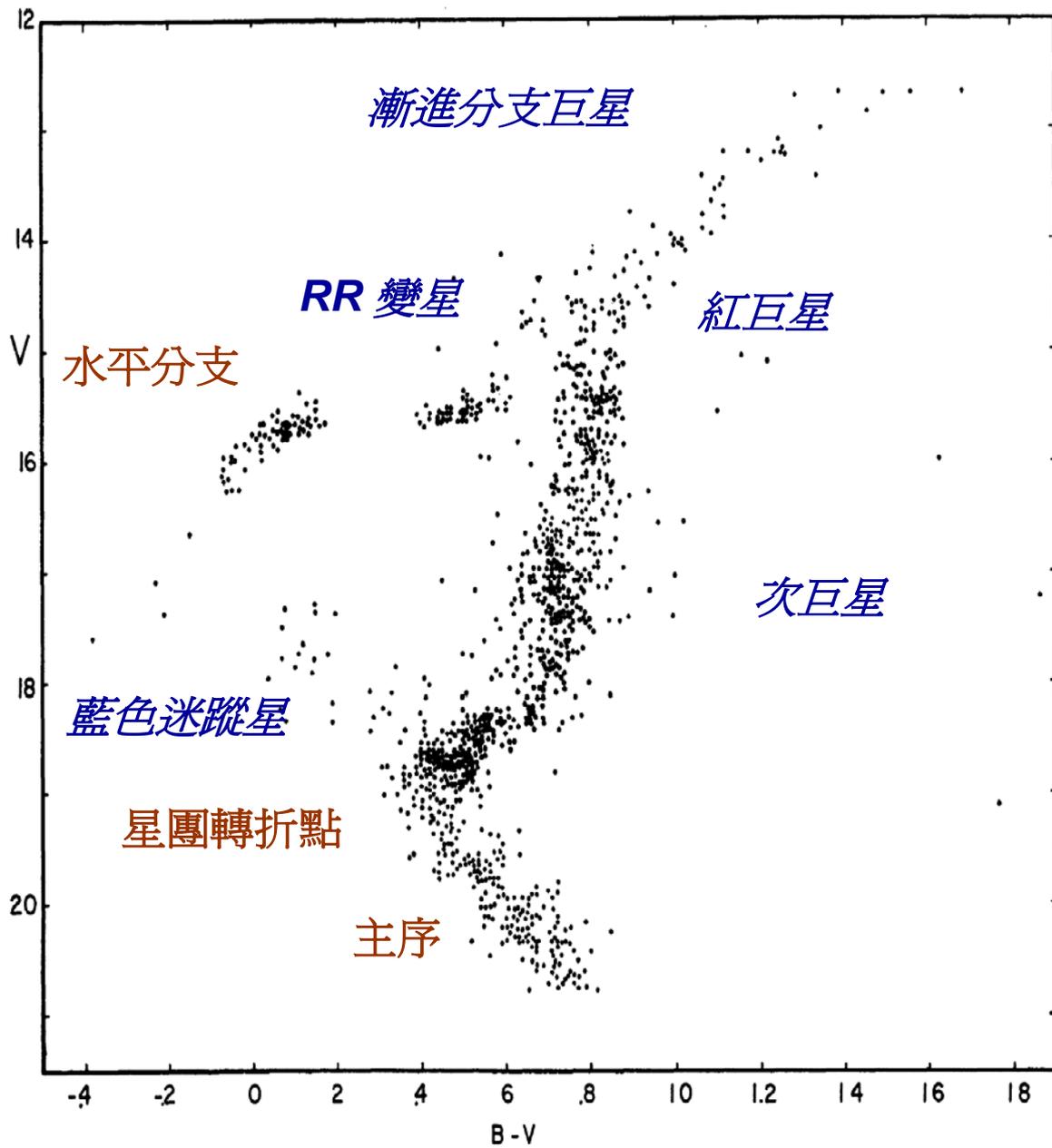
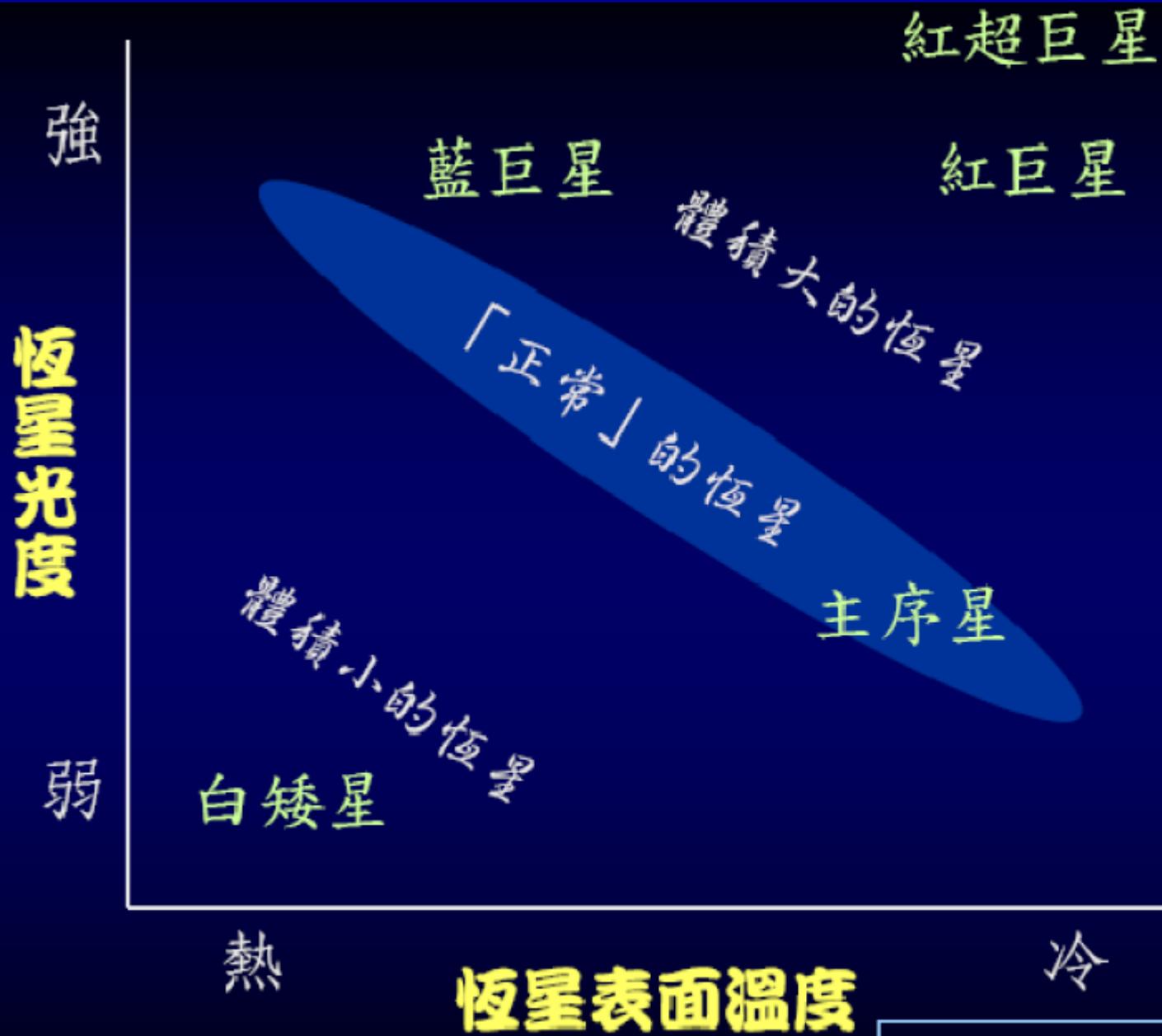


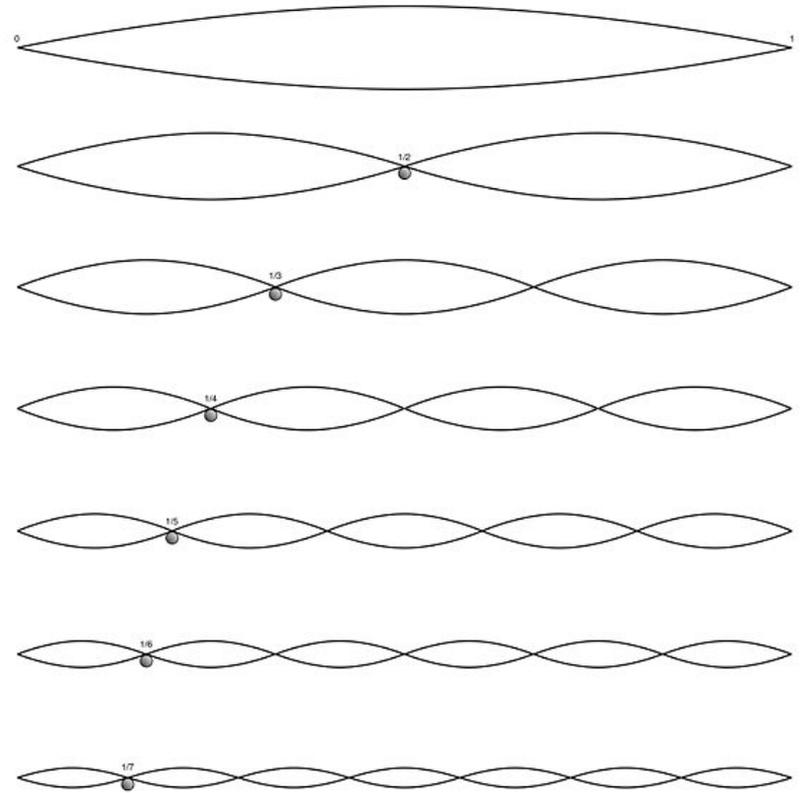
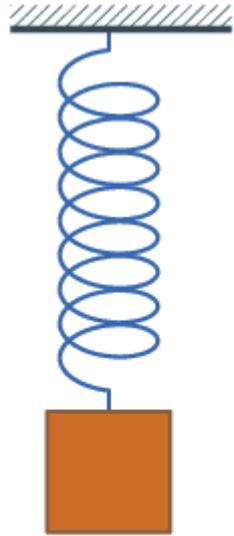
FIG. 5.—Color-magnitude diagram for M3 stars in the arguments V and $B - V$



$$L = (\pi R^2) \sigma T_{\text{eff}}^4$$

基本頻率

- 也稱爲「自然頻率」

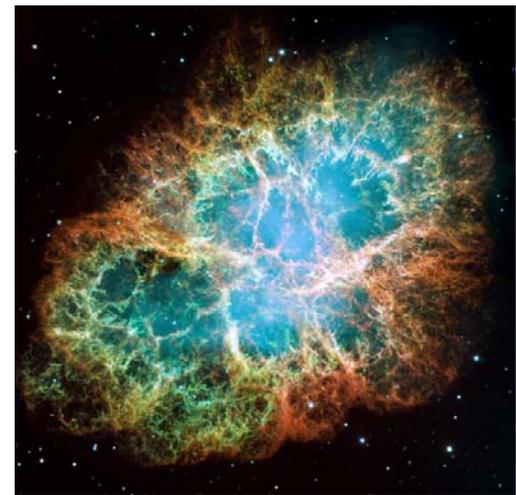


恆星的基本頻率

星種	密度 g cm^{-3}	t_{vib} sec	$t_{\text{rot, min}}$ sec
中子星	10^{15}	10^{-4}	3×10^{-4}
白矮星	10^7	1	3
天琴座RR星	10^{-2}	$10^{4.5}$	10^5
造父變星	10^{-6}	$10^{6.5}$	10^7

t (蟹狀星雲) $\sim 33 \text{ ms} \rightarrow$ 不可能是白矮星

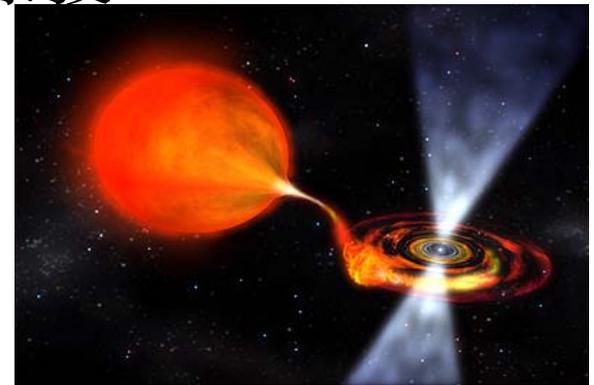
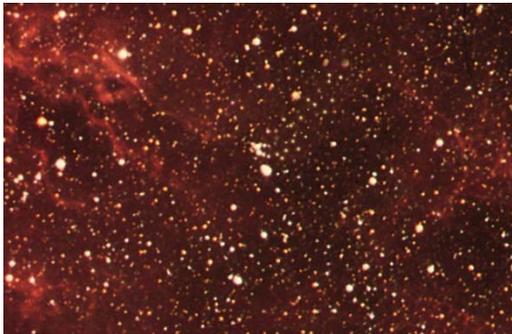
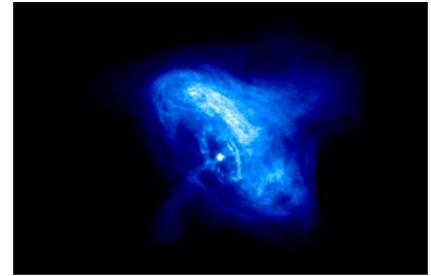
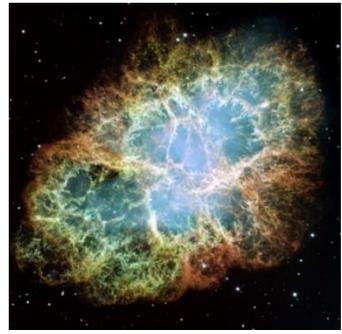
- ❖ 自轉時間 --- $< 1 \text{ s}, \dots, \text{weeks}$
- ❖ 脈動時間 --- 小時, ..., weeks
- ❖ 軌道時間 (食雙星) --- hours, days



超新星（爆發）

星體毀滅性瞬間釋放大量能量

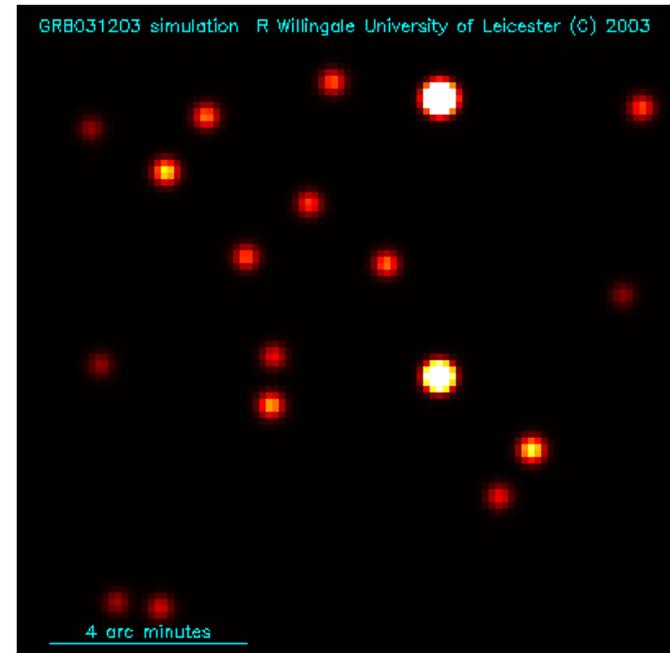
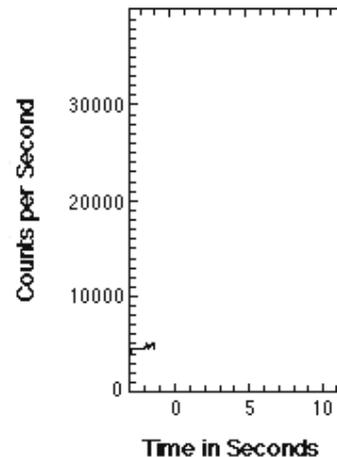
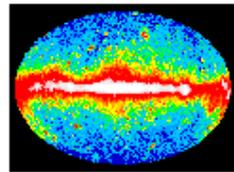
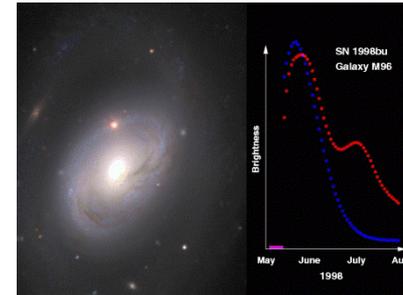
- (1) 大質量恆星中心核燃料用盡，向外熱壓力減弱，無法繼續承受龐大萬有引力而急遽內縮。直徑3000公里的鐵核心在0.1秒內塌縮掉。
- (2) 白矮星（質量與太陽相當的恆星的遺體）吸引鄰近恆星的物質，而超過結構能支撐的上限，引發爆發。

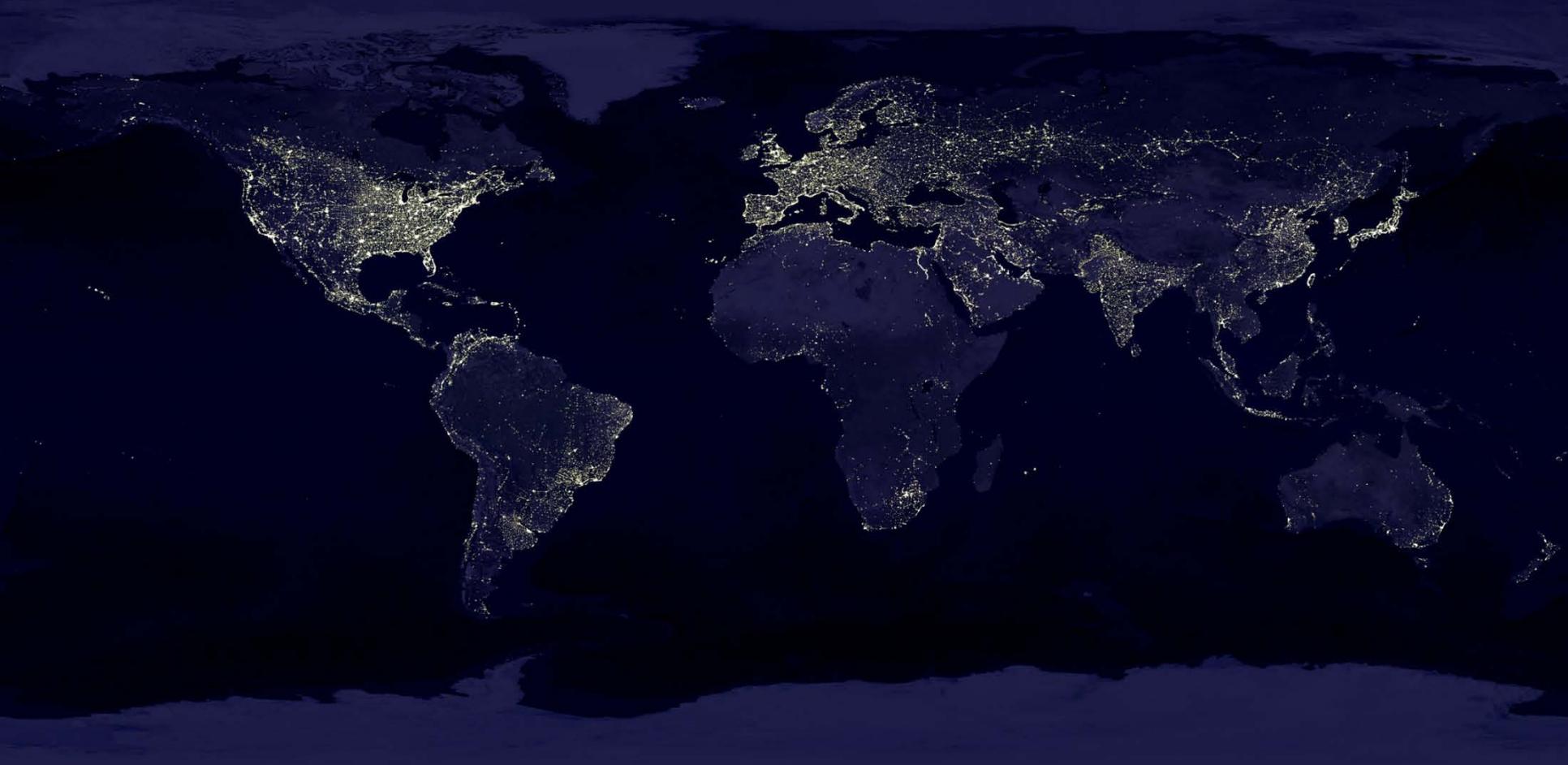


加碼（射線）爆 (GRB)

遙遠星系當中瞬間釋放極高能的加碼射線爆發

GRBs 是宇宙中僅引次於大霹靂的爆發事件。爆發歷時毫秒到小時。引發爆發的原因至今不明，可能性包括超新星之後形成黑洞，或是兩顆中子星碰撞等。

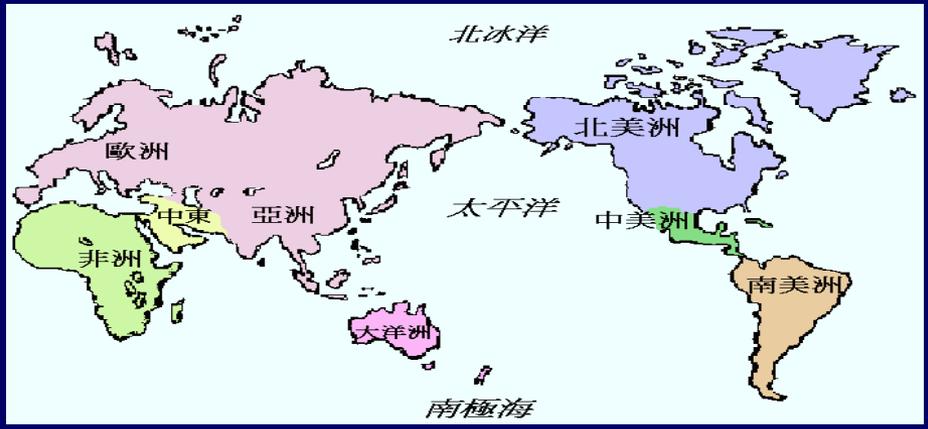




台灣的地理特性

- ◆西太平洋
- ◆低緯度
- ◆高山多

適合研究時變現象



LULIN OBSERVATORY

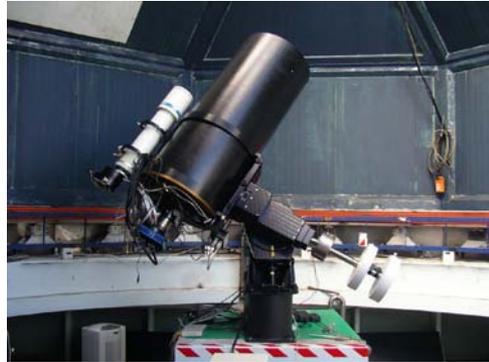
鹿林天文台

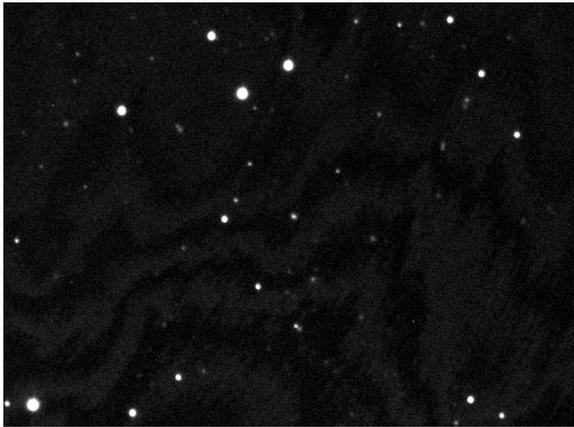
海拔 2862m; 在大氣逆溫層以上



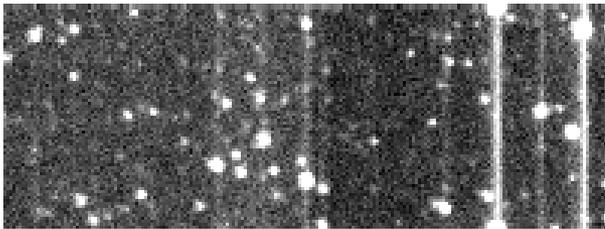
從玉山 (~4000 m) 眺望鹿林山

鹿林天文台為全球聯測 或與太空望遠鏡同步觀 測關鍵成員

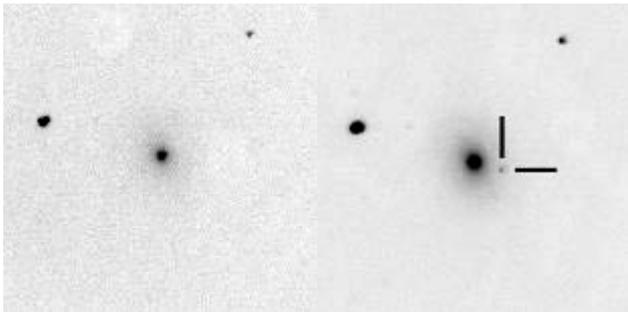




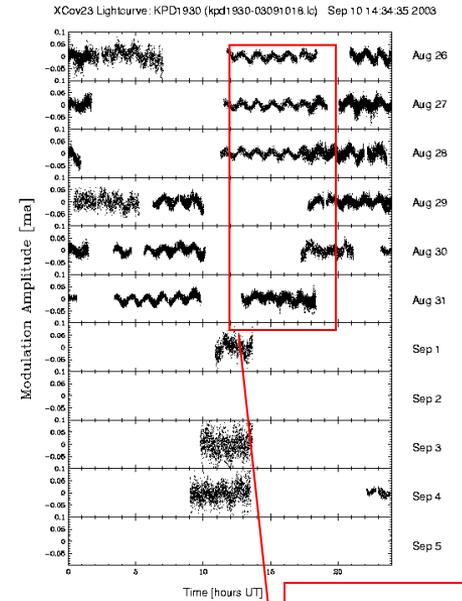
鹿林彗星當初發現的影像



TAOS望遠鏡觀測到小行星遮掩銀河系中的恆星

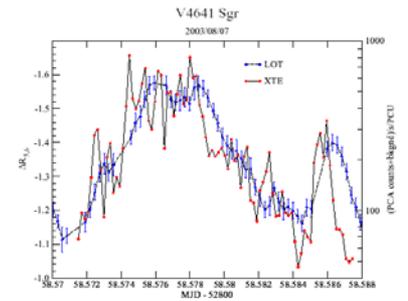


利用鹿林望遠鏡發現的某顆超新星



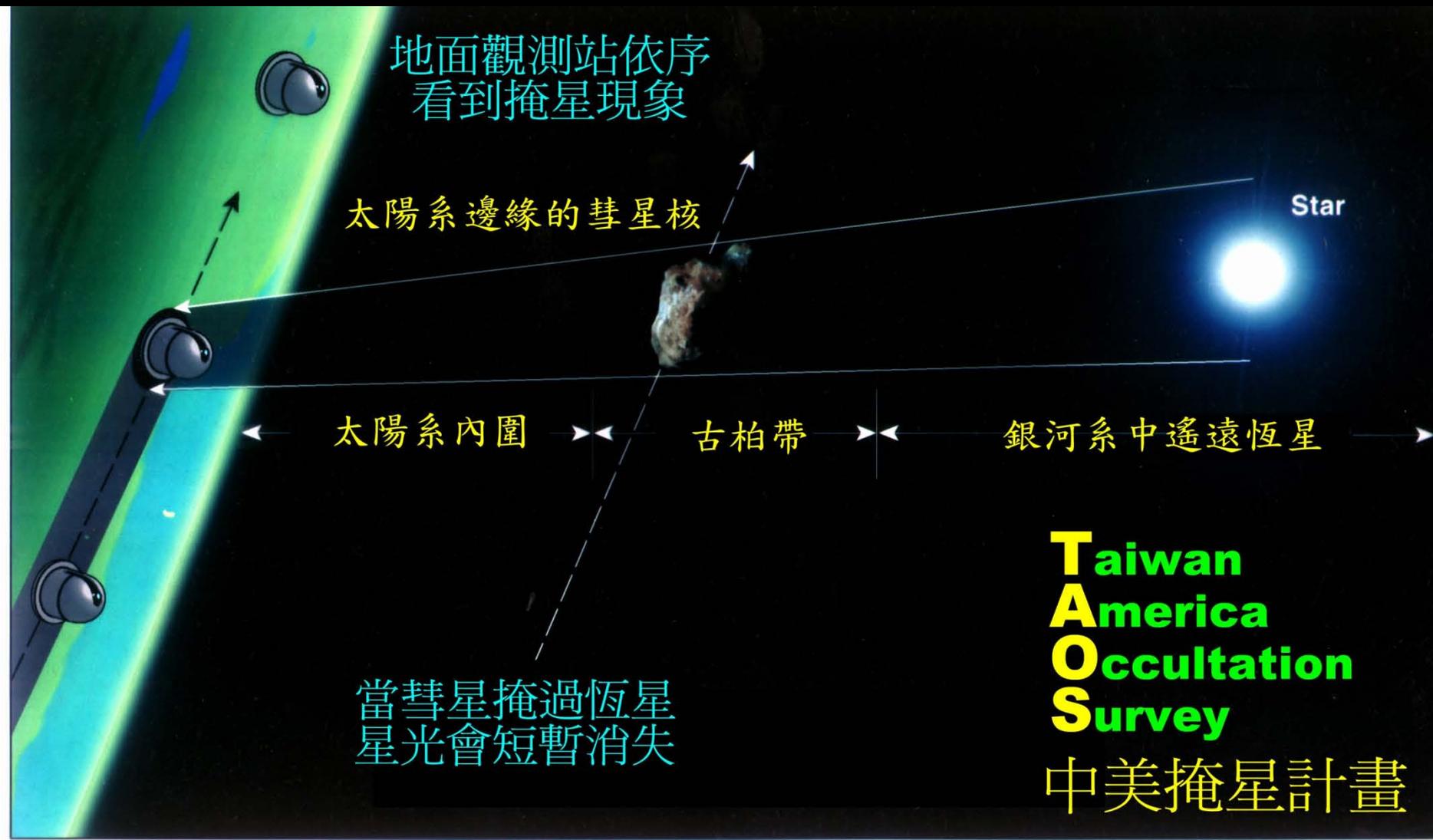
LOT

星震觀測



鹿林望遠鏡與太空望遠鏡同步觀測

利用掩星技術清點看不見的小型古柏帶天體

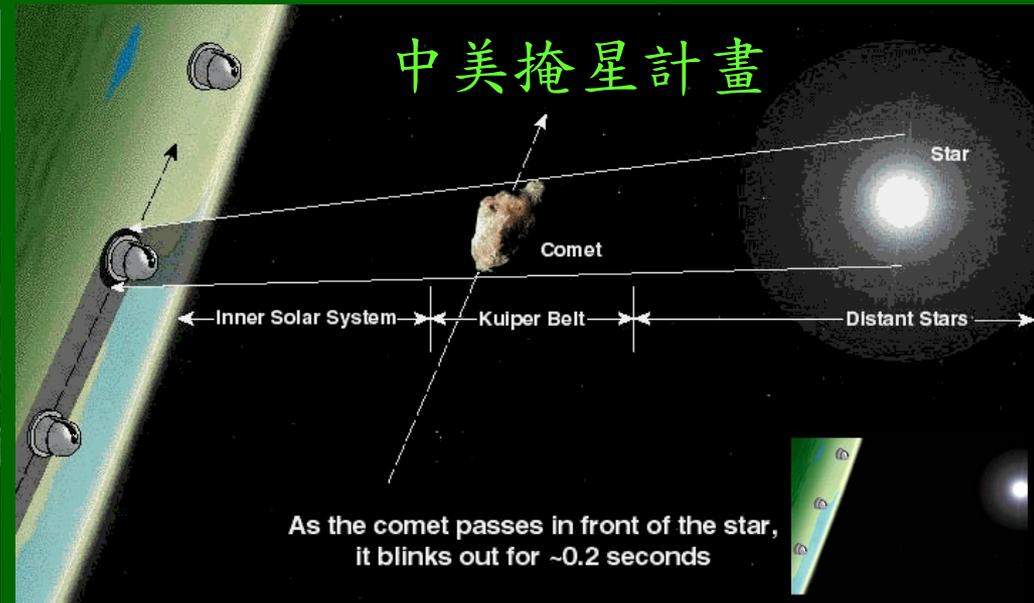


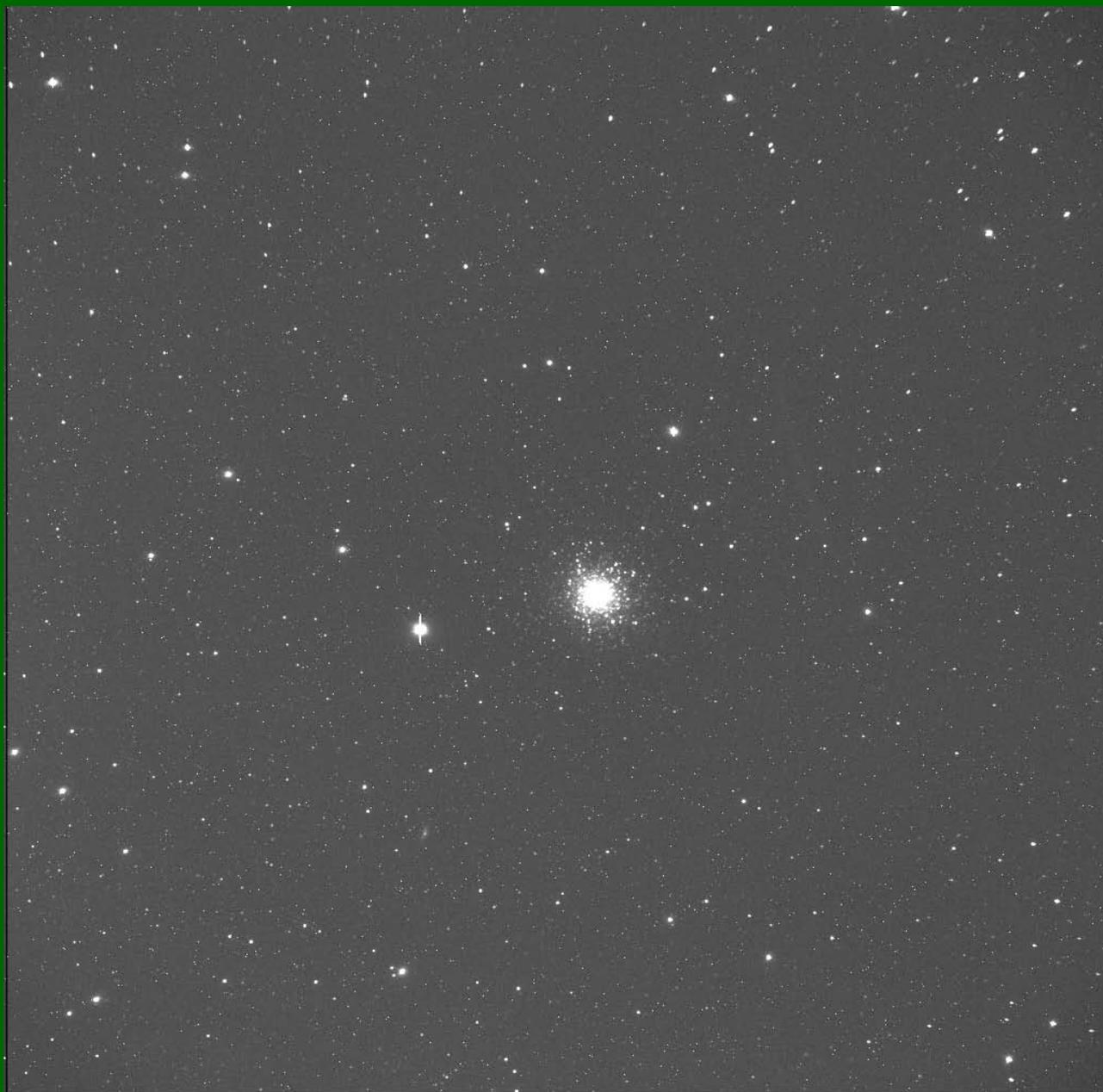
中美掩星計畫 TAOS (Taiwan-America Occultation Survey) 由我國、美國與韓國合作，利用太陽系小天體遮掩背景恆星的技術，統計「看不見」的小天體數量。從2005年起觀測，至今已經收集超過10億筆光度資料，計畫極受國際矚目。



遙遠彗星核反射陽光微弱，藉由「掩星」技術偵測它們的存在

鹿林山





0.5°

TAOS
超廣角
望遠鏡

1.7°

TAOS 望遠鏡陣列

鹿林天文台
2862 m

以獨特相機讀
取技術測量恆
星快速 (5 Hz)
亮度變化

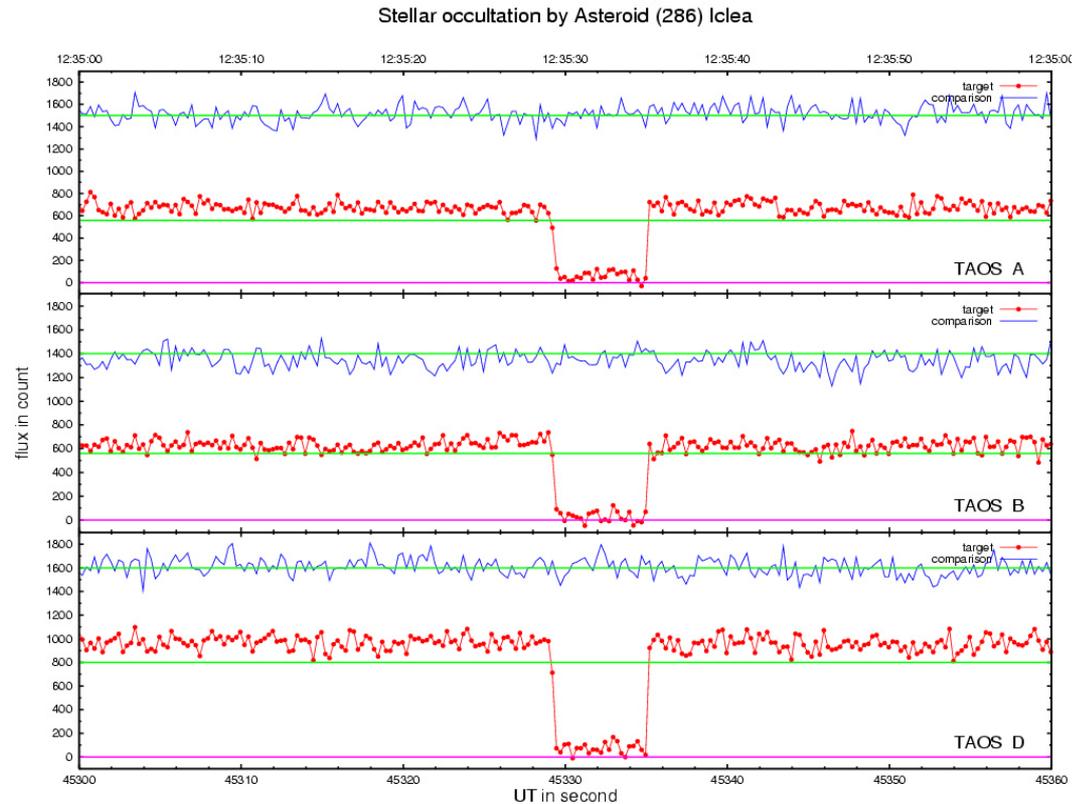
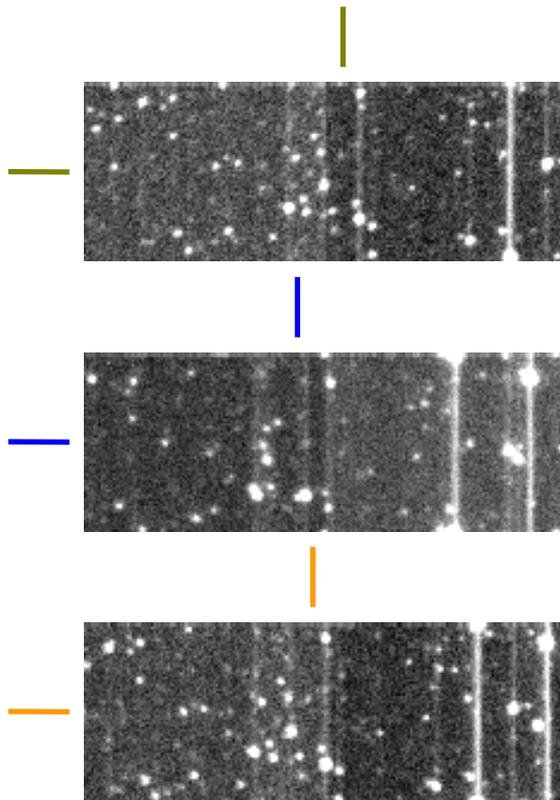
TAOS 是目前世界上唯一系統性清點
太陽系外圍直徑 1-2 公里天體的計
畫



每晚資料量 ~ 100 GB

時變現象觀測

2006 Feb 06 三台 TAOS 望遠鏡分別偵測到預測中的
(286) Iclea 小行星 ($m_V \sim 14.0$ mag, $D \sim 97$ km) 遮掩
背景恆星 TYC 076200961 ($m_V \sim 11.83$)



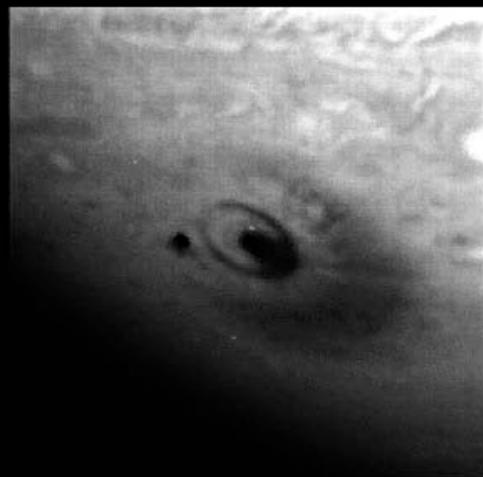


1994年夏天 彗星撞木星

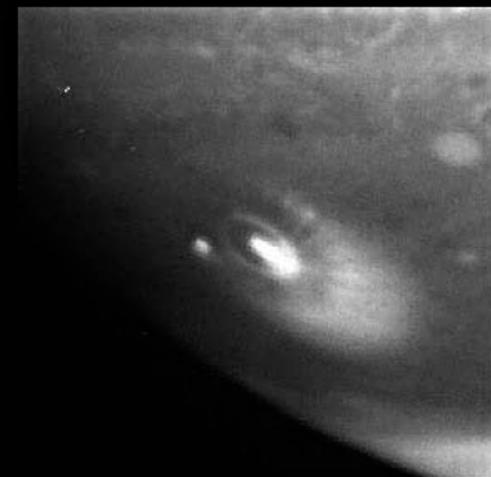


G Impact Site

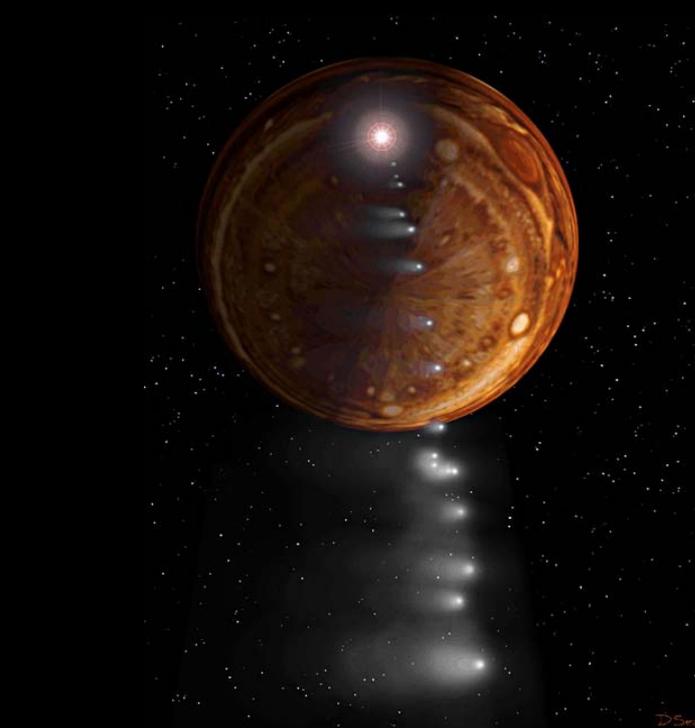
Green



Methane

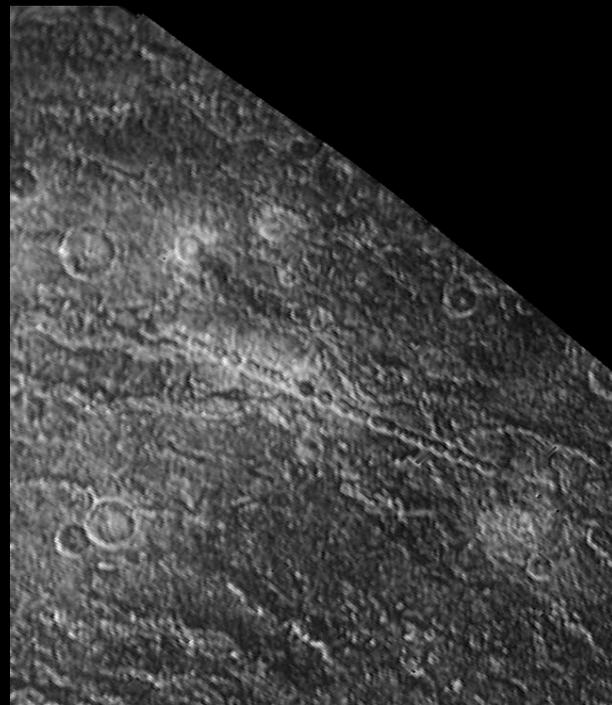


18 July 1994

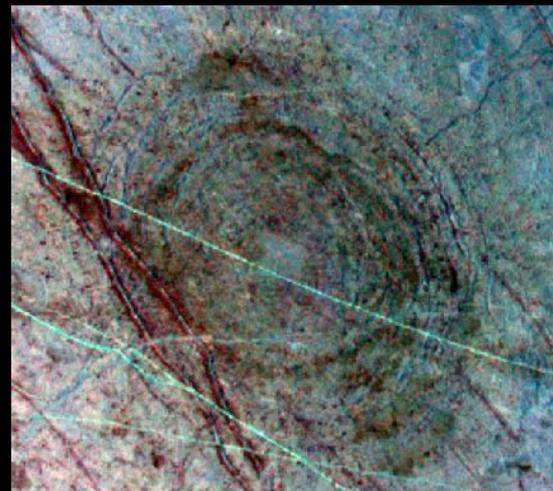




木星衛星
Callisto
表面的串
狀隕石坑



木星衛星
Europa
表面的
隕石坑



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





Panoramic Survey Telescope And 泛星 Rapid Response System

PS1 consortium members



□ 每個月數次巡視全部可見天空 (從夏威夷 = 3π sr)

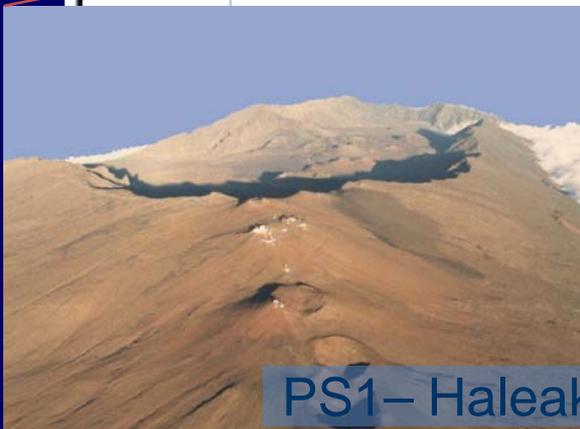
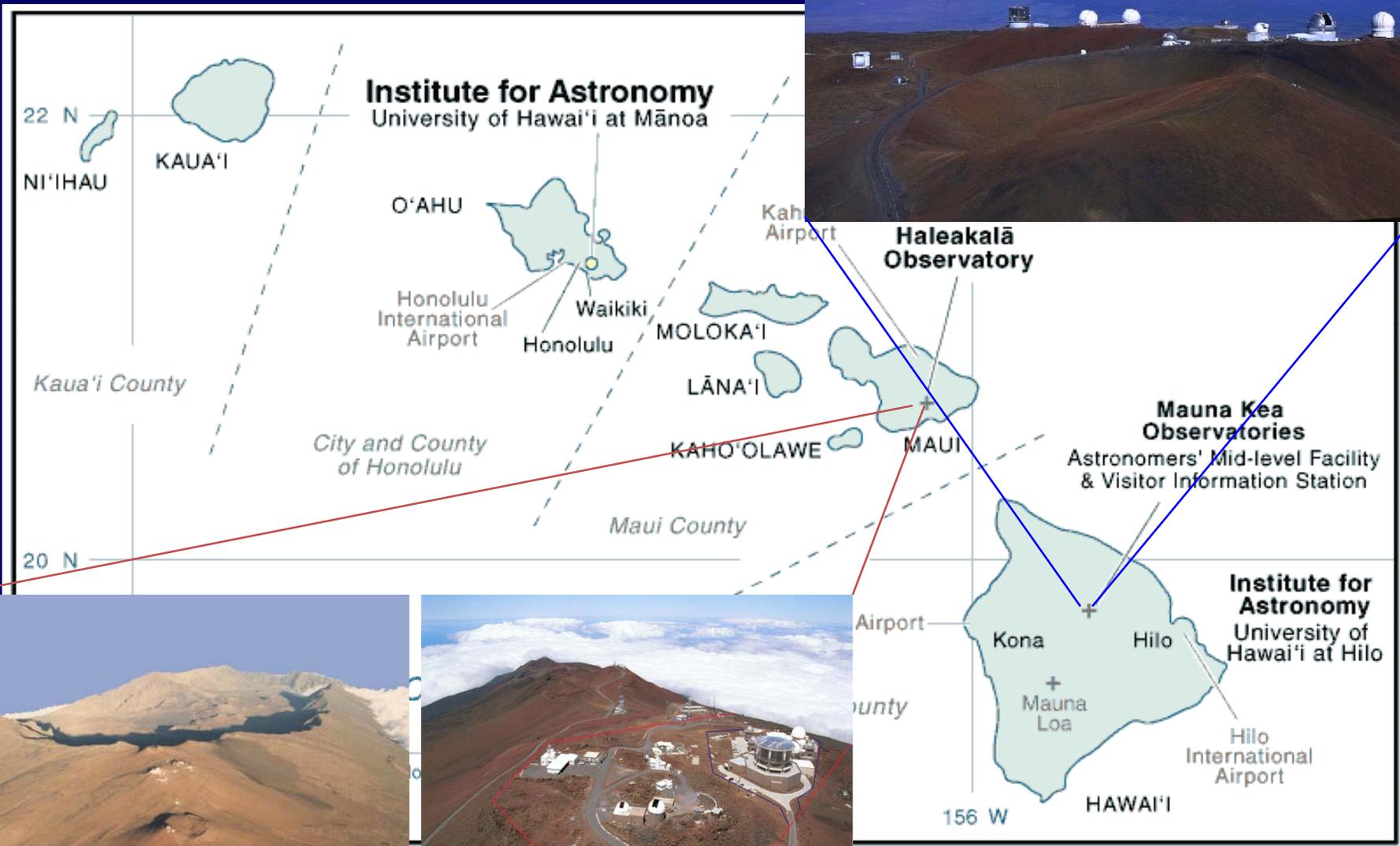
□ 望遠鏡口徑1.8米，位於夏威夷高山上，配備14億像元電子相機，採用最新「斜向轉移陣列」(Orthogonal Transfer Array) 技術 CCD 偵測器 (尺寸 40 cm)
→ 成像視野 7 平方度，每像元 0.26" *PS1*

- 偵測位置變化 (小行星、彗星) 或亮度變化 (超新星、伽瑪線爆發源) 的天體與天文現象
- 累積非常長期曝光的宇宙靜態圖

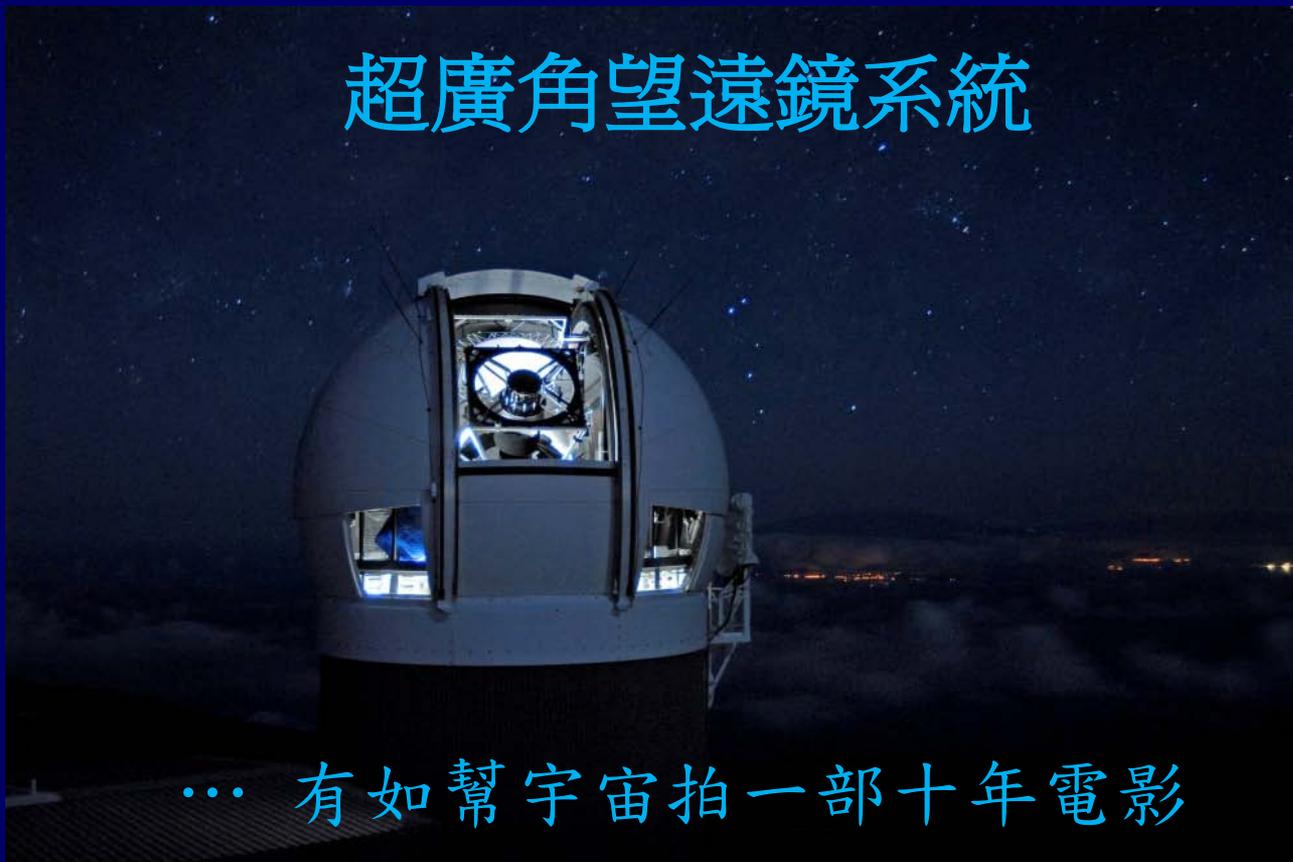
- 超廣角成像
- 高效率觀測
- 快速海量資料處理



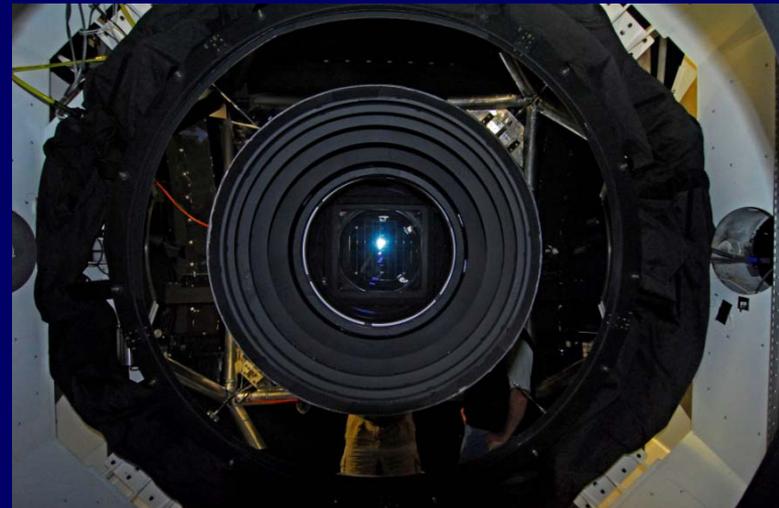
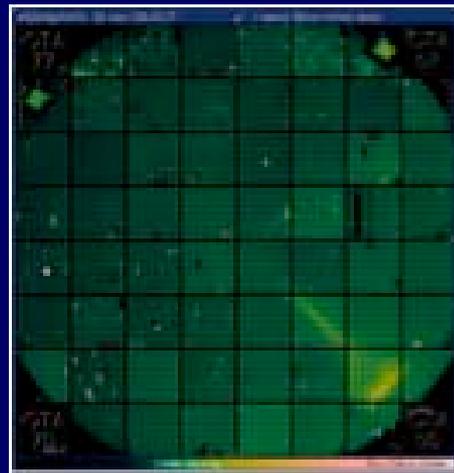
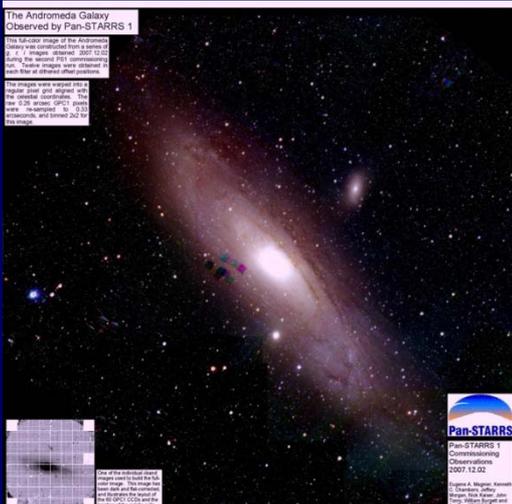
美國夏威夷群島



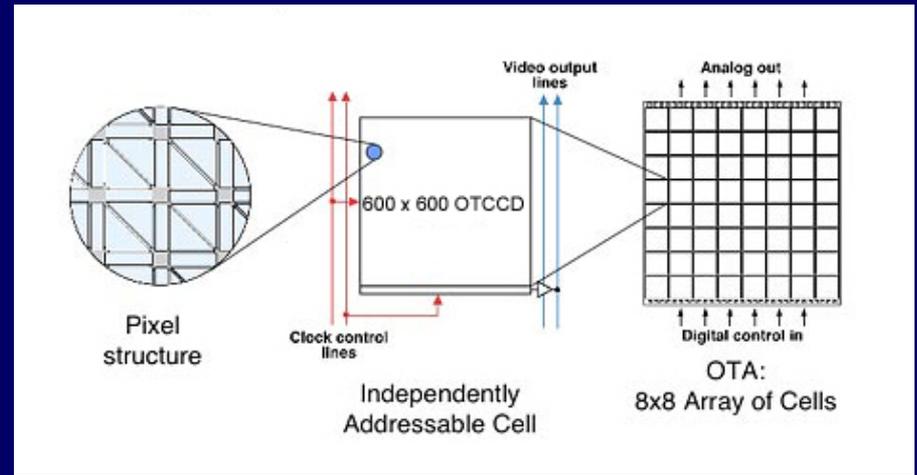
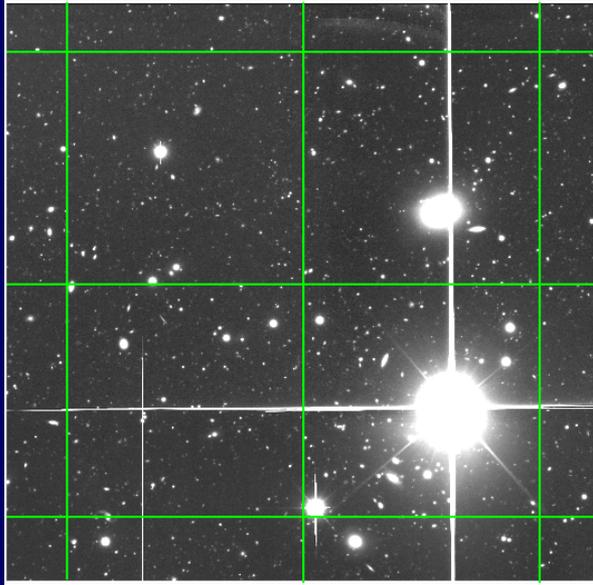
超廣角望遠鏡系統



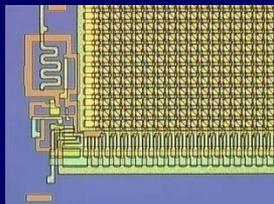
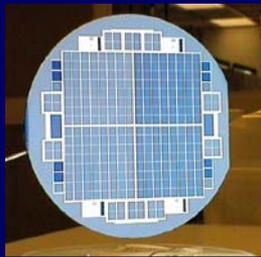
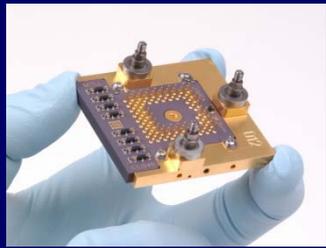
… 有如幫宇宙拍一部十年電影



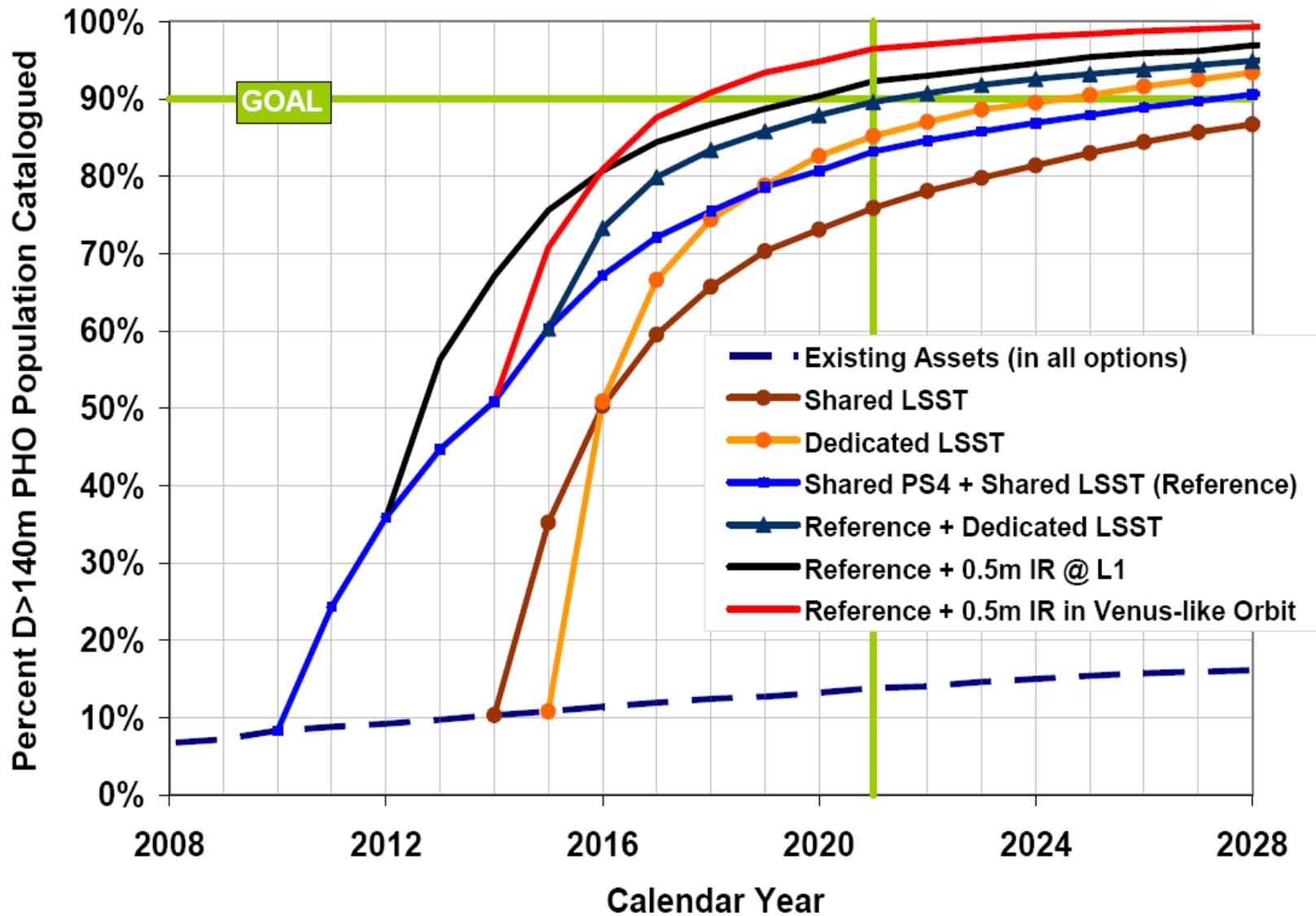
革命性的偵測器



- 使用新技術：斜向轉移電荷陣列 (orthogonal transfer array) CCDs
- 可以直接用來導星，克服大氣造成的影像晃動
- 單元獨立讀取，減少亮星干擾
- 產率高；降低成本
- 讀取快，14億畫數在 2~5秒讀出



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（尤其是太陽系天體的研究），對於「時變宇宙」將有革命性貢獻

泛星計畫運作

PS1 系統每天
晚上取得影像
原始數據



從毛依島遠距控制中心
操控觀測



先經過美國空
軍「去線條」
處理



從歐胡島夏威夷
大學校區監控資
料處理與分析程

送往毛依島高
速電腦中心處
理，成爲「目
錄」，包括天
體的坐標、亮
度等



處理完的資料透過
網路傳給PS1成員

數據最終可供全
世界使用

科學成員



- ◆ 美國國務院透過美國空軍資助 \$60M (2002/09)
- ◆ 由夏威夷大學負責建置
- ◆ 經費只包含硬體建構與簡單軟體
- ◆ 運作經費每年約\$ 3.6 M，另組科學團隊營運



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 台灣 (中大、清大、台大、成大、中研院、台師大)



國立中央大學天文所

GRADUATE INSTITUTE OF ASTRONOMY, NCU



Messier 51 by the Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System (Pan-STARRS)



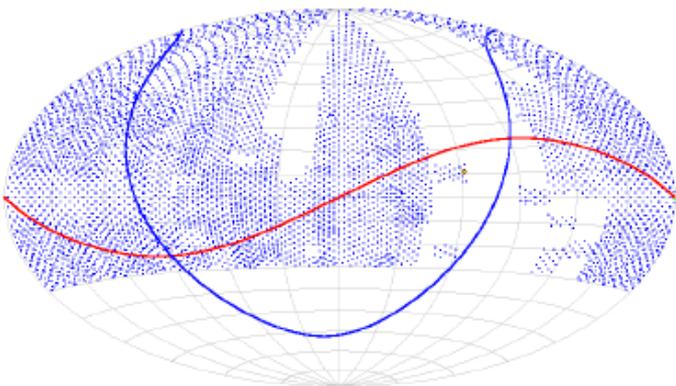


每天下載大量資料

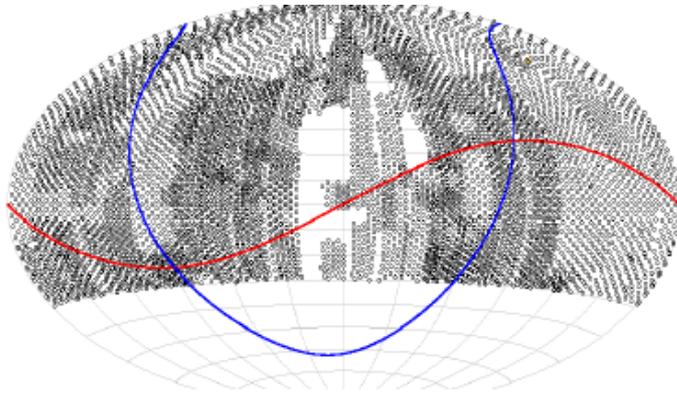
泛星計畫進度

- 2008/2009 系統調校; 1 Jan 2009 起科學團隊接管
- 2009年三月中起試觀測
- 2010年5月正式開始巡天觀測。預期3.5年完成 PS1任務
- 有些資料會立即釋出，供全世界追蹤觀測；有些完全不會
- 台灣團隊結合國內天文與資訊學者，多方面參與計畫，包括科學課題、軟硬體建構等，與國際隊友既合作又競爭。
- 希望結合各級教師與社會專家，以此為契機，開發出天文與太空教材。

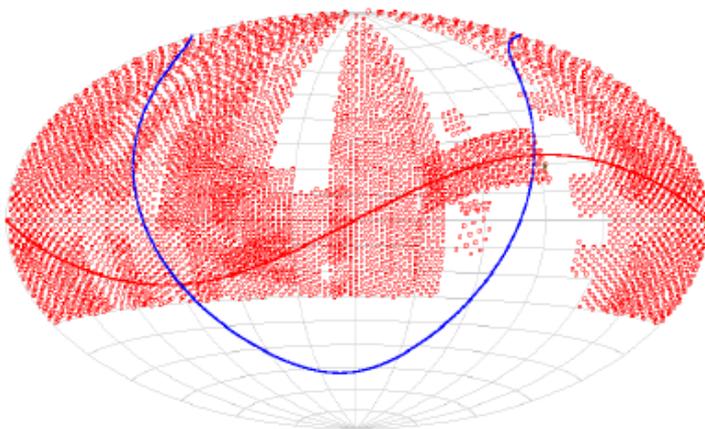
g



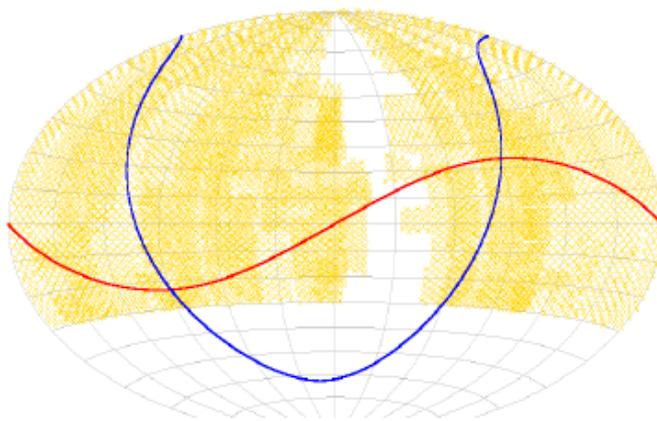
z



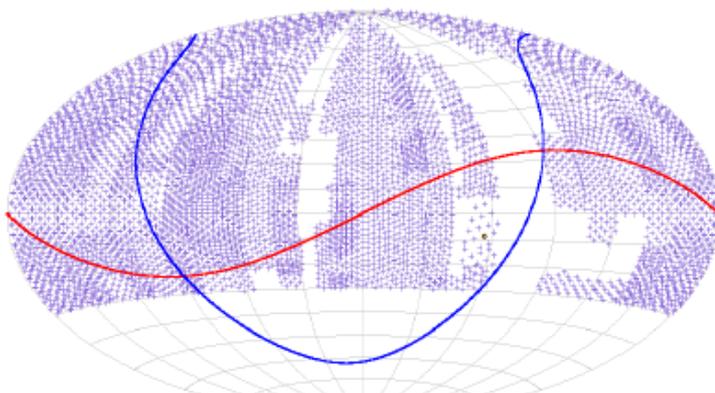
r



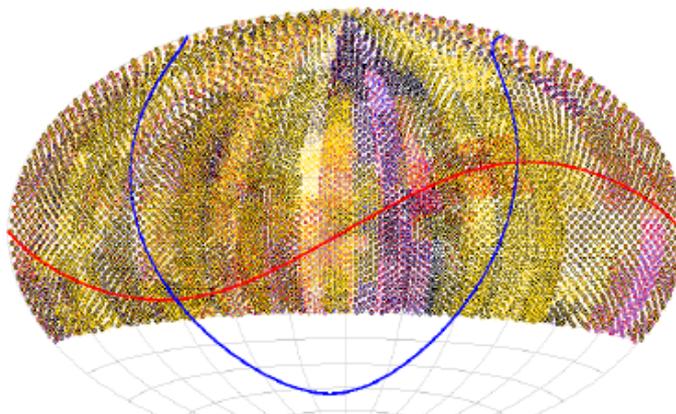
y



i



all



PS1 Sky Coverage as of 01Dec, 2010

泛星計畫發現第一顆對地球具威脅的殺手小行星

彗星撞地球 2098恐上演



更新日期: 2010/09/27 20:19

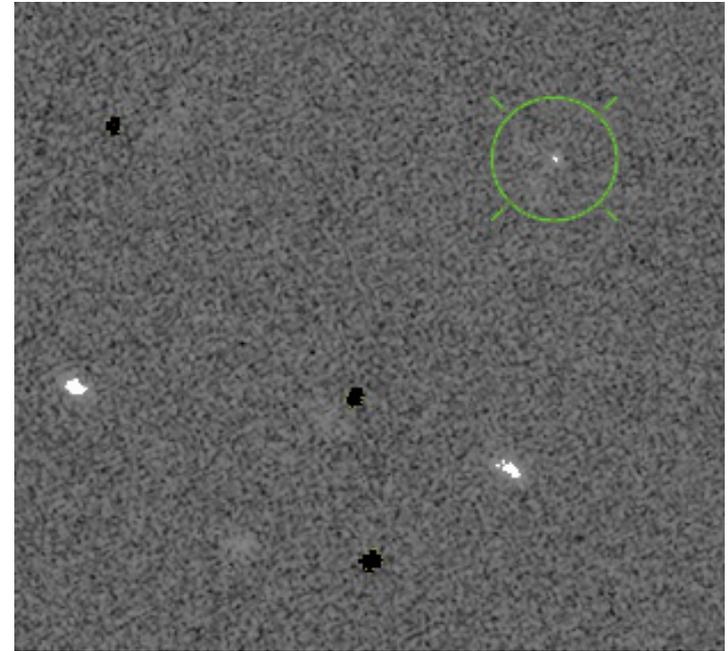
(中央社記者許秩維台北27日電)由中央大學天文研究所等單位參與的國際泛星計畫，發現1顆直徑約50公尺、名為2010ST3的小行星就在地球附近，它的軌道有可能在2098年撞擊地球。

中央大學天文研究所教授陳文屏今天表示，這是泛星計畫發現的第1顆對地球具潛在威脅的小行星，也為地球清除危險天體的任務邁進一大步，台灣團隊在這個國際計畫中做出貢獻。

據中央大學提供的資料，泛星望遠鏡在16日拍攝的影像中，發現1顆軌道與地球接近的小行星，雖然直徑只有50公尺，但發現時距地球僅約3200萬公里。

陳文屏引述同為泛星計畫的夏威夷大學博士傑地基(Dr.Robert Jedicke)表示，2010ST3將有很微小的機會，在2098年撞擊到地球，所以非常需要監測。

據泛星計畫研究團隊分析，像2010ST3這樣的小行星通常在進入地球大氣層時會粉碎，但是爆炸震波仍可以摧毀幾百平方公里的區域。雖然大部分體積比較大的潛在危險小行星都已被編表，但科學家相信，仍有為數眾多直徑小於1、2公里的小行星，仍沒被發現，它們撞擊地球的頻率，大概幾千前就有一次

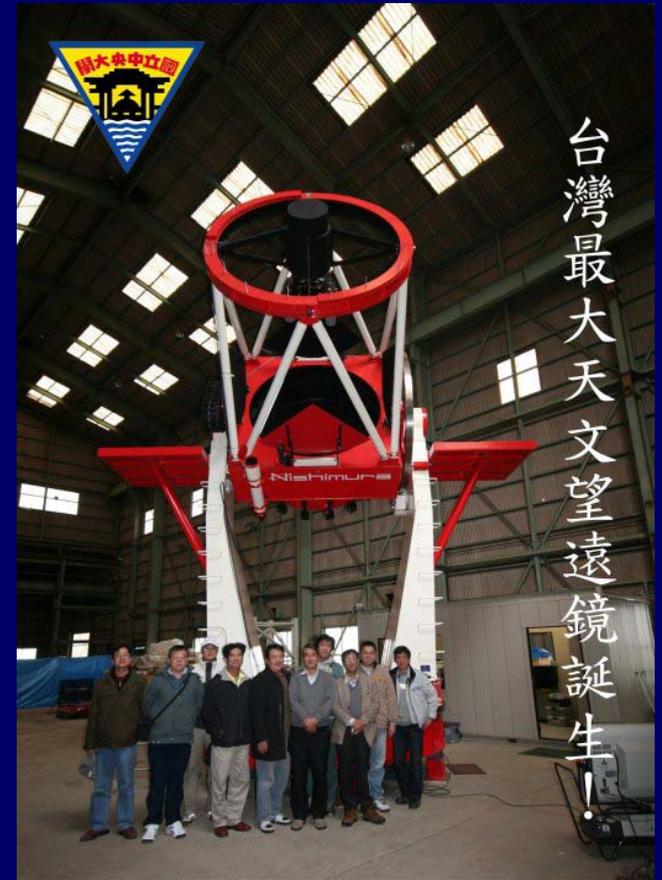


臺灣團隊參與的科學課題

- 內太陽系（近地小行星、小行星）
- 外太陽系（科伊伯帶天體、特洛伊小行星）、未知行星
- 銀河系低質量天體（棕矮星）、未知星團
- X射線雙星系統、超新星
- 加碼射線爆發源
- 碰撞星系與星系團
- 類星體重重力透鏡
- 新穎的資訊工程技術

鹿林兩米望遠鏡

- ◆ 泛星計畫會發現極多可疑事件，鹿林兩米望遠鏡將在第一時間進行追蹤觀測
to secure the discoveries
- ◆ 配備最先進且具特色的偵測儀器，將成爲國際上極具競爭力的兩米望遠鏡
- ◆ 望遠鏡已完成
- ◆ 天文台建築仍待環境評估



台灣最大天文望遠鏡誕生！

2010/03

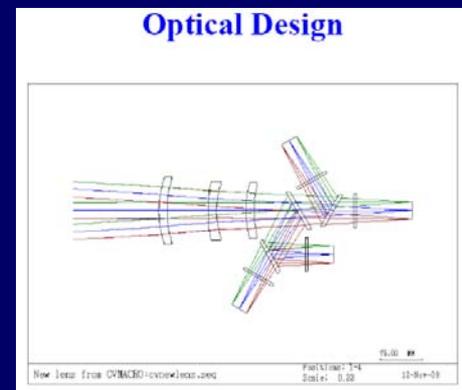
兩米望遠鏡第一代儀器

2008~10

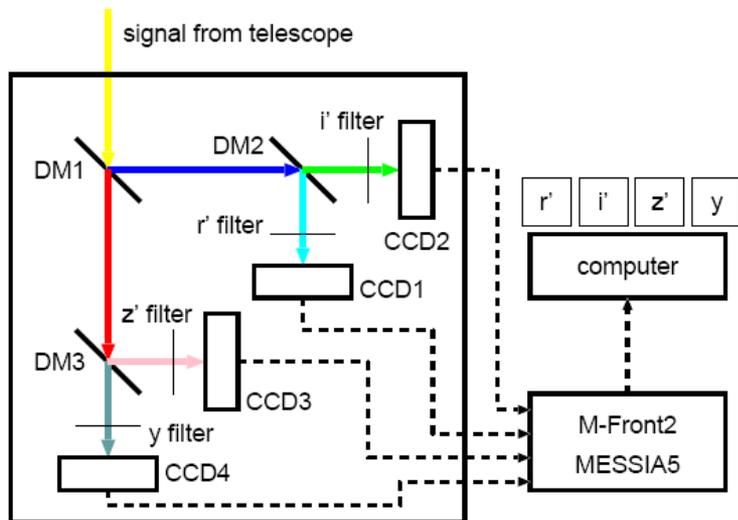
● 四色同步相機

✓ r, i, z, y 波段

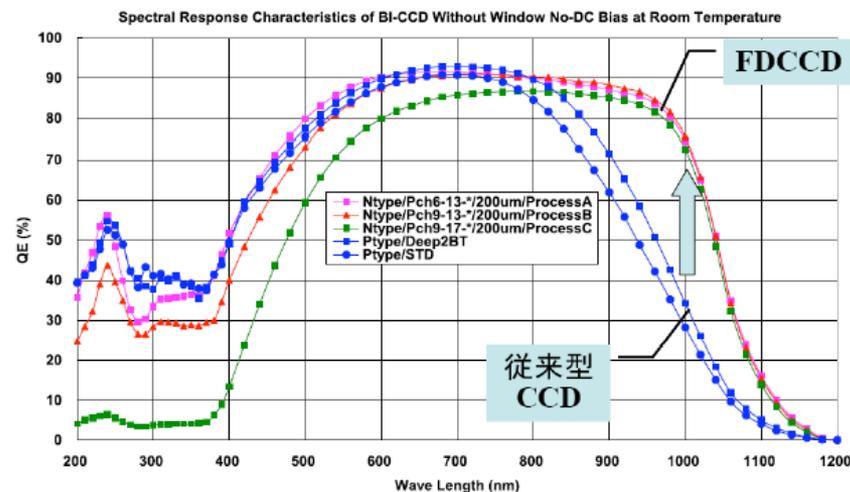
同步觀測克服鹿林天氣多變的狀況
最長波段達1微米（近紅外）



Conceptual Design of the Instrument

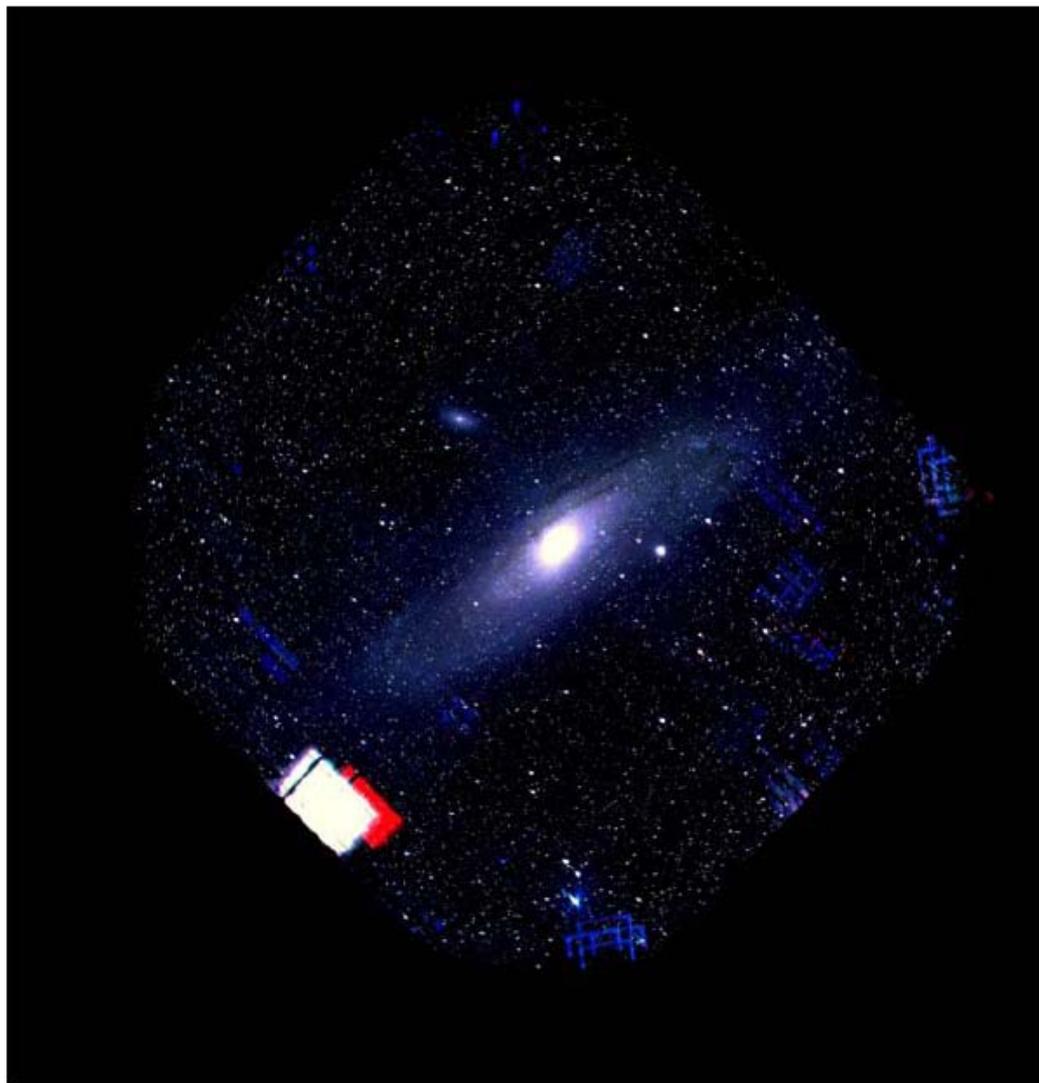


Fully depleted CCD



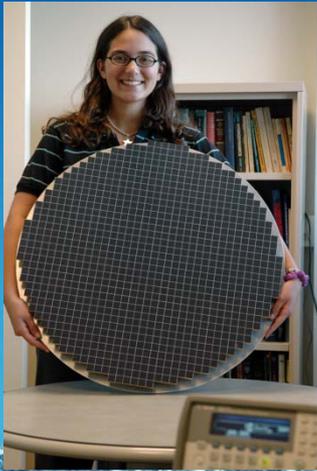
結合廣視野與高解析度觀測，研究時變宇宙

M31: full GPC1 FOV and a zoomed portion of the FOV

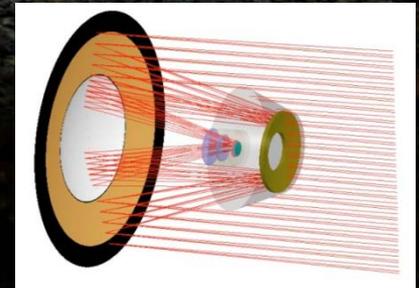


M31 與月球相對尺度示意圖

Large Synoptic Survey Telescope (LSST)



The LSST is a proposed ground-based **8.4-meter, 10 square-degree-field** telescope that will provide digital imaging of faint astronomical objects across the entire sky, night after night. In a relentless campaign of 15 second exposures, LSST will cover the available sky every three nights, opening a movie-like window on objects that change or move on rapid timescales: exploding supernovae, potentially hazardous near-Earth asteroids, and distant Kuiper Belt Objects. The superb images from the LSST will also be used to trace billions of remote galaxies and measure the distortions in their shapes produced by lumps of Dark Matter, providing multiple tests of the mysterious Dark Energy.



結論

- ◆ 研究天體時變現象的時代已經來臨
- ◆ 科學家不斷挑戰工程與技術極限
望遠鏡/偵測器 → 更大、更多、更快、更...
- ◆ 規劃研究計畫很重要，一開始就要想好資料要怎麼處理、分析、儲存、分配... 才開始設計實驗 (*\$1 硬體, \$1 軟體, \$1 資料庫*)
- ◆ 科學家不斷挑戰自己的極限，面對從來沒有過的困難，這才有趣！
- ◆ 結合不同專長滋養科學種子