

2021福爾摩沙衛星七號(與三號)研習營-低層大氣與高層太空天氣的探索

# 太空天氣與福衛掩星觀測

**李奕德博士**

itlee@cwb.gov.tw, 02-23491394

研究員

交通部中央氣象局氣象資訊中心太空天氣作業辦公室

專案助理研究員

國立中央大學地科前瞻應用研究中心

# 課程大綱

壹

什麼是太空天氣

貳

福衛電離層掩星觀測

參

福衛觀測太空天氣應用

肆

臺灣太空天氣發展現況

伍

討論與提問



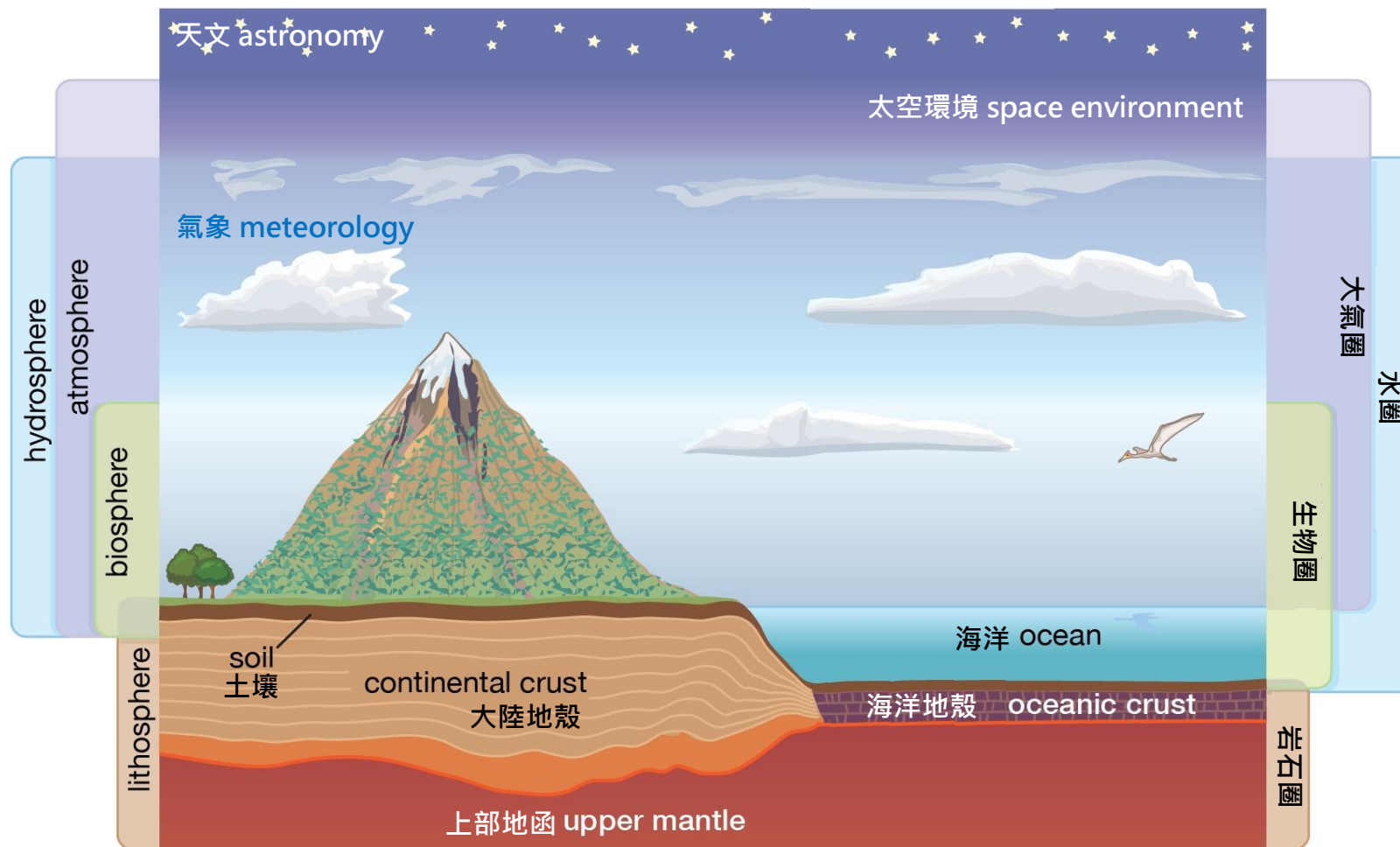
# 什麼是太空天氣

太空環境在哪裡？太空天氣的種類？有哪些影響？

# 氣象、大氣、太空、天文有甚麼不同

不管怎麼劃分，其實彼此之間都有著相互的作用和影響

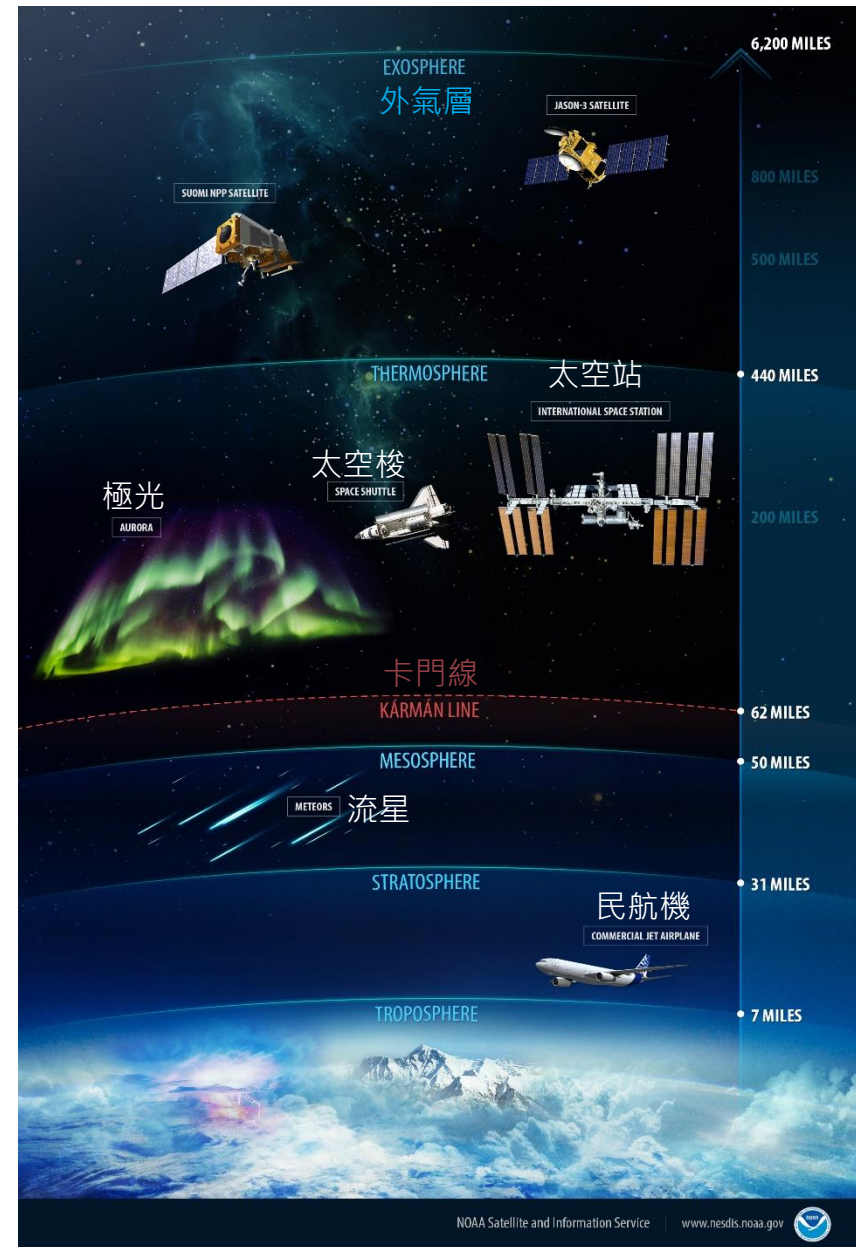
## Earth's environmental sphere



- 對地球大氣的而言，密度隨著高度上升會呈現指數減少，且約99%的空氣集中在30公里以下，但卻不會有個完全沒有空氣的地方。
- 根據國際航空聯合會的定義，太空環境是指距離地表100公里以上的範圍，而科學上則認為自此高度延伸至人造太空飛行器所能到達的空間。
- 離開太陽系的範圍就稱之為星際空間。所以也能說太空飛行器不能到達的區域與天體的運行，就屬於天文的範疇。

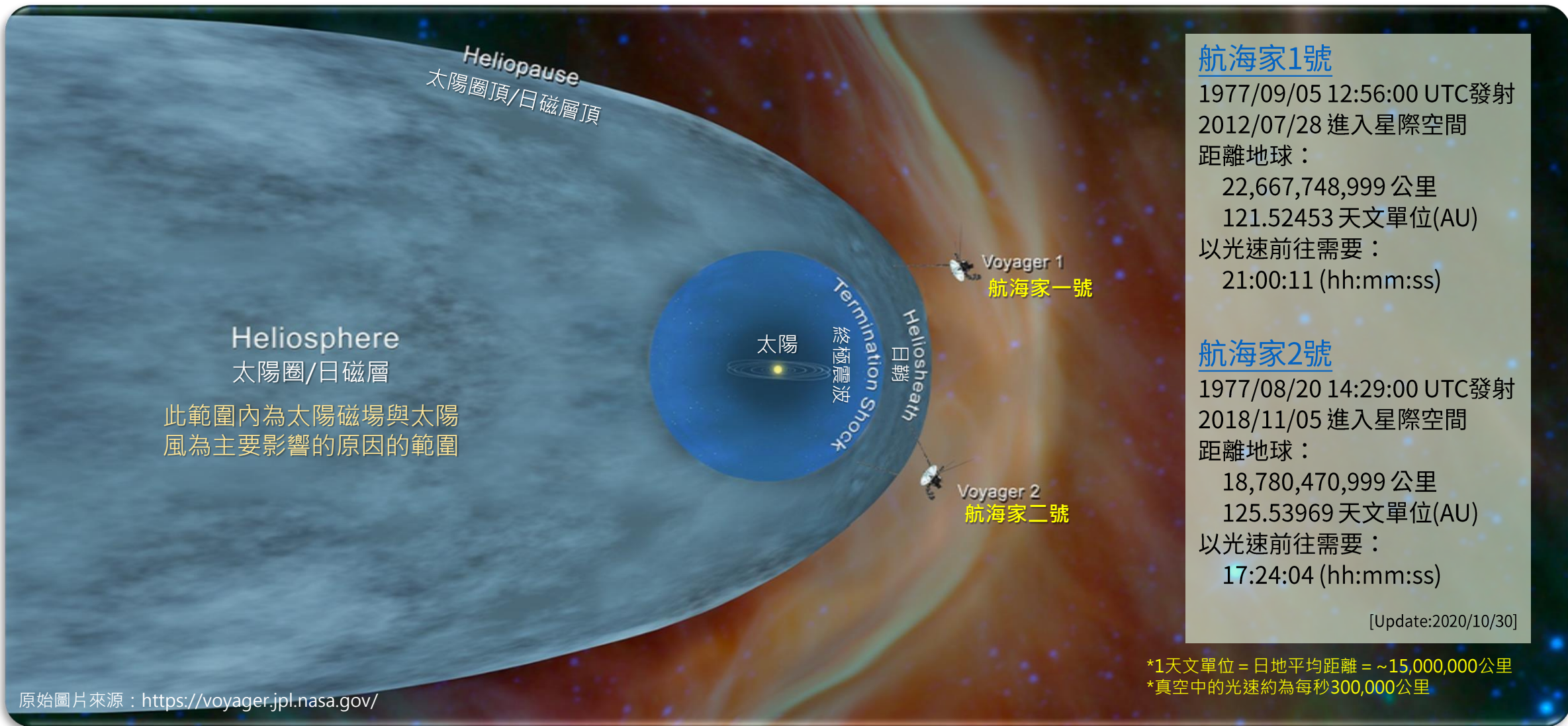
# 太空環境的分類

- ▶ 中高層大氣
  - ▶ 50-500公里
- ▶ 電離層
  - ▶ 電子濃度大到足以影響電波通訊的範圍，約50~22,000公里
- ▶ 磁層
  - ▶ 帶電粒子受地球磁場控制及影響的範圍，約2,000公里至200個地球半徑。
- ▶ 行星際空間
  - ▶ 主要受到太陽風影響的區域



# 目前人造太空飛行器最遠的距離

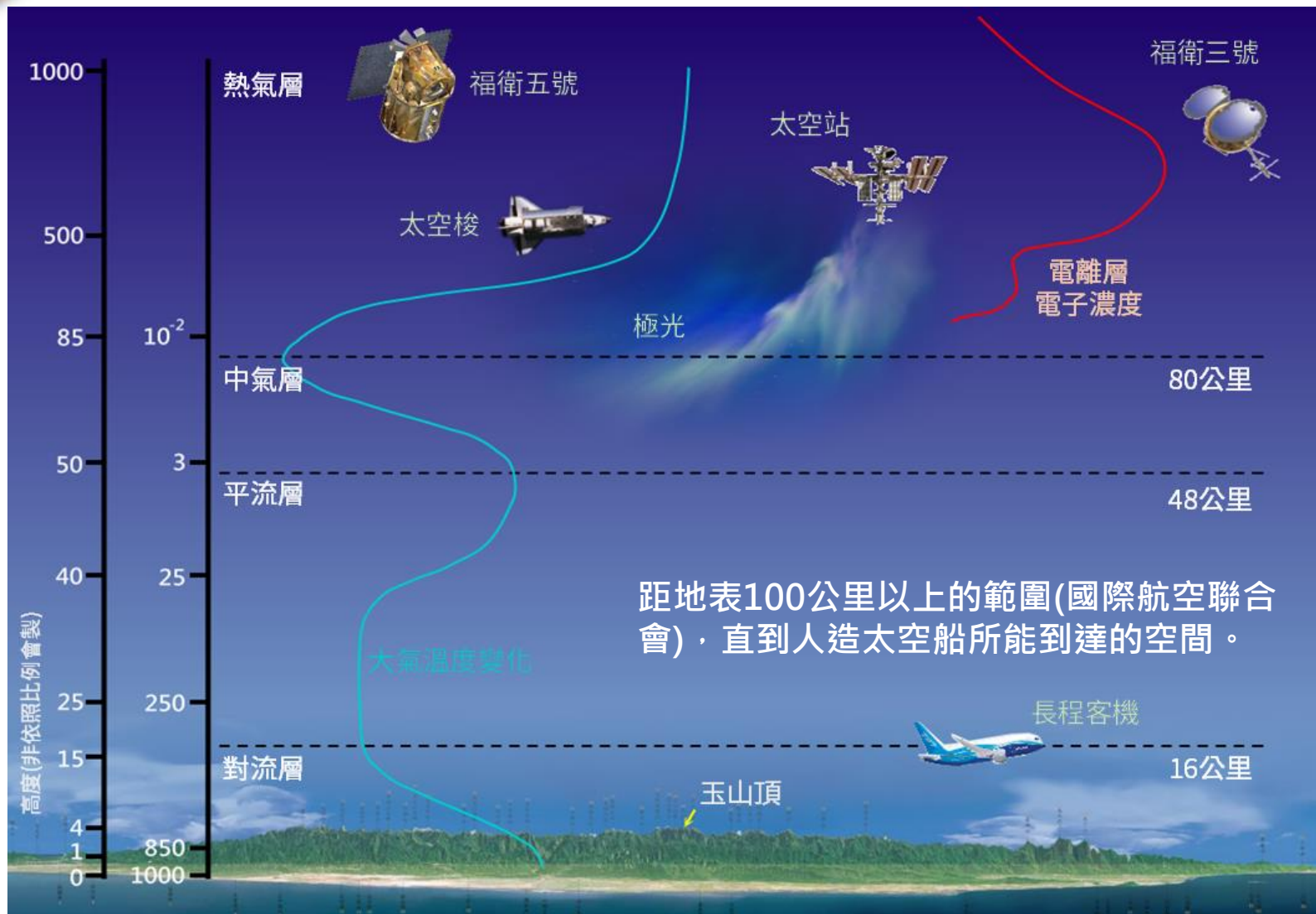
1977年發射的航海家一號與二號離開太陽系，持續締造紀錄



原始圖片來源：<https://voyager.jpl.nasa.gov/>

\*1天文單位 = 日地平均距離 = ~15,000,000公里  
\*真空中的光速約為每秒300,000公里

# 地球大氣、太空環境與太空天氣



- 在太空環境中，因為受到太陽活動與地球大氣作用，而讓各種參數有著隨時間的變化，包括性大氣與帶電粒子的密度變化、行星際磁場、太陽風與高能粒子變化。由於如同天氣現象，故稱為「太空天氣」。

- **日常天氣**

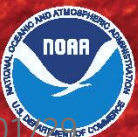
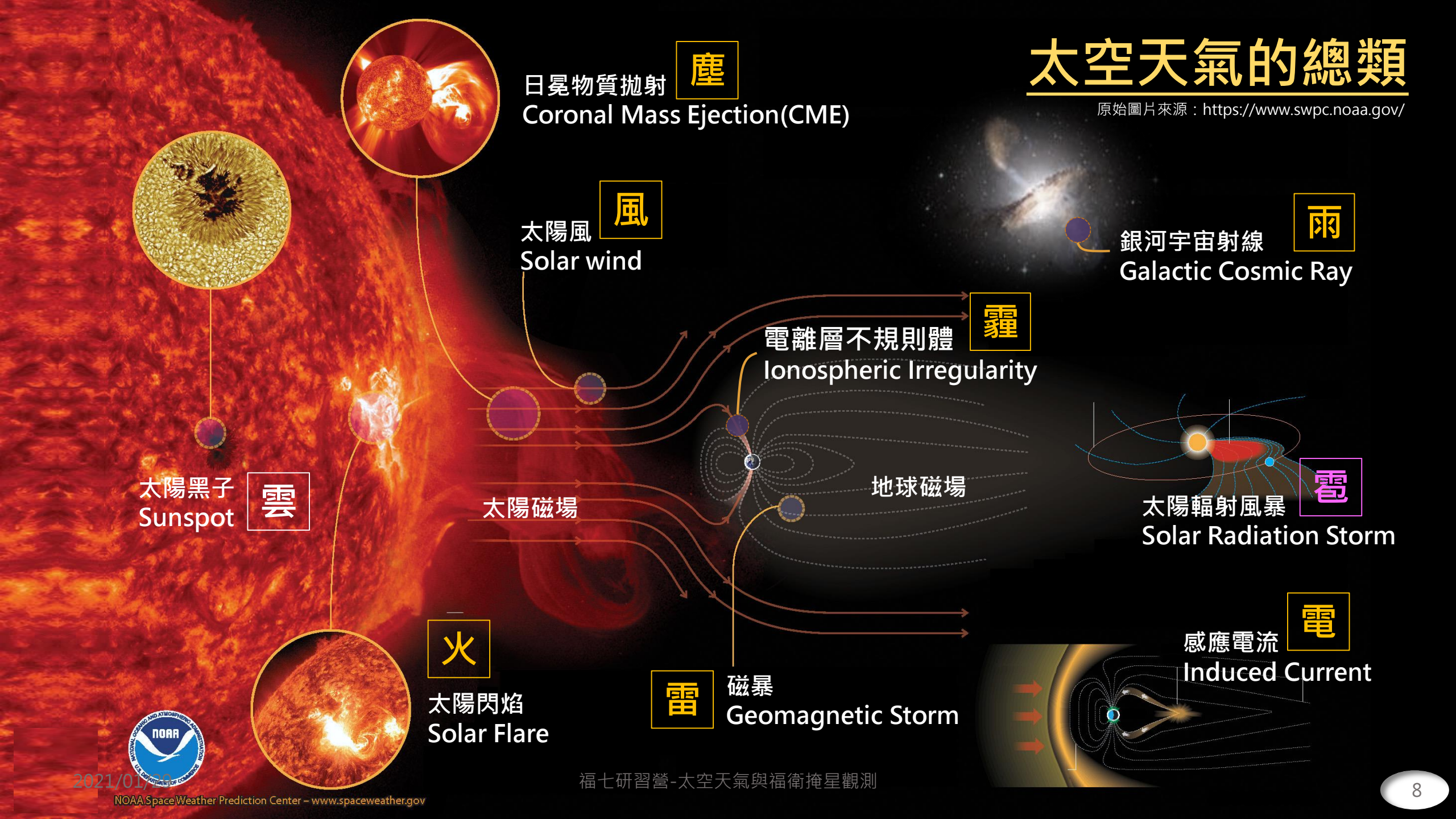
- 溫度、濕度、風向、風速、能見度...等

- **太空天氣**

- 電子濃度、太陽風速、高能粒子密度...等

# 太空天氣的總類

原始圖片來源：<https://www.swpc.noaa.gov/>



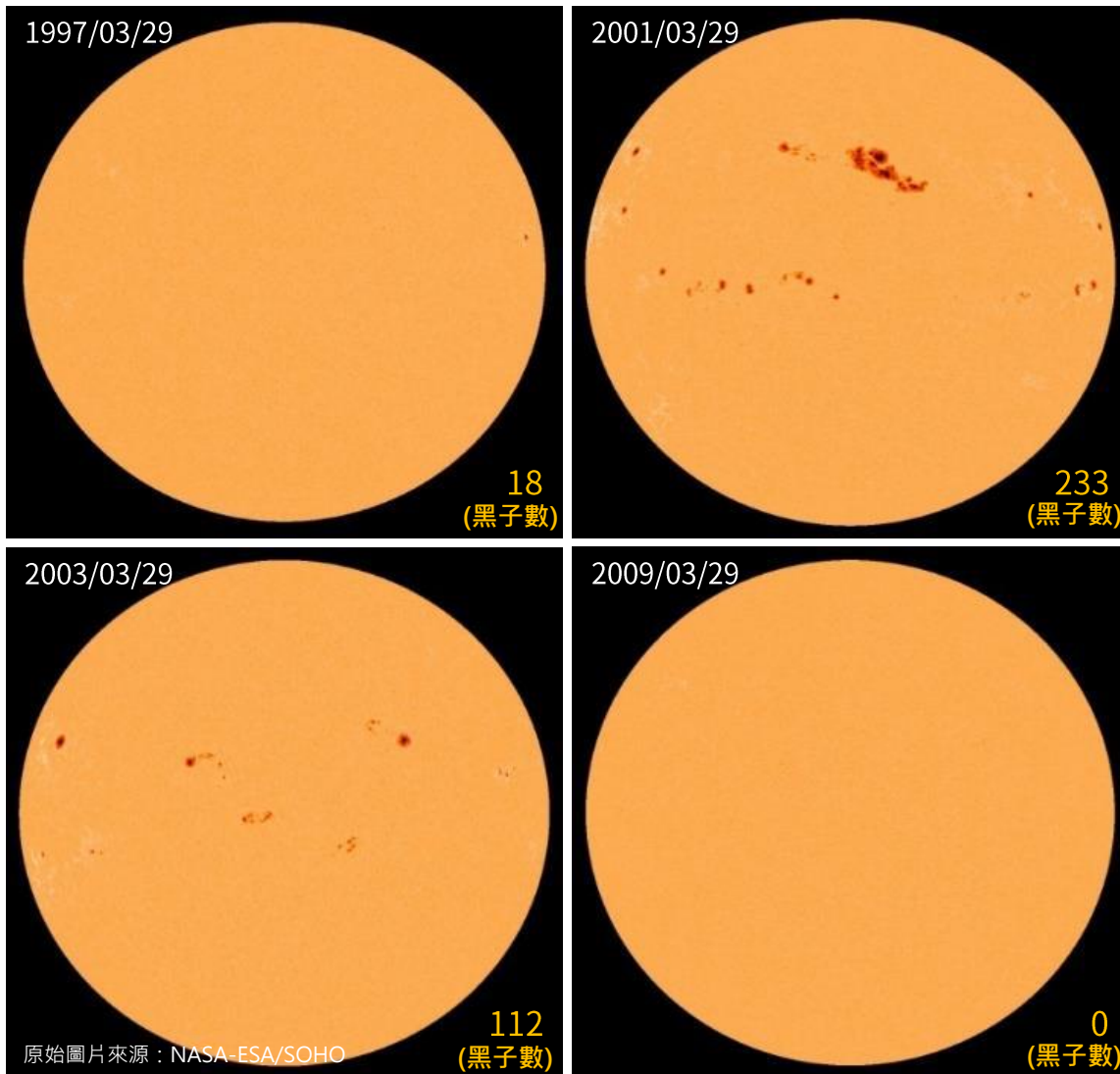
2021/01/10

NOAA Space Weather Prediction Center - [www.spaceweather.gov](http://www.spaceweather.gov)

福七研習營-太空天氣與福衛掩星觀測



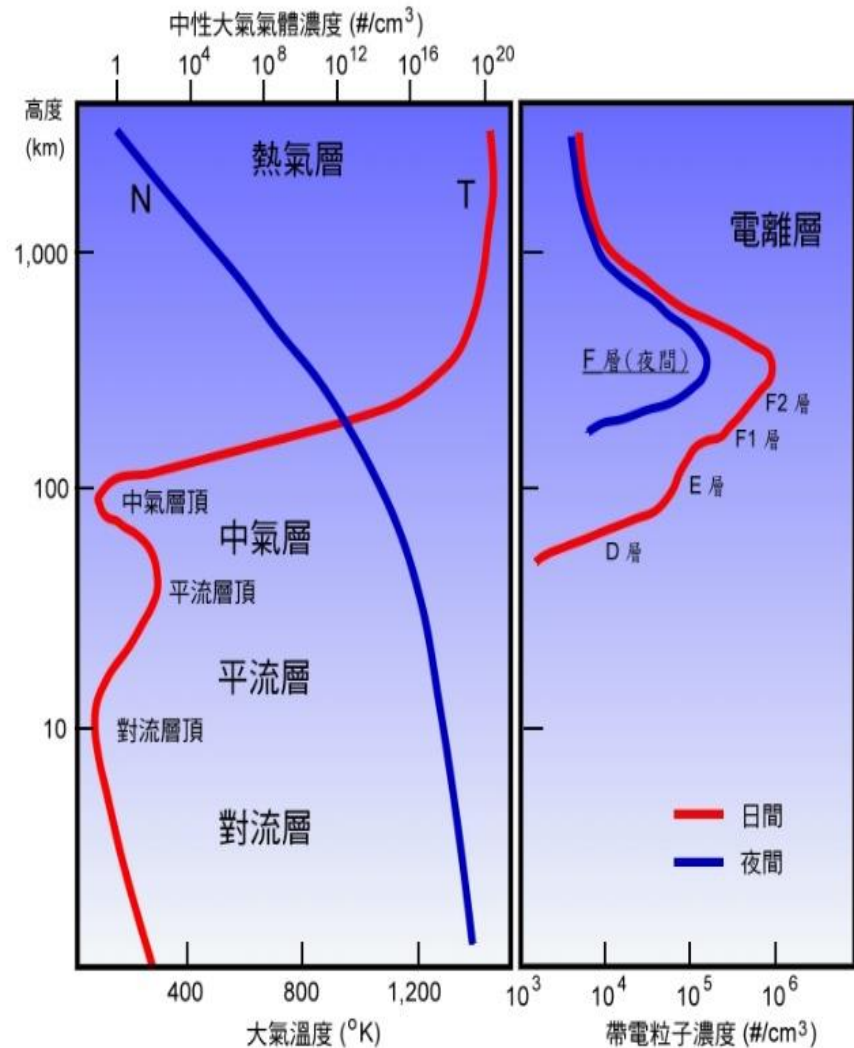
# 什麼是太陽黑子



- 太陽光球層上出現數量不定且大小不一的黑色斑點稱作「太陽黑子(Sunspot)」，結構包括深黑色區域的「本影」和周圍的淺色區域的「半影」，大小可以是地球的數倍到數十倍大。
- 太陽黑子是光球層中強磁、低溫的區域，也能用來標示太陽活動的週期變化。
- 太陽黑子的數量隨太陽活動有著11年的變化。

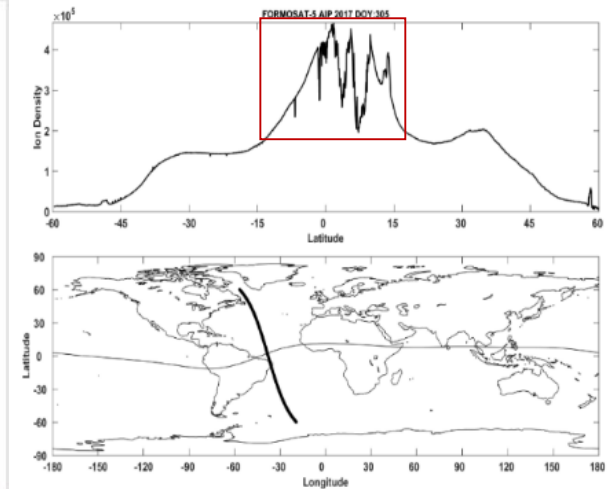
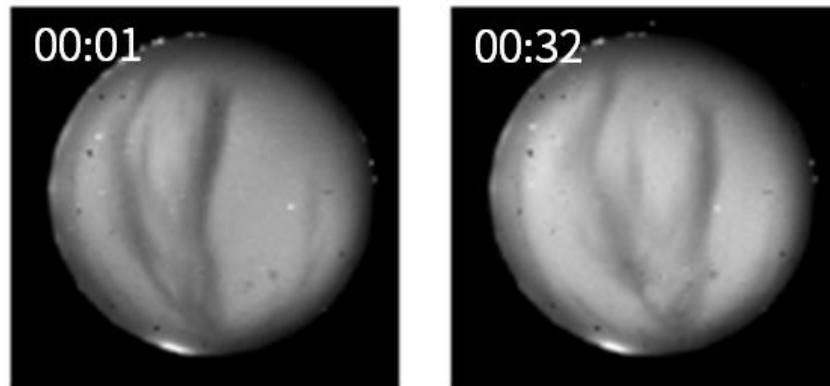


# 電離層與電離層不規則體



- 電離層是帶電(電漿)粒子濃度大到足以影響到電波通訊傳播的區域。
- 不規則體是指電離層中的帶電粒子分布出現不均勻的結構，出現高度在80到280公里之間，水平分布範圍可從幾千公里到數十公分。

2002/03/12 阿里山觀測實驗



# 太空天氣對於國內產業活動的影響

## 電波通訊、輸電網、衛星通訊和衛星定位

### ▶ 高頻通訊

- ▶ 氣象局漁業氣象廣播(SSB)、民航局中西太平洋通信網(CWP)、漁業署漁會漁業電台、中央廣播電台、中華電信海上安全及救難通信系統(GMDSS、電報服務)、業餘無線電使用者等。

### ▶ 衛星操控

- ▶ 國家太空中心福衛系列衛星、中華電信中新二號。

### ▶ 衛星通訊

- ▶ 衛星資料接收、傳播業者衛星訊號、衛星電話。

### ▶ 衛星定位

- ▶ 座標與導航偏差、搜救任務、自動駕駛。

### ▶ 經濟活動

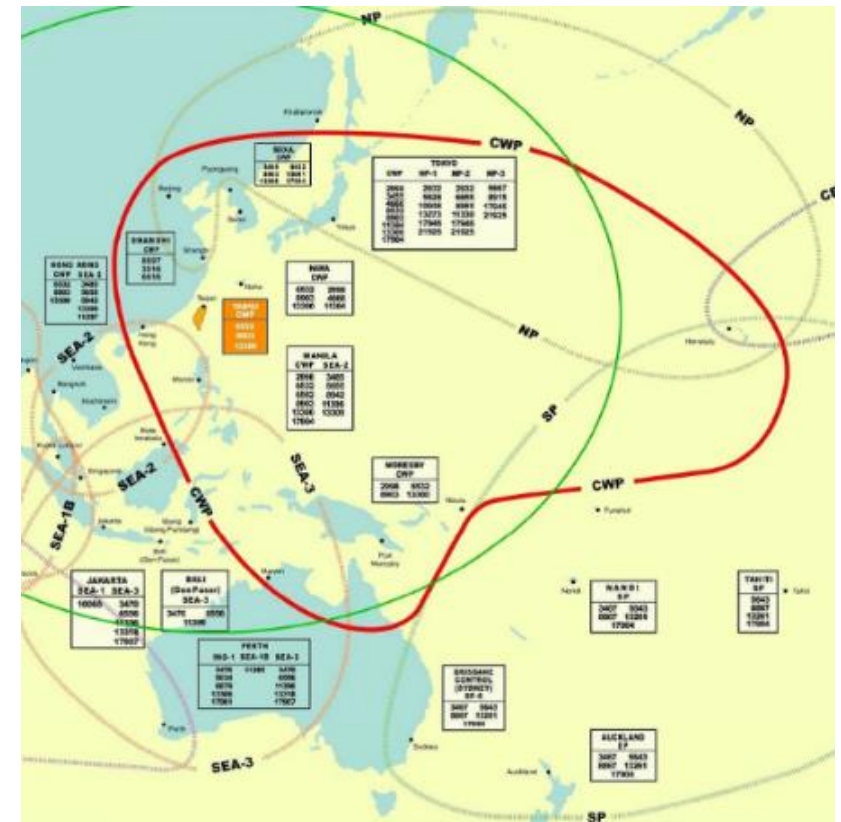
- ▶ 精確定時

### ▶ 高空輻射

- ▶ 航空公司、航空器元件製造商

### ▶ 電磁脈衝

- ▶ 各類設施電子元件與訊號傳輸元件



原始圖片來源：<https://www.anws.gov.tw/FlightService/Communication/Service.htm>



# 福衛電離層掩星觀測

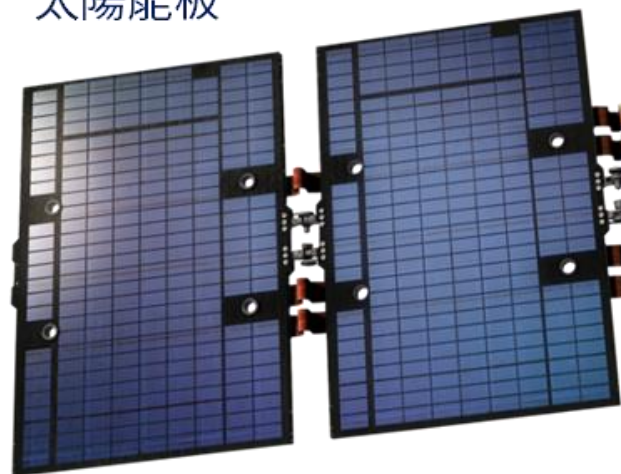
透過無線電波觀測重建全球三維電離層結構

福爾摩沙衛星1號 FORMOSAT-1	福爾摩沙衛2號 FORMOSAT-2	福爾摩沙衛星3號 FORMOSAT-3	福爾摩沙衛星5號 FORMOSAT-5	福爾摩沙衛星7號 FORMOSAT-7	獵風者號(TRITON) FORMOSAT-7R
					
科學任務	遙測與科學任務	氣象與科學任務	遙測與科學任務	氣象、太空天氣 與科學任務	氣象與科學任務
					
1999年01月27日 2004年06月17日	2004年05月20日 2016年08月20日	2006年04月15日 2020年05月01日	2017年08月25日 服役中	2019年06月25日 服役中	預計2021年 發射升空

# 福爾摩沙衛星七號

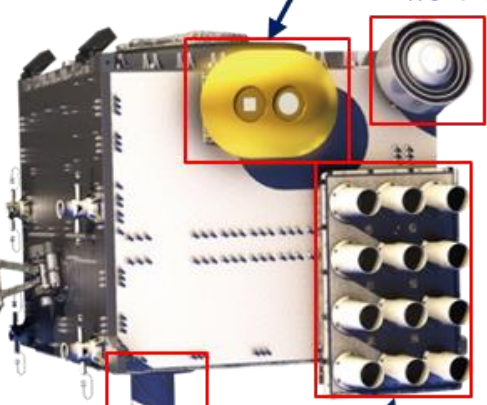


太陽能板



離子速度儀 (IVM)

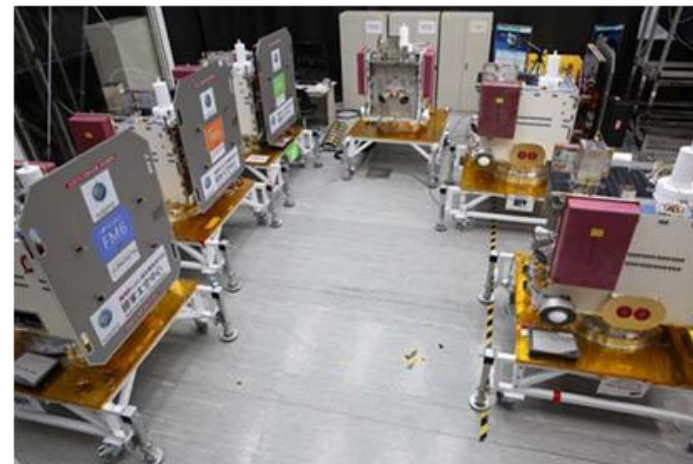
精準定位天線



掩星天線

無線電訊號標 (RFB)

全球導航衛星系統訊號接收機 (TGRS)



衛星位在整測廠房中

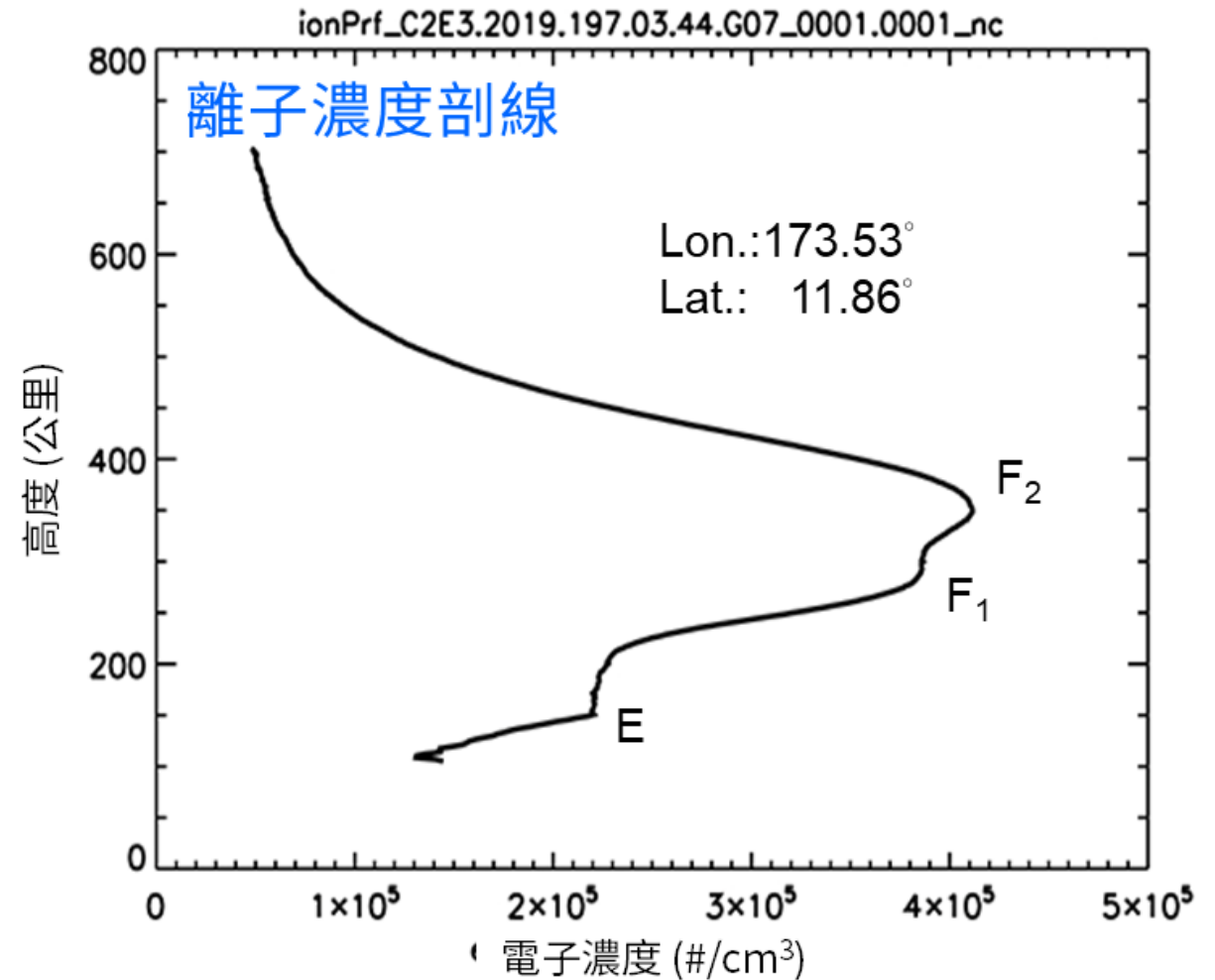
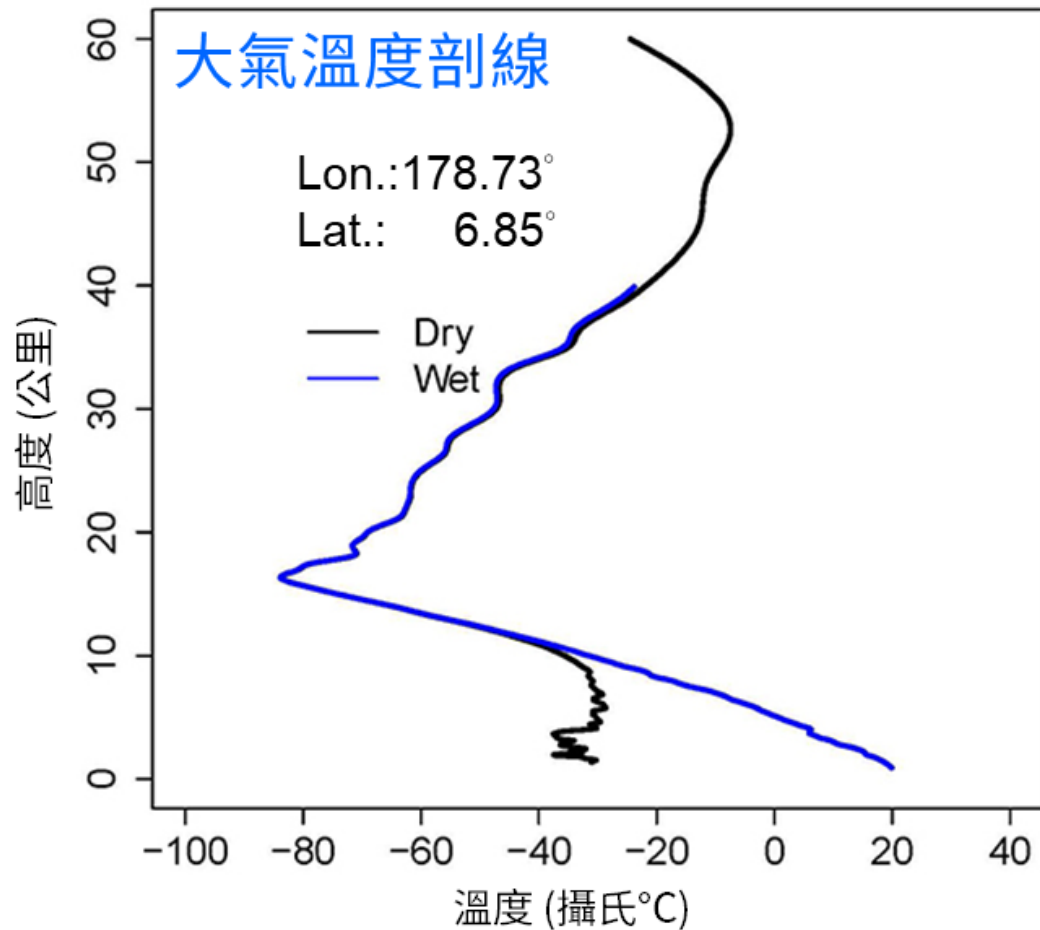


火箭發射與回收軌跡

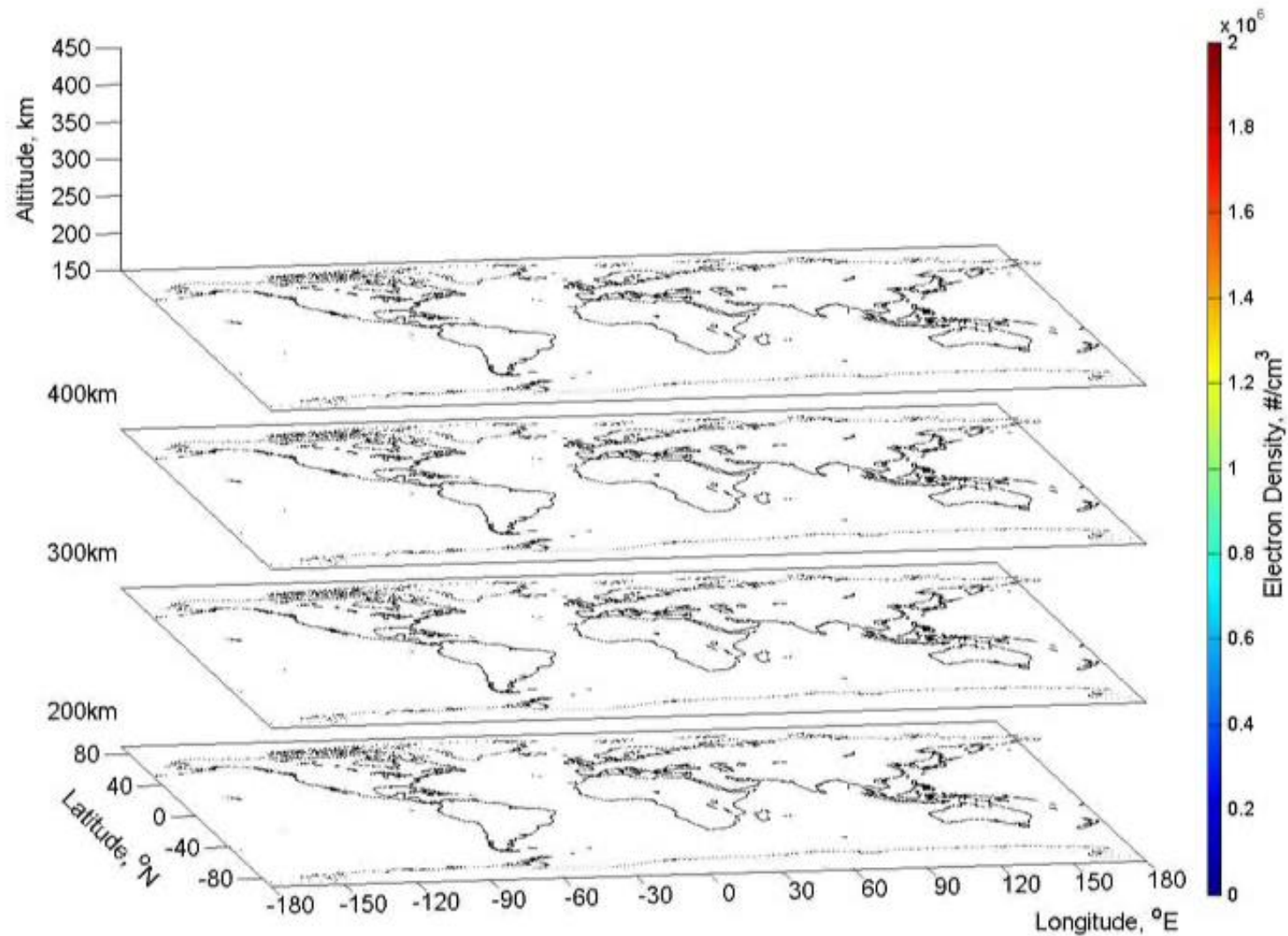
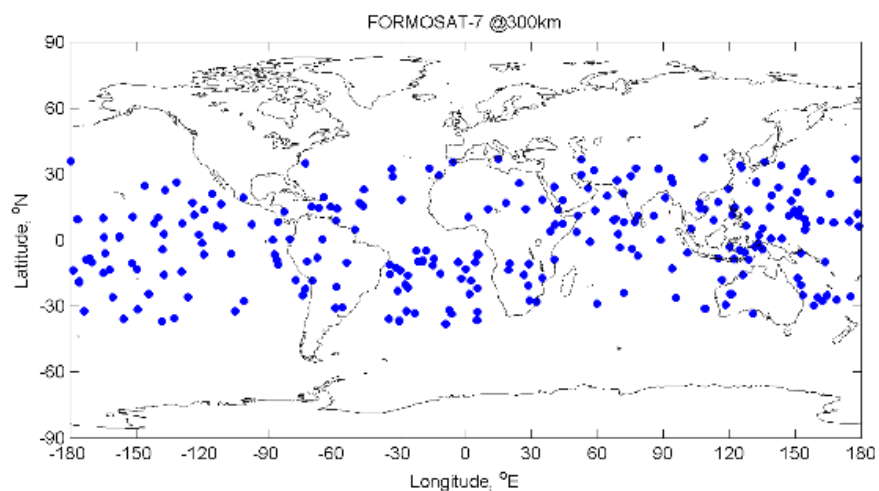
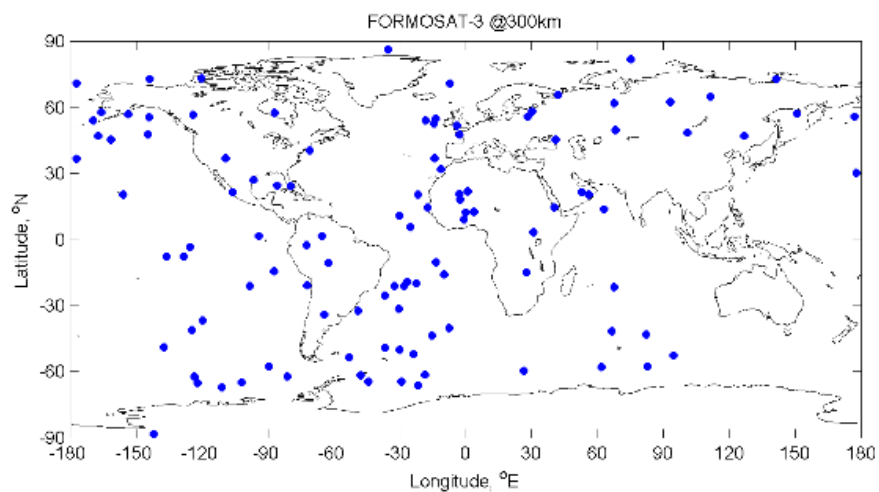
# 電離層觀測資料有何不同

福衛七號 第一筆 觀測 (2019/07/16)

atmPrf\_C2E3.2019.197.03.44.G07\_0001.0001\_nc

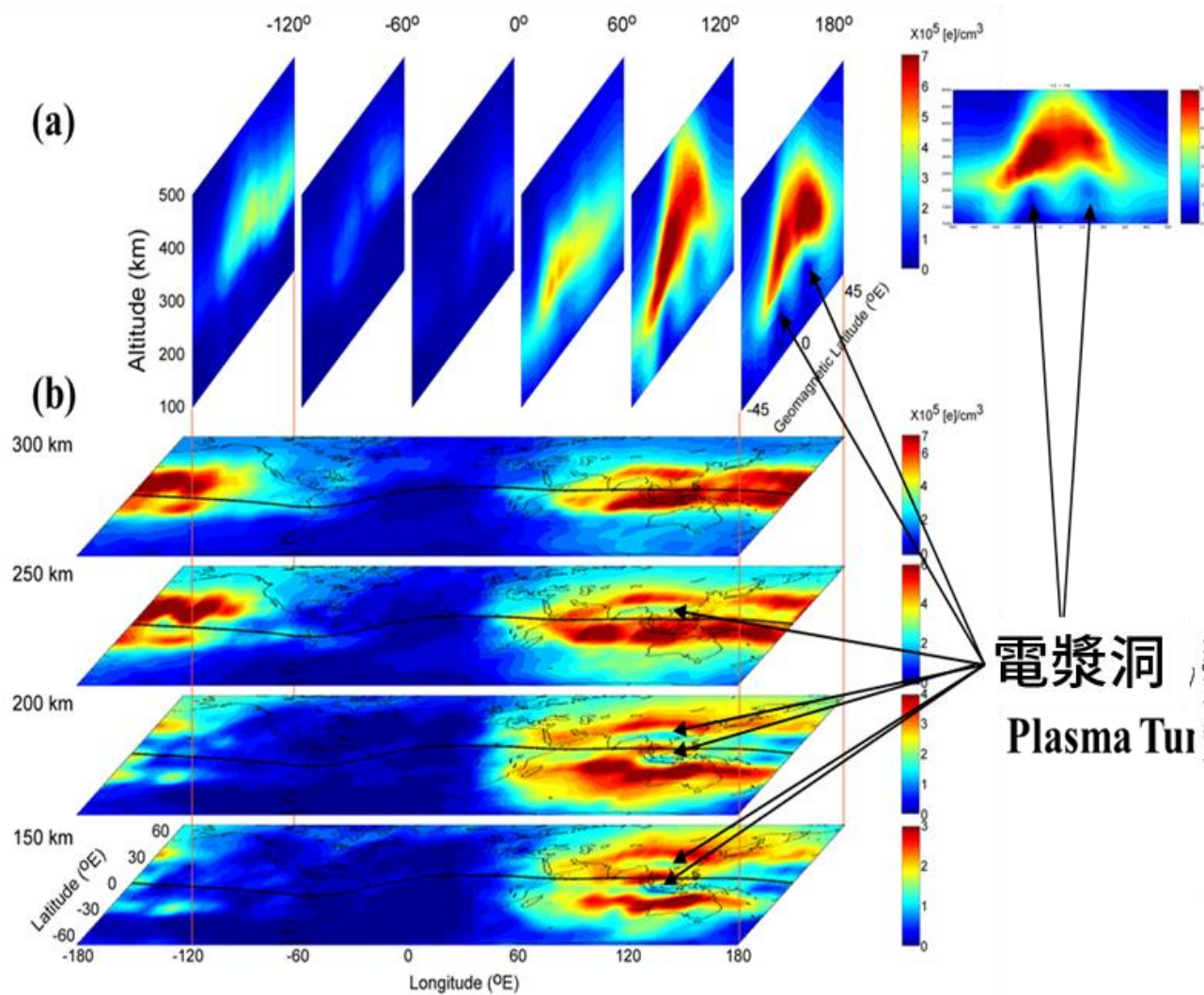


# 提供更即時更密集之三維資訊

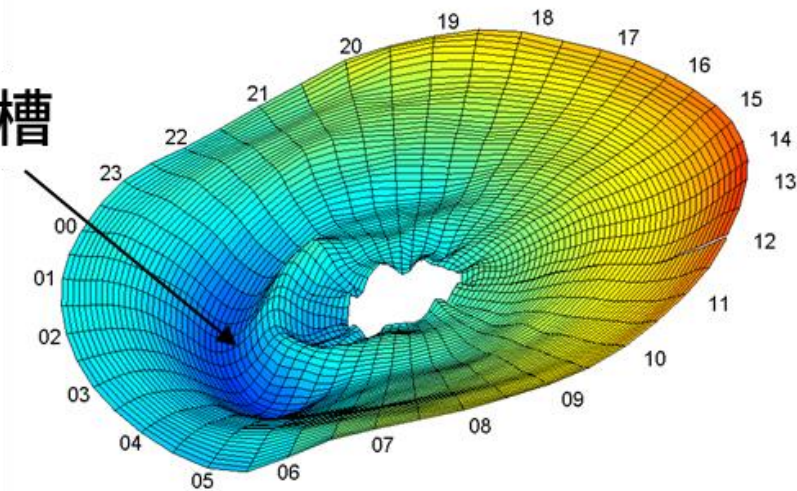




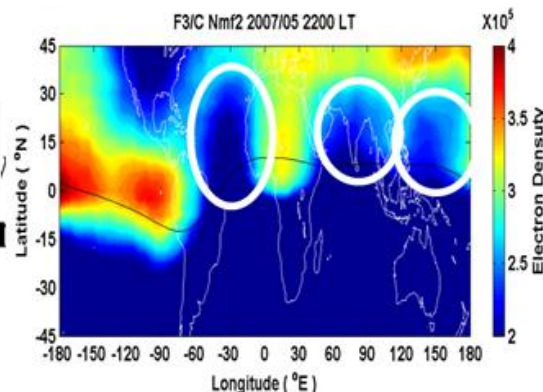
# 透過掩星觀測發現電離層結構特徵



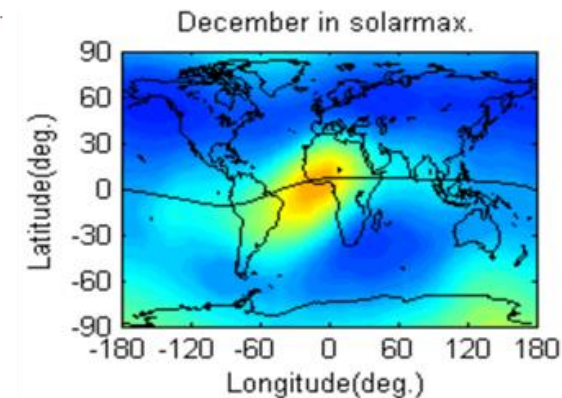
中緯度槽



電漿洞  
Plasma Tui



電漿灣



電離層閃爍指數



# 福衛觀測太空天氣應用

觀測資料、預報資訊、增值產品、科學研究

# 應用成果



- 電離層濃度剖線與高階產品
- 全球全電子含量圖
- 電離層天氣監測
  - 掩星觀測與地面GNSS觀測重建三維電子濃度結構
- 電離層閃爍指數經驗模式
  - 福衛三號長期觀測與轉換所建立的經驗模式
- 電離層資料同化系統
  - 利用NCAR TIE-GCM同化掩星觀測與地面GNSS-TEC



太空中心



中央大學



成功大學



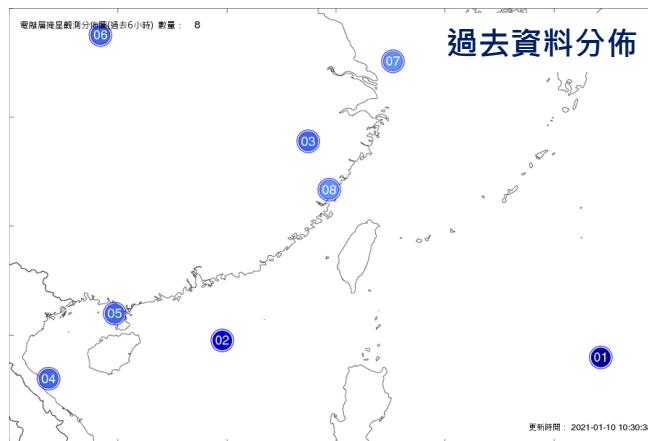
清華大學

# 電子濃度剖線(面)與高階全球產品

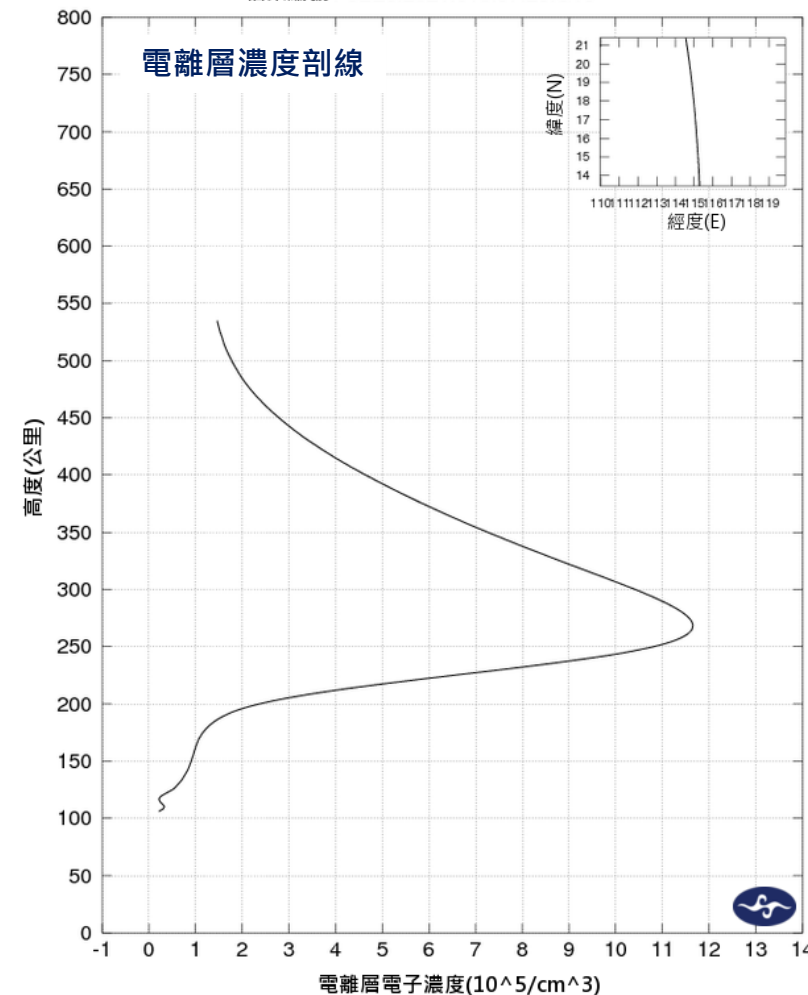


## ✓ 電離層電子濃度剖線(profile)

- 最近 6 小時臺灣附近的觀測資料
- 電子濃度隨高度的變化



檔案編號: C2E5.2021.010.07.28.G18

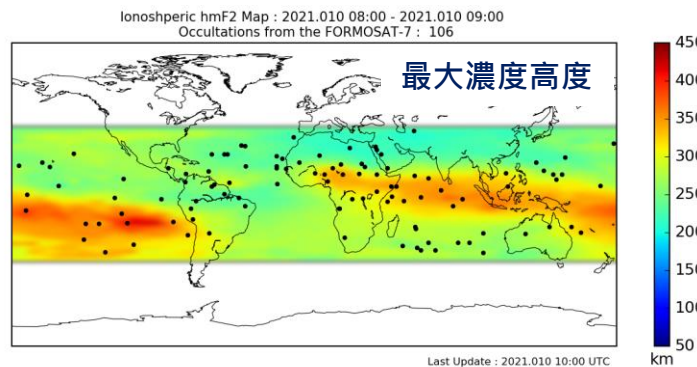
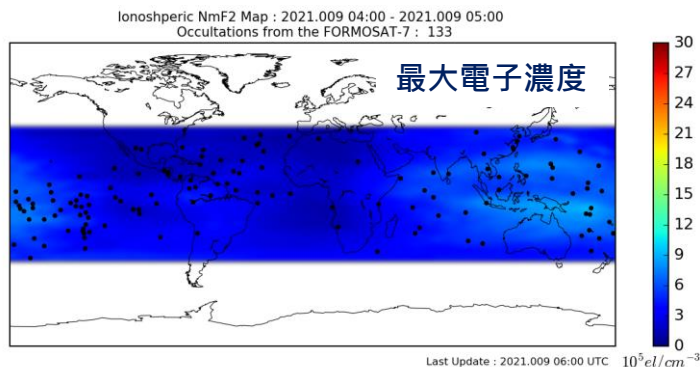


## ✓ 全球平滑內差分布圖

- 電離層 F 層最大電子濃度
- 電離層 F 層最大濃度高度

## ✓ 每小時更新產品並於網站公布

- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Observation/LatestRO.html>
- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Observation/GlobalRO.html>



# 強化全球全電子含量圖(TWRG)



## ✓ 使用觀測資料

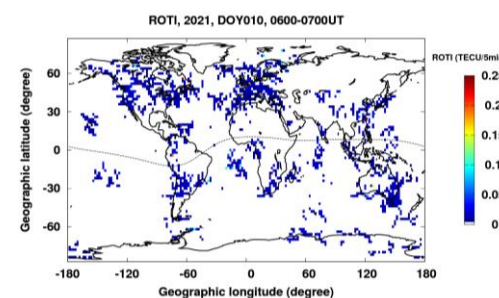
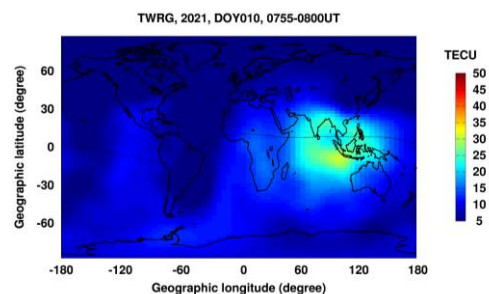
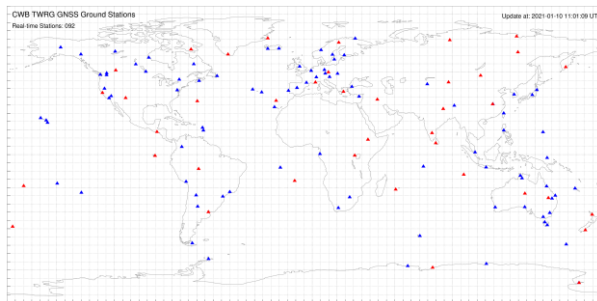
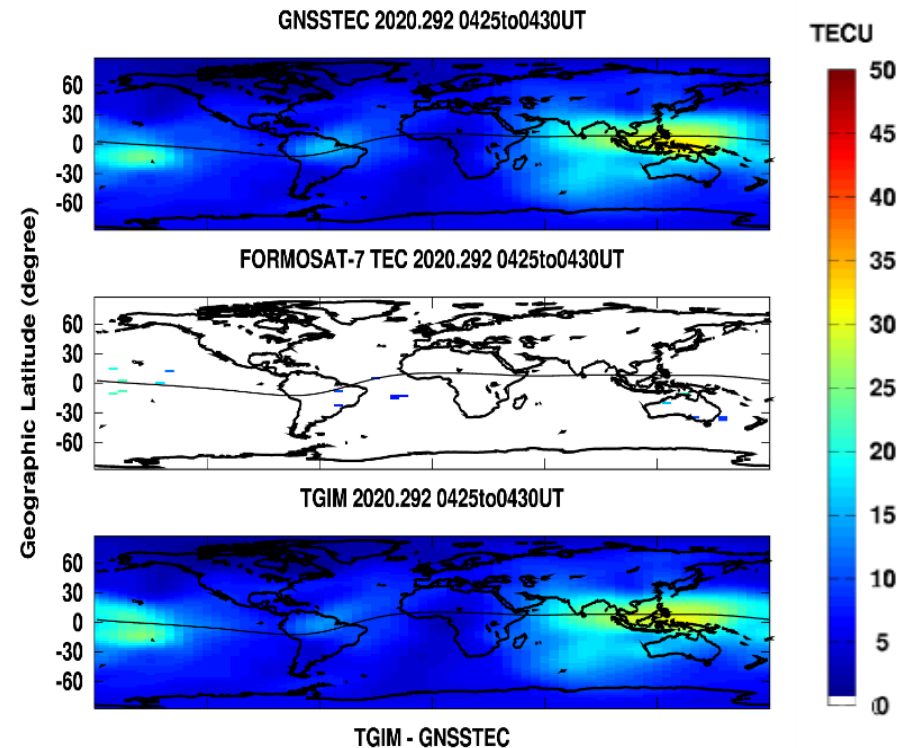
- 全球IGS即時地面站(約110站)
- 福衛七號積分全電子含量(由濃度剖線積分)
- 福衛七號絕對全電子含量(衛星天頂觀測量)

## ✓ 產品特性

- 利用球型諧和函數進行平滑調整
- 空間解析度5度x2.5度，時間間隔為5分鐘。
- TEC變化率指數(ROTI)空間解析度為2度，間隔1小時。

## ✓ 每小時更新產品並於網站公布

- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Observation/lonoTECmap.html>



# 電離層天氣監測(GIS)

## ✓ 使用資料

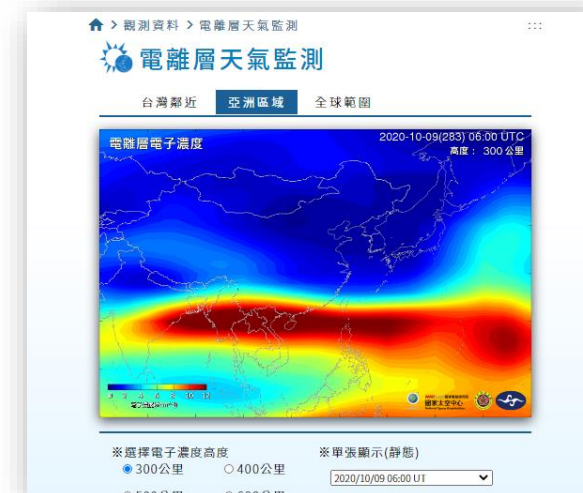
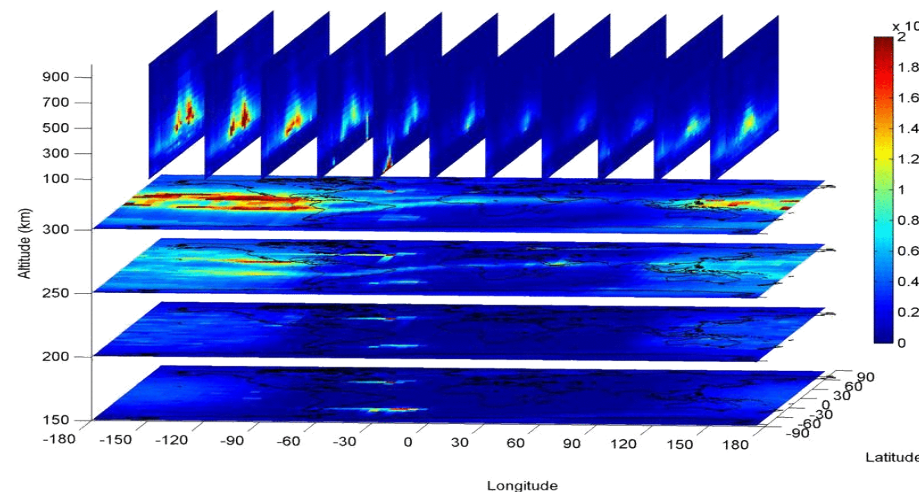
- 全球地面GNSS接收站(約1400站)
- 福衛七號電離層掩星觀測(ionPhs, ionPrf)
- 利用電離層模式(IRI-2006)提供背景場

## ✓ 產品特性

- 利用卡曼濾波器結合模式與觀測資料提供全球電子濃度
- 空間解析度5度x2.5度，高度間隔為20公里
- 時間間隔1小時
- 為了蒐集更完整的觀測資料需要延遲2日

## ✓ 每日更新產品並於網站公布

- 提供3種空間範圍分布於4個預設高度
- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Observation/IonoMonitor.html>



# 電離層閃爍指數經驗模式



## ✓ 模式所需數據

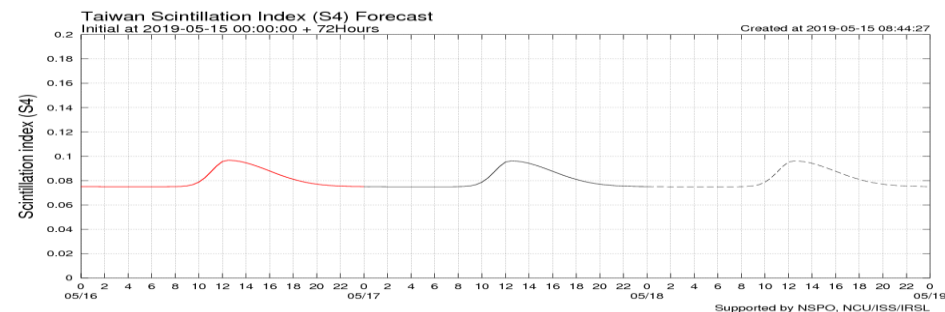
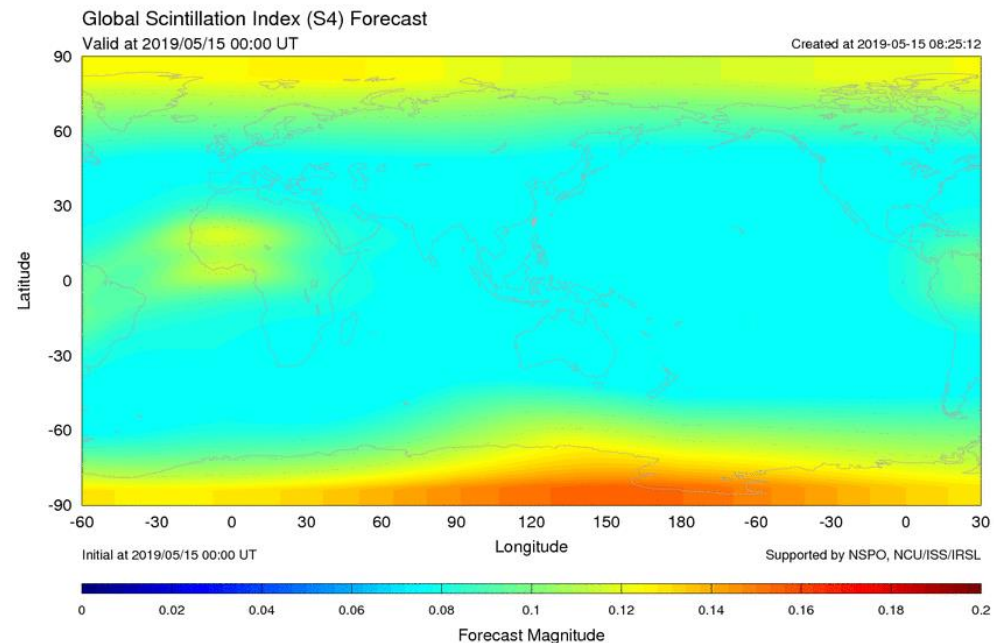
- 世界標準時間為準之日期與時間
- 太陽10.7公分(2800MHz)輻射指數(f10.7)

## ✓ 模式輸出產品

- 全球電離層閃爍指數強度
- 特定強度值的發生率
- 特定地點閃爍指數逐時強度變化
- 時間間隔1小時

## ✓ 每日更新產品並於網站公布

- 2種範圍、3種等級發生率
- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Forecast/Scintillation.html>



# 電離層數值模式與資料同化系統



## ✓ 模式所需資料與參數

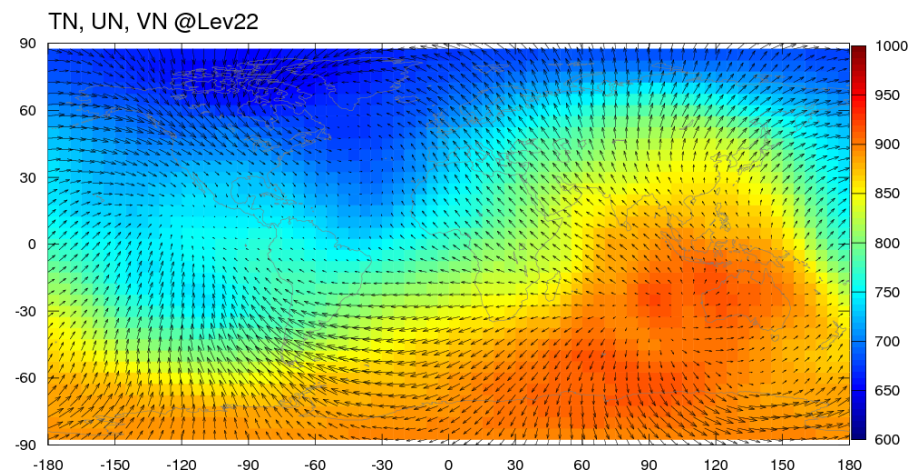
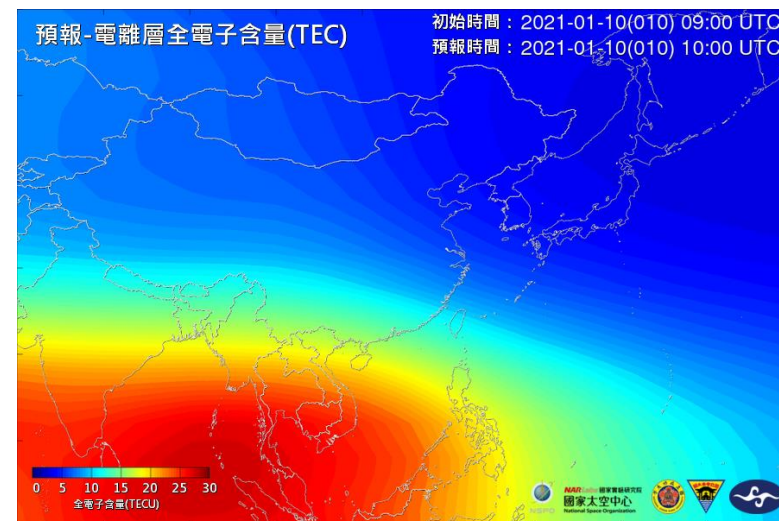
- 使用數值電離層模式(NCAR TIE-GCM)進行預報運算
- 太陽10.7公分(2800MHz)輻射指數(f10.7)
- 地磁擾動指數(Kp index)
- 全球IGS即時地面GNSS接收站TEC(約110站)
- 福衛七號電離層掩星觀測電子濃度(ionPrf)

## ✓ 模式輸出產品

- 利用系集卡曼濾波器結合模式與觀測資料提供全球電子濃度
- 空間解析度5度x5度，高度間隔不定(與氣壓有關)
- 預報未來3小時，時間間隔1小時

## ✓ 每小時更新產品並於網站公布

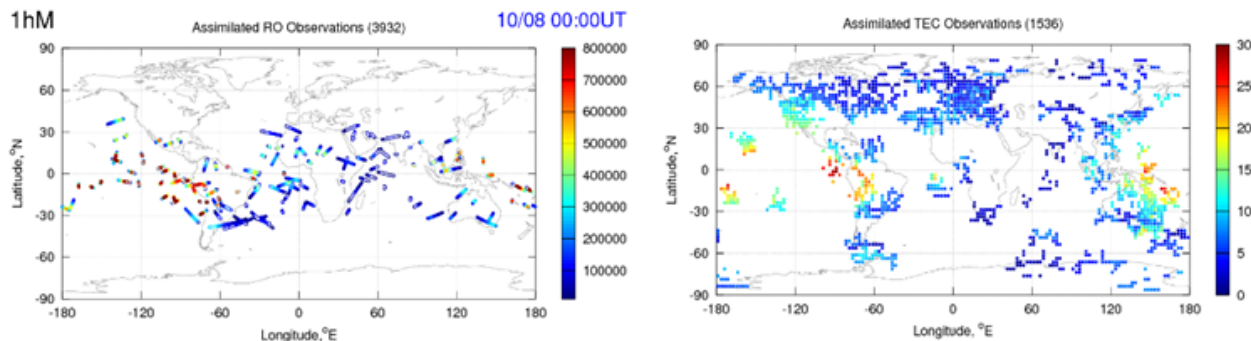
- 3種空間範圍
- 4種電離層參數
- 3個預設高度分層
- <https://swoo.cwb.gov.tw/V2/page/Forecast/IonoForecast.html>



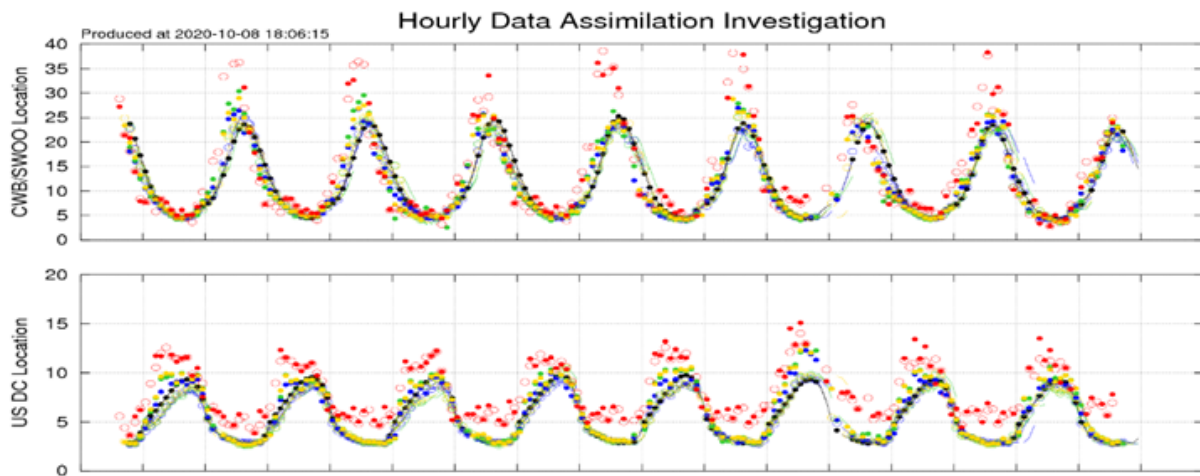


# 電離層資料同化系統

## 同化觀測資料(F7/RO+TEC)



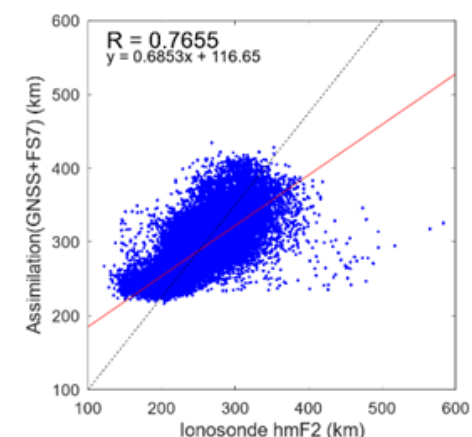
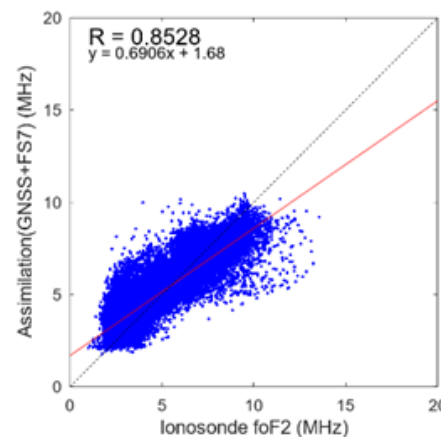
## 同化結果與TEC比較(確認系統與模式特性)



## 同化結果與電離層探測儀比較

層峰濃度(NmF2)	未同化	同化後
全球表面	0.7622	0.8528
中低緯度	0.7282	0.8341
高緯度	0.7395	0.8421

層峰高度(hmF2)	未同化	同化後
全球表面	0.7507	0.7655
中低緯度	0.6444	0.6715
高緯度	0.8874	0.8792





# 臺灣太空天氣發展

何時開始？那些儀器？哪個單位負責？

# 國際太空天氣相關組織



聯合國



和平利用外太空委員會



世界氣象組織  
(最早提出太空天氣)



國際民用航空組織



國際電信聯盟



國際太空環境服務協會  
International Space Environment Service

全球/區域預警中心

曾以觀察員報告



美國/SWPC



加拿大/CSWFC



巴西/EMBRACE



比利時/SIDC



奧地利/KSO



澳大利亞/BOM



墨西哥/SCiESMEX



韓國/KSWC



日本/NICT



印尼/SWIFTS



印度/NPL



捷克/IAP



挪威/NOSWE



中國/SEPC



英國/MOSWOC



瑞典/LSWC



南非/SANSA



俄羅斯/IAG



波蘭/SRC

美國

PECASUS

芬蘭、英國、德國、奧地利、波蘭、義大利、荷蘭、比利時、賽普勒斯

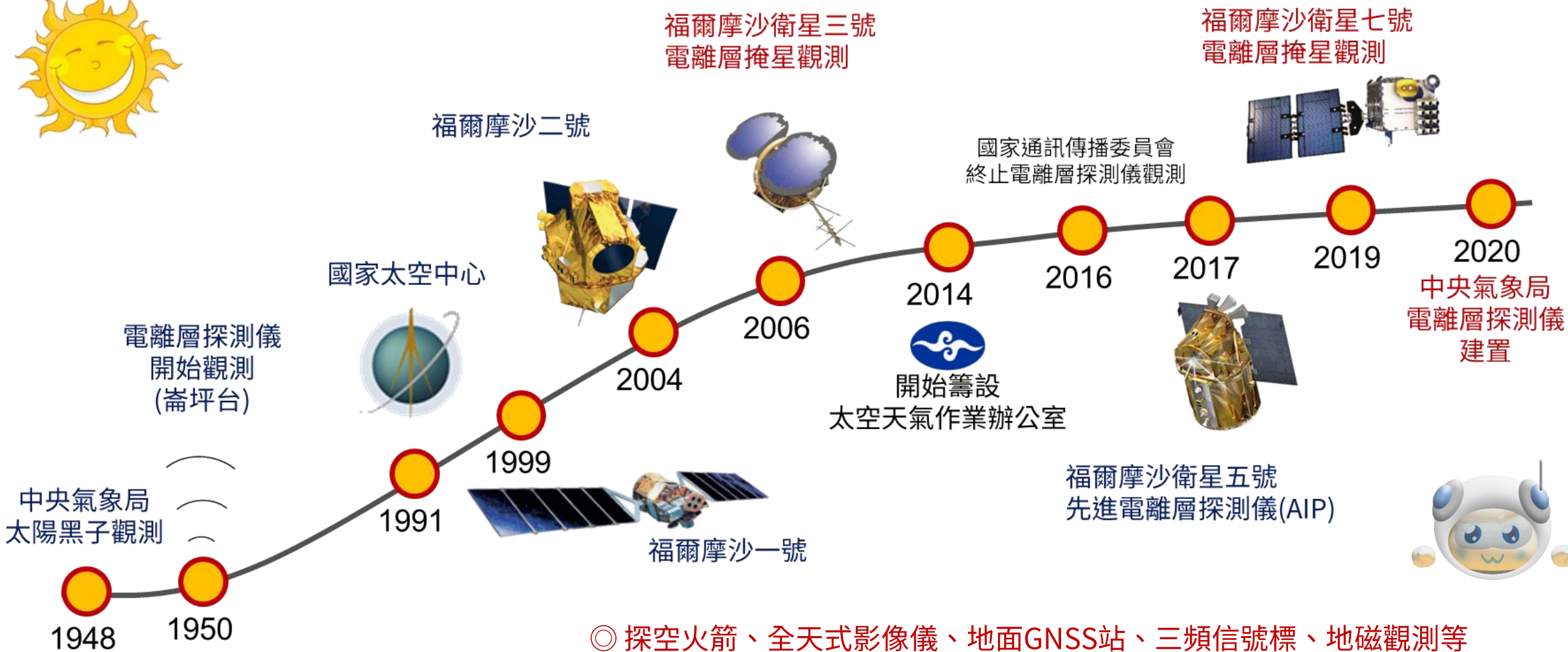
ACJF

澳大利亞、加拿大、日本、法國

AOSWA  
Asia-Oceania Space Weather Alliance

亞太太空天氣作業聯盟  
2018.10加入

# 台灣太空天氣觀測發展



◎ 探空火箭、全天式影像儀、地面GNSS站、三頻信號標、地磁觀測等

# 氣象局內的天文與太空天氣業務



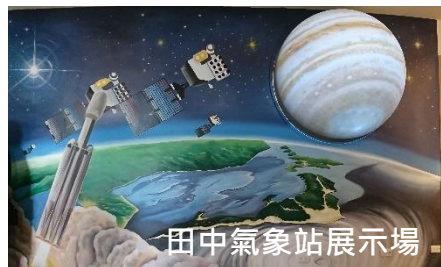
天文站

氣象資訊中心

其它單位

太空天氣作業辦公室  
SWOO

臺灣資料分析中心  
TACC



田中氣象站展示場



南區氣象中心展示場



南區氣象中心展示場



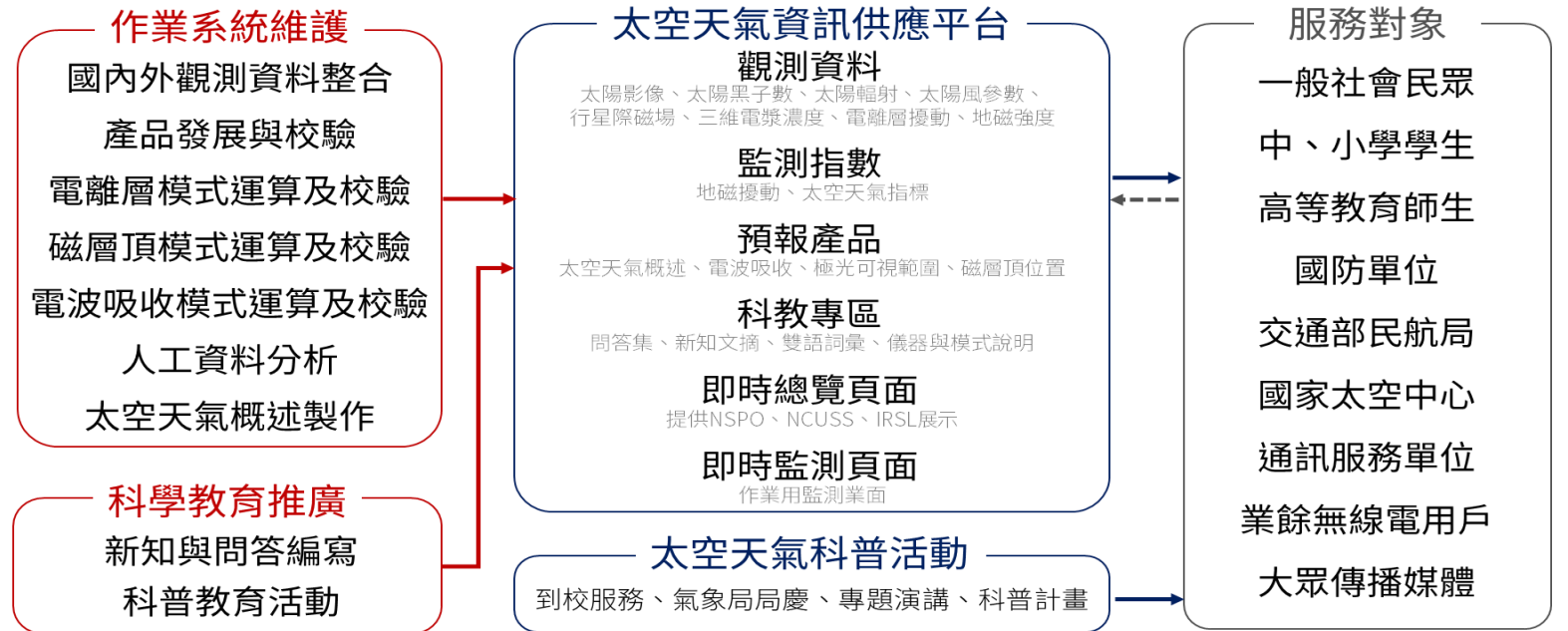
暑期學生實習觀測

# 太空天氣業務

SWOO：  
李奕德研究員

TACC：  
何旭慧研究員  
黃俊穎副研究員  
林敬傑研究助理  
陳怡秀研究助理

- 2014年起，氣象局與國家太空中心和國內科研團隊開始合作建置太空天氣作業系統
  - 整合國內外太空天氣觀測資料
  - 建置太空天氣模式與預報作業規畫
  - 推動太空天氣科普教育
- 2016年透過網站提供資訊和產品
  - <https://swoo.cwb.gov.tw/> (2020年網站更新)
- 2017年10月舉辦太空天氣成果發表會



# 太空天氣作業產品 (黑:氣象局、藍:國外單位)

太陽黑子描繪  
地面太陽影像

SDO影像  
GOES影像  
SOHO影像

DSCOVR觀測  
GOES觀測

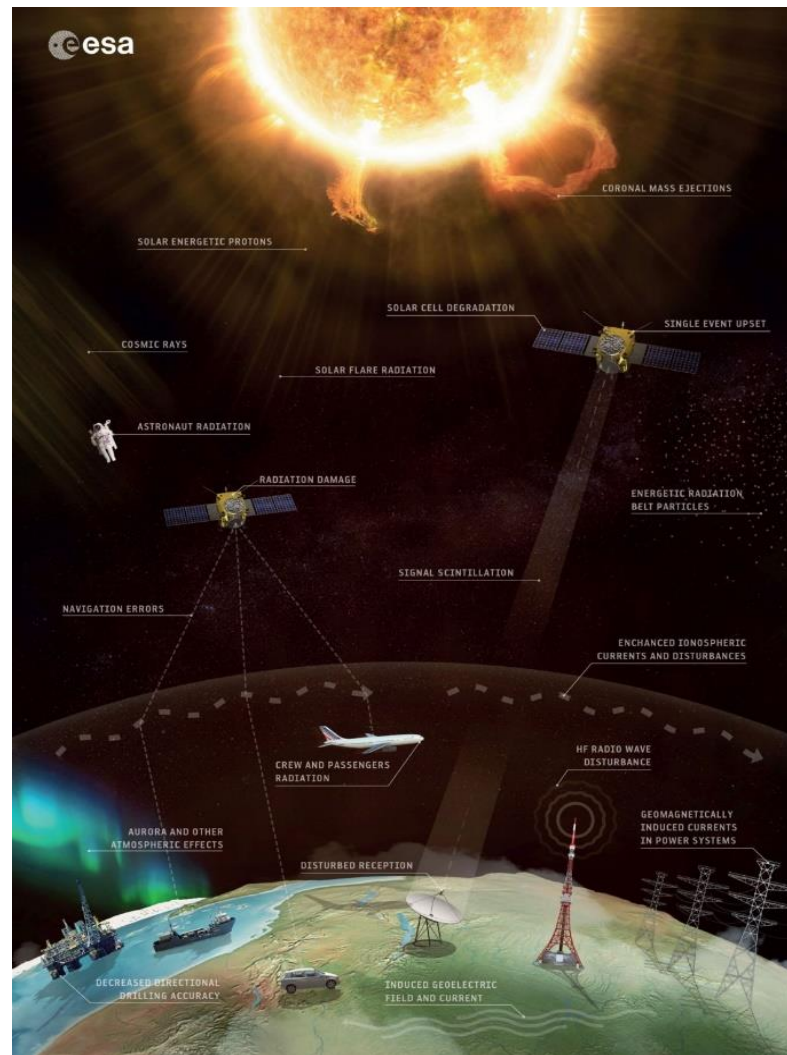
福爾摩沙衛星七號

電離層探測儀  
GNSS觀測

全電子含量分布  
全台定位監測

地磁強度觀測  
地磁擾動指數

IGS觀測  
Kp指數  
Dst指數



WSA-Enlil 太陽風模式

地球磁層頂位置模式

OVATION極光可見範圍

WASAVIES飛航輻射吸收率模式

電離層與熱氣層耦合模式

電離層濃度監測系統(GIS)

電離層閃爍指數經驗模式

電離層電波吸收模式

# 太空天氣作業辦公室與TACC官網

<https://swoo.cwb.gov.tw/>

<https://tacc.cwb.gov.tw/>



謝謝聆聽  
歡迎提問



CENTRAL  
WEATHER  
BUREAU