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

第二週(107年5月3日)

地球高層大氣與太空環境的結構

－行星際空間介質(Inter-Planetary Medium)

＊太陽風(Solar Wind)與太陽磁場

－磁層(Magnetosphere)

＊極光(Aurora)

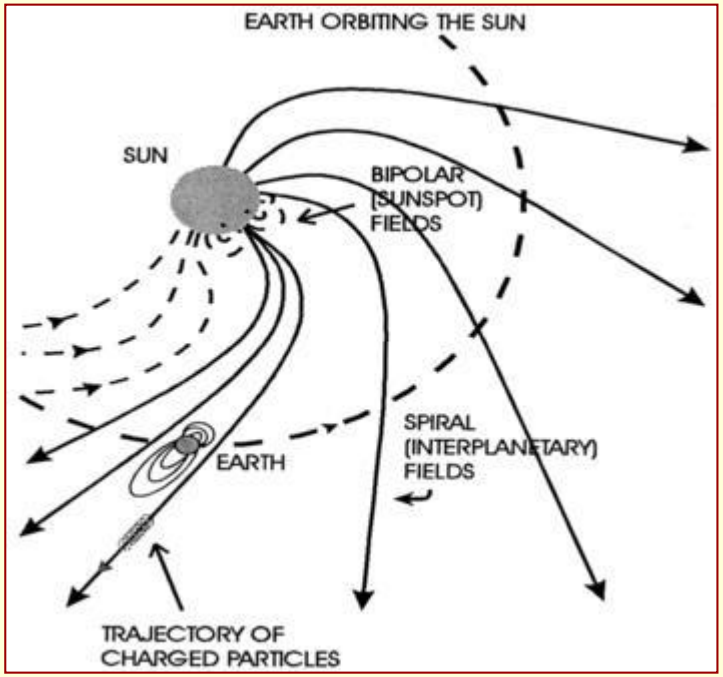
－電離層(Ionosphere)

＊短波電波傳播(Short Wave Propagation)

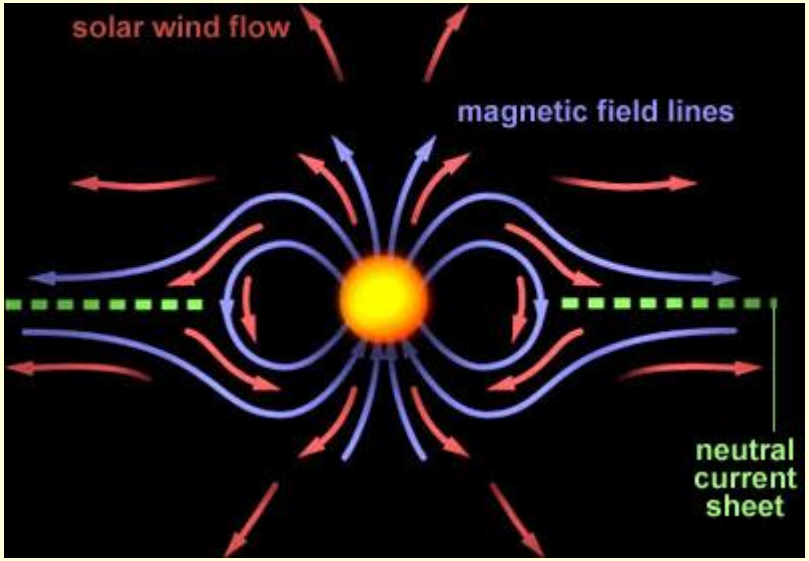
－中層大氣(Middle Atmosphere)

＊地球溫度最低處：中氣層頂(Mesopause)

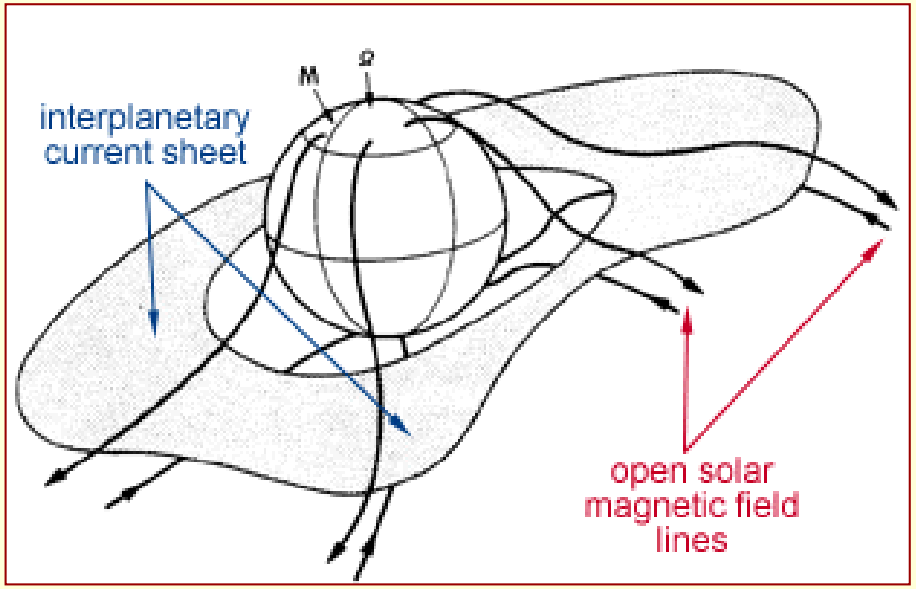
行星際空間內的太陽磁場



https://ryanoursun.wikispaces.com/The+Journey+Of+Solar+Wind+In+The+Solar+System+And+Earth_Ethan

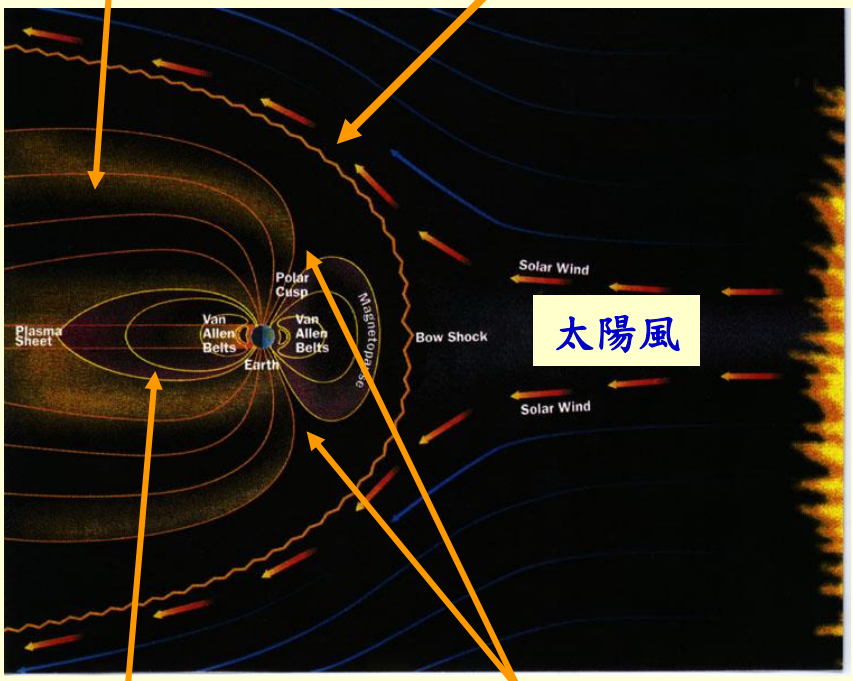


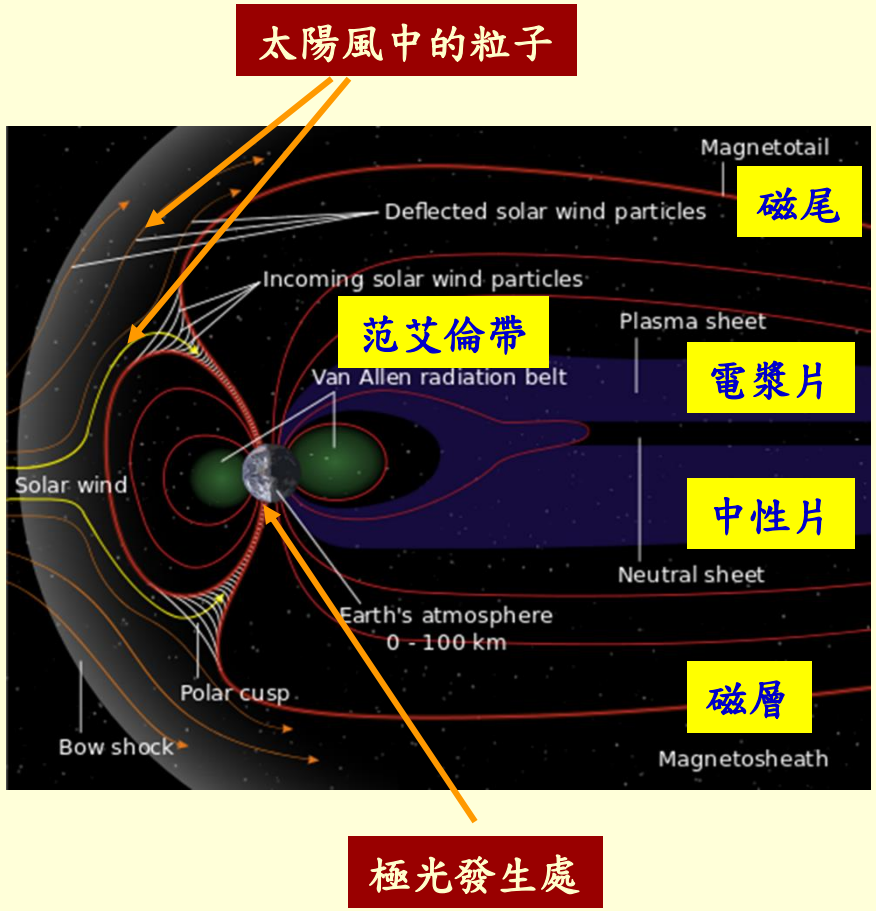
太陽磁場會凍結在太陽風中，隨太陽風向外吹拂而被拉扯向外伸展，形成片狀結構，由於太陽風的不均勻性分布，導致太陽磁場片狀形狀呈現皺摺結構。當地球繞太陽公轉時，由於地球位於片狀皺褶中不同位置，地球磁層所遇到的太陽磁場方向將有可能不同，導致地球層磁層發生擾動。



http://pluto.space.swri.edu/image/glossary/IMF.html

地球磁層結構以及與太陽風的關係





地球磁層粒子特性

Table 1: Plasmas in the Earth's Magnetosphere

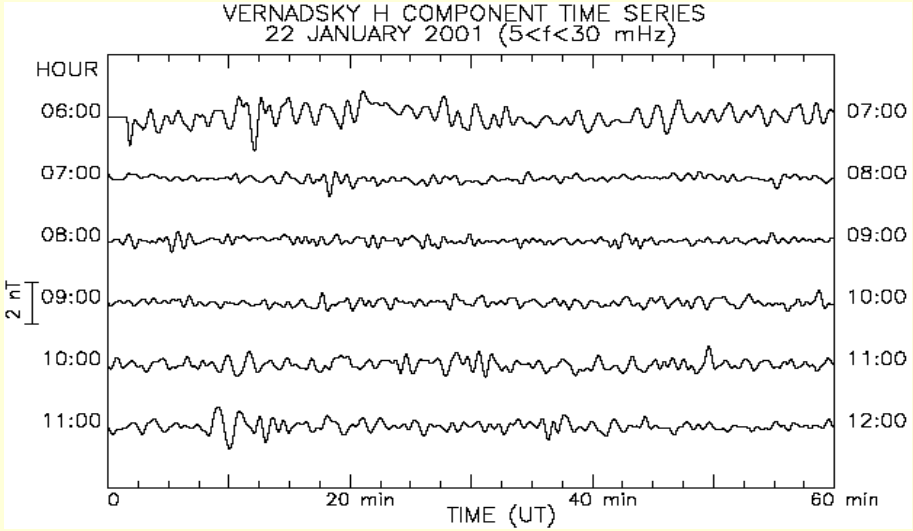
	Density N	Velocity V_e	Velocity V_p	Electron Temperature T_e	Proton Temperature T_p	Magnetic Field	Comments
Solar Wind	1 - 10 cm^{-3}	200 - 600 km/sec	200 - 600 km/sec	$6x10^4$ to $3x10^5$ °K	$2x10^4$ to $2x10^5$ °K	2-15 nT	• High Speed Streams Associated With Coronal Hole • Low Speed Streams Near Sector Boundaries
Magnetosheath	2 - 50 cm^{-3}	200 - 500 km/sec	200 - 500 km/sec	10^5 to 10^6 °K	$5x10^5$ to $5x10^6$ °K	2-15 nT	• Turbulent Solar Wind Plasma and Magnetic Fields
High Latitude Boundary Layer	0.5 - 50 cm^{-3}	No Reported Measurements	100 - 300 km/sec	10^5 to 10^6 °K	$5x10^5$ to $8x10^6$ °K	10-30 nT	• Entry Layer into the Magnetosphere of Magnetosheath Plasma
Plasma Sheet Boundary Layer	0.1 - 1.0 cm^{-3}	500 - 5000 km/sec	100 - 1500 km/sec	$2x10^6$ to 10^7 °K	10^7 to $5x10^7$ °K	20-50 nT at 20 Re	• Region Which Maps to Auroral Zone Producing Discrete Auroral Arcs
Plasma Sheet	0.1 - 1.0 cm^{-3}	10 - 50 km/sec	10 - 1000 km/sec	$2x10^6$ to $2x10^7$ °K	Always Hotter by a factor of 3 to 5 such that $T_p/T_e>1$	9 nT in Deep Tail	• Thickness of 4 to 6 Re • Forms into the Ring Current at 5-6 Re From Earth
Lobe	10^{-3} to 10^{-2} cm^{-3}	No Reported Measurements	No Reported Measurements	$<10^6$ °K	$<10^7$ °K	Increases with Southward IMF	• Lowest Densities Found in the Magnetospheric Cavity

地磁微脈動
—地球磁場的微小擾動現象—

地磁微脈動的分類

Pc1	0.2-5 (秒)
Pc2	5-10
Pc3	10-45
Pc4	45-150
Pc5	150-600

地磁微脈動的實際擾動



註：地面地球磁場平均大小約為0.45高斯(Gauss)，或45000 nT

人腦波的分類與特性
—α波，β波 ，θ波，δ波—

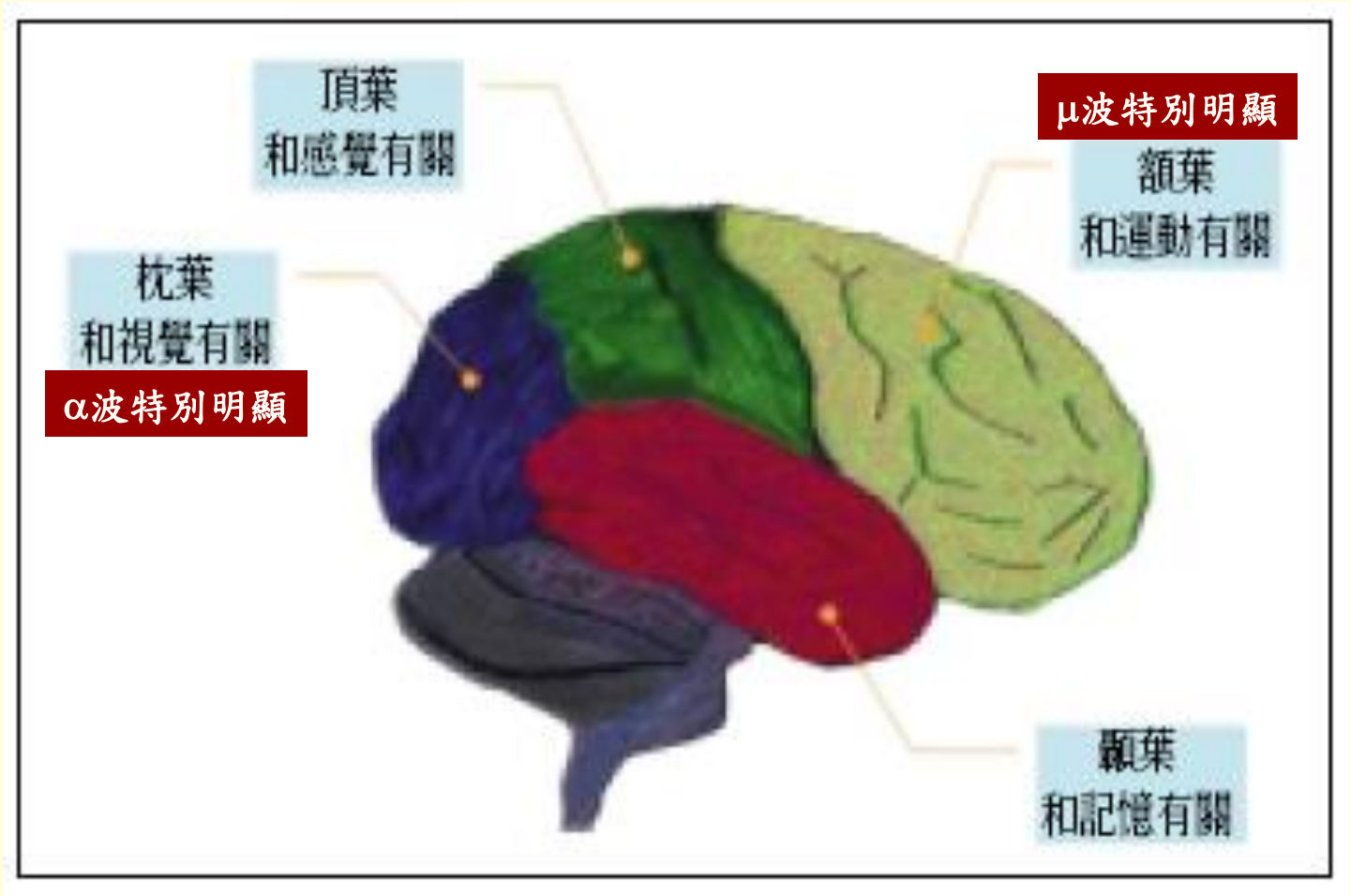
人腦波的分類

	(每秒振動次數)
α波	8-14 赫茲
β波	大於14赫茲
θ波	4-8赫茲
δ波	0.4-4赫茲
μ波	與α波類似，但稍快一些

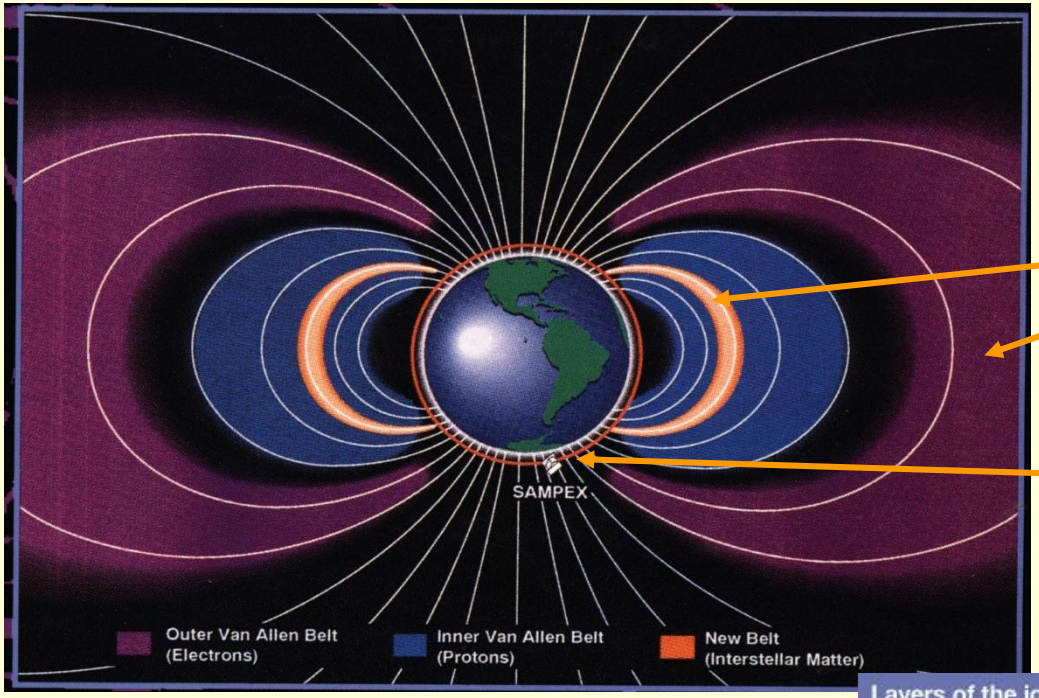
腦波特性

α波	在清醒與放鬆的情形下出現，適合思考與學習
β波	出現在有壓力與緊張狀態下
θ波	入定時發生
δ波	與睡眠品質有關，在熟睡深度睡眠中出現
μ波	進行或想像肌肉收縮(運動)時會被壓抑(念力控制)

不同腦波出現的位置圖



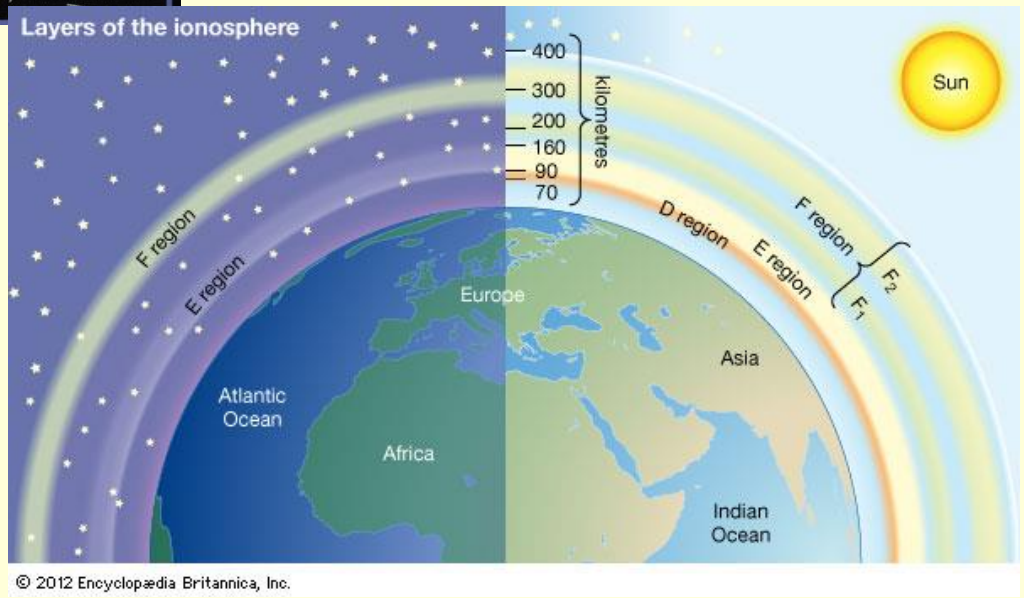
近地球太空環境



范艾倫帶

電離層

電離層(Ionosphere)結構



電漿層(Plasmasphere)結構

電離層(Ionosphere)的形成與定義

定義

若地球大氣中之某一部分, 具有充分多的自由電子(free electron) , 且能持久的影響無線電波 (Radio Waves) 之傳播

(Propagation) 者,此氣層即稱為電離層

形成

地球大氣中之氣體粒子，受到太陽輻射中的X射線與紫外線的照射，將氣體粒子最外層的電子游離出，產生自由電子以及帶正電的離子。由於地球高層大氣中的自由電子與主要的離子(即氧原子離子)的結合反應甚慢，使得自由電子可以長久存在，而形成電離層。

電離層的結構

電離層係由四個副層所組成:

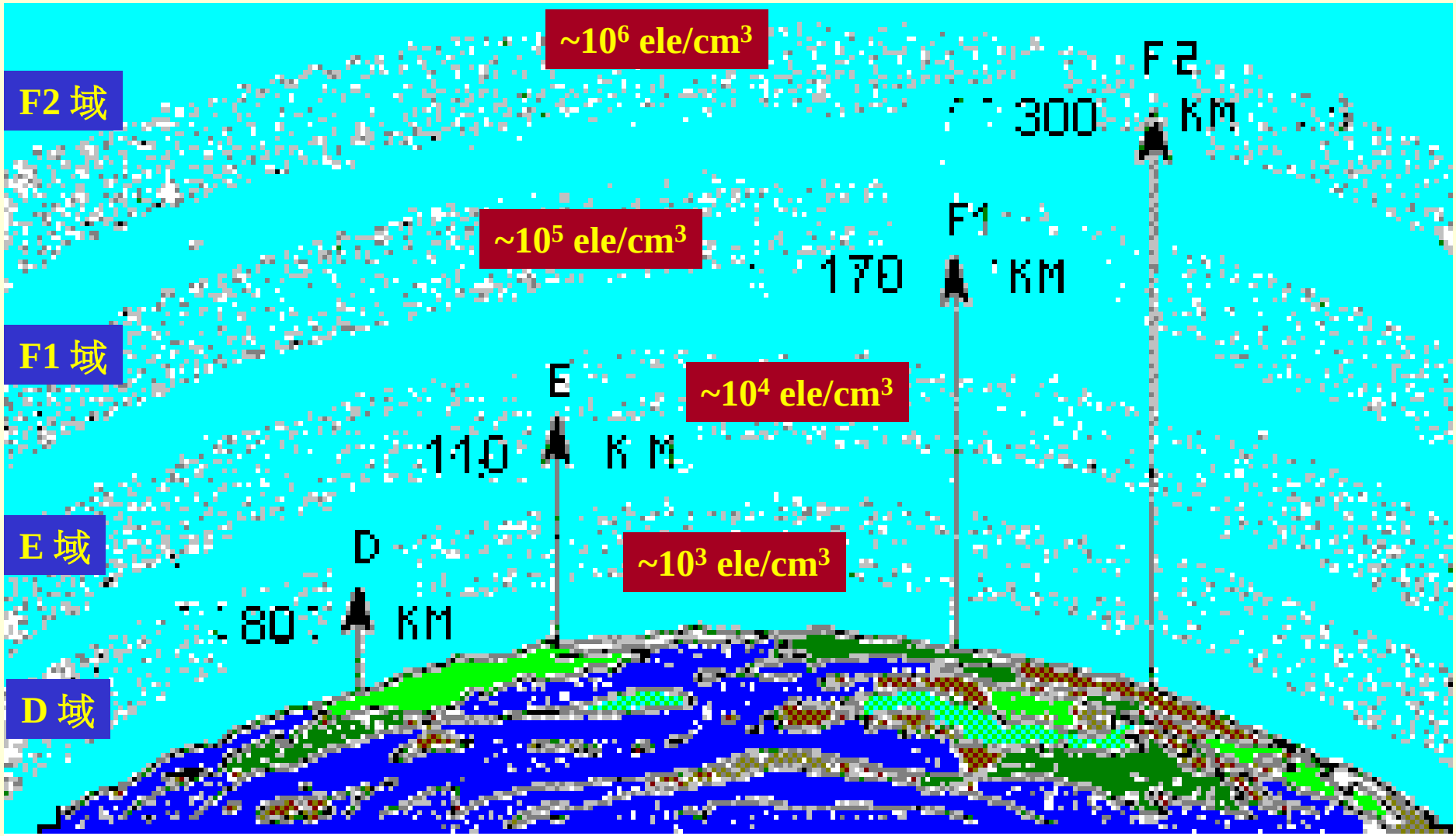
(a) 60 ～ 90 km 為 D 層。此層僅在白天出現, 但並不是每天均出現, 對高頻電波具強烈之吸收作用。

(b) 90 ～ 140 km 為 E層。此層亦僅在白天出現, 夜間消失。此層中有較強之電場存在, 影響了電離層之動力。

(c) 140 ～ 200 km 為 F1 層。事實上, 此層之上邊界甚難界定。 此層只在日間存在，對遠距離電波傳播助益不大。

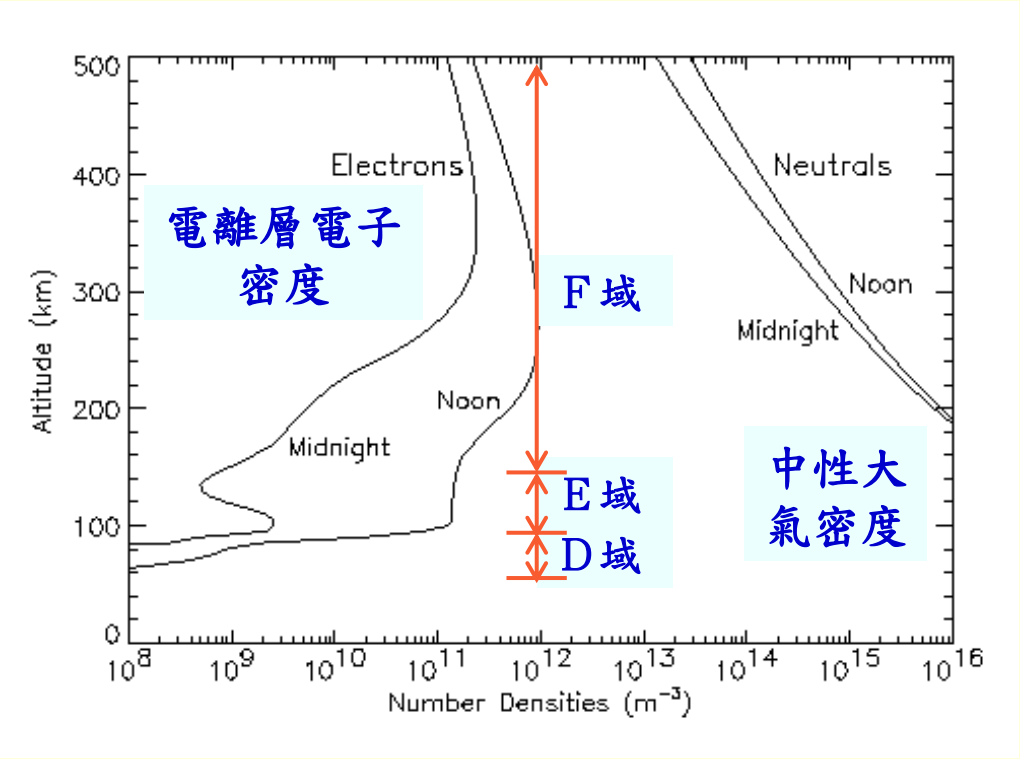
(d) 200 ～ 1000 km 為 F2 層, 為電離層的主體，深深影響低頻(Low Frequency)與高頻(High Frequency)電波越地平(Over-The-Horizon)傳播以及人造衛星的通信。

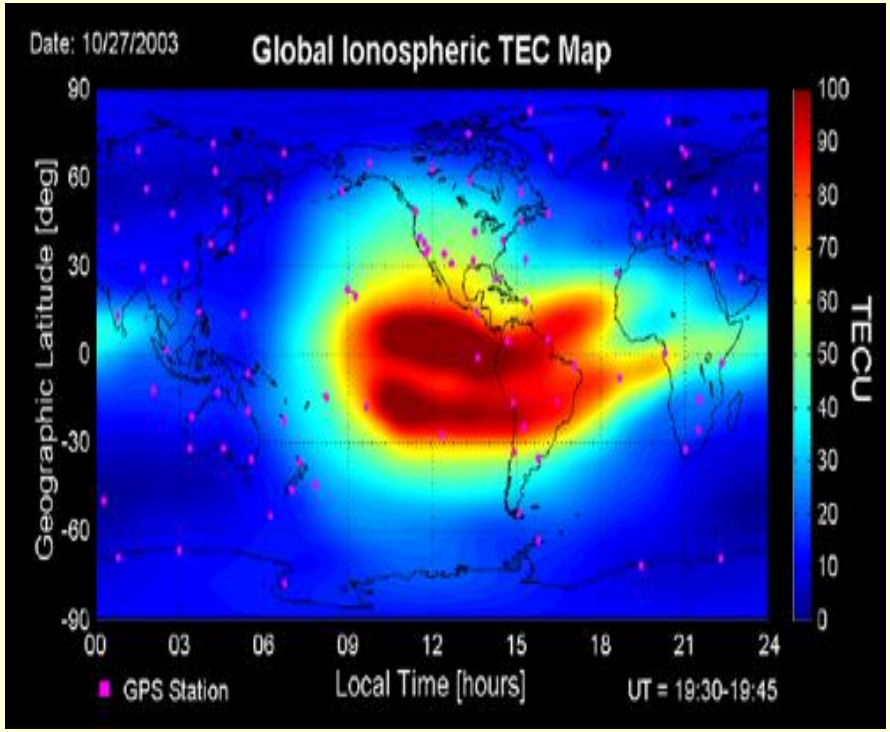
電離層電子密度垂直分布示意圖



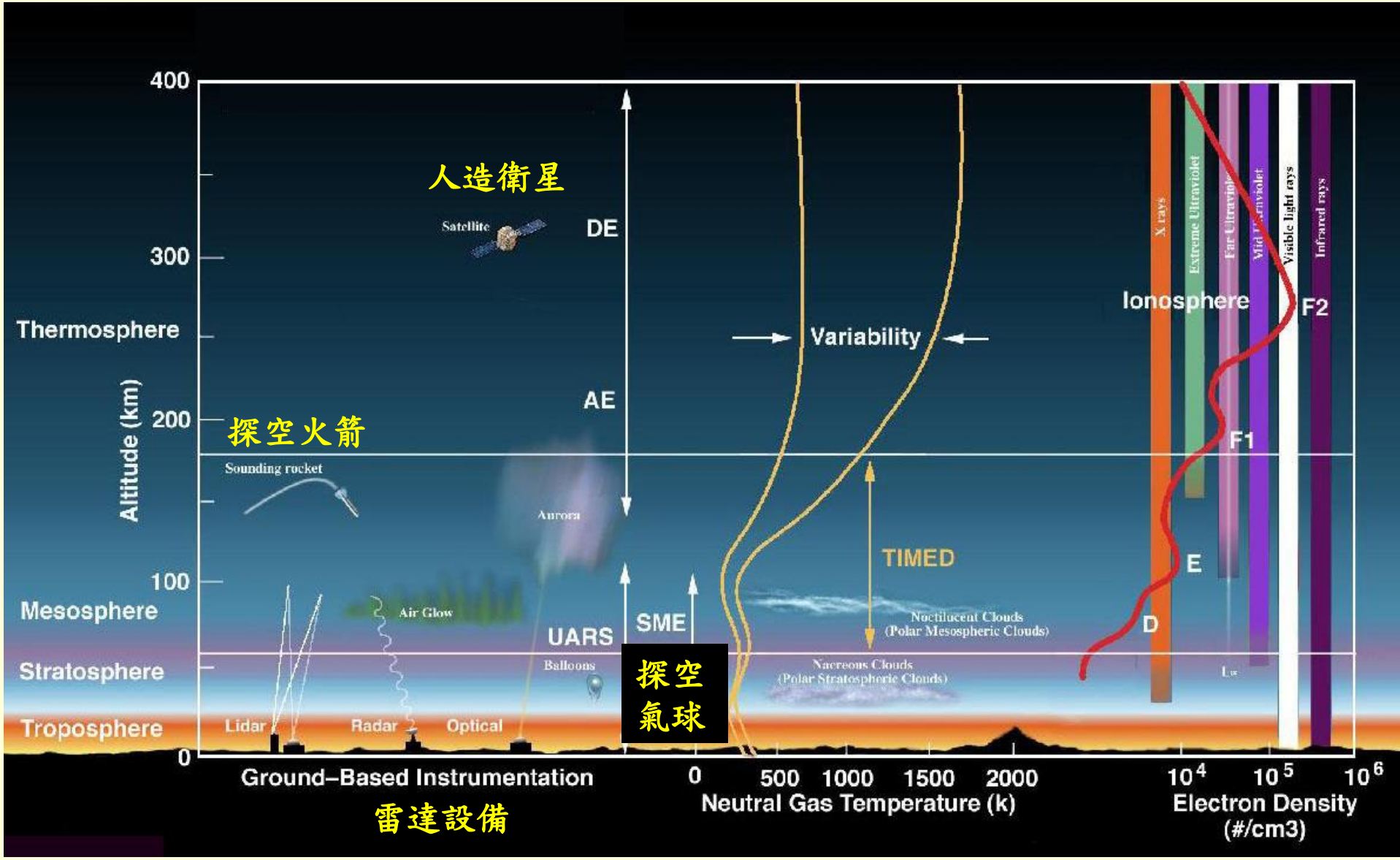
Ionosphere layers

電離層電子密度的垂直與水平結構

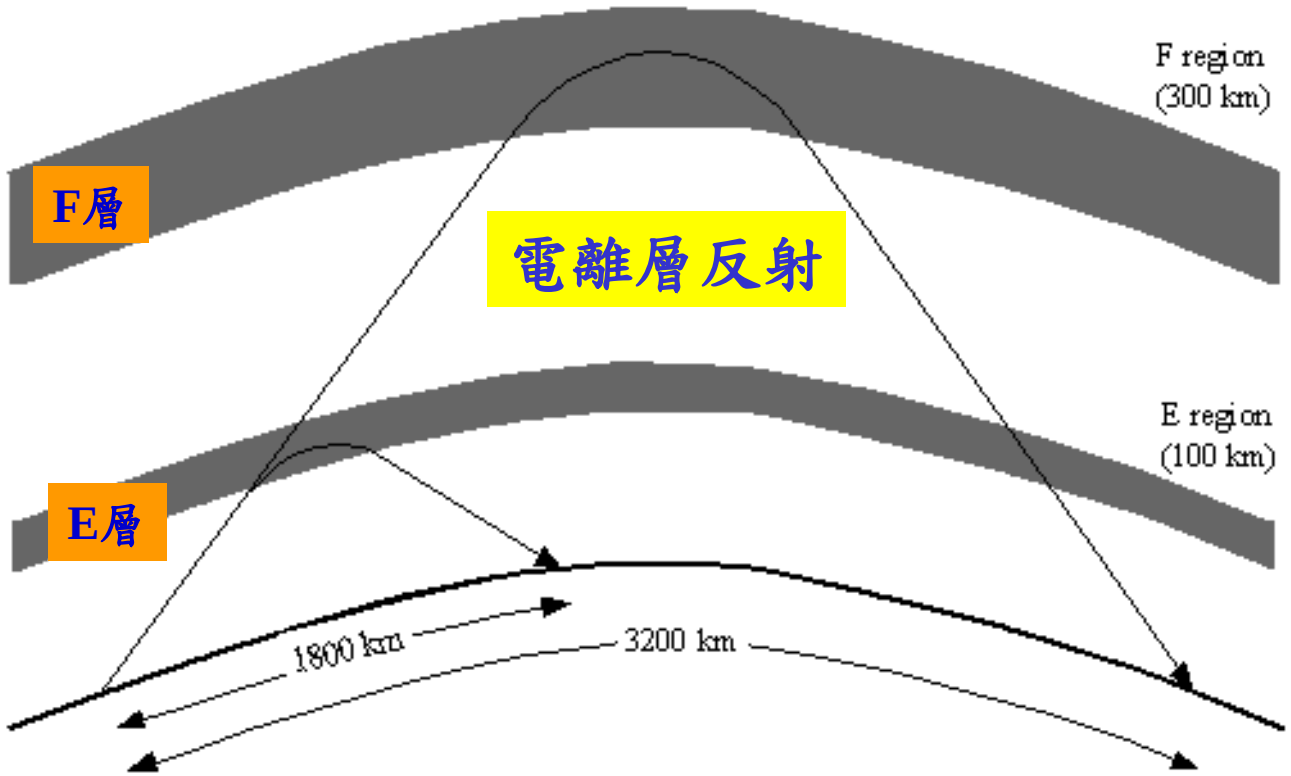




高層大氣結構與監測


400
300
200
100
0
Altitude (km)
Thermosphere
Mesosphere
Stratosphere
Troposphere
人造衛星
Satellite
DE
AE
探空火箭
Sounding rocket
Aurora
Air Glow
UARS
SME
Balloons
探空氣球
TIMED
Variability
Noctilucent Clouds
(Polar Mesospheric Clouds)
Nacreous Clouds
(Polar Stratospheric Clouds)
Lidar
Radar
Optical
Ground–Based Instrumentation
雷達設備
Ionosphere
F2
F1
E
D
X rays
Extreme Ultraviolet
Far Ultraviolet
Mid Ultraviolet
Visible light rays
Infrared rays
0
500
1000
1500
2000
Neutral Gas Temperature (k)
10^4
10^5
10^6
Electron Density
(#/cm3)

高頻電波傳播－天波(Sky Wave)模式

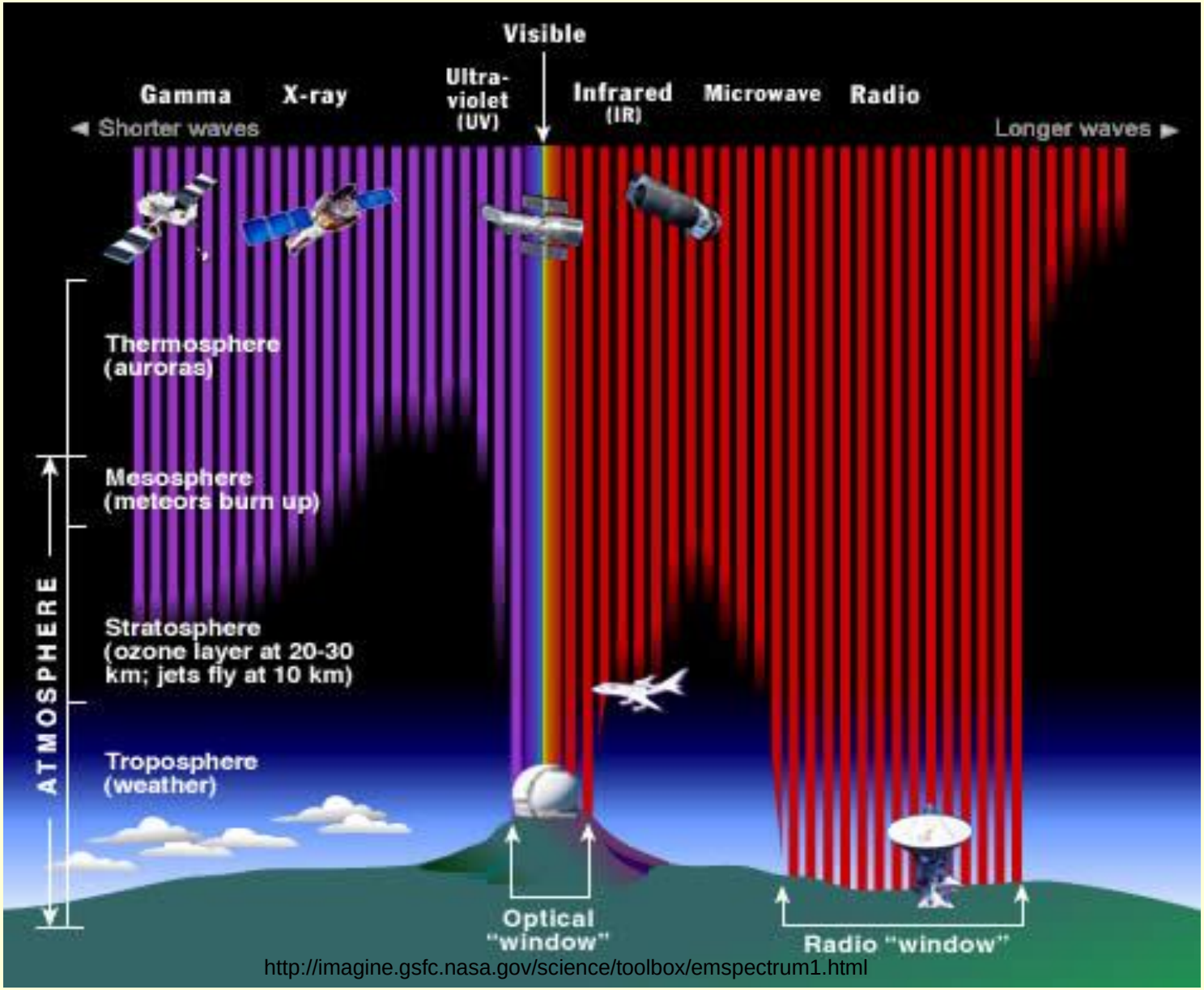


電離層反射電波頻率與電離層電子密度之關係

$$f_0 = 9\sqrt{10^{-6} n_e}$$

(f_0 in megahertz, n_e in cm^{-3})

不同波段太陽光子輻射被地球大氣吸收高度



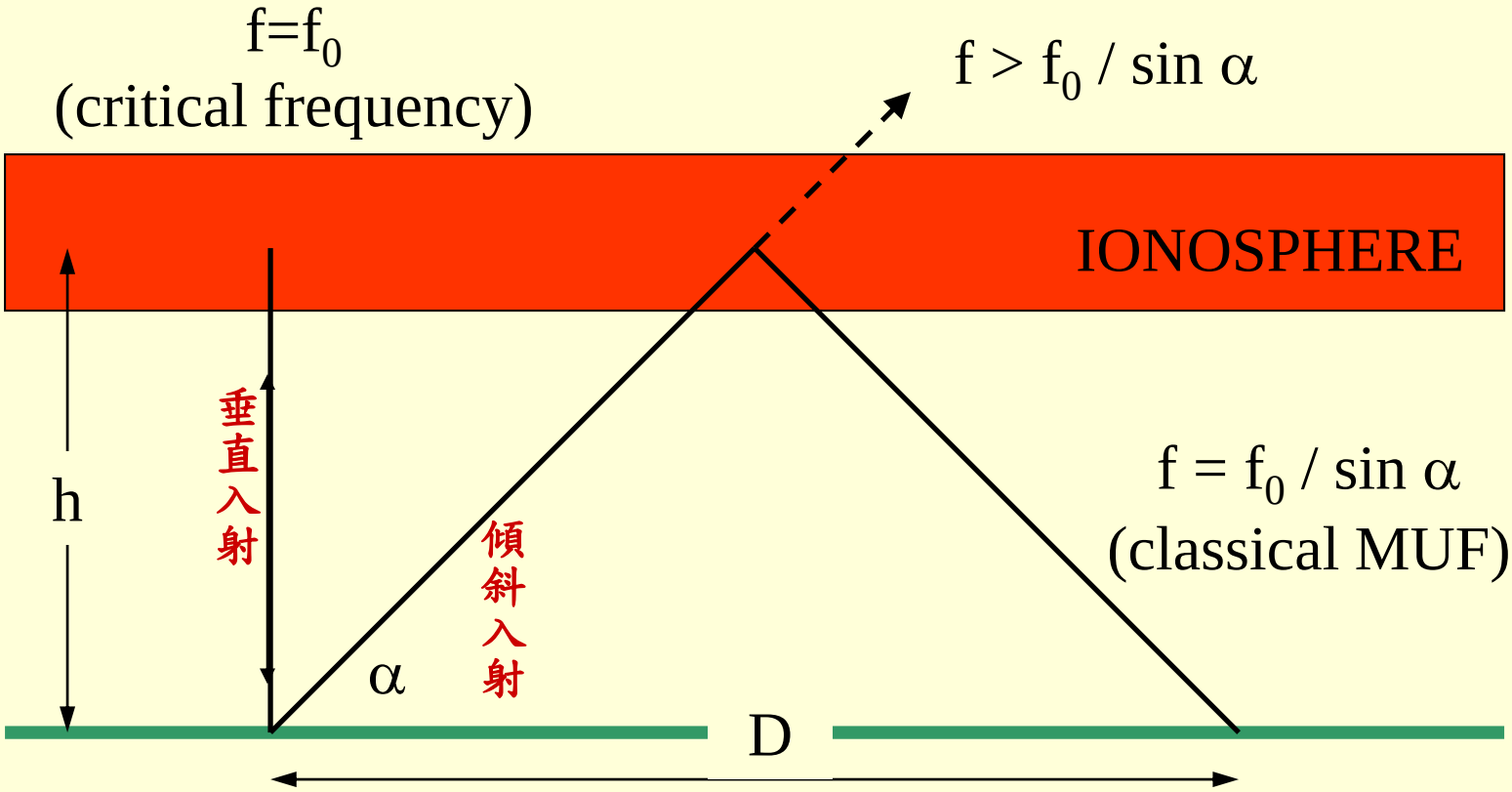
http://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html

最大可用頻率
(Maximum Usable Frequency， MUF)

$$MUF = f_v \sec i_o$$

若發射短波電波頻率超過 $f_v \sec i_0$ ，則電波將會穿透電離層，而不會被反射回地面，其中 f_v 為反射點處的最大臨界頻率(Maximum critical frequency)。因此欲進行電離層短波傳播，操作頻率必須小於或等於最大可用頻率，亦即MUF。在實際的電波傳播應用上，則通常使用最佳操作頻率FOT，來作為短波通訊之用，亦即 FOT=0.85xMUF

電離層臨界頻率與最大可用頻率MUF



$$f = f_0 * SQRT[(D^2/4h^2) + 1]$$

太陽活動性與電離層臨界頻率的關係

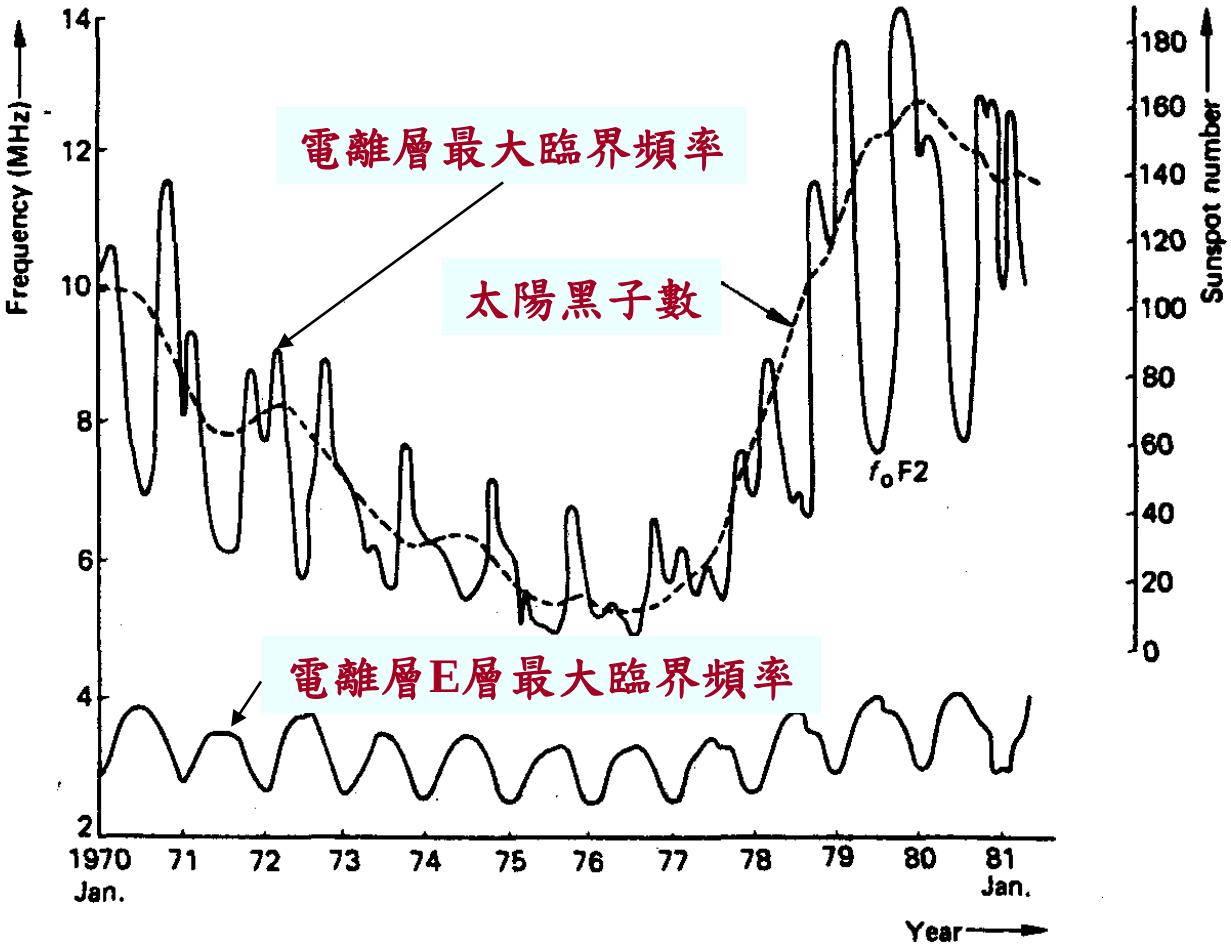
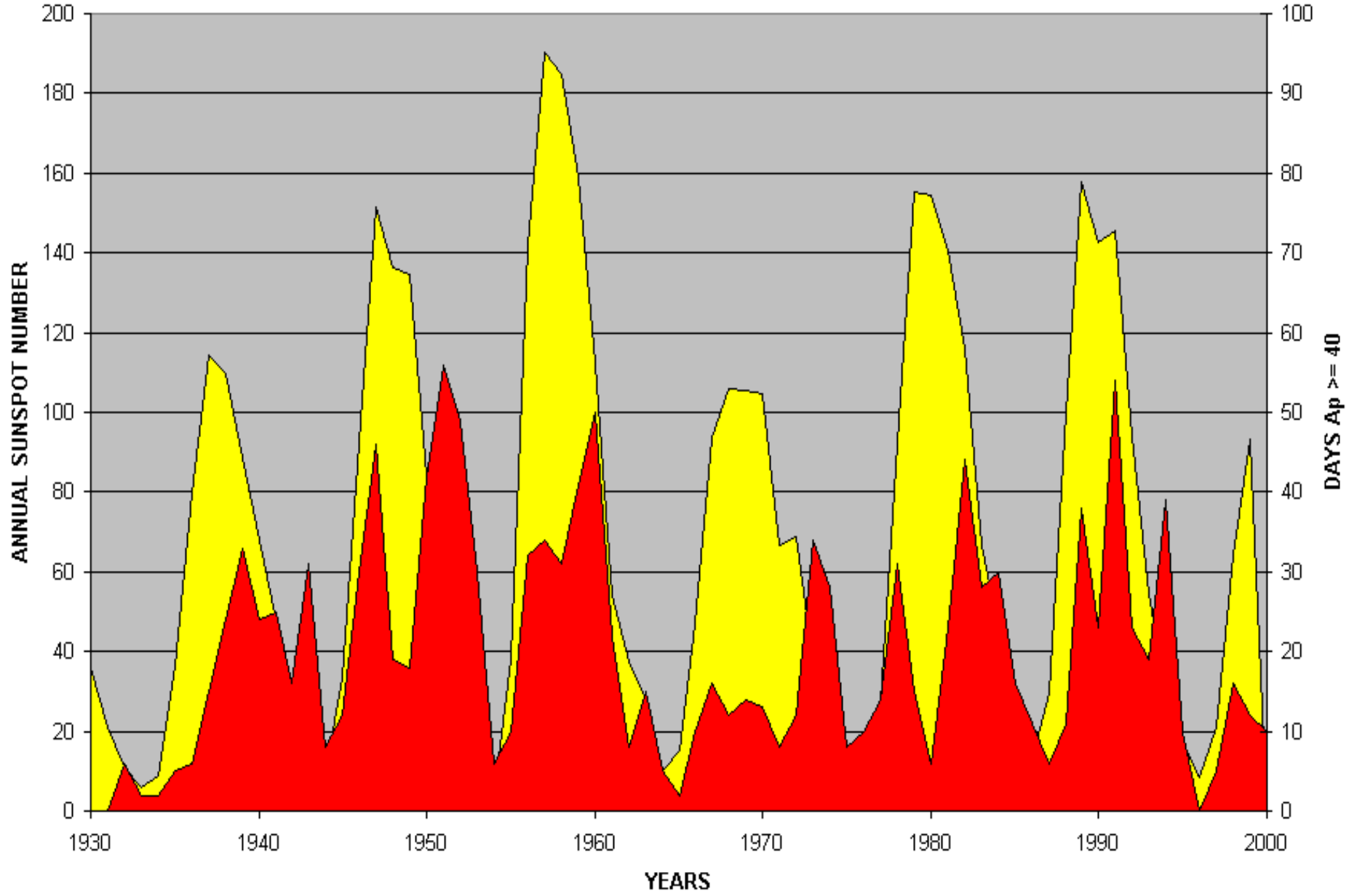
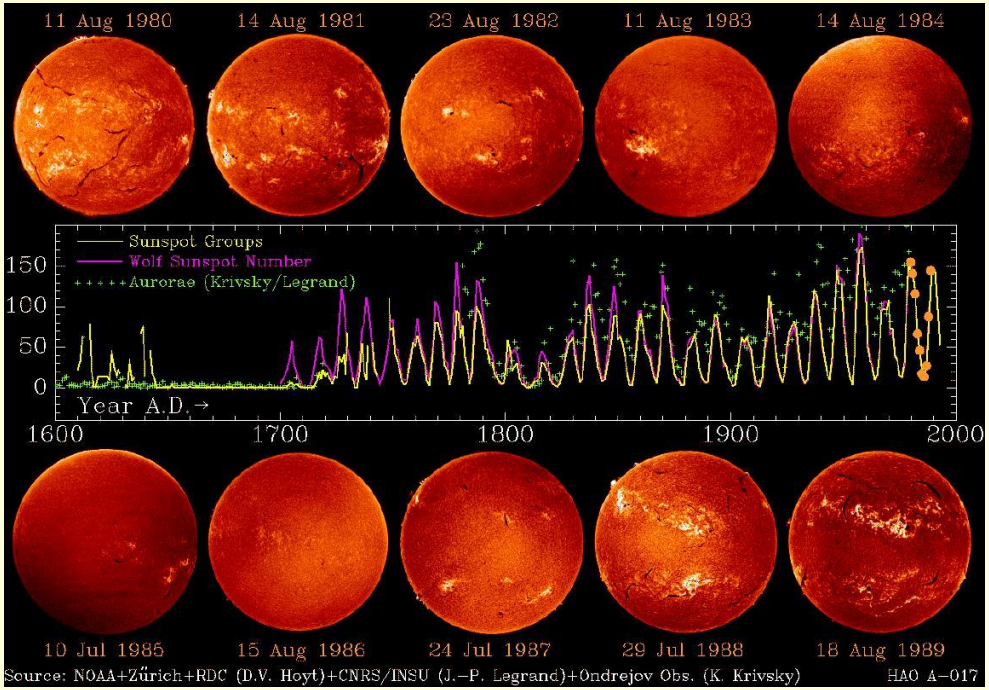


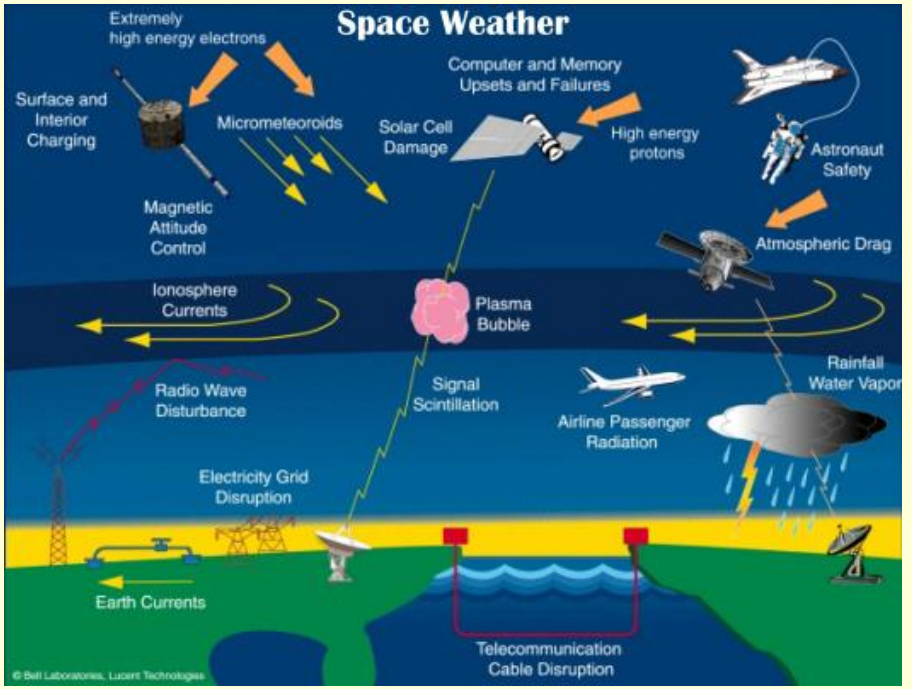
Fig. 4.11 *Monthly mean of the noon critical frequencies observed at Slough 1970 with superimposed sunspot activity*

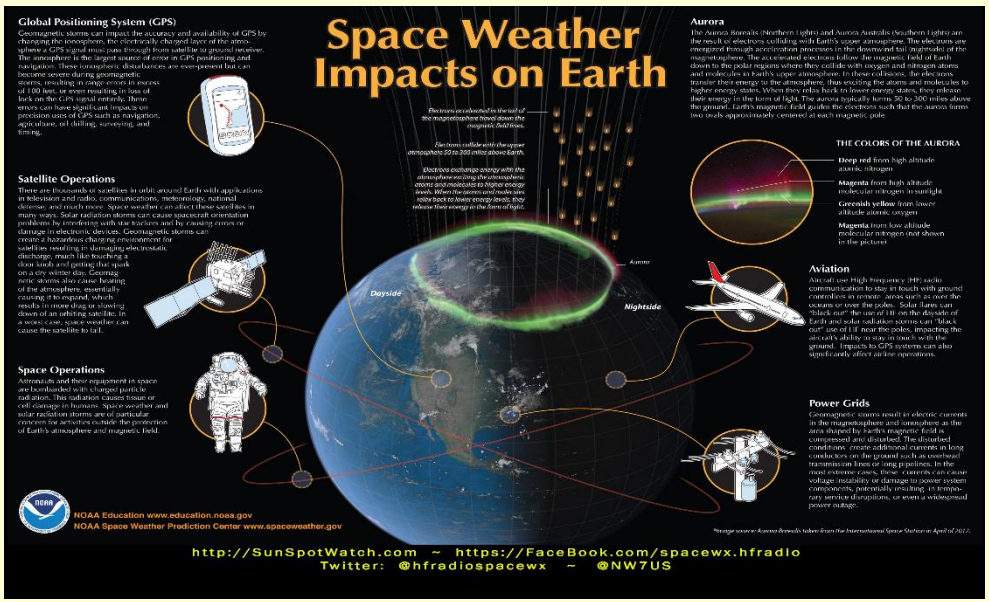
太陽黑子週期與地球電離層發生擾動的關係

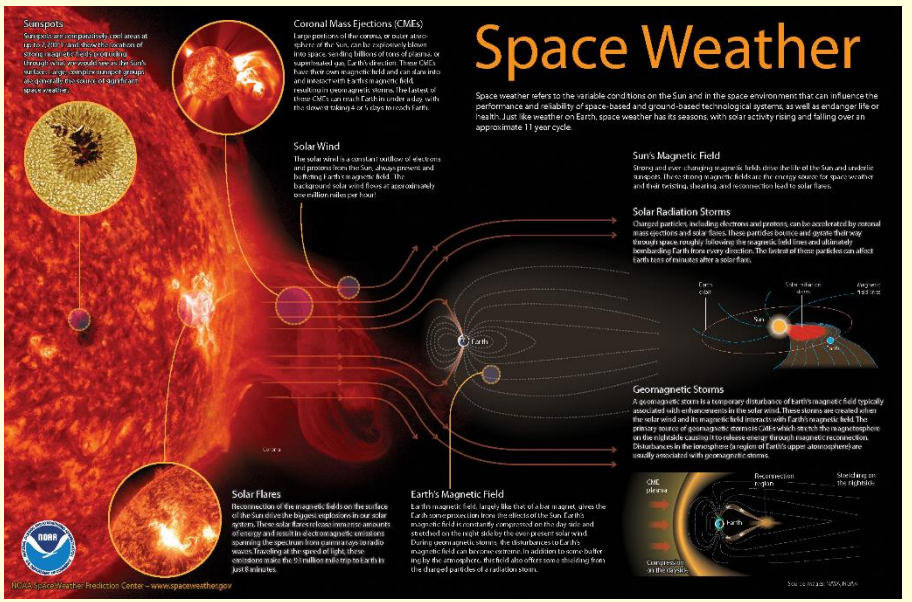


太空天氣(Space Weather)現象

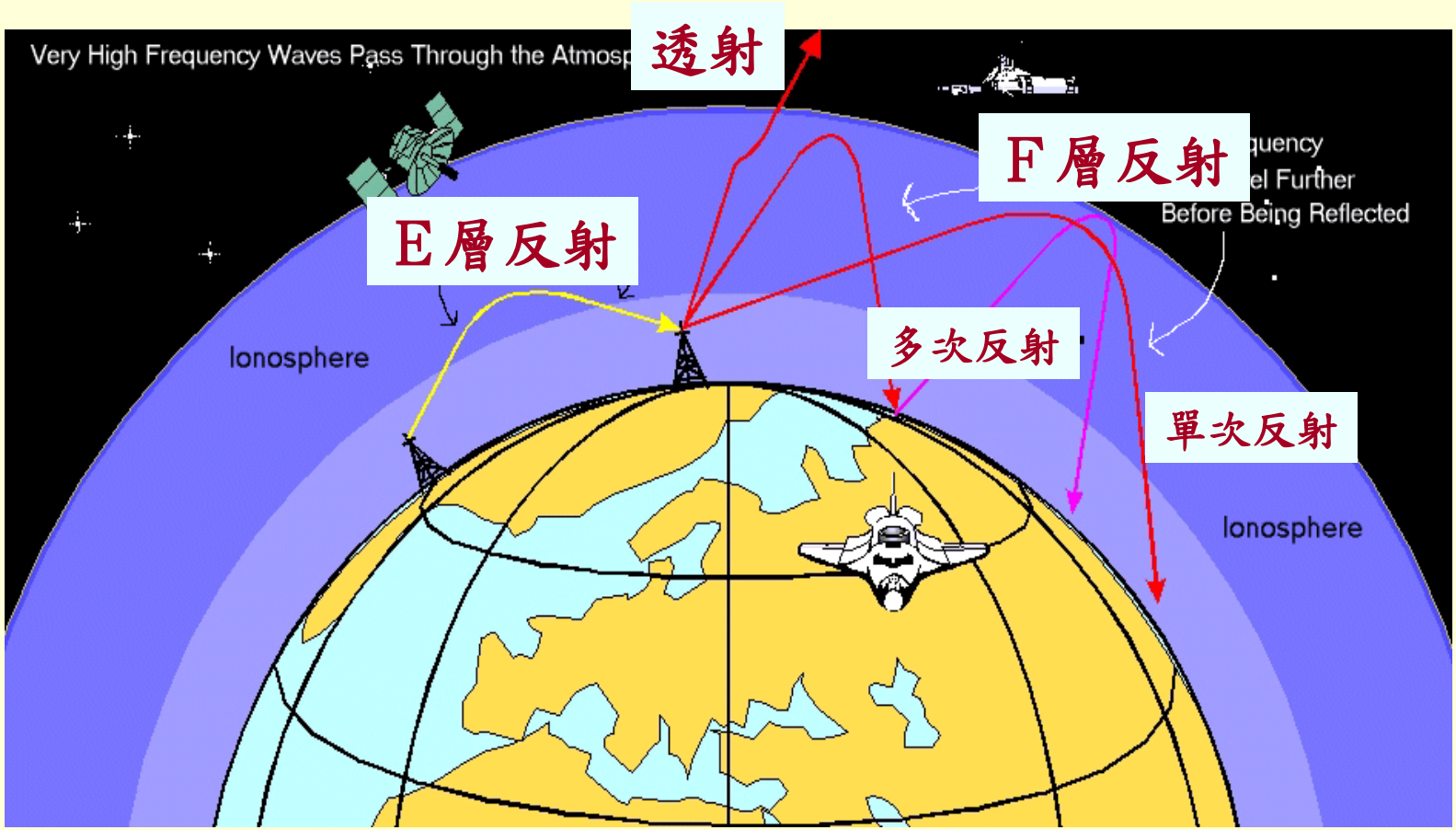




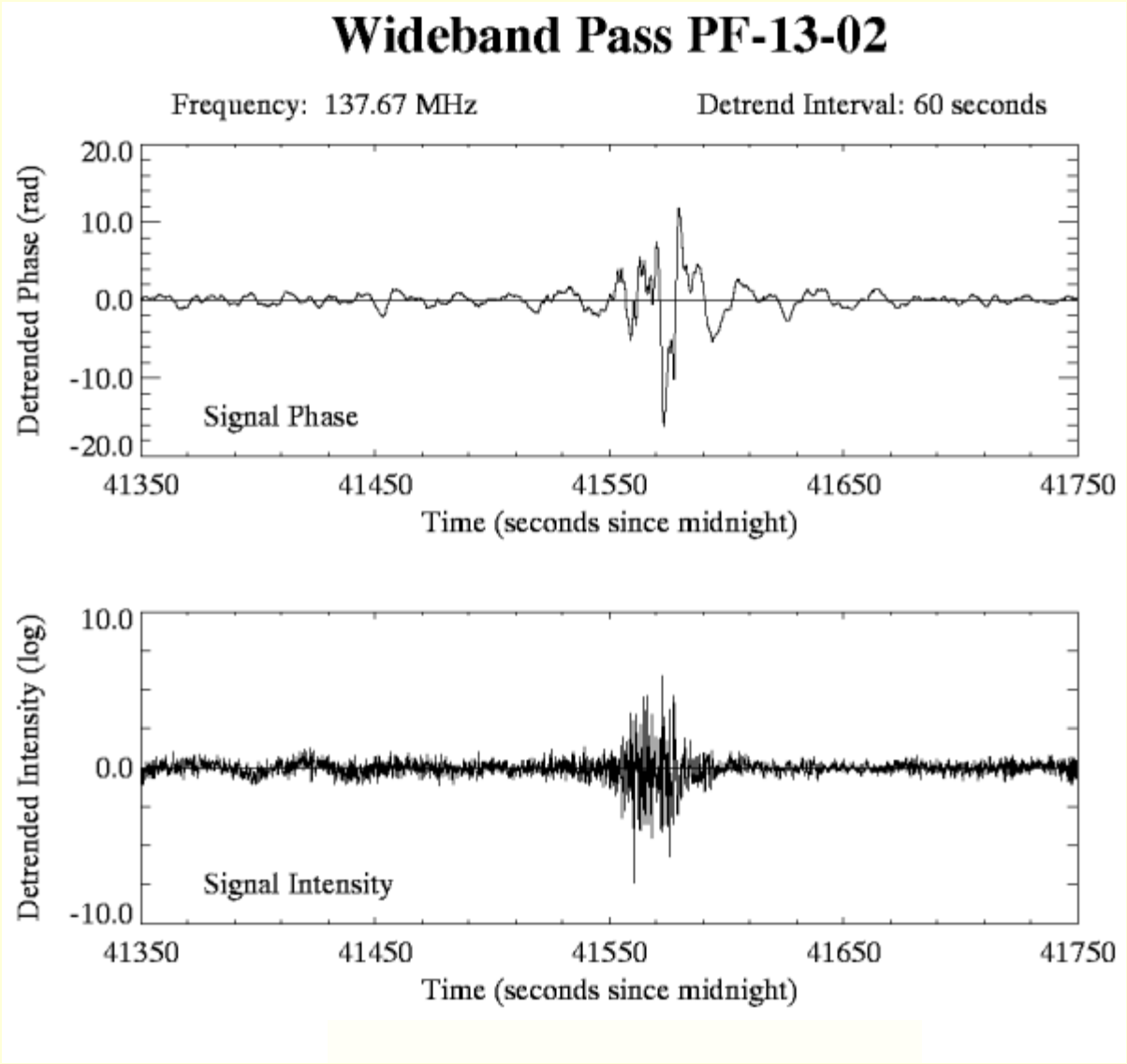




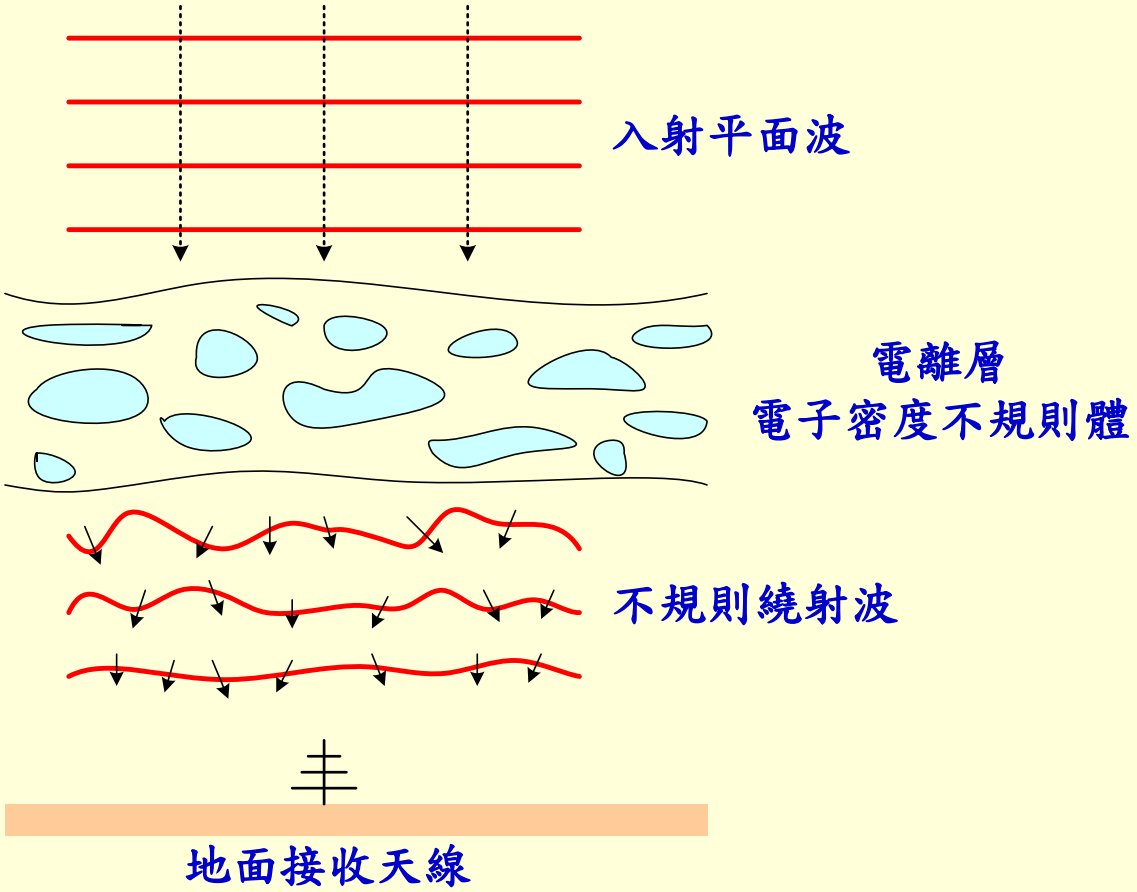
電離層 高頻(HF)電波傳播方式



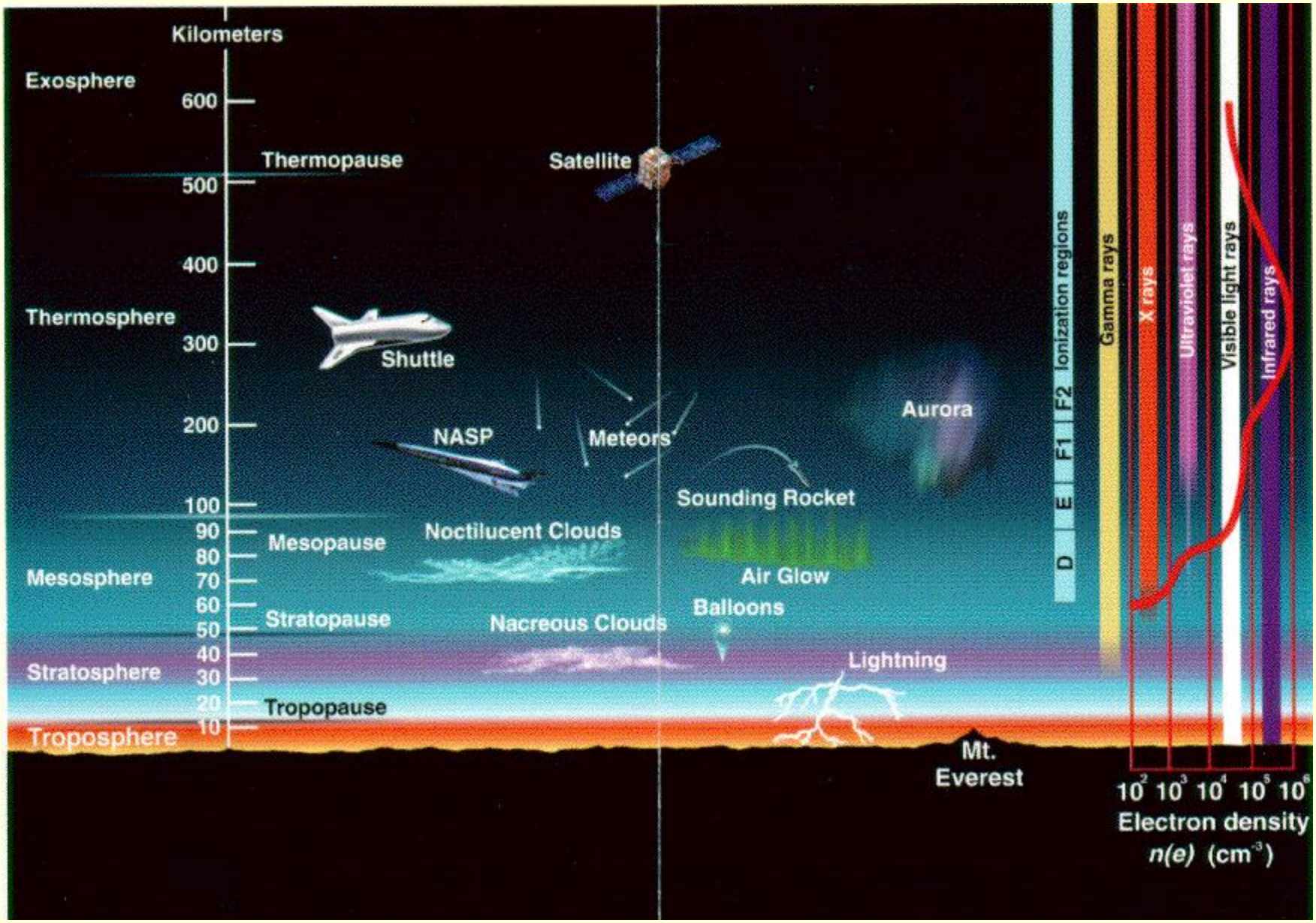
人造衛星訊號的電離層閃爍現象



電離層閃爍現象發生原因
(電子密度不規則體存在所致)

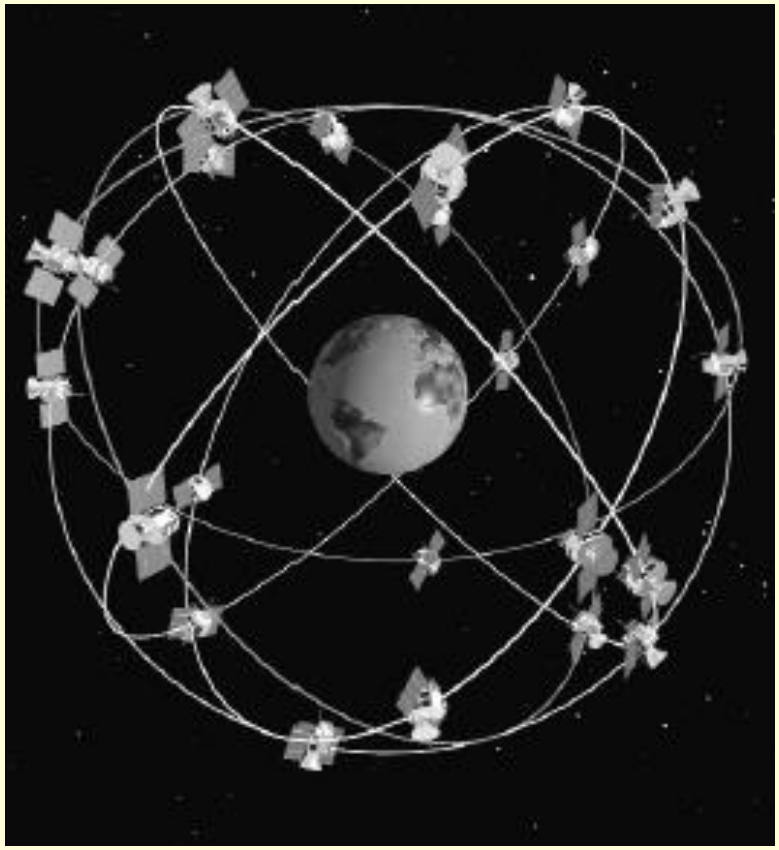


人類在大氣中的活動範圍

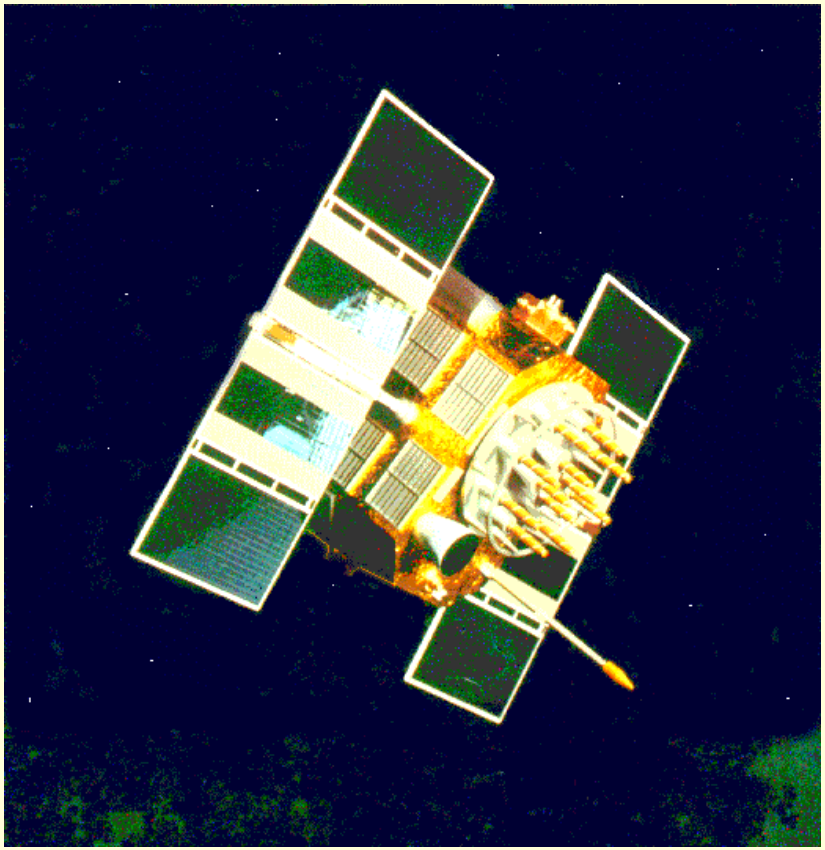


電離層與GPS定位

GPS人造衛星網



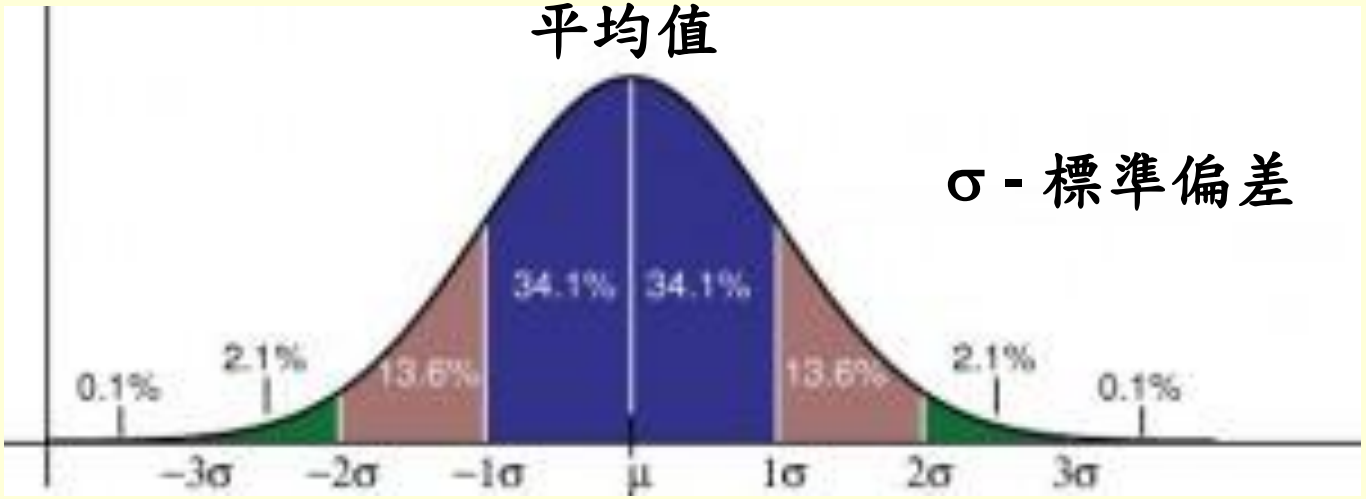
GPS人造衛星



每一個GPS人造衛星具備有2具銫原子鐘和2具銣原子鐘，其時間精確度(precision)或不確定度分別為10^{-13}與10^{-12}，亦即分別要30萬年與3萬年的時間，才會有一秒鐘的不確定度(一年約有3.15×10^{7}秒)

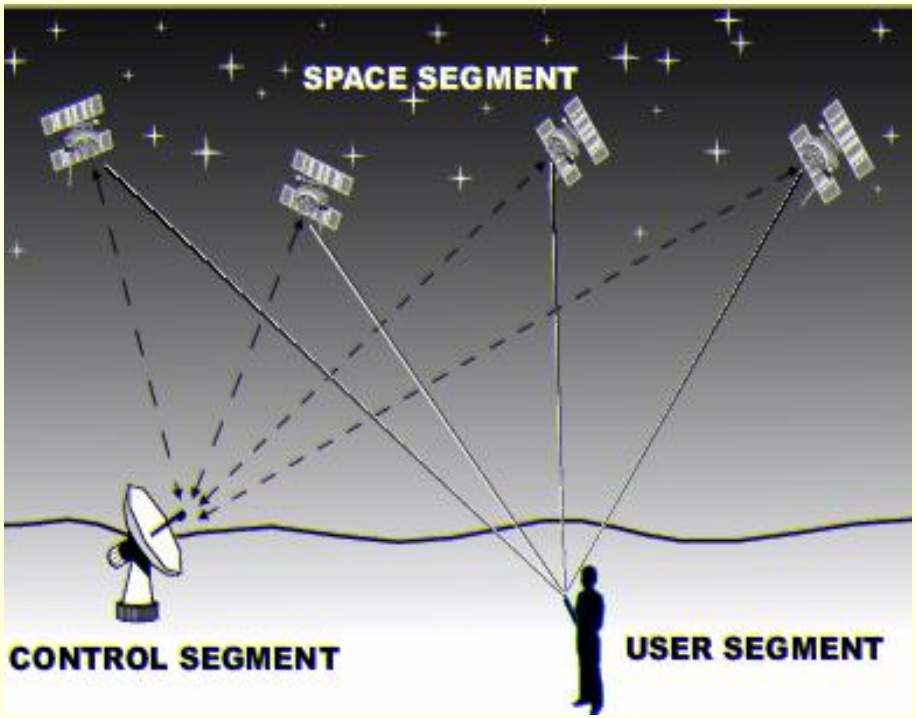
精確度(Precision)與準確度(Accuracy)的概念

http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/wp-content/uploads/2011/04/%E7%B2%BE1.jpg



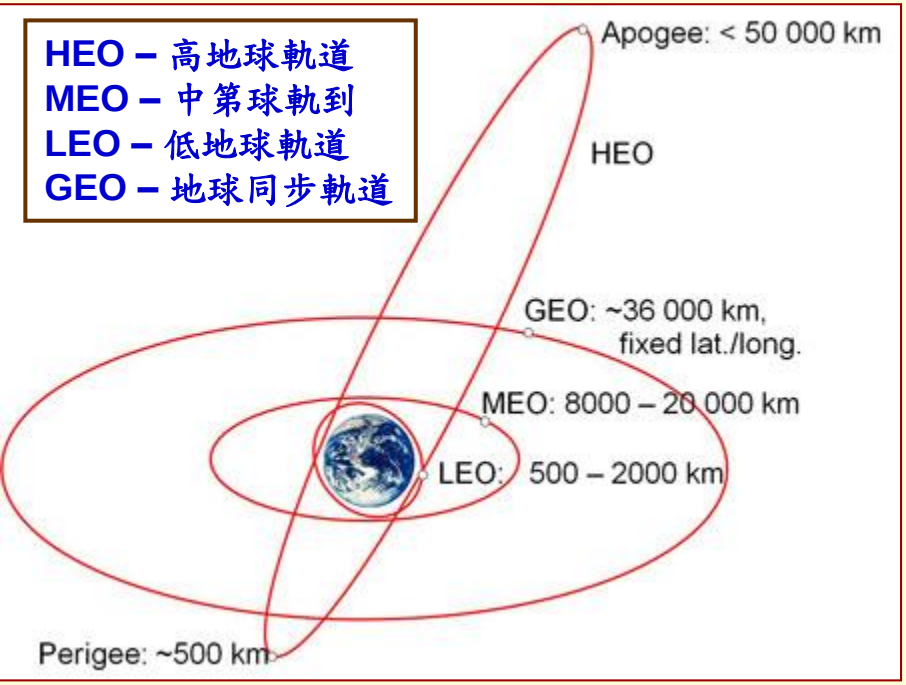
http://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/normal-distributions/

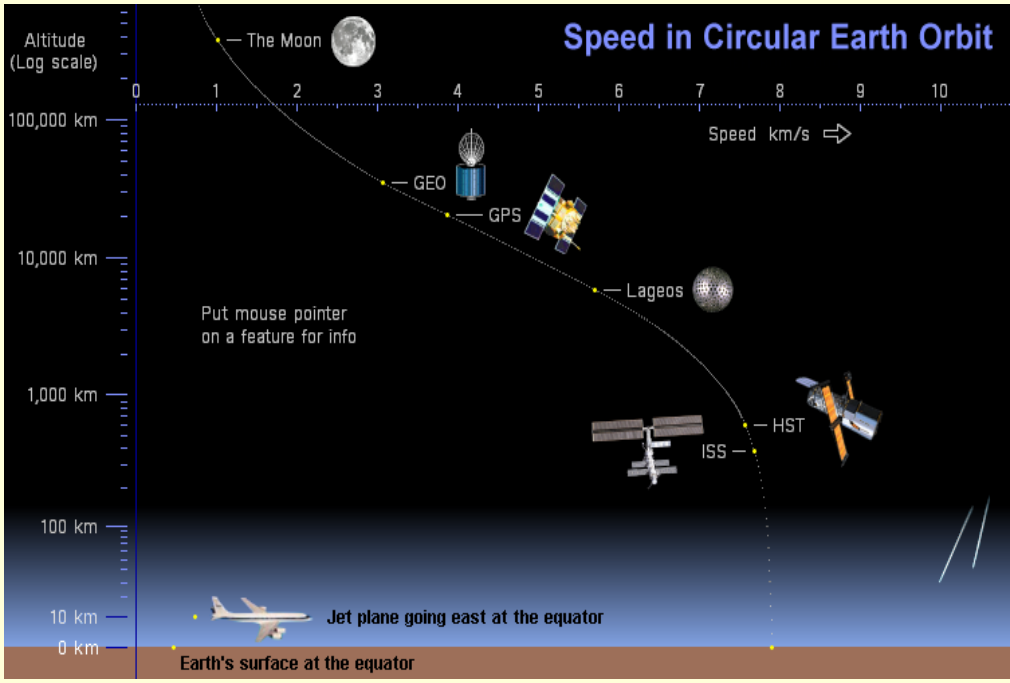
GPS衛星定位系統的組成
(至少要能接收到四顆GPS衛星以上才可以進行定位)



由於自由電子的存在，將導致GPS訊號通過電離層時，電波傳播速度撿慢，造成人造衛星訊號傳播的遲延，因而使得GPS定位產生誤差。目前已針對此問題有了解決之道。亦即使用雙頻GPS訊號進行電離層遲延校正。

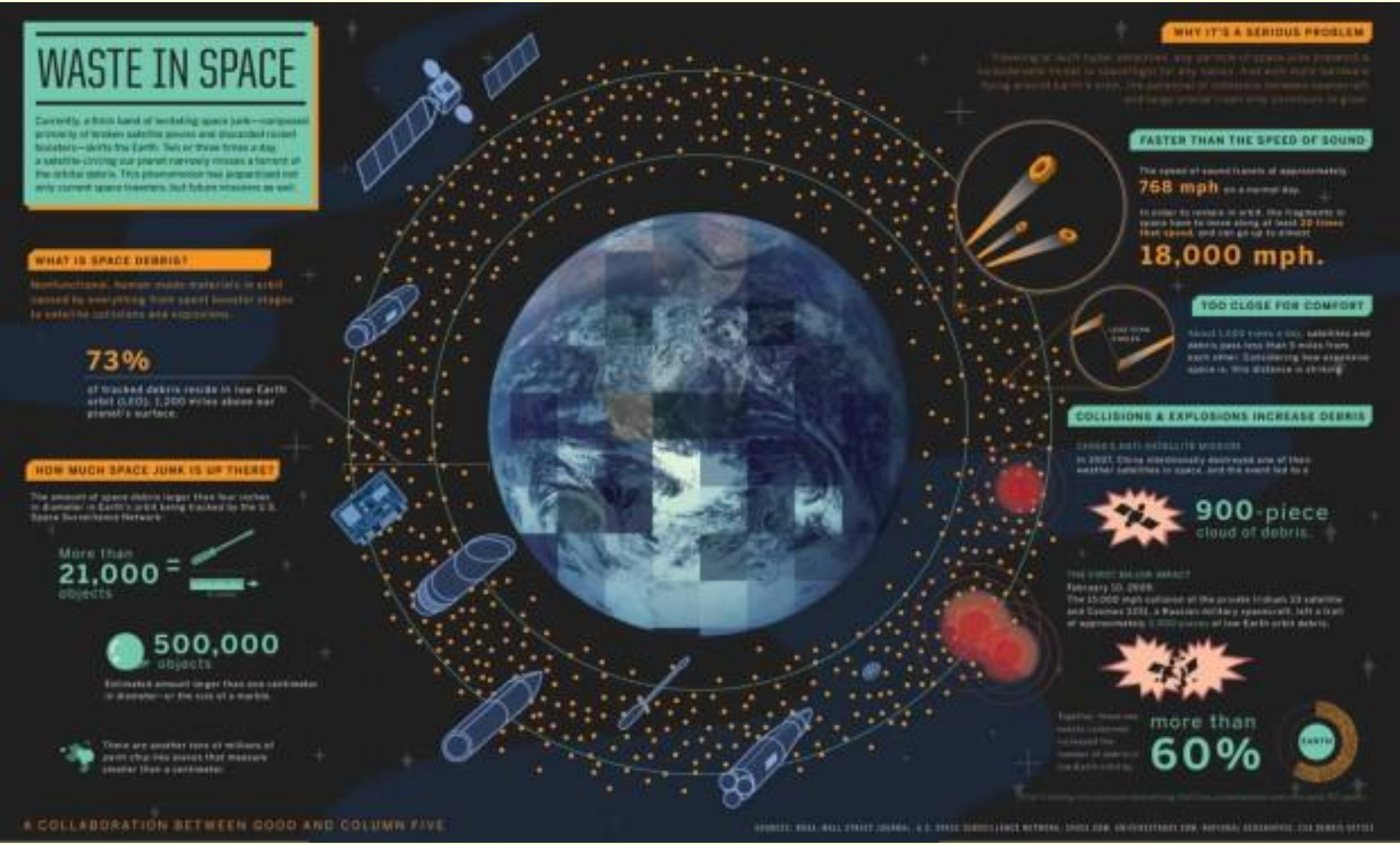
人造衛星軌道與太空垃圾





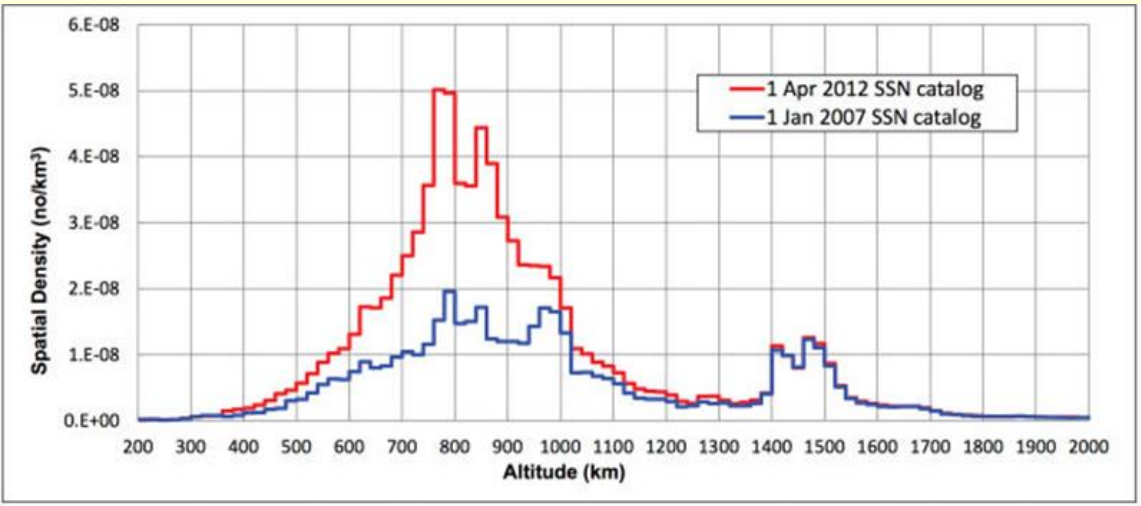
自1957年10月起，人類共發射超過4800火箭，佈放超過6000枚人造衛星在軌道中。目前在太空中共有約29000個大於10公分的人造物體繞地球運行，其中17000個被相關單位監測中，而其中的7%屬於功能正常的運作中的衛星，約5000個為喪失功能的衛星，剩下約7000個物體，為衛星在軌道中裂解後的殘骸，不同軌道中

太空碎片(垃圾)Space Debris



http://wordlesstech.com/2011/03/26/space-junk/

太空碎片(Space Debris)或太空垃圾(Space Junk)



The spatial density distribution of the cataloged objects on 1 April 2012 (red histogram). The population below 1000 km altitude is more than doubled since the beginning of 2007 (blue histogram). Fragments generated from the anti-satellite test (at 850 km altitude) conducted by China in 2007 and the collision between Iridium 33 and Cosmos 2251 (at 790 km altitude) in 2009 were responsible for the majority of the increase.

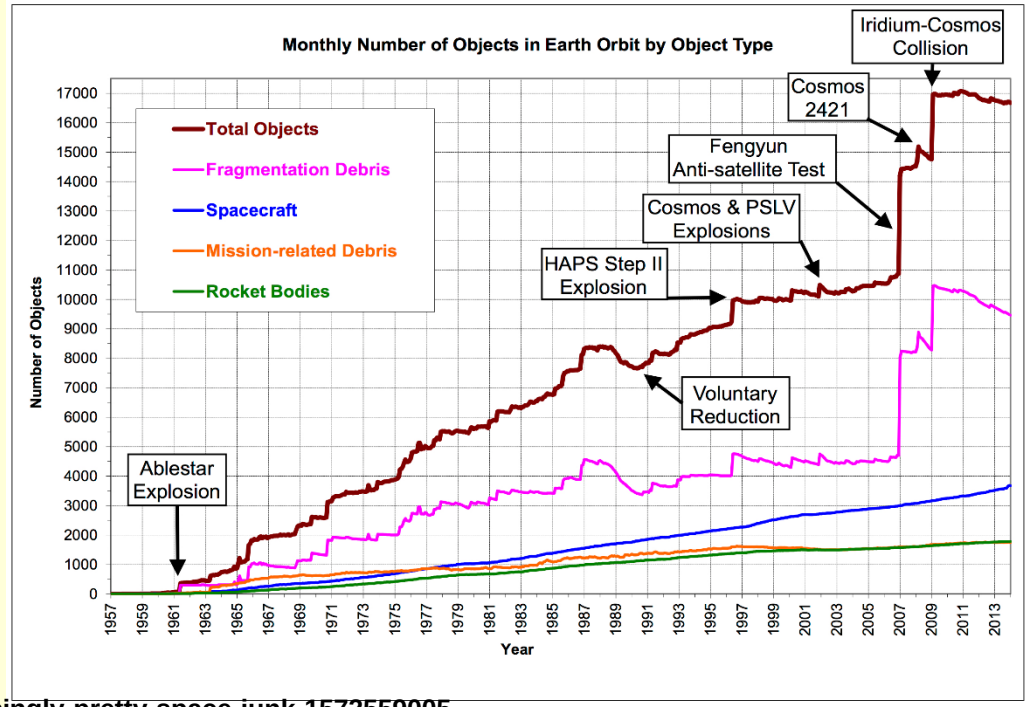
Common Name	Year of Breakup	Altitude of Breakup	Cataloged Debris*	Debris in Orbit*	Cause of Breakup
Fengyun-1C	2007	850 km	2841	2756	Intentional Collision
Cosmos 2251	2009	790 km	1267	1215	Accidental Collision
STEP 2 Rocket Body	1996	625 km	713	63	Accidental Explosion
Iridium 33	2009	790 km	521	498	Accidental Collision
Cosmos 2421	2008	410 km	509	18	Unknown
SPOT 1 Rocket Body	1986	805 km	492	33	Accidental Explosion
OV 2-1 / LCS 2 Rocket Body	1965	740 km	473	36	Accidental Explosion
Nimbus 4 Rocket Body	1970	1075 km	374	248	Accidental Explosion
TES Rocket Body	2001	670 km	370	116	Accidental Explosion
CBERS 1 Rocket Body	2000	740 km	343	189	Accidental Explosion
			Total: 7903	**Total: 5172**	

* As of May 2010

太空碎片的產生，或因人造衛星被飛彈故意擊毀，或因流星或隕石撞擊，或因火箭在太空中爆炸，或因衛星間彼此相撞，或受其他太空碎片撞擊所致。太空碎片也會因太空中的大氣阻力作用，降低運行軌道高度，最後進入大氣層燃毀消逝。

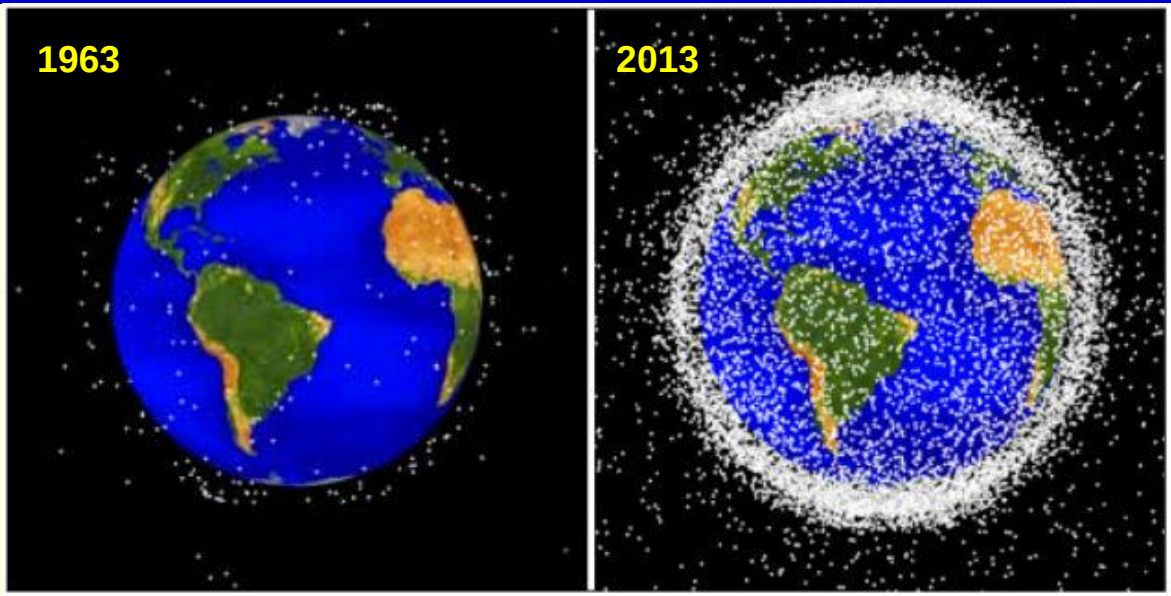
http://space.io9.com/surprisingly-pretty-space-junk-1572559005

各種形狀的太空碎片(垃圾)Space Debris(續)

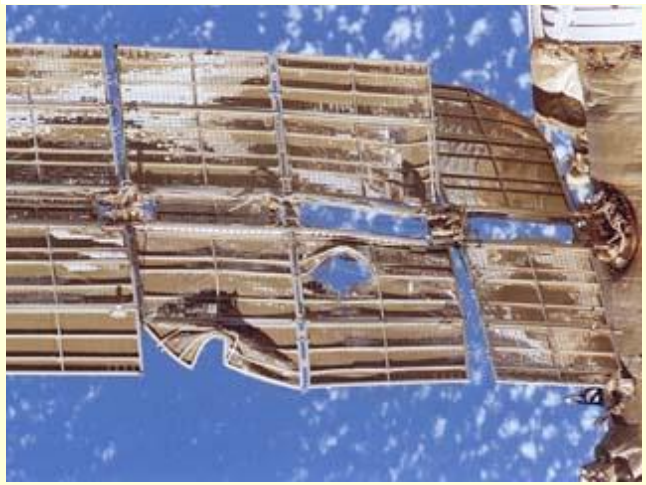


http://space.io9.com/surprisingly-pretty-space-junk-1572559005

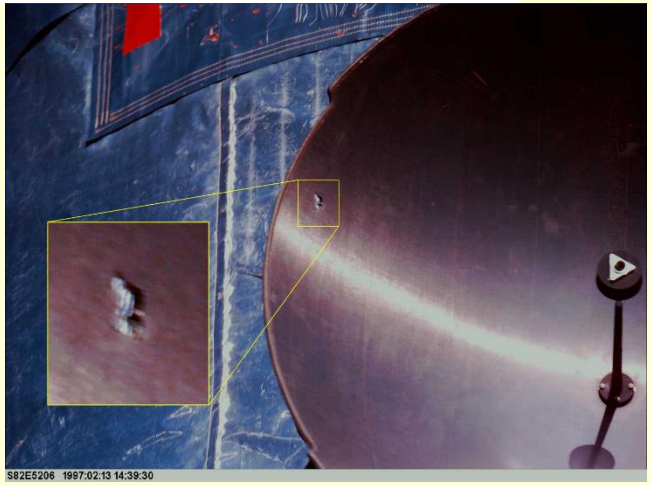
太空碎片(Space Debris)或太空垃圾(Space Junk)



18公分鋁球以時速6.8km/s速度撞擊鋼板所產生的撞擊坑



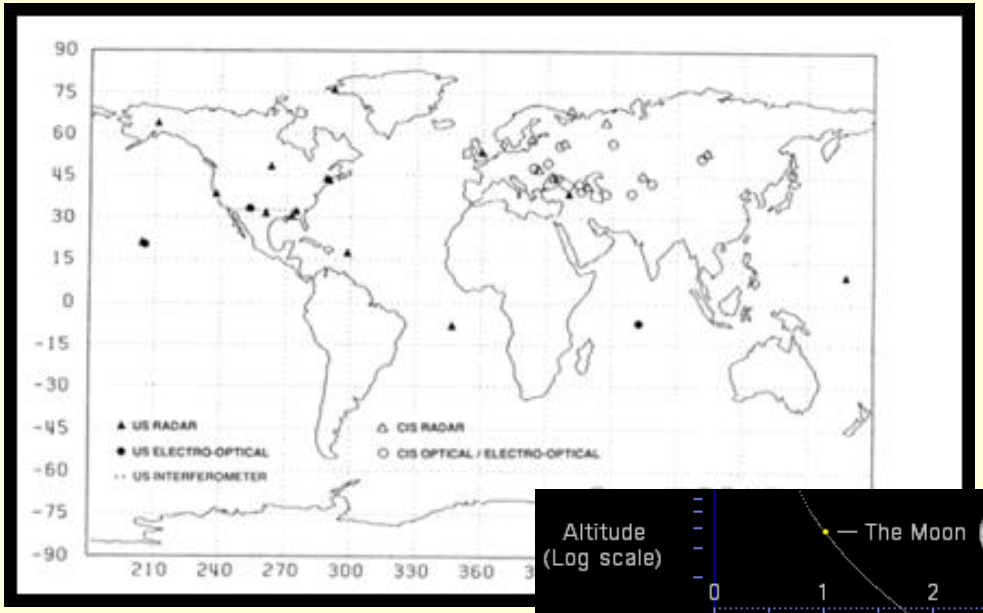
蘇聯太空站Mir Space Station在1997年9月被未知的太空碎片撞擊後情形



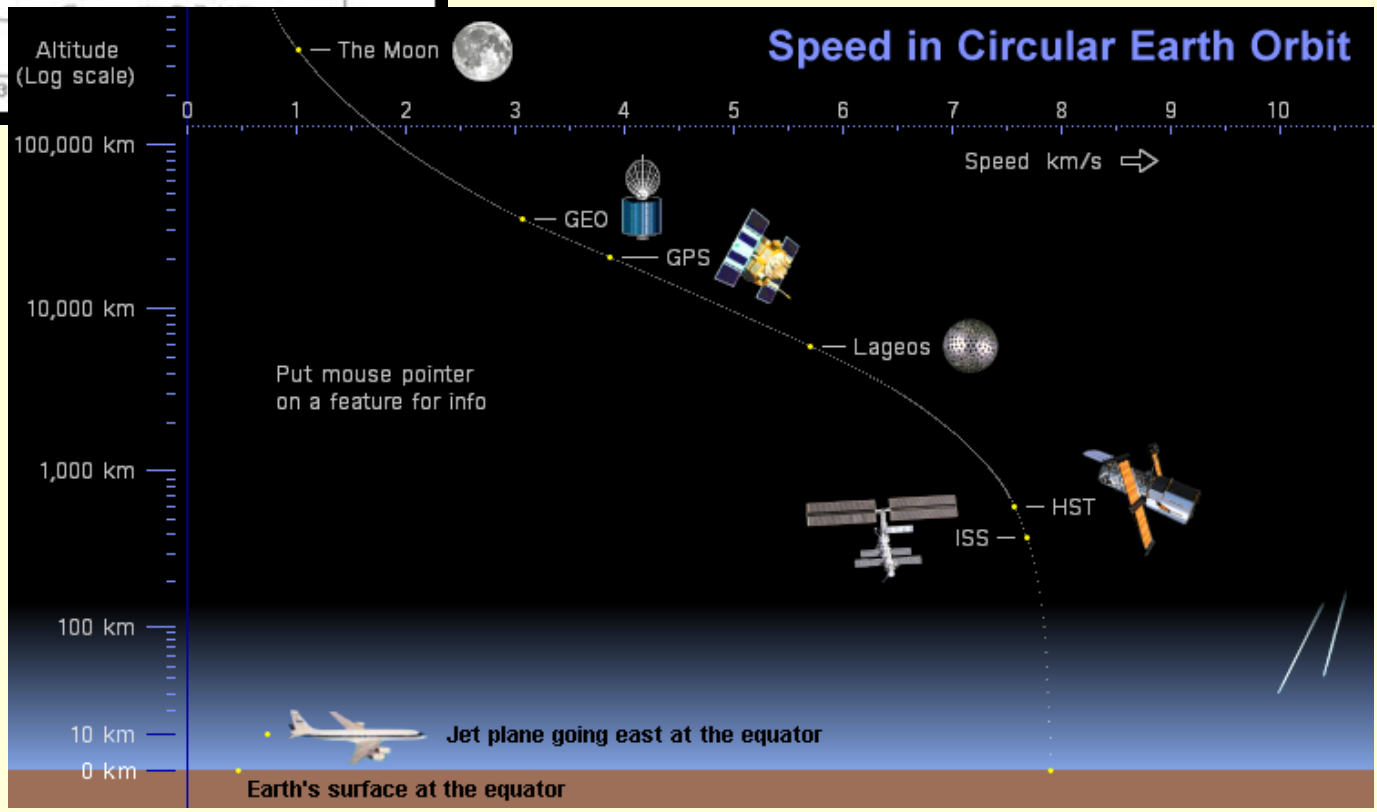
美國哈柏太空望遠鏡天線在1997年2月被小於1公分的太空碎片撞擊後情形

國際太空站(ISS)在2011年11月與太空碎片，太空碎片經常被渲染為UFO。

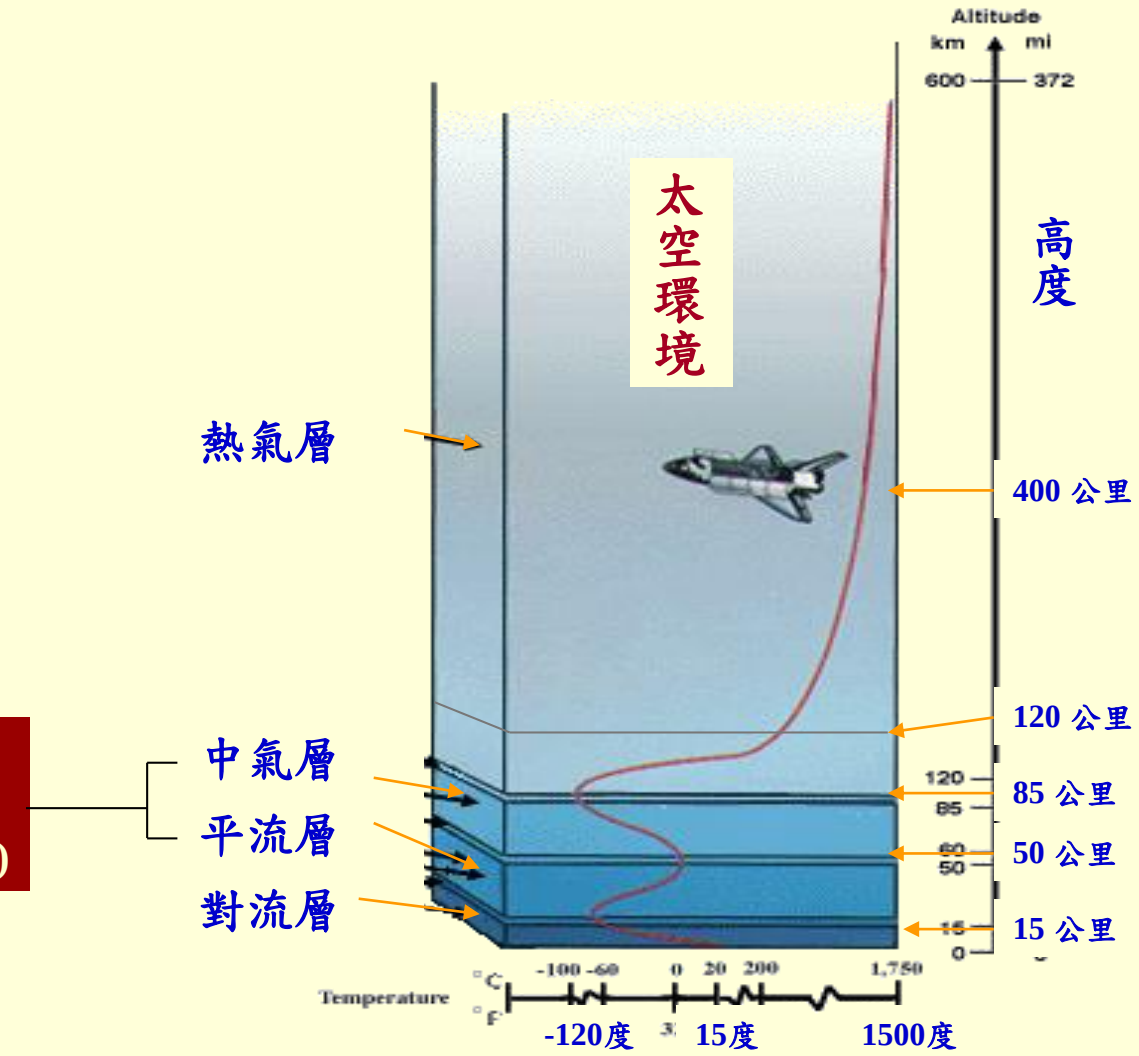
太空垃圾的監控



http://ccar.colorado.edu/asen5050/projects/projects_2010/bicket/



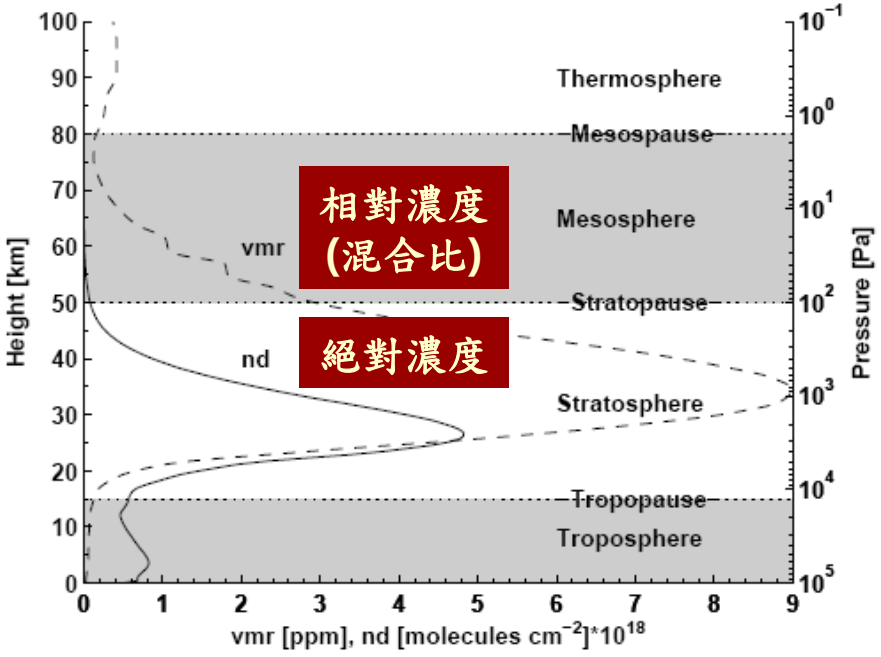
中層大氣的位置與特性



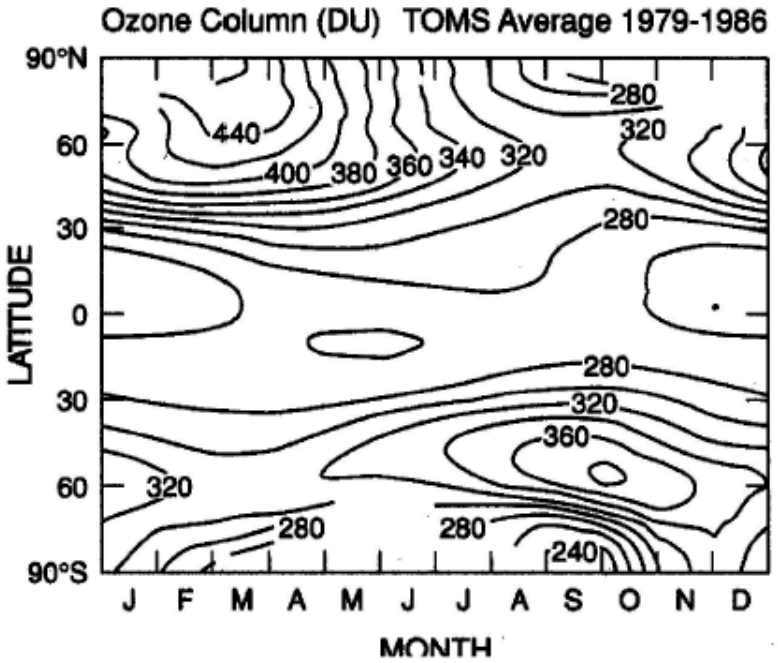
中層大氣 (Middle Atmosphere)

臭氧濃度在中層大氣中的分布

垂直分布



緯度－時間分布



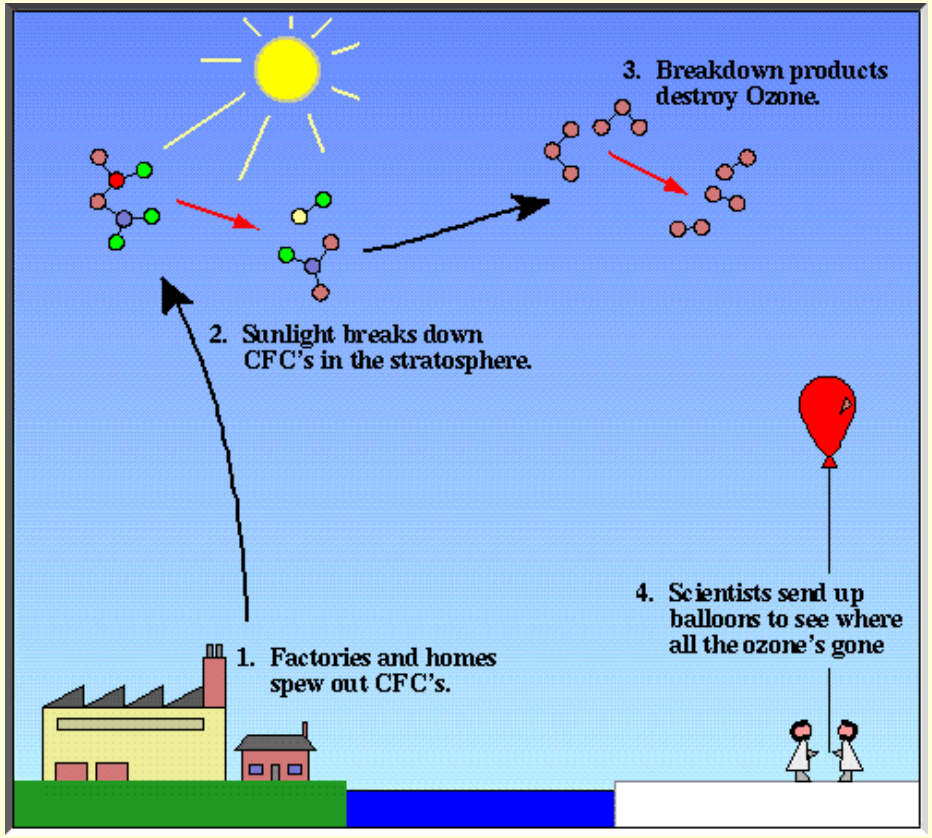
臭氧的化學反應式

$$O_2 + hf \rightarrow O + O \quad \lambda < 242nm$$
$$O + O + M \rightarrow O_2 + M$$
$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$
$$O_3 + hf \rightarrow O_2 + O(^1D) \quad \lambda < 336nm$$
$$O + O_3 + M \rightarrow 2O_2$$

控制臭氧產生化學反應式

控制臭氧消失化學反應式

極區臭氧洞(Ozone Hole)的形成
(人類釋放大量氟氯炭化物的結果)

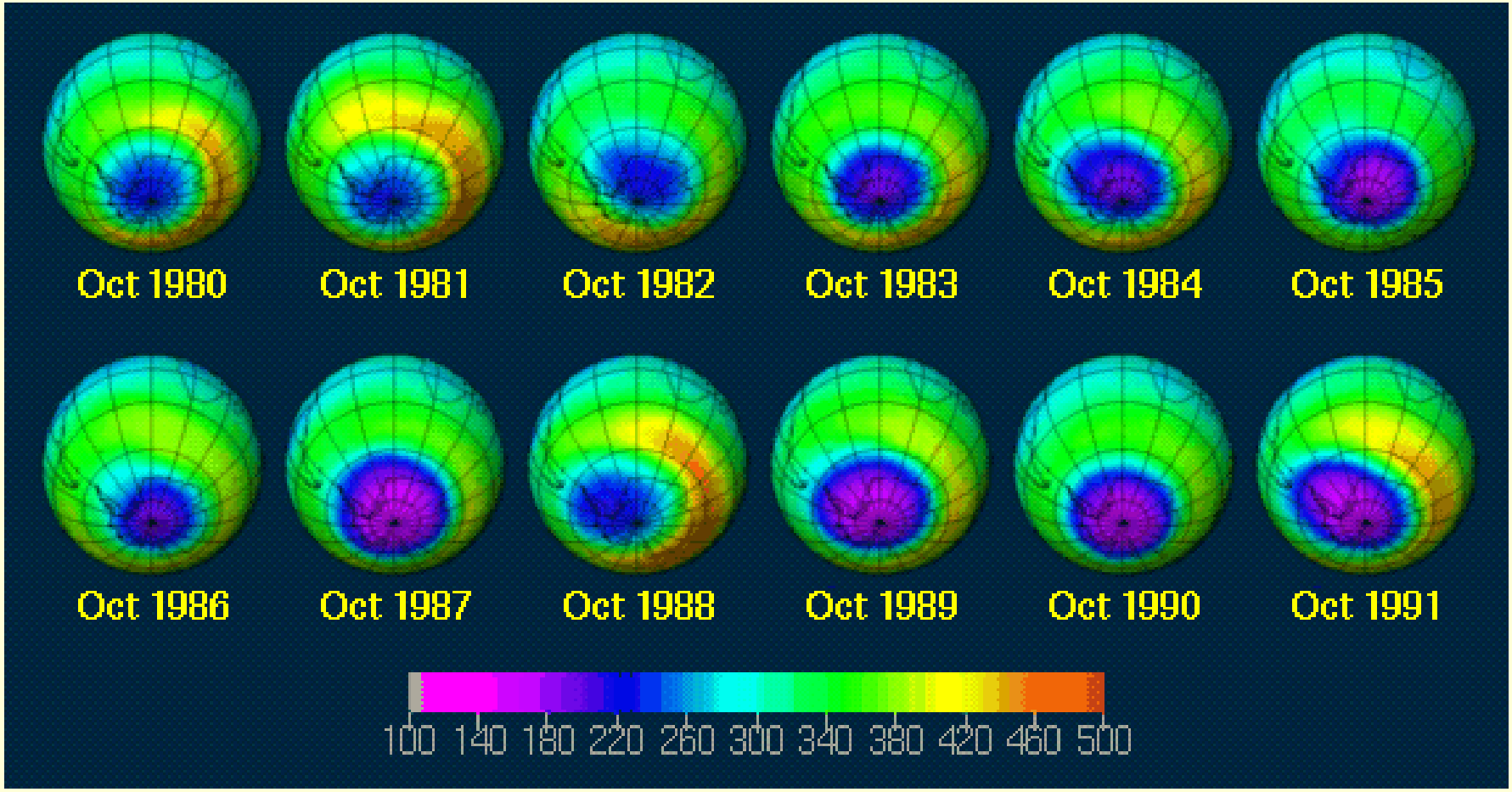


臭氧耗竭的反應式

$$X + O_3 + M \rightarrow O_2 + XO$$
$$XO + O \rightarrow X + O_2$$

其中X為溴(Br)，氯(Cl)，NO與HO中的任何一種，而M為大氣中第三者氣體分子

南極上空臭氧破洞變化圖



習題一

請想一想，若沒有地球磁場，會對地球造成什麼影響(包括地球環境，生態，動物，與人類等等)？

習題二

大氣懸浮微粒中直徑小於PM2.5的粒子，會對人類帶來嚴重的疾病，屬於第一級致癌物。請問PM2.5的含意是什麼，PM2.5粒子進入人體後造成人體疾病的機制為何？

習題三

請指出下述科學報導中錯誤部分。

“科學家證實，仙后座A在收縮過程中，核心會生成放射性同位素鈦44，而鈦44會向外輻射出大量的高能量X射線，將核心外層氣體以每秒50萬公里的速度吹散，形成一般認知中的超新星爆炸。NuSTAR（核光譜望遠鏡陣列）則拍下人類史上第一組輻射圖像。”
(台灣醒報－民國103年2月21日)