

太空天氣

呂凌霄

Ling-Hsiao Lyu

Institute of Space Science, NCU

大綱

- 惡劣太空天氣的幾種形態
 - 改變電離層電子濃度的分布，影響通訊
 - 增強的電流，在太空中以及地表產生感應電動勢
 - 輻射傷害
- 惡劣太空天氣的各種成因
- 惡劣太空天氣造成的各種危害
- 太陽活動對地球氣候的影響

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- September 2, 1859, [disruption of telegraph service](#).
古時候，惡劣的太空天氣，只會影響越洋電報的收發服務。古時候，是透過電離層反射短波電磁波，越洋傳送電報訊息。太陽閃焰產生的短波輻射，可以增加電離層電子濃度分布，進而改變電離層對短波電磁波的反射點，所以越洋傳送路徑會發生改變，以致於收不到該收到的訊息。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- The best-known example of space weather events is the collapse of the [Hydro-Québec power network](#) on March 13, 1989 due to [geomagnetically induced currents](#). This was started by a [transformer](#) failure, which led to a general [blackout](#), which lasted more than 9 hours and affected 6 million people. The [geomagnetic storm](#) causing this event was itself the result of a [Coronal Mass Ejection](#), ejected from the [Sun](#) on March 9, 1989. 歷史上最著名的一次惡劣的太空天氣，發生在北國的冬天：西元1989年三月13日，加拿大魁北克發生持續超過九小時的大停電，影響了6百萬居民。這次的停電是因為三月9日那天，太陽表面的日冕物質拋射，經過數天的時間，傳到地球，造成地球的磁暴與磁副暴。這些磁場隨時間大幅改變的磁場風暴，會在地表產生感應電動勢（楞次定律），使覆載電線中的電流突然增加，造成超載，燒毀變電器，造成大停電。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- A [geomagnetic storm](#) on January 20, 1994 temporarily knocked out two Canadian communications satellites, [Aniks E1](#) and [E2](#) and the international communication satellite [Intelsat K](#).
- A [Coronal Mass Ejection](#) on January 7, 1997 hit the Earth's [magnetosphere](#) on January 10 and caused the loss of the [AT&T Telstar 401](#) communication satellite (a \$200 million value).

這兩則人造衛星暫時與永久的失聯，都是因為地球的磁暴與磁副暴發生時，不僅地面，連地球磁層中（太空中）也發生磁場隨時間大幅改變的磁場風暴，於是原來依照磁場定位的人造衛星，姿態就發生錯誤了。錯誤的姿態，會導致地面與人造衛星之間的遠距遙控指令，無法正常傳輸。如果人造衛星，姿態改變太多，就可能造成永久性的失聯。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- Transpolar routes flown by airplanes are particularly sensitive to space weather, in part because of [Federal Aviation Regulations](#) requiring reliable communication over the entire flight. It is estimated to cost about \$100,000 each time such a flight is diverted from a polar route. Nine airlines are currently operating polar routes. [Receiver Autonomous Integrity Monitoring](#) technology can help planes get accurate GPS signals even when some satellite signals are experiencing interference.

太陽閃焰產生的短波輻射，以及磁層副暴的極光粒子，都可以改變電離層電子濃度分布，進而改變高頻電磁波穿過電離層之傳播路徑，而影響GPS的收訊。由於繞極的飛機行班，完全依賴GPS來認定方向，因此GPS收訊不佳，會造成飛安問題。為了確保飛安無慮，就必須取消一些省油的繞極行班，因此增加許多飛行成本。(事實上除了繞極的商用行班受到影響，隱型軍機的飛安也大受影響！)

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- No large [Solar Energetic Particles](#) events have happened during a manned mission. However, such a large event happened on August 7, 1972, between the [Apollo 16](#) and [Apollo 17](#) lunar missions. The dose of particles which would have hit an astronaut outside of earth's protective magnetic field, had this event happened during one of these missions, would have been deadly or at least life-threatening.

雖然目前尚無太空人被太陽閃焰所產生的高能粒子傷害的記錄，不過歷史上，阿波羅16號與17號登月探險活動之間，曾經發生過一次很強的太陽高能粒子事件。這個由太陽閃焰所造成的太陽高能粒子事件，其高能粒子通量，足以對太空人造成致死或嚴重的生命健康影響。

Examples of space weather events

http://en.wikipedia.org/wiki/Space_weather

- [Nozomi](#) Mars Probe was hit by a large [Solar Energetic Particles](#) event on April 21, 2002, which caused large-scale failure. The mission, which was already about 3 years behind schedule, was eventually abandoned in December 2003.

日本的希望號火星探測器，西元2002年4月間，遇上了太陽高能粒子事件，造成探測儀器的毀損，終於在隔年，西元2003年12月，宣告放棄此項探測任務。

太陽閃焰產生的短波輻射所造成的惡劣太空天氣

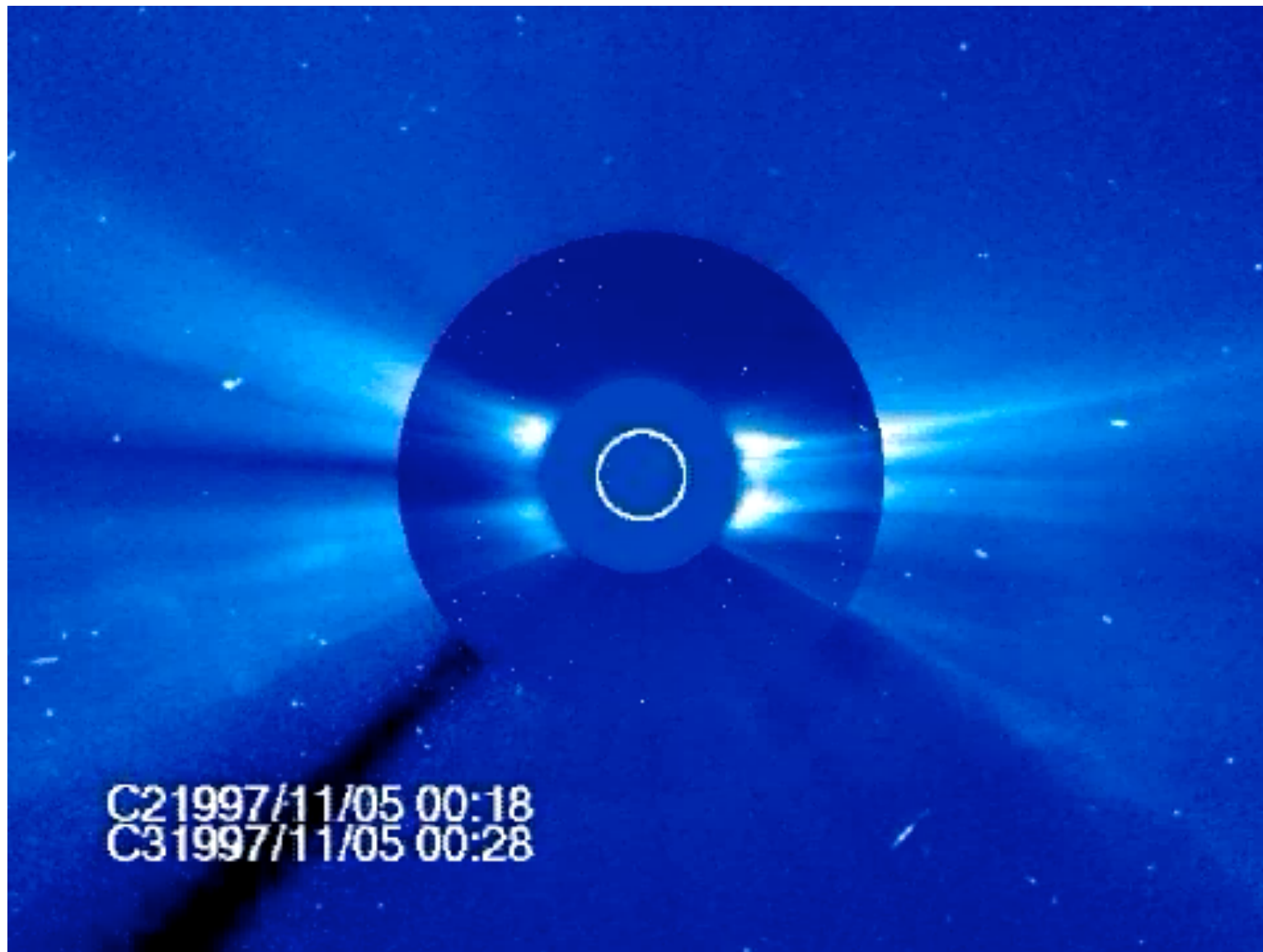
Eruptions on the Sun can lead to severe space weather.

太陽表面的噴發，可以影響我們的太空天氣。

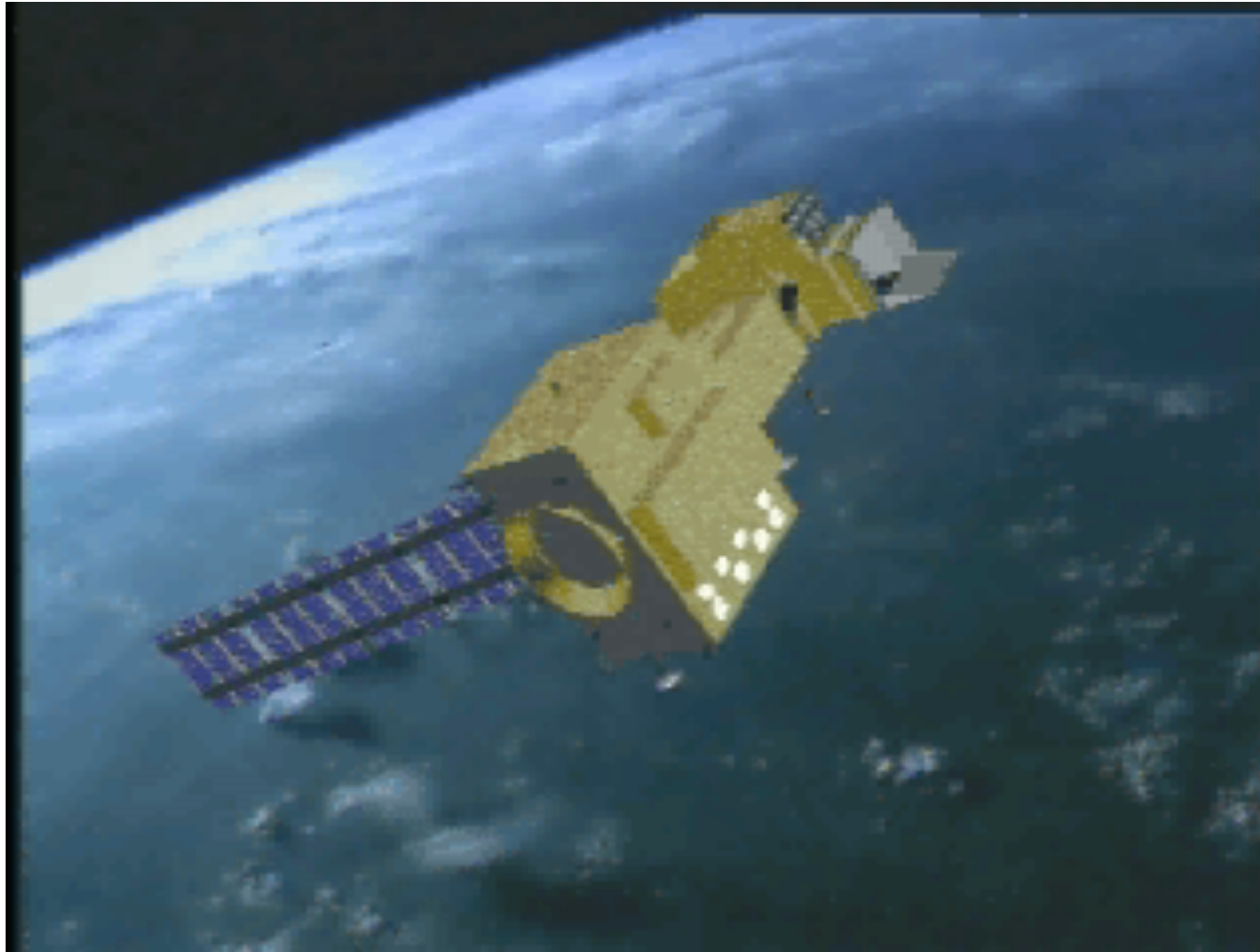
以下先看一個範例：

影片是SoHO/LASCO所拍攝到的白光影片。影片中最後的閃爍亮點來自太空船表面的放電現象，如下一個影片所顯示的圖像。這些放電現象是太陽磁暴所伴隨的太陽閃焰所放出的宇宙射線所造成的。

太陽磁暴影片



太空船表面的放電現象影片



Cause of eruptions on the solar
surface

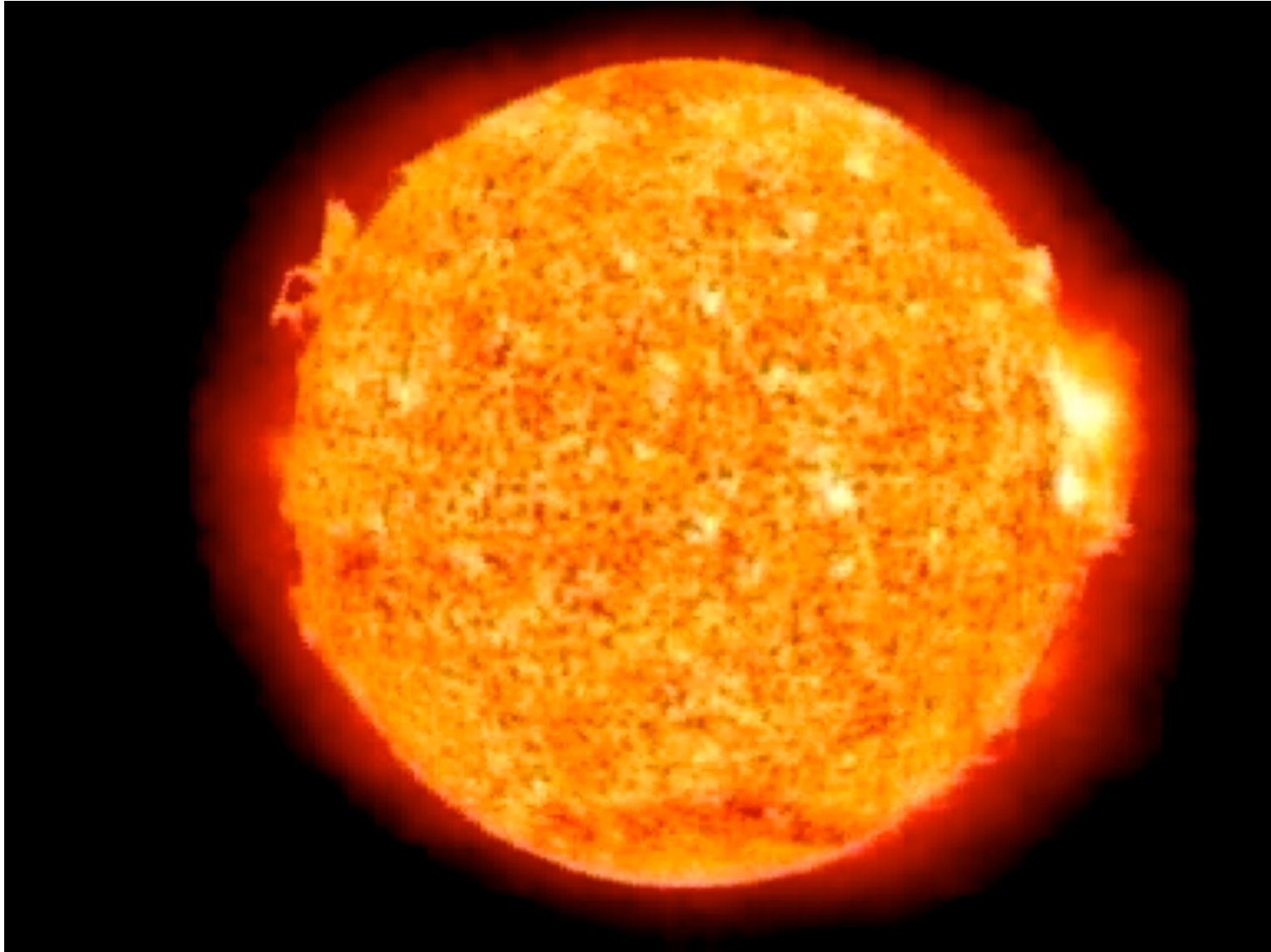
造成太陽表面日冕噴發之物理機制

Red:
Prominences
日珥

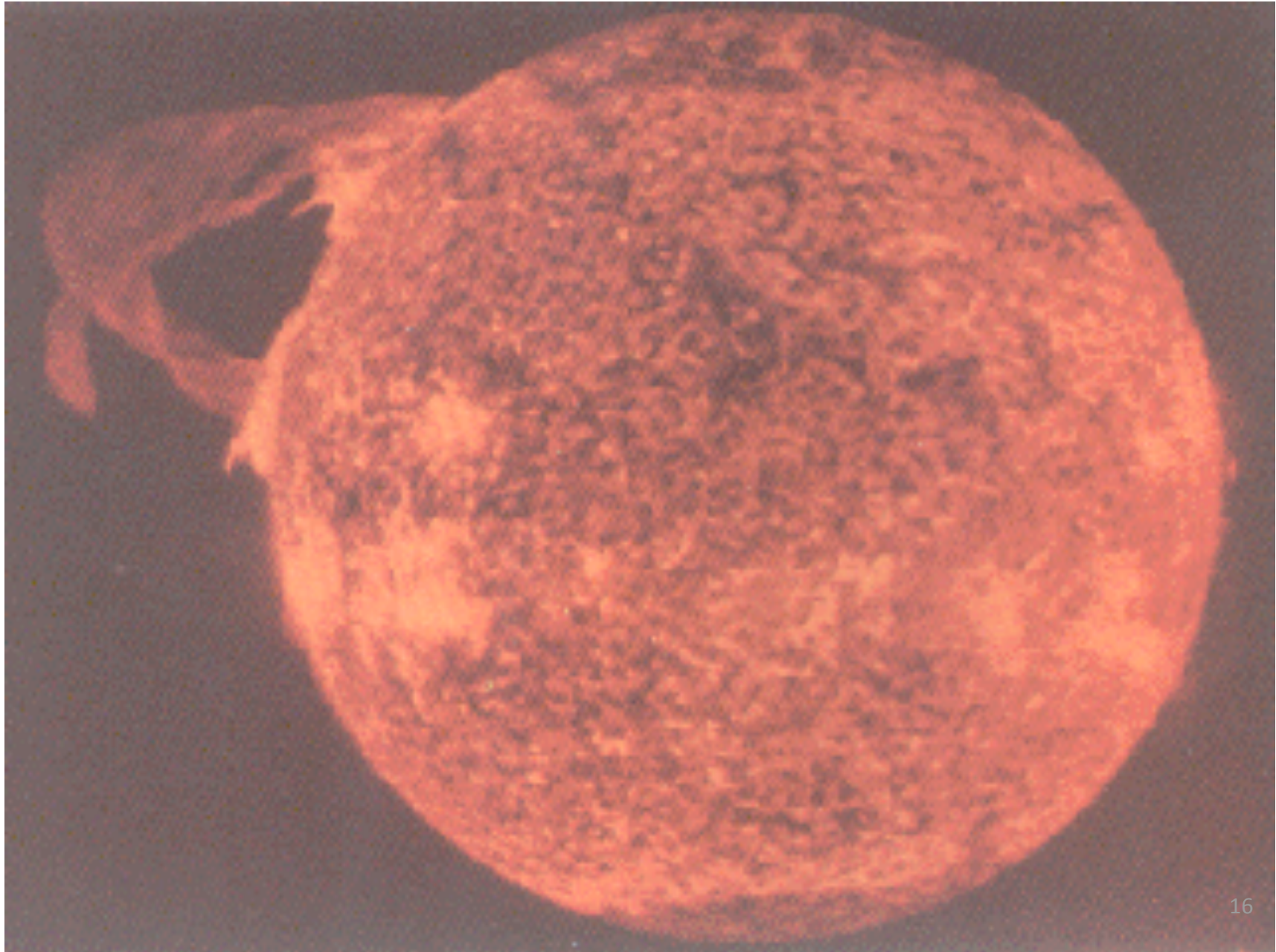
Blue: Corona
日冕



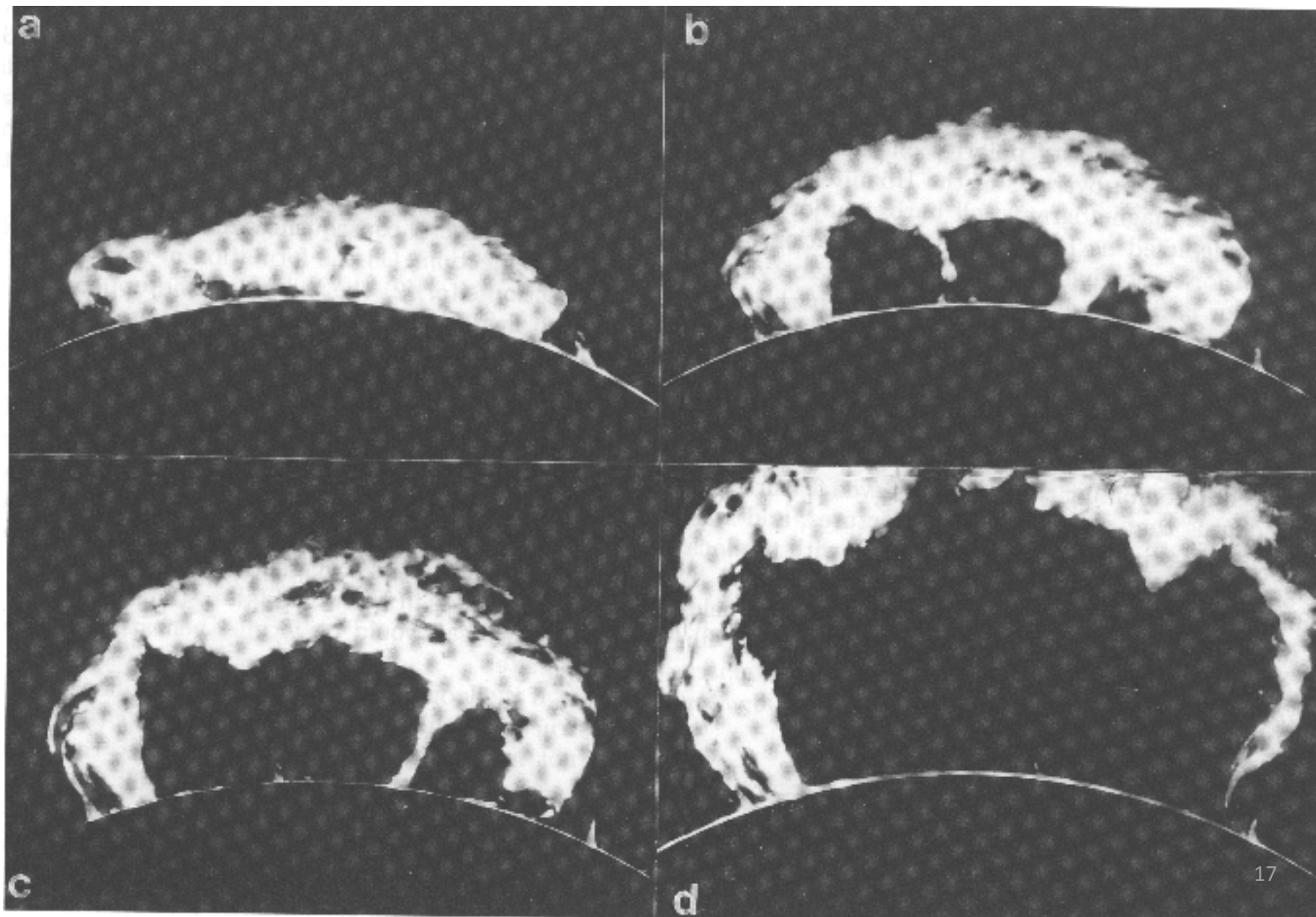
日珥的動態結構影片



Prominences (UV observation) 日珥噴發



Prominence eruption 日珥噴發



Filaments

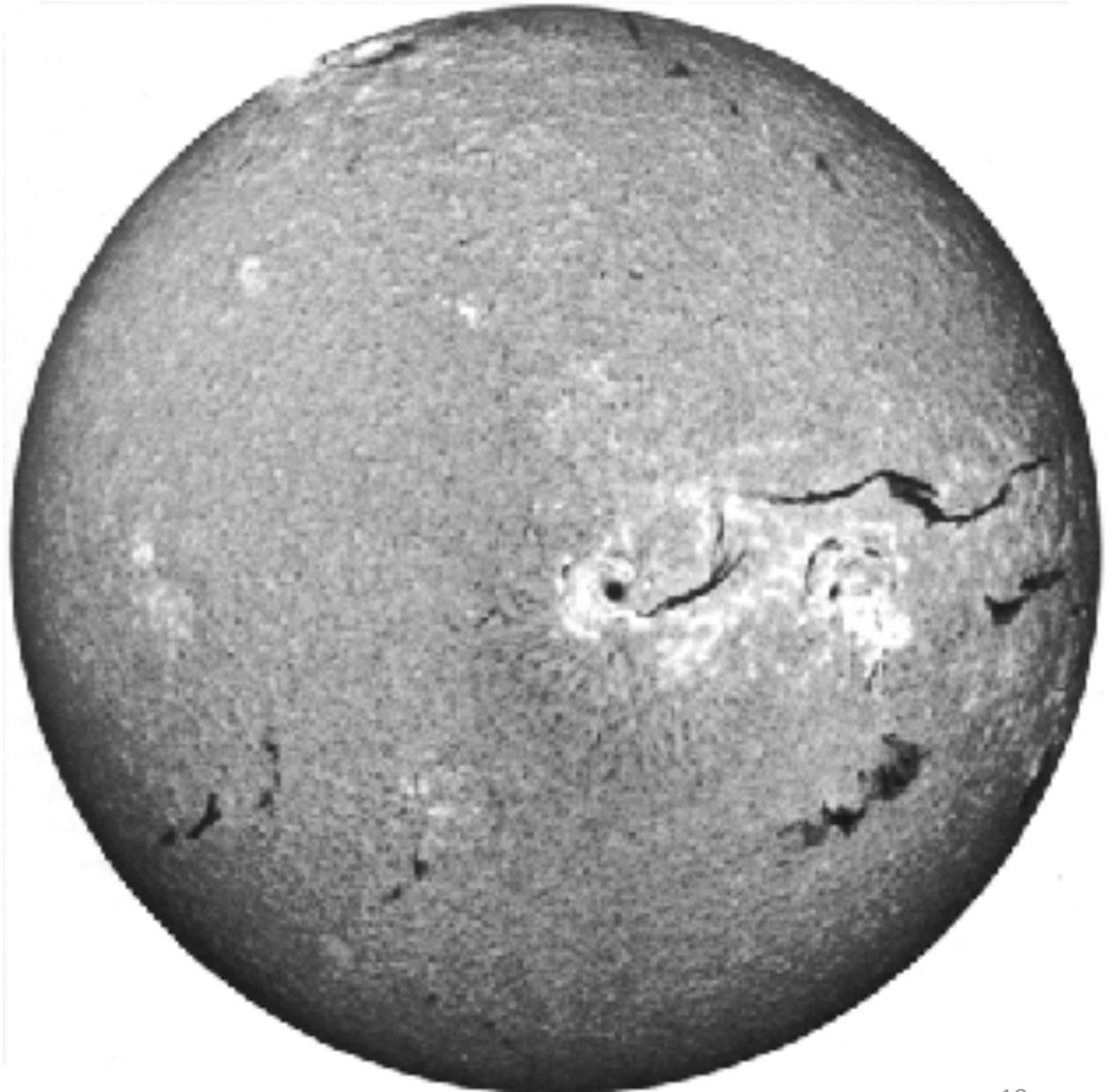
暗紋

Ha image

氫阿法光譜影像

日珥在太陽表面時，
看起來呈現
暗紋的結構

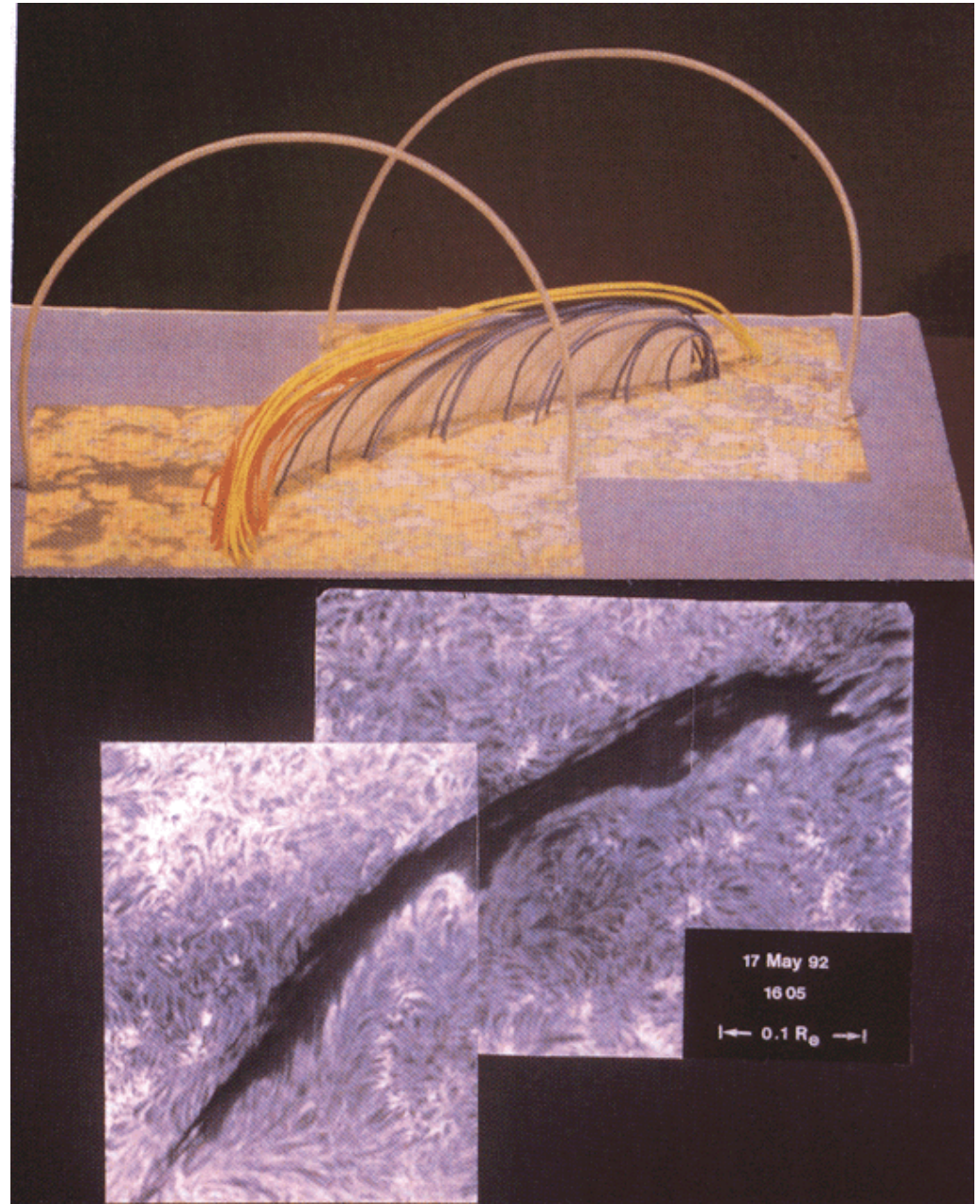
說明：日珥位在色球層中。日珥區域磁場強，輻射冷卻的結果，氫呈現部份游離的狀態，其中未游離的氫原子會，吸收散射來自下方光球層的氫阿法光，所以在氫阿法光譜影像上，呈現暗紋結構。但是當它位在太陽光盤邊緣時，因為襯著黑暗的背景星空，它所散射出來的紅光，就讓它顯得特別明亮了



Filaments magnetic field and coronal loop

暗紋處磁場結構以及上
方日冕磁場結構。

當**日珥**／暗紋噴發時會
造成
日冕物質噴發(CME)

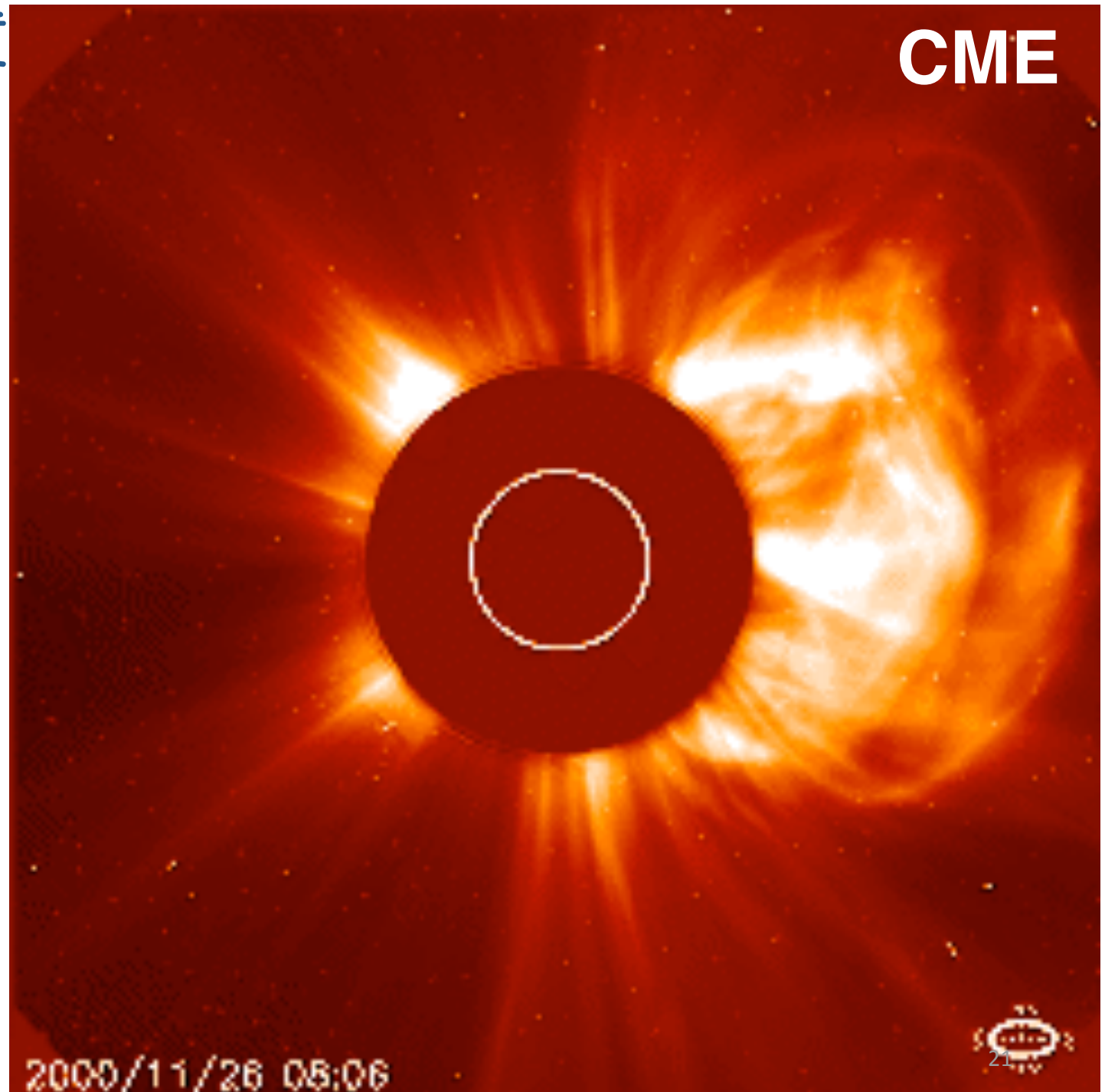


Coronal Mass Ejection (CME) can be triggered by prominence/filament eruptions.

日冕物質噴發(CME)
可由日珥／暗紋噴發造成

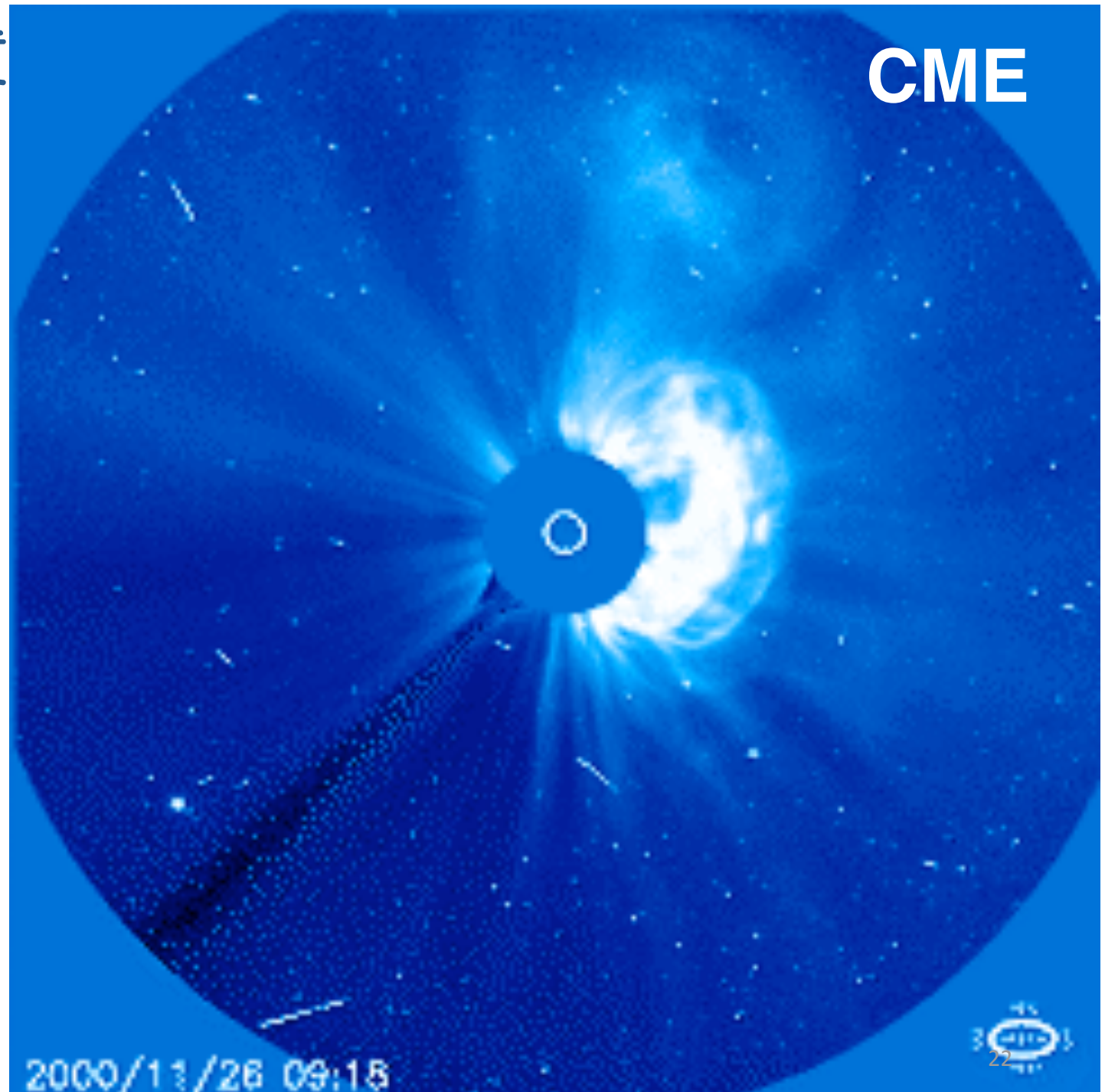
CME日冕物質 噴發照片

此LASCO/C2 影像中，遮光用的日冕儀半徑約兩個太陽半徑，提供人造日蝕現象。中央圓圈表示太陽所在位置。



CME日冕物質 噴發照片

此LASCO/C3 影像
中，遮光用的日冕儀
半徑約三個太陽半徑，
提供人造日蝕現象。
中央圓圈表示太陽所
在位置。



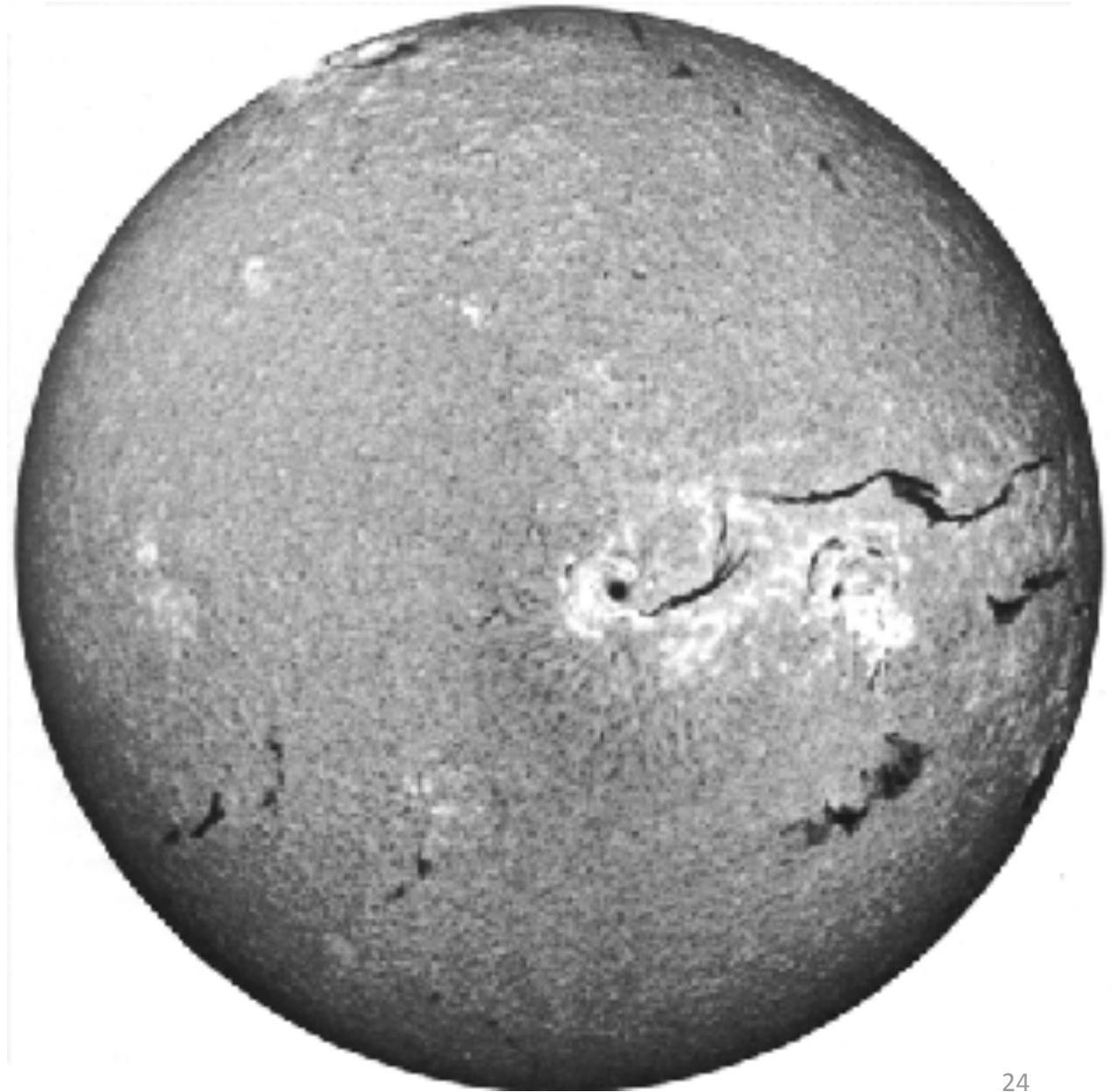
The prominence/filament eruption can also lead to solar flare on the photosphere.

日珥／暗紋噴發
也可造成太陽閃焰(solar flare)

說明；日珥噴發就像用筷子挑起麵條。一部份麵條被挑起來，就是日冕噴發。一部份麵條滑落麵湯中，就造成太陽閃焰！

太陽閃焰可產生高能宇宙射線毀損太空船上的粒子探測儀器！

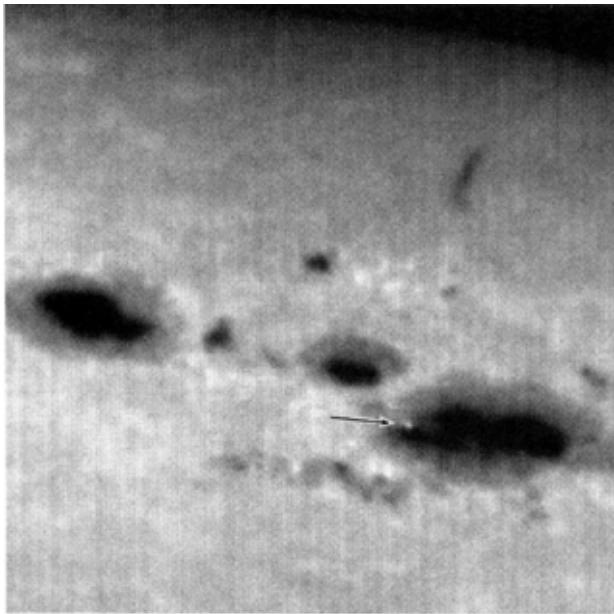
Filaments
next to
sunspots
暗紋附近常
有黑子



黑子附近發生的雙帶太陽閃焰

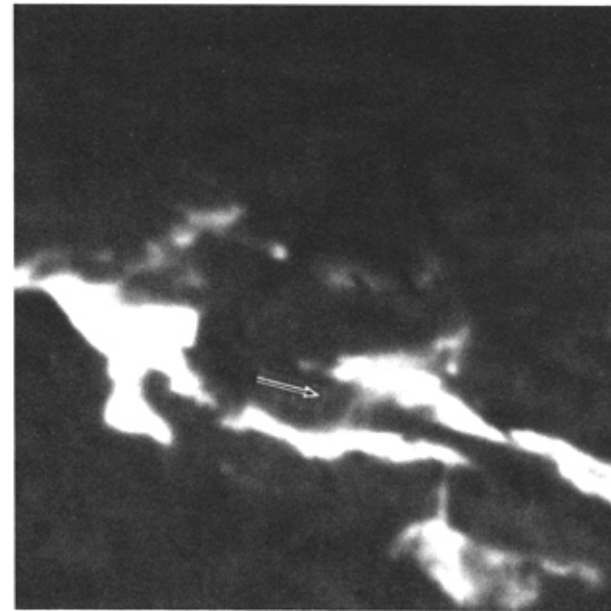
Two-ribbon flare

White light images
before solar flare:
A group of sunspots



17:37:19 UT

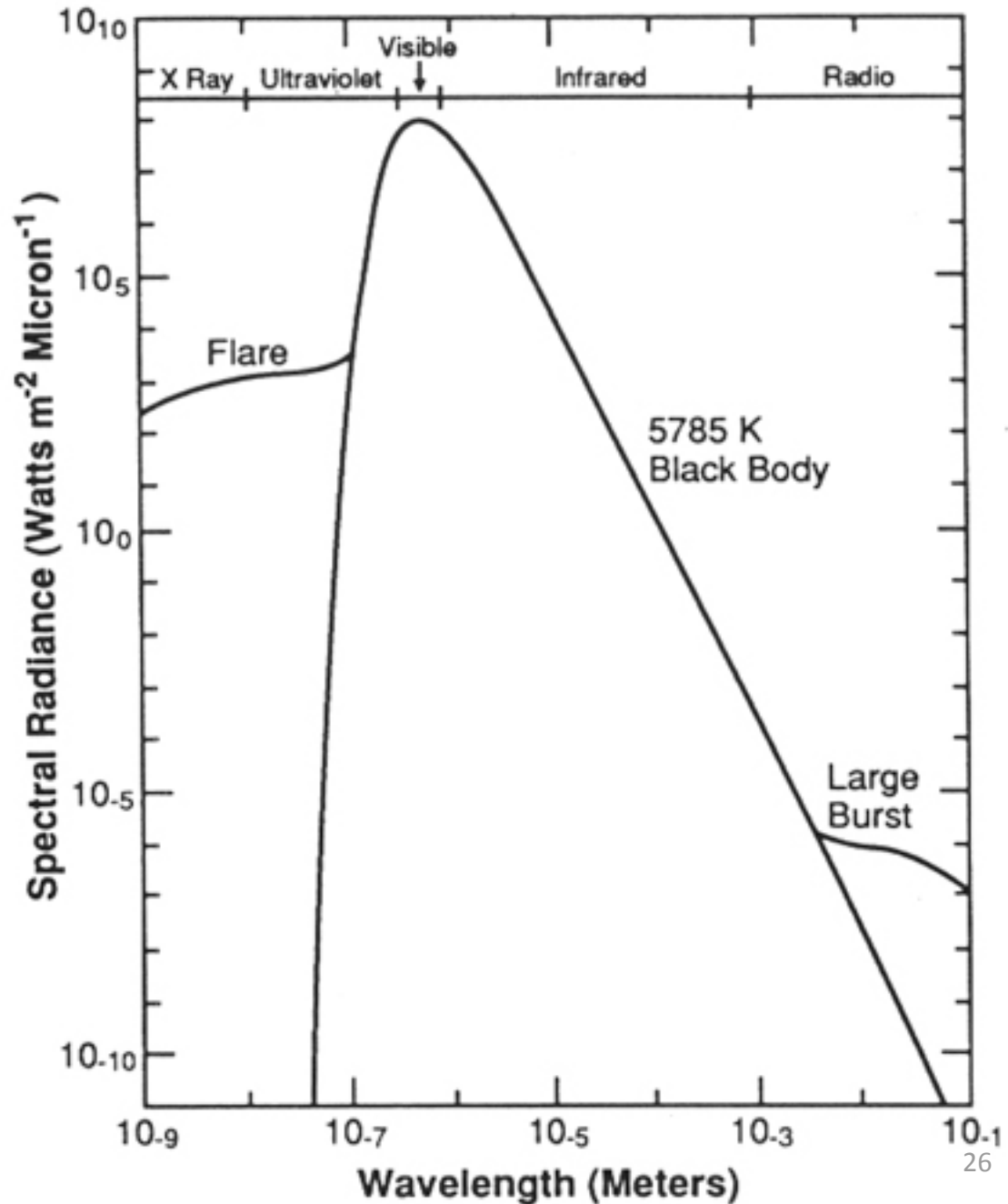
White light images during
solar flare: An example of
two-ribbon flare



18:23:59 UT

太陽閃焰可產生高能宇宙射線毀損太空船上的粒子探測儀器！

日珥噴發所伴隨的太陽閃焰，可產生高能宇宙射線，並放出超短波長的電磁波（如紫外線、X射線、伽馬射線）

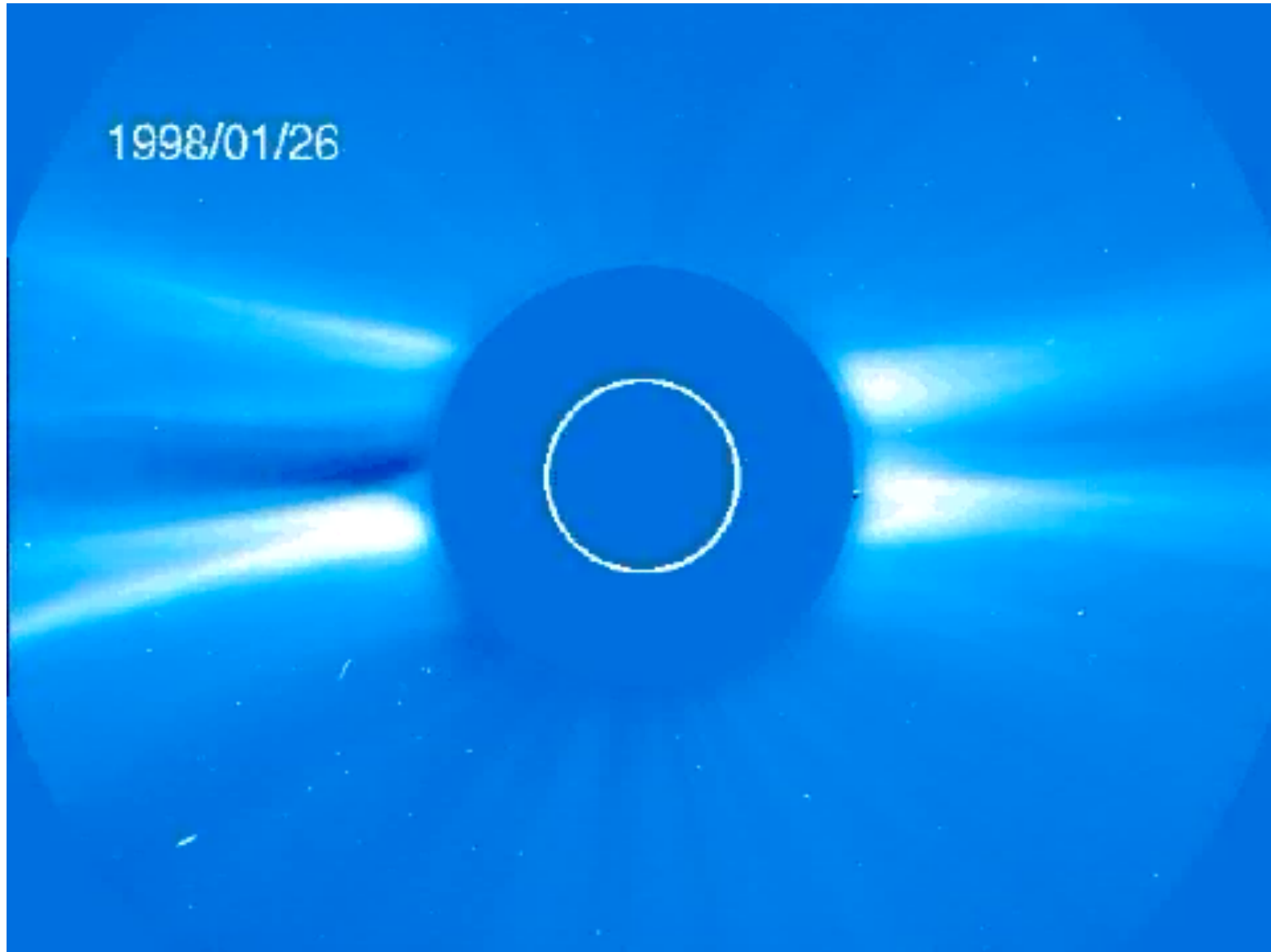


短波輻射（光波與高能粒子） 對人類的危害

太陽閃焰所產生高能宇宙射線與超短波長的電磁波，會毀損人造衛星上的儀器、傷害太空人，並影響電離層電子密度。

電離層電子密度的擾動，會影響穿過電離層的太空通訊，如GPS全球定位系統，對現代飛航安全影響甚巨！

更多的日冕噴發影片



彗星撞日造成CME

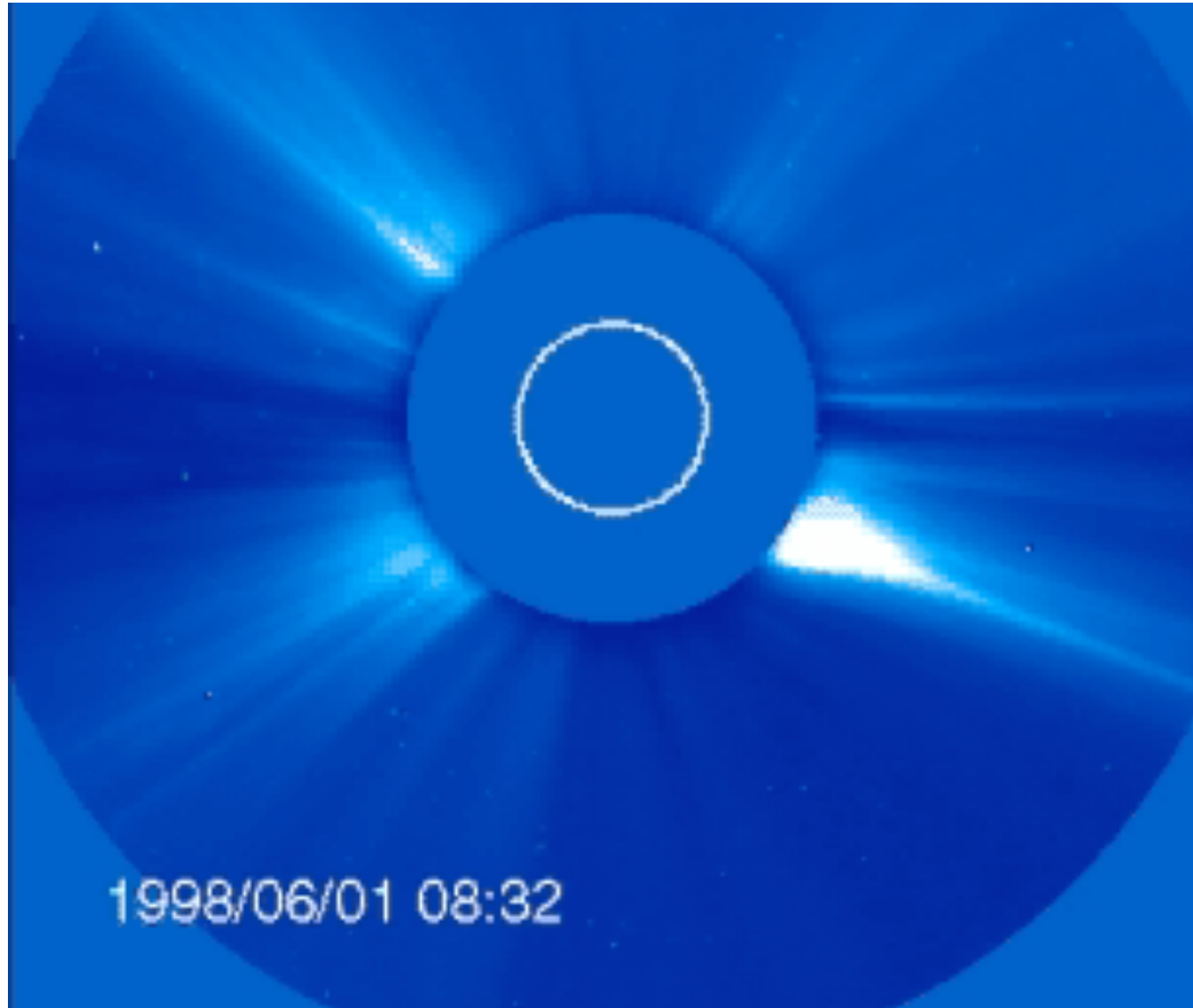
Coronal Mass Ejections can also be triggered by comet impacts!

日冕物質噴發(CME)也可由彗星撞日造成。

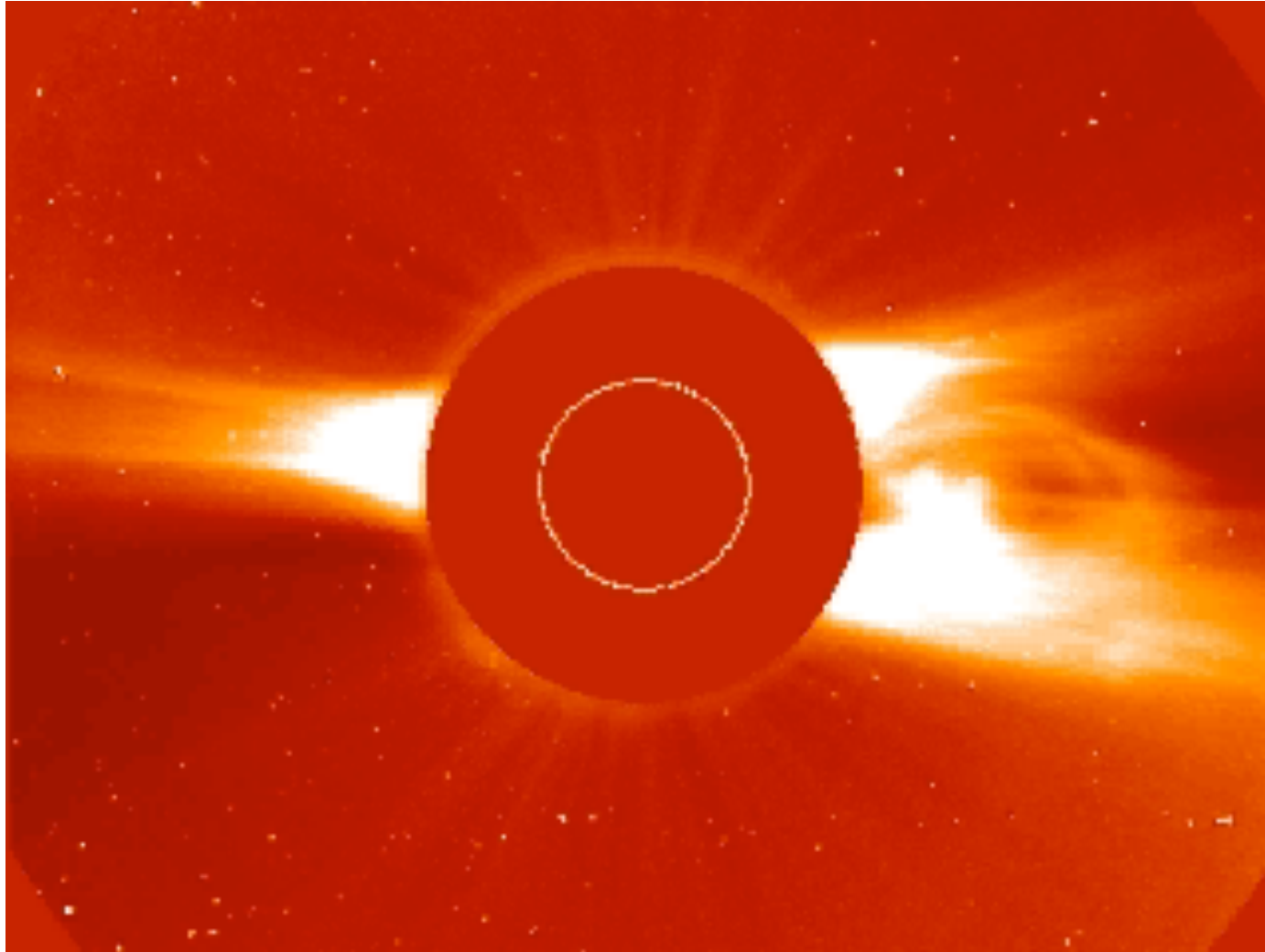
SoHO的觀測顯示，平均兩天就有一顆彗星或小行星撞太陽！

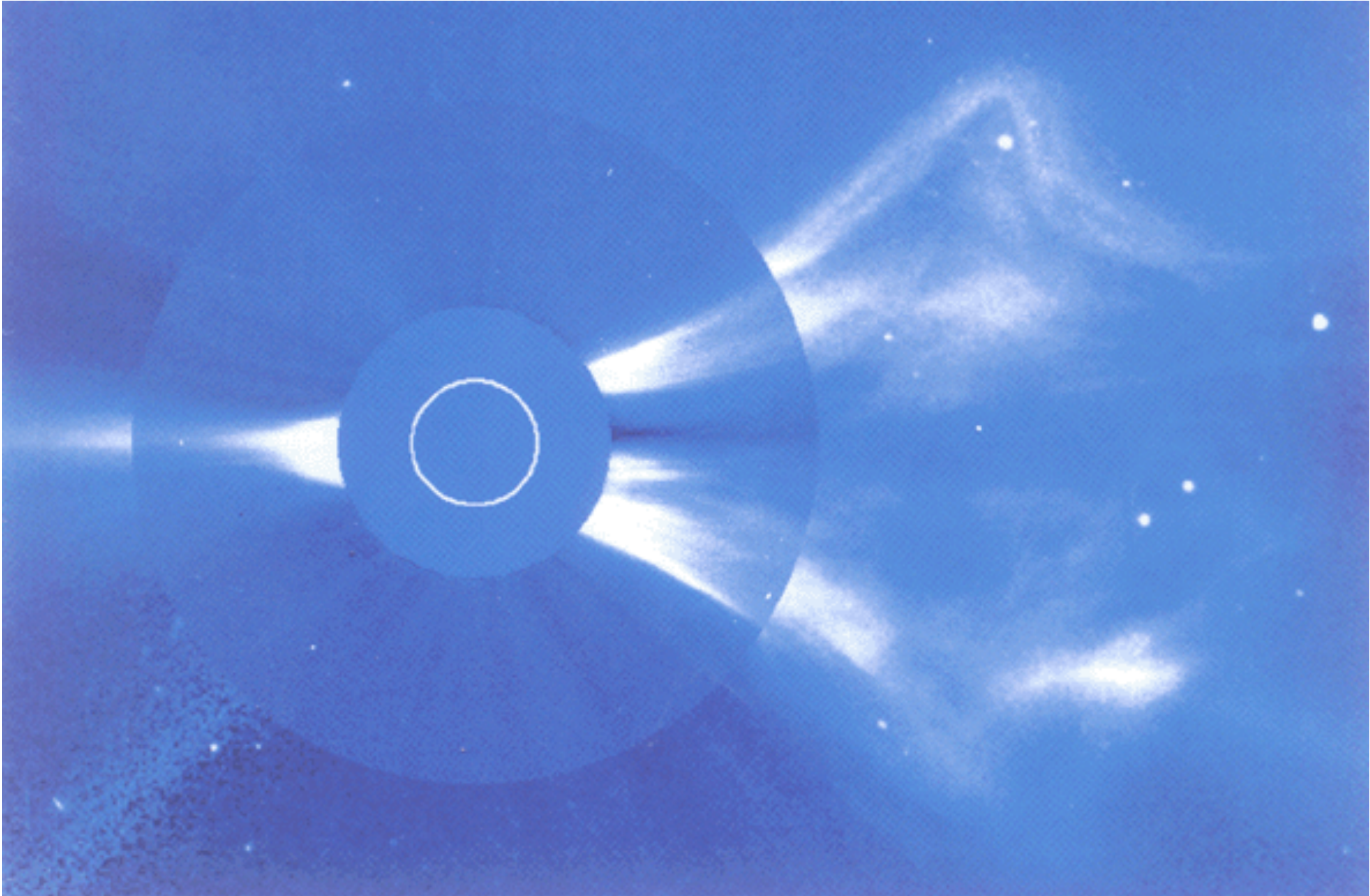
以下兩個影片就是很精彩的例子！

彗星撞日影片



彗星撞日影片





噴發的日珥變成 行星際空間中的磁雲(Magnetic Cloud), 磁雲前方會產生有一個激震波 (Shock Wave)

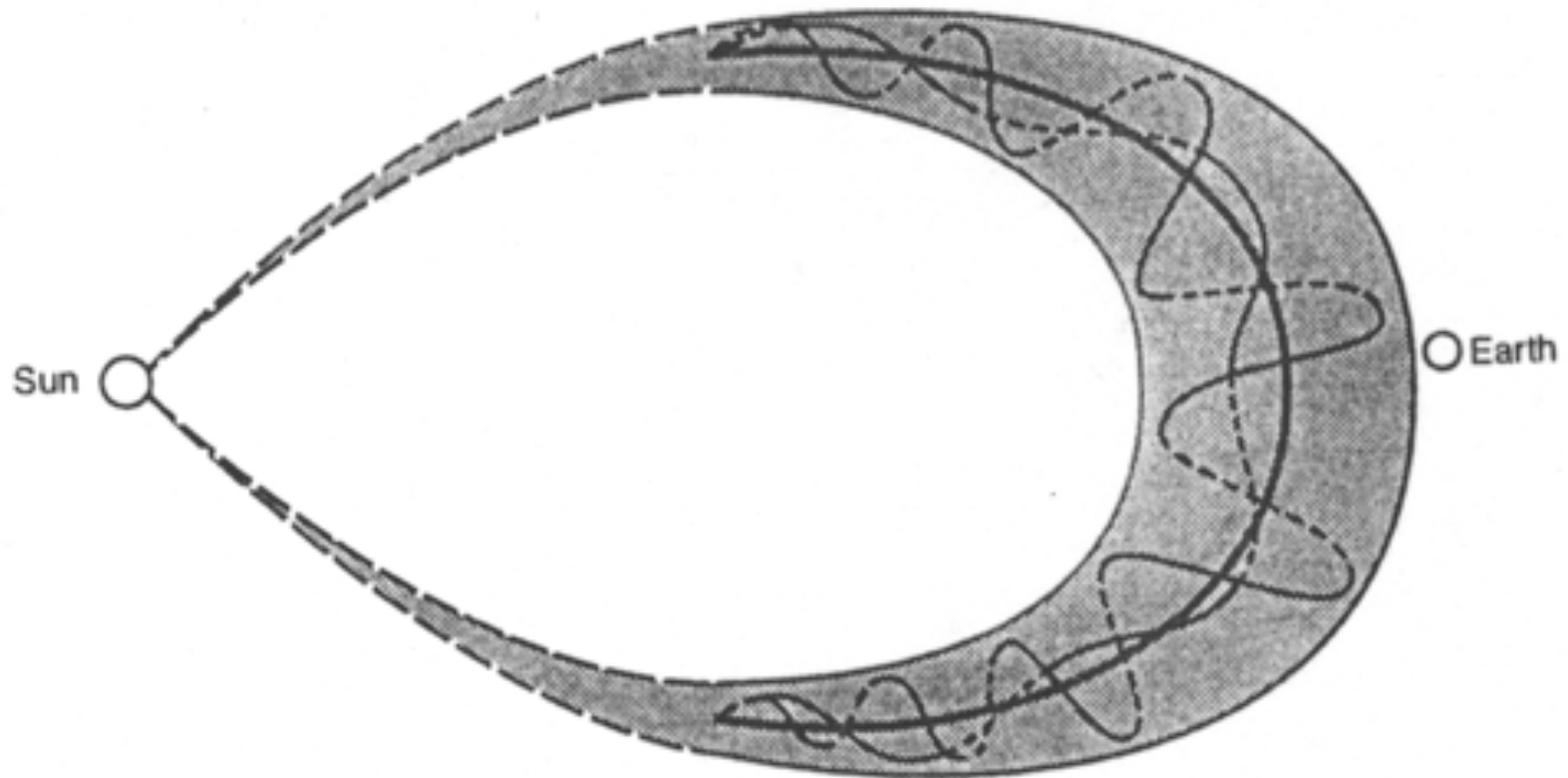
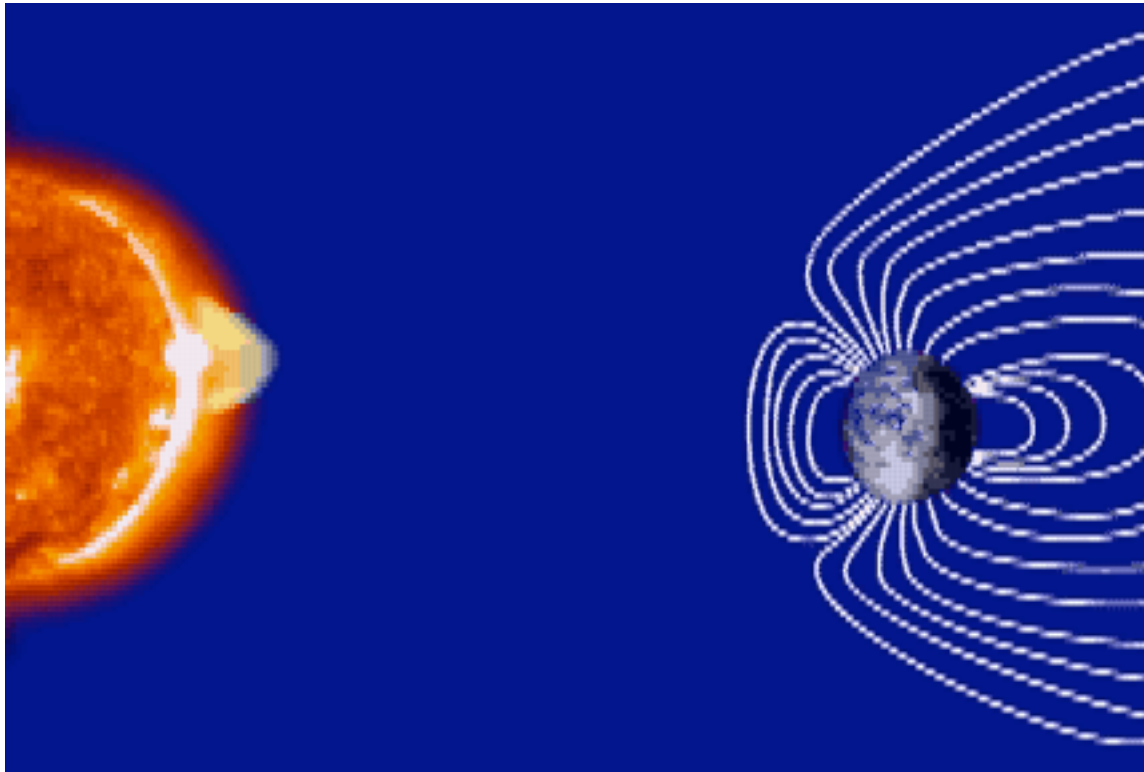


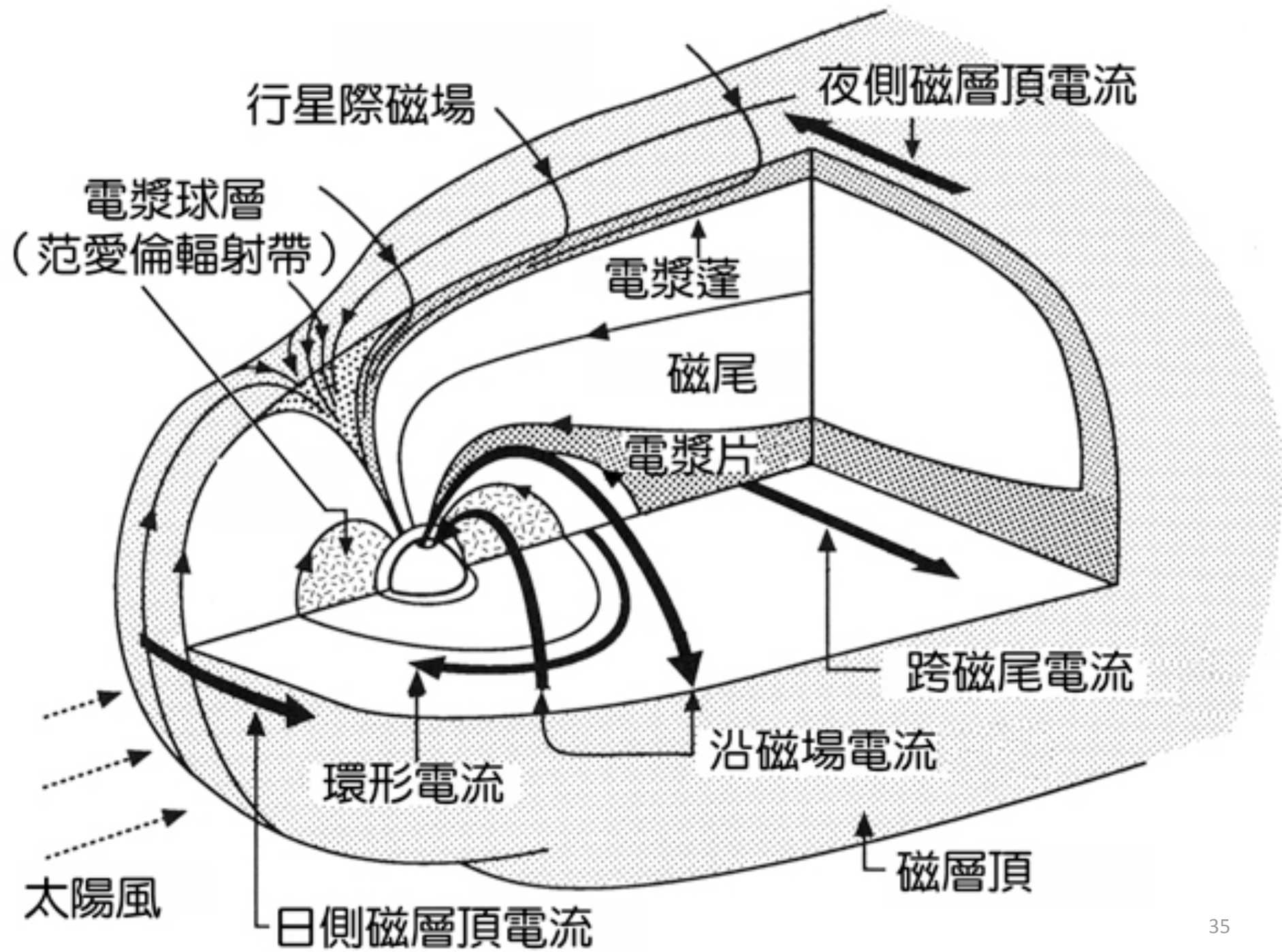
Figure 1. Idealized view of a magnetic cloud with a relaxed force-free field, given by *Lundquist* [1950].

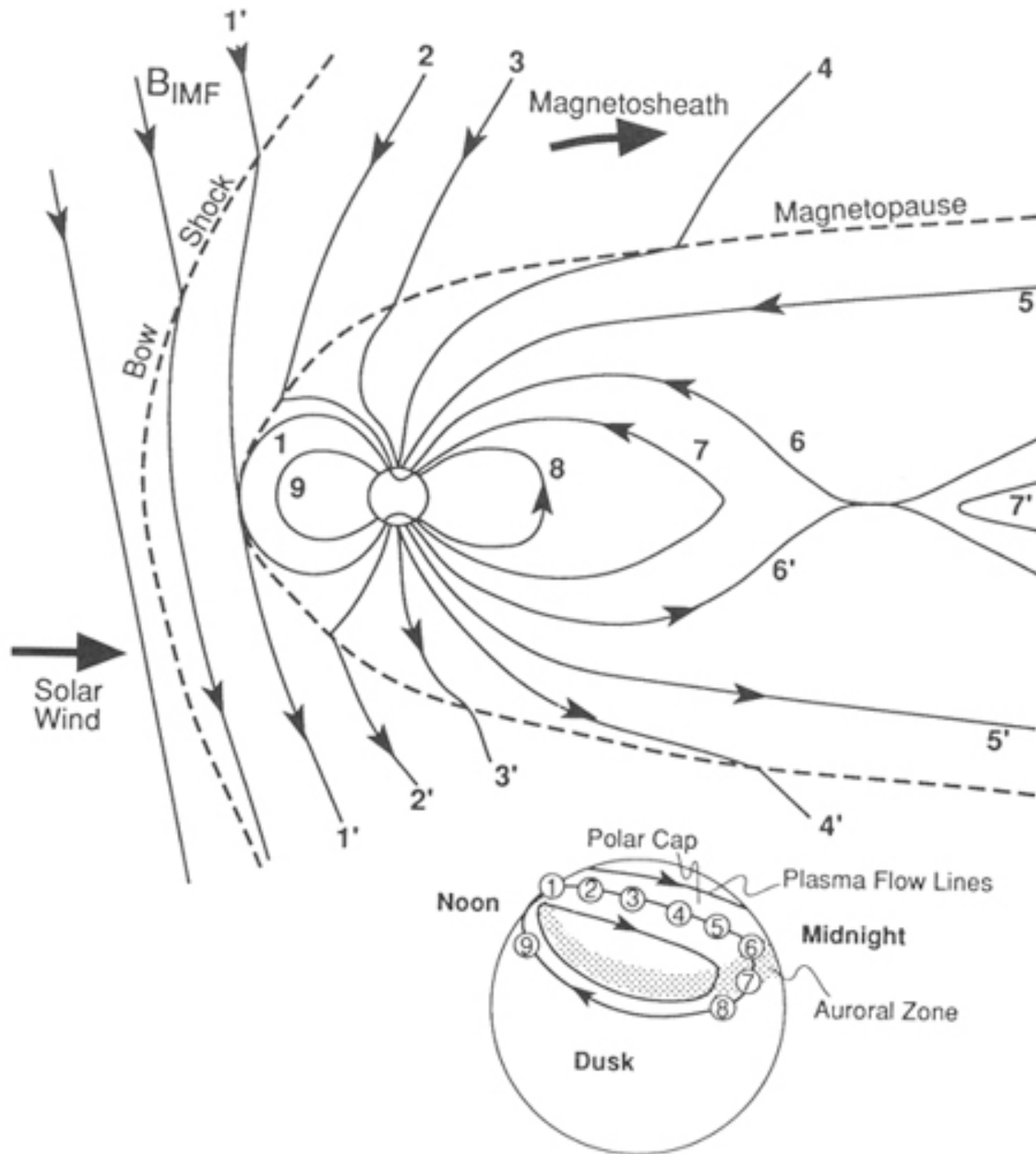
太陽磁暴產生激震波撞擊地球磁層影片

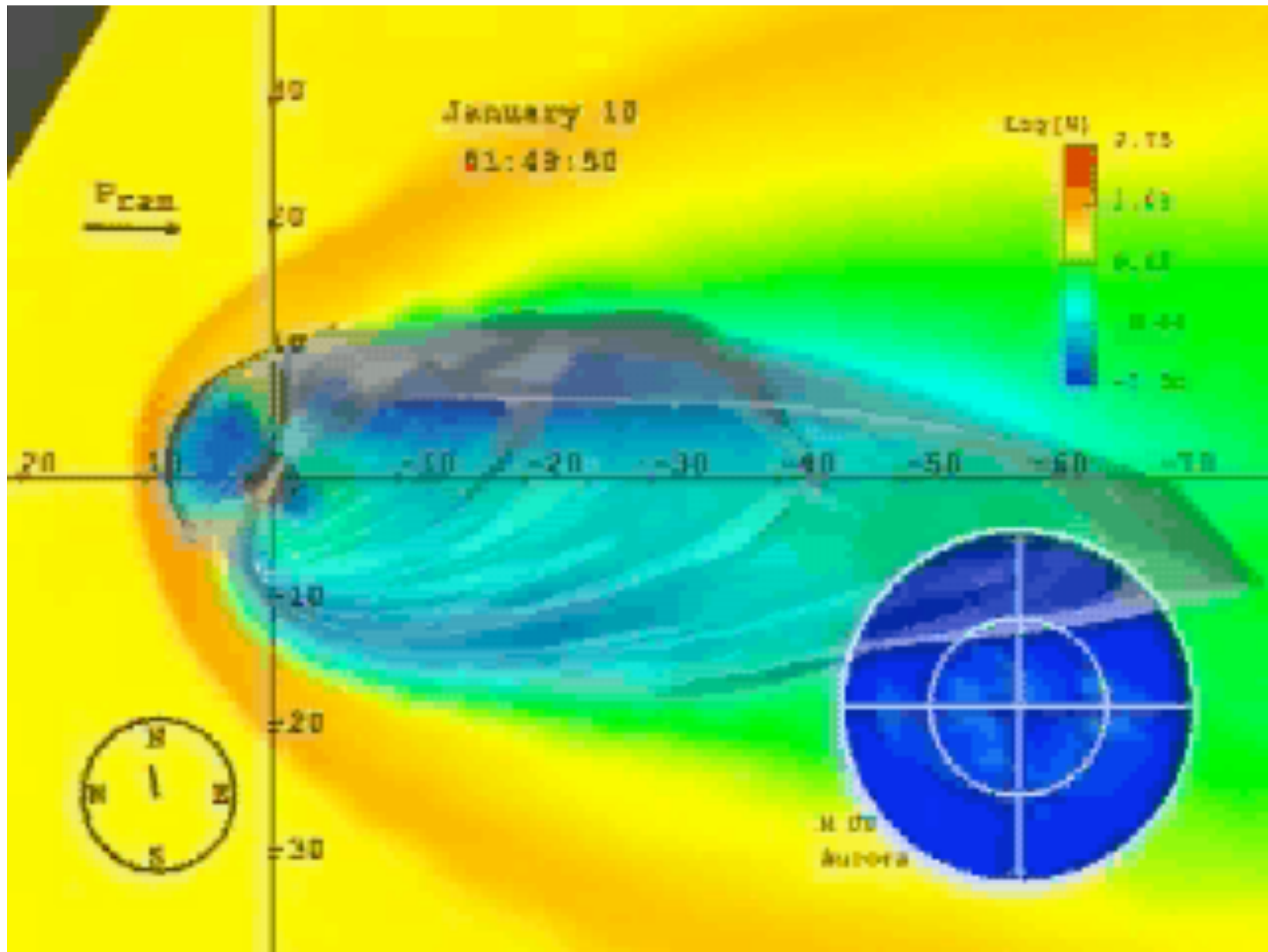


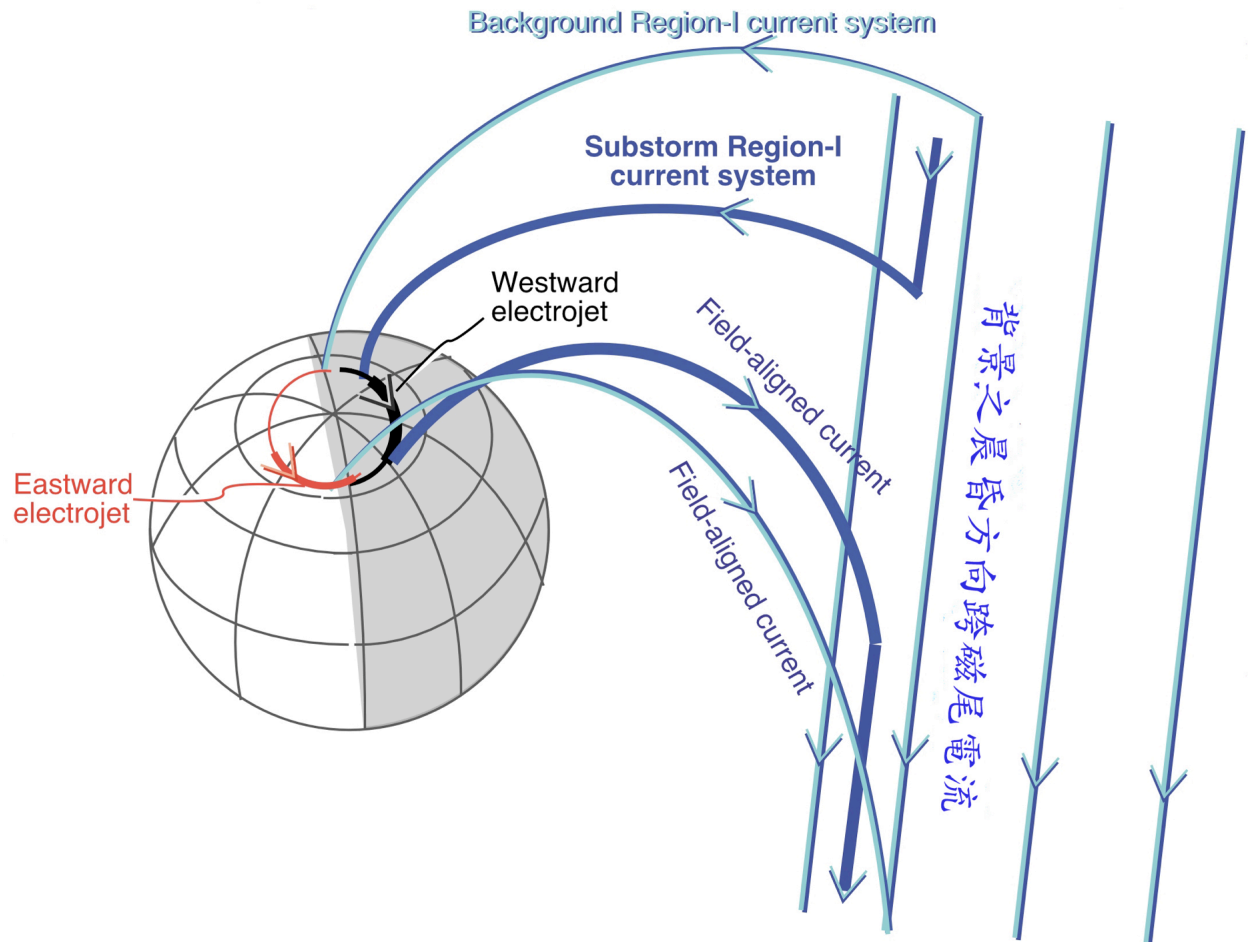
太陽磁暴所產生的激震波約四十到五十小時到達地球，可造成地球上的磁暴。

Estimate shock traveling time:
 $1\text{AU} = 8.3 \text{ min} \times 300,000 \text{ km/s}$
If $V_{\text{shock}} = 800 \sim 1000 \text{ km/s}$
then $\text{Traveling time} = 1\text{AU}/V_{\text{shock}}$
 $= 50 \sim 40 \text{ hrs}$

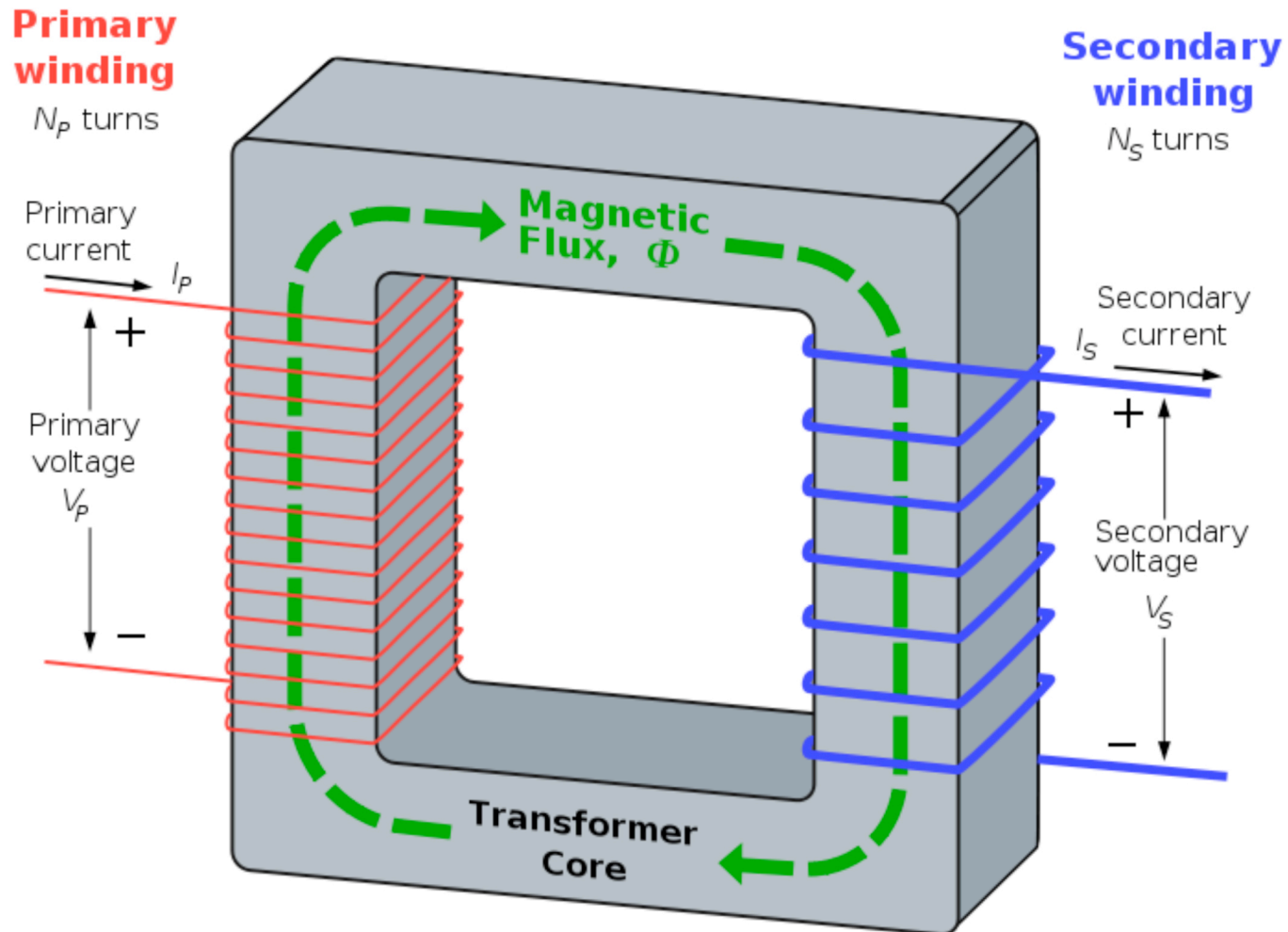








變壓器的構造原理



$$I_p N_p = I_s N_s$$
$$V_p I_p = V_s I_s$$

地球的磁暴與磁副暴在太空中以及地表產生感應電動勢所造成的 惡劣太空天氣

造成地表與磁層中磁場擾動 (磁暴與磁副暴) 的原因

- 電離層中電流大小與方向的改變，可改變地表磁場的大小與方向。
- 磁層中電流位置與強度改變，可改變地表與磁層中磁場的大小與方向。
- 磁場隨時間改變，會產生感應電動勢。
(楞次定律)

地球磁暴毀損電力系統影片

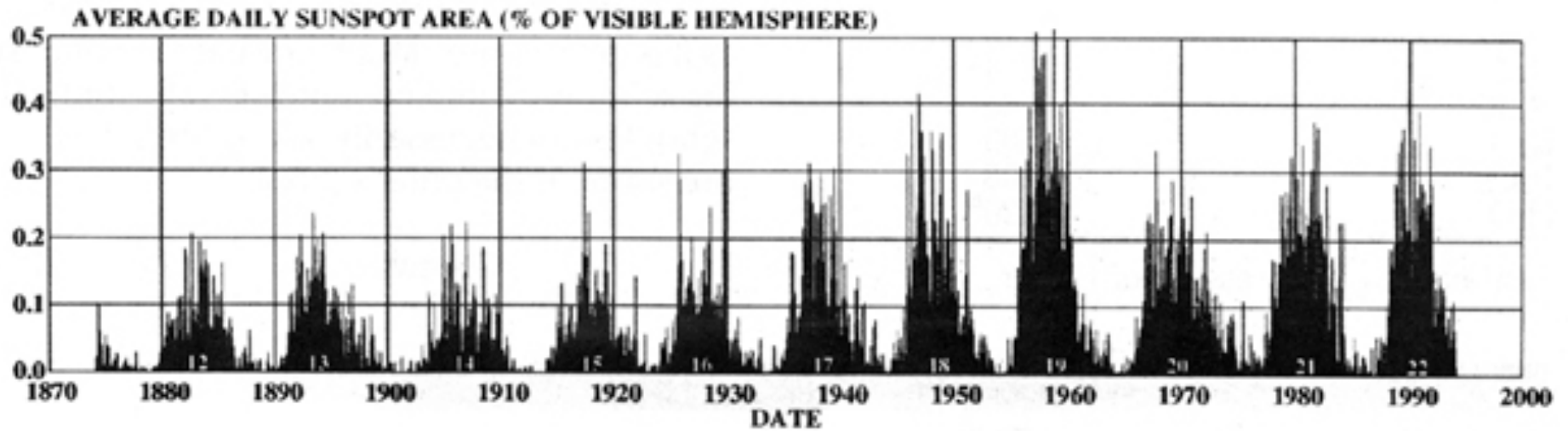
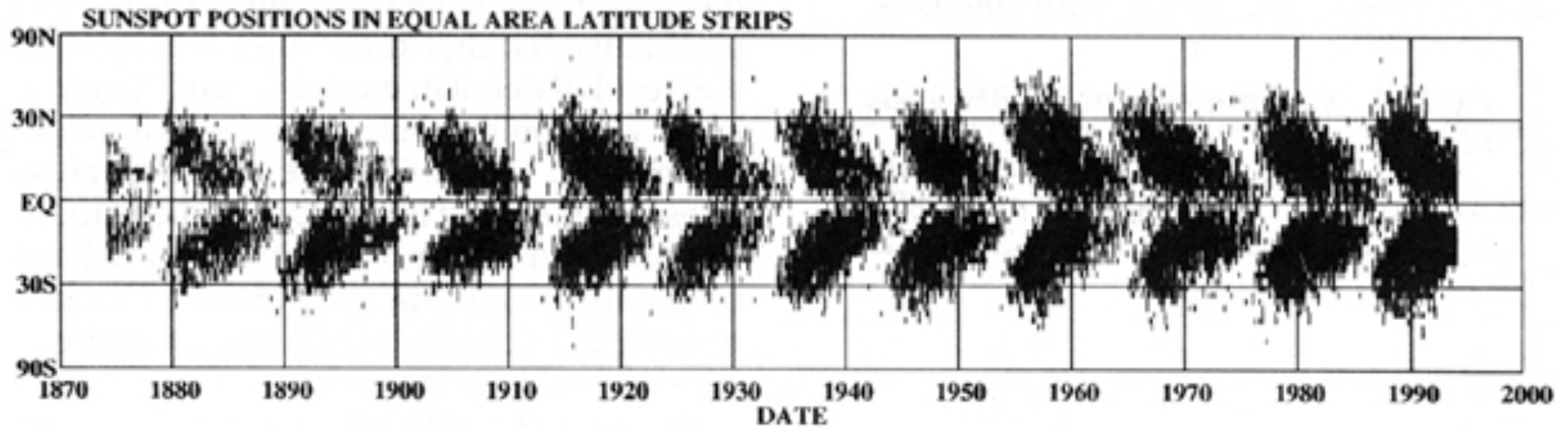


地球磁暴造成絢麗極光影片(UV影像)

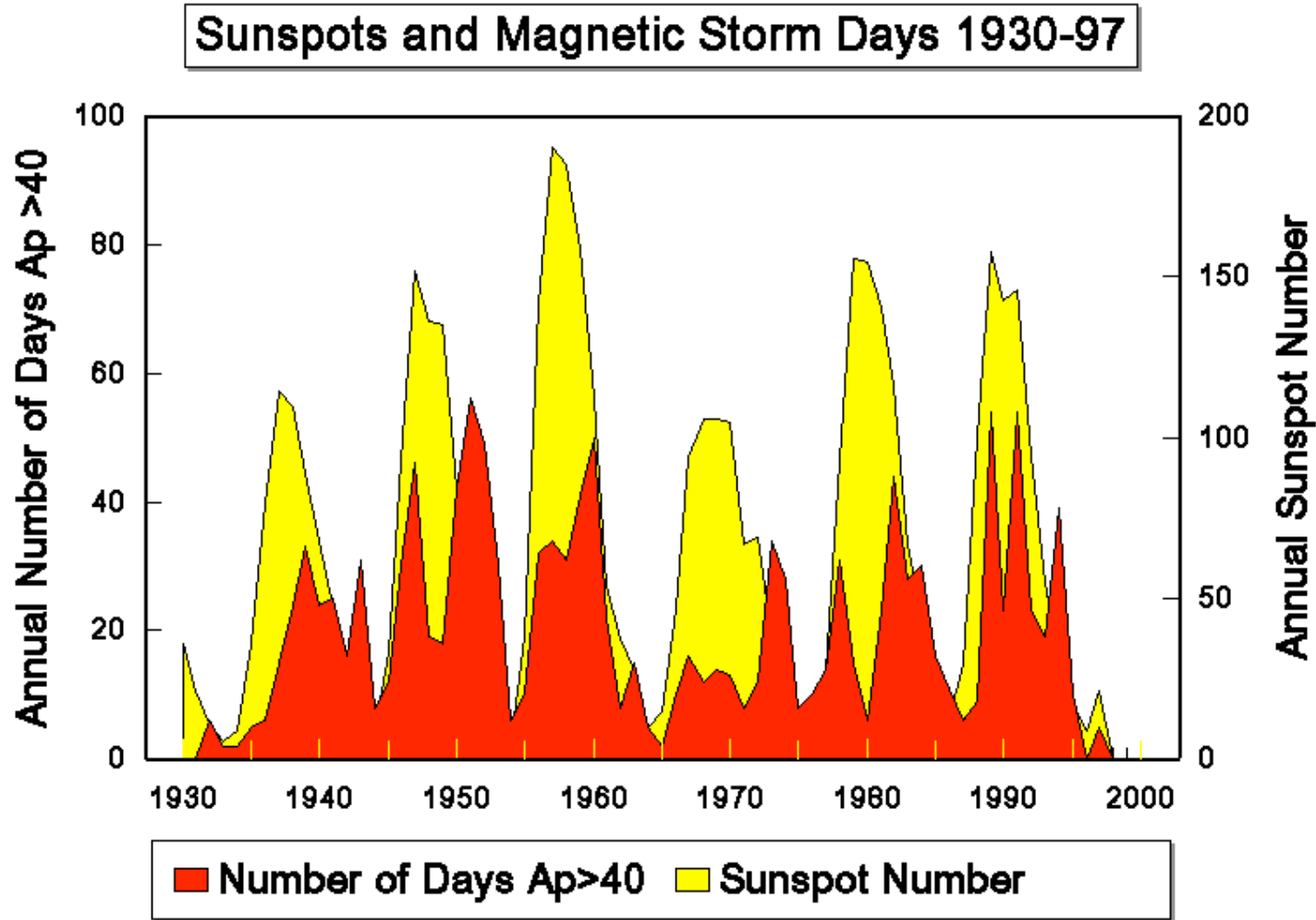


Space Climate has a cycle of 11 years
太空氣候變化週期約十一年

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



太陽黑子與強地球磁暴發生情形的週期變化



太陽黑子的週期變化與強地球磁暴發生情形的週期變化
兩者相似，但不完全一致。

Why?

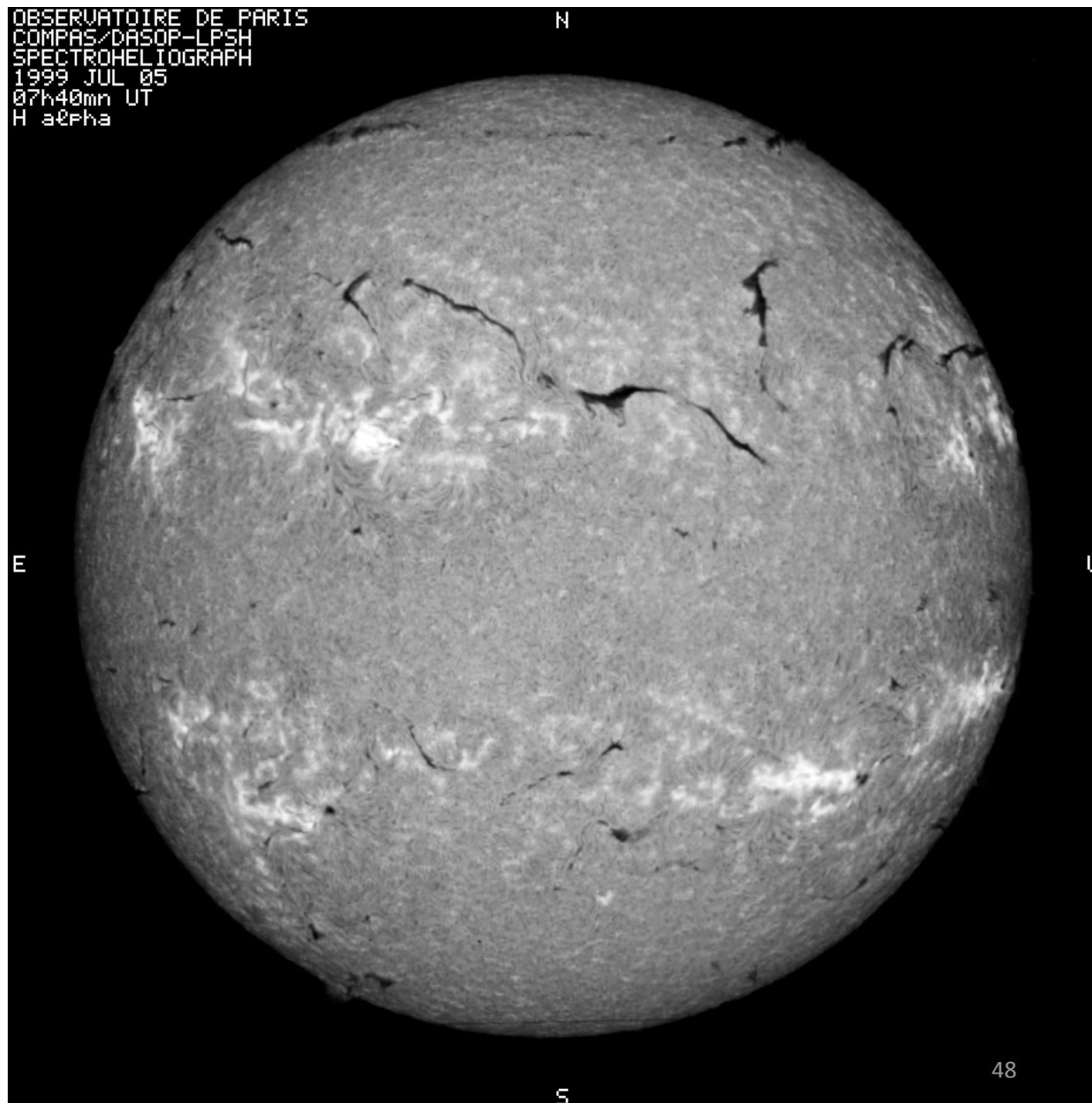
因為

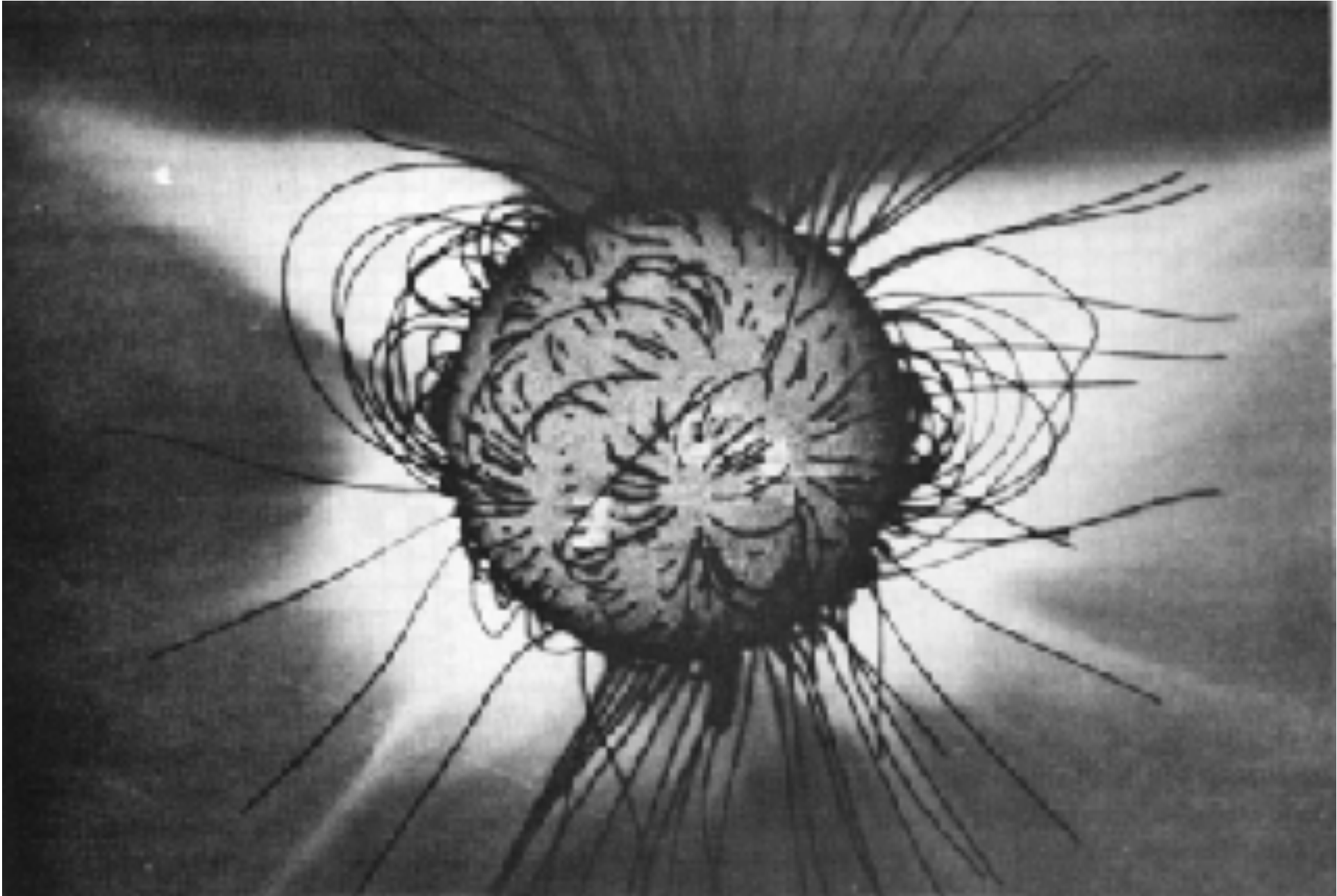
1. 高緯地區也有暗紋分布，因此即使沒有太陽黑子，也可能發生日珥噴發，造成地球磁暴。
2. 來自日冕洞的高速太陽風也可造成地球上的強磁暴

請看以下說明

Filaments
can be
found in the
high latitude
region.

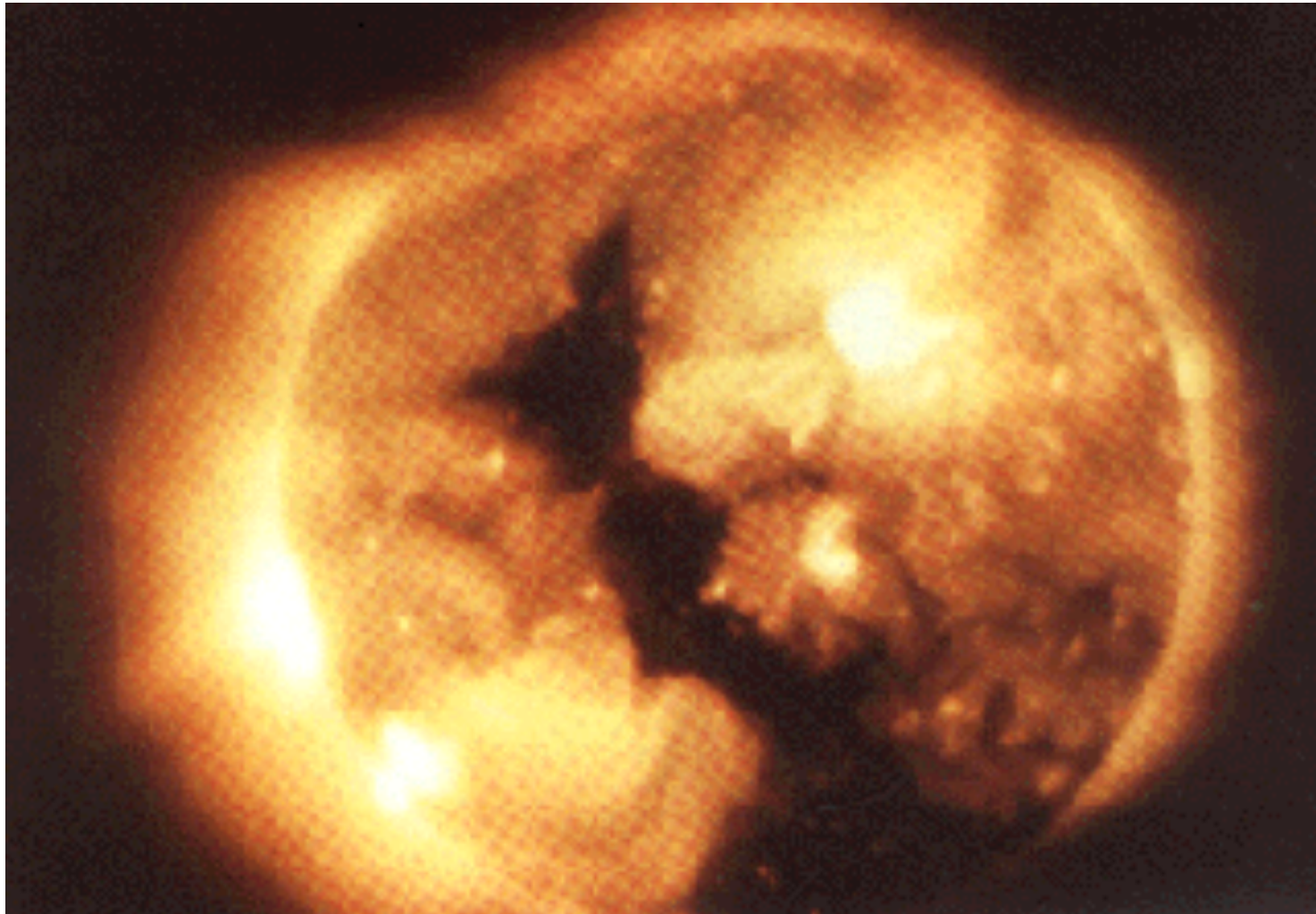
高緯地區也有暗紋分布，因此即使沒有太陽黑子，也可能發生日珥噴發，造成地球磁暴。





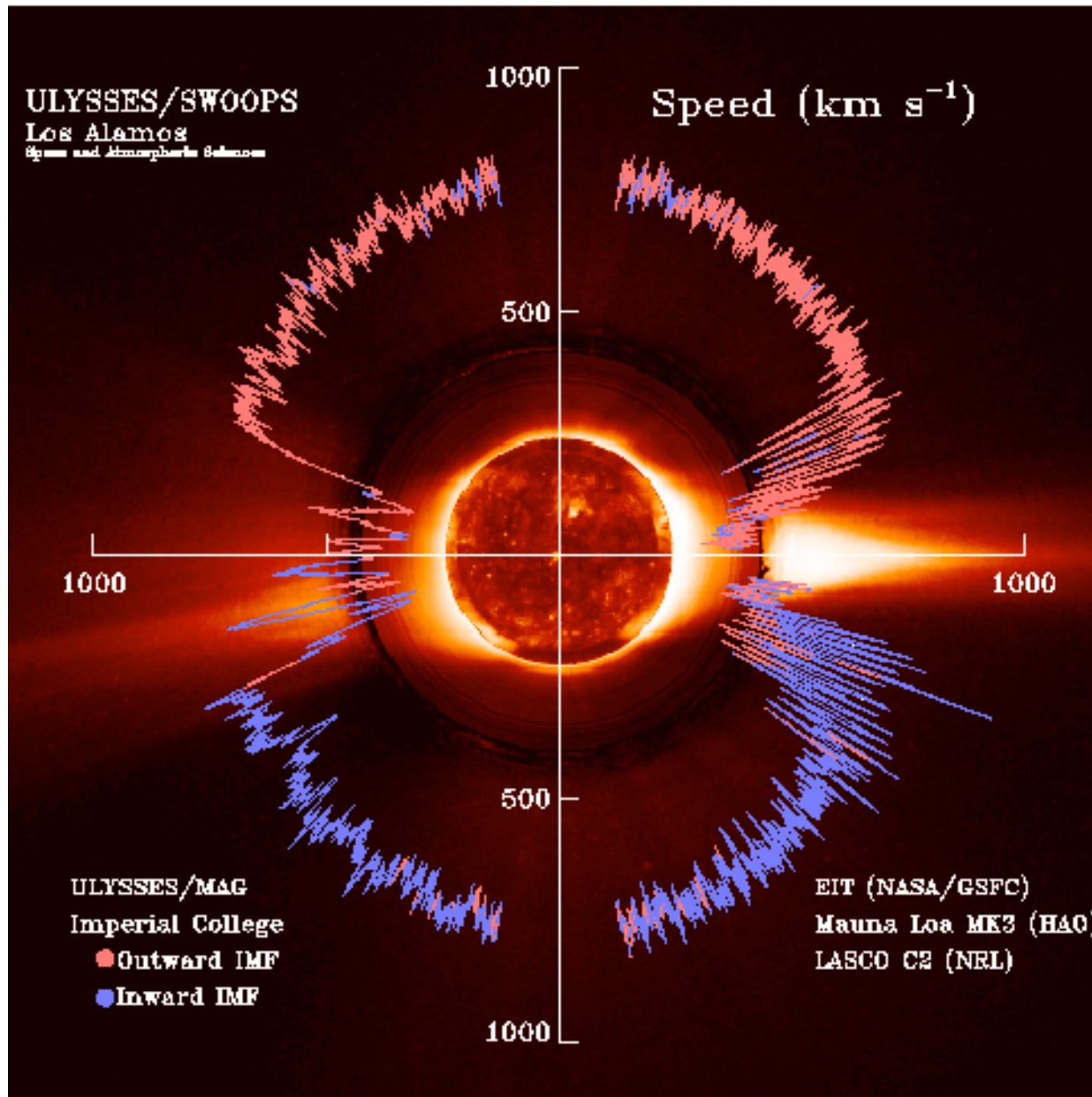
Distributions of Solar Corona and Coronal Hole on the Solar Disk

Skylab (1973) Hard-X ray image
日冕洞在日面上的分布圖

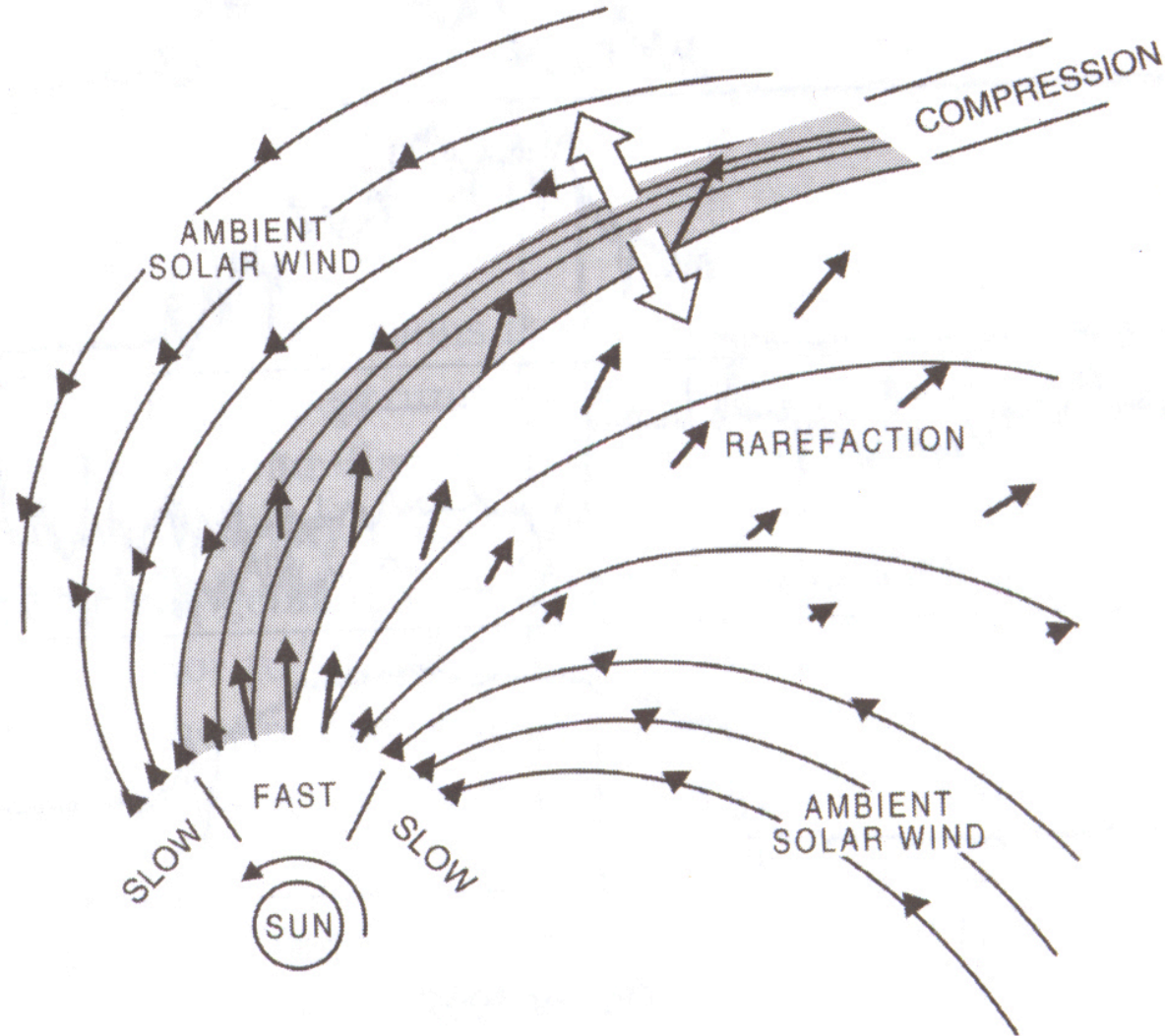


Ulysses observation of solar wind speed(1991-1998)

高速太陽風來自日冕洞

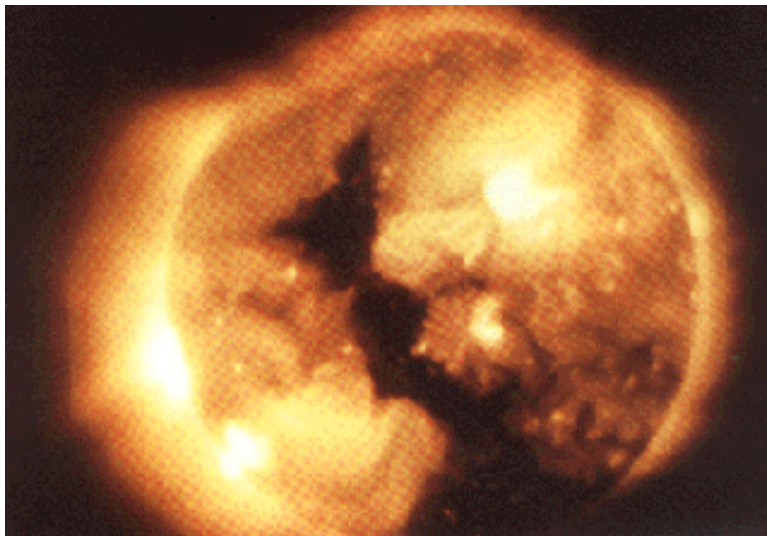


高速太陽風所導致的惡劣太空天氣



- High speed solar wind comes from coronal hole.
- Slow solar wind comes from corona region.
- Coronal hole extended to the low latitude region, during the raising phase and declining phase of solar cycle, can also lead to severe space weather.

來自日冕洞的高速太陽風也可造成地球上的強磁暴



總結：惡劣太空天氣的成因

- 太陽黑子極大期時，太陽表面的活動，或彗星撞太陽，造成日珥噴發。
- 日珥噴發造成太陽閃焰與日冕物質拋射，這就是太陽的磁暴。
- 太陽閃焰產生大量短波輻射。
- 日冕物質拋射(CME)時，如果方向對著地球，而且出現南向磁場，就可能造成地球上的磁暴與磁副暴。
- 日冕洞所吹出來的高速太陽風，也可能造成地球磁層的磁暴與磁副暴。
- 來自太陽磁暴的大量短波輻射、以及地球磁層的磁暴與磁副暴，都造成惡劣太空天氣。

惡劣太空天氣造成的危害

短波輻射與高能粒子所造成的惡劣太空天氣：

- 惡劣的太空天氣可以縮短人造衛星或太空船的壽命。
- 惡劣的太空天氣可以危害太空人的健康。
- 惡劣的太空天氣可以影響衛星通訊以及 GPS 定位，造成嚴重的飛安問題。

巨大的磁場擾動在太空中以及地表產生強大的感應電動勢所造成的惡劣太空天氣：

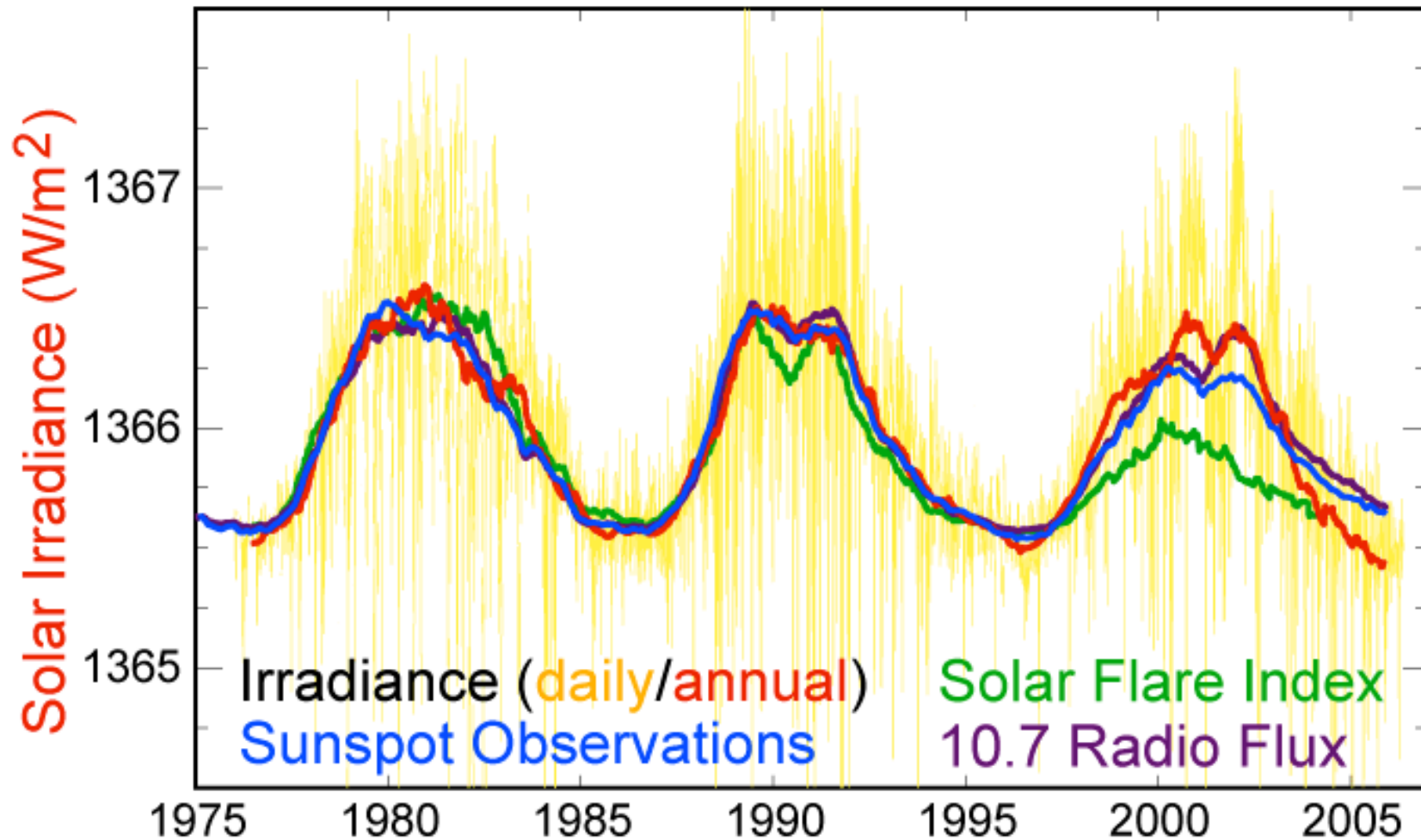
- 惡劣的太空天氣曾經造成在高緯地區大範圍的停電，嚴重毀損輸電系統。
- 惡劣的太空天氣會增高高科技IC產業產品的瑕疵率。
- 惡劣的太空天氣會導致賽鴿業者嚴重的損失。

第二部份： 太陽活動對氣候的影響

了解為何
Maunder minimum 也是
小冰河時期

太陽黑子數越多，太陽的輻射量與太陽閃焰也越多，所以來自太陽的宇宙射線應該也越多

Solar Cycle Variations



太陽黑子數越少、來自太陽閃焰的高能宇宙射線量應該也越少才對，可是事實上，地表測得的高能宇宙射線量反而更多。Why?

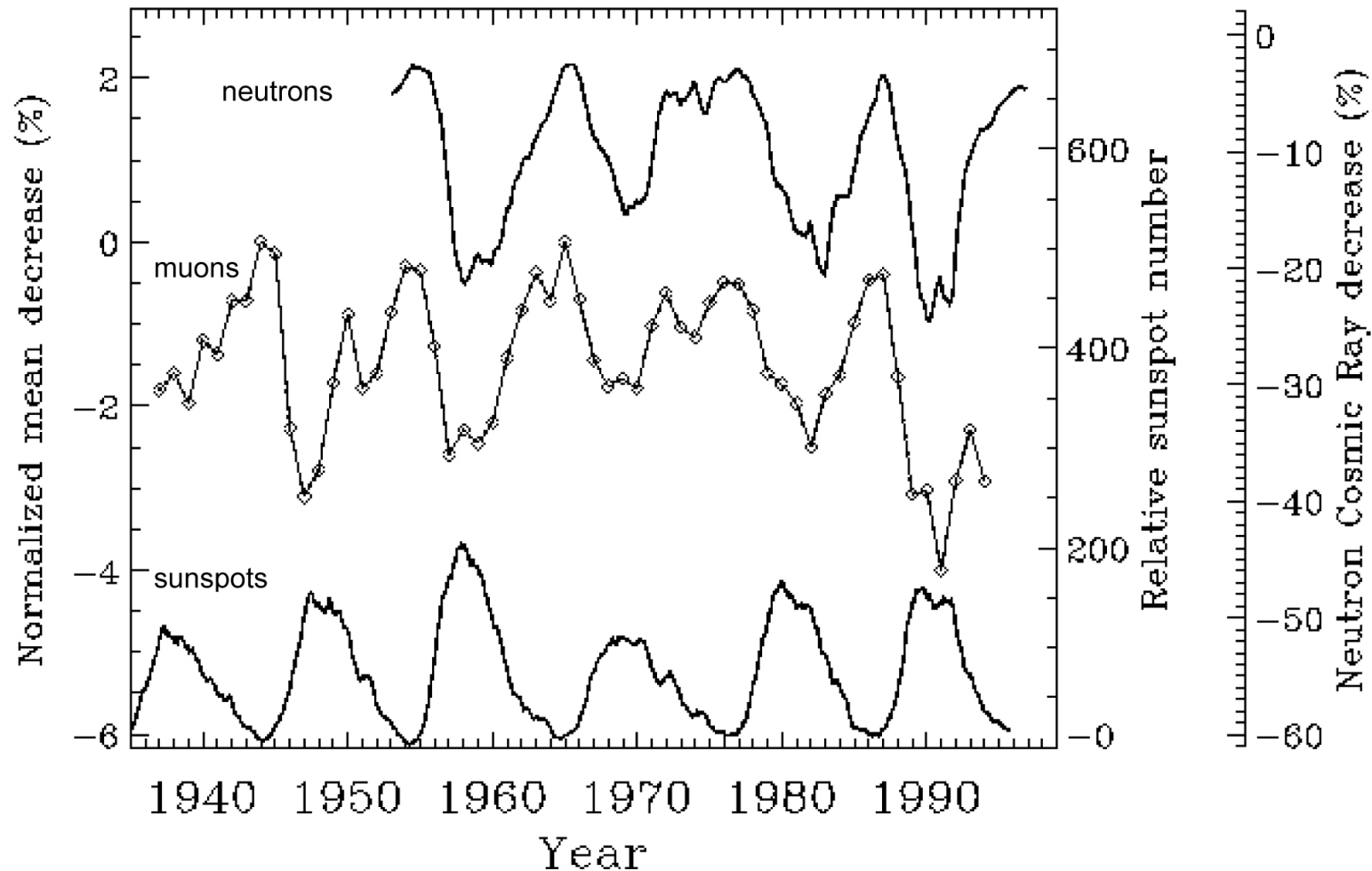
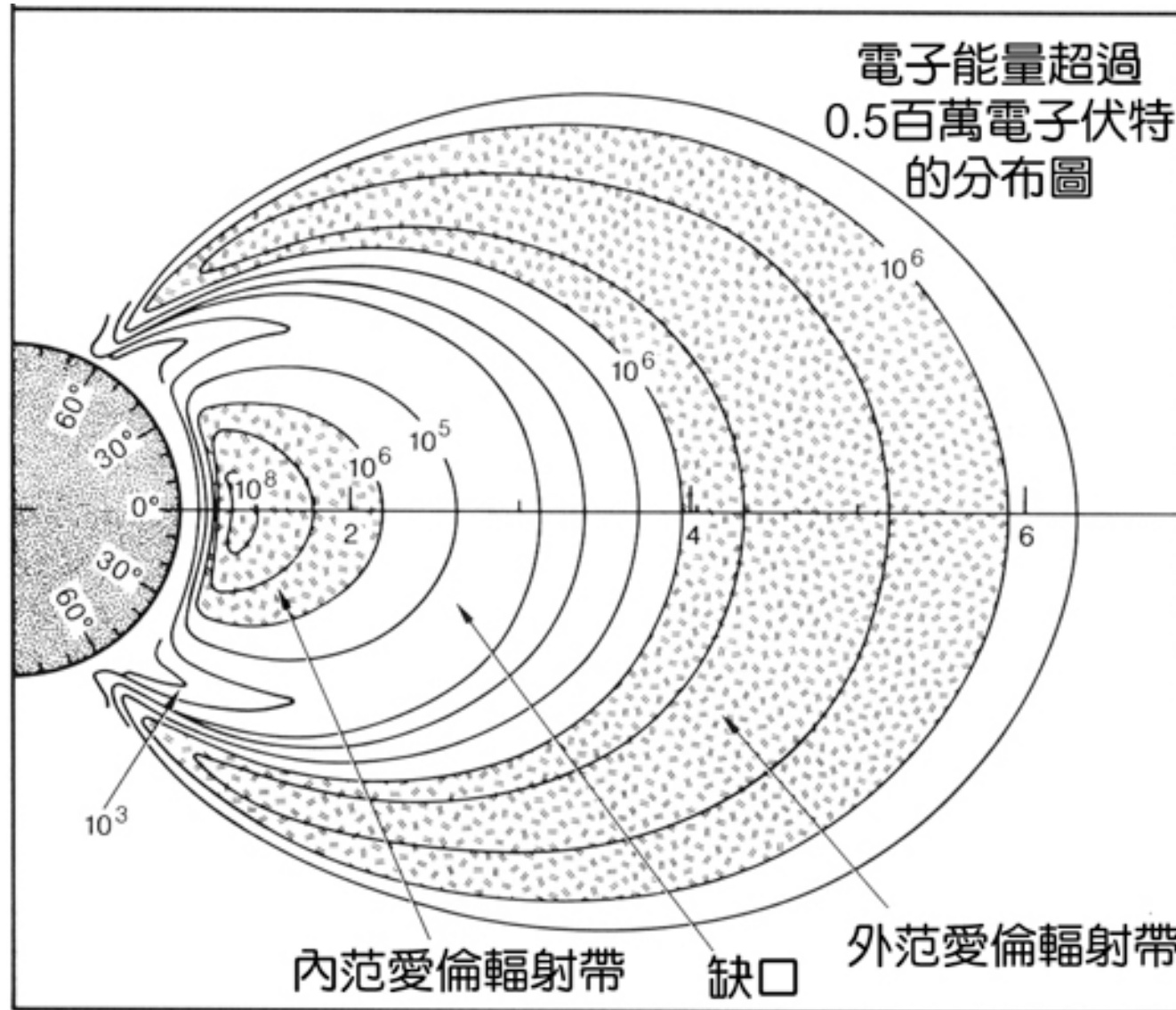


Fig. 3 Top curve is the cosmic-ray flux from the neutron monitor in Climax, Colorado (1953 - 1996). Middle curve is annual mean variation in cosmic-ray flux as measured by ionization chambers (1937 - 1994). Bottom curve is the relative sunspot number. Even though there is a clear solar cycle modulation of the cosmic-ray flux, the amplitudes are not well correlated.

地表宇宙射線的來源

- 太陽閃焰所產生的高能宇宙射線，能量遠不如超新星爆炸所產生的宇宙射線能量高。
- 太陽閃焰所產生的高能宇宙射線，大多被束縛在外范艾倫輻射帶區域。
- 超新星爆炸所產生的宇宙射線，被束縛在內范艾倫輻射帶，或進入中性大氣。
- 地面上所觀測到的宇宙射線，大多源自於超新星爆炸所產生的宇宙射線。
- 來自外太空的宇宙射線，其前進路線會受到 Solar termination shock 附近磁雲 magnetic cloud 數量多寡的影響。

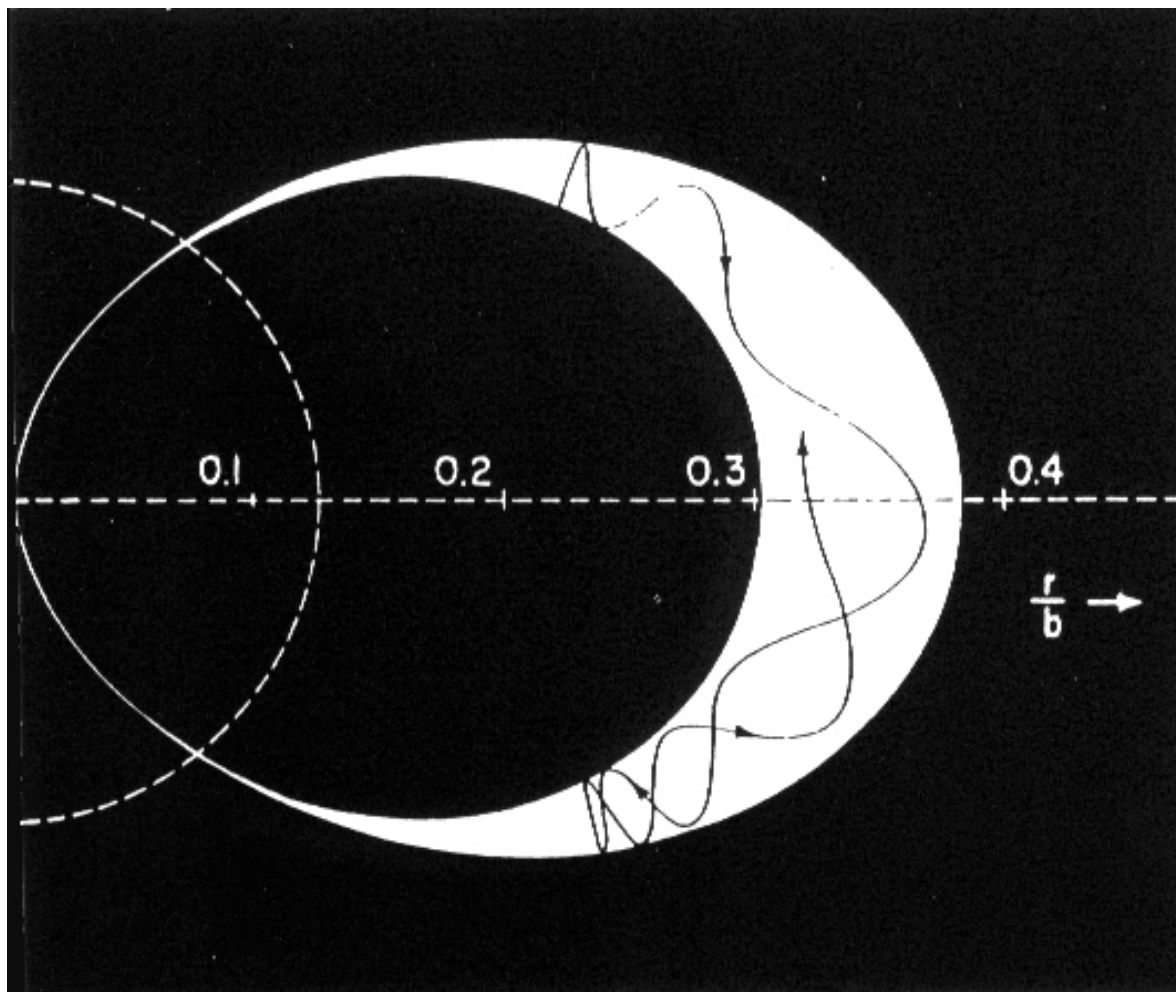
內外范艾倫輻射帶的分布圖



帶電粒子在磁偶極場中做 迴旋彈跳運動

gyro motion & bounce motion

藉此，地球的磁偶極場可以抓住電子與能量不夠高的正離子。故有磁瓶之稱。
能量太高的正離子，迴旋半徑太大，就像超速的大卡車，轉彎時容易衝撞路邊護欄，
無法好好的沿著馬路前進！因此磁瓶抓不住高能的正離子！



噴發的日珥變成 行星際空間中的磁雲(Magnetic Cloud)

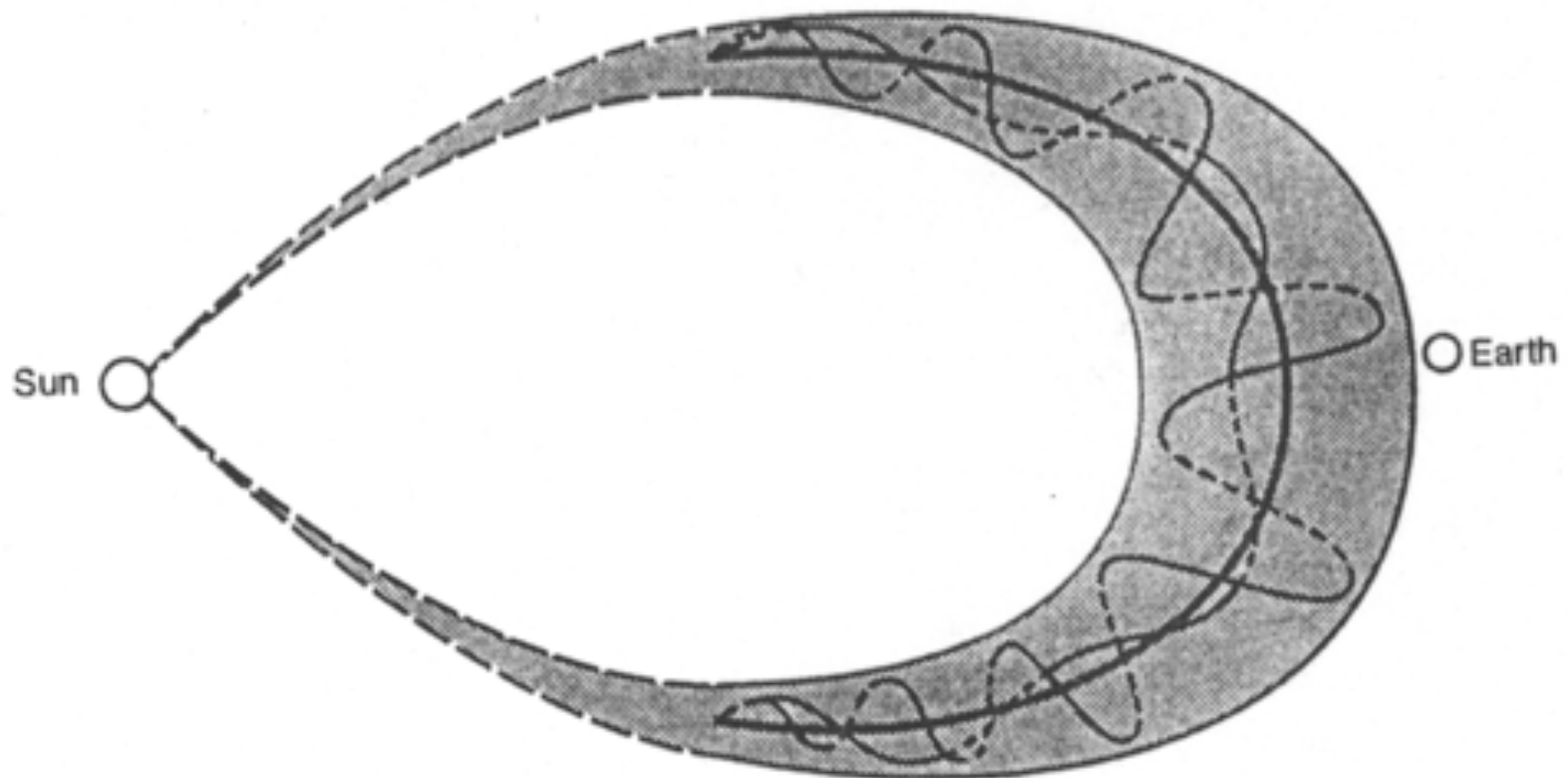
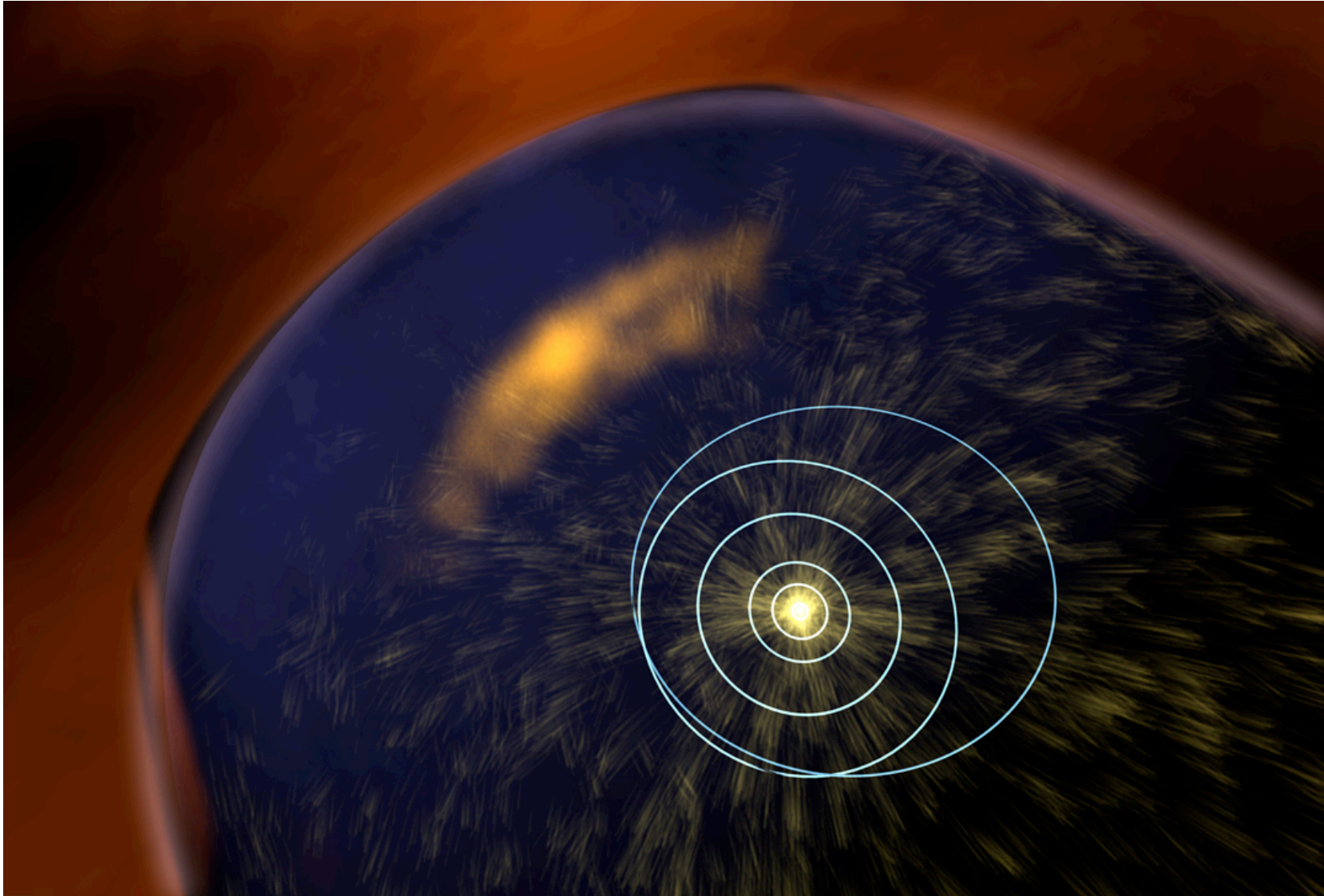
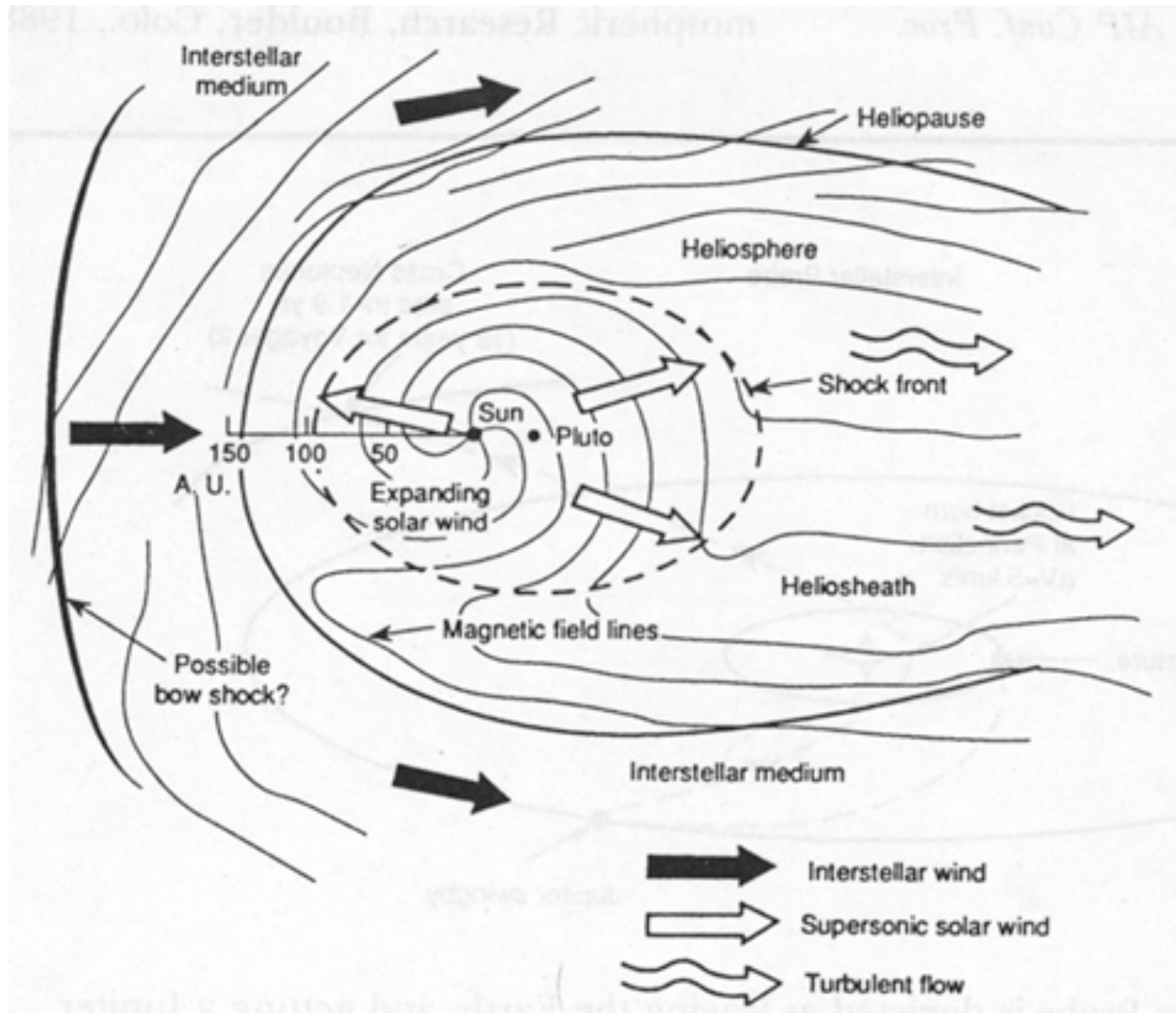


Figure 1. Idealized view of a magnetic cloud with a relaxed force-free field, given by *Lundquist* [1950].

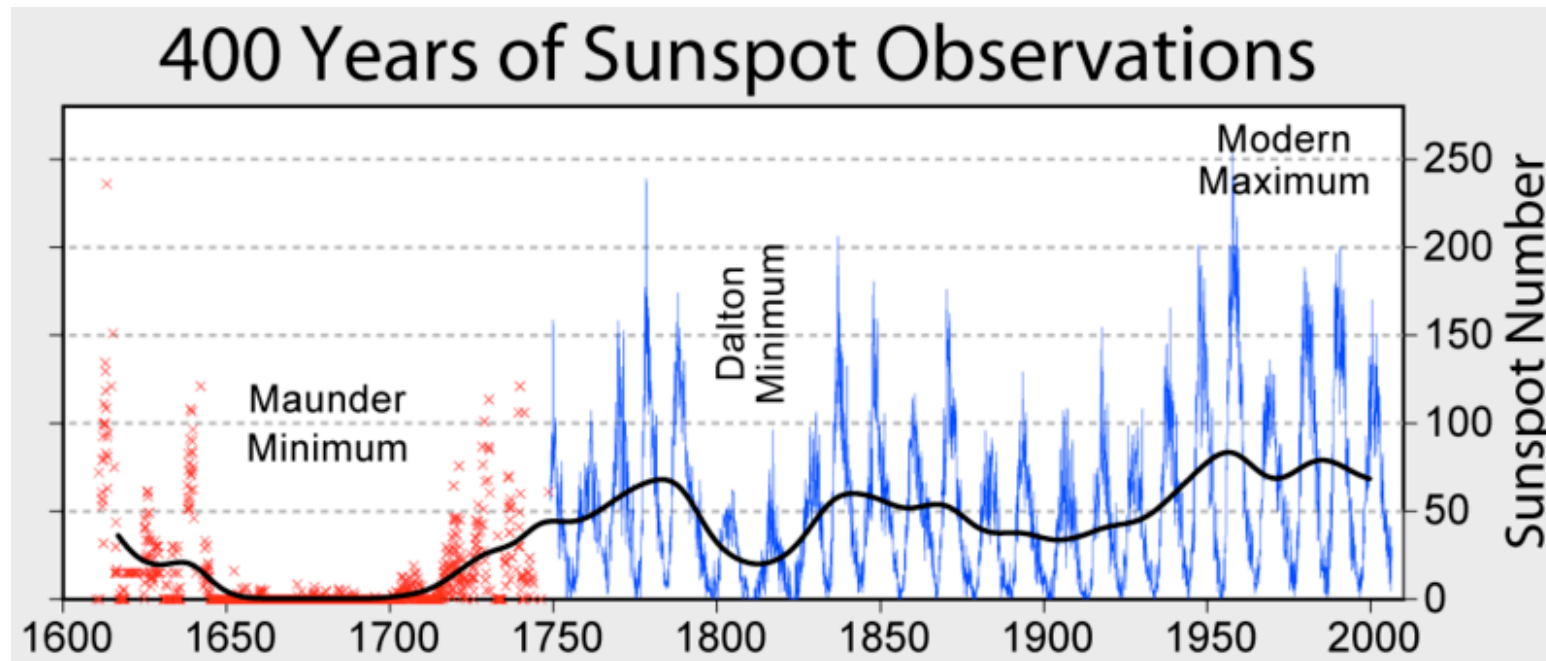
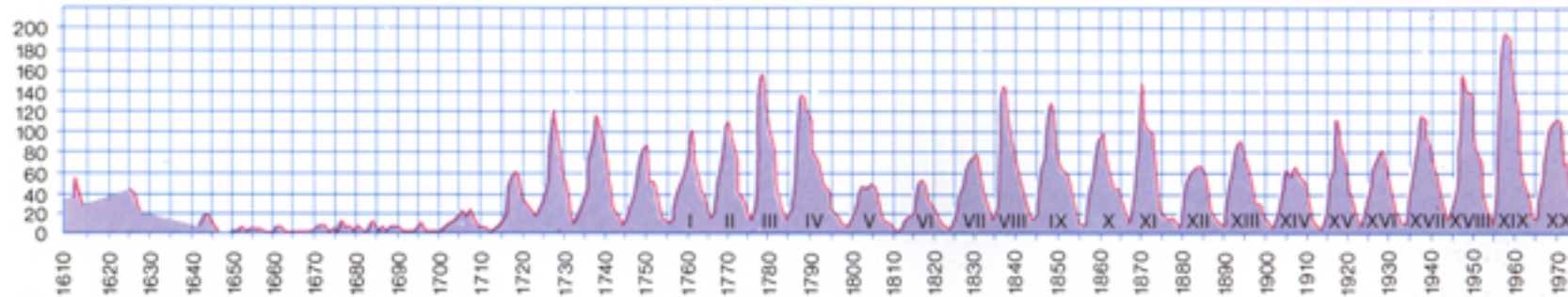
磁雲 magnetic cloud 向著 Solar termination shock and heliomagnetopause 傳播的示意圖



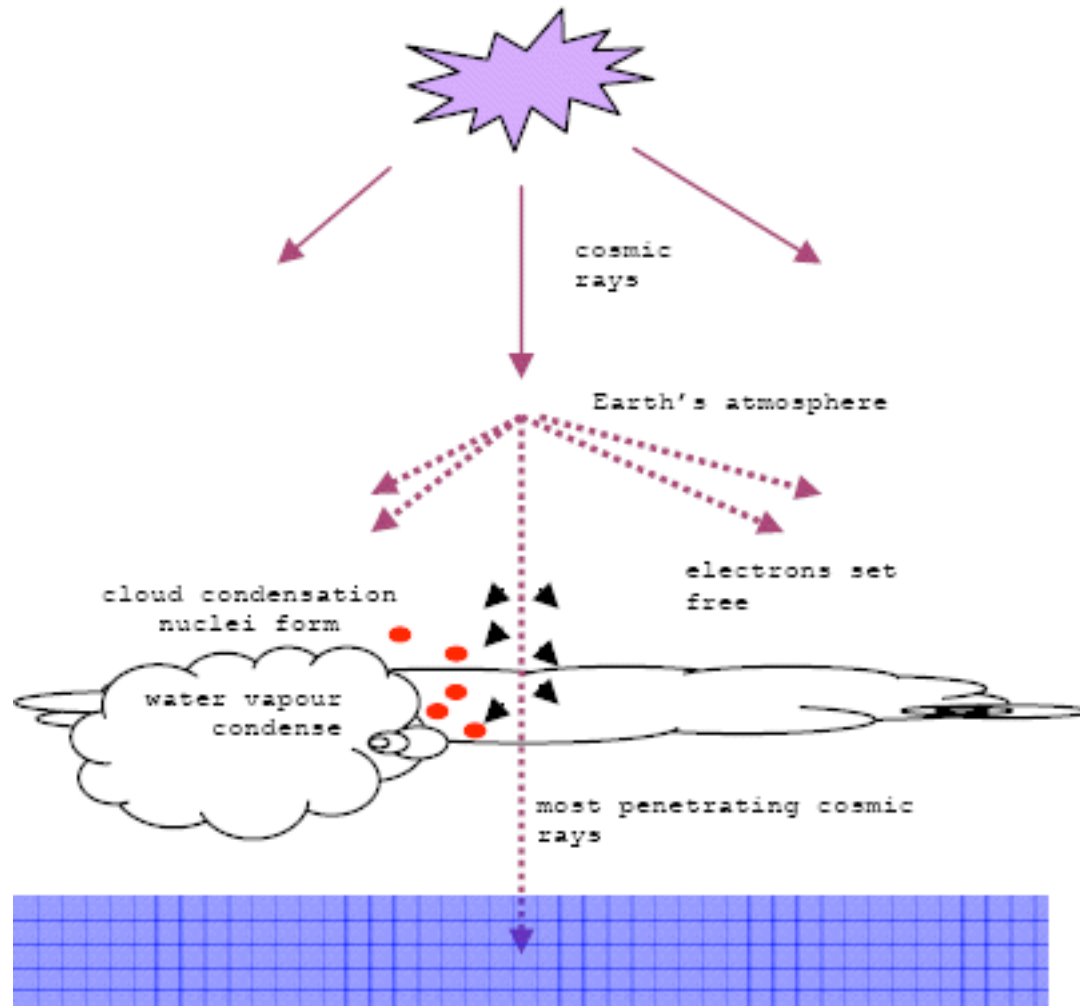
Solar wind termination shock 太陽風終止震波位置示意圖



芒得極小期 (Maunder minimum) : 小冰河時期



進入大氣的宇宙射線會製造凝結核：成雲、降
雨雪、改變全反照率(Albedo)、改變大氣溫度



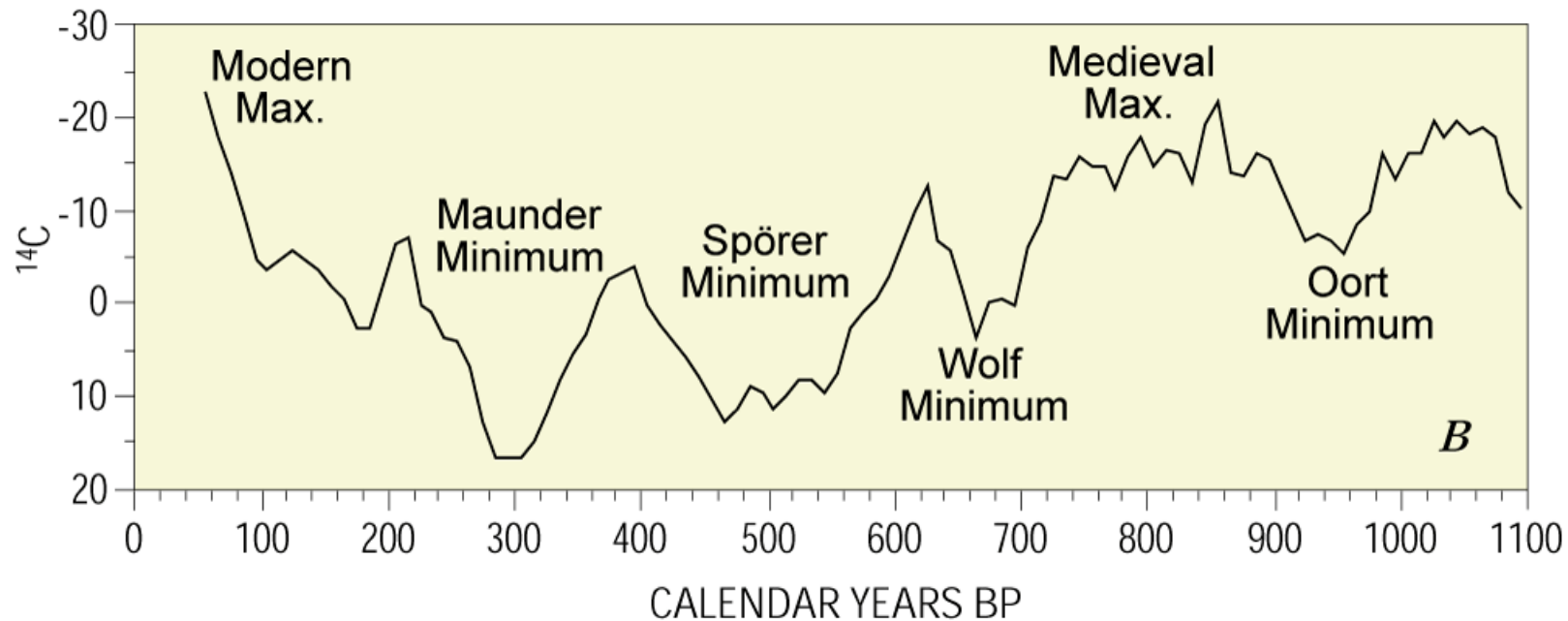
總結：太陽活動對氣候的影響

- 太陽黑子多時，太陽表面磁場擾動活躍，會噴放出許多磁雲。這些磁雲累積在日磁層頂與太陽風終止震波附近，可以阻擋外太空超新星爆炸所產生的超高能宇宙射線。
- 當太陽黑子長期不出現時，終止震波附近的磁雲漸漸消失減少，因此來自外太空的超高能宇宙射線，就可以長驅直入來到地球附近，進入地球大氣，製造大量的凝結核，改變成雲降雨的分布。
- 雲和雪會增加地球表面的全反照率Albedo，反射陽光，減少地表吸收的熱量。因此造成地球氣候的改變，引發小冰河時期！

來自外太空的高能宇宙射線可產生碳14，這些碳14被植物吸收後，就被保存下來

碳14含量的歷史記錄

注意，縱軸大小相反，橫軸時間也相反



科學家發現最近半世紀來，地表核子試爆，已經造成很多人為的碳14含量異常增加的現象。因此未來科學家將無法再利用分析碳14含量來追蹤來自外太空的高能宇宙射線的通量改變情形！

建議可上網搜尋相關資料
搜尋 Keywords List:

Space Weather

AIA/SDO

Coronal Mass Ejection

Solar variation

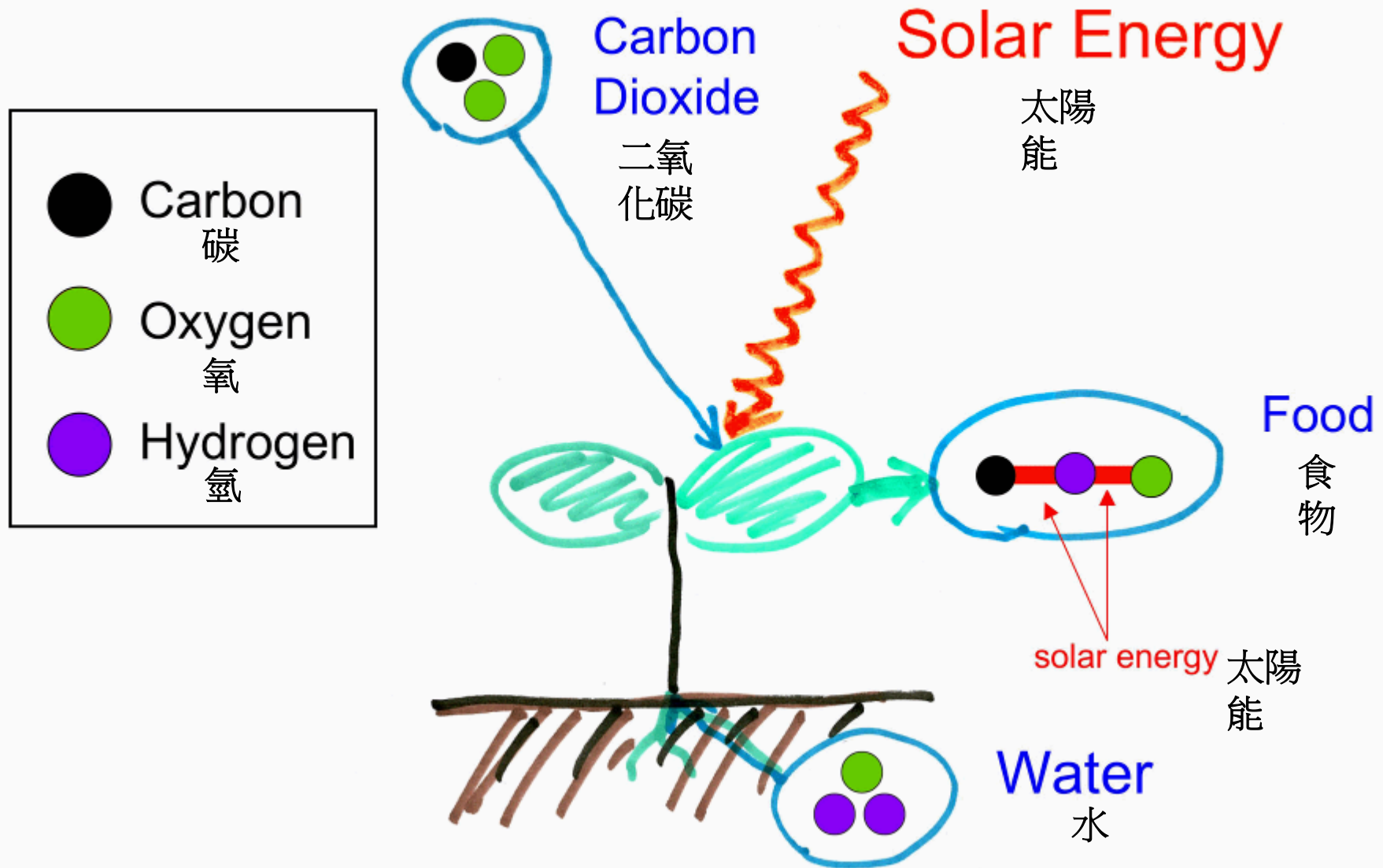
COSMIC RAYS AND EARTH'S CLIMATE

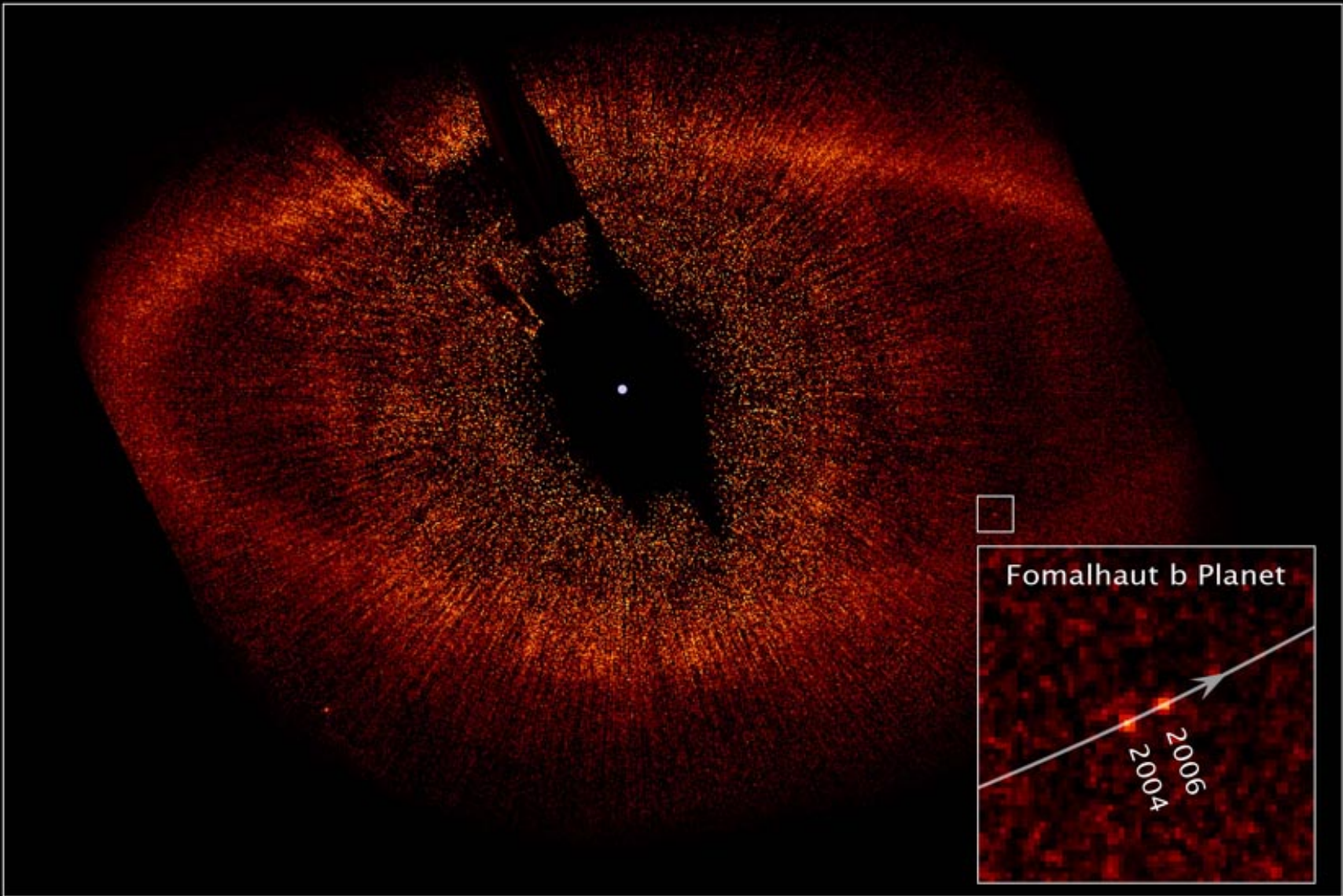
Albedo

The greenish color of the aurora comes from atomic oxygen
極光的綠色來自氧原子



What do plants do?





Fomalhaut System
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

惡劣太空天氣的三種形式

1. 改變電離層電子濃度的分布，影響通訊

太陽閃焰產生的短波輻射，以及造成磁層副暴極光的高能粒子，以及磁爆發生時，磁層電漿密度分布的變動，都可以直接或間接影響電離層電子濃度的分布，進而改變電離層對短波電磁波的反射點或衛星通訊之高頻電磁波在電離層中的傳播路徑，對通訊活動造成影響，造成惡劣的太空天氣。

2. 增強的電流，在太空中以及地表產生感應電動勢

太陽表面的日冕物質拋射或太陽風中的高速太陽風追撞低速太陽風，都可以在行星際空間中，造成大震幅的擾動，如激震波或磁雲。這些擾動傳到地球附近，可造成地球的磁暴與磁副暴。這些磁場風暴，會在太空中以及地表產生感應電動勢，造成惡劣的太空天氣。

3. 輻射傷害

太陽閃焰伴隨產生的高能粒子，會造成太空人的輻射傷害，以及粒子探測儀的毀損。這也算是惡劣太空天氣的指標。⁷³