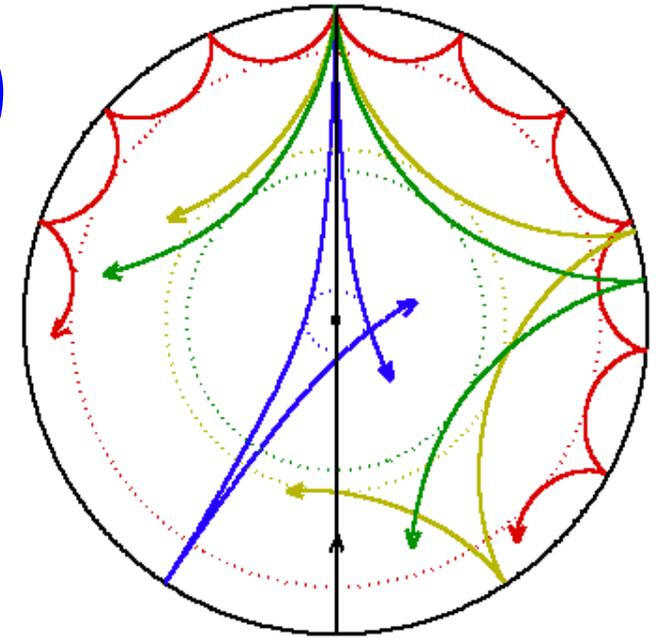


日震學(Helioseismology)

太陽內部的結構原本是以恆星理論預測的，並無法觀察到。類似地震波在地球內部反射與傳遞來推測地球的內部結構，科學家利用日震現象來推演太陽的內部結構，雖無法在太陽放置探測器，但是當太陽內部震動時，震波會傳到表面的光球層，造成複雜的上下運動。雖然表面震動很小，但可從都卜勒位移得到震動的頻率。將這些觀測結果與模擬太陽內部的模型比較，便可推斷出太陽內部的結構與運動。

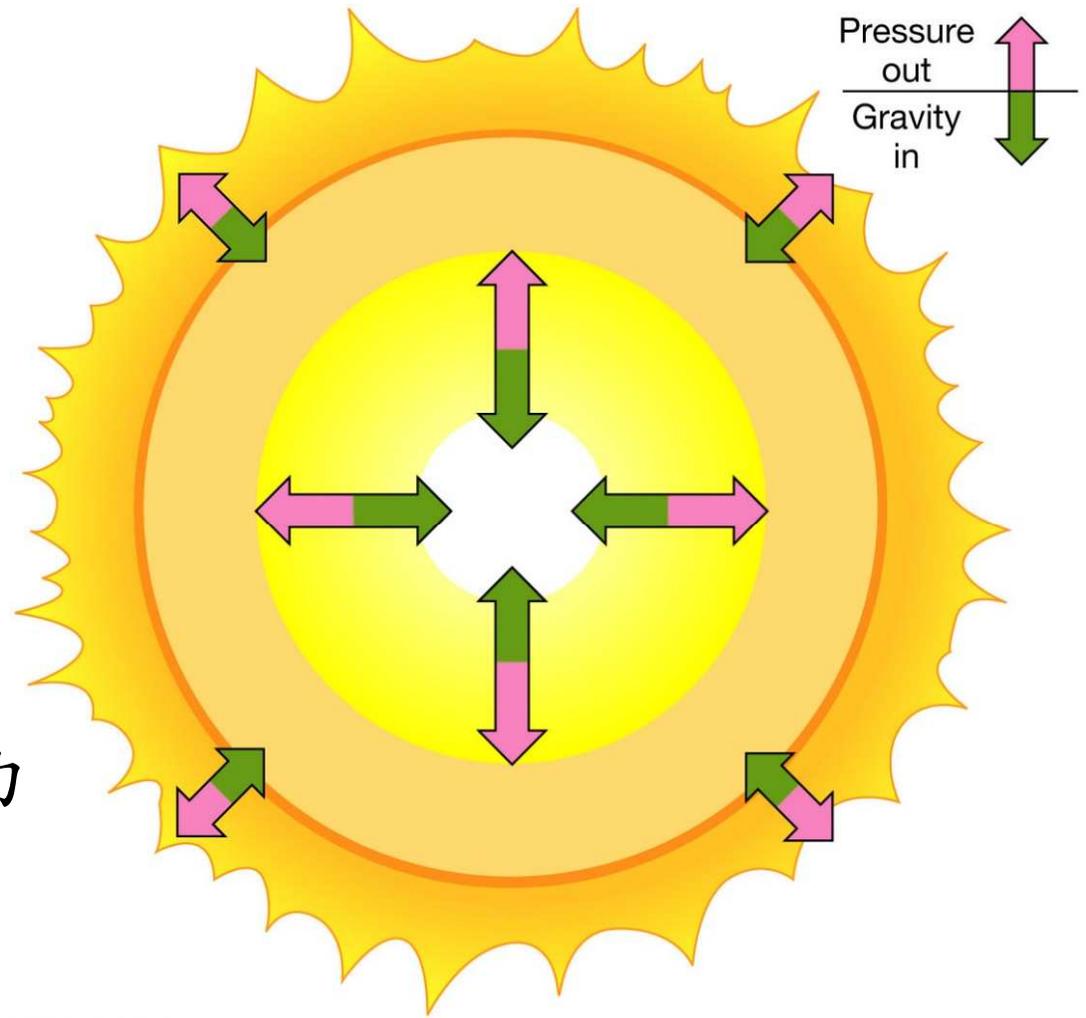


日震學的結果發現太陽內部的溫度比以往想像的要高，排除了太陽微中子問題是由於太陽內部模型不正確的可能性，氦的成分也比原本認為的多，並瞭解對流層和輻射層以不同的速度旋轉，兩者的交界面處是太陽產生磁場及與太陽活動週期相關的地方。

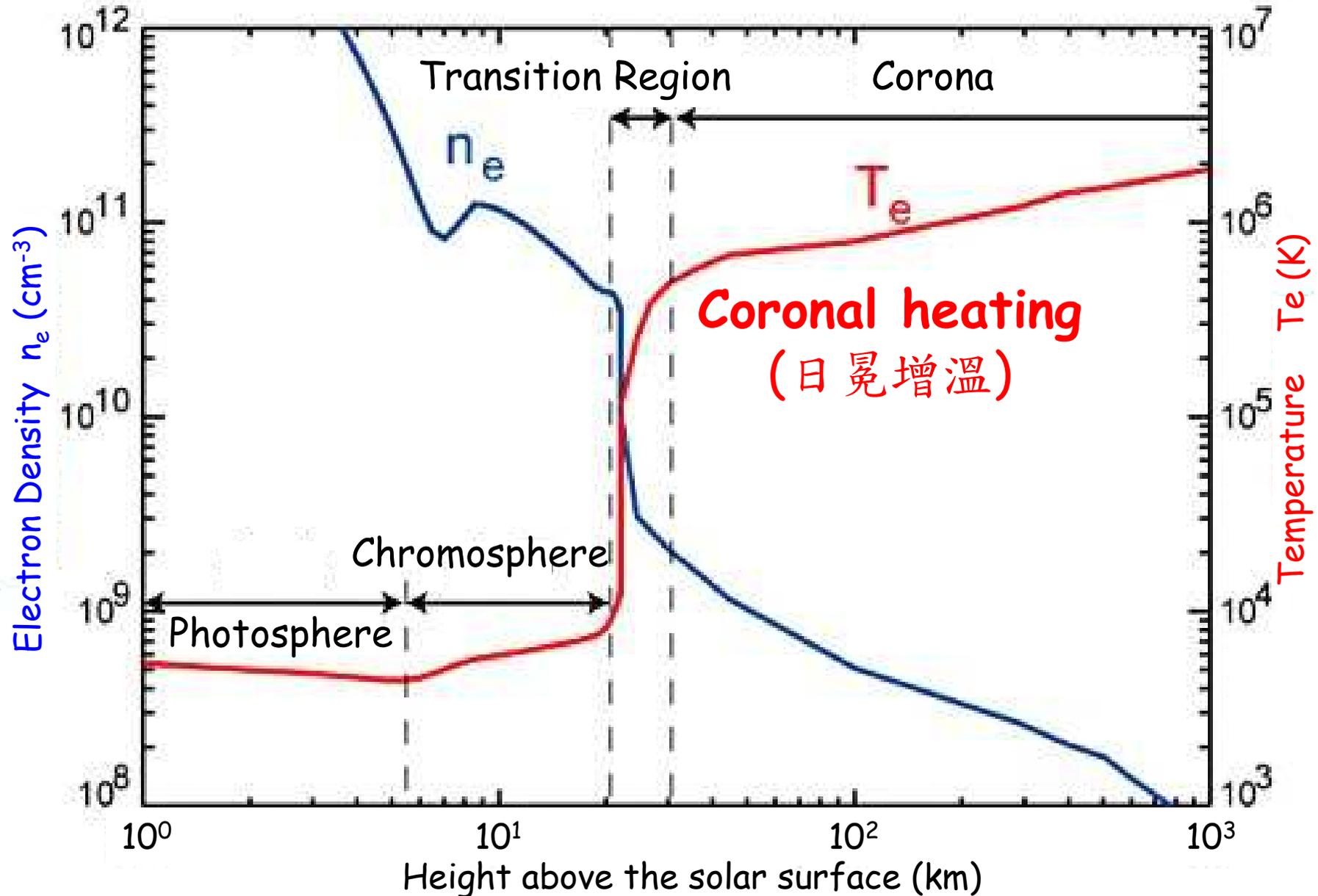
太陽如何維持穩定？

太陽的電漿不會消散是因為太陽的質量很大，能產生強大的重力場將所有的電漿都集成一個球體。但為什麼所有的電漿不會往中心吸成一個小球呢？

太陽上的電漿都相當熱，所以壓力也很大。實際上太陽是由向內的重力與向外的熱壓及輻射壓維持平衡。此種重力-壓力平衡的狀況支撐著太陽結構的穩定，稱為靜流體平衡 (Hydrostatic Equilibrium)。



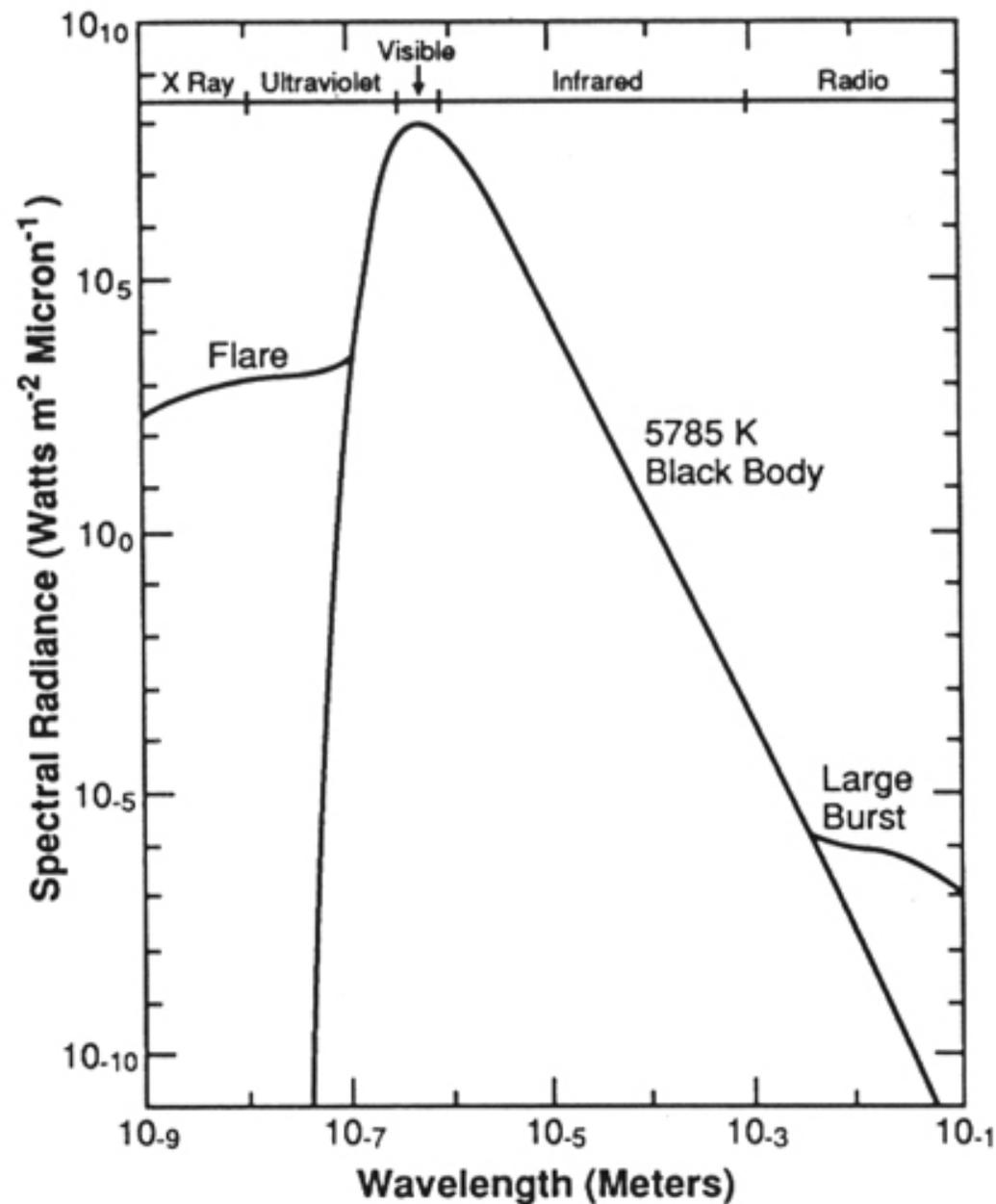
太陽大氣層



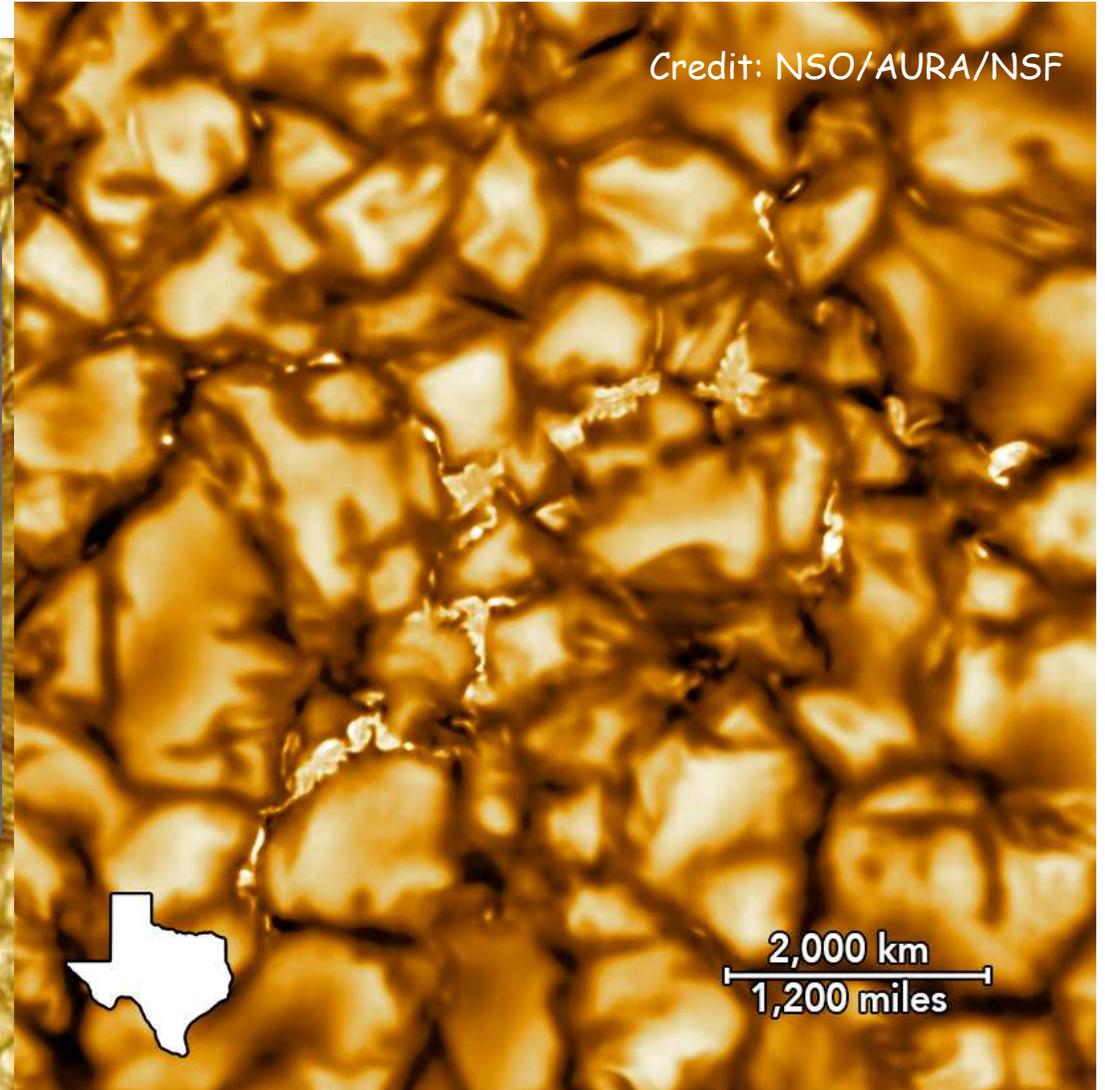
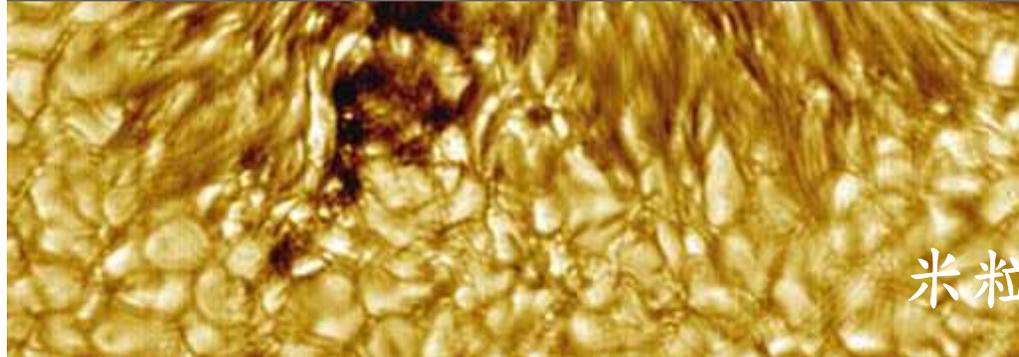
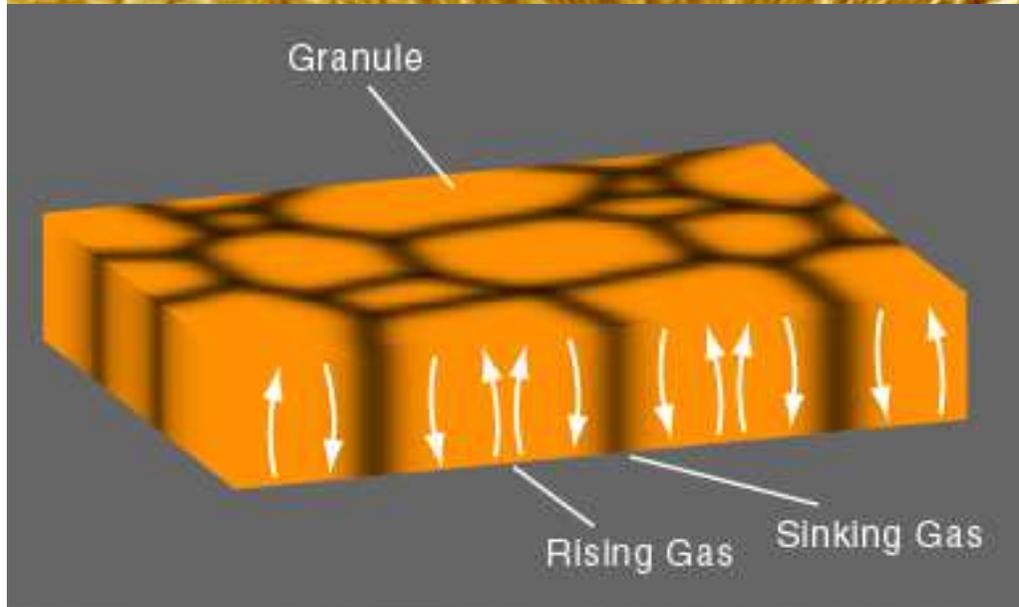
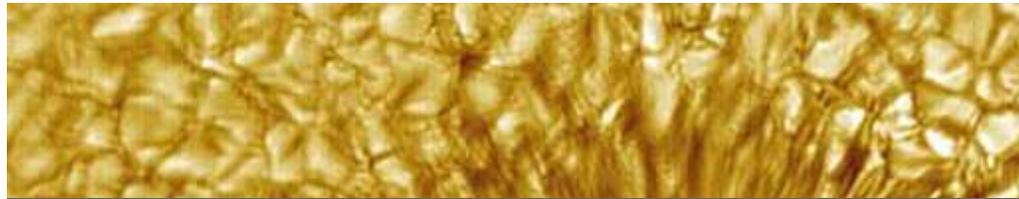
→ 光球層 (Photosphere)

厚度約500 km，溫度約5800 K，為我們所能看到的太陽表面。地球所見太陽光譜主要來自光球層，譜型與5800 K的黑體輻射相近。光球層以下的太陽對可見光是不透明的，而在光球層上方的氣體密度又太低，無法放出足夠的光。只有光球層它的溫度密度恰當，既能輻射出較多的光，又能讓光子逃離太陽表面。

主要現象為：黑子(sunspots)，米粒組織(granulation)。



每個米粒組織的大小約1500公里，生命週期約10分鐘，中央部份比四周溫度約高300 K，故較為明亮。由都卜勒位移發現，米粒組織的中心是向上湧升而周圍是下沉，是由對流所造成的結構。



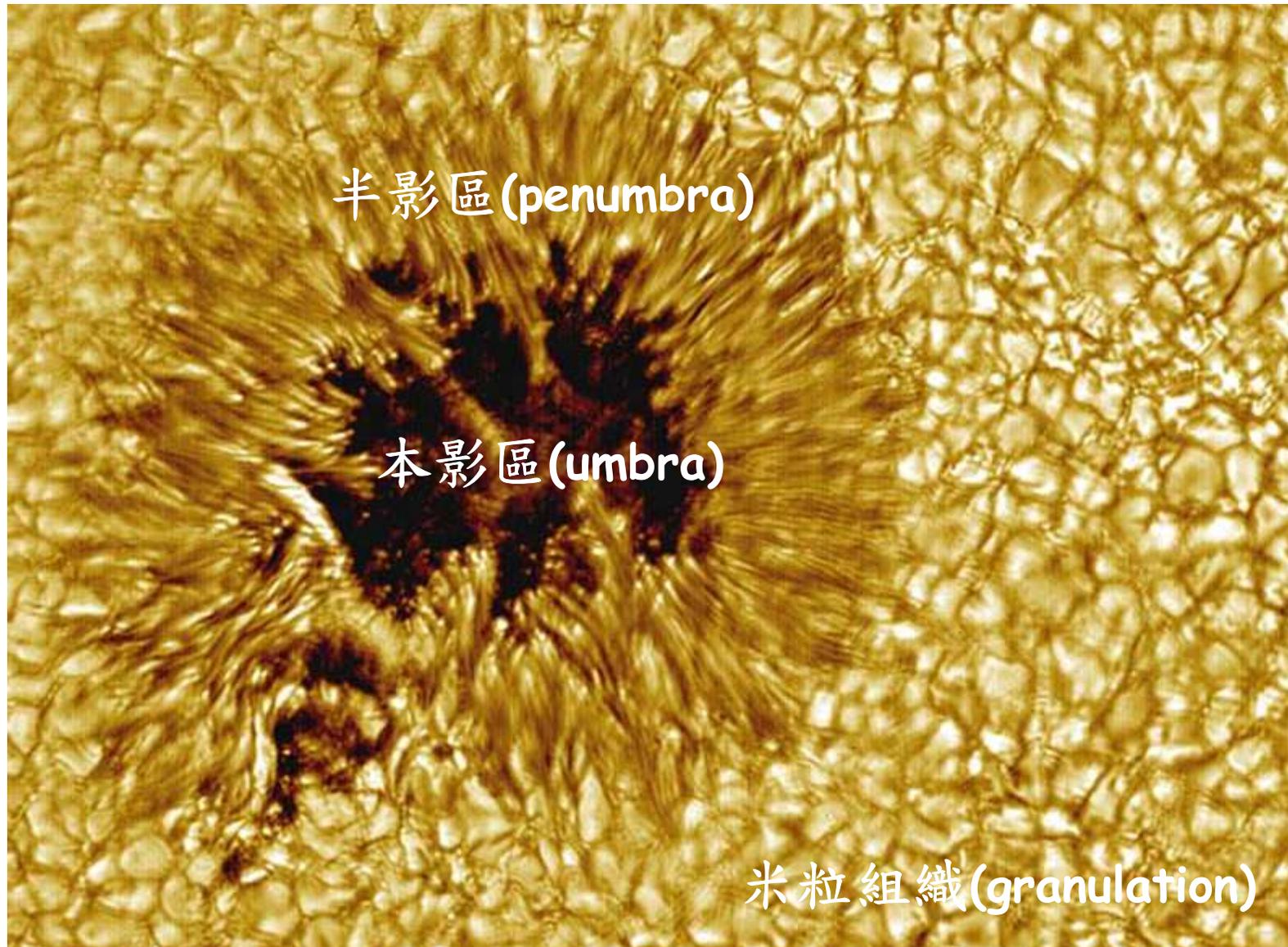
米粒組織 (granulation)

<https://www.noao.edu/outreach/press/9808image.html>

<https://www.nso.edu/telescopes/dkist/first-light-cropped-image/>

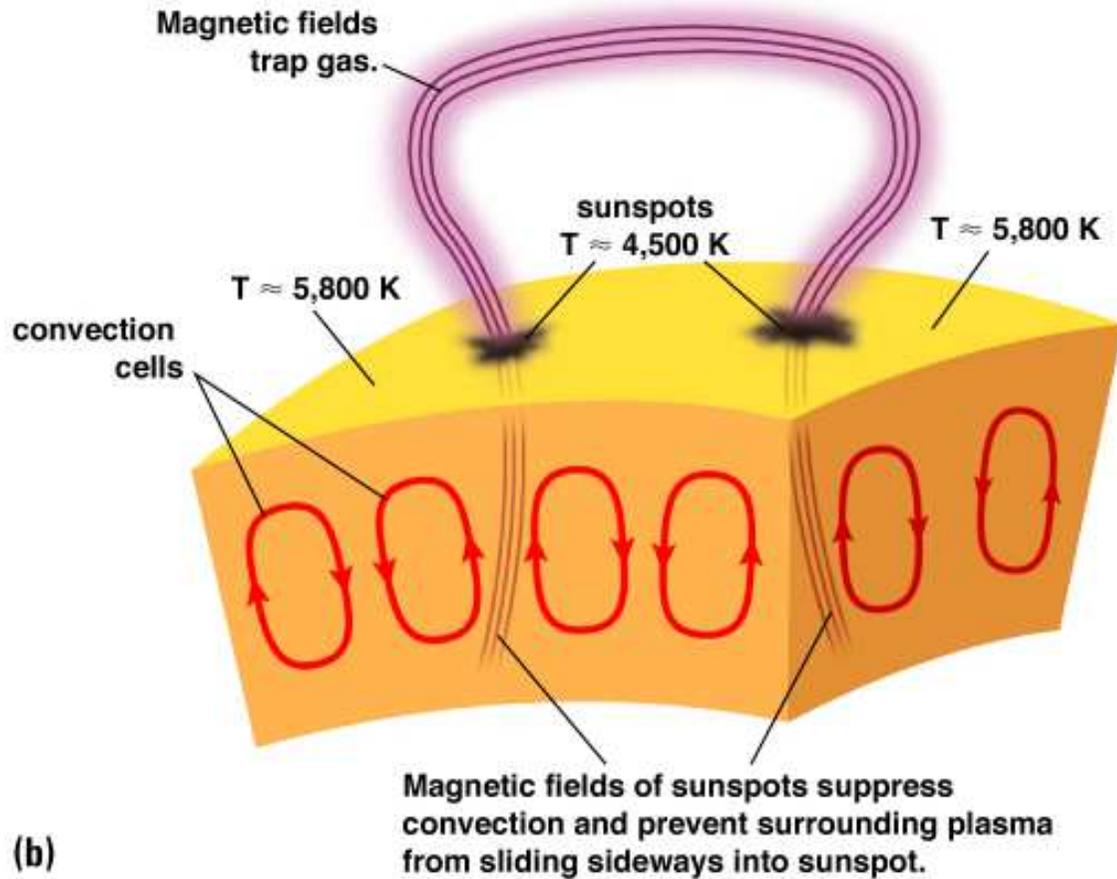
https://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/archive/EducationResource/Universe/framed_e/lecture/ch11/ch11.html

黑子經常成群成對出現。黑子處的溫度約比光球層其他區域低1000-1500 K，中心溫度約4000 K，故對比之下呈黑色，但實際上單一黑子的照度與滿月相去不遠。



黑子處的磁場約為太陽表面平均磁場的數百倍，本影區的磁場強度可能介於1000至4000高斯之間。

黑子為強磁低溫區域。



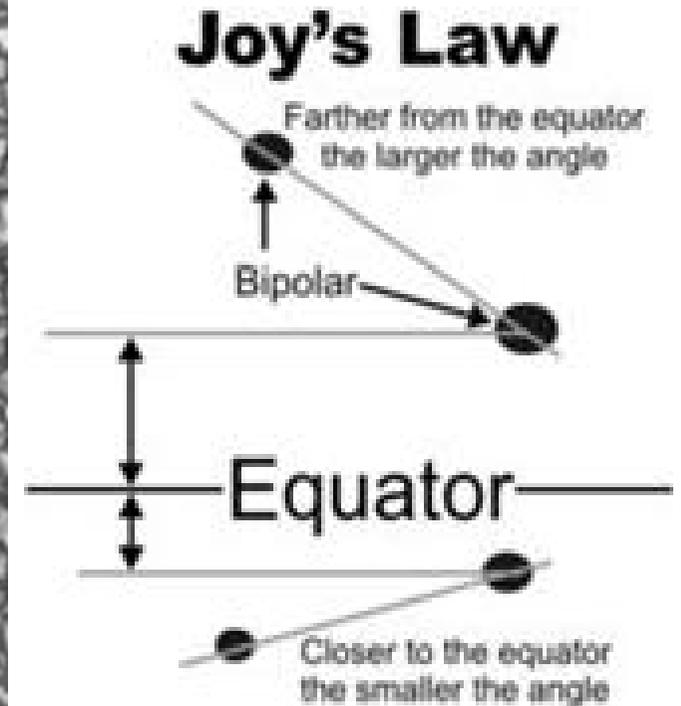
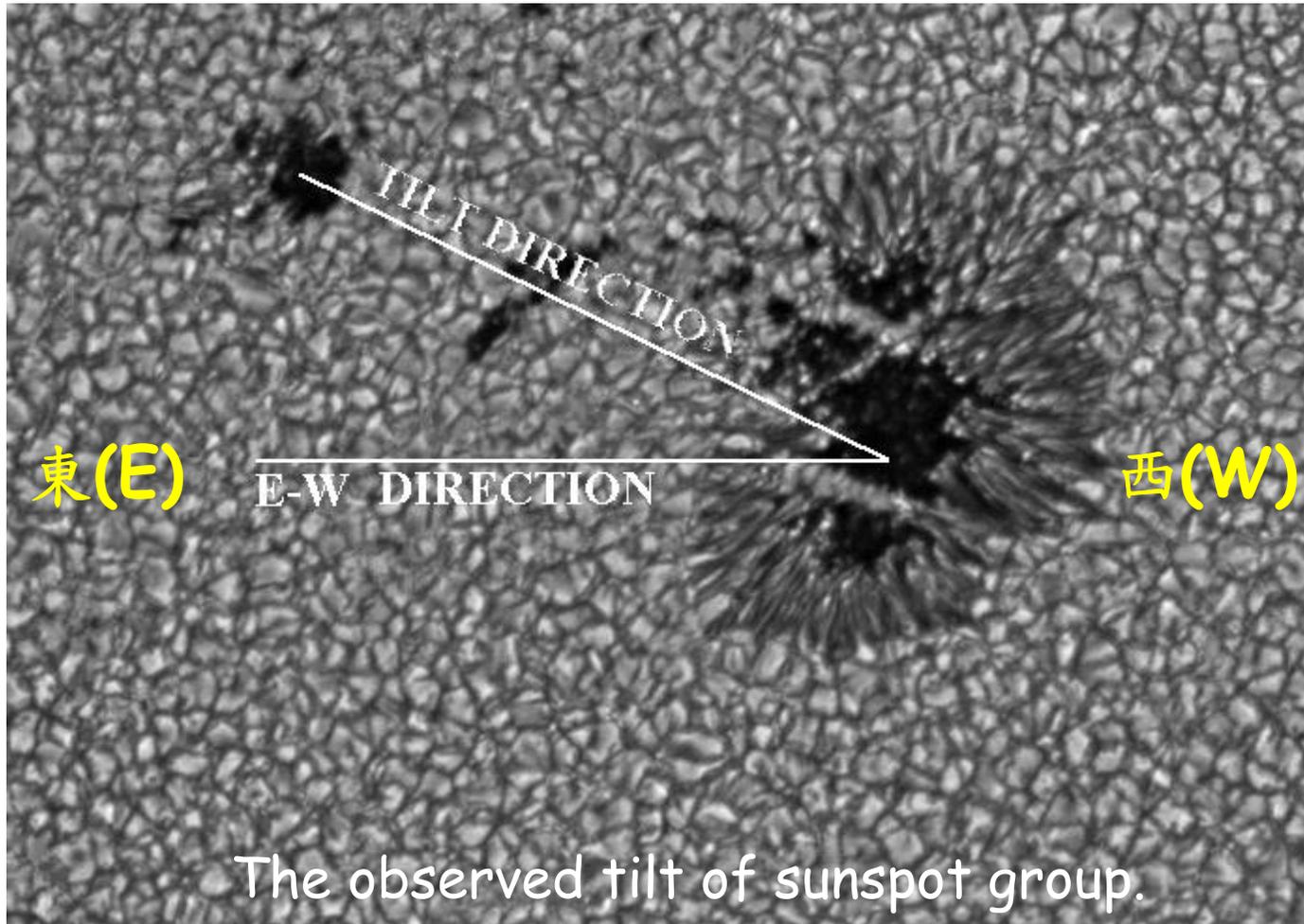
(b)

Copyright © Addison Wesley

1908年美國天文學家 George Ellery Hale 發現黑子附近的磁場比太陽平均磁場高出約1000倍(地球平均磁場約0.5 Gauss，太陽平均磁場約1.0 Gauss，黑子則高達約1000 Gauss)，解釋了太陽黑子是由強磁場抑制對流能量傳輸所造成。

由於黑子區內的磁場抑制了來自光球層下方對流能束的能量傳輸，因而較少能量能傳至光球層，造成黑子區內溫度較低，對比上也較光球層暗。

Joy's Law

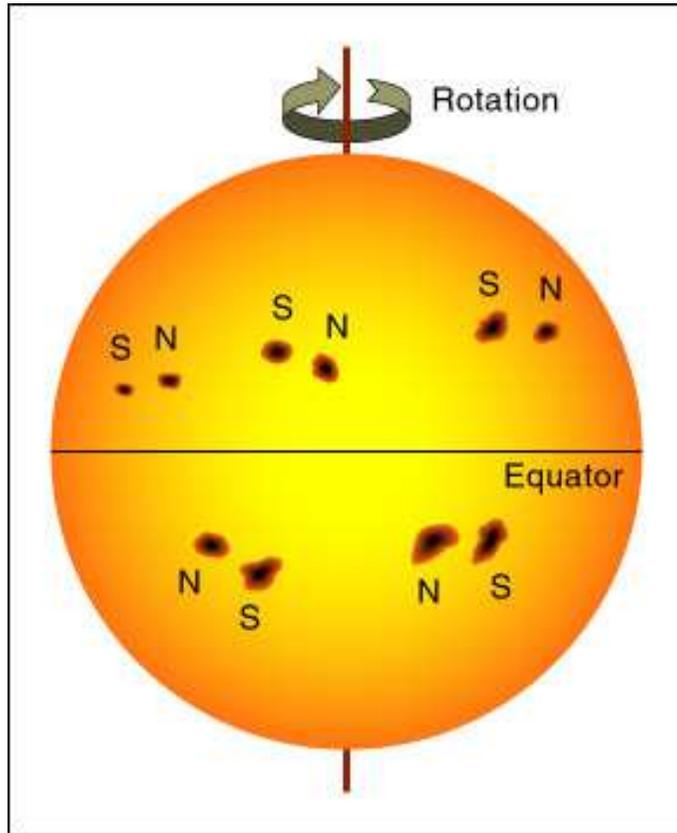


太陽黑子群因前導黑子較尾隨黑子靠近赤道而傾斜，傾斜角度隨緯度增加而增加，該傾斜現象稱之。

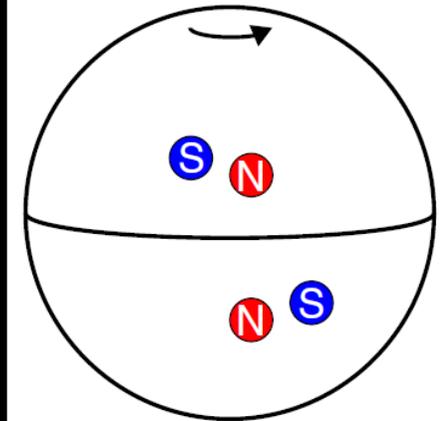
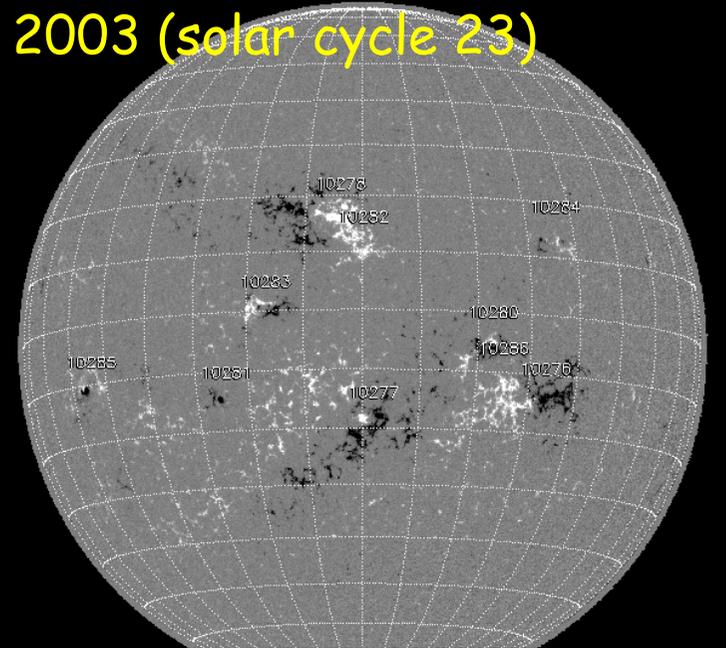
http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/joys_law.jpg

http://www.e-huh.com/chapter%207%20the%20sun/chapter%207%20a%20new%20model%20of%20the%20sun_files/image004.jpg

Hale's Polarity Law

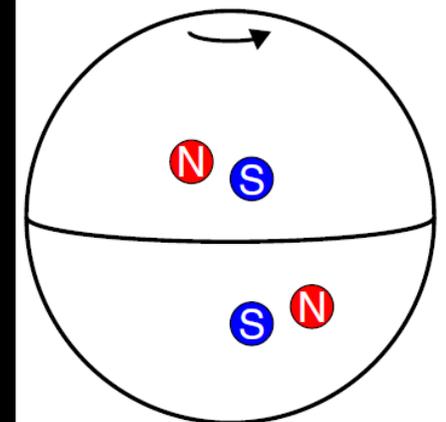
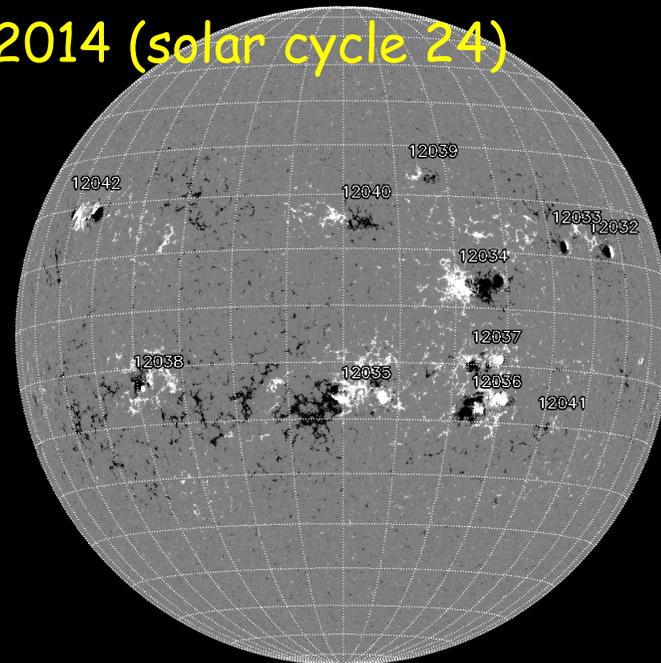


2003 (solar cycle 23)



Odd cycles

2014 (solar cycle 24)

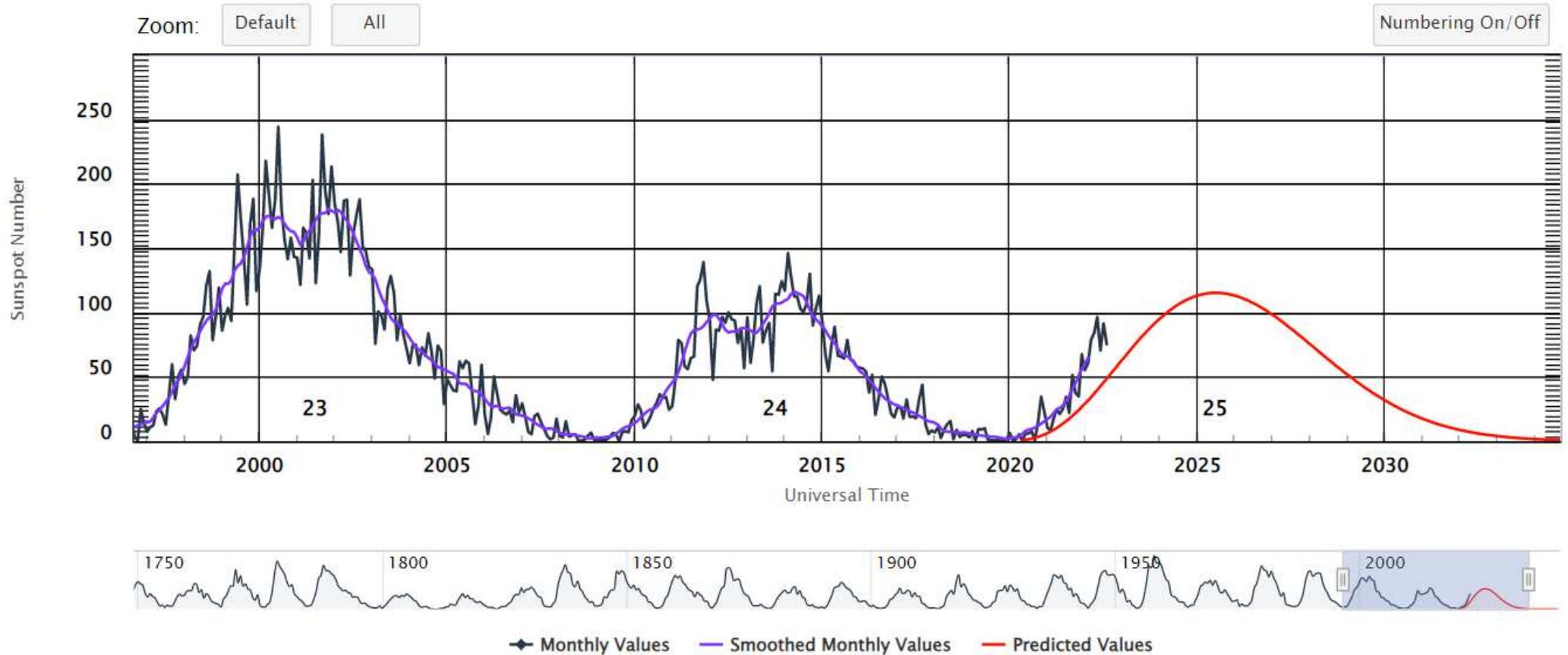


Even cycles

在同一週期中，北半球前導黑子的極性與南半球前導黑子的極性相反，下一週期南北半球黑子的極性會反轉。

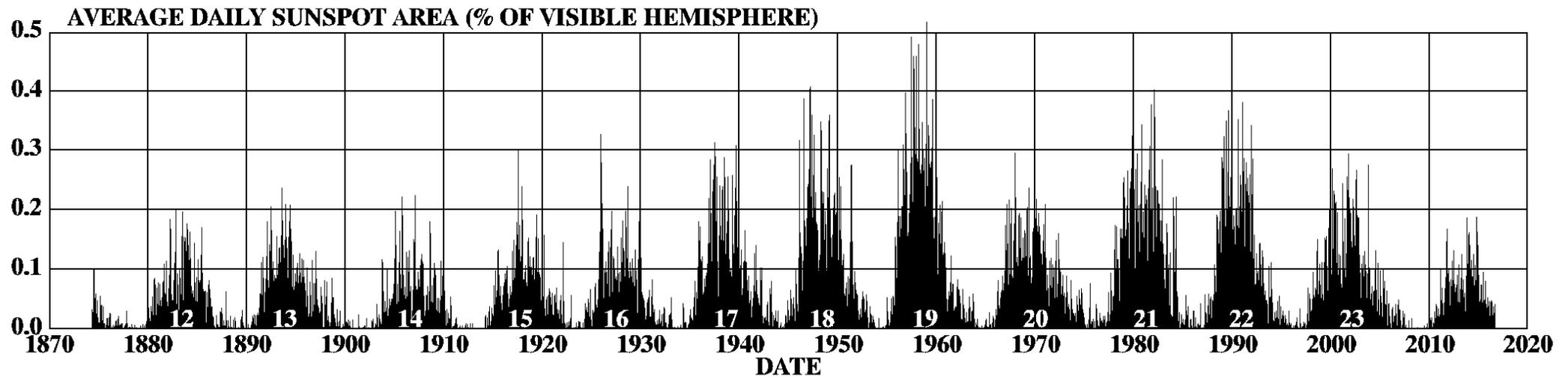
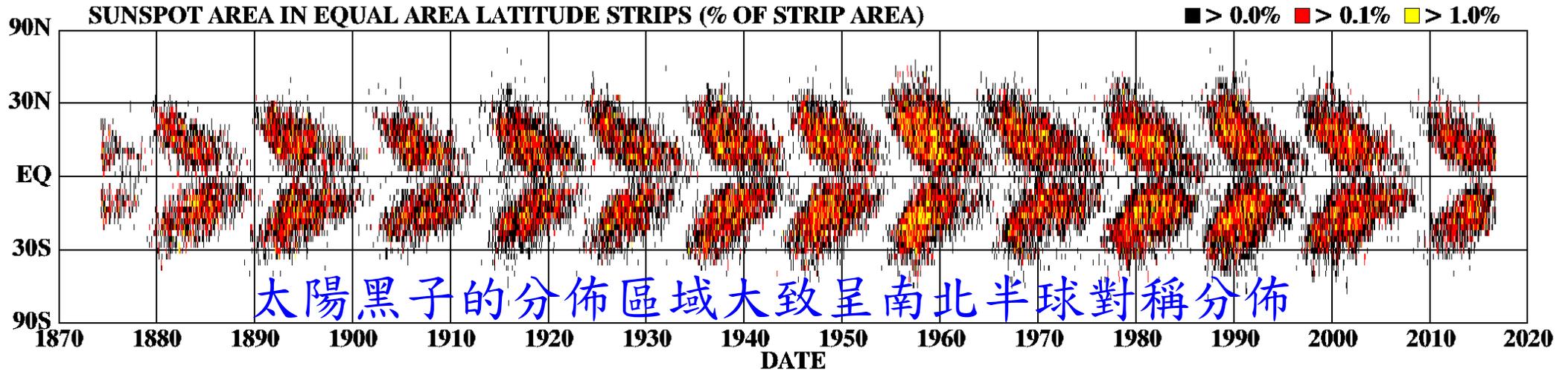
太陽活動週期

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression



蝴蝶圖 (butterfly diagram)

高緯度區沒有太陽黑子，赤道地區幾乎沒有黑子



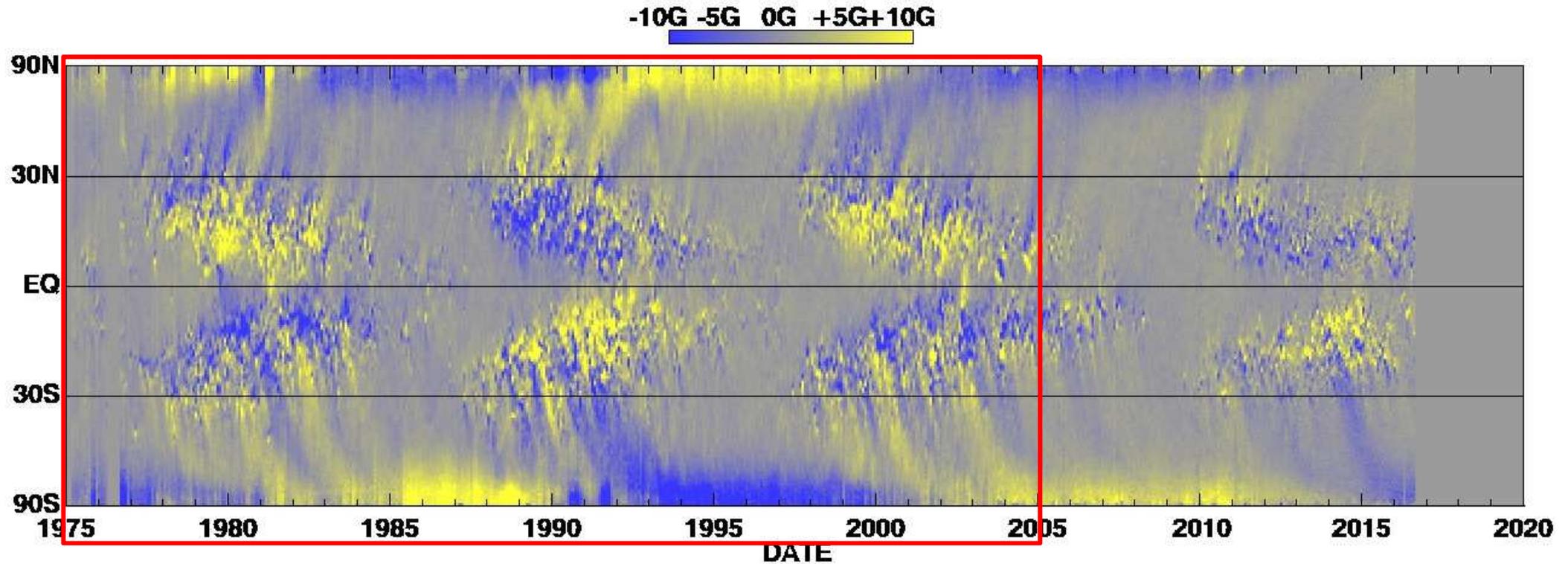
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>

HATHAWAY NASA/ARC 2016/10

太陽黑子週期開始時，黑子主要出現在南北緯約 35° 處，而在週期結束時，黑子通常出現在南北緯約 5° 處

<http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif>

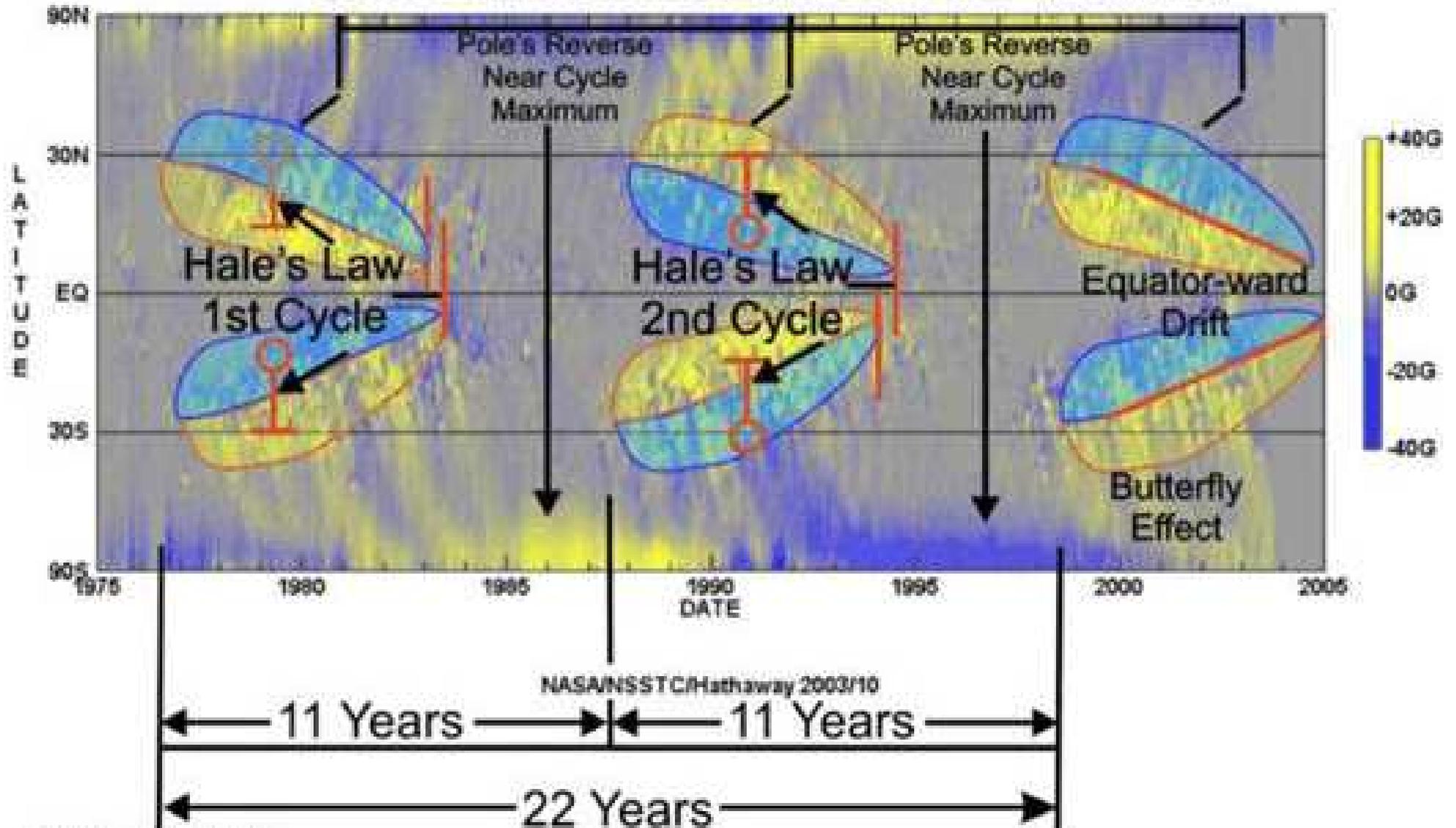
Magnetic Butterfly Diagram

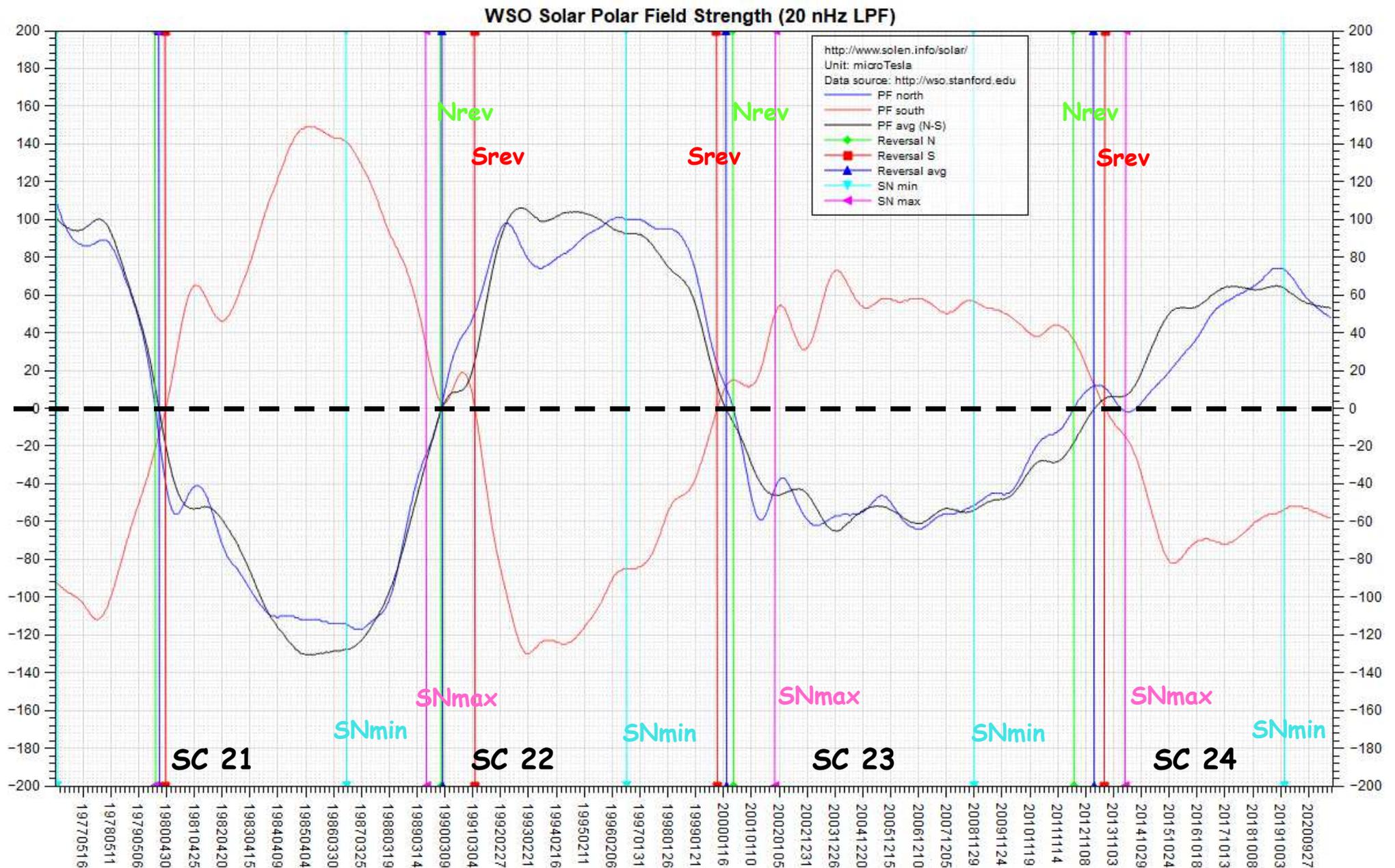


Hathaway NASA ARC 2016/10

Magnetic Butterfly Diagram

LONGITUDINALLY AVERAGED MAGNETIC FIELD (MODIFIED)





“The northern polar field reversed in June 2012 while the southern polar field reversed in July 2013. During the previous similar polarity reversal in 1989-1991 the northern polar field reversed 14 months prior to the southern polar field reversal, very similar to the situation during cycle 24.”