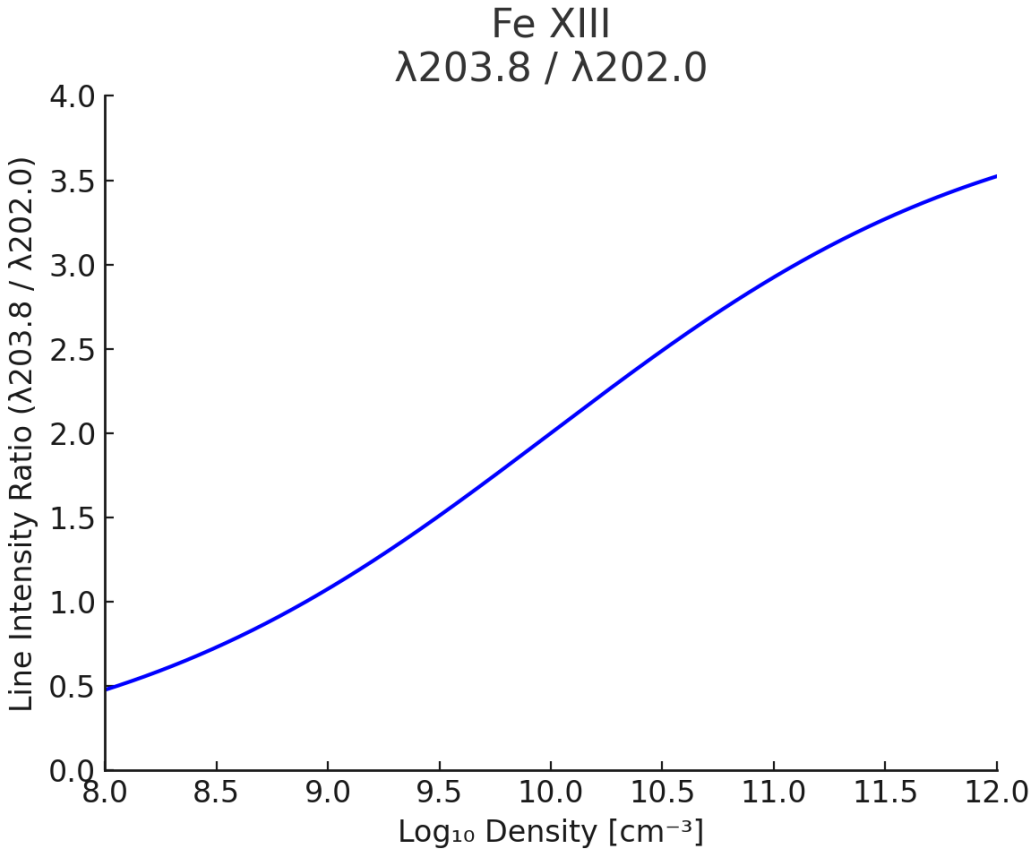
第 8 單元：太陽大氣密度變化分析

日出號（Hinode）是由日本宇宙航空研究開發機構（JAXA）主導，並與美國國家航空暨太空總署（NASA）、英國及歐洲太空總署（ESA）合作的太陽觀測衛星，於 2006 年成功發射。其主要任務是以高解析度觀測太陽大氣層的結構與活動，特別是日冕與太陽黑子區域，藉此深入理解太陽磁場與能量釋放的機制。

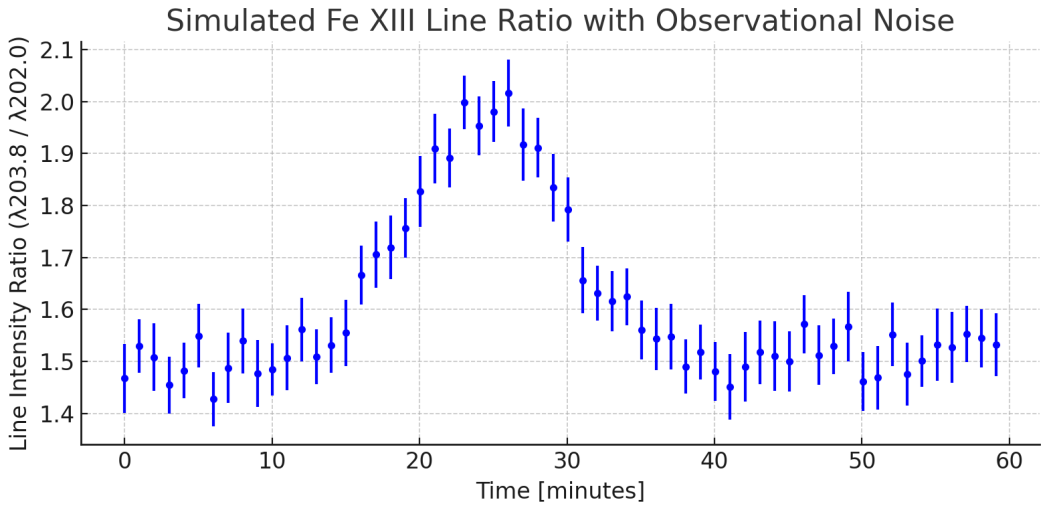
日出號搭載的極紫外線成像光譜儀是其關鍵科學儀器之一，能夠觀測來自太陽的極紫外線光譜。當太陽大氣中的原子受到加熱時，會釋放出具有特定波長的光，形成光譜線。每一條光譜線對應特定元素及其電離態。以鐵元素為例，Fe XIII 的兩條重要光譜線分別出現在 203.8 Å 和 202.0 Å 位置。

這兩條光譜線的強度比值，能夠用來推算當地太陽大氣的電子密度。下圖（1）顯示了理論上光譜線強度比值（Line Intensity Ratio）隨電子密度（Log_{10}Density）變化的關係圖。



密度推算範例：
若 λ203.8 的光譜線強度為 225 單位，而 λ202.0 為 150 單位，則：
225 / 150 = 1.5
根據圖（1），當比值為 1.5 時，對應的氣體密度為：
$\log_{10} D \approx 9.5$
換算為一般單位：
$D = 10^{9.5} \approx 3.2 \times 10^{9}$ 顆原子/cm^3

下圖（2）則顯示了模擬日出號觀測 Fe XIII λ203.8 與 λ202.0 的光譜線強度比值隨時間變化的情形，可用來分析大氣密度隨時間的變化趨勢。



問題 1：
在第 20 至 30 分鐘這段時間內，太陽大氣的密度是否有顯著變化？請說明密度是上升還是下降。

解答：
觀察圖（2）可見，從 20 分鐘到 30 分鐘期間，光譜線強度比值明顯上升。
由於比值上升代表密度增加，因此可以判斷密度上升。

問題 2：

請估算觀測初期（約 5 分鐘）和觀測高峰（約 25 分鐘）時，太陽大氣的密度（單位：顆原子/cm^3）。

解答：

在觀測初期（約 5 分鐘），光譜線比值約為 1.5。從圖（1）查得：

$\log_{10} D \approx 9.5$

換算為一般單位：

$D = 10^{9.5} \approx 3.2 \times 10^9$ 顆原子/cm^3

在觀測高峰（約 25 分鐘），比值約為 2.0。從圖（1）查得：

$\log_{10} D \approx 10.0$

換算為一般單位：

$D = 10^{10.0} \approx 1.0 \times 10^{10}$ 顆原子/cm^3

問題 3：

這樣的密度變化可能與哪一類太陽活動有關？請簡要說明可能原因。

解答：

這種密度快速上升的現象，很可能與太陽閃焰或局部磁場重聯加熱事件有關。在這些活動中，局部磁場線重新連結，釋放出大量能量，使周圍電漿快速加熱與壓縮，造成電子密度在短時間內急遽增加。因此，觀測到的光譜線強度比值也同步上升。

參考資料：Space Math http://spacemath.gsfc.nasa.gov