

第二型太陽無線電暴特性分析

Feature Analysis of Type II Solar Radio Burst

IDL 程式語言 I 專題製作書面報告

中央大學大氣四 B 張耀文，2021 年 1 月 14 日。

1 摘要

本專題使用 Wind 衛星中 Wind Radio/Plasma Wave (WAVES)的 RAD1 及 RAD2 資料，以 IDL 程式語言分析 2019 年 4 月第二型太陽無線電暴事件，使用高斯擬合在事件發生的每個時間點取局部極大值作為頻漂中心，並將頻漂中心標示於動態頻譜圖中，將頻漂中心連線繪製出事件發生時的頻漂軌跡。共統計 10 個第二型無線電暴事件的頻漂軌跡，以指數函數擬合軌跡曲線得到頻率與時間的關係 $f(t) = 682.92e^{-0.1579t} + 187.12 [kHz/min]$ ，藉此描述 RAD1 頻段範圍內第二型無線電暴的頻漂特性。

2 簡介

2.1 太陽無線電暴

太陽無線電暴(Solar Radio Burst)是一種在動態頻譜圖中隨時間變化的結構(圖 1)，可分為第一至第五型太陽無線電暴(Ganse et al. 2012)，不同類型的太陽無線電暴在頻譜圖中所呈現的特性不太一樣，本次專題所研究的第二型太陽無線電暴，可看出其在動態頻譜圖中會隨時間由高頻漂移至低頻，且漂移速率相對於第三型太陽無線電暴緩慢，頻漂持續時間約 5 至 15 分鐘。通常認為第二型太陽無線電暴的形成與震波有關，諸如行星際震波(Interplanetary Shock Wave)或是日冕物質拋射誘發震波(CME driven shock wave)皆有可能引發第二型太陽無線電暴。

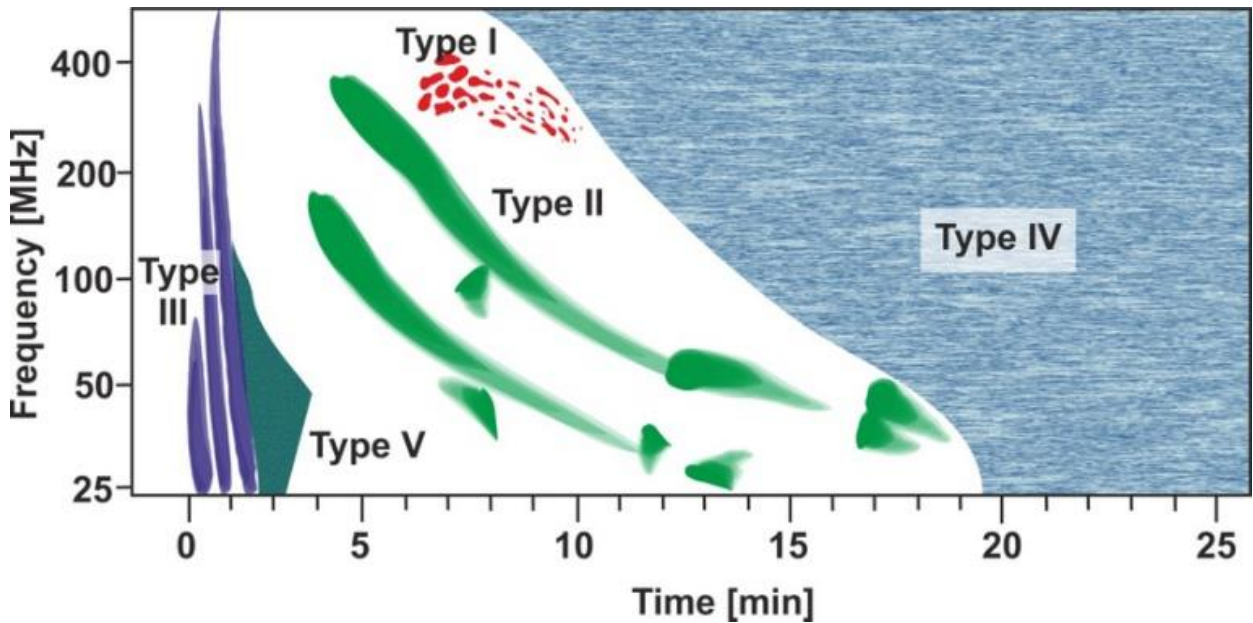


圖 1、太陽無線電暴基本分類。

2.2 wind 衛星

Wind 衛星於 1994 年 11 月 1 日發射，被用來研究太陽風和地球磁層中發生的無線電波和電漿。Wind 裝載 Wind Radio/Plasma Wave (WAVES) 可用來取得無線電波資料，分別有 RA1 (20 kHz–1040 kHz) 以及 RAD2 (1075 kHz–13.825 MHz) 兩個波段可以接收訊號。

3 方法

對於 Wind/WAVES 中 RAD1 及 RAD2 觀測到的太陽無線電暴事件，首先從動態頻譜圖中依照第二型太陽無線電暴的頻漂特性找尋事件，圖 2 一個發生於 2019 年 4 月 2 日 15:45.30-16:09.30 UT 的第二型太陽無線電暴事件範例，圖中可看出第二型無線電暴主要的訊號是在 RAD1 的頻率範圍內，而在 RAD2 頻率範圍內則幾乎沒有反應，因此我僅針對 RAD1 進行頻漂的分析，首先在頻譜圖中標記事件的起始與結束時間，得到事件發生的時間範圍，在時間範圍內對每個時間點繪製功率隨頻率的變化圖(圖 2b)，使用高斯函數擬合功率曲線，取其局部極大值作為此時間點的頻漂中心，並將此頻漂中心繪製回動態頻譜圖中(圖 2a)，將時間段中將所有頻漂中心連線得出頻率隨時間變化軌跡。

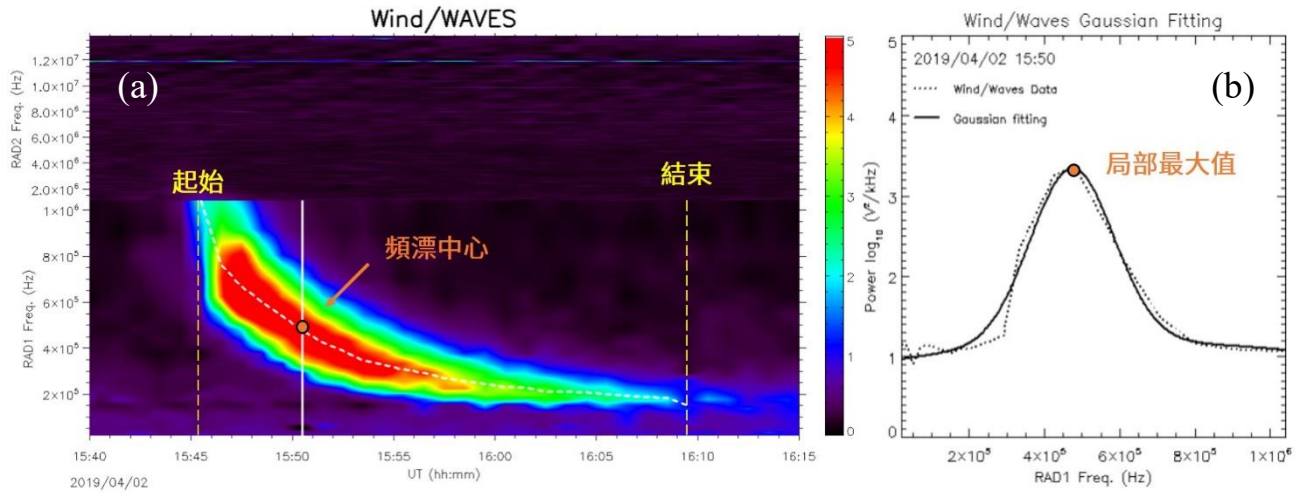


圖 2、Wind/WAVES 的 RAD1 及 RAD2 第二型太陽無線電暴頻譜圖範例。(a) 設定事件的起始與結束時間(黃色虛線)，得到事件持續時間範圍，以 15:00.30 UT 此時間點為例(白色垂直實線)，可以繪製(b) 功率隨頻率變化圖，用高斯函數擬合得到局部極大值作為 15:00.30 UT 的頻漂中心，在事件持續時間範圍內對所有時間點重複以上步驟，並將所有頻漂中心連線，可得到頻漂中心隨時間變化軌跡(白色虛線)。

結果

重複上述的方法，我另外找到 9 個第二型太陽無線電暴事件進行同樣的分析，在九張動態頻譜圖中繪製出其頻漂曲線(圖 3)，以上 9 個事件加上圖 2 範例共有 10 個事件，由於 10 個事件發生的時間點不同，我將事件的起始時間訂為零點，再把 10 條頻漂曲線繪製在同一個圖中，以黑色虛線呈現，得到頻漂中心隨事件經過時間的變化(圖 4)，將 10 條頻漂曲線分別在每個事件經過時間點做平均，繪製出平均頻漂曲線，以黑色實線呈現，根據頻漂曲線的特性，使用指數函數對平均頻漂曲線做擬合，得到的擬合函數為 $f(t) = 682.92e^{-0.1579t} + 187.12$ [kHz/min]。

Wind/Waves Type II Solar Radio Burst

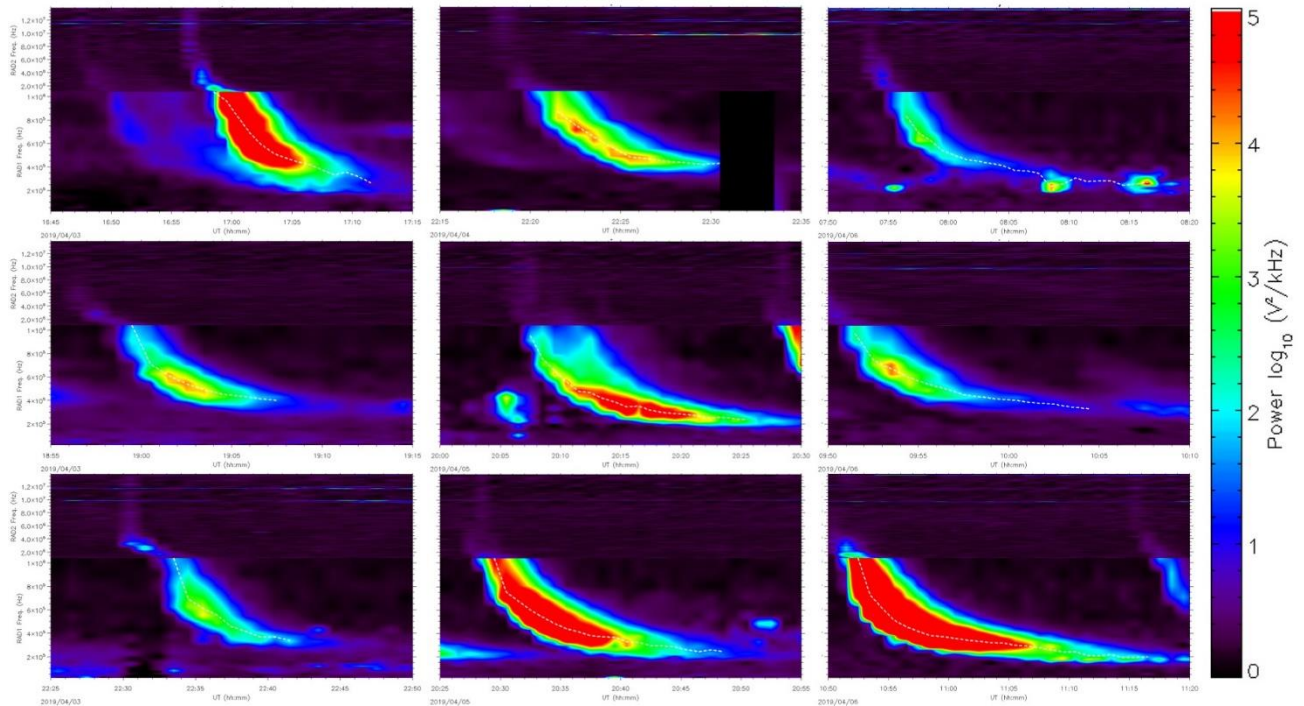


圖 3、2019 年 4 月的 9 個第二型太陽無線電暴事件，白色虛線為頻漂曲線。

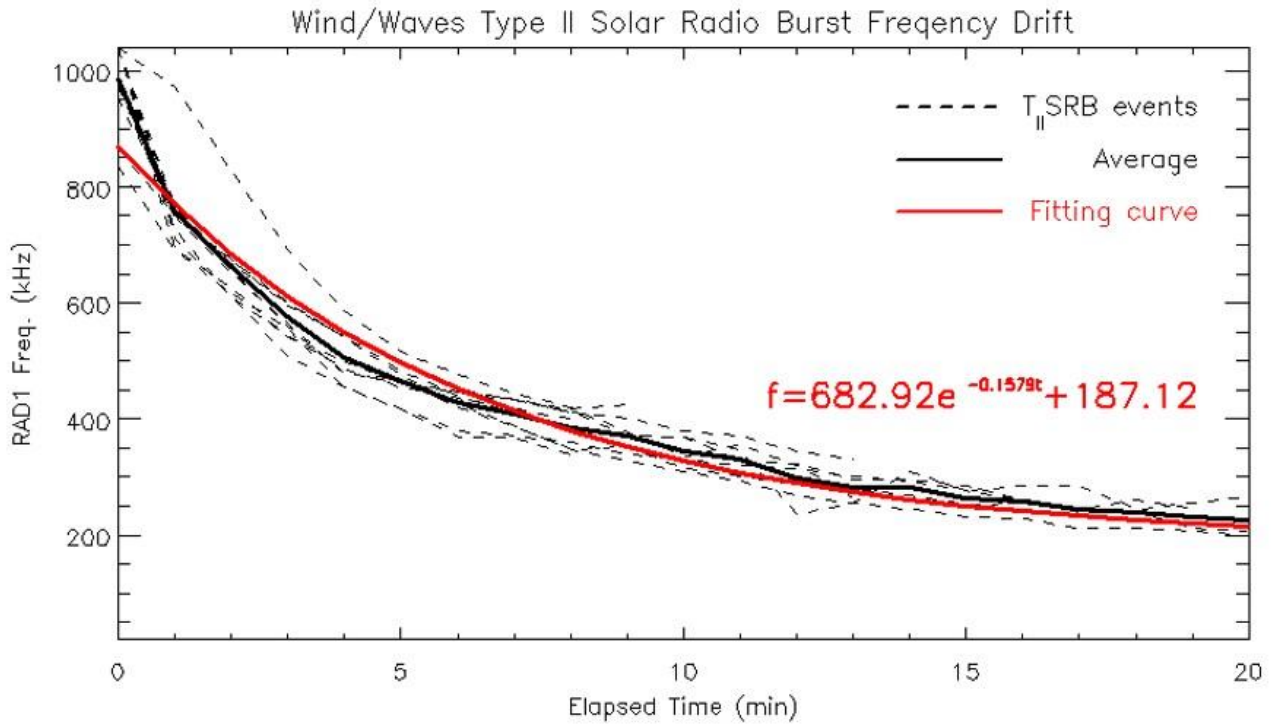


圖 4、10 個第二型太陽無線電暴事件頻漂中心隨事件經過時間變化，黑色虛線為事件的頻漂曲線，黑色實線為 10 個事件的平均，紅色實線為使用指數函數擬合出的頻漂曲線。

討論

由圖 4 得到的結果可以知道在 RAD1 頻率範圍內的第二型太陽無線電暴的頻漂軌跡可用指數函數 $f(t) = 682.92e^{-0.1579t} + 187.12$ [kHz/min]做近似。圖 4 也可看出在 RAD1 頻率範圍內的第二型太陽無線電暴的起始頻率約落在 800-100 kHz，其頻率中心隨時間呈現指數遞減，起初在高頻區域頻漂較快，經過約 5 分鐘的時間進入低頻區域後頻漂變得緩慢。而不同事件的持續時間也不盡相同，約落在 10-20 分鐘不等，持續時間較短的事件，起始頻率與結束頻率間的差值較小，表示其總頻漂幅度較小；持續時間較長的事件，起始頻率與結束頻率間的差值較大，表示其總頻漂幅度也較大。但不論事件持續時間有多長，最終結束頻率將有一個極限頻率約為 187.12 kHz，表示第二型太陽無線電暴的頻漂不會無止境的往低頻漂移，在特定的頻率範圍內的第二型太陽無線電暴事件有著固定的頻漂範圍。

結論

本次專題使用 Wind/WAVES 資料分析 2019 年 4 月的 10 個第二型太陽無線電暴事件，並得出的平均頻漂曲線以及擬合的指數函數頻漂曲線，由此可知在 RAD1 頻率範圍內的第二型太陽無線電暴有著相似的頻漂特性。

參考資料

- [1] Pulupa, Marc, et al. "Statistics and polarization of type III radio bursts observed in the inner heliosphere." The Astrophysical Journal Supplement Series 246.2 (2020): 49.
- [2] Aguilar-Rodriguez, E., N. Gopalswamy, R. J. MacDowall, and M.L. Kaiser, A study of the drift rate of type II bursts at different wavelengths, Solar wind 11, in press, 2005.
- [3] Gopalswamy, N., et al. "Near-Sun and near-Earth manifestations of solar eruptions." Journal of Geophysical Research: Space Physics 106.A11 (2001): 25261-25277.