



影像學方法在日冕物質拋射 速度分析上的應用

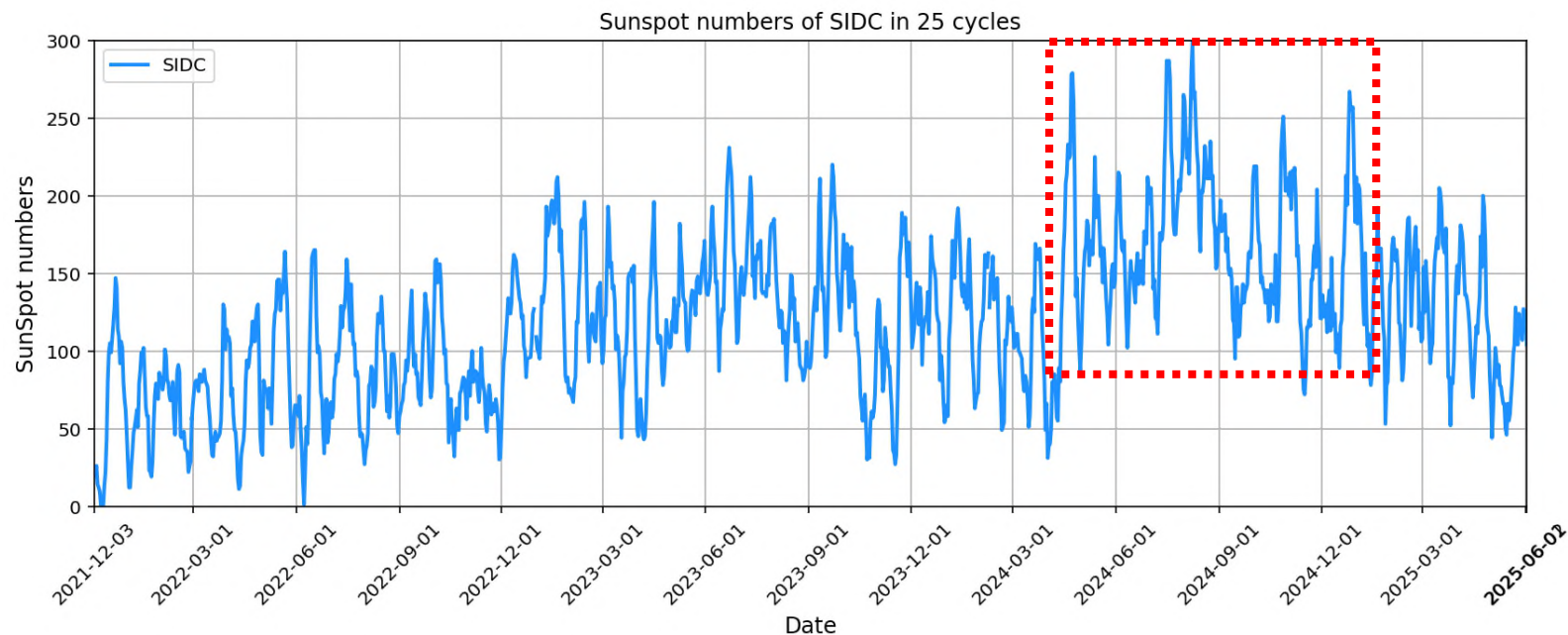
臺北天文氣象站 柯景元 游鎮宇 謝章眉 蔡禹明
太空天氣作業辦公室 李柏翰 蕭惠文

2012/07/06 23:15:05 太陽閃焰影像

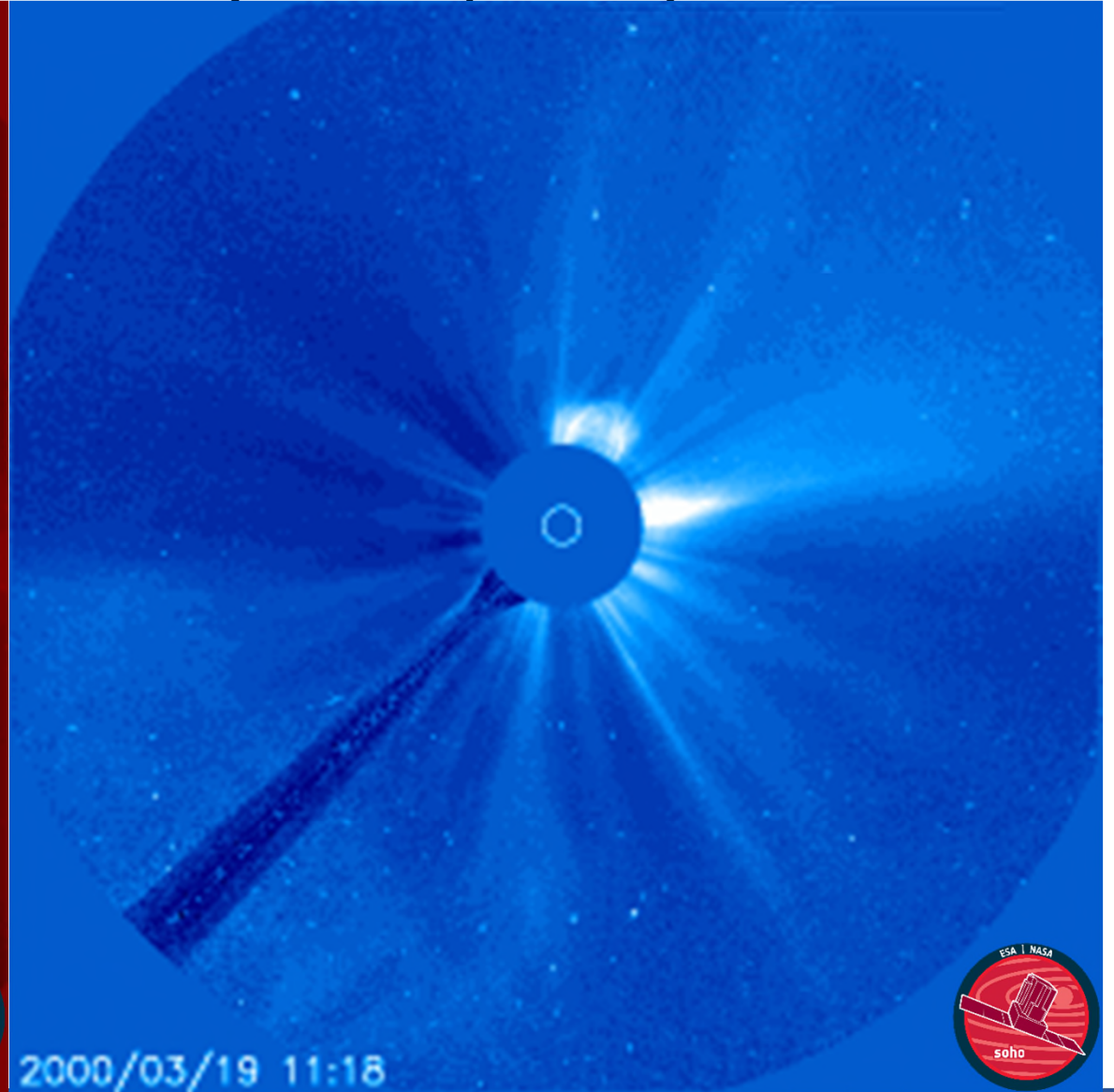
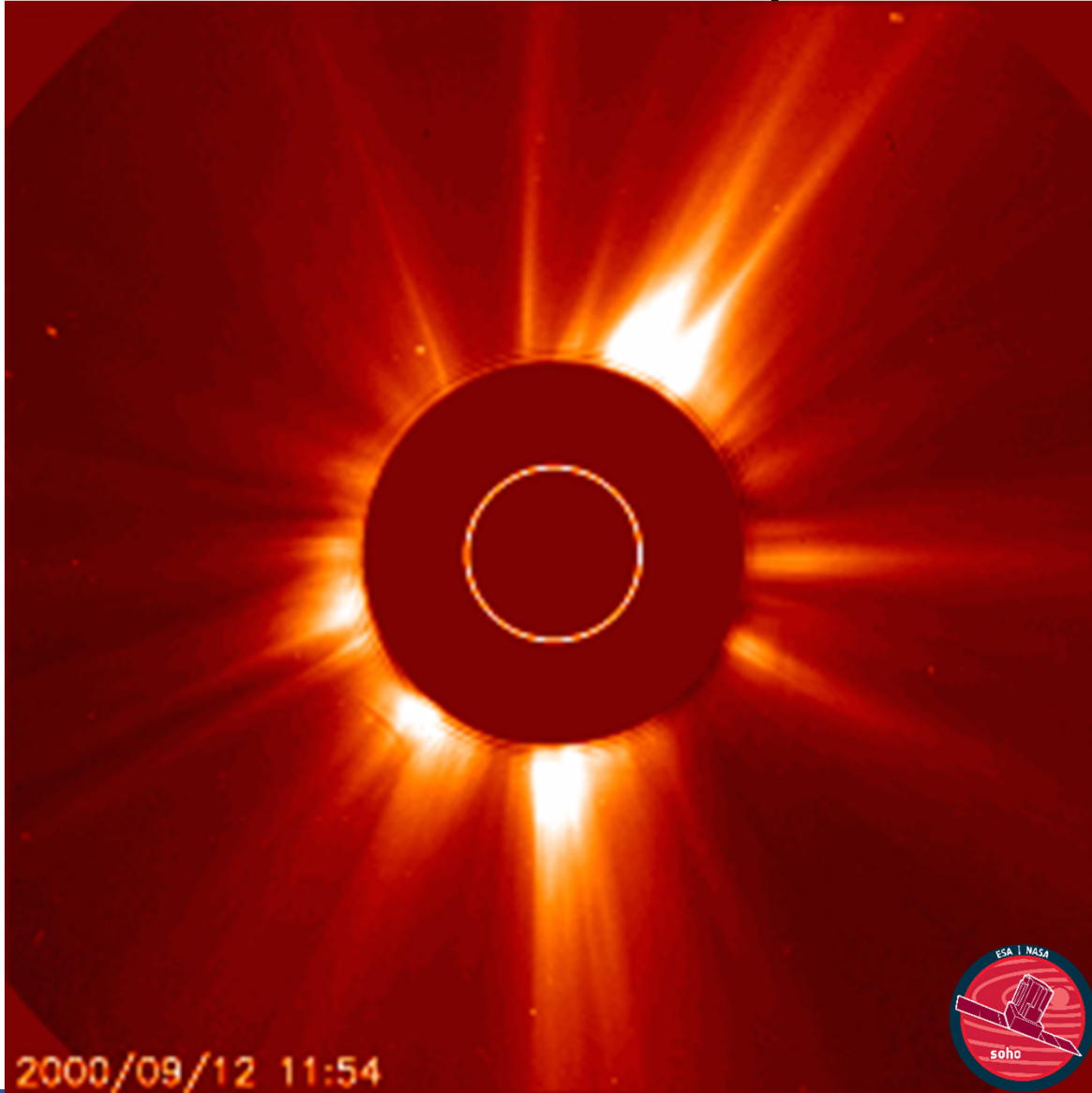


第25太陽週期極大期

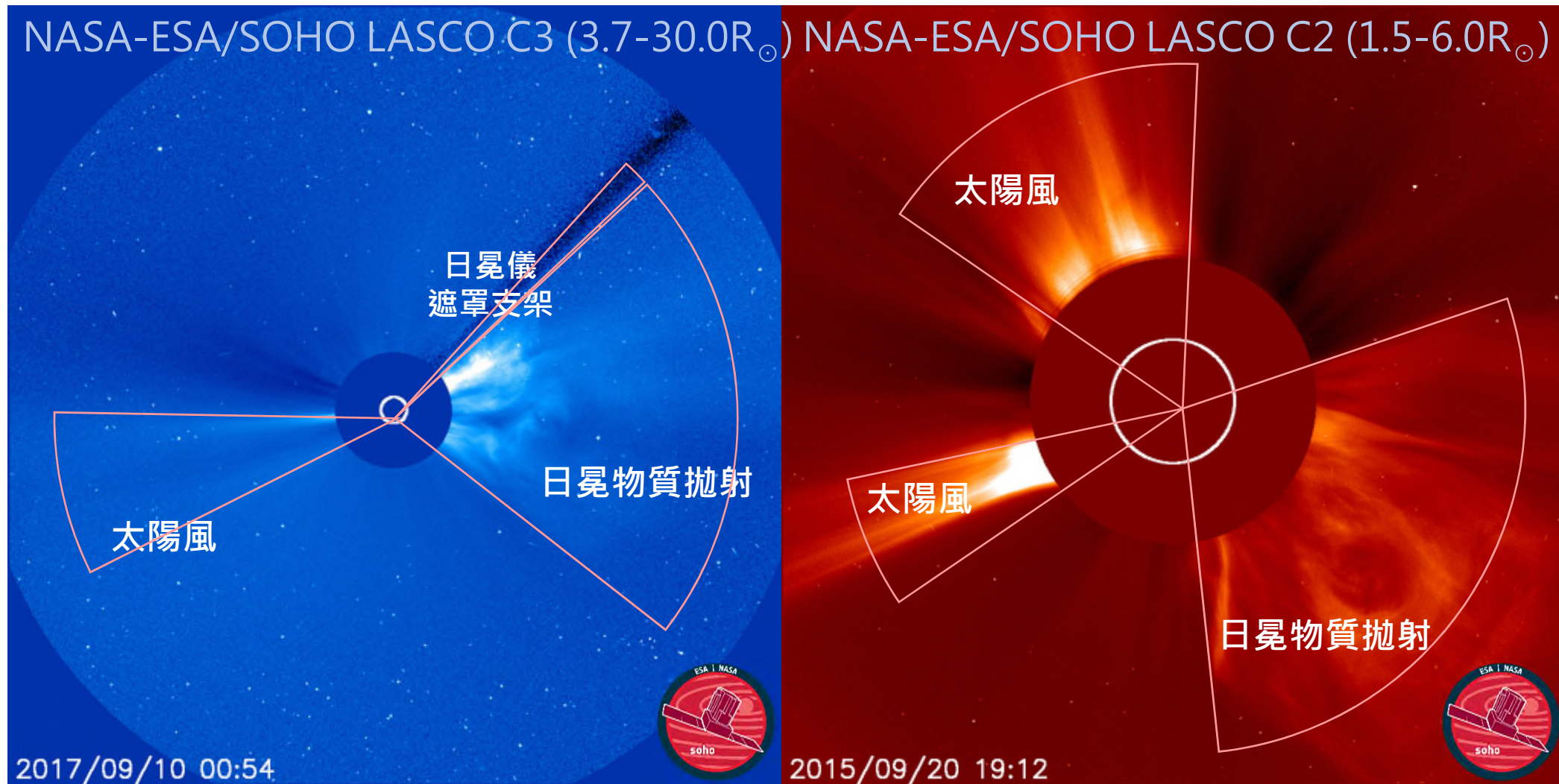
- 第25太陽週期極大期已過且逐漸開始下降。
- 目前太陽黑子數已超過上次太陽周期最大值。
第24周期黑子數最大值：220 (2014/2/27)
第25周期黑子數最大值(截至目前)：294 (2024/7/4)
資料來源：SIDC



日冕儀觀測日冕物質拋射(Coronal Mass Ejection, CME)

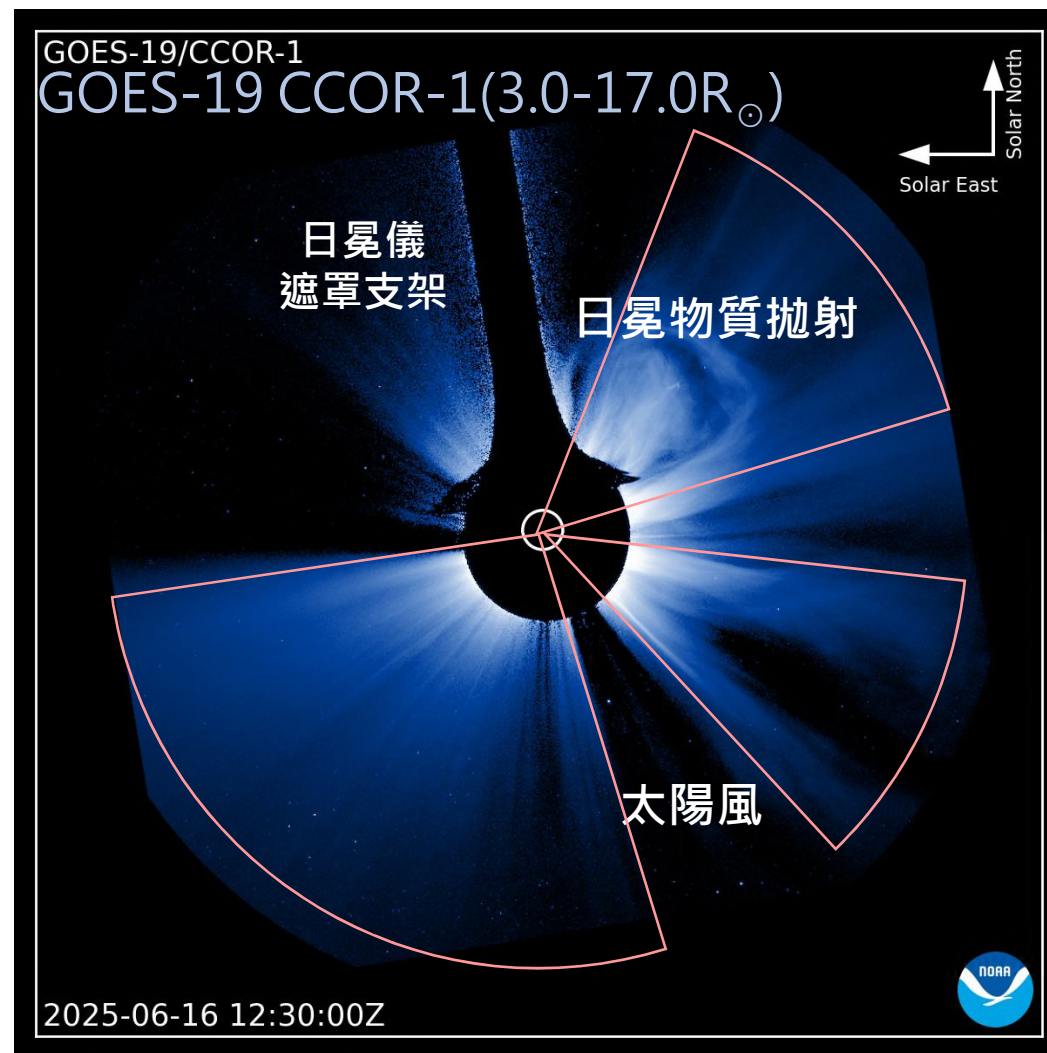


日冕儀觀測日冕物質拋射



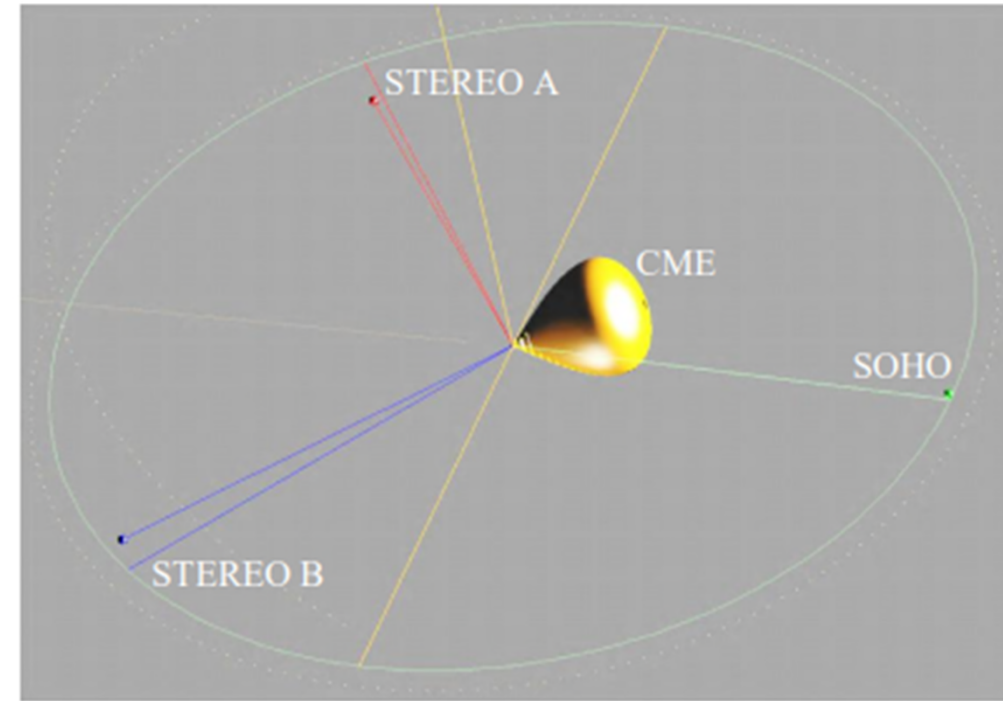
日冕儀觀測日冕物質拋射

項目	LASCO	CCOR
任務	SOHO	GOES-19
發射時間	1995	2023
位置	L1	地球同步軌道
視野範圍	2-30R	3-17R
資料回傳	較慢	較快



SWPC CME Analysis Tool (CAT)

- 開發者：George Millward and Vic Pizzo at NOAA Space Weather Prediction Center (SWPC)
- <https://github.com/nasa/ccmc-swpc-cat-web>
- 開發語言：IDL→Python
- 使用衛星：SOHO C3、SOHO C2、STEREO A、GOES(未來加入)
- 功用：加入參數至WSA-Enlil model

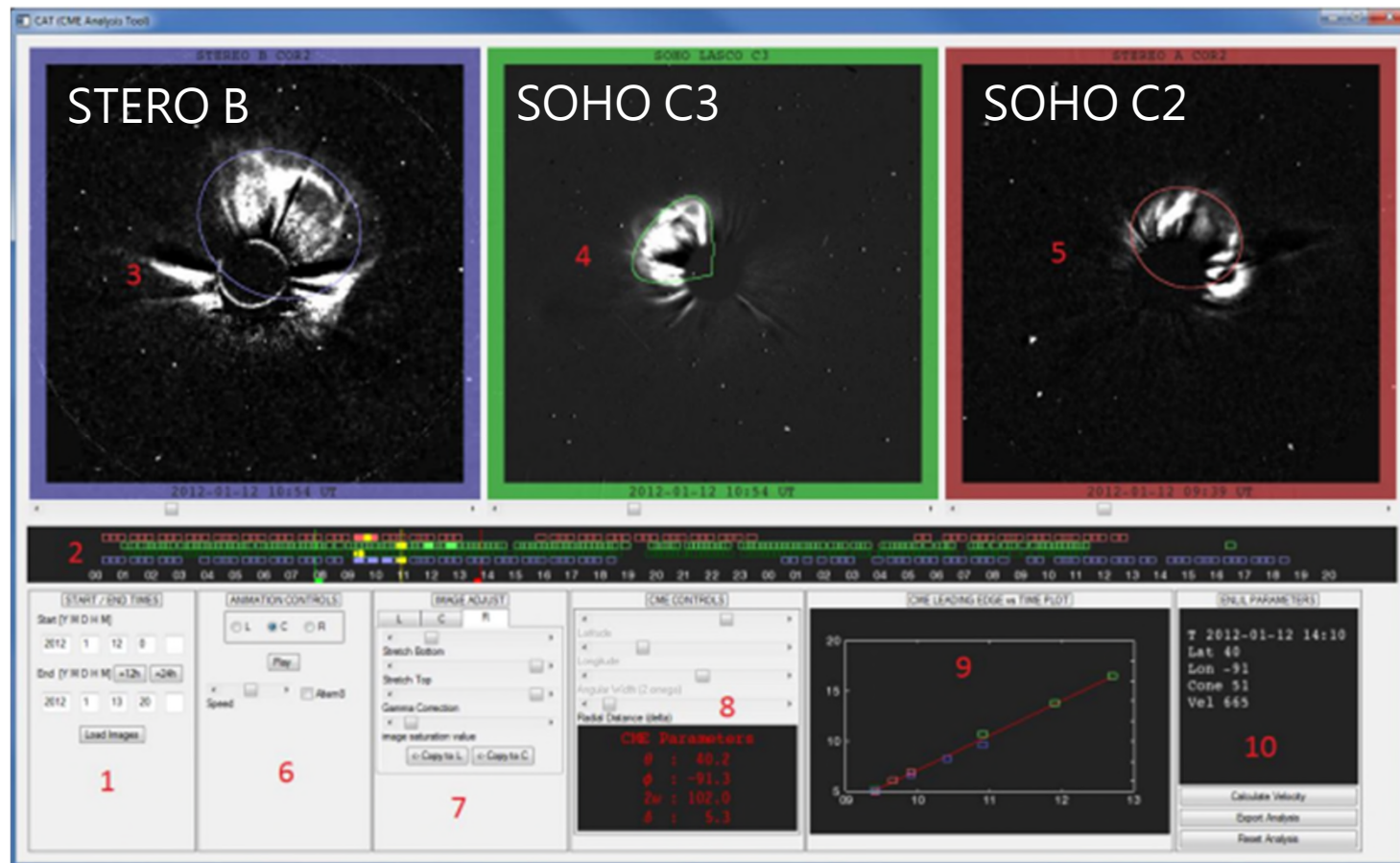


<https://ccmc.gsfc.nasa.gov/tools/SWPC-CAT/>

SWPC CME Analysis Tool (CAT)

- 最初PY CAT的Open Source 為網頁版，並有操作UI介面。
- 為了使用起來更便捷，以及作業效率，將其步驟分離，運算效率上升，節省6成時間。

1. 圖片下載
2. 差分圖繪製
3. 紀錄CME噴發位置、半徑、形狀
4. 紀錄半徑隨時間變化
5. 演算出CME噴發速度

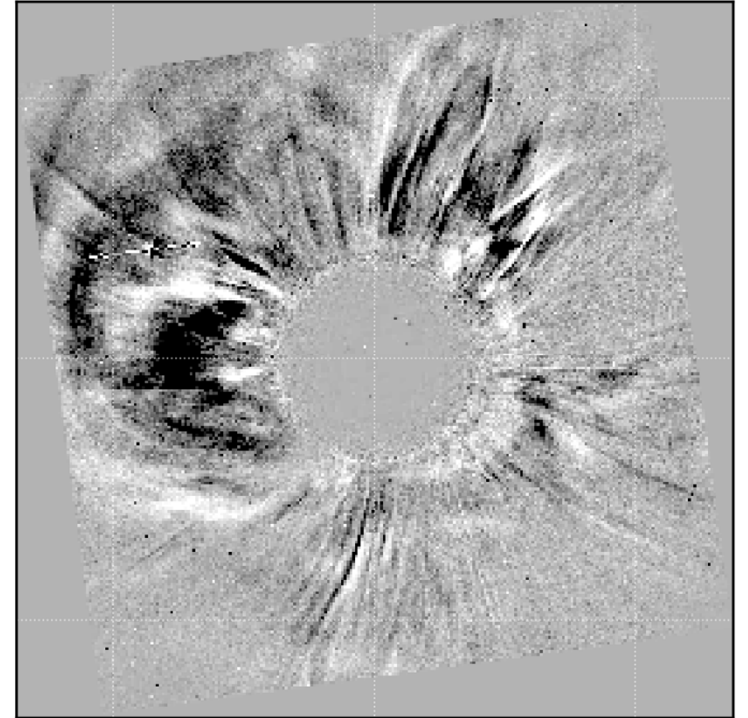


<https://ccmc.gsfc.nasa.gov/tools/SWPC-CAT/>

Differential Image

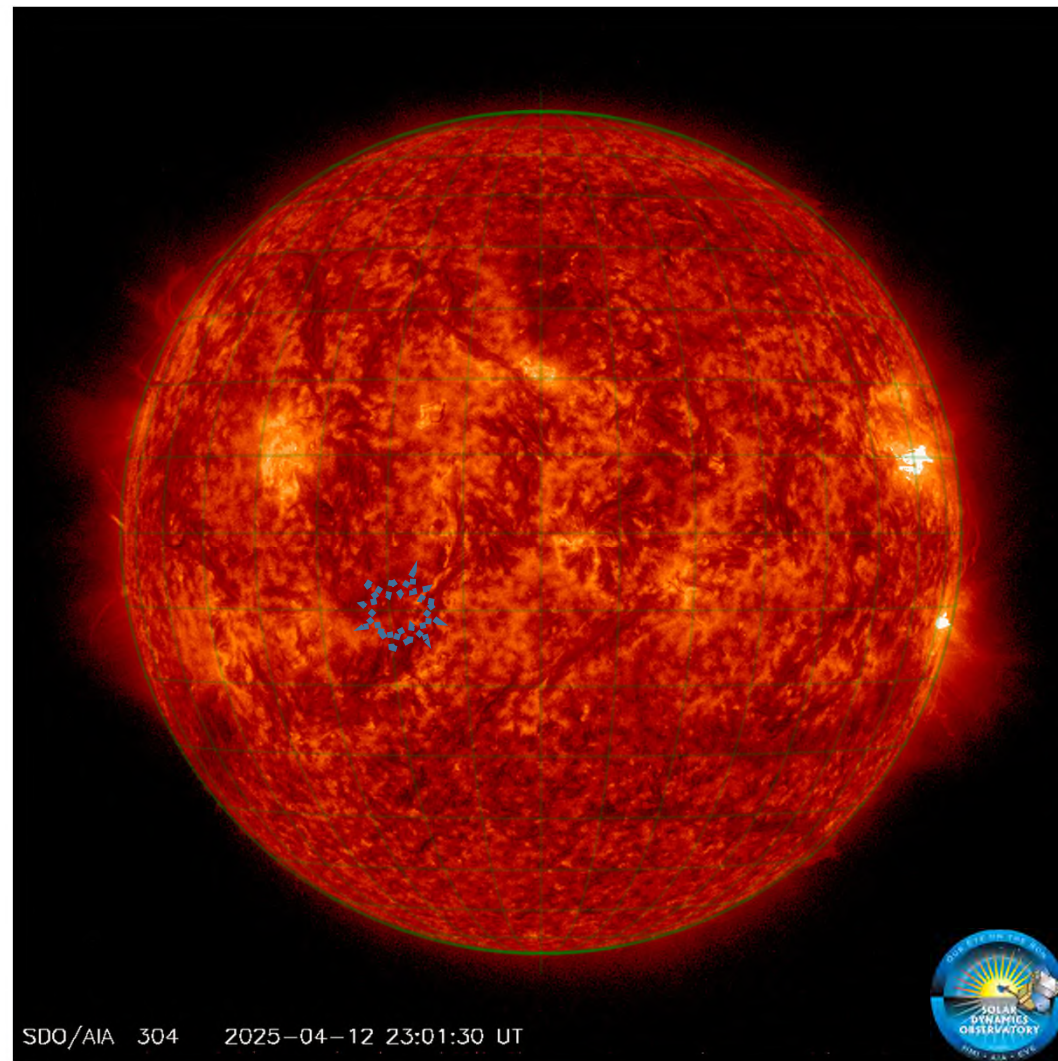
- 比較兩個資料的差異量，前面時間減去後面時間。
- 扣除背景值
- 現在影像扣除前一張影像。黑的為前一張有，白的為新改變的
- 優點：加強追蹤每個時間日冕儀的變化

SOHO C2 differential image 2025-05-31 01:36:08



CME Location

- 利用SDO(Solar Dynamics Observatory)的30.4奈米影像找到CME噴發位置。
- 圖中噴發位置約為(Lat=-20,Lon=-18)



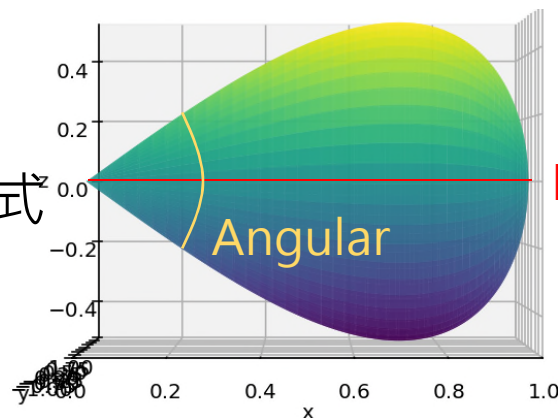
CME Angular Width

- Angular Width的angular形狀有關，公式如下：

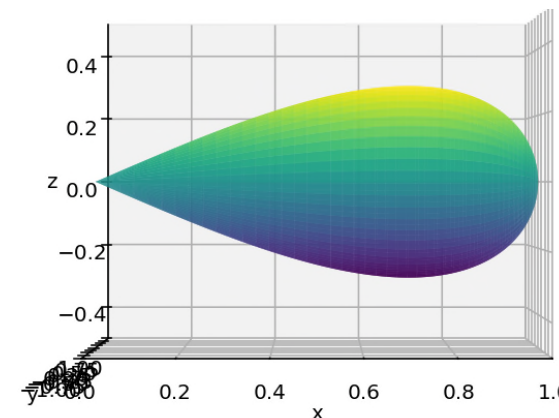
$$\begin{cases} x = R \times \cos(\theta) \\ y = R \times \tan\left(\frac{\text{angular}}{2}\right) \cos(\theta) \sin(\theta) \cos(\varphi) \\ z = R \times \tan\left(\frac{\text{angular}}{2}\right) \cos(\theta) \sin(\theta) \sin(\varphi) \end{cases}$$

- 隨著angular越小，截面積會越窄

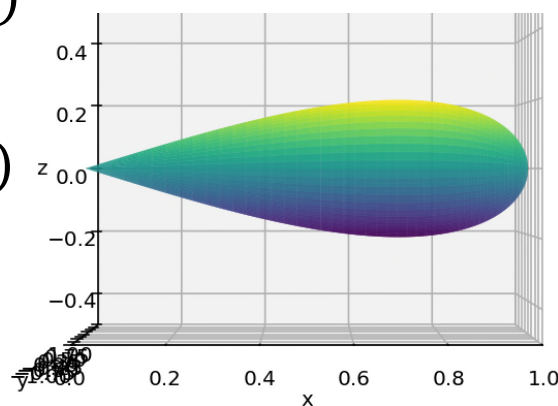
3D Surface (angular = 90°)



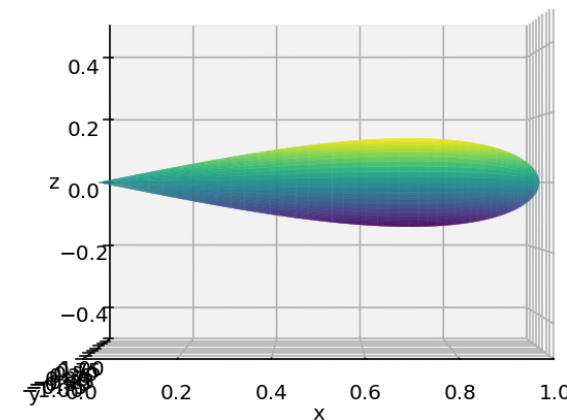
3D Surface (angular = 60°)



3D Surface (angular = 45°)



3D Surface (angular = 30°)

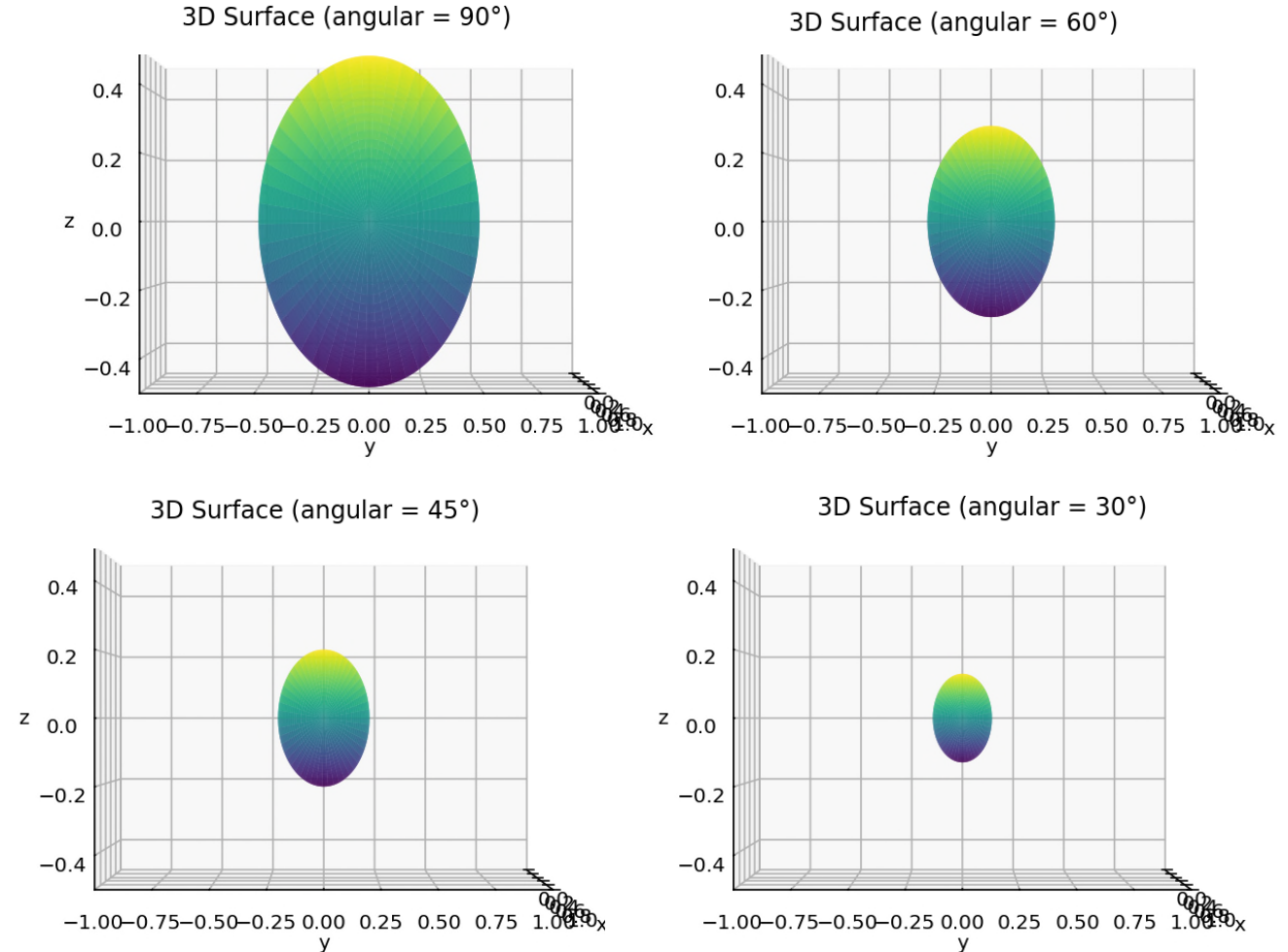


CME Angular Width

- Angular Width的angular形狀有關，公式如下：

$$\begin{cases} x = \cos(\theta) \\ y = \tan\left(\frac{\text{angular}}{2}\right) \cos(\theta) \sin(\theta) \cos(\varphi) \\ z = \tan\left(\frac{\text{angular}}{2}\right) \cos(\theta) \sin(\theta) \sin(\varphi) \end{cases}$$

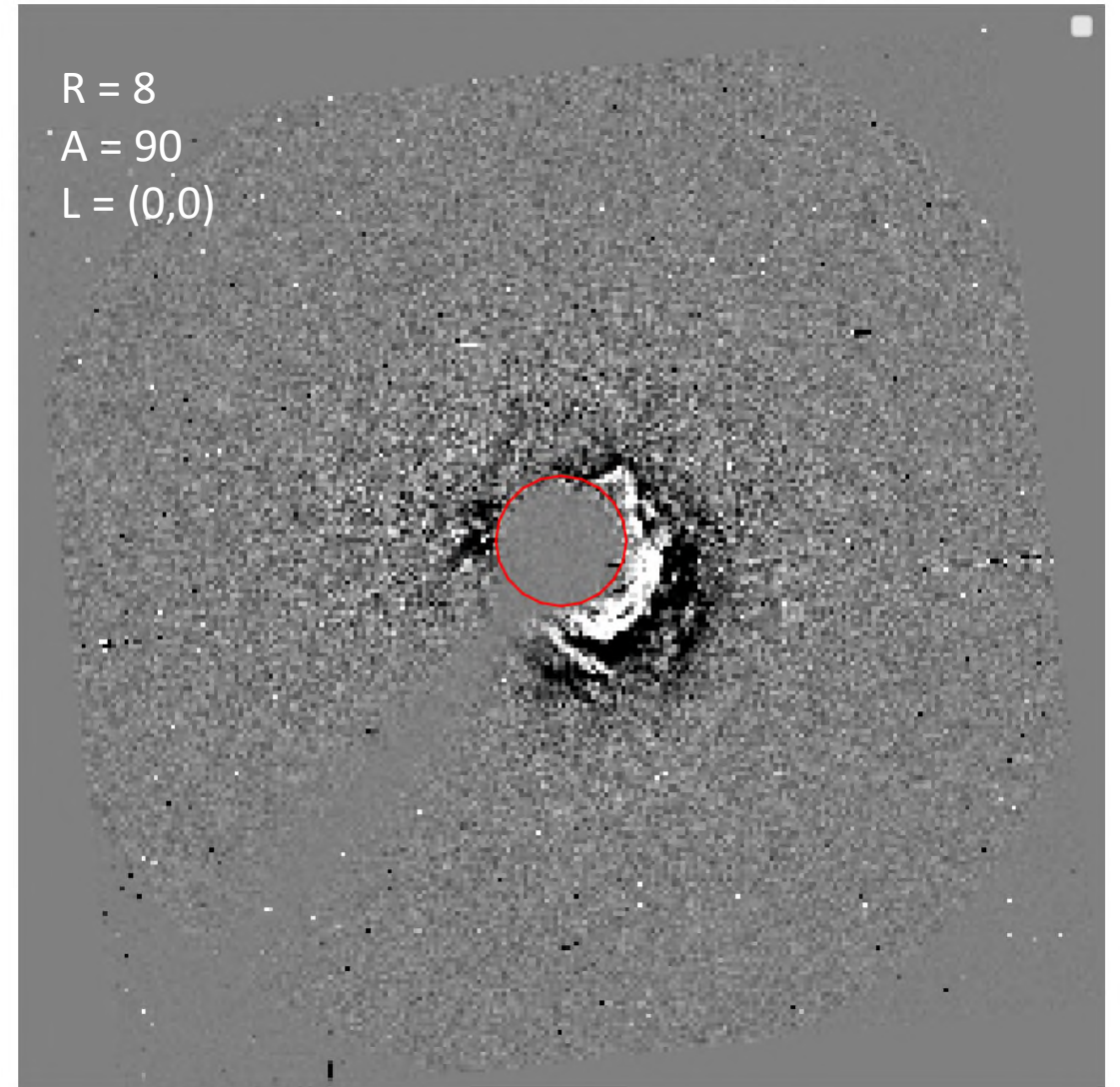
- 隨著angular越小，截面積會越窄



CME Location and Radius

- 差分圖中調整半徑大小與形狀。
- B_0 會影響圓心位置
- 固定形狀與位置，紀錄半徑大小隨時間變化，利用擬合線斜率去計算其噴發速度。

SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_073007



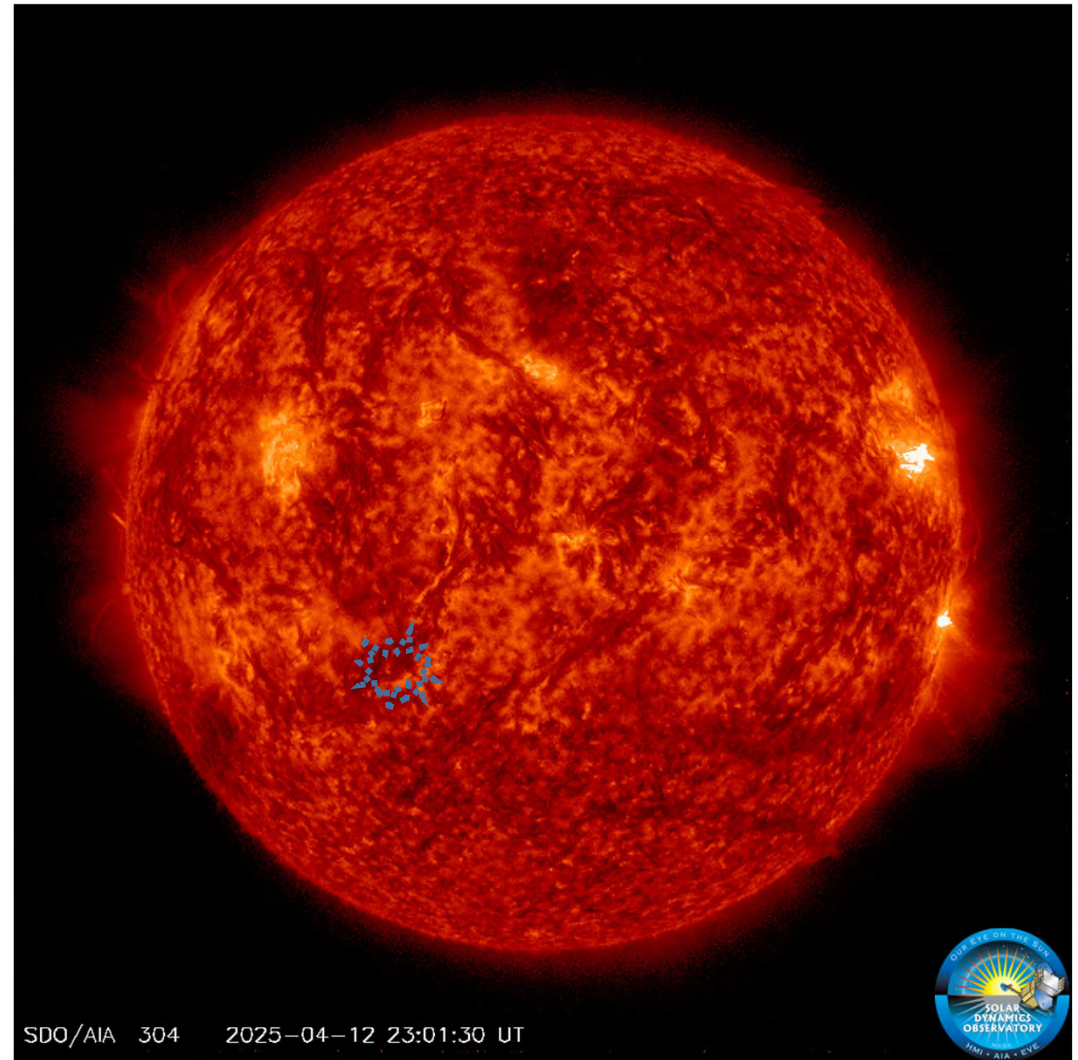
Result

Time	20240508	20241009	20250219	20250412-1	20250412-2	20250412-3
Kp	9	8	X	8		
Picture Number	12	4	7	7	6	5
Slope(R/hr)	4.46	9.91	5.26	3.34	4.59	3.21
Velocity(km/s)	863.33	1917.26	955.32	626.70	868.42	620.77
WSA-Enlil's velocity(km/s)	850	750	X	600		
Measurement speed(km/s)	700	793	X	600	550	
Prediction earlier or later than Arrived	earlier	earlier	X	on time	earlier	on time

- 20240508噴發為母親節磁暴
- 20241009噴發為國慶日磁暴
- 20250219噴發為遠地測噴發，因此無到達地球之數據
- 20250412-1噴發為第一次暗紋斷開之分析
- 20250412-2噴發為第二次暗紋斷開之第一次分析
- 20250412-3噴發為第二次暗紋斷開之第二次分析

Case analysis – 20250412-1

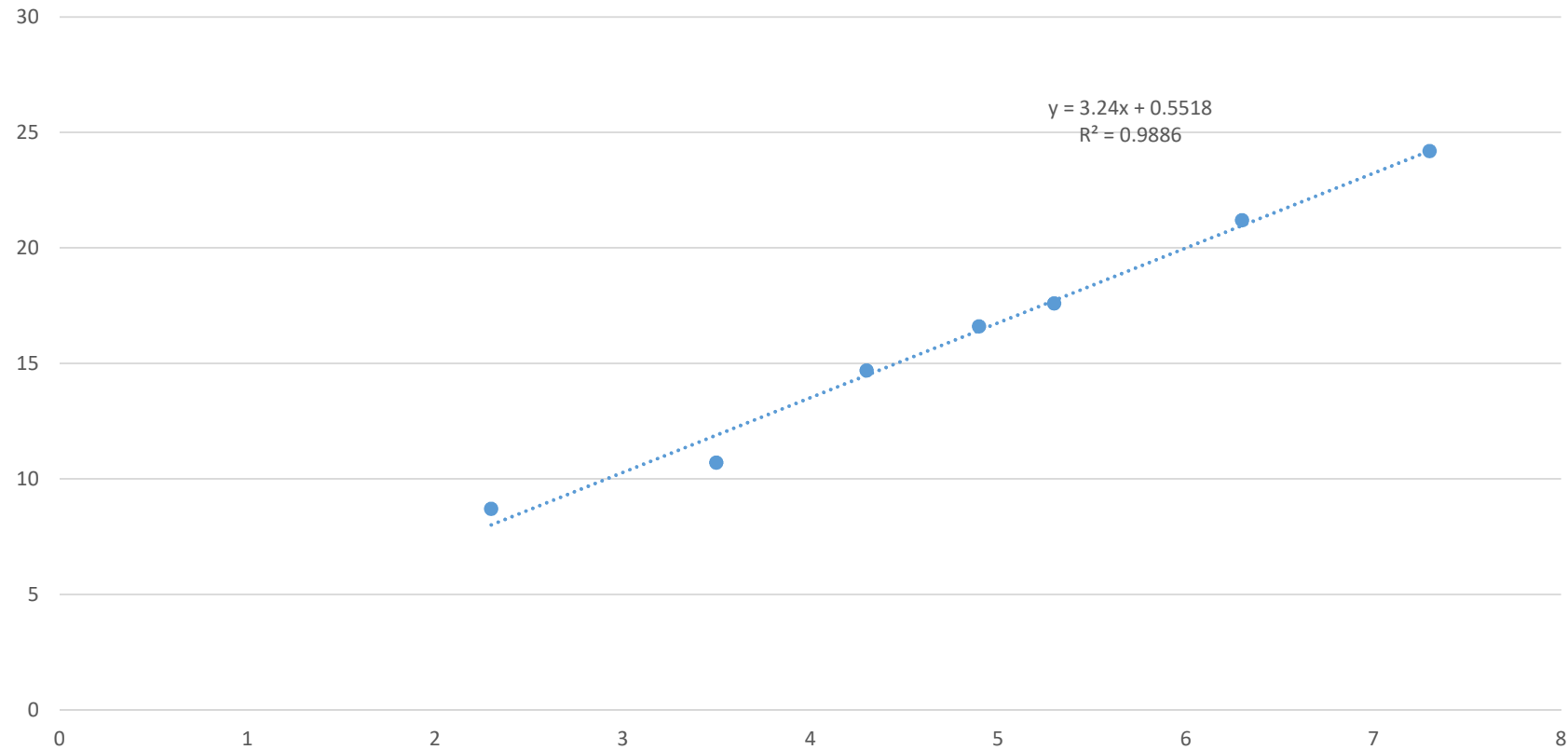
- Longitude -20°
- Latitude 18°
- Angular 50
- 此段時間沒有STEREO-A影像可以使用



Case analysis – 20250412-1

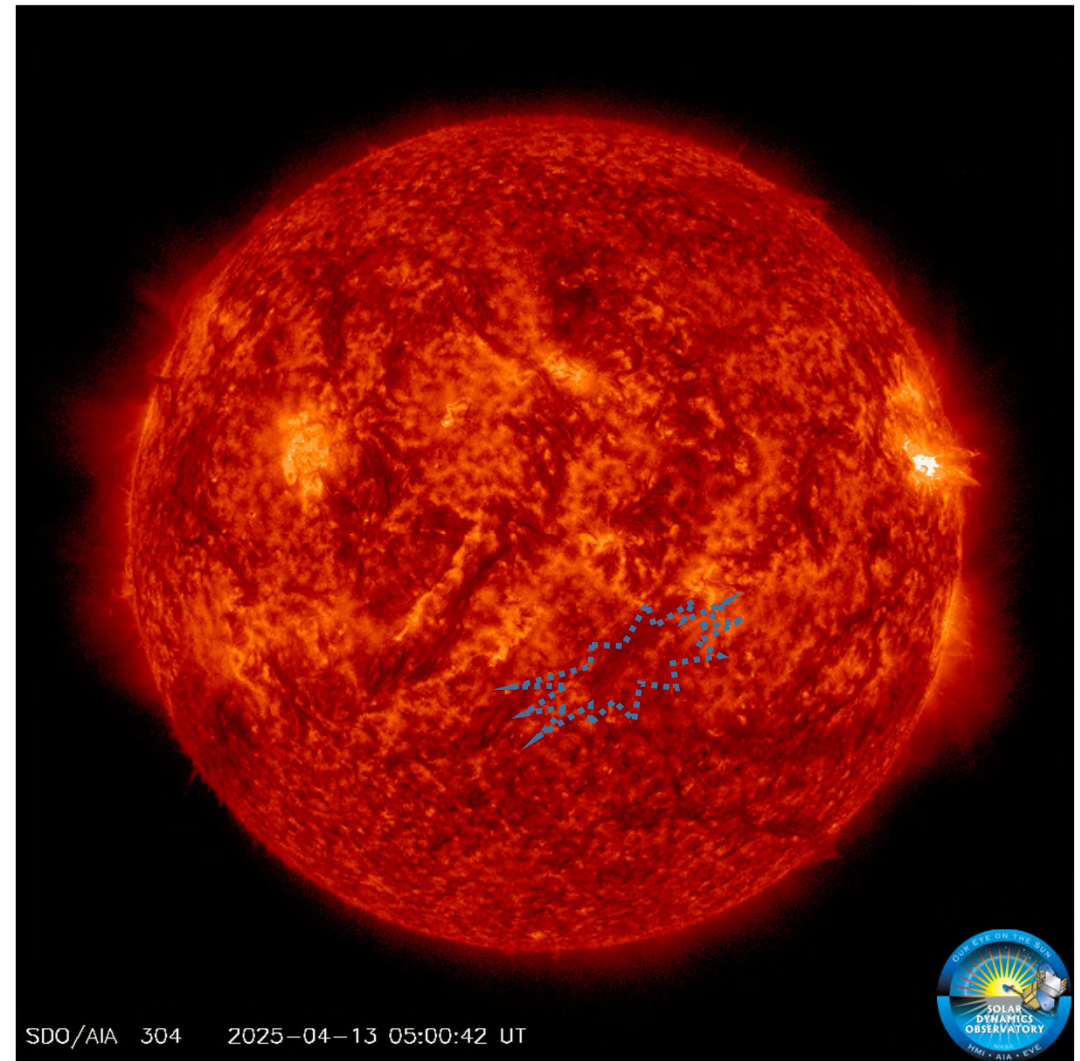
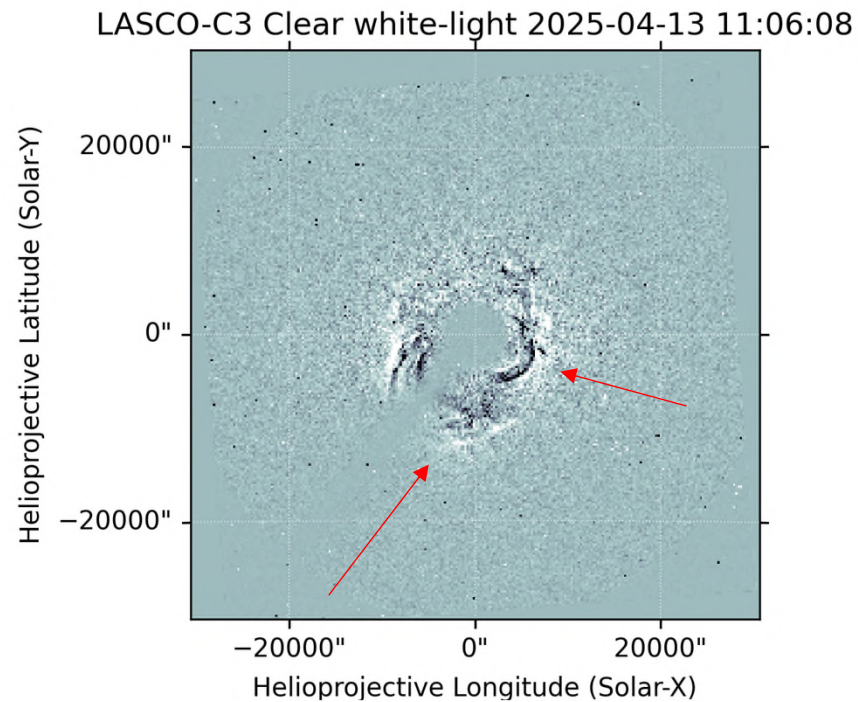
- 斜率3.24
- 速度626.7km/s
- 到地球約64.08小時

- 4月15日20時抵達



Case analysis – 20250412-2&3

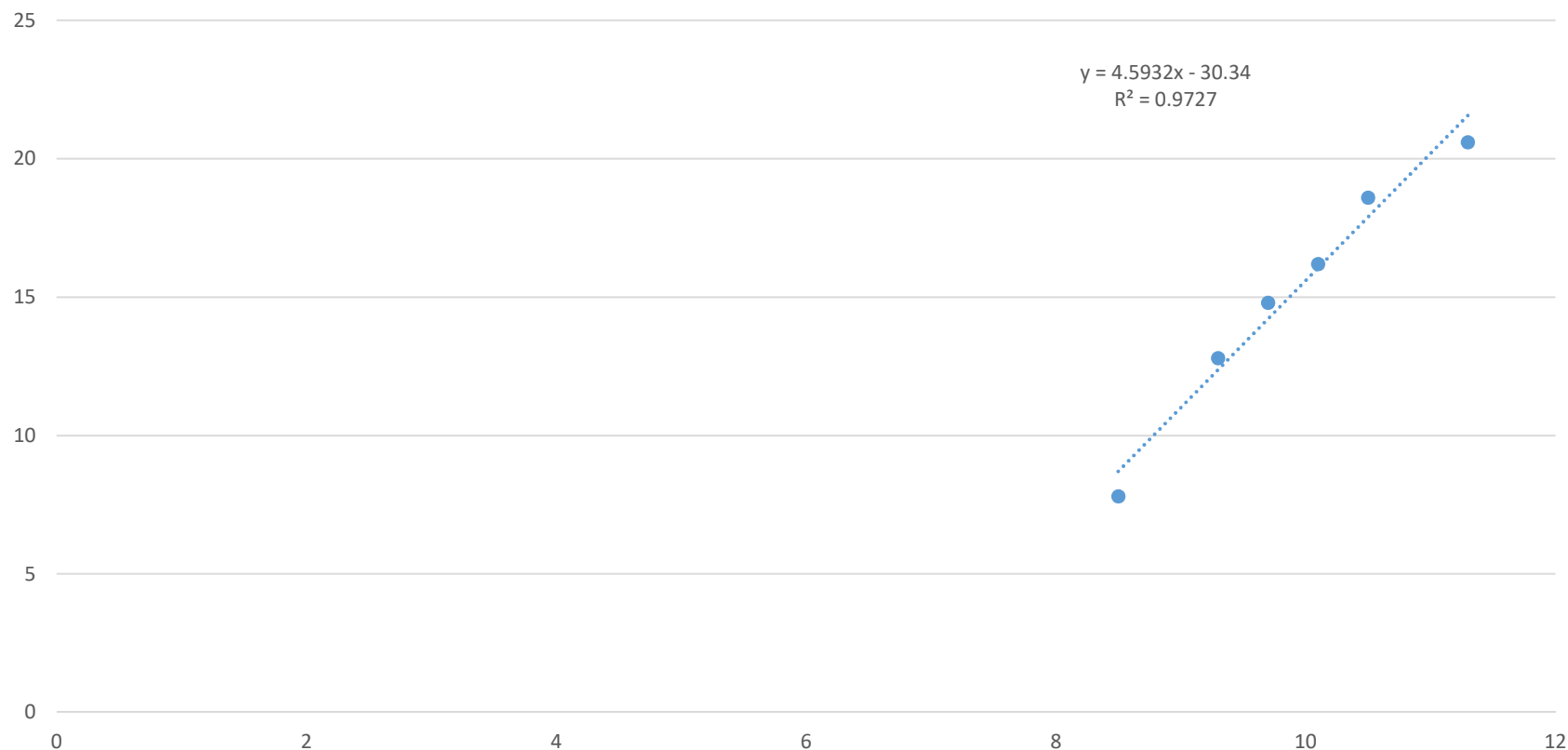
- Longitude -1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- 分析2次噴發



Case analysis – 20250412-2

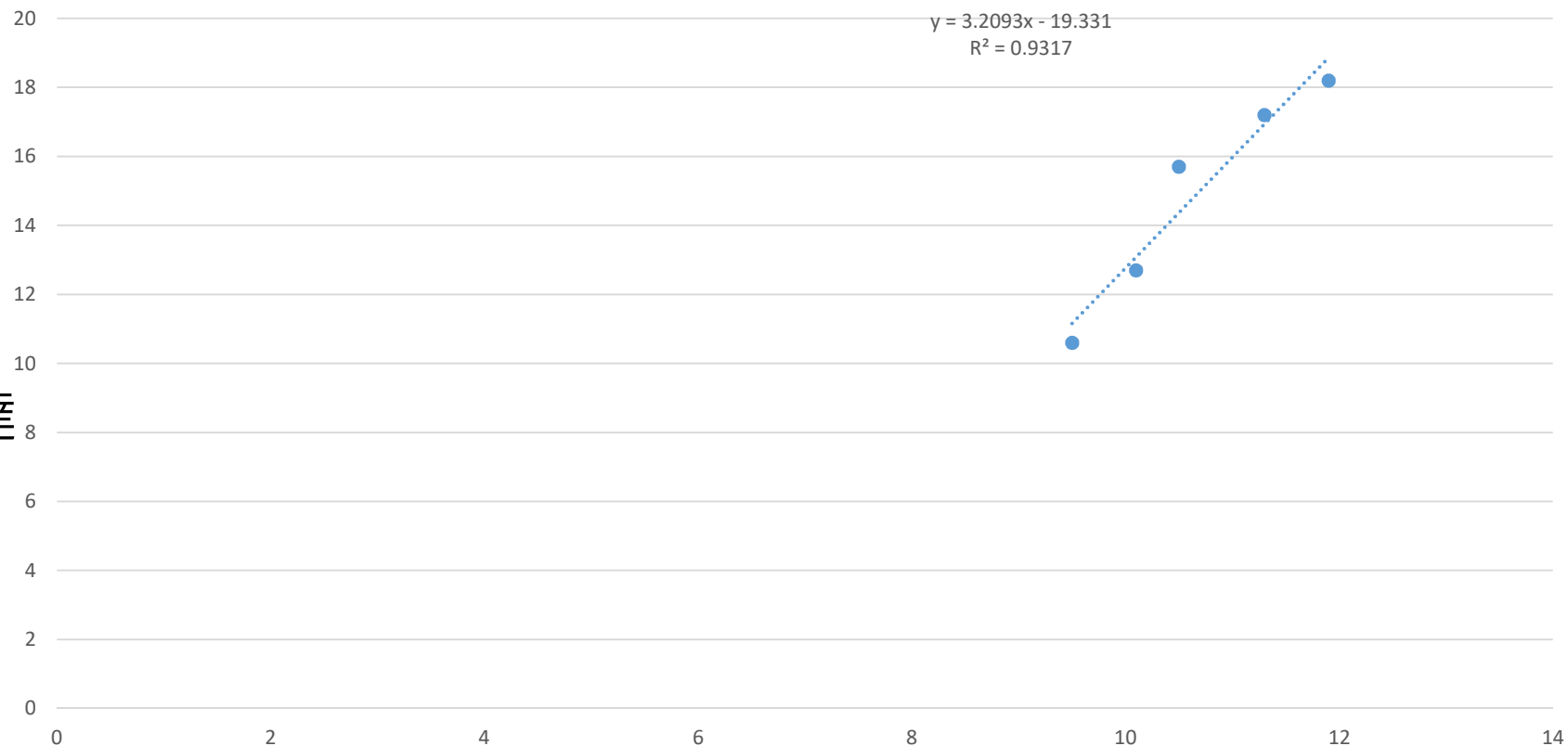
- 斜率4.5932
- 速度888.42km/s
- 到地球約45.2小時

- 4月15日13時42分抵達



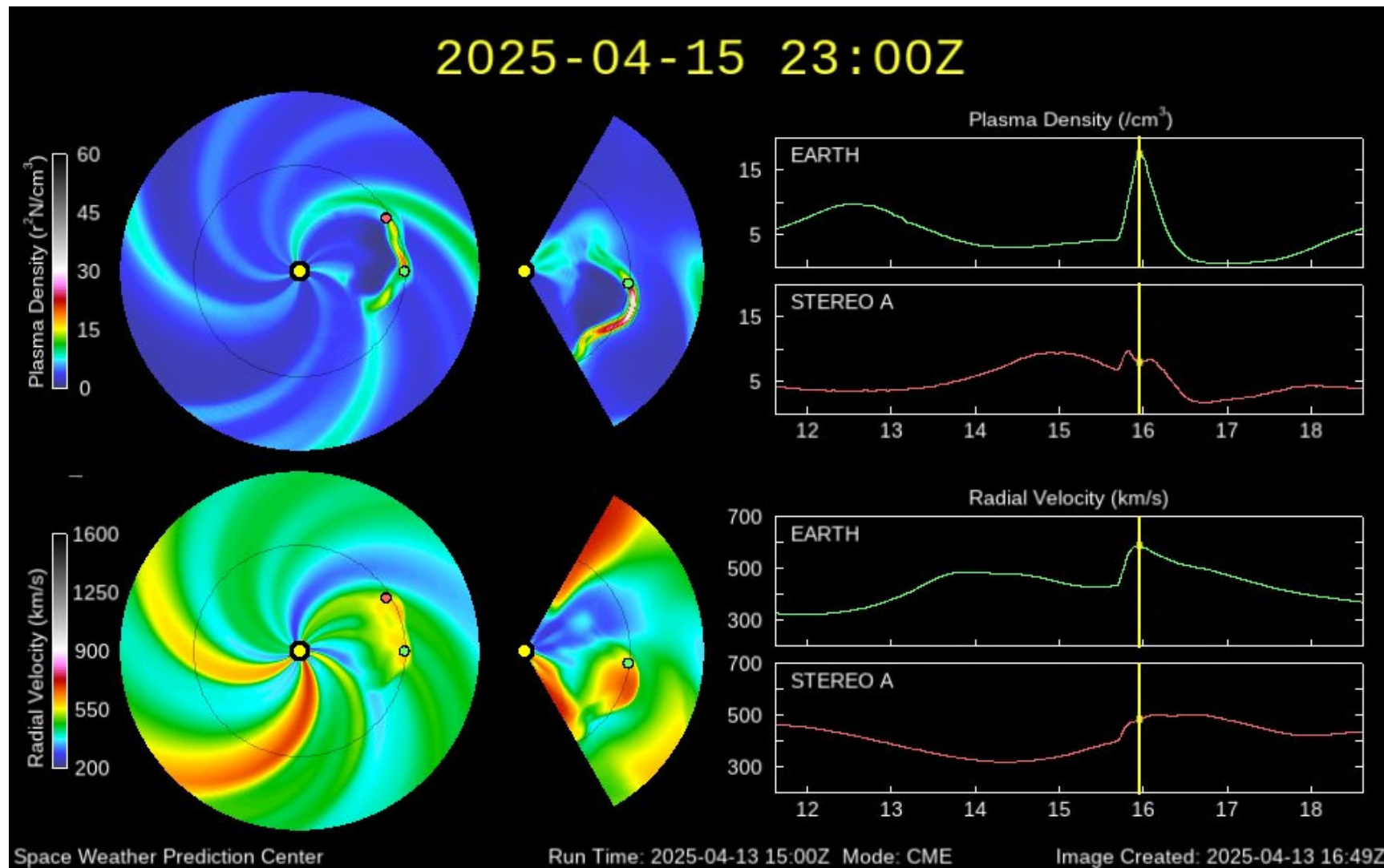
Case analysis – 20250412-3

- 斜率3.2093
- 速度620.77km/s
- 到地球約64.7小時
- 4月16日10時30分抵達



Case analysis - 20250412

- WSA太陽風預報模式
4月15日14時抵達
- 鋒值時間
- 4月16日0時抵達
- 鋒值速度約600km/s



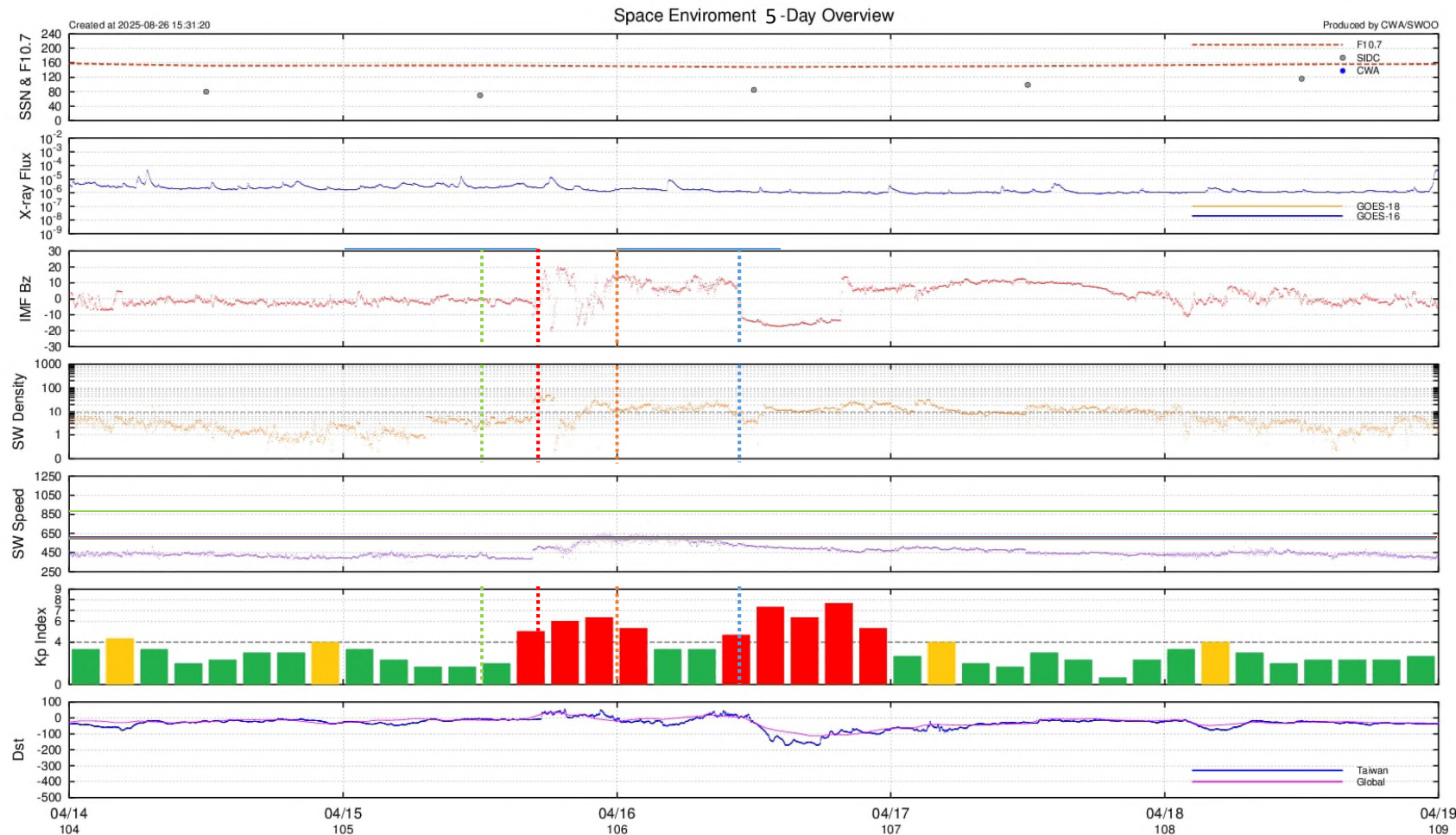
Case analysis - 20250412

- 3次分析速度及WSA太陽風預報為

- 1: 626.7 km/s(紅)、
- 2: 888.4 km/s(綠)、
- 3: 620.8 km/s (藍)、
- WSA: 600km/s (橘)

- 抵達時間

- 1: 4月15日20時(紅)、
- 2: 4月15日13時(綠)、
- 3: 4月16日10時(藍)、
- WSA: 4月16日0時(橘)



Case analysis - 20250412

	第一次暗紋噴發模擬	第二次暗紋噴發模擬	
CME噴發時間	4月12日23時	4月13日5時	
模擬預估到達時間	4月15日18時	4月15日13時	4月16日16時
WSA 太陽風傳播預報到達時間		4月15日14時	
WSA 太陽風傳播預報峰值時間		4月16日0時	
實際到達時間	4月15日17時	4月16日11時	
實際結束時間	4月16日3時	4月16日23時	
持續時間	10小時	12小時	
峰值到達時間	4月15日23時	4月16日15-18時	

- 模擬預估到達的時間與實際相符。
- 由於WSA太陽風傳播預報只有模擬一波噴發，因此較難去針對3次模擬結果做個別比較。
- 第二次暗紋噴發的到達時間與WSA太陽風傳播預報到達時間相近。

Conclusion and Discussion

Conclusion:

- PY CAT Tool 還需要更多的案例分析，才能有效預測。
- 日冕儀影像品質會影響到形狀判斷，進而影響到分析。
- 只能算出速度最大值，若非最快速分量到達地球，則通常會高估。
- 同一事件越多次噴發可以將CME影響時間縮小。

Discussion:

- 少了STEREO-B跟STEREO-A如何更精確形狀參數
- 日冕儀會隨著太陽的 B_0 而改變原點位置

Future:

- 加入GOES-CCOR

謝謝聆聽

歡迎提問

中央氣象署太空天氣作業辦公室
Space Weather Operational Office, Central Weather Administration

目前太空天氣影響

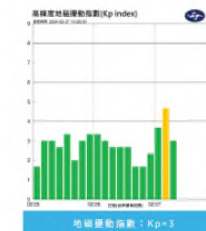
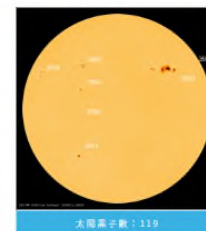
- 高頻電波吸收：無
- 地磁擾動指數：無
- 太陽輻射風暴：無

今日太空天氣預報

今日太陽黑子主要位於表面中央兩側，黑子數目約為130-150，預期太陽活動屬於較弱等級。受到表面活躍區影響，今日太陽輻射總量偶有出現明顯短暫升高的可能，預期日側地區之高頻通訊(3-12MHz)偶有干擾或短暫中斷。今日太陽風風速每秒300至500公里之間，太陽風密度小幅度波動，行星際磁場亦有小幅度波動，預期地磁擾動偶有可檢持續和等級(Kp小於4)。總結，今日太空環境有小幅度擾動且同時活躍區發展影響，日間高頻通訊、衛星操控與定位服務使用者請多留意。

太陽黑子數：119
太陽輻射(F10.7)：172 sfu
太陽活動狀態：無

太空天氣資訊

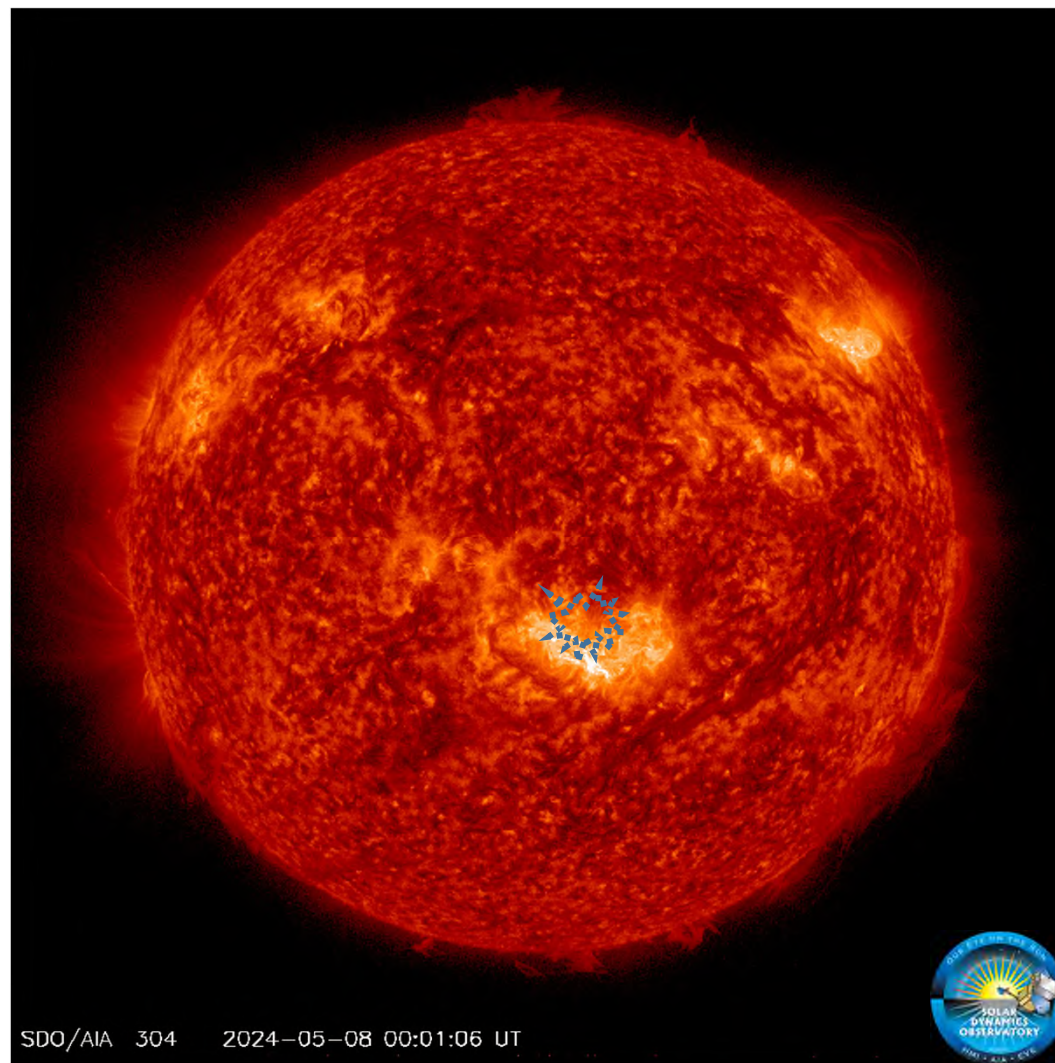


太空天氣作業辦公室網站
<https://swoo.cwa.gov.tw/>

Case analysis - 20240508

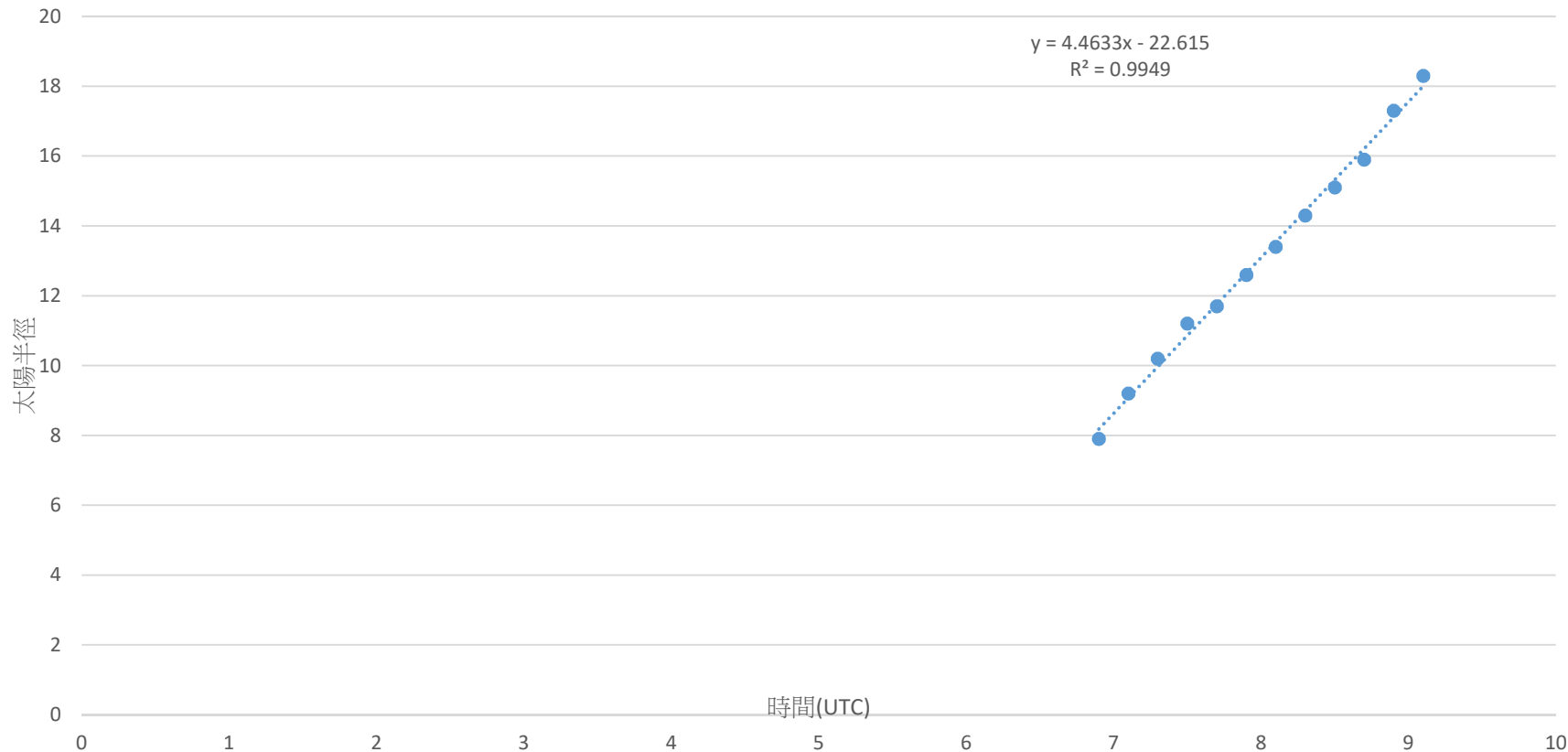
Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90



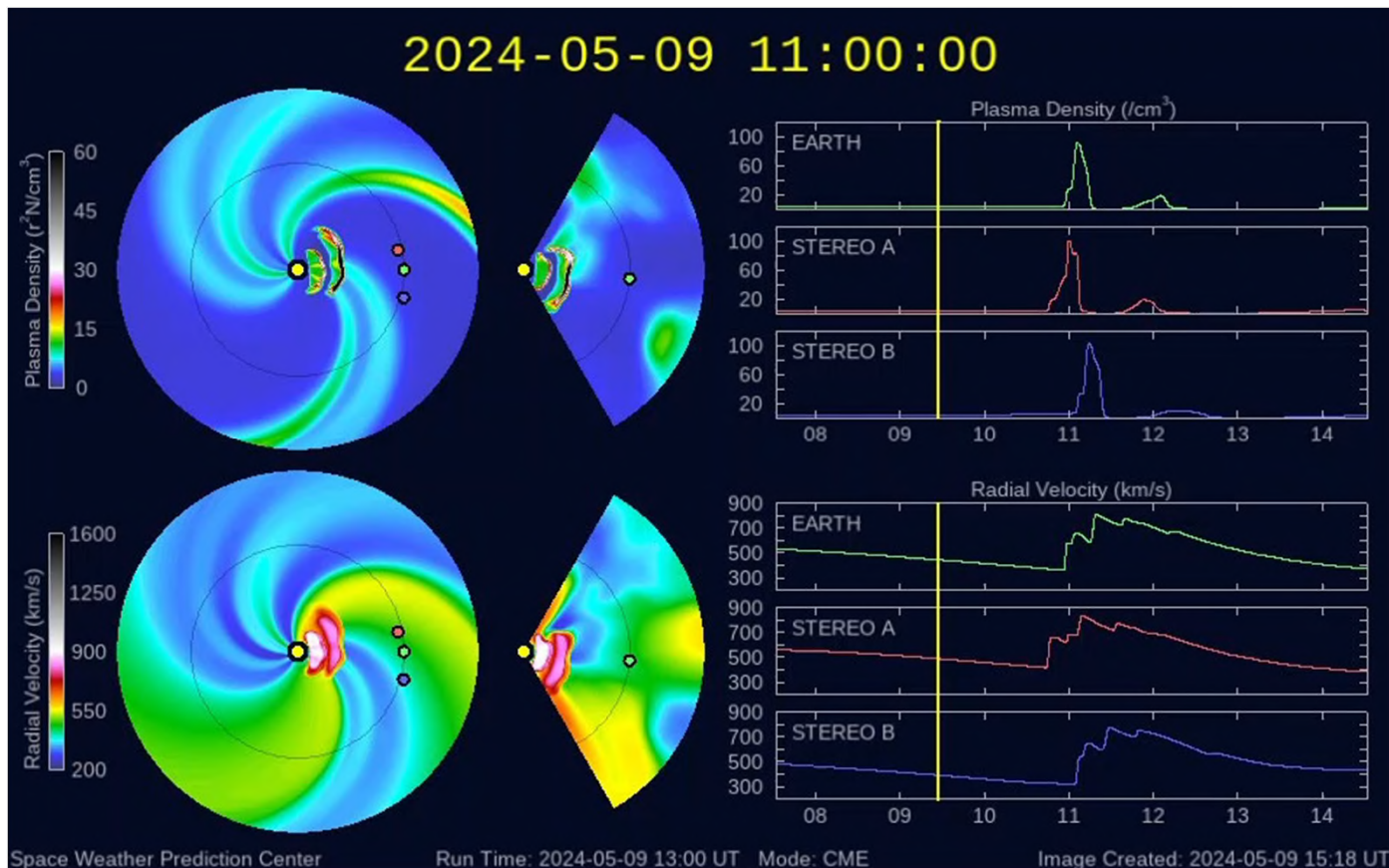
Case analysis - 20240508

- 斜率4.4633
- 速度863.3262km/s
- 到地球約46.8小時
- 5月10日11時40抵達



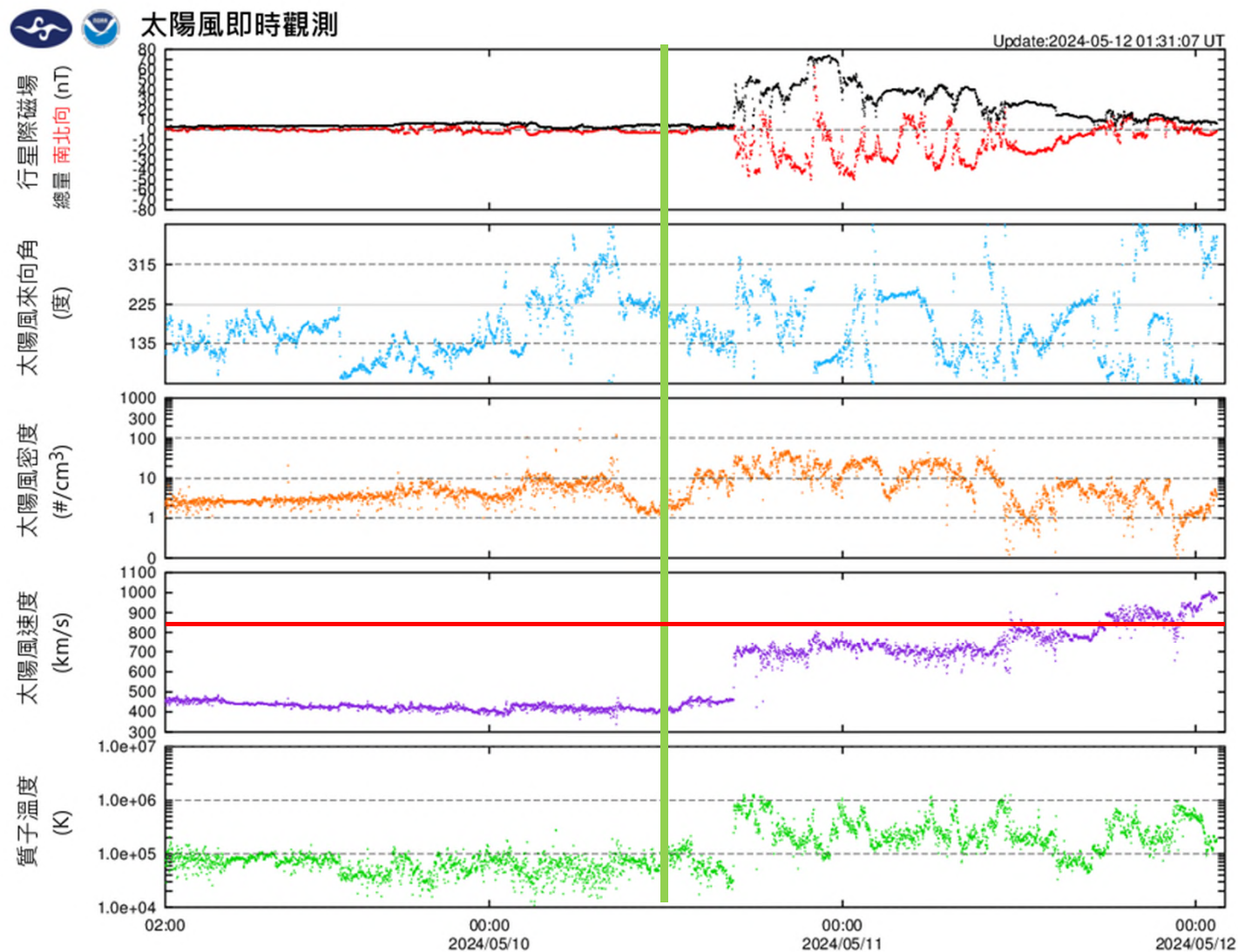
Case analysis - 20240508

- 速度863.3262km/s
- 5月10日11時40抵達
- 速度與WSA太陽風預報模式大致相同
- 預測時間早於模式12小時



Case analysis - 20240508

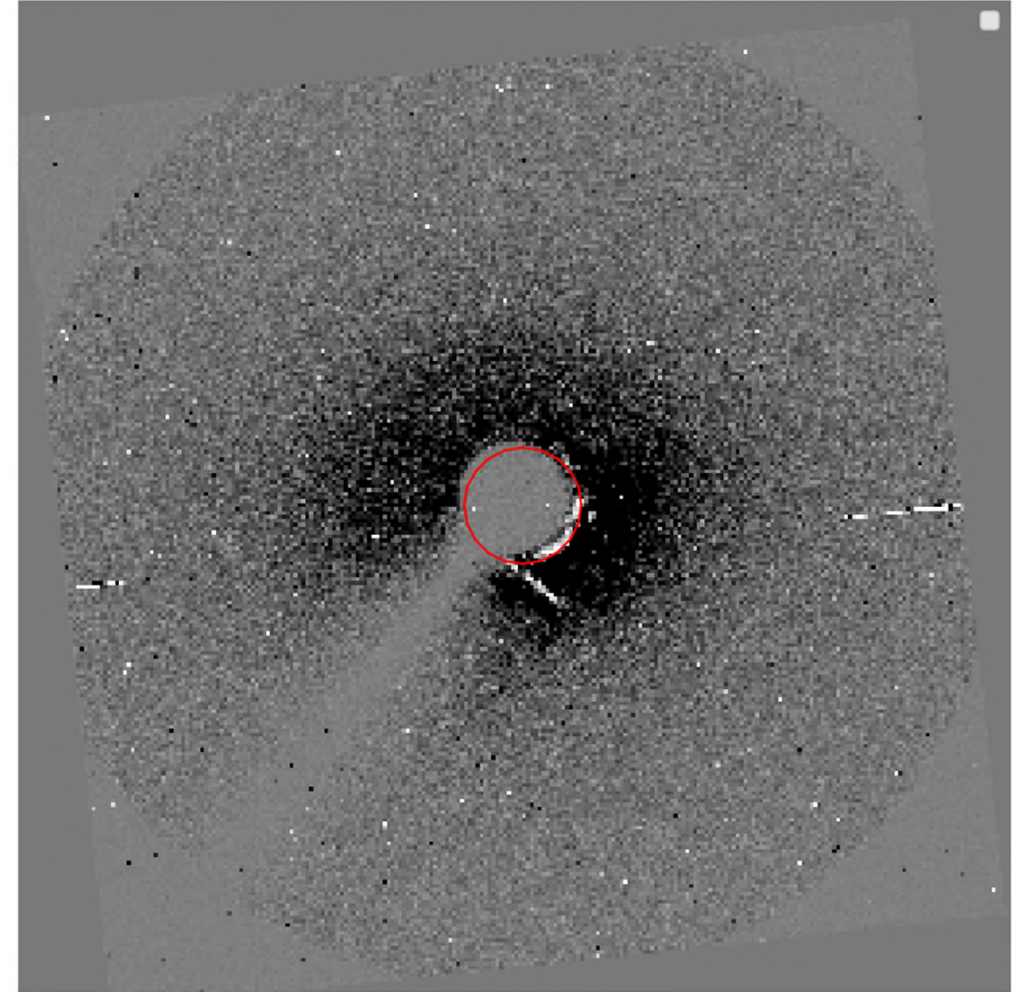
- 速度863.3262km/s
- 5月10日11時40抵達
- 速度高於實際資料(紅)
- 預測時間早於實際到達時間3-5小時(綠)



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 7.9$

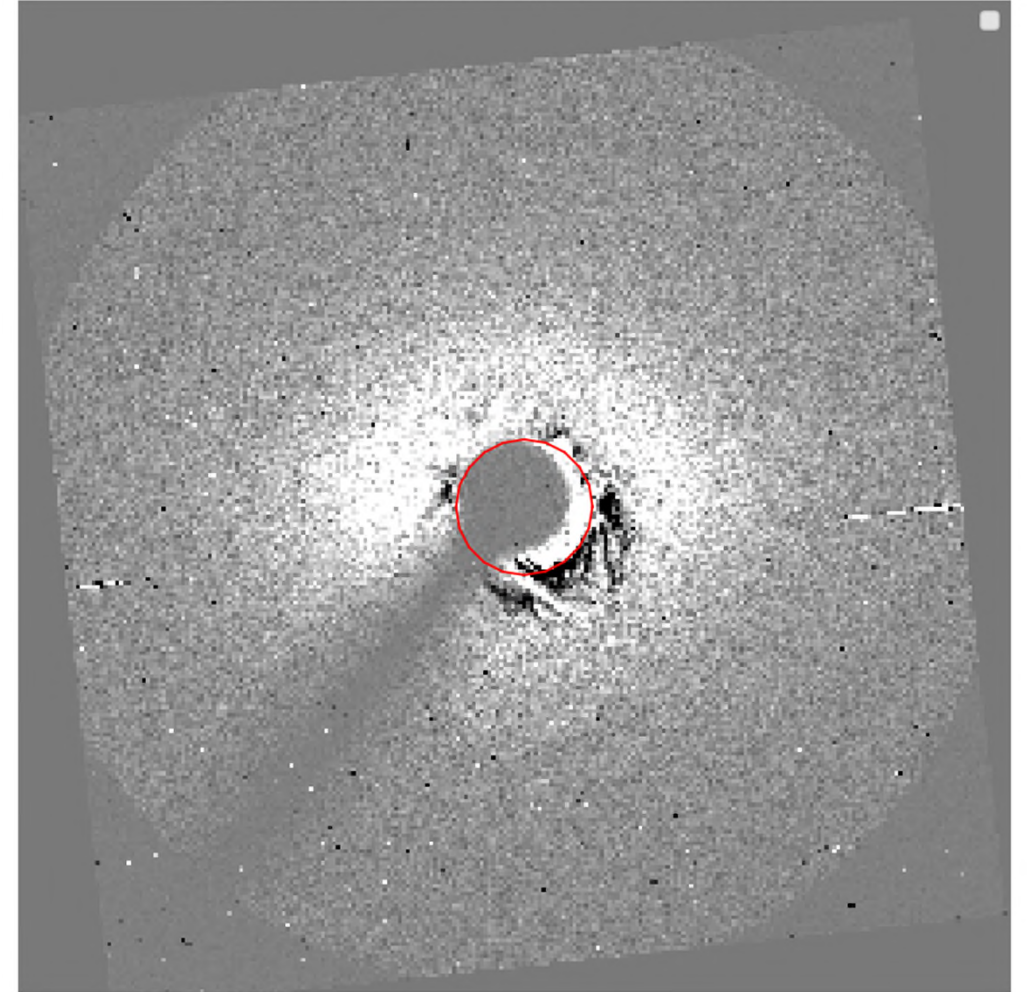
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_065407



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 9.2$

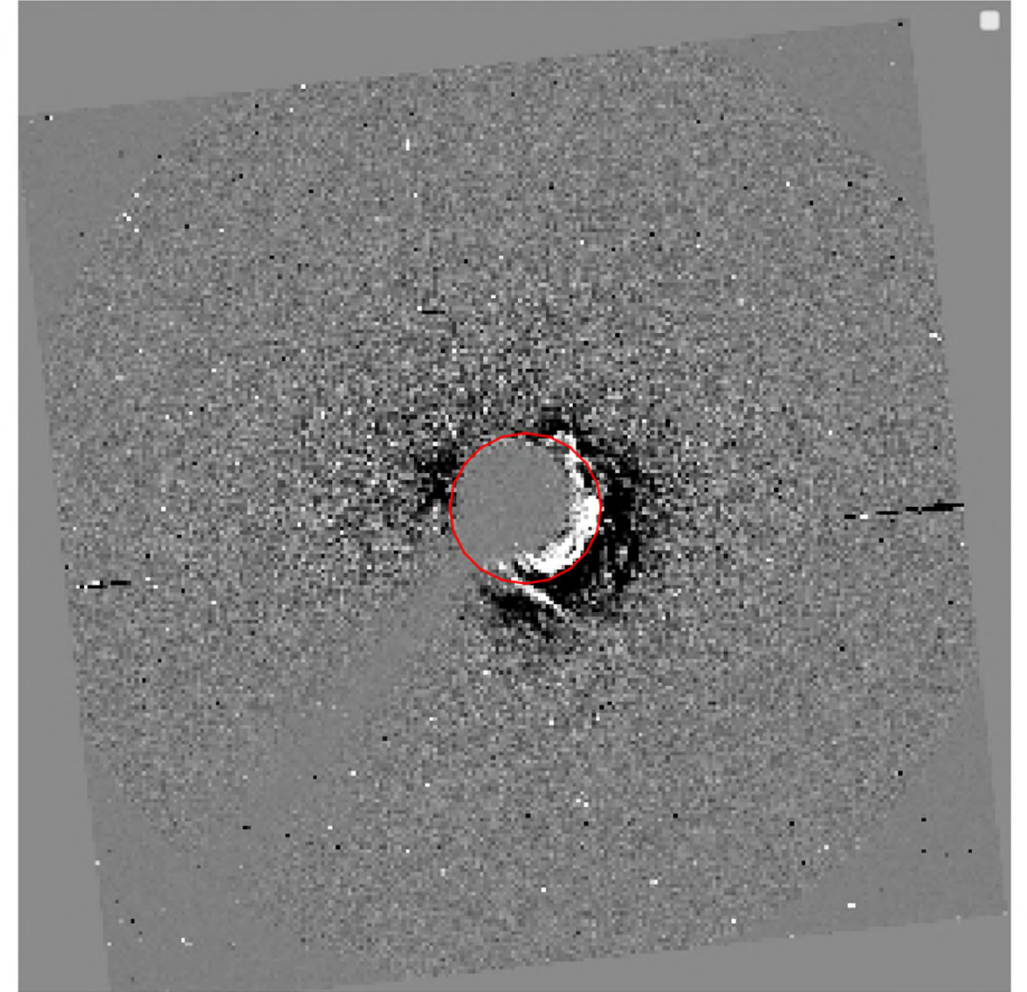
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_070607



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 10.2$

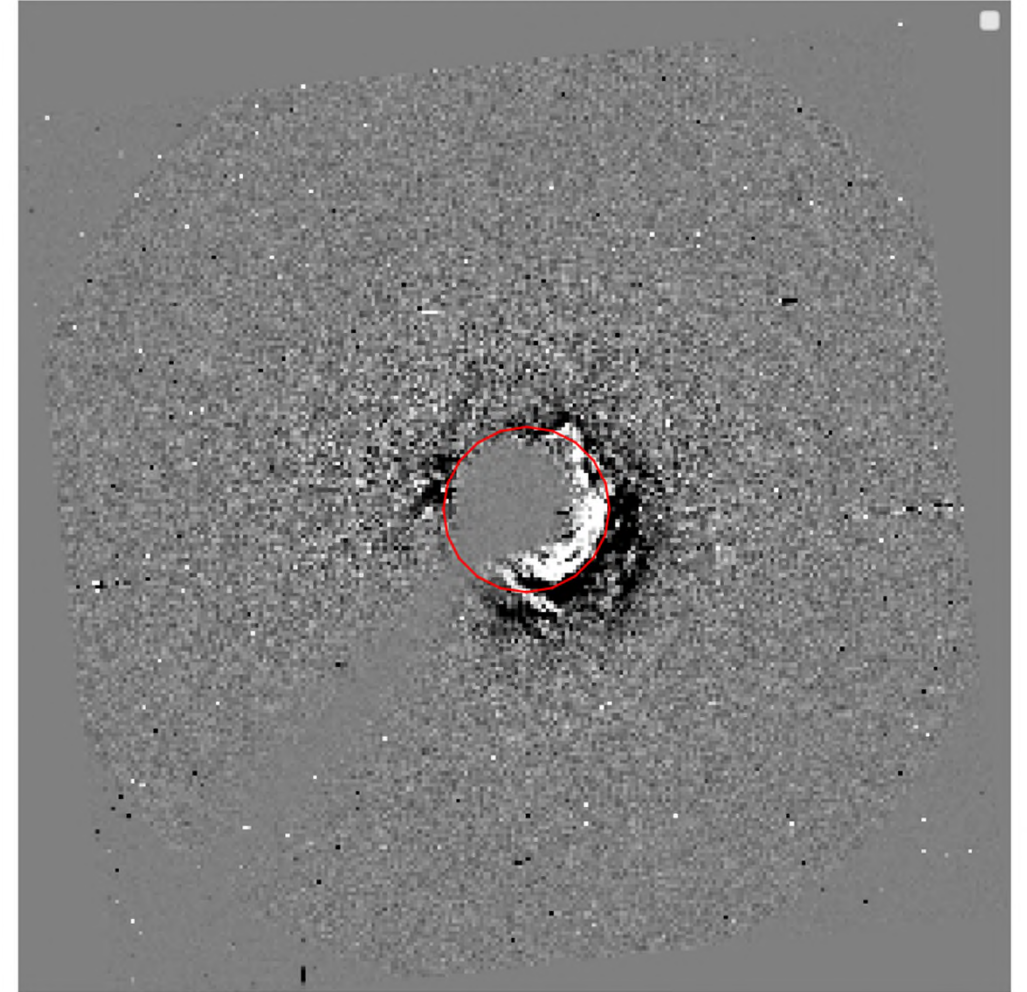
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_071807



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 11.2$

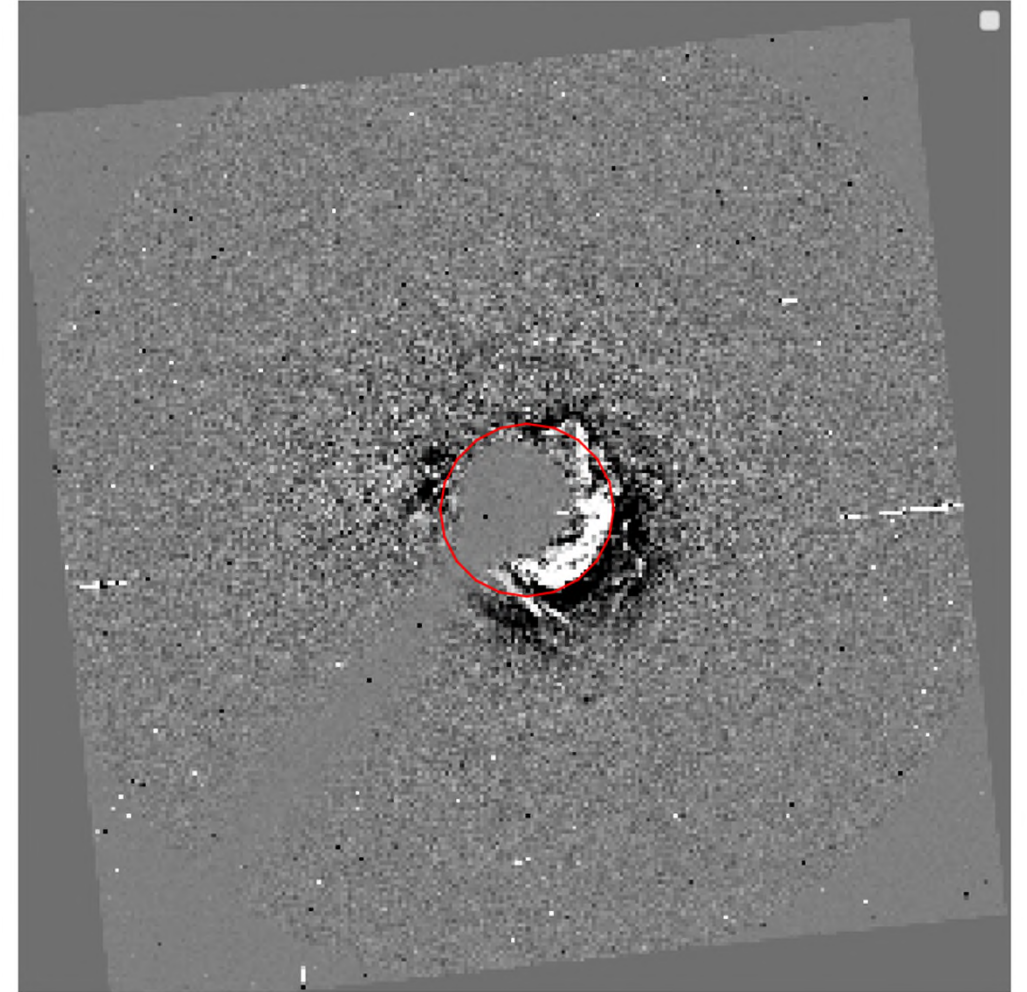
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_073007



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 11.7$

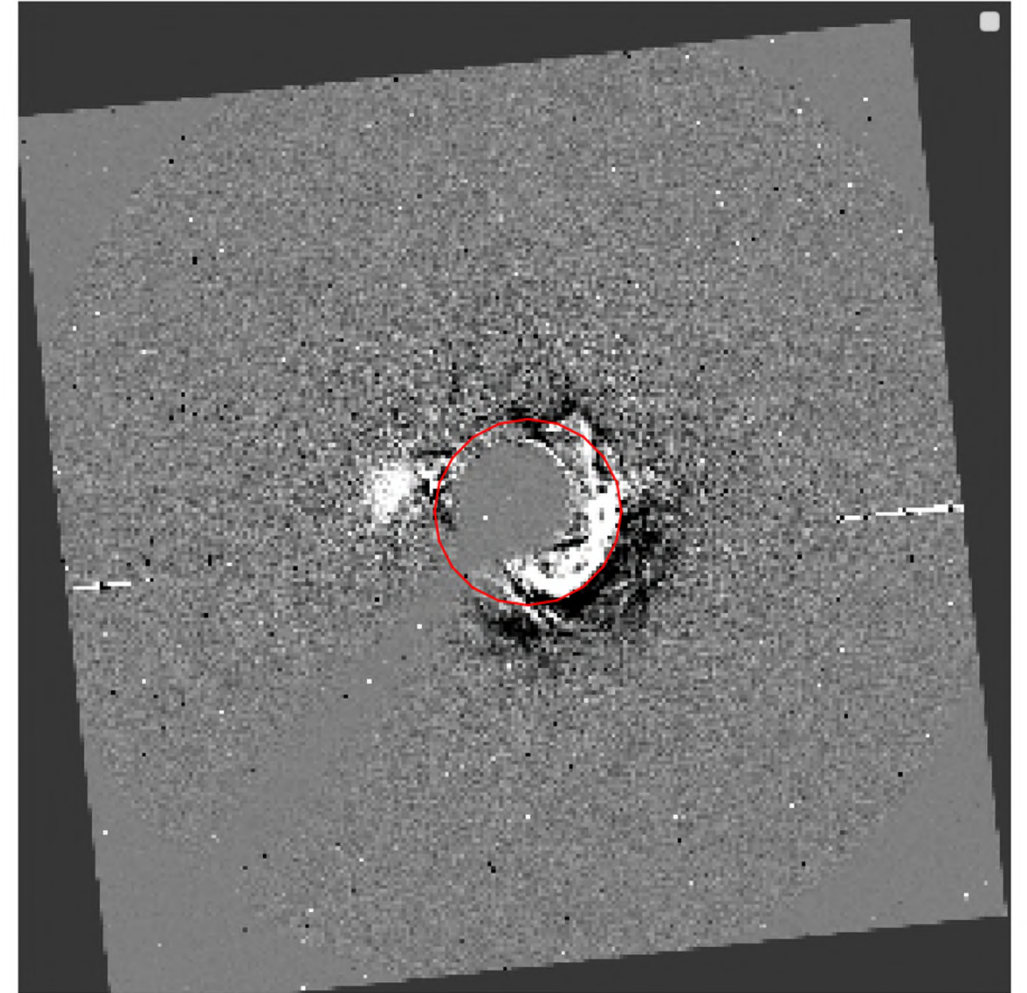
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_074207



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 12.6$

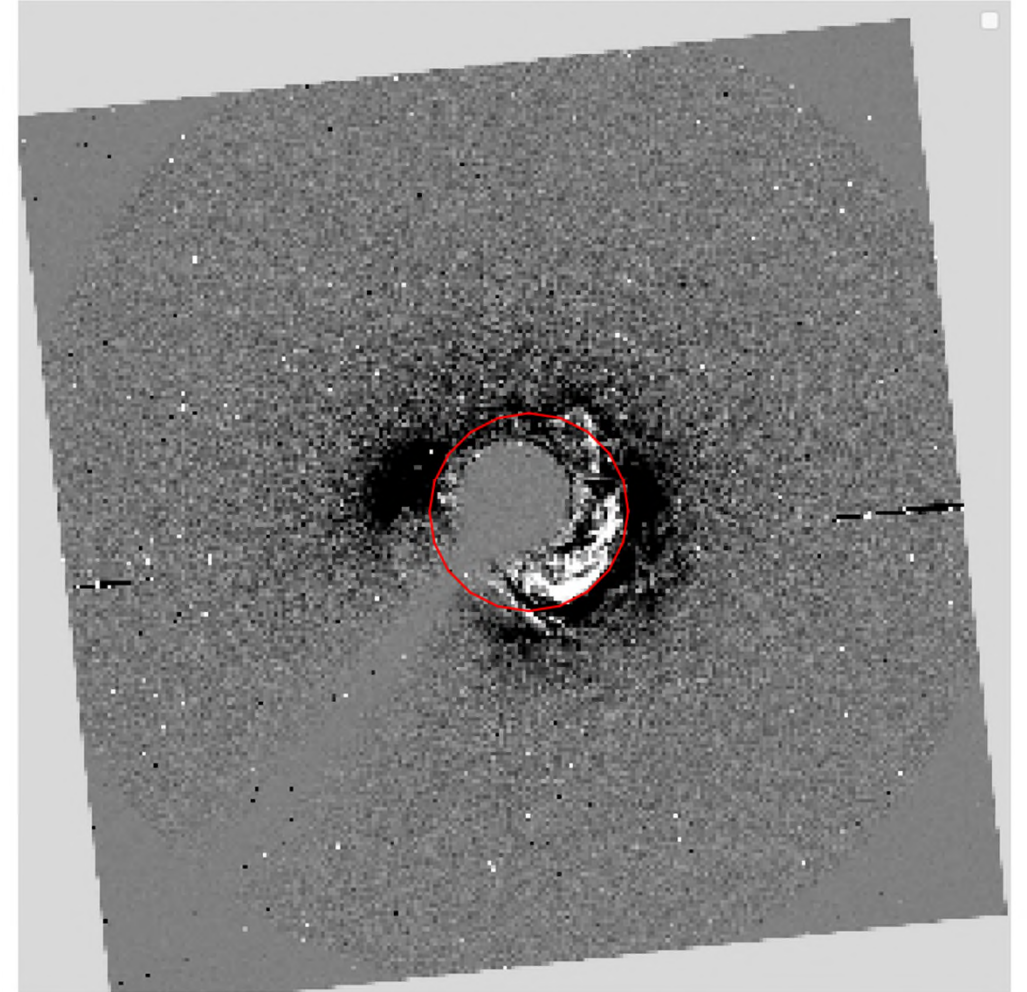
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_075407



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 13.4$

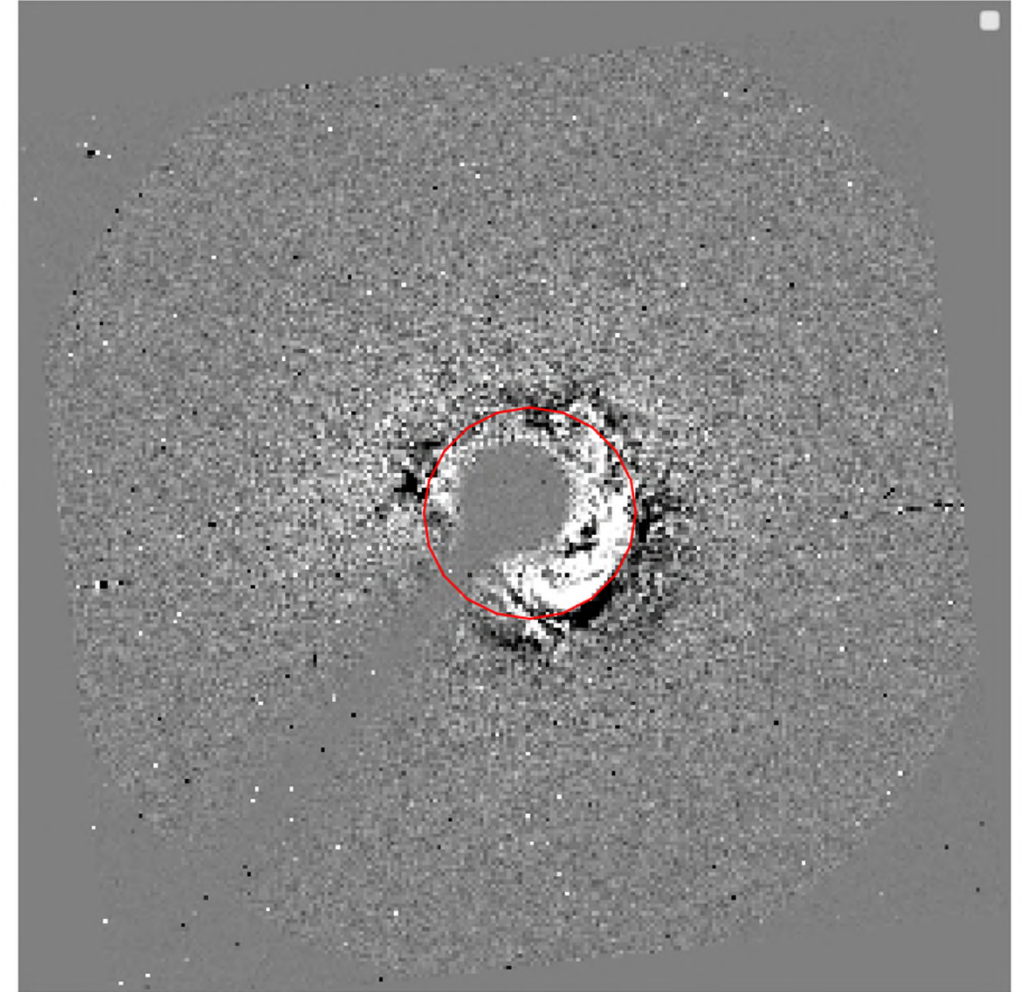
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_080607



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 14.3$

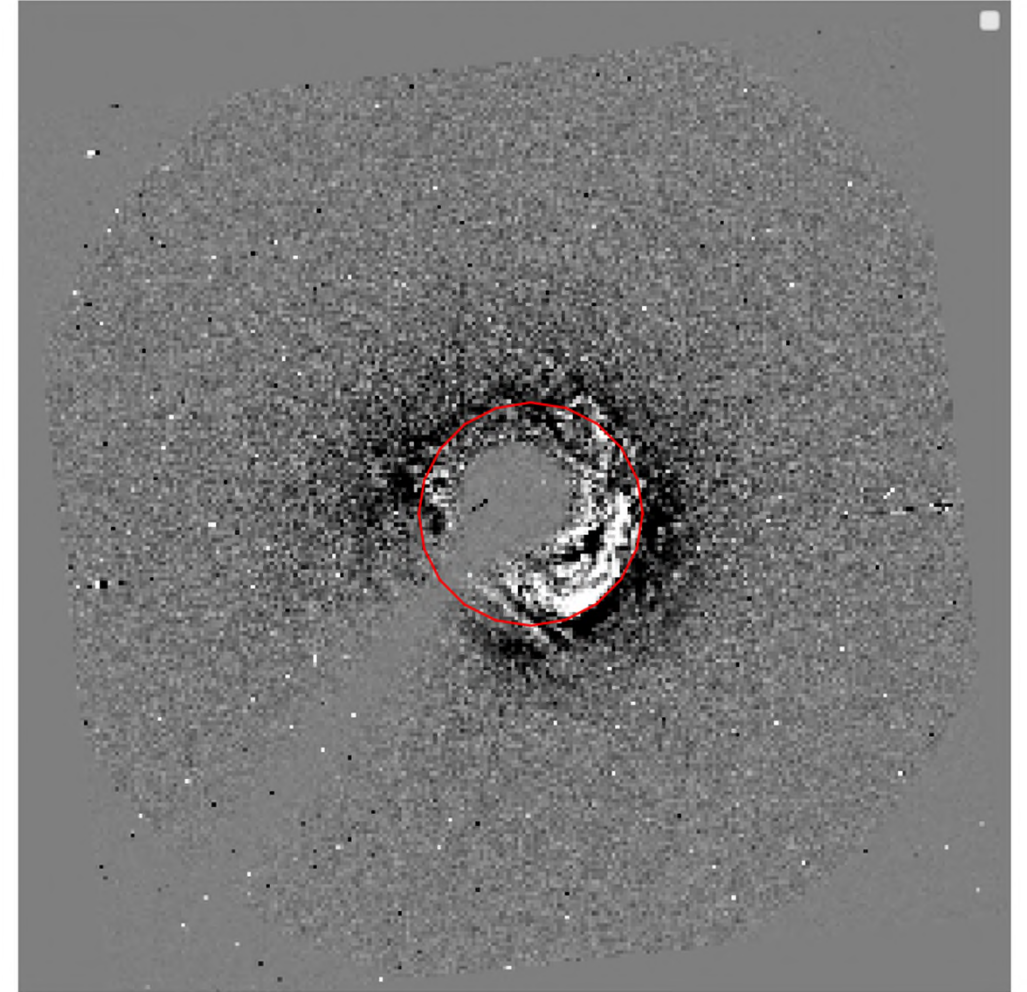
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_081807



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- R = 15.1

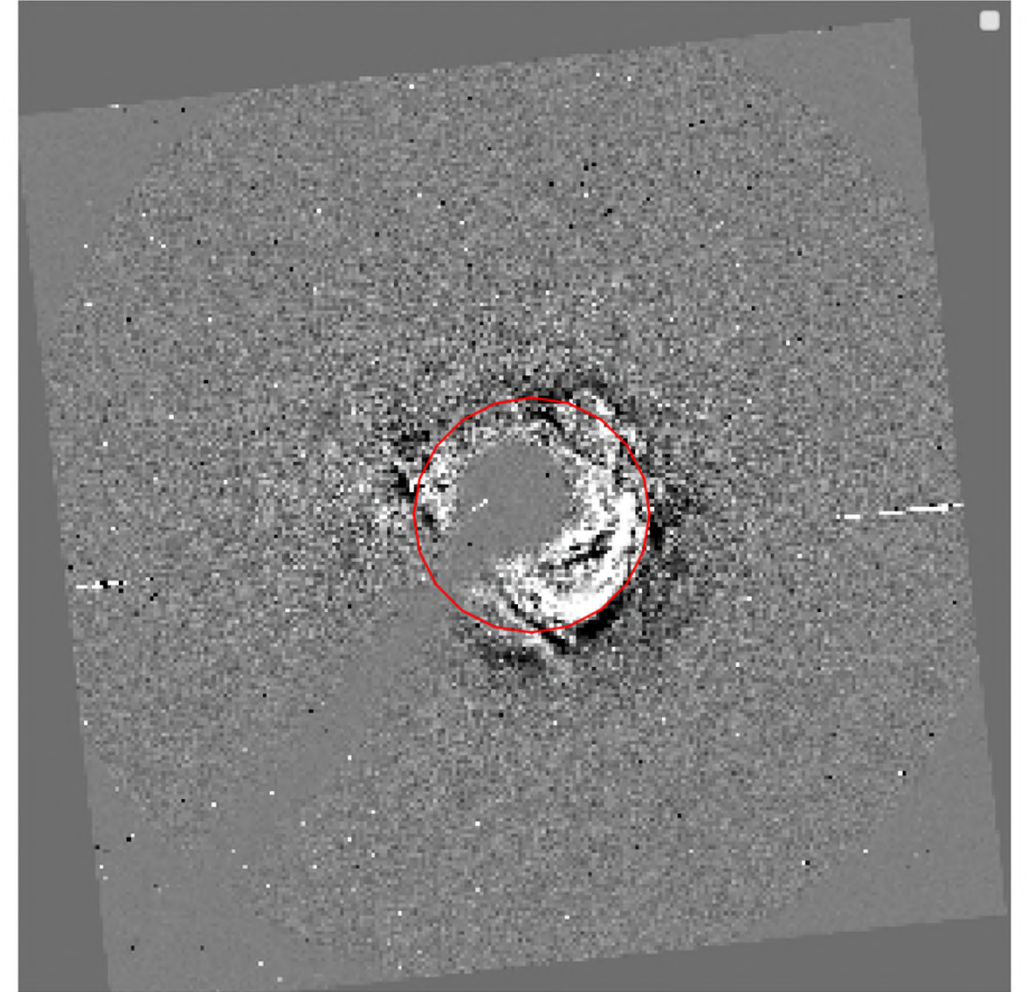
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_083007



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 15.9$

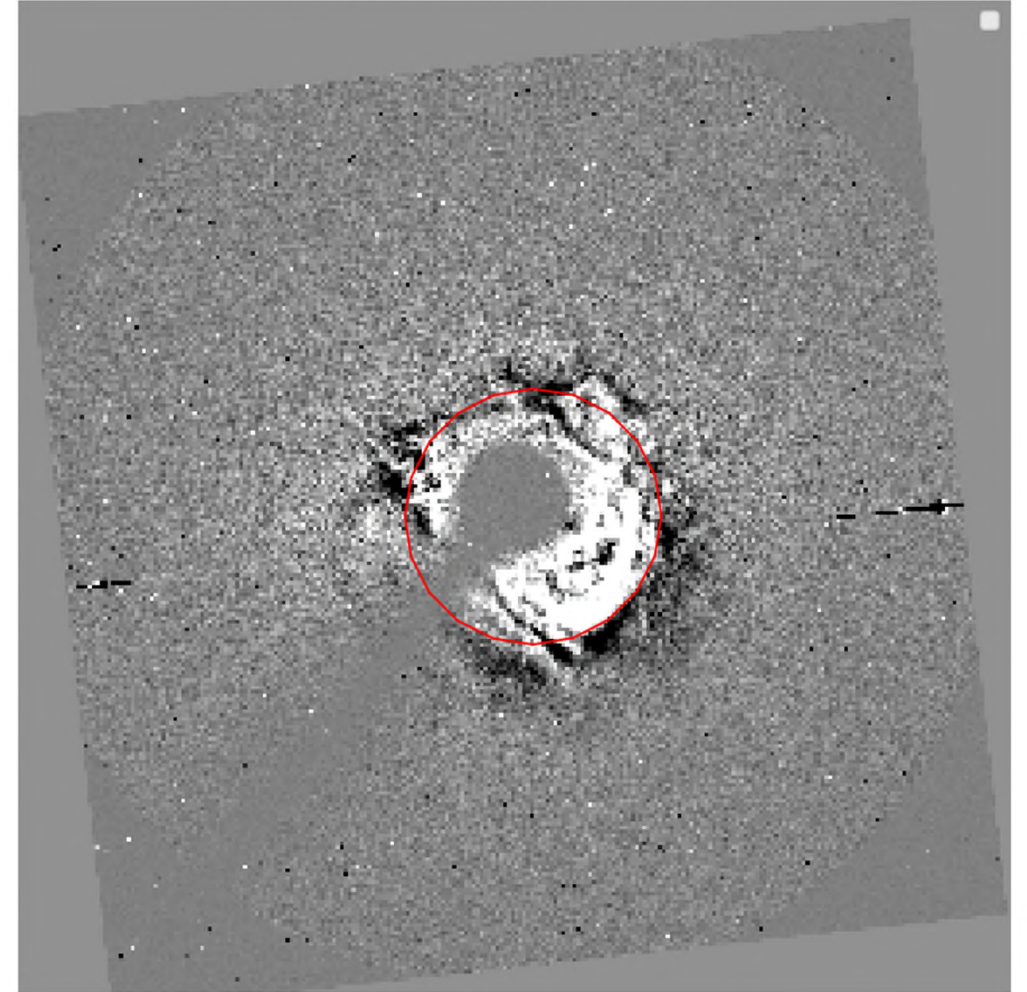
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_084207



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 17.3$

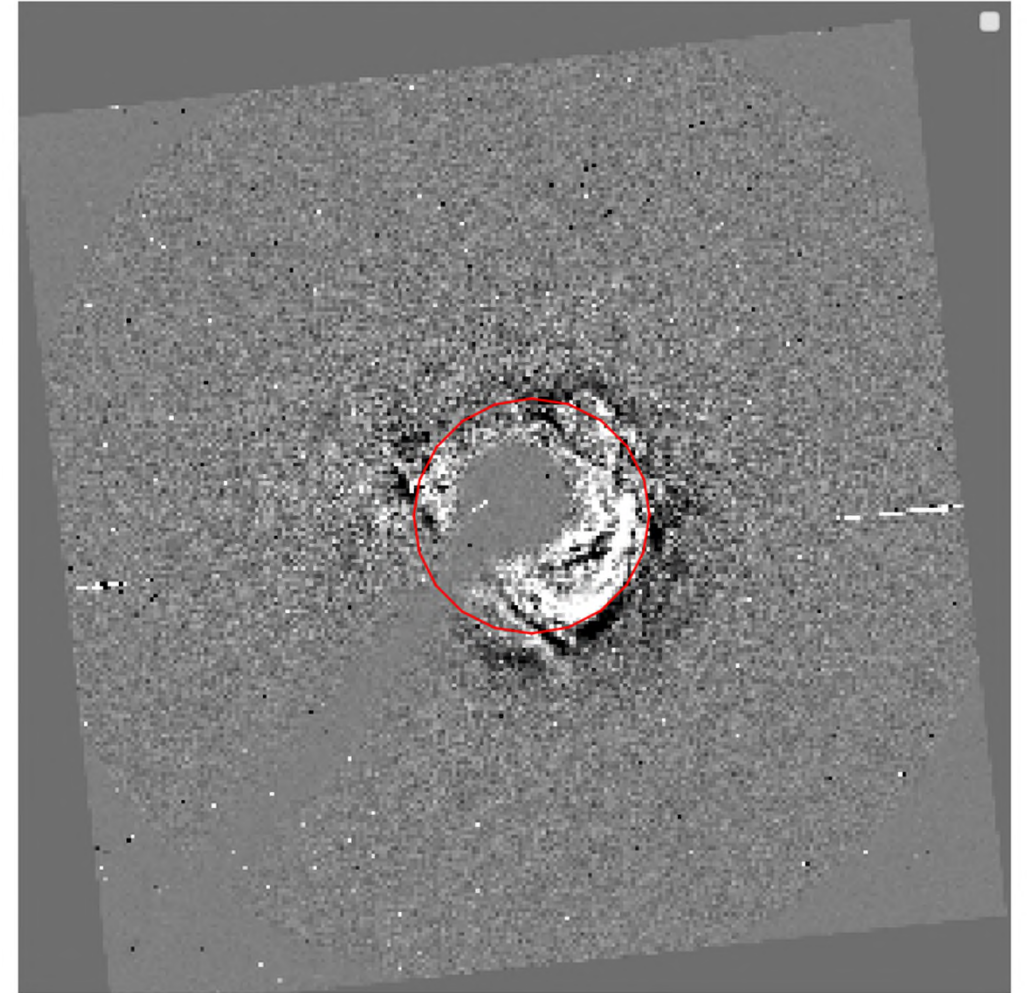
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_090607



Case analysis - 20240508

- Longitude 6°
- Latitude -10°
- Angular 90
- $R = 18.3$

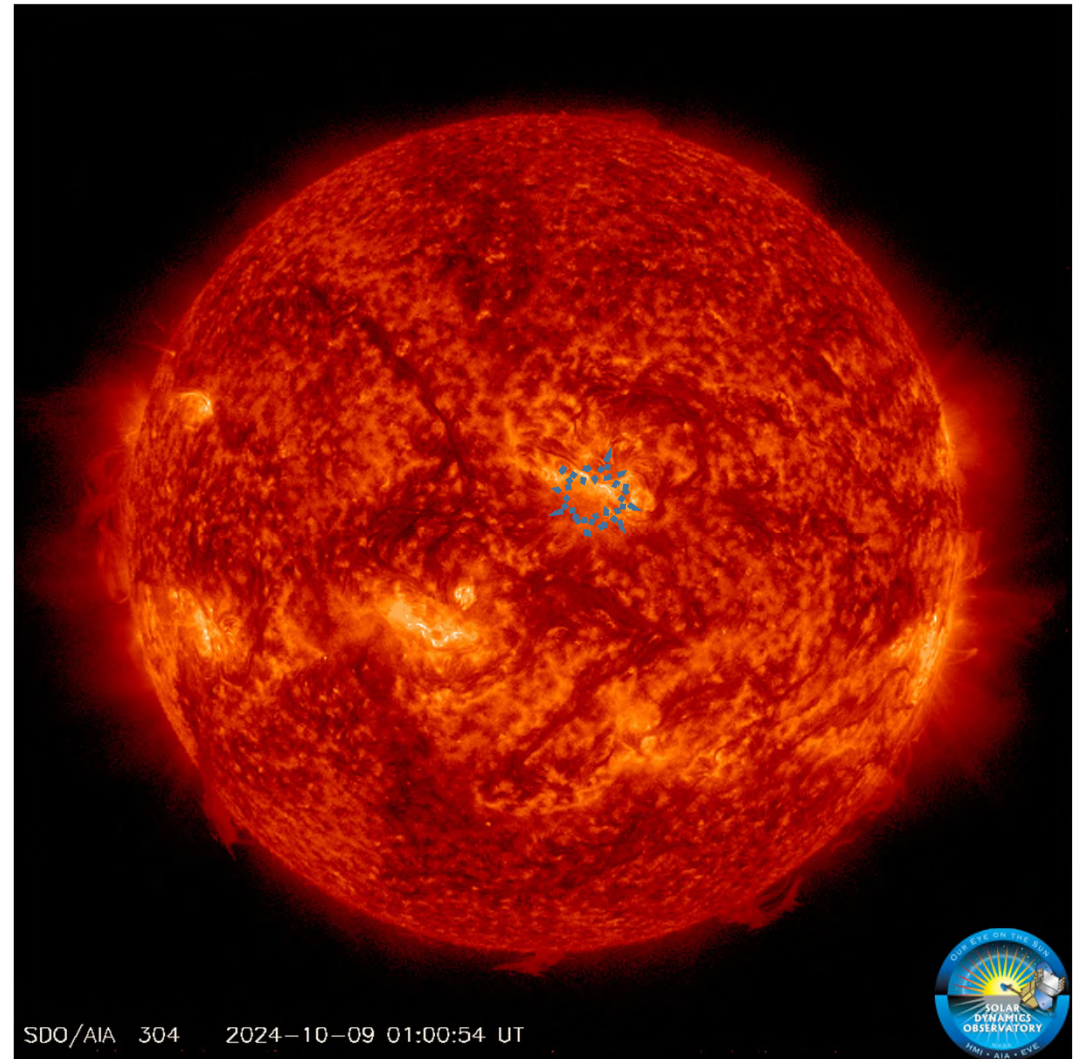
SOHO C3 Difference Imag 2024-05-08_084207



Case analysis - 20241009

Case analysis - 20241009

- Longitude 5°
- Latitude 11°
- Angular 85
- 此段時間沒有STEREO-A影像可以使用

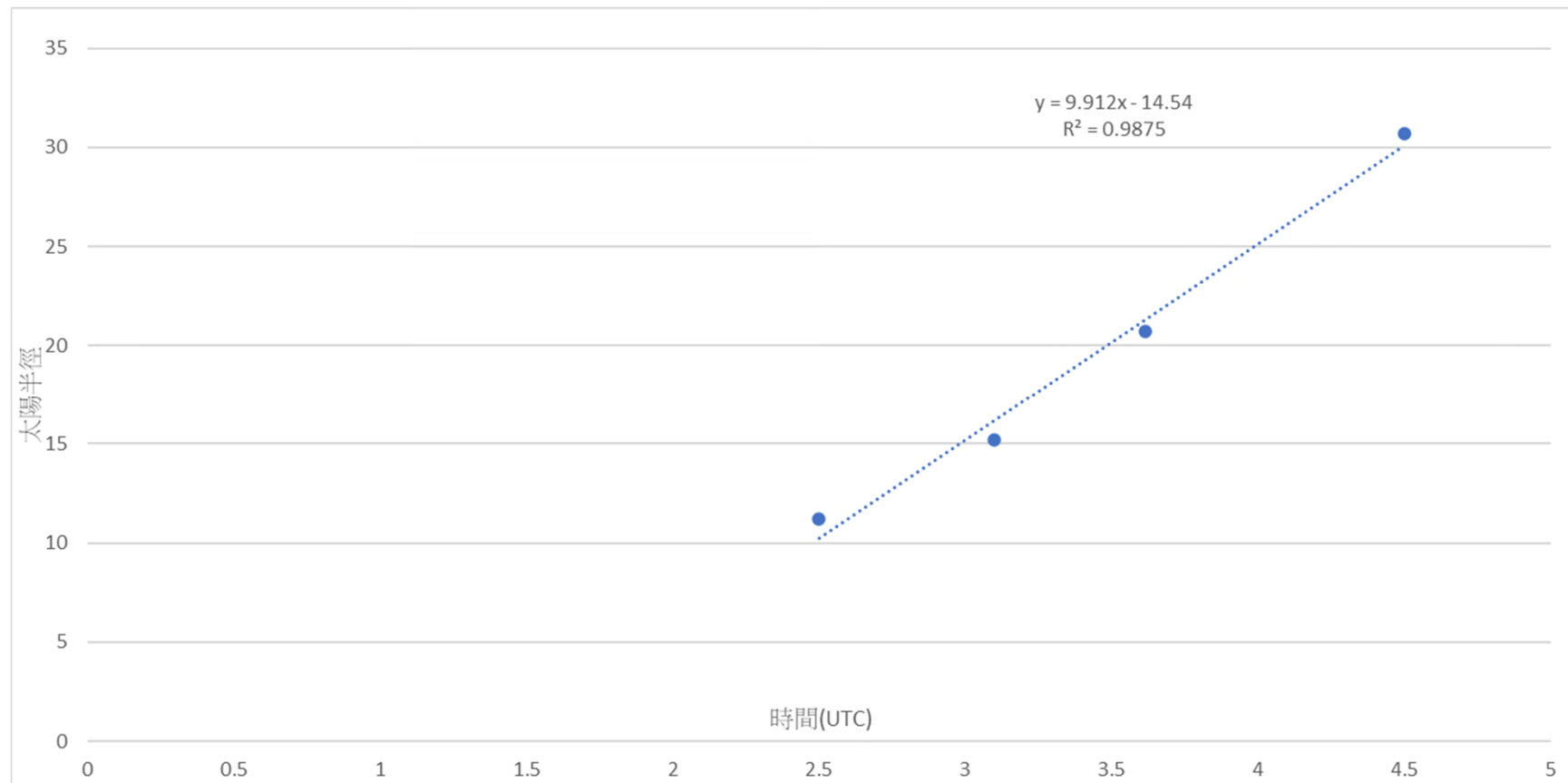


Case analysis - 20241009

- 斜率9.912
- 速度1917.256km/s
- 到地球約20.74小時

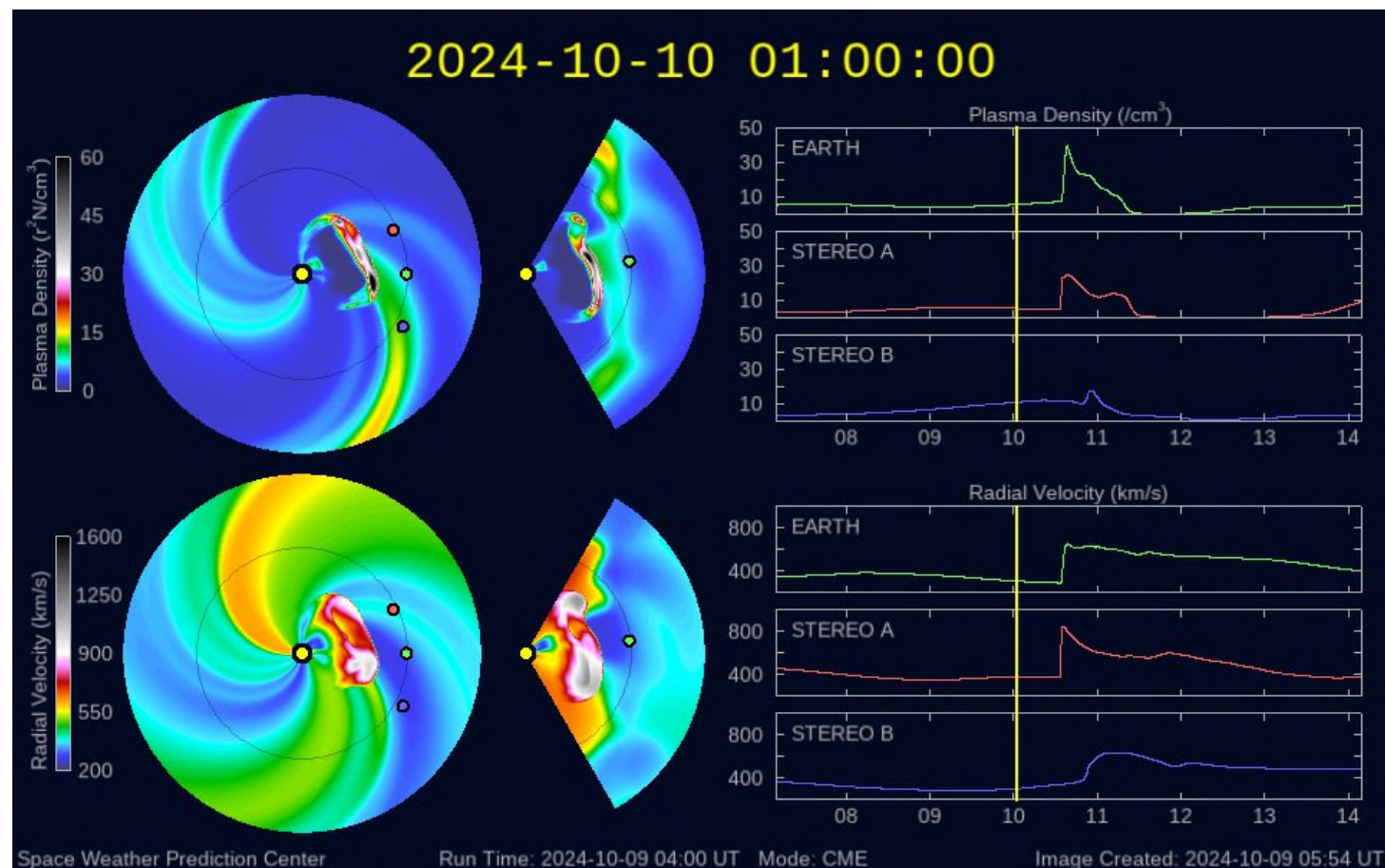
- 10月9日23時15抵達

- 這段時間C3有較多不連續影像，差分圖找不到適合的定位點，模擬失準



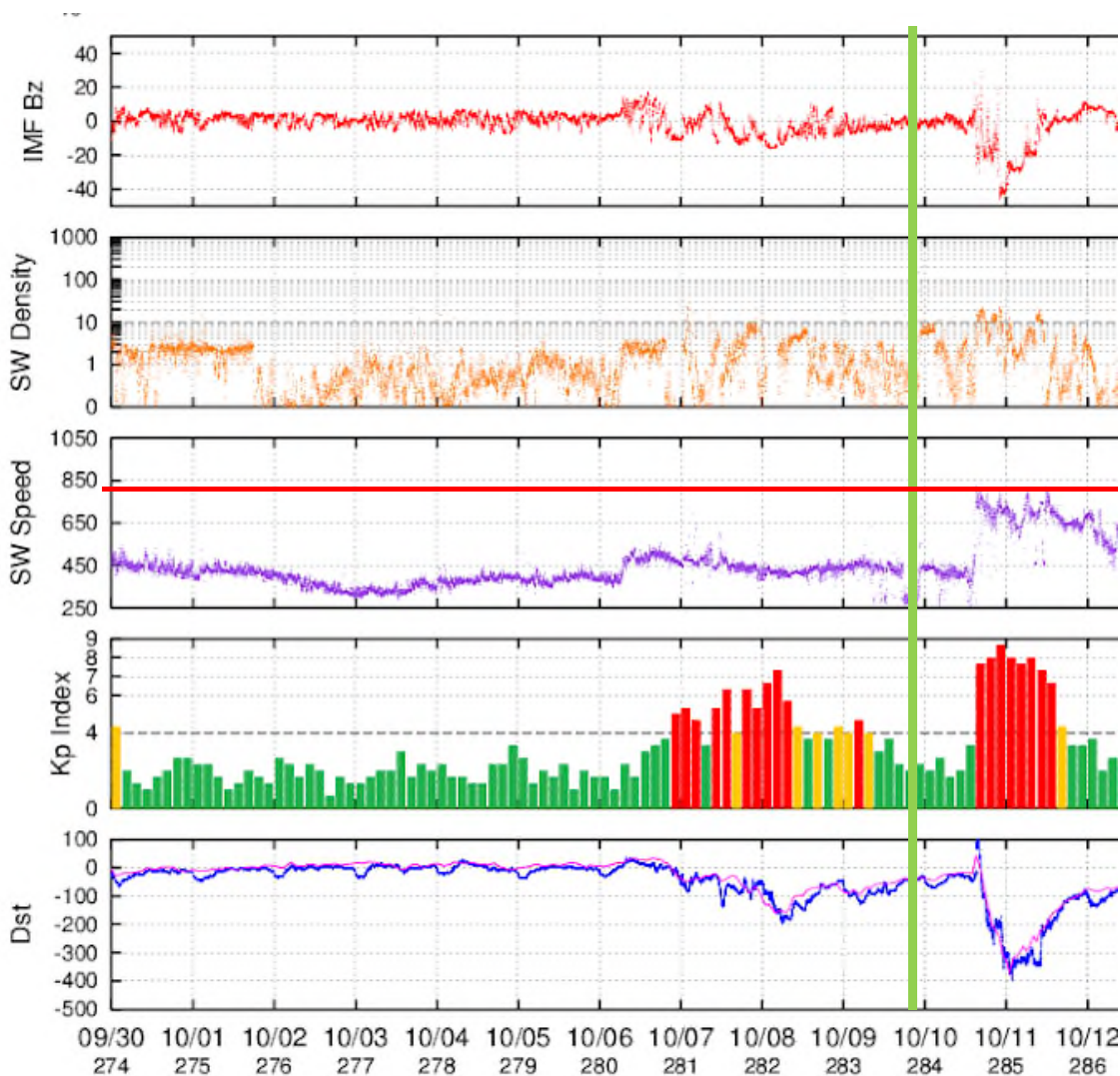
Case analysis - 20241009

- 速度1917.256km/s
- 10月9日23時15抵達
- 速度為WSA太陽風預報模式2.5倍
- 預測時間早於模式16小時



Case analysis - 20241009

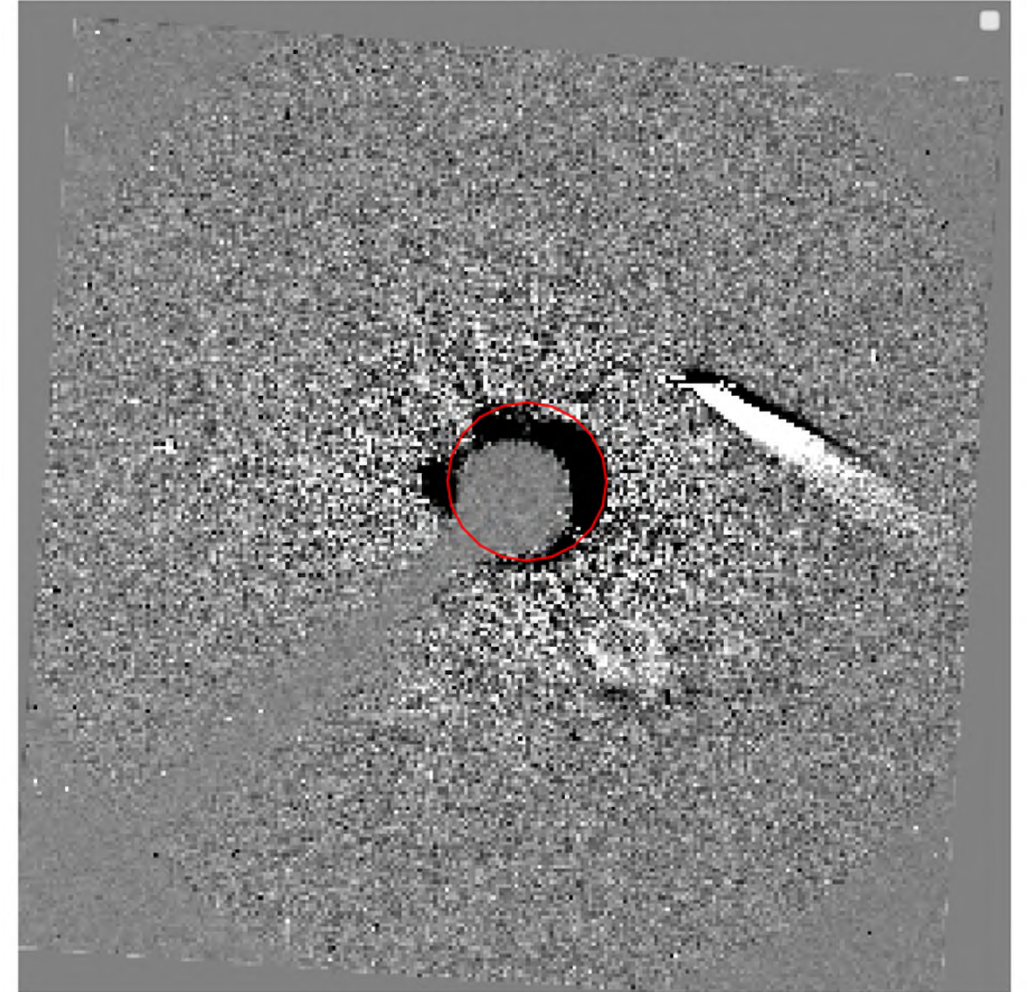
- 速度1917.256km/s
- 10月9日23時15抵達
- 速度高於實際資料(紅)2.4倍
- 預測時間早於實際到達時間14-16小時(綠)



Case analysis - 20241009

- Longitude 6°
- Latitude 7°
- Angular 85
- $R = 11.2$

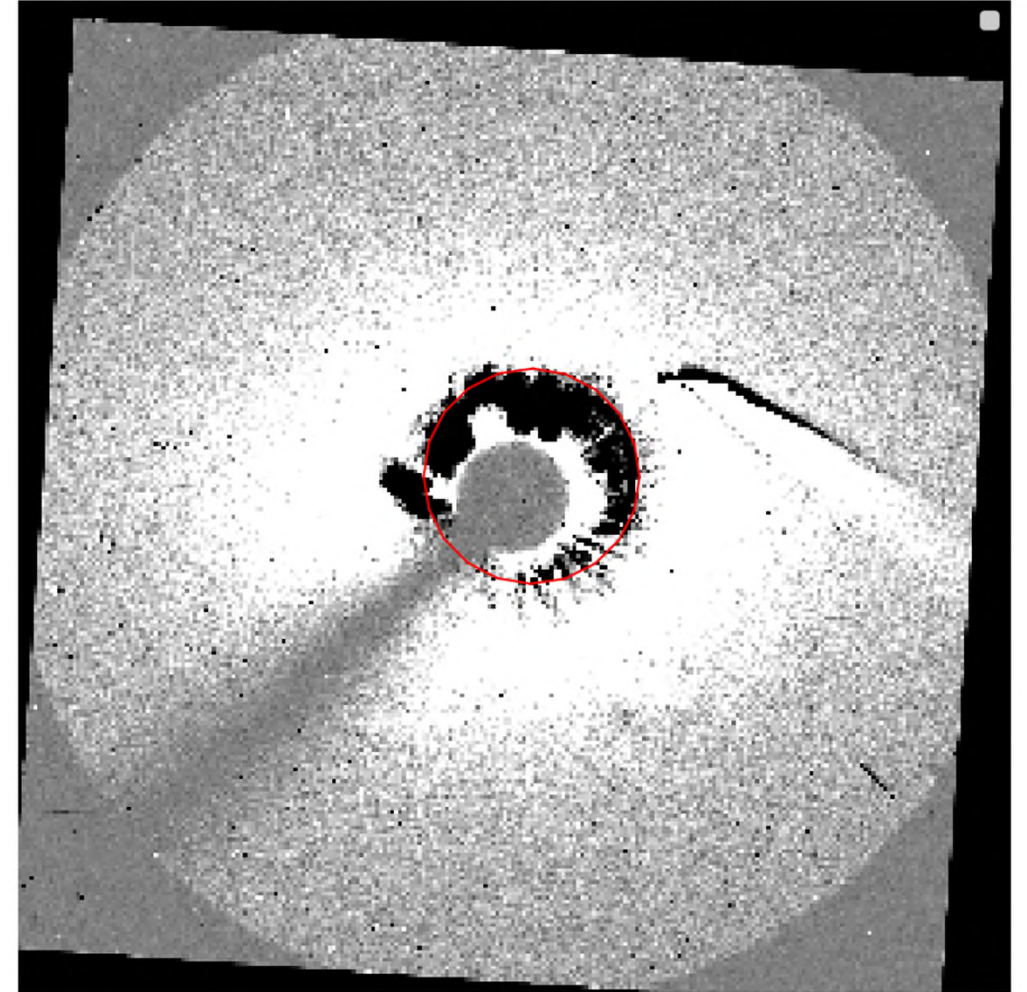
SOHO C3 Difference Imag 2024-10-09_023007



Case analysis - 20241009

- Longitude 6°
- Latitude 7°
- Angular 85
- $R = 15.2$

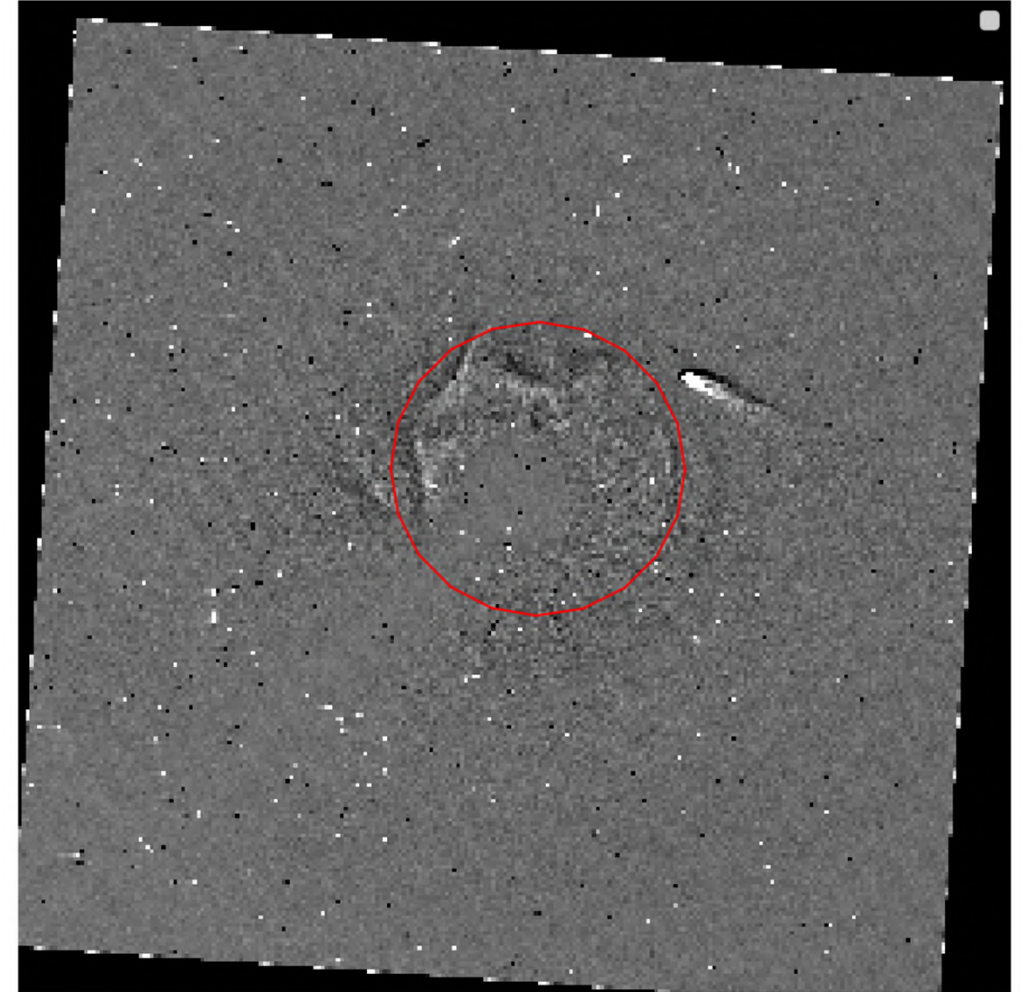
SOHO C3 Difference Imag 2024-10-09_030608



Case analysis - 20241009

- Longitude 6°
- Latitude 7°
- Angular 85
- $R = 20.7$

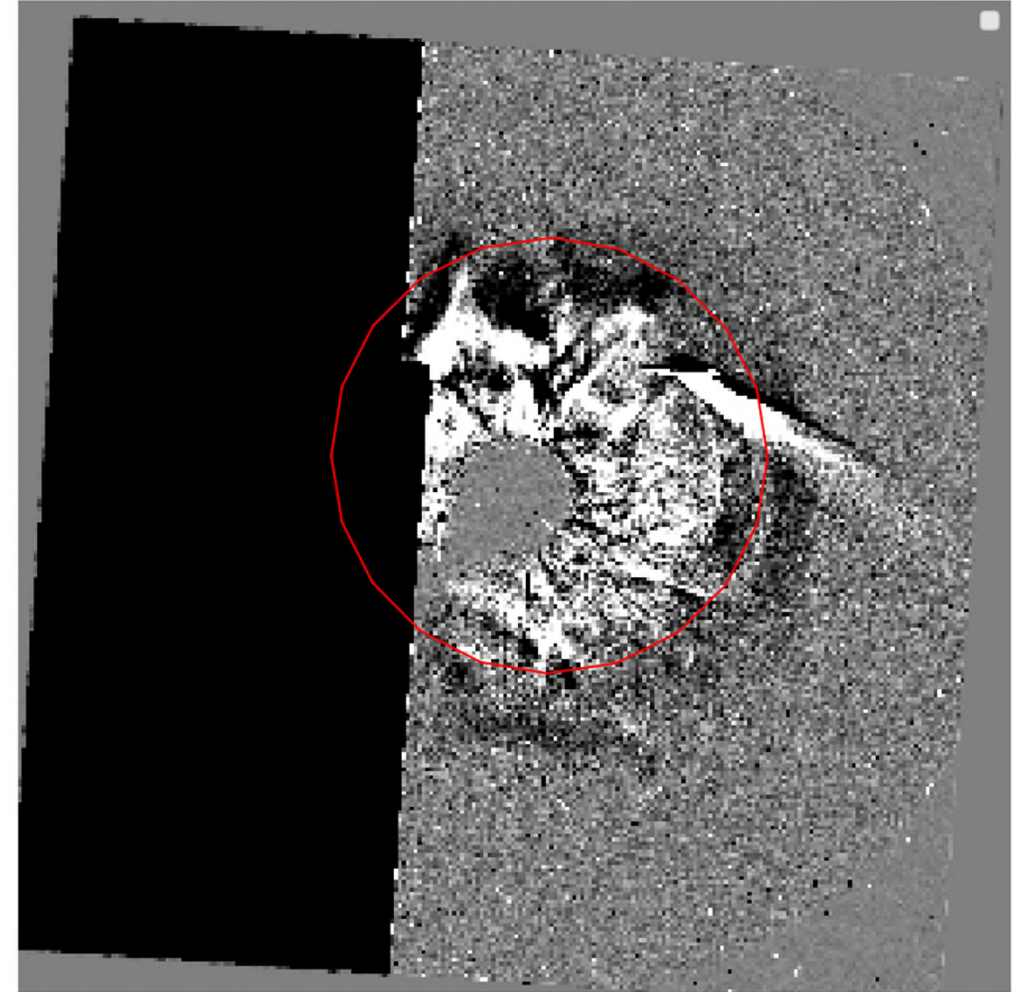
SOHO C3 Difference Imag 2024-10-09_033708



Case analysis - 20241009

- Longitude 6°
- Latitude 7°
- Angular 85
- $R = 30.7$

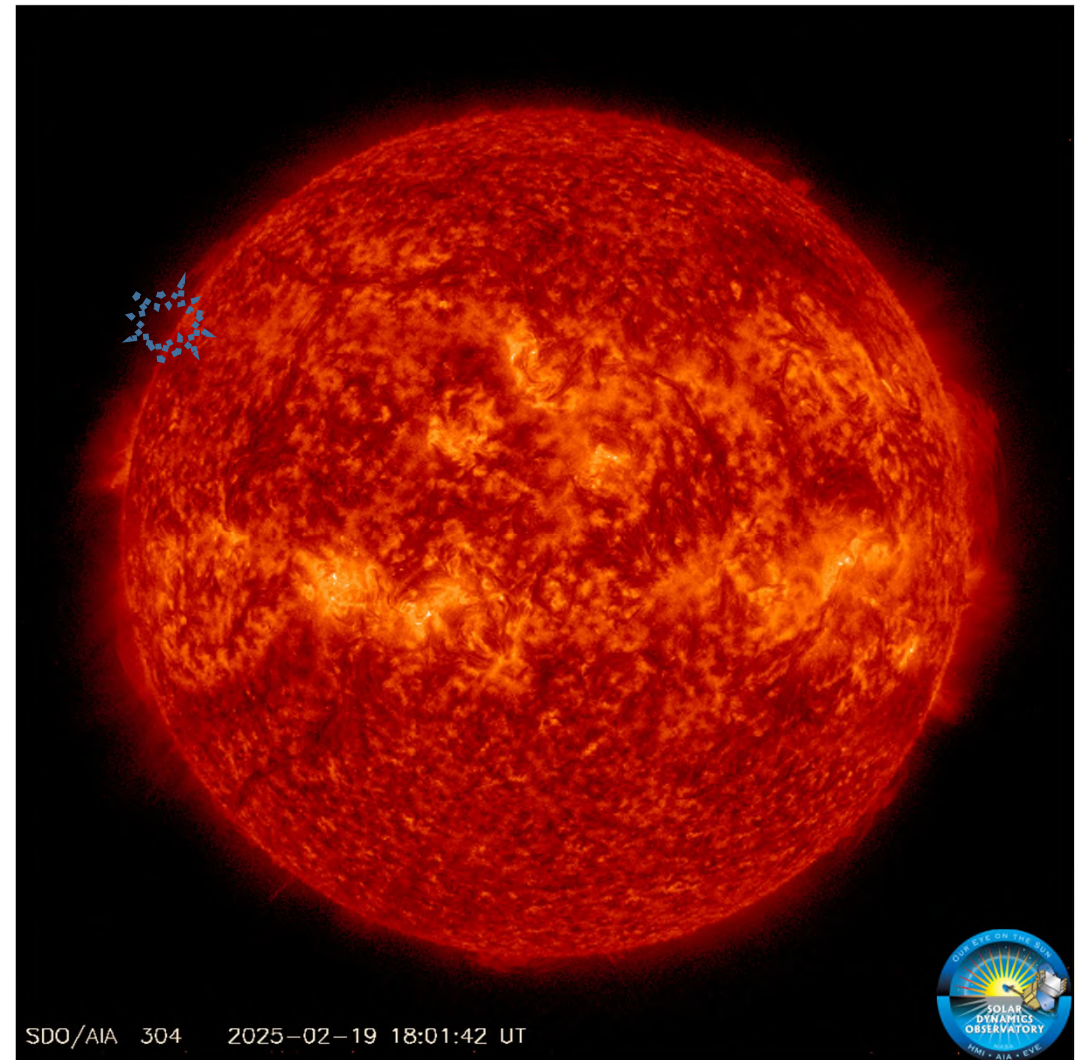
SOHO C3 Difference Imag 2024-10-09_043007



Case analysis - 20250219

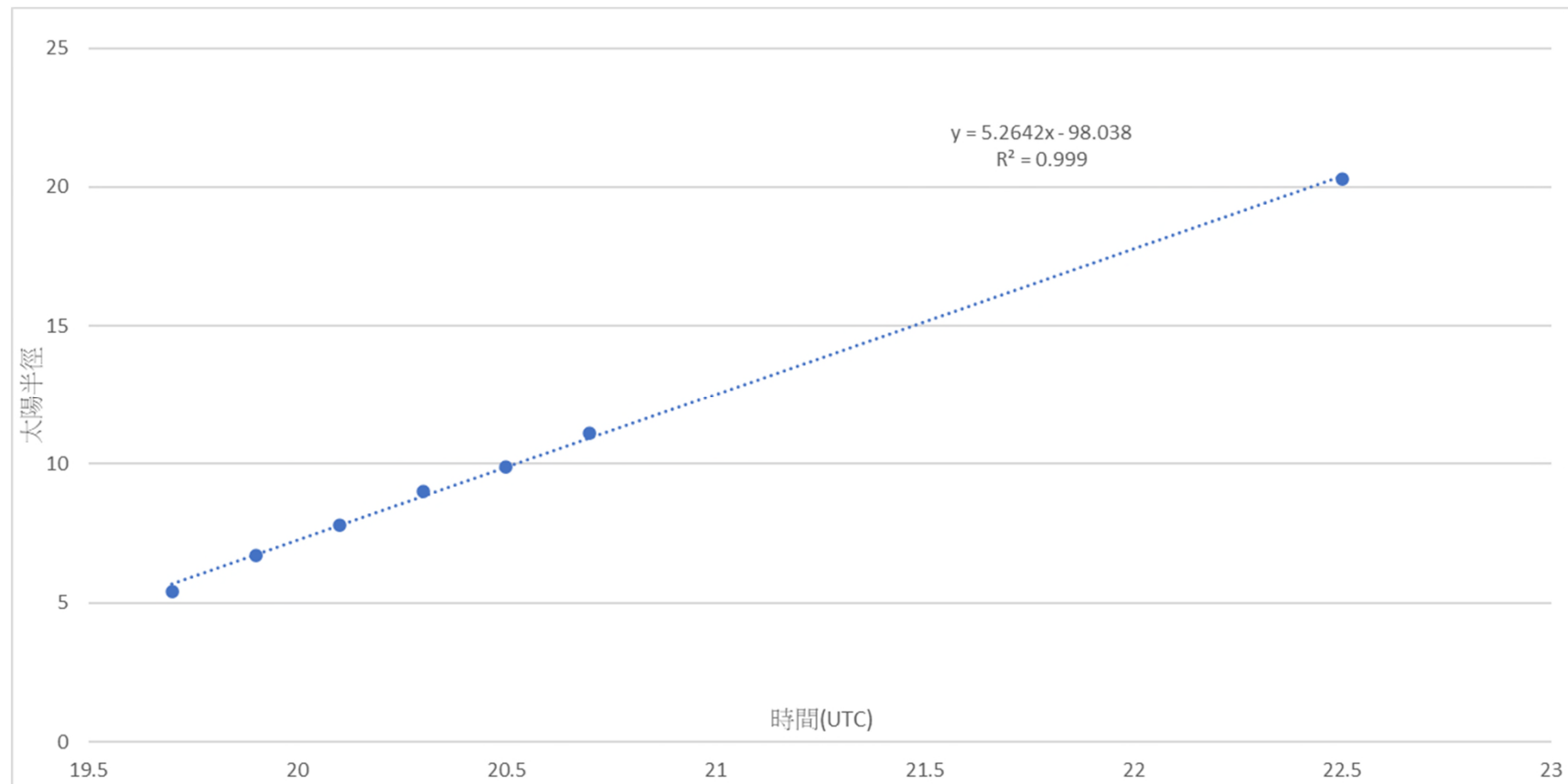
Case analysis - 20250219

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- 來自背面



Case analysis - 20250219

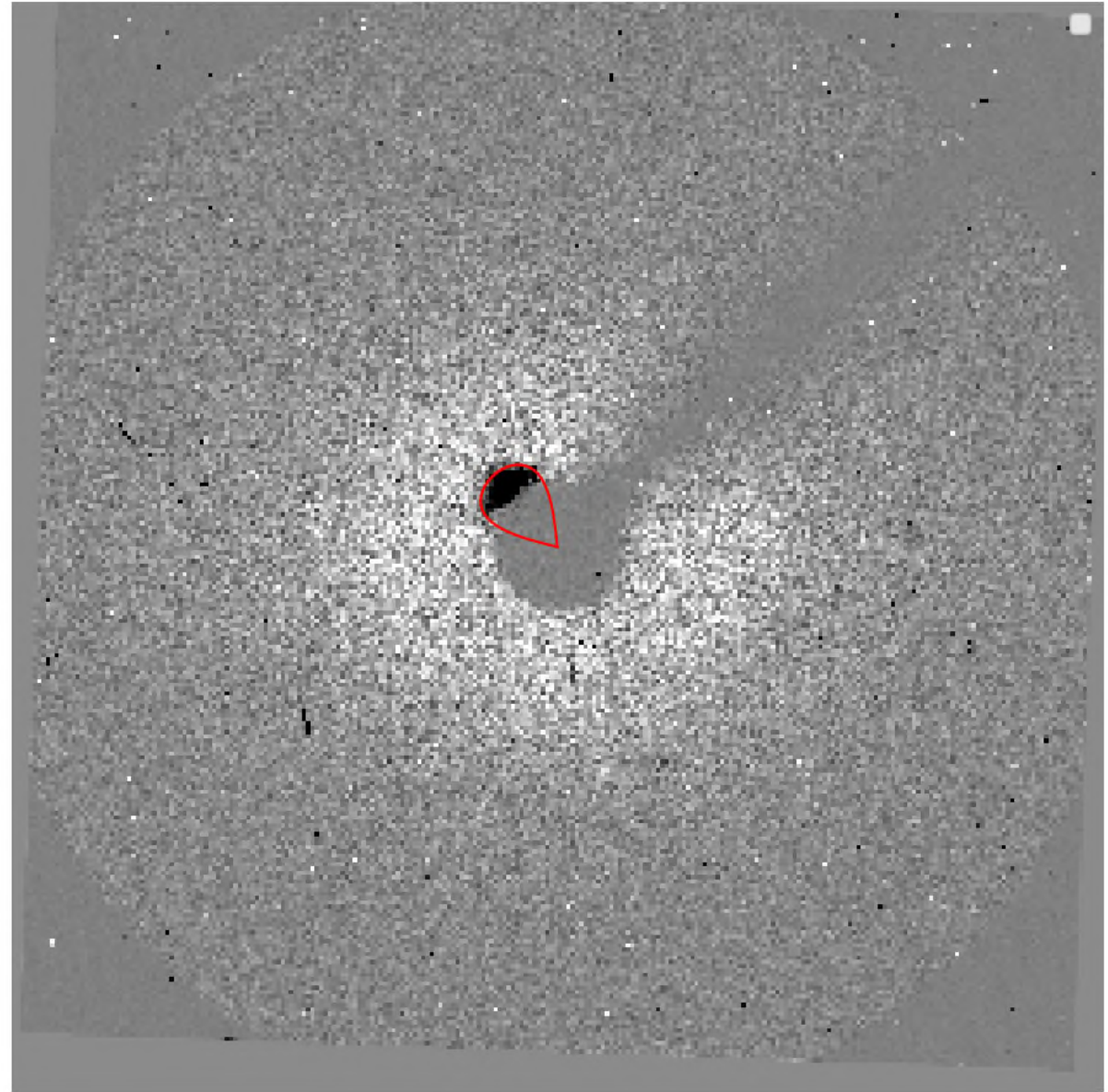
- 斜率5.26
- 速度1018km/s
- 不會到地球，沒有實際資料可以做速度比對



Case analysis - 20250219

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_194207

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 5.4$
- 來自背面

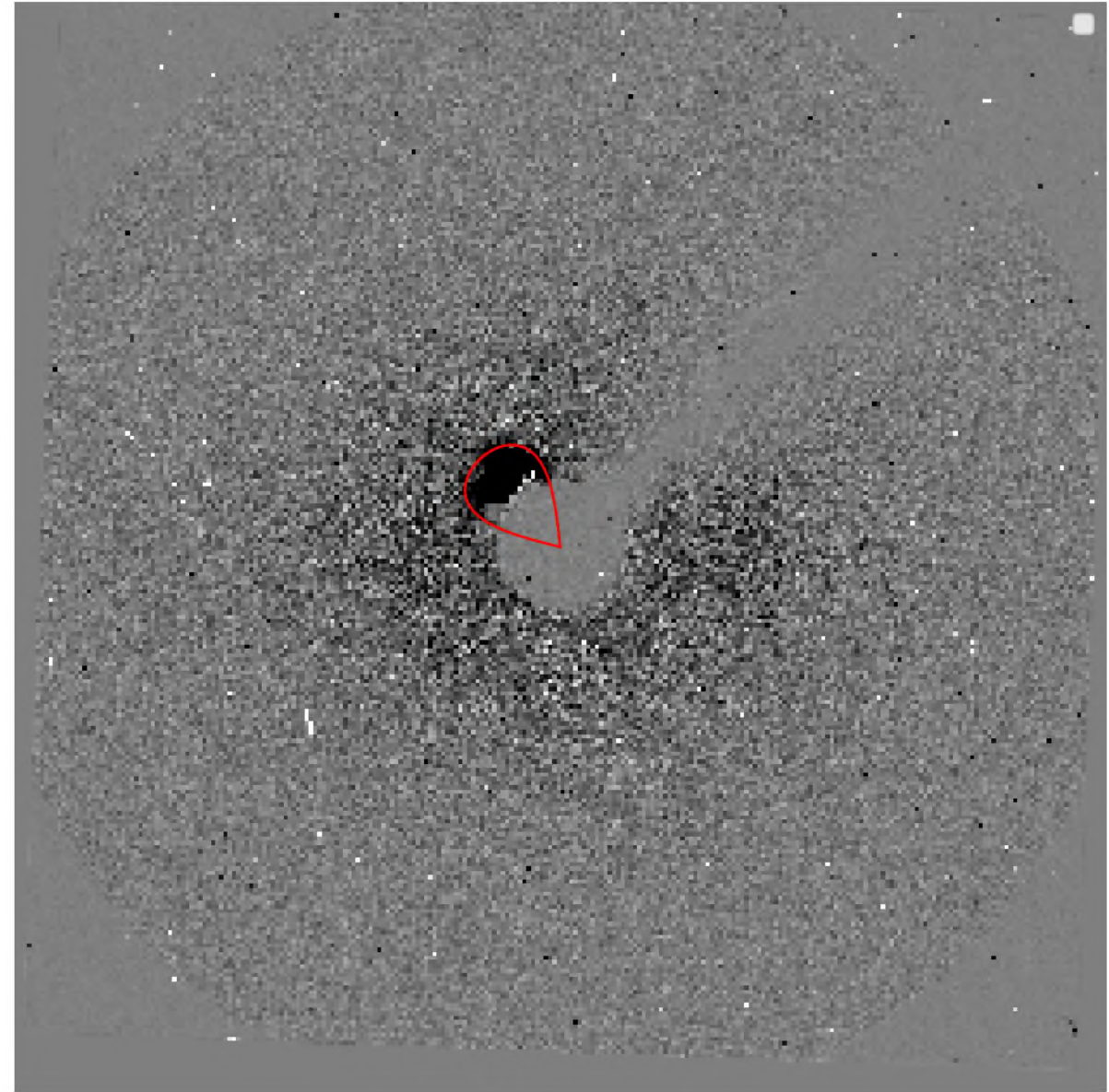


Case analysis - 20250219

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_195407

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 6.7$

- 來自背面

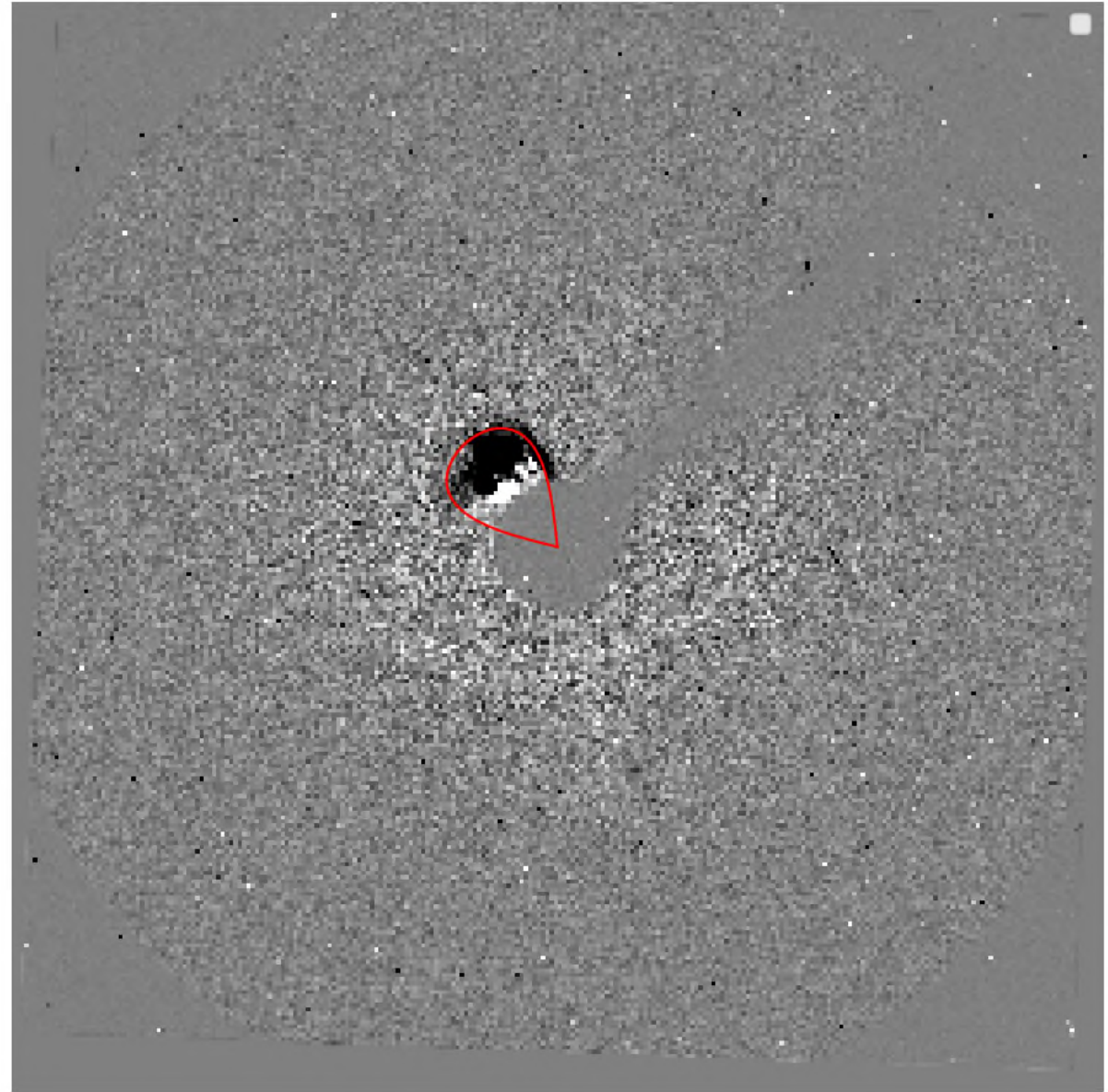


Case analysis - 20250219

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_200607

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 7.8$

- 來自背面

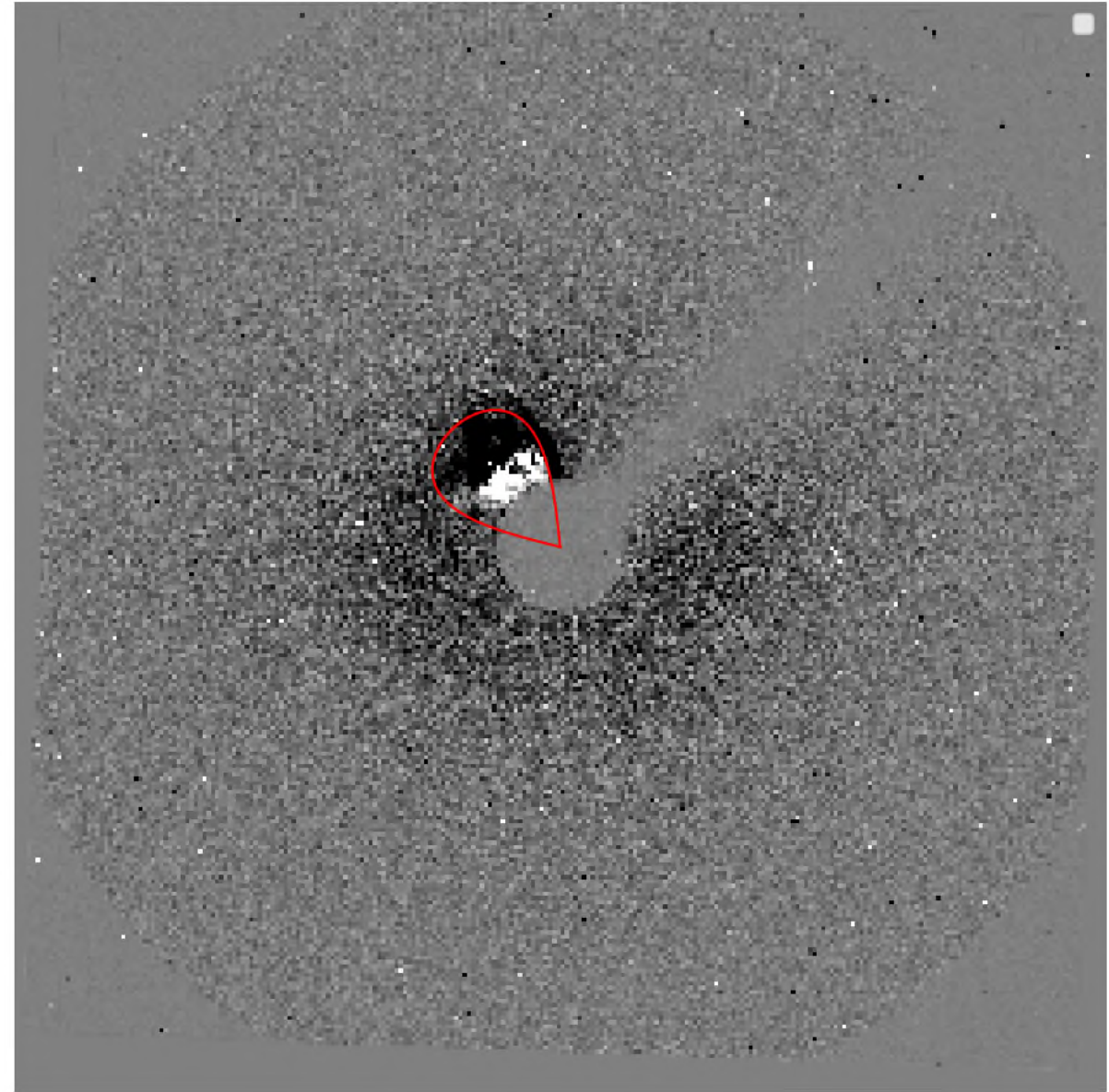


Case analysis - 20250219

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_201807

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 9$

- 來自背面

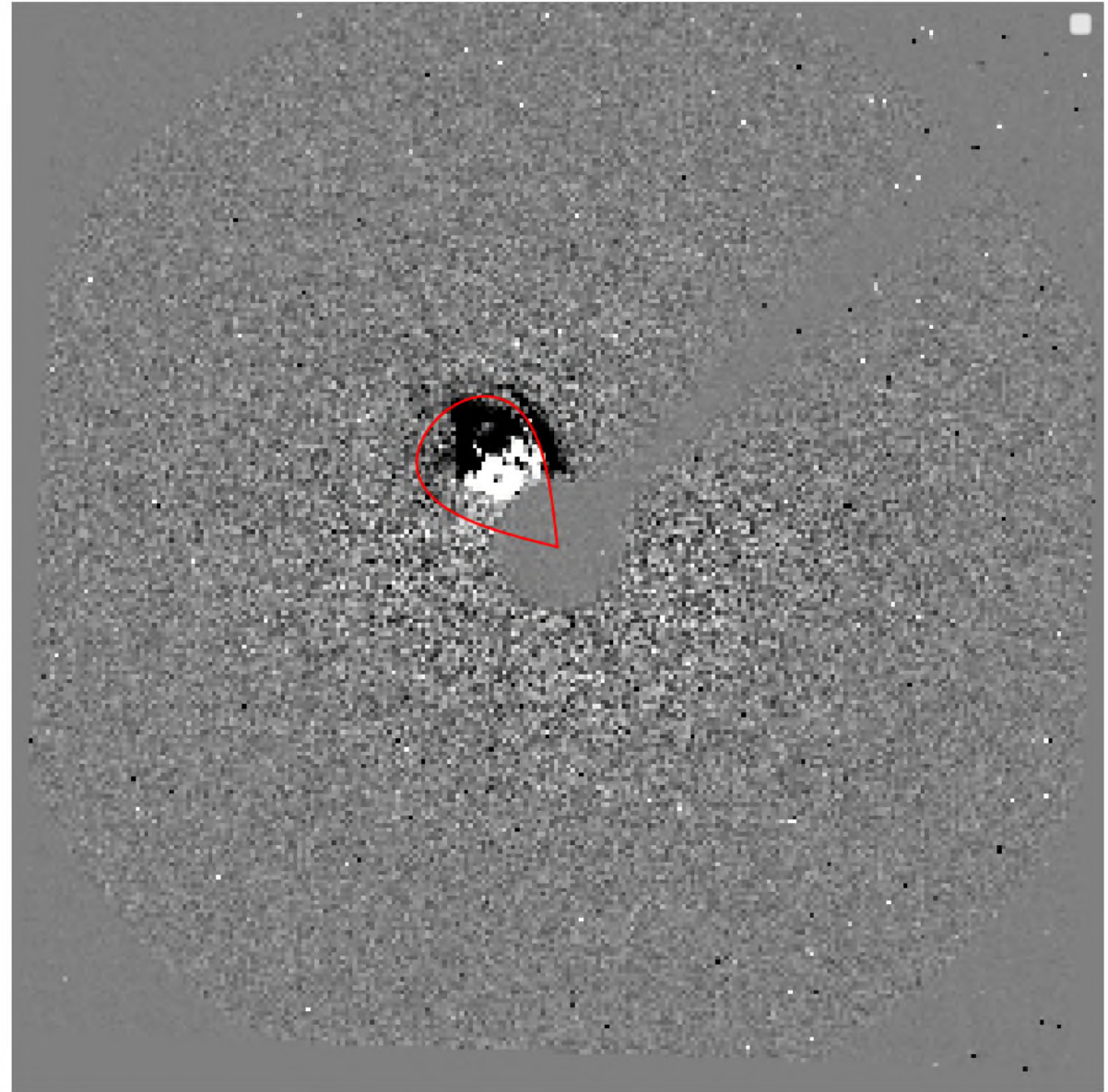


Case analysis - 20250219

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 9.9$

- 來自背面

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_203007

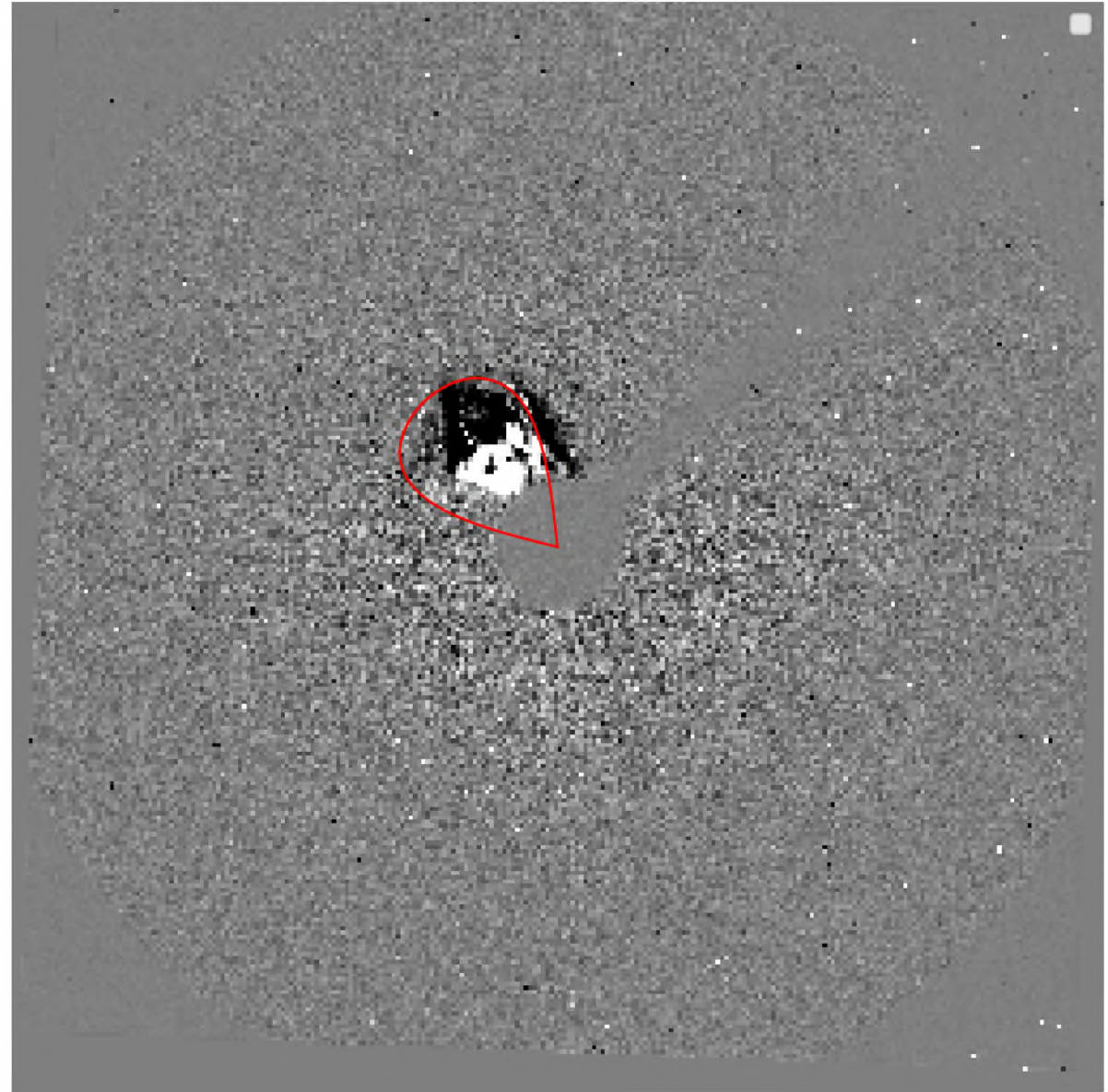


Case analysis - 20250219

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 11.1$

- 來自背面

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_204207

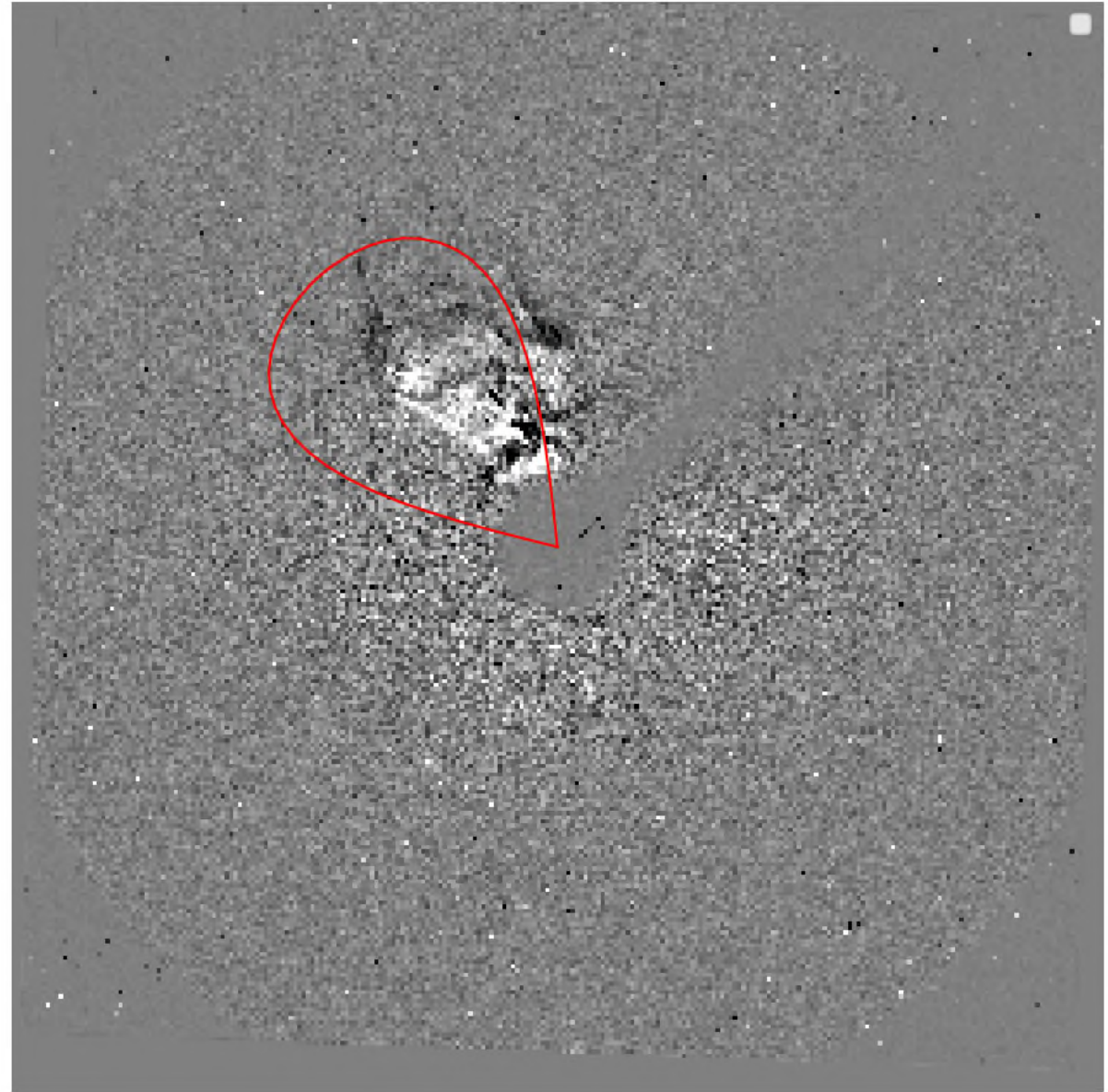


Case analysis - 20250219

SOHO C3 Difference Imag 2025-02-19_223007

- Longitude -90°
- Latitude 30°
- Angular 70
- $R = 20.3$

- 來自背面

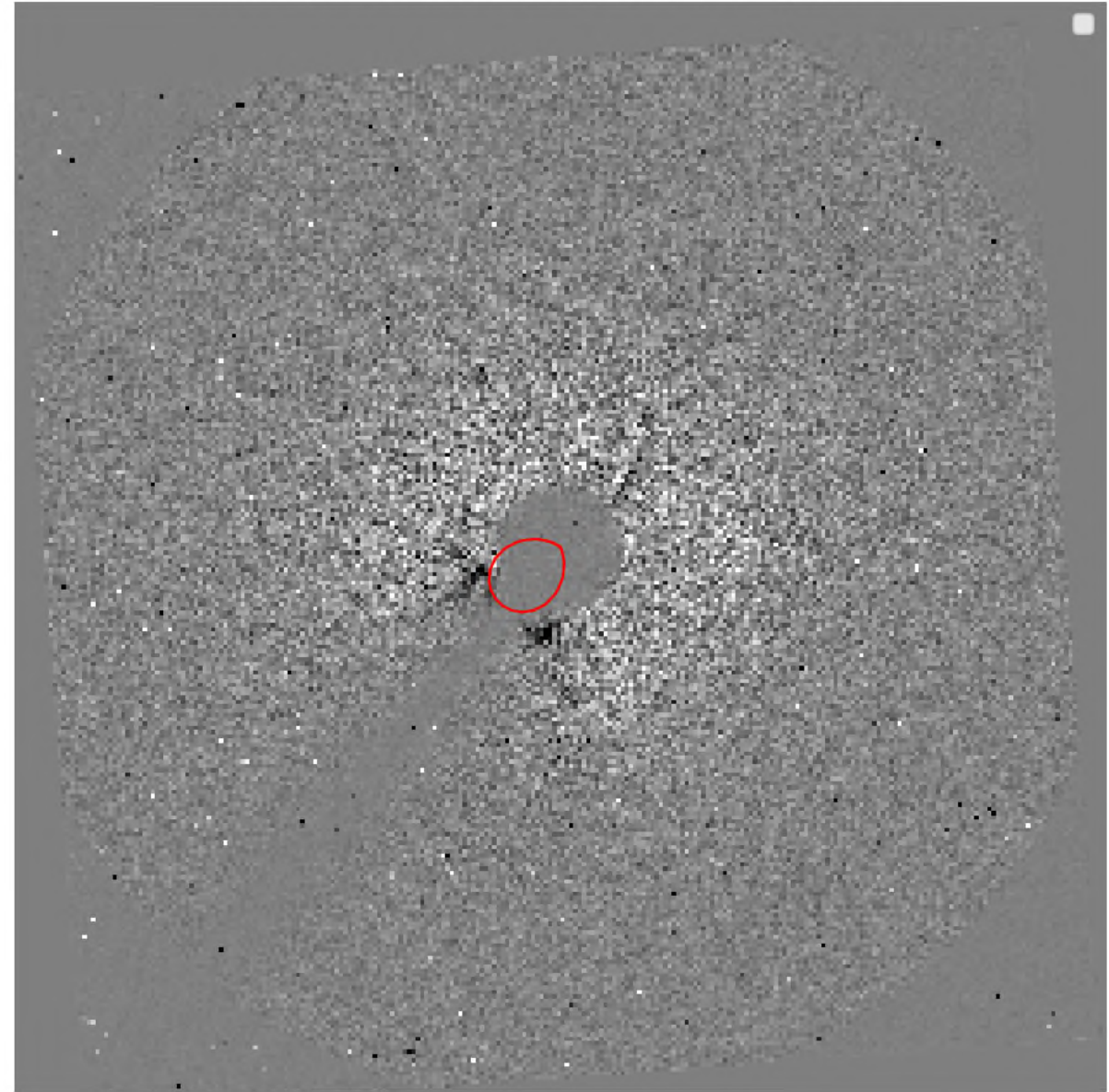


Case analysis – 20250412-1

Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- $R = 8.7$

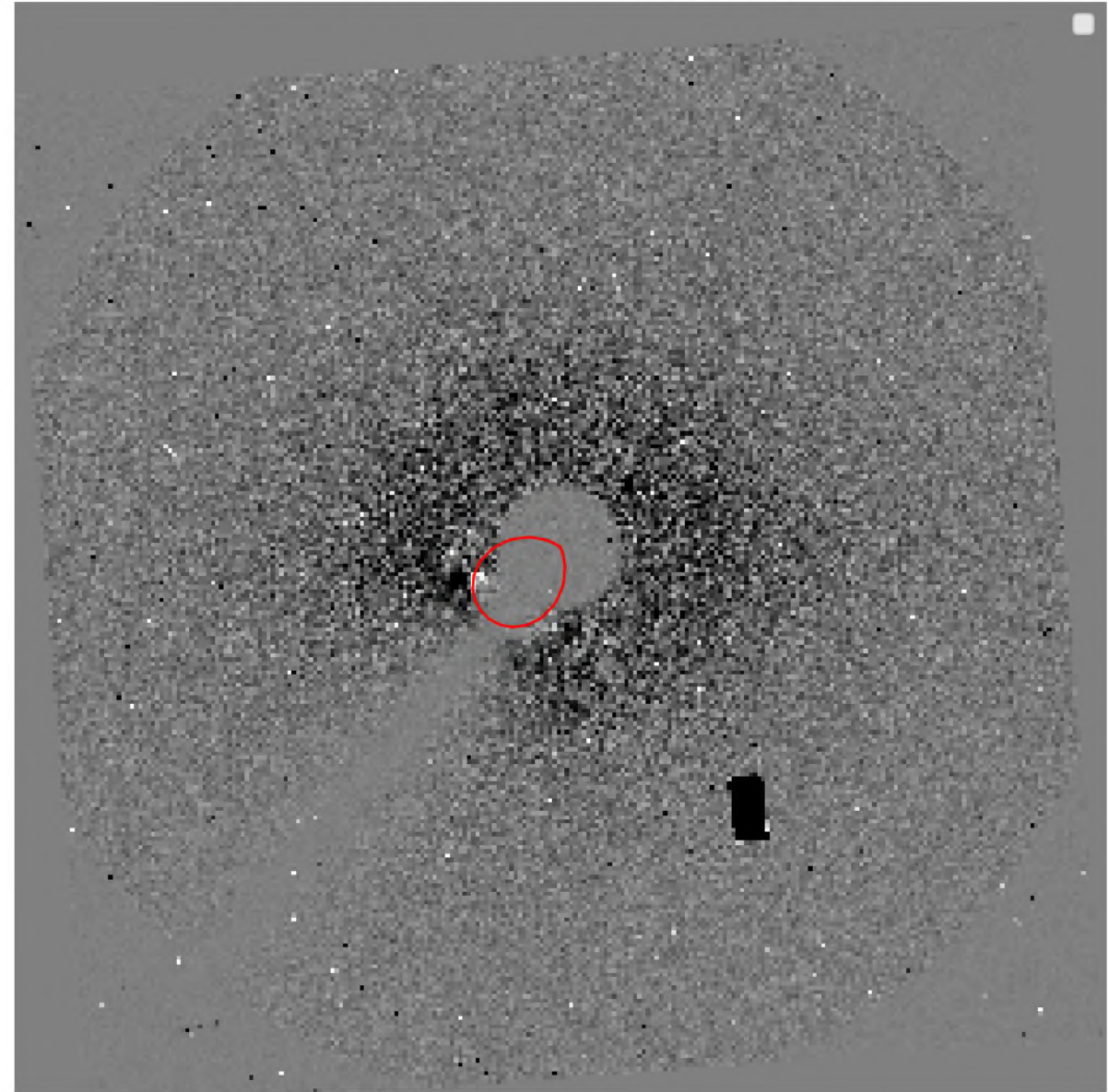
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_021807



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- $R = 10.7$

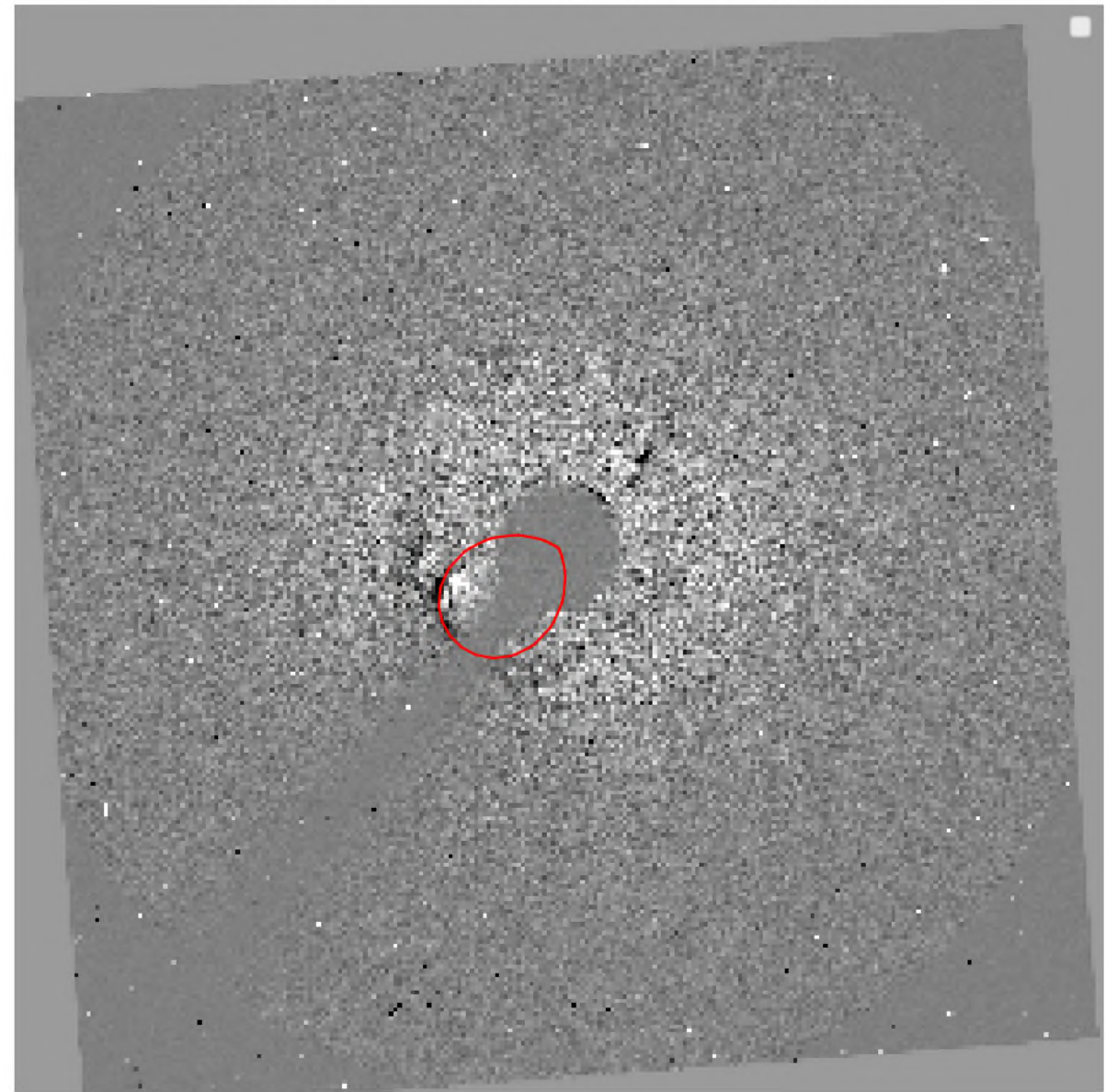
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_033008



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- R = 14.7

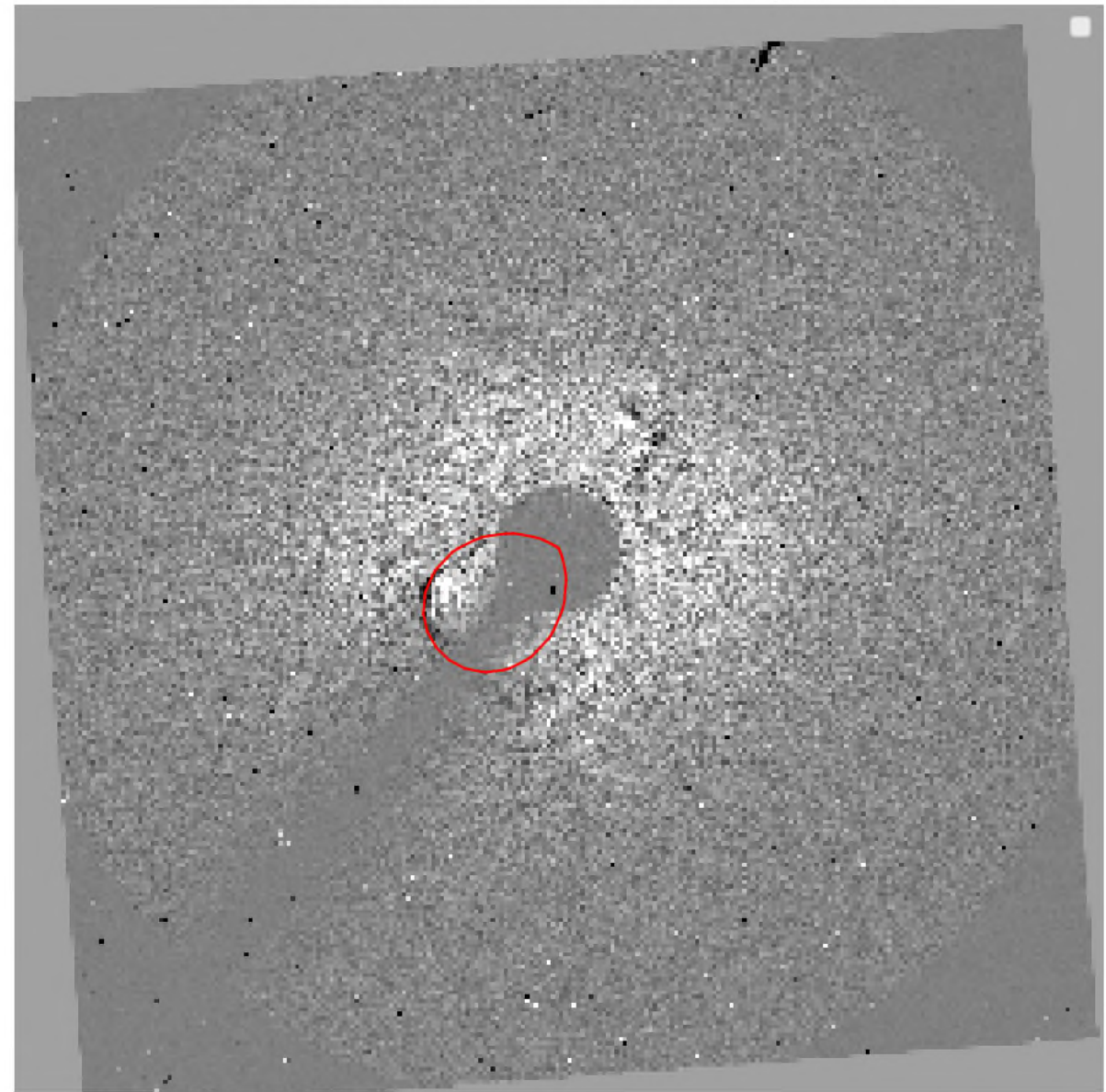
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_041807



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- $R = 14.7$

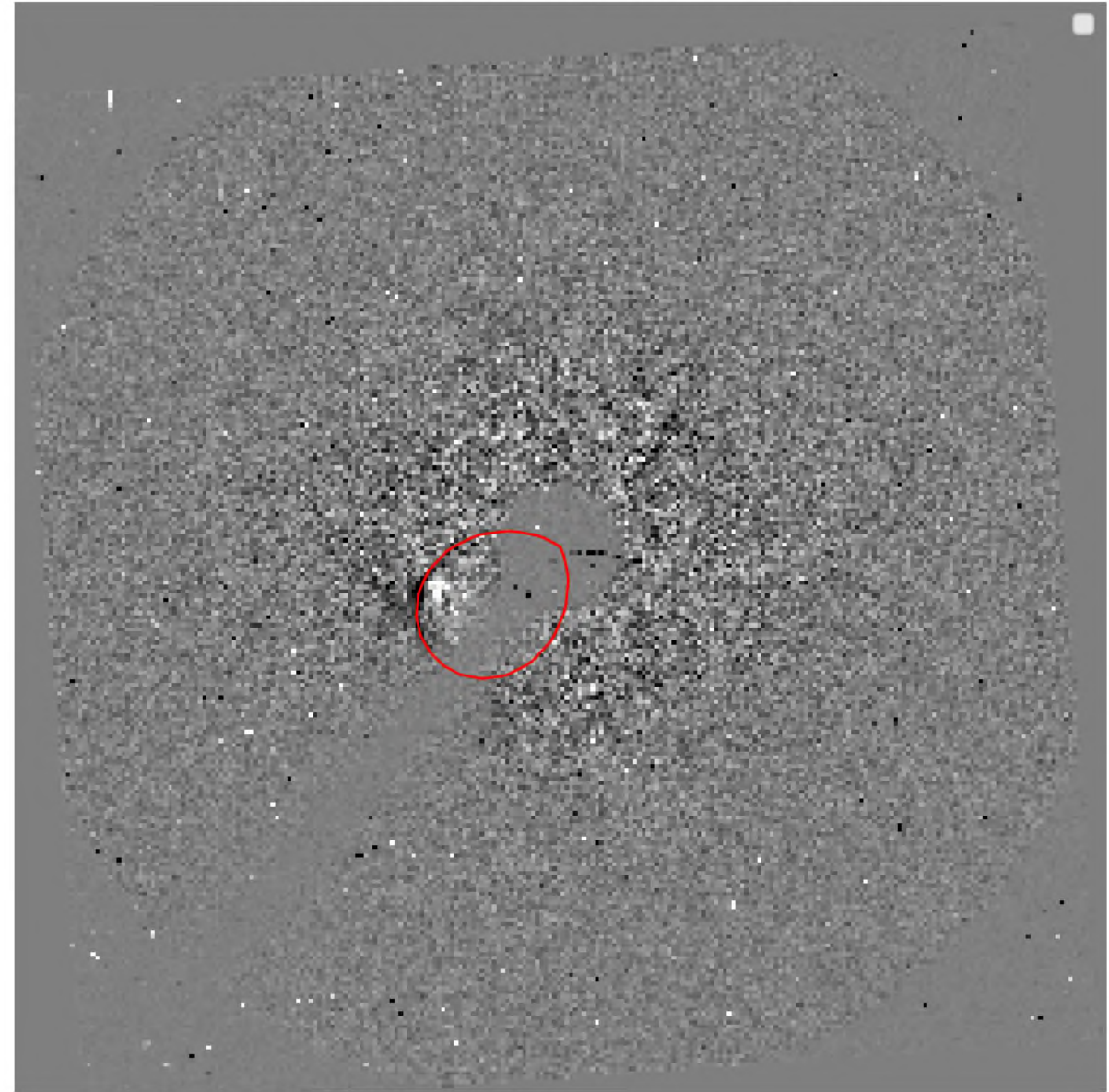
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_045407



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- R = 17.6

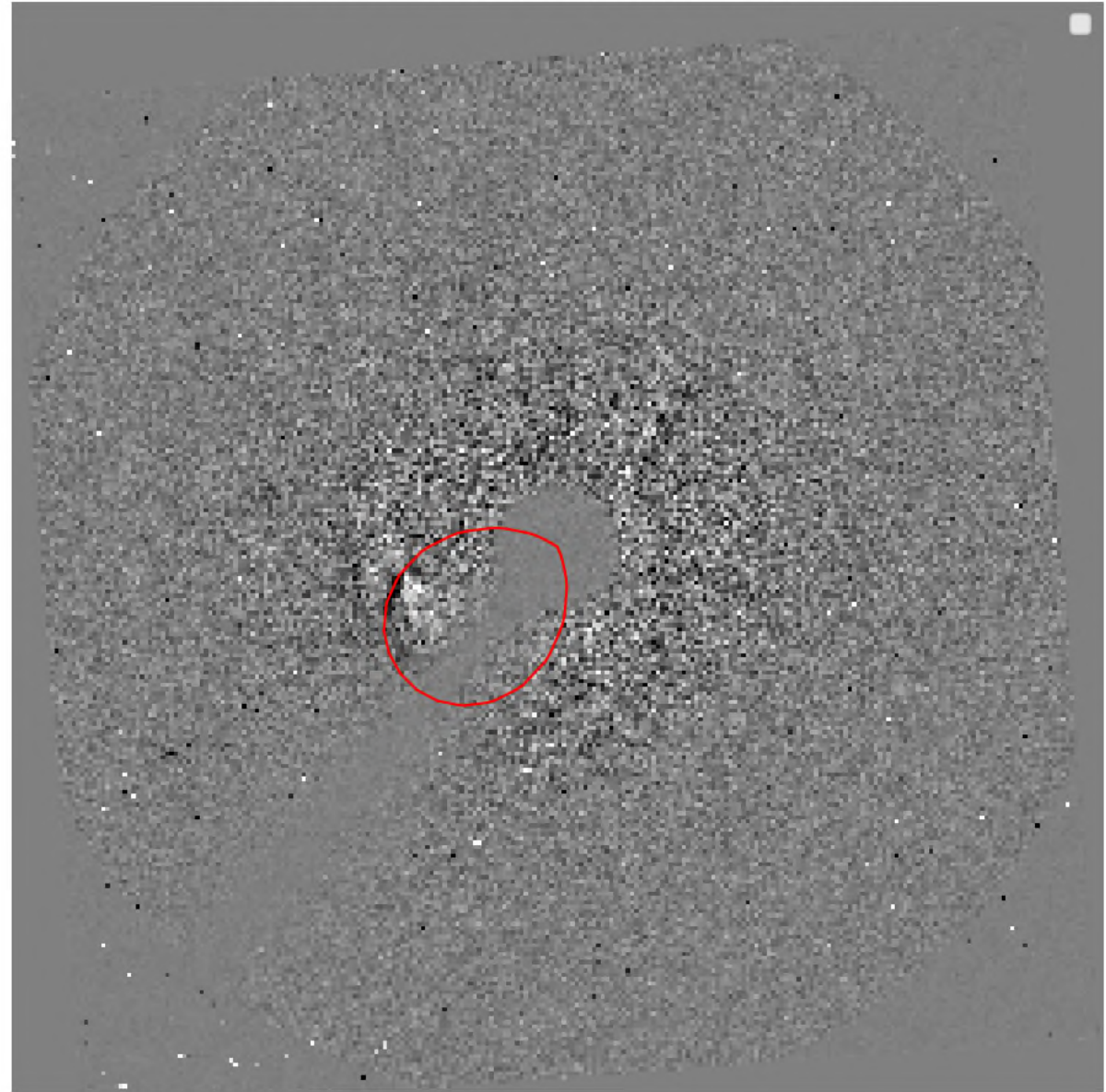
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_051807



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- R = 21.2

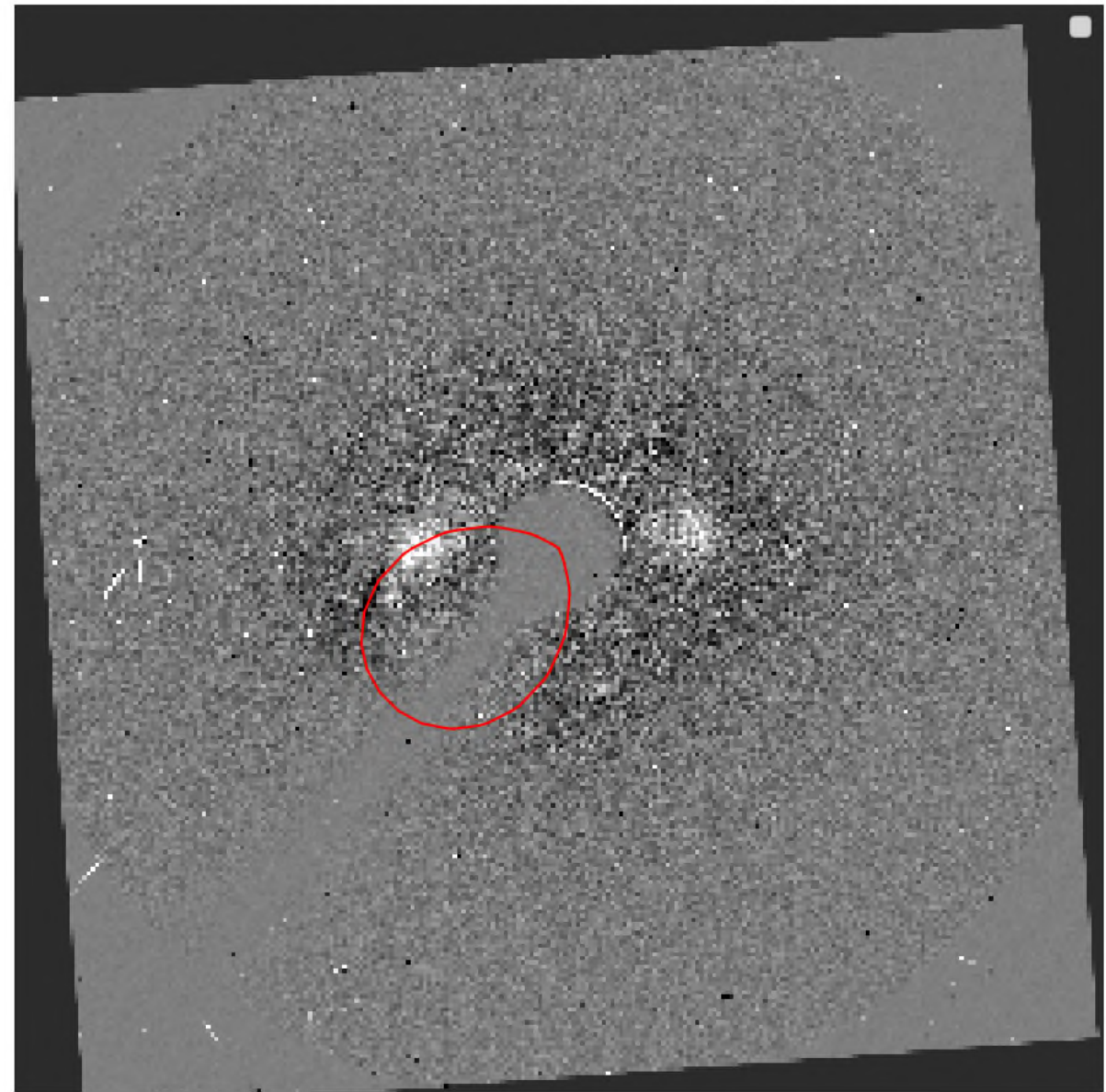
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_061807



Case analysis - 20250412

- Longitude -20°
- Latitude -18°
- Angular 50
- R = 24.2

SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_071807

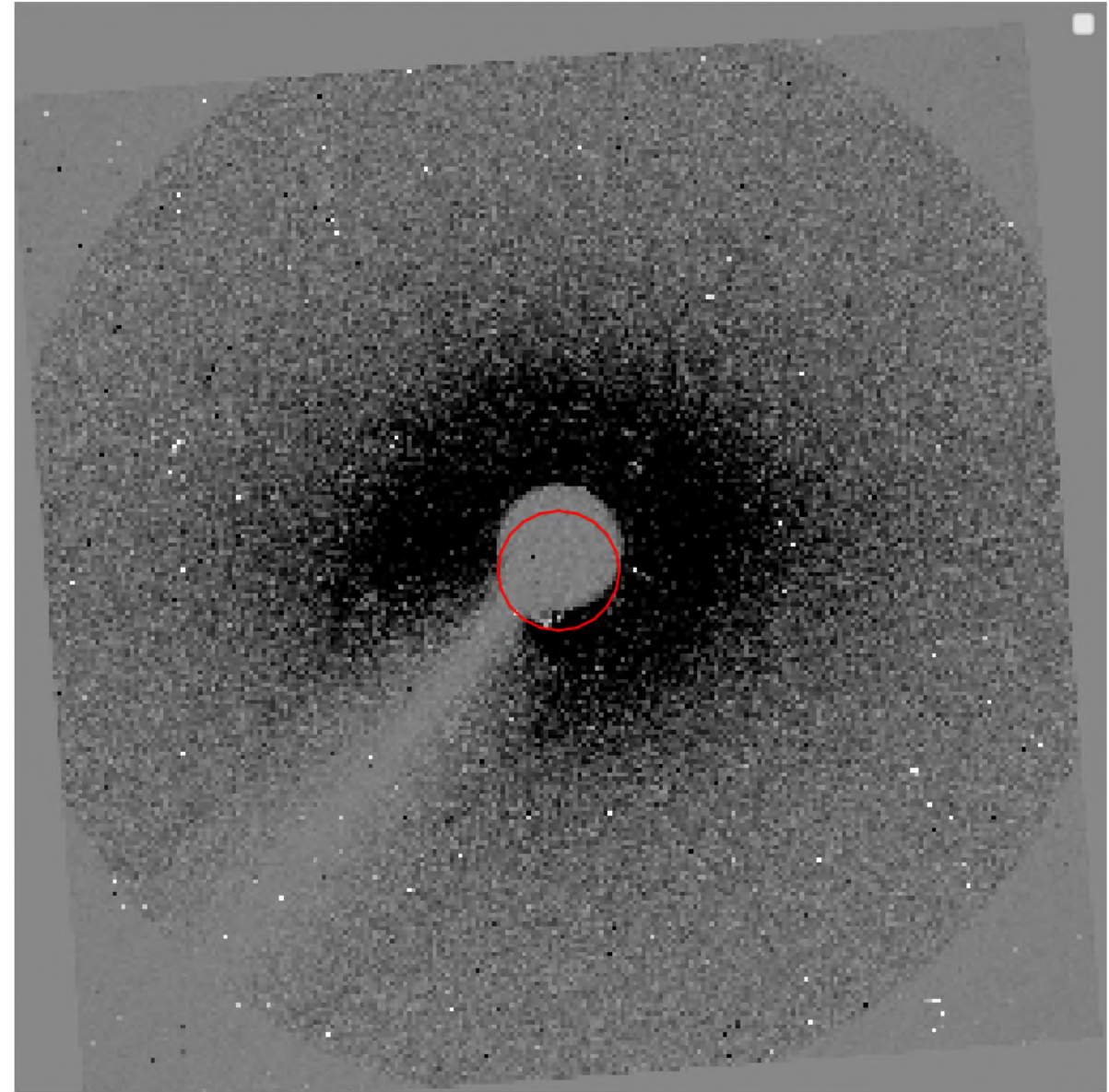


Case analysis – 20250412-2

Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 7.8$

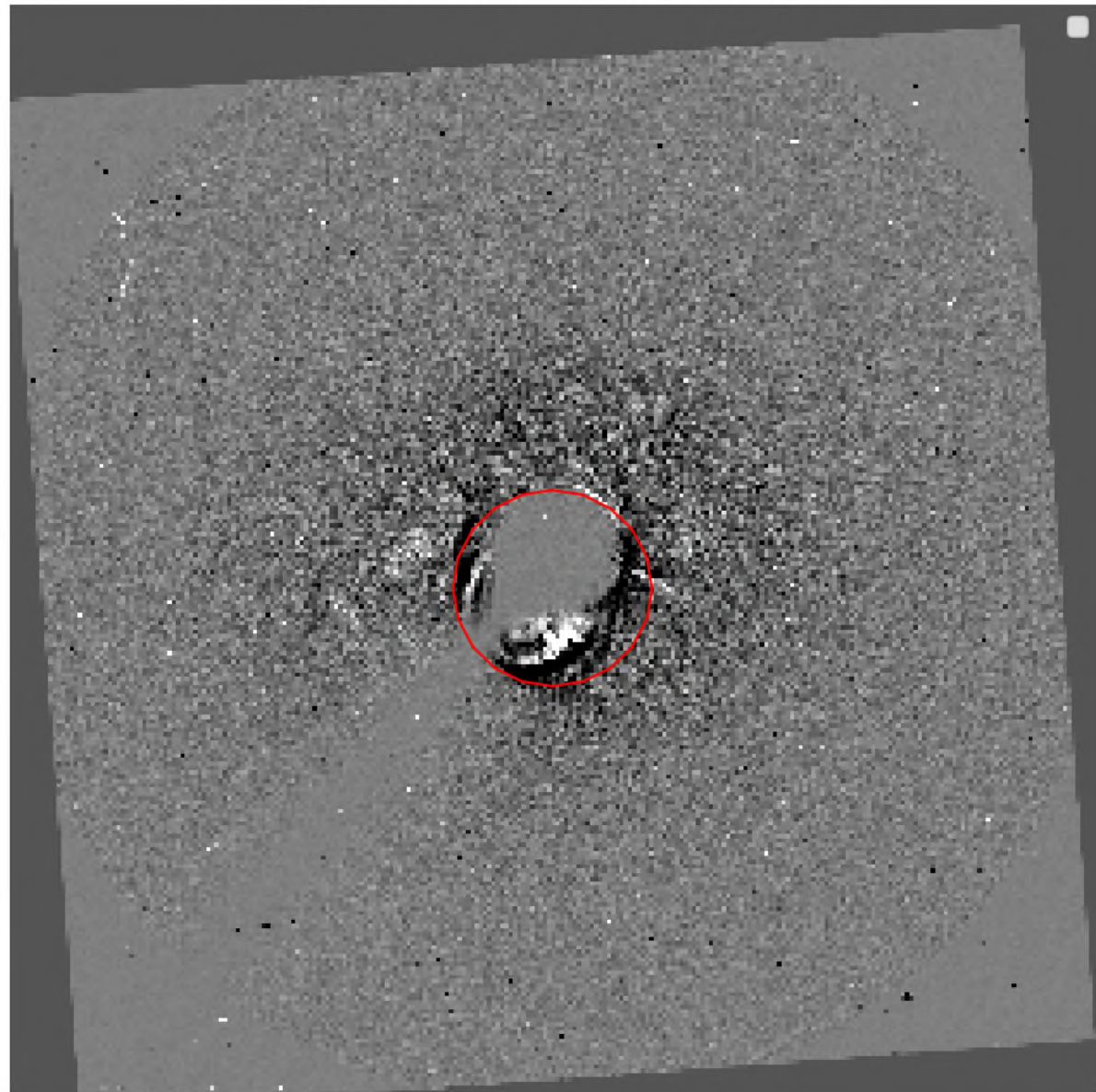
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_083007



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 12.8$

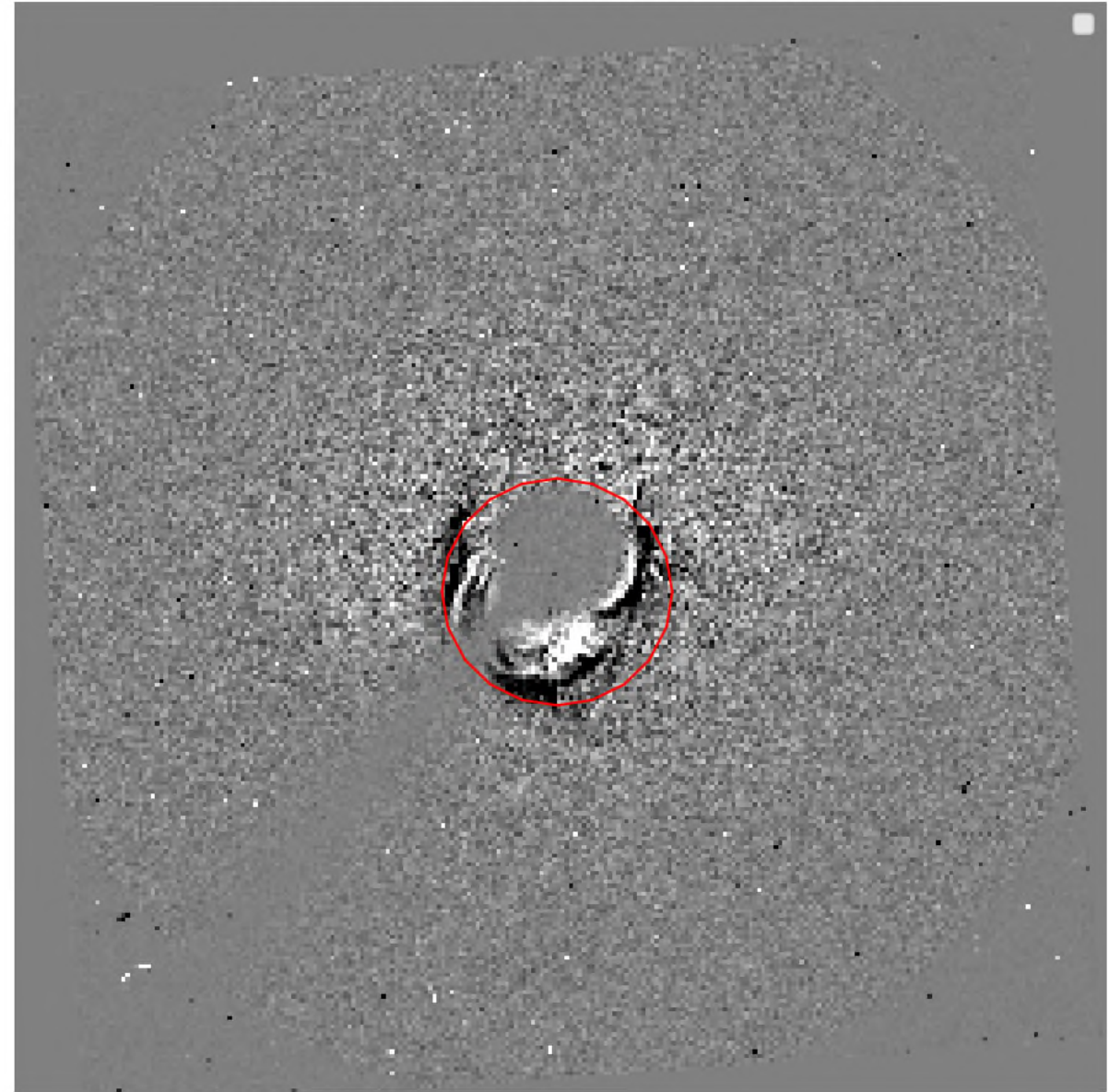
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_091807



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 14.8$

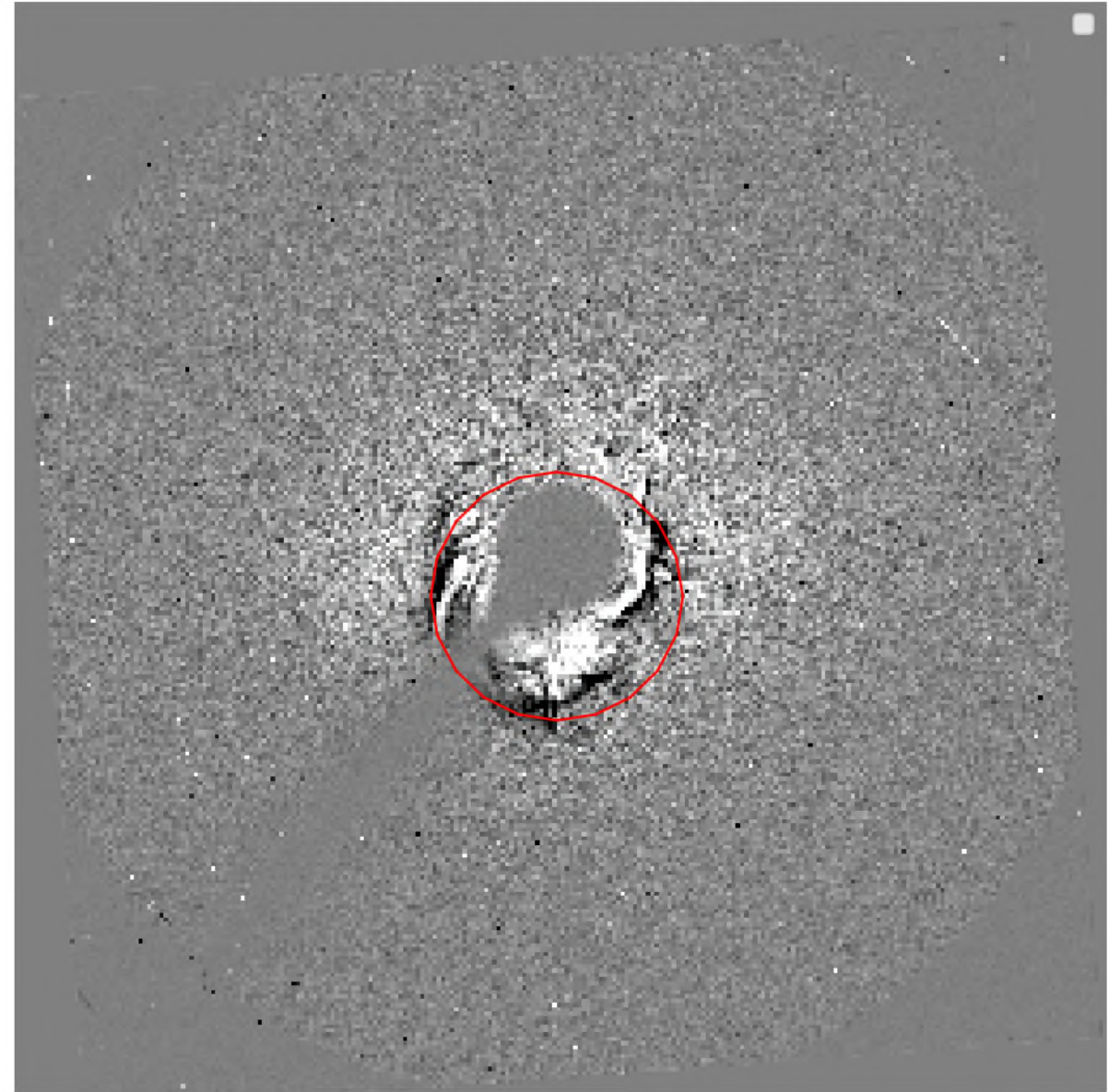
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_094207



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 16.2$

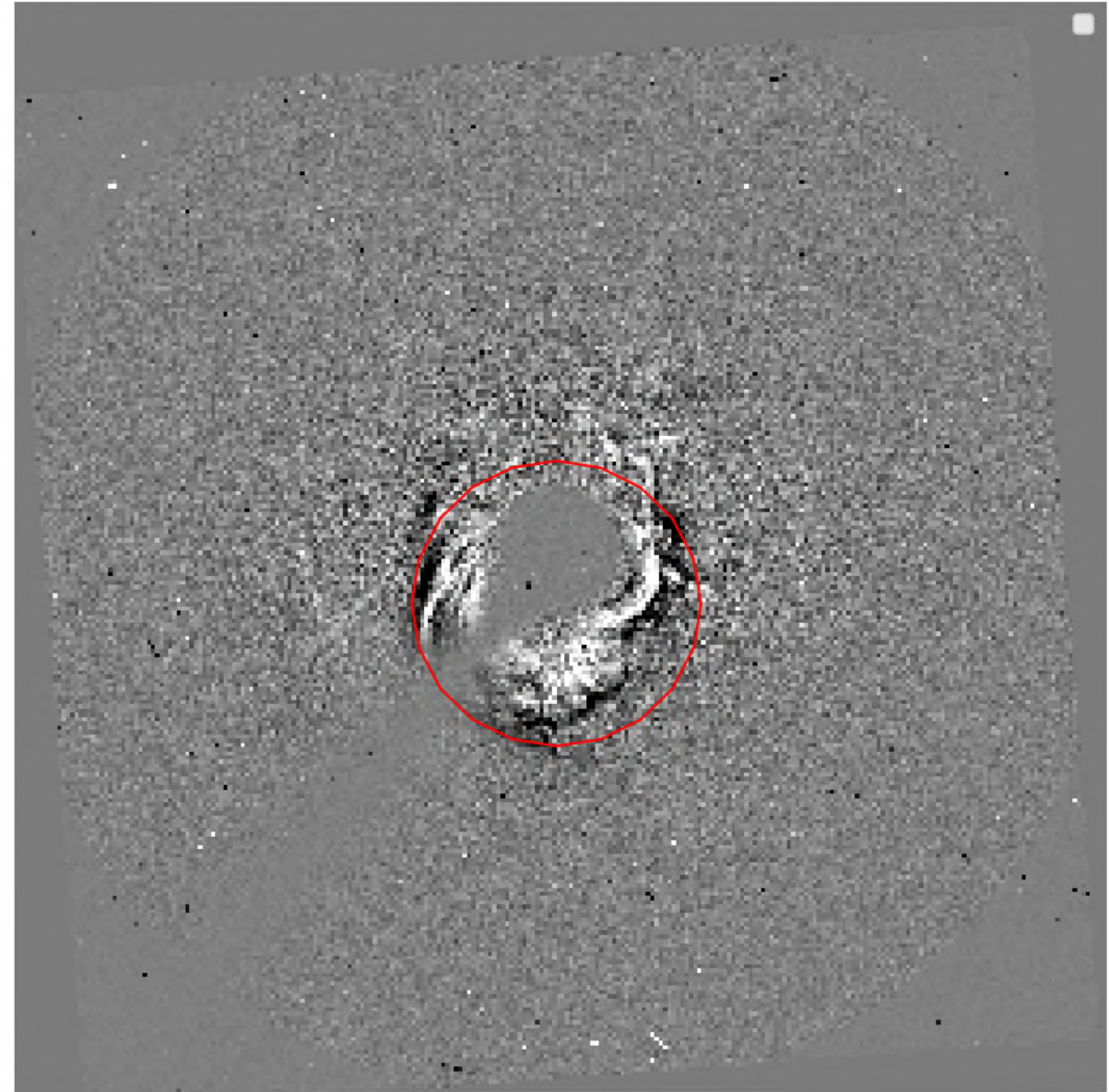
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_100607



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 18.6$

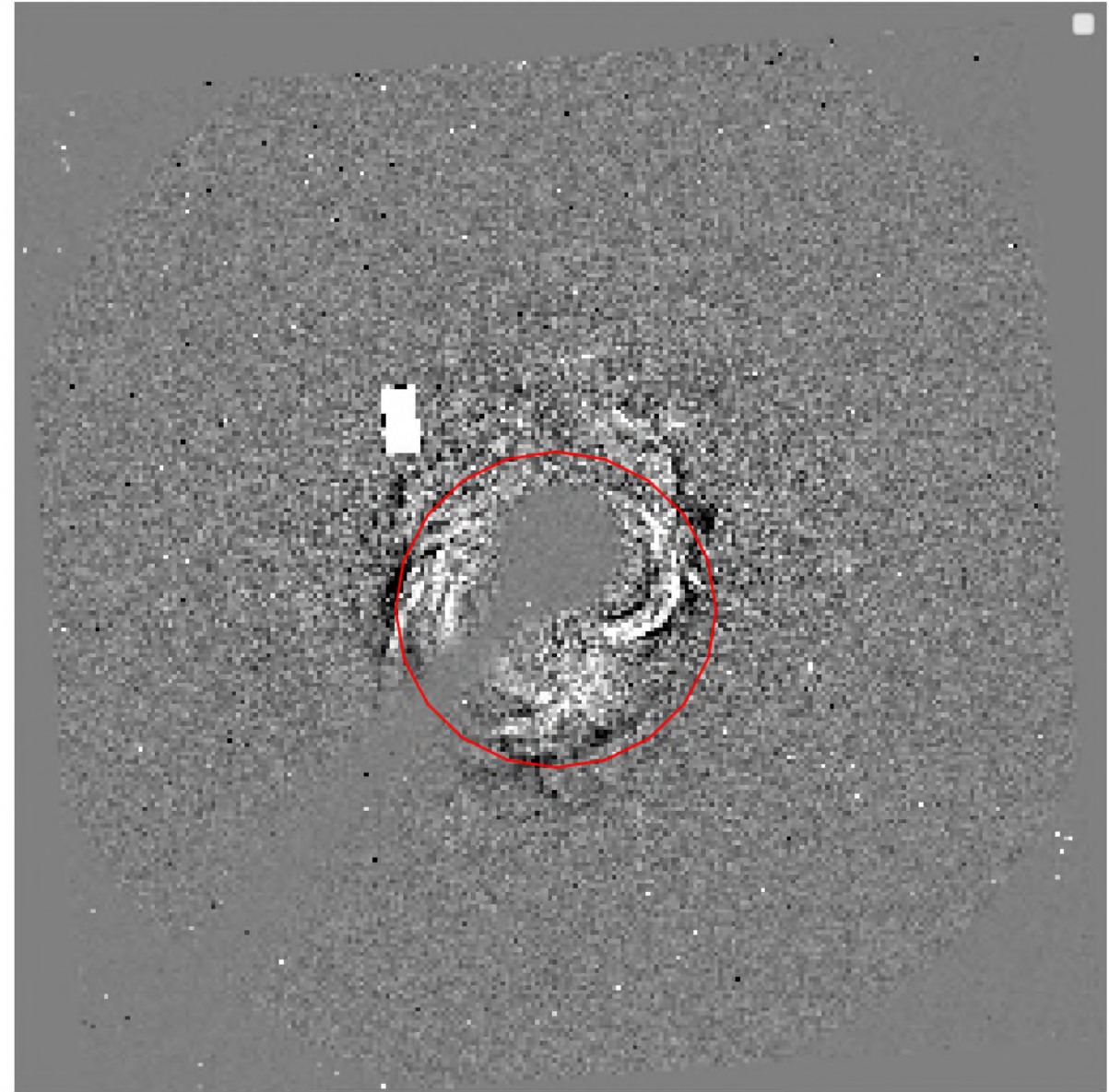
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_103007



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -21°
- Angular 85
- $R = 20.6$

SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_111807

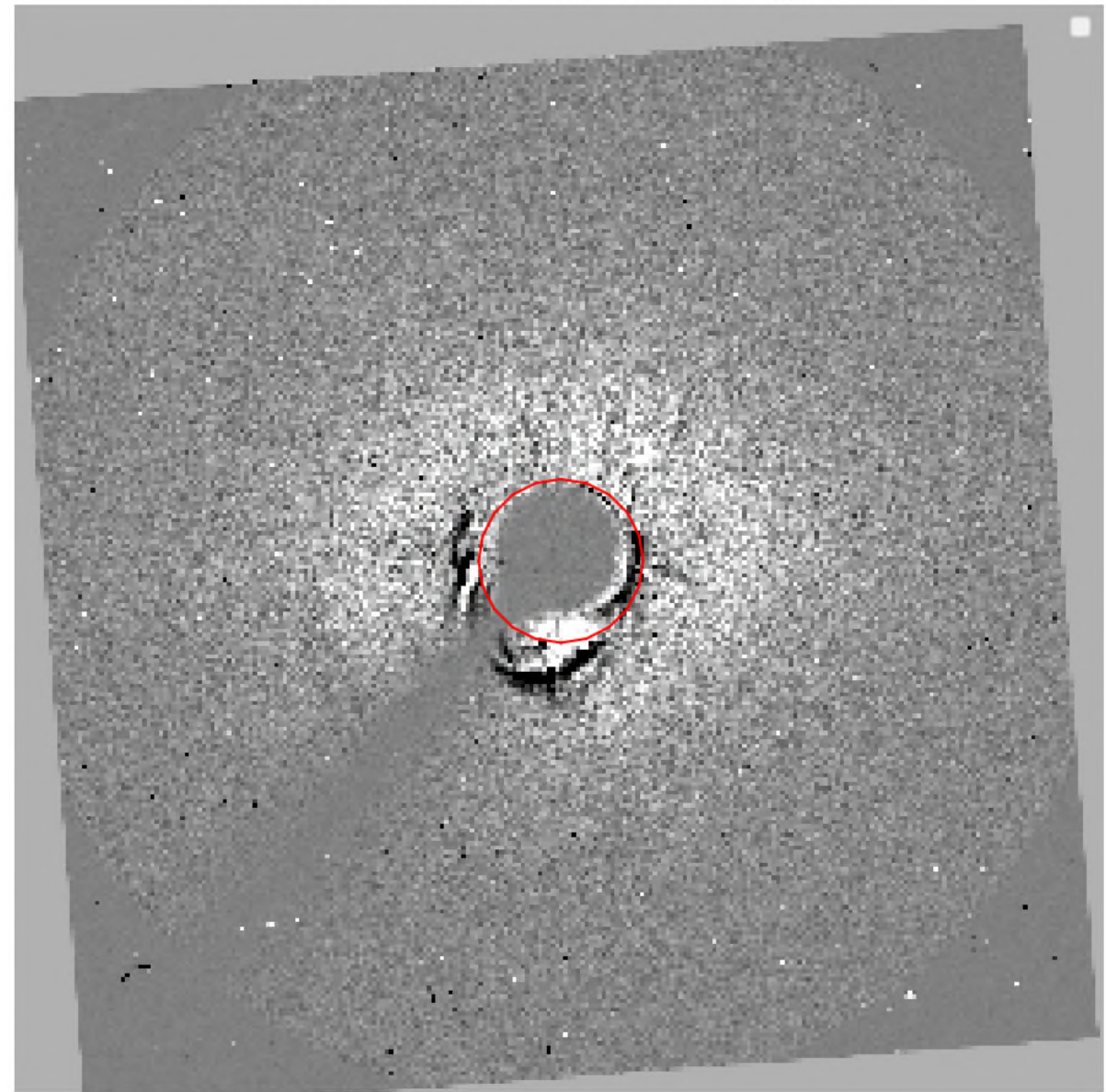


Case analysis – 20250412-3

Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -12°
- Angular 85
- $R = 10.6$

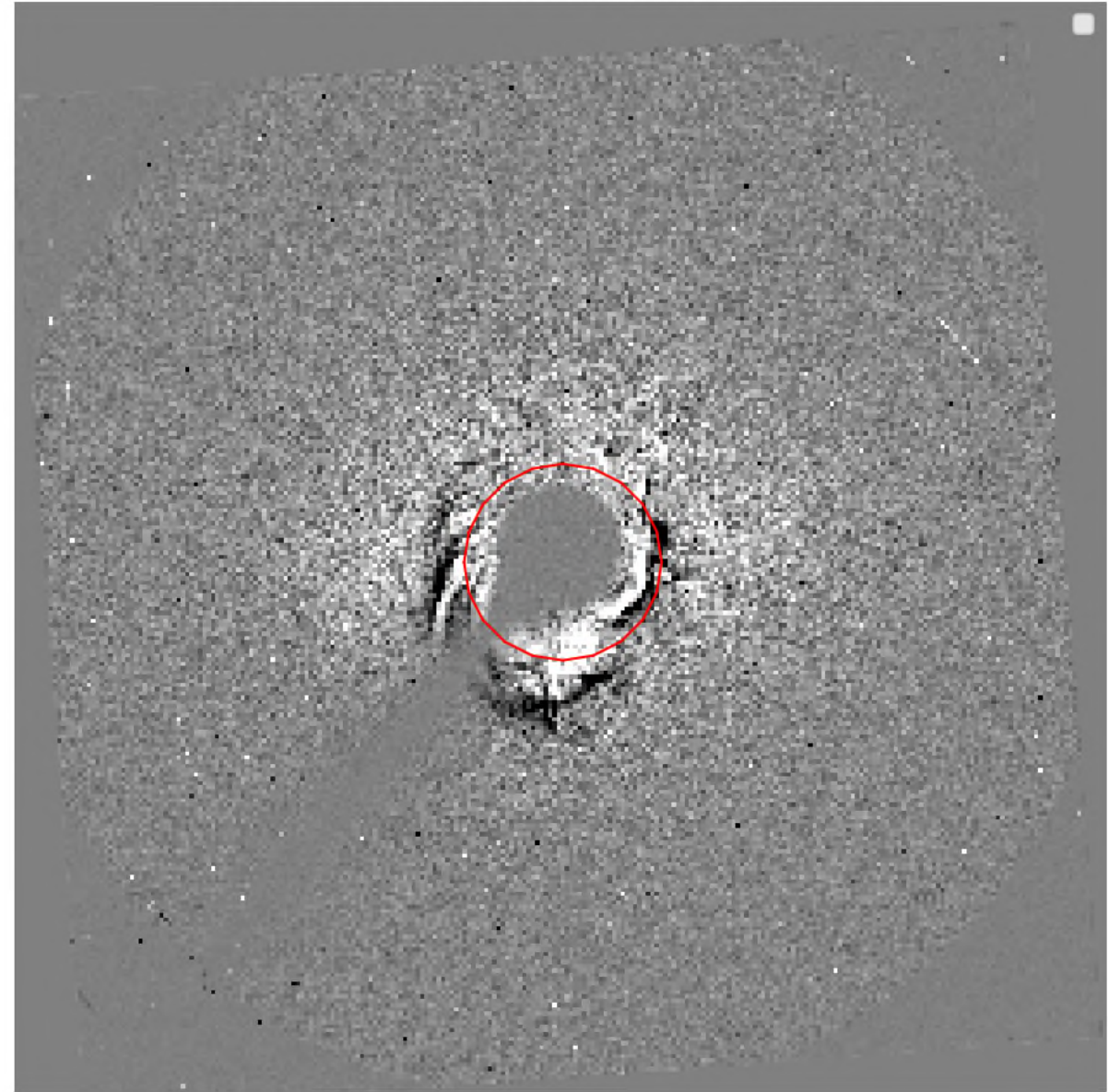
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_093007



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -12°
- Angular 85
- $R = 12.7$

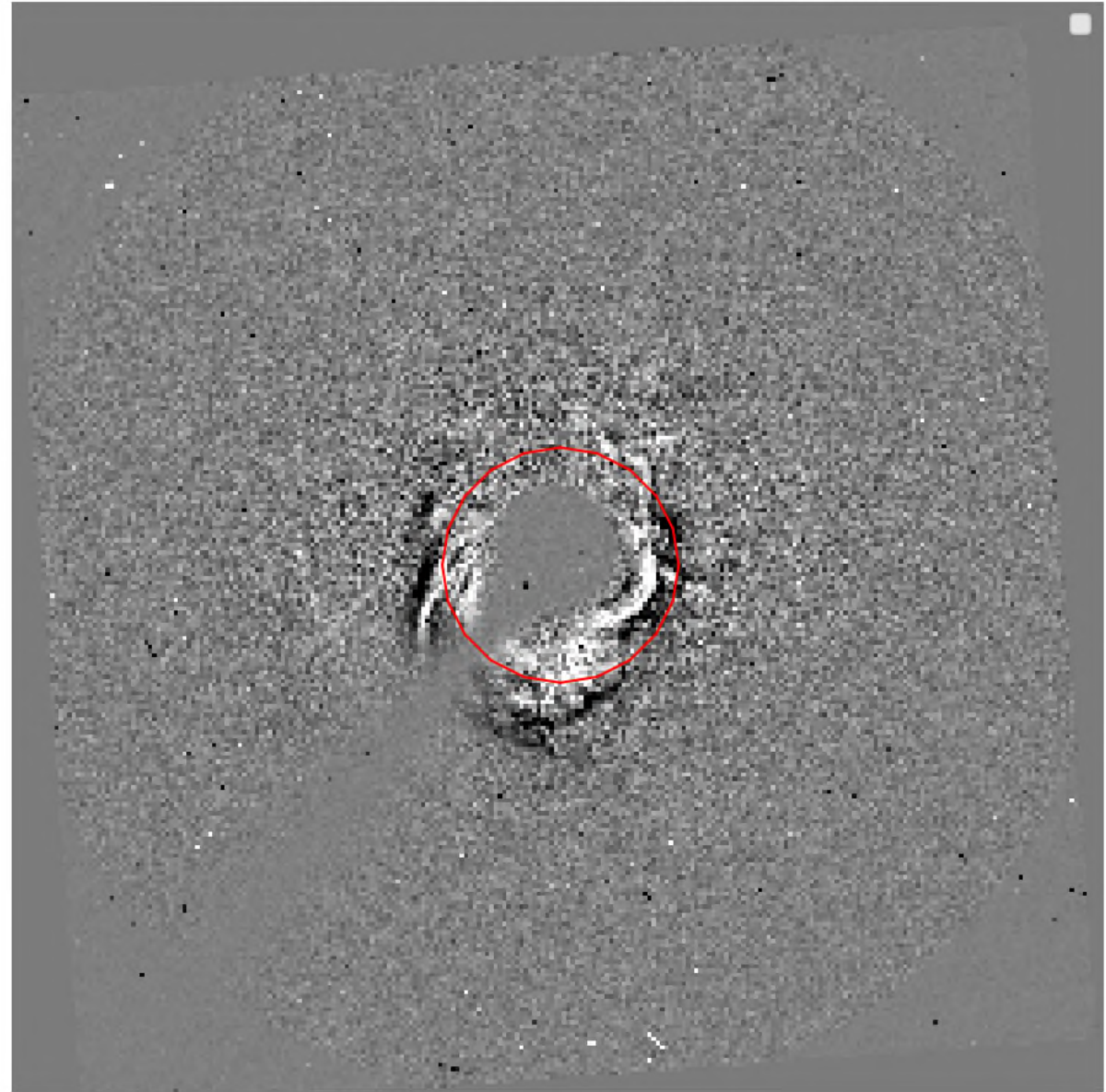
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_100607



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -12°
- Angular 85
- $R = 15.7$

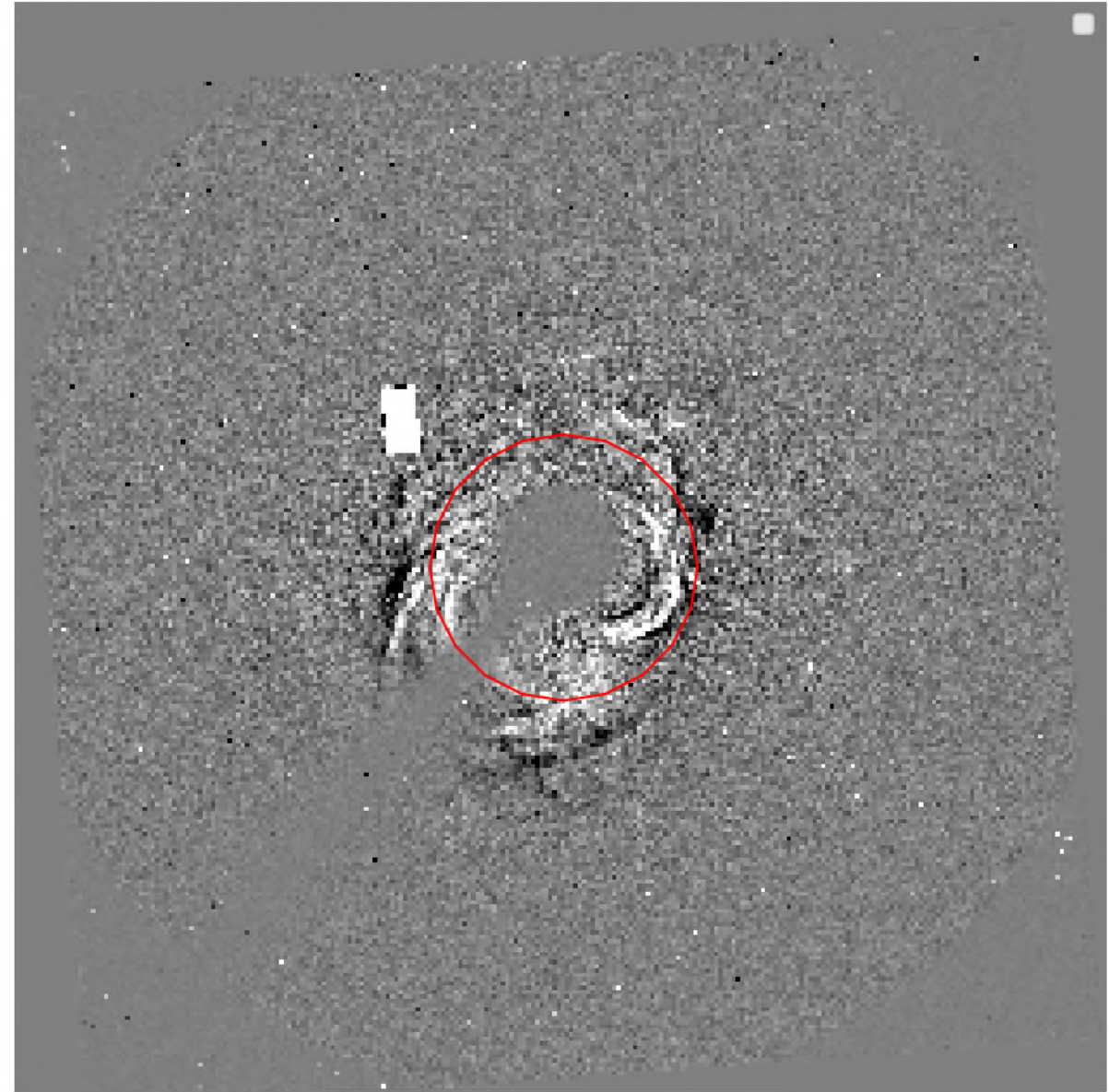
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_103007



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -12°
- Angular 85
- $R = 17.2$

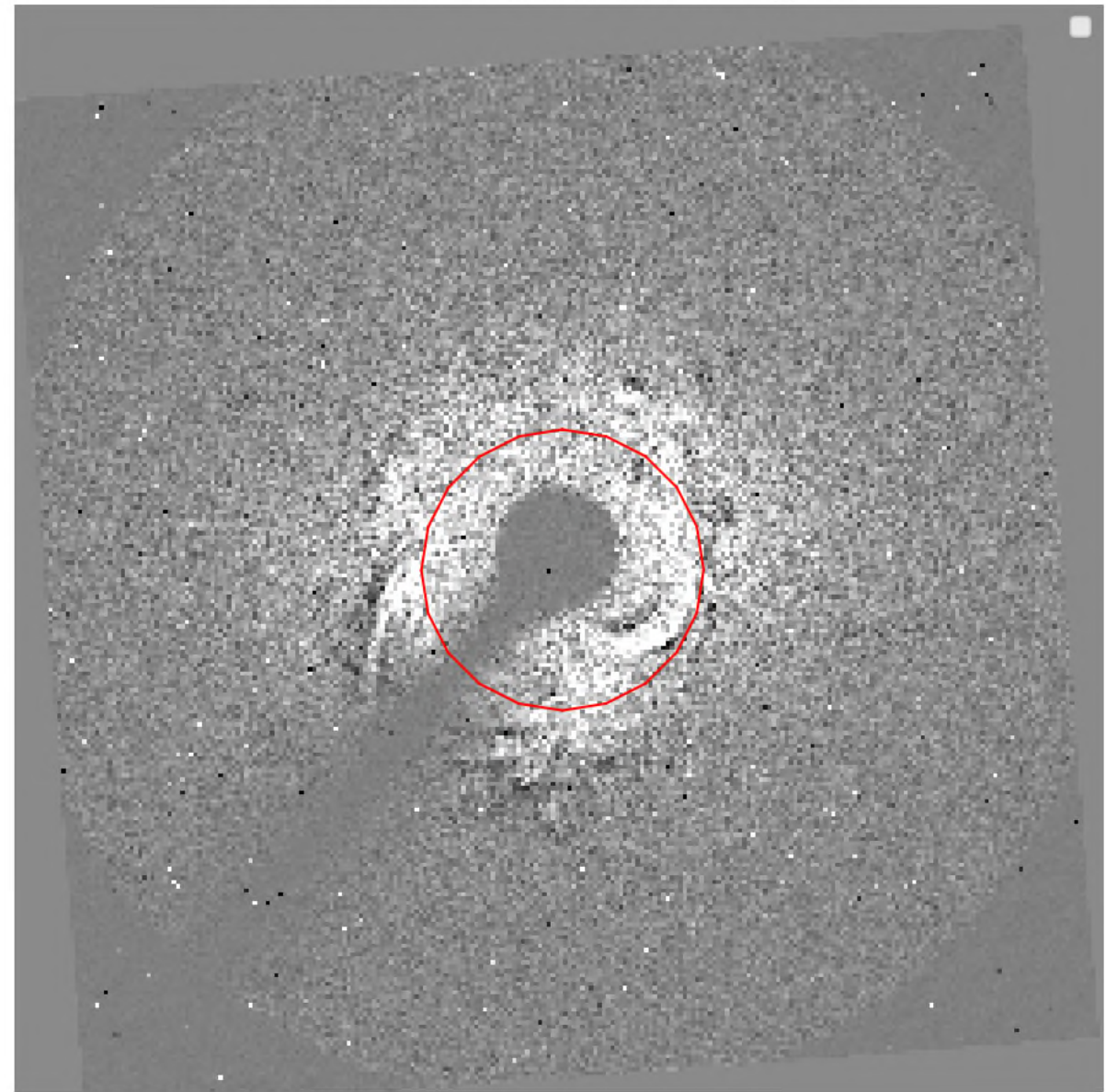
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_111807



Case analysis - 20250412

- Longitude 1°
- Latitude -12°
- Angular 85
- $R = 18.2$

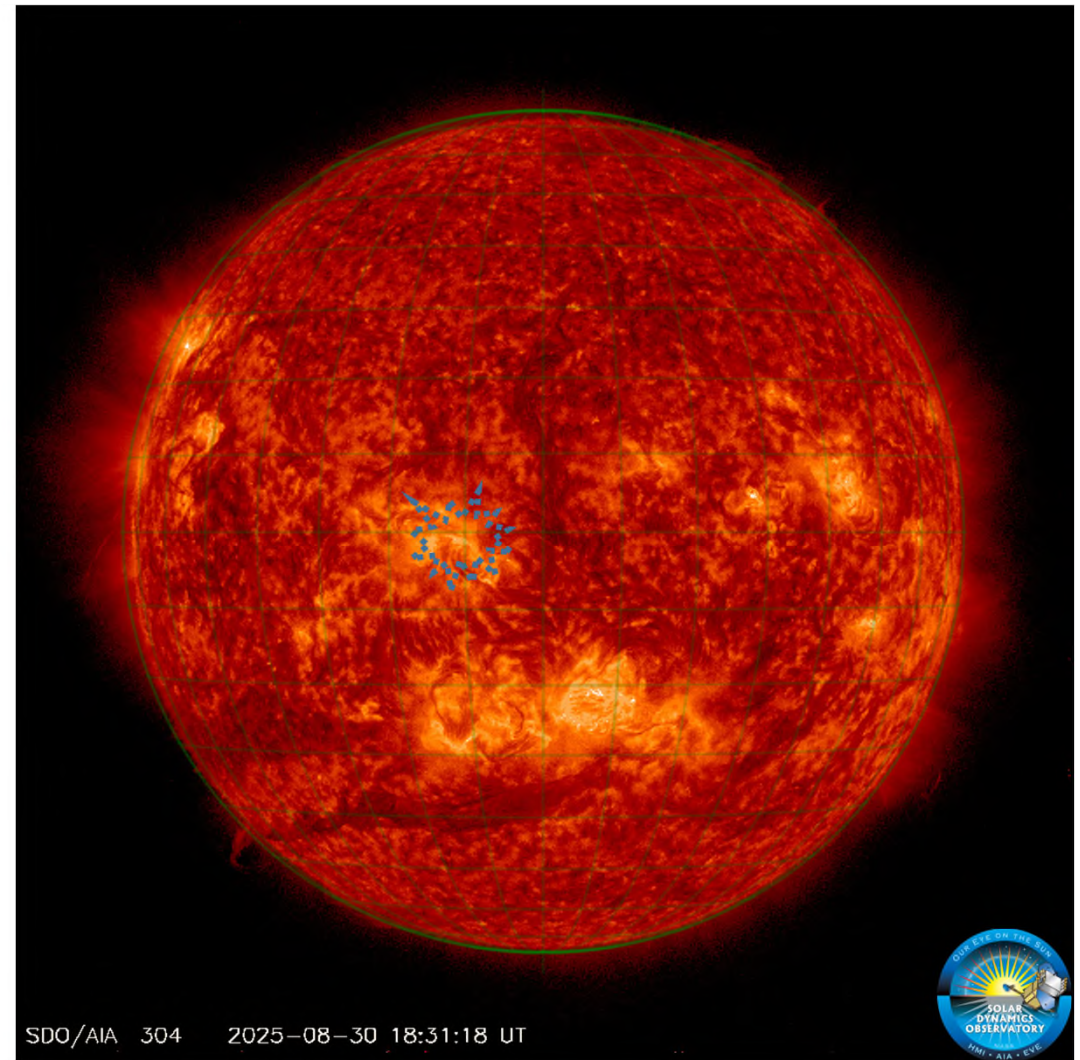
SOHO C3 Difference Imag 2025-04-13_115407



Case analysis – 20250830

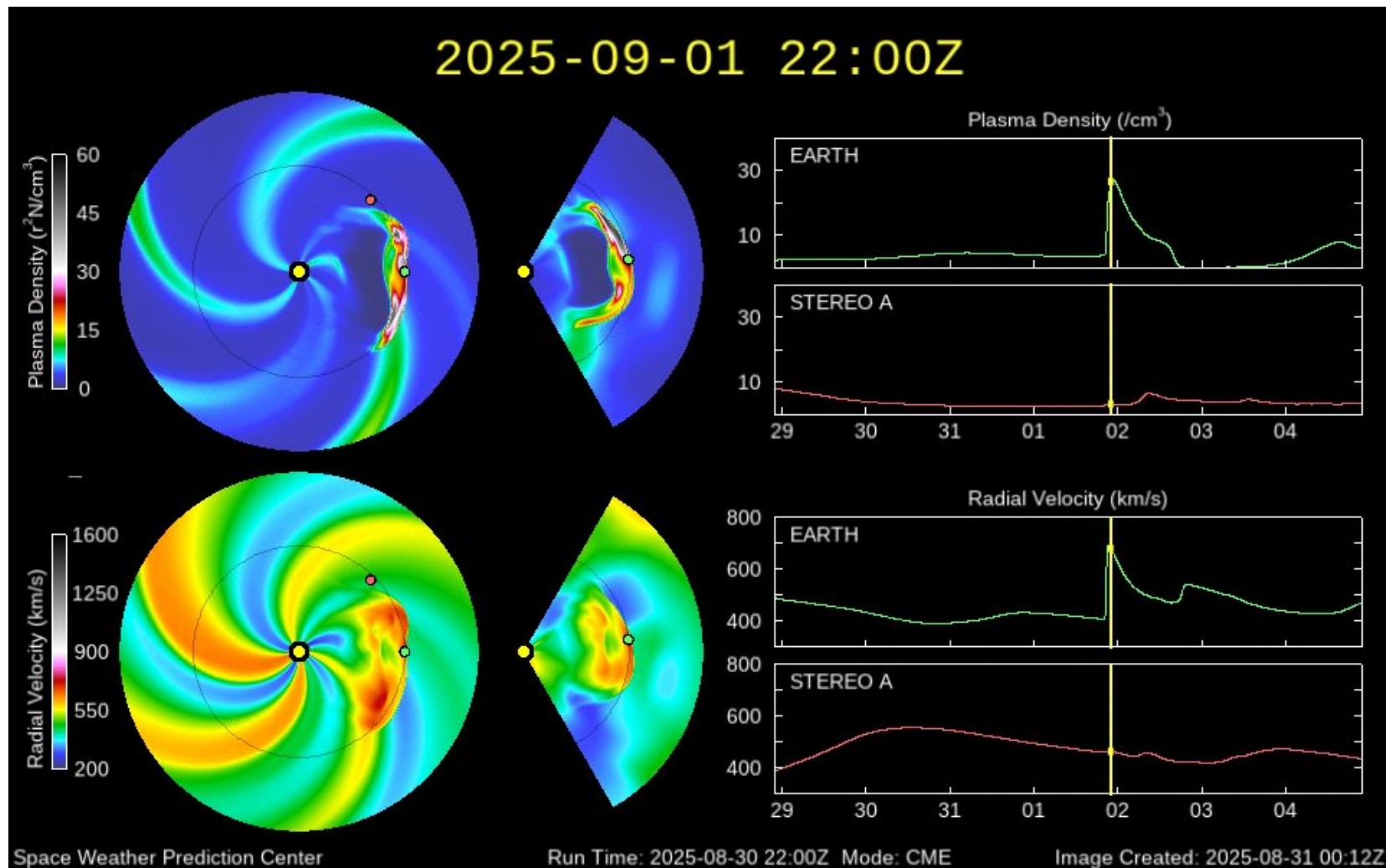
Case analysis - 20250830

- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90



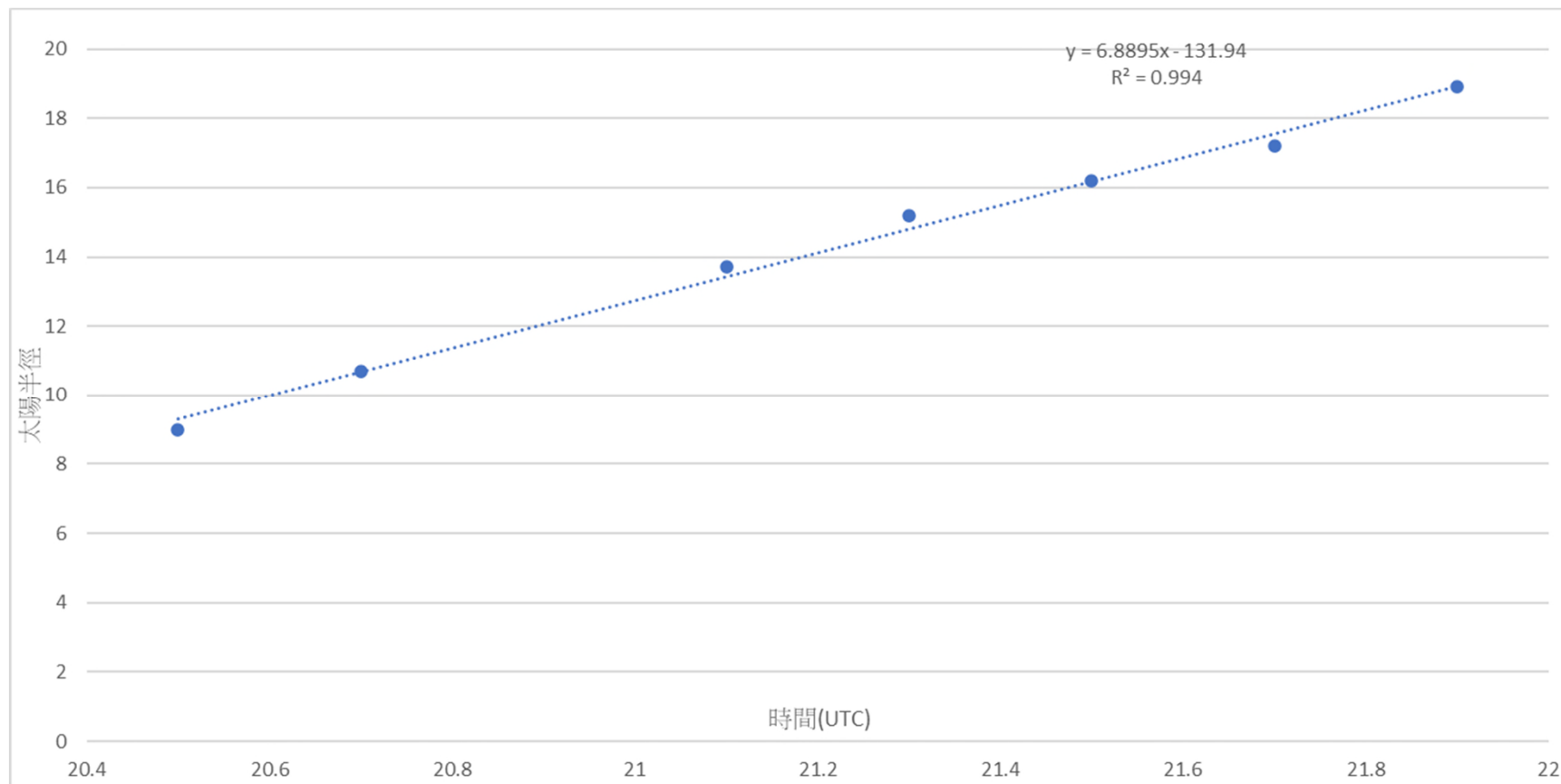
Case analysis - 20250830

- 斜率6.89
- 速度1332km/s
- 預計9/1 22時到達
- 速度約700km/s



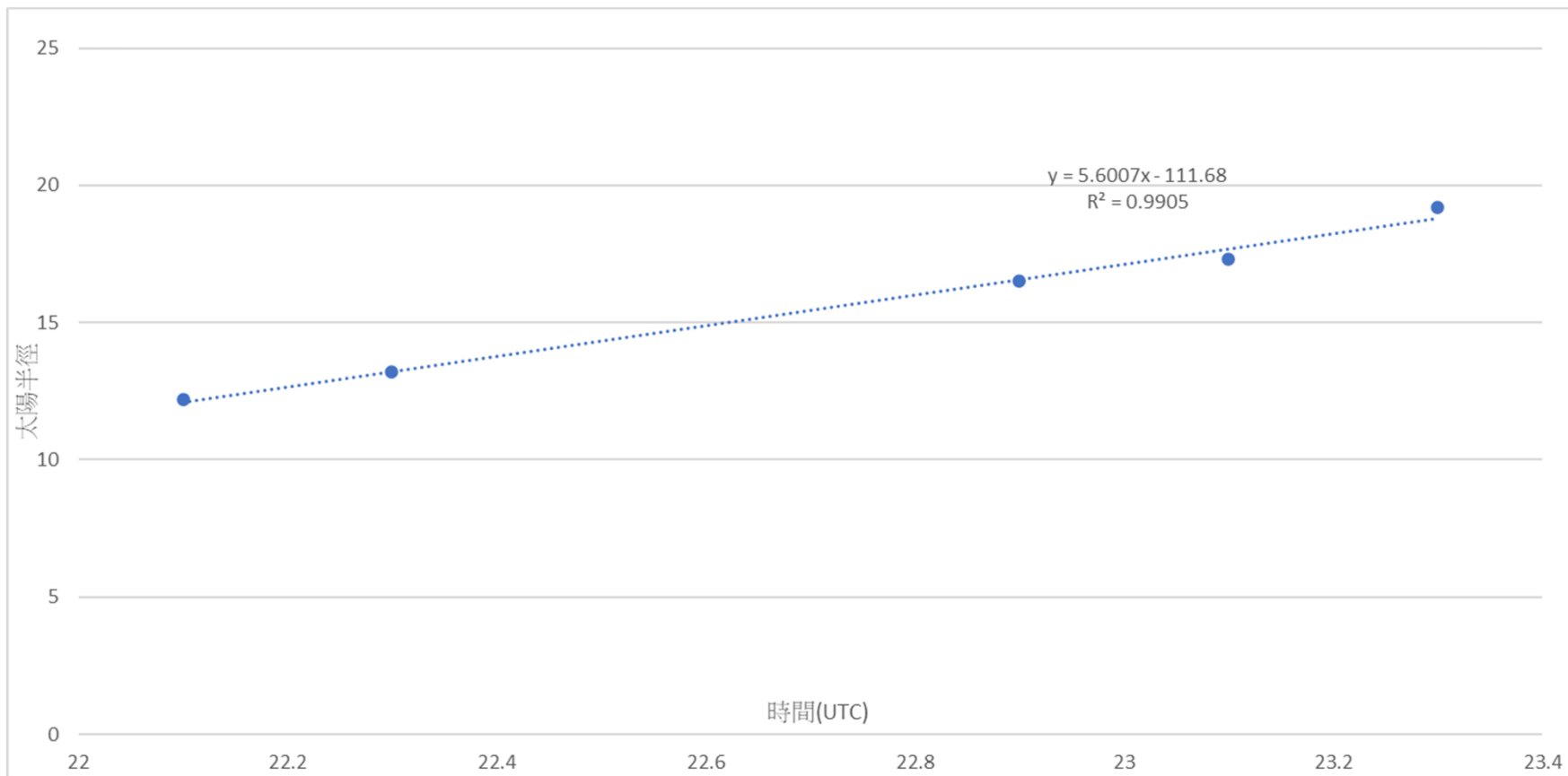
Case analysis – 20250830-1

- 斜率6.89
- 速度1332km/s
- 預計9月1日2時到達
- 比WSA太陽風預測快20小時



Case analysis – 20250830-2

- 斜率5.6
- 速度1083km/s
- 預計9月1日10時到達
- 比WSA太陽風預測快12小時



Case analysis - 20250830

- 2次分析速度及WSA太陽風預報為

1: 1332km/s、

2: 1083km/s、

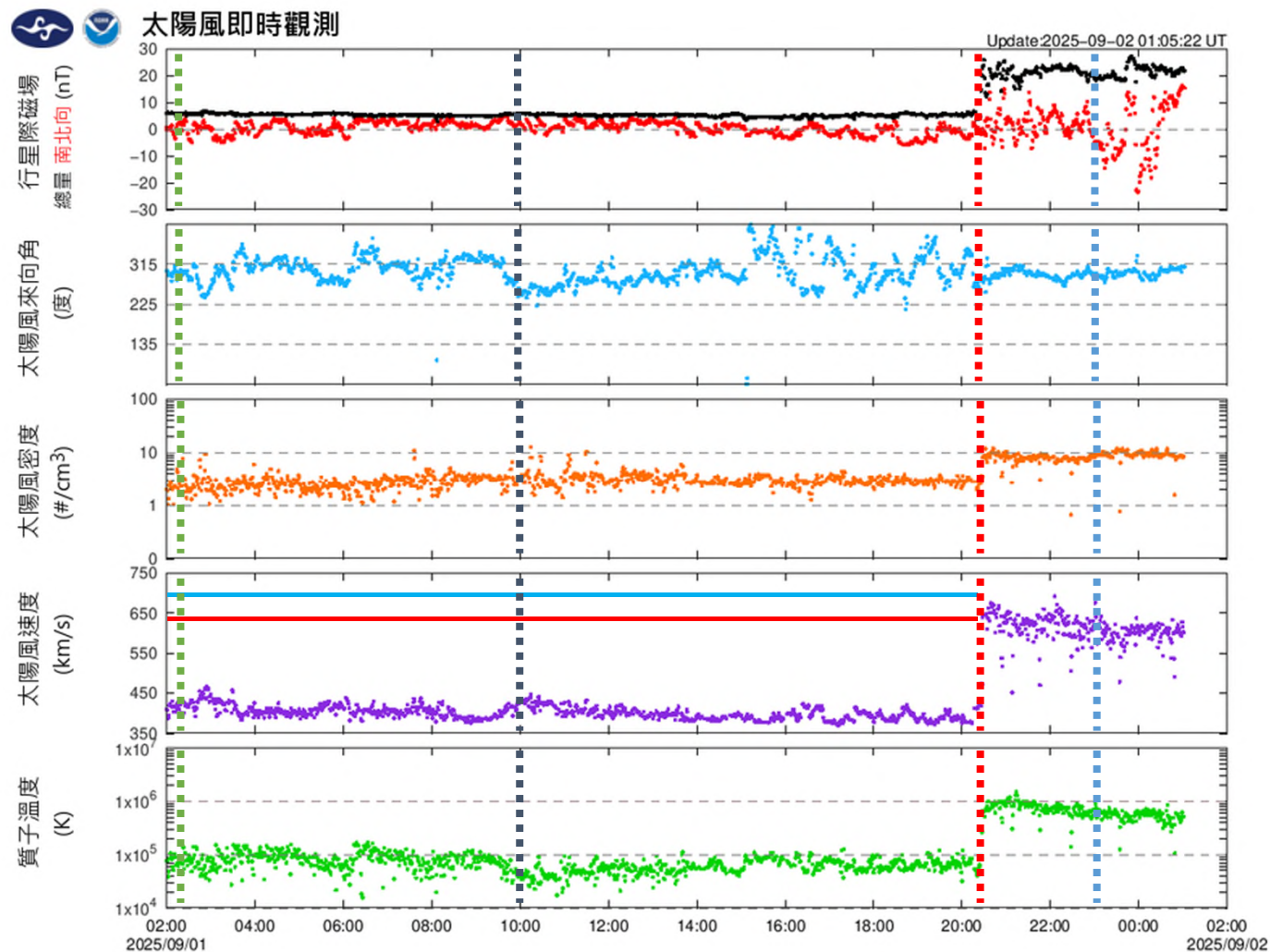
WSA: 700km/s (藍)

- 抵達時間

1: 9月1日2時(綠)、

2: 9月1日10時(灰)、

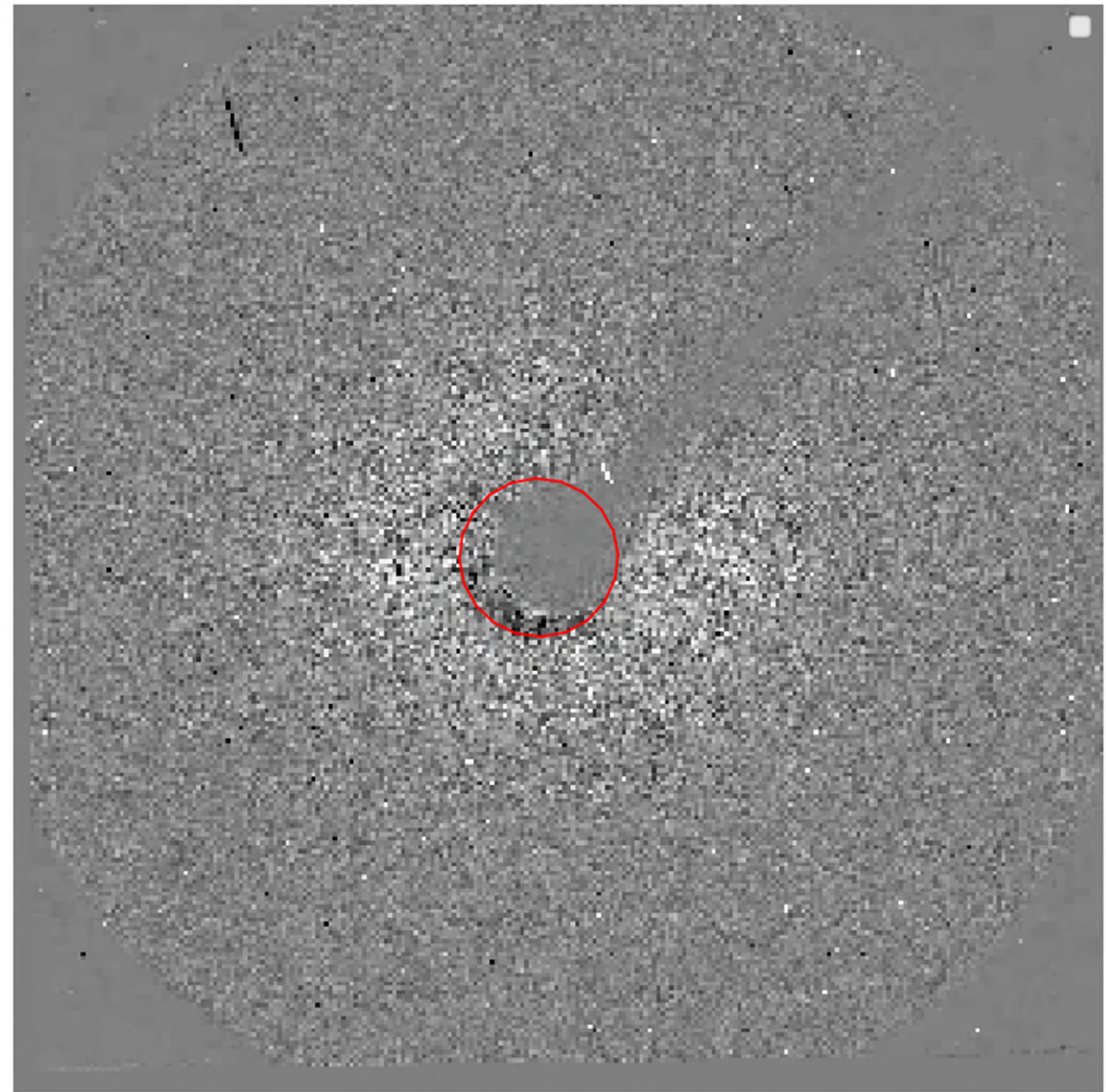
WSA: 9月1日23時(藍)



Case analysis - 20250830

- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- R = 9

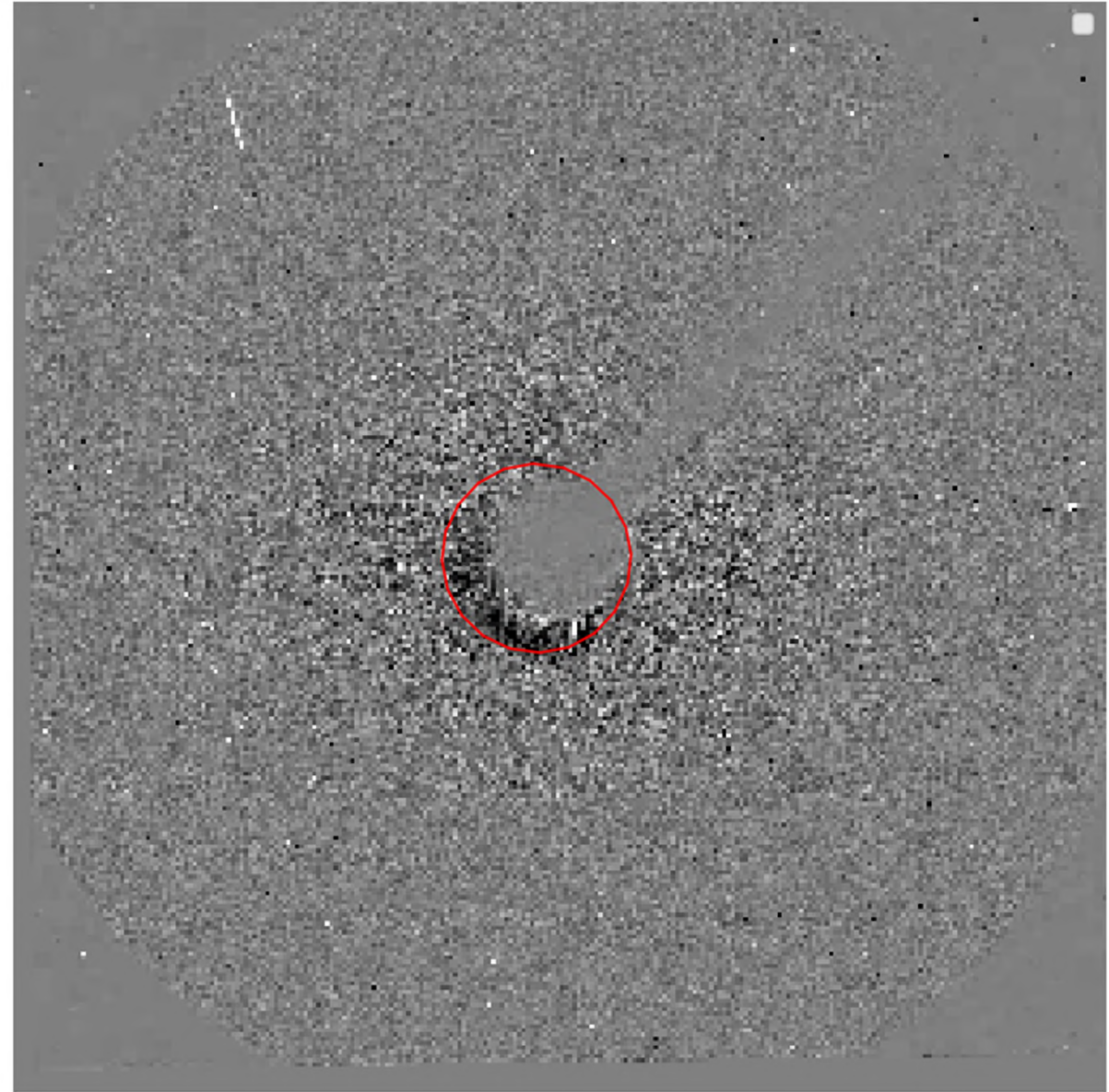
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_203007



Case analysis - 20250830

- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- $R = 10.7$

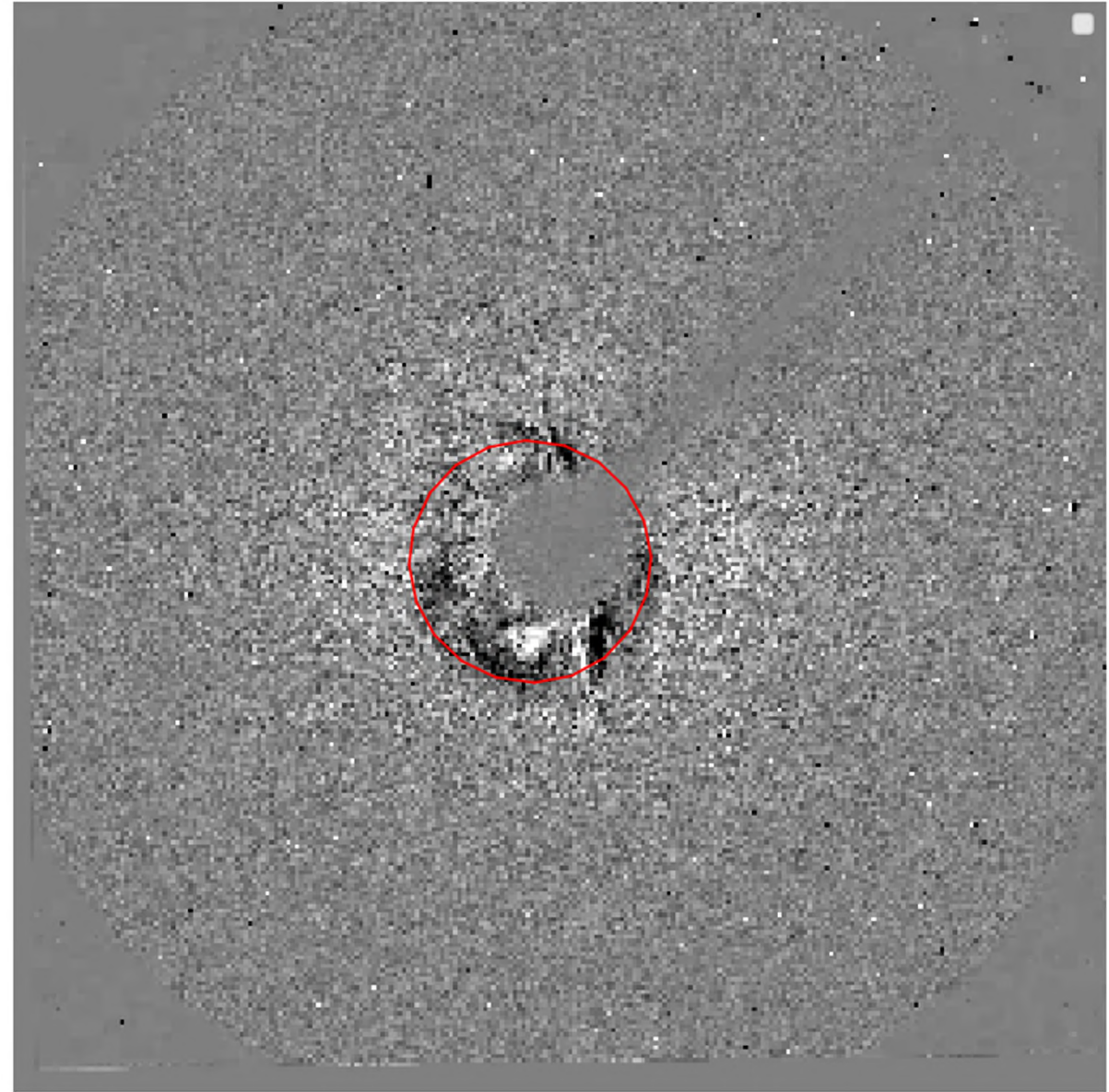
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_204207



Case analysis - 20250830

- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- R = 13.7

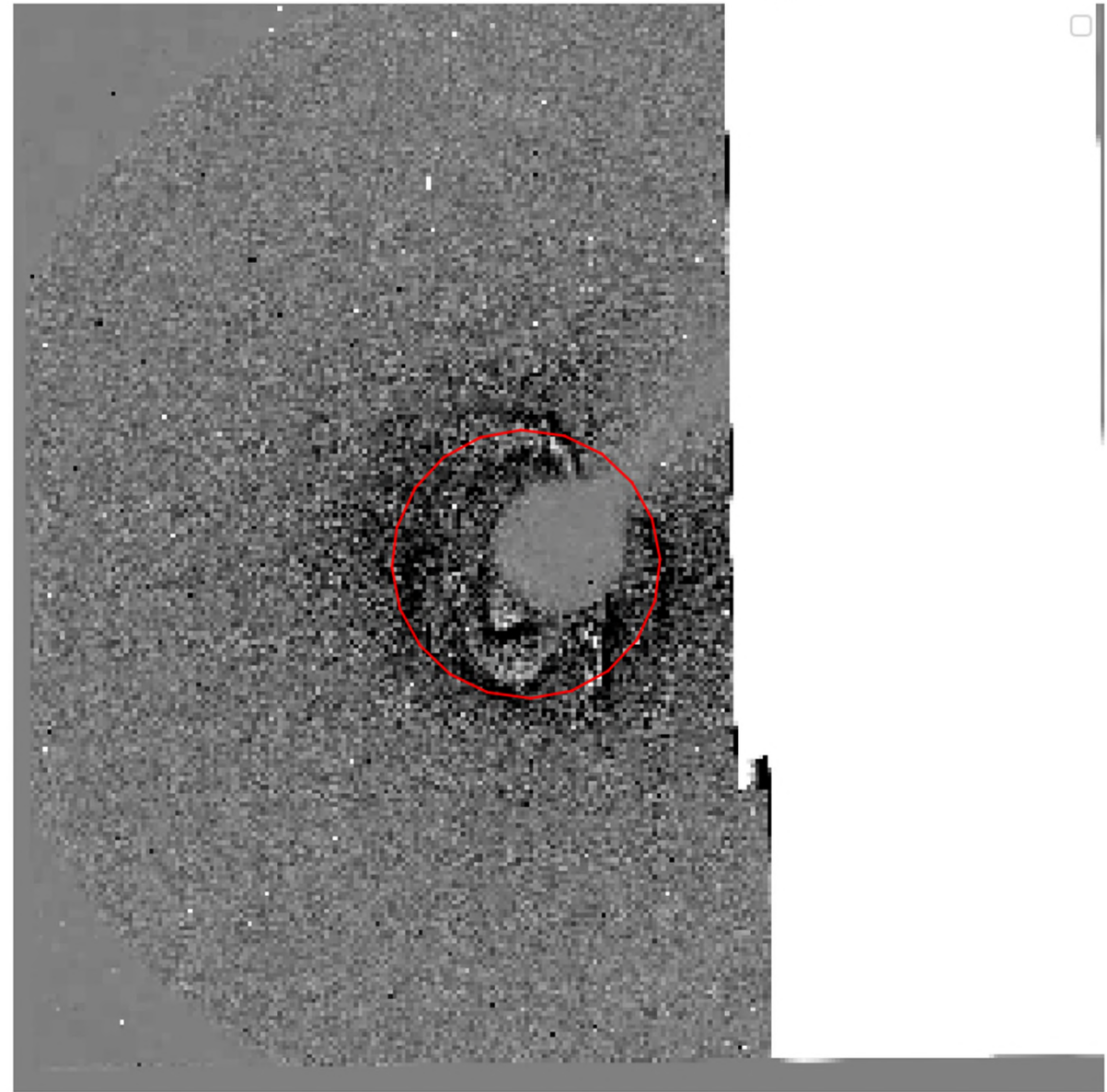
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_210607



Case analysis - 20250830

SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_211807

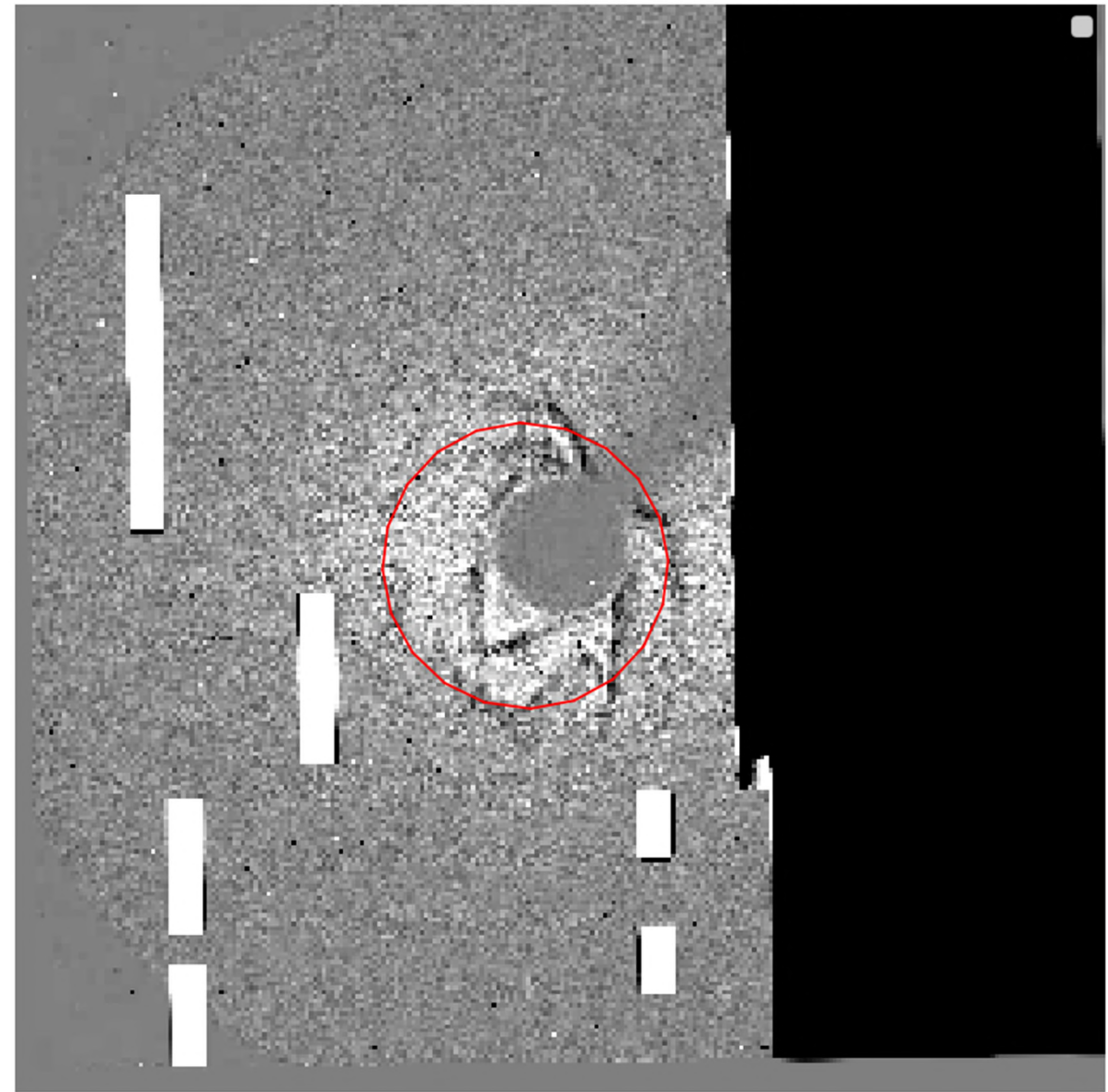
- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- $R = 15.2$



Case analysis - 20250830

- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- $R = 16.2$

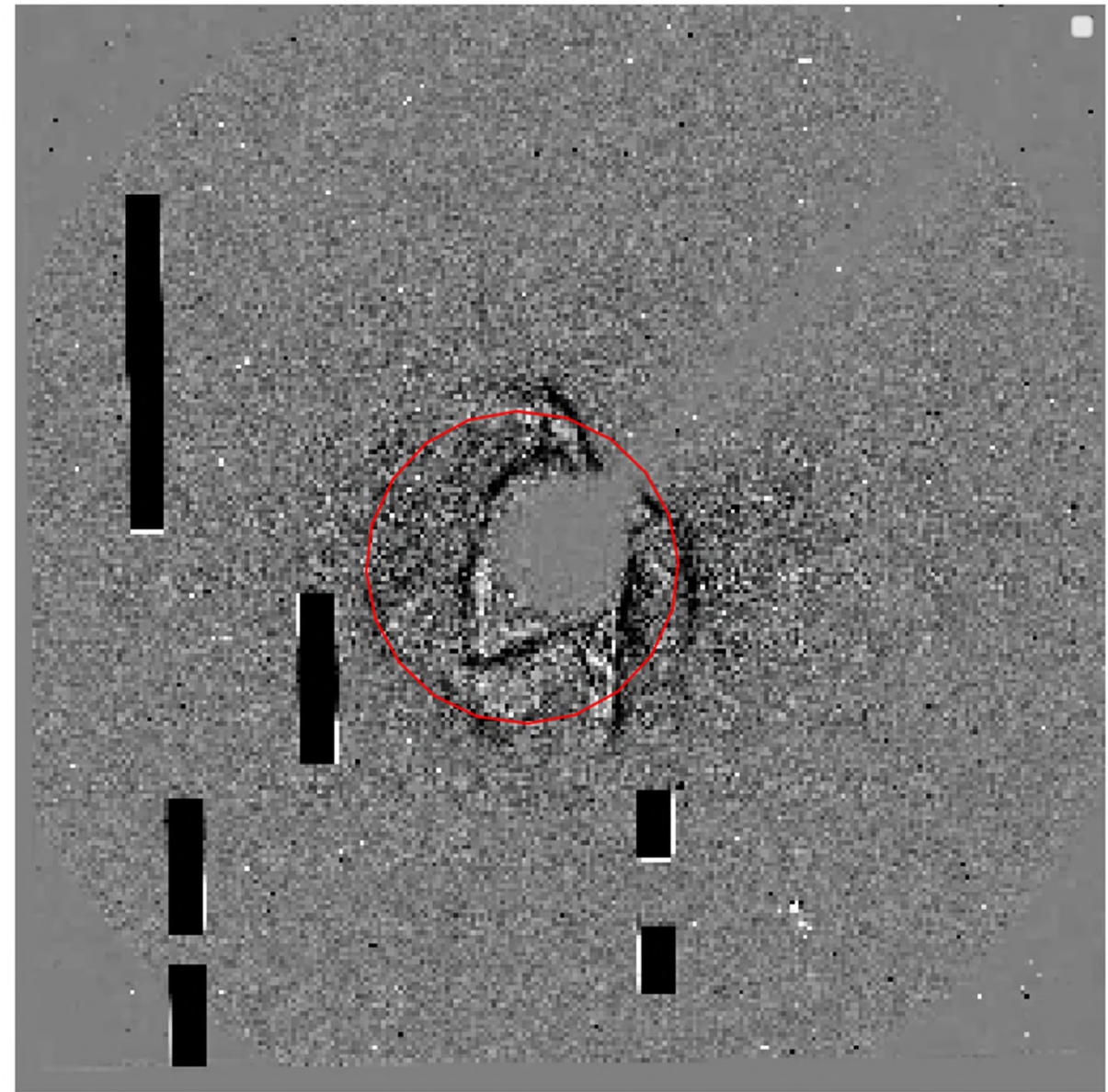
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_213007



Case analysis - 20250830

SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_214207

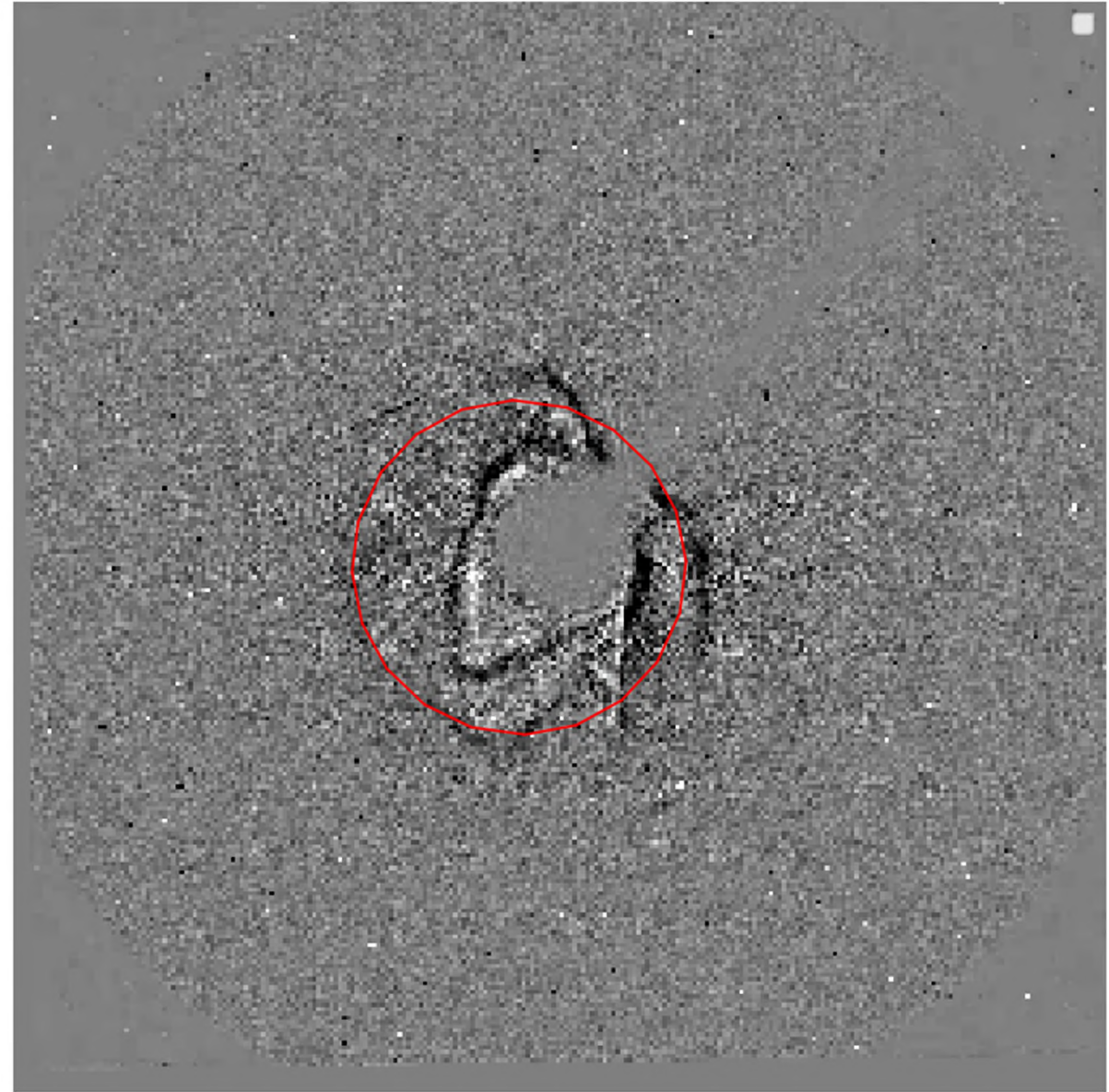
- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- $R = 17.2$



Case analysis - 20250830

SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_215407

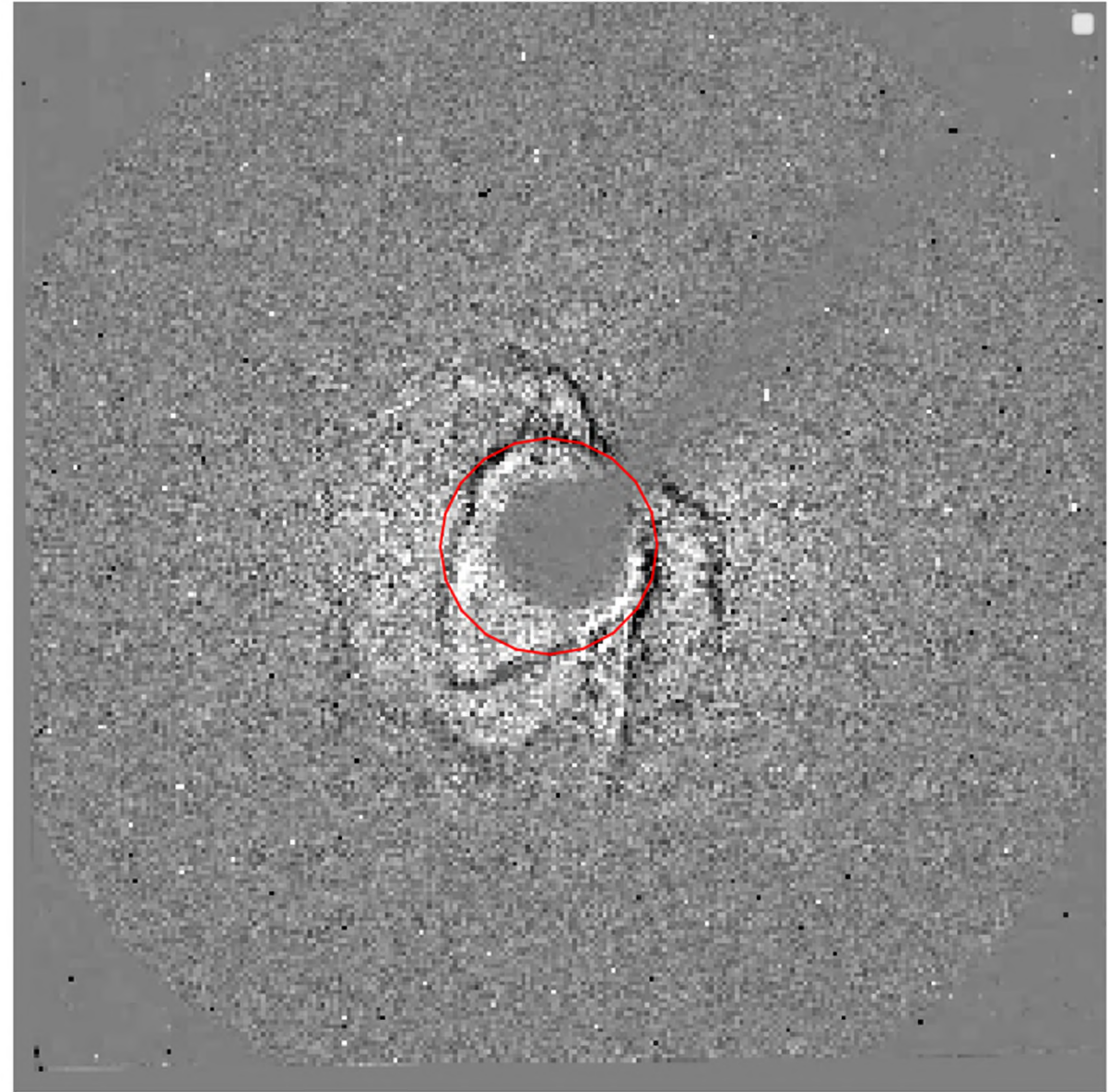
- Longitude -10°
- Latitude -5°
- Angular 90
- $R = 18.9$



Case analysis - 20250830

- Longitude -4°
- Latitude 0°
- Angular 90
- R = 12.2

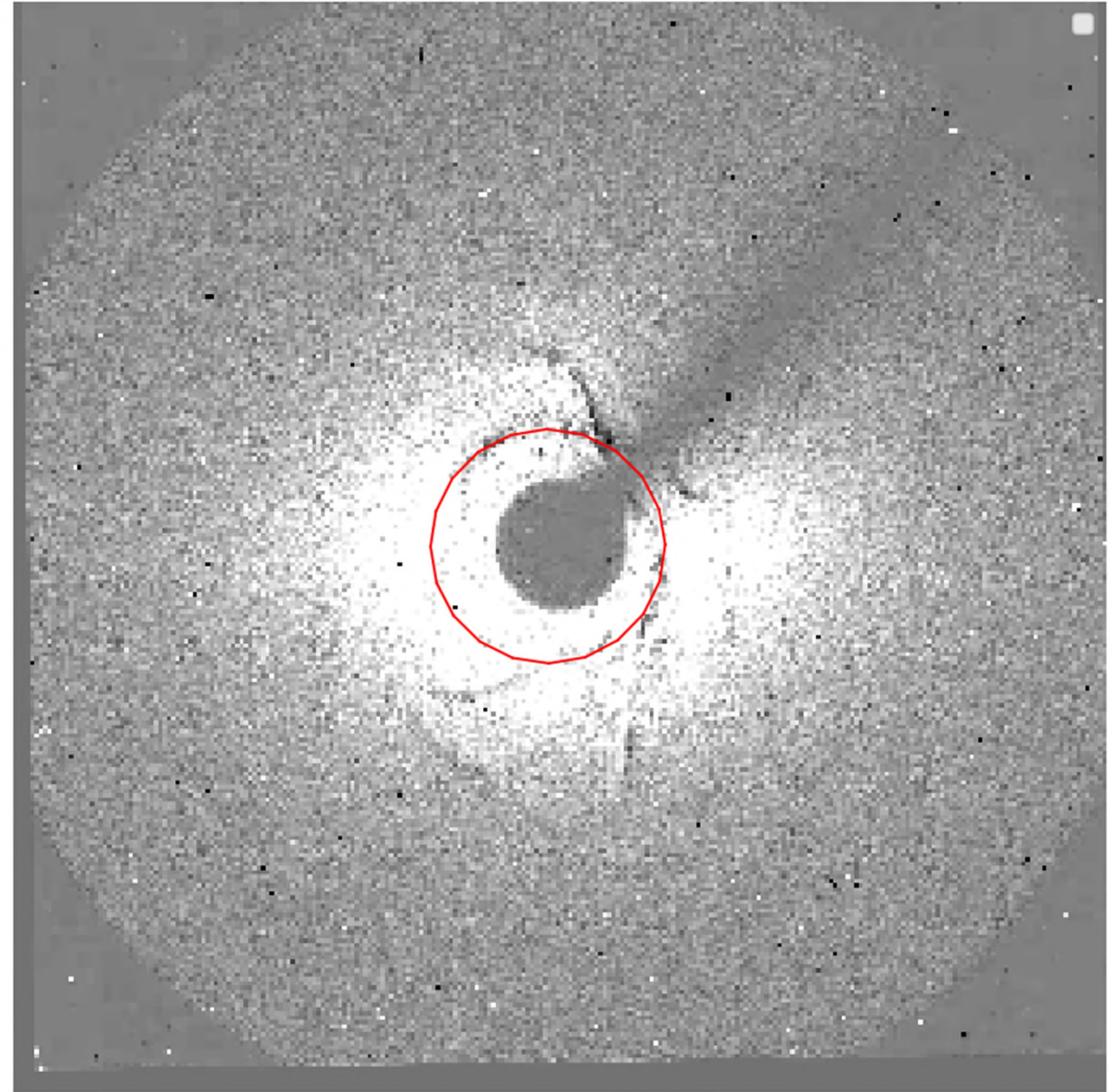
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_220608



Case analysis - 20250830

- Longitude -4°
- Latitude 0°
- Angular 90
- $R = 13.2$

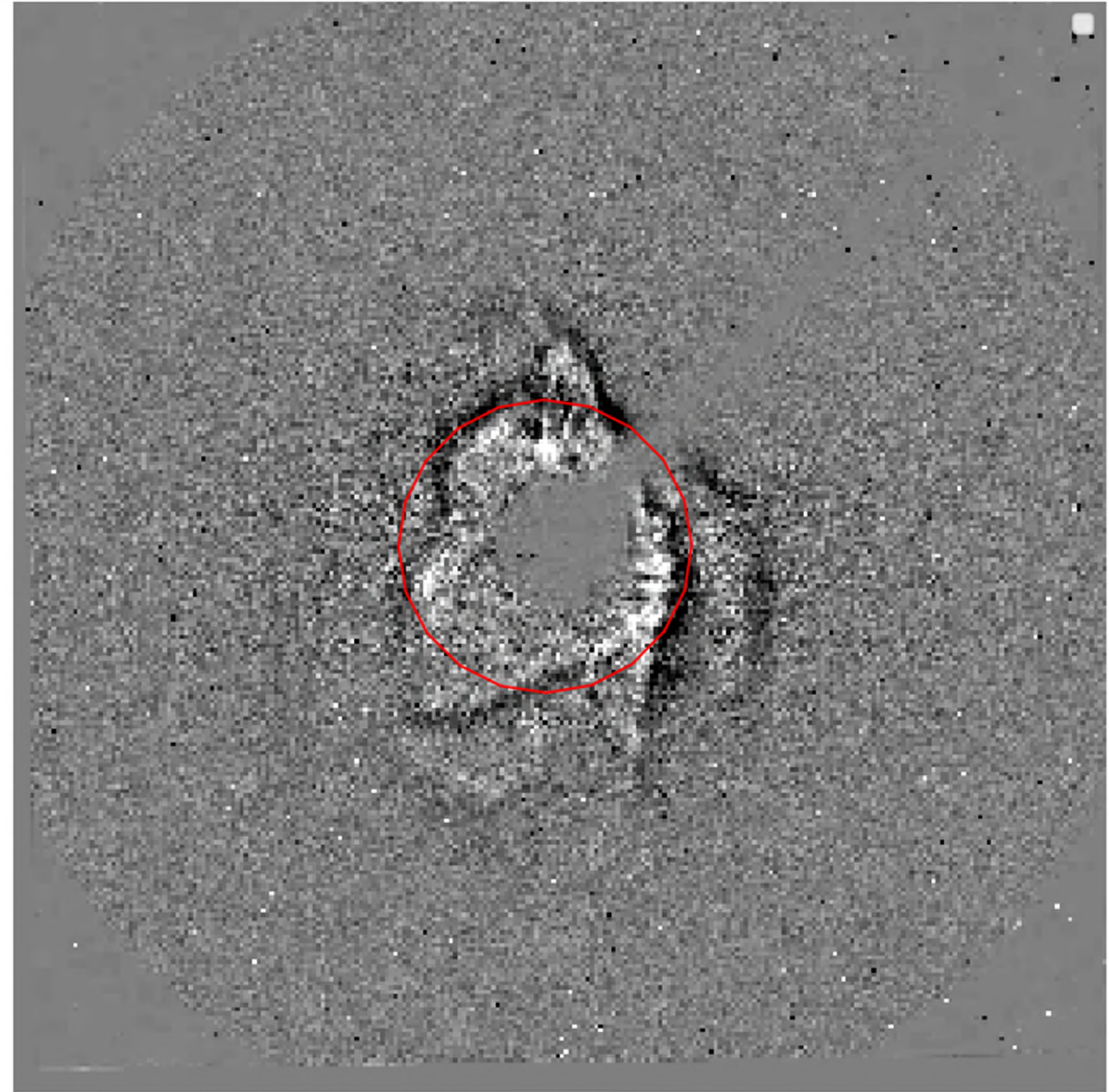
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_221807



Case analysis - 20250830

- Longitude -4°
- Latitude 0°
- Angular 90
- R = 16.5

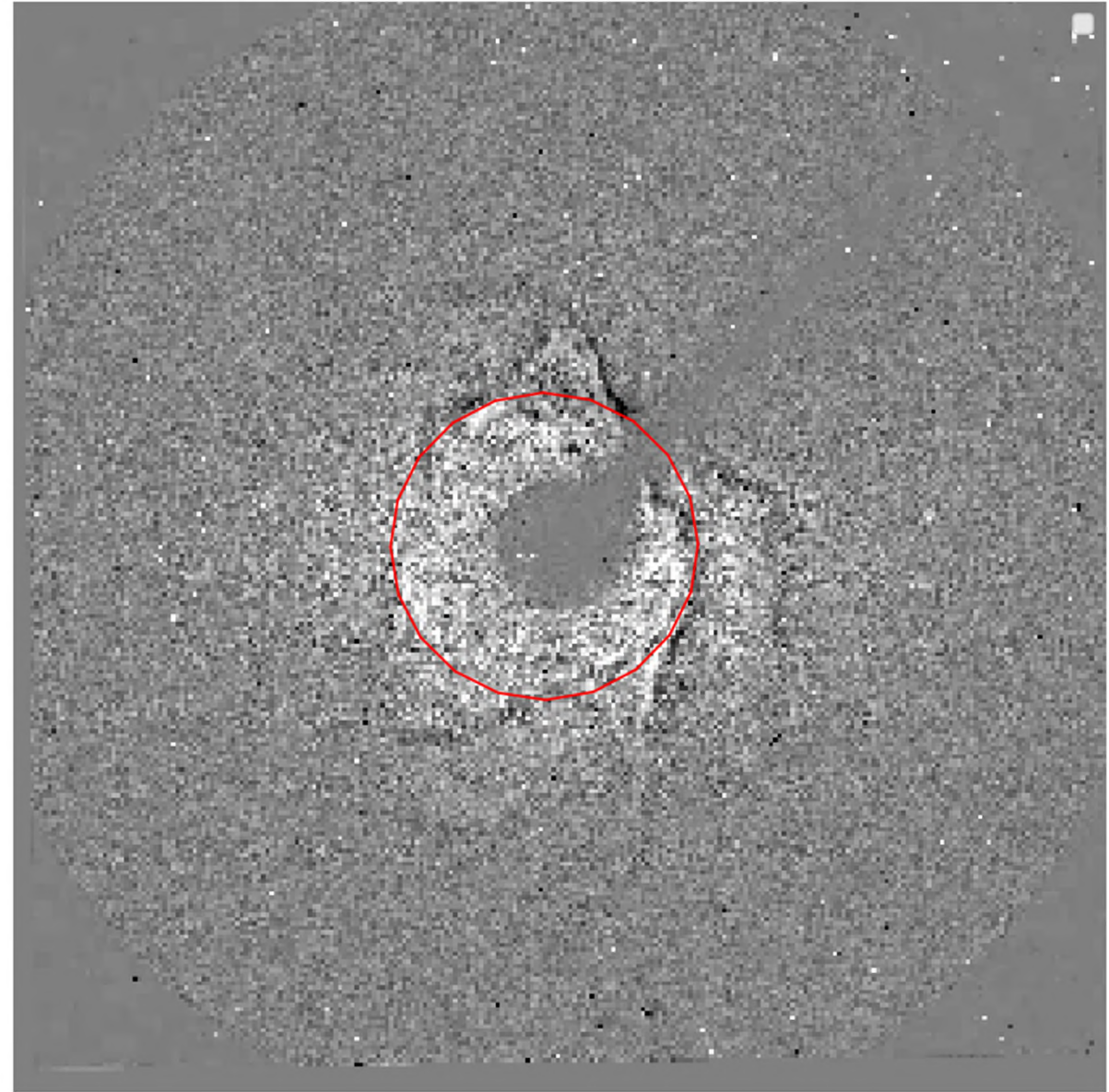
SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_225409



Case analysis - 20250830

- Longitude -4°
- Latitude 0°
- Angular 90
- R = 17.3

SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_230607



Case analysis - 20250830

- Longitude -4°
- Latitude 0°
- Angular 90
- R = 19.2

SOHO C3 Difference Imag 2025-08-30_231808

