## 第 1 單元：太陽風暴三現象

### 「日冕物質拋射」、「太陽高能粒子」、與「太陽閃焰」的數據分析

在第 23 太陽週期期間（1996 年 1 月至 2006 年 6 月），天文學家共偵測到 11,031 次「日冕物質拋射」(Coronal Mass Ejection，簡稱 CME)。CME 是大量電漿伴隨磁場從太陽大氣層向外拋射的現象，最多可攜帶達 100 億公噸的太陽物質。這些事件可視為強烈的太陽風暴，當風暴抵達地球時，會沿著地磁線進入大氣，與大氣中的粒子作用，形成極光。除了帶來壯麗的極光景象，這些風暴也可能影響地球上的通訊衛星，甚至導致設備損毀。

CME 的速度通常介於每秒 500 至 1,500 公里之間，穿越太陽與地球之間約 1 億 5 千萬公里的距離，需時約 2 至 3 天。CME 可視為自太陽拋出的巨大電漿泡泡，當其沿著太陽－地球視線方向噴發時，會在日冕儀影像中形成一圈擴散的光暈，看起來彷彿包圍太陽，因此這類事件被稱為「光環事件」(halo events)。隨著電漿泡泡不斷擴大，這圈光暈會顯得更加明顯。不過，需要特別指出的是，並非所有光環型 CME 都朝向地球，有些其實是背離地球而去，只因角度與投影效果，在影像中仍呈現出環狀外觀。因此是否會對地球構成影響，仍需結合其他觀測資料來進一步判斷。

在上述 11,031 次 CME 事件中，有 1,186 次被分類為光環型事件，其中有一半確定是朝向地球發出的。

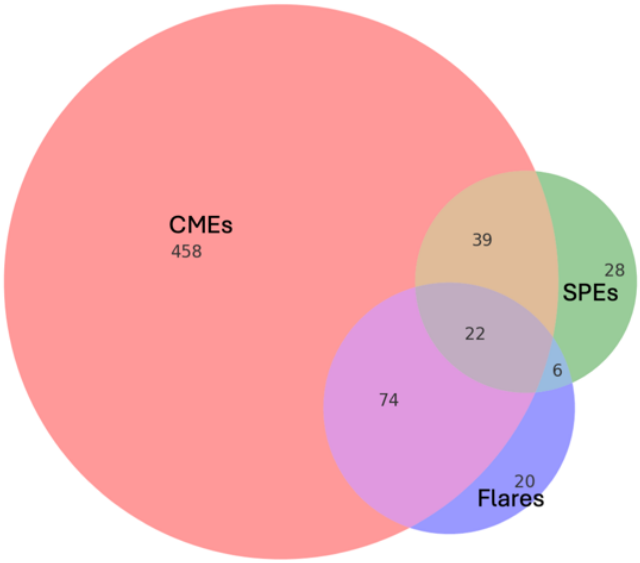
在同一期間內，地球同步軌道上的 GOES 衛星（Geostationary Operational Environmental Satellite）偵測到 95 次「太陽高能粒子」(Solar Energetic Particle，簡稱 SEP)。SEP 通常發生在太陽劇烈爆發之後，當中高能質子會以極快的速度從太陽釋放，速度可達每秒數萬公里，最快在 30 分鐘內便能抵達地球附近，並可能持續影響數天。SEP 雖然肉眼無法看見，但它們是一種強烈的高能粒子流，會在地球附近形成粒子暴，干擾甚至破壞衛星的電子系統。在這 95 次 SEP 中，有 61 次與光環型 CME 事件同時發生。

CME 也常與「太陽閃焰」(solar flare) 同時出現，因此 GOES 衛星亦同步記錄太陽閃焰事件。在這段期間內，共偵測到 21,886 次太陽閃焰，其中 122 次為最強烈的 X 級閃焰。在這些 X 級閃焰中，有 96 次與光環型 CME 事件同時發生；其中更有 22 次是 X 級閃焰、SEP 與光環型 CME 三者同時相關聯。另有 6 次 X 級閃焰與 SEP 有關，但未伴隨光環型 CME。整體而言，共有 28 次 SEP 未與光環型 CME 或 X 級閃焰產生關聯。

**問題 1：**

請根據以上敘述，將朝向地球發出的「光環型 CME」、「太陽高能粒子」（SEP）與「X 級太陽閃焰」這三種事件繪製成一張文氏圖（Venn Diagram），並將相關數據彼此對應整理。

**解答：**




| 區域 | 數量 |
|---|---|
| 光環型 CME ∩ SPE ∩ X 級閃焰 | 22 |
| 光環型 CME ∩ SPE（不含 X 級閃焰） | 39 |
| 光環型 CME ∩ X 級閃焰（不含 SPE） | 74 |
| SPE ∩ X 級閃焰（不含光環型 CME） | 6 |
| 僅光環型 CME | 593 – (22+39+74) = **458** |
| 僅 SPE | 95 – (22+39+6) = **28** |
| 僅 X 級閃焰 | 122 – (22+74+6) = **20** |

| 類別 | 數量說明 |
|---|---|
| 光環型 CME（朝向地球）總數 | **593 次**（1,186 起中有一半朝向地球） |
| SPE（太陽高能粒子）事件總數 | 95 次 |
| X 級太陽閃焰總數 | 122 次 |
| 光環型 CME ∩ SPE | 61 次 SPE 與光環型 CME 同時發生 |
| 光環型 CME ∩ X 級閃焰 | 96 次 X 級閃焰與光環型 CME 同時發生 |
| 三者交集：光環型 CME ∩ SPE ∩ X 級閃焰 | 22 次三者同時發生 |
| SPE ∩ X 級閃焰（不含光環型 CME） | 6 次 |
| 單獨 SPE（與其他皆無關） | 28 次 |

**問題 2：**
一場日冕物質拋射（CME）朝向地球的機率有多高？

**解答：**
總共記錄到 11,031 次 CME，其中 593 次為朝向地球的光環型 CME。
機率 = 593 ÷ 11,031 ≈ 5.4%

**問題 3：**
在所有的太陽閃焰中，存在多少比例的 X 級閃焰？

**解答：**
GOES 衛星共偵測到 21,886 次閃焰，其中 X 級閃焰為 122 次。
比例 = 122 ÷ 21,886 ≈ 0.56%

**問題 4：**
有多少 X 級閃焰與 CME 或 SEP 無關？

**解答：**
X 級閃焰總數 122 中，有 96 與 CME 同時發生、6 與 SEP 但無 CME、22 為三者交集。
合計相關事件數：96 + 6 + 22 = 124（重複計算）
實際獨立無關事件 = 122 − (22+74+6) = 20 次

**問題 5：**
若衛星同時觀測到一場光環型日冕物質拋射與一場 X 級閃焰，發生 SEP 的機率是多少？

**解答：**
CME ∩ X 級閃焰總數 = 96，其中有 22 次同時發生 SEP。
機率 = 22 ÷ 96 ≈ 22.9%

**問題 6：**

太陽高能粒子中，有多少百分比與光環型 CME、X 級閃焰，或兩者皆有關？

**解答：**

SEP 總數 = 95

SEP ∩ CME（含三者交集）= 61

SEP ∩ X 級閃焰（不含 CME）= 6

有關聯事件 = 61 + 6 = 67 次

比例 = 67 ÷ 95 ≈ 70.5%

**問題 7：**

若衛星偵測到一場光環型 CME，後續發生 X 級閃焰、SEP 或兩者皆有的機率有多高？

**解答：**

光環型 CME 數量 = 593

有任何關聯（即 CME ∩ X 級閃焰、CME ∩ SEP 或三者交集）：

= (CME ∩ X 級閃焰) + (CME ∩ SEP) − (三者交集)

= 96 + 61 − 22 = 135 次

機率 = 135 ÷ 593 ≈ 22.8%

**問題 8：**

觀測到光環型 CME 與觀測到 X 級閃焰相比，哪一種情況下較可能出現 SEP？

**解答：**

光環型 CME：SEP 發生機率 = 61 ÷ 593 ≈ 10.3%

X 級閃焰：SEP 發生機率 = (22 + 6) ÷ 122 = 28 ÷ 122 ≈ 23.0%

結論：X 級閃焰比光環型 CME 更常與 SEP 同時發生

**問題 9：**

如果你看到光環型 CME 或 X 級閃焰獨立出現（不是兩者同時），那麼再看到 SEP 的機率是多少？

**解答：**

光環型 CME（不含 X 級閃焰）：CME 單獨 = 458

與 SEP 同時發生的為 CME ∩ SEP（不含 X 級閃焰）= 39

機率 = 39 ÷ 458 ≈ 8.5%

X 級閃焰（不含 CME）：X 單獨 = 20

與 SEP 同時發生的為 6（X ∩ SEP，不含 CME）

機率 = 6 ÷ 20 = 30%

結論：X 級閃焰即使獨立發生，與 SEP 同時出現的機率也較高

**問題 10：**

請描述 SEP、CME 與太陽閃焰之間的統計關聯。

**解答：**

SEP、Halo CME 與 X 級閃焰之間具高度相關性。

SEP 幾乎總與 Halo CME 同時發生，且大多伴隨 X 級閃焰。

總結：日冕物質拋射（CME）、太陽高能粒子（Solar Energetic Particles，SEP）與太陽閃焰三者之間存在明確的統計關聯，且皆屬於影響地球空間環境的重要太陽活動。這些現象不僅可能產生極光，也會對通訊衛星、導航系統與電子設備造成潛在干擾。為了掌握太空天氣的變化，科學家持續進行 CME 的監測、SEP 的追蹤與太陽閃焰的觀測與分析。這些資料有助於評估太陽活動對科技系統的影響，並作為預警與防範措施的重要依據。

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