

# 臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作 品 名 稱：淘氣精靈(ELVES)高空放電現象性質探討

得 獎 獎 項：第二名

學 校 / 作 者：國立臺南第一高級中學 李俊逸

作者簡介：

我叫李俊逸，目前就讀國立台南一中二年級數理資優班，在一次機緣下看到了有關紅色精靈的研究報告，覺得這是一種有趣的現象，又有幸承蒙許瑞榮教授的指導，因此想好好利用高空衛星的資料，分析統整出一些有用的結果，在過程中學到的資料處理，整合，分析，並且找出證據證明假說的過程，對以後從事研究的工作時，必然會有極大的幫助。



# An analysis of Emissions of Light and VLF perturbation due to EMP Sources

ELVES (Emissions of Light and VLF perturbation due to EMP Sources) is a transient luminous phenomenon of ionosphere induced by the electromagnetic pulse of lightning. In this report, we use the data of ISUAL science payload of FORMOSAT-2 to investigate the luminosities and the stepped-leader signals of the different kinds of ELVES.

## 壹、摘要：

洵氣精靈全名Emissions of Light and VLF perturbation due to EMP Sources簡稱ELVES，為閃電的電磁脈衝波引發電離層短暫發光的現象，本研究是分析福爾摩沙衛星二號上科學酬載ISUAL的光度資料，以探討洵氣精靈類型與光度訊號強度以及閃電前導訊號的關係。

## 貳、研究動機：

從一篇報導中，得知了台灣成大有一支研究高空放電現象之團隊，而也因為參與了教育部的”高中基礎人才培育計畫”，讓我有機會利用福爾摩沙二號所觀測得到的資料來進行資料分析。由Beta-type stepped leader of elve-producing lightning[1] 此篇論文中得知約有50%之ELVES的光度訊號中，可以看到閃電有的Beta-type階梯前導現象，而這些具有Beta-type前導訊號的閃電是對應於較強的閃電，因此興起想研究此種放電現象的想法。

## 參、研究目的：

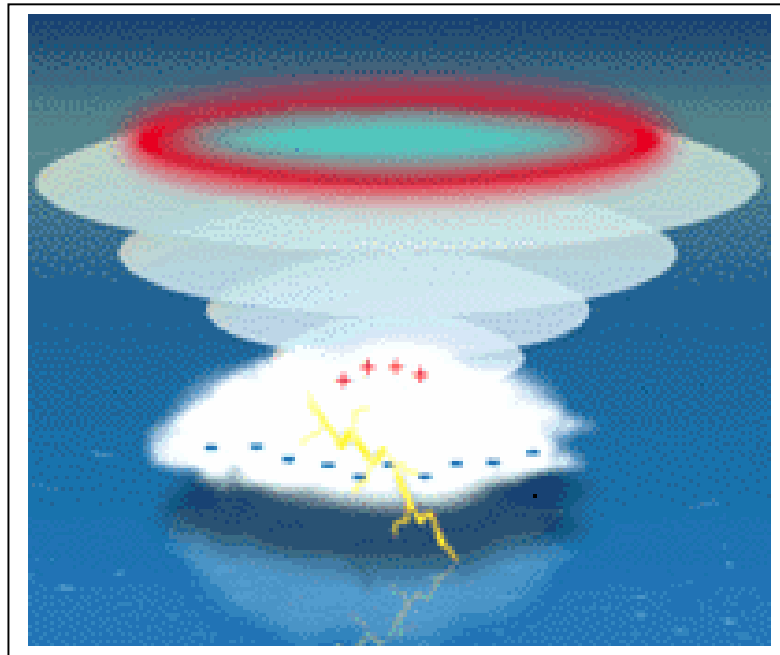
嘗試從一群ELVES中找出具有特殊特徵的訊號，並分析其類型比例。藉由福爾摩沙衛星二號[2] 觀測所得的影像與光譜光度訊號，把各個波段的資料和影像傳回成大[3]，參考 Beta-type stepped leader of elves-producing lightning 這篇論文，嘗試從200個ELVES事件中，分析各種類型的ELVES在訊號出現前的出現Beta-type前導訊號的比率，以及各種類型ELVES的平均亮度，用以探討各種類型的ELVES與閃電之間的關係，並找出怎樣的閃電才有可能產生ELVES。

根據資料分析後，發現波長在 150-280nm 〈ch1〉之間的訊息強度對ELVES最敏感，因此也統計在此波段的最高點和前述各性質的關係。

肆、淘氣精靈簡介：

淘氣精靈是一種由閃電所引發的高空發光的現象，它具有火紅色、向外擴張的圓圈餅形狀。其成因是雲對地閃電所發出的電磁脈衝 (electromagnetic pulse)，傳遞到電離層的底部後，加熱該處的分⼦並使它們發出紅色輝光。更精確地說，這種強烈的電磁脈衝是以雲對地閃電為中心，以光速傳遞的電波(如圖一所示)。當這個電磁脈衝向上傳遞的部分(圓殼部分)傳到約為85至100公里(電離層)的高度時，電磁波的電場加速電子，這些被加速後的電子會撞擊空氣分子並將其提昇至可以發光的激發狀態。因而產生了以電磁波脈衝和臨界層之交點為軸心，向外擴張的圓圈狀光環。[4]

圖一 ELVES的理論模型示意圖



由福衛二號所拍攝的ELVES，根據型態可分為環狀，盤狀，與細長狀等三種類型。其中產生細長狀ELVES的閃電都是分布在地球臨邊的附近。而產生環狀或盤狀的閃電大多是分布在地球臨邊的前端或後方。但是由於後方的事件看不到閃電訊號，也就是無法判別是否有前導訊號，因此選取事件的過程中必須加以剔除參考圖二。



(a)



(b)



(c)

圖二、(a)環狀ELVES，(b)盤狀ELVES，(c)細長狀ELVES

伍、研究方法與步驟：

一、先收集與ELVES有關之資料，查看其性質。[5]

二、過濾福衛二號傳回之訊息，找出屬於ELVES的訊號。

三、用成功大學「高空大氣閃電影像儀」太空計畫科學資料分送中心所提供的程式，觀察 ELVES 影像（使用影像儀 CCD Imager 擷取紅色精靈影像的動態變化，時間解析度為 10ms。其中紫外線波段的影像，特別重要）和相對應的各個波段訊息強度隨時間變化情形。

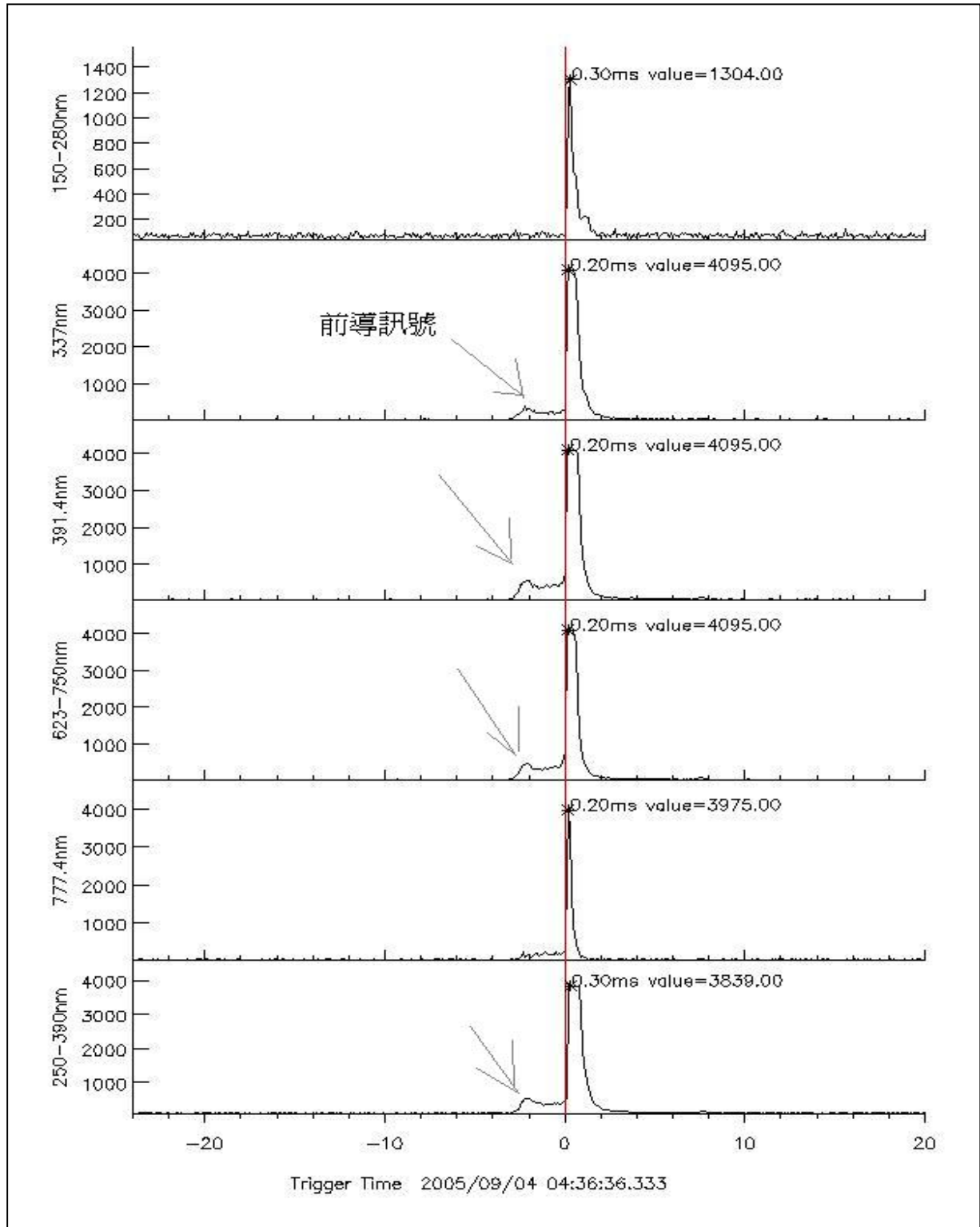
在本研究中,主要是取用高空大氣影像儀中的「光譜光度儀」(6-channel spectrophotometer (SP) 用來觀測紅色精靈的光譜變化情形,時間的解析度為 0.05ms) 來觀測各波段隨時間之變化。參考圖三。

四、把全部的ELVES訊號先分成環狀、盤狀、細長狀三種類型。

五、利用如圖三的各波段訊號。由於閃電訊號對ch2-ch6的波段影響較明顯,取ch2-ch6的波段觀察,找出每個事件具有多少個前導訊號(將去掉主要閃電訊號之後的訊號平均值再加3倍標準差,定為前導訊號的參考值,若再閃電之前有超過此一參考值者,則判定有前導訊號,其可能性度超過99.7%)。

六、由於在ch1中閃電的污染較小,統計ch1的最大訊息強度(需減去掉背景值,即雜訊的平均值)。因為ch 1 光度儀所測得的亮度會隨著距離平方而減弱。在此為了去掉距離之影響,得到ELVES真正的亮度,需將ch1的最大訊息強度再乘上距離的平方,來用以比較各種ELVES的亮度。

七、整理資料,列表出來,找出其中的關係。



圖三、ELVES的各個波段訊息強度隨時間變化情形，箭頭所是的部份即為前導訊號。

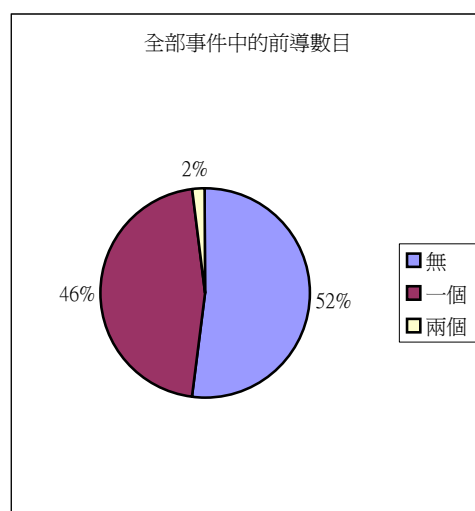
陸、統計結果：

### 一、具有前導訊號之比例

全部事件中，把有前導訊號之事件所佔比例歸納成如下表。

全部事件中的前導數目：(表一)

無前導訊號	52%
一個前導訊號	46%
兩個前導訊號	2%



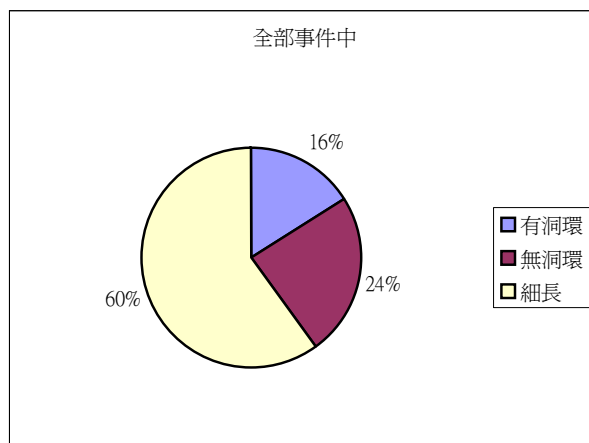
根據以上結果，有48%之ELVES具有前導訊號，具兩個前導訊號的ELVES是十分難找到的。

### 二、各種類型出現的機會

根據觀測所得的資料，把所有事件分成三類，此三類各佔多少比例之結果如下表。

全部事件中：(表二)

環狀	16%
盤狀	24%
細長狀	60%



細長型是最容易被觀察到的一種ELVES，環型相較下不易被觀察到。

### 三、前導訊號在三類型ELVES中之分布

分析之前分類過的三種事件，把有前導訊號所佔之比例算出來，結果如下表。

環狀之ELVES中(表三)

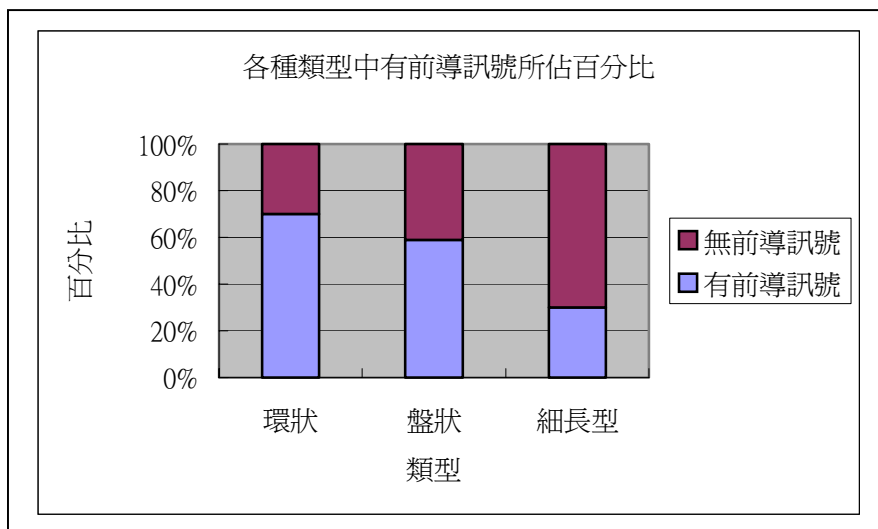
有前導訊號	70%
無前導訊號	30%

盤狀之ELVES中(表四)

有前導訊號	59%
無前導訊號	41%

細長型之ELVES中(表五)

有前導訊號	30%
無前導訊號	70%



從中我們可以看出確實環形的ELVES大部份具有前導訊號，反之細長型之ELVES卻大部分沒有前導訊號。

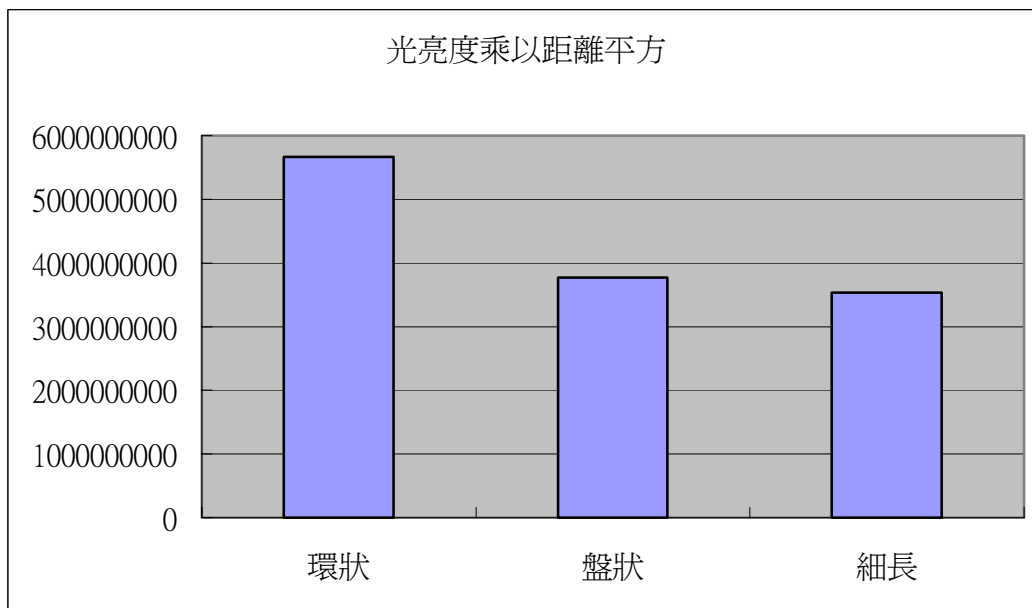
#### 四、亮度綜合比較

分析各種類型之強度，為了消除距離因素，因此把光亮度乘上距離平方，求出各類型之結果平均如下表。sp所顯示的光度是視野中所有光的空間積分，因此與ELVES閃電亮度關係較大。(單位 $10^6 \text{photons/cm}^2/\text{s} * \text{km}$ )

各種事件的平均光亮度\*距離平方(表六)

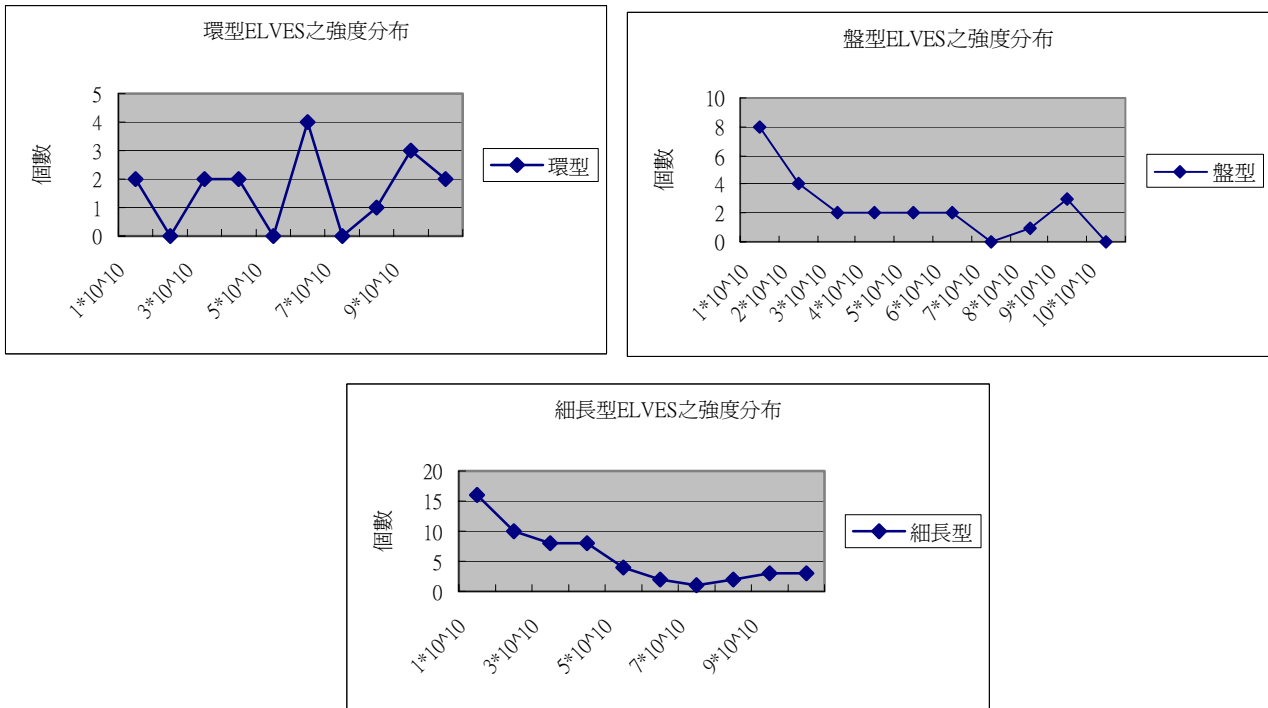
環狀	$567 * 10^7$
盤狀	$377 * 10^7$
細長	$353 * 10^7$

由結果發現，環形的ELVES強度高於其餘的。



## 五、強度分布

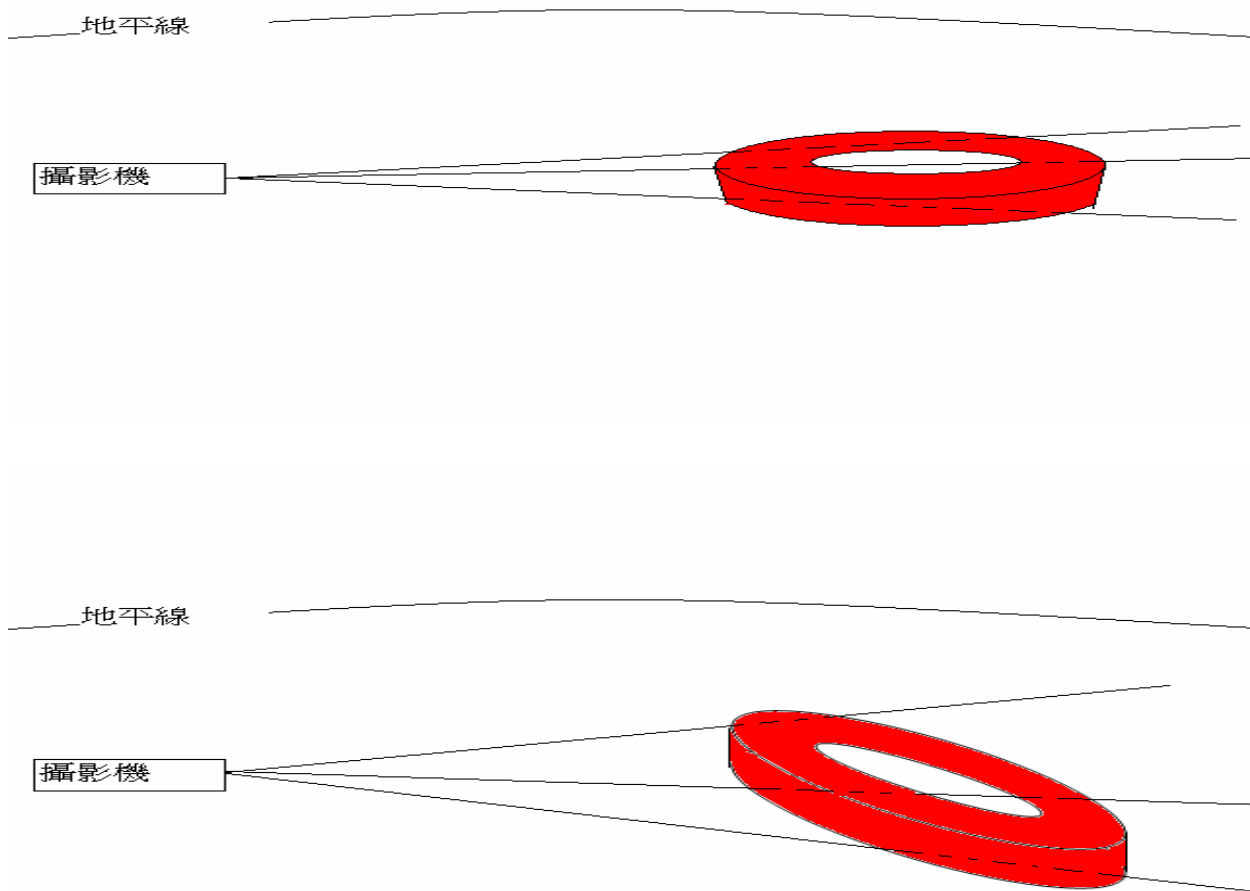
把上述所得的強度分布分類作成分布圖。(橫軸單位同上)



結果顯示盤狀有明顯的雙峰型曲線。

## 柒、討論:

一、根據事件數目的比較結果，細長型的閃電訊號數目比起環型加上盤型還要多，推測原因為由於探測器所能測得的光度有一定限制，當攝影機和ELVES之相對位置不同時，所測到的光學厚度也不同，由於細長型的光學厚度較大，因此會有光度較低的事件發生時，仍可以顯現出來的情況發生，如圖四。

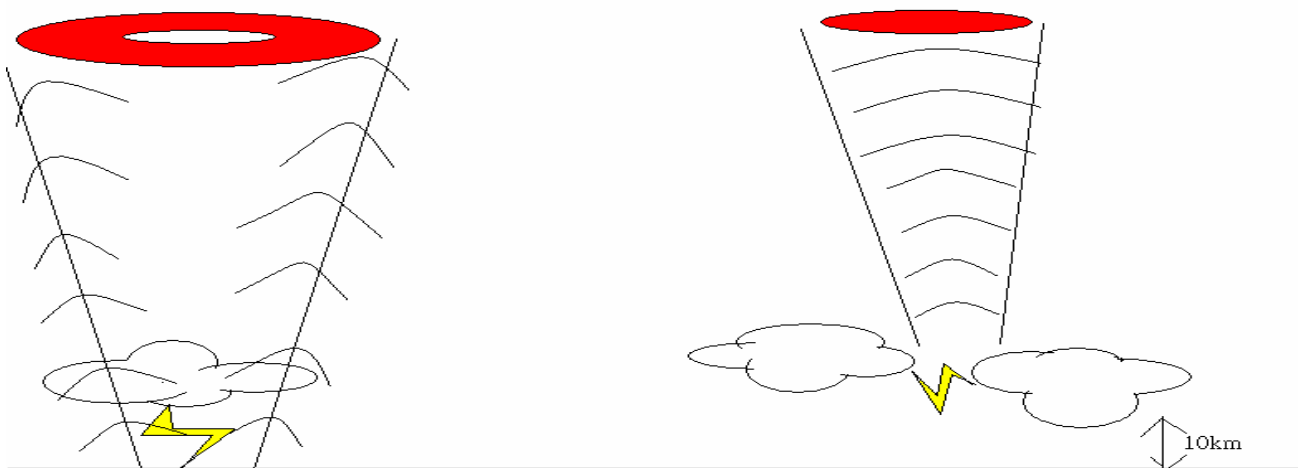


圖四、攝影機立體觀測示意圖

在上圖中，攝影機一和二觀察同一事件，但由於攝影機鏡頭的角度問題，測到的機會並不相同。

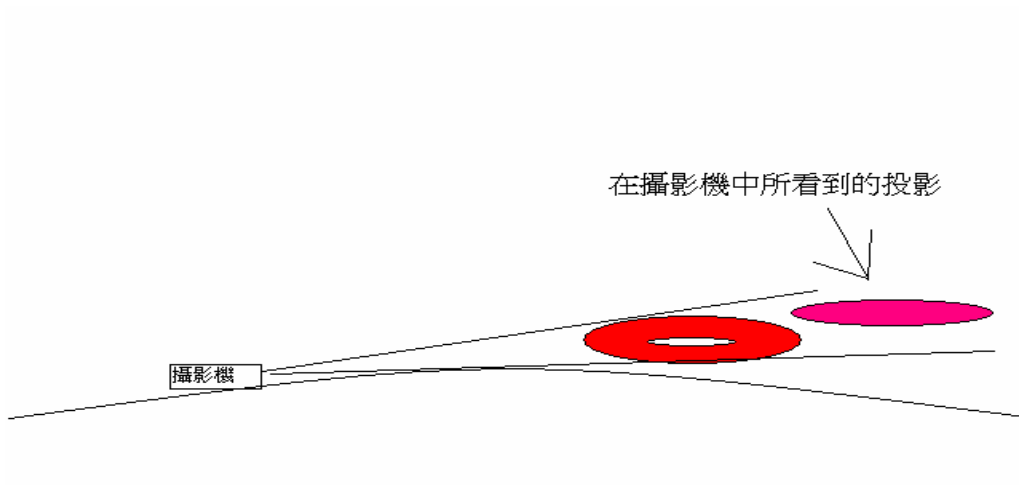
二、根據統計結果，發現約有50%左右之ELVES有前導訊號，與之前Beta-type stepped leader of elves-producing lightning之結果相符合，可以印證此結果之正確性。

三、在平均亮度方面，各種類型中以環型最強，盤型和細長型差不多。原因可能是因為環型多是雲對地閃電造成的，盤型則多是雲對雲閃電造成；在雲對雲發生在平均離地10km處，因此傳到電離層的距離也較短，較弱的閃電在此高度也能引發ELVES，同時，較強的閃電所造成的ELVES範圍是比較大的，雲對地閃電只有強度大的能引發ELVES，雲對雲閃電即使是強度較小的也能形成ELVES，因此平均說來，雲對地閃電形成之ELVES相對於雲對雲閃電的範圍是較大的，而測得亮度是視野中亮度的積分，因此環型ELVES的亮度較大。另外，盤狀與環狀在地球臨邊附近時，看起來會是細長狀的。因此推測，由於前述的光學累積效應，所以較弱的細長型事件也觀察的到，造成細長狀的平均亮度比盤狀稍弱。



圖五、雲對雲和雲對地閃電示意圖

四、在各種類的ELVES中以環型有最高機會具有前導訊號，而細長型卻是機會最低的，此一結果與環型ELVES的平均亮度較強的結果比較，發現具有一致性。產生比較強ELVES的閃電也是比較強的，因此也比較容易具有前導的現象。然而，根據盤狀ELVES的強度分佈成兩峰分佈的情形，推測一部分為環型的誤判。(如圖六)



圖六、攝影機拍到的盤狀ELVES

上圖中攝影機誤將環型認為是盤型

## 捌、結論與展望

### 一、綜合以上討論結果，

1. 在各種類型之中，細長型最為常見，盤型次之，環型則最少。與Frey的論文Beta-type stepped leader of elves-producing lightning相符。
2. 在強度方面，卻是環型遠高於盤型和細長型。環 >> 盤 > 細長
3. 綜合此兩種結果，討論得出由於儀器的靈敏度有限，細長型的ELVES如發生在地平線附近，將會有累積效應的發生，累積效應會使較弱的事件容易被觀察到，此一結果也呼應了為何細長型數目多但平均強度卻小的原因。
4. 同時，因為環型ELVES發生在雲對地閃電，相對於盤型的雲對雲閃電之ELVES範圍要大許多，因此也影響了環型的強度偏大。
5. 之後，根據統計，有50%之ELVES有前導訊號，參考資料後，統計得出環狀的ELVES中有70%有前導訊號，比起盤狀的59%和細長型的30%都要來的高，此結果與上述結果比較，結論為當有一強大的閃電發生時，多數會伴隨著有前導訊號的ELVES，光度較強的ELVES多為環型，而盤狀的ELVES光度較弱，而因為光學累積效果，更弱的細長狀ELVES也可以被觀測到。總而言之，前導訊號一般出現於較強之ELVES中。

### 二、在此研究中上後續可以發展的方向為：

1. 透過國際合作管道，向國外研究閃電的團體，獲得相關的閃電訊號，用以進一步驗證我們的結果。
2. 廣設地面觀測點，採用多部系統於多點進行觀測，可擴大地面觀測範圍，同時增加觀測時間。而透過地面與太空對同一事件進行聯合觀測，更可減少前述所發生的誤判和觀測不到過弱事件等情形的發生。

玖、參考資料

[1]H. U. Frey, S. B. Mende, S. Cummer, A. B. Chen, R.-R. Hsu, H.-T. Su, Y.-S. Chang, T. Adachi, H. Fukunishi, Y. Takahashi “Beta-type stepped leader of elves-producing lightning”, Geophys. Res. Lett., 32, L13824, doi:10.1029/2005GL023080, (2005).

[2] <http://sprite.phys.ncku.edu.tw/> “福爾摩沙二號衛星酬載計畫”

[3] <http://www.nspo.org.tw/> “國家太空中心”

[4]吳璧如、許瑞榮, “紅色精靈的觀測回顧”, 物理雙月刊(二十一卷五期)1999年

[5]李宜蓁, 成功大學物理學系學士論文, “紅色精靈的形態與動態分析”

## 評語

本研究應用「福衛二號」觀測數據，探討高空放電現象，亦即所謂的「紅色精靈」相關研究。該生由所觀測到的「淘氣精靈」形狀為強度研究分析其類別，對了解「雲對地」和「雲對雲」的放電現象有幫助。但內容較為簡單，未能深入探討「觀測角度的決定」及「前類訊號」的來項等明顯而有趣的課題，同時該生對「福衛二號」、研究團隊在此課題上的研發方向及現況並不清楚，較為可惜因此推薦此案為第二名。