



中壢特高頻雷達研究 降水環境中閃電特性

蘇清論、江健瑋、朱延祥
國立中央大學太空科學研究所

中華民國107年9月12日



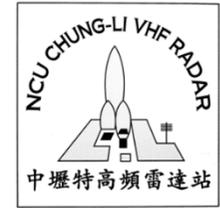
內容



- 中壢特高頻雷達主動式閃電定位系統簡介
- 閃電定位技術
- 雷達系統相位校正
- 閃電移行
- 閃電發生環境
- 結論



中壢特高頻雷達 主動式閃電偵測系統主機



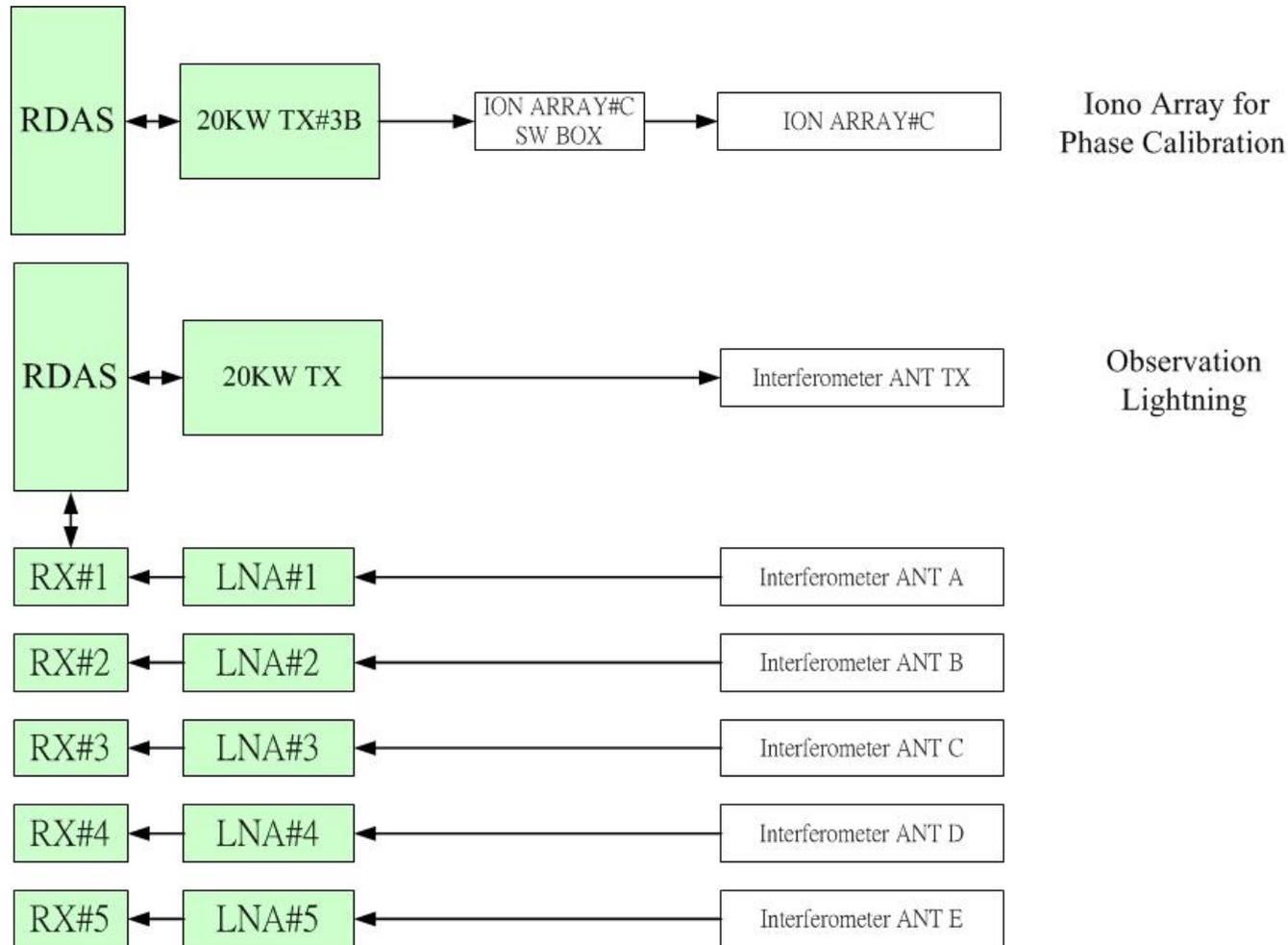
| | |
|---|--|
| 中心頻率 Central Frequency | 52 MHz |
| 放大器型式 Type of Amplifier | 固態功率放大器 Solid state power amplifier |
| 峰值總功率 Total peak power | 20kW @ 7.5% duty cycle |
| 單一抽屜功率模組峰值功率 Peak envelope RMS power per Module | 5 kW @ 7.5% duty cycle per unit chassis |
| 功率模組數目 Number of Power Module | 4 |
| 最大工作週期 Maximum Duty Cycle | 10% for 5 kW per Module |
| 脈波寬 Maximum pulse length | 1~200 μ s |
| 最大電壓駐波比 Maximum VSWR | ≤ 1.5 |
| 狀態顯示內容 Status Readouts Items | 輸出功率(Output power單位 dBm) 輸出相位(Output phase單位 Degrees) 功率放大器溫度(PA temperature單位 $^{\circ}$ C) |
| 警告 Alarm conditions | VSWR 過高，風扇故障。 |





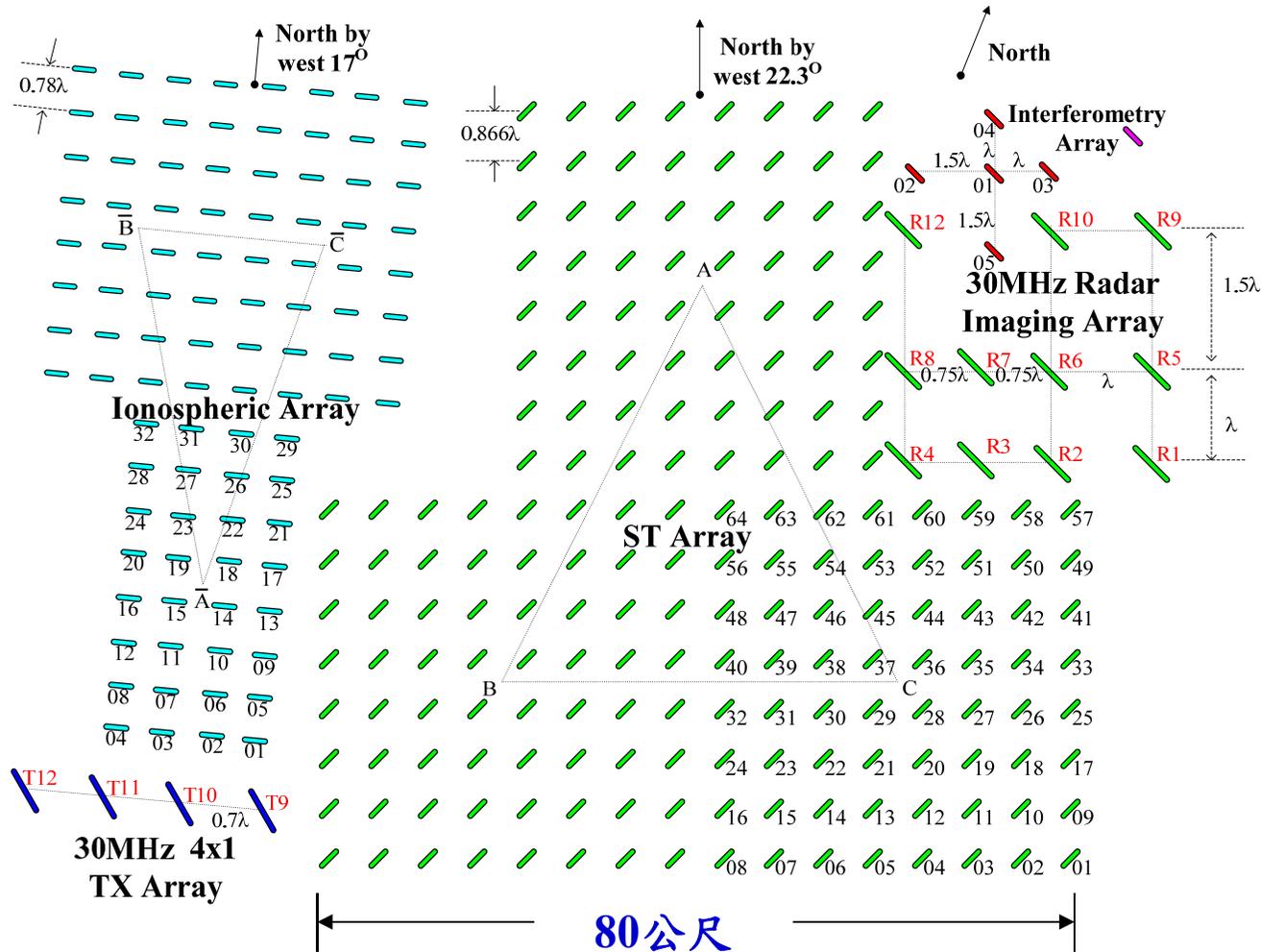
主動式閃電偵測系統方塊圖

相位校正與觀測系統





中壢特高頻雷達天線場





十字型不等間距干涉天線陣列 雷達空間干涉定位法



- 方位角
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\Phi_{12}}{\pi} C_{13} - \frac{\Phi_{13}}{\pi} C_{12}}{\frac{\Phi_{15}}{\pi} C_{14} - \frac{\Phi_{14}}{\pi} C_{15}} \cdot \frac{3C_{14} + 2C_{15}}{3C_{13} + 2C_{12}} \right)$$

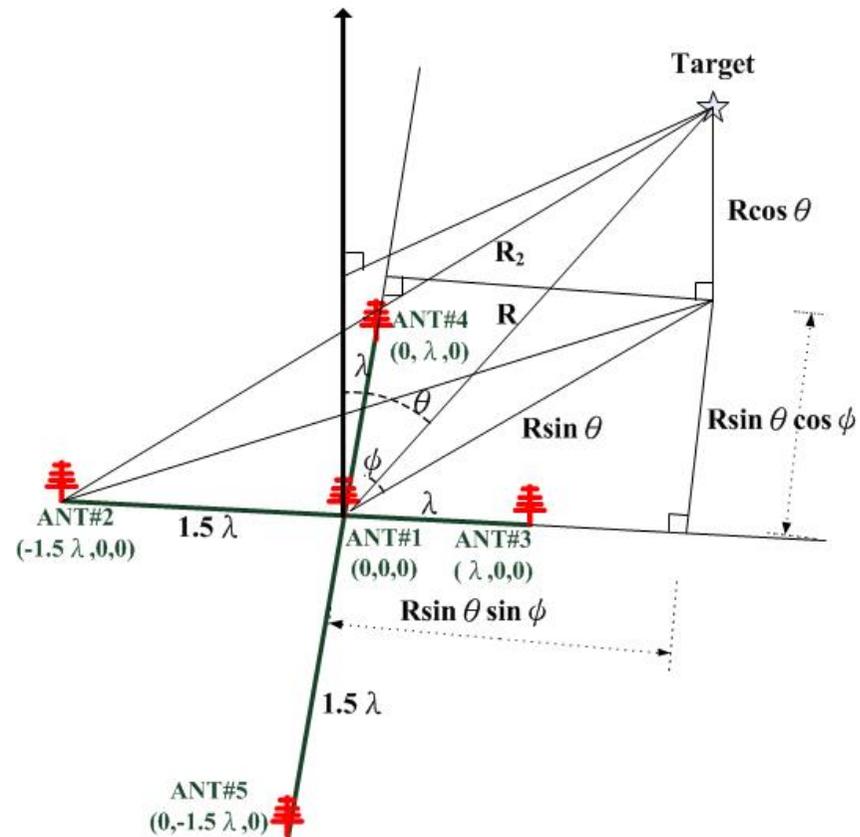
- 天頂角

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\frac{\Phi_{12}}{\pi} C_{13} - \frac{\Phi_{13}}{\pi} C_{12}}{\sin \phi (3C_{13} + 2C_{12})} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\frac{\Phi_{15}}{\pi} C_{14} - \frac{\Phi_{14}}{\pi} C_{15}}{\cos \phi (3C_{14} + 2C_{15})} \right)$$

$$C_{12} = \frac{\Phi_{12}^2}{4\pi^2} - 2.25 \quad C_{13} = \frac{\Phi_{13}^2}{4\pi^2} - 1$$

$$C_{14} = \frac{\Phi_{14}^2}{4\pi^2} - 1 \quad C_{15} = \frac{\Phi_{15}^2}{4\pi^2} - 2.25$$

- 距離: 由雷達距離閘 (Range Gate) 決定。



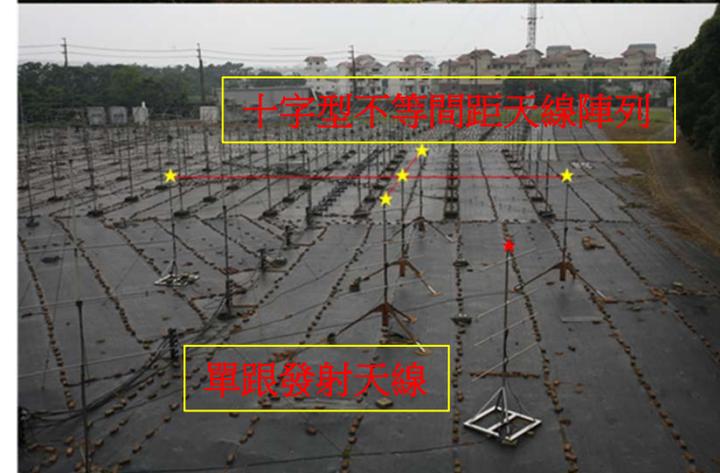


主動式閃電偵測系統簡介

不等間距十字型干涉天線陣列



- 系統相位校正觀測模式
以一座4x8電離層天線陣列發射，五根獨立天線接收
- 閃電觀測模式
以一根獨立天線發射，五根獨立天線接收，用以全方位觀測定位





中壢特高頻(52MHz)雷達接收系統相位校準技術(1)



•接收系統包含天線、電纜線、內部系統，經由利用電離層場列不規則體(Field-aligned Irregularities)回波訊號與國際地磁參考模型(IGRF)，進行系統相位校正

•2014/7/25

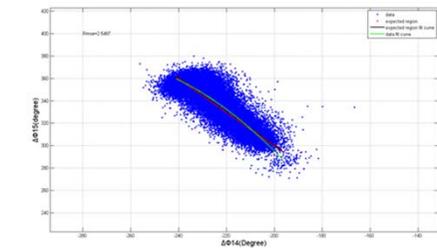
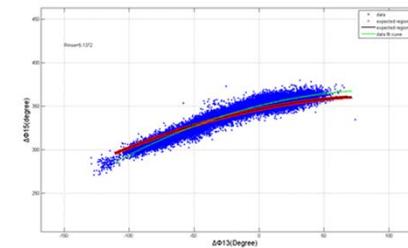
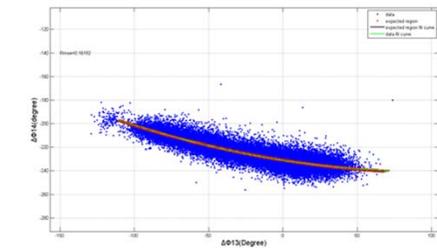
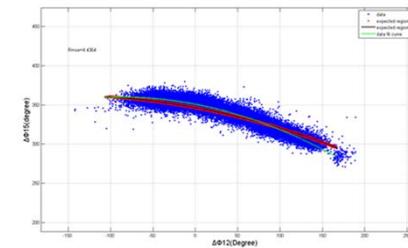
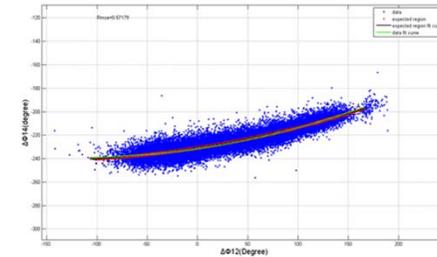
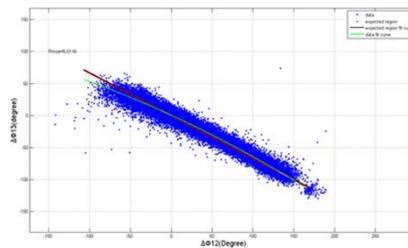
天線1與天線2相位差校正量 $\Delta\psi_{12} = 37.1^\circ$

天線1與天線3相位差校正量 $\Delta\psi_{13} = -66^\circ$

天線1與天線4相位差校正量 $\Delta\psi_{14} = 79.5^\circ$

天線1與天線5相位差校正量 $\Delta\psi_{15} = -85.4^\circ$

(中央校園雷達站天線陣列)





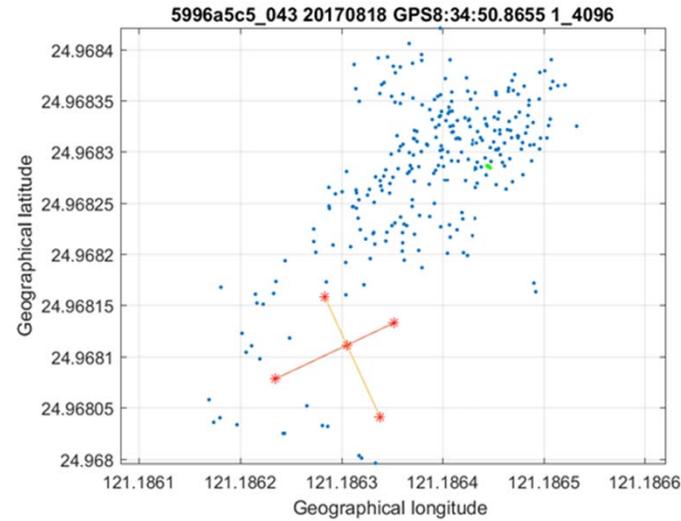
中壢特高頻(52MHz)雷達 接收系統相位校準技術(2)



- 雷達偵測小型遙控飛行載具獲得回波訊號，由I & Q channel可獲得訊號相位。
- 確認為真實目標物回波訊號下，獲得未加入任何修正量的天線2~5與天線1之間的原始相位差 $\Delta\phi$ 。
- 利用小型遙控飛行載具上GPS紀錄位置。
- GPS位置資訊與十字型天接收天線陣列五根天線位置結合，計算小型遙控飛行載具與天線1~5的路程，計算天線2~5與天線1之間路程差的相應相位差。
- 計算由GPS定位計算的天線間相位差，與雷達訊號獲得的原始相位差之間的差值，獲得雷達系統校正相位差 $\Delta\phi$ 。



中壢特高頻(52MHz)雷達 接收系統相位校準技術(2續)



2016/6/2

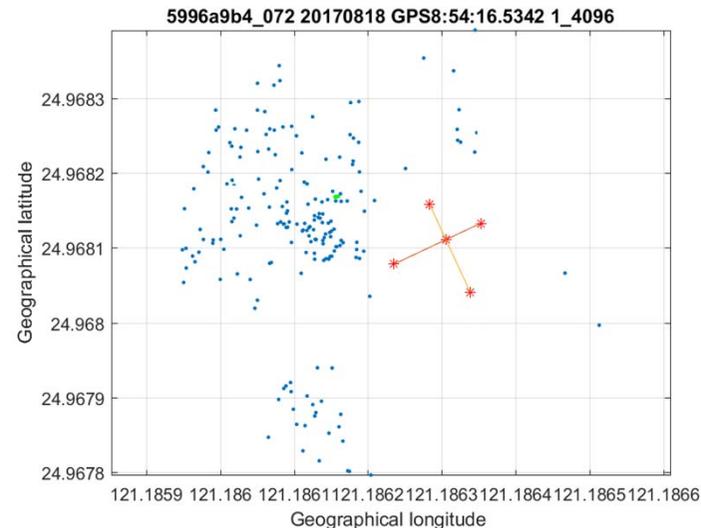
雷達系統校正相位差

$$\Delta\phi_{12} = 2.19$$

$$\Delta\phi_{13} = -35.17$$

$$\Delta\phi_{14} = 69.57$$

$$\Delta\phi_{15} = -78.84$$





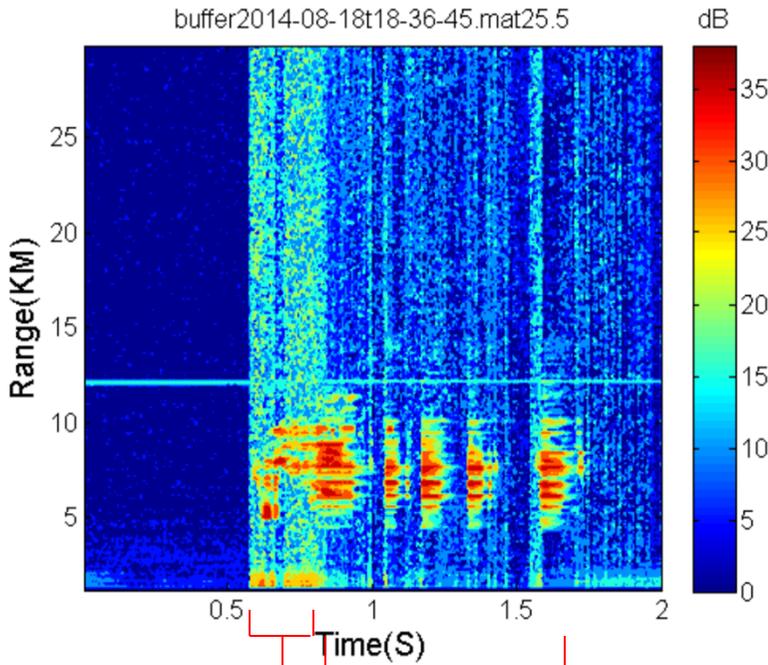
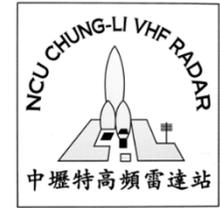
主動式閃電偵測系統 觀測參數



- PRF 4000 Hz
- 同相積分(Number of Coherent Integration) 8次
- 發射脈波長(pulse length)1 μ s
- 空間解析度(range resolution) 150 m
- 時間解析度(time resolution) 2 ms
- 發射功率20 KW
- 使用單根天線發射
- 五根干涉天線陣列接收

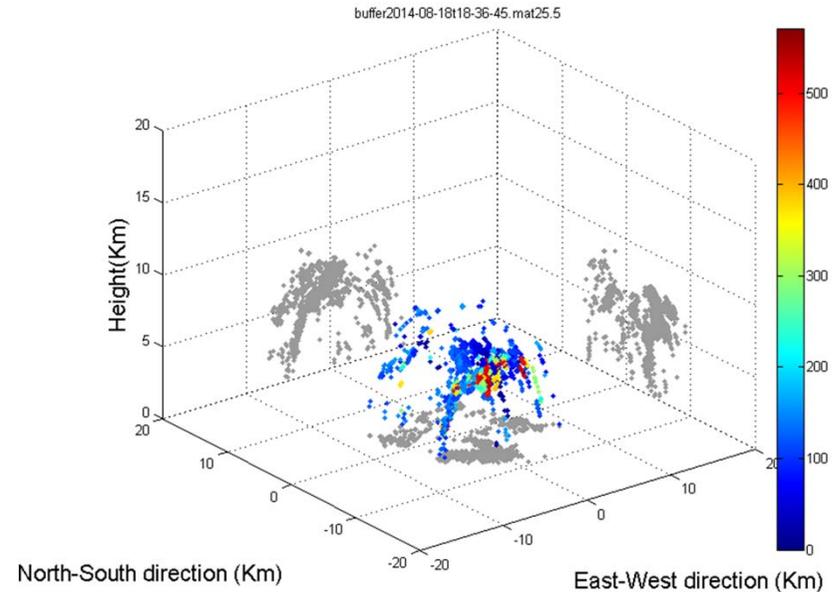
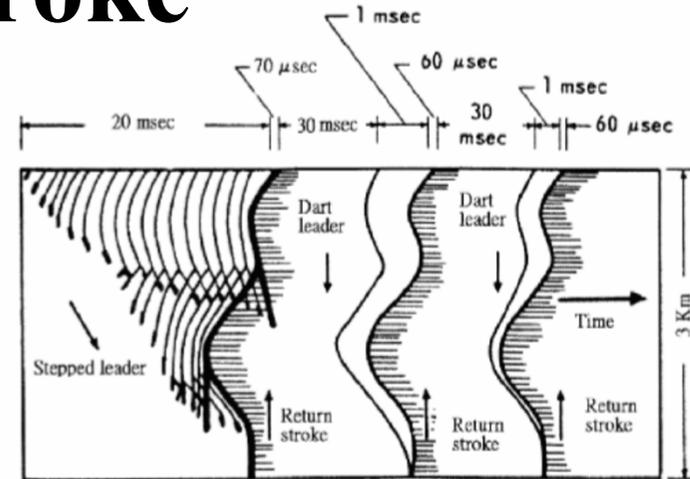


階梯先導/激射導流/回擊 stepped leader/Dart Leader/ Return Stroke



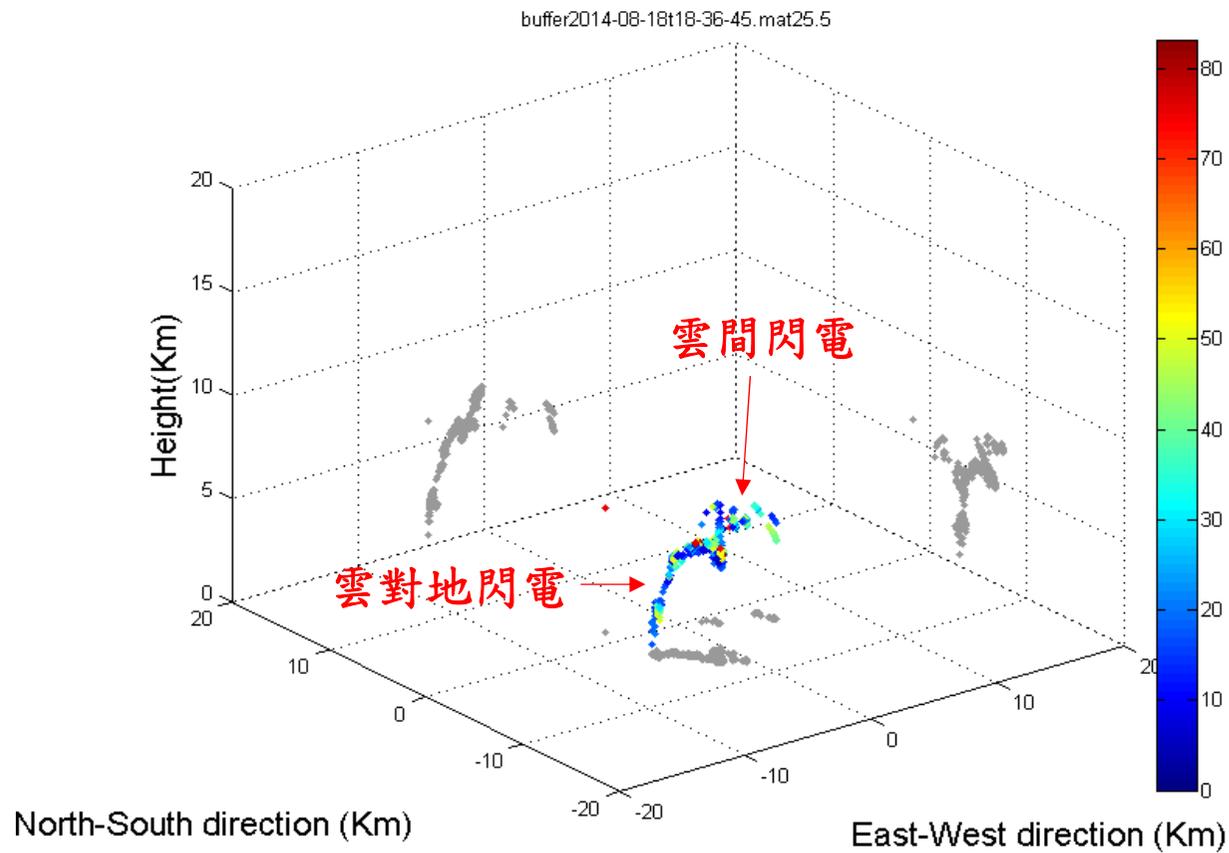
階梯先導

激射導流與回擊



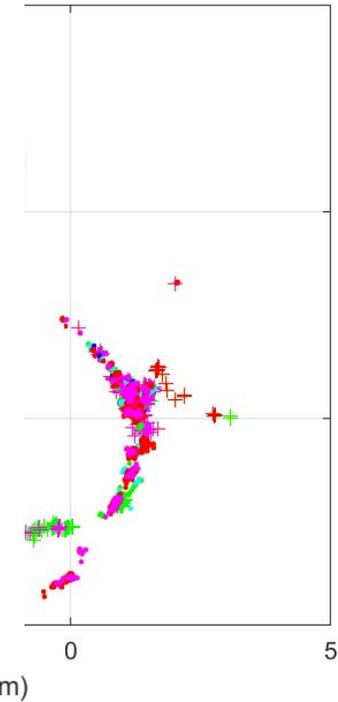
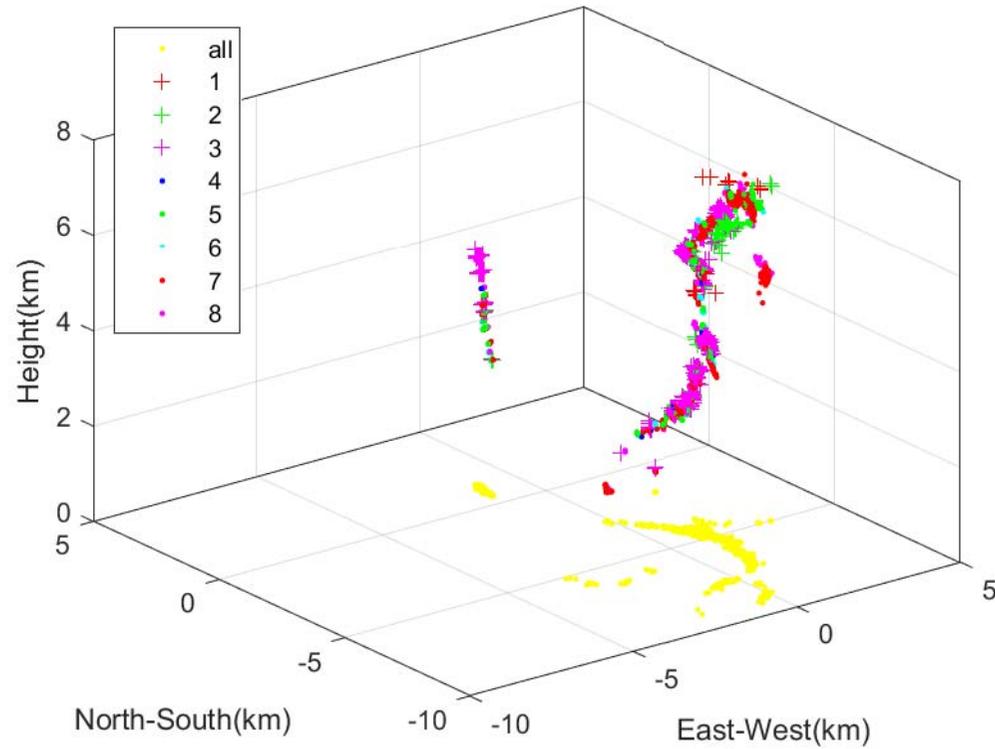
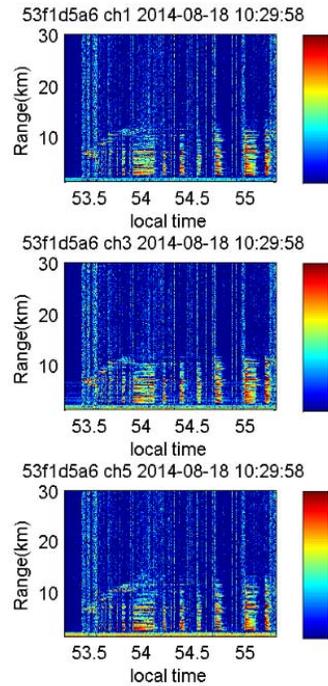


雲間閃電/雲對地閃電 IC Lightning/CG Lightning



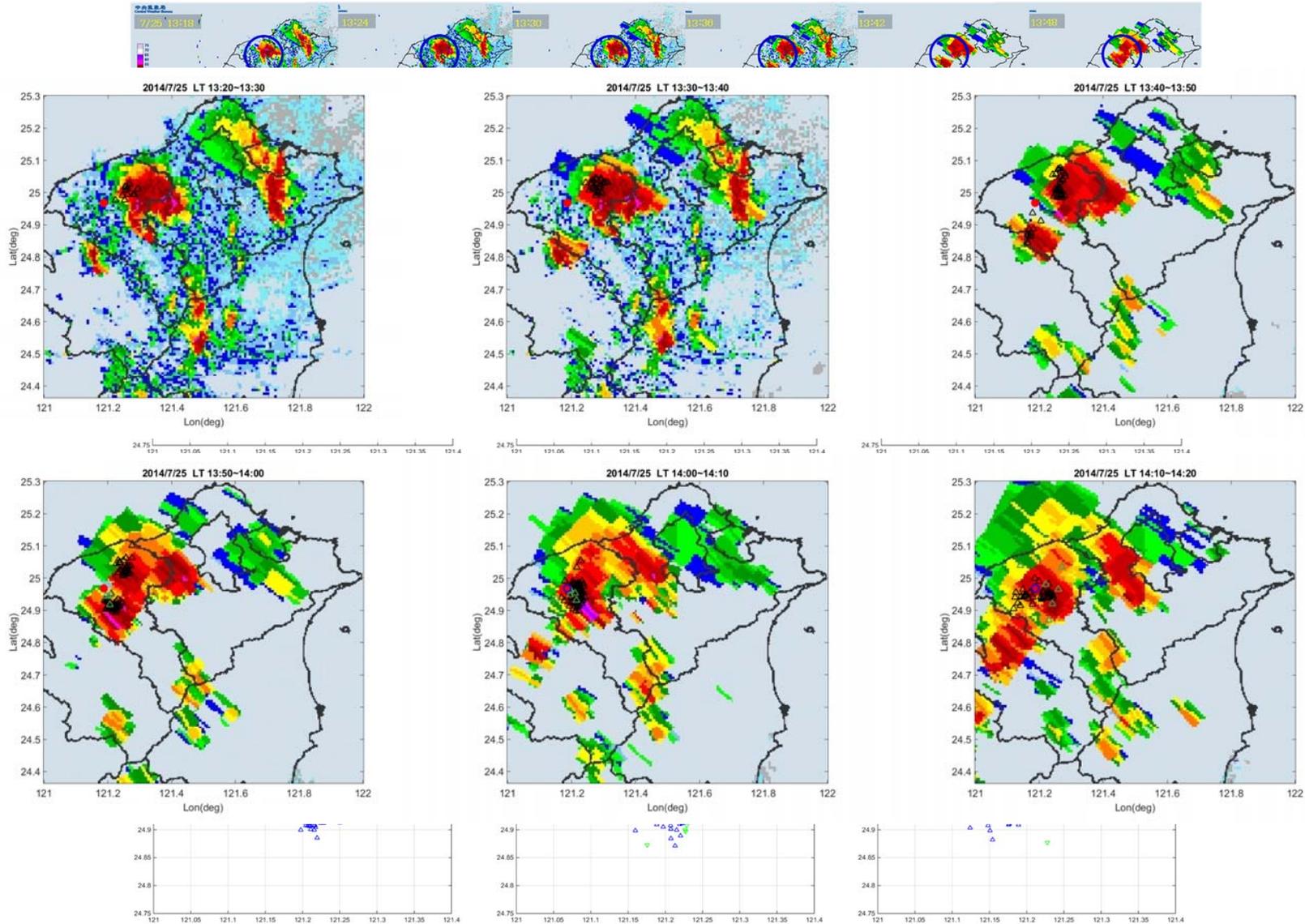


主動式閃電偵測雲地閃訊號



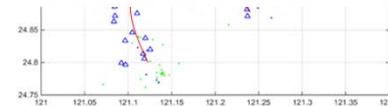
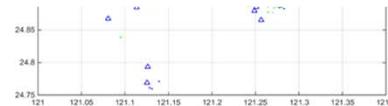
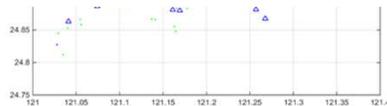
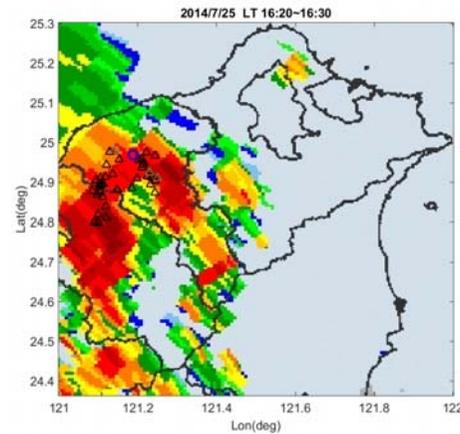
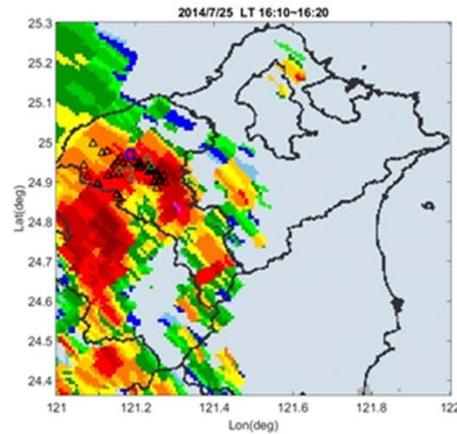
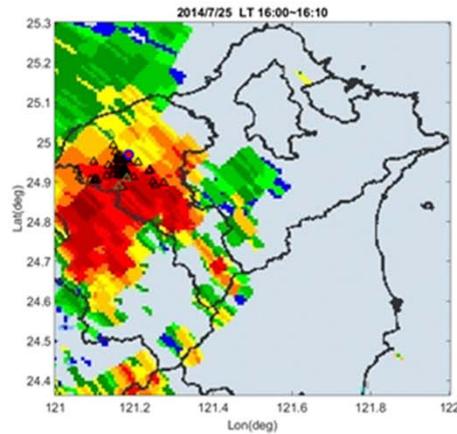
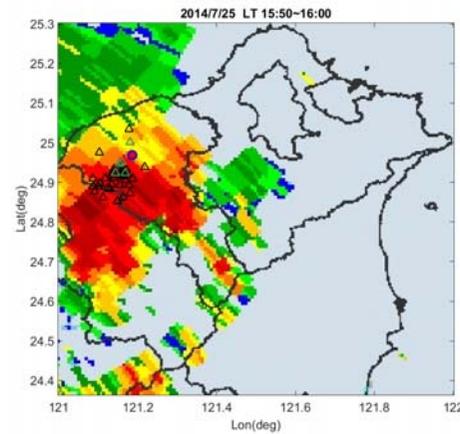
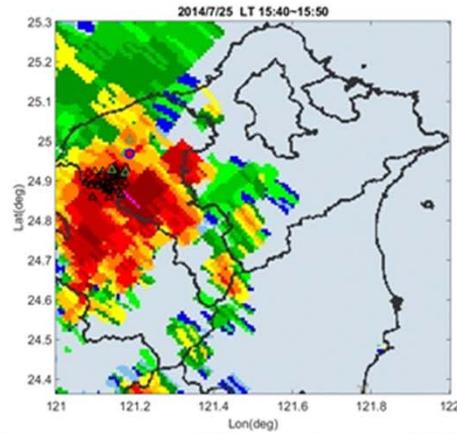
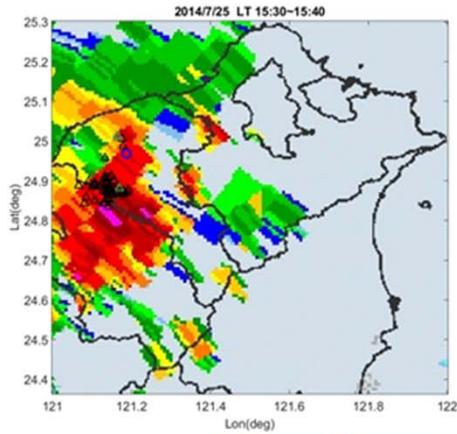
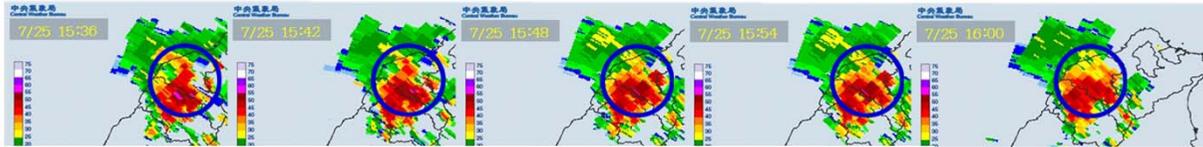


雷雨胞與閃電(1)



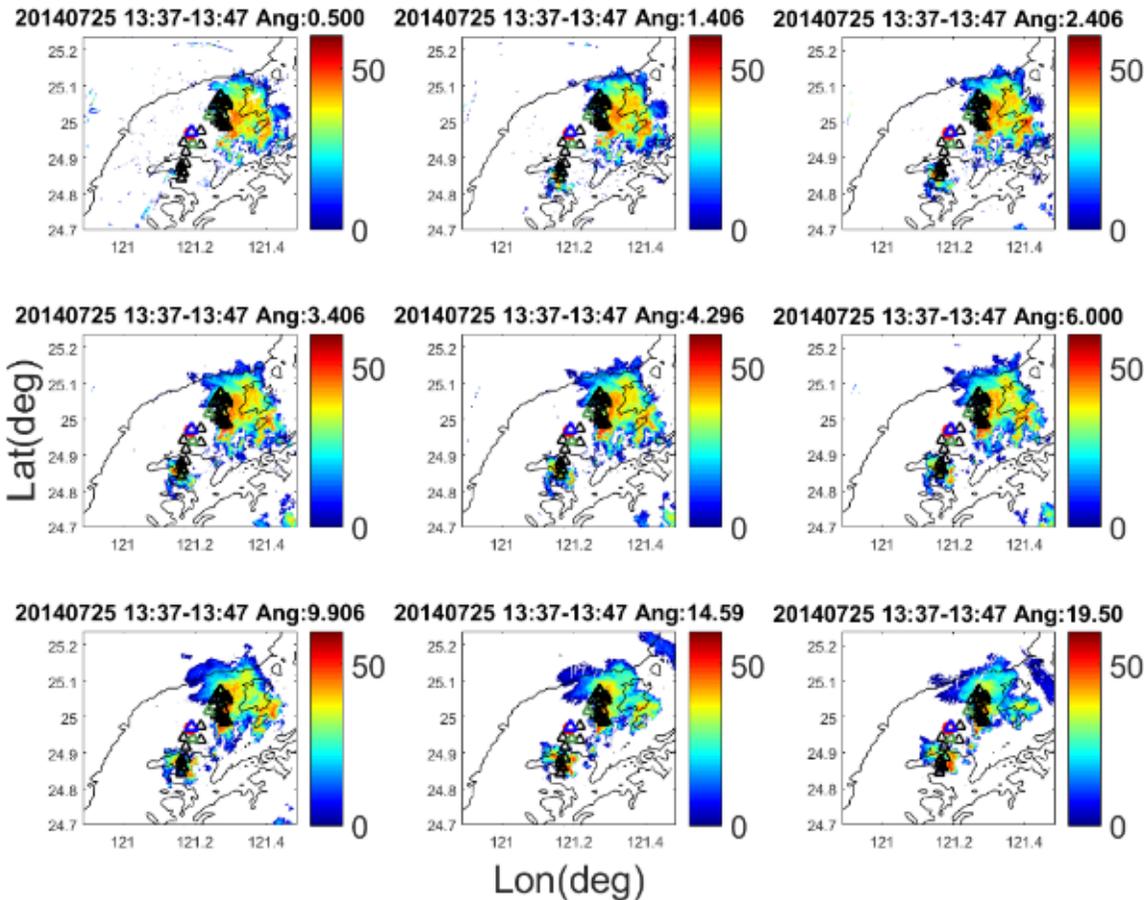


雷雨胞與閃電(2)



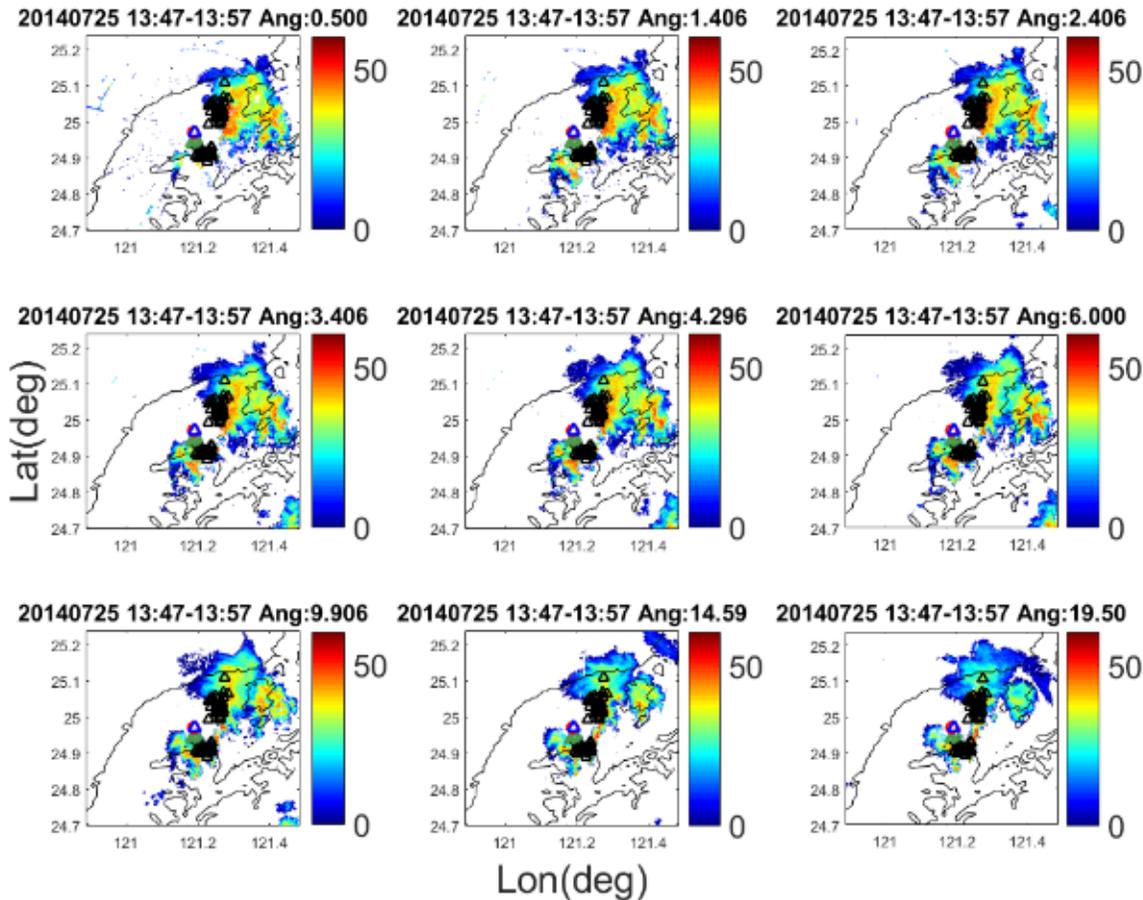


中壢VHF雷達與C-POL氣象雷達 觀測閃電，時間2014年7月25日 13:37~13:47



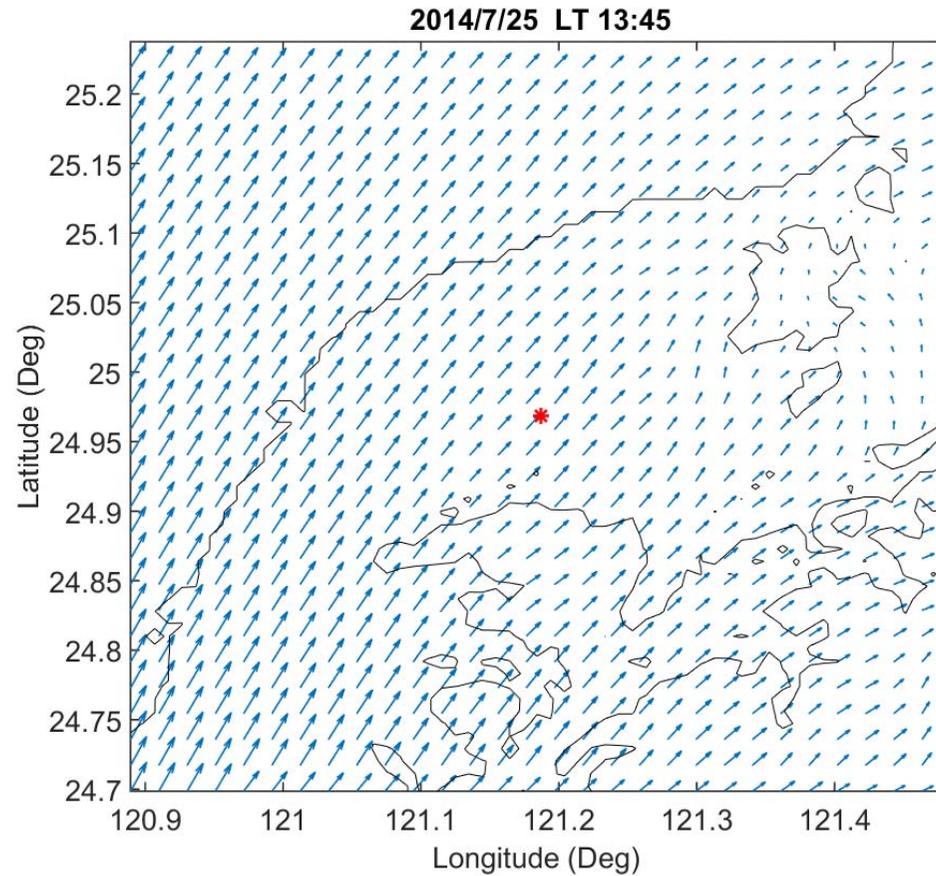


中壢VHF雷達與C-POL氣象雷達 觀測閃電，時間2014年7月25日 13:47~13:57





C-POL 氣象雷達 合成大氣水平風場

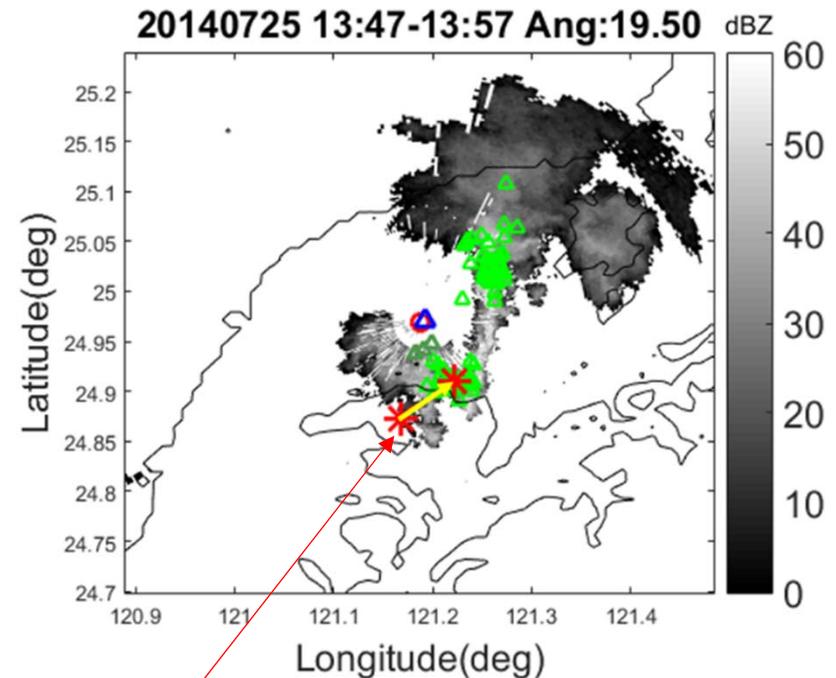
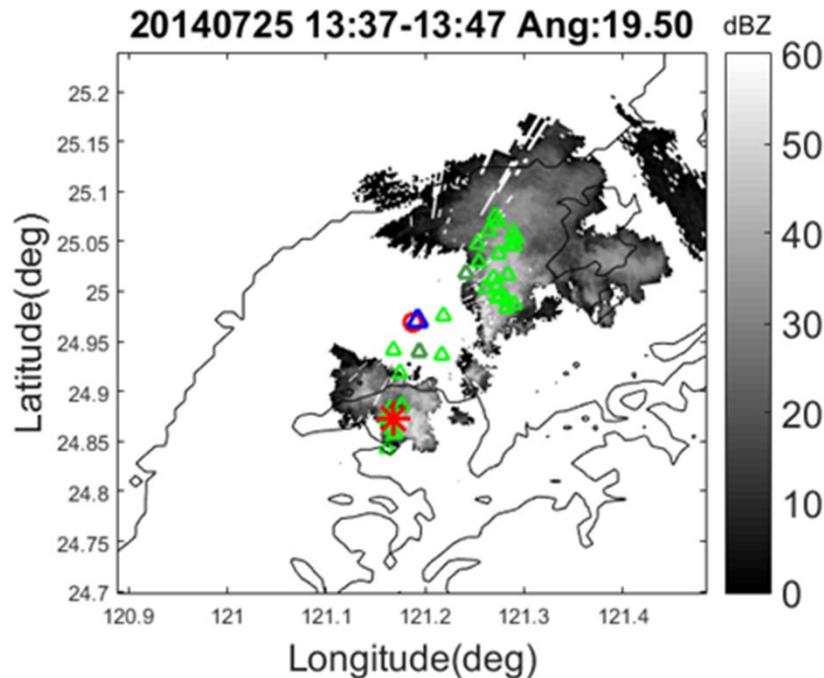




閃電發生位置的移行



紅色星號為平均位置，草綠色為雲閃，深綠色為地閃

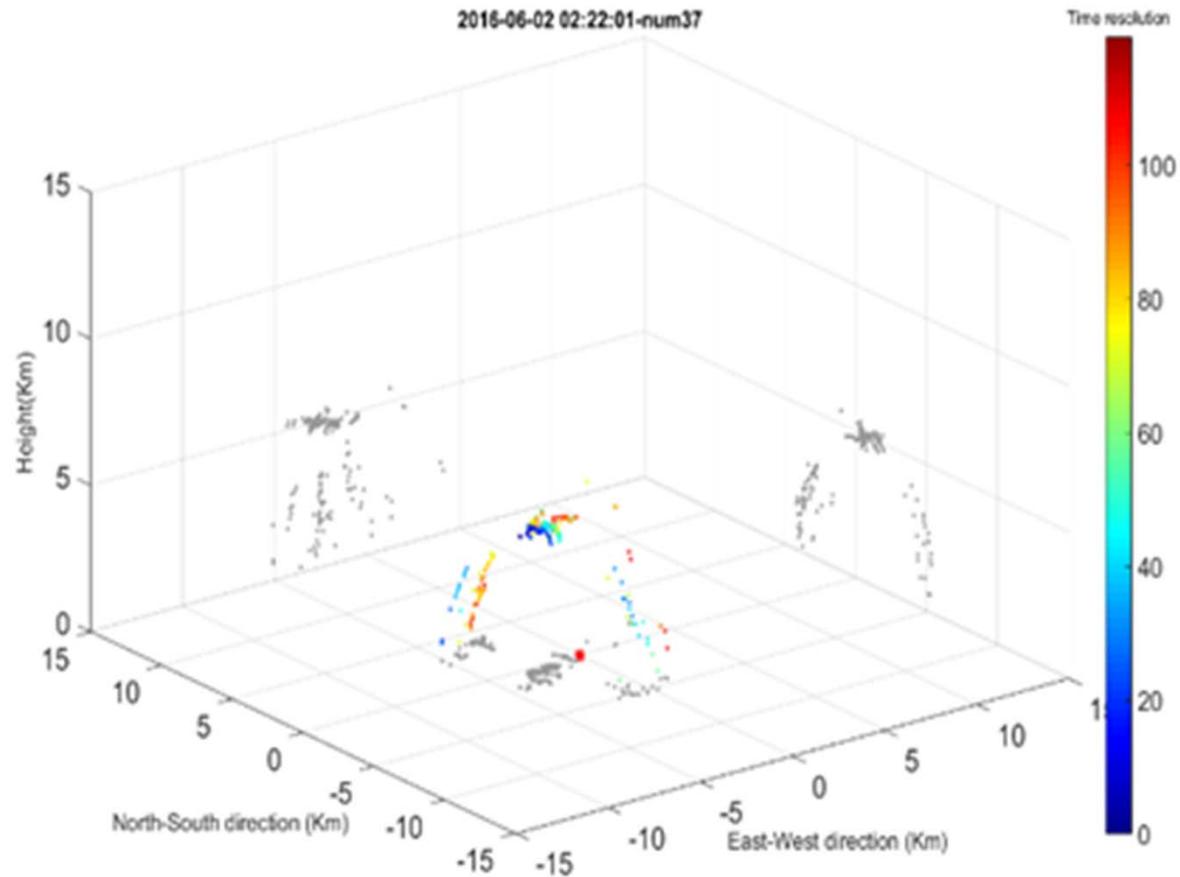
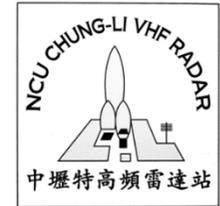


閃電移行十分鐘平均速度5.96 m/s與C-POL
氣象雷達水平合成風場平均速度5.81 m/s



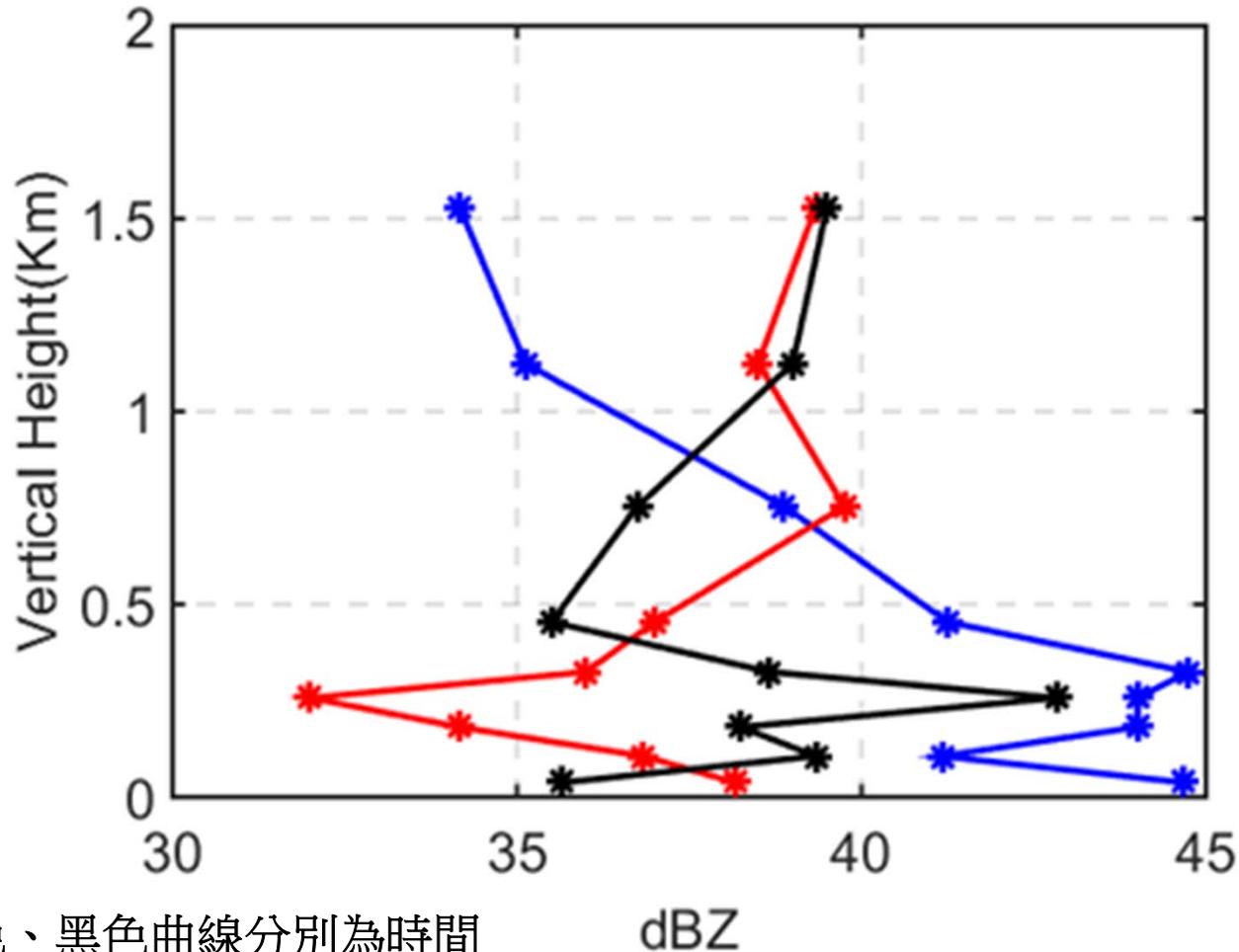
閃電事件三維分布圖

時間2016年6月2日 UT02:22





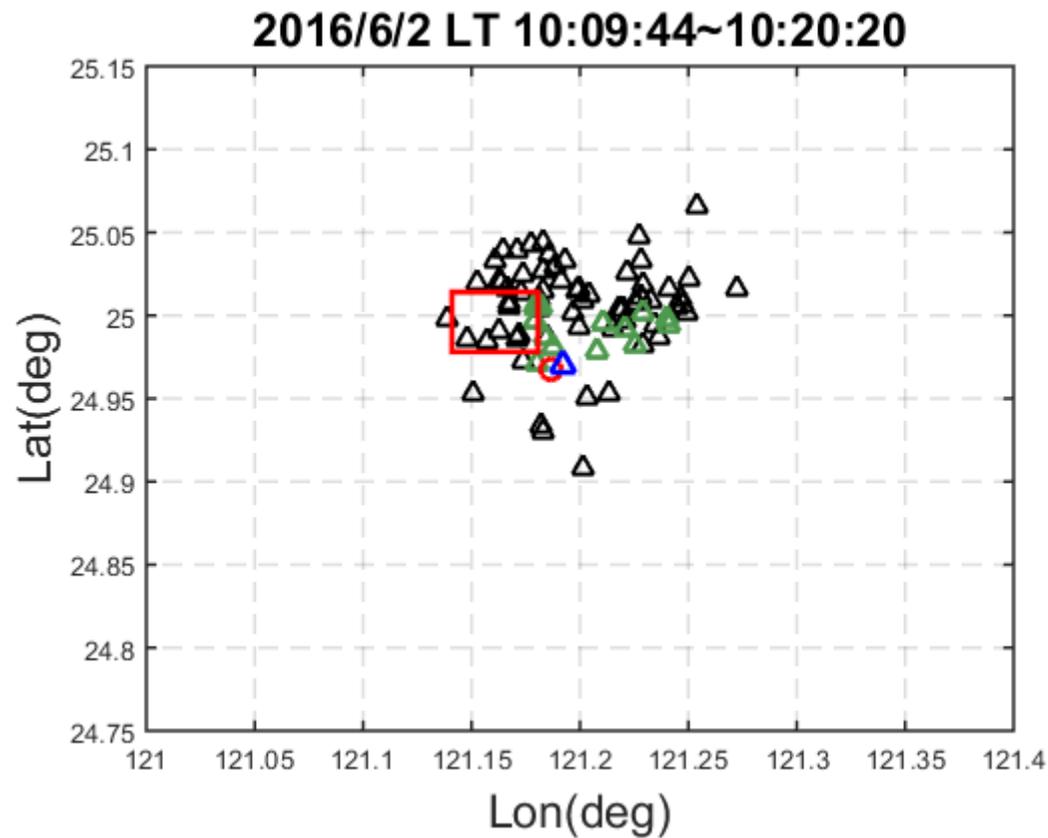
C-POL 氣象雷達觀測訊號 強度九個角度隨高度分布圖



藍色、紅色、黑色曲線分別為時間
先後順序

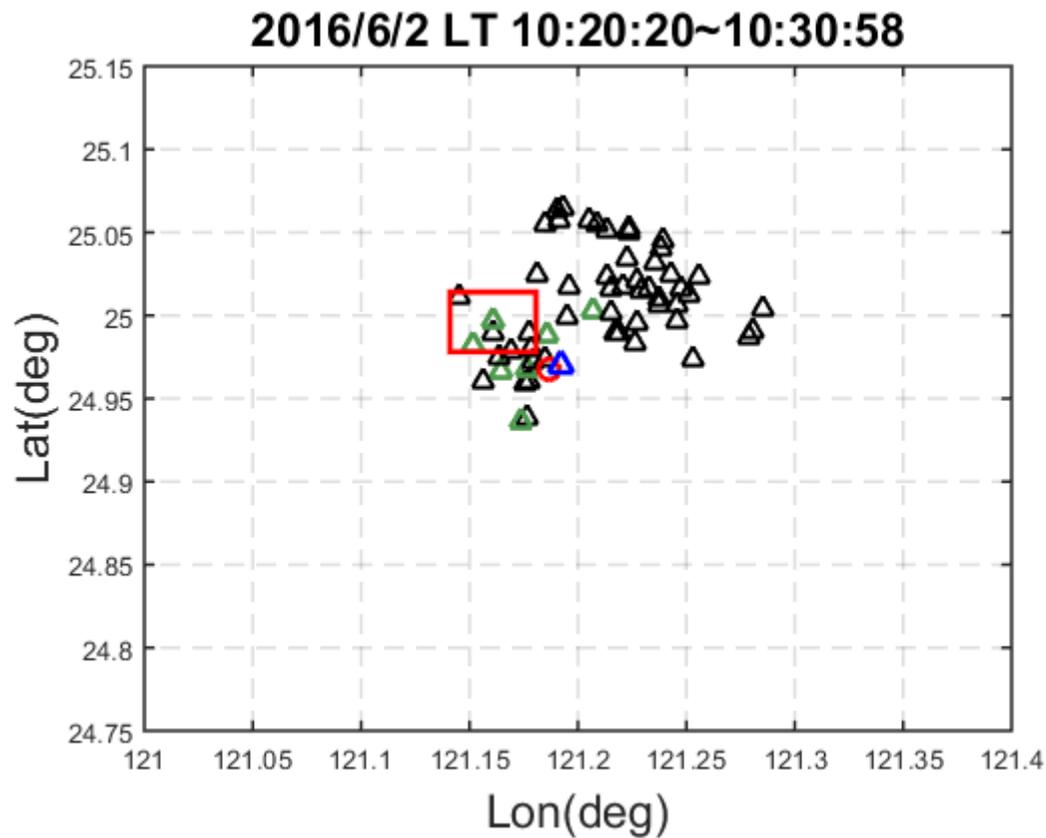


2016年6月2日 早上10:09至 10:20閃電分布圖(藍色線區間)



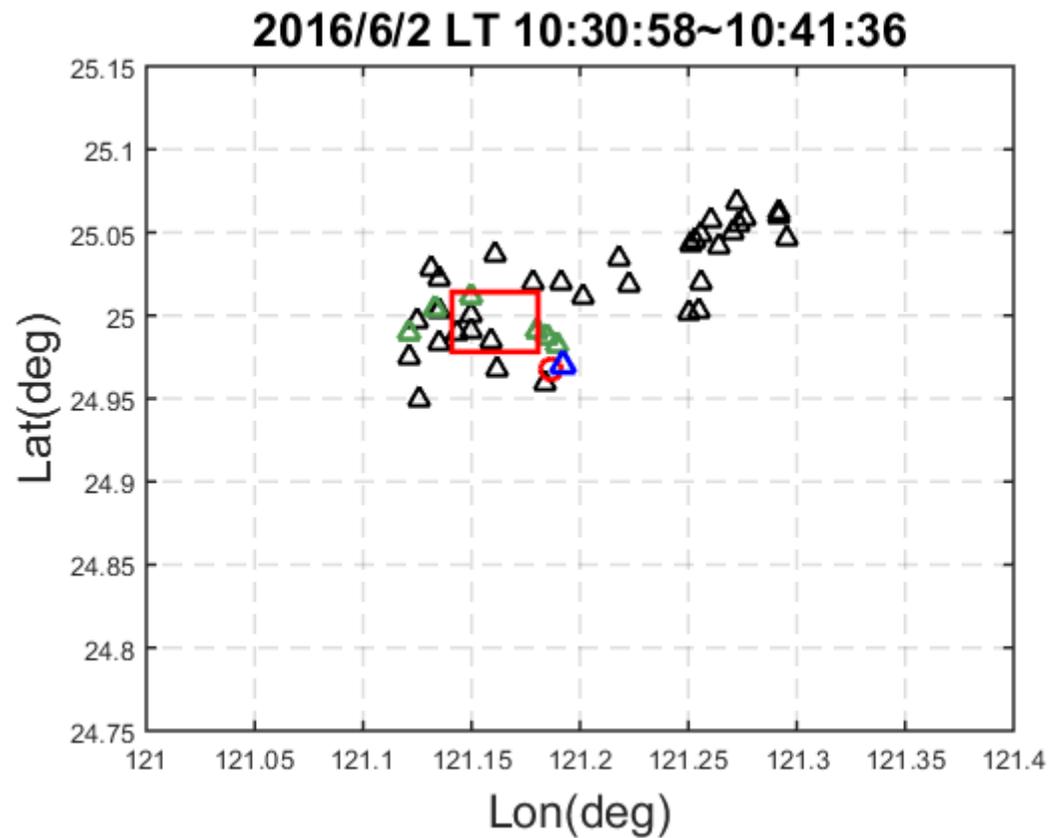


2016年6月2日 早上10:20至 10:30閃電分布圖(紅色線區間)





2016年6月2日 早上10:30至 10:41閃電分布圖(黑色線區間)





中壢特高頻雷達主動式閃電偵測系統 地閃比例



| 觀測日期 | 地閃比例 | 備註 |
|-------------------|----------------|-----------|
| 2013/4/5 (鋒面雷雨) | 36.76% | 曾子弋[2014] |
| 2013/5/20 (鋒面雷雨) | 34.03% | 曾子弋[2014] |
| 2014/8/18 (午後熱對流) | 10.33% | 韓劍[2015] |
| 2014/7/25 (午後熱對流) | 14.21% | 江健瑋[2018] |
| 2016/6/2 (鋒面雷雨) | 26.75% | 吳鎮宇[2018] |
| 平均 | 24.416% | |

Mackerras(1998)統計緯度 $20^{\circ} - 40^{\circ}$ 的區域，CG所佔比例約為**23.9%**，甚至在對流更旺盛的低緯度 $0^{\circ} - 20^{\circ}$ 的區域，CG所佔比例也有**20.2%**，

