

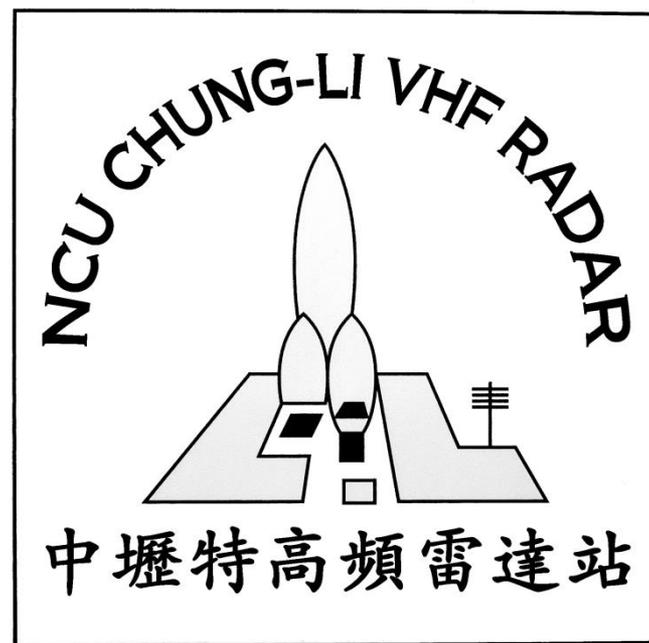
# 主動式閃電偵測系統



朱延祥，蘇清論，龔瑞鳴，陳祥章  
國立中央大學太空科學研究所

民國102年5月14日

2013台灣地球科學聯合會學術研討會，龍潭



# 摘要

- 前言

  - 閃電特性—主動式雷達偵測閃電之參數規劃

- 主動式閃電偵測系統干涉天線架構與定位原理

  - 干涉定位方程式建立

  - 天線陣列設計

  - 系統相位差校正

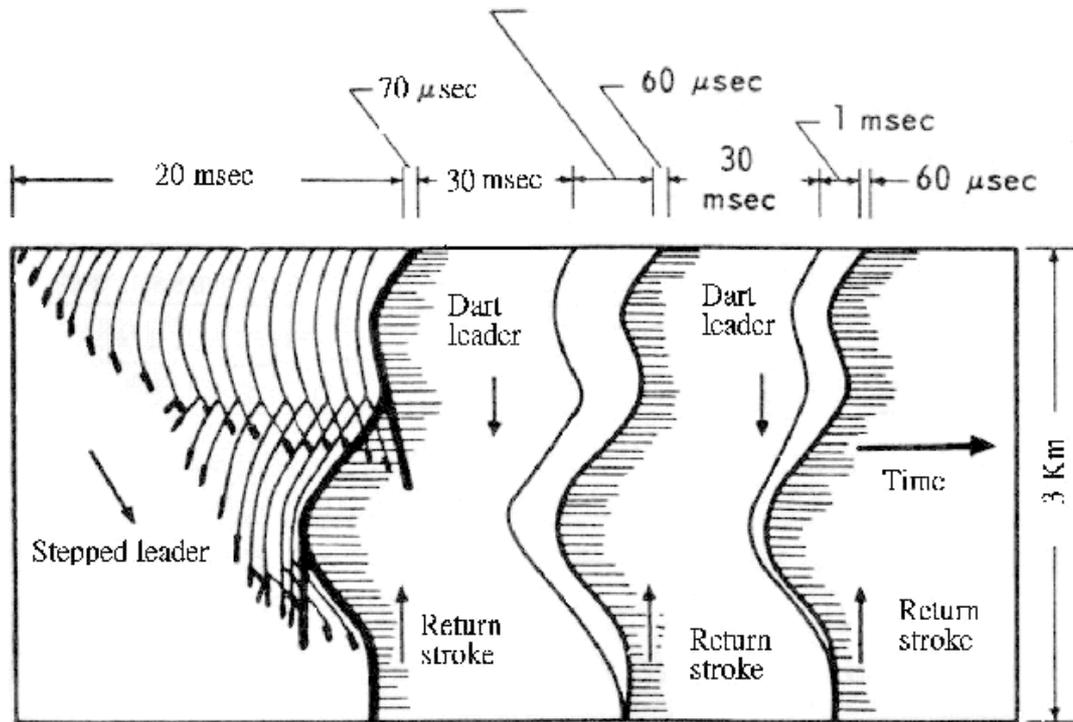
- 閃電觀測實例

  - 主動式與被動式閃電訊號

  - 閃電定位實例

- 結論

# 一些閃電特性



取自M.A. Uman “Lightning” (1969)

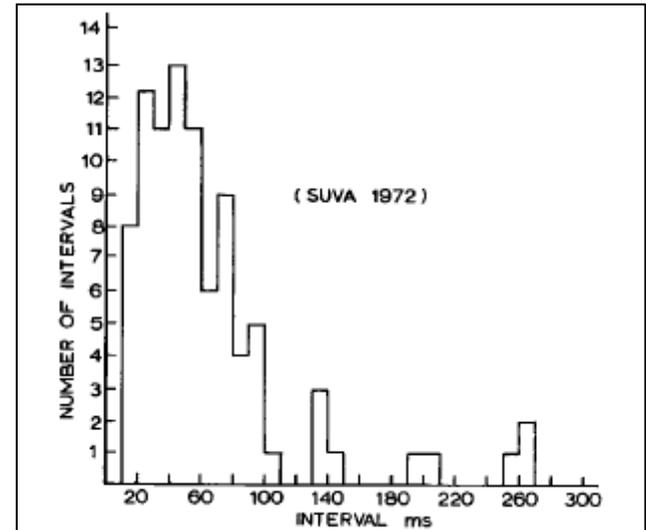


Fig. 4. Distribution of intervals between return strokes.

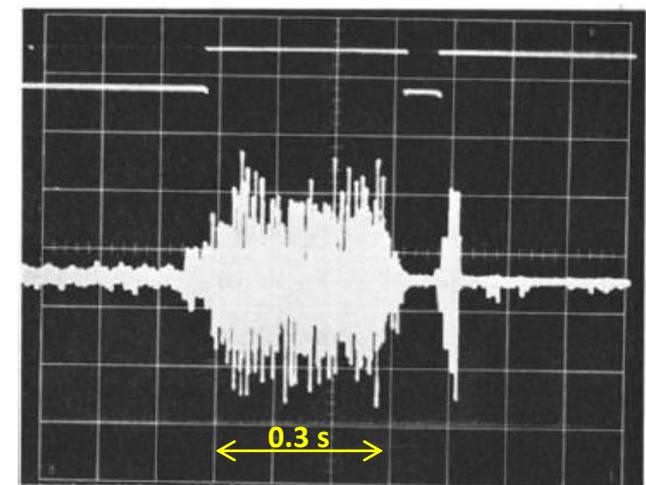
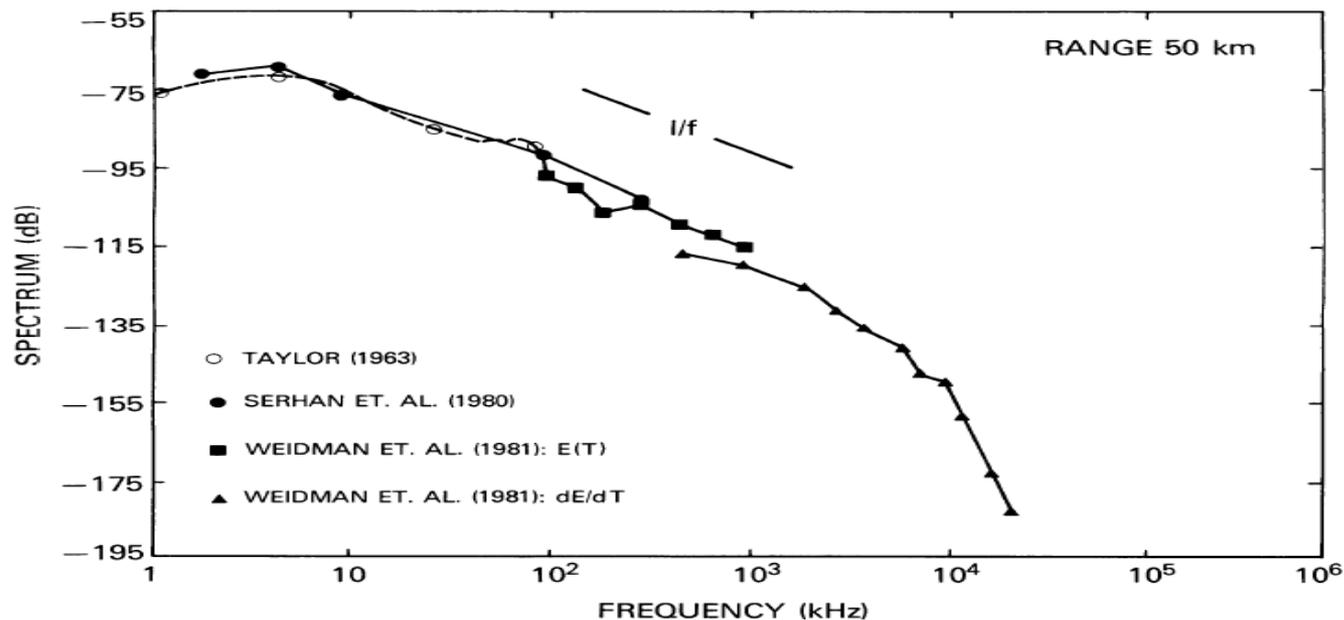


Fig. 1. Gap in noise envelope at receiver output following return stroke. Time scale: 100 ms/division. Vertical scale: median value at receiver input  $\approx 2$  mV peak to peak [Kreielsheimer and Lodge-Osborn, 1971].

(Clegg, 1979, JGR)

# 閃電輻射射頻信號特性

- 雲間、雲內和雲對地的閃電過程都會發出頻寬很寬射頻(RF)能量，最高有 $\gamma$ 射線及x射線。在建立新的放電導通通道的過程間，在VHF頻率範圍內有強信號。



# 主動式閃電偵測系統與傳統閃電偵測系統比較

- 傳統閃電偵測系統為單純接收閃電發生時，所輻射出的各不同頻段電磁波，相對容易受到周遭環境影響，造成閃電定位的誤差，且在閃電測定時，需要多站測量，才可獲得較高精度的定位結果。
- 主動式閃電偵測系統以偵測雷達概念帶入，以雷達波束偵測閃電釋放能量後，造成大氣游離大量的帶電粒子，形成帶電粒子的不規則體，利用布拉格**散射(Bragg scattering)**或**反射(Reflection)**回波機制，接收散射回來的訊號，進行分析定位。
- 傳統閃電偵測系統利用接收系統偵測範圍廣，單站精度較差，需利用多站觀測提升定位精度；主動式閃電偵測系統偵測範圍受限於雷達波束的直線範圍，觀測範圍小，但利用雷達時序測距，觀測定位精度高。
- 故主動式閃電偵測系統將可用來**校驗傳統閃電雷達偵測系統**，增加傳統系統的定位精度。

# 主動式閃電偵測系統天線陣列



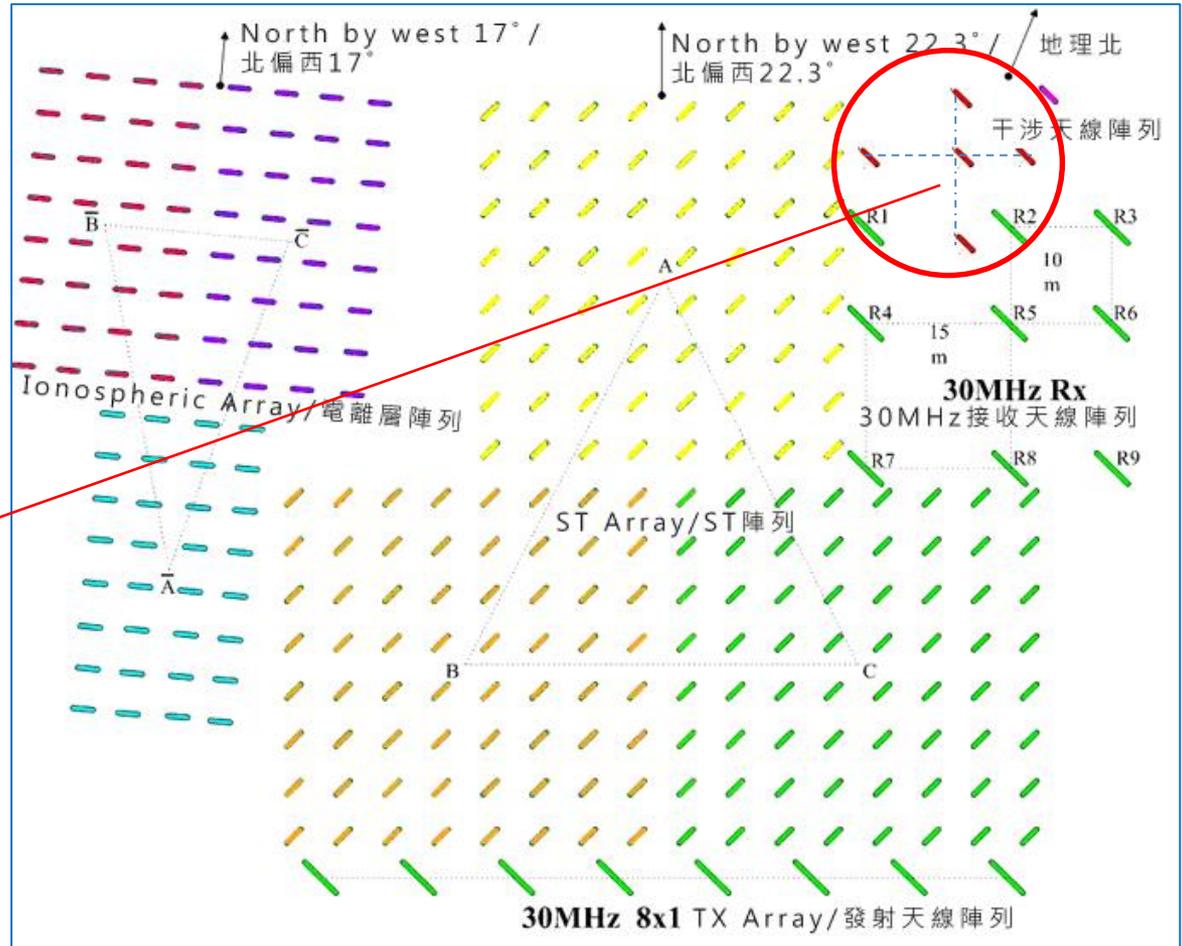
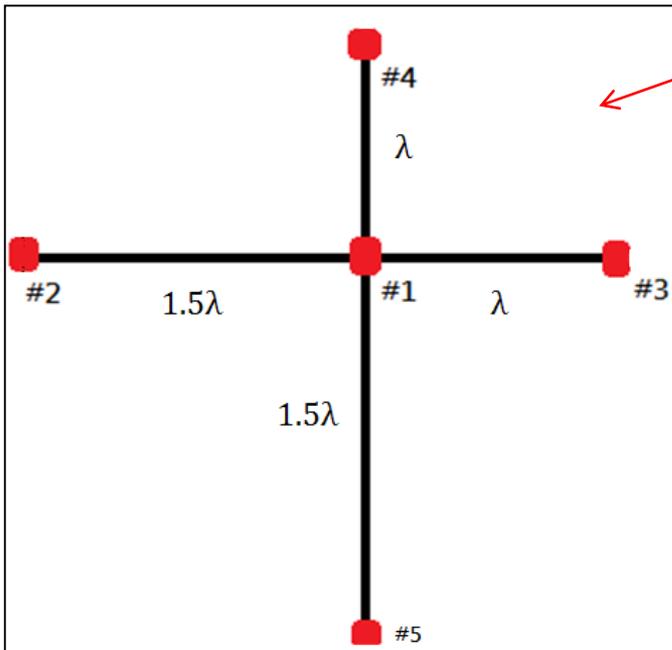
發射天線



接收天線

# 主動式閃電偵測系統天線陣列

$\lambda = 5.77\text{m}$



# 干涉定位方程式

$$\mathbf{r} = R\cos\theta\sin\varphi\hat{x} + R\cos\theta\cos\varphi\hat{y} + R\sin\theta\hat{z}$$

$\theta$  is the elevation angle  
 $\varphi$  is the azimuth angle

$$\mathbf{r} = R\cos\theta\sin\varphi\hat{x} + R\cos\theta\cos\varphi\hat{y} + R\sin\theta\hat{z}$$

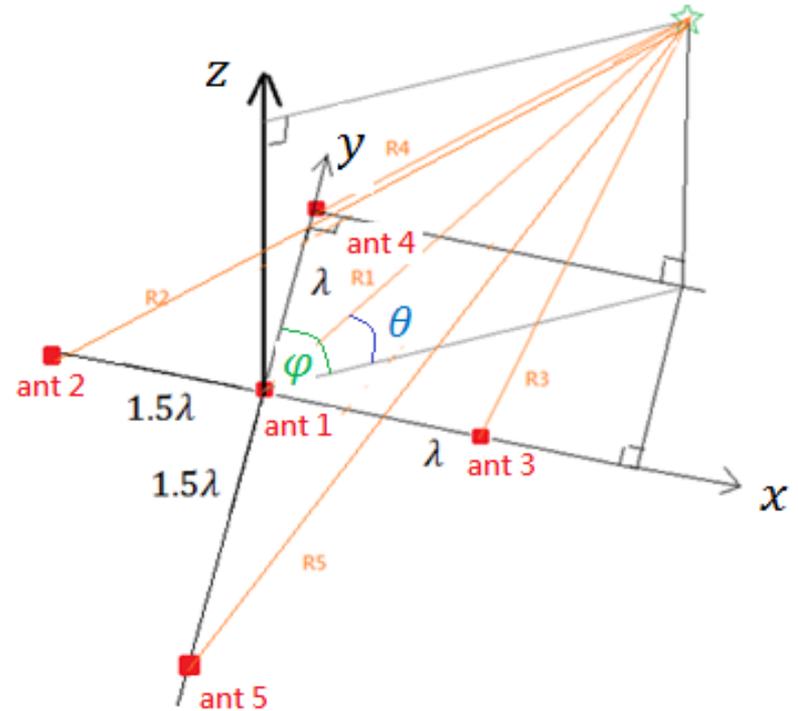
$$\text{實際相位差} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L_{ij} = \frac{2\pi}{\lambda} (R_j - R_i)$$

$$\phi_{12} = \frac{2\pi}{\lambda} (R_2 - R_1) + \Delta\phi_{12}$$

$$\phi_{13} = \frac{2\pi}{\lambda} (R_3 - R_1) + \Delta\phi_{13}$$

$$\phi_{14} = \frac{2\pi}{\lambda} (R_4 - R_1) + \Delta\phi_{14}$$

$$\phi_{15} = \frac{2\pi}{\lambda} (R_5 - R_1) + \Delta\phi_{15}$$



其中 $\phi_{ij}$  為天線*i*與*j*之雷達觀測相位差， $\Delta\phi_{ij}$ 為系統相位差

# 相位差的計算

利用互相關函數分析法，可以得到某天線對回波訊號的相位差，再根據下式即可算出閃電方位角與仰角。

方位角

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_{12}\phi_{13}(\phi_{13} - \phi_{12})}{4\pi^3} + \frac{2.25\phi_{13} - \phi_{12}}{\pi}}{\frac{3\phi_{13}^2 + 2\phi_{12}^2}{4\pi^2} - 7.5} \right) \left( \frac{\frac{\phi_{14}\phi_{15}(\phi_{14} - \phi_{15})}{4\pi^3} + \frac{2.25\phi_{14} - \phi_{15}}{\pi}}{\frac{3\phi_{14}^2 + 2\phi_{15}^2}{4\pi^2} - 7.5} \right)$$

仰角

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_{12}\phi_{13}(\phi_{13} - \phi_{12})}{4\pi^3} + \frac{2.25\phi_{13} - \phi_{12}}{\pi}}{\sin \varphi \left( \frac{3\phi_{13}^2 + 2\phi_{12}^2}{4\pi^2} - 7.5 \right)} \right)$$

或

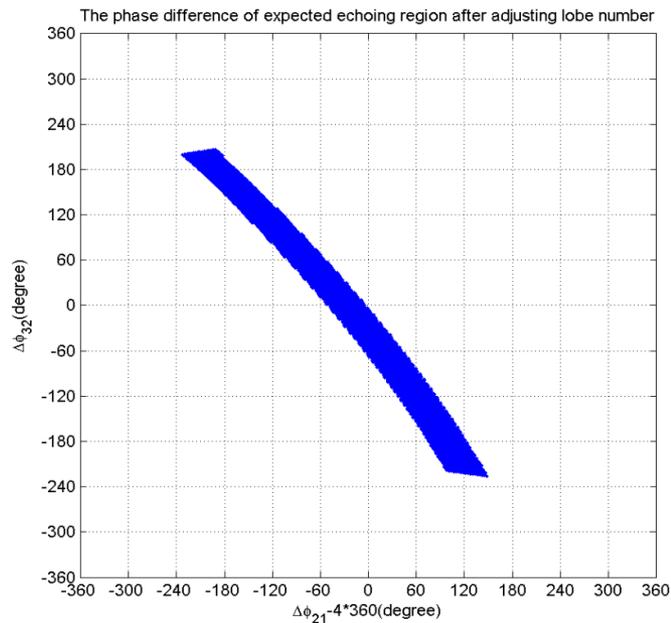
仰角

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\frac{\phi_{14}\phi_{15}(\phi_{14} - \phi_{15})}{4\pi^3} + \frac{2.25\phi_{14} - \phi_{15}}{\pi}}{\cos \varphi \left( \frac{3\phi_{14}^2 + 2\phi_{15}^2}{4\pi^2} - 7.5 \right)} \right)$$

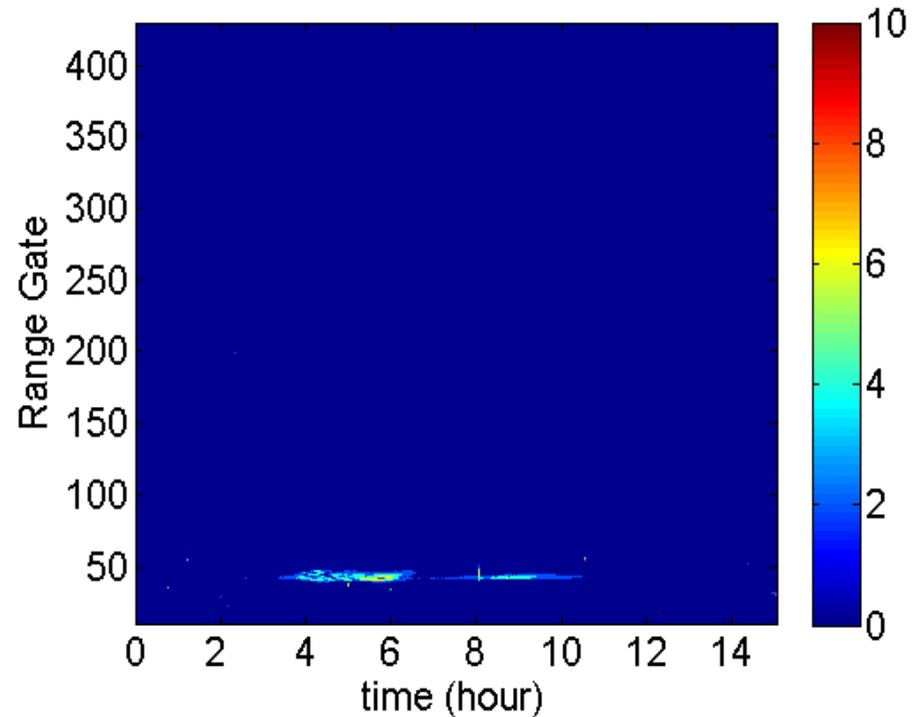
# 雷達系統相位校正

## — 電離層E域場列不規則體之運用 —

IGRF地磁模式所得之電離層不規則體  
預測回波區

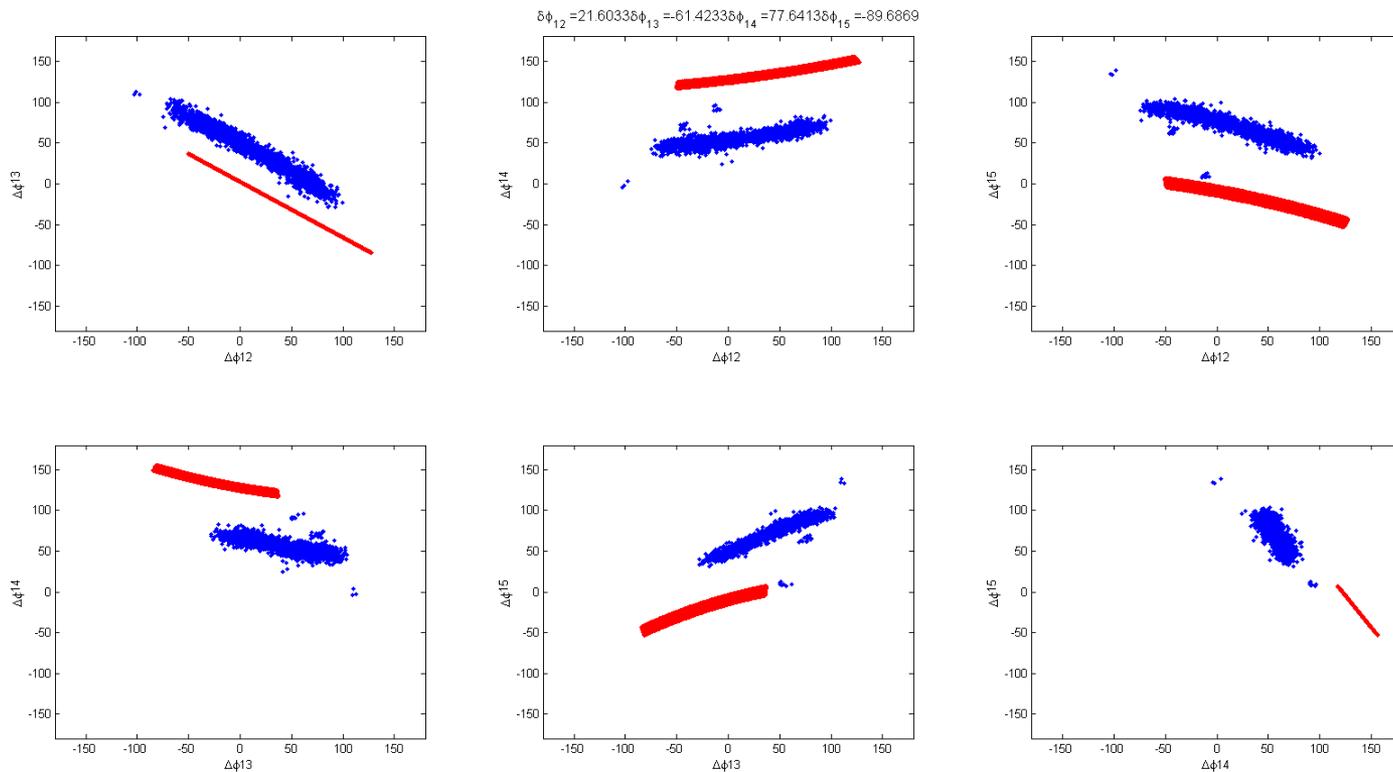


中壢雷達觀測之電離層不規則體  
距離—時間回波圖(2012/11/30)



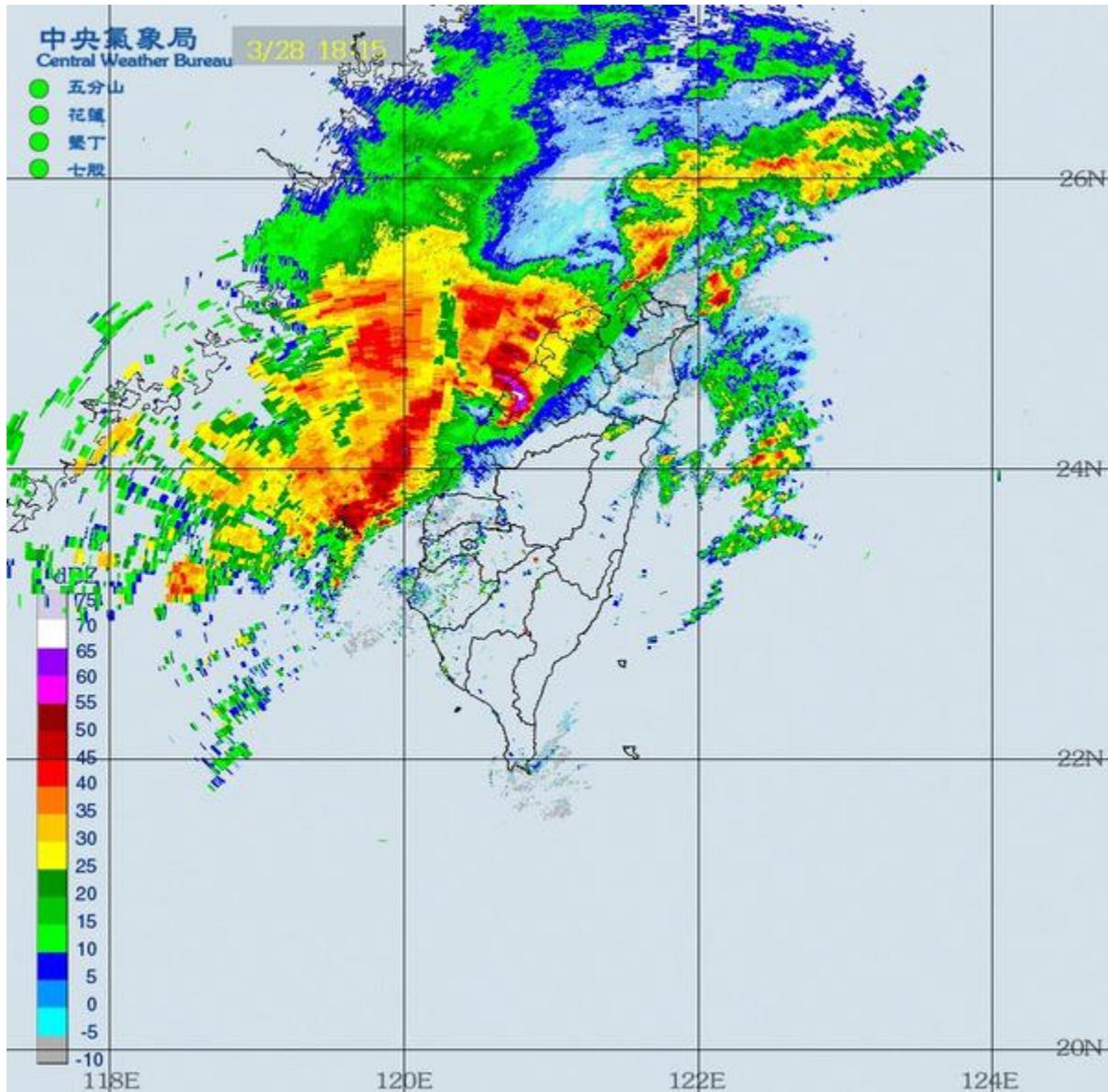
# 雷達系統相位校正

$$\begin{aligned}\delta\phi_{12} &= 21.6^\circ & \delta\phi_{13} &= -61.4^\circ \\ \delta\phi_{14} &= 77.6^\circ & \delta\phi_{15} &= -89.7^\circ\end{aligned}$$



— 模式預測相位差  
— 雷達觀測相位差

# 氣象雷達回波圖

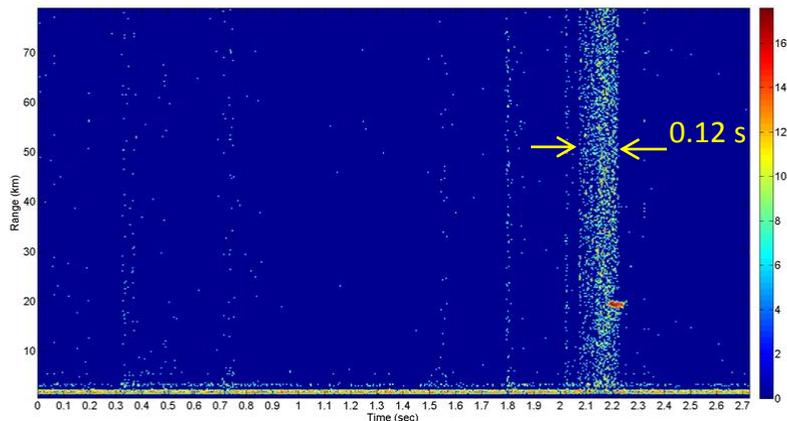


# 主動式閃電偵測系統觀測參數設定

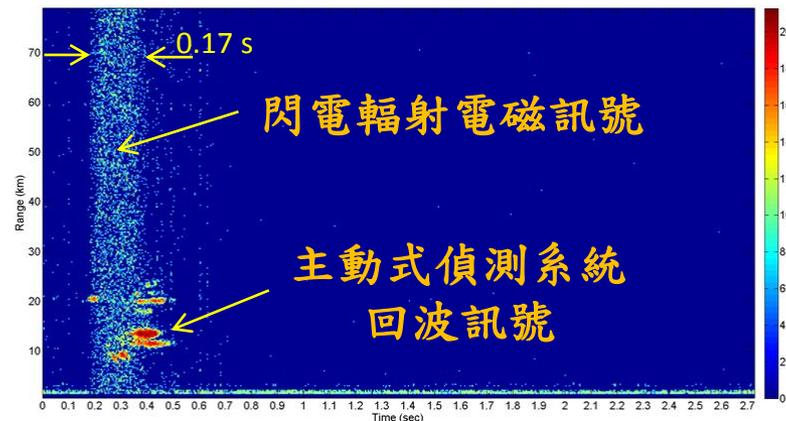
雷達參數表	
IPP	333 $\mu$ s
PULSE length	2 $\mu$ s
Delay time	4 $\mu$ s
Number of range gate	262
Number of coherent integration	8次
Number of trials	45000
Range Resolution	300(m)
Time Resolution	2664 $\mu$ s
截止頻率 (Nyquist Frequency)	185(Hz)
最低取樣高度	0.6(km)
最高取樣高度	79.2(km)

# 主動式閃電偵測系統觀測閃電回波實例

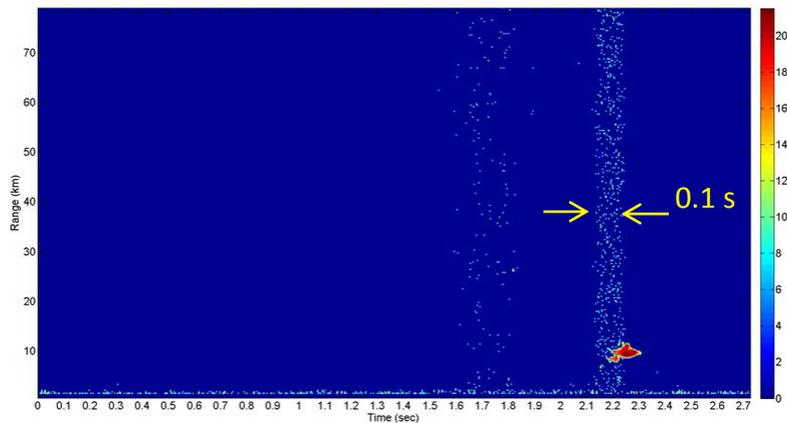
2013-03-28 18:13:40



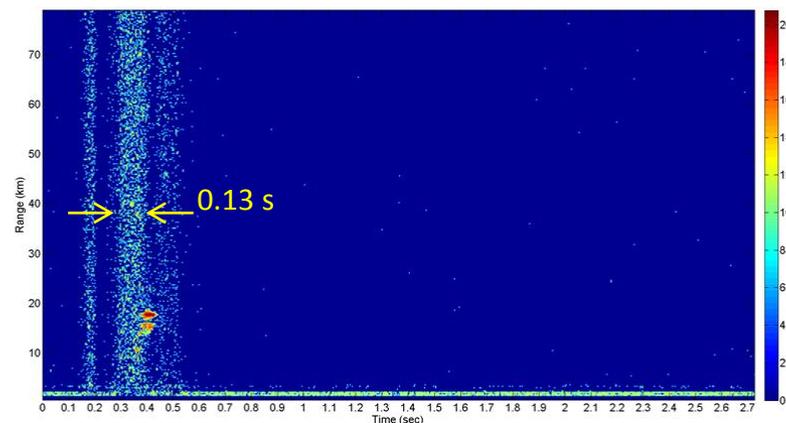
2013-03-28 18:19:45



2013-03-28 18:17:50



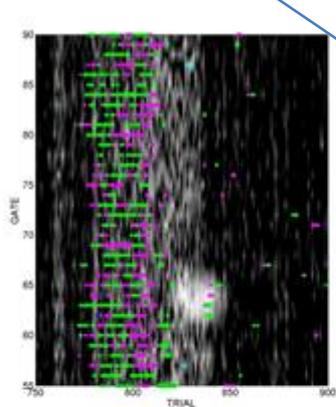
2013-03-28 18:16:30



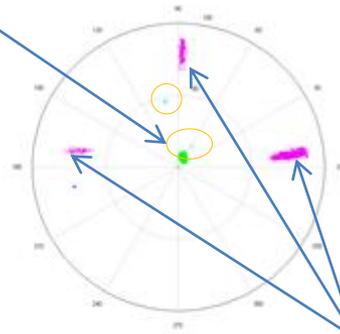
雷達發射尖峰功率為5kw

# 主動式閃電偵測系統閃電定位實例分析

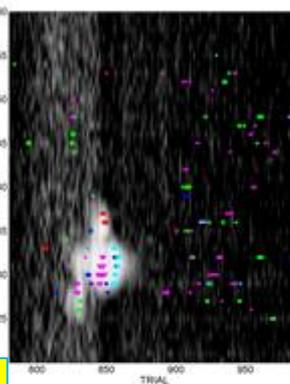
Atmospheric echoes?



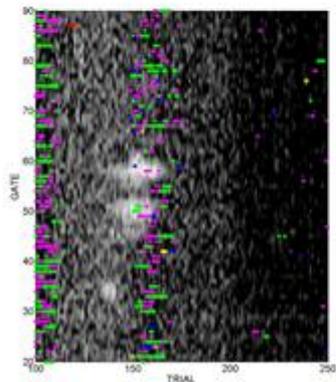
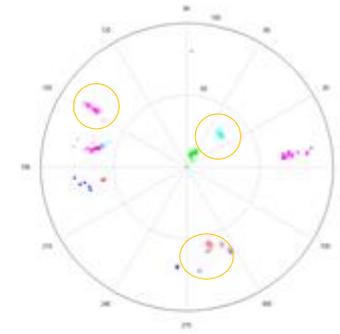
03/28/2013, 18:13:40



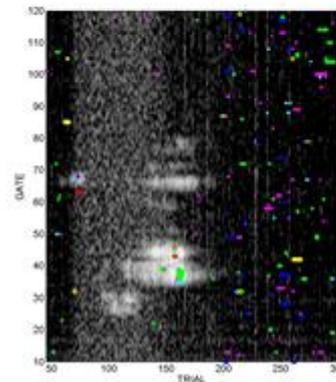
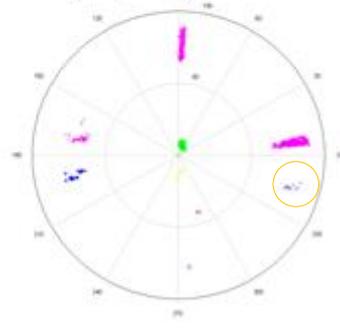
Ground clutters?



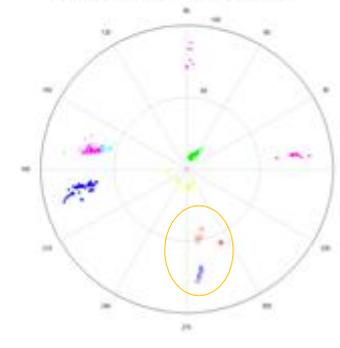
03/28/2013, 18:18:49



03/28/2013, 18:16:30



03/28/2013, 18:19:45



互相關分析時間長度- 21.6 ms (2.7 msx8點)

# 結論

- 一、主動式閃電偵測系統已初步建置完成，並如預期，能有效偵測到閃電的回波。
- 二、利用電離層場列不規則體、配合IGRF地磁模型，可以精確校正本系統的閃電回波相位，作為閃電定位之用。
- 三、本系統除可以作為未來我國所建置之被動式閃電偵測網的校驗設備之外，並可以針對閃電的空間結構、時變現象以及閃電的前兆，做基礎科學與應用研究。
- 四、主動式閃電回波定位分析，必須考慮雷達站址附近環境因素影響，排除大氣與地面回波雜訊，才有可能針對閃電事件，進行精準定位與偵測。