

2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 180006
參展科別 地球與環境科學
作品名稱 以雷達回波圖推估閃電發生的可行性研究
得獎獎項

就讀學校 高雄市立高雄女子高級中學

指導教師 蔡靜誼

作者姓名 李尹瑄、游禹樂

關鍵詞 雷達回波、閃電

作者簡介



游禹樂、(右)李尹瑄

四年多前，我們進行閃電與降雨地形及溫溼度的研究，並且參加了科展比賽，過程中增強了我們認識興趣及好奇，之前的研究主要針對實驗模擬溫濕度及與實際資料的比較，上高中後，進入同校的兩人，想藉由更深入的觀測儀器數值資料分析閃電的性質。

壹、研究動機

上高中後，我們將國中對閃電研究的興趣延續，國中的研究著重於閃電與降雨地形及溫溼度的關係，高中這幾年我們的目標是希望找出以容易取得的雷達迴波圖推估閃電得發生，高一及高二上學期間我們在研究過程中，對閃電的資料記錄方式、形成條件、現象等越理解，讓我們除漸漸得出穩定的研究結果，但也發現因為需不斷的調整以趨向大自然的真實狀況，我們方法有限制。本報告以我們初始研究為基礎，以調整後的方式進行深入分析，期望以其他的氣象資料輔助雷達迴波圖的可行性，並且以三維雷達回波資料分析降水粒子對閃電發生的影響，最終希望建立利用資料推估閃電發生的簡易閃電預報模式。

貳、研究目的

- 一、釐清以雷達回波推估閃電時空分布的「可行」及「不行」部分。
- 二、建立其他氣象資料對於上述「不行」部分的定量分析，將「不行」趨向「可行」。
- 三、以三維雷達回波資料分析降水粒子對閃電發生的影響。
- 四、整合建立易取得資料簡易推估閃電時空分布的流程。

參、研究方法

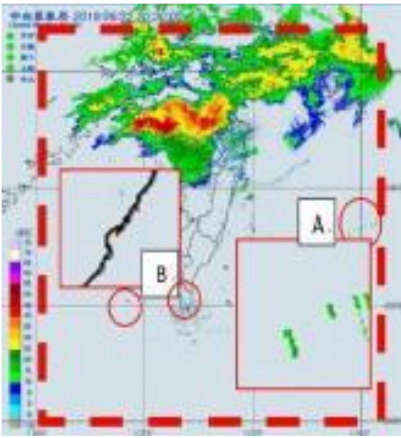
- 一、了解閃電與雷達回波強度之間是否存在特定時空關係？

(一)時空範圍的訂定

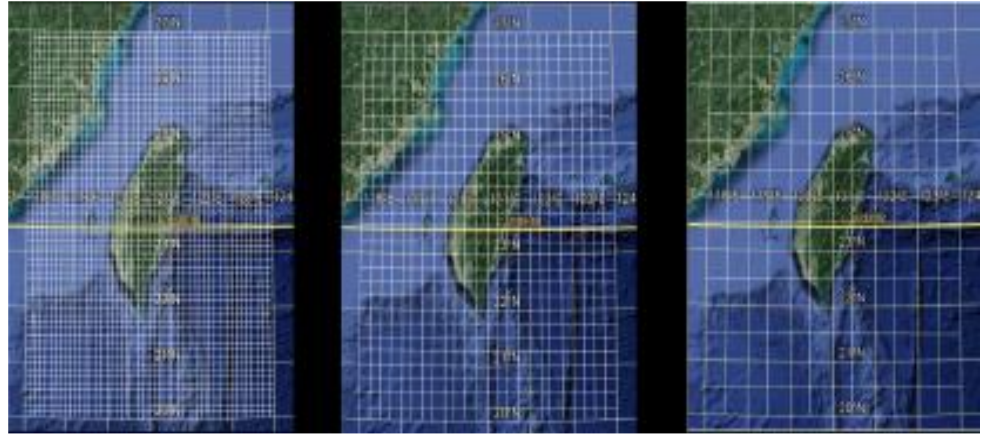
- 1.收集台電 2019 與 2020 年的閃電資料(中央氣象局閃電監測網，2017)，計算研究區域東經 118 到 124 度、北緯 20 到 26 度每日的閃電數量，將閃電個數隨日期變化繪製成圖。
- 2.以每日閃電個數 40000 為門檻，選擇個數大於門檻的日期。

(二)閃電與雷達資料的空間時間選取

- 1.將研究區域每 0.125 度、0.25 度、0.5 度劃分閃電及雷達回波的空間資料(圖二)。並以每小時的移動視窗，計算在各空間網格(X_i, Y_i)內每個時間視窗 T_i 內的閃電個數 $N_i(X_i, Y_i, T_i)$ 。
- 2.利用 R 程式讀出雷達回波圖(如圖一)每一像素 pixel 顏色量化的 RGB 數值，求出對應的雷達回波數值 $R_i(X_i, Y_i, T_i)$ 。
- 3.計算各網格裡包含的所有像素代表之雷達回波數值的「第 95 百分位數」(95th percentile)，分析各事件同一網格內雷達回波「第 95 百分位數」與閃電個數的逐時關係。



圖一 數值化雷達回波圖



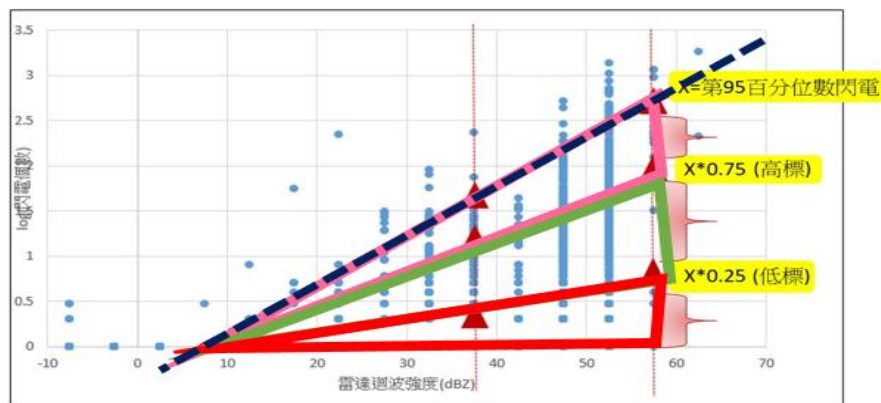
圖二 空間分割格點圖(0.125 度、0.25 度、0.5 度)

(四)雷達回波是否和閃電時空分布具特定的關係？

1. 將一個事件中，一個網格在一小時內所累積的閃電個數對數值 $N_i(X_i, Y_i, T_i)$ 與該網格在該小時所對應到的雷達回波強度 $R_i(X_i, Y_i, T_i)$ 資訊配對。
2. 結合成閃電雷達配對資訊 $L_i = (N_i, R_i)$ ，統整後繪製成關係圖。
3. 比較歸納上述線性關係在不同空間尺度及不同事件之間的結果，確立以此做為全區雷達回波圖推估閃電時空分布的「可行」規則。

二、了解閃電個數對應雷達回波強度關係是否存在地區性特性？

1. 將雷達回波強度代入上述資料配對求得的公式，相同雷達回波下的閃電中，找出第 95 百分位的閃電個數，如圖三中虛線部分，計為 K 。
2. 將 K 乘以 0.25 得到的值訂為閃電的低標(圖三紅色三角形部分)，把 K 乘以 0.75 訂為閃電的高標(圖三粉色三角形部分)，而介於 $K*0.75$ 至 $K*0.25$ 間則為閃電的高低標間(圖三綠色三角形部分)。
3. 分別計算落在低標以下、低標與高標之間以及高於高標的個數。
4. 繪製空間分布圖，將閃電個數低於低標的地區訂為閃電寧靜區，介於低標及高標間稱為閃電中間區，高於高標為閃電活躍區，觀察比較地圖中顏色區塊分布。
5. 歸納比較閃電個數易在低於低標及高於高標發生的區域及時間。
6. 綜合分析整理以雷達回波圖推估閃電時空分布的「可行」部分及「不可行」部分。



圖三 天花板公式高低標示意圖

三、加入其他參考的資料輔助，是否提升雷達回波作為閃電預報的可行性？

- 1.觀察閃電發生局部的寧靜區與活躍區在地區時空分布的規則。
- 2.到大氣水文研究資料庫 <https://dbar.pccu.edu.tw/Default.aspx> 查閱其他可能影響閃電發生因素的參考資料及數值檔案，如：海溫、水氣頻道、風向.....。
- 3.歸納出海溫、水氣頻道、風向、海陸風、迎風與否對閃電個數的影響程度。
- 4.評估雷達回波圖無法正確推估的局部區域處，以輔助資料協助判斷的步驟及效果。

四、以三維雷達回波資料分析降水粒子對閃電發生的影響

(一)比較二維雷達回波圖和三維雷達回波資料的不同

- 1.取得文化大學大氣水文資料庫提供的三維雷達回波資料，以 **MATLAB** 程式讀取。
- 2.將研究區域每 **0.0125** 度劃分，從地面到高空共 **21** 層(0-16km)雷達回波的空間資料，以每小時的移動視窗，記錄在各空間網格內(longitude,latitude,height)的雷達迴波訊號 **dBZ(lon,lat,heit)**。
- 3.繪製不同高度的雷達回波圖並和二維雷達回波圖做比較。
- 4.繪製不同強度的雷達回波在不同高度的比例分布圖。

(二)連結三維雷達回波資料與閃電發生的關聯性

1.觀察閃電發生之處的雷達回波情況

- (1)找出同一定點，從地面到高空的所有雷達回波數值的最大值 $\text{Max}(\text{dBZ}(\text{lon},\text{lat},:))$ 。
- (2)將 $\text{Max}(\text{dBZ}(\text{lon},\text{lat},:))*0.95$ 。
- (3)找出雷達回波大於 $\text{Max}(\text{dBZ}(\text{lon},\text{lat},:))*0.95$ 出現的最高高度。
- (4)針對每個網格做出上述三步驟。
- (5)將上述資料繪製在地圖上並與閃電發生之處做比較。

2.觀察閃電發生之處與有效雷達回波在空中分布的特性

- (1)基於天花板公式，我們視雷達回波強度大於 **30dBZ** 者為有效的回波訊號。
- (2)分別將 **1-4km**、**5-8km**、**9-12km**，連續四公里的雷達回波數值皆大於 **30dBZ** 的地區標示出來。
- (3)觀察雷達回波在垂直高度上「連續」出現有效回波訊號的地區與閃電分布地區的異同。

3.閃電發生與雲層厚度的關係

- (1)將同一地點雷達回波值第九十五百分位數所在的最高高度與雷達回波大於 **20dBZ** 所在的最低高度相減，假設成該地雲層的厚度。
- (2)繪製各地的雲層厚度於地圖上，並與閃電發生之處比較。

4. 具高回波值的雲的垂直變化率與閃電發生的關係

(1)

(2)

五、綜合氣象資料，建立閃電發生的時空模型進行閃電的機率推估

(一) 計算相同雷達回波強度下，不同規模等級的閃電發生機率

1. 將閃電個數以 100 個分等級，計算閃電在不同雷達回波強度下發生的次數。(以下報告稱單位網格、單位時間內個數較多的閃電為「大規模閃電」，反之則稱為「小規模閃電」)

2. 計算不同雷達回波強度下的不同閃電規模發生的頻率並繪製成圖，比較分析閃電個數在不同雷達回波強度下的分布。

(二) 利用統計模型解釋相同雷達回波強度下，不同規模閃電發生頻率

1. 假設相同雷達回波強度下，單位網格單位時間內為獨立的事件，且各事件間不相關。

2. 選取符合上述假設條件下的合適統計模型。

3. 將不同雷達回波強度數值帶入所選取的統計分布模型中，繪製成圖。

4. 比較上述模型所預測的數值與實際上的閃電個數分布之差異。

5. 針對預測不準確的地方，找尋可行的修正方法。

(三) 提出主要以雷達回波圖推估閃電時空分布的規模的機率預報方法及流程

1. 將全區的統計規則公式搭配特定幾項海洋大氣、三維雷達回波資料得到修正公式步驟及結果。

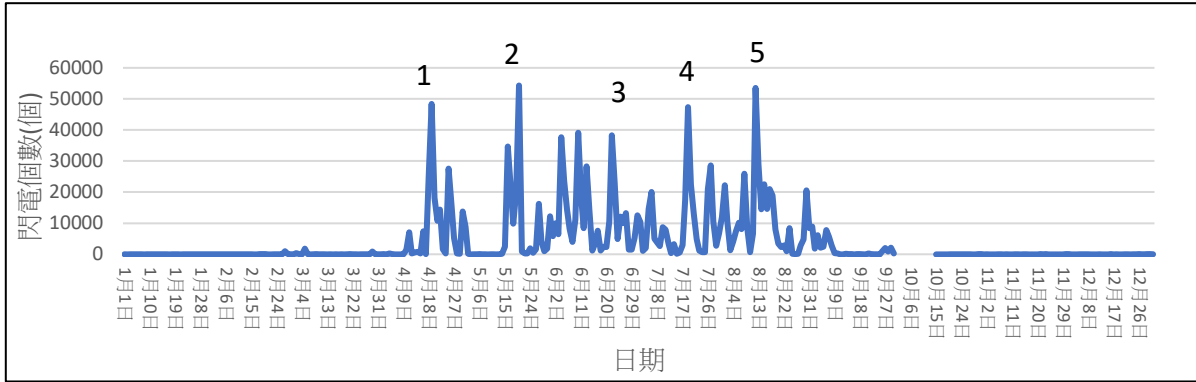
2. 選擇合適的統計模型及修正方法，建立推估閃電時空機率的流程。

肆、研究結果與討論

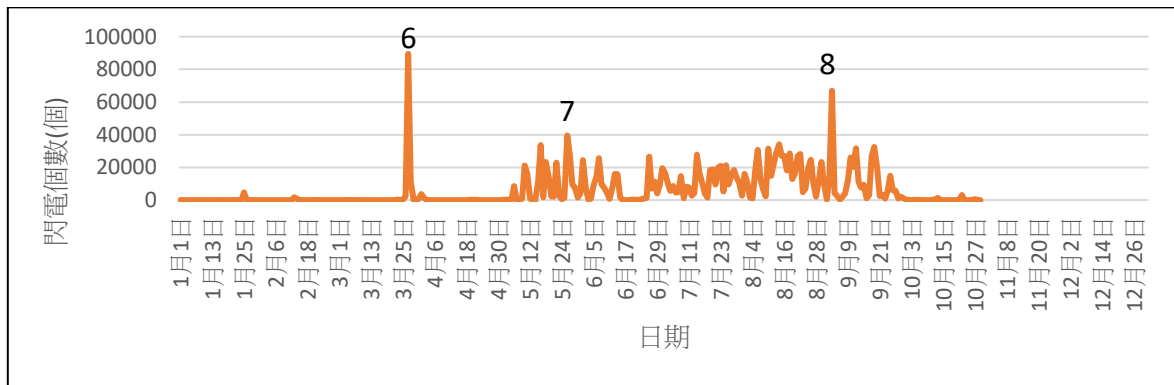
一、了解閃電與雷達回波強度之間是否存在特定時空關係？

(一)時空範圍的訂定

圖四及圖五為研究區域在 2019 及 2020 年每日閃電數量隨時間的分析圖，為使資料有統計數量足夠分析，本研究選擇 40000 作為研究目標，見圖四及圖五標示 1-8 共八個事件。



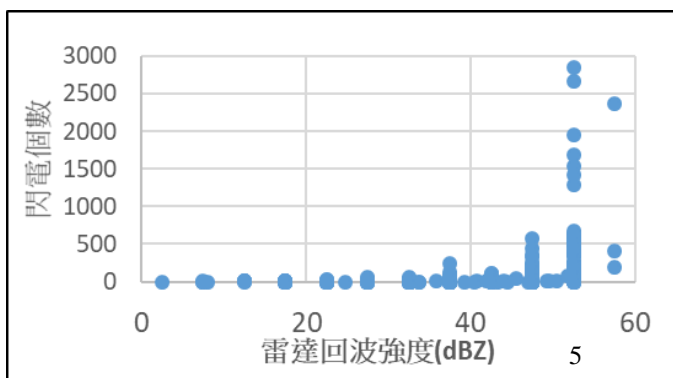
圖四 2019 年每日閃電數量分布圖（紅線為本研究的篩選門檻）



圖五 2020 年每日閃電數量分布圖（紅線為本研究的篩選門檻）

(二) 閃電個數與雷達回波資料的空間及時間選取

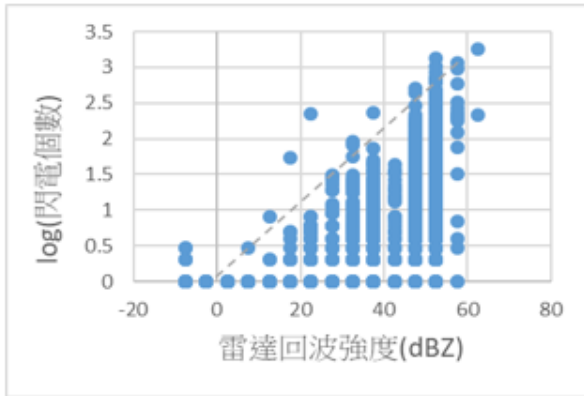
將研究區域內八個選定的事件，在同一網格座標(X_i, Y_i, Z_i)中某個特定時間視窗 T_i (X_i, Y_i, Z_i)範圍內雷達回波強度 95 百分比數值(稱以 R 表示)與閃電個數配對 R_i (N_i, R_i)後，計算同一事件雷達回波不同等級對應的閃電個數，結果如圖六所示。觀察圖中資料點的分布，發現特定雷達回波下對應的閃電個數最大值似乎有指數成長函數的分布形式 (exponential growth)，由於線性分析對我們較簡單且單純，因此我們將閃電個數以 10 為底取對數，與雷達回波強度再次作圖，進一步了解二者之間的關係。



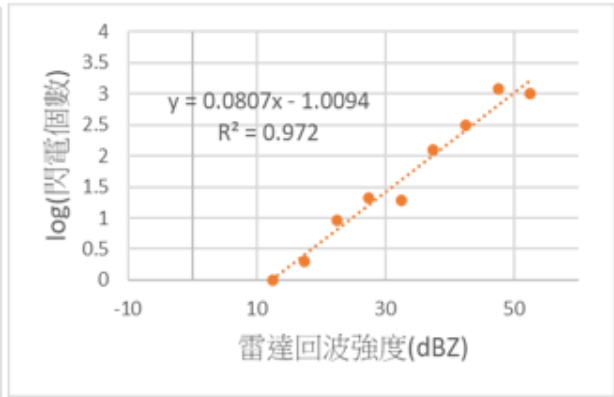
圖六 雷達回波與閃電關係趨勢圖

(三) 閃電個數與雷達回波強度配對

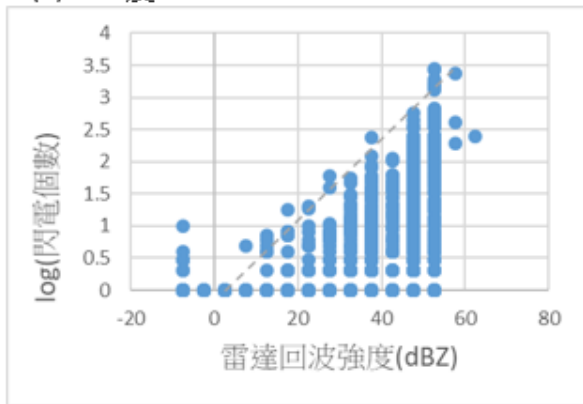
(a)0.125 度



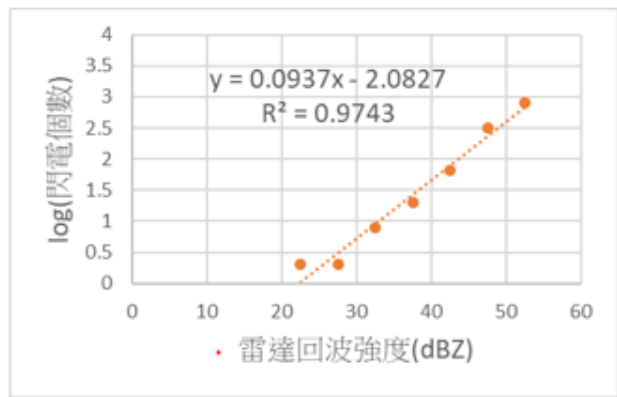
(a)0.125 度



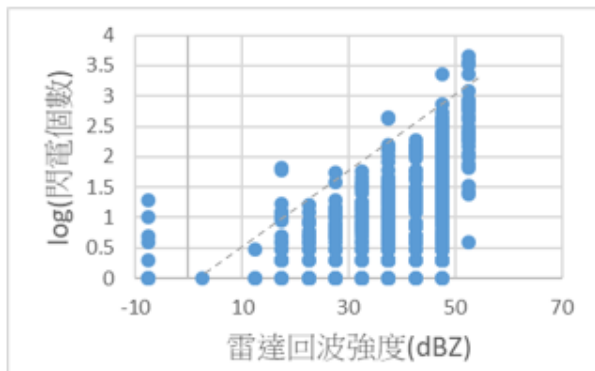
(b)0.25 度



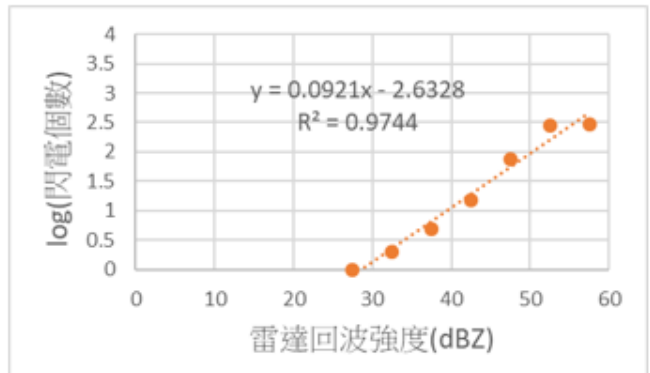
(b)0.25 度



(c)0.5 度



(c)0.5 度



圖七 閃電與雷達資料配對圖(以事件一為例) 圖八 閃電的天花板公式線性迴歸圖(以事件五為例)

以圖二的三種網格得到的 $\log(\text{閃電個數})$ 與雷達回波為關係，可見到 $\log(\text{閃電個數})$ 的最高值(以下稱為 N_{\max}) 如圖七 a, b, c 中之綠色虛線與雷達回波有線性關係。因此，我們想進一步找出個別網格 (X_i, Y_i) 在一小時中可累積的最大閃電個數 $N_{\max}(X_i, Y_i, T_i)$ 和雷達回波強度 $R_i(X_i, Y_i, T_i)$ 間的關係，其中 X_i, Y_i 為網格中心所在經緯度， T_i 為該時間視窗的中點時間。將閃電雷達配對 $P(N_{\max}, R_i)$ 後，再對閃電個數取對數，與對應雷達回波強度作圖。

結果如圖八所示，一個網格在一小時中可累積的最大閃電個數(即本報告之後所提之

個數的"天花板")和雷達回波強度約呈現正相關。將資料進行線性迴歸分析，可得線性迴歸公式 $y=ax+b$ (圖八中橘色虛線)，其中，y 軸表示 \log [一個網格在一小時中可累積的最大閃電個數]的大小，x 軸為雷達回波強度，a 及 b 分別為線性迴歸之斜率及截距，因此公式可表示為：

$$\log(\text{閃電個數})=a*\text{雷達回波強度}+b \quad (\text{公式 1})$$

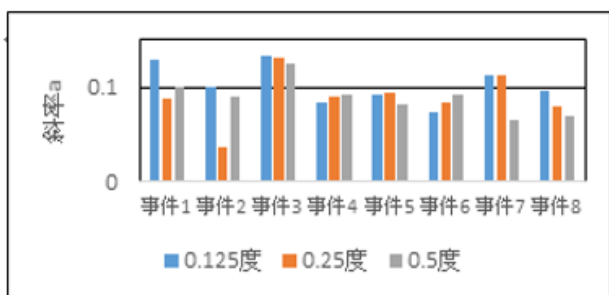
可以指數形式表示關係為：

$$N_{\max} = 10^{(a*\text{雷達回波強度}+b)} \quad (\text{公式 2})$$

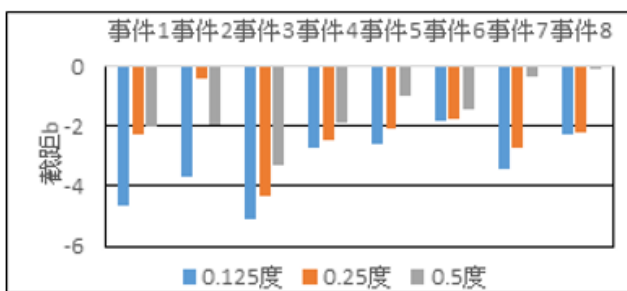
由於此公式說明特定雷達回波強度下，閃電可能的接近最高個數(95 百分比個數)和回波強度呈現線性關係，因此將此公式稱為天花板公式。意即在若知道雷達回波圖中的強度，可能可以以此作為推估單位網格內一小時中，可能出現閃電個數最高值 95 百分比的依據。

1.公式在空間尺度的穩定性

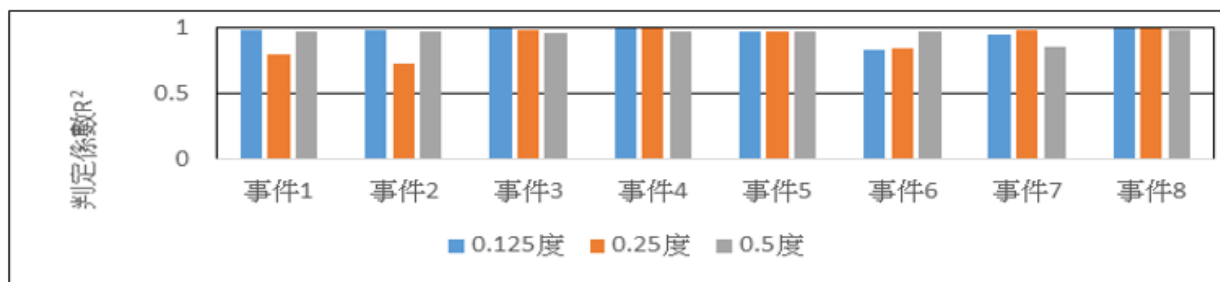
以下是以不同網格大小劃分空間後，分析八個事件所得天花板的公式的計算結果：



圖十 斜率 a 在不同時間及空間的穩定性



圖十一 斜率 a 在不同時間及空間的穩定性



圖十二 天花板公式判定係數 R² 在不同時間及空間的穩定性

圖十及圖十一顯示計算出不同事件的天花板公式中斜率 a 及截距 b，在不同尺度的變化，可以發現不同網格斜率變化不大，約由 0.069 到 0.134，但事件二在網格 0.25 度時為 0.037 特別低；而截距 b 的變化較大，約在 1 到 2 間。判定係數 R² 約在 0.731 及 0.997 之間，為了解統計趨勢的穩定性此我們進行了以下的比較：我們的想法是以不同網格大小劃分空間，尋找雷達與閃電的關係，可以反應此二個變數在不同空間尺度範圍內的相關狀況，當公式可在不同尺度呈現相同的關係，則顯示以天花板公式描述閃電與雷達回波強度的關係不隨

尺度改變，也就是可以用相同公式描述不同尺度下此二變數的關係。

將圖十、圖十一、圖十二的結果不同網格大小求出的迴歸線之斜率 a 與判定係數 R^2 作圖(如圖十三)，發現大致上三種網格大小求出的結果其判定係數均約在 0.95 到 1 之間，只有 5 個例子在 0.7-0.9 間，其中這 5 個例子有 3 個即為網格大小 0.25 分析的結果，顯示公式在此網格大小分析數據，兩者之關係較弱，表示此網格大小，在 2019 到 2020 事件中有 3/8 出現此狀況，不過因為 R^2 仍大於 0.7，因此以此線性回歸依然可行，而網格大小 0.125 度及 0.5 度為邊長的空間尺度，線性回歸的判定係數均約在 0.95 到 1 間，顯示公式在此兩種網格大小分析數據，得到的結果較為穩定。

2.公式在不同時間的穩定性

為了解此公式的分析會不會隨時間有所不同，我們也將圖十、圖十一、圖十二中，八個事件的時間段落分開比較，如圖十四所示，由此圖可見，不同事件的斜率 a 大約於 0.06 到 0.14 間分佈，並且判定係數 R^2 大都分布在 0.9 以上，除事件 6 稍有兩次判定係數稍低，事件 1、2、7 各有一次判定係數在 0.7~0.9 之間，代表公式不會因為特定事件的不同時間段落而有太大的變化，因此天花板公式描述閃電與雷達回波的關係應是穩定的。

確定了天花板公式可以做為全研究區域閃電個數與雷達回波強度的時空規則。顯示以雷達回波推估閃電在不同時空發生的最大值是可行的。不過此公式僅能幫助我們在得到雷達回波後，知道這個強度對應的最大(95 百分比)閃電個數，但確實會發生的個數無法知道，我們僅能知道其應小於等於天花板公式預估的數值。因此我們以此公式為基礎，希望研究如果以天花板公式估計出來的最大閃電個數為這個雷達迴波對應的第一名，那出現在前標(個數比較多)或後標(個數比較少)的閃電是否具地區性，也就是某些區域得到相同的雷達迴波時，出現的閃電會偏低或偏高。

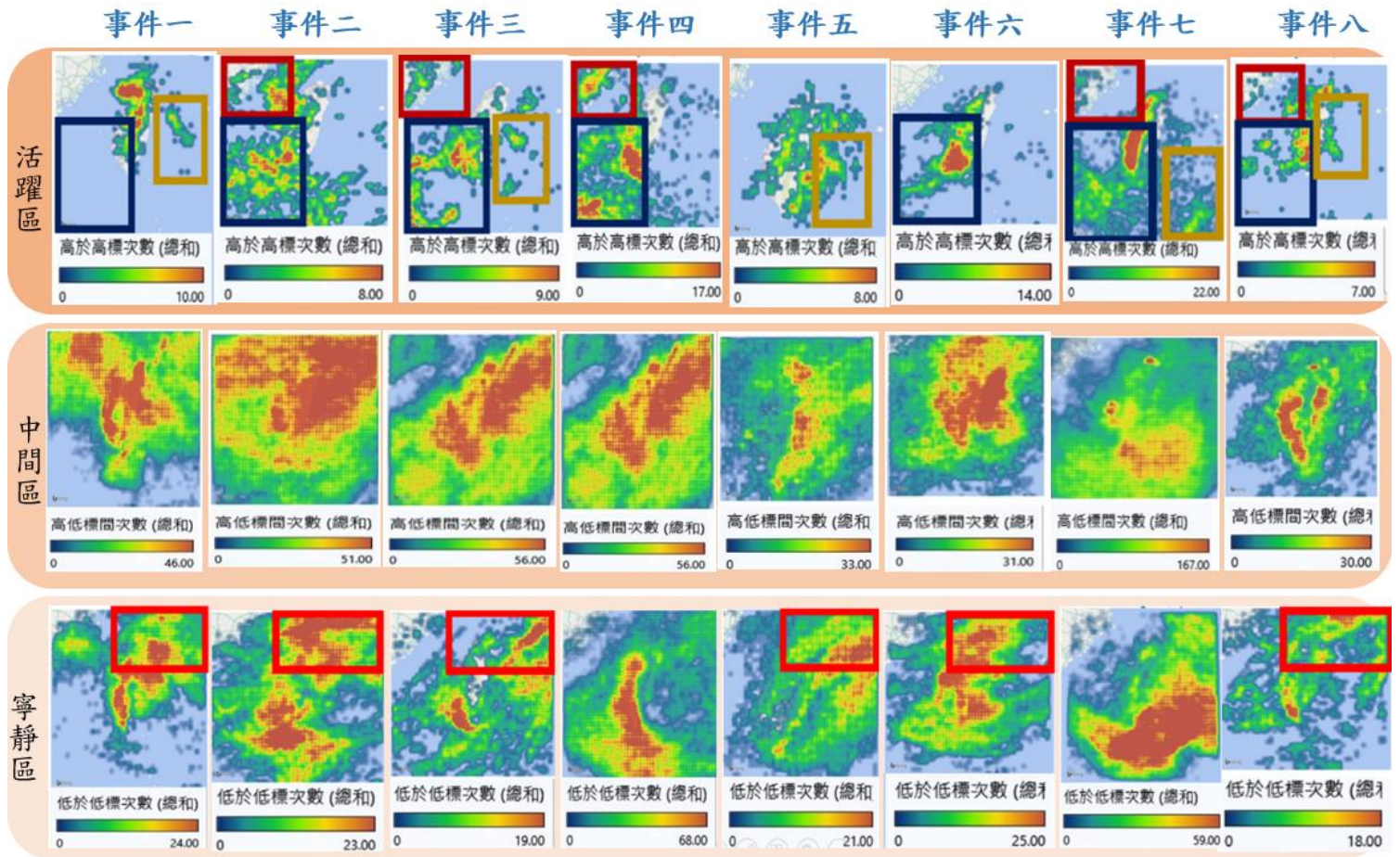
因此，以下部份，我們以天花板公式為基準，設計了分類判斷的標準，以了解在特定區域是否閃電個數會趨向活躍或寧靜發生。

二、閃電個數對應雷達回波強度關係是否存地區性特性?

為了解閃電的發生是否有空間上的特殊偏好。我們將閃電發生個數的天花板個數 N_{max} 的 25%及 75%作為低標及高標，以公式(1)為雷達對應閃電個數的「天花板」(95 分位數的個數)，觀察所有事件中，不同空間尺度大小下，以雷達回波代入天花板公式計算出的閃電個數，分析閃電低於低標(寧靜區)、落在高低標之間(中間區)或高於高標(活躍區)的位置分布。結果如附圖一到八顯示，雖然不同事件的結果略有差異，但可歸納出一些共通性：

- 1.台灣西部及西南沿海、台灣東部海域、中國東南沿海的閃電個數容易高於高標值，也就是在這些區域單位網格一小時內發生閃電次數高於天花板公式訂出的高標的頻率偏高(紅色表示)，這代表這些區域容易成為閃電發生的活躍區(圖十三)。
- 2.閃電次數落在低於低標的區域為台灣東北海域，容易成為閃電的寧靜區(圖十四)除了活躍區及寧靜區外似乎有特別偏好的地區外，閃電個數介於低標與高標之間的中

間區，並沒有一定的分布情況(圖十五)。



圖十五 閃電個數容易高於高標(活躍區)、高低標間(中間區)、低於低標(寧靜區)的分布位置

三、天花板公式可能的意義

本研究利用不同事件、不同網格大小的資料的統計關係進行線性迴歸，來描述雷達回波強度與最大閃電個數（對數值）之間的關係，並且得到斜率皆大約 0.1、判定係數 R^2 極接近 1 的天花板公式，幫助我們了解特定雷達回波強度下閃電個數的最大值，但為使天花板經驗公式更具代表性，我們希望找出公式背後的學理依據。查詢文獻後，找到一篇研究關於「閃電頻率和冰晶質量之間的關係」(Deierling, W, 2006)，仔細閱讀並與我們的分析資料比對後，似乎可協助解釋天花板公式的線性關係。

W Deierling(2006)研究中提到冰晶質量 (M) 會和雷達回波強度 (Z) (未取對數) 的指數關係成正比 (見表一、公式 A)，兩者關係可以下列形式表示：

$$M=k*Z^n \quad (\text{公式 A})$$

將公式 A 取對數後得公式 B：

$$\log (M) =n*\log (Z) + \log (k) \quad (\text{公式 B})$$

公式 B 中的 $\log (Z)$ 和我們的研究中的雷達回波強度數值一樣，都是雷達回波訊號取對數過後的結果，單位為 (dBZ)。

另外，文獻中也提到閃電頻率 L ，閃電個數的對數值和冰晶質量 M 對數值有線性的關係 (見圖十九、公式 C)：

$$\log (L) =a* \log (M) +b \quad (\text{公式 C})$$

當我們將公式 C 中的 $\log (M)$ 以公式 B 中的 $n*\log (Z) + \log (k)$ 代入：

$$\log (L) =a* [n*\log (Z) + \log (k)] +b \quad (\text{公式 D})$$

整理公式 D 後，可以得到一個簡單的線性關係：

$$\log (L) =\text{斜率}*\log (Z) +\text{截距} \quad (\text{公式 E})$$

這個關係和我們天花板公式的線性關係不謀而合。

$$\log(\text{閃電個數})=\text{斜率}*\text{雷達回波強度 (dBZ)} +\text{截距} \quad (\text{天花板公式})$$

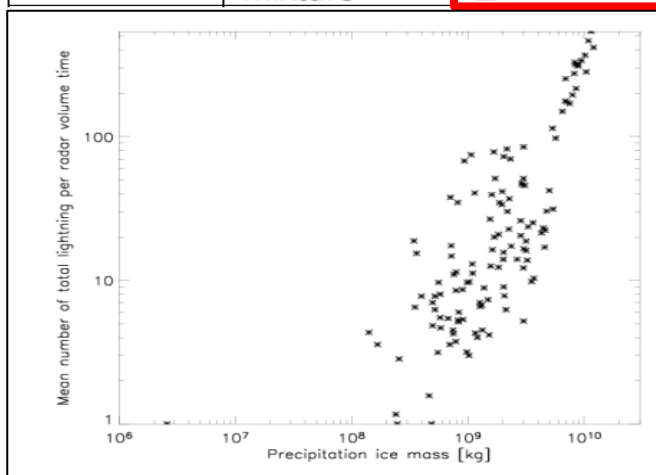
公式 E 的構造和本研究的天花板公式相同 (見圖十九、圖二十)，說明我們能以線性迴歸分

析閃電個數（對數值）與雷達回波強度（對數值）之間的關係，並且或許天花板公式呈現機與雲中有效產生閃電的冰晶，會造成特定雷達回波強度和最高閃電個數相關。

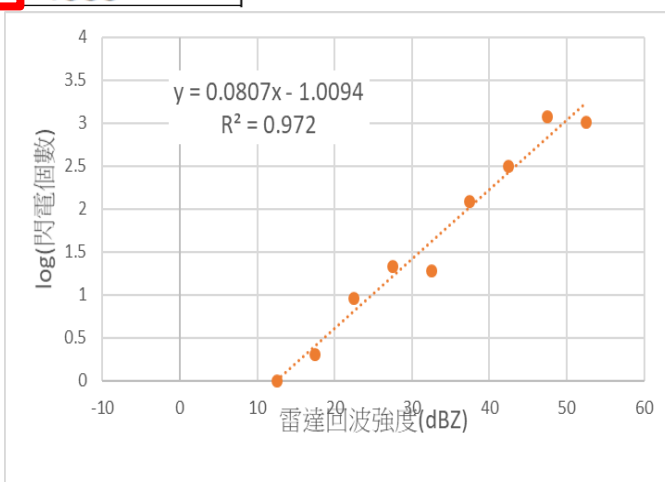
雖然 W Deierling(2006)的研究使用的資料和模型的設定和我們的研究不相同，以至於求出線性關係的係數和我們公式的斜率不相同，但冰晶的質量和雷達回波強度應具相關性，因此應可由此方向深入了解天花板公式背後的物理意義。

表一 W Deierling(2006)文獻中大氣中冰晶、降水粒子的質量與雷達回波強度的關係

Hydro-meteor categories	NCAR PID categories	Z-M relationship [g/m ³]	Reference
Non precip ice	Dry snow, Oriented ice, Irregular ice	$M = 0.017 * Z^{0.529}$	Heymsfield and Palmer, 1986
Graupel	Graupel, Graupel/rain mixture	$M = 0.0052 * Z^{0.5}$	Heymsfield and Miller, 1988
Hail	Hail, Hail/rain mixture	$M = 0.000044 * Z^{0.71}$	Heymsfield and Miller, 1988



圖十九 文獻中(Deierling, W, 2006)呈現閃電個數與冰晶質量有線性關係



圖二十 本研究中的天花板公式

三、加入其他參考的資料輔助，是否提升雷達回波作為閃電預報的可行性？

(一)探討為何閃電發生的活躍區與寧靜區有偏好的空間分布上規則

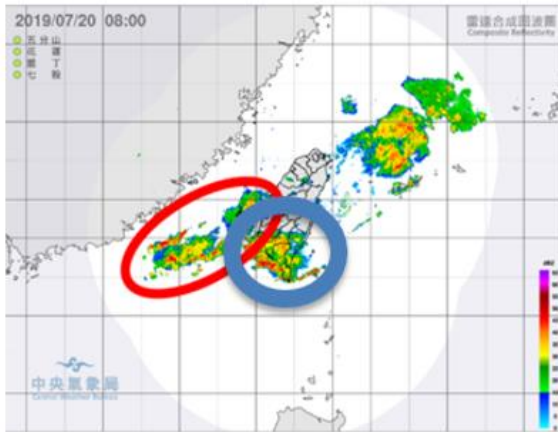
前述所有結果說明閃電天花板的公式的確有協助推估閃電發生的「天花板」個數的功能，這是以雷達回波圖推估閃電時空特性的「可行」之處。不過，閃電活動局部偏好的變化，無法僅利用雷達回波圖的分析推得閃電會落在寧靜區或是活躍區。從先前的活躍區與寧靜區的分布位置與規則，我們推測這應該會受大氣動力的影響，於是找了海溫、水氣頻道、風向、輻合輻散等值線等資料，希望透過這些輔助資料，再加上雷達回波圖上數值帶入天花板公式的結果，可以幫助我們更精確得到在每個地區的閃電個數大概會怎麼分布。於是就可補足單以雷達回波圖推估閃電之「不行」處。

(二) 高空水氣頻道、輻合輻散強弱對閃電個數的影響

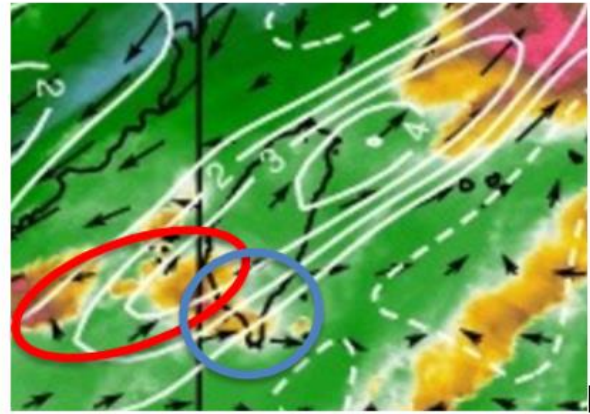
我們推想使用 300mb 高空天氣圖疊合水氣頻道的資料進行比對可得知對流層頂(9km)的高空，可得到較大的對流胞頂部的結果，而大的對流胞應和明顯的閃電發生相關。在資料內我們並加上其他資料一起做判斷，包含水氣、風向及輻散程度，幫助分析對流胞強度及含水狀況。

從圖二十一中可以看到台灣的南部，無論是陸地(藍色圈)或海域(紅色圈)，都有蠻強的雷達回波數值，搭配疊合水氣頻道的高空天氣圖發現在與圖二十三(a)強雷達回波相符的紅色圈圈位置內，有兩項特別發現 1.圖二十二紅圈中，黃褐色代表水氣含量較高的區塊多出現在海洋而不是台灣西南陸地，2.由台灣西南海域延伸到東北海域的白色輻射等值線，顯示為高空輻散等值線，當強雷達回波與上述 1.2.資料交集後，對比圖二十三(a)中看到閃電個數高於高標的區域落在台灣西南海域(紅色圈)，可歸納出強雷達回波並需有「水氣豐富」與「高空輻散強」，才能促進閃電個數高於高標。推測原因和產生雷達回波圖的水氣不一定在發生閃電的高度，而當高空水氣頻道的水氣多，並且高空輻散強，顯示存在大型積雨雲的對流胞更有利於閃電發生。

相對的，在台灣南部陸地，雖然雷達回波數值高，但因為水氣頻道所顯示的水氣沒有到非常多(圖二十三藍色圈的大部分區域)，因此在此區的閃電個數低於低標(圖二十三(b)藍色圈)；另外，水氣頻道圖中台灣東南方海域的水氣豐富(圖二十二藍色圈)，但沒有被白色實線圈起來，因此此區閃電個數低於低標(圖二十三(b)藍色圈)。顯示恆春東方及台東東南方海域有一小塊區域雷達回波強，但高空水氣及高空輻射條件沒有配合時，雷達偵測到的水氣無法有效引起閃電的發生，因此閃電個數會落在低標以下。

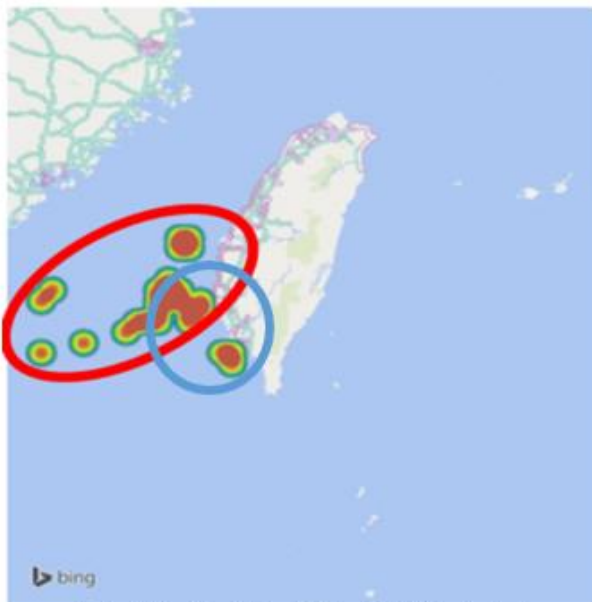


圖二十一 雷達回波圖

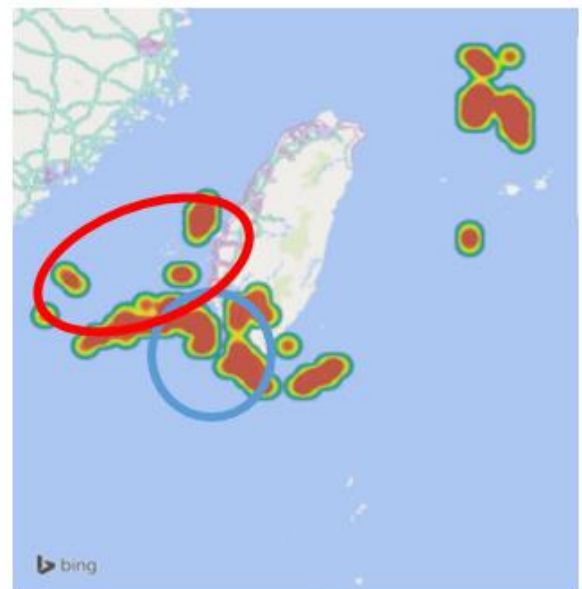


圖二十二 水氣頻道圖及輻合輻散強弱

(顏色顯示水氣多寡，藍綠為低，黃棕紅為高；黑色箭頭表示風向；白色實線顯示高空輻散，數值為輻射強度，白色虛線代表高空輻合。)



(a) 閃電個數高於高標的位置
(顏色顯示閃電高於高標的發生頻率)



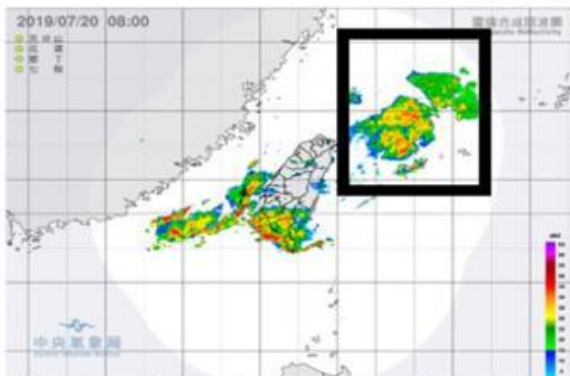
(b) 閃電個數低於低標的位置
(顏色顯示閃電低於低標的發生頻率)

圖二十三 閃電個數高於高標、低於低標分布位置

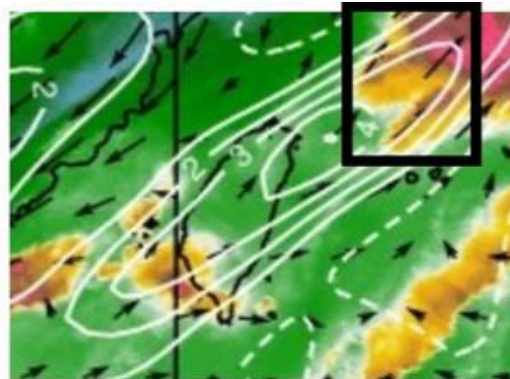
(三)海溫對閃電發生的影響

我們發現有非常多事件在某些特定地區，即使有很強的雷達回波、豐富的水氣與強高空輻散，卻仍然無法發生很大的閃電個數，推測可能與海溫有關，以事件三(2019 0718-2019 07 20)為例，可以發現在東北部的雷達回波(圖二十四)與水氣頻道都有豐富的水氣，且輻散強(圖二十五)，卻仍然為低於低標區(圖二十六)，搭配七月份海溫分布圖(圖二十七)，可以發現這可能是因為東北部地區當時海溫較低，使大氣的條件不利閃電發展。

先前提到常常為活躍區的東部海域(圖三十黑框)，其成因可能也應與海溫有關，比對之後，可以發現該地區的海溫通常較高(圖二十九黑框)，因此再加上其他條件高空水氣符合時閃電個數容易高於高標。另外西南海域通常海溫偏高，這也可能是閃電容易式活躍區的可能原因。

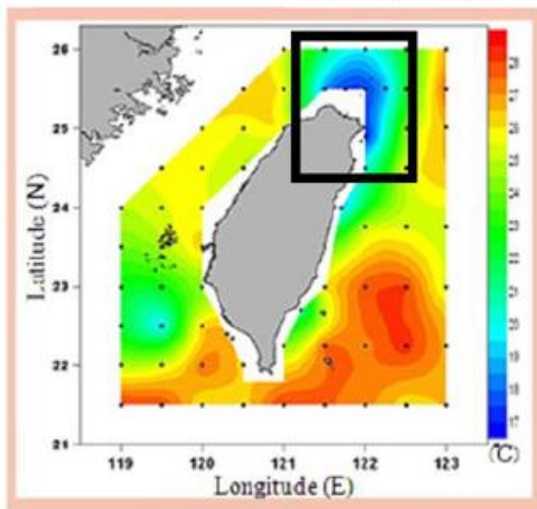


圖二十四 雷達回波圖(事件三)

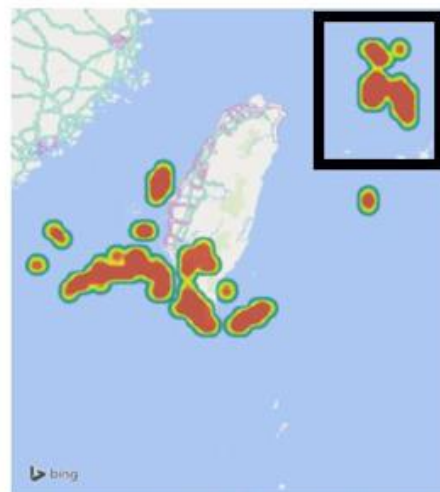


圖二十五 水氣頻道圖(事件三)

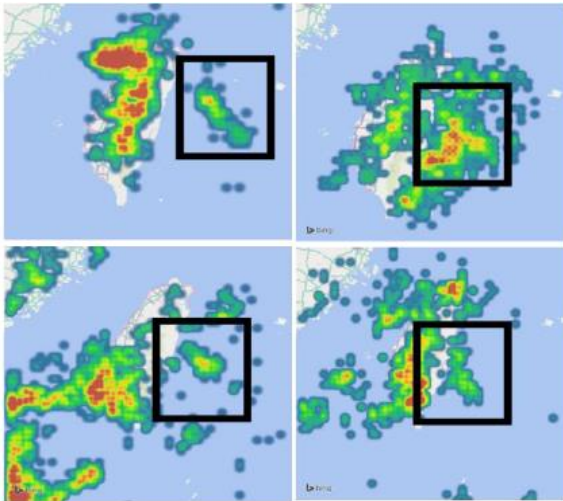
(顏色顯示水氣多寡，藍綠為低，黃棕紅為高；黑色箭頭表示風向；白色實線顯示高空輻散，數值為輻射強度，白色虛線代表高空輻合。)



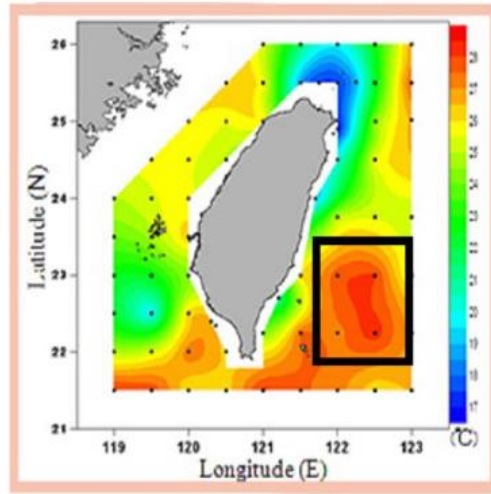
圖二十六 事件三所在季節海溫分布圖



圖二十七 閃電個數低於低標的寧靜區
(顏色顯示閃電低於低標的發生頻率)



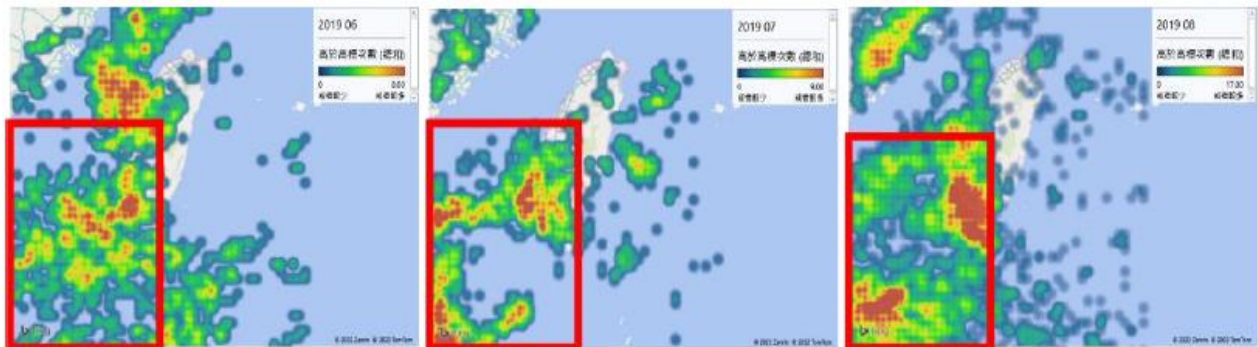
圖二十八 閃電個數高於高標的活躍區
(顏色顯示閃電高於高標的發生頻率)



圖二十九海溫分布圖
(不同顏色代表不同的海溫)

(四)迎風坡常常為閃電發生的活躍區

我們選的事件大都為夏季，正值西南風吹拂之期，而本島西南部及西南海域也常常為閃電發生的活躍區(圖三十紅框)，可知除海溫外，迎風坡應為閃電發生的影響因素之一。(另外可能要再多做看看那麼冬季是否在台灣東北部陸地比較多閃電)



圖三十 閃電個數高於高標的活躍區
(顏色顯示閃電高於高標的發生頻率)

(五)海陸風系統對閃電發生的影響

在研究事件中，有很多天在午後 14:00 時，見圖三十一紅框的位置及時間，於中國東南方會有閃電個數高於高標的情形，我們認為這和海陸風有關係，由於這個時間點剛好吹海風，海洋的水氣隨著氣流上升，沿著中國東南丘陵爬升，造成對流，促使閃電特別容易發生，甚至高於高標。此種情況亦可在圖三十二紅框中得到印證，中國東南沿海的雷達回波強度並沒有超級高，但可能因為當時吹海風的關係，高空輻散強(有白色實線)，使當地所發生的閃電高於高標。

(六)以雷達回波及輔助資料製作閃電潛勢預報圖的可行性

以上所有的分析結果說明以雷達回波進行閃電時空分布的推估是可行的，在不足處也可以其他輔助資料協助推估，不過海溫、水氣、輻散等因素的影響程度不

同。舉例來說，即使在台灣東北部的天氣頻道圖中滿足「水氣豐富」與「高空輻散強」這兩個使閃電個數高於高標的條件，但因為此地海溫較低，因此閃電個數仍然會低於低標。這表示海溫的影響勝過於高空水氣頻道。另外，在台灣西南海域的海溫也沒有特別高，但因為位於西南季風的迎風坡，閃電個數常常高於高標，代表「迎風坡與否」對於閃電個數的影響可能會大於海溫。簡而言之，根據目前的觀察與分析，初步歸納出增強閃電個數的因素的權重為「迎風」>「海溫高」>「高空水氣多及高空輻散強」。

四、以三維雷達回波資料分析降水粒子對閃電發生的影響

(一)比較二維雷達回波圖和三維雷達回波資料的不同

從先前的研究，我們發現當雷達回波訊號強的時候，不一定會發生閃電，因此決定取得三維的雷達回波資料做進一步的分析與探討。首先，我們畫了 1-16 公里不同高度的雷達回波圖，將其與中央氣象局提供的雷達回波圖做比較(如圖)。我們發現雷達迴波強度在不同高度的分布情形是不太相同的(舉事件一其中的兩個小時為例)，中央氣象局的雷達回波圖則是顯示所有高度中最大的回波值，但事實上強雷達回波值出現之處並非在同一高度，因此閃電的發生可能和高雷達回波值的雲的高度有關係。

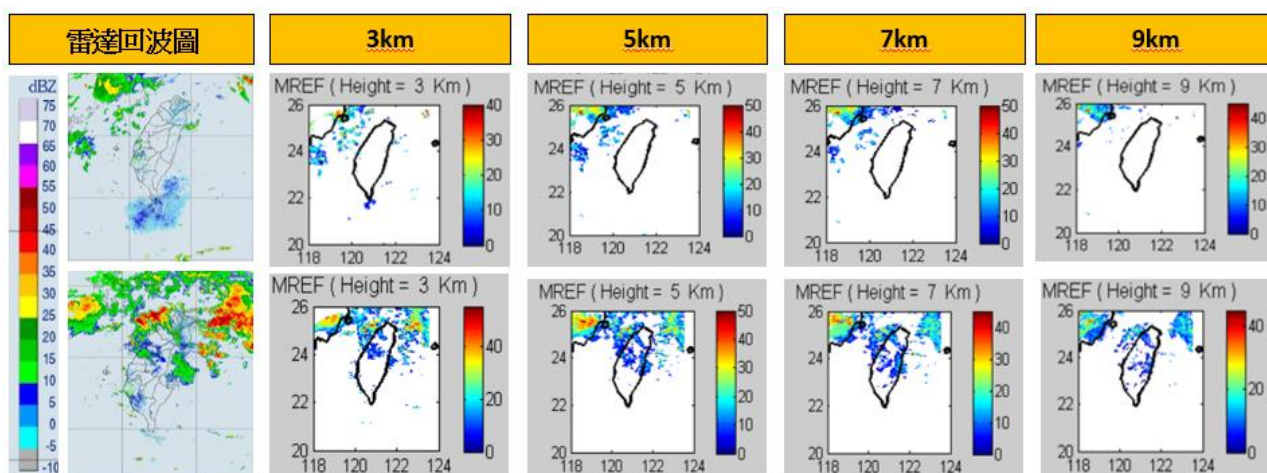


圖 中央氣象局的雷達回波圖與利用三維回波資料繪製之不同高度雷達回波圖

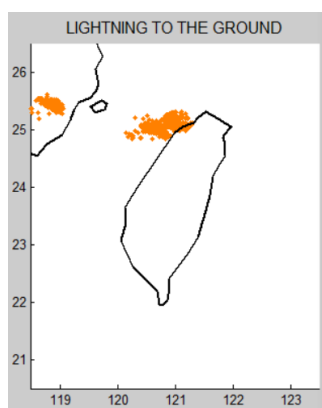
另外，我們繪製不同強度的雷達回波在不同高度的比例分布圖(圖)。發現回波值在 10-20dBZ 在所有高度中皆占有最大比例，高空的雷達回波值普遍較弱，且在 9 公里以下才有機會出現大於 40BZ 的雷達回波值(圖)。

圖 搞不定

(二)連結三維雷達回波資料與閃電發生的關聯性

1.觀察閃電發生之處的雷達回波情況

下圖 C 為中央氣象局提供之雷達回波圖；圖 D 為天花板公式中的雷達回波值，是以 0.125 度為網格大小中，雷達回波的第九十五百分位數；我們找出地面到高空的所有雷達回波數值的第九十五百分位數繪製出圖 A，發現雷達回波強度的分布與圖 D 大致上吻合，因此使用圖 A 來當作判斷閃電與雷達回波關係的依據。



比較閃電發生位置分布圖與圖 A，可以發現閃電發生的區域，雷達回波略呈現外圍 20-25 dBZ(深藍)，中間 45 dBZ(紅)的略為等值同心圓，倘若雷達回波高值與低值為呈明顯同心圓(如圖 A 中台灣東北海域)即使有強的雷達回波數值，也不容易發生閃電。

進一步觀察圖 B(該 95 百分位數出現的高度)，我們發現當雷達回波的高值出現在 3-6 公里時較容易發生閃電，當雷達回波高值出現在高空時，其實不容易發生閃電。

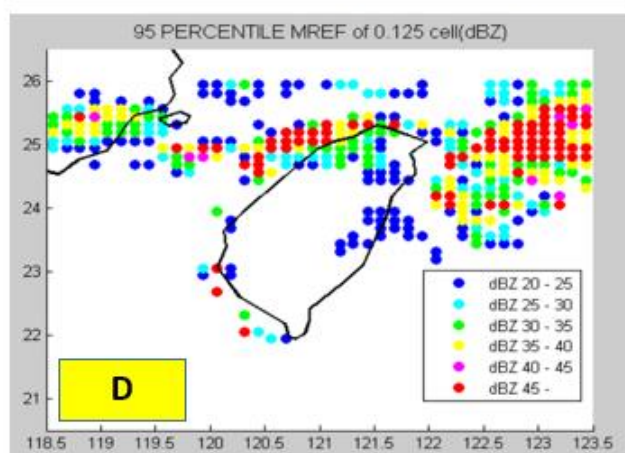
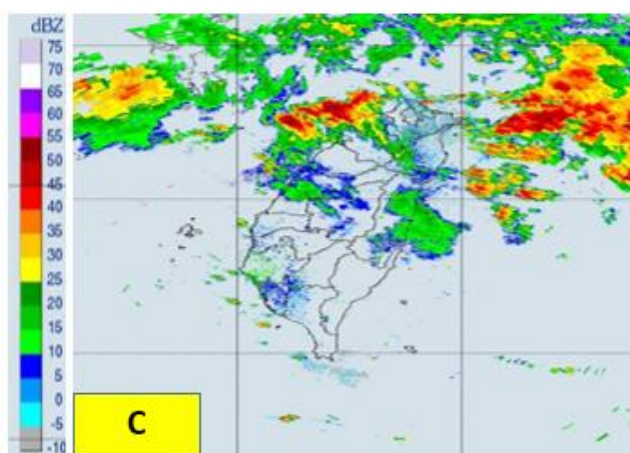
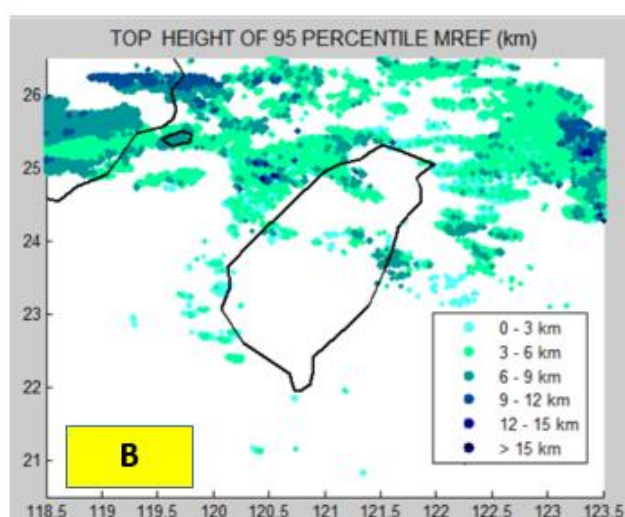
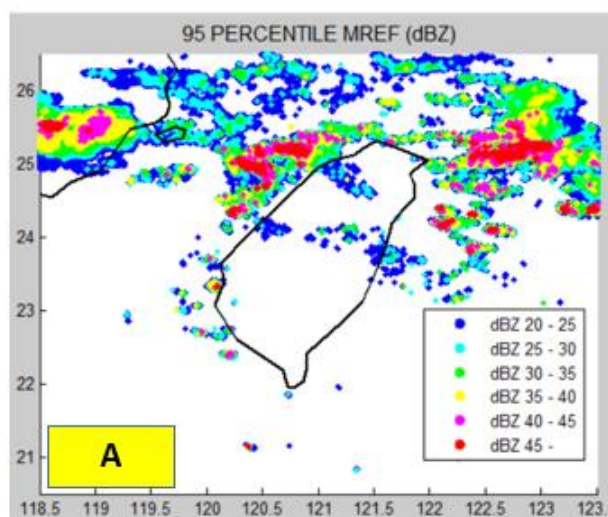


圖 雷達回波第 95 百分位數與其高度分布圖

2. 觀察閃電發生之處與有效雷達回波在空中分布的特性

基於先前對天花板公式的觀察，我們發現天花板公式可用來預測雷達回波強度大於

30dBZ 時閃電可能的最大值，因此將回波強度大於 30dBZ 者為有效的回波訊號。分別將 1-4km、5-8km、9-12km，連續四公里的雷達回波數值皆大於 30dBZ 的地區標示出來並觀察雷達回波在垂直高度上「連續」出現有效回波訊號的地區與閃電分布地區的異同。

結果顯示(見圖)，當雷達回波在 5-8km 連續大於 30dBZ 的地區與閃電發生的地區最吻合；1-4km 連續大於 30dBZ 的地區範圍較廣，但不完全是閃電發生的地區，也就代表低空的雲即使雷達回波强度高，也不一定發生閃電；9-12km 不容易出現回波訊號連續大於 30dBZ 的情形，可能因為高空的回波值普遍較弱。

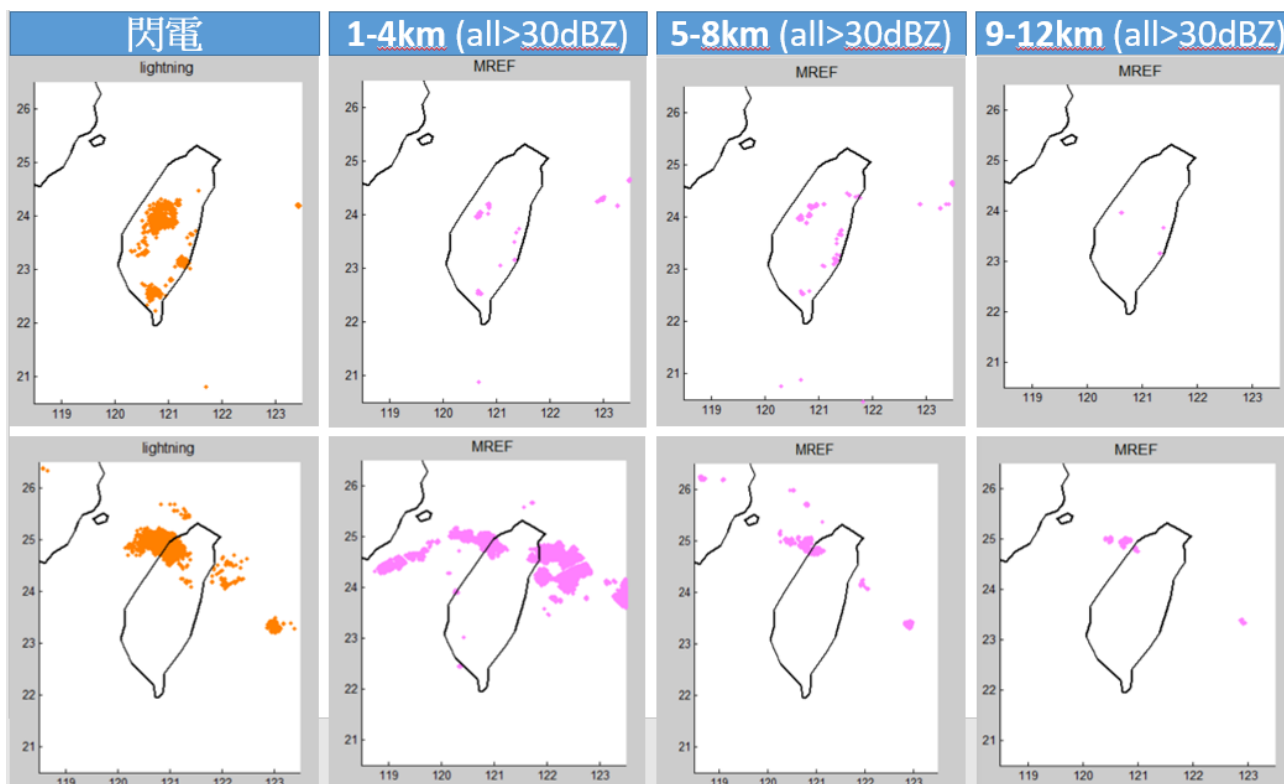


圖 雷達回波在不同高度「連續」有效的地區分布與閃電發生之處的對照圖

3.閃電發生與雲層厚度的關係

- (1)將同一地點雷達回波值第九十五百分位數所在的最高高度與雷達回波大於 20dBZ 所在的最低高度相減，假設成該地雲層的厚度。
- (2)繪製各地的雲層厚度於地圖上，並與閃電發生之處比較。

伍、結論

一、評估及釐清以雷達回波推估未來閃電時空分布的可行及不可行部分

本研究將單位網格在相同時間中的閃電個數對數值與雷達回波強度資料配對，將配對完成的資料做線性迴歸分析，發現閃電個數和雷達回波強度在特定範圍內有明顯相關性，因而得到「天花板公式」。

天花板公式可幫助以用雷達回波數值推估研究區域的單位網格單位時間內，閃電發生的「天花板」個數，此為以雷達回波推估閃電時空分布的「可行」之處。

但閃電個數對應雷達回波強度的關係會有地區性的特性，無法僅用天花板的資訊推得閃電會較寧靜或是活躍，此為以雷達回波推估閃電時空分布的「不行」之處。

二、「可行」及「不行」的時空分布規則以及可能氣象動力因素

利用天花板公式進行閃電發生的寧靜區與活躍區的研究訂定的高標與低標，結果顯示台灣西部及西南沿海、台灣東部海域、中國東南沿海的閃電個數容易高於高標值，為閃電發生的活躍區；閃電次數落在低於低標的區域為台灣東北海域，為閃電發生的寧靜區；而閃電個數介於低標與高標之間的中間區，在各地區並沒有一定的分布情況。迎風坡、海溫、高空水氣及高空輻射等因素，會造成閃電時空分布的變化。並將閃電個數對數值與雷達回波強度的配對資料歸類。

三、了解當無法以雷達回波圖分析閃電時空分布時，其他的輔助資料及工具在輔助推估閃電能扮的影響程度。歸納分析結果顯示相同雷達回波強度下，影響閃電個數偏高程度由高到低為：迎風、海溫高、高空水氣多並輻散強。

四、建立易取得資料簡易推估閃電時空分布的流程

此部分正在進行中，為未來發展方向。

陸、參考資料

一、閃電。<https://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=3336>

二、雷達回波圖是什麼？氣象學之「眼」：雷達！<https://pansci.asia/archives/26226>

三、雲隊地閃電和雷達回波強度參數之相關。<http://mopl.as.ntu.edu.tw/web/ASJ/30/30-1-2.pdf>

四、大氣中還水量的觀測。<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=24734>

五、海溫對閃電發生的影響。<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748->

[9326/11/3/034006#:~:text=We%20suggest%20that%20higher%20sea , thus%20convection%20and%20therefore%20lightning.](#)

六、亞洲地區與麻六甲海峽的閃電分布特徵。。

https://conf.cwb.gov.tw/media/cwb_past_conferences/110/fulltext/A1/A1-3_1_O%E7%8E%8B%E5%87%B1%E7%BE%A4%E4%BA%9E%E6%B4%B2%E5%9C%B0%E5%8D%80%E8%88%87.pdf

七、 W. Deierling (2006). , W. A. Petersen , J. Latham , S. M. Ellis, H. J. Christian Jr. and J. Walters (Eds.), TOTAL LIGHTNING FREQUENCY IN RELATION TO ICE MASSES AND ICE MASS FLUX ESTIMATES.

【評語】 180006

利用雷達回波與閃電資料，建立由雷達回波強度估計閃電最多量的天花板公式。也分析討論閃電活躍區與寧靜區以及閃電區與非閃電區回波強度垂直分布之差異。作品頗有創意，對閃電與回波間物理連結，回波強度垂直分布與變化的物理原因，建議加強理解或探討。不同降水型態對回波與閃電關係之影響可進一步探討。