

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號** 180010
- 參展科別** 地球與環境科學
- 作品名稱** 閃電發言人！？—探討以雷達回波了解閃電時
空分布的可能性
- 得獎獎項** 二等獎
美國氣象學會獎
- 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、黃庭筠
- 關鍵詞** 雷達回波強度、閃電個數

作者簡介



圖(左)黃庭筠、(中)游禹樂、(右)李尹瑄

兩年多前，我們三人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，進入同校的三人，想藉由更深入的觀測儀器數值資料分析閃電的性質。

摘要

本報告研究台灣地區閃電與雷達回波強度的關係，期望了解雷達回波資訊成為閃電多寡代言人的可能，以及是否存在閃電活躍區及寧靜區。方法為將台灣附近區域分別以不同空間尺度 0.125 度、0.25 度及 0.5 度、1 小時的時間視窗將閃電及雷達資料分割。再利用 R 程式將雷達回波圖的不同像素轉化為強度數值，分析不同時間及空間下，第 95 百分位的回波強度和閃電個數對數資料的關係。

我們選取 2019 及 2020 年中 8 個閃電個數高的氣象事件進行分析，發現相同時間移動視窗下及固定空間網格點內的雷達回波強度較小時，閃電個數的對數值偏低相反的，當雷達回波強度增加，除可能發生較少閃電個數的情況，會出現較多的閃電個數。當我們將各雷達回波強度階層對應到閃電個數對數值大約的最高門檻，進行線性迴歸分析，結果呈現三種不同空間尺度的網格得到的判定係數均接近 1，斜率稍有不同，但都約為 0.1，顯示此關係可以利用雷達回波強度進行閃電在空間時間分布的估計。

以上述經驗公式為基準，將各雷達回波強度階層所對應到的閃電可能個數以 25% 分為低標及高標，繪出閃電寧靜區及活躍區比較，發現台灣西南部及其海域為活躍區，本島為中間區，而寧靜區的分布較不規則，但多在台灣西南、東北海域。

ABSTRACT

This report studies the relation between the number of lightning and weather radar echoes in Taiwan. The main goal is to understand if the radar reflectivity can be used to understand the occurrence of lightning. We also want to understand if there are quiet and active areas of lightning occurrence. We first use a R script to extract the reflectivity strength from a time series of radar echo map pictures. We then divide the radar and lightning data into subgroups by using 0.125, 0.25 and 0.5 degree cell size net in space and 1 hour time windows. We finally perform an analysis on the logarithmic number of lightning and radar echoes for space and time conditions.

Since the coefficients of determination R^2 are mostly close to 1, the regression results of time and space analysis reveals a strong linear relationship of the 95 percentile of logarithmic lightning numbers and radar echoes. This relationship is stable among 0.125, 0.25 and 0.5 degree space tests and also on the experiments of 8 different time periods.

We finally found out that the number of lightnings reflects more about the radar echoes condition on inland Taiwan. However, the active area of lightning occurrence is in the ocean area.

壹、研究背景／動機

兩年多前，我們三人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，進入同校的三人，想藉由更深入的觀測儀器數值資料分析閃電的性質。

台灣地區常常有閃電發生，天空中僅剎那間的放電，卻可能造成極大的影響，例如：閃電放電時產生的強烈電磁脈衝，使電器故障而釀成禍患。印象中，閃電常出現在雷雨型的天氣，在高一地科課中，我們發現雷達回波圖是了解雷雨很好的工具，當雷達接收降水粒子反射的訊號後，可顯示天氣系統的降水強度及分布狀況。唯有深入探討閃電的發生、了解閃電的特性，才能設法避免雷擊產生的後果。所以我們再以閃電為研究主題，希望藉由資料的分析，了解閃電在台灣地區的分布情形、閃電與雷達回波強度的關係，希望更進一步認識閃電，了解以雷達回波訊號作為閃電時空分布狀態指標的可行性。

貳、研究目的／問題

- (一) 閃電與雷達回波之間的關係為何？
- (二) 閃電與雷達回波強度的關係在不同空間尺度下的差異為何？
- (三) 是否存在閃電活躍區與閃電寧靜區？
- (四) 閃電與雷達回波的關係與地形是否有關聯？

參、文獻探討

閃電指上升氣流旺盛形成積雨雲的放電現象，由於冰晶的形成以及冰晶之間的相互碰撞，使得積雨雲的雲頂逐漸累積正電、雲底則蓄積負電。當電量蓄積到一定程度時，電流（電子流）強行穿過空氣，在 1/100 到 1/1000 秒內，產生可達十億伏特的巨大閃電。其中因放電位置不同，閃電大致可以分為雲對空、雲中與雲對地三種。（中央氣象局，2017）

在我們的日常生活中，雨天經常伴隨閃電，若水象粒子只取液態水的部分來看，雷達回波場跟降雨就有所關聯，因此雷達是幫助我們了解雲雨區閃電的重要工具。廣泛使用的雷達回波偵測系統採用發射大範圍電磁波，產生掃描以探測遠處物體，並依照各地區不同大小的雷達回波強度繪製成雷達回波圖，曾吉暉（2017）指出「回波場代表的意義是電磁波在空中碰到物體後，返回雷達處的電磁波強度資訊」，雷達資訊是經過專業人員分析處理過後的資料，所以可以排除大部分非大氣要素的影響，而電磁波在空中偵測到的物體主要是水象粒子，所以我們可以把回波場當作大氣中水象粒子的表現，雷達回波增強常顯示水氣對流劇烈，因此和降雨密切相關。蔣忠廷（2006）指出「以雷達回波強度作為簡易的降水區分門檻：以 20dBZ 為分界，1-20dBZ 為層狀降水，超過 20dBZ 為對流降水」。

關於降水和閃電的關係，林熺閔（1999）利用單位時間內降雨量的多寡將分為對流降水以及層狀降水進行研究，依據研究結果提出「台灣本島上的總閃電次數與總對流降雨量在時間及空間的分布上均有好的正相關」。陳瑾蘭等（2013）更指出午後熱對流的閃電大多分布在中央山脈西側，其中在山區湖泊、水庫等大型水體附近會有密集的閃電，適合對流胞發展的谷地地形成為閃電發生的最佳地點；另外也針對山區高壓電附近區域的閃電分析，發現閃電的發生受到地形影響，且非高壓電塔的誘集也好發閃電。陳柏榮、洪景山（2015）指出「陸地上的閃電數量較海面上為多，臺灣西半部的數量又多於東半部，兩者在陸地及海面

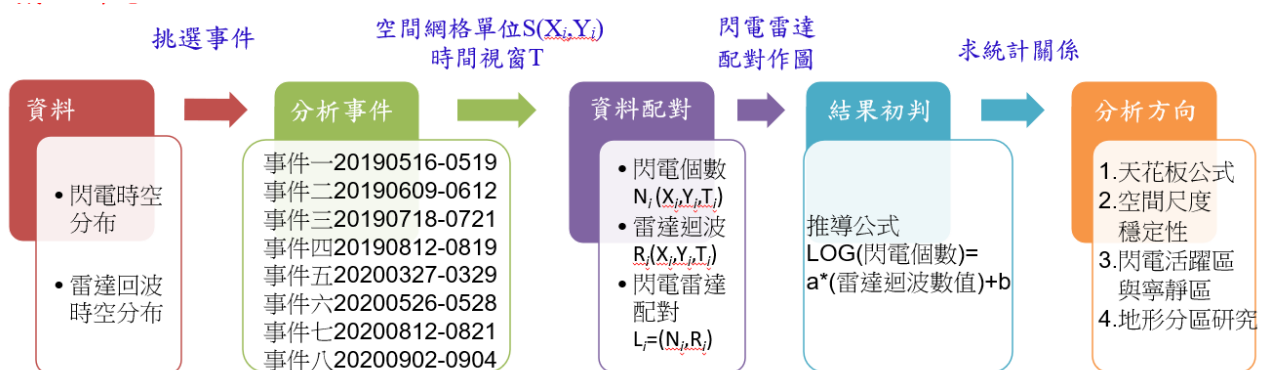
上各自形成數個分佈中心」。游禹樂等（2018）也提及「閃電發生在山地地形的機率比平原高，其中雲對地類型的閃電較容易發生在海面上。」

Lapp 等（2005）研究滴譜參數（ N_0 , Λ ）與閃電個數的相關性，其中 N_0 及 Λ 為兩個不同的滴譜參數，這些參數可以幫助了解不同大小的雨滴在單位體積內的數量及分布情形，進一步求出降雨率（Rain rate）。結果顯示滴譜參數與閃電個數有指數函數的關係，並且可藉由閃電來推測降雨率，他們指出當閃電資訊結合單偏極化雷達（single-polarization radar）測量數值是有效估計降雨率的方法。

前述的所有文獻研究主要針對閃電及降雨、閃電及地形的關係，是本研究主要參考資料及靈感來源。本研究分析的數值資料除包含雷達回波強度訊號外，也採用中央氣象局閃電監測網（中央氣象局，2017）記錄的閃電的時空資料，此觀測網的觀測方式，包括觀測員感官聽音視光之直接的定性辨識，和地表上或太空衛星裝載遙測儀器偵測電磁波之間接的定量計算，藉由閃電打出的電磁波抵達不同偵測站的時間，以時間差計算距離，進行閃電的定位（白意詩等，2016）。

基於中央氣象局的閃電時空及雷達回波資料，以及前述研究的基礎，我們以 Excel 針對擬定的研究問題進行分析。

肆、研究方法(如圖一所示)



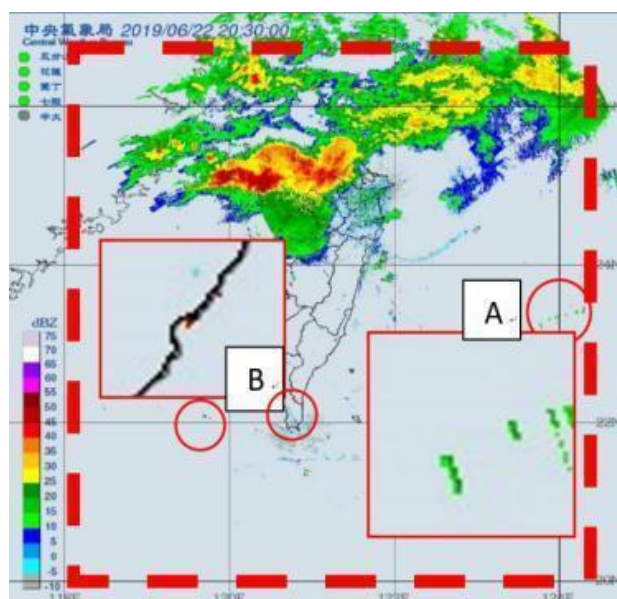
圖一 研究方法流程圖

一、時空範圍的訂定

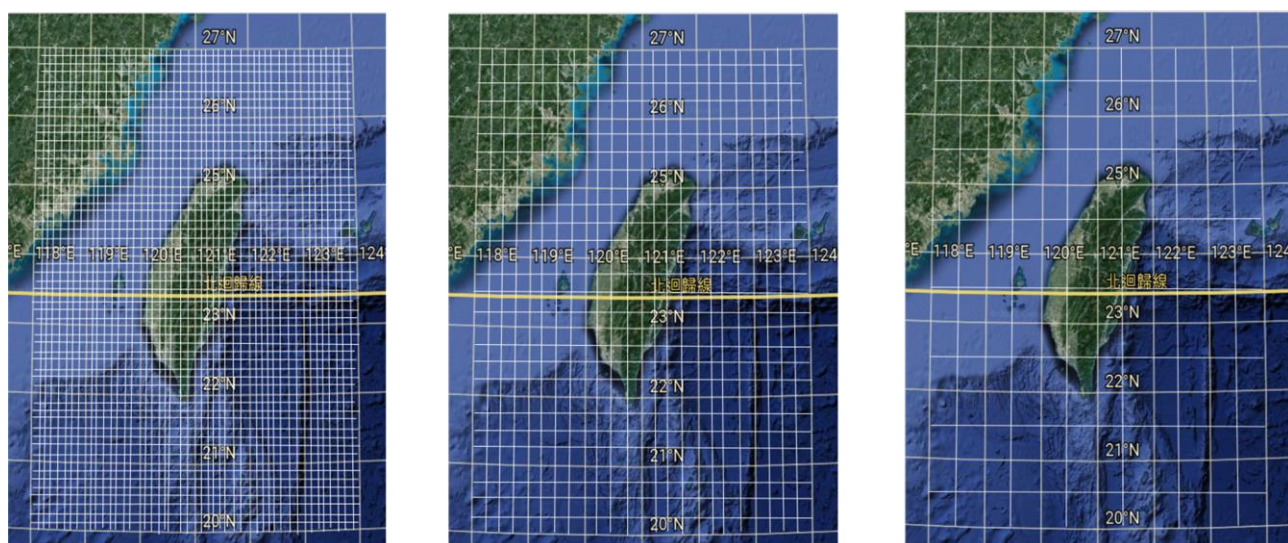
- (一) 選定台灣附近，東經 118 到 124 度、北緯 20 到 26 度作為研究區域。
- (二) 收集台電 2019 與 2020 年的閃電資料（中央氣象局閃電監測網，2017），計算研究區域每日的閃電數量，將閃電個數隨日期變化繪製成圖。
- (三) 以每日閃電個數 34000 為門檻，選擇個數大於門檻的日期。
- (四) 於中央氣象局的每月天氣報告中找出該日期相對應的天氣事件，紀錄並比較。

二、研究區域閃電總個數與雷達回波強度 (radar reflectivity intensity) 的關係

- (一) 將研究區域平面空間 (東經 118 到 124 度, 北緯 20 到 26 度) 以經緯度每 0.125 度(2304 格空間正方網格)、0.25 度(576 格空間正方網格)、0.5 度(144 格空間正方網格)劃分, 如圖三之白色網格線。
- (二) 將每事件以每小時的時間視窗, 在時間域移動, 計算在各空間網格內每個時間視窗內的閃電個數。
- (三) 利用 R 程式讀出雷達回波圖每一像素 pixel 的 RGB 數值, 將顏色量化後, 求出對應的雷達回波數值 (若該像素無雷達回波資料, 則以 -99 計)。
- (四) 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, 以下記成 percentile95)。
- (五) 分析各事件同一網格內步驟 (四) 雷達回波之「第 95 百分位數」與閃電個數的逐時關係。



圖二 讀取的雷達回波資料範圍 (紅框)



圖三 空間分割格點圖(0.125 度、0.25 度、0.5 度)

三、閃電個數與雷達回波強度配對關係

- (一) 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與 $N_i(X_i, Y_i, T_i)$ 該網格在該小時所對應到的雷達回波強度資訊配對, 結合成 $L_i=(N_i, R_i)$, 統整後繪製成關係圖。
- (二) 觀察關係圖, 以線性統計關係描述閃電與雷達關係, 並比較線性關係中的係數及相關性。
- (三) 比較歸納天花板公式在不同空間尺度及不同事件之間的穩定性。

四、活躍區與寧靜區

- (一) 將雷達回波強度代入資料配對求得的天花板公式，相同雷達回波下的閃電中，找出第 95 百分位的閃電個數，計為 K。
- (二) 接著把 K 乘以 0.25 得到的值訂為閃電的低標，把 K 乘以 0.75 訂為閃電的高標。
- (三) 最後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，並繪製空間分布圖，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，高於高標則為閃電活躍區，觀察比較顏色區塊的分布。

五、閃電資料的空間分布分析

- (一) 以 0.25 為邊長的網格大小，計算每一網格內閃電總個數，作為「閃電空間密度」（即單位網格之閃電總個數）。
- (二) 將「閃電空間密度」隨空間分布情形製成圖後，觀察比較不同事件的閃電分布特性。
- (三) 參考步驟（二）的空間密度趨勢，將網格區域依據地形，劃分成不同研究區域。

六、地區性空間網格內閃電與雷達回波強度的相關性

- (一) 將事件內以時間特性分類：
 1. 白天（6:00 到 17:00）及晚上（18:00 到 5:00）
 2. 接近正午（10:00 到 14:00）及接近午夜（21:00 到 02:00）
- (二) 分析特定事件特定網格的閃電個數及雷達回波 percentile95 之關係。
- (三) 將上述步驟（一）中閃電個數與雷達回波強度作圖分析，比較不同時間段的結果。

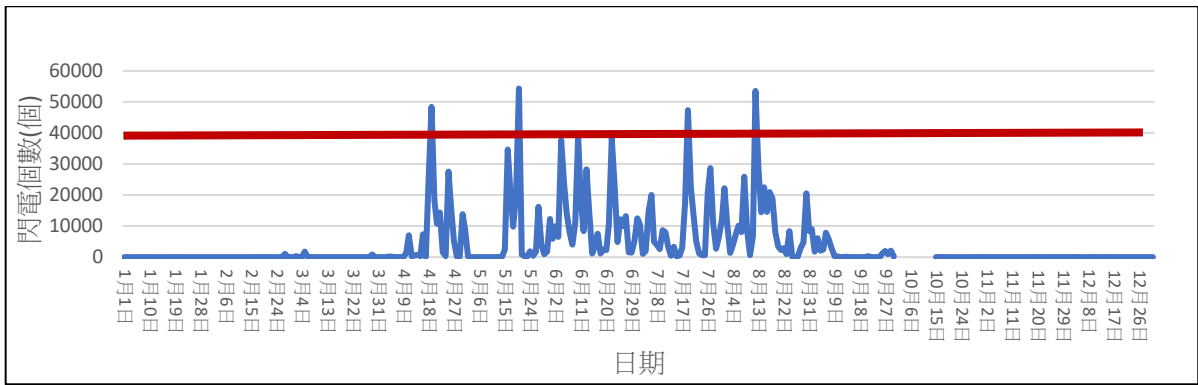
七、各地形分區閃電與雷達回波強度比較—以西南風事件為例

- (一) 選擇天氣狀況相似的西南風事件，個別分析閃電個數與雷達回波的關係。
- (二) 將閃電及雷達回波依據方法五（三）的空間分區分成七組，計算在前述步驟中的空間網格內 1 小時時間的移動視窗中閃電個數與雷達回波 percentile 95 對應的資料。
- (三) 將三個西南風事件之閃電與雷達資料合併後，分析空間中各地形分區的閃電個數與雷達回波強度關係。

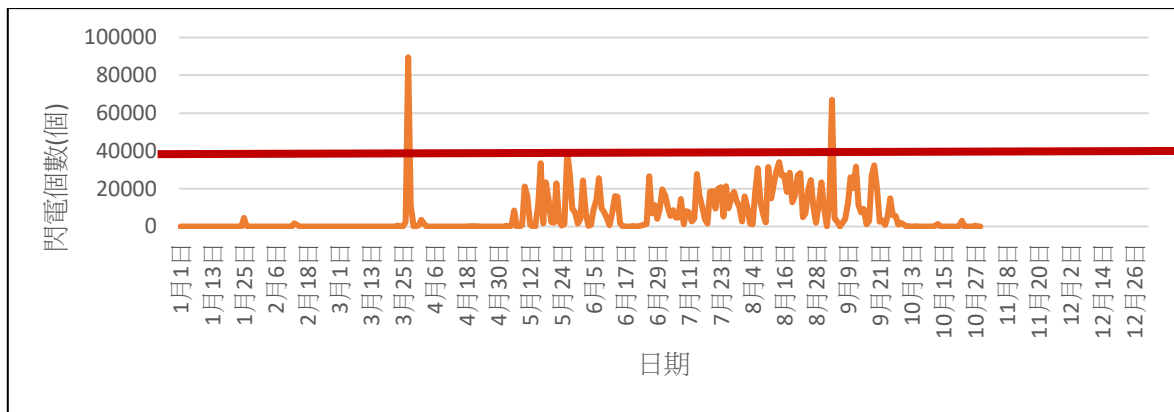
伍、研究分析與結果

一、時空範圍的選定

圖四及圖五為研究區域每日閃電數量隨時間的分析圖，根據圖四可看出閃電個數約有 17 日在 20000 以上，超過 20000 到 30000 以上的事件較少，只有 5 日個數會超過 40000，為使資料有統計數量足夠分析，本研究選擇包含此 5 日的事件作為 2019 年的研究目標；根據圖五，2020 年只有三個事件超過 40000，且在 8 月 12 日至 8 月 21 日出現一波連續高峰，因此採納此四事件作為 2020 年的研究目標。

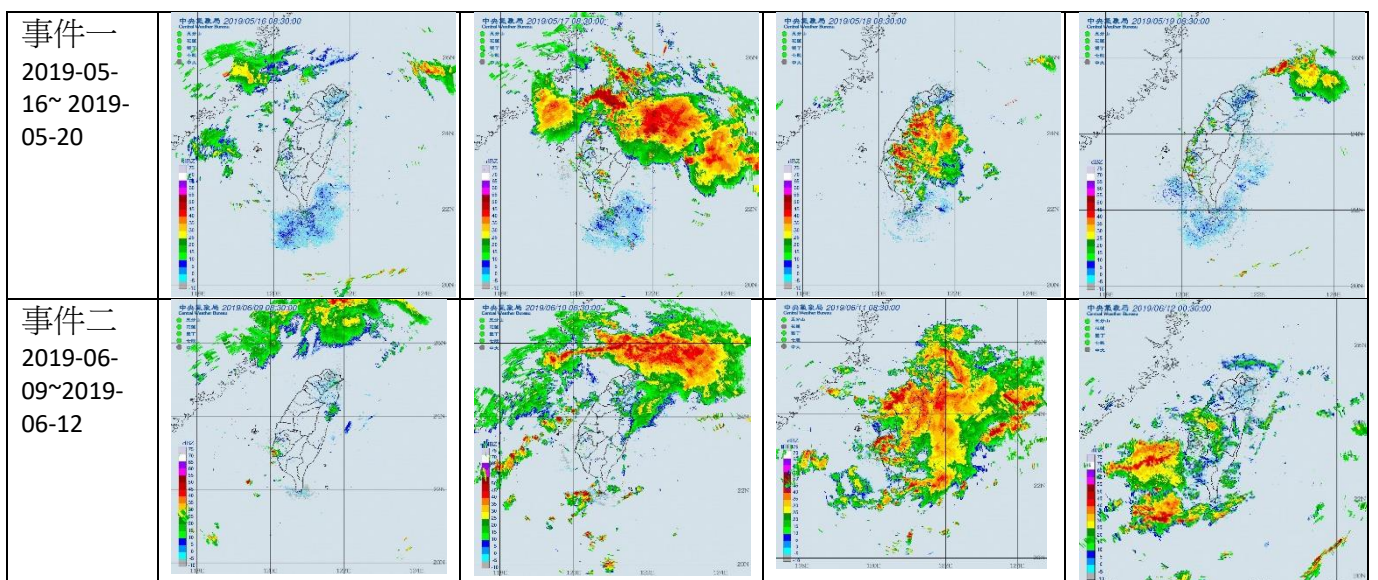


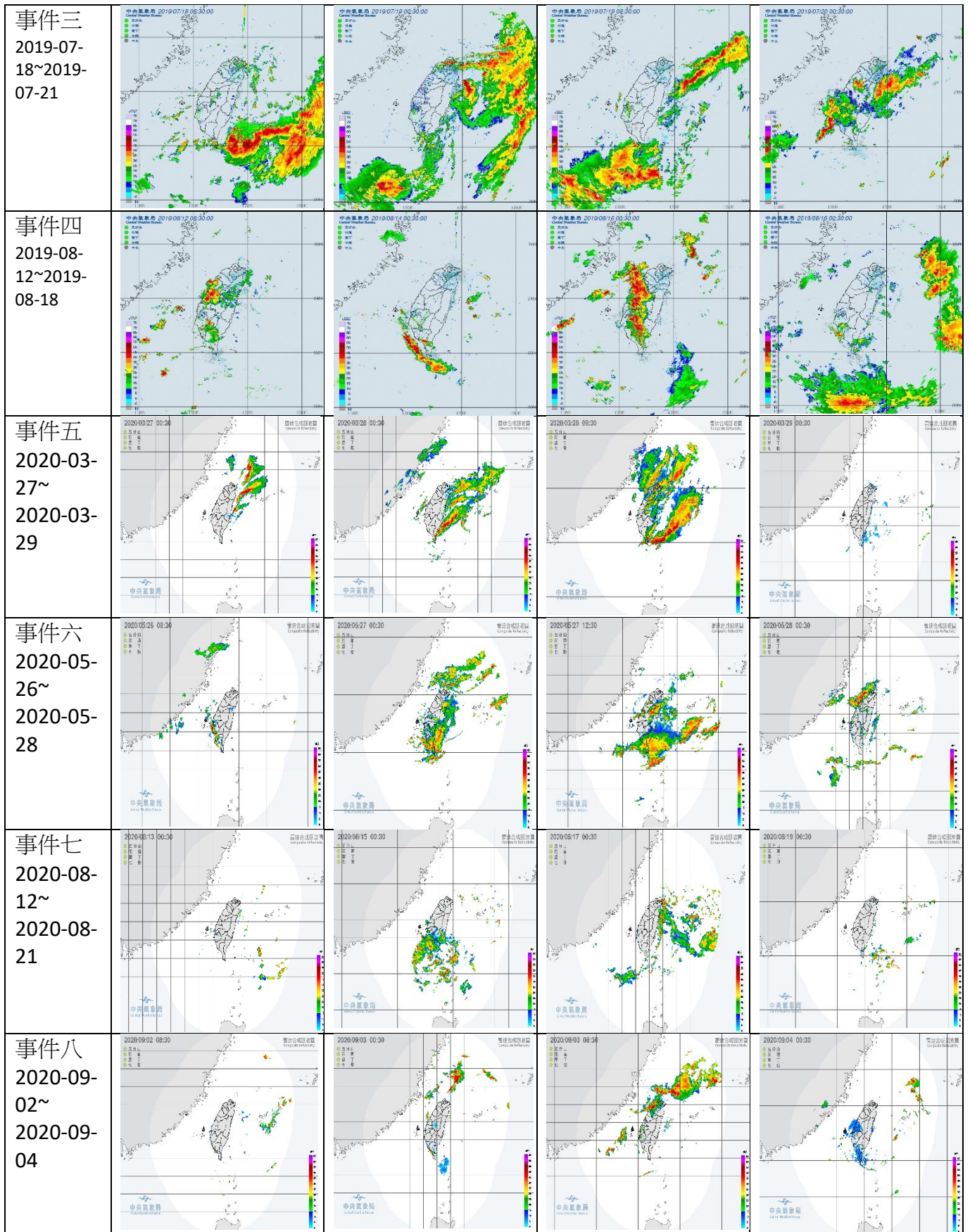
圖四 2019 年每日閃電數量分布圖（紅線為本研究的篩選門檻）



圖五 2020 年每日閃電數量分布圖（紅線為本研究的篩選門檻）

由於此 8 事件出現在氣象局的每月天氣報告中多是西南風的事件（見表一及圖六），並且包含 2 個颱風事件，因此我們之後也對此西南風事件特別研究，並與颱風事件的分析結果進行比較。選取其中三個事件說明如圖六顯示，三個西南風事件的雲雨分布位置相似，因此決定將事件共同分析比較。





圖六 研究事件中的雷達回波進程舉例

表一 研究事件與時間

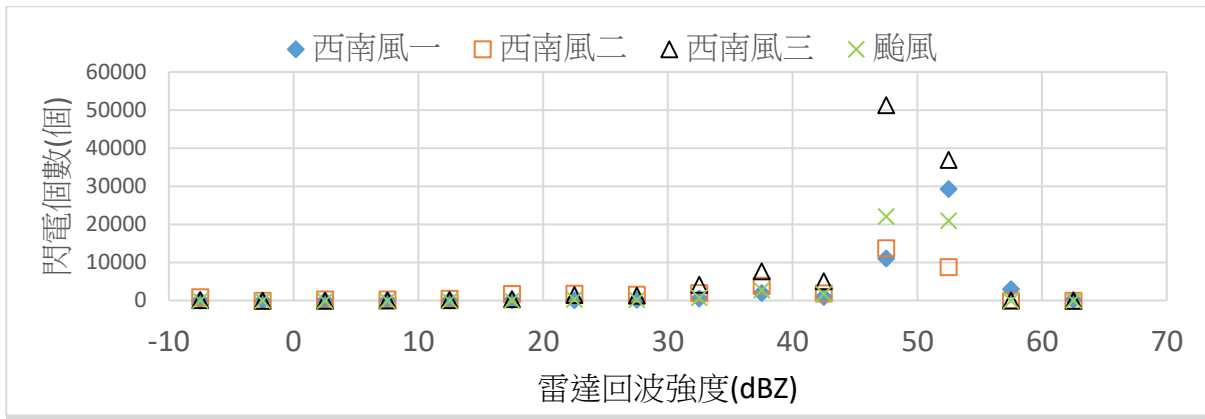
事件類型	事件一	事件二	事件三 (颱風事件)	事件四
日期	2019.5.16 到 2019.5.19	2019.6.9 到 2019.6.12	2019.7.18 到 2019.7.21	2019.8.12 到 2019.8.19
天氣型態簡述	15、16 日西南風影響、17、18 日西南風及午後熱力影響	10 日至 14 日受滯留鋒面及西南氣流影響	10 日至 21 日持續受到西南風、低壓帶影響	17、18 日受丹娜絲颱風外圍環流影響、19 日低壓籠罩

事件類型	事件五	事件六	事件七 (颱風事件)	事件八
日期	2020.03.27 到 2020.03.29	2020.5.26 到 2019.5.28	2020.8.12 到 2020.8.21	2020.9.2 到 2019.9.4
天氣型態簡述	27 日午起至 29 日受鋒面影響，其中 27 日臺東有局部大豪雨、28 日局部地區有大雨，甚至豪雨發生	26 日至 29 日受一波滯留鋒面影響，有大雨等級以上的雨勢發生，27 日南部有局部豪雨。	12 日至 20 日以午後有局部短暫雷陣雨的天氣為主。21 日至 23 日受巴威颱風及其外圍環流影響。	2 日至 3 日受西南風、低壓帶及午後熱力作用影響，各地有局部短暫陣雨或雷陣雨。

二、閃電與雷達回波強度的配對

(一) 空間網格內閃電總個數與雷達回波強度的關係

將研究區域內不同事件，同一網格中雷達回波強度 **percentile95** 與閃電個數配對後，計算同一事件雷達回波不同等級對應的閃電個數，結果如圖七所示。觀察圖中 4 個不同資料點的分布，發現皆有接近的變化趨勢：在雷達回波強度小於 52.5 時，雷達回波強度越高，閃電個數大致上也隨之增加，但當雷達回波強度大於 57.5 時，強度增加反而閃電個數減少。由於在雷達回波強度-10~50 之間，雷達回波強度與其所對應閃電個數有似指數成長函數的分布形式 (**exponential growth**)，因此我們決定將閃電個數以 10 為底取對數，與雷達回波強度再次作圖，看看是否能得到較為線性的圖形，幫助了解二者之間的關係。

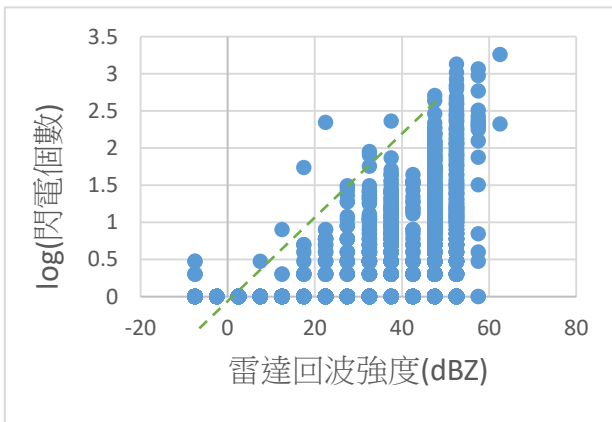


圖七 閃電個數與雷達回波強度 (radar reflective intensity) 的關係(以事件一到四為例)

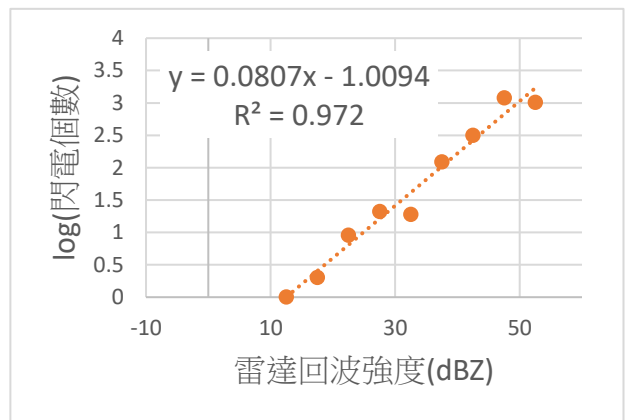
(二) 空間網格內閃電個數與雷達回波強度的關係

觀察圖八資料點的分布，發現特定時間空間網格內大約在每個雷達回波強度下都對應到閃電的發生，且大致上雷達回波強度越高，蒐集到的資料筆數越多，由閃電個數少到多均有，推得在一小時內可以發生閃電的機率會隨著雷達回波強度的上升而提高。整體來說，在一小時中能累積越多閃電，必須建立在該環境下的雷達回波強度越強，但不代表所有雷達回波強的環境下，都能在一小時中累積多個閃電。

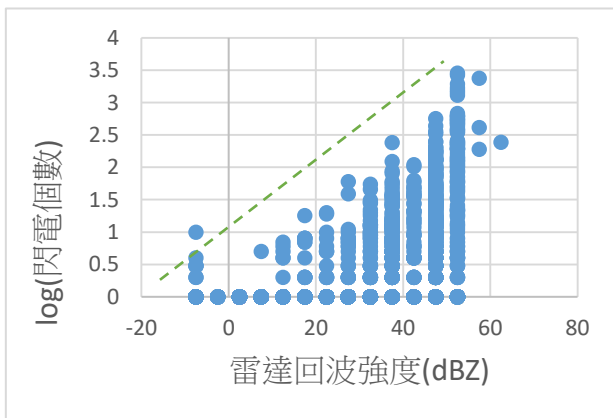
(a)0.125 度



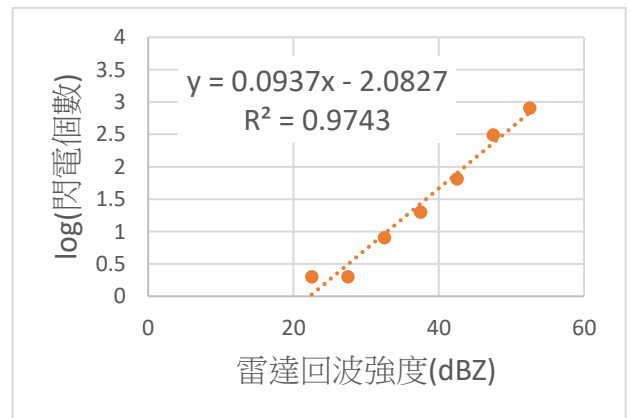
(a)0.125 度



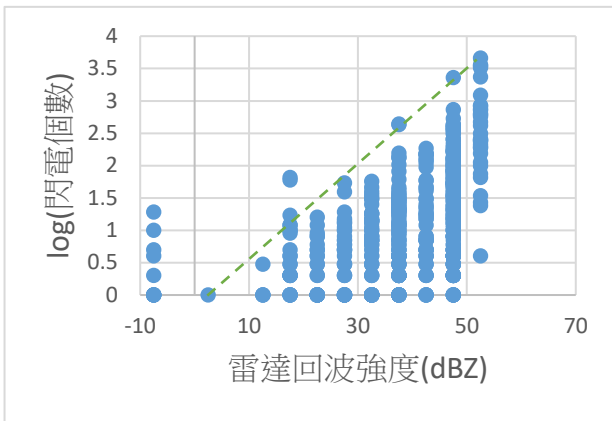
(b)0.25 度



(b)0.25 度

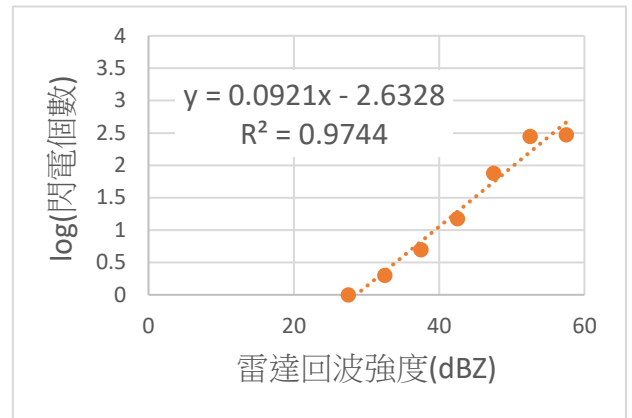


(c)0.5 度



圖八 閃電與雷達資料配對圖(以事件一為例)

(c)0.5 度



圖九 閃電的天花板公式線性迴歸圖(以事件五為例)

接著，我們想進一步找出一個網格在一小時中可累積的最大閃電個數 $N_{max}(X, Y, T)$ 和雷達回波強度 $R(X, Y, T)$ 間的關係。即閃電雷達配對 $L_{max}(N_{max}, R)$ 在同樣的雷達回波強度中，找出一個網格在一小時中可累積的最大閃電個數，將閃電個數取對數後，與對應雷達回波強度作圖。

我們從圖九中發現，一個網格在一小時中可累積的最大閃電個數(即我們之後的"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 $y=ax+b$ ，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：

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

可改成指數形式如下：

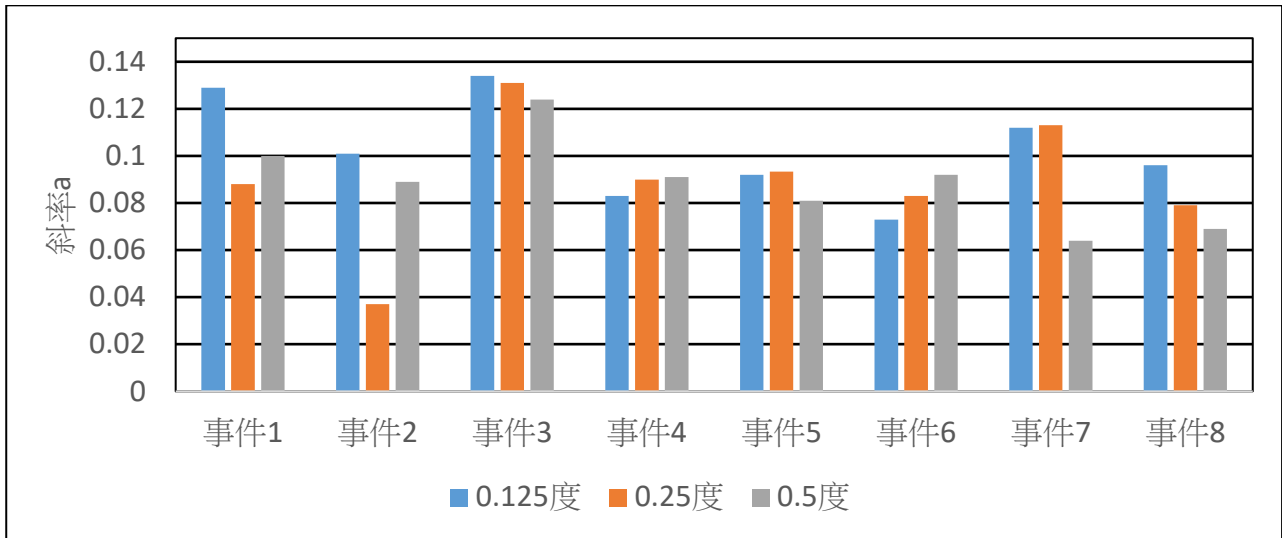
$$\text{一網格一小時中的最大閃電個數 } N_{max} = 10^{(a*\text{雷達回波強度}+b)} \quad (\text{公式 2}) ,$$

我們之後將此公式稱為天花板公式。

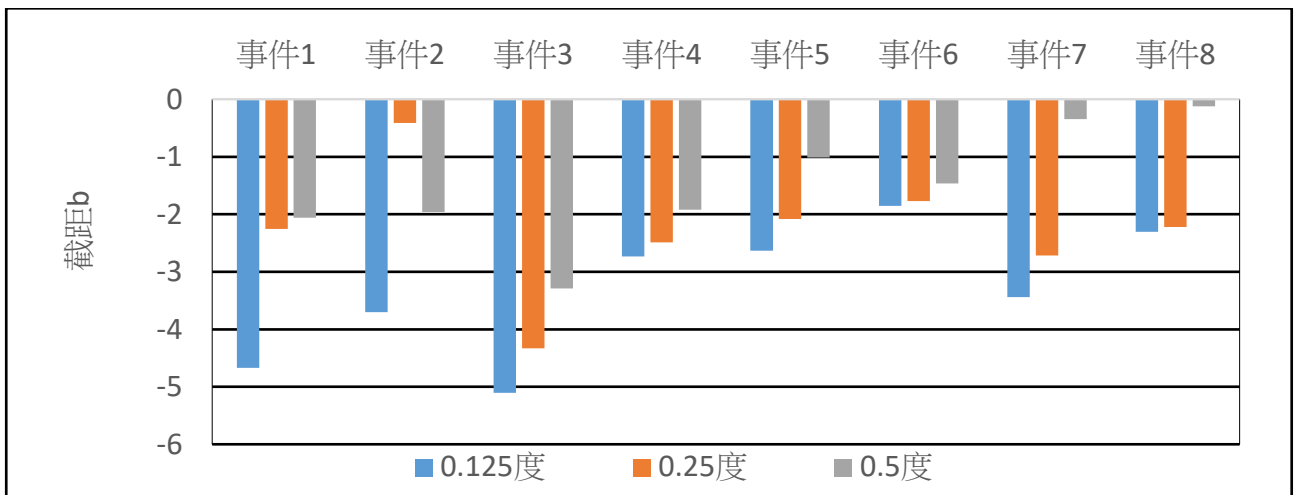
三、天花板公式在不同空間尺度及不同事件的穩定性

(一) 天花板公式的計算結果

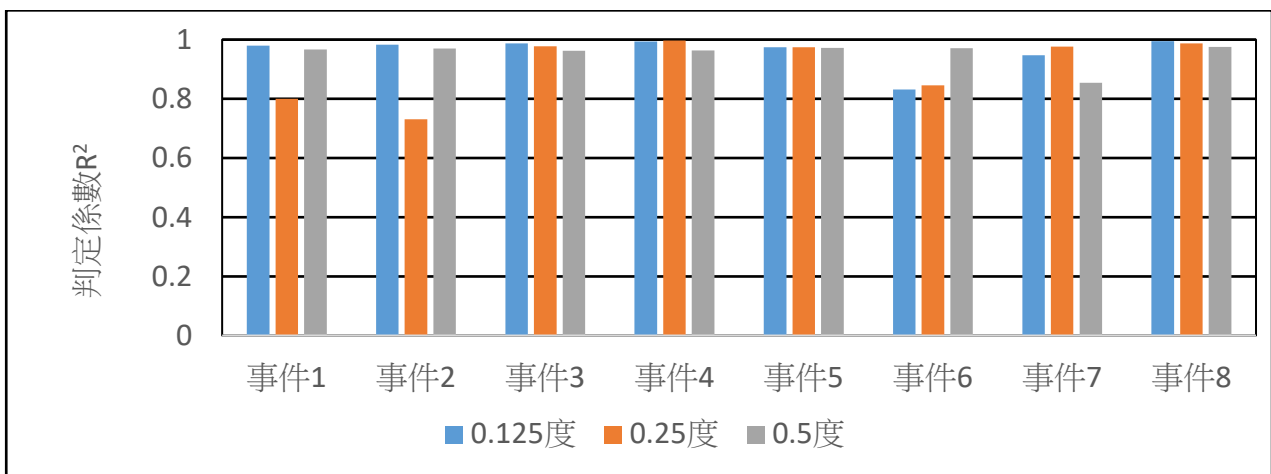
以不同網格大小劃分空間，尋找雷達與閃電的關係，可以反應此二個變數在不同空間尺度範圍內的相關狀況，當公式可在不同尺度呈現相同的關係，則顯示以天花板公式描述閃電與雷達回波強度的關係是穩定的，也就是不同尺度下此二變數的關係相同。圖十及圖十一顯示計算出不同事件的天花板公式中斜率 a 及截距 b ，在不同尺度的變化，可以發現不同網格斜率變化不大，約由 0.0685 到 0.1337，但事件二為 0.0374 特別低；而截距 b 的變化較大，約在 1 到 2 間，判定係數 R^2 約在 0.731 及 0.997 之間，其中當判定係數 R^2 大於 0.9 時，顯示出以線性關係描述閃電的第 95 百分位數與雷達回波強度的關係是合適的。檢查這 8 個事件，當 R^2 大於 0.9 時，斜率都落在 0.06 到 0.14 之間，在 0.125、0.25、0.5 所有網格大小均很接近；不過，相較之下以 0.25 度為邊長的網格判定係數共有三個事件在 R^2 有較低的資料點，斜率 a 就不太相同。



圖十 不同事件及空間尺度閃電的天花板公式斜率 a 比較圖



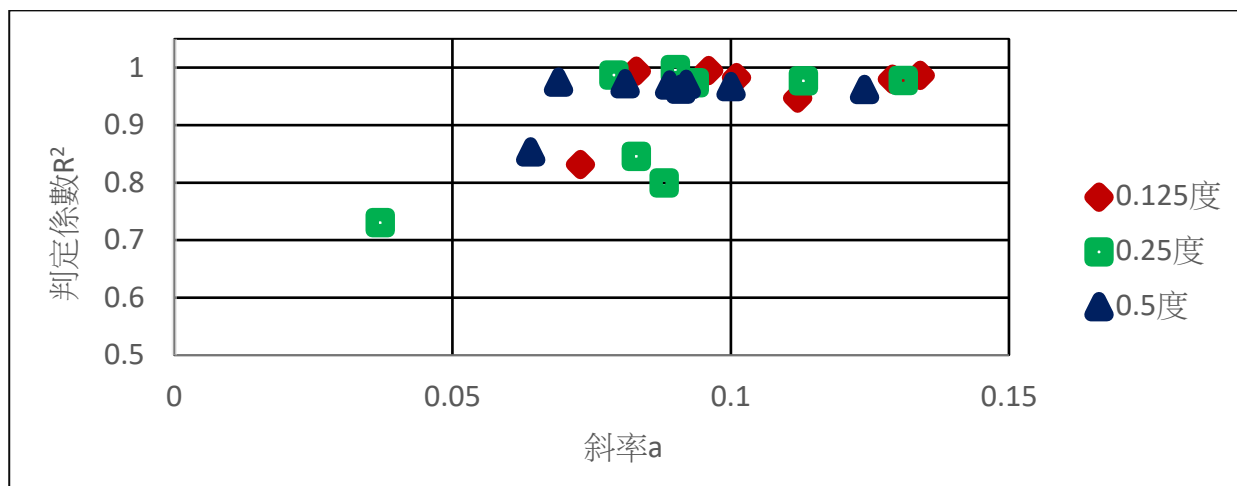
圖十一 不同事件及空間尺度閃電的天花板公式截距 b 比較圖



圖十二 不同事件及空間尺度閃電第 95 百分位數與雷達回波強度判定係數 R² 比較圖

(二) 公式在空間尺度的穩定性

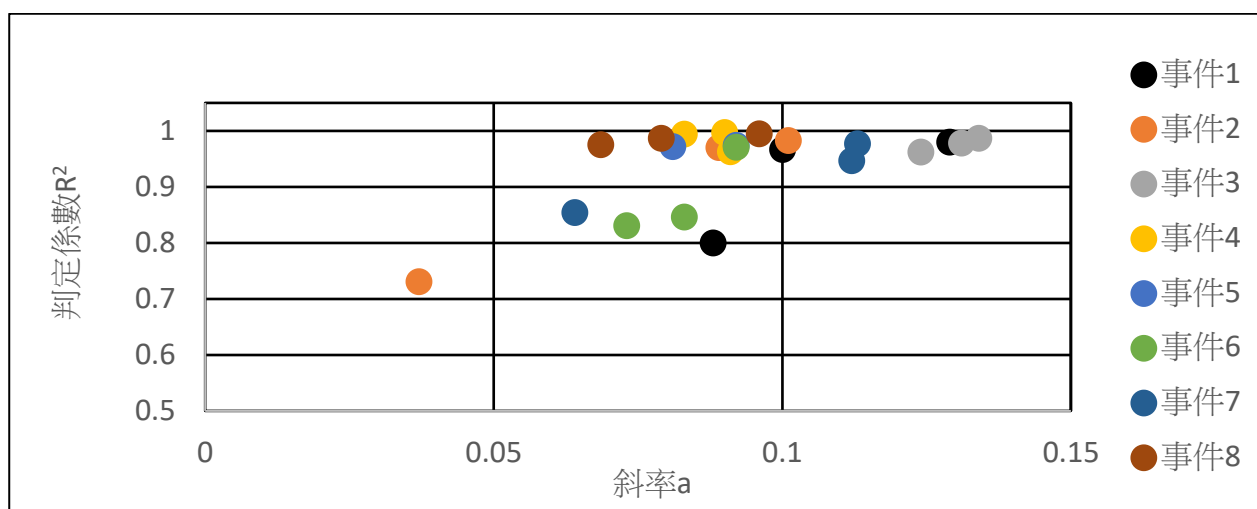
將不同網格大小求出的迴歸線之斜率 a 與判定係數 R^2 作圖，發現 0.25 度的網格結果有三個事件的 R^2 偏低(如圖十三的綠色點)，顯示公式在此網格大小分析數據，兩者之關係較弱，佔 2019 到 2020 事件的 3/8。而網格大小 0.125 度及 0.5 度為邊長的空間尺度，線性回歸的判定係數均約在 0.95 到 1 間，顯示公式在此網格大小分析數據，得到的結果較為穩定。



圖十三 不同空間尺度的公式中斜率 a 與判定係數 R^2 散佈圖

(三) 公式在不同事件的穩定性

圖十四可見，不同事件的斜率 a 大約於 0.06 到 0.14 間均勻分佈，代表公式不會因為特定事件而有太大的變化，只要判定係數 R^2 大於 0.9，在不同事件中，用此公式來描述閃電與雷達回波的關係應是穩定的。因此，下一步我們決定依天花板公式的斜率及截距作為推測特定雷達回波強度下閃電的最大次數。



圖十四 不同事件的斜率 a 與判定係數 R^2 散佈圖

四、閃電活躍區與寧靜區

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，分析閃電容易低於低標(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，不同空間尺度顯示出的結果會有些許差異(如圖十五)，可能由於不同空間尺度所測得的雷達資訊來自不同大小的對流胞，但在因為位於相近區域且在相同的時間範圍中，所以不同空間尺度的分布圖所顯示出的結果大致上仍會有一定的相似之處，其中以 0.25 或 0.125 度為邊長的網格大小的圖資料點較多，較容易判定出閃電活躍區與寧靜區的分布，8 個事件的分析結果如附圖一到八。

我們發現雖然不同事件的結果略有差異，但普遍來說在臺灣西南部沿海的閃電容易高於我們所預測的高標值，這代表此區域可能為閃電發生的活躍區；另外，我們也發現閃電次數容易落在低標與高標的區域在以 0.125 度為網格邊長的時候，會顯示出與台灣國土相似的輪廓，顯示在網格邊長 0.125 度的空間尺度中，發生於台灣陸地上的閃電容易落在我們所推測的低標與高標之間；而低於低標的部分，則大致分布於台灣東北、西南部地區。

觀察到八個事件中有兩個事件，即事件四與事件八中，閃電活躍區及閃電寧靜區同時存在於台灣西南部的現象(見圖十六)。為了解原因我們將事件依照日期劃分，並且以 0.125 及 0.25 的格點尺度重新繪製低於低標以及高於高標的圖進一步分析比較，有更多發現，以下以事件八為例。如圖十七，就不同時間來看，我們發現活躍區與寧靜區並不是發生在完全相同的地點，卻非常鄰近，例如在 9 月 3 日時寧靜區分布於西部及北部沿海，而活躍區分布於西南部以及北部內陸，我們將事件八單日的高於高標(活躍區)與低於低標(寧靜區)疊合，發現寧靜區大致上會以環型分布在活躍區外圍，而活躍區以球狀分佈。

上述的比較說明兩事件中台灣西南海域閃電寧靜區和活躍區有時間的前後和空間的差異性，也就是活躍區和寧靜區並不同時在同一地區出現，但有可能在鄰近區域發生。

另外，我們還做了將活躍區及寧靜區與雷達回波圖的比對(圖十八)，把比較結果對照事件四同一時間的雷達回波，發現同樣強度的雷達回波在 9 月 4 日在台灣西南沿海面上呈現寧靜，但在近陸的西南海域呈現活躍情形，也就是當相同雷達回波強度出現在不同區域，閃電個數可能偏少，變為寧靜區，或偏大成為活躍區。

事件4
(2019 08)

0.5度

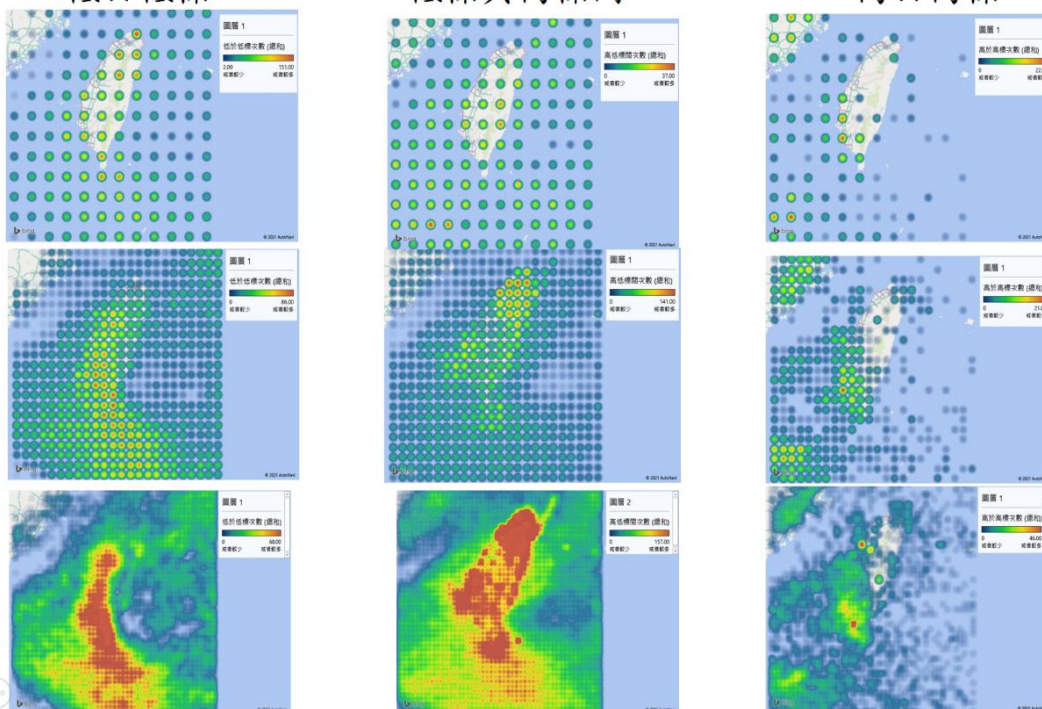
0.25度

0.125度

低於低標

低標與高標間

高於高標

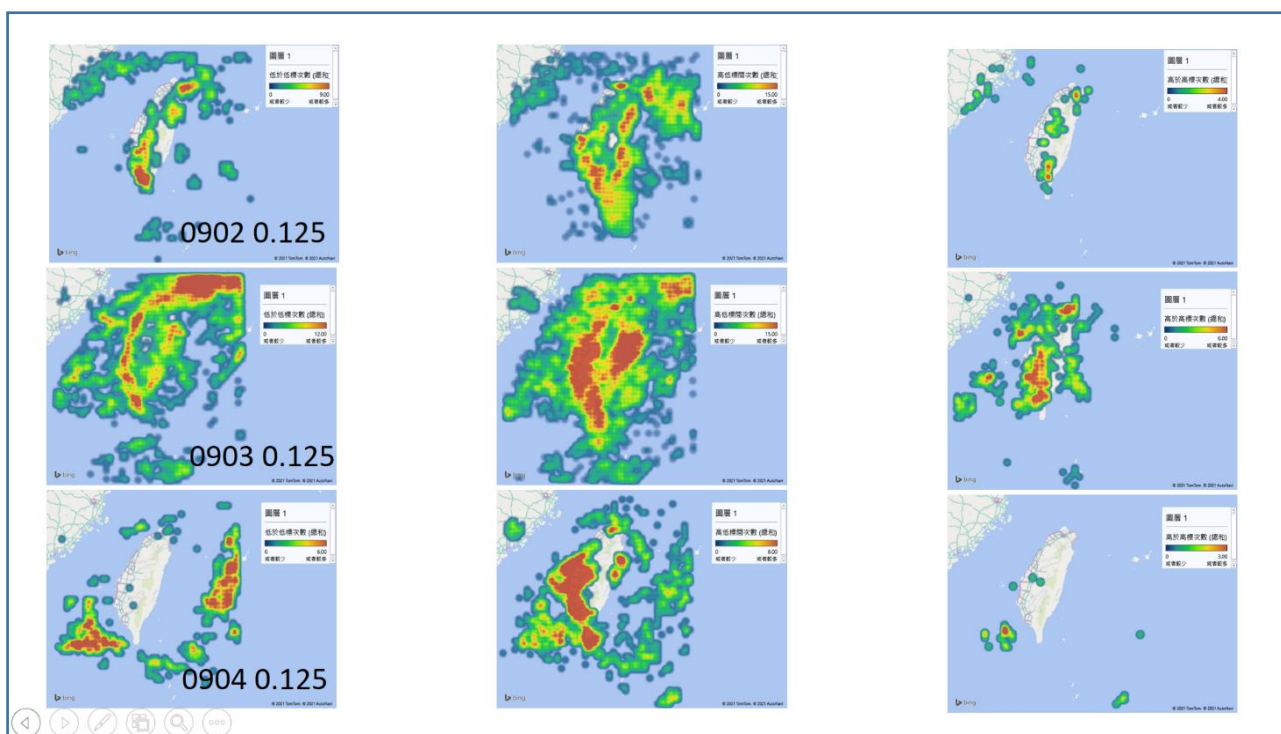


圖十五 不同空間尺度的閃電活躍區及寧靜區分布圖(以事件四為例)

(A)低於低標

(B)介於高低標間

(C)高於高標

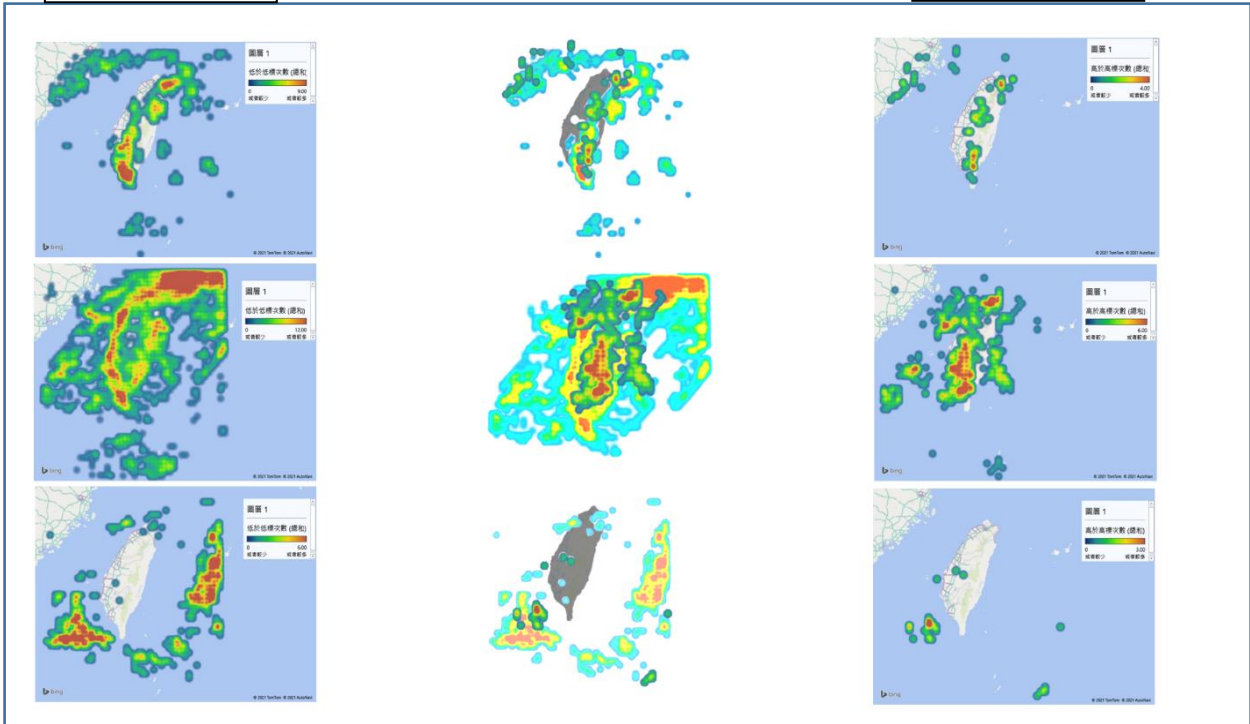


圖十六 依照日期劃分所得到的單日的閃電活躍區及寧靜區分布圖(以事件八為例)

(A)低於低標

(B)將(A)及(C)兩張圖熱區疊合

(C)高於高標

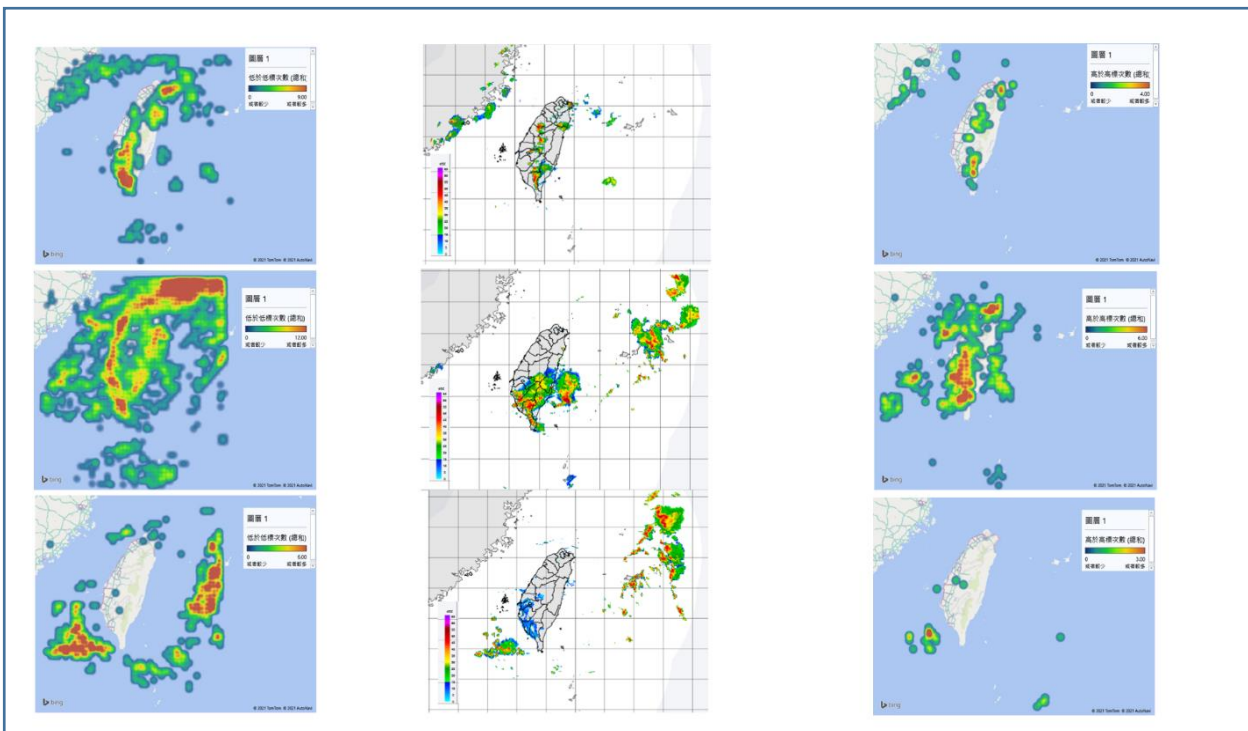


圖十七 單日的閃電活躍區及寧靜區分布關係圖(以事件八為例)

(A)低於低標

(B)同一日某時刻的雷達回波圖

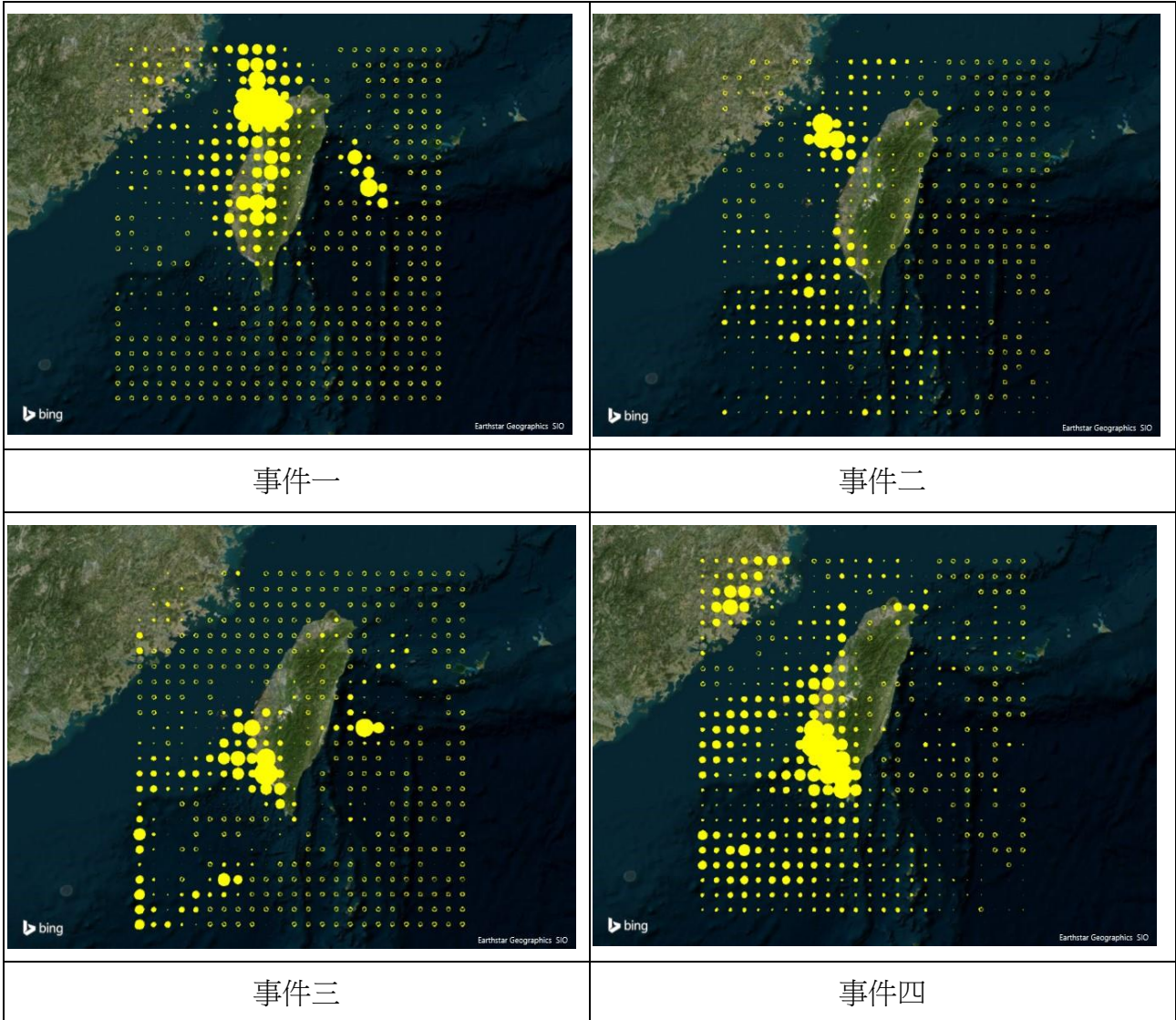
(C)高於高標

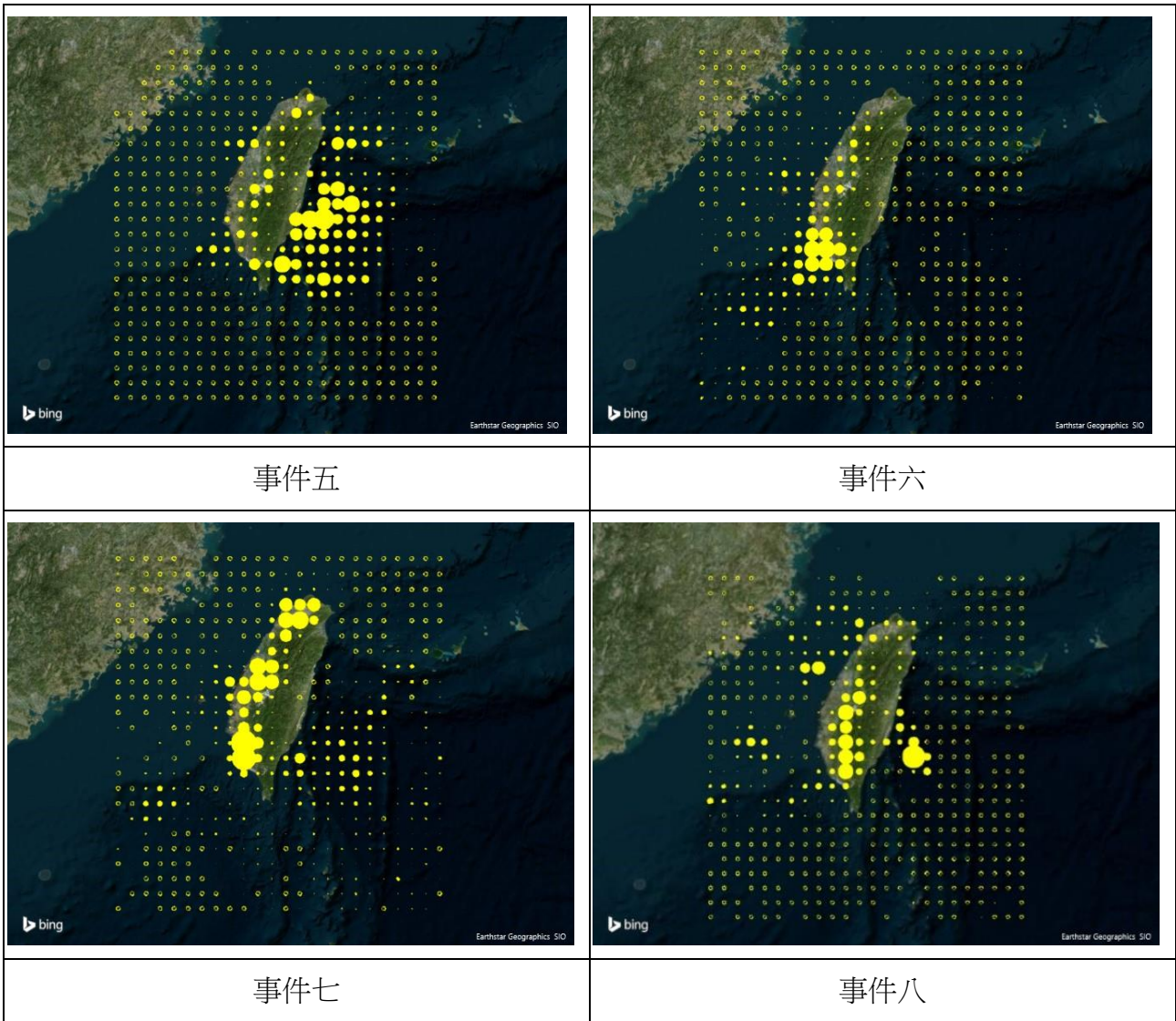


圖十八 單日的閃電活躍區及寧靜區分布與雷達回波對照圖(以事件八為例)

五、閃電資料的地形分布分析的結果

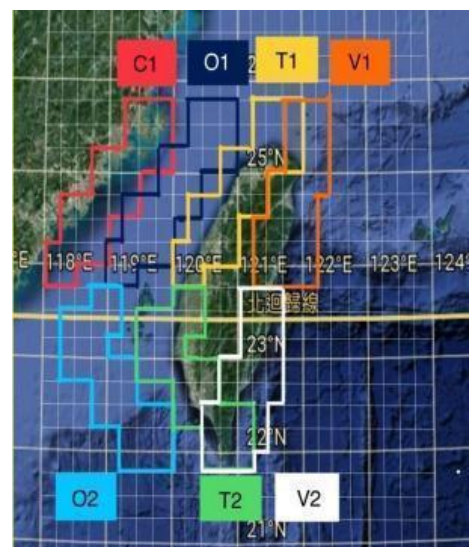
將同一事件的閃電空間密度（單位網格的閃電總個數）進行比較（圖十八），為方便判讀，以泡泡的大小顯示密度的高低，並在泡泡圖的右下方（東經 124.5 度，北緯 19.5 度）設置單位面積累積個數為 14000 的大泡泡作為基準，於是進行各事件比較時可從泡泡大小反映閃電個數多寡，較易進行觀察判讀。結果顯示閃電密集的地區約集中在東經 120 到 121 度、北緯 22 到 24 度，也就是台灣的西南部、沿海地區及西北部區域，與地形似乎有些相關。我們推測海陸分布及地形起伏的迎風側是圖十八影響閃電分布較密集的原因。





圖十九 不同事件閃電的空間分布密度圖

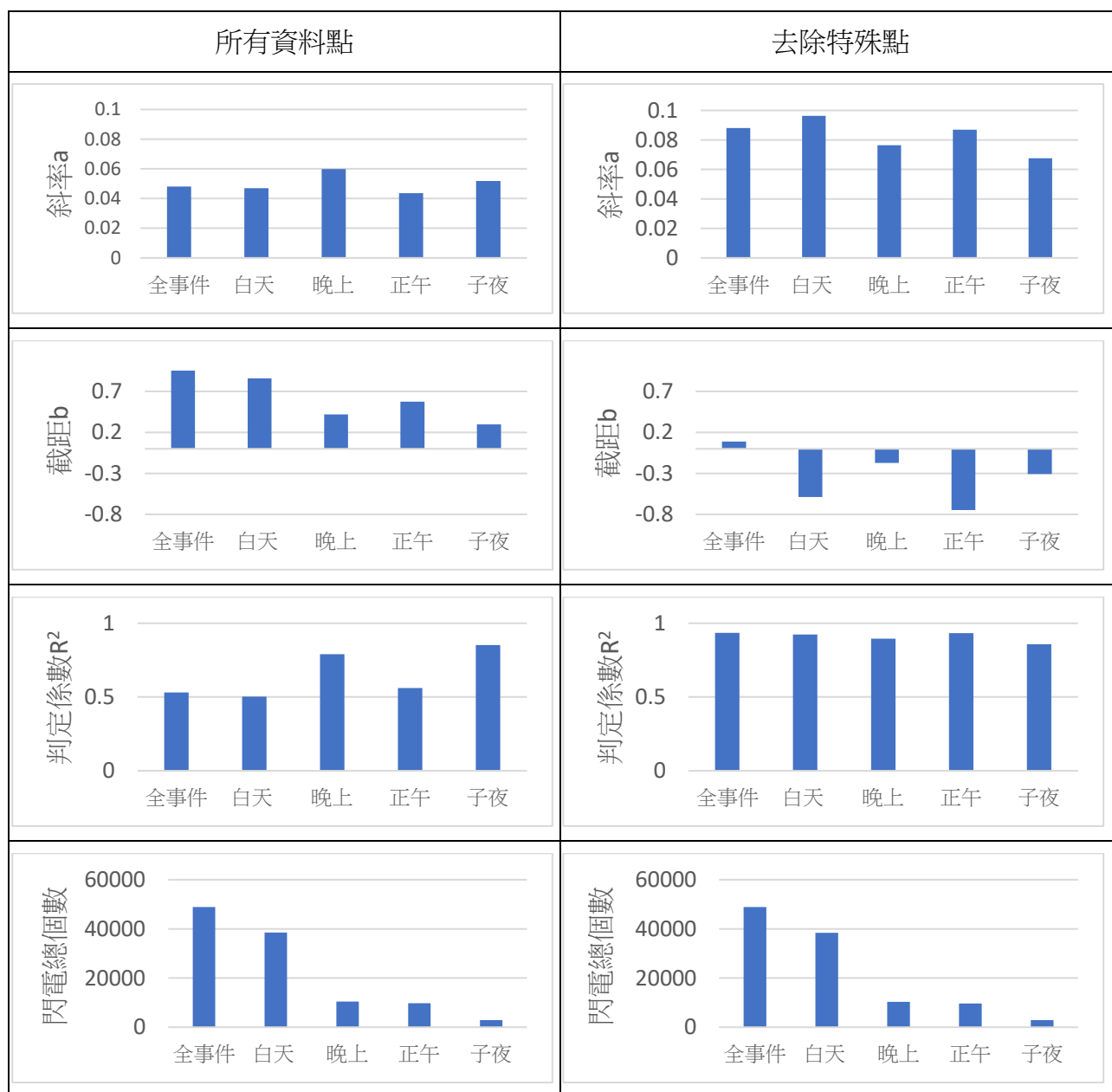
為了解閃電個數與雷達回波圖在不同地形下的關聯性，我們將台灣地區分為七區，C1 中國東南部沿海地區、O1 台灣西北部海域、O2 台灣西南部海域、T1 台灣西北部陸地、T2 台灣西南部陸地、V1 台灣東北部陸地、V2 台灣東南部陸地（如圖 4 所示），其中 C1、T1、T2 為沿海地區，O1 及 O2 為海洋，C1、O1、T1、V1 為北部區域，O2、T2、V2 為南部區域，進一步分析分區後的資料。



圖二十 研究分區圖

六、日夜及地形影響之比較

(一)不同時間段落之比較



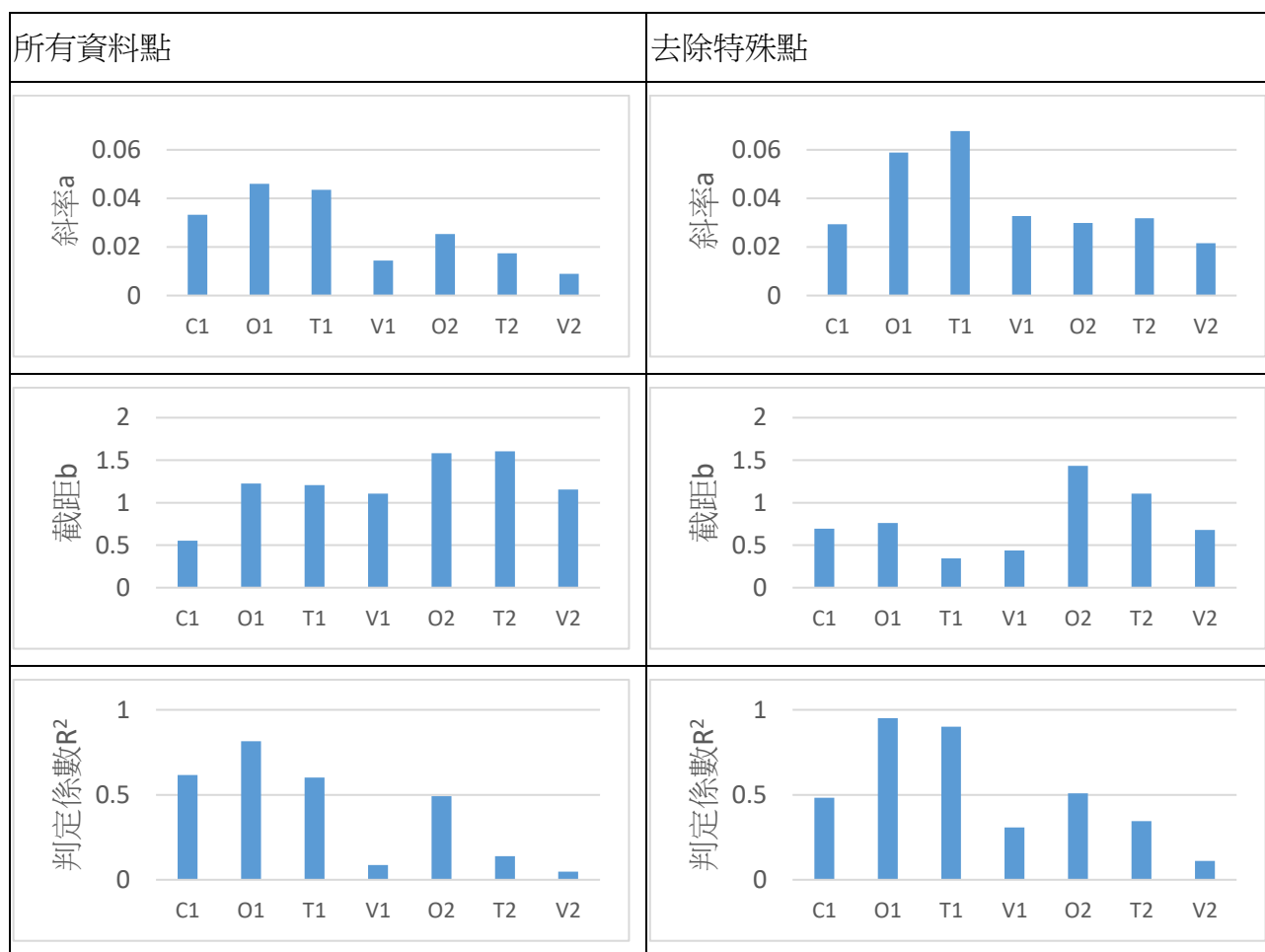
圖二十一 不同時段閃電個數與雷達回波之線性相關結果

為了解此二因素在時間上是否也具此相似且穩定的特質，我們也將時間分段為白天、晚上的半天，以及近正午、子夜的 5 小時內，與完整事件進行比較分析。如圖 10 所示，分析結果顯示採用所有資料點進行迴歸時，判定係數約為 0.5 到 0.85，尤其是白天、正午的結果接近 0.5；去除極值後判定係數均很高，接近 0.85 到 0.9，顯示不考慮雷達回波極大及極小的兩端極值後，以線性迴歸模型來解釋閃電個數的對數及雷達回波強度的關係是合適的，至於斜率 a 在晚上及子夜較小，根據推測和在此兩個時段的閃電個數少有關。因此我們發現只要分析樣本的時段有足夠閃電個數，閃電個數與雷達回波強度也具相似穩定的關係，為求足夠數量，爾後分析以完整事件資料為主。

比較本研究所有判定係數大於 0.8 的線性回歸斜率 a ，發現全事件 $a \approx 0.085$ ，在西南風事件 $a \approx 0.076$ 到 0.078 及颱風事件一 $a \approx 0.088$ 之間，另外，白天略高 $a \approx 0.09$ ，晚上略低 $a \approx 0.075$ ，顯示不同時間段閃電個數取對數後與雷達回波呈現相近，但略為不同的線性相關也就是不同時間段可能呈現略微不同的特徵斜率。

(二)分區後的一小格對一小格與西南風事件疊加

為了解在不同地形區、不同緯度區閃電與雷達間的關係，我們將資料根據圖 4 的區塊分成小群後進行分析。由於之前分析均顯示足夠閃電個數是資料分析穩定度很重要的門檻，因為閃電數量在分區後每一區的閃電個數會變少，為達到分析的門檻，我們將兩個線性迴歸相近的西南風事件合併，使統計個數增多，再行地形分區的研究。



圖二十二 分區後線性回歸結果比較

陸、討論

一、時空範圍的選定

我們選取的研究對象為事件中包含單日閃電個數超過 34000 的日期，認為有足夠的研究樣本能讓分析更準確，但是並不是每一個天氣事件的為時長短皆相同，累積的閃電個數也不盡相同，因此往後的資料分析需考慮閃電的密度，指每小時區域內的閃電個數，如此一來才能使各事件的比較有客觀的結果。

二、雷達回波強度（radar reflective intensity）與閃電個數的關係

（一）雷達資料轉譯的處理原則

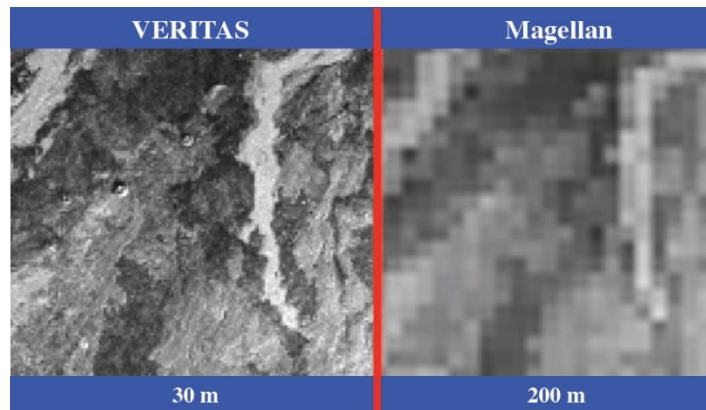
雷達回波資料在我們分割的空間網格內，每格約有一千多個像素。其中在顏色像素對雷達數值的轉換過程中，有幾項干擾因素是我們事先進行處理的：1.圖例 2.經緯度與縣市交界線（如圖 5-B） 3.噪訊（如圖 5-A） 4.壓縮失真。考慮上列的影響，我們採用雷達回波圖紅色虛線範圍內的資訊，以避開圖例及文字，並使用第 95 百分位數的雷達回波強度資料，避免前 5%的像素資料有可能是網格內的噪訊及經緯度線，另外對於圖檔在壓縮後，圖形的邊線鋸齒型及顏色失真的像素我們也將其捨去。

（二）空間網格內閃電個數與雷達回波強度的關係-----天花板公式

從閃電個數與雷達回波強度的關係圖可以發現，雷達回波強度與其所對應閃電個數有似指數成長函數的分布形式，除此之外，可以發現在雷達回波強度達到極高值時閃電個數有下降的趨勢，因此我們決定將閃電個數以 10 為底取對數，探究其中的線性關係，我們不確定這是否能好好解釋兩變數的統計模型，但根據判定係數均大於 0.8。以線性關係來描述閃電個數對數及雷達回波訊號的關係，顯示以此天花板公式中，雷達回波訊號來解釋閃電個數是可行的。這是我們想到的簡易描述規則的方法，目前僅能作為經驗公式，背後的物理原因仍待更深入探究。

（三）空間尺度穩定性

我們發現單位網格大小為 0.125 度及 0.5 度的判定係數 R^2 較高，較符合天花板公式。而部分事件在以 0.25 度的空間網格分析時，判定係數較低，因為我們分隔的網格大小遠大於雷達解析度，因此推測其與不同網格框起來不同尺度的天氣系統(如對流胞)有關。例如圖二十三，以不同解析度的空間尺度來測量地形時結果不同，查閱網路資料發現雷雨胞的尺度約為二十公里，與我們 0.25 度的網格大小相近，而風暴級雷雨胞尺度則為幾十公里，因此以 0.25 度網格可能測到雷雨胞，但只有風暴級雷雨胞的一部份。



圖二十三 不同解析度探測地形的狀況

(四) 閃電的活躍區與寧靜區

分析結果顯示閃電常在台灣西南部及西南海域為閃電活躍區，推測可能與西南風造成的天氣有關，而在介於高低標間，大致勾勒出台灣陸地的輪廓，顯示海陸分布及緯度、海溫或許均為影響閃電個數的變因。另外，比較特別的是，西南海域同時是寧靜區與活躍區，低於低標的原因可能是因為陸地的地形起伏較大，較容易引起閃電的尖端放電，反之海面平緩，閃電個數較少而低於低標。但當天氣系統強烈時，也可能造成海面起伏，有較多的閃電而高於高標。

三、地區分區研究

為解決將資料依地形特性分成小群進行分析後統計數量減少許多，因此將西南風事件的資料合併分析，但受限於時間，資料處理的較不完整，我們目前僅就 2019 年、2020 年相似天氣系統為例進行分析，接下來，我們會利用更多資料，找尋合適且數量更多的事件，並依步驟進行分析。

柒、研究結論與建議

- 一、以閃電個數對數值與雷達回波的天花板公式分析，可以線性迴歸得到穩定的係數。
- 二、天花板公式的係數在不同時間及大部分格點的尺度分析下，呈現接近的結果，說明以此雷達回波了解閃電分布的可能性。
- 三、以公式計算出的高低標，計算閃電分布後顯示特定地區常會有特定狀況，例如，台灣西南部陸地及西南海域常為活躍區，台灣本身呈現中間區，寧靜區則較不固定，但多在西南及東北海域。
- 四、局部地區對閃電可能在鄰近空間出現活躍、中間及寧靜情形，其原因仍待更深入研究。
- 五、將西南風事件資料疊加，台灣海峽北部極台灣西北沿海區域的閃電個數對數與雷達回波具有線性的趨勢，並且斜率略微不同，其他區域仍需更多資料進行確認。
- 六、當閃電個數達統計上的門檻時在不同時段（白天、晚上及午、夜等）也呈現閃電個數的對數值與雷達回波強度在範圍間(雷達回波強度-2.5 到 52.5dBZ 之間)的線性關係，且不同時段呈現接近但略不同的迴歸斜率。
- 七、本研究的時空分析結果說明在我們設定的時間視窗及空間網格大小，可以透過我們設定的公式及迴歸的斜率大小以雷達回波圖上強度數值推估閃電個數的上限(天花板)。

捌、參考文獻

- 一、中央氣象局（2017）。你抓得住我嗎？淺談閃電之種種。<https://reurl.cc/EZozX1>
- 二、白意詩等（2016）。閃電落雷偵測系統在雷雨觀測的應用。<https://reurl.cc/WXGLv5>
- 三、曾吉暉（2017年10月6日）。天與水之歌：氣象雷達，算出天空的眼淚。<https://reurl.cc/bn9RkM>
- 四、林熿閔（1999）。雲對地閃電與降水關係之研究。*大氣科學*，**27**，75 – 98。
- 五、蔣忠廷（2006）。台灣地區降水型態分類之研究：層狀降水與對流降水型態
- 六、L. Lapp et al.（2005）。The Correlation Between Lightning and DSD Parameters. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*，**43**，8.
- 七、陳瑾蘭等（2015）。台灣夏季午後對流閃電與地形之關係。全國中小學科展作品國小組地球科學科。
- 八、陳柏榮、洪景山（2015）。臺灣電力公司閃電資料特徵分析。*大氣科學*，**43**，285-299。
- 九、游禹樂等（2018）。是晴天霹靂還是雷雨交加？。全國中小學科展作品國小組地球

科學科。

十、Crampin, S., & Gao, Y. (2015, February 25). *The Physics Underlying Gutenberg-Richter in the Earth and in the Moon* *Journal of Earth Science*, 26 (1), p. 134–139. [https://web.archive.org/web/20170809031842/http://www.geos.ed.ac.uk/homes/scrampin/opinion/Crampin_Gao\(2015\).pdf](https://web.archive.org/web/20170809031842/http://www.geos.ed.ac.uk/homes/scrampin/opinion/Crampin_Gao(2015).pdf)

十一、JPL-Caltech.(2012), *VERITAS vs. Magellan mapping resolution comparison*, <https://www.planetary.org/space-images/veritas-vs-magellan-mapping-resolution-comparison>

事件1
(2019 05)

0.5度

低於低標



低標與高標間



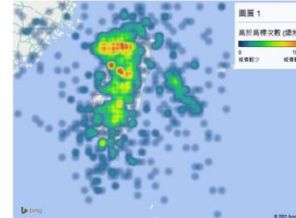
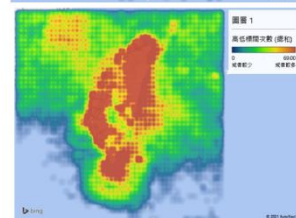
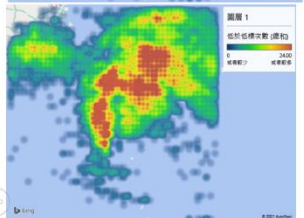
高於高標



0.25度



0.125度

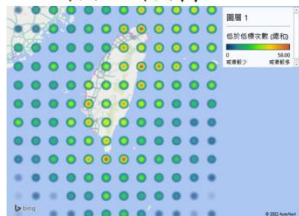


附圖一 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件一)

事件2
(2019 06)

0.5度

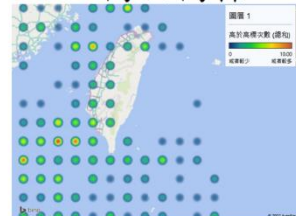
低於低標



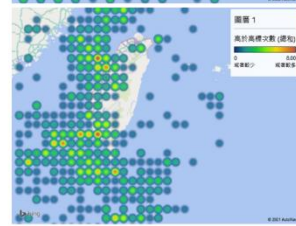
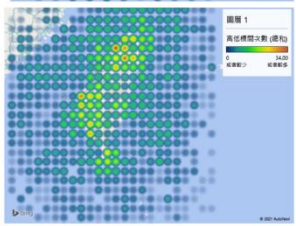
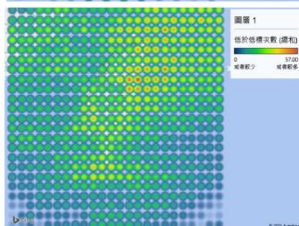
低標與高標間



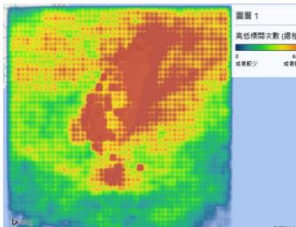
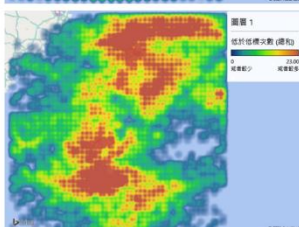
高於高標



0.25度

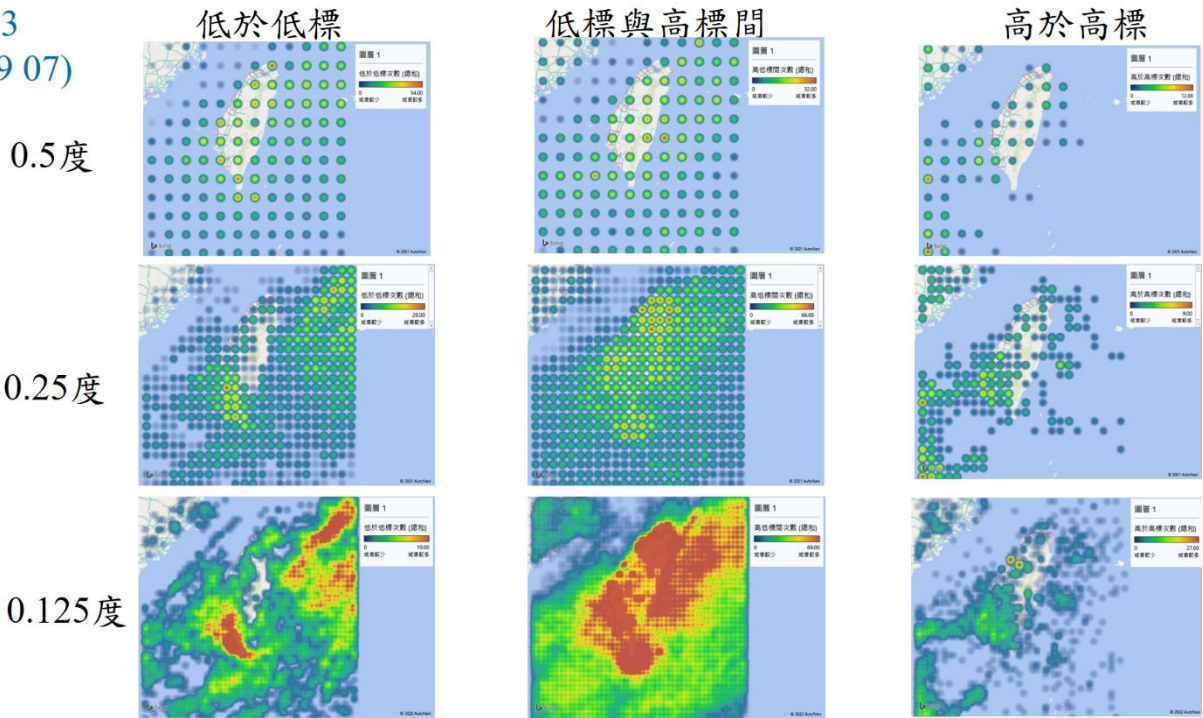


0.125度



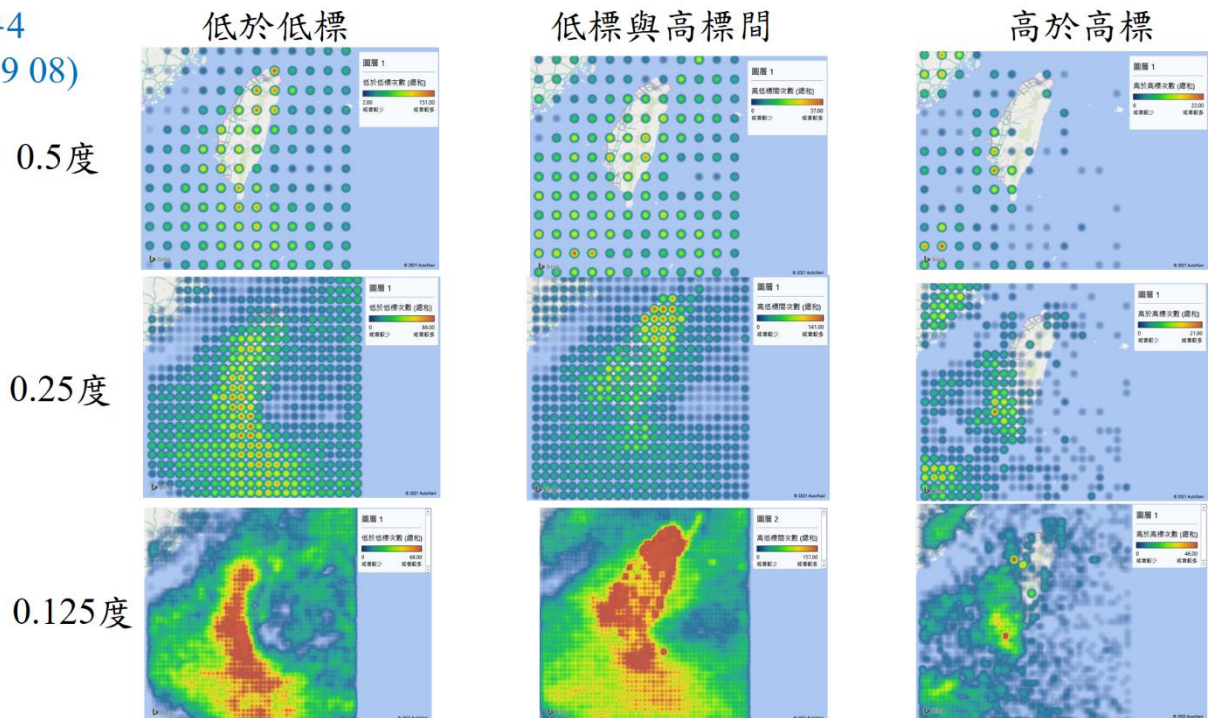
附圖二 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件二)

事件3
(2019 07)



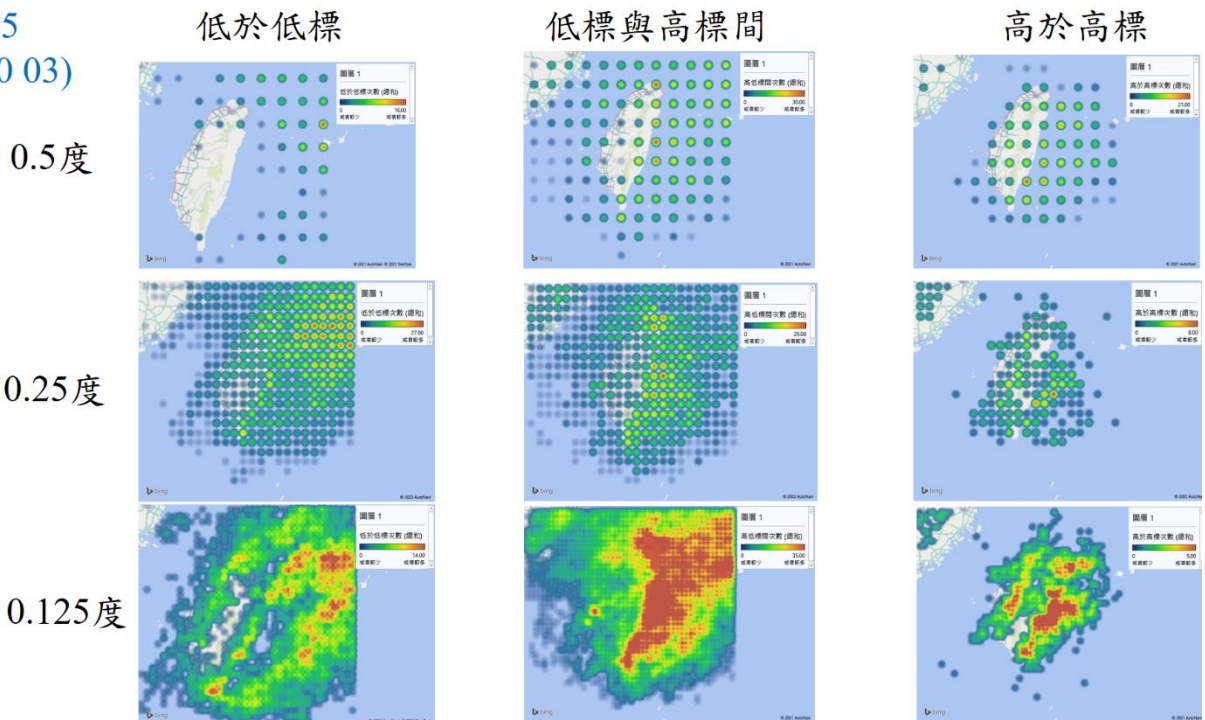
附圖三 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件三)

事件4
(2019 08)



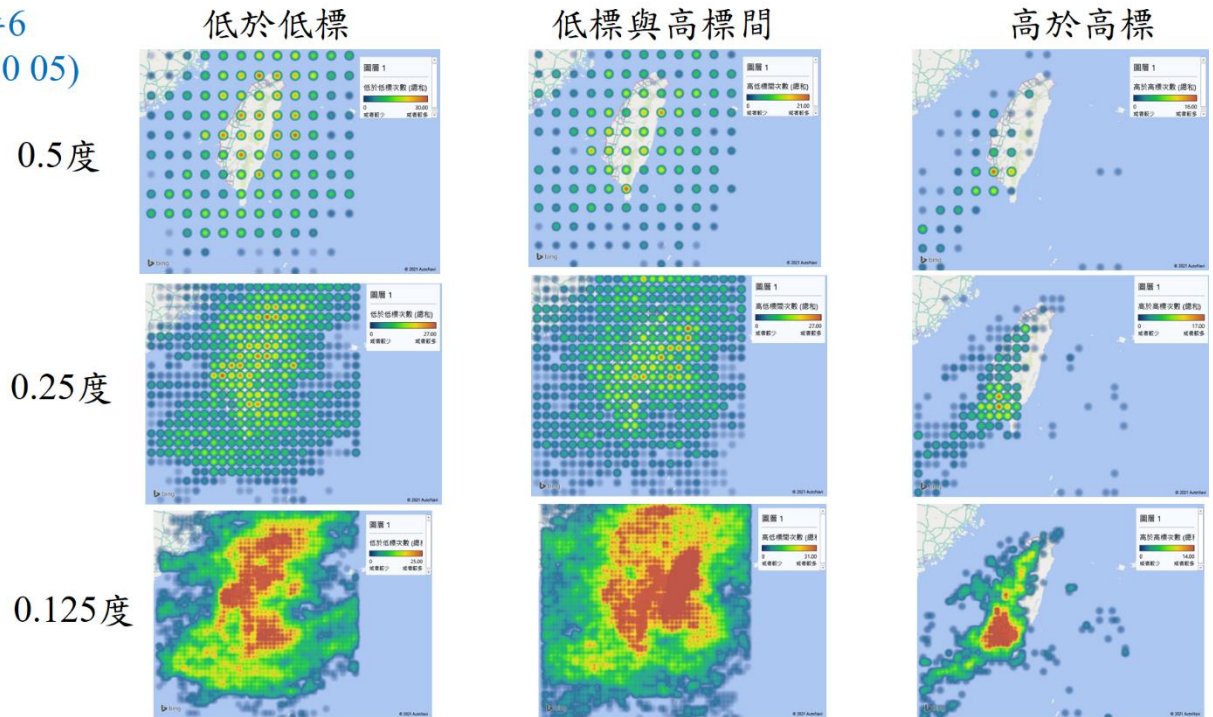
附圖四 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件四)

事件5
(2020 03)



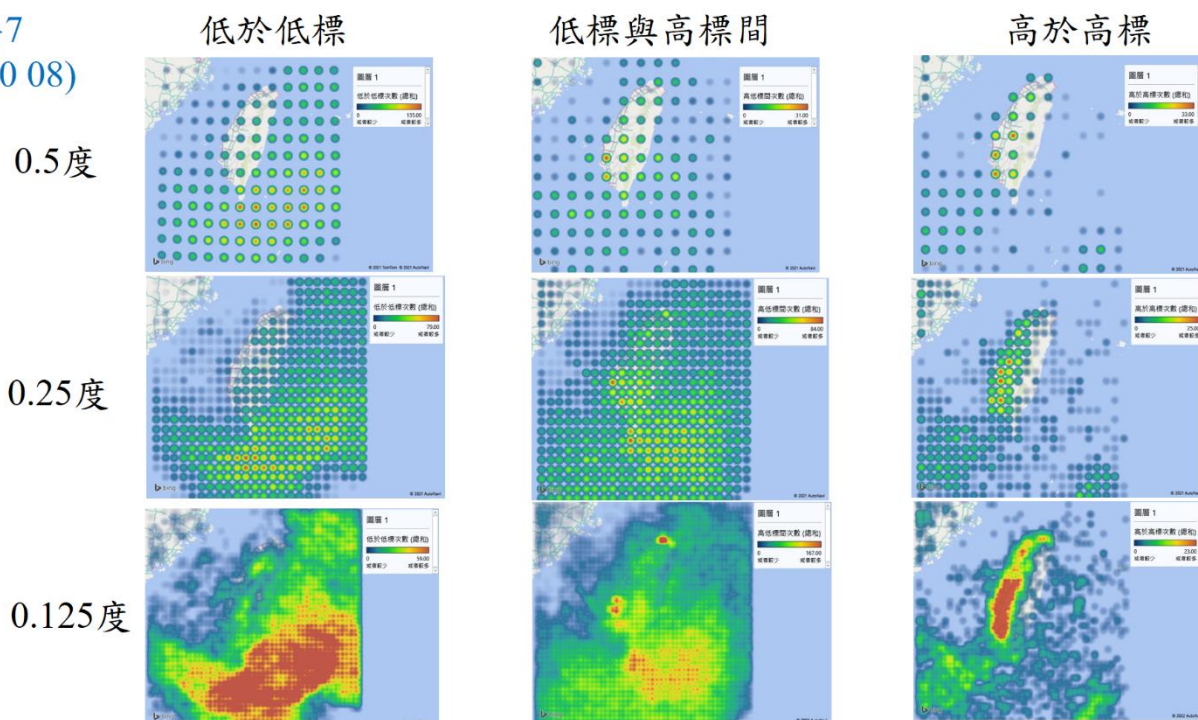
附圖五 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件五)

事件6
(2020 05)



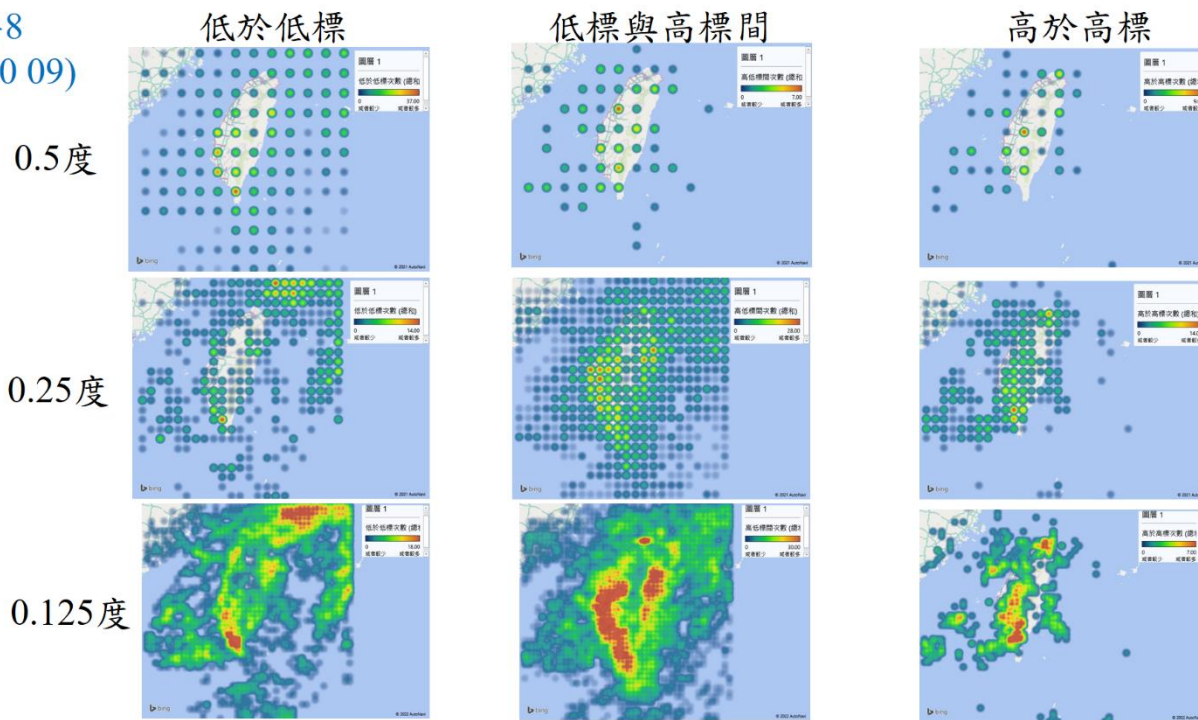
附圖六 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件六)

事件7
(2020 08)



附圖七 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件七)

事件8
(2020 09)



附圖八 以不同空間尺度繪製的閃電活躍區及寧靜區分布圖(事件八)

【評語】 180010

研究利用雷達回波強度研判閃電時空分布的可能性，結果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，同時利用八個降雨個案進行同一雷達回波強度對應到不同的閃電頻率之空間分布關係，作品完整，建議可以加強閃電發生的有利條件以及利用雷達回波推估的不確定性分析。