

# 中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 地球科學科

第三名

040506

閃電活動與雷達迴波參數之相關性研究

學校名稱：國立臺南家齊女子高級中學

作者：  高二 陳棕祈  高二 楊雅因  高三 林秋玫	指導老師：  曾建元
---	------------------

關鍵詞：雲對地閃電、雲對雲閃電、雷達迴波圖

## 摘要

本研究為 2013 年 7 月 2 日與 7 月 9 日兩個典型的午後熱對流天氣系統，經統計得知兩個案的雲對地閃電相對總閃電的發生頻率分別為 10.0%和 7.4%。由雷達迴波圖 dBZ 值輪廓圖發現低於 40dBZ 的對流系統不易出現閃電。閃電頻率較高時，通常也是雷達迴波圖同心圓區快速變動時。對流性雷雨胞發展歷程與閃電的發生，具有相關性，初生發展階段，雲對雲閃電密集發生的階段，至成熟期時，雲對雲閃電的頻率到達最高，在衰退期時，雲對地閃電頻率達到最高。由雷達迴波圖的輪廓線，雲對雲閃電主要發生在超過 25dBZ 的迴波區內，而雲對地閃電主要都發生在超過 35dBZ 的迴波區內，少有例外。目前研究無法從雷達迴波圖找出雲對地閃電的先導因子，但發現台中以南輸配電線東側較易發生雲對地閃電。

## 壹、 研究動機

去年在學校所辦的科學週論文分享活動中，聽到了學姐的分享，得知他們去年以閃電為研究主題，參加了科學展覽會，也由此分享，燃起了對閃電這個主題的興趣，因而開始研究閃電。我們透過閱讀許多文獻後，知道閃電是劇烈的雷雨天氣系統所產生，也知道閃電概分為雲對雲與雲對地閃電兩種，前者會影響飛安，後者會影響交通安全、設備和人，在台灣的影響層面包含高鐵、貓空纜車或者讓工廠跳電。目前中央氣象局已有防災天氣系統，其降雨監測系統能整合雷達迴波並有閃電即時顯示系統，能將閃電的訊息及時傳達。然而，透過閃電即時系統知道閃電會在哪裡發生，但在天氣系統中的前後因果關係卻未被研究說明。我們希望透過天氣系統的研究，能知道閃電會在哪裡發生，其前因後果為何。

針對閃電發生的地點到底會出現在哪裡呢?先前的研究指出，閃電發生的位置與雷達迴波圖有相關性，而且閃電發生的頻率與降水位置有很好的關聯性。我們想從事閃電發生原因的研究，但收集資料的方法有限，取得天氣系統的資料僅能從中央氣象局的網站取得，故設定研究方法時，希望從單一要素著手，即取得雷雨天氣系統的雷達迴波圖，再對比閃電發生的位置與頻率，希望能找出一些兩者的相關性。

## 貳、 研究目的

- 一、 找出台灣的午後熱對流雷雨天氣系統，了解閃電發生的地區與時序和頻率的特性。
- 二、 期望知道雷達迴波圖參數對台灣午後熱對流天氣系統閃電觀察的相關性為何。
- 三、 期望利用雷達迴波圖參數的關係，找出對流性雷雨胞發展歷程與閃電發生的關係。

四、期望在午後熱對流雷雨系統中，知道雲對雲與雲對地閃電出現和雷達迴波圖參數的關係。

五、討論雲對地閃電的出現是否能找到先導因子。

## 參、研究設備與器材

一、個人電腦與筆記型電腦。

二、網際網路。

三、電腦軟體：CorelDRAW X6、Microsoft Word 2007、Microsoft Excel 2007、Photoshop、小畫家。

## 肆、研究過程與方法

### 一、文獻探討

台灣電力公司為了輸電安全，於 1989 年 6 月開始在台灣地區設置了閃電偵測裝置。在 10 年中取得大量的研究資料，林(1999)首先發表了雲對地閃電與降水之相關研究，他指出閃電主要發生在北部山區與中央山脈西側的斜坡上，其成因與海陸風與地形效應所構成的對流環境有關，台灣東部閃電發生較少，原因在於縱谷地形不利對流發展。不過，閃電對於降水有相關性，但並沒有先導性。

洪(2002)以 1999 年 8 月 27 至 29 日連續三天發生於北部山區的午後對流個案研究，發現閃電的空間分布與大迴波中心的位置一致，指出閃電活動與對流發展的強度有密切關係。而閃電頻率的峰值和迴波頂高度並沒有顯著的關係，反而與最大垂直液態水總含量有較好的關係。

曾等人(2005)針對不同的天氣型態對閃電進行了分類研究，他們將天氣型態分成冷鋒、梅雨鋒、海洋對流、颱風、高層冷心低壓與午後熱對流，研究結果指出雲內閃電與雲對地閃電在時間上的相關係數依序為高層冷心低壓、午後熱對流、颱風、梅雨鋒、冷鋒、海洋對流，雲內閃電與雲對地閃電的數量比值依序為冷鋒、梅雨鋒、海洋對流、高層冷心低壓、颱風、午後熱對流。顯然，午後熱對流的天氣系統較其他天氣系統易發生雲對地閃電。

譚(2006)利用了台電的整合型閃電偵測系統（Total Lightning Detection System，TLDS）分析了 2003-2005 年間的台灣地區落雷資料，指出落雷較易發生在 5 至 9 月份，集中在台灣西

部平原與中央山脈的西側斜坡帶，閃電較易出現在局部熱對流的天氣系統，層狀對流系統的閃電則較不易發生。雲對雲的閃電與降雨範圍大致相同，雲對地閃電則會出現在雨量極大區域一致。對於落雷集中出現的地方，位於台電南北輸配電帶兩側，他認為是否因為輸配電塔的配置而誘發閃電，需要進一步探討。

戴等人(2008)分析了 2004 至 2006 年間臺灣電力公司「整合型閃電偵測系統」的雲中、雲間及雲對地閃電資料，探討了臺灣北部夏季午後對流閃電與綜觀氣流風向之間的關係。研究結果顯示：(一)午後對流閃電日數以雪山山脈左側、高度約海拔 500 公尺的山坡最多；(二)午後對流閃電日數在七、八月份最多、九月份最少；(三)午後對流個案中，雖然部份個案的雲對地閃電次數極少，甚至不曾出現雲對地閃電，但仍然伴隨大量的雲中與雲間閃電；(四)午後對流閃電經常發生的位置，在五至九月間有隨季節逐漸沿著雪山山脈左側向西南轉移的特徵；(五) 925 hPa 盛行偏南風時，雪山山脈左側是有利於午後對流閃電出現的位置，進一步分析風向，在 925 hPa 盛行西南風，且 500 hPa 的導引風為西南風時，午後對流閃電多半分布在 121.4° E 以東，當 925 hPa 盛行東南風，且 500hPa 的導引風為東南風時，午後對流閃電多半分布在 121.4° E 以西。

吳(2009)針對了2005-2008的5-6月間在台灣西南海域的閃電資料與天氣特徵進行研究，由天氣特徵分析，發現造成閃電發生主要是鋒面系統，然而由高溫熱對流所造成的閃電現象仍不容小覷，2007年甚至可達34.4%。她的研究也探討閃電數量與水象粒子質量百分比的關係，發現高層大氣(7.2至11公里)相關性較佳。經由分析這些參數的時間序列特徵，可發現中層大氣(3.2至7公里)與高層大氣高度中，軟雹與冰晶分別與閃電發生有明顯的相關性存在，符合雲中粒子帶電之理論。

林等人(2012)分析2005–2008 年暖季(5–10 月)弱綜觀環境下之午後對流(afternoon thunderstorm, TSA)時空分佈特徵及有利北台灣TSA發展的對流前環境，期望發展模糊邏輯客觀潛勢預報午後對流方法。其利用台灣電力公司整合型閃電落雷偵測系統所提供的閃電資料，判斷對流發生與否。雷達迴波分析研究中，可用雷達迴波40dBZ 來定義對流雷雨胞，此門檻值(threshold)也可當作對流降雨之標準，並可用來區分對流與層狀降水。由弱綜觀環境下雷達回波與CG閃電的發生頻率分布圖顯示，兩者在空間分布上有相當大的相關性，兩個局部大致主要位於沿著雪山山脈西側和中央山脈中南段的西側斜坡上。

## 二、確立研究方法與研究目的

綜合文獻查證後，對於閃電發生的研究，有幾項認知。(1)閃電的統計分為雲對雲(IG)與雲對地(CG)兩大類型，雲對地閃電對人類地面活動產生重大影響，雲對地閃電的預警或成因機制成為研究閃電發生的重點(林，1999)。(2)不同天氣型態對於閃電發生的頻率會有不同，其中午後熱對流的天氣系統的是所有天氣系統中最易發生雲對地閃電的天氣型(曾等人，2005；吳，2009)。(3)台灣地區閃電主要發生在北部山區與中央山脈西側的斜坡上，其成因與海陸風與地形效應所構成的對流環境有關(林，1999；洪，2002；戴等人，2005)，落雷集中出現的

地方，位於台電南北輸配電帶兩側，是否因為輸配電塔的配置而誘發閃電，需要進一步探討(譚，2006)。(4)閃電頻率的峰值與最大垂直液態水總含量有較好的關係。雲對雲的閃電與降雨範圍大致相同，雲對地閃電則會出現在雨量極大區域一致。閃電對於降水有相關性，但並沒有先導性(林，1999；洪，2002)。(5)雷達迴波分析研究中，可用雷達迴波 40dBZ 來定義對流雷雨胞，此門檻值(threshold)也可當作對流降雨之標準，並可用來區分對流與層狀降水(林等人，2012)。

閃電發生的研究，目前最重要的挑戰為「能否取得雲對地閃電發生的先導因子，作為雲對地閃電的預報或預警，以期減少對地面人類活動的影響」。然而，目前此項研究並沒有獲得突破。不過，中央氣象局已經結合台灣電力公司的整合型閃電偵測系統，針對劇烈天氣系統發佈即時閃電資訊(網站見 <http://qpsums.cwb.gov.tw/taiwan-html2/>)，此項系統已被高鐵、貓空及民間氣象單位採用，作為纜車、行車或工作安全的指標。

目前的研究已經認為閃電的發生與降水具有很好的相關性。然而在雲對地閃電發生的先導因子研究，並沒有獲得突破。以目前的研究來看，台灣的午後熱對流的天氣系統是最易發生雲對地閃電的天氣型。由於台灣各地區降雨的累積統計，無法有效透過中央氣象局網站每日取得，但雷達迴波圖、衛星雲圖與色調強化雲圖，可以每日至中央氣象局有效取得。依據上述的研究工具結合 2013 年 7 至 8 月份台灣電力公司的整合型閃電偵測系統資料，我們設定午後熱對流的天氣系統為研究主題，希望能探究以下問題：(1)台灣的午後熱對流天氣系統，閃電發生的地區與時序和頻率的特性為何。(2)雷達迴波圖參數對台灣午後熱對流天氣系統閃電觀察的相關性為何。(3)利用雷達迴波圖參數的關係，找出對流性雷雨胞發展歷程與閃電發生的關係。(4)雷達迴波圖參數對台灣的午後熱對流天氣系統閃電觀察相關性為何，雲對地的閃電與雷達迴波圖參數有相關性嗎?(5)雷達迴波圖參數與雲對雲閃電和雲對地閃電的時序與頻率相關性中，能找出關聯性嗎?雲對地閃電的出現會有所謂的先導因子嗎?

### 三、研究步驟與方法

#### (一) 收集研究資料

##### 1. 中央氣象局下載資料(<http://www.cwb.gov.tw/>)

本研究於 2013 年 7 至 8 月期間每日至中央氣象局觀測網下載台灣本島 2013 年 7 至 8 月份的色調強化雲圖、衛星雲圖、雷達迴波圖。另外，至氣候監測網下載 2013 年 7-8 月份氣候監測報告的台灣氣候分析，了解 7 至 8 月份每日的天氣概況，以做為選定天氣系統個案的依據。

##### 2. 台灣電力公司閃電資料

向台灣電力公司的樹林台電綜合研究所取得 2013 年 7-8 月份雷電資料。

## (二) 色調強化雲圖的應用

### 1. 概念

色調強化雲圖能凸顯對流現象，一般而言對流愈強烈，雲頂發展愈高，溫度也就愈低。簡單的分辨方式是將對流雲看成一座山，再由高空鳥瞰這座山，不同顏色代表不同溫度並對應出不同高度，例如圖 1 中 A、B 兩個對流胞(圖 2 和圖 3)。

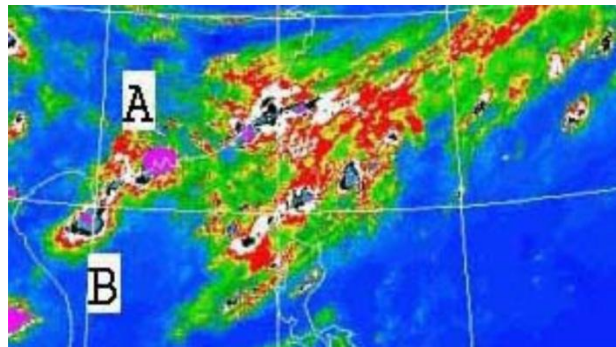
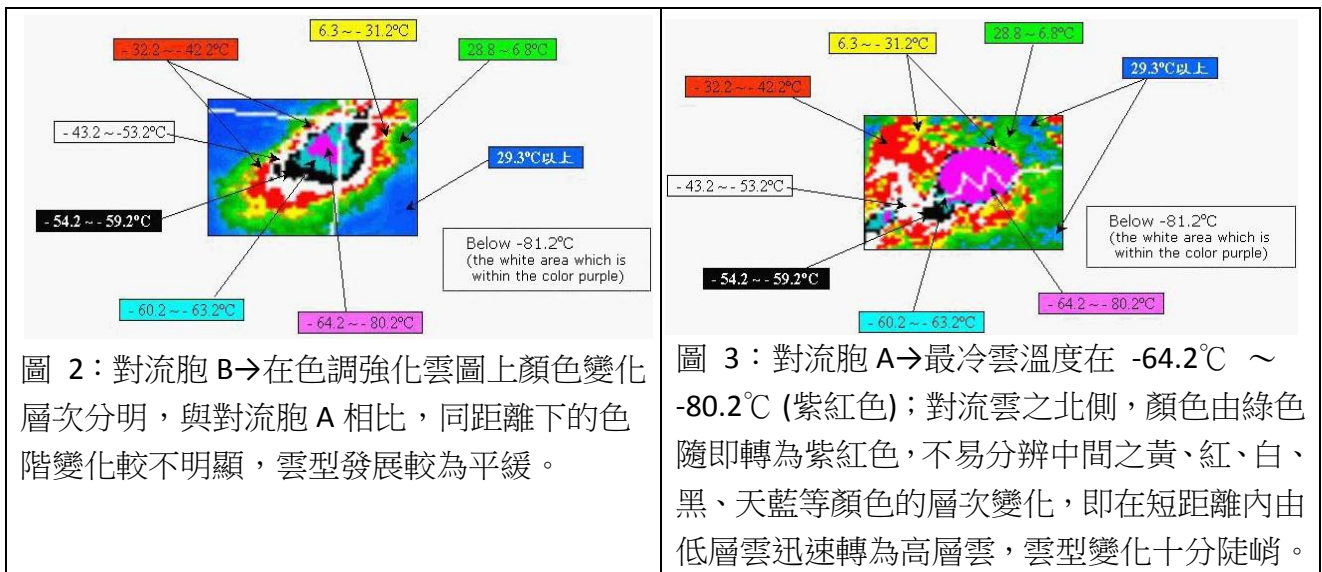


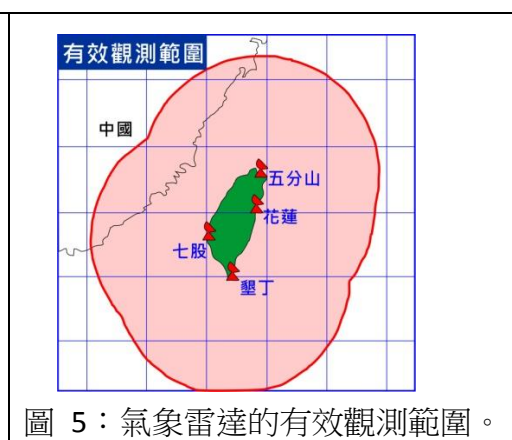
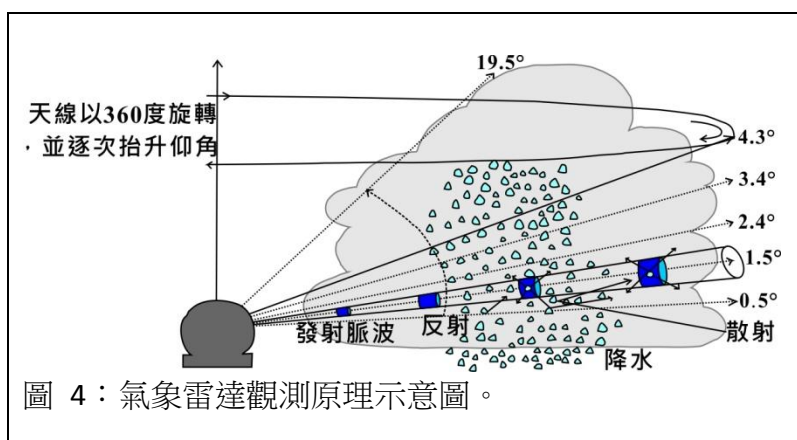
圖 1：色調強化雲圖的意義說明(中央氣象局，<http://www.cwb.gov.tw/>)。



## (三) 雷達迴波圖的原理

由氣象雷達發射並接收來自雷雨系統中降水粒子反射的電磁波，由迴波強度變化，推測雲雨系統的含水量分布，強度愈高，表示含水量也愈多，但不能直接代表地面降水量(圖 4)；由發射至接收迴波的時間差，推測降水系統的位置。目

前全台分別在五分山、七股、墾丁與花蓮設有四處都卜勒氣象雷達站(圖 5)，可偵測發射與接收的電磁波頻率變化，計算降水系統的徑向速度，獲得較以往更完整的雷達迴波性質資訊。



來源：中央氣象局南區氣象中心。(本研究重新繪製)

#### (四) 個案選取

將每日取得的 2013 年 7 至 8 月間之衛星雲圖、色調強化雲圖、雷達迴波圖，判讀 7 至 8 月間在台灣發生夏季午後熱對流天氣的日子，作為研究個案。我們認為 2013 年 7 月 2 日與 7 月 9 日為最典型的夏季午後熱對流天氣系統。

##### 1. 個案一：2013 年 7 月 2 日

2013 年 7 月 2 日夏季午後熱對流天氣系統的色調強化雲圖(16:30)(圖 6)與雨量累積圖(16:30)(圖 7)如下。

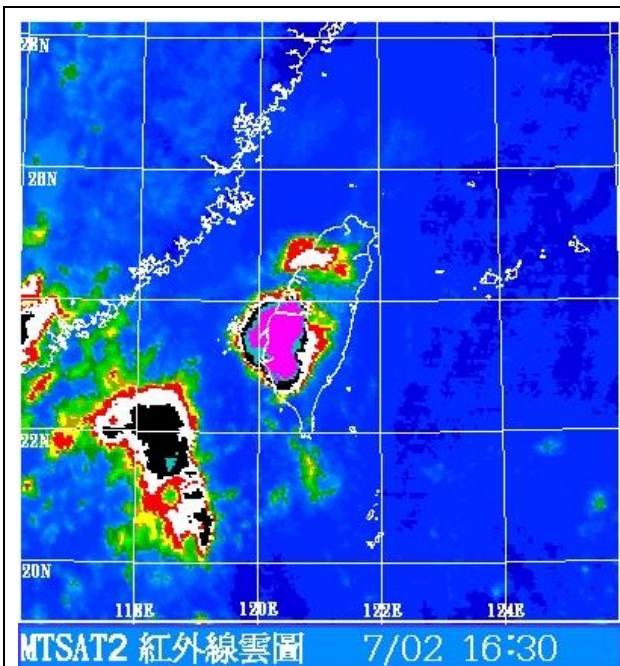


圖 6：7 月 2 日夏季午後熱對流天氣系統的色調強化雲圖(16:30)。

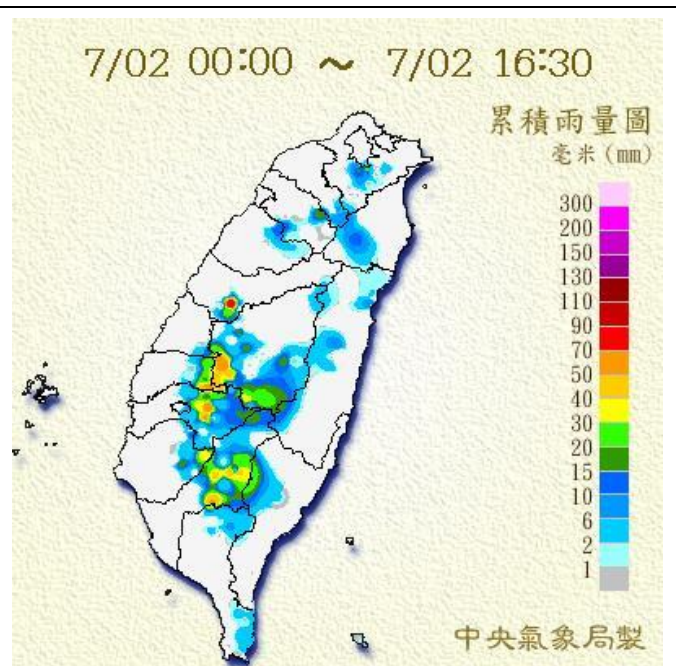


圖 7：7 月 2 日夏季午後熱對流天氣系統的雨量累積圖(16:30)。

## 2. 個案二：2013 年 7 月 9 日

2013 年 7 月 9 日夏季午後熱對流天氣系統的色調強化雲圖(16:30)(圖 8)與雨量累積圖(16:30)(圖 9)如下。

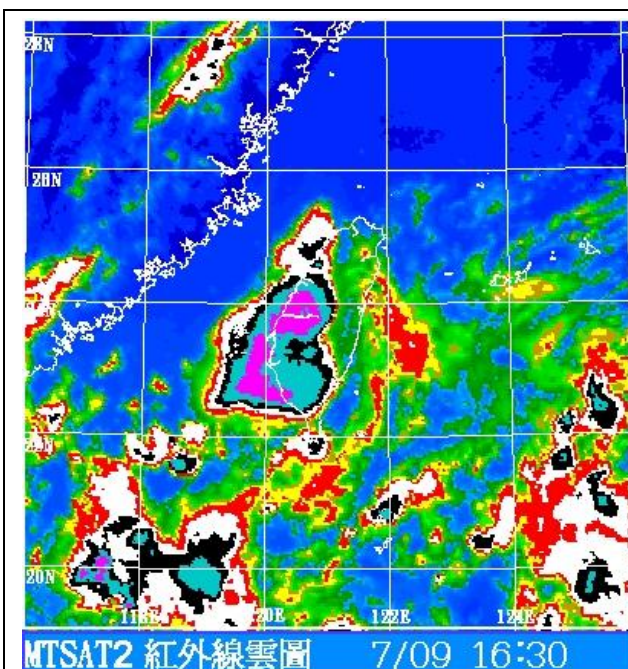


圖 8：7 月 9 日夏季午後熱對流天氣系統的色調強化雲圖(16:30)。

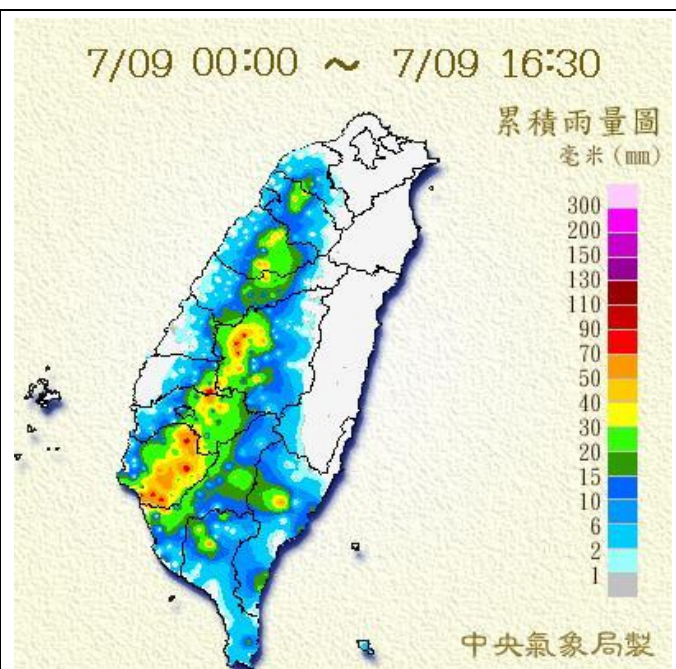
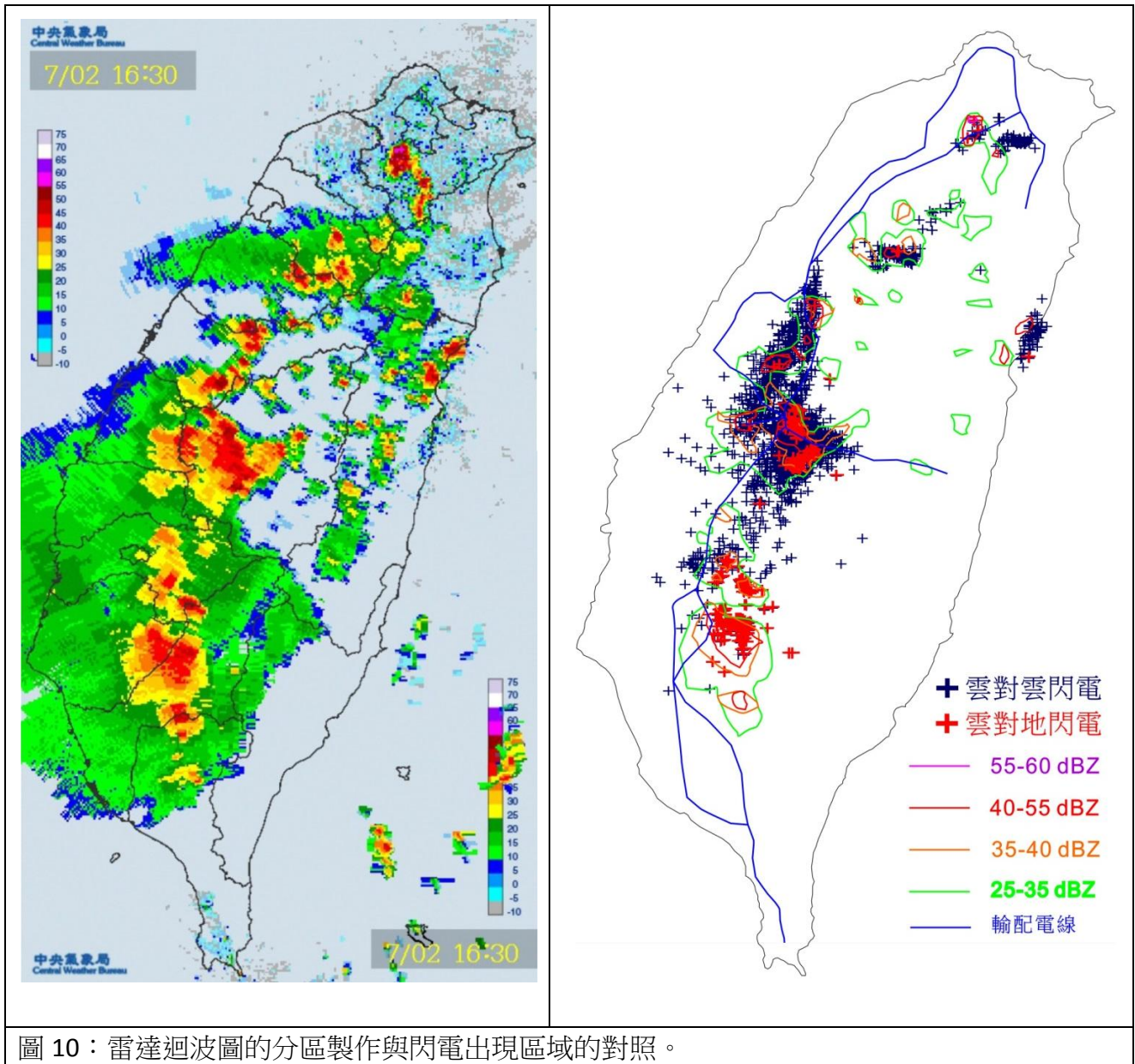


圖 9：7 月 2 日夏季午後熱對流天氣系統的雨量累積圖(16:30)。



### (五) 雷達迴波圖的分區製作

中央氣象局所公布的雷達迴波圖參數是以色塊展示，若要追蹤單一雷雨胞的發展，無法清楚展示，再者閃電發生位置疊置在雷達回波圖上辨識不易，故我們應用軟體(CorelDRAW)將雷達迴波圖的色塊 dBZ 值，以 dBZ 值相同顏色的曲線圈出雷達迴波圖的色塊範圍，即畫出所謂的輪廓線(contour)。因為全島的色調強化雲圖解析度不佳，我們分別圈出南台灣與北台灣雷達迴波圖的輪廓線範圍，再將南台灣與北台灣雷達迴波圖製作成台灣全島圖(圖 10)。



### (六) 雷雨胞範圍的圈選與閃電出現區域的對照

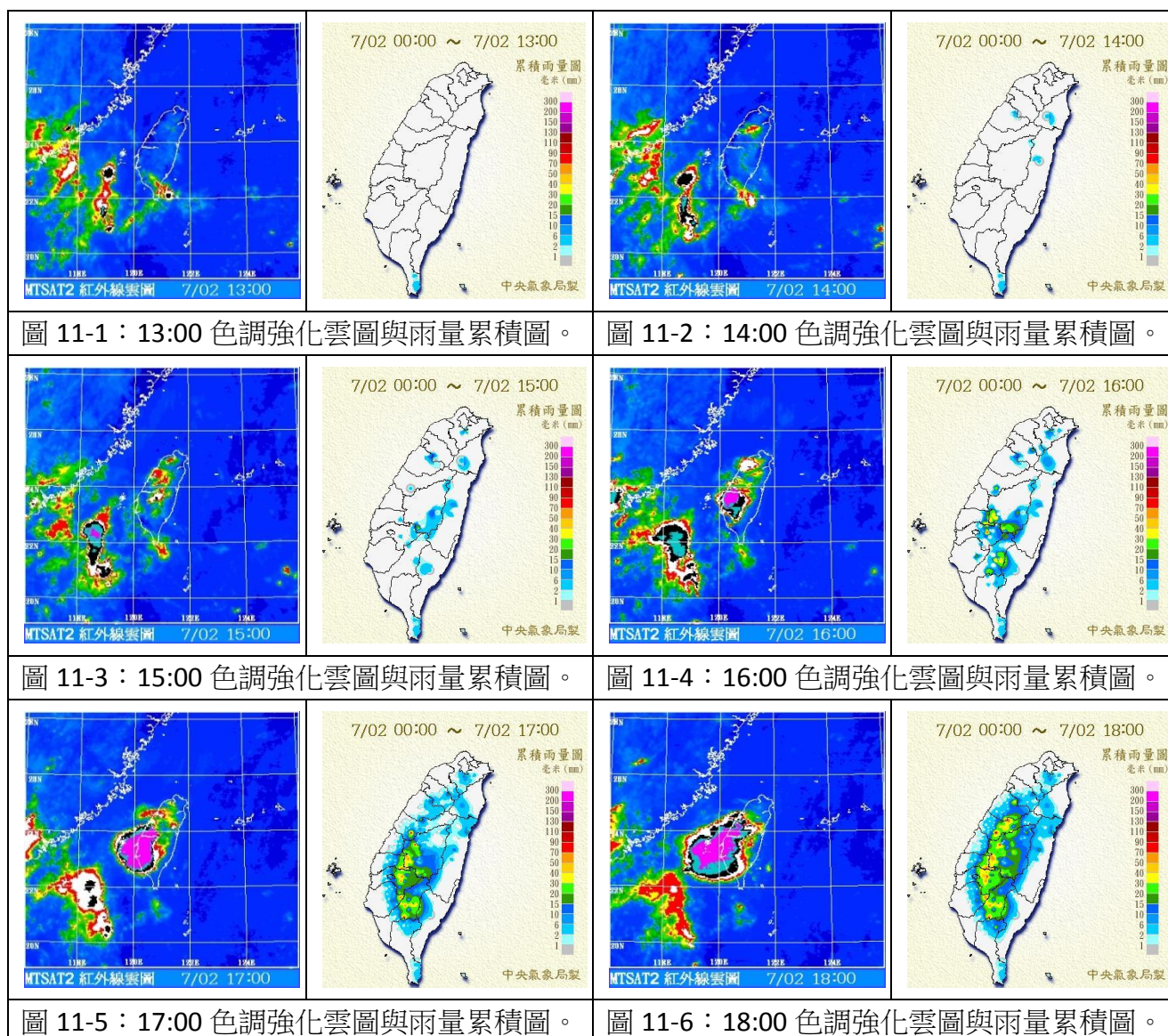
我們鎖定雷達迴波 40dBZ 來定義對流雷雨胞，最先由對流雷雨胞系統的

25-35dBZ 開始圈選輪廓線，再依次分別圈出 35-40dBZ、40-55dBZ 和 >55dBZ 的雷達迴波參數輪廓線。雷達迴波圖的分區製作完成後，再將閃電出現區域疊圖進入雷達迴波圖中作對照(圖 10)。

## 伍、 研究結果

### 一、 研究個案概況

(一) 個案一：2013 年 7 月 2 日的色調強化雲圖與雨量累積圖(圖 11-1 至 11-6)



(二) 個案二：2013 年 7 月 9 日的色調強化雲圖與雨量累積圖(圖 12-1 至 12-6)

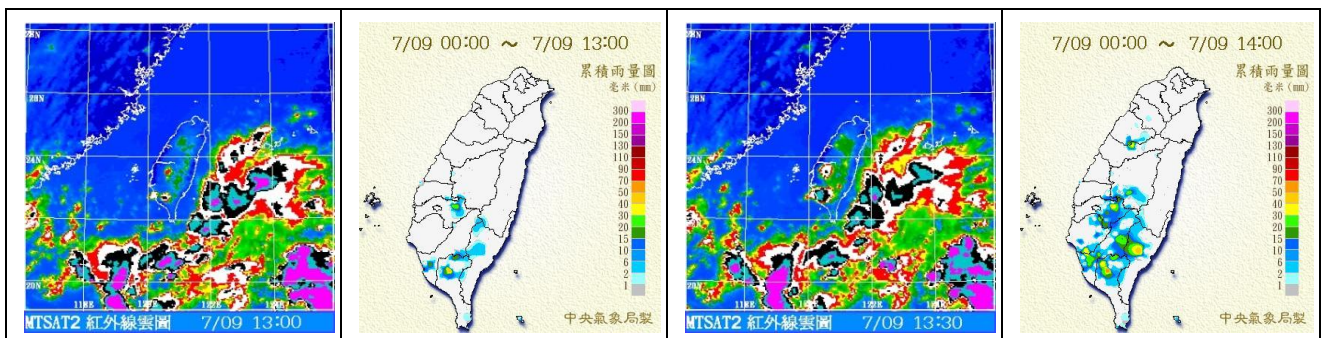


圖 12-1：13:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

圖 12-2：14:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

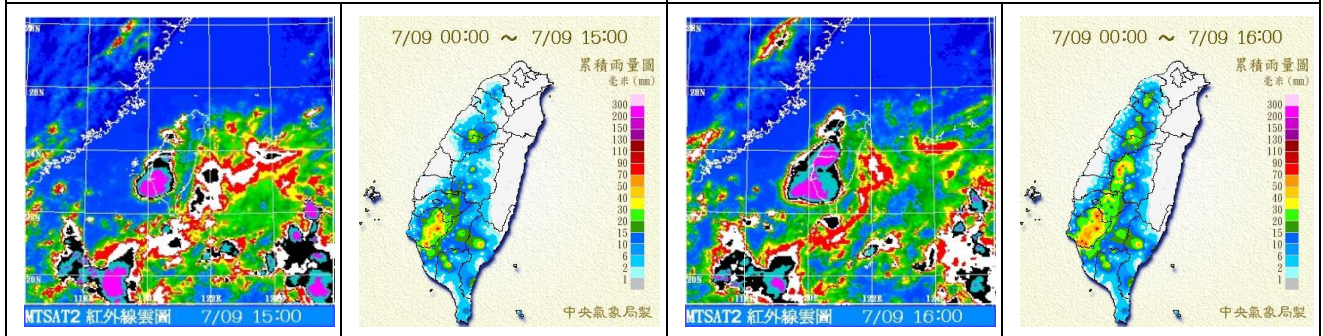


圖 12-3：15:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

圖 12-4：16:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

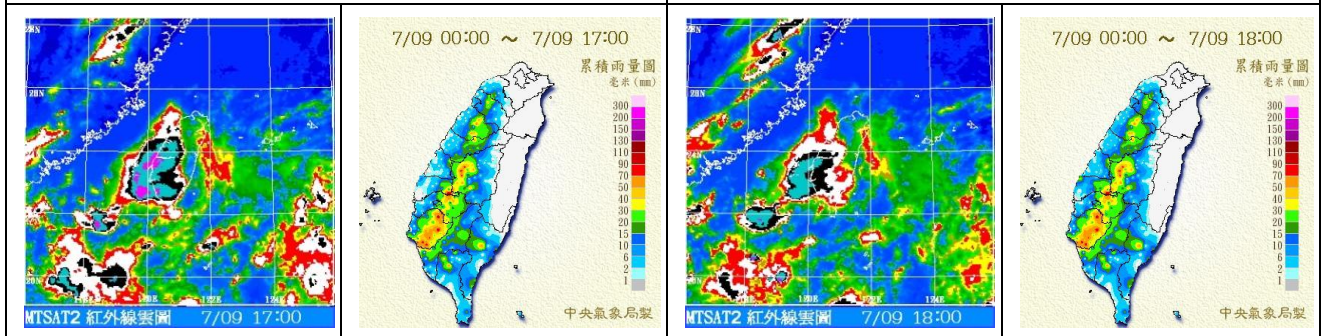


圖 12-5：17:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

圖 12-6：18:00 色調強化雲圖與雨量累積圖。

## 二、閃電頻率與時序列的關係

### (一) 個案示例：2013 年 7 月 2 日

以 7(或 8)分鐘為統計單位的各區域閃電頻率(雲對雲閃電與雲對地閃電)與時序列的關係圖(圖 13)，資料如表 1。將 7 月 2 日分成 5 個地區雷雨系統討論，定名稱 I：桃竹苗地區、II：中彰投地區、III：台北新北地區、IV：雲嘉南高地區、V：宜花東地區。

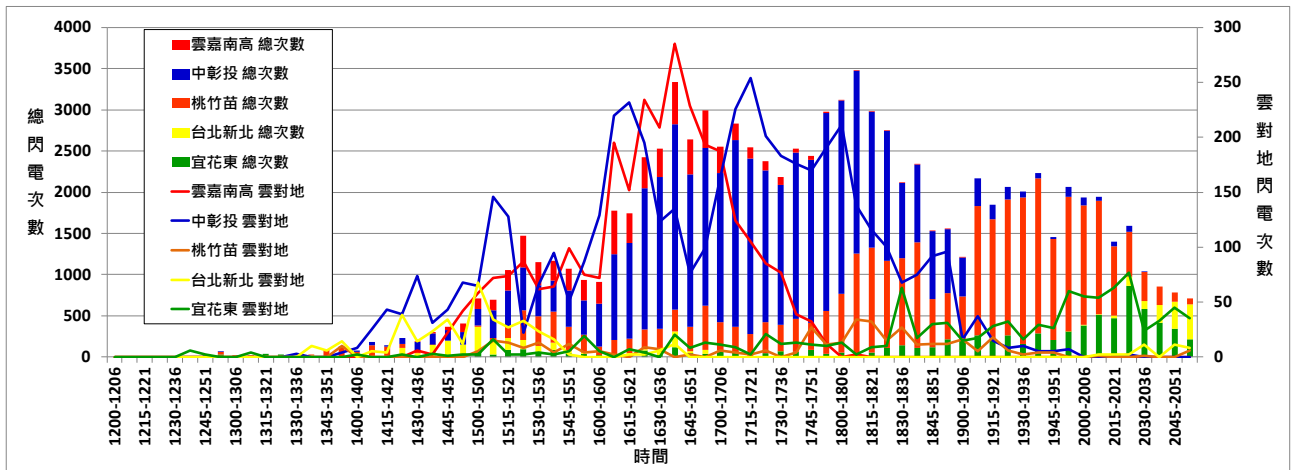


圖 13：局部地區以 7(或 8)分鐘為統計單位的區域閃電頻率與時序列的關係圖。

表 1：7 月 2 日閃電次數統計

時間	雲嘉南高			中彰投			桃竹苗			台北新北			宜花東		
	總	地	比例	總	地	比例	總	地	比例	總	地	比例	總	地	比例
1200-1206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1207-1214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1215-1221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1222-1229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1230-1236	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1237-1244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
1245-1251	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	2	20.0
1252-1259	0	0	0	2	0	0	33	0	0	0	0	0	26	0	0
1300-1306	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	2	0	0
1307-1314	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	9	4	44.4
1315-1321	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0
1322-1329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0
1330-1336	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
1337-1344	0	0	0	0	0	0	6	0	0	18	10	55.6	0	0	0
1345-1351	0	0	0	7	0	0	67	0	0	15	6	40.0	1	0	0
1352-1359	0	0	0	13	4	30.8	107	10	9.35	14	1	7.1	1	0	0
1400-1406	0	0	0	17	8	47.1	27	0	0	28	0	0	7	2	28.6
1407-1414	0	0	0	42	25	59.5	126	0	0	12	5	41.7	1	0	0
1415-1421	0	0	0	43	14	32.6	119	0	0	9	4	44.4	1	0	0
1422-1429	0	0	0	72	39	54.2	44	0	0	108	38	35.2	2	2	100
1430-1436	9	6	66.7	114	74	64.9	25	0	0	34	14	41.2	10	0	0
1437-1444	11	2	18.2	136	31	22.8	1	0	0	144	23	16.0	7	3	42.9
1445-1451	45	22	48.9	129	43	33.3	0	0	0	186	34	18.3	8	1	12.5

1452-1459	108	42	38.9	152	68	44.7	0	0	0	127	12	9.4	22	2	9.1
1500-1506	124	58	46.8	203	65	32.0	14	5	35.7	306	68	22.2	60	2	3.3
1507-1514	134	72	53.7	332	146	44.0	52	15	28.8	152	34	22.4	27	16	59.3
1515-1521	255	74	29.0	434	128	29.5	138	13	9.4	142	27	19.0	89	2	2.2
1522-1529	383	87	22.7	526	22	4.2	358	8	2.2	110	33	30.0	97	2	2.1
1530-1536	277	62	22.4	379	66	17.4	363	13	3.6	71	23	32.4	60	4	6.7
1537-1544	245	64	26.1	372	95	25.5	379	4	1.1	90	16	17.8	82	2	2.4
1545-1551	269	99	36.8	438	51	11.6	297	12	4.0	25	2	8.0	44	5	11.4
1552-1559	248	75	30.2	418	87	20.8	218	4	1.8	11	0	0	39	19	48.7
1600-1606	263	72	27.4	527	129	24.5	99	5	5.1	3	0	0	21	5	23.8
1607-1614	527	195	37.0	1043	220	21.1	187	2	1.1	4	0	0	15	0	0
1615-1621	357	152	42.6	1164	232	19.9	181	0	0	16	2	12.5	26	7	26.9
1622-1629	374	234	62.6	1711	195	11.4	246	9	3.66	15	2	13.3	75	4	5.3
1630-1636	349	209	59.9	1838	123	6.7	231	7	3.03	94	6	6.4	18	0	0
1637-1644	514	285	55.4	2247	135	6.0	267	0	0	192	12	6.3	117	20	17.1
1645-1651	426	229	53.8	1849	76	4.1	302	2	0.66	23	0	0	44	8	18.2
1652-1659	455	193	42.4	1919	99	5.2	538	0	0	44	0	0	38	13	34.2
1700-1706	322	187	58.1	1807	163	9.0	347	6	1.73	6	0	0	69	11	15.9
1707-1714	201	124	61.7	2271	226	10.0	312	4	1.28	0	0	0	51	9	17.6
1715-1721	141	105	74.5	2124	254	12.0	272	2	0.74	0	0	0	9	2	22.2
1722-1729	112	85	75.9	1843	201	10.9	374	6	1.60	0	0	0	46	21	45.7
1730-1736	100	77	77.0	1697	183	10.8	319	0	0	1	0	0	70	12	17.1
1737-1744	49	39	79.6	2012	176	8.7	406	4	1.0	0	0	0	59	13	22.0
1745-1751	45	32	71.1	1976	170	8.6	327	27	8.3	0	0	0	89	11	12.4
1752-1759	21	12	57.1	2400	191	8.0	518	11	2.1	0	0	0	40	10	25.0
1800-1806	5	0	0	2349	211	9.0	710	13	1.8	0	0	0	56	13	23.2
1807-1814	6	2	33.3	2216	138	6.2	1226	34	2.8	0	0	0	32	2	6.3
1815-1821	7	0	0	1652	116	7.0	1275	32	2.5	0	0	0	52	9	17.3
1822-1829	3	0	0	1575	100	6.3	1061	15	1.4	0	0	0	106	10	9.4
1830-1836	2	0	0	912	68	7.5	1055	27	2.6	0	0	0	145	63	43.4
1837-1844	5	0	0	948	75	7.9	1276	11	0.9	0	0	0	112	17	15.2
1845-1851	8	0	0	825	92	11.2	586	12	2.0	0	0	0	114	30	26.3
1852-1859	5	0	0	781	96	12.3	558	12	2.2	0	0	0	214	31	14.5
1900-1906	6	0	0	477	16	3.4	513	16	3.1	0	0	0	220	15	6.8
1907-1914	0	0	0	334	37	11.1	1572	5	0.3	0	0	0	262	17	6.5
1915-1921	0	0	0	180	15	8.3	1456	18	1.2	0	0	0	216	28	13.0
1922-1929	0	0	0	147	8	5.4	1648	6	0.4	0	0	0	266	32	12.0
1930-1936	0	0	0	68	10	14.7	1779	2	0.1	0	0	0	158	16	10.1

1937-1944	0	0	0	67	5	7.5	1878	4	0.2	0	0	0	289	29	10.0
1945-1951	0	0	0	25	5	20.0	1226	4	0.3	0	0	0	206	26	12.6
1952-1959	0	0	0	122	7	5.7	1632	0	0	1	0	0	312	60	19.2
2000-2006	0	0	0	99	0	0	1449	0	0	3	0	0	386	55	14.2
2007-2014	0	0	0	49	0	0	1381	1	0.1	3	2	66.7	513	54	10.5
2015-2021	0	0	0	58	0	0	841	0	0	28	2	7.1	472	63	13.3
2022-2029	0	0	0	71	2	2.8	542	0	0	112	2	1.8	863	77	8.9
2030-2036	0	0	0	5	0	0	358	1	0.3	94	11	11.7	582	24	4.1
2037-2044	0	0	0	0	0	0	223	0	0	213	0	0	418	33	7.9
2045-2051	0	0	0	0	0	0	113	0	0	331	11	3.3	340	45	13.2
2052-2059	0	0	0	0	0	0	73	6	8.2	419	8	1.9	217	35	16.1
合計	6411	2895	45.2	45218	4743	10.5	31754	388	1.2	3205	408	12.7	8011	1004	12.5

\*比例單位為百分比

## (二) 個案示例：2013 年 7 月 9 日

以 7(或 8)分鐘為統計單位的各區域閃電(雲對雲閃電與雲對地閃電)頻率與時序的關係圖(圖 14)，資料如表 2。將 7 月 9 日分成 3 個雷雨系統討論。定名稱 I：桃園新竹苗栗地區、II：雲林嘉義台中彰化南投地區、III：台南高雄屏東地區。

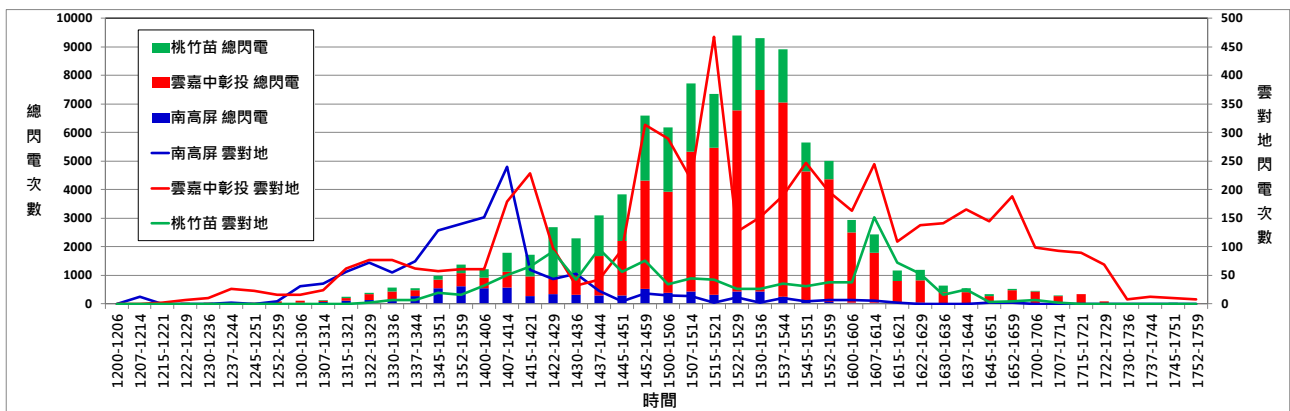


圖 14：局部地區以 7(或 8)分鐘為統計單位的區域閃電頻率與時序的關係圖。

表 2：7 月 9 日閃電次數統計

時間	南高屏			雲嘉中彰投			桃竹苗		
	雲對地	總	比例	雲對地	總	比例	雲對地	總	比例
1200-1206	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1207-1214	12	18	66.7	0	0	0	0	0	0
1215-1221	0	8	0	2	2	100	0	0	0

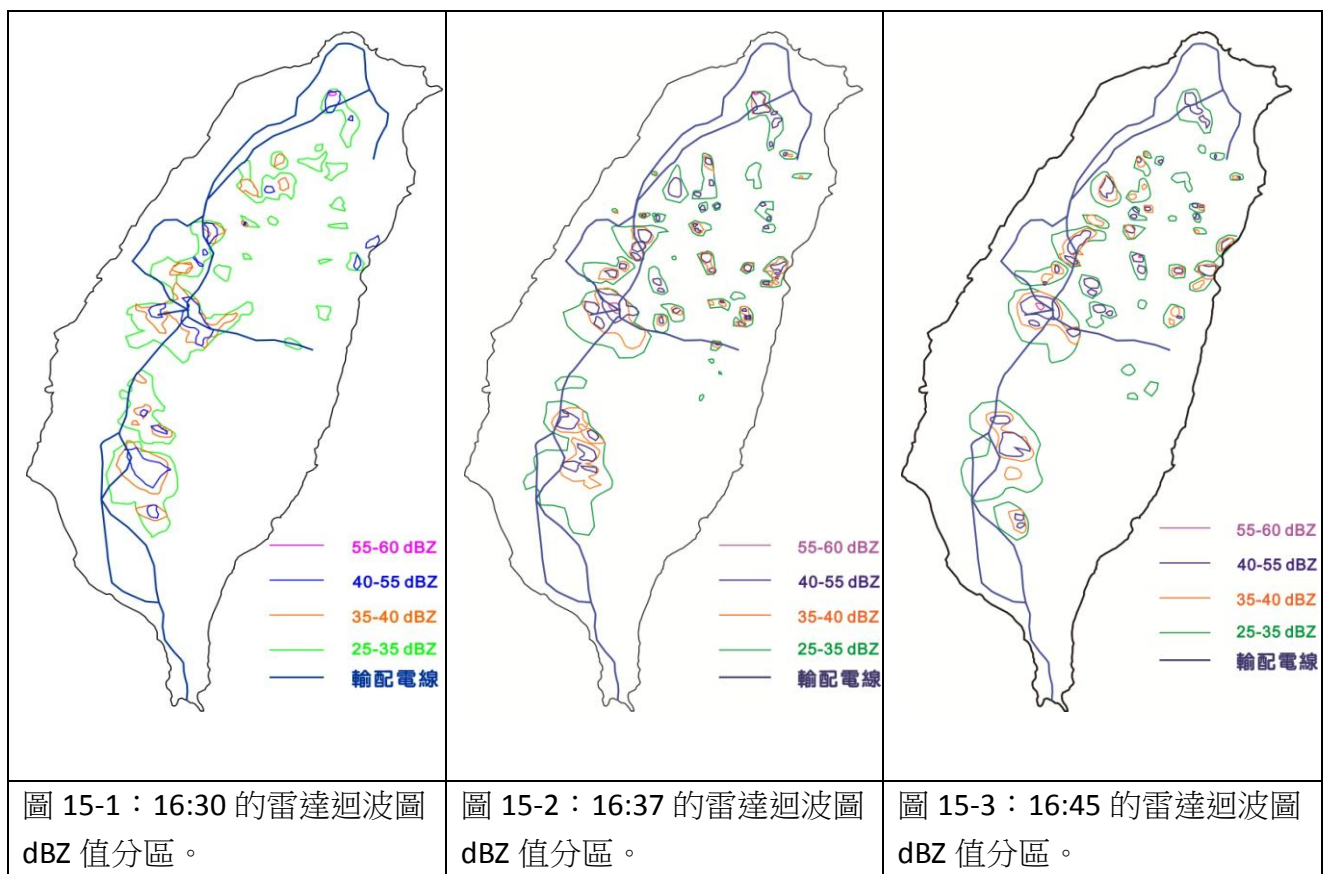
1222-1229	0	6	0	7	7	100	0	0	0
1230-1236	0	4	0	10	11	90.9	0	0	0
1237-1244	2	6	33.3	26	39	66.7	0	0	0
1245-1251	0	6	0.0	22	42	52.4	0	0	0
1252-1259	4	14	28.6	16	78	20.5	0	0	0
1300-1306	31	38	81.6	16	57	28.1	0	0	0
1307-1314	35	53	66.0	24	59	40.7	0	24	0
1315-1321	56	101	55.4	62	108	57.4	0	46	0
1322-1329	72	138	52.2	77	195	39.5	2	53	3.8
1330-1336	55	151	36.4	77	284	27.1	6	127	4.7
1337-1344	74	270	27.4	62	202	30.7	7	67	10.4
1345-1351	128	543	23.6	57	299	19.1	19	145	13.1
1352-1359	140	616	22.7	60	446	13.5	16	308	5.2
1400-1406	151	534	28.3	60	370	16.2	32	297	10.8
1407-1414	240	558	43.0	179	562	31.9	50	663	7.5
1415-1421	59	263	22.4	228	694	32.9	65	770	8.4
1422-1429	43	346	12.4	97	533	18.2	91	1796	5.1
1430-1436	53	307	17.3	32	749	4.3	42	1243	3.4
1437-1444	22	300	7.3	42	1376	3.1	96	1419	6.8
1445-1451	4	285	1.4	95	1921	4.9	56	1616	3.5
1452-1459	18	510	3.5	313	3810	8.2	76	2272	3.3
1500-1506	14	381	3.7	289	3539	8.2	34	2263	1.5
1507-1514	13	419	3.1	218	4914	4.4	44	2386	1.8
1515-1521	2	307	0.7	468	5163	9.1	42	1879	2.2
1522-1529	11	420	2.6	126	6363	2.0	26	2614	1.0
1530-1536	2	426	0.5	151	7058	2.1	26	1832	1.4
1537-1544	10	255	3.9	189	6801	2.8	35	1865	1.9
1545-1551	4	122	3.3	247	4521	5.5	31	997	3.1
1552-1559	6	62	9.7	196	4294	4.6	37	656	5.6
1600-1606	7	32	21.9	163	2476	6.6	38	427	8.9
1607-1614	5	26	19.2	245	1759	13.9	151	645	23.4
1615-1621	2	69	2.9	109	730	14.9	72	366	19.7
1622-1629	0	30	0	138	788	17.5	53	377	14.1
1630-1636	0	14	0	141	386	36.5	16	228	7.0
1637-1644	0	15	0	165	379	43.5	25	157	15.9
1645-1651	2	15	13.3	144	243	59.3	3	85	3.5
1652-1659	2	8	25.0	188	462	40.7	4	49	8.2
1700-1706	0	15	0	98	405	24.2	6	20	30.0

1707-1714	0	0	0	93	264	35.2	2	12	16.7
1715-1721	0	0	0	89	346	25.7	0	0	0
1722-1729	0	0	0	68	87	78.2	0	0	0
1730-1736	0	0	0	8	25	32.0	0	0	0
1737-1744	0	0	0	12	14	85.7	0	0	0
1745-1751	0	0	0	10	10	100	0	2	0
1752-1759	0	0	0	8	12	66.7	0	0	0
合計	1279	7691	16.6	5127	62883	8.2	1203	27706	4.3

\*比例單位為百分比

### 三、雷達迴波圖分區空間位置的時序標示

依據雷達迴波圖的分區製作的方法，我們依序(從 13:00 至 20:15)描出了 7 月 2 日午後熱對流天氣系統的雷達迴波圖的分區，結果如圖 15-1 至 15-9，由於每 7 分鐘一張圖，故僅列出 16:30 至 17:30 的圖幅。





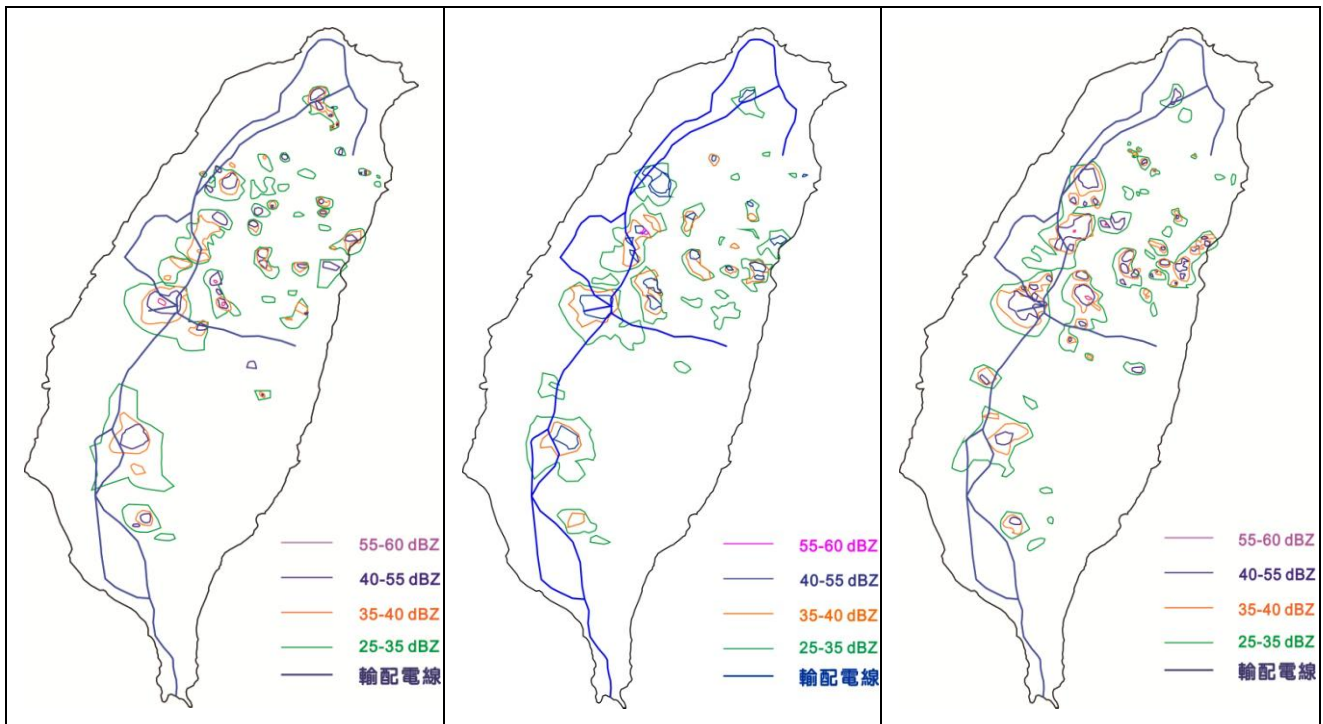


圖 15-4：16:52 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

圖 15-5：17:00 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

圖 15-6：17:07 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

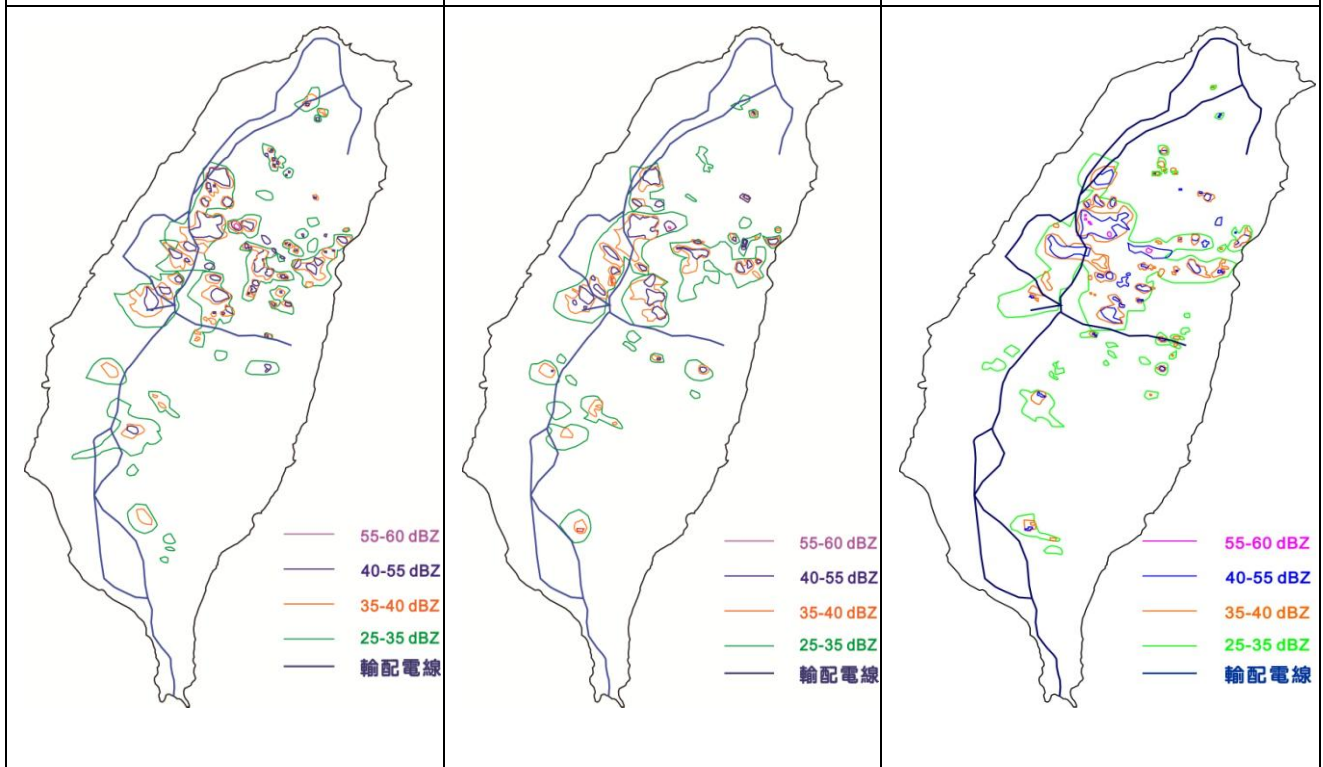


圖 15-7：17:15 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

圖 15-8：17:22 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

圖 15-9：17:30 的雷達迴波圖 dBZ 值分區。

#### 四、雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電出現區域的對照

將雲對雲(藍色十字符號)與雲對地(紅色十字符號)閃電，使用 Excel 軟體依經緯度

劃成分布圖，再以雷達迴波圖中 dBZ 值的分區為底圖，圖中藍色線為輸配電線，將兩者依照經緯度疊圖完成。我們依序(從 13:00 至 20:15)描出了 7 月 2 日午後熱對流天氣系統的雷達迴波圖 dBZ 值分區，結果如圖 16-1 至 16-9，由於每 7(或 8)分鐘一張圖，故僅列出 16:30 至 17:30 的圖幅。

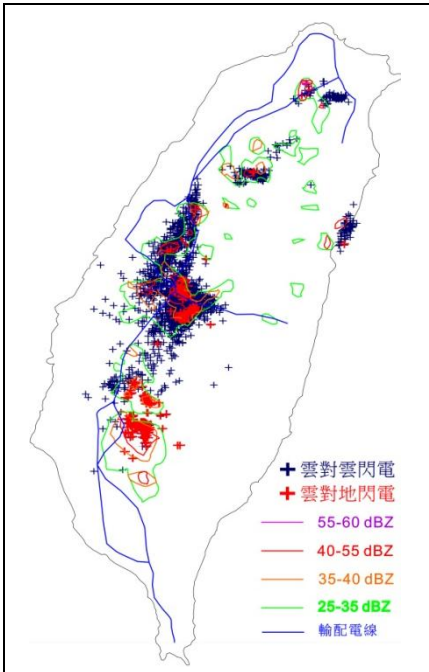


圖 16-1：16:30 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。

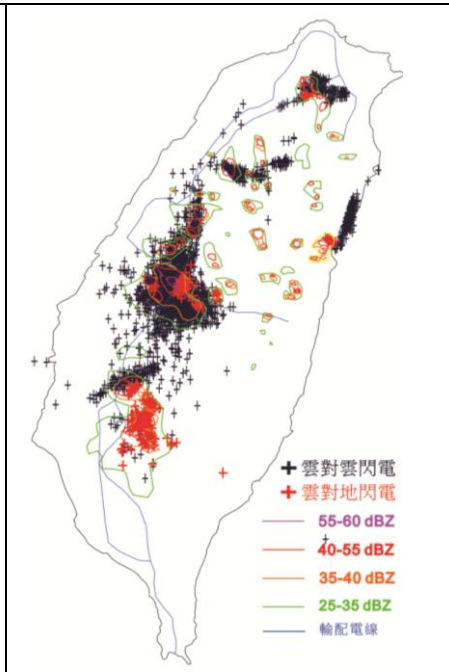


圖 16-2：16:37 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。

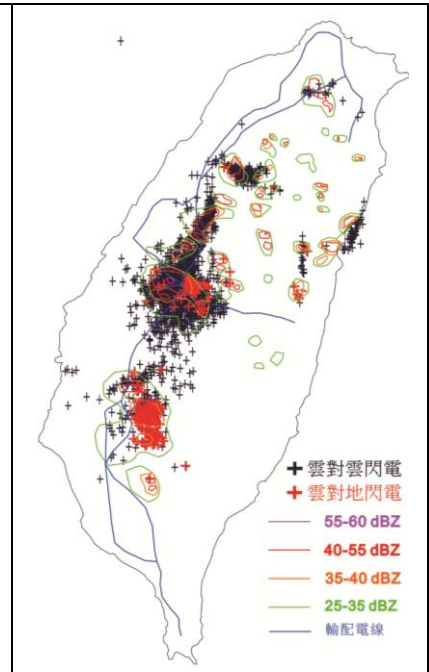


圖 16-3：16:45 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。

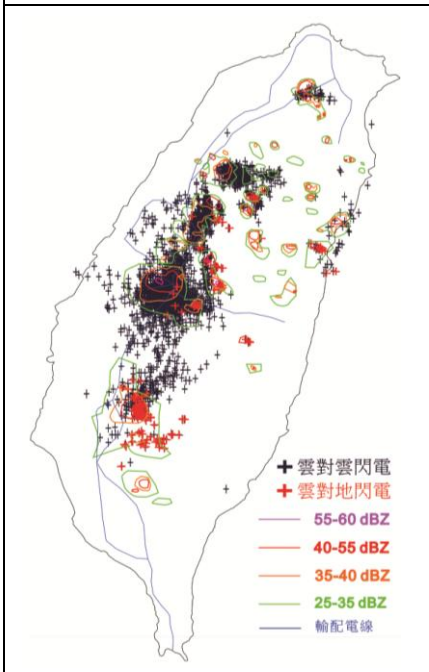


圖 16-4：16:52 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。

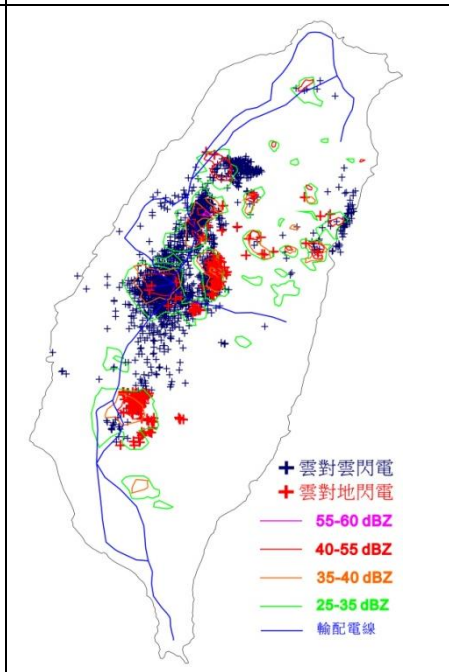


圖 16-5：17:00 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。

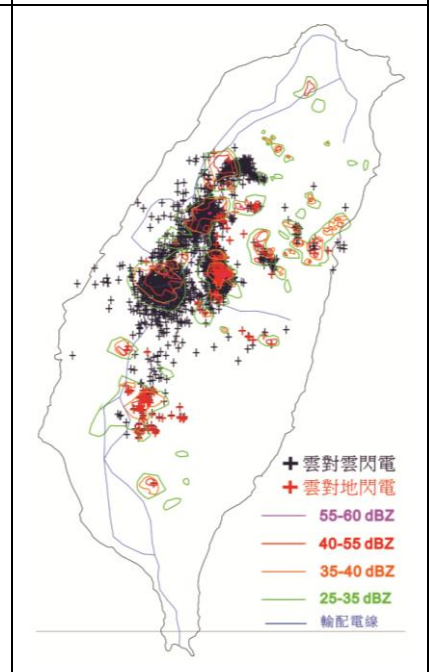
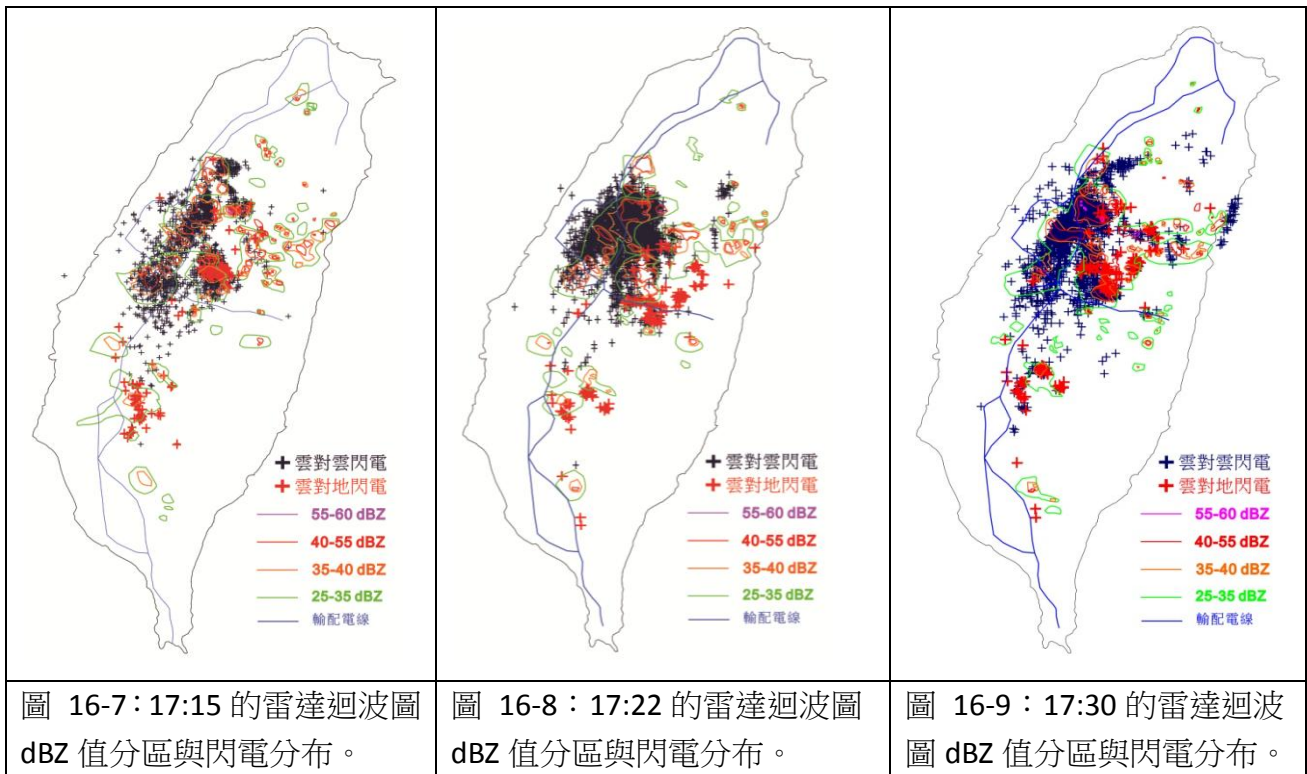


圖 16-6：17:07 的雷達迴波圖 dBZ 值分區與閃電分布。



## 陸、討論

### 一、研究個案午後熱對流天氣系統的閃電發生時序和頻率的特性

研究個案是否為典型的午後熱對流天氣系統，可經由下列因素確認：(1)發展時間為中午過後，結束時間約在 17:00 或者 21:00 左右(林等人，2012)。圖 11-1 至 11-6 與圖 12-1 至 12-6 分別代表 7 月 2 日與 7 月 9 日兩天的午後熱對流發展，顯然這兩個研究個案的對流發展都是中午(12:00)後才開始。(2)午後熱對流天氣系統不是由海上熱對流系統移入發展形成。兩個研究個案的對流發展都是由陸地發展開始(見圖 11-1 至 11-6 與圖 12-1 至 12-6)，不是由海上熱對流系統移入。(3)午後熱對流天氣系統非颱風外圍環流發展而成，7 月 2 日與 7 月 9 日兩天台灣附近並無颱風。(4)午後熱對流天氣系統非鋒面系統發展而來，夏季 7 月 2 日與 7 月 9 日並無鋒面系統。(5)午後熱對流天氣系統經常是由海陸風、地表加熱與地形效應發展而成，降雨頻率最大值主要分布在平行中央山脈走向的斜坡上，降雨最大值經常發生在 15:00-16:00 間(譚，2006；林等人，2012)，由圖 11-1 至 11-6 與圖 12-1 至 12-6 所見的降雨分布特性與上述相符。(6)單一雷雨胞的發展小至數平方公里大至數十平方公里(部分可至數百平方公里)，由初生至消散期生命週期小於 6 小時，過程中雷雨胞可能歷經分裂與合併階段(洪，2002；戴等人，2007)，兩個研究個案也符合此項觀察。

兩個研究個案的閃電時序和頻率的特性，經整理後有以下特性：(1)雲對地閃電相對於總閃電的發生頻率較高，7 月 2 日與 7 月 9 日的總平均值分別為 10.0%和 7.4%，此項觀察與曾等人(2005)與譚(2006)的研究有相似的觀察。依據曾等人(2005)的研究，雲對雲閃電與雲對地

閃電的比值在不同的天氣系統分別為冷鋒(71.1)、梅雨鋒(48.5)、海洋對流(17.1)、高層冷心低壓(16.6)、颱風(13.6)、午後熱對流(11.7)。另外，譚(2006)對於 2003-2005 年間的午後熱對流系統的閃電調查，雲對雲相對雲對地閃電比值約為 20 左右。(2)觀察上，7 月 9 日所發生雲對地閃電峰期，有落後雲對雲閃電的現象，例如 14:07 以後的南高屏區、16:07 以後的桃竹苗區與 15:45 以後的雲嘉中彰投區。7 月 2 日雲對地閃電峰期，有落後雲對雲閃電的現象，但相對複雜，需要由個別雷雨胞系統說明。雲對地閃電峰期是否能代表雷雨胞進入衰退期，須由個別雷雨系統觀察。(3)當雲對雲閃電到達峰期時，雲對地閃電的出現明顯比例下降，各區域的雲對地閃電相對於總閃電數皆小於 3%，是否意味著熱對流發展至高峰期時(或成熟期)，雲對地閃電相對不發育。

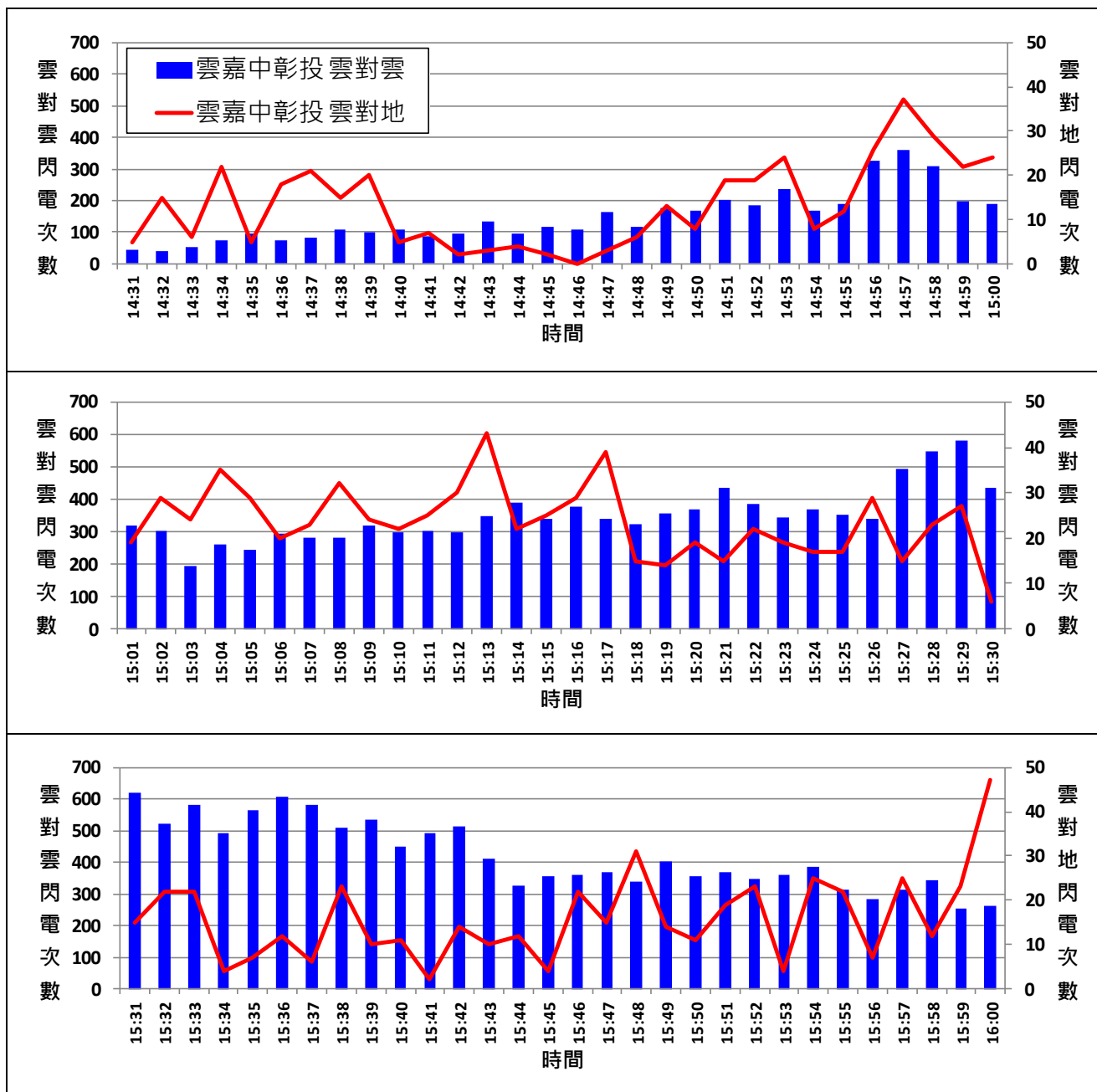
## 二、雷達迴波圖參數對台灣午後熱對流天氣系統閃電觀察的相關性

依據雷達迴波圖參數的 dBZ 值的分布圖並配合時序變化，的確能夠反映熱對流雷雨胞的發展、分裂與合併的種種過程(見圖 15-1 至 15-9)。然而，雷達迴波圖參數的 dBZ 值的分布圖是否能夠反映的閃電的出現?由圖 16-1 至 16-9 的閃電分布與雷達迴波圖的關係可知，不是 25-35dBZ 的輪廓線內就會出現閃電，也不是雷達迴波圖出現 25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ 同心圓結構(有雷雨胞結構)時就會出現閃電。出現閃電的地方通常是雷達迴波圖 25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ 和 >55dBZ 同心圓結構快速變動(雷達迴波圖約每 7 分鐘更新一次，能反應結構變動)的地方，這意味著雷雨胞發展快速變化時或者雷雨系統中不同雷雨胞在合併或分裂變化時，特別容易發生閃電，7 月 2 日中彰投地區 16:30 至 17:30(圖 16-1 至 16-9)出現大量閃電，即反映這項觀察。換句話說，透過雷達迴波圖參數的 dBZ 值輪廓圖的描繪，25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ 和 >55dBZ 同心圓結構快速變動的區域，易發生閃電，雷達迴波圖參數快速變動的區域也代表著雷雨胞劇烈發展的區域。另外一項發現，雷達迴波圖參數分布圖若只出現 25-35dBZ、35-40dBZ 分區的同心圓結構對流系統，通常不會有閃電出現，這意味著對流發展弱的系統，不意發生閃電。所以，過去的研究(林等人，2012)常利用雷達迴波圖 40dBZ 的出現來定義對流雷雨胞，這個定義與我們發現低於 40dBZ 的對流系統不易出現閃電，有相關意義。

## 三、對流性雷雨胞發展歷程與閃電發生的關係

過去的研究指出(Liao & Wang, 2006)在對流性雷雨系統中，雷雨胞在初生及發展期時，是雲對雲閃電密集發生的階段，至雷雨胞成熟期時，雲對雲閃電的頻率到達最高，此時雲對地閃電開始出現，在雷雨胞衰退期時，雲對地閃電頻率達到最高，而雲對雲閃電反而迅速減少。如果上述研究是對流性雷雨胞發展歷程與閃電發生的關係，那麼 7 月 2 日與 7 月 9 日的雷雨系統中能否觀察到呢?下列以 7 月 9 日雲嘉中彰投地區為例，說明可以看到上述的歷程。(1)利用雲嘉中彰投地區的每分鐘的雲對雲和雲對地的閃電時序圖(圖 17)，可以發現雲對雲閃電的峰期約莫在 2 點 47 分開始至 4 點 7 分之間，此段時間的雲對雲和雲對地閃電比例約為 17.5，4 點 8 分至 5 點 30 雲對雲和雲對地閃電比例約為 2.1，此項因素可以說明雷雨胞在初生發展期時至成熟期時，雲對雲閃電的頻率較高，在雷雨胞衰退期時，雲對地閃電頻率達到最高，

而雲對雲閃電反而迅速減少。(2)色調強化雲圖記錄(圖 18),可以作為雷雨胞發展時序的佐證,雲嘉中彰投地區的午後熱對大約在 3 點至 3 點 30 分開始發展,4 點整的色調強化雲圖明顯可以看出熱對流發展到成熟階段(圖 18),4 點 30 分至 5 點的色調強化雲圖明顯要進入消散期。(3)雷達迴波圖(圖 19)亦可作為雷雨胞發展時序的佐證。出雲嘉中彰投地區開始出現 55dBZ 回波強度對流開始於 2 點 7 分,約在 3 點左右 55dBZ 的區域面積最大(代表雷雨胞在成熟期),該地域的 55dBZ 回波區的消失大致在 4 點 22 分(代表消散期)。



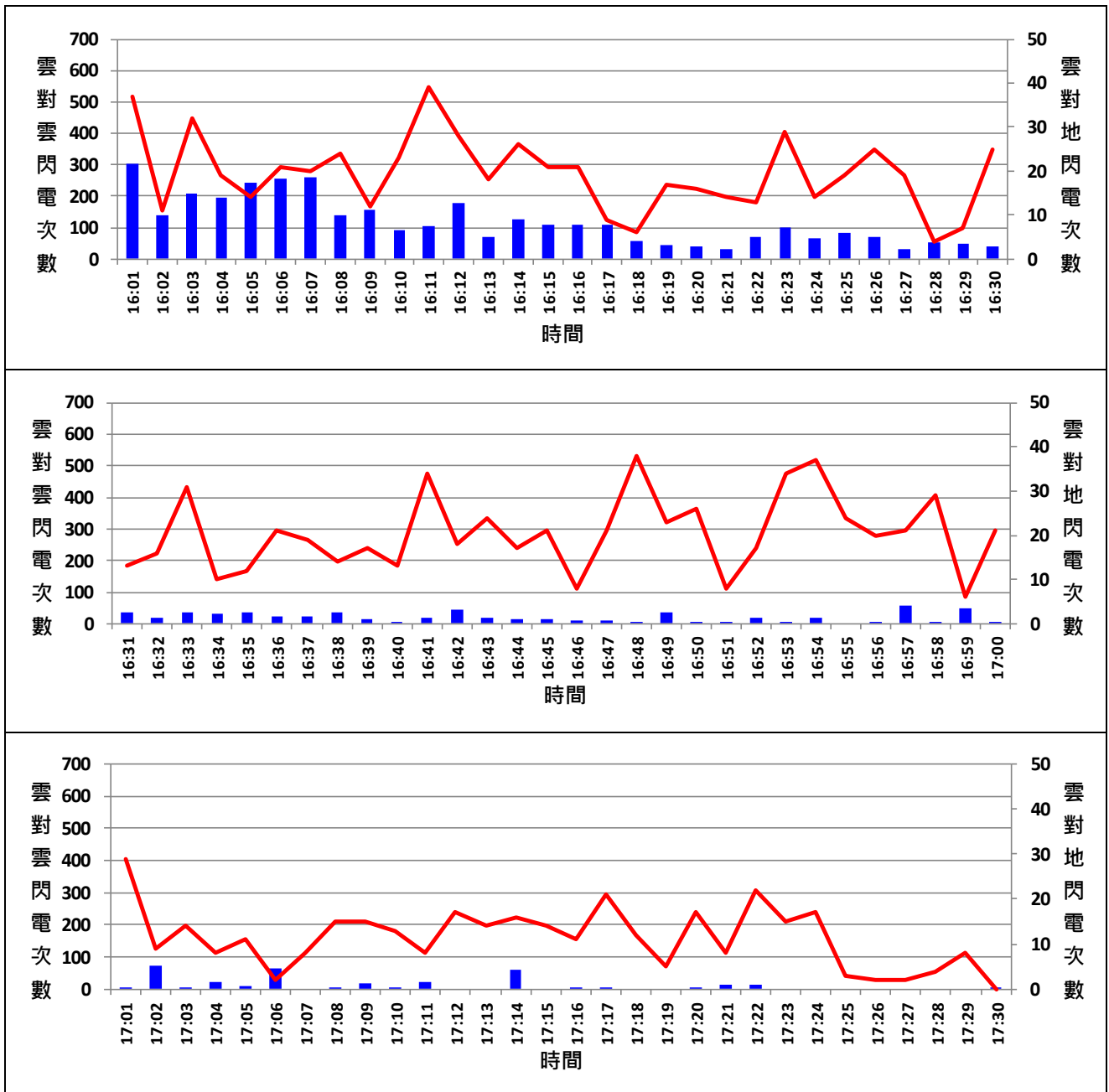
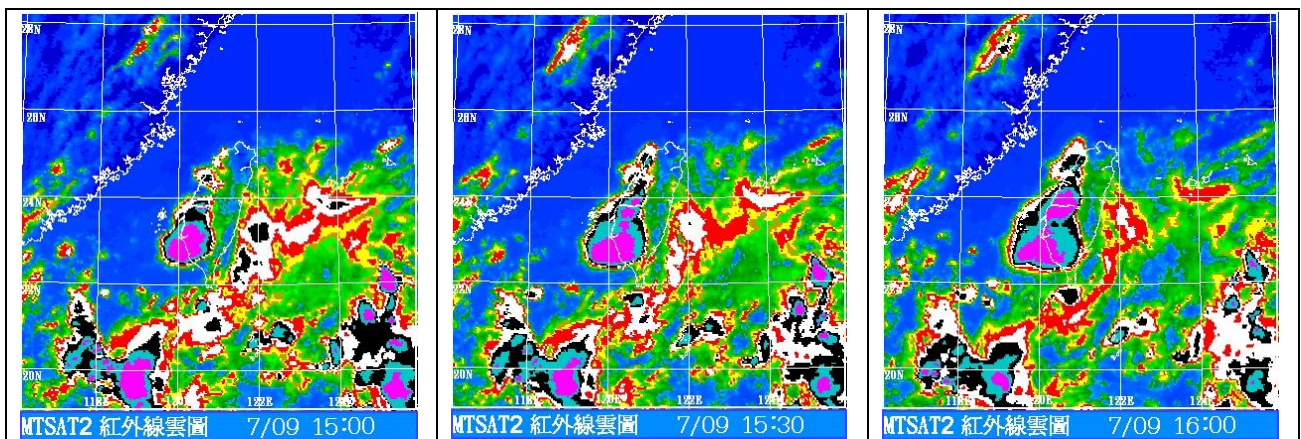


圖 17：雲嘉中彰投地區的每分鐘的雲對雲和雲對地的閃電時序圖。



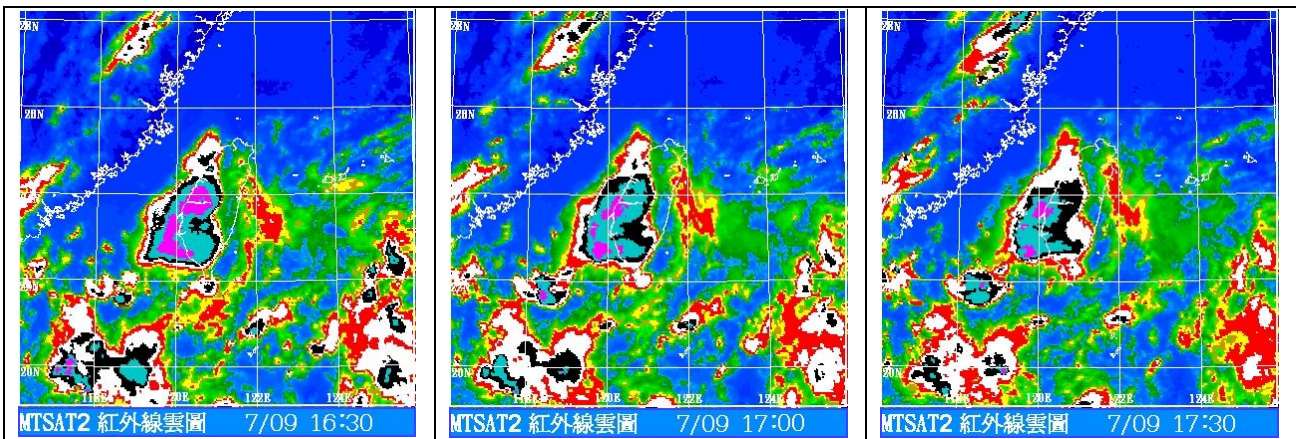


圖 18：色調強化雲圖記錄，可以作為雷雨胞發展時序的佐證。

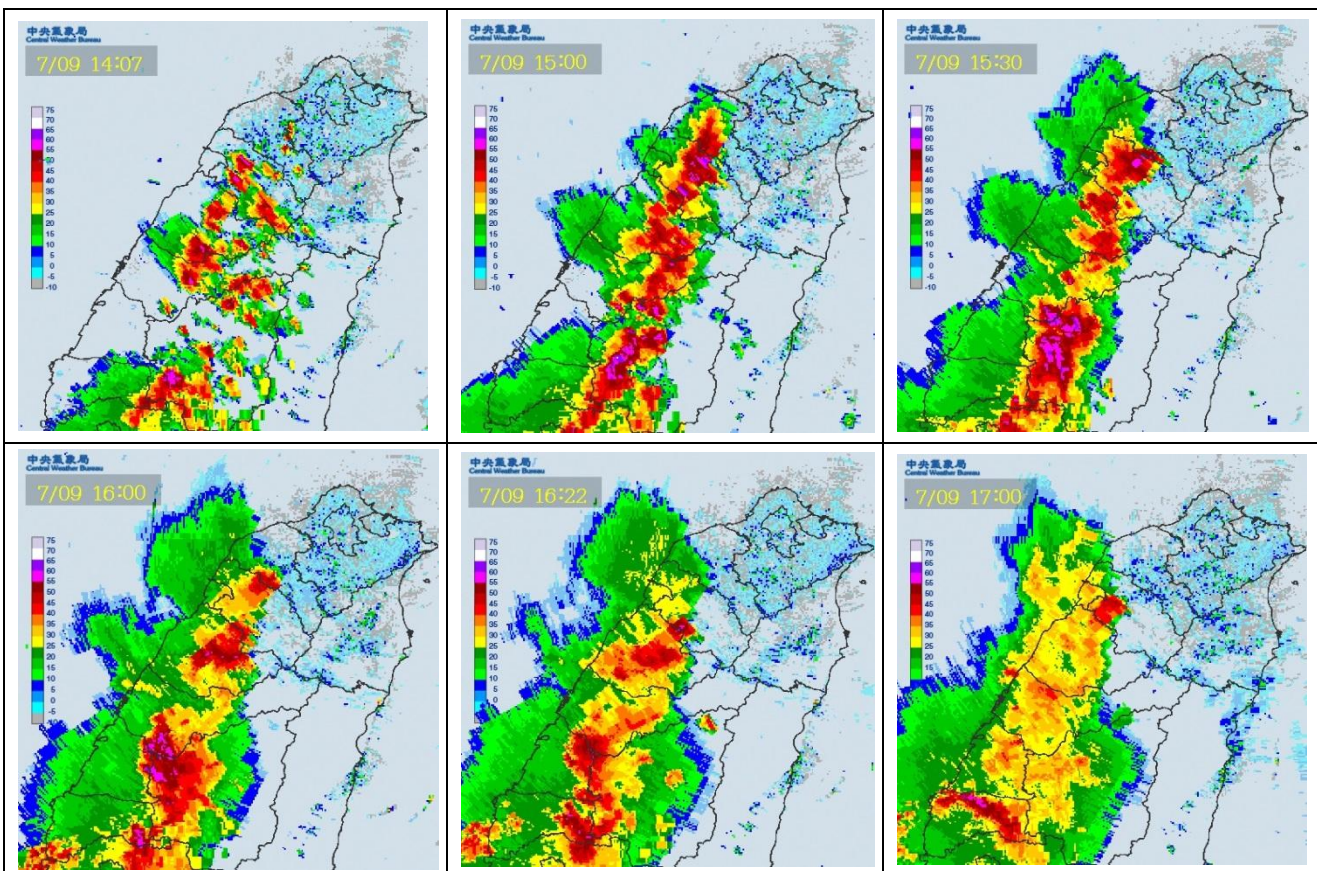
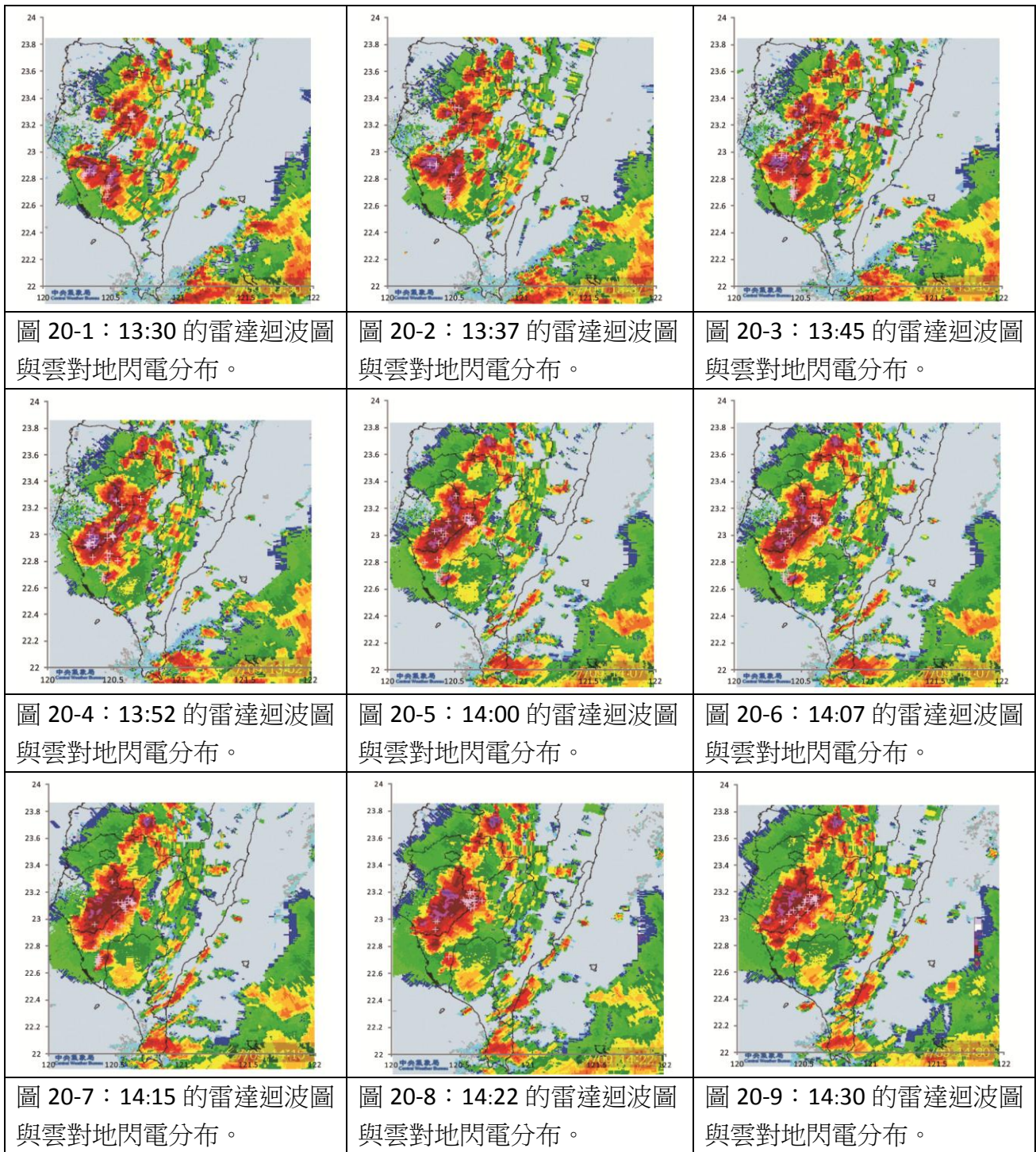


圖 19：雷達迴波圖作為雷雨胞發展時序歷程的佐證。

#### 四、午後對流雷雨系統中雲對雲與雲對地閃電出現和雷達迴波圖參數的關係

過去的研究(洪, 2002)已指出閃電的空間範圍與大迴波(指 1-5 公里高度之最大迴波圖中, 30dBZ 的水平範圍超過 25 km<sup>2</sup> 以上的大迴波區)中心所在的位置一致。依據本研究雷達迴波圖 25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ 和 >55dBZ 的輪廓圖中, 發現雲對雲閃電主要發生在超過 25dBZ 的迴波區內(圖 16-1 至 16-9), 而雲對地閃電主要都發生在超過 35dBZ 的迴波區內, 少有例外(見圖 16-1 至 16-9), 另外, 7 月 9 日 13:30 至 14:30 在南高屏地區的雷雨系統也是雲對地閃電都發生在超過 35dBZ 的迴波區內(圖 20-1 至 20-9 中的白色十字為雲對地閃電位置)。上述結果也

與 Toracintaetal. (1996)所發表的研究結果相似。



### 五、雲對地閃電的出現能找到先導因子嗎

過去的研究(Toracintaetal.,1996)指出雲對地閃電多伴隨 6 公里高度上強度達 35dBZ 的大區域回波出現；Gremillion & Orville(1999)曾指出氣團雷雨-10°C 高度上強度 40dBZ 的回波約領先雲對地閃電 7.5 分鐘；洪(2002)針對台灣北部山區之午後熱對流個案的研究中，統計了雲對地閃電發生頻率與自動雨量站的五分鐘累積雨量，建議午後熱對流降雨與閃電有正相關性；Liao



& Wang (2006)在對流性雷雨系統研究中，指出雷雨胞成熟期時，雲對地閃電開始出現，在雷雨胞衰退期時，雲對地閃電頻率達到最高。上述的研究顯示雲對地閃電的出現有可能找到先導因子。然而，依據我們目前的研究，並無法找到雲對地閃電出現時的先導因子。不過對 2013 年 7 月 2 日與 7 月 9 日的雲對地閃電出現的地區與時序，發現有下列幾項特徵：(1)7 月 2 日資料顯示，台灣地區在台中以南的輸配電線的東側易發生雲對地閃電(圖 15-1 至 15-9)。這個觀察與譚(2006)對 2005 至 2005 年間對台灣地區發生雲對地閃電的說法一致，台灣地區在台中以南的輸配電線的東側易發生雲對地閃電。(2)7 月 2 日與 7 月 9 日在南部地區所發生雲對地閃電相對總閃電次數都偏高，7 月 2 日 14:45 至 17:52 期間，雲對地閃電相對總閃電次數的比例 22-79%；7 月 9 日 13:00 至 14:21 期間雲對地閃電相對總閃電次數的比例 22-82%。兩者在雷達迴波圖的表現，都是出現較明顯高 dBZ(>35dBZ)值區(圖 20-1 至 9)。

針對上述的第 1 項說法，台中以南的輸配電線的東側易發生雲對地閃電，或者如譚(2006)的推論：「是否因為輸配電塔的配置而誘發閃電」。我們取得了台灣地形數值模型的參數(由嘉南藥理科技大學陳彥傑教授提供)，劃出了北緯 24 度的地形剖面(如圖 21-1 至 4 呈現)。並將北緯 24 度正負 0.1 度內發生的閃電次數統計後，依經度的分布畫出 7 月 2 日與 9 日兩天中，閃電次數與地形的關係圖(圖 21-2 至 4)。目前已知的北緯 24 度超高壓輸配電線位於霧峰民生路上，也就是位於 E120° 42' 處，在 google 地圖的綠色處(圖 21-1)。另外埔里盆地大致位於 E120° 57' 附近。7 月 2 日北緯 24 度附近的雲對雲閃電發生集中在 E120° 42' (即高壓輸配電附近)與 E120° 56' 至 E121° 附近(即埔里盆地)；雲對地閃電則集中在 E120° 56' 以東的地方(埔里盆地東側)(圖 21-2)。7 月 9 日北緯 24 度附近的雲對雲閃電沒有相對集中的現象，但埔里盆地以東地區明顯沒有雲對雲閃電。至於雲對地閃電則相對出現在 E120° 50' 以東的地方(圖 21-3)。若累加兩天的總閃電，可發現閃電發生有兩個集中區域，一是在 E120° 42' (即高壓輸配電附近)，另一區在埔里盆地上(圖 21-4)，至於雲對地閃電相對出現在高壓電輸配電以東的區域，也就是說進入麓山帶地區。整體而言，進入 E121° 06' 的山區閃電的出現機會較少。



圖 21-1：地形剖面的起迄經緯度。(地圖取自 google map)

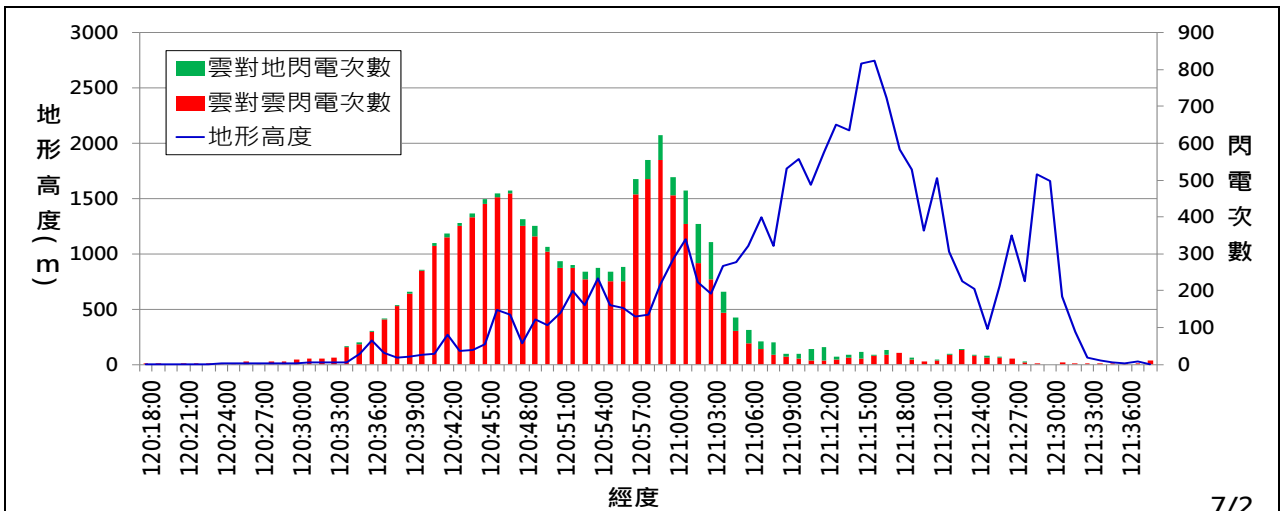


圖 21-2：7 月 2 日，北緯 24 度附近的閃電發生次數與地形和經度位置關係圖。超高壓輸配電位置在 E120° 42'，埔里盆地位置在 E120° 57'附近。

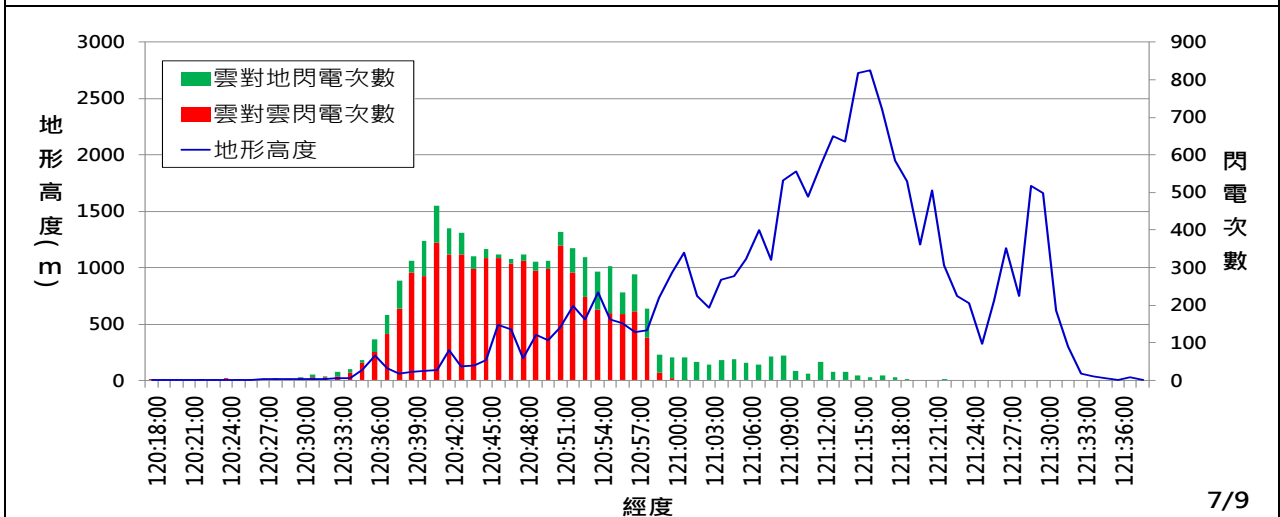


圖 21-3：7 月 9 日，北緯 24 度附近的閃電發生次數與地形和經度位置關係圖。超高壓輸配電位置在 E120° 42'，埔里盆地位置在 E120° 57'。

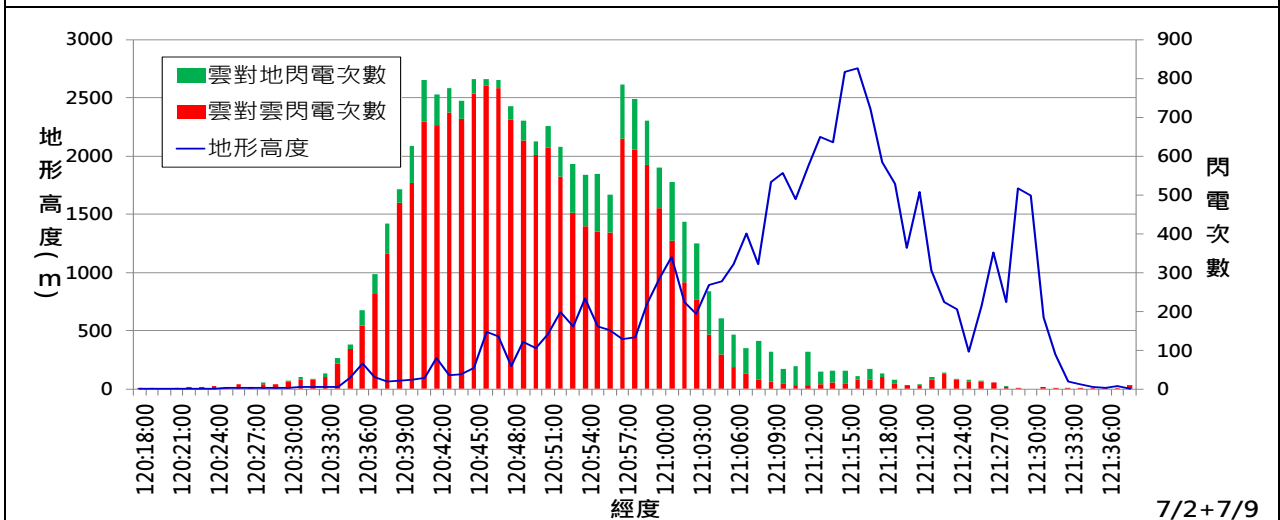


圖 21-4：7 月 2 日與 9 日兩天累加，在北緯 24 度附近的閃電發生次數與地形和經度位置關係圖。超高壓輸配電位置在 E120° 42'，埔里盆地位置在 E120° 57'。

## 柒、結論

- 一、2013年7月2日與7月9日兩個研究個案皆為典型的午後熱對流天氣系統，雲對地閃電相對於總閃電的發生頻率分別為10.0%和7.4%。
- 二、透過描繪的雷達回波圖dBZ值的分布圖並配合時序變化，能夠反映熱對流雷雨胞的發展、分裂與合併的種種過程。閃電頻率較高的時間通常是雷達回波圖25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ和>55dBZ同心圓結構快速變動的時間，這意味著雷雨胞發展快速變化時或者雷雨系統中不同雷雨胞在合併或分裂變化時，特別容易發生閃電。研究也發現低於40dBZ的對流系統不易出現閃電。
- 三、對流性雷雨胞發展歷程與閃電發生的關係，可以確認(1)雲對雲閃電密集發生的階段，是雷雨胞在初生及發展期的階段。(2)雲對雲閃電的頻率到達最高時，雲對地閃電的數量相對較少。(3)雲對地閃電頻率達到最高時，雲對雲閃電相對減少，能代表雷雨胞衰退期。
- 四、依據本研究雷達回波圖25-35dBZ、35-40dBZ、40-55dBZ和>55dBZ的輪廓線，發現雲對雲閃電主要發生在超過25dBZ的回波區內，而雲對地閃電主要都發生在超過35dBZ的回波區內，少有例外。
- 五、目前研究並無法透過雷達回波圖找出雲對地閃電的先導因子，但發現台中以南輸配電線的東側易發生雲對地閃電。

## 捌、參考資料

- 林熹閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。大氣科學，27，1，75-98。
- 洪景山，2002：雲對地閃電和雷達回波參數之相關：個案研究。大氣科學，30，1，21-34。
- 曾以真，洪景山，陳家琦，2005：臺灣地區閃電氣候特徵之研究。中央氣象局研究發展專題。臺灣南區氣象中心。
- 譚振威，2006：臺灣地區閃電與降雨的分類及其氣候特徵。國立中央大學大氣物理研究所。
- 吳依璇，2009：臺灣西南海域總閃電頻率之模擬研究。國立台灣大學大氣科學研究所。
- 戴志輝，林得恩，賴世運，2008：臺灣北部午後對流閃電與綜觀氣流風向之關係：個案研究。

帶氣科學。36，3，179-196。

林品芳，張保亮，周仲島，2012：若綜觀環境下臺灣午後對流特徵及其客觀預報：個案研究。  
大氣科學。40，1，77-107。

Toracinta, E. R., K. I. Mohr, E. J. Zipser, and R. E. Orville, 1996: A comparison of WSR-88D reflectivities, SSM/I brightness temperatures, and lightning for meso convective systems in Texas. Part I: radar reflectivity and lightning. *J. Appl. Meteor.*, 35, 902-605.

Gremillion, M. S., and R. E. Orville, 1999: Thunderstorm characteristics of cloud-to-ground lightning at the Kennedy space center: A case study of lightning initiation signatures as indicated by the WSR-88D. *Wea. Forecasting*, 14, 640-649.

Liao, S. -A., and K. -Y. Wang, 2006: The applications of lightning-rainfall prediction on transmission lines disaster prevention. The IERE Eastern Asia Forum, Environmental Sustainability and High-Quality Power Systems in the Eastern Asia Region Proceedings papers, Nov. 14-15, 2006 Taipei, Taiwan, PP. FS2-11 to 16.

## 【評語】 040506

利用台電公司之閃電資料與氣象局之雷達迴波資料探討熱對流與閃電分佈之關係，海報內容及圖表製作佳，對強烈對流與閃電活動關係以及地形之影響有深入探討，對雷達觀測，回波強弱之影響因子等相關之背景知識可以再予加強。