

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040511

台灣夏季午後對流閃電與地形之關係

學校名稱：國立臺南家齊女子高級中學

作者： 高二 朱怡蓁 高二 陳瑾蘭 高一 陳昱翰	指導老師： 曾建元 楊佳勳
---	-----------------------------

關鍵詞：午後對流、閃電、數值地形

摘要

本研究由 2013 年夏季中 5 個典型午後對流天氣系統，分析閃電發生地點與地形的關係。結果顯示雲對雲及雲對地閃電的起始位置均位於中央山脈西側斜坡、屬於西部麓山帶的區域。雲對地閃電最密集的區域位於由兩個山脈所包夾的谷地地形與西部麓山帶的前緣處，顯示地形為影響雲對地閃電發生位置的主要因子之一。山區水庫、湖泊等大型水體本身及其周遭的區域內有較為密集的雲對地閃電分布，說明谷地地形為發育對流胞與雲對地閃電的最佳位置。閃電高發生率的西部麓山帶上配置有南北超高壓輸配電線，然鄰近電塔（線）的雲對地閃電為零星散佈、並未與電塔（線）呈現線性分布的現象，故雷擊發生的地點乃是受到地形效應所影響，非高壓電塔的誘集而好發閃電。

壹、研究動機

閃電落雷研究起於台灣電力公司為了保障電力輸送安全而設置。先前的研究發現閃電主要發生在台灣北部山區與中央山脈西側的斜坡上（林熹閔，1999；譚振威，2006；林品芳、張保亮與周仲島，2012；陳棕祈、楊雅因與林秋玫，2014），而且閃電落雷恰集中在中央山脈西側台電超高壓輸配電帶兩側（譚振威，2006；圖 1）。這意味著，超高壓輸配電帶恰布置在台灣閃電落雷最多的地方，亦或者是布置了超高壓輸配電帶後誘集閃電在此處發生，這明顯是一個有趣的問題。也許，中央山脈西側的山坡地，恰是人煙稀少的地方，而且易配電至城市地區，台電在南北輸配超高壓電線選址的時候，並沒有考慮落雷的問題；或者是配置了超高壓電線後，誘集閃電的現象明顯。

先前研究指出，午後對流是最容易出現雲對地閃電的天氣型態（曾以真與洪景山，2005）。若考慮南北輸配超高壓電線的安全，雲對地閃電影響最大，所以，我們想選定午後對流作為研究的天氣系統，討論布置在中央山脈西側的山坡地的超高壓輸配電線，是單純因為地形效應而集中閃電，還是配置了超高壓電線後，誘集閃電的發生。另外，落雷發生時，地面物件如金屬、突起物、易導電物、電磁波（如手機），易造成雷擊地點，我們也想研究地面地物（如水庫），是否也是落雷易出現的地方。

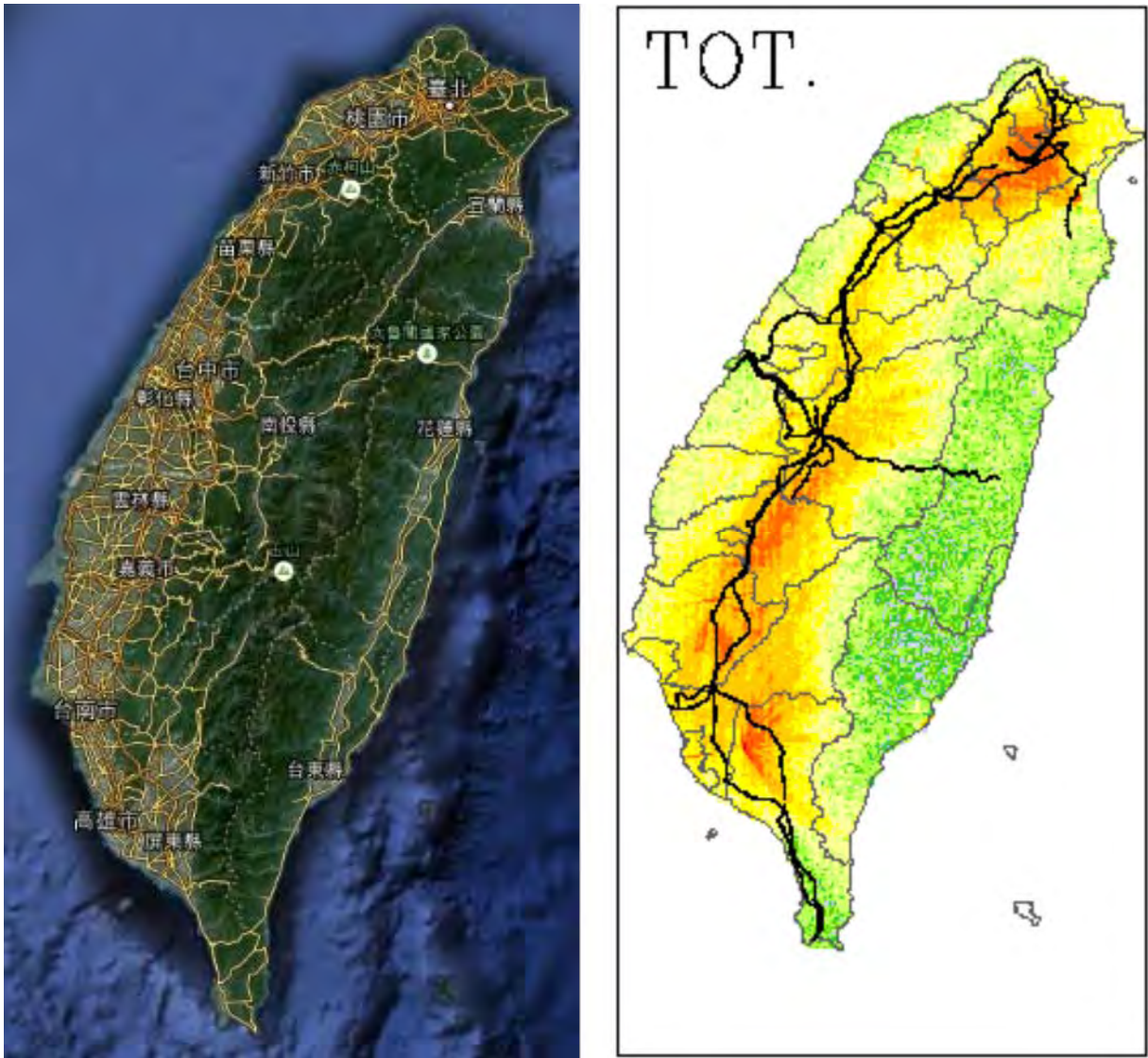


圖 1：台灣衛星地形圖與台電南北超高壓輸配電線分布圖。左圖台灣地形為取自 Google Map 之衛星影像圖。右圖為台電南北超高壓輸配電線分布圖，取自譚振威（2006）。

貳、研究目的

- 一、 在台灣的午後對流雷雨天氣系統，建立閃電發生地點、累積次數，與地形的關係。
- 二、 分析午後對流雷雨天氣系統，閃電發生地點與地形坡度、地面地物、超高壓電塔的關係。
- 三、 建立三維地形模型，討論閃電發生地點與地形是否有正相關。
- 四、 利用三維地形模型、討論閃電發生地點與地面地物是否有正相關。
- 五、 討論超高壓電塔是否對閃電有誘集效應。
- 六、 說明台灣的午後對流雷雨天氣系統閃電發生地點與其特性。

參、研究設備及器材

- 一、個人電腦與筆記型電腦。
- 二、網際網路，取得中央氣象局資料與參考文獻。
- 三、台灣農林航空測量所 40 m 數值地形，取自國立成功大學地球科學系地震學研究室。
- 四、電腦軟體：Surfer 10.7.972 版、CorelDRAW X6、Google Earth 7.1.2.2041 專業版、Microsoft Word 2007、Microsoft Excel 2007、Adobe Photoshop CS3。

肆、研究過程與方法

一、文獻探討

台灣電力公司為了減少閃電造成電力設備受損，始於 1989 年 6 月在台灣設置閃電偵測裝置，希望了解落雷的型態與位置，保障電力設備的安全。林熹閔（1999）利用台電的資料，開始落雷和天氣系統的研究。他在研究中發現閃電主要發生在台灣北部山區與中央山脈西側的斜坡上，其原因與海陸風與地形所形成的對流環境有關。

洪景山（2002）研究 1999 年 8 月 27-29 日發生在北部山區午後對流的閃電，由雷達回波圖與閃電做空間分布上的統合結果，發現閃電活動與對流發展的強度有極佳的相關性。

曾以真與洪景山（2005）針對不同天氣型態的閃電作研究，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等六種，研究結果指出午後熱對流相較於其它天氣系統較容易發生雲對地閃電。

譚振威（2006）也利用了台電的整合型閃電偵測系統，分析了 2003-2005 年間的台灣地區落雷資料。他指出落雷集中在台灣西部平原與中央山脈的西側斜坡帶的輸配電帶兩側，輸配電塔的配置可能會誘發閃電，這是他提出的推論。

戴志輝，林得恩與賴世運（2008）分析了 2004-2006 年間的閃電資料，對於臺灣夏季午後對流閃電與氣流風向之間的關係進行探討。摘錄的研究結果如下：(1)午後對流閃電以雪山山脈左側的山坡最多；(2)午後對流閃電日數在 7、8 月最多、9 月最少；(3)午後對流雖然部份個案的雲對地閃電次數極少，但仍會伴隨大量的雲對雲閃電；(4)午後對流閃電發生的位置，在 5-9 月間有隨季節沿著雪山山脈左側向西南轉移的特徵；(5)氣壓與盛行風向，會造成午後

對流閃電分別分布在 121.4°E 東西兩側的變化。

吳依璇（2009）利用了 2005-2008 年的 5-6 月間的落雷資料研究台灣西南海域的閃電與天氣型態的關係。研究發現閃電主要發生於鋒面系統，但高溫熱對流也會造成不少閃電。

林品芳等人（2012）分析 2005-2008 年 5-10 月午後對流時空分佈特徵，及利用北台灣午後對流發展的對流前環境，期望發展模糊邏輯客觀潛勢預報午後對流方法。在分析研究中，可用雷達回波 40 dBZ 來定義對流雷雨胞，此門檻值也可當作對流降雨之標準，並可用來區分對流與層狀降水。經由雷達回波與雲對地（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，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。

陳棕祈等人（2014）在第 54 屆的中小學科展的研究中，發現進入西部麓山帶地區後，閃電明顯增加。她們也關注午後熱對流閃電的發生與地形的相關性。

林熹閔與郭鴻基（1996）對 1993-1995 年夏季南台灣環境與降雨特徵之差異進行比較，其研究結果指出，低層微弱東風在地形上被太陽加熱後，得以越過中央山脈與西側上坡風輻合，在斜坡帶上發展成與中央山脈大致平行的輻合帶，而輻合帶正是激發午後對流的原因。在輻合帶上不同的對流胞會經歷新生、合併與分裂等情況，發展時間可能經歷 8 小時。伴隨對流性降雨、冷空氣及低層外流的特性，以及隨後發展的海風效應，是對流移出山坡的原因。

陳家琦、謝章生與曾以真（2005）收集了 2003 與 2004 年的共 74 午後對流個案，研究南臺灣進行午後對流降水特性與其環境關係的研究，結果發現午後對流最強處多在高度 100-200 m 的斜坡上，並以嘉義斜坡與屏東凹槽處的對流最明顯。午後對流降水始於下午 2:00，並持續 6 小時，山頂降水較弱，較發生時間較早，平地的降水也較弱，但嘉義斜坡的對流移動不明顯，故此區累積雨量較大。屏東凹槽所發展的對流胞移動快速，大都向北移。整體而言，南台灣發生午後對流的比率比其它不穩定系統稍多，嘉義斜坡的對流較弱持續時間也較短，集中在高度 100-200 m 的斜坡上，往濱海處的移動也不明顯。

二、確立研究方法與研究目的

分析對於午後對流天氣型態的研究後（陳家琦等人，2005；林熹閔與郭鴻基，1996），可以認知高氣壓環流的低層微弱東風，得以越過中央山脈與西側上坡風輻合，在斜坡帶上發展成一條與中央山脈大致平行輻合帶，形成午後對流天氣型態。午後對流天氣除伴隨降水外，也伴生閃電發生。先前有關於閃電的研究，除了分析天氣系統，了解產生閃電原因發生外（如：

洪景山（2002）認為閃電頻率的峰值與垂直液態水含量有較顯著的關係；也發現閃電主要發生在台灣北部山區與中央山脈西側的斜坡上。我們對於午後對流閃電的出現位置，為何出集中出現在中央山脈西側的斜坡上，而且台電超高壓電塔為何設在閃電集中的區域，相當感興趣。究竟是超高壓電塔誘集了閃電，還是台電僅是因裝設容易避開人口稠密區，而架設高壓電塔於中央山脈西側的斜坡上。基於上述的認知，我們想要釐清以下狀況。(1)閃電主要發生在雪山山脈西側與中央山脈西側的斜坡上，其地形效應關聯性為何，如坡度、高度、盆地等因素；(2)地面的地形地物會誘發閃電的出現嗎，如水面(日月潭、曾文水庫)、城市聚落；(3)超高壓輸配電塔的配置會誘發閃電嗎？

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/>)

本研究由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、雷達回波圖。

2. 台灣電力公司閃電資料

2013 年 7-8 月份雷電資料，閃電資料由樹林台電綜合研究所提供。

(二) 數值地形

利用台灣農林航空測量所 40 m 數值地形，由緯度 22.5°N 至 24.9°N、經度 119.9°E 至 122.0°E，每隔 40 m 有 1 個格點資料的數值地形。

(三) 個案選取

個案的選取主要是針對午後對流系統來做篩選，我們可以經由以下因素來篩檢是否為午後對流系統：(1) 午後對流的天氣系統之發展時間主要為中午過後，結束時間約在下午五點或者晚上九點左右；(2) 不是由海上對流系統移入發展形成；(3) 與颱風外圍環流發展完全無關；(4) 排除由鋒面系統發展而成；(5) 海陸風、地表加熱與地形效應經常為午後對流天氣系統發展而成之原因，平行中央山脈走向的斜坡上為降雨頻率最大值之主要分布地區；(6) 可透過雷達回波圖來檢視雷雨胞發展，來確認午後對流（洪景山，2002；戴志輝等人，2008）。

基於以上六點判斷，我們在 2013 年 7-8 月間，篩選了 5 天的午後對流天氣系統，因該年度 8 月份台灣頗受颱風影響，所以 2013 年 8 月份並無個案被選取，而選擇出之個案分別為 2013

年 7 月 2 日、5 日、9 日、15 日與 31 日（個案雷達回波圖，如圖 2 至 6）。

(四) 不同緯度的閃電次數統計

依據樹林台電綜合研究所提供之落雷資料，我們分別將 2013 年 7 月 2 日、7 月 5 日、7 月 9 日、7 月 15 日與 7 月 31 日，共五日，依照不同緯度做閃電次數統計，其方法為：由緯度 22.5°N 至 24.9°N，每隔 0.1°的緯度做 1 次閃電次數統計，依照其緯度使用 Google Map（網址 <https://maps.google.com.tw>）找出經度於台灣陸地分布之範圍，並使用 Excel 篩選方式，統計出其分布地區之所有雲對雲閃電與雲對地閃電之次數，五日統計方法均相同。

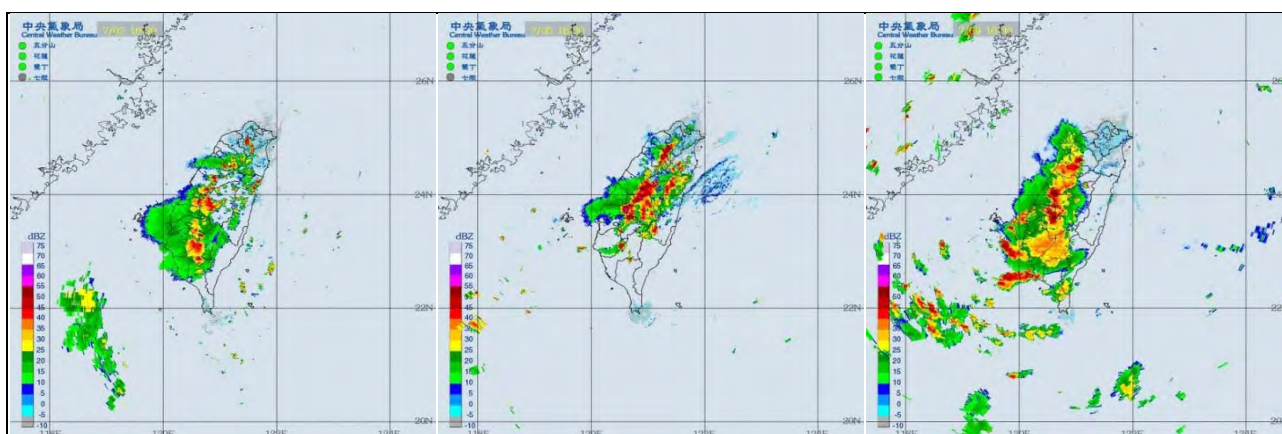


圖 2：7 月 2 日 16:30 雷達回波圖。

圖 3：7 月 5 日 16:30 雷達回波圖。

圖 4：7 月 9 日 16:30 雷達回波圖。

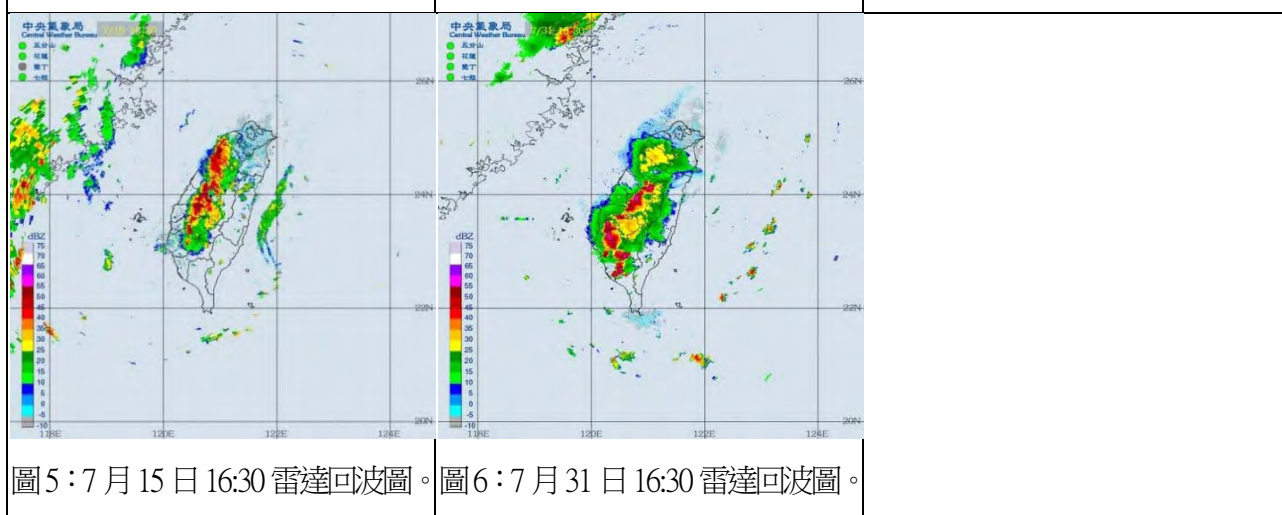


圖 5：7 月 15 日 16:30 雷達回波圖。

圖 6：7 月 31 日 16:30 雷達回波圖。

(五) 不同地區的閃電次數統計

根據上述不同緯度閃電次數統計出之資料，將同緯度之五天個案的雲對雲閃電與雲對地閃電之次數分別相加，再將統計之經緯度切割為雪山山脈、埔里盆地、嘉南平原與高屏谷地四大地區，最後使用 Surfer 軟體做出三維空間之數量疊圖。

伍、研究結果

一、不同緯度的閃電次數統計

2013 年 7 月的 2 日、5 日、9 日、15 日及 31 日是屬於午後熱對流系統。以 0.1° 為間隔所劃分之緯度剖面，自 22.5°N 至 24.9°N 之間的閃電次數累積圖進行後續的分析及討論。

針對雲對地閃電的統計而言， 22.5°N 和 22.6°N 兩條剖面上的閃電數量自 120.293°E 至 120.993°E 之間一直小於 10 次，幾乎沒有閃電的分布（圖 7 及圖 8），至 22.7°N 才自高屏溪溪谷（ 120.376°E ）開始有雲對地閃電出現（圖 9）。至 22.8°N 時雲對地閃電於旗山山脈的所在之處（ 120.38°E ）而迅速減少，通過旗山山脈後雲對地閃電逐漸隨地形的上升而增加，直至到達中央山脈（ 120.61°E ）後閃電的數量迅速下降至趨近於 0（圖 10）。在 22.8°N - 24.9°N 的當中閃電數量均隨地形上升而增加，並且與上述相同的是：每越過山脈（如：旗山山脈、阿里山山脈、中央山脈中段、雪山山脈等）之前閃電的數量都會在其西側上升而後往東側下降，當到達中央山脈時閃電數量均迅速下降至趨近於 0（圖 10 至圖 36）。自 24°N 之後閃電的總數雖然有明顯地減少，但其分布的狀況仍如上述般地與地形的起伏相吻合（圖 24 至圖 36）。綜合上述的分析結果指出，自 22.5°N - 24.9°N 處的雲對地閃電分布上， 23.5°N 以南地區的雲對地閃電數量佔該緯度閃電總數的比例較高（44%-67%），以北則雲對地閃電數量所佔比例偏少（均在 10% 以下）。而以雲對地閃電分布最集中的區域而言，除 23.0°N 以南為平原區以外（如：竹田鄉頭崙村公墓、國防部屏東機場等），其餘絕大多數位在坡度 11%-15% 的斜坡上（如：三灣鄉皇家高爾夫球場等地），與陳文山（2015）提出西部麓山帶的平均坡度如角在 20° - 40° 之間（換算坡度約為 36%-84%）相較，屬麓山帶的前緣地帶，地形上是平原與山地的交界處，以東則進入中央山脈西翼地質區的範圍。

此外，以雲對雲閃電的分布而言， 22.5°N 、 22.6°N 的地方幾乎沒有雲對雲的閃電（圖 7 及圖 8）， 22.8°N - 23.1°N 逐漸有閃電從沿海地區開始往陸地增加，增加至旗山旗山山脈（ 120.47°E ）後數量迅速下降至趨近 0（圖 10 至圖 13）， 23.2°N 閃電開始沿地形上升而大量增加，至河谷地區反而則迅速下降至接近 0（圖 14），在 23.3°N 和 23.4°N 等 2 處閃電多集中在平原地區（圖 15 及圖 16）， 23.5°N 開始稍微沿地形而上升（圖 17）， 23.6°N 閃電數隨地形上升而增加，但至河谷地區閃電數量下降，離開河谷後閃電又隨地形上升而增加，到花東縱谷（ 121.36°E ）之後閃電迅速降至趨近於 0（圖 18）， 23.7°N - 23.9°N 均是如此情況（圖 19 至圖 23）， 24.0°N - 24.4°N 閃電都集中在中央山脈西側（圖 24 至圖 29）， 24.5°N 閃電數量隨著地形高低變化而增減，通

過花東縱谷平原(120.39°E)後仍持續有閃電(圖30),24.6°N閃電多集中在雪山山脈地區(121.21°E,圖31),24.7°N閃電多發生在高度約200-300m的山區,當高度超過600m後閃電便迅速下降(圖32及圖33),24.8°N、24.9°N閃電多中在高度200-400m的地區,當高度超過500m時閃電數量便逐漸下降(圖34及圖36)。

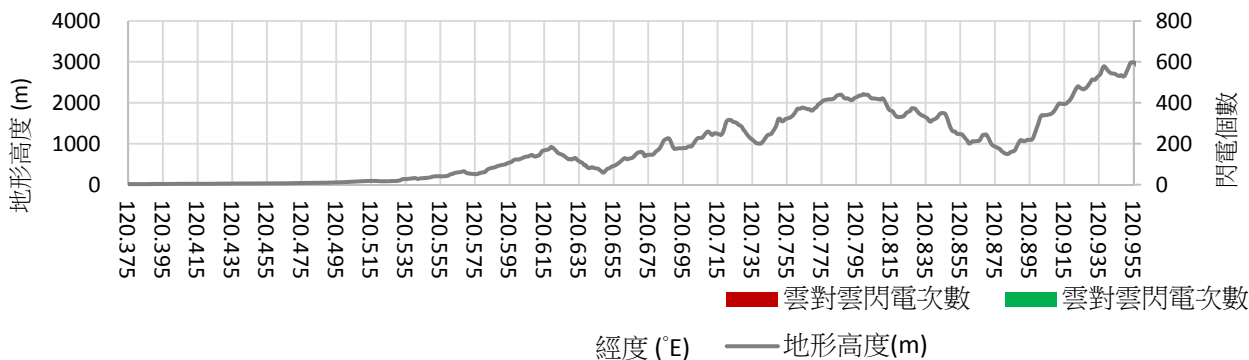


圖 7：22.5°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

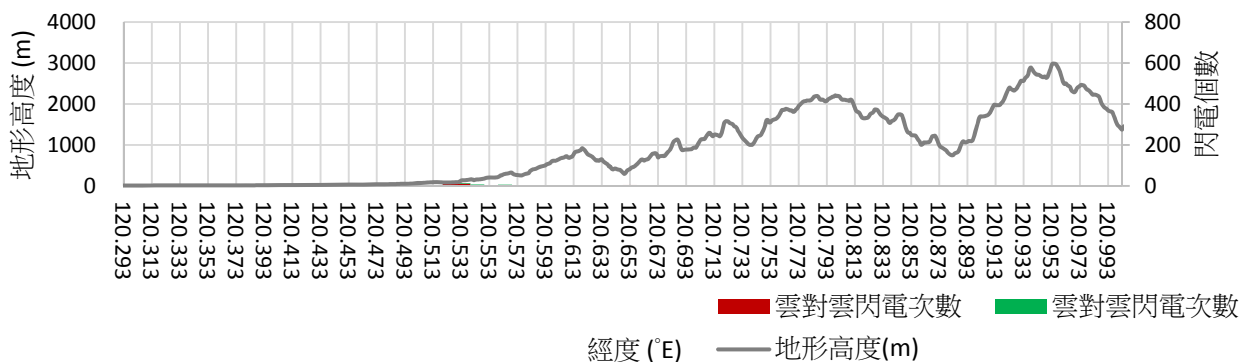


圖 8：22.6°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

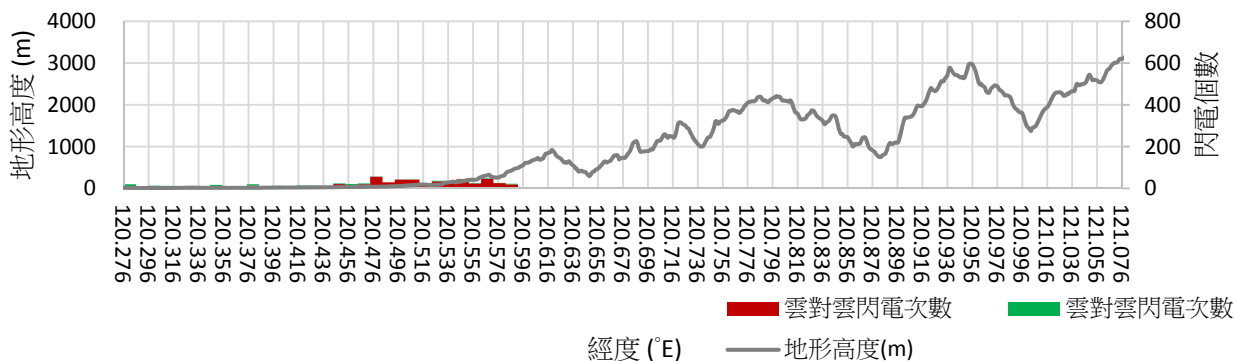


圖 9：22.7°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

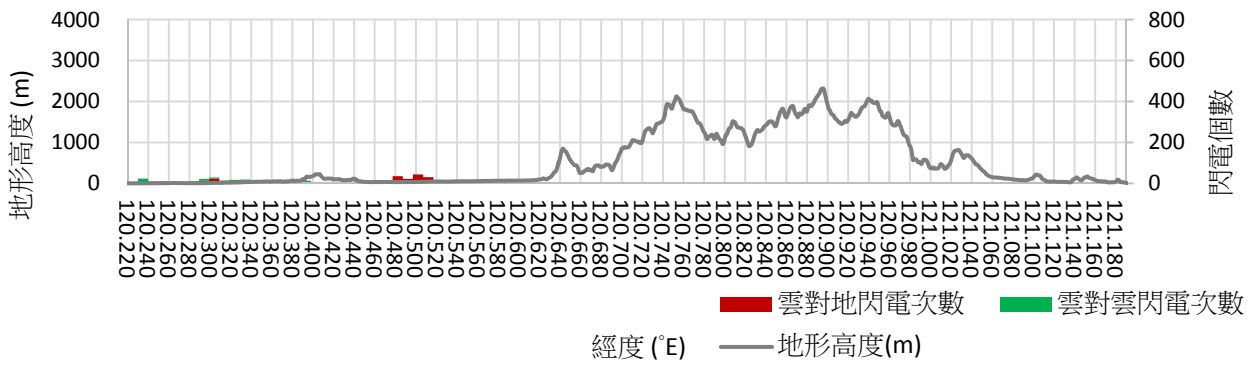


圖 10：22.8°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

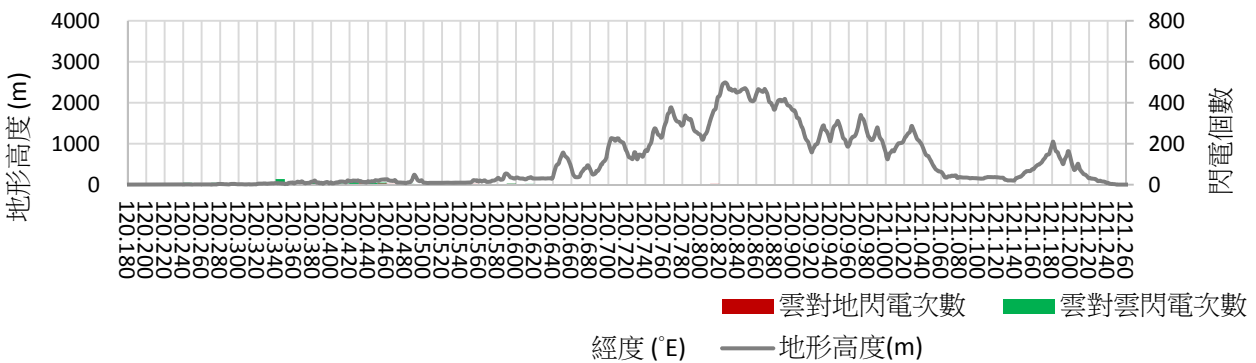


圖 11：22.9°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

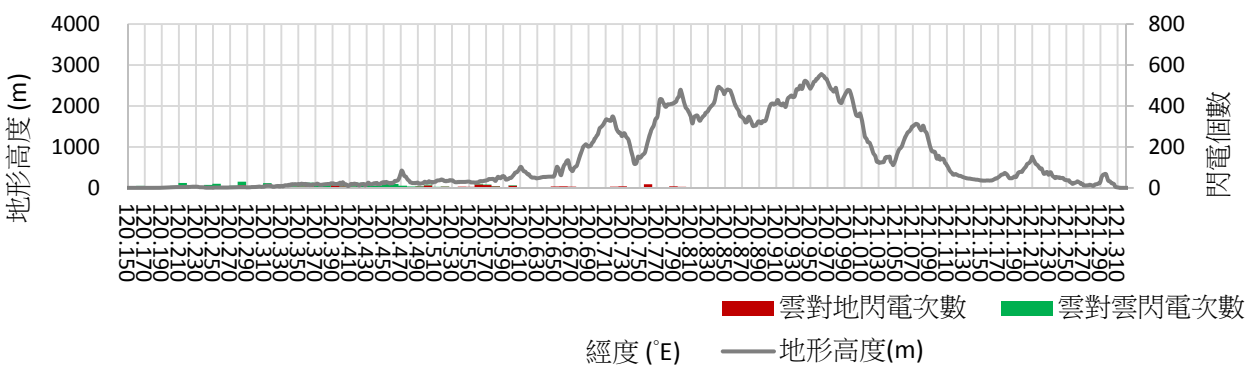


圖 12：23.0°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

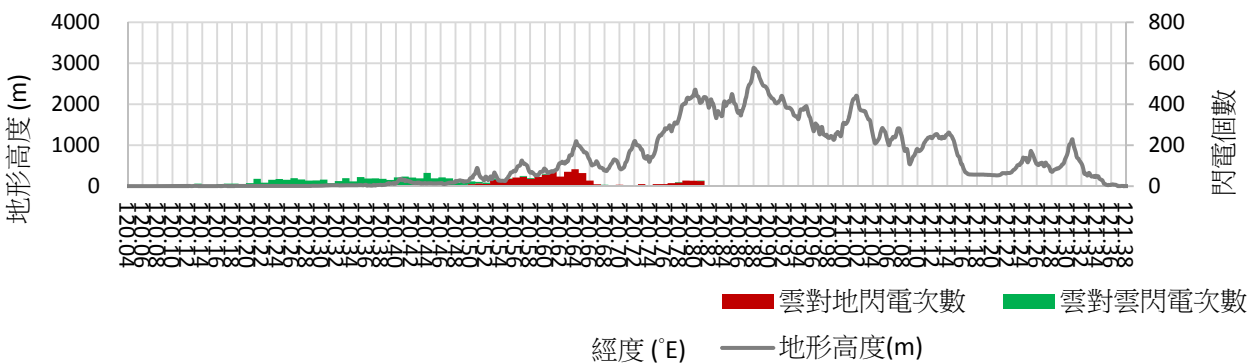


圖 13：23.1°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

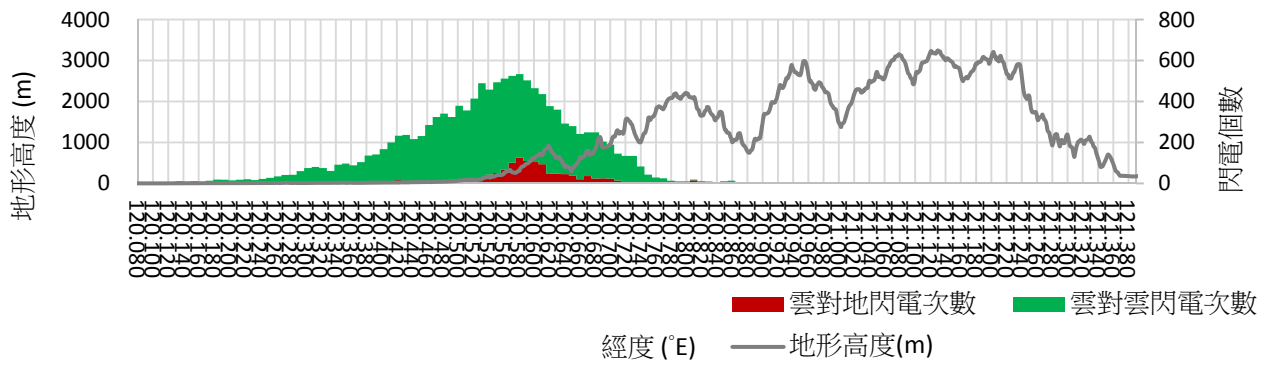


圖 14：23.2°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

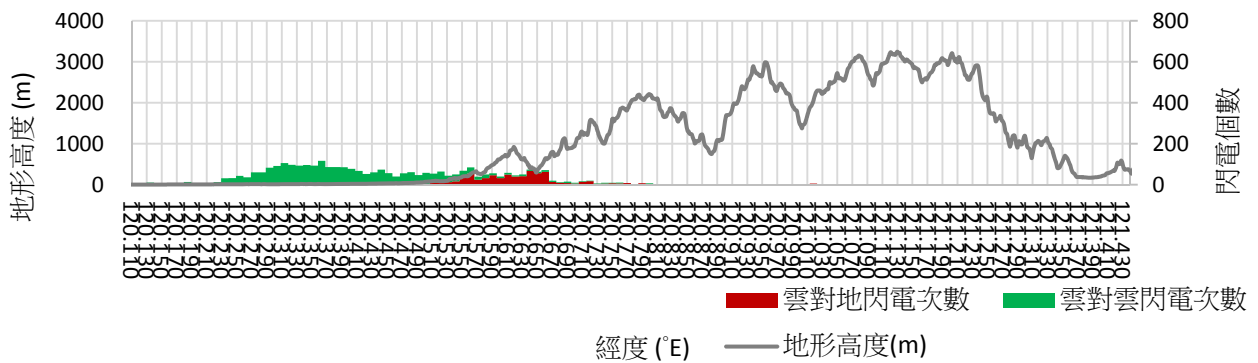


圖 15：23.3°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

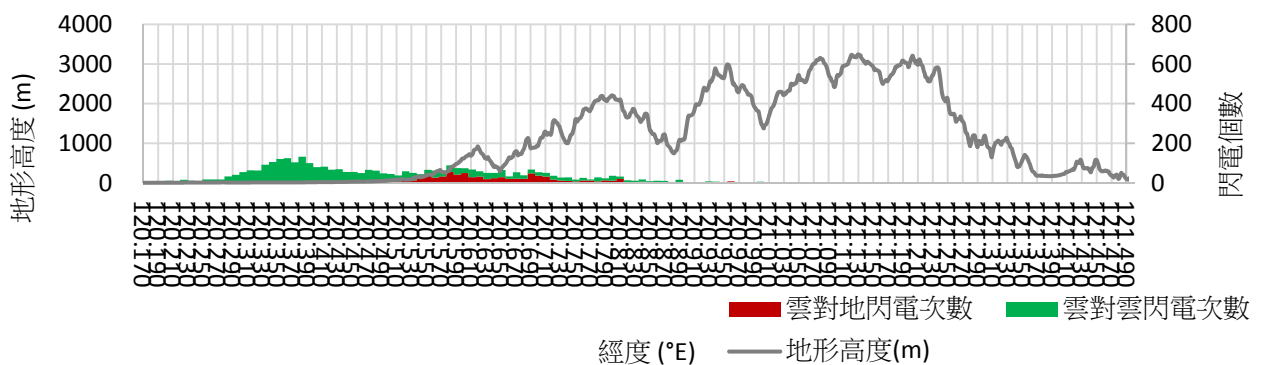


圖 16：23.4°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

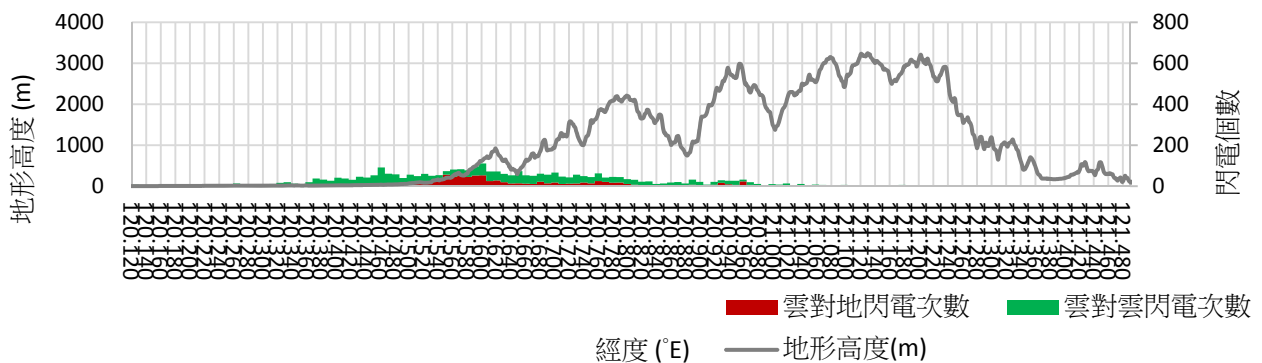


圖 17：23.5°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

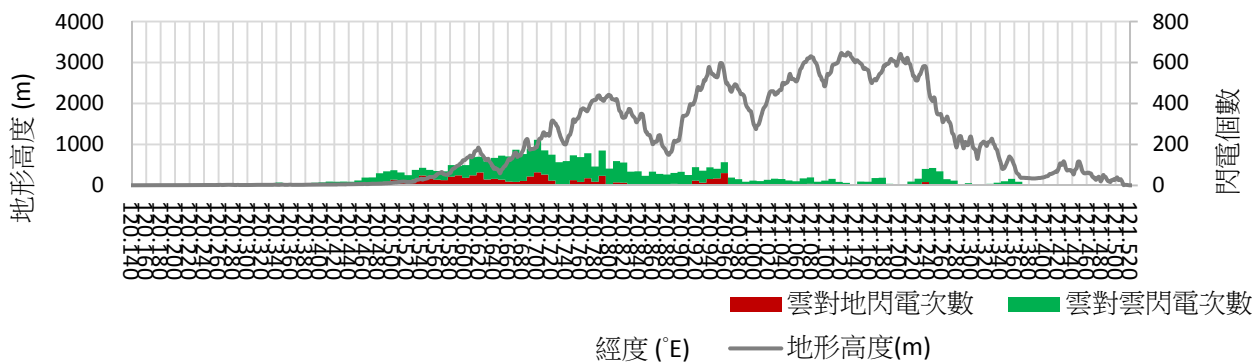


圖 18：23.6°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

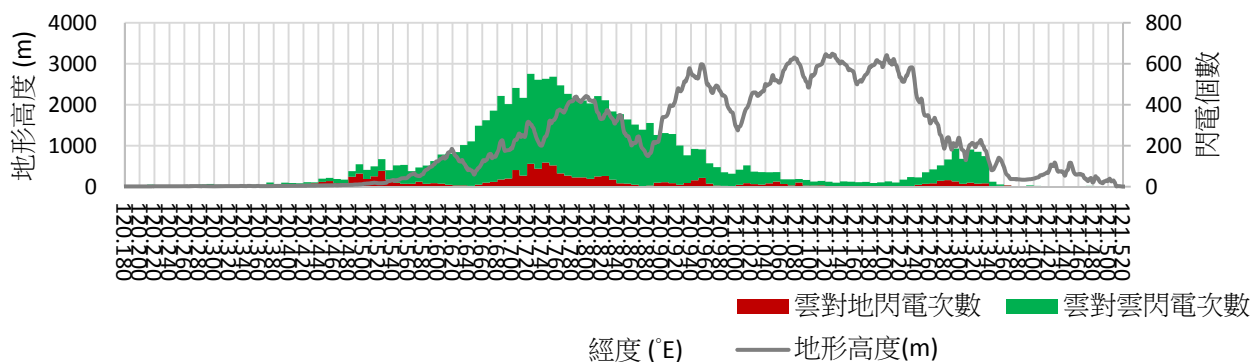


圖 19：23.7°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

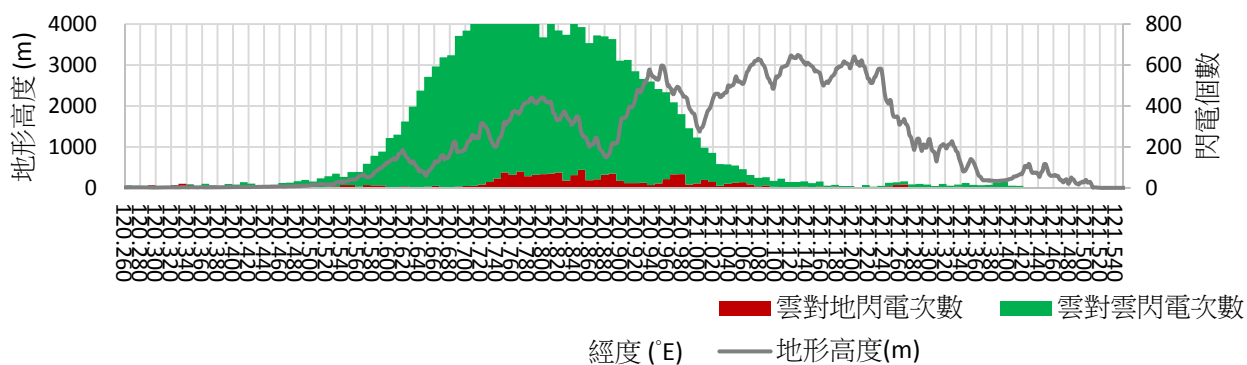


圖 20：23.8°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

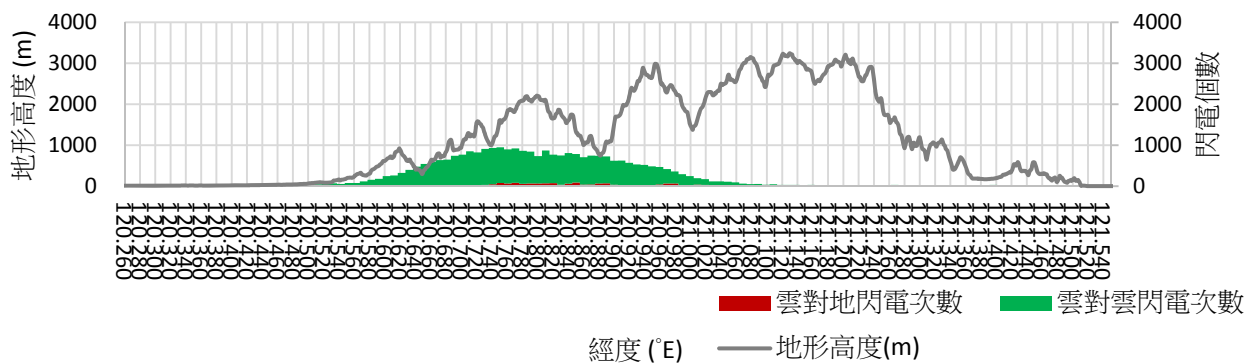


圖 21：23.8°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

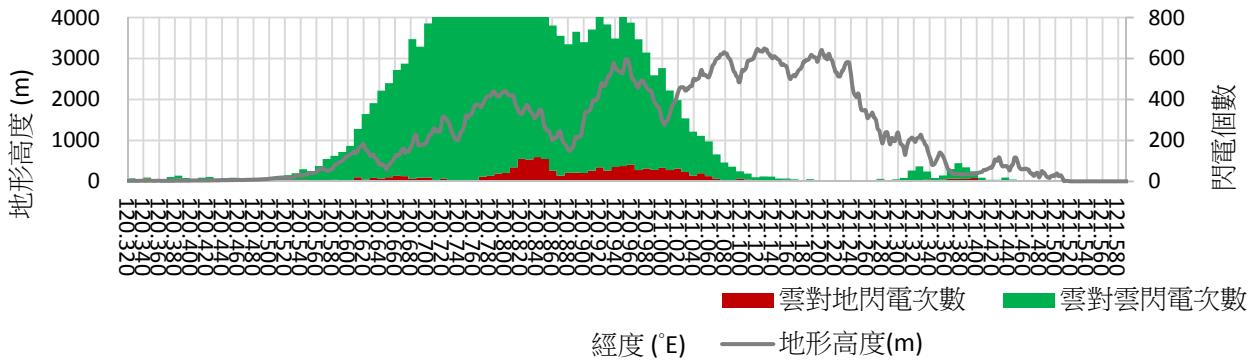


圖 22：23.9°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

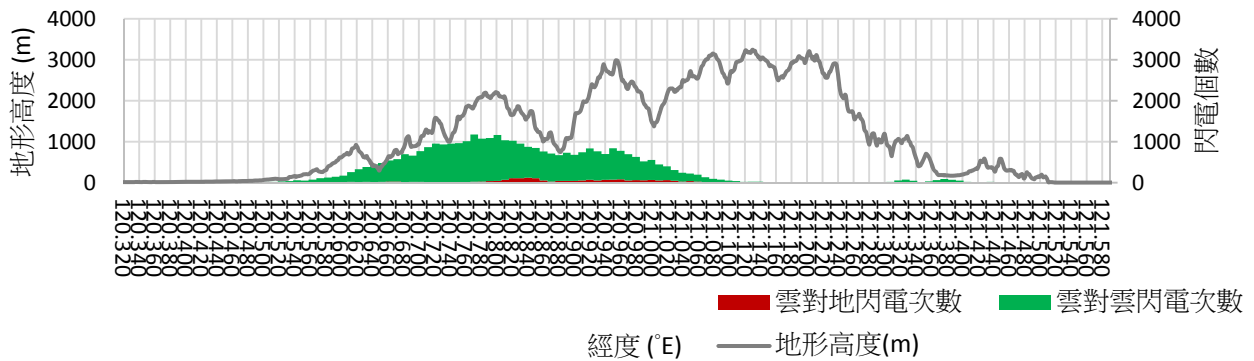


圖 23：23.9°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

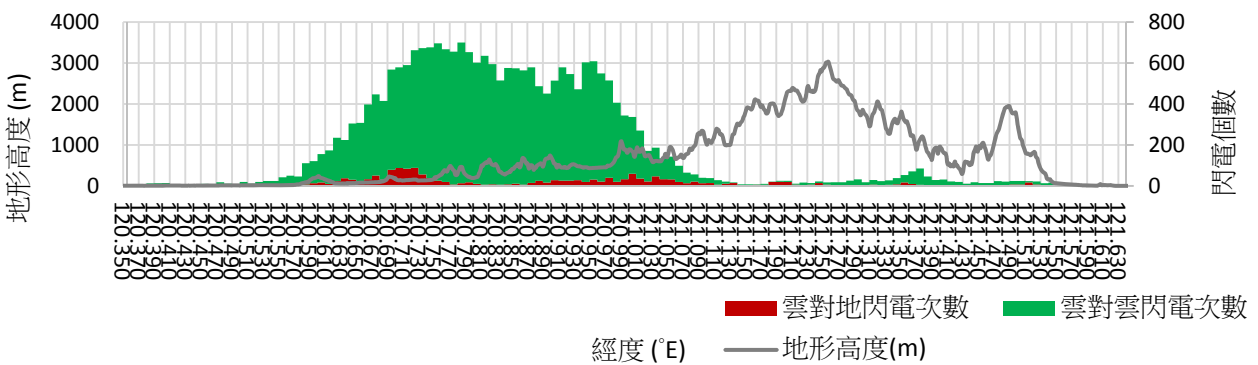


圖 24：24.0°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

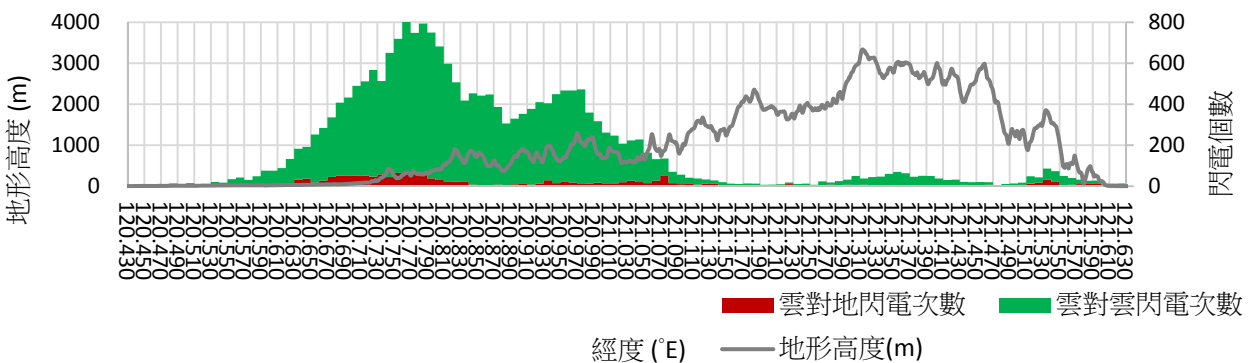


圖 25：24.1°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

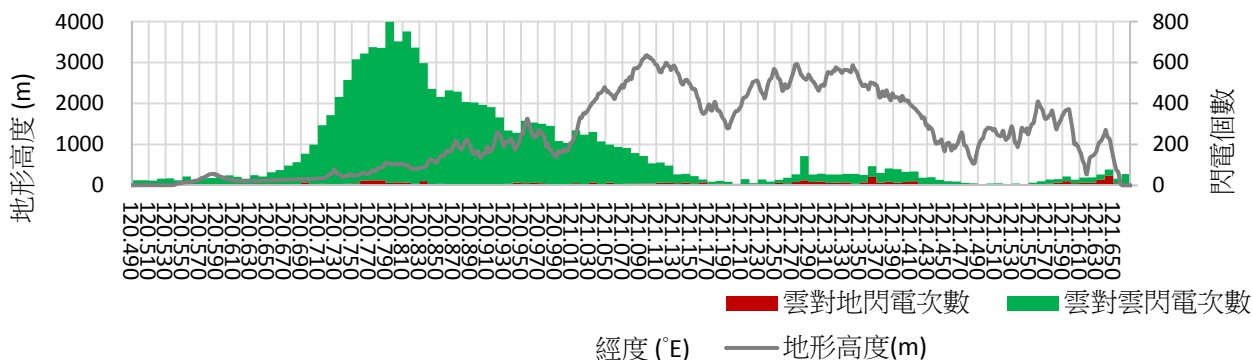


圖 26：24.2°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

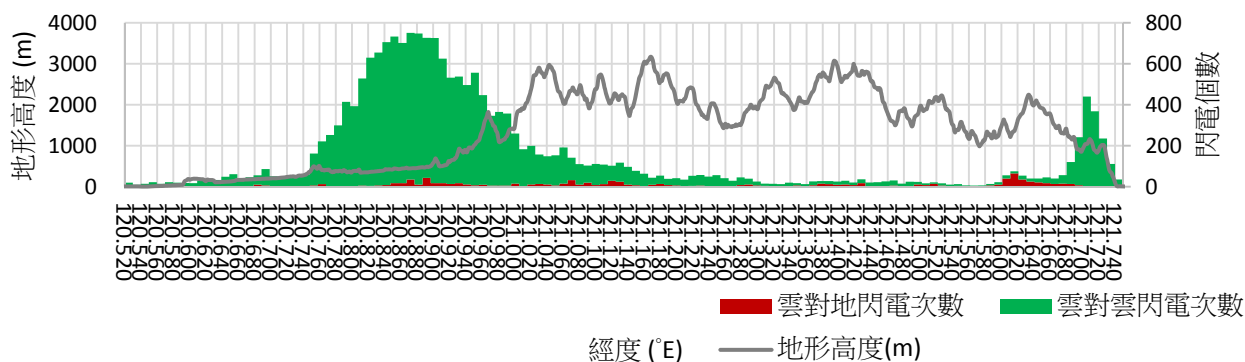


圖 27：24.3°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

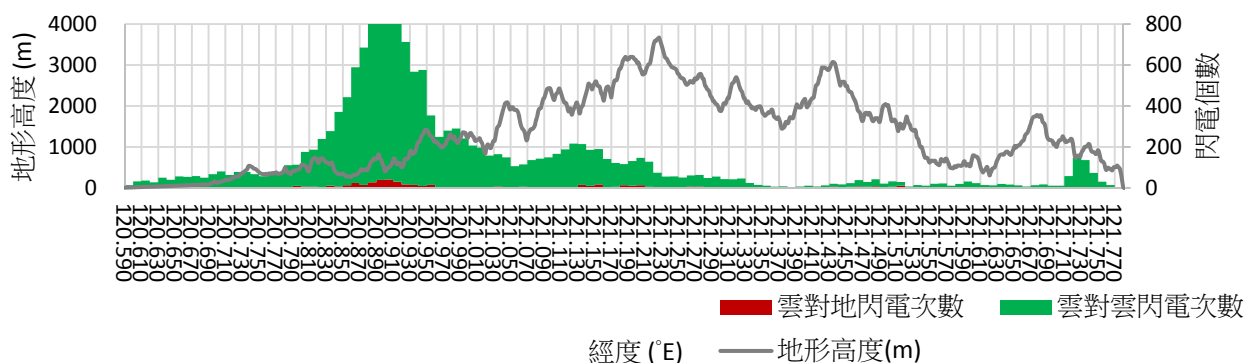


圖 28：24.4°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

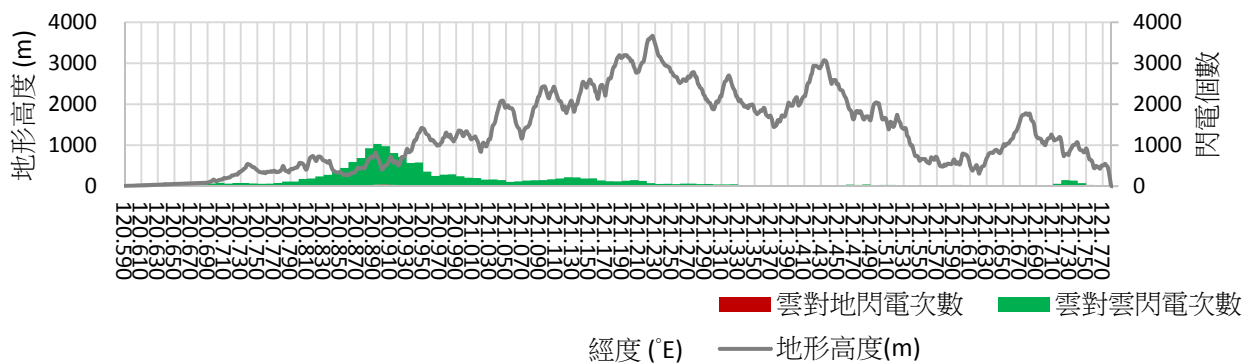


圖 29：24.4°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布疊圖。

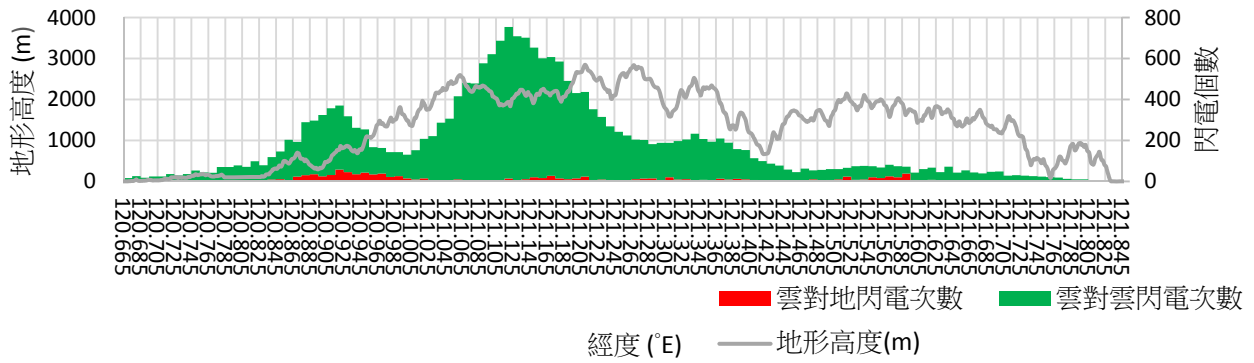


圖 30：24.5°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

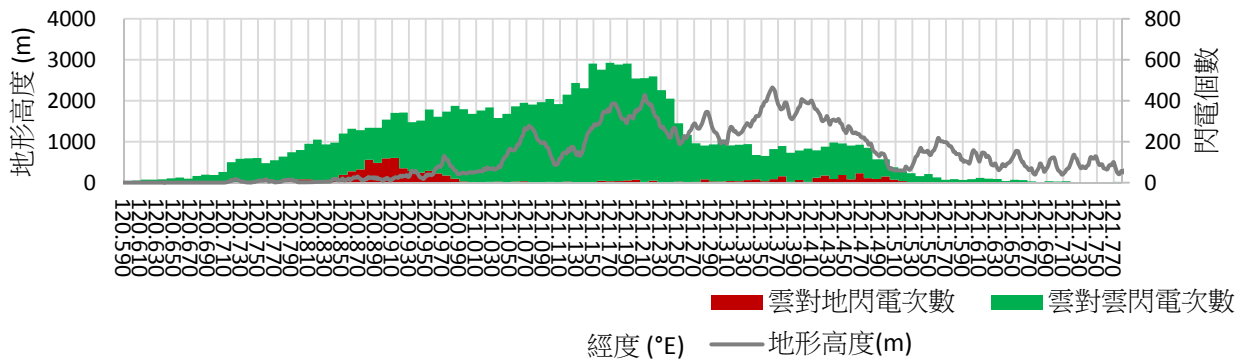


圖 31：24.6°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

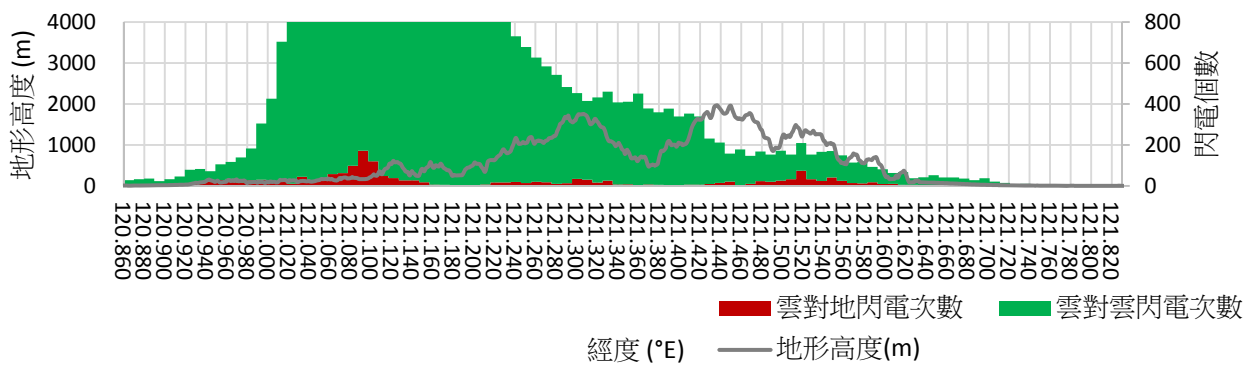


圖 32：24.7°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

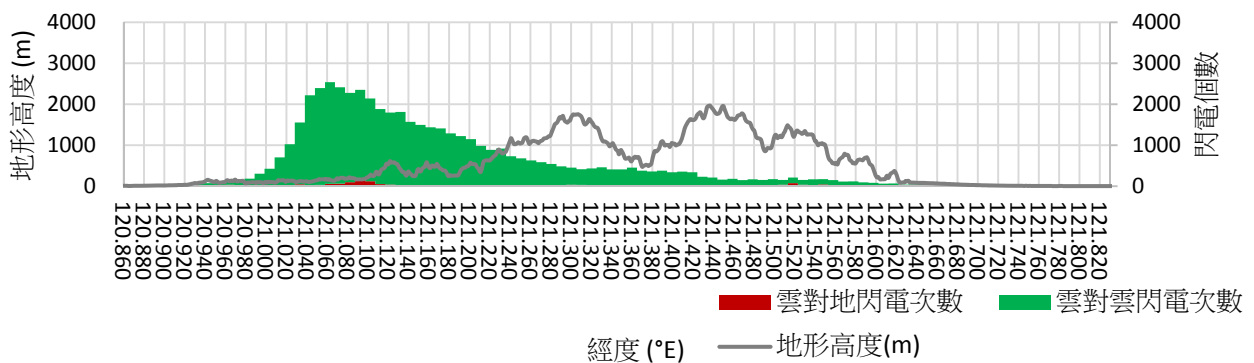


圖 33：24.7°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

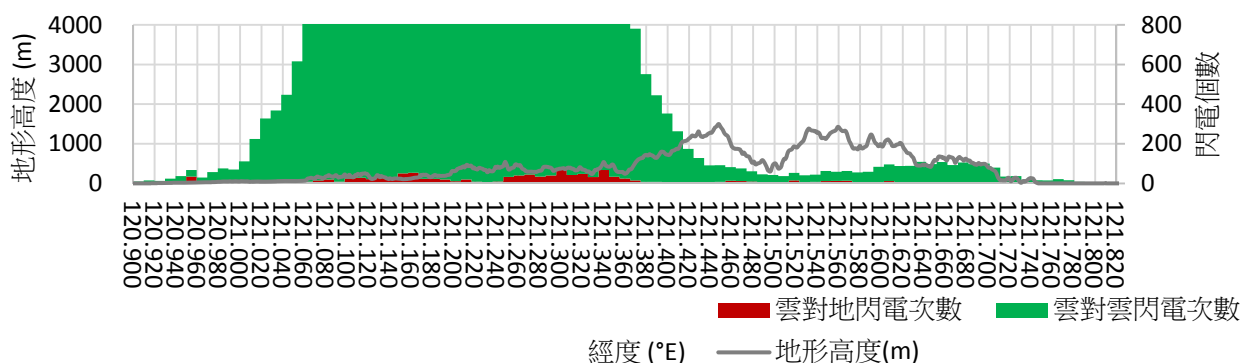


圖 34：24.8°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

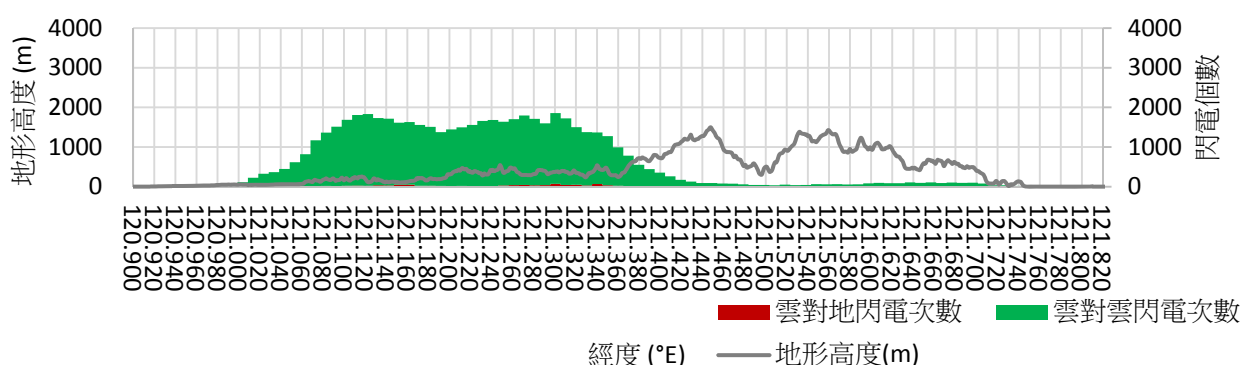


圖 35：24.8°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

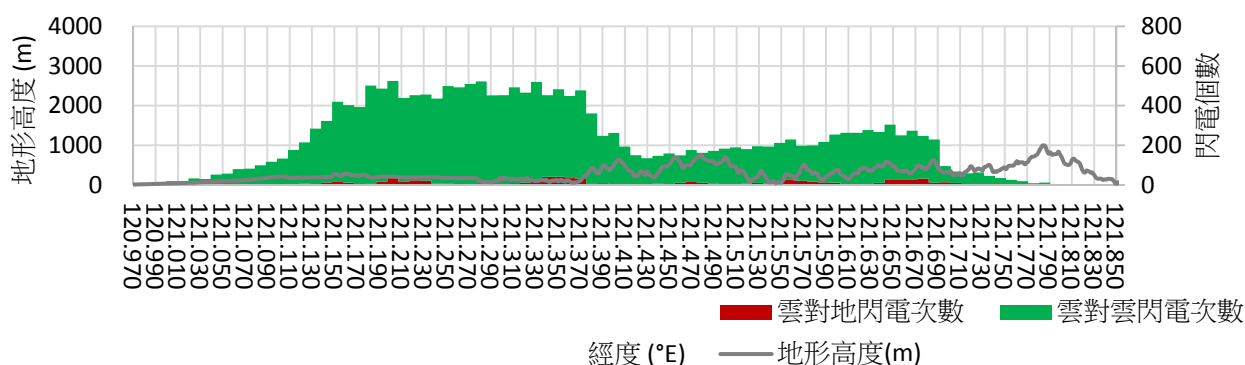


圖 36：24.9°N 雲對雲閃電次數及雲對地閃電次數五日總量分布圖。

二、不同地區的閃電次數統計

緯度越高的地區，雲對雲閃電次數越多；反之，緯度越低的地區，雲對地閃電次數較多。而中央山脈以東的區域則幾乎沒有閃電的分布。為了清楚顯示閃電的分布區域與地形、地物之間的關連性，我們以下把台灣西半部分為雪山山脈（120.99°E-121.39°E、24.49°N-24.91°N，包含桃園、新竹地區）、埔里盆地（120.60°E-121.00°E、23.69°N-24.11°N，包含台中、南投地區）、嘉南平原（120.22°E-120.62°E、23.09°N-23.51°N，包含嘉義、台南地區）、以及高屏谷地（120.29°E-120.69°E、22.49°N-22.91°N，包含高雄、屏東地區）等 4 個地區進行討論。

雪山地區之雲對雲閃電主要分布於新竹縣九讚頭及竹東地區，由油羅溪分布之山區延伸至平原區頭前溪之流域。雲對地閃電則主要集中於頭前溪流流域、被兩邊山區包圍之谷地，一路向西南順著雪山山脈的西側斜坡延伸至苗栗縣南庄鄉，中港溪之流域，在石門水庫附近地區也有較多數量分布的現象。雲對雲閃電其分布與集中範圍較雲對地閃電閃電而言較廣，雲對地閃電集中範圍及分布範圍則相對均小許多。且雲對雲閃電次數極多，在 5 天的總數量上最多達約 2500 個以上，雲對地閃電次數相對較少，最多達到約 180 個以上，兩者的差距可達 15 倍之多（圖 37）。

埔里盆地的雲對雲閃電與雲對地閃電之集中處有所不同。雲對雲閃電的分布範圍主要集中於南投縣名間鄉，濁水溪自山區流至平原區之交界處（圖 38）；雲對地閃電分布則位於南投縣之大肚溪流域及濁水溪流域，集中地區為集集大山及南投縣鹿谷鄉地區，此兩處分別位於濁水溪與北勢溪流域（圖 38），其餘地區之雲對雲閃電及雲對地閃電次數則趨近於 0。兩者閃電次數之數量差異大，雲對雲閃電與雲對地閃電之最大值差距可到達 10 倍之多（圖 38）。此外，日月潭地區（圖 38 右下圖偏東的黃色小區域）相較於埔里盆地區域（圖 38 右下圖日月潭以北的大片藍色區域）有較高的雲對地閃電分布，而且烏溪以北與集集大山以南的地區在西部麓山帶的西側斜坡到平原之間的丘陵地區同樣也有較高的雲對地閃電分布（圖 38）。

嘉南平原地區之雲對雲閃電次數分布地區極廣，由嘉南平原一路向東延伸至烏山頭水庫所位於之丘陵區，集中地區則分別位於台南市山區的曾文溪流域周遭及台南市、嘉義市平原區的八掌溪流域之範圍（圖 39）。雲對地閃電的分布範圍相對雲對雲閃電而言顯得狹長，位 120.60°E 左右並介於 23.1°N 及 23.5°N 之間烏山山區地帶，集中範圍則位於南化水庫（圖 39 右圖下東南方橘黃色小區域）、曾文水庫（圖 39 右圖下東北方、南化水庫以北一小塊黃色的區域）與曾文溪流域所位於之山區（圖 39），其餘地區之雲對雲閃電及雲對地閃電次數趨近於 0，但雲對雲閃電次數與雲對地閃電次數差距雪山山脈及埔里盆地而言極小，兩者閃電次數最大值差距則小於 30 個（圖 39）。

高屏谷地地區之雲對雲閃電分布範圍在高雄市平原地帶，集中範圍為高雄市新左營地區之半屏山與旗山山脈之間及台南市關廟區之二仁溪與安保溪流經處（圖 40）。雲對地閃電之分布範圍位於屏東縣與高雄市交界，位於旗山山脈與中央山脈南段之間，為二重溪與荖濃溪流域，主要集中於高雄縣旗山山脈高屏溪自山區流至平原區之交界處，與屏東縣之平原區（圖 40）。其餘地區之雲對雲閃電及雲對地閃電次數趨近於 0，此地區雲對雲閃電次數相較雲對地閃電的次數而言極少，兩者最大值最多可達到相差 4 倍之多（圖 40）。

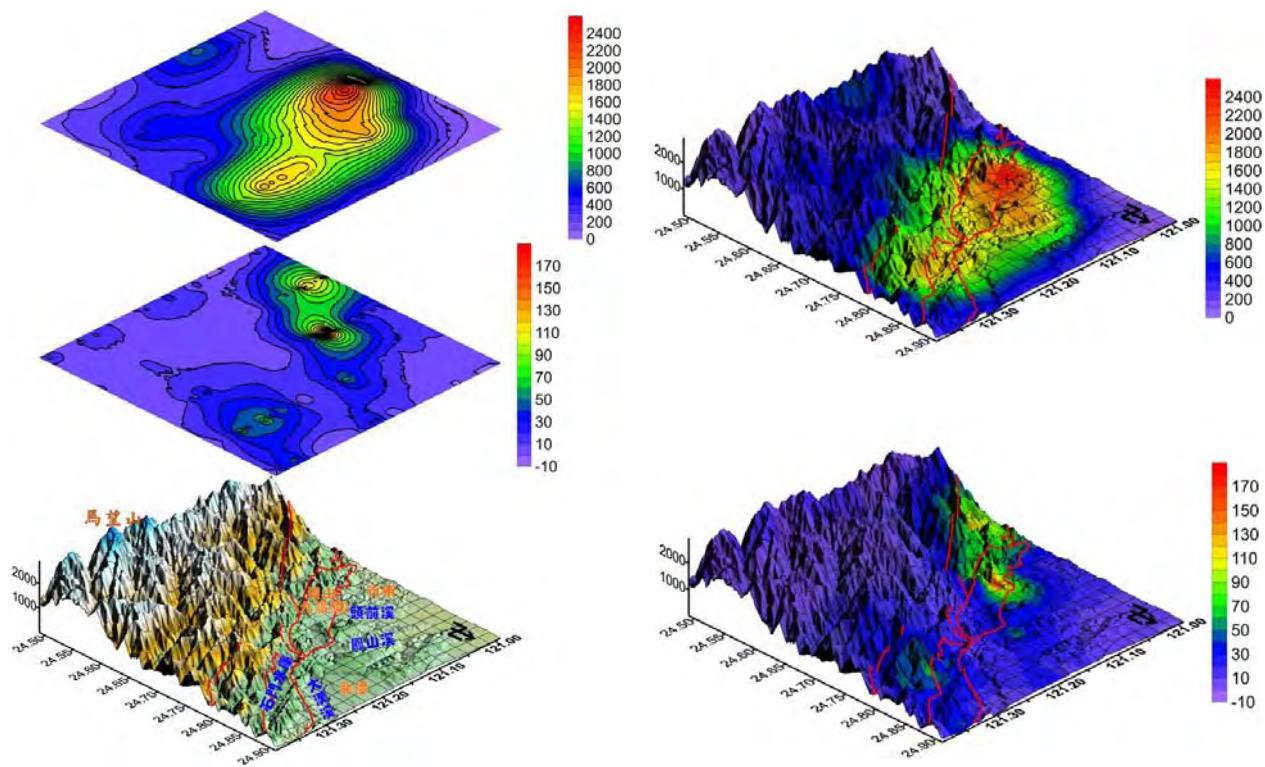


圖 37:雪山山脈地區雲對雲及雲對地閃電五日總量分布圖。右上圖為雲對雲閃電與地形套疊、右下圖為雲對地閃電與地形套疊。紅色線為台電南北超高壓輸配電線分布的位置。

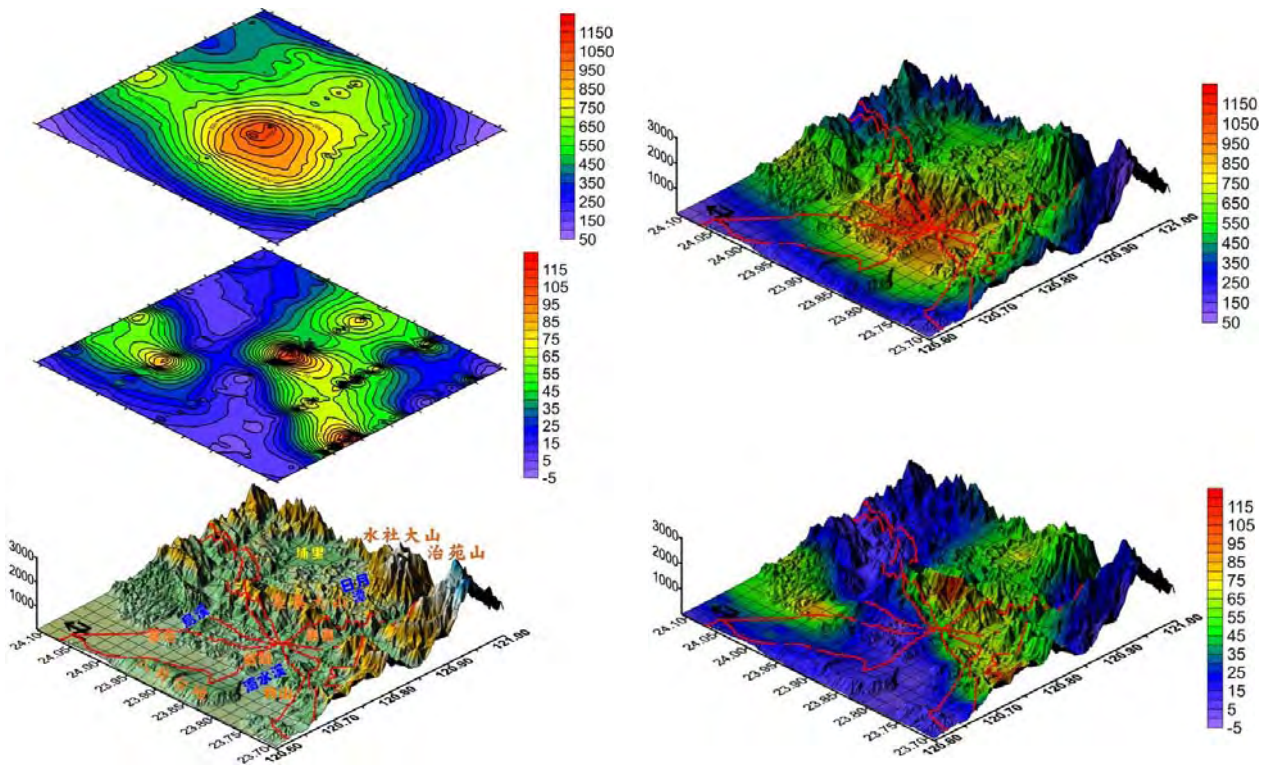


圖 38:埔里盆地地區雲對雲及雲對地閃電五日總量分布圖。右上圖為雲對雲閃電與地形套疊、右下圖為雲對地閃電與地形套疊。紅色線為台電南北超高壓輸配電線分布的位置。

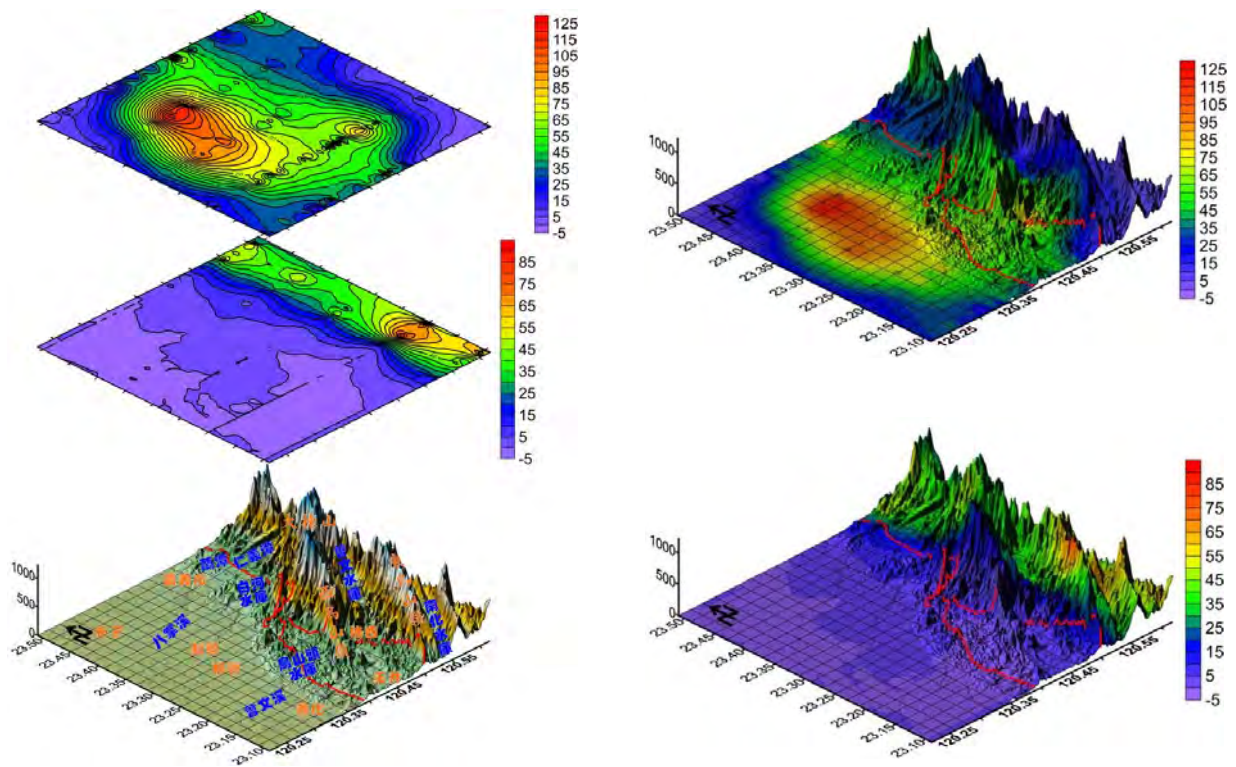


圖 39: 嘉南平原地區雲對雲及雲對地閃電五日總量分布圖。右上圖為雲對雲閃電與地形套疊、右下圖為雲對地閃電與地形套疊。紅色線為台電南北超高壓輸配電線分布的位置。

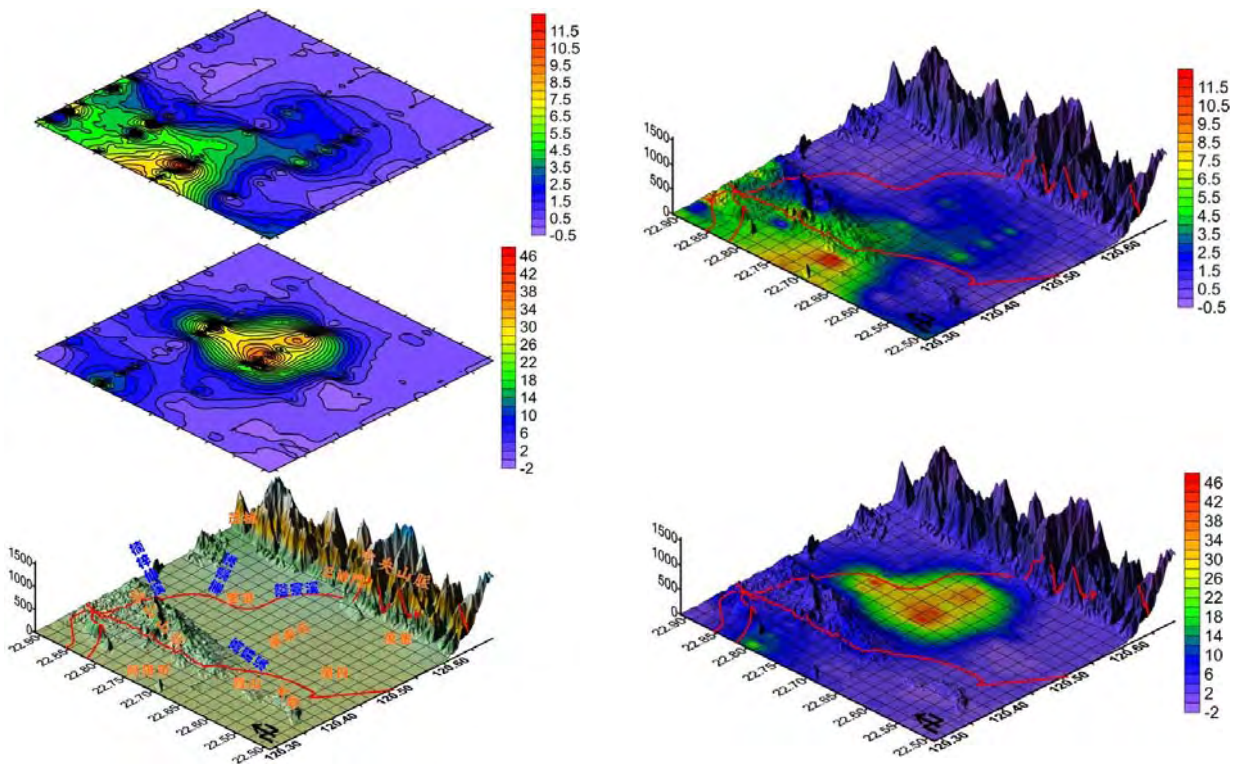


圖 40: 高屏平原地區雲對雲及雲對地閃電五日總量分布圖。右上圖為雲對雲閃電與地形套疊、右下突圍雲對地閃電與地形套疊。紅色線為台電南北超高壓輸配電線分布的位置。

陸、討論

一、閃電發生與地形剖面特性

分析圖 7 至圖 36 的閃電發生數量資料，閃電發生的位置集中在山脈的西側斜坡上，如：中央山脈、雪山山脈等。在雲對雲閃電的分布上，閃電多集中在高度 100-400 m 的地區，當高度超過 500 m 時閃電數量便逐漸下降，此一結果與戴志輝等人（2008）在台灣北部的閃電研究所得之結論相同；若以雲對地閃電而言，約略以 23.5°N 為界，以南地區的雲對地閃電數量佔該緯度閃電總數的比例較高，以北則雲對雲閃電數量所佔比例較高。此一現象可能與 23.5°N 以北開始依序有八卦台地、龍井台地、苗栗丘陵、新竹丘陵、雪山山脈等高地分布，此地形的分布可能破壞對流胞近地發育的歷程，造成 23.5°N 以北因較少空曠的區域對流胞及雲對地閃電的發發不利。由雲對地閃電數量分布最高處而言，除 23.0°N 以南為平原區以外，其餘絕大多數位在坡度 11%-15% 的斜坡上，與陳文山（2015）提出西部麓山帶的平均坡度角在 20°-40° 之間（換算坡度約為 36%-84%）的說法相比較，本研究中之雲對地閃電最集中地區屬麓山帶的前緣地帶，地形上是平原與山地的交界處。此一結果與林熹閔與郭鴻基（1996）、林品芳等人（2012）提到的對流胞和降雨會發生在中央山脈西側的斜坡、且與山脈走向約略平行的結論一致。顯而易見地，地形對閃電發生的位置是一項主要的控因。

二、閃電發生與地形地貌（3 維）的特性

3 維地形與閃電數量分布圖可明顯地看出地形與閃電分布的關係。分析圖 37 至圖 40，雪山山脈的雲對地閃電分布於由兩邊山區包圍之谷地，往西南順山脈西側斜坡延伸（圖 37）。埔里盆地則以盆地西緣的山峰為最集中處，往東延續至日月潭附近，往南明顯分布於山峰西側的斜坡（圖 38）；烏溪以北的山脈西側斜坡亦有另一組雲對地閃電密集帶。嘉南地區則明顯集中在中央山脈的西側斜坡上，顯而易見山脈的高度是造成對流胞發育的重要因子（圖 39）。高屏谷地則集中在由旗山山脈和中央山脈所包夾形成的由南向北收束之谷地上（圖 40）。

埔里盆地地區依雲對地閃電落雷時間圖（圖 41），左下角至右上角中間處為空白，代表此地區之雲對地閃電落雷次數趨近於 0，其餘地點落雷次數與時間大多呈散狀分布。我們推測圖中之空白區域，乃因上升氣流於集集大山及南投縣鹿谷鄉地區此兩處形成與發展成雲，卻受到山區地形之阻隔，因此此山區缺少上升氣流之形成，雲量偏少，落雷數也趨近於 0。

將嘉南地區雲對雲閃電分成 6 個時段，並在閃電發生位置標上記號（圖 42），比對後我們發現閃電發生位置會隨時間往西推進，且雲對地閃電都聚集在嘉南平原東側接近山區的地方，這和林熹閔與郭鴻基（1996）所說，山坡地是對流輻合區，所以降雨與閃電會集中於山坡地附近互相呼應。且符合陳家琦等人（2005）的研究結果中認為嘉南斜坡上的閃電發生時序會由東向西移動的結論。

在高屏谷地中，雲對雲閃電大多發生 120.3°E-120.45°E 高度約 100-200 m 的斜坡上，離開斜坡進入高屏凹槽後數量便開始減少，進入中央山脈南段（120.6°E）因地形增高使數量迅速下降（圖 43），由此可知閃電多集中在平緩斜坡上而並非平地或陡峭的中央山脈，由此我們推測斜坡利於閃電的發生，因此斜坡上的閃電發生時間較長，且當時間越晚、同時閃電數量減少時，閃電越不會發生在平地而是停留在斜坡上，直到下午 6 點以後完全沒有雲對雲與雲對地閃電。而雲對地閃電下午 2:00-3:00 只停留在旗山山脈斜坡帶上並沒有進入高屏谷地，直到下午 3:00 在接近中央山脈南段（120.58°E）的斜坡上逐漸出現閃電，之後的雲對地閃電也都很少發生在高屏谷地，大多發生在兩側斜坡上，不論是雲對雲還是雲對地閃電的研究都符合陳家琦等人（2005）的研究結果：午後對流最強處多在高度 100-200 m 地區。

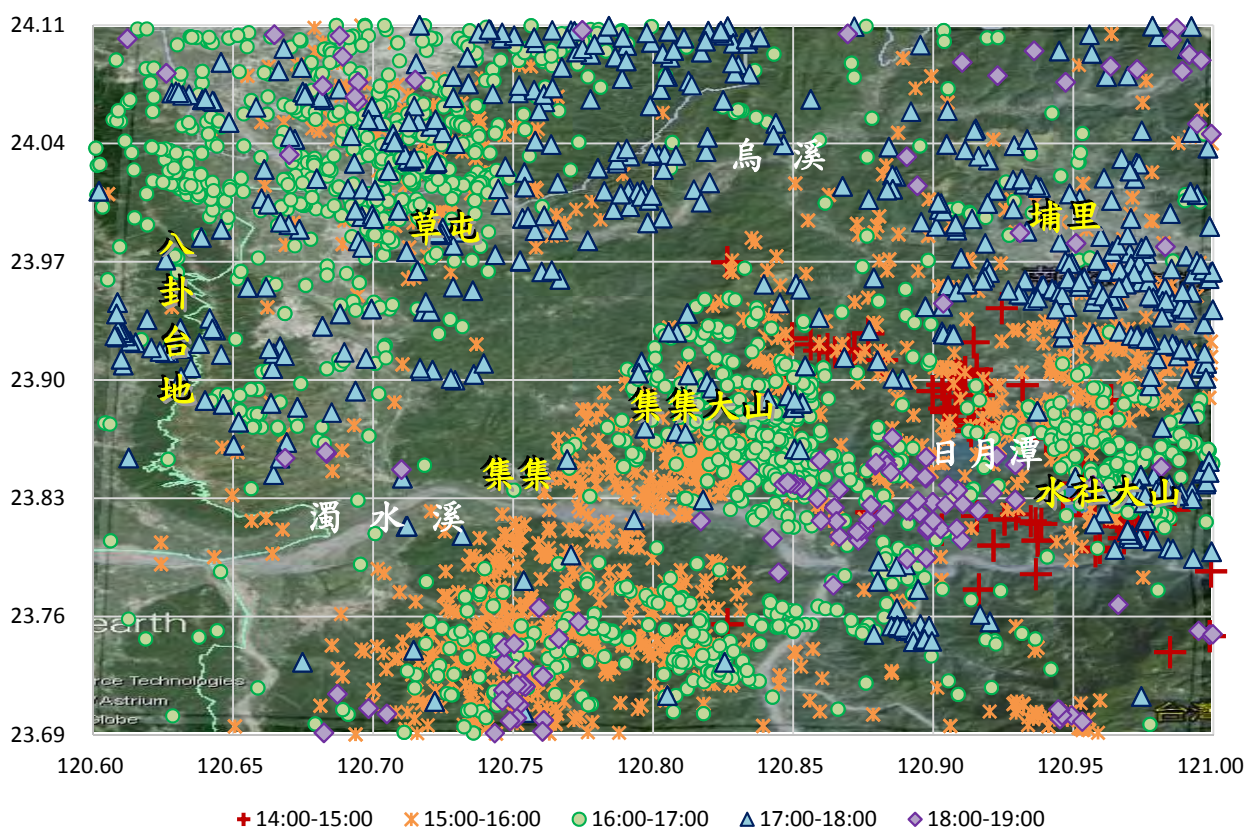


圖 41：埔里盆地地區雲對地閃電發生時間序列。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

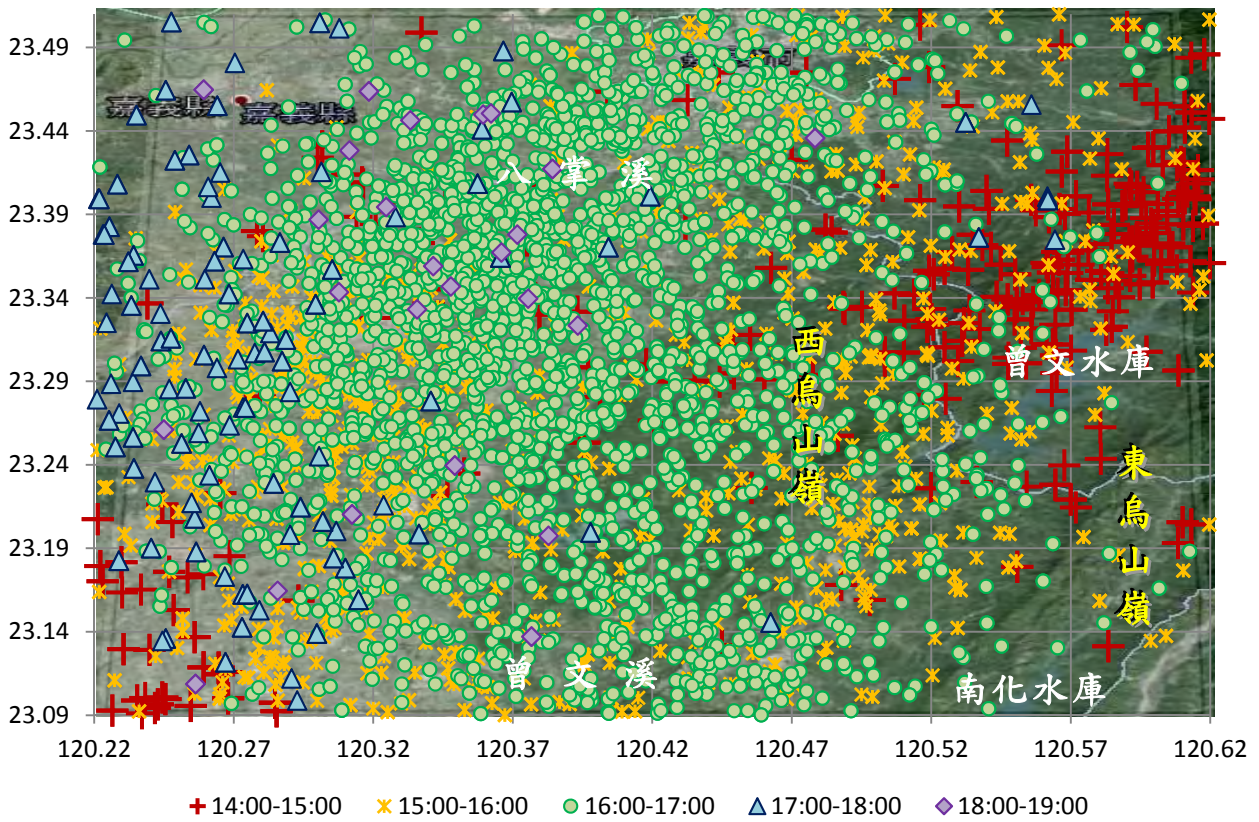


圖 42：嘉南平原地區雲對雲閃電發生時間序列。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

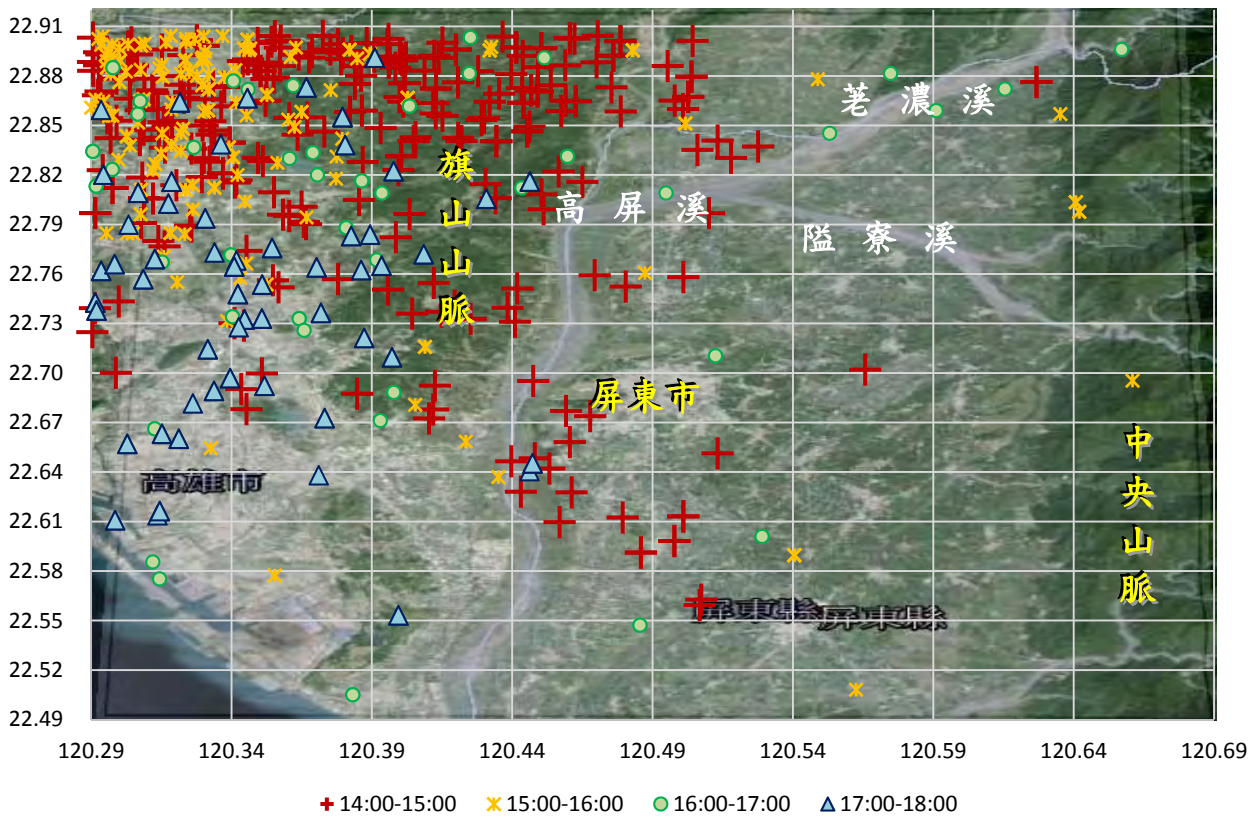


圖 43：高屏谷地地區雲對雲閃電發生時間序列。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

三、閃電發生地點與地面地物是否有正相關

石門水庫的雲對地閃電大多發生在水庫附近 1-2 km 的谷地周遭山坡上，只有少許的閃電發生在水面上(圖 44)。日月潭是一個中間凹陷的谷地，閃電多發生在周圍不到 1 km 的地方，緊鄰湖泊沿岸分布，很少有閃電發生在潭面上(圖 45)。曾文水庫有較多的雲對地閃電發生在水面上，除此之外在水庫東側的斜坡較西側有較多的閃電發生(圖 46)。南化水庫雲對地閃電大多分布在水庫的東側，湖面上也有少許的雲對地閃電(圖 47)。烏山頭水庫周圍 3 km 內則完全沒有雲對地閃電(圖 48)，烏山頭為一較平坦的地區，我們推測可能因為沒有受到地形抬升的影響，導致該地沒有明顯對流胞發育，致使沒有閃電的發生。澄清湖也是一個西側平坦的地形，因此雲對地的閃電的數量較少且湖面上完全沒有閃電發生，雲對地閃電多發生在湖邊東北方由平原進入旗山山脈南段的地方(圖 49)。

由圖 44 到圖 47 的散佈圖更可以明顯的看到四個大型水體的周圍都有雲對地閃電的發生，且發生的地點深受地形影響，而圖 48 和圖 49 烏山頭水庫和澄清湖雲對地閃電數量明顯較少甚至沒有閃電，這也是受到地形影響。烏山頭水庫和澄清湖地形平坦不適合對流胞的發育、乃至於閃電的生成，但是澄清湖東北方為旗山山脈南段，因此由平原進入山區的斜坡上略有閃電，綜觀以上敘述主要控制閃電發生的仍是地形。

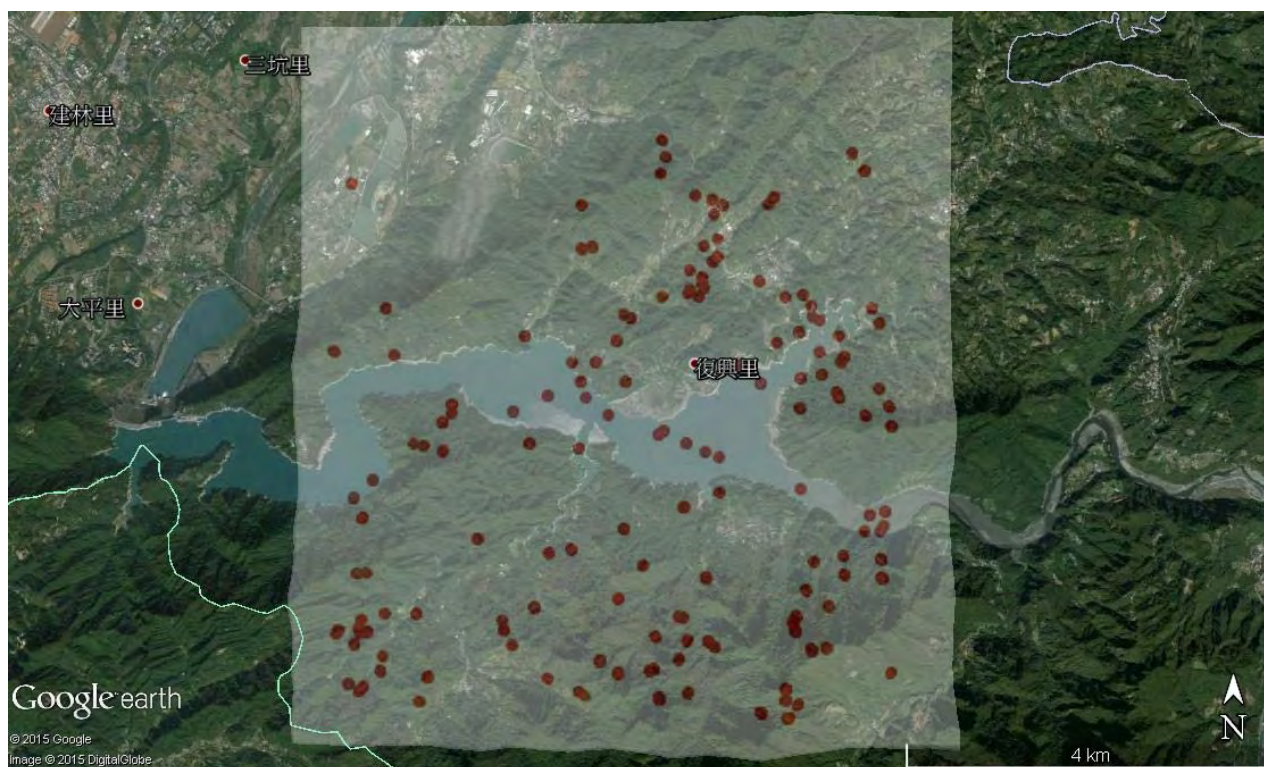


圖 44：石門水庫雲對地閃電分布圖。紅點為雲對地閃電事件，白色遮罩為取樣範圍，底圖取自 Google Earth。



圖 45：日月潭地區雲對地閃電分布圖。紅點為雲對地閃電事件，白色遮罩為取樣範圍，底圖取自 Google Earth。

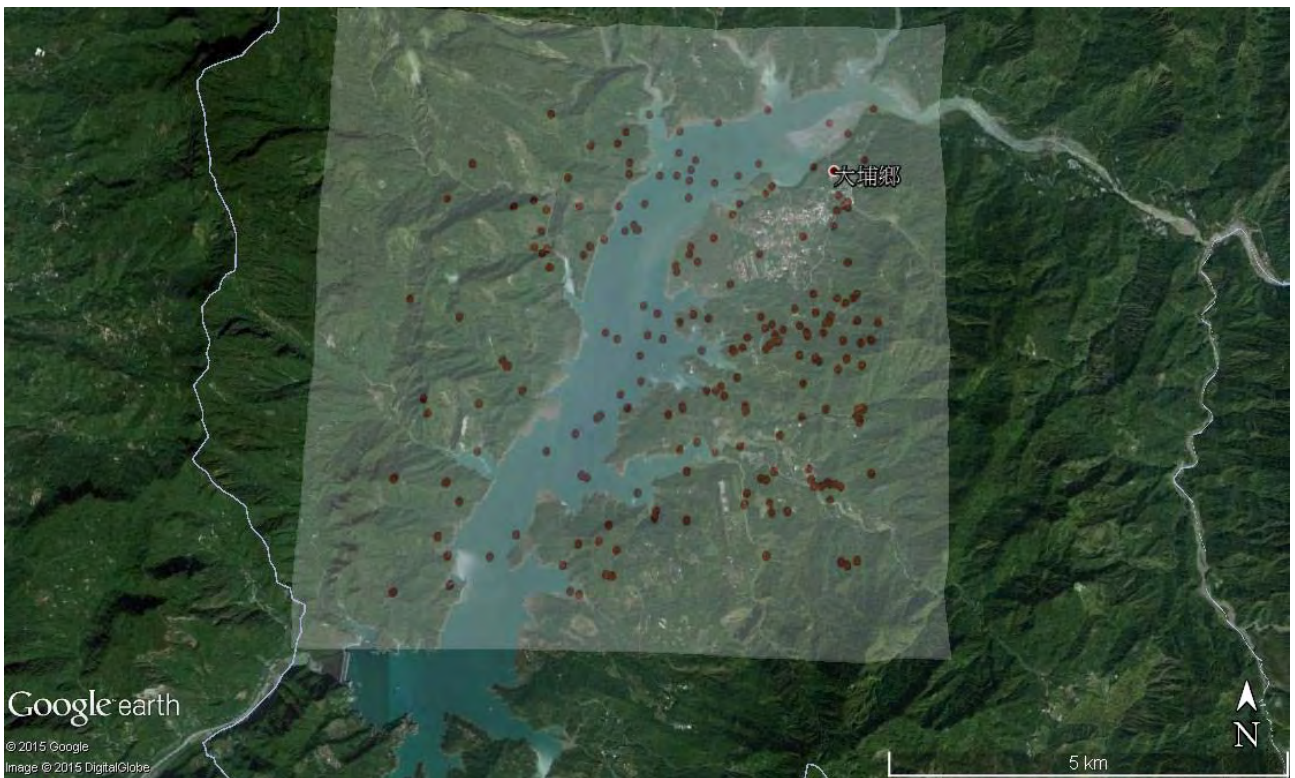


圖 46：曾文水庫雲對地閃電分布圖。紅點為雲對地閃電事件，白色遮罩為取樣範圍，底圖取自 Google Earth。



圖 47：南化水庫雲對地閃電分布圖。紅點為雲對地閃電事件，白色遮罩為取樣範圍，底圖取自 Google Earth。



圖 48：烏山頭水庫雲對地閃電分布圖。本地區無雲對地閃電分布，底圖取自 Google Earth。



圖 49：澄清湖地區雲對地閃電分布圖。紅點為雲對地閃電事件，白色遮罩為取樣範圍，底圖取自 Google Earth。

四、超高壓電塔是否對閃電有誘集效應

午後對流發育所伴隨的閃電發生地點之關連性討論上，由嘉南平原地區雲對雲閃電發生時間序列來看（圖 42），不論雲對地閃電或是雲對雲閃電，其發展的時間與地點就是典型午後對流發展的時序過程（陳家琦等人，2005），閃電開始發育的分布地點均集中於中央山脈西側、屬於西部麓山帶的斜坡上（見圖 39），爾後才推移至平原區與台灣海峽處。而雪山山脈地區雲對雲及雲對地閃電的五日總量與地形相套疊（圖 37），也顯示閃電受地形效應的影響而集中在進入山區斜坡上，其開始發生的地點不超過高度 500 m，同樣屬於西部麓山帶地質區內。在埔里盆地地區的雲對雲及雲對地閃電五日總量分布與地形套疊（圖 38），同樣也顯示閃電大多集中在盆地周遭的山區斜坡上（圖 41）。

根據吳榮勇（2004）的研究結果，我們針對超高壓電線的電場效應範圍保守估計為電線兩側各 100 m。並經由統計後發現這四個地區 345KV 南北超高壓輸配電線兩側各 100 m 範圍內的雲對地閃電數量均非常稀少；雪山山脈地區的數量較多，僅次於埔里盆地，大多分在布雪山山脈西側南段與北段的地方（圖 50）。埔里盆地是數量最多的地區，雲對地閃電多集中在谷地內的地方（圖 51）。高屏谷地的雲對地閃電數量稀少，分別位於旗山山脈的西側與谷

地內（圖 52）。嘉南地區的高壓電線沿線則是完全沒有雲對地閃電（圖 53）。除此之外再經這四個地區更細部的觀察實際分布在超高壓電線兩側各 100 m 的雲對地閃電的分布，可發現分布在這四地區內鄰近超高壓電線的雲對地閃電數量非常稀少（圖 50 至圖 53），唯有雪山山脈與埔里盆地數量明顯較多（圖 50、圖 51），究其原因為該閃電事件發生於雪山山脈的斜坡帶與埔里盆地的盆地周邊，其地形適合對流胞與閃電的形成，故是受到地形的影響。綜合以上結果所述，午後對流閃電開始發生的地點位在 500 m 以下處（戴志輝等人，2008）、由平原進入山地的西部麓山帶地區，之後則可能在該地區聚集發生閃電或往西推移，而四個地區雲對地閃電也並未有沿著超高壓電線的分布而有集中的現象，乃受地形的影響使得雪山山脈與埔里盆地有較多的雲對地的閃電。故台電公司的南北超高壓輸配電線乃是沿著西部麓山帶區域分布，導致錯認超高壓電塔附近多有閃電的發生。此結果顯示閃電的分布以地形因子為主要，而台電高壓電塔的誘集效應並不顯著，由此分析結果可修正譚振威（2006）的推論。

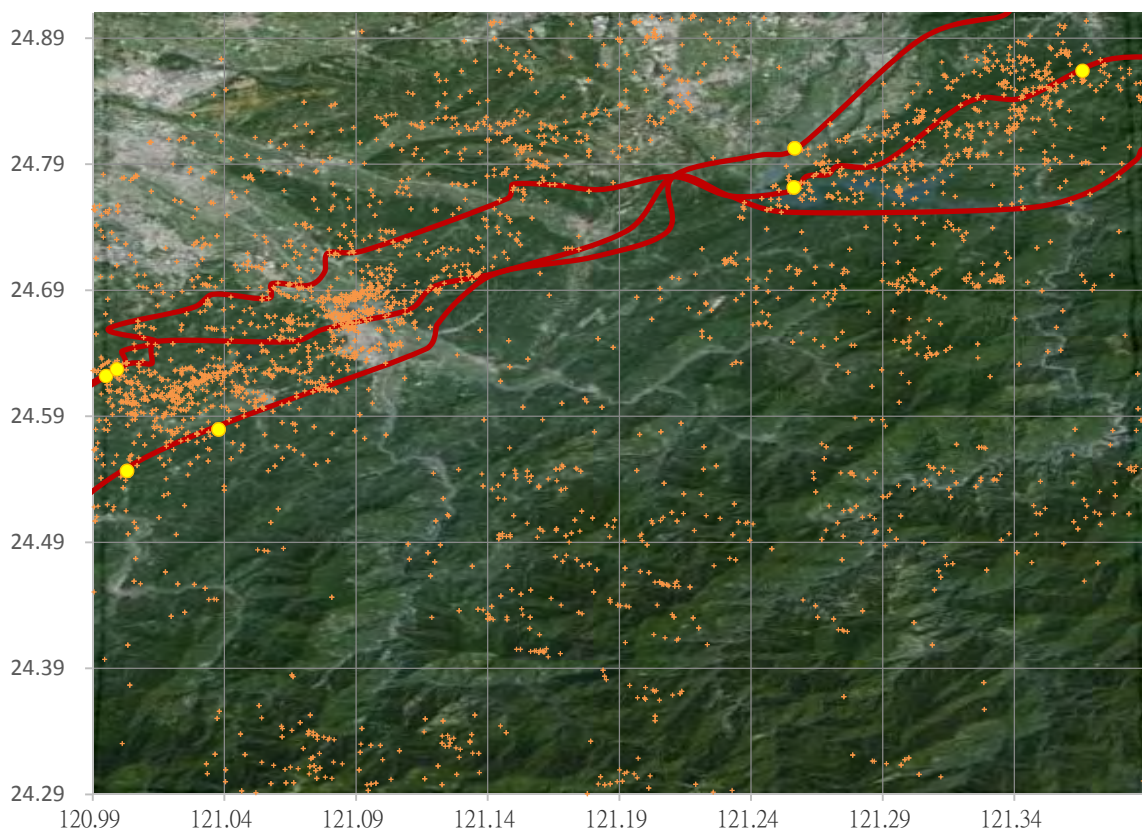


圖 50：雪山山脈地區雲對地閃電分布圖。紅線為台電 345KV 南北超高壓輸配電線，橙色十字為雲對地閃電位置，黃色圓圈為電線兩側各 100 m 內之雲對地閃電之分布位置，底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

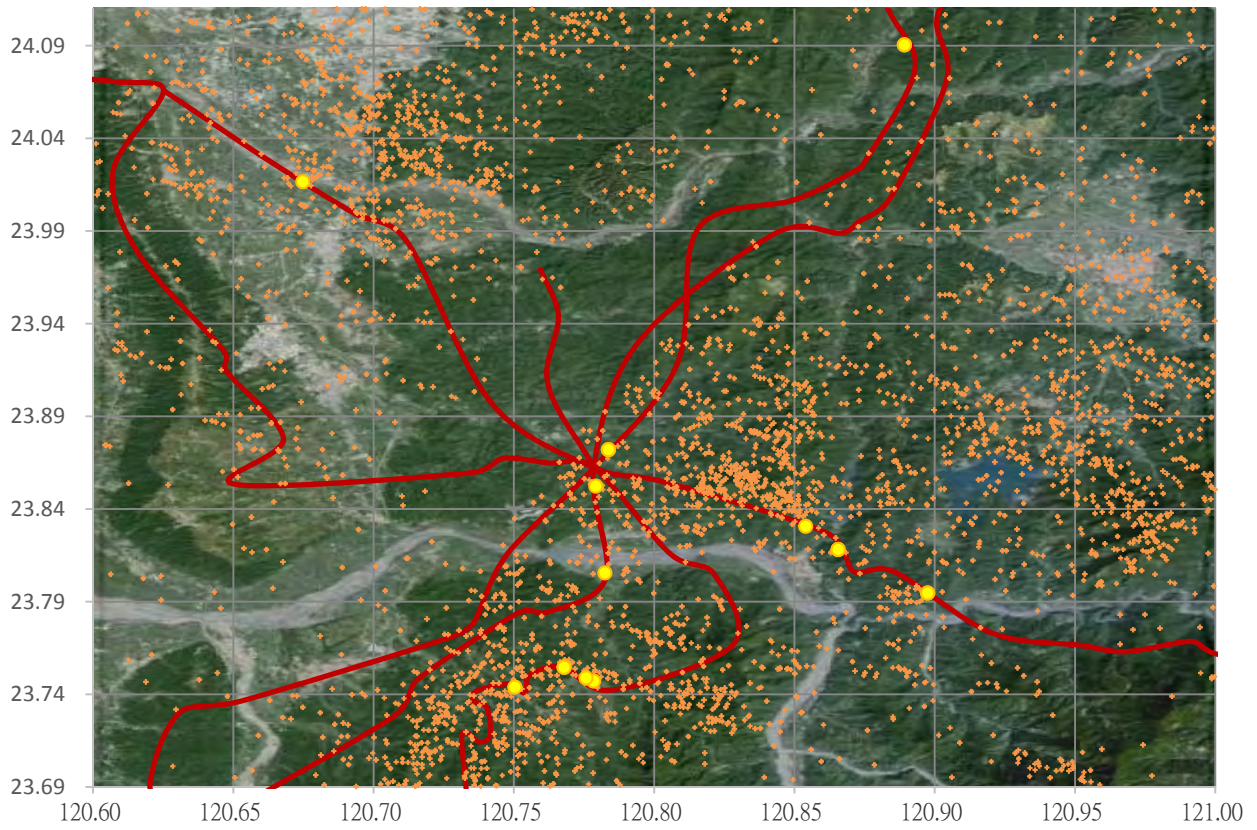


圖 51：埔里盆地地區雲對地閃電分布圖。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

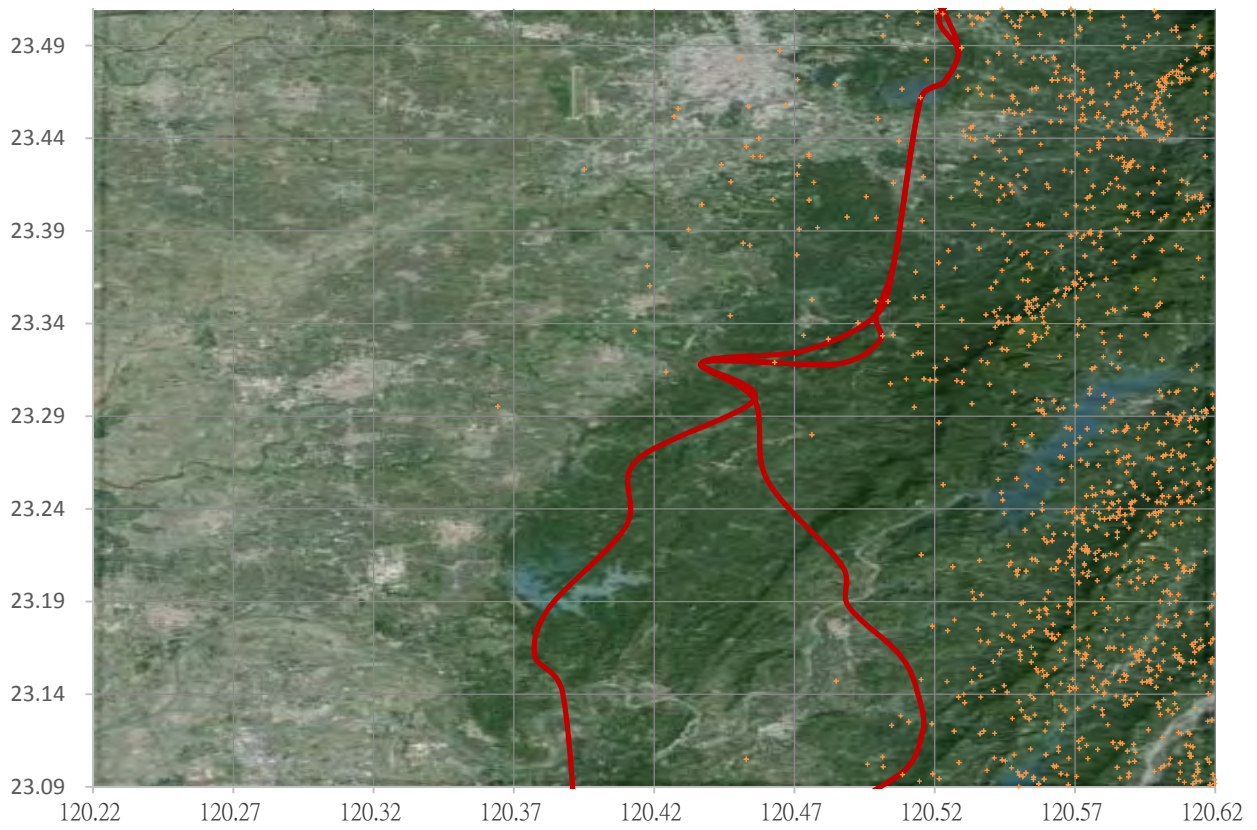


圖 52：嘉南平原地區雲對地閃電分布圖。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。



圖 53：高屏谷地地區雲對地閃電分布圖。底圖取自 Google Earth，經緯度未依等比例。

柒、結論

- 一、台灣午後對流閃電發生在西部麓山帶高度 500 m 以下的斜坡，且雲對地閃電集中在坡度 11%-15%。同時 23.5°N 以南因有空曠的地區使對流胞完整發育使得雲對地閃電數量接近或高於雲對雲閃電。顯見地形效應是控制閃電發生地點的主因之一。
- 二、午後對流閃電開始均發育於西部麓山帶的斜坡上，且明顯可見閃電數量集中在谷地的地形上，如：高屏谷地與新竹九讚頭地區。由此可見，閃電發生的地點明顯受到地形效應的影響。
- 三、由石門水庫、日月潭、曾文水庫與南化水庫的閃電數量分布結果顯示，這類位於山區谷地的大型水體周圍因為受到地形抬升效應而有雲對地閃電發生，而烏山頭水庫與澄清湖因位處平地、地形平坦不利閃電的生成，因此幾乎沒有雲對地閃電，由此可知影響閃電發生位置的因素仍是地形。

四、台電公司的南北超高壓輸配電線乃是沿著西部麓山帶區域分布，而該區乃是午後對流發育及閃電形成的起始位置，首先由閃電發生的時間序列而言，並未有持續維持在西部麓山帶區的情形；其次由超高壓電線兩側雲對地閃電的分布可知，超高壓電線周遭雲對地閃電集中的原因乃是受到地形的影響，顯示地形仍為主要影響閃電分布的因子，而高壓電塔（線）的雲對地閃電誘集效應並不顯著。

捌、參考資料

- 吳依璇（2009）。**台灣西南海域總閃電頻率之模擬研究**（碩士論文）。國立臺灣大學大氣科學研究所，臺北市。
- 吳榮勇（2004）。**高壓輸電線之電場及磁場分析**（碩士論文）。國立雲林科技大學電機工程研究所，雲林縣。
- 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。
- 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。
- 林熹閔、郭鴻基（1996）。1994年南台灣夏季午後對流研究。**大氣科學**，24，4，249-280。
- 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。
- 陳文山（2015年6月9日）。阿山的地科研究室-地科教室-台灣的地史-台灣島的大地構造與結構 - 西部麓山帶【部落格文字資料】。取自：
http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoClass/history/index-GC_main03_02_04.html
- 陳家琦、謝章生、曾以真（2005）。南臺灣午後對流特性之分析研究。「2005年天氣分析與預報研討會」張貼之論文，臺北市中央氣象局。
- 陳棕祈、楊雅因、林秋玫（2014）。閃電活動與雷達回波參數之相關性研究。取自：第54屆中小學科學展覽作品說明書（<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/040506.pdf>）。
- 曾以真、洪景山（2005）。**臺灣地區閃電氣候特徵之研究**。中央氣象局年度研究發展專題（編號：CWB94-1A-10）。臺北市：交通部中央氣象局。
- 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。**大氣科學**，36，3，179-196。

譚振威（2006）。台灣地區閃電與降雨的分類及其氣候特徵（碩士論文）。取自：
<http://handle.ncl.edu.tw/11296/ndltd/90771340191787153167>

【評語】 040511

1. 探討午後對流閃電與地形之關係來探討雲對地閃電之分析、成因與影響。對生活上有實用價值，科學分析與探討很適切。
2. 因為只分析一年中之五個個案，在統計上的代表性有進一步說明的必要，可以再加強。