

台灣地區閃電發生與分布之特徵分析

吳聖宇^{1,2} 周昆炫¹ 賈新興²

中國文化大學地學研究所¹
天氣風險管理股份有限公司²

摘要

根據 TTLN 提供 2018、2019 年的閃電觀測資料進行分析，台灣周邊區域每年發生的閃電次數大約是 250-300 萬次，其中 IC (雲中閃電) 跟 CG (雲對地閃電) 的發生次數比例大約是 4:1。以閃電發生的空間分布而言，台灣本島上空的閃電主要發生於中央山脈、雪山山脈以西之台灣西半部丘陵區，山脈東側閃電發生次數較少，周邊近海的閃電發生次數也是台灣海峽多於台灣東部海域；IC 及 CG 發生的位置區域有較佳的相關性，相關係數可達 0.7。以閃電發生的時間分布而言，梅雨季及夏季 (5-9月) 發生的閃電次數佔全年的 80% 以上；一天之中有兩個閃電發生的高峰，分別落在清晨 4-6 時以及下午 14-16 時。以發生閃電的天氣系統而言，陸地上的熱對流系統是台灣地區最主要的閃電發生來源，其次為梅雨鋒面上的鋒面對流系統，颱風或熱帶性低氣壓的貢獻程度低。就 IC 發生的高度來看，發生在 15-20 公里間的閃電次數佔總數的 50% 以上，不同季節閃電發生的高度分布曲線相近，僅有次數多寡的差異。以閃電能量的觀點而言，IC 的能量分布區間較窄，能量偏弱，正 IC 發生次數多於負 IC；CG 的能量分布區間較寬，能量較強，負 CG 次數多於正 CG；整體而言，不論是 IC 或 CG，發生的區域都有隨能量增強而逐漸偏向南台灣或是海面的趨勢。

關鍵字：台灣全閃電監測網、閃電分布特徵、閃電高度、閃電能量

一、前言

閃電為地表最劇烈的天氣現象之一，主要出現在發展旺盛的積雨雲中。依據放電的方式有兩種類型，其一為雲對地閃電 (Cloud to Ground, CG)，也就是俗稱的落雷，因為會落至地面，對於人類影響較大。另一為雲中閃電 (Intra-Cloud, IC)，數量占全部閃電數量的絕大部份，雖然不直接影響地面，但是 IC 的活躍通常象徵雷暴的發展。在雷暴發展初期，閃電活動以 IC 最為活躍，隨著對流系統發展成熟，對流胞核心 (main core of the cell) 高度下降時，CG 閃電才逐漸出現，因此，Lang and Rutledge (2002) 指出，IC 發生次數的峰值通常提前於 CG 的峰值出現。全閃電 (Total lightning, TL) 則是指把 IC 加上 CG 的閃電數量。

台灣電力公司自 1990 年起架設台灣的閃電偵測系統，許多學者已針對台灣的閃電分布特徵進行

研究。陳 (1994) 統計 1991 至 1993 年 5 至 9 月的閃電資料，發現台灣暖季的閃電主要發生在中午過後的本島陸地上，尤其在中央山脈西側 200 到 1000 公尺高度的山坡區域閃電發生的機率最高，並有三個主要的閃電發生中心，分別位在臺北盆地南側、嘉義阿里山區以及屏東北部山區。林 (1999) 認為台灣一年四季皆可能受到對流雷暴系統影響，並且以暖季為主。

早期研究所使用的閃電資料著重在 CG 的部分，關於 IC 的研究較為缺乏。主因在於早期閃電偵測設備對於能量較強的 CG 偵測效果較好，對於能量較弱、衰減較快、波動傳遞距離較短的 IC 偵測效果較差。隨著偵測技術進步，2002 年更新的全閃電偵測系統 (Total Lightning Detection System, TLDS) 已能同時偵測並且分辨 CG 與 IC 的放電型態，提供了更多可用於閃電研究的資料。

戴 (2008) 分析 2004 至 2006 年的閃電觀測資料，探討臺灣北部的午後熱對流閃電與綜觀環境風場的關係，指出午後熱對流閃電發生的位置在 5 月至 9 月間逐漸沿雪山山脈左側向西南轉移，這可能與

綜觀環境風場從西南風逐漸轉為東南風有關，並且發現部分熱對流個案的 CG 發生數量極少或不曾出現，但仍有大量的 IC 發生，突顯出使用 IC 資料的重要性。

洪 (2015) 分析 2004 至 2012 年的閃電觀測資料，指出 IC 跟 CG 發生頻率最高的時間集中在每年 4 月至 10 月的 12 時至 18 時之間，顯示出午後熱對流與閃電發生之間有密切的關係。閃電的空間分佈顯示發生在陸地上的數量比發生在海面上為多，臺灣西半部的閃電數量多於東半部。分析 CG 的能量分佈，負 CG 數量占 80% 以上，能量集中在 11-20 kA 間，正 CG 在 1-10 kA 間。能量較強的 CG 主要發生在海面，隨著能量減小，發生的位置逐漸向陸地上集中。

中央氣象局亦於 2015-2016 年間建置完成閃電偵測系統(Central Weather Bureau Lightning Detection System, CWBLDS)。本研究則是使用由天氣風險管理公司在台灣本島及周圍離島共 11 個點所建置的台灣全閃電監測網 (Taiwan Total Lightning Network, TTLN) 所觀測之閃電資料進行台灣地區閃電發生分布與特徵的分析。

二、研究資料與方法

台灣全閃電監測網是由台灣天氣風險管理公司與澳洲民間氣象公司 Weatherzone 在 2017 年共同建置完成，自 2018 年 1 月起開始提供觀測資料，同時將台灣周圍的閃電觀測資料與美國全球閃電偵測網 (Earth Network, EN) 串聯，成為其全球網絡的其中一部分。偵測頻段介於 1-12 MHz 間，依據不同的頻譜結構 (Waveform) 可將閃電類型分為正、負 IC 或 CG 閃電。定位方式採用時間到達差法 (Time difference of arrival)，即利用不同觀測站接收到同一個閃電頻譜的時間差，計算閃電發生的經緯度，對於 IC 會進行閃電發生高度的運算。對於 IC 信心度 95% 的偵測距離為 200 km，對於 CG 信心度 95% 的偵測距離為 1000 km，閃電定位誤差為 150 m，閃電偵測率可達到 98% 以上。閃電資料格式包括閃電的發生時間 (年、月、日、分、秒)、閃電發生的經緯度、閃電的類型 (IC 或 CG)、IC 的發生高度 (公尺)、以及閃電的能量 (安培，區分為正、負)。

本研究取用的資料時間自 2018 年 1 月至 2019 年 12 月，取用的資料範圍介於 21.5 N 至 25.5 N、119.5 E 至 122.5 E 之間區域。將上述的資料範圍再細分為每平方公里 (0.01 度*0.01 度) 一個網格點，計算指定時段內發生在此網格點中的閃電次數，並畫出次數的空間分布圖，同時將每個網

格點中的閃電次數加以記錄，除了空間分布狀況外，也可以進行量化的比較。

三、閃電發生的空間與時間分布特徵

將 2018、2019 年台灣週邊全年的 IC、CG 發生次數，經每平方公里網格進行統計後所得到的空間分布圖如圖一 a、b、d、e 所示。台灣本島上空閃電發生次數以中央山脈、雪山山脈西側山坡較多，山脈以東閃電發生次數相對偏少。其中閃電發生次數最多的區域集中在西部平原與丘陵的交界起，一直到海拔大約 1000 公尺左右的淺山區域，大致呈現南北帶狀，並且向東往更高海拔山區、向西往沿海平原，閃電的發生次數皆呈現快速遞減趨勢。以海面上而言，也是西側台灣海峽閃電發生的次數較多，東半部海面閃電發生的次數較少。IC 及 CG 發生次數的比例大約為 4:1，其中 2019 年全年閃電發生次數多於 2018 年，主要差異在於 2019 年台灣海峽上之閃電發生次數明顯多於 2018 年，顯示 2019 年的海面對流較為活躍，導致閃電發生次數比 2018 年為多。

若直接將空間分布圖中每一網格點之閃電次數進行相關性比對，2018 年 IC、CG 發生次數分布圖之間的相關係數為 0.77，2019 年則為 0.69，顯示 IC、CG 發生次數高低的空間分布有較佳的相關性。若先計算每一網格的相關係數，再將其以分布圖的方式呈現，可得到圖一 c、f 的結果。途中看出較高相關係數的分布區域較偏向海面及沿海區域，陸地區域的相關係數相對較低，似乎顯示陸地對流系統之 IC、CG 發生位置有較大差異，海面對流系統之 IC、CG 發生位置較為一致。由先前的研究可知，對流系統中 IC 發生的時間通常早於 CG，因此推測若對流系統發生後其位置變動較快，則 IC、CG 出現的位置也將有較大差異，導致相關係數降低。陸地上出現的對流系統以熱力對流為主，因此這樣的分布狀況可能表示陸地熱對流發展後位置變動大，導致 IC 及 CG 出現的位置跟著不同，CG 發生的位置可能偏向在 IC 的下風處。相對的，海面對流進入台灣近海時可能已經發展成熟或是移動較緩慢，導致 IC、CG 發生位置較為一致，相關係數較高。

接著將 2018、2019 年之全閃電 (TL) 發生次數依照季節分別畫出閃電發生次數的分布圖，探討不同季節的天氣系統對於台灣地區閃電發生次數的貢獻度，共分為春雨 (2-4 月)、梅雨 (5-6 月)、夏季熱雷雨 (7-9 月) 以及秋雨 (10-12 月) 等，其結果如圖二 a-h 所示。可看出梅雨鋒面對流及夏季熱雷雨對流之閃電發生次數多，若配合量化後的逐月

閃電次數佔全年比例之分布圖(圖三 a、b)可看出,暖季(5-9月)發生的閃電次數總和佔全年總閃電次數的80%以上,其他月份的總和還不到20%,可知台灣的閃電發生有相當集中的時間,雖然全年都可能有閃電出現,但是密集發生的時間點以梅雨季以及熱對流季節為主,其中熱對流季節(7-9月)又佔了大部分,因此熱對流系統實為台灣閃電發生次數最主要的貢獻來源。

由圖三中也可以看出一個特徵,在2018年的7月以及2019年的8月,閃電發生次數都有下降的情況,而這兩個月份正好都有颱風接近或侵襲台灣。實際上如果只統計這兩年數個侵台颱風接近台灣那幾天的閃電發生次數,發現次數極少,全部總和還不到7-9月閃電總次數的1%,由此可知颱風系統雖然看似對流旺盛,但是對於台灣地區閃電發生次數的貢獻度很低。

為了更清楚的了解閃電發生的高峰時間,以閃電發生時間的月份為縱軸,發生時間的小時為橫軸,可得到依時間為座標的閃電發生次數分布圖,如圖四 a、b 所示。由圖中可看出,2018年閃電發生次數的最高峰時間位於8月的下午15時,2019年則是位於7月的下午15時,時間都在下午,顯然是熱對流系統所造成。同時也可以發現兩年的分布圖之間有頗大的差異,2019年除了7月的高峰外,在5月的上午8時有另一個發生次數的高峰,似乎與梅雨鋒面對流造成的閃電有關。也可看出熱對流跟梅雨鋒面對流閃電好發的時間不相同,熱對流閃電的發生高峰在下午,鋒面對流閃電的發生高峰則是在清晨。有趣的是,在圖四中,2018年並沒有看到5月份的閃電發生高峰區,可能跟2018年的梅雨鋒面活動極弱有關。

若進一步統計全天每個小時的閃電發生位置(圖未付),則會看出台灣閃電發生的位置有顯著的日夜變化,夜晚到上午主要發生在海面到沿海,白天期間,尤其是下午時段則主要發生在陸地上靠近西半部沿山的區域。

四、閃電發生高度的特徵分析

閃電發生的高度指的是 IC 的高度,若是 CG 則高度會判斷為零,因此不列入計算。將閃電發生高度以每1千公尺為一個區間排列在橫軸,次數佔全年發生次數的比例為縱軸,可得到如圖五所示的分布圖。

由圖五的結果可看出,台灣周圍 IC 閃電發生的高度自10 Km 以上開始快速增加,高度10-15 Km 發生的閃電次數佔總次數的34%,到了更高高度的15-20 Km 發生的閃電次數佔了總數的53%,

至於高度10 Km 以下發生的閃電次數僅佔總數的13%,似乎顯示台灣周圍的 IC 好發於高度頗高的位置,且經過進一步作逐月的 IC 發生高度分布分析(圖未付),發現分布的曲線型態並沒有太大差異,僅有發生次數的多寡不同。

為討論是否不同的天氣系統會讓 IC 發生的高度分布有所差異,特別選取了春雨、梅雨、熱對流等三種不同系統的個案進行相同的分析,結果發現發生次數仍是以15-20 Km 最多,三種系統的佔比都在50%以上(圖未付)。

由於透過全年分布狀態、逐月分布狀態以及不同天氣系統的分布狀態分析都得到相似的結果,似乎顯示這樣的 IC 發生高度分布曲線可能是台灣周圍 IC 閃電發生高度的常態分布狀況,是否與台灣上空的對流層高度有關,值得後續進一步作探討。

五、閃電能量分布特徵分析

閃電的能量單位為安培(A),若將台灣周圍發生的 IC、CG 能量以每1萬安培為一個區間進行發生次數的統計,將會得到如圖六的分布圖。由圖中可看出,台灣周圍發生的 IC 閃電,正 IC 的發生次數多於負 IC,且能量的分布區間較窄,幾乎都集中在正、負25KA 範圍內,次數佔總數的95%以上,能量較偏弱。至於台灣周圍發生的 CG 閃電,負 CG 的發生次數多於正 CG,且能量的分布區間相對寬廣許多,一直到正、負100KA 都有 CG 出現,整體而論,CG 的能量相對 IC 而言較為偏強,不過大部分的發生次數仍落在正、負50KA 的範圍內,佔總數的大約70%左右,在50-100KA 的發生次數則佔總數的30%左右。

為進一步了解不同能量區間的閃電空間分布狀況是否有所差異,我們將 IC 以每5KA 為一個區間,CG 則是以每20KA 為一個區間,分別畫出不同能量區間的閃電發生次數空間分布圖,結果得到如圖七、圖八所示。

圖七為正、負 IC 閃電不同能量區間的空間分布圖,可看出在正、負0-10KA 區間發生的次數明顯較多,到了正、負10-15KA 起隨著能量增強,閃電發生的次數逐漸減少。閃電發生次數較多的位置也隨著能量增強而有所不同,能量較弱的 IC 閃電(正、負0-10KA)集中出現在中部、北部山區,尤其是在中部山區,不論正、負 IC 都有一個明顯的閃電高發生次數區域。到了正、負10-15KA 區間開始,隨著能量增強,閃電發生次數較多的位置逐漸向南部陸地轉移,中北部的閃電發生次數明顯減少,似乎顯示南部上空發生的 IC 閃電能量較中、北部來得強。

圖八則為正、負 CG 閃電不同能量區間的空間分布圖，正 CG 閃電發生的次數太少，因此在分布圖中變化趨勢不明顯，負 CG 則同樣隨著能量增強，高發生次數區域逐漸往南台灣轉移，中部山區的閃電發生次數減少相當明顯，發生能量集中在 0 到負 20KA 區間，整體而言，南部發生的 CG 能量也是較中、北部來得強。

最後，將 IC 閃電發生高度為縱軸，閃電能量為橫軸，畫出的發生次數分布圖如圖九所示。可看出 2019 年的 IC 閃電不僅總發生次數較多，且較強能量閃電的發生次數也較多，高度分布方面則是兩年之間沒有太大差異，都是以 10Km 以上高度為最主要的發生區間。由於兩年之間造成閃電的天氣系統最大差異在於梅雨季節的鋒面，2018 年的梅雨鋒面不明顯，2019 年的梅雨鋒面相對顯著，因此可能也代表梅雨鋒面對流系統的閃電能量較陸地上熱對流系統的閃電能量來得強，發生的高度則沒有明顯不同。

六、結論

台灣全閃電監測網 (Taiwan Total Lightning Network, TTLN) 是由天氣風險管理公司與澳洲 Weatherzone 在 2017 年共同建置完成，目前在台灣本島及周邊離島共有 11 個觀測站，提供台灣及周邊區域的閃電觀測資料，同時也跟美國的全球閃電偵測網 (Earth Network, EN) 串聯，成為其全球閃電偵測網的其中一部分。

根據 TTLN 提供 2018、2019 全年的閃電觀測資料進行分析，台灣本島上空閃電發生次數以中央山脈、雪山山脈西側山坡較多，山脈以東閃電發生次數相對偏少，鄰近海域也是西側台灣海峽閃電發生的次數較多，東半部海面閃電發生的次數較少，IC 及 CG 發生次數的比例大約為 4:1。IC、CG 發生次數高低的空間分布有較佳的相關性，相關係數約 0.7，由相關係數高低的分布來看，陸地對流系統之 IC、CG 發生位置有較大差異，海面對流系統之 IC、CG 發生位置較為一致。

暖季 (5-9 月) 發生的閃電次數總和佔全年總閃電次數的 80% 以上，其他月份的總和還不到 20%，其中熱對流季節 (7-9 月) 又佔了大部分，因此熱對流系統為台灣閃電發生次數最主要的貢獻來源，颱風對於台灣地區閃電發生次數的貢獻度很低。閃電發生次數的最高峰落在 7-8 月的下午 15 時左右，熱對流閃電的發生高峰在下午，鋒面對流閃電的發生高峰則是在清晨。以全天的發生位置而言，有明顯的日夜變化，白天以陸地上為主，夜晚清晨則以海面或沿海區域為主。

台灣周圍 IC 閃電發生的高度自 10 Km 以上開始快速增加，高度 10-15 Km 發生的閃電次數佔總次數的 34%，到了更高高度的 15-20 Km 發生的閃電次數佔了總數的 53%，逐月的 IC 發生高度分布曲線型態並沒有太大差異，僅有發生次數的多寡不同，又透過不同天氣系統的分析，其分布曲線狀態也類似，似乎顯示這樣的 IC 發生高度分布曲線可能是台灣周圍 IC 閃電發生高度的常態分布狀況。

台灣周圍發生的 IC 閃電，正 IC 的發生次數多於負 IC，且能量的分布區間較窄，集中在正、負 25KA 範圍內，次數佔總數的 95% 以上，能量偏弱。CG 閃電則是負 CG 的發生次數多於正 CG，且能量的分布區間相對寬廣，能量較 IC 閃電為強。就發生的區域變化而言，不論是正、負 IC 或 CG，閃電發生的區域都有隨能量增強而逐漸往南台灣調整的趨勢，似乎顯示南部發生的閃電能量較中、北部來得強。

參考文獻

陳泰然，1994：臺灣地區梅雨季中尺度現象之氣候研究。國科會研究報告 NSC 83-0202M002-002，112 頁。

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 頁。

戴志輝、林得恩及賴世運，2008：臺灣北部午後對流閃電與綜觀氣流風向之關係。大氣科學，36，3，179-196 頁。

陳柏榮與洪景山，2015：臺灣電力公司閃電資料特徵分析。大氣科學，43，285-300 頁。

Timothy. J. L., and S. A. Rutledg, 2002: Relationships between Convective Storm Kinematics, Precipitation, and Lightning. Mon. Wea. Rev., 130, 2492–2506.

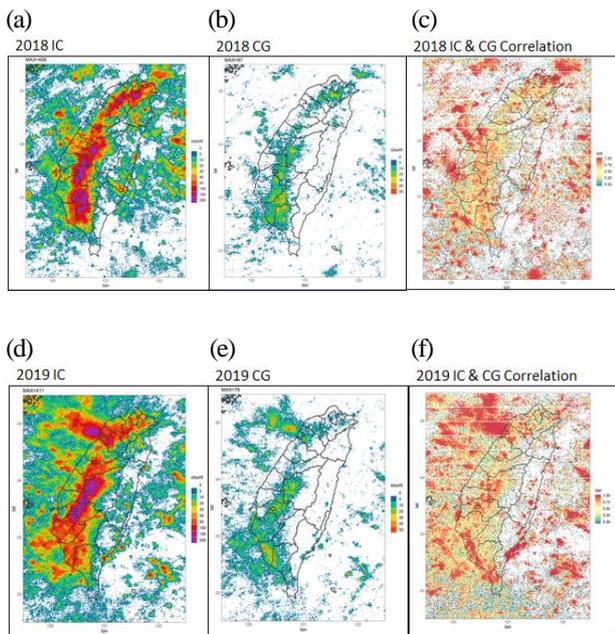


圖1. 2018、2019 年閃電發生次數及相關係數分布圖。(a). 2018 年 IC 發生次數分布圖, (b). 2018 年 CG 發生次數分布圖, (c). 2018 年 IC & CG 發生次數之相關係數分布圖, (d). 2019 年 IC 發生次數分布圖, (e). 2019 年 CG 發生次數分布圖, (f). 2019 年 IC & CG 發生次數之相關係數分布圖。

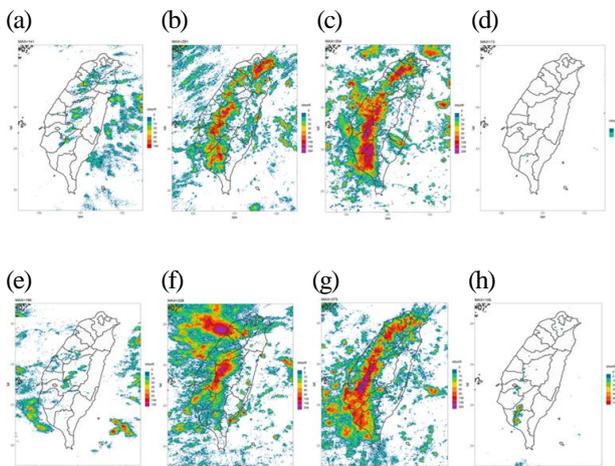


圖2. 2018、2019 年不同季節全閃電發生次數空間分布圖。(a) 2018 年 2-4 月(春雨) (b) 2018 年 5-6 月(梅雨) (c) 2018 年 7-9 月(夏季熱對流) (d) 2018 年 10-12 月(秋雨) (e) 2019 年 2-4 月(春雨) (f) 2019 年 5-6 月(梅雨) (g) 2019 年 7-9 月(夏季熱對流) (h) 2019 年 10-12 月(秋雨)。

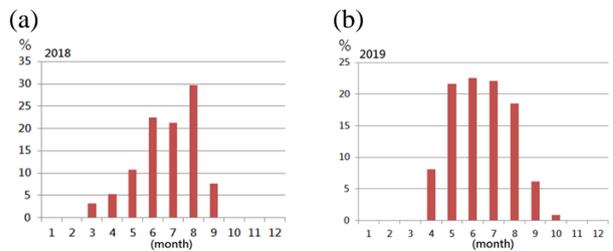


圖3. (a) 2018 年逐月全閃電發生次數百分比, (b) 2019 年逐月全閃電發生次數百分比。

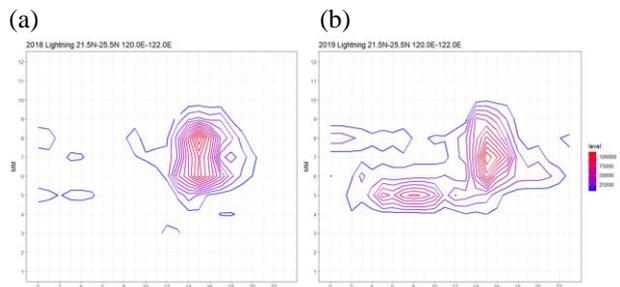


圖4. (a) 2018 年全閃電發生次數時序等值線分布圖。(b) 2019 年全閃電發生次數時序等值線分布圖。橫軸為小時 (0-23 時), 縱軸為月份 (1-12 月)。

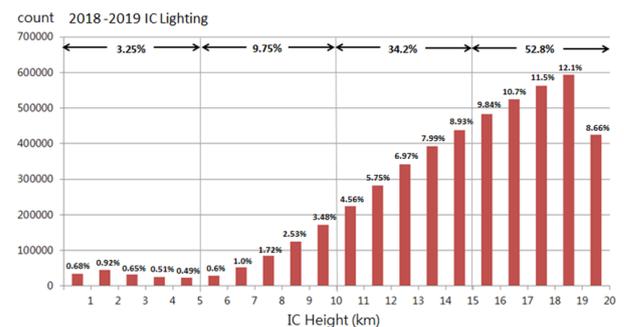


圖5. 2018、2019 年 IC 發生高度次數統計分布曲線圖。橫軸為高度 (公尺), 每 1000公尺為間距, 縱軸為 IC 閃電發生次數。

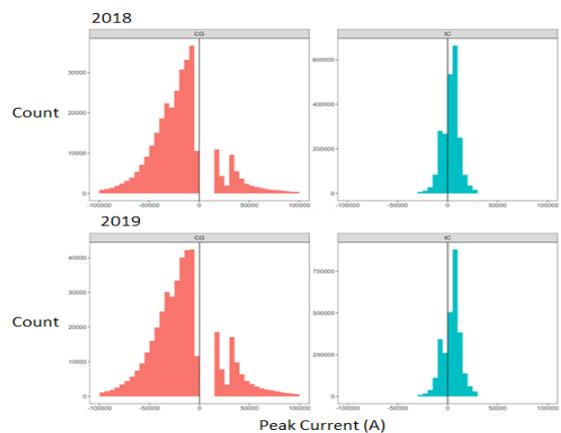


圖6. (a) 2018 年 IC、CG 發生次數與能量 (A) 分布圖, (b) 2019 年 IC、CG 發生次數與能量 (A) 分布圖。橫軸為閃電能量, 縱軸為閃電發生次數。

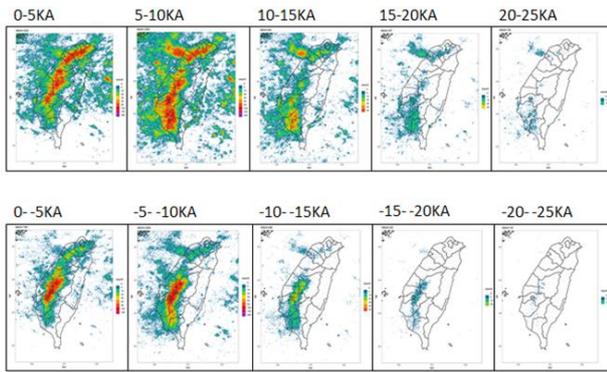


圖7.正、負 IC 在不同能量區間之發生次數空間分布圖。

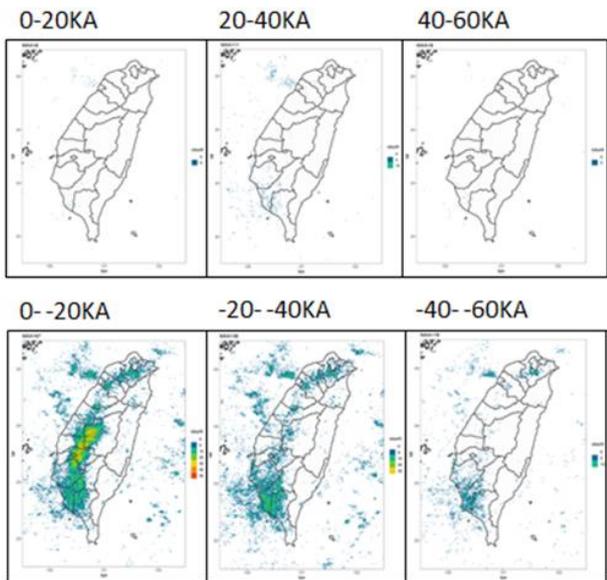


圖8.正、負 CG 在不同能量區間之發生次數空間分布圖。

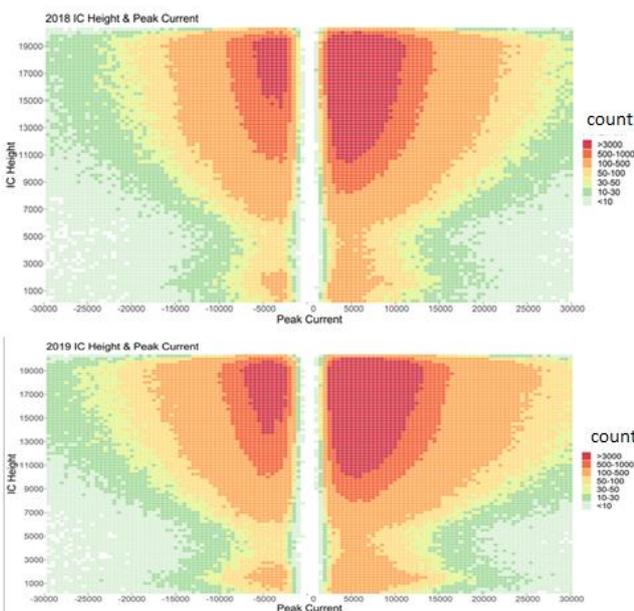


圖9. 2018、2019 年 IC 高度與閃電能量之發生次數分布圖。縱軸為閃電高度，單位為公尺(m)，橫軸為閃電能量，單位為安培(A)。

Abstract

The Taiwan Total Lightning Network (TTLN) was established by weatherisk and Weatherzone in 2017. There are 11 observation stations on Taiwan area provid lightning observation data.

According to the analysis of lightning observation data provided by TTLN for the whole year of 2018 and 2019, the number of lightning occurrences in Taiwan area is about 2.5-3 million times each year, of which the ratio of IC to CG is about 4:1. Lightning mainly occurred in the western half of Taiwan, and the lightning occurrences in the surrounding sea are also ; the locations where IC and CG occur have a better correlation, with a correlation coefficient is 0.7. The total number of lightning strikes during the rainy season and summer (May-September) accounted for more than 80% of the whole year; there are two peaks of lightning strikes in one day, which on 4-6 in the morning, and 14-16 in the afternoon. The thermal convection system on land is the main source of lightning occurrence in Taiwan, followed by the frontal current convection system on the Meiyu front, and the contribution of typhoons or tropical depressions to the number of lightning occurrences in Taiwan is quite low.

In terms of the height of IC occurrence in Taiwan, the number of lightning occurrences between 15-20 kilometers accounted for more than 50% of the total. The height distribution curves of lightning occurrence in different seasons are similar, with only the difference in the number of occurrences. From the perspective of lightning energy strength, the energy distribution range of IC in Taiwan is relatively narrow, and the energy is relatively weak. The number of positive IC lightning occurrences is more than that of negative IC lightning; the energy distribution range of CG is wider and the energy is relatively strong. Negative CG lightning occurs more frequently than positive CG lightning; overall, whether it is IC or CG lightning, the area that occurs has a tendency to gradually adjust to southern Taiwan or the sea as the energy increases.