臺灣電力公司閃電資料特徵分析

陳柏榮*　洪景山

中央氣象局

（中華民國一〇四年八月二十一日收稿；中華民國一〇四年十一月十八日定稿）

摘　要

本文使用2004至2012年臺灣電力公司整合型落雷偵測系統(Total Lightning Detection System，TLDS)的閃電觀測進行臺灣地區閃電的統計分析。TLDS可以分辨雲對地閃電(Cloud to Ground，CG)及雲中閃電(Intra-Cloud，IC)，9年間共累計有2,670萬筆閃電觀測資料，相信可提供臺灣地區閃電現象有效的統計分析。

9年的統計分析顯示，4月至10月的12時至18時是CG與IC發生最密集的時間，顯示與午後對流有密切的關係。CG與IC空間的分佈皆顯示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。由閃電隨著季節的趨勢變化顯示，海面上較陸地先偵測到閃電的訊號，但陸地上閃電增加的速度較海面快，陸地上又以北部中心較南部中心早形成，7、8月達到閃電發生的峰值後開始減少，陸地上閃電減少的速度較海面快，北部中心減弱的時間亦較南部中心早，海面上閃電能延續到較晚的月份。陸地上各中心閃電發生最頻繁的時間皆落在午後時段，北部中心在下午3時至4時，中南部中心在4時至5時。

從CG的能量分佈可以發現負CG發生的次數遠多於正CG，負CG能量主要集中在60 kA以下，又以11 kA～20 kA最多，正CG能量則集中在1 kA～10 kA之間。空間分佈顯示陸地區域多分佈能量較小的CG，海上則較多能量較大的CG。

關鍵字：雲對地閃電、雲中閃電

---

*通訊作者：陳柏榮，E-mail: fajan09@cwb.gov.tw

一、前言

閃電，是氣象界中最為劇烈的天氣現象之一，一般存在於發展劇烈的積雨雲中。依據對流系統中上升氣流的強弱差異，積雨雲發展的雲頂高度可在 5 km 至 20 km 之間，但一般來說，典型的積雲雨雲頂高度都可達到 8 km 至 12 km。在 0°C 高度以上，對流雲中冰晶和軟雹的摩擦過程導致雲中電荷的分離。在實驗室中可證明碰撞過程中電荷分離的極性取決於溫度和液態水含量(Williams, 1988)，當溫度低於 –10 至 –20°C 時負電被傳至冰雹上，反之，較溫暖時則是正電被傳至冰雹上。因此冰雹自高層下落的過程中攜帶負電，而使得環境中懸浮的冰粒子攜帶正電，當冰雹下降至 –15°C 左右高度時，雲內的電性則由攜帶負電的冰雹所主宰，而當冰雹下落到雲底附近時則因較高的環境溫度而轉為攜帶正電。這可以說明為何一般積雲的電荷分佈通常在雲底和雲頂是正電，而雲中則是負電區域，整個對流雲就像一個巨大的電偶極。地表則受到雲中負電荷感應而帶正電荷，因此雲中及雲地之間皆存在著相當大的電位差，當電壓大到足以突破空氣的絕緣作用時，雲底之間的負電荷區和地面間的正電荷區將產生局部的電崩潰(electrical breakdown)，雲中的負電荷向下尋找一條可以釋放能量的通路，稱之為階梯先導(stepped leader)。每一個階梯約 50 公尺，自雲底一直向地面延伸，當階梯先導接近地面時，強大的電流沿著階梯先導的路徑由地面流至雲層，稱之為回擊(Return stroke)，回擊的亮度相當耀眼，形成我們所看到的閃電，而回擊的瞬間通路溫度可高達 30,000 K，高溫使通路中氣體產生膨脹，膨脹的速度超過了音速，因此產生音爆，此即我們所聽到的雷聲(thunder)。當第一次的回擊完成後，雲地間的電壓差仍足夠時則會接續有第二擊甚至第三擊（吳，1999）。

閃電依據其放電的方式可以分為四種型態，第一種類型是與我們最息息相關也最被廣為研究的是雲對地閃電(Cloud to Ground，CG)，也就是我們俗稱的落雷，CG 依其極性又可以分為負 CG 及正 CG 兩種，以負 CG 為主。第二種類型為雲中閃電(Intra-Clound，IC)，此種類型的閃電占全部閃電的絕大部份，第三種類型為雲間閃電(Cloud to Cloud)，指雲跟雲之間的放電。第四種類型為雲對空閃電(Cloud to air)，此種閃電多存在於雲頂。因為雲間閃電及雲對空閃電次數較少並且從資料中難以分辨，因此在本研究中通通歸類在為雲中放電，並以 IC 稱之。

依據氣象局對於臺灣地區災害的分類（中央氣象局，1999），屬於氣象方面的天然災害包含了颱風、梅雨、龍捲風、雷擊、強風、焚風、豪雨、寒流及旱災等，而最主要的災害則來自於天氣系統所帶來強的降水事件或是強風。但根據估計，臺灣地區每年約有 3～4 人因受到雷擊喪命，受傷人數則有數十倍，2013 年 3 月 19 日發生在玉山的雷擊事件就造成數名登山客的死亡，同年 7 月 14 日在高雄西子灣雷擊亦造成救生員喪命。2012 年 4 月 26 日蘭嶼曾因雷擊而造成全島性的大停電，島上氣象站於 2010 年也曾因雷擊造成儀器受損，雖然閃電造成生命財產損失的頻率較風災、雨災來得少，但在防災、減災作為上仍須投入適當的關注。

臺灣地區自 1990 年也開始進行對閃電的偵測與相關的科學研究，例如陳(1994)統計 1991 至 1993 年 5 至 9 月的閃電資料，顯示暖季月份閃電主要發生在午後陸地，尤其是中央山脈西側 200～1000 m 的山坡地發生機率最高，並有三個半永

久的中心分別位在臺北、嘉義／阿里山及屏東。林(1999)討論了雲對地閃電與降水之關係，指出對流性降水與閃電的關係十分密切，層狀性降水與閃電的相關性不高，因此午後對流這種單純對流性降水的類型與閃電之相關係數可以達到 0.9 以上，但像是鋒面系統包含了以上兩種降水的特性，則相關性依個案差異性大。洪(2002)更確切的指出雲對地閃電的空間分佈與大回波中心所在位置有一致性，意味閃電活動和對流發展的強度有密切的關係，並且閃電頻率的峰值和最大垂直液態水總含量有很好的相關性，相關係數達 0.8 以上。以上的結果將對流性降水(尤其是午後對流)、雲對地閃電以及及降水參數之間的相關性建立起來，但是所用的閃電資訊主要著重在 CG 的分析，關於 IC 的研究則較缺乏。其中主要的原因可能受限於早期偵測設備的技術，較容易偵測能量較強的 CG，而能量較微弱、衰減較快、傳遞距離較短的 IC 不易偵測。再者，除了飛航安全外，IC 對生活在地表的人們幾乎沒有直接的影響，因此早期的儀器設計，主要是針對 CG 的偵測，對於 IC 較不注重。但隨著科技的進步，臺灣電力公司於 2002 年更新的觀測系統已能偵測且分辨 CG 與 IC 的放電，因此在近期，也開始有使用 IC 資料加入研究。戴等(2008)分析了 2004 至 2006 年的閃電資料，文中探討發生在臺灣北部的午後對流與綜觀環境風場的關係，指出午後對流閃電發生的位置在 5 月至 9 月間有逐漸沿雪山山脈左側向西南轉移的特徵，這與綜觀環境從西南風逐漸轉為東南風有關。並且從其定義的午後對流個案中，有些個案 CG 發生個數極少或是甚至不曾出現，但是仍有大量的 IC 發生，突顯出使用 IC 資料的重要性。

從前人的研究中可以定性地了解閃電與對流發展和降水過程的相關性。當然，氣象雷達對劇烈天氣系統的監測與即時預報乃至於降水估計等均扮演重要的角色，然而，雷達觀測對於劇烈天氣系統的監測仍有不足之處，包括有限的時間、空間解析度，掃瞄策略和地形阻擋等。但是閃電觀測較不受地形的限制，且偵測範圍可達數千公里，時間解析度亦可以達 10^{-5} 秒，同時對於對流系統的發展與定量降水估計可存在領先時間(Gatlin and Goodman, 2010)，因此若能整合閃電與氣象雷達，對於劇烈天氣系統的掌握當可具有相輔相成之效。臺灣在閃電資料的應用層面，將閃電資料用於預報作業的研究尚在起步，要想在預報作業積極發揮閃電觀測的效益，仍有待對臺灣地區的閃電特性進行分析研究，並進而建立臺灣地區閃電行為的概念模式。本研究第二章為閃電資料來源與閃電偵測系統的介紹，第三章為閃電資料發生次數與能量之統計分析，第四章為結論。

二、閃電資料來源及閃電偵測系統介紹

臺灣電力公司因其業務上的需求，自 1989 年 6 月建置了第一套落雷檢測系統(Lightning Location System，LLS)，但此套偵測系統僅能提供雲對地閃電的資訊。本研究所使用的閃電資料來自於臺灣電力公司新一代的整合型落雷偵測系統(Total Lightning Detection System，TLDS)，此系統不僅能偵測雲對地閃電，更增加了偵測雲中／電間閃電的能力。當閃電發生時，會產生從超低頻(1 kHz)到超高頻(1 GHz)的電磁波能量，電磁波的能量以近光速由閃電點以球狀向外輻射傳播，觀測系統的檢測原理即為偵測並且記錄雷擊放電時所釋放的電磁波。觀測系統可以分成三個部份，分別為方向檢測器(Direction Finder)、位址分析器

(Position Analyzer)以及資料分析器(Data Analyzer)。方向檢測器架設在臺灣各地，環繞著臺灣，而位址分析器與資料分析器位於台電的綜合研究所內。當閃電產生的電磁波脈衝抵達方向檢測器的天線時，檢測器會測量並處理這些電壓及信號波形，將訊號即時傳回給中心的位址分析器定位及資料分析器記錄（何，2004）。單一的方向檢測器只能夠判別出閃電電磁波入射的方向而無法確實定位，若要判斷閃電發生的位置，最少需要兩組以上的檢測器共同觀測到閃電電磁波，由兩組檢測器所測得閃電入射方向延伸出去的交點即是閃電發生的位置。但當一個對流系統發展時，在相臨近的點即有多次的閃電發生，並且時間上相隔很近，因此配合上 GPS 訊號源同步法，GPS 訊號能夠分辨出 10^{-5} 秒時間尺度的資訊，能夠把全部雷雲放電過程全部解析出來。透過以上的方式，便能精確地定出閃電發生的位置。由於單一偵測站架高至 500 m 時可測距離約為 250 km，作業上需要 2 座以上偵測站互相配合才能精準地定位，所以實際上有效閃電觀測的範圍是有一定限制的（廖，2004）。

戴等(2015)針對 TLDS 的可能觀測誤差來源進行定性探討，包括在偵測站附近或兩偵測站之間，出現圓形或圓弧帶的不連續分布，以及呈放射狀集中分布的情況，表示 TLDS 在某些特定位置（尤其臺灣西南部、東部最為顯著）會有較大的資料定位不確定性；另外，密集閃電也可能出現在無回波區域，這些可能是來自於觀測干擾及定位方法改變等。雖然閃電觀測具有觀測的不確定性，但是戴等(2015)也指出閃電觀測誤差具有隨機性，因此並不影響分析的結果。

圖 1 中藍色點為 TLDS 系統方向檢測器在臺灣地區分佈的位置，黃色陰影是以方向檢測器為中心，向外推估 250 km 的偵測範圍。本研究進行分析資料的時間自 2004 年至 2012 年，分析的範圍左邊界為 118 °E，右邊界為 124°E，下邊界為 21.0°N，上邊界為 26.2°N，如圖 1 紅框所示。為進行統計分析，將原本是單點的閃電觀測網格化，每一個網格為 0.025°×0.025°（約 2.75 km），在分析的範圍內沿經度方向共有 240 個格點，沿緯度方向共有 208 個格點。閃電偵測系統所提供的資訊相當多，但本研究所使用的資料主要包含了閃雷發生的時間、經緯度、極性以及電流強度等。

三、閃電發生次數之統計分析

圖 2 為分析範圍內 2004 年至 2012 年逐年的 CG 及 IC 次數累計，圖中顯示 9 年間 IC 發生的次數約 2661 萬次，CG 發生的次數約 53 萬次，IC 比 CG 多了一個數量級，CG 僅占總閃電次數的 2 %。由 CG 逐年閃電發生次數分析顯示，2005 年至 2011 年，CG 大致呈現逐年遞減的趨勢，2005 年為 CG 發生次數最多的年份，超過 12 萬次，而 2011 年 CG 次數僅 10,884 次，為此 9 年中最少的一年，CG 最多與最少的年份次數相差了近 12 倍。從 2006 年至 2011 年 IC 發生的次數也同樣呈現逐年遞減的趨勢，其中以 2006 年最多，將近 430 萬次，最少的年份與 CG 同為 2011 年，約 127 萬次，IC 最多與最少的年份次數相差約 3.5 倍。9 年間 CG 與 IC 的相關係數為 0.45，顯示彼此的相關性不甚高。造成相關係數較低的原因主要是 2005 年的 CG 較 2004 和 2006 年來得多，但 IC 卻比前後兩年來得少有關。若不考慮 2005 年的觀測，重新計算 IC 和 CG 的相關係數，則相關性可達 0.72。由於 CG 與 IC 發生的次數在數量級上有顯著的差異，因此本研究將分別對 CG 及 IC 進行統計分析。

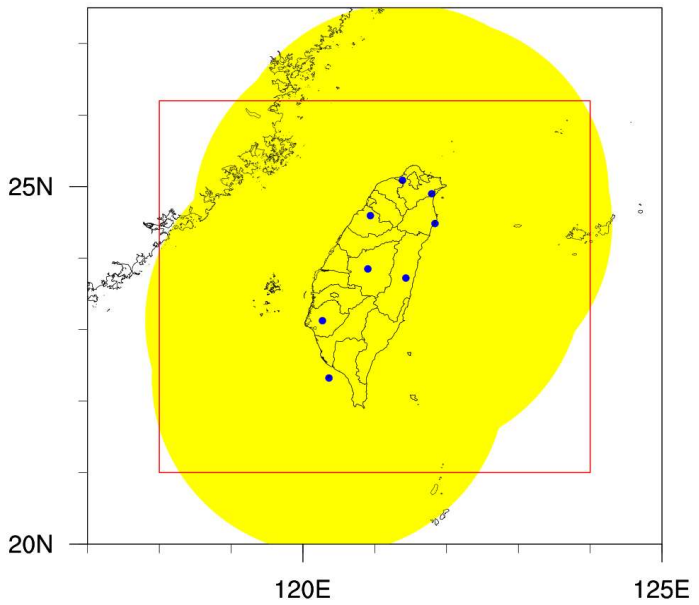

圖 1　TLDS（藍點）閃電偵測站的分佈。黃色陰影為以各測站為中心向外推 250 km 的範圍。紅色框線為本研究閃電資料分析的範圍。

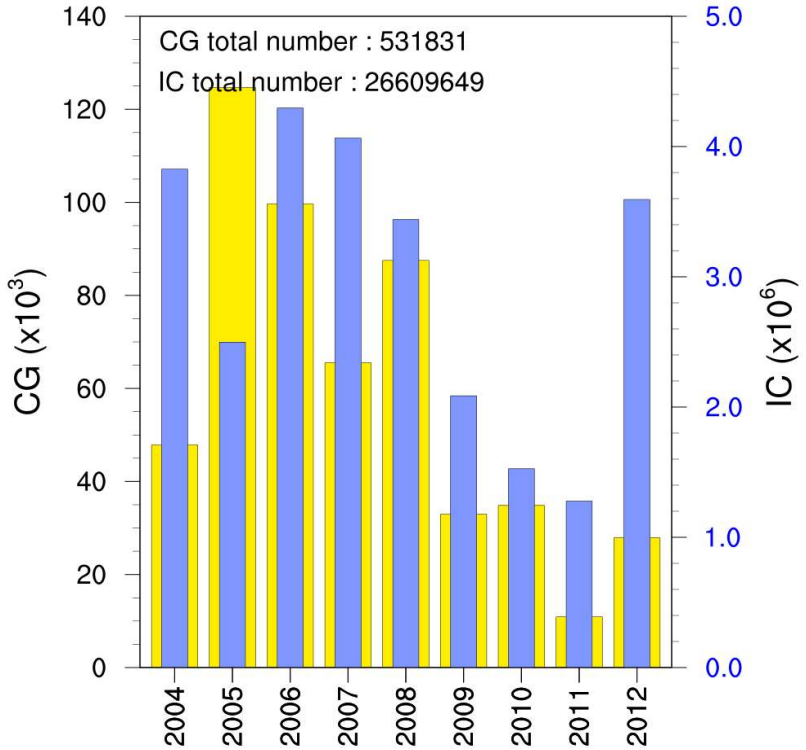

圖 2　TLDS 於 2004 年至 2012 年在分析範圍內逐年累計的 CG（黃色，單位為千次，對應左軸）與 IC（藍色，單位為百萬次，對應右軸）次數。

圖 3a 為分析範圍內 CG 發生頻率的月-時分佈，顯示自 4 月開始至 10 月間，臺灣地區已有較為明顯的閃電活動記錄，並且從圖中可以發現 CG 在這些月份自中午 12 時後開始增加，在 15 時達到極值後開始減少，並一直延續至 18 時，在 6 至 8 月間，甚至可延續至隔日的 5 時止。6 時至 12 時之間，是 CG 發生的次數相對較少的時間。閃電頻率最高的時間發生在 8 月的 15 時，林(1999)所統計的極值時間在 7 月的 16 時，與本文的結果略顯差異，這可能和統計年份與觀測系統差異所導致的結果。IC 主要發生頻率（圖 3b）的時間與 CG 類似，皆發生在 12 時至 18 時之間，IC 極值發生的時間則在 7 月的 16 時。

圖 4 為 2004 年至 2012 年的 CG 及 IC 閃電累積次數的水平分佈。不管是 CG 或是 IC，皆顯示陸地上閃電發生的次數較海上為多，在臺灣西半部也比東半部地區多的特徵。CG 與 IC 分別在臺灣西半部地區及臺灣附近的海面形成幾個較明顯的分佈中心，CG 最主要的分佈中心位於臺灣西南部（圖 4a A 區，以下稱 CG 南部中心），從屏東的西北側向北沿伸至南投的西南側，向西延伸可至臺灣西南側的海面。極值發生在高屏交界，累積最大值超過 300 次以上。第二個 CG 分佈中心位在雪山山脈左側，從大臺北山區向西南方向沿伸至新竹一帶，主要集中在陸地（圖 4a B 區，以下稱 CG 北部中心），最大值約在 100~150 次之間。另外，在圖 4a 中的臺灣東南側海面上發現有大量的 CG 分佈，形成第三個分佈中心（圖 4a C 區，以下此區稱東南部海面中心），此中心最大的累積值約在 75~100 次之間。

圖 4b 為 IC 累積次數的水平分佈，圖中顯示 IC 在臺灣西半部陸地及近海形成北、中、南及東北部海面 4 個分佈中心。位在北臺灣的分佈中心（圖 4b A 區，以下稱 IC 北部中心），幾乎含蓋了大臺北至新竹及宜蘭地區，IC 極值區位置與 CG 相類似，皆位在雪山山脈的左側，極值區超過 10,000 次。中臺灣的 IC 分佈中心（圖 4b B 區，以下稱 IC 中部中心）從臺中向南沿伸至雲林、南投交界，南臺灣 IC 分佈中心（圖 4b C 區，以下稱 IC 南部中心）從臺南向東南沿伸至屏東的中部。中部的中心 IC 最大值累積超過 20,000 次，圖中南部的中心顯示有一線狀的相對小值區，此可能因訊號接收和處理問題所致。另外，在宜蘭近海存在另一個分佈中心（圖 4b D 區，以下此區稱東北部海面中心），此分佈中心較陸地上的中心弱，極值約 5,000 次。

比對 CG 及 IC 極值發生的區域，除了 CG 與 IC 的北部中心較一致外，在臺灣中部、南部及海面上的分佈差異都相當大。尤其是 IC 中部中心，雖然在累積次數上高達了 20,000 次，較 IC 北部中心多，但是在相對應的位置上，CG 的累積次數卻反而較 CG 北部中心還少，進一步分析逐年的資料（未附圖），其結果和 9 年的統計分析結果類似。中部地區的閃電特徵較北部地區具有相對多數的 IC，以及相對少數的 CG，本研究尚無法針對此一現象形成的原因進行合理的詮釋。IC 南部中心由於資料缺乏，無法比對 IC 和 CG 極值區的位置是否具有一致性，但仍可以看出 CG 南部的中心分佈的範圍（100 次以上）較 IC 南部中心向北延伸的更遠，可達臺南北部至嘉義一帶。海面上的閃電特性顯示，CG 主要發生在臺灣東南和西南海域，IC 則主要分佈在東北和西北海面一帶。

Chen and Chen (2003)從降水特性出發，將臺灣分成冬季、春季、梅雨季、颱風季及秋季，而依降水的型態可以分成輕量型與對流性的降雨。

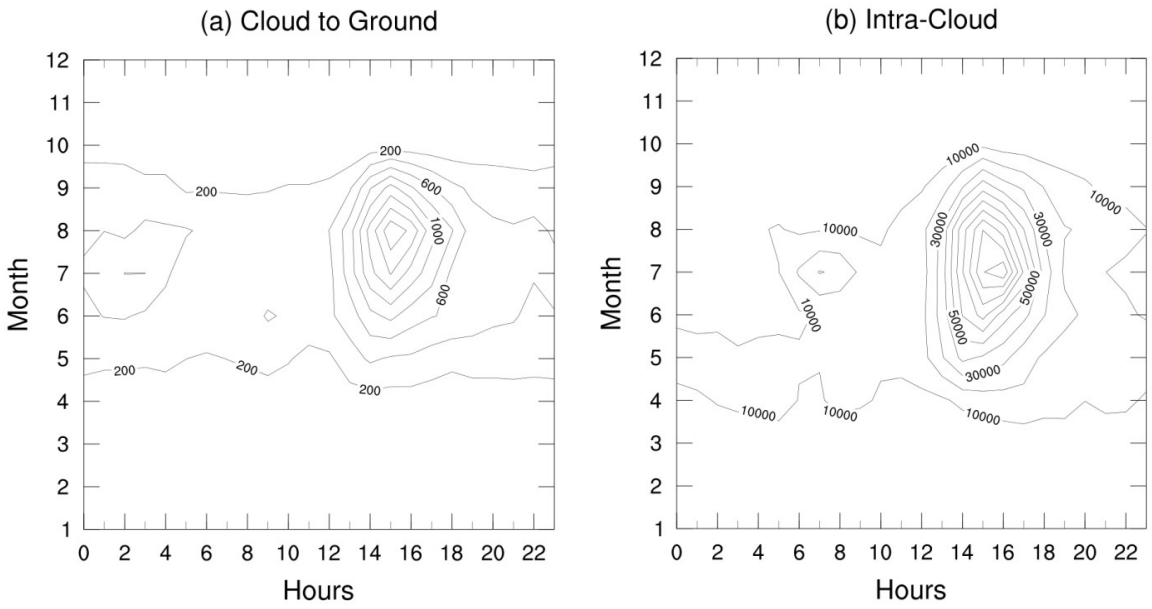

圖 3　2004 年至 2012 年分佈範圍內閃電頻率月－時分佈（單位：次/年），(a)為 CG，(b)為 IC，橫軸為當地時間，縱軸為月份。

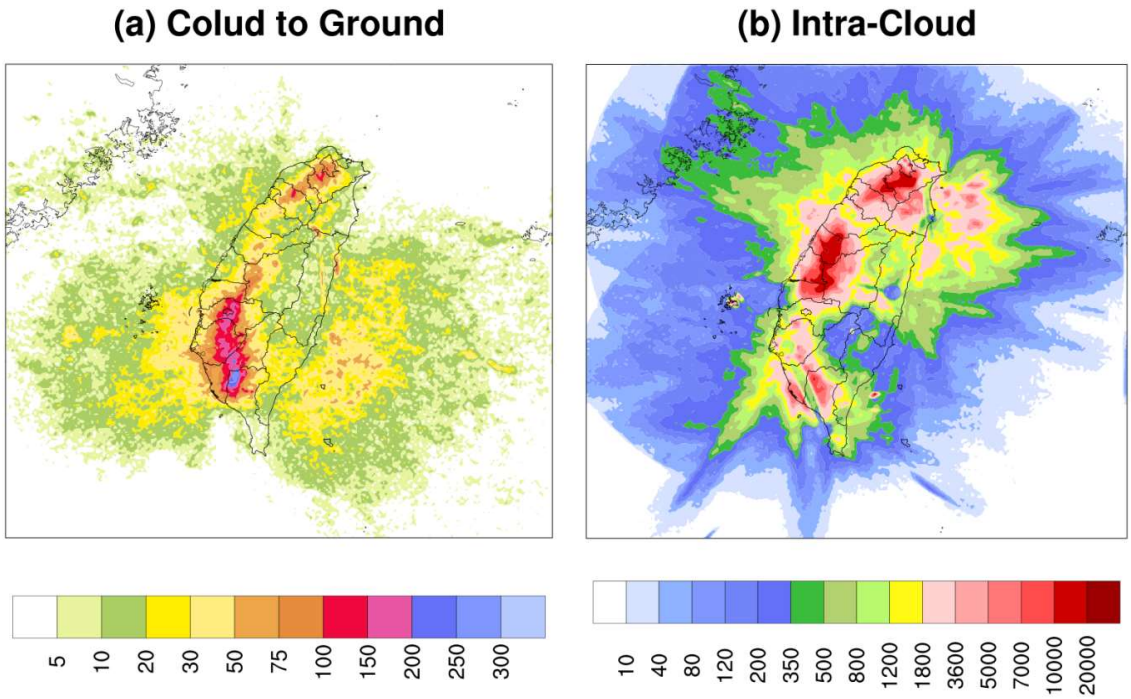

圖 4　2004 年至 2012 年閃電累積次數水平分佈。(a)為 CG，(b)為 IC。

本研究參照 Chen and Chen (2003)的分類方法進一步分析臺灣地區的閃電特性。根據 Chen and Chen (2003)的分類，每年 12 月到隔年的 2 月，是屬於臺灣地區的冬季，天氣系統主要以東北季風在迎風面的層狀降水為主，由於幾乎沒有對流降水，12 月（圖 5l）到 2 月（圖 5b）三個月的 CG 次數僅占總 CG 次數的 0.35%。

3 月到 5 月中為臺灣地區的春季，Chen and Chen (2003)指出春季期間伴隨鋒面的對流系統開始變得比較活躍，因此從 3 月到 5 月，隨著季節的演進，臺灣地區開始有一些零星的閃電現象發生。3 月（圖 5c）CG 發生的次數仍相當有限，到了 4 月（圖 5d）則可以看到海面或沿海地區有一些零星的 CG 發生。

5 月中至 6 月中為臺灣地區的梅雨季，季節轉換以及梅雨鋒面的影響，臺灣地區對流降水發生的次數顯著增加(Chen and Chen, 2003)。根據 Yen and Chen (1998)的統計，扣除梅雨鋒面影響的時間，發生在午後時段的降雨占了梅雨季總雨量的 30 %～50 %，顯示這段期間午後對流對降水的貢獻已扮演重要的角色。從 5 月（圖 5e）CG 分佈中，CG 發生較頻繁的區域不僅在海面上，整個臺灣西半部的迎風面坡地上 CG 發生的次數已經開始顯著地增加。6 月（圖 5f）CG 較 5 月更多，此時 CG 北部、南部和東南部海面中心（圖 4a 之 A、B、C）已逐漸成形，5、6 月閃電次數佔總 CG 次數的 28.87 %。

7 月及 8 月進入盛夏，為颱風發生頻率最高的季節（Chen and Chen, 2003），受西南季風和局部環流的影響，午後對流和 CG（圖 5g 及 5h）發生的頻率也達到最大，兩個月所累計的次數共佔全部 CG 比重的 46.4 %，南部中心極值的超過 150 次，北部的中心略弱，約 70～90 次。

9 月至 11 月進入臺灣地區的秋季，對流性降水也隨之逐漸減弱(Chen and Chen, 2003)。9 月（圖 5i）的 CG 累計次數佔全年的 14.98 %，已較前三個月減少，北部中心在此月份已不明顯，南部的中心的極值減少至 70～90 次。10 月（圖 5j）與 11 月（圖 5k）的 CG 比重持續減少，僅佔全年的 2.46%與 2.28%。海面上的 CG 主要發生在 5 月至 9 月（圖 5e 至 5i）間，分佈的位置集中在臺灣東南及西南側海面上。

圖 6 為 IC 逐月的次數累積，圖中顯示 12 月（圖 6l）及 1 月（圖 6a）不僅是 CG，就連 IC 發生的次數的也不多。但從 2 月到 3 月（圖 6b、6c），在臺中以北的陸地以及北部海面，就已經開始有 IC 的觀測。4 月到 9 月（圖 6d～6i）則是 IC 發生次數較高的季節，陸地上北、中、南三個 IC 中心尤為顯著，其中又以北部及中部中心較明顯，南部中心的發生次數則較北部和中部為少。9 月以後 IC 發生的次數開始減少，10、11 月（圖 6j、6k），整個陸地上的 IC 次數劇減，僅東北部海面的位置仍有較多的 IC 發生。

在不考慮颱風影響下的閃電行為[1]，圖 7 為以小時單位，計算每個格點上 CG 及 IC 發生頻率最高的時間。圖 7 顯示北部、中部及南部中心閃電發生最頻繁的時間皆落在午後的時段，但是北部閃電發生最頻繁的時間多在下午 3 時至 4 時，中部及南部閃電發生最頻繁的時間則在下午 4 時至 5 時之間，較北部發生時間晚。造成南、北部閃電

[1] 依照中央氣象局發佈海上颱風警報的開始日至結束日將資料剔除，9 年間共計有 56 個颱風，影響日數 188 日。

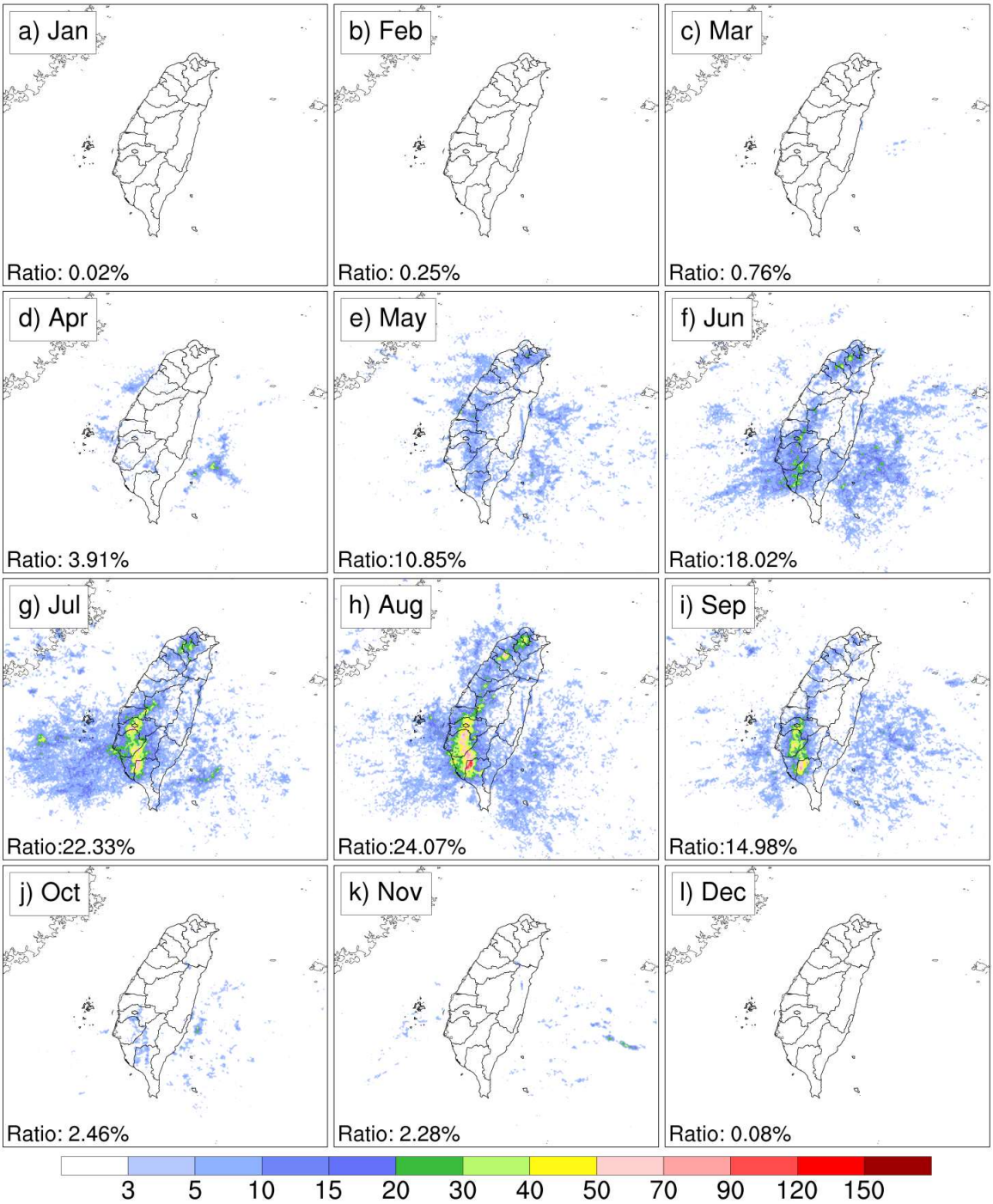

圖 5　2004 至 2012 年逐月之 CG 累積次數，(a)至(l)分別為 1 至 12 月。左下方之百分比為當月 CG 次數佔整年總次數之比例。

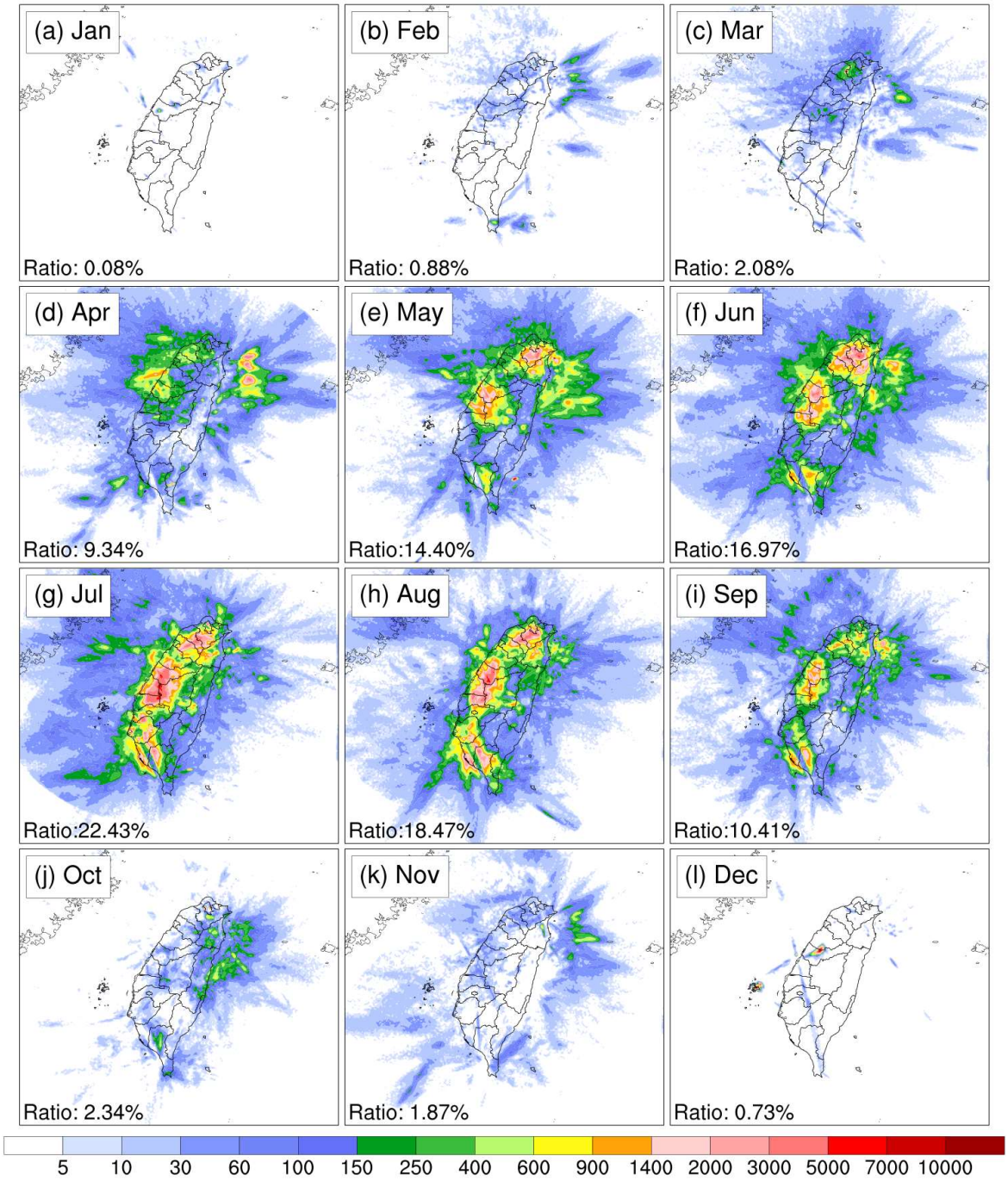

圖 6　2004 至 2012 年逐月之 IC 累積次數，(a)至(l)分別為 1 至 12 月。左下方之百分比為當月 IC 次數佔整年總次數之比例。

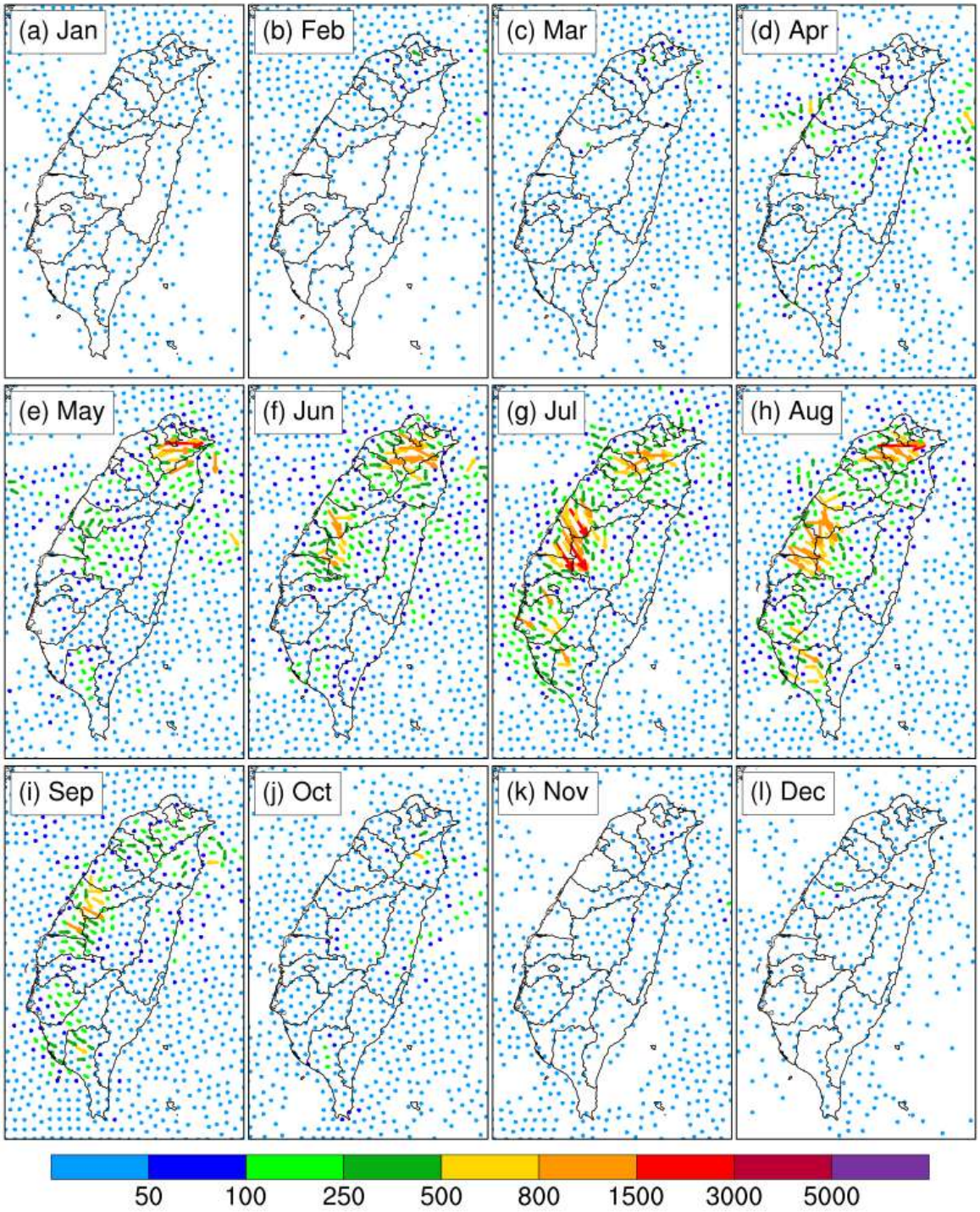

圖 7　各月份(a～l)逐時閃電次數的時間統計，箭頭所指方向即所在格點閃電發生次數最高的時間，12、15、18、21 時分別指向北、東、南和西方，箭頭的長度和顏色代表閃電發生的次數。

頻率極值發生時間差異的原因則有待更進一步分析。

圖 8 為不同 CG 極性之能量的分析。圖中顯示負 CG 占了全部 CG 的 83.6%，正 CG 僅佔 16.4%。負 CG 的能量主要分佈在 1 kA～60 kA 之間，占總量的 79.42%，其中又以 11 kA～20 kA 最多，其比例為 25.51%，超過了總 CG 比例的 1/4。至於正 CG 能量主要分佈在 1 kA～0 kA 之間，約佔 13.1%，甚至超過負 CG 的 11.64%，但之後隨著能量越大，其數目快速遞減，幾乎沒有正 CG 超過 120 kA 以上。

負 CG 能量大於 61 kA 的閃電多發生在臺灣東南及西南側的海面上（圖 9a、b），陸地負 CG 中心（例如北部及南部中心）的能量通常較小，主要在 11 kA～20 kA 之間（圖 9f）。正 CG 的能量分佈亦有類似的分佈特性，陸地上正 CG 的能量通常較小（1 kA～10 kA）時（圖 9h），較大正 CG 能量發生在海上的機率較高。此一現象在文獻上也有類似的討論(Altaratz et al., 2003; Seity et al., 2000)，Takahashi (1984)認為陸地上的土壤本身即帶有金屬的分子易於導電，地面上的山巒、丘陵、樹木、建築等突出物，都縮短了閃電能量釋放的途徑，因此一旦雲中的電荷產生分離時，

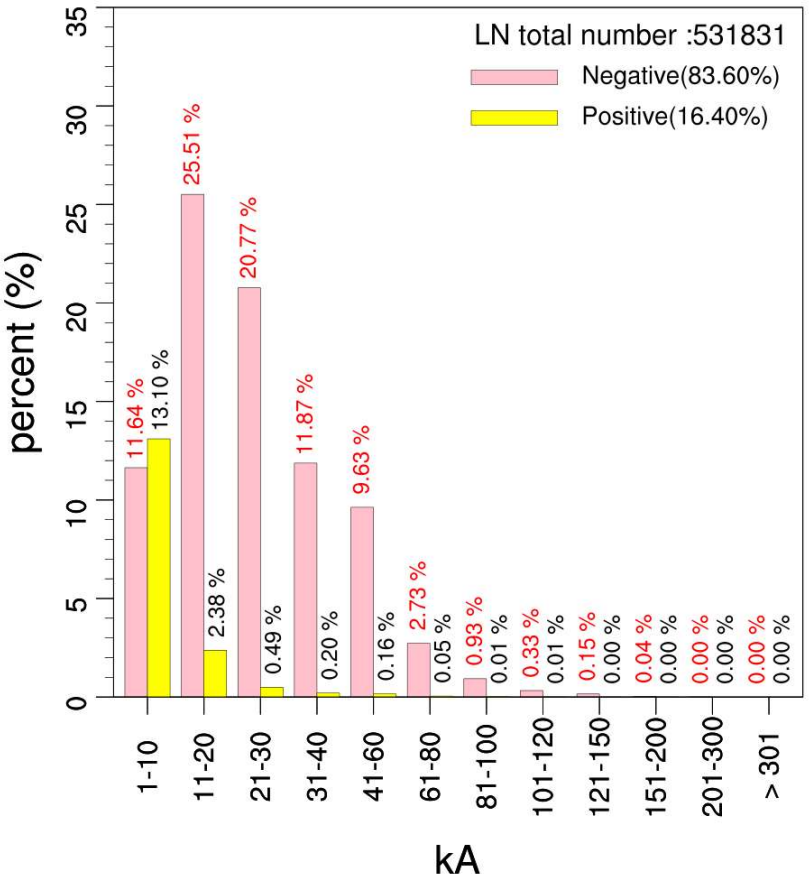

圖 8　CG 閃電能量分佈統計。粉紅色為負 CG，黃色為正 CG。橫軸為能量大小分佈，縱軸為占 CG 總量的比例。

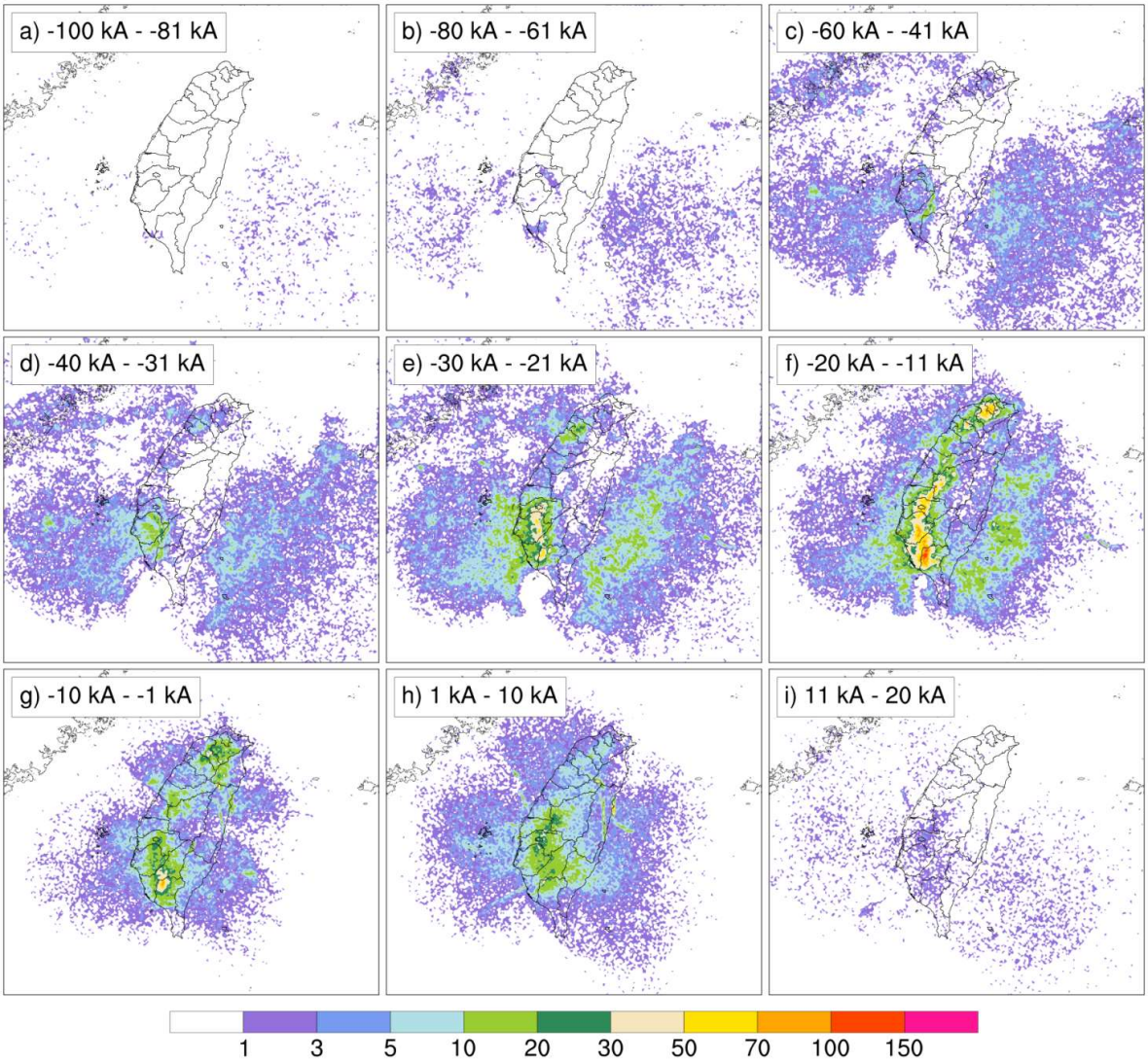

圖 9　CG 能量分佈(a) –100 kA～–81 kA，(b) –81 kA～–61 kA，(c) –60 kA～–40 kA，(d) –40 kA～–31 kA，(e) –30 kA～–21 kA，(f) –20 kA～–11 kA，(g) –10 kA～–1 kA，(h) 1 kA～10 kA，(i) 11 kA～20 kA。

在陸地上較有利於能量的釋放，因此閃電的能量一般而言會比海面來得小。

四、結論

臺灣地區自有閃電的觀測記錄以來，已歷時 20 多年，累積了相當龐大的閃電資料庫，相信已有足夠的資訊來了解臺灣地區的閃電時空分佈特徵。本研究使用臺灣電力公司所提供的 2004 年至 2012 年的閃電資料，其中包含了 CG 以及 IC 的資訊。

從 CG 及 IC 發生的時間分佈來看，兩者皆指出閃電發生頻率最高的時間集中在 4 月至 10 月的 12 時至 18 時之間，顯示出午後對流與閃電發生有相當密切的關係。從 CG 及 IC 空間的分佈來看，兩者同樣指出閃電發生在陸地上的數量較發生在海面上為多，發生在臺灣西半部的數量多於

東半部，CG 與 IC 分別在西半部陸地及近海上形成幾個閃電的分佈中心，但除了位在北臺灣的分佈中心較一致外，中南部及海面的分佈中心則有明顯差異，CG 顯示多發生在臺灣偏南側的海面，IC 則多發生在臺灣偏北側海面。

CG 及 IC 隨季節的變化十分明顯，雖然在 IC 較 CG 多了一個數量級，但在成長的趨勢上仍具有一致性，總合兩者的結果，可以發現在 11 月至隔年 2 月間閃電發生的次數較少，3、4 月閃電在北臺灣有逐漸增加的現象，並且以海面上為主，陸地上發生的次數仍少。到了 5、6 月份陸地上的閃電發生數目增加迅速，幾個閃電中心在此時都已逐漸形成，其中又以北部中心較為明顯。7、8 月份是閃電發生最頻繁的月份，CG 及 IC 的極值皆發生在此段時間，值得注意的是閃電發生極值區從北部中心南移到中部及南部的中心。9、10 月後閃電發生的區域則以中部及南部中心為主。閃電整年的變化趨勢顯示，海面上較陸地先偵測到閃電的訊號，但陸地上閃電成長的速度較海面快，陸地上又以北部中心較南部中心早形成，7、8 月達到閃電發生的峰值後，陸地上閃電減少的速度較海面快，北部中心減弱的時間亦較南部中心早，海面上閃電能延續到較晚的月份。分析各月份閃電發生最頻繁的時間，發現陸地上各個分佈中心閃電發生最頻繁的時間皆落在午後時段，北部中心閃電主要發生在下午 3 時到 4 時間，中南部中心主要在下午 4 時至 5 時間。

分析 CG 的能量分佈發現負 CG 占全部 CG 的 83.6%，正 CG 僅佔全部 CG 的 16.4%。負 CG 的能量多集中在 60 kA 以下，以分佈在 11 kA～20 kA 最多，佔總 CG 的 1/4。正 CG 的能量主要集中在 1 kA～10 kA 之間。從能量的空間分佈來看，能量較強的 CG 大多發生在海面上，隨著能量越小，CG 發生的位置有越來越向陸地上集中的趨勢，推測其原因，可能跟海陸對流環境的特性、凝結核的多寡以及導電特性有關。

近幾年來閃電資料的應用正逐漸普及，氣象局自 2012 年起也開始架設另一套閃電偵測系統，顯見對於閃電資訊的重視，並且加強對閃電偵測的能力。相對於其他災害性的研究，臺灣地區關於閃電方面的研究和應用正處於起步的階段。本研究為分析臺灣地區閃電時、空分佈的特徵，初步提供了未來更進一步應用閃電觀測資料的基礎，進而推估並且建立強對流發展的概念模式。在未來閃電的觀測資料在各領域的應用，包括其和對流系統發展之相關、降水之關連，即時預報的應用，乃至進行數值天氣預報的資料同化等，這都有待更多的研究發展來拓展閃電的應用。

致謝：

本研究在中央氣象局氣象資訊中心提供之計算支援以及科技部研究計畫 MOST 104-2625-M-052-003 支援下完成。

參考文獻

中央氣象局，1999：天然災害災防問答集。108pp。

吳璧如，1999：細說閃電。*物理雙月刊*，**21**，543-549。

何宜穎，2004：臺灣地區地震與閃電之研究。國立中央大學太空科學研究所碩士論文，55pp。

林熹閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。*大氣科學*，**27**，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**，21-34。

陳泰然，1994：臺灣地區梅雨季中尺度現象之氣候研究(一)。國科會研究報告 NSC 83-0202-M002-002，112 頁。

廖順安，2004：臺灣地區落雷偵測系統應用與校正方法研究完成報告。臺灣電力股份有限公司九十三年度研究專題。

戴志輝、林得恩與賴世運，2008：台灣北部地區夏季午後對流閃電與綜觀氣流風向之關係。*大氣科學*，**36**，179-196。

戴志輝、王尹懋、王安翔、林博雄，2015：雲中閃電資料應用於雷暴即時預警之研究。*大氣科學*，**43**，115-132。

Altaratz, O., Z. Levin, Y. Yair, and B. Ziv, 2003: Lightning activity over land and sea on the eastern coast of the Mediterranean. *Mon. Wea. Rev.,* **131,** 2060-2070.

Gatlin, P. N., and S. J. Goodman, 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.,* **27,** 3-22. DOI:10.1175/2009JTECHA1286.1.

Chen, C. –S and Y. –L. Chen, 2003: The Rainfall Characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1323-1341.

Seity, Y., S. Soula, and H. Sauvageot, 2000: Radar observation and lightning detection in coastal thunderstorms. *Phys. Chem. Earth*, **25**, 10-12.

Takahashi, T., 1984: Thunderstorm electrification—A numerical study. *J. Atmos. Sci*., **41**, 2541-2558.

Williams, E. R., 1988: The electrification of thunderstorms. *Sci. Amer.,* **269,** 88-99.

Yeh, H.-C., and Y.-L. Chen, 1998: Characteristics of the rainfall distribution over Taiwan during TAMEX. *J. Appl. Meteor.,* **37**, 1457-1469.

Statistical Analysis of the Lightning Activities Around Taiwan Island

Pao-Jao Chen* and Jing-Shan Hong

Central Weather Bureau

(manuscript received 21 August 2015；in final form 18 November 2015)

ABSTRACT

This paper conducts a statistical study on the lightning activities around Taiwan Island. A total of more than 26,700,000 lightning observations during the period of 2004 to 2012, including the cloud to ground (CG) and intra-cloud (IC) lightning, were analyzed from the total lightning detection system (TLDS) of Taiwan Power Company.

Statistics shows that the most active CG and IC occurred between 12 and 18 local time (LST) during April to October. The peak lightning activities occurred at 15~16 LST over northern Taiwan, and 16 to 17 LST over southern Taiwan. Therefore, the lightning activities are suggested to relate to the afternoon thunderstorms. The horizontal distributions of the CG and IC have the characteristics that lightning over the land is much more than those over the ocean. The lightning counts over the west Taiwan are more than the east. In terms of the seasonal variation, the lightning activities over the open ocean/north of Taiwan occurred earlier than those over land/south of Taiwan.

The occurrence of the negative CG is significantly more than the positive CG. Negative CG has the current smaller than 60 kA, most are distributed between 11 kA and 20 kA. The current of the positive CG are distributed between 1 kA and 10 kA. The CG over the ocean in general has the larger current than those over the land.

Key Words: Cloud to ground lightning, Intra-cloud lightning

*Corresponding author: Pao-Jao Chen, E-mail: fajan09@gmail.com