

台灣地區閃電氣候特徵之研究

曾以真 洪景山
中央氣象局

摘 要

本研究利用台灣電力公司整合型閃電落雷觀測系統之1~7月的閃電資料，分析台灣地區閃電分布的氣候特徵，此研究與以往最大的不同在於新的系統除了偵測雲對地閃電（Cloud-to-ground, CG）外，還可偵測到雲間閃電（Intra-Cloud, IC）。結果顯示：夏季的閃電，無論是IC或CG，都高出冬季許多，負閃電的強度夏季也比冬季強；愈到夏季，CG占所有閃電的比值越大，而當中負閃電所佔的比例也明顯增加。

此外，我們把天氣型態分為六型，然後將7個月中當天IC總次數大於1000次的天數依不同天氣類型逐日分類，再作合成分析。結果顯示：閃電（CG和IC）無論在次數或分佈區域，陸地性對流都比海洋性對流多，其中又以高層冷心低壓型為最，顯示高層冷心低壓所伴隨的不穩定大氣特別容易在台灣陸地地區產生劇烈對流。颱風類型的閃電大致分布在平地及海上，中央山脈的密度極低；高層冷心低壓與午後熱對流的閃電大都分布在北部山區及中央山脈以西的山坡上；梅雨鋒面因其系統尺度大，常有線狀對流的發展及移入，故分布範圍較為寬廣。

日夜變化方面，以高層冷心低壓與午後熱對流兩類型變化最顯著，閃電均集中於午後，IC與CG的關係除了冷鋒型態沒有明顯相關外，其餘均呈現正相關。IC和CG次數比值（IC/CG）以冷鋒型最高（73.5），其次依序是梅雨鋒面型（45.3）、海洋對流型（29.1）、午後熱對流型（19.9）、高層冷心低壓型（18.0），最低者為颱風型（7.7）。

關鍵字：雲內閃電、雲間閃電、雲對地閃電

一、前言

閃電的發生意義著大氣中有電荷分離的現象，也就是正電和負電被分離至不同的區域。閃電即是這些被分離的電荷從一個地方被傳送到另一個地方的過程。閃電發生時會在一個很窄的區域中瞬間加熱大氣到30000 K，由於閃電的時間太短暫，因此大氣沒有時間膨脹，故而在局部產生高壓，隨後這個局部高壓區快速膨脹而激發大氣中的震波（shock wave）和聲波，後者則形成了雷（Houze 1993, 271頁）。在此我們所感興趣的是對流系統所伴隨的閃電現象；有許多機制可以用來說明對流雲內電荷被分離的過程，但是越來越多的證據顯示，對流雲中冰雹的存在和雲內電荷的分離似乎有密切的關連；對流雲內的冰雹在強上衝流中不斷和冰粒子碰撞的結果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。由以上的說明可以歸納出一個重要的結論，也就是說對流雲中電荷的分離和冰雹、冰粒

子有關，也就是和冷雲過程有密切的關係，通常單純的暖雲過程是很少機會發生閃電的，而這也意味著對流雲的閃電行為和雲物理過程應該具有某種程度的關連（洪2002）。由於大氣的閃電行為和對流行為密切相關，而對流行為則和大氣環境條件相關，因此，如果適當地將發生閃電個案的大氣條件分類，當可預期比單純利用月份或季節分類得到更有系統性的統計結果（Lericos et al. 2002; Altaratz et al. 2003）。

一般來說，對流雲雲頂溫度至少要超過-15至-20°C才會有較活躍的閃電發生，雲內閃電（Intracloud lightning, IC）通常先發生，幾分鐘後則發生雲對地閃電（Cloud-to-Ground lightning, CG），如果同時存在許多雲，則可能有雲間閃電（Cloud-to-Cloud lightning, CC）。CG往往發生在對流發展成熟之時，且大部分均為負電，只有少部分是正電。對流進入消散階段而形成較廣泛的層狀降水區時則有較多的機會產生正電的CG。閃電的頻率因個案和不同的對流型態而有很大的差異，但總的來說，對流越劇烈閃電的頻率越高（洪 2002）。

台灣地處熱帶與副熱帶區，冬半年北部有斜壓波影響，夏半年除了梅雨鋒面、午後熱對流外，還有每年平均3~5個颱風的侵襲，而這些天氣系統所伴隨的強烈對流系統，經常伴隨密集的閃電現象。閃電的觀測幾乎沒有時間與空間解析度的限制，本研究整理台灣電力公司2005年的即時閃電資料，包括閃電發生之時間、地點（經緯度）、極性以及強度等，作初步的氣候特徵及日夜變化分析，第二階段則嘗試從天氣個案中進行

閃電行為的分類，以期對台灣地區閃電的氣候特性有更深一層的了解。

二、資料來源

台灣地區最早之閃電觀測是台灣電力公司之電力綜合研究所於1989年六月啓用的閃電觀測系統 (lightning location system, 林1999)，此系統利用一組裝置於台北的位置分析器 (Advance Position Analyzer)，六個方向偵測器 (Direction Finder)，分別裝置於宜蘭、楊梅、南投、烏山頭、屏東及台東，利用磁場天線偵測出落雷發生的方向、極性及強度，但此系統無法偵測到雲內閃電。

今 (2005) 年台灣電力公司新架設了一組新整合型閃電落雷觀測系統，除了以往的CG外，還增加了IC與IC的觀測，其偵測器的分布如圖1所示。每個偵測器有5個偶極天線 (dipole antenna)，利用收到電波的相位差推算出閃電的位置，具備高解析度定位技術，且效能高，即使高密度的閃電也能個個掌握，此外，它的偵測範圍也很廣，擴及台灣海岸線外3~400百公里的區域，對於氣

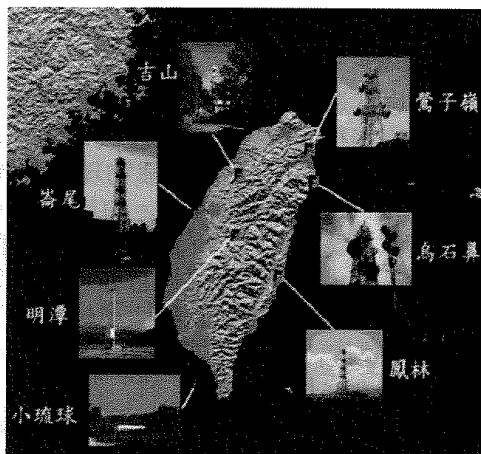


圖1：台灣電力公司整合型閃電落雷觀測系統偵測器分布圖。

象上雲物理過程及引發的閃電機制的研究助益匪淺。

三、閃電分布的氣候特徵

本文統計2005年1~7月的閃電資料，圖2是七個月期間所有閃電的空間分佈和一天24小時之時間分佈。圖中我們將閃電觀測投影至3公里見方的網格系統中，再計算每個格點的閃電總數。圖中顯示這7個月期間主要閃電發生在台灣北部和中部地區，所有閃電數目達19,78,582，其中IC和CG之數量比值為23.4，CG中負閃電 (Ltn-) 和正閃電 (Ltn+) 的比值則為1.92。IC與CG發生時間的相關係數為0.86，意味著當IC發生頻率增加時CG也跟著增加，其中午後為閃電發生頻率最高的時間，顯示午後對流是閃電發生最主要的機制。

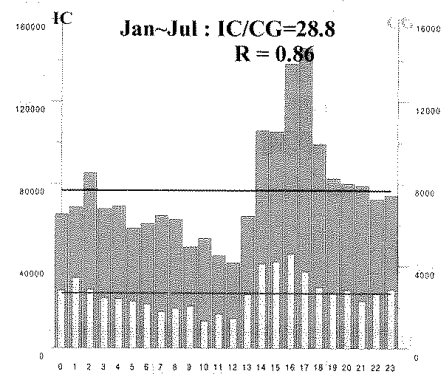
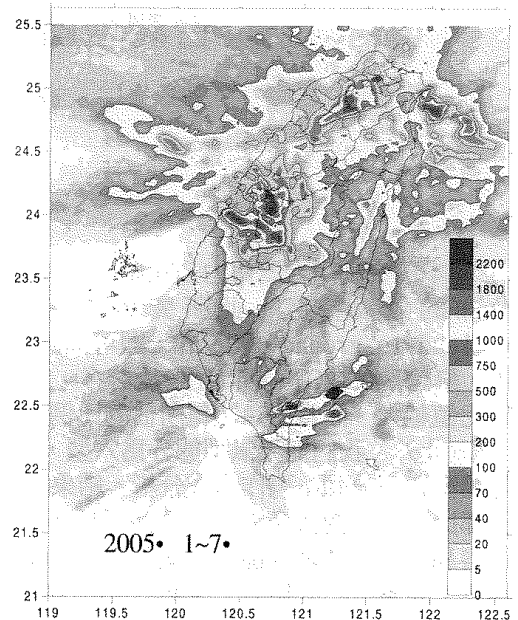


圖2：2005年1~7月所有閃電分布合成圖 (上) 及其IC與CG數量日夜變化分布圖 (下)。下圖中藍色長條圖為IC次數，藍線為IC的平均值，對應左邊刻度，粉紅色長條圖為CG次數，粉紅線為CG的平均值，對應右邊刻度。

表一為各月的閃電統計 (在此統計的資料為系統可偵測到的所有閃電資料)，統計結果顯示：夏季的閃電數量，無論是IC或CG，都高出冬季許多，而2005年5月12日，閃電個數 (IC+CG) 多達362,551個，是七個月中當日閃電總數量最多的一天。

圖3為所有閃電 (IC+CG) 各月份的日夜變化：1~4月因閃電次數較少，因此沒有顯著的日夜變化，5月是閃電次數最多的一月，此月梅雨鋒面影響天數多，閃電在9~13時較少，其餘時間則屬偏多情形。6月梅雨鋒面影響較少，天氣逐漸轉為午後熱對流的型態，因此閃電的高峰值出現於14~20時，7月的情況更為明顯，16~17時是尖峰。

圖4為IC/CG及Ltn-/Ltn+閃電數量比值的月序列圖，可以看出愈到夏季，IC和CG的比值持續下降，換言之，CG占所有閃電的比值持續增加，而愈到夏季，CG中Ltn-所佔的比例也隨之明顯增

表一：各月的閃電個數統計，Ltn-和Ltn+表雲對地之負閃電和正閃電。

月份	IC	CG		
		Total	Ltn-	Ltn+
1月	159	4	0	4
2月	54,603	625	223	402
3月	43,330	846	288	558
4月	37,310	969	354	615
5月	1,192,312	26,248	16,641	9,607
6月	356,289	23,367	16,630	6,737
7月	294,579	32,348	21,373	10,975
總數	19,78,582	84,407	55,509	28,898

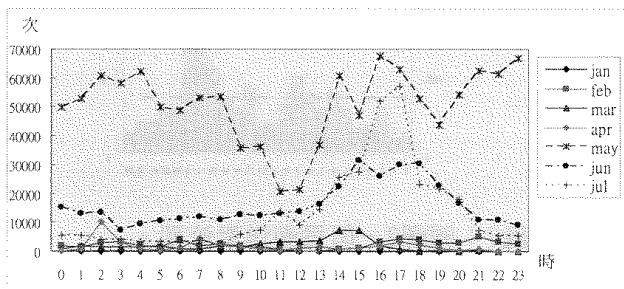


圖3：所有閃電 (IC+CG) 各月份的日夜變化。

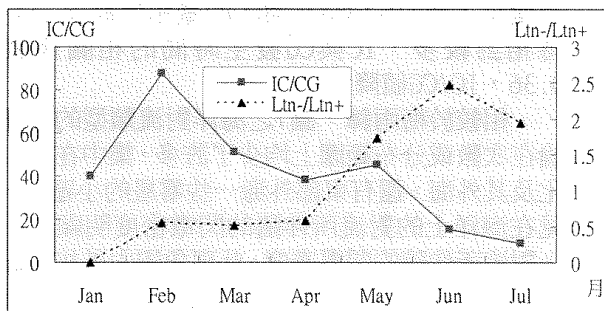


圖4：IC/CG及Ltn-/Ltn+閃電數量比值的月序列圖，IC/CG對應左邊刻度，Ltn-/Ltn+對應右邊刻度。

加。由於季節變化所伴隨之大氣環境條件的改變會影響大氣的對流行為，而閃電主要是由對流過程所產生，因此，IC和CG數量比例的變化隨著季節的改變而改變是一個合理的結果。然而，可以更確切地說，大氣的閃電行為和對流行為密切相關，而對流行為則和大氣環境條件相關，因此，如果適當地將發生閃電個案的大氣條件分

類，當可預期比單純利用月份或季節分類得到更有系統性的統計結果。

四、不同天氣型態的閃電分布

由於不同天氣型態下發展之對流行為可以有顯著的差異，並進一步導致閃電行為之系統性差異，因此，本研究在此將2005年1~7月的閃電個案依不同之天氣型態分為：A-冷鋒、B-梅雨鋒、C海洋對流、D-颱風（包含熱帶性低氣壓）、E-高層冷心低壓、F-午後熱對流等六型。接著將2005年1~7月中每天閃電總次數大於1000次的日子視為一個個案，並依上述六類型進行分類，我們把1~4月直接受鋒面影響的個案歸為A型，5~6月直接受梅雨鋒面影響的個案歸為B型，直接受颱風或熱帶性低壓影響者歸為D類。除了受鋒面和颱風直接影響的個案，在沒有明顯的強迫機制下，往往在巴士海峽或台灣鄰近海域會形成中尺度對流系統（MCS），這些MCS也可能是在西南季風的環境下在海上所形

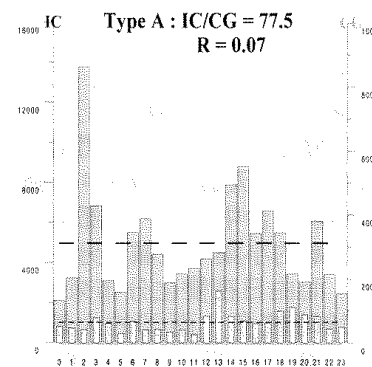
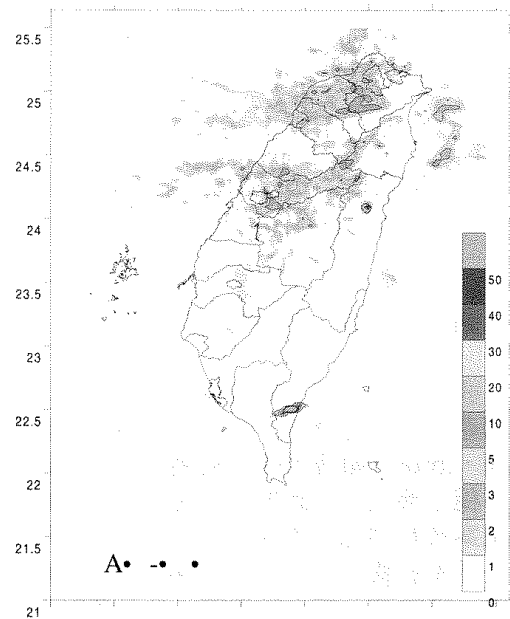


圖5：同圖2，但為冷鋒型。其中左圖為該類型所有個案之閃電次數的平均。

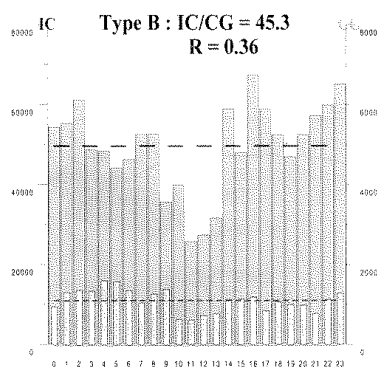
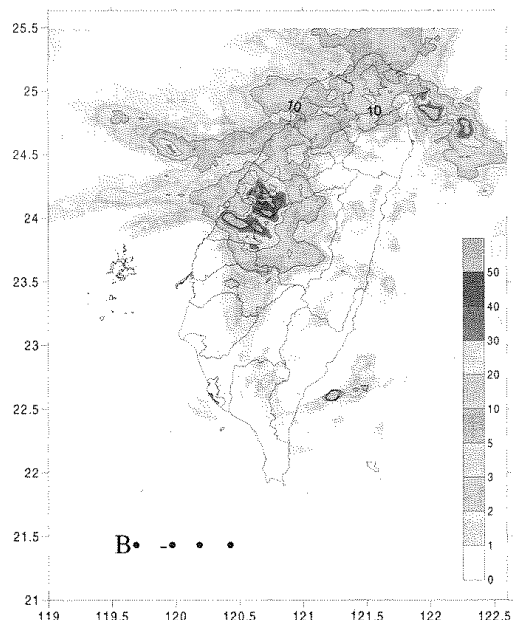


圖6：同圖2，但為梅雨鋒面型。

成的對流系統。當這些對流系統移入台灣陸地即產生局部性降水。由於對流系統主要發生在海面，既缺乏顯著的強迫機制，也沒有陸地加熱之不穩定機制，因此對流可能較弱，本研究將這些個案統歸為海洋對流類（C類）。E類為受高層冷心低壓影響，中低層無明顯天氣系統的個案。最後，排除前五種天氣型態，且台灣附近無明顯的天氣系統的個案均歸為F類。本研究在1~7月212天裏，有90天當日閃電次數大於1000次，這91個個案中A型有19天，B型29天，C型9天，D型7天，E型5天，F型21天。

圖5~圖10分別為六種不同天氣型態其閃電行為的日夜變化及空間分布，閃電空間分布圖均為平均值（已除以天數）。圖5中冷鋒的閃電分布主要在北桃新及台中一帶，南部則在台東的大武附近有一閃電的小集中區域，另外在宜蘭外海也有高峰值。而由日夜變化分布來看，IC在2~3、5~8及14~18時較多，而CG的大值出現在12~14時，IC與CG發生時間的相關係數只有0.07，而IC/CG值為77.5，可見閃電大多為IC，CG量不多。

圖6中梅雨鋒面的閃電分佈比起冷鋒來，除了次數較多外，分布範圍也更廣，主要位於嘉義

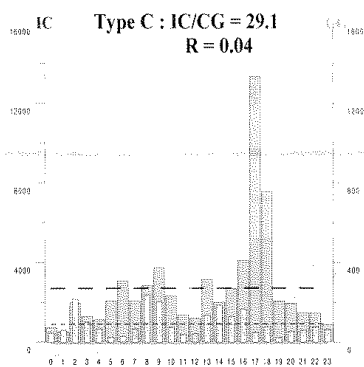
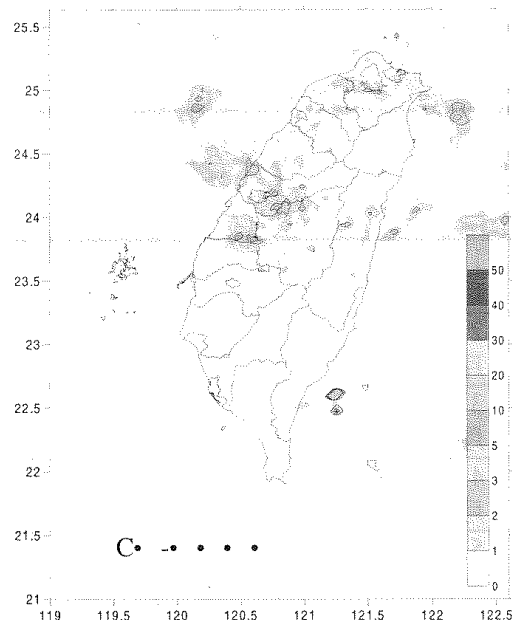


圖7：同圖2，但為海洋對流型。

以北的西半部地區及其外海，還有東北角宜蘭外海一帶，另外台東外海及屏東山區也不少。在日夜變化方面，9~13時IC與CG的量相對較少，14~18時相對較多，IC與CG發生時間的相關係數為0.36，IC/CG值降為45.3。

相較於梅雨鋒，圖7之海洋對流類型的閃電無論在次數或分布範圍上均少了許多，集中在台中彰化及其外海，還有東部外海一些零星的小區域，可見在海洋上的對流所伴隨的閃電密度明顯少於陸上對流所伴隨的閃電密度，此現象國內外相關研究均有相同的發現，主要是因為陸地上高低層的冷熱及乾溼對比均較海洋來得大，大氣的自由對流可用位能相對的高出許多，對流旺盛，閃電也就多，而海洋上的對流雖然常夾帶旺盛的水氣造成陸地上顯著的降水，但它屬動力（強迫性）作用，對流現象不強，也因此閃電次數就少了許多。在日夜變化方面，IC於16~18時為高峰值，但此時段CG反而較少，IC與CG發生時間的相關係數只有0.04，是最低的一類，IC/CG值為29.1，到達地面的閃電比例比梅雨鋒還多。

今年七月17~22日，台灣地區受強烈颱風海棠的影響，此颱風18日在花蓮外海先南偏再北轉，轉了一大圈後才在14:50左右從宜蘭登陸，晚上20時左右由苗栗後龍出海，因其暴風半徑大，台灣本島均為它的環流所籠罩，由圖8分布圖看出，颱風所伴隨的閃電還不少，台東大武、恆春半島北端及其外海一帶閃電有最多的聚集，另外東部外海、西部及台南高雄外海也很多，而一個有趣的現象是中央山脈除了其尾端的屏東山區一帶外，閃電比平地少許多。日夜變化方面，IC與CG於9~17時為高蜂值，而CG在19~21時還有一高蜂值，IC與CG發生時間的相關係數為0.33，而IC/CG值只有7.7，是所有類型中最低的一類，顯示颱風的閃電比其他天氣現象有更大部分到達地面。

6月27~7月1日先後有兩個高層冷心低壓由呂宋島東方海面移進台灣南部，上冷下暖的大氣結構增加了大氣的不穩定度，引發的天氣現象以午後熱對流為主。由圖9的分布圖來看，閃電主要發生在中央山脈以西的山坡上和高雄外海，因其主要為熱對流，閃電次數很多，而且閃電密度是六種天氣類

型之最。此外，此類是所有類型中日夜變化最顯著的一個，可看出對流大致在13時開始發展，到17時達高峰後即快速消散，到19時幾乎已歸於平靜，IC與CG發生時間的相關係數高達0.89，為最高的一型，IC/CG值為18.0。

圖10為純午後熱對流分布，閃電主要集中在北部的山區、中部中央山脈以西的山坡以及宜蘭花蓮及其外海。此類型也有明顯的日夜變化，和E型一樣，對流在13時開始發展，到17時達高峰逐漸減少，大概可持續到22時，另外IC在3~5時有一小高蜂值，IC與CG的相關係數也有0.88，IC/CG值為19.9，均與E型差不多。

六種天氣類型的IC/CG值與Ltn-/Ltn+值比較如圖11所示，可以看出D、E、F（颱風和午後對流）型的IC/CG值相對較低，而鋒面類型則相對較高。而Ltn-/Ltn+值則以颱風類（D）。不同天氣類型之閃電行為的差異和雲內的微物理過程息息相關，因此，以上分析結果所代表的意涵有賴更進一步從雲動力和微物理過程獲得更進一步的詮釋。

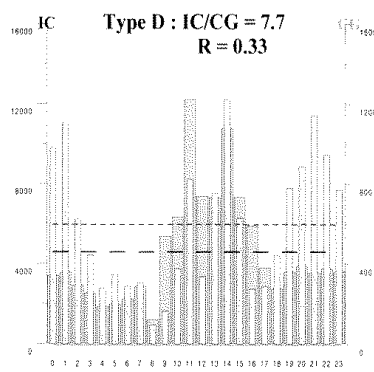
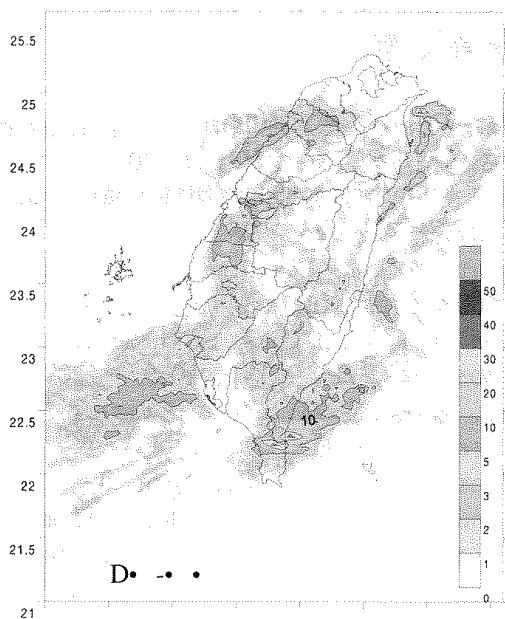


圖8：同圖2，但為颱風型。

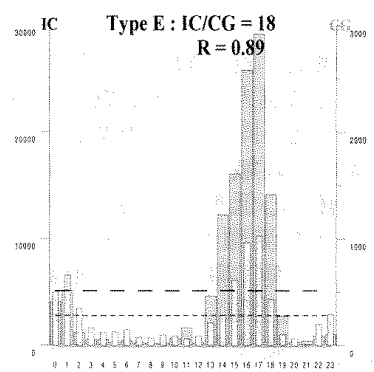
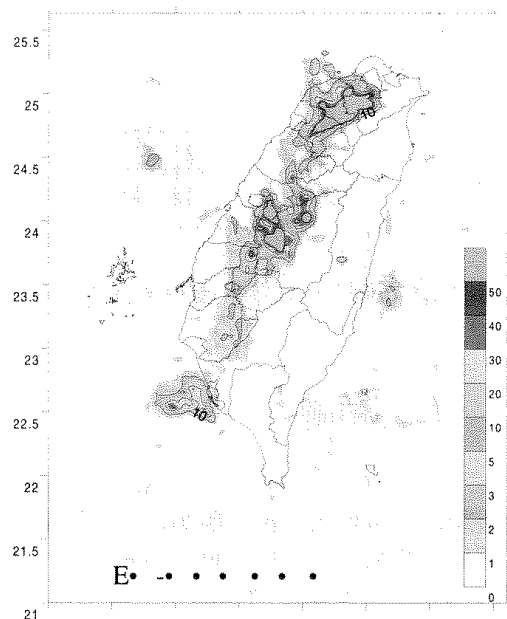


圖9：同圖2，但為高層冷心低壓型。

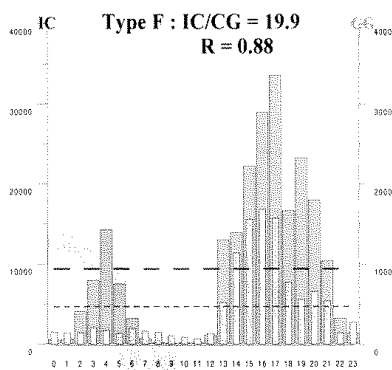
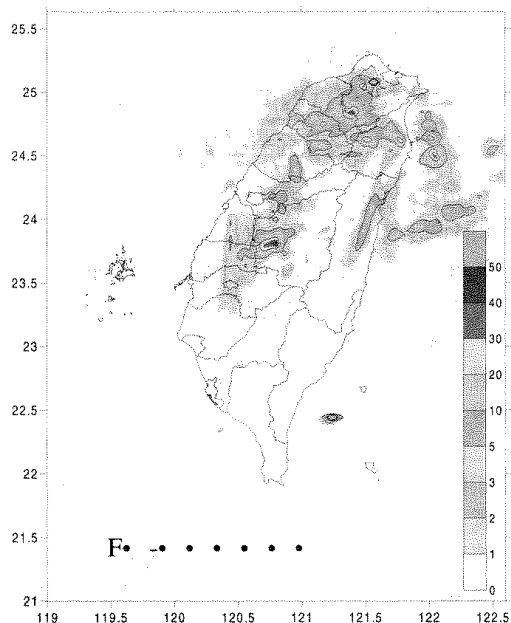


圖10：同圖2，但為午後熱對流型。

五、結論

本研究整理台灣電力公司2005年起用的新整合型閃電落雷觀測系統所觀測之1~7月的閃電資料作初步的閃電特性分析。研究結果顯示，7個月期間閃電發生主要在台灣北部和中部地區，其中IC和CG之數量比值為23.4，CG中負閃電(Ltn-)和正閃電(Ltn+)的比值則為1.92。午後是為閃電發生頻率最高的時間，顯示午後對流是閃電發生最主要的機制。就季節而言，愈到夏季，CG占所有閃電的比值越大，而當中負閃電所佔的比例也明顯增加。就不同的天氣類型而言，閃電無論在次數上或分部區域上，陸地都比海洋來得多，其中又以高層冷心低壓型為最。此外，高層冷心低壓與午後熱對流類型之閃電發生頻率的日夜變化最顯著。IC與CG發生時間的相關係數也以此兩類型最高，分別為0.89與0.88，再來為梅雨鋒面型(0.36)、颱風型(0.33)，而冷鋒型與海洋對流型均低，分別只有0.07與0.04。IC/CG值以冷鋒型最高(73.5)，其次依序是梅雨鋒面型(45.3)、海洋對流型(29.1)、午後熱對流型

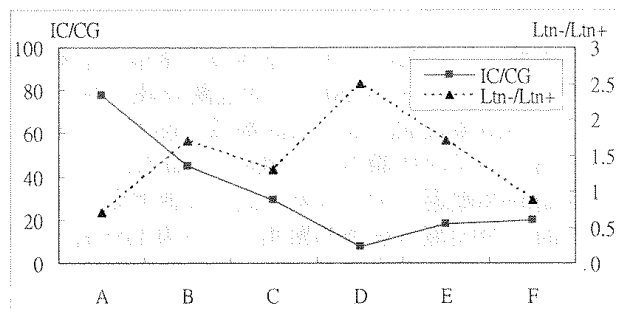


圖11：同圖4，但為六種天氣類型的比較。

(19.9)、高層冷心低壓型(18.0)，最低者為颱風型(7.7)。不同天氣類型之閃電行為的差異和雲內的微物理過程息息相關，因此，以上分析結果所代表的意涵有賴更進一步從雲動力和微物理過程獲得更進一步的詮釋。

致謝

感謝中央氣象局衛星中心張保亮博士在閃電資料的讀取與相關資訊提供上的協助。

參考文獻

- 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。
- 林熹閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。*大氣科學*，27，75 - 98。
- 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.
- Houze, R. A., 1993: *Cloud dynamics*. Academic Press, 573 pp.
- Lericos, T. P., H. E. Fuelberg, A. I. Watson, and R. L. Holle, 2002: Warm Season Lightning Distributions over the Florida Peninsula as Related to Synoptic Patterns. *Wea. Forecasting*, 17, 83 - 98.
- Williams, E. R., 1988: The electrification of thunderstorms. *Sci. Amer.*, 269, 88 - 99.