

雷電偵測在即時天氣預報應用之個案分析

張培臣 林旻德 王士杰

空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

雷雨及其伴隨天氣現象，均對飛航安全具明顯威脅；然雷雨系統生命期短暫，大部分氣象觀測系統之時空解析度亦不足以完全解析雷雨系統之即時發展與演進趨勢，遂使雷雨預報與危安因素之及時偵知，成為航空氣象人員一大挑戰。本文以 NCEP 客觀分析資料、衛星雲圖、雷達回波、地面氣象觀測、逐時降雨資料及雷電偵測紀錄，分析 2002 年 12 月 19 日清晨台灣南部冬季雷雨個案，雷電偵測資訊之即時天氣預報能力。雷電觀測與其他大氣觀測工具存在時空解析度差異，但分析結果仍發現雲中放電(IC)與雲對地放電(CG)現象變化對豪雨、風切、亂流、積冰、對地放電等之預報，確可提供較早預警。惟進一步模式模擬、垂直高解析風場及回波場、密集探空與雷電特性分析，將更有助於釐清雷電偵測資料之航空氣象預報潛力。

關鍵詞：雷雨，TLDS，IC，CG

一、前言

美國國家運輸安全委員會(National Transportation Safety Board, NTSB)統計 1991~2001 年美國境內飛安事故發現，涉及 22,973 架航機共 22,655 次事故中，因氣象因素造成事故共 4,771 次(佔 21.1%)；與氣象因素造成的飛安事故中，41.1%並未有相關單位給予適當的氣象資訊(圖 1)。其中單純雷雨因素雖僅佔所有氣象飛安事故的 1.9%，但雷雨及其衍生的大氣環境變化，卻是肇生其他危害飛安氣象因子的重要來源。

據統計美國超過 50%雷事件(thunder events)導因於雲中(含雲間)放電(Intracloud, IC)；20%(西部)及 50%(東南部)雲對地放電(cloud-to-ground, CG)未被地面測站報告；30%~60%雷聲事件因時間短促而未被觀測到；有 10%~40%發生於地面測站 20 公里範圍內的 CG 未被報告為雷雨發生(Changon, 1993)；可見大氣雷電事件的人工觀測有其明顯的能力限制與作業誤差存在。雷雨系統自

肇生至消散生命短暫，一般除非伴隨於暖季鋒面、颱風或旺盛西南氣流等系統，在台灣地區僅得仰賴及時雷達觀測與飛航報告以提供預警。然審視過去學者研究結果，顯示閃電與 CAPE、雷達回波強度、雷雨雲發展高度、(氣流)垂直速度、垂直風切、降水與降雨率都有所關聯(Lim and Lee, 2001)；是以藉由雷電偵測系統提供之訊息不僅可提供危害雷區之直接警告，對危及飛安的大氣因子變化趨勢亦能彰顯部分訊息。

陳及曾(1992)分析 1981 至 1990 年間松山、中正及小港機場氣象觀測紀錄發現，台灣地區雷雨與落雷多集中於 3 至 9 月份，10 月至翌年 2 月則甚少發生。10 年間松山、中正及小港機場發生落雷或雷雨總次數分別為 463、399、369 次；其中每年 12 月之落雷次數則分別為 3、2、0 次；顯見冬季雷雨在台灣地區是極為罕見的。然 2002 年 12 月雷雨個案不僅間歇由 18 日持續至 20 日，範圍更遍及全省。又適逢本聯隊於今(2004)年元月開始接收台電公司「整合型閃電落雷偵測系統」

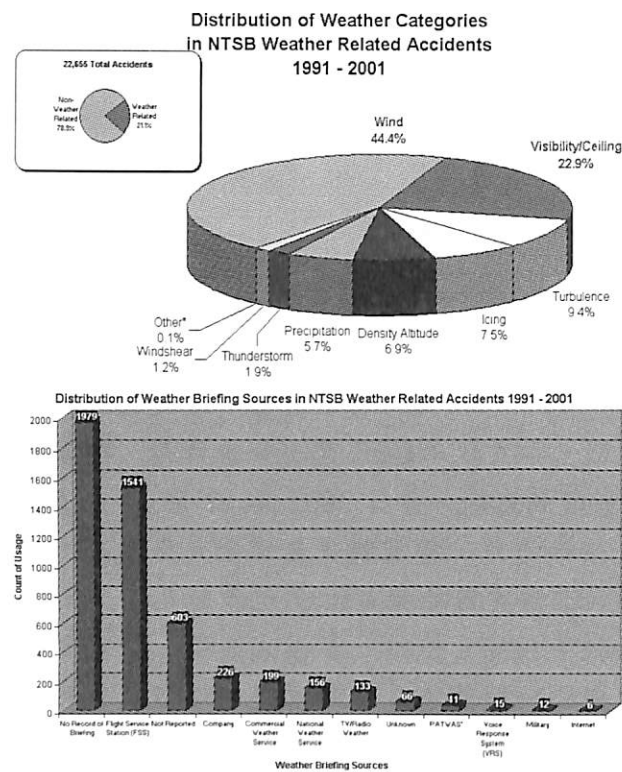


圖 1 美國 NTSB 統計 1991 至 2001 年境內因氣象因素造成之飛安事故(上)，及該類事故中有關氣象情資供應單位(下)。(www.nasdac.faa.gov/aviation_studies/weather_study/studyindex.html)

(Total Lightning Detection System, TLDS)即時偵測資料；本文遂試圖利用相關雷電偵測紀錄分析本次個案，以了解雷電偵測系統在即時航空氣象預報之應用價值。

二、研究回顧

觀測與模擬發現，雷雨系統中電荷產生和分離過程與降雨發展關係密切；據近代實驗觀測與數值模擬，大部分證據較接近降水帶電理論。冰相粒子帶電效率優於液態水；如雷暴中電荷分離過程與霰(graupel 或軟雹 soft hailstone)就關聯密切(程, 1992; 葉等人, 1993; Cotton, 1990; Lang, T.J., et al., 2000)。Krehbiel et al. (1983)發現 CG 過程中不論佛羅里達外海暖底積雲、新墨西哥陸地冷底積雲、與日本冬季淺積雲中，與閃電活動相關的負主電荷中心都位在雲中-10 ~ -20 間區域；即負電荷中心確實出現在雲中過冷卻區(圖 2)。Taylor(1980)亦發現閃電活動中心與-5

~-20 間過冷雲層相關。實驗發現，冰粒有時候與冰晶碰撞後，部分霰也會因而帶電；但霰最終電性與荷電量與溫度、過冷卻水(雲)滴中液態水比率、相碰撞冰晶之尺度與撞擊速度有關；尤其電性逆轉更與溫度密切相關(Houze, 1993; W.R. Cotton, 1990; Williams, 1988 and 1989)。逆轉溫度(reversal temperature)約介-10~-20 間；當溫度低於逆轉溫度時，霰粒子將帶負電；反之若處高於逆轉溫度區域將帶正電。反應在雲中，即有時可在底部發現一小塊帶正電區域。MacGorman et al.(1989)研究發現，旺盛上昇氣流將使負中心提昇至更高位置。就個別雷雨胞言，電荷分離與上升/下沉氣流切變局部區域及水平風切區相關(Cotton and Anthes, 1989)。

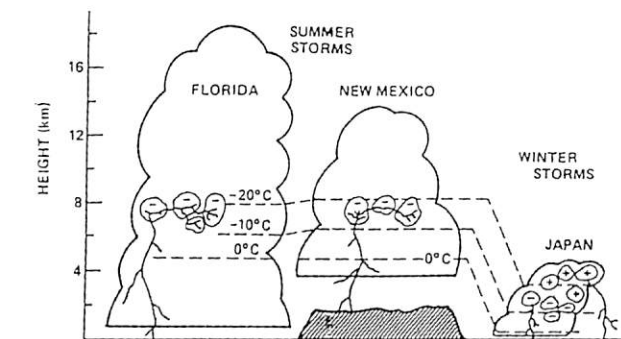


圖 2 佛羅里達、新墨西哥夏季雷雨與日本冬季雷雨之高度—CG 電荷源分佈圖(Krehbiel et al., 1983)。

雷雨雲頂發展至-15 ~ -20°C前並無放電現象；後 IC 先出現，且高頻放電現象持續數分鐘，尤其雷雨雲及雷達回波均顯示系統仍於成長階段；此階段 IC 將主負電區負電荷傳至上層正電荷區。延遲 IC 後約 5~10 分鐘，較稀疏 CG 才會開始發生(Williams et al., 1989; Houze, 1993; Lang et al., 2000)。CG 高峰通常出現在 IC 高峰後，且伴隨雷雨胞主核心開始衰減、下降時(Goodman et al., 1989; MacGorman et al., 1989; Carey and Rutledge, 1996; Lang et al., 2000)。CG 發生時雷達回波垂直剖面顯示一趨於水平，甚至下滑、減弱的發展趨勢(Williams et al.,

1989)(圖 3)。冰相降水最盛時，雲帶電機制最活躍；但電荷中心並未與雷達回波最強反射率區及最大降水區吻合(Cotton and Anthes, 1989)。洪(2002)發現 CG 空間分佈和大回波中心一致；CG 放電頻率隨時間變化與 10-40dBZ 回波頂高度關連不大，和 50dBZ 回波頂高度較有關係；CG 放電頻率峰值和最大垂直液態水總含量(vertical integrated liquid, VIL)亦有關。

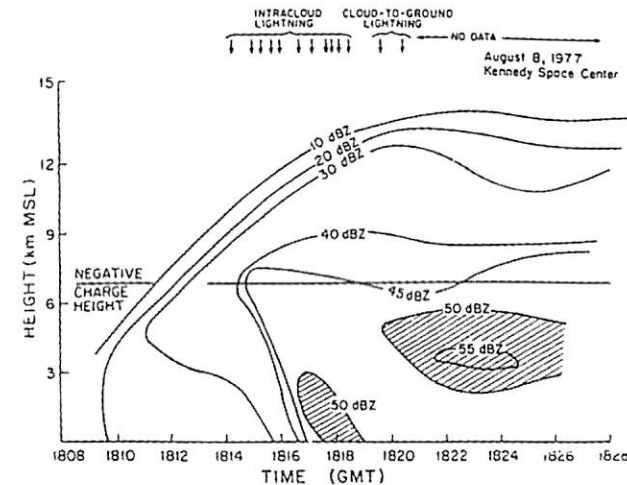


圖 3 1977 年 8 月 8 日美國佛羅里達 Cape Kennedy 一次雷暴雷達回波的時間--高度剖面分析。圖中也顯示 CI 與 CG 發生的時間(Williams et al., 1989)。

林(1999)分析台灣 CG 資料發現，高 CG 密度區必伴隨強對流及降水，但其間相關性變化很大，且 CG 出現並未明顯早於降水。Brook 等(1982)認為垂直風切會使雲上部正電荷區從雲下部負電荷區平移出，使雲頂與地面發展出較強電位梯度，造成正電荷雲頂對地放電；更推測如缺乏垂直風切，這樣放電過程將只存在於雲間或雲中。洪(2002)分析推斷當 CG 頻率增加(尤其峰值)時，CG 在大、小 VIL 區均增加之原因在於，電荷分佈可能受水平平流作用而離開強上衝流位置。

Fuquay(1982)認為除部分處於消散期放電外，絕大部分非劇烈雷雨 CG 極性都是負電。林(1999)則推斷，對流成熟及消散期較易發生正閃 CG。然而部分研究也證實，產生大冰雹(直徑≥2 毫米)或龍捲的劇烈雷暴中，常常會在成熟期產生持續時間超過 30 分鐘的

正極性 CG 放電(Carey and Rutledge, 1998; MacGorman and Burgess, 1994)。

據過去相關研究，許多劇烈風暴放電特性是伴隨較高總放電率(>30 次/分鐘)。雖放電頻率會因個案不同而有差異，但一般非劇烈雷暴放電頻率 IC 約為少於 10 次/分鐘；CG 約少於 2 次/分鐘，少數個案則可達 10 次/分鐘以上(Williams et al., 1989; Carey and Rutledge, 1996)。Rust et al.(1981)研究則顯示雷雨中放電頻率，IC 約 2~10 次/分鐘，CG 為 1~5 次/分鐘；超級胞雷雨放電頻率較高，IC 約 10~40 次/分鐘，CG 為 5~12 次/分鐘。Goodman et al.(1988)分析 U2 機 4 小時觀測資料結果，IC 放電頻率為 CG 二倍。Boccipio et al.(2001)分析結果，美國地區 IC 與 CG 比(Z)平均為 2.64~2.94，且 Z 值會因地表高度而有差異(範圍由 1 至 9)。

Lang et al.(2000)分析發現，CG 高峰出現在雷雨發展較不強(由雷達回波反射率尖峰與垂直反射率結構定義)時期，但放電頻率不高(兩個案分別為次/分鐘及 5 次/分鐘)；雷雨發展最旺盛期則伴隨高頻率而密集 IC。高 IC 與低 CG 放電率的原因可能與 MacGorman et al.(1989)推論有關；即若藉增強上昇氣流而縮減正、負主電荷中心距離，將因 IC 放電增強而限制這些區域中的總電荷量。而高 IC 放電率將有效中和主負電荷區，進而使 CG 放電更不易發生。

三、雷雨對飛行安全的影響

雷雨對航空器最直接威脅是雷擊。雖然航空器金屬結構體對閃電具屏蔽作用，但航空器航電裝備及地面助導航設施在無適當保護下，往往因大量電荷流動產生之感應電磁場而釀成相當程度損害。美國空軍統計資料顯示，每年約有 51 次軍機遭雷擊事件。NASA 暴風危害計畫研究獲則獲致以下結論：(1). 約 90%以上雷擊事件係由航空器本身誘發電場感應所引起。(2). 航空器在雷雨區中遭受雷擊的機率隨飛航高度的上升而增加。(3). 航空

器遭雷擊的機率在雷雨區下緣最小，而36000~40000呎空層最大。(4).由於尖端放電效應，雷擊通常發生在航空器機鼻、翼尖、機尾或複材表面(沈，2001)。航空器從雷雨區飛離數哩後，雖然雷雨已經消散，但雷雨產生的放電仍持續存在，因此仍有可能被雷電擊中；此種放電常在卷雲頂部發現。航空器飛過雲區和雨區時，機身也會產生充電現象，且機型愈大或速度愈快，受衝擊粒子越多，航空器上充電量愈大；航空器上電場有可能和雲間電場產生交互作用而有靜電放電，並造成輕微結構損害。駕駛在電擊時不易受直接傷害，但強光造成短暫失明可持續約30秒。若缺乏保護裝置，聲波也會引起短暫聽力喪失(徐，2000)。

雷雨雲中最強的亂流發生在上升氣流和下降氣流間的風切區；在雲外，風切可在其數千呎高空和20哩遠處遇到，有時亂流可從砧狀雲區往外延伸數千呎。低層風切在成熟期雷雨前方約10至15哩處形成，地面觀測員並無法觀測到地表以上實際風場。冰雹通常在雷雨胞成熟期發生，亦曾在45000呎晴空下發現，且可能被下衝氣流帶到暴風區10哩外(沈，2001)。

積雲、積雨雲中上昇氣流強勁，雲中含水量及水滴較大，因而雲中積冰強度較強；尤其雲的中上部，通常積明冰(趙，1994)。研究與實驗顯示，當在雷雨雲中結冰高度以上飛行時，就可能有積冰發生；通常好發積冰的溫度約在0~-20°C間，且嚴重積冰範圍在0~-10°C間；最嚴重積冰在凝結層，因凝結層有大量降雨和亂流存在(沈，2001)。在台北飛航情報區(Taipei Flight Information Region, TPE FIR)對流性雲系積冰預報校驗空層則在0~-15°C(劉，2003)。

Dayton與猶他大學研究發現豪大雨對航空器的影響包括：(1).附著在飛機的雨水增加飛機重量(最多約1~2%)。(2).撞擊機表水滴因動能轉換而會抵銷部分飛行速度。(3).雨水在機表形成水膜增加機表粗糙度，減低空氣

動力效能(毛，2001)。其他與雷雨相伴發生的危害飛安天氣現象則包括強陣風、龍捲、微爆流、低雲幕、豪大雨及大雨造成的低能見度。1963年2月10日西北航空波音720在邁阿密遭遇雷雨強烈亂流，駕駛對當時儀器飛行模式執行錯誤操控而失事。1966年8月6日Braniff國際航空BAC-111因駕駛誤判雷達回波訊息而穿越颯線中對流胞間隙，遇強烈風切吹斷尾翼組後墜毀。1977年4月4日南方航空DC-9於航線遭遇颯線及豪雨，駕駛錯判雷達回波圖而誤入暴雨中心，引擎吸入大量雨水致效能不足而墜毀。1975年6月24日東方航空波音727於雷雨中降落時遇航管與駕駛均未發現之強烈微爆流而墜毀。FAA事後模擬機測試發現即使已事先瞭解狀況，仍有18次撞到進場燈高度。80%駕駛則認為，再遇到相同狀況仍可能墜機(MacArthur Job, 1996a、b;毛，2001)。

惡劣天氣及此條件下機組人員的慌亂與錯誤反應，都是造成飛安事故的致命因素。因此，機組人員對相關天氣現象的認知與因應作為的熟練、遇危害飛安天氣時主動提供PIREP給航管單位，及氣象作業人員對危害飛安天氣現象及早偵知和預警，都有助於飛安事故發生頻率的降低。

四、研究方法

(一) TLDS 簡介與參數設定

TLDS係採用VAISALA之SAFIR 3000型雷電偵測系統，2003年元月取代「閃電觀測系統」(Lightning Location System, LLS)系統。偵測天線架設在宜蘭、花蓮、新竹、彰化、小琉球、日月潭與綠島等8處，每偵測點有效偵測半徑約200公里(圖4)。系統混合VHF與LF偵測技術，可偵知CG放電現象，更提供IC放電訊息；提供資料內容包括發生時間、經緯度、極性、上升時間、衰減時間、電流峰值等參數；資料傳回中央處理系統並經演算後，增加顯示參數包括電場強度、電流上升速率、能量、帶電量；系統並可模擬

追蹤雷雨胞，以進一步推估系統移動方向與速度。

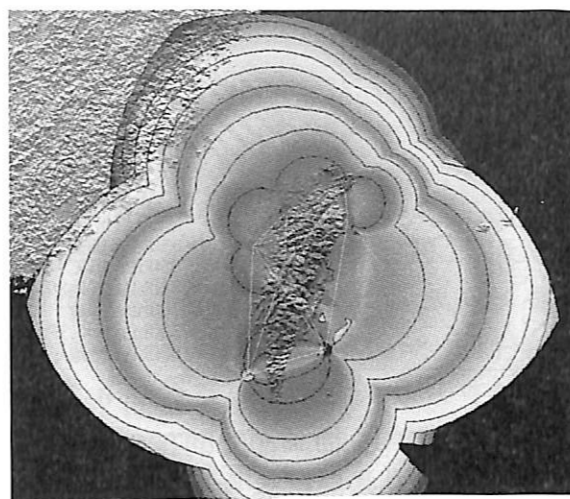


圖4 整合型閃電落雷偵測系統經調校後之有效偵測範圍(台電公司提供)。

本文放電特性分析之紀錄統計區為以各機場為中心，半徑10公里內之圓形區域。系統參數設定，於雷電放射密度與雷雨胞模擬之資料取樣時距為20分鐘，紀錄更新時間為1分鐘，資料篩選尺度為3公里x3公里方格，單位為「放電次數/分鐘·平方公里」。

(二) 天氣概述

2002年12月18日至20日，隨鋒面過境，台灣地區受沿鋒面雲帶、於大陸東南沿海即台灣海峽發展之對流系統東移影響，不僅發生連續三日間歇性雷雨，19日更在西部桃園至台南及東部的宜蘭地區降下冰雹(吳與鄭，2003)。自18日1200UTC至20日1200UTC降雨區涵蓋全台，48小時最大累積雨量為苗栗山區91.5毫米，最大時雨量為20日0400UTC恆春半島貓鼻頭雨量站43.0毫米。本文即分析19日清晨南部雷雨期間天氣形勢與雷電紀錄之關係。

據綜觀天氣分析，18日1200UTC地面低壓中心位於東海，鋒面向西南延伸經馬祖至粵北；福建至江蘇一帶華南地區多雲至陰有雨。台灣地區受高壓迴流影響，盛行偏南至東南風。850hPa鋒面較地面向西北移為自

蘇、徽至閩、滇一帶，鋒前盛行西南風，噴流位於浙、閩沿海(最大風速約30kts)；大陸東南沿海至台灣之風速亦達20~25kts以上。西南噴流並伴隨15°C暖脊，其西緣至鋒面一帶則為一溫度—露點差3°C之濕舌。上至700hPa位於30°N、105~115°E短槽槽前同樣伴隨西南噴流(東南沿海至台灣海峽最大風速約40~50kts)、暖脊與濕舌，且噴流條附近之垂直速度達1.2 Pa/s。至500hPa槽前仍明顯之西南氣流顯示底層水氣穩定而深厚，高層200、300hPa地面鋒前上空輻散場更有利於垂直運動發展(圖5)。

隨鋒面東移，GOES衛星雲圖及雷達回波顯示18日1500~1600UTC於鋒面雲系南側鋒前區域(東南沿海及台灣海峽南部)有中尺度對流系統(MCS)發展；1700UTC中北部近山區開始系統性降水(圖6)。18日2100~2200UTC降雨中心位在苗栗及雲林，雷達回波觀測之MCS則已開始影響嘉南地區，

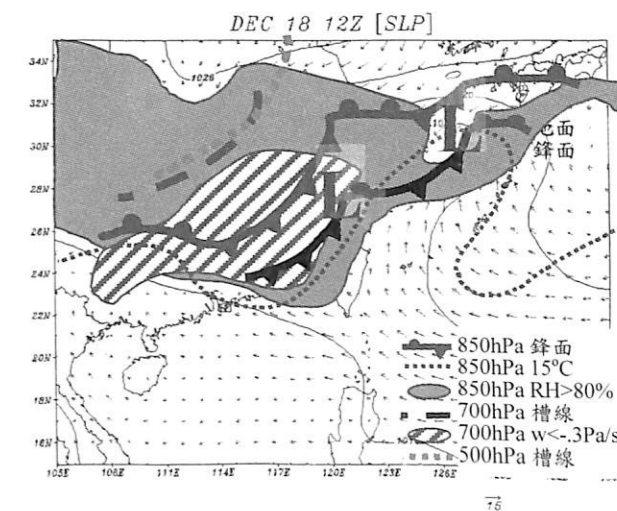


圖5 2002年12月18日1200UTC NCEP客觀分析地面圖及綜觀天氣形勢圖。

2200UTC則進入高雄地區。18日2300UTC至19日0000UTC岡山出現最大累積時雨量，MCS持續東移(圖7)。

19日0000UTC地面圖顯示大陸冷高壓南下、東北季風增強，鋒面隨之東移通過台灣地區，鋒面尾段並穿越台灣中部。中北部降水趨緩，時雨量均在5毫米以下。850hPa 15°C冷舌南伸至東沙島附近，相對溼度

(RH)80%區域亦已涵蓋全台；低層噴流約位於台灣東北方之地面鋒面位置。大陸東南沿海至台灣地區之850hPa風場雖降至10~05kts以下，700及500hPa仍維持旺盛西南氣流(圖8)。19日0000UTC，雷達回波顯示對流系統逐漸消散；0200UTC後，西部地區僅剩山區尚存零星降雨。

(三)雷達回波與放電紀錄

根據中央氣象局雷達回波(每1小時一筆)，此波降雨MCS影響南部地區時段為18日2000UTC至19日0100UTC(地方時0400~0900時)；對流中心(回波強度50dBz)通過高雄地區且發展最強時段為18日2200至19日0000UTC間。分析空軍氣象聯隊馬公雷達站19日清晨觀測紀錄，影響高雄地區之3號

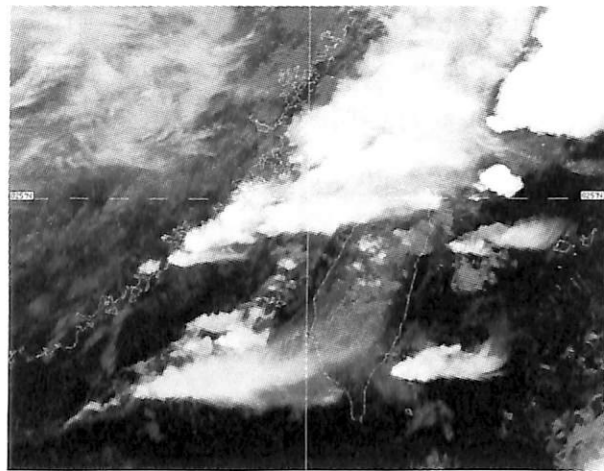


圖6 2002年12月18日1747UTC NOAA16 衛星紅外線雲圖。

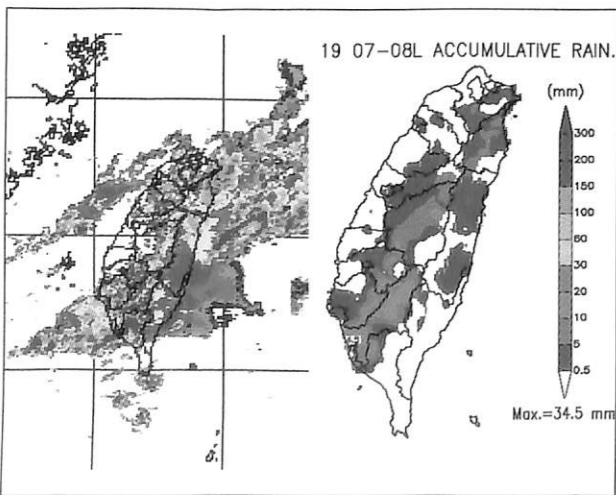


圖7 2002年12月19日0000UTC(左)雷達回波圖及(右)一小時累積雨量分佈圖。

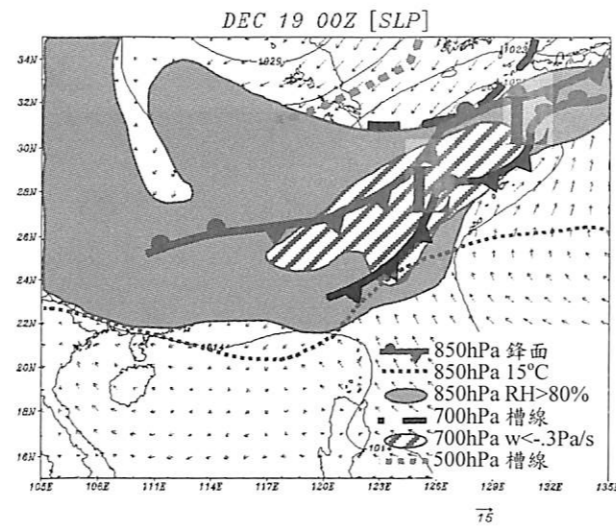


圖8 2002年12月19日0000UTC NCEP客觀分析地面圖及綜觀天氣形勢圖。對流胞於2238~2244UTC達第一次高峰(回波頂42000呎)後略衰減；依據定位約2300UTC於高雄登陸，2314UTC再度發展至43000呎；後再度衰減於2338UTC降至34000呎。另一於2336UTC觀測到之7號對流胞回波雲頂為45000呎，2344UTC與3號合併後回波雲頂高43000呎。由於已深入陸地，對流胞迅速衰減，19日0032UTC回波頂已降至33000呎(表1)。

UTC	編號	方位	距離	直徑	高度	UTC	編號	方位	距離	直徑	高度
2232	3	149	51	8	410	2332	7	145	65	3	440
2238	3	147	52	7	420	2338	3	135	62	2	340
2244	3	146	55	3	420	2338	7	142	66	3	440
2250	3	144	55	3	410	2344	3+7	135	65	2	430
2256	3	142	58	2	400	2350	3+7	136	66	2	430
2302	3	146	58	2	400	2356	3+7	133	70	3	420
2308	3	143	58	2	420	0002	3+7	132	72	3	400
2314	3	141	59	2	430	0008	3+7	132	73	2	390
2320	3	138	59	2	420	0014	3+7	126	77	3	360
2326	3	138	59	2	410	0020	3+7	124	77	3	360
2326	7	147	65	3	450	0026	3+7	123	79	6	330
2332	3	136	59	2	400	0032	3+7	123	79	6	330

表1 氣象聯隊馬公雷達站2002年12月18日2232UTC至19日0032UTC觀測紀錄。

根據18日2115UTC至19日0015UTC岡山TLDS每5分鐘雷雨雲放電統計紀錄，計偵測出放電1413次，IC、CG分別1341、72次。其中2210~2235UTC為放電最高峰，25分鐘內IC計552次，尖峰放電頻率值為23次/分鐘，但無CG放電紀錄。2255UTC開始出現CG，2340UTC後CG結束，總計對地放電72次，平均1.56次/分鐘；此期間亦為雷達回波之高峰。同一時間IC放電頻率

則降至12.2~2.6次/分鐘；比對雷達回波分析，顯示雷雨雲放電頻率與雷達回波並不一致。若改以每30分鐘為統計區間分析，更清楚顯示CG放電發生在雷雨雲成熟至消散期；亦即與Goodman及MacGorman等人之研究結果相同。比對其他西部地區機場，亦有IC高峰先於CG訊號出現之特徵；其時間差約30~60分鐘(圖未示)。亦謂IC放電訊息及演化趨勢，將有助於對CG放電、雷雨發展成熟或衰減(下沉氣流增強)之先期預警。惟若根據6分鐘取樣之雷電紀錄，可發現此次雷雨影響過程除突出之主高峰外，於2145、2310與2345UTC分別出現3次小尖峰值；顯示雷電資訊仍需其他氣象觀測資訊(如雷達)與熟練之氣象人員判讀，較能分析出真正潛在威脅之所在(圖9)。

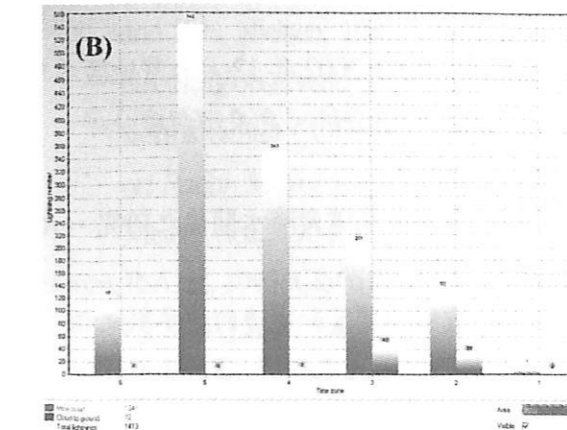
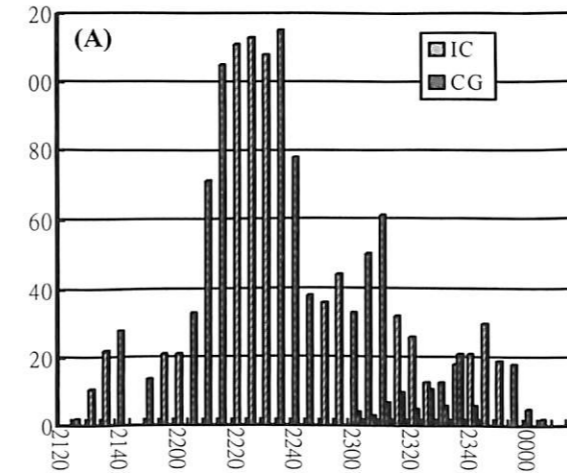


圖9 2002年12月18日2115UTC至19日0015UTC(A).岡山機場10公里半徑內之每6分鐘；及(B).每30分鐘放電紀錄統計；藍色為IC，紅色為CG。

(四)地面觀測與放電紀錄

分析岡山機場地面觀測資料，伴隨IC訊號出現為能見度與雲幕之下降；第一波IC結束則伴隨地面風速之增加。IC放電主高峰出現，則與能見度、雲幕再次下降，與溫度、溼度(溫度露點差)、風速上升；CG出現除配合最大溼度與另一波風速增強外，溫度、雲幕及能見度則開始回升(圖10)。

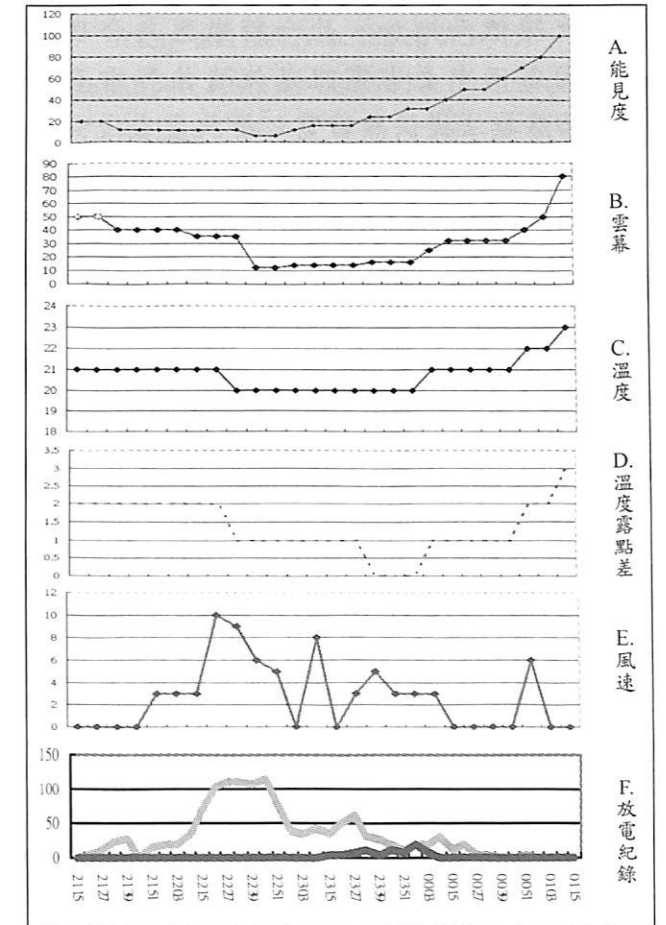


圖10 2002年12月18日2115UTC至19日0115UTC 岡山機場地面觀測與雷電紀錄。(A).能見度(單位百呎)；(B).雲幕高(單位百呎)；(C).溫度。(D).溫度露點差；(E).風速(單位kts)；(F).TLDS半徑10公里內放電紀錄(藍色IC，紅色CG)。

另由於雨量統計之時間尺度為1小時，與TLDS偵測雷雨雲放電之1分鐘資料更新頻率無法直接類比；又如岡山機場雷雨時間僅約二小時(雷雨由18日2237UTC至19日0106UTC，陣雨持續至19日0200UTC)故考量單一雷雨胞生命期約15~30分鐘，伴隨本次系統之雷雨胞尺度為2哩(約3.7公里)以上

(如表1), 定義放電資料取樣時距20分鐘, 取樣範圍3公里×3公里, 模擬伴隨雷雨之降水系統與時雨量比對分析。根據本次個案台灣地區時雨量分布圖顯示, 依據定義設定之模擬雷雨胞中心位置, 大致與30~60分鐘後之最大時雨量中心非常一致; 但對於大雨軸線(時雨量 ≥ 10 毫米之綠色區)及降雨範圍模擬則顯示有較大差異。亦即若以TLDS雷電資訊為豪大雨區預報依據, 其誤差預期會隨雨量之降低而增加。此一特徵應為合理結果, 因雷雨中之雷電訊息伴隨強烈垂直運動, 必然無法提供無雷電之層狀雲或淺對流降水之預報參考(圖11)。

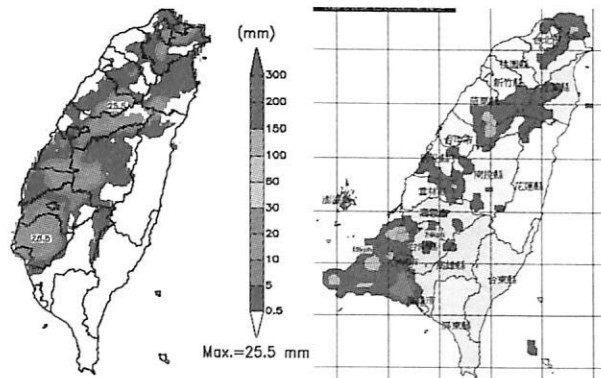


圖11 2002年12月18日(左)2200~2300UTC台灣地區時雨量分佈, 與(右)2215UTC以TLDS模擬之雷雨胞分佈圖(藍色表模擬雷雨胞範圍, 綠色表0.04~0.14次放電/平方公里·秒, 橙色表0.15~0.19次放電/平方公里·秒, 紅色表0.2次放電/平方公里·秒)。

五、結果討論

雖然雷電觀測與其他大氣觀測工具存在時空解析度差異, 但初步分析結果仍發現放電現象變化趨勢與雷雨系統發展密切相關: (1)雷雨系統IC放電頻率極大值, 對應於雷雨成長至成熟期。(2)CG出現對應於雷雨成熟至衰減期, 第一次CG均落後於IC。(3)雷電空間放電密度分析可作為豪雨中心預報, 個案中之預警時間約30~60分鐘; 但對非降雨中心或層狀雲降水較無關係。個案分析亦表明, 雷雨系統必須發展超過-10~-20°C以上高度, 方有放電現象出現(圖未示); 表

示IC出現即顯示雷電現象、垂直風切、亂流與積冰(雷雨雲發展高度已超過-10~-20並伴隨豐富水氣)的發生。

增加IC訊息後之雷電偵測資訊, 確能提供雷雨系統危害飛安天氣現象之有效預警; 並對雷雨系統的發展趨勢顯示重要參考訊息。但雷電資料的分析與預警利用, 仍需仰賴其他氣象觀測設備的輔助, 與專業氣象人員之正確判讀。

六、結論

個案分析也顯示, 雷電偵測系統的高時空解析觀測資料, 有必要透過其他先進高解析氣象觀測設備, 如剖風移、LDR、高垂直解析之雷達掃描策略、與及時或密集探空, 以及模式模擬, 進行更詳盡的結構特徵診斷分析, 將更有助於了解台灣地區大氣雷電肇生與演進機制, 及其對航空安全之威脅。實際作業更發現, 無法驗證之晴空放電、雜訊干擾與資料供應不穩定, 對相關危害飛安天候之研判亦造成不小困擾, 仍有待進一步分析、改善與解決。

參考文獻

- 毛青彪譯, 2001: 安全飛行(Krause, S., 1999, Aircraft safety)。台灣美商麥格羅希爾。台北。
- 沈哇編譯, 2001: 飛行安全與氣象精進。空軍氣象聯隊。台北。
- 吳東洲、鄭敏璋, 2003: 2002年12月台灣地區冬季雷雨之天氣型態分析。《氣象預報與分析》, **174**, **1**, 39-48。
- 林熹閩, 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**, **1**, 21-34。
- 徐天佑編譯, 2000: 航空氣象學(Weather for aircrews. Air Force Manual, Department of Air Force, USA)。空軍氣象聯隊。台北。
- 陳文恭、曾憲瑗, 1992: 台灣地區閃電與雷擊之研究(I)。國科會防災科技研究報告81-21號。

- 編號NSC81-0414-P047-01B。
- 葉家東、范蓓芬、程麟生、楊長新譯, 1993: 風暴和雲動力學(Cotton, W.R. and R.A. Anthes, *Storm and cloud dynamic*)。氣象出版社。北京。
- 程箴榮, 1992: 大氣電動力學(Volland, H., 1984, *Atmospheric Electrodynamics*)。氣象出版社。北京。
- 劉昭民, 2003: 台北飛航情報區飛機積冰之預報。(2003)《天氣預報與分析研討會論文集》。中央氣象局, 台北, 207-211。
- 趙樹海編, 1994: 航空氣象學。氣象出版社。北京。
- Boccipio, D.J., K.L. Cummins, H.J. Christian, and S.J. Goodman, 2001: Combined satellite- and surface- based estimation of the intracloud-cloud-to-ground lightning ratio over the Continental United States. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 108-122。
- Brook, M., M. Nakano, P. Krehbiel, and T. Takeuti, 1982: The electrical structure of the Hokuriku winter thunderstorm. *J. Geophys. Res.*, **87**, 1207-1215。
- Fuquay, D.M., 1982: Positive cloud-to-ground lightning in summer thunderstorms. *J. Geophys. Res.*, **87**, 7131-7140。
- Goodman, S.J., and H.J. Christian, 1988: A comparison of the optical pulse characteristics of intracloud and cloud-to-ground lightning as observed above clouds. *J. App. Meteor.*, **27**, 1369-1381。
- Goodman, S.J., D.E. Buechler, P.D. Wright, W.D. Rust, and K.E. Nielsen, 1989: Polarization radar and electrical observations of microburst producing storms during COHMEX. Preprints, *24th Conf. on Radar Meteorology*, Tallahassee, FL, Amer. Meteor. Soc., 190-212。
- Houze, R.A. Jr., 1993: Cloud dynamics. Academic Press, Inc., San Diego. International Geophysics Series, **53**, 573pp。
- Krehbiel, P.R., M. Brook, R.L. Lhermitte, and C.L. Lennon, 1983: Lightning charge structure in thunderstorms. *Proceeding in atmospheric electricity* (Ruhnke L.H. and J. Latham). Deepak Publ., Hampton, Virginia, pp408-410。

- Lang, T.J., S.A. Rutledge, J.E. Dye, M. Venticinque, P. Laroche, and E. Defer, 2000: Anomalously low negative cloud-to-ground lightning flash rates in intense convective storms observed during STERAO-A. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 160-173。
- Lim, Eunha, and Tae-Young Lee, 2001: Effect of lightning assimilation on the prediction of precipitation system associated with a cold front. International conference on mesoscale meteorology and East Asia. Taipei, 415-419。
- Macarthur Job, 1996: Air disaster I & II. Aerospace Publ. Sydney。
- Williams, E.R., M.E. Weber, and R.E. Orville, 1989: The relationship between lightning type and convective state of thunderstorms. *J. Geophys. Res.*, **94**, **13**, 213-220。

Study of the Lightning Characteristics in Taiwan during Wintertime Thunderstorm Events

Chang, Pel-Chen Lin Ming-Dire Wang Shi-Jie

Weather Center, Weather Wing

ABSTRACT

Data from Tai-power Total Lightning Detection System during wintertime, 2002-2003, were employed to perform climatic assessments of cloud-to-ground and intracloud flashes, and of the relationships between flashes and the evolution of thunderstorms. The first flash usually is an intracloud flash, and cloud-to-ground flashes tend to occur later after intracloud flashes. This empirical study suggests that the intracloud component is coupled to thunderstorm evolution period, and the cloud-to-ground component coincides with the mature or descending stages (defined by radar reflectivity intensity) of thunderstorm. For all cases show that most flashes are intracloud lightning in each thunderstorm event, but the values of intracloud-cloud-to-ground lightning ratio are nonunique for all weather stations.

Keywords : Lightning Detection , TLDS , IC , CG