

台灣地區午後對流氣候特徵

林品芳 張保亮 丘台光 陳嘉榮
中央氣象局氣象衛星中心

摘要

劇烈天氣常伴隨閃電的發生，閃電密度及頻率高的地區經常伴隨強烈對流及降水，就長時間統計而言，對流愈劇烈閃電的頻率愈高，閃電頻率與降水間存在有相當程度的相關。由2005 ~ 2007年期間暖季回波頻率(> 10 dBZ)資料顯示，臺灣地區暖季期間回波頻率發生區域分別位於雪山山脈及中央山脈南段的斜坡區域，且後者頻率較大區域其區域較大，強度亦較強且持續時間較久，發生時間皆為午後，顯示熱力與地形效應在其中均扮演重要的角色。另由SCIT (Storm Cell Identification and Tracking)算則針對此期間暖季所偵測之對流胞，發現其與> 50 dBZ之回波發生頻率發生區域一致。而台電整合型閃電落雷偵測系統(Total Lightning Detection System, TLDS)所偵測之雲對地(cloud-to-ground, CG)閃電資料，亦顯示其有與> 50 dBZ之回波發生頻率區域之一致性。

由SCIT所追蹤對流胞之資訊(如最大回波值及其高度、液態水含量...等)，以及CG閃電相對於對流胞之時空分布，未來將可透過橢圓機率預報模式，建立對流胞辨識追蹤的延伸產品一對流胞侵襲機率預報。

一、前言

就長時間統計而言，閃電與劇烈降水間存在有相當程度的相關(Gremillion and Orville 1999; Shafer et al. 2000)。Toracinta and Zipser (2001)與Toracinta et al. (2004)的研究指出，因不同的冰相微物理過程，在陸上與海上的兩雷暴，若當兩者不穩度相當，或者是強度相當時，陸地上的雷暴將引發較多的閃電(Cecil et al. 2005)。

在閃電與雲微物理方面，於CaPE (Convection and Precipitation /Electrification)實驗期間，利用偏極化雷達觀測發現，雲中產生閃電前所存在的電場區域與-7 ~ -10°C間的過冷水降水粒子所存在的混合相態區域一致，顯示混合相態降水粒子區域對閃電發生的重要性(Ramachandran et al. 1996; French et al. 1996)。Carey and Rutledge (2000)則在MCTE (Maritime Continent Thunderstorm Experiment)實驗中，利用偏極化雷達以及地面閃電觀測系統研究熱帶對流胞發現，具有合併過程的多胞對流胞(multicell)較只有單胞的對流胞(singlecell)而言，其降水有被加強的趨勢，且CG (cloud-to-cloud)閃電只存在於多胞雷暴中。另外，CG閃電與從-10 ~ -20°C區域間所降下的大的冰相降水粒子(軟雹或冰粒)相關，且位於雷達所觀測具混合相態降水粒子之區域，並與其有一致的時空分布。

在閃電與雷達觀測回波的相關方面，Shackford (1960)首先指出閃電與0°C高度層以上的最大雷達回波及雷達回波的垂直分佈相關。若在< 3km高度具有

> 53dBZ的回波值，5km高度具有約45dBZ的回波值，7km高度具有約40dBZ的回波值時，出現閃電的機率可高達80%(Katsanos et al. 2007)。Gremillion and Orville 1999指出，若在-10°C的溫度層出現> 40dBZ的回波值，則會發生閃電現象。Cecil et al. (2005)更指出，若> 40dBZ的回波值可達到-20°C溫度層高度的混合相態區，其降雨區域的90%都會閃電現象的發生。而在閃電與降水的實際應用研究方面，發現大部份的閃電發生在強降水區域(Carte and Kidder 1977)。而Tapia et al. (1998)的研究指出由CG所反演出來的降雨分布可以掌握較大降水區域的位置，並能估計強烈降水事件在時間與空間上的分布。Kempf and Krider (2003)也指出若CG量與經過區域平均的降水量(mm)有相當好的一致性，閃電資料則有助於估計並預報中尺度對流系統降雨的位置與降雨量。

由於閃電與強降水皆源自於劇烈天氣現象，而閃電與降水間又存在時空上的相關，Tapia et al. (1998)發現1992~1993年間佛羅里達州的CG閃電的85%發生於暖季，且時間多為午後。林(1999)亦發現台灣地區的CG閃電發生時間也多為午後，皆顯示了CG閃電與午後雷暴的強相關。因此，在利用閃電資料進行危險天氣監測，並進行降水的估計，乃至極短時的降水預報前，雷暴的氣候特性甚至是雷暴的未來侵襲預報就成爲一個重要的研究課題。張等(2007)已評估2004 ~ 2006年間WDSS (Warning Decision Support System, Bilts 1997)之SCIT (Storm Cell Identification and Tracking, Johnson et al. 1998)算則追蹤台灣

地區對流胞之成效，對於午後對流胞有高達48.7%的追蹤比例，對流胞30分鐘的預報位置平均誤差為5~6公里，60分鐘的位置平均誤差則為8~13公里。預報時間愈長，其位置誤差愈大。由於台灣地區劇烈對流伴隨閃電常帶來強烈降雨，故本文初步分析2005~2007年間閃電暴在台灣地區的氣候特徵，提升對流胞的未來侵襲預報，並希望藉由閃電與雷暴間的特徵分布，除了增加預報的準確度外，更希望進而提升降水估計的品質，提高短時劇烈天氣系統的定量降水監測與預報能力。第二節說明相關資料來源及分析方法，第三節描述初步分析結果，第四節則是討論與結論。

二、資料來源與研究方法

本研究主要分析2005~2007年間，台灣地區午後對流之氣候特徵。本研究利用中央氣象局五分山、花蓮、七股及墾丁等四座都卜勒氣象雷達資料所建立之氣候統計模式進行品質控制(Quality Control, QC)(Chang et al. 2008)，整合至 $0.0125^{\circ} \times 0.0125^{\circ}$ 網格經緯度解析度之每10分鐘最大回波(column vector, CV)資料。

而閃電資料係中央氣象局接收來自台灣電力公司整合型閃電落雷偵測系統(Total Lightning Detection System, TLDS)的閃電觀測資料，該系統除了提供傳統的CG閃電觀測外，同時對雲內(intracloud)及雲間(cloud-to-cloud)閃電提供觀測，通稱IC閃電，觀測次數可達每秒100次，因此可提供幾乎沒有空間及時間解析度限制的閃電資料，資料內容包括閃電發生時間、經緯度、極性、強度以及分辨是否同屬於一個閃擊(lightning stroke)系統。本研究使用資料如表1所示。

由於經由分析多個案發現TLDS會因不明原因遭受干擾，導致於無天氣現象區域會有閃電觀測資料出現，尤以IC閃電較為嚴重(圖未示)。為避免非氣象因素造成的閃電資料而導致研究上不必要的解讀，且Orville(1994)研究顯示，CG閃電於雲中至地面的水平位置差約5~10km，因此以CV資料作為QC標準，若閃電資料方圓5km內無 $>10\text{dBZ}$ 的回波值存在，則判定此閃電資料屬於非氣象資訊之干擾而將予以剔除。

三、初步分析結果

由2005~2007年暖季(5~10月，已濾除掉具有明顯的天氣系統，如鑲嵌於梅雨鋒面或颱風之對流胞)期間，台灣地區及其鄰近海域共118個雷暴個案每10分鐘大於 10dBZ 的最大回波值統計顯示，於午後期間(03~11Z)，其頻率發生的較大值區域位於雪山山脈以及中央山脈的山頂和西側斜坡上(圖1a)。由於劇烈對流常具有較大的回波值，故由 $\text{CV} > 50\text{dBZ}$ 的最大回波值統計結果，明顯顯示具有北部與中南部兩個頻率極大值區域，而CV極大值區域亦可代表強降水區域，分別位於雪山山脈以及中央山脈中南段的西側斜坡上(圖1b)，且海上區域似乎無發展至 $\text{CV} > 50\text{dBZ}$ 回波值

之對流，顯示了陸上的對流胞較能發展劇烈對流胞系統。

由於在SCIT算則中，是以大於 40dBZ 的回波值為對流胞追蹤對象，因此以大於 40dBZ 的最大回波值之統計時序顯示，位於中央山脈中南段西側斜坡上的回波頻率大值區，較雪山山脈西側斜坡上的回波頻率大值區，發生時間相當，但區域較大，強度亦較強且持續時間較久(圖2)。另外，由生命期大於30分鐘的雷雨胞所生成位置(圖3)顯示了其主要的生成地點與大於 50dBZ 的CV頻率極大值位置(圖1b)相當。由於劇烈對流胞常伴隨閃電現象，由此118個雷暴個案中的閃電資料顯示，CG閃電所發生的位置(圖4)與大於 50dBZ 的CV頻率極大值位置(圖1b)以及大於30分鐘的雷雨胞的生成位置(圖3)相當一致。由於GC閃電量遠小於IC閃電量(林等 2007)，是故可將總閃電量分布視為IC之分布，對於IC閃電而言，則無似CG閃電與對流胞生成位置和CV頻率大值區域有良好的空間分佈相關(圖未示)。但不論是總閃電量(圖未示)或是CG閃電(圖4)，其頻率較大值的區域則皆位於台灣陸地上。

SCIT方法會經由所追蹤對流胞的過去路徑，進行未來1小時之線性路徑預報，但並無提供未來可能的侵襲區域機率預報，為將線的預報改善為面的預報，本研究首先分析2004~2007年間共123個對流胞個案，SCIT預報路徑與實際追蹤之位置誤差，並分析本局四座都卜勒氣象雷達於0~1小時其所偵測對流胞位置與預報位置之誤差，計算各雷達於1小時內不同觀測間距之位置誤差機率橢圓(顧 2006)，當預報路徑愈長，其橢圓長短軸愈大，位置誤差愈大(圖5，以五分山雷達RCWF為例)。由於CG閃電與對流胞間良好的空間分佈相關(圖1b、圖3與圖4)，因此進一步分析CG閃電相對於對流胞移動方向在不同象限的分布。由圖6中顯示，CG閃電相對於對流胞移動方向而言，呈現一長軸位於對流胞移動方向上的橢圓分布，此空間分布上的特徵將可提供未來對流胞侵襲區域預報之另一參考指標。

四、討論與結論

過冷水與軟雹、冰雹、雲冰之間的碰撞，是造成電荷分離而產生閃電的主要機制(Takahashi 1978; Saunders and Peck 1998)。Cecil et al. (2005)指出，因為陸地較海面有較大的往上传送之可感熱通量和較低的相對溼度，而傾向有較深的邊界層及雲底高度，若要形成有利對流發展的不穩度條件，會形成較海上區域有更廣大範圍的上衝流區域(Williams and Stanfill 2002)，也較不易受環境逸入而破壞，可維持較大的浮力，形成深對流，其降水粒子碰撞成長的暖雲降水過程，更可維持融解層上有較多的過冷水，因此，陸地上的雷暴較海面上能引發較多的閃電。

由台灣地區之2005~2007年暖季回波統計分析可發現，地形對於對流的發展可能扮演相當重要的角

色。由初步分析結果顯示，對流胞生成位置、CV回波極大值區域以及CG閃電的氣候特徵顯示了三者之間於空間分布上的高度相關，而CV極大值區域更可代表強降水區域出現頻率，相似於Tapia et al. (1998)與Katsanos et al. (2007)的研究結果，並有與Toracinta and Zipser (2001)與Toracinta et al. (2004)研究結果相同之陸地上的閃電量遠多於海面上的閃電量之特徵。此外，過去許多研究(Ramachandran et al. 1996; French et al. 1996; Carey and Rutledge 2000)指出，融解層以上之混合相態降水粒子區域對閃電發生的重要性，因此未來將更進一步利用偏極化雷達觀測雷暴中不同相態降水粒子的相對運動，分析其在閃電中所提供的起電機制，若能了解發生閃電前其不同相態降水粒子間必有之相對運動，則可預估閃電即將發生；亦有研究(Tapia et al. 1998; Kempf and Krider 2003)指出，閃電與強降水間的相關將有助於進一步掌握較大降水區域的位置，並估計強烈降水事件在時間與空間上的分布。這些劇烈天氣現象資訊之整合，可彌補雷達與雨量站因為山區或地形而無法觀測的降水區域。

除此之外，未來將利用機率橢圓模式對對流胞預測路徑誤差進行分析，建立對流胞侵襲機率預報產品，同時這些對流胞、閃電與降雨間的相關資訊，均可作為提供對流胞侵襲機率預報上具參考價值之指標，以提昇短時劇烈天氣系統的監測與預報能力。

參考文獻

- 林品芳、丘台光、陳嘉榮與張保亮，2007：閃電資料在降水估計之初步分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，2007年5月15-17，桃園。145頁。
- 林熿閔，1999：雲對地閃電與降水關係之研究。大氣科學，27，75-98。
- 張保亮、丘台光、陳嘉榮與張惠玲，2007：雷達對流胞偵測與預報路徑校驗。天氣分析與預報研討會論文彙編，2007年5月15-17，桃園。117頁。
- 顧欣怡，2006：颱風侵襲機率預報系統開發。中央氣象局研究發展專題第CWB95-1A-07號，76頁。
- Bally, J., 2004: The thunderstorm interactive forecast system : Turning automated thunderstorm tracks into severe weather warning. *Wea. Forecasting*, **19**, 64-72.
- Carey, L. D., and S. A. Rutledge, 2000: The relationship between precipitation and lightning in tropical island convection: A C-band polarimetric radar study. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2687-2710.
- Carte, A. E., and R. E. Kidder, 1977: Lightning in relation to precipitation. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **39**, 139-148.
- Cecil, D. J., S. J. Goodman, D. J. Boccippio, E. J. Zipser., and S. W. Nesbitt, 2005: Three years of TRMM precipitation features. Part I: Radar, radiometric, and lightning characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 543-566.
- Chang, P. L., P. F. Lin, and B. J.-D. Jou, 2008: An application of reflectivity and rainfall climatology to the radar data QC over Taiwan area. Submitted to *J. Atmos. Oceanic Technol.*
- Eilts, M. D., 1997: Overview of the Warning Decision Support System. Preprints, *28th Conf. on Radar Meteorology*, Austin, TX, Amer. Meteor. Soc., 402-403.
- French, J. R., J. H. Helsdon, A. G. Detwiler, and P. L. Smith, 1996: Microphysical and electrical evolution of a Florida thunderstorm, 1. Observations. *J. Geophys. Res.*, **101**, 18 961-18 978.
- Gremillion, M. S., and R. E. Orville, 1999: Thunderstorm characteristics of cloud-to-ground lightning at the Kennedy Space Center, Florida: A study of lightning signatures as indicated by the WSR-88D. *Wea. Forecasting*, **14**, 640-649.
- Johnson, J. T., P. L. MacKeen, A. Witt, E. D. Mitchell, G. J. Stumpf, M. D. Eilts, and K. W. Thomas, 1998: The Storm Cell Identification and Tracking Algorithm: An enhanced WSR-88D algorithm. *Wea. Forecasting*, **13**, 263-276.
- Katsanos, D. K., K. Lagouvardos, V. Kotroni, and A. A. Argiriou, 2007: The relationship of lightning activity with microwave brightness temperature and spaceborne radar reflectivity profiles in the central and eastern Mediterranean. *J. Appl. Meteor. Climat.*, **46**, 1901-1912.
- Kempf, N. M., and E. P. Krider, 2003: Cloud-to-ground lightning and surface rainfall during the grate flood of 1993. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1140-1149.
- Orville, R. E., 1994: Cloud-to-ground lightning flash characteristics in the contiguous United States: 1989-1991. *J. Geophys. Res.*, **99**, 10833-10841.
- Ramachandran, R. A. Detwiler, J. Helsdon Jr., P. L. Smith, and V. N. Bringi, 1996: Precipitation development and electrification in Florida thunderstorm cells during Convection and Precipitation/Electrification Project. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1599-1620.
- Saunders, C. P. R., and S. L. Peck, 1998: Laboratory studies of the influence of the rime accretion rate on charge transfer during crystal/graupe collisions. *J. Geophys. Res.*, **103** (D12), 13 949-13 956.
- Shackford, C. R., 1960: Radar indications of a precipitation-lightning relationship in New

- England thunderstorms. *J. Meteorology*, **17**, 15-19.
- Shafer, M. A., D. R. MacGorman, and F. H. Carr, 2000: Cloud-to-ground lightning throughout the lifetime of a severe storm system in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1798-1816.
- Takahashi, T., 1978: Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms. *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1536-1548.
- Tapia, A., J. A. Smith, and M. Dixon, 1998: Estimation of convective rainfall from lightning observations. *J. Appl. Meteor.*, **37**, 1497-1509.
- Toracinta, E. R., D. J. Cecil, E. J. Zipser, and S. W. Nesbitt, 2004: Radar, passive microwave, and lightning characteristics of precipitation systems in the tropics. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 802-824.
- Toracinta, E. R., and E. J. Zipser, 2001: Lightning and SSM/I-icescattering mesoscale convective systems in the global Tropics. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 983-1002.
- Williams, E. R., and S. Stanfill, 2002: The physical origin of the land-ocean contrast in lightning activity. *Comp. Rendus Phys.*, **3**, 1277-1292.

表1 本研究所使用資料列表。

Radar volumes (2005~2007) :

<i>radar</i>	<i>Scan Time (mins)</i>	<i>Volume Num.</i>	<i>Operation Rate</i>
RCWF	6	239,964	91 %
RCHL	10	140,568	89 %
RCCG	10	140,673	89 %
RCKT	8	172,031	87 %

	<i>Time Interval</i>	<i>Data Num.</i>
Radar CV (warm season, 2005~2007) :	10 mins	16,799
Lightning (2005~2007) :	1 min	296,962

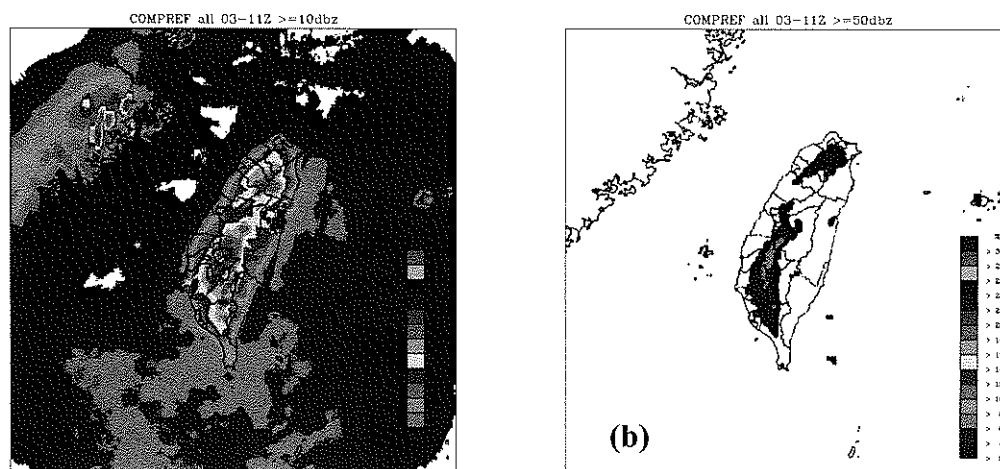


圖1 2005-2007年暖季03-11Z之CV回波(a)>10dBZ ; (b)>50dBZ之頻率分布。

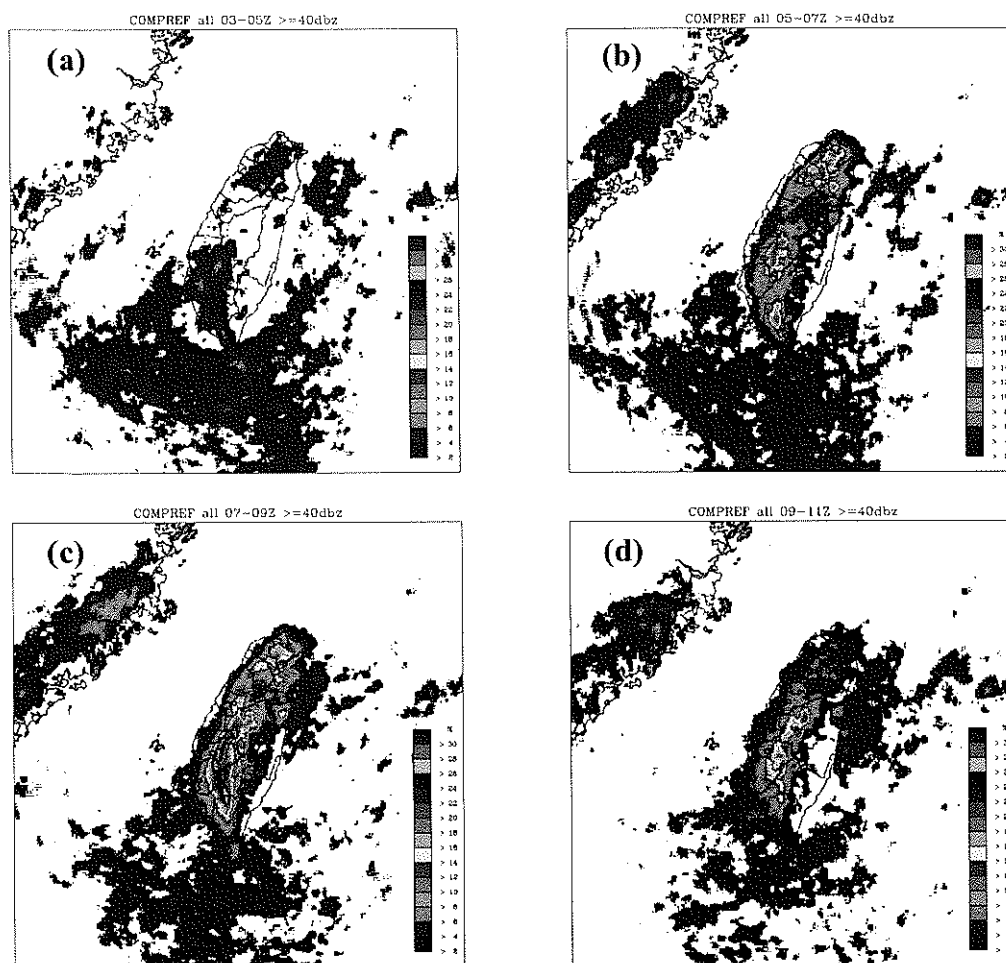


圖 2 2005~2007 年暖季(a) 03-05Z ; (b) 05-07Z ; (c) 07-09Z 以及(d) 09-11Z 之 CV > 40dBZ 之頻率分布。

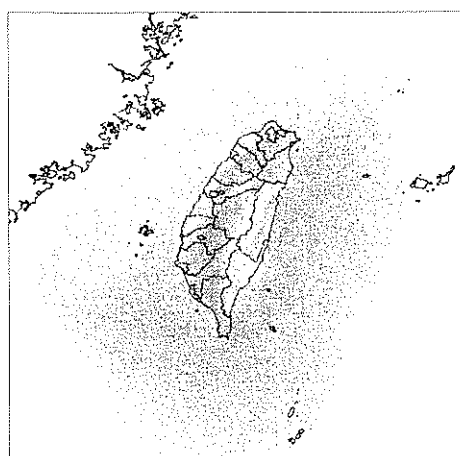


圖 3 2005~2007 年暖季期間共 128 個個案生命期 >30 分鐘之對流胞生成位置。

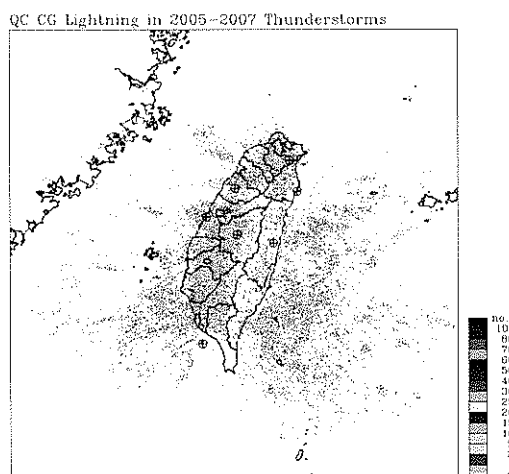


圖 4 2005~2007 年暖季期間共 128 個個案之 CG 閃電發生位置。

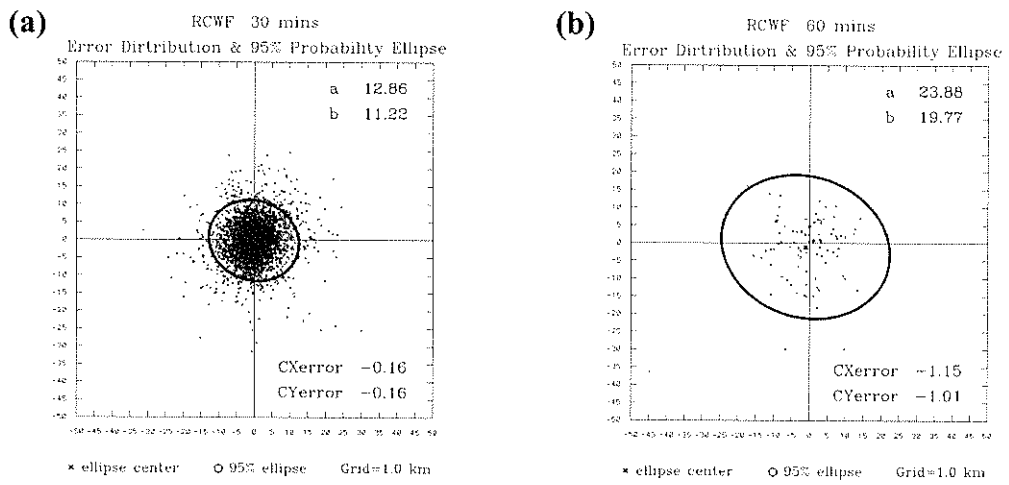


圖 5 2004~2007 年暖季期間共 128 個個案之 RCWF 之(a) 30 分鐘以及(b) 60 分鐘對流胞追蹤位置誤差。

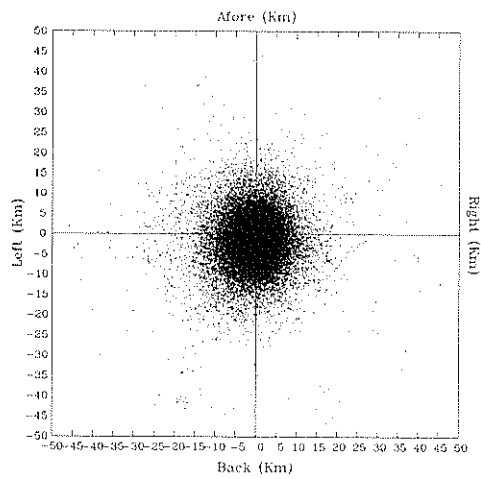


圖 6 2005~2007 年暖季期間共 128 個個案之 CG 閃電相對於對流胞之分布位置。