

# 各閃電偵測系統於臺灣區域之特性分析

白意詩 蔡立夫 李育棋

第二組

中央氣象局

## 摘要

本研究主要針對4個機構之閃電偵測系統，於臺灣區域之特性作比較。本研究簡介4個系統，並分析107年雙北暴雨實驗期間個案，以最小時間單位為「秒」的角度，窺探4個系統之雲間閃電(in-cloud, IC)及雲對地閃電(cloud-to-ground, CG)，佐以雨量、雷達及人工觀測站之雷雨報告表等資料搭配，說明不同系統之特性，進一步探討將此類遙測閃電偵測系統之即時資料自動產製運用之調整。

關鍵字：閃電偵測系統

## 一、前言

對於閃電的觀測方式由人工聽、看、讀秒、記錄演進到自動化儀器觀測，遙測方面除了衛星裝載之感光或感能探測器，地表上(ground-base)之觀測系統近年來更加蓬勃發展。前述觀測系統觀測原理常見有，主動式的雷達干涉法、被動式的磁向定位法、聲波定位法及電磁波之時間差法等。被動式系統中，過去較常見的是使用磁向定位法(Magnetic Direction Finding, MDF)原理，而隨著全球定位系統(GPS)技術日益成熟，校時精確度已小於微秒尺度，出現仰賴GPS的時間差法(Time (Difference) of Arrival, T(D)OA)，演變出MDF與TOA之複合方法，甚至轉換為完全以TOA之觀測型態亦愈發普遍。

目前全球有幾套著名的被動式系統，例如美國國家閃電偵測網(National Lightning Detection Network, NLDN)便是以MDF與TOA複合方法之偵測網絡；TOA公司的美國精密閃電網(US Precision Lightning Network, USPLN)則是完全運用TOA原理之偵測網絡；而華盛頓大學主持的全球閃電定位網(World Wide Lightning Location Network, WWLLN)，是以TOGA (Time of Group Arrival) 原理，在全球各地設置偵測站，目前臺灣附近國家有中國、日本、新加坡等國參與；Earth Networks公司的全方位閃電偵測網(Earth Networks Total Lightning Network, ENTLN)亦是廣布

全球之網絡。

在臺灣區域目前有2015年4月中央氣象局的閃電與落雷偵測系統、2017年7月天氣風險公司引進ENTLN至臺灣之台灣全方位閃電網(Taiwan Total Lightning Network, TTLN)、2000年7月日本氣象廳的雷擊監測系統(Lightning Detection Network System, LIDEN)及2002年11月台灣電力公司的整合型閃電落雷偵測系統(Total Lightning Detection System, TLDS)，相關引用資訊如列表1。由於人工或是主動式觀測之空間範圍有限，故希望透過上述4個被動式系統相互比對，於臺灣區域閃電偵測之結果，分析此類被動式遙測系統偵測雲對地閃電CG、雲間閃電IC的定位位置、時間及電流強度等特徵或系統間之異同。

表1 4系統引用資訊。

簡寫	系統	引用來源
CWB	閃電與落雷偵測系統TOA	中央氣象局
ENW	TTLN	天氣風險公司
JMA	LIDEN	日本氣象廳、日本氣象協會
TP	TLDS	台灣電力公司

## 二、臺灣閃電偵測系統比較

台灣電力公司和日本氣象廳建置的系統較早，以MDF和TOA和用的方式進行閃電定位，中央氣象局和

天氣風險公司則是使用TOA方式，利用電磁波可以穿透雲層的特性，被動式偵測系統可以接收全閃電(Total Lightning)，包含CG和IC，CG釋放的電磁波段多為甚低頻VLF(3-30KHz)至低頻LF(30-3000KHz)，IC釋放的電磁波段多為特高頻VHF(30,000-300,000KHz)，由於較高頻率信號比較低頻率信號衰減得更快，因此衰減率高的IC閃電觀測本身會受到IC電磁波訊號傳播距離的限制。因各廠牌設計的天線、接收機及定位演算法不同，分別以不同之電磁波頻率區間作為其系統CG及IC的偵測頻段，4系統簡易資訊比較如表2。

規格文件表示這些系統針對CG的偵測率可達90%以上，並且偵測距離可達上千Km，對於IC之偵測率則隨規格一代一代演進而有大幅提升。此4系統皆以天線被動接收閃電電磁波訊號，可依電磁波高度、波形、頻率或振幅等做訊號處理來判斷應為CG訊號或IC訊號，再依各系統特定時間、空間內發生的訊號集結成1道閃電(flash)，例如ENW是以700毫秒及10Km，有回擊(return stroke)的歸類為CG閃電，其餘則歸類為IC閃電。IC的偵測一直都還需要透過改變天線、運算經驗調整，或是與別種方法混用等優化過程。

表2 4系統基本資訊。

系統	設立時間	偵測頻段	定位原理
CWB	2015年4月	1.5KHz(低頻)-100MHz或更高(高頻)	TOA
ENW	2017年7月	1Hz(低頻)-12MHz(高頻)	TOA
JMA	2000年7月	1-350KHz(低頻)、110-118MHz(高頻)	MDF+TOA
TP	2002年11月	1-350KHz(低頻)、110-118MHz(高頻)	MDF+TOA

### 三、研究方法

由於GPS校時的精確度時間可精準至 $10^{-7}$ 秒或更細，本研究將以「秒」的角度探討4個系統，採2018年雙北暴雨實驗期間2018年8月17日午後雷陣雨個案，探討4個系統該日於北北基範圍(約取經緯度 $24.95^{\circ}$ - $25.35^{\circ}$ N、 $121.36^{\circ}$ - $121.76^{\circ}$ E)之閃電特徵。當日午後明顯降雨及閃電發生期間發生於14:30至17:30，其中14:30至16:30北北基範圍測站記錄到最大10分鐘雨量

值如表3，最大10分鐘降雨為29.5mm，發生於15:20至15:30，圖1顯示前2個10分鐘閃電數量高峰發生在14:50至15:00、15:10至15:20，符合林(1999)研究結果，臺灣午後對流降雨量與閃電數量具高度相關性。本研究將上述2個時段之閃電，以每秒鐘的資料比較4系統CG、IC定位位置差異、定位時間差異，及3系統CG電流強度差異(本研究缺乏JMA電流資訊)，後續將以呈現14:50至15:00之結果為主作分析。

最後另加入人工氣象站之雷暴紀錄比對佐證，板橋(46688)、鞍部(46691)、臺北(46692)、竹子湖(46693)分別於14:55、14:42、14:40、14:50記錄雷暴開始，然而4個氣象站明顯10分鐘降雨發生在15:50至16:00、16:20至16:30，如圖1，當時閃電事件已經幾乎結束。

表3 14:30-16:30最大10分鐘雨量(單位: mm)。

Time	14:30-14:40	14:40-14:50	14:50-15:00	15:00-15:10	15:10-15:20	15:20-15:30
10分R Max.	14	22	20.5	21	20	29.5
Time	15:30-15:40	15:40-15:50	15:60-16:00	16:00-16:10	16:10-16:20	16:20-16:30
10分R Max.	16	16	16	14	14.5	11.5

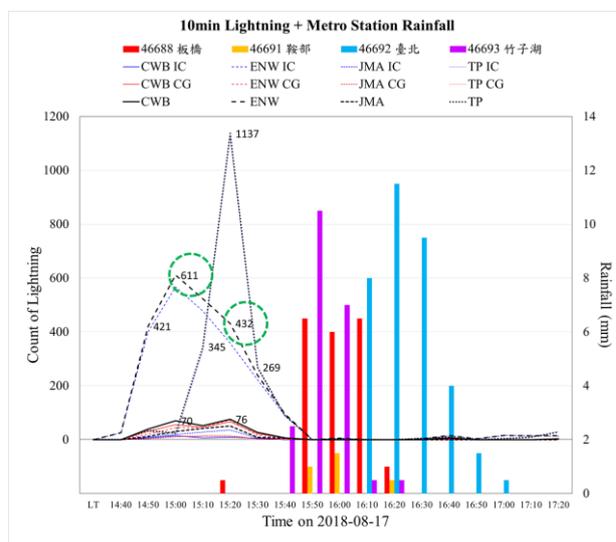


圖1 14:30-17:30北北基範圍4系統10分鐘閃電數量及4人工站10分鐘降雨量時間序列。閃電數量表示為黑、紅、藍色折線，實線及密度不同的虛線分別為不同系統，紅色表CG、藍色表IC、黑色表CG+IC。紅、黃、藍、紫色柱狀分別表示板橋、鞍部、臺北、竹子湖。

北、竹子湖站之降雨情形。

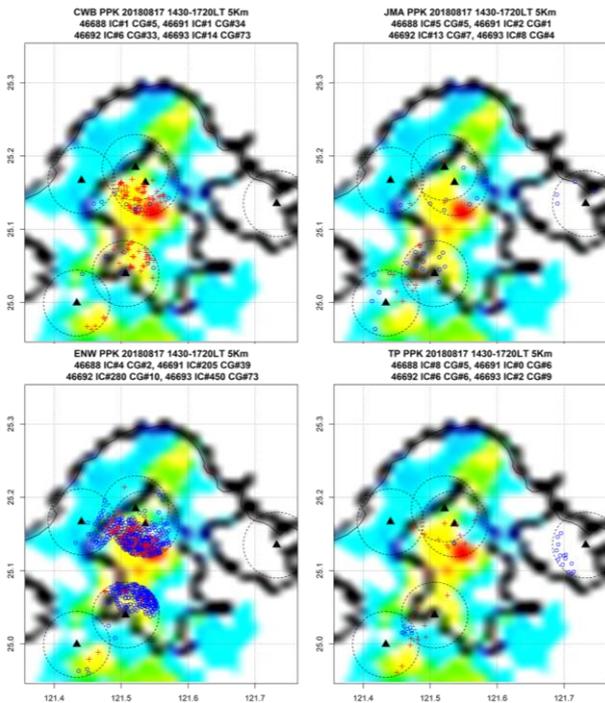
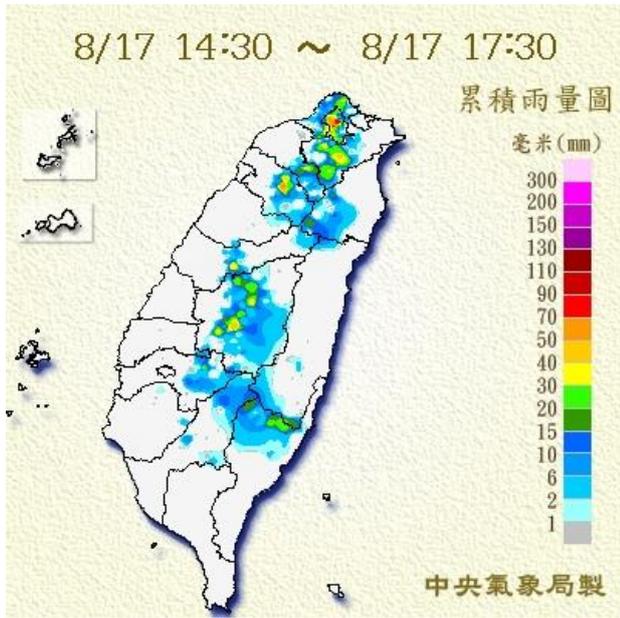


圖2 14:30-17:30雨量分布與人工站方圓5Km 4系統閃電對照。閃電分布紅色標記CG而藍色標記IC。

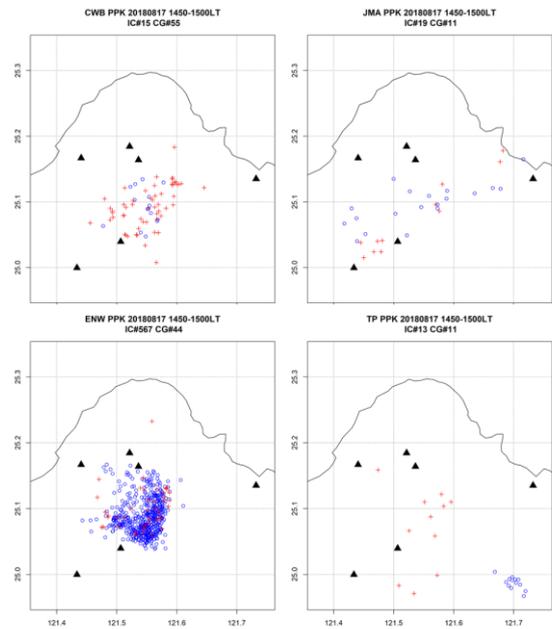
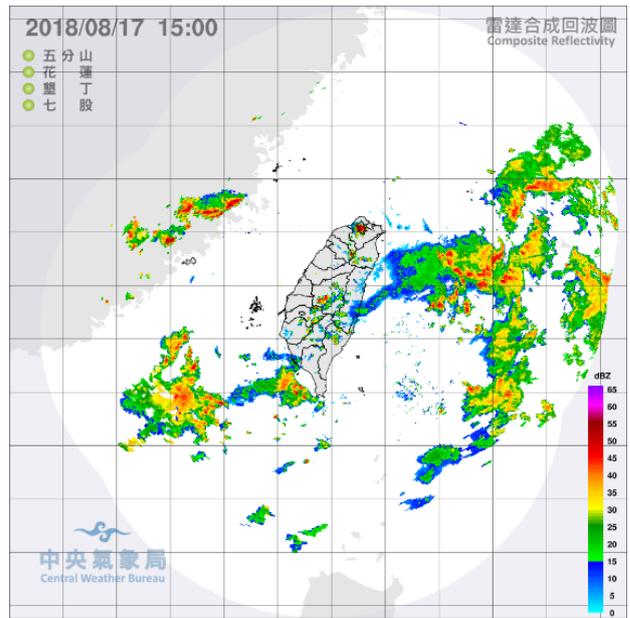


圖3 14:50-15:00雷達回波分布與北北基範圍4系統閃電對照。閃電分布紅色標記CG而藍色標記IC。

#### 四、分析結果

4系統閃電分布及數量與雨量、雷達回波分布對照如圖2及圖3，圖2是14:30至17:20 4系統於北北基範圍人工站方圓5Km內偵測到的閃電，對照17:30之前3小時累積雨量圖，大部分CG(紅十字標記)和IC(藍圈標記)發生位置與雨量分布位置重疊，不過JMA及TP在基隆地區有偵測到IC，而基隆站未有雷暴的人工記錄；圖3是14:50至15:00 4系統於北北基範圍達高峰之10分

鐘閃電，對照該10分鐘雷達回波圖，可觀察到CWB及ENW閃電分布較為集中，與雷達回波集中在臺北盆地地區較吻合，TP的IC分布落在臺北盆地之外應是有受其它干擾影響定位，而IC/CG之數量依2014年WMO文件所述約有4/1之比例，此案由大至小排列是ENW>JMA~TP>CWB，綜合以上可知此類遙測系統對於IC的觀測分歧較大，也是未來需更加強的部分。

將4個系統14:50至15:00內每秒內(共600秒)偵測到的閃電彼此計算距離，共可得CG、IC都各有CWB-ENW、CWB-JMA、CWB-TP、ENW-JMA、ENW-TP、JMA-TP等6種比較組合，若任意2系統在任意秒鐘皆有偵測到閃電，則於時序圖上標記此2系統閃電的彼此距離之最小值、最大值及平均值，CG及IC分別呈現如圖4及圖5，圖中有標記出來才代表該秒任意2系統有共同偵測到閃電，其中希望最小值愈小才愈能肯定任意2系統偵測到的為同1道閃電，最小值平均值記錄如表4。我們可以看到各系統之閃電定位CG比IC來得趨近一致，CG之最小值可以在約5Km以下，甚至CWB和ENW平均CG定位距離最小值不到1.5Km。而各系統對於IC的掌握分歧度較大，最接近的表現為CWB和ENW平均IC定位距離最小值約2.3Km。圖6係將圖4及圖5以盒鬚圖的方式將CG及IC各6種比較組合畫在一起。

接著反過來比較4個系統14:50至15:00內偵測到的閃電定位在一定距離內之時間差距(本研究最小時間單位為秒，暫忽略小數點以下秒數)，其中希望距離愈小而且秒數差距愈小，才愈能肯定任意2系統偵測到的為同1道閃電，我們可以看到各系統之閃電時間差距CG比IC來得趨近一致，表5呈現時間差距之最小值、最大值、平均值及發生在同1秒(時間差距為0秒)的個數，CG位置差超過1至2Km內的閃電，各系統偵測互相比較都能得到時間差距為0秒的資料(唯TP-JMA除外)，或許可視為同1筆閃電。IC則是位置差超過3Km以內的閃電(TP沒有與其它系統距離差3Km以內的IC)，各系統才會偵測時間差距為0秒，IC位置差超過1至2Km內的閃電，僅有CWB-ENW、ENW-JMA之閃電在同1秒發生，或許可視為同1筆閃電。

再者比較CWB、ENW、TP 3個系統之CG電流強度，共可得CWB-ENW、CWB-TP、ENW-TP等3種組

合，計算14:50至15:00內CG電流(有正有負)強度，取絕對值平均得CWB系統18.52KAmp、ENW系統29.26KAmp、TP系統19.69KAmp，ENW和其它2者有差異，除了平均電流強度較多了10KAmp左右，3種比較組合中各2系統平均電流強度差距，CWB-TP差距最小，差距小於等於1KAmp、5KAmp、10KAmp之資料筆數列於表6。

最後，簡易地檢查CG、IC數量上的差異，是否存在CG被判定為IC(反之亦然)之可能性。將14:50至15:00閃電數量最多的1分鐘(14:54至14:55)分布情形取出如圖7，CWB與ENW閃電數量及位置分布較JMA及TP相近(後二者略不顯示)，綠圈處有CG、IC定位相近的情形，再將14:54:43至14:54:44 1秒鐘內閃電取出，得到位置的確雷同如圖8，CWB由左到右是-14.6KAmp之CG、-13.3KAmp之CG，ENW則是-25.780KAmp之CG、-5.317KAmp之IC，目前無法從電流判斷更多，只能說以定位位置來看確有CG與IC混淆的可能，仍有待後續以其它角度分析。

表4 14:50-15:00 4系統每秒內每筆閃電距離最小值平均值(單位: Km)。

Control	Mean Min.	Control	Mean Min.
CG.CWB-ENW	1.38	IC.CWB-ENW	2.29
CG.CWB-JMA	5.68	IC.CWB-JMA	3.50
CG.CWB-TP	4.23	IC.CWB-TP	22.25
CG.ENW-JMA	5.08	IC.ENW-JMA	6.82
CG.ENW-TP	4.88	IC.ENW-TP	26.32
CG.JMA-TP	3.74	IC.JMA-TP	21.17

表5 14:50-15:00 4系統一定距離內(CG: 2Km、IC: 3Km) 每筆閃電時間差距。

2 Km	Min. (秒)	Max. (秒)	Mean (秒)	同 1 秒資料筆數/比例
CG.CWB-ENW	0	531	158.98	32/238
CG.CWB-JMA	0	472	203.68	2/28
CG.CWB-TP	0	480	198.95	2/37
CG.ENW-JMA	0	420	182.20	4/25
CG.ENW-TP	0	445	148.38	5/40
CG.JMA-TP	76	247	124.50	0/4
3 Km	Min. (秒)	Max. (秒)	Mean (秒)	同 1 秒資料筆數/比例
IC.CWB-ENW	0	561	175.97	48/2309
IC.CWB-JMA	0	540	190.11	1/37
IC.CWB-TP				
IC.ENW-JMA	0	540	199.47	13/1208

IC.ENW-TP				
IC.JMA-TP				

表6 14:50-15:00 3系統CG閃電電流強度差距平均值。

Current Difference	Mean (KAmp)	<=1KAmp 資料筆數/ 比例	<=5KAmp 資料筆數/ 比例	<=10KAmp 資料筆數/ 比例
CWB-ENW	18.61	14/238	50/238	84/238
CWB-TP	13.25	2/37	12/37	20/37
CG.ENW-TP	20.32	1/40	7/40	15/40

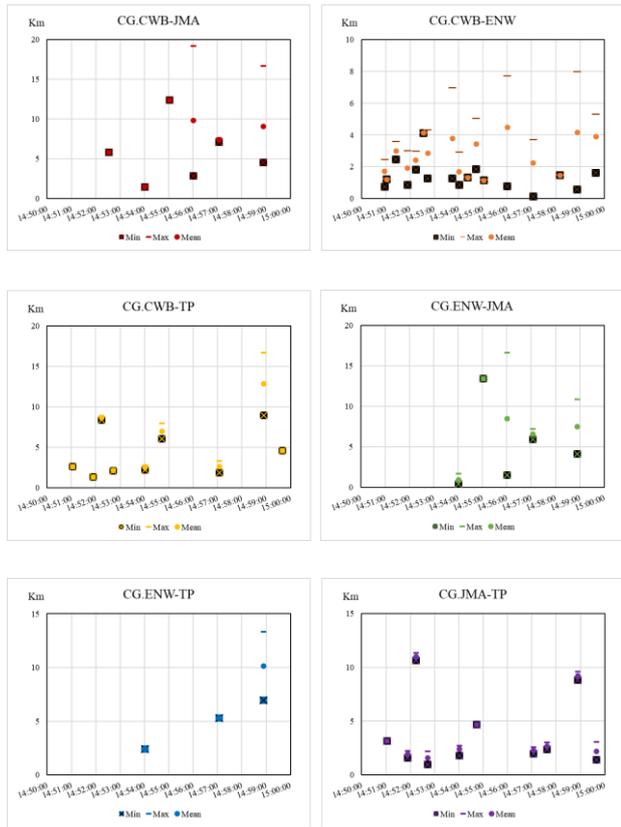


圖4 14:50-15:00 4系統每秒內每筆CG閃電距離。不同標記分別表示該秒內任2系統閃電距離最小值(■)、平均值(●)、最大值(-)。

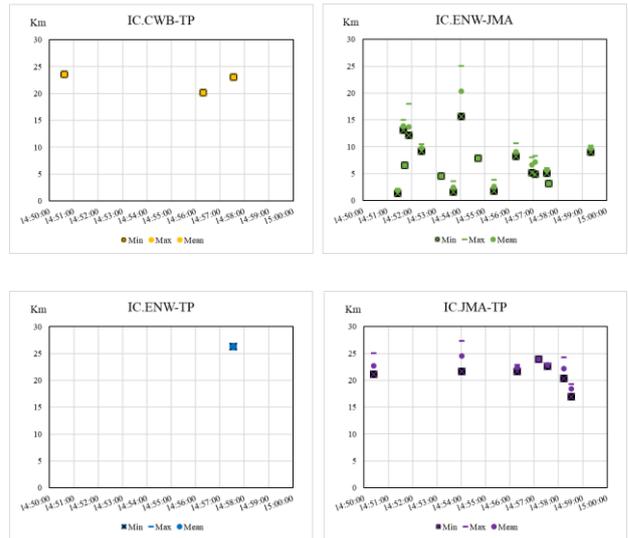
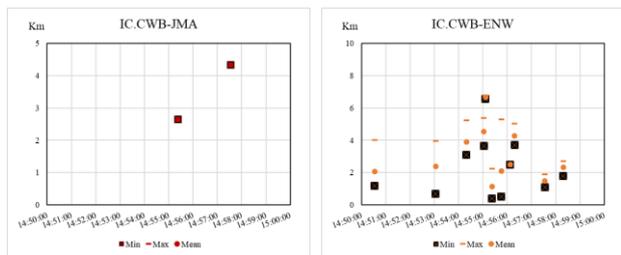


圖5 14:50-15:00 4系統每秒內每筆IC閃電距離。不同標記分別表示該秒內任2系統閃電距離最小值(■)、平均值(●)、最大值(-)。

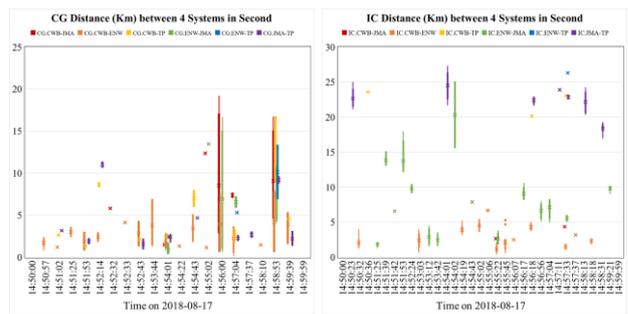


圖6 圖4及圖5以盒鬚圖方式將6種組合合併顯示。左側是CG、右側是IC。紅、橙、黃、綠、藍、紫分別表示 CWB-JMA、CWB-ENW、CWB-TP、ENW-JMA、ENW-TP、JMA-TP。

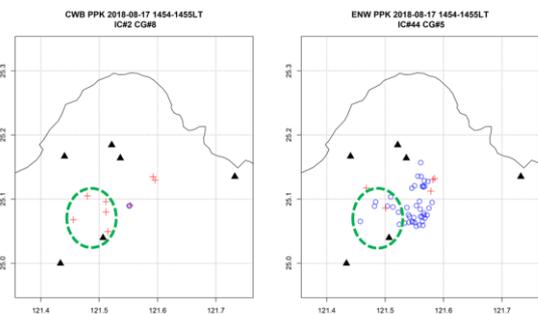


圖7 14:54-14:55 CWB及ENW閃電分布。閃電分布紅色標記CG而藍色標記IC。

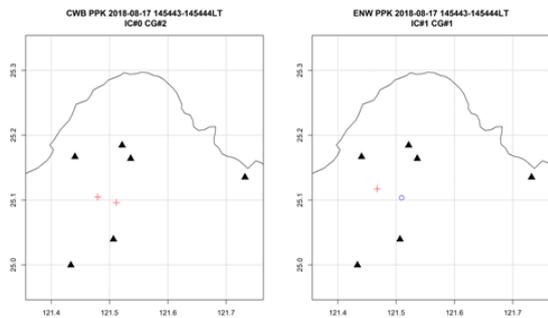


圖8 14:54:43-14:54:44 CWB及ENW閃電分布。閃電分布紅色標記CG而藍色標記IC。

## 五、結論與未來工作

本研究探討的個案是夏季午後對流特徵之閃電，從2018年8月17日14:50至15:00短短10分鐘內我們可以看到閃電定位工作對於GPS技術的仰賴，並可以看到目前被動式偵測系統對於CG的偵測掌握度是比較高的，數量差距不像IC那麼懸殊，各系統間定位差距平均值都較IC小，各系統之CG定位能幾乎與降雨或回波區域吻合；對於IC的偵測以ENW偵測數量較高，各系統間定位差距平均值都較大，而TP之IC定位並不幾乎與降雨或回波區域吻合。至於CG的電流強度平均值，以CWB和TP較為接近，ENW較前2者平均值多10KAmp左右。

雖然WMO於閃電遙測說明文件中尚未有閃電資料品質國際定義標準，未來應多增加統計之母體，或朝更小時間解析度分析，並且蒐集不同型態之閃電，例如季節轉換之鋒面型閃電暨天氣系統個案。應多探討將此類遙測閃電偵測系統之即時資料自動產製運用之調整，並結合地表人工、儀器，多重遙測系統觀測的綜合討論，察覺更多甚至改進閃電觀測的不足，甚至擬合多元觀測方式。

表7 14:50-15:00北北基的區4系統比較結果。CG定位及IC定位表示各系統間表現最接近的情形，數值為每秒內每筆閃電距離最小值平均值。

	CWB	ENW	JMA	TP
CG數量	55	44	11	11
CG定位	1.38Km with ENW	1.38Km with CWB	3.74Km with TP	3.74Km with JMA

IC數量	15	567	19	13
IC定位	2.29Km with ENW	2.29Km with CWB	3.50Km with CWB	21.17Km with JMA
CG電流強度	18.52KAmp	29.26KAmp	/	19.69KAmp

## 參考文獻

- 交通部中央氣象局。2004：地面氣象測報作業規範，第四版，十八章四節，交通部中央氣象局，臺北市，18-9。
- 林熿閔。1999：“雲對地閃電與降水關係之研究”，大氣科學，1號，27期，75-98。
- 譚振威。2006：“臺灣地區閃電與降雨的分類及其氣候特徵”，國立中央大學大氣物理研究所，碩士論文，120頁。
- Hamada Jun-Ichi, Kozo Yamashita, Yukihiro Takahashi, Shunsuke Kanamori, Hitoshi Yokoyama, and Jun Matsumoto, 2014: “Overview of Lightning Observation Network with ELF-VLF Electromagnetic Measurements over Tokyo Metropolitan Area”, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 49, 13-22.
- Heckman, S. and C. Liu, 2010: “The application of total lightning detection and cell tracking for severe weather prediction”, In Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing (GROUND’2010) and Fourth International Conference on Lightning Physics and Effects (LPE) (November 2010), Salvador, Brazil.
- Nag, A., and V. A. Rakov, 2010: “Compact intracloud lightning discharges: 2. Estimation of electrical parameters”, J. Geophys. Res., 115, D20103.
- Satoru Tsunomura, Masahide Nishihashi and Kenichi Kusunoki, 2016: “Electrical charge associated with cloud-to-ground lightning discharge in the Shonai area, Tohoku district, Japan”, Meteorology and Geophysics, Volume 66, 25–37.
- World Meteorological Organization. 2014: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), Eighth Editions, Chapter II-7, Geneva, 1-9.
- . 2014: CIMO Guide, Chapter 6, Geneva, 657-676.