

雙偏極化雷達水象粒子分類與閃電之關係探討

葉明生¹ 陳新淦² 馮欽賜² 黃椿喜²
劉承翰¹ 鄭安孺¹

多采科技有限公司¹
中央氣象局²

摘要

劇烈天氣常伴隨閃電發生，而閃電發生處除雨滴外，亦可能包含冰晶、冰雹、軟雹(霰)、冰水混合等水象粒子，過去已有文獻探討閃電數量與水象粒子質量百分比的關係，並發現軟雹(霰)與冰晶分別與閃電發生有相關性存在。

本研究採用氣象局五分山雙偏極化雷達水象粒子分類(Hydrometeor Classification) 產品以及氣象局閃電資料，本研究探討午後對流個案的閃電發生與水象粒子分類在空間分布和時間演變之關係。以2107年3個午後對流事件個案，於五分山雷達半徑1.0度範圍，在五分山雷達掃描高度範圍內，當有閃電發生時，冰雹/含水冰雹與軟雹(霰)主要發生於高度3~5km範圍，而在高度3~4km，第1次出現冰雹/含水冰雹，早於閃電發生時間，且隨著閃電數量增減，冰雹/含水冰雹亦隨著閃電數量增減，顯示出冰雹/含水冰雹與閃電數量之趨勢大致相近。經初步分析午後對流個案，水象粒子分類之冰雹/含水冰雹對於閃電發生有領先前兆。建議後續研究，以水象粒子配合 Z_H 及 Z_{DR} 等雙偏極化雷達參數，探討對閃電發生之領先時間。

關鍵字：雙偏極化雷達、水象粒子分類、閃電

一、前言

劇烈天氣常伴隨閃電發生，而閃電發生處除雨滴外，亦可能包含冰晶、冰雹、軟雹(霰)、冰水混合等水象粒子，過去已有文獻探討閃電數量與水象粒子質量百分比的關係，並發現軟雹(霰)與冰晶分別與閃電發生有相關性存在。

在閃電與水象粒子之文獻研究，根據吳等人(2009)，其在臺灣西南海域總閃電頻率之診斷與模擬之研究，探討閃電數量與水象粒子質量百分比的關係，發現高層大氣(7.2至11公里)相關性較佳，並發現中層大氣(3.2至7公里)與高層大氣高度中，軟雹(霰)與冰晶分別與閃電發生有相關性存在，並於中層大氣軟雹質量百分比達到極值後，約10~12分鐘，閃電數量會達到整個生命週期大值的特徵。另外，在洪(2002)研究指出，閃電頻率隨時間的變化和10~40 dBZ回波頂高度並沒有太大的相關，而和50 dBZ之回波頂高度較有關係。

國外Lund et al.(2009)透過奧克拉荷馬州的閃電偵測系統LMA (Lightning Mapping Array)、S波段雙偏極化KOUN雷達以及2顆可移動式的C波段雷達，以及探空資料，探討中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)生命週期中閃電引發高度和閃電率(flash rate)的演變。而國外過去研究多以雷達的反射率因子(Reflectivity factor, Z_H)觀測，採用於-10°C高度的40dBZ作為門檻值預報閃電發生，可

以得到約10分鐘的領先時間(Woodard et al. 2012)。在Woodard et al.(2012)研究，利用雙偏極化雷達參數與水象粒子類別，再搭配不同門檻值，嘗試改進閃電發生的預報及領先時間。

而上述文獻所提之閃電與雙偏極化雷達參數、水象粒子及回波頂高度等相關性，是值得探討的議題。本研究初步就午後對流個案的閃電發生與水象粒子分類(Hydrometeor Classification)間在空間分布和時間演變之關係探討，以期作為雙偏極化雷達參數預報閃電之基礎。

二、水象粒子分類與閃電資料來源與

分析方法

(一) 五分山雙偏極化雷達水象粒子分類

本研究為針對午後對流個案，蒐集五分山雙偏極化雷達之水象粒子分類產品，並進行資料解析。水象粒子各仰角之掃描方位角範圍為0~359度，間距為1度，每1度徑向角的資料有1200筆(bin)，每個bin間隔250公尺之徑向資料點位。本研究採Python程式語言，並且搭配Metpy雷達解析套件，取得雷達基礎資訊，如雷達仰角、方位角/徑向解析度、雷達站位置以及水象粒子數據資料等，其不同仰角之PPI面化圖如圖1所示。

(二) 中央氣象局閃電偵測系統(Central Weather Bureau Lightning Detection System, CWBLDS)

本研究採用氣象局閃電資料，氣象局於2015年4月開始於臺灣地區建置閃電偵測系統，氣象局的閃電偵測資料自2015年4月開始提供，並已整合至氣象局官網展示系統以及WINS系統中。

由於氣象局閃電資料為每30秒一個記錄檔，而目前閃電資料並未包含高度資訊。五分山雙偏極化水象粒子分類資料，各次檔案時間(代表開始掃描時間)之間隔約為6分鐘，因此先將五分山雷達開始掃描時間至下一次開始掃描時間之時段，所發生閃電平面位置與此次掃描之各仰角水象粒子分類資料整理，圖1為2017/06/11午後對流事件07:04(UTC)不同仰角之水象粒子PPI面化圖(時間)與閃電分佈。

而就圖1之可看出於2017年06/11 07:04至07:09此6分鐘內之閃電發生位置，主要位於五分山雷達西南方，再以閃電水平距離與五分山雙偏極化水象粒子分類資料方位角237度縱剖面圖套疊，如圖2所示，於對應閃電發生範圍於高度約3~5公里之間，存在霰(GR)、冰雹/含水冰雹(HA)等分類之水象粒子。

(三) 分析方法

為利於探討閃電與水象粒子分類間在空間分布和時間演變之關係，本研究將水象粒子分類資料輸出為水平 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 、垂直高度1公里之正交網格資料，以網格表示不同高度空間範圍內之水象粒子分類資料，用以量化空間內水象粒子分類，進而計算各種水象粒子分類所佔數量百分比，計算方法示意如圖3所示：

(1)首先於五分山雷達半徑1度平面範圍內，劃分水平 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 、垂直高度1km之立體網格。

(2)於各 $0.05^\circ \times 0.05^\circ \times 1\text{km}$ 立體網格，再細分為25,000個細網格，每個細網格大小約為 10^6 m^3 。

(3)考量雷達掃描在各仰角之每個bin涵蓋範圍不同，採用Nearest Neighbor方法，將水象粒子分類資料內插至各細網格。當細網格的高度，位於雷達掃描仰角範圍外，則將此細網格歸類為觀測高度範圍之外。

(4)再統計25,000個細網格之各種水象粒子分類所佔數量，即可計算此 $0.05^\circ \times 0.05^\circ \times 1\text{km}$ 立體網格空間範圍內，各種水象粒子分類所佔數量百分比。另外，閃電數量是以各網格之 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 平面範圍，累加開始掃描至下一次開始掃描之時間內所發生閃電數量。

三、個案分析

(一)水象粒子分類與閃電於空間分布和時間演變

於2017年06/11之午後對流事件，於北部地區發生閃電數量最大之網格坐標(東經 121.41875° ，北緯

24.86875°)。於此網格發生閃電前至閃電結束時間，挑選05:44、05:50、07:10及08:10(UTC)時間，水象粒子分類(冰雹/含水冰雹、霰及冰晶)之所佔數量百分比隨不同高度之變化，繪製於圖4，於07:10~07:17(UTC)閃電數量達最大164次，此時刻於高度3~4km、高度4~5km之冰雹/含水冰雹所佔數量百分比分別增加至43.07%、37.42%，而霰之所佔數量百分比最大，分別為46.55%、60.70%。冰雹/含水冰雹與霰之峰值，位於高度3~4km與高度4~5km之間。

為了解水象粒子分類與閃電數量於時間上的變化，在2017年06/08、06/11及07/04之3個午後對流事件，其閃電發生數量最大網格，於高度3~4km之水象粒子分類(冰雹/含水冰雹、霰及冰晶)所佔數量百分比與閃電數量之歷線圖，如圖5所示，而隨著閃電數量增減，由圖中可看出冰雹/含水冰雹之所佔數量百分比亦隨著閃電數量增減。另外，於圖5(a)，2017/06/08 04:38(UTC)第1次出現霰(百分比0.29%)，且於05:13(UTC)第1次出現冰雹/含水冰雹(百分比3.56%)，皆早於閃電發生時間05:24(UTC)；圖5(b)，2017/06/11 05:27(UTC)第1次出現冰雹/含水冰雹、霰(百分比分別為1.81%、1.61%)，早於閃電發生時間05:50(UTC)；於圖5(c)，2017/07/04 06:08(UTC)第1次出現冰雹/含水冰雹(百分比0.868%)，同時，於06:08(UTC)亦第1次出現霰(百分比1.396%)，早於閃電發生時間06:19(UTC)。

(二) 閃電發生之冰雹前兆分析

由前述個案探討結果，冰雹/含水冰雹對於閃電發生應有領先前兆。

依2017年06/08、06/11及07/04之3個午後對流事件，於當日03:00~12:00(UTC)之時間，統計各網格第1次發生閃電時，於前60分鐘內是否有冰雹/含水冰雹存在。

在此3個案中，有閃電發生之網格總數為417個，其中於第1次發生閃電之前60分鐘內(包含發生閃電當下)，有冰雹/含水冰雹前兆的網格為236個，所佔比例為0.57。進一步分析有冰雹/含水冰雹前兆之領先時間分佈，如圖6所示，整體上領先時間以11~15分鐘所佔比例0.157最高，但閃電與冰雹/含水冰雹在同時發生比例亦有0.157。

四、結論與建議

於五分山雷達掃描高度範圍內，在2107年3個午後對流事件個案，當閃電發生時，冰雹/含水冰雹與霰主要出現於高度3~4km與高度4~5km，且而隨著閃電數量增減，冰雹/含水冰雹亦隨著閃電數量增減。

經初步分析午後對流個案，五分山雷達水象粒子分類之冰雹/含水冰雹對於閃電發生有領先前兆。建

議後續研究可以水象粒子再納入如 Z_H 及 Z_{DR} 等雙偏極化雷達參數，探討對閃電發生的領先時間。

參考文獻

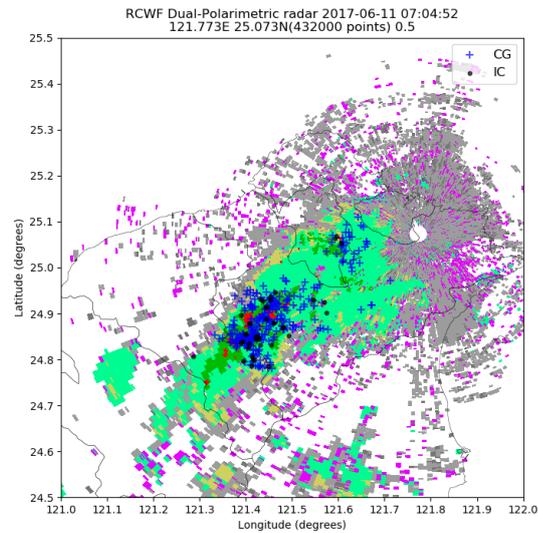
吳依璇、林博雄、王寶貫，2009：臺灣西南海域總閃電頻率之診斷與模擬，98年天氣分析與預報研討會

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。

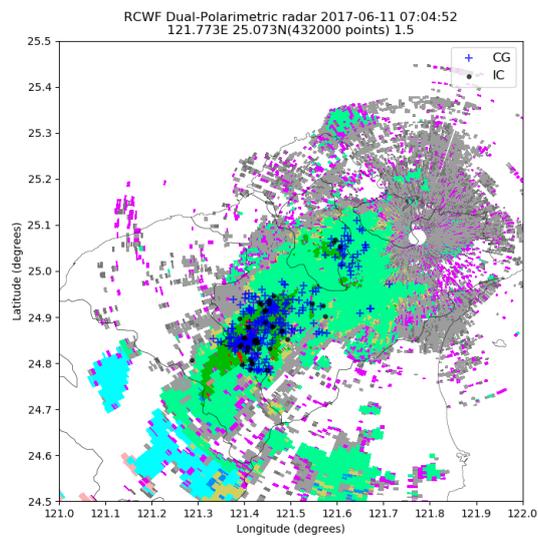
Lund, N., D. R. MacGorman, T. J. Schuur, M. I. Biggerstaff, and W. D. Rust, 2009: Relationships

between lightning location and polarimetric radar signatures in a small mesoscale convective system. Mon. Wea. Rev., 137, 4151–4170.

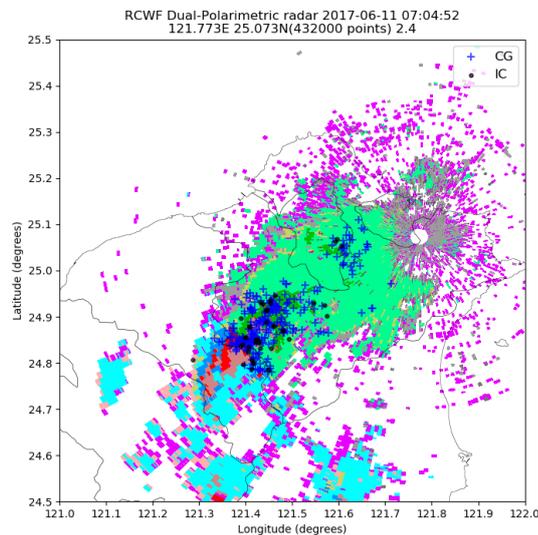
Woodard, C. J., L. D. Carey, W. A. Petersen, and W. P. Roeder, 2012: Operational utility of dual-polarization variables in lightning initiation forecasting. Electronic J. Operational Meteor., 13 (6), 79–102.



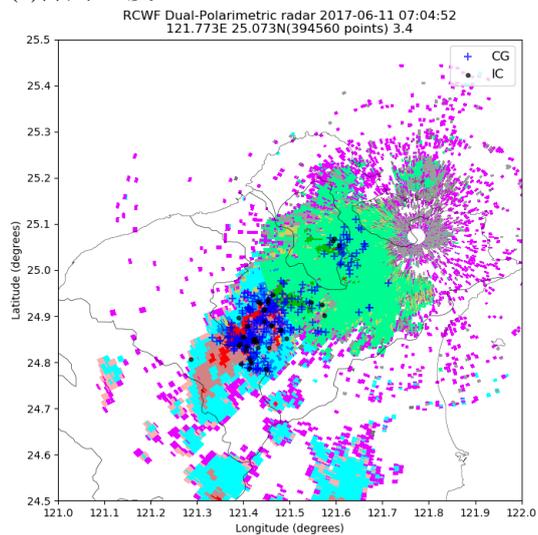
(a)仰角0.5度



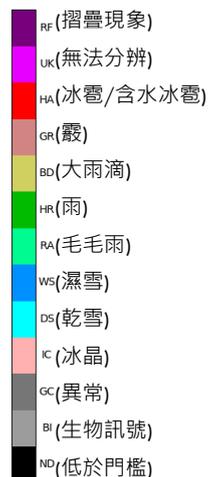
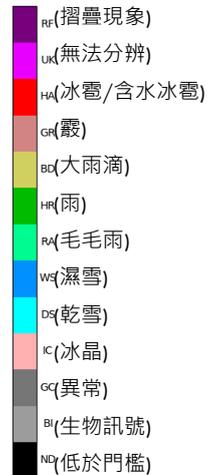
(b)仰角1.5度

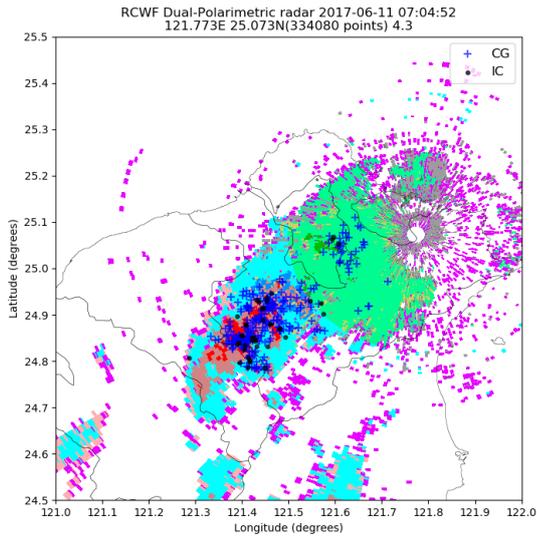


(c)仰角2.4度

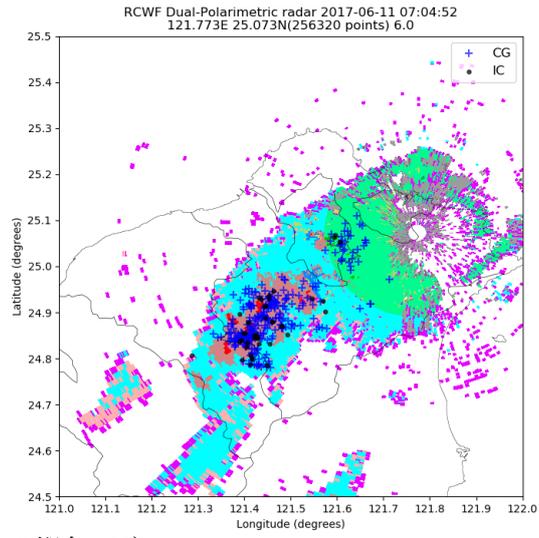


(d)仰角3.4度





(e)仰角4.3度



(f)仰角6.0度



圖1 不同仰角之水象粒子PPI面化圖(時間2017/06/11 07:04 UTC)與閃電分佈

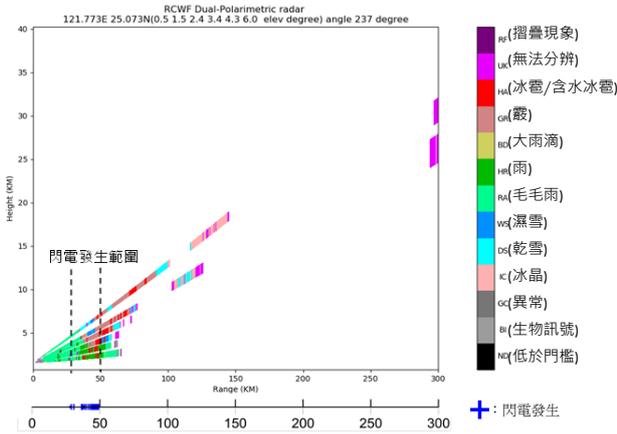


圖2 閃電水平距離套疊與五分山雙偏極化水象粒子分類 0.5、1.5、2.4、3.4、4.3 與 6.0 度仰角，方位角 237 度縱剖面圖(時間 2017/06/11 07:04 UTC)

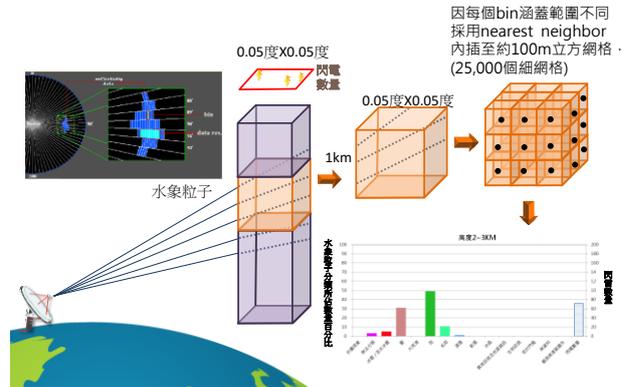
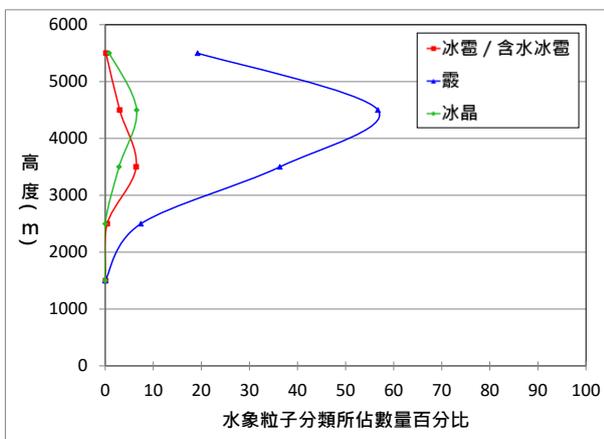
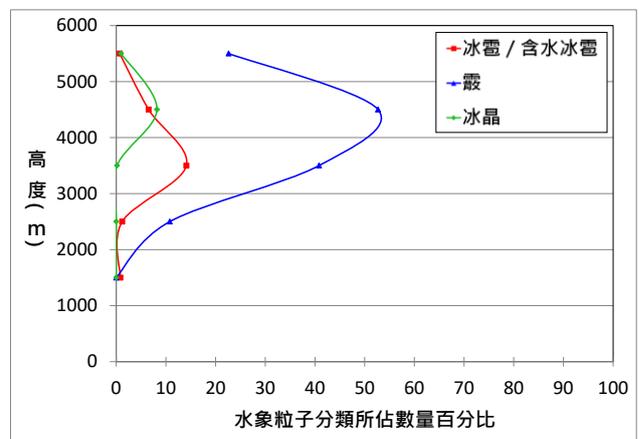


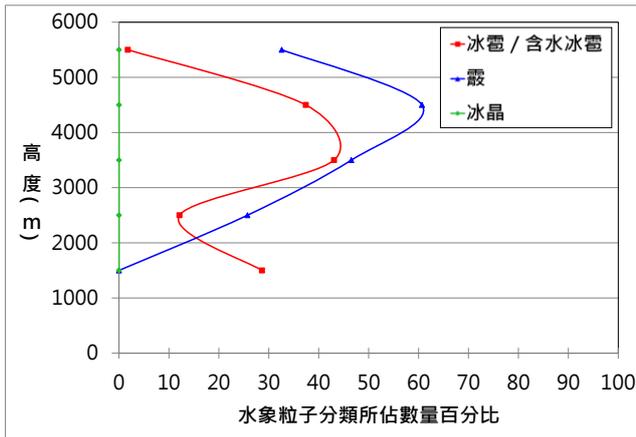
圖3 水象粒子輸出為正交網格資料之方法說明



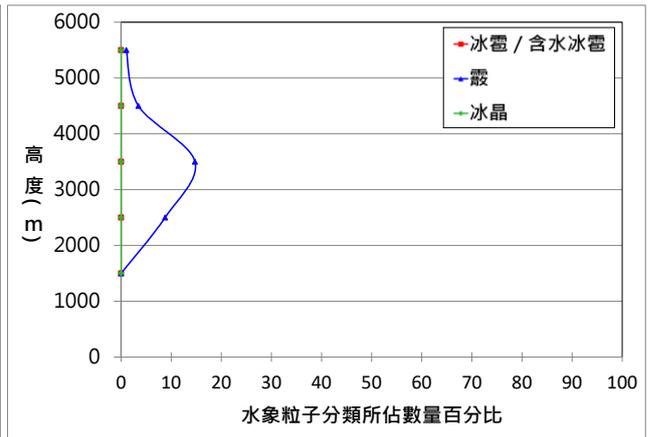
(a)2017/06/11 05:44 UTC(閃電數量0)



(b)2017/06/11 05:50 UTC(閃電數量7)

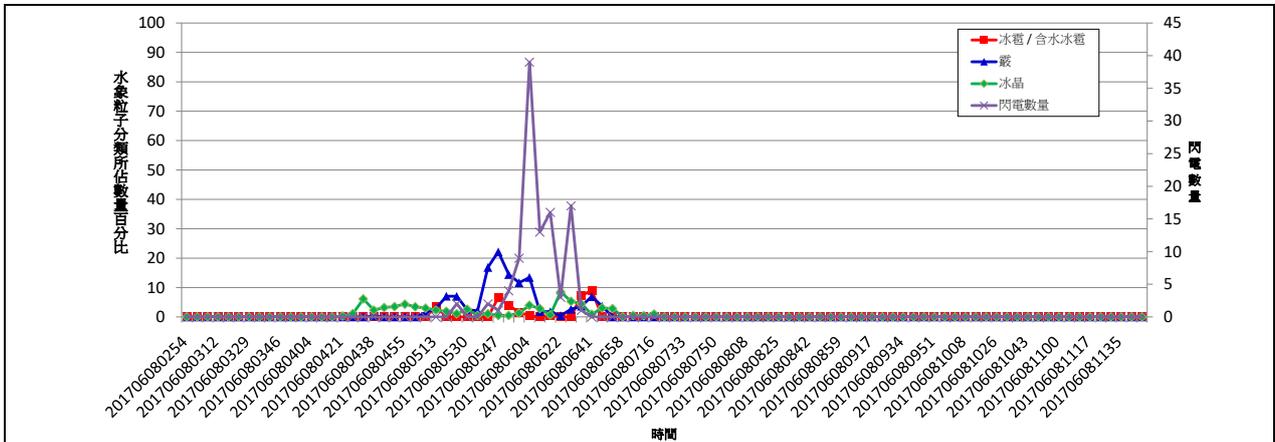


(c) 2017/06/11 07:10 UTC (閃電數量164)

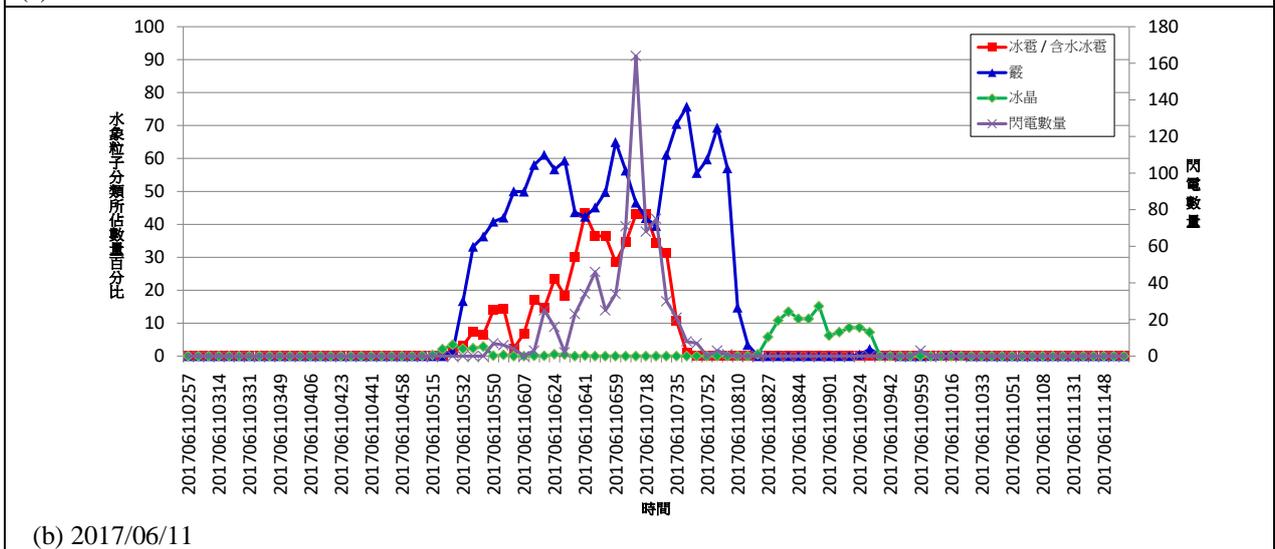


(d) 2017/06/11 08:10 UTC (閃電數量0)

圖4 2017/06/11 閃電數量最大網格(東經 121.41875°, 北緯 24.86875°)水象粒子分類(冰雹/含水冰雹、霰及冰晶)所佔數量百分比隨不同高度之變化



(a) 2017/06/08



(b) 2017/06/11

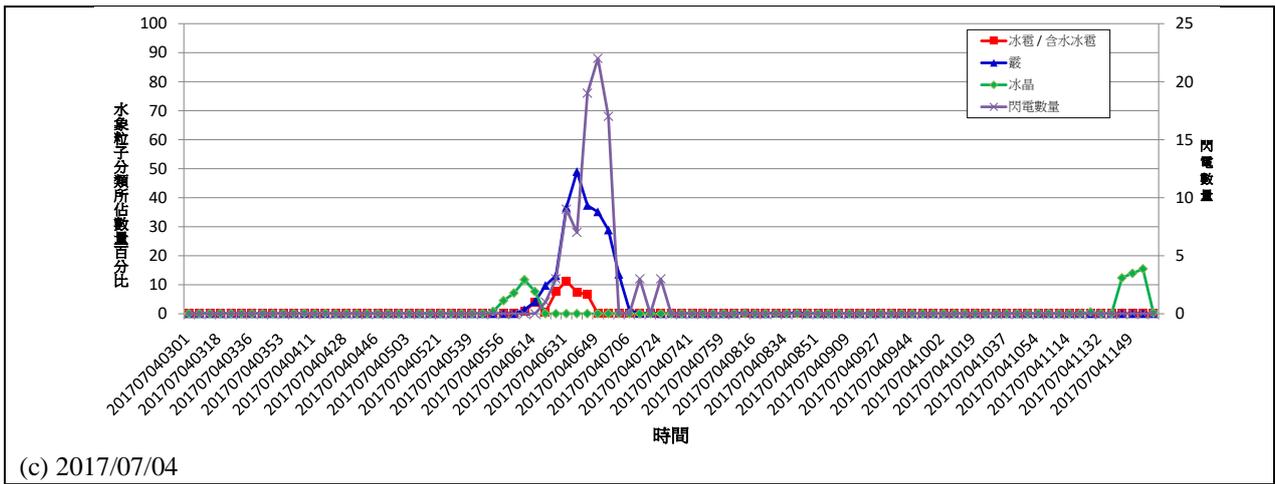
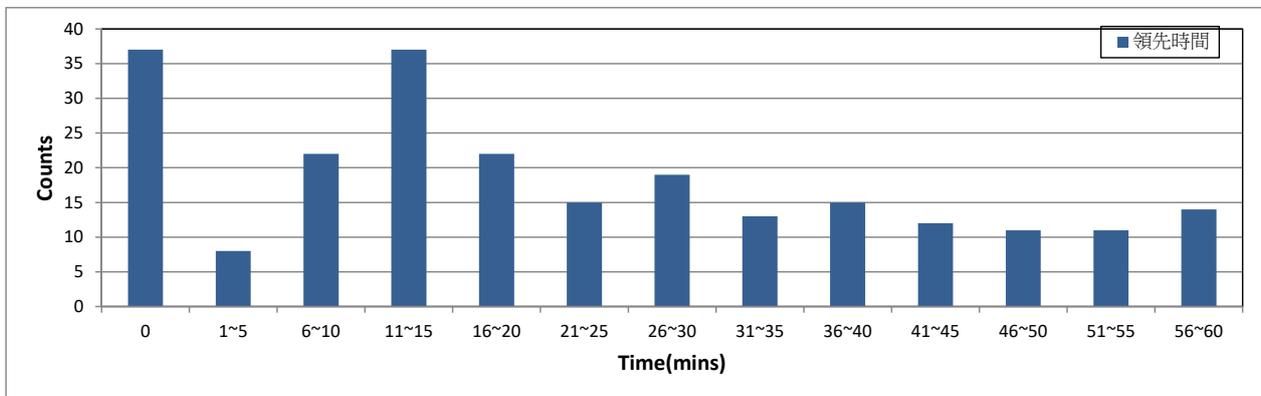
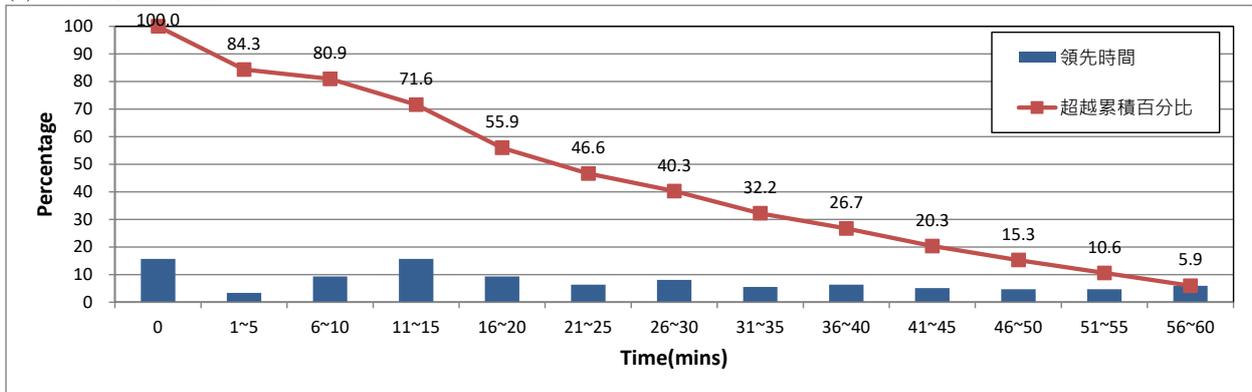


圖5 午後對流個案閃電數量最大網格於高度3~4km之水象粒子分類(冰雹/含水冰雹、霰及冰晶)所佔數量百分比與閃電數量歷線圖



(a) 領先時間組體圖



(b) 領先時間超越累積百分比

圖6 2017年06/08、06/11及07/04午後對流個案有閃電發生網格之冰雹前兆領先時間分布

A Study of Relationship between Hydrometeor Classification of Dual-Polarization Radar and Lightning

**Yeh M.-S.¹ Chen S.-G.² Fong C.-T.² Huang T.-S.²
Liu C.-H.¹ Cheng A.-R.¹**

**Manysplendid Infotech, Ltd¹.
Central Weather Bureau²**

Abstract

In previous studies, the researches demonstrated the relationship between mass percentage of hydrometeor classification and amount of lightning. Based on the Hydrometeor Classification of Wufenshan Weather Radar(RCWF) and lightning data of Central Weather Bureau Lightning Detection System, this study aims at investigating the temporally and spatially correlated occurrence of hydrometeor classification and lightning in the afternoon convective rainfall events.

In the afternoon convective rainfall events of 2017, with a radius of 1.0 degree from RCWF, when lightning occurs, hail-rain and graupel mainly occur in the range of 3~5km in height. At altitude of 3~4km, the first occurrence of hail-rain was earlier than the first occurrence of lightning. The percentage of hail-rain also increases or decreases with the amount of lightning, and shows that the trend of hail is similar with amount of lightning. The result of afternoon convective cases demonstrates the lead time from hail-rain of hydrometeor classification to lightning.

Key words: Dual-Polarization Radar, Hydrometeor Classification, Lightning