

# 對流監測平台系統 (SCAN) 對夏季冰雹事件統計分析 與預警能力評估

李采蓉<sup>1</sup> 鍾高陞<sup>1,\*</sup> 柯縉盈<sup>1</sup> 劉宇其<sup>2</sup> 陳新淦<sup>2</sup> 黃椿喜<sup>2</sup>

國立中央大學大氣科學系<sup>1</sup> 交通部中央氣象署<sup>2</sup>

(中華民國 112 年 6 月 19 日收稿；中華民國 112 年 9 月 26 日定稿)

## 摘 要

本研究以中央氣象署於預報作業使用之對流監測平台系統(System for Convection Analysis and Nowcasting, SCAN)提供的歷史對流胞及冰雹預警資訊為基礎，結合由民眾或新聞媒體所記錄下來的歷史冰雹目擊事件，針對臺灣近年夏季冰雹的即時預警狀況進行統整評估。分析資料方面，為能涵蓋臺灣南北地區之事件，故分別選用五分山雷達、七股雷達作為北部與南部地區的資料來源。統計結果顯示，臺灣夏季冰雹多發生於弱綜觀天氣條件的下午時段，且實際目擊的冰雹尺寸平均值小於現行預警門檻。冰雹相應對流胞的持續時間比一般夏季對流更長，其中又以較低海拔的七股雷達訊號更完整。然而，更高的雷達掃描時間解析度，使五分山雷達的預警表現明顯更好。整體而言，過去 SCAN 系統於臺灣冰雹事件發生前可提供的預警時間多在 15 分鐘以內，核心問題則包含(一)部分目擊事件未成功預警以及(二)現有系統假警報過多二者。本研究針對上述情況，分別提供(一)以冰雹目擊個案特徵統計結果下修預警門檻與(二)以臺灣探空資料修正 SCAN 系統背景預設之環境 0°C、-20°C 高度等改善建議。

**關鍵字:** 對流胞、即時預報、冰雹預警

\*通訊作者: 鍾高陞 [kschung@atm.ncu.edu.tw](mailto:kschung@atm.ncu.edu.tw)

## 一、前言

臺灣座落於受北回歸線橫跨的東亞季風帶，南北地區分別對應於熱帶與副熱帶季風氣候。在每年夏季期間，主要由鋒面、西南氣流、颱風以及午後熱對流等劇烈天氣系統帶來豐沛的降水(Chen and Chen 2003; Chen et al. 2007)。由於島內地勢分布陡峭、河川短小急流，劇烈天氣的出現時常引發嚴重的災害，進而導致生命財產安全的威脅。如何更快速且準確的發布警戒資訊，在臺灣是十分重要的議題。

在過去數值天氣預報模式(Numerical Weather Prediction, NWP)的持續改良下，預報單位對於天氣系統的中長期演變已具有一定的掌握能力。然而，由於模式取得良好大氣動力與熱力資訊的先決條件為大量的數學與物理方程運算，對於極短期(very short-term)的即時天氣預報(nowcasting)而言，模式預報的表現會受到積分初期的起轉過程(spin-up process)限制。因此，模式較難以正確掌握可在 0-1 小時內迅速發展的對流胞出現時間、位置與強度。透過觀測資料快速提供較佳預測結果的外延方法、亦或是基於歷史統計資料歸納致災事件的診斷依據，仍是當前對流胞

即時預報技術發展的主力(Wilson et al. 2010; Rigo and Llasat 2016; Wapler 2021)。

本文的分析主軸——冰雹，主要伴隨強對流胞發生，即便此類事件在臺灣較為罕見(Chen and Tang 2004)，但其造成的災害仍對於農作物、行人亦或是較脆弱之建物有所威脅，因此應將其作為不可忽視的警戒目標之一。在即時的觀測工具中，氣象雷達因具有高時空解析度的特性，故適合用於對流胞的即時監測與冰雹可能性的推估(Skripniková and Řezáčová 2014; Capozzi et al. 2018)。目前在中央氣象署便使用整合雷達資料的對流偵測平台系統SCAN (System for Convection Analysis and Nowcasting)產出，作為冰雹預警之依據。此系統開發自中緯度環境，由於過去引進時缺乏系統內參數的調整依據，因此當前所有背景設定皆沿用美國之預設值。考量到臺灣與美國的天氣環境本質不同，此原始設定於多為熱雷雨條件之臺灣的適用性，仍需透過實際預警成效統計以進行評估。

隨著科技的發展，越來越多的劇烈天氣事件可以在民眾目擊的當下被即時記錄下來，使得預警系統的能力得以進行事後驗證(San Ambrosio et al. 2007; Gourley et al. 2010; Rasmussen et al. 2014)。而在臺灣方

面，劉與王(2018)自 2010 至 2017 年間收集了共 27 個歷史目擊事件，以分析冰雹出現時的環境條件，並紀錄與事件對應的 SCAN 系統訊號。結果顯示大多數的個案都發生在結冰高度及 200hPa 溫度偏低的环境中，亦或是鋒面、高空槽、高空分流等利於上升運動的環境條件；劉等(2020)則進一步將統計擴展至 2018 年，並針對(1)SCAN 系統中達冰雹預警門檻之對流胞路徑分布以及(2)目擊事件回波強度進行討論。最終得到(1)達門檻之對流胞好發地

點以大臺北地區和南部地區為主與(2)歷史回波大小介於 55-71 dBZ 區間的結論。

在上述過去的臺灣研究中，雖已初步彙整歷史冰雹的發生條件，然而，對於實際預警作業面向而言的探討，尚缺乏進一步延伸。以德國為例，Wapler(2017)經由在地劇烈天氣資料庫 ESWD (European Severe Weather Database; Dotzek et al. 2009) 收集大量歷史冰雹目擊報告後，檢測當採用不同參數作為警戒依據時，(1)不同門檻可為冰雹事件提供的預警時間(lead time；圖 1)長短，以及(2)警報發布與實際災害發

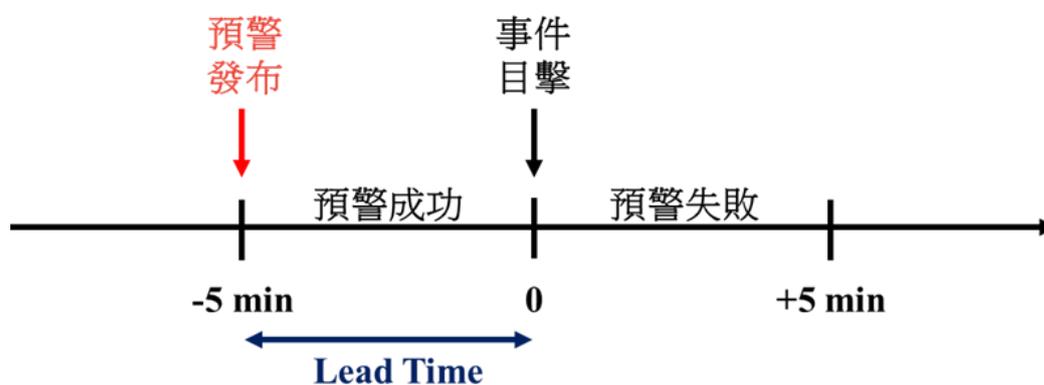


圖 1 預警時間(lead time)概念示意圖，若警報發布早於事件目擊，視為預警成功。

生的吻合百分比。該成果可作為評估預警門檻適用性的有效指標，協助預報員了解(1)當前可提供給下游單位執行防災作業的時長多寡，與(2)現有系統是否有假警報過多的問題。

另一方面，劉(2013)亦曾提出由於臺

灣過去將 SCAN 系統自美國引入後，未將系統背景設定的環境 0°C 和 -20°C 高度根據臺灣氣候特徵進行調整，因而導致系統容易有高估的現象發生。該研究的實際個案測試結果顯示，若進一步採用臺灣探空資訊更新預設值，則可下修當前過高之產出，

並且有機會使預警結果更為精確。此成果需要以更大量的統計資料進一步驗證，以作為改善預警系統的依據。

為能從實務應用的觀點上，更全面的評估臺灣目前執行冰雹即時預警作業的成效，本文將基於近 12 年夏季(5 至 8 月)的 SCAN 系統歷史資料，配合自新聞媒體收集的冰雹目擊事件開展一系列統計分析，並依據成果提供對應預警問題的改善建議。第二節將詳述研究使用的資料來源、彙整方式以及分析與改善辦法。第三節則針對現有冰雹目擊事件與預警系統之歷史資訊，進行資料統計特徵整理。第四節分別從歷史事件與實務預警的角度，深入探討當前門檻的適用性。最後一節統整結論與未來展望。

## 二、資料與方法

### (一) 對流偵測平台 SCAN

SCAN 系統來自於美國國家劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory, NSSL)所發展之對流監測平台 WDSS (Warning Decision Support System-Integrated Information, Eilts et al. 1996)。該系統以都卜勒雷達觀測為主，同時整合探

空、地面觀測、數值模擬等資訊，提供對流發展強度、強風、冰雹以及閃電等警訊，為目前中央氣象署預報員針對極短期劇烈天氣危害的即時動態研判與預警發布參考。

SCAN 系統使用對流胞辨識及追蹤演算法 SCIT (Storm Cell Identification and Tracking algorithm, Johnson et al. 1998)來獲取對流胞的即時動態，並根據冰雹偵測演算法 HDA (Hail Detection Algorithm, Witt et al. 1998)評估冰雹於對流胞中出現的機率、以及預計直徑大小。系統會於每輪雷達掃描(volume scan)完成後，提供如表 1 之當下時間所有對流胞的資訊。其中，ident 代表對流胞的編碼(ID)，azm、rng 為對流胞與雷達中心相對的方位角與距離，dbz、dbzHt 為最大回波與對應高度，top 為對流胞頂部高度(30dBZ 最高高度)，dir、spd 則是對流胞的移動方向與速度，這些資訊由 SCIT 演算法所獲得；posh、poh 為劇烈冰雹及一般冰雹出現機率(%)，hSize 為預計冰雹最大直徑(inch)，以上產出由 HDA 演算法計算所得。本研究使用的 SCAN 系統資料分別來自於掃描範圍涵蓋北臺灣的五分山雷達(RCWF)與涵蓋南臺灣的七股雷達(RCCG)，其中 RCWF 資料的時間解析

表 1 SCAN 系統於 RCWF 2017 年 8 月 2 日 0510 UTC 提供之對流胞資訊。

ident	D0	C0	B0
azm	119	236	238
rng	153	50	74
tvS	NONE	NONE	NONE
mdaSR	NONE	NONE	NONE
posh	0	0	0
poh	0	0	0
hSize	0	0	0
vil	8	6	4
dbz	46	48	47
dbzHt	3.05	0.7	1.1
top	5.61	4.02	2.35
dir	-1	156	158
spd	-1	4	6
polh	0	0	0
svrwx	8	4	4
hvyPr	N/A	N/A	N/A
pPos	0	0	0
cgRate	0	0	0
totRate	0	0	0
cape	N/A	N/A	N/A
sreh	N/A	N/A	N/A
county	N/A	復興區	橫山鄉

度約為 5-6 分鐘，RCCG 則約為 7-8 分鐘。

臺灣目前主要使用 HDA 演算法之計算輸出，作為冰雹即時預警的參考。運算過程輸入之數值包含由 SCIT 提供的對流胞最大回波值( $Z$ )、最大回波高度( $H$ )、回波頂部高度( $H_{Top}$ )等，以及使用者自行背景輸入之環境  $0^{\circ}\text{C}$  高度( $H_{0^{\circ}\text{C}}$ )及環境  $-20^{\circ}\text{C}$  高

度( $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ )。以下說明相關產品的演算過程(計算公式摘自 Witt et al. 1998)：

● **冰雹機率 POH (Probability of Hail)**

POH 的大小取決於由 SCIT 演算法偵測之對流胞 45dBZ 高度( $H_{45\text{dBZ}}$ )與背景輸入之環境  $0^{\circ}\text{C}$  高度( $H_{0^{\circ}\text{C}}$ )的差 (Waldvogel et al. 1979)。當  $H_{45\text{dBZ}} - H_{0^{\circ}\text{C}} > 1.4 \text{ km}$  時，

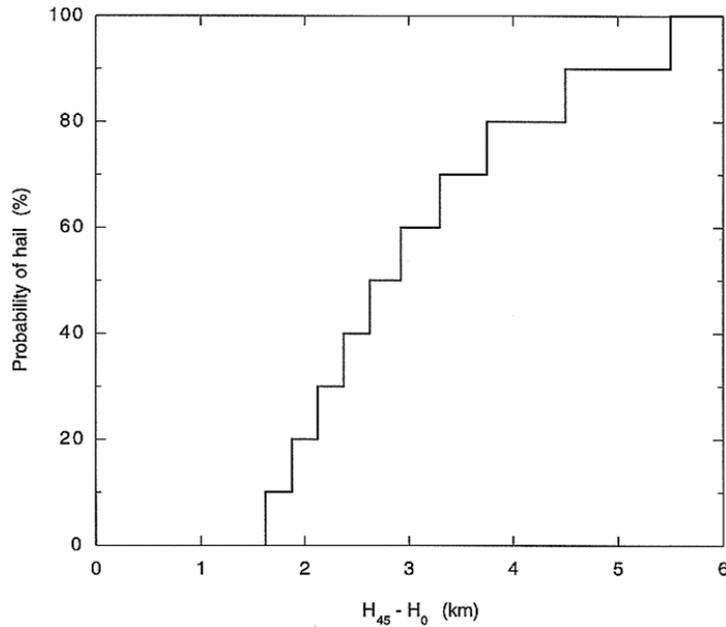


圖 2 冰雹機率 POH 與  $H_{45dBZ} - H_{0^{\circ}C}$  的函數關係式(摘自 Witt et al. 1998)。

視為有冰雹發生的可能，此時將透過圖 2 關係式轉換獲取 POH (%)。

● **劇烈冰雹機率 POSH (Probability of Severe Hail)**

為取得更具有鑑別度之參考依據，可透過下列經驗式求得 POSH (%)：

$$POSH = 29 \ln\left(\frac{SHI}{W_{0^{\circ}C}}\right) + 50 \quad \text{式 1}$$

其中，SHI 為劇烈冰雹指數(Severe Hail Index)，使用高度單位為公尺：

$$SHI = 0.1 \int_{H_{0^{\circ}C}}^{H_{Top}} W_T(H) E dH \quad \text{式 2}$$

而 E 代表冰雹動能 (Hailfall Kinetic Energy)，其值隨回波強度增加呈指數增長：

$$E = 5 \times 10^{-6} \times 10^{0.084 \times Z} W(Z) \quad \text{式 3}$$

$W(Z)$  是回波的函數，其假設對流胞最大回波值(Z)低於 40 dBZ 時不會有冰雹發生，

而高於 50 dBZ 時則有最高的權重：

$$W(Z) = \begin{cases} 0, & \text{for } Z < 40dBZ \\ \frac{Z - Z_{40dBZ}}{Z_{50dBZ} - Z_{40dBZ}}, & \text{for } Z = 40 \sim 50dBZ \\ 1, & \text{for } Z > 50dBZ \end{cases}$$

式 4

另外， $W_{0^{\circ}C}$  的經驗公式如下所示：

$$W_{0^{\circ}C} = 57.5 H_{0^{\circ}C} - 121 \quad \text{式 5}$$

而  $W_T(H)$  則為最大回波高度(H)在  $0^{\circ}C$  與  $-20^{\circ}C$  高度( $H_{0^{\circ}C}$  &  $H_{-20^{\circ}C}$ )間的權重：

$$W_T(H) = \begin{cases} 0, & \text{for } H_{0^{\circ}C} \\ \frac{H - H_{0^{\circ}C}}{H_{-20^{\circ}C} - H_{0^{\circ}C}}, & \text{for } H = H_{0^{\circ}C} \sim H_{-20^{\circ}C} \\ 1, & \text{for } H > H_{-20^{\circ}C} \end{cases}$$

式 6

當對流胞的最大回波高度( $H$ )坐落於環境  $0^{\circ}\text{C}$  高度( $H_{0^{\circ}\text{C}}$ )以下時，權重設為 0；而在環境  $-20^{\circ}\text{C}$  高度( $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ )之上時，則令為 1。

### ● 最大估計冰雹尺寸 MEHS (Maximum Expected Hail Size)

MEHS (inch)由前述的  $SHI$  計算而得：

$$MEHS = 2.54 (SHI)^{0.5} \quad \text{式 7}$$

當  $SHI$  指數越高，越容易發生較大的冰雹。

根據劉(2013)的測試，SCAN 系統預設用於 HDA 運算之  $H_{0^{\circ}\text{C}} = 3200 \text{ m}$ 、 $H_{-20^{\circ}\text{C}} = 6096 \text{ m}$ ，為參考北美氣候特徵所訂定。

## (二) 歷史冰雹對流胞收集

由於冰雹在臺灣的發生次數不如歐美國家頻繁，因此臺灣目前尚未有較具組織架構的歷史劇烈天氣情報統整網站，提供民間即時回報冰雹目擊。為能從實際事件的角度驗證當前預警系統的表現，本研究延續過去劉與王(2018)、劉等(2020)的工作，自氣象署官方、新聞報導以及民眾紀錄彙整 2011 至 2022 年間夏季 5 到 8 月的歷史冰雹，並根據目擊情報的敘述獲取冰雹時間、地點與冰雹直徑大小。進一步透過上述時空資訊，在 SCAN 系統歷史訊號中搜尋最吻合的事件相對流胞，記錄對應雷

達(若遇雷達停機或未找到相符資料，則標示為 None)。

為定量分析臺灣冰雹事件的統計特徵，本研究尚依據事件發生當日發布之氣象署天氣報告，取得當天主導之天氣系統，並將涵蓋鋒面、颱風、熱帶性低氣壓、南方雲系或西南氣流等日視為受綜觀天氣系統影響；其餘如太平洋高壓及西南風等其他類別則視為弱綜觀天氣。亦透過冰雹目擊地點，推估對應海拔高度。此外，由於民間紀錄之冰雹尺寸多以珍珠大小、10 元大小等文字描述為主，故將其統一轉換為數值表示。整理得出之目擊事件如表 2，於近 12 年夏季期間共收集到 56 筆個案。

## (三) 預警能力評估方法

中央氣象署過去針對對流胞是否應發布冰雹預警的決策基準為：SCAN 系統滿足  $\text{MaxdBZ} \geq 60$ 、 $\text{POH} \geq 80\%$ 、 $\text{POSH} \geq 50\%$ 、 $\text{MEHS} \geq 1.5 \text{ inch}$  四個條件同時成立的情況。為探討此預警門檻在臺灣的適用性，本研究參考 Wapler(2017)之研究方法，分別從(1)歷史目擊事件與(2)系統警報的角度進行能力評估。

歷史事件分析方面，首先將自 SCAN 系統中提取出冰雹相對流胞的歷史訊號

表 2 臺灣 2011 至 2022 年間夏季 5 到 8 月歷史冰雹目擊個案一覽表。

編號	日期	時間(TST)	目擊地點	天氣系統	冰雹直徑(cm)	海拔高度(m)	雷達
01	2011/08/18	傍晚	高雄美濃	弱綜觀	3.0(拇指)	100 以下	RCCG
02	2011/08/18	17:00	南投鹿谷	弱綜觀	未知	200-1000	RCCG
03	2011/08/27	下午	雲林古坑	颱風	未知	100 以下	RCCG
04	2012/07/16	下午	新北樹林	弱綜觀	未知	100 以下	RCWF
05	2013/06/04	未知	大台北	滯留鋒	未知	300 以下	RCWF
06	2013/07/01	17:20	南投埔里	颱風外圍環流	未知	500-1000	RCCG
07	2013/07/07	下午	新北樹林	弱綜觀	<1.0 (<彈珠)	100 以下	RCWF
08	2013/07/08	17:03	彰化社頭	弱綜觀	未知	100 以下	RCWF
09	2013/07/09	未知	台南市	弱綜觀	未知	100 以下	RCCG
10	2013/07/09	未知	屏東里港	弱綜觀	1.0	100 以下	RCCG
11	2013/07/30	16:10	新北新店	弱綜觀	未知	100 以下	RCWF
12	2014/07/04	13:30	高雄旗山	弱綜觀	5.0(石頭)	200 以下	RCCG
13	2015/07/23	下午	桃竹地區	熱帶性低氣壓	未知	200 以下	RCCG
14	2015/07/28	14:40	大台北	弱綜觀	未知	300 以下	RCWF
15	2016/05/05	15:00	合歡山	弱綜觀	0.8(珍珠)	3000 左右	RCCG
16	2016/05/11	16:40	南投水里	滯留鋒	1.0	300 左右	RCCG
17	2016/05/13	下午	南投信義/水里	弱綜觀	2.7(10元)	300-1500	None
18	2016/06/20	16:30	嘉義中埔	弱綜觀	未知	300 以下	RCCG
19	2016/07/18	下午	台北南港/汐止	熱帶性低氣壓	未知	100 以下	None
20	2016/07/24	15:00	屏東長治德新村	弱綜觀	未知	100 以下	RCCG
21	2017/06/09	下午	南投草屯	弱綜觀	未知	200 以下	None
22	2017/06/12	16:00	台中霧峰	颱風外圍環流	1.0-2.0	200 以下	None
23	2017/06/13	15:40	新北新莊板橋	滯留鋒	5.0	100 以下	RCWF
24	2017/06/29	下午	高雄前鎮	弱綜觀	未知	100 以下	RCCG
25	2017/07/12	13:30	阿里山	弱綜觀	未知	1000-2000	RCCG
26	2017/07/15	15:00	高雄美濃	弱綜觀	1.0(彈珠)	100 以下	RCCG
27	2017/07/15	未知	雲林古坑	弱綜觀	2.7(10元)	100 以下	RCCG
28	2017/07/18	15:00	嘉義水上村	弱綜觀	1.0(彈珠)	100 以下	None
29	2017/07/19	下午	嘉義番路	弱綜觀	1.0(玻璃珠)	100-300	RCCG
30	2018/06/27	15:30	屏東市	弱綜觀	2.0(1元)	100 以下	None
31	2018/06/29	13:00	新北新店	弱綜觀	未知	100 以下	RCWF
32	2018/07/08	16:15	屏東萬丹	弱綜觀	2.0(1元)	100 以下	RCCG
33	2018/08/05	15:00	屏東長治	弱綜觀	1.0	100 以下	RCCG
34	2019/06/06	午後	南投國姓鄉	弱綜觀	0.5(米粒)	300-1000	RCCG
35	2019/06/07	15:00	基隆市/安樂/暖暖	滯留鋒	1.0(彈珠)	200 以下	RCWF
36	2019/06/07	15:00	雲林斗六	滯留鋒	未知	200 以下	None
37	2019/06/07	15:30	嘉義竹崎奮起湖	滯留鋒	未知	1500 左右	RCCG
38	2019/06/07	16:00	南投魚池鄉	滯留鋒	1.0(花生)	500-1000	RCCG
39	2019/07/31	16:00	南投市/魚池/中寮	颱風外圍環流	0.8(珍珠)	100-1000	RCCG
40	2019/08/01	16:00	桃園龍潭	颱風外圍環流	0.8(珍珠)	200-300	RCWF
41	2020/06/27	16:00	新竹縣尖石鄉	弱綜觀	2.7(10元)	1600-2000	RCWF
42	2020/07/11	15:20	台東嘉明湖山屋	弱綜觀	2.5(龍眼)	3000 以上	RCCG
43	2020/07/18	下午	合歡山北峰	弱綜觀	未知	3000 左右	None
44	2020/07/25	13:57	苗栗泰安	弱綜觀	1.0	1500 左右	RCWF
45	2020/08/16	下午	高雄岡山	弱綜觀	未知	100 以下	RCCG
46	2020/08/18	17:00	苗栗卓蘭	颱風外圍環流	3.0(拇指)	500 以下	RCWF
47	2021/07/13	15:30	合歡山松雪樓	弱綜觀	0.8(粉圓)	3000 以上	RCWF
48	2021/07/14	15:30	屏東市/長治/九如	弱綜觀	0.5(米粒)	100 以下	RCCG
49	2022/06/22	14:00	南投中寮/塔塔加	弱綜觀	0.8(珍珠)	200 以下-3000 以上	RCCG
50	2022/06/24	13:40	台北中正	弱綜觀	0.5(米粒)	100 以下	RCWF
51	2022/06/25	13:48	桃園平鎮	弱綜觀	未知	200 以下	RCWF
52	2022/06/27	15:00	屏東九如	弱綜觀	0.8(粉圓)	100 以下	RCCG
53	2022/08/08	18:30	台南西港	南方雲系	1.0	100 以下	RCCG
54	2022/08/09	14:00	台南永康	南方雲系	未知	100 以下	RCCG
55	2022/08/09	17:05	南投埔里	南方雲系	0.6(豆子)	500 以下	RCCG
56	2022/08/27	17:00	台中大里	弱綜觀	1.0(彈珠)	100 以下	RCWF

，並檢驗當前事件的預警時間(lead time)：

$$lead\ time = T_{First\ alarm} - T_{Hail} \quad \text{式 8}$$

其中， $T_{First\ alarm}$  為對流胞最早達 SCAN

系統預警門檻的時間， $T_{Hail}$  則為目擊到冰

雹的時間。若  $lead\ time$  為負值，代表該事

件成功被 SCAN 系統提前預警，差值越大

對於防災作業的前置準備工作而言更佳；

反之或未曾達門檻的情況下，則視為預警失敗。以圖 3 為例，在所有達門檻之時段中(表格黃底)，最早訊號(0515)與實際目擊時刻(0530)之差值為-15 分鐘，即預警成功。

歷史系統警報方面，則會於 SCAN 對流胞資料中搜尋所有達到冰雹警戒門檻之

訊號。根據這些曾達門檻的對流胞移動路徑座落地點，區分為全程位於海上者與曾經路過陸地者。計算曾經過陸地之對流胞有相應目擊個案的百分比，比例越高代表預警系統可能的假警報越少。

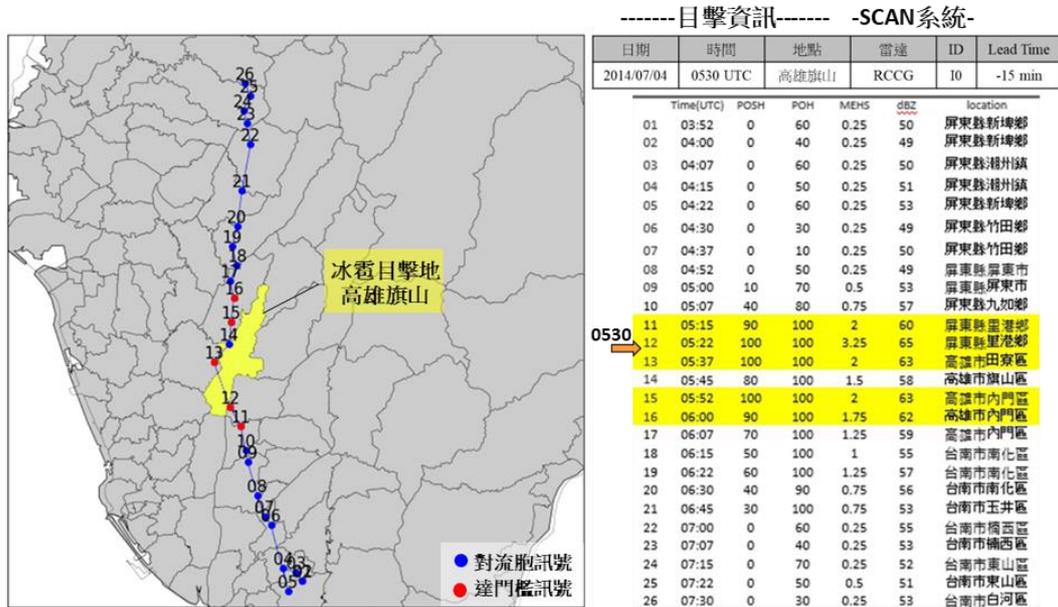


圖 3 冰雹相對流胞之歷史訊號與路徑示意圖。此事件對應於表 2 個案 12。

#### (四) 預警能力改善方法

由於當前 SCAN 系統預警門檻及參數設定的依據為北美氣象統計特性，故若欲自系統中獲取對於臺灣更具參考價值之預警資訊，則必須根據臺灣的統計特性進行修正。針對預警門檻的調整，可透過目擊的情報描述、以及部分未成功預警之目擊事件原因探討進行評估；而針對 SCAN 系統內參數設定，則參考劉(2013)初步嘗

試的方法，以臺灣的平均探空資訊更新 SCAN 系統背景預設的 0°C與-20°C高度 ( $H_{0^{\circ}C}$ 、 $H_{-20^{\circ}C}$ )後，重新進行 POSH、MEHS 的計算，並檢驗修正後的冰雹預警情況是否有所改善。計算過程中所使用的 SHI 分別採用以下二種方法進行積分：

$$SHI = 0.1 * (H_{Top} - H_{0^{\circ}C}) * W_T(H) * E$$

式 9

$$SHI = \frac{0.1 E}{H_{-20^{\circ}\text{C}} - H_{0^{\circ}\text{C}}} * \left[ \frac{(H_{Top}^2 - H_{0^{\circ}\text{C}}^2)}{2} - H_{0^{\circ}\text{C}} * (H_{Top} - H_{0^{\circ}\text{C}}) \right]$$

### 式 10

過去劉(2013)使用上式(簡易積分)直接進行計算，本研究除了使用該方法外，亦嘗試於 $H$ 介於 $H_{-20^{\circ}\text{C}} \sim H_{0^{\circ}\text{C}}$ 區間時使用下式(分段積分)進行計算，並比較二種計算方式所得出之預警參數預警表現。而用於更新 SCAN 系統之 $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 、 $H_{0^{\circ}\text{C}}$ 資料，則依據雷達位置分別輸入不同測站的歷史探空數值。其中，RCWF 參考 2011 至 2019 年夏季 5 到 8 月期間，氣象署板橋測站於每日 00、12UTC 之定時觀測，取得所有最接近環境 $0^{\circ}\text{C}$ 與 $-20^{\circ}\text{C}$ 高度之歷史探空高度平均值，得到 $H_{0^{\circ}\text{C}} = 5181$ 、 $H_{-20^{\circ}\text{C}} = 8545$  (m)；RCCG 方面則參考 2014 至 2016 年夏季期間，由台灣颱風洪水研究中心主辦之西南氣流聯合觀測實驗高雄測站歷史探空高度平均值，得到 $H_{0^{\circ}\text{C}} = 5242$ 、 $H_{-20^{\circ}\text{C}} = 8561$  (m)。上述統計值顯示臺灣之實際環境 $H_{0^{\circ}\text{C}}$ 、 $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 較 SCAN 系統預設高約 2 至 2.5 公里，然而分別代表熱帶與副熱帶環境

條件之南北部地區歷史平均值，於臺灣夏季期間並無顯著差異。

### 三、歷史冰雹目擊與預警特徵統計

圖 4 彙整研究期間所收集的 56 筆個案統計特徵。臺灣夏季冰雹事件包含 31 筆的 RCCG 南部(64.6%)與 17 筆的 RCWF 北部個案(35.4%)，此外另有 8 筆未能在 SCAN 系統中找到對應的歷史資料。此些未能找到 SCAN 資料的個案中，包含 2016 年 RCWF 雷達損毀停機期間的事件，以及分布於易受山脈阻擋的高海拔地區事件，其餘則有可能為新聞提供之目擊情報不精確所導致。冰雹出現地點多以低於 1 公里海拔地區為主(82%)，此統計結果可能為低海拔地區人口分布較為密集，事件較容易被目擊紀錄所致。天氣系統方面以環境大氣條件不穩定、利於上升氣流發展的弱綜觀為多(68%)，綜觀天氣則主要有滯留鋒面(F；13%)、颱風與熱帶性低氣壓(T；14%)與南方雲系(E；5%)。大多數目擊事件發生在 6~7 月、臺灣時間 15~16 時，而冰雹直徑平均值約為 1.55 cm (即 0.61 inch)。

延伸探討與冰雹事件對應的 SCAN 系統對流胞特徵，在此定義對流胞的存在時

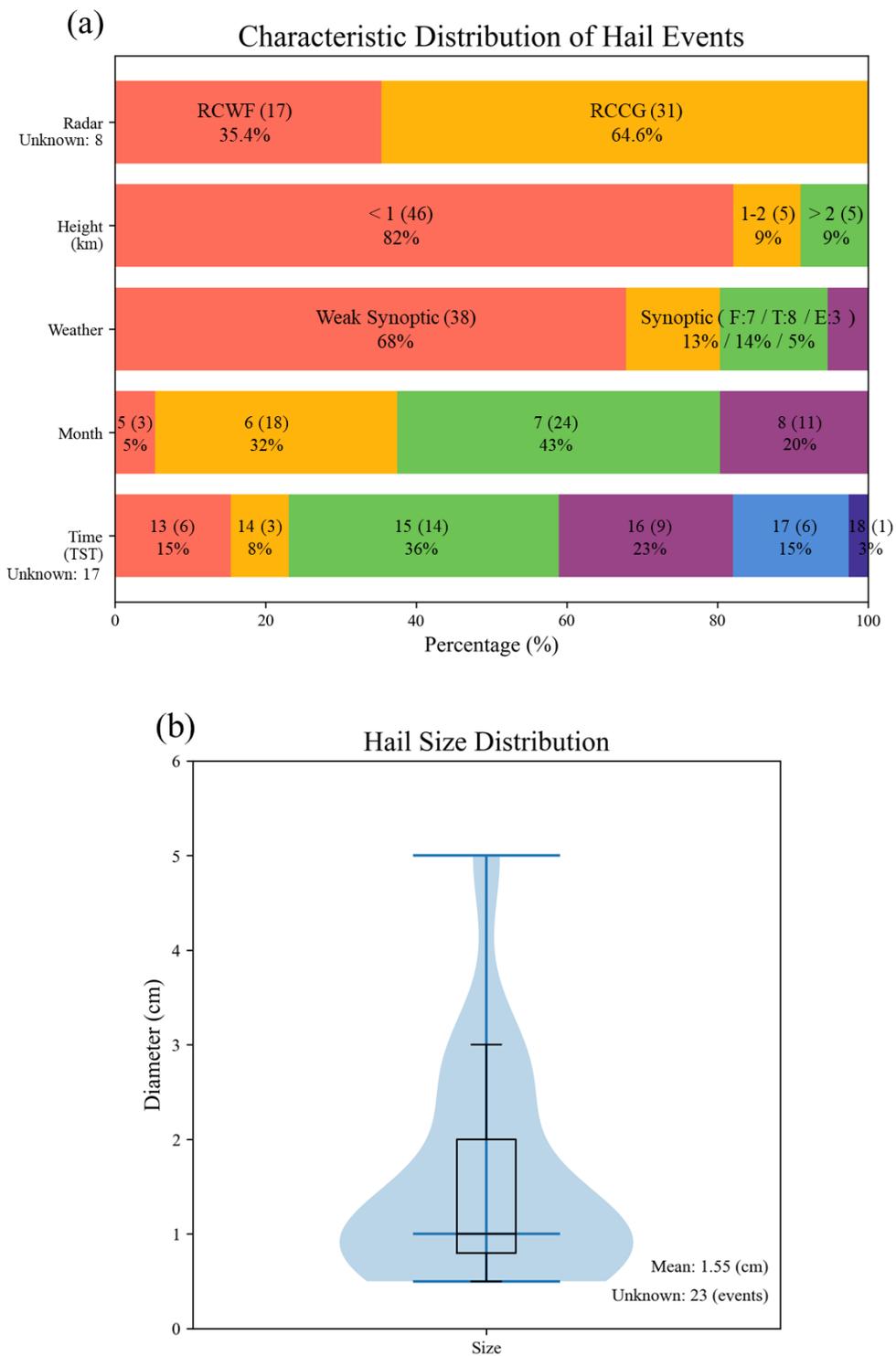


圖 4 冰雹目擊事件特徵分布。(a)雷達、海拔、天氣、月份與時間；(b)冰雹尺寸。

間為回波達到 30dBZ 辨識門檻、並被 SCAN 系統偵測的期間。冰雹對流胞的存在時間分布方面(圖 5a)，除了少量事件之

雷達掃描可能受山脈阻擋，故僅有偵測到 1 筆訊號外，其餘大多可以維持 1 小時以上至 3 小時以下，且 RCCG 對流胞的平均

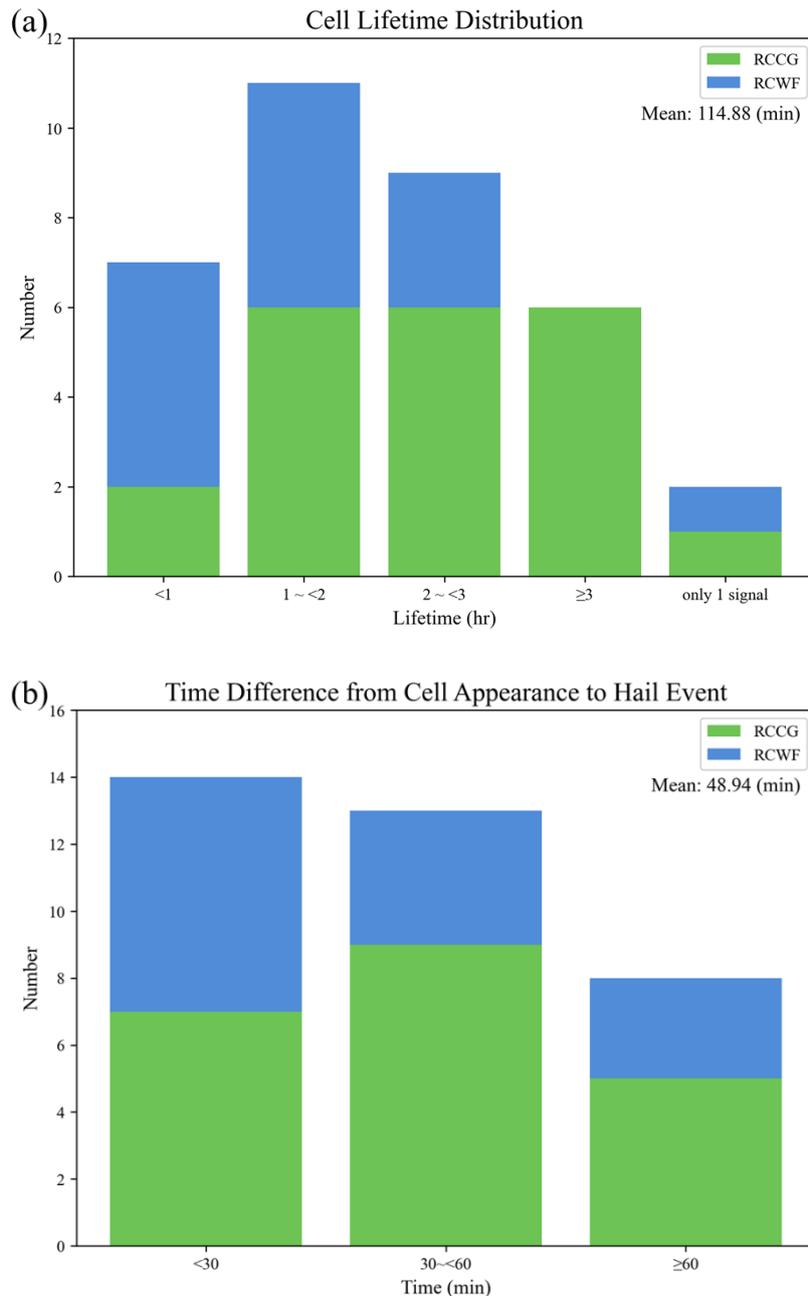


圖 5 冰雹對流胞數量分布。(a)對流胞存在時長；(b)對流胞出現至目擊冰雹時差。

維持時間又比 RCWF 更長。在過去鍾等 (2020) 的統計結果顯示, SCAN 系統夏季對流胞的存在時間多在 1 小時以內, 因此可以推測, 挾帶冰雹的 SCAN 對流胞應具有維持時間更長的特徵。而在對流胞訊號首次出現直到冰雹目擊的時間差方面(圖 5b),

RCWF 事件大多小於 30 分鐘, RCGG 則多在 60 分鐘以內。上述南北雷達的統計差異, 可能為 RCWF 海拔較高, 因而無法完整捕獲對流胞發展前後期於低層的強回波訊號所致; 此外, 亦可能為南北雷雨的環境不同, 進而導致二者的起轉時間(spin

-up time)有所差異，有待後續進一步分析確認。

另一方面，圖 6 檢視與冰雹預警決策相關的 SCAN 系統資訊，於 2011 至 2022 年夏季期間的歷史特徵分布。在此四大參數中，POH 顯然最不具有事件鑑別度，為最容易達標的預警門檻；MEHS 則最為嚴格，滿足門檻之歷史資料量僅佔全體的

0.03~0.04%。此外，RCCG 的 POH 與最大回波整體訊號分布區間明顯比 RCWF 更高，此統計結果可以對應到南臺灣歷史冰雹目擊事件相對北臺灣多的情況，可作為防災決策應用的參考依據；而對於相對嚴苛的 POSH 及 MEHS 而言，南北達標比例並未反映出真實狀況，此情況可能為 SCAN 系統目前背景預設之環境 0°C、-20

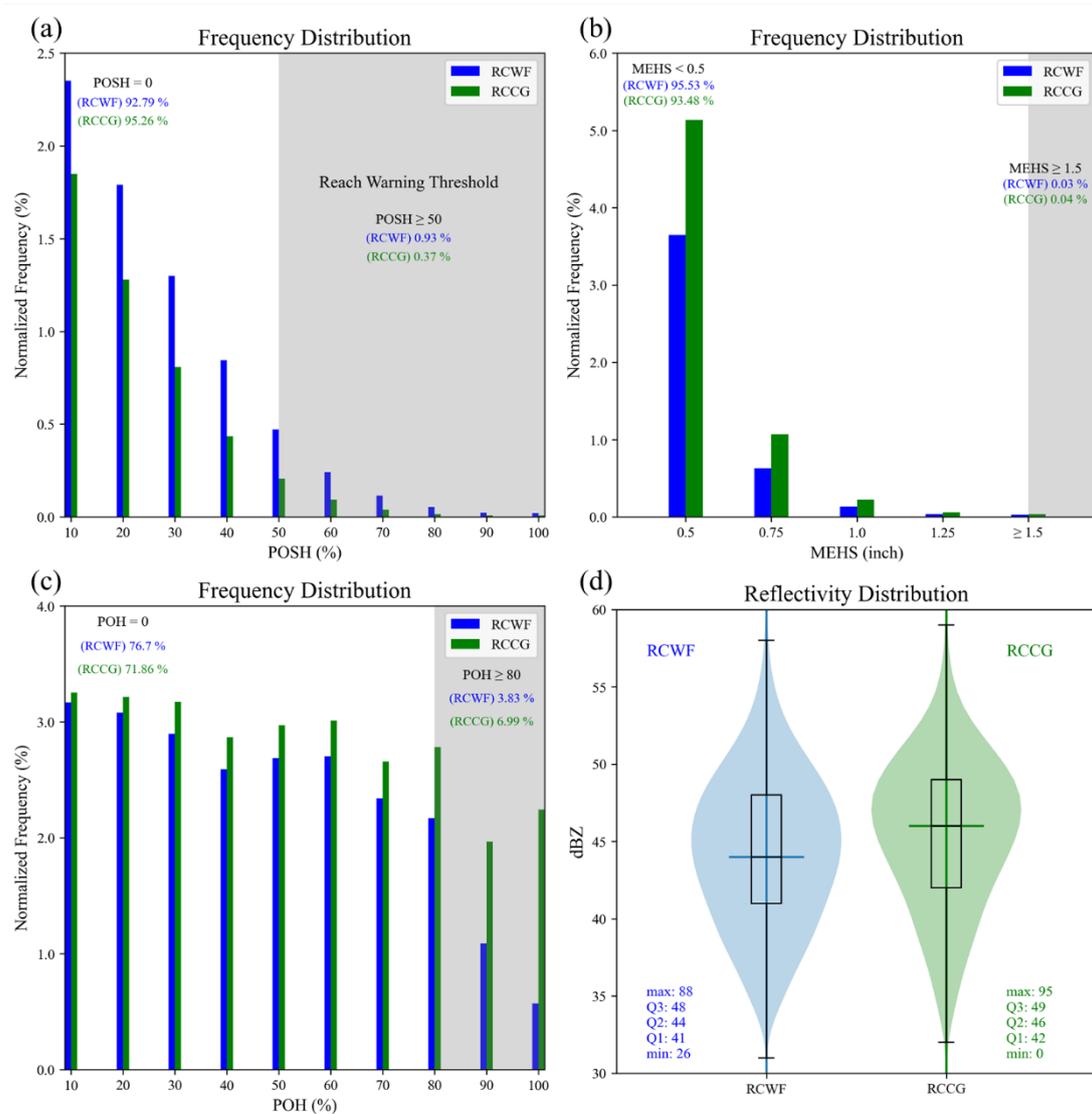


圖 6 冰雹預警相關參數於 SCAN 系統之歷史特徵分布。(a)POSH；(b)MEHS；(c)POH；(d)最大回波。

°C 高度較不適用於臺灣，而導致之結果。未來進行預警系統之優化，可考慮由上述二參數進行調整。

#### 四、冰雹預警能力評估與改善

##### (一) 基於歷史冰雹目擊事件

在有目擊時間情報與 SCAN 對流胞訊號的 35 筆冰雹事件中，約有半數以上 (51.4%) 會於發生前達到警報發布標準(圖 7a)。然而，當細分南北雷達進行探討時，可以關注到北部對流胞的預警成功比率明顯高於南部地區。其中，RCWF 可透過當前門檻提前掌握到約 7 成以上事件發生的前兆，而 RCCG 則不足 4 成。檢視導致南北個案預警失敗的因素(表 3)，可以注意到 RCCG 除了比 RCWF 更容易未達到預警門檻以及受到山脈阻擋以外，尚有部分事件的警報達標時間僅稍晚於事件目擊，推測若有更高時間解析度之雷達掃描時，便可成功預警。此結果證實雷達掃描的時間解析度亦為即時作業上不可忽視的因素，即便 RCCG 可以更完整記錄到對流胞的前後期訊號，但其相對更長的雷達掃描週期(比 RCWF 長 1-2 分鐘)，致使其在對流快速增強的精華時段內並未佔有相對的預警優勢。

在所有成功預警的案例中，lead time 的平均值約為 25 分鐘，分佈上以 15 分鐘以內的組別最多，且數量隨著 lead time 的拉長而減少，呈負相關趨勢(圖 7b)。若進一步拆分南北地區，可發現 RCWF 多數事件的 lead time 比 RCCG 更長，意即現有門檻在北部地區表現更好，能提供下游地區更長的防災作業準備時間。

探討其餘個案預警失敗的原因(表 3)，除了可能受到雷達資料時間解析度不足與雷達掃描範圍受地形遮蔽等限制，進而導致 SCAN 資料量難以提供預警需求外，還有可能是冰雹目擊報告的時間不精確，導致事後驗證得出預報失誤的結論。剔除此類事件後，可以發現剩餘個案於冰雹發生前的最大預警參數值與預警門檻大多差距不大，其中又以 MEHS 及 dBZ 參數值於各事件中最容易未達預警門檻。在冰雹目擊報告的統計中，臺灣冰雹事件的平均直徑大小約為 0.61 inch (1.55 cm)，若將 MEHS 改以此值作為預警門檻，則可掌握此些未預警事件。而針對 dBZ 的部分，以德國的經驗為例(Wapler, 2017)，其會使用 55 及 60 dBZ 等多階段門檻作為預警依據，以發布不同程度的冰雹警戒訊息。因此，若以最大程度掌握到所有實際發生的臺灣

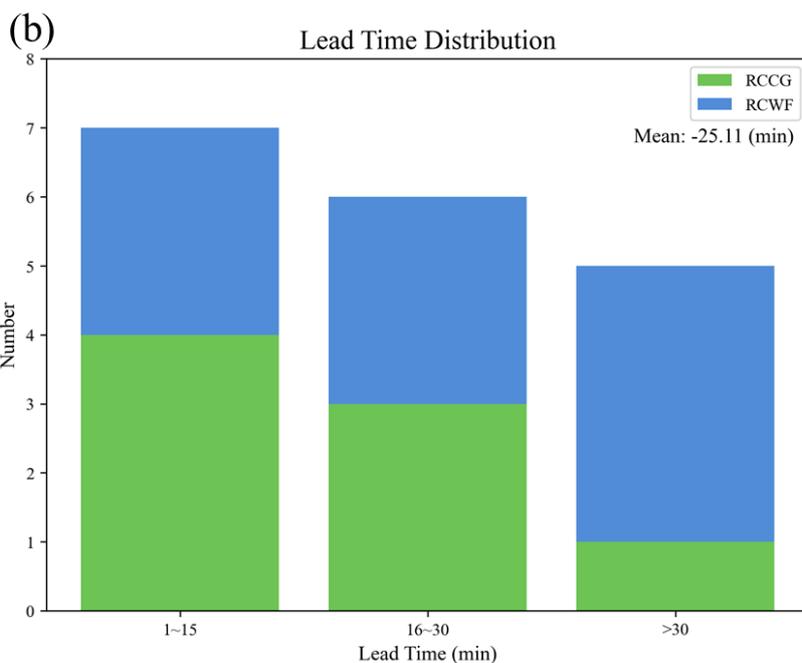
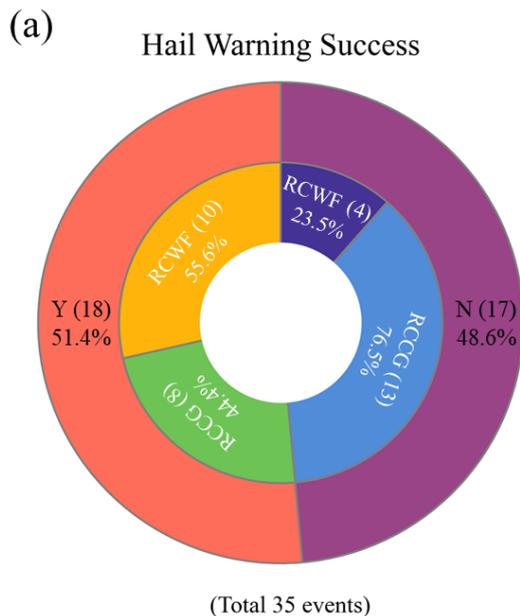


圖 7 冰雹目擊事件預警情況。(a)預警成功比例分布；(b)lead time 數量分布。

冰雹事件為目標時，可考慮參考上述方法，參照劉等(2020)回波分布統計值，將預警的最低門檻調降為回波 55 dBZ 與冰雹直徑 0.61 inch 後，再行設定其他更高標準之警戒層級，並擬定對應的災害防治策略。

### (二) 基於 SCAN 系統歷史預警

嘗試以另一角度——冰雹預警發布的準確性進行探討。本研究調取自 2011 至 2022 年間夏季 5 到 8 月期間的所有 SCAN 系統

表 3 冰雹目擊個案預警失敗原因一覽。

編號	日期	時間(TST)	目擊地點	天氣系統	雷達	預警失敗原因推測
15	2016/05/05	15:00	合歡山	弱綜觀	RCCG	雷達掃描受山脈阻擋 (事件發生於高海拔地區)
20	2016/07/24	15:00左右	屏東長治德新村	弱綜觀	RCCG	冰雹目擊時間有誤 (強對流訊號時空資訊與目擊時間有落差)
25	2017/07/12	13:30	阿里山	弱綜觀	RCCG	未達預警門檻 (POSH: 30, MEHS: 0.75, dBZ: 55)
26	2017/07/15	15:00	高雄美濃	弱綜觀	RCCG	雷達掃描時間解析度不足 (警報與目擊時間相同)
35	2019/06/07	15:00	基隆市/安樂/暖暖	滯留鋒	RCWF	未達預警門檻 (MEHS: 0.75)
37	2019/06/07	15:30	嘉義竹崎奮起湖	滯留鋒	RCCG	未達預警門檻 (POSH: 40, MEHS: 0.75, dBZ: 55)
38	2019/06/07	16:00	南投魚池鄉	滯留鋒	RCCG	未達預警門檻 (dBZ: 59)
39	2019/07/31	16:00	南投市/魚池/中寮	颱風外圍 環流	RCCG	未達預警門檻 (MEHS: 1.0, dBZ: 58)
42	2020/07/11	15:20	台東嘉明湖山屋	弱綜觀	RCCG	雷達掃描受山脈阻擋 (事件發生於高海拔地區)
44	2020/07/25	13:57	苗栗泰安	弱綜觀	RCWF	未達預警門檻 (MEHS: 0.75, dBZ: 55)
47	2021/07/13	15:30	合歡山松雪樓	弱綜觀	RCWF	雷達掃描受山脈阻擋 (事件發生於高海拔地區)
49	2022/06/22	14:00	南投中寮/塔塔加	弱綜觀	RCCG	雷達掃描受山脈阻擋/目擊時間不精確 且未達預警門檻
52	2022/06/27	15:00	屏東九如	弱綜觀	RCCG	雷達掃描時間解析度不足 (目擊後立刻達警報標準)
53	2022/08/08	18:30	台南西港	南方雲系	RCCG	未達預警門檻 (MEHS: 1.25)
54	2022/08/09	14:00	台南永康	南方雲系	RCCG	未達預警門檻 (MEHS: 1.25)
55	2022/08/09	17:05	南投埔里	南方雲系	RCCG	未達預警門檻 (MEHS: 1.0, dBZ: 58)
56	2022/08/27	17:00	台中大里	弱綜觀	RCWF	未達預警門檻 (MEHS: 1.0, dBZ: 58)

歷史資料，從中取出曾達現行冰雹預警門檻的對流胞，並將有可能被民眾記錄到的陸地冰雹對流胞與相應目擊數目進行比對。由於無目擊情報並不能代表未有歷史事件的發生(可能為剛好未被記錄到)，故此百分比僅能作為預警訊息準確率的參考，並不完全等同於系統的命中率。然而，在表 4 的驗證中顯示，當前系統在未進行預警門檻或環境溫度高度背景值調整的情況下，警報與目擊的吻合百分比僅有 16%，且 RCCG 略低於 RCWF。此結果反應現行系統提供之預警極大可能有假警報過多的問

題，可與過去劉(2013)研究中提到:當前過低之 $H_{0^{\circ}\text{C}}$ 、 $H_{-20^{\circ}\text{C}}$ 預設值，可能導致冰雹演算法計算產出明顯高估的情況相呼應。

嘗試使用臺灣探空資料的歷史平均值更新 HDA 演算法的輸入，並參考過去研究方法重新產出 POSH 與 MEHS。在維持原定預警門檻的條件下，可以看到由於將背景預設值提高了 2 公里，使得重新積分得到之輸出值更小，故達到門檻之對流胞數量更少。檢視重新運算後的 POSH 與 MEHS 歷史特徵分布(圖 8)與原始訊號(圖 6 a, b)的差異，結果顯示不論使用何種積

表 4 使用不同積分方法更新 POSH 與 MEHS 前後的 SCAN 系統預警狀況。

雷達		達門櫃對流胞數		警報與目擊 吻合百分比		達門櫃對流胞數		警報與目擊 吻合百分比		達門櫃對流胞數		警報與目擊 吻合百分比
		海上	陸地			海上	陸地			海上	陸地	
RCWF	原始預警	37	81	17 %	簡易積分	5	21	29 %	分段積分	19	53	21 %
RCCG		45	125	15 %		22	52	29 %		25	92	14 %
ALL		82	206	16 %		27	73	29 %		44	145	17 %

分方法，調整探空對於 RCWF 訊號的整體下修幅度皆比 RCCG 更為顯著。其中，劉(2013)使用的簡易積分方法可以最有效的減少系統的歷史警報數，且在透過此方法修正後，達預警標準之對流胞與實際目擊的對應率明顯更高(提升至 29%，見表 4)。因此，就減少預警系統假警報的面向而言，此方式應更為有效。

## 五、結論與未來展望

### (一) 結論

本文自臺灣近 12 年 5 到 8 月期間的官方與民間紀錄中，收集了共 56 筆冰雹目擊事件，並將上述情報與即時預報作業使用之 SCAN 系統歷史資訊進行交叉比對，以統計臺灣夏季冰雹對流胞的特徵，且進一步評估現行方法下的預警表現。彙整成果如下：

1. 與經常性發生劇烈冰雹災害的美國中西部地區不同，冰雹事件於臺灣的致災

頻率顯然較少，多數歷史事件仍為伴隨強降雨而導致的災情。在此天氣環境差異下，自美國引入之 SCAN 系統參數預設值於臺灣冰雹預警上的適用性，便有必要再行驗證。其中，南北探空歷史統計平均值顯示，系統預設之環境 0°C、-20°C 高度較臺灣實際環境低約 2 至 2.5 公里。

2. 冰雹於臺灣南部低海拔地區的發生頻率相對其他地區更頻繁，時間以 6 至 7 月的 15 到 16 時為主，且多為利於上升運動發展的弱綜觀天氣條件。此外，冰雹目擊的平均直徑約為 0.61 inch，此值顯然小於當前預警對策訂定的 1.5 inch 門檻。
3. 挾帶冰雹的對流胞多數可以在 SCAN 系統中偵測到比一般對流胞更持久的訊號，惟北部地區受到 RCWF 海拔較高的限制，故無法如同南部地區的 RCCG 紀錄到維持 3 小時以上的冰雹

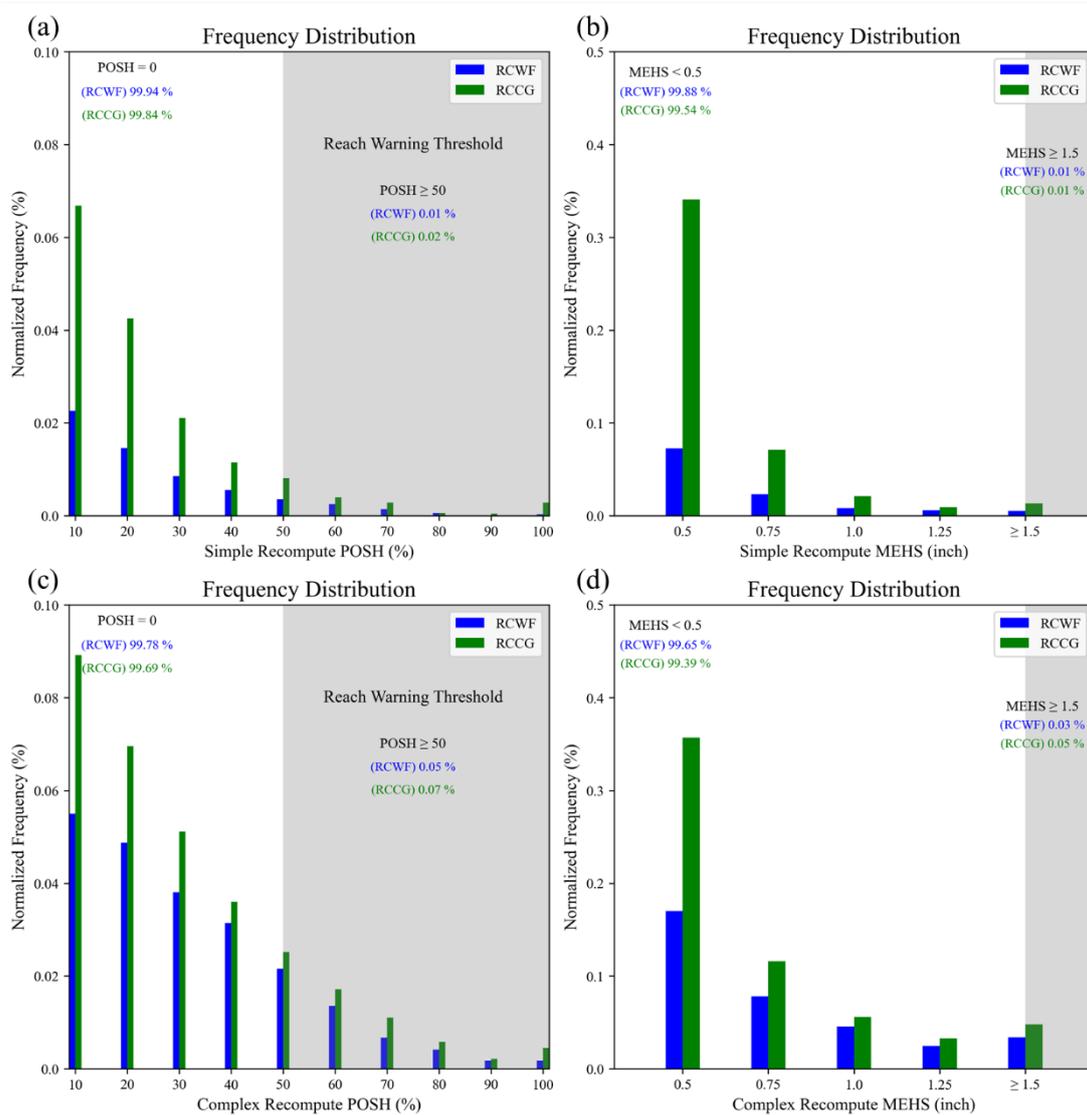


圖 8 使用不同積分方法更新冰雹預警參數後的訊號歷史特徵分布。(a)簡易積分 POSH；(b)簡易積分 MEHS；(c)分段積分 POSH；(d)分段積分 MEHS。

對流胞。在此前提下，RCWF 對流胞自系統出現至冰雹出現的時間差大多少於 30 分鐘；RCCG 則有更多接近 60 分鐘的事件，即有更長的作業反應時間。

4. 從歷史目擊事件的角度評估預警表現時，雷達掃描時間解析度更高的 RCWF 預警能力，明顯比 RCCG 更好。而在全臺成功預警的案例中，lead time 多在

15 分鐘以內；失敗的個案則在剔除地形與解析度等雷達掃描限制因素後，可在依據歷史統計值調低門檻(MEHS 降至 0.61 inch、回波降至 55 dBZ)後，於事件發生前滿足警戒標準。

5. 從 SCAN 系統的歷史警報發布情況檢驗冰雹預警表現時，結果顯示當前過低的環境 0°C與-20°C高度預設值，恐導

致系統長年處於假警報過多的狀態。透過探空資料的更新，並配合劉(2013)之簡易積分方法進行 POSH 與 MEHS 重新試算後，可有效減緩此問題。

## (二) 未來展望

基於目前系統之冰雹對流胞特徵與預警能力，已透過本文收集的多年統計資料進行初步分析。對於「目擊事件未能成功預警」與「系統假警報過多」二大核心問題，雖然可以各自透過「依事件統計特徵下修門檻」與「更新探空後重新演算預警參數」來改善對應狀況，然而若任意執行系統的更動，恐引發一些不良的連鎖反應。可能的例子包含：調降門檻後達標的對流胞數過多，進而讓系統假警報更嚴重；更新探空後獲取之冰雹演算法輸出過度下修，導致實際事件更不易被系統提早掌握。

為能提升臺灣冰雹事件的警戒能力，除了根據實務需求訂定合適的預警策略外，近年全臺雙偏極化雷達的逐漸普及，亦提供了更多防災決策參考依據。以國際間目前的相關研究發展為例，同時採用單偏與雙偏極化雷達輸出作為預測指標的方法，已被證實能更有效的防治冰雹事件 (Murillo and Homeyer 2019)。其中，差異反射率(Differential reflectivity,  $Z_{DR}$ )尤為適

合用於檢測劇烈天氣現象的發生與否 (Kuster et al. 2019; Kuster et al. 2020)。由於目前用於對流胞即時預警之 SCAN 系統並未整合雙偏極化參數產品，未來期望能持續推行相關工作，以將本研究之統計分析進一步擴展。

## 參考文獻

- 劉人璋，2013: Hail Detection Algorithm (HDA) in SCAN，交通部中央氣象局。
- 劉宇其、王品翔，2018: WSR-88D 冰雹演算法於臺灣冰雹預報之應用，107 年度研究報告第 CWB 107-1A-01 號。
- 劉承翰、陳新淦、林秉煜、馮欽賜、黃椿喜、葉明生、鄭安孺，2020: 臺灣雷達偵測之對流胞監測參數的特徵分析及氣候統計，109 年天氣分析與預報研討會。
- 鍾高陞、柯靜吟、鄒益豪、李采蓉、林秉煜、黃椿喜、陳新淦、劉宇其、賈愛玫，2020: 臺灣地區對流胞特性分析與路徑預報技術開發，109 年天氣分析與預報研討會。

- Capozzi, V., E. Picciotti, V. Mazzarella, F. S. Marzano, and G. Budillon, 2018: Fuzzy-logic detection and probability of hail exploiting short-range X-band weather radar. *Atmos Res*, **201**, 17-33, 10.1016/j.atmosres.2017.10.006.
- Chen, C. S., and Y. L. Chen, 2003: The rainfall characteristic of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323–1341, 10.1175/1520-0493(2003)131<1323:TRCOT>2.0.CO;2.
- Chen, G. T.-J., and I.-M. Tang, 2004: Formation and characteristics of a summertime hailstorm over northern Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 695–709, 10.2151/jmsj.2004.695.
- Chen, C.-S., Y.-L. Chen, C.-L. Liu, P.-L. Lin, and W.-C. Chen, 2007: Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Wea. Forecasting*, **22**, 981–1002, 10.1175/WAF1033.1.
- Dotzek, N., P. Groenemeijer, B. Feuerstein, and A. M. Holzer, 2009: Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, **93**, 575–586, 10.1016/j.atmosres.2008.10.020.
- Eilts, M. D., J. T. Johnson, E. D. Mitchell, S. Sanger, G. J. Stumpf, A. Witt, K. W. Thomas, K. Hondl, D. Rhue and M. H. Jain, 1996: Severe weather warning decision support system. Preprints, *18th Conf. on Severe Local Storms*, San Francisco, CA, Amer. Meteor. Soc., 536-540.
- Gourley, J. J., J. M. Erlingis, T. M. Smith, K. L. Ortega, and Y. Hong, 2010: Remote collection and analysis of witness reports on flash floods. *J. Hydrol.*, **394**, 53–62, 10.1016/j.jhydrol.2010.05.042.
- 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, 10.1175/1520-0434(1998)013<0263:TSCIAT>2.0.CO;2.
- Kuster, C. M., J. C. Snyder, T. J. Schuur, T. T. Lindley, P. L. Heinselman, J. C.

- Furtado, J. W. Brogden, and R. Toomey, 2019: Rapid-update radar observations of ZDR column depth and its use in the warning decision process. *Wea. Forecasting*, **34**, 1173–1188, 10.1175/WAF-D-19-0024.1.
- Kuster, C. M., T. J. Schuur, T. T. Lindley, and J. C. Snyder, 2020: Using Z<sub>DR</sub> Columns in Forecaster Conceptual Models and Warning Decision-Making. *Wea. Forecasting*, **35**, 2507–2522, 10.1175/WAF-D-20-0083.1.
- Murillo, E., and C. Homeyer, 2019: Severe hail fall and hail storm detection using remote sensing observations. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **58**, 947–970, 10.1175/JAMC-D-18-0247.1.
- Rasmussen, K. L., Zuluaga, M. D., and Houze, R. A., 2014: Severe convection and lightning in subtropical South America. *Geophys. Res. Lett.* **41**, 7359–7366, 10.1002/2014GL061767.
- Rigo, T., and M. C. Llasat, 2016: Forecasting hailfall using parameters for convective cells identified by radar. *Atmos. Res.*, **169**, 366–376, 10.1016/j.atmosres.2015.10.021.
- San Ambrosio, I., F. Martín, and F. Elizaga, 2007: Development and behaviour of a radar-based operational tool for hailstorms identification. *Atmos. Res.*, **83**, 306–314, 10.1016/j.atmosres.2005.08.012.
- Skripniková, K., and D.Řezáčová, 2014: Radar-based hail detection. *Atmos. Res.*, **144**, 175–185, 10.1016/j.atmosres.2013.06.002.
- Waldvogel, A., W. Schmid, and P. Grimm, 1979: Criteria for the detection of hail cells. *J. Appl. Meteor.*, **18**, 1521–1525, 10.1175/1520-0450(1979)018<1521:CFTDOH>2.0.CO;2.
- Wapler, K., 2017: The life-cycle of hailstorms: Lightning, radar reflectivity and rotation characteristics. *Atmos. Res.*, **193**, 60–72, 10.1016/j.atmosres.2017.04.009.
- Wapler, K., 2021: Mesocyclonic and Non-Mesocyclonic Convective Storms in Germany: Storm Characteristics and

- Life-Cycle. *Atmos. Res.*, **248**, 105186, 10.1016/j.atmosres.2020.105186.
- Wilson, J. W., Y. Feng, M. Chen, and R. D. Roberts, 2010: Nowcasting challenges during the Beijing Olympics: Successes, failures, and implications for future nowcasting systems. *Wea. Forecasting*, **25**, 1691–1714, 10.1175/2010WAF2222417.1.
- Witt, A., M. D. Eilts, G. J. Stumpf, J. T. Johnson, E. D. W. Mitchell, and K.W. Thomas, 1998a: An enhanced hail detection algorithm for the WSR-88D. *Wea. Forecasting*, **13**, 286–303, 10.1175/1520-0434(1998)013<0286:AEHDAF>2.0.CO;2.

# Evaluation of hailstorm early warning capability in Taiwan's summer

Tsai-Jung Lee<sup>1</sup>, Kao-Shen Chung<sup>1</sup>, Chieh-Yin Ke<sup>1</sup>  
Yu-Chi Liu<sup>2</sup>, Shin-Gan Chen<sup>2</sup>, Treng-Shi Huang<sup>2</sup>

Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan<sup>1</sup>  
Central Weather Bureau, Taiwan<sup>2</sup>

(manuscript received 19 June 2023; in final form 26 September 2023)

## Abstract

This study is based on the historical storm cell and hail warning information provided by the System for Convection Analysis and Nowcasting (SCAN), which is utilized by the Central Weather Bureau (CWB) for operational forecasting. By combining hail records from recent years as reported in the news, the real-time early warning capabilities for Taiwan's summer hail can be integrated and improved. In terms of the analysis data, Wu-Fan San (RCWF) and Chi-Gu (RCCG) were selected as radar data sources to cover events in the northern and southern regions, respectively.

The results indicate that most of the events occur in the afternoon during weak synoptic weather conditions, and the size of witnessed hail is mostly below the warning threshold. Hailstorms have a longer duration compared to general summer storm cells, and the RCCG at lower altitudes provides a more complete signal. However, the higher time resolution of the radar scan gives RCWF a significantly better early warning performance. In summary, SCAN can provide a lead time of approximately 15 minutes for hail warnings, but two major issues are identified: (1) some hail events were not detected by the SCAN system, and (2) there are too many false alarms. This research proposes two solutions: (1) lowering the warning threshold based on the statistical analysis of hail reports, and (2) correcting the default value of the SCAN system using sounding data from Taiwan to address these problems.

**Keywords:** storm cell, nowcasting, hail early warning.

**doi:** 10.53106/025400022023105102002