

區域防災降雨雷達之高時空降雨估計評估

林品芳¹ 張保亮² 陳姿瑾³ 秦新龍⁴

中央氣象局氣象衛星中心¹ 中央氣象局資訊中心²

資拓宏宇國際股份有限公司³ 中央氣象局第四組⁴

摘要

隨著未來臺灣地區都會區及低窪易淹水地區C波段雙偏極化防災降雨雷達的陸續建置完成，氣象雷達觀測網密度逐漸提升。為因應短延時強降雨資訊之迫切需求，中央氣象局已針對區域防災降雨雷達，新制定仰角組合方式之觀測掃描策略，除可提供每2分鐘解析度達250公尺之高時空解析度之低空域降雨資訊外，亦能在7.5分鐘之內提供全空域之完整體積掃描觀測資料，以同時滿足氣象與水文領域之所需。為評估此新制定降雨雷達掃描策略所提供之高時空解析度資料於降雨估計之貢獻效能，本研究將利用2018年梅雨季期間高雄林園降雨雷達(RCLY)資料，進行每2分鐘與10分鐘之降雨估計分析與比較，除探討其降雨估計結果之特性與差異外，並利用雷達站周遭之雨量站觀測資料評估高時空降雨估計資料之效能，期做為後續防災降雨雷達掃描策略制定與降雨估計技術應用之參考。

一、前言

中央氣象局現正執行「水災災害防救策進計畫-建置區域防災降雨雷達網」及「強化臺灣海象暨氣象災防環境監測計畫-雲嘉南及宜蘭低窪地區建置防災降雨雷達計畫」等計畫，將於新北市樹林區獐子寮山、臺中市南屯區望高寮夜景公園、高雄市林園區、雲林縣口湖鄉及宜蘭縣壯圍鄉，共建置5部區域防災降雨雷達(表1)，其中位於高雄市的林園雷達(RCLY)與臺中市的南屯雷達(RCNT)，已分別於2017年9月及2018年6月啟用，其餘雷達預計在2019年底之前將陸續建置完成。未來這5座區域防災降雨雷達建置後，將與中央氣象局現有五分山(RCWF)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)及花蓮(RCHL)等4部S波段雷達形成緊密的雷達觀測網，除可增加近地面(觀測高度<1公里)觀測之範圍(圖1)，進而改善定量降水估計品質外，更可提供台灣地區更為密集且完整的降雨觀測資訊，提升監測劇烈天氣效能。

為評估防災降雨雷達的觀測效能，張等(2017)曾針對五分山共站觀測之S波段RCWF雷達與C波段RCMD雙偏極化降雨雷達觀測進行分析比較，比對分析顯示，在較大水平回波(Z_H)區域中，雖C波段RCMD雷達能量衰減現象較S波段RCWF雷達顯著，但RCMD在差異反射率(Z_{DR})、差異相位差(Φ_{DP})和比差異相位差(K_{DP})皆更能反映出強回波區域及其具有較大降水粒子之特性，顯示出較短波段RCMD雷達具有較高的相位解析靈敏度外，對於 Z_{DR} 之靈敏度亦優於較長波段RCWF雷達。此外，林等(2017)針對C波段RCMD雷達進行降雨雷達掃描功能的測試與研擬，藉由增加近地層及高層仰角之扇形(Sector)及垂直(RHI)掃描觀測，可加強對於對天氣系統特徵及強降雨的區域監測。

為了有效提高定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)以及定量降雨預報(Quantitative Precipitation Nowcast, QPN)的準確度，本研究利用中央氣象局高雄林園防災降雨雷達，研擬可同時滿足水文與氣象作業需求的掃描策

略，以提升雷達定量降雨估計的準確度及對於天氣系統三度空間降水及風場的掌握能力。

二、掃描策略研擬

目前氣象局屬四座S波段雷達之作業皆採用降水模式之標準掃描策略，執行掃描之方式為 0.5° 、 1.4° 、 2.4° 之三層較低仰角且為監測範圍較廣(460km)之監測模式，接續為 0.5° 、 1.4° 、 2.4° 、 3.4° 、 4.3° 、 6.0° 、 9.9° 、 14.6° 、 19.5° 等九層仰角而監測範圍較短(230km)之都卜勒(Doppler)模式。為達到高時空解析度降雨估計資料以符合水文作業單位之需要，並兼顧氣象作業之需求，中央氣象局參考現行作業，以及日本國土交通省及美國國家氣象局所屬雷達之操作，研擬接續式的降雨雷達掃描策略，並以RCLY雷達進行測試，如圖2示意圖所示。此掃描策略約每2分鐘提供最低3層之降雨觀測資料，另增加 24.5° 與 29.9° 兩個觀測仰角層，約每7.5分鐘亦可提供低層至高層的全空域掃描資料。除此之外，空間解析度提高為 0.0025 經緯度(約250公尺)。因此，此掃描策略除可提供高時空解析度之低層降雨資訊外，亦能提供對流性天氣系統在垂直方向的監測完整性。目前RCLY雷達之高時空解析度觀測資料亦已整合至目前每10分鐘、解析度為 0.0125 經緯度(約1.3公里)之原雷達觀測網中。

三、QPE效能評估

為評估RCLY雷達於QPE之效能，本研究利用2018年6月19日梅雨鋒面個案，以每2分鐘1筆的最低3層觀測資料，利用雙偏極化參數進行資料之品質、回波修正及降雨率的估計。其中降雨估計使用之關係式為 $R = 36.92 KDP^{0.752}$ (Wang et al. 2016)，當降雨愈大於 13 mm hr^{-1} 時，則使用 $Z = 32.5 R^{1.65}$ (Xin et al. 1997) 來進行降雨率的計算。並依2分鐘一筆之降雨率資料，進行1小時之雷達降雨估計，並利用雨量站觀測資料進行降雨估計之評估。

圖3為2018年6月19日0700UTC及2100UTC 1小時降雨累積圖，可見降雨主要發生於高雄都會區，雨量站量測到之最大時雨量分別為左營雨量站50mm及彌陀雨量站43mm，均已達大雨等級，前者

主要大雨分布涵蓋高雄平地區域(圖3a)，後者大雨區域則呈西南西至東北東的走向(圖3b)。由現有S波段雷達整合後所得之1小時QPE顯示(圖3c與圖3d)，其與雨量站所觀測之降雨分布與主要大雨區域一致。而由RCLY雷達之1小時QPE顯示，其降雨分布與雨量站觀測及S波段雷達QPE亦相當一致外，由於其空間解析度較高，於較內陸區域更能偵測到雨量站觀測及S波段雷達所無法解析之較大降雨區域(圖3e與圖3f)。由2018年6月19日0428至2350UTC之1小時雷達降雨估計與雨量觀測散佈圖(圖4)顯示，利用現有S波段ZR關係每10分鐘一筆降雨率資料所獲得之1小時降雨估計與雨量觀測之結果，期相關性為0.82；在利用RCLY雷達2分鐘一筆降雨率資料後所獲得之1小時降雨估計資料後，其相關係數明顯提升至0.91。整體而言，對1小時降雨量高於10mm以上之區域有明顯改善，特別是對於降雨量高於20mm之區域，顯示在此個案中應用2分鐘1筆及應用雙偏極化參數進行降雨估計時，其準確度有明顯提升。

為使雷達降雨估計值更接近地面觀測資料，本研究亦使用雨量站即時觀測資料進行修正(唐等 2016)。透過雨量站觀測資料修正後之QPE顯示(圖5)，不論利用現有S波段雷達整合(圖5a與圖5c)或RCLY雷達QPE資料(圖5b與圖5d)，均能反應雨量站之實測資料外，更能在無雨量站處藉由雷達觀測得到降雨資訊，提供更細緻的格點化降雨資訊，特別是具高解度之RCLY雷達的QPE產品。

四、小結

為因應短延時強降雨資訊之迫切需求，中央氣象局已針對區域防災降雨雷達，新制定以仰角組合方式之觀測掃描策略，除可提供每2分鐘解析度達250公尺之高時空解析度之低空域降雨資訊外，亦能在7.5分鐘之內提供全空域之完整體積掃描觀測資料，以同時滿足氣象與水文領域之所需。

為評估RCLY雷達於QPE之效能，本研究利用2018年6月19日梅雨鋒面個案，以每2分鐘1筆的最低3層觀測資料，利用雙偏極化參數進行資料之品質、回波修正及降雨率的估計。由RCLY雷達2分鐘一筆降

雨率資料的評估結果顯示，對1小時降雨量在高於10mm以上之區域有明顯改善，特別是對於降雨量在高於20mm之區域，其改善更是顯著，顯示在此個案中應用2分鐘1筆及應用雙偏極化參數進行降雨估計時，其準確度有明顯提升。在使用雨量站即時觀測資料進行修正後，亦能獲得更細緻的降雨分布。未來本研究將應用此掃描策略與降雨估計方法於已建置與將陸續建置完成之防災降雨雷達資料上，並嘗試利用S波段雙偏極化參數所發展之利用回波衰減量R(A)方法(Ryzhkov et al. 2014)應用於C波段防災降雨雷達(Wang et al. 2014)，以期進一步提升防災降雨雷達估計的準確度，藉以強化下游各水利防災單位之防救災預警與應變能力。

參考文獻

林品芳、張保亮、周思運與秦新龍，2017：五分山C波段雷達觀測掃描策略之研擬與應用。天氣分析與預報研討會論文集編。

張保亮、林品芳、陳怡甄與秦新龍，2017：五分山S波段與C波段雷達觀測比對初步分析。天氣分析與預報研討會論文集編。

唐玉霜、黃葳芃、張保亮與陳嘉榮，2016：劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用。天氣分析與預報研討會論文集編。

Ryzhkov, A. V., M. Diederich, P. Zhang, and C. Simmer, 2014: Potential utilization of specific attenuation for rainfall estimation, mitigation of partial beam blockage, and radar networking. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **31**, 599–619.

Wang, Y., P. Zhang, A. Ryzhkov, J. Zhang, and P. -L. Chang, 2014: Utilization of specific attenuation for tropical rainfall estimation in complex terrain. *J. Hydrometeorol.*, **15**, 2250–2266.

Wang, Y., J. Zhang, P. -L. Chang, C. Langston, B. Kaney, and L. Tang, 2016: Operational C-Band dual-polarization radar QPE for the subtropical complex terrain of Taiwan. *Advances in Meteorology*, **11**, 1–15.

Xin, L., G. Recuter, and B. Larochelle, 1997: Reflectivity-rain rate relationship for convective rainshowers in Edmonton. *Atmos. Ocean*, **35**, 513–521.

表1 五分山維修平台與五部區域防災降雨雷達之位置與相關參數表，灰色表示為未確定之資訊。

Radar	五分山 維修平台 RCMD	高雄林園 RCLY	台中南屯 RCNT	新北樹林 RCSL	雲林 RCYU	宜蘭 RCYI
Observation Range (km) Surveillance/Doppler	150/75	150/75	150/75	150/75	150/75	150/75
Type	SELEX 1700C	SELEX 1700C	SELEX 1700C	SELEX 1700C	EEC CK250	EEC CK250
Height (m)	754	153	293	290	30	30
Wavelength (m)	5	5	5	5	5	5
Polarization	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual
Year/Month for Operation	2016.07	2017.09	2018.06	2019.--	2019.--	2019.--

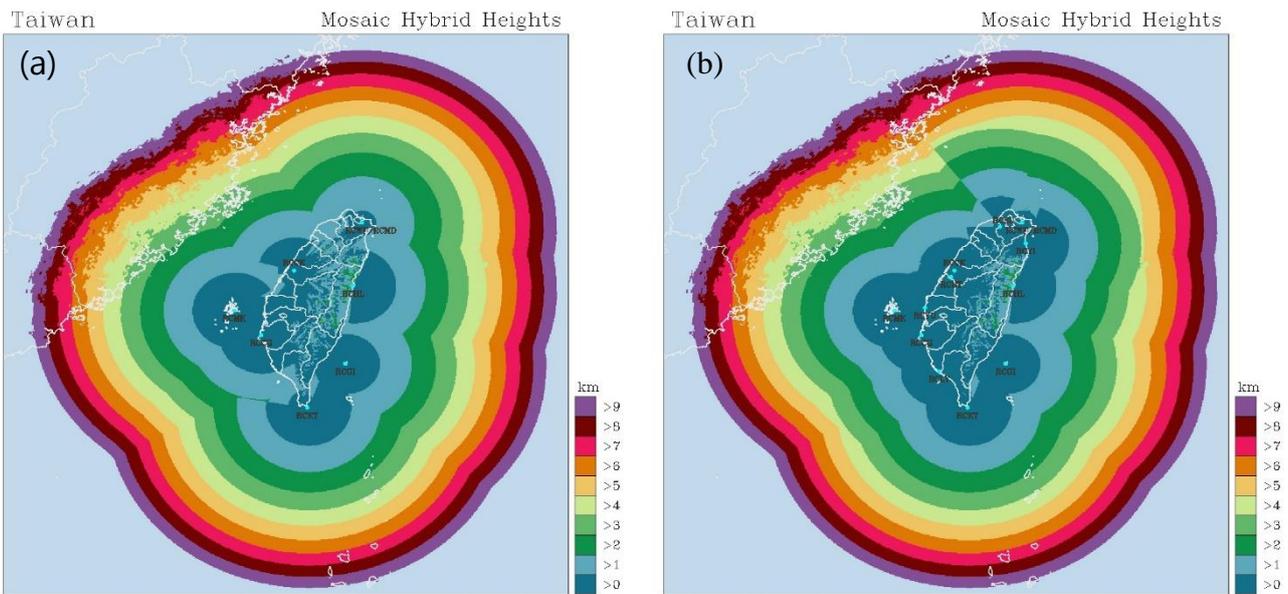


圖1 (a)目前臺灣地區雷達整合之最低可用仰角高度；(b)未來整合區域防災降雨雷達之最低可用仰角高度。

VCPs $S_1+S_2 \rightarrow S_3$

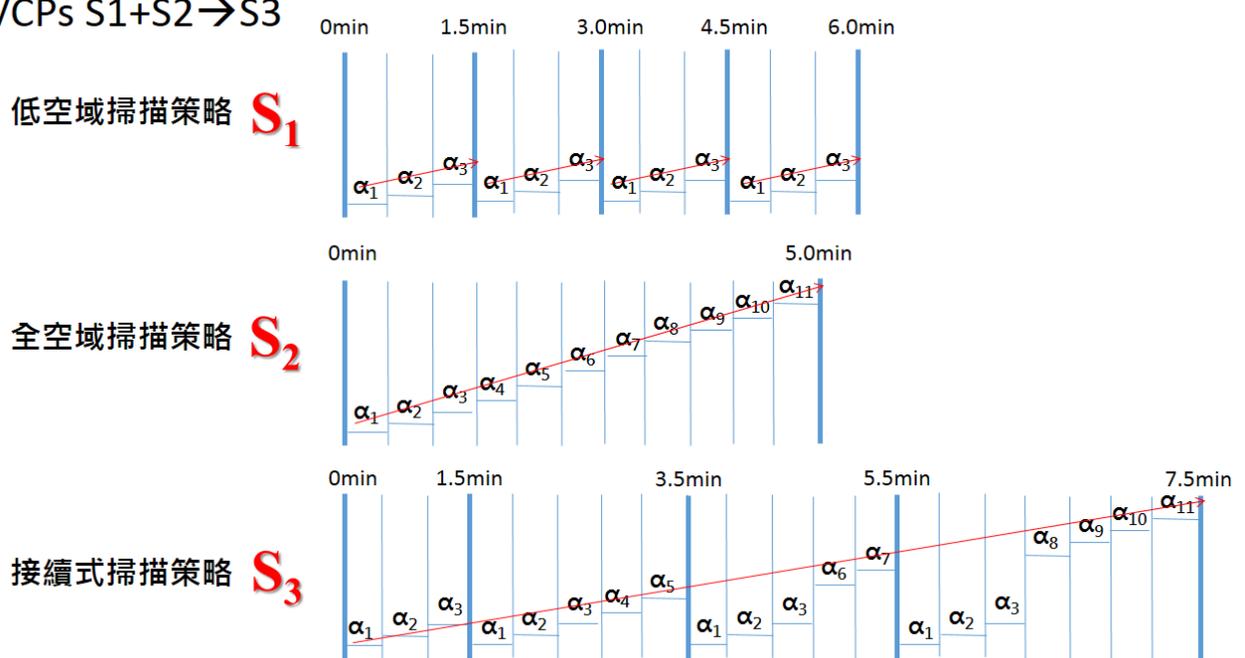


圖2 RCLY雷達之低空域、全空域與接續式掃描策略示意圖。

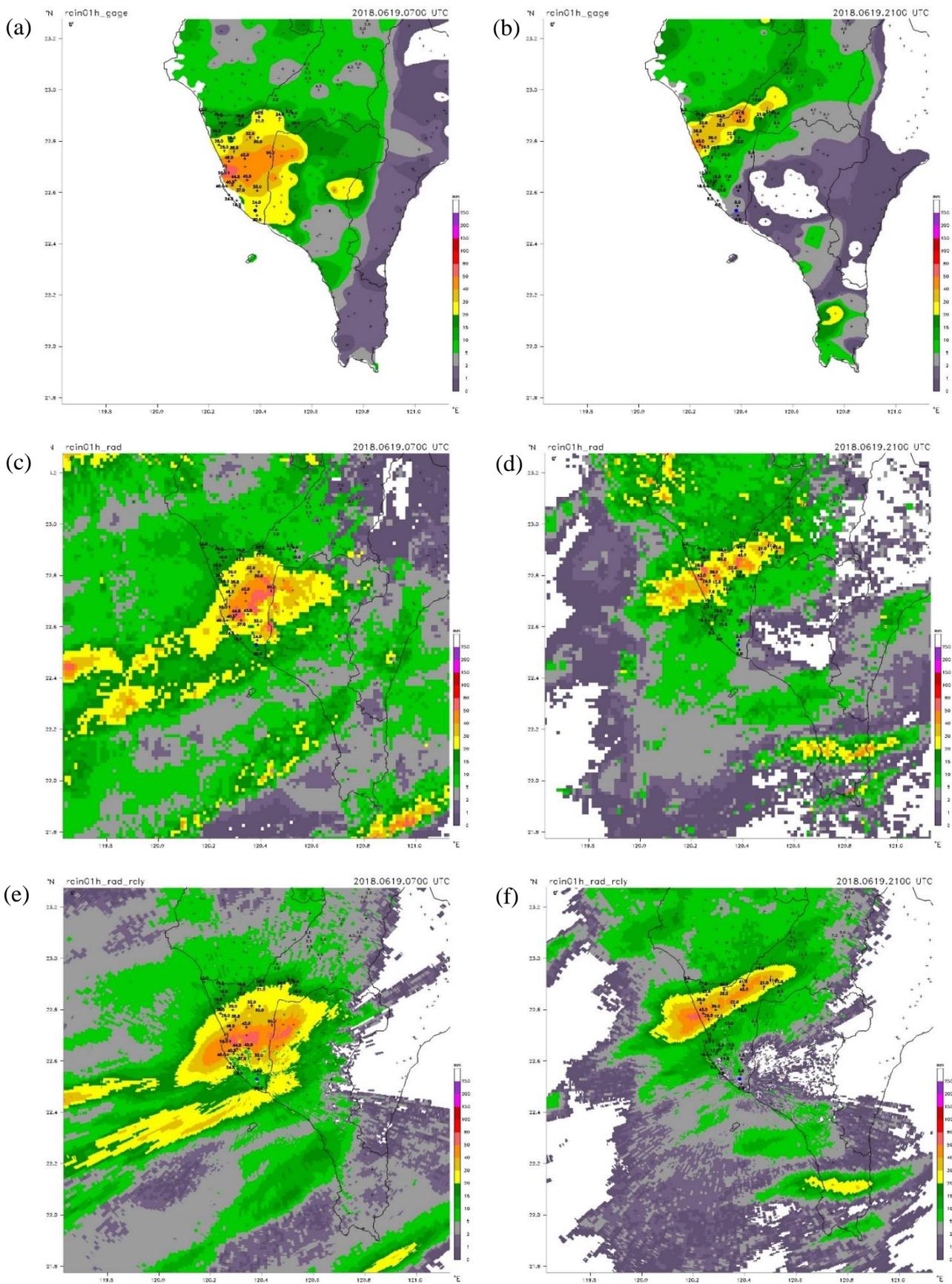


圖3 2018年6月19日0700UTC及2100UTC之(a)與(b) 1小時雨量圖；(c)與(d) S波段雷達以及(e)與(f)RCLY雷達1小時降雨估計圖。圖中數字表示雨量站所觀測之1小時累積雨量。

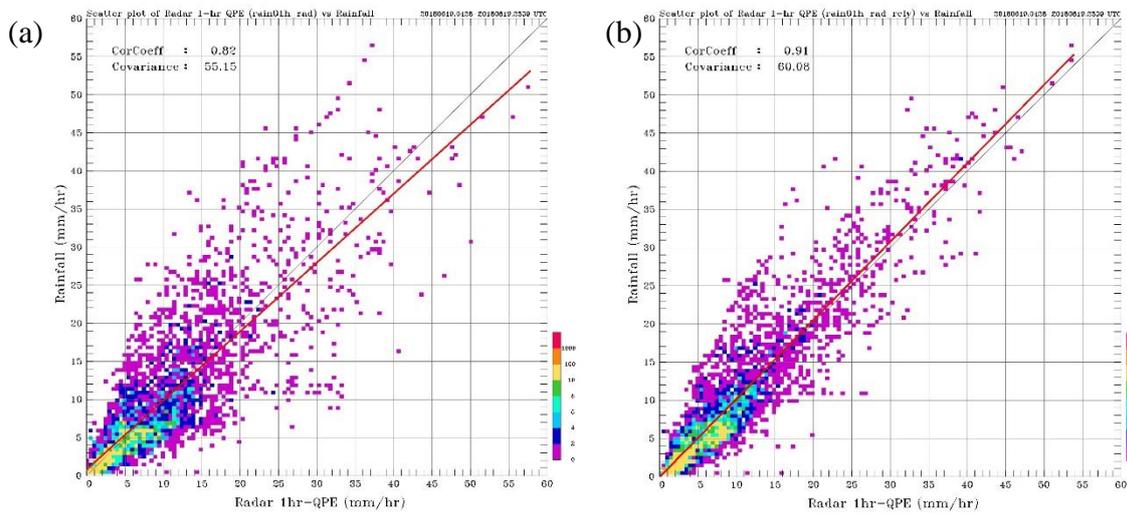


圖4 2018年6月19日0428UTC至2350UTC之(a) 1小時S波段雷達降雨估計與雨量觀測散佈圖；(b)與(a)同，但為RCLY雷達降雨估計資料。圖中顏色表示資料數。

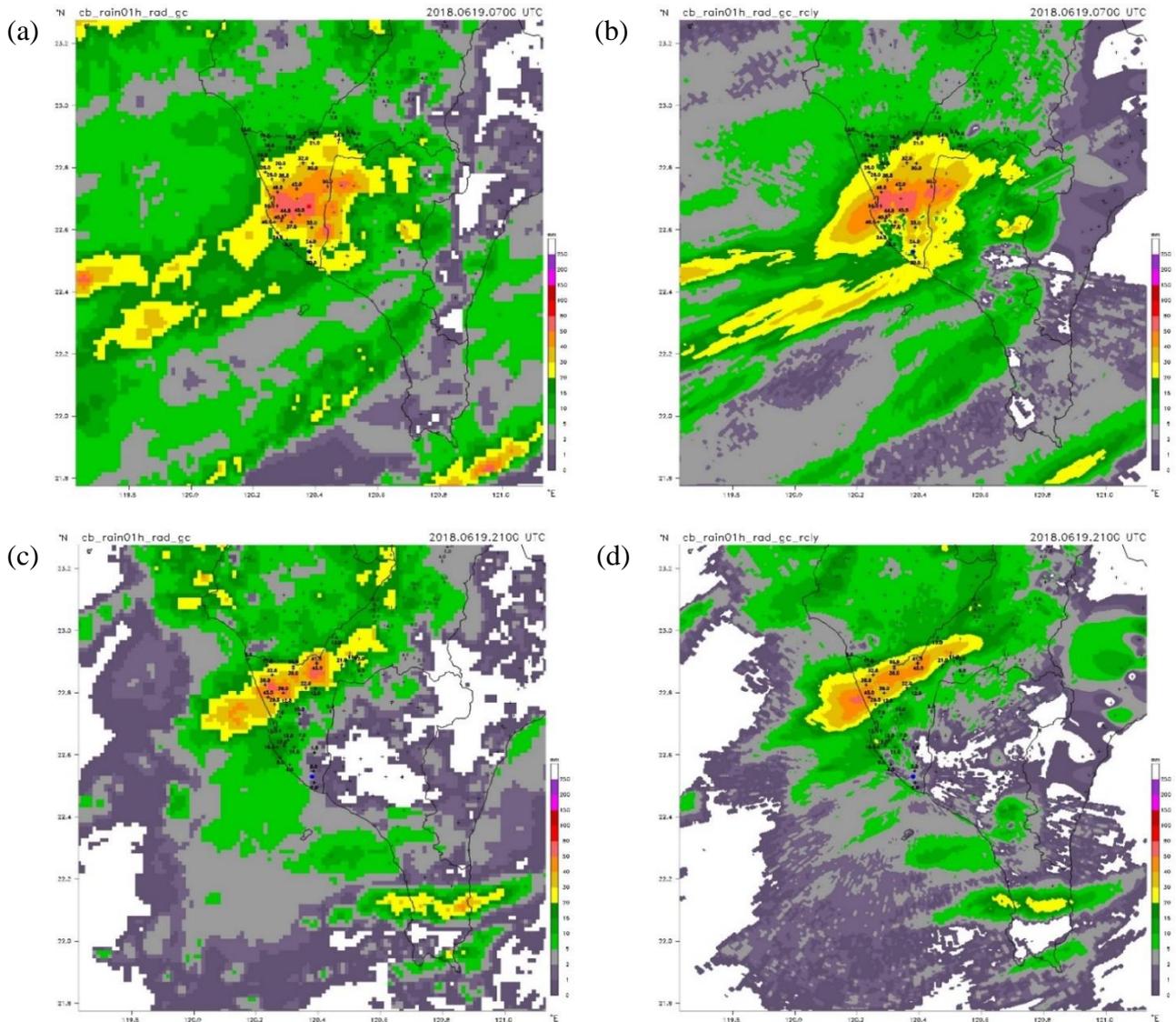


圖5 2018年6月19日0700UTC及2100UTC(a)與(c)經雨量站修正S波段雷達降雨估計之1小時累積雨量圖；(b)、(d)與(a)、(c)同，但為修正林園雷達降雨估計資料。圖中數字表示雨量站所觀測之1小時累積雨量。