

2021年6月6日梅雨鋒面對 臺灣西南部地區降雨分布的模擬研究

謝冠宇、沈鴻禧

國防大學理工學院

摘要

本研究透過 WRF(Weather Research and Forecasting)模式，針對 2021 年 6 月 6 日臺灣西南部地區梅雨鋒面的影響進行了模擬分析。研究的重點在於模擬結果與實際觀測資料之間的差異，特別是降雨分布及總降雨量。透過對不同微物理參數、長短波及積雲參數等敏感度測試，並進一步探討雲凝結核(Cloud Condensation Nuclei, CCN)濃度對降雨模擬的影響。

研究結果顯示，WRF 模式能夠相當準確地模擬出梅雨鋒面帶來的風場和降水分布特徵，尤其在臺灣西南部沿海及山區表現突出。微物理參數的調整及不同的 CCN 濃度設定對模擬降水量有顯著影響，最終以 WDM6(WRF Double-Moment 6-class scheme)微物理參數、長短波輻射及積雲參數關閉，模擬降雨較符合實際觀測。另外較高的 CCN 濃度通常導致降水量減少，而較低的 CCN 濃度則增加了降水量。

透過此次研究，不僅加深了對梅雨鋒面天氣系統的了解，也為未來利用數值模式進行極端天氣事件預測提供了寶貴的參考。

關鍵字：WRF 模式、梅雨鋒面、降雨模擬、雲凝結核

1. 前言

梅雨為東亞之獨特天氣與氣候現象，是華南與臺灣地區5-6月梅雨季造成季節性最大降水主要天氣系統。根據交通部中央氣象署臺灣氣候現象全書資料指出，梅雨鋒面生成在副熱帶太平洋高壓與中國內陸移動性高壓之間（如圖1），約在5月中到6月中影響臺灣與華南地區，6月中到7月中影響長江流域，日本地區的梅雨季則比長江流域約略早半個月。

2020年梅雨季提早結束，臺灣於夏季時沒有受到颱風侵襲，秋冬季節雨量明顯偏少，2021年春雨亦是寥寥可數，就在全臺水庫快要見底時，梅雨於5月底終於到來，使旱象能緩解。根據氣候資料統計顯示，臺灣地區豪大雨發生頻率的季節分佈除了颱風外，主

要出現在5、6月的梅雨季，特別是5月中旬至6月中旬的連續性降水期間，豪大雨的機率更達高峰。

梅雨季華南與臺灣地區低層多盛行暖濕西南氣流，大氣環境多具潛在不穩定度，若有適當的強迫作用，如鋒面或低層噴流等系統提供輻合與舉升機制，即可能激發對流性降水發生。伴隨梅雨鋒面或鋒面低壓之有組織且生命期持久的中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)，是造成豪大雨及暴洪發生的主要原因。

本研究以2021年6月6日臺灣西南部地區強降雨個案，運用WRF (Weather Research and Forecasting)模式模擬，選用不同雲微物理參數及雲凝結核(Cloud Condensation Nuclei, CCN)濃度值差異，期望模擬研究結果能否有

效掌握強降水區域（或雨量），以精進氣象人員的本職學能。

2. 模式設定

本次個案研究主要區分兩個部分，第一部分主要運用不同雲微物理參數設定，以 WDM6 Scheme 為主，WDM5 Scheme 及 WDM7 Scheme 為敏感度測試，第二部分運用不同 CCN 濃度設定（如表 1），模擬累積雨量並與中央氣象署觀測資料比對，期望找出適用模擬參數化。

本次模擬時間氣象從 2021 年 6 月 5 日 0000 UTC 到 7 日 0000 UTC，共 48 小時，積分時間間隔為 24 秒，模擬範圍的中心位置在 23.873°N 、 121.125°E ，水平分成單層巢狀網格，水平網格間距 4 km。網格涵蓋範圍大陸東南及臺灣本島（如圖 2）。垂直方向為追隨地勢的 σ 座標，共 41 層。地形資料來源為 U.S Geological Survey (USGS) 的 GTOPO30 (Global 30 Arc-Second Elevation) 資料集，地形解析度為 30 秒。

3. 天氣分析

由地面天氣圖 2021 年 6 月 5 日 1800 UTC（如圖 3）顯示，滯留鋒面中心位於日本東南方，向西南延伸至大陸福建一帶。受滯留鋒面影響情況下，臺灣海峽主要為西南向風場，利於將南方洋面水氣向臺灣一帶輸送，提供充足之水氣來源；於 2021 年 6 月 6 日 0000 UTC 至 1200 UTC（如圖 4 至 6），呈現滯留情況。鋒面南下期間，將臺灣西南海域的水氣輸送至陸地後，於沿海一帶生成旺盛的對流雲系並東移進入臺灣，為臺灣西南部帶來強降雨情況。

從高空 850 hPa 水氣通量分析圖（如圖 7 至 10）顯示，6 月 5 日 1800 UTC 至 6 月 6 日 0600 UTC，臺灣西南外海地區都存在顯著的低層噴流，風速達 30 kt 以上，水氣通量達 200 至

$275(\text{g kg}^{-1})(\text{m s}^{-1})$ ，此噴流會造成底層很強的暖濕空氣平流，使不穩定度增加。

從高空 700 hPa 相對溼度分析圖（如圖 11 至 14）顯示，臺灣周遭地區相對濕度達 90% 以上，西南部外海風速達 25 kt 以上。根據中央氣象署提供的紅外線及色調強化衛星雲圖（如圖 15 至 16）可看出，受滯留鋒面影響下，2021 年 6 月 6 日 0200 LST 西南外海線狀對流雲頂溫度低於 -63°C ，經由換算其雲頂高度至少約為 12 公里以上。

雷達合成回波圖（如圖 17）及林園降雨雷達回波圖（如圖 18）清楚觀察出，2021 年 6 月 6 日 0200 LST 臺灣西南部沿岸一帶出現線狀對流系統，強度介於 45 至 55 dBZ 之間，0400 LST 較強之回波移入高雄地區，0600 至 0800 LST 回波依舊源源不斷移入高雄及屏東地區，1000 LST 回波稍微減弱，1200 至 1400 LST 較強之回波在沿岸一帶；林園降雨雷達可更清楚看出，0200 至 0600 LST 的較強回波都往高雄及屏東一帶移入；閃電即時觀測資料（如圖 19）顯示，閃電跡象從臺南發展一直往南移最終至屏東。日累積雨量圖（如圖 20）顯示，6 月 6 日南部地區累積雨量有達到 250 mm 以上，屏東地區更達到 300 mm 以上。

4. 模擬結果

4.1 雲微物理模擬結果

2021 年 6 月 6 日實際累積降水量達 200 mm 以上均在南部地區的高雄、屏東一帶，而臺南介於 150 至 200 mm 之間，實際降水與 WRF 模擬之降水相互比較下（如圖 21），模式降雨位置與實際情況大致相符，但模式降雨在臺南沿海及高屏的深山地區雨量超出預期，模式模擬最大累積雨量為 434.23 mm；由 WDM5 所模擬之累積降水分析（如圖 22），臺灣南部降雨量達 414 mm 以上，降雨模擬則跟實際也是高估；WDM7（如圖 23）臺灣南部降雨量達 495 mm 以上，比

WDM5、WDM6 模擬出來效果更加劇烈。三種模擬方案，南部模擬降雨範圍與實際觀測的範圍大致相符，但降雨量則 WDM7 模擬的最大雨量最多。

4.2 CCN 模擬結果

以 CCN 濃度參數做比較，微物理參數採用 WDM6，一共區分 6 組，第 1 組為 WDM6_CTR 控制組，也就是預設組，預設初始濃度為 100 cm^{-3} ，第 2 組為 WDM6_5，濃度為 500 cm^{-3} ，第 3 組為 WDM6_10，濃度為 $1,000 \text{ cm}^{-3}$ ，第 4 組為 WDM6_30，濃度為 $3,000 \text{ cm}^{-3}$ ，第 5 組為 WDM6_50，濃度為 $5,000 \text{ cm}^{-3}$ ，第 6 組為 WDM6_100，濃度為 $10,000 \text{ cm}^{-3}$ 。從模擬結果比對可以看出，WDM_5 的降水總雨量為 328 mm（如圖 24），WDM6_30 的降水總雨量為 470 mm（如圖 25），WDM6_50 降水總雨量為 461mm（如圖 26），其中以 WDM_5 模擬結果與 WDM6_CTR 較吻合。初始濃度的總雨量降雖較高，但可以看出濃度逐漸增加，降水量遞減再來逐次增加，到濃度 WDM6_100 降水量又降低了。

5. 結論

本研究採用 WRF V4.2.1 模式模擬梅雨鋒面對臺灣西南部地區，模擬時間為 2021 年 6 月 5 日 0000 UTC 至 7 日 0000 UTC，共計 48 小時，模式模擬結果與實際觀測分析後，得到結果如下：

1. 微物理參數在積雲及長短波輻射均開啟狀態下，三者(WDM5, WDM6, WDM7)模擬出來降雨範圍均在西南部都較明顯，WDM6 參數較符合實際觀測。
2. 以 WDM6 微物理參數下增加 CCN 濃度變數模擬總降水，與實際觀測比較下，降雨範圍均符合在臺灣西南部，以 WDM6_5 濃度較接近實際觀測。藉由不同 CCN 濃度模擬，CCN 濃度介於特定範圍內降水會增

加，但超過後會明顯下降。

本次梅雨個案模擬降雨與實際比較，雖降雨範圍大致相符，但模擬的強度比實際觀測還要高，尤其模擬南部山區降水更為明顯，雖此次使用雙矩陣雲微物理方案及不同 CCN 濃度做模擬，但未來可以朝向其他微物理（如單矩陣 WSM5、WSM6、WSM7）及邊界層參數測試。

6. 參考文獻

- 陳泰然，2007，最近之梅雨研究回顧，大氣科學，35，261-286。
- 李明營，2021，“2020/21 年臺灣百年大旱原因分析”，臺灣災害管理研討會，141-148。
- 林得恩、林裕豐，2010，劇烈對流系統對飛航安全之影響-以 2008 年梅雨鋒面伴隨中尺度渦旋個案為例，第五屆海峽兩岸航空氣象與飛行安全研討會論文集。
- Fang, Z., 1985, The preliminary study of medium-scale cloud cluster over Changjiang basin in summer, Adv. Atmos. Sci., 2, 334-340.
- Chien, F., and Chiu, Y., 2023, Factors Leading to Heavy Rainfall in Southern Taiwan in the Early Mei-yu Season of 2020, Mon. Wea. Rev., 151, 1885-1908.
- Chien, F., and Chiu, Y., 2024, The Impact of Large-Scale Environments and a Southwest Vortex on Heavy Rainfall in Southern Taiwan in Late May 2020, Mon. Wea. Rev., 152, 745-767.
- Wang, C.-C., Paul, S., Chien, F.-C., Lee, D.-I., and Chuang, P.-Y., 2017, An evaluation of WRF rainfall forecasts in Taiwan during three mei-yu seasons from 2008 to 2010, Wea. Forecast., 32, 1329-1351.
- 曹仕傑，2022，臺灣西部地區中尺度對流系

- 統個案之結構與演化模擬研究，碩士論文，國防大學理工學院大氣科學碩士班，臺灣，108 頁。
- 陳文彬，2010，懸浮微粒數量濃度對梅雨鋒面降水影響之敏感度研究，碩士論文，國立中央大學水文與海洋科學研究所，臺灣，72 頁。
- 陳震，2014，雲凝結核濃度對於納莉(2001)颱風於海洋環境之影響，碩士論文，國立中央大學大氣物理研究所，臺灣，88 頁。
- Kaufman, Y. J., and Fraser, R. S., 1997, The effect of smoke particles on clouds and climate forcing, *Science*, 277, 1636-1639.
- Rosenfeld, D., 1999, TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall, *Geophysical research letters*, 26, 3105-3108.
- Garrett, T. J., and Zhao, C., 2006, Increased Arctic cloud longwave emissivity associated with pollution from mid-latitudes, *Nature*, 440, 787-789.
- Fan, H., Zhao, C., and Yang, Y., 2020, A comprehensive analysis of the spatio-temporal variation of urban air pollution in China during 2014–2018, *Atmos. Environ.*, 220, 117066.
- Li, G., Wang, Y., and Zhang, R., 2008, Implementation of a two-moment bulk microphysics scheme to the WRF model to investigate aerosol-cloud interaction,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113.
- Masrour, P. F., and Rezazadeh, M., 2023, Aerosol-cloud-precipitation interaction during some convective events over southwestern Iran using the WRF model, *Atmos. Pollut. Res.*, 14, 101667.
- Xiao, H., Liu, X., Li, H., Yue, Q., Feng, L., and Qu, J., 2023, Extent of aerosol effect on the precipitation of squall lines: A case study in South China, *Atmos. Res.*, 292, 106886.
- Wang, J., Wang, T., Yasheng, D., Wang, X., Lei, Y., Li, X., and Shi, B., 2024, Modulations of dust aerosols on precipitation: Evidence from a typical heavy sandstorm event, *Atmos. Res.*, 107411.
- Deng, L., Xue, L., Huang, W., Wu, W., Thompson, G., Gao, W., and Geresdi, I., 2024, A Numerical Investigation of Aerosol Effect on Cloud Microphysics in an Idealized Tropical Cyclone Using the WRF Piggybacking Framework, Available at SSRN., 4442559.
- Lim, K.-S. S., and Hong, S. Y., 2010, Development of an Effective Double-Moment Cloud Microphysics Scheme with Prognostic Cloud Condensation Nuclei (CCN) for Weather and Climate Models, *Mon. Wea. Rev.*, 138, 1587-1612.
- Hong, S.-Y., Yign, N., and Jimy, D., 2006, A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes, *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318-2341.
- Bae, S. Y., Hong, S. Y., and Tao, W. K., 2019, Development of a single-moment cloud microphysics scheme with prognostic hail for the Weather Research and Forecasting (WRF) model, *APJAS*, 55, 233-245.

7. 表附錄

表 1 CCN 濃度設定

項次	實驗組別	雲微物理參數法	CCN 濃度設定($1/\text{cm}^3$)
1	WDM6_CTR	WDM6	100
2	WDM6_5		500
3	WDM6_10		1000
4	WDM6_30		3000
5	WDM6_50		5000
6	WDM6_100		10000

8. 圖附錄

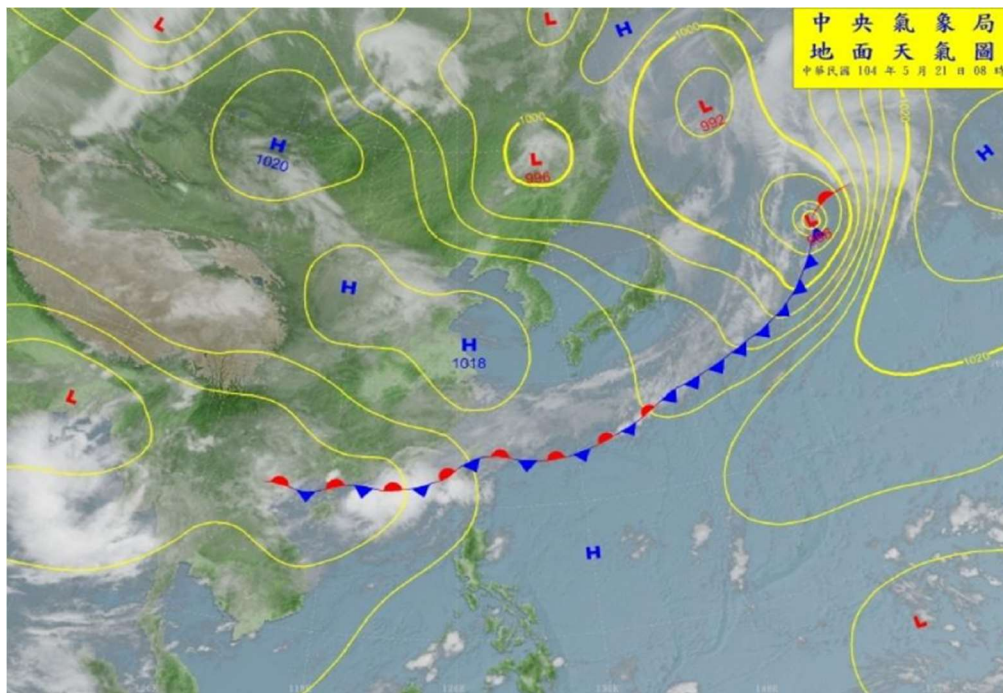


圖 1 梅雨期間的地面天氣圖

WPS Domain Configuration

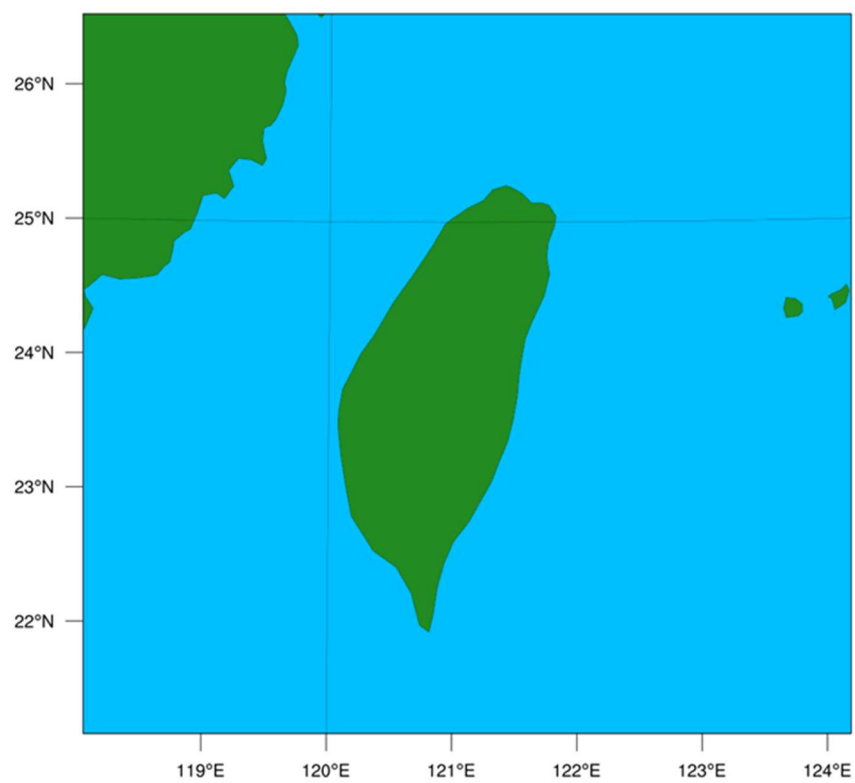


圖 2 WRF 模式單層巢狀網格設定示意圖

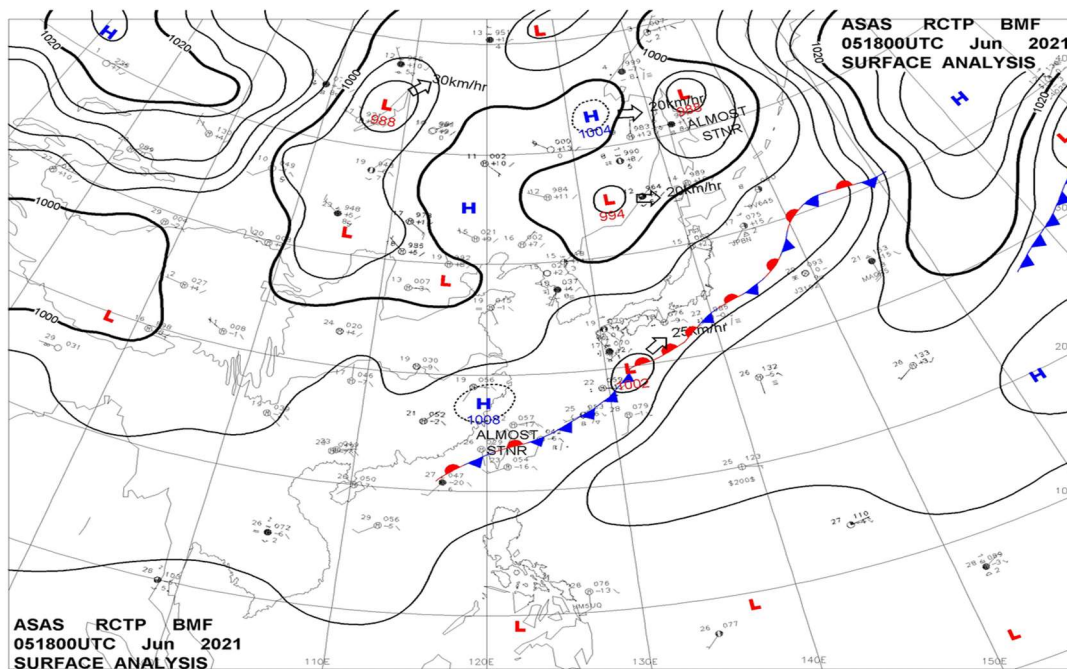


圖 3 2021 年 6 月 5 日 1800 UTC 地面天氣圖（摘自：中央氣象署）

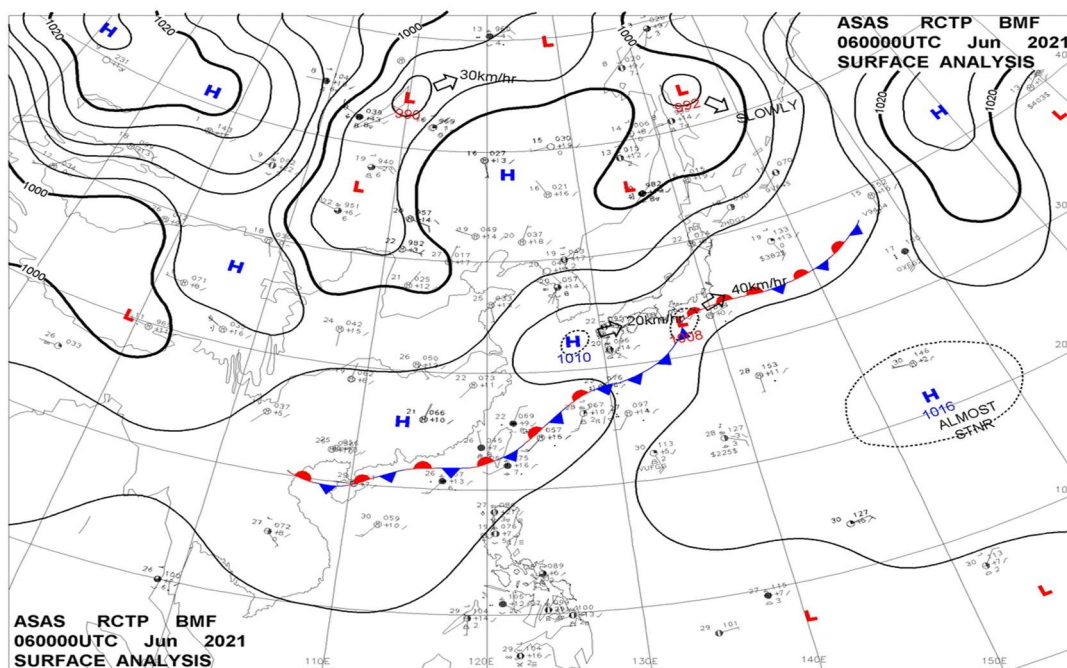


圖 4 2021 年 6 月 6 日 0000 UTC 地面天氣圖（摘自：中央氣象署）

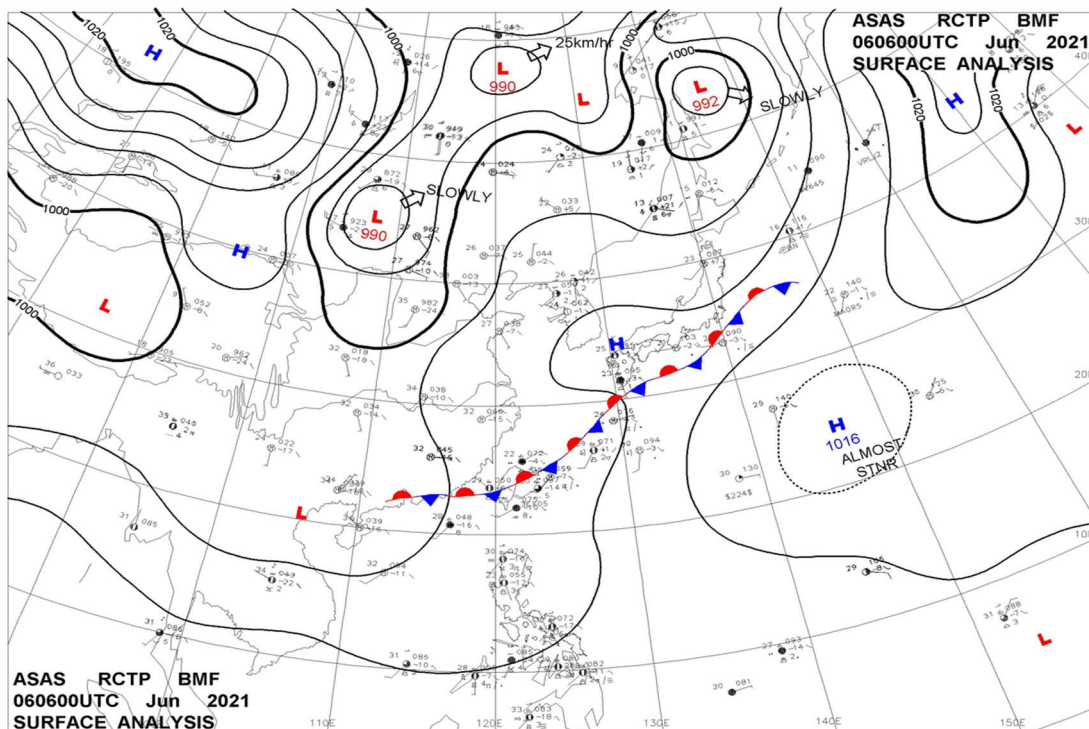


圖 5 2021 年 6 月 6 日 0600 UTC 地面天氣圖（摘自：中央氣象署）

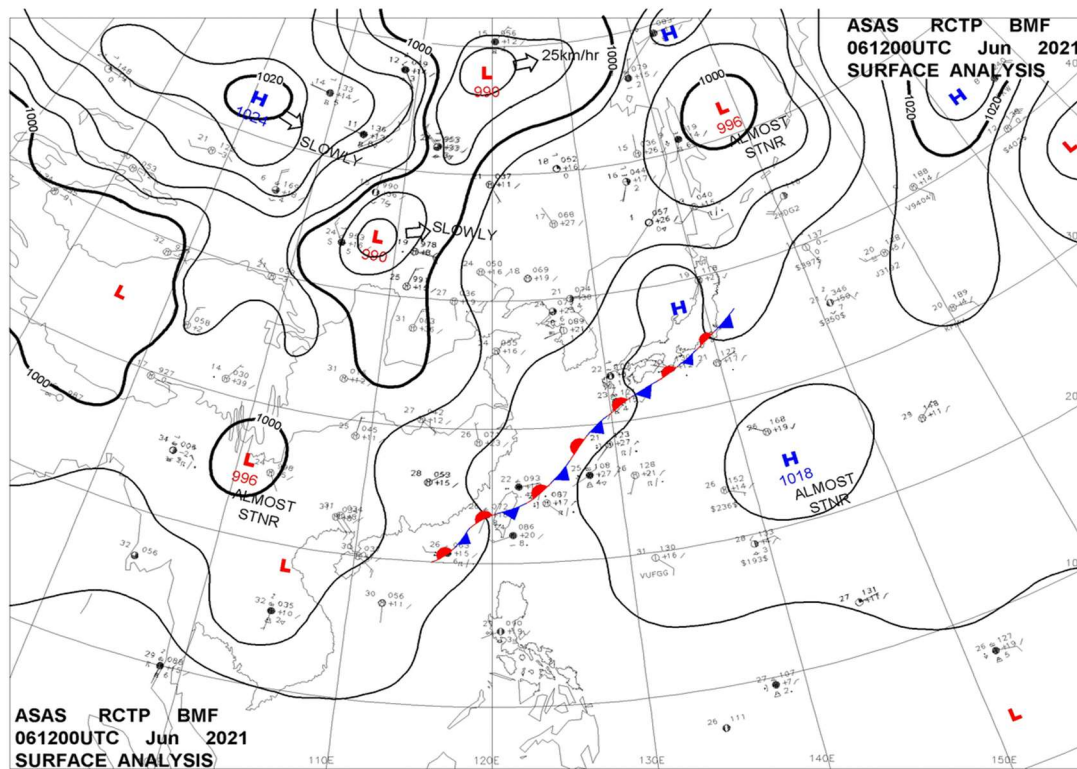


圖 6 2021 年 6 月 6 日 1200 UTC 地面天氣圖（摘自：中央氣象署）

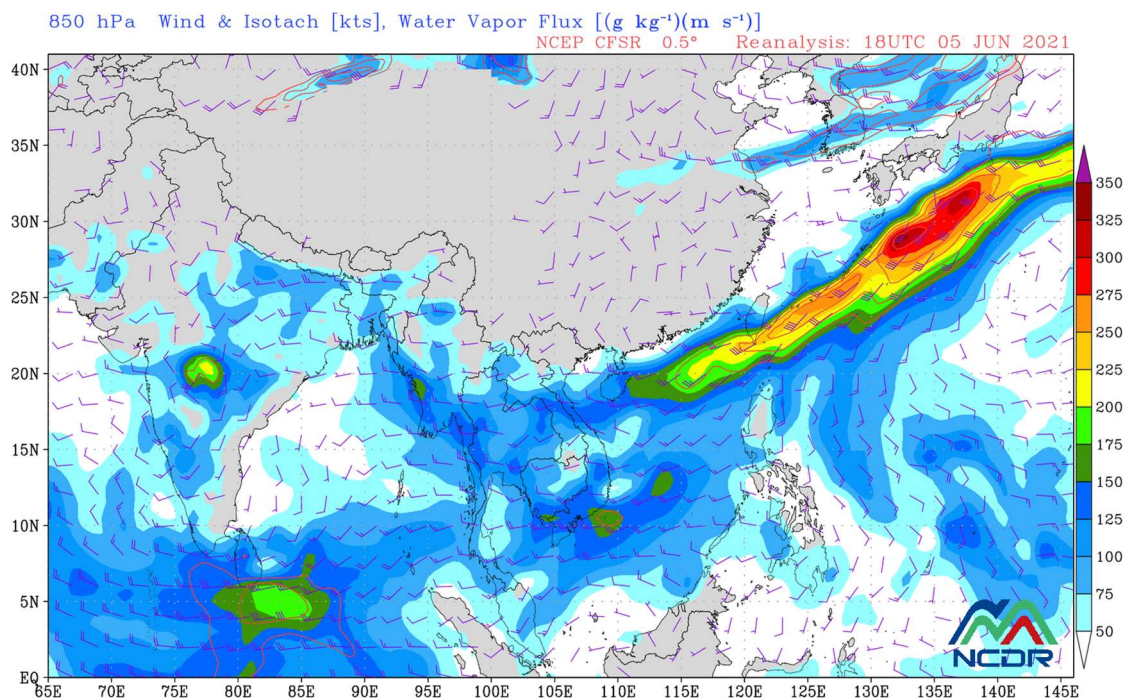


圖 7 2021 年 6 月 5 日 1800 UTC 850 hPa 水氣通量分析圖（摘自：NCDR）

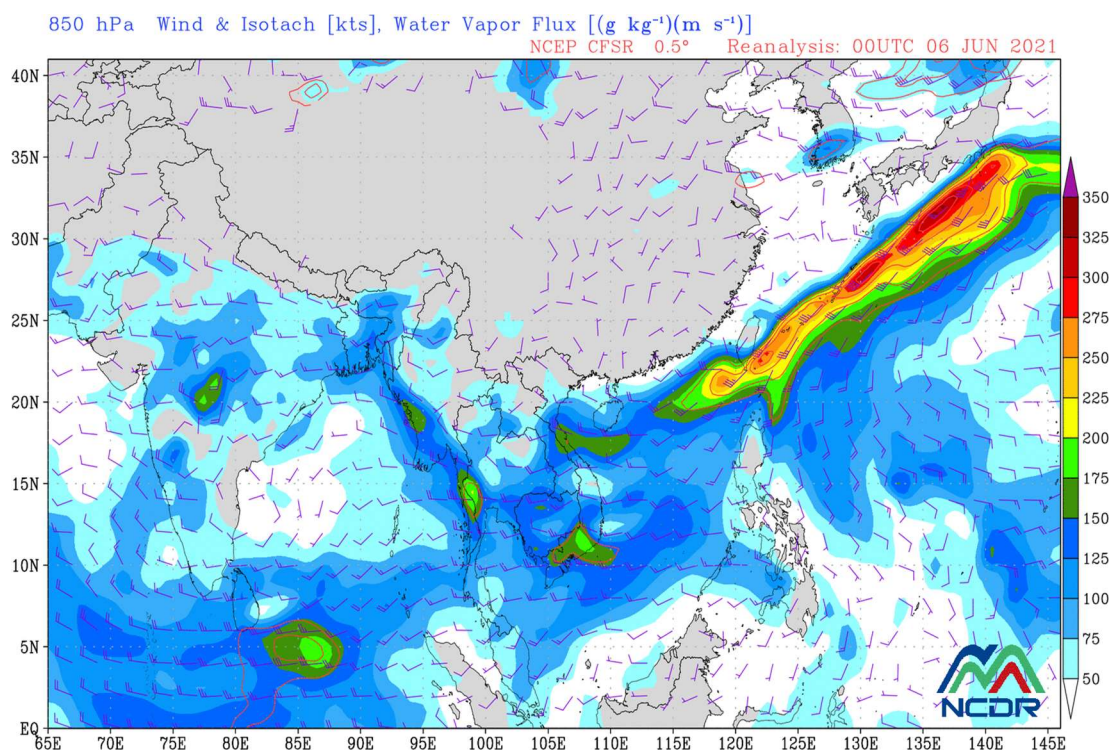


圖 8 2021 年 6 月 6 日 0000 UTC 850 hPa 水氣通量分析圖（摘自：NCDR）

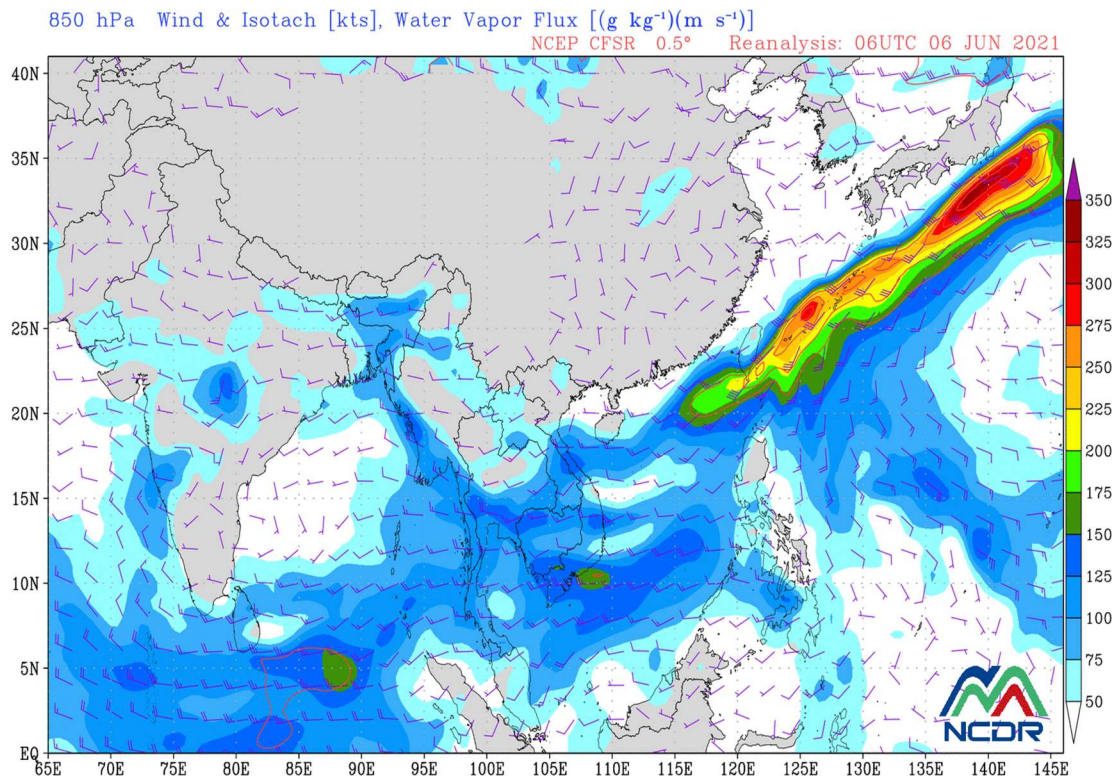


圖 9 2021 年 6 月 6 日 0600 UTC 850 hPa 水氣通量分析圖 (摘自：NCDR)

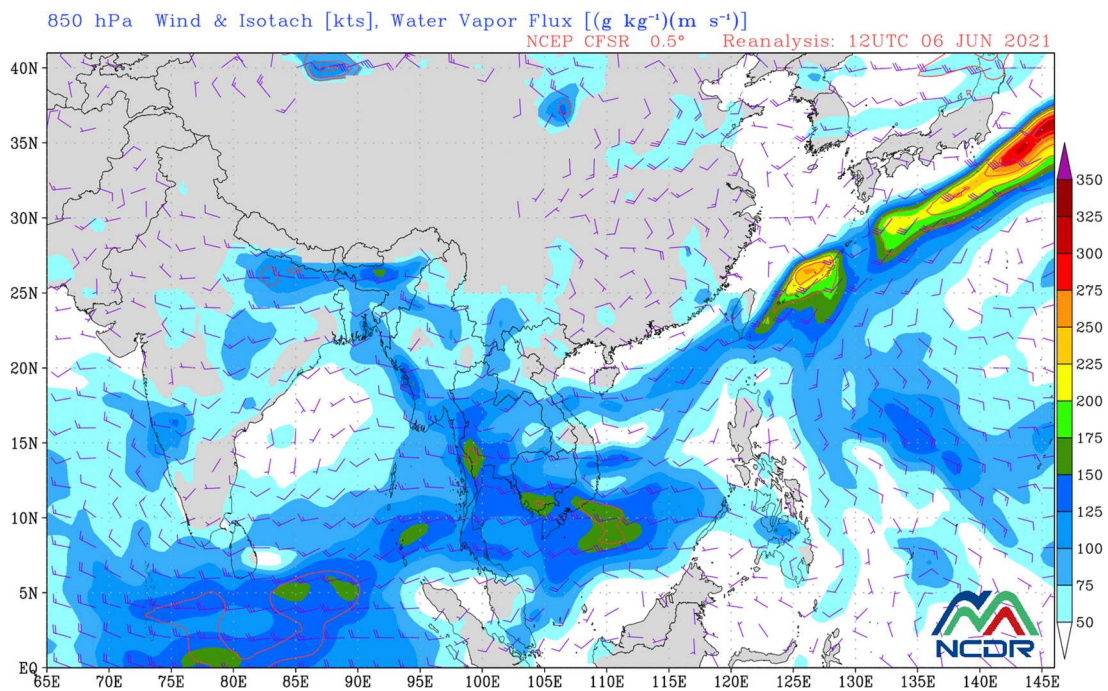


圖 10 2021 年 6 月 6 日 1200 UTC 850 hPa 水氣通量分析圖 (摘自：NCDR)

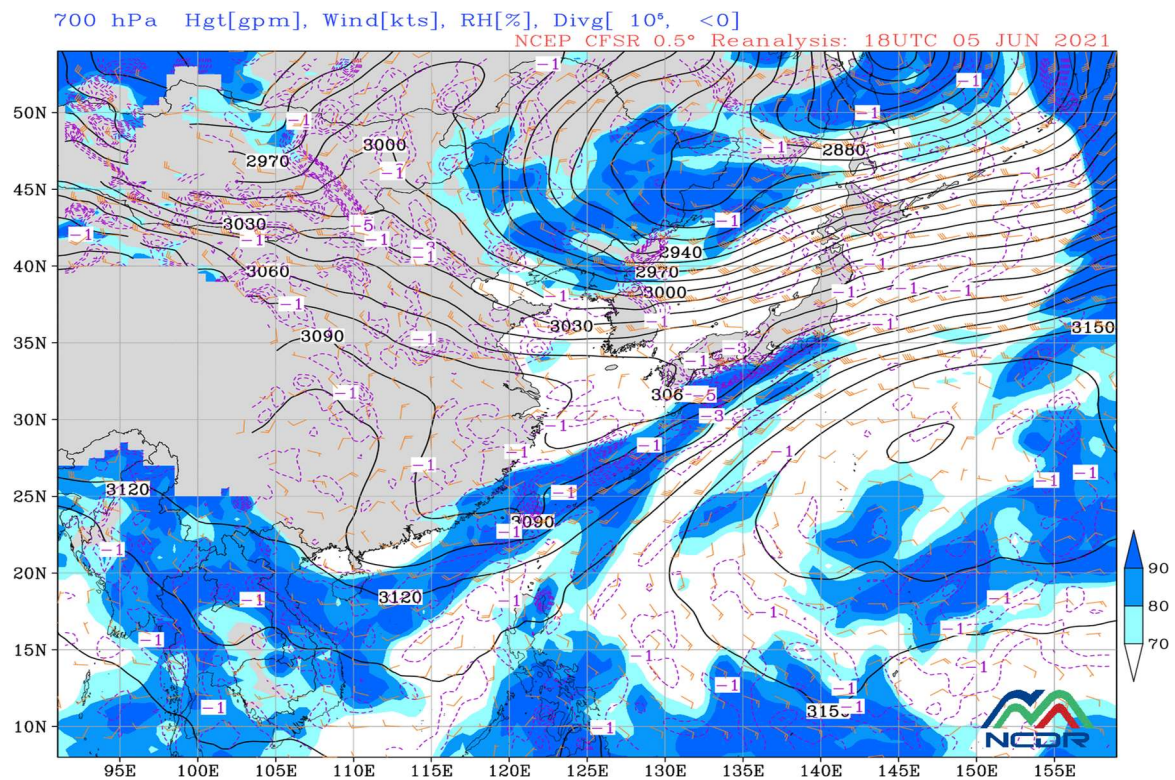


圖 11 2021 年 6 月 5 日 1800 UTC 700 hPa 相對溼度分析圖 (摘自：NCDR)

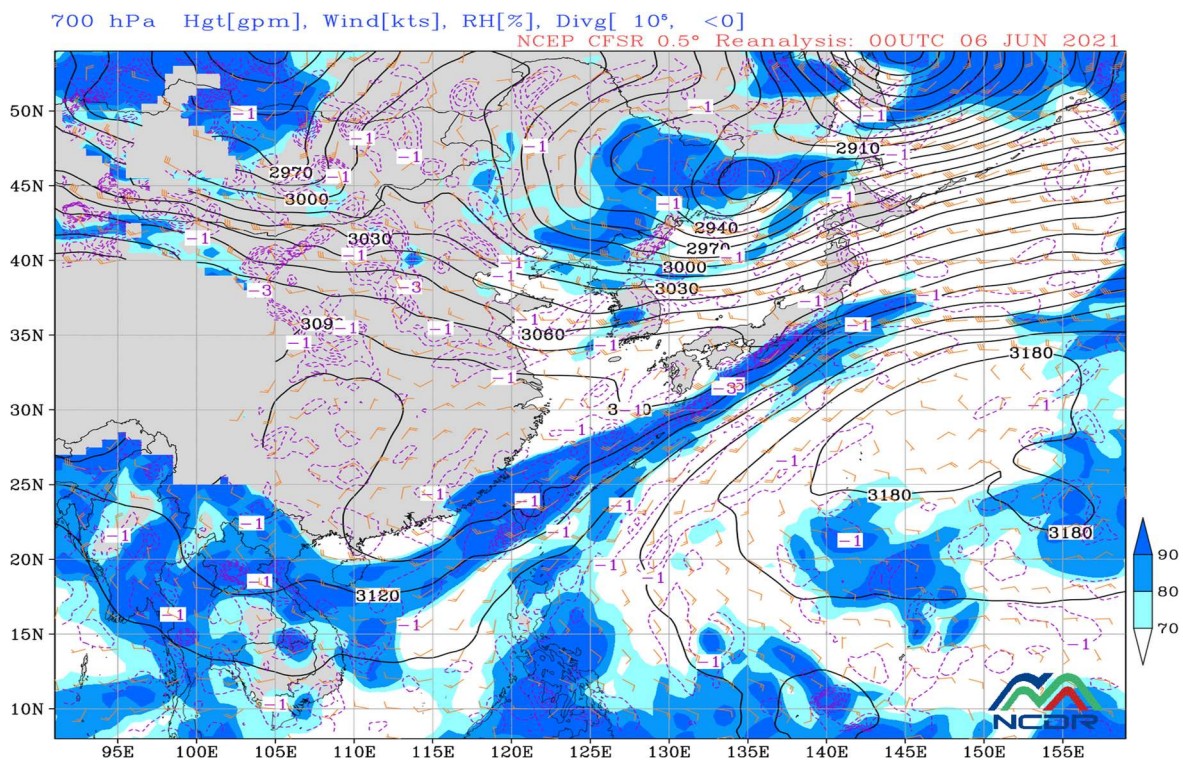


圖 12 2021 年 6 月 6 日 0000 UTC 700 hPa 相對溼度分析圖 (摘自：NCDR)

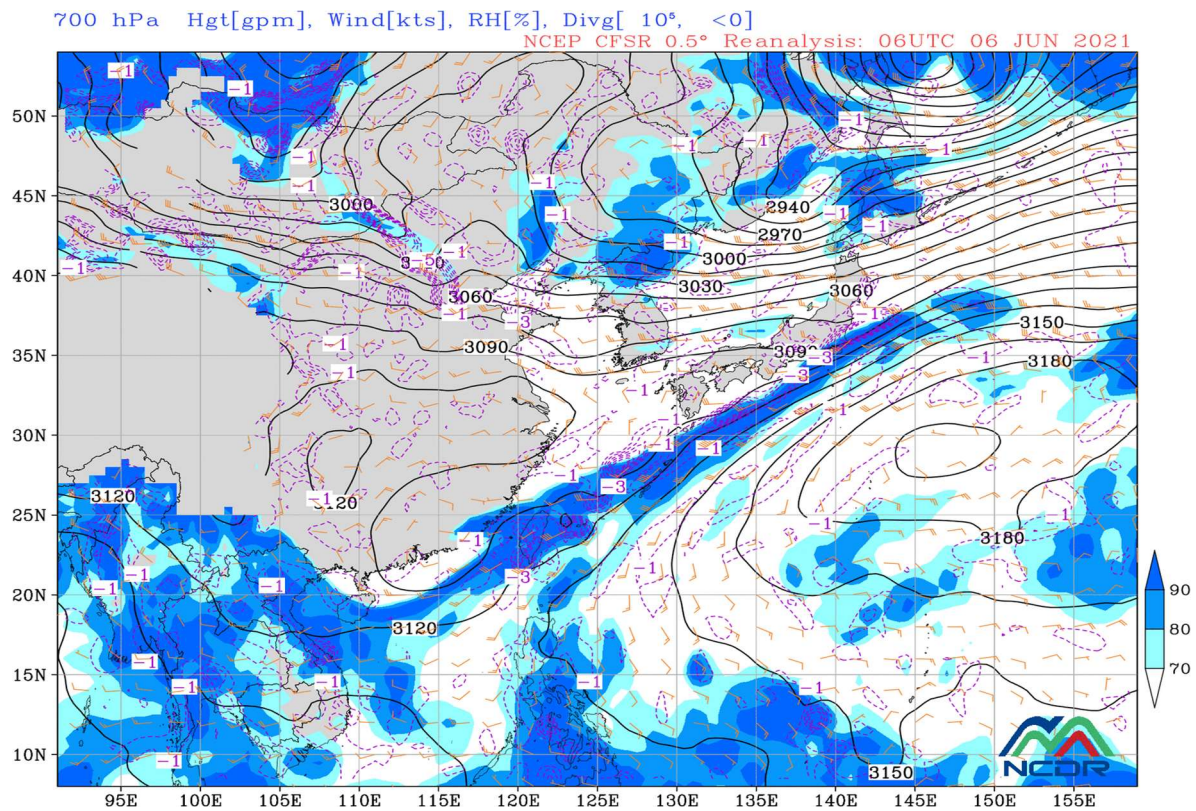


圖 13 2021 年 6 月 6 日 0600 UTC 700 hPa 相對溼度分析圖 (摘自：NCDR)

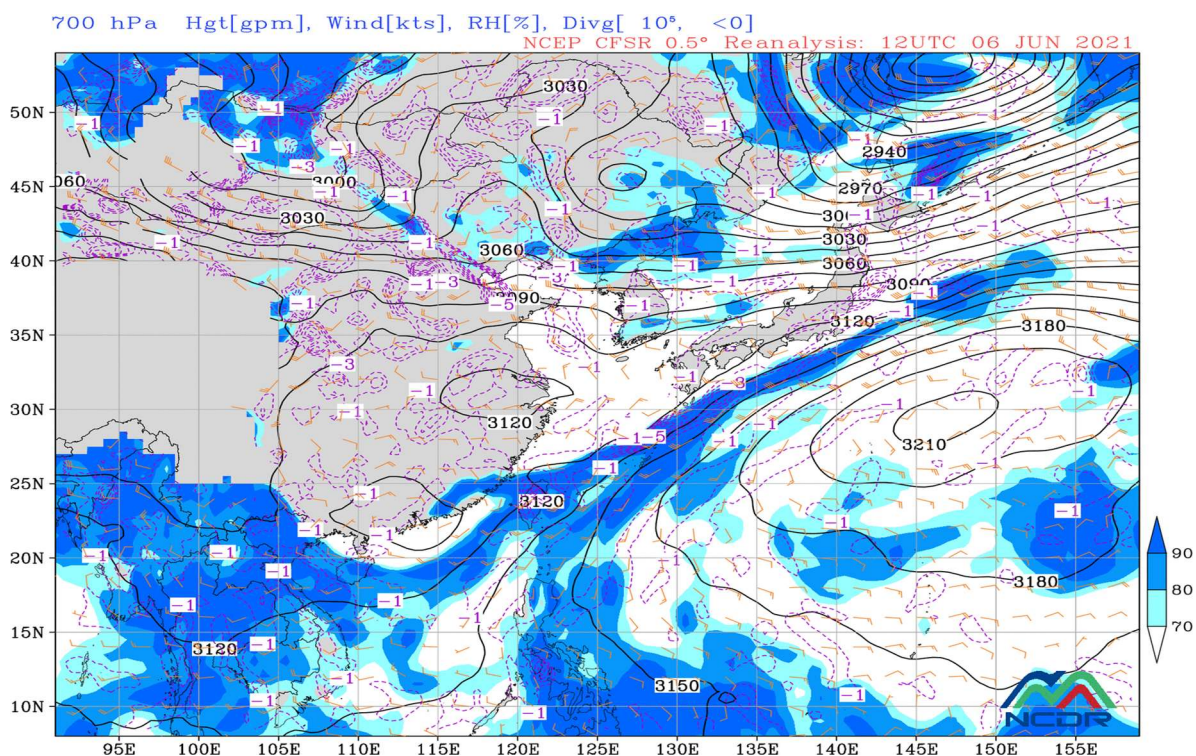


圖 14 2021 年 6 月 6 日 1200 UTC 700 hPa 相對溼度分析圖 (摘自：NCDR)

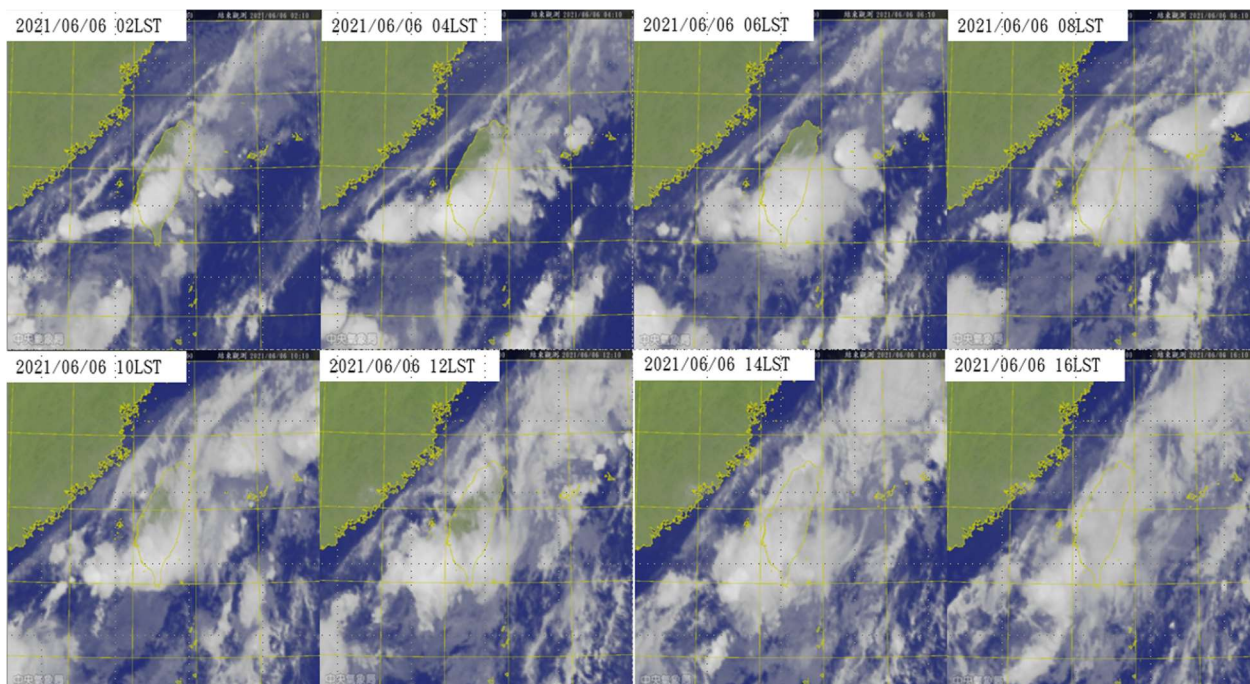


圖 15 2021 年 6 月 6 日 0200 至 1600LST 紅外線衛星雲圖（摘自：中央氣象署）

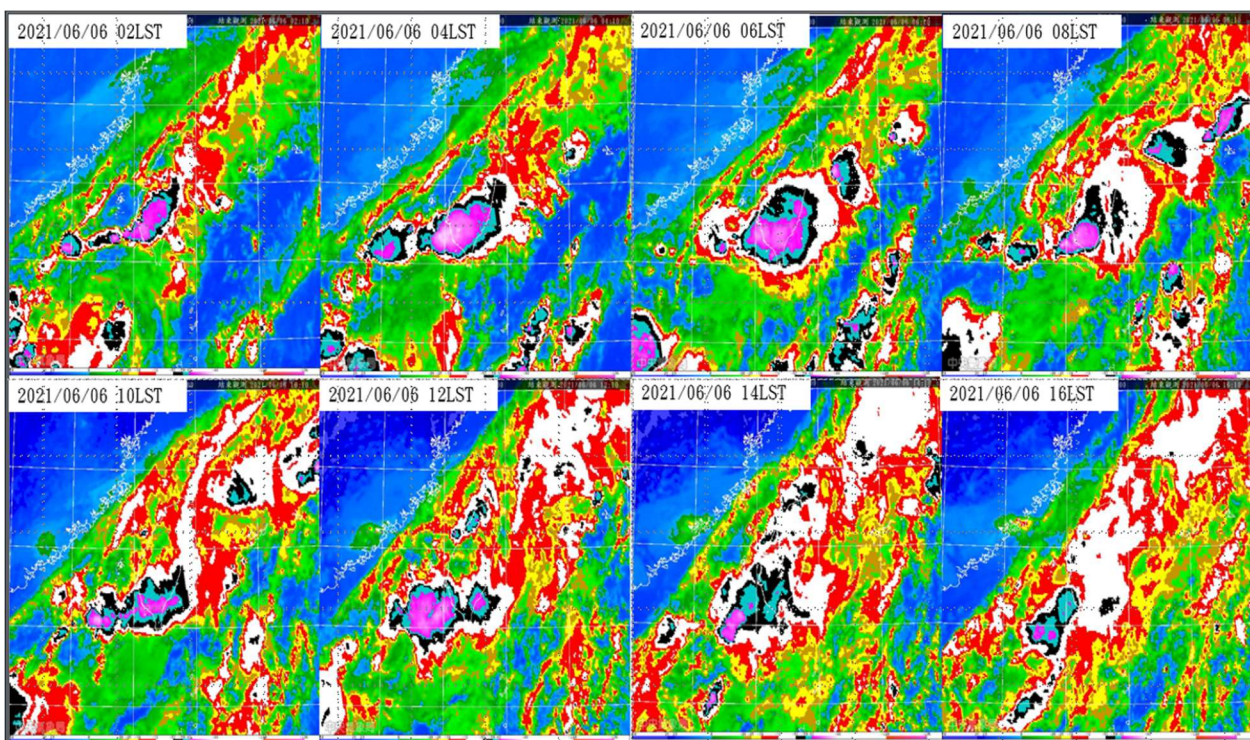


圖 16 2021 年 6 月 6 日 0200 至 1600LST 色調強化衛星雲圖（摘自：中央氣象署）

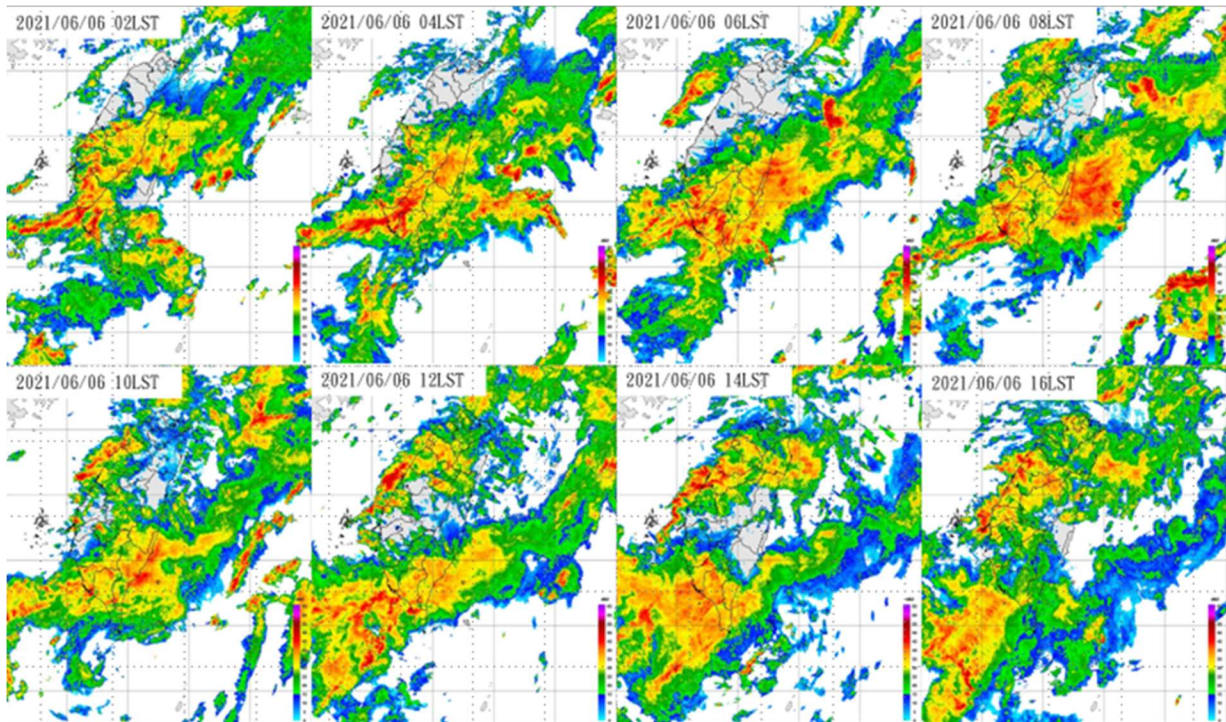


圖 17 2021 年 6 月 6 日 0200 至 1600LST 雷達合成回波圖（摘自：中央氣象署）

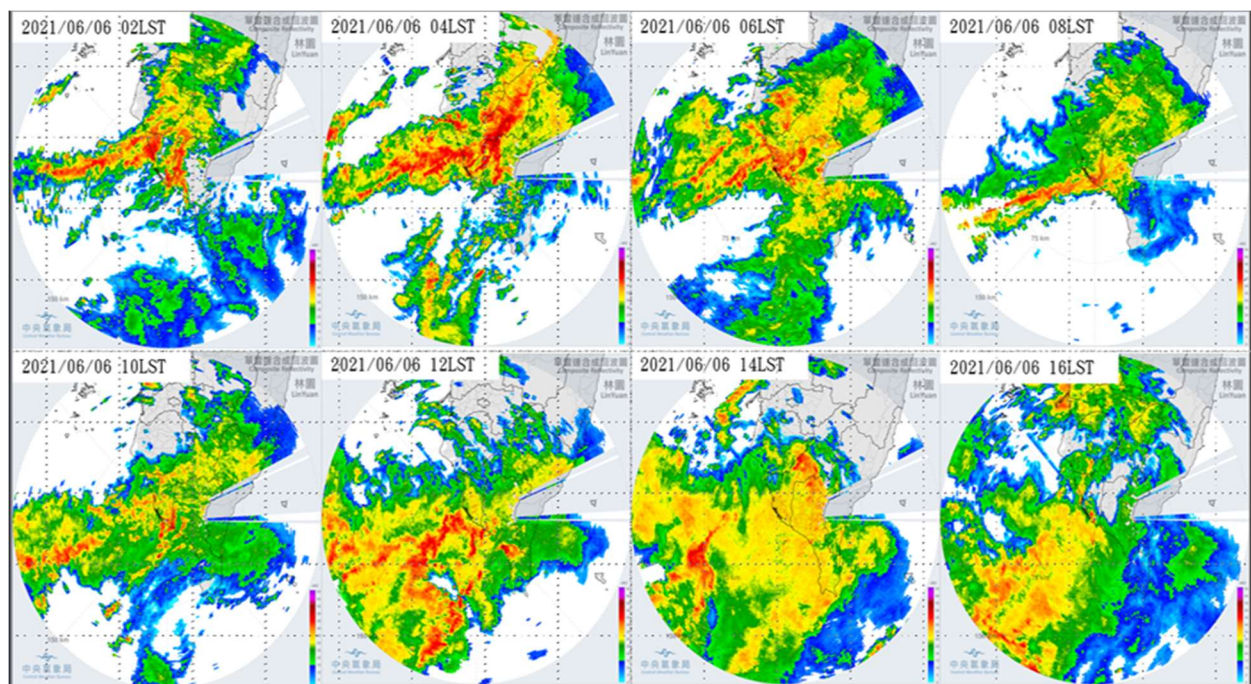


圖 18 2021 年 6 月 6 日 0200 至 1600LST 林園降雨雷達回波圖（摘自：中央氣象署）

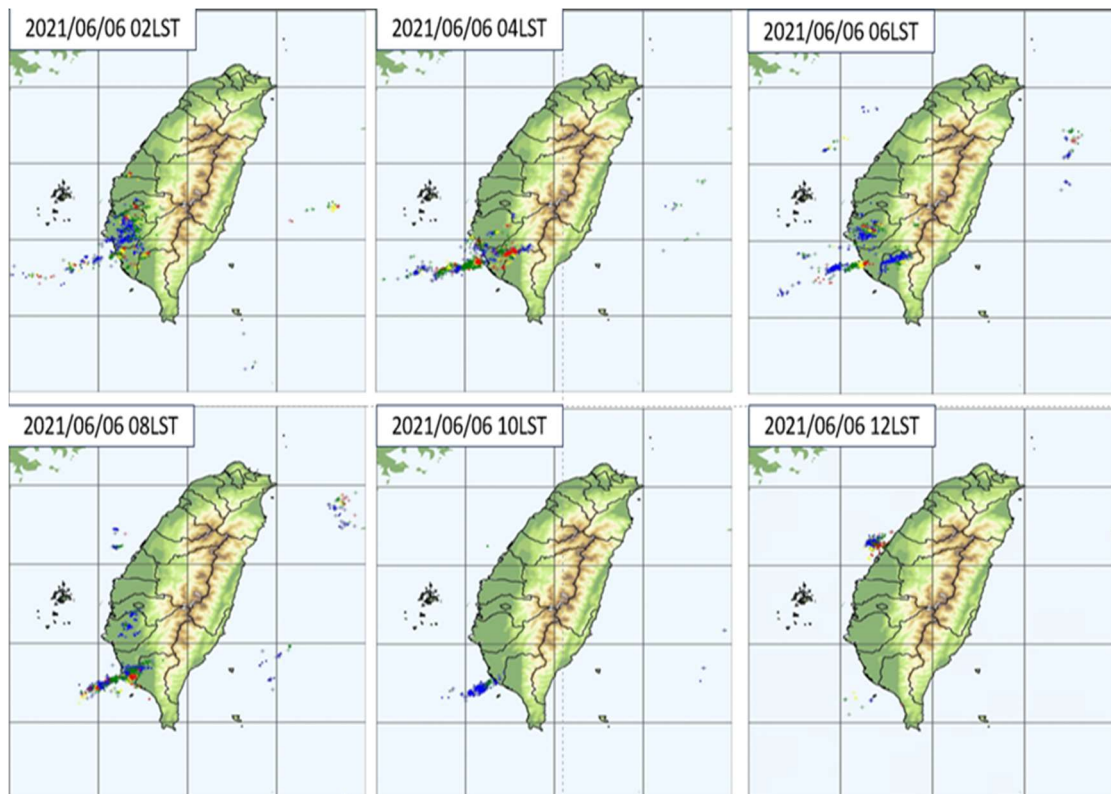


圖 19 2021 年 6 月 6 日 0200 至 1200LST 閃電即時觀測（摘自：中央氣象署）

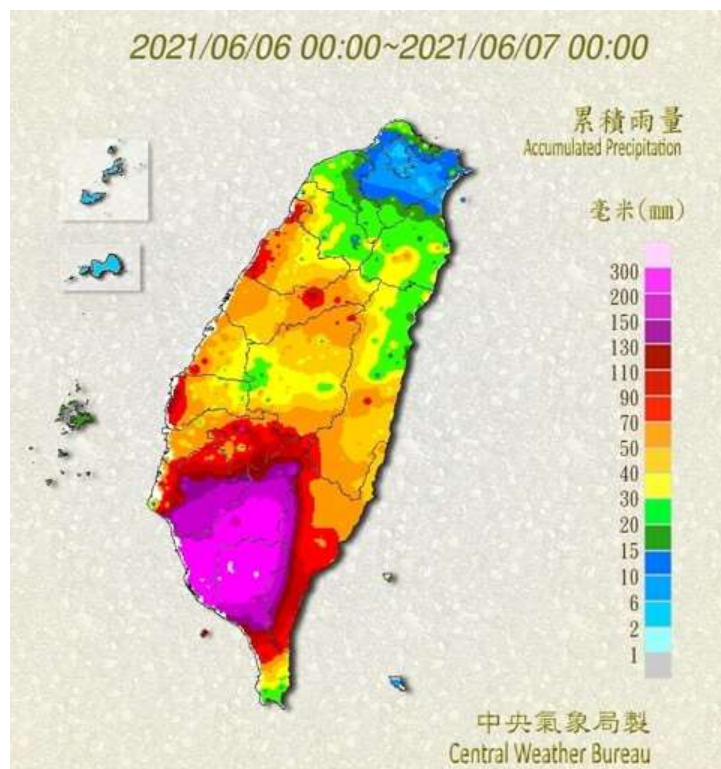


圖 20 2021 年 6 月 6 日 日累積雨量圖（摘自：中央氣象署）

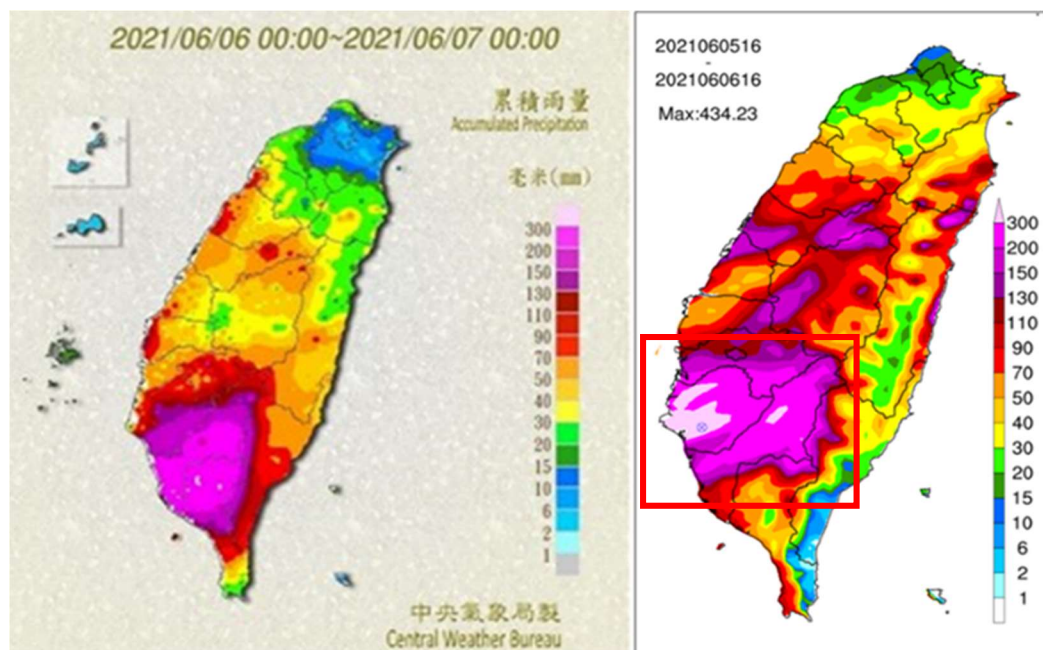


圖 21 實際降雨與 WDM6 模擬降雨比較圖，左圖為實際觀測，右圖為模擬（單位：mm）

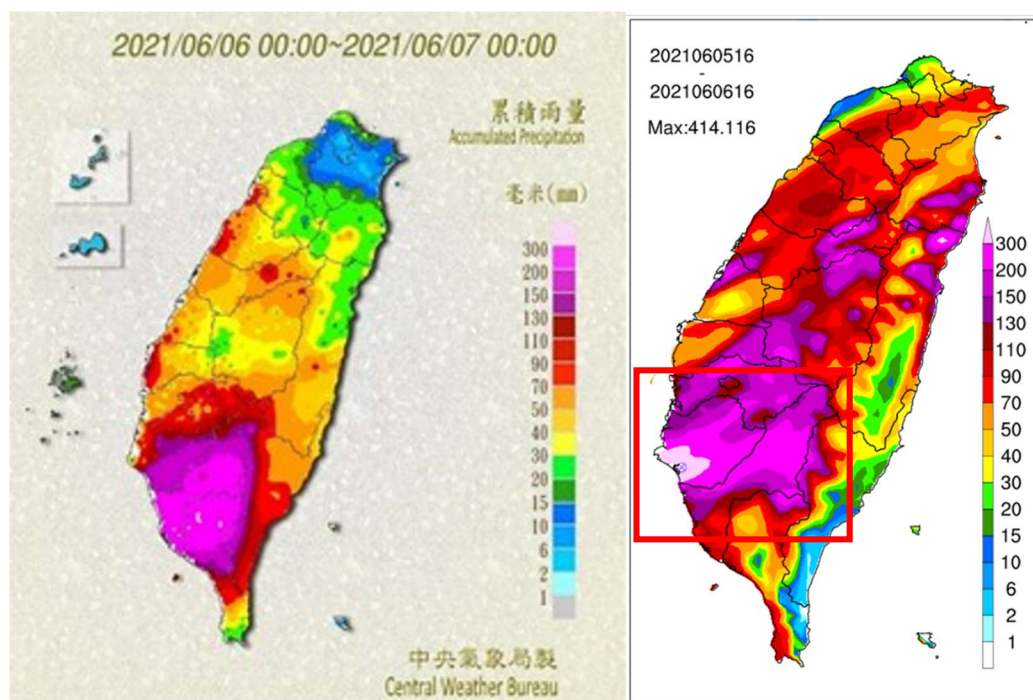


圖 22 實際降雨與 WDM5 模擬降雨比較圖，左圖為實際觀測，右圖為模擬（單位：mm）

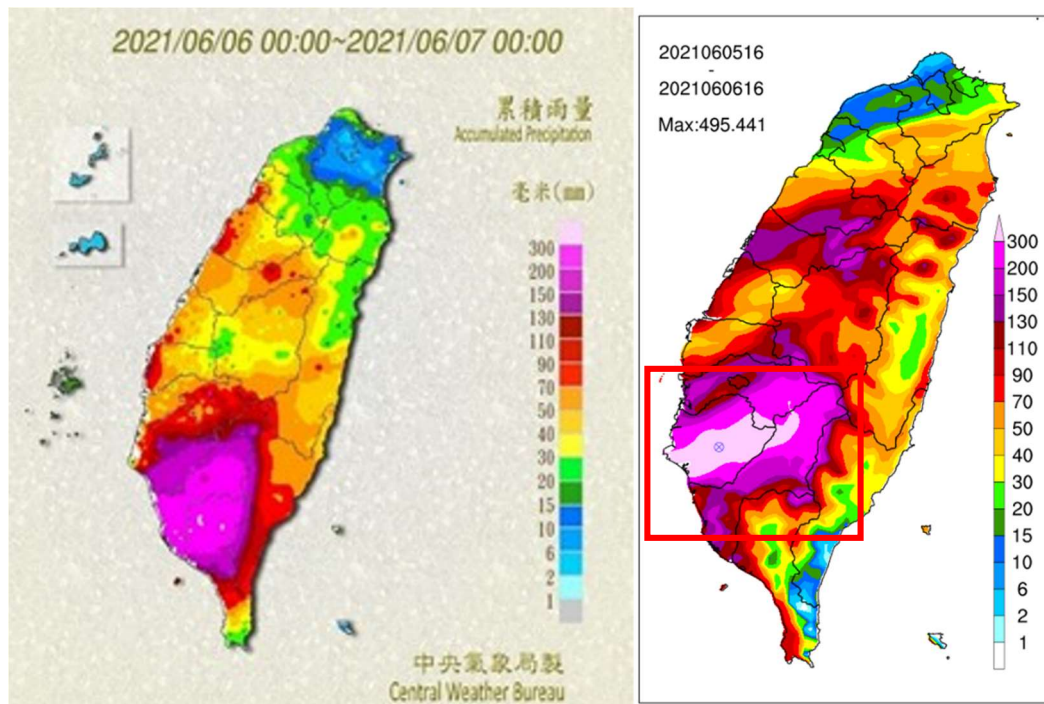


圖 23 實際降雨與 WDM7 模擬降雨比較圖，左圖為實際觀測，右圖為模擬（單位：mm）

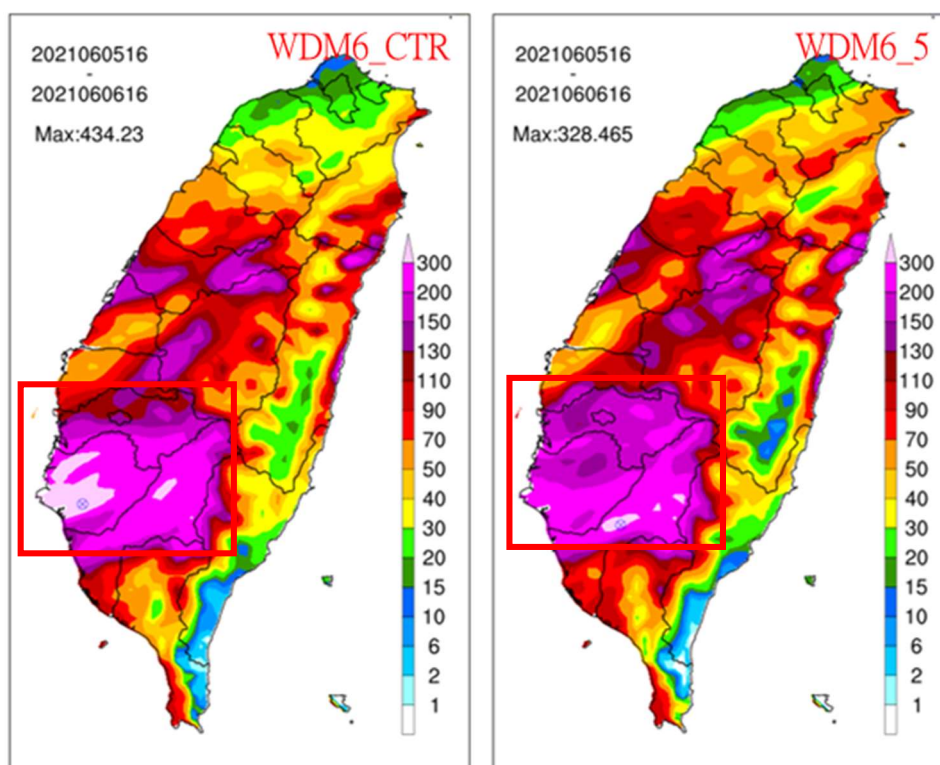


圖 24 微物理參數 WDM6 搭配 CCN 濃度之模擬累積降水，左圖 CCN 濃度為 WDM6_CTR，右圖 CCN 濃度為 WDM6_5（單位：mm）

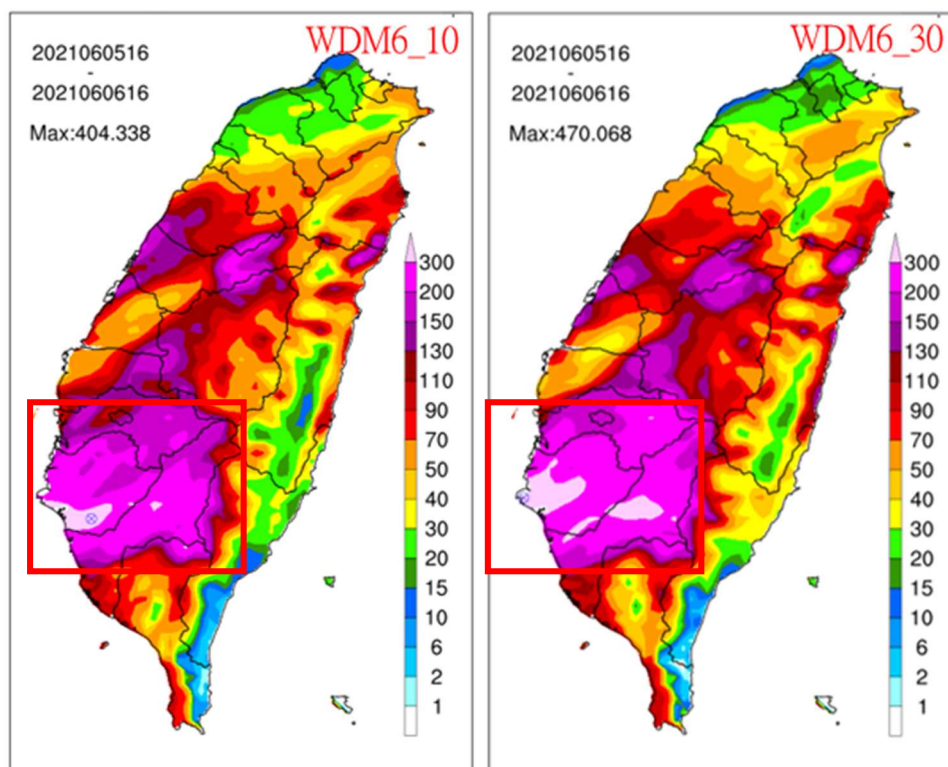


圖 25 微物理參數 WDM6 搭配 CCN 濃度之模擬累積降水，左圖 CCN 濃度為 WDM6_10，右圖 CCN 濃度為 WDM6_30（單位：mm）

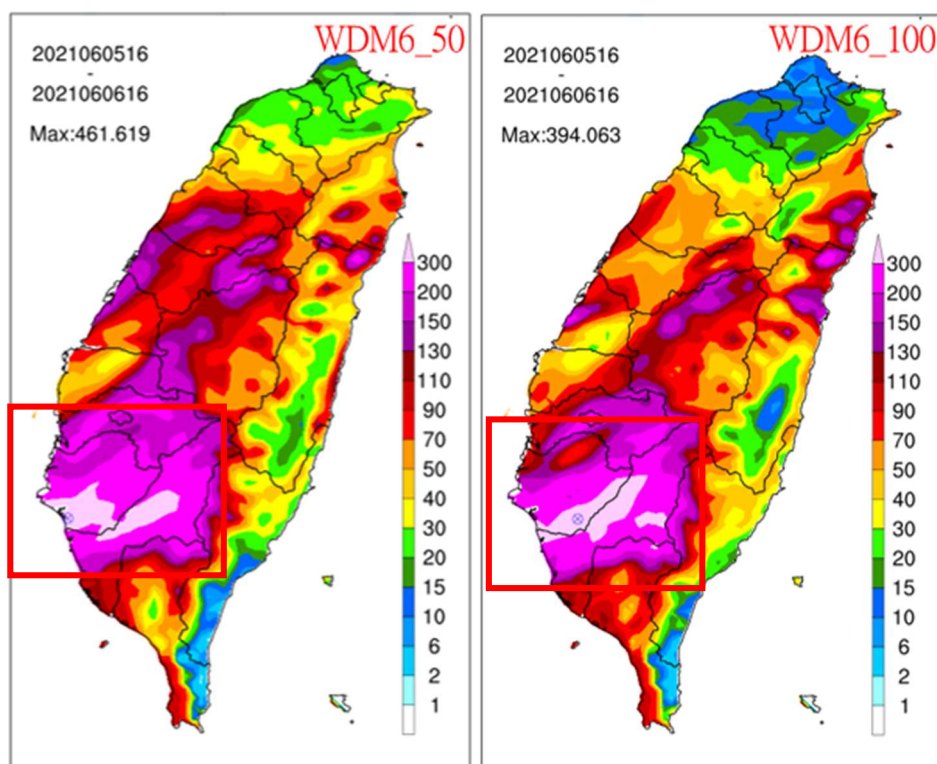


圖 26 微物理參數 WDM6 搭配 CCN 濃度之模擬累積降水，左圖 CCN 濃度為 WDM6_50，右圖 CCN 濃度為 WDM6_100（單位：mm）

Simulation Study of Rainfall Distribution in Southwestern Taiwan by Mei-Yu Front on June 6, 2021

Guan-Yu Xie , Horng-Syi Shen

National Defense University

Abstract

This study employs the Weather Research and Forecasting (WRF) model to simulate and analyze the impact of the Mei-Yu Front in the southwestern region of Taiwan on June 6, 2021. The focus of the research is on the discrepancies between the simulation results and the actual observational data, particularly in terms of rainfall distribution and total precipitation. Through sensitivity tests on different microphysical parameters, longwave and shortwave, and cumulus parameterizations, the study further explores the influence of Cloud Condensation Nuclei (CCN) concentrations on rainfall simulation.

The findings indicate that the WRF model can accurately simulate the wind fields and precipitation distribution characteristics brought by the Mei-Yu Front, especially in the coastal and mountainous areas of southwestern Taiwan. Adjustments to the microphysical parameters and different settings of CCN concentration significantly affect the simulated precipitation. The simulation that turned off the longwave and shortwave radiation and cumulus parameters with the WDM6 microphysical settings aligned more closely with the actual observations. Additionally, higher concentrations of CCN generally resulted in less precipitation, while lower concentrations increased precipitation.

Through this study, it not only helps us to understand the Mei-Yu front weather system, but also provides valuable reference for future numerical modeling of extreme weather events.

Keywords: WRF Model, Mei-Yu Front, Rainfall Simulation, CCN