

以2022年5月16日滯留鋒面降雨個案模擬CCN參數研究

徐博彥¹、謝冠宇¹、曹仕傑²、魏志憲³、沈鴻禧¹

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系、²空軍氣象聯隊、³中華航空

摘要

本研究的主要目的是深入瞭解滯留鋒面降雨事件的形成機制及其相關影響因素。氣候變遷引起的極端天氣事件，尤其是豪雨所引發的洪水和山洪，對社會和經濟造成了嚴重影響，豪雨事件中，滯留鋒面降雨是主要災害因素之一，容易導致洪水、土石流等山區災害，對生命和財產構成威脅。文中聚焦於雲凝結核(Cloud Condensation Nuclei, 簡稱CCN)參數，這是大氣中微小氣溶膠粒子，對水氣凝結成雨滴有著關鍵作用。在滯留鋒面降雨事件中，CCN的數量和特性影響降雨過程，增加CCN可能促使雲滴形成，進而加速降雨的發展。然而，過去研究主要集中在降雨系統的動力和熱力機制，對CCN參數的研究相對較少。過程中使用WRF模式和觀測資料，分析不同氣象條件下CCN參數的變化，並探討其對滯留鋒面降雨事件的影響機制。模擬結果顯示，在不同CCN情境下，風速和長短波輻射的變化可能與CCN參數有關，進而影響能量平衡和降雨的形成。

結論指出，深化對CCN參數在滯留鋒面降雨事件中的影響機制的理解，對預測和防災有科學支持。未來研究應繼續關注氣候變遷對極端天氣事件的影響，並進一步研究氣溶膠和雲微物理的相互作用，以提高對極端降雨事件的預測準確性。

關鍵字：滯留鋒面、中尺度對流系統、雲凝結核、氣溶膠

1. 前言

隨著氣候變遷日益嚴峻，極端天氣事件的頻率和強度逐漸增加，對人類社會和經濟造成了嚴重影響。在這些極端天氣事件中，豪雨引發的洪水和山洪暴發是造成災害的主要原因之一。在豪雨事件中，滯留鋒面降雨是一種常見現象，指的是降雨系統在特定地區停滯或緩慢移動，導致長時間持續性降雨。滯留鋒面降雨不僅容易引發洪水，還可能導致土石流、泥石流等山區災害，對人們的生命和財產安全構成威脅。

懸浮微粒不僅對人類健康造成危害(Schwartz and Neas, 2000 [1])，對能見度(Hyslop, 2009 [2])、區域空氣品質及區域輻射收支也有一定的衝擊。懸浮微粒可以直接影響輻射收支平衡，CCN可以改變雲的物理結構及輻射特性，進而影響天氣變化。本研究

旨在深入探討滯留鋒面降雨事件的形成機制及其相關影響因素，特別關注降雨要素中的CCN參數。CCN是大氣中的微小氣溶膠粒子，具有引發水氣凝結成雨滴的能力。在滯留鋒面降雨事件中，CCN的數量和特性對降雨過程具有關鍵作用。Khain et al. (2008) [3]提到，懸浮微粒的增加會使得冷水增多及冰晶的增加，對於上升氣流也會使其增強的情形發生。因此，深入瞭解CCN參數的變化與滯留鋒面降雨事件之間的關係，對於提高對豪雨事件的預測和防災能力具有重要意義。

在過去大多數的研究中主要關注降雨系統的動力和熱力機制，對於CCN參數的研究相對較少。因此，本研究將針對CCN參數的變化與滯留鋒面降雨事件之間的相互作用進行深入研究。研究中將運用WRF(Weather Research and Forecast model)模式和觀測資

料，分析不同氣象條件下CCN參數的變化情況，並探討其對滯留鋒面降雨事件的影響機制。透過數值模擬和實際觀測數值相互比較的方法，試圖瞭解CCN參數在滯留鋒面降雨事件中的作用機制，為豪雨事件的預測和防災提供科學依據。

根據Chen et al. (2020) [4]文中表示，沙塵會影響海面溫度(SST)以及潛熱和感熱通量的變化，進而導致影響降雨的分布及雨勢的強弱結果。通過深入探討CCN參數與滯留鋒面降雨事件之間的關係，我們有望為提高對豪雨事件的預測準確性、提前預警和有效應對提供科學支撐，減輕極端天氣事件帶來的災害影響，保障人民生命財產安全，實現氣象科學在災害風險管理中的社會價值。

2 資料來源及實驗設計

2.1 資料來源

本研究使用 WRF 模式 V4.2.1 版進行強降雨個案模擬，而觀測資料來源如下：

1、診斷分析：所用資料包含：中央氣象署 (Central Weather Administration, CWA) 之地面天氣圖、高空分析圖、累積雨量圖、雷達回波圖、衛星雲圖。

2、數值模擬：使用中尺度數值天氣預報系統 WRF V4.2.1 版本；數值模擬部分，初始場使用資料為美國環境預報中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP) 之 FNL (Final) 資料，空間解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，時間解析度為 6 小時。

2.2 實驗設計及研究方法

2.2.1 模式設定

本研究針對 2022 年 5 月 16 日梅雨滯留鋒面進行個案模擬，初始場時間為 5 月 15 日 1200 UTC，以 NCEP 之 FNL 資料作為 WRF 模式之初始及邊界資料。採用單層網格進行模擬(圖 2.1；曹，2022)[5]，網格水平解析度 domain 為 5 公里，網格數為 120×100 ，範圍涵蓋全臺灣降雨之區域，地圖投影選用藍

伯特投影法(Lambert Projection)，垂直空間解析度為 45 層，模擬最高高度為 50 hPa，以 24 s 為積分步長。

根據 Lim and Hong.(2010) [6]，提出在 WDM6 參數法增加 CCN，在濃度不同情況下對於累積降雨預報會有所影響。故本研究雲微物理參數法選用部分，使用 WDM6 方案；邊界層參數使用 YSU scheme；長波輻射使用 RRTM scheme；短波輻射使用 Dudhia scheme；土壤參數使用 Monin-Obukhov similarity scheme；地表參數使用 5-layer thermal diffusion scheme；並且加入 CCN 參數，分別以 CCN_OFF 及 CCN_ON 的 3 種倍數 (CCN_1.e8、CCN_1.e10 及 CCN_1.e12) 進行模式比較。

2.2.2 風速和長短波輻射(LHF/SHF)差值比較

CCN在雲滴形成過程中有著關鍵作用，風速和輻射的變化可能影響地表和大氣層的能量平衡。這種能量平衡的變化可能進一步影響氣溶膠的生成和分布，進而影響CCN的形成和活性。通過比較風速和長短波輻射(LHF/SHF)差值，可以瞭解在不同氣象條件下，氣溶膠對雲滴形成的影響。

2.2.3 測站資料、模擬資料分析及繪製

研究中透過Python程式中csv及netCDF4套件進行相關測站及模擬資料讀取，並透過matplotlib及cartopy等套件，繪製相關圖資並分析。

3. 個案天氣分析

由地面圖(圖 3.1)分析可見，5 月 15 至 16 日滯留鋒面位於巴士海峽一帶，臺灣地區位於鋒後，風場為北北西向風。5 月 16 日鋒面位置較 15 日更往菲律賓靠近，降雨時序主要是在 5 月 16 日由臺灣中部開始，接連影響中南部地區。雷達回波圖(圖 3.2)顯示 35 至 45dbz 強度之回波由彰化沿海往臺中山區移動，2200 LST 後逐漸減弱消散，西半部降雨主要集中於 5 月 16 日下午半，回波強度介於

30~45 dBZ 之間；從衛星雲圖(圖 3.3)可見，臺灣地區受滯留鋒面影響，5 月 16 日 1400 LST 臺灣上空雲量逐漸增多，1800 LST 彰化沿海一帶生成一中尺度對流複合體(MCC)向東北移動。

850hPa 天氣圖(2022 年 5 月 15 至 16 日 0000 UTC 及 1200 UTC，圖 3.4)顯示，臺灣地區北部風場為東北風，中南部風場為西南風，整體風場呈現對吹情況，從溫度梯度來看 15 及 16 日其等溫線也較為密集，南北溫度差異大，而 16 日等溫線有略微南移之趨勢，水平溫度差異大形成較強的垂直風切，造成臺灣地區不穩定度增加。

700hPa 天氣圖(2022 年 5 月 15 至 16 日 0000 UTC 及 1200 UTC，圖 3.5)顯示，臺灣地區維持西南向風場，在臺灣地區上空有明顯低層噴流，5 月 16 日 1200 UTC LLJ 有略為增強之趨勢，且 16 日高空槽線通過臺灣地區，致使臺灣地區大氣不穩定度增加。

當日累積雨量圖顯示(如圖 3.6)，降雨主要集中於中部山區(南投、新竹及花蓮交界處)。

4. 模擬結果分析

圖 4.1 至 4.3 為 5 月 16 日平均風速差異圖，其分別為 CCN_1.e8、CCN_1.e10 及 CCN_1.e12 之平均風速減掉 CCN_OFF 之平均風速，左右兩圖分別為 850 hPa 及 700 hPa，圖中色階部分為風速值(kts)，紅色色階為 CCN_ON 時風速值大於 CCN_OFF 時，而藍色色階則反之。根據模擬結果顯示，圖 4.1 兩圖均呈現全部藍色之情況為，其風速資料相減後均為 0，表示 CCN_1.e8 與 CCN_OFF 時，風速均無變化。圖 4.2 顯示 CCN_1.e10 開啟後風速略大於 CCN_OFF，以中部沿海來看，850hPa 的風速與 CCN_OFF 差約 0~0.4 kts，而 700hPa 則相反會較 CCN_OFF 小約 0-0.2 kts。圖 4.3 顯示 CCN_1.e12 開啟後 850hPa 風速同樣略大於 CCN_OFF，約 0~0.4 kts，

700hPa 的風速則是略小於 CCN_OFF 約 0.25kts。圖 4.4 至 4.6(左圖為長波輻射，右圖為短波輻射)為長短波輻射(LHF/SHF)差異圖，其分別為 CCN_1.e8、CCN_1.e10 及 CCN_1.e12 之 LHF/SHF 減掉 CCN_OFF 之 LHF/SHF，圖 4.4 中臺灣地區均呈現粉色區塊，表示 CCN_1.e8 開啟後與 CCN_OFF 之 LHF 及 SHF 總量均無差異；圖 4.5 中，以中部地區來看 CCN_1.e10 的 LHF 及 SHF 均會較 CCN_OFF 時的 LHF/SHF 總量少；而在 CCN_1.e12 時(如圖 4.6)，LHF 的總量同樣會略少於 CCN_OFF，但 SHF 的總量則是會略高於 CCN_OFF。

從圖 4.7 中得知在 CCN_1.e8 的全日累積雨量與 CCN_OFF 時是無差別的，然隨著濃度增加其整體雨量也隨之增加。

5. 結論

隨著氣候變遷的加劇，豪雨引發的洪水和山洪成為極端天氣事件中的重要因素，對社會和經濟帶來了嚴重影響。本研究著眼於滯留鋒面降雨事件，特別聚焦雲凝結核(CCN)參數在降雨過程中的作用，並深入探討其與滯留鋒面降雨事件之間的關係。

根據過去研究，大多數關注降雨系統的動力和熱力機制，對 CCN 參數的研究相對較少。因此，本研究以 WRF 模式和觀測資料為基礎，針對 CCN 參數的變化與滯留鋒面降雨事件之間的相互作用進行深入研究。結果顯示，在不同氣象條件下，CCN 的增加可能促使雲滴形成，進而加速降雨的發展，同時也可能導致降雨強度和分布的改變。

透過模擬結果分析，我們觀察到在 CCN_1.e10 和 CCN_1.e12 情境下，風速略大於 CCN_OFF，顯示 CCN 參數的增加可能與風場變化相關。此外，長短波輻射(LHF/SHF)差異分析顯示，在 CCN_1.e10 和 CCN_1.e12 情境下，LHF 及 SHF 的總量與 CCN_OFF 相比有所變化，這表明 CCN 參數的變化可能影

響地表和大氣層的能量平衡，進而影響降雨的形成和分布。

總體而言，本研究深化了對 CCN 參數在滯留鋒面降雨事件中的影響機制的理解，為豪雨事件的預測和防災提供了科學支持。未來的研究應該繼續關注氣候變遷對極端天氣事件的影響，並進一步探討氣溶膠和雲微物理的相互作用，以提高對極端降雨事件的預測準確性。

6. 參考文獻

- Schwartz, J. and Neas, L., 2000, Fine Particles Are More Strongly Associated than Coarse Particles with Acute Respiratory Health Effects in Schoolchildren. Epidemiology, 11, 6-10.
- Nicole Pauly Hyslop, 2009, Impaired visibility: the air pollution people see. Atmospheric Environment, 43-1, 182-195.
- Khain, A., N. Cohen, B. Lynn, and A. Pokrovsky, 2008, Possible Aerosol Effects on Lightning Activity and Structure of Hurricanes. J. Atmos. Sci., 65, 3652–3677.
- Chen SH, Huang CC, Kuo YC, Tseng YH, Gu Y, Earl K, Chen CY, Choi Y, Liou KN., 2021, Impacts of Saharan Mineral Dust on Air-Sea Interaction over North Atlantic Ocean Using a Fully Coupled Regional Model. J. Geophys. Res. Atmos., 126
- 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，94 頁。
- Lim, K. S., and S. Hong, 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.

5. 圖表附錄

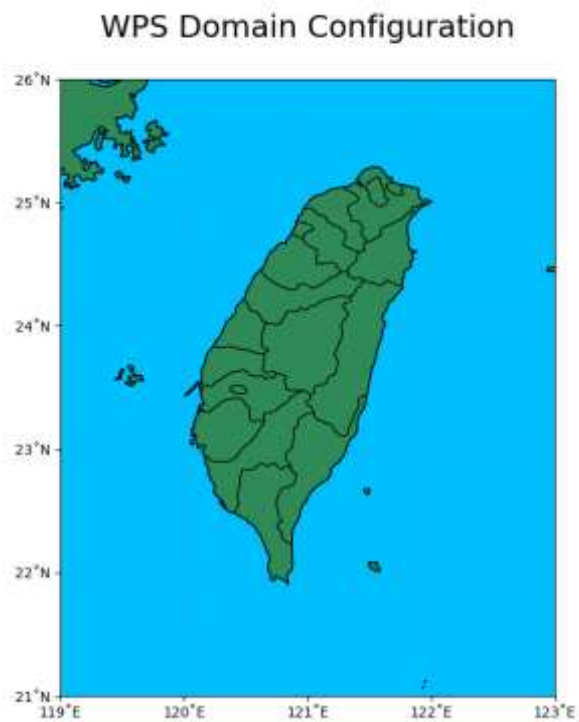


圖 2.1 WRF 模式模擬之網格範圍

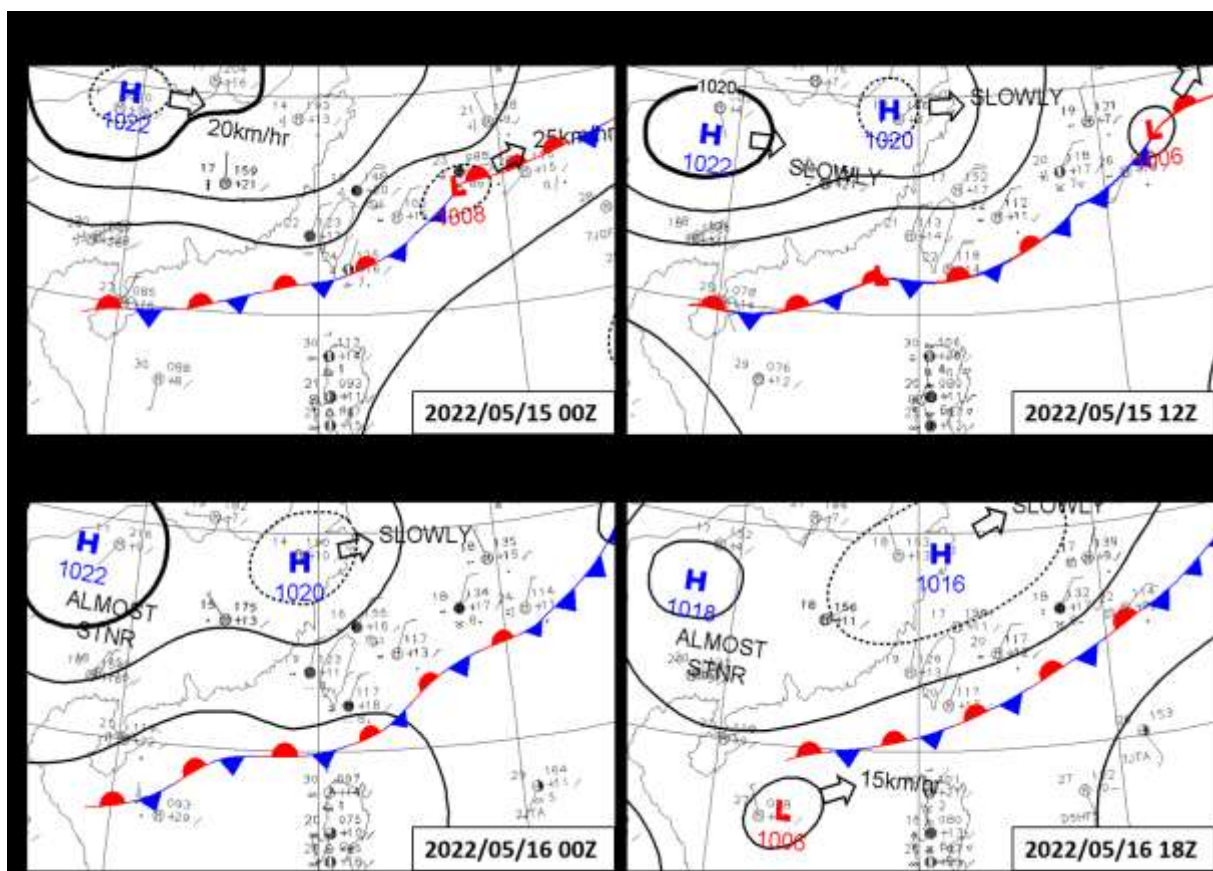


圖 3.1 個案地面天氣分析圖(摘自 CWA)

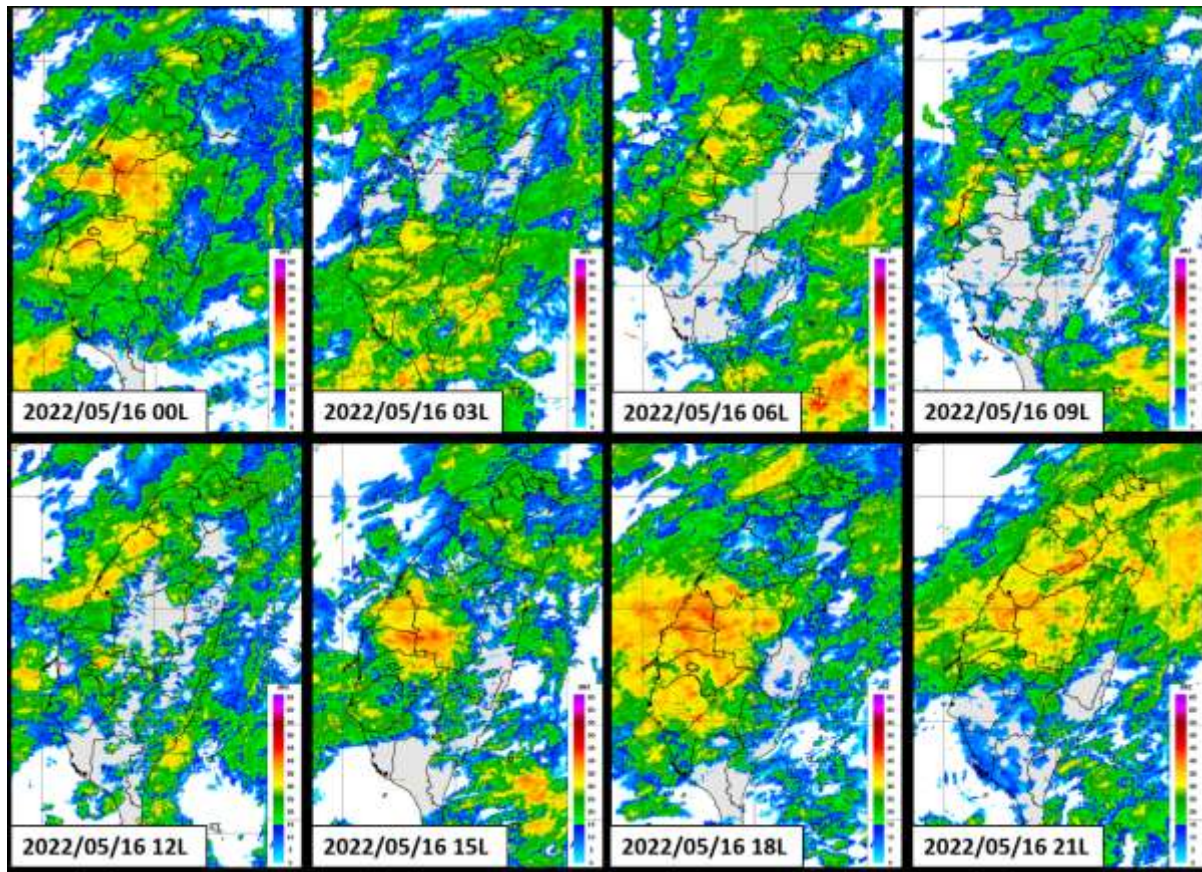


圖 3.2 個案雷達回波圖(摘自 CWA)

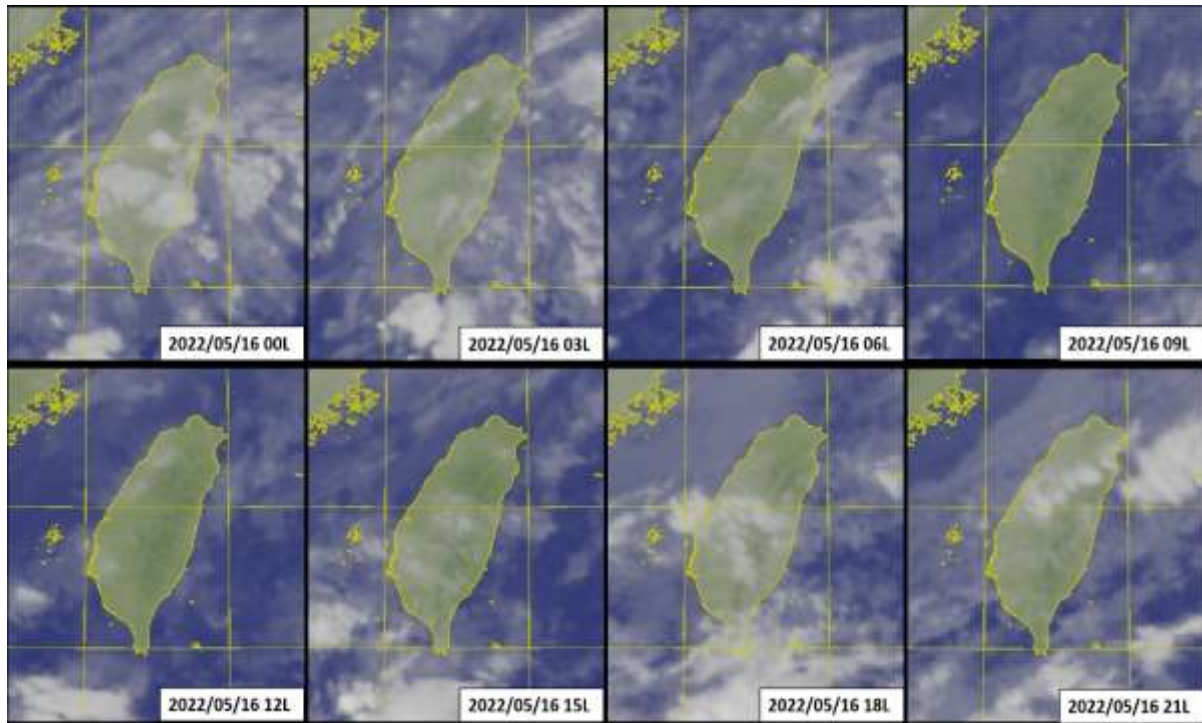


圖 3.3 個案衛星雲圖(摘自 CWA)

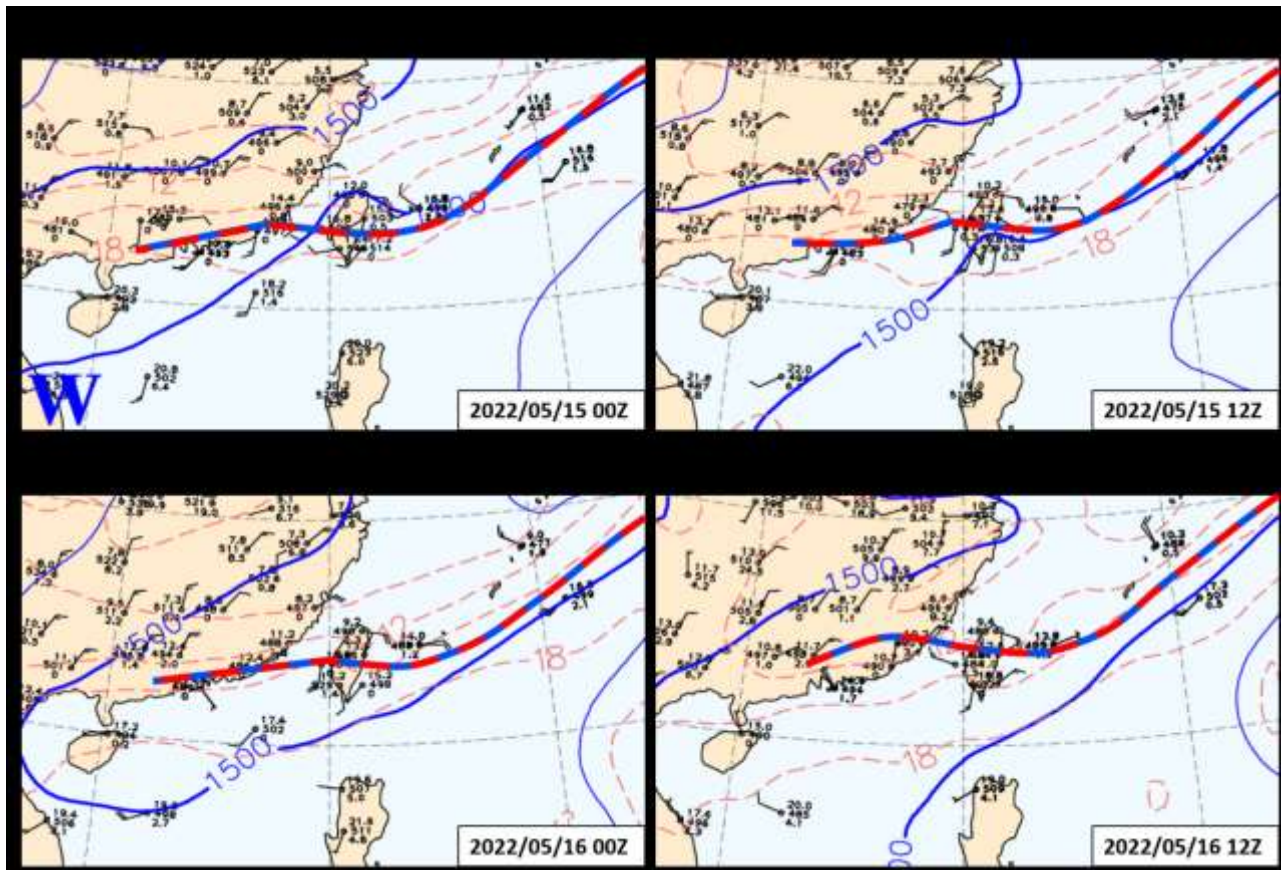


圖 3.4 個案 850hPa 分析圖(摘自 CWA)

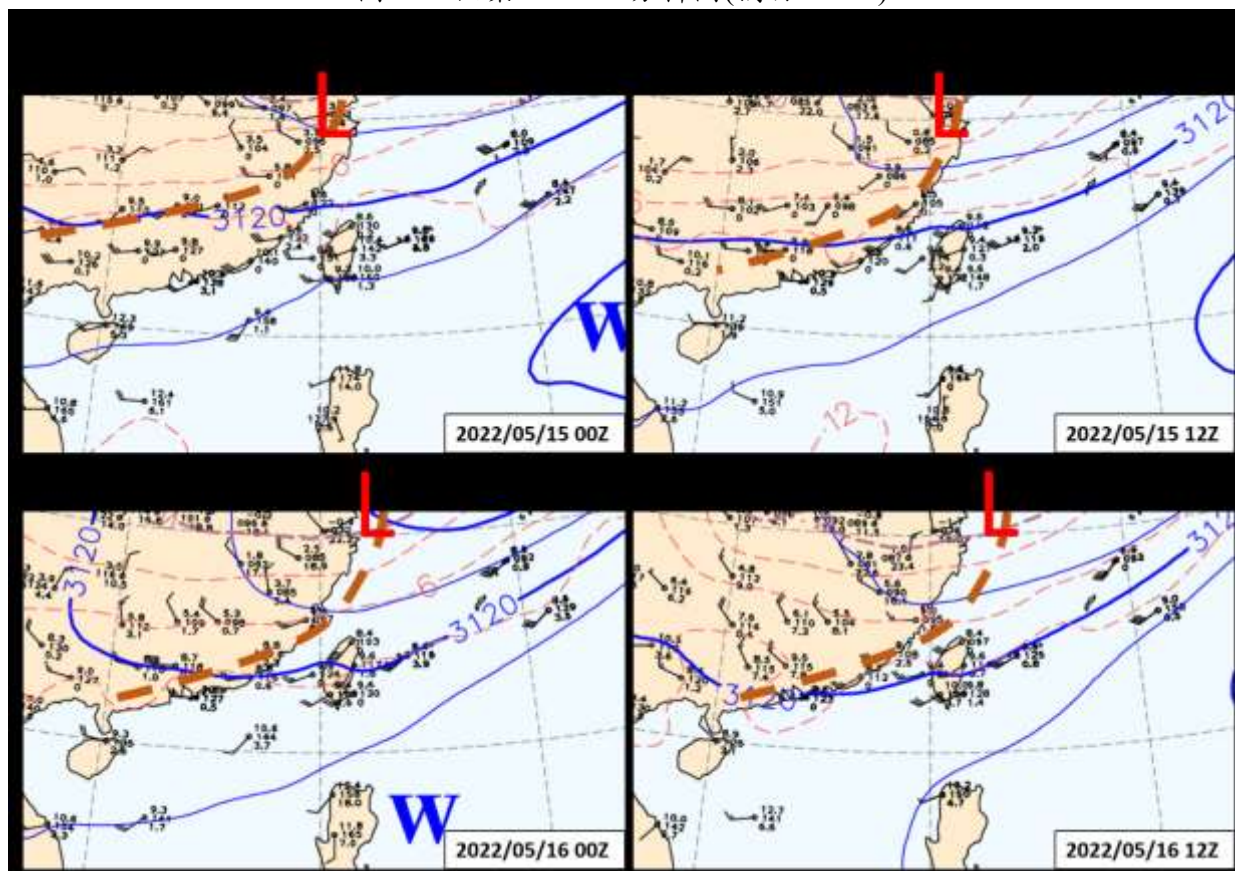


圖 3.5 個案 700hPa 分析圖(摘自 CWA)

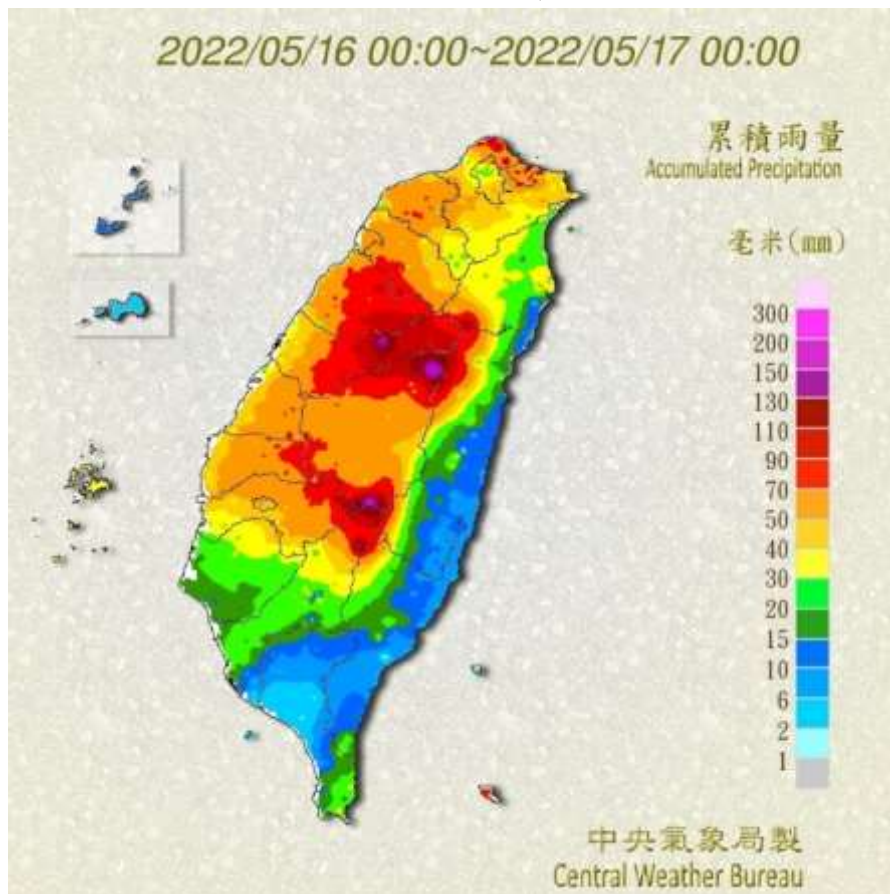


圖 3.6 個案 5 月 16 日全臺累積雨量圖(摘自 CWA)

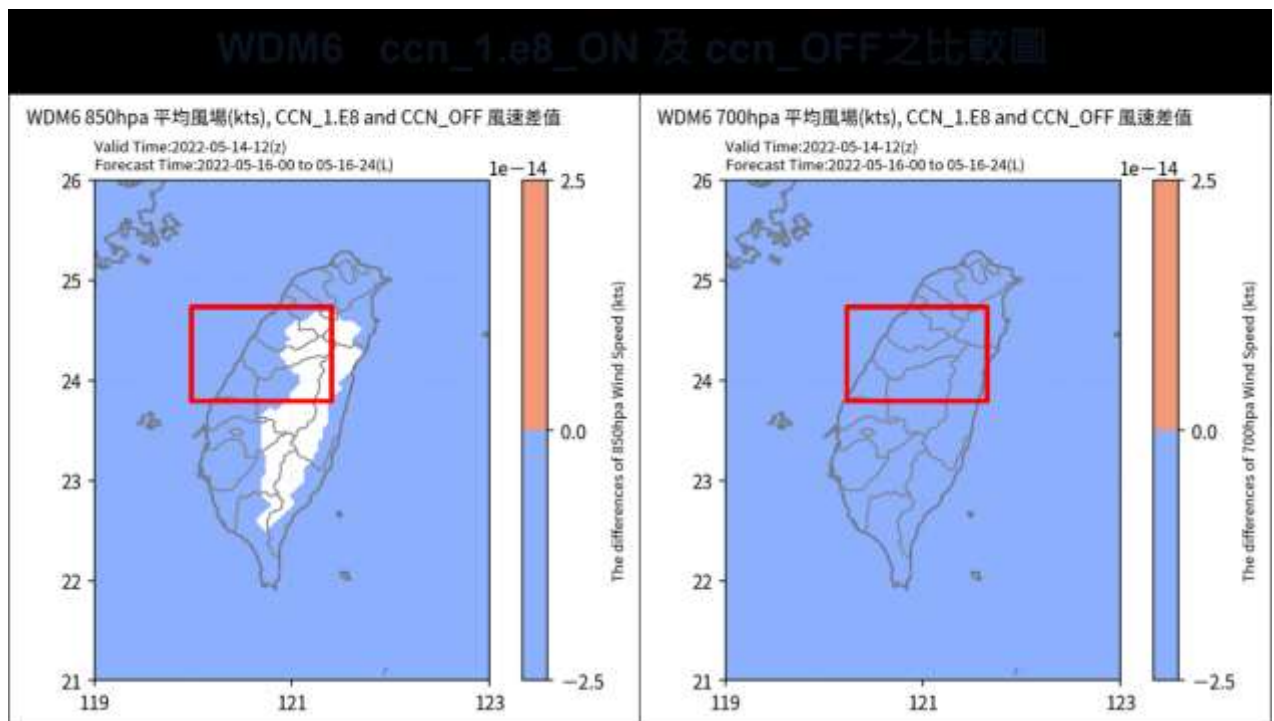


圖 4.1 CCN_1.e8及CCN_OFF之850、700hPa風速差值(色階，風速)

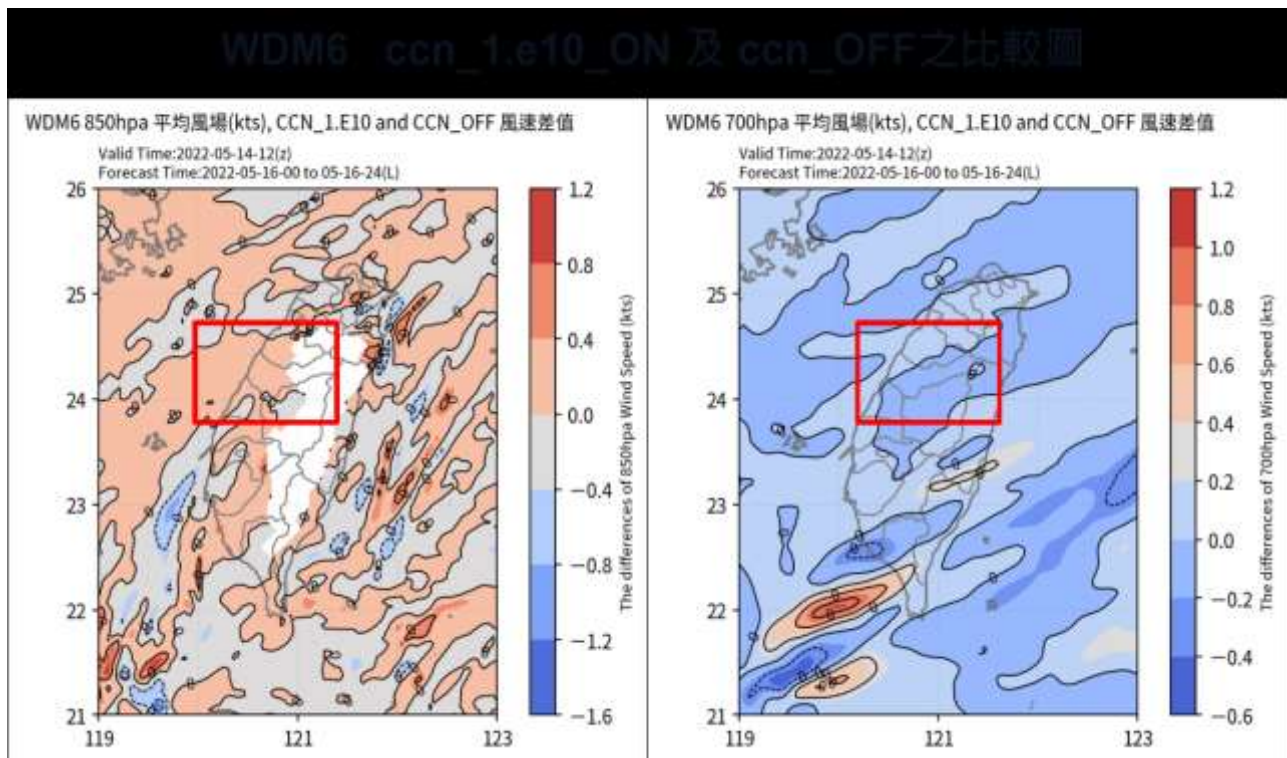


圖4.2 CCN_1.e10及CCN_OFF之850、700hPa風速差值(色階，風速)

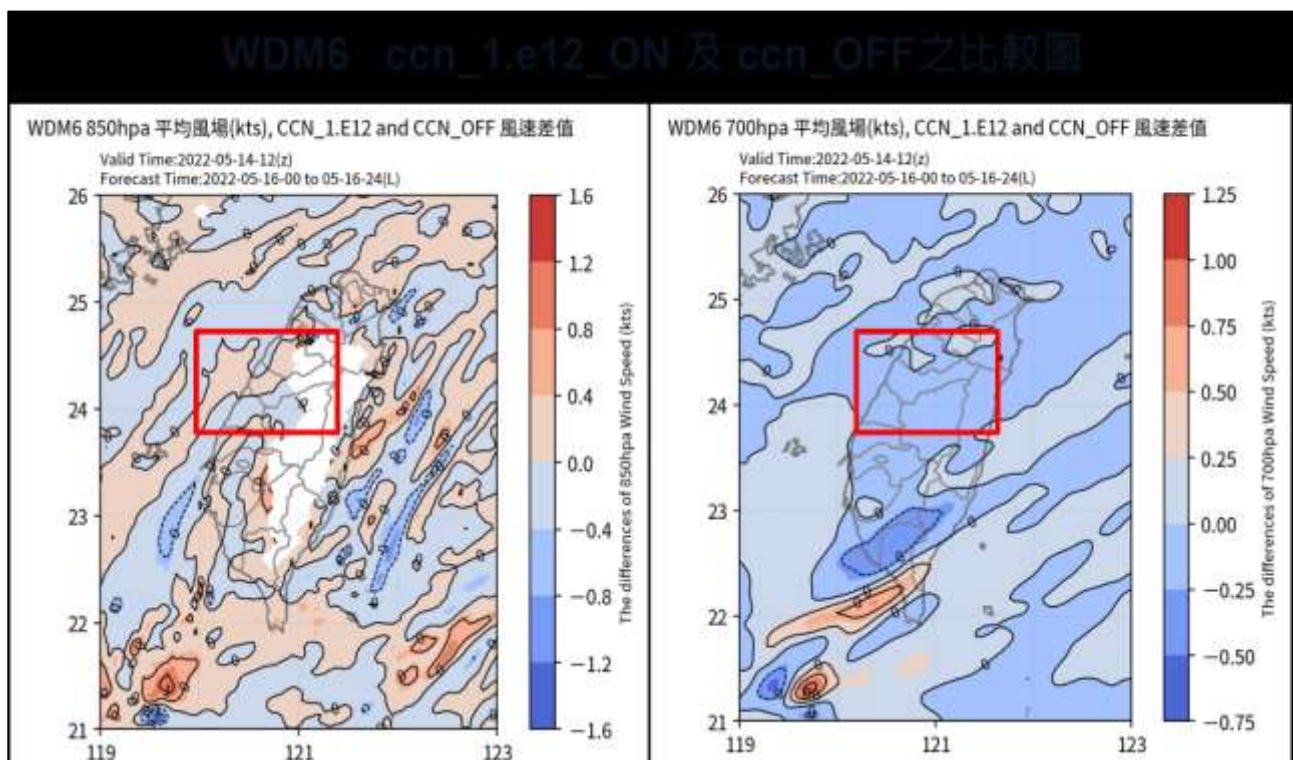


圖4.3 CCN_1.e12及CCN_OFF之850、700hPa風速差值(色階，風速)

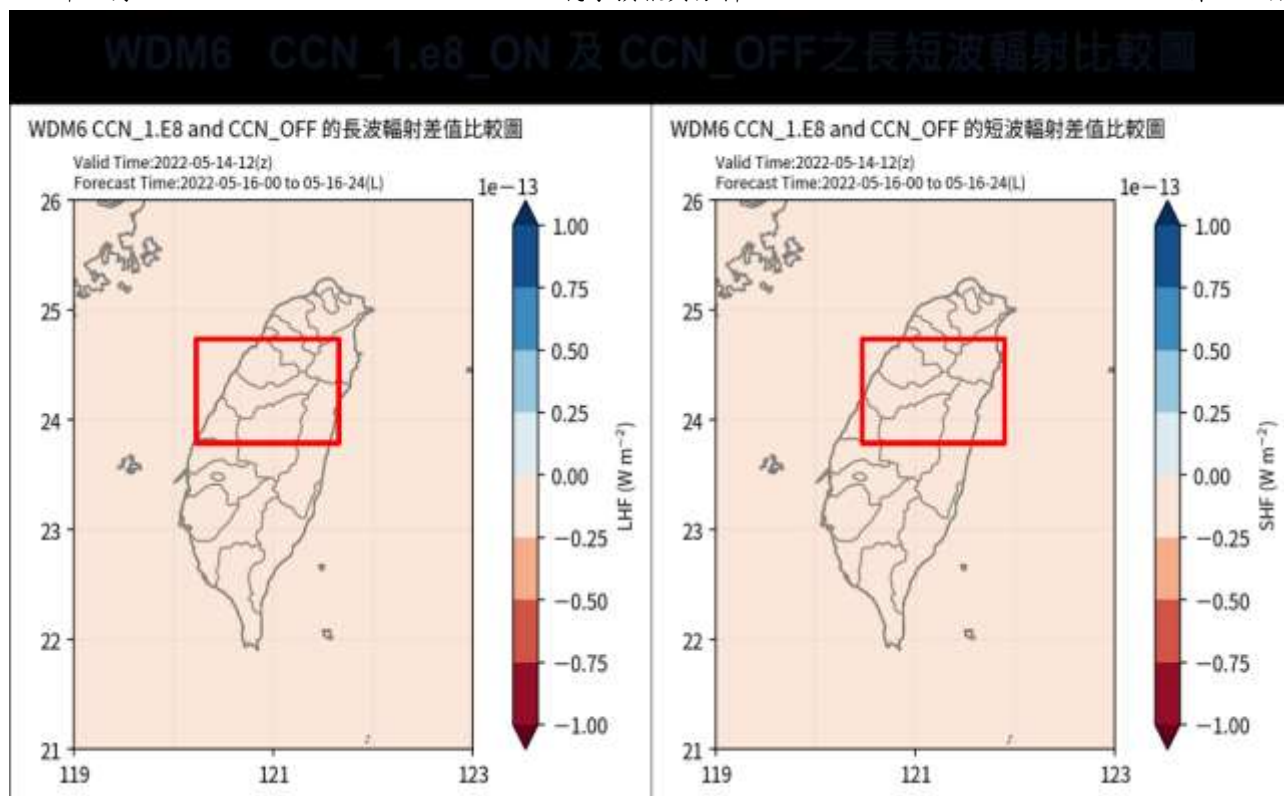


圖4.4 CCN_1.e8及CCN_OFF之長短波輻射差值(色階，輻射量)

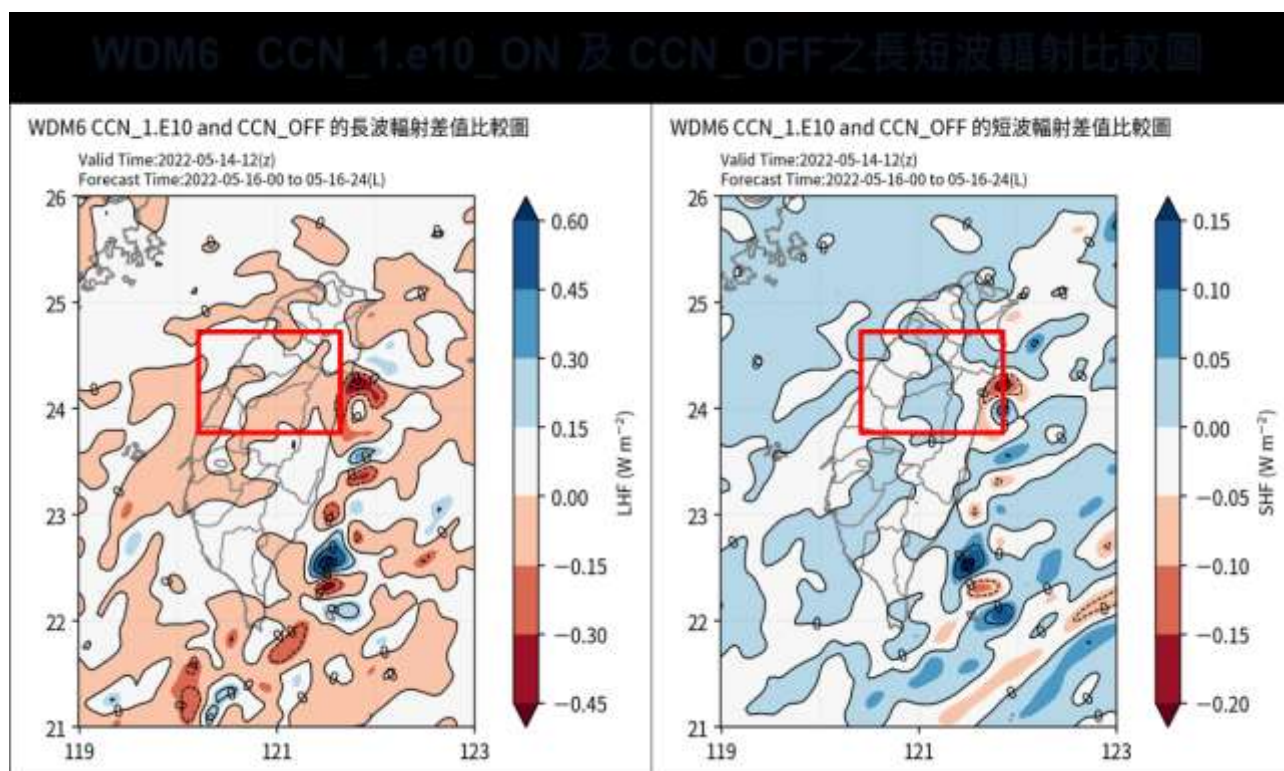


圖4.5 CCN_1.e10及CCN_OFF之長短波輻射差值(色階，輻射量)

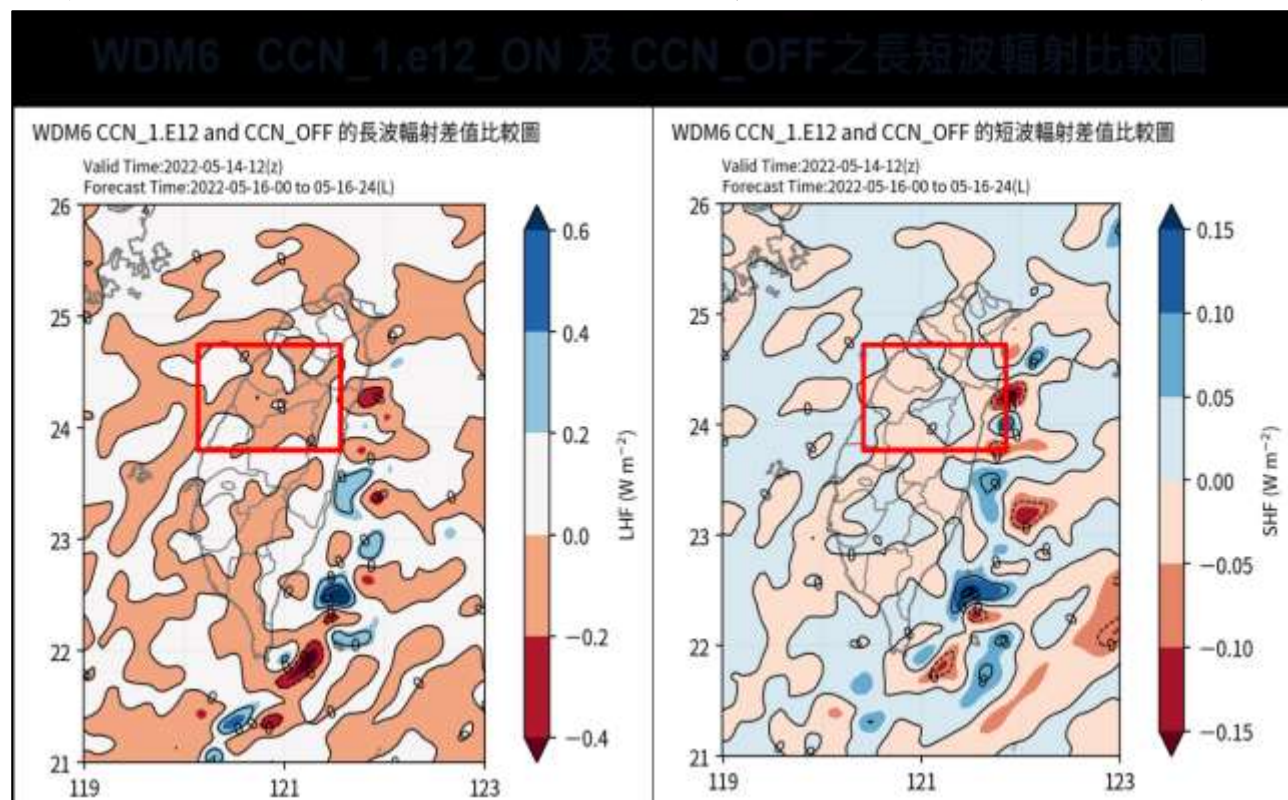


圖 4.6 CCN_1.e12 及 CCN_OFF 之長短波輻射差值(色階，輻射量)

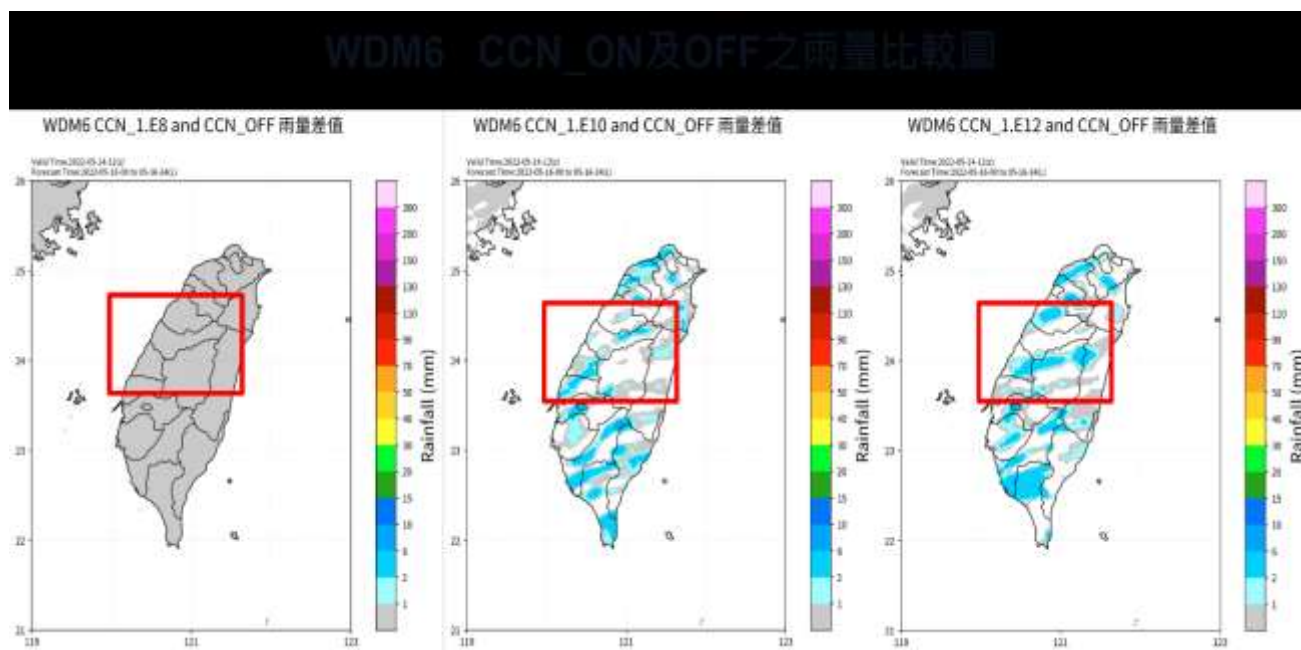


圖 4.7 WDM6 CCN_ON 及 OFF 之雨量比較圖(色階，雨量)

Simulation of CCN Parameters for the Stationary Front Precipitation Event on May 16, 2022

Po-Yen Hsu ¹, Guan-Yu Xie ¹, Shih-Jie Tsao ², Chih-Hsien Wei ³ and Horng-Syi Shen ¹

¹ Department of Environmental Information and Engineering,
Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University.

² The Weather Wing, R.O.C.A.F.

³ China Airlines

Abstract

The primary objective of this study is to gain a deeper understanding of the formation mechanisms and related influencing factors of stationary front rainfall events. Extreme weather events caused by climate change, particularly floods and flash floods triggered by heavy rainfall, have serious impacts on society and the economy. Among these events, stationary front rainfall is a major contributing factor, often leading to mountainous disasters such as floods and landslides, posing threats to life and property. The focus of this study is on Cloud Condensation Nuclei (CCN) parameters, which are tiny atmospheric aerosol particles that play a crucial role in the condensation of water vapor into raindrops. In stationary front rainfall events, the quantity and characteristics of CCN influence the rainfall process, and an increase in CCN may promote cloud droplet formation, thereby accelerating the development of rainfall.

However, previous research has mainly concentrated on the dynamic and thermodynamic mechanisms of rainfall systems, with relatively little attention given to CCN parameters. In this study, the WRF model and observational data are used to analyze variations in CCN parameters under different meteorological conditions and explore their impact mechanisms on stationary front rainfall events. Simulation results indicate that changes in wind speed and longwave/shortwave radiation may be related to CCN parameters under different scenarios, subsequently affecting energy balance and the formation of rainfall.

The conclusion emphasizes that a deeper understanding of the impact mechanisms of CCN parameters in stationary front rainfall events provides scientific support for prediction and disaster prevention. Future research should continue to focus on the effects of climate change on extreme weather events and further investigate the interaction between aerosols and cloud microphysics to enhance the accuracy of predicting extreme rainfall events.

Keywords: Stationary Front, Mesoscale Convective System, Cloud Condensation Nuclei, Aerosols.