

2021 年舒力基颱風 (SURIGAE) 路徑與降水個案模擬

曹仕傑² 曹仕依¹ 葉世堯² 徐博彥¹ 沈鴻禧²

¹空軍氣象聯隊氣象中心

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

2021 年上半年臺灣正值旱災缺水危機，原本期望 4 月份舒力基颱風 (Surigae) 能多少為臺灣地區帶來雨水，但是當它從菲律賓遠離，一路北上靠近臺灣，卻接著朝東北方離去，僅為花蓮與宜蘭地區帶來些微雨量，未對臺灣缺水狀況有直接幫助。本研究針對舒力基颱風個案做研究，發現颱風進入海水熱焓量 (Ocean Heat Content, OHC) 較低環境後，其發展受限並減弱轉向，即便颱風暴風半徑沒有直接影響臺灣，但對於颱風路徑的轉向過程與其外圍環流風場對東部地區的影響仍是值得我們探討的部分。

本次研究使用 WRF (Weather Research and Forecasting) 中尺度天氣數值模式 4.1.2 版本，以 NCEP (National Center for Environment Prediction) $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的 GFS (Global Forecast System) 分析場資料作為初始及邊界資料來源，透過兩層巢狀網格設定 (網格解析度分別為 45、15 公里) 模擬 2021 年 4 月 21 日 0600 UTC 至 2021 年 4 月 22 日 1200 UTC 舒力基颱風移動及轉向之過程，以檢測 WRF 模式對舒力基颱風之掌握情況。

降雨校驗部分乃透過偏倚得分 (Bias Score, BS) 與均方根誤差 (Root Mean Squared Error, RMSE) 校驗模擬之累積雨量，結果顯示，不同微物理參數法 (WSM5 與 WSM6) 對於颱風路徑並無顯著影響，而 WRF 模式使用 WRF Single-Moment 5-class (WSM5) 微物理參數法搭配 Kain-Fritsch 積雲參數法，可得相對較好的模擬結果，模擬路徑大致掌握了颱風移動過程及轉向之位置，在臺灣地區的降雨模擬也是此物理組合最好。

關鍵詞：WRF 模式、舒力基颱風 (SURIGAE)

1. 前言

海陸分布，每每受不同天氣系統影響而肇致災害性天氣，如豪大雨、乾旱及罕見的冰雹等等，其中對臺灣地區影響規模與範圍甚鉅的天氣系統，非颱風莫屬，容易引發區域性極端強降雨事件，例如降雨量超過 100

毫米 (1 小時累積)、200 毫米 (3 小時累積)、350 毫米 (6 小時累積)，如此短延時強降雨已超過目前都市區域及河川排水之防洪能力，經常造成集水區中下游都市區域發生嚴重淹水災情，另外根據中央氣象局統計資料顯示，近年大豪雨日數有逐年增加趨勢 (圖 1)，可說是雪上加霜的局面。根據 2015

年 Lloyd's 跨國保險公司公布統計資料，「2015 至 2025 年之城市風險指標」(Lloyd's City Risk Index 2015-2025) 顯示，全世界受颱風侵襲之災害所造成的企業損失高達 446.8 億美金，而臺灣每年平均遭受 3~4 個颱風侵襲，為容易受颱風災害威脅的國家之一。位處天然災害威脅的環境條件下，除了造成民生、經濟損失外，亦將影響航空飛行任務，因此，為瞭解面臨的災害威脅 (threat) 與風險 (risk)，提升對於颱風的預報準確率有其必要性。

影響臺灣地區的颱風有三分之二從東部而來 (Wang 1992)，故平均累積降雨最大值多數發生在東半部地區，主要原因就在於中央山脈可阻擋來自臺灣東部外海的颱風環流，而颱風環流從海面進入東半部陸地後，因迎風面受地形舉升作用，往往累積大量降雨。然而，即便過去國內外針對颱風的研究雖多 (Chang, 1982; 張, 2003; 張, 2005; 陳, 2018)，但對於結構完整，未侵襲臺灣的颱風探討相對較少。西太平洋對於颱風發展及增強扮演極為重要之角色，即便颱風未登入本島，仍受颱風外圍環流影響，肇致花東及離島地區出現風速較強情況，對於船舶及飛行任務皆有維安風險。

目前全球氣象作業中心皆仰賴數值預報模式，對於颱風的強度、路徑與降水進行預報作業，而數值模式中須以物理參數法處理大氣環境中對流、微物理過程與邊界層物理過程做處理，故使用不同的物理參數法將影響其他模式動力變數 (李與洪, 2011)。Hendricks et al. (2016) 模擬莫拉克颱風 (2009)，並進行物理參數法敏感度分析，結果顯示，不同的雲微物理參數法與積雲參數法對於颱風定量降水預報較為敏感，而雲微物理參數法相對積雲參數法對於颱風強度與路徑影響較小。

舒力基颱風為歷年 4 月份北半球之氣象紀錄以來，最強的熱帶氣旋。自熱帶氣旋生

成開始以西北轉西北西方向移動，移至東經 125 度時，卻從北北西逐漸轉至北北東方向移動，故對臺灣無影響。原期待為臺灣帶來豐沛雨水，以解除 2021 年上半年西部地區之旱災，結果颱風在接近臺灣的期間，僅造成在臺灣東北部一帶降雨，甚至背風面西半部地區受沉降氣流，皆無降雨。

本研究利用 WRF 模式，透過不同參數法組合，模擬 2021 年 4 月在太平洋颱風季第 2 個被命名生成的舒力基颱風 (SURIGAE)，以了解 WRF 模式對於此個案的掌握性及 ASCAT (Advanced Scatterometer) 衛星風場數據的參考性。雖颱風未登入臺灣地區，但其接近臺灣與轉向過程的路徑，以及對臺灣東半部的降雨皆值得透過數值模擬深入研析探討。

2. 資料來源及實驗設計

2.1 資料來源

本研究使用 WRF 模式 V4.1.2 版進行個案模擬，而觀測資料來源如下：

(1) 診斷分析

本研究個案分析所使用資料，包含：中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 之地面天氣圖、高空天氣圖 (850 hPa、700 hPa、500 hPa 與 300 hPa)、全臺累積雨量圖、雷達回波圖、探空資料、自動測站與局屬測站資料；日本氣象衛星紅外線雲圖、色調強化圖；ASCAT 風場圖；CIRA (Connecting Models and Observations) 海水熱焓量分布圖。

(2) 數值模擬

數值模擬部分，使用資料為美國環境預報中心 (National Center for Environmental Prediction, NCEP) 之 FNL (Final) 資料，其解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，時間解析度為 6 小時；使用模式為中尺度數值天氣預報系統 WRF V4.1.2 版本。

2.2 實驗設計及研究方法

(1) 模式設定

本研究針對 2021 年舒力基颱風進行模擬，以美國環境預報中心之 FNL 資料作為 WRF 模式之初始及邊界資料。採用兩層槽狀網格進行模擬（圖 2.1），網格水平解析度第一層 domain_1 為 45 公里，範圍包含颱風生成的西北太平洋區域，網格數為 87 × 95；第二層 domain_2 為 15 公里，涵蓋了颱風強盛時期走過的路徑區域，網格數為 190 × 175，地圖投影選用藍伯特投影法（Lambert Projection），投影中心為 20.3°N，122.9°E，垂直空間解析度為 41 層，模擬最高高度為 50 hPa，以 270 s 為積分步長。

本研究主要針對雲微物理參數法與積雲參數法進行不同參數法之組合模擬（表 2.1），雲微物理參數法選用部分，使用 WSM5 與 WSM6 等兩種方案；積雲參數法使用 Kain-Fritsch scheme（簡稱 KF）與 Betts-Miller-Janjic scheme（簡稱 BMJ）等兩種方案；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。

(2) 雨量校驗

本研究針對 2021 年 4 月 20 日 1600 UTC 至 4 月 22 日 1200 UTC 臺灣地區 20 小時累積降雨量進行校驗，校驗測站為中央氣象局局屬與自動雨量測站，經篩選後，共計 188 個點位（圖 2.2）。本研究主要針對 20 小時累積降雨做技術得分及統計分析，設定門檻值為 5、10、15、20、25、30、35 及 40 mm 等七組。校驗方法如下：

A. 偏倚得分（Bias Score, BS）

$$B = F/O \quad (1)$$

F 為預測有降雨的次數，代表預報雨量大於門檻值的網格數，O 為觀測有降雨的次數，代表觀測雨量大於門檻值的網格數。

BS 若大於 1 表示過度預報，小於 1 表示預報不足。僅用以描述預報與觀測之間的相對關係，並不能用以描述預報結果有多接近觀測。

B. 均方根差（Root Mean Square Error, RMSE）

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \quad (2)$$

S_i 為觀測的降雨值， O_i 為預報的降雨值，N 為全部網格點數目。透過 RMSE 可以了解模式預報估算的可靠程度，若 RMSE 越大，則表示模式預報估算的可靠度低，而 RMSE 越小，表示模式預報估算可靠度高。

3. 個案天氣分析

3.1 資料統計分析

原位於菲律賓東南方海面的熱帶性低氣壓於 2021 年 4 月 14 日 1800 UTC（15 日 0200 LST）發展為輕度颱風，其為編號第 2 號的舒力基（國際命名：SURIGAE）颱風。颱風緩慢由西北西轉北北西方向移動，強度逐漸增強，15 日 1800 UTC 轉中度颱風；17 日 0600 UTC 升級為強烈颱風，由其位於海域可見，其海水熱焓量高（圖 3.1），其有利提供颱風發展所需能量；22 日 1200 UTC 降為中度颱風；23 日 0600 UTC 降為輕度颱風。天氣圖（圖 3.2）顯示，颱風受太平洋高壓南側偏東南東風導引，向西北西朝菲律賓接近，22 日受到西風的導引，向東北大迴轉（圖 3.3）。颱風於 22 日 0200 UTC 最接近東南部外海，此時颱風環流僅為東北部地區帶來明顯降水，卻無法解決 2021 年上半年臺灣西半部旱災情況。22 日在接近臺灣的過程中，颱風結構相當完整，但因為主環流及對流發展位於颱風的西南象限，而臺灣地區位於颱風的可航半圓，風力與降雨相對較弱，因此對於臺灣的影響有限。不過，

在舒力基颱風最靠近臺灣時，迎風面東半部花蓮與宜蘭一帶受到颱風環流及地形提供氣流舉升條件的影響，有降雨情況（圖 3.4）。

衛星雲圖（圖 3.5a）顯示，4 月 22 日 0200 UTC 隨舒力基颱風接近臺灣地區，其外圍雲系逐漸影響臺灣東半部地區，0600 UTC 颱風外圍雲系覆蓋臺灣東半部地區，搭配雷達回波圖（圖 3.6c）顯示，臺灣東半部地區有明顯 25 dBZ 之降雨回波，直至 1200 UTC（圖 3.6d）颱風遠離，臺灣地區已無明顯降雨情況。另由蘭嶼燈塔觀測資料（圖 3.7）搭配 ASCAT 衛星的風場（圖 3.8）可見，在颱風接近前（21 日），風速較強的部分在蘭嶼燈塔顯示為 25-28 kt，而 ASCAT 顯示的風場也都在 25-30 kt 之間，有相符情況。22 日隨颱風接近，蘭嶼燈塔氣壓最低為 982.9 hPa，而降雨較不明顯。由此可見，21-22 日臺灣地區受颱風接近影響，整個東半部及離島地區風速有明顯增強情況，而颱風造成臺灣東半部地區主要降雨時段則在 21 日 0200UTC 至 22 日 1200 UTC（圖 3.6）。

4. 模擬結果分析與降雨校驗

圖 4.1 為 WRF 使用 WSM5 與 WSM6 雲微物理方案搭配兩種積雲參數法（Kain-Fritsch、Betts-Miller-Janjic）進行舒力基颱風路徑與降雨回波模擬，模擬結果（圖 4.1）顯示，颱風初期在海上的發展，在路徑部分選擇不同雲微物理參數法對於颱風路徑並無顯著影響，較不敏感（陳，2018），不過在轉向過程為 A、B 方案與實際（圖 3.3）較為相符，而 C、D 方案的轉向過程，偏轉程度較小，相對與實際有差異；臺灣地區日累積降雨部分（圖 4.2）顯示，山區模擬的雨量相較於平地更為顯著，而最大累積降雨部分（圖 4.2）顯示，A 方案為 99 mm、B 方案為 117 mm、C 方案為 116 mm、D 方案

為 136 mm，其中 A 方案模擬臺灣地區降雨分布和降雨量與實際較為符合。颱風降雨結構可見，C、D 方案的颱風中心外圍有較強降雨，可見 BMJ 較 K-F 參數法可模擬更多降雨，不過 BMJ 對於當日花蓮宜蘭一帶降雨有低估情況；另外，雲微物理參數法部分可見，WSM5 與 WSM6 模擬降雨分布大致相同，但 WSM6 比 WSM5 可模擬更多降雨。最後針對雨量校驗顯示，在偏倚得分（Bias Score, BS）部分（圖 4.3），B 與 D 方案表現較好，由 B 與 D 方案可見，10 mm 以下幾乎接近 1，15~35 mm 為 0.6~0.7，40 mm 為 D 方案表現較好，而 B 有高估情況；均方根差（Root Mean Square Error, RMSE）部分，以 B 方案平均偏差 25.5 mm 表現較佳。

以上針對 WSM5、WSM6 兩種不同矩陣之雲微物理參數法及 Kain-Fritsch、Betts-Miller-Janjic 兩種不同積雲參數法，進行颱風路徑、累積降雨校驗，顯示 WSM5 搭配 Kain-Fritsch 在路徑與降雨量模擬之情況較佳。

5. 結論

本研究選取 2021 年上半年未侵襲臺灣地區之舒力基颱風作為個案分析與模擬。此颱風於呂宋島東方洋面生成，初期穩定的朝西北轉北北西方向移動並於 17 日增強為強烈颱風，但在接近與通過呂宋島東方洋面過程，颱風進入海水熱焓量較低環境，其移動速度減慢且強度減弱，20 日由強烈颱風降格為中度颱風，後 22 日受西風的導引，向東北方大迴轉，即便該日離臺灣最近，但因距離較遠，仍無法為臺灣上半年的枯水期帶來降水，影響甚小，僅為東半部迎風面帶來些微降雨。

本研究透過 WRF 模式進行該個案模擬，由 A、B、C、D 方案模擬結果可見，B

方案的 WSM5 搭配 Kain-Fritsch 在模擬舒力基颱風轉向路徑的過程與造成臺灣地區的降雨量方面都有相對較好的結果表現。由此可見，若能快速掌握其區域的天氣條件，即可更有效預測臺灣地區降雨之情況。囿於海上地區觀測資料較少，海面上的觀測更顯得重要，若能預先評估其颱風經過區域之環境條件，或許能對於未來的氣象預報能夠有更顯著的提升，故未來期望除了模擬更多颱風個案外，也期望透過衛星遙測資料的加入，補足海上資料的缺乏，以及雷達資料對於颱風垂直結構的分析，提升對於颱風預報的準確率。

6. 參考文獻

- 李志昕與洪景山，2011：區域系集預報系統研究：物理參數法擾動，大氣科學，第 39 期，第 2 號，第 95-115 頁。
- 張祐慎，2003：納莉颱風侵台期間台灣東北部區域現象之分析，碩士論文，國立臺灣大學大氣科學碩士班，台北，125 頁。
- 張瑞昌，2005：泰利颱風（2005）侵台期間結構特性之數值模擬研究，碩士論文，國防大學理工學院大氣科學碩士班，桃園，77 頁。
- 陳政凱，2018：第 4 類侵臺路徑颱風降雨統計分析及尼伯特颱風（2016）個案模擬。國防大學理工學院環境資訊及工程學系大氣科學碩士班，碩士論文，96 頁。
- 行政院，《民國 109 年災害防救白皮書附錄》（臺北：行政院），頁 33，2021 年 3 月。
- 陳正改，2010：「天然災害災防問答集」，交通部中央氣象局，112 頁。
- Chang, S.W., 1982: The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1255- 1270.
- Hendricks, E. A., Y. Jin, J. R. Moskaitis, J. D. Doyle, M. S. Peng, C.-C. Wu, and H.-C. Kuo, 2016: Numerical simulations of

Typhoon Morakot (2009) using a multi-ply nested tropical cyclone prediction model. *Wea. Forecasting*, 31, 627-645.

Wang, S.-T., 1992: An integrated study of the impact of the orography in Taiwan on the movement, intensity, structure, wind and rainfall of invading typhoons. Research report No. 80-73, NSC 80-0414-P052-02B, 285pp.

7.圖表彙整

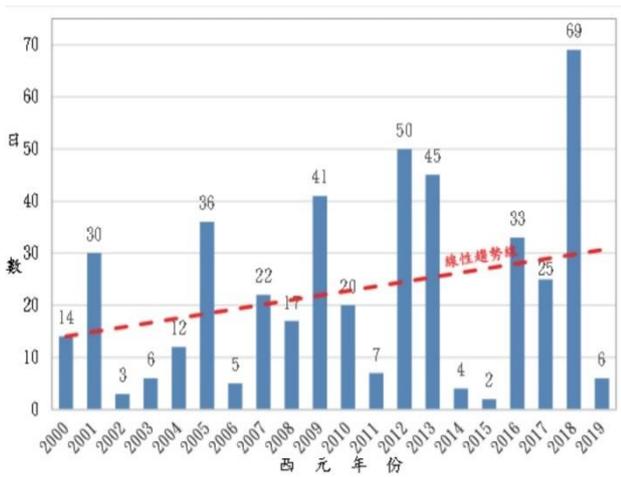


圖1 歷年臺灣平地測站年大豪雨日趨勢圖 (摘自中央氣象局)。

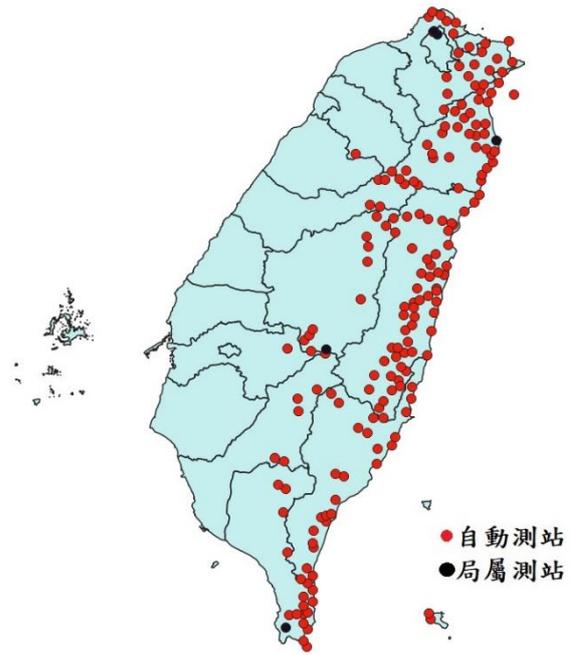


圖2.2 中央氣象局自動與局屬測站分布圖。

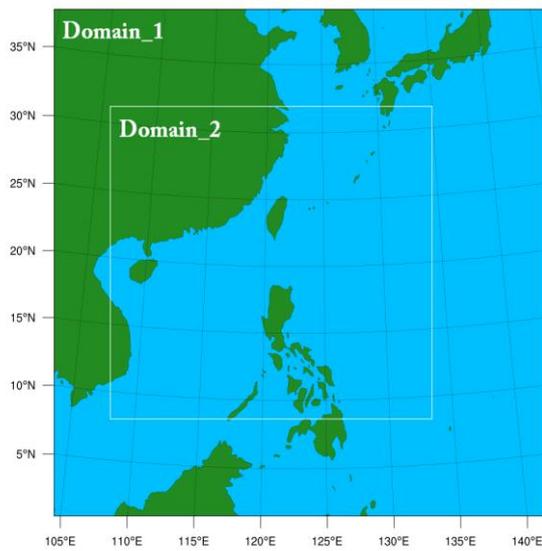


圖2.1 WRF模式中使用的槽狀網格範圍，其中Domain_1為第一層網格；Domain_2為第二層網格。

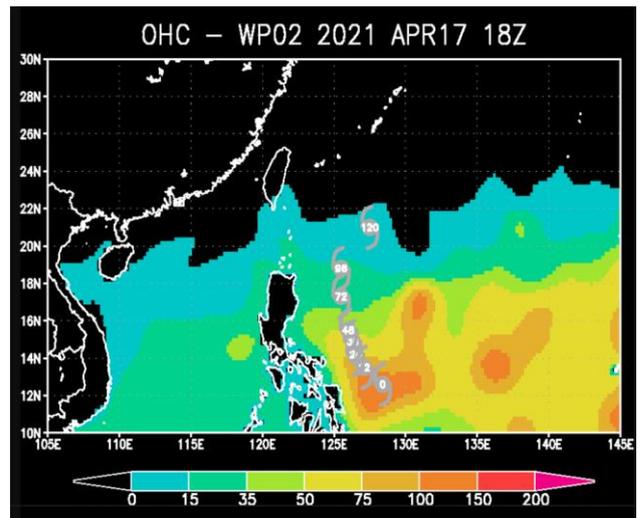
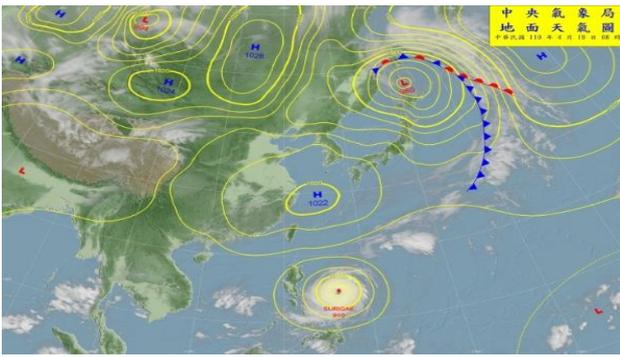
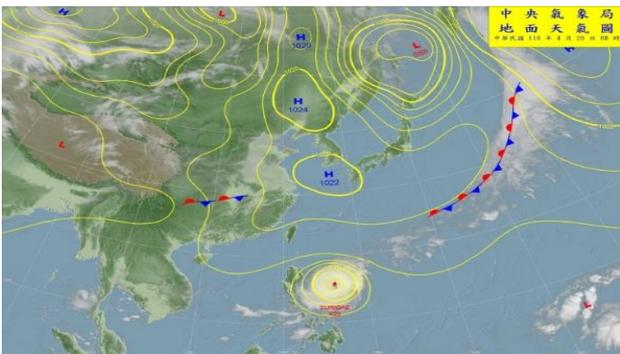


圖3.1 2021年4月17日18 UTC海水熱焓量分布圖 (摘自CIRA網頁)。

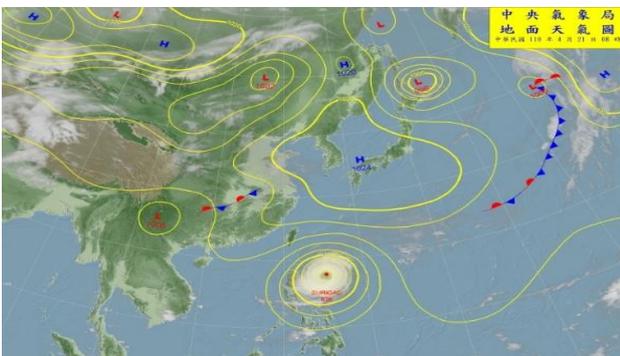
(a)



(b)



(c)



(d)

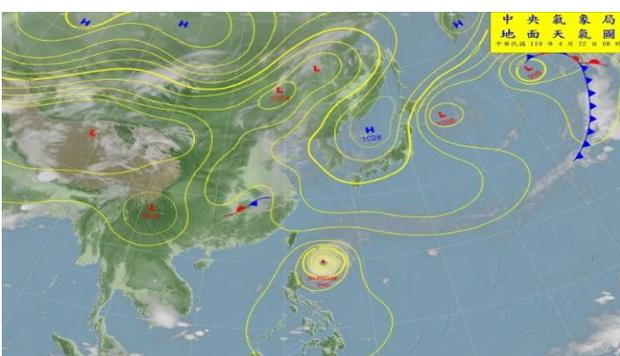


圖3.2 地面天氣圖。(a) 2021年4月19日；(b) 4月20日；(c) 4月21日；(d) 4月22日 (摘自中央氣象局)。



圖3.3 2021年4月舒力基颱風路徑圖 (摘自國家災害防救科技中心)。



圖3.4 2021年4月21日1800 UTC (22日0000LST) 至22日1200 UTC (22日2000LST) 累積雨量圖 (摘自中央氣象局)。

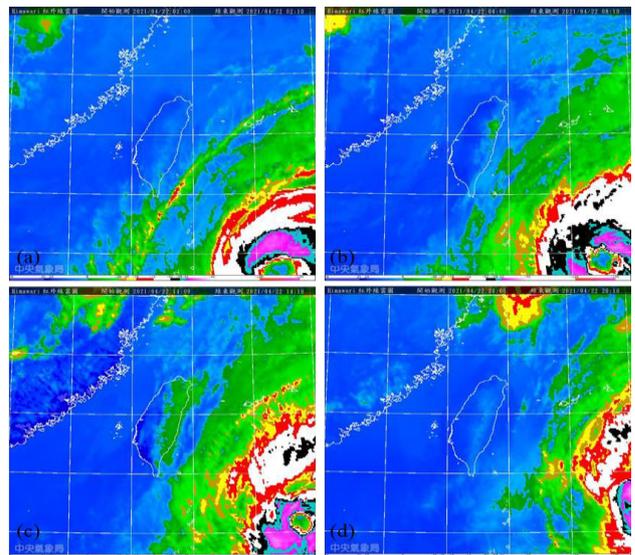


圖3.5 色調強化衛星雲圖。(a) 2021年4月21日1800 UTC；(b) 4月22日0000 UTC；(c) 4月21日0600 UTC；(d) 4月22日1200 UTC (摘自中央氣象局)。

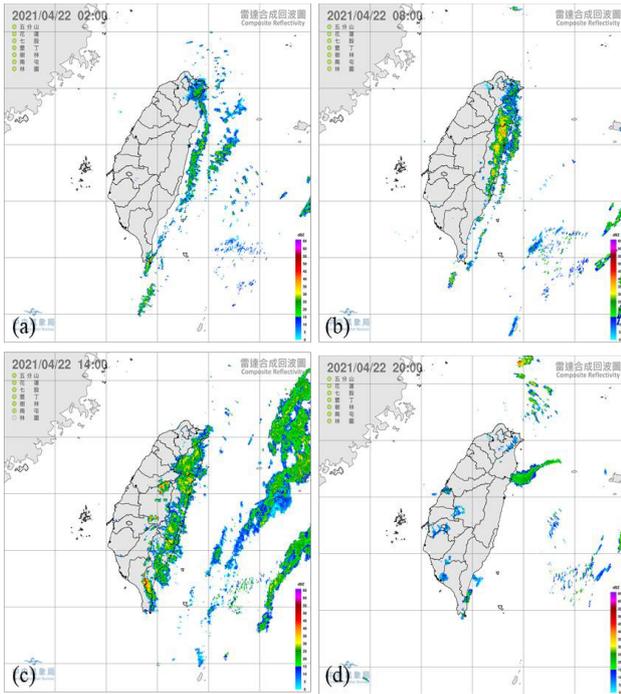


圖3.6 雷達合成回波圖。(a) 2021年4月21日 1800 UTC；(b) 4月22日 0000 UTC；(c) 4月21日 0600 UTC；(d) 4月22日 1200 UTC（摘自中央氣象局）。

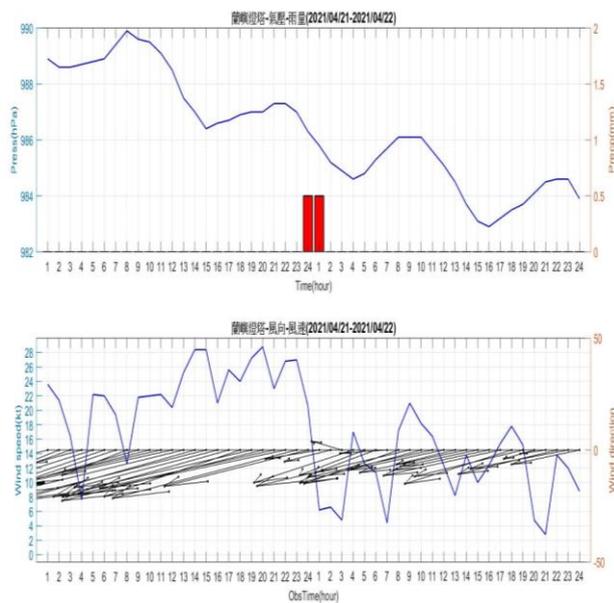


圖3.7 2021年4月21至22日蘭嶼燈塔測站觀測資料，上圖為氣壓與降雨量；下圖為風向風速。

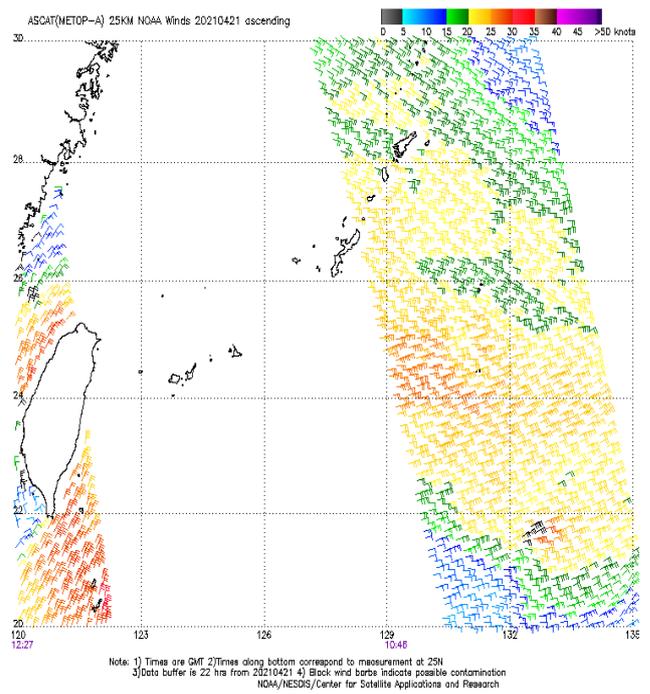


圖3.8 2021年4月21日 1200 UTC ASCAT風向風速圖。

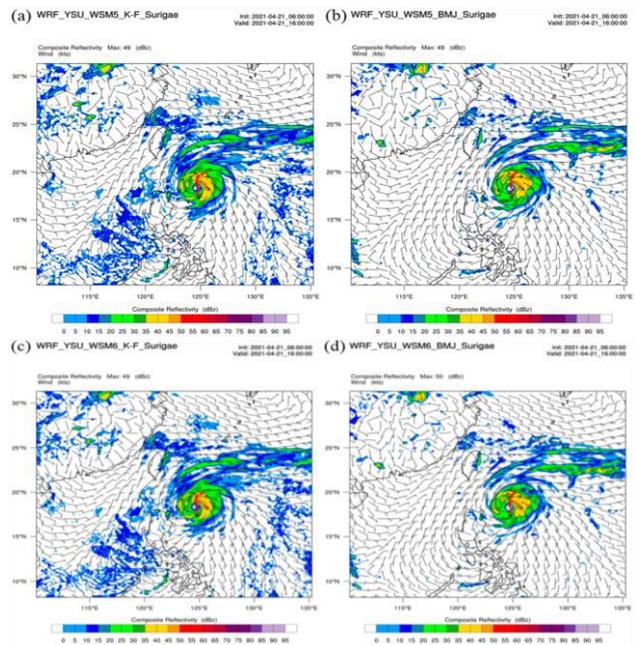


圖4.1 2021年4月21日 1600 UTC (22日 00 00 LST) 颱風路徑與降雨回波圖，圖中色階為降雨回波強度 (dBZ)；紅色標記為颱風路徑。(a) A方案 (WSM5 搭配K-F)；(b) B方案 (WSM5 搭配BMJ)；(c) C方案 (WSM6 搭配K-F)；(d) D方案 (WSM6 搭配BMJ)。

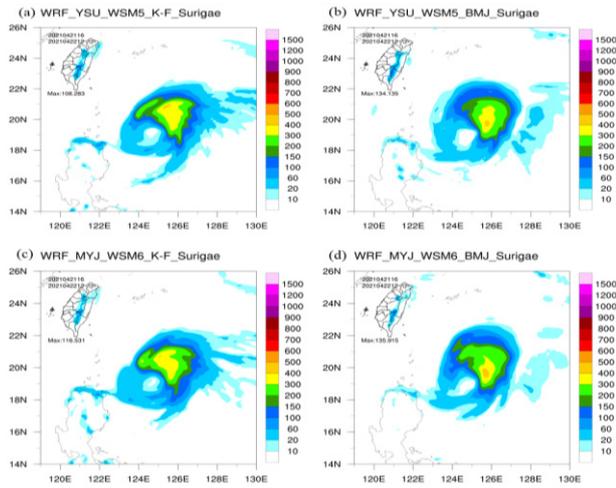


圖4.2 2021年4月22日累積雨量圖，圖中色階為累積雨量（mm）。（a）A方案（WSM5 搭配K-F）；（b）B方案（WSM5 搭配B MJ）；（c）C方案（WSM6 搭配K-F）；（d）D方案（WSM6 搭配BMJ）。

BS	第A組	第B組	第C組	第D組
5 mm	0.7	1.0	0.8	1.0
10 mm	0.7	0.9	0.7	1.0
15 mm	0.6	0.6	0.4	0.6
20 mm	0.5	0.7	0.6	0.7
25 mm	0.6	0.7	0.6	0.6
30 mm	0.5	0.6	0.5	0.7
35 mm	0.7	0.7	0.7	0.6
40 mm	1.2	1.2	1.2	0.9
RMSE	31.1	25.5	33.2	27.3

圖4.3 A、B、C、D參數組合方案之BS與RMSE得分。

表1.1 WRF模式4組物理參數法設定組合。

	雲微物理參數	積雲參數
A 方案	WSM5	Kain-Fritsch
B 方案	WSM5	Betts-Miller-Janjic
C 方案	WSM6	Kain-Fritsch
D 方案	WSM6	Betts-Miller-Janjic

The simulation of the precipitation and tracks of typhoon Surigae (2021)

Shih-Jie Tsao² Shih-yi Tsao¹ Shih-Yao Yeh² Po-Yen Hsu¹, Horng-Syi Shen²

¹ Weather Center, Air Force Weather Wing

²Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taiwan

Abstract

Taiwan is encountered with water shortage crisis in 2021. We expected that Typhoon Surigae would bring some rainfall for Taiwan, but when typhoon was away from Phillipines, it just brought some rains for Hualien and Yilan, it didn't have direct help to Taiwan. In this research, Surigae is taken as the case study and we find that when typhoon encounter the environment of the smaller OHC (Ocean Heat Content), it would be constrained and weakened. Even though the radius of typhoon didn't strike Taiwan directly, the recurving track of typhoon and peripheral circulation's influence to the east area is still worthy of being discussed.

In this research, we use the double nested two-way interactive Advanced Research WRF (ARW) model version 4.1.2 with 45 km and 15 km horizontal resolutions. The WRF model initial and lateral boundary condition has been obtained from National Center for Environment Prediction (NCEP), global final analyses of Global Forecasting System (GFS/FNL) which have $1^\circ \times 1^\circ$ spatial resolution and we use it to simulate Surigae typhoon's movement and recurving process from April 21, 2021 0600 UTC to April 22, 2021 1200 UTC to explore WRF model's accuracy to Surigae. BS (Bias Score) and RMSE (Root Mean Square Error) is used to evaluate the model performance, which means verifying simulated accumulated rainfall.

The results show that different microphysical parameter method (WSM5 and WSM6) doesn't have significant impact to typhoon path. Adopting WRF Single-Movement 5-class (WSM5) microphysical parameter method which collocates with Kain-Fritsch Cumulus Parameter can get better result, the best scheme we used in Taiwan's rainfall simulation, and the simulated result gets the course of typhoon movement and recurvature.

Keywords : WRF Model, Surigae typhoon