

雲凝結核濃度敏感度對凡那比颱風(2010)數值模擬影響之研究

吳佩怡、汪建良、侯昭平

國防大學環境資訊及工程學系

摘要

本研究使用 WRF (Weather Research and Forecasting) 模式，透過設定 WDM6 (WRF Double-Moment 6-Class) 雲微物理參數法的雲凝結核 (Cloud Condensation Nuclei, CCN) 濃度，分別以原始及設定為 0 之臺灣地形高度，進行不同的濃度實驗：CTRL、CCN_05、CCN_10、CCN_50，其中 CTRL 為控制組，後三者分別代表 CCN 濃度增為 5 倍、10 倍、和 50 倍之實驗組；top0、top0_05、top0_10、top0_50 等四組實驗則為臺灣地形高度為 0 之設定，分別對應前 4 組實驗。模擬個案為凡那比颱風(2010)，重點在於分析颱風中心登陸臺灣前之路徑、強度及對流結構所受之影響。

結果顯示 2 種地形高度設定，會影響路徑模擬；相對而言，在相同地形高度設定之中，CCN 濃度對路徑模擬之影響不大。在強度變化上，原始地形高度之控制組與各實驗組無明顯差異；高度設定為 0 之實驗組間，整體強度變化趨勢差異較為明顯，top0 和 top0_05 於颱風中心登陸前，強度出現 2 次「減弱再加深」之特徵，而 top0_10、top0_50 則持續增強，4 組實驗均於颱風中心登陸前 2~3 小時達到最強。從 top0 和 top0_05 之最大雷達回波圖，可看出類似眼牆替代的現象，而使其出現未接觸陸地即減弱再增強之現象。在地形高度設定為 0 之模擬颱風達到最強之前，雨水混合比與颱風強度呈現明顯的負相關，可推論改變 CCN 濃度會使颱風對流結構產生差異，進而影響強度變化。

關鍵字：颱風數值模擬、雲凝結核濃度、凡那比颱風(2010)、微物理參數法、地形高度。

1. 前言

臺灣位於太平洋之西岸，因為是在颱風移動的主要路徑之上，屢受颱風的侵襲而發生災害。這些颱風雖為臺灣地區，尤其是南部地區，夏季主要的水源，但也因風力強勁，雨勢大且急驟，因而常造成許多生命之傷亡和財物設備的損失。

本研究所探討之凡那比(2010)颱風是一個在過山離陸後，雨帶和強度上有再增強的颱風，其颱風侵臺期間的路徑、強度及降雨變化皆值得深入研析探討。過往研究大部分針對不同雲微物理參數法進行敏感度測試去探討不同參數法對颱風路徑、

強度及降水的影響，較少針對雲凝結核濃度變化對颱風的路徑、強度及降水作深入探討。因而深入研究分析空氣中凝結核粒子濃度不同所導致降水的過程，以利提升預報準確率。

2. 文獻回顧

Khain et al. (2010) 探討氣膠如何影響颱風內部雲微物理結構及動力過程，發現增加氣溶膠的濃度，會使氣旋外圍對流增強。Krall and Cotton (2010) 用 RAMS 模式模擬 Typhoon Nuri (2008)，發現 CCN 濃度提高與造成過冷水增加及對流通量的增強有

強相關性，颱風外圍雨帶的對流增強會產生較強的下沉氣流及冷池，阻礙暖濕空氣進入眼牆區域，減弱颱風強度。陳(2010)研究梅雨鋒面對降雨之影響，結果顯示CCN濃度增加會導致大量小雲滴生成，由於相互競爭環境中水氣，使形成雲滴半徑較小，雲滴間碰撞生成效率降低，雲滴自動轉化成雨滴的速率變慢，使雨水生成延遲及發展受抑制。黃(2012)使用WDM6和CLR參數法及不同濃度CCN模擬納莉颱風(2001)，研究顯示雲微物理過程對颱風路徑、結構及降水有顯著影響，由於氣膠濃度變化能有效改變雲微物理過程進而可能反饋影響颱風對流之發展，因此了解氣膠於颱風發展階段的角色有一定程度的重要性。楊(2015)採用中尺度模式WRF中“Aerosol-aware”Thompson雲微物理方案，分別進行了乾淨、污染、重度污染大氣情景下的3個試驗，研究了背景場凝結核濃度對理想熱帶氣旋(Tropical Cyclone, TC)強度的影響。結果表明，凝結核增加導致TC強度減弱，而最大風速半徑和週邊風圈半徑變化不明顯。趙(2016)熱帶氣旋發展階段，氣溶膠增加使雲內的雲滴數濃度增加，雲滴較小，抑制暖雨過程，未降落的小雲滴粒子上升到凍結層之上，凍結形成了更多的冰相粒子，凍結過程釋放潛熱，激發雲系對流發展，使熱帶氣旋強度增強，正負電荷活動更為劇烈。

吳(2019)透過設定WRF (Weather Research and Forecasting, WRF)模式中WDM6 (WRF Double-Moment 6-Class, WDM6)參數法裡的雲凝結核 (Cloud Condensation Nuclei, CCN) 濃度選項，透過不同的濃度實驗，分別為CCN濃度增加5倍、10倍、50

倍和100倍，比較尼伯特颱風(2016)位於太平洋面上之路徑、強度及對流結構變化情形。各實驗組間路徑差異不大，但中心最低氣壓及最大回波值在實驗組wdm6_5、wdm6_10和wdm6_50皆較wdm6_ctr為強，其中wdm6_50增強所需時間較長。在五種水象粒子混合比的比較上，雲水混合比隨著CCN濃度增加而增多，但雨水、雲冰、雪花及軟雹混合比在增加的表現上，wdm6_5及wdm6_10比wdm6_50快速增加。潛熱釋放加熱率與運動場隨時間的增強中亦有類似現象。適當增加CCN的濃度(wdm6_5及wdm6_10)會使颱風在強度上有所增強，wdm6_50則是需要一段時間發展才會使其強度有所增強。但過度增加CCN的濃度(wdm6_100)則使颱風受到抑制，可能需要更多時間才能使其發展。本文使用Lim and Hong (2010)所提出的WDM6參數法來模擬，和WSM6的差別在於除了可以預測水蒸氣、雲滴、雲冰、雪、雨、軟雹這六種粒子外多增加了雲水濃度、雨水濃度及雲凝結核濃度的預測，以一個理想氣旋的2D平面圖來看差異在於對流中心和外圍層狀區域的粒子濃度會有很大的不同，可以更合理的來描述雲、雨及CCN濃度的分布情形，並提出針對模式設定不同的CCN濃度會對降水產生的影響。

Charney and Eliassen (1964)所提之CISK (Conditional Instability of Second Kind)理論，常用來說明颱風發展理論，假設一個已經存在的擾動環流，在低層形成積雲對流，水氣隨著對流上升凝結並釋放潛熱使擾動近中心處增溫，形成暖心結構，空氣增溫變輕後上升使得中心氣壓下降，這種不平衡導致由外往內的氣壓梯度

增大，造成底層水氣向中心輻合，水氣輻合的增加又會使上升運動增大，如此不斷地循環使得近中心氣壓不斷下降，風速也不斷增強，進而維持颱風的發展。Sitkowski et al. (2011) 分析飛機收集之1977年至2007年大西洋地區的79個颶風資料，探討颶風其強度與眼牆替換週期 (Eyewall Replacement Cycles, ERCs) 之相關結構變化。

3. 資料來源與分析方法

3.1 資料來源

本研究所使用的觀測資料來源如下：

- (1)由大氣水文資料庫取得中央氣象局接收之衛星雲圖、臺灣地區整合雷達回波圖、累積雨量圖及地面天氣圖等資料。
- (2)由中央氣象局颶風資料庫取得凡那比(2010)颶風警報單資料。

本研究初始場使用國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)裡面研究數據檔案(Research Data Archive, RDA)資料庫所提供的美國國家環境與預報中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)之全球預報系統(Global Forecast System, GFS)的最後分析資料(Final, FNL)，時間為2010年9月18日0000 UTC至9月20日0000 UTC，每6個小時一筆資料，資料網格解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，總共資料筆數為9筆。

本研究模擬時間為2010年9月18日0000 UTC至9月20日0000 UTC，模擬時間共計48小時，使用兩層巢狀網格(圖1)，其網格解析度分別為外層(D01)15公里、內層(D02)為3公里，中心點為北緯 23°N ，東經 126°E ，積分步長為60 s，垂直方向座標

共51層，雲微物理參數法為WDM6 Scheme，長波輻射為RRTMG Scheme、短波輻射為Dudhia Scheme、積雲參數法為Kain-Fritsch Scheme，及邊界層參數法為YSU Scheme。

3.2 實驗設計與模式設定

綜合上述觀測及模擬結果，CCN濃度大致分為兩種，分別為海洋型濃度(100 cm^{-3})及大陸型濃度(1000 cm^{-3})，吳(2019)之研究設計五組實驗，分別為使用預設濃度的控制組、5倍、10倍、50倍及100倍濃度。本研究參考吳(2019)之設定，惟最高濃度僅設定為50倍，主要為Lin and Hong (2010)研究中提到增加CCN濃度超過 3000 cm^{-3} ，降水會有急速減少的現象產生。而吳(2019)100倍濃度之設定，因不會發生於真實大氣，故不採用。因此本研究設定四組實驗，分別為使用預設濃度之控制組，以及增加5倍濃度、增加10倍濃度與增加50倍濃度之對照組，後續名稱分別以CTRL、CCN_05、CCN_10及CCN_50稱之(表1)

表1 雲凝結濃度相關設定。

3.3 研究方法

在2種地形高度設定下，探討颶風於侵臺前對於不同雲凝結核的濃度所產生的變化情形，從這段時間每1小時及每10分鐘之路徑、強度、降水及各水象粒子間變化情形。

強度則分析D02之最大回波值、累積雨量及最低海平面氣壓。運動場結構則為透過上升運動、徑向風場、切向風場及徑向水氣通量場、潛熱釋放加熱率來進行進一步分析，以瞭解在不同的運動場結構其颶風的內部變化情形。潛熱釋放加熱率之分

析參考吳(2019)研究方法，僅考慮雲水與雲冰混合比變化時，產生之兩種潛熱釋放（氣態轉變成液態之凝結潛熱及液態轉變成固態之凝固潛熱）之總和，來探討其隨時間的變化情形。水象粒子間變化則選取颱風中心向外延伸100公里為半徑範圍進行分析，包含雲水、雨水、雲冰、雪花及軟雹。

考慮到環狀平均所展示的水象粒子空間分布可能會模糊雨帶的特徵結構，因此採南半側方位角每10度取1個剖面，再將19個剖面做平均，所得之垂直剖面來檢視雨帶對流的結構。為利於分析颱風眼牆至外圍層狀區結構變化，再將距中心60至120公里範圍定義為眼牆區，120至200公里定義為層狀區。

4. 個案探討與模擬結果分析

4.1 颱風概述

根據中央氣象局颱風資料庫警報資料[33]及國家災害應變中心災害報告得知，凡那比(2010)颱風是2010年唯一登陸臺灣的颱風，侵臺期間造成台灣南部及西南部嚴重災情，農業損失更高達45億元，其生命期除伴隨的強風豪雨，亦有如：侵台期間降水集中於臺灣西南部；出海後，眼牆結構重整及其對流不對稱性等現象可深入探討。凡那比(2010)颱風在2010年9月15日1200 UTC左右在菲律賓東北方海面生成為輕度颱風，生成後向東北緩慢移動，增強為中度颱風後緩慢向北轉北北西移動，之後轉為偏西移動，暴風圈接觸台灣陸地後逐漸轉向西南西至西南方向移動，2010年9月19日0040 UTC在花蓮縣豐濱鄉附近登陸，2010年9月19日1000 UTC左右由臺南附

近進入臺灣海峽，2010年9月19日2300 UTC左右由福建進入中國大陸。

4.2 路徑與強度分析

結果顯示2種地形高度設定，不同CCN濃度之實驗組間路徑差異不大（圖2），可推論主要影響颱風路徑的因素為環境駛流場與地形。在強度變化上，原始地形高度之控制組與各實驗組無明顯差異〔圖3(a)〕；高度設定為0之實驗組間〔圖3(b)〕，整體強度變化趨勢差異較為明顯，top0及top0_05於分別於颱風中心登陸前6.5小時和9小時，強度出現「先加深，再減弱，又再加深」之情形，而top0_10、top0_50則持續增強，於颱風中心登陸前2~3小時達到最強。

進一步分析每10分鐘之中心氣壓值，從每10分鐘之中心氣壓值（圖4）及其每5點的滑動平均（圖5），顯示地形高度設定為0之實驗組間，整體強度變化趨勢差異較為明顯，因此本篇探討重點：18日1200~19日0500 UTC之間，為何top0及top0_05之中心氣壓值較其他2種濃度實驗組（均在中心接觸陸地前2小時加深），top0及top0_05分別提早至颱風中心登陸前6.5小時和9小時有第一次氣壓「先加深後減弱，再加深」的情況，並且top0及top0_05分別在該種強度變化後的2小時和4小時，出現與前述相同之強度變化；而top0_10、top0_50則持續增強，於颱風中心登陸前2小時達到最強。推論適量增加CCN濃度(增至5倍)，會使颱風強度在中心登陸前，出現2次強度「先加深後減弱，再加深」的情況，其中當CCN濃度增至5倍時，會使上述2次強度變化情況之時間間距增加及較早出現第1次強度

「先加深後減弱，再加深」的情況。本文將於次章節探討其對流結構變化與強度之關係。

4.3 對流結構分析

2種地形設定之實驗組皆能掌握颱風不對稱之結構特性，CCN濃度不影響颱風形成不對稱之結構。在水平雷達回波圖中45dBZ以上回波面積，如圖6及圖7所示，地形高度設定為0之實驗組較原始地形高度之實驗組小。

分析每10分鐘之中心氣壓值（圖4），高度設定為0之實驗組間，top0_10及50之整體強度變化趨勢皆持續增強，於颱風中心登陸前2~3小時達到最強。惟top0及top0_05之變化趨勢較前述2種CCN濃度實驗組有特殊差異，即分別於中心登陸前6.5小時及9小時有氣壓「加深，隨後減弱，再加深」的情況，故於本小節就top0及top0_05之對流結構詳加探討。

圖7顯示各實驗組所模擬之颱風，主要強度達45dBz以上回波值都分布於颱風南半圓象限，為分析颱風垂直結構發展，以下採颱風南面方位角平均圖之分析。從top0和top0_05之最大雷達回波圖（圖8及圖9），可看出類似眼牆替代的現象，而使其出現未接觸陸地即減弱再增強之現象。

水的相位變化產生時會有潛熱釋放，進而對颱風結構產生影響。因此探討在top0和top0_05強度產生2次「先加深後減弱，再加深」的情況時，在每10分鐘間的潛熱釋放率對颱風造成的影響，其中探討的潛熱釋放率則依第三章分析方法所提之計算方式，主要探討水從氣態轉變成為液態所釋放的凝結潛熱及液態轉變為固態所釋放的

凝固潛熱兩者之總和。圖10和圖11顯示top0及top0_05當颱風強度加深時，於眼牆區，高度6公里以下處有較明顯的潛熱釋放。相較於top0，top0_05在颱風強度加深時〔圖11(b)〕，有較強的潛熱釋放，且較靠近颱風中心，使得颱風整體的加熱效率也較佳，加深後強度較top0強。圖10(c)、(d)、(f)顯示當颱風強度加深至最強前，會有較多的潛熱釋放。圖11(b)、(d)、(g)亦有相同情形。

4.3 水象粒子與颱風強度相關性

在地形高度設定為0之模擬颱風達到最強之前，雨水（表1）、雪花及軟雹等3種水象粒子混合比與颱風強度呈現明顯的負相關，可推論改變CCN濃度會使颱風對流結構產生差異。

5. 結論

2種地形高度之各實驗組間路徑差異不大。與吳(2019)結論相同。原始地形高度之實驗組，在遇地形處，產生向南再向北北西之偏折，地形高度設定為0的實驗組則無此特徵。CCN濃度的改變不會對路徑有顯著影響，主要影響颱風路徑的因素為環境駛流場與地形。在強度方面，原始地形高度之實驗組各組間相互差異不大；地形高度設定為0之實驗組間強度變化趨勢差異不大，皆分為2階段加深，後於颱風中心登陸前2~3小時，強度減弱；惟top0及top0_05分別於颱風中心登陸前6.5小時及9小時，強度出現2次「減弱再加深」之情形。

進一步分析颱風對流結構，探討地形高度設定為0之實驗組中，為何於中心登陸前，僅top0、top0_05強度出現2次「減弱再加深」之情形。由垂直剖面之南半側半圓

方位角平均圖分析回波、垂直速度、徑向速度及其水氣通量、切向速度、潛熱釋放率。結果顯示top0及top0_05皆因對流強度變化而影響颱風強度，使top0_05比top0較早出現該情形，致top0_05較top0提前2.5小時，強度出現2次「減弱再加深」之情形。

最低海平面氣壓與雨水、雪花及軟雹等3種水象粒子混合比呈現強負相關，推論雲水、雨水、雲冰等3種水象粒子混合比增加會使得颱風中心氣壓加深。最低海平面氣壓與雲水、雲冰等2種水象粒子混合比呈現正相關，主要是因為部分雲水及雲冰分別轉換為雨水及雪花和軟雹。

從上述分析中了解適當增加CCN濃度，對於會使颱風對流結構改變，影響其強度變化，但強度及降水方面的變化不一定是隨著濃度增加而呈現線性的變化，加上雲物理過程中要考慮的其他因素甚為複雜，不一定是單一因素所影響造成的結果。

6. 參考文獻

- 吳昱德、汪建良，2019，雲凝結核濃度敏感度對尼伯特颱風(2016)數值模擬影響之研究，氣象預報與分析，第240期，第18-27頁。
- Black, M. L., and Willoughby, H. E., 1992, "The Concentric Eyewall Cycle of Hurricane Gilbert," *Monthly Weather Review*, Vol. 120, pp. 947-957.
- Cohard, J.-M., and Pinty, J.-P., 2000 "A Comprehensive Two-Moment Warm Microphysical Bulk Scheme. I: Description and Tests," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 126, pp. 1815-1842.
- Chen, S., Li, W., Lu, Y., and Wen, Z., "Variations of Latent Heat Flux During Tropical Cyclones over the South China Sea," 2014, *Royal Meteorological Society*, Vol. 21, 717-723.
- Dudhia, J., 1989, "Numerical Study of Convection Observed During the Winter Monsoon Experiment Using a Mesoscale Two-Dimensional Model," *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 46, pp. 3077-3107.
- Emanuel KA, Neelin JD, Bretherton CS, 1994, "On large-scale circulations in convecting atmosphere," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol.120, pp.1111-1143.
- Hong, S.-Y., Yign, N., and Jimy, D., 2006, "A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes," *Monthly Weather Review*, Vol. 134, pp. 2318-2341.
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., and Colline, W. D., 2008, "Radiative Forcing by Long-lived Greenhouse Gases: Calculations with the AER Radiative Transfer Models," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, D12103, pp. 1-8.
- Khain, A., Lynn, B., and Dudhia, J., 2010, "Aerosol Effects on Intensity of Land-falling Hurricanes as Seen from Simulations with the WRF Model with Spectral Bin Microphysics." *J. Atmos. Sci.*, 67,

pp. 365-384.

- Krall, G.M. and Cotton, W.R., 2010, "Potential Indirect Effects of Aerosol on Tropical Cyclone Intensity: Convective Fluxes and Cold-pool Activity," *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 12, pp. 351-385.
- Lin, 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," *Monthly Weather Review*, Vol. 138, pp. 1587-1612.
- Liou, Y. C., Chen Wang, T. C., Huang, P. Y., 2016, "The Inland Eyewall Reintensification of Typhoon Fanapi (2010) Documented from an Observational Perspective Using Multiple-Doppler Radar and Surface Measurements," *Monthly Weather Review*, Vol. 144, No. 1, pp. 241-261.
- Sitkowski, M., Kossin, J. P., and Rozoff, C. M., 2011, "Intensity and Structure Changes During Hurricane Eyewall Replacement Cycles," *Monthly Weather Review*, Vol. 139, pp. 3829-3847.
- Willoughby, H. E., Jorgensen, D. P., Black, R. A., and Rosenthal, S. L., 1985, "Project STORMFURY: A Scientific Chronicle 1962-1983," *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 66, No. 5, pp. 505-514.
- Wu, C.-C., Yen, T.-H., Kuo, Y.-H., and Wang, W., 2002, "Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect," *Weather and Forecasting*, Vol. 17, No. 5, pp. 1001-1015.
- Xu, Y., and Y. Wang, "2013: On The Initial Development of Asymmetric Vertical Motion and Horizontal Relative Flow in A Mature Tropical Cyclone Embedded in Environmental Vertical Shear." *J. Atmos. Sci.*, 70, pp. 3471-3491.
- Yum, S. S., and Hudson, J. G., 2002, "Maritime/Continental Microphysical Contrasts in Stratus," *Division of Atmospheric Sciences, Desert Research Institute*, Vol. 54B, pp. 61-73.

7. 圖表彙整

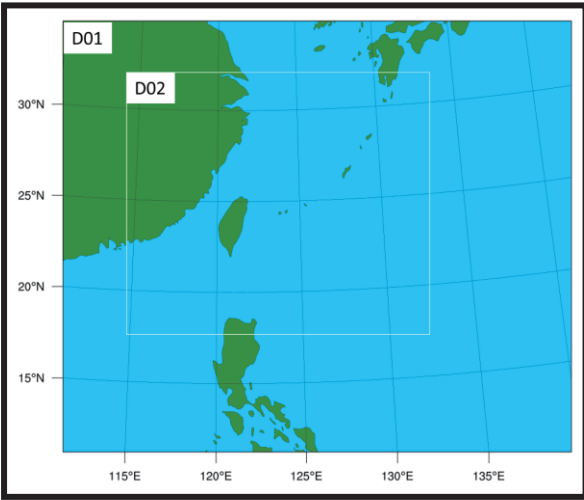


圖1 巢狀網格。

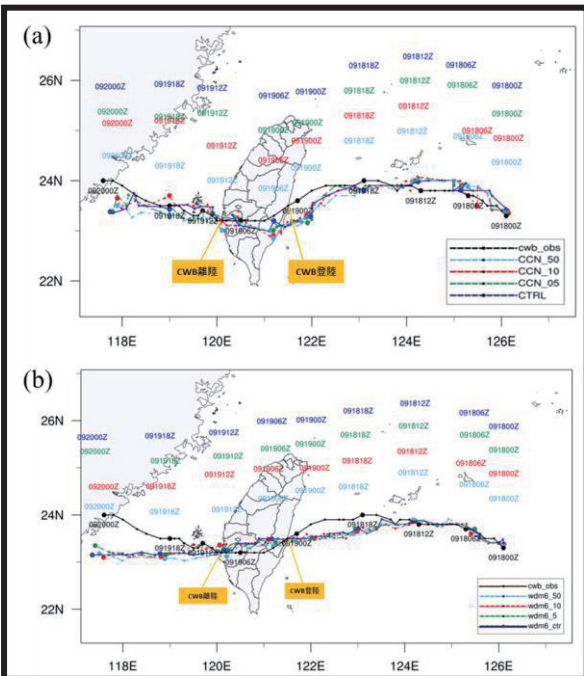


圖2 (a) CWB、地形不變之CTRL、CCN_05、CCN_10與 CCN_50路徑圖（範圍為D02）。(b) CWB、地形高度設定為0之top0、top0_05、top0_10與top0_50路徑圖（範圍為D02）。

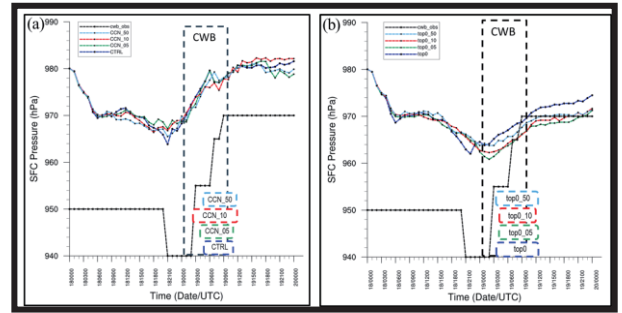


圖3 (a) CWB、地形不變之CTRL、CCN_05、CCN_10與 CCN_50中心最低海平面氣壓。虛線方框表示該實驗組之颱風中心登陸臺灣期間。(b) CWB、地形高度設定為0之top0、top0_05、top0_10 與top0_50颱風中心每小時之最低海平面氣壓。虛線方框表示該實驗組之颱風中心登陸臺灣期間。

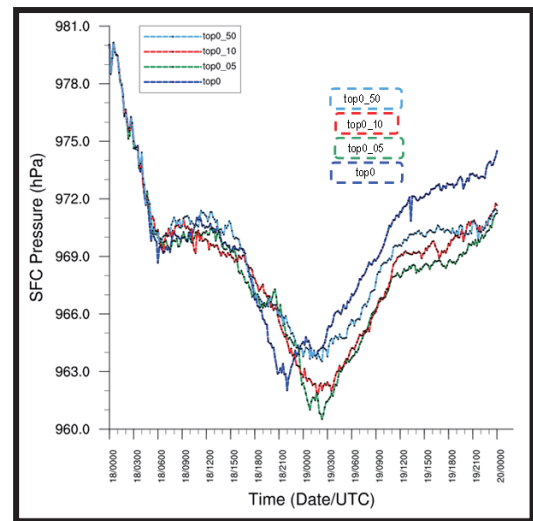


圖4 地形高度設定為0之top0、top0_05、top0_10 與top0_50颱風中心每10分鐘之最低海平面氣壓。虛線方框表示該實驗組之颱風中心登陸臺灣期間。

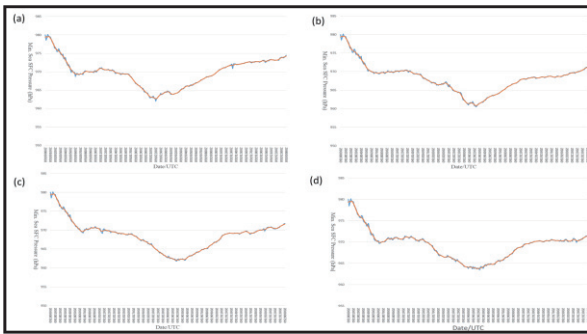


圖5 地形高度設定為0之(a) top0、(b) top0_05、(c) top0_10 與(d) top0_50颱風中心每10分鐘之最低海平面氣壓(藍線)及5點滑動平均(橘線)。

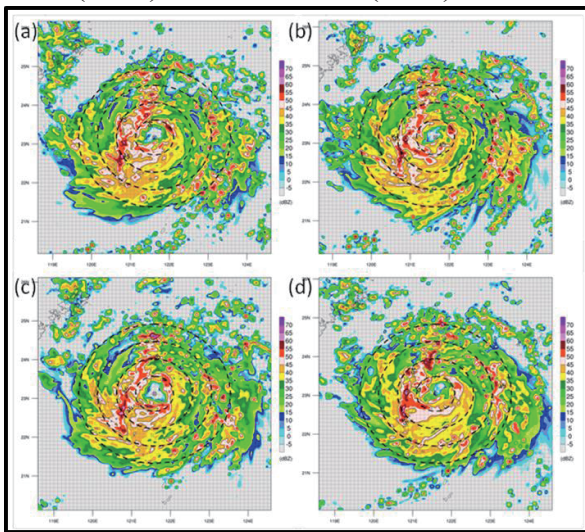


圖6 2010年9月19日0200 UTC模擬回波圖，(a) CTRL、(b) CCN_05、(c) CCN_10、(d) CCN_50，色階代表最大回波值，單位為dBZ，虛線分布為以颱風中心算半徑50、100、150、200公里之範圍。

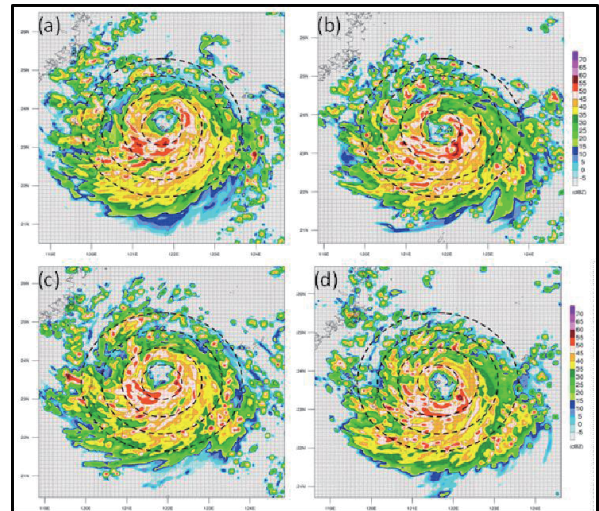


圖7 2010年9月19日0200 UTC模擬回波圖，(a) top0、(b) top0_05、(c) top0_10、(d) top0_50，色階代表最大回波值，單位為dBZ，虛線分布為以颱風中心算半徑50、100、150、200公里之範圍。

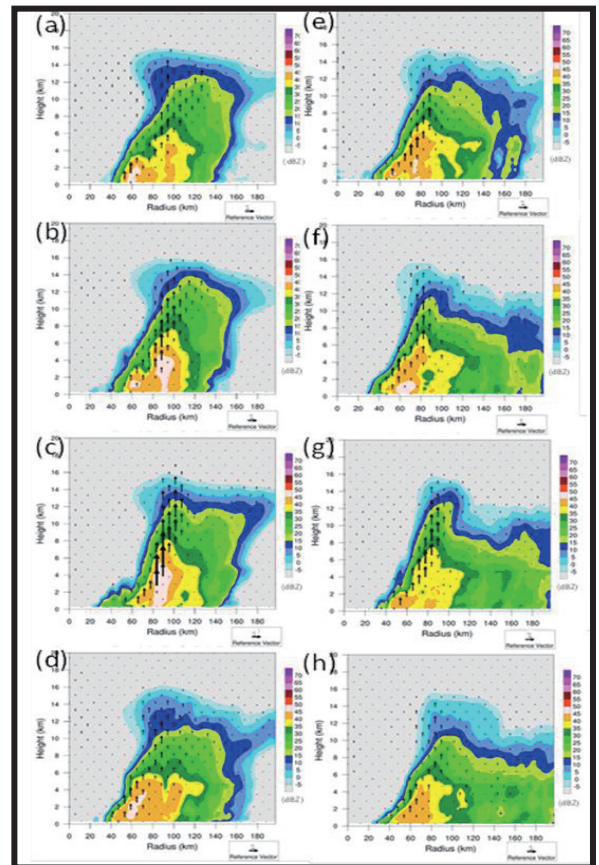


圖8 top0 模擬回波圖之方位角平均圖。

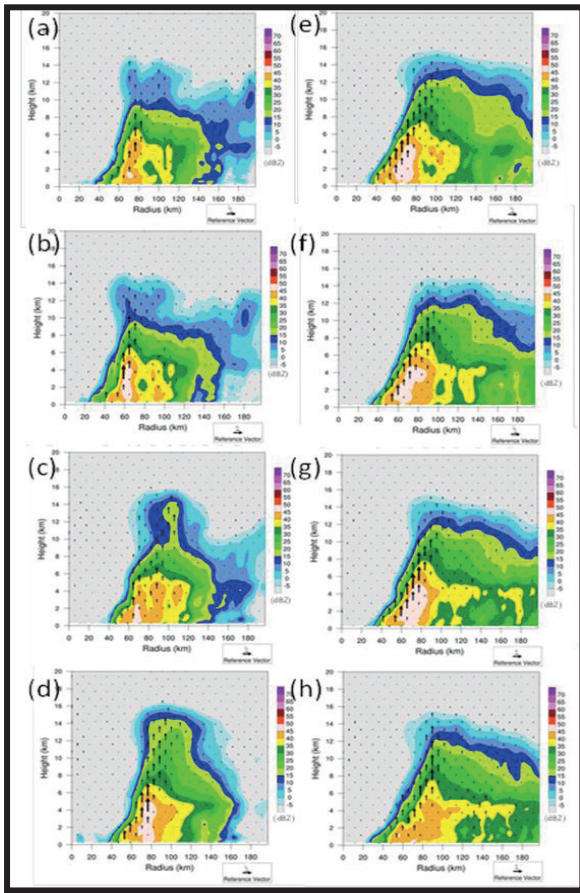


圖9 top0_05 模擬回波圖之方位角平均圖。

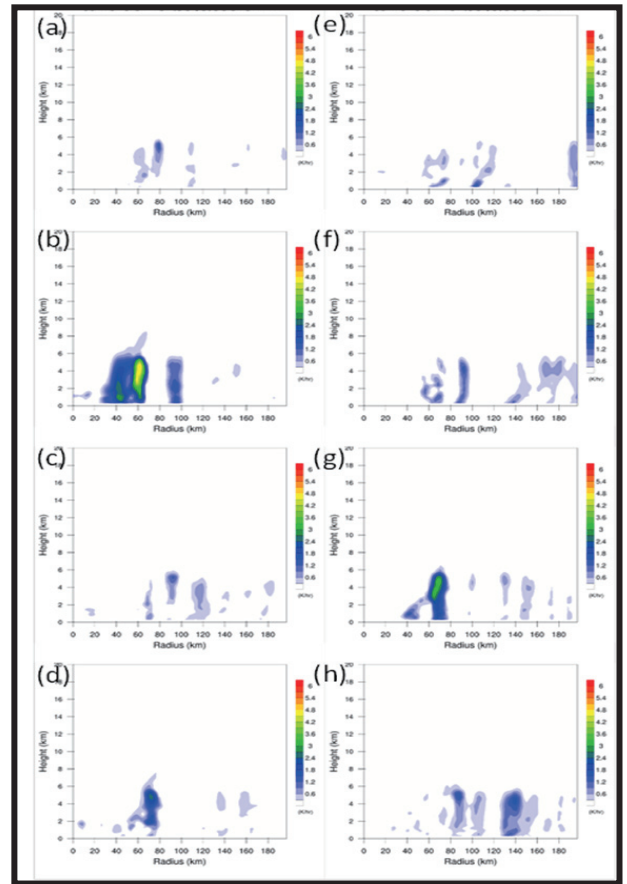


圖11 top0_05 潛熱釋放率。

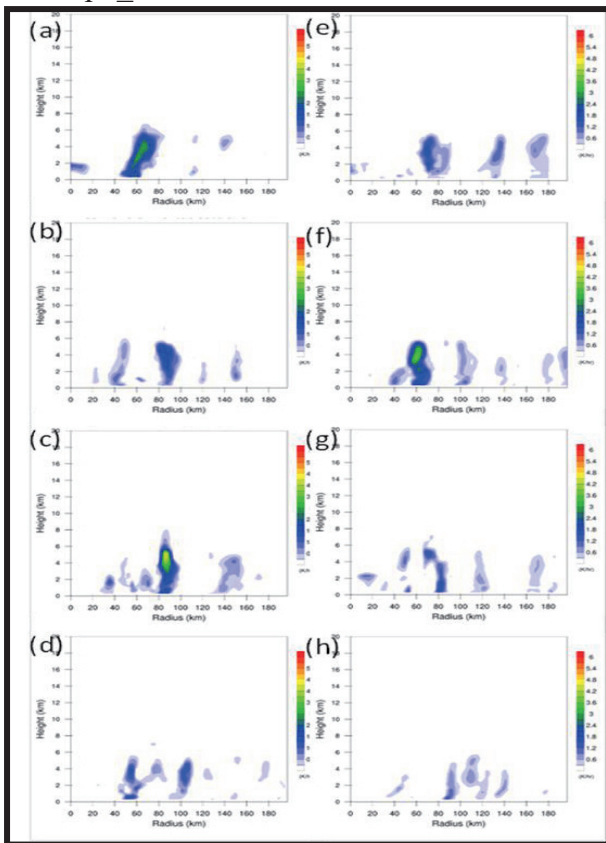


圖10 top0 潛熱釋放率。

表1 地形高度設定為0之最低海平面氣壓與雨水混合比相關性分析表；以D02資料，取颱風中心100 km半徑範圍內計算之。

中心氣壓趨勢 實驗組	第1段 下降	第2段 下降	上升
top0	-0.59	-0.66	0.17
top0_05	-0.57	-0.82	0.02
top0_10	-0.57	-0.73	-0.02
top0_50	-0.56	-0.84	0.12

Study on the Impact of the Cloud Condensation Nuclei Concentration Sensitivity on the Numerical Simulation of Typhoon Fanapi (2010)

Pei-Yi Wu, Jian-Liang Wang and Jou-Ping Hou

Department of Environmental Information and Engineering, CCIT, National Defense University

Abstract

In this study, WRF (Weather Research and Forecasting) model is used with two settings of the terrain heights in the Taiwan area. The WDM6 (WRF Double-Moment 6-Class) microphysics scheme is used with different settings of the concentration of Cloud Condensation Nuclei (CCN). With the original terrain heights, there are 4 experiments using different concentrations of CCN: CTRL, CCN_05, CCN_10, CCN_50, where CTRL is the control one; the other 3 are with CCN concentration increased by 5, 10, and 50 times of the original setting, respectively. top0, top0_05, top0_10, and top0_50 experiments are set corresponding to the above 4 experiments except with the terrain height of Taiwan set to 0. It is aimed to study the impact of the cloud condensation nuclei concentration sensitivity on the numerical simulation of the path, intensity, and convective structure of Typhoon Fanapi (2010) before its landing in Taiwan.

The results show that the two terrain height settings have different path simulation. However, there is little difference in the paths among the experiments with different CCN concentrations while the terrain height setting is the same. In terms of intensity changes, there is no significant difference among the original terrain height experiment group. The overall intensity change trends have more obvious differences among experiments with the terrain height of Taiwan set to 0. Before landfalling, the intensity changes of top0 and top0_05 appear to have two “weakening and deepening again” patterns, while top0_10, and top0_50 intensify continuously. They all reach their maximum intensities about 2 to 3 hours before the typhoon center landed. From the analyses of radar reflectivity of top0 and top0_05, it can be seen that the phenomenon similar to the eyewall replacement causes it to weaken and then strengthen before contacting the land. Before the simulated typhoon with the terrain height set to 0 reaches its maximum intensity, the rainwater mixing ratio has a significant negative correlation with the typhoon intensity. It can be inferred that changing the CCN concentration will cause a difference in the typhoon convective structure, which will then affect the intensity change.

Keywords: Typhoon Numerical Simulation, Concentration of Cloud Condensation Nuclei, Typhoon Fanapi (2010), Microphysics Scheme, Terrain Height.