

# 納莉(2001)颱風之台灣地形及雲物理過程敏感度實驗

黃小玲 楊明仁  
中央大學水文所

## 摘要

本研究使用 PSU-NCAR MM5 模式來模擬納莉(2001)颱風之路徑、強度及降水結構。控制組(CTL)實驗模擬結果發現，納莉颱風的路徑模擬與氣象局的觀測路徑比較相當接近。模擬颱風於 9 月 16 日 1000 UTC 在基隆登陸，而實際觀測颱風於 9 月 16 日 1300 UTC 在東北角登陸，登陸時間誤差為 3 小時，登陸地點誤差約為 30 公里；於 9 月 17 日的 24 小時累積降水比較，得知最細網域(2 公里)模擬全台灣之 24 小時累積降水面積平均達觀測資料的 80.7 %。由地形敏感度實驗測試結果，發現 75 % Ter、50 % Ter、25 % Ter 及 NoTer 四組地形敏感度實驗之全台灣於 9 月 16 日之 24 小時累積降水量的面積平均，分別為控制組(CTL)實驗的 75.88 %、81.88 %、64.13 %及 45.40 %，由此可知台灣地形效應對於颱風降水研究的重要性。另於觀測、CTL、地形及雲微物理敏感度實驗的降水頻率百分比分佈，得知模式對於弱降水(24 小時降水累積 < 400 公厘)呈現出高估情形，而強降水(24 小時降水累積 > 400 公厘)則呈現低估的結果。

## 一、前言

納莉(2001)颱風的行經路徑詭譎，於 2001 年 9 月 6 日發展成颱風持續至 9 月 21 日颱風系統減弱，維持了約兩週的生命週期。納莉颱風於侵襲台灣期間(9 月 16 日 1300 UTC 至 9 月 18 日 1500 UTC)受到綜觀大氣環境與台灣複雜地形影響，帶來豐沛的雨水，於 9 月 16 至 19 日共三天的總累積降雨量，於宜蘭山區的累積降雨量高達 1431 公厘，其次於嘉義阿里山山區亦高達 1241 公厘(見圖 1)，使得台灣全省各地都有災情傳出，尤其是大台北地區捷運系統的癱瘓、台鐵系統長達 2 小時以上的誤點，而南投、花蓮宜蘭地區的土石流災害最為嚴重。因此，為瞭解納莉颱風於侵台期間的降水物理機制，本研究藉由地形敏感度及雲微物理敏感度實驗，與控制組(CTL)實驗的比較，以探討納莉颱風之降水受台灣複雜地形與雲微物理過程的影響。

## 二、研究方法及實驗設計

本研究使用美國賓州州立大學(Pennsylvania State University; PSU) 與美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research; NCAR) 所共同研發的第五代中尺度靜力/非靜力數值模式 MM5 第 3.5 版(The fifth generation PSU/NCAR

Mesoscale Model) PSU-NCAR MM5 模式 (Dudhia 1993; Grell et al. 1995) 模擬納莉(2001)颱風於侵襲期間之 CTL 實驗及地形與雲微物理敏感度實驗，以探討其颱風路徑、強度、降水及結構。CTL 實驗模擬的水平網域共有 4 層，其網格大小分別為 54、18、6、及 2 公里，垂直的 half- $\sigma$  層數共有 31 層。於 54、18 及 6 公里網域模擬時間為 2001 年 9 月 15 日 1200 UTC 至 9 月 20 日 0000 UTC，共 108 小時；於 2 公里網域模擬時間為 2001 年 9 月 16 日 0900 UTC 至 9 月 18 日 1500 UTC，共 78 小時。模擬實驗之邊界層及初始場資料取自歐洲中期天氣預報中心(European Center for Medium-Range Weather Forecast; ECMWF) 之  $1.125^\circ \times 1.125^\circ$  全球分析資料，其資料解析度較 MM5 模式模擬解析度為粗，使得模式模擬出來的颱風強度偏弱；所以，本研究於初始資料處理過程中使用 Davis and Low-Nam (2001) 的颱風植入方法，以改善模式解析之初始颱風渦旋結構。於颱風植入過程之 900 hPa、850 hPa、700 hPa、500 hPa、300 hPa、200 hPa 及 100 hPa 的 Rankine Vortex 垂直權重係數分別設定為 0.96、0.99、0.97、0.85、0.6、0.3 及 0.1。模擬實驗使用 Grell 積雲參數法(Grell 1993)，由於 6 公里及 2 公里網域已有能力解析中、小尺度的天氣現象，因此，Grell 積雲參數化方法僅使用於 54 公里及 18 公里網

域；Reisner Graupel雲微物理參數法 (Reisner et al. 1998)、MRF PBL 參數方法 (Hong and Pan 1996)、及Dudhia (1989) 大氣輻射方法，皆使用於各層網域。於地形及雲微物理敏感度實驗僅作 54、18 及 6 公里三層網域的模擬。地形敏感度實驗為 75% Ter、50 % Ter、25% Ter及NoTer四組實驗，其台灣地形分別為CTL實驗的 75%、50 %、25%、及 1 公尺高度的平坦地形，其它的參數設定與CTL實驗相同；雲微物理敏感度實驗為Warm Rain (WR)、No Evaporation (NEVAP)、No Melting (NMLT)及No Sublimation (NSUB) 四組實驗，其雲微物理設定分別為僅考慮暖雨過程、不考慮降水蒸發的過程、不考慮雪花及軟雹的融解過程、及不考慮雪花及軟雹的昇華過程，其它的參數設定與CTL實驗相同。

### 三、模擬實驗結果與討論

納莉(2001)颱風侵台時期 (9 月 16 日 1300 UTC 至 9 月 18 日 1500 UTC)，颱風中心滯留台灣本島的時間超過兩天，行進緩慢，為台灣帶來非常充沛的雨量，且造成嚴重的颱風災情，尤以台北及宜蘭地區最為嚴重。如圖 2 所示，CTL 實驗與氣象局官方路徑觀測資料的比較，發現 CTL 實驗模擬納莉颱風之登陸時間誤差約為 3 小時，登陸地點誤差約為 30 公里左右，其它 CTL 實驗的模擬結果已於 Yang (2003)、Yang and Huang (2004)、Yang and Huang (2005)、Sui et al. (2005)、Yang and Huang (2006)做了初步的研究及探討。於本文章中將由各組地形及雲微物理敏感度實驗，來探討納莉(2001)颱風之強度、降水及結構受地形及雲微物理過程的影響。

納莉颱風於 2001 年 9 月 17 之 24 小時觀測累積降水，於宜蘭山區高達 1189 公厘，CTL 模擬實驗 2 公里網域於宜蘭山區的 24 小時累積降水則達 1386 公厘；另於全台灣之 24 小時的平均降水的比較得知，CTL 實驗於 2 公里網域的降水平均，可達觀測降水平均的 80.7 % (見表 1)。CTL 實驗與 75% Ter、50 % Ter、25% Ter 及 NoTer 四組地形敏感度實驗於 6 公里網域之颱風強度及累積降水分布的比較結果，發現颱風強度受地形破壞程度與台灣地形呈線性的相關，亦即台灣地形愈平緩，其颱風強度愈強 (見圖 4)。由於各組地形及雲微物理敏感度實驗之路徑模擬誤差，使得模擬實驗於 9

月 16 日之 24 小時的全台灣降水平均分佈的比較，沒有明顯的線性相關情形。地形敏感度之 75% Ter、50 % Ter、25% Ter 及 NoTer 四組實驗於 9 月 16 日之 24 小時的全台灣降水平均，分別為 CTL 實驗的 75.9 %、81.9 %、64.1 %及 46.4 %，由此可看出不同比例的台灣地形對降水強度而言是很敏感的。雲微物理敏感度之 WR、NEVAP、NMLT 及 NSUB 四組實驗於 9 月 16 日之 24 小時的全台灣降水平均，分別為 CTL 實驗的 102.3 %、95.5 %、80 %及 95.2 %；由於 WR 實驗僅考慮暖雨過程，於山區造成大量的降，使得全台灣降水平均較 CTL 實驗來得高估。

另外，由 CTL 實驗之 6 公里及 2 公里網域，於 9 月 17 日全台灣之 24 小時累積降水頻率分佈 (見圖 3)，以及地形及雲微物理敏感度實驗於 9 月 16 日全台灣之 24 小時累積降水頻率分佈 (見圖 5)，與觀測資料計算之降水頻率分佈的比較，發現模式對於弱降水 (24 小時降水累積 < 400 公厘) 呈現出高估的情形，且強降水 (24 小時降水累積 > 400 公厘) 呈現低估的情形，此研究結果與 Colle et al. (1999)、Chien et al. (2002)、及 Yang et al. (2004) 的研究結果相同。

### 四、未來展望

未來準備進行的研究工作將學習 Zhang et al. (2000; 2001; 2002)針對 Hurricane Andrew (1992)的診斷分析，透過圓柱座標轉換，進一步研究納莉颱風的風場、熱力場特性，及颱風登陸前後之風場及熱力場特性與颱風結構軸對稱性的差異。同時透過傅立葉分析，討論颱風結構非軸對稱性之高波數特性。在雲微物理過程方面，將參考 Zhang et al. (2002) 及 Braun (2006)，進行水收支平衡計算，以瞭解台灣地形如何影響納莉颱風的三相水收支平衡。另外，將延伸 Sui et al. (2005)的研究成果，試著去探討納莉颱風於海上及陸地上的降水效率差異，嘗試解釋中度偏弱的納莉颱風如何造成台灣地區的嚴重豪雨。

## 參考文獻

- Chien, F.-C., Y.-H. Kuo, and M.-J. Yang, 2002: Precipitation forecast of MM5 in the Taiwan area during the 1998 Mei-yu season. *Wea. Forecasting*, **17**, 739–754.
- Colle, B. A., K. J. Westrick, and C. F. Mass, 1999: Evaluation of MM5 and Eta-10 precipitation forecasts over the Pacific northwest during the cool season. *Wea. Forecasting*, **14**, 137–154.
- Davis, C. and S. Low-Nam, 2001: The NCAR-AFWA tropical cyclone bogussing scheme. *A report prepared for the Air Force Weather Agency (AFWA)*. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. (Available from the MM5 web site at <http://www.mmm.ucar.edu/mm5>)
- Dudhia, J. 1989: Numerical simulation of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.
- Dudhia, J. 1993: A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1493-1513.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764-787.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D.R.Stauffer,1995: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model. NCAR Technical Note,122 pp.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nocturnal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- Reisner, J., R. J. Rasmussen, and R. T. Bruijtes, 1998: Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscaled model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **124**, 1071-1107.
- Sui, C.-H., X. Li, M.-J. Yang, and H.-L. Huang, 2005 : Estimation of Oceanic Precipitation Efficiency in Cloud Models. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 4358-4370.
- Yang, M.-J., 2003: Precipitation structure and processes of Typhoon Nari (2001): A modeling prospective, 第五屆雷達氣象近期研究研討會，桃園中壢市，2003年3月17-18日，中央大學主辦，7-13。
- Yang, M.-J., Ben J.-D. Jou, S.-C. Wang, J.-S. Hong, P.-L. Lin, J.-H. Teng, and H.-C. Lin, 2004: Ensemble prediction of rainfall during the 2000-2002 Mei-Yu seasons: Evaluation over the Taiwan area. *J. Geophys. Res.*, **109**, D18203. doi:10.1029/2003JD004368.
- Yang, M.-J., and H.-L. Huang, 2004 : Precipitation processes associated with the landfalling Typhoon Nari (2001). *Preprints, The 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, Miami, 3-7 May 2004, Amer. Meteor. Soc., 134-135.
- Yang, M.-J., and H.-L. Huang, 2005: A Multiscale Study of the Landfalling Typhoon Nari (2001): Control Simulation and Observation Verification, 中央氣象局九十四年度天氣分析與預報研討會，台北市，2005年10月18日至20日，中央氣象局主辦，228-231。
- Yang, M.-J., and H.-L. Huang, 2006: Topographic effects on Typhoon Nari (2001): Verification and sensitivity experiments. *Preprints, The 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, Monterey, 23-28 April 2006, Amer. Meteor. Soc.
- Zhang, D.-L., Y. Liu, and M. K. Yau, 2000: A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part III: Dynamically induced vertical motion. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3772–3788.
- Zhang, D.-L., Y. Liu, and M. K. Yau, 2001: A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part IV: Unbalanced flows. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 92–107.
- Zhang, D.-L., Y. Liu, and M. K. Yau, 2002: A Multiscale Numerical Study of Hurricane Andrew (1992). Part V: Inner-Core Thermodynamics. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2745–2763.

表 1 全台灣於 2001 年 9 月 17 日之 24 小時累積降水平均。

	OBS	6 km	2 km
全台灣之 24 小時 累積降水平均 (mm)	205.9	122.7	166.1
相對於觀測平均降水 資料的百分比 (%)	100 %	60 %	80.7 %

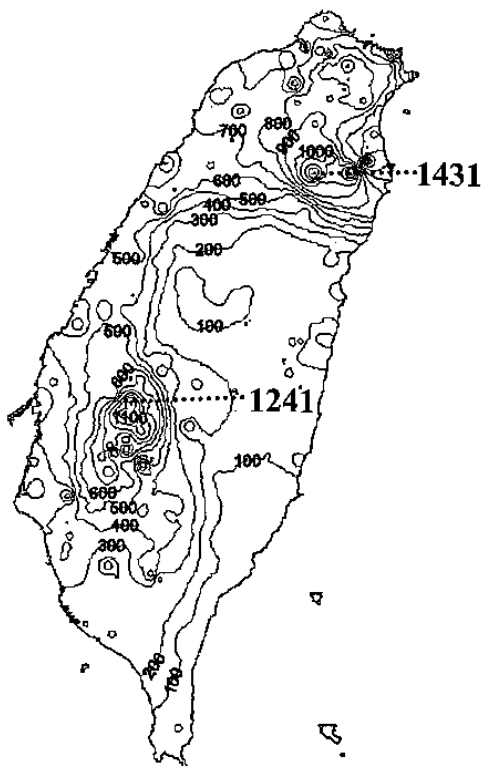


圖 1 參考氣象局發布之 2001 年 9 月 16 至 18 日之 72 小時的總累積降水圖。等值線間距為 100 公厘。

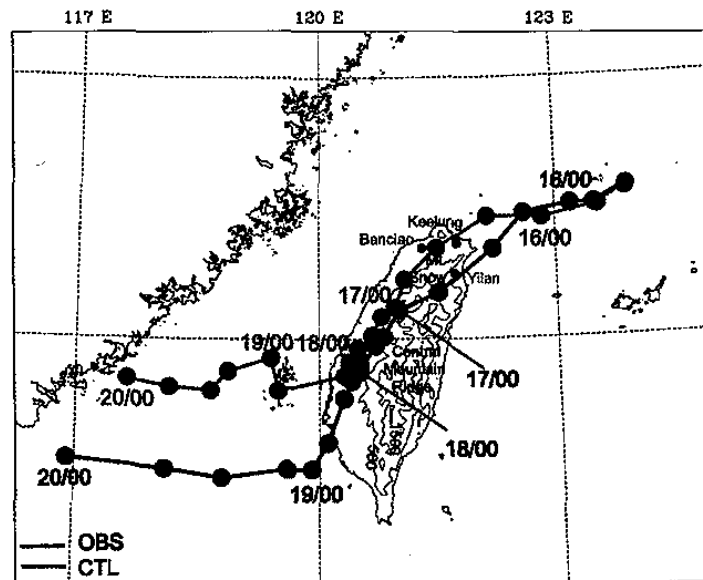


圖 2 CTL 實驗模擬納莉颱風之路徑。圖之黑色線與灰色線分別為，中央氣象局資料(OBS)與 CTL 實驗路徑；每個點的時間間距為 6 小時；藍色線為等高線，由 500 公尺開始，等值線間距為 1000 公尺。

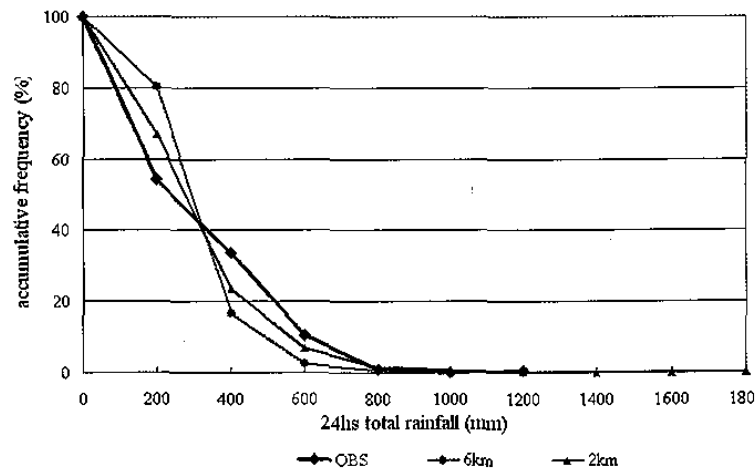


圖 3 2001 年 9 月 17 日之氣象局觀測(OBS)與 6 公里、及 2 公里網域於全台灣之 24 小時累積降水與降水頻率百分比分佈圖。

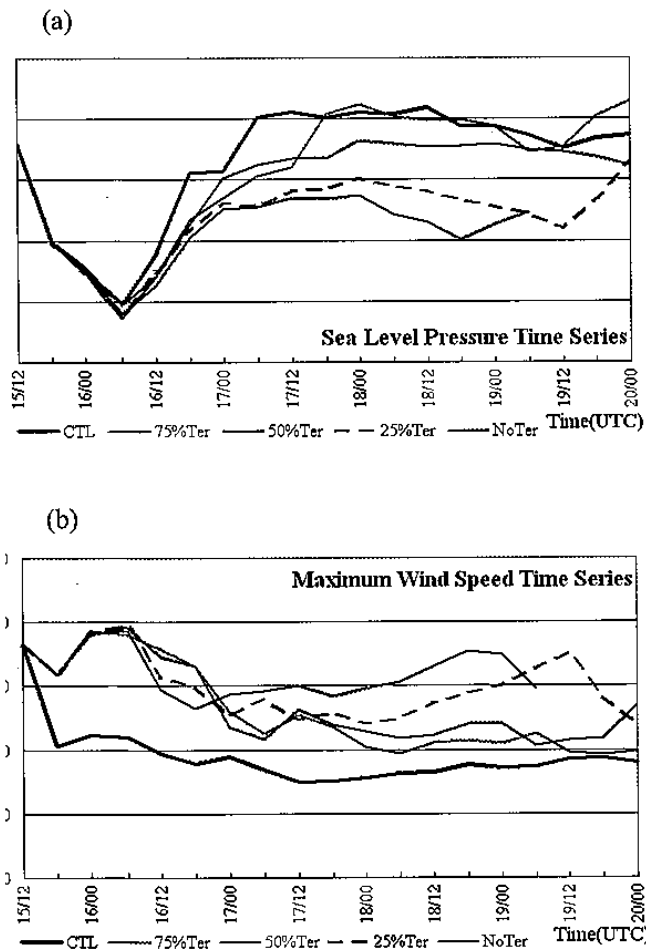


圖 4 CTL實驗，與 75% Ter、50 % Ter、25% Ter 及 NoTer 四組地形敏感度實驗之 6 公里網域模擬之納莉颱風(a)中心氣壓，(b)近地面最大風速時間序列圖。橫軸為時間(UTC)，縱軸為海平面氣壓(hPa)與風速( $\text{ms}^{-1}$ )。

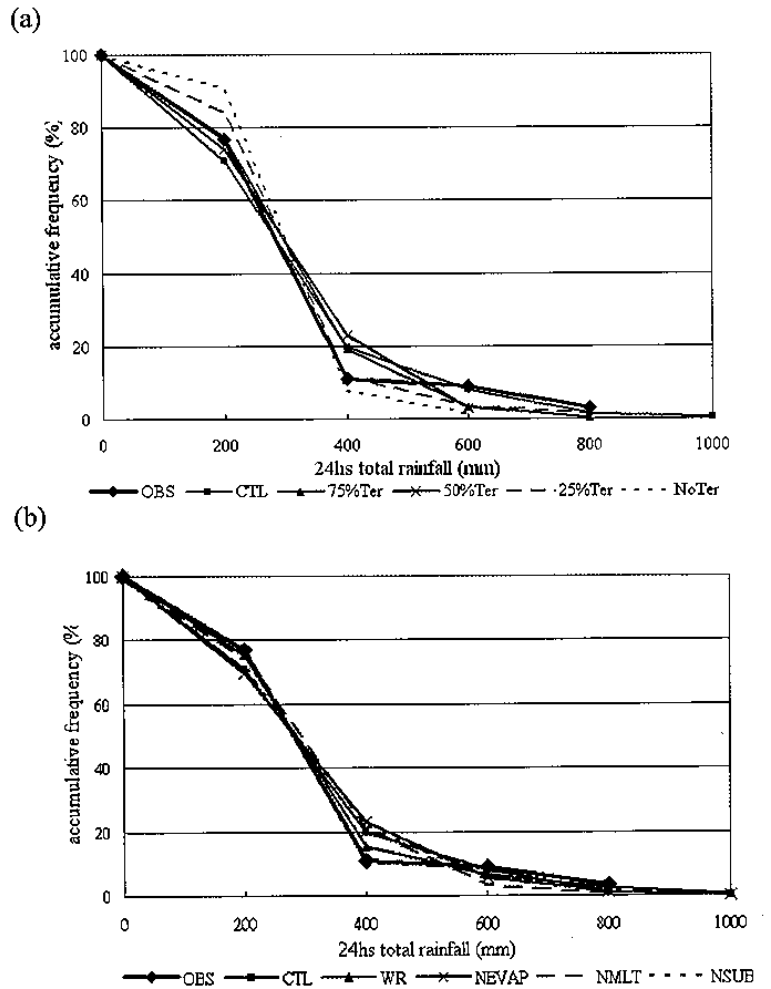


圖 5 觀測資料、CTL 實驗，與(a)地形敏感度實驗，(b)雲微物理敏感度實驗，9 月 16 日於全台灣之 24 小時累積降水與降水頻率百分比分佈圖。