

桃芝(2001)颱風之數值模擬

青麟¹ 楊明仁²

¹中國文化大學地學研究所大氣科學組

²國立中央大學水文研究所

摘要

本研究使用 PSU-NCAR 的 MM5 中尺度模式，以 2001 年的桃芝(Toraji)颱風為研究個案，使用 3 層巢狀網格(最細網格間距為 6.67 公里)，探討初始渦旋參數設定與不同物理參數法對模擬桃芝颱風路徑、強度以及伴隨之風雨分佈的影響。同時對物理參數法實驗組做系集分析，希望藉由系集平均方式以改善模擬結果。

模擬結果顯示，植入不同初始渦旋對於模擬路徑的影響不大，植入之最大風速對颱風強度則有成正比的關係。在各物理參數法實驗組中挑選出表現最佳的物理參數法，組合成最佳物理參數法組合，其模擬結果在路徑、強度或降雨方面皆有最好的表現，其中模擬颱風路徑在登陸前略有往西偏折之現象，此與王等(2001)之觀測分析結果一致。而對物理參數法各組實驗結果做系集分析後，對於颱風路徑模擬有明顯改進，但對於強度模擬的改善程度有限。降雨之水平分佈經過系集平均後可有顯著改善，但累積降雨量仍較實際觀測偏少。

關鍵詞：MM5，颱風模擬，物理參數法

一、前言

颱風為台灣地區最主要的氣象災害來源，但其所帶來的豐沛雨量亦是台灣地區重要的水資源之一。而 2001 年 7 月 30 日侵台的桃芝(Toraji)颱風由於移動緩慢，滯留陸地時間過長(約 10 小時)，降雨集中在中部。因此桃芝颱風造成台灣中部嚴重山崩、土石流及水患，全台一百多人死亡，近三百人失蹤或受傷，為 2001 年造成台灣地區傷亡最慘重的颱風。

初始化方法對於模擬颱風是一重要步驟，吳與黃(2000)對於芙蘿(1990)颱風做初始資料及初始化方法影響的探討。其模擬結果顯示，不同初始資料及初始化方法所得之模擬颱風路徑有明顯的差異性。而物理參數法亦對於颱風數值模擬有明顯的影響，喬等(1996)使用 MM5 數值模式對不同

積雲參數法做數值模擬測試顯示，颱風中心路徑會受到積雲參數法若干影響。Braun and Tao (2000)使用 MM5 模式對颱風做邊界層參數法的敏感度測試研究，發現使用不同的邊界層參數法，將模擬出不同的降水分佈及強度。黃(2001)亦對模擬颱風測試其對於邊界層參數法的敏感度，結果顯示加入邊界層參數法將有效提高模擬颱風之強度與降水分佈之模擬。

颱風行經台灣險峻的地形時會導致路徑偏移且在迎風面會產生豪大雨，陳(2002)利用中央大學中尺度數值模式 NCU-MM，針對理想地形及真實台灣地形模擬，探討地形對颱風渦旋路徑之影響。其結果發現，由東向西移入理想地形之強烈颱風渦旋，其路徑將往南偏，且考慮不同的物理參數法會導致模擬颱風路徑偏移，亦會改變其模擬強度。Lin et al.(2002)

使用 COAMPS 中尺度模式探討中央山脈對於颱風過山時所造成的地形降雨及路徑偏折的影響，並使用無因次參數 V_{max}/Nh 及 V_{max}/Rf 說明颱風路徑是否連續及颱風過山時所產生的偏折現象。

本研究以桃芝颱風作為研究個案，探討初始渦旋參數設定與不同物理參數法對模擬桃芝颱風路徑、強度以及伴隨之風雨分佈的影響。並對物理參數法實驗組做系集分析，希望藉由系集平均方法改善模擬的結果。

二、研究方法

本研究所使用的數值模式為非靜力 MM5 模式 3.5 版 (Grell et al., 1995)，水平網格間距分別為 60、20 與 6.67 公里的三層巢狀網格，垂直座標為 σ 座標 (共 23 層)。所有系集模擬實驗皆以 2001 年 07 月 28 日 1200 UTC 為初始時間，積分 60 小時。初始條件與邊界條件皆使用歐洲中期天氣預報中心 ECMWF/TOGA 的全球分析資料，其解析度為 $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ ，而海平面溫度在整個積分期間則維持一定。細網域 (6.67 公里) 不使用積雲參數法。在本研究中颱風模擬結果皆以細網域作討論，並與實際觀測做比較。

本研究主要分成兩大類敏感度測試實驗：初始渦旋參數實驗組及物理參數法實驗組。初始渦旋參數實驗組依不同的最大風速 V_{max} 與最大暴風半徑 R_{max} 做 Rankine vortex 渦旋植入並分成三組實驗 (表一)，皆使用相同的物理參數法，而渦旋植入位置以 JTWC 公佈的最佳路徑為依據。物理參數法實驗組亦分成三組實驗，分別對不同的積雲參數法、雲微物理參數法及邊界層參數法做測試分析。各實驗組物理參數法的設定參考表二。各物理參數法的參考

文獻請見 Yang and Ching (2004)。

表一 初始渦旋參數實驗組設計表。

| 實驗組 | 最大風速 $V_{max}(m/s)$ | 最大暴風半徑 $R_{max}(km)$ |
|------|---------------------|----------------------|
| v40 | 40 | 40 |
| | | 50 * |
| | | 60 |
| rm50 | 30 | |
| | 40 * | 50 |
| | 50 | |
| rm60 | 30 | |
| | 40 | 60 |
| | 50 | |

*表示渦旋設定為公佈觀測值

颱風初始化方法可加強對模擬颱風的掌握，本研究使用 Davis and Low-Nam (2001) 及 Low-Nam and Davis (2001) 對於 MM5 模式所發展的熱帶氣旋植入方法，在最佳路徑的位置植入一軸對稱的 Rankine vortex 颱風渦旋，切線風場結構會隨著高度逐漸減弱。

三、結果討論

在初始渦旋參數實驗組之路徑、中心氣壓及最大風速誤差表 (表三) 中顯示，採用不同的最大暴風半徑與最大風速做 Rankine vortex 風場的初始渦旋植入，對於固定最大風速的 v40 實驗組，模擬路徑在各組實驗間並無太大差異，其中以實驗 v40rm50 的平均路徑誤差最小；而各組實驗在強度方面的差異也不大，以實驗 v40rm60 較好。由此可知，使用 Rankine vortex 風場植入初始渦旋，初始渦旋的最大暴風半徑對於模擬颱風路徑的影響並不大，對於颱風強度亦無明顯的影響。而在固定最大暴風半徑的兩組實驗 (rm50 實驗組和 rm60 實驗組)，各組實驗模擬的颱風

表二 物理參數法實驗組設計表。

| 實驗組 | 積雲參數法 | 雲微物理參數法 | 邊界層參數法 |
|------------|------------------|-----------------|---------------|
| 積雲參數法實驗組 | | | |
| AK | Anthes-Kuo | Simple Ice | MRF |
| GR | Grell | Simple Ice | MRF |
| KF | Kain-Fritsh | Simple Ice | MRF |
| BM | Betts-Miller | Simple Ice | MRF |
| KF2 | new Kain-Fritsch | Simple Ice | MRF |
| 雲微物理參數法實驗組 | | | |
| WR | Grell | Warm Rain | MRF |
| ICE | Grell | Simple Ice | MRF |
| MP | Grell | Mix Phase | MRF |
| GG | Grell | Goddard Graupel | MRF |
| SCH | Grell | Schultz | MRF |
| 邊界層參數法實驗組 | | | |
| BD | Grell | Goddard Graupel | Blackadar |
| BT | Grell | Goddard Graupel | Burk-Thompson |
| ETA | Grell | Goddard Graupel | Eta M-Y |
| MRF | Grell | Goddard Graupel | MRF |
| PX | Grell | Goddard Graupel | Pleim-Xiu |

表三 初始渦旋參數實驗組之路徑誤差、中心氣壓誤差、最大風速誤差表。*表渦旋設定為公佈觀測值。粗體字表該實驗在該組中誤差最小。

| 實驗組 | 路徑誤差平均 (km) | 中心氣壓誤差平均 (hPa) | 最大風速誤差平均 (ms^{-1}) |
|----------|-------------|----------------|------------------------|
| v40rm40 | 59 | 11.55 | 5.15 |
| v40rm50* | 53 | 11.73 | 4.17 |
| v40rm60 | 71 | 9.36 | 4.81 |
| v30rm50 | 53 | 17.09 | 7.48 |
| v40rm50* | 53 | 11.73 | 4.17 |
| v50rm50 | 66 | 6.82 | 10.01 |
| v30rm60 | 45 | 13.91 | 5.85 |
| v40rm60 | 71 | 9.36 | 4.81 |
| v50rm60 | 91 | 7.27 | 6.47 |

路徑亦無太大差異，但在強度方面就有明顯的差異，植入較強的初始渦旋風速會模擬出中心氣壓較低的渦旋颱風。此顯示使用 Rankine vortex 風場植入法，初始渦旋最大風速對颱風強度有成正比關係，即植入較大的風速會模擬出較強的颱風。由於模擬渦旋之中心氣壓皆較實際觀測偏高，故植入較大的風速模擬出之中心氣壓誤差則較小。其中實驗 v30rm60 所模擬的

路徑平均最好，但其強度卻明顯較弱，實驗 v50rm50 所模擬的強度較接近實際觀測，但其路徑誤差較大，而以實驗 v40rm50 模擬的路徑與強度皆有不錯的表現，且此實驗的初始渦旋設定與中央氣象局發佈數值最為接近。總結而論，植入之初始渦旋設定與中央氣象局發佈之觀測數值相同時，所模擬之渦旋與實際觀測之誤差最小，植入之初始渦旋偏強或偏弱皆會造成

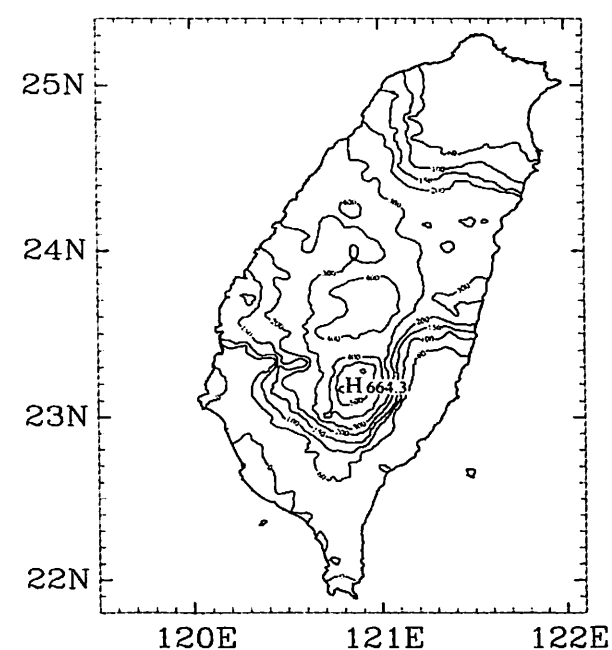
誤差。

在物理參數法實驗組之路徑、中心氣壓及最大風速誤差表(表四)中顯示,在積雲參數法實驗組中,除了 KF 實驗外,其餘四組實驗對於颱風路徑都有不錯的掌握,其中以 GR 實驗模擬的路徑最好;在強度方面,AK 實驗和 GR 實驗皆有不錯的表現,KF 實驗則明顯最差;在降雨方面,圖一為中央氣象局公佈 2001 年 7 月 30 日觀測之 24 小時累積雨量圖,降雨主

要集中在苗栗、台中及中央山脈中部山區,且在台灣中南部山區有最大降雨量,經客觀分析後最大降雨量為 664.3 公厘。比較積雲參數法實驗組中各組模擬之 24 小時累積降雨(見 Yang and Ching, 2004),除了 AK 實驗有較接近實際觀測的降雨分佈外,其餘實驗的降雨分佈皆與實際觀測有相當的差異,而且各組實驗模擬的累積降雨量皆為低估(表五)。

表四 物理參數法實驗組之路徑誤差、中心氣壓誤差、最大風速誤差表。粗體字表該實驗在該組中誤差最小,底線表該實驗在該組中誤差最大。

| 實驗組 | 路徑誤差平均 (km) | 中心氣壓誤差平均 (hPa) | 最大風速誤差平均 (ms ⁻¹) |
|------------|----------------|-------------------|---------------------------------|
| 積雲參數法實驗組 | | | |
| AK | 68 | 11.27 | 3.72 |
| GR | 53 | 11.73 | 4.17 |
| KF | <u>101</u> | <u>15.36</u> | <u>6.59</u> |
| BM | 62 | 11.36 | 5.49 |
| KF2 | 70 | 11.45 | 4.97 |
| 雲微物理參數法實驗組 | | | |
| WR | <u>59</u> | 6.18 | 9.27 |
| ICE | 53 | <u>11.73</u> | 4.17 |
| MP | 43 | 9.18 | 5.92 |
| GG | 38 | 9.55 | 4.06 |
| SCH | 47 | 8.18 | 4.37 |
| 邊界層參數法實驗組 | | | |
| BD | 66 | 11.09 | 6.83 |
| BT | 84 | 10.91 | <u>9.74</u> |
| ETA | 71 | 8.73 | 5.29 |
| MRF | 38 | 9.55 | 4.06 |
| PX | <u>88</u> | <u>13.45</u> | 6.49 |



圖一 中央氣象局公布之 2001 年 7 月 30 日 24 小時累積雨量圖。雨量等值線分別為 0、60、100、150、200、300、400、500、及 600 公厘。經客觀分析後最大降雨量為 664.3 公厘。

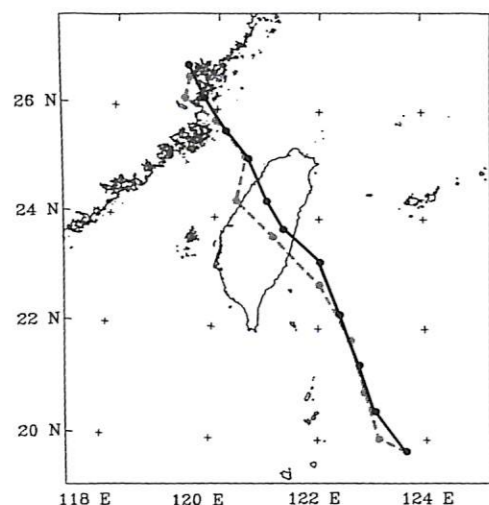
在雲微物理參數法實驗組中,各組實驗間模擬的颱風路徑差距不大,皆與實際路徑相當接近,其中路徑模擬表現最差的為 WR 實驗,但其平均路徑誤差亦僅有 59 公里,而路徑模擬表現最好的 GG 實驗,其平均路徑誤差僅有 38 公里,顯示使用不

表五 物理參數法實驗組網域三(網格間距 6.67 公里)之 30 日 24 小時累積最大降雨量表(30 日 2 時到 31 日 2 時)。粗體字表該實驗最大降雨量位置與觀測位置誤差小於 50 公里。

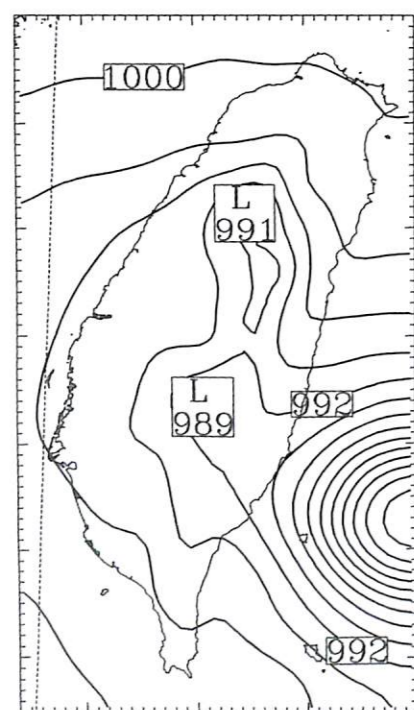
| | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 積雲參數法實驗組 | AK | GR | KF | BM | KF2 |
| 24 小時累積最大降雨量 | 425 | 264.6 | 319.9 | 132.1 | 204.3 |
| 雲微物理參數法實驗組 | WR | ICE | MP | GG | SCH |
| 24 小時累積最大降雨量 | 562.4 | 264.6 | 462.6 | 472.6 | 566.3 |
| 邊界層參數法實驗組 | BD | BT | ETA | MRF | PX |
| 24 小時累積最大降雨量 | 581.6 | 378.3 | 450 | 472.6 | 412.1 |

同雲微物理參數法對於模擬桃芝颱風的行進路徑影響不大。在強度方面,各組實驗間的中心氣壓強度則有明顯的差距,其中以 ICE 實驗模擬的中心氣壓誤差最大,WR 實驗模擬的中心氣壓誤差最小,GG 實驗也有不錯的表現(表四)。在降雨方面(見 Yang and Ching, 2004),除了 ICE 實驗以外,其餘 4 組實驗皆能掌握到實際的降雨分佈,且亦有不錯的累積降雨量(表五)。

在邊界層參數法實驗組中,各組實驗間模擬的颱風路徑差距頗大,且大部份實驗皆模擬出偏向東北的路徑,其中 PX 實驗幾乎繞過台灣,MRF 實驗則最接近實際觀測(見 Yang and Ching, 2004),顯示使用不同的邊界層參數法對於模擬桃芝颱風的路徑有相當的影響,此結果與 Braun and Tao (2000)及黃(2001)的結論類似。在強度方面,各組實驗模擬的強度皆偏弱,其中 PX 實驗模擬的中心氣壓誤差最大,MRF 實驗則模擬出比較好的強度(表四)。在降雨方面(見 Yang and Ching, 2004),除了 MRF 實驗與 BD 實驗外,其餘實驗皆未能掌握到實際的降雨分佈,且各組實驗模擬的累積降雨量皆為低估(表五)。



圖二 最佳物理參數法組合實驗之 60 小時路徑圖。



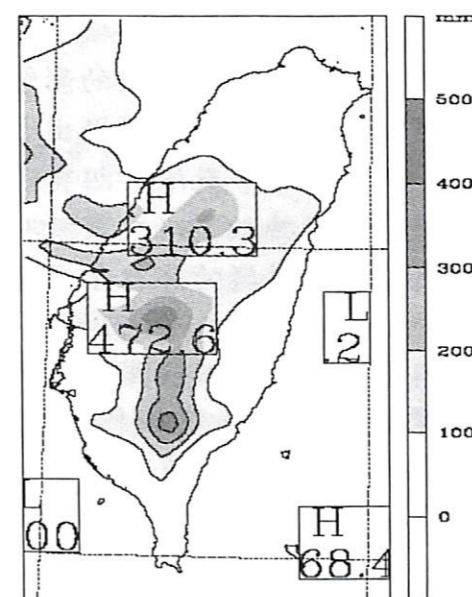
圖三 最佳物理參數法組合實驗模擬第 24 小時台灣附近之地面氣壓圖。

我們從各物理參數法實驗組中挑選出表現最好的參數法組合成最佳物理參數法組合實驗，其物理參數法分別使用 Grell 積雲參數法、Goddard Graupel 雲微物理參數法與 MRF 邊界層參數法，即與雲微物理參數法實驗組之 GG 實驗和邊界層參數法實驗組之 MRF 實驗的物理參數法組合相同。結果顯示，在路徑方面仍有相當好

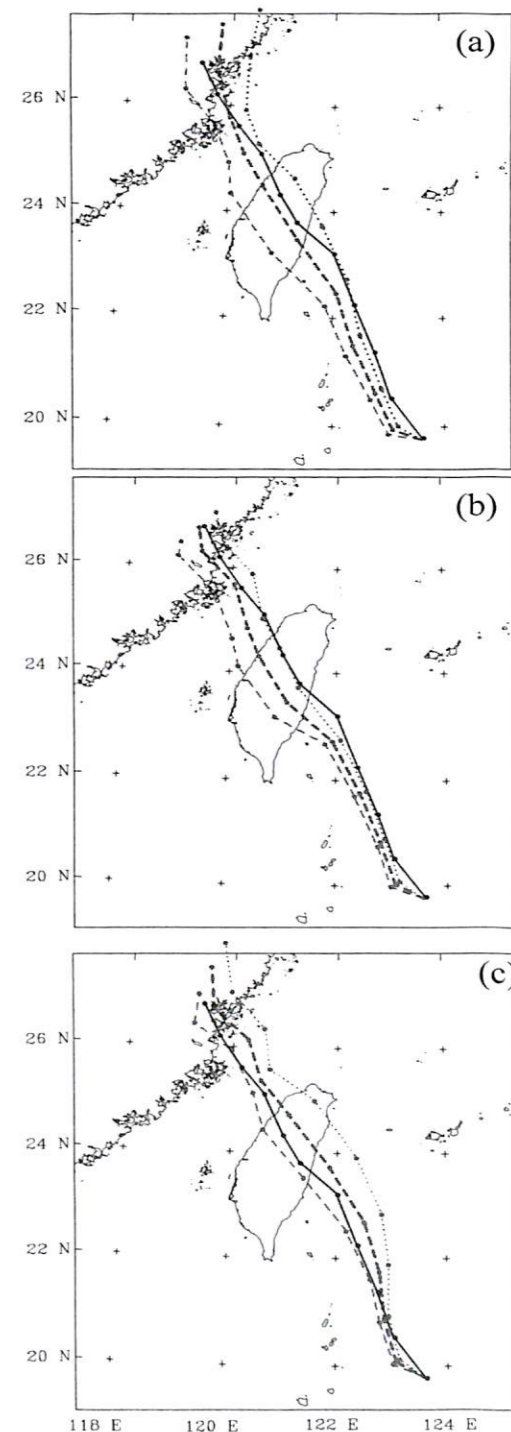
的表現(圖二)，而模擬颱風路徑在登陸前略有往西偏折之現象，此與王等(2001)分析觀測之結果一致。王等(2001)分析討論此偏移現象，其認為是因為颱風外圍氣流受中央山脈影響，而有迎風脊與背風副低壓之形成，導致颱風在登陸時有路徑偏移的現象產生。而分析最佳物理參數法組合實驗結果亦有模擬出迎風脊與背風副低壓之形成(圖三)，其偏移現象亦為颱風外圍氣流受中央山脈影響，與王等(2001)之分析結果完全一致。在強度方面，最佳物理參數法組合實驗模擬之強度略較實際觀測弱，但仍模擬出颱風強度因過山而減弱之趨勢(見 Yang and Ching, 2004)。對於降雨而言(圖四)，最佳物理參數法組合實驗模擬之降雨分佈與實際觀測之降雨分佈相當接近；但是最佳物理參數法組合實驗模擬之最大降雨量與實際觀測之最大降雨量比較，仍為低估。總結而論，將各物理參數法組中表現最好的參數法組合成之最佳物理參數法組合實驗，無論在路徑、強度或降雨方面皆仍有最好的表現。

在各物理參數法實驗組中，表現各有不同，有些參數法對強度掌握較好，有些對降雨分佈掌握較好等。我們希望經由系集分析處理後截長補短，以改善數值模式對颱風實際天氣現象的掌握。所以對物理參數實驗組中的三組實驗做系集分析，探討系集分析對路徑、強度與降雨分佈的影響。所使用的系集分析方法為對各實驗組結果取算術平均值，並求其標準差；在平均值加減一個標準差之間的範圍，我們稱做系集誤差範圍，期望在系集誤差範圍內能夠掌握到實際現象。結果顯示，系集分析對於路徑模擬有明顯的改進(圖五)，實際觀測路徑幾乎都落在系集誤差範圍內，且與系集平均路徑相當接近。就強度而言，在強度方面(見 Yang and Ching,

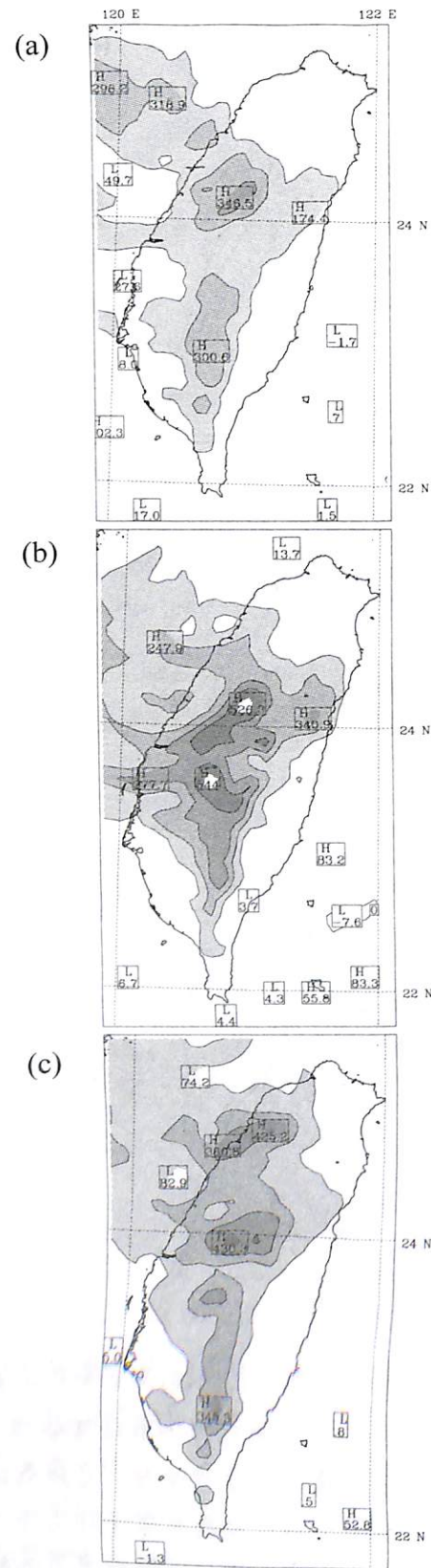
2004)，各組模擬中心氣壓經過系集分析後仍明顯的偏弱，並無法有效地改善，這是由於各組實驗模擬之中心氣壓在各時期皆較實際觀測弱，經系集分析後改善程度有限。而在累積降雨方面(圖六)，對於降雨的水平分佈，經過系集分析後可以有效地改善模擬結果，但是在累積降雨量方面，仍由於各實驗模擬之累積降雨量因解析度不足皆較實際觀測為少，因此改善程度有限。



圖四 最佳物理參數法組合實驗之 30 日 24 小時累積降雨圖(30 日 2 時到 31 日 2 時)。降雨單位為公厘(mm)。



圖五 系集分析路徑圖。(a)積雲參數法實驗組、(b)雲微物理參數法實驗組、(c)邊界層參數法實驗組。實線為最佳路徑，粗虛線為系集平均路徑，點線為系集平均加一個標準差之路徑，細虛線為系集平均減一個標準差之路徑。



圖六 同圖五，但為系集平均加一個標準差後之30日24小時累積降雨圖(30日2時到31日2時)。降雨單位為公厘(mm)。

四、結論與討論

在本研究中我們嘗試探討初始渦旋參數以及物理參數法對於桃芝颱風模擬的影響，並應用系集分析技術以改善對實際颱風現象的掌握。研究發現，植入不同初始渦旋參數對於模擬路徑的影響不大，植入之最大風速對渦旋強度則有成正比的關係，植入初始渦旋設定與實際觀測數值相同時，所模擬之渦旋與實際觀測之誤差最小。不同的物理參數法對於模擬颱風之路徑、強度、風雨分布有明顯的影響，採用適當物理參數法組合才能模擬出合理的颱風結構。而對物理參數法各組實驗結果做系集分析後，對於颱風路徑模擬有明顯改進，但對於強度模擬的改善程度有限。降雨之水平分佈經過系集平均後可以有效地改善，但累積降雨量仍較實際觀測偏少。

各實驗模擬之強度皆較實際觀測偏弱，是由於植入初始渦旋時為植入理想化的 Rankine vortex 風場，故剛開始時氣壓場會先經過一段動力調節時間，因此仍會較實際觀測中心氣壓為高。而在颱風移出台灣後，無論中心氣壓或最大風速，各實驗皆因穿過台灣地形後模擬颱風結構被迅速破壞，導致模擬之強度皆較實際颱風強度為弱。對於降雨而言，若模式模擬出不錯的颱風行進路徑與中心強度，即可合理地掌握到降雨的分佈。但由於本研究使用之水平解析度(6.67 公里)仍嫌不足，且模擬颱風之強度皆較實際觀測為弱，而地形解析度亦不夠細，故所有實驗對於累積降雨量的模擬皆為低估。

而桃芝颱風對於台灣地區造成重大災情，與其為921地震(1999年9月21日)後繼碧利斯(Bilis)颱風另一個重創台灣中部山區及台灣獨特的中央山脈複雜地形應有相當密切的關係。而對於颱風模擬，海

氣交互作用則扮演著重要的角色，因此若再增加考慮海氣交互作用的影響，相信應會改善桃芝颱風於海上的模擬結果。故進一步探討台灣地形效應對於桃芝颱風的影響，以及在模式加入海氣交互作用的考量，為我們未來的主要研究方向。

五、誌謝

感謝國科會計畫(NSC93-2625-Z-008-012)的贊助，及文化大學大氣科學系和中央大學水文研究所硬體的提供與資源的幫助。

六、參考文獻

- 王時鼎、謝信良、鄭明典、鄧仁星、簡國基，2001：台灣地形對侵台之中度以下颱風影響新例-對2001年潭美、桃芝、納莉、利奇馬四次颱風實例分析。天氣分析與預報研討會(90)，論文彙編，51-70。
- 吳俊傑、黃葳芃，2000：芙蘿颱風(1990)的數值模擬研究：初始資料及初始化方法影響之探討。大氣科學，28，293-315。
- 陳舒雅，2002：地形對颱風路徑的影響之數值探討。國立中央大學，大氣物理研究所，碩士論文，共105頁。
- 黃澤山，2001：邊界層物理參數法對於瑞伯(1998)颱風數值模擬之敏感度研究。私立中國文化大學，地學研究所大氣科學組，碩士論文，共59頁。
- 喬森、黃清勇、郭英華，1996：黛特Dot颱風的MM5數值模擬。大氣科學，24，123-144。
- Braun S. A. and W. K. Tao, 2000: Sensitivity of high-resolution simulations of Hurricane Bob(1991) to planetary boundary layer parameterizations. *Mon.*

Wea. Rev., 128, 3941-3961.

Davis, C. and S. Low-Nam, 2001: The NCAR-AFWA tropical cyclone bogus-sing scheme. *A report prepared for the Air Force Weather Agency (AFWA)*. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

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.

Lin, Y.-L., D. B. Ensley, S. Chiao, and C.-Y. Huang, 2002: Orographic influences on rainfall and track deflection associated with the passage of a tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2929-2950.

Low-Nam S., and C. Davis, 2001: Development of a tropical cyclone bogus-sing scheme for the MM5 system. Preprint, *The 11th PSU-NCAR MM5 User's Workshop*, 130-134.

Yang, M.-J., and L. Ching, 2004: Ensemble simulations of Typhoon Toraji (2001). *Terr., Atmos. and Oceanic Sci.*, Submitted.

A Modeling Study of Typhoon Toraji (2001)

Lin Ching¹ and Ming-Jen Yang²

¹Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

²Institute of Hydrological Sciences, National Central University

ABSTRACT

In this study, a nonhydrostatic mesoscale model (the PSU-NCAR MM5) was adopted to simulate Typhoons Toraji (2001) and to investigate the dependence of simulated track, central pressure, wind gust, and accumulated rainfall of the storm on initial vortex characteristics and physical parameterizations. The model configuration includes three nested domains with grid size of 60, 20, and 6.67 km, respectively.

Results from the experiments on vortex initialization indicate that the storm's track is not very sensitive to the vortex initialization; however, the intensity of the storm is proportioned to the bogussed maximum near-surface wind. Three sets of five numerical experiments on cumulus, microphysics, and planetary boundary layer (PBL) parameterizations are performed (15 experiments totally). An experiment with the best scheme from each of three sets of physical parameterization experiments has the best performance in terms of central pressure, wind gust and accumulated rainfall. This best-physics experiment can also simulate the sudden turning of Toraji's track right before the landfall. Standard deviation and ensemble (arithmetic) mean are calculated for each set of physical parameterization experiments. The ensemble-mean track and rainfall distribution are much closer to the observations than each individual experiment.