

敏督利颱風（2004）侵台期間特性之數值模擬研究

王家棟¹ 汪建良²

陸軍第八軍團¹ 國防大學中正理工學院²

摘要

本研究使用區域波譜模式(Regional Spectral Model)對 2004 年 6、7 月侵台的敏督利颱風進行數值模擬研究，主要在於分析地形對於颱風侵台期間的路徑、強度、地面氣溫分布。

在進行數值模擬時，初始場均採用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction)全球分析場資料，模擬過程並未植入初始颱風。控制組直接進行 15 km 解析度的靜力模擬，對照組則是以不同解析度(120、60、30 km)、去地形、以及巢狀模組等進行模擬比較，檢驗模式對侵台颱風的模擬能力。

結果顯示，15 km 解析度的路徑模擬較其他解析度、去地形以及巢狀模組的結果為佳，對於颱風登陸前向北的移動方向，接近台灣地區之後的向西偏折，以及出海之後的向北的移動方向，均有良好的掌握。然而，對於颱風登陸後之走向則無法掌握，實際個案是在登陸之後沿著中央山脈向北移動並在台灣西北部出海，但模式颱風則為直接過山而後出海。

以控制組實驗進行颱風結構變化分析，結果顯示在颱風強度變化方面，模式颱風在接近台灣地區約 200 km 時，出現因為地形影響而減弱的現象。此外，模式對於颱風在登陸前造成台灣西側的焚風現象，有良好的模擬能力。但是，由於模式颱風出海之後的位置與實際不同，而造成台灣東部地面氣溫略高的現象。

關鍵字：區域波譜模式、初始場、不同解析度

一、前言

西北太平洋為全球熱帶氣旋生成最多之區域，位於此一地區的台灣平均每年約受到三至四個颱風的侵襲，最多可至九個。伴隨颱風的降水雖為台灣地區的主要水資源，但卻也常常是造成慘重損失的主因。

台灣 1000 m 等高線所圍繞的區域，長軸約 280 km，短軸約 60 km，與颱風之強風與豪雨範圍具有相當之水平尺度。對於接近台灣的颱風，無論在結構上或路徑上皆有明顯的影響。颱風在接近台灣地形時，在結構上雖然是遭到破壞，但是所造成的災害卻並不一定是減少的 Chang (1993)。相反的，有可能因為地形效應而出現強降水或焚風現象，造成淹水、海水倒灌以及農作物損失等災害。

郭等(2004)指出，颱風研究大致上可以分為生成、發展維持、路徑、及與氣候關係等四個領域。其中，就台灣地區而言，以颱風的發展維持與路徑兩個領域對於颱風預報作業影響最大，而颱風生成及其與氣候關係，則與水資源規劃等相關。

二、個案簡介

敏督利颱風於 2004 年 6 月 23 日 06UTC 在關島西北方(東經 142.6 度，北緯 16.7 度)海面生成。如圖 1 所示，形成之後以 10-18 km/hr 向西移動，28 日到達

鵝鑾鼻東南方大約 600 km 時，移動速度減慢至 4 km/hr。30 日移動方向轉為向北，速度增至 6-8km/hr，朝台灣東部移動。其中心於 7 月 1 日 1440 UTC 左右在花蓮市南方約 20 km 處登陸，約 12 小時後，於 7 月 2 日 02 UTC 由淡水附近進入台灣海峽，持續以北北東的方向進入東海。

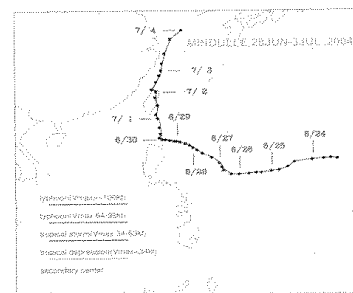


圖 1 中央氣象局發布的颱風路徑。資料來源：中央氣象局颱風資料庫。

如圖 2 所示，敏督利颱風自生成後強度便持續增強，台灣地區在 2004 年 6 月 27 日 1230UTC 發布海上警報時，其已到達中型中度颱風的階段，之後強度逐漸增強，颱風中心氣壓最低到達 942 hPa，平均風速最大到達 45m/s。隨後由於受呂宋島及台灣地形效應的影響，強度開始減弱，中心最低氣壓也逐步上升，於

台灣地區的 7 月 1 日 0030 UTC 減弱為輕度颱風。在登陸台灣之後，強度迅速減弱。而在出海持續向北移動至東海附近並減弱為熱帶低壓。

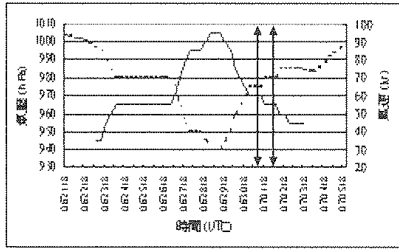


圖 2 敏都利颱風中心氣壓強度(以黑色實線表示,單位為 hPa)以及最大風速(以黑色虛線表示,單位為 kt)的時間序列圖。雙箭頭實線代表颱風登陸台灣及出海的時間。資料來源：日本氣象廳。

三、模式與資料

本文所使用的區域波譜模式,最初是由 Juang and Kanamitsu 在美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction)於 1994 年所建立,並於 2000 年改版(增加了隨內部改變的地面氣壓,以及隨外部改變的地面溫度)的巢狀區域波譜模式。

本研究的重點在於了解第二次轉向的動力機制,因此在模擬時間上,以 6 月 30 日 00UTC 為開始時間,預報長度為 72 小時,主要的原因在於此時颱風已經歷第一次轉向,並且在 72 小時內登陸、出海以及引進強烈西南氣流。而在實驗設計方面,則著重以下兩個重點:

(一) 不同解析度:當模式解析度不同時,可解析的動力與熱力過程尺度亦將不同,而且地形解析度(地形高度與坡度)亦會隨之改變。直覺而言,越接近實際的地形解析度,應該可以模擬出更接近實際個案的路徑變化。

敏督利颱風在向北移動接近台灣東部,並在登陸之後西偏,此一明顯的偏向現象,正可藉由數值預報進行模式解析度與路徑之間的靈敏度測試。主要的分析指標除了不同時間的路徑誤差量,是否能夠模擬路徑的偏轉,亦是考量重點之一。

(二) 不同地形:在測試路徑數值預報對於模式的靈敏度測試之後,以最佳的路徑預報解析度,更進一步的執行保留全地形與去地形之模擬,藉以分析地形對於颱風路徑與結構變化的影響,分析指標著重於伴隨颱風發生的焚風現象。地形方面的不同則是全地形與去除台灣地形的差別。圖 4 則為模式模擬範圍示意圖。

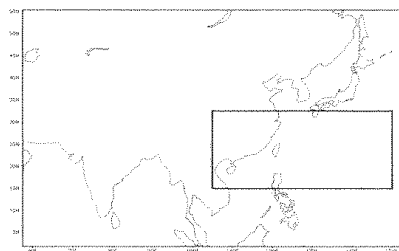


圖 3 控制組、R-30、R-60、R-120、NT-15 各組的模擬範圍示意圖。

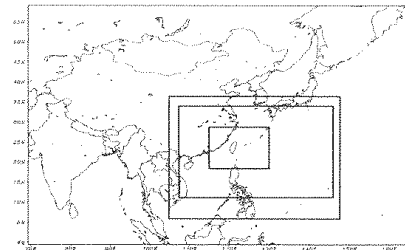
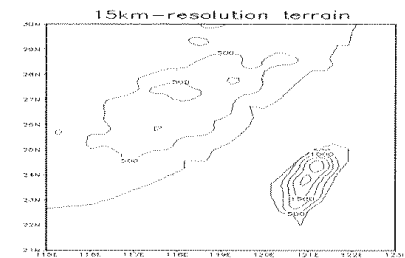


圖 4 巢狀模組(N-15)的模式模擬範圍示意圖。

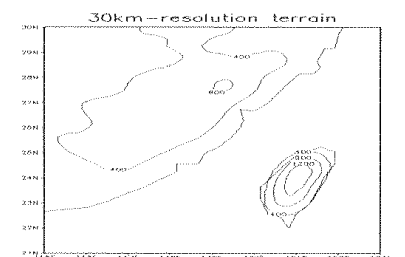
四、討論與分析

當颱風接近台灣時,地形明顯會影響颱風路徑、強度、降水分布,以及地面溫、溼度分布 Yeng(1993)。本章將使用模式每小時輸出一次之時間平均物理量,分析 RSM 對於敏督利颱風接近台灣時的路徑及強度變化的模擬結果,同時探討地形對於伴隨颱風降水以及低對流層大氣溫、溼度變化的影響。

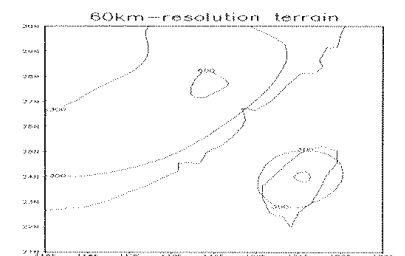
在此,先就模式地形與實際地形之差異作一概述。如所示,在數值模擬之中,地形是與模擬解析度相配合的,越高解析度之下數值模擬的地形越接近真實地形。控制組的台灣地形最高為 2200 m,與實際地形最高高度 3945 m 差距最小,但是仍有 1745 m 的誤差。然而相對於 R-30、R-60 以及 R-120 的地形及高度,則控制組的地形與高度是最接近實際地形。



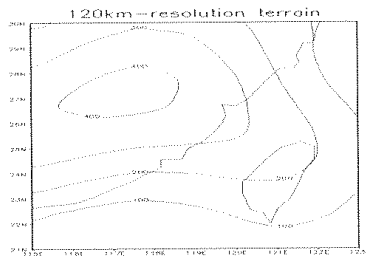
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 5(a)至(d)分別為控制組、R-30、R-60、R-120 的地形。等值線間距分別為 500、400、300、100 m。

(一) 路徑

模式颱風路徑的決定取決於中心的標定，颱風的環流之中，渦度最大一般而言是在颱風的中心位置，但是由圖 6 可以發現，模式颱風的渦度最大值也有可能是在雨帶，因此在本研究之中，模式颱風中心的定位方式是以 700hPa 面的氣流線決定大致之環流中心後，取最大渦度值所在位置。

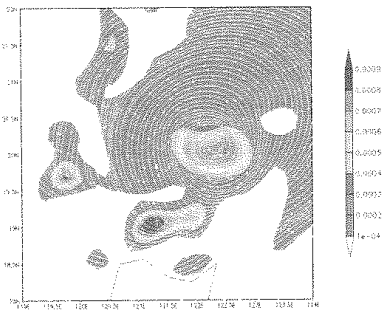


圖 6 渦度及流線示意圖。灰階代表渦度，強度如刻度表，單位為 S^{-1} ，白色線條代表氣流線，箭頭代表方向。

由圖 7 可以看出，在控制組之中，模式颱風與中央氣象局發布之實際颱風的移動路徑趨勢大致近似。在模式開始模擬時，因為未進行颱風植入，所以初始颱風位置與實際個案有明顯的差距，因而在前 12 小時的移動速度與實際颱風有明顯的差異。然而，在 12 小時之後，模式颱風的移動速度逐漸調整而與實際颱風近似，甚至登陸的時間與地點，亦與實際個案近似。但是在颱風登陸後，模式颱風路徑與實際個案逐漸出現明顯的差異。

圖 8 為 R-30 的模擬結果比較圖。在此一模擬結果之中，模式颱風的移動方向大致向北，但是登陸地點以及接近台灣地區之後的向西偏移，均未能掌握，且模式颱風僅接近台灣，並未登陸台灣。圖 9 為 R-60 的模式颱風中心與中央氣象局所發布的即時颱風中心位置比較圖。模式颱風的登陸地點約為台東地區，但隨即於花蓮出海，並未如同實際颱風一般在台灣西部出海。

圖 10 為 R-120 的模擬結果比較圖。模式颱風在台灣東部登陸之後，在西部地區出海，但是登陸地點明顯偏南，且移動速度略快於實際颱風。圖 11 為 NT-15 的模擬結果比較圖。其中模式颱風的移動速度與實際颱風接近。另外，也可以看到去除地形之後，模式颱風的路徑雖然偏西移動，但是整體而言仍然能夠保持

向北的趨勢。圖 12 為 N-15 的模擬結果比較圖，第 24 小時時出現了明顯的誤差，36 小時最接近台灣。然而之後的走向隨即轉為東北偏東北東，甚至在第 48 小時之後的走向轉為近似向東方移動。

此一誤差量是和中央氣象局所發布的即時資料比對。各組誤差量如表 1。可以發現，在路徑的模擬之中，雖然 N-15 在第 36 小時與實際個案相差僅 36 公里，但是若配合圖 12 即可發現，兩者趨勢截然不同。因此在路徑的模擬結果之中，控制組的結果明顯優於其它對照組，因此在之後有關颱風氣象因子的分析，將會以控制組為主。

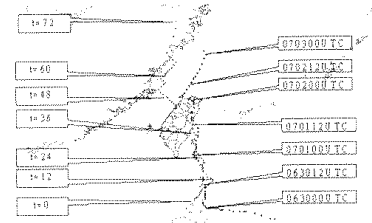


圖 7 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表控制組所得到的模式颱風中心，t 代表模擬時間的長度。

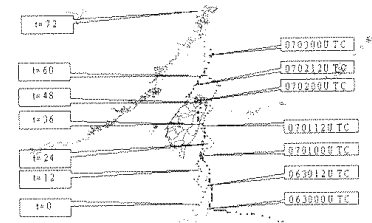


圖 8 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表 R-30 所得到的模式颱風中心，t 代表模擬時間的長度。

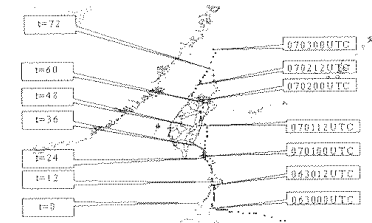


圖 9 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表 R-60 所得到的模式颱風中心，t 代表模擬時間的長度。

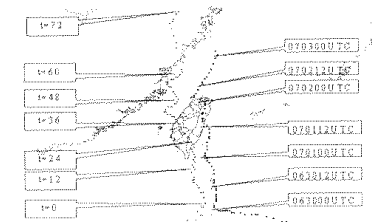


圖 10 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表 R-120 所得到的模式颱風中心，t 代表模擬時間的長度。

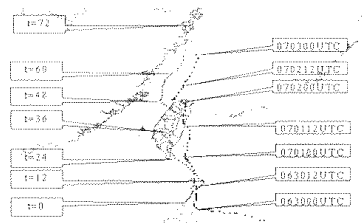


圖 11 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表 NT-15 所得到的模式颱風中心， t 代表模擬時間的長度。

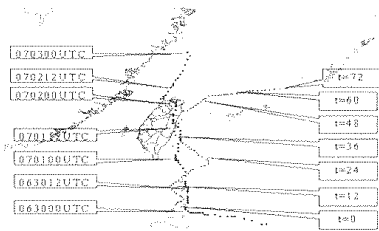


圖 12 敏督利颱風行進路線圖。深色點代表中央氣象局所發布的即時資料，淺色點代表 N-15 所得到的模式颱風中心， t 代表模擬時間的長度。

表 1 各組實驗之中，模式颱風中心與中央氣象局發布即時颱風中心位置差。

預報長度 (hr)	0	12	24	36	48	60	72
控制組	80	104	29	29	118	130	210
R-30	80	177	142	112	94	59	245
R-60	87	104	29	95	134	124	128
R-120	87	197	167	221	153	116	303
NT-15	80	104	76	89	118	84	166
N-15	80	115	116	30	114	262	408

(二) 強度

由於模式颱風的路徑是以 700hPa 的環流與相對渦度所定出，因此在強度方面直接求取 700hPa 的最大相對渦度值作為中心，並作為分析模式颱風強度變化的依據。

圖 13 為控制組的渦度變化趨勢， $t=25$ 時，模式颱風接近台灣地形直到登陸時，渦度便已逐漸減弱，而在出海前的 2-4 小時，颱風的強度又開始增強， $t=49$ 時達到最強，隨後便持續減弱。

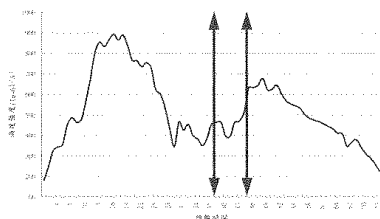


圖 13 控制組 700hPa 的最大相對渦度值變化趨勢，雙箭頭標示出模式颱風登陸及出海的時間，渦度的單位為 $10^6 s^{-1}$ 。

圖 14 為 NT-15 的渦度趨勢變化，可以明顯的看出在去除地形的影響之後，颱風接近陸地及登陸後，強度雖仍有所減弱，但較控制組為小。

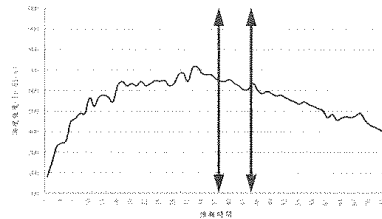


圖 14 NT-15 的 700hPa 最大相對渦度值變化趨勢，雙箭頭標示出模式颱風登陸及出海的時間，渦度的單位為 $10^6 s^{-1}$ 。

圖 15 為 N-15 的渦度趨勢變化，在四重巢狀的模式之中，颱風的強度雖然在一開始較控制組與 NT-15 為強，但是並無增強的狀況出現。另外雖然在 N-15 之中的模式颱風並無登陸台灣，但是在當颱風接近台灣地形時，最大相對渦度也出現了減弱的現象，且在遠離台灣之後有略為加強的現象。

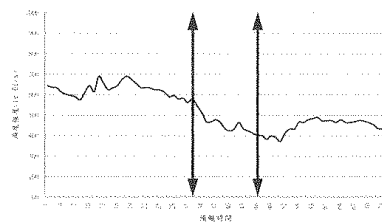


圖 15 N-15 的 700hPa 最大相對渦度值變化趨勢，雙箭頭標示出模式颱風接近及遠離的時間，渦度的單位為 $10^6 s^{-1}$ 。

(三) 溫度

當模式颱風位於台灣東部時，台灣西部地區溫度明顯高於其他地區，相對溼度同時也較其他地區為低（圖 16）。當模式颱風到達台灣西部時，台灣東部地區溫度明顯高於其他地區，相對溼度同時也較其他地區為低（圖 17）。

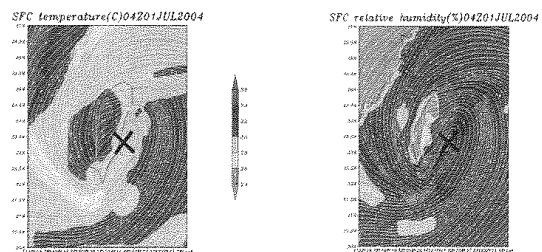


圖 16 左圖為控制組模擬第 28 小時，台灣及鄰近地區地面溫度($^{\circ}C$)；右圖為控制組模擬第 28 小時，台灣及鄰近地區地面相對溼度(%)。灰階代表溫度及相對溼度大小，白色實線為氣流線，“X” 代表颱風中心位置。

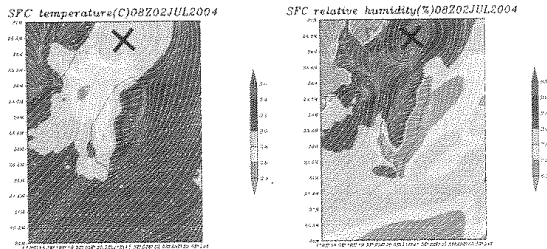


圖 17 左圖為控制組模擬第 56 小時，台灣及鄰近地區地面溫度(°C)；右圖為控制組模擬第 56 小時，台灣及鄰近地區地面相對濕度(%)。灰階代表溫度及相對濕度大小，白色實線為氣流線，“X”代表颱風中心位置。

如圖 18 所示，模式颱風在台灣東部時，在台灣西部地區與 24 小時之前的差異值最大為 3-4°C，較觀測資料在西部的最大溫度上升值為 5.3°C 為小。造成模式颱風所引發的溫度變化較弱的原因，有可能是因為模式地形與實際地形的不同。

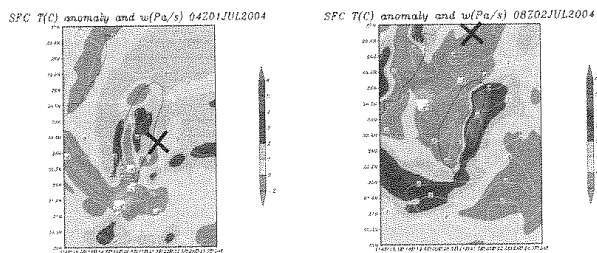


圖 18 左圖為控制組模擬第 28 小時，台灣及鄰近地區地面溫度改變量(°C)及 700 hPa 垂直速度(Pa/s)；右圖為控制組模擬第 56 小時，台灣及鄰近地區地面溫度改變量(°C)及 700 hPa 垂直速度(Pa/s)。灰階代表溫度改變量，等值線代表垂直速度，正(負)區代表向下(上)，“X”代表颱風中心位置。

但是當颱風位於台灣西部時，東部地區則超過 6°C，然而觀測資料的東部地區則無明顯的溫度上升值。此一誤差可能來自於模式颱風到達西部地區時，與實際個案位置的不同所引起。

如圖 19 所示，當模式去除地形之後，不論當模式颱風位於台灣東部或是西部時，台灣均未發生明顯的溫度變化。

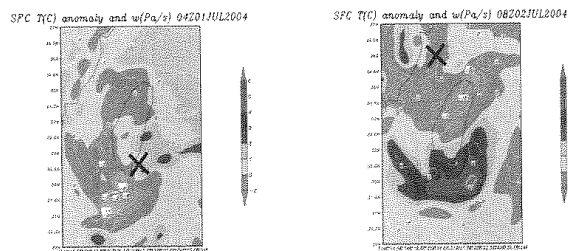


圖 19 左圖為 NT-15 模擬第 28 小時，台灣及鄰近地區 1000 hPa 溫度改變量(°C)及垂直速度(Pa/s)；右圖為 NT-15 模擬第 56 小時，台灣及鄰近地區 1000 hPa 溫度改變量(°C)及垂直速度(Pa/s)。灰階代表溫度改變量，等值線代表垂直速度，正(負)區代表向下(上)，“X”代表颱風中心位置。

由以上分析與比較，可以明顯的發現颱風接近台灣地形時，雖然模式颱風本身也存在著沉降運動，但

必須配合有地形的存在，才能使其因為沉降運動所造成的升溫現象更為明顯。

五、結論與展望

本研究在沒有植入颱風的前提下，以全球模式資料作為基本場，直接以不同解析度(120、60、30 以及 15 km)之 RSM，進行路徑與強度的模擬預報實驗測試。並以路徑預報誤差最小之個案，進一步模擬分析颱風侵台期間的結構變化，以作為日後颱風影響下局部天氣預報之應用。路徑預報誤差之選取條件為模式颱風移動路徑是否有向北的趨勢、接近台灣地區之後是否有與實際個案類似過山的運動、過山之後是否持續為向北移動的趨勢。之後則是針對最佳路徑的模擬個案進行強度、溫度與相對濕度、降水、垂直結構的氣象因子分析。

模式颱風路徑的決定取決於中心的標定，在第四章的分析比較結果之中可以知道控制組有最佳的颱風移動方向及最小的路徑誤差。在路徑模擬上可以得到下列結論：

解析度的影響：在路徑預報方面，控制組的模式颱風不論是在受台灣地形影響前的向北移動，接近台灣之後的過山運動，登陸地點，以及出海之後的向北移動，均能較其他不同解析度對照組有較佳結果。但是可能因為並未使用渦旋植入的技術，造成模擬颱風的移動速度遠較實際颱風為快，在第 36 以及 72 小時時的差異最為明顯。另外，控制組雖然在模式颱風的移動方向、過山之後的運動以及路徑誤差量均能與實際個案相符，但是實際個案在登陸之後的移動方式為沿著山脈北移至台灣北端之後轉向西，而模式颱風卻是直接過山。此一差別可能是來自於模式地形與實際地形之間的不同。

模擬策略的不同：任(2002)認為，若以 NCEP 全球分析場的資料進行 120 km 解析度的模擬，之後再以 120 km 解析度的輸出場為基本場，進行 60 km 解析度的模擬，依此等比級數的方式類推，當模擬解析度為 15 km，基本場為 30 km 時的實驗策略有最佳結果，但是在本研究之中，同樣的模擬策略(N-15)卻無法掌握模式颱風的路徑變化，反倒是直接由 NCEP 全球分析場的資料進行 15 km 解析度的模擬策略(控制組)較能掌握颱風的路徑變化。此一結果可能原因有二：第一，任的實驗設計對象為鋒面，而在本研究之中實驗對象為颱風，尺度小於鋒面。第二，控制組的基本場為 NCEP 全球分析資料，而 N-15 的基本場則為 30km 解析度的預報資料，其中 30km 解析度的預報資料雖亦來自 NCEP 全球分析資料，但是其中已經經過 120km、60km 的預報，因此在路徑的變化上有較多的影響因素。

根據以上分析結果可以得知，控制組在路徑方面有最佳的模擬結果，因此將會以控制組為主要分析對象，並針對控制組與 NT-15 之間因為地形差異，造成的強度、溫度的不同進行分析與比較。而在颱風因為遭遇地形而引發的結構變化，則以控制組為分析對象：

模式颱風強度變化：由於模式颱風的中心位置是以 700hPa 的最大渦度值代表，因此颱風的強度以

700hPa 的渦度值表示。在控制組與 NT-15 之中，模擬的前 12 小時，模式颱風處於整合階段，這個階段之後的強度持續增強，而在接近台灣地形時，模式颱風的強度有遽降的現象，比對控制組與 NT-15 兩者的強度變化，即可發現當模式颱風距離台灣地形約 200 公里時，即已受台灣地形影響。

模式颱風侵襲前後的局部地面氣溫變化：對於西部地區的焚風現象的分布區域大致能夠掌握，但是模擬結果較實際值低 2-3°C，且區域偏北，此一結果可能來自於模式地形與實際地形不同，造成因氣流過山所造成的沉降氣流強弱不同，進而使得溫度變化與實際值不同。在觀測資料隻中東部地區並未出現焚風現象，但是在模式之中卻出現很明顯的焚風現象，此一差異可能來自於模式颱風與實際颱風在西部地區的位置不同所造成。

以本研究個案而言，使用水平 15 公里的網格，靜力型態的模組，RSM 可得到最佳的路徑預報。然而如果能夠以此為基本場進一步使用解析度為 1-5 公里的中尺度區域波譜模式，也許能夠更清楚的了解颱風接近台灣時，其環流對於台灣地區所造成的影響，以及颱風遭遇地形時的結構變化情形。

在本研究之中，對於研究個案的分析與研究得到不錯的成果，也了解到此一模式對於颱風有不錯的掌握能力，因此冀望在未來的研究之中能夠提高模式與觀測資料在空間與時間方面的解析度，以便對颱風作更進一步的研究。

參考文獻

王家棟，“敏督利（2004）颱風侵台期間結構變化之模擬研究”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，77 頁，2005。

郭鴻基、林李耀、陳怡良，“近期颱風研究之回顧”，大氣科學，第三十二卷，第三卷，第 205-223 頁，2004。

任亦偉，“巢狀模式在飛航預報之策略研究”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，107 頁，2002。

Chang, C. P., Yeh, T. C., and Chen, J. M., “Effects of Terrain on the Surface Structure of Typhoons over Taiwan,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol.121, No.3, pp.734-752, 1993.

Yeh, T. C., Elsberry, R. L., “Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part I: Upstream track deflections,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol.121, No.12, pp.3193-3212, 1993.

Yeh, T. C., and Elsberry, R. L., “Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part II: Continuous and discontinuous tracks across the island,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, No. 12, pp.3213-3233, 1993.