

第五章 比較與討論

由前章的模式校驗得知，在植入對稱性渦旋 (MM5 bogus) 的模擬與觀測較為相似，故以下皆以 MM5 bogus 的模擬結果來討論兩颱風在經過台灣地形之前及之後在結構上的差異。

5.1 泰利颱風

由前面章節的敘述可知，泰利颱風在遇到台灣地形前，颱風環流結構受到破壞，圖 5.1 為泰利颱風模擬的氣流場，分別為 300 hPa、500 hPa、925 hPa 三層的氣流場分布，從模擬 16 hr 的氣流線分布來看，在低層 (925 hPa) 的氣流因為受到地形影響，在台灣東南地區有氣流線彎曲的表現，反觀 300 hPa、500 hPa，並未明顯受到地形的影響；若由氣流中心來看，925 hPa 的中心，若以北緯 24 度為基準線，其氣流中心稍稍偏南，而 500 hPa 的中心大約在北緯 24 度線上，到 300 hPa 時，氣流中心更為偏南，由此可見，颱風中心在遇到地形的破壞時，出現垂直方向略有傾斜的現象。到了模擬時間 19 h，颱風中心進入陸地，925 hPa 的氣流中心較 500 hPa 的氣流中心稍微偏東偏北，300 hPa 的氣流中心位置則與 500 hPa 相同。3 小時之後，模擬時間 22 h，此時颱風中心已經出海，從 925 hPa、500 hPa、300 hPa 的氣流場中心垂直方向有些微傾斜，925 hPa 颱風中心走的比 500 hPa 及 300 hPa 來的快，到了 25 h，氣流中心由垂直方向來看已呈現朝西北傾斜的現象，此時氣流的結構受地形的影響已經很小。由以上敘述可知，泰利颱風在受到地形的影響後，氣流中心在垂直方向皆受到潛熱釋放影響，有輕微傾斜的現象，而在

登陸前後最大的不同，在於登陸前的低層中心移動比其他層來的緩慢，由於北部的地形高度不高，故在 500 hPa 的氣流受地形的影響不明顯，但在颱風中心出海後，由於低層受到地形的影響變少，使得中低層的移動速度稍領先高層，隨後中心在垂直方向又趨於一致，此與出海後脫離地形影響有關。

另外我們由水平渦度場來看泰利颱風在過山前受地形的影響，圖 5.2 為 $= 0.993 \sim 0.933$ (約為 993 hPa ~ 933 hPa, 共五層) 的平均水平渦度場，由圖 5.2a 可見，颱風尚未登陸台灣陸地時，正渦度的分布範圍大，颱風正渦度的極值分布鬆散，但仍可由風場中心找出渦度中心位置，由於受到颱風外圍環流影響，在台灣西部地區因外圍環流受到地形的影響而在沿著山脈附近出現正渦度分布。由風場來看，在颱風的第二、三象限存在著外圍環流遇到地形所產生的北風分量，而第一、四象限為颱風外圍環流，為明顯的南風分量，到了模擬時間 16 小時 (圖 5.2b)，颱風正渦度的分布範圍稍縮減，且逐漸朝陸地靠近，由於位置靠近陸地，故在颱風中心北緣大部分的外圍環流都越過台灣北部的地形，少部分因受地形影響而在台灣東部形成的北風分量較前一個小時來的微弱，但從台灣東南部外海風場可明顯看到，第三、四象限的風由西北風轉為西風，到了 17 小時 (圖 5.2c)，颱風中心即將登陸，此時由於此模擬的路徑較為偏北，故在颱風第二象限的風大多為東風及東南風，而因受到東部地形影響產生的北風分量已經非常微弱甚至消失，在第三象限的風場已明顯轉為南風，由於泰利颱風的颱風環流較大，故颱風的南端受外圍環流影響，皆為南來的氣流，正渦度範圍明顯縮減，使得環流中心

不明顯，呈現正渦度增強及負渦度減弱的現象，模擬 18 小時（圖 5.2d）此時颱風中心已經登陸陸地，在東部陸地及外海的風，大多呈現南風，由於受到南風與東風會合的影響，使得正渦度區形成線狀，且渦度增強，而位於颱風環流南方的負渦度區則減弱。

當颱風中心經過地形時（圖 5.2e），台灣東部的風場已完全轉為南風，且環流中心消失，台灣西部多為東北風及北風，正渦度的大值區仍分佈在台灣東部，到了模擬時間 20 小時（圖 5.2f），環流中心重新出現，正渦度大值區已迅速由東岸移到西岸陸地，但在東部的山區仍有氣流受地形影響而存在正渦度，由於受到西岸地形的影響，在西部沿地形有正渦度帶出現，模擬時間 21 小時（圖 5.2g），此時正渦度區大部分轉移到西部，且明顯看到颱風環流中心已經出海，且在西岸的帶狀正渦度區也逐漸向山脈靠近減弱，模擬時間 22 小時（圖 5.2h），此時環流大部分都已脫離陸地，而台灣西部的風場也由北風轉為西北風，及部分受地形影響而出現南風。由水平渦度分布即可明顯的看出颱風渦度受到地形的影響在過山前後有不同的變化。

為了瞭解颱風在過陸地前後產生的變化，於是沿著颱風移動路徑做剖面（圖 5.3a），A-A' 為沿泰利颱風移動路徑所做的剖面，由圖 5.3b 為泰利颱風沿剖面做低層的平均水平渦度時序分析（ $\sigma = 0.993 \sim 0.933$ ，約為 993 hPa ~ 933 hPa），由圖可見，颱風在登陸前，移動速度慢，且環流分布範圍廣（由圖 5.2 a 可見泰利颱風在外海時，正渦度分布範圍廣），直到即將登陸時，受到南風的增強影響，使

得移動速度增快而向陸地逼近（由圖 5.2 可知，在颱風中心逐漸向陸地靠近時，在剖面位置上的正渦度帶逐漸轉為負渦度，此為正渦度帶縮減所致），當颱風登陸之後，由於登陸位置偏北，故颱風的移動仍受到東風及南風的加強影響，移動速度增快，加速出海，這樣的現象從圖 5.3b 可以看到，從模擬時間 11 小時開始，台灣東部正渦度區分布的範圍開始變寬，移動速度緩慢，約為 18 m s^{-1} ，且在西部出現了副中心，直到 16~17 小時，颱風中心即將登陸時，明顯可見正渦度的分布變窄，且在西部的正渦度值也不斷的增大，直到模擬時間 20 小時，位於西側的副中心取代颱風環流中心颱風中心，此與圖 5.2f 相呼應，到後面幾個小時，副中心取代主環流中心後，東部的正渦度明顯減弱，而在颱風出海後，由於漸漸脫離地形的影響，使得正渦度分布區開始變寬，移動速度達到 17 m s^{-1} ，颱風出海後強度減弱，但移動速度並未有明顯的變化；至於登陸颱風在陸地停留的時間，受到副中心取代主環流中心影響，停留在陸地時間僅約 2 小時。

從垂直結構（圖 5.4）可見，泰利颱風在碰到陸地時，在垂直結構上已經產生偏斜（圖 5.4a），暖心結構也相當的不明顯，定義無風區為颱風的中心，星號為地面中心位置，一直到颱風中心移動到中央山脈（圖 5.4b），500 hPa 的颱風中心有落後低層的現象，到了模擬時間 20 hr（圖 5.4c），低層中心到達台灣西部陸地，但中高層的中心仍在中央山脈的位置，有延遲的現象，直到颱風中心出海（圖 5.4d ~ f），颱風的垂直結構在中低層較為一致，中低層的移動速度較 300 hPa 的移動速度來的快，此與圖 5.1 的結果吻合，在過山之後中低層的移動速度領先高層。

可知颱風在經過山脈後垂直結構明顯的受到破壞。而由位溫來看，由於泰利颱風模擬的颱風強度較為不足，所以從颱風中心來看暖心的結構不太明顯，直到颱風中心出海（圖 5.4d ~ f），在台灣西部外海看見颱風的暖心結構出現，此現象表示颱風登陸前受到潛熱釋放影響，使得登陸時在颱風中心的暖心結構相當不明顯，在出海之後，因為脫離地形以及受到海洋加熱影響，而正渦度分布也比登陸前來得集中，雖然中心氣壓隨著出海而減弱，不過中低層的垂直結構變得非常一致。

由風場來看颱風在各層的時間序列變化（圖 5.5），也可看出颱風發展的高度及受到地形影響的變化，由（圖 5.5a）可見，在高層（ $\sigma = 0.398 \sim 0.290$ ）受到地形的影響較為微弱，在模擬時間 19~22 小時，此為颱風中心由台灣東岸移到西岸的時間，此時風速明顯減弱，直到颱風中心移至西岸，風速又開始逐漸增強；但到 $\sigma = 0.596 \sim 0.501$ （圖 5.5b），只有在颱風即將登陸時在東岸有較強的風速出現，約在模擬時間 12 h 之後，由於環流碰觸到台灣地形時受到影響，風速明顯減弱， $\sigma = 0.786 \sim 0.718$ （圖 5.5c），此時可明顯看出風場受到地形的影響，模擬時間 8 小時之前，風速並沒有因為地形產生太大的變化，從模擬時間 10 h 開始，東部陸地的風開始逐漸增強，而西部的風仍微弱，一直持續到 17 h，在 300 km 附近，有強風-弱風-強風的區域出現，判斷弱風位置為颱風中心所在，強風區則為颱風的強風區位置，圖 5.5 d 為 $\sigma = 0.993 \sim 0.933$ 平均風場時序，低層的風場明顯受到地形的影響，一遇到地形，風場迅速減弱，18 颱風登陸，風速減弱，但到了模擬時間 19~20 h，台灣東部山脈附近仍有局部的強風，此時台灣東部仍吹南風，

到了 21 小時，風向轉為較為微弱的東南風(圖 5.2e~g)，但到了 23 小時，強風區移到了西部地區，且颱風在過山前後西側的風速都有大於東側的現象。

5.2 龍王颱風

由圖 5.6 可見，在龍王颱風尚未登陸時(模擬時間 20 h)，從 925 hPa、500 hPa 及 300 hPa 的氣流場皆可看見，氣流線沒有受到地形的影響，到了模擬時間 22 小時，925 hPa 氣流中心受地形的影響仍不大，且於 500 hPa 及 300 hPa 氣流並未受到影響，3 小時之後，低層氣流(925 hPa)被地形影響，中高層在此時的變化亦不大，故垂直方向的氣流中心看來並無太大的差異，到了模擬時間 26 h，此時氣流中心已到達台灣的西部地區，且在低層中心位置有向南偏的現象，在這個模擬時間，垂直中心已呈現不一致的現象，高層的移動速度比低層來的快。

由圖 5.7 龍王颱風的水平渦度場來看，龍王颱風的正渦度分布集中且紮實，在西部地區仍有外圍環流受到地形影響，沿地形產生帶狀的正渦度分布，而在颱風靠近台灣東部陸地時(圖 5.7a)，由於環流受到東部山脈的阻擋，使得在陸地上的風場都為北風，而此北風分量使得東部地區皆為負渦度的分布，由於颱風逐漸靠近陸地，在模擬時間 19 小時(圖 5.7b)，正渦度範圍縮減，且朝西北方靠近陸地，由於路徑較為偏南，故龍王颱風的外圍環流受到台灣中部地形的影響，在東部陸地產生的明顯北風分量存在，且分佈在颱風環流南側的負渦度逐漸減弱，到了模擬時間 20 小時(圖 5.7c)颱風中心環流雖然已經碰觸到陸地，但颱風環

流中心仍非常明顯，在颱風二、三象限仍受到地形的影響，在東側山脈為吹北風，在颱風的第一、四象限為外圍環流影響，皆為南風分量，到了圖 5.7d，颱風中心登陸，颱風眼消失，但靠近陸地的北風仍存在，此與中部山脈較高有所關連，低層的氣流會被地形所阻擋，到了模擬時間 22 小時（圖 5.7e），環流中心已經到達山脈上，故低層受地形影響產生的北風分量已經消失，在東部呈現南風及東風分布，24 小時（圖 5.7 f），颱風中心已經在西部的陸地上，不過東部陸地由於受到南風的影響，正渦度區仍大於西部陸地，而受到龍王颱風氣流受到西南部地形影響，在台灣西南部地區產生一帶狀的正渦度區，圖 5.7 g，此時西部外海的風場已由東北風轉為北風，而靠近西部山區的氣流也由西南轉為南風，使得正渦度帶消失，由山區的風場明顯可見，氣流多為越過山脈到西部，到了模擬時間 28 小時（圖 5.7 h），颱風中心已經脫離陸地，在西南部陸地的氣流已明顯由微弱的南風變成明顯的南來氣流，也加速了颱風的移動速度。

從圖 5.8 即可明顯看出，龍王颱風登陸前後的時序變化，進入剖面之後，颱風的移動呈現穩定的速度，而範圍也並未因為靠近陸地而變得寬廣，從 18 小時開始有明顯的正渦度出現，從 18 小時來看，在颱風東部的渦度大於西部，此與颱風西側風速大於東側有關，直到登陸之後 22 小時，都為東側渦度大於西側的現象，23 小時颱風中心經過中央山脈，導致渦度迅速減弱，在山區的正渦度都相當弱，直到颱風中心越過山到台灣西部陸地，才又出現較大的正渦度區，一直到離開剖面範圍，在這張圖上也可看到，在尚未登陸時，東部陸地一直存在著

負渦度，此與在台灣東側颱風升到地形影響一直存在北風分量有關，而在颱風出海之後，在台灣西側出現明顯負渦度，也與颱風出海之後，南風分量在台灣西側陸地不斷增強的現象有關。

圖 5.9 為龍王颱風平均水平分場的時間序列，從 $\tau = 0.398 \sim 0.290$ 來看

(圖 5.9 a)，在登陸之前在 16 小時左右有出現比較強的風速，一旦颱風環流遇到地形後並未有明顯減弱，登陸前後皆為颱風西側的風大於東側，在 $\tau = 0.596 \sim 0.501$ (圖 5.9 b) 可見，在登陸之前有明顯的強風帶，且可發現在風經過山脈時，並未一遇到地形就減弱，而是呈現風越過山脈的情況，由此也可看見在颱風的東西側風速的差異，西側的風速明顯大於東側，且在模擬時間 30 小時颱風遠離台灣陸地後，台灣東側的風明顯小於西側，此與東部由於受地形阻擋，受到外圍環流的影響也減弱了，而由低層也看見(圖 5.9c~d)，颱風在 20 小時登陸，但風速在山區的減弱是在 23 小時左右，再次證明龍王颱風風場受地形破壞的程度小，寫低層在颱風中心過山之後明顯減弱，而在登陸前在台灣西部的弱風區，此正為北風轉西北風的過渡帶，且大部分氣流由台灣南端繞向台灣東部，使得在此區域形成弱風帶。

既然登陸後風場受到地形的破壞，整個颱風的結構也會因此受到影響，由圖 5.10 可以明顯看到，隨著颱風登陸到出海，當颱風靠近台灣陸地時，從高層到低層的垂直方向位置一致，颱風中心並未產生偏斜 (圖 5.10 a、b)，當颱風登陸時 (圖 5.10 c)，颱風中心的垂直結構並未隨著颱風中心登陸而偏斜，一直到颱風中

心移到了中央山脈上，此時颱風中心結構才開始受到地形的影響，在 300 hPa ~ 400 hPa 的位置，颱風中心明顯有比低層移動較快的現象（圖 5.10d），模擬時間 23 小時（圖 5.10e），此時颱風中心已經在台灣西部的陸地上，此時垂直結構又逐漸恢復一致的現象，最後颱風出海，颱風中心垂直結構一致，此時風場也較為減弱。

5.3 綜合比較

由以上兩小節，可以明顯看出兩強颱在遇到地形時產生的差異，在登陸前，泰利颱風外圍環流受到地形的影響，強度已減弱，反觀龍王颱風，強度一直不受影響，直到颱風中心移動到中央山脈，此時強度才明顯的減弱，風場也隨之減弱，此與環流大小有關，泰利颱風的環流分布廣大，故容易受到地形的阻擋，反觀龍王颱風，由於颱風環流範圍小，故較不容易受到地形影響。

另外為了要瞭解泰利颱風的氣流是否有受到地形的阻擋，在模擬時間 17 小時，在台灣東部（約 124° E 處）設定了 10 個點（由北到南依序編號為 1 ~ 10），從 17 小時到 25 小時追蹤這 10 個點的氣流移動位置，由圖 5.2 可見，在北端的幾個點（1~4）有在台灣陸地打轉再朝西北移動的現象，而其餘的點（5~10）其氣流皆朝台灣北端繞向台灣西北部，由此圖可見，泰利颱風的氣流受到地形的阻擋而向北繞，此次模擬因未將颱風的強度模擬逼近實際觀測，也由於模擬強度較弱無法有在台灣西部出現副中心的結果，但氣流繞山的結果（圖 5.11 a）與觀測一致，由 5.11 b 也可看出龍王颱風越過中央山脈到達台灣西部，氣流受到地形的阻

擋小，此即為兩者在氣流受地形影響最大的差異，由表 6 也可發現兩者的 Froude number，泰利颱風為 0.8，龍王颱風為 1.4，由此也可證明泰利颱風為繞山氣流、龍王颱風為過山氣流。

從氣流場的分布來看，泰利颱風（圖 5.1）在尚未登陸時，已經明顯的受到地形的影響（模擬時間 16 小時，925 hPa），隨時間靠近陸地，低層環流的中心就越不明顯（模擬時間 19 小時），中高層的環流中心也有縮小的現象，此為受到地形的影響所致，且出海後有低層領先高層的現象（22 小時），脫離地形影響後（25 小時），垂直結構又趨於一致；反觀龍王颱風的氣流場分布（圖 5.6），直到颱風中心登陸，環流中心仍未受到地形的破壞（模擬時間 22 小時），直到模擬時間 24 小時，低層中心才受到地形的影響，直到最後颱風出海，在垂直方向位置才有些微的差異。

為瞭解泰利颱風與龍王颱風在過山時渦度的變化差異，在此以兩者的水平渦度時序在各層的變化來比較，雖然兩者的強度有差異，但為便於比較在此兩者色階一致，在圖 5.12 可見，在 $\omega = 0.398 \sim 0.290$ ，由於強度的差異，在視覺上的差異較大，但由分布來看，在高層受到的地形影響都不明顯，但在 $\omega = 0.596 \sim 0.501$ ，可看出泰利颱風在登陸前移動速度緩慢且分布範圍廣，而龍王颱風在登陸前的移動速度看不出有減緩或增強的趨勢，且正渦度的範圍也並未因為靠近陸地而縮減，此與龍王颱風的氣流並未受到地形影響而減弱的狀況有關，在 $\omega = 0.786 \sim 0.718$ ，龍王颱風在模擬時間 24 小時可看見渦度有縮減的現象，此與颱風中心從

山脈移到陸地，強度明顯減弱有關，而泰利颱風則在登陸前分布範圍廣，在靠近陸地時速度加快，且正渦度範圍縮小，直到颱風中心，正渦度的分布才又變的較大，此與風場分布有關。而在低層的變化更可顯見兩者受地形的影響，泰利颱風除了過山前後的正渦度分布外，當颱風中心在陸地上時，呈現在台灣東、西側皆有強正渦度區存在，一為颱風中心，一為由於風場受地形的侷限而產生的正渦度，反觀龍王颱風，從圖 5.8 可見，颱風在過山之後雖有部分正渦度留在東部地區，但正渦度中心在過山之後就明顯位於西部，並未像泰利颱風一般，通過地形時在地形東西兩側出現正渦度極值。

再從風場的分布來看，泰利颱風的風場在碰觸到地形後，明顯減弱(圖 5.5d)，直到颱風中心出海，才又在西側有較強的風出現，而龍王颱風在颱風中心登陸之後的風並沒有減弱，直到颱風中心登上中央山脈之後在結構上才開始減弱(圖 5.13d)，且由前所述，到了高層其風場逐漸減弱，但仍有風越過山脈的現象發生。

由從結構上看，泰利颱風在還沒登陸時，其垂直方向已經出現傾斜的現象(圖 5.4a)，當中心移到中央山脈時，結構已經受到地形破壞(圖 5.4b)，反觀龍王颱風(圖 5.10c)，在颱風中心已經登陸時，其結構仍垂直，直到中心達到山頂(圖 5.10d)，颱風中心才有中層移動速度較低層來的快的現象，此時龍王颱風才受到地形的影響。

由模擬之雷達回波圖可看出，泰利颱風在尚未登陸之前(圖 4.9a~b)，回波的結構相當鬆散，反觀龍王颱風在登陸之前(圖 4.18a)，結構相當紮實，且颱風

眼明顯；當颱風中心在陸地上時，泰利颱風的雷達回波增強（圖 4.9c~d），此為登陸之後受到地形的增強所致，而龍王颱風則為登陸時（圖 4.18b），颱風眼仍相當明顯，結構也並未因登陸而減弱，當颱風中心經過中央山脈時，開始明顯的減弱（圖 4.18 c~d）；颱風中心出海泰利颱風（圖 4.9 e~f）的中心強度雖減弱，但因受到地形的影響減弱，雷達回波仍有達到 40 dBz，而龍王颱風在出海之後（圖 4.18 e~f），回波強度減弱，且結構也變的鬆散。這些登陸前後的變化顯示泰利颱風及龍王颱風都有受到地形的影響，不過兩個颱風在遇到地形時所產生的現象卻大不相同。