

2013年蘇力颱風情境模擬分析之研究

陸可揚¹ 楊宏宇² 林裕豐³

¹中華科技大學土木防災與管理碩士班

²中華科技大學土木防災與管理碩士班碩士

³空軍氣象聯隊第二基地天氣中心

摘要

熱帶西北太平洋位於全球海面溫度最高之西太平洋暖池 (warmpool) 範圍內，溫暖的海水提供該區大氣充足的水蒸氣來源，加上北半球夏季南亞低層大氣的西南季風和由東太平洋而來之盛行東風正好在熱帶西北太平洋附近輻合，提供颱風發展所需之低層正渦度擾動，使得熱帶西北太平洋地區成為全球颱風生成最為頻繁之區域。而臺灣所處的位置，更是颱風最主要活動路徑之所在。

颱風是影響臺灣最劇烈的天氣系統，也是重大的天然災害之一，臺灣山脈高聳，且地形複雜，地形的存在不僅會影響颱風侵臺路徑偏移，移速改變，並會影響颱風內部之對流結構與風雨分佈，造成颱風預報上的困難與不確定性。

本研究利用 WRF 模式針對 2013 年蘇力颱風侵臺期間進行數值模擬，藉由不同模式設計探討蘇力颱風強度結構、路徑及降水變化等特性分析，以及臺灣地形在其間扮演之角色。初步研究結果顯示，蘇力颱風路徑持續朝西北移行主要是受到綜觀環境 850-300hPa 深層平均駛流導引，颱風接近臺灣陸地前，地形存在導致路徑有向西偏折之現象，移除地形實驗則無向西偏折現象發生，而使用 Keesler 及 WSM6 雲微物理參數化方案模擬登陸後路徑均較控制實驗偏南；在強度方面，颱風的結構受地形破壞變的相當不對稱，也因此造成強度在登陸後快速的減弱，在颱風中心離陸進入臺灣海峽後，颱風結構有重組現象，強度也略有增強；雲微物理參數化模擬強度以 Keesler 暖雲方案強度最強，其次為 WSM6，最弱為控制實驗的 WSM3 參數化方案；在降雨模擬部份顯示，蘇力颱風本身颱風中心南側對流雨帶發展較為活躍，登陸後地形引起之不對稱雨帶分布在颱風中心南側，該雨帶自海峽進入臺灣陸地後受地形舉升有加乘效果，導致山區激發旺盛對流發展；然而，不同實驗模擬之路徑略有差異，造成颱風環流與地形間之作用改變，因此降雨強度及位置稍有不同，除此之外，雲微物理過程也對降雨造成影響，其中以 Keesler 暖雲方案之模擬整體降雨強度較強，其次是增加冰雹的 WSM6 方案，其主要是模式設定雲水、冰晶及冰雹轉換成雨滴的過程不同所致。

關鍵詞：蘇力颱風、天氣研究及預報數值模式 (WRF)、敏感度測試。

一、前言

熱帶西北太平洋 ($0^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}/120^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$) 位於全球海面溫度最高之西太平洋暖池 (warm pool) 範圍內，溫暖的海水提供該區大氣充足的水蒸氣來源，加上北半球夏季南亞低層大氣的西南季風和由東太平洋而來之盛行東風正好在熱帶西北太平洋附近輻合，提供颱風發展所需之低層正渦度擾動，使得熱帶西北太平洋地區成為全球颱風 (熱帶氣旋) 生成最為頻繁之區域。由於臺灣地理位置恰巧位於西北太平洋颱風活動主要路徑上，每年有 3~5 個颱風會侵襲臺灣地區，是最嚴重的天然災害之一。但另一方面，颱風降雨也是本島最主要水資源提供者，約貢獻全島年降雨量之 50% 左右，臺灣夏季缺水嚴重年份往往和該年侵襲臺灣地區颱風個數偏少有關，預測颱風路徑和颱風季節活躍程度便成為防災和水資源規劃不可或缺的工作。

(一) 研究動機

臺灣位於颱風路徑的要衝，颱風除了是影響臺灣最劇烈的天氣系統外，亦為臺灣重要水資源，但颱風更是一種極其嚴重的災害性天氣系統，除豪大雨、強風外，其伴隨之淹水、泥流及土石流等災害，常導致農作物慘重損失，經濟發展受阻，更甚者，生命安全也將受極大的危害，如 2009 年莫拉克颱風三天內在高雄旗山降下超過臺灣的年平均雨量 (臺灣年平均雨量為 2500mm)，造成 681 人死亡，其中以高雄縣甲仙鄉小林部落滅村事件最為嚴重，造成 474 人活埋。

過去已有許多研究在探討颱風侵臺期間之影響 (Wu and Kuo 1999; Wu 2001)，但受限於觀測資料不足，加上颱風侵臺期間受臺灣複雜地形影響，導致颱風路徑、移速、結構與風雨分佈均有很大的改變；除此之外，氣象數值模式使用的參數化方法，是在已知的條件下去做最適當的物理參數的假設，並

無法代表真實大氣發生的狀況。因此，目前在颱風預報上仍存在相當的困難與挑戰。探討臺灣地形在颱風侵襲期間扮演的作用及不同物理參數化方法的設定，將有助於對侵臺颱風特徵有更進一步的瞭解，進而在面對類似颱風侵襲時，能提早預防以減少颱風的傷害。

由相關歷史颱風資料及行政院農委會統計，得知颱風侵臺路徑之歸類為第 2 路徑之颱風 (侵臺颱風資料庫颱風 9 種路徑分類中第 2 類) 為近年來造成臺灣農損最多之颱風類型，近 8 年來造成臺灣農損排名前 10 名的颱風，就有 6 個為第 2 類型颱風，比例為 9 類型之冠，發生時間 2013 年之蘇力颱風便屬此類型；由於 2013 年蘇力颱風侵臺期間，全臺出現強風、豪雨，尤其臺灣西半部降下超大豪雨，造成各地淹水、溪水暴漲、鐵路及航空交通中斷、電力及電信系統受損等災情，共計有 3 人死亡，農損約 14.8 億元。蘇力颱風是 2013 年臺灣地區侵臺颱風帶來最為嚴重的災害之一，侵臺期間結構、路徑、強度及降雨等變化過程，在颱風預報研究仍是一個值得探討的題議。

(二) 研究目的

本研究利用天氣研究及預報數值模式 (The Weather Research and Forecasting Model) 簡稱 WRF 模式，針對 2013 年蘇力颱風侵臺期間進行數值模擬，藉由不同參數化及模式實驗設計探討蘇力颱風強度結構、路徑及降水變化等特性分析，以及臺灣地形在其間扮演之角色。

基於上述的研究背景與動機，本研究主要目的有以下 3 點：

1. 探討蘇力颱風侵臺期間臺灣地區地區強降水發生過程機制為何？
2. 臺灣地形對於蘇力颱風侵臺期間之強度結構、路徑及降水之作用為何？
3. 模式中不同雲微物理過程設定對蘇力颱風

侵臺期間降水之作用，及其對強度與路徑之影響？

(三)研究範圍及限制

本研究在以發生時間最新、第 2 類型路徑之颱風及農損排名前 10 名之條件限制下，以 2013 年之蘇力颱風為模擬之個案，使用中尺度模式 WRF V3.3.1 版本進行模擬，模擬時間為 2013 年 7 月 12 日 08 時至 7 月 14 日 08 時共 48 小時，模式初始場和側邊界條件採用 NECP/FNL 全球分析場資料，空間解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，時間間隔為 6 小時一筆。另藉由不同之模式設計，研究範圍以在模擬探討蘇力颱風侵臺期間之強度結構、路徑及降水等特性分析，並探討臺灣地形在模擬過程所扮演的角色。

(四)本研究之流程大致依下列步驟進行：

1. 設定研究目的、範圍及流程。
2. 颱風歷史資料及其文獻與 WRF 相關文獻回顧。
3. 模式工具、模擬參數設定及實驗設計介紹。
4. 實驗模擬結果與分析。
5. 結論與建議。

二、文獻回顧

熱帶西北太平洋 ($0^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N} / 120^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ} \text{E}$) 位於全球海面溫度最高之西太平洋暖池 (warm pool) 範圍內，溫暖的海水提供該區充足的水氣來源，加上北半球夏季南亞低層大氣的西南季風和由東太平洋而來之盛行東風正好在熱帶西北太平洋附近輻合，提供颱風發展所需之低層正渦度擾動，使得熱帶西北太平洋地區成為全球熱帶氣旋生成最為頻繁之區域 (圖 2-1)。臺灣地理位置恰巧位於西北太平洋颱風活動主要路徑上，每年有 3~5 個颱風會侵襲，是影響臺灣最嚴重的天然災害。另一方面，颱風降水也是本島最主要水資源提供者，颱風所帶來之降雨約貢獻全島年降雨量之 50% 左右。

依據經濟部水利署針對 1961~2000 年的颱風降雨資料進行分析，以流域的形式將臺灣地區分為北、中、南及東四個區域，繪得歷年平均降雨分佈圖，如圖 2-2 所示。結果顯示北部地區的降雨集中在東北部山區以及雪山山脈北端附近。中部地區的降雨是集中在苗栗及嘉義阿里山。南部地區則是降雨集中在中央山脈南端的迎風面上，嘉南平原等沿海地區屬於颱風降雨稀少的地區。東部區域則是因為處於大多數颱風的侵襲路徑上，故常是最早感受到颱風威力的地區，降雨量較其他區域來得高。颱風降雨呈現由中央山脈東側向西部沿海地區遞減的趨勢。

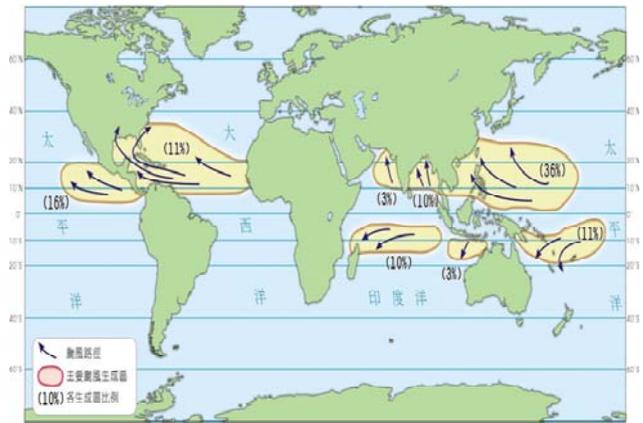


圖2-1 全球熱帶氣旋發生平均分佈(資料來源：侵臺颱風資料庫)

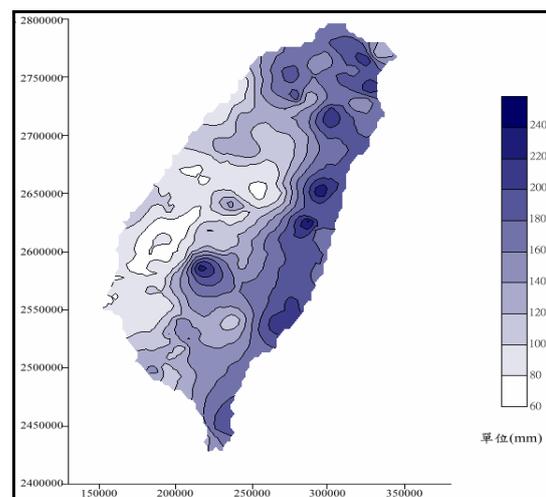


圖2-2 颱風歷年平均降雨分佈 (1961~2000 年) (資料來源：經濟部水利署)

(一) 颱風歷史資料回顧：

不同之侵臺颱風路所造成的降雨分佈亦不同，各路徑皆有其特徵，侵臺颱風資料庫 (<http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/mainpage.htm>) 統計中，西太平洋颱風路徑分 9 大類(如圖 2-3)，以由東向西移動之路徑為最大宗，占所有路徑之 64%，以下就第 1~9 類颱風路徑所造成之降雨分佈做說明：

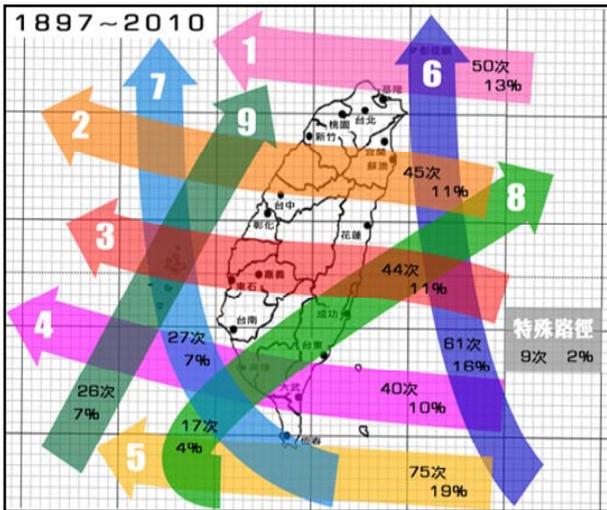


圖 2-3 颱風行進路徑分佈 (1897~2010 年)
(資料來源：經濟部水利署)

1. 颱風路徑分類：

(1) 西行颱風：

a. 第 1 類路徑由北部外海經過，因此降雨集中於北縣市及桃竹苗等地區，中部山區亦會受影響(如圖 2-4)。

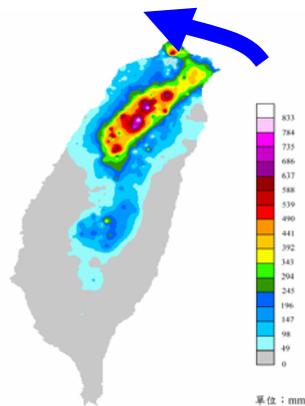


圖 2-4 第 1 類路徑颱風降雨分佈(資料來

源：經濟部水利署)

b. 第 2 類路徑通過臺灣北部，包括中南部地區皆會受影響，如圖中降雨分佈集中於阿里山地區(如圖 2-5)。

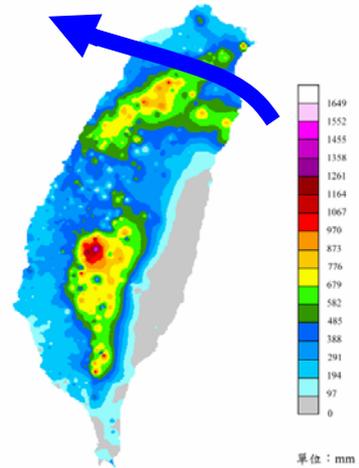


圖 2-5 第 2 類路徑颱風降雨分佈(資料來源：經濟部水利署)

c. 第 3 類路徑颱風由東部登陸，因此花東地區首當其衝，有當相大的累積降雨，路徑為通過臺灣中部，西半部則因有中央山脈的阻擋，雨量明顯減少許多(如圖 2-6)。

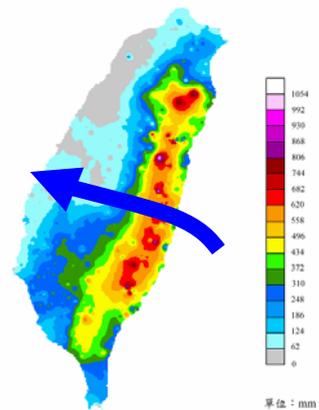


圖 2-6 第 3 類路徑颱風降雨分佈(資料來源：經濟部水利署)

d. 第 4 類路徑颱風由東南部登陸，路徑經過

臺灣南部，狀況與第3類路徑相似(如圖 2-7)。

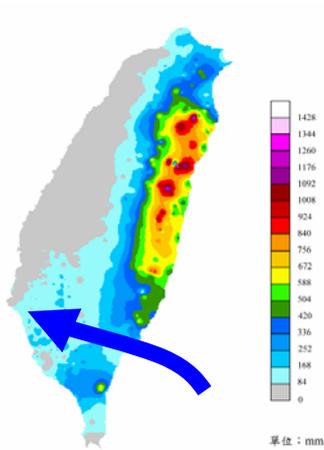


圖 2-7 第 4 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

e. 第 5 類路徑颱風由巴士海峽經過，降雨主要分佈於東部縣市及屏東墾丁地區，又以花蓮及臺東兩地為降雨中心(如圖 2-8)。

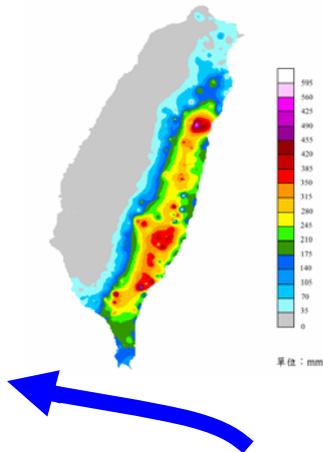


圖 2-8 第 5 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

(2) 北行颱風：

a. 第 6 類路徑為沿東岸太平洋向北行進，降雨分佈於東部各縣市，屏東墾丁地區亦會受影響(如圖 2-9)。

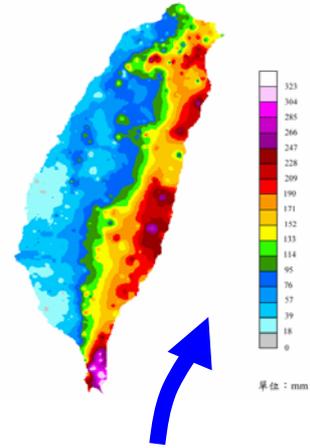


圖 2-9 第 6 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

b. 第 7 類路徑颱風雖然沿西南岸由臺灣海峽北上，但因颱風為逆時針旋轉，因此降雨主要分佈於南部縣市及臺東(如圖 2-10)。

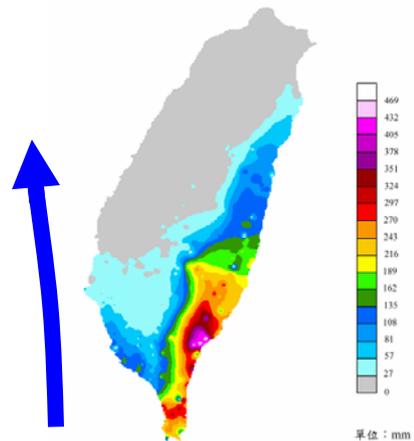


圖 2-10 第 7 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

c. 第 8 類路徑颱風通過臺灣南部向東北行進，主要的降雨分佈集中於花東地區及南部縣市(如圖 2-11)。

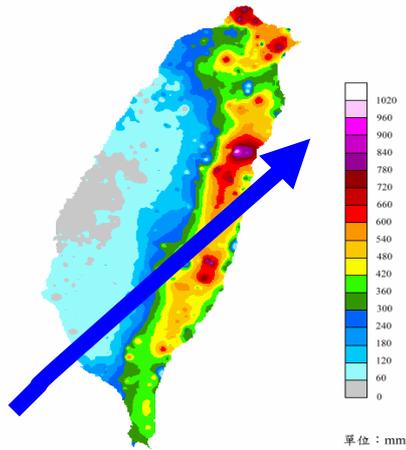


圖 2-11 第 8 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

d. 第 9 類路徑颱風通過臺灣海峽向北北東行進，主要的降雨分佈於東北部地區(如圖 2-12)。

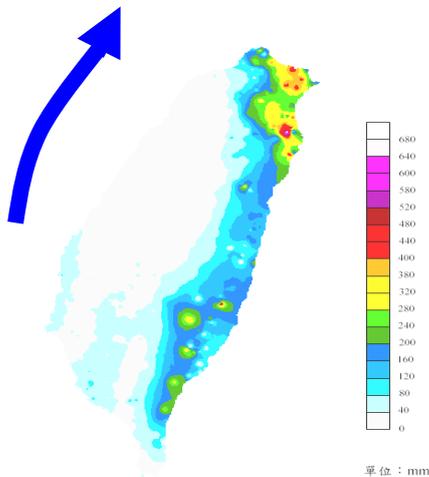


圖 2-10 第 9 類路徑颱風降雨分(資料來源：經濟部水利署)

2. 災例介紹

依行政院農委會調查，95 年至 102 年間，對農業損害最嚴重，財物損失最高的 10 個颱風中，數量最多的即為第 2 類路徑颱風(如圖 2-13)。其前 10 名排名中，依路徑分類

計只有 3 種，除第 2 類型外，分別為第 3 及第 4 類型，均為西行颱風，農業損失金額最高之 1、2 名分別為莫拉克颱風及凡那比颱風，雖非第 2 類型路徑，但總體平均損害最大的仍為第 2 類型路徑之颱風，如表 2-1。

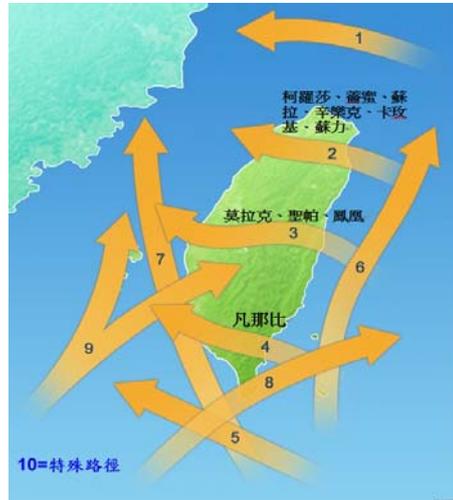


圖 2-13 95-102 年，10 大農業風災(資料來源：行政院農委會)

表 2-1 農業損失排名(資料來源：行政院農委會)

95-102年風災之農業災情(總損失1億元以上)			
發生時間	名稱	農業損失(億元)	排名
95/5/16-18	珍珠	1.9	
95/7/12-15	碧利斯	3.7	
95/7/23-26	凱米	2.5	
96/8/6-9	帕布及梧槽	1.1	
96/8/16-19	聖帕	27.2	5
96/10/4-7	柯羅莎	78.1	3
97/7/16-18	卡玫基	19.5	9
97/7/26-29	鳳凰	25.4	6
97/9/11-16	辛樂克	21.9	8
97/9/26-29	喬蜜	65.3	4
98/6/19-22	蓮花	7.7	
98/8/5-10	莫拉克	275.7	1
98/10/3-6	芭瑪	1.7	
99/9/17-20	凡那比	81.2	2
99/10/21-23	梅姬	1.8	
100/8/27-31	南瑪都	2.3	
101/6/19-7/6	泰利	14.2	
101/7/30-8/3	蘇拉	24.6	7
101/8/21-28	天秤	4.2	
102/7/11-13	蘇力	14.8	10
102/8/20-9/10	潭美及康芮	9.1	
102/9/19-9/22	天兔	1.8	

從 2004 年至 2014 年，第 2 類型颱風侵臺計有 7 個，其相關資料摘述如后：

(1) 碧利斯颱風(2006)，3 人死亡、農業損約 3.7 億，移動路徑如圖 2-14、降雨累積如

圖 2-15。



圖 2-14 碧利斯颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

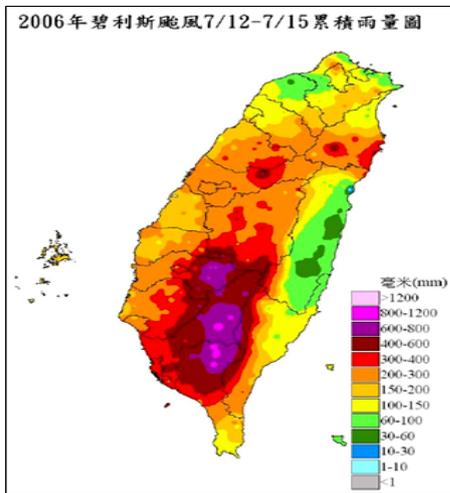


圖 2-15 碧利斯颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

(2)柯羅莎颱風(2007)，9人死亡、農業損失約78.1億，移動路徑如圖2-16、降雨累積(如2-17圖)。



圖 2-16 柯羅莎颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

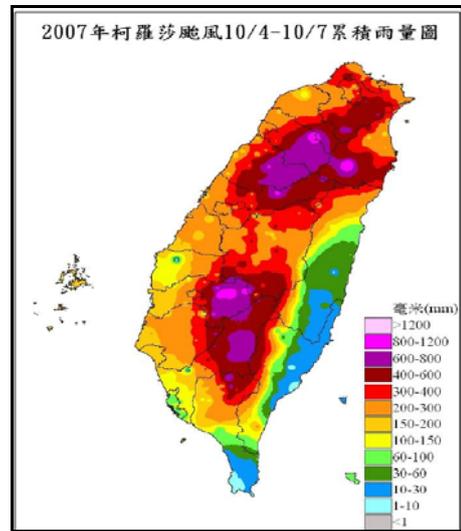


圖 2-17 柯羅莎颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

(3)卡玫基颱風(2008)，20人死亡、6人失蹤、農業損失約19.5億，移動路徑如圖2-18、降雨累積如圖2-19。

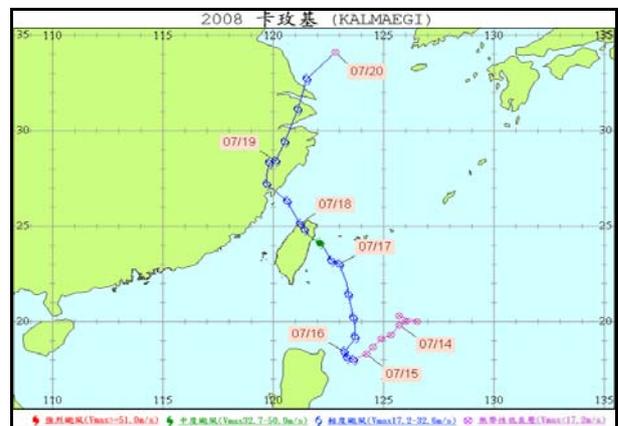


圖 2-18 卡玫基颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

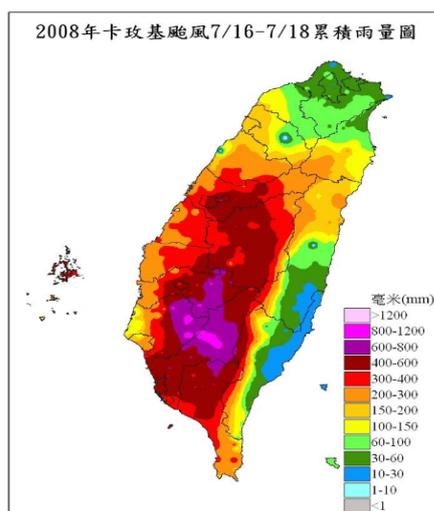


圖 2-19 卡玫基颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

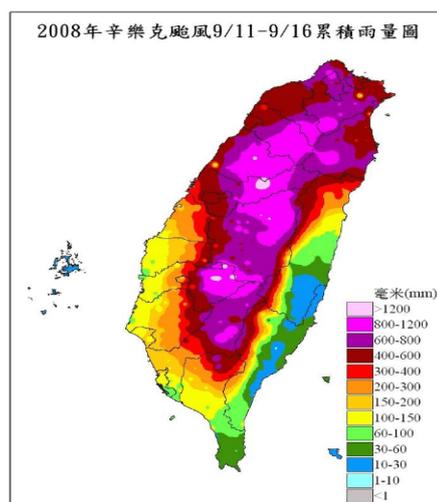


圖 2-21 辛樂克颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

(4)辛樂克颱風(2008)，14人死亡、7人失蹤、農業損失約21.9億，移動路徑(如圖2-20)、降雨累積(如圖2-21)。

(5)薈蜜颱風(2008)，2人死亡、2人失蹤、農業損失約65.3億，移動路徑(如圖2-22)、降雨累積(如圖2-23)。

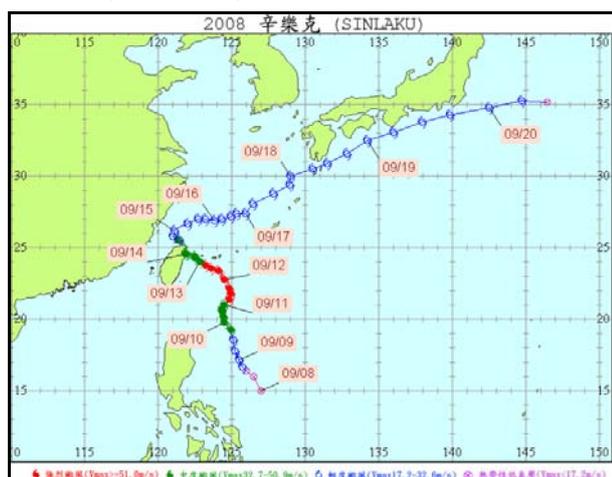


圖 2-20 辛樂克颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)



圖 2-22 薈蜜颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

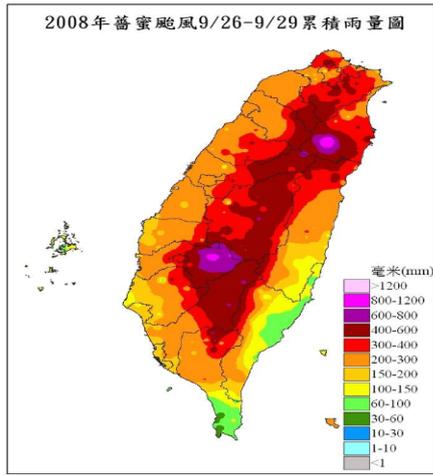


圖 2-23 蕃蜜颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

(6)蘇拉颱風(2012)，7人死亡、農業損失約24.6億，移動路徑(如圖2-24)、(降雨累積如圖2-25)。

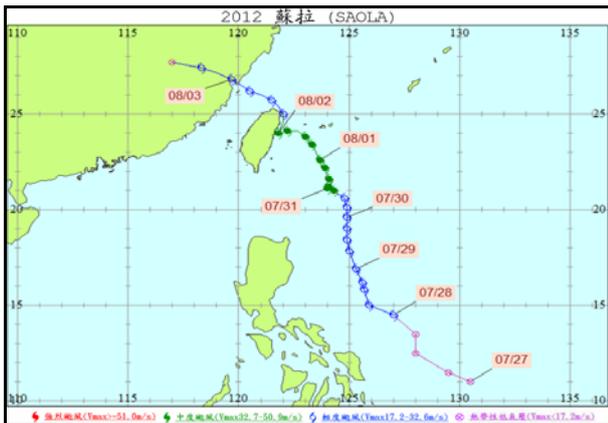


圖 2-24 蘇拉颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

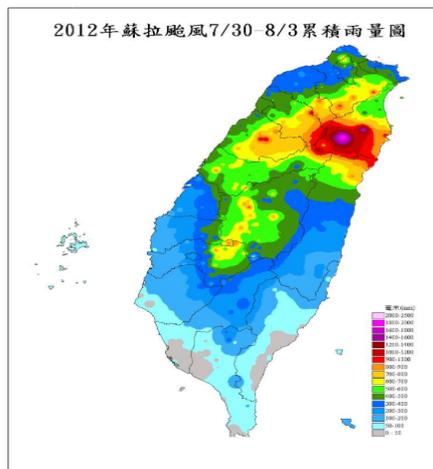


圖 2-25 蘇拉颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

(7)蘇力颱風(2013)，3人死亡、農業損失約14.8億，移動路徑(如圖2-26)、降雨累積(如圖2-27)。

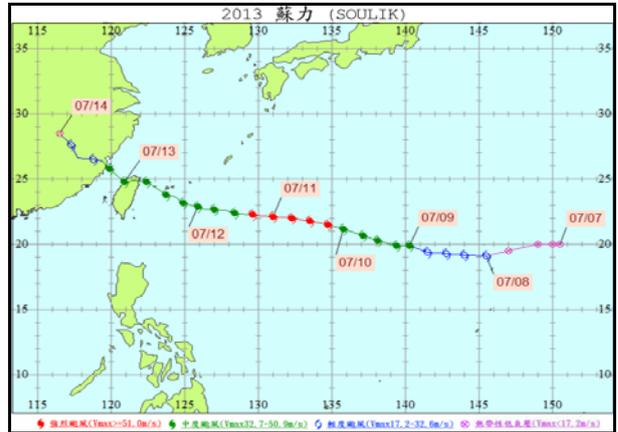


圖 2-26 蘇力颱風移動路徑(資料來源：中央氣象局)

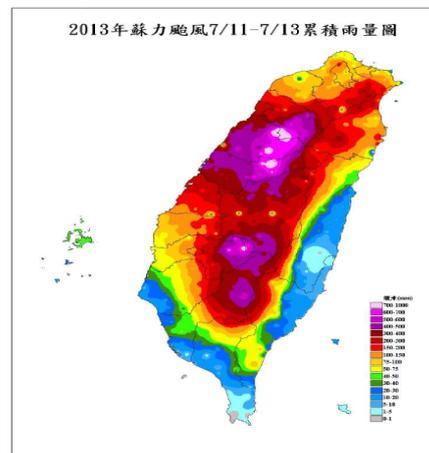


圖 2-27 蘇力颱風累積雨量(資料來源：中央氣象局)

從上列第 2 類型各颱風累積雨量圖來看，颱風降雨最劇烈區域主要為新竹以南至臺南以北及宜蘭地區，從上述資料可知，在一級農業區中除 96 年嘉義、臺南、高雄及屏東等南部縣市受柯羅莎颱風影響農損較嚴重外，97 年、101 年及 102 年，臺中、彰化、

南投，嘉義及雲林等地區農損均受第2類型颱風影響甚巨，另二級農業區宜蘭，苗栗農損主要亦是受第2類型颱風影響，上述受創地區農損，合計占當次颱風總農損之75%以上，如圖2-28，可見第2類型颱風對臺灣農業及經濟損害之嚴重性不可輕視。

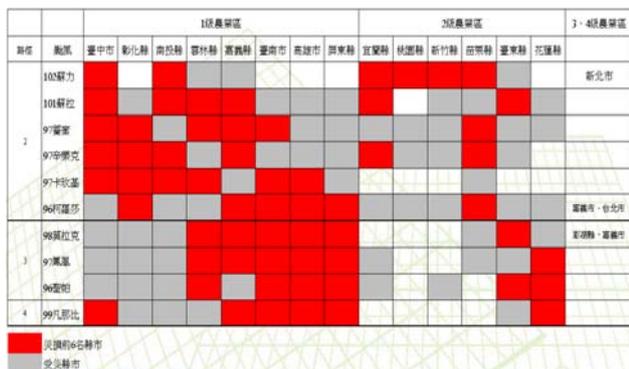


圖2-28 2006至2014年風災農損示意圖(資料來源：行政院農委會)

3.比例分析

在2006至2014年，8年內侵臺的第2類型路徑共7個颱風中，僅有2006年之碧利斯颱風農業損失未達前10名，其餘6個農業損失均達前10名，如表2-2；另將颱風中心行經範圍縮小至東經119.5°至122.5°，北緯21.5°至25.5°（如圖2-29），並設定條件為2006至2014年發布過陸上颱風警報，符合條件計22個颱風（如圖2-30），其中造成農損排名前10名的第2、3、4種路徑，亦為上述條件下，發生次數最多的3種路徑，單就2、3、4類型而言，第2類颱風更是期中發生次數比例最高，造成重大農損比例最高之颱風類型（如表2-3），綜上，選取第2類型颱風進行探討。

表2-2 2006-2014年間第2類型路徑侵臺颱風

編號	颱風名稱	最大強度	死亡人數	農損排名
200604	碧利斯 BILIS	輕度	3	
200715	柯羅莎 KROSA	強烈	9	3
200807	卡玫基 KUKALMAEGI	中度	20	9

200813	辛樂克 SINLA	強烈	14	8
200815	薔蜜 JANGMI	強烈	2	4
201209	蘇拉 SAOLA	中度	7	7
201307	蘇力 SOULIK	強烈	3	10



圖2-29 颱風中心行經範圍設定(資料來源：中央氣象局)

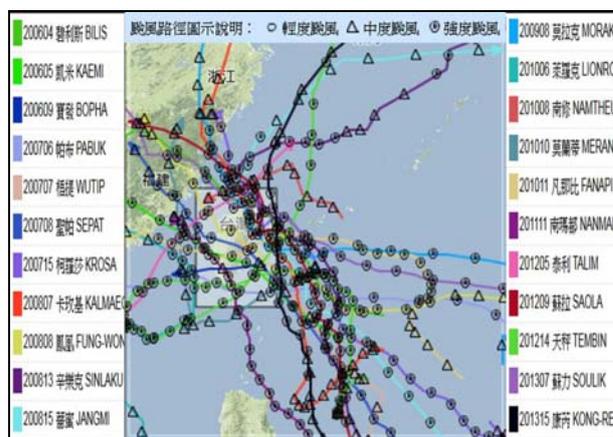


圖2-30 颱風移動路徑分布圖(資料來源：中央氣象局)

表2-3 設定範圍內第2-4類型

119.5° E-122.5° E、21.5° N至25.5° N範圍內第2-4類型颱風發生及農損比例表					
類型	發布數	農損達前10數	發布警報比例	重大農損比例	是類颱風達重大農損比例
2	7	6	41%	60%	86%
3	5	3	29.5%	30%	60%
4	5	1	29.5%	10%	20%

二、WRF 文獻回顧

氣象模式的可能性最先在1920年代被提出來，但是直到50年代隨著計算機的發展才有第一次的預報產生，其簡化許多物理方程，並成功預測了一場美國東北的大風雪。80年代以後隨著電腦計算速度的演進、衛星遙測發展、其觀測資料及各地觀測站的設立，模式也越來越精進及龐大。至今為止，目前比較有名的氣象模式如美國的MM5 (Fifth Generation Mesoscale Model) 及WRF (Weather Research and Forecasting model) 模式、歐洲的ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasting Integrated Forecast System) 等。

天氣研究及預報數值模式(The Weather Research and Forecasting Model)簡稱WRF，是一個新一代的中尺度數值天氣預報系統，主要為了天氣預報及大氣研究需求所發展，是由美國國家大氣研究中心(NCAR)、國家海洋暨大氣總署(NOAA)、國家環境預報中心(NCEP)、預報系統實驗室(FSL)、美國空軍氣象機構(AFWA)及Oklahoma大學所共同研發。具有多重的動力核心、三維變分資料同化系統、可移動的巢狀網格、可平行化計算及可擴充更新的特點，模擬的尺度可由數公尺到數千公里。

WRF發展的主要目的是取代眾多的中尺度氣象模式如NCAR及賓州大學的MM5模式、NCEP的Eta模式、FSL的RUC系統等。自2000年11月發布以來，WRF已更新到3.4版，可應用於即時數值天氣預報與分析、參數化研究、耦合模式應用及教學等。

1. WRF 敏感度測試研究文獻回顧：

表2-4 各物理參數法組合設定(資料來源：洪景山等2006)

組別	邊界層參數法	微物理參數法	積雲參數法
P01	YSU	WSM5	KF
P02	YSU	WSM5	BMJ
P03	YSU	WSM5	Grell-Devenyi
P04	YSU	Eta Ferrier	KF
P05	YSU	Eta Ferrier	BMJ
P06	YSU	Eta Ferrier	Grell-Devenyi
P07	MYJ	WSM5	KF
P08	MYJ	WSM5	BMJ
P09	MYJ	WSM5	Grell-Devenyi
P10	MYJ	Eta Ferrier	KF
P11	MYJ	Eta Ferrier	BMJ
P12	MYJ	Eta Ferrier	Grell-Devenyi

2.周與黃(2010)使用WRF模式，選用四種不同積雲參數法及微物理參數法組(如表2-5)，針對2008年辛樂克(SINLAKU)颱風及薔蜜(JANGMI)颱風進行實驗，當積雲參數法使用KF時的四組參數法組合，可以產生最佳的路徑系集預報；而積雲參數法選擇KF及微物理法選擇WSM3時則可以獲得最小平均路徑誤差。

表 2-5 由積雲參數法 (CPs) 與微物理參數法 (MPs) 組成之 16 種參數法組合設定(資料來源：大氣科學第 38 期)

CPs \ MPs	Kessler (1)	Lin et al. (2)	WSM3 (3)	WSM6 (6)
Kain-Fritsch (KF=1)	11	12	13	16
Betts-Miller-Janjic (BMJ=2)	21	22	23	26
Grell-Devenyi (Grell=3)	31	32	33	36
New-Grell (N.Grell=5)	51	52	53	56

簡等(2012)針對2009年莫拉克(MORAKOT)颱風與2010年凡那比(FANAPI)颱風，運用WRF模式7種不同物理參數組合(如表2-6)進行實驗，在整

體預報能力上，以組別 p01，即 YSU 邊界層參數法，WSM5 微物理方法搭配 KF 積雲參數法，在模擬路徑及降雨分布上有較佳的表現。

表 2-6 各物理參數法組合設定(資料來源:簡芳菁等 2012)

組別	邊界層	微物理	積雲參數
p01	(1) YSU	(4) WSM5	(1) KF
p02	(9) B-Park/UW	(13) SBU-YLin	(6) Tiedtke
p03	(9) B-Park/UW	(13) SBU-YLin	(7) Z-M
p04	(9) B-Park/UW	(13)SBU-YLin	(14) Nejev GFS SAS
p05	(9) B-Park/UW	(9) M-Y	(6) Tiedtke
p06	(9) B-Park/UW	(9) M-Y	(7) Z-M
p07	(9) B-Park/UW	(9) M-Y	(14) New GFS SAS

由上述文獻回顧可發現，臺灣位於東亞地區，如要使用 WRF 模式，針對侵臺颱風進行模擬實驗，應以 KF (Kain-Fritsch) 積雲參數法，WSM 3 或 WSM 5 微物理參數法與 YSU (Yonsei University) 邊界層參數法的物理組合為首選。

三、研究工具與方法

WRF 模式是中尺度數值天氣預報模式，作為數值預報以及大氣研究之用途，WRF 模式適用的範圍從數公尺到數千公里。

WRF 模式是由美國國家大氣研究中心 (NCAR)、美國國家海洋暨大氣總署 (NOAA) 及美國空軍氣象機構 (AFWA) 等 8 個單位負責研發，為非商業營利之學術模式，可以提供研究人員進行真實天氣個案模擬實驗或是應用其理想化模組作為基本物理過程探討的理論依據。WRF 模式系統開發的目標是建立一個具有可移植也可提供預報作業單位進行高效計算的物理、數值和資料同化的模式，並且是個易維護、可擴充、高效率、方便等眾多特性且使用介面友善的模式。

(一) 模式介紹與資料來源

1. WRF 模式介紹

WRF 模式是一個完全可壓縮非靜力模式，控制方程組都寫為通量形式。網格式與 MM5 的 Arakawa B 格點不同，而是採用 Arakawa C 格點，有利於在重力波速解析中提升準確性。WRF 模式系統將成為改進從小尺度到綜觀尺度等不同尺度重要天氣特徵預報精確度的工具。為了滿足實際天氣的需要，模式另必須要有一套物理參數法，比如積雲參數、輻射參數、邊界層參數化、對流參數化及微物理參數等，能夠應用於理想個案模擬、參數化、資料同化研究、即時數值天氣預報與分析、耦合模式應用及教學等。

使用統一化之控制介面，使用者較方便插入個別模組，圖 3-1 為模式系統的流程图，圖中顯示各個輔助程式的順序及資料流向，並可採用使用者介面選單來改變模擬區域及模式參數，對初階使用者較方便操作，此外使用平行化之程式介面，在分工計算時較有效率，時間積分方面使用 3 階之 Runge-Kutta (RK3) 時間積分法，線性方程式為三階準確，較 MM5 二階 (leapfrog) 精確，由於使用模組設計標準化語言 (如採用 F90 及結構平行化) 有更為先進的數值計算和資料同化技術、多重移動網格以及更為完善的物理過程 (尤其是對流和中尺度降水過程)。WRF 擁有可移動的巢狀網格，可由外至內逐步增加其解析度，進而聚焦觀察之天氣現象。模式中可同時存在兩個解析度較高的模擬區域 (domain)，模擬區域間只能包含，不能部份交集 (如圖 3-2)，常使用的網格解析度比例通常為 3:1，也就是內層區域為外層區域解析度的 3 倍，如 45、15、5 公里。而在移動系統的模擬上 (如颱風)，可將其設定為隨著系統移動的模擬區域，使模擬時可以專注於移動系統的細部變化。

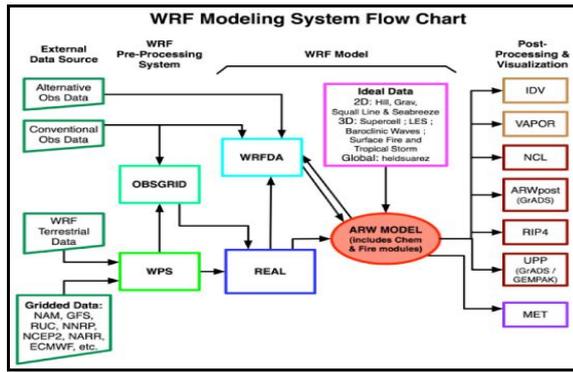


圖 3-1 WRF 模擬流程圖(資料來源:Wang et al., 2012)

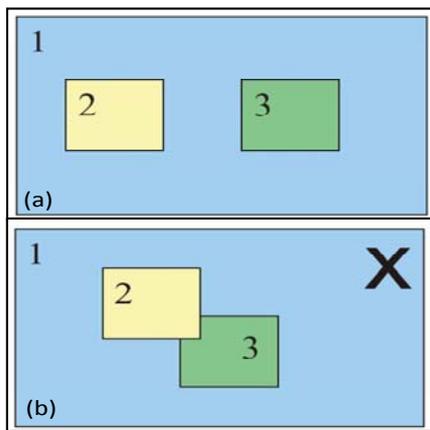


圖 3-2 (a)兩個內層模擬區域位於同一外層模擬區域中(b)區域 2 與 3 部份交集，此為模式中不允許之方式(資料來源:Skamarock et al., 2008)

而在 WRF 模擬流程中，主要物理過程計有下述 5 項：

(1) 微物理 (Microphysics)：

微物理部分主要是處理水氣、雲、降水…等濕過程。在 WRF 中，微物理過程是在每個時間步階中最後處理，以調整模式，確保溫度與水氣的平衡，微物理過程中並沒有考慮其時間趨勢。在微物理過程中，混合相 (mixed-phase) 過程主要是由於冰與水的交互作用而產生，例如上升運動所產生的霰 (graupel、或稱軟雹) 或雹，因此通常在第三層網格中，當其解析度小於 10km 時，網格內的上昇運動可被模式所解析，這時 WRF

則建議應採用混合相之過程，才能處理如雹或霰等較細微的物理現象。目前 WRF 3.4 版中有 14 種微物理選項。

(2) 積雲參數化 (Cumulus -Parameterization)：

積雲參數化主要是處理次網格尺度中 (小於網格解析度)，因為模式網格所無法解析的雲之上升及下降運動對濕度、動量及熱量等變數的影響，也可應用於對流降水之計算。但由於積雲參數化是代表次網格尺度下的雲物理過程，因此常使用在大於 10 公里解析度的網格，若在較高解析度的網格中，則只利用微物理過程來進行計算，而不使用積雲參數化。目前 WRF3.4 版中有 10 種積雲參數化選項。

(3) 行星邊界層 (Planetary Boundary Layer)：

行星邊界層過程主要在處理因大氣中渦流傳送所造成的垂直方向小尺度通量，其中表面通量是由表面層及地面過程所提供。行星邊界層過程可提供整個氣柱的溫度、水氣及水平動量之時間趨勢。大部分皆考慮乾混合的過程，但也可考慮水氣飽和對垂直穩定度的影響，進而改變大氣的混合過程。另外，在此假設網格可解析的渦流和較小尺度的紊流間不會互相影響，但當網格解析度小於數百公尺時，較小尺度的渦流已經能夠被模式所解析，所以此時應採用三維次網格亂流模式之行星邊界層過程 (例如亂流動能【turbulent kinetic energy, TKE】擴散模式)。目前 WRF3.4 版中有 12 種邊界層選項。

(4) 地表過程 (Surface Layer, Land Surface, Urban Surface)：

WRF 有關於地表的過程主要分為三部分，第一部分為地面層 (Surface Layer)，用來處理地面和邊界層之間的動量、熱能、水氣…等變數之交換作用及摩擦係數，以提供給地面模式 (Land-Surface Model, LSM) 及行星邊界層過程使用，模式中並不提供時間趨勢，僅提供與大氣穩定度相關之資訊；第

二部分是地面模式，利用地面層所提供的大氣資訊、輻射參數化所提供的輻射強迫作用 (radiative forcing)、微物理及對流參數化所提供的降雨強迫作用 (precipitation forcing)，配合陸地相關參數及地表特性，處理地表、大氣和土壤間的交互作用，以求得地表溫度、土壤溫度及濕度剖面、植被…等相關資訊。此模式僅為一維之模式，與周圍之網格不會互相影響；第三部分為都市表面 (Urban Surface) 過程，用來呈現都市對於中尺度天氣現象之影響，在都市表面模式中，會估算建築物屋頂、牆壁及路面之溫度與熱通量，並計算都市表面與大氣間的動能交換，對邊界層過程相當重要。目前 WRF3.4 版中有 8 個地面層過程、7 個地面模式及 3 個都市表面過程之選項。

(5) 輻射 (Longwave Radiation, Shortwave Radiation)：

在 WRF 中，輻射部分是考慮長波輻射及短波輻射對大氣與地表之影響。長波輻射包括紅外及熱輻射，主要受地表及大氣的吸收及發射作用影響；短波輻射則是來自於太陽光，主要受到地表及大氣的吸收、反射與散射作用之影響。在輻射模式中，每一個網格皆獨立進行計算 (一維模式)，其計算結果與模式預報之雲及水氣分布、二氧化碳及臭氧濃度有密切關係。目前 WRF3.4 版中包含 6 個長波輻射模式及 8 個短波輻射模式。

由上述資料可知，WRF 模式有多種的模組可帶入，可依不同的大氣環境與天氣尺度，選擇其適合的參數化法加以模擬，且 WRF 模式使用統一化之控制介面，使用者較方便插入個別模組並可採用使用者介面選單來改變模擬區域及模式參數。因此，WRF 模式在氣象作業上將有廣泛的應用前景，包括在天氣預報、區域氣候、颱風模擬及參數化研究等方面的應用，將有助於臺灣不同類型及地域天氣過程的高解析度數值預報，提

升天氣預報的解析度和準確性。

而在進行 WRF 模式模擬之前，必須先進行 WPS(WRF preprocessing System) 程序，WPS 即為資料的前處理系統，WPS 的工作包含產生地形和地圖資訊以及將觀測資料內插至 WRF 模式的網格點等處理過程，產生模式初始場，之後再交由 WRF 進行模擬，如圖 3-3。WRF 模式輸出的結果可利用 GrADS、NCL 等繪圖軟體繪製成各種氣象分析圖，以進行分析與討論。

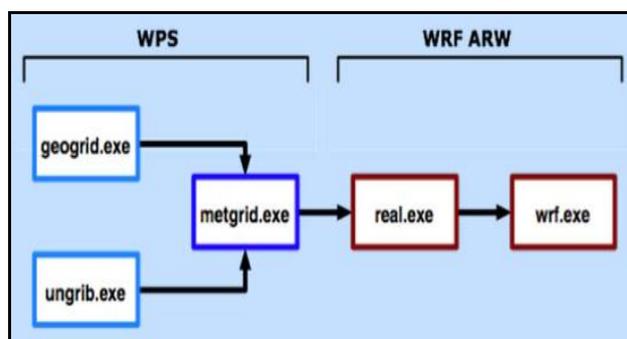


圖 3-3 WPS 與 WRF ARW 流程圖(資料來源：Skamarock et al., 2008)

2. 模擬參數資料來源

本研究所使用之初始場和側邊界條件均採用 NECP(National Center For Environmental Prediction；美國國家環境與預報中心)/FNL 全球分析場資料，空間解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，時間間隔為 6 小時一筆，垂直解析度為 26 層，其資料包含高度場、溫度場、風場等氣象參數資料，作為本研究中 WRF 模式之初始場。颱風最佳路徑資料來源為日本氣象廳 JMA 之實際觀測定位路徑，模擬時間為 2013 年 7 月 12 日 00 UTC 至 7 月 14 日 00 UTC 共 48 小時，每日均有 00UTC、06UTC、12UTC 及 18UTC 四個時間。

(二) 實驗設計

1. 模式設定

本研究使用 WRF 數值模式作為研究工具，版本為 V3.3.1 版，初始場及邊界場使用

NCEP 全球模式分析資料進行分析模擬，模擬時間自 2013 年 7 月 12 日 00 UTC 至 7 月 14 日 00 UTC 時，模擬期間共 48 小時，積分步長設定為每 120 秒積分一次。

(1) 巢狀網格設計

本實驗網格設定為 3 層巢狀網格 (圖 3-4)，降尺度比率設定為 3，3 層巢狀水平網格解析分別為外層粗網格 Domain1 (D1) 解析度 27 公里、中層網格 Domain2 (D2) 解析度 9 公里，內層細網格 Domain3 (D3) 因考量為模擬臺灣區降水及地形刪減，解析度 3 公里，投影法選用藍伯特投影法，投影中心位在北緯 22 度，東經 121 度，並啟用 two-way nesting。



圖3-4模式模擬之3層巢狀網格

(2) 模式控制組實驗設計

模式控制組實驗 (CTRL RUN) 所使用的雲微物理過程為 WSM3 (WRF Single-Moment 3-class) 單矩 3 相水粒子方案，該方案來自於舊的 NCEP3 方案的修正，包括冰的沉降和冰相的參數化。此參數法設定之水相粒子形態為包含水氣 (Qv)、雲水 (Qc) 或雲冰 (Qi)、雨 (Qr) 或雪 (Qs) 等三種簡易冷雲過程。在這種被稱為是簡單的冰方案裡面，雲水和雲冰被作為同一類來計算。WSM3 與一般使用之 WSM5 的區別在於溫度，也就是說當溫度低於或等於凝結點時雲冰存在，否則雲水存在，而並未轉化

成冰雹，如圖 3-5，本研究因取冷雲及暖雲方案當對照組，故控制組之雲微物理設 WAM3；積雲參數法在 D1 及 D2 使用 KF (Kain-Fritsch) 方案，最內層 D3 網巢則沒有使用積雲參數化設定；邊界層參數法採用 YSU (Yonsei University) 邊界層參數法，長波輻射參數法採用 RRTM 方案，參數設定如表 3-1。

表 3-1 物理參數法組合設定

控制組	邊界層參數	雲微物理參數	積雲參數	長波輻射參數
CTL	YSU	WSM3	KF	RRTM

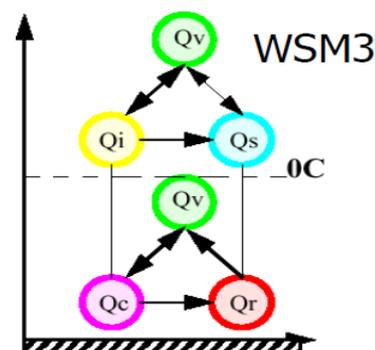


圖 3-5 WSM3 方案雲微物理過程流程圖，箭頭代表各相位之間的物理過程轉變(資料來源：Hong, Dudhia and Chen 2004)

2. 敏感度測試

(1) 地形敏感度測試

為了研究臺灣地形對於颱風強度結構、路徑級降水變化之影響，本研究除控制組 (CTL) 實驗外，另外設計 2 組不同高度之臺灣地形，以作為對照組實驗，分別為：(1) 移除臺灣地形，並設地表為水體 (NT) 及 (2) 臺灣地形高度減一半 (HT)，實驗設計如表 3-2。地形實驗目的在探討不同地形高度狀況下之模擬結果與控制組實驗做比較。

表 3-2 地形敏感度實驗設計

地形敏感度實驗設計		
實驗名稱	臺灣地形設定	雲微物理過程
CTL	有(D3 解析度 3 公里)	WSM3
NT	無 (移除臺灣地形， 下墊面設為水體)	WSM3
HT	有 (臺灣地形降為原 高度一半)	WSM3

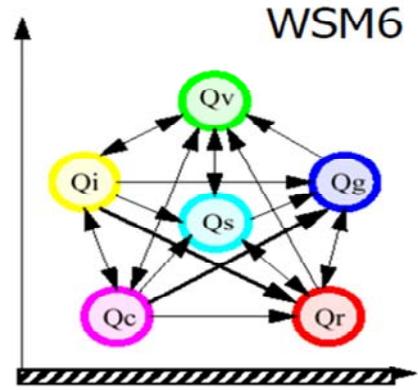


圖3-6 WSM6方案雲微物理過程流程圖，箭頭代表各相位之間的物理過程轉變(資料來源：Hong and Lim 2006)

(2)雲微物理敏感度測試

此外，為測試不同雲微物理過程對於蘇力颱風侵臺期間降水及路徑之影響，另設計2組雲微物理參數之對照組實驗，分別為：

(1) WSM6 及 (2) Kessler 方案，地形設計與 CTL 組相同，其中 WSM6 微物理參數法包含水氣 (Qv)、雨 (Qr)、雪 (Qs)、雲冰 (Qi)、雲水 (Qc) 及冰雹 (Qg) 等 6 種水象粒子在，WSM6 與 WSM3 及一般常用的 WSM5 類似，惟計算增長和其它參數上有些差別，為了增加垂直廓線的精度，在下降過程中會考慮凝結或融化過程，如圖 3-6；而 Kessler 的微物理參數法則為包含水氣

(Qv)、雲水 (Qc) 及雨 (Qr)，其微物理過程包括雨的產生、降落、蒸發，雲水的增長，以及由凝結產生雲水的過程，是一個簡單的暖雲降水方案，其中無冰相過程，如圖 3-7。實驗設計如表 3-3，目的在於針對不同雲微物理參數法之模擬結果與控制組實驗做比較，進一步分析探討雲微物理過程在模擬過程中之作用。

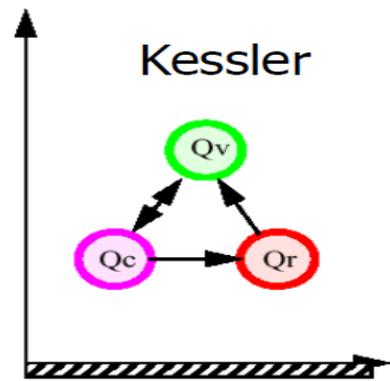


圖3-7 Kessler方案雲微物理過程流程圖，箭頭代表各相位之間的物理過程轉變(資料來源：Hong, Dudhia and Chen 2004)

表 3-3 雲微物理敏感度實驗設計

雲微物理敏感度實驗設計		
實驗名稱	臺灣地形設定	雲微物理過程
CTL	有(D3 解析度 3 公里)	WSM3
WSM6	有(D3 解析度 3 公里)	WSM6
Kessler	有(D3 解析度 3 公里)	Kessler

本研究藉由實驗對照組中不同參數化設定及臺灣地形調整等不同之模式設計，模擬探討蘇力颱風侵臺期間之強度結構、路徑及

降水等特性分析，並探討臺灣地形在模擬過程所扮演的角色。

四、個案介紹及模擬結果與分析

(一)個案介紹

蘇力颱風2013年07月08日於關島北方海面生成，09日增強為中度颱風並穩定地往西北西移動，10日0000UTC增強為強烈颱風後仍持續往西北西移動，11日0030UTC發布海上颱風警報，1200UTC強度減弱為中度颱風，1230UTC發布陸上颱風警報，12日0000UTC移動方向轉為略向西北進行並朝臺灣東北部海面接近，12日1900UTC於新北市及宜蘭縣交界處登陸並持續往西北移動，13日0000UTC於新竹附近出海後0800UTC進入大陸，0900UTC減弱為輕度颱風，1530UTC同時解除陸上及海上颱風警報(概況表如表4-1、路徑圖如圖4-1)。

由蘇力颱風侵襲期間整合雷達回波圖(圖4-2)顯示，登陸前颱風環流完整，雨帶呈現對稱性結構分布，颱風眼清晰可見；登陸後結構受到破壞，雨帶變的不對稱，颱風中心以南雨帶發展活躍，該區域之雨帶自臺灣海峽向東延伸至臺灣陸地，在西部迎風面山區持續有較強之降水回波形成，反觀颱風中心以北則無明顯降水回波。

由颱風侵臺期間(7月12日至13日)臺灣地區總累積雨量圖(圖4-3)顯示，最大累積雨量集中在新竹五峰鄉山區(白蘭測站)，最大累積雨量達965.5毫米，而中南部山區最高有755毫米之累積雨量，東北部迎風面山區也有486毫米之降雨量，此外中部平地地區亦有較大之累積雨量。由新竹縣五峰鄉白蘭測站(標高1290公尺)逐時雨分布(圖4-4)可以清楚發現，蘇力颱風引起之降雨主要集中在12日15時至13日15時之間，即在24小時內就有965.5毫米之累積降雨，且自13日04時至06時之時雨量均超過100毫米，

雨量集中且強度大，造成局部地區嚴重之災情，全臺計有3人死亡，農損達14.8億元。

表4-1 蘇力颱風警報概況表(資料來源：中央氣象局)

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	蘇力 (SOULIK)
編號	201307
生成地點	關島北方海面
假(定)登日期	2013年 07月 13日
發布時間	海上 2013-07-11 08:30 陸上 2013-07-11 20:30
解除時間	陸上 2013-07-13 23:30 海上 2013-07-13 23:30
發布報數	22
最大強度	強烈
近中心最大風速	51 (公尺/秒)
標準路徑分類	2
登陸地段	新北市與宜蘭縣交界處
影響	生成後向西北西方向移動，11日20時由強烈颱風減弱為中度颱風，接近臺灣東北部海面時略為向西北移動，13日08時於新北市與宜蘭縣交界處登陸，8時左右於新竹附近出海，16時前後由福建進入大陸。
災情	受颱風影響，全臺出現強風豪雨，造成多處地區淹水、道路坍方交通中斷，計有3人死亡，農損約新臺幣14.8億元。
颱風災害專區網頁連結	災害連結



圖4-1 2013年蘇力颱風路徑圖(資料來源：中央氣象局)

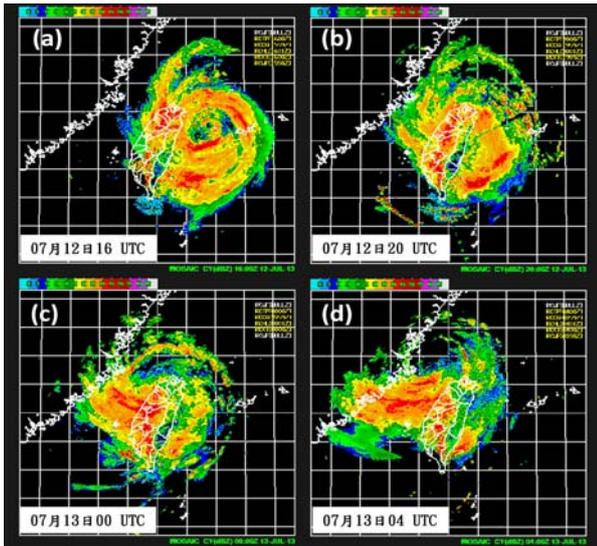


圖4-2 (a)~(d)為2013年07月12日16 UTC至07月13日04 UTC整合雷達回波圖(資料來源：中央氣象局)

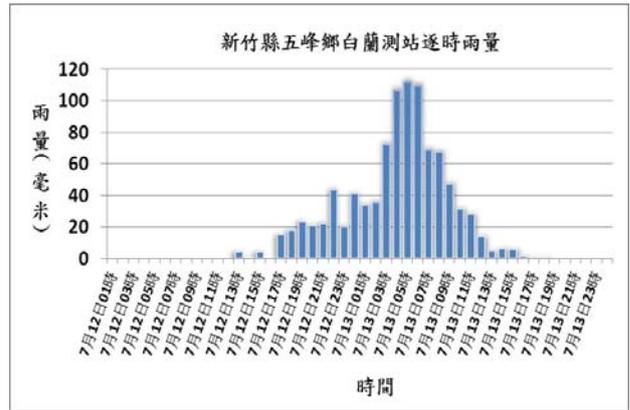


圖 4-4 2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時五峰鄉白蘭測站逐時雨量分布(雨量單位：毫米)(作者自繪)

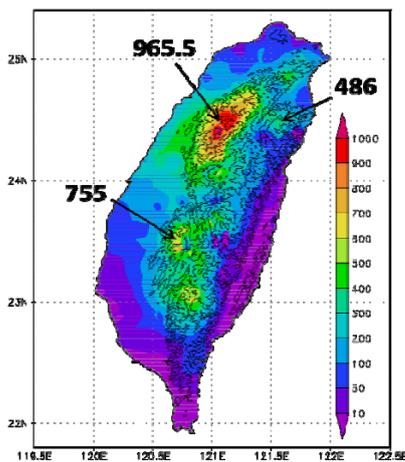


圖 4-3 2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)等值線為地形高度(作者自繪)

(二)颱風路徑與強度分析

針對蘇力颱風移動路徑執行地形敏感度實驗及雲微物理敏感度實驗，由模擬路徑顯示(圖 4-5)，可獲得之結果與分析如后：

1.地形敏感度實驗結果與分析：

模式模擬之初始位置較日本氣象廳(JMA)最佳路徑偏南，模擬前 12 小時(12 日 20 時前)，所有實驗模擬路徑大致相似(朝西北往臺灣東北部移動)，但均偏在 JMA 路徑以南；模擬 12 小時後，由於颱風中心接近臺灣地形，沒有地形的路徑模擬(NT)在接近臺灣時最為偏北，減低一半地形高度模擬 (HT) 路徑略往南移，而 CTL 模擬在靠近臺灣陸地時，路徑先向西偏折，登陸後持續朝西北方向移動。

依結果模擬初始位置，CTL、HT 及 NT 等 3 組實驗路徑均較實際位置偏南，12 小時後，無地形影響的模擬對照組(NT)在接近臺灣時較接近 JMA 路徑，研判並非模擬結果較為準確，若不受地形影響，路徑持續受環境駛流導引方向移動，相較與 NT 及 HT 模擬，CTL 登陸前之偏折顯然是臺灣地形所影響，登陸後再轉北北西方向移動，研判主要應受臺灣中央山脈地形所影響。

2.雲微物理敏感度實驗結果與分析

在 WSM6 及 Kessler 模擬部分，在颱風

登陸前其路徑與 CTL 相似，亦有向西偏折之情況，但位置較為偏南，且颱風登陸後，路徑仍持續偏西，約移動至東經 121° 後開始往西北移動，與 CTL 有些許差異。

依結果研判，根據 Hsu et.al(2013)、Fovell and Su (2007) 及 Fovell et al. (2009) 等人研究指出對流潛熱釋放會改變局部位渦增加，影響颱風移動路徑。由於本個案 WSM6 及 Kessler 模擬在臺灣中南部山區有較強之降雨，該區域有最強之潛熱釋放作用，因此初步推測該路徑可能是受到颱風中心南側較強降雨之潛熱釋放所影響，詳細過程需再進一步分析，本文並無深入討論。

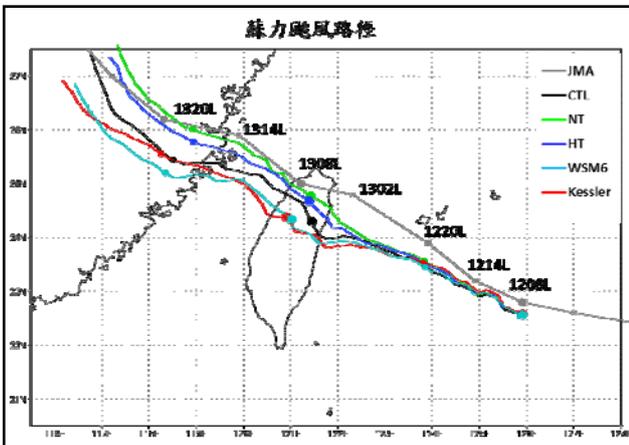


圖 4-5 蘇力颱風日本氣象廳 (JMA) 最佳路徑 (灰色實線) 及不同實驗之模擬路徑 (CTL 黑色、NT 綠色、HT 藍色、WSM6 淺藍色及 Kessler 紅色)

由圖 4-6 CTL 實驗之 850-300 hPa 深層平均駛流可以發現，在颱風中心逐漸接近臺灣的過程中 (2013 年 7 月 12 日 20 時及 7 月 13 日 02 時)，有一很強的反氣旋式環流位於日本南方海面，其西南側之流場與颱風環流形成東南-西北之大尺度環境駛流，導引颱風中心朝西北方向移動，當颱風接近臺灣時，颱風中心北-東北象現風速明顯較其它象限強，研判該現象為造成颱風中心接近陸地時，向西偏折之原因之一。

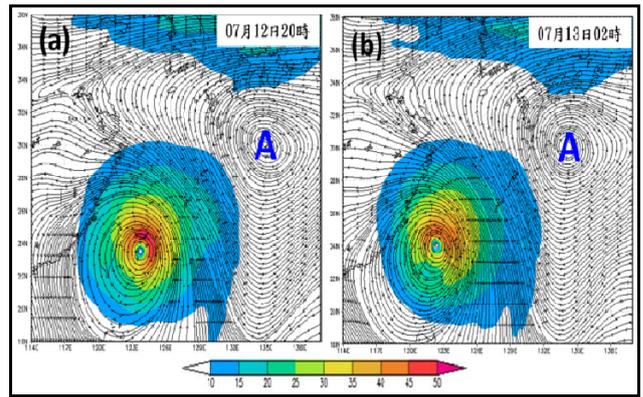


圖 4-6 CTL 實驗 850-30hPa 深層平均駛流 (a) 2013 年 7 月 12 日 20 時及 (b) 2013 年 7 月 13 日 02 時。色階為風速 (ms^{-1})

3. 颱風強度模擬實驗結果與分析

圖 4-7 為實驗模擬蘇力颱風中心最低氣壓 (hPa) 時間序列，由於本次實驗模擬初始並未植入颱風渦旋，故各實驗模擬初期颱風中心氣壓皆較 JMA 觀測值 (灰色實線) 為高，但進入模擬後，颱風中心氣壓明顯下降，於 12 小時後 (12 日 20 時) 颱風強度已接近觀測值，登陸前中心氣壓均略低於觀測值，登陸後颱風強度明顯減弱，有地形的實驗 (CTL、WSM6、Kessler 及 HT) 均有此一現象，但 CTL 減弱的最為快速，減半地形模擬 (HT 藍色實線) 則減弱較小，無地形模擬 (NT 綠色實線) 則沒有明顯減弱，顯示地形對颱風強度減弱之影響；就雲微物理參數化模擬整體強度比較，以 Kessler 暖雲方案強度最強，其次為 WSM6，最弱為 CTL 的 WSM3 簡單的冰相粒子參數化方案，研判其原因在於雲微物理參數化中之雨滴的終端速度較快且集中於強降雨之眼牆附近，在滿足靜力平衡條件下可產生較小之中心氣壓，而 WSM3 參數法設定雲中粒子在 0°C 以下以冰晶形式存在，冰晶之終端速度較雨水及軟雹為慢。在颱風中心離陸進入臺灣海峽後，有地形實驗之強度有略為增強，推測為颱風中心進入海峽後，下墊面水氣供應，使其颱風

結構得以重新組織，強度增強；由圖 4-2 雷達回波可以清楚顯示其雨帶重組現象，但 JMA 觀測並未顯示離陸強度增強現象，推測可能原因為該過程時間尺度較小，且隨後接近大陸地形，強度再度減弱，以 JMA 每 3 小時觀測定位一次，並未能即時反應該重組增強過程。

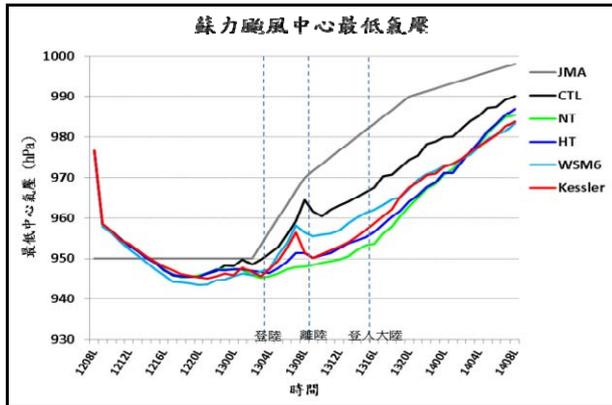


圖 4-7 蘇力颱風中心最低氣壓(hPa)，顏色分別代表 JMA(灰色)、模式模擬 CTL(黑色)、NT(綠色)、HT(藍色)、WSM6(淺藍色)及 Kessler(紅色)

3. 颱風降雨分析

由控制實驗 (CTL) 模擬颱風侵襲期間 48 小時 (2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時) 之累積雨量 (圖 4-8) 顯示，最大累積雨量可區分為 3 個地區，分別為東北部 (最大 840 毫米)、西北部 (最大 702 毫米) 及中南部 (最大 977 毫米)，該 3 個地區最大累積降雨均發生在山區地形高處，乃因颱風環流與地形相互作用所造成；由模擬之最大雷達回波圖 (圖 4-9) 顯示，登陸前颱風中心北側之雨帶移入臺灣東北部，並在山區被地形舉升，造成山區有強對流，登陸後颱風南側之環流雨帶持續由海峽上移入陸地，在山區激發強對流，產生大量降雨。相較於觀測之累積雨量 (圖 4-3) 顯示，模擬之降雨分布位置大致有掌握，但中南部山區及東北部累積雨量明顯高估，研判原因為模擬路徑較觀

測偏南，主要降雨區域亦偏南，而東北部位於迎風面，受颱風環流與地形作用造成之舉升位置及強度差異所致，另西北部山區則略為低估，研判因颱風環流受地形阻擋，且因背風不利地形舉升，而產生模擬雨量較實際為低之情形；此外東北部地區自動雨量觀測較少，部份山區降強水在觀測上可能被忽略，以致於未能反應真實之觀測情況。

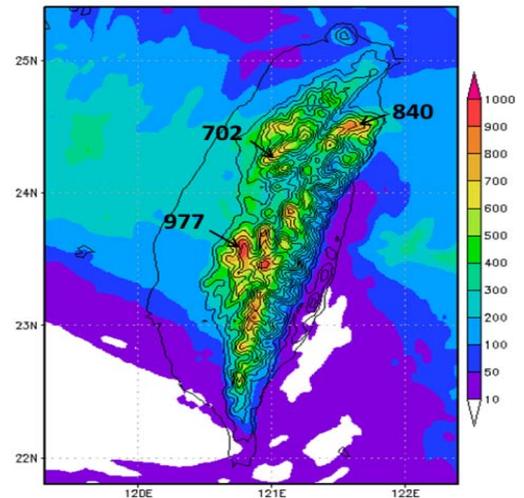


圖 4-8 CTL 實驗模擬 2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)。等值線為地形高度(間距為 300 公尺)

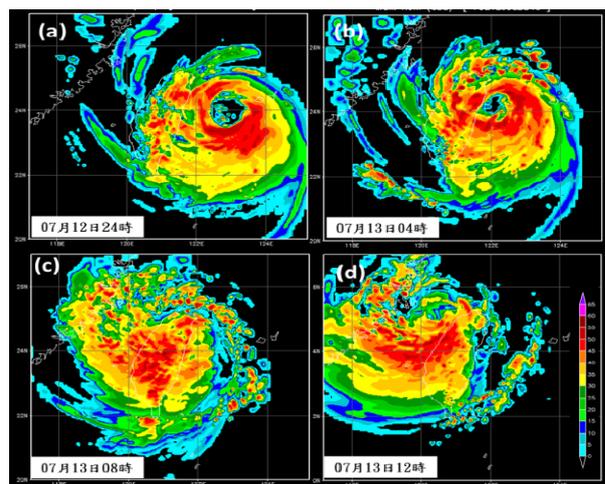


圖 4-9 (a) ~ (d) 為 CTL 實驗模擬 2013 年 07 月 12 日 24 時至 13 日 12 時，每 4 小時間距之最大雷達回波。

1. 地形敏感度實驗結果與分析

由地形敏感度實驗模擬之降水結果顯示，沒有地形之對照組 NT，降雨情形大幅減弱，模擬之較大累積降雨集中在移動路徑的南側（圖 4-10），顯示蘇力颱風本身具有旺盛對流雨帶發生在颱風中心南側的特徵，另各地累積雨量均未超過 600 毫米，研判應為去掉臺灣地形後，颱風環流與無法與地形作用造成舉升，形成地區之強降水；減低一半地形高度之對照組 HT 則降雨強度減弱幅度低於 NT，但仍可看出較實際降雨明顯減弱（圖 4-11），但強降水發生位置大致相似，降雨強度減弱乃因地形對颱風環流舉升作用減小，對流發展不若 CTL 實驗旺盛所致；另 CLT 模擬之強降水地區之累積雨量分布，南部山區均高於北部，而 HT 之模擬結果較接近實際累積雨量分布，即北部山區高於南部山區，研判應為地形高度降低後，受颱風環流與地形作用造成之舉升位置及強度差異之誤差減少所致。

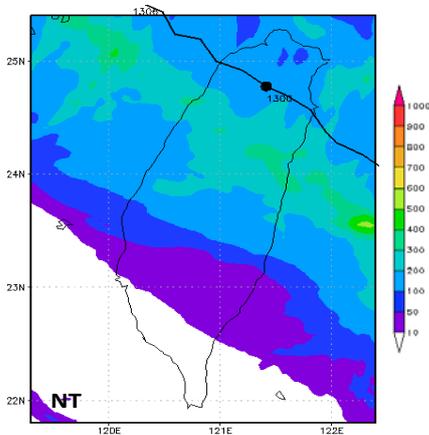


圖 4-10 NT 實驗模擬 2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)。等值線為地形高度(間距為 300 公尺)

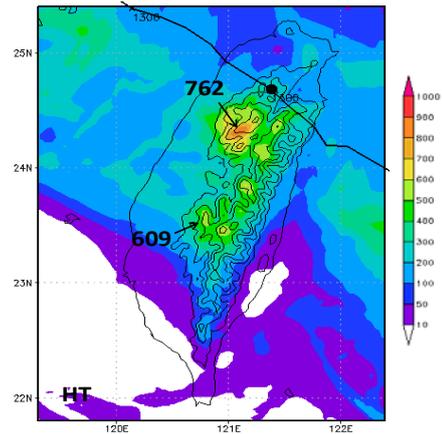


圖 4-11 HT 實驗模擬 2013 年 7 月 12 日 01 時至 13 日 24 時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)。等值線為地形高度(間距為 300 公尺)。

2. 雲微物理敏感度實驗結果與分析

在 Kessler 及 WSM6, 2 對照組雲微物理過程實驗顯示，Kessler 暖雲方案之模擬整體降水除西北部山區累積雨量較 CTL 略低，其餘地區降雨均較 CTL 偏高（圖 4-12），推測西北部山區累積雨量偏低是因為模擬路徑較 CTL 偏南，西北部位於路徑的北側，颱風環流與地形舉升作用較小，造成雨量略少情況；然而，一般而言由於暖雲過程雲中只有雲滴與雨滴粒子，雲滴轉換成雨滴的過程較早也較容易，模式中只要達到自動轉化的設定條件，雲滴就會持續的轉換成雨滴，因此整體的降雨量通常會比含有冰相粒子之參數模擬之降雨量多；增加冰雹的 WSM6 方案，降雨強度也是高於 CTL 的模擬結果（圖 4-13），但略小於 Kessler 暖雲方案，研判可能是因為冰雹的終端速度較雲中冰晶大，冰雹降落時融解成較大雨滴，雨滴透過碰撞合併等過程快速增長後滴落地面，其形成雨滴之過程較單純由雲中冰晶轉換來的有效，但有部分冰雹未能順利溶解形成雨滴落下，故降水強度高於 CTL 而低於 Kessler。

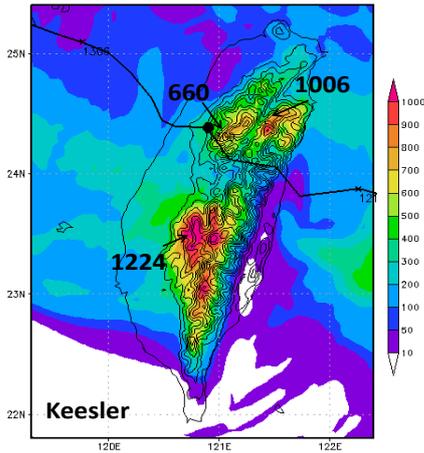


圖4-12 Kessler實驗模擬2013年7月12日01時至13日24時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)。等值線為地形高度(間距為300公尺)。

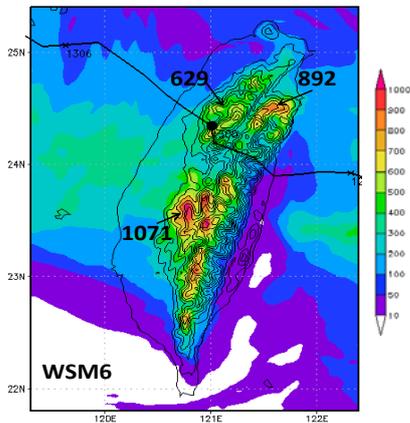


圖4-13 WSM6實驗模擬2013年7月12日01時至13日24時臺灣地區累積雨量(雨量單位：毫米)。等值線為地形高度(間距為300公尺)。

4. 颱風結構分析

由CLT實驗模擬結果顯示，蘇力颱風登陸前颱風眼清晰可見（圖 4-14），颱風眼直徑約有 120 公里，眼區範圍相當寬廣，颱風結構發展相當對稱；隨著颱風中心逐漸接近陸地，其眼牆有向內縮小（圖 4-15），且颱風結構受地形影響開始變的不對稱；登陸期間（圖 4-16），颱風眼已不可辨識，颱風形成相當不對稱之結構，尤其颱風中心南側有一明顯之不對稱雨帶發展於海峽至臺灣陸地（西部山區雨帶最強）；當颱風中心移入臺灣

海峽時（圖 4-17），颱風結構有重新組織現象，颱風眼約略可見，但不對稱結構特徵依然顯著，仍以颱風中心南側有強降水雨帶發展，中心北側雨帶則發展不明顯。由圖 4-18 位於 700 hPa 高度環狀平均之切向風速時間-半徑分布圖顯示，在控制實驗 CTL（圖 4-18(a)）中，初始模擬風速隨時間有快速增強之現象，最大風速約位於半徑 120 公里處，在 12 日 19 時風速達到最強約為 50m^{-1} ，隨後當颱風中心往臺灣陸地接近時，風速強度開始減弱，且最大風速半徑亦向颱風中心內縮，登陸時最大風速半徑已縮到 80 公里處，且風速快速減弱，當颱風中心移入臺灣海峽後，在半徑 120 公里處風速又再度增強；而相較於移除地形之對照組 NT 模擬結果（圖 4-18(b)）颱風強度持續維持，登陸前後並沒有明顯改變，最大風速半徑隨時間持續向颱風中心內縮，直到接近大陸陸地時，強度才有明顯減弱，此時最大風速半徑內縮到 80 公里處。由上述分析可以清楚顯示，臺灣地形的存在，扮演了蘇力颱風強度快速減弱及不對稱的結構形成，其中位於颱風中心不對稱雨帶的發展，更是造成臺灣地區強降水發生的主要原因。

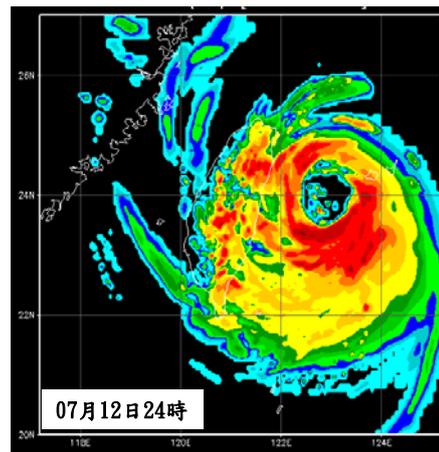


圖4-14 CTL實驗模擬2013年07月12日24時，每4小時間距之最大雷達回波。

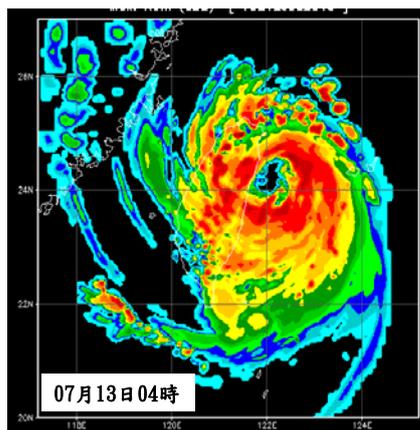


圖4-15 CTL實驗模擬2013年07月13日04時，每4小時間距之最大雷達回波。

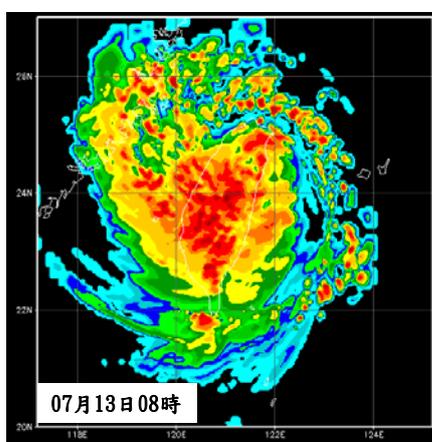


圖4-16 CTL實驗模擬2013年07月13日08時，每4小時間距之最大雷達回波。

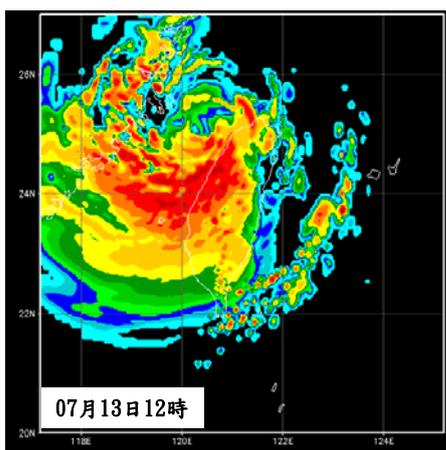


圖4-17 CTL實驗模擬2013年07月13日12時，每4小時間距之最大雷達回波。

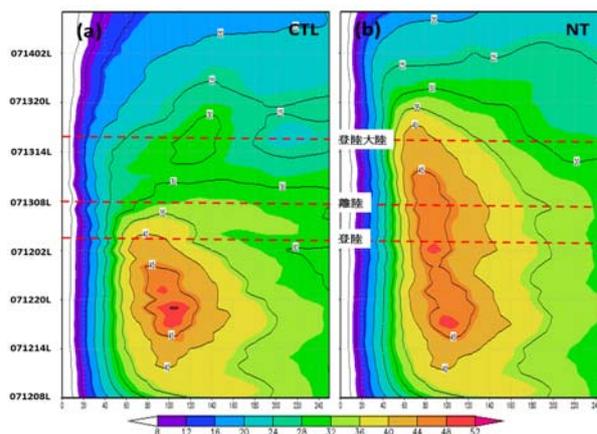


圖4-18 實驗(a)CTL及(b)NT模擬700 hPa環狀平均切向風速(ms^{-1})時間-半徑分布哈莫圖。

五、結論與建議

臺灣山脈高聳，且地形複雜，地形的存在不僅會影響颱風侵臺路徑偏移，移速改變，並會影響颱風內部之對流結構與風雨分布，增加颱風預報上的困難與不確定性。2013年7月登陸颱風蘇力(SOULIK)，登陸期間路徑偏折、不對稱雨帶的發展及其與地形之間相互作用，引起臺灣西部地區超大豪雨，並造成嚴重之災情。

本研究利用中尺度數值天氣預報模式(WRF)進行蘇力颱風侵臺期間之數值模擬，藉由不同之模式設計模擬探討侵臺期間颱風強度結構、路徑及降水變化等特性分析，以及臺灣地形所扮演之角色，模擬顯示之結果如后：

1. 蘇力颱風路徑持續朝西北移行主要是受到綜觀環境 850-300hPa 深層平均駛流導引，颱風接近臺灣陸地前，因臺灣地形的存在，導致路徑有向西偏折之現象，移除地形後的模擬路徑並沒有向西偏折現象發生。
2. 使用 Kessler 及 WSM6 雲微物理參數化方案之模擬登陸後路徑均較控制實驗偏南，推測是因為登陸後颱風中心南側對流潛熱釋放增加局部位渦所造成。
3. 在強度方面，颱風的結構受地形破壞而變

的相當不對稱，也因此造成強度在登陸後快速的減弱，在離陸進入臺灣海峽後，颱風結構有重組現象，強度也略有增強，但因隨後接近大陸陸地，強度又再度減弱。

4. 不同雲微物理參數化模擬颱風強度以 Kessler 暖雲方案強度最強，其次為 WSM6，最弱為控制實驗的 WSM3 參數化方案，其主要差異在於模擬不同水相粒子之終端速度所造成。
5. 在降雨模擬部份，主要的強降水分布模式可以有效的模擬，由於蘇力颱風本身颱風中心南側對流雨帶發展較為活躍，登陸後地形引起之不對稱雨帶主要分布於颱風中心南側，該雨帶進入臺灣陸地後受地形舉升的加乘效果，導致山區激發旺盛對流發展，持續大量的降水造成超大豪雨發生。

(一) 結論

然而，不同實驗模擬之路徑在登陸前後存在南北差異，此差異將造成颱風環流與地形間之作用改變，因此降雨強度及位置亦稍有不同；此外，雲微物理過程也會對降雨造成影響，從上述 5 點模擬結果來看，可得下述結論：

1. 臺灣地形對颱風路徑確有明顯影響，如未受臺灣地形影響之狀態下，颱風移動路徑將持續受環境駛流所導引。
2. 颱風環流接近臺灣後，與地形作用造成舉升，易造成局部地區強降雨。
3. Kessler 暖雲方案之模擬整體降雨強度較強，其次是增加冰雹的 WSM6 方案，其主要是模式設定雲水、冰晶及冰雹轉換成雨滴的過程不同所致，即暖雲方案中，水氣轉化成雨較早、較易，而冷雲方案中之冰相，轉化成雨之過程不如暖雲方案。
4. 臺灣地形對颱風強度有明顯破壞，但在有同為有臺灣地形之條件下 (CTL、WSM6、Kessler 及 HT)，當降雨強度越強，在滿足靜力平衡條件下，中心氣壓值越低。

綜合研究結果可以發現，臺灣地形對於侵臺颱風蘇力不論是在颱風路徑、強度、結構及降雨分布、強度的改變上均扮演相當重要關鍵的角色，而其中路徑的改變，更是直接造成颱風環流與地形之間相互作用程度，颱風環流與地形的配置，也決定了動力舉升的條件，是颱風降雨分佈位置的主要因素。此外，在模擬中雖不同的雲微物理過程亦會改變模擬之結果，但對路徑及強度的影響並沒有非常顯著之變化，而是主要對颱風降雨強度的影響，考慮冷雲過程的參數化方法 (WSM3 及 WSM6) 模擬之降雨強度較接近觀測之情況，由 WSM3 及 WSM6 方法模擬結果之差異不大，若僅考慮暖雲 (Kessler) 方法則無法反應颱風之強對流雲層中的雲微物理機制，故其模擬結果與真實狀況差異甚多。

(二) 建議

本研究僅針對蘇力颱風進行個案模擬研究，不同類型之颱風個案及模式參數化設定亦可能有造成不同之模擬結果，因此未來如將針對不同之颱風路徑個案進行模擬驗證，可有下列點建議：

1. 以不同類型之侵臺颱風有進行模擬，以探討在不同路徑下，颱風受臺灣地形影響之程度，及颱風環流與地形舉升造成局部強降雨之分析探討。
2. 取同一類型颱風之不同個案，訂定相同之雲微物理實驗設計，探討本研究之暖雲方案及冷雲方案是否有其準確度。
3. 實驗設計中，其他參數不變，僅選擇多組雲微物理參數做改變，並取多個颱風個案執行模擬實驗，進一步深入分析討論，以釐清不同水相粒子在模擬中扮演對颱風降雨之作用。

六、參考文獻

1. 林秀雲(2014),「由農業天然災害災損看農業保險之高經濟作物優先順序」,行政院農委會。
2. 周昆炫、黃柏智(2010),「渦旋植入對不同降水物理參數法颱風路徑系集預報之影響研究」,大氣科學第38期第4號。
3. 吳乙昕(2012),「凡那比颱風(2010)降雨機制探討」,國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
4. 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中、(2006),「WRF 模式之敏感度測試第一部分:探空測站上的校驗」,大氣科學第34期第3號。
5. 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降(1998),「百年侵台颱風路徑圖集及其應用」,中央氣象局。
6. 簡芳菁、洪玉秀、毛正氣(2012),「颱風預報精進技術研究及作業支援」,國立臺灣師範大學地球科學系。
7. Cheung, K. K. W., L. -R. Huang, and C. -S. Lee, (2008) : Characteristics of rainfall during tropical cyclone periods in Taiwan. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1463 - 1474.
8. Fovell, R. G., and H. Su, (2007) : Impact of cloud microphysics on hurricane track forecasts. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24810, doi:10.1029/2007GL031723.
9. Fovell, R. G., K. L. Corbosiero, and H. C. Kuo, (2009) : Cloud Microphysics Impact on Hurricane Track as Revealed in Idealized Experiments. *J. Atmos. Sci.*, 66, 1764-1778.
10. Grell, G. A., and D. Devenyi, (2002) : A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1693.
11. Hong, S. -Y., and H. -L. Pan, (1996) : Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 124, 2322 - 2339.
12. Huang, C. -Y., Y. -H. Kuo, S. -Y. Chen, C. -T. Terng, F. -C. Chien, P. -L. Lin, M. -T. Kueh, S. -H. Chen, M. -J. Yang, C. -J. Wang, Anisetty S. K. A. V. Prasad Rao, (2010) : Impact of GPS radio occultation data assimilation on regional weather predictions. *GPS Solutions*, 14, 35-49.
13. Hsu, L. -H., H. -C. Kuo, and R. G. Fovell, (2013) : On the geographic asymmetry of typhoon translation speed across the mountainous island of Taiwan. *J. Atmos. Sci.*, 70, 1006 - 1022.
14. Janjic, Z. I., (1990) : The step-mountain coordinate:physical package. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1429 - 1443.
15. Janjic, Z. I., (1994) : The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes, *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927 - 945.