

2008 年卡孜基颱風(KALMAEGI)中尺度分析及降雨模擬

沈鴻禧

國防大學理工學院環資系大氣科學組

摘要

2008 年卡孜基颱風在本島有兩大降雨系統，一是 7 月 17 日中午，在台灣南部西海岸移進的強降雨系統，一是 7 月 17 日晚上 8 時，由登陸點南方的花蓮中尺度(meso- β)氣旋，經過阿里山，於 18 日 11 時移到台中，遇上海上吹來的西南氣流後，在台中引發 120 mm/hr. 的大雨，並造成台中市嚴重的淹水；後者降雨系統的機制，與楊與簡(2010)認為台中大降雨是由西南氣流與颱風環流交互作用所引發，略有不同。

本研究利用 NECP/RSM_30km 區域波譜模式，模擬卡孜基颱風 48 小時，得到合理的降雨與風場分佈，值得吾人注意的是，台灣南部巴士海峽雨量(雲系)，卻大幅度的增加；造成花蓮到台中等地強降雨的中尺度系統，是東部花蓮海面移進的，颱風出海後南部水汽含量仍充沛，是隔日南部降下近 200 mm 大雨的前兆。

卡孜基颱風雖是輕度颱風，最終卻造成台中以南到屏東的鄉鎮，遭受淹水或土石流的侵襲，受災鄉鎮數佔全台三成以上，而颱風中心右上方附近(台灣東北部)，卻是風大雨小，沒有災情傳出，這種高度不對稱的颱風，雲系集中在颱風中心的南端，對氣象預報是一個難度較高的挑戰。

關鍵字：卡孜基颱風、中尺度系統

一、前言

卡孜基颱風侵台期間之強度僅達輕度颱風，卻造成南部嚴重土石流及台中市大淹水的生命財產損失，主要因其降水特性為短延時之超大豪雨(鳳等，2008)，其中 6 小時累積雨量最高為高雄甲仙 577 毫米，3 小時累積雨量最高同樣為甲仙 389 毫米，對台中市而言，亦於 18 日降下歷史最大時雨量 120 毫米，造成大淹水；而澎湖甚至創下了氣象觀測站設立以來，最高日雨量 429 毫米(蔡，2010)。

過去國內外針對颱風的研究雖多，但針對颱風伴隨著兩個降雨中心的降雨成災的探討，相對少了許多。台灣為地形複雜之島嶼，當颱風接近台灣時，其路徑、結構及伴隨降水的分布，易受到台灣地形影響；且在颱風影響台灣期間，颱風位於適當位置時，在背風面常伴隨有副中心形成(Chang *et al.*, 1993; Chang, 1982; Wu *et al.*, 2002; 張，2003; 張，2005)。

副中心的形成，易對局部地區的環流、降水分布及颱風路徑造成影響。Bender *et al.* (1987) 在研究分析地形對於颱風的影響，結果顯示較弱的颱風接近地形時，容易在背風面產生副中心，並持續發展取代原中心。Yeh and Elsberry(1993) 依循 Bender(1987) 及 Chang *et al.*(1993)的論述指出：侵台颱風在過中央山脈時，極易產生副中心，造成觀測人員與研究颱風的學者很大的困擾，Lin *et al.* (2001)及 Lee *et al.* (2008)針對地形產生的豪大雨進行綜觀環境的探討，研究結果顯示陡峭的山脈及潮濕的低層氣流，是地形降下豪大雨的有利條件，而陳(2009)的研究亦指出，在台灣海峽的地形通道影響下，通過此區的雨帶，移速有海峽北部雨帶移動速度快，海峽南部雨帶移速慢的特性，致使中、南部地區降雨機會增加。

過去針對 2008 年卡孜基颱風做研究主要為三篇(鳳等，2008; 蔡等，2010; 楊與簡，2010)，均有重要成果，第一篇是利用

觀測資料做初步分析，後兩篇係利用 WRF 模式模擬卡玫基颱風，第二篇集中在澎湖降下歷史記錄的雨量，6 小時內降下 368 公釐雨量。楊與簡(2010)綜合鳳等(2008)文獻指出，卡玫基颱風在中南部地區劇烈降水歸納為三階段：第一階段為颱風位於東部近海（未登陸前）期間(7 月 16 日 1200 UTC 到 17 日 1200 UTC)，降雨主要是在台灣東北及西南部迎風面，此外台灣西部海面上有中尺度氣流發展。第二階段颱風中心登陸期間(7 月 17 日 1200 UTC 到 18 日 1200 UTC)，西部海面上有中尺度氣流北移後，與颱風環流合併，造成台灣中南部的強降雨，導致成災。第三階段為颱風遠離引進西南氣流階段(18 日 1200 UTC 以後)，颱風雖已登陸大陸地區，但颱風過後仍有引進西南氣流造成降雨。

國實院防災科技中心(鳳等, 2008)災後分析報告亦指出：災區分佈與時雨量超過 100 mm、6 小時累積雨量超過 400 mm 短延時暴雨區域大致吻合，例如台中大坑發生淹水災情，雖然大坑在 17、18 兩日總累積雨量為 630 mm，但最大 6 小時延時雨量，即高達 470 mm。相當大的雨量集中在短時間內的暴雨，就是此次卡玫基颱風的降雨特性。

本研究目的：藉由觀測資料的分析與數值模擬結果討論，深入瞭解卡玫基颱風中尺度(meso- β)氣旋對致災降雨的影響。

本文第一節為前言，回顧過去颱風降雨之文獻，第二節以觀測資料做綜觀分析及中尺度分析，以瞭解卡玫基颱風的基本特性，第三節簡介所使用之模式及模擬結果討論，最後，第四節為結論與討論。

二、觀測資料中尺度分析

2008 年西北太平洋編號第 7 號颱風卡玫基，7 月 15 日 0600 UTC 於菲律賓東北方海面生成，移動緩慢而近似滯留，之後向北北西方向移動，朝台灣東部沿海靠近。中央氣象局於 16 日 06 時 30 分 UTC 發佈海上颱風警報，1830 UTC 發佈海上陸上颱風警報。

17 日 0930 UTC 卡玫基一度增強為中度颱風，但此時環流已受台灣陸地影響，隨後又減弱為輕度颱風，於 1340 UTC 由宜蘭縣南部登陸，2320 UTC 由桃園附近出海，並持續向西北方向移動，18 日 0950 UTC 進入大陸福建繼續向北移動，中央氣象局於 18 日 1230 UTC 解除陸上颱風警報，1530 UTC 解除海上颱風警報；圖 1 為中央氣象局公佈的卡玫基颱風路徑圖(Best track)，資料來源為中央氣象局颱風資料庫。

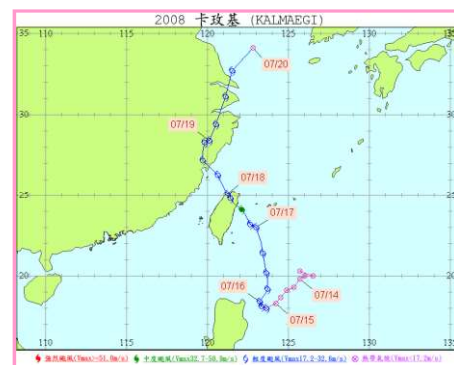


圖 1：中央氣象局公佈的卡玫基颱風路徑圖

圖 2(a)分析顯示：卡玫基登陸當(17)天在台南、高屏沿海地區因颱風環流影響，多數區域已降下超大豪雨，圖中粉紅色為日雨量超過 300 毫米的區域；另外，值得吾人興趣的是，17 日花蓮地區亦有大的降雨。圖 2(b)為 18 日大的降雨集中在嘉義以南的西部沿海，以及中部西海岸。

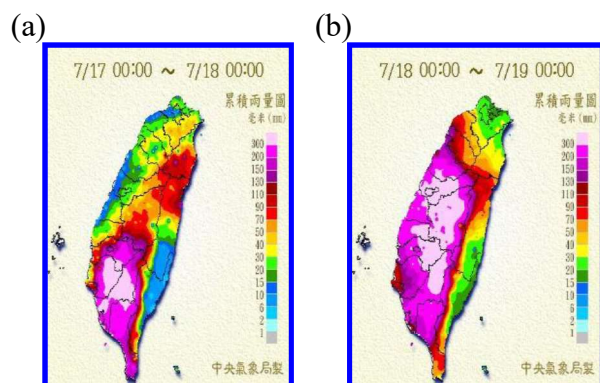


圖 2 累積雨量圖 (a) 7 月 17 日累積雨量圖
(b) 18 日累積雨量圖

表 1 是東中部 4 個代表性氣象局觀測站日雨量值，資料來源是中央氣象局颱風資料庫網站，紅色字為日雨量超過 130 毫米(即

豪雨特報), 值得注意: 一是 7 月 17-18 日 4 個測站: 日雨量超過 400 毫米, 達到超大豪雨標準, 其中台中測站在 7 月 18 日 8 時, 觀測到時雨量達 120 毫米, 根據楊與簡(2010)文獻指出, 此降雨系統係前一日造成嘉南高屏大降水的颱風環流北移所造成; 但本研究認為有值得研究之處, 此降雨系統既非颱風中心附近強降雨區, 也不是颱風環流所造成, 實值得氣象及防救災單位注意。

| | 澎湖 | 台中 | 阿里山 | 花蓮 |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| 7 月 16 日 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 月 17 日 | 2 | 21 | 204 | 157 |
| 7 月 18 日 | 430 | 477 | 416 | 56 |
| 7 月 19 日 | 8 | 55 | 82 | 0 |
| 累計值 | 440 | 553 | 702 | 213 |

表 1: 東中部 4 個氣象局觀測站日雨量值

綜觀而言, 卡玫基颱風在雨量分佈方面, 是一個高度不對稱的颱風, 在颱風前進方向的右上邊(即東北邊), 是一個風大雨小的分佈, 遠在離颱風中心 100-400 公里遠的南部縣市, 卻受到颱風外圍環流影響, 造成大的降雨, 造成南部多處大的坡地災害。

圖 3(a)為衛星雲圖, 顯示 7 月 17 日 08 時, 卡玫基颱風位於台東東方海面上, 主要的雲系是位於颱風中心附近的南方及巴士海峽, 到了 7 月 17 日 20 時(圖 3b), 可以看出主要雲區有兩大塊, 一在颱風中心的南端(台灣花蓮), 另一個在台灣西南部沿海地區, 後者之後移進台灣南部, 造成台灣嚴重的土石流。

圖 4(a)為 7 月 17 日 20 時的雷達回波圖顯示, 颱風中心結構並不完整, 呈高度不對稱性, 颱風中心北側近乎無雲, 在台灣西南部卻有明顯的強回波(即強降雨)分佈, 圖中紅色圓圈表示有一直徑約 100 公里的中尺度系統, 移進花蓮。

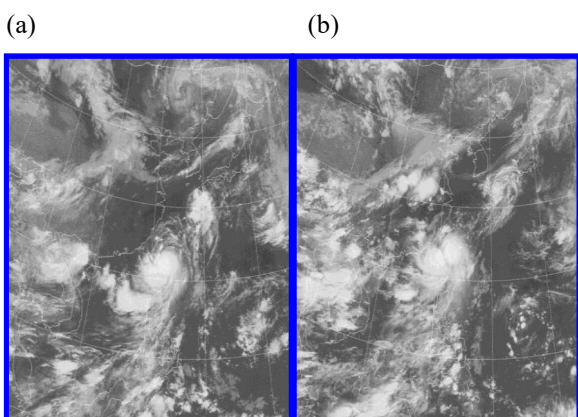


圖 3: 衛星雲圖 (a) 7 月 17 日 08 時 (b) 17 日 20 時

圖 4(b)為 7 月 17 日 23 時的雷達回波圖, 顯示移進花蓮中尺度系統(紅色圓圈)已移到南投縣玉山附近, 形成大的降雨, 另外, 台灣西部海岸自嘉義以南到高雄縣有明顯的強回波(即強降雨)分佈; 圖 4(c)為 7 月 18 日 08 時的雷達回波圖, 顯示此時南部的雨勢停歇, 但原在南投的中尺度系統, 已移到台中地區(紅色圓圈)造成大的降雨, 圖 4(d)為 3 小時後的雷達回波圖, 顯示此中尺度系統出海後往北部海上走。

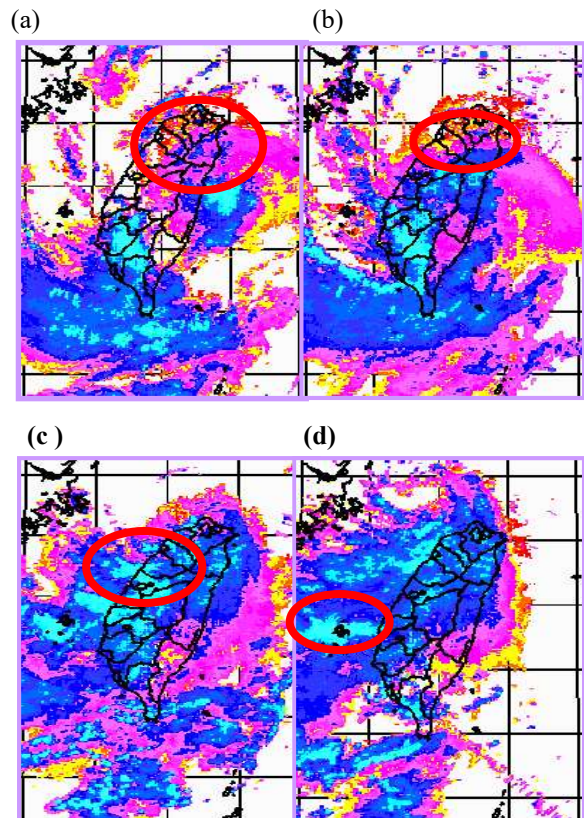
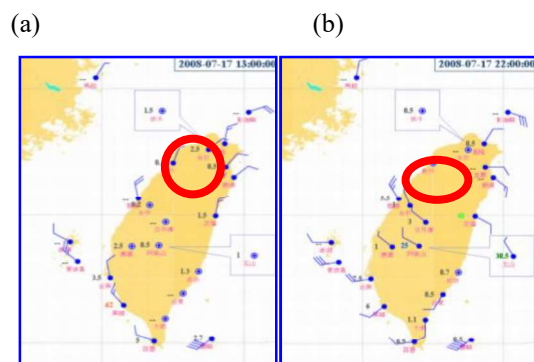


圖 4: 雷達雨帶回波圖 (a) 17 日 20 時 (b) 17 日 23 時 (c) 18 日 08 時 (d) 18 日 11 時。



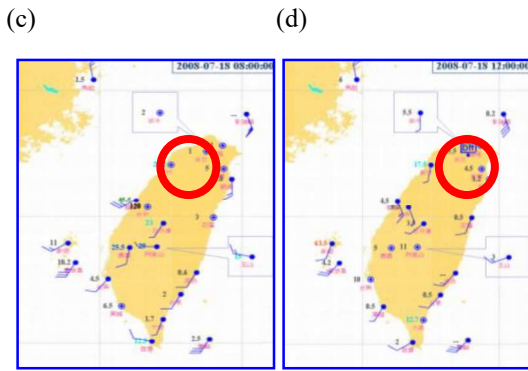


圖 5: 氣象局傳統測站地面風觀測圖 (a) 17 日 13 時 (b) 17 日 17 時 (c) 18 日 08 時 (d) 18 日 12 時 LST

從圖 5(a)-(b)的時間序列分析，隱含著台中地區大的降雨，可能是 7 月 17 日 20 時由台灣東部移進花蓮，約 100 公里的中尺度系統(meso- β)所引發的，此點與楊與簡(2010)認為台中強降雨，是由西南氣流所引發的，略有不同的觀點。另外，此中尺度系統出海後，應是往西北走(與颱風走向一致)，與澎湖強降雨系統並不相同。

圖 5 (a)(b)是利用氣象局地面氣象站，觀測地面風場與時雨量，(a)為 7 月 17 日 13 時(台北時間)，颱風登陸前 8 小時，顯示嘉義以南地區，受颱風外圍環流影響吹西北風，其中高雄市為 60 mm，此觀察與楊與簡(2010)敘述的第一階段相符合，但是高雄市如此大的時雨量，確實是氣象及防救災的盲點，既非地形降雨，也不是中小尺度系統移進(無測站風向改變)，單純由颱風螺旋雨帶造成如此大的時雨量，是值得日後做深入研究的議題，紅色圓圈明白顯示四週測站風向為逆時針旋轉；(b)為 22 時(颱風是 21 時 40 分登陸宜蘭)，兩個值得注意的現象，一是此時台灣東北、西南海岸觀測站的雨勢停歇，但花蓮站、玉山站及阿里山站三個觀測站分別是 48 公釐、38.5 公釐及 25 公釐，二是與圖(a)17 時風場相比較，基隆、宜蘭風向並未改變，但花蓮站的風場卻成 90 度改變，呈海面吹向陸地，此隱含著颱風中心登陸宜蘭的同時，其南方有一中尺度氣旋式(直徑約

100 公里)登陸花蓮，並造成花蓮、玉山及阿里山三個測站的強降水。

圖(c)與(d)分別是 18 日 08 時及 18 日 12 時，紅圈圈分別是台中降下時雨量 120 mm 及澎湖降下時雨量 63.5mm 的時間。上述中尺度分析對於這種高度不對稱的颱風，且颱風中心的南方又有兩個大的降雨區，甚為重要。

三、模式模擬

3.1 模式簡介

本研究所使用的區域波譜模式 (RSM, Regional Spectral Model)，即是由 Juang and Kanamitus,1994；Juang and Kanamitus,1997)，在美國國家環境預報中心 (NCEP, National Centers for Environmental Prediction, 前身為美國國家氣象局) 所發展的模式。模式的發展，是為了配合美國國家氣象中心的全球波譜模式，進行區域數值模擬而設計的，因此在區域波譜模式中的動力與物理過程，與全球波譜模式是相同的。

國防大學理工學院已引進 NCEP/ RSM，並改版成 f97 版多層巢狀模式，在過去模擬中尺度系統、及區域氣候均有良好的成效 (呂與廖，2005；Lu et al. 2007；Lu et al. 2007；羅，2010)。本研究使用是 RSM 一層模式，模擬範圍涵蓋東亞地區(104- 136°E，8- 37°N)，垂直 28 層，輸出的水平解析度為 30 公里。

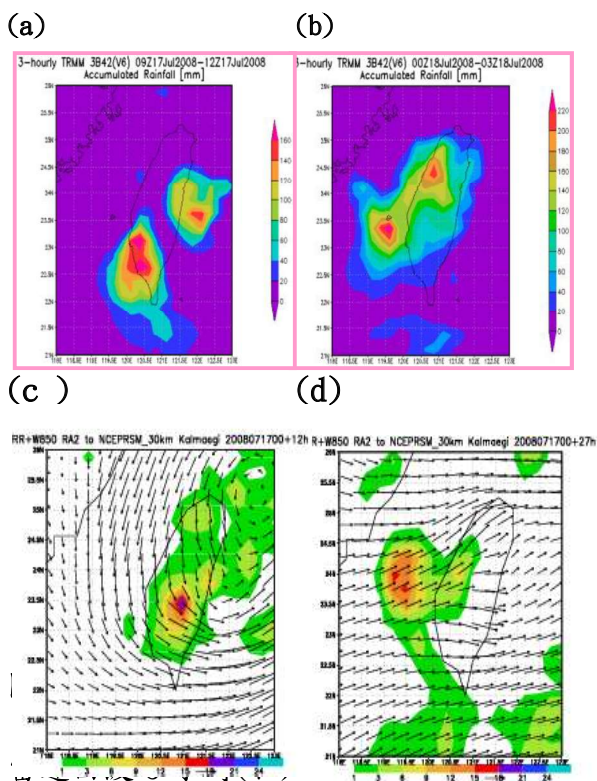
本研究使用美國國家氣象局 NCEP 提供的全球再分析場資料 (reanalysis data， $1^{\circ} \times 1^{\circ}$) 作為模式的分析場，即 NCEP 全球模式輸出值再加上全球觀測資料後的再分析資料，每 12 小時一筆，模擬起始時間為 2008 年 7 月 17 日 00 時 UTC，模擬 48 小時，即 2008 年 7 月 19 日 00 時止，共輸入 5 筆全球再分析資料。

3.2 模擬結果討論

圖 6 為 TRMM 雷達回波 3 小時(7 月 17 日 09- 12 時 UTC)雨量預估值，TRMM 為美國 NASA/GFSC 劇烈風暴研究組所

屬，係將水汽雷達架在 420 公里的低空衛星上，對全球熱帶地區進行水汽觀測，故由 3 小時的累積降雨可清楚的看出兩大降雨帶，一是南部移進來的降雨帶，二是颱風中心南端移進花蓮的降雨帶，圖 6 為 7 月 17 日 12 時 UTC (即台北時間 20 時) 的地面風場及時雨量，明顯的台中及梧棲站仍吹著西北風，但從澎湖到高雄站已改吹西風。

整體而言，模式模擬兩大降雨區及風場分佈、都有合理的掌握。圖(a)-(b) 17 日 12 時 UTC TRMM 南部最大降雨量為 160 毫米/3 小時，及 18 日 3 時 UTC TRMM 南部 3 小時累積最大降雨量為 100 毫米，圖(c)及(d) 模式模式模擬 7 月 17 日 12 時 UTC 及 18 日 03 時 UTC 風場及過去 3 小時的雨量累積值的模擬結果，模式雖有掌握兩大降雨的型態，但明顯的低估雨量，模式風場方面，西北風是掌握了大範圍的風場，但南部吹西風的變化，並未掌握到。顯而易見的，此模式仍有相當大的改善空間。



(a) 雨量預估值 (c) 為模式模擬 7 月 17 日 12 時 UTC 風場及過去 3 小時的雨量累積值，(d) 為模式模擬 7 月 18 日 03 時 UTC 風場及

過去 3 小時的雨量累積值

四、結論

2008 年卡玫基颱風在本島有兩大降雨系統，一是 7 月 17 日中午，在台灣南部西海岸移進的強降雨系統，一是 7 月 17 日晚上 8 時，由登陸點南方的花蓮中尺度(meso-β)氣旋，經過南投玉山及阿里山，於 18 日 11 時移到台中，遇上海上吹來的西南氣流後，在台中引發 120 毫米/時的大雨，並造成台中市嚴重的淹水；本研究利用中尺度分析，了解到後者降雨系統的機制，與楊與簡(2010)認為台中大降雨(120 mm/hr)是由西南氣流與颱風環流交互作用所引發，稍有不同。

本研究利用中尺度分析方法及 NECP/RSM_30km 區域波譜模式，模擬卡玫基颱風 48 小時，得到合理的降雨與風場分佈。

卡玫基颱風雖是輕度颱風，最終卻造成台中以南到屏東的鄉鎮，遭受淹水或土石流的侵襲，受災鄉鎮數佔全台三成以上，而颱風中心附近(台灣北部)，卻是風大雨小，沒有災情傳出，這種高度不對稱的颱風，雲系集中在颱風中心的南端，對氣象預報是一個高難度的挑戰。

參考文獻

鳳雷、陳永明、黃柏誠、翁進登、李林耀、于宜強、王安翔、李宗融、張智昇、周仲島，2008：“卡玫基颱風引發中南部豪雨個案分析”，天氣分析與預報研討會論文彙編，9月9-11日，台北，第101-105頁。
 蔡明憲，2010：“颱風影響下局部環流之數值模擬研究”，碩士論文，國防大學理工學院應用物理研究所，桃園，89頁。
 Chang, C.P., T.C. Yeh, and J.M. Chen, 1993, “Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan,” *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 734- 752.
 Chang, S.W., 1982: “The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones.” *Mon.*

- Wea. Rev.*, **110**, 1255- 1270。
- Wu, C. C., Yen, T. H., Kuo, Y. H., and Wang, W., 2002: "Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect," *Wea. Forecasting*, **17**, 1001- 1015.
- 張祐慎，2003：“納莉颱風侵台期間台灣東北部區域現象之分析”，碩士論文，國立台灣大學大氣科學碩士班，台北，125 頁。
- 張瑞昌，2005：“泰利颱風(2005)侵台期間結構特性之數值模擬研究”，碩士論文，國防大學理工學院大氣科學碩士班，桃園，77 頁。
- Bender, M. A., Tuleya, R. E., and Kurihara, Y., 1987: "A Numerical Study of the Effect of Island Terrain on Tropical Cyclones," *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 130- 155.
- Yeh, T.C. and Elsberry, 1993 : "Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part.I Upstream track deflections," *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3193- 3212.
- Chang, C.P., Chen, C. H. Liu, and H.C. Kuo, 2003 : "Typhoon Vamei: An equatorial tropical cyclone formation," *Geophysical Res. Lett.*, **30**, 50:1-4.
- Lin, Y. L., Chiao, S., Wang, T. A., Kaplan, M. L., and Weglarz, R. P., 2001: "Some Common Ingredients for Heavy Orographic Rainfall," *Wea. Forecasting*, **16**, 633- 660.
- 陳泰吉，2009：“地形影響下颱風雨帶降水之數值模擬研究”，碩士論文，國防大學理工學院大氣科學碩士班，桃園，100 頁。
- Lee, C. S., Liu, Y. C., and Chien, F. C., 2008: "The Secondary Low and Heavy Rainfall Associated with Typhoon Mindulle (2004)," *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1260- 1283.
- 楊筑芳與簡芳菁，2010：“卡玫基颱風(2008)之數值模擬研究” 天氣分析與預報研討會論文彙編，6 月 25-28 日，台北，第 120-125 頁。
- 蔡明憲、汪建良、侯昭平與何台華，2010：“卡玫基颱風(2008)引發澎湖地區強降水事件之數值模擬研究” 天氣分析與預報研討會論文彙編，6 月 25-28 日，台北，第 114- 119 頁。
- Lu, F.-C., Juang, H.-M. H., and Liao, C.-C., 2007: "A Numerical Case Study of the Passage of a Cold Surge Across Taiwan," *Meteorol. Atmos. Phys.*, **95**, 27-52.
- Lu, F.-C., Juang, H.-M. H., and Liao, C.-C., 2007: "Revisiting Horizontal Diffusion of Perturbations over Terrain for NCEP RSM," *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **18**, 67-83.
- 羅明福，2010：“巢狀區域波譜模式精進之研究”，碩士論文，國防大學理工學院應用物理研究所，桃園，104 頁。

The impact of typhoon Kalmaegi(2008) meso-scale analysis and rainfall simulation

Horngsyi Shen

Division of Atmospheric Sciences, Department of Environmental Information and Engineering,
Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

Abstract

There were two major heavy rainfall systems for typhoon Kalmaegi (2008). One is moving from the south of Taiwan strait into the southwest part of Taiwan. The other is a meso- β system moving from Hualien to Ali mountain and Taichung. The latter mechanism was different from the Yang and Chien(2010) consideration that Taichung heavy rainfall was induced by the interaction of typhoon current and southwest monsoon flow.

The NECP/RSM_30 km regional spectrum model was adopted in this research for 48 hour simulation. The model heavy rainfall and wind patterns were seemed reasonable. There were much space of this model for improvement in the future. Typhoon Kalmaegi was an asymmetric tropical cyclone. The heavy rainfall system was located on the south part of typhoon eye. There were 30% counties of Taiwan were suffered by inundation and debris flow.

Keywords: Typhoon Kalmaegi, meso- β system