

Meteorological Bulletin



季刊 第50巻第1期 民國102年10月 Vol. 50 NO. 1 October 2013

氟家學報

季 刊 第50卷 第1期

目 次

研究論文

| 中央山脈中的特殊群震研究:以2012年3月6日 在臺灣中部的線形地震序列為例 | 蒲新杰 陳宏嘉 (1) 何美儀 林柏佑 蘇聖中 |
|--|--|
| 2011年臺灣地區地震活動回顧 | 李伊婷 邱俊達 (17) 許麗文 何美儀 張建興 吳逸民 |
| 氣象局第二代二步法短期氣候預報系統之 | 李清縢 盧孟明 (35) 胡志文 |
| 颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展研究成 | 求果 葉天降 李清勝 (59) 楊明仁 何台華 馮欽賜 洪景山 鳳 雷 張保亮 |
| 出版機關:交通部中央氣象局 10048臺 發行人:辛在勤 聯絡電 編審小組: | ·北市中正區公園路64號 話:(02)2349-1091 |
| 主 编程家平 | |

委 員 呂 國 臣 李育 棋 (按姓氏筆劃排列) 林 我 洪 景 山 雨 張 保 亮 郭 鎧 紋 榮 陳 建 嘉 河 陳 慈 馮 欽 賜 滕 春 鄭 明 典 盧 孟 明 幹 事 黃 絲 韓 素 蘭 玉

中央山脈中的特殊群震研究: 以2012年3月6日在臺灣中部的線形地震序列 為例

蒲新杰、陳宏嘉、何美儀、林柏佑、蘇聖中 中央氣象局地震測報中心

摘 要

2012年3月6日,在臺灣中部山區,奧萬大地區,發生了一個規模3.4的 小區域地震。此地震的規模不大,但卻在短時間內引發了為數不少的小規 模地震,且這些地震的發震位置集中。因此,我們可以將其視為一個地震 序列。進一步分析這個地震序列,可以發現這地震序列分布,在空間呈接 近垂直方向的線形。而在過去的研究中,大部分類似的地震分布,皆與地 下流體活動有關。為了更進一步確認流體活動與這個地震序列的關係,我 們分析了此地震序列中,主震的中央地震矩張量。而測試的結果顯示,此 一主震是屬於走向滑移的震源機制,與使用初動解方向資訊所獲得之震源 機制相仿。此一結果顯示,全波形模擬所求解出的震源機制是可信的。再 更進一步分析中央地震矩張量的震源機制,可以發現,此震源機制有非常 大的補償線性向量偶極值(~33%)。而大的補償線性向量偶極值表示這個 震源在破裂的過程中,多半與流體在構造中移動有關。此結果暗示,在中 央山脈下,流體的活動仍是活躍的,也因此才會產生2012年3月6日的地震 序列。再檢視中央氣象局的地震活動目錄,我們在山脈底下也可找到數個 類似的線形地震群。這發現說明特殊的構造行為可能很廣泛的存在中央山 脈底下,同時,這種構造的活動有能力產生地震序列。

關鍵字:地震序列、中央地震矩張量、補償線性向量偶極、流體

-1-

一、前言

臺灣地區,地震活動的特徵十分明 顯。這些地震事件,大部分皆發生在臺灣 的中央山脈兩翼與其東側近海地區為主 (圖1a)。地震發生的原因,大多與目前 已知的菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊相 互擠壓碰撞有關(Tsai et al., 1977; Tsai, 1986; Angelier, 1986)。而頻繁地震的 發生,就是在釋放兩個板塊相互擠壓的累 積應力。因此,理論上在臺灣地區的地 震,大多數皆是以擠壓應力型態的逆斷層 為主。而1999年的921集集地震(Chen, 2000)與2003年的成功地震(Kuochen, 2007),就是典型的例子。這兩個近期較 大的地震,分屬在中央山脈的兩側地區, 其震源就是逆斷層型態。

而在中央山脈下的地震,其發生特 性似乎受局部構造的影響很大。首先, 就地震震源的特性來看,相對於中央山 脈兩側,在山脈部分地區底下,其震源 特性與一般在臺灣常見的壓縮應力之逆 斷層不同,而是以正斷層形式表現(Lin, 2002)。在震源分布上,中央山脈地區 中可以發現到地震的分布很不平均(圖 1), 甚至可以找到很明顯的無震帶。這 暗示著,山脈底下的地震活動特性,受局 部構造特性影響甚大。而目前的地震監測 或地球物理研究,受到中央山脈地勢險峻 的影響,不利於廣布地震站和做細部的地 球物理研究。因此,其下方的細部構造和 特性,我們的瞭解並不如臺灣中央山脈 **東、西側的構造清楚。但以研究的角度,** 瞭解中央山脈底下的細部構造特性,仍有 科學上的價值。

本研究將以中央氣象局24位元地震觀 測系統所監測到在奧萬大地區的一個地震 序列為例,探討中央山脈下的地震與構造 相關性。這一個地震序列發生在2012年3 月6日,是由43個地震所組成的。而這些 地震中,最大的地震規模為3.4。這個地 震序列,其最大的特性是地震在空間中的 分布呈接近垂直的線形,且從其震源特性 判斷,這個地震序列可能不是一般典型應 力作用下的雙力偶(double-couple)地 震。在經過分析討論後,推測這個地震序 列是可能受地下液(氣)體流動作用而產 生的。

二、背景

從過去的研究推論中,臺灣是由菲律 賓海板塊與歐亞大陸板塊間隱沒作用形成 的島嶼(Teng, 1990)。而板塊間的相對 運動方向是,菲律賓海板塊朝西北,每年 以7~8公分的速度前進(Seno et al., 1993; Yu et al., 1997)。在臺灣東北部,是菲 律賓海板塊隱沒到歐亞大陸板塊底下;在 臺灣南部,則是歐亞大陸板塊隱沒到菲 律賓海板塊之下(Tsai et al., 1977; Tsai, 1986; Angelier, 1986)。而這個隱沒過 程,可能始自第三紀(Tertiary)(Teng, 1990)。在這個過程中,造成了臺灣地 區的地殼抬升,而造成臺灣全島抬升的高 峰時期,推測可能是在第三紀的末期(上 新世至更新世時期),這一個階段一般通 稱為蓬萊造山運動(張麗旭, 1963; Ho, 1994)。這次的造山運動,使原本位在地 槽的沉積盆地崩解,盆地內的沉積物受到 強烈的擠壓應力作用,逐漸形成山脈。而 臺灣最主要的中央山脈與最高峰-玉山, 就是這樣形成的。由於這兩個板塊間的相 互作用強烈,才造成了臺灣有如此快速的 抬升作用。

而在板塊的隱沒過程中,除了造成

-2-



- 圖1臺灣地區的地震(灰點)分布(資料來自中央氣象局地震目錄)。其中,C.R.、 C.O.R.、W.F.和C.P.各代表中央山脈、海岸山脈、西部麓山帶和西部平原。
- Fig. 1. Seismic distribution (gray point) in the Taiwan area since 1994 (data is provided by the Seismological Center, Central Weather Bureau). C.R., C.O.R., W.F., and C.P. indicate the Central Range, Coastal Range, Western Foothill, and Coastal Plain, individually.

地殼抬升外,同時,地殼張裂也形成了 一些火山構造。臺灣部分火山構造存在 的原因,就是板塊隱沒作用的早期(始 新世時期),臺灣地區是處在張裂環境 中 (Huang, et al., 1992; 高天鈞與黃輝, 1994)。而強烈的張裂作用使得地殼與 板塊變薄,拉張變薄的過程會形成很多的 裂隙構造。這些裂隙就是自然形成了一 個通道,使位在深部的高溫物質可以漫 流到地表,形成火山構造 (Chung et al., 1994)。但這些裂隙,隨著板塊隱沒作 用的持續影響下,逐漸被閉合。所以現在 在臺灣的火山活動,才會變的如此稀少。 但事實上,我們仍可在臺灣各處,尤其是 近中央山脈的地區,可見到許多的溫泉。 這些溫泉的形成,與一般火山的活動無 關,但可能與相對異常的高地溫梯度是 有關的。根據地表熱流的研究(Lee and Cheng, 1986),中央山脈地區的熱流相 對較高。是否為過去火山作用的延續或是 其他成因,雖難以確定。但可以說明的 是,在中央山脈地區底下,火山和異常的 地熱構造的確曾經存在。

三、地震資料分析與結果

中央氣象局地震測報中心,自2012 年起,啟用了一個新的地震觀測系統-24 位元地震觀測系統。這個地震觀測系統 是建構在原本的地震觀測系統(Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN)下,並增加約60個地震監測站 資料,形成現在所使用的新地震觀測系

-4-

統。目前,這個地震觀測系統的地震站數 目有132個。每個地震站都升級配備了新 的地震紀錄器,這種紀錄器可提供24位元 的觀測波形資料。相較於過去CWBSN主 要是以12位元的觀測波形資料為主,新 的系統可以提供更精細的波形資料。而這 些精細的波形資料,配合地震站的數目增 加。可想而知的是,24位元地震觀測系統 可以偵測到更多規模小,且是過去無法偵 測到的地震。這些地震的發現,一方面提 升了地震資料的品質;同時,也提供更多 小規模地震的資料,以利於研究更細部的 地下構造活動性。而本研究所使用的地震 定位資料,就源自於這個24位元地震觀測 系統。

本研究所討論的2012年3月6日在臺 灣中部奧萬大地區的地震序列,主要是 由一個規模3.4的小區域地震為主。這個 地震的震源位置是東經121.06度,北緯 24.00度,深度6.69公里。接著,我們試 著定義這個地震序列。首先,我們設定 發震時間是在2012年3月6日,其次,發 震位置與小區域地震震央位置差在10公 里內的地震事件,我們就定義成這個地 震序列(圖2)。最後,我們發現,這個 地震序列是由43個地震所組成的。在中 央氣象局提供的地震定位結果中,這些 地震群集在一個小區域中,且呈接近垂 **直的線性分布。為了更進一步確認這個** 地震序列的分布,我們採用了雙差分地 震定位技術 (Hypo Double Difference; Waldhauser and Ellsworth, 2000),將地



圖2 2012年3月6日的地震序列分布圖。其中,灰色矩形表示研究區域。



震序列重新再定位。事實上,這個定位技 術在2000年提出後,已成功被檢驗和應用 在許多地區(e.g. Fukuyama et al., 2003; Hauksson and Shearer, 2005; Schaff and Waldhauser, 2005),顯見這方法具有相 當的可信度。而我們運用此方法,對此地 區的地震重新定位,地震定位的整體誤差 量(時間誤差量的方均根值)從原先的 0.4984秒降到0.2848秒,地震定位的品質 有明顯的提升。重新定位結果顯示,這個 地震序列的地震分布,仍然是呈明顯的線 性分布且較為收歛(圖3)。我們再進一



圖3 2012年3月6日地震序列重新定位後的分布圖。其中,灰色矩形表示研究區域。

Fig. 3. The relocated seismic distribution of earthquake series on March 6, 2012. The black frame in the up-right figure indicates the study area.

步分析當地2012年1~5月的地震特性(資 料源自24位元地震觀測系統),可明顯發 現,在這個地震序列之前,地震的發生都 十分零散(圖4a)。另外,這個地震序列 中,似乎可以發現在主震(規模3.4)發 生前12小時,就已有一些前震活動的現象 (圖4b)。 為了更深入瞭解這個地震序列的震源 特性,我們將試著反演此地震序列中, 主震的震源機制。在求解的方式上,我們 使用了兩種類型的資料,一是藉由P波的 初動極性來獲得初動震源機制(Honda, 1957),另一個則是利用全波形的擬 合技術模擬中央地震矩張量(Centroid



圖4 研究區域內的地震發生統計表。(a) 地震發生個數的日統計圖。(b) 地震發生的規模 與時間統計圖。其中灰色星號表示這個地震序列中最大規模的地震。

Fig. 4. The diagram of seismic occurrence in the study area. (a) The daily number of earthquakes.(b) The relation between seismic magnitude and occurrence on March 6, 2012. The gray star represents the main-shock of this earthquake series.

Moment Tensor, CMT; Dziewonski et al., 1981; Sipkin, 1982; Kawakatsu, 1995)。 第一種求解的方式,其P波初動極性的資 料是來自前述的24位元地震觀測系統, 而其所求得的震源特性為走向滑移的震源 機制(圖5)。第二種的求解方式,波形 資料是來自臺灣寬頻地震網(Broadband Array in Taiwan for Seismology, BATS)。目前,這個地震網共有54個站 (Kao et al., 1998; 陳榮裕等, 2010)。 其求得的震源機制解同樣是以走向滑移 的為主(圖6),但其解中顯示,此震 源與一般的雙力偶(Double-couple)型 地震不同。一般稱此類型的地震為非雙



圖5 2012年3月6日地震序列中,主震的初動震源機制。

Fig. 5. The focal mechanism of main-shock of this earthquake series solved by the first motion data.

力偶(Non-double-couple)震源,這類 究中的主震為例,其CLVD值接近33% 型的地震有非常高的補償線性向量偶極 (Compensated Linear Vector Dipoles, CLVD; Knopoff and Randall, 1970; Dahlen and Tromp, 1998) 值,以本研

(CLVD值的極大值為50%)。因此,合 理的推測,這個地震序列的成因,應該與 一般斷層的活動無關。



圖6 2012年3月6日地震序列中,主震的CMT解。黑色和灰色的波形各表示觀測與理論波形。 Fig. 6. The CMT solution of main-shock of this earthquake series. The synthetic and real seismic waveform are the gray and block line, respectively.

四、討論

本研究所討論的地震序列,具有特殊 的線形分布。這種特殊地震分布,且地 震的規模又偏小(地震序列中主震的規 模僅為3.4),推測可能與地下構造中, 局部地區孔隙壓力的改變所致(Nur and Booker, 1972; Yamashita, 1999)。會造 成這類的變化,多半與地下的流體或氣體 的移動有關。而這類線形的地震分布,可 以在火山地區中普遍發現,如日本的櫻 島火山(Nishi, 1978 & 1980; Yokoyama, 1986)和臺灣的大屯火山(蒲新杰等, 2011)。而本研究的奧萬大地區,在地表 處並沒有發現火山活動。因此,可以先排 除近地表的火山活動。但由臺灣島的生成 過程中,此地區過去的確曾可能有火山構 造或熱源通道存在,且當地的地表熱流相 對亦高(Lee and Cheng, 1986)。因此, 此地震序列的發生,有可能與局部地區的 流體(氣或液體)移位有關。

從地震的發生時間分布來看,在這個

地震序列的主震(規模3.4)發生之前, 就有一些前震發生(圖4)。以2012年5 月以前的地震事件來看,當地每日地震 最多的個數,多數僅為0~3個。而在2012 年3月6日的最大地震發生前12小時內, 就有6個地震發生,這種頻率遠高於過去 此地區常態發生的地震數量,是很明顯的 異常。因此,這6個地震推測應是這個地 震序列的前震。一般情況下,前震的發 生可能與地下構造存在有明顯的異質特 性(Heterogeneity) 有關(Mogi, 1963; Jones, 1984; Abercrombie and Mori, 1996; Umino et al., 2002)。也就是說這 個地震序列的孕震區構造內,可能存在多 種的物質,使得最大地震發生前,會有前 震的現象,而在2003年的成功地震就是一 個典型的例子(Lin, 2004)。在本次討論 的地震序列中,這異質有可能就是前述的 流體。

在震源機制的部分,我們發現了 CMT的震源機制,其解異於一般的震源 機制。首先,我們比對了CMT的兩組斷 層面解,可以發現其解與初動解的兩組 斷層面極為相似。利用不同的資料與不 同方法,卻可反演出相似的震源特性, 這顯示兩種震源機制應是可靠的。再更 細部比對,可以發現CMT的震源機制中 有著非常強烈的非雙力偶特性(CLVD值 高)。而這種震源的發生,目前已知多半 是與地下構造的液(氣)體流動有關。 事實上,這類型的震源已在世界各地觀 測到(Miller et al., 1998),在臺灣過 去的地震活動中也可發現(Zheng et al., 1995)。至於關鍵的流體,以地球物理探 測的研究來看,近年來的地電阻研究顯示 (Chen et al., 2007),山脈底下出現了 一些低電阻的物質,推測極可能是流體。 回到本研究的CMT中,我們解得的最大 應力軸為壓力軸,因此判斷地震形成的原 因,可能是流體瞬間灌壓入此裂隙內,造 成裂縫的周邊瞬間膨脹。因此推測,這個 地震序列可能是流體自裂隙的某個位置 中,瞬間灌壓入裂隙中,造成整個裂縫一 連串的破裂,形成線形地震分布。而最後 能產生一個規模3.4的小區域地震和總數 43個地震事件的序列,顯示可能是有相當 大量的流體在移動。

我們更進一步檢視過去在臺灣中央 山脈地區的地震後,也發現數個與本研 究類似的線形分布地震序列。例如2001 年12月26日在臺中山區(最大地震規模 3.95)、2011年3月12~13日在嘉義-南投 的山區(最大地震規模3.73)、2004年 11月25~30日在苗栗山區(最大地震規 模3.56)和2001~2003年臺東利稻地區

(2001/07、2001/12、2002/03和2003/01 有四次自發性的小區域地震序列)。前 述線形的地震序列中,最大地震規模都很 小,地震數量略多於平常的背景地震活 動,且具有集中發生的特性,與本研究的 地震序列相似。而它們的發震機制是否與 本研究的地震序列完全相同,目前尚不可 知,但許多這類特殊的地震分布都發生在 中央山脈下,暗示著在中央山脈底下的地 下構造是複雜且具有相當的活動性。

五、結論

本研究以2012年3月6日在臺灣中部, 奧萬大地區的地震序列為例,探討這個地 震系統的成因。雖然這個地震序列數量少 (43個),地震的規模也都很小(最大 規模3.4),但其異於背景的密集發生與 特殊的地震分布仍然具有研究與分析的價 值。因此,我們運用高精度的地震定位, 與初動和中央地震矩張量的震源機制特 性,配合地震線形分布與有前震行為等特 性,進行分析與討論。最後,我們認為這 個地震序列可能是與中央山脈底下的流體 作用有關。而相類似的構造活動,推測可 能廣泛的存在中央山脈底下。

六、致謝

感謝中央氣象局地震測報中心提供寶 貴的地震目錄資料,同時也感謝臺灣寬頻 地震網的建置單位,中央研究院與中央氣 象局提供珍貴的地震波形。

七、參考文獻

- Abercrombie, R. E., and J. Mori, 1996: Occurrence patterns of foreshocks to large earthquakes in the western United States, *Nature*, **381**, 303–307.
- Angelier, J., 1986: Preface to the special issue on "Geodynamics of the Eurasian-Philippine Sea Plate Boundary", *Tectonophysics*, **125**, IX-X.

- Chen, C. S., C. C., Chen, C. W, Chiang, H. L., Shu, W. H., Chiu, M. J., Unsworth, and E., Bertrand, 2007: Crustal resistivity anomalies beneath central Taiwan imaged by a broadband magnetotelluric transectm, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 18, 19-30.
- Cheng, W. B., 2000: Three-dimensional crustal structure around the source area of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan and its relation to aftershock locations, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, **11**, 643–660.
- Chung, .S. L., S. S., Sun, K. Tu, C. H., Chen, and C. Y., Lee, 1994: Late Cenozoic basaltic volcanism around the Taiwan strait, SE China: Product of lithosphereasthenosphere interaction during continental extension, *Chemical Geology*, 112, 1-20.
- Dahlen, F.A. and J. Tromp, 1998: Theoretical Global Seismology, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Dziewonski, A. M., T. A. Chou, and J. H. Woodhouse, 1981: Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. J. Geophys. Res., 86, 2825-2852.
- Fukuyama, E., W. L., Ellsworth, F., Waldhauser, and A. Kubo, 2003: Detailed fault structure of the 2000 western

Tottori, Japan, earthquake sequence, Bull. Seismol. Soc. Am., **93**, 1468-1478.

- Hauksson, E., and P. Shearer, 2005: Southern California hypocenter relocation with waveform cross-correlation, Part 1: results using the double-difference method, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95, 896-903, doi: 10.1785/0120040167.
- Honda, H., 1957: The mechanism of the earthquakes, *Sci. R, ep., Tohoku Univ., ser. 5, Geophys.,* **9**, Suppl.
- Huang, S. T., H. H., Ting, R. C., Chen, W.
 R., Chi, C. C., Hu, and H. C., Shen, 1992: Basinal framework and tectonic evolution of offshore northern Taiwan, *Petroleum Geology of Taiwan*, 27, 47–72.
- Jones, L. M., 1984: Foreshocks (1966– 1980) in the San Andreas system, *California, Bull. Seismol. Soc. Am.*, **74**,1361–1380.
- Kao, H., S. J., Shen, and K. F., Ma, 1998: Transition from oblique subduction to collision: Earthquakes in the southernmost Ryukyu arc-Taiwan region, J. Geophys. Res., 103, 7211-7229.
- Kawakatsu, H., 1995: Automated nearrealtime CMT inversion. *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 2569-2572.
- Knopoff, L., and M. J. Randall, 1970: The compensated linear vector dipole:A possible mechanism for deep earthquakes, J. Geophys. Res., 75, 4957-

4963.

- Kuochen, H., Y. M. Wu, Y. G. Chen, and R.
 Y. Chen, 2007: 2003 Mw 6.8 Chengkung earthquake and its related seismogenic structures, *J. Asian Earth Sci.*, 31, 332-339.
- Lee, C. R., and W. T., Cheng, 1986: Preliminary heat flow measurements in Taiwan, Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference, 4th, Singapore, Proceedings.
- Lin, C.H., 2002: Active continental subduction and exhumation: the Taiwan orogeny, *Terra Nova.*, **14**, 281-287.
- Lin, C.H., 2004: Repeated foreshock sequences in the thrust faulting environment of eastern Taiwan, *Geophysical Research Letters*, **31**, L13601.
- Lin,C.H., 2002: Active continental subduction and crustal exhumation: The Taiwan orogeny, *Terra Nova*, **14**, 281–287.
- Miller, A. D., G. R. Foulger, and B. R. Julian, 1998: Non-double-couple earthquakes II. Observations, *Rev. Geophys.*, 36, 551-568.
- Mogi, K., 1963: Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquakeswarms: The fracture of a semiinfinite body caused by an inner stress origin and its relation to earthquake phenomena, *Bull. Earthquake Res. Inst.*

Tokyo Univ., 41, 615-658.

- Nishi, K., 1978: On the focal mechanism of volcanic earthquakes in Sakurajima Volcano, Ann. Rep. Dis. Prey. Res. Inst., Kyoto Univ., 21, 145-152 (in Japanese).
- Nishi, K., 1980: Spectral study on the volcanic earthquake (1), Ann. Rep. Dis. Prey. Res. Inst., Kyoto Univ., 23B-1, 29-35 (in Japanese).
- Nur, A., J. R.,Booker, 1972: Aftershocks caused by pore fluid flow? *Science*, **175**, 885–887.
- Schaff, D. P., and F. Waldhauser, 2005: Waveform cross-correlation-based differential travel-time measurements at the northern California seismic network, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95, 2446-2461, doi: 10.1785/0120040221.
- Seno, T., S. Stein, and L. J., Ruff, 1993: A model for the motion of the Philippine Sea Plate consistent with NUVEL-1 and geological data, J. Geophys. Res., 98, 941-948.
- Sipkin, S. A., 1982: Estimation of earthquake source parameters by the inversion of waveform data: synthetic waveforms. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **30**, 242-259.
- Teng, L. S. 1990: Geotectonic evolution of Late Cenozoic arc- continent collision in Taiwan, *Tectonophysics*, 183, 57-76.

- Tsai, Y. B., 1986: Seismotectonics of Taiwan, *Tectonophysics*, **125**, 17-37.
- Tsai, Y. B., T. L., Teng, J. M., Chiu, and H. L., Liu, 1977: Tectonic implications of the seismicity in the Taiwan region, *Mem. Geol. Soc. China*, 2, 13-41.
- Umino, N., T. Okada, and A. Hasegawa, 2002: Foreshock and aftershock sequence of the 1998 M=5.0 Sendai, northeastern Japan, earthquake and its implications for earthquake nucleation, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **92**, 2465–2477.
- Waldhauser, F., and W. L., Ellsworth, 2000: A double difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern hayward fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 1353-1368.
- Yamashita, T., 1999: Pore Creation due to fault slip in a fluid-permeated fault zone and its effect on seismicity: generation mechanism of earthquake swarm, *Pure appl. geophys.* 155, 625-647.
- Yokoyama, I., 1986: Crustal deformation caused by the 1914 eruption of Sakurajima Volcano. Japan and its secular changes, J. Volcanol. Geotherm. Res., 30, 283-302.
- Yu, S. B., H. Y., Chen, and L. C., Kuo, 1997: Velocity field of GPS stations in Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Zheng, T., Z. Yao, and P. Liu, 1995: The 14 November 1986 Taiwan earthquake—an

event with isotropic component, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **91**, 285–298.

- 何春蓀,1994:臺灣地質概論-臺灣地質 圖說明書,經濟部中央地質調查所, 163pp。
- 高天鈞、黃輝,1994:臺灣海峽地質構 造特徵及演化,*地質學報*,68,197-206。
- 張麗旭, 1963:臺灣中部所謂埔里層之基於 小型有孔蟲之生物地層學研究, 中國 地質學會會刊, 6, 3-17.
- 陳榮裕、張建興、甘志文、吳逸民、辛在 勤,2010:2004年臺灣地區地震震源 參數,氣象學報,48,13-39。
- 蒲新杰、林正洪、張道明,2011:2009 年10月20日在大屯山地區的有感地震 序列,中華民國地球物理學會與中華 民國地質學會100年年會暨學術研討 會。

Extraordinary Earthquake Series beneath the Central Mountain Range, Taiwan: An Example of Linear Seismicity on March 6, 2012 in Central Taiwan

Hsin-Chieh Pu, Hong-Jia Chen, Mei-Yi Ho, Po-Yu Lin, Sheng-Chung Su Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan

ABSTRACT

On March 6, 2012, an earthquake occurred underneath the Auwanda area of central Taiwan. Although its local magnitude was 3.4, many small earthquakes were induced at that time and concentrated in a small area. For this reason, these earthquakes could be considered as a series. Then we found that this earthquake series formed a vertically linear distribution. This extraordinary seismic pattern was generally associated with the activity of subsurface fluid. In order to confirm this hypothesis, the largest earthquake of this series was analyzed by the Centroid Moment Tensor solution. The CMT solution indicated that this earthquake is a strike-slip fault, which is similar with the solutions solved by the first motions. That means our focal mechanisms are reliable because the similar solutions can be solved stably by two methods. Furthermore, we found that the CLVD value of CMT is high (~33%). In general, high CLVD value is related to the active fluid in the structures. Therefore, the solution of our CMT implies that the activity of fluid was intense at that moment, so the earthquake series were triggered. After that, we inspected the regional seismic catalog provided by the Seismological Center, Central Weather Bureau. Some similar earthquake series were found over the Central Mountain Range, too. This finding revealed that the extraordinary structural characteristic probably widely occurs beneath the Central Mountain Range and has the potential to generate earthquakes.

Key words: earthquake series, CMT, CLVD, fluid

-16-

2011年臺灣地區地震活動回顧

李伊婷¹、邱俊達¹、許麗文¹、何美儀¹、張建興¹、吳逸民² ¹中央氣象局地震測報中心

2臺灣大學地質科學系

摘 要

中央氣象局地震觀測網於2011年在臺灣區域蒐錄21,796筆地震資料, 為1994年連續觀測紀錄作業以來,記錄規模5.0以上之地震次數最少的一 年。基於1999年九二一集集地震發生前,臺灣整體的地震活動度曾出現 明顯偏低的現象,本研究即對2011年是否屬低地震活動做探討。在此運用 統計方法分析Z值及b值,同時檢視累積規模的變化,並藉2011年相對於 1994-2010年之Z值和累積規模,做為衡量2011年地震活動度的主要依據。 結果顯示2011年之累積規模是自1994年以來最低的一年,且在規模2.0以上 的地震有偏少之現象,特別是中、大型地震(M_L≥5)的個數驟降。本研 究除了討論2011年臺灣地區地震之活動度外,還利用P波初動資料,以基因 演算法求得333筆地震之震源機制解,可提供2011年更詳盡的地震資訊。大 體而言,地震平靜(seismic quiescence)是2011年地震情況的主要特徵。 關鍵字:地震活動度、震源機制、b值、Z值

一、前言

臺灣位處菲律賓海板塊與歐亞大陸板 塊之交界,屬環太平洋地震帶。在臺灣 東部菲律賓海板塊自東南向西北以每年 約8公分的速率與歐亞大陸板塊斜向碰撞 (Seno, 1977; Yu *et al.*, 1997),使得臺 灣東北部外海,由南至北產生琉球海溝、 琉球島弧及弧後擴張所造成的沖繩海槽。 在臺灣南部,則是歐亞板塊向東隱沒至菲 律賓海板塊下,形成馬尼拉海溝和呂宋島 弧(Tsai et al., 1997; Wu, 1978)。這些 複雜的板塊碰撞及隱沒作用,使得臺灣有 高聳的山脈及頻繁的地震活動。

在2011年的地震活動是自1994年 採用連續觀測紀錄來的最低一年,有鑑 於過去的研究顯示,1999年九二一集 集地震($M_L7.3$)及2003年的成功地震 ($M_L6.4$)發生之前的一年,有地震活 動安靜期的現象(Wyss and Habermann, 1998; Wu and Chiao, 2006; Wu *et al.*, 2008a),並且伴隨Gutenberg-Richter定 律中的b值降低,而b值低的地方,有可 能是發生大地震的潛在區域(Chan et al., 2012)。因此,本研究將利用b值及統計 上的Z值(Wiemer and Wyss, 1994)分析 2011年地震活動之時空分布特性,並且利 用基因演算法求取2011年地震之初動震源 機制解(Wu et al., 2008b),以對此年之 地震活動進行整體的分析。

二、資料來源

中央氣象局地震觀測網(Central Weather Bureau Seismic Network, CWBSN),每站設置3分量的S13短週期 速度型地震儀,至2011年共有71個測站 運作中,測站位置分布示於圖1。此觀測 網最佳測定的區域範圍為北緯21至26度 及東經119至123度,自1994年開始連續 觀測紀錄,大幅提昇中、小規模的觀測效 能,初期受限於硬體環境,連續紀錄取樣 率只有每秒50點;至2003年開始使用個 人電腦收錄資料(吳,2002),並擴充 容量,取樣率提升為每秒100個樣本點, 使值测規模3以下的地震解析度提高,小 型地震觀測的個數略增,如附表1。本研 究的背景地震活動值由1994至2010年間 之地震所計算,於本觀測網所測得出的 地震最小完整規模(Minimum Magnitude of Completeness, Mc)約在2.0左右(圖 2) ,因此,我們選用規模大於等於2.0的 地震資料進行分析,以確保資料的完整 性。2011年地震經過以上處理共有10.015 個, 地震分布如圖3所示。另外, 在處 理震源機制解為求精準,使用強地動觀 測網(Taiwan Instrument Strong Motion Program, TSMIP)的資料,TSMIP測站 分布極密且涵蓋地震災害潛勢高的斷層區 域,可以補足CWBSN測站不足的缺陷。

三、研究方法與結果

(一) Z值

我們運用統計方法來對欲分析的時間 段(2011年)與過去的背景值(1994至 2010年)做地震發生率之比較,其目的 在於建立異常地震發生率之分析,本文中 將式(1)所求得的值,稱為Z值。首先 將背景資料做去除餘震的處理,以使背景 地震發生率不受地震序列之影響。將規模 6.0以上的地震視為主震,距震央5公里 且3天內之地震則判斷為餘震,再將餘震 視為另一主震,在相同條件下連結其他餘 震,以此類推,直到最後一個餘震,在 5公里、3天內的條件中,無地震連結, 就認定地震序列已停止(Wu and Chiao, 2006)。接著進行Z值計算:

$$Z(t) = \frac{(R_{cal} - R_{all})}{\sqrt{\frac{\alpha_{all}^2}{n_{all}} + \frac{\alpha_{cal}^2}{n_{cal}}}}$$
(1)

其中R為地震發生率,在此用60天的平均 個數來計算地震發生率;下標all為背景值 的時間範圍;下標cal為欲分析的目標時 間(2011,以下同);α為R的標準差; n為地震發生率的樣本數;t為時間。

圖4為2011對1994-2010做Z值之分布 圖,其中的Z顯示為負值,即目標值相較



圖1 CWBSN之測站分布,至2011年底已設置71個測站(三角形所示),三角形旁標示的為 測站碼。

Fig. 1. Distribution of the CWBSN, there are 71 stations (triangle symbol) in operation at the end of 2011. Letters along the triangle indicate the station code.



Magnitude Completeness 1994/01/01 to 2010/12/31

- 圖2 1994至2010年的最小完整規模(M_c)分布圖。圖中黑線標示活動斷層地表位置。圓形標示部分地震站之位置,其旁英文字母為測站碼。
- Fig. 2. The distribution of magnitude of completeness (M_c) determined from 1994 to 2010. Black lines show the surface ruptures of the active faults. Solid circles show some of the seismic stations. Letters along the solid circle indicate the station code.



圖3 為中央氣象局2011年規模大於Mc的地震震央分布,總個數為10,015個地震。 Fig. 3. The epicenters distribution of the 10,015 events detected in 2011 by CWBSN.

背景值的地震發生率小;若Z為正值,即 目標值相較背景值的地震發生率高。從圖 中呈現地震活動度大的區域有測站南山 (NNS)及西林(ESL)附近,以及蘭嶼 地區與屏東外海等地區;活動度小的地方 有在宜蘭至花蓮北部地區、臺中地區及綠



Z values of Seismicity Rate 2011/01/01 to 2011/12/31

- 圖4 2011年對1994-2010年之Z值分布圖。正值表示地震活動度增加,負值表示地震活動趨於 安靜。圓形標示部分地震站之位置,其旁英文字母為測站碼。
- Fig. 4. Seismicity Z-values distribution of the year 2011 to 1994-2010, red and blue colors show seismicity increasing and decreasing, respectively. Black lines show the surface outcrop of the active faults. Solid circles show some of the seismic stations. Letters along the solid circle indicate the station code.

島與臺東交界,其中臺中地區為九二一集 集地震的震源區,地震活動持續降低,Z 值可以清楚顯示。

(二)b值分析

b值的分析主要是探討地震規模與個數的關係,根據Gutenberg-Richter在1954 所提出的經驗式,可以發現地震規模與個 數依循著以下的關係

 logN = a - bM
 (2)

 其中N為累積地震個數,M為地震規模,

 a值為經驗式的截距,用來表示該區域內

 地震活動頻率程度;b值為Mc以上的G-R

Law之斜率,表示該區域內大地震與小地 震個數之比率。

圖5a顯示從背景b值分布圖,1994至 2010年b值高區在新竹至臺中、高雄南邊 及宜蘭東部外海,其中新竹至臺中的b值 高區反應了九二一地震後的零星餘震活 動,一般餘震活動有較高的b值。b值低 區在花蓮東部外海、測站西林(ESL)及 臺南(TAI)附近。圖5a中星號標示1994 至2010年規模大於6.0的地震位置,顯然 規模大於6.0的地震都分布於b值偏中、小 的區域。由2011年的b值分布圖(圖5b)



- 圖5 (a) 背景1994-2010之b值分布圖。(b) 2011年b值分布圖。(c) 2011年與背景1994-2010年b 值增減分布圖。黑色星號標示規模大於6的地震位置。圓形標示部分地震站之位置,其 旁英文字母為測站碼。
- Fig. 5. (a) Distribution of the background (1994-2010) of b-value. (b) The b-value distribution map of the 2011. (c) The map of the b-value difference between 2011 and background. Solid stars show the epicenter of earthquakes with magnitude large than 6.0 occurred in the related period. Solid circles show some of the seismic stations. Letters along the solid circle indicate the station code.

顯示,b值高的地區與背景情況相近,但 綠島一處也變高。b值低區同樣與背景相 似,但多了新竹與宜蘭交界地區及大武

(TAW)外海這兩處。將2011與1994-2010兩時間段的b值做比較,從圖5c同樣 也顯示2011年臺灣整體的b值是上升,其 中綠島、測站德基(TWT)和宜蘭東部 外海是上升較明顯的地方,但有少部分 地區b值是呈現下降,在大武(TAW)外 海、西林測站(ESL)附近及三光測站 (NSK)以北。

(三)累積規模等值圖分析

我們將1994至2010年及2011年的累 積規模進行比較。首先利用Gutenberg and Richter (1956)提出

 $\log E = 11.8 + 1.5 M$ (3)

之關係式,將各地震規模(M_L)換算成 能量(E)後做加總,可得各區的累積能 量,再分別正規化至30天並換算成規模 顯示。圖6顯示累積規模圖,2011年累積 規模為5.53,背景值的平均年累積規模為 5.74。2011年累積規模主要是由官蘭及花 蓮地區發生的地震所貢獻,與背景相同, 但在琉球島弧、臺灣中部、花蓮外海及恆 春西南外海於2011年所釋放的能量與長 期相比明顯較少。利用1994至2011年累 積規模統計圖表中(圖7),很難看出能 量上有一定的週期關係,但可發現1994-1998累積規模的趨勢是往下,與1999-2002及2009-2011的表現類似。至於2004-2008累積規模則處在平均值附近,雖 2006-2008有下降的趨勢,但幅度不大。

總之,在能量顯示上,2011年與1994-2010相比是有偏低的情形。

(四)震源機制

震源機制解是依據地表測站所觀測到 的地震波形來推測震源破裂形態,是研 究震源特性、地震構造及災害防救等重 要的參數,本研究也將2011年較大地震 之震源機制解解出。由於地震定位的優 劣,攸關於震源機制之解析,為提高地 震位置的準確性,我們不僅使用CWBSN 所偵測的地震訊號,還加上TSMIP的資 料,並以三維速度模型重新定位(Wu et al., 2003, 2007, 2009),再利用基因演算 法由P波初動求取震源機制解(Wu et al., 2008b),總計求得333個震源機制解, 如圖8所示。

根據2011年的震源機制顯示出,整 個臺灣地區大多數的震源機制為兼有走 向滑移成份之逆衝斷層,如綠島及蘭嶼 (LAY)附近的兩起群聚地震規模約在 3~5,是屬逆衝斷層。在宜蘭南山測站 (NNS)及屏東三地門測站(SSD)附 近,是淺部正斷層之地震為主。臺灣東 西向的地震群通常為走向滑移的震源機 制解,例如圖8(a)中編號6~8、30及31 是在新竹-臺中地方;花蓮(HWA)外 海如圖8(b)中編號147~149;嘉南地 區如圖8(a)中的D區等;另外臺東大武 (TAW)震源機制解編號141~146亦為走 向滑移機制解。

在2011年解得的震源機制解中,規模 最大為5.8,有兩個地震,分別為編號240



- 圖6 (a) 1994至2010年的累積規模等值圖。(b) 2011年累積規模等值圖。網格大小為0.3度 ×0.3度,網格間距0.1度,標準化30天,顏色所表示量值如圖(b)右邊所示,無色彩顯示 的地方是不足規模3或無資料地區。
- Fig. 6. (a) Distribution of cumulated magnitude from1994 to 2010. (b) Distribution of the cumulated magnitude of the 2011.



- 圖7 1994至2011年的累積規模圖,淺色為月資料,深色為一年的平均累積規模。
- Fig. 7. The map of cumulated magnitude during 1994 to 2011. Light and dark gray lines show monthly and annual cumulated magnitude, respectively.

的綠島南方地震及編號281的宜蘭羅東地 震(圖9)。編號240的綠島地震及其誘發 之餘震都發生在板塊碰撞邊界上,在擠壓 應力的影響下,震源機制解皆為帶有走向 滑移成分的逆衝斷層,這是綠島附近地區 的地震特性(許與何,1998)。但是在 編號281宜蘭地震的震源機制解,震源位 在深度75公里的地方,是隱沒作用引發的 地震,所能偵測的餘震個數不多,約10多 個,其中最大餘震規模是3.7。



- 圖8 利用P波初動方法所求得的震源機制解之空間分布。用三張圖分別表示震源深度(a) 0~15公里、(b)15~30公里及(c)30~140公里,震源機制解的大小及顏色分別表示地 震規模及深度。其中用黑色線框起來的地區分別在A~I中有各別的放大圖,其黑框內的 號碼由北至南依序編號。
- Fig. 8. Distribution of Focal mechanism solutions determined in this study. The three figures show the different depth of focal mechanisms, (a) 0~15 km, (b) 15~30 km, (c) 30~140 km. Size and color of the focal mechanism represent the magnitude and focal depth of earthquakes, respectively. A~I are the black frame areas and list the focal mechanism solutions, the number of each frame is arranged from north to south order.



- 圖8 利用P波初動方法所求得的震源機制解之空間分布。用三張圖分別表示震源深度(a) 0~15公里、(b)15~30公里及(c)30~140公里,震源機制解的大小及顏色分別表示地 震規模及深度。其中用黑色線框起來的地區分別在A~I中有各別的放大圖,其黑框內的 號碼由北至南依序編號。
- Fig. 8. Distribution of Focal mechanism solutions determined in this study. The three figures show the different depth of focal mechanisms, (a) 0~15 km, (b) 15~30 km, (c) 30~140 km. Size and color of the focal mechanism represent the magnitude and focal depth of earthquakes, respectively. A~I are the black frame areas and list the focal mechanism solutions, the number of each frame is arranged from north to south order.



- 圖9 (a) 2011年3月20日震源機制編號240,規模5.8的綠島南方地震,深度27.3公里。圖(b) 2011年4月30日震源機制編號281,規模5.8的宜蘭羅東地震,深度75公里。
- Fig. 9. Focal mechanisms of the two largest events occurred in 2011. (a) Earthquake No. 240, ML5.8 and focal depth of 27.3 km occurred on March 20, 2011 in southern Green Island. (b) Earthquake, No. 281, ML 5.8 and focal depth of 75 km occurred on April 30, 2011 close to Lotung, Ilan.

四、討論

綜合以上之分析,2011年的地震形態 與背景情況相比,Z值較低,b值微微提 高,累計規模下降。Z值直接反應地震發 生率的降低,b值表示大地震與小地震之 個數比值,累計規模幫助解析釋放能量的 多寡。綜合分析,b值升高與2011年各規 模區段的地震數量減少及中、大型地震個 數異常低有關,這情況同時反應在Z值的 降低與累積規模的減少。臺灣各地區還是 有不同於整體變化的地區,將於以下分別 討論。

全臺主要有兩地區與全區情況相似,

有著高b值及低Z值分布,一個在新竹至 臺中地區,主要是受到九二一的影響,因 此背景值的累積能量在此區很高,相較 2011年已平靜許多。另一處在綠島,綠 島南方在2011年有一個規模5.8的地震, 震源機制解為走向滑移斷層,是屬呂宋島 弧上的構造,並沒有帶出太多的餘震。這 兩個區域有可能是一些震後的零星地震活 動,因此有著較高的b值及低Z值。

臺灣地區地震活動度下降明顯的是 在宜蘭南端至花蓮、大武(TAW)外海 與三光(NSK)這些地區,皆屬b值下降 區。宜蘭南端至花蓮在過去是主要地震發 生的區域,但在2011年的地震數量相較 表1 為中央氣象局近18年的地震統計資料,表中的平均值是將1999及2000年的集集大地震序 列刪除後而得出的平均。

Table 1. The statistic data is the average number per year in CWB catalogue during 18 years, and the average per year has deal with by deleting the Chi-Chi earthquake sequence in1999 to 2000.

| 西元 地震個數 規模 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 平均/ 年 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 7≦M | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| 6≦M<7 | 4 | 1 | 2 | 2 | 1 | 14 | 3 | 3 | 6 | 2 | 3 | 2 | 5 | 2 | 0 | 4 | 2 | 0 | 2.4 |
| 5≦M<6 | 37 | 25 | 19 | 20 | 20 | 83 | 31 | 13 | 30 | 24 | 15 | 26 | 18 | 16 | 19 | 21 | 32 | 15 | 21 |
| 4≦M<5 | 245 | 216 | 222 | 177 | 145 | 734 | 259 | 203 | 244 | 220 | 176 | 238 | 209 | 149 | 166 | 184 | 133 | 147 | 185 |
| 3≦M<4 | 2026 | 1481 | 1889 | 1290 | 1329 | 5127 | 1819 | 1450 | 1984 | 1556 | 1406 | 1487 | 1582 | 1568 | 1513 | 1583 | 1254 | 1347 | 1492 |
| 2≦M<3 | 9957 | 8276 | 8749 | 7899 | 7647 | 26584 | 12803 | 7827 | 13298 | 11464 | 9196 | 9334 | 8473 | 8066 | 8461 | 9220 | 8822 | 8505 | 8755 |
| M<2 | 5692 | 4804 | 6095 | 6261 | 5839 | 17385 | 9407 | 6748 | 12535 | 12183 | 10986 | 11006 | 7772 | 6621 | 8229 | 9347 | 13003 | 11782 | 8376 |
| 合 計 | 17961 | 14803 | 16977 | 15649 | 14981 | 49928 | 24322 | 16244 | 28097 | 25449 | 21783 | 22093 | 18059 | 16422 | 18388 | 20359 | 23246 | 21796 | 18833 |

過去減少,故Z值呈現負值,其中有一顆 規模5.8在宜蘭羅東,地震震源深,是隱 沒作用造成的地震,除此外,此區沒有特 別大的地震出現,值得後續追蹤。至於大 武(TAW)外海過去常常會有一小群地 震出現,2012年也同樣發生類似情形, 但這種小群震持續不會很久,多為走向滑 移的機制解,算是大武地區的特性,但 在2012年6月6日時發生一起規模5.9的地 震,在綠島東北方。另,桃園復興鄉三光 (NSK)地區以淺層地震活動為主,在過 去的活動度較低,但自2012年此區的地震 活動有逐漸增加的情況,在2012年6月發 可發現,於2012年發生在大武與尖石的地 震,皆在2011年b值低處,或許地震發生 與b值下降有某些關係。

2011年也有地震活動很活躍的地區: 屏東外海、蘭嶼、西林(ESL)及宜蘭南 山(NNS)及宜蘭外海,Z值表現上都為 正值,但他們又可依其b值的特性大致分 成兩群討論,其中b值提高的主要是在宜 蘭這兩地區。在1994-2010年間的南山地 區,地震活動相當平靜直至2011年下半年 開始活躍,與1983年太平山地震序列相比 位置相近但較偏南,都為正斷層的震源機 制解,這次再度出現,並延續至2012年仍 有活動,值得後續追蹤。在宜蘭外海比較 大規模的地震多為菲律賓海板塊隱沒至歐 亞大陸板塊之下造成的深震居多,如2012 年6月有一個6.6深震發生,至於發生在淺 層的地震則與沖繩海槽的擴張作用有關。 在屏東西南外海的地震群是受2006年恆春 雙震的後續影響,常會有規模2~3的地震 發生。而蘭嶼地區常間隔幾個月會以地震 群之形式出現,主震發生前並無明顯的前 震現象(許與何,1998),而餘震的發生 主要集中在一週內,大約2~3個月後地震 活動度即會回復到背景值。倒是在花蓮以 南至成功以北,這地區在2011年地震活動 較活躍,b值相較附近區域低,而Chan,et al. (2012)的研究指出,大地震常發生 在b值相對低的附近地方,又2012年6月 在花蓮的磯崎地震的發生,並帶出非常多 的餘震序列,對於b值較低與地震前兆的 關係,還有待未來後續探討。

從歷年地震規模 – 個數比較表(表 1)顯示 2011年地震活動相較過去18年 來,為中、大型地震(規模大於5)個數 最少的一年,而規模2~5的地震個數則自 2010年來就有減少的趨勢,過去也有類似 2011年的情況,如1997至1998年及2007 至2008年,本研究藉由回顧2011年地 震,驗證2011年的地震活動度有下降的趨 勢,這或許代表某種異常現象,需要注意 後續的地震情況。

五、結論

2011年地震分布特徵大致與以往相 似,主要集中在東部,而西部則以淺層地 震為主,深層地震都在臺灣東北及臺灣東 南隱沒帶附近。在震源機制解方面,除了 宜蘭南山、屏東的三地門及部分山區為正 斷層機制解外,在西部麓山帶、臺東大武 外海及和平海盆有平移斷層出現,其他地 方多為逆衝斷層。

地震活動度方面,2011年在中、大型 地震(規模5以上)的個數是近18年來最 少的一年,此現象反應在Z值及b值上, 中、大型地震的空缺也導致2011年的累 積規模整體偏低,這累積規模下降的趨勢 可回溯到2010年,以長期來說是自1994 年來的新低。利用Z值及b值與背景值相 比,可發現2011年規模大於2的地震個數 減少的地方,主要是過去常發生大地震的 宜蘭、花蓮地區,雖然2011的地震能量及 個數還是以宜蘭、花蓮地區為主,但與背 景值相比仍低了許多。

於本研究中,我們從Z值上可以看出 地震活動的降低,累積規模可以了解能量 的釋放是否足夠,再自b值變化較大的區 域,找出可能有異常地震活動的地區。實 際上,2011年雖然有部分地區活動度增 加,但相較1994至2010年來說,地震活 動度確實減少,易言之,2011年是屬於低 活動期,值得密切注意。

六、參考文獻

許麗文與何美儀,1998:臺灣地區近年來 具災害潛能之地震序列時空分佈特性 探討。中央氣象局研究發展專題,87 年度研究報告第CWB87-1A-07號。

- 吴逸民,2002:個人電腦級速度型即時 地震資料蒐集系統之建立。中央氣象 局研究發展專題,91年度研究報告第 CWB91-1A-12號,共29頁。
- Chan, C. H., Y. M. Wu, T. L. Tseng, T. L. Lin, and C. C. Chen, 2012: Spatial and temporal evolution of b-value before large earthquake in Taiwan. *Tectonophysics*, **532**, 215-222, doi:10.1016/j.tecto.2012.02.004.
- Gutenberg, B., and C. F. Richter, 1954: Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Second Ed. *Princeton University Press*, *NJ*, **310**.
- Gutenberg, B., and C. F. Richter, 1956: Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 46, 105-145.Wyss, M., and R. E. Habermann, 1998: Precursory seismic quiescence. *PAGEOPH*, 126, 319-332.
- Seno, T., 1977: The instantaneous rotation vector of the Philippine Sea plate relative to the Eurasian plate. *Tectonophysics*, 42, 209-226.
- Tsai, Y. B., T. L. Teng, J. M. Chiu, and L. H. Liu, 1977: Tectonic implications of the seismicity in the Taiwan region. *Mem. Geol. Soc. China*, 2, 13-41.
- Wiemer, S., and M. Wyss, 1994: Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and BigBear (M=6.5) 1992 earthquakes. Bull. Seism. Soc. Am.,

84, 900-916.

- Wu, F. T., 1978: Recent tectonics of Taiwan. J. *Phys. Earth*, **26**, suppl., S265- S299.
- Wu, Y. M., C. H. Chang, N. C. Hsiao, and F. T. Wu, 2003: Relocation of the 1998 Rueyli, Taiwan, earthquakes sequence using three-dimensions velocity structure with stations corrections. *TAO*, 14, 421-430.
- Wu, Y. M., and L. Y. Chiao, 2006: Seismic quiescence before the 1999 Chi-Chi, Taiwan Mw7.6 earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 96, 321-327.
- Wu, Y. M., C. H. Chang, L. Zhao, J. B. H. Shyu, Y. G. Chen, K. Sieh, and J. P. Avouac, 2007: Seismic tomography of Taiwan: Improved constraints from a dense network of strong-motion stations. *Journal of Geophysical Research*, **112**, B08312, doi: 10.1029/2007JB004983.
- Wu, Y. M., C. C. Chen, L. Zhao, and C. H. Chang, 2008a: Seismicity characteristics before the 2003 Chengkung, Taiwan, earthquake. *Tectonophysics*, 457, 177-182.
- Wu, Y. M., L. Zhao, C. H. Chang, and Y. J. Hsu, 2008b: Focal-Mechanism Determination in Taiwan by Genetic Algorithm. Bull. Seism. Soc. Am., 98, 651-661.
- Wu, Y. M., J. B. H. Shyu, C. H. Chang, L. Zhao, M. Nakamura, and S. K. Hsu ,

2009: Improved seismic tomography offshore northeastern Taiwan: Implications for subduction and collision processes between Taiwan and the southernmost Ryukyu. *Geophys. J. Int.*, **178**, 1042-1054, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04180.x.

Yu, S. B., H. Y. Chen, and L. C. Kuo, 1997: Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, 274, 41-59.

An Review of the Taiwan Seismicity in 2011

Yi-Ting Lee¹, Chun-Ta Chiu¹, Li-Wen Hsu¹, Mei-Yi Ho¹, Chien-Hsin Chang¹, Yih-Min Wu² ¹Seismological Center, Center Weather Bureau, Taipei, Taiwan ²Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

ABSTRACT

There are 21,796 earthquakes around Taiwan region in 2011 recorded by the Central Weather Bureau Seismic Network (CWBSN). The number of which with magnitude larger than 5.0 is lowest since 1994. As the year before the 1999 Chi-Chi earthquake (ML 7.3) has been reported as a seismicity quiescence period, it is worth noting the low seismicity in 2011. In this study, b-value and Z-value are analyzed to investigate the spatial variation of seismicity. We found most of the Taiwan regions are with negative Z-value. It indicates seismicity is decreasing in comparison with the background period (from 1994 to 2010). However, there are a few regions with seismicity increasing in 2011, such as Nanshan of Ilan, Xilin of Hualien, Lanyu Island surroundings, and southwest offshore regions. A few regions with b values decreasing in 2011, where there are some felt earthquakes occurred in 2012. Thus it is probably a potential precursory phenomenon. A total of 333 earthquake focal mechanisms are determined for 2011 using genetic algorithm with first motion polarities, which may serve a good database for further study.

Key words: seismicity, focal mechanism, b-value, Z-value
氣象局第二代二步法短期氣候預報系統之 全球大氣環流模式氣候模擬能力評估

李清縢、盧孟明、胡志文中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

中央氣象局自2010年開始使用以全球大氣環流模式為主軸的客觀預 報方法進行月與季氣候預報,由於海表面溫度的變化和大氣的變化是分開 用兩個步驟預報,因此稱為二步法預報系統。第一代系統開始穩定運轉之 後,便開始著手發展第二代二步法短期氣候預報系統,將氣象局全球大氣 預報模式(CWB Global Atmosphere Model)解析度提升至T119L40(水 平方向約為110公里,垂直方向40層,簡稱CWB-GAMT119L40),遠高過 第一代的CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19(水平方向約為300 公里,垂直方向18與19層),模式物理也大幅更新。本文分別依雨量和環 流的氣候平均場、亞洲季風特徵與季節變化、伴隨聖嬰現象的海平面氣壓 年際變化等三方面比較分析模式AMIP條件下氣候模擬結果的差異。結果顯 示CWB-GAMT119L40不論是在雨量、海平面氣壓或環流的氣候平均場相 較於CWB-GAMT42L18均有明顯的改進,局部地區降水分佈特徵模擬也較 佳,應有助於改進台灣氣候之預測。固然在大尺度環流場之季節與年際變 化方面,CWB-GAMT119L40比CWB-GAMT42L18更能掌握變化的特徵, 但相較於ECHAM5-GAMT42L19,CWB-GAMT119L40的氣候模擬並沒有 表現出明顯的優勢,顯見若要大幅提升氣候模擬結果,不單只靠提高模式 解析度,也需考慮更新模式物理過程。

關鍵詞:短期氣候預報、氣候模擬、全球氣候預報系統

一、前言

氣象局自2002年起推動以數值模式為 骨幹的短期氣候預測系統建置計畫,將數 值天氣預報系統發展擴展至以第二季(6 個月)為預報上限的短期氣候預測,於 2009年發展完成第一版預測系統(簡稱 CWB 2-tier CFS_v1)並上線作業。CWB 2-tier CFS_v1是以二步法為架構的短期氣 候預報系統(胡等2008),也就是先用 統計與數值動力方法計算全球海表面溫度 預測值,然後以此海溫預測值作為大氣的 下邊界條件利用全球數值動力模式預測大 氣狀態。CWB 2-tier CFS v1 也是一個由 多模式多組預測組成的系集預測系統,在 大氣模式方面分別使用了氣象局全球數值 天氣預報模式(CWB-GAMT42L18)與 德國馬普研究院(Max-Planck-Institute for Meteorology)的ECHAH5模式 (ECHAM5-GAMT42L19)兩組模式; 海溫預報方面除了有氣象局全球海溫最佳 化預報系統(OPGSST v1/CWB)產品 外,也使用美國環境預測中心(NCEP) 氣候預報系統(CFS)的全球海溫預測資 料(CFS_SST/NCEP)。兩組大氣模式 與兩組海溫預測資料交錯搭配出四種組 合,每一種組合每月產出10組7個月的預 測結果,也就是說每月有40組長達7個月 的預測結果作為加工產出月與季預測產品 的原料。氣候預測乃是要預測氣象變數統 計特性的變化特徵,必須根據多組預測結 果推估具統計意義的變異幅度,依此觀點

完全客觀的預測系統。 為解決CWB 2-tier CFS_v1大氣模式 的解析度過低和與氣象局全球數值天氣 預報(NWP)作業模式物理部分差異過 大的問題(陳等1989;馮與汪2010), 2010年起氣象局將CWB 2-tier CFS_v1 的CWB-GAMT42L18解析度從原來的 T42(大約300公里網格)提升為T119 (大約110公里網格),垂直層數從18

CWB 2-tier CFS v1是符合基本科學準則

增加為40層,模式物理也更新為與天 氣預報的NWP模式類似,新版模式簡 稱CWB-GAMT119L40。本研究的目的 是根據CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19、CWB-GAMT119L40三個 模式49年氣候模擬結果,依雨量和環流的 氣候平均場、亞洲季風特徵與季節變化、 伴隨聖嬰現象的海平面氣壓年際變化等三 方面比較分析模式AMIP條件下氣候模擬 結果的差異,作為後續發展由多個模式多 組預報組成的第二代二步法短期氣候預報 系統規劃參考。

二、資料與方法

(一) 資料

本文以NCEP 重分析資料(Kalnay et al. 1996; NCEP-R1)作為評比模式大尺 度環流場模擬結果的對照,資料解析度 為經緯網格2.5°。由於重分析資料的雨量 品質不佳,雨量部分採用解析度為2.5°的 GPCP(Global Precipitation Climatology Project, Adler et al. 2003)作為對照, 但GPCP資料長度較短,始於1979年。另 外,觀測的海表面溫度資料是使用美國 國家海洋暨大氣總署(NOAA)產出的 ERSST-V3b(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 3b, Smith et al. 2008),解析度為1°。

AMIP條件乃是指下邊界條件使用觀 測分析場資料或給定的氣候資料,以此資 料去強迫全球大氣環流模式的氣候模擬方 式(Gates 1992)。氣象局在發展CWB 2-tier CFS_v1的初期(2003-2004)即分 別完成了CWB-GAMT42L18和ECHAM5-GAMT42L19的AMIP條件氣候模擬,模 擬的年份分別為1950-2005年(56年)與 1956-2005年(48年)。雖然目前CWB-GAMT119L40的AMIP條件氣候模擬資料 的長度有58年(1949-2006),本研究僅 使用1956-2005年(49年)三個模式的模 擬結果進行分析以方便評比,並將模式資 料均內插成經緯網格2.5°的格點資料。模 式使用的物理參數化方法整理在表1。 (二)方法

本研究依照雨量、海平面氣壓場、季 節與季風變化三個重點分析模式的氣候模 擬結果。雨量方面主要包含年雨量、季節 雨量以及季風區的雨量季節變化特徵。海 平面氣壓場搭配雨量分析,可了解模式是 否掌握到重要的大尺度環流季節特徵。在 季節與季風變化方面,則是依據不同的季 風區域和指標,分析模式對於季風特徵的 模擬能力。使用的統計方法主要有距平分 析(anomaly)、形態相關係數(pattern

- 表1 全球氣候模式之CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18、與ECHAM5-GAMT42L19之 物理過程與使用參數化表格。
- Table 1. The table of physical process and schemes in CWB-GAMT119L40
 CWB-GAMT42L18 and ECHAM5-GAMT42L19.

| 模式名稱 物理過程 | T119L40 | T42L18 | ECHAM5 | |
|-----------------------------|---|--|---|--|
| Radiation | Fu and Liou (1992, 1993) Fu et al. (1997) | Harshvardhan et al. (1987) | Fouquart and Bonnel (1980) Mlawer et al. (1997) | |
| Cumulus | Pan and Wu (1995) | Moothi and Suarez (1992) | Tiedtke (1989) Nordeng (1994) | |
| Large scale precipitaion | Zhao and Frederick (1997) | Based on relative humidity | Tiedtke (1993) | |
| Shallow convection | Li and Young (1994) | Li (1994) | Lohmann and Roeckner (1996) | |
| Vertical diffusion | Troen and Mahrt (1986) | Detering and Etling (1985) Garratt (1992) | | |
| Surface flux | Businger (1971) | Businger (1971) | Louis (1979) | |
| Land model | Ek et al. (2003) | Manabe (1969) Roesch et al. (2001) | | |
| Gravity drag | Palmer et al. (1986) | Palmer et al. (1986) | Hines (1991a, b, c, 1993) | |

correlation coefficient)、標準化之均 方根誤差(normalized root mean square error)和泰勒圖(Taylor diagram) (Taylor 2001)。

三、雨量分析

(一)年雨量

圖1顯示作為對照資料的GPCP在 1979-2005年之平均年雨量和CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與 ECHAM5-GAMT42L19三個模式模擬的 同期平均年雨量的對照,圖左上角標示的 數字為全球平均後的單點降水量,可見 模式模擬的總雨量高於GPCP,高解析模 式雨量高於低解析,CWB模式雨量高於 ECHAM5。由GPCP雨量資料(圖1a)可 知全球降水主要集中在南北緯20°以内的 熱帶區域,包括從東印度洋往東經印尼群 島、南海、菲律賓海、以及大約沿10°N 橫跨太平洋的間熱帶輻合區 (ITCZ), 還有從西太平洋暖水區向東南往南太平洋 群島延伸的南太平洋輻合區(SPCZ)。 南美洲亞馬遜雨林區和大西洋和西非赤道 附近的ITCZ也都是年雨量豐沛的主要降 水區域。熱帶以外的中高緯主要降水區域 集中在太平洋和大西洋上,在北半球的雨 帶走向為西南往東北,在南半球的雨帶走 向為西北往東南,在南半球雨帶從熱帶多 雨區往高緯度區域延伸的現象比北半球更 明顯,這些雨帶主要反應了中高緯大氣的 不穩定區域,低壓風暴容易在這些位置形 成後往東和往極區方向移動。

相較於GPCP資料,氣象局模式模擬 的雨量明顯偏多,CWB-GAMT119L40 的雨量比CWB-GAMT42L18更多,在 南半球的差異比北半球大。ECHAM5-GAMT42L19模擬的雨量比CWB模式較 少,但在赤道附近西太平洋暖池區10°S與 150°E附近的雨量仍是明顯多於GPCP, 這個現象在CWB模式也同樣可見。CWB-GAMT119L40對赤道東太平洋上ITCZ 的模擬較CWB-GAMT42L18為佳,但 在東太平洋和中美洲附近的雨量仍然偏 高,不過對於從南美洲西北端往南半球 大西洋延伸的雨帶CWB-GAMT119L40 則明顯優於CWB-GAMT42L18,赤道 附近西印度洋上的降雨也同樣是CWB-GAMT119L40結果較佳。從各模式年雨 量和GPCP形態相關係數來看,CWB-GAMT119L40 、CWB-GAMT42L18、 ECHAM5-GAMT42L19三者與GPCP的 相關係數分別為0.87、0.78與0.87,顯示 CWB-GAMT119L40明顯改進了CWB-T42L18的模擬能力,但和觀測資料的相 似程度與ECHAM5-GAMT42L19相當。

(二)季節平均雨量

圖2顯示1979-2005年夏季(Jun-Aug, JJA)與冬季(Dec-Feb, DJF)之 GPCP季節平均雨量分佈圖以及CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18、 ECHAM5-GAMT42L19分別與GPCP的雨 量差異圖,看到夏季GPCP的主要降水在 孟加拉灣、太平洋與大西洋上5°N附近的 ITCZ、中南美洲近赤道區域。雨量差異



- 圖1 年雨量之GPCP (a)、CWB-GAMT119L40 (b)、CWB-GAMT42L18 (c)、ECHAM5-GAMT42L19 (d)的氣候場分佈圖。圖中左上角數字代表此區域內的雨量平均值。



- 圖2 Jun-Aug (JJA)季節 (a-d)與Dec-Feb (DJF)季節 (e-h)平均之GPCP降水氣候分佈圖 以及CWB-GAMT119L40 (b,f)、CWB-GAMT42L18 (c,g)、ECHAM5-GAMT42L19 (d,h)分別與GPCP雨量的差異分佈圖。
- Fig. 2. Jun-Aug(a-d) and Dec-Feb(e-h) seasonal mean precipitation of GPCP(a,e) and precipitation difference between GPCP and CWB-GAMT119L40(b,f)
 CWB-GAMT42L18(c,g)
 ECHAM5-GAMT42L19(d,h).

圖2b顯示CWB-GAMT119L40雨量在熱帶 海洋上有偏多的情形,印度洋、西與中 太平洋及墨西哥灣與加勒比海一帶中尤 其明顯。CWB-GAMT42L18的降水偏差 (圖2c)空間特徵和CWB-GAMT119L40 相似,但南亞與中國南方降水明顯偏多, 在西北太平洋與東太平洋則明顯偏少。 ECHAM5-GAMT42L19模擬的偏多區域 (圖2d)和CWB-GAMT42L18相似,但 前者降雨在陸地上的偏多程度低於後者。

GPCP顯示冬季(圖2e) 降水集中在 南太平洋SPCZ、印度洋與太平洋上赤道 附近的ITCZ、南美洲大陸、以及北半球 中緯度太平洋與大西洋上的風暴行經路 徑。不同於夏季,CWB-GAMT119L40和 CWB-GAMT42L18的雨量偏差空間分布 差異在冬季較大,尤其是在印度洋與南 亞及東南亞一帶,CWB-GAMT119L40 雨量偏多區域主要在赤道以南的熱帶 區域,而CWB-GAMT42L18雨量偏多 **區域以赤道以北為主。另外**,太平洋 上雨量偏多情況CWB-GAMT119L40較 CWB-GAMT42L18明顯。ECHAM5-GAMT42L19的雨量偏差空間分布和 CWB-GAMT42L18的相似性明顯高於 CWB-GAMT119L40,但在中南美洲 ECHAM5-GAMT42L19與另外兩個模式 的相似程度甚低。

四、海平面氣壓場

除了雨量以外,海平面氣壓(SLP) 季節平均特徵也是大尺度氣候的基本場

量。圖3顯示夏季(JJA)與冬季(DJF) 之SLP的NCEP-R1資料與三個模式模擬的 偏差。首先看分析場,圖3a呈現夏季SLP 的主要系統在夏季半球是大洋上顯著的副 熱帶高壓,陸地SLP偏低,南亞與東南亞 的阿拉伯海、孟加拉灣、南海、菲律賓海 等緊鄰大陸的邊緣海域氣壓都偏低,可清 **梦辨識從中國南部和南海往東南延伸到赤</u>** 道換日線附近的東亞與西北太平洋的季風 槽,這是熱帶對流旺盛相當獨特的西北太 平洋季風區。在冬季半球的SLP氣候平均 特徵為帶狀的副熱帶高壓,三個高壓中心 分別出現在非洲東南方馬達加斯加以東的 印度洋海面、南太平洋智利西方、南大西 洋上。澳洲南部也有明顯的高壓,唯強度 不及在馬達加斯加東南方的西印度洋副熱 帶高壓中心。

比較圖3b-d的三個模式模擬結果相對 於NCEP-R1資料的偏差,可看到三個模 式都有夏季半球的副熱帶高壓偏強位置偏 北以及東亞與西北太平洋氣壓偏低的現 象,高壓偏強以ECHAM5-GAMT42L19 模式最明顯,熱帶季風區氣壓偏低則以 CWB-GAMT42L18最明顯。冬半球的副 高偏強現象以CWB-GAMT119L40幅度較 大,但南太平洋東部CWB-GAMT119L40 和CWB-GAMT42L18都有副高偏弱的 現象。CWB-GAMT42L18楔擬的SLP氣 候場差異和CWB-GAMT119L40相當類 似,但T42模擬的太平洋副熱帶高壓更 強,高壓脊往台灣地區延伸。ECHAM5-GAMT42L19與重分析資料的差異和



- 圖3 同圖2,但為NCEP-R1的SLP氣候分佈圖以及CWB-GAMT119L40(b,f)、CWB-GAMT42L18(c,g)、ECHAM5-GAMT42L19(d,h)分別與NCEP-R1之SLP差異與氣候分佈圖。圖中顏色為差異值,線條為NCEP-R1氣候值。
- Fig. 3. Same as Fig. 2, but it's SLP of seasonal mean and difference. The contour is seasonal mean and color is difference between GPCP and CWB-GAMT119L40(b,f)
 CWB-GAMT42L18(c,g)
 ECHAM5-GAMT42L19(d,h).

CWB-GAMT42L18類似,也是副熱帶 高壓偏強。東北亞與東西伯利亞陸地 上氣壓偏高的現象只出現在ECHAM5-GAMT42L19。

冬季圖3e-h顯示北半球在歐亞大陸上 有極為醒目的蒙古與西伯利亞高壓,太平 洋上有阿留申低壓,從東太平洋往東包 含北美陸地、大西洋、北非一直到中亞 有一條帶狀的副熱帶高壓區。南半球SLP 氣候場的副熱帶高壓和夏季(圖3a)相比 在海上的相似度很高但强度明顯偏弱, 比較大的季節差異出現在澳洲及其北方的 海洋陸地與熱帶西北太平洋區域。圖3f顯 示CWB-GAMT119L40模擬的西伯利亞高 **壓與阿留申低壓都偏弱**,北美陸地與大 西洋、北非與西亞的副熱帶高壓過強。 CWB-GAMT42L18模擬結果和分析場的 差異與CWB-GAMT119L40不盡相同, T42在東亞沿岸氣壓偏高,西北太平洋高 緯區氣壓偏低都與T119不同,表示T119 模擬的東亞冬季季風可能有偏弱的誤差 而T42的模擬結果可能偏強。ECHAM5-GAMT42L19與NCEP-R1重分析資料的差 異在冬、夏雨季大致上差異不大,都是中 高緯高壓偏強並且主要偏強區域在冬季比 夏季的緯度稍高。和CWB-GAMT119L40 與CWB-GAMT42L18相比, ECHAM5-GAMT42L19(圖3h)的模擬特徵在東北 太平洋和CWB-GAMT119L19(圖3f)與 CWB-GAMT42L18(圖3g)相當類似, 但在西北太平洋與CWB-GAMT119L40 (圖3f)比較相似。

圖4是三個模式夏、冬季的季平均 850hPa風場與NCEP-R1資料的差異。先 看NCEP-R1夏季的氣候平均場(圖4a) 顯示,太平洋赤道區域有明顯的東風 帶,在東印度洋有很強的索馬利跨赤道 流,風場在北印度洋和南亞陸地區域轉 變成西風。北太平洋及北大西洋以反氣 旋式環流為主,南太平洋中緯度則為強 盛的西風帶。三個模式的模擬結果(圖 4b-4d)以CWB-GAMT119L40的風場與 風速和NCEP-R1資料最接近,而CWB-GAMT42L18和NCEP-R1有明顯差異, ECHAM5-GAMT42L19和NCEP-R1的差 異在西北太平洋上比較大,南半球的差異 平均而言比CWB的兩個模式都小。CWB-GAMT119L40改善了CWB-GAMT42L18 印度洋上索馬利跨赤道流與南亞西風過強 的偏差以及太平洋副高環流過度西伸與大 西洋副高環流太弱等缺點,但在中美洲墨 西哥灣附近高壓環流過強(圖4b)。

NCEP-R1 資料冬季氣候平均場(圖 4e)顯示赤道附近在太平洋與大西洋上都 是東風,印度洋上東風較弱,北太平洋 與北大西洋為低壓環流並有風速明顯較 大的西風帶從大洋往陸地吹;南太平洋 以三個高壓環流為主,分別出現在印度 洋、東太平洋與大西洋。類似於夏季看到 的結果,三個模式(圖4f-4h)以CWB-GAMT119L40與ECHAM5-GAMT42L19 的風場與風速和NCEP-R1資料最接近, CWB-GAMT42L18和NCEP-R1差異最 大。雖然CWB-GAMT119L40明顯改善



圖4 同圖2,但為NCEP-R1的850hPa風場氣候分佈圖以及CWB-GAMT119L40(b,f)、CWB-GAMT42L18(c,g)、ECHAM5-GAMT42L19(d,h)分別與NCEP-R1之風向與風速差異,顏色為風速差異值。

Fig. 4. Same as Fig. 2, but it's 850hPa wind of seasonal mean and difference. The vector and color is difference between NCEP-R1 and CWB-GAMT119L40(b,f)
CWB-GAMT42L18(c,g)
ECHAM5-GAMT42L19(d,h). 了CWB-GAMT42L18低層風場模擬不 佳的缺點,但與ECHAM5-GAMT42L19 相比並沒有明顯的優點,ECHAM5-GAMT42L19對東太平洋近岸風場的模擬 比CWB模式更接近NCEP-R1的分析。

五、季風指標與季節變化

(一) 季風時空特性

將CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18及ECHAM5-GAMT42L19 三個模式日資料處理成氣候平均場之日 資料,再採用Wang et al. (2001)的西 北太平洋夏季季風指標(WNPM)以及 Jhun and Lee (2004)的亞洲冬季季風指 標(EAWM)來分析氣候模式是否能夠正 確掌握季風區域內環流場的年循環變化特 性。WNPM指標是850hPa緯向風(U)的 經向風切,定義為U850(5°-15°N,100°-130°E) 與U850 (20°-30°N,110°-140°E)的差值,而EAWM則是300hPa 緯向風(U)的經向風切,定義為U300 (27.5°-37.5°N,110°-170°E) 與U300 (50°-60°N,80°-140°E)的差值。WNPM 的決定是以伴隨東亞夏季季風的低緯度低 層風特徵為主要考慮,EAWM的決定則是 以伴隋東亞冬季季風的高緯度高層風特徵 為考慮對象。

圖 5 顯示NCEP-R1、CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與 ECHAM5-GAMT42L19之WNPM指標 (圖5a)與EAWM指標(圖5b)的氣候 平均值之日時間序列圖,圖中NCEP-R1 的WNPM指標數值在5月開始上升,8-9 月間達到最高值,隨後開始遞減。CWB-GAMT119L40在1-5月模擬偏強,尤其是 在4-5月期間明顯偏強,8-9月沒有和觀測 值一樣出現最高值,反而在10月份有最 高值出現,隨後才開始遞減,表示CWB-GAMT119L40模擬的WNPM指標春季與 秋冬過強而盛夏偏弱,一年當中的最高 值出現時間偏晚。CWB-GAMT42L18 的WNPM夏季偏弱的情況遠比CWB-GAMT119L40嚴重,春季(4-5月)和 秋季(10-11月)模擬結果優於CWB-GAMT119L40。ECHAM-GAMT42L19的 WNPM 模擬結果與 CWB-GAMT119L40 相當接近。

圖5b顯示三個模式對EAWM指標 在季節變化方面的掌優於WNPM,在 十至三月的冬半年雖然模式模擬結果 較NCEP-R1資料偏低,但季節轉變的 季節特徵與NCEP-R1資料相當一致。 NCEP R1資料顯示EAWM的最低值出現 在夏季七、八月,與模式的模擬結果類 似。CWB-GAMT119L40明顯優於CWB-GAMT42L18,夏半年的改進尤其明顯。

為更清楚呈現模式模擬的WNPM、 EAWM與根據NCEP-R1資料計算的差 異,將三個模式的日氣候值(相同日期的 49年平均)以 NCEP-R1資料為對照以泰 勒圖表示(Taylor, 2001)。圖中圓周上 的數字為相關係數值,縱軸與橫軸標示的 是根據指標時間序列計算的標準差並將模 式的標準差轉換成觀測值標準差的倍數,



- 圖5 夏季季風指標WNPM(a)與冬季季風指標EAWM(b)之氣候平均值日時間序列圖, 圖中分別為NCEP-R1(細實線)、CWB-GAMT119L40(粗實線)、CWB-GAMT42L18 (細點線)與ECHAM5-GAMT42L19(粗點線)。
- Fig. 5. Time series of daily climatology as described by the summer monsoon index-WNPM(a) and winter monsoon index-EAWM(b). The NCEP-R1(thin solid line)
 CWB-GAMT119L40(thick solid line)
 CWB-GAMT42L18(thin dot line) and ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line) were used.

橫軸上以'REF'為圓心往外擴展的圓弧其 半徑長度代表均方根誤差值,此均方根誤 差值是計算模式距平值與觀測距平值的差 異總和開根號,並將誤差值轉換成觀測值 標準差的倍數。本文泰勒圖的定義和卓 與盧 (2010)相同,但與標準泰勒圖有 些差異,可視為簡化至一維空間的泰勒 圖。圖6為CWB-GAMT119L40、CWB-GAMT42L18與ECHAM5-GAMT42L19 的WNPM與EAWM的泰勒圖,由圓周 上的相關係數值與圓弧半徑長度的均方 根誤差,可以看到三個模式模擬結果與



Taylor Diagram of Summer and Winter Monsoon Index

- 圖6 以NCEP-R1為參考值製作的夏季季風指標-WNPM與冬季季風指標-EAWM之泰勒圖, 圖中細實線為相關係數值,粗點線為標準差值,細點線則為均方根誤差值,圖中分 別為●代表CWB-GAMT119L40,×代表CWB-GAMT42L18,+號代表ECHAM5-GAMT42L19。
- Fig. 6. Taylor diagram of WNPM and EAWM index refer to NCEP-R1. The thin line is correlation coefficient, thick dot line is standard deviation and thin dot line root mean square error. The mark "●" is CWB-GAMT119L40, "×" is CWB-GAMT42L18, "+" is ECHAM5-GAMT42L19.

NCEP-R1的相關係數都在0.85以上, 均方根誤差值在0.5之內,三個模式的 WNPM相關係數不分高下,EAWM則以 CWB-GAMT42L18的相關係數最小, 均方根誤差值最大,其它二者相當接 近,但以ECHAM5-GAMT42L19的表 現最好。另外,在季節變化幅度方面, 三個模式的WNPM都表現出變化幅度 方面不及NCEP-R1,EAWM則以CWB-GAMT42L18的季節變化幅度明顯大於 NCEP-R1,ECHAM5-GAMT42L40的 變化幅度也略大於NCEP-R1,CWB-GAMT119L40的變化幅度則是略小於 NCEP-R1。由模式模擬結果與NCEP-R1 季風指標的相關係數值、均方根誤差與 變異量分析得到,CWB-GAMT119L40與 ECHAM5-GAMT42L19對於東亞的高低 層風場季節變化基本特徵都有適當的模擬 能力。

(二)雨量年循環

Wang and LinHo (2002)根據雨 量變化的特性將亞洲季風區區分出西北 太平洋夏季季風區(WNPSM,範圍: 5°N-22.5°N,105°E-150°E)、東亞 夏季季風區(EASM,範圍:22.5°N-45°N,105°E-140°E)和印度夏季季風 區(ISM,範圍:25°N-27.5°N,65°E-105°E))。接下來將用與前一節類似的 分析方法討論模式在ISM和WNPSM的雨 量氣候模擬結果,並用GPCP資料作為對 照的參考標準。EASM區的雨量氣候在本 文暫不討論。

圖7為三個模式與GPCP在WNPSM 與ISM兩個季風區的雨量氣候值。由圖 7a可知WNPSM雨量氣候的一年最大值 出現在7月中至8月中期間,最低值出現 在2-3月。這些基本特徵都沒有被三個模 式模擬出來,CWB-GAMT42L18甚至最 低值出現在夏季並有兩個峰值在五月和 十一月中下旬。CWB-GAMT119L40和 ECHAM5-GAMT42L19的結果非常相似 但都不佳,CWB-GAMT119L40改善了 CWB-GAMT42L18的夏季模擬,但仍不 理想。不同於西北太平洋夏季季風區的模 擬結果,模式在印度夏季季風區雨量的 模擬甚佳,雨季高峰值之後比雨季開始 的模擬更好。三個模式當中還是以CWB-GAMT42L18的結果最差,雨量明顯高 估,這和圖1看到的結果一致。

圖8的雨量泰勒圖分析結果和圖6的 風場結果明顯不同,模擬甚差的WNPSM 雨量標準差明顯小於GPCP並且均方根誤 差明顯大於ISM雨量模擬。另外,CWB-GAMT42L18的結果沒有在圖中出現,是 因為模擬的結果實在太差,和GPCP的相 關係數值只有-0.1。因此,從西北太平洋 夏季季風雨量模擬的角度來看,CWB-GAMT119L40確實大幅改善了CWB-GAMT42L18的缺失。

六、年際變化

比較了三個模式模擬的49年氣候平均 場,接下來討論模式氣候在全球大氣年際 變化方面的表現。氣候最重要的年際變化 首推聖嬰現象,由於AMIP條件模擬的下 邊界條件是每天輸入觀測分析場資料,或 可看作模式的海溫模擬是完全 (perfect) 的即與觀測分析場完全相符的,因此合 適作為預報工具的模式必須能模擬聖嬰 現象中大氣對海洋表面溫度的響應。盧 (2000)分析得到台灣某些特定月份的異 常氣候和聖嬰現象有明顯關係,所以本研 究計算了常用的聖嬰指數Nino3.4與三個 模式模擬的海平面氣壓(SLP)的相關係 數,觀察模式的模擬結果是否合理,並以 三個模式分別與NCEP-R1相關係數圖之 間的形態相關係數值的高低作為判斷模擬 好壞的客觀標準。Nino3.4代表赤道東太 平洋(5°S-5°N, 120°W-170°W) 海表面 溫度的冷暖。



- 圖7 WNPSM(a)、EASM(b)、ISM(c)季風區域內之雨量氣候平均值的日時間
 序列圖,圖中分別為GPCP(細實線)、CWB-GAMT119L40(粗實線)、CWB-GAMT42L18(細點線)與ECHAM5-GAMT42L19(粗點線)。
- Fig. 7. Time series of daily climatology as described by the precipitation over WNPSM(a) EASM(b) and ISM(c). The NCEP-R1(thin solid line) CWB-GAMT119L40(thick solid line) CWB-GAMT42L18(thin dot line) and ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line) were used.

現以冬季(12-2月)為例檢視NCEP-R1和三個模式模擬的SLP與Nino3.4相關 係數。圖9a顯示Nino3.4區域的海溫和東 太平洋SLP有負相關的關係而和西太平洋 與印度洋的SLP有正相關關係,這個伴隨 赤道海溫變化出現的換日線(180°經度) 東西大範圍SLP的變化趨勢相反的現象稱 為南方振盪(Southern Oscillation),也 就是赤道東太平洋偏暖時東太平洋海平面 氣壓有偏低趨勢而西太平洋與印度洋海平





面氣壓有偏高的趨勢。此乃是因為海溫影響了熱帶對流系統的發展,東太平洋海溫 偏暖時對流系統隨之偏東,旺盛的對流造 成上升氣流因而氣壓偏低,同時加強了在 西太平洋與印度洋的下沈氣流,對流活動 減弱區域的氣壓偏高。比較分別顯示在圖 9b-c的三個模式模擬的SLP和Nino3.4相關 係數與圖9a的NCEP R1之SLP與Nino3.4 相關係數可以看到模式對赤道海溫變化的 反應大致正確,都有南方振盪的訊號, 但反映的強弱和空間特徵不全相同。圖 9d的ECHAM5-GAMT42L19的南方振盪 訊號最強,圖9c的CWB-GAMT42L18 訊號最弱。比較圖9b與9c發現CWB-GAMT119L40的南方振盪效果優於CWB-GAMT42L18。

為客觀比較三個模式對Nino3.4區 域海溫變化的反應,模式與NCEP R1相 關係數圖之間的形態相關係數全年變化 顯示在圖10,相關係數愈高表示模式模 擬SLP和Nino3.4 的關係分佈與NCEP-R1 SLP和Nino3.4的關係分佈愈相近。 圖10顯示除了夏、秋季以外,CWB-GAMT119L40對Nino3.4的反應明顯優



- 圖9 DJF的海平面氣壓(SLP)與Nino3.4指標相關係數圖,使用的SLP資料分別是(a) NCEP-R1 (b) CWB-GAMT119L40 (c) CWB-GAMT42L18 及 (d) ECHAM5-GAMT42L19。
- Fig. 9. The DJF correlation map is between Nino3.4 SST and SLP. The NCEP-R1(a) \sim CWB-GAMT119L40(b) \sim CWB-GAMT42L18(c) and ECHAM5-GAMT42L19(d) were used.



圖10 CWB-GAMT119L40(實線)、CWB-GAMT42L18(細點線)及ECHAM5-GAMT42L19 (粗點線)之SLP相關分佈圖別與NCEP-R1的SLP空間相關製作形態相關係數之各季節 序列圖。圖中X軸為季節,Y軸為相關係數值。

Fig. 10. Seasonal time series of pattern correlation as described by SLP spatial correlation between NCEP-R1 and CWB-GAMT119L40(solid line)、CWB-GAMT42L18(thin dot line)及 ECHAM5-GAMT42L19(thick dot line). The X label is seasonal and Y label is correlation coefficient.

於CWB-GAMT42L18,冬季尤其明顯。 特別要注意ECHAM5-GAMT42L19的 整體表現優於CWB-GAMT119L40,冬 季二個模式的相關係數高低相當,2-4 月的CWB-GAMT119L40相關係數高於 ECHAM5-GAMT42L19,但是春季與夏 季的ECHAM5-GAMT42L19相關係數明 顯高於CWB-GAMT119L40。檢查後發現 CWB-GAMT119L40表現較差的原因是 在中高緯度的SLP對Nino3.4反應過強, 出現與NCEP-R1資料不同的結果。為何 CWB-GAMT119L18會反應過強?原因尚 不清楚,需要繼續研究。

七、結論與討論

本研究分析氣象局的新一代高解析氣 候預報模式CWB-GAMT119L40與目前的 作業模式CWB-GAMT42L18、ECHAM5-GAMT42L19的49年AMIP條件氣候模擬 結果,發現不論是在雨量、海平面氣壓 或環流的氣候平均場CWB-GAMT119L40 的結果明顯優於CWB-GAMT42L18, 表示模式物理參數化的改進與解析度提 高改善了模式的氣候模擬能力。分析東 亞季風區高低層風場季節變化與西北太 平洋夏季季風區和印度夏季季風區的雨 量變化,同樣發現CWB-GAMT119L40 優於CWB-GAMT42L18,但未發現 CWB-GAMT119L40優於ECHAM5-GAMT42L19。分析模式SLP對Nino3.4海 溫的反應,發現在聖嬰現象比較強盛的北 半球冬季CWB-GAMT119L40優於CWB-GAMT42L18,但是在北半球夏季CWB-GAMT119L40對熱帶海溫的反應過強, 反而不如CWB-GAMT42L18那麼接近觀 測分析場NCEP-R1表現的SLP對Nino3.4 海溫的反應。特別要注意的是三個模式 中以ECHAM5-GAMT42L19對Nino3.4 海溫的反應整體表現最好,優於CWB-GAMT119L40的表現在北半球夏季尤其 明顯。相較於ECHAM5-GAMT42L19, CWB-GAMT119L40的氣候模擬並沒有明 顯的優勢,可見若要大幅提升氣候模擬結 果,不單只靠模式解析度的提高,也需考 慮更新模式的物理渦程。

以上研究結果是氣象局繼「氣候變 異與劇烈天氣監測預報系統發展計畫」 (2002-2009年)之後接續在「災害性 天氣監測與預報作業建置計畫」(2010-2015年)發展以改善月與季尺度預報為 目標的「第二代二步法短期氣候預報系 統」(CWB 2-tier CFS_v2)的重要參 考。CWB 2-tier CFS_v2)的重要參 考。CWB 2-tier CFS_v2仍維持多模式多 組預報的系集預報策略,除了將以CWB-GAMT119L40汰換CWB-GAMT42L18 之外,全球海溫預報部分也將更新為 OPGSST_v2/CWB。本文指出ECHAM5-GAMT42L19對海溫的反應整體而言 優於CWB-GAMT119L40,將繼續以 ECHAM5-GAMT42L19為預報系統的一 員。CWB-GAMT119L40的SLP和Nino3.4 的關係在北半球夏表現欠佳,由於大氣對 海溫的反應是氣候預報的關鍵環節,將繼 續研究表現欠佳的問題。

目前氣象局氣候預報系統發展小 組正在建立用CWB-GAMT119L30和 ECHAM5-GAMT42L19做預報的1981-2010年事後預報資料庫(hindcast data base),海溫預報是用OPGSST v2/CWB 和NCEP CFSRR的預報資料,預報起始的 大氣分析場是用 NCEP CFSv2產出的重分 析資料CFSR (Saha et al. 2010)。預報 規畫為每天預報4組,每次積分280天,每 個月綜整兩次月與季的預報結果。若制定 每月的28日和14日為綜整預報結果的截 取日,則在月底可用往前30天產出的120 (30x4) 組預報,而在月中同樣使用往 前30天的另外120組預報,來更新預報結 果。CWB 2-tier CFS v2的預報技術將會 根據這些事後預報資料分析評估。

誌謝

本研究在氣象局「氣候變異與劇烈天 氣監測預報系統發展計畫」及國科會計畫 NSC99-2625-M-052-002-MY3 與NSC99-2625-M-003-001-MY3支助下完成,特此 致謝。

八、參考文獻

- 卓盈旻、盧孟明,2010:IPCC第四期評 估報告氣候模式對亞洲夏季季風模擬 之分析。*大氣科學*,第37期第2號, 13-34。
- 胡志文、蕭志惠、童雅卿、任俊儒、鄭凱 傑、黃文豪、施宇晴、施景峰、莊穎 叡、賈愛玫,2008:中央氣象局動 力統計氣候預報系統簡介。天氣分析 與預報研討會論文彙編(97),253-258。
- 陳雯美、林松錦、蔡清彦,1989:中央 氣象局全球數值天氣預報系統1988-1989預報校驗評估。*氣象學報*,35, 263-279。
- 汪鳳如、馮欽賜, 2010:中央氣象局全 球模式物理參數化之更新:邊界層及 積雲參數化。*大氣科學*,第38期第3 號,213-236。
- 盧孟明,2000:聖嬰現象與台灣異常氣候
 關係之探討。大氣科學,第28期第2
 號,91-113。
- Adler, R. F., and Coauthors, 2003: The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present).
 J. Hydrometeor., 4, 1147-1167.
- Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, 1971: Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-189.

- Detering, H. W., and D. Etling, 1985: Application of the E- ε turbulence model to the atmostheric boundary layer. *Bound-Layer Meteor.*, **33**, 113-133.
- Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, P. Grunmann, E. Rogers, G. Gayno, and V. Koren, 2003: Implementation of the upgraded Noah land-surface model in the NCEP operational mesoscale Eta model. J. Geophys. Res., 108.8851, doi:10.1029/2002JD003296.
- Fouquart, Y. and B. Bonnel, 1980: Computations of solar heating of the earth's atmosphere: A new parameterization. *Beitr. Phys. Atmos.*, **53**, 35-62.
- Fu, Q., and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomgenuous atmospheres. J. Atmos. Sci., 49, 2139-2156.
- Fu, Q., and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. J. Atmos. Sci., 50, 2008-2025.
- Fu, Q., K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. J. Atmos. Sci., 54, 2799-2812.
- Garratt, J. R. (1992) : The atmospheric boundary layer. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. Cambridge University Press, Cambridge.

- Gates , W. L., 1992: AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 1962-1970.
- Harshvardhan, R. Davies, D. Randall, and T. G. Corsetti, 1987: A fast radiation parameterization for atmospheric circulation models. J. Geophys. Res., 92, 1009-1016.
- Hines, C. O., 1991a: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part I: Critique of linear-instability theory. J. Atmos. Sci., 48, 1348-1359.
- Hines, C. O., 1991b: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part II: Development of Doppler-spread theory. J. Atmos. Sci., 48, 1360-1379.
- Hines, C. O., 1991c: The saturation of gravity waves in the middle atmosphere. Part III: Formation of the turbopause and of turbulent layers beneath it. J. Atmos. Sci., 48, 1380-1385.
- Jhun, J.G. and E. J Lee. 2004: A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. J. Climate., 17, 711-726.
- Kalnay, E., and Coauthors, 1996: The NCEP/ NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.
- Li, J.-L. F., and J. A. Young, 1994: Modeling the interactions of shallow cumulus clouds with large-scale boundary layer fields. 6th conference on climate

variations, pp240-243.

- Li, J.-L., 1994: On shallow cumulus parameterization scheme for large-scale planetary boundary layers, *Ph.D. Thesis*, *University of Wisconsin-Madison*, pp203.
- Lohmann, U. and E. Roeckner, 1996: Design and performance of a new cloud microphysics scheme developed for the ECHAM4 general circulation model. *Clim. Dyn.*, **12**, 557-572.
- Louis, J. F. (1979) : A parametric model of vertical eddy uxes in the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.*, **17**, 187-202.
- Manabe, S., 1969: Climate and the ocean circulation: I. The Atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 739-774.
- Mlawer, E. J.; Taubman, S. J.; Brown, P. D.; Iacono, M. J.; Clough, S. A., 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. J. Geophys. Res., 102, 16663-16682.
- Moothi, S., and M. J. Suarez, 1992: Relaxed Arakawa-Schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 978-1002.
- Nordeng, T. E., 1994: Extend versions of the convective parameterization scheme at ECMWF and their impact on the mean and transient activity of the model in the tropics. *Technical memorandum 206*,

ECMWF, Reading, UK.

- Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor: Soc.*, **112**, 1001-1039.
- Pan, and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC Medium-Range Forecast model. NMC Office Note 409, 40pp.
- Roeckner, E., G. Bauml, L. Bonaventura, R Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Krichner, L. Kornblueh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schelese, U. Schulzweida, and A. Tompkins, 2003: The atmosphere general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. *Report No. 349, Max Planck Institute for Meteorology*, Hamburg, Germany.
- Roesch, A., Wild, M., Gilgen, H. and Ohmura,
 A. (2001) : A new snow cover fraction parameterization for the ECHAM4 GCM. *Clim. Dyn.*, 17, 933-946.
- Saha, S. and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1015–1057.
- Smith, T. M., R. W. Reynolds, T. C. Peterson,

and J. Lawrimore, 2008: Improvements to NOAA's historicalmerged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006). *J. Climate*, **21**, 2283-2296.

- Taylor, K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. J. Geophys. Res., 106, 7183-7192.
- Tiedtke, M., 1989: A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in largescale model. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1779-1800.
- Tiedtke, M. (1993) : Representation of clouds in large-scale models. Mon. Wea. Rev., 121, 3040-3061.
- Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteor.*, 37, 129-148.
- Wang, B., W. Renguang, and K.-M. Lau, 2001: Interannual variability of the Asian summer monsoon: contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian Monsoons. J. Climate, 14, 4073–4090.
- Wang, B., and LinHo, 2002: Rainy Season of the Asian–Pacific Summer Monsoon. J. Climate, 15, 386–398.
- Zhao, Q., and F. H. Carr, 1997: A prognostic cloud scheme for operational NWP models. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931-1953.

Assessment of the Climate Simulation Strengths and Limitations of CWB Global Atmospheric General Circulation Model in the Two-tier CFSv2

Ching-Teng Lee, Mong-Ming Lu, Jhy-Wen Hwu Research and Development Center, Central Weather Bureau, Taiwan

ABSTRACT

In 2010, the Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan started to generate monthly and seasonal climate forecast products based on a multi-model, multi-member, two-tier forecast system (CWB-2T-CFSv1). After CWB-2T-CFSv1 was in operation, CWB has begun to develop the second version two-tier forecast system CWB-2T-CFSv2. The most significant difference between these two versions is to replace the CWB atmospheric general circulation model used in the CWB-2T-CFSv1 with the version with finer spatial resolution and better physics. The resolution of the new model is T119L40 (horizontal grid interval roughly 110km and 40 vertical levels, named CWB-GAMT119L40), while the old models CWB-GAMT42L18 and ECHAM5-GAMT42L19 with horizontal grid interval of 300km and vertically 18 and 19 levels, respectively. In this paper, we compare the performance of the three models: CWB-GAMT119L40, CWB-GAMT42L19, ECHAM5-GAMT42L19 in the aspects of climatological precipitation and sea level pressure (SLP) patterns, and the variability associated with Asian monsoons and ENSO. The results suggest significant improvement of CWB-GAMT119L40 over CWB-GAMT42L18. However, no clear superiority of CWB-GAMT119L40 is demonstrated compared with ECHAM5-CWBT42L19. The implication is that climate simulations vary well with forecast model with high-resolution and better physical scheme.

Key words: short-term climate prediction, climate simulation, global climate forecast system

颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之 發展研究成果

葉天降¹、李清勝²、楊明仁³、何台華⁴ 馮欽賜¹、洪景山¹、鳳雷⁵、張保亮¹ ¹中央氣象局²國立臺灣大學³國立中央大學 ⁴龍華科技大學⁵台灣颱風洪水研究中心

摘 要

「颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展」為國家科學委員會 支助,以提升颱風預報作業能力、減低氣象災害損失為目標之一整合型研 究計畫,研究之進行包含「颱風都卜勒速度觀測與地面風力關係之研究及 都卜勒風場反演之作業化」、「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發 展」、「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」、「颱風雷達降雨氣候模 式研究」、「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研究」、「臺灣東南近海颱 風受地形影響的中尺度結構分析」、「WRF模式土壤過程之改進對登陸颱 風之風雨結構的影響」、「建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究」等 8部分。

研究主要成果包括完成雙都卜勒雷達風場反演產品之研發建置與作業 測試、建立日本嶼那國島剖風儀即時資料的接收與分析、改善中央氣象局 全球預報系統物理過程與資料同化系統提升其颱風路徑預報、分析與進一 步了解投落送與掩星觀測資料對颱風路徑預報的影響、建立臺灣地區土壤 資料同化技術改善模式土壤溫度和濕度初始場、以及建立TWRF模式供中 央氣象局颱風預報作業應用。而在氣候模式方面,完成西行、北行及東北 季風共伴颱風降雨氣候模式之建立,與利用SSM/I衛星資料改進颱風降雨 氣候資料庫,並整合颱風衛星降雨氣候模式與集水區颱風降雨模式為集水 區颱風降雨模式。另外,研究也發展使用雷達參數搭配降雨關係式推估降 雨之方法,並以雷達回波估計之颱風降雨壯值以改進颱風降雨氣候模式, 發展結合氣象與水文模式模擬集水區河川逕流,同時透過都卜勒氣象雷達 資料,分析颱風在臺灣地形影響下的演變過程以建立實用的中尺度概念模 式等。

關鍵詞:颱風、颱風雨量預報、颱風路徑預報、資料同化、渦旋移置技 術、雙都卜勒雷達反演分析、東北季風共伴、流量模擬、中尺度 概念模式

一、前言

臺灣平均每年由於颱風所造成的災害 損失,超過新臺幣100億元,如90年納莉 颱風、97年卡玫基颱風、98年莫拉克颱 風、99年梅姬颱風等都造成非常嚴重的 損失。加強對侵臺颱風之研究,進而改進 預報技術與提高預警能力,是臺灣地區颱 風防災課題中的重要工作。侵臺颱風所導 致之災害,主要肇因於其所伴隨之豪雨。 局部性之豪雨常導致該區域之山崩、土石 流,較大區域之豪雨更會造成河水暴漲與 淹水。近年颱風在臺灣所致之累積雨量動 則逾1000毫米,98年莫拉克颱風更在警 報發布期間(8月6至10日)於嘉義與高屛 山區累積雨量逾2500毫米。

就氣象防災之需求,最主要任務在提 供正確的颱風路徑和伴隨風雨之觀測和預 報資訊,因此探討如何進一步提高颱風路 徑預報的準確度與提升颱風豪雨的預警能 力並改善與下游水文模式之銜接,成為提 升氣象服務與增進氣象防災效能非常重要 的項目,此也是國家科學委員會推動防災 氣象領域之重點研究課題。

颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技 術之發展,為在此重點研究課題中之一項 整合型研究,此研究包括3個主要部分, 分別是颱風路徑動力模式之改進及颱風豪 雨、洪水動力模式預報技術的建立;應 用都卜勒雷達觀測資料,建立雷達颱風降 雨氣候資料,並發展颱風伴隨強風即時分 析和顯示之作業化技術;颱風降雨氣候模 式的校驗、改進與整體風雨預報技術之落 實。葉等(2011a)曾說明該研究於2009 年之研究成果,本文再就研究於「颱風都 卜勒速度觀測與地面風力關係之研究及都 卜勒風場反演之作業化」、「全球數值模 式於颱風路徑預報之應用與發展」、「颱 風中尺度定量降雨預報技術之改進」、

「颱風雷達降雨氣候模式研究」、「颱風 豪雨及洪水藕合預報技術之研究」、「臺 灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構 分析」、「WRF模式土壤過程之改進對 登陸颱風之風雨結構的影響」與「建置 WRF模式於颱風預報作業應用之研究」 等8子研究於整合型研究全程(2010年) 完成之主要成果做摘要說明,更完整之說 明可參見葉等(2011b)。

二、研究進行與主要成果

「在颱風都卜勒速度觀測與地面風力 關係之研究及都卜勒風場反演之作業化」 方面,主要工作為利用中央氣象局都卜勒 雷達與空軍雙偏極化雷達資料,進行雙都 卜勒雷達風場反演、產品上線測試與校驗 分析,另進行颱風之垂直風力剖面分析 (張,2010)。其中雙都卜勒雷達反演 上線測試部分,已將相關技術應用於實際 作業QPESUMS系統中進行測試。由2010 年颱風個案萊羅克(Lionrock)、莫蘭蒂 (Meranti)、凡那比(Fanapi)、梅姬 (Megi)的作業測試顯示,雙都卜勒風 場合成分析(部分圖如圖1)提供颱風雨 帶區域的環流特性,颱風中心位置、強度 與暴風範圍等的變化趨勢均具參考價值。

在雙都卜勒雷達反演風場校驗分析 方面,由與剖風儀、探空、dropsonde的 觀測校驗發現,反演風場與其它觀測值 具有相當佳的一致性。其中又以與剖風 儀風場觀測的一致性最為顯著,由颱風 辛樂克(Sinlaku 2008)、薔蜜(Jangmi 2008)、莫拉克(Morakot 2009)的比較 發現(見圖2),其西風與南風分量的均 方根誤差別為2.6 m/s與3.2 m/s。由2008 年辛樂克與薔蜜颱風的風力垂直剖面分析 顯示,在辛樂克颱風侵襲期間,日本嶼那 國島之陣風風速與高度3公里雙都卜勒反 演風速接近,比值約0.93,與平均風速比 值0.66。在薔蜜颱風個案中,嶼那國島之 陣風風速與高度3公里雙都卜勒反演風比 值約0.84,與平均風速比值0.56。

由此研究結果亦發現,現有臺灣地區 都卜勒雷達網連的密度,已具有雙都卜勒 分析的作業化環境與價值,未來如能持續 改進都卜勒速度場資料反折錯處理等品質 管制處理,並進行颱風個案垂直風力剖面 分析,透過高空與地表風力經驗公式的建 立,可進一步將雙都卜勒風場的反演結果 應用於海面與地面風力的推估,對於相關 的颱風風雨預報作業與數值模式資料同化 將能提供更多的風場參考資訊,藉以提升 對於海面風力的監測與預報準確度。

「全球數值模式於颱風路徑預報之應 用與發展」方面,主要重點在改進氣象局 全球預報模式颱風路徑預報,並探討物理 過程及不同觀測資料對颱風路徑預報的影 響(馮,2010)。中央氣象局全球預報 系統(CWBGFS)在2009年7月對邊界層 及積雲對流參數化兩項物理進行大幅度的 更動,依實驗結果顯示這更動對熱帶風場 的系統性誤差產生相當明顯的改進,新物 理版本也改善了舊版對副熱帶高壓預報過 強的系統性誤差,使預報強度的掌握較為 平穩。另外對舊版的積雲參數化容易過度 預報熱帶低壓渦旋的問題也在新版獲得改 善,不過相較之下新版在颱風系統強度的 發展上有限,因此預報熱帶渦旋強度,舊 版的變化幅度要比新版大許多。以2008年 7個測颱風個案分析此次物理參數化變動 對颱風路徑預報之影響顯示(見圖3), 新版的路徑預報較舊版有所進步,但個案 間有所差異,分析顯示誤差偏大的路徑與 使用虛擬渦旋植入法作颱風初始化方案有 關,進一步測試也發現新版在一些個案施 加虛擬渦旋植入法後反而對路徑預報產生 負面效果,顯示颱風初始化方案在模式物 理特性變動後,颱風渦旋初始化方式還有 必要再做調整。

在進行TPARC實驗飛機加強觀測資 料對颱風路徑預報的影響分析,以辛樂克



- 圖1 雙都卜勒風場在中央氣象局QPESUMS系統對2010年凡那比颱風9月19日7時(a)風場 (單位為knots)與雷達迴波在灰階圖之顯示情形,圖(b)僅含風場,圖c則可於彩色 顯示圖中分辨風場於不同高度上之分布,風標顏色紅、藍、桃紅、白色分別表示於高度 1-2公里、3-4公里、5-6公里,以及7公里以上。
- Figure 1: The dual-Doppler radar wind analyses for Typhoon Fanapi at 2300 UTC 18th September 2010. (a) Composite wind fields on different levels and the radar reflectivity. (b) Same as (a), except for winds only. (c) Same as (a), except for in colour print. Wind speeds are indicated by wind bars with full/half bars 10/5 m/s. The wind bars in red, blue, pink, and white in (c) indicate winds on the levels of 1–2, 3–4, 5–6, and above 7 km, respectively.



圖2 辛樂克、薔蜜、莫拉克3颱風雙都卜勒反演風速與嶼那國島剖風儀風速觀測散布圖(圖 左上為西風分量,右上為南風分量)及辛樂克颱風(左下)與薔蜜颱風(右下)在高度 3公里雙都卜勒反演風速與嶼那國島地面觀測陣風風速(方形標示)與平均風風速(圓 形標示)散布圖。

Figure 2: Scattering diagrams of the west-east component (upper left) and the south-north component (upper right) wind speeds between the dual-Doppler radar analyses and the observations from wind profiler for Typhoons Sinlaku, Jangmi, and Morakot. In bottom panels, the scattering diagrams of the gust speeds (squares) and the average wind speeds (circles) are at 3-km level for Typhoon Sinlaku (bottom left) and Typhoon Jangmi (bottom right). The linear regression information is also included in bottom panel.



- 圖3 利用中央氣象局全球預報系統邊界層及積雲對流物理參數化之新舊版本,(a)測試 2008年7個颱風之路徑預報影響,舊模式(圖中標示OLD)與改進模式(圖中標示 NEW)在不同預報時間之路徑預報誤差統計。(b)測試飛機觀測資料對模式預報誤差 之影響,因物理參數化之不同,新版的72小時內路徑預報,加入飛機資料可改善10-18% 的誤差,舊版只有2-8%。
- Figure 3: (a) The averaged track distance forecast errors (vertical axis, units in km) of the operational (OLD) and the testing version (NEW) global forecast model at Central Weather Bureau for the 7 typhoons affecting Taiwan in 2008. (b) The percentage for the improvement on track forecast when the dropsonde observations were included in the analysis. Horizontal axes are the forecast time in hours.

颱風侵臺前個案研究發現,新物理版本能 比舊版發揮更大的資料效益。在TPARC 實驗加強觀測期間,新版的72小時內路 徑預報,因飛機資料加入可改善10-18% 的誤差,舊版只有2-8%。並且不論是在 傳統觀測資料較充裕的00/12UTC或在傳 統觀測資料匱乏的06/18UTC,飛機資料 對新版均有減小路徑誤差的顯著效果,但 舊版在兩個階段的資料效益並不均匀,只 在00/12UTC呈現改善效果,06/18UTC則 反而出現負面影響,這可能與新版模式的 預報對大尺度環流的掌握較佳,能提供較 佳的猜測場,使飛機資料在分析過程更具 效用,有助突顯資料對颱風路徑預報的改 進程度。進一步測試分析不同資料使用條 件下對辛樂克侵臺前路徑預報的影響, 發現若改使用間斷式資料同化方式加入 TPARC觀測資料,資料對路徑預報的影 響度都較連續式明顯隆低,顯示連續性的 飛機投落送資料,透由連續式資料同化過 程會累積資料效果,有助預報準確性的提 升。以新一代全球資料同化系統(GSI) 評估福衛3號GPS RO資料對颱風路徑預 報的影響,由2008年至2010年期間侵襲 臺灣或威脅性較大的11個颱風個案顯示, RO資料的影響有時不易彰顯,進一步從 路徑類別做分析,則可發現資料正面效應 較多集中在含有路徑轉彎的預報時段上, 顯示路徑轉彎時因對綜觀天氣系統的因素 較敏感,此時RO資料可有相當正面的助 益(如圖4)。

「颱風中尺度定量降雨預報技術之改

進」方面,李(2010)利用1989-2006年 個案進行氣候模式整體特性之評估,結果 顯示由於氣候模式之降雨預估採用網格平 均值,因此出現些微低估的情形。進一步 建立西行、北行颱風與東北季風共伴颱風 之降雨氣候模式,其結果顯示此分類模式 較原始氣候模式為佳,惟以2007年獨立 個案校驗結果顯示,不論是降雨量值或降 雨分布,東北季風共伴模式的表現反而較 差,顯示颱風外圍環流與東北季風交互作 用產生之共伴效應,常僅侷限於較小的範 圍,而且不同個案的共伴效應所影響之區 域,很可能亦不相同。

進一步利用SSM/I衛星颱風降雨量, 建立侵臺颱風衛星降雨氣候,並發展依據 衛星降雨潛勢修正颱風降雨模式之方法, 完成集水區颱風降雨模式(Ver.2.1),此 模式可利用颱風路徑、強度、七級風暴風 半徑以及衛星降雨潛勢等條件,篩選具有 類似特徵的颱風,調整降雨模式之預報結 果。利用1.無篩選、2.用颱風路徑分類篩 選類似個案、3.用颱風路徑與強度分類篩 選類似個案、4.用颱風路徑與二分法之衛 星降雨潛勢篩選類似個案、以及5.用颱風 路徑與三分法之衛星降雨潛勢篩選類似個 案等五種設定,表1列示此些設定對2004 年至2008年共8個顯著影響臺灣之颱風降 雨在不同門檻值之Threat Score (TS得 分),顯示經篩選類似之颱風個案並進行 調整後,原本氣候模式低估降雨之情形有 顯著改善,而用颱風路徑與二分法之衛星 降雨潛勢調整之降雨模式設定較其他調整



- 圖4 (a) 梅姬颱風實際路徑, (b) 梅姬颱風有(圖標示mgps2) 無(圖標示mcntl2) 福衛3 號GPS RO資料條件下之颱風路徑預報誤差統計。(c) 梅姬颱風從10月14日至22日每個 初始場所呈現GPS RO資料對24、48與72小時路徑預報影響的時序分布,負值代表資料 有正面影響,箭頭標示路徑轉彎時段。
- Figure 4: (a) The best track of Typhoon Megi (2010), and (b) the average track distance forecast errors (vertical, in km) of CWBGFS forecasts with (mgps2) and without (mcntl2) GPS RO observations included in the analysis. The track in (a) are marked in 6 hours intervals starting 00 UTC, and the numbers indicate the month/date. (c) Difference of the track forecast errors (vertical, in km) at 24, 48, and 72 hours forecast (see caption) between the CWBGFS forecasts with and without GPS RO observations included in the analysis. The forecasts start from 14th to 22nd October (horizontal) with four forecasts per day. Two arrows on the bottom of figure mark the periods when Typhoon Megi moved with larger direction changes.

表1 氣候模式與新發展模式對8個顯著影響臺灣之颱風個案在不同降雨門檻值之TS得分 (Threat Score)。

| | 氣候模式 | 設定一 | 設定二 | 設定三 | 設定四 |
|---------------|---------|----------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 模式設定 TS 門檻 | CLIMATE | V2_track | V2_track, intesity | V2.1_track, rainrate (1/2) | V2.1_track, rainrate (1/3) |
| 130 mm | 0.5 | 0.55 | 0.53 | 0.54 | 0.53 |
| 200 mm | 0.34 | 0.45 | 0.44 | 0.47 | 0.45 |
| 300 mm | 0.14 | 0.30 | 0.29 | 0.32 | 0.29 |
| 350 mm | 0.09 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.25 |
| 400 mm | 0.06 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.19 |
| 500 mm | 0.01 | 0.17 | 0.16 | 0.2 | 0.19 |
| 平均 | 0.19 | 0.31 | 0.31 | 0.33 | 0.32 |

Table 1: The threat scores of the climate model and the newly-developed models to forecast heavy rainfall at different thresholds for eight typhoons affecting Taiwan.

方式有更佳之預報能力。以此種設定對鳳 凰颱風降雨預報為例,除了在降雨區分佈 的預報上有相當不錯的表現外,模式更可 適當掌握宜蘭山區與西南部山區之降雨極 大值。圖5顯示對於鳳凰颱風,在350毫 米(超豪大雨)以上門檻值皆有較佳之表 現,對於500毫米門檻值之TS得分達0.5, 詳見李(2010)。

在「颱風雷達降雨氣候模式研究」 方面,鳳(2010)發現莫拉克颱風與海 棠颱風相當類似,兩者在颱風登陸後均 在臺灣西南部的外海形成垂直於中央山 脈的滯留性雨帶,雨帶中深厚且強勁的 西風與山區發生豪雨有很高的相關性。 此外,在強勁西風發生(風速高於25~30 m/s)時,山區的降雨會越過中央山脈,

這使得太麻里溪流域上游會有很大的降雨 量,類似路徑的颱風但是風速較低時, 此處則是處於焚風的環境中。由2005年 的海棠(Haitang)、泰利(Talim)及龍 王(Longwang)3西行登陸的颱風,分析 其在臺灣西南部山區的降雨與颱風降雨 氣候模式間的關係,則顯示海棠颱風屬於 嚴重低估型、龍王颱風屬於平均值型、而 泰利颱風則介於兩者之間為低估型。而利 用颱風降雨壯度的概念是可以有效改進颱 風登陸前的山區降雨低估現象,但仍無法 改善臺灣西南部山區因颱風引進西南氣 流造成豪雨的低估。圖6為颱風降雨氣候 模式海棠颱風整場降雨的預測雨量與實際 觀測雨量的散佈圖,可見颱風降雨壯度修 正模式對臺灣西南部地區的降雨低估有相



- 圖5 2008年鳳凰颱風侵臺期間,7月27日12 UTC至28日12 UTC之24小時觀側累積雨量(左上)及5種集水區颱風降雨模式設定(見文中說明)之重預測結果,預測圖中並標註觀測之颱風路徑。各圖雨量值尺標顯示於右下(單位毫米)。
- Figure 5: The observed 24-h accumulated rainfall of Typhoon Fung-wong during 271200 281200 UTC July 2008 (top left) and the corresponding forecasts (other panels) using climate model and 4 improved typhoon rainfall forecast models. The track of Typhoon Fung-wong is also shown in the diagrams. The scale of rainfall amount (mm) is shown at the bottom right corner.



- 圖6 為颱風降雨氣候模式海棠颱風整場降雨的預測雨量與實際觀測雨量的散佈圖,其中 (a)為颱風降雨氣候模式標準輸出值;(b)為採用高颱風降雨壯度值及引進西南氣流 的修正模式輸出值,由散佈分析圖可知修正模式的輸出對臺灣西南部地區的降雨低估有 相當不錯的改善。
- Figure 6: Scattering diagrams of the observed total rainfall versus model forecasts (in mm) (a) using original climate model and (b) modified climate model for Typhoon Haitang (2005). In the modified climate forecast model, there are different groups of typhoon based on the typhoon rainfall parameter from radar reflectivity and the strength of the accompanying southwesterly monsoon.

當不錯的改善。對於整場降雨量大於150 毫米之預報TS得分從0.40提升至0.65,整 場降雨大於350毫米的TS得分從0.06提升 至0.41。然而,對於降雨型態比較接近平 均值的龍王颱風,颱風降雨壯度修正模式 卻有高估的情形,即颱風降雨壯度值仍未 能完全反應臺灣西南側山區豪雨的成因, 初步發現進一步利用雷達EVAD技術所反 演的垂直風速變化,對於山區豪雨的規 模估計是有相當的大的發展空間(鳳, 2010)。

「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研 究」方面,研究使用雷達參數搭配降雨 關係式做降雨推估,並且輸入至水文模式 (CASC-2D)以模擬石門水庫霞雲集水 區河川逕流(楊,2010)。以2006年碧 利斯(Bilis)颱風,使用中央大學雙偏 極化雷達資料,顯示(圖7)對碧莉斯颱 風使用K_{DP},特別是在時雨量達5 mm/h以 上時,估計降水都在5 mm/h以下,應用 Z_H、DSD等雷達參數推估降雨也有相同 明顯低估情形(圖略),而以Z_{DR}雷達參 數推估降雨,對小雨部分有高估,惟較接 近於實際觀測雨量值,特別是以3km之參 數推估降雨。利用此Zpr雷達參數推估降 雨帶入水文模式模擬流量與水位,結果顯 示洪峰流量值較實際觀測流量高估約30~ 40% (圖8)。而當雷達參數推估降雨之 水平分佈與實際降雨分佈接近時,依據水 文模式推估之流量水平分佈亦與觀測流量 分佈接近。

由楊(2010)研究也得知使用雙偏

極化雷達參數推估降雨對於集水區的雨量 分佈推估有明顯的改善;應用雷達Kpp參 數推估降雨時,雖然雨量推估有低估的現 象,但較其他雷達回波參數(Z_H、DSD、 Z_{DR})推估為穩定。而Z_{DR}推估降雨則明顯 的高估,對於實際雨量值較小的個案上反 而有較好的結果。因此,對於大雨量個案 的雨量推估以應用Kpp回波參數較佳,而 小雨量個案的雨量推估應用Zm回波參數 較為適合,在實際作業應用時,可配合 即時觀測雨量資訊做為雨量大小的評斷標 準。於不同CAPPI高度的雷達參數回波推 估降雨結果,會由於雨帶沿著山區傾斜, 導致於不同高度雷達回波估計降雨量的位 置也會不同,因而影響到流量模擬結果。 將4種雷達參數(Z_H、DSD、Z_{DR}、K_{DP}) 推估降雨結果做系集平均後再與觀測值比 較,所得降雨推估結果有明顯改善。另 外逕流模擬受到雨量分佈情況及累積雨量 值的多寡影響相當大,若雨量差異±14 mm/h左右,則流量的差異約±1000 m³/ h。假使再加上土壤及土地利用的不同而 導致流量差異,整體可達±1000~2000 m³/h左右明顯流量變化。

在「臺灣東南近海颱風受地形影響的 中尺度結構分析」方面主要是以綠島都卜 勒氣象雷達觀測資料為主,針對2000年 強烈颱風碧利斯(Bilis)為研究對象, 分析此颱風在外海期間降水雨帶之結構 (何,2009)。圖9顯示在碧利斯颱風的 中尺度主觀地面氣流與2km定高面徑向風 場(m/s)合成圖以及2km定高面回波強


- 圖7 2006年碧利斯颱風以不同高度(3 km、3.5 km、及4 km,見圖標示)雷達參數(a) K_{DP} 與(b) Z_{DR}推估高義降雨與實際觀測降雨(OBS)隨時間(橫軸)之演變。(c)為以 Z_{DR}推估降雨帶入水文模式推估高義流量與高義實際觀測流量站分布。
- Figures 7: Time series (horizontal axis) of the observed rainfall rate (OBS, in mm/h) at station Gauyi and the corresponding derived rainfall rates by radar parameter (a) K_{DP}, and (b) Z_{DR} at levels of 3, 3.5, and 4 km. (c) As in (b), except for the flow discharge simulated by the model.



圖8 2006年碧利斯颱風由CASC-2D水文模式模擬所得霞雲集水區於7月12日16 UTC時的河川 水位分佈(水位高度見右側指標;單位公尺)。

Figure 8: The river water level (in m, colored scale on the right) over the Hsiayun watershed simulated by CASC-2D model at 1600 UTC 12 July during the invasion of Typhoon Bilis in 2006.

度(dBZ)圖,說明碧利斯颱風中心與環 流往西北方向逐漸移入臺灣陸地時,出現 雙眼牆特性,低層入流區(第一與第四象 限)之向岸風風場與離岸風風場(第二與 第三象限)相當,並無低層風速呈現逆轉 的現象。研究結果亦顯示,颱風雨帶受地 形影響,主要有地形阻擋(blocking)、 管道(channeling)與角隅(corner)效 應,且颱風愈接近臺灣東南部山區,地形 效應也愈明顯,且其雙眼牆特性在逐漸接 近臺灣東南部地形時也有明顯變化。

何(2009)進一步以WRF模式探討 在臺灣地形影響下,邊界層過程對颱風雨 帶結構、降雨分布的影響。研究係以不 同邊界層參數化法,搭配有、無地形的 組合,對2007年柯羅莎颱風(Krosa)進 行模擬,經分析得知,臺灣地形不只透 過高度影響颱風在陸上的降雨量及其分 布,同時也透過繞流效應及海峽兩側地 形分布,分別影響到臺灣東、西兩側海



- 圖9 上圖為在2000年8月22日11 UTC 強烈颱風碧利斯(Bilis)的中尺度主觀地面氣流與2 km定高面徑向風場(m/s,值見尺標)合成圖。圖中颱風符號代表颱風中心位置,白 色圓區中心為距臺灣東南海岸33 km綠島雷達站位置,虛線是氣流線,實線是等風速線 (m/s)。下圖為同時間的2km定高面回波強度(dBZ)圖,圖中符號X代表颱風中心位 置,符號+代表綠島雷達站位置。
- Figure 9: The composite diagram (upper panel) of the subjectively analyzed surface wind streamlines (dashed) and isotaches (solid) with radial direction wind speed at 2-km level observed by Ludao radar at 1100 UTC 22nd August 2000 before Typhoon Bilis (marked with typhoon symbol) made landfall in Taiwan. The lower panel delineates the reflectivity (dBZ) at 2-km level. The symbol "X" indicates the typhoon center and symbol "+" stands for the radar site.

上雨帶的發展,此點發現可以驗證碧利 斯颱風(2000)移入臺灣東南近海時, 繞流效應對第二與第三象限的離岸風風 場強度有明顯的加強作用。圖10說明就 柯羅莎颱風個案而言,WRF模式搭配 WRF Single-Moment 6-class (WSM6) 微物理參數法、Asymmetric Convective Model version 2 (ACM2)邊界層參數法 和Grell-Devenyi ensemble (GD)積雲參 數法,可獲得台灣地區降雨模擬的較佳表 現,同時在颱風第二與第三象限的雨帶發 展明顯增大。

在「WRF模式土壤過程之改進對登 陸颱風之風雨結構的影響」方面,研究 在改善WRF模式的地表處理過程,評估 此改善對模式颱風定量降水預報的影響 (洪, 2010)。其中包括取用高解析度 之臺灣土地利用型態資料,取代WRF模 式內建之資料,以及引進最新之高解析度 土壤資料同化系統HRLDAS。在導入臺 灣地區高解析度土地利用資料部分,係 採用中鼎工程顧問公司將2001年內政部 所出版的經建版1/25,000基本地形圖數位 化,再進一步整合MODIS Landuse Data 所得結果,再進一步整合MODIS所觀測 之森林和灌溉農田的土地利用資料。由原 始WRF(USGS)以及修改後(IOCT) 之土地利用分佈圖(圖11)顯示,兩者主 要的差別在於都市、灌溉農田和森林的分 佈。大陸地區的差異主要是灌溉農田和森 林,這是MODIS觀測和USGS資料庫的差 異所導致;臺灣地區的差異則為都市、灌 溉農田和森林,這是整合MODIS、內政 部數位化土地利用資料後,和USGS的差 異。採用USGS和IOCT土地利用資料對莫 拉克颱風模擬的影響,在72小時預報時, IOCT組的颱風強度仍明顯較USGS組強, 而且移動速度也較快(圖12),由於颱風 環流結構較USGS組完整,因此颱風雖移 動速度較快,但引進之西南氣流較強,導 致在臺灣地區的降水較USGS組來得強。

在引進土壤資料同化系統HRLDAS 方面,係利用WRF模式每6小時之地面溫 度、長短波輻射等預報輸出做為大氣逐 時地面觀測,並使用逐時OPESUMS的估 計降水等資訊,透過積分的過程得到模 式土壤的較合理溫、濕度分析場。圖13 是HRLDAS同化分析結果、觀測和中央 氣象局WRF原作業模式於恆春站2009年 8月至2010年8月之土壤溫度。圖中顯示 WRF原作業模式的土壤溫度顯著偏暖, 透由HRLDAS的分析場則有明顯改善。針 對2009年莫拉克颱風(初始場在8月6日 06 UTC)和2010凡那比颱風(初始場在 9月18日00 UTC) 之預報實驗顯示,透由 HRLDAS之模擬和WRF作業之地表溫度 在臺灣地區溫差可達4~8℃(圖略),72 小時預報後地表溫度差異仍可達2~4℃, 第一層土溫差可達4℃,第一層土壤濕度 的差異則約為0.12。改善模式地表過程有 助於更精確掌握可感熱和潛熱涌量的傳 送,進而影響近地層的局部環流,以致 有較佳颱風的定量降水預報(詳見洪, 2010) •



- 圖10 以WRF模式模擬2007年柯羅莎颱風10月5日00UTC至7日16UTC 64小時的累積雨量(右 側尺標,單位毫米),其中使用WRF single-moment 6-class微物理參數法搭配Grell-Devenyi ensemble積雲參數法和asymmetric convective model version 2 (ACM2)邊界層 參數法。
- Figure 10: The 64-hour accumulated rainfall (scale on right in mm) simulated by the WRF model during the period of Typhoon Krosa affecting Taiwan from 0000 UTC 5th to 1600 UTC 7th October 2007.



- 圖11 概略顯示在中央氣象局WRF模式三層嵌套網格(a)45公里、(b)15公里於臺灣附近、 與(c)5公里於臺灣使用USGS(上或左)和IOCT(下或右)的土地利用分布之差異 (詳細略)。
- Figure 11: Diagram to compare the USGS (upper or left) and IOCT (bottom or right) land cover datasets in the WRF (a) 45 km, (b) 15 km, and (c) 5 km grid mesh.



- 圖12 使用(a) USGS和(b) IOCT土地利用資料對莫拉克颱風模擬之第72小時預報的12小時累積 降雨分佈(色系,尺標置於圖右側)和地面氣壓(等值線)。
- Figure 12: The 12-hour accumulated rainfall (scale on the right, in mm) and the surface pressure (contours) at 72-hour simulation by the WRF model with the (a) USGA, and (b) IOCT land cover for Typhoon Morakot.

「建置WRF模式於颱風預報作業應 用之研究」方面,研究主要項目包括測試 與建立WRF模式資料同化、渦旋移置處 理(relocation)等於颱風路徑預報作業 應用,並以不同積雲參數化、不同初始與 邊界條件組成系集模式預報,了解其在預 報作業應用之可行性(葉,2010)。在 颱風渦旋移置技術方面,研究發現WRF 模式使用渦旋移置技術的颱風初始位置較 接近觀測位置,且強度與結構較為接近觀 測,若未使用颱風移置技術,當颱風初 始位置和同化颱風資料的位置距離較大 時,颱風結構有明顯拉伸變形的趨勢(圖 14),造成預報較大誤差。 在資料同化部分,研究主要目標是 在中央氣象局作業環境測試四維變分分 析WRF-4DVAR。研究期間進行以海棠颱 風登陸臺灣前之個案,使用NCEPGFS做 為初始場與邊界條件,對45公里解析度 WRF模式進行4DVAR、3DVAR以及未作 變分分析做比較測試。以辛樂克颱風個 案,在WRF-4DVAR分析同化植入質量場 和動量場的渦旋,得到較好的熱力和動力 的初始結構,經由低層輻合產生中層的上 升運動,造成水氣凝結並釋放潛熱,路徑 和結構都有較好的模擬結果。經此研究, WRF-4DVAR已於中央氣象局系統中建置 完成,並可使用CWBGFS和NCEPGFS的



- 圖13 恆春站於2009年8月至2010年8月之土壤溫度觀測分布(OBS圓點線,見圖上側說明)及 中央氣象局WRF作業模式之模式初始值(WRF三角點線)與透由HRLDAS同化之模式初 始值(HRLDAS無點線)。
- Figure 13: Distribution of the soil temperature observed (OBS, line with dots) at Hengchun for the period from August 2009 to August 2010, and the corresponding model initial value generated by WRF data assimilation system (solid line) and the HRLDAS analysis (line with triangles).



圖14(a)加入渦旋移置與(b)未加入渦旋移置,對9月26日18 UTC海平面氣壓分布,颱風 標記表示颱風觀測中心位置。

Figure 14: The sea level pressure analyses (a) with, and (b) without vortex (center at typhoon symbol) relocation at 1800 UTC 26th September.

資料作為初始場和邊界條件。

為使WRF預報更為準確,測試於 WRF颱風bogus時加入含質量場、風 場、濕度場之bogus資料以改進WRF颱 風bogus;測試digital filter initialization (DFI)與不同積雲參數化處理對WRF 颱風預報之影響;進行WRF-3DVAR之 outer loop、使用不同背景誤差協方差、 使用partial cycling對預報影響之測試; 並測試GPSRO資料對於WRF颱風路徑預 報影響。研究結果顯示:1、加入含質 量場、風場、濕度場之bogus資料及使用 relocation scheme可改善WRF颱風初始結 構;2、在WRF-3DVAR資料同化系統中 使用CV5背景誤差協方差及outer loop可 同化較多觀測資料;3、在WRF積分過程 中採用Kain-Fritsch (KF)積雲參數化法 較Grell-Devenyi (GD)法有利於維持模 式颱風強度;4、使用partial cycling可達 到修正初始場氣候系統性誤差的效應。以 上四點,皆可增進WRF模式對颱風預測 路徑的掌握,降低預測誤差。 圖15為對WRF模式改變變分分析 中用CV3或CV5、積雲參數化以KF或 GD、採full或partial cycling之實驗,針 對2008與2009年西北太平洋的11個颱 風(其中10颱風中央氣象局對其發佈警 報),共計247個案之測試結果。其中採 partial cycling之實驗結果以'Par'加註, full cycling者則省略。圖中可看出,以 WRF_CV5_KF_Par預報誤差較小,即含 outer loop,加DFI, relocation並用質量



圖15 WRF各版本針對2008、2009年西北太平洋11個颱風,共計247個案之平均颱風預測路徑 誤差。CWB為中央氣象局官方預報、WRF_OP為中央氣象局WRF模式作業預報、OL_ DFI表示有包含outer loop與digital filter initialization(詳見文說明)。

Figure 15: The averaged typhoon track forecast errors of the CWB official forecast (CWB) and five WRF model forecasts. WRF_OP stands for the CWB operational WRF system, OL_DFI represents the one with outer loop and digital filter initialization included in the data analysis. Others include those with different background error covariance (CV3/CV5) and different cumulus parameterization process (KF/GD) tested. Total case number is 247, and the 11 typhoons are issued warnings by CWB in 2008 and 2009.

與風場之Bogus,以CV5,用KF積雲參 數處理法,並為partial cycling測試結果 最佳。WRF_CV3_GD與WRF_CV5_GD 的差異在背景誤差的選取,也會對平均 颱風路徑預測有15%~30%左右的影響。 Outer loop則因可採用更多觀測資料而使 分析場更接近觀測,KF積雲參數化法則 有利於維持模式中颱風的強度,使颱風與 大尺度環境場有更正確的交互作用,而使 誤差減少。而full cycling,置換成partial cycling,可達到修正初始場誤差累積的 功效,使誤差降幅約9%~13%。WRF_ CV5_KF_Par,因測試結果最佳,經評估 後中央氣象局將其於2010年6月起正式上 線作業,定名為TWRF。

為了解各地颱風降雨極端時雨量, 研究也利用中央氣象局資料,分析各 地當颱風中心在21°N到 27°N,119°E到 123°E範圍,且至少有一地時雨量大於 15 mm/h時,極端時雨量 (最大1%) 分布(圖略),發現颱風極端時降雨發 生時,約90%是在距颱風中心2.5度半徑 內,並主要在7-10月。對非颱風中心2.5 度半徑內之極端時降雨主要發生在當颱 風之中心位置在北部外海(120.5-121.5°E 與21.0-22.5°N)及119-121°E與24.5-27°N,3區域,特別值得注意(詳見葉, 2010)。

三、結語

為提升颱風預報能力、增進氣象防災

效能,進行颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨 預報技術之發展整合研究。研究之進行包 含「颱風都卜勒速度觀測與地面風力關係 之研究及都卜勒風場反演之作業化」、 「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與 發展」、「颱風中尺度定量降雨預報技術 之改進」、「颱風雷達降雨氣候模式研 究」、「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之 研究」、「臺灣東南近海颱風受地形影響 的中尺度結構分析」、「WRF模式土壤 過程之改進對登陸颱風之風雨結構的影 響」、「建置WRF模式於颱風預報作業 應用之研究」等8部分。整合研究於2010 年完成,主要之成果包括:

「在颱風都卜勒速度觀測與地面風力 關係之研究及都卜勒風場反演之作業化」 方面,完成中央氣象局都卜勒雷達與空軍 雙偏極化雷達資料雙都卜勒雷達風場反演 產品發展,經上線測試與校驗顯示,研究 所得雙都卜勒反演風速與剖風儀等實際 觀測結果相當一致,所發展之雙都卜勒風 場合成分析可供中央氣象局作業應用。此 外,未來利用日本與那國島剖風儀資料增 加侵臺颱風個案之風力垂直剖面分析,將 有助於雙都卜勒風風力與近地表風力關係 的了解,進一步提升對於海面風力的監測 與預報準確度。

「全球數值模式於颱風路徑預報之應 用與發展」方面,研究發現,目前飛機 投落送觀測受限於經費、航路等條件,對 一颱風大都只能進行1最多2次間斷式的 飛機觀測,不易發揮此觀測對數值預報的 效益,若能進行連續性的飛機觀測可擴 大飛機投落送觀測的功效。評估福衛3號 GPSRO資料對颱風路徑預報的影響,發 現在路徑轉彎時,路徑對綜觀天氣因素 較敏感, RO資料之加入可有較明顯的助 益。

「颱風中尺度定量降雨預報技術之改 進」方面,由於簡單的颱風降雨氣候模式 雖可大致掌握颱風侵臺時各地降雨的分布 情形,但在降雨量值及細部分佈上仍有差 距,本研究針對特殊類型颱風建立類型氣 候模式,並利用SSM/I估計颱風降雨量, 建立侵臺颱風衛星降雨氣候資料庫,發 展依據衛星降雨潛勢修正颱風降雨模式之 方法。新完成模式可利用颱風路徑、颱風 強度、颱風之七級風暴風半徑以及衛星降 雨潛勢等條件,篩選具有類似特徵的颱風 並調整颱風降雨模式之預報結果,使用這 些條件做篩選後,模式更能掌握颱風環流 之大小等,對颱風之降雨量有更合理的預 報。

「颱風雷達降雨氣候模式研究」方 面,以2005年3個西行強烈颱風的分析發 現,加入以雷達回波資料估計颱風降雨壯 值能改進颱風降雨氣候模式,尤其對颱風 登陸前的雨量估計有明顯改善,但對臺灣 西南側之豪雨估計則不理想。研究也發現 颱風引發西南氣流造成臺灣西南部山區豪 雨的情形,在許多個案有相似特徵,例如 2005年海棠颱風與2009年莫拉克颱風在 地形上游中央山脈垂直的方向有持續性 之雨帶,雨帶深厚且有強勁的西風(約 30~35 m/s)時,會使降雨越過中央山脈 而造成太麻里溪水暴漲,與一般西行颱風 在臺東地區產生焚風現象不同。

「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研 究」方面,發現使用雙偏極化雷達參數 推估降雨對於集水區的雨量分佈推估有明 顯的改善,使用中央大學CPOL雙偏極化 雷達回波參數推估降雨的結果於不同颱風 個案中仍有明顯的差異。應用雷達 K_{DP} 參 數推估降雨時,雖然於雨量推估有低估的 現象,但其雨量估算結果與其他雷達回波 參數(Z_H 、DSD、 Z_{DR})推估雨量比較上 較為穩定。另外也發現逕流模擬受到雨量 分佈及累積雨量值的多寡影響相當大,若 雨量差異在±14 mm/h左右,流量的差異 約為±1000 m³/h,加上土壤及土地利用 的不同,流量差異可達到±1000~2000 m³/h。

「臺灣東南近海颱風受地形影響的中 尺度結構分析」方面,利用綠島雷達站之 都卜勒雷達資料進行颱風中尺度結構的分 析與環流反演,發現碧利斯颱風中心與環 流往西北方向逐漸移入臺灣陸地時,其外 圍雨帶會受到臺灣山脈地形影響,第一、 四象限所呈現的低層風速有減弱趨勢,而 第二、三象限的低層風速有減弱趨勢,而 第二、三象限的低層風速則有加強趨勢, 另外也發現碧利斯颱風擁有雙眼牆特性, 內眼牆為近似直徑35km的圓形,旋轉周 期約2小時,外眼牆向外傾斜明顯,與內 雲帶向外傾斜程度相似,且內雲帶逐漸向 外眼牆接近,使外眼牆強度增強,而內眼 牆逐漸減弱。 「WRF模式土壤過程之改進對登陸 颱風之風雨結構的影響」方面,完成土壤 資料同化系統建置與測試,研究並顯示不 論是引用更正確之土地利用資料,或是土 壤溫度、濕度初始場的改善,都會影響模 式預報中大氣邊界層內之溫度與水氣的結 構以及陸表和大氣之間能量的交換,有助 於改善颱風登陸過程時颱風環流和地形的 交互作用,並對模式颱風結構與定量降水 的模擬產生顯著的影響。研究所發展之 新版的土地利用資料庫已於中央氣象局 WRF預報模式作業應用。

「建置WRF模式於颱風預報作業應 用之研究」主要成果包括經過測試WRF 渦旋移置技術、不同資料分析與模式積 雲參數處理方法等,選取最佳方案建 立TWRF模式供中央氣象局作業應用。 TWRF包含颱風中心relocation,含颱風 加入含質量場、風場、濕度場之bogus 資料,WRF-3DVAR中採outer loop、 CV5、使用partial cycling與digital filter initialization,積雲參數處理採用Kain-Fritsch方法。另外,研究也完成WRF-4DVAR之建置與測試,未來在經更完整 之測試改進後,可為作業應用。

誌謝

感謝行政院國家科學委員會對本整合 研究計畫之資助與中央氣象局對研究所用 資料與設備之提供。第一作者另要感謝中 央氣象局陳得松、黃康寧與王惠民及台灣 颱風洪水研究中心蕭玲鳳博士之協助與參 與。第四作者特別感謝國防大學環境資訊 及工程學系魏志憲教授、汪建良教授與大 氣科學研究所蔡明憲同學的全力協助始能 完成。

參考文獻

- 李清勝,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴 隨風雨預報技術之發展—子計畫:颱 風中尺度定量降雨預報技術之改進
 - (III),國家科學委員會研究報告, NSC98-2625-M-002-002,123頁。
- 何台華,2009,颱風路徑與侵臺颱風伴隨 風雨預報技術之發展—子計畫:臺灣 東南近海颱風受地形影響的中尺度結 構分析(I),國家科學委員會研究 報告,NSC97-2625-M-262-001,30 頁。
- 洪景山,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴隨 風雨預報技術之發展—子計畫:WRF 模式土壤過程之改進對登陸颱風之風 雨結構的影響(III),國家科學委 員會研究報告,NSC98-2625-M-052-004,37頁。
- 張保亮,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴 隨風雨預報技術之發展—子計畫:颱 風都卜勒速度觀測與地面風力關係 之研究及都卜勒風場反演之作業化 (III),國家科學委員會研究報告,

NSC 98-2625-M-052-005,21頁。

馮欽賜,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴 隨風雨預報技術之發展—子計畫:全 球數值模式於颱風路徑預報之應用與 發展(III),國家科學委員會研究 報告,NSC98-2625-M-052-002,38 頁。

葉天降,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴隨 風雨預報技術之發展—子計畫:建置 WRF模式於颱風預報作業應用之研究 (III),國家科學委員會研究報告,

NSC98-2625-M-052-008,93頁。

- 葉天降、李清勝、楊明仁、馮欽賜、張保 亮與何台華,2011a:颱風路徑與侵 臺颱風伴隨風雨預報技術之發展研究 2009年成果。氣象學報,48-3,43-58。
- 葉天降、李清勝、楊明仁、馮欽賜、張保 亮、洪景山與何台華,2011b:颱風 路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之 發展三年研究成果綜整。行政院國家 科學委員會補助專題研究計畫成果報 告,33頁。
- 楊明仁,2010:侵臺颱風伴隨風雨預報技 術之發展—子計畫:颱風豪雨及洪水 藕合預報技術之研究(Ⅲ),國科會 專題研究完整報告NSC 98-2625-Z-008-002,52頁。
- 鳳雷,2010,颱風路徑與侵臺颱風伴隨風 雨預報技術之發展—子計畫:颱風雷 達降雨氣候模式之研究(II),國家 科學委員會研究報告,NSC98-2625-M-492-001,40頁。

Some Findings on the Technique Development for Typhoon Track, Rainfall and Winds Forecast over Taiwan Area

¹T.-C. Yeh, ²C.-S Lee, ³M.-J. Yang, ⁴T.-H. Hor, ¹C.-T. Fong, ¹J.-S. Hong, ⁵L. Feng, ¹P.-L. Chang ¹Central Weather Bureau, ²National Taiwan University, ³National Central University ⁴Lunghwa University of Science and Technology ⁵Taiwan Typhoon and Flood Research Center

ABSTRACT

"The Forecast Technique Development Studies on the Typhoon Track, Rainfall and Winds Forecast over Taiwan Area" is one of the integrated research projects supported by the National Science Council aimed to improve the capability of typhoon forecasting and thus to reduce the damage losses from destructive typhoons. Tasks of the studies include: Doppler radar wind analysis and implementation of the wind analysis scheme into the Central Weather Bureau (CWB) operational environment, application and development of a global numerical model for typhoon track forecast, a study on the improvement of the typhoon mesoscale quantitative precipitation forecast, a study on the forecasting technique for coupling typhoon-associated heavy rainfall and severe flooding, a study on the improvement of the land data initialization and implementation of WRF typhoon forecasting component in the operational environment of CWB.

The results of the studies are fruitful, which include: a Doppler radar data control procedure with the dual Doppler radars wind analysis algorithm have been successfully generated at the CWB for operational use; the new physical processes and data assimilation system, GSI/NCEPS, of the CWB Global Forecast System have been created to improve typhoon track forecasts. The impacts of physical changes and observational data such as dropsondes and GPS RO data on track forecasts have also been explored. Land data assimilation system and a new version of WRF model, called TWRF, have been implanted at the CWB. To improve typhoon rainfall forecast, the typhoon rainfall forecast model has been advanced by using the satellite data-derived typhoon rainfall climate model, with the typhoon rainfall statistics model upgraded by using the satellite rainfall potential. In addition, a scheme to integrate rainfall into water flow simulation has also been developed and refined.

Key words:typhoon, typhoon rainfall forecast, typhoon track forecast, data assimilation, vortex relocation, dual Doppler radars analysis, typhoons accompanied by the northeasterly monsoon, water flow simulation, mesoscale conceptual model

氣象學報季刊 第50卷第1期 出版機關:交通部中央氣象局 地 址: 10048臺北市中正區公園路64號 聯絡電話: (02) 2349-1091 址: http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/cd/cd07mb/index.htm 網 發 行 人:辛在勤 出版年月:中華民國102年10月 創刊年月:中華民國44年3月 刊期频率:季刊 版次冊數:初版300冊 定 價:新臺幣200元 ÉP 刷 者: 財團法人伊甸社會福利基金會附設數位資料處理庇護工場 雷 話: (02) 2230-8002 展 售 地 點:五南文化廣場臺中總店,400臺中市中山路6號 電話: (04) 2226-0330 國家書店松江門市,10485臺北市中山區松江路209號1樓 電話: (02) 2518-0207

GPN: 2004400001

ISSN: 0255-5778

著作財產權屬交通部中央氣象局,著作人格權屬著作人。

本書保留所有權利。

欲利用本書全部或部分內容者,須徵求著作財產權人交通部中央氣象局同意或 書面授權。

 O All rights reserved. Any forms of using or quotation, part or all should be authorized by copyright holder Central Weather Bureau. Please contact with Central Weather Bureau.[Tel: (02) 2349-1091]

| Meteorological Bulletin | | | 中華郵政臺字第一八九行政院新聞局出版事業登 |
|--|--|------|-----------------------|
| es | | | 三號登記為第記證局版台誌字 |
| atraordinary Earthquake Series beneath the entral Mountain Range, Taiwan: An Example of near Seismicity on March 6, 2012 in Central Taiwan | Hsin-Chieh Pu Hong-Jia Chen Mei-Yi Ho Po-Yu Lin Sheng-Chung Su | (1) | 一類新聞紙類 |
| n Review of the Taiwan Seismicity in 2011 | Yi-Ting Lee Chun-Ta Chiu Li-Wen Hsu Mei-Yi Ho Chien-Hsin Chang Yih-Min Wu | (17) | 二 統 〇〇四 〇〇 |
| ssessment of the Climate Simulation Strengths and mitations of CWB Global Atmospheric eneral Circulation Model in the Two-tier CFSv2 | Ching-Teng Lee Mong-Ming Lu Jhy-Wen Hwu | (35) | |
| ome Findings on the Technique Development for phoon Track, Rainfall and Winds Forecast er Taiwan Area | TC. Yeh CS Lee MJ. Yang TH. Hor | (59) | |

C.-T. Fong J.-S. Hong L. Feng P.-L. Chang

(Quarter CONTEN Articles Extraordinary Earthquake Series beneath the Central Mountain Range, Taiwan: An Example Linear Seismicity on March 6, 2012 in Central An Review of the Taiwan Seismicity in 2011....

| | Mei-Yi Ho Chien-Hsin Chang Yih-Min Wu | |
|--|---|------|
| Assessment of the Climate Simulation Strengths and Limitations of CWB Global Atmospheric General Circulation Model in the Two-tier CFSv2 | . Ching-Teng Lee Mong-Ming Lu Jhy-Wen Hwu | (35) |
| Some Findings on the Technique Development for Typhoon Track, Rainfall and Winds Forecast | . TC. Yeh CS Lee | (59) |

over Taiwan Area





CENTRAL WEATHER BUREAU 64 Gongyuan Road, Taipei 10048 Taiwan, ROC

GPN: 2004400001 定價:新臺幣200元