

台灣北部地區局部環流特徵之初步模擬

廖杞昌 顧凱維

國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本研究利用 WRF (Weather Research and Forecast model) 數值模式在高解析度模擬上的優勢，模擬 2011 年 1~3 月逐日台灣中部以北的環流結構以及統計各項常用的氣象要素。了解 WRF 在台灣北部地區複雜地形下的模擬表現，藉以探討在不同的天氣系統下，局部環流是如何受到地形的影響。初步結果顯示，WRF 模式在使用了各項適合的物理參數設定後，可以在網格點解析度使用 1 公里的模擬中，獲得不錯的成效。大致而言，地面以及高空的各量場，WRF 數值模式除了 700hPa 以及 500hPa 的重力位高度略為偏高之外，其餘的量場如天氣系統的配置、風場以及等溫線的分布，結果都是可以信賴的。

關鍵字：WRF、局部環流

一、前言

台灣地處亞熱帶地區，四面環海，中央山脈縱貫南北，地勢高峻陡峭，成為天然屏障，地形的分佈頗具特色，更增加了局部氣象變化的複雜性。因此隨著不同的季節變化，局部環流的特徵決定了當地的天氣型態。

洪景山等(1996)進行 WRF 模式之敏感度測試中，指出不同邊界層參數法對模式預報誤差影響最顯著、積雲參數法次之、微物理參數法更次之，並建議應用 WRF 模式於東亞地區進行數值天氣預報時，主要的物理參數以 YSU + WSM5 + KF 為最佳的物理參數法組合。

在確認了 WRF 模式最適合的各種物理參數設定後，本研究進行了 2011 年 1~3 月逐日的模擬，一共 90 日，並由前一日 18UTC 開始模擬至當日 23UTC，每日模擬 30 小時，並捨棄前 6 小時資料以做計算，這種一連串短時間的模擬擁有多數個初始場，其模擬的結果已經被證實會優於僅有一個初始場之長時間連續模擬(Pan et al. 1999; Qian et al. 2003; Lo et al. 2008)，並且已逐漸被接受和應用(Conil and Hall 2006; Zagar et al. 2006)。而 WRF 數值模式在高解析度的模擬表現，近年已有多位學者進行小尺度單一個案的模擬或校驗(如 A. J. Litta et al. 2010; Pedro A. Jimenez et al.

2009)，均說明了 WRF 模式在模擬小尺度天氣系統的能力。

本研究期望藉著 WRF 模式在高解析模擬方面的優勢，模擬出 2011 年 1~3 月最接近真實狀況的北部地區局部環流，以探討在不同天氣系統影響下，地形對於主環流的影響，以及所造成局部環流的空間分布和各種局部環流特徵。

二、台灣地區 1~3 月綜觀天氣概述

1 月平均海平面氣壓場(圖 1.a)，大陸冷高壓勢力強盛，並較氣候平均值為強，並呈現南北走向，樣的高壓配置使得冷空氣更易往南移動；1020hPa 等壓線向南延伸至台灣南部。850hPa 月平均氣流場顯示台灣地區受到大陸內陸直接南下的西北氣流影響，導致溫度偏低，台灣北部地區之負距平已達 2°C 以上。

2 月平均海平面氣壓場(圖 1.b)，東亞地區為顯著負距平，1020hPa 等壓線位於長江口以南，較 1 月明顯偏北，顯示大陸冷高壓較偏弱。850hPa 月平均氣流場顯示台灣上方為一反氣旋距平。850hPa 溫度場顯示東亞大部分地區較氣候值偏暖 1°C 以上，台灣附近亦較氣候值略為偏暖。

3 月平均海平面氣壓場(圖 1.c)，大陸冷高壓勢力仍偏強，且冷空氣往南延伸的範圍廣，1020hPa 等壓

線向南延伸至華南及台灣北部附近，又較 2 月偏南許多，顯示北方大陸冷高壓勢力仍偏強。850hPa 平均氣流場以及溫度場則顯示台灣位於乾冷的西北氣流區，另外包含華南地區、台灣、日本以及韓國等地偏冷幅度已超過負距平 2°C。

三、統計資料分析

依據中央氣象局板橋探空資料，分析北部地區各量場的垂直分布。

1 月(圖 2)北部地區的主要氣流是東北季風，因此地面或近底層的風向大多為北向至東北向(360~090)，另外在高壓出海或高壓迴流的天氣型態亦會出現東風至東南風(090~120)，以上由地面系統所主宰的風向可向上延伸到 1500 公尺左右。距地面 1500~2500 公尺的方向分布並沒有任何規律性，顯示北部地區高空風向轉折的高度約在 1500~2500 不等。另外到了 3000 公尺以上的高空就屬於西風帶的影響，風向分布較為集中，均為西南風至西北風(240~300)。北部地區雖然受到大陸冷高壓影響，但近地面平均風速僅約 5m/s 以下，風速有隨著高度增加的現象，大約到了 1000 公尺，大部份的日期均有風速的最大值(最大約 16m/s)，但到了 1500~2000 公尺風速會下降到最低，該層也是風向最無規律分布的一層；到了 2000 公尺以上風速才又迅速增強。北部地區在大陸冷高壓影響下，地面氣溫大致分布在 8~17.4°C 之間，氣溫分布幅度 10°C；在距地面約 1500~2000 公尺之間，大多數的時間都有一逆溫層存在；另外，0°C 的分布高度大約距地面 3000 公尺，該層的逐日溫度分布幅度亦較小(-4.5~3.40°C)。

2 月(圖 3)北部地區雖仍受東北季風影響，地面風場分布範圍較大，但大部份的日期仍集中在 060~090、180~240。但從地面到 3000 公尺，風向的分布極無規律性，到了 3000 公尺以上才因為高空強勁的西風帶而使風向集中在西南風至西北風(230~310)。北部地區地面平均風速僅約 5m/s 以下，與 1 月份相似，風速有隨著高度增加的現象，但增幅較 1 月分為小，2000 公尺以下的風速均在 15m/s 以下；2000 公尺以上的風速隨著高度有顯著的增強，但

風速大小分布不均，在 5000 公尺的高空，風速從 10m/s 以下到 30m/s 以上都有。北部地區在 2 月氣溫明顯較 1 月回暖，地面氣溫大致分布在 10~18.9°C 之間；1500~2000 公尺之間的逆溫層現象較不明顯；另外，0°C 分布高度大約距地面 3000~3500 公尺，此高度較 1 月分(3000 公尺略高)。

3 月(圖 4)北部地區地面風場大致分布在 060~100 之間，但 2000 公尺以下的風場亦無規律性，幾乎各個風向都有。到了 2000 公尺以上受西風帶影響才逐漸集中在西北風(230~290)。3 月北部地區地面平均風速僅約 5m/s 以下，與 1 月及 2 月相似。風速隨著高度增加的現象亦沒有任何規律，逐日之間差異性較大。到了 2500 公尺以上，西風帶風速才顯著增強。3 月氣溫較 2 月略為回暖，最低溫 12°C(2 月最低溫為 10.3°C)，地面氣溫大致分布在 12~18.1°C 之間；逐日之逆溫層大約分布在 1500~2000 公尺之間；另外，0°C 分布高度約 3000~5000 公尺，並無一致性。

四、WRF 模式設定

本研究使用 WRF 3.1.2 版，使用 NCAR 每 6 小時之 NCEP Global Final Analysis (簡稱 FNL)做為模式的初始場進行模擬，空間解析度為 1.0°x1.0°；自 2011 年 1 月 1 日起至 3 月 31 日止，進行逐日模擬，一共模擬 90 日，每日積分開始時間為前一日 1800 UTC 起，至當日 2400 UTC 止。

網格設定是以 121.7°E、24.7°N 為中心的三層巢狀網格，Domain 1 (D1)範圍包含 110-135°E、15-35°N，網格解析度為 25 公里，網格數為 100x90；Domain 2 (D2)範圍包含 119-122.5°E、21.5-26°N，網格解析度為 5 公里，網格數為 101x101；Domain 3 (D3)範圍包含 120-122.25°E、24-25.5°N，網格解析度為 1 公里。

五、模擬結果與分析

本研究在確認 WRF 模式在 1~3 月冬季天氣系統之高解析模擬之結果為可信賴後，遂進行各項重要的氣象量場之計算，包括地面 10 米風場、海平面氣壓場、地面 2 米溫度場等，希望藉由 WRF 數值模式高

解析度之優勢，找出不同月份的東北季風會為台灣地區帶來甚麼樣的影響，以及台灣地區的環境場會有什麼樣的改變或特性。

1.地面 10 米風場(圖 5)：

分析 WRF 模擬之 1~3 月平均地面 10 米風場，在不受地形影響的區域，風場都是受到主要天氣系統的控制，雖然北部地區均為東北風，但 2 月的氣流較 1 月略為偏東，3 月的氣流又更較 2 月為偏東。

2.海平面氣壓場(圖 6)：

WRF 模擬 1~3 月平均海平面氣壓場，北部地區 1 月與 3 月的海平面氣壓值相近，以台北盆地而言，大約在 1020~1022hPa 之間，但 2 月較低，僅約 1017hPa，主要原因為 2 月的大陸冷高壓勢力較偏弱，而 1 月及 3 月大陸冷高壓勢力偏強。

3.地面 2 米溫度場(圖 7)：

由於 1 月份大陸冷高壓勢力旺盛，到了 2 月勢力減弱，因此由 1 月進入 2 月之後溫度呈現顯著的回升，但 WRF 模式並沒有因為 3 月大陸冷高壓勢力偏強而模擬出溫度偏低的現象。

由以上 1~3 點可以了解，今年 1 月台灣北部地區底層的環境場大致上較為單純，均為東北季風影響。為了解風場的垂直結構，本研究分析北部較具代表性的區域(25.23°N, 121.4~121.7°E, 以下稱區域 A)，以了解氣流與地形之間的關係。

首先分析區域 A 地面至 700hPa 的風場以及垂直速度(圖 8)，在近地面的風場大致上均為東北風，但進入 3 月之後風場較為偏東；並且在該區域的迎風面有顯著的上升運動，1 月的最大值約 0.4~0.6m/s，2、3 月約為 0.2m/s。其次分析該區域風場水平分量(u)以及 10 倍的垂直運動(w)之向量合(圖略)，發現該區域在迎風面的 w 分量相當有貢獻，顯示在東北季風影響下，氣流在水平向除了會有繞流的，在垂直向也會有越山的現象，這種氣流爬升的現象與東北季風的強度有關，東北氣流越強盛(如 1 月)，則氣流爬升的高度越高。

以上敘相同的方式分析宜蘭附近(24.7°N, 121.4~121.9°E, 以下稱區域 B)地面至 700hPa 的風場以及垂直速度(圖 9)，雖然均為東北風，但可以發現幾個特性，首先區域 B 的風速遠比區域 A 為弱，風速隨

著接近西部山區而有顯著減弱的趨勢，風速隨著高度略有降低。另外分析該區域 B 風場水平分量(u)以及 10 倍的垂直運動(w)之向量合(圖略)，發現該區域在迎風面的並不會隨著接近地形而有上升運動的分布，尤其是 1 月在宜蘭沿海(121.8°E)附近有一顯著的上升運動分布，高度約向上延伸到 850hPa，搭配該區域地面多為西向風場，所以在西側山區一直到沿海一帶，有一垂直次環流的分布，顯示該區域 850hPa 以下並不受東北季風影響，而是當地的地形決定了局部環流的分布。

六、結論

本研究首先探討了 WRF 數值模式在冬季 1~3 月台灣地區複雜地形的表現，發現在適當的物理參數設定下，WRF 模式除了 700hPa 的重力位高度略有高估之外(平均誤差約 30~60 公尺)，對於地面至 500hPa 的天氣系統的配置，模擬結果均良好。氣溫的模擬方面，WRF 模式對於台灣附近的溫度範圍並無顯著的誤差，另外在鋒面前緣所發生較高的溫度梯度，WRF 也均有模擬出來。另外由於 WRF 對於天氣系統的掌握度良好，所以風向的模擬也與實際分析場相符。

依據 WRF 數值模式高解析模擬的結果，進一步分析台灣北部局部環流的特性，可以發現台灣北部地區 2011 年 1~3 月的局部環流距有以下特徵，首先旺盛的東北氣流在 1 月時為北北東風，到了 3 月，東向分量增加，氣流走向較偏東北。

1~3 月的冬季大陸冷高壓的勢力旺盛，但大陸冷高壓是屬於較淺薄的天氣系統，其發展高度通常在 1500 公尺以下，對照模擬的結果，發現在 850hPa 的風速相當微弱，平均約 1~4m/s，顯示大陸冷高壓影響的高度確實僅到 850hPa 左右，以上則為西風帶的控制範圍。

東北季風與地形之間的關係，在平均地勢高 1200 公尺以下的台北地區附近，東北氣流除了會有水平向的繞流之外，亦會隨著迎風面的地勢而有爬升的現象，爬升的高度約 850hPa 以下。另外在宜蘭地區附近，由於地形較為複雜，所以當地的風場分布較不受主要天氣系統的控制，東北氣流近山區迎風面時，也不會有隨

著地形而爬升的現；大致上宜蘭附近的風場較北部微弱許多，並隨著接近山區以及高度的增加，風速有顯著的減弱；並且在 1 月份從西側山區至宜蘭沿海一帶，有一垂直次環流的分布，其發展高度約到 850hPa。

七、參考文獻

洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中, 1996：“WRF 模式之敏感度測試第一部分：探空測站上的校驗”,大氣科學,第 34 期 3 號,241-260。

簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎, 1996：“WRF 模式之敏感度測試第二部分：定量降水預報校驗”,大氣科學,第 34 期 3 號,261-276。

A. J. Litta, U. C. Mohanty, and S. C. Bhan, 2010:“Numerical simulation of a tornado over Ludhiana (India) using WRF-NMM model”. Meteorol. Appl. 17, 64-75.

Pedro A. Jimenez, J. Fidel Gonzalez-Rouco, Elena Garcia-Bustsmante, Jorge Navarro, Juan P. Montavez, Jordi Vila-Gueraud De Arellana, Jimmy

Dudhia, and Antonio Munoz-Roldan, 2009:“Surface Wind Regionalization over Complex Terrain: Evaluation and Analysis of a High-Resolution WRF Simulation”. Journal of Applied Meteorology and Climatology. Vol. 49, 268-286.

Hiroyuki Kusaka, Andrew Crook, Jimmy Dudhia, and Koji Wada, 2005:“Comparison of the WRF and MM5 Models for Simulation of Heavy Rainfall along the Baiu Front”. SOLA 2005-051. Vol. 1, 197-200.

William Y. Y. Cheng and W. James Steenburgh, 2005:“Evaluation of Surface Sensible Weather Forecasts by the WRF and the Eta Models over the Western United States”. WEATHER AND FORECASTING. Vol. 20, 812-821.

Xiao-Ming Hu, John W. Nielsen-Gammon, and Fuqing Zhang 2010:“Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model”. American Meteorological Society. Vol. 49, 1831-1844.

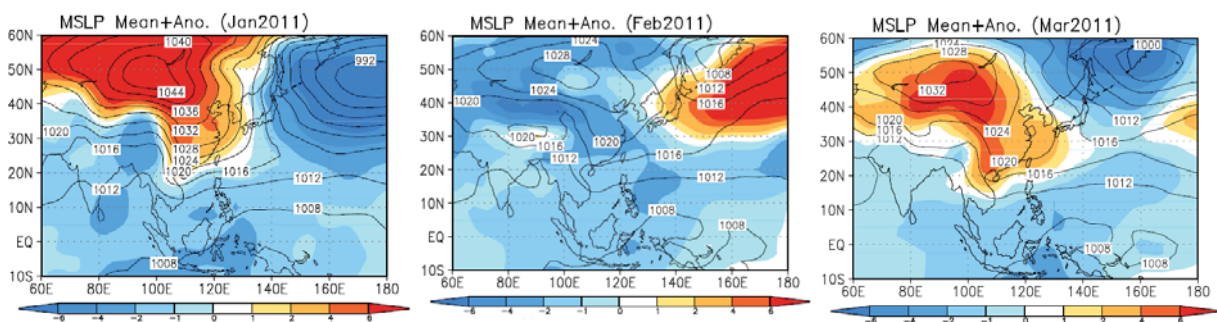


圖 1：2011 年 1-3 月平均地面氣壓場及距平圖。(中央氣象局網站)

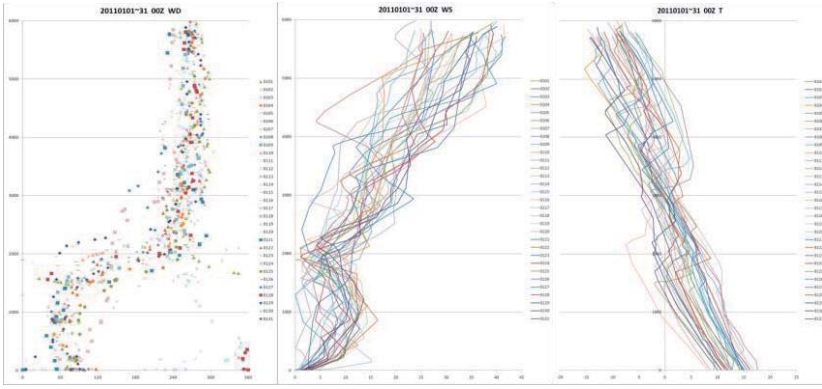


圖 2：2011 年 1 月板橋探空 00 UTC(a)逐日風向分布，(b)逐日風速分布，(c)逐日溫度分布。

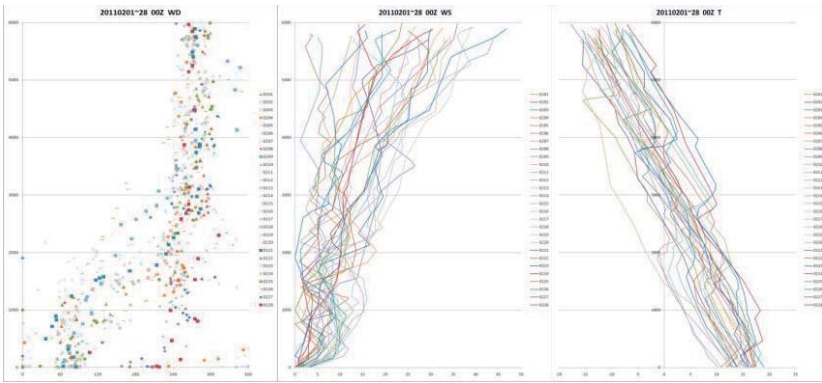


圖 3：2011 年 2 月板橋探空 00 UTC (a)逐日風向分布，(b)逐日風速分布，(c)逐日溫度分布。

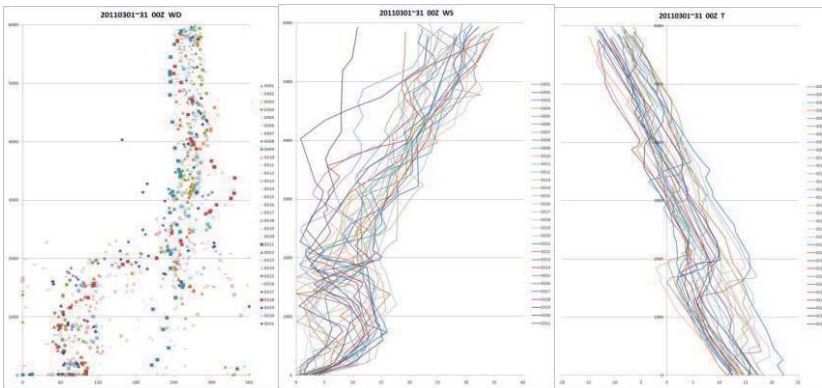


圖 4：2011 年 3 月板橋探空 00 UTC (a)逐日風向分布，(b)逐日風速分布，(c)逐日溫度分布。

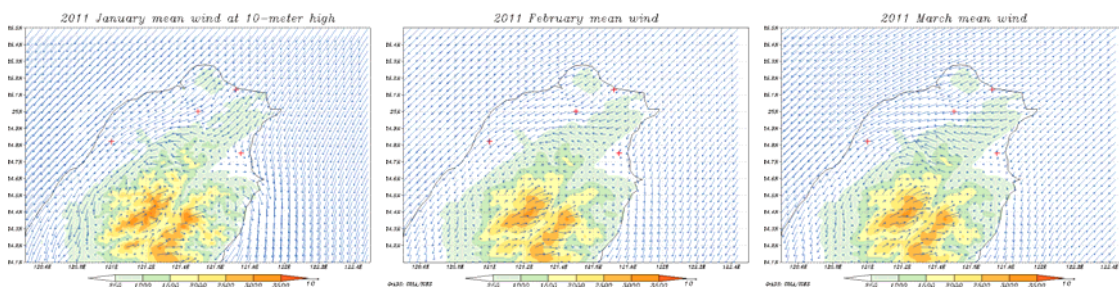


圖 5：WRF 模擬逐月平均地面 10 米風場，1 月(左)、2 月(中)及 3 月(右)

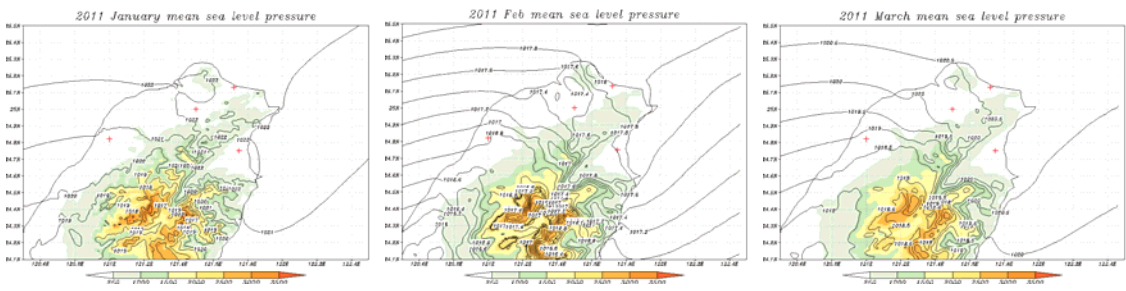


圖 6：WRF 模擬逐月平均海平面氣壓場，1月(左)、2月(中)及3月(右)

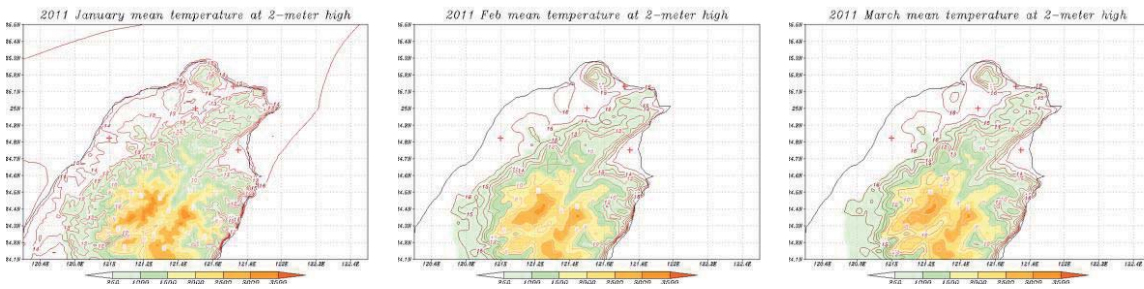


圖 7：WRF 模擬逐月平均地面 2 米溫度場，1月(左)、2月(中)及3月(右)

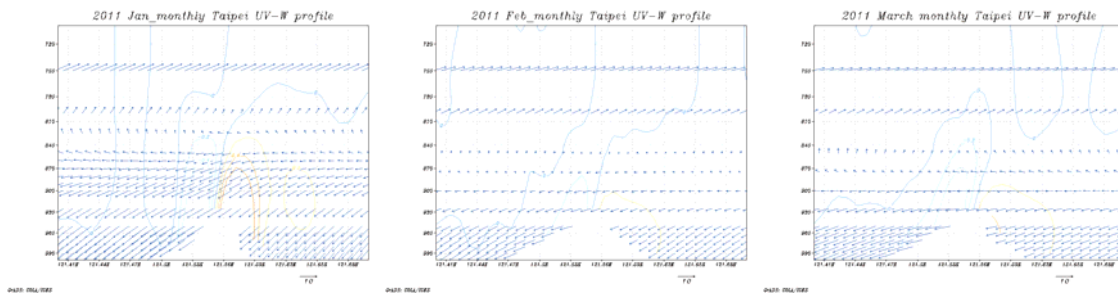


圖 8：WRF 模擬北部(25.23°N，121.4~121.7°E)逐月平均地面至 700hPa 風場(箭頭)與垂直速度(等值線)，1月(左)、2月(中)及3月(右)

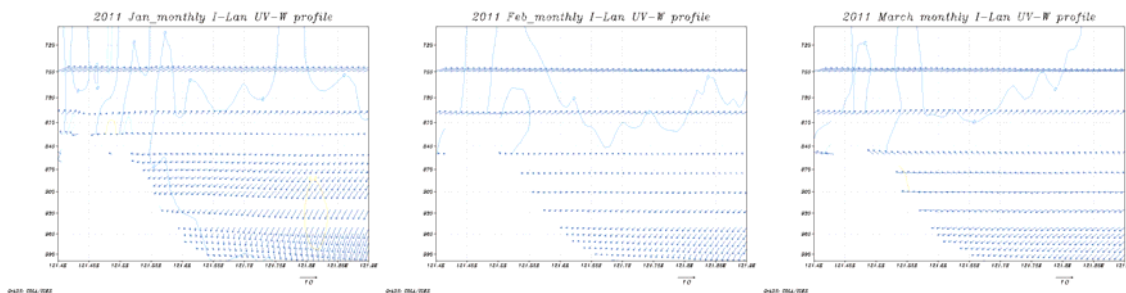


圖 9：WRF 模擬東部宜蘭地區(24.7°N，121.4~121.9°E)逐月平均地面至 700hPa 風場(箭頭)與垂直速度(等值線)，1月(左)、2月(中)及3月(右)