

台灣地形對寒潮爆發前緣冷空氣移行之研究

廖杞昌¹ 呂芳川¹ 江火明² 莊漢明³

1.國防大學中正理工學院應用物理所

2.中央大學大氣物理所

3.美國國家環境預報中心

摘要

本研究利用美國國家環境預報中心(NCEP)發展的巢狀區域波譜模式(RSM)及中尺度波譜模式(MSM),針對2001年台灣地區寒潮爆發個案(12月20日至22日)進行數值模擬研究,探討寒潮爆發時冷空氣前緣出海後再受到中央山脈地形阻擋時,其移行方向及結構的演變。

模式的模擬結果經由測站資料的校驗,顯示可以有效的掌握寒潮爆發前緣的時空分布。寒潮爆發前緣的冷空氣在尚未出海前,因受到高空槽加深的影響,使冷空氣先往南潰流,再緩慢向東移動,出海後,在台灣海峽上移近速率約12.5km/hr,厚度則為0.8km,風場切變位置與爆發軸一致,風向平行爆發軸線,當爆發前緣的冷空氣受到中央山脈地形阻擋時,厚度可以增加至1.5km。冷空氣受地形導引分成東西兩支,在山脈西側及台灣海峽上持續往南移行,移速約25km/hr;山脈東側因受到地形導引盛行偏北風,移動速度明顯較西側快,移速約50km/hr。

實驗組(NOTR)研究結果指出,中央山脈地形除了導引冷空氣往山脈兩側移行,更影響了風場的方向及大小;在沒有地形阻擋時,東北風可以延續至台灣海峽,使得西岸陸地上的寒潮爆發軸移速較有地形時快,海峽上則相對較慢,且 $\Delta\theta_v$ 的變化較大,若沒有中央山脈地形的效應,台灣本島的溫度會下降得更快且更低。

一、前言

台灣位處副熱帶地區,深受獨特的海陸分佈與複雜的地形影響,配合冬、夏季風環流的演變,天氣型態非常多樣化。冬季主要受北方西伯利亞大陸冷高壓週期性南下影響,以寒潮爆發的天氣型態對台灣影響最劇烈;當強烈冷高壓伴隨大規模強冷空氣南下影響台灣時,會使溫度在短時間內驟然下降、氣壓迅速上升及強烈的風場切變,易造成農漁畜牧業及民生等衝擊性的損害。

寒潮爆發時所帶來的強冷乾空氣,不易由衛星或雷達做預警觀測,因此要提昇預報準確度,有賴於模式的模擬。由於冷空氣的水平尺度甚廣,但垂直尺度非常小,溫度變率甚大,因此需要較高解析的模式才可解析,且台灣地形陡峭,更需高解析地形資料,才能準確預報局部天氣的變化。

Juang and Kanamitsu (1994) 建立美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction; NCEP)的有限區域波譜模式(Regional Spectral Model; RSM),採用傳統有限區域模式常用的地圖直角坐標與動量方程,改善邊界的處理以及模式的物理問題。Juang et al. (1997) 進一步發展改良RSM為具多重巢狀界面的區域波譜模式,邊界的處理以及模式的物理也作了些改進。Juang (2000a) 修正Juang (1992,1994) 的擾動法,可將大尺度的運動訊息傳進有限區域波譜模式全積分區域內,如此可以滿足非靜力波譜模式,使其在模式的結構與物

理更接近靜力波譜模式。Wang et al. (1997) 首次將NCEP的巢狀波譜模式引進太平洋地區的夏威夷群島,藉以改善當地現有的天氣預報模式,由於解析度的提高,可以有效的解析對流雲雨帶的分布,以及當地氣流場與島嶼複雜地形間所產生的交互作用。

Juang (2000b) 模擬南海季風實驗(South China Sea Monsoon Experiment, SCSMEX)5月15至20日個案,發現RSM模式對於綜觀天氣系統的掌握有不錯的表現。呂等(2003)以三重靜力的巢狀區域波譜模式為主體,嵌入一非靜力中尺度波譜模式(Mesoscale Spectral Model; MSM),建構一完整的四重大氣波譜預報模式,應用於東亞地區之天氣預報。結果顯示模式對綜觀尺度天氣系統的預報具有相當的準確性,且巢狀模組降尺度觀念可適當地應用大尺度訊息來預報區域性較小尺度的天氣現象,對不同尺度的天氣預報都有不錯的掌握能力。

任和蔡(1981)定義台灣地區之寒潮為:「冷鋒通過後,因大陸冷氣團南下,帶來冷空氣,使台北的最低氣溫連續下降兩天達4°C或以上者稱之為寒潮。下降度數在4.0-5.9°C之間者,稱為中寒潮;在6.0-7.9°C之間者,稱為強寒潮;在8.0°C或以上者,稱為極強寒潮。」如最低氣溫只下降一天,而下降溫度達到上述標準者,亦包括在內。

陳和林(1981)分析台灣北部地區寒潮爆發所伴隨冷鋒之中尺度氣象結構與天氣變化,發現除溫度

變化外，其餘各項氣象因子或天氣要素包括風、氣壓、露點、相當位溫、霧、霾、能見度、雲霧、降水、垂直風切等在鋒面過境前後均有明顯的改變；不同強度的寒潮之間易有顯著的差異。Chen et al. (2002) 分析東亞地區寒潮個案，其中利用高解 IR/VIS 衛星雲圖、日本地面分析圖及台灣地區地面測站資料，訂出逐時的寒潮鋒面位置。

過去寒潮的相關研究，受限於觀測資料的不足及空間網格解析的限制，皆著重於綜觀及大尺度的天氣分析，近年來由於數值預報及測站資料的增加，已有部分研究開始重視寒潮爆發期間，所引發的中、小尺度局部天氣變化，尤其在台灣地區，地理位置特殊加上地形陡峭，對寒潮爆發前緣的冷空氣移行有很大的影響，其移行的方向及速度，更直接影響台灣局部地區的天氣預報。

本文使用 NCEP 的有限區域波譜模式，並且於靜力的 RSM 中嵌入非靜力中尺度波譜模式 (MSM)，並依據任和蔡(1981)的寒潮定義，選定 2001 年 12 月 21 日台北測站 24 小時內溫度下降 7.9 °C，最低溫達 10.8°C 的強寒潮個案進行模擬分析。為了瞭解台灣地形對寒潮爆發前緣冷空氣移行的影響，本文另將台灣地形高度降低至 1 公尺 (實驗組 no-terrain; NOTR)，其餘模式所有參數及條件均相同。

二、模式簡介與資料處理

(一) 模式簡介

本研究所使用的模式為一巢狀區域波譜模式，預報變數以波譜函數表示，並將預報氣象變數分為基本場與擾動場，基本場可為全球模式或外重模組所提供的分析或預報資料，代表整個積分區域的大尺度運動，而擾動場是由區域波譜模式利用波譜函數的條件所計算而來的，為以正弦或餘弦級數所組成的二維 (水平) 波譜係數。

區域波譜模式中使用的數值方法，包括擾動法、四階水平擴散、隨時間變化的緩和邊界條件 (Time Dependent Relaxation Boundary Condition)、時間濾波器 (Time Filter) 及於動力與模式物理的運算後半隱式調整等。模式的物理過程 (Kanamitsu, 1989) 包括：輻射物理過程，為 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 發展的輻射參數化，包含隨日夜變化的長短波輻射、輻射與雲的交互作用、並考慮大氣中 CO₂、O₃ 及水汽對輻射的作用等；地表層和邊界層的物理過程，使用 Monin Obukhov 理論公式計算動量、水汽及可感熱通量和地表溫度分布等；重力波平滑，使用 GFDL 的技巧；非局部性的垂直擴散；Kuo-積雲參數化 (Kuo, 1965, 1974; Anthes, 1977)；淺雲參數化 (Tiedtke, 1983)；大尺度 (格點) 降水等物理參數化過程及水文過程。

(二) 資料來源及處理

本文以 NCEP 的有限區域波譜模式為架構，引進 Juang (2000a) 修正版的非靜力 MSM 模組，外二重模組為靜力的 RSM，最內重為非靜力的 MSM，模式積分範圍如圖 1. 所示，水平網格間距分別為 120 (RSMA)、30 (RSMC)、5 公里 (MSM)。垂直方向部分，RSM 模組採用隨地勢變化的 18 層 19 階 σ 坐標，MSM 模組為 28 層 29 階 σ 坐標，運算過程使用定差法，且 σ 層為固定。

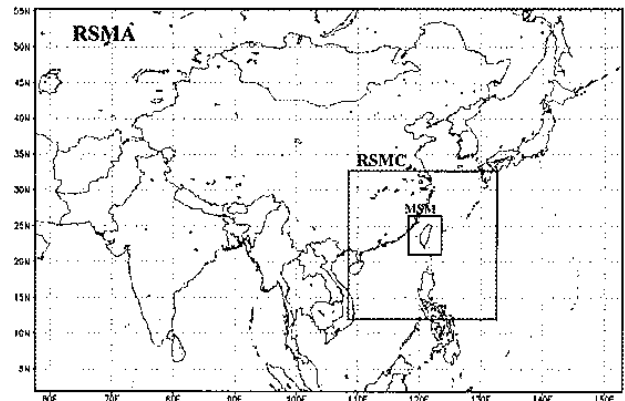


圖 1. 巢狀波譜模式積分的範圍。

在靜力 RSMA、C 模組中，使用郭氏積雲參數法，MSM 模組則使用三濕變數顯式雲物理模式，即將單一溼變數 q_v 轉換為三濕變數 q_v 、 q_{ci} 、 q_{rs} (水汽、雲滴、雨滴)，且不使用大尺度 (格點) 降水假設。

初始場資料採用中央氣象局全球波譜模式的分析場，從 12 月 20 日 0000UTC 開始模擬，每 12 小時再輸入分析場，作為 RSM 模組的基本場及邊界值，並未再經過初始化與資料同化處理。MSM 模組的初始場及預報基本值則由外重模組來給予，經計算擾動量後，加上外重模組的基本值，獲得新的預報值。模式輸出的預報場，RSMA 為每六小時輸出一次，RSMC 為每 3 小時輸出一次，MSM 則每小時輸出一次。在傳統觀測資料來源，利用中央氣象局衛星雲圖，了解綜觀天氣型態與雲系演變情況，此外還包括中央氣象局所屬地面的測站觀測資料及日本氣象廳天氣圖。

由於寒潮爆發期間，強冷的乾空氣由北向南潰流，造成地面溫度驟然下降，氣壓迅速上升，並有少量降水，所以利用測站或模式的資料計算 θ_v ，可以同時考量溫度、壓力及水汽的變化，因此本文利用虛位溫 (θ_v) 做為主要的分析因子，

$$T_v = (1 + 0.61 q) T$$

$$\theta_v = T_v \left(\frac{1000}{P} \right)^\kappa$$

$$\kappa = R / C_p$$

由台灣地區測站資料 (圖略) 可以明顯看到，

溫度及壓力有明顯的日夜變化，不容易直接由 θ_v 來看出寒潮爆發前緣位置，若由一小時的 θ_v 變化值 ($\Delta_{1hr} \theta_v$) 則較容易定出其前緣位置，因此本文定義 $\Delta_{1hr} \theta_v \leq -0.6K$ 的區域為寒潮爆發區(cold surge area)，爆發區的極值位置軸線稱為寒潮爆發軸(cold surge axis)，移行路徑前端則稱為寒潮爆發前緣(cold surge edge)。

三、天氣概述

12月20日0000UTC大陸冷高壓中心1058hPa位於北緯42°東經100°，500hPa長波槽位於東經110°附近，冷高壓勢力向東南方發展，台灣地區在此高壓外圍環流影響下，吹東北偏東風。1200UTC大陸冷高壓勢力持續向東南發展，華南地區氣壓梯度明顯增大，此時在日本地區形成一相對低壓區，500hPa長波槽則移至東經115°附近。21日0000UTC500hPa長波槽加深，並移至東經120°附近，使冷高壓勢力更強，而且日本附近已形成低壓中心1018hPa，使得華東及華南地區氣壓梯度增大，華南及台灣地區風速增強、溫度開始明顯下降。圖2為21日1200UTC中央氣象局地面分析場，顯示分裂高壓逐漸東移，日本附近的低壓下降至1012hPa，使得大陸華南沿岸及台灣地區吹強烈的東北風，風速大於15m/s。22日起分裂高壓勢力減弱，高壓中心並未出海，日本外海的低壓系統也逐漸遠離，500hPa的短槽則持續東移並減弱。

由台灣地區地面測站資料顯示，台灣西北部地區，受到夜間長波輻射影響，從21日00時(2100LST)開始地面溫度緩慢下降，2104LST溫度才開始快速下降，此時氣壓迅速上升，風向由東北風轉為北北東風，且風速明顯增強；圖3為2105LST中央氣象局衛星雲圖及地面測站資料合成圖，顯示此時台灣西北部雲層相當稀少，無法由雲層分布的位置來決定寒潮爆發前緣。台北測站地面溫度24小時內下降達7.9°C，2204LST達到最低10.8°C，2207LST嘉義測站地面溫度下降至10.6°C，隨時間增加越往南部的測站逐漸降溫，2112LST全台灣皆已受到寒潮冷空氣影響，到了2208LST時溫度才由北部開始逐漸回升。

四、模式預報結果與分析

由地面觀測資料可以看出寒潮爆發期間，強冷的乾空氣由北向南潰流，造成地面溫度驟然下降，氣壓迅速上升，並有少量降水，因此利用測站及模式資料計算 θ_v ，可以同時考量溫度、壓力及水汽的變化。圖4為12月20日1200UTC到22日0000UTC台北測站的虛位溫(空心圓曲線)與模式輸出相同位置的虛位溫時間序列圖(其它測站圖略)，結果顯示MSM模組可以有效解析台灣局部地區的虛位溫變化及掌握天氣系統的演進。

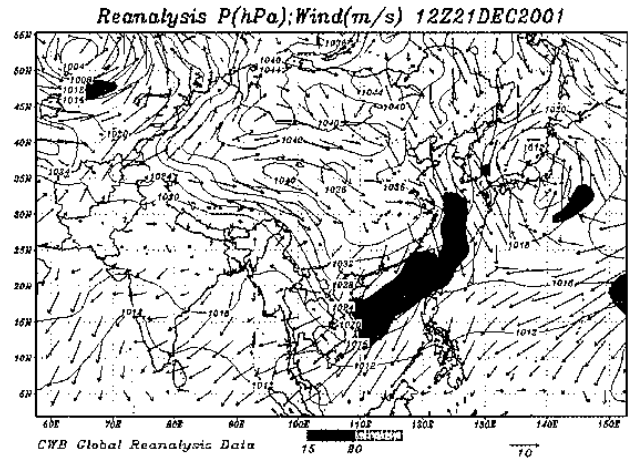


圖2. 2001年12月21日1200UTC中央氣象局地面分析場，實線為海平面氣壓(hPa)，陰影區為風速大於15m/s的區域。

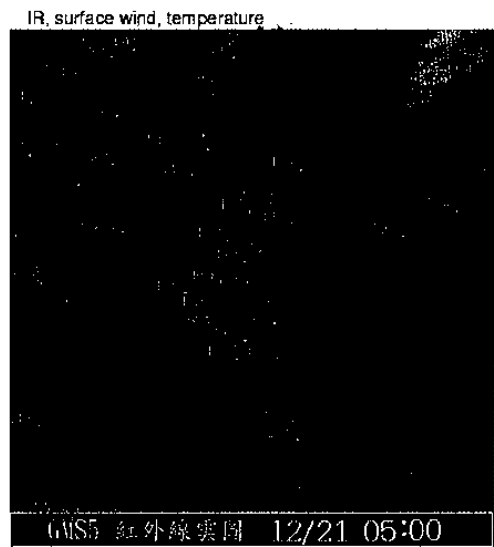


圖3. 2001年12月21日05LST中央氣象局衛星雲圖及地面測站資料合成圖，數值為地面溫度(°C)。(摘自中國文化大學大氣科學系網站)

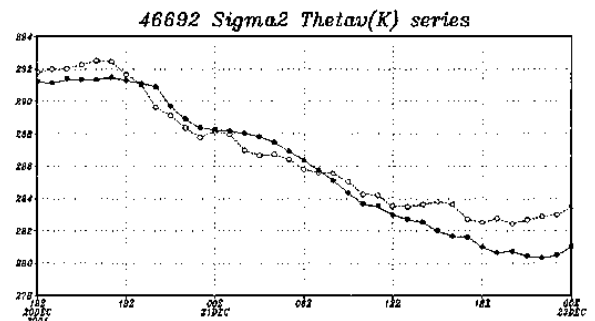


圖4. 虛位溫時間序列比較圖。空心圓曲線為12月20日1200UTC到22日0000UTC台北測站觀測資料計算值，實心圓曲線則為MSM模組輸出相同位置的計算值。

由於近地表的資料，易受日夜變化及海陸交界的影響，不容易直接由 θ_v 來定義寒潮爆發前緣位

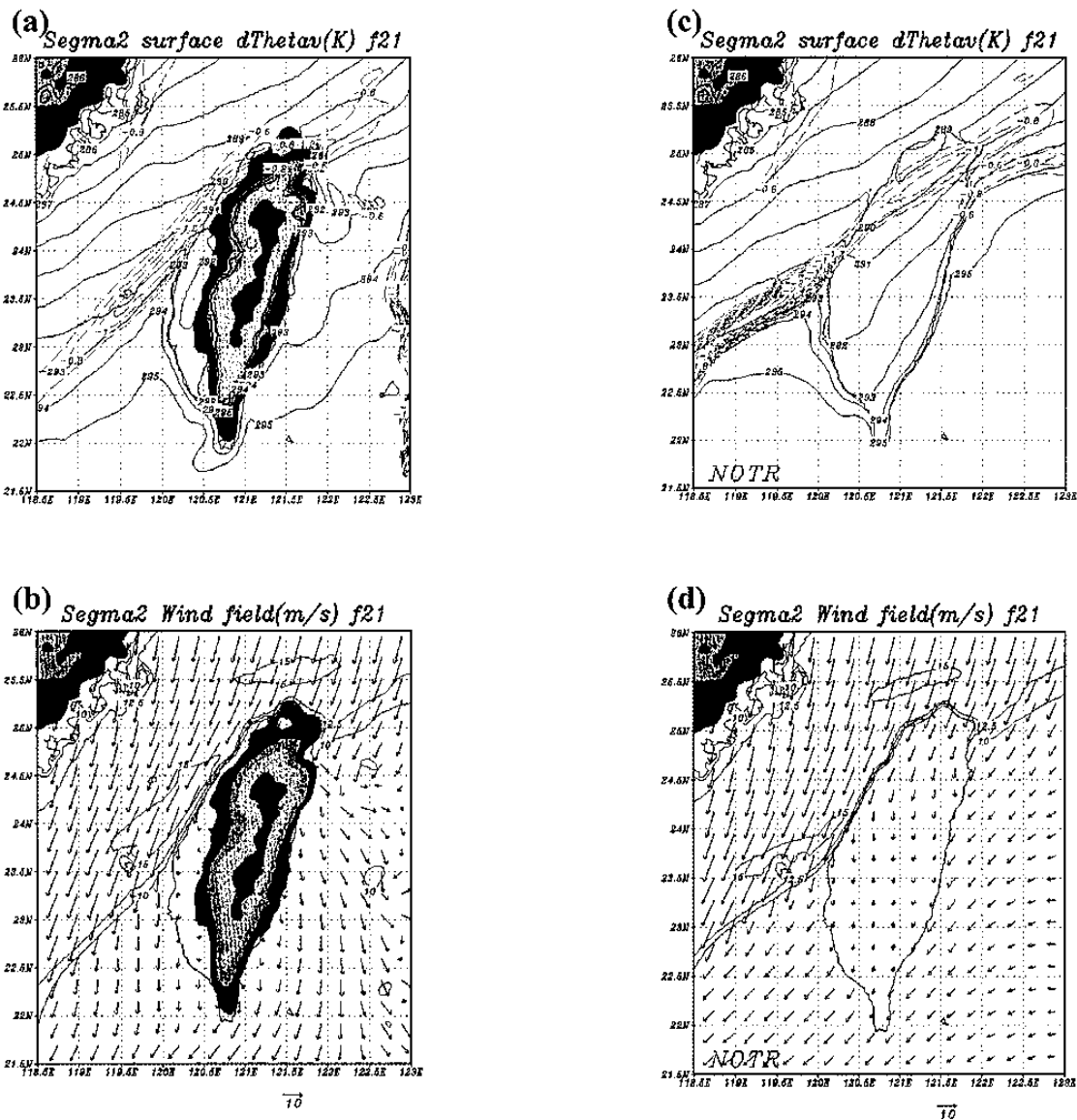


圖 5. MSM 模組第 21 小時輸出，(a)近地表面虛位溫及虛位溫變化值，實線為虛位溫(K)，虛線為 1 小時的虛位溫變化值 ($\leq -6K$)。 (b)近地表面風場，實線為大於 10m/s 的等風速線，間距為 5m/s。 (c),(d) 分別等同於(a),(b)但為 NOTR 之結果。

置，因此本文使用一小時的 θ_v 變化值 ($\Delta_{1hr} \theta_v$) 來定義寒潮爆發的相關位置。MSM 模擬結果顯示，寒潮爆發前，台灣陸地受到夜間長波輻射影響，已經開始降溫，模擬第 16 小時 (f16: 2100LST) 寒潮爆發區位於台灣海峽上，爆發區內風速明顯增強，風向也由東北風轉為北北東風 (圖略)；圖 5 為 MSM 模組 f21 (2105LST) 輸出，其中(a)為近地表面 θ_v 及 $\Delta_{1hr} \theta_v$ ，(b)為近地表面風場，(c),(d)分別等同於(a),(b)但為實驗組 NOTR 之結果，圖 5(a)顯示台灣中、南、東部平原地區 θ_v 值較海面上低，主要是受到夜間長波輻射影響，寒潮的冷空氣並未真正到達，此時寒潮爆發區位於台灣西北部沿岸及澎湖，其 $\Delta \theta_v$ 可達 $-1.2K$ ，寒潮爆發軸呈東北-西南走向，

和風場切變位置一致 (圖 5(b))，並與風向的交角深甚小近乎平行，且風速大於 15m/s；f24 (2108LST) 台灣山脈西側的寒潮爆發軸已經到達台中附近，風場仍吹北北東風，山脈東側則到達花蓮外海，但是風場與軸線的交角和西側明顯不同，風場吹偏北風並與寒潮爆發軸線近乎垂直；f28 (2112LST) 陸地上受短波輻射影響 θ_v 已逐漸回升，此時寒潮爆發軸已到達台灣南部地區， $\Delta \theta_v$ 的值明顯降低至 $-0.6K$ 。

圖 6 為 MSM 模組模擬之寒潮爆發軸線隨時間演進的位置圖，台灣海峽地區軸線呈東北-西南走向，位置由福建外海朝台灣西北部移近，速率約 12.5km/hr，風場切變位置與爆發軸一致，軸後吹北

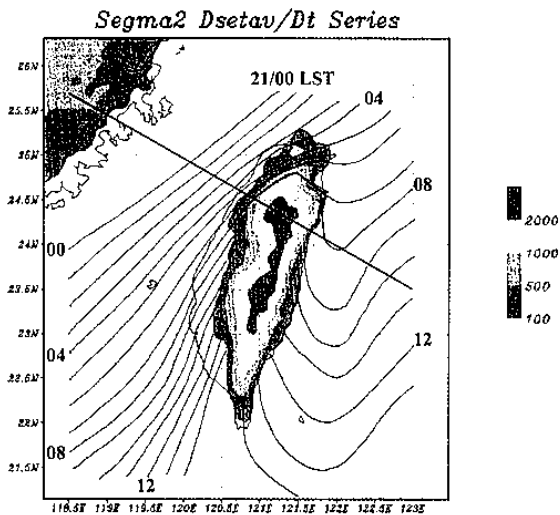


圖 6. MSM 模組模擬之寒潮爆發軸線演進位置圖。

細直線表示垂直剖面圖位置。

北東風，風向平行爆發軸線；當爆發前緣的冷空氣受到中央山脈地形阻擋時（2104LST），分成東西兩支，其結構及特性明顯不同。在山脈西側台灣海峽上的部分，風向持續吹北北東風，並受分裂高壓系統影響，冷空氣持續往南移行，移速約 25km/hr，並逐漸減慢；山脈東側因受到地形導引盛行偏北風，風速可達 20m/s，因此寒潮爆發前緣的冷空氣移動速度明顯較西側快，移速約達 50km/hr。

上述分析顯示，中央山脈地形對寒潮爆發前緣冷空氣的移行有導引的作用，為瞭解地形對冷空氣移行過程的其它效應，本文另設計一實驗組（NOTR），將台灣地形高度下降至 1 公尺，其餘模式所有參數及條件均相同。

實驗組（NOTR）模擬結果顯示，f16（2100LST）由於沒有中央山脈地形阻擋，東北風可以延續至台灣海峽，使得風場的切變線較接近大陸沿岸，並使冷暖空氣間的梯度變大（圖略）；f21（2105LST）（圖 5(c)）寒潮爆發軸的移速在西岸陸地上明顯較有地形時快，但在海上則相對較慢，且 $\Delta \theta_v$ 可達到 -2.4K，主要是由於前緣在台灣西北部時未受到地形阻擋，所以風速較大，風場維持東北風（圖 5(d)），而在海峽上則因為暖空氣區吹東北風，使得冷空氣南移速度相對較慢，並產生較大的 θ_v 梯度；f28（2112LST）爆發軸位於屏東及台東沿岸， $\Delta \theta_v$ 仍有 -1.0K，顯示如果沒有中央山脈的地形效應，台灣本島的溫度會下降得更快且更低。

由於寒潮前緣的冷空氣由福建外海朝台灣西北部移行（圖 6.），因此本文選取其移行路徑作一垂直剖面，探討寒潮爆發前緣區的垂直變化及結構。圖 7. 為 MSM 模組第 21 小時（2105LST）輸出之剖面圖，(a) 為 θ_v 及 T_v 的垂直分布，(b) 為等壓面上的實際風場及 $\Delta_{1hr} \theta_v$ 值，(c),(d) 分別等同於(a),(b) 但為實驗組 NOTR 之結果。在台灣海峽上，大陸冷氣團的前緣可以從 θ_v 及 T_v 明顯的交角位置及風場切變看

出（圖 7(a)），冷空氣約在 850hPa 以下，但是寒潮爆發區並不容易判別，若由 $\Delta \theta_v \leq -0.6K$ 的區域來判別（圖 7(b)），則可以清楚看出，此時寒潮爆發軸位於新竹沿岸，隨高度向西北傾斜， $\Delta \theta_v$ 可達 -1.4K，厚度約為 1.2km，且明顯位於風切線上；圖 8. 為 MSM 模組輸出之寒潮爆發軸線垂直剖面演進位置圖，2100LST 寒潮爆發區位於台灣海峽中線位置， $\Delta \theta_v$ 約 -0.8K，厚度約 0.8km，2104LST 爆發區已達新竹外海， $\Delta \theta_v$ 達到 -1.4K，厚度增加為 1.2km，2108LST 厚度增加至 1.5km， $\Delta \theta_v$ 則降為 -1.0K，主要由於冷空氣受到山脈阻擋，造成質量堆積，使得爆發軸線高度增加， $\Delta \theta_v$ 在接近台灣陸地時逐漸增大，過山後隨高度逐漸減小。

寒潮爆發軸在海峽上往南移時，可能受到海面增溫影響， $\Delta \theta_v$ 變化隨時間減小，厚度亦相對降低。在中央山脈東側也有類似情形，但是在花蓮附近厚度先由 1km 增加至 1.5km，之後再下降至 1km 以下。

實驗組（NOTR）垂直剖面顯示，f21(2105LST) 未受台灣山脈影響時，由 θ_v 及 T_v 的明顯交角位置看出，冷空氣可以到達東經 121.5 度附近（圖 7(c)），但從圖 7(d) $\Delta \theta_v$ 的變化看到寒潮爆發軸位於東經 121 度附近，位置明顯較有地形時往前移，且因未受地形阻擋，所以厚度並未增加。圖 7(b,d) 的風場顯示，在山脈西側靠近地形附近，受到地形影響，800hPa 以下的風速明顯較小，東岸也有類似情形，研究結果顯示，中央山脈地形對垂直風場有很重要的影響，而風場的風向及大小更直接影響寒潮爆發前緣冷空氣的移行。

五、結論

本研究利用美國國家環境預報中心（NCEP）發展的巢狀區域波譜模式（RSM）及中尺度波譜模式（MSM），針對 2001 年台灣地區寒潮爆發個案（12 月 20 日至 22 日）進行數值模擬研究，探討寒潮爆發時冷空氣前緣出海後再受到中央山脈地形阻擋時，其移行方向及結構的演變過程。

模式的模擬結果經由測站資料的校驗，顯示可以有效的掌握寒潮爆發前緣的時空分布。寒潮爆發前緣的冷空氣在尚未出海前，因受到高空槽加深的影響，使冷空氣先往南潰流，再緩慢向東移動，出海後，在台灣海峽上爆發軸線位置由福建外海朝台灣西北部移近，速率約 12.5km/hr，厚度則為 0.8km，風場切變位置與爆發軸一致，風向平行爆發軸線，而且越接近地形時， $\Delta \theta_v$ 的變化值越大，當爆發前緣的冷空氣受到中央山脈地形阻擋時，厚度可以增加至 1.5km。冷空氣受地形導引分成東西兩支，在山脈西側及台灣海峽上的部分，持續往南移行，風向吹北北東風，移速約 25km/hr；山脈東側因受到地形導引盛行偏北風，移動速度明顯較西側快，移速約

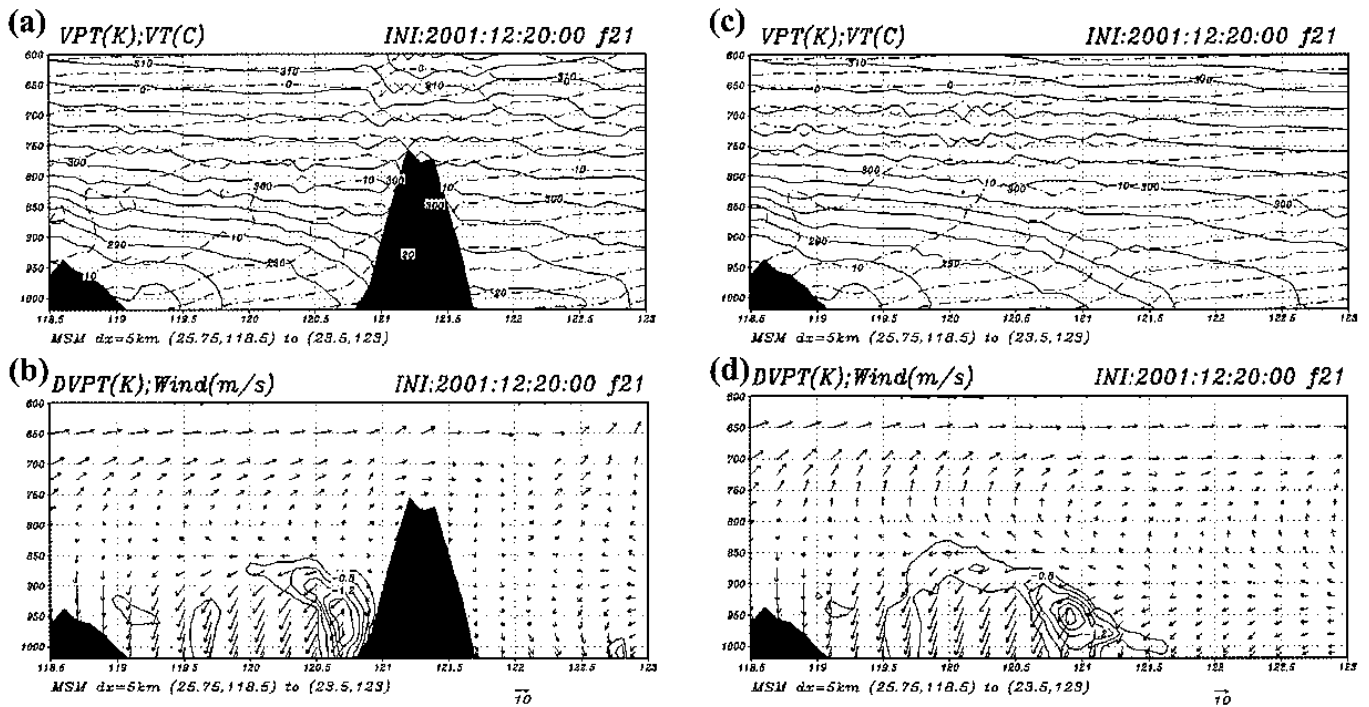


圖 7. MSM 模組第 21 小時輸出之剖面圖，(a)虛位溫及虛溫垂直分布，實線為虛位溫(K)，點虛線為虛溫 (°C)。(b) 等壓面實際風場及 1 小時的虛位溫變化值，風速大小參考圖下方之風標 (10m/s)，實線則為小於-6K 的虛位溫變化值。(c),(d)分別等同於(a),(b)但為 NOTR 之結果。

50km/hr。

實驗組 (NOTR) 研究結果指出，中央山脈地形除了導引冷空氣往山脈兩側移行，更影響了風場的方向及大小；在沒有地形阻擋時，東北風可以延續至台灣海峽，使得西岸陸地上的寒潮爆發軸移速較有地形時快，海峽上則相對較慢，且 $\Delta \theta$ 的變化較大，因此若沒有中央山脈地形的效應，台灣本島的溫度會下降得更快且更低。

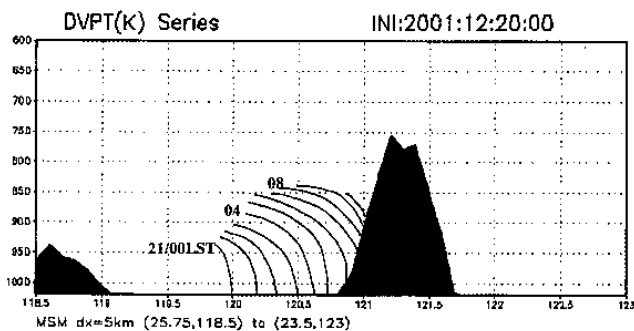


圖 8. MSM 模組輸出之寒潮爆發軸線垂直剖面演進位置圖。

參考文獻

- 任立渝、蔡清彥，1981：台灣地區寒潮合成天氣型式之研究，*大氣科學*，**8**，67-79。
- 呂芳川、蔡晉東、廖紀昌、莊漢明，2003：巢狀波譜模式在東亞地區天氣預報之研究，*氣象學報*，**45** 卷，1 期，1-22。
- 陳泰然、林銘作，1981：伴隨冬季寒潮爆發之冷鋒過境前後松山機場氣象條件與天氣現象之合成研究，*大氣科學*，**8**，53-65。

- Chen, T.-C., M.-C. Yen, W.-R. Huang, W.A.G. Jr, 2002: An East Asian Cold Surge, Case Study. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2271-2290.
- Juang, H.-M. H., 1992: A Spectral Fully Compressible Nonhydrostatic Mesoscale Model in Hydrostatic Sigma Coordinates: Formulation and Preliminary Results. *Meteor. Atmos. Phys.*, **50**, 75-88.
- Juang, H.-M. H., 1994: Testing the NMC Nonhydrostatic Spectral Model at Cloud Scale Resolutions. *Preprints, 10th Conf. On Numerical Weather Prediction, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc.*, 417-419.
- Juang, H.-M. H., M. Kanamitsu, 1994: The NMC Nested Regional Spectral Model. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 3-26.
- Juang, H.-M. H., S. Y. Hong, M. Kanamitsu, 1997: The NMC Regional Spectral Model: An Update. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2125-2143.
- Juang, H.-M., 2000a: The Nonhydrostatic NCEP Mesoscale Spectral Model: A Revised Version of the Regional Spectral Model. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2329-2362.
- Juang, H.-M. H., 2000b: The Sensitivity of Grid-Scale Precipitation by the NCEP RSM on a SCSMEX Case. *Workshop on Numerical Simulations of Precipitation in Taiwan Area*, Taoyuan, Taiwan, 15.
- Wang, J. J., H.-M. H. Juang, K. Kodama, S. Businger, Y.-L. Chen, J. Partain, 1997: Application of the NCEP Regional Spectral Model to Improve Mesoscale Weather Forecasts in Hawaii. *Weather and Forecasting*, **13**, 560-575.