

寒潮爆發期間台灣區域環流及武夷山地形 效應之研究

廖杞昌 呂芳川

國防大學理工學院環境資訊及工程學系

南榮技術學院資訊工程學系

摘 要

台灣位於大陸武夷山東南側，其天氣深受獨特的海陸分布與複雜的地形影響，當寒潮前緣冷空氣自大陸移出，勢必受到武夷山的影響。NCEP巢狀波譜模式模擬分析結果顯示，武夷山地形對寒潮局部天氣系統的影響，主要造成山前氣壓上升，山後溫度上升、氣壓下降，而風場則明顯受到武夷山導引，使台灣附近風向改變、風速增大。冬季期間台灣海峽及北部海域經常出現較強的東北風，主要是受到武夷山地形的導引所致。實驗組顯示，台灣海峽上的冷空氣前緣，因受大陸沿岸的風場影響，使得南移速率加快，而台灣東側則因風場減弱，使得前緣的南移速率減慢。寒潮爆發期間冷空氣南下時，如果沒有武夷山的屏障，會使台灣附近溫度梯度增大且溫度更低，相對地寒潮前緣區範圍及強度均增大，冷空氣厚度增加。

關鍵詞：寒潮、巢狀波譜模式、地形效應

一、前言

台灣位處中緯度副熱帶地區，深受獨特的海陸分佈與複雜的地形影響。冬季期間主要受北方西伯利亞大陸冷高壓南下影響，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時，氣溫在短時間內驟然下降、氣壓迅速上升及強烈的風場切變（Chang et al. 1983, Chen et al. 2002, Lu et al. 2007, 呂等 2003），經常造成農、漁、畜牧業及民生等衝擊性的損害。寒害的發生大都是在每年12月到翌年的3月期間，對於農業所造

成的損失平均1年約1.5億元左右，對於養殖漁業的損失也逐年增加。因此瞭解台灣附近的區域環流特性及中國大陸冷空氣的演進，可以提供寒潮爆發期間台灣局部地區天氣變化的預報參考，降低民生和經濟上的重大損失。

由於台灣位於大陸東南側，且華南存在一明顯地形－武夷山，長、寬約500公里，高度約1000公尺，當寒潮前緣冷空氣自大陸移出時，局部環流勢必受到武夷山的影響。洪(2002)使用MM5模式分析1998年梅雨季豪雨實驗個案，結果顯示梅雨鋒面在武夷山東側形成局部大

風區及冷舌結構，增加跨越鋒面方向的相當位溫梯度，有利於鋒生過程。Pierrehumber and Wyman (1985)曾利用理想化的鐘形地形探討氣流遇到地形時的可能反應，並提出許多無因次參數，供為尺度分析之用。結論指出對一個旋轉系統的流場而言，氣流對地形的反應在羅士培參數(Rossby Number) $Ro = U/fL > 1$ 時為垂直上傳的重力波， $Ro \sim 1$ 時為背風波， $Ro < 1$ 時則以地轉調節為主，其中 U 為地形上游的風速， f 為科氏參數， L 為地形的半山寬。當 $Ro \gg 1$ 時，地形的效應取決於山的高度，而當 $Ro \sim 1$ 時地形的效應取決於山的陡峭度，此時山的陡峭度可以用 Burger Number $B = hN/fL$ (Overland and Bond 1993,1995)來決定，其中 h 為地形高度， N 為垂直振盪頻率(Brunt-Väisälä Frequency)，當 $B \geq 1$ 時即可稱為陡峭。Sun et al. (1991)利用數值模擬研究台灣附近中尺度環流，結論指出 $Fr = U/Nh (\leq 0.5)$ 為估算中央山脈阻滯效應 (Blocking effect) 的重要參數，但是氣流的形式仍需根據山的形狀、環境的地貌和其他氣象參數而定。

武夷山地形的平均高度約 $h \sim 800$ m，半山寬 $L \sim 100$ km (洪2002)，科氏參數 $f \sim 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ，頻率 $N \sim 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，寒潮爆發期間，武夷山上游近地面風速約5 m/s，因此 $Ro \sim 0.5$ ， $Fr \sim 0.625$ ， $B \sim 0.8$ ，上述參數顯示武夷山地形會對大陸上移出的冷空氣形成阻擋效應。本文主要探討寒潮爆發期間台灣附近的區域環流特性，因此選擇一典型的寒潮個案進行分析研究，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，並分析大陸武夷山的地形效應，藉以瞭解其對冷空氣移行的影響，提供寒潮爆發期間台灣局部地區天氣變化的預報參考。

二、模式設定與分析方法

區域波譜模式具有相當多元的特性，例如，Hong et al. (1999)表示，區域波譜模式具有很好的側邊界地形處理及擾動法計算方式，能有效縮小積分範圍及提高解析度。另外，由於模式採取「降尺度」(Down Scaling)的預報方法，隨著預報模組空間解析度的提高，較小尺度的天氣系統就能夠被解析出來。Wang et al. (1997)將美國國家環境預報中心(National Center for Environmental Prediction; NCEP)的巢狀區域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。Lu et al. (2007)利用觀測資料，結合巢狀區域波譜模式，分析寒潮爆發時冷空氣前緣受台灣地形影響時，其局部環流及移行方向的演變過程，並利用 $\Delta_{in}\theta_0$ 定義寒潮爆發前緣的時空位置，藉以探討前緣的局部特性。

本文結合美國國家環境預報中心(NCEP)的大氣區域波譜預報模式(RSM)和非靜力的中尺度波譜模式(MSM)，建構完整的巢狀區域波譜模式架構(圖1)，並透過精進調整模式的相關設定，例如：網格的水平及垂直解析、地形高度的解析和水平擴散的計算等(Lu et al. 2007)，藉以提高模式的預報準確度。初始場資料採用中央

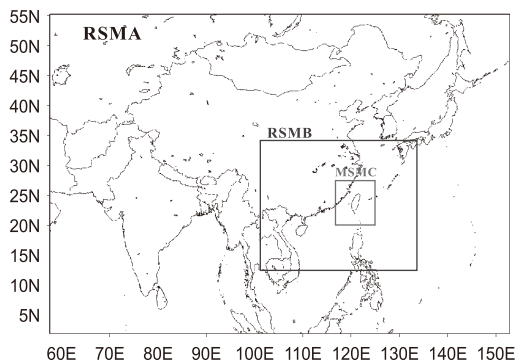


圖1. 巢狀區域波譜模式積分空間範圍

Fig. 1. The area for the integration of nested regional spectral model.

氣象局全球波譜模式的分析場(T79)，從12月20日0000UTC開始進行模擬，並提供每12小時的全球模式分析場，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6小時輸出1次，RSMB為每3小時輸出1次，MSM則每小時輸出1次。各模組所使用的時間、空間解析設計如表1，所使用的物理過程（Kanamitsu 1989, Hong et al., 1998），如表2，與Lu et al.(2007)所設定的完全相同。

為進一步探討大陸武夷山的地形對寒潮爆發前緣冷空氣的環流特性及移行之影響，本文利用巢狀區域波譜模式進行模擬實驗，即移除大陸武夷山地形(NOWI)，及台灣山脈地形(NOTW)，將各模組網格的武夷山地形及台灣山脈地形高度，各別降為1公尺，並保留模式中原有的海陸分布、地表參數及其他模式相關參數設定，

藉以比較了解實際的地形所造成的效應，進而探討武夷山地形對寒潮爆發期間，其前緣冷空氣強度演進及台灣附近局部環流特性的影響。

三、區域環流特徵之模擬分析

東亞地區的寒潮冷空氣源自於北冰洋洋面，冷空氣南下後，在西伯利亞中部附近聚集並加強，形成極地冷高壓，配合中對流層之槽、脊系統的發展，促使寒潮爆發。亞洲全區(RSMA)的模擬結果顯示(圖2)，RSMA模組可以有效地掌握寒潮爆發期間大範圍的天氣系統，例如：東北地區的冷心位置、大陸冷高壓系統的發展和華南附近高壓前緣的強風區，綜觀環境配置與Suda(1959)及Chen et al.(2002)所提出之研究結果相同，顯示此天氣系統為一典型的寒潮爆發個案。東南亞地區(RSMB)模擬結果顯示(圖3)，20日18Z位於大陸冷高壓外圍的華南地區，由於受到大陸武夷山地形影響，有明顯的氣壓梯度存在，使得台灣海峽上出現大於15 m/s的強風，由測站資料(Lu et al. 2007, 圖5b)顯示，此時寒潮前緣冷空氣尚未抵達台灣；21日00Z大陸冷高壓勢力向東南發展，使台灣北部地區開始出現明顯的氣壓梯度，且台灣海域風速逐漸增強，溫度亦持續下降；21日06Z冷空氣明顯受到台灣地形導引作用，台灣東、西兩側有明顯的冷平流，且在台灣東部海域出現較強的偏北風；21日12Z台灣全島皆受到寒潮前緣冷空氣的影響，風速皆在15 m/s以上。

許多研究均指出台灣地形對局部天氣變化有很大的影響，例如Sun et al. 1991

表1. 巢狀區域波譜模式時間、空間解析設計

Table 1. The temporal and spatial designs of the nested regional spectral model.

模組	RSMA	RSMB	MSMC
積分範圍	58°E – 152°E 2°N – 55°N	100°E – 132°E 12°N – 33°N	118°E – 123.5°E 21°N – 26.5°N
網格數 (X×Y)	81 × 55	81 × 79	108 × 115
網格間距	約120公里	約30公里	約5公里
垂直網格	18層19階	18層19階	28層29階
積分時間間距	240秒	60秒	20秒
地形解析	5分 (~10km)	5分 (~10km)	30秒 (~1km)

表2. 靜力RSMA、RSMB模組與非靜力MSMC模組物理過程

Table 2. The physical process of RSMA and RSMB hydrostatic module, and MSMC non-hydrostatic module.

模組	輻射 物理	淺雲 參數化	水文 過程	地表邊界 層物理	重力波平滑 垂直擴散	郭氏積雲 參數化	大尺度(格點) 降水	顯式雲物理 (3Cloud)
RSMA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
RSMB	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
MSMC	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓

及Chen and Hui 1990等。由於冬季低、中對流層環流有明顯的不同，且寒潮爆發期間由於強烈冷空氣南下，受到地形作用影響，進而產生局部的環流變化。為有效探討寒潮爆發前緣冷空氣抵達台灣地區時之局部環流特性，本文將針對5 km水平網格間距的MSMC模組模擬垂直流場結構，進行分析與討論。圖4為三維空間流線場時間序列圖，顏色表示風速值。模擬結果皆顯示，寒潮前緣尚未抵達前(20/20LST)近地面(1000 hPa)受到大陸高壓外圍環流影響，盛行東北風，受到台灣地形阻擋時($Fr \sim 0.75$)，氣流形成明顯分流，並在台灣西北及東南海域形成較大的風速，此一

現象可由白努力定律解釋。940 hPa盛行風向略轉為東北東，台灣海峽北部由於氣流輻合效應，風速明顯增大，台灣西部則在中央山脈屏障之下風速相當微弱。850 hPa附近綜觀環境場相當微弱，在台灣東側盛行微弱東風，西側受地形繞流影響，在台灣海峽中部形成一微弱的中尺度氣旋，在台南外海形成一微弱反氣旋。750 hPa以上由於受到長波槽影響，風向完全改變，與台灣東側微弱東風輻合向北，且風速增強。500 hPa則完全受到西風氣流主導，風速大於20 m/s。寒潮爆發初期(21/00LST-21/04LST)，由於冷空氣由北向南快速傳送，近地面層(1000~940 hPa)

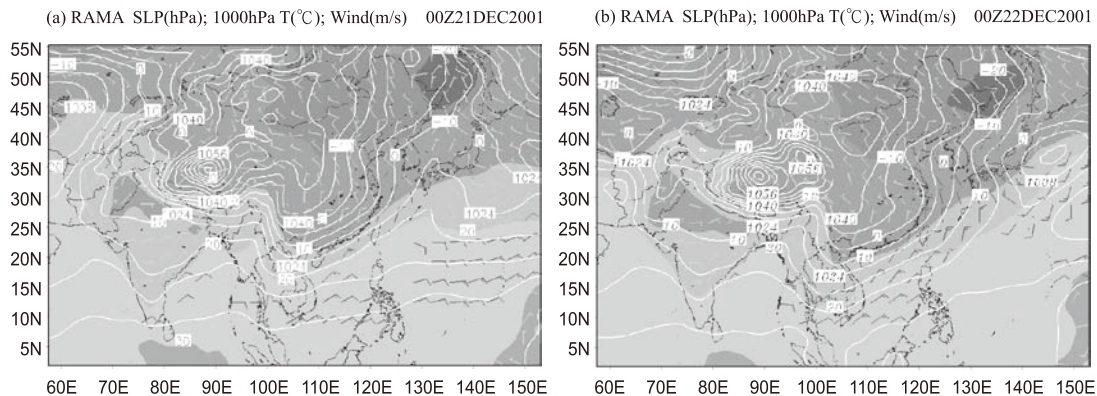


圖2. 巢狀區域波譜模式RSMA模組之近地面分析圖：(a) 2001年12月21日00Z，(b) 22日00Z。白色實線為海平面氣壓(hPa)，間距為4 hPa；色階為1000 hPa溫度場，間距為10°C；風標表示1000 hPa風場，全風標代表10m/s

Fig. 2. The surface analysis for the RSMA module of nested regional spectral model. (a) 00 Z 21 Dec. 2001. (b) 00 Z 22 Dec. 2001. The white line stands for sea surface pressure (hPa) with interval of 4 hPa. The shaded is the temperature at 1000 hPa level with interval of 10°C. The wind bar shows the wind field at 1000 hPa level. The full bar is 10 ms⁻¹.

風向由東北逐漸轉為偏北風，且風速迅速增大，特別在冷空氣前緣通過後；其中又以台灣西側台中海外海及台灣東側宜蘭海外海風速最強，其主要原因為氣流受地形分流時，在兩側形成氣流輻合，導致流速加快。850 hPa為冷、暖氣團交界位置，初期海峽北部的暖空氣，受到低層冷空氣抬升及東風氣流影響，向西北方移行，鋒面位置上的氣旋，隨著鋒面向東南移動；到了21/08LST冷空氣逐漸南下，厚度亦增加，使得850 hPa亦受冷空氣影響，盛行東北風。750 hPa以上因長波槽加深，使西風勢力持續增強，相對地500 hPa的噴流南移，使風速增強。

上述模式模擬分析結果顯示，當冷氣團前緣到達華南沿海附近時，由於中緯度氣壓梯度增加，使得北風分量增強，將冷

空氣由北向南輸送，使南北溫度梯度增大；經地轉調節過程，使得水平氣壓梯度增加，風速持續加強，驅使冷空氣持續向南侵襲。垂直流場結構顯示，冬季台灣附近中、低對流層間環流場的明顯不同；寒潮爆發初期，低層主要受到大陸高壓外圍環流影響，盛行北至東北風，由於受到中央山脈阻擋，形成明顯的分流；850 hPa附近風向轉為較微弱的東風，同樣受到山脈的影響形成繞流，在台灣南、北端海域形成較大的風，並在海峽上空形成微弱的中尺度渦旋；750 hPa開始受到長波槽影響，盛行微弱西風，此一高度已不受地形影響；500 hPa以上則完全受到西風氣流主導。寒潮爆發期間，近地面層風向由東北轉為偏北風，且風速迅速增大，並在台灣東、西側沿岸形成強風；850 hPa為

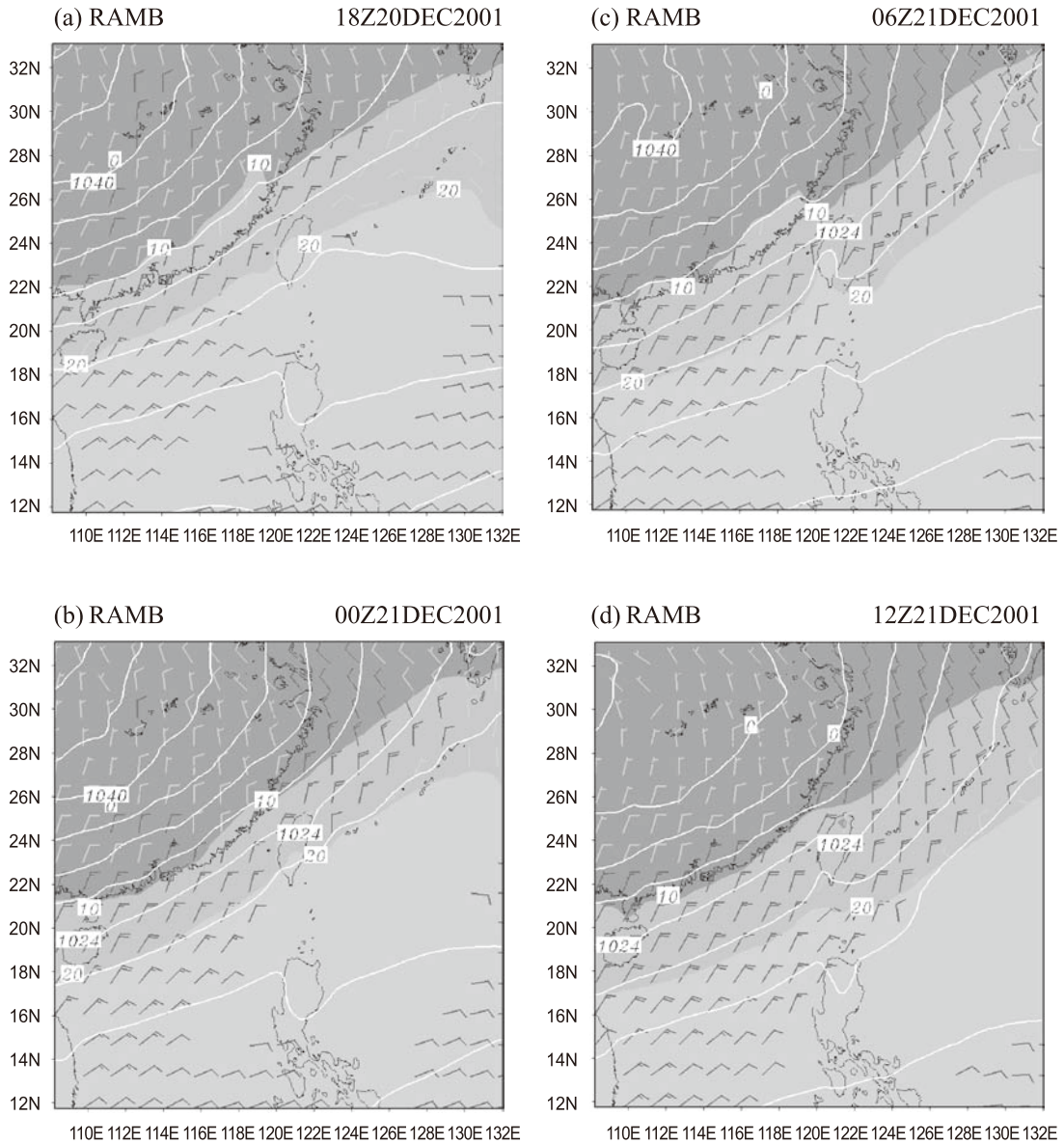


圖3. 巢狀區域波譜模式RSMB模組之近地面分析圖：(a) 2001年12月20日18Z，(b) 21日00Z，(c) 21日06Z，(d) 21日12Z。白色實線為海平面氣壓(hPa)，間距為4 hPa；色階為1000 hPa溫度場，間距為10°C；風標表示1000 hPa風場，全風標代表10m/s

Fig. 3. The surface analysis for the RSMB module of nested regional spectral model. (a) 18 Z 20 Dec. 2001. (b) 06 Z 21 Dec. 2001 and (c) 12 Z 21 Dec. 2001. The white line stands for sea surface pressure (hPa) with interval of 4 hPa. The shaded is the temperature at 1000 hPa level with interval of 10°C. The wind bar shows the wind field at 1000 hPa level. The full bar is 10 ms⁻¹.

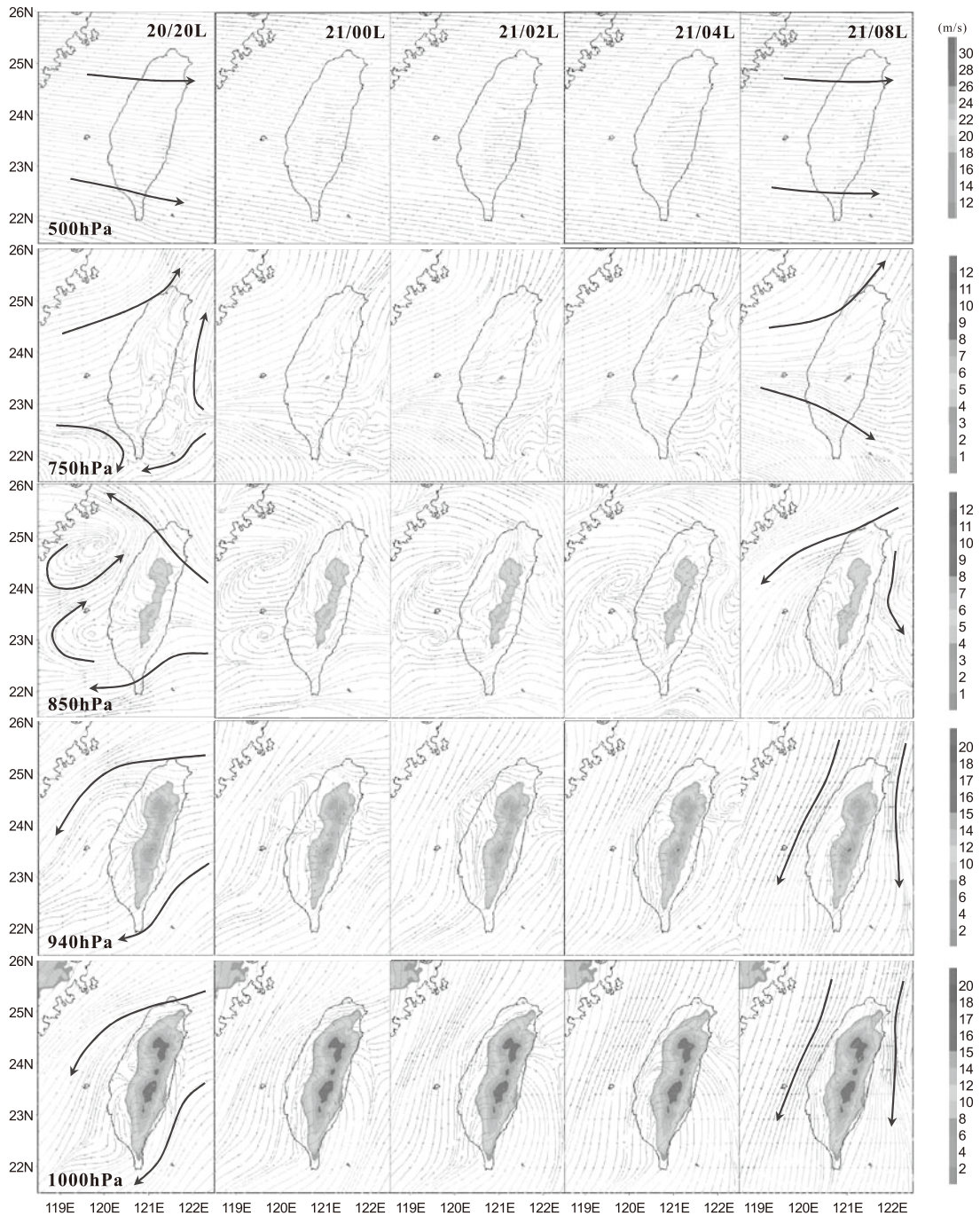


圖4. MSMC模組模擬2001年12月20日20LST至21日08LST之三維空間流線場時間序列圖。粗箭頭指示主要流場方向；流線色階表示風速值(m/s)，色階如圖右所示

Fig. 4. The time sequential of the 3-D stream line simulated by MSMC model for the period from 20 LST 20 to 08 LST 21 Dec. 2001. The bold arrow represents the main direction of stream line. The shaded lines stands for wind speed (m/s) with color bar at the right panel.

冷、暖氣團交界位置，隨鋒面南移時，因冷空氣厚度增加，使850 hPa亦受冷空氣影響，盛行東北風。750 hPa以上因長波槽加深，且高層噴流南移，使西風增強。

四、武夷山地形效應

為了解武夷山地形在寒潮爆發期間，對台灣附近局部環流特性的影響，將透過實驗組與控制組的比較分析討論。圖5為RSMB模組控制組與NOWI、NOTW實驗組1000 hPa差異圖，其中虛線為氣壓差(hPa)，實線為溫度差(K)，細箭頭為控制組風場，粗箭頭為實驗組風場(m/s)，灰階顯示地形高度差。圖5a顯示冷空氣抵達台灣前(21日00Z)武夷山的影響，在山前氣壓上升約1hPa，山後溫度上升約2-4°C、氣壓則下降約2hPa；風場則明顯受到武夷山導引，使台灣海峽附近風場偏東北風、風速增大，明顯受到峽管效應影響。圖5b為冷空氣壟罩台灣後(22日00Z)武夷山的影響，在山前氣壓上升約2hPa，山後溫度上升仍約2-4°C、氣壓下降約2hPa，但是範圍擴大，風場則持續受到峽管效應，使台灣海峽附近吹東北風。圖5c,d顯示寒潮期間受到台灣地形的阻擋時，台灣西部區域的氣壓下降約1hPa，溫度則上升約2°C以上，台灣海峽上的風場則沒有顯著的差異。上述分析比較說明了大陸武夷山，確實會對氣壓、溫度及風場造成局部區域的影響，特別是風場的改變，更影響寒潮爆發前緣冷空氣的發展及移行，因此更進一步地探討武夷山對寒潮爆發期間對台灣附近局部環流特性的影響。

圖6為MSMC模組之控制組和

NOWI、NOTW實驗組近地面風場的比較圖，其中只顯示風速差異大於1 m/s的風場，細箭頭為控制組風場，粗箭頭為實驗組風場。圖6a,b顯示在鋒面通過前後，缺少武夷山的影響時，風場的主要差異發生在台灣海峽上，風場明顯偏北風，且風速較小；圖6c,d顯示在缺少台灣地形的影響時，風場的主要差異發生在台灣週邊海域，但是台灣海峽上的風場則無顯著的差異。比較結果指出武夷山地形對台灣海峽上的風場影響明顯較大，因此在冬季期間台灣海峽及北部海域經常出現較強的東北風，主要是受到武夷山地形的導引所致。

由於在寒潮爆發期間，強冷的乾空氣由北向南潰流時，會造成地面溫度下降，氣壓上升現象，並且在海面及陸地的迎風面有較潮濕的空氣，所以利用模式的資料計算虛位溫(θ_v)及其變化($\Delta\theta_v$)，可以同時考量溫度、氣壓及水汽的變化趨勢，藉以探討寒潮前緣特性與其演進。21日02時(2102LST)寒潮爆發前緣位於台灣海峽上，在大陸冷高壓向東南發展的影響下，台灣海峽上氣壓明顯的逐漸上升，氣壓梯度增大，並有一明顯的風場切變線，切變線後方吹北北東風，風速大於10 m/s，切變線後方有明顯的水平虛位溫梯度，顯示海峽上有一鋒面存在，亦即為大陸冷氣團前緣所在(呂和廖2005)。圖7為21日06時控制組與實驗組MSMC模組模擬之近地面風場、虛位溫和虛位溫變率。將實驗組與控制組比較顯示，在沒有武夷山的屏障下，寒潮爆發前緣區($\Delta\theta_v \leq -0.6$ K)的長軸位置明顯不同，台灣附近溫度梯度增大(圖7c)且溫度更低，冷空氣前緣南移速度也較快；

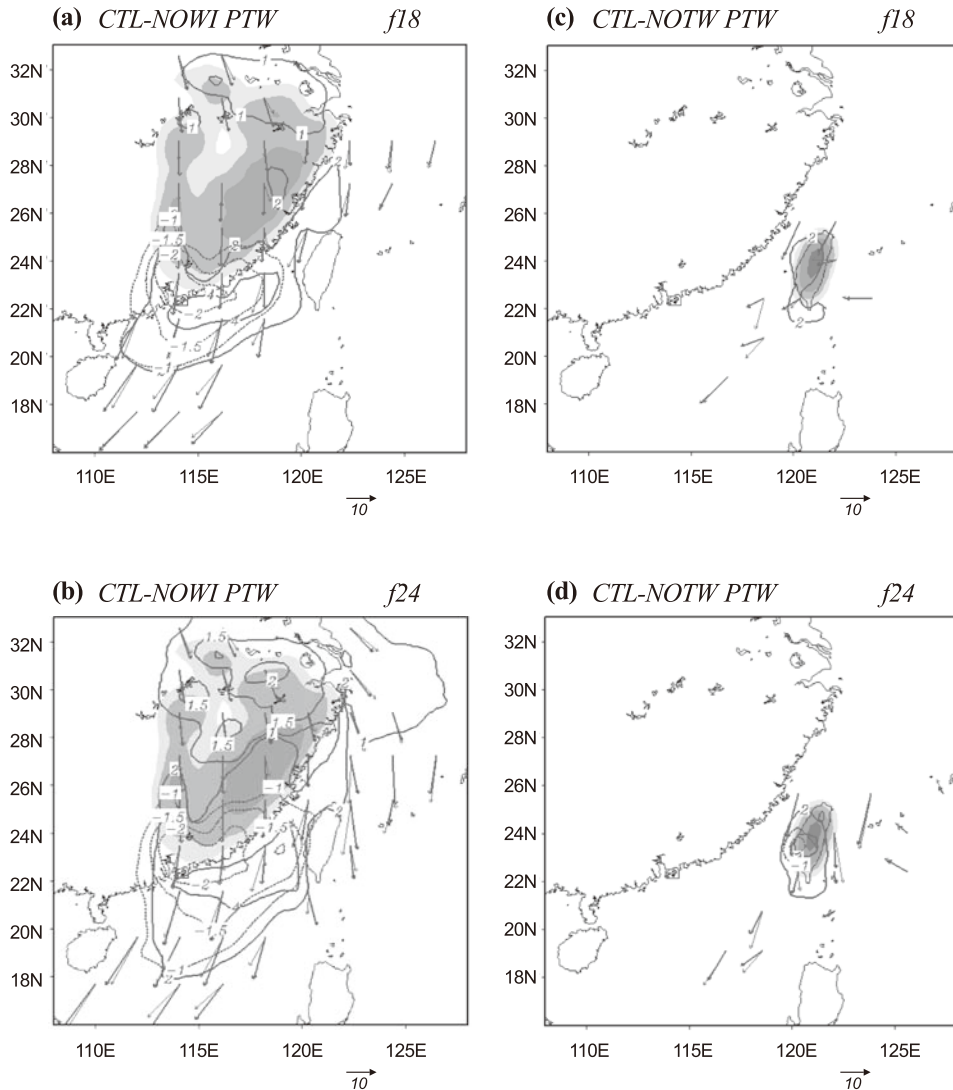


圖5. RSMB 模組控制組(CTL)與實驗組(NOWI、NOTW) 1000hPa差異圖：(a)，(b)分別為2001年12月21日00Z和22日00Z CTL—NOWI；(c)，(d)同(a)，(b)，但為CTL—NOTW。虛線為氣壓(hPa)，實線為溫度(K)，細箭頭為控制組風場，粗箭頭則為實驗組風場(m/s)，灰階為地形高度差

Fig. 5. The difference between CTL run, NOWI and NOTW run of RSMS module at 1000 hPa. (a) and (b) are CTL—NOWI at 00 UTC 21 and 00 UTC 22 Dec. 2001, respectively. (c) and (d) are the same as (a) and (b) but for CTL—NOTW. The dashline represents pressure (hPa). The solid line stands for temperature (K). The thin arrow is CTL's wind field. The bold arrow is NOWI and NOTW's wind field. The gray shaded area is height difference of terrain.

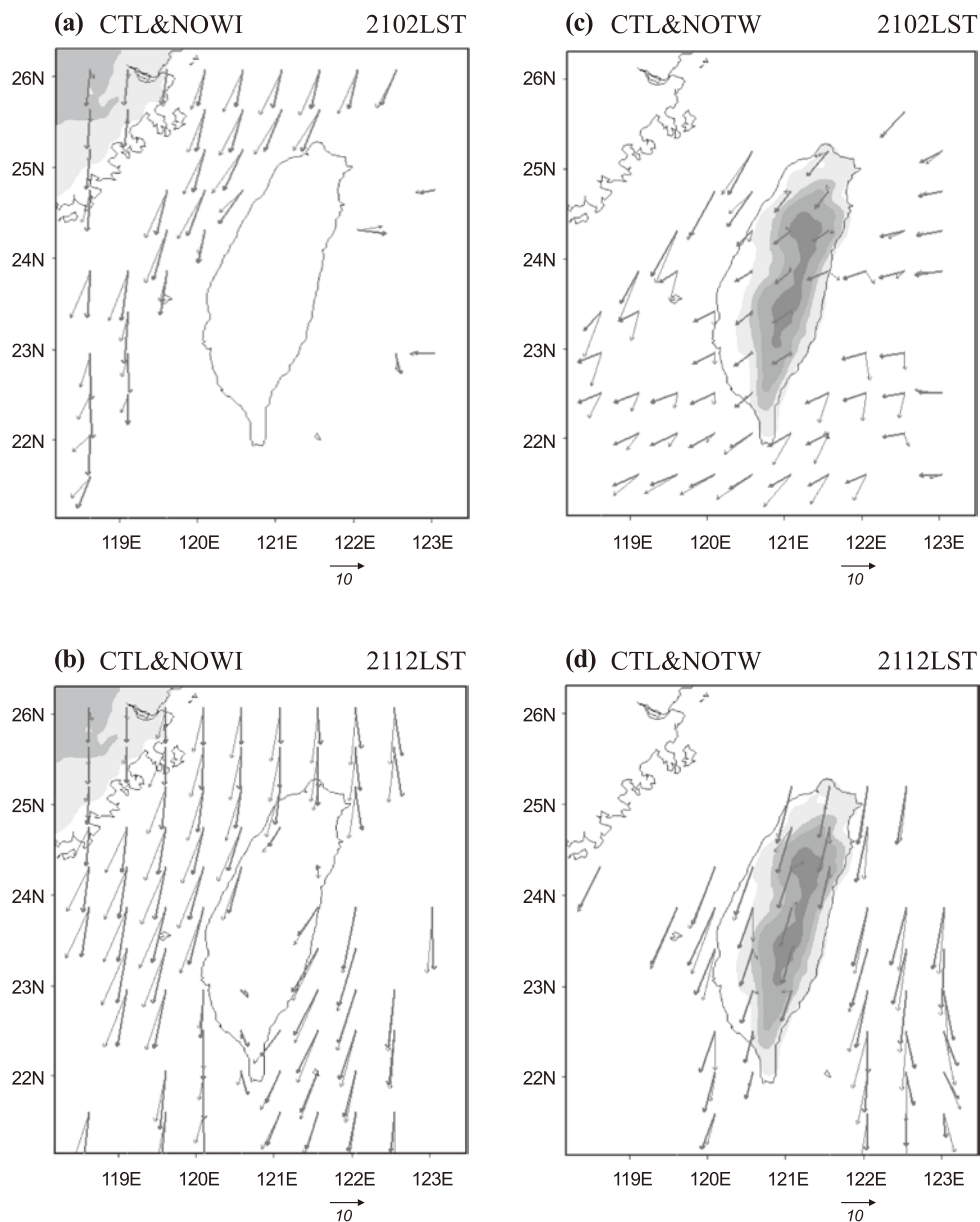


圖6. MSMC控制組和NOWI、NOTW實驗組近地面風場比較圖：(a) NOWI實驗組2001年12月21日02LST；(b) 21日12LST；(c)，(d)同(a)，(b)，但為NOTW實驗組。細箭頭為CTL風場，粗箭頭為NOWI風場，灰階為地形高度差

Fig. 6. The difference between CTL run, NOWI and NOTW run of RSMC module at 1000 hPa. (a) and (b) are NOWI at 02 LST 21 and 12 LST 21 Dec. 2001, respectively. (c) and (d) are the same as (a) and (b) but for NOTW. The thin arrow is CTL's wind field. The bold arrow is NOWI and NOTW's wind field. The gray shaded area is height difference of terrain.

風場差異主要發生在台灣東北部海域及西部海域，風速明顯變弱($< 15 \text{ m/s}$)，且風向由東北轉為偏北的風場；台灣東側因受地形屏障，所以模擬結果與控制組相近。10~12時前緣抵達台灣南端，東、西兩側海面風場持續增強，風速大於 15 m/s ， $\Delta\theta_0$ 已逐漸減弱，但仍較控制組的 $\Delta\theta_0$ 大。

圖8和圖9分別為控制組及實驗組模擬之垂直寒潮爆發前緣軸線的剖面圖。2102LST時爆發前緣位置約在 120.65°E 的海峽上，強度較控制組大，且移行速度略較控制組快。鋒面前緣上方的垂直環流與控制組相同，但是鋒後冷空氣區內指向台灣地形的風速明顯較大，致使前緣移向台灣的速度略較控制組快。2106LST時(圖8a)前緣已進入陸地，因為沒有武夷山的屏障，台灣附近溫度梯度增大(圖7d)，因此前緣區範圍及強度均較控制組大，但是仍受到台灣地形的阻擋效應，山前指向地形的風場分量逐漸減小，垂直向上的分量增加(圖8b)，使冷空氣質量在山前堆積，同時使得北風分量發展的高度增加，因此前緣厚度增加。

圖10和圖11分別為控制組及實驗組模擬之台灣西側(119.5°E)和東側(122°E)南北剖面近地面虛位溫及風場的時間序列圖。分析比較顯示東、西側的 $\Delta\theta_0$ 值(圖11a)均較控制組大(圖10a)；台灣海峽上，實驗組鋒面前緣南移的速度在西側約 32.8 km/hr (圖11a)，比控制組(30.6 km/hr)快，主要是因為沒有武夷山的阻擋，靠近大陸沿岸的風場呈現北風(圖7d)，使得台灣海峽西側的冷空氣前緣快速南移，因此，雖然控制組在台灣海峽上的風速(圖10b)較實

驗組大(圖11b)，但是前緣的南移速率還略較控制組快；在台灣東側前緣南移速度約 46.7 km/hr 較控制組(50.8 km/hr)慢，其原因為沒有武夷山的地形導引作用，台灣附近風場會減弱，使台灣東側風速較控制組小所造成。

綜整大陸武夷山地形實驗組之分析結果，從RSMB模組的差異指出，武夷山的影響範圍明顯較台灣地形大，其主要造成山前氣壓上升，山後溫度上升、氣壓下降，而風場則明顯受到武夷山導引，使得台灣附近的風向改變、風速增大。MSMC模組分析顯示，寒潮爆發初期，冷空氣受到武夷山地形的阻擋效應，會使海峽上前緣位置附近的氣壓時變率降低。風場差異指出，武夷山地形對台灣海峽風場的影響比台灣地形更大，顯示冬季期間台灣海峽及北部海域經常出現較強的東北風，主要是受到武夷山地形的導引所致。寒潮爆發期間冷空氣南下時，如果沒有武夷山的屏障，會使台灣附近溫度梯度增大且溫度更低，相對地前緣區範圍及強度均增大，冷空氣厚度增加；台灣海峽上的冷空氣前緣，因受大陸沿岸的風場影響，使得南移速率加快，而台灣東側則因風場減弱，使前緣的南移速率減慢。

五、結論與展望

台灣位於大陸東南側，深受獨特的海陸分布與複雜的地形影響，且華南存在一明顯地形—武夷山，長、寬約500公里，高度約1000公尺，當寒潮前緣冷空氣自大陸移出，勢必受到武夷山的影響。當冷空氣團快速向南潰流時，低緯度地區冷空氣相

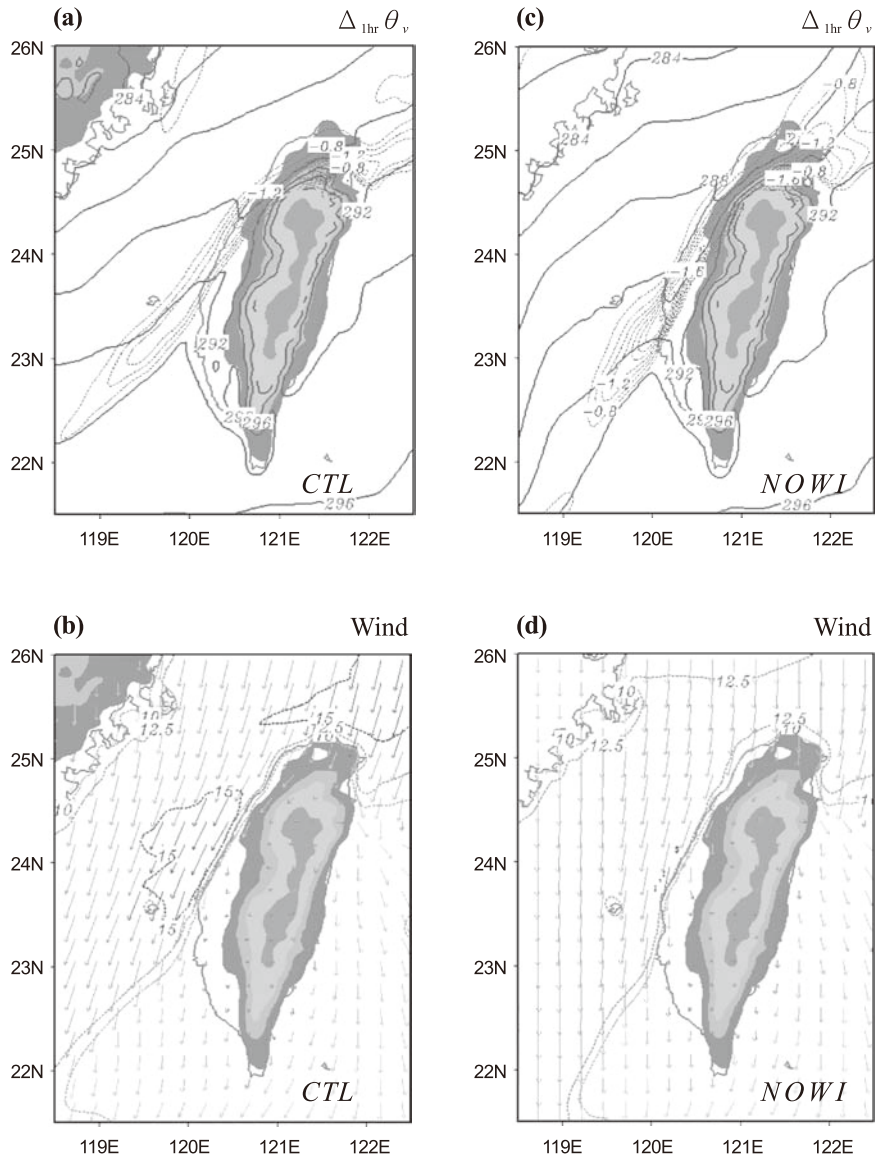


圖7. 控制組MSMC模組預報近地面第22小時（2001年12月21日06LST），陰影區為地形高度： $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K)；(b)風場(m/s)，等值線為風速 ≥ 10 m/s的區域；(c)、(d)同(a)、(b)，但為實驗組NOWI。

Fig. 7. The forecast of 22th hours by the MSMC module of CTL (06 LST 21 Dec. 2001). (a) $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K). (b) wind field (m/s). The contour represents the area which wind speed ≥ 10 m/s. (c) and (d) the same as (a) and (b) but for NOWI.

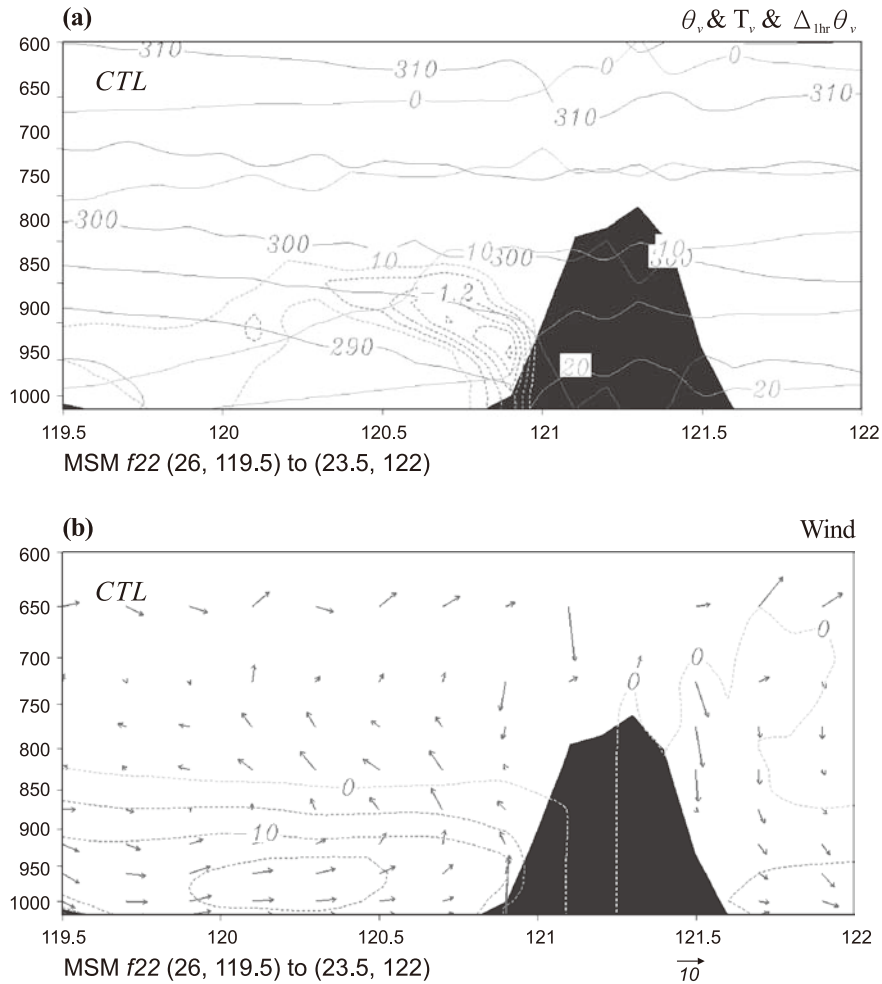


圖8. 控制組MSMC模組預報第22小時（2001年12月21日06LST）的垂直剖面圖，位置從（26°N，119.5°E）到（23.5°N，122°E），黑色區塊為台灣地形：(a) θ_v (K)、 T_v (°C)及 $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K)（虛線），粗虛線為 $\Delta_{1hr}\theta_v$ 相對極值軸線；(b)箭頭表示平行剖面分量與垂直速度（ $\times 10^2$ ）的合成風場(m/s)，等值線則為 v （南北向）分量（ ≤ 0 m/s）的風速。（From Lu et al. 2007）

Fig. 8. The vertical cross from 26°N，119.5°E to 23.5°N，122°E for the forecast of 22th hours by the MSMC module of CTL (06 LST 21 Dec. 2001). The black shaded area is the terrain of Taiwan. (a) θ_v (K), T_v (°C) and $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K) $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K) (dashline). The bold dashline is the axis of critical value. (b) The arrow stands for the synthesis wind which parallel and perpendicular to this profile (m/s). The contour represents the v component wind speed (≤ 0 m/s) .

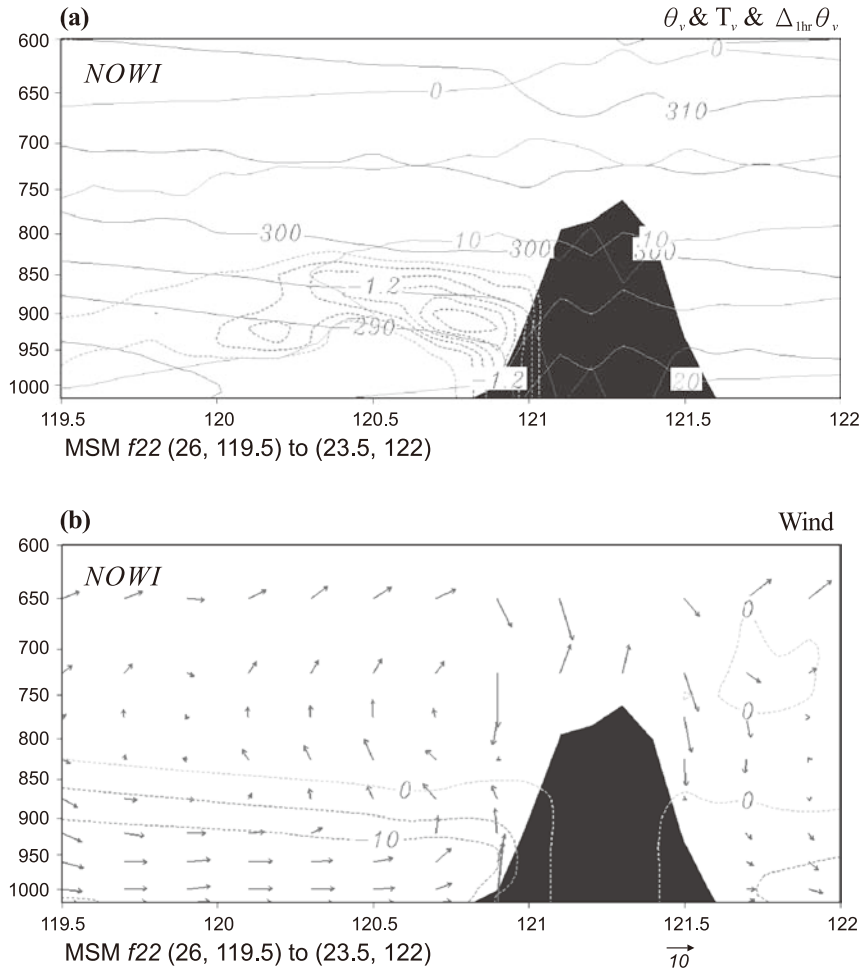


圖9. 實驗組NOWI預報第22小時（2001年12月21日06LST）的垂直剖面圖，說明同圖8。
 Fig. 9. The same as Fig. 8. but for NOWI forecast of 22th hours (06 LST 21 Dec. 2001).

當淺薄，容易在海面上形成大範圍淺薄的雲層，不易由衛星或雷達做局部地區的預警觀測，尤其在冷空氣受到地形影響時，更無法掌握其前緣的移行過程。另外海陸分布效應及陸地上明顯的氣壓及溫度日夜變化，更增加局部地區天氣預報的困難度，因此瞭解台灣附近寒潮爆發期間區域環流特性，可以提供台灣局部地區天氣變化的預報參考。

模式模擬結果分析顯示，當冷氣團前緣到達華南沿海附近時，由於中緯度氣壓梯度增加，使北風分量增強，將冷空氣由北向南輸送，使得南北溫度梯度增大，經地轉調節過程，使水平氣壓梯度增加，風速持續加強，驅使冷空氣持續向南侵襲。垂直流場結構顯示，低、中對流層環流確有明顯的不同。寒潮爆發初期，低層大氣主要受到大陸高壓外圍環流影響，盛行北

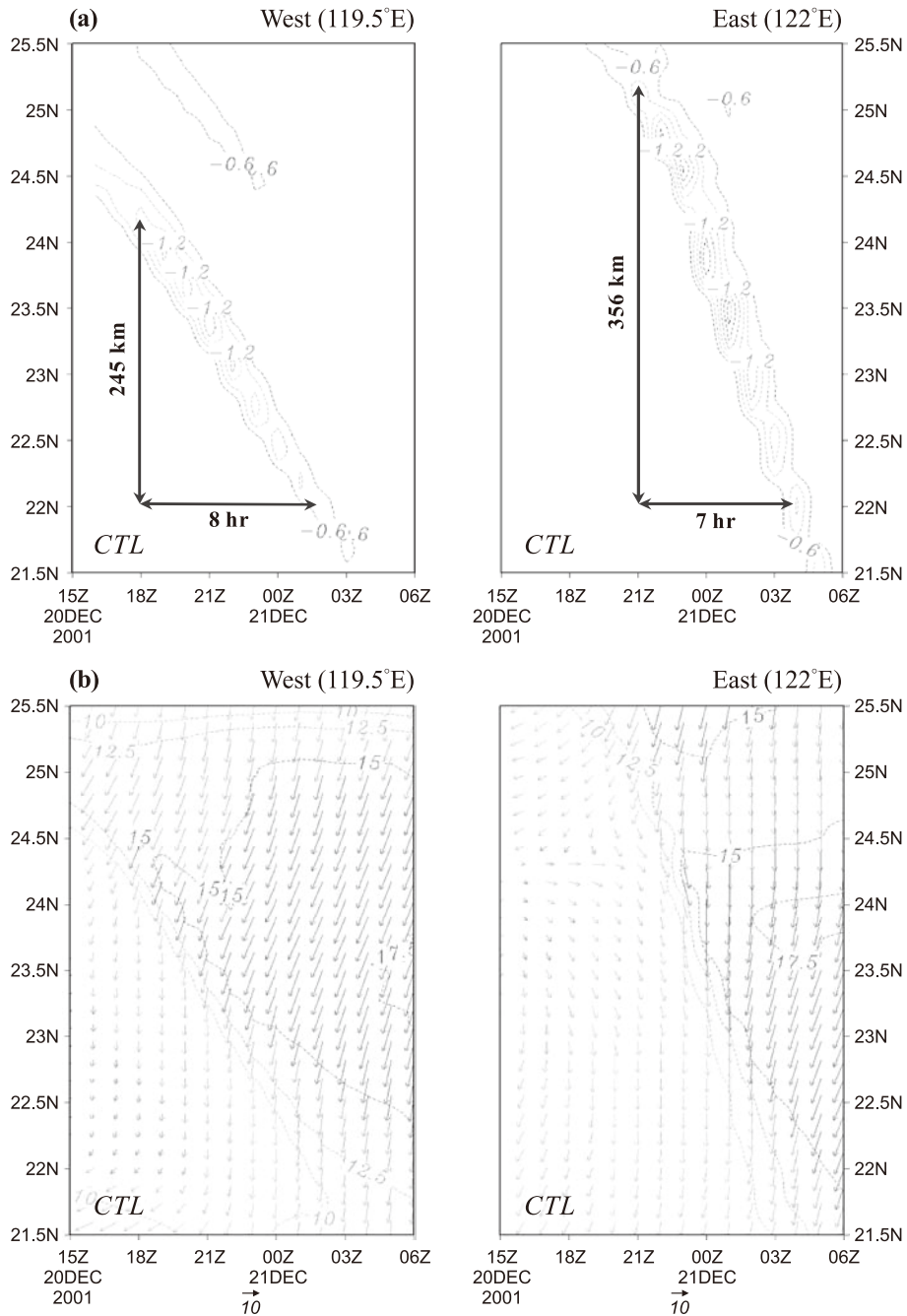


圖10. 控制組MSMC模組模擬2001年12月20日15Z至21日06Z台灣地形西側(119.5°E)和東側(122°E)南北剖面近地面溫度及風場的時間序列圖：(a) $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K)；(b)風場(m/s)及等風速線(≥ 10 m/s) (From Lu et al. 2007)

Fig. 10. The time sequential from 15 UTC 20 to 06 UTC 21 Dec. 2001 of the simulated surface temperature and wind field at the west and east of Taiwan by the CTL run of RSMS module. (a) $\Delta_{1hr}\theta_v$ (≤ -0.6 K). (b) The wind field (m/s) and isotach (≥ 10 m/s).

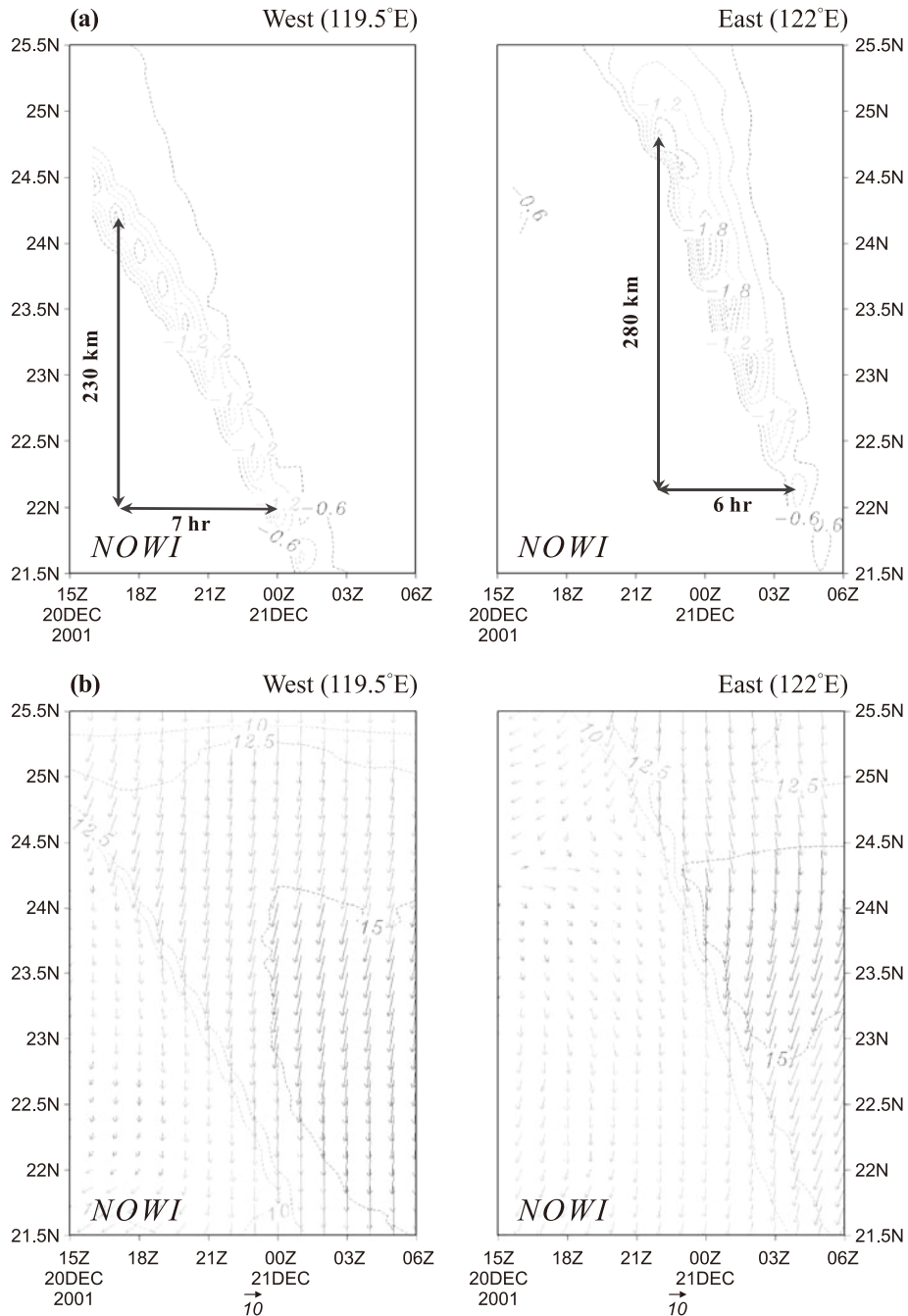


圖 11. NOWI 實驗組模擬 2001 年 12 月 20 日 15Z 至 21 日 06Z 台灣地形西側(119.5°E)和東側(122°E)南北剖面近地面溫度及風場的時間序列圖：(a) $\Delta_{1hr}\theta_v (\leq -0.6 \text{ K})$ ；(b) 風場(m/s)及等風速線 ($\geq 10 \text{ m/s}$)

Fig 11. The time sequential from 15 UTC 20 to 06 UTC 21 Dec. 2001 of the simulated surface temperature and wind field at the west and east of Taiwan by the NOWI run. (a) $\Delta_{1hr}\theta_v (\leq -0.6 \text{ K})$. (b) The wind field (m/s) and isotach ($\geq 10 \text{ m/s}$).

至東北風，由於受到中央山脈阻擋，形成明顯的分流；中層大氣則受長波槽影響，盛行微弱西風，且不受地形影響；高層大氣則完全受到西風氣流主導。寒潮爆發期間，近地面層風向由東北轉為偏北風，且風速迅速增大，使得台灣東、西側沿岸形成強風；中層以上則因長波槽加深，使得高層噴流南移且西風增強。

大陸武夷山地形移除實驗組的研究結果指出，武夷山地形對寒潮局部天氣系統的影響範圍明顯較台灣地形大，其主要造成山前氣壓上升，山後溫度上升、氣壓下降，而風場則明顯受到武夷山導引，使得台灣附近風向改變、風速增大。寒潮爆發初期，冷空氣受武夷山地形的阻擋效應，會使海峽上的前緣位置附近的氣壓時變率降低。風場差異指出，武夷山地形對台灣海峽風場的影響比台灣地形更大，顯示冬季期間台灣海峽及北部海域經常出現較強的東北風，主要是受到武夷山地形的導引所致。寒潮爆發期間冷空氣南下時，如果沒有武夷山的屏障，會使台灣附近溫度梯度增大且溫度更低，相對地前緣區範圍及強度均增大，冷空氣厚度增加；台灣海峽上的冷空氣前緣，因受大陸沿岸的風場影響，使得南移速率加快，而台灣東側則因風場減弱，使前緣的南移速率減慢。

本文以一典型的強寒潮個案，結合NCEP全球分析資料與巢狀區域波譜模式（RSM）的模擬結果，瞭解寒潮爆發期間綜觀環境場之配置，探討冷空氣移行的過程，及其前緣冷空氣受到大陸武夷山地形影響後所造成的局部環流特性及演進差異，提供寒潮爆發期間台灣局部地區天氣

變化的預報參考。由於寒潮個案之間有其差異性，未來將加強不同類型的寒潮個案做分析比較，瞭解不同綜觀條件的作用對台灣附近局部環流影響的差異，做為實際天氣預報改進之參考。另一方面亦將持續精進巢狀區域波譜模式的預報能力，藉以提供正確的數值模擬資料，做為研究分析及作業預報之應用。

六、參考文獻

- Chang, C. -P., Millard, J. E., and Chen, G. T. J., "Gravitational Character of Cold Surge during Winter MONEX," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, pp. 293-307, 1983.
- Chen, T.-C., Yen, M.-C., Huang, W.-R. and Jr, W.A.G., "An East Asian Cold Surge: Case Study," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 130, pp. 2271-2290, 2002.
- Lu, F.-C., Juang, H.-M. H., and Liao, C.-C., "A Numerical Case Study of the Passage of a Cold Surge Across Taiwan," *Meteorol. Atmos. Phys.*, Vol. 95, pp. 27-52, 2007.
- 呂芳川、蔡晉東、廖杞昌、莊漢明，"巢狀波譜模式在東亞地區天氣預報之研究"，*氣象學報*，第45卷，第1期，第1-22頁，2003。
- 洪景山，"武夷山地形和海洋邊界層在梅雨鋒面南下過程中扮演的角色"，*大氣科學*，第30期，第275-189頁，2002。
- Pierrehumbert, R. T. and Wyman, B., "Upstream Effects of Mesoscale Mountains," *J. Atmos. Sci.*, Vol. 42, pp. 977-1003, 1985.

- Overland, J. E. and Bond, N. A., "The Influence of Coastal Orography: The Yakutat Storm," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, pp. 1388-1397, 1993.
- Overland, J. E. and Bond, N. A., "Observations and Scale Analysis of Coastal Wind Jets," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 123, pp. 2349-2941, 1995.
- Sun, W. -Y., Chern, J. -D., Wu, C. -C., and Hsu, W. -R., "Numerical Simulation of Mesoscale Circulation in Taiwan and Surrounding Area," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 119, pp. 2558-2573, 1991.
- Hong, S. -Y., Juang, H. -M., and Lee, D. -K., "Evaluation of a Regional Spectral Model for the East Asian Monsoon Case Studies for July 1987 and 1988," *J. Meteor. Soc.*, Vol. 77, pp. 553-572, 1999.
- Wang, J. J., Juang, H.-M. Kodama, H., K., Businger, S., Chen, Y.-L., and Partain, J., "Application of the NCEP Regional Spectral Model to Improve Mesoscale Weather Forecasts in Hawaii," *Weather and Forecasting*, Vol. 13, pp. 560-575, 1997.
- Lu, F.-C., Liao, C.-C., and Juang, H.-M. H., "Revisiting Horizontal Diffusion of Perturbations over Terrain for NCEP RSM," *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 18, 67-83, 2007.
- Kanamitsu, M., "Description of the NMC Global Data Assimilation and Forecast System," *Weather and Forecasting*, Vol. 4, pp. 335-342, 1989.
- Hong, S. -Y., Juang, H.-M. H. and Zhao, Q., "Implementation of Prognostic Cloud Scheme for a Regional Spectral Model," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 126, pp. 2621-2639, 1998.
- Suda, K., "A Study on the Dynamic Climatology of Cild Outbreaks in the Far East," *Geophys. Mag.*, Vol. 29, pp. 413-461, 1959.
- Chen, Y. -L. and Hui, B. -F., "Analysis of a Shollow Front during the Taiwan Area Mesoscale Experiment," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 118, pp. 2649-2667, 1990.
- 呂芳川、廖杞昌，"中尺度波譜模式對台灣區域環流預報之研究"，中正嶺學報，第33卷，第2期，第75-94頁，2005。

Taiwan Local Circulation and Wu-Yi Mountain Effect during Cold Surge Period

Chi-Chang Liao Fang-Chuan Lu

Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University

Department of Computer Science and Information Engineering, Nan Jeon Institute of Technology

ABSTRACT

As located to the south-east of Wu-Yi Mountain (WYM), the weather of Taiwan is affected by the land-sea distribution and complex terrain. When the cold-air leading edge moves out from the Mainland during the cold surge period, the system is subject to the influence of WYM. The results of numerical simulation point out that the main impact of WYM on the cold surge system is to make the pressure increase windward and decrease leeward, and the temperature increase leeward. The wind field is guided by WYM with changing directions and increasing the speed around Taiwan. The presence of strong northeasterly winds in winter over the Taiwan Strait and the northern part of Taiwan is mainly induced by WYM. Under the Impact of such strong winds, the cold-air leading edge accelerates southward over Taiwan Strait. Without the presence of WYM, the temperature gradient would increase and the surface temperature would be lower over the Taiwan area during the cold surge. Also the coverage and intensity of the leading edge of cold air would increase with a thicker layer of cold air aloft.

Key words: cold surge, nested spectral model, mountain effect