

東亞季風期間台灣附近低壓系統之初步研究

呂芳川¹ 廖杞昌²

南榮技術學院資訊工程系¹

國防大學理工學院環境資訊及工程學系²

摘要

本文利用2009年1月6日的台灣低壓個案，透過具有多重尺度分析能力的巢狀區域波譜模式進行模擬，針對不同尺度天氣系統間的交互作用、台灣地形效應、以及海氣之間可感熱與潛熱通量，來進行深入的探討。台灣低壓經常發生於台灣東北部海域，台灣地形勢必扮演重要的角色，因此利用模式移除台灣地形的實驗組(NOTW)，透過與控制組(CTL)的比較分析，了解地形對台灣附近中尺度系統生成與發展的效應。模擬研究之初期結果顯示，台灣地形效應在中尺度氣旋系統生成初期佔有重要地位，大尺度的盛行東北風受地形及洋面上偏東風的氣流影響，使台灣東北部沿岸風場增強，並透過低層暖洋面之熱通量效應，進而使得中尺度氣旋系統有利於生成發展。

關鍵字：台灣低壓、巢狀波譜模式

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，配合冬、夏季風環流的演變，天氣型態非常多樣化。冬季期間主要受到極地大陸氣團控制，當乾冷氣團南下時，低層空氣與海面形成強的溫度對比，暖洋面上的可感熱與潛熱經由對流過程向大氣傳送，使得台灣東方或東北方附近，容易形成一道距台灣東部約200公里海面的淺低壓槽（台灣槽），這道近乎固定的淺槽延伸自菲律賓至日本南方海面，當南下冷高壓經過後，這道低壓槽受到高壓南側的東風攪攪而形成低壓擾動，有時持續發展出獨立的鋒面系統而成為台灣低壓（Taiwan low）。此種生成於台灣近海之低壓，形成後迅速影響台灣地區之天氣，例如：降雨、惡劣能見度及低雲幕常相伴而生。有時發展迅速之台灣低壓，可導引北來空氣加速南下，造成台灣地區之強風和急速溫度下降，並朝東北方向移動增強，因此對於日本南方有著不容忽視的影響。

Yu(1980)利用氣候資料統計(1962~1976共15年資料)，發生於台灣附近海域(20~30°N, 120~130°E)之台灣低壓發生頻率、地區、發展情形、中心氣壓以及運動概況等作統計，每年冬季(十二月至翌年二月份)平均有5次台灣低壓形成，但年變化及月變化均相當大。台灣低壓形成後，若按未來24小時的氣壓

下降情形區分，可分為(i)輕度(下降率 $< 5\text{hPa}/24\text{hr}$)佔52%。(ii)中度(下降率 $\geq 5\text{hPa}/24\text{hr}$ ，但 $< 10\text{hPa}/24\text{hr}$)佔31%。(iii)強烈發展(下降率 $> 10\text{hPa}/24\text{hr}$)佔17%。台灣低壓之生成區域，一般位於較高的海水溫度及海水溫度梯度較強烈的地區，且與暖洋流黑潮的位置頗為一致(佔85%)，尤其是發展快速者，且台灣低壓多向東北東移動，移速與強度成正比。非絕熱效應的潛熱釋放、海面上邊界層水汽和熱通量，以及高層系統所造成的大尺度作用，是海上氣旋發展的主要物理過程(Chen et al. 1983)。

Chen et al. (1985)利用AMTEX(Air-Mass Transformation Experiment)實驗期間的觀測資料分析，顯示系統發展的初期，黑潮帶來的熱通量很快的使低層極地空氣塊變得不穩定。潛熱釋放所形成的暖平流產生微弱的上升運動，並形成850mb的短波和地面低壓槽，進而加強低層擾動造成中尺度氣旋的發展。氣旋和高層系統間的垂直偶合導致其發展成劇烈的溫帶氣旋。Chang et al.(1987)分析海上氣旋系統的發展與維持的動力結構，結果指出位渦守恆與非地轉加速在系統的動力部分扮演重要角色，並藉由潛熱釋放加強。綜合以上研究顯示，非絕熱效應在台灣低壓的形成上扮演極重要角色(因其容易生成於較暖洋面與黑潮流域)。台灣地形的阻擋效應，亦對低壓的發展有正面的貢獻。除此之外，不同尺度天氣系統間的交互作用，及良好的垂直偶合

(vertical coupling)條件，有利於維持其發展與強度，例如斜壓區與中、低層短槽東移，亦常扮演重要角色。

台灣本島南北長約400公里，東西寬約150公里，高度超過3000公尺，局部環流特性深受海陸分佈與複雜地形影響。Sun et al. (1991) 利用普渡中尺度模式研究台灣附近的中尺度環流，分析結果指出當Fr (Froude Number) ≤ 0.5 時，氣流會受到中央山脈的阻擋效應。Trier et al. (1990) 利用Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX) 期間的觀測資料，分析冷鋒通過台灣期間，受到中央山脈的影響效應，指出地形會阻擋鋒前和鋒後的氣流，並在海陸交界附近形成熱力環流。許與黃(1991)由敏感度分析得知，地形阻擋效應使台灣東北方海域熱通量增強，導致台灣低壓發生。海溫的分佈與冷氣團強度同為重要的激發機制，特別是水汽通量的大小對於海溫的變化極為敏感，而水汽的多寡決定層雲發展的深度，對於台灣低壓的發展有正面貢獻。

由於中尺度氣旋發生初期的水平尺度只有數百平方公里，且生成發展階段都位於海上，不可能完全以傳統的氣象站觀測資料來研究，例如：氣旋的生成發展機制、垂直結構、大尺度環境場間的交互作用及受台灣地形影響等議題。巢狀波譜模式應用於東亞地區天氣系統的預報，皆有相當良好的表現（呂等，1998；呂等，2001；呂與廖，2005；Lu et al., 2005）。其中，巢狀模組的降尺度效應，可以有效延長預報時效；另外模組對綜觀天氣系統的預報也有相當的準確性（呂等，2003）。此巢狀模組降尺度的觀念，可適當地應用大尺度訊息來預報區域內較小尺度的天氣現象。靜力模組（RSM）在定性上能有效預報持續性的降水，非靜力模組（MSM）則在定量降水預報上亦能有效地解析局部環流特徵與降水演進過程。透過具有多重尺度分析能力的巢狀波譜模式模擬，可以針對不同尺度天氣系統的肇因，來進行深入的探討。因此，本研究計劃的目的著重在使用巢狀波譜模式針對台灣東北海域生成之中尺度氣旋，進行數值模擬及分析研究。

二、研究方法及設定

巢狀波譜模式(Regional Spectral Model; RSM)具有相當多元的特性，例如：數值空間微分的精確度，它沒有差分法的截斷誤差、轉折誤差及相位誤差；具有良好的側邊界地形處理及擾動法計算方式，能縮小積分範圍及提高解析度；降尺度的預報方法，可隨著空間解析度的提高，將較小尺度的天氣系統解析出來；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 and Hoke, 1992；Juang and Kanamitsu,

1994)。模式中使用的數值方法分別為：擾動法、四階水平擴散、隨時間變化的緩和邊界條件、時間濾波器及於動力與模式物理的運算後半隱式調整等。物理過程包括：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；其它包括：重力波平滑、Kuo-積雲參數化、淺雲參數化、大尺度（格點）降水等物理參數化過程及水文過程。

為了模擬及解析東亞季風期間，台灣東北海域中尺度氣旋的生成機制及受綜觀尺度交互作用的影響，本研究將以NCEP的巢狀波譜模式為架構，精進Juang(2000)修正版的非靜力MSM模式，模式設定如下：

1. 模組設計：外重為靜力的RSM模組，內重為非靜力的MSM模組；
2. 水平網格間距：分別為60公里及10公里；
3. 地形解析度：約5km；
4. 垂直網格：採用隨地勢變化的28層29階 σ 坐標；
5. 靜力RSM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）；
6. 初始場採用NCEP全球分析資料，提供每6小時的分析場作為RSM模組的基本場及邊界值。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。
7. 模式輸出：RSM為每3小時輸出一次，MSM則每小時輸出一次。

台灣低壓經常發生於台灣東北部海域，台灣地形勢必扮演重要的角色，因此利用模式移除台灣地形的實驗組(NOTW)，透過與控制組(CTL)的比較分析，了解地形對台灣附近中尺度系統生成與發展的效應。

三、綜觀天氣

當鋒面由華南、華中移出，通過台灣地區時，台灣附近海面上經常有新生氣旋初生，其中有些會繼續發展，並向東北方移動；有些則維持不到24小時便消失。這些氣旋的形成與發展常常影響台灣的天氣狀況，如低雲幕伴隨生成或造成惡劣的能見度。而發展迅速之台灣低壓，使得北來空氣加速南下，造成台灣地區之強風和急速溫度下降。

2009年1月5日1200UTC大陸高壓中心(1056hPa)位於蒙古附近(100°E, 50°N)，高壓系統勢力始終維

持，且未向東移行，台灣附近因前一波鋒面遠離，位於大陸高壓系統的外圍環流下，盛行微弱的東北風。6日0000UTC(圖3)大陸高壓中心氣壓略為減弱，且鋒面持東移，使台灣東部海域轉為東風，該日台灣東北部出現明顯的累積降雨(圖1)，其中基隆測站6日的累積雨量達到161mm(圖2)，創下該測站設站以來當月單日累積雨量的最大值。7日0000UTC地面天氣圖顯示，在台灣東北部形成一微弱的低壓系統，到了8日0000UTC由於大陸高壓系統增強，台灣附近恢復成東北季風型態，低壓系統亦隨之消散(圖3)。

四、模擬分析

由於台灣東北部附近海洋面上缺乏觀測資料，對於中尺度氣旋系統的形成及發展原因無法解析。本文利用2009年1月6日的台灣低壓個案，透過具有多重尺度分析能力的巢狀區域波譜模式進行模擬，針對不同尺度天氣系統間的交互作用、台灣地形效應、以及海氣之間可感熱與潛熱通量，來進行深入的探討。

圖4為模式模擬12小時地面天氣圖，氣壓場顯示模式模擬的氣壓場略為偏強，台灣周邊海域環流場則可以明確掌握，特別在東部海域已吹偏東風。圖為模式模擬36小時地面天氣圖，氣壓場顯示在台灣東部海域有明顯的相對低壓區域，因比將透過數值模式進一步針對區域特性(10km)進行模擬，且利用模式移除台灣地形的實驗組(NOTW)，與控制組(CTL)進行比較分析，了解地形對台灣附近中尺度系統生成與發展的效應。

模式模擬第12小時，台灣北部海域盛行東北風，海峽上風速受峽管效應影響風速達到15m/s，台灣東部外海的洋面上盛行東風，但是在沿海附近因受到地形阻擋效應，風速明顯減弱且風向沿地形而有所轉變。圖5a為模式模擬第24小時，台灣北部氣壓明顯上升，東部沿岸風向轉為偏北風，使外海形成正渦度區，有利於形成低壓系統。圖5b為模式模擬第36小時，在宮古島附近形成一相對低壓的環流區。

圖5c-d為實驗組模擬結果，分析顯示風場主要的差異發生在台灣東部海域，在不受地形的影響下，風速明顯較大，風向維持東風，並將洋面上較暖的空氣傳送至台灣東部沿岸，使溫度上升。因此台灣地形的影響，風場主要在動力方面提供正面作用，但是在熱力場則提供負面的影響(圖6)。模擬研究之初期結果顯示，台灣地形效應在中尺度氣旋系統生成初期佔有重要地位，大尺度的盛行東北風受地形及洋面上偏東風的氣流影響，使台灣東北部沿岸風場增強，並透過低層暖洋面之熱通量效應，進而使得中尺度氣旋系統有利於生成發展。

五、初步結論

本文利用2009年1月6日的台灣低壓個案，透過具有多重尺度分析能力的巢狀區域波譜模式進行模擬，巢狀模組的降尺度效應，可以有效延長預報時效；另外模組對綜觀天氣系統的預報也有相當的準確性。針對不同尺度天氣系統間的交互作用、台灣地形效應、以及海氣之間可感熱與潛熱通量，來進行深入的探討。模擬研究之初期結果顯示，台灣地形效應在中尺度氣旋系統生成初期佔有重要地位，大尺度的盛行東北風受地形及洋面上偏東風的氣流影響，使台灣東北部沿岸風場增強，風場主要在動力方面提供正面作用，但是在熱力場則提供負面的影響，並透過低層暖洋面之熱通量效應，進而使得中尺度氣旋系統有利於生成發展。

目前僅針對一個案進行初步分析研究，未來將蒐集其他相關個案資料，作進一步的比對分析，期能更深入了解台灣低壓的生成發展特性。東亞季風期間，台灣東北部旋生的觸發與驅動機制仍然是一個尚未解決的科學議題，這些氣旋不僅對台灣局部地區造成影響，其生成發展後亦對整個東亞地區造成影響。透過國際性大規模的東亞季風觀測實驗，將有助益於對造成臺灣局部災變天氣之中尺度氣旋的深入瞭解。除有助於提昇國內監測及掌握東北季風期間之氣旋系統的演變化過程外，並可因而協助數值天氣預報模式的精進。

參考文獻

- 呂芳川、王金慶、郭漱冷、何台華、陳曉華、于宜強、莊漢明，1998：區域波譜模式在颱風軌跡預報上的應用。航空氣象分析與預報研討會。台北，台灣。61-67。
- 呂芳川、蔡晉東、郭漱冷、廖杞昌，2001：RSM巢狀預報模組應用之研究。第七屆全國大氣科學學術研討會論。台灣。
- 呂芳川、蔡晉東、廖杞昌、莊漢明，2003：巢狀波譜模式在東亞地區天氣預報之研究。氣象學報第四十五卷第一期，1-22。
- 呂芳川、廖杞昌，2005：中尺度波譜模式對台灣區域環流預報之研究。中正嶺學報，第三十三卷第二期，p75-94。
- 許武榮、黃麗玫，1991：台灣低壓的數值模擬。大氣科學，第十九期第二號，131-146。
- Chang, C.-B., D. J. Perkey, and W.-D. Chen, 1987: Observed dynamic structure of an intense oceanic cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1127-1139.
- Chen, T.-C., C.-B. Chang, and D. J. Perkey, 1983: Numerical study of an AMTEX'75 oceanic cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1818-1829.

- Chen, T. -C., C.-. B, Chang, and D. J. Perkey, 1985: Synoptic study of a medium-scale oceanic cyclone during AMTEX'75., *Mon. Wea. Rev.* 113, 349-361.
- Lu, F.-C., H.-M. Juang, C.-C. Liao, 2005 : A Numerical Study of the Passage of a Cold Surge across Taiwan: Case Study. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 95, 27-52.
- Juang, and J. E. Hoke, 1992: Application of fourth-order finite differencing to the NMC Nested Grid Model *Mon. Wea. Rev.* 120, 1767-1782.
- Juang, and M. Kanamitsu,, 1994: Nested spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 122. 1-26.
- Juang, H.-M. H., 2000: The NCEP mesoscale spectral model: A revised version of the nonhydrostatic regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2329-2362.
- Sun, W. -Y., J. -D. Chern, C. -C. Wu, and W. -R. Hsu, 1991: Numerical simulation of mesoscale circulation in Taiwan and surrounding area. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2558-2573.
- Trier, S. B., Parsons, D. B., and Matejka, T. J., "Observations of a Subtropical Sold Front in a Region of Complex Terrain," *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 118, No. 12, pp. 2449-2470, 1990.
- Yu, C. -C., 1980: Some climatological aspects of Taiwan low., *Pap. Meteor. Res.* 3, 78-90.

民國98年1月 基隆

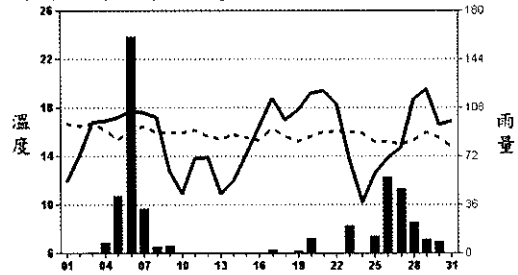


圖2. 基隆測站98年1月份逐日平均溫度及累積雨量時序圖；其中6日累積雨量達161mm，創下該站設站以來當月單日累積雨量的最大值。

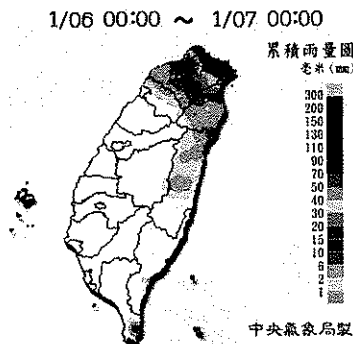


圖1. 中央氣象局98年1月6日全台累積雨量分布圖。

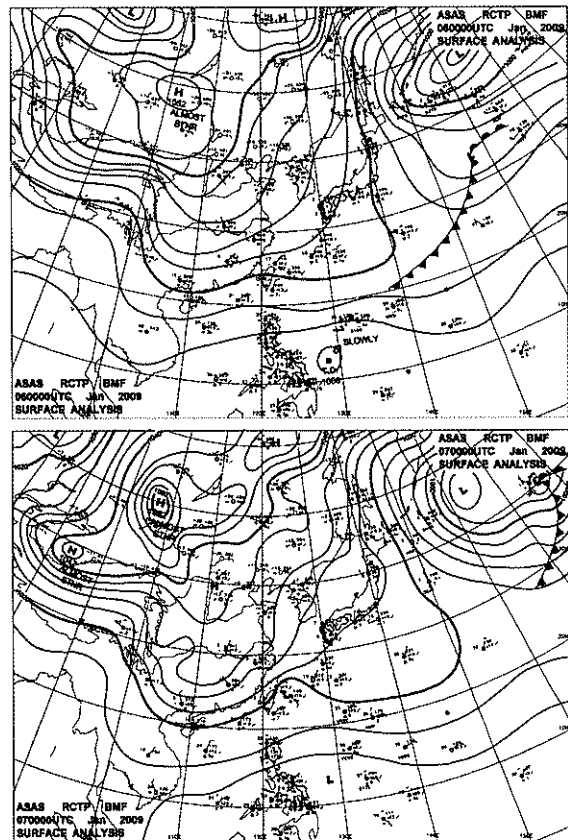


圖3. 2009年1月6日0000UTC至7日0000UTC地面天氣圖。資料來源：中央氣象局網站。

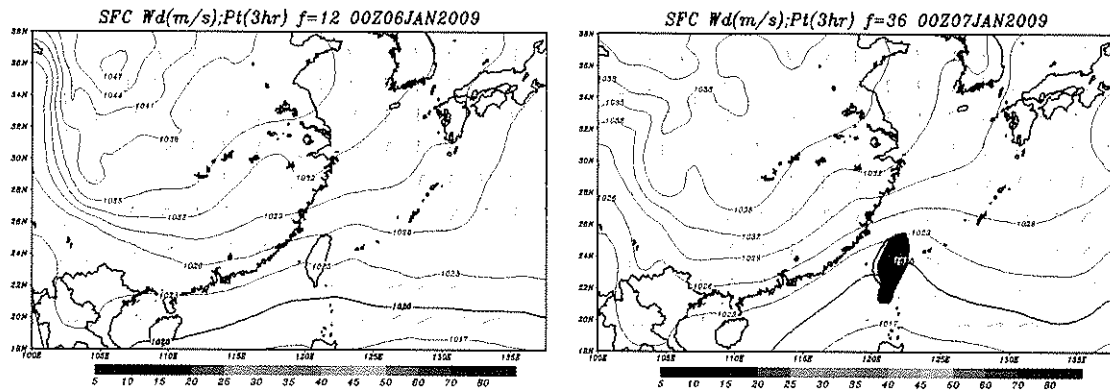


圖4. 區域波譜模式模擬地面天氣圖，(a)預報12小時，(b)預報36小時。等值線為海平面氣壓，色階顯示3小時累積降水。

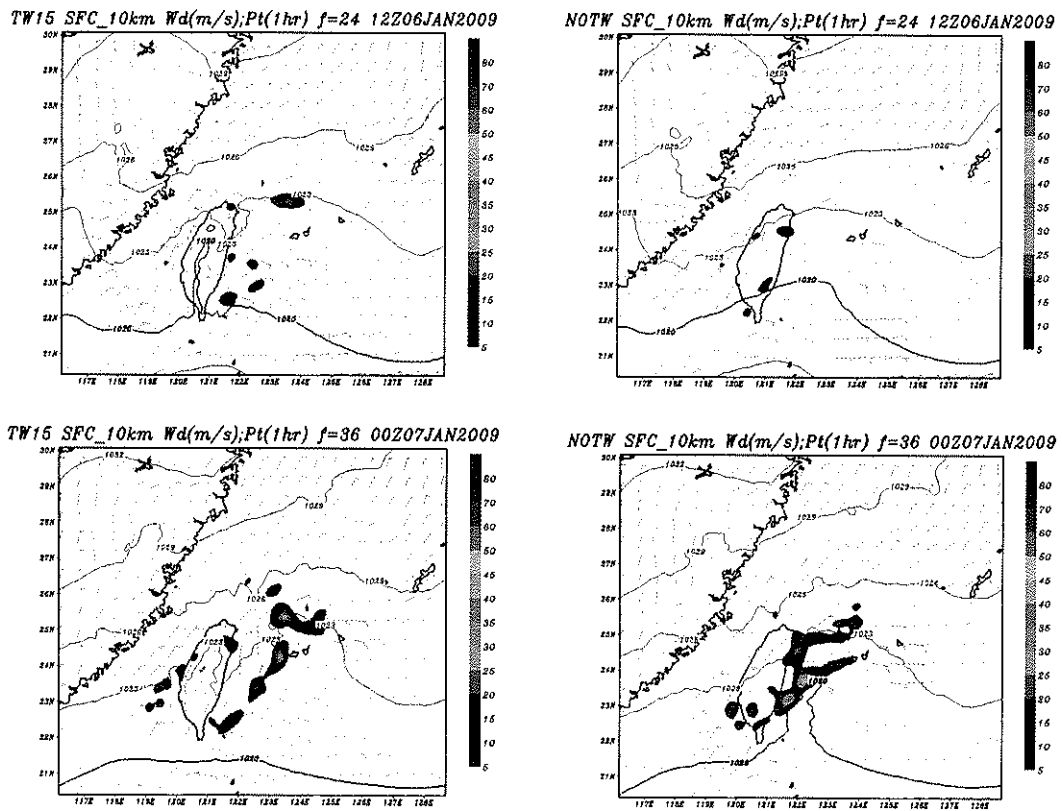


圖5. 非靜力模組控制組模擬10km地面天氣圖，(a)預報24小時，(b)預報36小時。(c)(d)為移除台灣第行的實驗組 (NOTW)。等值線為海平面氣壓，色階顯示1小時累積降水。

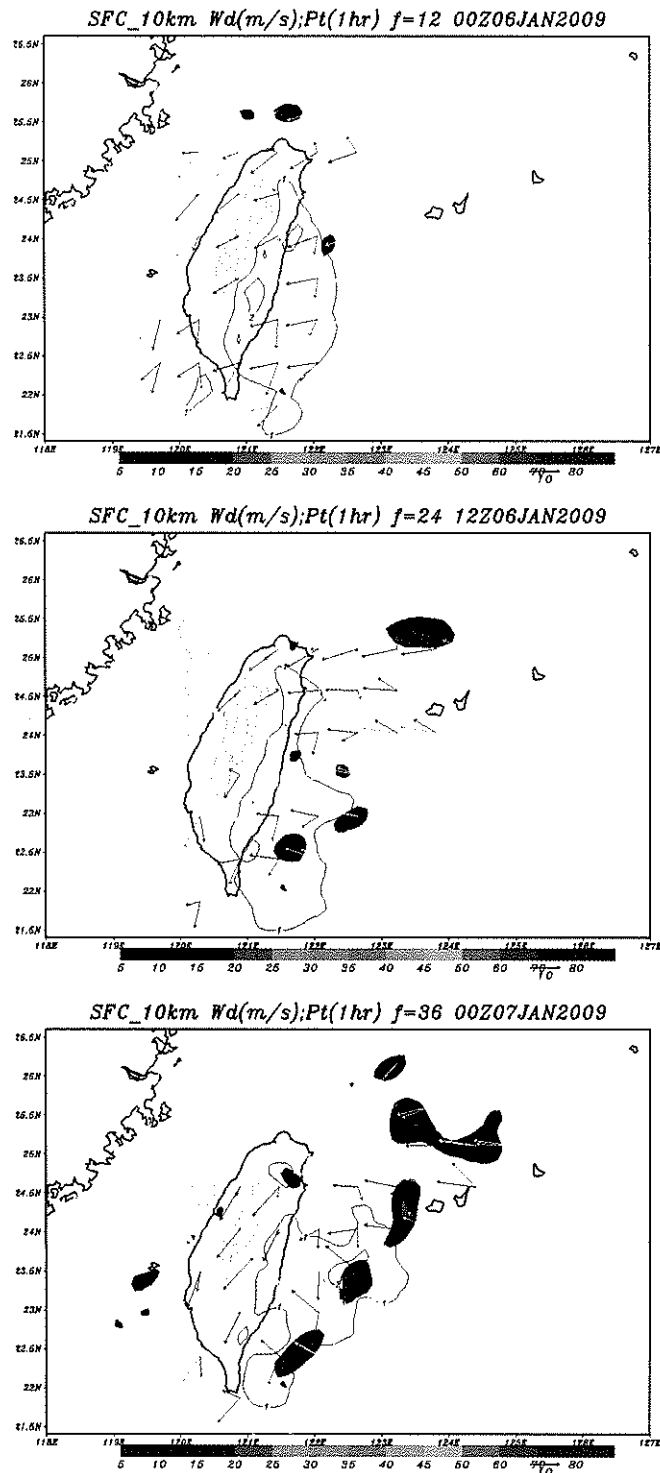


圖6. 非靜力模組控制組與實驗組差異 (CTL-NOTW) 比較分析圖，(a)預報12小時，(b)預報24小時，(c)預報36小時。等值線為海平面氣壓差值，色階顯示1小時累積降水差值，風場為分量風速差值大於10m/s。