

妮蔻兒颱風(Nichole,1998)侵台前路徑變化之模擬與分析

李清勝

張龍耀

國立台灣大學大氣科學研究所

摘 要

在 1951~2001 年間，共有 11 個颱風由南海往東北移動，而影響台灣；除 1998 年妮蔻兒颱風外，其它颱風均以較快的速度通過台灣地形。妮蔻兒颱風移速緩慢，強度偏弱，在緩慢北移之過程中，突然轉為偏東-東北路徑侵襲臺灣。本文使用 MM5 數值模式，模擬妮蔻兒侵台過程，並探討導致妮蔻兒轉向之機制。結果顯示，模式對妮蔻兒侵台前與侵台初期的路徑特徵、綜觀環境場及局部環流，都有合理之模擬。

透過控制組實驗結果之渦度收支分析與對照組實驗結果之分析，可合理推論，臺灣地形作用為導致妮蔻兒於登陸前突然轉向之主要原因。分析結果顯示，當颱風北移接近臺灣地形時，颱風與地形間出現的合流效應產生強風速區與強輻合帶，強風區之西南側（氣旋式風切側）伴隨有較強正渦度區。透過輻散項作用與水平平流項效應，使颱風中心之東-東北方出現局部正渦度變化極大區（主要來自輻散項），因而導致妮蔻兒颱風由偏北移動轉為偏東北方移動。在颱風即將登陸前，在中心東南方（台灣西南部沿海）受地形影響，出現顯著中低層輻合作用，並出現輻散項極大值區；雖然負渦度平流效應抵銷部分輻散項正貢獻，但合成結果，仍使局部正渦度變化極大區出現在系統東南側，導引颱風向東南方偏移。

關鍵詞：颱風、颱風登陸、颱風路徑、數值模擬

一、前言

侵襲台灣的颱風，大多於西太平洋地區形成，這些颱風常以偏西至西北方向路徑接近台灣；過去學者之研究，也以針對此類颱風居多（如 Chang, 1982；Yeh and Elsberry, 1993a、b；Lee, 1992；and Wu, 2001）。對於由台灣西南方侵台的颱風，因為個數較少，相關研究較少。

在 1951-2001 年間，共有 11 個颱風由南海海域，向北-東北移動而侵襲台灣西南部地區。這類颱風中，妮蔻兒颱風（1998）顯得較為特殊。妮蔻兒前身之擾動於 7 月 8 日 0300 UTC 增強為熱帶低壓，2000 UTC 增強為輕度颱風。衛星雲圖顯示，妮蔻兒颱風的雲區半徑約僅有 150 公里（在模式中植入渦旋的選取半徑，即是採用此數值）。雖然妮蔻兒為一弱且小的颱風，其強度僅達輕度颱風標準，中心最低氣壓僅 998 mb；但其由南海緩慢往北移動進入台灣海峽後，卻突然轉向東北方向移動，於 7 月 9 日 1700 UTC 登陸台南安平。由於妮蔻兒颱風從形成輕度颱風（Tropical Storm），到中心登陸僅 21 小時，加上其路徑的突然轉向使準備工作有所不及，於台灣西南部造成災情。

妮蔻兒並未明顯受中緯度系統影響，其移動速度十分緩慢，每小時僅 8~10 公里。在妮蔻兒轉向

即將登陸台灣前，台南、嘉義及高雄在 9 日 1200 UTC 前後都出現 9~10 級的陣風，但強風現象在颱風登陸後立刻消失。妮蔻兒登陸後，隨即轉向西北，於 9 日 2300 UTC 在嘉義一帶出海。強降雨主要出現在西南部地區（台南高雄一帶），最大降雨出現在高雄三爺測站，雨量達 230 公釐。由於事後之資料診斷分析仍未能了解，在環境場變化不大的情況下，導致妮蔻兒路徑變化的原因；因此本文針對妮蔻兒颱風模擬其侵台前的路徑變化特徵，並利用模擬結果，探討導致其路徑變化的原因。

二、數值模擬與結果

本研究使用 PSU/NCAR 所發展的第五代中尺度模式（MM5, Fifth-generation Penn.State/NCAR Mesoscale Model, Version 2）進行數值模擬。模式使用 EC-TOGA-ADVANCED $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ 之全球經緯網格資料，作為初始資料與模擬時之側邊界資料；海溫使用 NCEP 的週平均全球海溫網格資料。由於 EC 的客觀分析資料無法解析出較細微的颱風環流結構，因此本實驗中，將需植入一個平衡渦旋。

本研究使用類似簡與李(2002)的颱風植入方法，其步驟為：

(一) 植入三維渦旋：於選定的模擬初始時間（8 日 1200 UTC）之前 12 小時（即 8 日 0000 UTC）的客觀分析資料中，以 JTWC 的最佳路徑資料為準，植入軸對稱之三維渦旋；透過模式中的模組計算出其他參數後，進行 12 小時的積分。

(二) 將步驟 1 中積分 12 小時所得的（8 日 1200 UTC）颱風渦旋，取代原 8 日 1200 UTC 客觀分析初始場中的颱風渦旋，取代時所置換入的颱風中心位置，採用中央氣象局的中心定位。

(三) 因植入渦旋與環境場間仍會有些不連續帶出現，故再進行 3 小時積分，並重複步驟(二) 的程序，再次置換颱風渦旋，經此兩次置換將可得到較平衡且較合理的初始場。

在模式初始場中經上述植入渦旋後，即可進行個案模擬；經過各種參數調整測試，得到一組最佳的模擬結果，將之定為控制組模擬。控制組所模擬之颱風路徑如圖 1 所示，其中模式颱風路徑以地表（ $\sigma = 0.995$ ）環流中心為準，圖中亦同時標示觀測之颱風中心定位。結果顯示，積分之前 6 小時，模式仍處於動力調整階段；8 日 1800 UTC 時（積分 6 小時），調整後的模式渦旋中心位於 22.4°N ， 118.9°E ，且未來 6 小時中，中心呈現近似滯留。到 9 日 0000 UTC 時，系統中心位於 22.5°N ， 118.9°E ，6 小時，系統僅往北緩慢移動了 10 公里。9 日 0000~0200 UTC 間，系統移向轉為向東北且移速稍有加快，逐漸接近台灣本島。在系統即將登陸前，移動方向由向東北轉為向東南東，而於積分 32 小時（即 9 日 2000 UTC）登陸台南一帶。

比較觀測與模擬颱風路徑，結果顯示，除初始位置的差異使模式渦旋登陸時間較觀測晚 3 小時外，在颱風登陸前，模式渦旋路徑與觀測極為接近。模擬中，當渦旋逐漸接近台灣時，強度也隨之減弱，且於登陸後 3 小時，氣旋式環流便消失在台灣地形上。實際上，颱風在台南登陸後，轉往西北移動，隨後在嘉義移出台灣。造成此種差異的原因，很可能是模式中渦旋強度偏弱所致。觀測資料顯示，妮蔻兒颱風之中心氣壓雖僅下降至 998 mb，但維持此強度達 20 小時；模式中渦旋中心氣壓最低僅有 1001 mb。

整體而言，雖然模式中渦旋強度較實際颱風為弱，但模擬颱風之中心位置誤差皆小於 70 公里，且對於颱風路徑由向北轉往東北移動、及登陸前突然略微向南偏的現象，模式中皆有合理的模擬。在移動速度方面，控制組模擬除在初始時間稍為偏慢

外，其餘時間的移速均與觀測接近；但初始移速的差異，導致模擬颱風的登陸時間較觀測（9 日 1700 UTC）晚了約 3 個小時。

當颱風接近台灣時，受到中央山脈影響，外圍環流有顯著變化，模式對此亦有合理模擬。圖 1 顯示 9 日 0600 UTC 的地面觀測資料、及同時間模式（積分 18 小時）之地表（ $\sigma = 0.995$ ）風場，圖中顯示，除台灣東南部外，模擬的近地面風場特徵與觀測資料極為接近，台灣西南部之南來氣流、台灣西北沿岸附近的西北風與東部的東風，模式中都有合理的模擬。尤其是可能影響颱風運動的台灣與颱風間的較強東南風，模式的模擬極為合理。

綜合而言，控制組所模擬之妮蔻兒颱風登陸前的路徑變化特徵與觀測相當接近，而台灣地區的局部環流特徵以及大範圍綜觀環境場（圖未示）的模擬結果，亦與觀測相當接近。雖然模擬的颱風強度偏弱且登陸後的路徑與實際颱風西移出海的路徑並不相同，但本文目的在探討導致妮蔻兒颱風轉向的物理機制；因此，此控制組模擬結果與實際之差異，並不影響本文之主要目標。

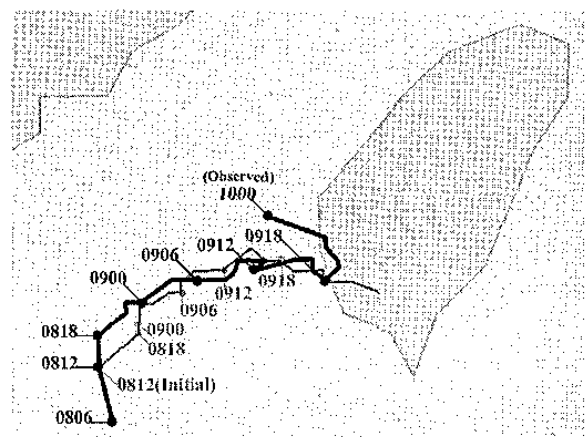


圖 1 模式控制組地表 $\sigma = 0.995$ 環流中心路徑圖（細線），與中央氣象局雷達定位之妮蔻兒颱風路徑圖（粗線）。

三、影響妮蔻兒颱風登陸前路徑變化之物理機制分析

颱風本身為一快速旋轉的渦旋系統，最大相對渦度出現在颱風中心，而颱風將往切線方位上具最大相對渦度變率之區域移動（Holland, 1983）。為瞭解影響妮蔻兒颱風在登陸前路徑變化的原因，故進一步分析控制組模擬結果之渦度收支，以探討導致妮蔻兒颱風轉向的物理機制。 σ 座標之渦度方程式可表示如下（簡，2000）：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\bar{v} \cdot \nabla(\zeta + f) - \frac{\partial \zeta}{\partial \sigma} - (\zeta + f) \bar{v} \cdot \nabla \bar{v} - \left(\frac{\partial \alpha \partial v}{\partial x \partial \sigma} - \frac{\partial \alpha \partial u}{\partial y \partial \sigma} \right) - \frac{R}{P_s} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial P_s}{\partial y} - \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial P_s}{\partial x} \right)$$

依序分別為水平平流項、垂直平流項、輻合(散)項或渦管拉伸項 (Stretching Term)、扭轉項 (Tilting Term)及力管項 (Solenoidal Term)。分析時，計算各 σ 層之各收支項；然而，為彰顯地形之作用，取 $\sigma = 0.675 \sim 0.825$ 之四層平均代表中低層，並以 $\sigma = 0.475 \sim 0.625$ 四層平均代表中層。基本上，中低層環流明顯受到台灣地形影響，而中層氣流則未受台灣地形影響。

模式渦旋於9日0000~0600 UTC間，由偏北轉為偏向東北方移動，轉向點為0200 UTC (積分14小時)，故先分析控制組實驗此段時間(積分12~18小時)之渦度收支。結果顯示，中層渦度收支各項較不具顯著分佈特徵，其正渦度局部變化極大值區與颱風移向亦無明顯相關(圖未示)。中低層渦度局部變化率(圖2)則顯示，系統的移向與最大正渦度變率區的方位相當一致。在9日0000~0200 UTC間，系統以偏北方向移動，而0000 UTC之最大正渦度變率區正位於系統北方；然而需注意的是，此時中心東南方亦有另一較大正渦度變率區，但其值較位於中心北方者為小。9日0200~0400 UTC時，原位於系統東南方之正渦度變率區已以氣旋式方向移至中心東南東方~東北方，其最大值顯著增加且大於北方之最大值。至於原位於北方之較大正渦度區則移至系統西北西方，最大值且顯著減小。至9日0600 UTC時，中心西方已無顯著較大正渦度區，而東北方之較大正渦度區雖仍維持於相同方位，但最大值已明顯減小。值得注意的是，系統於9日0200 UTC後開始向東北移動，此轉向過程似乎與原位於東南方之較大正渦度變率區之氣旋式平移有密切關係。

由於中低層的最大正渦度變率區與模式渦旋之移向關係密切，故分析積分12小時(9日0000 UTC)之中低層($\sigma = 0.675 \sim 0.825$)渦度收支。結果顯示，系統北方的強渦度變率區，主要是由輻散項(而非平流項)所貢獻；至於系統東南側的強渦度變率區，則主要是由水平平流項(加上輻散項)所貢獻，其他各項的作用相對不顯著。為瞭解中低層環流變化與渦度收支項間之關係，進一步分析9日0000~0600 UTC間的水平平流項(圖3)和地表風場與中低層渦度分佈圖。結果顯示，在0000 UTC時，系統中心之正渦度區呈現南北拉長的結構，因此氣旋式環流之平流作用，在系統東南側出現最大效應區。然而，此平流過程亦將使系統結構趨於對稱，因此水平平流效應也漸趨減弱。

結果顯示，在0000 UTC時，系統中心之正渦度區呈現南北拉長的結構，因此氣旋式環流之平流作用，在系統東南側出現最大效應區。然而，此平

流過程亦將使系統結構趨於對稱，因此水平平流效應也漸趨減弱。

至於9日0000 UTC時，輻散效應在系統北方造成的強渦度變率區，極可能是因狹管效應產生之較強氣流旋入系統中心附近時，造成的強輻合效應所導致；然而，此強渦度變率區沒有以氣旋式路徑平移的現象，其強度並迅速減弱(圖2)。由輻散項隨時間的變化(圖4)顯示，系統北方的輻散項效應在9日0200 UTC後開始減弱；然而系統東側之輻散項作用則顯著增強。9日0200 UTC時之風場和輻散場隨高度變化圖顯示，系統東側出現之輻散效應極大值區，位於系統與地形間強輻合帶之氣旋式風切側；該處具較大之正渦度值，且颱風環流與強風帶亦於此處呈現顯著輻合作用，使輻散場在此區出現極大值，而導致系統東側出現輻散效應之極大值區，並逐漸增強。結果同時顯示，此效應隨高度迅速減弱，到中層幾已無此效應存在(圖5)。

上述以氣旋式方向移動之較大水平平流效應區，在9日0400 UTC時，由系統東南側移動至系統之東側，與系統東側漸增強之輻散效應產生加成效果，使強渦度變率區出現在系統的東側，導致系統由原本向北移動的路徑，轉為偏東方移動。在9日0600 UTC時，輻散效應極大值區位於系統的東側，其效應仍持續增強；水平平流效應極大值區則移至系統的東北方，但其強度已顯著減弱。兩種效應合成之結果，仍使強渦度變率區出現在系統之東北側，導引系統繼續往東北方向移動。

另一個值得注意的現象是，妮蔻兒颱風在登陸台灣前(1800 UTC)，其路徑轉為偏東南方移動。模式中渦旋則是在積分28小時(9日1600 UTC)後，移向亦由向東北轉為向東南東方，與觀測現象頗為相似。分析積分28和30小時(9日1600 UTC和1800 UTC)，模式渦旋轉向東南時之渦度收支。結果顯示，颱風即將轉為向東南東方移動時，正渦度局部變化的極大區位於系統之東南側，使得系統在登陸前出現往東南方略微偏移的現象。結果同時顯示，此正渦度變率主要來自輻散效應；此正輻散項區位於系統中心東南方項(台灣西南部沿海)，呈現西北-東南走向且與台灣西南部海岸線吻合。此正輻散項效應僅出現於地形上，且侷限在中低層以下，強度隨高度遞減迅速。結果同時顯示，水平平流效應之極大值位於颱風中心的南側，颱風中心東側水平平流項為負值，抵銷部分輻散項之正效應。水平平流與輻散項兩種效應的加成結果，使最大正渦度變率區出現在颱風中心的東南側；系統亦在1600 UTC時開始轉向往東南方移動。

四、討論與結語

一般而言，駛流為導引颱風運動的最主要因素，當駛流不顯著時，其他影響颱風運動的因子才會突顯。妮蔻兒颱風在北移接近台灣的過程中，並未如其他類似路徑的颱風受中緯度槽前顯著西南氣流的導引。在導引氣流不顯著的狀況下，台灣地形存在的影響就可能較顯著（如陳，1995）。當颱風結構垂直延伸較完整（或強度較強）時，導引颱風運動的環流需考慮到整個大氣層之整體效應，然而，因為妮蔻兒為相當弱的系統，其強渦度區的垂直發展較淺，因此中低層環流的導引效應在颱風運動上扮演較為重要之角色。在此情況下，中央山脈所引起的低層環流的變化，就可能顯著影響颱風的運動。

上述過程中出現的輻合強風帶與 Yeh and Elsberry (1993a) 以及 Lin et al. (1999) 針對西行侵台颱風的模擬結果中，所出現導致颱風靠近地形時出現之強風帶相似。不同的是，在 Yeh and Elsberry (1993a) 以及 Lin et al. (1999) 的模擬中，此強風帶將導致颱風在靠近台灣地形時出現北偏，故颱風傾向以氣旋式路徑繞過地形。在本個案中，強風區之作用，在於其氣旋式風切側出現較大正渦度區，導致颱風東側出現渦度輻合效應之極大值區。此外，颱風結構的對稱化過程，使水平平流效應最大值區由系統東南方，以氣旋式路徑平移至颱風東北方，且持續減弱。在 9 日 0200 UTC 後，兩項效果之合成，導致最大正渦度變率區出現在颱風東側，導引颱風由北向轉向往東北方移動。不過，若相對於颱風運動方向而言，本研究和上述兩研究類似，地形效應均促使颱風向右偏向。

妮蔻兒颱風由南海北部緩慢往北運動進入台灣海峽時，因台灣地形存在而導致颱風與地形間出現的輻合強風帶區，透過輻散項效應使颱風的東北象限出現正渦度變率極大值區的現象（主要貢獻為輻散效應及水平平流效應），促使颱風轉向東北東方向移動，最後侵襲台灣。

最後，必須強調的是本研究僅對妮蔻兒颱風登陸前之路徑變化，有合理的模擬結果，模式結果之診斷分析亦可合理解釋導致颱風轉向之動力機制。然而，妮蔻兒登陸後以至重新出海轉向的現象，目前的模式則無法合理模擬。因此，針對妮蔻兒颱風，未來仍有相當多值得進一步研究的地方。

致謝

感謝黃玉瑾小姐和田祥麟先生協助資料處理、繪圖及文書處理；本研究在國科會專案計劃

(NSC90-2111-M-002-028-AP4) 支持下完成。

參考文獻

- 陳怡良，1995：地形對渦旋路徑影響之探討。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，156pp。
- 簡國基與李清勝，2002：楊希颱風（楊希，1990）侵台的數值模擬與分析。大氣科學，付梓中。
- 簡國基，2000：台灣地形對侵台颱風的影響—TCM90 個案之模擬分析。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，310pp。
- Chang, S. W.-J., 1982 : The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1255-1270.
- Holland, G. J., 1983: Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect.
- Lee, C.-S., 1992 : A preliminary analysis of two typhoons when moving across Taiwan. *Proceedings of the 2nd International Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate*, 205-212, World Scientific, Singapore.
- Lin, Y.-L., J. Han, D. W. Hamilton and C.-Y. Huang, 1999 : Orographic influence on a drifting cyclone. *J. Atmos. Sci.*, 56, 534-562.
- Wang, S.-T., 1980 : Prediction of the movement and strength of typhoons in Taiwan and its vicinity (in Chinese). *Res. Rep.*, 108, Taiwan National Science Council, Taipei, Taiwan, 100pp.
- Wu, C.-C., 2001: Numerical simulation of Typhoon Gladys (1994) and its interaction with Taiwan terrain using the GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1533-1549.
- Yen, T.-C., 1993: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part I. Upstream track deflections.

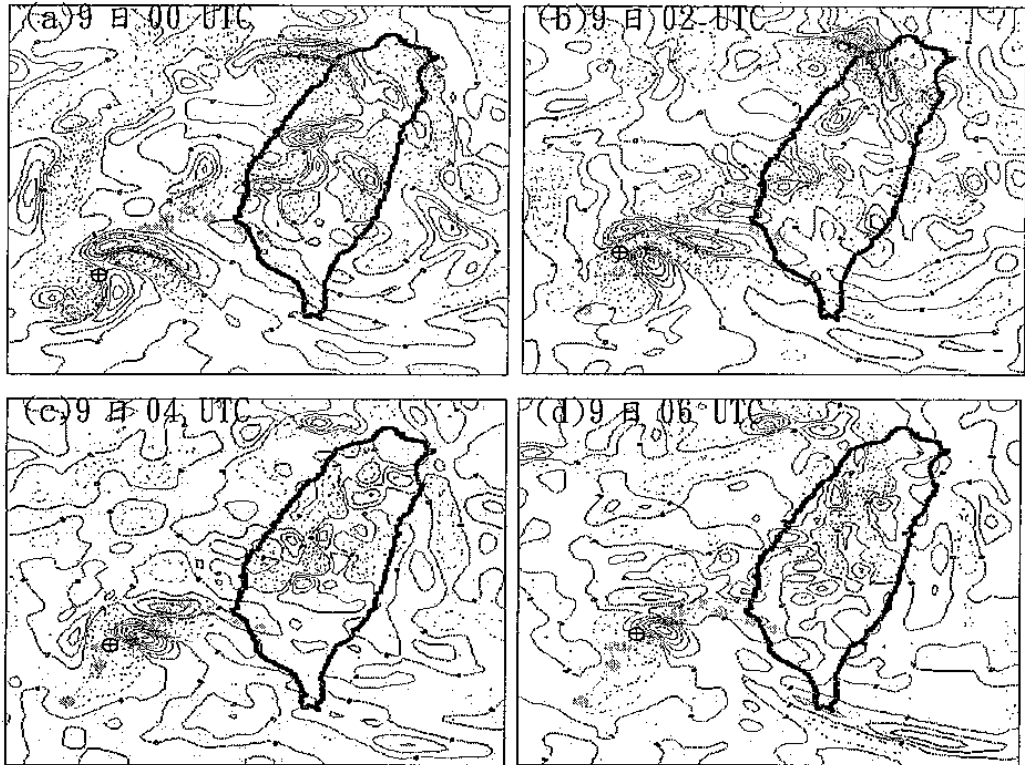


圖 2 控制組實驗積分 12~18 小時 (9 日 00 UTC~06 UTC) 妮蔻兒颱風轉向期間，每隔 2 小時之中低層溫度局部變率分布圖。圖中路徑為控制組近地層環流中心路徑圖，⊕ 表示當時颱風中心點位置，每隔 2 小時一點，等值線間距為 $5 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ 。

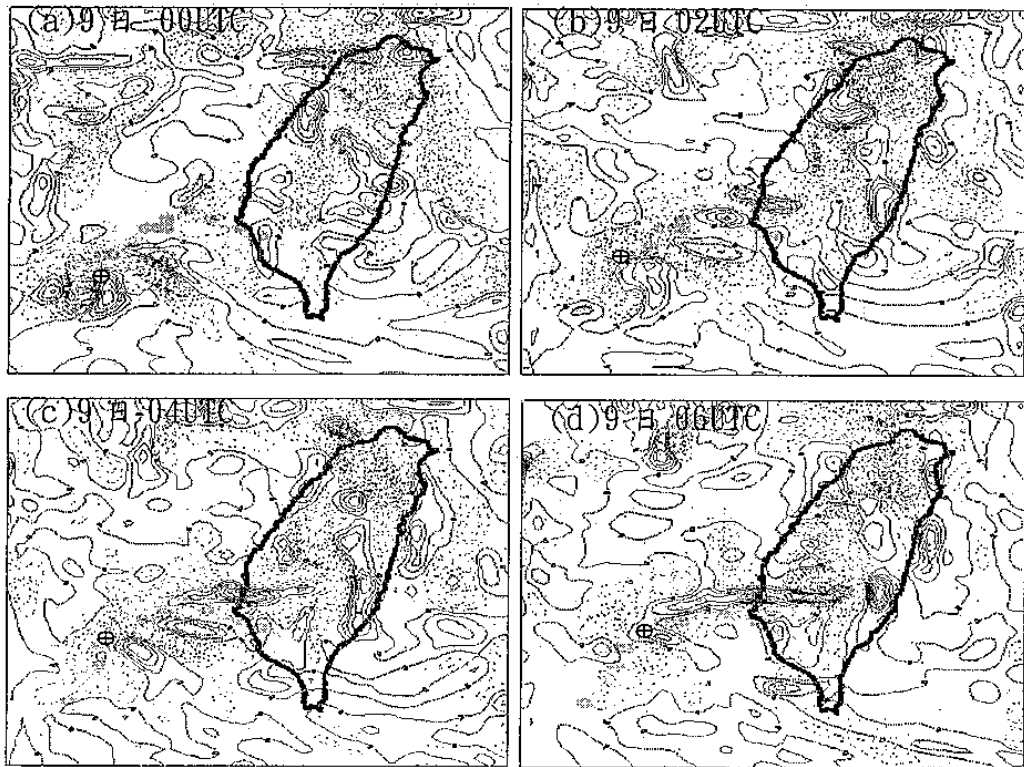


圖 3 模式積分 12~18 小時 (9 日 00 UTC~06 UTC) 每 2 小時之中低層水平平流項分布 (虛線為負值)，圖中路徑為控制組近地層環流中心路徑圖，等值線間距為 $5 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ 。

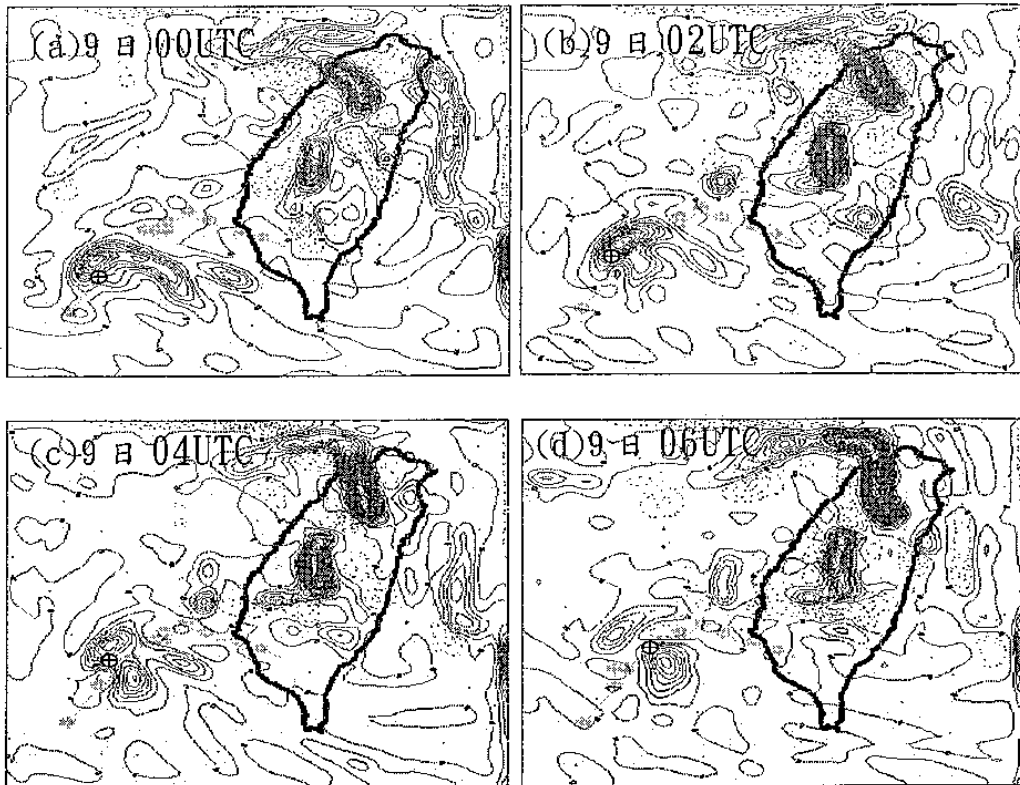


圖 4 模式積分 12~18 小時間 (9 日 00 UTC~ 06 UTC) 每 2 小時之輻散項分布，圖中路徑為控制組近地層環流中心路徑圖，等值線間距為 $5 \times 10^{-9} \text{ s}^{-2}$ 。

(a) $\sigma = 0.995$



(b) $\sigma = 0.875$



(c) $\sigma = 0.675$



(d) $\sigma = 0.525$

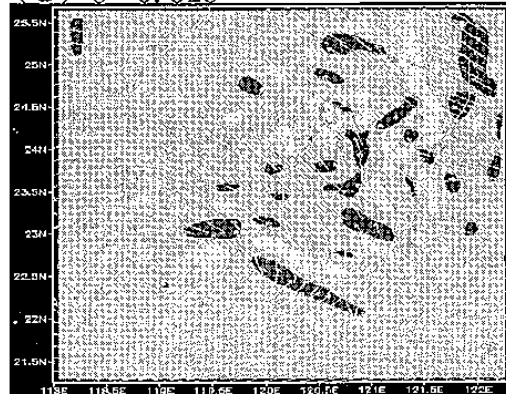


圖 5 9 日 0200 UTC, $\sigma = 0.995$ 、 0.875 、 0.675 及 0.525 各層之風場與輻散場分佈圖。