

以相當正壓模式研究地形的動力效果

The Study of Dynamic Effect of the Topography by an Equivalent Barotropic Model

蔡 清 彥 胡 仲 英

Ching-Yen Tsay Chung-Ying Hu

ABSTRACT

The dynamic effect of the topography has been studied by comparing the predicted results of equivalent barotropic models with and without mountains. It is concluded that a trough will intensify when it passes through the eastern slope of Tibetan Plateau. In winter, the 500 mb contours near a trough could decrease 90 meters in a day by the effect of terrain. With troughs moving northward and weakening in summer, the terrain effect is also weakening. Topography affects the strength of a trough but not its movement. A trough in developing stage moves faster in a equivalent barotropic model, with or without mountains ($\sim 29 \text{ m sec}^{-1}$), than in the real atmosphere ($\sim 23 \text{ m sec}^{-1}$). However, the equivalent barotropic models could predict the movement of a developed trough quite well.

一、前 言

在冬天 500mb 天氣圖，西藏高原東部斜坡上經常出現動力槽線。人造衛星雲圖上也常伴隨出現此動力槽，成南北走向的雲系。此種天氣系統是否往東移動而影響臺灣天氣，則決定於華南是否有地面溫度平流及斜壓生成近地鋒面與之配合。本文主要目的在於利用包含有地形項的相當正壓數值模型 (equivalent barotropic model) 來研究和預報此種動力槽之產生，移動及其特性，做為將來進一步用斜壓模型研究地形動力槽如何與地面天氣系統配合之基礎。

數值天氣預報是用數值方法解一組控制大氣的公式預測未來大氣狀態。美日諸國均已由研究進入實際作業階段。國內氣象單位也有少數人員進行研究數值預報方法 (中央研究院大氣物理組同仁, 1972; 劉廣英, 鄧施人 1973; 胡仲英, 1975)

相當正壓模型是最簡單的數值天氣預報模型，國外數值預報先進，早在二十幾年前首先採用，國內則尚屬首舉。我們將在第 2 節簡單介紹之。利用此模

型的預報結果，我們在第 3 節討論地形對冬天和夏天 500mb 環流系統的影響。

二、數值預報模型

(一) 相當正壓模型的預報公式

查尼 (Charney) 在 1948 年介紹準地轉模型 (quasi-geostrophic model) 可以濾去聲波和重力波以後，相當正壓模型首先在 1950 年被用來預報天氣。最近幾年國內氣象界也開始試用正壓數值模型預報 500mb 上環流系統的移動 (劉廣英、鄧施人, 1973; 胡仲英, 1975)。正壓模型只適用於水平無輻散的高度 (約 500mb)，無法預報 500mb 以外各高度的系統。相當正壓模型則無需做水平無輻散的假設，而且可以粗略的考慮地形的影響。

相當正壓模型假設地轉風的風速可以隨高度變化，但是其風向則否。也就是假設在等壓面上等溫線與等高線平行。取準地轉渦旋方程式 (quasi-geostrophic vorticity equation) 的垂直平均，我們就可以得到相當正壓模型的預報公式 (Holton, 1972)。

$$\frac{g}{f_0} \frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 Z^* = -\vec{V}^* \cdot \nabla \left[-\frac{g}{f_0} \nabla^2 Z^* + f + \frac{A(P_0) f_0 g h}{RT_0} \right] \dots\dots\dots(1)$$

因為地轉風， $\vec{V}^* = \frac{g}{f_0} k \times \nabla Z^*$ ，(1)式可以寫成下預報公式：

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 Z^* = -J(Z^*, \frac{g}{f_0} \nabla^2 Z^* + f + \frac{A(P_0) f_0 g h}{RT_0}) \dots\dots\dots(2)$$

其中 $J(F, G) = \frac{\partial F}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} - \frac{\partial F}{\partial y} \frac{\partial G}{\partial x}$ ， g 為重力加速度， f 為科氏參數， R 為氣體常數， T_0 為地面溫度， Z 為等壓面的高度， h 為地形高度， $A(P)$ 為等壓面 P 上的風速與垂直平均風速之比。符號 * 表示此預報公式只適用於一特定等壓面 P^* (starred level)；此特定等壓面 P^* 定義為 $A(P) = [A^2(P) \text{ 的垂直平均值}]$ 時之等壓面。

(2)式為本文所採用的預報公式，除了適用的高度不同和多了地形項外，(2)式形式上與劉、鄧 (1973)

和胡 (1975) 所採用的正壓模型的預報公式相同。

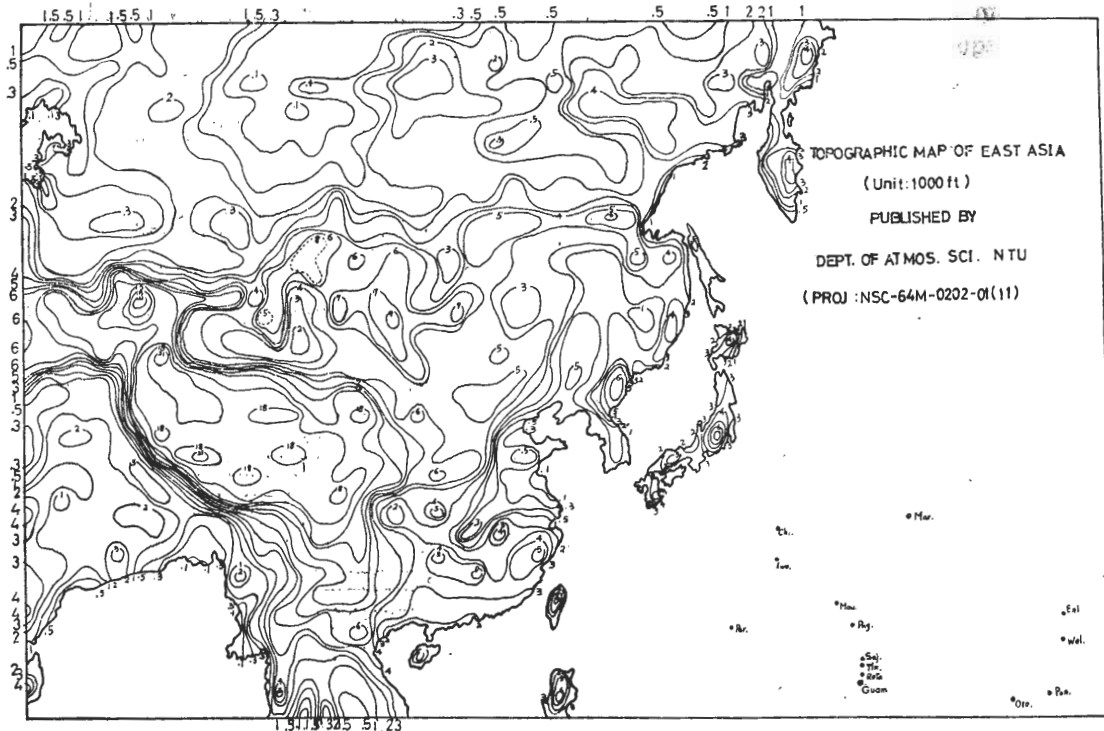
(二) 數值方法和參數的處理

數值解(2)式時，我們採用空間中差法 (centered differencing) 和時間前差法 (forward differencing)。時間間隔為一小時，水平方向我們採用中央氣象局的藍伯特角錐投影 (Lambert conformal conic projection) 圖。計算範圍選為 $90^\circ E \sim 160^\circ E$ ， $6^\circ N \sim 60^\circ N$ 其分為 20×20 個網格點，各格點間距離為 300 公里。

(2)式中地形高度， h ，是先從航測圖中讀出再經過修勻而得的數字。圖(一)為我們所採用的地形圖。 $A(P_0)$ ，我們採用區域的氣候平均值，0.18 到 0.35。地面溫度 T_0 ，我們也採用區域的氣候平均值，從南方的 $293^\circ K$ 到西伯利亞的 $253^\circ K$ ，我們也分區域分析 starred level 的氣候平均高度，從 300mb 到 600mb。預報區域的平均高度約為 440mb，我們採用 500mb 為預報高度。

(三) 初始值和邊界條件

本模型初始值的輸入係採用客觀天氣圖分析法。冬季在此區利用該法所得到的客觀天氣圖和主觀天氣



圖一
Fig 1: Topographic map of East Asia

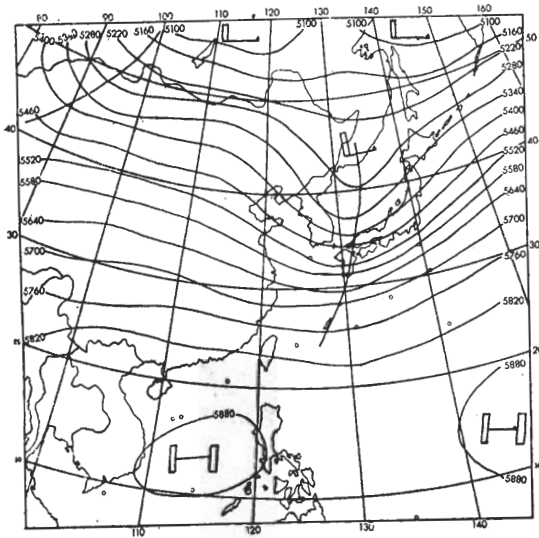
圖，偏差在 10-20 公尺之間，故此法之實用觀測價值頗高。夏天若有颱風生成既因颱風附近缺乏 500mb 的高度觀測值，又因颱風中心移動、高度變化甚巨，故無法得到理想的客觀分析圖。本模型颱風中心高度係參考飛機報告而非得自客觀分析法。

本文之邊界條件，Jacobian 的計算及平滑運算請參見「正壓大氣模式及其應用」(胡仲英，1975)。

三. 地形對 500mb 環流的影響

我們選了兩個個案代表冬夏兩季的 500mb 環流。冬季的個案以 1975 年 1 月 22 日 1200Z 的 500mb 環流為初始值，我們稱之為 case W (如圖二)。夏季的個案是以 1974 年 7 月 24 日 0000Z 的 500mb 環流為初始值，我們稱之為 case S (如圖七)。在預報 500mb 等高線時，我們以含有地形項和不含地形項的(2)式計算之，分別用符號 M 和 NM 表示。所以冬天有地形的預報，我們稱之 case WM，冬天無地形的預報，我們稱之 case WNM。以此類推。

(一) 冬季環流：冬季個案的初始值，如圖二所示



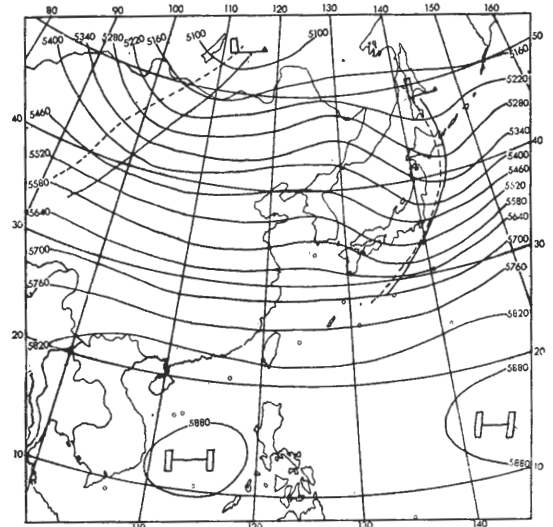
圖二

Fig 2: Initial values for case W (1200Z Jan. 22, 1975) unit in meters

，有兩低壓槽。一槽線從 133°E，45°N 向南延伸到 128°E，25°N，我們稱之為槽線 T_E 。另一槽線從 100°E，55°N 向西南延伸到 85°E，40°N，我們稱之為槽線 T_W 。

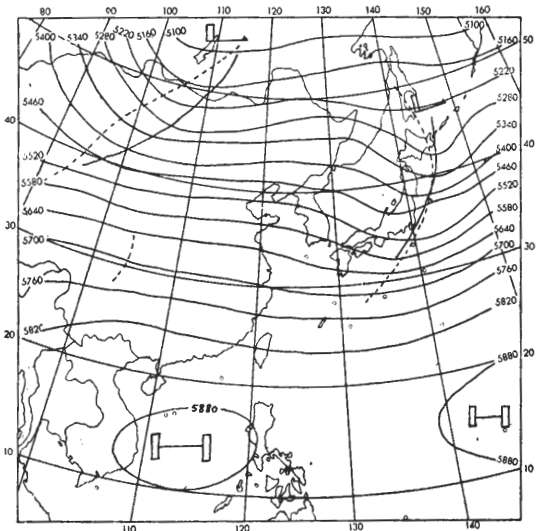
預報圖分為兩種，case WM 和 case WNM。

12小時的兩種預報圖分別表示在圖三和圖四。其中虛線是觀測的槽線，預測槽線則以實線表示之。對於槽線位置的預報，兩種方法的結果相似。預報槽線 T_E 的位置與實際觀測槽線位置相近，槽線 T_E 在 12 小時內移動了 800 公里。但預報槽線 T_W 的移動比實



圖三

Fig 3: Predicted values at 12 hour for case WM, unit in meters. Dashed lines are observed trough lines



圖四

Fig 4: Predicted values at 12 hour for case WNM, unit in meters. Dashed lines are observed trough lines

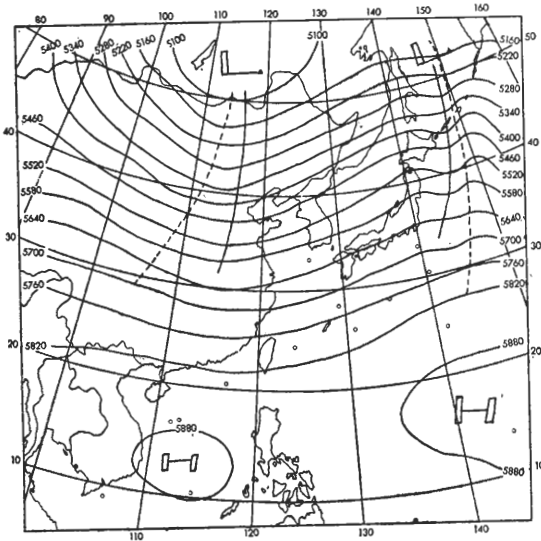
測槽線較快。實際槽線 12 小時移動了 750 公里，預報槽線移動了約 1000 公里。對於槽線 T_E 的深度，兩種預報結果均與觀測值相近。但對槽線 T_W 深度的預測，case WM 比 case WNM 接近觀測值。沒有考慮地形時 (case WNM) 預報之槽線較實際觀測為

淺。兩種預報的 500mb 高度差值在 $110^\circ E, 43^\circ E$ 附近最大，約 50 公尺，差值往四週遞減。

有地形 (case WM) 和沒有地形 (case WNM) 的 24 小時 500mb 預報圖分別表示在圖五和圖六。實際天氣圖顯示槽線 T_E 繼續往東移動，這 12 小時約移動了 500-600 公里， T_W 往東南移動了約 1200 公里。對於槽線的移動速度，兩種預報結果相近。槽線 T_E 的 24 小時預報慢了約 100-200 公里，槽線 T_W 的 24 小時預報快了約 500 公里，對於槽線 T_E 的深度，兩種預報值均與觀測值相差甚遠。可能是此槽線太接近計算範圍的邊界的結果。對於槽線 T_W ，case WM 再次較 case WNM 準確的預報其深度。高度差值圖顯示兩預報值之差在 $115^\circ E, 34^\circ N$ 附近最大，約 90 公尺，差值往四週遞減。

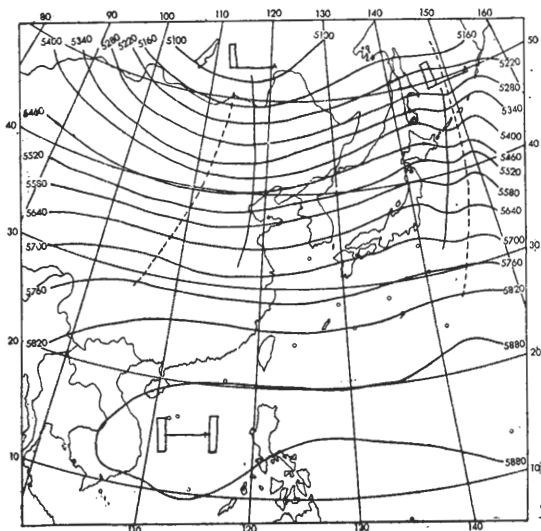
中國南海和太平洋高壓系統近似滯留，兩種預報結果均與觀測值接近。

(二) 夏季環流：夏季個案的初始值，如圖七虛線



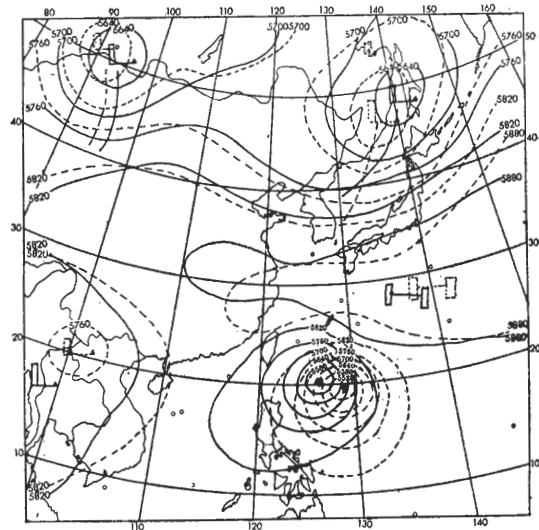
圖五

Fig 5: Predicted values at 24 hour for case WM, unit in meters. Dashed lines are observed trough lines



圖六

Fig 6: Predicted values at 24 hour for case WNM, unit in meters. Dashed lines are observed trough lines

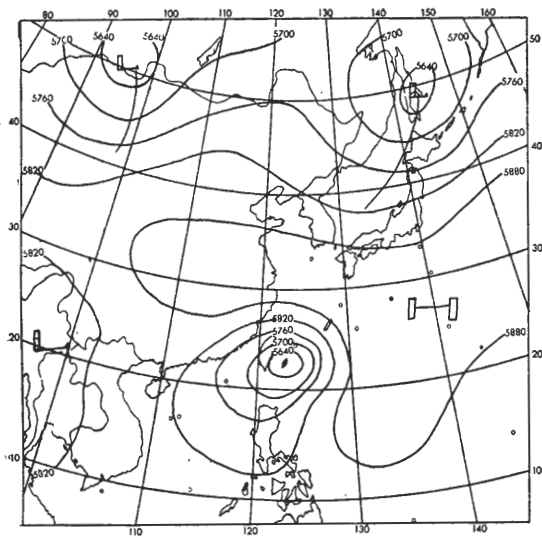


圖七

Fig 7: Initial values for case S (0000Z, July 24, 1971) in dashed lines. Predicted values at 12 hour for case SM in solid lines, unit in meters.

所示，有兩條不很深的槽線和一強烈颱風娜定 (Nadine)。颱風中心在 $126.8^\circ E, 20.0^\circ N$ 以時速 10 裡向西北西移動。比較 case SM 和 case SNM，我們發現夏季中氣流受地形影響不大。兩種預報之高度差值最大只有 30 公尺，12 小時的最大差值中心在

115°E、41°N 附近，24 小時後此最大差值區向西移至 105°E、42°N。



圖八

Fig 8: Predicted values at 24 hour for case SM. unit in meters

四. 結 論

本文利用相當正壓模型研究地形對 500mb 環流的影响。當一槽線經過青康藏高原東部斜坡時，其深度必然因為地形的變化而加深。冬季槽線南伸時地形影響最大，500mb 槽線附近的高度值一天內可下降 90 公尺。夏天槽線北移且減弱，地形影響較小。地形只影響槽線的深度，不影響槽線的移動速度。對於出海後，已經不繼續加深的槽線，相當正壓模型能準確預報其速度，約 $14-18 \text{ m sec}^{-1}$ 。在內陸上，正在加深的槽線，其移動速度約為 $17-28 \text{ m sec}^{-1}$ 。相當正壓模型預報之速度比觀測值快了 6 m sec^{-1} 。

500mb 上槽線經過高地東部斜坡而加深後繼續往東移動。它如何與地面系統配合而影響臺灣天氣。還有如何準確預報槽線移動速度。這兩個問題均有待於利用斜壓模型進一步研究。

五. 後 記

此篇文章乃在國科會計劃，NSC-64M-0202-01 (11) 輔助下完成。

本文所採用的地形圖(圖一)是臺大大氣科學系吳清吉、莊瑞華、高夢稷、張麗白等助教協助完成的。原始地形資料大部份是中國文化學院地理系徐聖謨主任供給的。馬國華、方力脩兩位研究助理幫助資料分析和繪圖。沒有這七位先生、小姐的協助，這篇文章不會如此順利完成。特此致謝。

另外，作者蔡清彥要向空軍氣象中心致謝。因為參加他們每週的天氣預報討論會，使我獲得許多寶貴的實際天氣經驗，成為研究的題材。本文題目就是其中之一。

參 考 資 料

中央研究院大氣物理組同仁研究報告，1972。「大氣及颱風運動之模型(I)(II)(III)」。

劉廣英，鄧施人 1973。「利用電子計算機做數值天氣預報之研究」(上)(下)。氣象預報與分析(空軍氣象聯隊)第五十五期 1-5 頁，第五十六期 6-8 頁。

胡仲英，1974。「正壓大氣模式及其應用」大氣科學(中國氣象學會)第二期附印中。

Cressman, G. P., 1959: "An operational objective analysis system". *Mon. Weather Rev.*, 87, 367-374.

Holton, J.R., 1972: "An Introduction to Dynamic Meteorology". New York, Academic Press, 129-133.

作者通信處：臺灣大學大氣科學系