

# 數值預報實驗結果分析與檢討\*

劉 廣 英

## A General Survey on the Results of CAFNWP

Koung-Ying Liu

### Abstract

The results of the barotropic and equivalent barotropic models used by Chinese Air Force (CAFNWP) are analyzed. We found that both models give reliable predictions, especially for the major systems. The standard deviations of the predicted major trough of the models are 1.26 and 1.10, respectively, in favor of the second. We also use the models to predict the movement of Typhoons which invaded Taiwan in 1975, the results are, by comparison, no worse than those of the other objective methods. Some problems of these two models are also discussed in this paper.

### 一、前 言

校驗為數值預報工作重點之一。未經分析驗證數值預報不但難以確定其價值，亦難以在預報上發揮功能。在過去一年中，根據「利用電子計算機做數值天氣預報之研究及應用」計劃工作重點，吾人分析比較正壓及相當正壓模式預報結果與實際天氣圖，統計其誤差程度，並比較二模式結果以定其優劣。實驗比較的結果顯示，在天氣圖形勢上言之，二模式均甚可用，但後者略優於前；如就高度場而言，二者均較實際偏低，且後者偏低程度大於前者。在以下諸節中，將循序討論研究結果，因學識有限如有不當或錯失之處，尚祈學者先進不吝指正，以為今後研究改進之參考。

### 二、使用模式

基於實用及研究之需要，在過去一年中，吾人採用「正壓模式」(barotropic model)及「相當正壓模式」(equivalent barotropic model)製作 500mb 數值預報圖。正壓模式之理論與實用，為計劃中第一年研究重點之一<sup>(1)</sup>，而近年來國內使用此一簡單模式亦極普遍，且所得結果顯示，此一單參數模式無論對 500mb 天氣圖之預測，或颱風動向之預測<sup>(2)</sup>，均有相當程度之可用性。至

於相當正壓模式，雖仍然為一單參數模式，但因包容更多大氣秉性，允許風之強度隨高度改變，但仍不考慮其垂直方向切變，亦即允許氣壓系統在垂直方向有強度之變化，而不考慮在該方向之傾斜現象，故實際上為一垂直平均模式。同時，對地形變化所導致之渦度變化亦加考慮，故較前者應更接近大氣實際情況，因而據有較佳預報能力。此模式所用之基本方程式<sup>(3)</sup>為：

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

或由  $\vec{V} \simeq \vec{V}_g = -\frac{g}{f_0} \hat{k} \times \nabla Z$  地轉風關係式將式

(1)改寫為

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

其中 Jacob. 係採用隣近十二格點值計算法<sup>(3)</sup>，以增加計算穩定性。

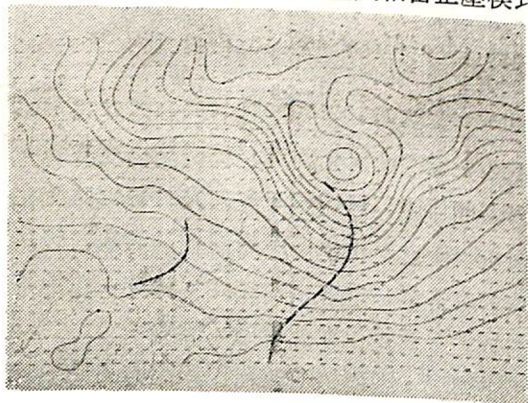
上二式中  $A(P_0)$  為加權函數 (weighting function)，表示風速隨高度改變之關係， $h$  為一地海拔高度，其他符號則均為慣用者。此模式在國內引用較晚，蔡清彥、胡仲英<sup>(4)</sup>曾利用它研究地形之動力效應，可謂開端者，而在本研究中主要著



眼點在於探討地形項對預測圖之影響，亦即與正壓模式預報結果之差異，以作為預報之參考。研究中所使用之我國及東亞地區地形圖即由蔡清彥博士所提供，而  $A(p_2)$  之值亦採用(4)文中方法求得，即500mb定壓面上之風速與垂直平均風速之比。

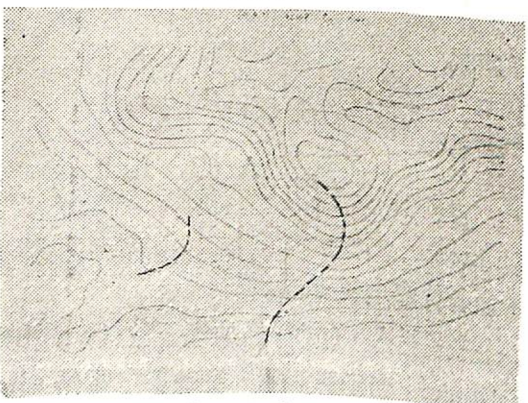
### 三、二模式所預報天氣圖之比較

自民國64年元月份起，吾人即開始以同一初值場，由前述二模式製作 500mb 預報圖。一般言之，在天氣圖形式上，相當正壓模式所得結果略優於正壓模式所得結果，此種優勢於冬季時尤為明顯。此結果甚合理，因冬季極地高壓勢力強且南移，致西風亦加強並南移，地形對 500mb 天氣圖影較大，正壓模式結果誤差應較大。但就高度預測，尤其是臺灣地區高度預測而言，則後者優於前者。如就不同季節觀之，二模式所得之結果均為冬季優於夏季。圖一及圖二分別為利用正壓及相當正壓模式相



圖一 根據 64.3.22. 1200Z 資料製作之正壓模式  
24 小時 500mb 預測圖

Fig. 1. 24hrs barotropic prediction of 500mb contour chart, based on 1200Z, March 22, 1975



圖二 相當正壓模式, 24 小時 500mb 預測圖。資料與圖一同。

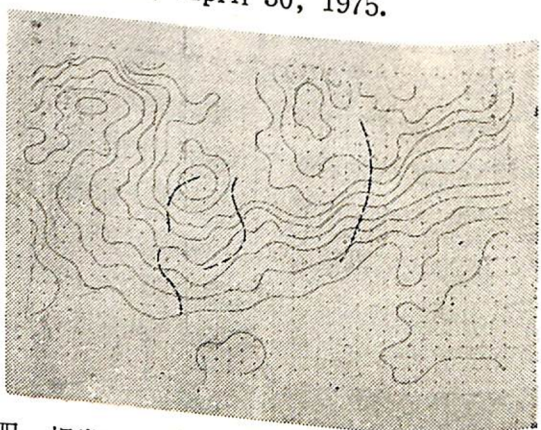
Fig. 2. 24hrs Equivalent barotropic prediction of 500mb contour chart, based on the same data as in Fig. 1.

據64年3月22日1200Z 資料所製成之24小時 500mb 預報圖。比較二者可發現：(1)主要氣壓系統，亦即較強系統之預測均較正確。(2)由於無地形影響，太平洋上空之槽脊線位置，二模式預報完全相同。(3)預報圖等高線之形式與實際天氣圖相若，但高度普遍較實際者為低，偏低之數值又以大陸沿海為最大。(4)由與實際天氣圖相較可知，相當正壓模式預報結果略優於正壓模式者，尤以西藏高原東方之動力槽為然。(5)二模式預報圖上均以位在我國東北東方之低中心最準確，而以槽線尾端偏差最大。



圖三 根據 64.4.30, 1200Z 資料製作之正壓模式  
24 小時 500mb 預測圖

Fig. 3. 24hrs barotropic prediction of 500mb contour chart, based on 1200Z, April 30, 1975.



圖四 相當正壓模式 24 小時 500mb 預測圖。資料與圖三同。

Fig. 4. 24hrs Equivalent barotropic prediction of 500mb contour chart, based on the same data as in Fig. 3.

圖三及圖四則分別爲二模式製作之64年4月30日1200Z 500mb 天氣圖，由此圖上吾人發現：(1)：由於西風分風速甚小，地形作用，亦即相當正壓模式中增加部份之作用極不明顯。(2)二者與500mb實際天氣圖相差均甚大，此種誤差現象爲一極端實

例，或與原始圖上阻塞（blocking）現象有密切關係。(3)原始及實際天氣圖中，短槽均多，主要系統不明顯，致預報效果奇差。

單就相當正壓模式結果而言，由於地形對渦度 (vorticity) 之影響由  $\vec{V} \cdot \nabla \left[ \frac{A(p_0)gh}{RT_0} \right]$  項決定，則當地形梯度及其他常數決定後，影響之大小全由垂直於地形梯度之風分量所決定。就我國氣候條件而言，此風分量在西藏高原地帶，無異以冬季為大，故在預報圖中此項作用以冬季較明顯殊屬合理。在另一方面而言，由於分風速最大區隨時在南北方向擺動，故西藏高原之背風槽在南北方向亦有變化，而非在固定位置，此亦與事實相符。

#### 四、預報天氣圖與天氣

四、預報天氣圖與天氣圖之關係

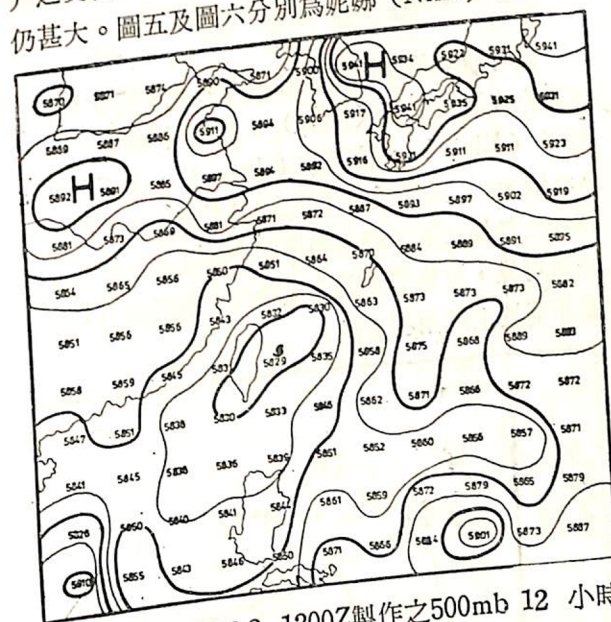
天氣預報是否準備，一方面固視預報天氣圖是否與相當時間之實際天氣圖相符，另一方面更視吾人是否充分瞭解天氣現象與天氣圖之關係而定，後者無異又是天氣預報成功與否之關鍵。由經驗知，因受中小尺度因素之影響，相同之天氣圖並不一定發生相同之天氣，此乃導致預報失敗之主因，對主觀方法如此，客觀方法亦復如此，也就是說單靠一張預報正確的預報天氣圖，並不保證就能做正確之天氣預報。不過，如以主要且系統化之天氣為預報目標，成功之數值預報圖應可提供相當可靠之指示。基於此一要求，吾人曾分析所作之 500mb 預報圖，發現二模式之結果對預報天氣均甚可用，即在初始條件適當下，二模式對主要槽脊線通過本省及其相伴天氣之預報，準確性相當高。圖一及圖二所示者即為一極佳實例，在該二圖中有一明顯槽線在臺灣西方，勢將影響當地天氣，事實正是如此。但在阻塞情況下，以及對短槽、橫槽之預報則均不如理想（如圖三及圖四所示），此或與起始條件與模式基本假設相差較大，以及網格距離較大對小範圍變化難以計及有關。平均而言，正壓模式及相當正壓模式對沿海主槽24小時預報位置之標準差（standard deviation），在靠低壓中心，即較高緯一端各為 1.26 及 1.10 個網格距，而在尾端則分別為 1.67 及 1.46 個網格距，相當正壓模式顯然優於正壓模式，而槽線上端亦優於尾端；槽線尾端預報較差，乃由於二模式對橫槽均無法預報之故。

尤有進者，上述標準差，如就取定差時之距離為衡量標準，實與計算誤差範圍相差甚微，因而在使用預報圖時，如果我們以臺灣省為分野，將預報之槽線位置區分為東、西二類，用以預報圖發生時

之天氣現象，則上述誤差實可略而而不計。

#### 四、颱風之預報

用任何數值模式預測颱風未來動態，均面臨颱風附近資料缺乏及網格距過大之問題。前者影响初值場 (initial field) 之準確度，後者則直接影响預報效果。以本實驗而言，標準網格距 (30°N 及 60°N) 約為 150 哩，而颱風半徑常與此略等甚或更小，故在定差運算中有將颱風「漏掉」之可能。同時，為避免計算不穩定，計算中除已先將起始高度場均稱 (smoothing) 外，以後每 24 小時即再均稱一次，致颱風附近高度愈來愈平滑，常導致預報中心無法確定。不過，這並非表示數值預報對颱風無能為力，相反的，如配合導流 (steering) 法則，即根據預測圖上主要導引系統 (如太平洋高壓) 之變化趨勢預測颱風動向，則數值預報之可用性仍甚大。圖五及圖六分別為妮娜 (Nina) 之 12 及



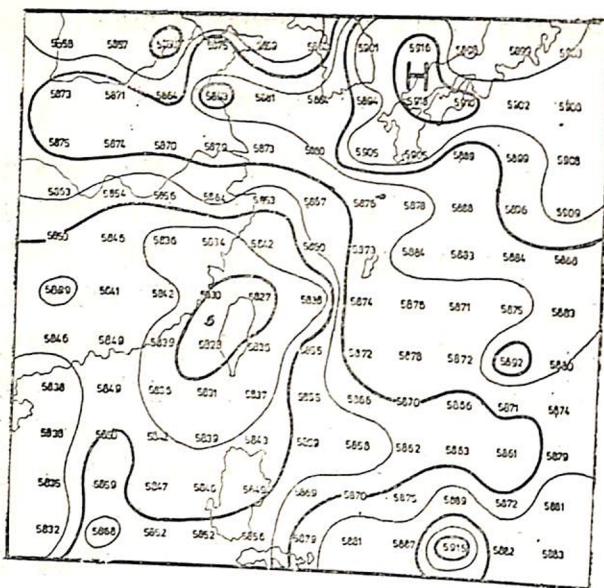
圖五 根據64.8.2. 1200Z製作之500mb 12 小時  
預測圖。圖中妮娜颱風位置與實際(示)者相符。

示)者相符。

Fig 5: The 12hrs predicted 500mb chart of 1200Z, Aug. 2, 1975. The predicted position of Nina is fitting to the actual (shows by  $\zeta$ ) one.

24小時預測圖，圖中預測中心位置之訂定，係假定颱風為對稱形勢，而後以高度較低處之幾何中心為颱風中心。由圖可知數值預報不但可顯示颱風中心位置，且可看出導引趨勢，即預報時限可延伸至24小時以上。

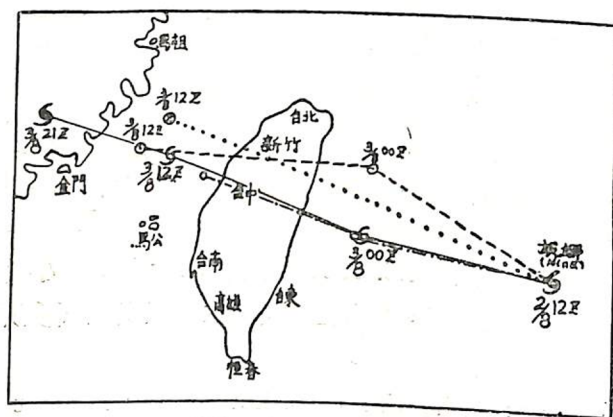




圖六 同日之24小時預測圖。妮娜預測位置較實際(5所示)者略落後。

Fig 6: The 24hrs prediction of the same chart of Fig 5.

為考量數值預測路徑之優劣，吾人特將本(64)年發生之颱風妮娜(Nine)、貝蒂(Betty)、艾爾西(Elsie)、及裘恩(June)、使用荒川(Arakawa)及陳氏<sup>(6)</sup>客觀預報所得結果，與值數預報者加以比較。圖七即為妮娜颱風之比較圖。由該圖可見，數值預報對颱風動向之預測能力，至少並不亞於上述兩種方法。



圖七 妮娜(Nina)颱風路徑預報圖(起始時間64.8.2. 1200Z)

數值預報 — • — • —  
陳 氏 • • • • •  
荒 川 — — — — —

Fig 7: Objective predictions of Typhoon Nina (1200Z, Aug. 2, 1975)

— • — • — Numerical  
• • • • • Cheng's  
— — — — — Arakawa

## 五、預報圖問題研究

### (一)邊界條件之影響

實驗中採用無滑動邊界條件(free-slip boundary condition)，即假設大氣在邊界處不受摩擦力影響可自由流動<sup>(5)</sup>。雖然參考資料<sup>(5)</sup>指出此種邊界條件對於局部(limited area)模式而言「可能會給予較客觀的天氣變動情形」，但實驗顯示，在氣流流入端預報結果受邊界影響極大，且影響程度及範圍與時聚增。在各次實驗中當預報時限達到48小時時，邊界影響即已浸至我國東南沿海，對臺灣地區天氣預報已失效用，因此，在未改進邊界條件前，今後預報均將以36小時為極限。

### (二)預報高度場偏低趨勢

如前文所述，實驗中預報圖形式雖與實際天氣圖相似，但預報區內預報之高度均較實際高度偏低，偏低之值又以我國大陸沿海至臺灣一帶最大，且偏低值係隨預報時間而加大。平均而言，正壓及相當正壓模式預報結果，在臺灣地區分別偏低73.3及76.3動力公尺；標準差分別為40.0及50.5動力公尺，相當正壓模式者較大。此一持續性誤差，似為模式所「固有」。湯普生(P.D. Thompson)<sup>(7)</sup>曾指出，美國聯合數值預報中心，使用正壓及雙層斜壓模式，所得預報結果均有一高度偏低最大區在亞洲東海岸，吾人之實驗結果正與該中心者相同。此一偏低現象，除因客觀分析所得原始圖即較主觀分析圖高度場偏低外<sup>(6)</sup>，或與海陸交界有關——在海陸交界處，由於地表物理特性之差異，大氣秉性以及地表與大氣間交互作用之不相同，大氣運動性質亦應有所不同。同時，海陸交界處大氣中熱能、濕度等之傳送及平衡過程亦與均勻地表處者不同，此種秉性上之差異顯然無法包容於正壓模式中，故必然產生預報誤差。修改模式，以防止長波後退可將此誤差修正<sup>(7)</sup>，但何以如此，作者不甚了然，有待高明指教。

再就二模式所作同時預報圖比較觀之，吾人發現同一地區中相當正壓模式預報偏低值大於正壓模式者，平均二者相差3動力公尺，此顯然為地形及溫度變化所造成者。

### (三)橫槽預報錯誤最大

觀每日500mb圖，吾人常發現在我國東南沿海地區，有東西向之橫槽，或風變線存在。此種槽線不但影響當時該地區天氣，東移後亦可影響本省北部天氣，故對其未來位置之預報得失，對天氣預

報成效影響極大。分析吾人實驗結果可發現，二模式對此類橫槽之移動，或原屬正常之槽線轉變為橫槽之現象，均無預報能力。實驗期中實際天氣圖上共有橫槽及尾端成東西向之主槽21次，預報準確者僅1次，有5次完全未預報出來，其他各次槽線尾端預報位置與實際位置平均相差達三個網格距，最大者差五個網格距，較全部實驗結果之平均誤差1.5個網格距相差甚大。

上述橫槽預報誤差，純屬模式能力不及所致。蓋因正壓模式為純以動力觀預報未來天氣圖，亦即將高度之局部變化，視同純由平流作用造成。加以預報圖中僅具高度而無風場，訂定橫槽實無可能。同時，此類系統常屬小範圍現象，亦非模式能力所及。因此對於橫槽或風切線之存在及運動，自是無法預報。

### (四)未來改進

前述誤差對天氣預報均有直接影響，改進之道不外兩方面，即一方面改進客觀分析，以增加起始大場之精確度；一方面改進數值模式，以期更符合大氣實際變化條件，做較準確之推算。在客觀分析改進方面，目前正由鄧施人<sup>(6)</sup>由資料輸入及錯誤分析統計，進而加以修正諸方面著手進行之中；至於模式改進方面，預計將現用之相當正壓模式，依照修改後模式將包括地面摩擦，地形影響，及長波作用諸項，如此一方面希望將高度誤差消除，亦望增加預報準確率。

其次猶待改良者，乃邊界條件問題。由於大氣環繞地球運動連續不斷，局部運動與其他地區之運動本屬一體，故在運動方向加以分割可造成嚴重誤差自是難免，但優良之邊界條件應可將誤差減至最小，所以除目前使用之邊界條件外，吾人將研究及試用其他邊界條件，以改進預報效果，增長預報時距。

## 六、結論：

數值天氣預報工作重點有四：即1.資料處理。2.客觀分析。3.模式運算。及4.校驗。在行政院國家科學委員會支持下，本研究第一年以2.及3.項為重點<sup>(1)</sup>，而第二年則以1.及4.項為重點，分別由鄧施人<sup>(6)</sup>及作者執行。吾人發現數值預報結果確

有許多缺點，前文中已作定量分析，以確定預測圖可靠程度。此一結果不但可供今後改進之依據，亦可提供使用本研究結果作天氣預報之參考。不過由統計資料顯示，數值預報所得結果亦有相當高之可用性，但準此所作之天氣預報是否正確，仍有賴預報員使用預報圖之經驗；也就是說，個人認為，欲期數值預報在國內擔負起應負之責任，首先我們要確認數值預測圖可用性很高，進一步再根據預測圖建立我們的預報經驗或規則。非此，數值預報這件有力工具，將難以充份發揮其功能。

× × × × ×  
× × × × ×  
本文之完成除承國家科學委員會獎助，蔡清彥博士指導並提供資料，諸位長官之督導外，有賴安康計算機中心支援計算機時間，徐士哲碩士提供寶貴意見，蘇健玲、李泳銘二位研究助理執行資料蒐集，上機及預報圖分析，以及謝維權代為校繕稿件，謹此一併致謝。

## 參考資料

- (1) 劉廣英、鄧施人：「客觀分析與正壓模式——理論與實作」。氣象預報與分析第61期。63年11月。臺北市。
- (2) 胡仲英：「正壓大氣數值模式及其應用」。大氣科學第二期，64.5。臺北市。
- (3) Holton, J.R., 1972: "An Introduction to Dynamic Meteorology" New York Academic Press, pp. 129-133.
- (4) 蔡清彥、胡仲英：「以相當正壓模式研究地形的動力效果」。大氣科學第二期。64.5。臺北市。
- (5) 大氣物理組同仁，1972：大氣及颱風運動模式，I.邊界條件，Annual Report of the Institute of Physics, Academic Sinica.
- (6) 鄧施人：「資料輸入與客觀分析修正之研究」，氣象預報與分析64期。64年8月。
- (7) Thompson, P.D., 1969: Numerical Weather Analysis and Prediction, pp. 151-163. 臺北歐亞書局。
- (8) 陳毓雷：「颱風移動路徑及強度之客觀預報」。氣象預報與分析58期。63年2月。