

天氣圖客觀比對方法之初步評估： 以NCEP Reanalysis 500 hPa高度場為例

蔡孝忠 陳怡良 顧欣怡 黃嘉美 張定祺 張博雄 黃文亭

中央氣象局 氣象預報中心

摘要

在天氣預報作業的過程中，預報人員經常需要由大量歷史資料之中，找尋與目前天氣分析場或數值預報結果類似之個案，做為後續預報評估之參考。在進行歷史天氣圖搜尋比對時，除了需要具備豐富經驗之外，搜尋過程耗費時間，且比對結果亦缺乏客觀評估依據。

本研究之目標為客觀比對邏輯的建立，以提供作為天氣預報之決策支援輔助工具。採用二維離散傅立葉轉換，客觀擷取天氣圖特徵，將數位化之分析場或預報場網格資料，轉換至傅立葉波譜空間，以各個波數(wave number)所對應之能量及相位角，作為客觀比對指標。本文亦比較了文獻中經常使用的兩種傳統比對方法：(1)直接計算網格資料之均方根差異(root mean square difference); (2)採用EOF(Empirical Orthogonal Functions)特徵分量作為比對指標。初步分析結果顯示，本研究提出之方式可以有效擷取天氣圖之特徵，且比對結果較為合理。

關鍵字：天氣圖比對、二維傅立葉轉換

一、前言

在天氣預報作業的過程中，預報人員經常需要由大量歷史資料找尋與目前天氣分析場或數值預報結果類似之個案，做為後續預報之評估參考。在進行歷史天氣圖搜尋比對時，除了需要具備豐富經驗之外，搜尋過程耗費時間，且比對結果往往沒有客觀評估依據，因此本研究之目標為客觀比對邏輯的建立，期望可做為天氣預報之決策支援輔助工具。

天氣圖的客觀比對方法在歷史研究文獻中大致可分為兩種：(1)RMSD法：直接計算對應網格點之均方根誤差(root mean square difference; RMSD)，以RMSD之大小做為相似度(similarity)之評估標準(Lorenz1969; Kruizinga and Murphy 1983; van den Dool 1989, 1994; Toth 1989; Hamill et al. 2006a; Hamill et al. 2006b); (2)EOF RMSD法：先進行變數場於某一段時間內之經驗正交函數分析(empirical orthogonal function analysis; EOF analysis)，求取解釋變異量顯著之EOF特徵分量(或稱為模; mode)，將其視為該變數場之主要特徵；比對兩組資料時，則以EOF mode 之RMSD做為相似度評估標準(Barnett and Preisendorfer 1978; Ruosteenoja 1988; Zorita and von Storch 1998)。

本研究提出以二維離散型快速傅立葉轉換(2D Discrete Fast Fourier Transform; 2D FFT)進行天氣圖之特徵擷取。將原始分析場或預報場網格資料，轉換至頻譜空間(spectral domain)進行分析，以各個波數(wave number)所對應之強度及相位角，作為客觀比對指標。

二、資料

本研究採用2000至2008年NCEP Reanalysis之500 hPa高度場，測試上述三種天氣圖比對方法。500 hPa高度場反映全球氣溫配置，主要為長波型態，較不易受到短延時局部擾動的影響，因此本研究以此變數層場進行型態類比的測試。

NCEP Reanalysis每6小時有一筆資料，水平解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，本研究之分析範圍主要以東亞為主，網格點範圍為 $100^{\circ}\text{E} \sim 147.5^{\circ}\text{E}$ 、 $2.5^{\circ}\text{N} \sim 50^{\circ}\text{N}$ ，共有400個網格點資料。

三、研究方法

3-1. 2DFFT

本研究提出以2D FFT進行天氣圖之特徵擷取，將原始採用經緯度座標之網格資料，轉換至頻譜空間進行分析。此外，採用複數型態(complex form)之傅立葉轉換，變數場可被分解成各個波數所對應之強度(magnitude)以及相位角(phase angle)，因此進行特徵比對時，除了可考慮各個波數在強度方面的相似性之外，更可將相位差(phase shift)一併考慮在內。複數型態之2DFFT公式如下：

(i) forward transform:

$$F(p, q) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cdot e^{-j(2\pi/M)pm} \cdot e^{-j(2\pi/N)qn} \quad (1)$$

其中， $f(m, n)$ 為原始變數場， $F(p, q)$ 為原始變數場經過2DFFT轉換之結果， $p=0\sim(M-1)$ ， $q=0\sim(N-1)$ 。且

$F(0, 0) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n)$ ，即 $F(0, 0)$ 為變數場 $f(m, n)$ 平均值的 $M \times N$ 倍。

(ii) backward transform:

$$f(m, n) = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} F(p, q) \cdot e^{j(2\pi/M)pm} \cdot e^{j(2\pi/N)qn} \quad (2)$$

其中， $m=0\sim(M-1)$ ， $n=0\sim(N-1)$

網格資料經過2DFFT處理過後，可求得各個波數所對應之強度及相位角：

(i)強度(Mag):

$$\begin{aligned} \text{Mag}(p, q) &= |F(p, q)| \\ &= [\text{Re}^2 + \text{Im}^2]^{0.5} \end{aligned} \quad (3)$$

其中， Re 代表 $F(p, q)$ 之實部(real part)， Im 代表 $F(p, q)$ 之虛部(imaginary part)。

(ii)相位角(θ):

$$\theta(p, q) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}} \right) \quad (4)$$

3-2. 比對方式

資料經過2DFFT轉換可求得各個波數所對應的強度及相位角，因此可有以下三種計算相似性之參考指標：

(1)強度相似法(Magnitude Similarity; MS法)

$$\text{MS} = \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{q=1}^{N-1} \omega_{pq} \cdot [\text{Mag}_1(p, q) - \text{Mag}_2(p, q)]^2 \quad (5)$$

(2)相位角相似法(Phase Similarity; PS法)

$$\text{PS} = \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{q=1}^{N-1} \omega_{pq} \cdot [\theta_1(p, q) - \theta_2(p, q)]^2 \quad (6)$$

(3)強度與相位角相似法(Magnitude and Phase Similarity; MPS法)

$$\begin{aligned} \text{MPS} &= \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{q=1}^{N-1} \omega_{pq} \cdot [F_1(p, q) - F_2(p, q)]^2 \\ &= \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{q=1}^{N-1} \omega_{pq} \cdot [(\text{Re}_1 - \text{Re}_2)^2 + (\text{Im}_1 - \text{Im}_2)^2]^{0.5} \end{aligned} \quad (7)$$

其中，(5)~(7)式之 ω 為權重係數。本研究採用各個波數所對應之強度，作為權重係數之決定依據。本研究採用強度之對數值作為計算相似性之權重係數，即 $\omega_{pq} = \log(\text{Mag}(p, q))$ ，以減少低波數(低頻)訊號的比重。

由於MPS法完整考慮了強度與相位角的差異，因此本研究主要討論MPS法和其他傳統方法的差異；其餘兩種方法(MS法和PS法)之比較結果，未來可提供作為輔助參考。

四、個案比對結果討論

圖1(a)為2005年3月6日0000UTC之500 hPa高度場，其主要特徵為日本附近區域有一槽線，渤海及大陸河北附近有一脊場，台灣附近則以緯流為主、間雜著小短波的天氣型態。在此種天氣型態的影響下，淡水站當日氣溫最高為攝氏18.3度，最低氣溫僅有3.9度。圖1(b)~(i)為採用本研究MPS為指標之前8名最相似個案。由圖可知，採用2DFFT擷取特徵再進行比對，可有效找到型態類似之歷史500 hPa高度場，圖1(b)~(i)皆可觀測到與上述三種特徵類似的天氣型態。

圖2(a)~(c)為MPS法的第5、7、8名最類似個案，圖2(d)~(f)以及圖2(g)~(i)則分別為RMSD法和EOF RMSD法之第5、7、8名最類似個案。由圖2的比較可知，採用RMSD法和EOF RMSD法作為相似性指標，亦可比對出型態相似之個案，但由於RMSD沒有擷取特徵的過程，而EOF RMSD雖有擷取特徵的步驟，但EOF是擷取長期資料的主要特性，並不是考慮單一個案的特徵，且無法考慮強度與相位的差異，計算相似性時可能會找到特徵較為不明顯之個案。

五、初步結論

經過測試得到以下初步結論：

- (1) 直接計算網格資料RMSD，或採用EOF特徵分量之RMSD做為相似度評估指標，可能會找到特徵較不明顯之歷史分析場。
- (2) 採用2D FFT進行特徵擷取並計算相似度時，可依照該筆資料於各個波數所對應之強度，給予適當權重，以過濾較不重要之波數或雜訊。
- (3) 相較於採用2D FFT進行資料特徵擷取，每筆資料皆為獨立處理；EOF分析需採用較長期之資料(如2000至2008年)求取特徵分量，因此往後隨著歷史資料的增加，可能需要考慮重新求取EOF特徵分量。
- (4) 若採用EOF特徵分量，作為模式預報場與歷史分析場之比對指標，需假設預報變數場與歷史資料具有類似特徵，即採用歷史資料求得之特徵向量(eigen vector)，計算預報場所對應之EOF mode，方可進行後續EOF特徵分量比對之步驟。

參考文獻

- Barnett, T., and R. Preisendorfer, 1978: Multifield Analog Prediction of Short-Term Climate Fluctuations Using a Climate State vector. *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1771–1787.
- Hamill, T.M., J.S. Whitaker, and S.L. Mullen, 2006a: Reforecasts: An Important Dataset for Improving Weather Predictions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **87**, 33–46.
- Hamill, T.M., and J.S. Whitaker, 2006b: Probabilistic Quantitative Precipitation Forecasts Based on Reforecast Analogs: Theory and Application. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 3209–3229.
- Kruizinga, S., and A.H. Murphy, 1983: Use of an Analogue Procedure to Formulate Objective Probabilistic Temperature Forecasts in The Netherlands. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2244–2254.
- Lorenz, E.N., 1969: Atmospheric Predictability as Revealed by Naturally Occurring Analogues. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 636–646.
- Toth, Z., 1989: Long-Range Weather Forecasting Using an Analog Approach. *J. Climate*, **2**, 594–607.
- van den Dool, H., 1989: A New Look at Weather Forecasting through Analogues. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2230–2247.
- van den Dool, H., 1994: Searching for analogs, how long must we wait? *Tellus*, **46A**, 314–324.
- Zorita, E., and H. von Storch, 1999: The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with More Complicated Methods. *J. Climate*, **12**, 2474–2489.

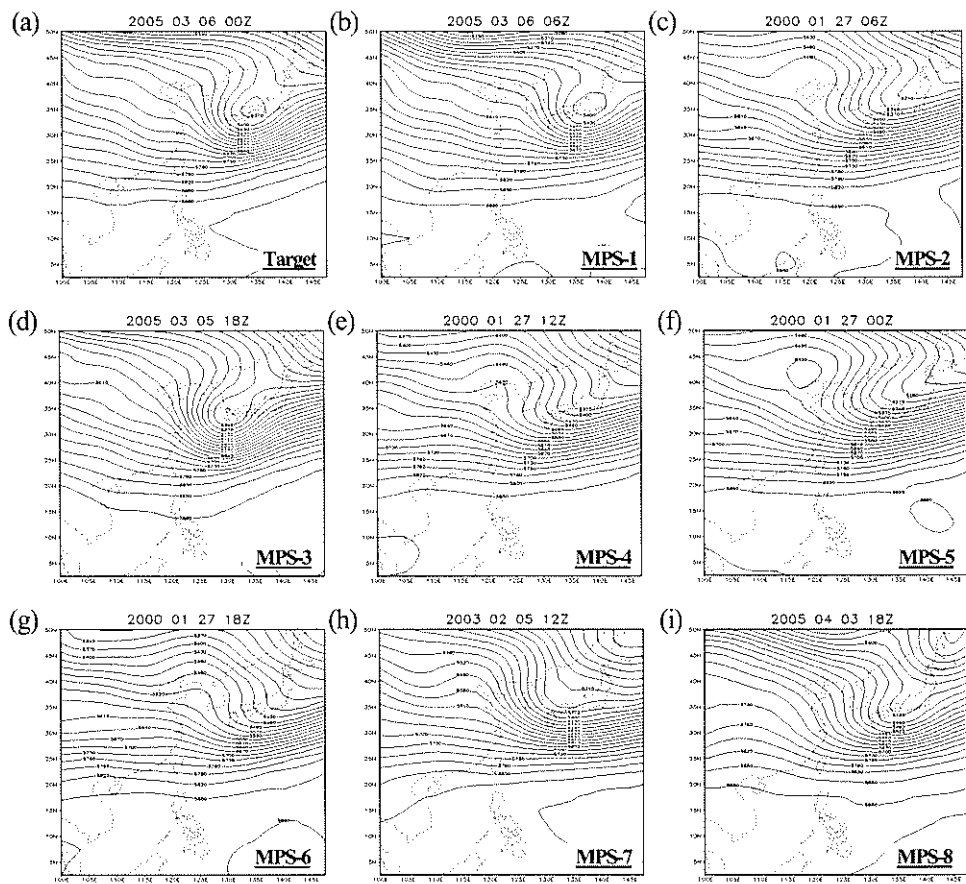


圖 1. 2005 年 3 月 6 日 00UTC 之 NCEP Reanalysis 500 hPa 高度場比對結果。2(a)為比對目標：2005 年 3 月 6 日 0000UTC；2(b)-(i)分別為採用 MPS 法的前 8 名最類似圖案。

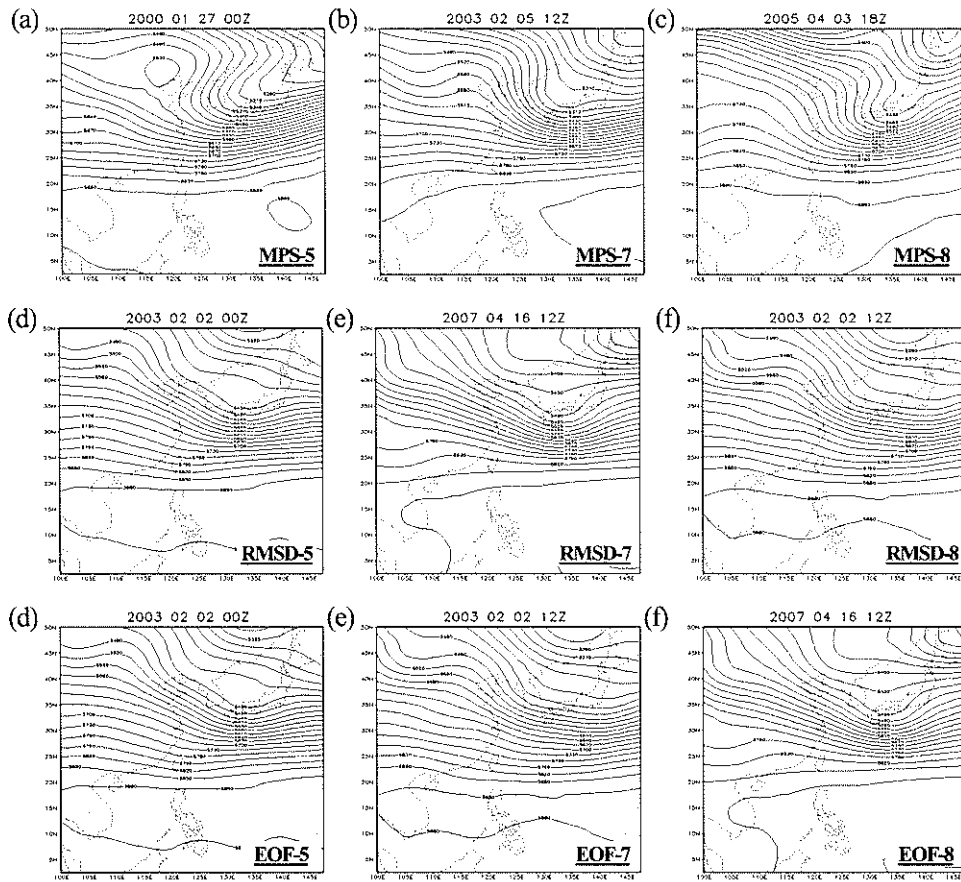


圖2. 採用不同相似性評估指標之2005年3月6日0000UTC 500 hPa 高度場比對結果。圖2(a)-(c)：MPS 法第5、7、8 個最類似個案；圖2(d)-(f)：RMSD 第5、7、8 個最類似個案；圖2(g)-(i)：EOF RMSD 第5、7、8 個最類似個案。