

# 瞬變渦流之低頻反應

林 和 洪 志 誠

國立台灣大學大氣科研究所

## 摘 要

本文主要研究高頻運動透過非線性作用產生的低頻訊息，我們希望藉 EOF ( Empirical Orthogonal Function ) 處理後的低頻訊息進一步瞭解大氣低頻變異 ( 如阻塞現象 )。

大西洋風暴路徑 ( storm tracks ) 區域是本研究範圍。透過低頻濾波我們計算網格點上  $\overline{u'q'}$ ,  $\overline{v'q'}$  等瞬變渦流 ( 週期小於 10 天 ) 非線性項的低頻反應，後再作 75 ~ 79 年全區的 EOF 分析。

結果中  $\overline{v'q'}$  第一個 EOF 槽脊呈正負相關，當  $\overline{v'q'}$  遠大於氣候平均值時，阻塞現象發生。 $\overline{u'q'}$  前二個 EOF 有波狀結構，且相位差約為  $90^\circ$  可能是週期性天氣擾動所造成。

最後  $\overline{v'q'}$  ( 大寫 V 代表風場向量 ( u, v ) ) 第一個 EOF 向量相關圖脊區有明顯位渦南傳，而槽區則往北向脊輸送。此位渦通量分佈與 Shutts ( 1983 ) 數值模擬 blocking 所得結果一致，是阻塞高壓持續的重要機制。

關鍵詞：低頻反應，風暴路徑，阻塞。

## 一、前 言

阻塞現象是持續性天氣變異最明顯的例子，本研究動機即源於此低頻運動。

關於持續性天候異常理論可概分為三支：其一認為低頻變異是大氣特殊條件下，位渦守恒方程的穩定平衡解 ( stable equilibrium solution )，Charney and Devore ( 1979 )。此派著眼於  $J(\phi, q) = 0$  (  $\phi$  為流函數， $q$  為位渦 ) 的解析解，根本忽略渦流效應。其二提出山脈強制波動與緩慢移動行星波產生共振現象時，可以激發低頻變異，即  $\frac{\partial q}{\partial t} + J(\phi, q) = 0$  ( Tung & Lindzen 1979 )。此論點雖已捨棄低頻變異是位渦方程一個解析解，但其考慮的非線性作用卻只限於大尺度間能量交互。最後一種論點由 Green ( 1977 ) 首

先提出。他認為生命一週左右天氣波動之非線性驅動才是低頻變異得以持續的主要物理機制，(  $J(\bar{\phi}, \bar{q}) = J(\phi', q')$  )。隨之 Illari ( 1984 )，Shutts ( 1983 )，Hansen & Sutera ( 1984 ) 於阻塞高壓的研究，也得到相同結論。此後渦流驅動說在低頻變異的解釋便佔吃重分量，且成為阻塞現象的理論主流。

渦流非線性作用在持續天氣異常理論發展之初未與重視，乃因觀測所得流函數和平均位渦場近於函數相關，即  $\bar{q} = q(\bar{\phi})$  ( Illari 1984 )。此事實容易使人聯想持續現象可以從  $J(\phi, q) = 0$  的解得到答案。爾後的瞬變渦流驅動說也是奠基此事實，只是此派從持續現象的維持出發，提出以往被忽略的瞬變渦流是基本場維持不可缺少的機制，透過瞬變渦流不斷地供給非線性能量天氣異常才能持

續。

我們可以藉 2-D 紊流理論說明瞬變渦流非線性作用。圖 1 a 是波動通過分流的演化過程 (Shutts, 1983)。當擾動逼近分流時被迫於基本場逐漸南北拉伸，最後倍裂為二。對自由大氣而言 2-D 紊流擬位渦和動能是相當守恆的物理量。擾動與基本場非線性作用後尺度縮小造成擬位渦的增加必須依賴於大尺度能量傳送來平衡。圖 1 b 是 Pedlosky (1979) 用簡化的動力系統考慮 2-D 紊流的能量傳送。上圖表初始擾動能譜，下圖為能量傳遞方向。計算結果有 80% 的能量往大尺度傳遞。從流函數的演變更能看出此非線性能量交互的特色，圖 1 c (Rhines, 1977) 顯示初始流場有大尺度傾向，而此現象正是瞬變渦流經非線性作用產生的低訊息所造成。

有件事必須強調：本文探討重點是高、低頻運動間能量的交互。根據觀測事實大氣運動時間與空間有很好的相關，所以我們可以藉 2-D 紊流，從空間大小尺度的能量交互瞭解瞬變渦流之低頻反應。

進一步用簡單的數學說明， $X'(t)$ ， $Y'(t)$  表頻率各為  $\omega_1$ ， $\omega_2$  的瞬變渦流。 $X'(t)Y'(t)$  為瞬變渦流的非線性作用 ( $\propto e^{i(\omega_1 \pm \omega_2)t}$ ， $e^{i|\omega_1 + \omega_2|t} = 0$ ) ("—" 表 Low pass filter)，見圖 2。本文目的就是研究此低頻訊息的基本特徵，並進而瞭解其在低頻變異維持中所扮演的角色。

## 二、研究方法

### (一) EOF (Empirical Orthogonal Function) 分析

一般說來高頻運動透過非線性作用產生的低頻訊息微弱，除非是非線性作用明顯的個案研究 (Illari, 1984) 否則很難對此訊息作更深入的研究。但本文不沿用個案研究，我們希望從統計觀點 (EOF 分析)，靠類似線性迴歸對低頻訊息作最佳處理，重新認定瞬變渦流之非線性作用。下文將介紹 EOF 分析的原理。

圖 3 a 是地球——太陽動力系統。假設地球公轉中，每隔固定的時間便在通過的黃道面上留下記號，如眾所知遠日點——地球公轉速度最慢的地方，單位面積的記號總數理當最多。如果對這些記號作 EOF 分析，所得第一個 EOF 自然指向遠日點 (圖 3 b)。基本上，EOF 分析原理只是線性迴歸

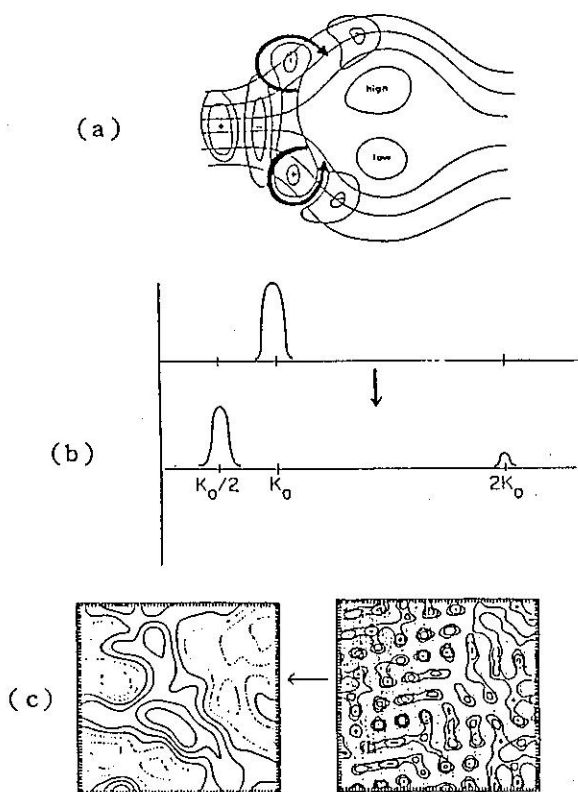


圖 1 a 波動進入分流的演化過程。(Shutts, 1983)  
b 2-D 紊流能量傳遞圖。(Pedlosky, 1979)  
c 2-D 紊流流函數演化圖。(Rhines, 1977)

Figure 1. (a) The propagation of eddies in diffluent jetstreams (shutts, 1983),  
(b) Energy cascade of 2-D turbulence, energy initially peaked at  $K=K_0$  is then entirely transferred to peaks at  $K_0/2$  and  $2K_0$  (pedlosky, 1979)  
(c) As in (b), but for the evolution of streamfunction (Rhines, 1977)  
Note: (a), (b), (c) are all schematic pictures.

的推廣。

同樣地如果將天氣動力系統等時間投射於相空間，相點密集處對應的即是持續天氣。從統計觀點扣除氣候平均後資料的 EOF 分析所得第一個 EOF

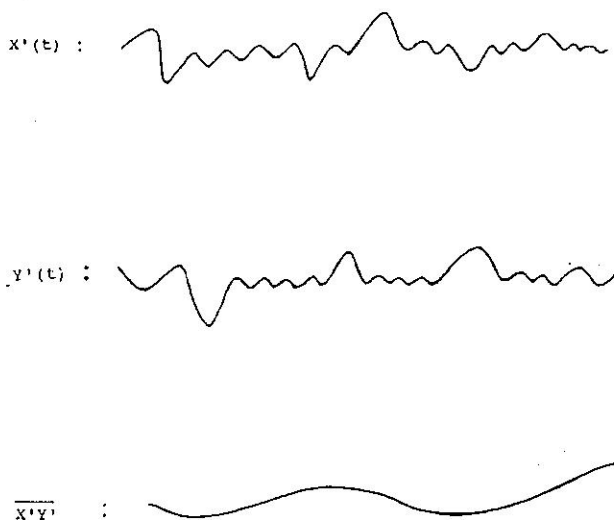


圖 2  $X'(t)$ ,  $Y'(t)$  表瞬變渦流  $\overline{X'Y'}$  為兩瞬變渦流透過非線性作用產生的低頻訊息。  
(示意圖)

Figure 2. Schematic pictures of the low frequency response of transient eddies,  $X'(t)$  and  $Y'(t)$ .

也應該指向相點集中區域。因此藉助 EOF 統計分析可以濃縮此低頻訊息，最後我們可以從 EOF 的空間分佈瞭解低頻訊息的特徵，並進一步探討低頻變異。

### (二) 研究範圍

本研究範圍的界定主要是根據下面二個標準：

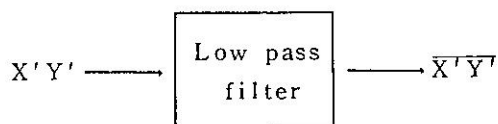
1. 低頻變異較常發生區域。
2. 瞬變渦流活躍的地方。

圖 4 a 是各網格點 500 mb 高度時間序列 (75 ~ 79 年) 經低頻 (大於 10 天) 濾波後所得方差 (Variance)。圖示  $30^\circ W$  附近有一極值，此區便是低頻變異 (如 blocking) 常發生的區域。

圖 4 b 是大西洋風暴路徑統計圖。一般而言噴流出區左側一星期左右天氣擾動頻繁。圖 4 c 是依據上面標準釐定的研究範圍。

### (三) 低頻訊息的計算

本文所指瞬變渦流是週期小於 10 天的高頻擾動。高低頻的分離我們採用 Lanczos (1956) 發展出來的濾波方法 (見附錄)。至於瞬變渦流透過非線性作用所產生的低頻訊息，可以如下求得：



(瞬變渦流非線性作用) (低頻訊息)

上式  $X$ ,  $Y$  表任意二物理量。由於本研究屬於大尺度動力，我們分析的低頻訊息主要是瞬變渦流的非線性位渦傳遞，如  $u'q'$ ,  $v'q'$  ..... 等。

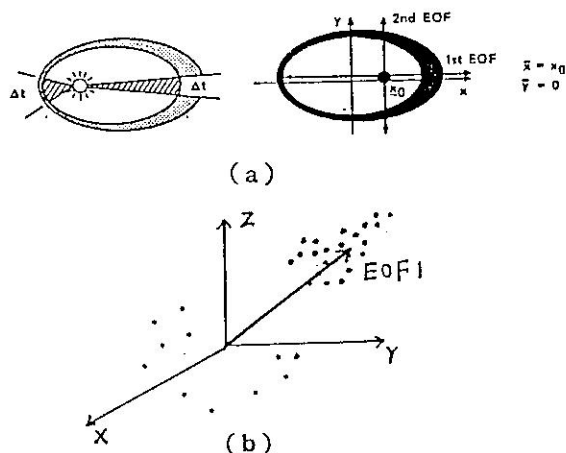


圖 3 a 以地球公轉為例說明 EOF 分析原理。左圖兩橢圓間的黑點可視為相點，右圖這些相點的 EOF 分析。圖示第一個 EOF 正好指向遠日點 (地球公轉速度最慢)，其中  $X$ ,  $Y$  表平均值 (Ghil, 1987)。  
b 將天氣動力系統等時距投射於相空間的示意圖。根據圖 a 第一個 EOF 指向相點密集處 (對應的是持續天氣)，在此原點表氣候平均值。

Figure 3. (a) A illustrative case of the motion of the earth around the sun (left-hand panel). The dark shading is proportional in thickness to the successive points equally spaced in time, and the first EOF of these points points from the mean ( $\bar{X}$  and  $\bar{Y}$ ) in the direction near aphelion (right-hand panel). (Ghil, 1987).

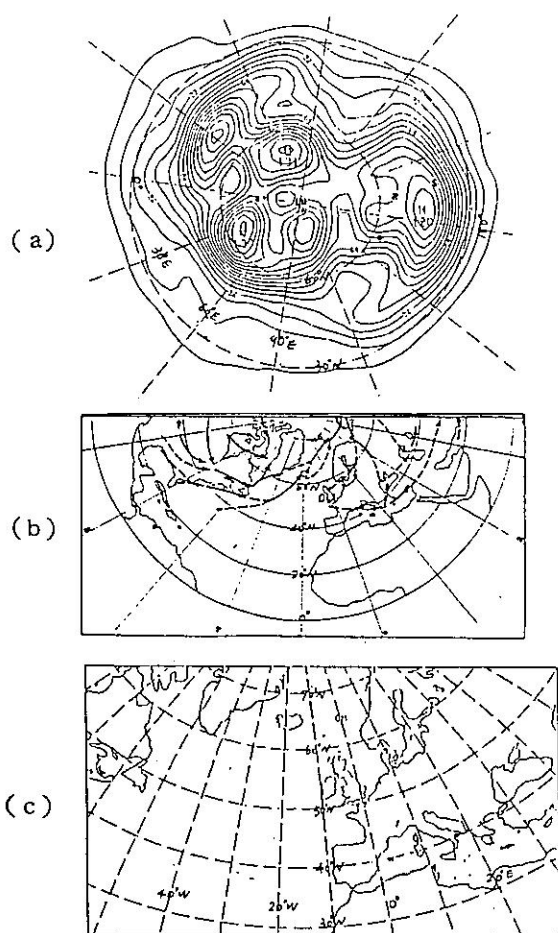


圖 4 a 1975 ~ 1979 500 mb 各網格低頻濾波 (大於 10 天) 高度的協方差圖。  
b 大西洋區 1899 ~ 1939 年 1 月份氣旋軌跡圖。箭頭為氣旋終止位置，虛線表軌跡重複 (Klein, 1957)。  
c 本研究選定範圍。

Figure 4. (a) Low-pass filtered ( $\geq 10$  day) rms field of 500mb height in winter 1975-1979.  
(b) Cyclone tracks at the Atlantic in January 1899-1939 dash line means double tracks.  
(c) Domain of this research.

### 三、資料來源與處理

#### (一) 來源

本研究採用 1975 ~ 1979 5 年冬天 (12, 1, 2 月)，北半球 NMC (National Meteorological Center) 每天 00 Z 八角網格 (65 × 65) 資

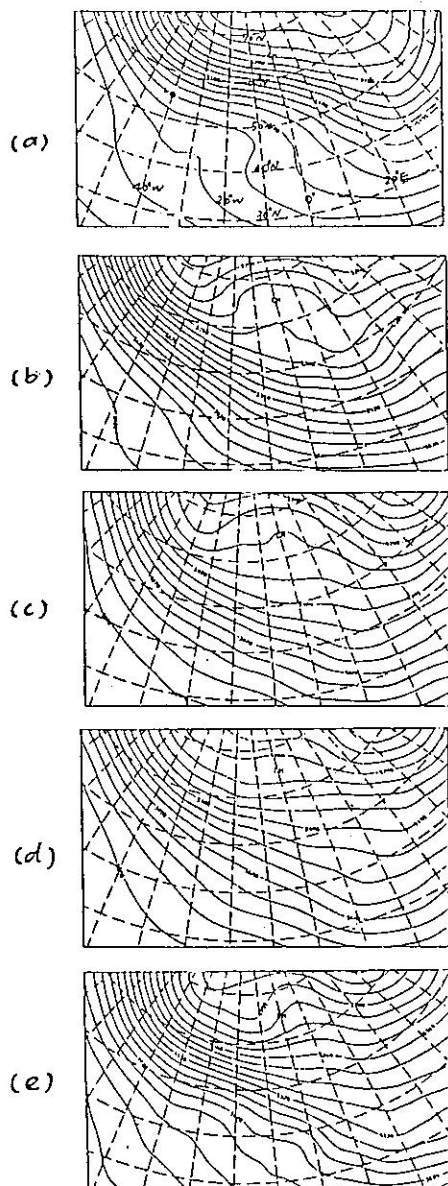


圖 5 a 75 年冬季 500 mb 平均高度場，等值間距為 50 m。  
b 同 a 但為 76 年等值間距 40 m。  
c 同 a 但為 77 年等值間距 50 m。  
d 同 a 但為 78 年等值間距 50 m。  
e 同 a 但為 79 年等值間距 40 m。

Figure 5. (a) mean of 500mb height in winter 1975, contour interval 50m.  
(b) as in (a), but for 1976, contour interval 40m.  
(c) as in (a), but for 1977, contour interval 50m.  
(d) as in (a), but for 1978, contour interval 50m.  
(e) as in (a), but for 1979, contour interval 40m.

料。

## (二)處理

本文位渦的定義如下(參考 Illari, 1984)：

$$q = \zeta + f - f_0 \frac{\partial}{\partial p} \frac{\delta T}{S(p)}$$

$$\text{其中 } \zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\delta T = T - T_0$$

$$S(p) = -T_0(p) \frac{\partial}{\partial p} \ln \theta_0(p)$$

$T_0(p)$ ,  $\theta_0(p)$  表靜止大氣溫度垂直結構,  $S(p)$  為大氣靜力穩定度。微分項的計算除邊界以外, 一律採中差分法。由於計算結果位渦數量級太小(約  $10^{-5}$ ), 任何包含位渦的物理量我們皆放大  $10^5$  倍, 瞬變渦流位渦通量的輻散值( $\nabla \cdot \mathbf{v}'\mathbf{q}'$ )則放大  $10^{10}$ 。

因為位渦的求值涉及空間微分, 位渦場空間分佈較零碎, 所以我們先修勻  $\mathbf{v}'\mathbf{q}'$ ,  $\mathbf{u}'\mathbf{q}'$  等渦流非線性量, 然後再作 EOF 分析。本文 EOF 是各網格資料所組協變矩陣(covariance matrix)的固有向量(eigen vectors)。EOF 分析所用的網格計  $14 \times 9$  點, 且所有資料皆已扣除氣候平均。

## 四、結果分析及 EOF 穩定測試

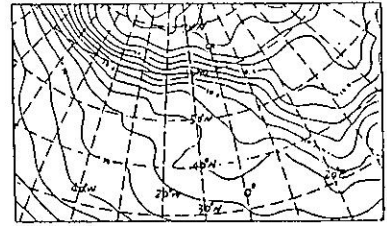
### (一)結果分析

圖 5 是 75 ~ 79 年大西洋區域冬季 500 mb 高度平均場。圖示 76、78、79 年基本場有阻塞現象。圖 6 是平均位渦場。概括言阻塞高壓較常發生區域( $0^\circ \text{E}$ ,  $60^\circ \text{N}$ )平均位渦較小噴流出區( $40^\circ \text{W}$ ,  $50^\circ \text{N}$ )較大。介紹完氣候平均場後我們要進入本節的核心討論  $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$ ,  $\overline{\mathbf{u}'\mathbf{q}'}$  的 EOF。

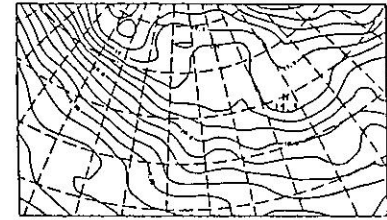
#### 1. $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$ EOF

圖 7 a 是 700 mb  $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$  第一個 EOF, 圖右下角數字為該 EOF 所佔百分比。大體上第一個 EOF 空間分佈和季平均位渦場相關, 槽區為正, 脊區為負。垂直層 500 mb, 300 mb 也有類似特徵(見圖 7 b, 7 c)。圖 8 a 是 500 mb  $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$  第一個 EOF 所對應的第一個主分量圖, 在此我們只分析 76 年(阻塞較明顯)的時間序列。圖 8 b ~ 8 d 是  $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$  發生極值時前後 2 ~ 3 天的高度合成圖。當  $\overline{\mathbf{v}'\mathbf{q}'}$  有極大值時(第 53、62 天)綜觀天氣對應阻塞低頻變異(圖 8 b、8 c); 極小發生時美洲槽有加深現象(圖 8 d)。

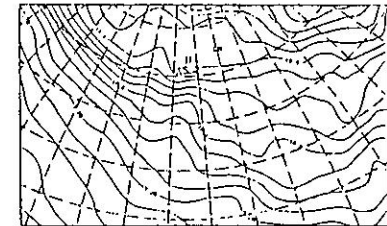
(a)



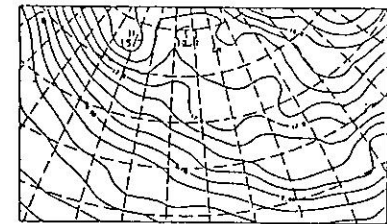
(b)



(c)



(d)



(e)

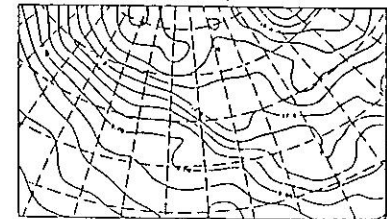


圖 6 a 75 年冬季 500 mb 平均位渦場。(放大  $10^6$  倍)。等值間距  $0.9 (1/s)$ 。  
b 同 a 但為 76 年等值間距  $0.9 (1/s)$ 。  
c 同 a 但為 77 年等值間距  $0.9s^{-1}$ 。  
d 同 a 但為 78 年等值間距  $1 (1/s)$ 。  
e 同 a 但為 79 年等值間距  $1 (1/s)$ 。

Figure 6. (a) 500mb mean potential vorticity ( $\times 10^6$ ) in 1975, contour interval  $0.9S^{-1}$ .

(b) as in (a), but for 1976, contour interval  $0.9S^{-1}$

(c) as in (a), but for 1977, contour interval  $0.9s^{-1}$ .

(d) as in (a), but for 1978, contour interval  $1S^{-1}$ .

(e) as in (a), but for 1979, contour interval  $1S^{-1}$ .

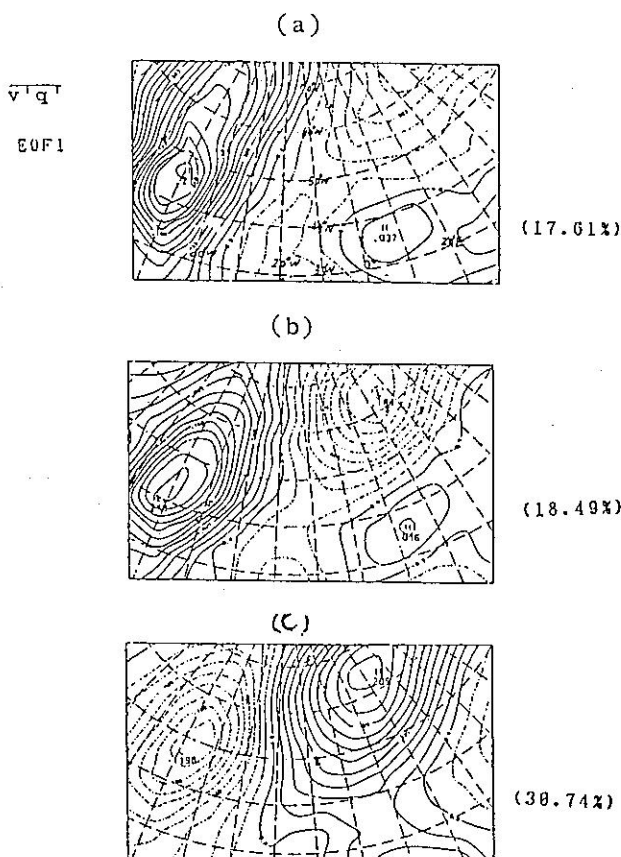


圖 7 a 700 mb  $\overline{v'q'}$  第一個 EOF，右下角數字為所佔百分比，等值間距 0.02 ( $\text{ms}^{-2}$ )。  
b 同 a，但為 500 mb。  
c 同 a，但為 300 mb。

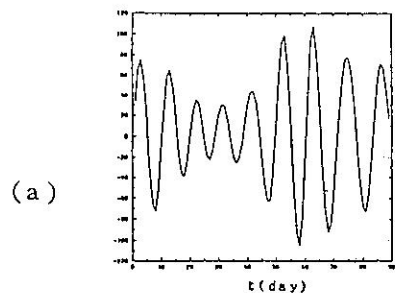
Figure 7. (a) First EOF of 700mb transient eddies flux,  $\overline{v'q'}$ , the percentage of this component indicated at the right side.

(b) as in (a), but for 500mb.

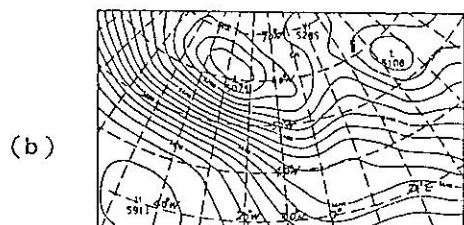
(c) as in (a), but for 300mb.

$\overline{v'q'}$  與阻塞現象的相關我們可以從第一個 EOF 的空間分佈得到一些物理解釋。槽區瞬變渦流將低緯較小的位渦往北向脊傳送，可以維持或加深脊的強度，當  $\overline{v'q'}$  遠大於氣候平均值時，綜觀環境容易發生阻塞低頻變異。這種論點與 Illari (1984) blocking 個案研究所得結論雷同。 $\overline{v'q'}$  第二個 EOF (圖 9) 與第一個 EOF 相似唯空間分佈稍往右平移，500 mb，300 mb 也有相似結果，但基本上  $\overline{v'q'}$  前二個 EOF 皆有明顯的正壓結構。

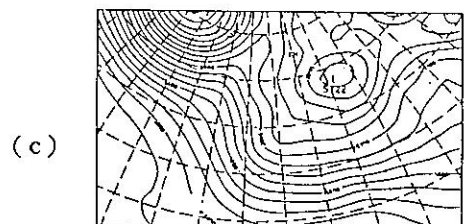
## 2. $\overline{u'q'}$ EOF



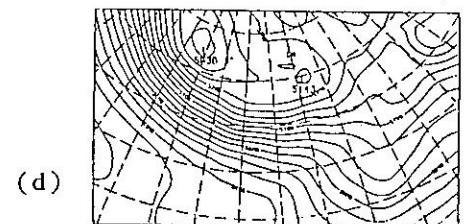
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 8 a 500 mb  $\overline{v'q'}$  第一個 EOF 所對應的第一個主分量，左圖只繪出 75 年。

b 根據上主分量圖分析  $\overline{v'q'}$  極大值發生時 (第 62 天) 前後 2~3 天 500 mb 的高度合成圖。

c 同 b 但為第二個極值 (第 52 天)。

d 同 b 但為極小值發生時 (第 58 天)。

Figure 8. (a) The first component of 500mb  $\overline{v'q'}$  during 1975.

(b) The composite map for the period  $\overline{v'q'}$  has maximum value (the 62 day nearby)

(c) As in (b). But for the maximum (the 52 day nearby)

(d) as in (b), but for the minimum (the 58 day)

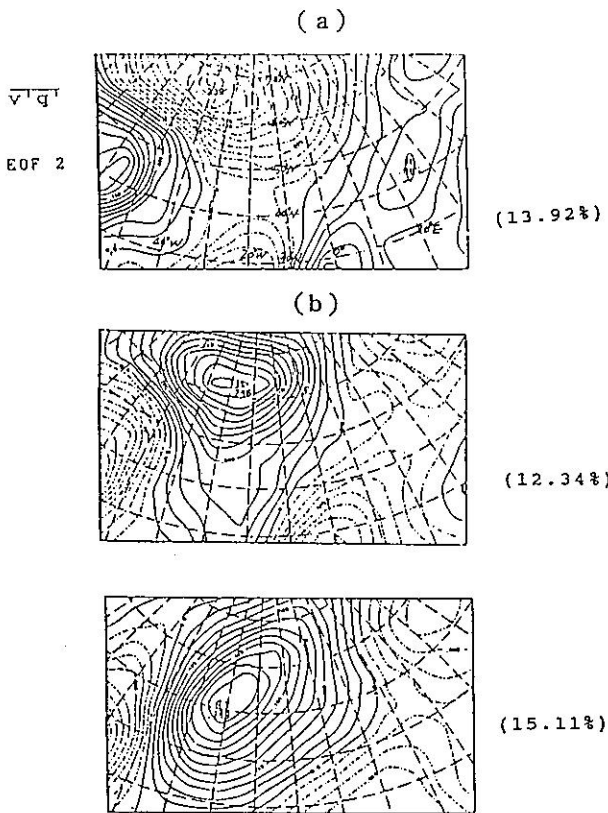


圖9 同圖7但為第2個EOF。

Figure 9. as in Fig. 7, but for the second EOF.

圖10 a~10 c 是700 mb, 500 mb, 300 mb  $\overline{u'q'}$  第一個EOF。圖示垂直層也具正壓且有明顯的波狀結構。為了進一步分析此波狀特徵，我們任意選擇一個網格（約位於冰島南方）為基準，計算此基準點與其它網格500 mb 高頻濾波高度的協方差（covariance）。圖11 a~11 e 分別是遲延-2、-1、0、1、及2天的協方差。圖11 c 協方差極大區是基準網格所在位置。圖11 顯示週期小於10天的波動從西北逐漸向東南傳播。 $\overline{u'q'}$  第一個EOF的波狀結構可能是斜壓波或Rossby波非線性作用所產生低頻訊息。其次當此波動接近0°E（平均位渦場脊區）時有南北拉伸現象（見圖11 e），此變形在阻塞年更明顯。從2-D 紊流理論知道此變形現象，表示擾動與基本場有大量的非線性能量交互，事實觀測阻塞低頻變異多半發生在此區。

第二個EOF亦具波狀結構，但與第一個EOF相位差約為90°見圖12。分析76年 $\overline{u'q'}$ 前二個

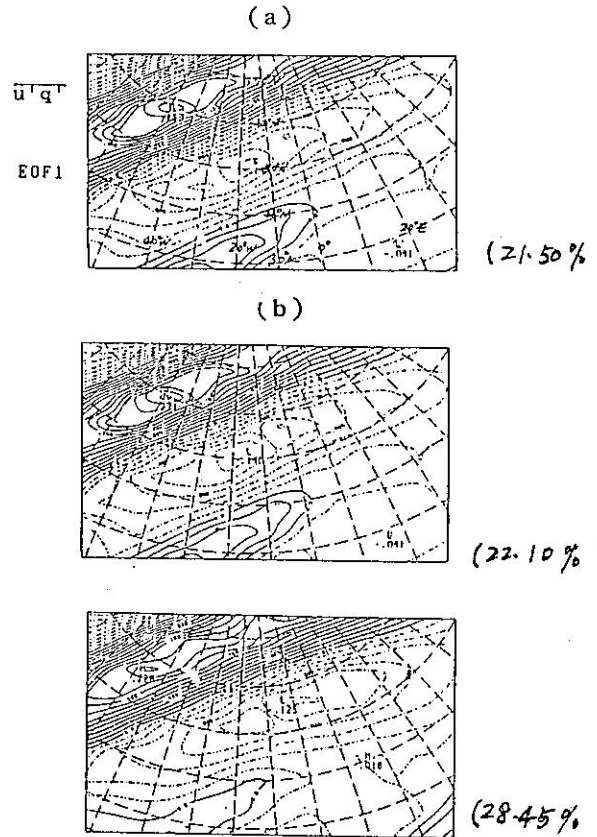


圖10 a 700 mb  $\overline{u'q'}$  第一個EOF，右下角數字為所佔百分比。等值間距為0.02（ $\text{ms}^{-2}$ ）。

b 同 a 但為500 mb。

c 同 a 但為300 mb。

Figure 10. As in Fig. 7, but for the first EOF of  $\overline{u'q'}$ , contour interval 0.02  $\text{ms}^{-2}$ .

主分量（圖13 a, 13 b）更可以看出二者的相位差。根據EOF理論，我們證實 $\overline{u'q'}$ 前二個EOF是波動所造成。第三個EOF除300 mb外500 mb, 700 mb已無波狀結構（見圖14）此特徵或許與此波動垂直振幅有關。

### 3. $\overline{v'q'}$ 與 $\nabla \cdot \overline{v'q'}$ EOF

圖15是求各網格點 $\overline{u'q'}$ 、 $\overline{v'q'}$ 兩非線量所組協變（covariance）矩陣之EOF所繪出的向量相關圖。從圖15可以清楚看出氣候統計上瞬變渦流位渦輸送方向。 $\overline{v'q'}$ 第一個EOF向量圖（圖15 a）50°W, 50°N附近瞬變渦流有明顯向北傳送

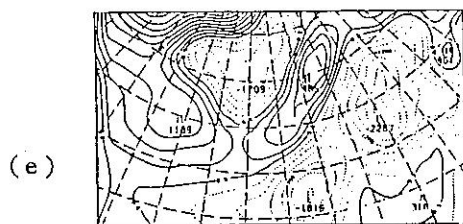
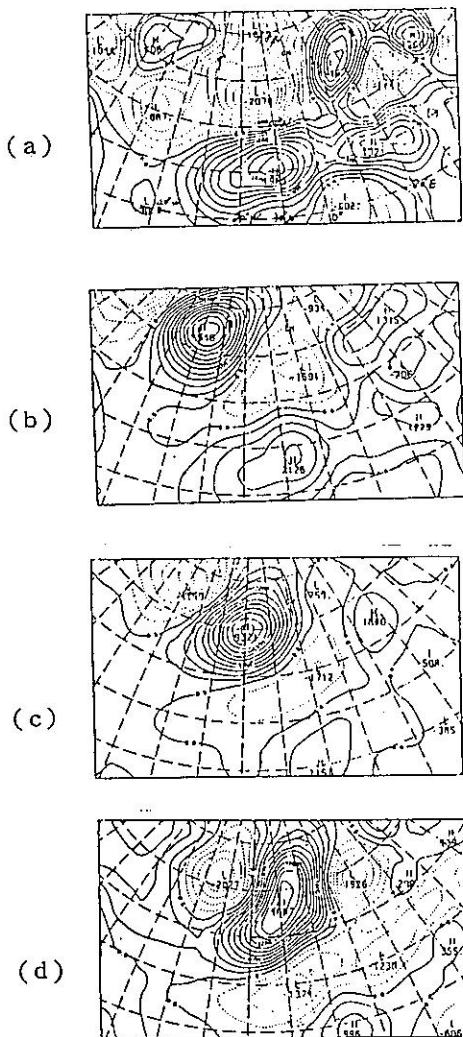


圖11 以某網格為基準 ( 50° N , 40° W附近 ) , 該點與其它網格 500 mb 高頻濾波 ( 週期小於 10 天 ) 高度場的協方差 ( covariance ) ( 在此只計算 75 年 ) 。

- a 遲延 - 2 天。
- b 遲延 - 1 天。
- c 遲延 0 天。
- d 遲延 1 天。
- e 遲延 2 天。

Figure 11. The covariance between 500mb high-passed height at base grid point, near 50°N, 40°W, and 500mb high-passed at other grid points (only in 1975).

- (a) the other grid points lag base point -2 day
- (b) as in (a), but for -1 day
- (c) lag 0 day
- (d) lag 1 day
- (e) lag 2 day.

的位渦；冰島附近 ( 20° W , 65° N ) 平均環流脊區，則轉向由北到南。圖 16 是 Shutts ( 1983 ) 數值模擬阻塞高壓所得結果。圖示二者瞬變渦流位渦傳送的特徵大致相同。雖然本文五年資料分析僅 76、78、79 年有明顯阻塞現象，但經過 EOF 處理後的低頻訊息卻仍能顯露阻塞維持時瞬變渦流位渦傳送的基本特徵，其實這也是本文採用 EOF 分析的原因之一。第二個 EOF 已無明顯北傳位渦且南傳位渦有左偏現象，或許此 EOF 與阻塞低頻變異發生地理位置的變動有關。

此外我們將位渦通量量化分析  $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}' \mathbf{q}'$ 。第一個 EOF ( 圖 17 ) 脊區 ( 0° E ) 南北有偶極結構，槽區帶狀輻合正好被上下二輻散區包夾，這種分佈和 Shutts ( 1986 ) blocking 個案研究相似。再者分析主分量圖綜觀天氣也得到相同的支持。 $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}' \mathbf{q}'$  高峰發生時大都是阻塞高壓顯著年份。

( 註：因為本平研究範圍，阻塞高壓是最明顯也是最常發生的低頻變異，所以文中我們多半以阻塞高壓當作低頻變異的舉例。但整個結論也應該適用其它低頻變異 ) 。

#### 4. $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}' \mathbf{q}'$ 與 $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{q}}$ EOF 比較

持續變異可以用下面位渦方程描述

$$\frac{\partial \bar{\mathbf{q}}'}{\partial t} = -\bar{\mathbf{v}}' \cdot \nabla \bar{\mathbf{q}}' - \bar{\mathbf{v}}' \cdot \nabla \mathbf{q}' \approx 0$$

( " — ' " 為低頻現象持續的時間平均 )

假設風場滿足地轉關係，並且將時間平均視為一低頻濾波，上式可簡化為

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{q}} + \nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}' \mathbf{q}' \approx 0$$

圖 17 是  $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}}' \mathbf{q}'$ ， $\nabla \cdot \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{q}}$  第一個 EOF 比較圖，大體上二者空間分佈呈負相關，其次分析主分量圖二者相位也沒有落後現象，此事實說明上面方程的確具平衡關係。

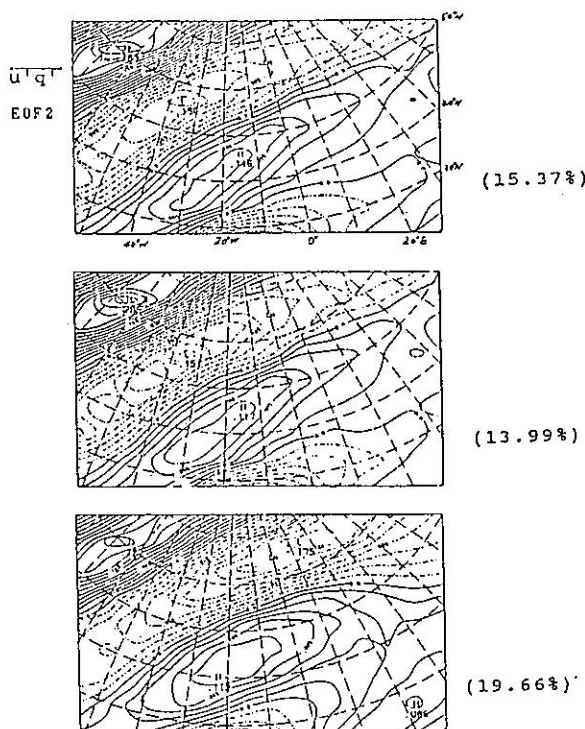


圖12 同圖10，但為第二個EOF。

Figure 12. As in Fig. 7, but for the second EOF of  $\overline{u'q'}$

## (二) EOF 穩定測試

由於本文EOF分析只採用5年資料，研究範圍的釐定更難免滲入主觀，因此計算所得EOF是否已達統計穩定，有待進一步檢定。

### 1. 時間測試

將資料擴延計算10年500 mb  $\overline{v'q'}$ ， $\overline{u'q'}$  的EOF。圖18是5年及10年 $\overline{v'q'}$  前三個EOF比較圖，圖19為 $\overline{u'q'}$ 。圖示10年EOF除百分比略為提高數值稍有變更外，空間相關圖非常一致，時間上5年已具穩定性。

### 2. 範圍測試

將研究範圍縮小或放大測試EOF，圖20是範圍加大後（網格數由 $14 \times 9$ 變為 $16 \times 11$ ） $\overline{v'q'}$  前三個EOF。圖21為 $\overline{u'q'}$  前三個EOF。我們發現EOF所佔百分比除作理論減少外，二者EOF外貌酷似，範圍縮小（網格數變為 $11 \times 7$ ）EOF也只作微略改變。綜合上面測試證實文中EOF已具統計穩定。

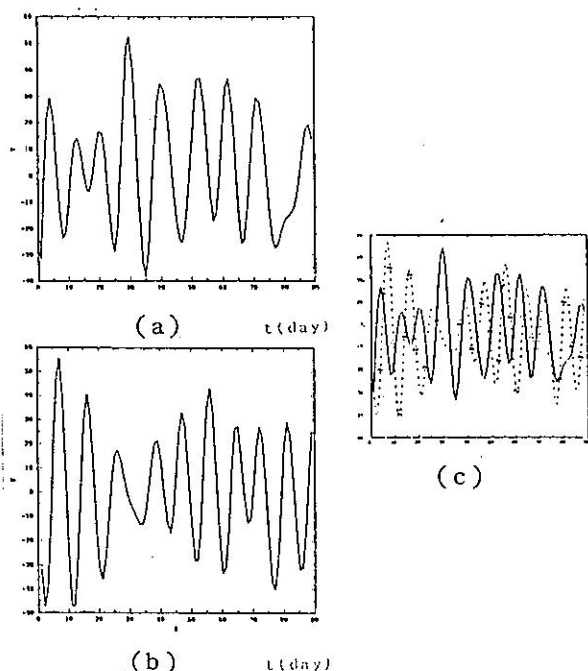


圖13 76年（阻塞明顯年）500 mb  $\overline{u'q'}$  EOF所對應的前二個主分量。a為第一個主分量 b為第二個主分量。圖示二者有相位落後現象。

Figure 13. The first two components of 500mb  $\overline{u'q'}$  during 1976 (blocked flow is obvious)

(a) the first component

(b) the second

Note: the second component lag the first.

## 五、結 論

歸結上面分析我們作下面結論：

- (一)  $\overline{v'q'}$ ， $\overline{u'q'}$  EOF有正壓結構。
- (二)  $\overline{v'q'}$  第一個EOF槽脊呈負相關，常瞬變渦流向北傳送的位渦遠大於氣候均值時，綜觀天氣低頻變異容易發生。
- (三)  $\overline{u'q'}$  前二個EOF有波狀結構，並且相位差約為 $90^\circ$ ，此波狀結構是週期性的天氣擾動所造成。
- (四)  $\overline{v'q'}$  第一個EOF向量相關圖，槽區瞬變渦流向北輸送位渦，直至脊區轉向由北至南。進一步分析 $\nabla \cdot \overline{v'q'}$  發現 storm tracks 終止區（ $\sim 10^\circ$  W） $\nabla \cdot \overline{v'q'}$  緯向有偶極結構。此特徵可以合理地解釋阻塞低頻變異的維持。
- (五)  $\nabla \cdot \overline{v'q'}$  與  $\nabla \cdot \overline{v} \cdot \overline{q}$  EOF呈負相關（相關係數為 $-0.22$ ）表示低頻運動維持瞬變渦流經非線性所作用產生的低頻訊息與平均流場的位渦平移

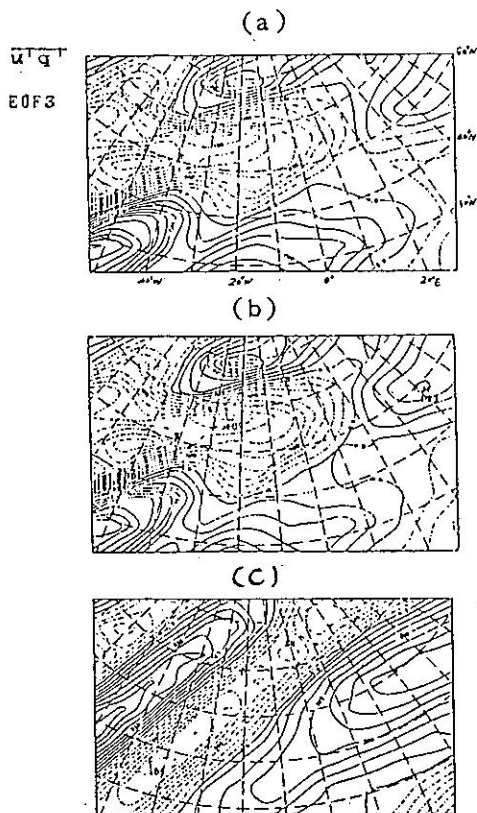


圖14 同圖 10 但為第三個 EOF。

Figure 14. As in Fig. 7, but for the third EOF of  $\overline{u'q'}$ .

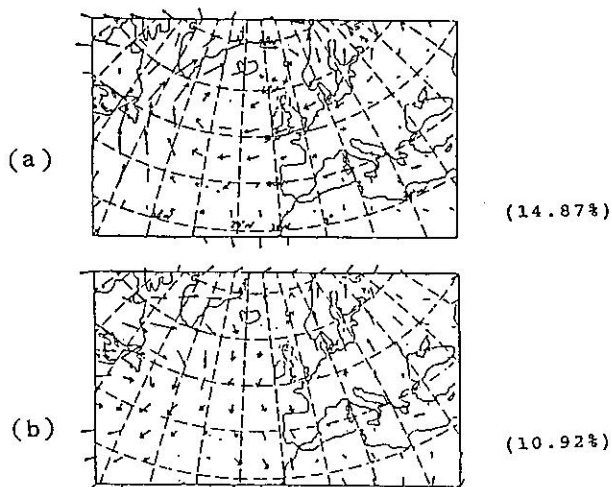


圖15 500 mb  $\overline{v'q'}$  EOF 向量相關圖。

a 為第一個 EOF。

b 為第二個 EOF。

Figure 15. Vector EOFs of 500mb transient eddies flux,  $\overline{v'q'}$

(a) the first EOF

(b) the second

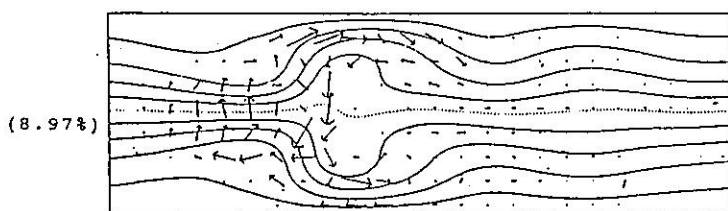


圖16 Shutts ( 1983 ) 數值模擬阻塞高壓所得結果。實線表流函數，箭頭表瞬變渦流位渦 (  $\overline{v'q'}$  ) 輸送。

Figure 16. Mean stream function field (solid line) with transient eddies vorticity flux vectors (shutts, 1983).

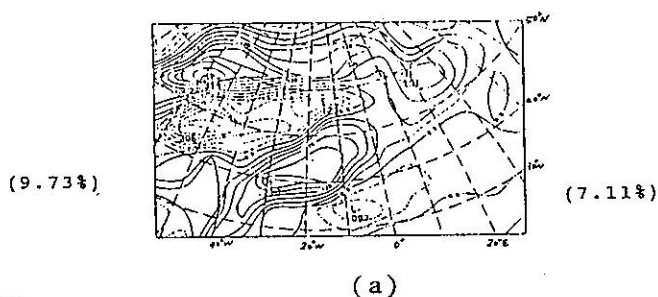


圖17 a 500 mb  $\nabla \cdot \overline{v'q'}$  ( 放大  $10^{10}$  ) 第一個 EOF，等值間距  $0.02 \text{ s}^{-2}$ 。

b 同 a 但為  $\nabla \cdot \overline{v} \cdot \overline{q}$ 。

Figure 17. (a) First EOF of the divergence of 500mb transient eddies vorticity flux,  $\overline{\nabla'q'}$  ( $\times 10^{10}$ ), contour interval  $0.025 \text{ s}^{-2}$

(b) As in (a), but for the mean field,  $\nabla \cdot \overline{v} \cdot \overline{q}$

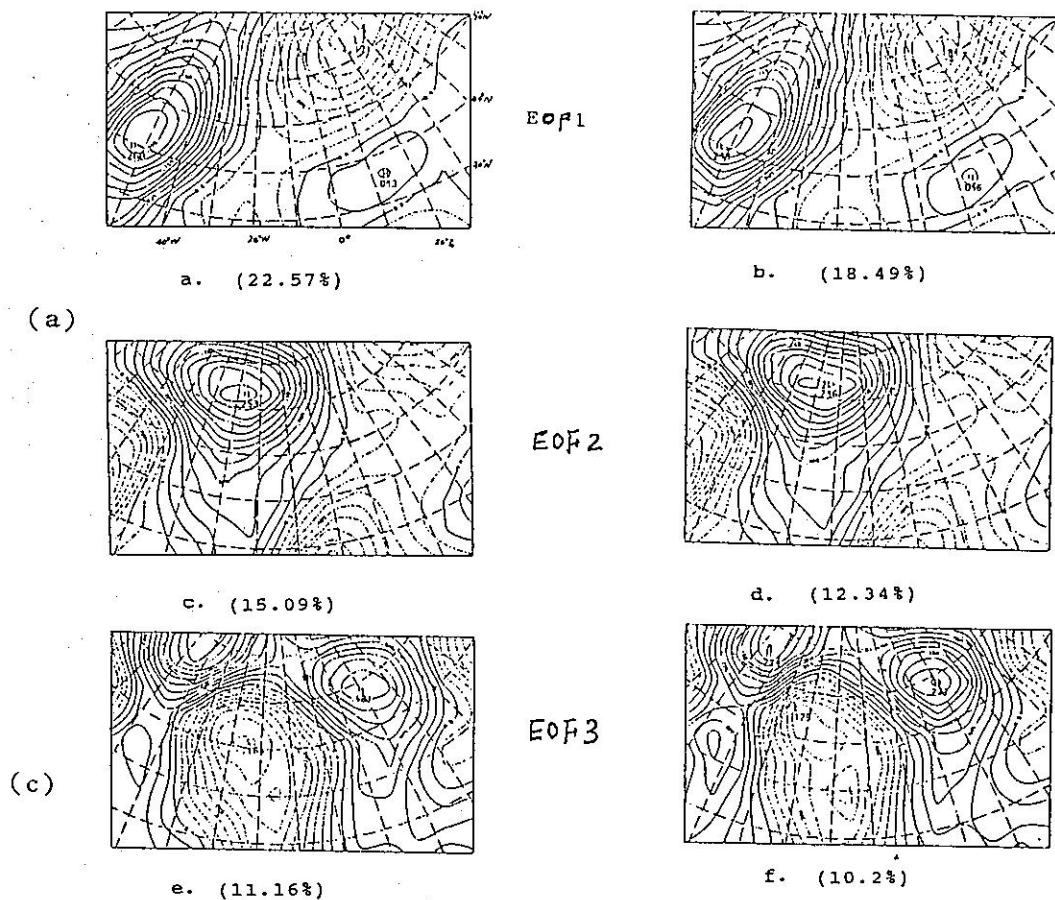


圖18 10年、5年500 mb  $\overline{v'q'}$  前三個EOF比較。

- a 10年  $\overline{v'q'}$  第一個EOF ; b 為5年。  
 c 10年  $\overline{v'q'}$  第二個EOF ; d 為5年。  
 e 10年  $\overline{v'q'}$  第三個EOF ; f 為5年。

Figure 18. EOF stability test of time.

- (a) the first 10 years EOF of  $\overline{v'q'}$   
 (b) as in (a), but for 5 years  
 (c) the second 10 years EOF of  $\overline{v'q'}$   
 (d) as in (c), but for 5 years  
 (e) the third 10 years EOF of  $\overline{v'q'}$   
 (f) as in (e), but for 5 years.

具平衡關係。

雖然低頻變異起因至今尚未解決；但透過EOF統計分析，我們再度肯定瞬變渦流非線性效應是低頻變異能夠持續的重要機制。然文中仍有幾個問題有待解決：中緯度弱斜壓大氣，但是瞬變渦流透過非線性作用所產生的低頻訊息卻有很好的正壓結構。瞬變渦流如何與基本場能量交互？EOF正壓結構的真正物理？都值得我們更深入研究。其次找一

套完整理論（諸如E vector與群速關係）有助我們瞭解這些非線性項在動力上所扮演的角色。最後我們應該比較blocking與non-blocking年的EOF有否差異？或許從兩者的差異可以找出阻塞現象發生的一些原因。

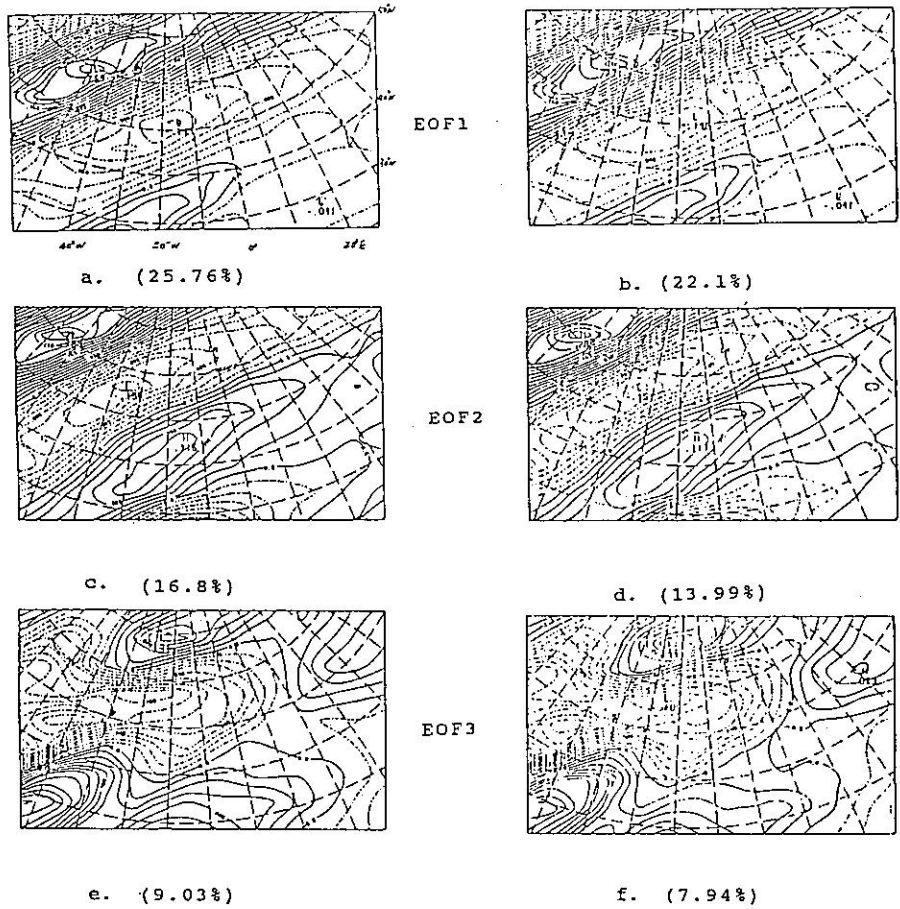


圖19 同圖 18 但為  $\overline{u'q'}$ 。

Figure 19. As in Fig. 18, but for  $\overline{u'q'}$ .

圖，圖中粗實線即文中高低頻的界線。

## 附 錄

高低頻的分離技術本文參考 Lanczos (1956) 發展出的濾波方法。此濾波器最大的優點是可以避免回訊函數 (response function) 在截頻附近有 Gibbs oscillation 產生。在此我們取序列前後 15 天作 "running average"。即

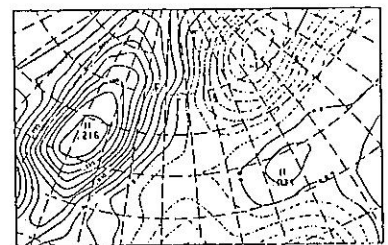
$$Y(t_i) = \sum_{n=-15}^{15} W(n) X(t_i - n)$$

其中  $X(t)$  為原始時間序列

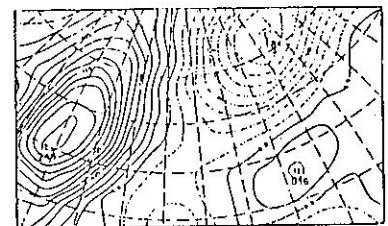
$Y(t)$  表通過低頻濾波的輸出

$W(n)$  為權重函數 (weighting function)

圖 22 a 表一白噪 (white noise)，圖 22b 為此白噪通過上濾波器的回應函數。圖 22c 是理論比照



a. (15.15%)



b. (18.49%)

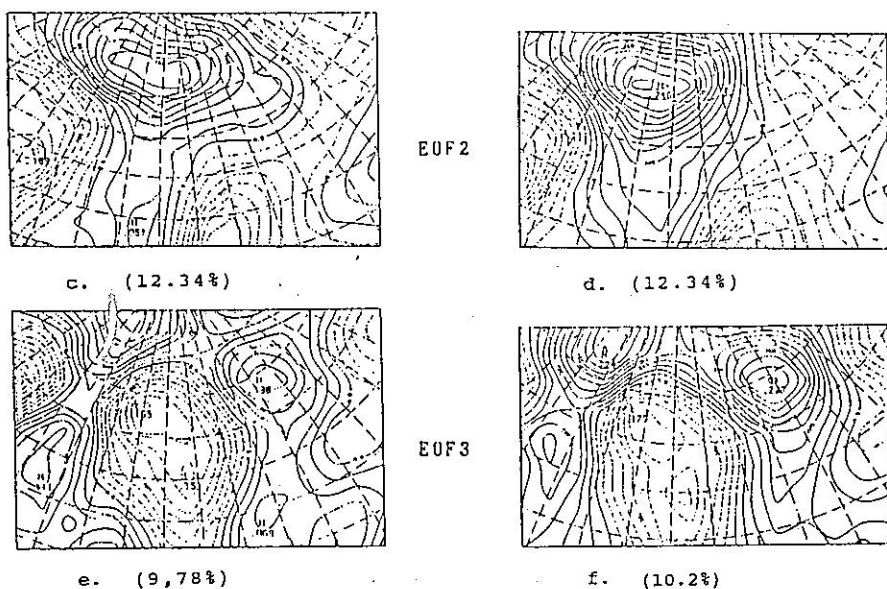


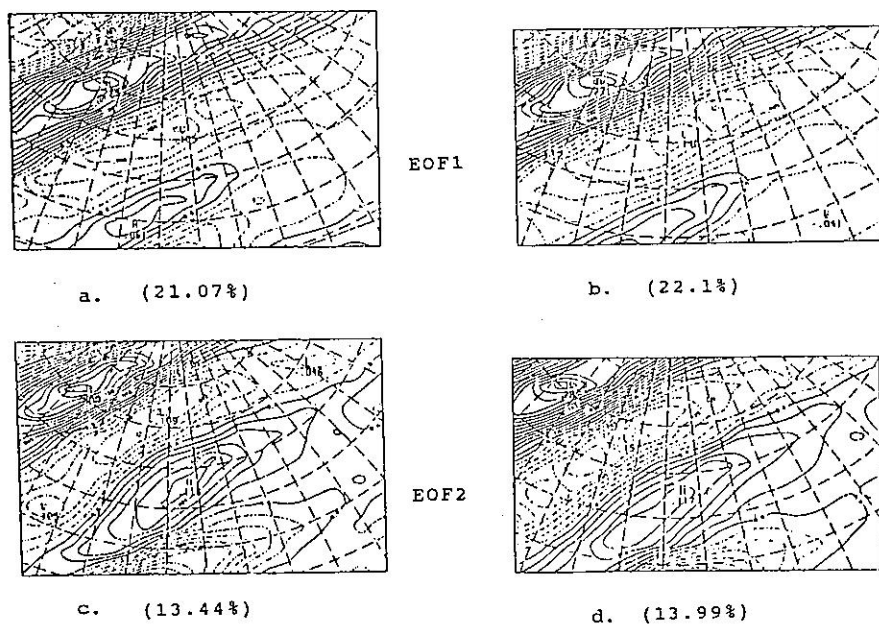
圖20 網格點數加大後 (  $14 \times 9 \rightarrow 16 \times 11$  ) EOF 穩定測試。

a 為範圍加大後 (  $16 \times 11$  )  $v'q'$  第一個 EOF ; b 為原範圍。

c 同 a 但為第二個 EOF ; d 為原範圍。

e 同 a 但為第三個 EOF ; f 為原範圍。

Figure 20. As in Fig. 18, but for the test of domain, ( $14 \times 9$  —  $16 \times 11$  points).



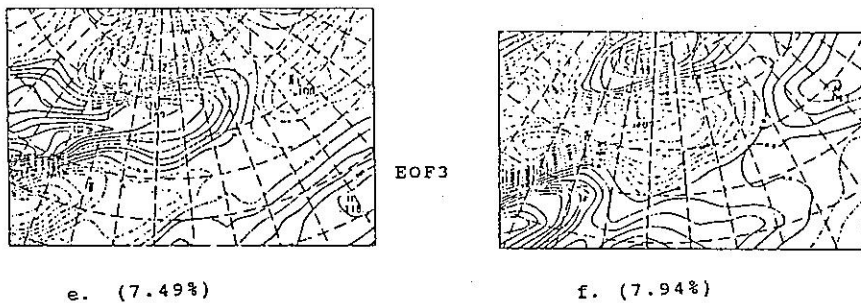


圖21 同圖 20 但爲  $\overline{u'q'}$  。

Figure 21. As in Fig. 20, but for  $\overline{u'q'}$

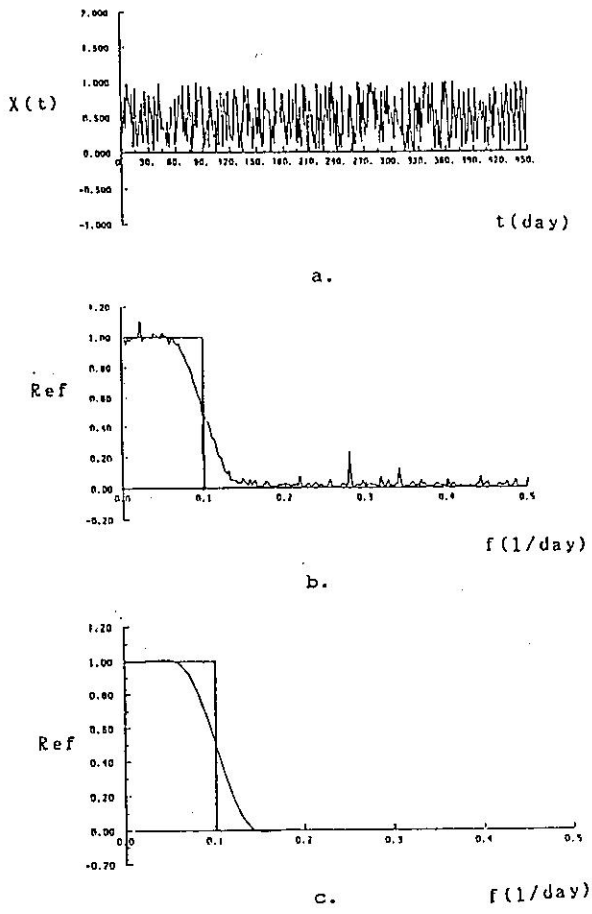


圖22 a 白噪時間序列。  
b 白噪通過本文所用低頻濾波(截頻 = 0.1)的輸出函數。  
c b 圖的理論比照圖。

Figure 4. As in (a), but for the weather dynamic system the 1st EOF must point from the climate mean (the origin) in the direction where phase points are dense, relating to the pesist anomalies.

- Charney, J.G. and J. G. Devore, 1979: Multiple equilibria in the atmosphere and blocking. J. Atmos. Sci., 36, 1205-1216.
- Duchou, C.E., 1979: Lanczos filtering in one and two dimension. Amer. Meteor. Soc., 18, 1016-1022.
- Dole R.M. and ND. Gordon, 1983: Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere characteristics. Mon. Wea. Rev., 111, 1567-1586.
- Egger, J.A., 1978: Dynamics of blocking highs. J. Atmos. Sci., 35, 1788-1801.
- Ghil, M., 1987: Dynamics, statistics and predictability of planetary flow regimes. Irreversible Phenomena and Dynamical Systems Analysis in the Geosciences, C. Nicolis and G. Nicolis, Eds., Reidel. 241-283.
- Green, J.S.A. 1977: The weather during July 1976: Some dynamical considerations of the drought. Werther, 32, 120-126.
- Hansen, A.R., and Alfonso Sutera, 1984: A comparison of the spectral energy and enstrophy budgets of blocking versus non-blocking periods. Tellus, 36, 52-63.
- Holopainen, E.O., and Oort A.H., 1981: On the role of Large-scale transient eddies in the maintenance of the vorticity and enstrophy of the time-mean atmosphere flow. J. Atmos. Sci., 38, 270-280.
- Hoskins, B.J., I.N. James, and G.H. White, 1983: The shape propagation and mean-flow interaction of Large-scale weather system. Amer. Meteor. Soc., 40, 1595-1612.
- Illari, L., 1984: A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone. J. Atmos. Sci., 41, 3518-3526.
- \_\_\_\_\_, and J.C. Marshall, 1983: On the interpretation of eddy-fluxes during a blocking episode. J. Atmos. Sci., 40, 2232-2242.
- Klein, W. H. 1957: Principle tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the northern hemisphere. Research Paper NO. 40. Washington, D.C.: U.S. Weather Bureau. 22pp.
- Lau, N.-C., 1978: On the three-dimensional structure of the observed transient eddy statistics of the Northern Hemisphere wintertime circulation. J. Atmos. Sci., 35, 1900-1923.
- Legras, B., and M. Ghil, 1983: Persistent anomalies, blocking and variations in atmospheric predictability. J. Atmos. Sci., 42, 433-471.
- Lorenz, E.N., 1956: Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Sci. Rept. No. 1, Statistical Forecasting Proj. Dept. of Meteor., MIT, Cambridge, Mass.
- Mo, K. C., and M. Ghil, 1987: Statistics and dynamics of Persistent Anomalies. Amer. Meteor. Soc., 44, 877-901.
- Pedlosky, Joseph, 1979: Geophysical Fluid Dynamics, 710pp.
- Rex, D.F., 1950: Blocking actions in the middle troposphere and its effect upon regional climate. II. The climatology of blocking action. Tellus, 2, 275-301.
- Rhines P.B.: The Sea, Vol. VI. 1977, John Wiley & Sons Inc.
- Shutts, G.J., 1983: The propagation of eddies in diffulent jetstreams: Eddy vorticity forcing of blocking flow fields. Q. J. R. Meteorol. Soc. 109, 737-761.
- \_\_\_\_\_, 1986: A case study of eddy forcing during an atlantic blocking episode. Advances in Geophysics, 29, 135-162.
- Wallace, J.M., and R. Dickinson, 1972: Empirical orthogonal representation of time series in the frequency domain. Part I: Theoretical considerations. J. Appl. Meteor., 11, 887-892.
- \_\_\_\_\_, and M.L. Blackmon, 1983: Observations of Low-frequency atmospheric variability. Large-scale dynamical Processes in the Atmosphere, B.J. Hoskins and R.P. Pearce, Eds., Academic Press.
- Tung, K.K., and R.S., Lindzen, 1979: A theory of stationary long waves Part I: A simple theory of blocking. Mon. Wea. Rev., 107, 714-734.

# LOW FREQUENCY RESPONSE OF TRANSIENT EDDY FLUX

Lin Ho Jyh-Chereng Horng

Department of Atmospheric Sciences  
National Taiwan university

## ABSTRACT

Low frequency response ( $\geq 10$  day) through nonlinear interaction by transient eddies is studied. The EOF analysis of transient eddy flux for 1975-79's winter showed significant low frequency patterns.

$\overline{u'q'}$ ,  $\overline{v'q'}$  ("—" means low pass filtering) were calculated for each grid point. Then we investigated EOF of the region covered the Atlantic storm tracks.

The first component of  $\overline{v'q'}$  was found having negative correlation between ridge and trough. The synoptic situation related to blocking case when  $\overline{v'q'}$  was anomalous from climate mean. The first two components of  $\overline{u'q'}$  possessed wave-like features, second EOF lagged first EOF almost  $90^\circ$ , implied periodic disturbances.

The first components of  $\overline{\mathbf{V}'q'}$  ("V" means vector wind ( $u,v$ )) was similar to the results of Shutt's (1983). Potential vorticity was transported southerly by transient eddies in ridge and northerly in trough, which supported the maintenance of blocking.

Key words: low frequency response, transient eddy flux,  
storm tracks, blocking.