

北半球冬季阻塞和持續性低緯流環流

曾建翰¹ 林和²

1. 中央氣象局科技中心

2. 國立台灣大學大氣科學研究所

摘要

阻塞現象常被認定為持續性異常的天氣尺度變率，其空間幾何形態必須有低緯流指標之特性，但滿足持續性低緯流指標環流之動力機制和物理成因並不能說成一定是阻塞現象，這當中包括有阻塞高壓 (blocking high)、割離低壓 (cut-off low) 和帶留波 (stationary wave)。由計算包絡數 (envelope function)、E 向量、位渦度平流作用、位渦和流函數場之相關等物理量發現，上述三種低頻環流並不相同，這是為何有許多不同的阻塞定義和解釋，在做天氣預報和診斷分析時是否該對阻塞有更適當的釐清和探討。

一、前言

由於地球大氣南北加熱不均勻，高度場有南高北低的梯度，由地轉平衡得知，中高緯度屬西風緯流區；但當阻塞發生時，南暖北冷的氣團互相交換位置，熱力結構改變，西風流場減弱成為東風流，原有的緯流結構轉變成南北經向流，從上游而下的東行天氣系統被減慢，造成持續性的天氣變異。大氣低頻運動中，阻塞是最早為人所知，早從本世紀初 Garriot(1904) 即已著手研究，Rex(1950) 首先提出阻塞主觀分析的依據，除了上述緯向流變為經向流之特性外，還強調其經向流分叉必須至少延伸 45° 經度，持續時間要超過 10 天，噴流被迫分為兩支繞過阻塞，其定義一直延續至今。

Lejnas and økland(1983) 嘗試定義一種緯流指標來量化阻塞發生時氣團南北倒置的特性，但其定義阻塞發生時所應有的低緯流指標之空間範圍太小，所能辨別之阻塞形態有限，隨後被 Kung et al.(1989)，曾(1991)，鄒等(1992) 質疑，故曾和鄒等都在其文章中重新修改和定義新的指標來量化辨識阻塞。其共通的精神即在主觀分析時雖然對阻塞現象有詳細描述，但從主觀的認定過程中往往發現「阻塞」、「持續性異常」、「低緯流指標環流」等名詞混雜使用，缺乏客觀認同的定義，未能將個案照其動力結構歸類；而阻塞改變遲緩，性質

穩定，很可能不需要太複雜的鑑定程序，就能找出客觀、量化篩選的方法。故本文由 500mb 高度場資料建立阻塞量化選取的準則，所取之個案在高度場資料上有共通特性，以此出發做個案間的診斷分析。

當量化的準則確立後發現：高度場值扣掉氣候總體平均值後再取低緯流指標時，會分離出是屬於帶留波 (stationary wave) 和阻塞現象兩類，這是因為 Dole and Gordon(1983) 的研究中指出阻塞發生時常伴隨有高度場對氣候場平均值之持續性異常 (persistent anomaly) 的現象，故將原本的緯流指標做了某種修正 (詳見第二節)，將此新指標所揀選的稱為阻塞，而未經修正的指標所量化的現象包括了帶留波和阻塞兩種低頻環流，本文通稱為持續性低緯流環流 (因為其滿足低緯流指標)。而主觀檢視新指標所定義之阻塞時又可分出是阻塞高壓 (blocking high) 和割離低壓 (cut-off low) 兩種；而本文的研究動機即在利用前人已做過的動力診斷分析來嘗試分辨阻塞高壓、割離低壓和帶留波這三種低頻環流現象。

Green(1977) 的研究中指出瞬變渦流和阻塞有密切連繫，在隨後的資料診斷分析中 (Illari and Marshall, 1983; Illari, 1984; Shutts, 1986) 發現，瞬變渦流 (高頻斜壓天氣波) 的位渦度逆梯度輸送 (upgradient transport)，能夠維持阻塞脊；而 Hoskins et al.(1983) 和 Wallace and Lau (1985) 發現高頻瞬變渦流將能量轉換到低頻尺

度環流中，以維持低頻環流或是阻塞現象的存在，Shutts(1986)曾應用相似的分析在一阻塞高壓個案中得到證明；在隨後 Nakamura and Wallace(1990)之研究中運用 30 年的包絡函數(envelope function)和等高線關係中發現持續性負異常高度場存在時上游有負異常(相對於氣候平均值)包絡函數相伴而生，而其所謂的包絡函數是高度場瞬變渦流值平方且經平滑化後的資料，可代表渦流的強度。故從上述的文獻歸結得知：瞬變渦流在阻塞和滯留波期間扮演相當重要的角色，在隨後的探討中從瞬變渦流觀點出發，分別計算包絡函數，E 向量，正壓能量轉換，位渦度平流來分辨上述之三種低頻環流。

此外，阻塞期間內，位渦度與流函數幾乎呈線性負相關，且在阻塞高壓範圍內分佈著不同的斜率分佈(Malanotte-Rizzoli, 1987; Butchart et al., 1989)；在類似割離低壓的數值模擬和資料分析中(Haines and Malanotte-Rizzoli, 1991; Haines et al., 1993)位渦度和流函數的關係不再是單純線性負相關，這種斜率帶分佈的不同可用來釐清阻塞高壓和割離低壓，而斜率帶的差異可代表穩定度的不同(洪, 1994)，這可能暗示阻塞高壓和割離低壓在動力性質上之差異，本文計算了流函數(ψ)和位渦度(q)在阻塞期間內的相關散佈圖(q/ψ 即斜率)，也推廣至滯留波期間內觀察其異同點。

本文共分四節，第二節說明資料的來源和一些診斷分析的方法，第三節針對阻塞高壓、割離低壓和滯留波三者做個案探討，第四節討論一些未定論的問題和總結這三者之異同處。

二、資料來源與分析方法

本文採用歐洲展期預報中心之資料，1980 年底至 1987 年初採用 ECMWF/WMO 之資料，而 1987 年冬天以後採用 ECMWF/TOGA BASIC 之資料，解析度皆為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ，冬天的定義為從 11 月 15 日至翌年之 3 月 20 日，選取每日 00Z 資料，共 126 天，計算 11 年(1980 ~ 1991 年)，運用 recursive and moving average filters (Kaylor, 1977) 的方法，分別將資料做截頻濾波(band pass filter)和低頻濾波(low pass filter)。

(一)阻塞量化準則

緯流指標的算法是依據 Lejenäs and ϕ kland(

1983)所提出的方法，但做了一些修正，其定義如下：

$$I_1(\lambda) = Z_{\phi_1}(\lambda) - Z_{\phi_1}(\lambda) \quad (1a)$$

$$I_2(\lambda) = Z_{\phi_1}(\lambda + 15^\circ) - Z_{\phi_1}(\lambda) \quad (1b)$$

$$I_3(\lambda) = Z_{\phi_1}(\lambda) - Z_{\phi_1}(\lambda + 15^\circ) \quad (1c)$$

其中，Z 為 500mb 高度場乘上一個倍率 $\sin 45^\circ / \sin \phi$ ， ϕ ， ϕ_1 ， ϕ_2 為緯度值。 ϕ_1 ， $\phi_2 = 20^\circ$ ， 40° 或 30° ， 50° 或 40° ， 60° 或 50° ， 70° 這幾個範圍。

滿足，

$$(I_1(\lambda + 15^\circ) + I_1(\lambda) + I_1(\lambda - 15^\circ))/3 < 0, \text{ 或}$$

$$(I_2(\lambda + 15^\circ) + I_2(\lambda) + I_2(\lambda - 15^\circ))/3 < 0, \text{ 或}$$

$$(I_3(\lambda + 15^\circ) + I_3(\lambda) + I_3(\lambda - 15^\circ))/3 < 0$$

視為低緯流指標，表示有可能為阻塞發生的地方。此處高度場乘上 $\sin 45^\circ / \sin \phi$ 的倍率是因為緯度愈高，單位經緯度面積變小，故用此值將 EC 等經緯網格之資料做修正。(1)式中之指標定義和 Lejenäs and ϕ kland (1983) 不同(僅定義(1a)為緯流指標)，是為了尋找空間型態上不同的阻塞現象，像是脊形阻塞其脊線和槽線是傾斜的(曾, 1991, 鄒等 1993)阻塞系統，同時將所定義的低緯流指標的範圍也加大。

但這種指標在 180° 換日線附近，低緯流指標訊息一直持續，這是在氣候場中常見的滯留波型態，常存在於北美西岸、大西洋東岸，為一淺脊型的系統，相應而生的是東亞和北美主槽，這個現象的成因和動力機制和一般阻塞現象不完全相同，所以又將指標的定義修改如下：首先

$$DZ = Z - Z_C \quad (2)$$

其中，Z 仍是高度場乘上 $\sin 45^\circ / \sin \phi$ 之值， Z_C 為相對應於 Z 之氣候總體平均值，DZ 是高度場和氣候平均之差值。本文中氣候總體平均值定義為同一個格點同日 11 年總體平均值，即此氣候總體平均值仍為時間序列的函數。

再將，

$$DZ_{\phi_1}(\lambda) - DZ_{\phi_2}(\lambda) < -150m \quad (3)$$

此處， ϕ_1 ， $\phi_2 = 20^\circ$ ， 40° 或 30° ， 50° 或 40° ， 60° 或 50° ， 70° ， λ 為經度，取持續 6 天以上稱之持續性異常低緯流指標，其中 -150m 的差

值是根據 Dole(1983) 和 Quiroz(1987) 所建議，當某一點高度場超過氣候總體平均值 ± 100m 以上視為異常值 (anomaly)，即 $|DZ| \geq 100m$ ，其南北沿著同一經度相減小於 -150m 之值定義為異常低緯流指標，由此種持續性異常緯流指標所定之阻塞訊息要比用緯流指標計算所得之訊息來得明確清楚，故本文中將此種新指標所找到的現象定義為阻塞環流，而單純緯流指標所找出的滯留波歸類為持續性低緯流環流。

(二) 包絡函數

本文沿襲 Nakamura and Wallace (1990) 的做法，但做了一些修正來求包絡函數，首先將高度場資料扣掉氣候總體平均值，再扣掉時間序列 (126 天) 之平均值，做 2.5 ~ 6 天的截頻濾波；經過這道手續出來的資料代表瞬變渦流 (transient eddy)，屬於常見的高頻斜壓天氣波擾動，將這些資料平方後，通過 6 天的低頻濾波後所得平方且經過平滑化的資料，就像一個包絡般將這類高頻資料的特性予以顯示出來 (這過程中亦乘上前述所提的一種倍率值 $(= \sin^2 45^\circ / \sin^2 \phi)$)，這就得出包絡函數，可代長瞬變渦流的強度，將其扣掉本身氣候總體平均值後，本文後稱為包絡函數的偏差值。

(三) E 向量

利用 Hoskins et al.(1983) 水平方向的 E 向量定義為

$$E = (\overline{v'^2 - u'^2}, -\overline{u'v'}) \quad (4)$$

其中 "u', v'" 表瞬變渦流，本文中定義為扣除氣候總體平均、時間序列之平均後，再經 2.5 ~ 6 天截頻濾波所得之資料。"—" 表示對一段時間平均，本文表示對阻塞生命中一段時間所做的平均。

E 向量有下列特性：

- (1) 可指示出瞬變渦流的能量傳輸方向和其源自何處。
- (2) $(\partial \bar{u} / \partial t) \propto \nabla \cdot E$ ，如果 $\nabla \cdot E > 0$ 表示對平均緯流西風加速， $\nabla \cdot E < 0$ 表減速。
- (3) E 向量和平均緯流場的梯度能表示出正壓大氣中渦流和平均流場動能間的交互作用，利用 Wallace 和 Lau(1985) 中正壓能量轉換方程式，

$$C = \overline{u'^2} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \overline{v'^2} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) + \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \quad (5a)$$

$$= (\overline{u'^2 - v'^2}) \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) + \overline{u'v'} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (5b)$$

$$= -E \cdot \nabla \bar{u} + \overline{u'v'} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \quad (5c)$$

當 $C > 0$ ，表有瞬變渦流的能量轉換到平均流場，反之當 $C < 0$ 表示平均流場將能量交給渦流，由 (5c) 來看若省略 $\overline{u'v'}$ 項，當 $E \cdot \nabla \bar{u} < 0$ ，則 $C > 0$ ；若 $E \cdot \nabla \bar{u} > 0$ ，則 $C < 0$ 。

位渦度分析

根據 Illari(1984) 和 Hoskins et al.(1985)，等壓面上的位渦運用準地轉關係近似寫成下式，

$$q = f + \zeta + f_0 \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\theta'}{\frac{d\theta}{dp}} \right) \quad (6)$$

$$\theta' = \theta(x, y, z, t) - \bar{\theta}(p)$$

其中 ζ 是相對渦度， f 是科氏參數 ($f = 2\Omega \sin \phi$)， f_0 是標準科氏參數 ($\phi = 43^\circ$)， θ' 是位溫偏差值， θ 是標準狀態下位溫值，它僅具垂直變化。如果考慮絕熱且無摩擦的狀況下，位渦方程可寫成，

$$\frac{dq}{dt} = 0 \quad (7)$$

現將瞬變渦流和剩餘平均場分離，假設，

$$q = q_c + q_t + q_t^+ + q_t^- \quad (8)$$

其中 q_c 是氣候平均， q_t 是時間序列平均， q_t^+ 是瞬變渦流， q_t^- 是低頻渦流。現在定義 q_B 是剩餘平均項，即

$$q_B = q - q_t^+ = q_c + q_t + q_t^- \quad (9)$$

表除關瞬變渦流外的量。本文探討的焦點放在 q_t^+ 和 q_B 間，(7) 式可寫成，

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \mathbf{V}_B \cdot \nabla q_B + \mathbf{V}_B \cdot \nabla q_t^+ + \mathbf{V}_T^+ \cdot \nabla q_B + \\ \mathbf{V}_T^+ \cdot \nabla q_t^+ = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

其中 \mathbf{V} 表水平風速，對阻塞生命期做平均，以"—" 表示，可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = -\overline{\mathbf{V}_B \cdot \nabla q_B} - \overline{\mathbf{V}_B \cdot \nabla q_t^+} - \overline{\mathbf{V}_T^+ \cdot \nabla q_B} - \\ (1) \quad (2) \quad (3) \end{aligned}$$

$$\overline{V_T \cdot \nabla q_T} \quad (11)$$

(4)

計算(1), (2), (3), (4)項, 但在隨後圖中只顯示(1), (4)項, 其原因是為將探討焦點集中在長時間平均尺度環流 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 和純粹由高頻尺度 $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ 之位渦平流作用這兩項上, 討論於阻塞期間內 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 和 $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ ($\propto \partial \bar{q} / \partial t$) 是使阻塞環流向東或向西移行。

(c) 流函數和位渦散佈相關分析

忽略掉垂直平流的位渦方程(7)式可寫成另一型式,

$$\frac{\partial q}{\partial t} + J(\psi, q) = 0 \quad (12)$$

其中 ψ 是流函數, J 表 Jacobian 函數, 對阻塞生命期做平均 "——", 假設 $\partial \bar{q} / \partial t \approx 0$, 可得,

$$\overline{J(\psi, q)} \approx J(\bar{\psi}, \bar{q}) = 0 \quad (13)$$

表示 ψ 和 q 之間有一函數關係存在。本文中計算流函數 ψ 的方法是用風場計算在格點上的渦度, 然後將渦度值轉換到波譜空間的係數, 利用渦度和流函數之波譜係數只差一個倍率值, 將乘過倍率的係數轉回物理格點上就求得流函數(參看林, 1990)。

三、阻塞與持續性低緯流環流

本文阻塞的定義是必須滿足持續性異常低緯流指標, 且持續6天以上, 其中分成阻塞高壓, 割離低壓兩種, 持續性低緯流用滯留波做為代表。阻塞高壓、割離低壓和滯留波三者皆符合明顯的西風分流, 滿足低緯流指標的主客觀描述, 現在嘗試用第二節所述的方法, 診斷分析這三者之異同處。

(一) 阻塞高壓

本文中阻塞高壓的認定除滿足持續性異常低緯流指標外, 在等高線圖上高壓要有數天封閉的等高線, 於本文中選擇2個個案做討論。傳統上有將阻塞高壓兩側之低壓稱為割離低壓, 但為了和下一小節所定義之割離低壓有所區別, 此種伴隨在高壓兩側之低壓稱為伴隨低壓 (adjacent low), 合起來為一阻塞高壓系統。圖1是這2個阻塞高壓和正異常

包絡函數的關係, 圖中細實線是等高線, 粗實線加陰影的地區是包絡函數偏差值大於 1000m^2 以上的地區, 因為11年包絡函數1個氣候標準偏差值大約是 1000m^2 , 故大於此值之包絡函數稱為正異常的包絡函數, 即圖中加陰影的地區。由這2個個案發現在阻塞高壓發生期間, 其附近都可以找到正異常的瞬變渦流, 尤其在阻塞高壓上游低壓槽和阻塞脊北方附近最強, 而這些高頻的擾動無法穿透阻塞高壓的中心, 從兩旁繞行而過。

圖2是這2個阻塞高壓發生期間E向量空間分佈圖, 箭頭代表E向量, 大於 10m/s 才標示出來, 細實線是等高線, 粗虛線加陰影的地區是風速大於 20m/s , 相當於噴流所在位置, 可看出E向量和西風梯度在阻塞高壓前線是反向的, 即 $E \cdot \nabla \bar{u} < 0$, 表可有正壓能量轉換從高頻擾動到較低頻的尺度流場中, 提供阻塞高壓這種長時間存在的環流能量。由於阻塞高壓持續期間, 經向環流明顯, 故除了看 $E \cdot \nabla \bar{u}$ 的作用外, 必須計算整個正壓能量轉換項(5式), 圖3即相對於上述2個個案之正壓能量轉換大小, 正值用粗實線表示, 負值用粗虛線代表, 當正值時代表能量的傳遞過程由高頻到低頻, 負值時反之。

瞬變渦流的位渦度分析可提供另外一個角度說明其和時間平均尺度環流的關係, 圖4,5中分別代表 $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ 和 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 這兩項, 由(6)式算出, 粗實線是平流項正值區, 而粗虛線是平流線項負值區, 細實線是等壓面上的位渦, 可看出圖4中 $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ 在造成阻塞高壓右側下游是正值表有正位渦度平流 ($\propto \partial \bar{q} / \partial t > 0$) 圖, 但在其上游位渦度較大的槽線低壓區有負渦度平流 ($\propto \partial \bar{q} / \partial t < 0$), 圖形原本較零亂, 此處用 Sardeshmukh and Hoskins(1984)的空間濾波器做空間上的平滑化處理。而圖5表示這2個阻塞個案的 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 項, 可看出在阻塞高壓右側下游是負值 ($\propto \partial \bar{q} / \partial t < 0$), 而其上游槽區是正值 ($\propto \partial \bar{q} / \partial t > 0$), 這表示在使原有阻塞高壓環流之位渦度場結構向東移行, 而 $\partial \bar{q} / \partial t$ 使阻塞高壓環流向西移行, 二者作用相反使阻塞高壓結構在空間上停留在一個地方。

流函數和位渦度的散佈關係, 可看出阻塞生命

期時間尺度平均流場的特徵，由(13)式知 $J(\bar{\psi}, \bar{q}) \approx 0$ ，故對阻塞生命期而言流函數和位渦有函數關係，圖 6 是前述 2 個阻塞高壓期間內的流函數和位渦散佈相關圖，橫軸表是流函數，縱軸是位渦，割取的範圍是阻塞高壓的大小如圖形下文字記錄，共同的特徵是流函數和位渦呈線性相關，分佈在一條或二條直線斜率帶上，個案中的兩個斜率帶似乎符合解決孤立波問題時所相應的兩個特徵函數值存於孤立波內部和外部解 (Butchart et al., 1989 ; 洪, 1994 ; Ek and Swaters, 1994)，這亦影響到阻塞高壓之穩定度的問題，本文不做這方面的探討 (洪, 1994)。

(二) 割離低壓

常在等高線圖中發現脊形的阻塞高壓，兩側之槽或低壓並不明顯，而一般稱做割離低壓的系統都附屬在阻塞高壓兩旁，成爲一個阻塞系統，然而單純存在一個低壓而兩邊僅有脊線而無明顯高壓之系統和上述狀況似乎不同，於此本文中的割離低壓定義爲在氣候距平上有負異常值，滿足低緯流指標，主觀認定上兩側無封閉高壓的等高線或強脊線存在，就像是把脊形阻塞高壓的圖形翻轉 180° 一樣，而伴隨在阻塞高壓兩旁之低壓本文稱伴隨低壓，是爲了和這節所探討的割離低壓有所區別。

圖 7 是所揀取的 2 個割離低壓之包絡函數和等高線圖，其中粗實線陰影區是包絡函數偏差值小於 -1000m² 所在，細實線是等高線，其中發現割離低壓發生期間上游瞬變渦流的強度遠較一般時期爲小，正異常的斜壓瞬變渦流相距割離低壓在較遠的位置，同阻塞高壓般的被迫繞行無法穿透低壓區。圖 8 是 E 向量、噴流和等高線圖，圖中可發現噴流分佈在割離低壓四周，而 E 向量的大小比起阻塞高壓時期要小很多，從 E 向量和西風梯度的內積來看 ($E \cdot \nabla \bar{u}$)，高頻的瞬變渦流提供給低頻尺度的能量比阻塞高壓時期要小，尤其在上游地區，一般說來高頻擾動移行方向是由西向東，所以預期要有高低頻尺度能量交換交互作用應是在上游地區發生，才能和割離低壓阻塞系統起作用。圖 9 是正壓能量轉換項，可知在割離低壓上游區從高頻到低頻的能量要小於阻塞高壓時期，綜合來說，割離低壓發生時上游地區的斜壓瞬變渦流強度低於一般時期，由正

壓觀點來看無法對割離低壓提供有效的能量維持。

位渦度平流之計算顯示 (圖 10,11)， $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 這項作用在使背景場向東向下游移行， $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ 分佈較零亂不若阻塞高壓時有組織， $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ ，無法有效維持低壓於一空間定點，其數量級佔 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 之 20% 以下，這點和前述上游有負異常的包絡函數發生相符合 (瞬變渦流強度較弱)。流函數和位渦度散佈相關圖和阻塞高壓有明顯不同 (圖 12)，在割離低壓範圍內它們並非單純線性相關，這當中是否也暗示割離低壓的動力機制及穩定性和阻塞高壓不同。

(三) 滯留波

滯留波的定義爲在一冬季時間序列之等高線平均場分析可見到在北美西岸、大西洋東岸有一個淺脊發生，隨年際的變化脊的強弱也有不同，有時較強且明顯，主觀認定或低緯流指標之分析常會認定這是阻塞現象，像是 8283、8586、8687 等年在太平洋北美西岸一帶的脊非常強，在時、空間上都有持續性，但是如果扣除掉每日氣候總體平均值，這種長時間存在的低緯流可被抽離出來，滯留波可能屬於另外一種的低頻狀態，並非全然是阻塞現象，影響它的機制尚有地形、海陸熱力對比等效應。

圖 13 是滯留波發生時包絡函數和等高線圖，粗實線加陰影區是包絡函數偏差值大於 500m²，這是爲了將圖形強調標明出來，因爲大於 1000m² 以上的地區面積太小，這當中可發現滯留波脊上游也存在有小量的正異常包絡函數，和圖 14 比較來看，這些瞬變渦流在噴流條下游偏北的地方像是風暴路徑 (storm tracks) 的位置，在太平洋區的正異常包絡函數長軸呈東西向，而大西洋上有較大的南北走向分量，E 向量和西風梯度的內積水於零，正壓能量的轉換由高頻到低頻，其轉換最明顯的地方在滯留波脊上游，但其值比阻塞高壓時期小很多 (圖 14,15)。

位渦度平流分析 (圖 16,17) 和前述二種阻塞相同， $-\overline{V_T \cdot \nabla q_T}$ 使背景尺度環流向西移行， $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 則在使原有環流向東向下游移行，瞬變渦流扮演逆梯度傳送的角色。流函數場和位渦度散佈相關分析 (圖 18) 顯示在滯留波脊形範圍內有兩個斜率帶，且這三個冬季的滯留波在斜率帶上的分佈非常

相似，都是在位渦值較大，流函數值較小的地區，也就是在圖形左上角的地方有另外一個斜率帶。綜合來說，滯留波脊和阻塞高壓在上述幾種物理量的分析來看是非常近似；但瞬變渦流的出現強度要小於阻塞高壓時期，從斜率帶的分佈來看時和阻塞高壓的動力穩定特性亦不相同。

四、討論與結語

從第三節的分析中，割離低壓和其它二種低頻現象最為不同，其持續期間上游瞬變渦流的強度低於氣候平均值一個標準差以下，位渦度平流作用的配置不如阻塞高壓時理想， $-\overline{V_T' \cdot \nabla q_T'}$ 僅佔 $-\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 的 20% 以下，在阻塞高壓個案中瞬變渦流的平流項 $-\overline{V_T' \cdot \nabla q_T'}$ 佔剩餘平均長時間尺度平流項 $\overline{V_B \cdot \nabla q_B}$ 的 50% 到 40%，有些個案中流函數和位渦的線性相關程度也較差，雖然阻塞高壓和割離低壓二者皆滿足持續性異常低緯流指標，但很有可能割離低壓和阻塞高壓不是同一種現象。當瞬變渦流活躍時，經向環流變為明顯，很容易造成脊形或是 Ω 形的阻塞高壓系統，由梯度風平衡觀念得知北半球高壓要比低壓範圍來得大，故瞬變渦流有效地南北傳送一些物理量時（正壓能量、位渦度）時可維持高壓或強脊的存在，不容易形成割離低壓的型態。又由 q/ψ 的斜率圖中發現割離低壓和阻塞高壓的動力穩定特性並不相同，加上無法有效的從瞬變渦流中取得能量，所以持續的天數都遠短於其它二種低頻現象。

對滯留波而言，瞬變渦流對於其維持佔有一定的比例，但並非瞬變渦流愈強時，滯留波愈明顯，於 8889 年冬季太平洋上之正異常包絡函數最是相當強的，但這一年的滯留波脊並不明顯，此外，一般都認為這種淺脊的動力機制是受到地形，海陸對比等作用 (Wallace and Blackmon, 1983)，和阻塞高壓、割離低壓並不完全相同，其 q/ψ 圖所暗藏的動力穩定性上的問題也有待研究。

總結來說，阻塞和滯留波在時空間上滿足低緯流指標之特性，而阻塞期間有高度場上氣候的異常值發生，阻塞現象可分成阻塞高壓和割離低壓兩大類，其區分的關鍵在瞬變渦流的作用和 q/ψ 圖，阻塞高壓時期瞬變渦流之強度遠大於割離低壓時期，位渦度的逆梯度運送也比割離低壓為佳， q/ψ 圖中的線性相關也比割離低壓清

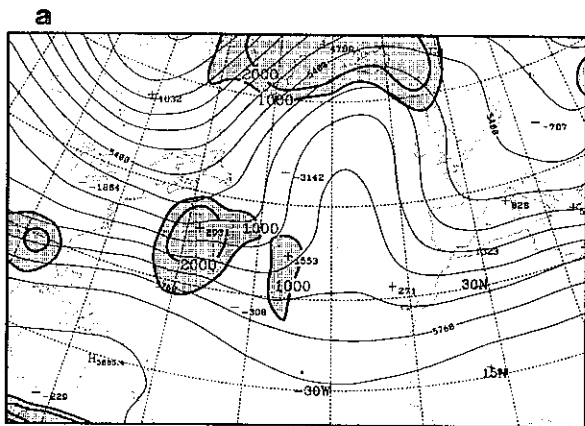
楚，而阻塞高壓的生命期長於割離低壓之原因可能是瞬變渦流對阻塞高壓有較好的能量正回饋。另外，渦流對阻塞高壓和滯留波之作用相似，但從數量級大小和 q/ψ 圖上發現其二者並非全屬一類，在天氣學或等高線的主觀分析上，上述三種低頻環流並無太大差異，但在氣候場上高度值的表現，瞬變渦流的強度， q/ψ 間的相關型式都顯示出其彼此的不同，有待更深一層的研究探討。

五、參考文獻

- 曾建翰，1991：北半球冬季阻塞特性研究，國立台灣大學碩士論文。
- 林士勳，1990：流函數場之遙相關型式，國立台灣大學碩士論文。
- 洪志誠、林和，1994：阻塞研究－第一部份：魔子 (Modon) 穩定度之分析，大氣科學，22，297-318。
- 鄒治華、林燕枝、郭勉之，1993：北半球阻塞高壓的特徵及形成，大氣科學，20，153-172。
- Butchart, N., K. Haines and H. C. Marshall, 1989: A theoretical and diagnostic study of solitary waves and atmospheric blocking., J. Atmos. Sci., 46, 2063-2078.
- Dole, R. M. and Gordon, 1983: Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere winter-time circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics. Mon. Wea. Rev., 111, 1567-1586.
- Ek, N. R. and G. E. Swaters, 1994: Geostrophic scatter diagrams and the application of quasi-geostrophic free-mode theory to a northeast pacific blocking episode. J. Atmos. Sci., 51, 563-581.
- Garriot, F. B., 1904: Long range forecast U.S. Weather, Bur. Bull, 35.
- Green, J. S. A., 1977: The weather during July 1976: some dynamical considerations of the drought. Weather, 32, 120-125.

- Hoskins, B. J., I. N. James and G. H. White, 1983: The shape propagation and mean flow interaction of Large - scale weather systems. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1595-1612.
- _____, M.E. McIntyre and A.W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 111, 877-946.
- _____, _____ and M. Morgan, 1993: Persistent jet stream intensifications: A comparison between theory and data. *J. Atmos. Sci.*, 50, 145-154.
- Haines, K. and P. Malanotte - Rizzoli, 1991: Isolated anomalies in westerly jet stream: A unified approach. *J. Atmos. Sci.*, 48, 510-526.
- Illari, H. and J. C. Marshall, 1983: On the interpretation of eddy fluxes during a blocking episode. *J. Atmos. Sci.*, 40, 2232-2242.
- _____, 1984: A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3518-3526.
- Kung, E. C., H. L. Tanaka, and W. E. Baker, 1989: Energetics examination of winter blocking simulations in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2019-2040.
- Lejenäs, H. and H. ø Kland, 1983: Characteristic of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. *Tellus*, 35A, 350-362.
- Malanotte-Rizzoli, P. and P. J. Hancock, 1987: Coherent structures in a baroclinic atmosphere. Part IV: A comparison between theory and data. *J. Atmos. Sci.*, 44, 2506-2529.
- Nakamura, H. and J. M. Wallace, 1990: Observed changes in baroclinic wave activity during the life cycles of low-frequency circulation anomalies. *J. Atmos. Sci.*, 47, 1100-1116.
- Rex, D.F., 1950: Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. I. An aerological study of blocking action. *Tellus*, 2, 196-211.
- Shutts, G.T., 1986: A case study of eddy forcing during an Atlantic blocking episode. *Adv. Geophys.*, 29, 135-161.
- Tsou, C.- H., and P.J. Smith, 1990: The role of synoptic/planetary-scale interaction during the development of a blocking anticyclone. *Tellus*, 42A, 174-193.
- Trenberth, K.E., 1986: An assessment of the impact of transient eddies on the zonal flow during a blocking episode using localized Eliasson - Palm Flux diagnostics. *J. Atmos. Sci.*, 43, 2072-2087.
- Wallace, J.M. and N. -C. Lau, 1985: On the role of barotropic energy conversions in the general circulation. *Adv. Geophys.*, 28, 33-74.
- Wallace, J.M. and N.L. Blackman, 1983: Observations of low-frequency atmospheric variability. In B.J. Hoskins and R.P. Pearce(eds.), *Large - scale dynamical processes in the atmosphere*. Academic Press, New York.

ENVELOPE FUNCTION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
83020100--83022000 500 MB



ENVELOPE FUNCTION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
87010600--87020300 500 MB

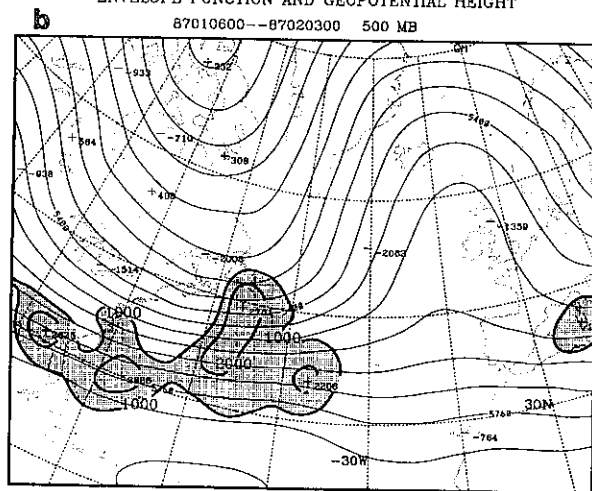
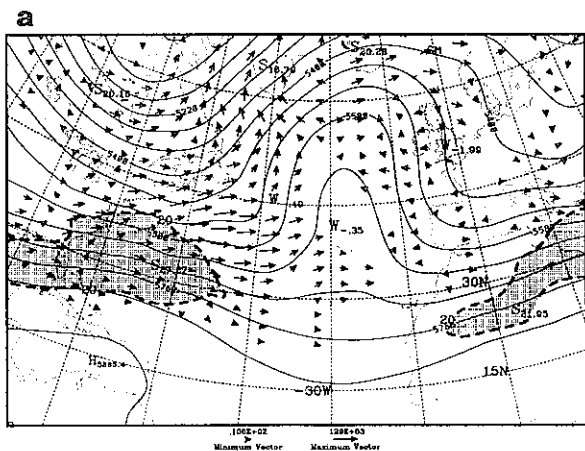


圖 1 阻塞高壓時期正異常包絡函數（粗實線），間距為 1000 m^2 和等高線（細實線），間距為 60 m 。

E VECTOR AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
83020100--83022000 500 MB



E VECTOR AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
87010600--87020300 500 MB

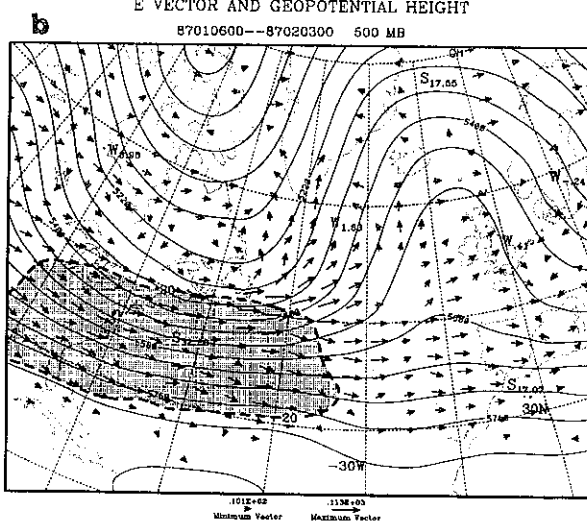
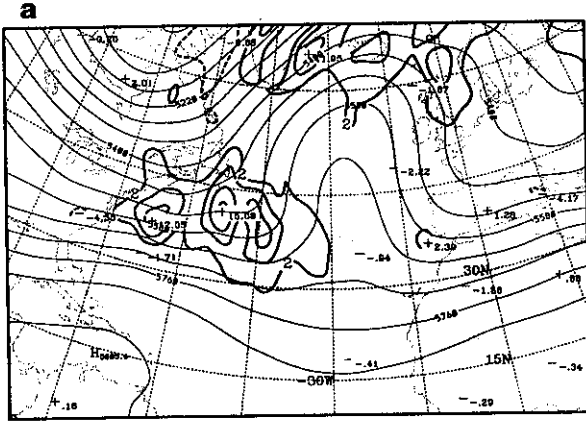


圖 2 阻塞高壓時期 E 向量（箭頭），平均西風等風速線（粗虛線）和等高線（細實線），E 向量大於 10 m/s 才標示，粗虛線加陰影是西風大於 20 m/s 的區域，等高線間距為 60 m 。

ENERGY CONVERSION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
83020100--83022000 500 MB



ENERGY CONVERSION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
87010600--87020300 500 MB

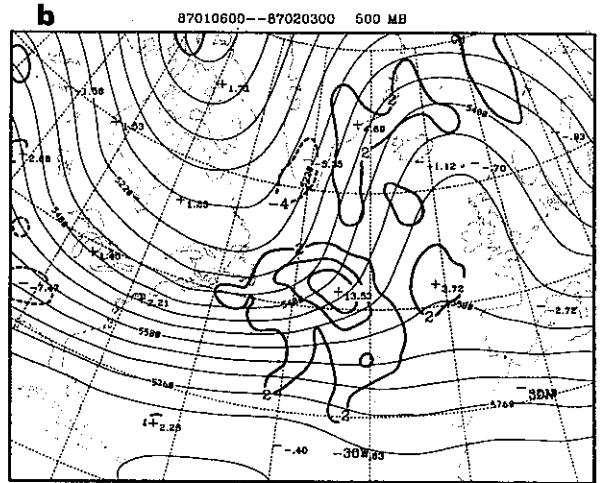
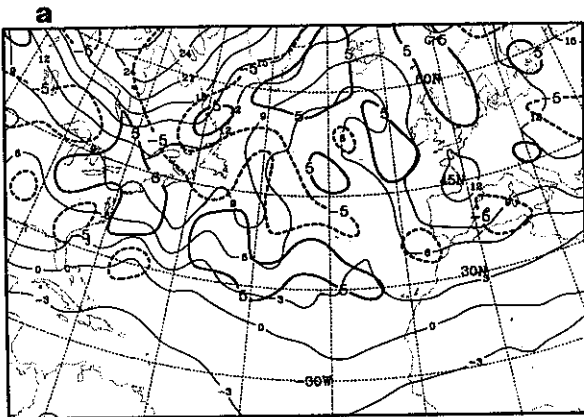


圖 3 阻塞高壓時期正壓能量轉換項（正值用粗實線，負值用粗虛線），間距為 $4 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}^2$ 和等高線（細實線），間距為 60 m。

TRANSIENT EDDY ADVECT TRANSIENT PV TERM
83020100--83022000 500 MB



TRANSIENT EDDY ADVECT TRANSIENT PV TERM
87010600--87020300 500 MB

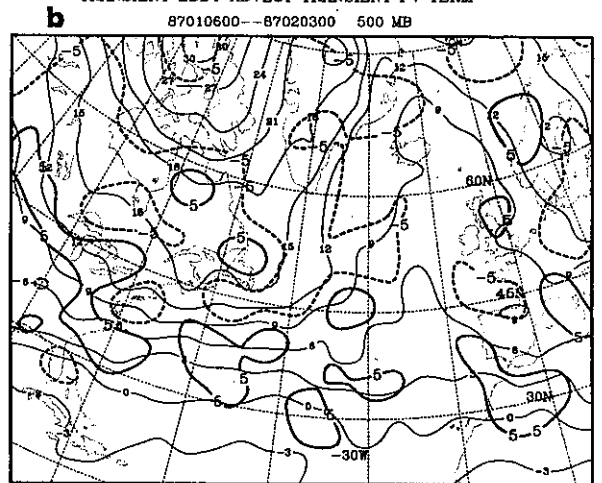


圖 4 阻塞高壓時期瞬變渦流位渦度平流（正值用粗實線，負值用粗虛線），間距為 $5 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$ 和位渦度（細實線），間距為 $3 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 。

MEAN FLOW ADVECTION MEAN PV TERM
83020100--83022000 500 MB

MEAN FLOW ADVECTION MEAN PV TERM
87010600--87020300 500 MB

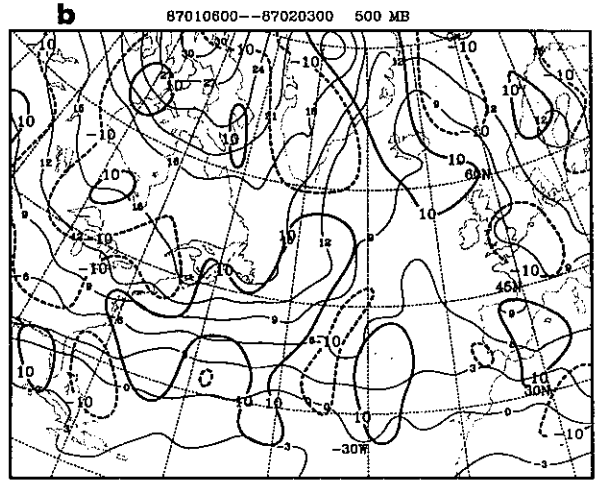
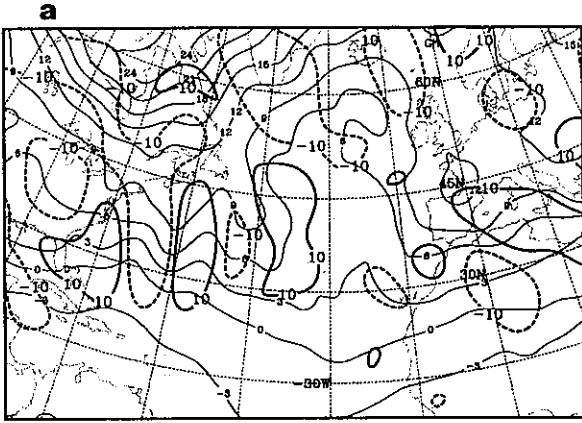


圖 5 阻塞高壓時期剩餘平均場位渦度平流（正值用粗實線，負值用粗虛線），間距為 $10 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$ ，和位渦度（細實線），間距為 $3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。

PV/STREAM FUNCTION DIAGRAM

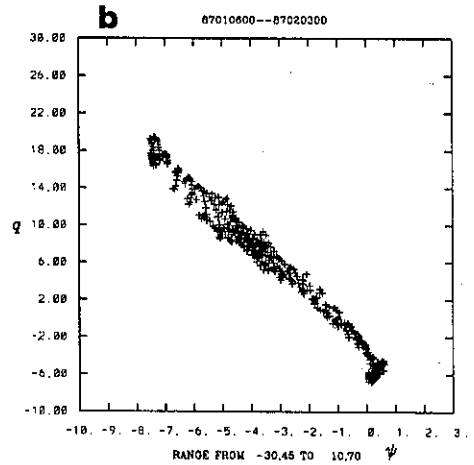
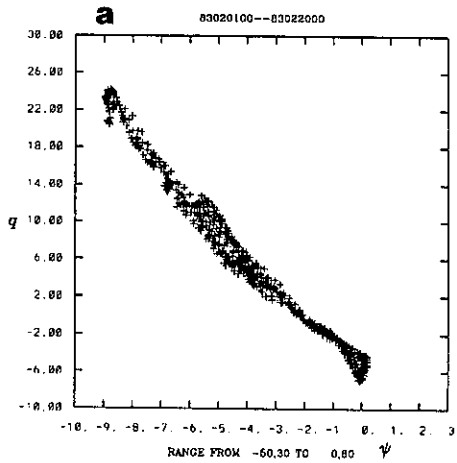
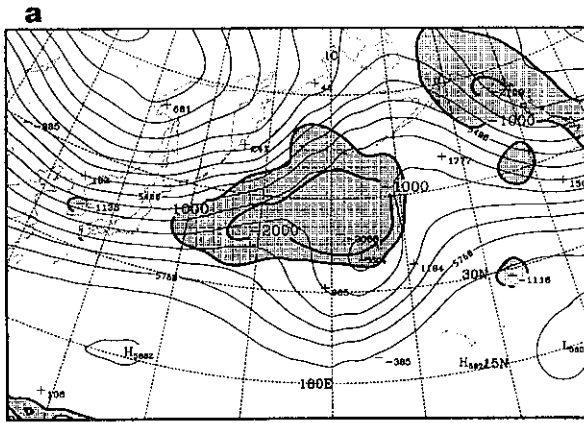


圖 6 阻塞高壓時期高壓範圍內位渦度和流函數的散佈圖。

ENVELOPE FUNCTION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
81122800--82010200 500 MB



ENVELOPE FUNCTION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
90112700--90120200 500 MB

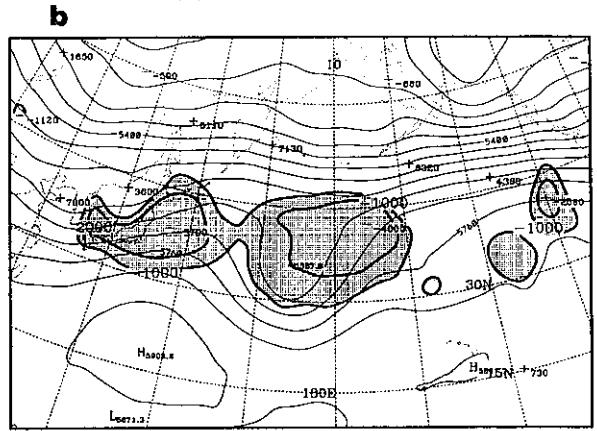
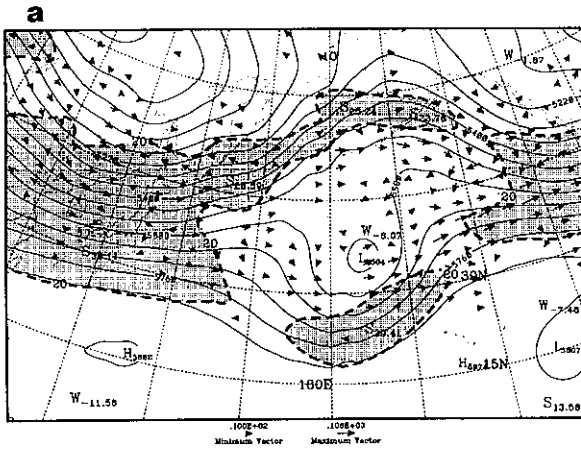


圖 7 割離低壓時期負異常包絡函數(粗實線), 間距為 -1000 m^2 和等高線(細實線), 間距為 60 m 。

E VECTOR AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
81122800--82010200 500 MB



E VECTOR AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
90112700--90120200 500 MB

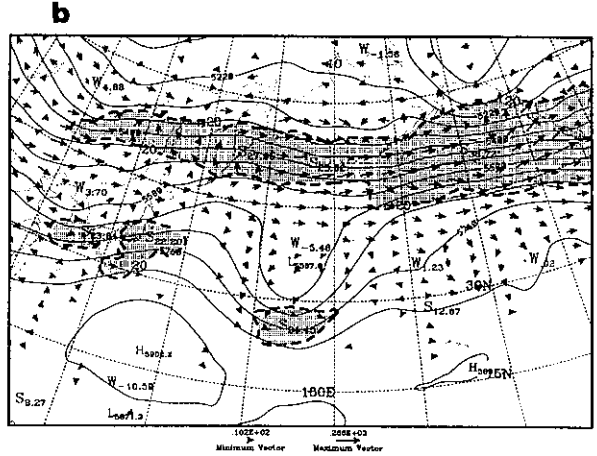
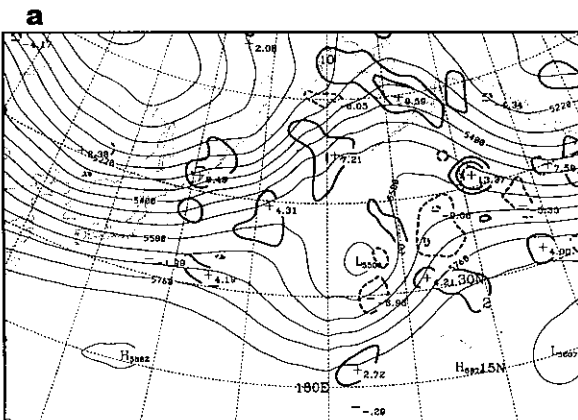


圖 8 割離低壓時期 E 向量(箭頭), 平均西風等風速線(粗虛線)和等高線(細實線), E 向量大於 10 m/s 才標示, 粗虛線加陰影是西風大於 20 m/s 的區域, 等高線間距為 60 m 。

ENERGY CONVERSION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
81122800--82010200 500 MB



ENERGY CONVERSION AND GEOPOTENTIAL HEIGHT
90112700--90120200 500 MB

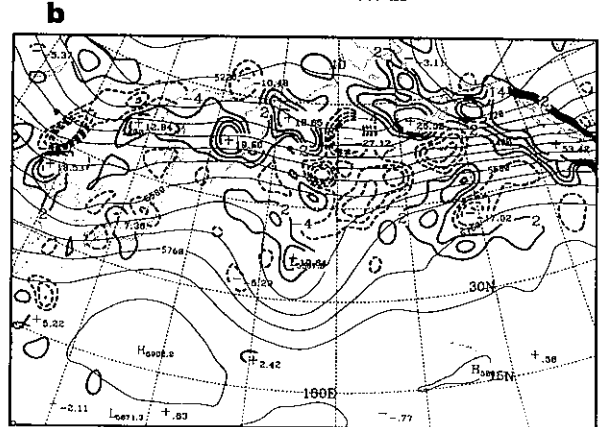


圖 9 割離低壓時期正壓能量轉換項(正值用粗實線, 負值用粗虛線), 間距為 $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$ 和等高線(細實線), 間距為 60 m 。

TRANSIENT EDDY ADVECT TRANSIENT PV TERM
81122800--82010200 500 MB

TRANSIENT EDDY ADVECT TRANSIENT PV TERM
90112700--90120200 500 MB

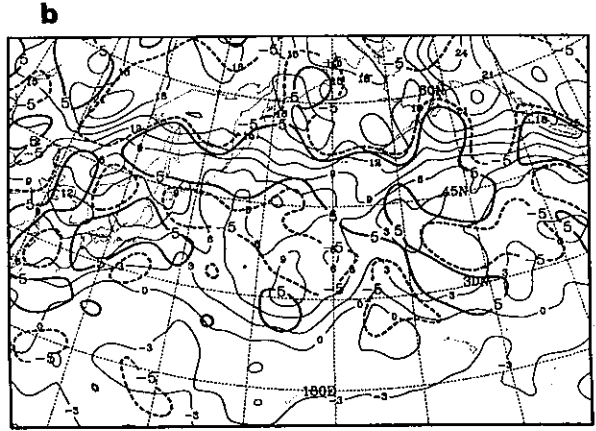
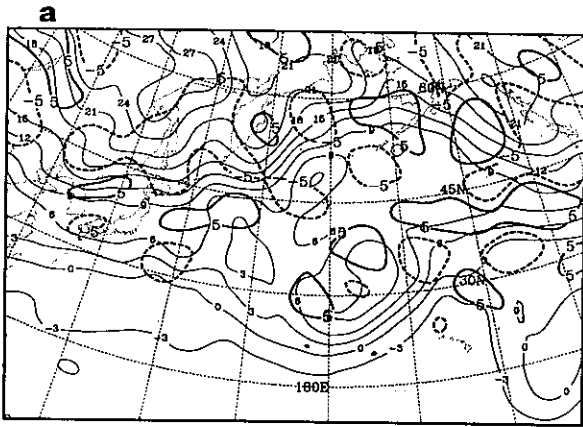


圖 10 割離低壓時期瞬變渦流位渦度平流(正值用粗實線, 負值用粗虛線), 間距為 $5 \times 10^{-11} s^{-2}$ 和位渦度(細實線), 間距為 $3 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。

MEAN FLOW ADVECTION MEAN PV TERM
81122800--82010200 500 MB

MEAN FLOW ADVECTION MEAN PV TERM
90112700--90120200 500 MB

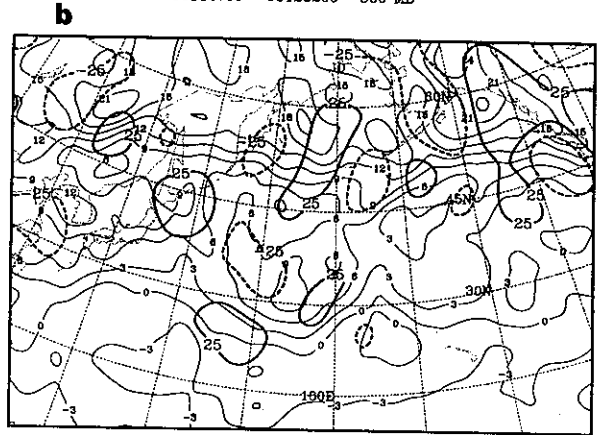
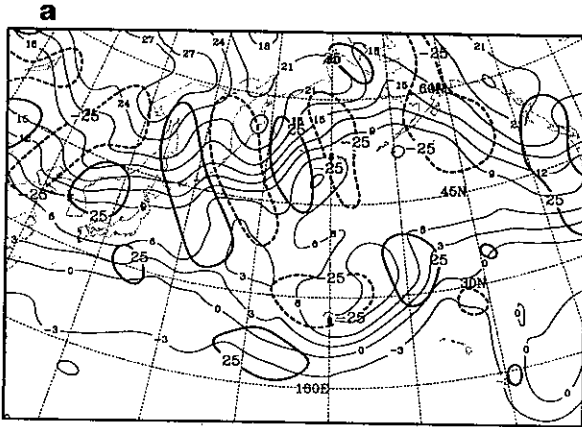


圖 11 割離低壓時期剩餘平均場位渦度平流(正值用粗實線, 負值用粗虛線), 間距為 $25 \times 10^{-11} s^{-2}$ 和位渦度(細實線), 間距為 $3 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。

PV/STREAM FUNCTION DIAGRAM

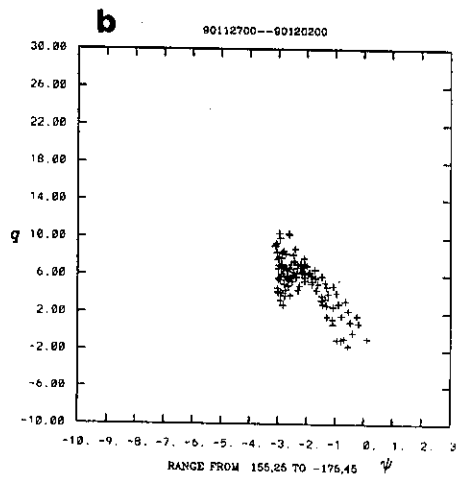
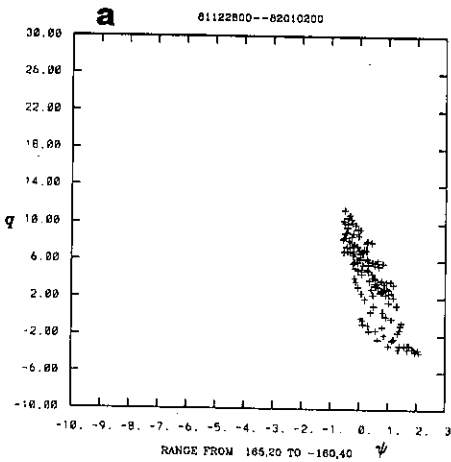


圖 12 割離低壓時期低壓範圍內位渦度和流函數的散佈圖。

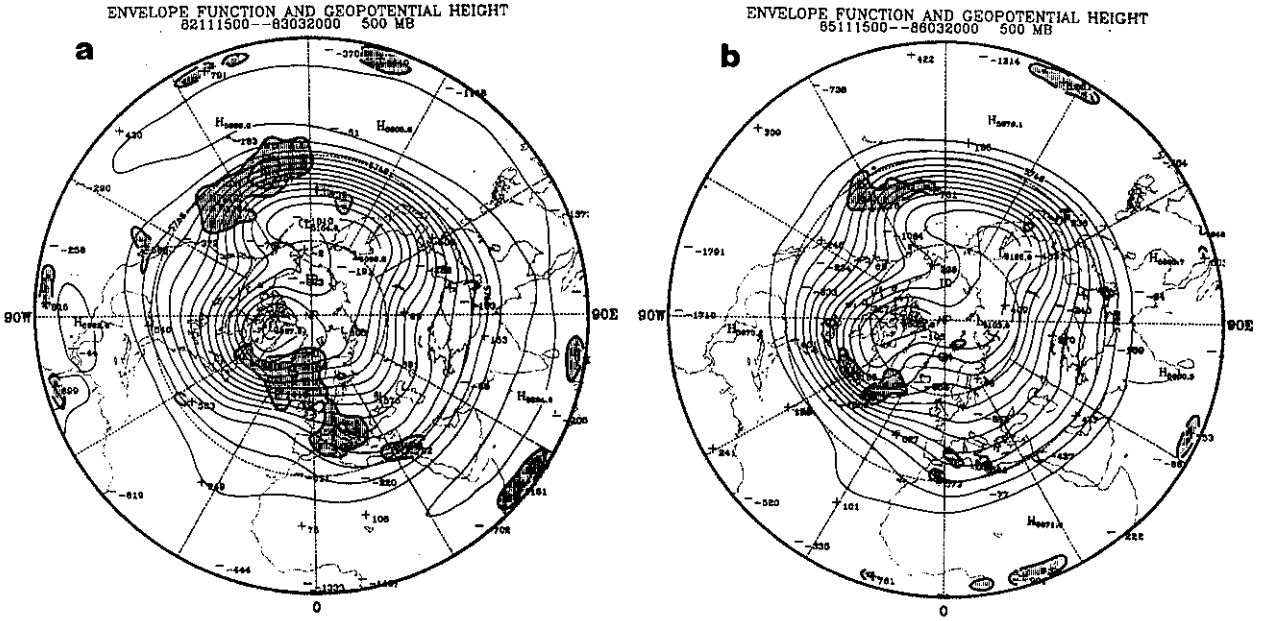


圖 13 滯流波時期正異常包絡函數(粗實線), 間距為 1000 m^2 和等高線(細實線), 間距為 60 m 。

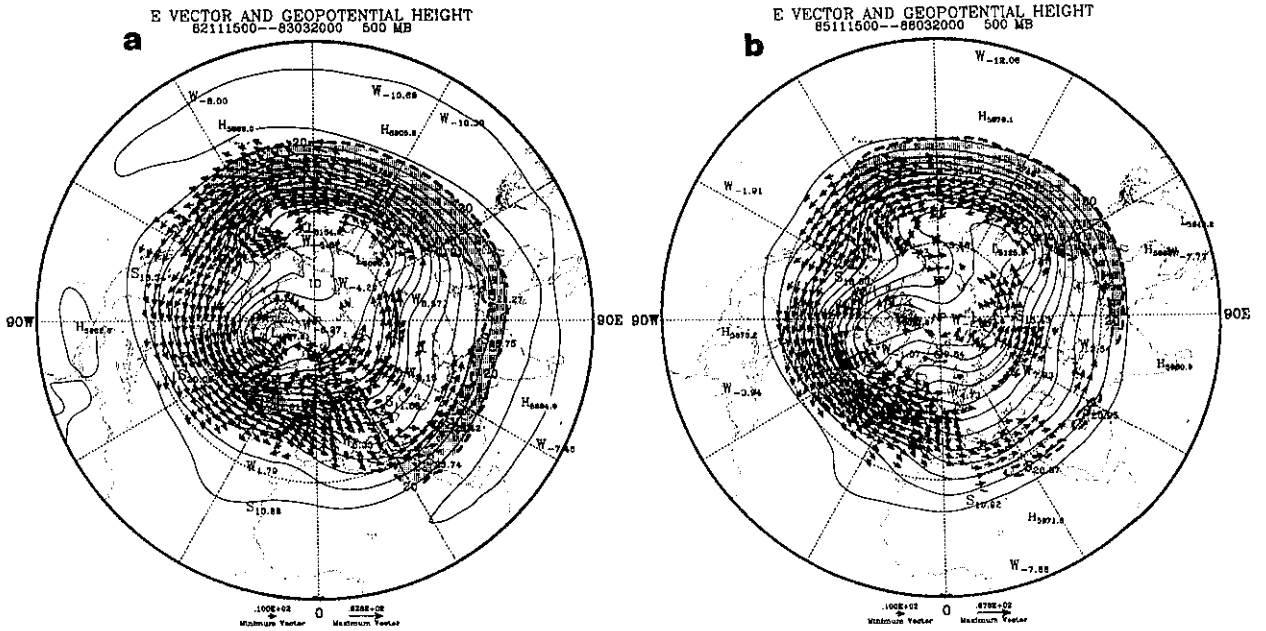


圖 14 滯流波時期 E 向量(箭頭), 平均西風等風速線(粗虛線)和等高線(細實線), E 向量大於 10 m/s 才標示, 粗虛線加陰影是西風大於 20 m/s 的區域, 等高線間距為 60 m 。

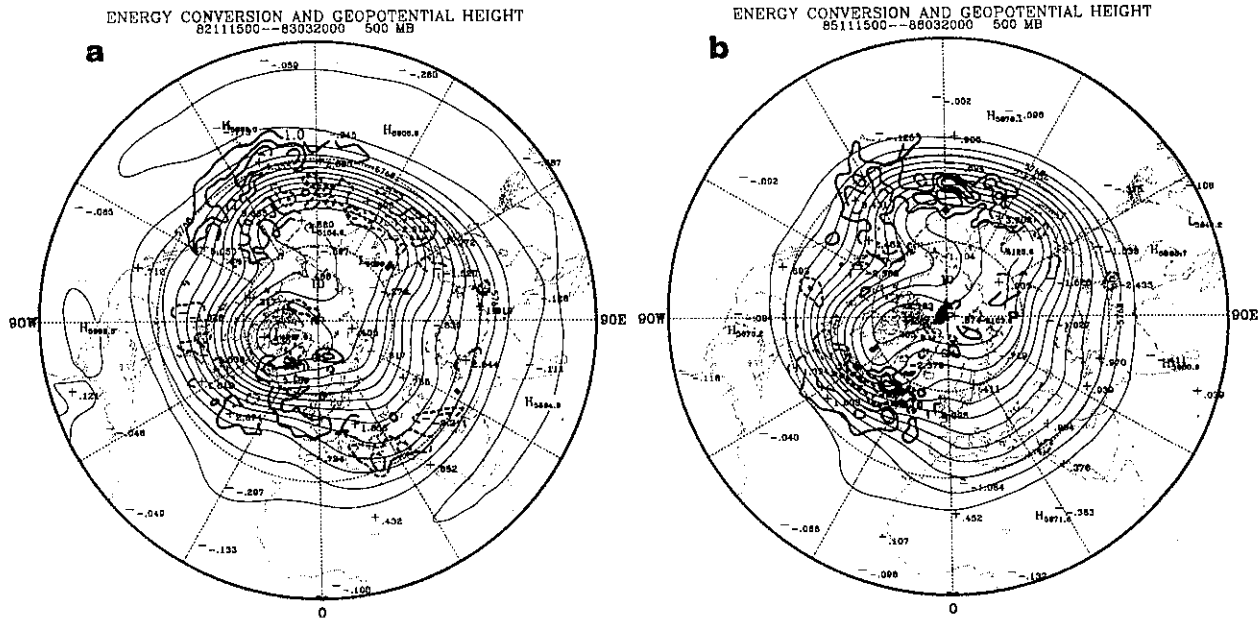


圖 15 滯流波時期正壓能量轉換項（正值用粗實線，負值用粗虛線），間距為 $2 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}^2$ 和等高線（細實線），間距為 60 m。

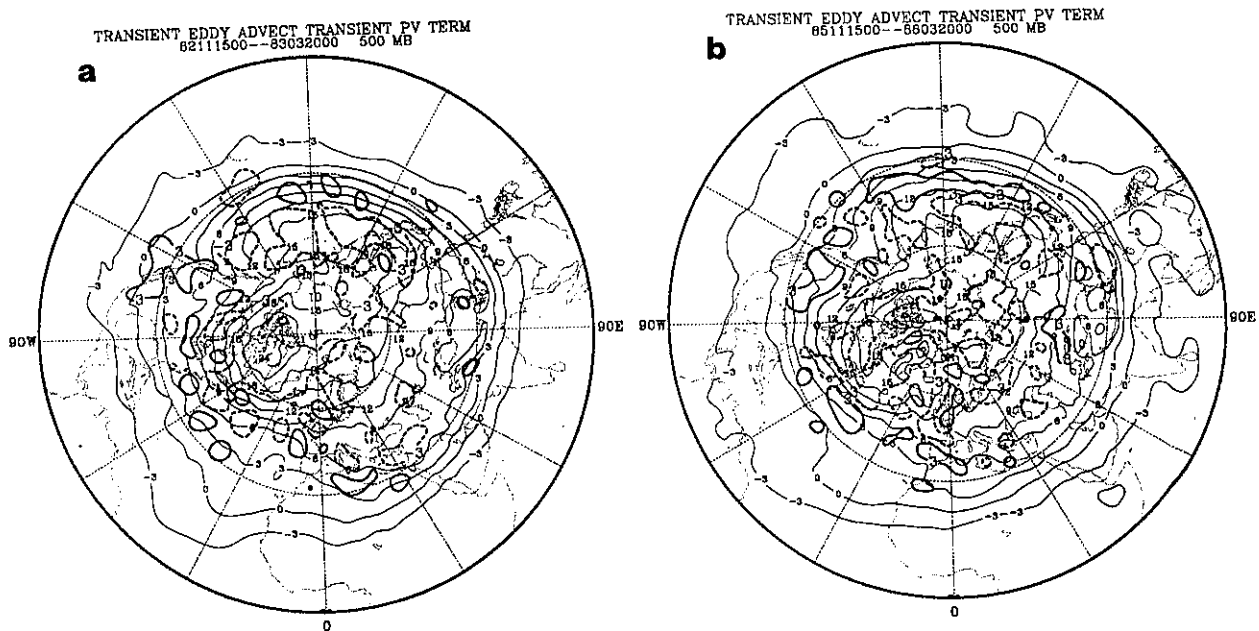


圖 16 滯流波時期瞬變渦流位渦度平流（正值用粗實線，負值用粗虛線），間距為 $3 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$ 和位渦度（細實線），間距為 $3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。

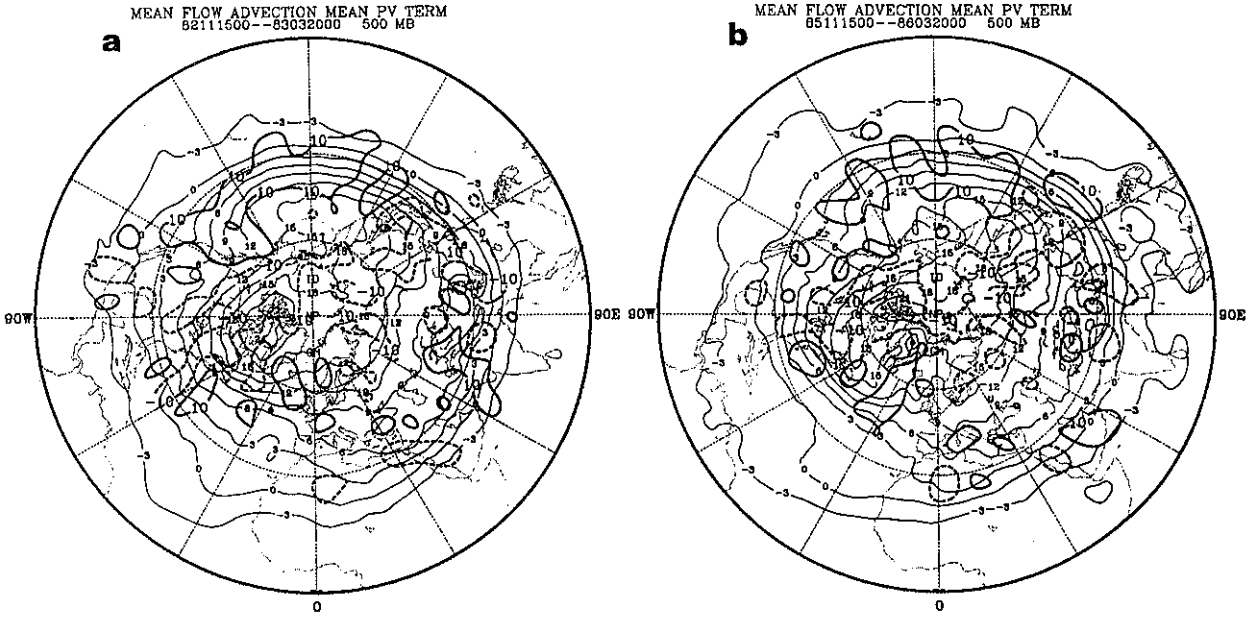


圖 17 滯流波時期剩餘平均場位渦度平流(正值用粗實線, 負值用粗虛線), 間距為 $10 \times 10^{-11} \text{s}^{-2}$, 和位渦度(細實線), 間距為 $3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。

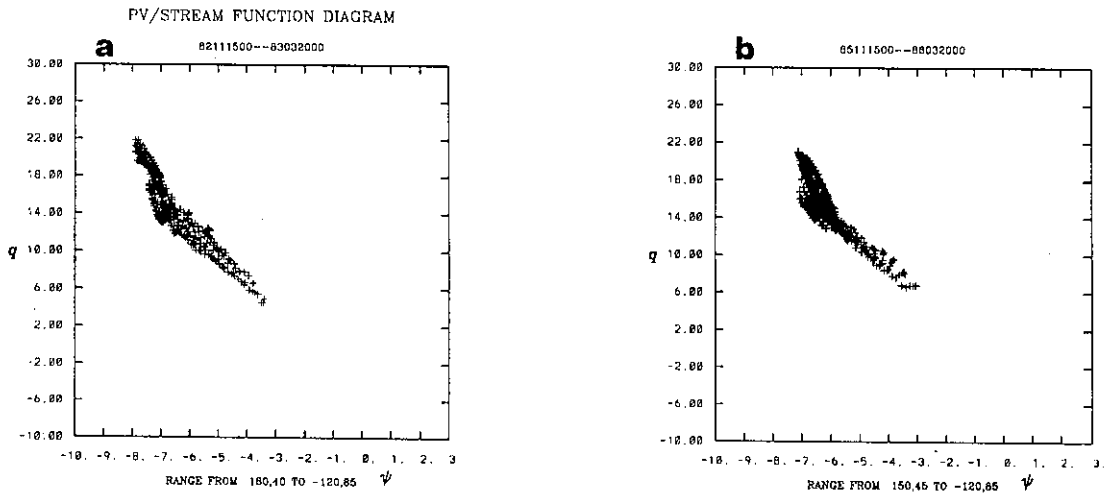


圖 18 滯流波時期脊線範圍內位渦度和流函數的散佈圖。