

南太平洋上空副熱帶噴流距平之波譜結構： 以 1986 年 11 月至 1987 年 4 月為例

柯 互 重

國立高雄師範大學地理系

(中華民國八十九年六月十四日投稿；中華民國八十九年十月十四日定稿)

摘 要

本論文探討南太平洋上空副熱帶地區之 200 百帕風速極大值及其隨時間變化之波譜結構。其中時間以 1986 年 11 月至 1987 年 4 月為原則。首先經由扣除 30 天滑動平均後可得距平場，以波譜分析發現此距平場呈現 9 至 13 天週期振盪。然而透過進一步波譜結構分析後發現此週期性緯向風速變化和中緯度槽/脊系統有密切關係。

關鍵詞：副熱帶噴流，中低緯交互作用，一至二週振盪。

一、前 言

南太平洋上空之副熱帶噴流在過去 10 年來吸引不少注意力(Hurrell and Vincent 1990, 1991, 1992; Kiladis and Weickmann 1992a,b; Nogues-Paegle and Mo 1988; Berbery and Nogues-Paegle 1993)，近年來 Ko and Vicent (1995, 以下簡稱 KV1) 將 1984 年 11 月至 1985 年 4 月間的 10 個案用合成法結合成 15 天合成圖，發現了南太平洋副熱帶噴流通常在東澳大利亞開始向東移至換日線，再移至中緯度，而且呈現週而復

始的趨勢。另外他們也發現該噴流之垂直結構傾向於在噴流入口處斜壓動能較強而在出口處則正壓動能較佔優勢。另一項由 Ko and Vincent (1996, 以下簡稱 KV2) 所做的研究分析南半球 4 個夏天(1985~1989)，其中聖嬰年(1986~87)之平均風速極大值較其他 3 年之風速極大值強，且位置偏東 15~20 度(經度)；相對應之反聖嬰年(1988~89)平均風速極大值較其他 3 年為弱。KV2 更進一步使用濾波相關法來重組週期性噴流之生命史，並且此噴流與中緯度系統之關連也略

有提及。另外，Vincent et al (1997) 整理了 40 個個案，而且只著重在副熱帶噴流的加速期間，其結果顯示：其中 17 個副熱帶噴流直接和熱帶對流有關；而另有 13 個案完全看不出和熱帶對流有關，但卻可能與中緯度槽脊系統有關；剩下的 10 個個案則難以判斷何種影響較大且似乎強度皆比其他個案為弱。

本研究將從另一觀點切入，其中距平場分析將較濾波法更接近實際情形。另外，多重時間尺度現象也將由更進一步之時間分析方式達成，以求更深一層瞭解週期性副熱帶噴流及其隨時間之變化。

二、資料與方法

本研究使用之資料為 ECMWF TOGA Basic 版之全球分析資料。此版資料包含一天二次 (0000 和 1200UTC) 之溫度場、濕度場、水平風場、垂直 P 速度場、以及重力位高度場。其解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 之經緯網格。只有使用 1986 年 11 月至 1987 年 4 月之 200 百帕緯向風速場及重力位高度場作為本研究主要分析的資料，而選擇此六個月之原因為此年是聖嬰年。一般相信，聖嬰年的副熱帶噴流較其他非聖嬰年為強(KV2)。

距平場之取得是經由計算 30 天滑動平均後，再以原始場減去 30 天滑動平均場資料。這種計算距平的方法常被用來去除長期趨勢。為了計算 30 天滑動平均，1986 年 10 月及 5 月的資料也加入計算之行列。本研究所使用之方法大多數為時間序列方法，其中快速富立葉轉換通常被認為可用來偵測隱藏在時間序列中之週期性，此方法已在 KV1 和 KV2 中使用且經測試其實用性。另一改良式波譜法---移動波譜法

(moving spectral method) 將被引進以更進一步分析此時間序列之波譜結構。其構想類似滑動平均法，即選取一較短時間序列計算波譜，然後再向下挪一時間間隔，如此繼續下去則可得波譜隨時間之變化。

一般而言，交叉相關法都用在診斷兩時間序列間之波譜相關。依據富立葉轉換式，兩時間序列 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 可分解為一系列正弦(sine)和餘弦(cosine)函數之組合。

$$X(t) = \sum [A(\omega) \cos \omega t + B(\omega) \sin \omega t]$$

$$Y(t) = \sum [C(\omega) \cos \omega t + D(\omega) \sin \omega t]$$

上式中 A、B、C、D 分別代表富氏級數中之係數，而 ω 表頻率。由上式可推導出同交叉波譜(Co-spectrum)如下：

$$\text{COSP}(\omega) = A(\omega) \cdot C(\omega) + B(\omega) \cdot D(\omega)$$

根據 Panofsky 和 Brier(1958) 所述，同交叉波譜代表兩時間序列之相位相同部份的相關情形及其波譜分布，亦即兩時間序列之相關部份無任何時間延遲存在。由於 KV2 曾探究一些存在於副熱帶噴流與其中緯方向重力位高度場之間的中低緯交互作用，並且其間相關多為相位相同之訊號。本研究將進一步以同交叉波譜量化此關係。同樣地，類似移動波譜法，同交叉波譜也可呈現隨時間變化的情形。

三、結果與討論

圖 1 呈現了 1986 年 11 月至 1987 年 4 月之 200 百帕平均緯向風速分佈圖。由 KV2 可知，此年為聖嬰年且其風速極大值位於長年平均噴流位置以東 $15^\circ \sim 20^\circ$ ，並且噴流比起其他各年要強，而另一位於澳大利亞上空之風速極大值則

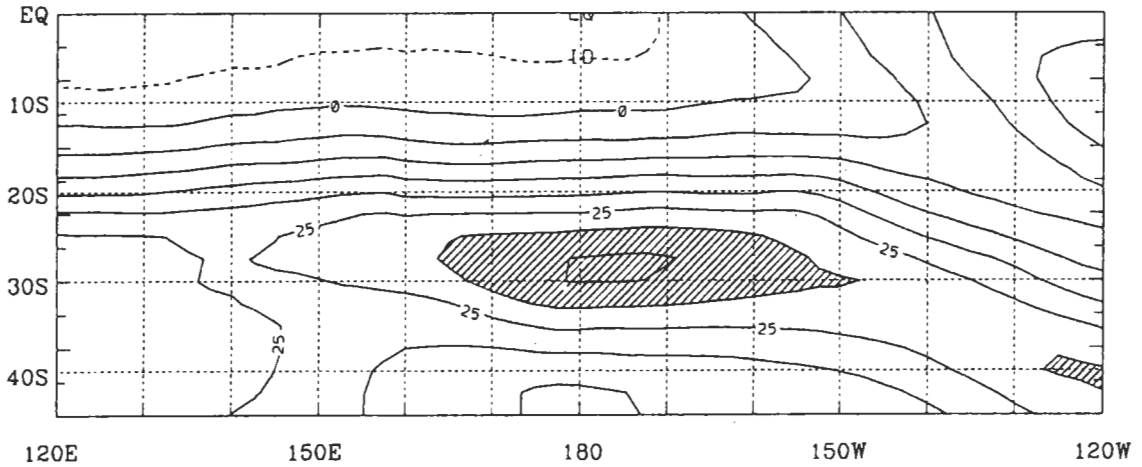


圖 1 1986 年 10 月至 1987 年 4 月之 200 百帕平均緯向風速分布。

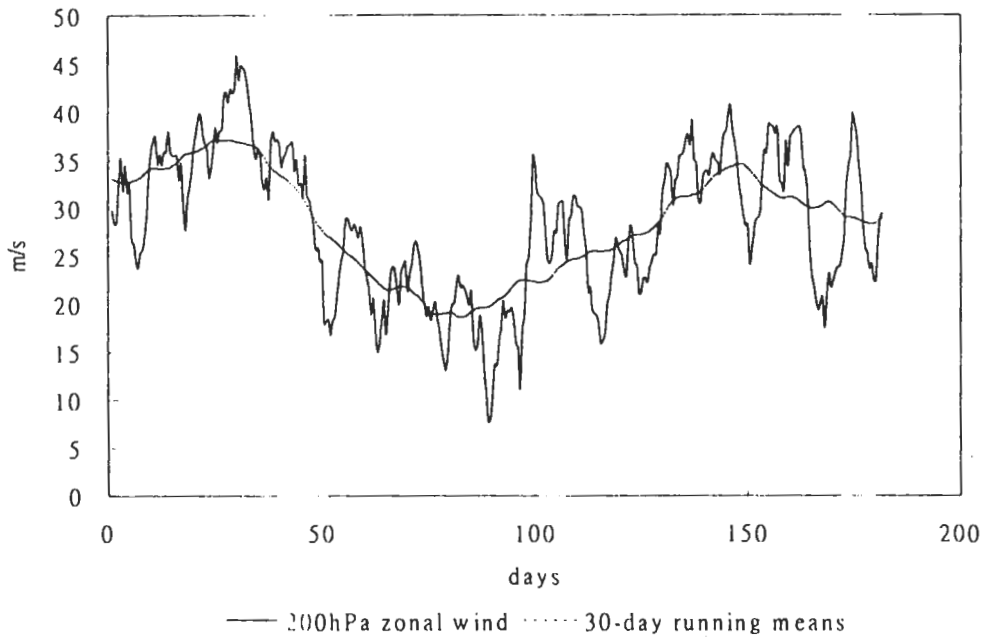
較其他年為弱。如圖 1 所示，此聖嬰年之澳大利亞噴流基本上已消失，而南太平洋副熱帶噴流中心則位於國際換日線附近。為了進一步分析此噴流隨時間之變化，跨越噴流之中心區域（ $20^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{S}, 165^{\circ}\text{E}\sim 165^{\circ}\text{W}$ ）取緯向風速之區域平均而得一時間序列，其結果在圖 2。由圖 2a 可知此緯向風速之時間序列呈現一明顯之 120 天週期波動。依 Ko(1995) 所分析其他年 (1985~86, 1987~88, 1988~89) 資料顯示，南太平洋及澳大利亞上空之副熱帶噴流皆展現明顯之 90 至 170 天之週期振盪，這有可能與季內振盪和半年振盪有關。圖 2b 則為去除 30 天滑動平均後所剩之距平時間序列。

分析時間序列首重波譜分析。圖 3 即為圖 2b 之波譜。其計算方式一如 KV1 和 KV2 所述，只不過這裡使用去除 30 天滑動平均所得之距平，而 KV1 和 KV2 使用去除二次迴歸方程式之距平。由圖 3 可知有兩波峰通過 99% 信任區間測試：其中一在 9 天，另一在 13 天，代表著短期季內振盪訊號 (Vincent et al, 1997)。

距平場之變異量分析可展現有多少變異數由距平解釋。圖 4 則代表 1986 年 11 月至 1987 年 4 月緯向風速距平場所解釋變異量佔全體變異量之比例。圖中有一長條形極大值由南澳大利亞向東延伸至南太平洋地區。此變異量比例之極大值區正好落在 6 個月平均噴流位置 (如圖 1) 之向極側。而且此極大值約 0.9，比其他先期研究更高，代表著 30 天滑動平均並未佔太大比例之變異量，且此距平場可提供一些時間尺度，比 Madden-Julian Oscillation (MJO) 更短現象之隨時間變化資訊。另外變異量比例極大值及平均噴流間相對位置也暗示著噴流可能與中緯度波動間存在著一定程度之中低緯交互作用。

為了進一步探討中緯度波動情形，200 百帕重力位高度場同樣移除 30 天滑動平均以去除長期趨勢。圖 5 類似圖 4，代表 1986 年 11 月至 1987 年 4 月 200 百帕重力位高度之距平場變異數佔全部變異數之比例，圖中有一極大值之軸線所在位置正好在 6 個月平均噴流位置之西南方。KV2 利用相關法也曾得一類似結果，即有

a)



b)

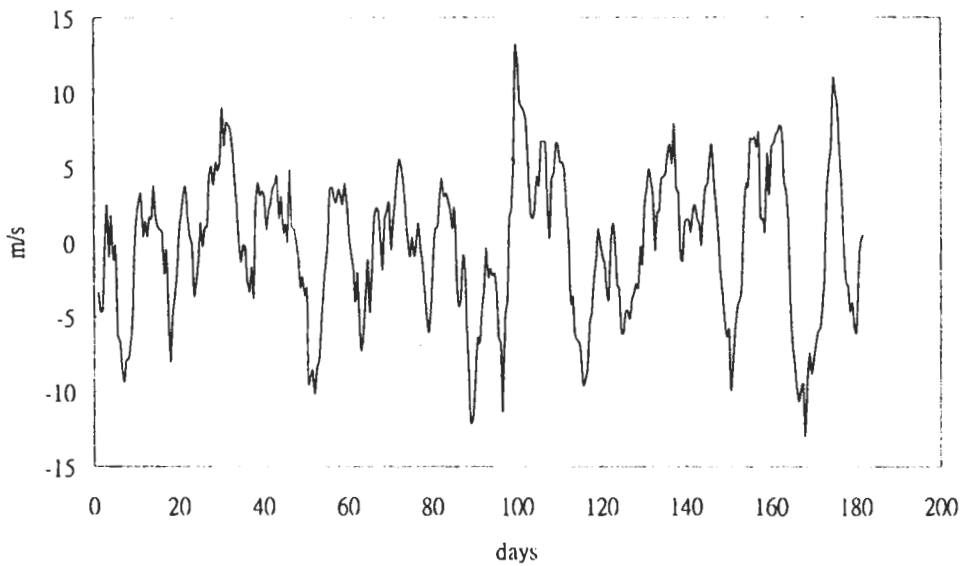


圖 2 20°~35°S, 165°E~165°W 之 200 百帕緯向風速區域平均所得之時間序列，其中 a 為原始緯向風速、b 為移除 30 天滑動平均後所得緯向風速距平。

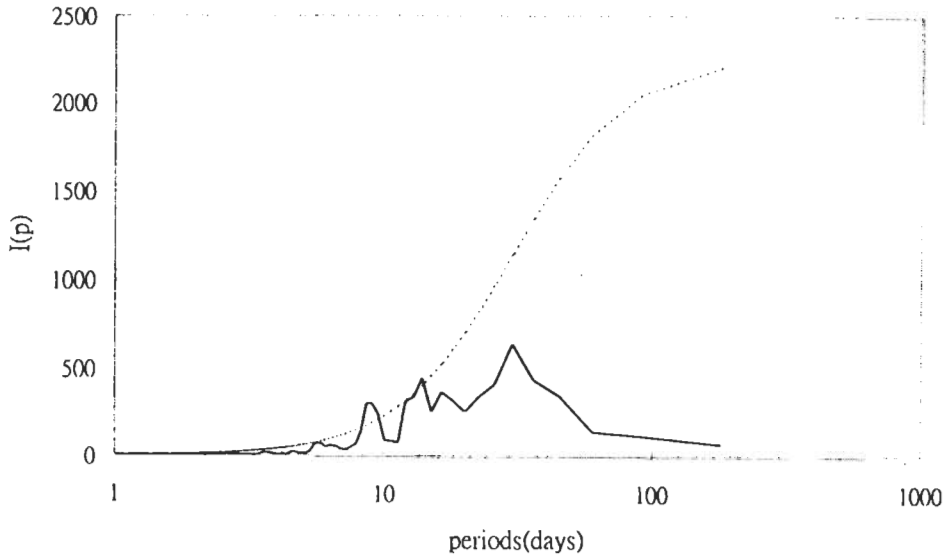


圖 3 以圖 2b 之距平時間序列經富立葉轉換所得之波譜 (實線)。點線為 99% 顯著下限。

Nov86-Apr87

anomaly/total varian 200mb

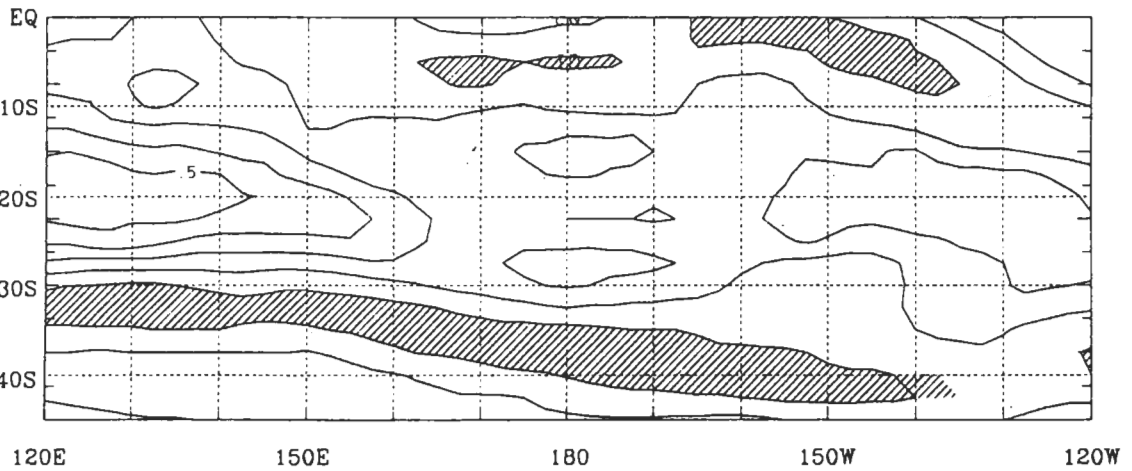


圖 4 緯向風速距平與原始場之變異數比，斜線區域為 ≥ 0.9 。

一強烈負高度距平訊號跟隨緯向風速極大值後側，且跟著風速極大值進入中高緯度地區。進一步之時間序列分析也同樣用在重力位高度場上。首先對平均噴流南側一區域 ($30^{\circ} \sim$

$45^{\circ}S, 165^{\circ}E \sim 165^{\circ}W$) 作一區域平均以得一時間序列。圖 6 即此距平時間序列之波譜，其中有兩大波峰 (9 天及 13 天) 正好與緯向風速之波譜一致。

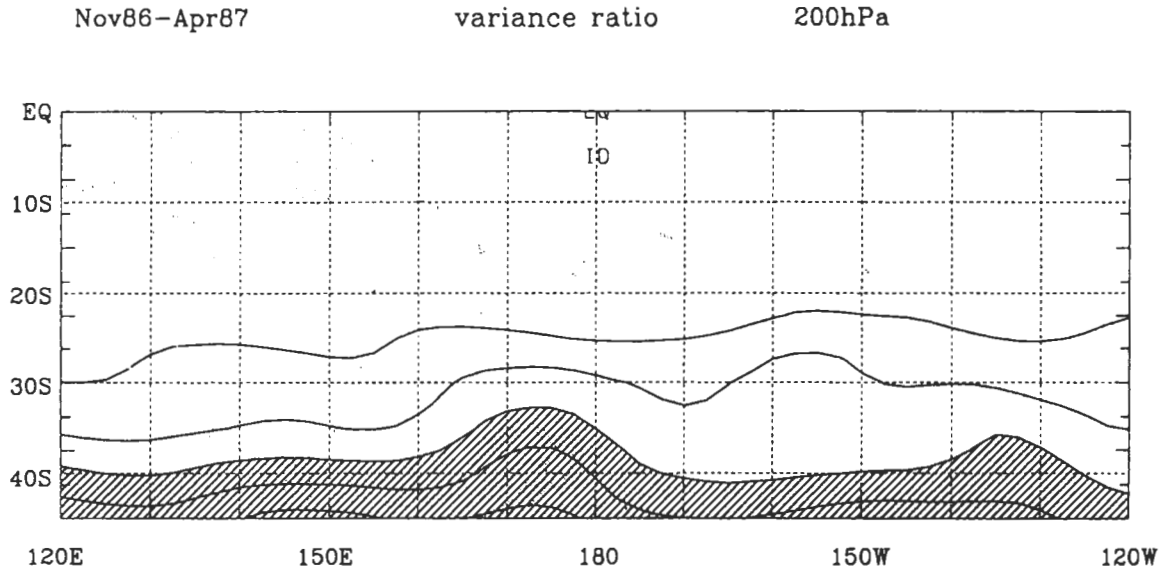


圖 5 200 百帕重力位高度距平與原始場之變異數比，斜線區域為 ≥ 0.4 。

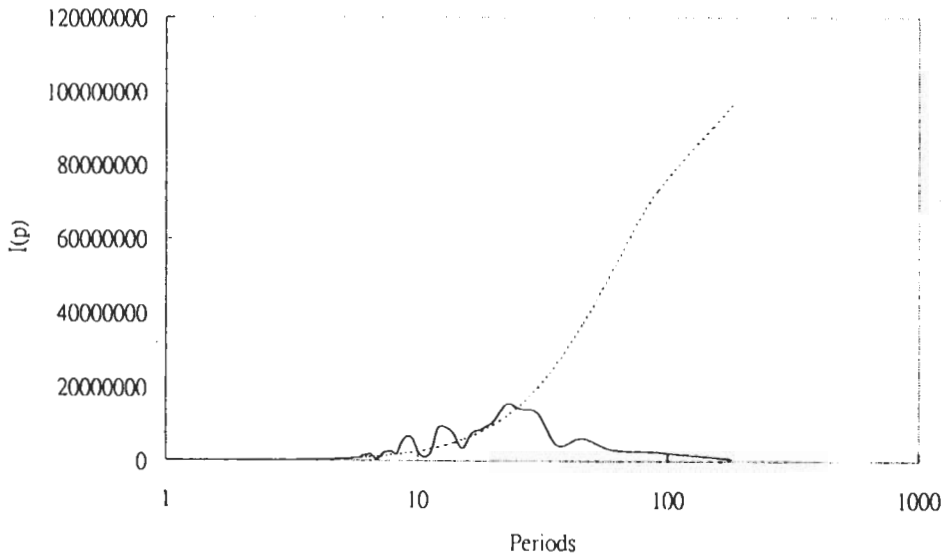


圖 6 30°~45°S, 165°E~165°W 之 200 百帕重力位高度距平時間序列經富立葉轉換所得之波譜(實線)。點線為 99% 顯著下限。

進一步分析時間序列的方式，以移動波譜法可清楚呈現波譜如何隨時間變化之情形。此移動波譜之計算以任一天為例，其波譜之計算以當天及其往前與往後各 30 天之資料所形成之

60 天時間序列為計算波譜之對象，當波譜計算完成後，該時間序列即往下推一時間間隔，再進行下一次之波譜計算，如此不斷下去則每一天皆有一時間序列。依此則以時間為縱軸，週

期（或頻率）為橫軸，經由等值線之繪製得出波譜之能量最強處。本文之移動波譜法選擇 60 天為一時段，主要著眼點在於使此時段長度至少包含 4 個所要探討之週期振盪循環(Vincent etal 1991)。圖 7 即為 200 百帕緯向風速及重力位高度之距平時間序列所製成之移動波譜。在

此 6 個月之前期，最明顯之波動為 16 天之振盪。過了約 30 天後此振盪漸轉為以 13 天為週期之振盪，且持續維持至此 6 個月結束。另一相對極大值區域位於以 9 天為週期之振盪，然而只維持在後兩個月。以 30 天為週期之振盪在 1987 年 1 月至 3 月中頗佔優勢，過了 3 月中則轉為 21

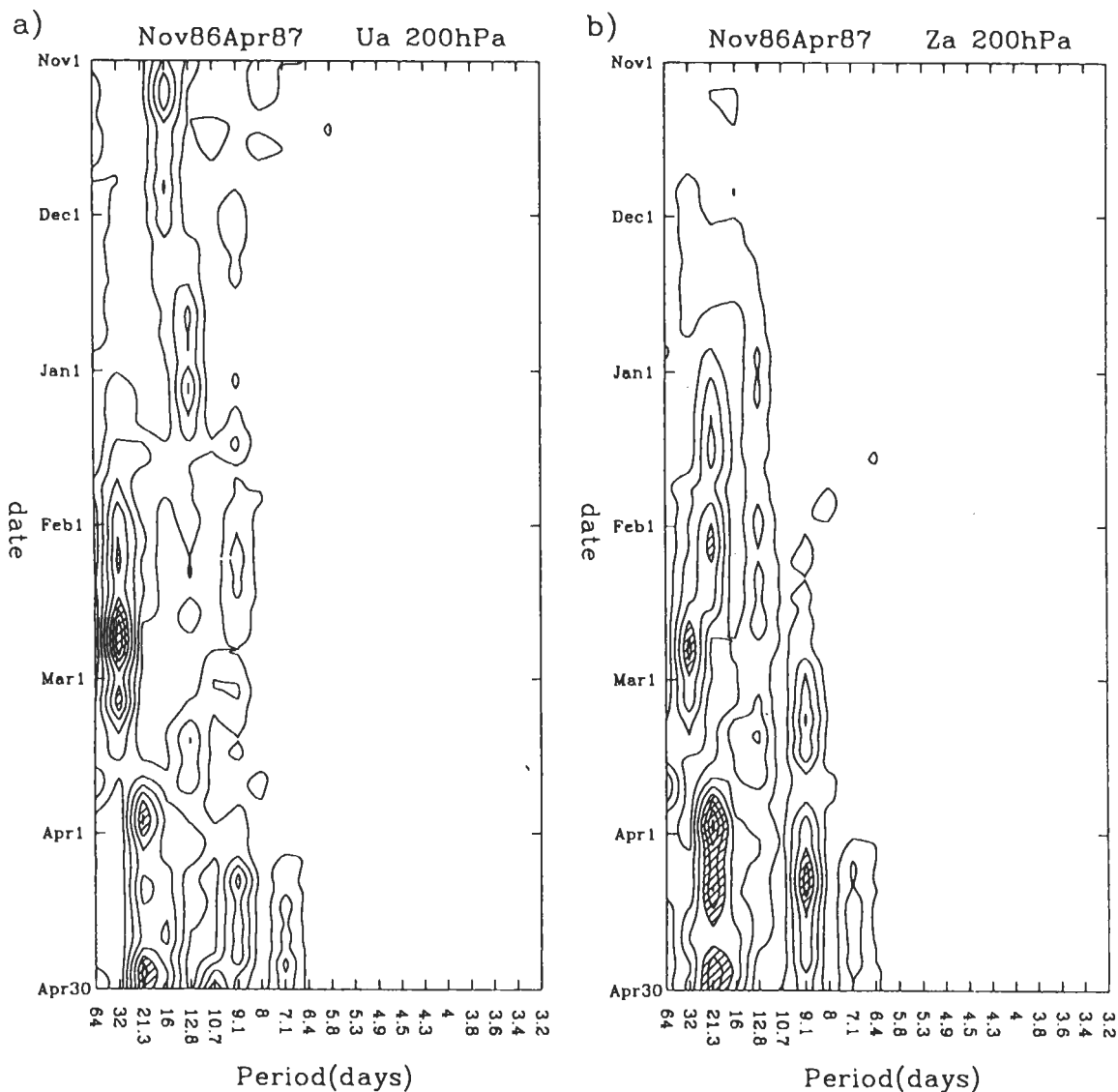


圖 7 200 百帕緯向風速及重力位高度距平時間序列之移動波譜。緯向風速之等值間距為 200 m^2/s^2 、陰影區域為 $\geq 800 m^2/s^2$ 而重力位高度之等值間距為 $10^6 m^2$ 、陰影區域為 $\geq 5 \times 10^6 m^2$ 。

天振盪。由圖 7a、b 中可知，緯向風速和重力位高度之間似乎存在著一對一的關係，尤其是 1 至 2 週振盪的部份。儘管圖 7b 中，重力位高度並未在 1986 年 11 月至 12 月間呈現明顯 16 天為週期之波動，但經更仔細比對後可知，該波段之能量仍是相對極大值。圖 7a、b 經由更進一步比較後發現，彼此間關係並沒有任何時間延遲，即其中之一達極大，另一亦相對應地達極大。根據 Ko(1995)，緯向風速和重力位高度間傾向於存在著一反相位之關係，即重力位高度降至極小時，緯向風速達極大。

根據上述之結果，本研究使用同相交叉波譜法來探討兩時間序列間之關係。圖 8 即為緯

向風速和重力位高度間之同相交叉波譜，其中兩極小值（負極大值）值得注意，即 13 天與 25 天之訊號特別明顯。週期為 13 天之振盪為本研究之主題，而負極大值代表兩變數間呈相位相反的型態。一般相信中緯度槽／脊系統以綜觀尺度之時間尺度由東澳大利亞進入南太平洋區域。該地區由於位於海陸交界處，其斜壓性有助於中緯度槽線系統由中緯度向北進入該區域，以增加重力位高度梯度來加強該區緯向風速。值得提出來說明的是，該噴流靠熱帶一側之重力位高度並未發現同樣週期之訊號，可見得中緯度方面的影響較大。除此之外，中緯度槽線系統進入而加強噴流之過程也可能減緩整個系統，使週期最後呈現出 13 天（或 1 至 2 週）。

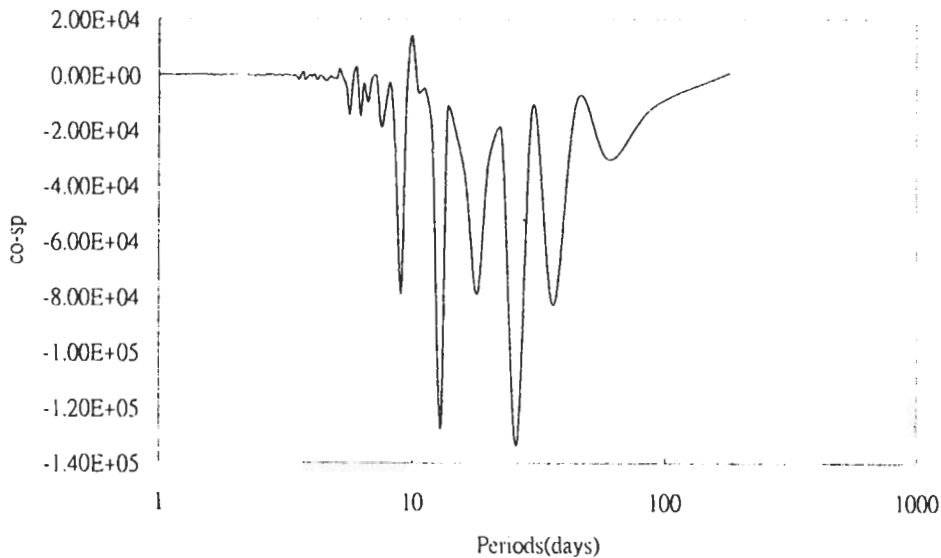


圖 8 200 百帕緯向風速及重力位高度距平時時間序列之同相波譜。

除了兩時間序列之交叉相關可透過同相交叉波譜外，其隨時間之變化也可進一步經由移動同相交叉波譜(moving co-spectrum)達到探究

中低緯交互作用之目的。圖 9 即為 200 百帕緯向風速與重力位高度間之移動同相交叉波譜。在此 6 個月之前半期，此二變數在 10 至 16 天

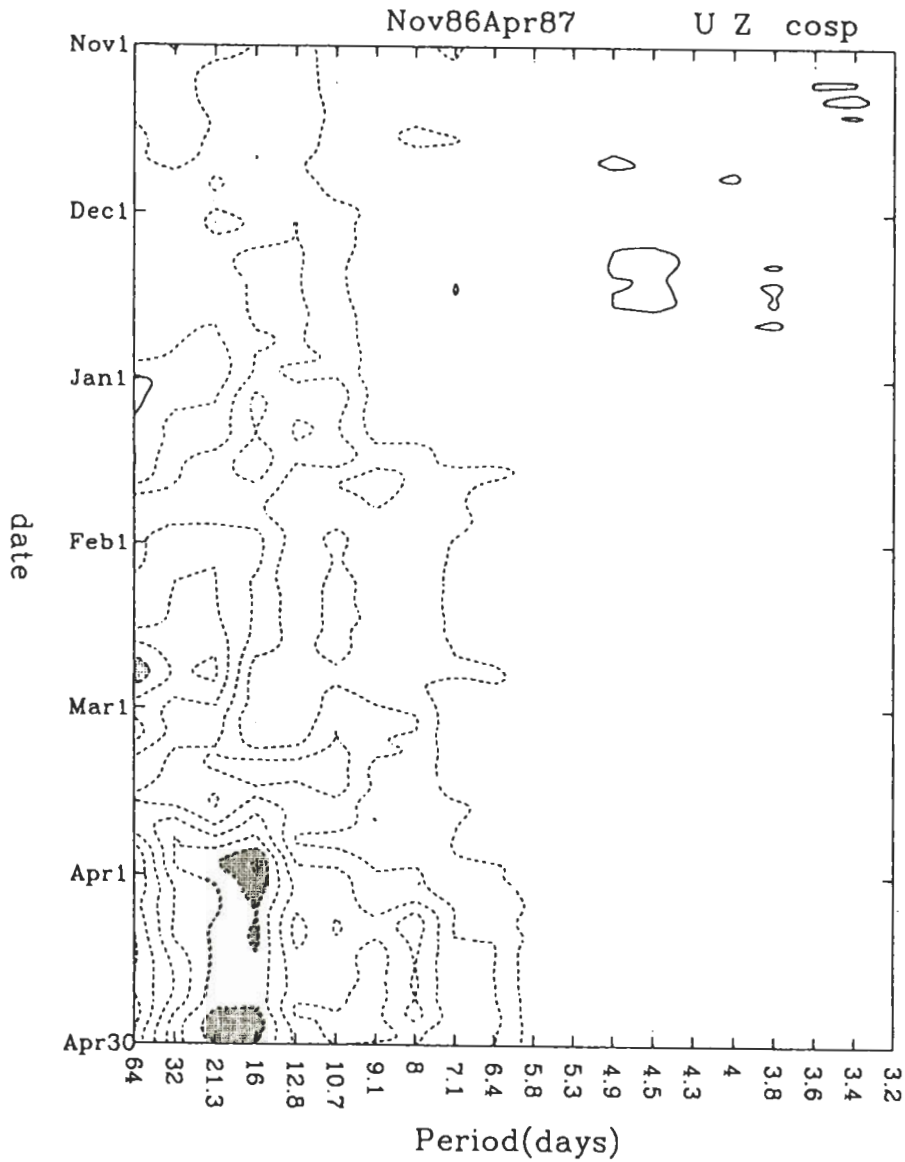


圖 9 200 百帕緯向風速及重力位高度距平時間序列之移動同相波譜。等值間距為 20000 m^2/s 、陰影區域為 $\leq 120000 m^2/s$ 。

之間呈極大之負相關。進入中及末期則漸分為二支：一在 8~11 天，另一在 16~22 天或週期更長，其中之相關皆為負值。

四、與 1988-89 年比較

為了使本文結果更具普遍性，1988-89 年之結果亦在此呈現以作比較。

這一年已知為反聖嬰年且被認為噴流較弱之一年。圖 10 為該年噴流中心附近之緯向風速及重力位高度所計算出之移動波譜，其中很明顯的波譜之強度較 1986-87 年為弱。緯向風速

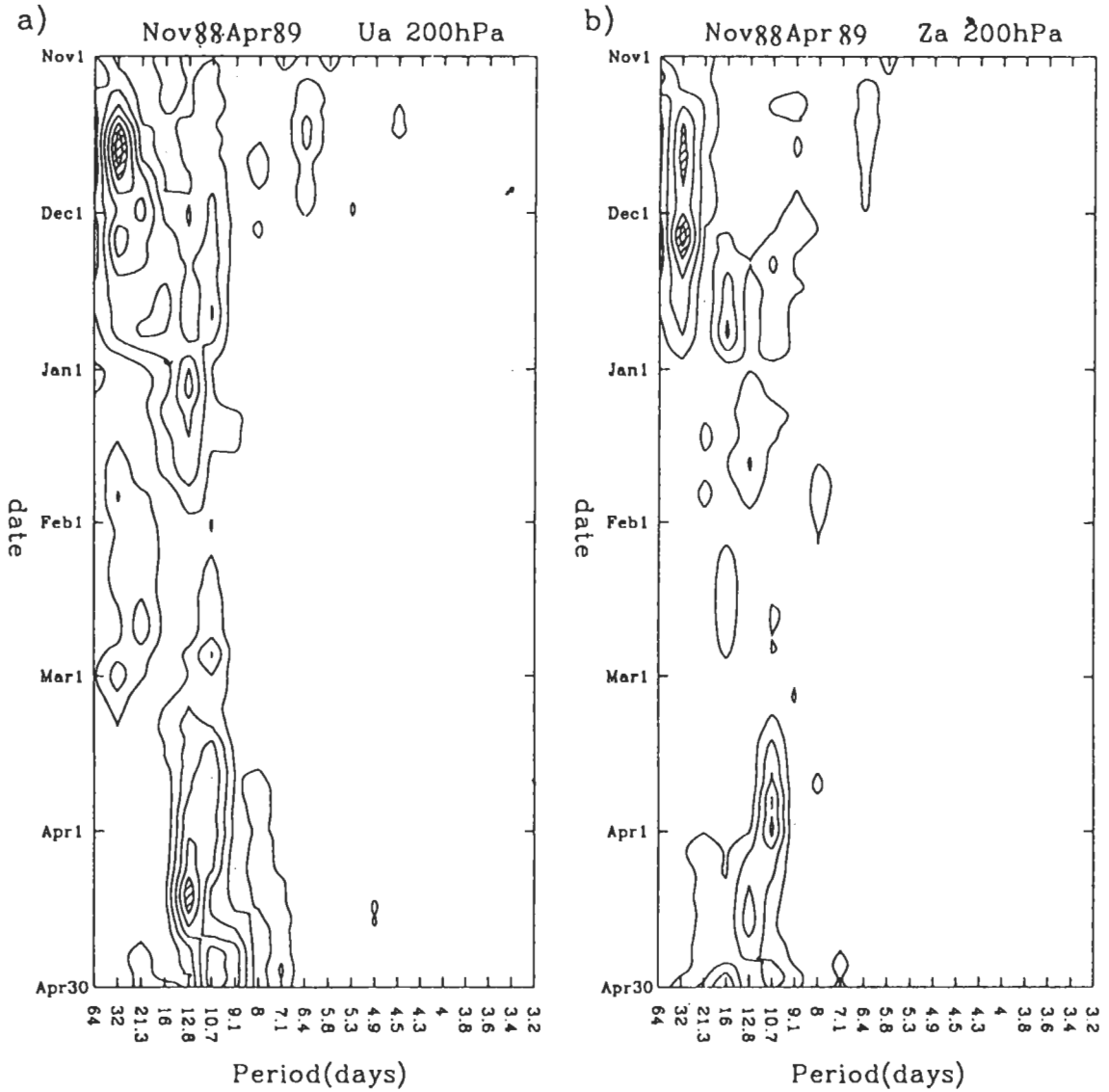


圖 10 如圖 7 之 1988-89 年案例。緯向風速之等值間距為 $200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 、陰影區域為 $\geq 800 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 而重力位高度之等值間距為 10^6 m^2 、陰影區域為 $\geq 5 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。

及重力位高度間波譜之一致性亦清楚的呈現出。除此之外，能量集中在 7 至 30 天之週期範圍內也和 1986-87 年很類似。此年之顯著週期約位於 12 至 14 天附近，其移動波譜強度較 1986-87 年更集中於 12 至 14 天，即更具持續性。由此看來，此 1 至 2 週振盪亦在 1988-89 年盛行。

五、結 語

本論文以 30 天滑動平均為背景來計算距平場，並進而分析及探討兩變數間隨時間變化之相關。所針對之變數為 200 百帕緯向風速及重力位高度。結果發現兩變數所呈現之波譜很類似，其隨時間之變化呈現在移動波譜中之特

徵也很類似。值得一提的是，本文研究之區域為南半球夏季之副熱帶區域，正當太陽光接近直射的角度。在此情況下所生成之噴流甚為罕見。而本區域冬半年亦有噴流，但風速較強、位置偏中緯度且與極鋒噴流合而為一。本文之重點在於探討此獨特夏季噴流，故未提及冬半年之噴流。

經由使用變異數分析後發現，緯向風速距平之變異數比例極大值正好位於平均噴流之南側（即向極一側），而且代表中緯槽／脊系統之重力位高度場，其距平之變異數比例極大值軸線亦非常接近緯向風速距平之變異數比例極大值。此發現多少隱含著某種程度之中低緯交互作用存在。進一步時間序列分析發現，平均噴流南側（向極一側）重力位高度呈現出與平均噴流波譜類似之結構，即具有相同週期性。值得一提的是，此波譜結構相似性並沒有在噴流北側（向赤道一側）出現。

移動波譜法發現緯向風速及重力位高度間似乎存在著一對一之關係，且兩者之間無時間延遲存在。這種一對一之關係亦在 1988-89 年出現。此發現進一步引入同相交叉波譜研究並發現 13 天左右之振盪在上述二變數間呈一負極大相關。而移動同相交叉波譜則呈現 10 至 16 天為週期之振盪，在此 6 個月之前半期具相當程度之負相關，但進入後半期則分為兩支：一在 8~11 天，另一在 16~22 天或更長。

在上述發現結果之下，可以得一構想，即澳大利亞東南一向來有冷空氣移入低緯度，再加上海陸差異增加斜壓性並牽動高層中緯度槽／脊系統自東南澳大利亞海陸交界處進入南太平洋區域，經由加密重力位高度梯度而加強噴流強度，並且在此過程中因中緯度槽／脊系統

深入低緯與熱帶系統作用而減速，或因噴流吸收其斜壓度而加強且移速減緩，使最後週期呈現比綜觀尺度更長之 13 天左右。一般相信，經由對此種週期性振盪之研究將可改進中期預報準確度。

致 謝

本論文得以完成，感謝台灣大學大氣科學系許晃雄教授及副熱帶資料庫提供計算器及資料。兩位審查者的意見對本文的完整性貢獻良多，特此致謝。作者並感謝黃琬雯小姐協助文稿整理。本論文由國科會計畫 NSC88-2111-M-017-001 資助完成在此致謝。

參考文獻

- Berbery, E.H., and J. Nogués-Paegle, 1993: Intraseasonal interactions between the tropics and extratropics in the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 1950-1965.
- Hurrell, J.W., and D.G. Vincent, 1990: Relationships between tropical heating and subtropical westerly maxima in the Southern Hemisphere during SOP-1, FGGE. *J. Climate*, **3**, 751-768.
- , and ———, 1991: On the maintenance of short-term subtropical wind maxima in the Southern Hemisphere during SOP-1, FGGE. *J. Climate*, **4**, 1009-1022.
- , and ———, 1992: A GCM case study on the maintenance of short-term subtropical wind maxima in the summer hemisphere during SOP-1, FGGE. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **118**, 51-70.
- Kiladis, G.N., and K.M. Weickmann, 1992a: Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1990-1923.

- ..., and ..., 1992b: Extra tropical forcing of tropical Pacific convection during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1924-1938.
- Ko, K.-C., 1995: Characteristics of 1-2 week cyclic behavior of or of suwind maxima over the Australian-South Pacific region. PhD thesis, pp 106.
- Ko, K.-C., and D.G. Vincent, 1995: A composite study of the quasi-periodic subtropical wind maxima over the South Pacific during November 1984~April 1985. *J. Climate*, **8**, 579-588.
- ..., and ..., 1996: Behavior of one to two week summer time subtropical wind maxima over the South Pacific during an ENSO cycle. *J. Climate*, **9**, 5-16
- Nogues-Paegle, J., and K. Mo, 1988: Transient response of the Southern Hemisphere subtropical jet to tropical forcing. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1493-1508.
- Panofsky, H.A., and G.W. Brier, 1958: Some applications of statistics to meteorology. Pennsylvania State University, University Park, 224pp.
- Vincent, D.G., K.-C. Ko, and J. M. Schrage, 1997: Subtropical jet streaks over the South Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 438-447.
- Vincent, D.G., T. Sperling, A. Fink, S. Zube, and P. Speth, 1991: Intraseasonal oscillation of convective activity in the tropical Southern Hemisphere: May 1984-April 1986. *J. Climate*, **4**, 40-53.

Temporal Structure of the Subtropical Upper-level Wind Anomalies over the South Pacific during November 1986-April 1987

Ken-Chung Ko

Department of Geography, National Kaohsiung Normal University

(Manuscript received 14 June 2000 ; in final form 14 November 2000)

ABSTRACT

The 200 hPa zonal wind maxima were analyzed over the South Pacific area during November 1986 ~ April 1987. The anomalies were computed by removing the 30day running means and spectral methods were applied to these anomalies. The FFT of the wind maxima revealed spectral peaks of 9 and 13 days. Variance analyses implied mid-latitude forcings could play a role. However, the 200 hPa height fields to the poleward side of the wind maxima showed similar periodic oscillations. Results of further analyses indicated the quasi-periodic wind maxima could be related to mid-latitude trough/ridge systems.

Key words: Subtropical jets, Tropical-midlatitude interactions, 1 to 2 week oscillations.