

東亞夏季季風活動與兩次高空西風噴流位置北跳關係之研究

王作臺 林士哲

中央大學大氣物理研究所 空軍氣象中心

摘要

本文是使用 20 年 (1980-1999 年) NCEP/NCAR 再分析資料, 來探討兩次東亞高空西風噴流北跳情形, 以及南海地區夏季季風肇始, 江淮地區梅雨的開始, 與兩次東亞高空西風噴流北跳之間的關係。

分析結果顯示, 第一次高空西風噴流北跳平均發生在 5 月 8 日左右, 比南海地區夏季季風肇始日期 (平均為 5 月 14 日左右) 早 6 天; 高空西風噴流位置的北跳, 意味著中高緯度大氣環流系統的衰減與北退, 同時也為熱帶大氣環流提供北進的條件, 因而有利於南海地區夏季季風肇始。而第二次高空噴流明顯北跳平均發生在 6 月 10 日, 比江淮梅雨開始日期 (平均再 6 月 18 日左右) 早 8 天, 可視為是江淮梅雨開始的一個先期信號, 江淮梅雨是發生在第二次噴流北跳之後而不是之前, 在一定的意義上可以認為東亞高空西風噴流北跳所反應的大尺度環流形勢的改變, 和噴流北跳後噴流位置的入區所產生的上升氣流, 供應了梅雨的發展也同時為東亞夏季季風提供向北推進的大尺度環境條件。

東亞高空西風噴流的兩次北跳分別與青康藏高原南側中高對流層經向溫度梯度的兩次反轉有關, 在由冬季轉變成夏季型大氣環流, 由於陸地加熱較快, 導致中高對流層大氣在 5°N - 25°N 之間經向溫度梯度發生反轉, 通過地轉調節使得風場向氣壓場 (溫度場) 調整, 造成高空西風噴流位置北跳。另外由資料的分析還發現東亞高空西風噴流第一次北跳與南半球副熱帶高空西風噴流的加強和向北推進有關, 尤其是對於第一次東亞高空西風噴流北跳日期早於第一階段經向溫度梯度反向時間的個案年。

關鍵字: 高空西風噴流、江淮梅雨、溫度反轉

(2002 年 05 月 06 日收稿; 2002 年 05 月 15 日完稿)

一、前言

季風是大氣對陸地及其鄰近海域之間熱力差異的一種反應, 海陸熱力差異基本上是季風建立以及維持的主要機制之一, 而亞洲夏季季風是世界上最顯著的季風系統, 亞洲地區有最大的陸地和海洋所造成的熱力差異, 再加上青康藏高原地形效應影響之下, 使得亞洲夏季季風更趨複雜; 亞洲季風實際包括盛行於南海地區、中國大陸、台灣、朝

鮮、日本和熱帶西太平洋的東亞季風, 以及活動於印度洋、阿拉伯海和孟加拉灣的印度季風, 對於東亞夏季風的組成, Tao and Chen (1987) 認為應包含南海以及西太平洋季風槽、 100°E 以東的越赤道流、澳洲冷高壓、西太平洋副高、南亞高壓、沿季風槽的對流活動、梅雨鋒面區以及中緯度的天氣擾動系統, 而 Krishnamurti and Bhalme (1976) 指出印度地區的主要分量為北印度

季風槽、越赤道流、索馬利亞低層噴流、熱帶東風急流、Mascarene 高壓、西藏高壓、以及北印度降水。而這些組分量在夏季季風演進過程中，所呈現不同的年際變化，使得季風現象在不同年有不同的表現。

屬於東亞季風系統的南海季風區是整個亞洲夏季季風最先肇始的地區，時間大約是五月上旬、或中旬，然後在五月下旬、北推至華南、台灣，造成台灣的梅雨期；六月中旬到達江淮流域和日本，此時為江淮梅雨和日本梅雨的開始；到了七月上旬季風更北推至華北和朝鮮半島，此時亞洲季風區已全面盛行夏季季風。

關於東亞大氣環流季節轉換的問題，Ye. et al. (1959) 的研究指出在“季節突變現象”之中，最顯著的變化就是 200hPa 附近高空噴流位置的南北跳躍現象，一般在六月中旬 200hPa 高空噴流的位置會由 30°N 附近，急速北跳到 35°N 以北，之後停留在 35°N 以北，不再回到 35°N 以南，此時北半球大氣環流就由冬季型轉變成夏季型；而在 10 月中旬，高空西風噴流會由 35°N 以北，南跳到 30°N 附近，並且不再回到 35°N 以北，此時北半球大氣環流就由夏季型轉變成冬季型。

He et al. (1987) 分析 1979 年夏季風的演進發現，從冬季型大氣環流控制轉變為夏季型大氣環流控制期間，大氣環流經歷了二個不同階段的遽變，分別與東亞季風及印度季風肇始有相當密切關係。第一次轉變發生在五月，此時 80°E 以東（即孟加拉灣到南海地區）低層出現西南氣流，造成中南半島及南海地區降水；而高層由於青康藏高原東部的上對流層快速增暖造成高原南部（85°E 以東）出現經向溫度反轉現象，造成

200hPa 南亞高壓北跳，西風噴流亦隨之北跳，同時高層出現東風。而第二次轉變是發生在六月，此時阿拉伯海地區低層西南風開始發展，印度西岸出現降水，且青康藏高原西部的上對流層開始增暖，導致沙烏地阿拉伯到伊朗地區 200hPa 出現另一個高壓中心，同時高原的全面加熱使得高原南方西側（85°E 以西）經向溫度梯度出現反轉現象。

在亞洲季風區，青康藏高原的熱力異常，對於季風活動扮演一個極為重要的角色，在冬季青康藏高原為一個熱匯，但是由春到夏季由於陸地被快速加熱，使得青康藏高原逐漸變為熱源，並逐漸加強，進而造成大尺度環流和溫度場急劇改變；高空西風噴流位置的北跳，意味著中高緯度大氣環流系統的衰減與北退，同時也為熱帶大氣環流提供北進的條件。而東亞夏季風活動的兩個重要事件，南海地區夏季風的爆發，和江淮梅雨的起始，可謂是熱帶大氣環流北進的重要指標，如此重要的兩個東亞季風活動事件，和高層西風噴流位置的北跳有何相關？是否有其規律性？而兩次噴流北跳的可能原因為何？有哪些作用力直接或間接影響噴流的北跳？同時，這些作用力的貢獻在不同年的狀況下是否相同？本文即利用 1980 年至 1999 年、20 年的觀測資料來進行分析與研究，並嘗試回答上述問題，希望能對東亞夏季季風有更進一步的了解，以求能掌握東亞夏季季風演化的一些規律性，進而了解季節轉換之間季風環流變化的一些特徵。

表一：20年東亞高空西風噴流第一次北跳和南海地區夏季季風肇始日期

年份	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	平均
J200mb(1)	5.14	5.11	5.8	5.14	5.11	4.26	5.11	5.23	5.2	5.5	5.11	4.29	5.11	4.29	5.2	5.14	5.2	5.14	5.20	5.14	5.8
U850mb□	5.13	5.9	5.22	5.16	4.27	4.28	5.11	6.9	5.19	5.16	5.13	6.3	5.13	5.22	4.28	5.13	5.1	5.16	5.16	5.22	5.13
V850mb□	5.16	5.7	5.22	5.16	4.25	4.29	5.11	6.9	6.3	5.16	5.4	5.16	5.13	5.7	4.28	5.7	4.28	5.25	5.25	5.10	5.12
Mon-onset (Id)	5.15	5.13	5.20	6.3	4.29	4.28	5.11	6.8	5.21	5.15	5.7	5.15	5.13	5.8	4.29	5.24	5.2	5.16	5.22		5.14
Mon-onset	5.15	5.11	5.21	5.16	4.28	4.28	5.11	6.8	5.21	5.15	5.13	5.15	5.13	5.22	4.29	5.15	5.2	5.16	5.22	5.22	5.14

表二、東亞高空西風噴流第二次北跳和江淮地區梅雨爆發日期

年份	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	平均
J200mb(2)	6.7	6.13	7.7		6.4	6.19	6.13	6.4	6.4	6.4	6.16	5.23	6.10	6.10	6.4	6.13	6.1	6.16	6.13	5.29	6.10
江淮地區梅雨爆發	6.9	6.25	7.9	6.19	6.7	6.22	6.20	7.1	6.10	6.14	6.19	6.2	6.20	6.29	6.7	6.12	6.2	6.23	6.24	6.23	6.18

二、資料來源及分析方法

(一)、資料來源

本文所使用的資料是 1980 年至 1999 年的 NCEP/NCAR 再分析資料，水平網格點是 2.5° × 2.5°，垂直方向包括 1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10 hPa 等十七層的每天平均值，使用的氣象變數場包含 U、V 風場、溫度場、和高度場。

(二)、分析方法

分析的時間是每年的 4 月至 7 月，分析的方法有 3 日平均，5 日平均、以及日平均三種分析方式。

a、緯向和區域平均部分

1、在分析緯向風的高度和緯度剖面圖，是先做 105°E-120°E 的緯向平均，再給出每年 4 月 1 日至 7 月 29 日，三日平均的緯向風高度和緯度剖面圖，用來確定東亞高空西風噴流兩次明顯北跳過程及日期。

2、經向溫度梯度 (dT/dY) 隨時間的變化，是先將中高對流層 (200-500hPa) 的溫度做平均，再計算 5°N-25°N 之間的溫度梯度隨時間變化情形。

3、分析南海區域平均的緯向風和經向風隨時間的變化曲線，是先求南海地區 5°N-20°N，105°E-120°E 的區域平均再給出經向風和緯向風隨時間的變化情形，可以用來初步認定南海地區夏季季風的肇始日期。

b、南海夏季季風季風肇始日期和梅雨開始日期

1、本文中所使用的南海夏季季風季風肇始日期是參考 Li and Zhang (1999) 利用 850hPa 和 200hPa 之間輻散差的南海夏季季風指數 Id，所給出的南海夏季季風肇始日期。

南海季風指數定義為

$$I_d = \Delta D / \sqrt{\sum (\Delta D_j)^2 / n}$$

其中 $\Delta D = \frac{(D_{850} - D_{200})}{j}$ ，這裡的

”—“表示空間平均， D_j 是某個網格點的輻散值，”j“是時間序列。

2、本文使用的江淮地區梅雨開始的時間是使用大陸中國氣象局國家氣候中心所定的江淮梅雨開始日期。

三、南海地區夏季季風肇始與東亞高空西風噴流第一次北跳的關係

大氣環流突變，所伴隨的高層噴流第一次北跳，與南海地區夏季季風肇始現象，皆發生在五月份，它們之間是否有什麼關係？我們利用20年觀測資料進行分析，希望能更了解其中的關連。

表一為利用1980-1999年，20年NCEP再分析資料，所分析出的南海地區夏季季風肇始所伴隨的一些大氣環流突變特徵，表一第1行是利用每年的3日平均緯向風的高度與緯度的剖面圖，所訂出的東亞高空西風噴流第一次明顯北跳的日期，所謂的高空西風噴流第一次明顯北跳是指、噴流中心位置由30°N以南（大約25°N-30°N位置）急速北跳到30°N以北（大約30°N-35°N位置），並且在此之後噴流中心的位置基本上不再退回到30°N以南，才稱之為西風噴流的第一次北跳。第二行、和第三行分別列出每年南海地區（5°N-20°N，105°E-120°E）平均的850hPa緯向風由東風轉變成西風，和經向風南風突然增強的日期，因為850hPa緯向風由東風轉變成西風，和經向風突然增強，被視為是南海地區夏季季風肇始的重要參考，第四行為Li and Zhang (1999)利用南

海季風指數所確定的南海地區夏季季風肇始日期（其中1999年的南海地區夏季季風肇始日期尚未計算），第五行為本文所使用的20年南海地區夏季季風肇始的日期，本文所使用的南海地區季風肇始日期是以南海季風指數Id（對流層高低層散度差）（置於表一的第四行）所確定的南海地區夏季季風肇始日期為主，並參考南海地區平均的850hPa緯向風由東風轉變成西風，和經向風突然增強的日期為輔，所得到的南海地區夏季季風肇始日期。

由表一的綜合分析結果發現，20年平均南海夏季季風肇始的日期是5月14日，而且在南海夏季季風肇始之前，東亞高空西風噴流位置幾乎都出現明顯的第一次北跳（由大約25°N-30°N跳到30°N以北），20年平均東亞高空西風噴流中心位置第一次北跳日期是發生在5月8日，比20年平均南海夏季季風肇始日期（5月14日）早6天，高空噴流的北跳，被認為是大氣環流的突變現象，也被視為是整個中高緯度系統向北收縮，和熱帶環流與系統向北推進的一種表現，因此在作長期氣候預報時，可將東亞高空西風噴流第一次北跳可視為南海夏季季風肇始的先期信號。舉例來說，1985年、1986年、和1996年高空西風噴流位置北跳的時間比較早，分別為4月26日、5月11日、5月2日，相對的當年的南海夏季季風肇始日期也同樣較早發生，分別為4月30日、5月10日、和5月2日，而當高空噴流位置北跳時間較晚，如1987年、1997年、1998年，其噴流位置北跳日期分別為5月23日、5月14日、5月21日，同樣的南海夏季季風肇始日期也向後延，分別為6月8日、5月16日、5月23日，所以

東亞高空噴流第一次北跳時間的早晚，可以作為南海地區夏季季風肇始的一個指標，且噴流北跳的早晚，與夏季季風的提前或延後肇始亦有密切的關聯。

為了更清楚顯示東亞高空西風噴流第一次北跳的情況，吾人選取2個噴流早跳年、和2個噴流晚跳年的3天緯向平均（105°E-120°E）的緯向風的高度與緯度剖面圖隨時間的演化圖，圖1為1993和1996年2個噴流早跳年，由圖1.a、可看到在1993年4月22-24日噴流中心位置位於30°N以南（大約位於25°N-30°N之間），4月25-27日噴流中心由一個，演變為一南一北兩個中心，而到了4月28-30日南邊的噴流中心減弱並消失，只剩下較北邊的噴流中心，此時噴流中心也就由南邊跳到北邊，且在5月1-3日與5月4-6日噴流中心都位於30°N以北，基本上噴流中心位置不再退回到30°N以南，因此吾人認定1993年第一次噴流北跳日期為4月29日。在圖1.b、中，噴流中心北跳也是非常清楚的，在4月22-30日之間噴流中心都位於30°N以南且噴流中心分為一南一北兩個中心，一直到5月1-3日南邊噴流中心消失，噴流中心北跳到30°N以北，並且不再退回到30°N以南，因此1996年第一次噴流北跳的日期定為5月2日。而在2個噴流晚跳年中（圖2）噴流北跳的現象都非常明顯，在圖2.a中，可以看見在1987年5月16日至18日噴流中心位置在28°N附近，5月19日至21日噴流中心位置，出現一南一北兩個中心，到了5月22日至24日位於南邊的噴流中心消失，噴流北跳至43°N附近，之後5月25日至30日噴流中心位置不再退回30°N以南，因此我們可以很清楚的判斷出1987年的第一

次噴流北跳日期為5月23日，而1998年的噴流北跳日期為5月20日。由以上的分析知道高空西風噴流不管早跳、或晚跳都以如下的方式進行：首先噴流由一個中心（在較南邊的緯度）演變成一南一北兩個中心，之後隨著時間的變化位在較南邊緯度的中心減弱消失，變成只剩下較北邊的中心存在，噴流的位置也就由南跳到北。

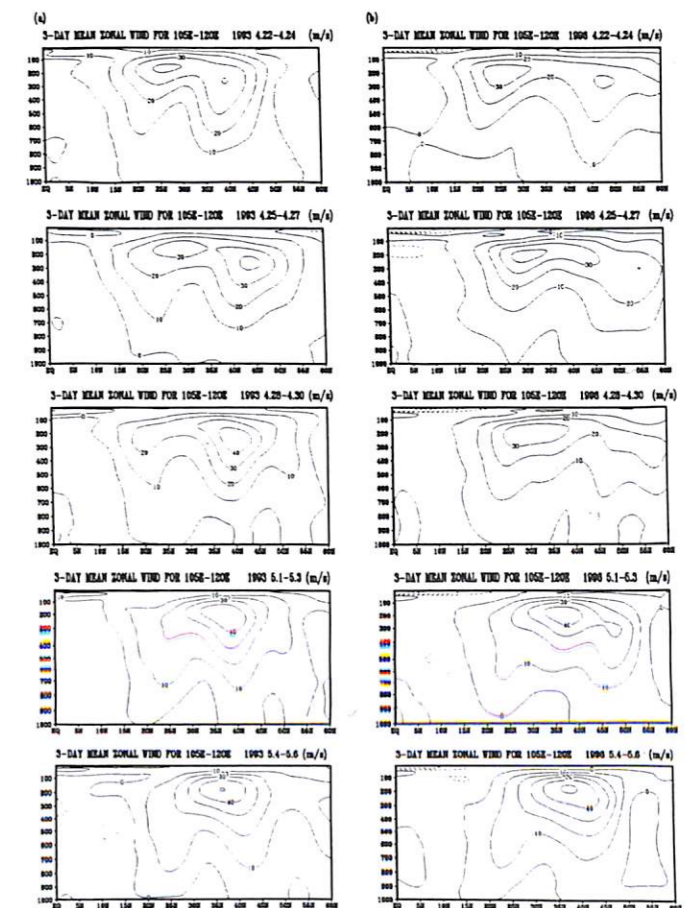


圖1、沿105°E-120°E三日平均緯向風之高度和緯度（0°~60°N）剖面圖，等值線間隔為10m/s。(a)為1993年，分析時間為4月22日至5月6日，(b)為1996年，分析時間為4月22日至5月6日。

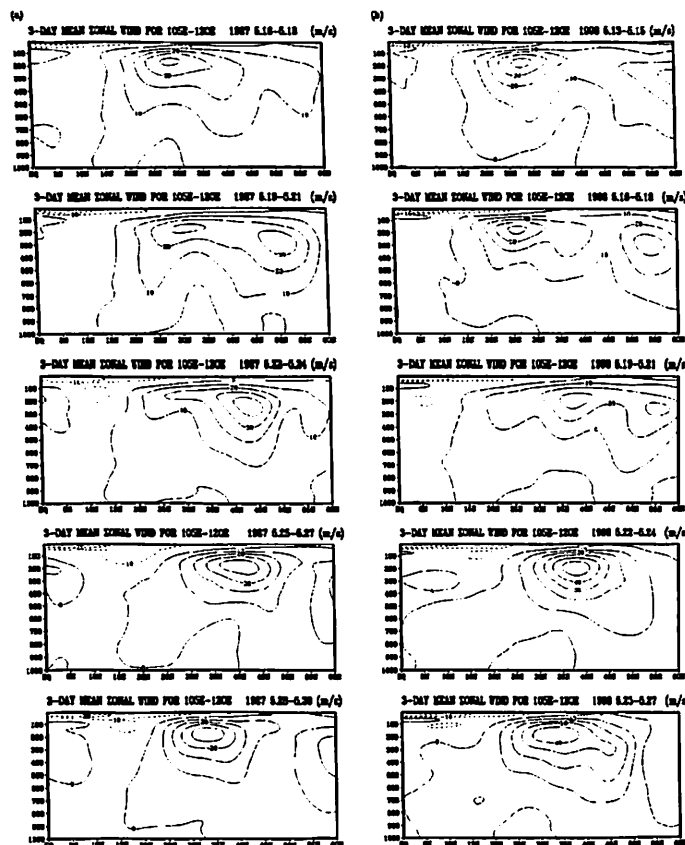


圖 2、沿 105°E-120°E 三日平均緯向風之高度和緯度 (0°~60°N) 剖面圖，等值線間隔為 10m/s。(a)為 1987 年，分析時間為 5 月 16 日至 5 月 30 日，(b)為 1998 年，分析時間為 5 月 13 日至 5 月 27 日。

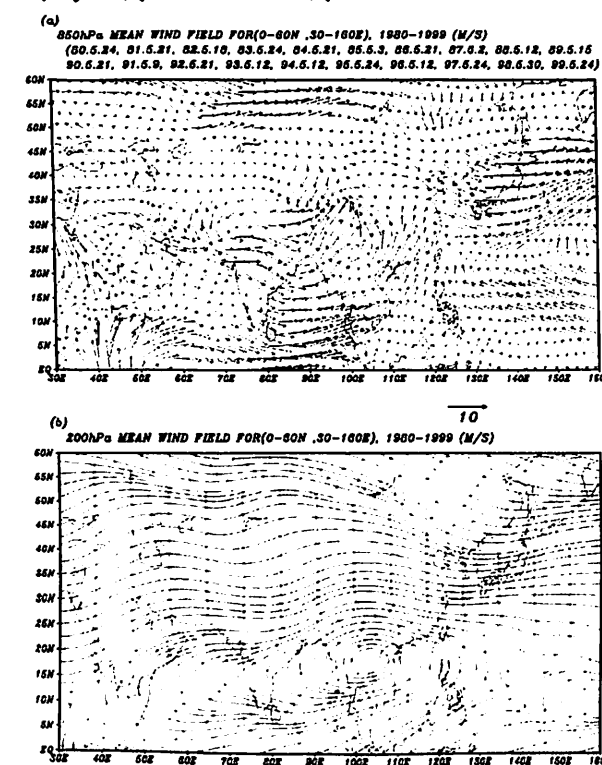


圖 3、1980~1999 年東亞高空西風噴流第一次北跳之前 850hPa 合成風場，和 200hPa 合成流線場，分析區域為 0°N-60°N、30°E-160°E，單位為 m/s，(a)為 850hPa，(b)為 200hPa。

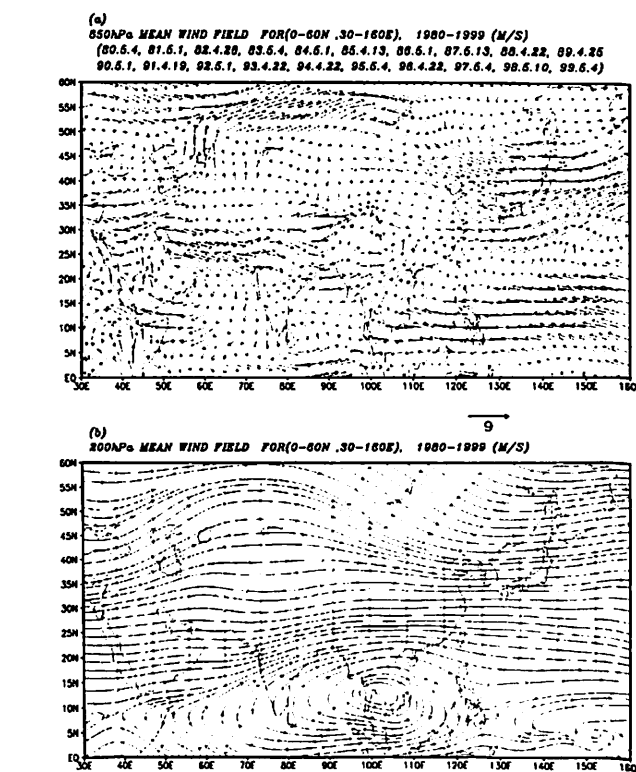


圖 4、1980~1999 年東亞高空西風噴流第一次北跳之後 850hPa 合成風場，和 200hPa 合成流線場，分析區域為 0°N-60°N、30°E-160°E，單位為 m/s，(a)為 850hPa，(b)為 200hPa。

在了解高空噴西風流北跳情形後，我們想更進一步了解東亞高空西風噴流第一次北跳前後，或是說南海夏季季風肇始前後，整個高、低層的大氣環流變化特徵，圖 4 為東亞高空西風噴流第一次北跳前 10 天的 850hPa 與 200hPa 合成風場、圖 3 為東亞高空西風噴流第一次北跳後 10 天的 850hPa 與 200hPa 合成風場，在這裡的合成分析是以每一年東亞高空西風噴流北跳的日期為參考

點，往前 10 天、和往後 10 天、作合成分析，並非以同一天作合成分析，由圖 3 的 850hPa 風場圖可看到在東亞高空西風噴流第一次北跳前（也就是南海地區夏季季風肇始之前），整個南海地區幾乎都是西太平洋副高的勢力範圍，南海地區和台灣地區都盛行南風或東風，只有中南半島有西南風出現，而印度半島、和阿拉伯海則為西北氣流所控制。在 200hPa 風場圖中、可明顯看到高層反氣旋位於中南半島南部 (105°E, 15°N)，此時高層只有少許的東風出現，西風範圍可達 10°N，南海地區高層仍為西風所控制。在圖 4 (東亞高空西風噴流第一次北跳之後) 的 850hPa 風場圖可明顯看到，此時西太平洋副高勢力已退出南海地區，整個南海地區和台灣都盛行西南氣流，但是此時的印度地區和阿拉伯海仍為西北氣流所控制。在 200hPa 風場圖中、原本位於中南半島南部的高層反氣旋已北抬到中南半島北部 (105°E, 20°N)，使得西風範圍向北退，熱帶地區開始盛行東風流。此時高空西風噴流已出現第一次北跳現象，且在東亞高空西風噴流第一次北跳之後東亞夏季季風也已經肇始。

四、江淮梅雨與東亞高空噴流第二次北跳的關係

夏季季風在南海地區肇始後，季風持續向北推進，五月下旬北推至華南、台灣，造成台灣的梅雨期，六月中旬到達江淮流域形成江淮梅雨，梅雨鋒面所造成的大量降水是東亞夏季季風的主要特性，本章即探討江淮梅雨的發生與東亞高空西風噴流第二次北跳之間的關係。

表二為 20 年 (1980-1999 年) 資料分析的綜合結果，第 1 行表示東亞 (105°E-120°E 區域平均) 高空西風噴流第二次明顯北跳的日期，東亞高空西風噴流第二次明顯北跳是指噴流中心位置由 35°N 以南 (大約 30°N-33°N)，北跳到 35°N 以北，並且噴流中心位置不再回到 35°N 以南，第 2 行是大陸中國氣象局國家氣候中心所給出的大陸江淮地區梅雨爆發日期，由表二可明顯發現江淮梅雨爆發時間，幾乎都發生在高空西風噴流第二次明顯北跳之後，第二次高空西風噴流北跳的 20 年平均日期是 6 月 10 日，而 20 年江淮梅雨爆發的平均時間是 6 月 18 日，約比噴流北跳的平均日期晚 8 天，所以在作長期氣候預報時，第二次高空噴流北跳可視為江淮梅雨爆發的一個先期信號，江淮地區梅雨的開始是發生在東亞高空西風噴流第二次北跳之後，而不是之前，在一定的意義上可以認為東亞高空西風噴流北跳所反應的大尺度環流形勢的改變，和噴流北跳後噴流位置的入區所產生的上升氣流，供應了梅雨的發展也同時為東亞夏季季風提供向北推進的大尺度環境條件，而江淮地區梅雨的開始正是東亞夏季季風向北推進到長江流域的證明。

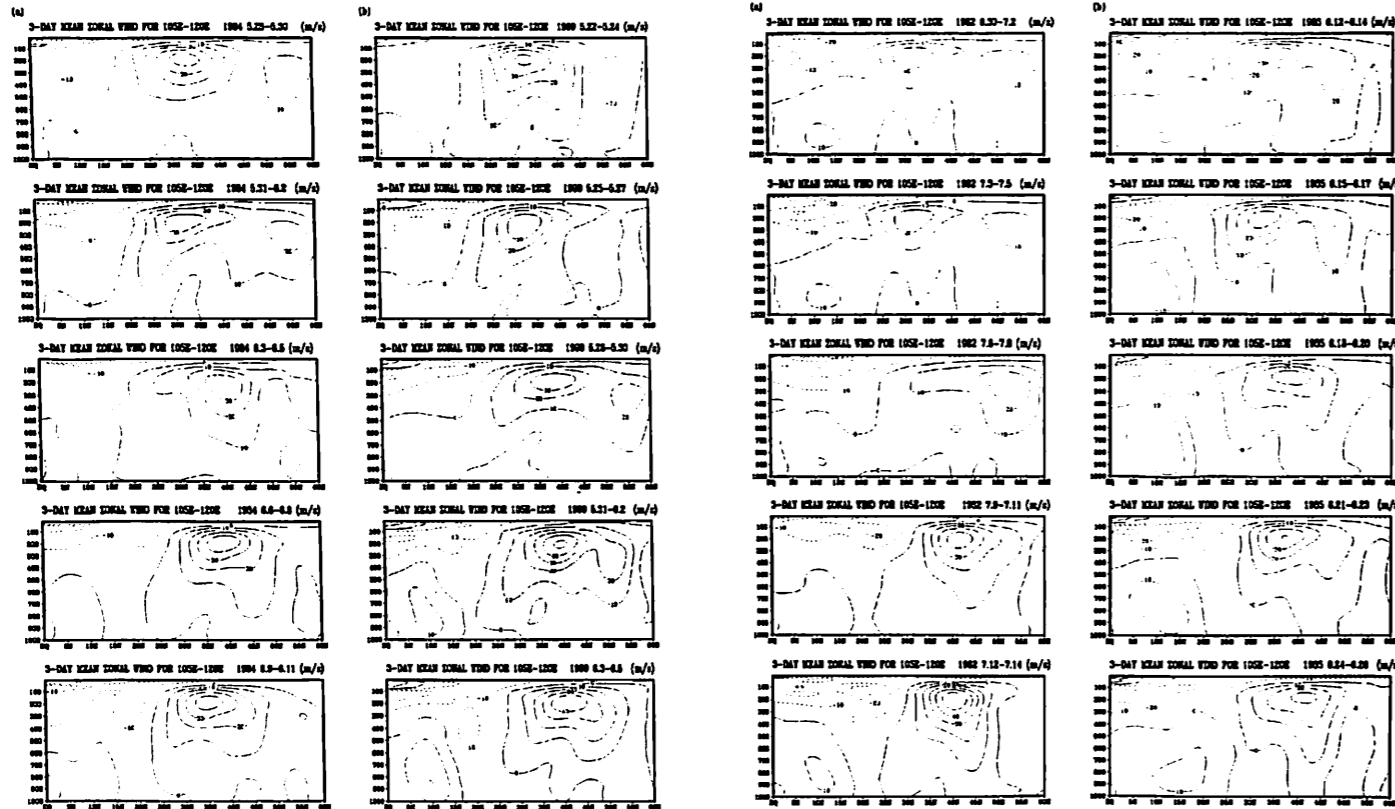


圖 5、沿 105°E-120°E 三日平均緯向風之高度和緯度 (0°~60°N) 剖面圖，等值線間隔為 10m/s。(a)為 1984 年，分析時間為 5 月 28 日至 6 月 11 日，(b)為 1999 年，分析時間為 5 月 22 日至 6 月 5 日。

一般來說第二次噴流北跳時間較早，則江淮梅雨開始時間也較早，例如：1984、1988、1991、1994、和 1996 年的第二次高空噴流北跳時間都在 6 月 4 日之前，而這幾年得江淮梅雨開始時間也相對較早，都在 6 月 10 日之前。而當第二次高空噴流北跳較晚，則江淮梅雨開始時間也相對較晚，如：1982、1985、1997、和 1998 年，第二次噴流北跳較晚，江淮梅雨發生時間也較晚。圖 5 和圖 6 分別為，兩個第二次高空噴流早跳年 (1984、1999 年)，與兩個第二次高空噴流晚跳年 (1982、1985 年)，東亞高空西風噴流第二次北跳的情況及特徵，由圖 5.a 可看到在 1984 年 5 月 28 至 5 月 30

圖 6、沿 105°E-120°E 三日平均緯向風之高度和緯度 (0°~60°N) 剖面圖，等值線間隔為 10m/s。(a)為 1982 年，分析時間為 6 月 12 日至 6 月 26 日。

日、以及 5 月 31 日至 6 月 2 日、噴流中心的位置都在 30°N-35°N 之間，而在 6 月 3 日至 6 月 5 日噴流中心位置突跳到大約 40°N 附近，之後 6 月 6 日到 6 月 11 日噴流中心位置不再回到 35°N 以南，因此 1984 高空噴流第二次北跳日期為 6 月 4 日，在 1999 年 (圖 5.b) 噴流中心位置的北跳，是在 5 月 28 日至 5 月 30 日，才由 35°N 以南突跳到 35°N 以北，且 30 日以後噴流中心位置不再回到 35°N 以南，圖 2 兩個噴流晚跳年，噴流位置的北跳情況也是非常明顯，其中 1982 年 (圖 6.a) 的噴流北跳日期非常的晚，一直到 7 月 6 日至 7 月 8 日噴流中心位置才由 35°N 以南突跳到 35°N 以北，而當年

的梅雨爆發日期也是一直到 7 月 9 日才開始，而 1985 年 (圖 6.b) 第二次噴流北跳日期則是在 6 月 18 至 6 月 20 日噴流中心位置由 35°N 以南突跳到 35°N 以北，梅雨開始日期是 6 月 22 日。

另外也注意到第二次高空噴流位置北跳方式除了突跳性，也有逐漸北移的現象，而梅雨期長短也與高空西風噴流第二次北跳的形式有一定關係 (潘與王，1996)，如果第二次噴流北跳是明顯接連發生且噴流位置有南北跳躍現象，則梅雨期偏長，而如果第二次噴流北跳位置比較偏北且穩定，則梅雨期偏短，圖 5.2 分別給出梅雨期僅有 8 天的 1981 年 (梅雨期為 6.25-7.3)，以及梅雨期超過 40 天的 1998 年 (梅雨期為 6.24-8.3，1998 年是所謂的二度梅雨) 來觀察噴流第二次北跳現象，在 1981 年 (圖 7.a) 6 月 6 日至 6 月 11 日噴流中心位置在 35°N，到了 6 月 12 日至 14 日噴流中心突跳到 43°N，之後 6 月 15 日至 20 日噴流中心穩定停留在 43°N 附近，此種噴流北跳方式屬於偏北且穩定的跳法，因此梅雨期偏短，而在 1998 年 (圖 7.b) 6 月 6 日至 8 日噴流中心位置在 32°N，6 月 9 日至 11 日噴流中心位置往北移至 34°N，6 月 12 日至 14 日噴流中心位置向北跳至 37°N (此時為噴流第二次北跳日期)，之後 6 月 15 至 17 日噴流中心往南些許移動至 36°N，6 月 18 至 20 日噴流中心在 35°N 附近，此年的噴流北跳方式是屬於明顯接連發生且噴流位置有南北跳躍現象，因此 1998 年是屬於梅雨期較特別 (二度梅雨) 的一年。

梅雨期間是由於南方暖濕空氣與北方乾冷空氣在東亞地區交會，導致該區大量降水，而影響梅雨降水多寡的因素很多，導致

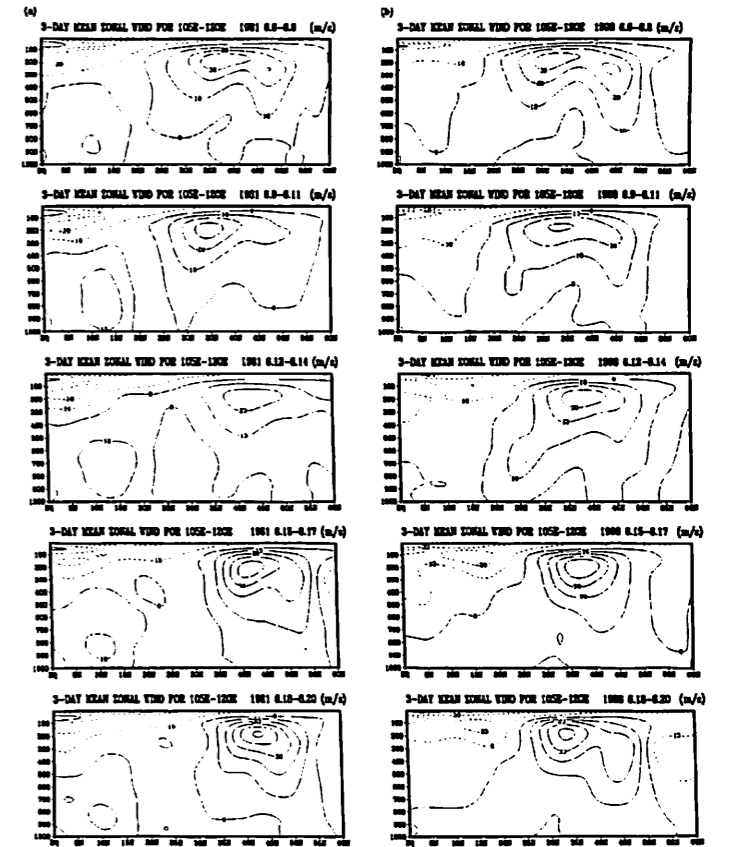


圖 7、沿 105°E-120°E 三日平均緯向風之高度和緯度 (0°~60°N) 剖面圖，等值線間隔為 10m/s。(a)為 1981 年，分析時間為 6 月 6 日至 6 月 20 日，(b)為 1998 年，分析時間為 6 月 6 日至 6 月 20 日。

梅雨降水有很明顯的年際變化，為了更了解梅雨期間，以及東亞高空西風噴流第二次北跳之後，整個高、低層的大氣環流型態，圖 8 和圖 9 分別給出 20 年梅雨開始後 10 天的 850hPa 和 200hPa 合成風場、以及 500hPa 和 200hPa 的合成高度場，來探討梅雨期間且第二次噴流北跳之後的高低層大氣環流型態，在這裡的合成分析與之前的合成分析方法相似，但是在這裡是以梅雨開始的日期為參考點，往後 10 天、作合成分析，由圖 8.a 給出江淮梅雨期間的 850hPa 風場可看出，除了南海地區和台灣地區盛行暖濕的西南氣流外，日本地區和江淮地區的西南風也有明

顯增加的現象，而阿拉伯海與印度半島則由原來的西北氣流轉換為較強的西風所控制，且低層的索馬利亞噴流明顯增強，這說明印度季風此時已經肇始，也代表東亞和南亞地區已經全面盛行夏季季風，另外也可以看到在江淮流域以南有相當強的西南風與北邊下來的氣流，在江淮地區行成很強的低層輻合，成為江淮梅雨維持的重要原因。

在高層 200hPa 流線場 (圖 8.b) 可清楚看到，此時南亞高空反氣旋的強度和結構已發展的非常完整，且有兩個反氣旋中心，東中心位於青康藏高原上空，西中心位於伊朗上空，而 6 月份印度北方的大量降水則是與西中心的形成有很大的關係，而東中心從 6 月在中國西南地區，至 7 月時移至西藏北方，此種移動情形與梅雨的結束及中國北方 6、7 月季風降水的發生是一致的，在南亞高壓的影響之下，可看到此時熱帶地區 (0°-25°N) 均為較強的東風氣流所控制，南海地區高空也主要為東風和東北風，而西風帶則北退到 30°N 以北，與南海地區夏季季風爆發之後、但梅雨開始之前的情況 (即第一次東亞高空西風噴流北跳之後的圖 4.b、200hPa 風場圖) 相比較，最大的差異是南亞高壓的形成與南亞高壓的位置有很明顯的不同，在梅雨開始前，南亞高壓位置原本在中南半島北部，在梅雨開始後，南亞高壓向西北方向推進，最後在青康藏高原和伊朗上空形成強烈的反氣旋，使得熱帶東風流向北擴張至 25°N，西風向北退到 30°N 以北。

在江淮梅雨期間 200hPa 高度場 (圖 9.b) 最明顯的系統是位於青康藏高原和伊朗上空，中心位置在 27°N 附近的南亞高

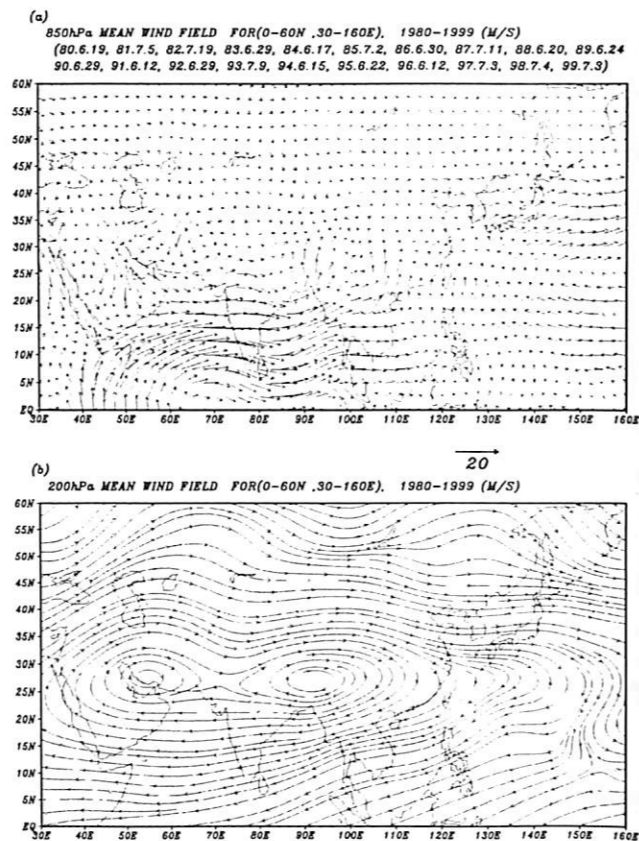


圖 8、1980~1999 年江淮梅雨期間 850hPa 合成風場，和 200hPa 合成流線場，分析區域為 0°N-60°N、30°E-160°E，單位為 m/s，(a) 為 850hPa，(b) 為 200hPa。

北跳之前) 南亞高壓在中南半島生成，隨著南海地區季風的肇始 (第一次噴流北跳之後) 南亞高壓向西北方向移動，到了江淮梅雨期間 (第二次噴流北跳之後) 南亞高壓已移至青康藏高原上空，使得高壓北側的西風北退，相對的高空西風噴流隨之北跳，同時高壓南側的東風向北擴張和增強，由等高線密度推斷此時東亞高空噴流已第二次北跳到 40°N 附近。

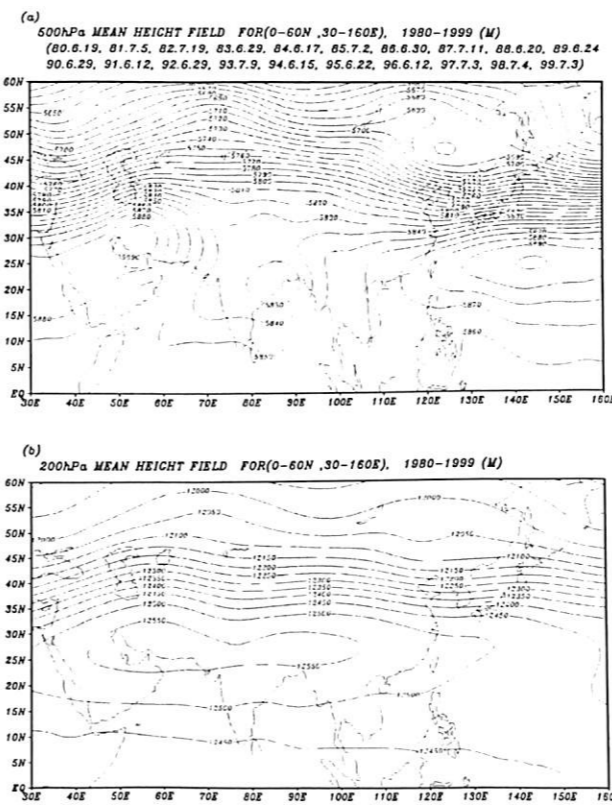


圖 9、1980~1999 年江淮梅雨期間 500hPa，和 200hPa 合成高度場，分析區域為 0°N-60°N、30°E-160°E，單位為 m，(a) 為 500hPa，(b) 為 200hPa。

五、高空西風噴流位置北跳的原因分析

東亞大氣環流由冬季型轉成夏季型，大氣環流伴隨有兩次高層西風噴流位置的北跳，高空噴流的北跳，被認為是大氣環流的突變現象，也被視為是整個中高緯度系統向北收縮，和熱帶環流與系統向北推進的一種表現，第一次高空西風噴流北跳發生在五月，它是南海地區夏季季風肇始的先期信號，同時也為熱帶系統向北推進提供大尺度的環流條件，第二次高空西風噴流北跳出現在六月，可視為是江淮梅雨開始的一個先期信號，同時江淮地區梅雨的開始也說明東亞夏季季風向北推進到長江流域。

在亞洲季風區，青康藏高原的存在而引

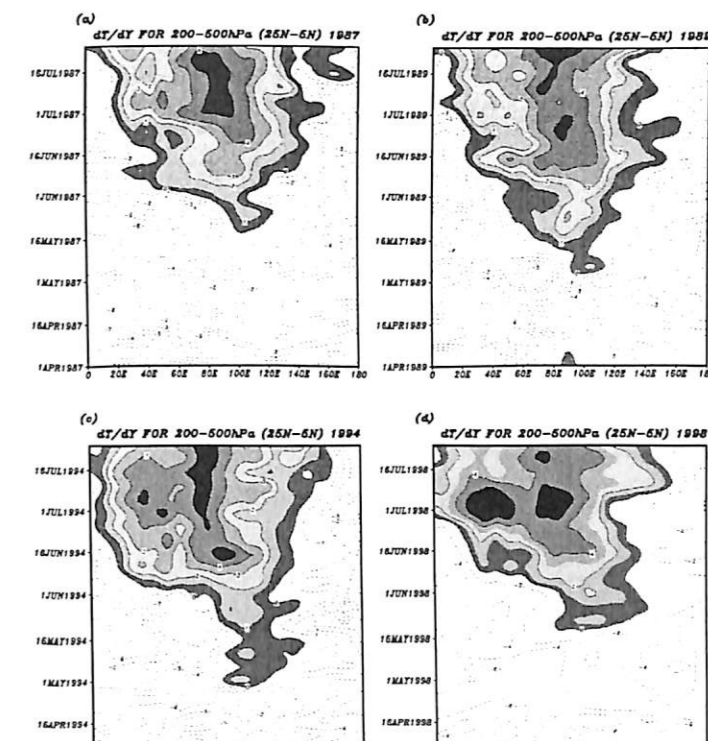


圖 10、200~500hPa，5°N 及 25°N 經向溫度梯度時間序列分析，分析時間為 4 月至 7 月，dT/dY>0 為陰影區。(a) 為 1987 年，(b) 為 1989 年，(c) 為 1994 年，(d) 為 1998 年。

發的熱力異常，對於季風活動扮演一個極為重要的角色，在冬季青康藏高原為一個冷源，高原南側中高對流層的經向溫度梯度 (dT/dY<0) 是負值，但是由春到夏季由於陸地被快速加熱，青康藏高原逐漸變為熱源，並逐漸加強，使得高原南側中高對流層的經向溫度梯度 (dT/dY>0) 為正值，形成南冷北暖的現象。這裡我們將用 20 年資料分析結果，來探討高原南方，東西兩側中高對流層兩階段的經向溫度梯度反轉變化，與東亞高空西風噴流兩次北跳時間之關連。

在圖 10 中，分別給出 1987、1989、1994 和 1998 年四年中高對流層 (500-

200hPa)，經向溫度梯度(25°N 的溫度與 5°N 的溫度差表示)的時間(4-7月)和經度(0-180°E)剖面圖，由圖可以看到，不同的經度位置其經向溫度梯度的反轉日期也不同，其溫度梯度反轉時間最早是發生在高原南方東側 100°E-110°E 之間，而在高原南方西側 60°E-80°E 的地區，則是第二階段較明顯的溫度梯度反轉區域，因此在高原南方的經向溫度梯度反轉現象，會先後於東、西兩側出現兩階段的溫度梯度反轉現象。

表三為東亞高空西風噴流第一次北跳和高原南側(5-25°N)中高對流層(500-200hPa)平均經向溫度梯度在 100-110°E 地區由負變正的反向日期，第1行表示 1980-1999 年，20 年的高原南側中高對流層平均的經向溫度梯度在 100°E-110°E 地區由負變正的反轉日期，第2行則是 20 年東亞高空西風噴流位置第一次向北突跳的日期，由表三可以發現除了 1981、1983、1985 和 1993 年的東亞高空噴流第一次明顯北跳日期早於高原南側中高對流層的經向溫度梯度在 100°E-110°E 地區的反轉日期以外，其餘年份都是經向溫度梯度反轉日期早於東亞高空西風噴流第一次北跳日期，第一個平均為 20 年平均經向溫度梯度反轉日期，和 20 年平均東亞高空西風噴流第一次北跳日期分別為 5 月 7 日和 5 月 8 日，第二個平均是去除四個例外年(即 1981、1983、1985 和 1993 年東亞高空噴流第一次北跳日期早於中高對流層的經向溫度梯度在 100°E-110°E 地區的反轉日期)所得到的 16 年平均第一階段經向溫度梯度反轉日期與東亞高空西風噴流第一次北跳日期，因為此處吾人是為了探討第一階段經向溫度梯度反轉的熱力效應，與噴流第一次北跳的時間關連，因此採用第二個

平均，由第二個平均可看到第一階段經向溫度梯度反轉的平均日期為 5 月 4 日，而東亞高空西風噴流第一次北跳的平均日期為 5 月 10 日，約比第一階段經向溫度梯度反轉的平均日期晚 6 天，也就是說在第一階段經向溫度梯度反轉後 6 天，噴流才出現第一次北跳。

由大氣運動的地轉調節理論可知，大尺度溫度場(氣壓場)的改變，必然導致大尺度的風場迅速向大尺度溫度場(氣壓場)調節，青康藏高原的快速增暖所導致的第一階段經向溫度梯度反轉(100°E-110°E 之間經向溫度梯度反向)現象，可認為是東亞地區大尺度溫度場的改變，而東亞高空西風噴流的第一次北跳則是大尺度風場調節的結果，因此在一定意義上我們可以初步認為，高原南側中高對流層第一階段經向溫度梯度的反轉，是導致東亞高空西風噴流第一次明顯北跳的原因之一。

另外在 20 年資料分析中，我們還發現在大部分年裡，東亞高空西風噴流第一次北跳明顯與南半球副熱帶高空西風噴流向北推進有關，對於 1981、1983、1985、1993 年，東亞高空西風噴流第一次北跳早於 100°E-110°E 地區經向溫度梯度反向日期，南半球副熱帶高空西風噴流北推加強可能起著重要作用，圖 11 表示 1981 年和 1993 年 105°E-120°E 區域平均的 3 天平均緯向風速的高度和緯度(60°S-60°N)剖面圖，由圖可以看出在 1981 年 5 月 4 日至 5 月 9 日北半球東亞高空西風噴流第一次北跳前夕，南半球副熱帶高空西風噴流開始加強、並分為南北兩支，北支向北推進，由 30°S 向北推進至 25°S 以北，到了 5 月 10 日至 5 月 12 日北半球東亞高空西風急速北跳到 30°N 以

北(1981 年高空西風噴流第一次北跳日期)，此時南半球高空西風噴流北支停留在 20°S 附近，之後 5 月 13 日至 18 日北半球高空西風噴流停滯在 30°N 以北，而南半球高空西風噴流北支逐漸向南移回。在 1993 年 4 月 22 日至 27 日北半球高空西風噴流第一次北跳之前，南半球高空西風噴流北支開始增強，且噴流中心位置移至 25°S 附近，至 4 月 28 日到 30 日南半球高空西風噴流中心位置北跳至 25°S 以北，同時北半球東亞高空西風噴流北跳至 30°N 以北(1993 年高空西風噴流第一次北跳日期)，5 月 1 日至 6 日北半球高空西風噴流中心位置停留在 30°N，南半球高空噴流中心位置退回 25°S 附近，完成北半球東亞高空西風噴流第一次北跳。因為此種情況並非每一年都有，只對於第一次北跳發生時間較早的年份較為明顯，因此在一定的意義上只可認為，在北半球大氣環流由冬季向夏季的轉變過程中，對應東亞的南半球地區有較強的冷空氣向熱帶侵入，進而推動東亞高空西風噴流向北移動，成為影響北半球東亞高空西風噴流第一次北跳的另一個原因之一。

由之前的第一階段經向溫度梯度反轉現象與東亞高空西風噴流第一次北跳分析，吾人已知高原南方東側(100°E-110°E 之間)的第一階段經向溫度梯度反轉現象，明顯與東亞高空西風噴流第一次北跳和南海夏季季風肇始有關，在此吾人要更進一步探討高原南方西側(60°E-80°E 之間)第二階段的明顯經向溫度梯度反轉現象，與東亞高空西風噴流第二次北跳以及大陸江淮梅雨的開始有何關係？

表四為東亞高空西風噴流第二次北跳和高原南側(5-25°N)中高對流層(500-

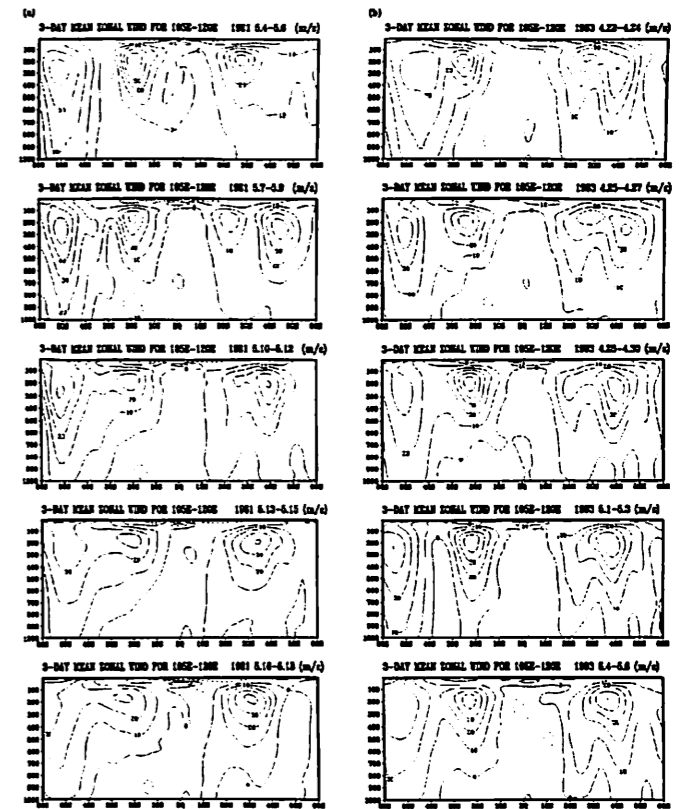


圖 11、沿 105°E-120°E 三日平均緯向風之高度和緯度(60°S~60°N)剖面圖，等值線間隔為 10m/s。(a)為 1981 年，分析時間為 5 月 4 日至 5 月 18 日，(b)為 1993 年，分析時間為 4 月 22 日至 5 月 6 日。

200hPa) 平均經向溫度梯度在 60-80°E 地區由負變正的反向日期，第 1 行給出 1980-1999 年，20 年青康藏高原南方中高對流層平均的經向溫度梯度在 60°E-80°E 地區由負變正的反向日期，第 2 行則是 20 年東亞高空西風噴流位置第二次向北突跳的日期，由表四可以看到除了 1991 年以外，其它年的東亞高空西風噴流第二次北跳時間都發生在高原南方西側(60°E-80°E)經向溫度梯度反轉之後，60°E-80°E 地區的 20 年平均經向溫度梯度反轉日期為 5 月 30 日，而 20 年平均東亞高空西風噴流第二次北跳日期為 6 月 9 日，比 60°E-80°E 地區經向溫度

梯度反向日期晚 10 天，也就是在第二階段經向溫度梯度反轉後 10 天，噴流才出現第二次北跳。

經向溫度梯度第二次反向發生在東亞高空西風噴流第二次北跳之前，而不是之後，可以認為在第一階段經向溫度梯度反轉，與東亞高空西風噴流第一次北跳之後，青康藏高原被進一步全面加熱使得經向溫度梯度反轉的範圍更為廣闊，尤其在 60°E-80°E 之間產生第二階段的溫度反轉現象，如此大尺度溫度場的改變必然導致另一次大尺度風場的調整，也因此使得東亞高空西風噴流出現第二次的北跳。

在 He et al. (1987) 和 Yanai et al. (1992) 的研究中，主要是探討青康藏高原南方，東、西兩側中高對流層兩階段的經向溫度梯度反轉現象，與東亞夏季季風肇始，和印度季風開始的關係。在此吾人則是更進一步分析高原南方第一階段經向溫度梯度反轉現象，與東亞高空西風噴流第一次北跳和南海地區夏季季風肇始的關係；以及第二階段經向溫度梯度反轉現象，與東亞高空西風噴流第二次北跳和大陸江淮梅雨開始的關連。由本文的分析討論可以知道，由青康藏高原加熱所導致中高對流層兩階段明顯的經向溫度梯度反轉日期，幾乎都發生在兩次噴流北跳之前，而不是之後，因此在一定的意義上我們可以初步由大尺度大氣運動的地轉調節理論，認為兩階段的經向溫度梯度反轉現象，是造成東亞高空西風噴流兩次北跳的原因之一，而關於南半球副熱帶西風噴流的加強和向北推進，則可能是影響對東亞高空西風噴流第一次北跳的另一個因素，尤其是對於第一次東亞高空西風噴流北跳日期早於第一階段經向溫度梯度反向 (100 °E-110°E

地區經向溫度梯度反向) 時間的個案年，此種現象較為明顯。

表三、東亞高空西風噴流第一次北跳和高原南側 (5-25°N) 中高對流層 (500-200hPa) 平均經向溫度梯度在 100-110°E 地區由負變正的反向日期。

年份	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	平均 (1)	平均 (2)
dT/dY (100-110°E)	5.8	5.21	5.5	5.18	4.27	4.29	5.6	5.17	5.2	5.4	5.7	4.26	5.11	5.8	4.28	5.9	4.29	5.7	5.18	4.14	5.7	5.4
J200mb(1)	5.14	5.11	5.8	5.14	5.11	4.23	5.11	5.23	5.5	5.4	5.11	4.29	5.11	5.2	5.2	5.14	5.2	5.14	5.20	5.14	5.8	5.10

表四、東亞高空西風噴流第二次北跳和高原南側 (5-25°N) 中高對流層 (500-200hPa) 平均經向溫度梯度在 60-80°E 地區由負變正的反向日期

年份	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	平均
DT/dY (60-80°E)	5.31	5.24	5.27	6.13	5.22	5.20	6.3	6.1	5.17	5.16	5.28	6.2	6.8	6.3	6.2	6.1	6.2	6.13	6.3	5.16	5.30
J200mb(2)	6.7	6.13	7.7		6.4	6.19	6.13	6.4	6.4	6.4	6.16	5.23	6.10	6.10	6.4	6.13	6.2	6.16	6.13	5.29	6.9

六、結論

在本研究中吾人使用 20 年 (1980-1999 年) NCEP/NCAR 再分析資料，來探討兩次東亞高空西風噴流北跳情形，以及南海地區夏季季風肇始，江淮地區梅雨的開始，與兩次東亞高空西風噴流北跳之間的關係，並嘗試去了解造成兩次噴流北跳的可能原因。

1、本文的研究用 20 年長時間的氣候場分析，進一步確定當東亞大氣環流由冬季型轉變成夏季型過程中，東亞高空西風噴流位置一般會發生兩次明顯北跳現象，第一次東亞高空噴流明顯北跳平均發生在 5 月 8 日左右，而第二次高空噴流明顯北跳平均發生在 6 月 10 日左右，由 20 年的資料分析發現，在南海地區夏季季風肇始之前，東亞高空西風噴流幾乎都出現第一次明顯北跳，20 年平均南海地區夏季季風肇始日期為 5 月 14 日左右，而第一次西風噴流北跳平均發生在

5 月 8 日左右，比南海地區夏季季風平均肇始日期早 6 天，高空西風噴流位置的北跳，意味著中高緯度大氣環流系統的衰減與北退，同時也為熱帶大氣環流提供北進的條件，因而有利於南海地區夏季季風的肇始而南海地區夏季季風肇始可謂熱帶大氣環流北進的重要指標，因此在長期氣候預報中，可將東亞高空西風噴流第一次北跳視為南海地區夏季季風肇始的先期信號。

2、東亞高空西風噴流的第二次明顯北跳的 20 年平均日期是 6 月 10 左右，而 20 年平均江淮地區梅雨開始的日期是 6 月 18 日，約比第二次高空西風噴流北跳的平均日期晚 8 天，所以第二次高空西風噴流北跳可視為是江淮梅雨開始的一個先期信號，江淮地區梅雨的開始是發生在東亞高空西風噴流第二次北跳之後，而不是之前，在一定的意義上

可以認為東亞高空西風噴流北跳所反應的大尺度環流形勢的改變，和噴流北跳後噴流位置的入區所產生的上升氣流，供應了梅雨的發展也同時為東亞夏季季風提供向北推進的大尺度環境條件，而江淮地區梅雨的開始也說明了東亞夏季季風向北推進到長江流域。另外也注意到梅雨期的長短與第二次高空西風噴流位置北跳的形式有一定的關係，如果第二次高空西風噴流北跳是明顯接連發生且噴流中心有南北跳躍現象則梅雨期偏長，而如果第二次噴流北跳的位置明顯偏北且噴流中心位置穩定則梅雨期偏短。

3、本文利用20年NCEP再分析資料，來探討高原南側中高對流層兩階段經向溫度梯度的反轉變化與東亞高空西風噴流兩次北跳之間的關係得到：

a、第一階段經向溫度梯度反向發生在100°E-110°E地區，平均時間是5月4日左右它主要是反應中南半島北部上空大氣的迅速加熱，由大氣運動的地轉調節理論可知大尺度溫度場（氣壓場）的改變，必然導致大尺度的風場迅速向大尺度溫度場（氣壓場）調節，因此導致東亞高空西風噴流第一次北跳，平均發生在5月8日左右，高空西風噴流位置的北跳，意味著中高緯度大氣環流系統的衰減與北退，同時也為熱帶大氣環流提供北進的條件。因此有利於南海地區夏季季風的肇始，20年平均南海地區夏季季風肇始日期為5月14日左右。

b、第二階段經向溫度梯度反向出現在60°E-80°E之間，平均時間是5月30日左右，主要是反映了青康藏高原上空的全面加熱由於青康藏高原被進一步全面加熱使得經向溫度梯度在60°E-80°E之間產生第二階段

的溫度反轉現象，也因此導致另一次大尺度風場的調整，使得東亞高空西風噴流出現第二次的北跳，而第二次高空噴流明顯北跳平均發生在6月10日左右，西風噴流北跳所反應的大尺度環流形勢的改變，和噴流北跳後噴流位置的入區所產生的上升氣流，供應了梅雨的發展，因而造成江淮梅雨的開始，20年平均江淮地區梅雨開始的日期是6月18日。

4、在探討高空西風噴流位置北跳原因的分析中，還發現在大部分年裡，東亞高空西風噴流第一次北跳明顯與南半球副熱帶高空西風噴流的加強和向北推進有關，尤其是對於第一次東亞高空西風噴流北跳日期早於第一階段經向溫度梯度反向時間的個案年，此種現象反映了南半球副熱帶西風噴流的加強會通過半球，影響北半球噴流的北跳，使得北半球第一次北跳發生時間偏早，因此南半球副熱帶高空西風噴流的加強和向北推進，可能是影響東亞高空西風噴流第一次北跳的另一個原因。

七、參考文獻

王作奎，黃志銘和胡志文，1992：乾濕梅雨季東亞環流特性之研究。*大氣科學*，20，267-294。

林原堂，2000：1998年亞洲夏季季風區域能量特性分析。國立中央大學碩士論文，11-13頁。

陳孟詩和王作奎，1998：東亞夏季季風肇始期間大尺度系統轉化特徵之診斷分析。*大氣科學*，26，109-131。

黃文豪，2000：1998年東亞夏季季風前期發展之特徵。國立中央大學碩士論文，

10頁。

潘琦和王作奎，1996：東亞夏季季風年際變化：江淮及台灣地區觀點之探討。*大氣科學*，24，89-121。

蔡清彥，柯文雄和朱仲謀，1991：高層噴流於台灣地區梅雨期間之變化研究。*大氣科學*，19，89-129。

Chen, G. T., 1994: Large-scale circulation associated with the East Asian summer monsoon and the Mei-Yu over South China and Taiwan. *J. Meteor. Sci. Japan*, 72, 959-983.

He, H., W. Mcginnis, Z. Song, and M. Yanai, 1987: Onset of the Asian monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1966-1994.

Krishnamurti, and N. H. Bhalme, 1976: Oscillations of a monsoon system. Part I: Observational aspects. *J. Atmos. Sci.*, 33, 1937-1953.

Lau, K. M., and M. Li, 1984: The monsoon of East Asian and its global associations—A survey, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 65, 114-125.

Li, C. Y., and X. Qu, 1999: Atmospheric circulation evolution associated with summer monsoon onset in the South China Sea. *Chinese J. Atmos. Sci.*, 23, 311-325.

Li, C. Y., and J. Wu, 2000: On the onset of South China Sea summer monsoon in 1998. *Advances Atmos. Sci.*, 17, 193-204.

Li, C. Y., and L. Zhang, 1999: The South China Sea summer monsoon activity and its impacts. *Chinese J. Atmos. Sci.* 23,

257-266.

Lin, X., X. An, Q. Ye, and M. Murakami, 1998: The climate characteristics of summer monsoon onset over South China Sea. *J. Trop Meteor.*, 14, 28-37.

Tao, S., and L. Chen, 1987: A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, C. P. Chang and T. N. Krishnamurti, Eds., Oxford University Press, 60-92.

Yanai, M., C. Li, and Z. Song, 1992: Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolutions of the Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 319-351.

Ye, D., S. Tao, and M. Li, 1959: The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October. *The Atmosphere and the Sea in Motion*, the Rockefeller Institute Press and Oxford University Press, 249-267.

The Study of The Relationship between East Asian Summer Monsoon Activity and Two Stages Upper-Level Westerly Jet Retreated to The North

Jough-Tai Wang shih-che Lin

National Central University Weather Central, Weather Wing, CAF ROC

Abstract

This paper was Used twenty-year NCEP-NCAR Reanalysis to investigate the relationship between the behavior of two stages upper-level westerly jet retreated to the north ,South China Sea Summer Monsoon Onset and the Mei-Yu in the Yangtze valley occurs.

The result exhibits ,the first upper-level westerly jet retreated to the north average occurs about May 8,early 6-day than South China Sea Summer Monsoon Onset (occurs average about May 14) , the upper-level westerly jet retreated to the north meaning middle and high latitude atmospheric circulation systems weakened and retreated to the north ,as the same as time tropical atmospheric systems progresses northward , then the South China Sea Summer Monsoon Onset .the second upper-level westerly jet retreated to the north average occurs about June 10 ,early 8-day than the Mei-Yu in the Yangtze valley occurs. (occurs average about June 18) ,that can being a signal of the Mei-Yu in the Yangtze valley. occurs .. the Mei-Yu in the Yangtze valley. Occurs after .the second upper-level westerly jet retreated to the north can be considered that the upper-level westerly jet retreated to the north in response to a large-scale environment variance and the position of the westerly jet retreated to the north have ascent motion supply the Mei-Yu in the Yangtze valley development.

The two stages East Asian upper-level westerly jet retreated to the north related to the two stages reversal of the meridional temperature gradient of the 200-500hPa layer over the south Tibetan Plateau when the winter atmospheric circulation became summer atmospheric circulation because of heating rapid on the land leading to the reversal of the meridional temperature gradient of the 200-500hPa layer between 5 -25 N by the geostrophic adjustment the wind-field adjustment to pressure-field induced the upper-level westerly jet retreated to the north addition to this the East Asian upper-level westerly jet retreated to the north also related to the southern hemisphere subtropical upper-level westerly jet intensification and advanced northward especially for the first upper-level westerly jet retreated to the north early than the first stage reversal of the meridional temperature gradient .