

熱帶海洋渦流熱通量與東亞大氣環流之相關的初步探討

王溫和 林松錦

國立中央大學大氣物理研究所

(中華民國八十六年元月十六日收稿；中華民國八十六年六月十一日定稿)

摘 要

本文主要目的在於探討熱帶海洋地區渦流熱通量的變化與東亞地區大氣環流的可能關係。分析 1982 ~ 1993 年春季期間(二~五月)，氣候型態的變化以 ENSO 事件為主。ENSO 發生期間，在中太平洋、北美洲地區的上層高度場具有 PNA 的型態，而在東亞地區，中、低緯度間的高度場變化則呈現反相關係。若將潛熱通量分別與海溫及 OLR 作相關分析，結果顯示在不同地區此三者彼此間的關係會有所不同。中太平洋地區海溫的增加能有效加強潛熱通量的大小，而潛熱通量的增加也可使對流活動更易發展。但在西太平洋地區則出現不同的特性，海溫的增加並無法使潛熱通量增加，而潛熱通量的增強也無助於對流的產生。這種結果可能與該區的環流型態及潛熱通量特性有關。

利用遙相關的方法證實，南海地區與暖池區的潛熱通量變化與東亞地區大氣環流型態間有相當的關聯性存在。經分析發現兩地區的潛熱通量與東亞主槽位置的高度場變化具有明顯的反相關係，同時在南海地區的潛熱通量與華南地區低層高度場有很強的正相關係，此現象似乎意謂上層槽線加深有利冷高壓南下，海面上在冷空氣的吹拂下可使潛熱通量快速增加。從整體型態來看，南海地區潛熱通量似乎有助於中緯度地區波動結構的增強。暖池區的潛熱通量則可使中、低緯度間高度場的變化呈現南北正負相反的關係型態，而此相關性在 ENSO 年會因潛熱通量的增強而變得更加明顯。此外，在延遲交互相關的分析中，發現與南海地區潛熱通量相關的中緯度波列結構會有向東移動的趨勢。而與暖池區潛熱通量相關之中、低緯度間的南北反相結構也有向北移動的情形，而且隨著系統的北移伴有一組織性的正相關結構由熱帶地區逐漸地向東亞地區移動，因而使東亞地區高度場與暖池區潛熱通量兩者間的相關係數跟著變化，這種現象可能與暖池區潛熱通量有利於對流發展的特性有關。

關鍵詞：渦流通量、東亞大氣環流、遙相關

一、前 言

近年來的研究發現海氣間的交互作用對長期天氣與短期氣候有著重大的影響(Liu, 1988;

Cayan,1992; Zhang and McPhaden,1995)。而海洋與大氣間能量的傳遞與交換，主要是透過渦流熱通量(潛熱、顯熱通量)與渦流動量來完成。此外，若以海面上能量收支的觀點看，在熱帶地區渦流潛熱通量是第二大分量，它的大小僅次於短波輻射。故渦流熱通量強度的變化在熱帶海洋地區海氣交互作用中佔有相當重要的角色。因此，要有效的提高天氣預報能力，對於渦流通量變化的掌握是必需的。然而在廣大的熱帶海洋地區，傳統測站資料是相當有限的，目前唯有靠衛星資料透過模式的同化(assimilation)過程來彌補資料上的不足。王與林(1996)利用 ECMWF(European Center for Medium Range Weather Forecasts)同化資料並嘗試採用較簡易的整體參數化公式(bulk formula)法來估計渦流熱通量，經分析比較發現利用 ECMWF 同化資料與實際船舶資料兩者所估計出的渦流熱通量，雖然在數值大小上有稍微差別，但在整體分佈型態上卻相當一致。同時也發現在熱帶地區的渦流熱通量明顯的受到 ENSO(El Nino/Southern Oscillation)事件的影響，在 ENSO 年相對有較大的渦流熱通量產生，anti-ENSO 年則相對有較少的渦流熱通量，而隨著渦流熱通量的變化可能也會反應到該區的環流型態上。台灣與華南一帶位處副熱帶地區，其環流型態是否也會受到熱帶海洋地區之渦流熱通量變化的影響？本文旨在探討熱帶渦流熱通量與東亞地區大氣環流間可能的相關特性。

過去對於渦流熱通量的研究大都偏重在探討影響其強弱變化的因素，較少有討論渦流熱通量對大氣環流的回饋作用。歸究其原因除渦流熱通量在海上難於精確求得外，最主要還是在於渦流通量對大氣環流的影響似乎並不是直接的、立即的，而是以間接的方式透過對邊界層垂直結構的改變而影響到大氣環流的變動，因此常不易直接從資料中診斷出。當然也可能是其作用不夠強，以致不能立即反應在大氣環流上，然而經模式的模擬結果，證實渦流通量的大小的確會對大氣環流造成相當的影響(Milly,1992;Miller et al.,1992)。本文嘗試利用一些簡單的分析方法來了解在熱帶海洋地區渦流熱通量的變化對東亞地區環流型態的影響？文中第二節將簡介資料來源及分析方法。第三節則概述春季期間熱帶海洋渦流熱通量的氣候特徵。在第四節中會利用一些分析方法嘗試找出渦流潛熱通量與東亞地區大氣環流型態間的相互關係。最後一節是本文的結語與未來展望。

二、資料來源與分析方法

本文採用的資料有：ECMWF/WMO(World Meteorological Organization,1982~1987)、ECMWF/TOGA(Tropical Ocean and Global Atmosphere,1988~1993)每天 00Z 及 12Z 的風場、溫度、高度場、相對溼度以及 NMC(National Meteorological Center)/NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)每週的海面溫度(1982~1993)，與 00Z 及 12Z 的外逸長波輻射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)。文中的資料只取每年的二~五月當作春季期間，資料處理是先將 00Z 與 12Z 平均後視為該日的資料，因此每年春季總共有 120 天(除閏年外)，即有 120 組資料。至於渦流通量的估算則利用整體參數化公式法(王與

林,1996)。ECMWF 模式正式運行以來曾有多次修正,因此其同化資料或多或少會受到影響。王與林(1996)曾比較兩種在相同期間的資料,發現兩種資料的整體型態及以此估計之渦流熱通量皆相當一致,惟在強度上有些微的差異。而文中所估算之渦流熱通量與 NECP (National Centers for Environmental Prediction) / NCAR (National Center for Atmospheric Research) reanalysis 資料所計算的結果,兩者在型態上也相當類似。故合併使用 ECMWF / WMO 與 ECMWF / TOGA 資料,應可以定性的觀點來討論渦流熱通量的特性。

在本文中將分別使用到合成法、單點相關法、延遲交互相關法(lagged cross-correlation method; Lau and Chan, 1983)、遙相關(Wallace and Gutzler,1981)、經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF; Barnett,1977)及 SVD(Singular Value Decomposition; Bretherton et al.,1992)等分析法。而在作統計分析之前,資料皆先已去掉掉月平均值大小。文中所言之暖池區(warm pool)、南海地區則分別是指(160°E~170°W, 10°S~10°N)與(110°E~120°E, 5°N~20°N)地區而言。在使用遙相關時對1983、1987及1992三年 ENSO 個案(共360組資料)作分析,若假設各組資料皆為相互獨立下,利用單邊(one tail)student's 分佈檢驗其顯著性(significance)時,相關係數需達0.12及0.09以上,才符合1%及5%的顯著程度(significant level)。

三、春季期間熱帶海洋地區渦流熱通量之氣候特徵

王與林(1996)分析1982~1993年的二~五月,認為此期間氣候變化的型態以 ENSO 事件較為明顯。由於海溫對短期氣候有深遠的影響,故先以 SVD 分析方法來探討此期間海面溫度與 200hPa 高度場兩者間之主要的偶合型態,圖1是兩者第一個奇異向量的空間分佈。圖1a是200hPa高度場的空間分布,可見在東亞地區,中、低緯度間的高度場變化具有反相的關係,而在中太平洋、北美洲地區則有 Wallace and Gutzler(1981)所謂的 PNA(Pacific-North-America)的型態出現。至於相對應的海溫水平分佈(圖1b),則顯示在西太平洋與中太平洋兩地區之海溫變化呈現反相關係。圖2是第一個奇異向量相對應的展開係數(expansion coefficient)隨時間變化的情形。無論是在200hPa高度場或是海面溫度皆可見在1983、1987、1992及1989等年有較大的振幅,其中1983、1987及1992年是 ENSO 年,而1989年稱為 anti-ENSO 年。圖3是1982~1993年春季期間外逸長波輻射(OLR)的單點相關圖,其基準點是選在180°E的赤道上。由圖中可見在此春季期間,西太平洋地區與中、東太平洋地區的對流活動具有反相關係的變化特徵。熱帶地區的對流現象在正常情形下主要是集中在西太平洋地區上,然而到了 ENSO 年時則會向東移動,這種特性也可藉外逸長波輻射的 EOF 分析(圖4a)及其對應之主分量(圖4b)看出。隨著對流系統的變動,東、西太平洋地區以及印度洋地區的環流型態應該也會受到影響。此外,從圖3及圖4中皆可看出南半球熱帶地區的印度洋與中太平洋兩者之間的 OLR 具有同相位變化關係,而華南一帶與中太平洋地區也呈現同相變化的關係。

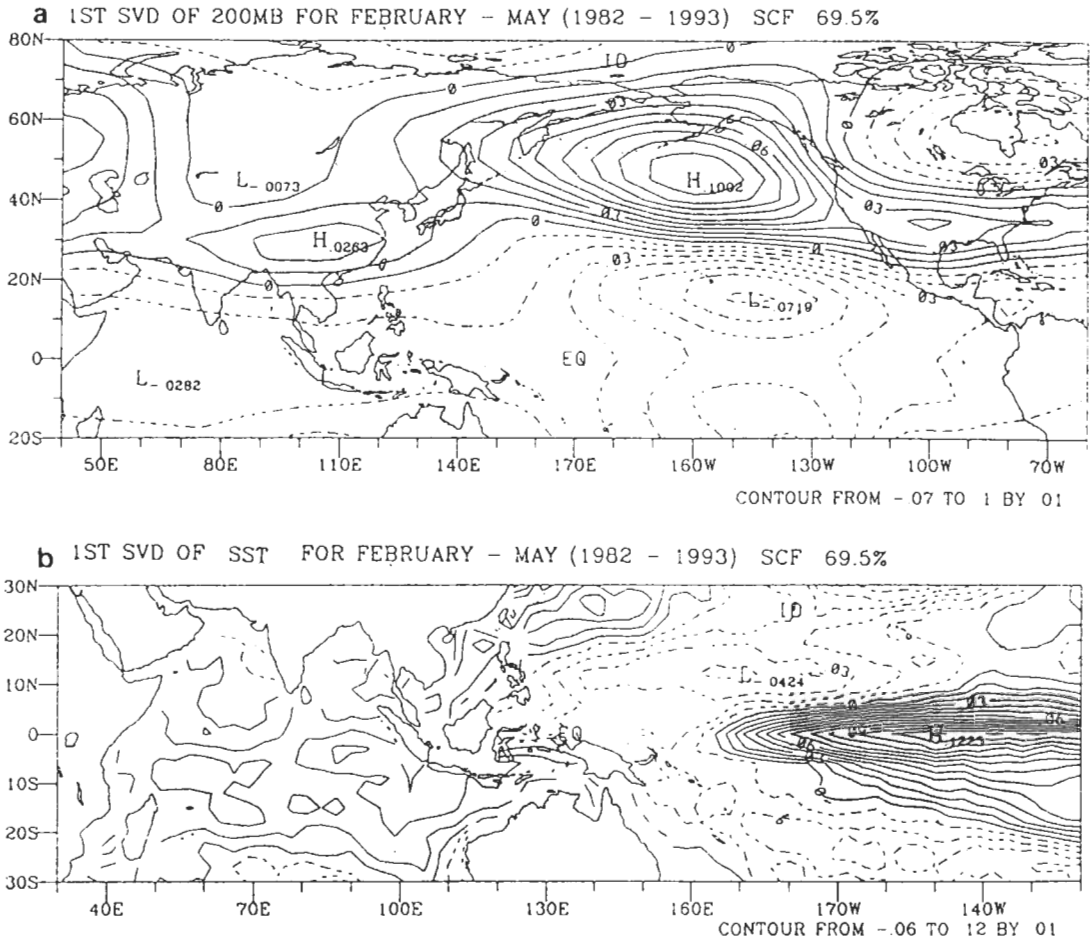


圖 1 1982 ~ 1993 年春季 200hPa 高度場與海面溫度作 SVD 分析所得之第一個奇異向量水平分佈圖，等值線間距為 0.01。(a)為 200hPa 高度場，(b)為海面溫度。

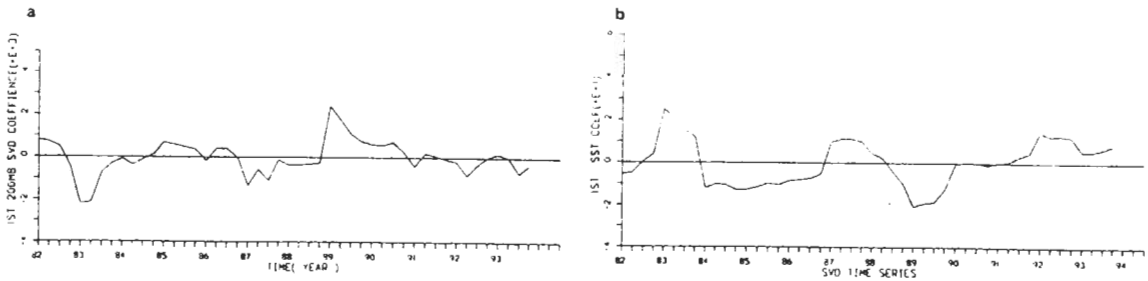


圖 2 1982 ~ 1993 年春季 200hPa 高度場與海面溫度作 SVD 分析所得之第一個展開係數的時間序列圖。(a)為 200hPa 高度場，(b)為海面溫度。

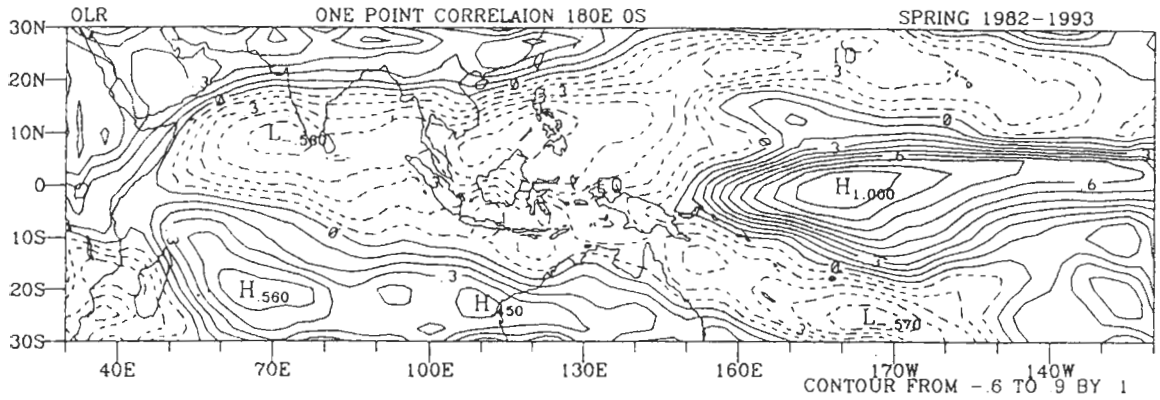


圖3 1982~1993年春季OLR的單點相關分析(基準點在180°E, 0°S), 等值線間距為0.1。

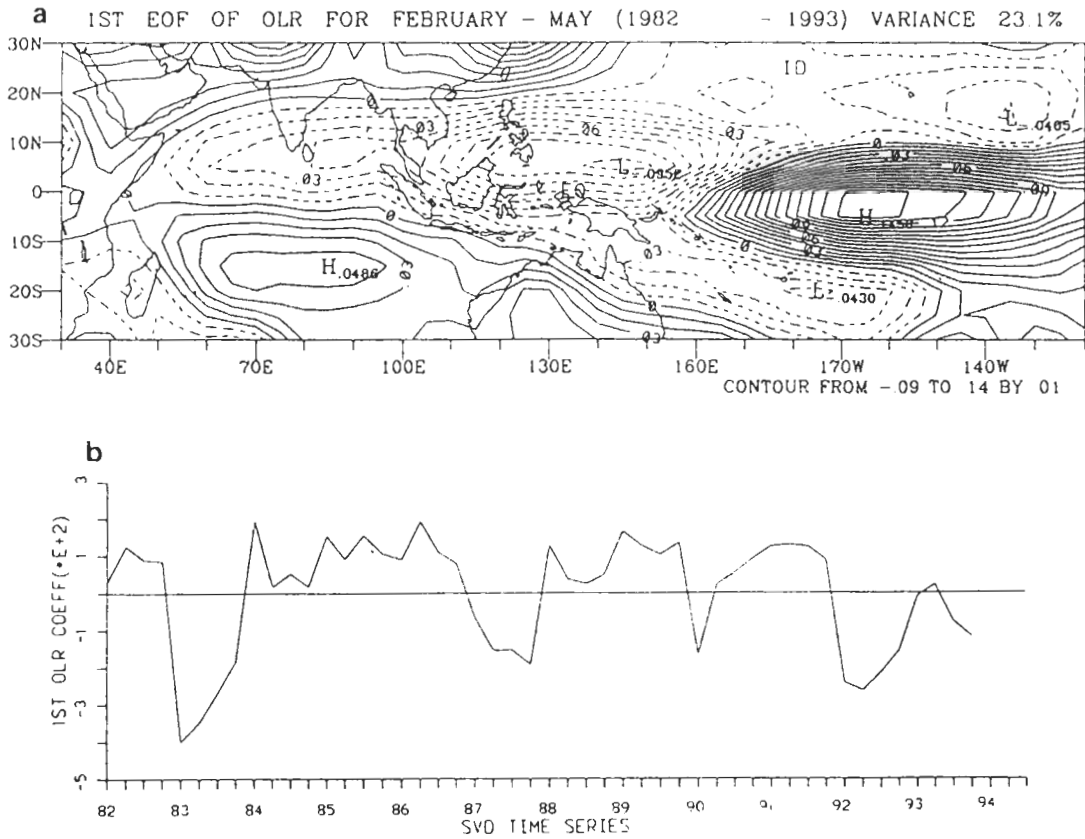


圖4 1982~1993年春季OLR之第一經驗正交函數分析(a)與其對應之主分量分析(b), 等值線間距為0.01。

由於熱帶海洋地區潛熱通量的大小約比顯熱通量大一個數量級，且兩者的分佈特性相似(王與林, 1996)，因此本文中在討論渦流熱通量時，皆以潛熱通量為主。Bjerknes(1966, 1969)與Wyrtki(1982)認為 ENSO 事件發生時大氣的擾動是由對流活動之潛熱釋放所激發出的，而對流的增強乃因海溫的增暖促使渦流潛熱通量的增加所致。Ramage and Hori(1981)利用 1972-1973 年 ENSO 事件的資料分析發現在赤道附近最大海氣間溫差與最大渦流熱通量並不配合。Liu and Gautier(1990)對 1982-1983 年 ENSO 期間的分析，則認為在熱帶地區的中、東太平洋其海溫與潛熱通量兩者間的距平(anomaly)有良好的一致性。可見海溫、潛熱通量與對流三者間的關係似乎並不單純。為說明這三者彼此間的相互關係，在此將利用王與林(1996)的結果及潛熱通量分別與海溫及 OLR 所作之相關來分析討論。圖 5a 是渦流潛熱通量與海面溫度的相關圖，從圖上可看出在熱帶地區的中、西太平洋呈現出不同的特性。在中太平洋地區潛熱通量很明顯的與海面溫度成正比關係，此現象與 Liu and Gautier(1990)的結果相同，但在西太平洋地區的潛熱通量則與海溫成反比關係。而王與林(1996)的分析指出海溫的增加固然可加大海氣間的溫溼差，然而影響潛熱通量大小的另一重要因素--低層風場，

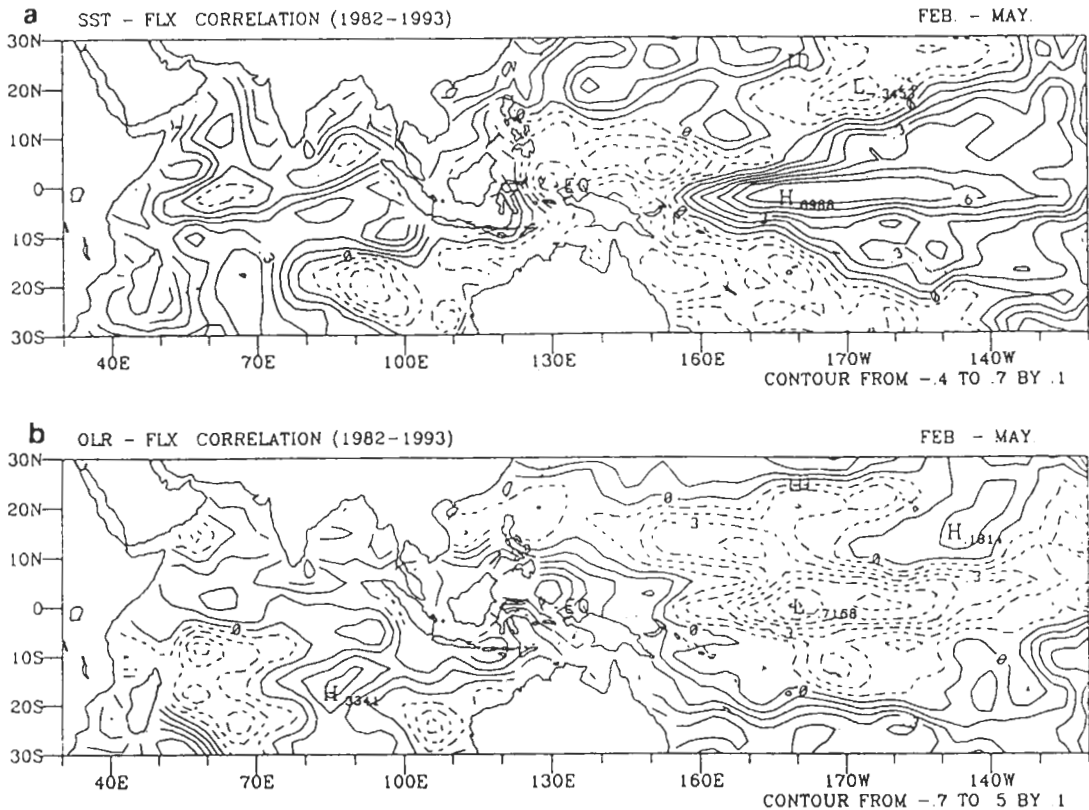


圖 5 1982 ~ 1993 年春季潛熱通量分別與海面溫度(a)及 OLR(b)的相關分析，等值線間距為 0.1。

也必需同時考慮才能判定潛熱通量是否會隨海溫的增加而變大。根據分析得知在海溫較高的地區，雖然海氣間的溫溼差會比較大，但其風速往往會較小，所以才會造成在暖池區具有較低的渦流熱通量，由此印證了 Ramage and Hori(1981)的分析結果。因此海溫與潛熱通量的關係，可能會隨時間與地點的不同而出現不同的結果。對中太平洋地區而言，海水的增溫確實會有效的增加潛熱通量，但在西太平洋地區海溫與潛熱通量兩者間並非成正比關係。

由於海溫與潛熱通量的關係會隨地點的不同而有不同的結果，而這種特性應該也會反應在潛熱通量與對流強度(以 OLR 大小表示)的關係上。基本上，渦流潛熱通量的增加應該是有利於對流的發展，但並不意謂著水汽與對流一定成正比關係，因為對流的發展也需取決於另一重要的動力因素。若環境是輻散場，則雖有再多的水汽供應還是無法使對流發生。相反的，若環境是輻合場，此時又有更多的水汽供應則對流活動會變的更明顯。所以，要決定對流是否能發展起來，應同時考慮水汽因素與動力條件。雖然如此，我們仍可利用統計的方法來探討春季期間水汽的供應與對流活動的關係。圖 5b 是渦流潛熱通量與 OLR 的相關圖，圖中一樣顯示出潛熱通量與對流的關係在中、西太平洋地區有不同的特性。在中太平洋地區潛熱通量的增加是有利於對流的發展，然而在西太平洋地區潛熱通量的增加並無法幫助對流的發展。之所以會有這種特性，可能與海溫及環境風場的動力條件有關。由上述潛熱通量分別與海溫、OLR 的相關分析及潛熱通量本身的一些特性來看，在熱帶地區的中、西太平洋顯然有著不同的特性。而從中太平洋地區潛熱通量、海溫及 OLR 三者的關係來看，是可支持 Bjerknes(1966,1969)與 Wyrski(1982)對 ENSO 事件發生的推論。此外，印度洋地區與太平洋地區兩者的潛熱通量特性也不盡相同，可見此兩大洋之海氣交互作用也可能存有相當的差異性。

四、潛熱通量與東亞地區大氣環流之相互關係

(一)遙相關

暖池區與南海地區，近年來一直是氣象學家所關注的焦點。TOGA / COARE (Tropical Ocean and Global Atmosphere / Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment) 實驗的進行與 SCSMEX(South China Sea Monsoon Experiment)實驗的規劃，都是為了對該地區有進一步的了解。太平洋暖池區的海溫經年保持在 28°C 以上，是全球對流活動最旺盛的地區，透過小尺度的積雲對流與大尺度環流間的非線性作用及其所誘發之海氣交互作用的結果，對全球的天氣與短期氣候都有相當的影響(Lau et al.,1994)。據 He et al.(1987)與 Yanai et al.(1992)的研究指出南海地區夏季季風肇始(onset)是亞洲夏季季風最早發生的地區，因此南海地區的環境變化可能會影響到東亞夏季季風發生的時間。因此本文將選取該區的潛熱通量來探討它與華南地區大氣環流間相互的關係。另外，也將利用較客觀的遙相關分析方法來尋找在熱帶地區有那些地方的渦流潛熱與華南地區的高度場會有較大的相關

性。首先採取的作法是將各地的高度場與熱帶地區(10°S ~ 20°N)的渦流潛熱通量一起作遙相關。因熱帶地區的潛熱通量在 ENSO 年會有較大的變化，所以只針對 ENSO 年個案作探討。在此遙相關乃根據潛熱通量與高度場兩個不同變數所作之相關，故在選取最大相關係數時，最大正值與最大負值都有其代表意義，為求完整性此兩種情況應同時考慮。圖 6 是選取最大負值為相關係數時的遙相關分析，圖上箭號所指的地區(高度場所在地區)是表示與箭號末端地區(潛熱通量所在地區)有最大相關性。經分析顯示在中低對流層與華南地區有較大相關的地方主要是集中在南海地區與蘇門答臘西北方海面上，到了高層與華南地區較有相關的

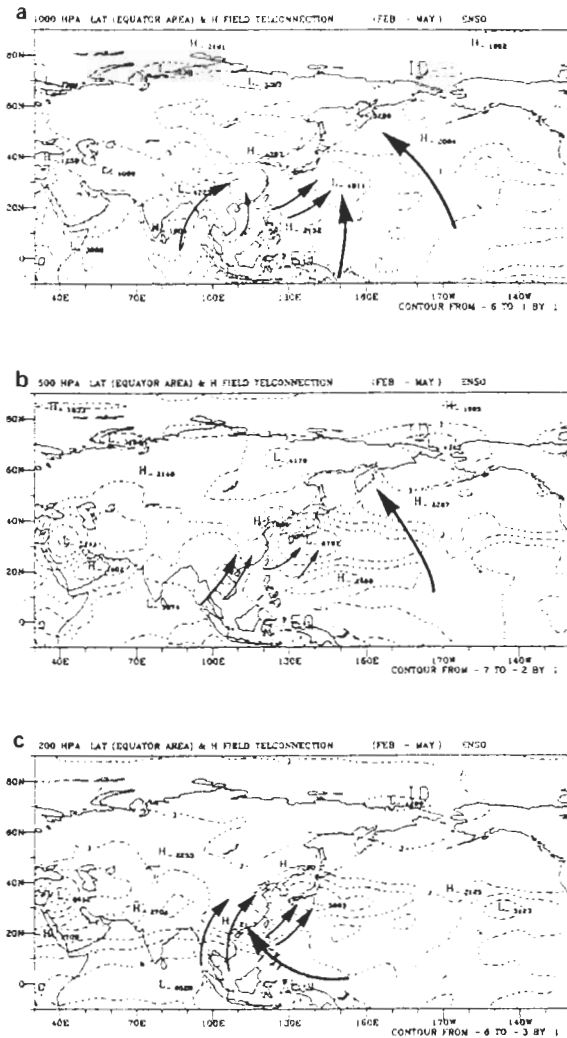


圖 6 ENSO 年潛熱通量分別與 1000hPa 高度場(a)、500hPa 高度場(b)及 200hPa 高度場(c)的遙相關分析，其中相關係數是選取最大負值，等值線間距為 0.1。

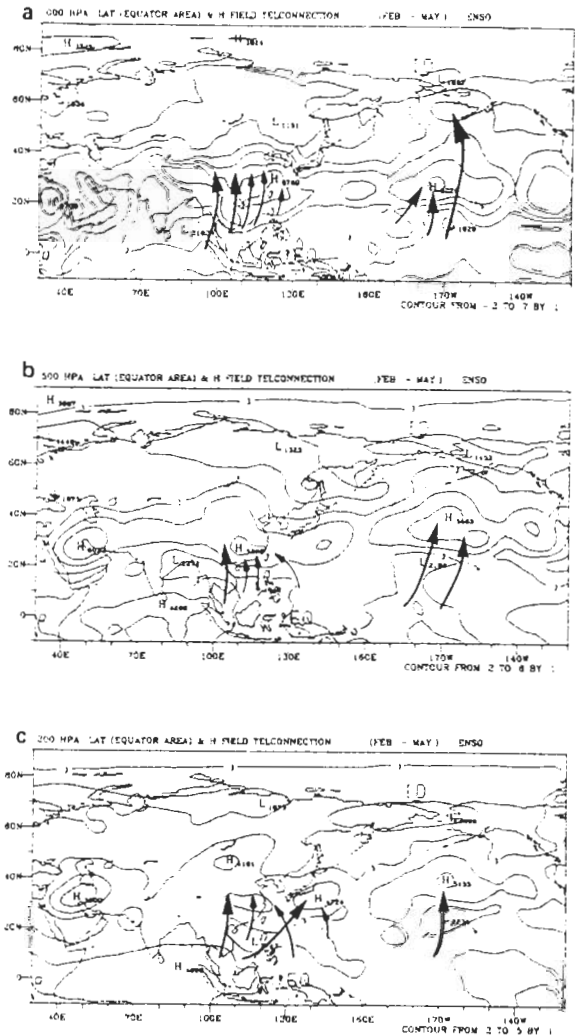


圖 7 同圖 6，但其相關係數是選取最大正值。

地區除上述地點外，暖池區也有所貢獻。而中太平洋熱帶地區的潛熱通量與鄂霍次克海附近高度場也有較大的相關。圖 7 是選取最大正相關值為相關係數時的遙相關分析。由圖上可清楚看見華南地區的高度場與南海地區及蘇門答臘西方海面一帶的潛熱通量有較大的相關性，而與中太平洋熱帶地區潛熱通量較有相關的地方則是阿留申群島一帶及太平洋副熱帶高壓的地區。

從以上遙相關的分析結果，顯示在熱帶地區的蘇門答臘附近及南海地區一帶的潛熱通量與華南地區的高度場有相當關聯性。雖然中太平洋暖池區的潛熱通量與華南地區高度場的變化也有相關，但其最大的相關似乎是在阿留申群島、鄂霍次克海附近及副熱帶太平洋高壓一帶的地區。此外，在比較圖 6 與圖 7 的東亞地區時，可發現選用最大正值的遙相關在低層有較明顯的相關性，相反地當選取最大負值作遙相關時，其相關性較強的卻表現在中、高層。像這種最大正、負相關係數隨高度的不同而有不同的特性，可由下節單點相關分析的結果看出。

(二)單點相關

從前面遙相關的分析中，可知在南海地區、暖池區的渦流潛熱通量與華南地區高度場會有相當的關聯性。在本節中將進一步利用單點相關法來分析南海地區及暖池區的渦流潛熱通量與各地高度場間的相關性。作法是分別選取上述兩地區的潛熱通量先將其平均後之大小代表該地區(基準點)之值，再與各地高度場作相關。圖 8 與圖 9 分別是暖池區與南海地區在 1982 ~ 1993 年春季期間，潛熱通量與高度場間的相關係數圖之十二年平均。由圖 8 中可知在亞洲地區，副熱帶太平洋地區、鄂霍次克海一帶分別具有正及負的相關，而在中太平洋、北美洲地區，依稀可見有 PNA 型態的結構。在對流層的中、低層，暖池區的潛熱通量似乎與太平洋高壓有較良好的正比關係，到了 200hPa 可能是因太平洋高壓在此層強度已大為減弱，故其相關係數相對地也減低一些。由前面的分析可知在中太平洋的暖池區當其潛熱通量增加時會有利於對流系統的發展，而在熱帶地區有對流發生時應可加強副熱帶地區的下降氣流，所以暖池區的潛熱通量與太平洋高壓會有正比關係。透過對流活動所釋放的潛熱則可激發出羅士培波 (Rossby wave) 而形成 PNA 型態的結構。在 PNA 型態中阿留申群島附近的高度場是屬於負距平區，而鄂霍次克海因靠近此區，基本上兩者應是同一系統，故其高度場與暖池區的潛熱通量會呈現反比關係。在對流層的中、高層，從阿留申群島、鄂霍次克海向西南延伸經日本至華南地區，這整個地帶的高度場皆與暖池區的潛熱通量成反比。而此一近似帶狀結構與東亞主槽的位置相當一致，顯示暖池區潛熱通量的變化可能也與東亞槽線有關係。圖 9 是南海地區潛熱通量與各地高度場間相關的情形，由圖 9a 可見南海地區的潛熱通量與華南地區低層高度場間有很強的正相關，尤其是亞洲東南沿岸其相關係數更大。而在中、高對流層(圖 9b, c)，東亞主槽位置也有明顯的負相關存在。從低層的正相關至高層的負相關之斜壓性配置似乎與冷高壓出海及東亞槽線有關。當上層槽線加深時會有利於冷高壓的南下，海面上在冷空氣的吹拂下可使潛熱通量快速增加。另一值得注意的是在中緯度地區約從

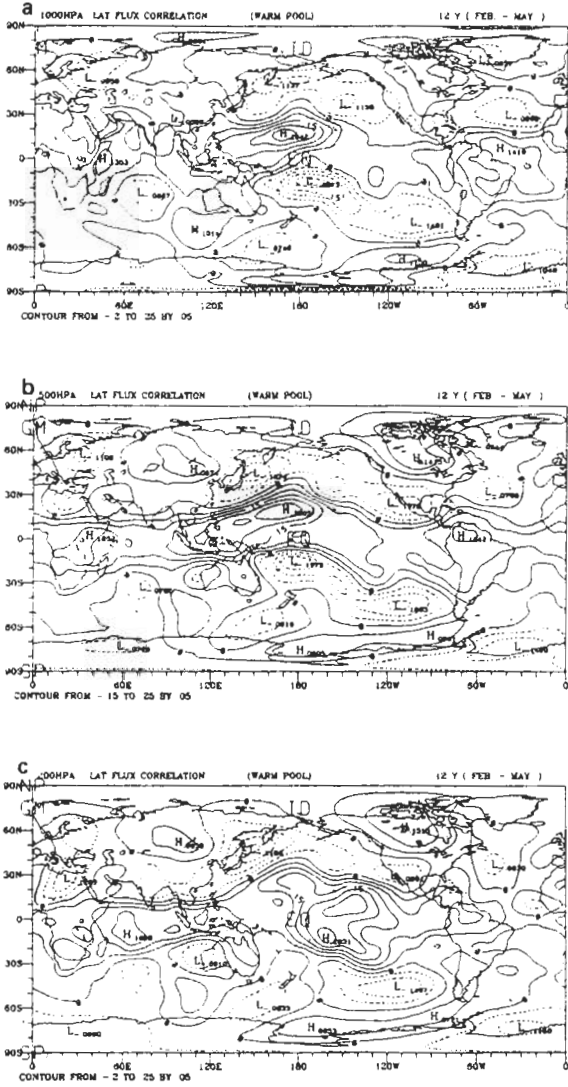


圖 8 1982 ~ 1993 年春季暖池區的潛熱通量分別與各地區之 1000hPa(a)、500hPa(b) 及 200hPa(c) 高度場的相關分析，等值線間距為 0.05。

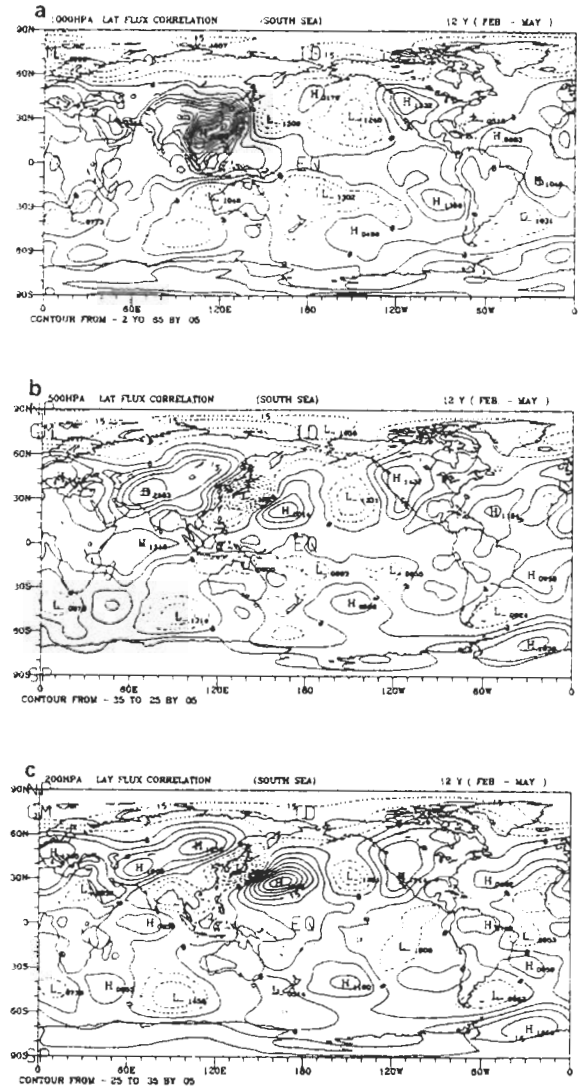


圖 9 1982 ~ 1993 年春季南海地區的潛熱通量分別與各地區之 1000hPa(a)、500hPa(b) 及 200hPa(c) 高度場的相關分析，等值線間距為 0.05。

110°E 向東延伸似乎存在有一正負相間的波列結構，而且高、低層皆有。比較圖 8 與圖 9 發現以暖池區為基準點的相關圖呈現出南北反相之 ENSO 型態式變動，而以南海地區為基準點時的相關卻呈東西向的波列結構變化。由此現象似乎說明南海地區及暖池區的渦流熱通量與大氣環流間的相互關係有不同的特性。

以上的分析是 1982 ~ 1993 年十二年的平均，王與林(1996)的分析結果顯在 ENSO 期間熱帶地區有較大的潛熱通量變化，而在較多的潛熱通量供應下，與東亞地區大氣環流間的相

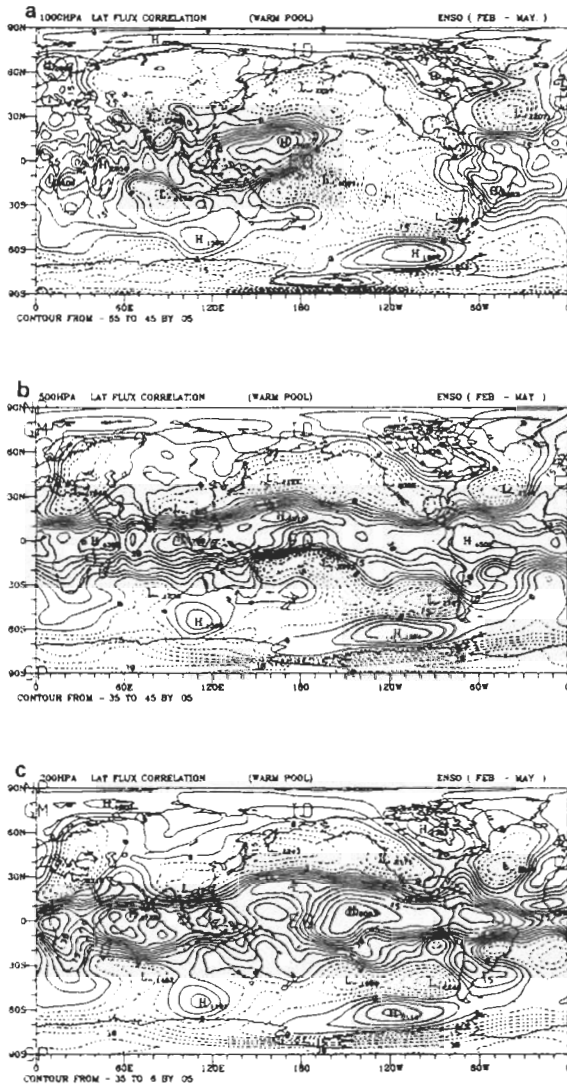


圖 10 同圖 8，但為 ENSO 年之分析。

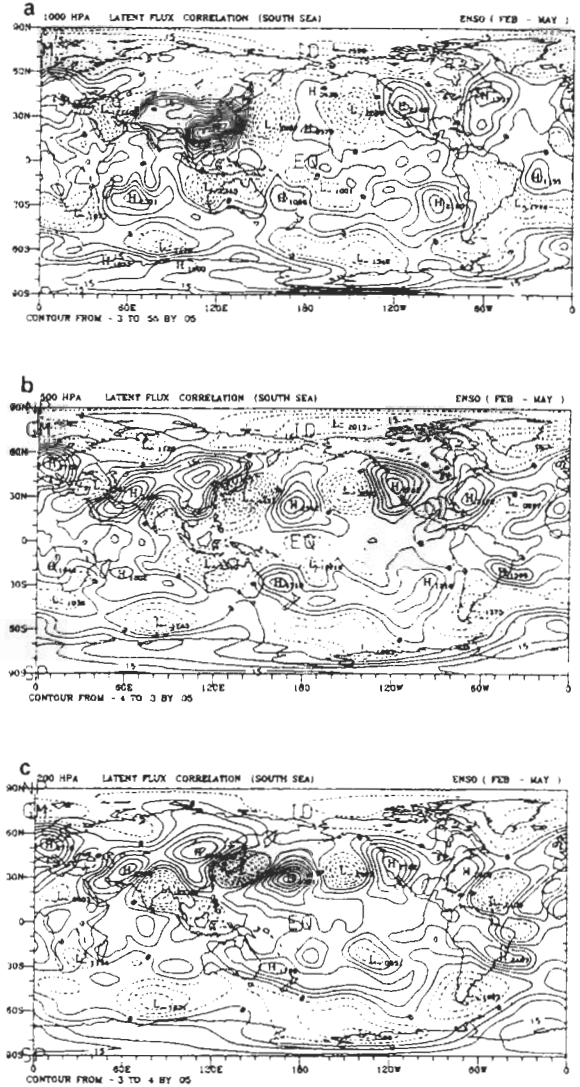


圖 11 同圖 9，但為 ENSO 年之分析。

關性是否會有所不同？為探討這個問題，特將 1983、1987 及 1992 等三個 ENSO 年作合成分析。圖 10 與圖 11 分別是暖池區及南海地區 ENSO 年的潛熱通量與高度場的相關分析。結果顯示從低層至高層其基本型態皆與十二年平均(圖 8 及圖 9)相類似，惟相關係數顯然在 ENSO 年要大一些。而在圖 11 上值得注意的是中緯度的波列結構在 ENSO 年會更加明顯，而且似乎是全球性的現象，這種結構與中緯度綜觀尺度的波列有相似之處。圖 12 是南海地區的高度場平均後(當作基準點)再與各地高度場作相關的結果。由圖上雖可看出在中緯度地區也有類似波列的結構，然而其整個型態已不像圖 11 那般明顯及規則性。由此可見，在南海地區的潛熱通量對中緯度地區高度場的作用似乎有助於波列結構的增強。由以上的分析結果可推論

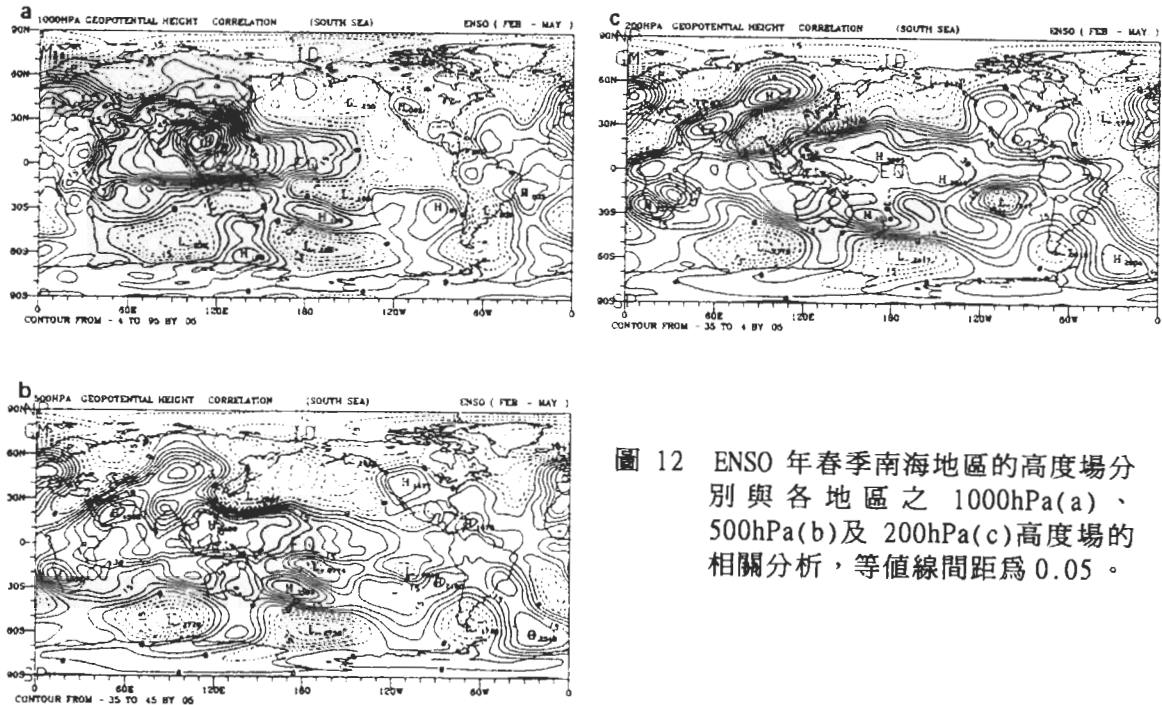


圖 12 ENSO 年春季南海地區的高度場分別與各地區之 1000hPa(a)、500hPa(b)及 200hPa(c)高度場的相關分析，等值線間距為 0.05。

在 ENSO 年時，因有較多的渦流熱通量產生，對邊界層的影響應會更明顯，故與大氣環流間的相關性也會更加顯著。

(三)延遲交互相關

由於渦流熱通量是以間接的方式，透過對邊界層結構的改變而影響到大氣環流，在相同資料時間的單點相關分析中，只能得知高度場與潛熱通量間的相關性，而無法判別潛熱通量對大氣環流的影響。要了解渦流潛熱通量對大氣環流的影響，最直接的方法可依賴模式的模擬結果，本文使用延遲交互相關來嘗試了解潛熱通量對大氣環流的可能影響。圖 13a、b 分別是 1982~1993 十二年的春季期間暖池區、南海地區的潛熱通量與華南地區(20°N~30°N, 105°E~120°E)1000hPa 高度場間的延遲交互相關分析。延遲時間正值(+)表示潛熱通量資料時間比高度場的時間早，反之延遲時間為負值(-)時則表高度場資料時間領先潛熱通量，而延遲時間為 0 時則表高度場與潛熱通量兩種資料時間相同。由圖中分析可看出華南地區低層高度場與南海地區的潛熱通量有很明顯的相關存在，而且相關係數似乎有一 10~20 天的振盪。而暖池區的潛熱通量與華南地區高度場間的相關性顯然要比南海地區潛熱通量與華南地區高度場間的相關性要小的多，原因有可能是南海地區與華南地區距離較近，因而相互間的影響也會較明顯。另外，由前面的分析顯示暖池區的潛熱通量與太平洋高壓也有明顯的相關存在。因此，吾人也想了解此兩者間的延遲交互相關特性。太平洋高壓是選取範圍在 140°E~180°E, 10°N~20°N 的 500hPa 高度場平均作代表。兩者的延遲交互相關係數(圖 13c)在

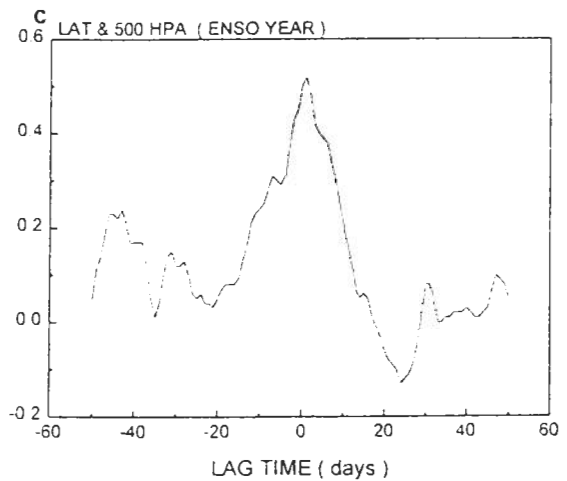
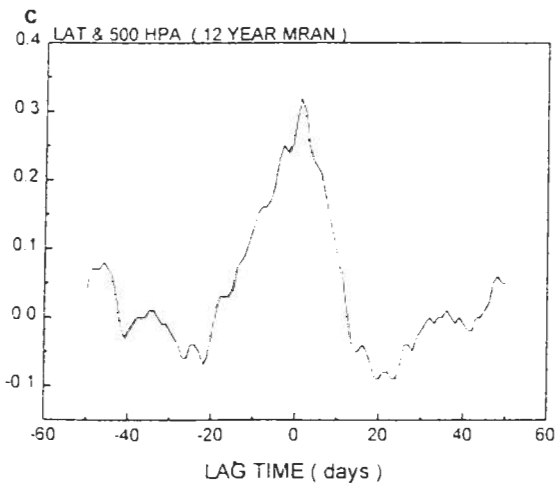
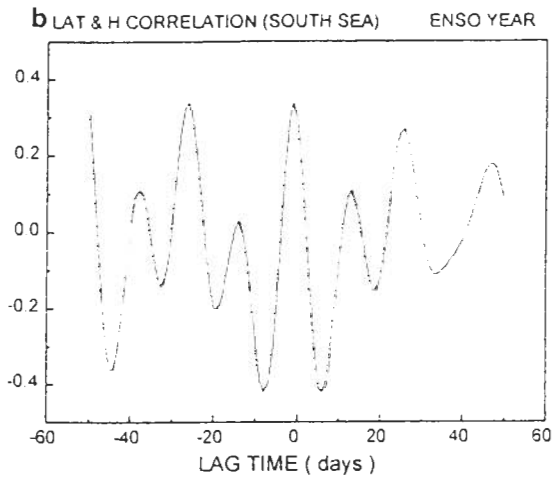
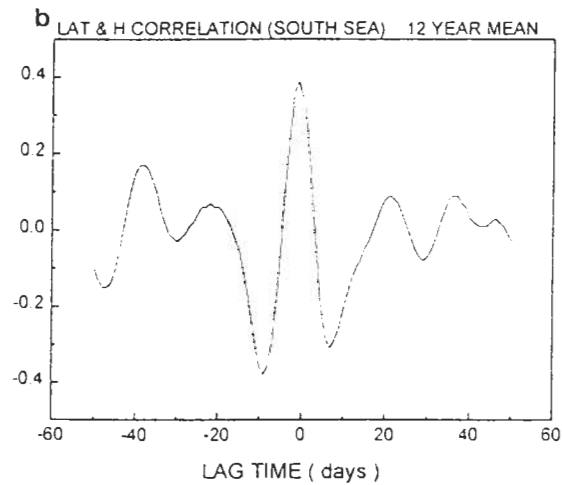
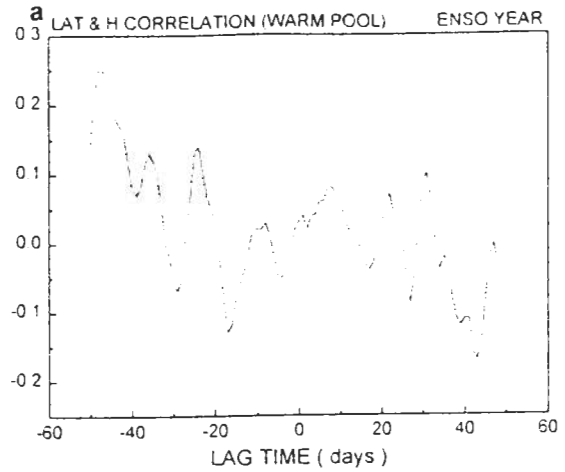
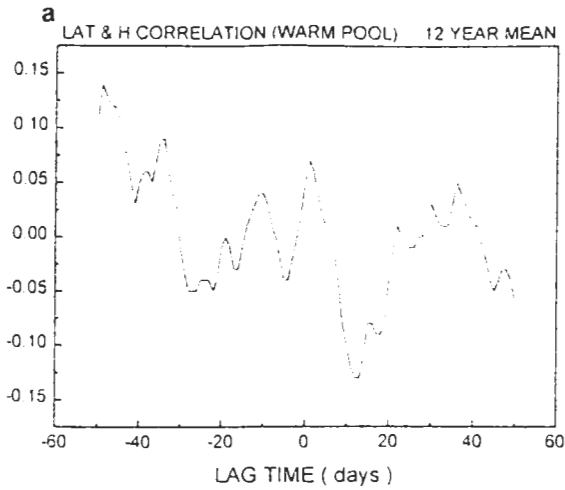


圖 13 1982 ~ 1993 年春季期間，(a) 暖池區的潛熱通量與華南地區 1000hPa 高度場之延遲相關分析，(b)南海地區的潛熱通量與華南地區 1000hPa 高度場之延遲相關分析，(c)暖池區的潛熱通量與太平洋高壓範圍(140°E ~ 180°E, 10°N ~ 20°N)500hPa 高度場之延遲相關分析。

圖 14 同圖 13，但為 ENSO 年之分析。

同圖 13，但為 ENSO 年之分析。

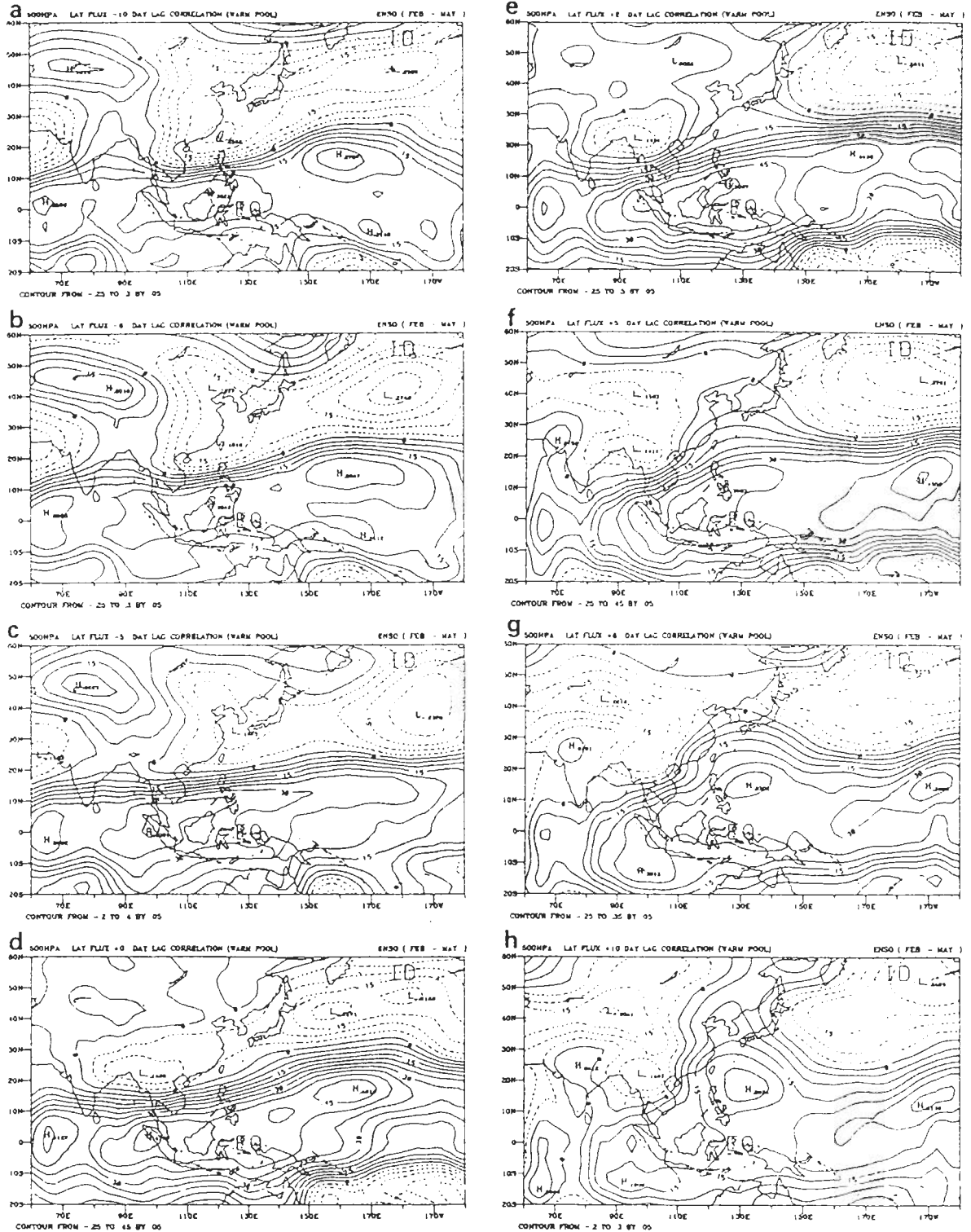


圖 15 ENSO 年暖池區潛熱通量與各地區 500hPa 高度場之延遲相關分析，等值線間距為 0.05。(a)延遲時間為-10 天，(b)延遲時間為-8 天，(c)延遲時間為-5 天，(d)延遲時間為 0 天，(e)延遲時間為+2 天，(f)延遲時間為+5 天，(g)延遲時間為+8 天，(h)延遲時間為+10 天。

延遲時間為 0 時最大(大小約為 0.32)，之後隨延遲時間的增加相關係數則逐漸減小，在延遲時間為正負 8 天左右仍達 0.15。由此可推論 8 天前的潛熱通量可能會影響到太平洋高壓的勢力；相同的，8 天前的太平洋高壓也可能會影響到潛熱通量的大小。比較圖 13a、b 及 c 之間的異同可發現各個相關係數似乎都有正負振盪的特性，其原因後面將會作適當解釋。在 ENSO 年時熱帶地區會有更多潛熱通量產生，所以潛熱通量與大氣環流間的相關性可能會更顯著，故渦流潛熱通量與一些地區高度場間的相關性應該會加強，而這種的觀點也可以用延遲交互相關圖得到印證。圖 14 與圖 13 是類似的延遲相關分析，惟圖 13 是十二年的平均結果，而圖 14 是選取 ENSO 年的結果。若將兩圖作一比較，可清楚發現 ENSO 年的相關係數比十二年的平均結果要大的多而且也比較複雜。

為能更進一步了解渦流潛熱通量與高度場之間相互影響的可能關係，接著我們來看整個區域的延遲交互相關分析。同樣是針對 ENSO 年個案作討論，正延遲時間是表潛熱通量資料時間比高度場資料時間早；相反地，負延遲時間則表潛熱通量資料時間比高度場資料時間晚。圖 15 是暖池區的潛熱通量與各地 500hPa 高度場的延遲交互相關分析。從整個分佈型態來看，主要系統是在中、低緯度以正負相反的型態出現，這種型態隨延遲時間的增加而有北移的趨勢，而此系統的北移促使局部地區的相關係數因而發生變化。另一有趣的現象是在系統北移的時候，伴有一具組織性的正相關結構由熱帶地區逐漸向東亞沿海地區移動，因而使東亞地區的相關係數發生變化。圖 16 是東亞地區(120°E ~ 140°E, 20°N ~ 40°N)相關係數隨延遲時間變化的情形，由圖中可看出在延遲時間為 -10 天時有最大的負相關，但隨負延遲時間的減少，其負相關逐漸變弱。到了延遲時間為 +2 天時相關係數已轉變為正值，之後相關係數開始逐漸增加，在 +12 天時達到最大，隨後其正相關又逐漸減弱。配合圖 15 來看，

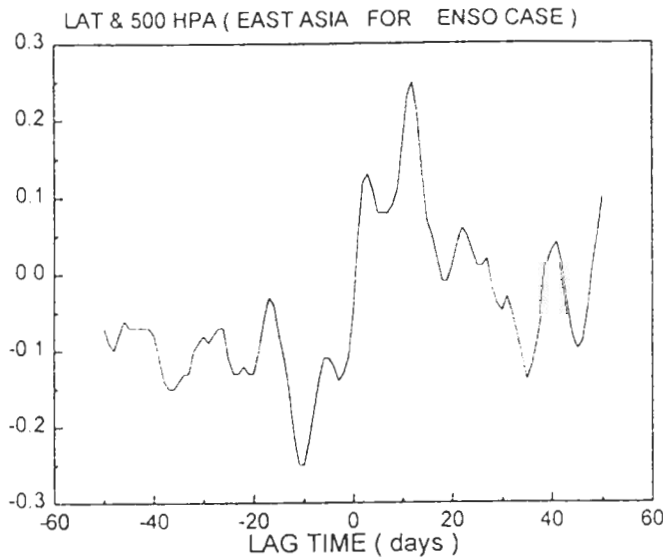


圖 16 ENSO 年暖池區潛熱通量與各地區的 500hPa 高度場之延遲相關分析，在東亞地區 (120°E ~ 140°E, 20°N ~ 40°N) 相關係數隨延遲時間變化之情形。

此時已由原先為南北向的正負型態轉變為東北-西南走向的波列結構，而這種波列結構在高層(圖 17)會更明顯。由於這種現象是在正延遲時間以後才出現的，應可將此現象視為潛熱

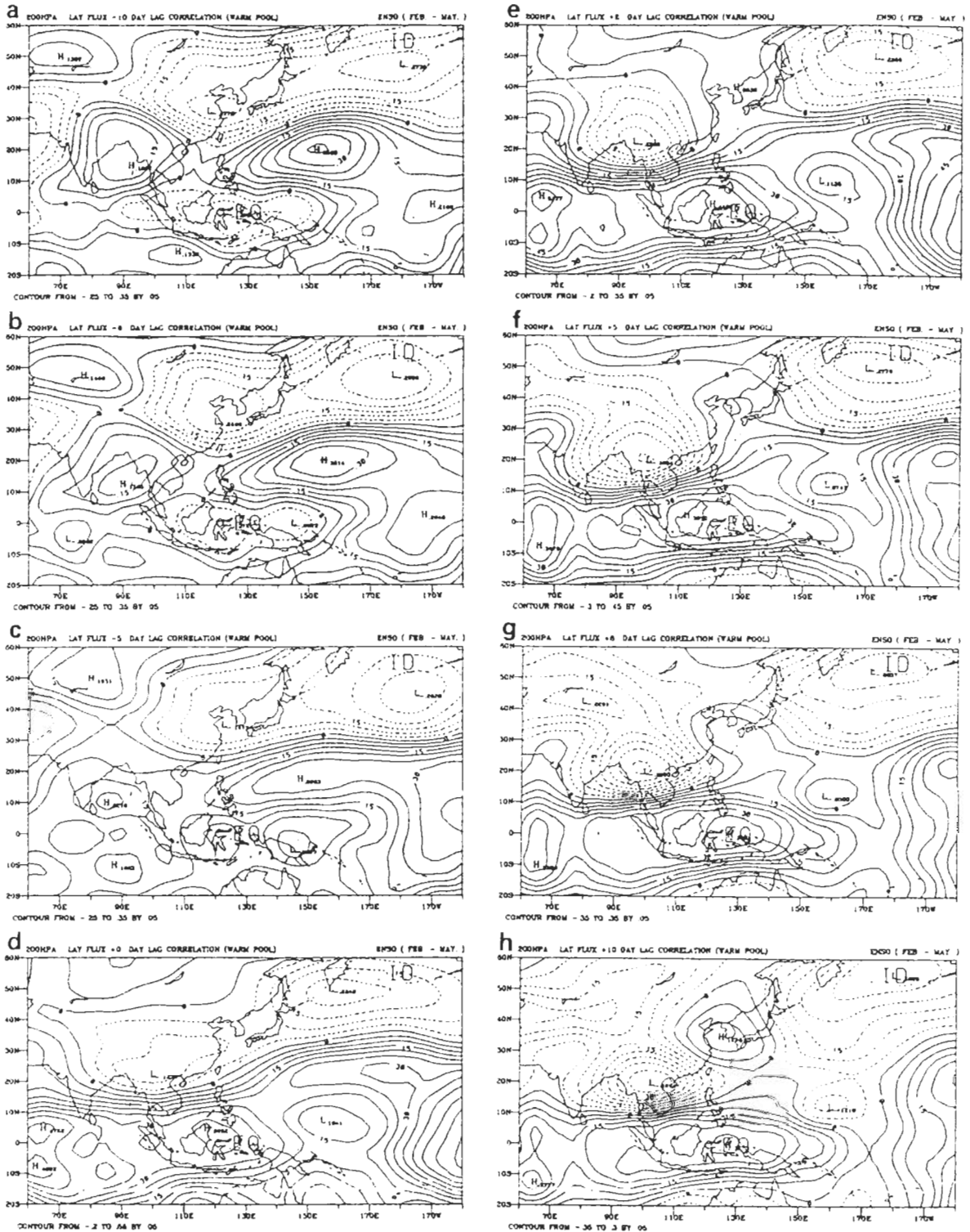


圖 17 同圖 15，但為 200hPa 高度場。

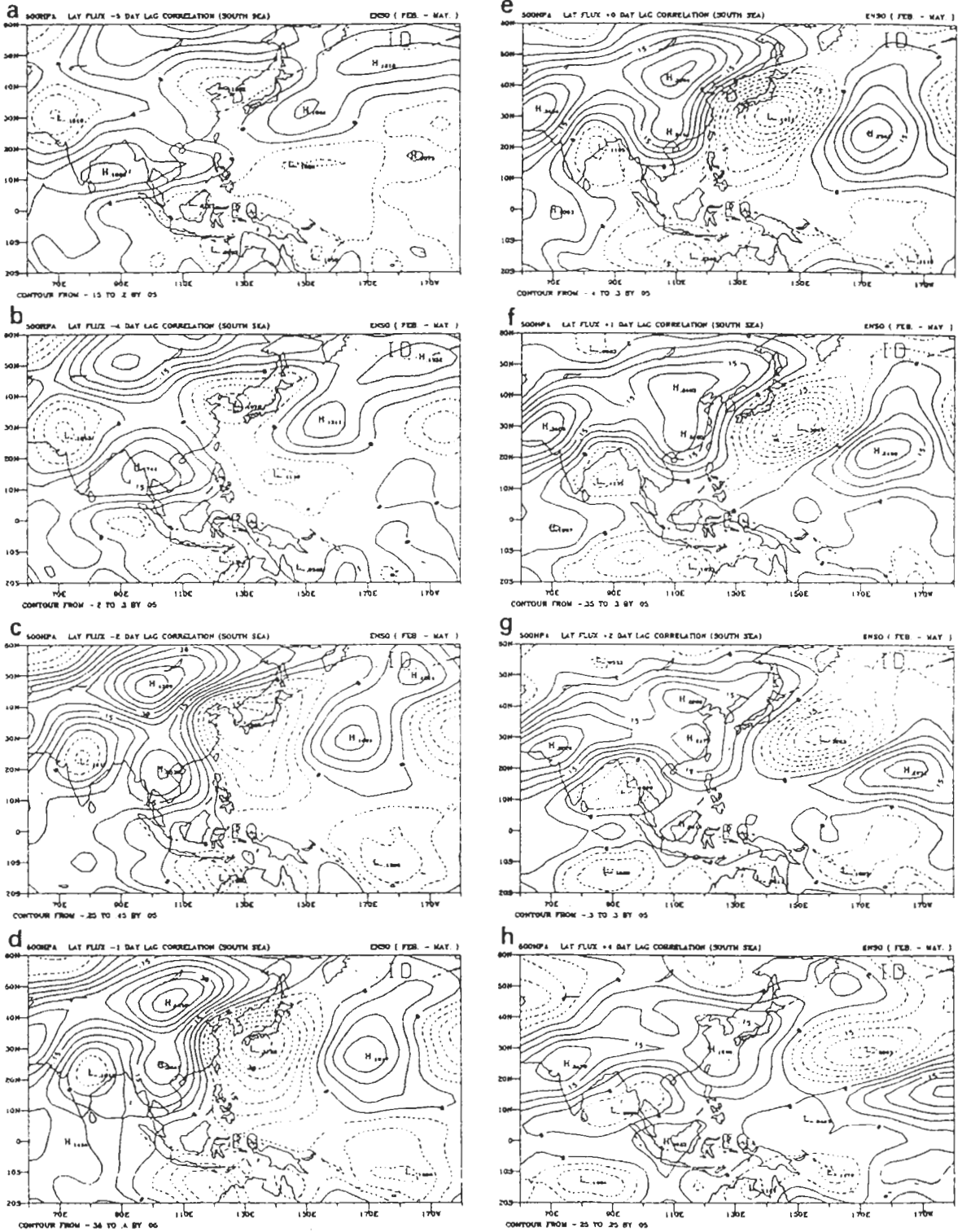


圖 18 ENSO 年南海地區潛熱通量與各地區 500hPa 高度場之延遲相關分析，等值線間距為 0.05。(a)延遲時間為 -5 天，(b)延遲時間為 -4 天，(c)延遲時間為 -2 天，(d)延遲時間為 -1 天，(e)延遲時間為 +0 天，(f)延遲時間為 +1 天，(g)延遲時間為 +2 天，(h)延遲時間為 +4 天。

通量對大氣環流的一種回饋影響。而波列結構的產生有可能與該區潛熱通量有關。根據 5b 圖的分析指出在暖池區潛熱通量的增加是有利於對流系統的發展,透過對流所釋放出的潛熱是可激發出羅士培波而影響到別區的環流型態。至於南海地區的潛熱通量與各地 500hPa 高度場延遲交互相關的分析如圖 18 所示。圖上主要的型態是在中緯度出現的波列結構,而這種波列結構也會隨延遲時間的增加而緩慢向東移動。這種東移現象同樣可見於在 1000hPa 與 200hPa 上(圖略)。由於延遲時間愈長其相關係數愈低,故中緯度地區的波列結構似乎只存在於延遲時間-5 天與+5 天間,再長的延遲時間會因相關係數的變小,而失去統計上的意義。

由以上的分析結果顯示,南海地區、暖池區的潛熱通量與大氣環流間的相關性有不同的特質。在南海地區潛熱通量與中緯度地區高度場間的相關係數會有向東移動的波列結構,雖然環境場本來就具有這種擾動,但在南海地區的潛熱通量似乎可使這種既存於自由大氣中的波列結構變的更具體化與規律性。至於暖池區的潛熱通量之作用可使中、低緯度高度場間的變化呈現南北反相的關係型態,而這種南北反相的型態也是 ENSO 事件的特徵之一。比較有趣是延遲時間為正時,當此南北反相系統北移時所衍生出有組織性結構會逐漸向東亞地區移動,因而可對東亞地區的環流造成一定程度的影響。無論是東移的波列結構或是北移的反相系統都有可能使局部地區的相關係數發生變動,甚至出現相反的相關性,而此特性正可說明圖 13 與圖 14 上相關係數隨延遲時間振盪的現象。

五、結語與展望

由王與林(1996)的分析結果顯示,採用整體參數化公式法,經由利用 ECMWF 同化資料與實際船舶資料所估算的渦流熱通量,無論在整體型態或值的大小上都相當接近。因此,我們根據此計算所得之渦流熱通量來探討潛熱通量與大氣環流間可能的相互關係。由資料分析發現在 1982 ~ 1993 年二至五月的春季期間,氣候型態的變化以 ENSO 事件最為明顯。而在 ENSO 事件發生期間,熱帶地區的渦流熱通量會明顯的增加,由於渦流通量的增加,因此對環流的影響也會更加明顯。本文主要目的即在於以渦流熱通量的角度來看熱帶地區的一些動力現象是如何影響東亞地區的大氣環流型態?經由前面幾節的分析中發現, ENSO 期間在中太平洋、北美洲地區的高度場有 PNA 型態產生,而在東亞地區,中、低緯度間的高度場變化則呈現反相關係。而從潛熱通量分別與 OLR 及海溫的相關分析來看,中、西太平洋兩地區顯示不同的特性。在中太平洋地區海水的增溫可有效的增加渦流潛熱通量的強度,而渦流潛熱通量的增加也使該區的對流活動更易發展,這種結果印證了早期 Bjerknes(1966,1969)與 Wyrski(1982)對 ENSO 事件發生的推論。但在西太平洋地區,海溫的增加並不能提供更多的潛熱通量,而潛熱通量的增強也無法使對流活動加強。可見渦流潛熱通量、海溫及 OLR 三者的關係是會隨地點、時間而有不同的表現。而中、西太平洋地區在春季期間之所以會存有如此的差異性,有可能與該區的環流型態及潛熱通量的特性有密切關係。

利用遙相關的分析方法證實了在南海地區、暖池區的潛熱通量與東亞地區的高度場有明顯的相關性。在單點相關法的診斷下，發現南海地區潛熱通量的變化與華南地區低層高度場有很強的正相關，同時與中、高層東亞主槽位置高度場也有明顯的負相關存在，這種特性似乎意謂上層槽線加深時有利於冷高壓南下，此時海面上在冷空氣的吹拂下可使南海地區的潛熱通量快速增加。然而從整體的角度來看，南海地區的潛熱通量有助於中緯度地區波列結構的增強，這種波列結構從低層至高層都可看到。雖然環境場中本來就具有這種擾動，但在南海地區的潛熱通量似乎可使這種既存於自由大氣中的波列結構變的更具體化與規律性。而暖池區的潛熱通量與亞洲地區的太平洋高壓、東亞主槽強度有相當的關係，對中太平洋、北美洲地區而言，暖池區的潛熱通量與該區高度場間的相關會有 PNA 型態的結構。對於副熱帶高壓勢力的建立、東亞主槽的加深以及 PNA 型態結構的產生似乎與該區潛熱通量的增加有利對流發展的特性有關。從整個型態來看，暖池區的潛熱通量與中、低緯度高度場間的相關性則近似以南北反相的型態出現。而以上這些特性在 ENSO 年會因有更多潛熱通量的產生而變的更加顯著。為要強調潛熱通量對大氣環流的回饋影響，文中也利用延遲交互相關來分析潛熱通量與高度場兩者間的變化情形，結果發現與南海地區潛熱通量有關的波列結構會有向東移動的趨勢，至於與暖池區潛熱通量有關之中、低緯度地區高度場成正負反相型態則有向北移的現象。而隨此系統的北移，會衍生出一具有組織性的正相關結構逐漸由熱帶地區往東亞地區移動。由於這種現象只出現在正延遲時間後，應該可視為潛熱通量對大氣環流的一種回饋影響。此外，也發現南海地區潛熱通量與高度場間的相關，整體而言約只有 5 天左右，而暖池區潛熱通量與高度場間的相關則可延至 10 天以上。

本文中經由一些簡單的分析方法，雖然可證實熱帶地區渦流熱通量的變化與東亞地區的大氣環流型態有相當的關聯性，然而期間所涉及的物理機制，仍有待釐清。如在南海地區的潛熱通量是否真的有助於波列結構的增強？而在暖池區的潛熱通量與高度場間之延遲相關所衍生向東亞地區移動的結構是否由對流所激發出的波動而形成的？以及兩地區的潛熱通量與東亞主槽、副熱帶高壓間的相關是否真如本文之推論？凡以上問題尚需進一步的分析，或許也需藉助於數值模式的模擬結果，才能獲得答案。相信隨問題的解決，應該有助於了解熱帶動力系統對東亞地區大氣環流的作用。

誌 謝

本研究承國科會經費補助(專題研究計畫 NSC85-2111-M008-011)、臺大副熱帶資料提供觀測資料及研究助理紀慧敏小姐的協助，謹此誌謝。

參考文獻

王溫和與林松錦，1996：利用 ECMWF 資料估算熱帶海洋大氣邊界層之渦流熱量通量。*大氣科學*，24，211-232。

- Barnett, T. P., 1977: The principal time and space scales of the Pacific trade wind fields. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 221-236.
- Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, **18**, 820-828.
- _____, 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **97**, 163-172.
- Bretherton, C. S., C. Smith, and J. M. Wallace, 1992: An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *J. Climate*, **5**, 541-560.
- Cayan, D. R., 1992: Latent and sensible heat flux anomalies over the northern oceans: The connection to monthly atmospheric circulation. *J. Climate*, **5**, 354-369.
- He, H., W. Mcginnis, Z. Song, and M. Yanai, 1987: Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1966-1995.
- Lau, K. M., and P. H. Chan, 1983: Short-term climate variability and atmospheric teleconnections from satellite-observed outgoing longwave radiation. Part II: Lagged correlations. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 2751-2767.
- _____, P. J. Sheu, and I. S. Kang, 1994: Multiscale low frequency circulation modes in the global atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 1169-1193.
- Liu, W. T., 1988: Moisture and latent heat flux variabilities in the tropical Pacific derived from satellite data. *J. Geophys. Res.*, **93**, 6749-6760.
- _____, and C. Gautier, 1990: Thermal forcing on the tropical Pacific from satellite data. *J. Geophys. Res.*, **95**, 13209-13217.
- Miller, M. J., C. M. Beljaars, and T. N. Palmer, 1992: The sensitivity of the ECMWF model to the parameterization of evaporation from the tropical oceans. *J. Climate*, **5**, 418-434.
- Milly, P. C. D., 1992: Potential evaporation and soil moisture in general circulation models. *J. Climate*, **5**, 209-226.
- Ramage, C. S., and A. M. Hori, 1981: Meteorological aspect of El Nino. *Mon. Wea. Rev.*, **9**, 1827-1835.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.
- Wyrtki, K., 1982: The Southern Oscillation, ocean-atmosphere interaction and El Nino. *Mar. Technol. Soc. J.*, **16**, 3-10.
- Yanai, M., C. Li, and Z. Song, 1992: Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 319-351.
- Zhang, G. J., and M. J. McPhaden, 1995: The relationship between sea surface temperature and latent heat flux in the equatorial Pacific. *J. Climate*, **8**, 589-605.

A Preliminary Study on the Connection of the Tropical Sea Surface Heat Fluxes to the Atmospheric Circulation over the East Asia

Wen-Ho Wang Song-Chin Lin

Institute of Atmospheric Physics, National Central University

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore the possible connection between the tropical sea surface heat fluxes and the atmospheric circulation over the East Asia. Climate data of spring season (February ~ May) spanning 1982 to 1993 indicate that ENSO events are the major climatic variation. During the ENSO period, a PNA pattern was revealed in the upper level height fields over the Central Pacific and North America areas. Over the East Asia, there exists a negative correlation between the height fields of middle and low latitudes. Correlation analyses of surface latent heat flux with sea surface temperature and OLR, respectively, show different characteristics at different areas. Over the Central Pacific ocean, warming of sea surface temperature can effectly increase the surface latent heat flux and, consequently, promote the convective activities. However, over the West Pacific ocean, increasing of latent heat flux does not intensify the convection. Such results could be related to the strength of circulation and the increasing mechanism of surface latent heat flux.

Results of teleconnection analysis depict that the variations of surface heat flux at the South China Sea and the warm pool area do have influences on the atmospheric circulation over the East Asia. While the surface heat flux at both areas are negatively correlated with the major trough over East Asia, surface heat flux at South China Sea is positively correlated with the low-level height field over the southern China area. It seems that the intensification of the upper-level trough favors the southward movement of cold-high pressure, and consequently increases the surface latent heat flux due to advection of cold air over the ocean. The overall teleconnection patterns indicate that the surface heat flux at the South China Sea can intensify the wave-like

structure in the middle latitudes and the surface heat flux at the warm pool is associated with a positive-negative coupled correlation between low and middle latitudes. These patterns seem more prominent in the ENSO years due to the enhancement of surface latent heat fluxes. Further study with the lagged cross-correlation analysis, it is found that the middle latitude wave-like structure in association with the surface heat flux at the South China Sea tends to move eastward and the positive-negative coupled pattern in association with the warm pool tends to move northward. As the coupled pattern moves northward, an organized positive correlation structure also moves toward the East Asia area from the warm pool. This leads to the variation of correlation coefficients between the surface heat flux at the warm pool and the height field in the East Asia area. Also, this phenomenon may be linked to the previous finding that the surface latent heat flux at the warm pool is favorable for the development of convection.

Key words: Surface fluxes, Atmospheric circulation over the East Asia, Teleconnection.