

ENSO 和 Post-ENSO 大氣波動之正模結構

李 汴 軍
中央氣象局

(中華民國八十一年一月二十日收稿；中華民國八十一年二月二十七日定稿)

摘 要

1982年冬季(本文稱 ENSO, El Niño/Southern Oscillation)和1983年夏季(本文稱 Post-ENSO)二個案中,在每週平均之200mb上,正模波動顯示季節平均之緯向風大多以內羅斯貝波為主,但北半球洋面上的副熱帶噴射氣流則以外羅斯貝波較明顯。經向風呈季節性之變化,北半球夏季哈德雷環流胞較明顯。熱帶凱爾文波仍以波數一為主。

向外長波輻射(OLR, Outgoing Longwave Radiation)資料顯示出 ENSO 年熱帶熱源仍具向東緩慢移動之低頻率特徵, Post-ENSO 年有很明顯向西移動之訊息並兼有向東之低頻運動。OLR 所產生哈德雷環流胞對副熱帶噴射氣流之影響, Post-ENSO 年則以入口區為主。在熱帶地區緯向風移動方向與 OLR 有很大的關係。

關鍵詞：ENSO，低頻，正模

一、前 言

熱帶地區含有各種不同尺度與時間尺度之大氣波動,在低頻率中(週期 > 20天)主要是40-50天振動(Madden and Julian, 1972)及 ENSO (El Niño/Southern Oscillation)二個現象。40-50天振動則是赤道季節之變化,為一近似30-60天為週期之波動, ENSO 是全球性年際氣候變動有2-7年之週期變化及持續1-2年(Lau and Chan, 1988)現象。故最近有許多氣象學者致力於這二個現象之氣候動力學之研究。

根據 Kurihara and Kawahara (1986)研究指出在1982 ENSO 年後,即1983/1984冬冬東亞異常寒冷及1983年東亞之冷夏,而1982/1983 El Niño 是本世紀最有名 ENSO 個案之一,這個個案對東亞造成暖冬(Zhang et al., 1985)。這種1982/1983和1983/1984冬冬正好相反之天氣現象與西太平洋區域海洋一大氣之

氣候變化有很大的關係。

根據 Lau and Chan (1986, 1988)研究指出熱帶40-50天振動與 ENSO 有關,而 Murakami et al (1986)所述在1982 ENSO 個案中,熱帶40-50天振動不明顯,由於這三篇文獻均是利用向外長波輻射(OLR, Outgoing Longwave Radiation)之資料分析,所不同的是分析技巧之不同,其結果有點不同這是觸發本研究之動機。

正模投影法自從 Kasahara and Puri (1981)提出後,許多學者將此法用來診斷行星尺度之運動(Paegle and Zhao, 1988; Silva Dias et al, 1986; Paegle and Mo, 1987; Lee, 1987; and others)有很好的結果,故本文利用此法來分析1982/1983 ENSO 及 Post-ENSO 大氣波動之特性,尤其特別著重在熱帶地區波動特徵。

在第二節中描述本文所使用的資料及使用之方法,所使用之資料有二種: NMC (National Meteorological Service)

logical Center)作業化全球網格點資料及NMC/NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)全球OLR資料, 第三節中將探討200mb正模波動之特徵及不同的現象。關於OLR及熱帶波動討論, 將在第四, 第五節述及。最後簡單之討論及未來研究方針也將在第六節提出。

二、資料及方法

NMC預報作業網格點之資料中風場和高度場的解析度是2.5度其12層等壓面依次為50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850 和1000mb, 將這些資料從1982年11月16日起, 取格林威治平均時每日00時之觀測值, 每週平均作為原始資料到1983年3月7日一共有16週, 這一組資料本文稱ENSO資料, 而1983年5月5日到8月24日依同樣程序所得資料稱為Post-ENSO資料, 然後將這些資料利用對數氣壓剖面, 內插到12個SIGMA坐標(0.030, 0.124, 0.219, 0.313, 0.406, 0.500, 0.583, 0.665, 0.748, 0.831, 0.913, 0.996)上作為本研究之基本資料, 然後藉用正模投影法將這組資料分解成有限個垂直與水平波數上來討論。

由於NMC資料, 常有遺失於是本研究定一原則, 若每一週內資料缺三天以上則捨棄該週資料, ENSO及Post-ENSO年共有16組(週)資料, 每一週之起始和終止時間如表一所示。

本研究另一資料是OLR, 來自NMC/NOAA, 其解析度為7.5個經緯度, 從37.5°N到37.5°S之間, 取每天白天和夜晚觀測之平均值作基本資料。

所謂正模是在無外力作用下線性全球原始模式之固有解, 在本文中此固有解是按照Kasahara and Puri (1981)解法型態。首先在SIGMA坐標上將這一組偏微分方程對靜態大氣作線性化, 同時考慮空氣不能穿透大氣層頂和地面, 則此問題可以視為如何求取垂直結構方程式和水平結構方程式。前者是利用定差近似法來解, 而後者又稱為拉普拉斯潮汐方程(Laplace tidal equation)是解哈夫(Haugh)函數, 此函數是一組結合拉然得多項式(Associated Legendre polynomials)之近似解。

將SIGMA上之資料利用上述之程序投影到12個緯向, 10個經向及五個垂直分量上。然後將這麼多的波分量重新組合成羅斯貝波, 慣性重力波, 和熱

表一 夏季、冬季資料期間起訖時間

週	夏季	冬季
1	MAY 5 ~ MAY 11	NOV 16 ~ NOV 22
2	MAY 12 ~ MAY 18	NOV 23 ~ NOV 29
3	MAY 19 ~ MAY 25	NOV 30 ~ DEC 6
4	MAY 26 ~ JUNE 1	DEC 7 ~ DEC 13
5	JUNE 2 ~ JUNE 8	DEC 14 ~ DEC 20
6	JUNE 9 ~ JUNE 15	DEC 21 ~ DEC 27
7	JUNE 16 ~ JUNE 22	DEC 28 ~ JAN 3
8	JUNE 23 ~ JUNE 29	JAN 4 ~ JAN 10
9	JUNE 30 ~ JULY 6	JAN 11 ~ JAN 17
10	JULY 7 ~ JULY 13	JAN 18 ~ JAN 24
11	JULY 14 ~ JULY 20	JAN 25 ~ JAN 31
12	JULY 21 ~ JULY 27	FEB 1 ~ FEB 7
13	JULY 28 ~ AUG 3	FEB 8 ~ FEB 14
14	AUG 4 ~ AUG 10	FEB 15 ~ FEB 21
15	AUG 11 ~ AUG 17	FEB 22 ~ FEB 28
16	AUG 18 ~ AUG 24	MAR 1 ~ MAR 7

帶的凱爾文波和羅斯貝一重力混合波之緯向風和經向風之分量上。為了討論方便起見, 對上述四個波之波分量, 再組合為外部波(第一垂直模)和內部波(第二到第五垂直模), 最後的結果內插到等壓面(如200mb)來描述及討論。

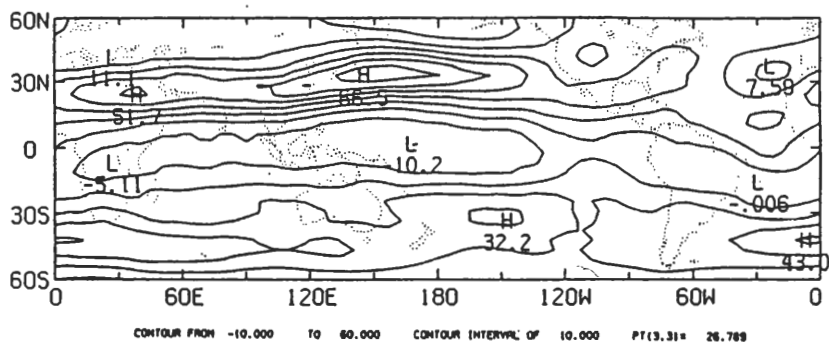
三、200 mb正模波動特徵

本節將風場模分量換算到外部模(第一垂直模)、內部模(第2-5垂直模)二個波分量, 然後再內插到200mb上來討論, 共有16週(組)資料。

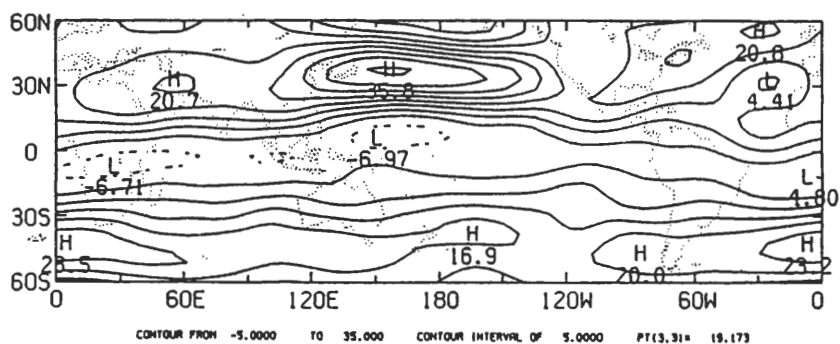
(一) 季節平均之正模結構

1. 1982年北半球冬季

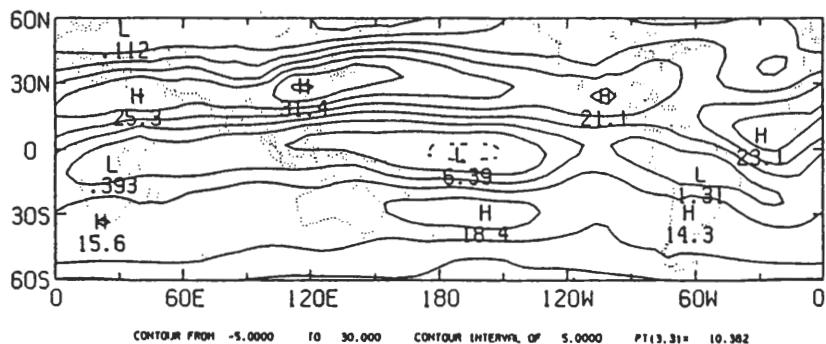
在實際觀測到緯向風分量方面(圖1A), 從南到北呈現出規則波數一之西風, 東風, 西風之型態。最強西風分量(66.5m/s)位於日本東方海面, 即亞洲大陸與西太平洋交界處, 這也說明海陸交界對噴射



(A)



(B)



(C)

圖1 1982年冬季200mb季平均之(A)緯向風，(B)外羅斯貝波，(C)內羅斯貝波圖。間距：(A) 10m/s；(B, C) 5m/s。

氣流扮演一些角色。次強的西風則在北非北部附近。歐亞大陸的西風強軸呈東西向，美洲西風分量略呈東北西南走向。在大西洋之熱帶西風分量伸入到南半球，這是今年特色之一。反觀南半球，最強西風分量所在的緯度比北半球較高。

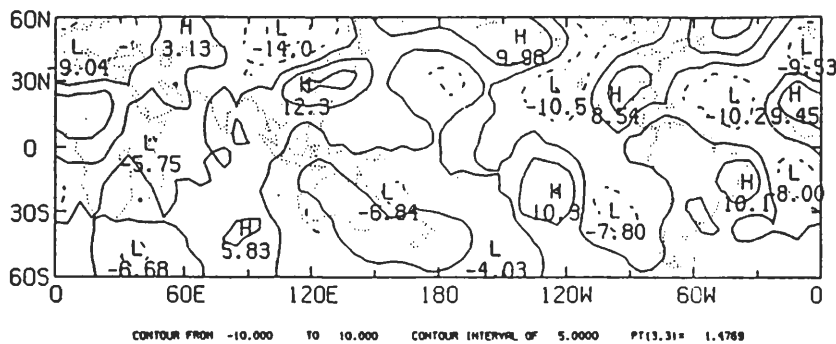
若以50m/s之等風速線來看，北半球之副熱帶噴射氣流所涵蓋之範圍近110個經度，其南側則是赤道東風較強處，中心最強靠近換日線附近，這是與其它冬季最大不同處(平均位置在印度尼西亞島)(Lee,1987)，特徵之二。

圖1B，圖1C是圖1A季節平均圖經正模結構分解後將有限個波數所組合而成之外羅斯貝波和內羅斯貝波圖。在北半球，歐亞大陸之外羅斯貝波西風強軸(圖1B)和季節平均圖(圖1A)位置相似。內羅斯貝波則在東亞大陸東岸(圖1C)說明大部份的結構。熱

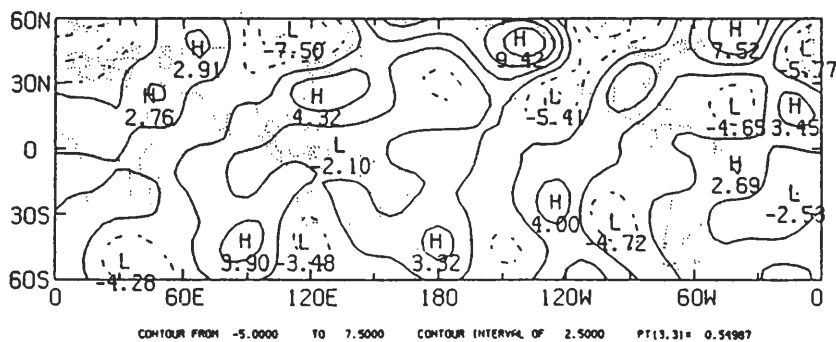
帶地區，東風分量在西太平洋部份，內、外羅斯貝波所佔比例大致相等，北非部份則以外羅斯貝波為主。南半球方面，內、外羅斯貝波型態和季節平均無太大差異。

經向風方面，從南半球跨越赤道到北半球之南方氣流(圖2A)，在亞洲，北美洲較有系統而且北半球呈東北西南走向，這與風暴路徑相同；在南半球走向不太明顯。外羅斯貝波(圖2B)及內羅斯貝波(圖2C)之南風、北風走向在北半球呈東北、西南走向，而南半球此種走向特徵，並不十分明顯。故實際觀測到經向風分量，在北半球，其結構大部份由內、外羅斯貝波來解釋。

圖3A是內重力波的緯向風分佈圖，在赤道地區西風分量強度較弱，在中高緯度東、西風分量較強。圖3B是內重力波的經向風分佈圖，矢號表示風之

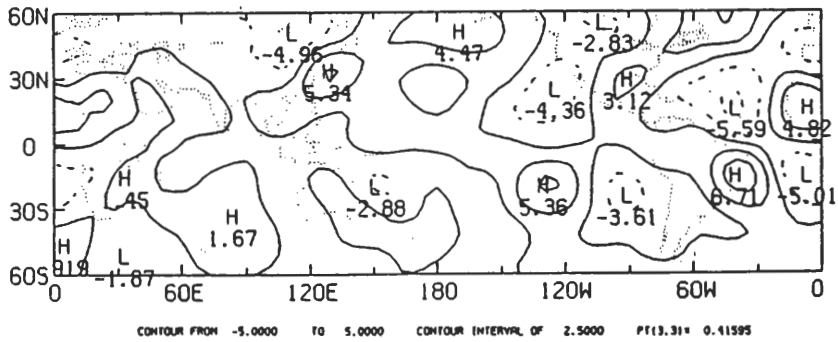


(A)



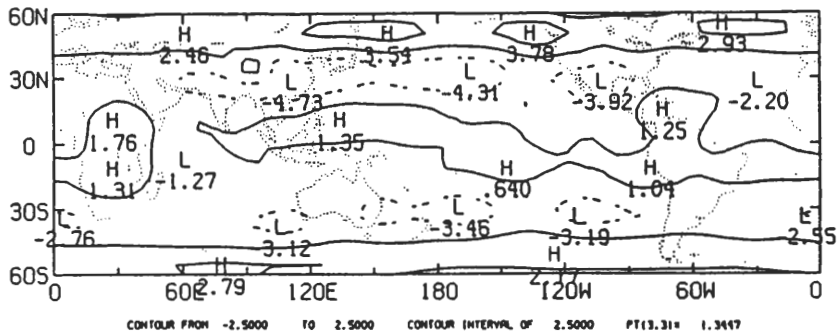
(B)

圖2 (圖說見下頁)

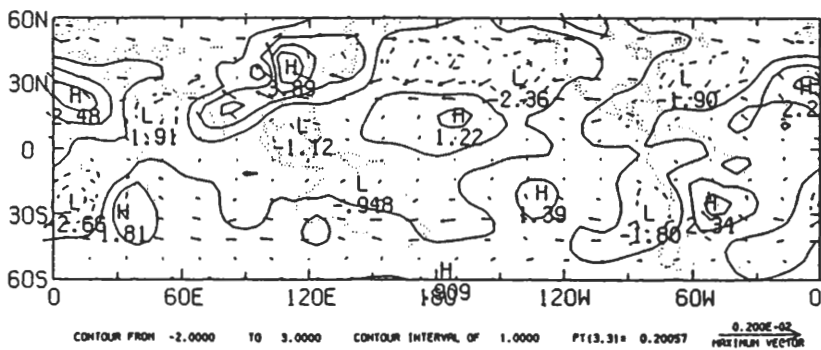


(C)

圖2 1982年冬季200mb季平均之(A)經向風，(B)外羅斯貝波，(C)內羅斯貝波圖。間距：(A) 5m/s；(B, C) 2.5m/s。



(A)



(B)

圖3 1982年冬季200mb季平均內重力波之(A)緯向風，(B)經向風及其向量圖。間距：(A) 2.5m/s；(B) 1.0m/s。

向量圖。東亞地區哈德雷環流胞不甚明顯，北太平洋附近有廣大北風、南風在30°N附近交會，其會合處亦即副熱帶噴射氣流處(圖1A)，在北美洲附近也有類似現象。

局限於熱帶區域的凱爾文波(圖4)，其季節平均風緯向風之環流以緯向波數一為主，在換日線附近南北向等零值線通常表示熱源上升區域。熱帶另一個波是內部模之羅斯貝一重力混和波(圖5)，這個波的特性是緯向風很小，經向風在緯向的波數比凱爾文波較多。

2. 1983年北半球夏季

季節平均的緯向風(圖6A)中最大西風位於澳洲

附近、南美洲及南非東南方緯度較高處，強東風帶則分佈整個熱帶地區之印度洋上，波數一之副熱帶噴射氣流其最大值46.6m/s在澳洲東岸，40m/s等風速線之範圍涵蓋約115個經度。北半球最大西風在緯度30度以北，一中心約位於我國蒙古塞北一帶，另二個中心則在日本東方海面及歐洲西部。

澳洲附近與南美洲附近的噴射氣流，大約50%來自內羅斯貝波(圖6B)，30%來自外羅斯貝波(圖6C)。中高緯度之西風約75%來自外羅斯貝波(圖6C)。熱帶東風帶分布型態在印度洋附近以內羅斯貝波(圖6C)為主。亞洲緯向風分布型態在北太平洋部份(約45N)，以外羅斯貝波(圖6B)為主，陸地部份仍以內

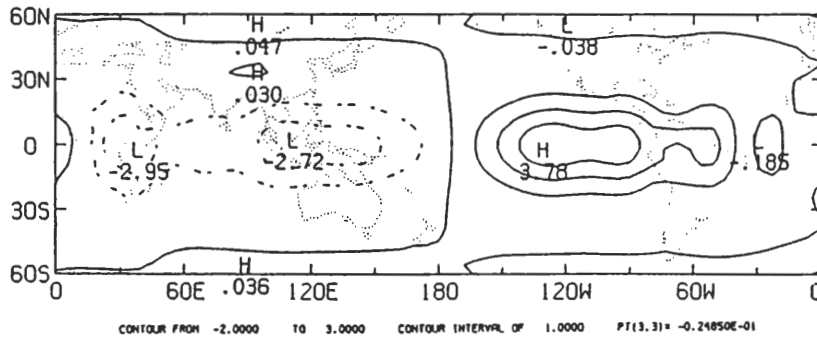


圖4 1982年冬季200mb季平均凱爾文波之緯向風圖。間距：1m/s。

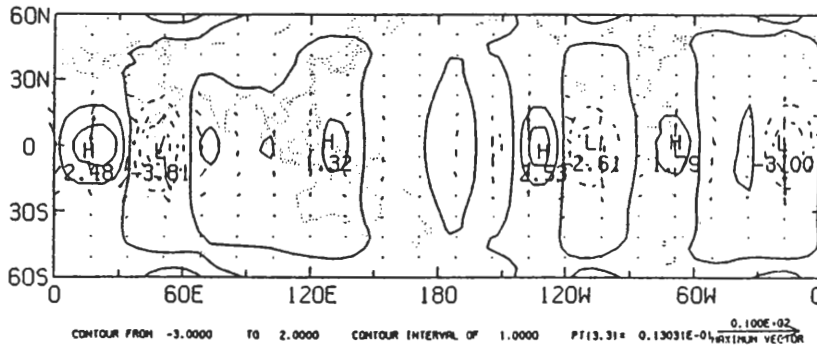
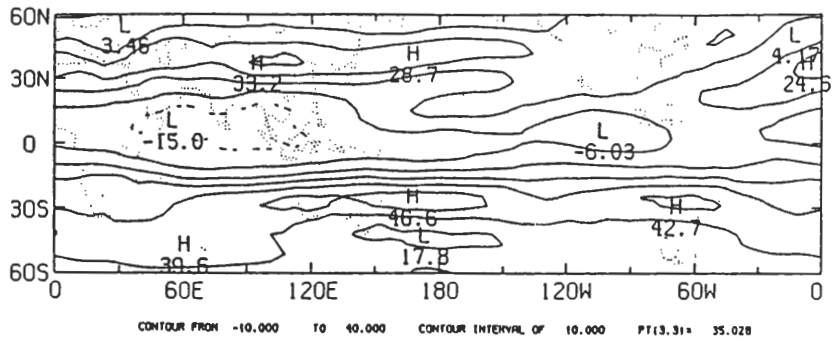
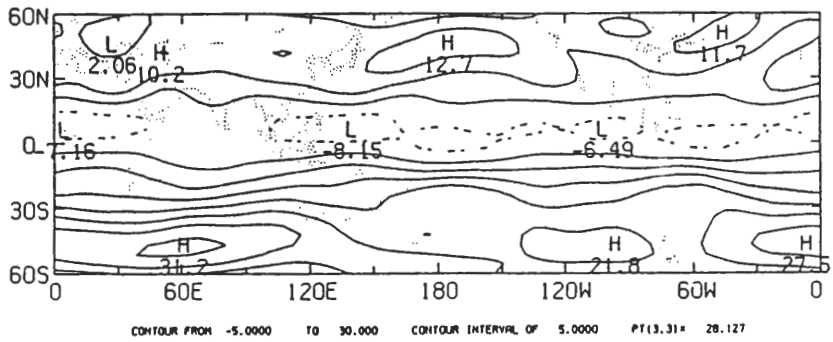


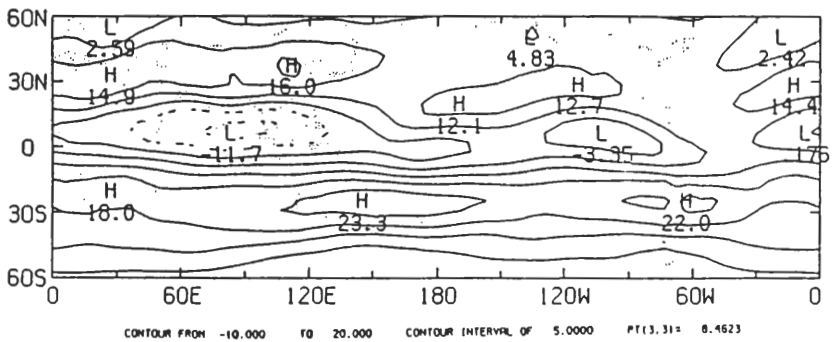
圖5 1982年冬季200mb季平均羅斯貝一重力混合波之經向風圖。間距：1m/s。



(A)

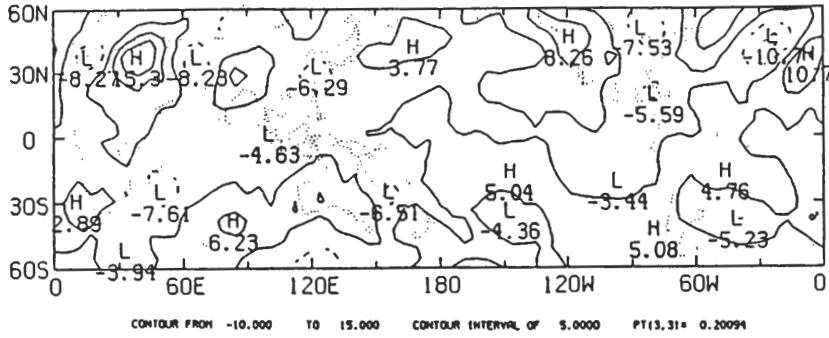


(B)

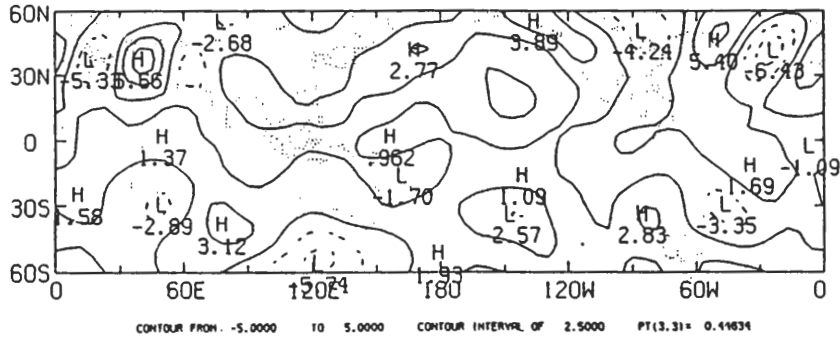


(C)

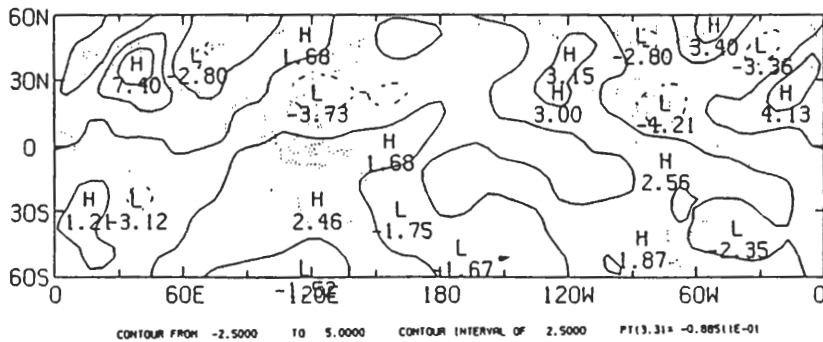
圖6 1983年夏季200mb季平均之(A)緯向風，(B)外羅斯貝波，(C)內羅斯貝波圖。間距：(A) 10m/s；(B, C) 5m/s。



(A)



(B)



(C)

圖7 1983年夏季200mb季平均之(A)經向風，(B)外羅斯貝波，(C)內羅斯貝波圖。間距：(A) 5m/s.; (B, C) 2.5m/s。

羅斯貝波佔優勢(圖 6C)。

季節平均經向風(圖7A)其南風(正區)、北風(負區)在亞洲與北美洲與圖2A正好相反,表示季節性變遷的特徵,除了歐洲、非洲及大西洋外,經向風型態配置大部份與內部模分量(圖7C)相似,其中亞洲東岸北風約60%來自內部模,外部模分量所佔分量(圖7B)很少,北美洲熱帶地區約75%也來自內部模分量,較高緯度則以外部模(佔55%)為主。

圖8A是內重力波的緯向風,與圖3A比較,並無季節性的變化,所不同的是在印度尼西亞附近最大西風,1983夏季強度約是1982冬季的兩倍,圖8B是內重力波的經向風及風之向量(矢號)圖,亞洲、北美洲及廣大熱帶地區均為北風,正表示哈德雷(Hadley)環流胞之來源,澳大利亞噴射氣流入口區正好與圖8B印度尼西亞附近哈德雷環流之輻合區有

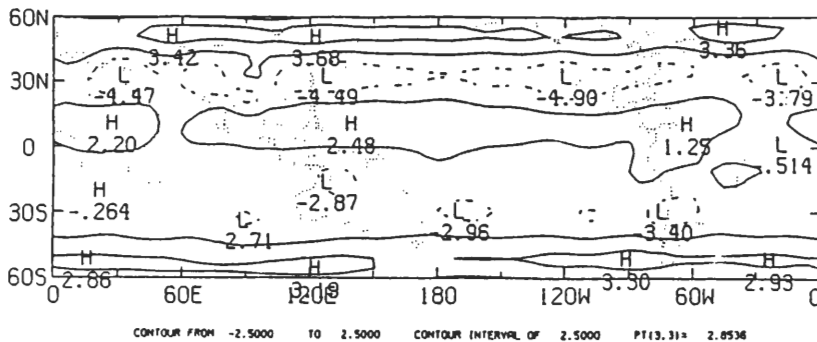
關,定性說明熱帶熱源與副熱帶波動之關係。在南半球中太平洋與南美洲所看到的正值與1979年北半球夏季個案有所不同(Lee, 1987),在那個個案中均為北風,而此個案係Post-ENSO所影響到熱帶地區哈德雷環流,有待進一步研究。

熱帶地區之凱爾文波(圖9)與羅斯貝一重力混合波(圖10)與圖4、圖5並無甚大之差異,表示無季節之變化。最大不同點是凱爾文波等零值線(通常表示熱源上升區域附近)已由換日線(圖4)附近移到印度尼西亞(圖9)附近,及羅斯貝一重力混合波經向風分量在Post-ENSO年較弱。

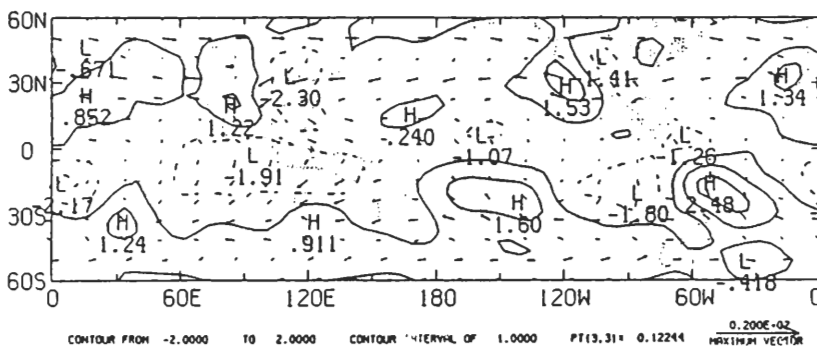
(二) 討論

1. 緯向風方面

通常北半球冬季在東太平洋處有一股西風分量



(A)



(B)

圖 8 1983年夏季200mb季平均內重力波之(A)緯向風, (B)經向風及其向量圖。間距:(A) 2.5m/s; (B) 1.0m/s。

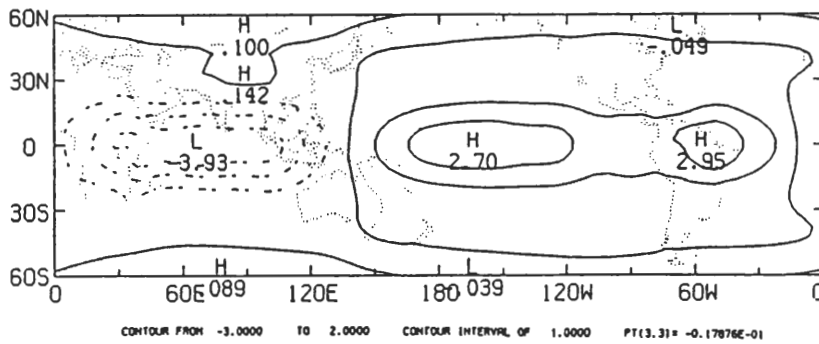


圖9 1983年夏季200mb季平均凱爾文波之緯向風圖。間距：1m/s。

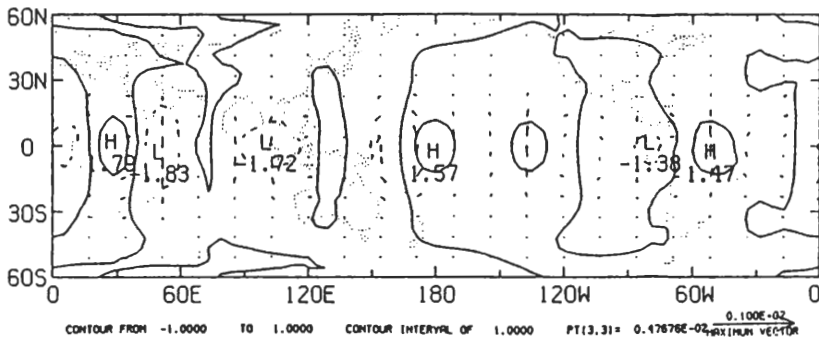


圖10 1983年夏季200mb季平均羅斯貝—重力混合波之經向風圖。間距：1m/s。

會伸入赤道區域，表示中緯度的系統經由這個地方傳到低緯度，1982 ENSO年這現象出現到南大西洋，而東太平洋區是一支較強之西風，說明南北溫度梯度所造成之結果。南半球冬季，除了有副熱帶噴射氣流外，尚有高緯度強西風，此點是與北半球不同處，這說明北半球之地形較複雜。北半球之熱帶東風帶，最低中心一般位於印度尼西亞群島附近，在這個ENSO個案中心東移約60個經度，南半球最強中心則在北非東岸。

2. 經向風方面

北半球冬季，整個系統比較規律，風暴路徑比較明顯內，外部模分量大致差不多。而南半球冬季系統不是很明顯，以內部模為主。綜觀南、北半球

之冬季之正負中心位置剛好相反，顯示有季節之變化。

在內重力波方面，北半球冬季哈德雷環流胞不像南半球冬季那麼明顯。Post-ENSO年哈德雷環流胞對澳洲噴射氣流入口區有輻合現象，ENSO年此輻合區位於噴射氣流入口區並不如北太平洋Ferrel cell間接環流強。ENSO年另一外個特殊現象是亞洲區南風分量比一般冬季較弱，中太平洋南風分量比其它冬季較強(Lee, 1987)。

3. 熱帶波動方面

ENSO年熱對流區位於換日線附近，Post-ENSO則移到印度尼西亞群島附近，顯示熱帶對流區從1982年夏季開始，由印度尼西亞群島附近慢慢東移

到東太平洋，然後在1983年夏季回到印度尼西亞群島附近。羅斯貝一重力混合波經向風分量以ENSO年較強。

四、ENSO和Post-ENSO向外長波輻射變化

向外長波輻射(OLR)強度之高低可以表示雲多或雲少之範圍，若強度愈低表示對流愈強(Nakazawa,

1986)，強度愈高表示雲稀少。欲了解 ENSO和Post-ENSO有名之歷程(Episode)其OLR之年際變化;首先要知道氣候上熱帶對流雲分佈情形，根據副熱帶資料庫所收集NMC/NOAA之OLR資料，計算1974年到1986年間每月之氣候圖，然後將1月、4月、7月、10月最低值繪在圖11，明顯看到對流旺盛區元月份在澳洲北方和印度尼西亞群島，隨著季節變化依次移到南洋(4月)，約在赤道附近，7月在印度洋約15°N附近，11月時又回到與4月份鄰近的位置。

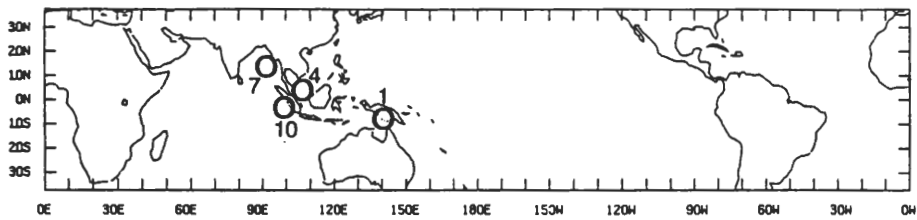


圖11 向外長波輻射1月，4月，7月，10月氣候上最低值之位置。

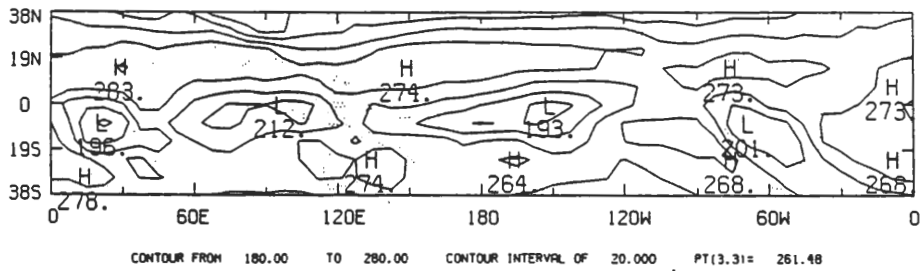


圖12 1982年冬季向外長波輻射平均圖。間距：20 Watts/m²。

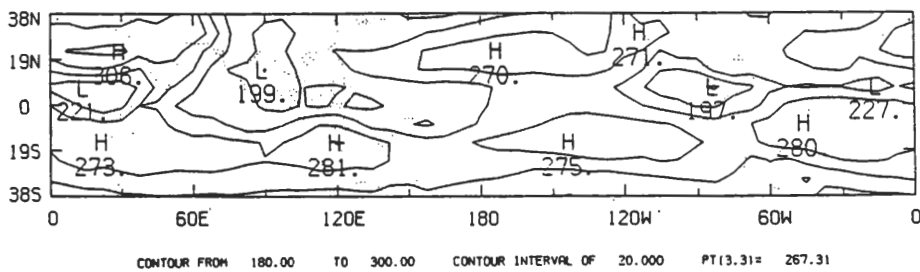


圖13 1983年夏季向外長波輻射平均圖。間距：20 Watts/m²。

圖12是ENSO年(1982年)冬季OLR平均圖，對流旺盛區在東經150度之中太平洋地區，與氣候上之位置東偏約90度，另一低值約在印度洋東邊，圖13是Post-ENSO (1983)夏季OLR平均圖，對流區已經回復到氣候上之位置，從圖12、13來看表示熱帶對流區從ENSO年冬季開始向東移動，到達東太平洋附近，然後慢慢向西回到(圖11)平均位置上。

圖14及圖15表示1982冬季、1983年夏季OLR在赤道之距平隨時間(週)變化圖，此處距平定義是每一週減去該季之平均值，負距平表示熱對流強，正距平表示熱對流弱，追蹤負距平中心之趨勢，可看出ENSO年冬季(圖14)負距平有向東30—50天週期移動之訊號，其範圍在印度洋到中太平洋間顯然是一群向東移動之脈動。Post-ENSO年夏季(圖15)正負距平大概以NE-SW對角線分為二個不同之現象，在對角線上方OLR正負距平有向東緩慢之趨勢，其週期大約為30天左右，而對角線負距平正反應出ENSO到Post-ENSO年，熱對流區大概從6月初從東太平洋向西緩慢移到印度洋附近，其週期無法由此距平圖來估計。但這種向西移動之熱對流區，在熱帶地區對波動產生之影響是下節討論之重點。

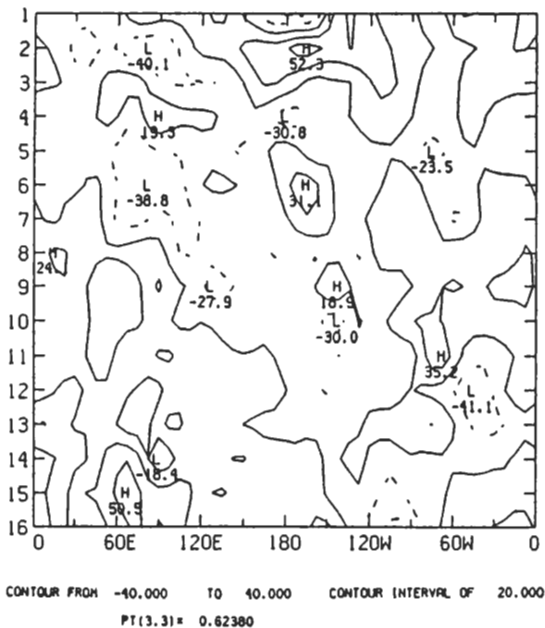


圖14 1982年冬季赤道向外長波輻射隨時間(縱坐標)距平圖。間距：20 Watts/m²。

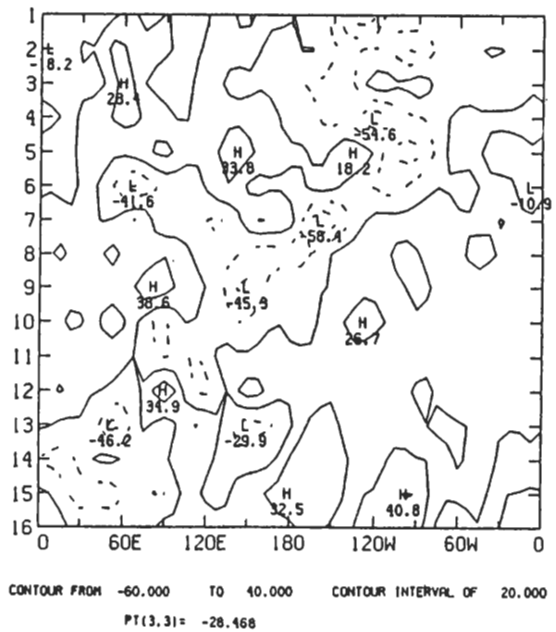


圖15 1983年夏季赤道向外長波輻射隨時間(縱坐標)距平圖。間距：20 Watts/m²。

五、觀測到ENSO和Post-ENSO熱帶波動移動現象

根據Lee (1987)之研究指出凱爾文波是熱帶對流激發出來之波動，從圖4和圖9可看出在ENSO年與Post-ENSO年熱帶凱爾文波季節平均圖最大不同點是等零值線位置，ENSO年對流旺盛存在換日線附近，Post-ENSO年則移到西太平洋澳洲北部附近。為了討論方便起見，本研究取赤道圈凱爾文波緯向風之距平(圖16、圖17)隨時間(週)之變化來描述此波動之特性。ENSO年赤道凱爾文波緯向風距平(圖16)呈現出波數一向東移動周期約40天左右，最大正距平平均在OLR最大負距平(圖14)右邊，這個個案和Gill (1980)所得的理論吻合。Post-ENSO年(圖17)赤道凱爾文波緯向風距平呈現波數二之型態向東移動，但周期較短。在5月6月期間中太平洋正負距平值相當大，約在第七個星期(6月16日以後)，較大距平值才移到印度尼西亞到印度洋間。

根據Matsuno (1966)指出，熱帶另一個波動為羅斯貝一重力混合波，圖18和圖19是赤道這個波經向

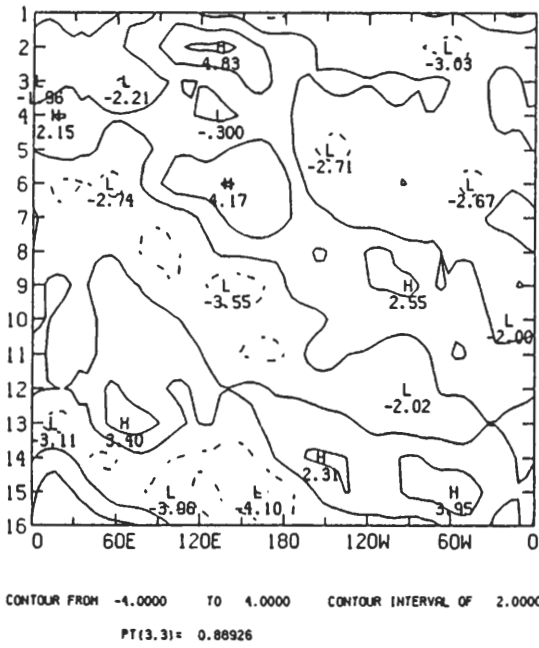


圖 16 1982年冬季200mb赤道凱爾文波緯向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：2m/s。

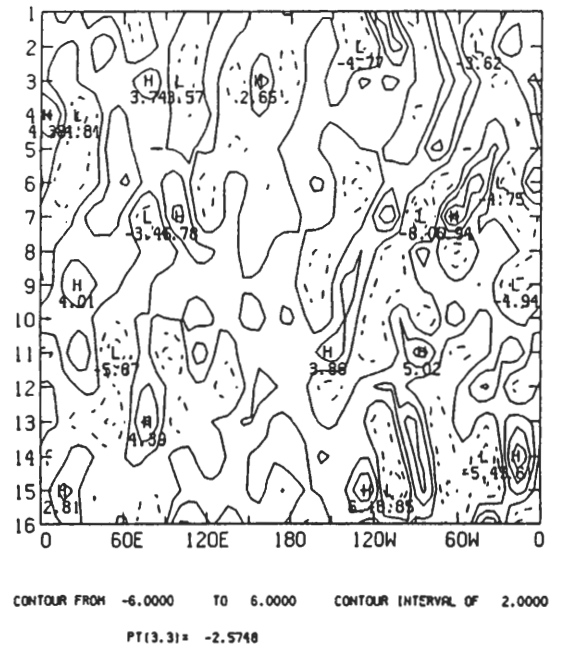


圖 18 1982年冬季200mb赤道羅斯貝—重力混合波經向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：2m/s。

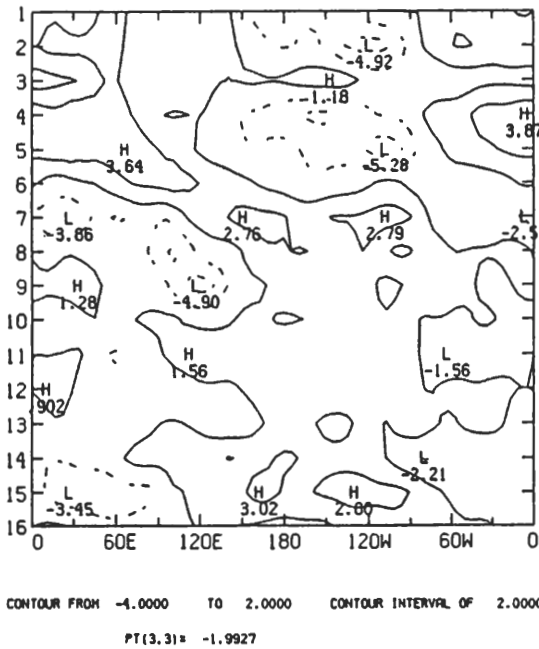


圖 17 1983年夏季200mb赤道凱爾文波緯向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：2m/s。

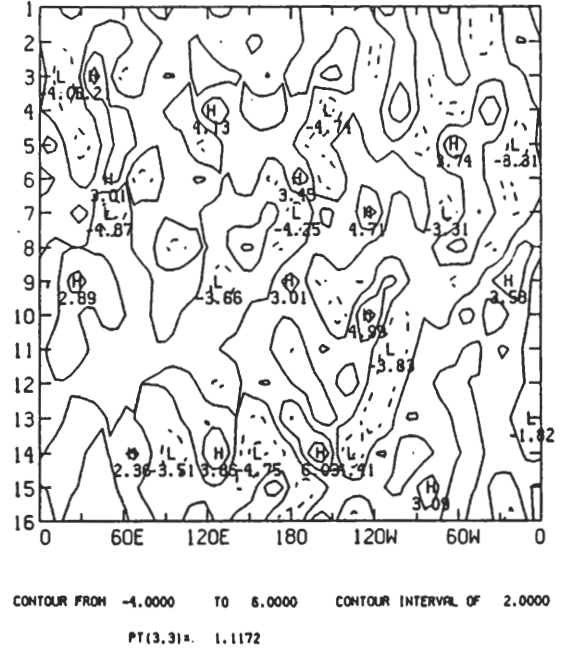


圖 19 1983年夏季200mb赤道羅斯貝—重力混合波經向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：2m/s。

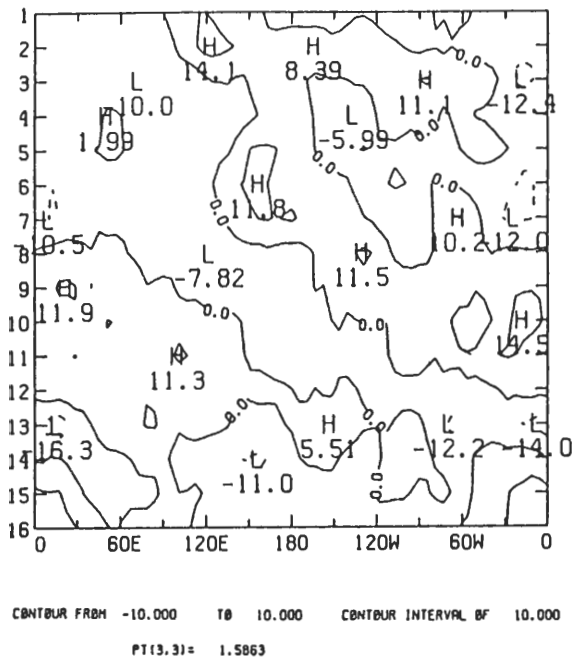


圖 20 1982年冬季赤道200mb緯向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：10m/s。

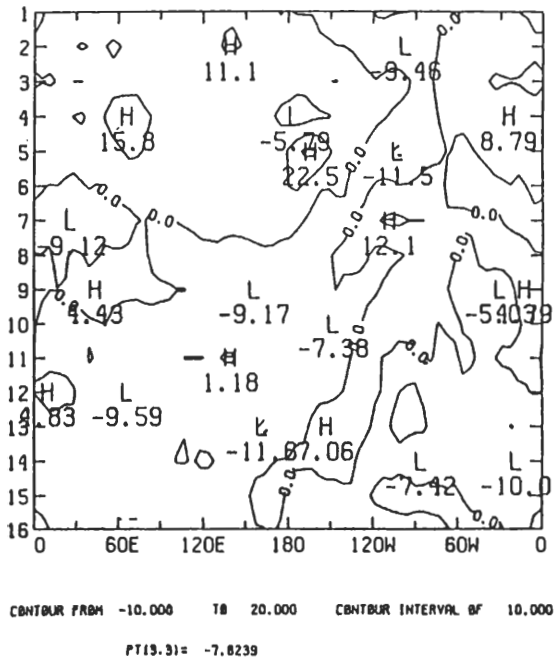


圖 21 1983年夏季赤道200mb緯向風隨時間(縱坐標)距平圖。間距：10m/s。

風距圖，1982年冬季(圖18)負距平大約從第5週(12月14日起)開始從北美洲附近向西緩慢移動至第11週(元月31日止)到達換日線東邊止。1983年夏季(圖19)也是從第5週(6月2日起)開始從大西洋向西緩慢移動至第13週(8月13日止)到達換日線附近，另外一波從中太平洋緩慢移到南洋群島，這點是比ENSO年冬季明顯。故ENSO到Post-ENSO熱帶波動受熱對流區東西向移動有直接影響，為了證實這個看法，可從圖20和圖21得到答案。圖20 ENSO年赤道緯向風距平圖隨時間的變化。很明顯看到正負距平很有規律向東緩慢移動，而Post-ENSO年(圖21)緯向風負距平則呈現出從東太平洋到印度洋(NE-SW對角線附近)緩慢向西移動，其行進速度和OLR距平圖相似(圖15)。

六、結 論

本文利用正模投影法，將三度空間的資料分解為氣象上常見之二個波動系列，即羅斯貝波，重力波。此法有助於了解各種波動之特性，尤其是在熱帶，副熱帶之間相互關係能有很清楚描繪。將選擇性波動分量重新組合為內部模和外部模，然後內插到200mb來討論，計有內、外羅斯貝波，內重力波，凱爾文波，羅斯貝一重力混合波等四個波動。由於本文偏重在熱帶，副熱帶區域之討論，故僅討論風場。

在季節平均緯向風，無論1982 ENSO或是1983 Post-ENSO大多以內羅斯貝波為主，在副熱帶噴射氣流方面北半球冬季與夏季，陸地上仍以內羅斯貝波型態相似，但洋面上則以外羅斯貝波為主。

在季節平均經向風，明顯的季節變化，其內重力波顯現哈德雷環流胞，在ENSO年副熱帶噴射氣流入口區並不明顯，反而是位於中太平洋之Ferrel cell較明顯。Post-ENSO年偏佈廣大之熱帶區域。哈德雷環流對副熱帶噴射氣流作用，從定性來看，南半球冬季則以入口處為主。北半球冬季噴射氣流出口處則以Ferrel間接環流較明顯。

熱帶凱爾文波之季節平均緯向風，本文二個個案均呈波數一之結構，其等零值線所在位置移動之趨勢定性方面與OLR相當一致，雖然中心位置不同。其緯向風之距平在ENSO仍然以波數一之結構向東緩慢移動，其週期約在30-60天，Post-ENSO則以

波數二的結構向東移動週期較短。

OLR之距平圖顯示Post-ENSO負距平(表示熱對流旺盛)向東以非常慢速率向西移動,這可部份解釋這個個案中凱爾文波不為波數一之結構,另外對熱帶風場所顯示赤道緯向風向西移動,其斜率與OLR非常類似,然而熱帶OLR及其產生之各種波動對副熱帶噴射氣流關係不論定量、定性,將是未來研究之重點。

致 謝

本研究承國科會專案計畫NSC78-0202-M052-01支援下完成,並感謝曾建翰,呂理弘先生之協助。

參考文獻

- Gill, A. E. 1980: Some simple solutions for heat induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 106, 447-462
- Kasahara, A., and K. Puri, 1981: Spectral representation of three dimensional global data by expansion in normal mode functions. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 37-51
- Kurihara, K. and M. Kawahara 1986: Extremes of East Asian weather during the post-ENSO years of 1983/1984 - Severe cold winter and hot dry summer. *J. Meteor. Sci. Japan*, 493-503
- Lee, B.-C. 1987: Observed normal mode structure of low frequency oscillations. Ph.D dissertation. Dept. of Meteorology, University of Utah, 160 pp.
- Lee, B.-C. 1987: A preliminary study of tropical ageostrophic wind and jet acceleration during May to August 1979. *P. M. R.*, 10. 128-136
- Lau K. M. and P.-H. Chan 1986: The 40-50 day oscillation and El Nino/Southern Oscillation: A new perspective. *Bulletin of the AMS*, 67 533-534
- Lau K. M. and P.-H. Chan 1986: Intraseasonal and interannual variations of tropical convection: A possible link between the 40-50 day oscillation and ENSO? *J. Atmos. Sci.*, 45 506-521
- Madden, R. A., and P. R. Julian, 1971: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123.
- Matsuno, T., 1966: Quasi - geostrophic motions in the equatorial area. *J. Meteor. Soc. Japan*, 44, 25-42
- Murakami, T, L.-X. Chen A. Xie and M. L. Shrestha 1986: Eastward propagation of 30-60 day perturbations as revealed from outgoing longwave radiation data. *J. Atmos. Sci.*, 961-971
- Paegle, J. N. and Z, Zhao, 1988: The Australian subtropical jet during the second observing period of the global weather experiment. (Personal draft)
- Paegle, J. N., and K, Mo, 1987: Spring to summer transitions of global circulations during May - July, 1979 *Mon. Wea. Rev.*, 115, 2088-2102
- Silva Dias, P. L. and J. P. Bonatti, 1985: A preliminary study of the observed vertical mode structure of the summer circulation over tropical South America, *Tellus*, 37A 185-195.
- Zhang, J. and Wang, L., 1985: The climate of East Asia in the winter 1982-1983, Proceedings of first WMO workshop on the diagnosis and prediction of monthly and seasonal atmospheric variations over the globe, Long - range forecasting research report series (WMO/CAS) No. 6, 173-181 .

Normal Mode Structure of Atmospheric Waves
during ENSO and Post ENSO

Beng-Chun Lee

Central Weather Bureau

(manuscript received 20 January 1992; in final form 27 February 1992)

ABSTRACT

The weekly averaged winds at 200 mb showed that the internal Rossby structure was dominant on both the winter of 1982 (called ENSO, El Nino/Southern Oscillation) and the summer of 1983 (called Post-ENSO). However, most contribution of zonal wind components from the external Rossby structure is located over north Pacific Ocean during the ENSO winter. The Seasonal variation of the meridional flow is apparent from winter to summer. These winds including Hadley cells are prevailing during the summer in Northern Hemisphere. The Kelvin wave, exhibiting a well-defined wave-number one structure, is trapped in the equatorial regions.

The negative OLR (Outgoing Longwave Radiation) anomalies in the tropics display eastward propagation with a period of 30-60 days during the ENSO winter. These anomalies are also shown slowly westward movements around the globe while eastward signal occurring over Indian and western Pacific Oceans during Post-ENSO. The impact of tropical Hadley cells generated by OLR on subtropical jet is the qualitatively evident in the entrance area during Post-ENSO. Results also show good relationships between the tropical zonal wind and OLR anomalies.

Key Words: ENSO, Low Frequency, Normal Mode