

東亞梅雨期1979年 大範圍大氣垂直模結構初步研究

李汴軍 王惠民

中央氣象局科技中心

(中華民國七十九年七月十八日收稿；七十九年九月二十三日定稿)

摘 要

本文初步提出垂直模分解1979年5月和6月大部分東半球從赤道到北緯60度之III-b 觀測資料，來分析其16個區域之能量結構特徵。在此研究範圍之平均能量可以每一垂直模之分量來表示。其結果顯示在熱帶地區是以等效深度243 m之第四垂直模之能量為主，隨著緯度之增加，外部模能量逐漸佔優勢。

初步結果亦顯示印度季風區域6月中旬第四垂直模可用位能變化與該季風開始有關，華南、台灣地區梅雨期5月和6月第四垂直模能量完全不同。在定性上印度季風與華南、台灣地區第二垂直模動能間有很好關係。

關鍵詞：垂直模，能量

一、前 言

每年5月、6月對北半球而言是由春季進入夏季之際，就東亞地區則是冬季大尺度氣壓系統的轉型期，此時伴隨西伯利亞之冬季東北季風強度逐漸減弱，而伴隨印度季風環流及西太平洋副熱帶高壓之西南季風逐漸增強，形成在東亞有一狹長之雨帶，此雨帶在中南半島稱為雨季，在華南、華中及日本地區稱為梅雨。另一方面在印度洋及青崙藏高地區，則是印度季風盛行之期，其特色是索馬利亞噴流加強、印度半島季風槽增強，高層西風北移到西馬拉雅山北部，熱帶東風波之盛行。

根據周與陳(1989)研究指出，在5月期間中緯度地區除了東亞大陸之大陸海洋交界處伴隨梅雨鋒面系統存在之顯著東北—西南走向對流雲帶外，主要對流活動區皆在熱帶之赤道地區，至6月時，赤道

地區的對流雲呈現明顯北移，此時印度季風正式登場，而在東亞地區之對流雲帶亦呈明顯北退情形。

上述東亞大氣環流對應季節之變化所伴隨雨帶及熱帶對流雲區隨時間從南向北移動，說明了潛熱釋放在維持這些系統重要的角色。從另外之角度而言，我們可以將這種熱帶雲雨帶隨季節變化在緯度移動過程以一種總體性的能量觀點來探討。同時不論東亞梅雨期及印度季風發展期，除了不考慮環流間關聯性外，原則上，我們將其視為一個大範圍區域性特殊現象，基於此假設則這些現象之能量可以垂直模方法來表示。這是本文的動機。

根據Silva Dias和Bonatti(1985)提出垂直模能量方法來分析1979年二月上旬，以美南州為主之大(30°N-40°S, 135°W-0°)範圍區域性環流特徵能量分布，南美州地區(82°W-26°W)在熱帶地區是第四垂直模(相當深度250 m)能量佔優勢，而在較高緯

度則趨向外模為主。

在他的個案並未指出在其他地區是否亦具有這種特性。但在赤道以北第一垂直模動能是赤道以南第一垂直模動能之兩倍。而每年5月、6月則是北半球冬季與夏季交替之際，而且又有東亞梅雨及印度季風二個有名之區域性環流，故本文探討這些環流現象在(0° E-150° E, 0° N-60° N)範圍內其時空演化過程之能量變化是否具Silva Dias和Bonatti (1985)之結果。

本文選用1979年5月、6月為個案研究，其理由是全球大氣研究計畫(GARP)在1979年特別設計的天氣實驗(GWE; Global Weather Experiment)，亦稱FGGE (First GARP Global Experiment)計畫有相當密集完整的全球資料，尤其在熱帶及海洋地區，來初步探討垂直模能量問題。

在第二節中本文簡單介紹所使用資料來源及計算方法，初步結果、討論與結論分別在第三、四和第五節提出。

二、資料及方法

本文所使用的資料是歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)所處理之1979年5月及6月FGGE III b北半球的資料。在水平方面是每1.875°×1.875°經緯度上風場、溫度場及高度場的資料，在垂直方面共有15層分別是：1000 mb, 850 mb, 700 mb, 500 mb, 400 mb, 300 mb, 250 mb, 200 mb, 150 mb, 100 mb, 70 mb, 50 mb, 30 mb, 20 mb, 10 mb，有關ECMWF所處理FGGE年III-b資料特性請參考Bengtsson et. al (1982)。

從5月1日起以每5天(取0000 UTC資料)為一單位，將上述資料平均，採用雙線性(Bi-linear)內插法內插到以2.5°×2.5°經緯度上(為配合地形資料格式)，再利用氣壓對數剖面轉換上σ坐標上共有15層：0.996, 0.967, 0.914, 0.845, 0.765, 0.678, 0.589, 0.500, 0.415, 0.334, 0.260, 0.193, 0.132, 0.077, 0.025。

研究範圍是由下列四個經緯度(0° N, 30° E), (0° N, 150° E), (60° N, 30° E), (60° N, 150° E)所涵蓋的區域。在垂直模(Vertical Mode)方面，首先假設大氣為靜止而溫度為高度函數，空氣不能穿透大氣層和地面條件下，將原始方程對此基本狀態線性化(Kasahara and Puri,1981)，在研究範圍內大氣質

量之基本狀態就是此範圍內各等壓面之平均溫度之函數，而此溫度亦需轉換到σ坐標上，據此可依流體靜力方程可推算到研究範圍內5月及6月平均表面氣壓959.7 mb及平均表面溫度291.5° K。

依據Kasahara和Puri (1981)所述在此基本狀態下之垂直結構可視為一組線性代數中固有值的問題，而得到15個垂直模，其中前面9個標準化之垂直模垂直結構如圖1所示。圖中第一個垂直模(等效深度9718 m)稱為外部模，其它的垂直模稱為第一內部模，第二內部模，…。外部模幾乎沒有什麼垂直結構，從低對流層到平流層，都是同號(正號)，Kasahara (1976)指出對這個模而言水平輻散在整個

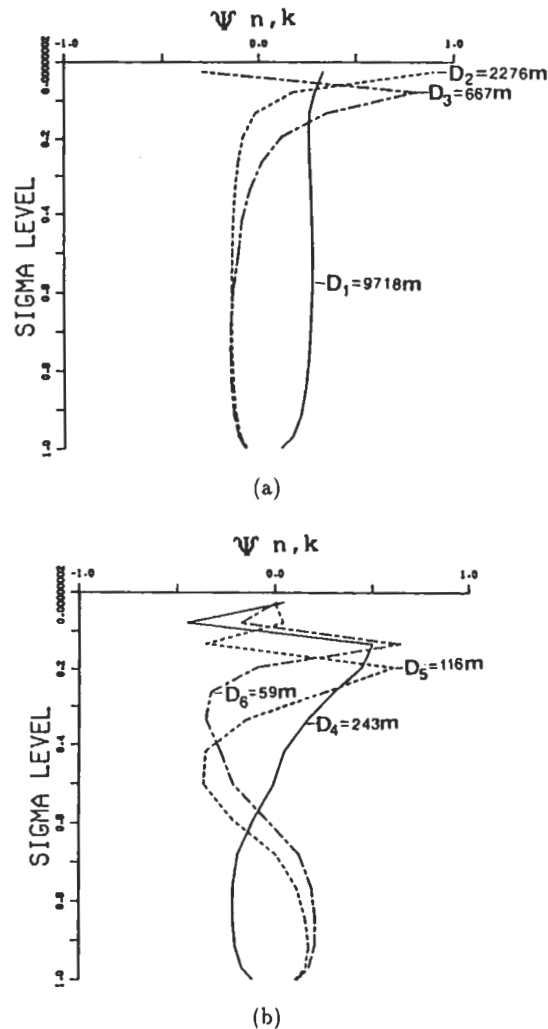


圖1 (圖說見下頁)。

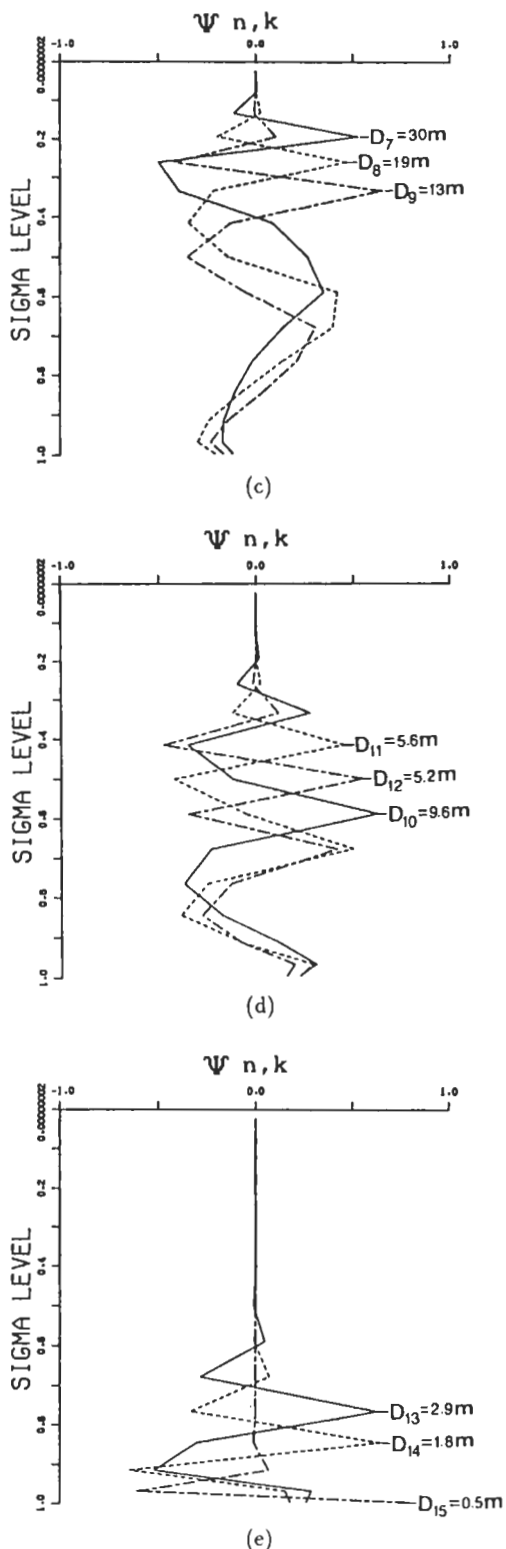


圖1 垂直結構固有函數 $\Psi_{n,k}$ 及對應等效深度 D_n 。

垂直方向都不會等於零，故外部模可稱為正壓輻散模，內部模隨著模數增加其結構往下較顯著，意味較小尺度垂直結構集中在低對流層及受邊界層之影響。

在此要特別提到第三內部模或是第四垂直模之等效深度為243 m 的垂直曲線中，輻散和輻合分界限大約為480 mb，略低於500 mb，主要原因是本研究範圍並非熱帶而已，尚有副熱帶及中緯度地區，同時又有青康藏高原，而影響此界限。

爲了要計算垂直模間之能量，必需將Sigma 坐標上之基本資料投影到每一垂直模上水平網格點 (λ, ϕ) 上 (Silva Dias & Bonatti, 1985)

$$\begin{bmatrix} U_n \\ V_n \\ Z_n \end{bmatrix} (\lambda, \phi) = \sum_{k=1}^{15} \Psi_{n,k} \begin{bmatrix} U_0(\lambda, \phi, k) / \sqrt{gD_n} \\ V_0(\lambda, \phi, k) / \sqrt{gD_n} \\ (Z_0(\lambda, \phi, k) - Z_\sigma(k) + \frac{RT_0(k)}{g} \ln \frac{P_s(\lambda, \phi)}{P_0}) / D_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 n 者表示垂直模， U_0, V_0, Z_0 爲垂直層次 k 之每一網格點水平風場及高度場， P_0 爲研究範圍內各點表面氣壓 P_s 之平均值， Z_σ 爲研究範圍內第 k 層之平均值， g 是重力加速度， R 是氣體常數。

每一垂直模之動能 K_n ，可用位能 P_n 在每一個網格點可表示如下：

$$K_n = \frac{gD_n}{2} (U_n^2 + V_n^2) \quad (2a)$$

$$P_n = \frac{gD_n}{2} Z_n^2 \quad (2b)$$

任一垂直模總能量在所有垂直模 (N) 中所佔之百分比 Pen

$$Pen = \frac{K_n + P_n}{\sum_{n=1}^N (K_n + P_n)} \times 100\% \quad (3)$$

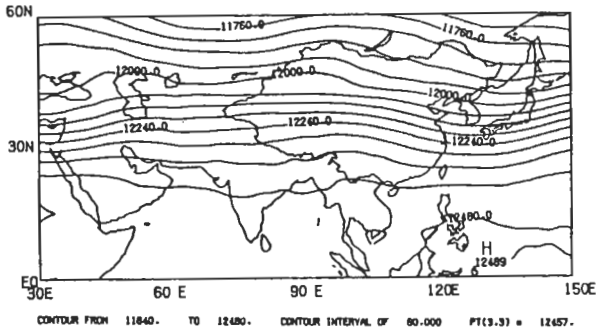
三、結 果

1979年5月、6月200 mb 高度場、風場 (緯向、經向分量) 平均圖如圖2所示。平均主槽位於東亞海陸交界地方 (約120° E)。緯向風 (圖2b) 亦顯示此一特性，整個範圍西風分量佔優勢，強風範圍 (20 m/s 以上) 南北分布約15個緯度，在陸地上位30° N 以北，海面上在30° N 爲中心。最大風速中心

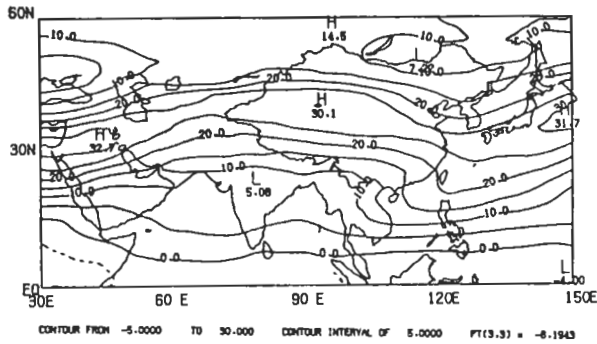
位於日本東方海面及中東，東風分量則局限於赤道附近。另一較淺槽線位於60° E左右之印度洋面上，雖然高度場不明顯，但從經向風（圖2c）之分布

情形確實存在。經向風在亞洲東部與太平洋較明顯，此現象配合西風強軸正說明高度場東亞主槽明顯之部分原因。同時南風（正號）與北風（負號）呈東西方向排列，但位於中東與非洲附近之南風與北風則呈南北方向排列，這現象說明氣流有不同之特徵，從西風分量與高度場分布可略窺一二。氣流線（圖3）則更清楚描述此現象。圖3指出在熱帶靠近60° E附近有一鞍型場，在副熱帶緯度氣流在45° E附近分二支分流；一支與中高緯度氣流匯合形成高緯度槽線，一支經非洲東邊近熱帶地區形成一槽線。反氣旋中心位於婆羅洲附近。

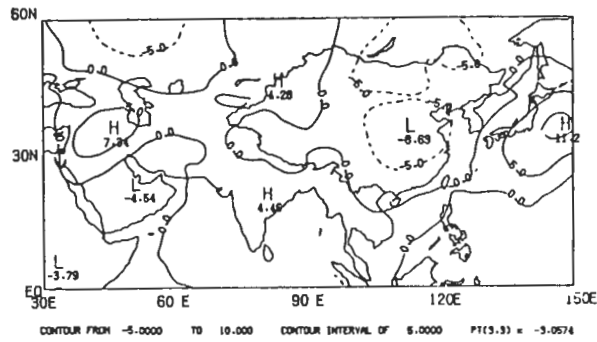
為了易於了解每一垂直模能量（動能，位能）隨緯度及地區性分布情形，本文將研究範圍分為16區域（圖4），涵蓋熱帶到中、高緯度地區所屬歐亞大陸及西太平洋、印度洋地區。區域1, 2, 3與4可代表熱帶海洋地區。區域5；阿拉伯半島，6；印度半島7；中南半島及華南8；台灣東方海面，9；



(a)



(b)



(c)

圖2 1979年5月和6月200 mb平均圖：(a)高度場，(b)緯向風，(c)經向風。間距：
(a) 60 m, (b), (c) m/s。

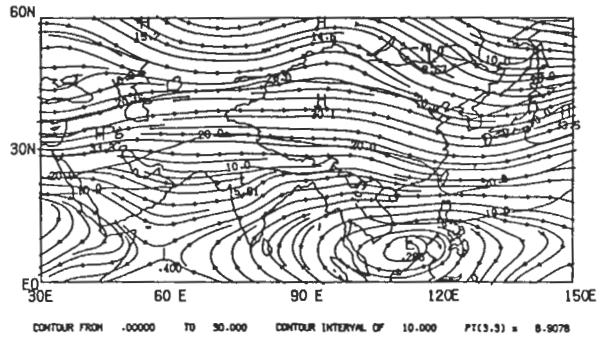


圖3 1979年5月和6月200 mb平均流函數。

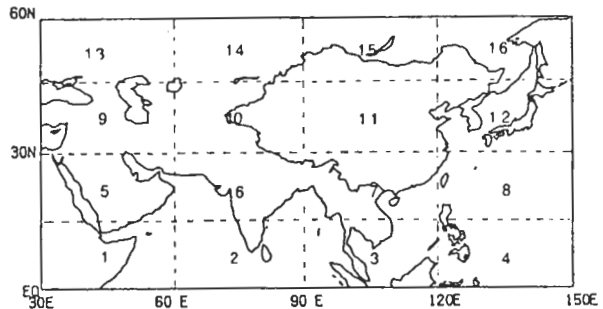


圖4 垂直模能量所對應之區域圖。

中亞西亞，10；帕米爾高原及青康藏高原大部份11；我國華北12；日本與韓國，13~16；蘇俄。

三度空間的觀測資料投影到垂直函數上，可以得到每一垂直模之動能，可用位能在每一個區域內之平均值（圖5）。圖中同時亦顯示每一個垂直模能量（動能和可用位能）佔全部垂直模能量比。在熱帶地區大部份能量集中在第四個垂直模（ $D_4 = 243\text{ m}$ ），隨著緯度之增加，能量之分布趨向於低階之垂直模，同時正壓特性越來越明顯（除了 $45^\circ\text{ N} - 60^\circ\text{ N}$ 區域除外）。

熱帶地區，近60%之能量集中在以第四垂直模之可用位能上，而動能則以第一、第二垂直模較重

要，隨著緯度增加，即區域5~12第四垂直模之動能開始顯著增加，除了台灣東方（區域8）之動能比低階垂直模動能較大外，其餘顯示正壓特性，而可用位能相對於其他區域並非是主要，換言之，正壓系統能量不容忽視。高緯度（區域13~16）與熱帶地區之能量分布相似，但第四垂直模之動能比熱帶較大，而且高階（第八、第九）垂直模能量比熱帶地區小，為其不同之處。

從能量百分比觀點，更加証實低緯度之能量以內部模為主，副熱帶及中緯度地區，雖然內部模（第四垂直模）佔優勢，但正壓性動能卻是主宰這些地區。

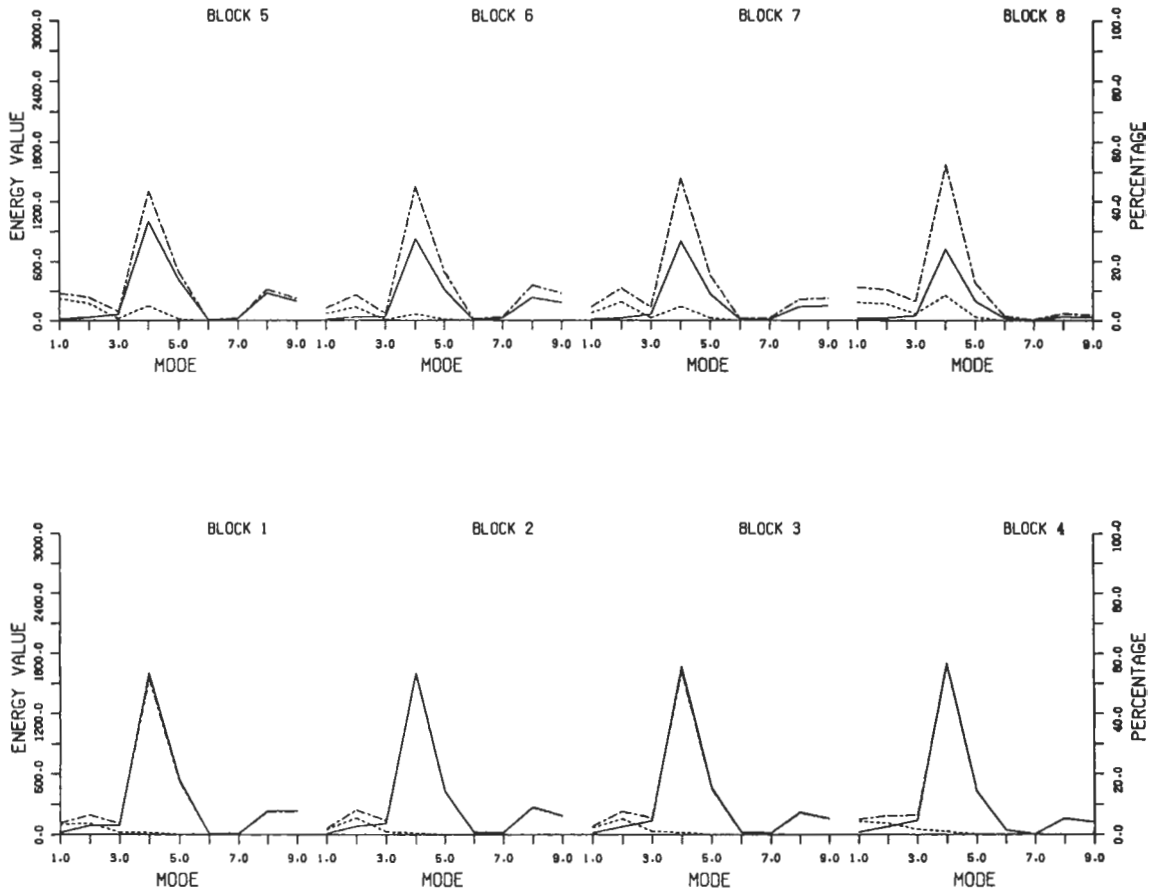


圖5 (圖說見下頁)。

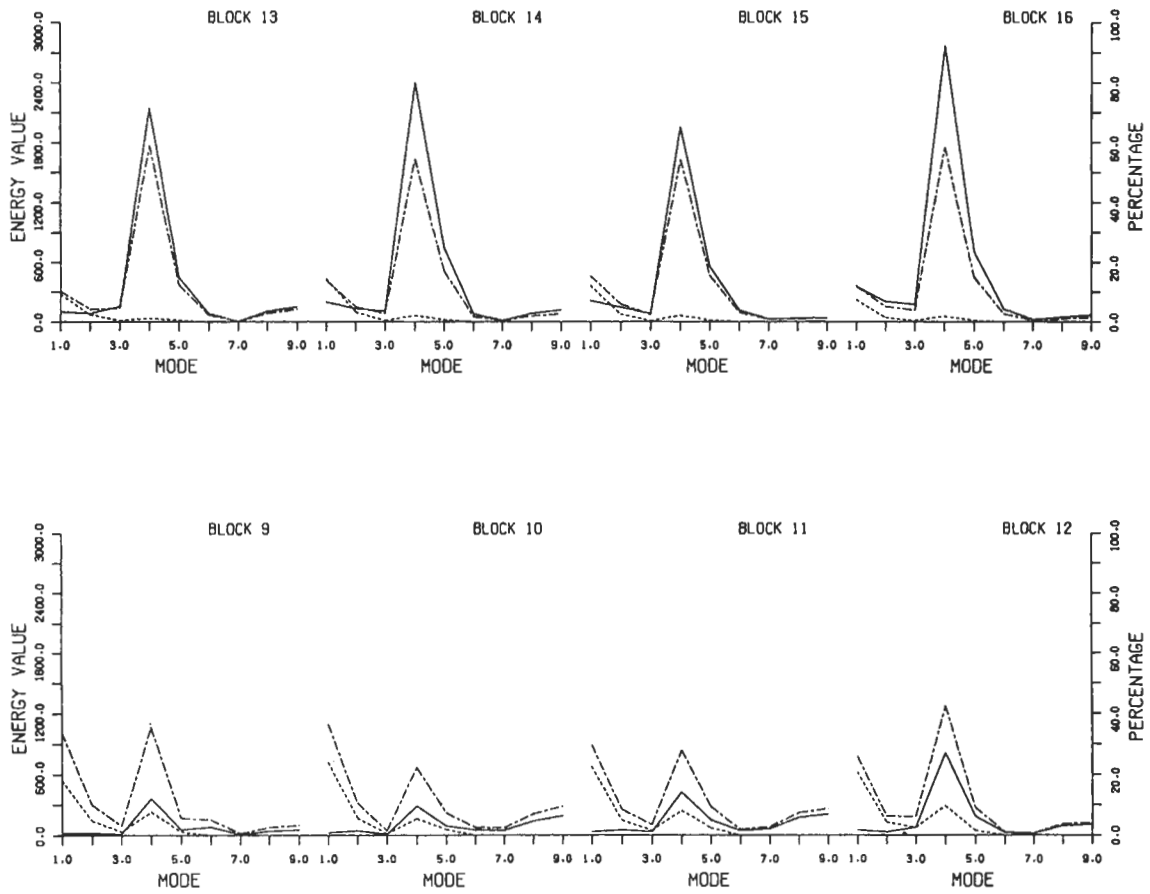


圖5 對應圖4中每一模之動能(段線), 可用位能(實線)及總能量百分比(段-點線)。

圖6和圖7分別是第一垂直模(正壓)和第四垂直模能量佔全部能量百分比, 中緯度地區明顯看出是正壓性能量特徵, 50%以上能量位於帕米爾高原

和青康藏高原北部地區, 另一最大值在日本東方海面。第四垂直模能量60%範圍包括高緯度烏拉山以東和日本北方、韓國和我國東北。其次50%範圍約

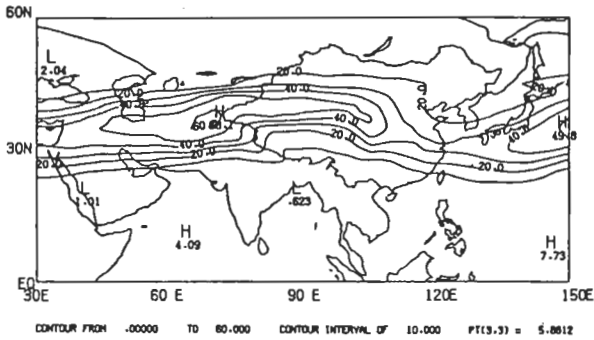


圖6 第一垂直模能量百分比及間距(10%)。

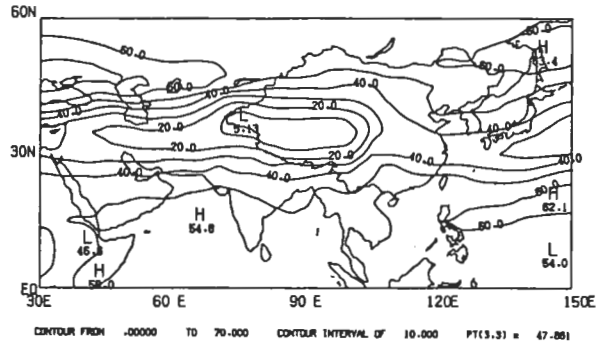


圖7 第四垂直模能量百分比及間距(10%)。

在緯度25度以南之熱帶區域，其中最大值62.1%位於(20° N, 150° E)附近。更清楚說明低、高緯度能量是內部模為主而中緯度是外部模佔優勢。

每年5月、6月是北半球由春季轉為夏季之過渡期，也是印度季風，華南及台灣梅雨期形成及消長

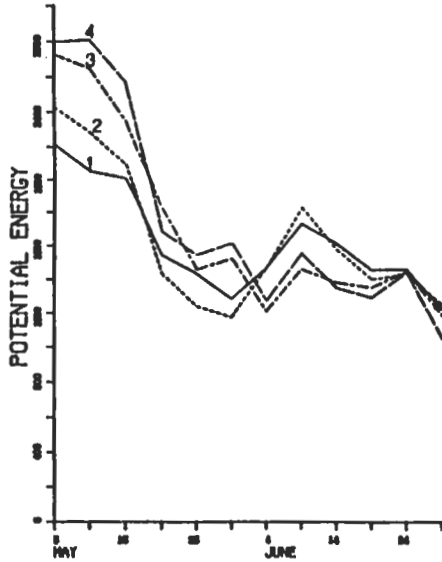


圖8 區域1-區域4 第四垂直模可用位能 (m^2S) 變率。



圖9 區域7,8 第四垂直模可用位能 (m^2S) 變率。

之時間，根據圖5各區域可用位能、動能與能量百分比分布圖，知道整個熱帶地區(區域1-4)是第四垂直模為主，因此本文將第四垂直模之可用位能在熱帶地區(區域1-4)在時間上變化如圖8所示。圖中顯示可用位能之變率相當一致，在5月底到6月初附近有一低值出現，6月中旬有一相對高值，6月底另一次季風槽出現其週期大約在30天左右(主觀性判斷)。

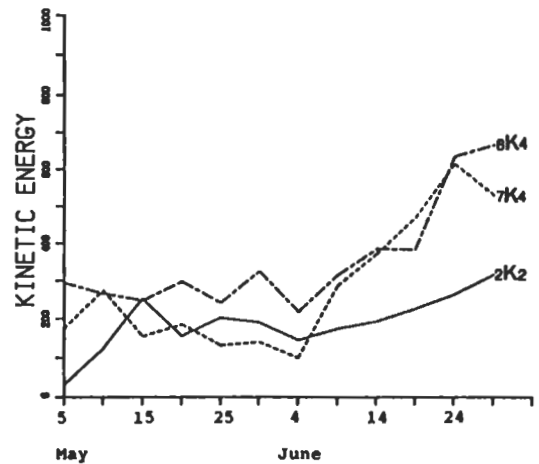


圖10 區域2, 7, 8之第二垂直模，第四垂直模之動能 (m^2S) 變率。圖中2k2表區域2之第二垂直模。

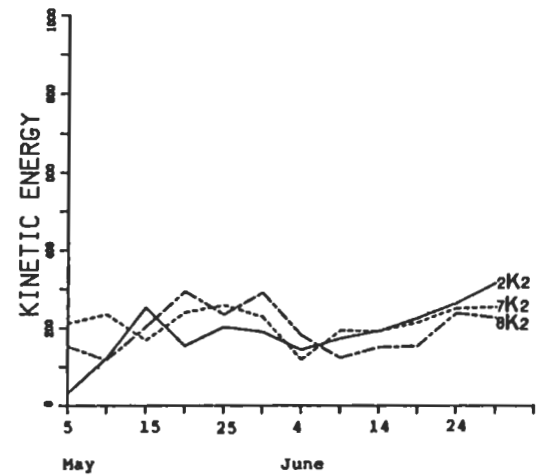


圖11 區域2, 7, 8之第二垂直模之動能 (m^2S) 變率。

華南及台灣地區之梅雨期在圖5中(區域7,8)能量分布不像熱帶地區有系統,在第四垂直模之可用位能隨時間之變率(圖9)顯示5月份及6月份是截然不同,大約在5月底到6月初可用位能減少到另一種階段。根據線性觀點,來主觀推論這個垂直模上之動能應為相反之趨勢,這個現象從圖10可以得到証實,此圖是區域2第二垂直模之動能與區域7與8第四垂直模動能隨時間變率,在5月份主觀上可看出區域2之第二垂直模曲線比區域7之第四垂直模落後一候但比區域8之第四垂直模領先一候,這個現象也在區域2之第二垂直模動能與區域7與區域8之第二垂直模動能也有相同之結果(圖11),此圖同時也顯示區域2與區域7與8之第二垂直模之動能有很好之相關。

四、討 論

本文所得到垂直能量在熱帶地區大部分集中到第四垂直模($D_4 = 243\text{ m}$)上,隨著緯度的增加,能量逐漸向低階垂直模移動,正壓特色較明顯,尤其以 30° N - 45° N 緯度圈正壓動能最明顯,然而第四垂直模之動能亦不容忽視,此點和Kasahara和Puri(1981)、分析1977年一月份北半球動能特徵不儘相同,在他們個案中最大能量集中在正壓模上,隨後有一最小值能量,然後在 $D_4 = 256\text{ m}$ 垂直模能量則是第二大值,但在Silva Dias和Bonatti(1985)個案中,熱帶地區以第四垂直模($D_4 = 213\text{ m}$)能量最大,隨著緯度增加與本文結果相似。

雖然本文只列出第一到第九垂直模能量分佈,可是越高階垂直模之能量卻是第三大值(略),此點可從圖1之垂直函數圖中推斷,圖中顯示有較大振幅在這些垂直模上,而這也可說明是由於邊界效應(Temperton和Williamson,1981)所引起,類似結果也在Silva Dias和Bonatti(1985)文獻中述及。

Puri(1983)利用ANMRC(Australian Numerical Meteorology Research Center)波譜模式計算有/沒有對流時,所得到最大內部模能量均為 $D_4 = 250\text{ m}$ 之等效深度。本研究分析觀測資料觀點也得到類似的結果。

從能量百分比來看,中緯度是正壓特性,低緯度與高緯度則是內部模之特徵。而低緯度地區,在這個季節是印度季風開使盛行之際,圖8中第四垂直

模可用位能在5月底或6月初之低值是否為季風槽(赤道槽)有關,6月中旬可用位能又增加,這也是否意味著季風內熱源經過該區,雖然與Krishnamurti和Subrahmanyam(1982)巧合,仍需進一步探討。

Lau和Chan(1986)述及印度季風盛行時,印度洋季風槽內熱對流雲系統北移到印度半島後約7-10天則中國梅雨開始,是透過40-50天低頻運動,本文從內部模動能分析到第二垂直模動能,印度洋地區和華南與台灣地區第二垂直模與第四垂直模之動能有定性之關係,這方面需許多個案來研究才能確定,但針對台灣附近區域,5月份正壓動能(略)佔優勢,6月份則是內部模為主,則是一個有趣之主題。

五、結 論

本研究將歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)所處理1979年FGGE III-b之5月、6月三度空間資料,投影到由資料所得到的垂直函數內其等效深度(Equivalent Height)依次為9718, 2776, 667, 243, 116, 59, 30, 19, 13, 9.6, 5.6, 5.2, 2.9, 1.8, 0.52等垂直模之動能,可用位能上,結果顯示熱帶地區是以等效深度為 243 m 之第四垂直模(內部模)為主,隨著緯度增加,正壓性能量佔優勢,但到高緯度(45° N - 60° N)又以第四垂直模能量為最大。在熱帶地區現象與Gill(1980), Silva Dias et. al(1983)模式所得結果吻合。

在本研究中,印度季風所含蓋印度洋區域之第四垂直模能量隨時間變率6月中旬較高值與季風開始日期頗為吻合,有待進一步求証。華南地區與台灣地區在6月份第四垂直模可用位能減少,而何種垂直模之動能增加,此現象有待進一步研究。

印度洋區域第二垂直模之動能與華南、台灣地區第二垂直模動能有很好關係,但此區域天氣系統是以第四垂直模為主,則系統間各垂直模之能量轉變過程,有值得探討。

誌 謝

本研究承國科會專案計畫NSC79-0202-M052-06支援下完成,並感謝周思運博士對本文諸多建議。

參考文獻

- 周仲島、陳泰然，1989：1979年東亞梅雨候平均大尺度環流之變化特徵。大氣科學，17，303-330。
- Bengtsson, L., and M. Ghil, 1981: Dynamic Meteorology Data Assimilation Methods. Applied Mathematical Sciences 36.
- Gill, A. E. 1980: Some simple solutions for heat induced tropical circulation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 106, 447-462.
- Kasahara, A., 1976: Normal modes of ultralong waves in the atmosphere. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 669-690.
- 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.
- Krishnamurti, T. K. and D. Subrahmanyam, 1982: The 30-50 day mode at 850mb during MONEX. *J. Atmos. Sci.*, 39, 2088-2095.
- Lau, K. M. and P. H. Chan, 1986: Aspect of the 40-50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1354-1367.
- Puri, K., 1983: The relationship between convective adjustment, Hadley circulation and normal modes of the ANMRC spectral model. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 23-33.
- 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.
- Temperton, C. and D. L. Williamson, 1981: Normal mode initialization for a multilevel grid-point model. Part II: non-linear aspect. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 744-757.

A Study on the Observed Vertical Mode Structure in Large-scale during East Mei-Yu Period

Beng-Chun Lee Huei-Min Wang

Research and Development Center
Central Weather Bureau

(manuscript received 18 July 1990; in final form 23 September 1990)

Abstract

This paper presents a preliminary vertical modal decomposition of FGGE level III-b data to analyze the structure of the energetic characteristics over 16 blocks which cover most of the Eastern Hemisphere from the equator to 60°N during May and June, 1979. The average energetics of each block is computed as a function of the vertical mode index. It is shown that the internal mode with equivalent depth of the order 243 m is dominant in the tropical areas and the external mode poleward becomes important from the equator.

The preliminary results show that the onset of Indian monsoon is, possibly, related to the variations of the available potential energy in the fourth vertical mode over the Indian monsoon regions in middle June. The energetic distributions of the fourth vertical mode from May to June is quite different over the Southern China-Taiwan regions. The energetic variations of the second vertical mode from May to June, qualitatively, reveal that there is a consistent relationship between Indian monsoon and southern China-Taiwan areas.

Key words: vertical mode, energy.