

1979年東亞梅雨期中低緯度大氣垂直模之 結構與能量之研究

李汴軍
中央氣象局

(中華民國八十三年五月十三日收稿；中華民國八十三年八月二十五日定稿)

摘 要

分析1979年5月和6月從 $30^{\circ} E \sim 150^{\circ} E, 0^{\circ} \sim 60^{\circ} N$ 範圍內歐洲中期天氣預報中心(ECMWF) III - b 三度空間觀測資料之垂直結構，其結果顯示中緯度地區大氣垂直溫度變化較明顯，此現象與東亞梅雨期入梅、出梅前後相吻合。能量百分比顯示，熱帶地區80%能量集中在前四個垂直模內，第一垂直模能量有30天週期趨勢，中緯度地區能量變化有15天週期傾向，副熱帶地區則呈現為過渡地區。熱帶地區以位能為主，副熱帶地區、中緯度地區在第一垂直模以位能居多，動能則在內部模為主要能量。

關鍵詞：梅雨期、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康藏高地區，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。根據天氣預報經驗及地形考慮，本研究在不考慮環流間關聯性外，原則上，我們將其視為一個區域性特殊現象，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，以美州 (30° N- 40° S, 135° W- 0°) 為主之大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 250m) 能量佔優勢，而在較高緯度則趨向外部模為主。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。根據李與王 (1990) 研究指出也具有這種特性，但由於上述研究偏重在平均狀態大氣能量分布情形，是否在不同緯度間是否也有這種現象，是本文探討目的。

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，在不同緯度範圍來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，垂直函數特徵隨時間變化在第三節將予討論，各緯度帶能量特徵在第四節敘述，討論與結語在第五節、第六節作扼要說明。

二、資料及方法

本項研究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 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ 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，將上述資料平均共有 12 組資料 (表一)，然後採用 Bi-linear 內插法內插到以 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 經緯度上，再利用氣壓對數剖面轉換上 Sigma 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。

本研究範圍是由下列四個經緯度 (0° , 30° E), (0° , 150° E), (60° N, 30° E), (60° N, 150° E) 所含蓋的區域，根據地形等高線分布及青康藏高原所處的緯度來區分為三個緯度帶即 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ N (本文稱為熱帶)， 20° N $\sim 45^{\circ}$ N (本文稱為副熱帶)， 45° N $\sim 60^{\circ}$ N (本文稱為中緯度) (圖一) 為本文研究區域。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

表1 資料分析起止時間。

候	起 止 時 間	候	起 止 時 間
1	5月 1日~5月 5日	7	5月31日~6月 4日
2	5月 6日~5月10日	8	6月 5日~6月 9日
3	5月11日~5月15日	9	6月10日~6月14日
4	5月16日~5月20日	10	6月15日~6月19日
5	5月21日~5月25日	11	6月20日~6月24日
6	5月26日~5月30日	12	6月25日~6月29日

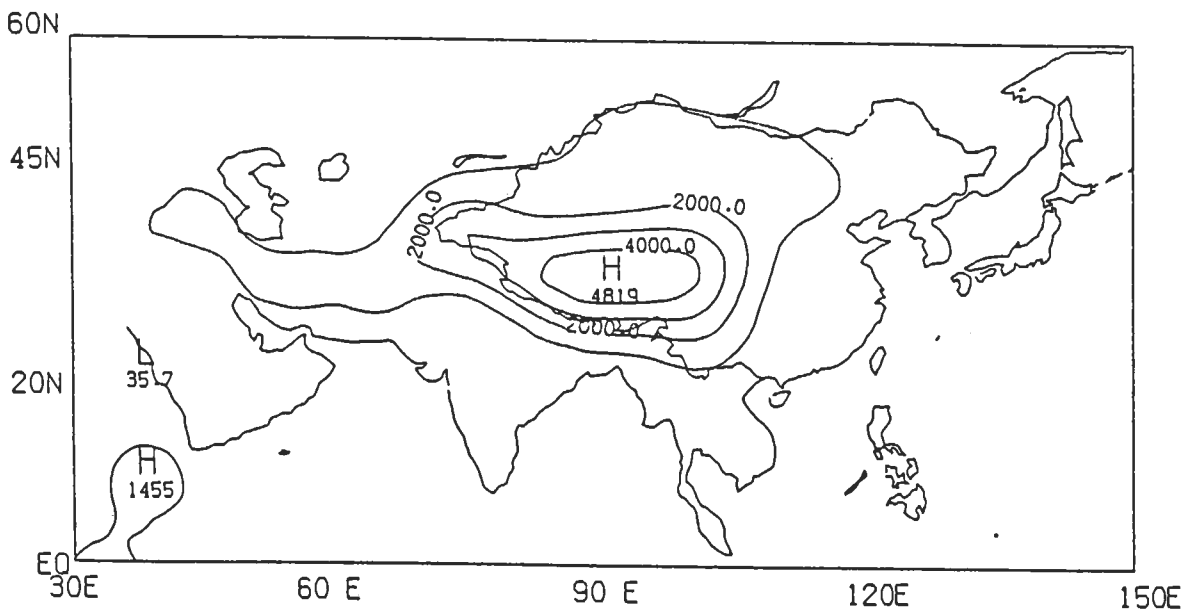


圖1 熱帶(0~20° N),副熱帶(20° N~45° N),中緯度(45° N~60° N)之範圍。

Puri, 1981), 在研究區域內大氣質量之基本狀態就是此區域內各等壓面之平均溫度之函數, 而此溫度亦需轉換到Sigma坐標上, 據此可依流體靜力方程可推算到研究區域之表面氣壓及表面溫度。

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, 其中第一個垂直模稱為外部模, 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, 意味較小尺度集中在低對流層及受邊界層之影響。

爲了要計算每一垂直模間之能量, 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)

$$\begin{bmatrix} U_n \\ V_n \\ Z_n \end{bmatrix} (\lambda, \phi) = \sum_{k=1}^{15} \Psi_{n,k} \begin{bmatrix} U(\lambda, \phi, k)/\sqrt{gD_n} \\ V(\lambda, \phi, k)/\sqrt{gD_n} \\ (Z(\lambda, \phi, k) - Z\sigma(k) + \frac{RT(k)}{g} \ln \frac{P_s(\lambda, \phi)}{p})/\sqrt{gD_n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中n者表示垂直模, U, V, Z爲垂直層次K之每一網格點水平風場及高度場, P爲研究區域內各點表面氣壓 P_s 之平均值, $Z\sigma$ 爲研究區域內第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 及可用位能 P_n 在每一個網格點可表示如下:

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

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

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、垂直函數結構特徵

圖二至圖四是區域1、2、3在5月1日至5日(第一候), 5月16日至20日(第四候), 6月15日至19日(第十候)等三個候所顯示垂直溫度分布情形, 在熱帶地區這三候不同時間垂直溫度變化不大, 副熱帶地區垂直溫度增暖(比較圖二、圖三、圖四)不是很明顯, 但中緯度地區, 地面溫度

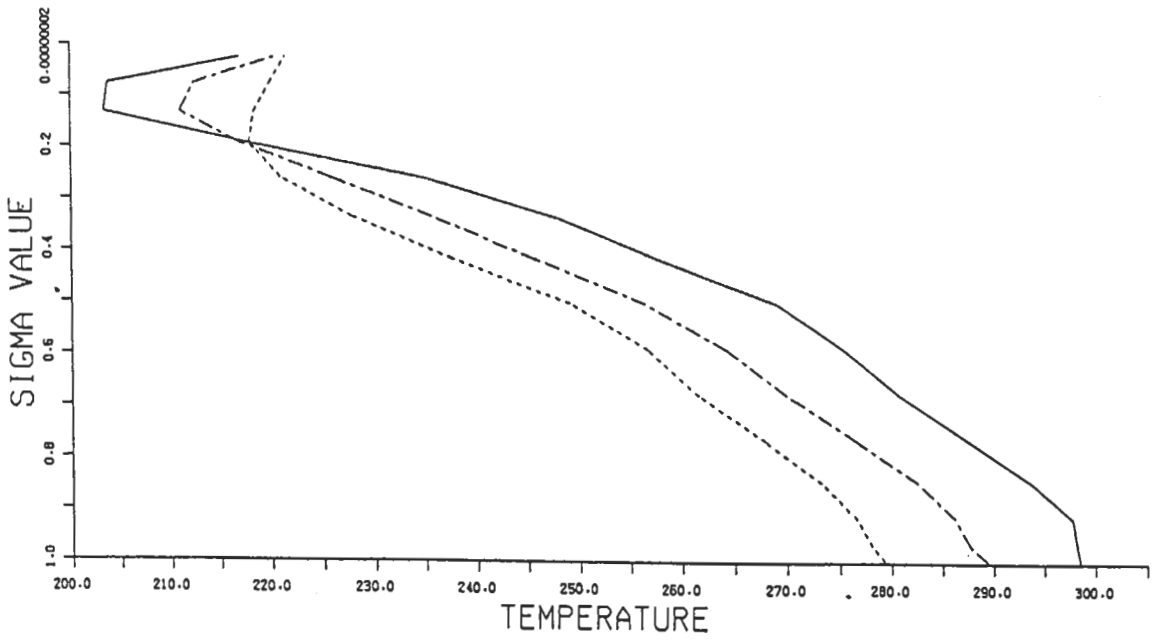


圖2 79年5月1日至5月5日,熱帶(實線)、副熱帶(折點線)、中緯度(虛線)計算垂直溫度分布圖。

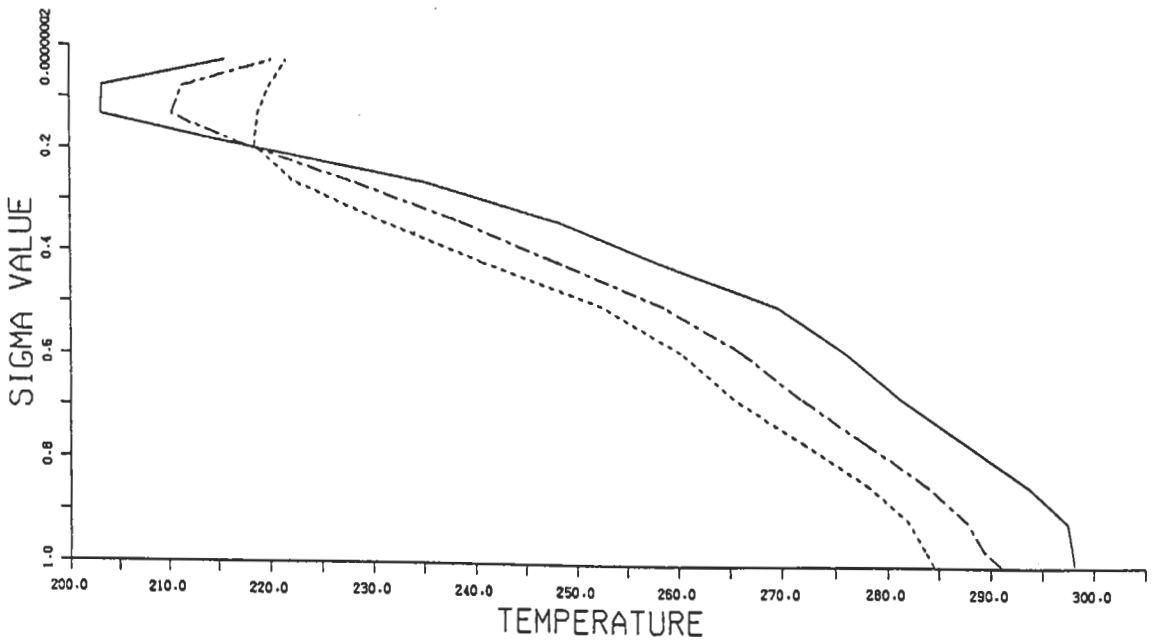


圖3 同圖2,但為79年5月16日至5月20日。

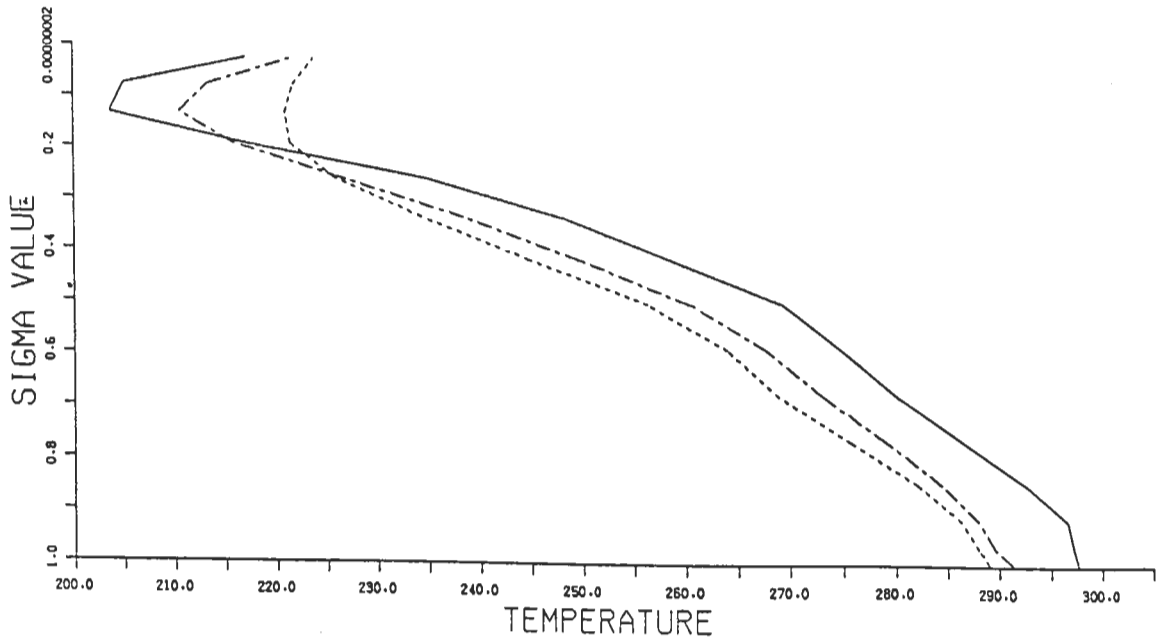


圖4 同圖2,但為79年6月15日至19日。

從圖二約 280°K 增加至圖三約 285°K 及圖四約 290°K 。比較中緯度第一候至第十二候平均溫度曲線(圖略)有一現象即整個大氣溫度在這三候前後時間而增暖是一特徵,另外對流層頂溫度也逐漸增溫。這種中緯度大氣增暖階段現象恰好與東亞華南地區梅雨入梅時間,出梅時間相吻合,這是否說明每年5月、6月北半球在東半球中緯度天氣系統隨著季節轉移所產生自然現象,低緯度這種訊號並不明顯。同時圖二至圖四也顯示,熱帶地區及包含青康藏高原副熱帶地區溫度垂直分布變化不大,說明利用垂直正模初始化時不會有較大空間誤差,但在處理中緯度地區則有影響。

經由每一層垂直溫度分布,可計算出每一垂直模之函數及相對應等效深度,在第一、第二、第三垂直模方面,熱帶地區(圖略),副熱帶地區(圖略),中緯度地區(圖略)等其垂直函數相類似,本文不予討論。每個區域有12候資料,每一候資料有15個垂直模,由於第一候、第四候、第十候之第四、第五、第六垂直模分布情形相類似,於是本文只討論5月15日至20日之第四、第五、第六個垂直模區域1、2、3之異同點。

圖五是第四候(5月15日至20日)熱帶地區,副熱帶地區,中緯度地區第四至第六垂直模之函數,若以熱帶地區垂直模作標準,則副熱帶地區第六垂直模與中緯度地區第四、第六垂直模是反方向。任一垂直模分布之正反方向,根據式(1)可推測在某一垂直模上其水平層展開後風速分布及重力位分布之不同,但不能說明與天氣系統有何直接關連,因後者是所有垂直模分量的總合成。因此要分析區域性能量關係,一定要計算該區域垂直模函數。第五垂直模方面,在副熱帶地區,中緯度地區,較大值在大氣高層。

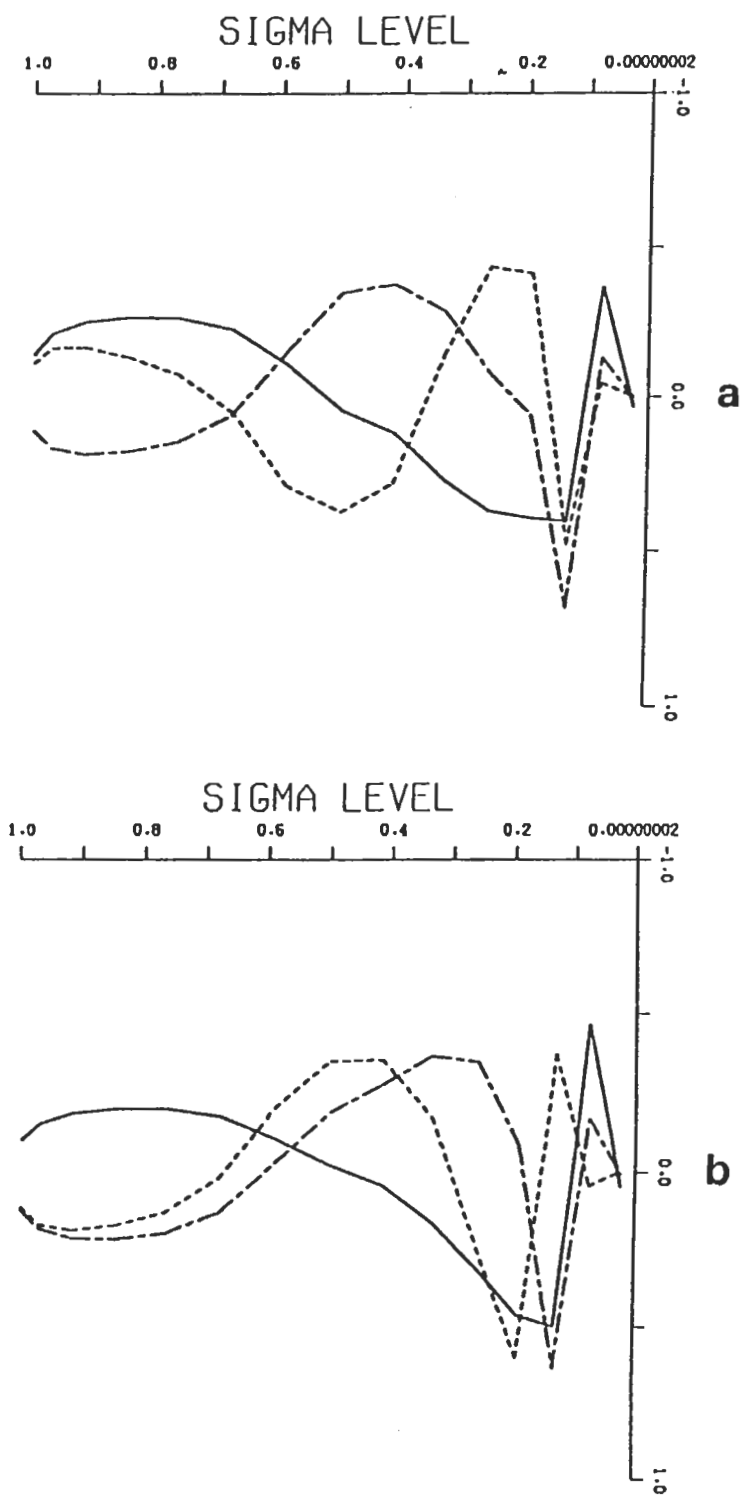


圖5 熱帶(a)、副熱帶(b)、中緯度(c)等地區之第四候之第四、第五、第六垂直函數(標準化) $\Psi_{n.k}$ 圖。

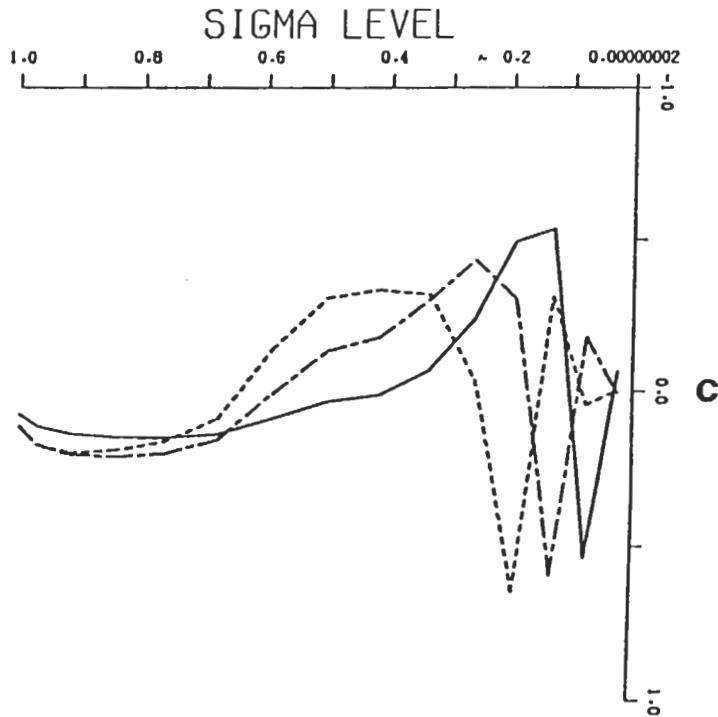


圖5 (續)。

四、熱帶、副熱帶及中緯度之能量特徵

根據熱帶、副熱帶及中緯度等各區域之每候高度場及風場資料，投影到每一區域各候之垂直函數上，然後將其因次化，可以得到每一區域各候及各垂直模間動能、位能的能量及每一垂直模能量佔各區域總能量的百分比來進一步分析。

在每一垂直模十二候平均能量佔總能量百分比方面(李, 1991)，熱帶地區以第一垂直模、第二垂直模、第四垂直模的能量為主，其平均百分比為20%、25%、24%。副熱帶地區第一垂直模、第四垂直模能量百分比依次為25%、32%。中緯度地區第一垂直模、第五垂直模能量百分比分別為41%、18%。以上說明在此季節內，第一垂直模外部模能量依熱帶、副熱帶、中緯度次序而增加，而內部模能量則集中在熱帶、副熱帶地區。

圖六是熱帶地區第一垂直模、第二垂直模、第四垂直模的能量百分比從第一候(5月1日至5日)至第十二候(6月25日至29日)分布情形。第一垂直模能量百分比有二個特色，一是在第七候(5月31日至6月4日)計算的能量百分比33%是最大值，其餘時間能量比，平均在20%上下；二是從每一候能量比序列來觀察，有一週期約為25-30天之趨勢。第二垂直模能量百分比在第五候(5月21日至25日)、第六候(5月26日至30日)、第七候(5月31日至6月4日)約在30%左右，其餘時間分布比較均勻。第四垂直模則在第八候(6月5日至6月9日)能量百分比逐漸增加。圖六之第一垂直模、第四垂直模能量百分比在時間的變化，顯示從第五候開始此二垂直模有相反之趨勢，即五月份是第一垂直模能量百

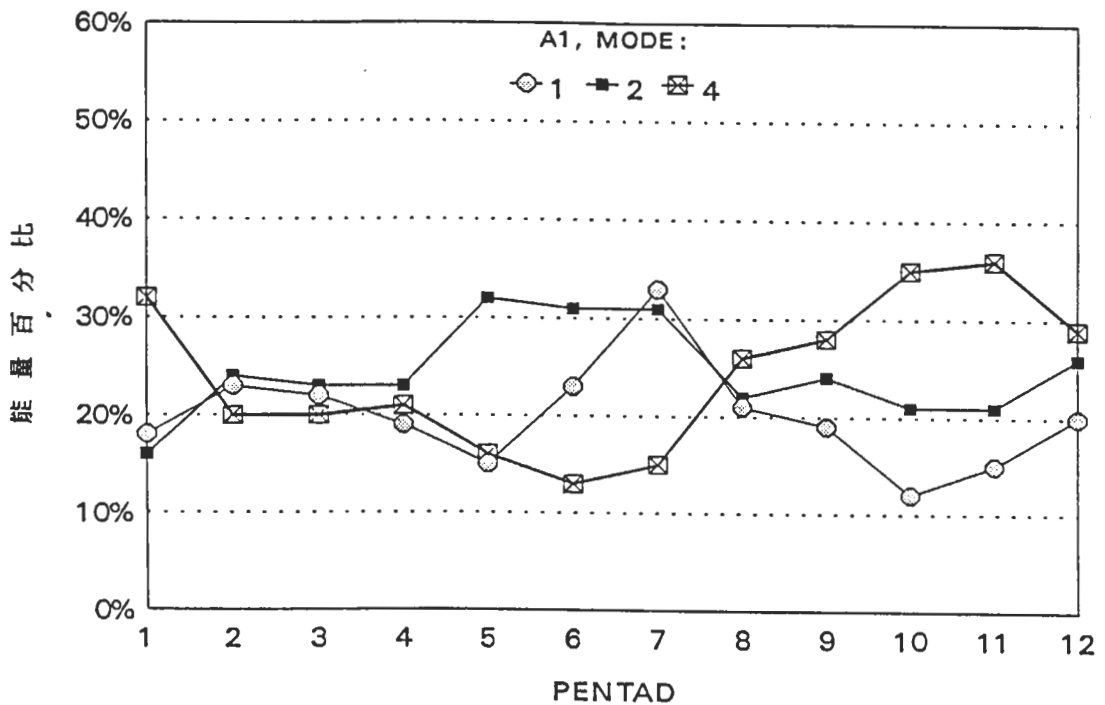


圖6 熱帶地區(A1)第一(a)、第二(b)、第四(c)垂直模能量佔總能量百分比。

分比佔優勢，而六月份則以第四垂直模能量為主。

圖七是副熱帶地區第一垂直模、第四垂直模、第五垂直模之能量百分比在五月、六月時間分布，圖中顯示第一垂直模在第七候有一相當明顯的極值觀測到，第四垂直模則顯示較為均的分布，大約在第七候前幾候能量百分比，略強於後面幾候之能量百分比。圖八是中緯度第一垂直模、第四垂直模、第五垂直模能量百分比情形，第四垂直模、第五垂直模能量百分比分布有前呼後應現象，在第一垂直模方面，整個趨勢是逐漸減少，在此現象過程中，略有20天左右週期。

根據前述各垂直模能量百分比分布較大的垂直模進一步分析其位能與動能特徵，第一垂直模位能在熱帶、副熱帶、中緯度隨時間分布如圖九所示，熱帶地區位能相對副熱帶、中緯度地區小很多，副熱帶地區位能分布隨時間遞減，相對在熱帶地區位能雖然很小但有逐漸增加趨勢，而中緯度地區位能則在一定範圍內（約 $400 \text{ m}^2/\text{s} \sim 800 \text{ m}^2/\text{s}$ ）增減具有不規則週期。在動能方面，副熱帶地區第四垂直模及中緯度第五垂直模時間分布如圖十所示，副熱帶地區動能隨時間逐漸減少，似乎在五月與六月交替之際驟降，中緯度地區則在此刻前後具15天之週期。

五、討論

利用區域垂直正模初始化之計算程序中，小範圍空間內所計算之大氣垂直溫度變化不大，例如本文將研究區域分為熱帶地區、副熱帶地區、中緯度地區其三個範圍大氣垂直溫度在某一定

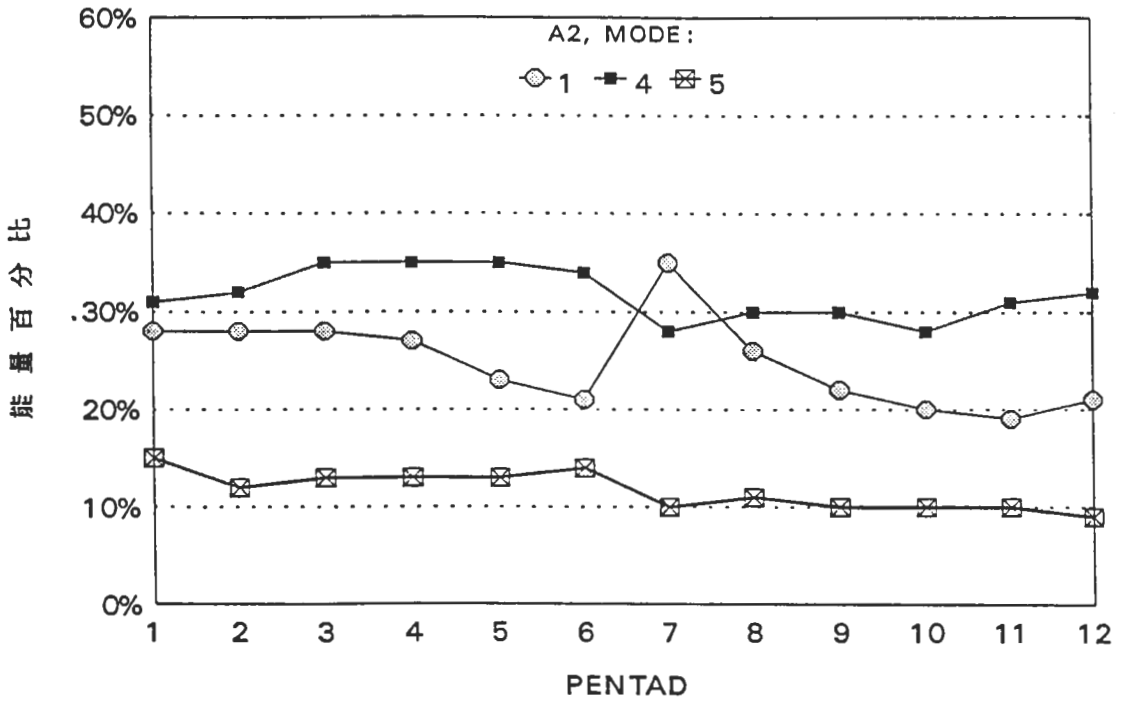


圖7 副熱帶地區(A2)第一(a)、第四(b)、第五(c)垂直模之能量佔總能量百分比。

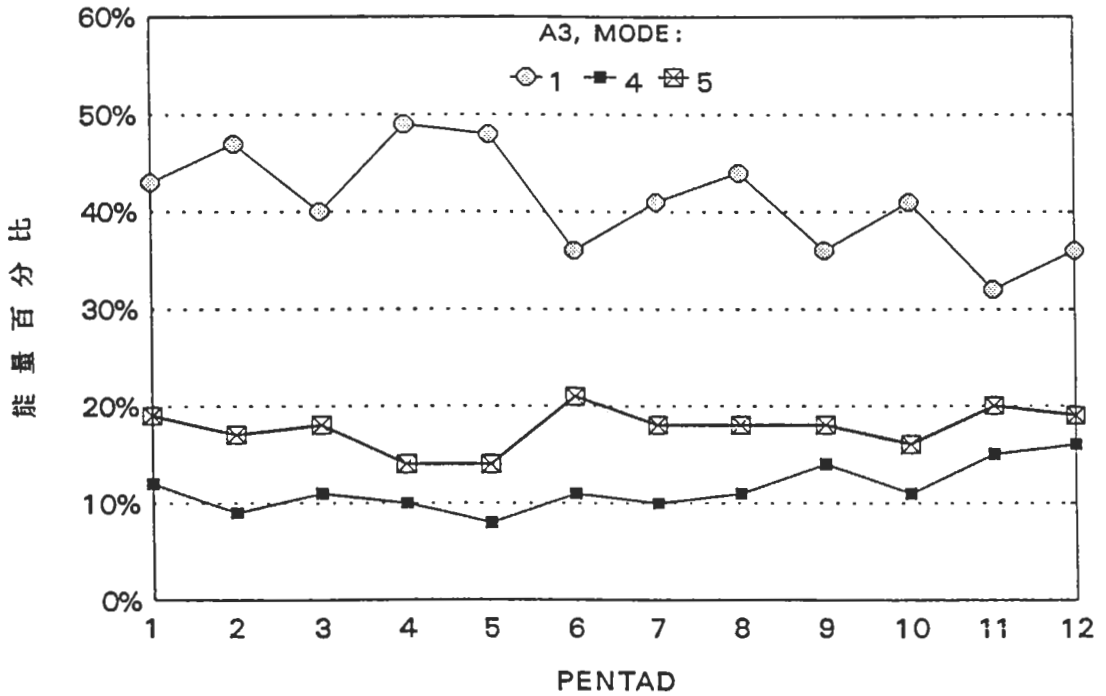


圖8 同圖7,但為中緯度地區(A3)。

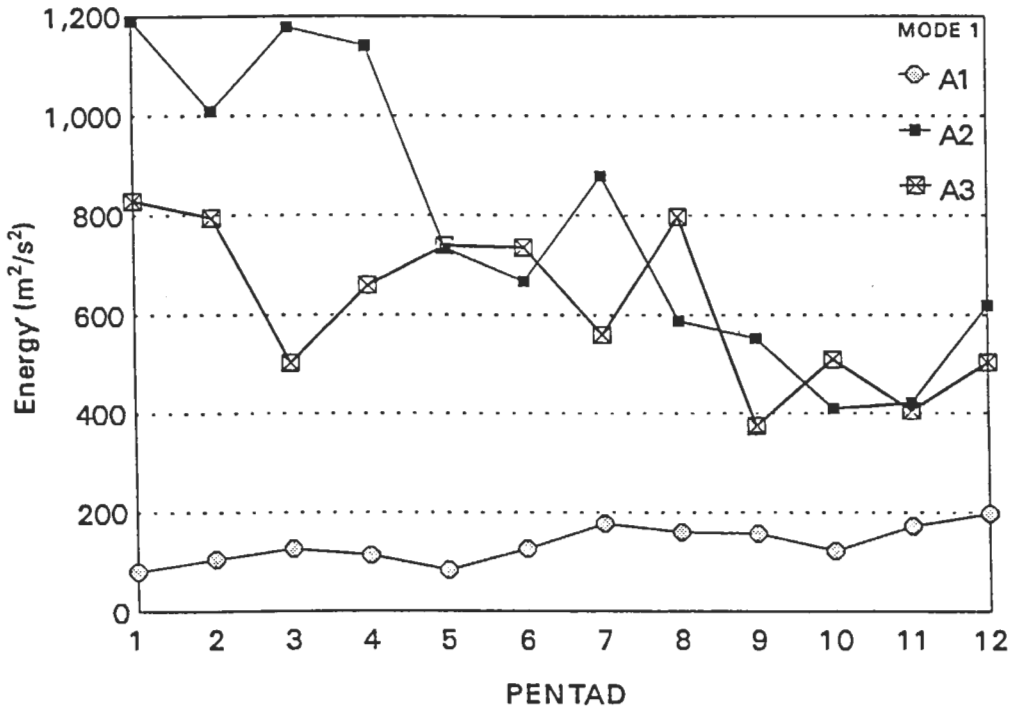


圖9 熱帶地區(A1),副熱帶地區(A2),中緯度地區(A3)第一垂直模第一垂直模位能隨時間之變化圖,橫坐標為各候(定義見表1)。

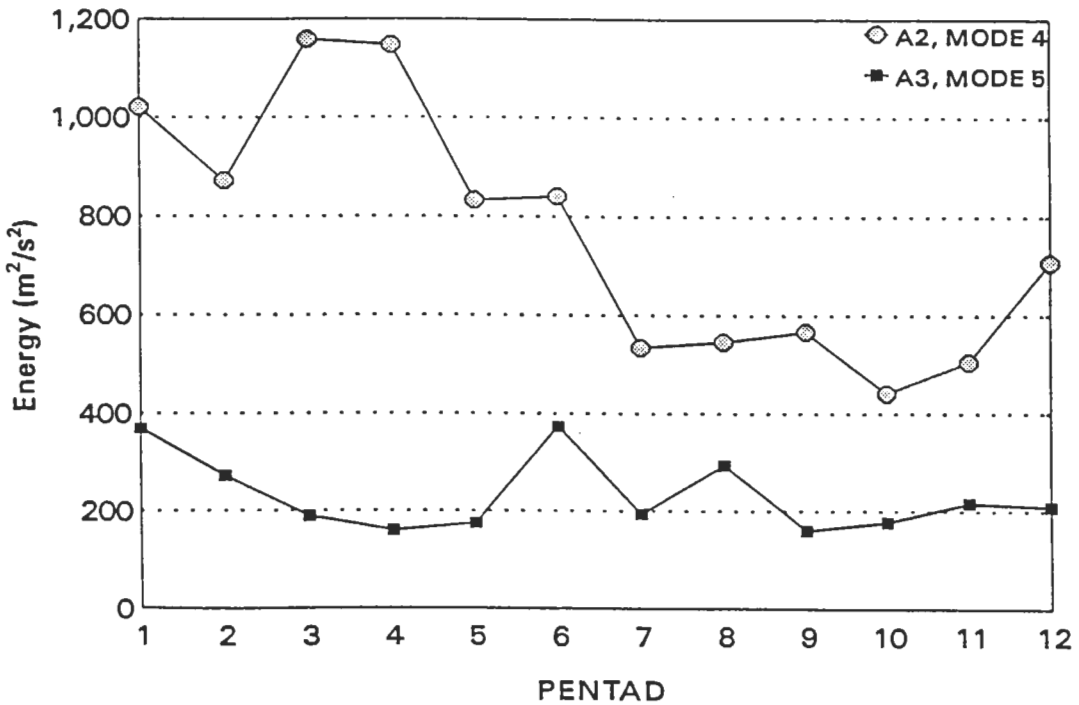


圖10 副熱帶地區(A2)第四垂直模、中緯度地區(A3)第五垂直模之動能隨時間之變化圖,橫坐標為各候(定義見表1)。

時可考慮為一常數，若將三個區域合而為一範圍時，根據圖二至圖四可推測其大氣垂直溫度會有差異，但在相同氣候控制下時，其差別較小。

本文也單獨計算青康藏高原範圍內之垂直平均氣溫，根據數學方法應有15個特徵值，但結果少一個特徵函數解，此部分原因是否由計算方法中，坐標之間較換所引起，或是底層原始資料是經由ECMWF模式計算所引起而無法求取所有特徵值。

根據垂直溫度分布所計算第一、第二、第三垂直模函數，在熱帶地區、副熱帶地區及中緯度地區大致很類似(圖略)。但此三個地區之第四、第五、第六垂直函數有正負相反值，這與資料投影有關，是否與何種類型並無直接關係。因需有相對應水平模函數，才能真正分析其天氣系統差異性，而本文分析某一區域垂直函數，此為此法之限制。

能量百分比方面，熱帶地區第一、第二、第三與第四垂直模所佔能量平均約為全部能量80%，故在處理垂直正模初始化問題時，前四個垂直模所佔能量足以作參考。副熱帶地區以第四垂直模能量為主，但外部模能量亦相當重要。中緯度地區以外部模能量分布佔優勢。

上述現象與李與王(1990)結果相符，即低緯度地區能量集中在內部模，隨著緯度之增加，能量之分布趨向低階之垂直模，同時正壓特性越來越明顯，但李與王(1990)是將五、六月視為一平均狀態而展之能量分布。

另外本文分析每一候能量變化，故可看出其週期性，例如在熱帶地區第一垂直模顯示有25-30天左右週期趨勢，而內部模則無此現象趨勢。能量百分比方面顯示第四垂直模從第五候開始，似乎與第一垂直模能量分布呈異相位變化，即第一垂直模能量減少，第四垂直模能量增加，這說明在六月份熱帶地區以此垂直模能量為主。

在副熱帶地區能量百分比則無明顯特徵，這是否意味本區域包含青康藏高原所致，是值得探討。在中緯度地區，以第一垂直模之能量為主，而其能量分布有15天週期現象，這與中緯度天氣系統有關。

熱帶地區的位能比副熱帶地區、中緯度地區的位能小，從五月開始熱帶地區比另外二個地區相差很大約(800 m²/s - 1200 m²/s)，隨時間副熱帶地區、中緯度地區位能逐漸減少，在六月底時，此二地區位能與熱帶地區相差很小(200 m²/s)，說明在六月底時此三個地區天氣系統差異性較小。在動能方面副熱帶地區從五月底驟降至六月份，配合季節性觀點似乎說明風場系統在六月份開始減弱，至於是何現象造成，本文並未深入研究。中緯度地區動能在五月底開始有2個15天週期現象。

六、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之五月、六月其範圍為0~60° N, 30° E~150° E區域內之三度空間資料，經過垂直正模投影後，其熱帶地區、副熱帶地區大氣垂直溫度隨時間變化不明顯，但中緯度地區垂直溫度隨時間變化較明顯，這

種現象與東亞地區梅雨期入梅、出梅相吻合，根據本研究推論可視為季節轉移現象，同時說明在區域模式中處理垂直模初始化會有影響，但其程度本文並未研究。

能量百分比方面，熱帶地區約80%能量集中在前面四個垂直模內，其間第一、第四垂直模能量在第五候以後，呈異向位分布。且第一垂直模能量有25-30天週期趨勢，這與一般熱帶地區氣候分布相符合。熱帶地區能量百分比並無特別現象，中緯度地區以第一垂直模能量為主，且有15天週期運動，此部分說明與中緯度天氣系統有關，而副熱帶地區則示為過渡地帶。

位能變化說明五月分熱帶與副熱帶、中緯度差異相當大，約在六月底時，熱帶與其他二個地區位能相差很少，說明天氣系統在此時差異較少，動能方面，熱帶地區相當小，副熱帶地區並無明顯特徵，中緯度地區在五月中開始有15天週期變化。

誌 謝

本研究承國科會專案研究計畫NSC80-0202-M052-05支援下完成，特此申謝。

參考文獻

李汴軍，1991:東亞梅雨期中低緯度大氣垂直模之結構與能量之研究。國科會研究報告。

李汴軍、王惠民，1990:東亞梅雨期1979年大範圍大氣垂直模初步研究。大氣科學，18，229-238。

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.

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.

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.

A Study on the Atmospheric Vertical Structure and its Energy
in Low and Mid-Latitudes during the
East Asia Mei-Yu Period in 1979

Beng-Chun Lee
Central Weather Bureau

ABSTRACT

This paper is to study the vertical energetic characteristics based on the ECMWF III - b data over $30^{\circ} \text{ E} \sim 150^{\circ} \text{ E}$, $0 \sim 60^{\circ} \text{ N}$ during May and June, 1979. Firstly, the time variations of the vertical temperature profile in mid-latitudes are significantly observed. The major time change is close to that of the onset and recess of the East Asia Mei-Yu seasons. Secondly, Most of the 80 energy stored in the first four vertical modes is dominant over the tropics. The calculated energy shows there are a 30 day period variations for the first vertical mode in the tropics and 15 day period oscillations revealed in internal and first modes of the mid-latitudes. Besides, it appears seemingly a transient belt in the subtropic regions.

Potential energy is dominant in the tropics, in the first vertical mode of the subtropics and mid-latitudes. However kinetic energy is most important over the internal modes in the subtropics and mid-latitudes.

Key Words : Mei-Yu period, Vertical mode energy