

大气环流低频振荡的研究

谢 安

(北京大学地球物理系)

提 要

大气环流低频振荡是一个新的研究课题。低频波的活动与季风的活跃/中断变化有关,而且在低纬大气环流的年际变化中有重要作用。本文仅就其中的三个问题,简要介绍研究的现状和主要成果。作者认为,低频振荡的研究有可能为中期预报提供思路。

一、引 言

本文所谈的“低频振荡”是指大气中30—60天的周期变化。有时又把这种时间尺度的变化称为“低频波”或“季节内振动”,即短期天气变化(周期为数日到10天)与季节变化之间的大气振动。尽管到目前为止,开展这方面研究工作的时间不久,但却已经取得明显的进展。

首次指出40天左右周期振荡的存在,并说明它与大气环流的活动有联系,是在70年代初。Madden和Julian^[1]应用坎顿岛(3°S, 172°W)的10年观测资料进行功率谱分析,发现地面气压、850hPa和150hPa西风风速在低频部分有明显的峰值,最大峰值的周期都在45天左右。接着他们用谱分析方法,说明从印度洋至太平洋的广大赤道地区,地面气压有明显的40—50天的周期变化,在10°N—10°S之间,这种周期的波谱峰值很明显。从交叉谱分析得到的位相差分布看出,在印度洋和太平洋地区,低频波是沿着赤道向东传播的。但在东太平洋,强度明显减弱。另外,似乎也存在从赤道向中纬度传播的倾向。这暗示中纬地区的天气变化与赤道地区的低频扰动有某些关系。

低频波的活动,如动量向北或向南的输

送,已引起人们的注意,认为这是大气环流理论应该解决的重要问题。但是,在一段较长的时期内,这方面的研究工作进展甚微。其中,低纬地区的资料缺乏可能是一个重要的原因。气象卫星的问世和FGGE(全球大气研究计划第一期全球试验)资料的应用,大大推动了对低频波的研究。目前较多使用的卫星资料是地球向外长波辐射(OLR)资料。NOAA(美国海洋大气局)提供了1974年6月以来的卫星辐射资料。其中的OLR资料除了作为辐射平衡的一个分量外,还用来研究热带大尺度环流。这是近年来热带气象研究工作的一个新发展。OLR的值是由温度和云的状况决定的。但是由于热带地区温度变化较小,因此OLR的值主要取决于云的状况。即OLR的值反映热带的对流区或下沉区。也可以说,OLR图是一张数值化了的云图。OLR低值区主要是对流系统或降水区,相反在信风区或高压控制的地区,OLR值较高。现在已有不少分析研究,说明OLR的空间分布和时间变化,与低纬地区的云和降水等有很好的对应关系。OLR对于描述低纬环流特征是一种很好的资料。

本文拟就以下三个方面简单地介绍低频波研究的现状及动向。通过对这些成果的介

绍,将有助于对这一问题的了解,并希望能促进这方面研究工作的进一步开展。

二、低频波与北半球夏季风的关系

关于北半球夏季风与低频波活动的关系,首先值得提出的是日本气象学家的一系列工作。Yasunari^[2]首次强调低频振荡在夏季风中的重要性。他运用印度上空的云量资料,说明赤道附近的30—50天周期振荡,伴随着云带的向北移动,和印度夏季风的活跃/中断变化是一致的。云量的正距平出现在20°N附近,与印度季风的活跃位相对应。在此基础上,他概括出赤道附近30—50天周期的扰动与印度季风关系的模式图(将一个周期分成四个阶段)。他认为,南半球中纬度西风扰动后部的冷空气爆发,促使赤道扰动形成,这时印度上空为下沉气流。赤道扰动

(伴随着对流运动)在向东移动的同时,也向北运动,积云对流也逐步增强,并在20°N附近(季风槽)达到最强。这时西南季风最强,印度西海岸的降水最激烈。最后,对流区移到了喜马拉雅山南侧,这时印度上空进入季风中断阶段。一个新的扰动可能又在赤道附近形成。

M. Murakami (1984) 根据卫星云量计算的对流强度指数 I_c 的变化,说明不仅在孟加拉湾东部和中南半岛,而且在西太平洋地区都存在 I_c 的低频振荡。扰动也是从赤道开始北上的。他还根据阿拉伯海区平均的低层纬向风(季风西风)极大和极小时的 I_c 分布,指出季风30—50天周期变化所伴随的积云对流活动,在中纬度有南北差异,而在赤道上则有东西差别。

最近, T. Murakami 等^[3]利用8年的OLR资料进行逐年谐波分析,分离出低频部分(即波数为6—12,周期近似为30—60天,称为 $L(t)$)。从8年平均的 $L(t)$ 标准差可见,低频振荡只在东半球的赤道印度洋和西太平洋比较显著,它与季节波是明显不同的。OLR季节变化(称为 $y(t)$)最清楚

的地区是赤道两侧的非洲、南亚—印度尼西亚—北部澳大利亚,以及美洲大陆的副热带地区。最强的低频波振幅位于孟加拉湾南部的赤道地区,它与南亚季风有密切的关系。从图1看出,每年夏季风的爆发时间大致与干季向湿季转变(OLR从正距平转变为负距平)之后的第一个低频波对流位相对应。关于南北半球夏季风爆发和撤退时间的年际变化,他们认为这同时取决于季节变化和低频波的活动。而在季风特征最显著的孟加拉湾地区,季节变化 $y(t)$ 中的振幅和位相的年际变化,较之南半球季风区要小得多。因此,在决定北半球夏季风爆发和撤退的时间方面,低频波的活动具有更加重要的作用。所以,进一步研究低频波的规律将有助于夏季风活动的预报。

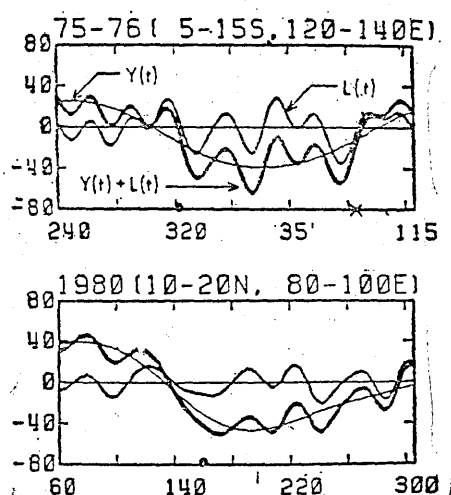


图1 夏季风爆发与 $Y(t)$, $L(t)$ 的关系
纵坐标单位, $W \cdot m^{-2}$, 横坐标是儒略日,
其中的黑点表示夏季风爆发^[3]

FGGE 资料对于低纬地区的研究工作有很大的推动。Krishnamurti 等^[4]将850hPa风场资料进行30—50天滤波处理,然后绘制流线和等风速线。从流场中东西方向伸展宽广的槽线和脊线,可以清楚地看到它们都是源自赤道地区,并逐渐向北移动。它们经过南亚季风区,消失在高原南侧。槽线的活动与积云对流区是对应的,而且这种

30—50 天周期的槽/脊北进, 与印度季风的活跃/中断是一致的。最近, 村上胜人^[5]指出, 上述槽脊的 30—50 天周期振荡不仅存在于印度季风区, 在东南亚和西太平洋地区也有类似情况。他以 1979 年夏季日本梅雨为例指出, 当年 6 月初入梅, 但不久梅雨中断, 7 月初梅雨又重新开始, 并出现大暴雨。我国东部的夏季降水, 是否也有这种周期振荡的性质, 有待于进一步研究。

我国气象工作者也注意到低纬地区的这种低频振荡。谢义炳等^[6]选取 10—15°N 季风区的一些测站, 从 1958 年夏季的 700hPa 西风强度可以明显地看出存在 1.5 个月的周期变化。而且当低纬西风增强时, 西太平洋出现台风。这一结果可以供台风发生频率的中期预报作为参考。北京大学地球物理系和国家海洋局^[7]用赤道两侧的“气压指标”定量地说明夏季热带地区对流层低层大型环流的演变有准周期的中期变化, 周期约为 5—7 周。在低“指标”期间, 影响我国的西太平洋台风频繁出现。陈世训等 (1981) 认为 5—7 周的振动集中表现为低层赤道西风和高层热带东风的强度变化, 这实质上也是季风环流强弱和位置的振动。

台风和暴雨都是我国夏季天气预报的重要课题。然而, 就中期预报而言, 目前还缺乏行之有效的预报方法。根据上述研究结果, 深入研究低频振荡的性质和活动规律, 也许能为中期预报提供一些可以参考的思路。

三、低频波的位相传播

关于赤道地区大气 30—50 天周期振荡的传播规律。Parker 注意到沿赤道 100hPa 纬向风具有东进波的成分, 又有驻波特征。从图 2 看出, 在印度洋和太平洋的范围内 (60°E—90°W), 东西风有明显的 30—50 天周期变化。沿赤道的整个纬圈上有一对东风和西风。它们所占的区域差不多都是半球。因此, 这表明时间尺度为 30—50 天的周期变化, 所对应的空间尺度是纬向波数为 1 的情形, 在印度洋和西太平洋, 东西风带有向东传播的特征。在 160°E 附近是驻波的波节, 东西风的分界面 ($u=0$) 在这个经度附近维持, 这里必然存在最大的辐散或辐合。观测事实也表明, 这里是积云比较活跃的地区。Madden 和 Julian^[1]根据国际地球物理观测年 (1957—1958 年) 的资料, 给出了赤道上 30—50 天周期变化相伴随的东西方向环流变化模式图。东西方向环流图是向东移动

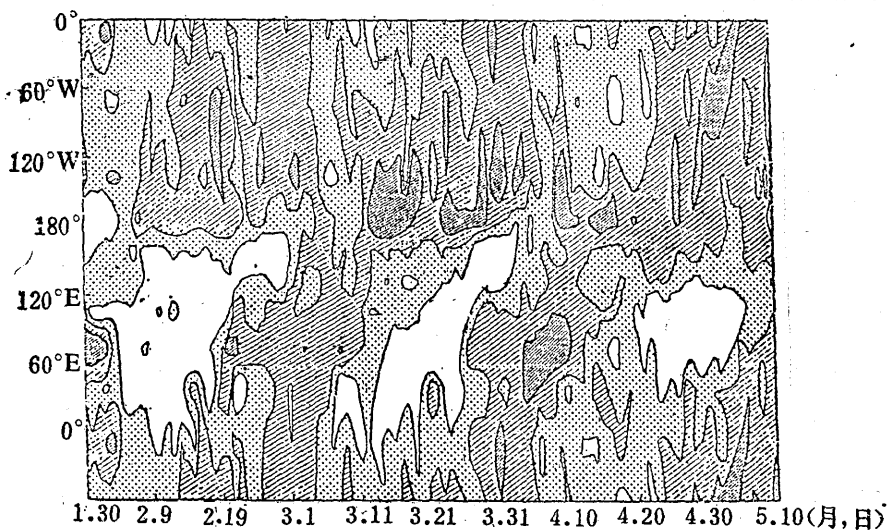


图 2 1966 年沿赤道的纬向风经度-时间剖面图

密斜线区, 西风 $>10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 稀斜线区, 西风 $<10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 点区, 东风 $<10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 空白区, 东风 $>10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

的, 积云活动到了东太平洋后逐渐减弱, 环流强度也减弱。他们认为波的东进成分可以理解为是与纬向波数为 1 的行星尺度纬向环流的移动相伴随的现象。

在 FGGE 资料的基础上, Murakami 等详细讨论了 1979 年夏季季风区的 40—50 天振荡。与过去的结果一样, 纬向风的低频振荡最清楚。40—50 天扰动的向北和向东传播, 在赤道以北的季风区 (60°E) 最明显。如果用这个范围的平均经向风来定义局地的 Hadley 环流, 则它也具有 40—50 天的周期峰值。低频扰动在向北传播的过程中, 通过与季风区的天气尺度扰动、局地 Hadley 环流和纬向平均气流的相互作用, 在 10°N — 20°N 附近达到最强。他们在另一研究中发现, 赤道地区 Walker 环流的强度有显著变化, 这与低频波穿过印度洋和西太平洋有关。他们估计的低频扰动的纬向传播速度为 $500\text{km}/\text{d}$ 。

最近, Weickmann 等应用 10 年冬季 OLR 和 250hPa 流函数的 28—72 天滤波资料进行交叉谱分析。他们发现, 对应于 OLR 距平在 60°E — 160°E 间以 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度向东传播, 在副热带和中纬度的 250hPa 流场有很强的响应。这说明存在 28—72 天这种时间尺度的侧向遥相关。天气形势表现为偏心的环极涡旋 (距平)。一侧是赤道上较活跃且范围扩展的云区伴随着副热带反气旋, 另一侧是受抑制和范围收缩的赤道云区伴随着副热带气旋。副热带反气旋和其下游的气旋组成纬向波数为 1 的形势。

刘家铭等^[8]利用 1974—1983 年冬季 OLR 资料, 研究热带对流的季节内变动 (ISV)。发现 40—50 天准周期振荡在 ISV 中占优势。这种类型的振荡是东西向的偶极形势。图 3 表明, 正负相关系数中心是成对出现的。当其中一个中心的积云对流活跃时, 其东 (西) 侧地区就不活跃。最大相关系数中心, 一个位于赤道印度洋—印度尼西亚,

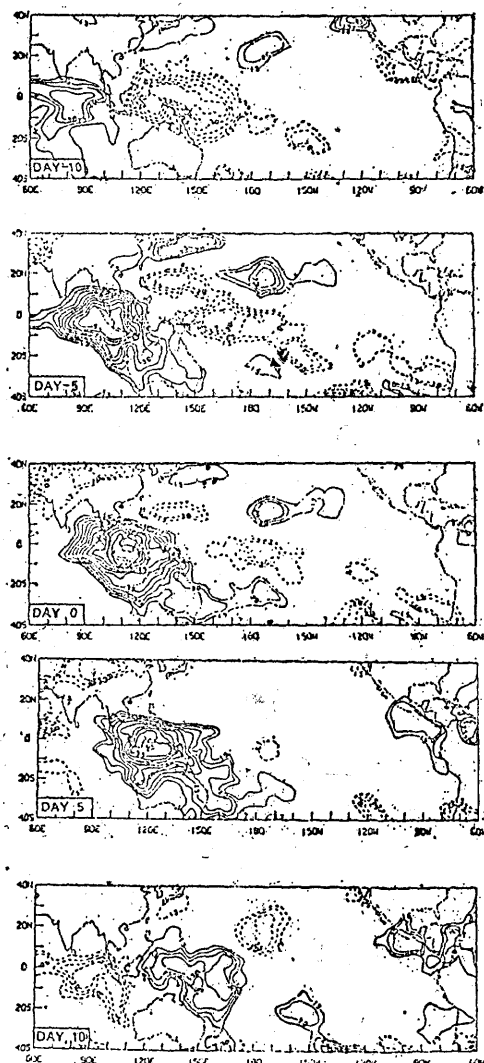


图 3 以印度尼西亚地区为参考点的 OLR 落后相关系数分布图

相关系数值已乘 100, 虚线是负相关

另一个在中太平洋的西部。在第 -5 天, 值得注意的是与印度尼西亚地区同号的强距平出现在中部太平洋的副热带地区, 以及日本南部。这些副热带距平在第 0 天发展到最强时, 范围很大的负距平出现在欧亚地区。这说明南北间遥相关加强了。另外, 中美洲与位于 130°E — 160°E 的偶极中心, 在大约 20 天期间 (第 -10 天到第 10 天) 遥相关形势有位相变换。因此, 当偶极中心位于印度尼西亚

和赤道中太平洋时, OLR 距平形势很像是 PNA (太平洋-北美环流型) 遥相关形势向热带地区的伸展。遥相关的出现与低频振荡沿赤道的位相传播是密切相关的。落后相关的参考点取在赤道中太平洋时, 也可以看出信号是从印度洋产生, 并向东移动。但是信号很弱, 而且遥相关形势基本上是定常的。最近, 他们用同样方法研究夏季的情况, 发现位于印度洋的 OLR 距平中心沿赤道向东移到西太平洋, 同时也有中心向北移到印度次大陆和中国南部。位于印度和中国华南的偶极中心同时向北移动, 意味着夏季风的两个分量受同一种大尺度背景所支配。他们确认印度季风的爆发和中国梅雨的开始与 40—50 天振荡有关。

关于低频波传播的季节属性, Murakami 等利用 FGGE 资料和 OLR 资料, 证实夏季风从南半球向北半球转移前 (4 月 15 日前后), 低频波主要位于南半球的热带地区。虽然它们也呈现向东传播的特性, 但在印度洋和赤道西太平洋上, 主要表现为驻波的特征。转移之后, 30—60 天扰动表现出北半球夏季风有系统地向东传播的特性。扩展的经验正交函数 (EEOF) 分析是讨论各个特征向量移动特性的较好方法。最近, Murakami 等^[9]对 8 年 30—60 天周期变化的 OLR 资料进行了这种分析。他们也发现, 冬季的向东传播不如夏季清楚, 而且在冬季也看不出有系统的经向传播。

根据 OLR 资料所反映的低频波传播特征, 还和低频波本身的强度有关。图 4 除了展示低频波在 60°E—180°沿赤道的向东传播特征外, 还可看出当低频波较强时, 向东传播显得很有规律, 东传的速度也比较快 (如 1977 年 8—10 月和 1982 年 4—7 月)。但低频波强度较弱时, 低频波东传的规律性较差。当大气环流出现异常时 (如 1982 年下半年), 低频波的位相传播显得杂乱无章, 甚至在东半球出现向西移动的现象 (下一节还将讨论这些特征)。

低频波的经向传播和北半球夏季风的活跃/中断有关。而它的向东位相传播则与热带、副热带地区的遥相关联系在一起。OLR 资料较好地反映热带热源的变化, 因此它在大气环流的研究中逐渐显示出优越性。

四、低频波与环流异常

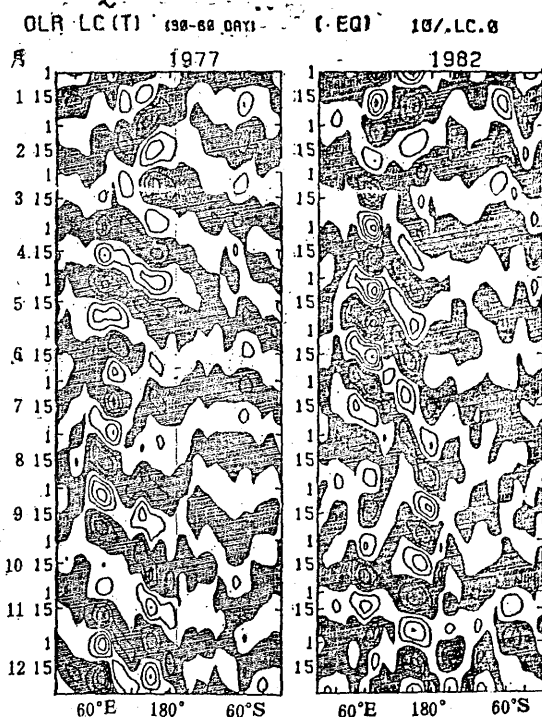


图 4 沿赤道 30—60 天滤波的 OLR 经度-时间剖面图 (1977 和 1982 年)

等值线间隔为 $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 阴影区是负距平 (即对流区)

一般认为, 大气低频振荡表现在各纬度带上是不相同的。在热带地区, 大气低频振荡可能是由大气热源激发的超长波引起的。Murakami 等^[9]认为 OLR 的 30—60 天周期振荡在热带的表现是纬向波数为 1 和 2 的超长波综合作用的结果。纬向波数为 1 的超长波是向东传播的, 主要与大气的动力特性有关。而波数为 2 的波, 基本上是驻波, 似乎是和海陆热力差异有关。低频波既然和大气热源有关, 因此当大气热源发生变异时, 必然会使低频波发生变化。反之, 低频波的异常也会使大气环流出现异常。两者是互相反馈的。这一问题的深入研究, 将有助于理解厄尔尼诺现象的物理过程。现已引起不少作者的重视。

刘家铭等^[8]用 5 天平均的 OLR 资料讨论了 1982—1983 年的环流异常 (图 5)。在 1981 年 7 月—1982 年 6 月, 有一系列 40—50 天周期的扰动从西印度洋东移到中太平洋。对流活动在 1982 年 6、7 月间出现突变。从

此之后, 对流活动开始在印度尼西亚东部和新几内亚地区增强。然后缓慢东移, 于1983年5月到达 120°W 。这期间, 偶极距平形势很清楚。迭加在 ENSO (厄尔尼诺/南方涛动) 偶极距平上的是在中太平洋很活跃的40—50天低频振荡。这时, 虽然还有40—50天波动从印度洋东移, 但在印度尼西亚地区被抑制。因此, 在 ENSO 期间, 由于40—50天波动从印度洋脉冲式地东传, 使中部太平洋的对流活动在1982年6月以后变得活跃起来。低频波在1982—1983年的 ENSO 事件中, 可能起到触发器的作用。相应的大气环流和海面温度距平相互影响, 而且通过某种类型正反馈机制, 导致很大的异常。观测事实也指出, 1982—1983年西太平洋低层东风带的消失, 与一系列维持时间为一个月左右的西风脉动是同时出现的。

最近陈隆勋等^[10]利用8年OLR资料,

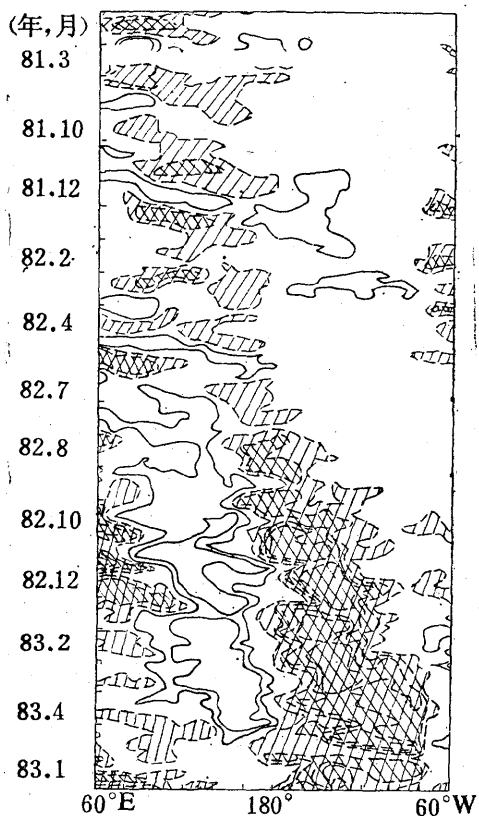


图5 0—15°S OLR 5天平均的经度-时间剖面图
阴影区是负距平, 等值线间隔为 $10\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, 零值等值线未标出

讨论了厄尔尼诺前后低频波活动规律的变化。在1982—1983年环流异常之前半年, 东半球赤道地区的低频波异常活跃。大约在1982年7月初, 上述地区低频波突然受到抑制, 振荡不明显, 向东传播的特征也消失。进入 ENSO 期间后, 原来低频波不活跃的东太平洋赤道附近地区, 低频振荡突然活跃起来, 并呈驻波形式, 偶尔还向西移动。 90°E 和 140°E 的振荡中心消失, 而在 180° 新生中心。在南亚地区 (90°E), 正常年份的低频波是由赤道向两极传播的。而在厄尔尼诺期间, 由于赤道附近低频波减弱, 来自高纬地区的低频振荡穿过副热带而到达赤道, 在东太平洋原来对流区正常的季节性南北移动, 变成赤道附近的驻波型低频振荡。

低频波的强度和移动规律有很大的年际变化, 这与环流异常可能有某种联系。Mura-kami 等^[9]在对 OLR 低频部分进行 EEOF 分析后, 得到的特征向量系数有很大的年际变化。为了探讨变化的原因, 他们对系数进行谐波分析, 结果示于图6。图中第2分量的系数 C_2 , 在1979—1983年期间最显著的周期是43天, 次之的是47天 (图中黑点指示峰值)。当这两个孪生的低频波 (即两个频率比较接近的低频波) 彼此相互作用时, 将产生一个周期为2.5年的调幅低频波。低频波的特点是频谱较宽, 这就有可能发生各种类型的调幅作用。这种形式的调幅作用很有可能是低频波的性质 (强度和位相传播) 发生年际变化的原因。根据他们的分析, 低频波的振幅变化最明显的周期是2—3年。

应该指出, 这一新课题的许多有关问题, 目前仍然没有研究清楚, 有待于深入研究, 如它们在不同地区的特征, 与其它时间空间尺度扰动的相互关系等。当然理论问题更为重要, 如为什么会出现30—60天的周期振荡。目前已有一些关于低频振荡的数值试验工作正在进行之中, 这些工作可能有助于我们对许多有关问题的深入理解。

参考文献

- [1] Madden, R. A., and P. R. Julian, Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40—50 day period. J. Atmos. Sci. 29, 1109—1123, 1972.
- [2] Yasunari, T., Structure of an Indian summer monsoon system with around 40-day period. J. Meteor. Soc. Japan, 59, 336—354,

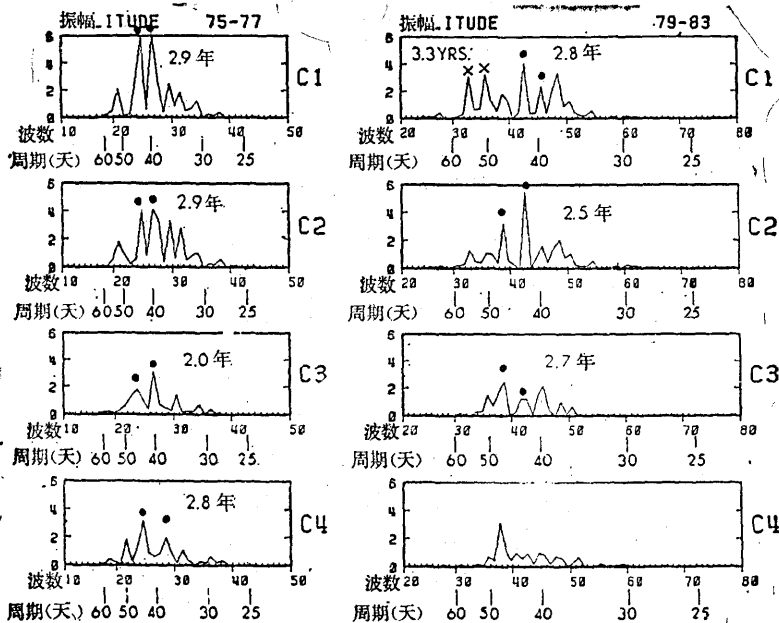


图6 EEOF 分析的前四个分量系数的谐波分析

横坐标同时标有波数和周期(天)

- 1981.
- 〔3〕Murakami, T., L.-X. Chen and A. Xie, Relationship among seasonal cycles low-frequency oscillations and transient disturbances. *Mon. Wea. Rev.*, 43, 1456—1465, 1986.
- 〔4〕Krishnamurti, T. N. and D. Subrahmanyam, The 30 to 50 day mode at 850 mb during MONEX. *J. Atmos. Sci.*, 39, 2088—2095, 1982.
- 〔5〕村上胜人, 大气循环30—50日周期变动, *天气*, 32, 459—482, 1985.
- 〔6〕谢义炳等, 东南亚基本气流与台风发生的一些事实的统计和分析, *气象学报*, 33卷.
- 〔7〕北京大学地球物理系热带组、国家海洋局水文气象预

- 报总台, 夏季热带低层环流及其中期变化的初步分析, 热带天气会议文集, 科学出版社, 1976.
- 〔8〕Lau, K. M., and P. H. Chan, Aspects of the 40—50 day oscillation during the northern winter as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1889—1909, 1985.
- 〔9〕Murakami, T., L.-X. Chen, A. Xie and M. L. Shrestha, Eastward propagation of 30—60 day perturbations as revealed from outgoing longwave radiation data. *J. Atmos. Sci.*, 43, 961—971, 1986.
- 〔10〕陈隆勋, 谢安, T. Murakami, EL Niño与大气低频振荡, 全国季风会议文集 (1986, 青岛), 即将出版.

A review on study of low-frequency oscillation

Xie An

(Department of Geophysics, Peking University)

In recent years, a lot of studies have confirmed that the active/break cycle of summer monsoon is associated with the behaviour of low-frequency mode. The 30—60 day oscillation plays an important role in the interannual variations of tropical circulation. In this study, some results of three aspects will be introduced briefly.