
亚洲夏季季风区准双周振荡实时指数

完成人：钱伊恬、徐邦琪和 Kikuchi Kazuyoshi、

完成单位：南京信息工程大学

1. 引言

对于北半球的两类 BSISO 模态，其中 MJO 的结构、传播和触发机制已经被学术界广泛地研究 (Li 2014; Kiladis et al. 2005)，而 QBWO 却相对受到较少人关注 (Kiladis and Wheeler 1995; Chatterjee and Goswami 2004; Kikuchi and Wang 2009; Chen and Sui 2010)。由于 QBWO 对于极端天气事件和季风活动的重要影响，部分学者提出了一些监测和预报 QBWO 状态的实时指数。现有的两个 QBWO 指数 (Lee et al. 2013; Gao et al. 2016) 主要利用 EOF 分析方法来提取次季节信号。一些研究表明，与 EOF 分析相比，EEOF (Weare and Nasstrom 1982) 可以更有效地体现扰动的时空演变 (特别是波动) 特征，这是因为 EEOF 包含了空间场的时间滞后信息 (Weare and Nasstrom 1982; Kikuchi and Wang 2009; Kikuchi et al. 2012, 2017; Suhas et al. 2013)。然而，EEOF 方法还未曾用来建立 QBWO 指数。因此，这一研究的目的主要是利用 EEOF 方法来建立一个可以有效代表 QBWO 活动及其与亚洲夏季季风区的天气气候事件关系的 QBWO 实时指数。

2. 数据和滤波

QBWO 指数的建立主要是利用 1980–2012 年美国国家海洋大气局的逐日 OLR 数据，数据的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ (Liebmann and Simth 1996)，OLR 可以用来代表赤道地区的深对流系统。本文还计算了与 QBWO 活动相关的逐日 850 hPa 风场，风场数据来自于欧洲中期天气预报中心全球大气再分析产品 ERA-Interim 再分析数据 (Dee et al. 2011)，水平分辨率为 $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ 。降水资料来自于 APHRODITE (Yatagai et al. 2012)，水平分辨率为 0.5° ，时间为 1981–2007 年。西北太平洋的 TC 数据来自于联合台风警报中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC, 2017) 在 1980–2012 年的台风数据，时间间隔为 6 小时。

我们利用权重为 139，10–30 天的 Lanczos 带通滤波方法 (Duchon 1979) 提取 QBWO 信号。

3. QBWO 实时指数的建立

本文提出的 QBWO 指数是为了可以更好地掌握北半球夏季亚洲季风区 QBWO 的活动。我们将分别对西北太平洋(WNP, $100^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$), 和印度洋(IO, $40^{\circ}-100^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) 的 QBWO 建立 QBWO 指数。这两个指数分别称为 WNP-QBWOI 和 IO-QBWOI。

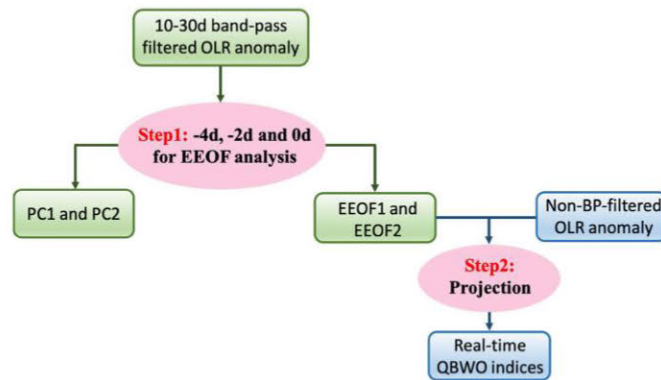


图1 建立QBWO实时指数的流程图。第一步为提取观测中QBWO的气候模态。对5-10月西北太平洋 ($100^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) 和印度洋 ($40^{\circ}-100^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) -4天, -2天和0天的10-30天OLR带通滤波场进行EEOF分析。第二步将包含了三个时次(-4天, -2天和0天)的10-30天非带通滤波的OLR距平场投影到前两个EEOF模态上, 得到QBWO实时指数。

北半球夏季的 QBWO 指数建立过程主要分为两步, 如图 1 所示。第一步, 从 5-10 月的-4 天, -2 天和 0 天的 10-30 天带通滤波的 OLR 场提取 WNP ($100^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) 和 IO ($40^{\circ}-100^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$) 中典型的 QBWO 模态。值得一提的是, EEOF 结果与数据串联的时间间隔 (如 2 天, 3 天或者 4 天) 无关。换句话说, 从-4 天, -2 天和 0 天的 OLR 距平场中得到的 EEOF 模态与从-6 天, -3 天和 0 天得到的基本相同。进行 EEOF 分析的区域大小也不会改变 QBWO 模态, 例如, 选取更大 ($90^{\circ}\text{E}-180^{\circ}$, $0^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$) 或者更小 ($100^{\circ}-170^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$) 的 WNP 区域得到的结果也基本相同。同样地, 我们也对不同滤波频段的 OLR 距平场进行分析, 发现 10-32 天与 10-30 天带通滤波的 OLR 场的 EEOF 分析结果基本相似, 并不会受到不同滤波频段的影响。

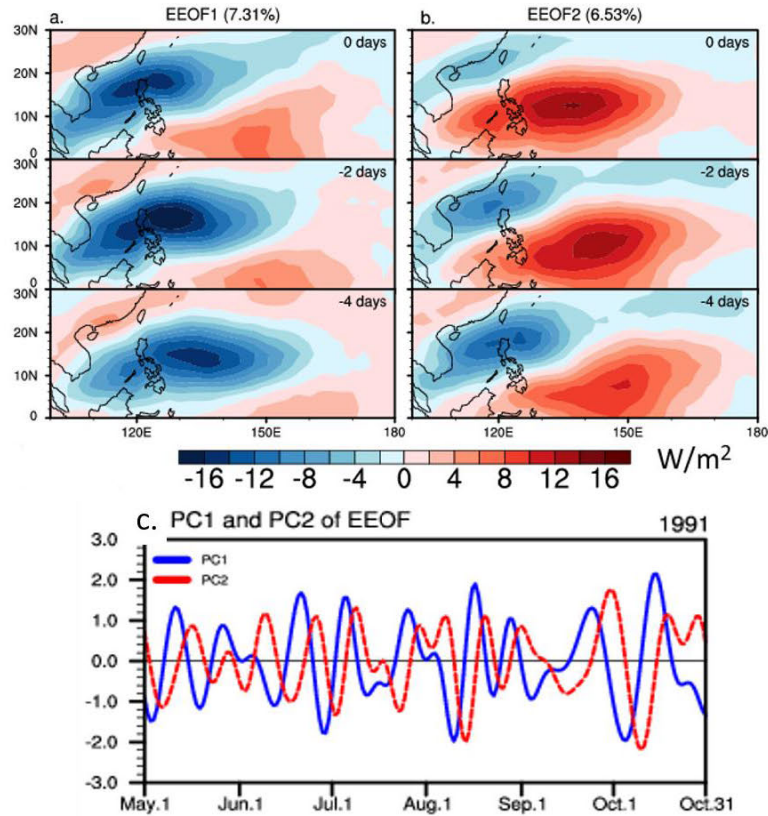


图2 西北太平洋（100°E-180°，0°-30°N）10-30天OLR带滤波的（a）第一和（b）第二EEOF模式。

括号中为相应的方差贡献率。（c）EEOF第一（蓝色）和第二（红色）在1991年5-10月标准化的PC时间序列。

如图2和图3所示，WNP和IO前两个模态的解释方差约分别为13.84%和17.43%，均通过North定理（North et al. 1982）的显著性检验。前两个模态清晰地体现了西北传和北传的QBWO对流（图2a, b, 图3a, b）。位于WNP的QBWO模态表现出从中国南海-西北太平洋的东北-西南经向倾斜特征。对流在菲律宾附近增强最终在中国东南部减弱（图2a, b）。位于IO的前两个QBWO模态从赤道印度洋向北传播到孟加拉湾/印度半岛（图3a, b）。亚洲季风区QBWO的这两个特征与前人的研究（Kikuchi and Wang 2009; Chen and Sui 2010; Wen et al. 2010）也相吻合。

图2c和图3c为其中一年与WNP（WNP-PC1/WNP-PC2）和IO（IO-PC1/IO-PC2）前两个模态相对应的PC。WNP-PC1（IO-PC1）领先WNP-PC2（IO-PC2）四分之一周期。通过计算前两个PC在1980-2012年5-10月的超前滞后相关系数，我们发现WNP-PC1（IO-PC1）大约领先WNP-PC2（IO-PC2）4天，最大的相关系数为0.75（0.60）[图2c（图3c）]。这些特性都说明了WNP-PC1（IO-PC1）和WNP-PC2（IO-PC2）是成对出现的。为了说明EEOF方法在提取亚洲季风区的QBWO传播方面具有优越性。

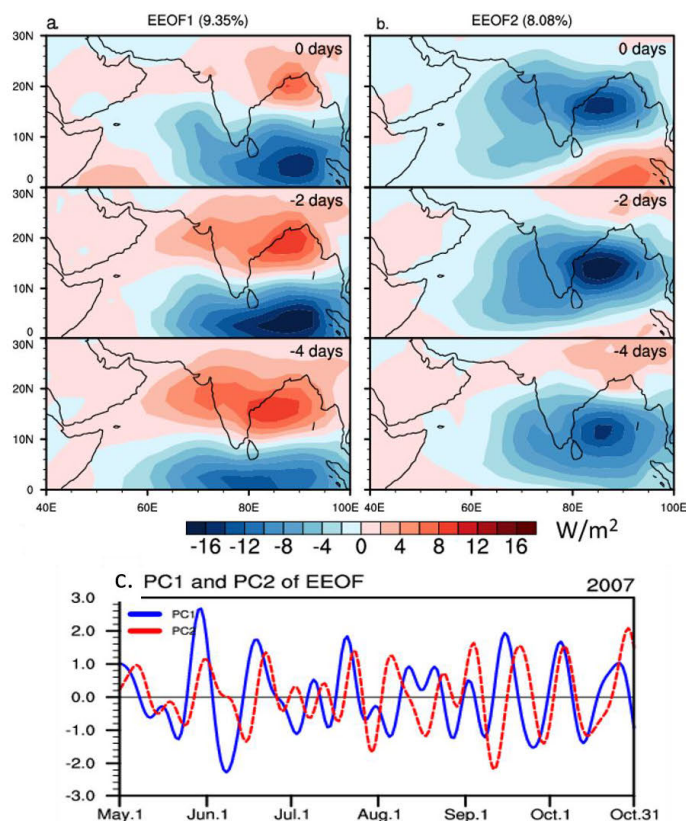


图3 同图2，但为印度洋区域（40°–100°E，0°–30°N）。

建立 QBWO 实时指数的第二步（图 1）是将包含了三个时间步长（-4，-2 和 0 天）的 10–30 天 OLR 距平场投影到前两个 EEOF 模态上。在进行需要实时监测的业务应用时，10–30 天 OLR 距平场无法通过带通滤波的方法得到。仿照 Wheeler and Hendon（2004）的方法，按照以下步骤提取 10–30 天距平场：

- (1) 去掉低频背景场，从原始数据中去掉气候平均态和气候年循环的前三个谐波。
- (2) 从 OLR 距平场中减去前 120 天的年际变化。
- (3) 减去前 9 天平均去掉大于两周以上时间尺度的信号。
- (4) 最后，对数据进行 3 天滑动平均去掉高频信号。

这种方法得到的数据称为非带通滤波场（non-BP-filtered field）。平滑的系数 9 和 3 是通过带通滤波场和非带通滤波场之间的相关关系进行一系列敏感性试验确定的（Kikuchi et al. 2012）。经过敏感性测试，发现当选择 9 天和 3 天作为平滑系数时，得到的 PC 与直接用 10–30 天带通滤波场进行 EEOF 分析得到的 PC 之间的相关系数最大，因此选择 9 天和 3 天作为平滑系数。为了获得实时 QBWO 的位相和强度，只需要将非带通滤波的 OLR 距平

场投影到 QBWO 模态上 (图 1)。例如, WNP 的时间序列是将 WNP 的非带通滤波 OLR 距平场投影到 WNP 区域的 EEOF1 和 EEOF2 上得到。这些 WNP QBWO 投影得到的时间序列分别称为 WNP-QBWO1 和 WNP-QBWO2。WNP-QBWO1 和 WNP-QBWO2 的位相演变代表了 QBWO 生命循环状态以及 QBWO 对流在亚洲季风区的位置。WNP 的 QBWO 指数的强度公式分别为:

$$\text{WNP-QBWOI} = (\text{WNP-QBWO1}^2 + \text{WNP-QBWO2}^2)^{1/2}, \quad (1)$$

$$\text{IO-QBWOI} = (\text{IO-QBWO1}^2 + \text{IO-QBWO2}^2)^{1/2} \quad (2)$$

4. QBWO 实时指数的基本特征

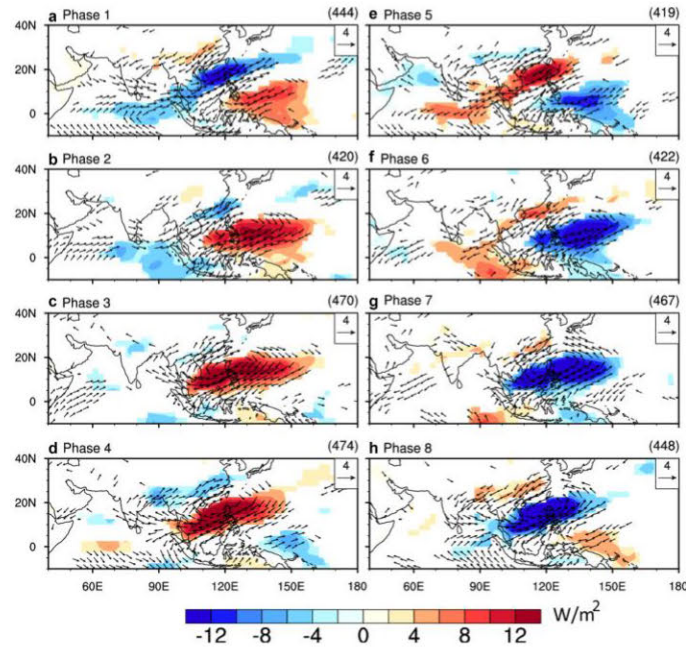


图4 10–30天OLR带通滤波和850 hPa风场基于WNP-QBWO中活跃WNP-QBWO事件 $[(\text{WNP-QBWO1}^2 + \text{WNP-QBWO2}^2)^{1/2} > 1.0]$ 在八个位相的合成。只显示超过0.01显著性水平的区域。右上角显示每个位相合成的样本数。

图 4 为基于 WNP-QBWOI 的 QBWO 生命史的对流和环流合成演变图。第 1 位相时, 菲律宾海和中国南海附近的活跃对流所对应的巨大气旋性环流向中南半岛延伸, 同时, 在海洋性大陆和赤道区域出现了较弱的下沉气流 (图 4a)。在第 2–3 位相时, 这一减弱的对流向西北传播到海南岛和台湾 (图 4b, c)。在第 4–5 位相时, 对流向西北传播到中国东南部, 盛行的西南风为中国东南沿海地区和长江流域带来充沛的水汽。同时, 菲律宾海和赤道西太平洋的对流开始活跃增强, 环流开始建立。在第 6–8 位相的 QBWO 波列继续向西北传播

(图 4f-h)。QBWO 的气旋性环流距平盘踞在中国南海和菲律宾海附近，导致这些区域的水汽辐合。因此 QBWO 在第 6-8 位相时有利于南海季风的建立 (Chen and Chen 1995; Mao and Chan 2005)。图 5 为基于 IO-QBWOI 的 QBWO 对流和环流演变合成图。在第 8 和第 1 位相时，QBWO 深对流主要位于赤道印度洋附近 (图 5h, a)。随后，对流所对应的巨大的气旋性环流向北/西北传播到孟加拉湾和印度半岛 (图 5b, c)。在第 4-7 位相的 QBWO 则刚好相反 (图 5d-g)。基于 WNP-QBWOI 和 IO-QBWOI 位相合成的 QBWO 对流和环流 (图 4, 5) 准确地反映了观测中亚洲季风区 QBWO 的结构和传播特征 (Chen and Sui 2010; Wen et al. 2010)。

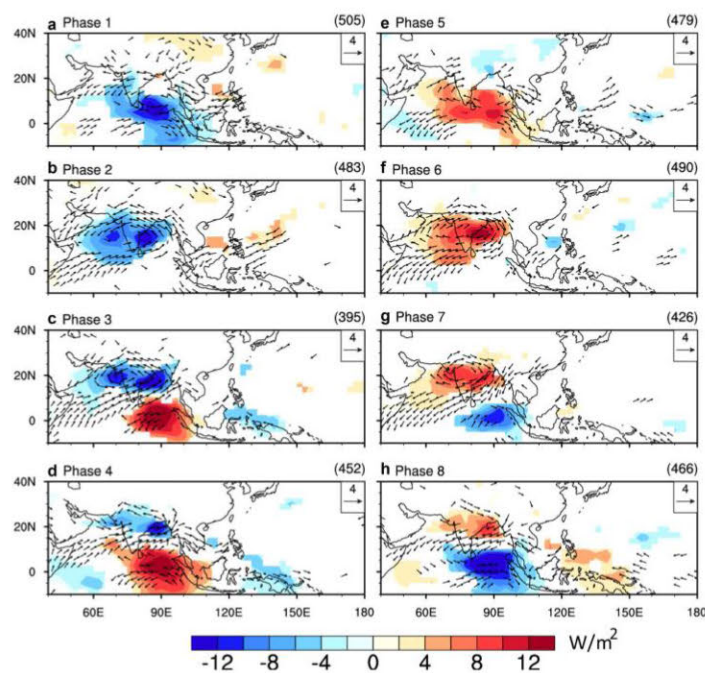


图5 同图4，但为IO-QBWOI的合成结果。

参考文献:

Qian, Y., P.-C. Hsu and K. Kikuchi, 2019: New real-time indices for the Quasi-Biweekly Oscillation over the Asian summer monsoon region. *Clim. Dyn.*, 53, 2603–2624.