

亚洲—太平洋涛动研究进展

赵平¹ 代玮² 肖子牛³

(1 中国气象局国家气象信息中心, 北京 100081; 2 中国气象科学研究院, 北京 100081;

3 中国气象局培训中心, 北京, 100081)

摘要: 一直以来, 夏季北半球(特别是亚洲—太平洋区域)的遥相关及其对区域气候的影响都是大气科学关注的热点之一, 最近针对亚洲与太平洋之间的大气遥相关取得了新进展, 特别是关于亚洲—太平洋涛动(APO, Asian-Pacific Oscillation)的一系列研究, 系统地揭示了亚洲—太平洋之间大气的联系以及对大气环流、季风降水和气旋活动的影响, 讨论了亚洲—太平洋涛动的影响因子及其作用机理。这些研究表明APO是亚太地区大气系统一种独立的基本振荡特征, 普遍存在于各个季节, 但其结构和性质有所不同, APO起到了联系太平洋和亚洲大陆大气环流的重要作用。夏季APO与太平洋年代际涛动(PDO)和ENSO关系密切, 对东亚地区的降水也有重要的影响。总结了APO研究的最新进展, 试图促进对亚洲—太平洋海陆气耦合关系及其气候效应的认识, 进一步推动亚洲—太平洋区域气候研究工作及其成果在气候诊断和预测中的应用。

关键词: 亚洲—太平洋涛动, 大气环流, 遥相关

1 亚洲—太平洋涛动(APO)的基本特征

1.1 APO指示的亚洲—太平洋大气遥相关现象

夏季, 亚洲和太平洋中纬度对流层扰动温度之间存在着“跷跷板”现象, 当亚洲大陆中纬度对流层偏冷时, 中、东太平洋中纬度对流层偏暖, 反之亦然; 平流层中也存在这种“跷跷板”现象, 只是其位相与对流层的相反^[1, 2]。这种遥相关现象可以被气候模式所描述^[3], 并且也发生在春季和秋季等季节^[2, 4-6]。

1.2 APO名称的来源

2006年, 赵平和张人禾^[7]用EOF分析研究东亚—太平洋区域海平面气压场时注意到在东亚与太平洋海平面气压之间存在一个大尺度纬向遥相关, 并称为东亚—太平洋偶极子。事实上, 这种偶极子是整个北半球对流层更大尺度遥相关在对流层低层的一种表象。随后, Zhao等^[1]进一步用EOF方法对ECMWF再分析资料中的夏季平均扰动温度进行分析, 发现在欧亚大陆中纬度与太平洋—北美—大西洋中纬度对流层 T' 之间确实存在着一个显著的反位相关关系, 当欧亚大陆 T' 偏低(或高)时, 北半球太平洋上空的 T' 偏高(或低)(图1), 与以前的遥相关相比, 此处EOF1中的遥相关在空间尺度上更大, 由于遥相关中心主要出现在亚洲与太平洋区域内, 所以把这种遥相关变率也称作亚洲—太平洋涛动(APO)。此外, 在海平面气压场上, 阿拉伯半岛与北太平洋之间存在反位相关关系, 被孙建奇等^[8]称为阿拉伯半岛—北太平洋涛动现象, 这种遥相关也是与APO紧密相关的。

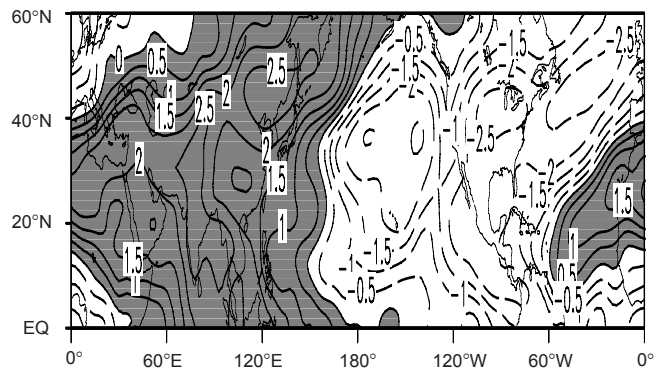


图1 亚洲—太平洋涛动模态^[1]

1.3 APO指数与亚洲—太平洋热力差异变率

把亚洲和太平洋500~200hPa平均 T 之差异定义为APO指数, 即:

$$I_{\text{APO}} = T(60^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{—}50^{\circ}\text{N}) - T(180^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{W}, 15^{\circ}\text{—}50^{\circ}\text{N})$$

该指数与图1所示EOF1的时间系数的相关为0.93(1958—2001年)^[1], 也与东亚—热带西太平洋之间的经向热力差异相关为0.81^[2], 因此APO指数实质上指示了亚洲大陆与太平洋大气之间的纬向和经向热力差异, 根据研究需要适当调整亚洲和太平洋区域的水平位置或垂直层次来定义APO指数也是可以的^[3, 5, 9-10]。

1.4 APO指数多时间尺度变化特征

夏季APO指数具有年际、年代际的多尺度变化特征。在1975年之前, 该指数以正位相为主, 从1975年起以负位相为主, 说明在1958—2001年夏季亚洲—太平洋之间的对流层热力差异呈现出减弱趋势; 此外功率谱分析表明, 夏季APO指数在去掉线性趋势后具有5.5年的年际变化周期^[1](超过95%统计置信度)。从代用资料重建的APO更长时间序列看, 亚洲—太平洋热力差异还存在90年、10~13年周期变率^[11-13]。

收稿日期: 2011年5月23日; 修回日期: 2011年8月6日

第一作者: 赵平(1963—), Email: zhaop@cma.gov.cn

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项: 北半球中高纬度遥相关型持续性及其对中国北方地区冬季气候的影响研究(GYHY201106015)

2 夏季APO变率与亚洲—太平洋大气环流和气候异常

2.1 对流层大气环流系统

在年际、年代际尺度上, 对流层温度的这种“跷跷板”现象也出现在亚洲与太平洋的位势高度场上, 并伴随着大气环流相应变化^[1-3, 14]。

图2是APO指数高年和指数低年对流层高、低层高度场的差值, 从图中可以看到, APO指数高年有利于对流层高层南亚高压强、偏北, 太平洋低压槽偏深(图2a), 欧亚大陆中纬度西风急流偏强, 南亚热带东风急流也偏强; 在对流层中层, 位势高度表现为西亚中纬度负异常以及北半球西北—中太平洋中纬度正异常的反位相变化, 这种特征是与Cheng等^[15]揭示的亚洲—太平洋区域500hPa位势高度EOF1模态基本特征一致; 在低层, 亚洲大陆低压槽加强, 西半球大洋上副热带高压位置偏北、偏强, 北美低压偏弱(图2b); 反之亦然。这表明, 南亚高压和太平洋副热带高压之间可以通过APO相互联系。

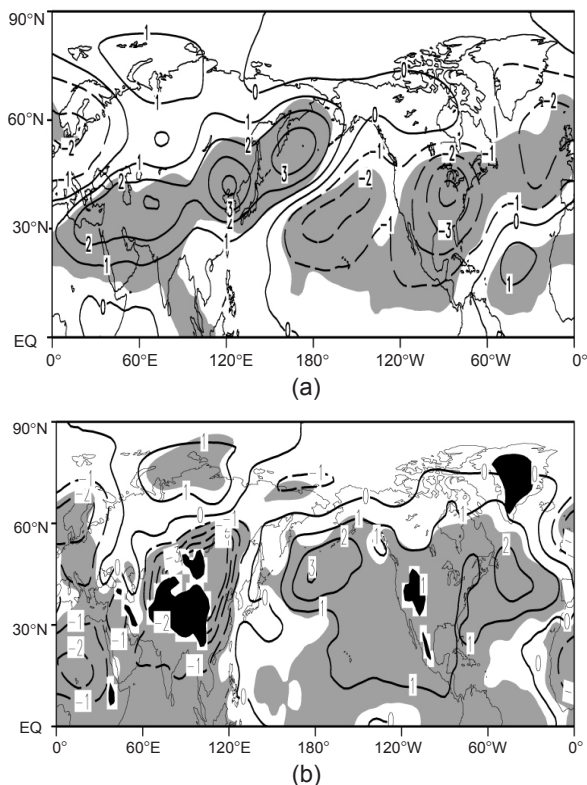


图2 APO指数高年和指数低年高度场的差值
(a) 150hPa; (b) 850hPa

2.2 亚洲季风和降水

APO指数也是亚洲与太平洋中纬度对流层之间的热力差异指数, 用这种温度差异比单独用大陆或者海洋上空的温度能够更好地指示中国东部降水的变化^[2]。当APO指数偏高时, 在东亚中纬度低层盛行异常南风, 梅雨锋位置偏北, 在东亚、南海和西太平洋热

带地区的低层盛行异常西风, 说明东亚和南亚夏季风偏强, 长江以北和以南、南亚地区的降水增加, 而长江流域、菲律宾附近的降水减少^[1, 2]。此外, 在年代—百年尺度上APO指数与亚洲季风降水的关系也被研究^[11, 14, 16-17], 如图3所示。

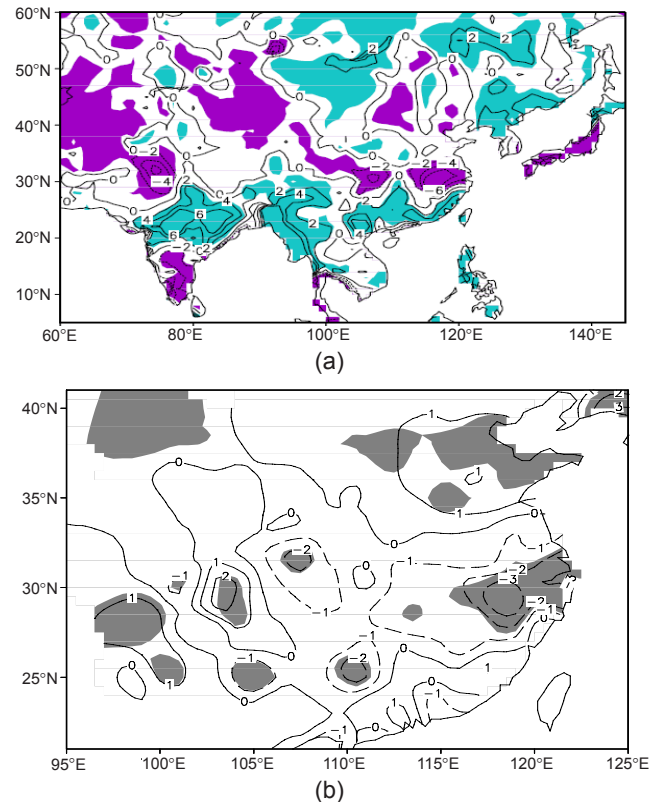


图3 (a) APO指数高年和指数低年夏季降水的差值
(150hPa, 单位: mm/d)^[1]; (b) 1958—2001年APO年代际变率回归降水^[14]

2.3 热带气旋的活动

西北太平洋热带气旋活动与亚洲—太平洋之间的热力差异有密切关系。周波涛等^[18]研究了夏季APO异常对西北太平洋热带气旋频数多少的影响, 发现APO和西北太平洋热带气旋频数(WNPTCF)具有明显的年际变化和年代际变化特征, 而且两者的变化形式较为一致, 具有显著的正相关, 并进一步分析了APO-WNPTCF关联的原因, 发现当APO处于正位相时, 西太平洋副热带高压减弱, 位置偏东偏北; 西北太平洋地区低层西风异常而且大气辐合, 高层东风异常而且大气辐散, 造成区域纬向风垂直切变减小和对流活动旺盛, 这些变化都有利于西北太平洋热带气旋的生成和发展。邹燕等^[9]进一步分析了夏季APO与中国近海热带气旋活动的关系, 指出在APO强(弱)年, 热带气旋活动偏西(东)和偏北(南), 向西北行或在偏北(南)纬度上西行, 进入中国东部近海的热带气旋偏多(少), 并且从东亚热带季风槽、西太平洋副热带高压、对流层风垂直切变等方面探讨了其中的物理

过程。

2.4 太平洋热带和中纬度SST

夏季亚洲—太平洋与热带和中纬度太平洋(TNPM) SST存在耦合关系,其中太平洋海表温度(SST) EOF1模态与APO指数存在-0.54的显著相关(1958—2001年),CCSM3海—气耦合模式能够模拟出APO-SST之间的这种关系^[19]。当APO为正异常时,显著正SST异常出现在西北太平洋中纬度,这种特征与北太平洋涛动型(NPO)有相似之处,而较强的负SST异常出现在热带东太平洋,对应于ENSO现象。这说明伴随着夏季APO正异常,SST呈现出西北太平洋偏暖、热带中东太平洋偏冷的特点^[2-3, 20]。此外,负温度异常也出现在从南印度洋中纬度一直到北印度洋的中、西部地区^[2]。

APO的海陆气耦合关系可以用图4来说明。

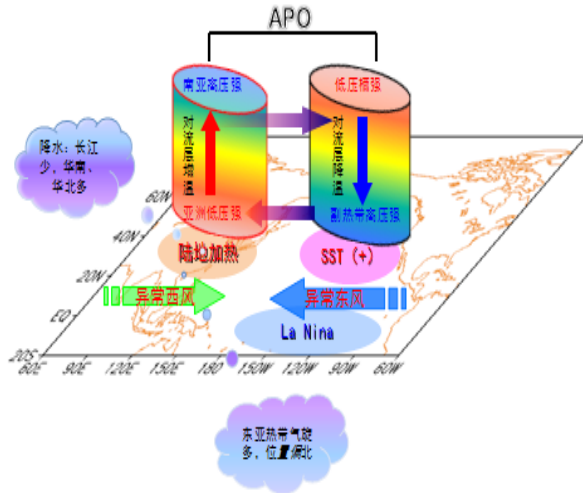


图4 亚洲夏季太平洋海陆气耦合关系示意图

3 夏季APO的形成机理

APO指数与太阳辐射强度变率有显著正相关,二者在250年、120~160年、60~70年以及15年的周期上关系更紧密^[13]。APO的形成与亚洲和太平洋中纬度对流层的一个平均纬向环流有关,CCSM3和CAM3气候模式可以模拟出类似的纬向垂直环流。该环流的形成可能与太阳辐射在亚洲陆地和太平洋的加热差异有关,在亚洲与太平洋上空的大气热量源/汇EOF1模态也表现为二者之间的“跷跷板”现象,并且APO指数与大气热量源/汇EOF1的相关为-0.53(1958—2001年)^[1, 3]。该纬向垂直环流的强上升运动区位于青藏高原及其附近地区,下沉运动区出现在中、东太平洋。为了维持中纬度纬向环流的质量平衡,上升(或下沉)运动区空气质量变化可以引起下沉(或上升)区的空气质量变化,从而导致亚洲陆地与太平洋之间大气环流的反位相联系^[2, 3]。

3.1 亚洲陆地(青藏高原)抬高加热的作用

在分析亚洲大陆对流层温度与地面加热联系基础上,进一步用CCSM3气候模式研究了亚洲陆地加热对APO以及太平洋海—气相互作用的影响^[19, 21],结果表明:亚洲大陆的抬升加热造成亚洲大陆上空对流层温度增加、上升加强,使北半球中纬度纬向垂直环流加强,中东太平洋下沉运动加强,该海域的对流性降水减少,造成其上空的大气热量源汇减弱、对流层温度降低,形成APO遥相关现象,并引起相应的太平洋大气环流异常。在气候模式中不考虑SST变化的情况下,亚洲陆地抬升加热也可以强迫出类似的遥相关现象,这进一步说明亚洲陆地加热可以强迫出APO遥相关^[2]。

3.2 太平洋海温的作用

为了研究太平洋SST异常分布性对APO可能产生的影响,Zhao等^[3, 19]用CAM3气候模式,通过改变太平洋SST的敏感性试验,分析了热带东太平洋和北太平洋中纬度SST异常对亚洲—太平洋大气环流的影响。相应于热带和中纬度太平洋SST的异常,对流层温度的显著异常主要出现在热带地区以及在热带外太平洋对流层低层,没有发现像APO那样的大尺度遥相关现象;对应于热带东太平洋或北太平洋SST异常,在亚洲—太平洋区域产生出尺度较小的反位相关系^[3],并且在太平洋上空的大气垂直结构与观测有较大差异^[19]。观测和模式试验得到的结果不一致说明夏季热带—北太平洋SST异常型(TNPM)对亚洲—太平洋大气环流起到很微弱的作用,APO尽管与PDO和ENSO有关系,但是这种关系并不表示太平洋SST异常可以激发出APO遥相关;相反,亚洲陆地抬升加热可以激发出太平洋的TNPM型异常^[19]。

4 结论和讨论

亚洲—太平洋涛动(APO)现象的实质是亚洲与太平洋之间的热力差异强弱变化,也反映了亚洲与太平洋位势高度和海平面气压之间的遥相关型,以上的研究发现,它具有显著的年际和年代际的多尺度变化特征。研究还揭示了亚洲—太平洋区域大气环流(包括南亚高压,太平洋副热带高压,西风和东风急流)、亚洲季风降水及西太平洋(包括中国近海)热带气旋均与APO有密切的联系。相应于APO异常变化,亚洲—太平洋区域主要大气环流系统和气候特征也会发生显著的响应。因此,可以把APO指数作为亚洲—太平洋大气环流异常变化的一个综合指标来使用。

APO现象为研究亚洲与太平洋SST之间的相互影响提供了一个途径。虽然APO与太平洋SST存在耦合

关系,但是去除APO变率,太平洋SST与亚洲大气环流的关系显著减弱。因此,过去所认为的太平洋SST对亚洲—太平洋区域大气环流和气候影响的主导作用是否全面反映了海气相互作用的关系,值得进一步研究。从目前的数值模拟结果看,夏季APO-SST关系不能理解为太平洋SST异常对APO及亚洲气候的影响,相反,它可能反映出亚洲陆地对太平洋SST的一种强迫,并且可能是夏季的一种主导过程^[4, 19, 21]。当然其在年际、年代际尺度上的相互作用还需要更多的研究进一步加以证实。

目前的研究还发现, APO现象也出现在春季和秋季等季节,但是它的异常中心位置存在季节性摆动,其中夏季位置最偏北^[2]。但是对其季节内尺度的研究工作才刚刚开始,有待更多的深入研究工作,特别是在其机制研究上还要进一步深化。譬如,如果在APO形成过程中大气湿过程所产生的凝结潜热释放起着重要作用^[14],这是否意味着在大气的干过程中,亚洲与太平洋之间不能产生出这种遥相关型,这也需要从动力学角度进一步研究才能证实。

综上所述,亚洲—太平洋涛动(APO)可能是亚太地区大气系统一种独立的基本振荡特征,在太平洋和亚洲大陆大气环流的相互联系中起着重要作用,其多尺度的变异特征及其对大气环流和气候的影响是一个值得关注的问题,有待进一步研究。

参考文献

- [1] Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. An Asian-Pacific teleconnection in summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability. *Clim Dyn*, 2007, 29: 293-303.
- [2] 赵平,陈军明,肖栋,等. 夏季亚洲—太平洋涛动与大气环流和季风降水. *气象学报*, 2008, 66(5): 716-729.
- [3] Zhao P, Cao Z H, Chen J M. A summer teleconnection pattern over the extratropical Northern Hemisphere and associated mechanisms. *Clim Dyn*, 2010, 35: 523-534.
- [4] Nan S, Zhao P, Yang S, Chen J. Springtime tropospheric temperature

- over the Tibetan Plateau and evolutions of the tropical Pacific SST. *J Geophys Res*, 2009, 114, D10104, doi:10.1029/2008JD011559.
- [5] Zhou B T, Zhao P. Influence of the Asian-Pacific Oscillation on spring precipitation over central eastern China. *Adv Atmos Sci*, 2010, 27(3): 575-582.
- [6] 邹燕,赵平. 秋季亚洲—太平洋涛动与我国近海热带气旋活动的关系. *气象学报*, 2011, 69 (4).
- [7] 赵平,张人禾. 东亚—北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系. *大气科学*, 2006, 30(2): 307-316.
- [8] 孙建奇,袁薇,高玉中. 阿拉伯半岛—北太平洋型遥相关及其与亚洲夏季风的关系. *中国科学*, 2008, 38(6): 750-762.
- [9] 邹燕,赵平. 夏季亚洲—太平洋涛动与我国近海热带气旋活动的关系. *气象学报*, 2009, 67(5): 708-715.
- [10] Zhou B T, Zhao P. Modeling variations of summer upper-tropospheric temperature and associated climate over the Asian-Pacific region during the mid-Holocene. *J Geophys Res*, 2010, 115, D20109, doi:10.1029/2010JD014029.
- [11] 周秀骥,赵平,刘舸. 近千年亚洲—太平洋涛动指数与东亚夏季风变化. *科学通报*, 2009, 54: 3145-3147.
- [12] 陈峰,袁玉江,魏文寿. 福建沙县马尾松树轮宽度与夏季亚洲—太平洋涛动指数的关系. *第四纪研究*, 2011, 31: 96-108.
- [13] 赵平,周秀骥,刘舸. 夏季亚洲—太平洋热力差异年代—百年尺度变化与太阳活动. *科学通报*, 2011 (待发表).
- [14] Zhao P, Yang S, Wang H J, Zhang Q. Interdecadal relationships between the Asian-Pacific Oscillation and summer climate anomalies over Asian, North Pacific and North America during recent 100 years. *Journal of Climate*, 2011, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00054.
- [15] Cheng H Q, Wu T W, Dong W J. Thermal Contrast between the Middle-Latitude Asian Continent and Adjacent Ocean and Its Connection to the East Asian Summer Precipitation. *Journal of Climate*, 2008, 21: 4992-5007.
- [16] Liu G, Zhao P, Chen J M. A 150-year reconstructed summer Asian-Pacific Oscillation index and its association with precipitation over eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 103: 239-248.
- [17] Tan L, Cai Y, An Z, et al. Climate patterns in north central China during the last 1800 yr and their possible driving force. *Clim Past*, 2011, 7: 685-692.
- [18] 周波涛,崔绚,赵平. 亚洲—太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系. *中国科学(D辑)*, 2008, 38(1): 118-123.
- [19] Zhao P, Yang S, Jian M Q, Chen J M. Relative controls of Asian-Pacific summer climate by Asian land and Tropical-North Pacific sea surface temperature. *Journal of Climate*, 2011, Doi: 10.1175/2011JCLI3915.1
- [20] 周波涛,赵平,崔绚. 亚洲—太平洋涛动变化与北太平洋海温异常的联系. *科学通报*, 2010, 55(1): 74-79.
- [21] 周秀骥,赵平,陈军明,等. 青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究. *中国科学(D辑)*, 2009, 39(11):1473-1483.

The Asian-Pacific Oscillation and Its Impact on Climate

Zhao Ping¹, Dai Wei², Xiao Ziniu³

(1 National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081 3 CMA Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The teleconnection of summer Northern Hemisphere (especially the Asian-Pacific region) and its impact on regional climate have always been the hot issues which atmospheric scientists focus their attention on. A series of research work has been done for the Asian-Pacific Oscillation (APO) recently and reveals the characteristics of APO systematically. Also, it researches the relationship between the APO and atmospheric circulation and monsoon rainfall, as well as cyclone activities. There is also discussion about impact factors and mechanisms of the APO.

The APO is defined as a zonal seesaw of the tropospheric temperature in the mid-latitudes of the Asian-Pacific region. When the troposphere is cooling in the mid-latitudes of the Asian continent, it is warming in the mid-latitudes of the central and eastern North Pacific as well as in North America and the North Atlantic Ocean, and vice versa. It reflects an out-of-phase relationship

in variability of the eddy temperature between Asia and the North Pacific and is associated with the out-of-phase relationship in atmospheric heating. This teleconnection pattern over the extratropical Northern Hemisphere is revealed through the empirical orthogonal function analysis of summer upper tropospheric eddy temperature.

The summer APO index shows multiple-time-scale variability. It has a quasi-5-year period and shows a decadal variation, with a period of 90 and 10~13 years. The values of APO were low from the 1880s to the mid-1910s and high from the 1920s to the 1940s and tended to a high-index polarity before 1975 and afterward to a low-index polarity. With higher APO index conditions, in the upper troposphere, the summer South Asian high and the North Pacific trough are stronger, while the westerly jet stream over the extratropics of Asia and the easterly jet stream over South Asia strengthen. Also, the Asian low and the North Pacific subtropical high are stronger in the lower troposphere. The anomalous southerlies prevail at the mid-latitudes of East Asia and the anomalous westerlies prevail over South China and South Asia, meaning stronger moisture transport toward Asia. Corresponding to a higher-APO index, the Mei-yu front is more northward, with more precipitation in northern China and southern India, while precipitation decreases from the valley of the Yangtze River to southern Japan and near the Philippines. Thus, the APO index might be used to indicate the variability of the Asian monsoon and rainfall.

The APO intensity has a close relationship with the tropical cyclone (TC) activities over the western North Pacific (WNP) and the coastal waters of eastern China (CWEC) during summer. When the APO is stronger, the atmospheric circulation over the CWEC is manifested by a low-level anomalous cyclonic circulation, a decreasing vertical shear of zonal wind between the high and low levels of the troposphere, and the strengthened convection. These features are favorable for the maintenance and development of the TC. The APO also modulates the steering current that affects the movement of the TC. Corresponding to a stronger APO, the easterly wind south of the high strengthens, which favors the TC to move northwestwards or westwards at more northern latitudes, leading to an increase of the number of the TC that enters into the CWEC. Thus corresponding to a higher APO index, the TC activities over the WNP are located in a more westward and northward position and the TC number over the CWEC greatly increases.

The formation of the APO is associated with the zonal vertical circulation caused by a difference in the solar radiative heating between the Asian continent and the North Pacific. There are significant links between APO and solar radiation at the periods of 250, 120~160, 60~70 and 15 years. The numerical simulations (both the NCAR CAM3 and the CCSM3) further reveal that the summer Asian land (including the Tibetan Plateau) heating enhances the local tropospheric temperature and upward motion, and decreases the tropospheric temperature over the central and eastern Pacific. This leads to the formation of the APO. APO is closely related to the dominant pattern of summertime Pacific sea surface temperature (SST) that is characterized by an out-of-phase relationship between the tropics and the extratropics, with a significantly positive correlation between APO and SST in the extratropical North Pacific and a significantly negative correlation in the tropical eastern Pacific. However, sensitivity experiments show that the anomalous atmospheric circulation and the anomalous centers of the extratropical tropospheric temperature over the Asian-Pacific region triggered by the Pacific SST anomalies are not consistent with those observations. That is, the Pacific decadal oscillation and EL Nino/La Nina over the tropical eastern Pacific do not exert strong influences on the APO. Conversely, the Asian land elevated heating seems to play a more important role in generating the climate anomalies over the Asian-Pacific region.

In general, this paper summarizes the latest research developments of the Asian-Pacific Oscillation, which will help to understand the activity patterns of APO and its climate effect systematically and to further pursue some research into APO and its application in climate diagnosis and prediction. Also, it provides a new way to explore interactions between the Asian and Pacific atmospheric circulations.

Key words: Asian-Pacific Oscillation(APO), atmospheric circulation, teleconnection