

冬季西北太平洋阿留申低压-南北向海温差-西风急流 正反馈过程分析

朱小洁 孙即霖

(中国海洋大学物理海洋实验室, 海洋-大气相互作用与气候实验室(OAC), 青岛. E-mail: xiaojieer@ouc.edu.cn;

E-mail: sunjilin@ouc.edu.cn)

摘要 采用 NCEP 再分析月平均资料和 SODA 再分析月平均资料, 对冬季西北太平洋海洋-大气相互作用过程进行了分析. 针对阿留申低压、500 hPa 西风急流、南北向海表面温度(SST)差, 分别选择了研究的关键区, 定义了阿留申低压指数、西风指数和黑潮影响区与亲潮影响区的海温差. 通过这些指数序列的相关分析以及对上层海洋动力、热力特征的分析, 得到: 阿留申低压增强时, 其西侧北风增强, 海洋上层的副极地环流圈增强, 上层海洋对低温海水的平流输送增强, 使亲潮影响区 SST 下降, 加大了南北向海表面温差. 海表面温差的增大, 使位于其上空的西风急流加强, 西风急流的增强使位于急流出口区左侧下方海面上阿留申低压的加强, 形成一个正反馈过程.

关键词 阿留申低压 西风指数 南北向 SST 差异 西北太平洋

在北太平洋冬季月平均海平面图上, 最明显的大气活动中心是与高空东亚大槽相对应的阿留申低压. 关于阿留申低压的年际、年代际变化, 已有工作开展了研究^[1-4]. 阿留申低压的强弱变化对气候变化具有重要的影响: 其中心东侧和西侧的气流强弱变化直接影响着极地和温带太平洋之间的热量交换, 中心南侧气流的强弱影响着西风漂流的强度, 降水强度的变化则影响太平洋中层水的形成. 在太平洋年代际振荡的研究中, 中纬度海气相互作用过程具有重要的影响^[5-8]. 许多研究讨论了北太平洋上空的阿留申低压和海洋副热带环流圈的作用: 当副热带环流异常强时, 黑潮及黑潮延伸体将更多的暖水向极输送, 导致北太平洋出现海表面温度(SST)暖异常, 大气响应为弱的阿留申低压, 从而海-气之间的热通量输送减弱, 增强了最初的SST暖异常. 同时, 弱的阿留申低压对应的风应力旋度减弱, 使得海洋副热带环流圈减弱, 进而使得最初SST暖异常信号减弱^[6,7]. 在北太平洋地区, 还有其他的系统, 如高空西风急流、副极地环流圈等. 他们在海气相互作用过程中扮演了什么角色? 本文通过分析阿留申低压、西风急流、中纬度海表面温度水平梯度变化之间在年代际时间尺度上的关系, 发现了一个阿留申低压-南北向SST差-西风急流-阿留申低压的正反馈机制.

1 资料简介

本文分析所用的大气资料是美国环境预报中心/

美国大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的再分析月平均资料. 使用了位势高度和风场资料, 资料时间长度从 1948 年 1 月到 2004 年 12 月, 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$. 海表面温度(SST)资料使用了 NOAA 通过分析最新 COADS 资料集得到的 ERSST 资料, 时间长度从 1854 年 1 月到 2005 年 2 月, 水平分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$. 在分析以前, 作者将该资料与其他 SST 资料进行了对比, 发现不同资料集给出的全球海温场分布基本相同. 海流资料采用了马里兰大学的 SODA 资料, 时间长度从 1950 年 1 月到 2001 年 12 月. 纬向分辨率为 1° , 径向 128 个点, 垂直 20 层. 考虑到所有资料的一致性, 仅对 1958 年以后的资料进行了分析.

2 阿留申低压指数

冬季是阿留申低压出现最多最强的季节. 本文对冬季 1000hPa 高度上 12 月、1 月和 2 月的平均位势高度场进行了分析. 图 1 给出了冬季 1000 hPa 气候态位势高度场, 阿留申低压中心位于 $45^\circ\text{N} \sim 55^\circ\text{N}$, $165^\circ\text{E} \sim 165^\circ\text{W}$ 之间. Trenberth^[1]选取冬半年(11 月~3 月)区域($27.5^\circ\text{N} \sim 72.5^\circ\text{N}$, $147.5^\circ\text{E} \sim 122.5^\circ\text{W}$)平均的海平面气压来分析阿留申低压的强弱, Overland^[4]则取冬季平均(1~2 月)的阿留申低压区域($40^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$, $160^\circ\text{E} \sim 160^\circ\text{W}$)内海平面气压场低压中心气压值进行分析. 本文选择的区域(图 1 中方框包围的区域, $40^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$, $150^\circ\text{E} \sim 140^\circ\text{W}$)与上述研究中的区域相比, 范围更加集中. 采用类似Trenberth区域平均的方

法, 本文取冬季(12~2月)区域平均的位势高度作为阿留申低压指数进行分析.

3 西风指数

Willett^[9]曾提出一个西风指数(zonal index)来反映纬向风的强度, 此后, 很多研究者定义了不同的西风指数来研究西风急流与涡旋、阻塞等的关系^[10-13]. 根据NCEP/NCAR再分析资料计算的500 hPa气候态(图2中虚线所示), 其最大风速中心位于32.5°N, 150°E区域内. 由于高空大尺度风场近似满足地转关系, 本文采用南北向500 hPa位势高度差近似表示500 hPa西风急流的强度. 分别选取40°N纬度上160°E~180°之间的纬向平均位势高度和25°N纬度上130°E~150°之间的纬向平均位势高度(图2中粗黑线所示), 将后者与前者的差作为西风指数, 来表示500 hPa西风急流的强度.

4 黑潮影响区和亲潮影响区海温差

在北太平洋, 黑潮将低纬暖水输送到中高纬海域, 亲潮将极地冷水沿千岛群岛向南输送, 两者在40°N相遇^[14,15], 然后向东流去. 研究表明, 黑潮流量具有低频变化的特征^[16,17], 而且黑潮区海表面温度

的变化与我国的天气过程有密切的关系. 从冬季SST均方差场来看, 在西北太平洋上, 25°N~30°N, 135°E~142.5°E和40°N~45°N, 163°E~172°E两个区域(图2中阴影区域)的均方差较大, 即SST变化大的区域. 从而, 根据已有的研究^[19,20]和冬季SST场的均方差(图2中实线所示), 分别选取25°N~30°N, 135°E~145°E来表示黑潮影响区, 40°N~45°N, 165°E~175°E来表示亲潮影响区(图2中黑色框所表示区域). 以这两个小区域平均SST的差异来表现黑潮影响区和亲潮影响区的SST差(以下简称为海温差).

5 结果和讨论

阿留申低压指数、海温差和西风指数的时间序列如图3所示. 从阿留申低压指数序列(图3(a))来看, 在70年代以前, 阿留申低压指数较高, 即阿留申低压区域内的位势高度较高, 阿留申低压较弱; 而在70年代以后, 阿留申低压指数较低, 即阿留申低压较强. 从海温差序列(图3(b))来看, 70年代以后, 海温差呈逐渐上升趋势. 西风指数序列(图3(c))同样从70年代以后, 逐渐增大, 即表示两个纬度带上的500 hPa位势高度差增大, 对应的500 hPa西风急流增强.

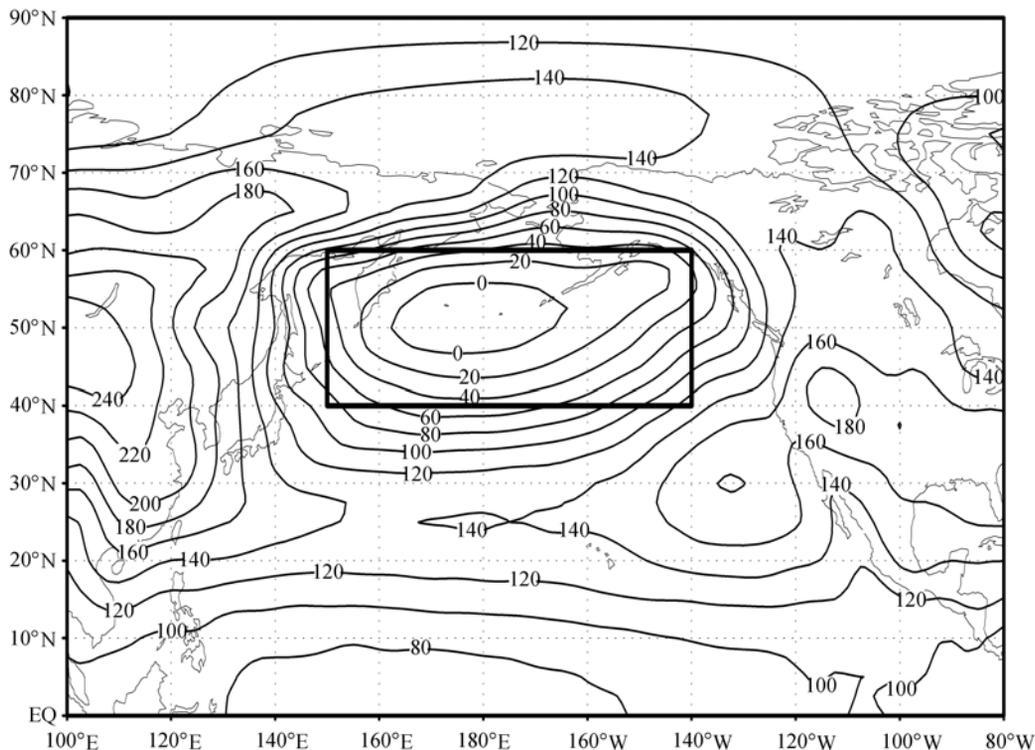


图1 冬季1000hPa气候态位势高度场(单位: 位势米)

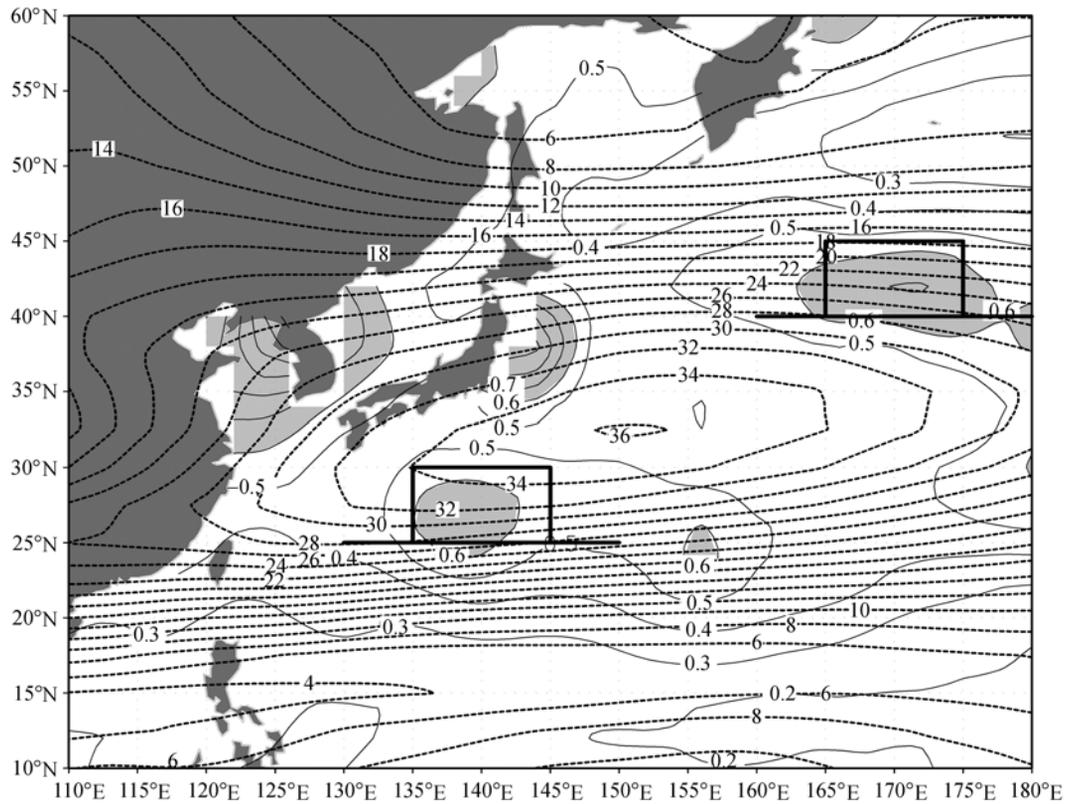


图 2 500 hPa 气候态风速场(虚线)和 46 年冬季 SST 的均方差(实线)
阴影区为 SST 均方差超过 0.6 的区域, 两个方框分别表示亲潮影响区和黑潮影响区

对三个序列进行相关分析(相关系数及信度如表 1 所示), 阿留申低压指数与海温差的相关系数为 -0.3749 , 超过 95% 信度(t 检验, 自由度=29); 海温差与西风指数的相关系数为 0.4490 , 过 99% 信度(t 检验, 自由度=30); 西风指数与阿留申低压指数的相关系数为 -0.8136 , 过 99% 信度(t 检验, 自由度=28)^[20]. 这表明阿留申低压、西风急流和南北向海温差之间具有密切的关系.

进一步分析阿留申低压指数与西北太平洋不同区域的区域平均 SST 之间的关系, 发现阿留申低压指数与黑潮影响区 SST 的相关系数仅为 -0.1503 , 而与亲潮影响区 SST 的相关系数为 0.4291 , 超过 95% 的信度(t 检验, 自由度=26)(表 2). 这说明阿留申低压的长期变化对亲潮影响区 SST 变化有很大的影响. 当阿留申低压增强的时候, 阿留申低压西侧径向气流增强, 驱动向南的亲潮冷水输送增加, 对应海区表面温度降低. 从图 4 的超前滞后图可以看到: 阿留申低压西侧气流与亲潮影响区 SST 有很好的超前相关

性, 而亲潮影响区 SST 与阿留申低压西侧的径向风相关程度很低. 从图 4 可以看到, 从两者同期相关到阿留申低压西侧径向风分量超前亲潮影响区 SST 1 个月到 4 个月的相关均为正相关, 其中以径向风分量超前亲潮影响区 SST 一个月的相关系数最大. 这表明当阿留申低压增强时, 在西北太平洋上, 径向气流向南增强, 有利于亲潮影响区 SST 降低.

表 1 各个指数的相关系数(信度值)

	阿留申低压指数	海温差	西风指数
阿留申低压指数			
海温差	$-0.3749(95\%)$		$0.4490(99\%)$
西风指数			$-0.8136(99\%)$

表 2 阿留申低压指数与不同区域 SST 的相关系数及所过信度^{a)}

	海温差	亲潮影响区 SST	黑潮影响区 SST
阿留申低压指数	$-0.3749(95\%)$	$0.4291(95\%)$	$-0.1503(60\%)$

a) 亲潮影响区和黑潮影响区即为图 2 中黑框所示区域

但当阿留申低压强度增大时, 其南侧的西风强度增大, 西风漂流增大, 有可能使亲潮以东海区的 upwelling 增强, 降低所讨论海区的海表面温度. 我们用 SODA 资料中的海流资料计算了亲潮影响区(40 °N~45 °N, 163 °E~172 °E)上一百米深度平均通量散度(图 3(d)), 分析 upwelling 的作用. 该速度通量散度与亲潮影响区 SST 相关系数为-0.0589, 仅过 20%的信度(t 检验, 自由度为 26). 说明局地 upwelling 对同期亲潮影响区的 SST 的影响并不大.

为进一步分析 SST 变化的主要原因, 我们计算了异常径向海流平流项(即 $v' \frac{\partial SST}{\partial y}$). 由阿留申低压指数序列, 得到与 SODA 资料长度相对应的 8 个阿留申低压较强年份, 分别是 1960, 1969, 1976, 1980, 1982, 1985, 1986, 1997 和 8 个阿留申低压较弱年份, 分别为 1961, 1968, 1970, 1971, 1978, 1981, 1988 和

1989. 分别合成计算在阿留申低压强年和弱年里的异常径向海流平流项(如图 5 所示). 在阿留申低压强年里, 整个北太平洋表现为向南的冷水输送异常, 而在我们所关心的西北太平洋区域里, 同样有较强的向南冷水输送. 相反地, 在阿留申低压弱年里, 则表现为向北的暖水输送异常. 因此, 当阿留申低压增强时, 其西侧的偏北气流和南侧的西风都增强, 导致向南的冷水输送异常, 使亲潮影响海区 SST 下降, 进一步导致西北太平洋亲潮影响区和黑潮影响区海温差增大.

黑潮影响海区和亲潮影响海区分别处于西风急流的两侧(如图 2 中方框所示). 在年代际的时间尺度上, 当黑潮影响海区和亲潮影响海区的海表面温度差异增大时, 对应的西风急流两侧气团性质的差异也增大. 根据热成风原理, 气团性质差异的增大使位于该海区高空的西风急流增强. 这可以从海温差序列和西风指数序列具有相似的演变特征和高信度的

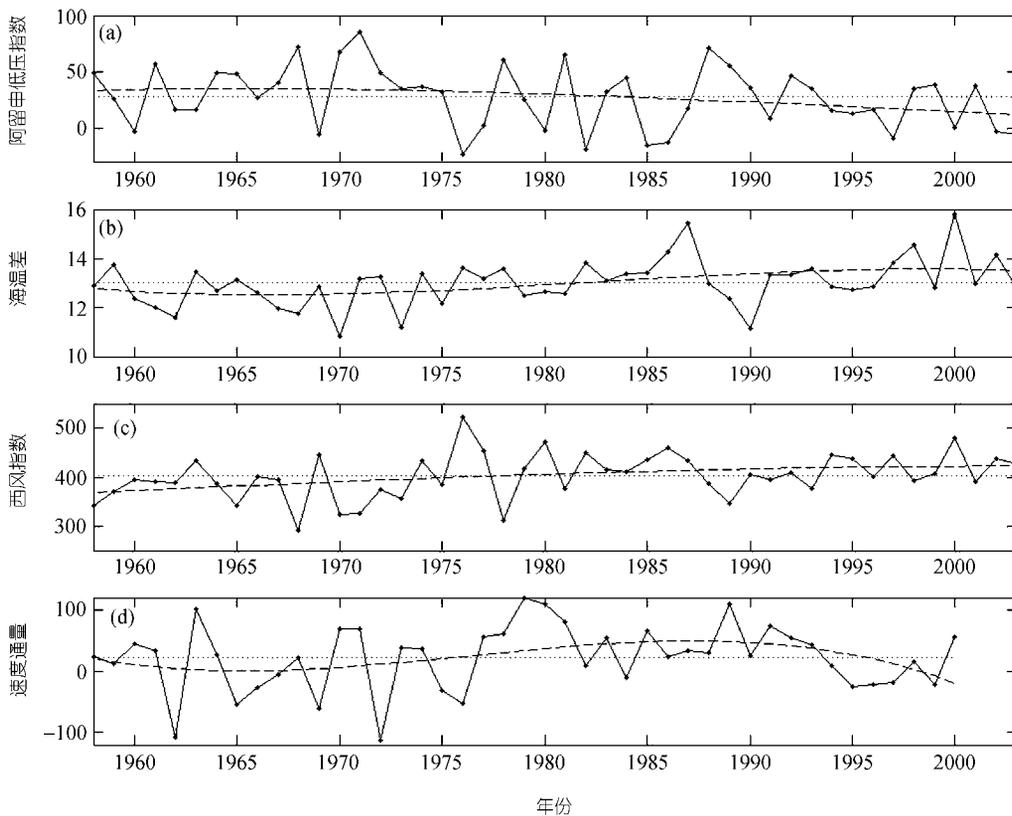


图 3

(a) 阿留申低压指数时间序列; (b) 海温差时间序列; (c) 西风指数时间序列; (d) 亲潮影响区(40°N~45°N, 163°E~172°E)上层 100 m 深度内平均通量散度(单位: cm/s). 其中实线表示三点平滑后的序列, 点线表示平均值, 虚线为拟合曲线

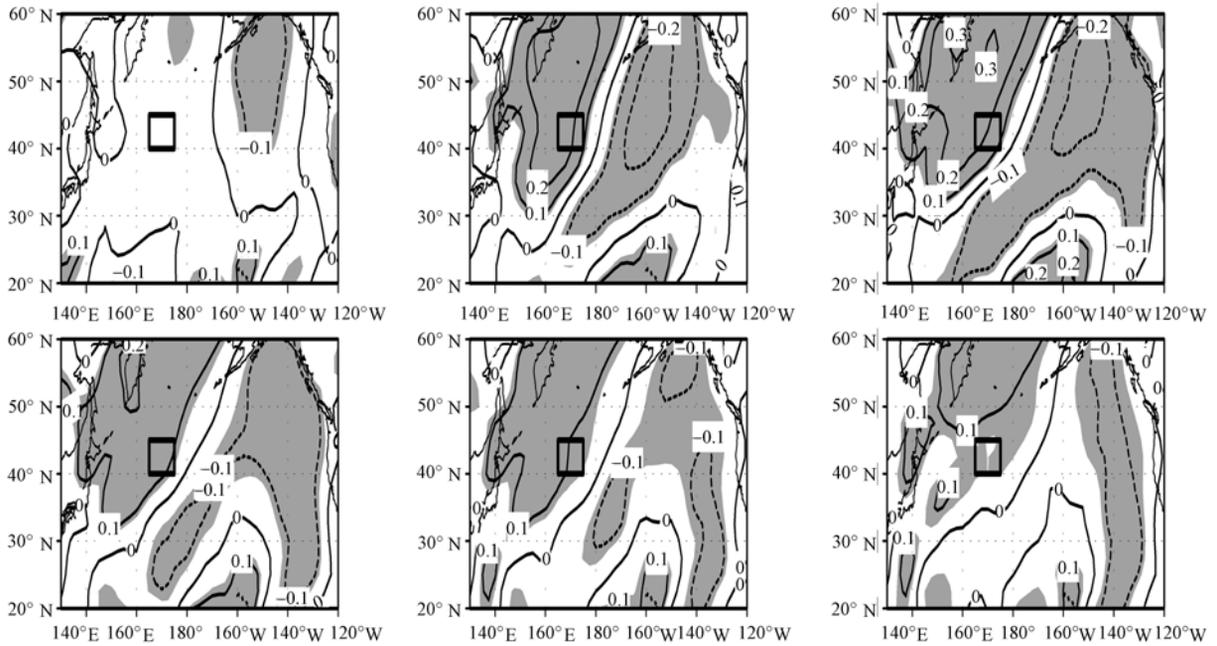


图 4 1000 hPa 径向风分量与亲潮影响区 SST 的超前滞后相关

(a) 亲潮影响区 SST 超前径向风分量一个月; (b) 亲潮影响区 SST 与径向风分量的同期相关; (c) 径向风超前亲潮影响区 SST 一个月; (d) 径向风超前亲潮影响区 SST 两个月; (e) 径向风超前亲潮影响区 SST 三个月; (f) 径向风超前亲潮影响区 SST 四个月. 方框表示亲潮影响区, 阴影区为过 95% 信度的区域

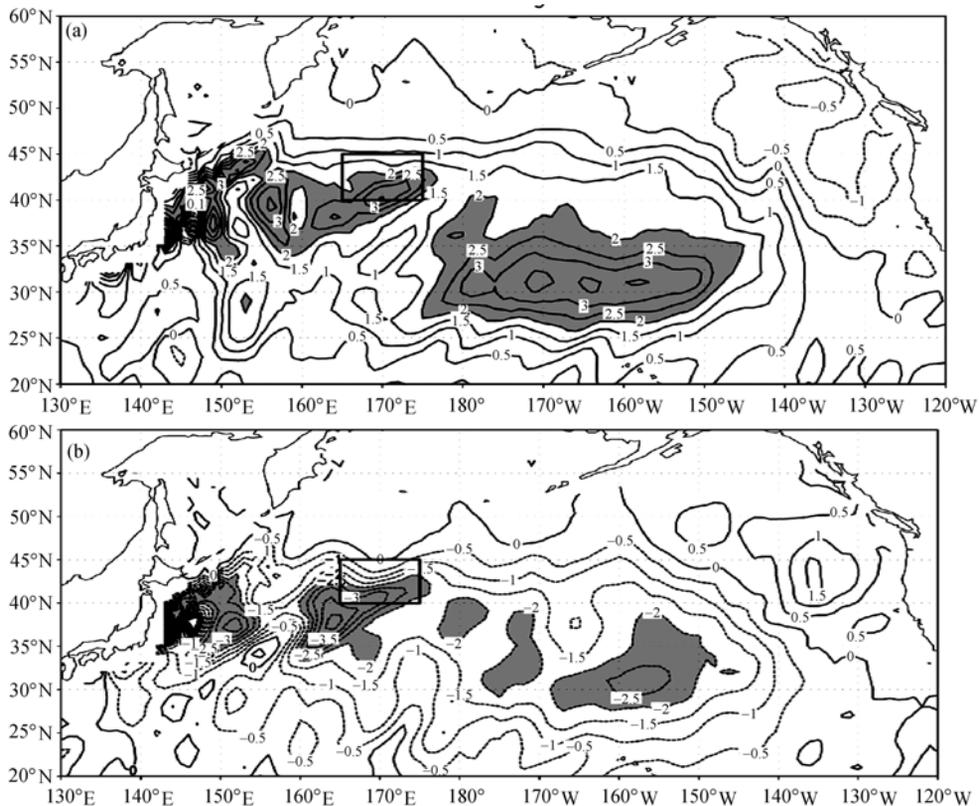


图 5

(a) 合成冬季阿留申低压强年里异常径向海流平流项; (b) 合成冬季阿留申低压弱年里异常径向海流平流项(单位: $10^{-7} \cdot s^{-1}$). 阴影部分为值大于 2 的区域

相关中得到证明。

西风指数和阿留申低压指数有特别密切的关系, 两者的相关系数高达 -0.8136 。西风指数高, 即 500 hPa 西风急流强, 对应的急流出口区左侧正涡度平流会促进地面气旋发展, 使阿留申低压强加强, 对应的阿留申低压指数低。Zhu等¹⁾通过分析冬季阿留申低压区域的气旋活动, 发现当研究海区上空 500 hPa 有很强的西风急流时, 对应气旋路径比较密集, 气旋强度相对要强, 从而有利于在急流出口区左下方, 月平均尺度上的阿留申低压加强。

6 结论

通过以上的分析, 得出以下结论:

() 西风急流强度, 阿留申低压强度和 中纬度西北太平洋南北向海表面温度梯度存在着密切的联系。阿留申低压增强时, 其西侧偏北气流增强, 北太平洋上副极地环流圈增强, 其西侧向南输送冷水增加, 导致亲潮影响海区 SST 下降, 使得黑潮影响海区和亲潮影响海区的海温差异增大;

() 在热成风的作用下, 黑潮影响海区和亲潮影响海区的海温差异增大, 对应 有中纬度西北太平洋高空西风急流增强, 西风急流的增强使急流出口区左侧下方海平面上的阿留申低压增强, 从而在海洋和大气之间构成大尺度海洋-大气相互作用正反馈的关系。

致谢 本文分析所用的资料由美国环境预报中心/美国大气研究中心(NCEP/NCAR)提供。SODA 资料得到马里兰大学 J. A. Carton 教授的允许和 Xianhe Cao 博士提供, 在此一并致谢。本研究受国家自然科学基金(批准号: 40136010)和国家重点基础研究发展规划(批准号: 2005CB422301)资助。

参 考 文 献

- 1 Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull Amer Meteor Soc*, 1990, 71: 988—993 [\[DOI\]](#)
- 2 Chen T C, Vanloon H, Wu K D, et al. Change in the atmospheric circulation over the North Pacific-North America area since 1950. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 1137—1146
- 3 Trenberth K E, Hurrell J W. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dyn*, 1994, 9: 303—319 [\[DOI\]](#)
- 4 Overland J E, Adams J M, Bond N A. Decadal variability of the

Aleutian low and its relation to high-latitude circulation. *J Climate*, 1999, 12: 1542—1548 [\[DOI\]](#)

- 5 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 太平洋年代际振荡的研究进展. *大气科学*, 2004, 16: 979—992
- 6 Latif M, Barnett T P. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, 1994, 266: 634—637
- 7 Latif M, Barnett T P. Decadal climate variability over the north Pacific and North America: Dynamics and predictability. *J Climate*, 1996, 9: 2407—2423 [\[DOI\]](#)
- 8 Lau N C. Interaction between global SST anomalies and the mid-latitude atmospheric circulation. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78: 21—33 [\[DOI\]](#)
- 9 Willett H C. Patterns of world weather changes. *Trans Amer Geophys Union*, 1948, 29: 803—809
- 10 Robinson W A. The dynamics of the zonal index in a simple model of the atmosphere. *Tellus*, 1991, 43A: 295—305
- 11 Kaas E, Branstator G. The relationship between a zonal index and blocking activity. *J Atmos Sci*, 1993, 50: 3061—3077 [\[DOI\]](#)
- 12 Robinson W A. Eddy feedbacks on the zonal indexes and eddy-zonal flow interaction induced by zonal flow transience. *J Atmos Sci*, 1994, 51: 2553—2562 [\[DOI\]](#)
- 13 Robinson W A. A baroclinic mechanism for the eddy feedback on the zonal index. *J Atmos Sci*, 2000, 57: 415—422 [\[DOI\]](#)
- 14 赵永平, 陈永利, 杨连索, 等. 冬季北太平洋西部上层海洋的热量输送. *海洋与湖沼*, 1994, 25: 9—14
- 15 Wang D X, Liu Y, Gu D J. Gyre-connected variations inferred from the circulation indices in the Northern Pacific Ocean. In: Wang C, Xie S P, Carton J A, eds. *Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction*, Geophys. Monogr Ser, 2004: 319—328
- 16 贾英来, 刘秦玉, 刘伟, 等. 台湾以东黑潮流量的年际变化特征. *海洋与湖沼*, 2004, 35: 507—512
- 17 刘秦玉. 北太平洋副热带海洋环流气候变化研究. *中国海洋大学学报*, 2004, 35: 689—696
- 18 Kawai H. A brief history of recognition of the Kuroshio. *Progress in Oceanography*, 1998, 41: 505—578 [\[DOI\]](#)
- 19 Seager R, Kushnir Y, Haik N H, et al. Wind-driven shifts in the latitude of the Kuroshio-Oyashio extension and generation of SST anomalies on decadal timescale. *J Climate*, 2001, 14: 4249—4265 [\[DOI\]](#)
- 20 Xie S P, Xie Q, Wang D, et al. Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations. *J Geophys Res*, 2003, 108(C8): doi:10.1029/2003JC001867

(2005-05-11 收稿, 2005-11-07 接受)

1) Zhu X -J, Sun J -L, Liu Z -Y, et al. A synoptic analysis of the interannual variability of winter cyclone activity in the Aleutian Low region (*Journal of Climate*, 已接受)