

印度—太平洋海温的气候模态及其年代际异常*

徐建军 朱乾根

(南京气象学院, 南京)

摘要

本文运用经验正交分解和合成图分析方法,对1940~1990年印度—太平洋海温的气候模态及其年代际异常特点进行了研究。研究表明,该区的海温表现出突变气候态、ENSO气候态、十年际振荡气候态等三种气候模态。突变气候态在近50年演变中,出现了两次气候突变,表现为冷态、过渡态、暖态三个年代际特征。ENSO气候态的海温异常在三个年代际状态中表现出很大的差异,在冷态时,El Niño年的海温异常升温范围幅度小,赤道西太平洋和赤道印度洋都是降温的;在过渡态时,赤道东太平洋升温范围幅度有所扩大,赤道印度洋略有升温;在暖态时,升温范围扩大到整个热带,印度洋也能出现El Niño现象。

关键词: 经验正交分解, 合成图分析, ENSO气候态。

一、引言

全球气候变化中的强信号——El Niño,是赤道东太平洋海温年际异常的一种表现形式。研究表明,在过去的诸多El Niño事件中,几乎没有两次是完全相同的^[1,2]。出现这些差异的一个重要原因之一,就是与SST背景场的年代际异常密切相关。Wang Bin^[3]根据SST年代际变化特点,将SST背景场分成冷态和暖态,指出在冷态时,有利于赤道东太平洋海温异常向西传播,暖态时,有利于异常海温向东传播。由此可见,SST背景场的年代际异常对SST年际异常的表现形态是具有非常重要的意义的。

事实上,SST的年代际异常是非常显著的。Nitta Yamata(1989)^[4]利用EOF分析指出,全球SST的EOF₁及时间系数对应于El Niño事件变化的特征模,同时也表现出十年际变化趋势,1976年以后有一个明显的增长趋势。用1977~86年的平均场减去1967~76年的平均场发现,年代际的海温异常在不同地区是存在着很大的差异的。其它也有类似的研究^[5]。但是从现有的研究来看,由于资料的来源和研究方法的不同,所得到的结论,特别是在划分SST年代际阶段上,还存在一定的差异。因此,对SST的年代际异常特点作更全面

* 本文由国家自然科学基金资助,题号为49475265。

** 本文于1996年10月收到。

更深入的研究是有必要的。鉴于此, 本文将运用 1940~ 1990 年的 SST 资料, 对印度—太平洋区的海温的气候模态及其年代际异常作一深入的探讨。

二、印度—太平洋区 SST 气候模态的时空特征

许多研究表明, El Niño 事件具有显著的季节锁相特征, 一般来说, 它的成熟期发生在冬季。为了有效的反映 El Niño 事件的年际异常特征以及与之相关的年代际异常, 这里选取冬季(12 月~ 2 月) 来进行分析。考虑到资料的可靠性, 仅对 1944~ 1990 年的资料进行计算, 计算方法采用经验正交分解(EOF) 。

表 1 前五个特征向量的方差拟合率

序号	1	2	3	4	5	总计
方差拟合率	0. 182	0. 122	0. 070	0. 053	0. 052	0. 479

由表 1 可以看出, 第一、第二特征向量, 在印度—太平洋区 SST 的气候形态具有非常重要的作用。

1. SST 的气候模态的空间分布

根据经验正交分解方法的特点, 将前五个特征向量场作为主要的气候空间模态。图 1 就表示了印度—太平洋区 SST 的五个主要气候模态的空间分布。从图可以看出这五个气候模态具有这样的特征。

第一特征向量(图 1a) 方差拟合率为 18. 2%, 是最主要的气候模态。在这个模态中, 热带地区(30°N~ 30°S) 除南太平洋的秘鲁、智利的沿海地区以及北太平洋的中途岛西部的少量地区以外, 其它地区与中纬地区的 SST 呈反相关分布。很显然, 这个模态中的赤道东太平洋的海温与赤道西太平洋以及赤道印度洋的海温变化是一致的, 而与南北半球的热带外地区的海温变化是呈反相关的。

第二特征向量(图 1b), 方差拟合率占 12. 2%, 它的重要性仅次于第一气候模态。由图可以看出, 在太平洋区的 SST 的分布呈 V 字型特征。赤道中、东太平洋以及南、北美西部沿海的 SST 与赤道西太平洋、南北太平洋的 SST 呈反相关分布, 与西太平洋的亚洲大陆东部沿海的 SST 呈正相关。赤道印度洋以及南印度洋的大分部地区的 SST 与赤道中、东太平洋的 SST 的变化是一致的。

第三气候模态(图 1c), 方差拟合率为 7. 0%。这个型态的赤道东太平洋的 SST 与赤道中、西太平洋的 SST, 南、北太平洋、南印度洋以及赤道印度洋的部分地区的 SST 呈反相关分布, 与阿留申群岛附近海区的 SST 以及马斯克林岛、印度半岛附近的 SST 呈正相关分布。

第四特征模(图 1d), 方差拟合率为 5. 3%。SST 的变化关系呈西南—东北分布, 赤道东太平洋和南太平洋变化一致; 赤道西太平洋、澳洲东北部海域以及东北太平洋、南太平洋变化一致; 西北太平洋与海洋大陆地区以及赤道印度洋变化一致; 这三条分布带又呈正负相间分布。

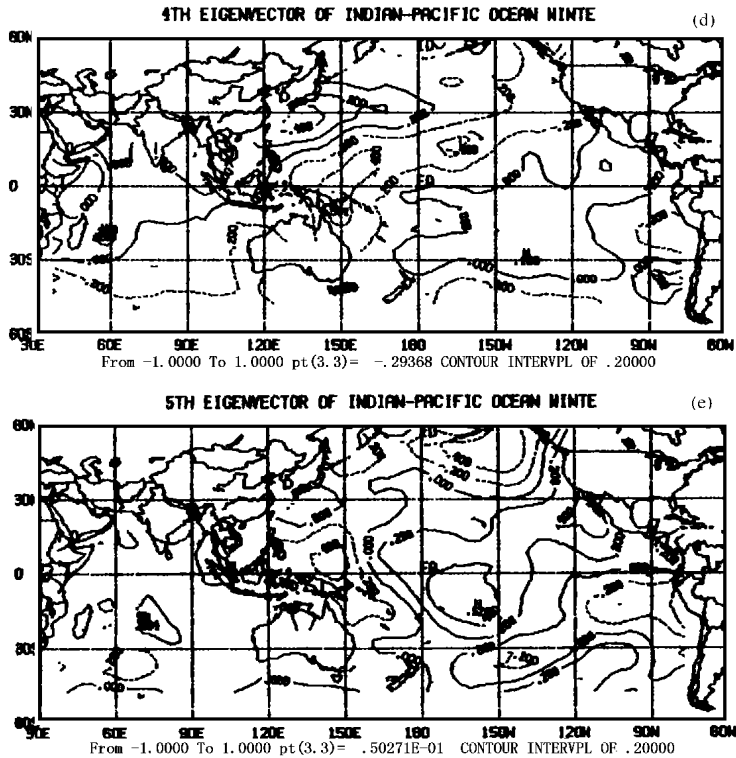


图 1 印度—太平洋区 SST 的前五个特征
向量场分布

第五特征模(图 1e), 方差拟合率为 5.2%。在这个分布型中, 在太平洋地区除 40°N 以北、赤道西太平洋以及南美东部沿海等少量地区具有相反的变化外, 其它大部分地区是变化一致的。在印度洋地区除在马斯克林岛东部的很小地区以外, 其它地区与赤道东太平洋呈反位相变化。

2 SST 的气候模态的时间演变

图 2 表示了与前五个特征向量场相对应的时间系数的演变特征。从时间系数的演变可以发现, 表征 SST 的第一气候模态反映了年代际的气候突变, 这里称突变气候态。印度—太平洋 SST 的背景场在这近五十年当中经历了两次气候突变, 第一次突变发生在 50 年代末, 第二次突变发生在 70 年代后期。结合空间分布场可以发现, 在 1956 年之前, 整个热带地区 SST 偏低而两半球中高纬度偏高; 从 1957 年到 1976 年, 热带地区海温有所升高; 1977 年以后热带地区的海温进一步升高达到一个比较稳定的状态, 这时中高纬度的海温也有一个明显的偏低。

从第二气候模态的时间系数演变可以发现, 它与 El Niño 事件相联系, 所以, 这里称之为 ENSO 气候态。结合空间分布型可以发现, 在 1944, 45, 46, 51, 53, 57, 63, 65, 68, 72, 76,

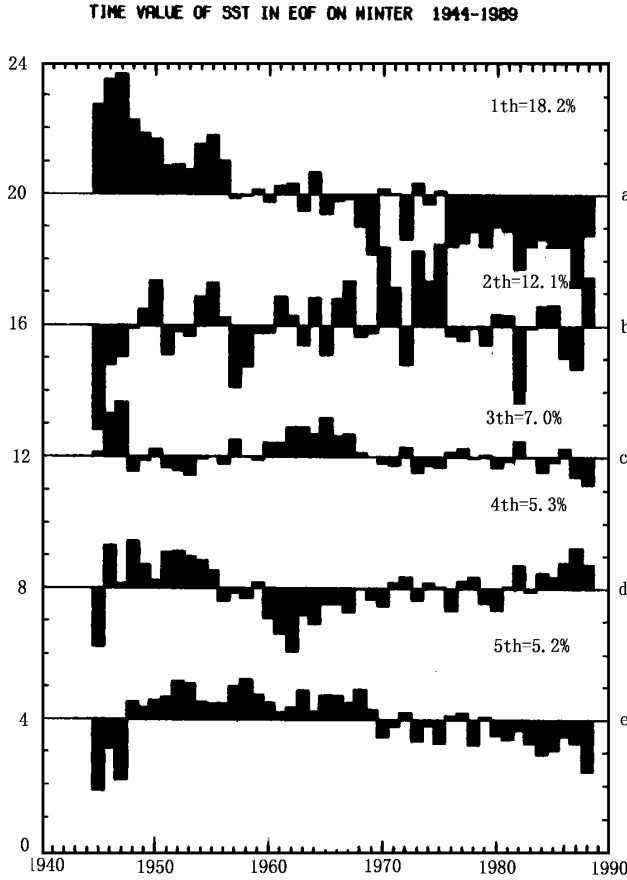


图 2 与特征向量场相对应的时间演变系数

77, 82, 86, 87 年的赤道中、东太平洋明显升高, 而在 1967, 70, 71, 73, 74, 75, 80, 81, 84, 85, 88 年异常降低。很显然, 当 El Niño 事件发生时, 赤道中、东太平洋、南、北美西部沿海的海温明显升高, 赤道印度洋以及亚洲大陆东部的西太平洋的海温也明显升高; 赤道西太平洋、南、北太平洋的海温降低。

第三特征向量的时间系数的演变特征, 说明它表示 18 年左右的十年际周期振荡的模式, 称这个模式为十年际振荡气候态。联系空间分布型便可发现, 赤道东太平洋的海温除了有 2~7 年的年际振荡还存在 18 年左右的十年际振荡。并且它与南北太平洋以及赤道西太平洋呈反相关。

第四特征向量的时间系数的演变与第三气候模态成反位相关系, 它表示了另一种十年际振荡气候态。第五特征向量的时间系数表示了更大尺度的十年际振荡, 它的周期为 40 年左右。

三、突变气候态的年代际异常特征

根据前面的分析,发现 SST 的突变气候态,在近 50 年当中发生了两次突变,分别是 50 年代的后期和 70 年代的后期。为了进一步说明突变气候态在突变前后 SST 的分布特点,这里将其分成三个阶段进行分析。这三个阶段是 1940~ 1955, 1957~ 1976 年, 1977~ 1989 年。图 3 分别表示了这三个阶段的平均场对气候平均场(1940~ 1990 年)的偏差。

从图可以看出,第一次突变之前,1940~ 1955 年的平均场的偏差,其分布型与突变气候态的空间型分布非常相似,整个热带地区($30^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{S}$)的 SST 低于气候平均值,其中有两个极冷中心,分别位于所罗门群岛附近的西太平洋地区和夏威夷岛东部的东太平洋地区,平均偏低幅度为 0.2°C ,最低的达 -0.8°C 。中纬度的 SST 偏高,偏高的幅度也在 0.2°C 以上。

在第一次和第二次突变之间,1957~ 1976 年的平均场的偏差,其分布型与突变气候态的分布不相似。升温 and 降温的区别不是热带和中纬度的区别。在中太平洋的不大的区域里海温升高,赤道西太平洋、赤道东太平洋以及南太平洋、西北太平洋、整个印度洋的海温依然偏低。

在第二次突变之后,1977~ 1989 年的平均场的偏差,其分布型与第一次突变之前的分布型相比,几乎完全相反,整个热带地区海温升高,升高的极大值地区也是发生在所罗门群岛附近和夏威夷东部的海区。最大升温为 0.5°C 。在南北太平洋的中纬度地区海温显著降低,在阿留申群岛附近的海温降低 0.6°C 左右。

由以上三个阶段 SST 分布特点,可以将突变气候态分成三个态,第一次突变前的背景场为冷态,两次突变之间的背景场称为过渡态,第二次突变后的背景场称为暖态。很显然,突变气候态的三个状态, SST 背景场分布是具有鲜明的差异的。

四、ENSO 气候态的年代际异常特征

根据前人的研究结果以及本文前面的研究发现,在 ENSO 气候态上,当 El Niño 事件发生时,赤道东太平洋海温异常升高。但是,在突变气候态的不同阶段上,也就是 SST 的背景场处于冷态、过渡态和暖态时,当 El Niño 事件发生时,整个印度—太平洋区的 SST 异常出现何种差异,还不是十分清楚的。这里对此作一讨论。

图 4 表示了三个不同阶段上, El Niño 发生年的 SST 对气候平均场偏差的合成图。由图表明,在第一个阶段的冷态时期(图 4a),当 El Niño 发生时,在太平洋地区的赤道东太平洋($150^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{W}$)以及秘鲁东部沿海地区的海温升高,其中秘鲁西部沿海地区升温最大,达 1°C 左右。同时其它也出现升温的是北太平洋的大部分地区。而在赤道中、西太平洋、南太平洋、东北太平洋、赤道东太平洋东部($120^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{W}$)的 SST 都是降温的。赤道印度洋以及南印度洋大部分地区的 SST 也是降温的。由此可见,在这个阶段上在 El Niño 发生时,出现升温的范围和幅度都是很小的,并且 El Niño 现象仅仅限于太平洋地区,印度洋没有出现升温。

在第二个阶段的过渡态时期(图 4b),因为这时 SST 的背景场,在热带和中高纬度没有明显的界限,热带主要升温的地区是太平洋中部。在这个阶段上当 El Niño 事件发生时,热带升

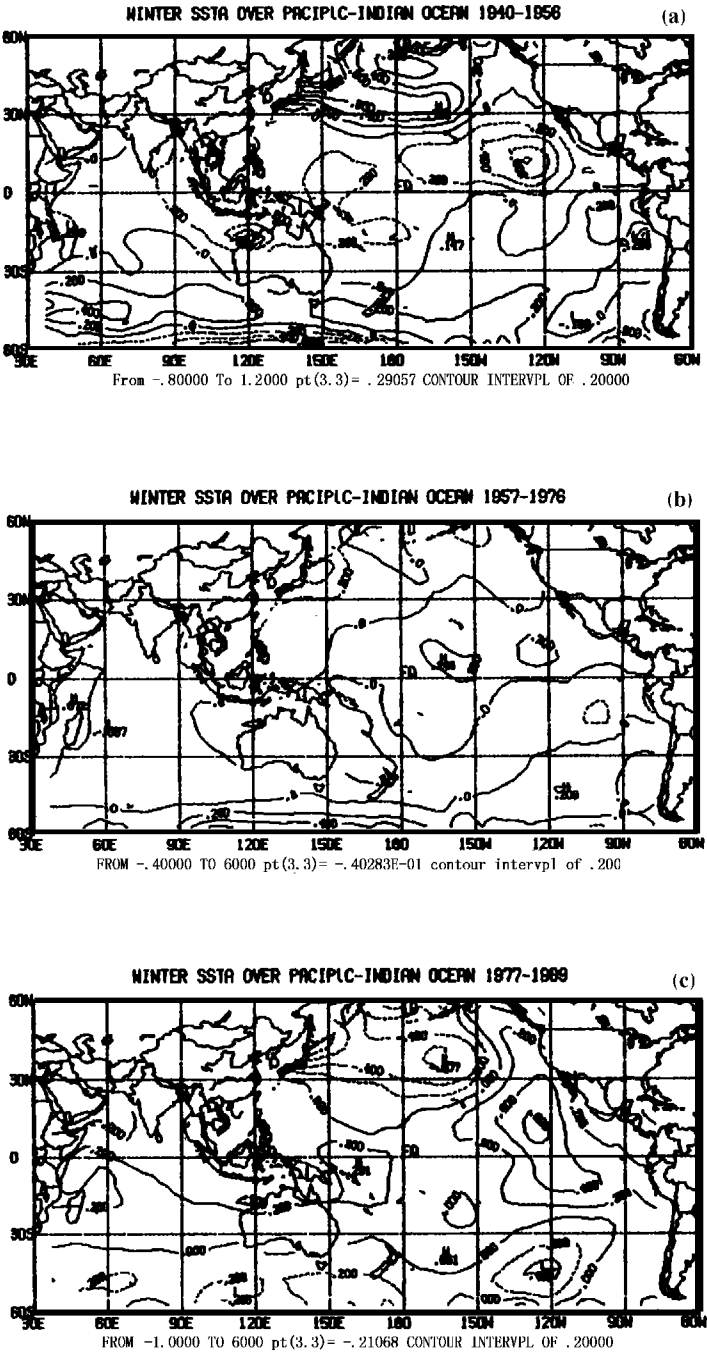
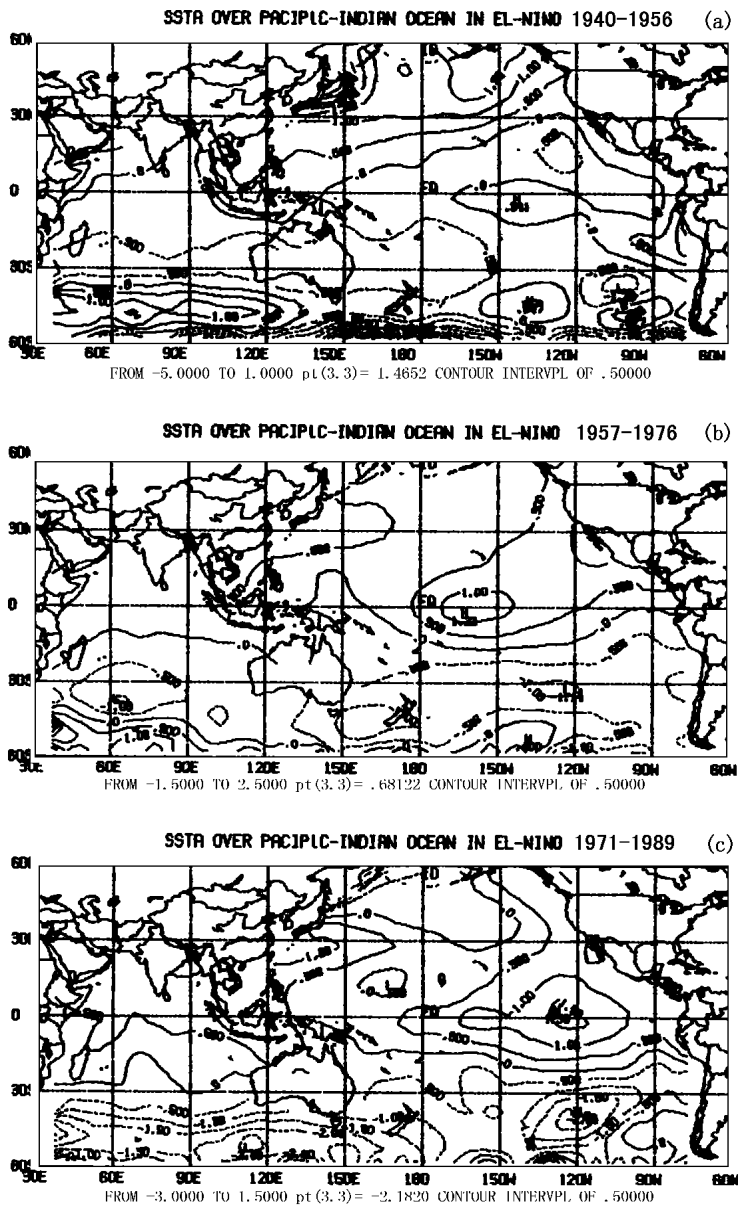


图 3 三个阶段上 SST 对气候平均场的偏差
(a. 1940~ 1955 年, b. 1947~ 1976 年, c. 1977~ 1989 年)



4 三个阶段上 El Niño 异常年 SST 对气候平均场偏差的合成图
(a. 1940~ 1956 年冷态时期, b. 1957~ 1976 年过渡态时期, c. 1977~ 1989 年暖态时期)

温最大的地方是在赤道太平洋中部地区((180° ~ 150° W), 升温在 1℃ 以上。这时南北太平洋呈反对称分布, 北太平洋升温而南太平洋降温, 赤道西太平洋的部分地区也是降温的。值得注意的是, 在赤道印度洋地区出现了升温, 但升温的幅度很小, 远未达到 El Niño 事件的数量级。

在第三个阶段的暖态时期(图 4c), 当 El Niño 事件发生时, 整个热带也几乎都是升温

的,其中升温最显著的是赤道中东太平洋地区,升温的最大中心位于赤道东太平洋的 120°W 附近,平均升温达 1.5°C 左右。这时赤道印度洋的升温也在 0.5°C 以上,这也许就是所谓的印度洋的 El Niño 现象。但另外还可以看到在南北太平洋的中纬度地区都是降温的,这与过渡态时期是不一样的。

比较三个年代上 El Niño 事件发生时 SST 异常的特点,可以发现,在背景场处于冷态时,赤道东太平洋的升温范围和幅度都很小,赤道印度洋和赤道西太平洋的海温是降低的。在背景场处于过渡态时,赤道东太平洋升温范围有所扩大,南北太平洋呈反对称分布,赤道印度洋略有升温。当 SST 的背景场处于暖态时,赤道东太平洋升温范围和幅度都明显加大,赤道西太平洋也出现升温,赤道印度洋伴随出现了类似的 El Niño 现象。

五、结 论

根据以上分析,可以得到这样几条结论。

(1) 对印度—太平洋海温进行经验正交函数分解,发现在近 50 年中, SST 的气候模态表现出三种形式,即突变气候态、ENSO 气候态、十年际振荡气候态。其中以前两种气候态最为显著,十年际振荡气候态又表现出空间分布和振荡周期不同的几种特征。

(2) 突变气候态表现出热带和中纬度海温的反相关变化。在近 50 年的演变过程中,经历了两次气候突变,分别在 1956 年和 1976 年前后。根据各年代际阶段上的海温变化特点,称 1956 年之前为冷态,1957~1976 年为过渡态,称 1977 年之后为暖态。冷态主要表现为热带降温,中纬度升温;过渡态主要表现为太平洋中部地区升温;暖态主要表现为与冷态基本上是相反的。

(3) ENSO 气候态的空间分布型主要表现为赤道东太平洋升温、赤道西太平洋降温、赤道印度洋升温的特征。但在三个年代际时期(冷态、过渡态、暖态), El Niño 异常年的 SST 分布是具有很大差异的。在冷态时期,赤道东太平洋的升温范围和幅度很小,赤道印度洋和赤道西太平洋的海温都是降低的。在过渡态时期,赤道东太平洋升温范围有所扩大,南北太平洋呈反对称分布,赤道印度洋略有升温,赤道西太平洋部分地区降温。在暖态时期,赤道东太平洋升温范围和幅度都明显加大,赤道西太平洋也出现升温;赤道印度洋出现升温,其强度可达到 El Niño 事件的强度标准。

参 考 文 献

- [1] Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern Oscillation/ El Niño. Mon. Wea. Rev. 110, 354~ 384, 1982.
- [2] Gill, A. E. and E. M. Rasmusson, The 1982- 83 climate anomaly in the equatorial Pacific. Nature, 306, 229~ 234, 1983.
- [3] Wang Bin, Interdecadal changes in El Niño Onset in the last four Decades, J climate, 8, 267~ 285, 1995.
- [4] Nitta T, Yamadas. Recent Warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the northern Hemisphere circulation, J. Meteor. Soc. Jap. 67, 375~ 383, 1989.
- [5] Namias, J. X. Yuan et al. Persistence of north Pacific sea surface temperature and atmospheric flow pattern, J climate, 1, 682~ 703, 1988.