

ENSO事件发展的时空特征

张秋庆

黄荣辉

(国家海洋局海洋环境预报中心, 北京 100081)

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文利用1951—1988年 10°S — 50°N 太平洋SST资料与EOF分析方法对ENSO事件的发展过程与循环的时空特征进行了分析, 分析结果表明 EOF第一主分量时间系数的变化可以很好地表示SST距平变化与ENSO事件的发生, 并且, 第一主分量空间函数分布的变化揭示了一种ENSO事件增温是春季首先始于赤道东太平洋沿岸, 随后向西传播到赤道中太平洋的增温过程; 而第二主分量空间函数分布的变化揭示了另一种ENSO事件可增温首先始于赤道中太平洋, 然后向东传播到赤道东太平洋的增温过程, 分析结果还表明, ENSO事件的强度是强弱相间, 其周期平均大约为4年左右。

本文还比较了80年代热带太平洋SST的变化及所发生的两次ENSO事件与其它年代所发生的ENSO事件的差别。

关键词: ENSO事件; 太平洋SST; EOF分析。

一、引 言

ENSO事件可以认为是热带地区, 特别是赤道地区海气相互作用最集中的反映, 它一旦发生, 将会在全球范围内引起严重的气候异常, 从而在世界各地造成严重的干旱、洪涝与低温, 使各国工农业生产受到很大损失, 为此, 目前世界各国的气象学家与海洋学家非常重视对这一现象产生的规律及其机理的研究。

早在60年代, Bjerknes就提出ENSO现象的发生首先是由于赤道太平洋海温的升高, 造成Walker环流减弱, 而后是由于信风减弱, 使得从赤道东太平洋到中太平洋的海温升高^[1], Rasmusson和Carpenter综合了历史上所发生的ENSO事件海表温度的演变过程^[2], 给出了ENSO事件在不同阶段海温距平的分布特征, 一般ENSO现象始于春季, 这时在秘鲁沿岸的赤道东太平洋海面温度升高; 到了盛夏与初秋, 暖水渐渐从赤道东太平洋延伸到赤道中太平洋, ENSO现象处于发展期; 到了深秋与初冬, 从赤道东太平洋到中太平洋的海表面温度增暖到了顶点, 这是ENSO现象成熟期; 到了第二年的春季, 从赤道东太平洋到中太平洋的海表温度渐渐下降, 恢复正常, 即从赤道东太平洋到赤道中太平洋的海水又渐渐变成冷水, 陈烈庭也得出同样的分析结果^[3]。

但是, 由于1982/1983年ENSO事件的增温过程并不是从赤道东太平洋开始, 而是从赤道中太平洋先开始, 这种增温过程与Rasmusson和Carpenter所综合的增温过程不同, 于是Rasmusson和Wallace对ENSO事件的增温过程作了补充^[4], 他们指出

1991年1月22日收到, 1991年6月22日收到修改稿。

ENSO 事件是两种增温过程叠加作用的结果。第一类增温过程是赤道东太平洋沿岸首先出现增温,随后逐渐西传;第二类是赤道中太平洋先出现增温,然后向东传播。

本文通过对 1951—1988 年太平洋 SST 的 EOF 分析来讨论 ENSO 事件增温过程的时空特征。

二、太平洋 SST 距平的时间变化与 EOF 分析主分量时间系数的关系

1. SST 距平的变化与 EOF 分析主分量时间系数的关系

EOF 分析方法可以比较清楚地讨论大气环流与气候变化的时空特征,它在讨论大气环流与气候变化中被广泛应用。本文将用此方法来讨论太平洋 SST 距平变化的时空特征。为了说明 EOF 分析中主分量的变化可以描述太平洋 SST 距平的变化,首先,利用 1951—1988 年的 SST 资料分析了太平洋 SST 距平的年际变化与 EOF 分析前 3 个分量时间系数的关系。

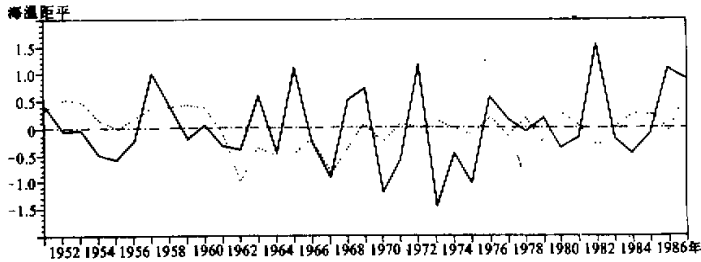


图 1 1951—1988 年冬季赤道东太平洋(180°—80°W, 5°N—5°S)(实线)与热带西太平洋(120°—150°E, 10°—20°N)(点虚线)SST 距平的变化曲线

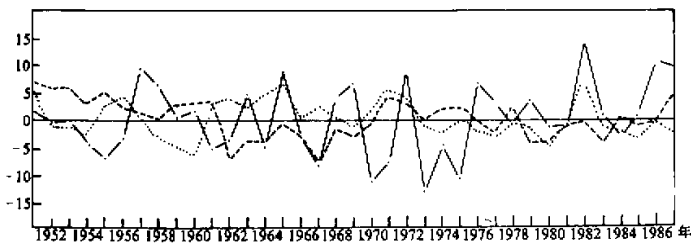


图 2 1951—1988 年冬季太平洋 SST 的 EOF 分析前 3 个分量时间系数的变化曲线
实线: 第一主分量; 段线: 第二主分量; 点线: 第三主分量

图 1 是 1951—1988 年冬季赤道东太平洋与热带西太平洋海温距平的变化曲线,图 2 是 1951—1988 年冬季太平洋 SST 距平的 EOF 分析前 3 个主分量时间系数变化的曲线。图 1 与图 2 相比, EOF 分析中前 3 个分量时间系数的变化,特别是第一主分量的时间系数的变化,反映了东太平洋海温距平随时间的变化。第一主分量时间系数的大小也完全反映了东太平洋海面温度距平的大小。从图 1 可看到在这 38 年间共发生了 10 次 ENSO 事件,即 1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、1976、1982/1983、1986/1987。这 10 次 ENSO 事件均在图 2 有很好的反映,尤其是冬季,第一主分量时间系数的峰值完全与 SST 距平的峰值对应,并且,还可以看到曲线的谷值也与反 ENSO 事件发生的年份一致。因此,我们可以利用太平洋 SST 的 EOF 分析第一主分量时间系数的变化来研究太平洋 SST 距平的时间变化,特别是研究 ENSO 事件的发生。

下面,我们分析 ENSO 事件发生过程中太平洋 SST 距平的季节变化与 EOF 分析中第一主分量时间系数季节变化的关系。除 1982/1983、1986/1987 所发生的 ENSO 事件外,对于大多数 ENSO 事件海温变化过程, EOF 分析第一主分量时间系数的变化均有较好的对应。春季,由于 ENSO 事件刚开始发生, SST 变化尚不显著,海温距平较小,故两者对应关系尚不明显;到了夏季,东太平洋的 SST 增温加剧, ENSO 事件处于发展时期,这时 EOF 分析中第一主分量时间系数的峰值开始增大,两者的对应关系开始明显;到了秋冬两季,海温距平增大到顶点, ENSO 事件处于发展成熟期,这时的 EOF 分析第一主分量时间系数的峰值也增大到顶点,两者的对应关系非常明显。如图 1 与图 2 所示, EOF 分析第一主分量时间系数的变化基本上与海温距平变化相吻合。到了 ENSO 事件发生第二年的春季, EOF 分析第一主分量时间系数的峰值变小,太平洋海温距平变小, SST 逐渐恢复原状, ENSO 事件处于减弱衰亡阶段。

这种关系还可以由 EOF 展开中前 3 个分量所对应的特征值占全部特征值总和的百分率看到(见表 1)。

表 1 ENSO 事件发生时各季节 SST 距平 EOF 分析前 3 个分量所占的百分比

特 征 值 \ 季 节	前一年冬季	春	夏	秋	冬
第一主分量	50.6	27.3	39.4	56.5	49.9
第二主分量	13.1	21.9	17.8	10.6	12.0
第三主分量	9.1	14.6	14.8	8.8	9.4
前三个分量总和	72.8	53.8	72.0	75.9	71.3

由表 1 可以看到在 ENSO 发生年份太平洋海温的 EOF 分析中夏秋冬季前 3 个分量占全部分量 70% 以上,而在秋冬两季第一主分量约占 50% 左右。因此,用 EOF 第一主分量及其时间系数可以很好表示 ENSO 事件的发生。

以前所讨论 ENSO 事件的发展过程往往利用赤道东太平洋 SST 距平随时间的变化。但是,由于发现有的年份所发生的 ENSO 事件(如 1982/1983 所发生的 ENSO 事件)是从赤道中太平洋先开始增温,因此,只用某一区域的 SST 距平不能很好反映 ENSO 事件的发展特征。而用整个太平洋 SST 的 EOF 分析主分量时间系数却能比较全面地反映

ENSO 事件的发展过程.

2. ENSO 事件强度的变化规律

上面已经阐述了在 ENSO 事件发展过程中 SST 的 EOF 分析前 3 个分量时间系数

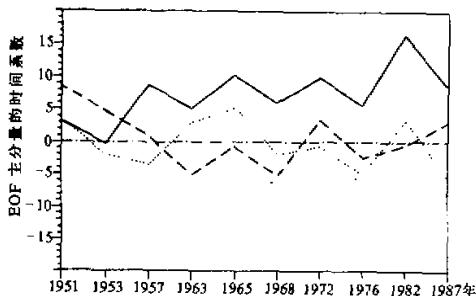


图 3 1951—1988 年所发生的 10 次 ENSO 事件冬季 SST 距平 EOF 分析前 3 个分量时间系数的变化.

实线: 第一主分量; 段线: 第二主分量; 点线: 第三主分量

强度有强弱相间的规律, 即 1951, 1957, 1965, 1972, 1982/1983 年所发生的 ENSO 事件强度高, 而在 1953, 1963, 1969, 1976, 1986/1987 年所发生的 ENSO 事件强度弱.

可以很好反映 SST 距平的变化. 从对图 2 的分析中可以看到, 在秋冬两季, ENSO 事件处于成熟期, EOF 分析第一主分量时间系数就比较好地反映了太平洋 SST 距平的变化. 它反映了 ENSO 事件发展过程中最重要的过程. 图 3 是这 10 次 ENSO 事件发生年份冬季 SST 距平分析第一、二、三分量时间系数的变化情况. 第一主分量的时间系数大大超过其它两个分量的时间系数. 从第一主分量时间系数的变化曲线可以看到 ENSO 事件的发生

三、在 ENSO 事件发展过程中海温距平空间变化的特征

上面分析说明了 SST 的 EOF 分析第一主分量时间系数可以很好地反映 ENSO 事件发展中 SST 距平随时间的变化. 在秋冬季第一主分量就可以比较好地反映 ENSO 事件的发生. 以下用这 10 次 ENSO 事件 SST 的 EOF 分析主分量特征函数的空间分布随季节变化来说明 ENSO 事件发展过程中 SST 距平的空间变化特征.

图 4 是 1951—1988 年所发生 10 次 ENSO 事件 SST 的 EOF 分析第一主分量特征函数空间分布的季节变化. ENSO 事件发生的前一年冬季, EOF 分析第一主分量在东北太平洋与热带西太平洋为一片正值区, 在赤道东太平洋为一片负值区, 这正是 ENSO 事件处于恢复位相的 SST 距平的分布. 到了 ENSO 发生年春季, 30°N 以北的北太平洋为一片正值区, 热带西太平洋区域变成一片负值, 而在赤道东太平洋已有一些正值区, 130°W 与 105°W 各有一正中心. 夏季位于赤道东太平洋的正中心继续扩大, 强度加强. 与春季相比, 这个正中心向北传, 同时还向西扩展, 形成一条沿赤道向西伸展的暖舌, 最大正值位于赤道东太平洋沿岸. 图 4c 是秋季的情况, 正值区沿赤道向西传播, 呈东西向带状分布, 中心西移至 100°W 和 120°W 之间, 位于赤道中、东太平洋的正值区继续增大. 冬季增温区域继续西移, 中心位于 120°W , 强度达到最大, 这时正值 ENSO 事件发展达到顶点. ENSO 事件发生的第二年春季, 位于赤道中太平洋的正值区显著变小, 最大正值区出现在东太平洋沿岸. 这并不是由于正值区东移而造成, 而是由于赤道中太平洋正值区的迅速减弱所至.

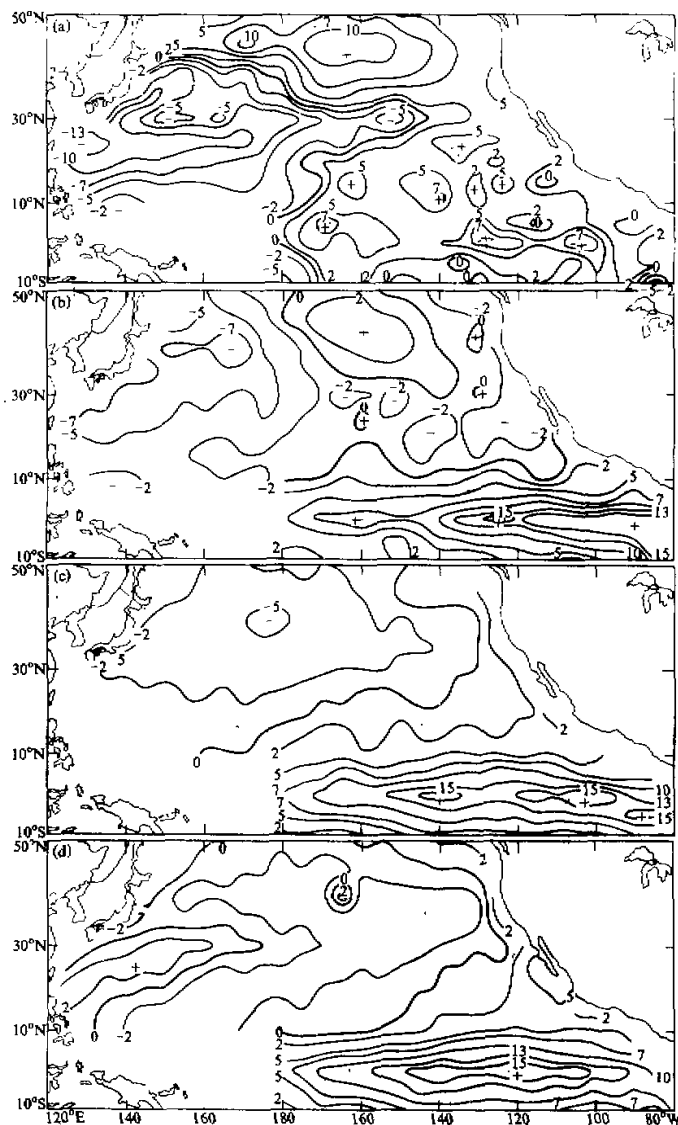


图4 ENSO 事件 SST 的 EOF 分析第一主分量特征函数空间分布随季节变化
(图中标值被乘于 100)

(a) ENSO 事件发生年的春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

上面 10 次 ENSO 事件 SST 的 EOF 分析第一主分量空间函数分布随季节的变化状况与 Rasmusson 和 Carpenter 用 8 次 ENSO 事件的 SST 距平合成资料所讨论 ENSO 事件的发展过程相一致。

然而, 从第二主分量特征函数空间分布的季节变化 (图略) 可以看到与上述不一样的

增温过程。在 ENSO 发生年份的春季,赤道中、东太平洋地区第二主分量特征函数沿赤道为正值,呈东西向带状分布。夏季这个正值区分裂成东西两个中心,西侧的中心位于日期变更线附近,东侧的中心位于 130°W 。到了秋季,西侧的中心移至日期变更线以西,这个中心为向西移动;东侧的中心则向东移,此时已东移到了东太平洋沿岸,这个正中心的强度大大加强。 170°W 与 120°W 附近出现负值。冬季位于东太平洋沿岸的正值区加强并扩大,出现向西伸展。 140°W 以东均为正值,但其中心仍在东太平洋沿岸,与秋季比较,正值区进一步东移。到了第二年的春季,东西两个正值区重新合并,整个赤道中、东太平洋为一片小的正值区。

以上分析可见,EOF 第二主分量空间函数分布的季节变化反映了 Rasmusson 和 Wallace 所提出的另一种增温过程,即 ENSO 事件发生时,增温过程是从赤道中太平洋向东传播,增温在赤道中太平洋开始后,缓慢向东传播到赤道东太平洋。

以上说明了 ENSO 事件太平洋 SST 的 EOF 分析前二个主分量特征函数的空间分布季节变化分别反映出两种增温过程:第一主分量反映了首先在赤道东太平洋增温,随后逐渐西传的第一类增温过程;第二主分量反映了首先在赤道中太平洋增温,随后逐渐东传的第二类增温过程。

四、80 年代两次 ENSO 事件的发展特征

Hansen 和 Lebedeff 的研究表明了 80 年代地球表面温度是有气象记录以来最暖的时期^[5],这可能是由于 CO_2 增加的温室效应所造成。最近, Nitta 和 Yamata 指出在 80 年代热带海洋,特别在热带中、东太平洋和印度洋($20^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{S}$)地区;海表面温度比 70 年代增加了 $0.3 - 0.4^{\circ}\text{C}$ ^[6]。我们在图 1 的分析也表明了这个增温趋势。这个增温不仅会使大气环流产生很大变化,而且也会影响 ENSO 事件的发生。

从第一主分量时间系数随时间变化(图 2)也可以看到,70 年代后期到 80 年代末,太平洋秋冬与春季 SST 的 EOF 分析第一主分量的时间系数明显从负变成正值。这是热带中、东太平洋 SST 增暖趋势的一种反映。

图 5 和图 6 为 80 年代发生的两次 ENSO 事件期间,赤道中太平洋与赤道东太平洋两个区域的 SST 距平随时间的变化。两次 ENSO 事件的增温过程与一般的 ENSO 事件不同。它们是在发生年份的春季,赤道中太平洋先开始增温,然后由于暖海水缓慢向东传播,赤道东太平洋才出现增温。图 2a, b 中也反映了这种现象。图 2 中的粗虚线为 EOF 第二主分量的时间系数。从它的大小变化可以发现,1982/1983 ENSO 事件与 1986/1987 ENSO 事件春夏季其值较大,这在某种程度上可以说明这两次的 ENSO 事件是春季从赤道中太平洋开始先增温。图 5 和图 6 更具体地反映了这种现象。1982/1983 年的 ENSO 事件于 1982 年 3 月在赤道中太平洋先开始增温,赤道东太平洋的迅速增温发生在这一年的 9—10 月间;而 1986/1987 年的 ENSO 事件于 1986 年 5 月在赤道中太平洋先开始增温,赤道东太平洋的迅速增温发生在这一年的 9—10 月间。两次 ENSO 事件的增温均是赤道中太平洋早于赤道东太平洋。80 年代发生的 ENSO 事件的增温过程是第二类增温过程占主要地位。

1982/1983 年的 ENSO 事件与 1986/1987 年的 ENSO 事件其特征也有一些不同。

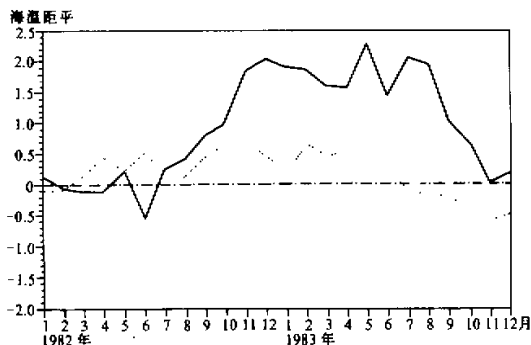


图5 1982年1月—1983年2月赤道中太平洋(180°—160°W, 5°N—5°S)(虚线)与赤道东太平洋(120°W—80°W, 5°N—5°S)(实线)的区域平均 SST 距平随时间的变化

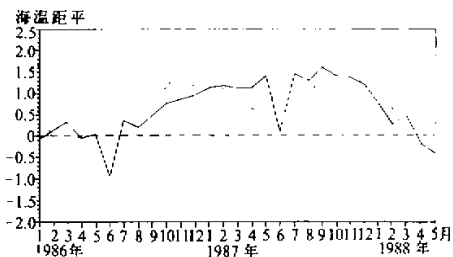


图6 1986年1月—1988年5月赤道中太平洋(180°—160°W, 5°N—5°S)(虚线)与赤道东太平洋(120°—80°W, 5°N—5°S)(实线)的区域平均 SST 距平随时间的变化

1982/1983 年 ENSO 事件的强度是有记录以来最强的一次, 赤道东太平洋(120°—80°W, 5°N—5°S)的正 SST 距平值非常大, 最高达 2.2℃ 以上, 并且这种大的海温正距平在赤道东太平洋维持了很长时间, 1982 年 11 月至 1983 年 8 月的 10 个月中这个海域的 SST 距平一直维持在 1.5℃ 以上, 1986/1987 年的 ENSO 事件强度不如 1982/1983 年的 ENSO 事件, 最大 SST 距平为 1.5℃。这次 ENSO 事件的特点是赤道中太平洋的 SST 正距平与赤道东太平洋的距平相当, 并且高的赤道中太平洋正距平维持了很长一段时间, 从 1986 年 7 月一直继续到 1988 年 4 月, 将近两年, 两个区域的正距平几乎于 1988 年 4 月同时消失, 海温恢复到正常的状态。

80 年代 ENSO 事件的这种增温特征可能是与热带太平洋 SST 在进入 80 年代后的明显增暖相联系。

五、结论与讨论

本文利用 1951—1988 年太平洋 10°S—50°N 的 SST 进行 EOF 分析来揭示 ENSO 事件发展过程的时空特征, 结果表明 EOF 分析第一主分量的时间系数的变化可以很好地表示 SST 距平的变化与 ENSO 事件的发生, 第一主分量特征函数空间分布的变化揭示了一种 ENSO 事件增温过程是春季首先始于赤道东太平洋沿岸, 随后向西传播到赤道中太平洋; 而第二主分量特征函数空间分布的变化揭示了另一种 ENSO 事件增温过程是春季首先始于赤道中太平洋, 然后向东传播到赤道东太平洋。

从上面的分析可以看到, 任何一次 ENSO 事件的过程可以看成是两类特征增温过程的综合, 对于某一次 ENSO 事件的增温过程是以东传为主还是以西传为主, 这决定于 EOF 分析中第一主分量时间系数与第二主分量时间系数的相对大小。

分析结果还表明, 50 年代至今所发生的 ENSO 事件的强度是强弱相间, 其周期平均约为 4 年左右。这可以用来预测 ENSO 事件发生的强度。

本文还分析了 80 年代太平洋 SST 变化趋势。80 年代太平洋 SST 的 EOF 分析第一主分量的时间系数明显的由负变正, 这个变化反映出热带中、东太平洋海温升高。80 年代所发生的 ENSO 事件是从赤道中太平洋先开始增温, 然后向东传播到赤道东太平洋, 它明显区别于其它的 ENSO 事件。这可能与这个时期的热带太平洋海温的增暖趋势有关。

上述这些特征可以用来进一步探讨 ENSO 事件发生的物理机制以及它与大气环流变化的联系。

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J., 1966, A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus*, **18**, 820 — 829.
- [2] Rasmusson, E. and T. Carpenter, 1982, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354 — 384.
- [3] 陈烈庭, 1989, 热带印度洋—太平洋海温纬向异常及其对亚洲夏季风的影响, *大气科学(特刊)*, 142 — 148.
- [4] Rasmusson, E. and J. M. Wallace, 1983, Meteorological aspects of the El Niño /Southern Oscillation, *Science*, **222**, 1195 — 1202.
- [5] Hansen, J. and S. Lebedeff, 1988, Global surface air temperature: update through 1987, *Geophys. Res. Letters*, **15**, 323 — 326.
- [6] Nitta, Ts. and S. Yamada, 1989, Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375 — 385.

Temporal and Spatial Features in ENSO Evolution

Zhang Qiuqing

(National Research Center for Marine Environment Forecasts, Beijing 100081)

Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

By using the Pacific SST data from 1951 to 1988 and the Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis method, the temporal and spatial features in ENSO evolution have been analysed. The results show that the temporal variations of SST anomalies and the occurrences of ENSO events. Seasonal variations of spatial patterns of the first EOF disclose a type of processes of SST warming in ENSO evolution, i.e., the rising of SST occurs first along the coast of the eastern equatorial Pacific in spring, and then propagates westward to the central equatorial Pacific. Seasonal variations of spatial patterns of the second EOF disclose another type of SST warming processes, in which the rising of SST occurs first in the central equatorial Pacific, and then gradually propagates eastward to the eastern equatorial Pacific. The analyses results also show that the strong and weak ENSO events always occurs alternately since the 1950s. Their averaged period is about four years.

A comparison of the SST variations as well as the two ENSO events in the 1980s with those in other years is also shown.

Key words: ENSO events; Pacific SST data; EOF analysis.