

北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征^{*}

咸 鹏 李崇银

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 用近百年的海温 (SST) 资料, 分析研究了北太平洋海温的年代际变化特征及其基本形势 (模态)。结果表明, 它主要存在准 7~10 年周期和准 25~35 年周期两类年代际变化; 这两类年代际变化又都有类似的形势 (模态), 但却与所谓“类 ENSO 模”明显不同。同时, 两个年代际模都有呈西北—东南向振荡和沿海盆作顺时针旋转的共存活动 (演变) 特征。

关键词: 北太平洋; 海温; 年代际变化; 模态; 演变

1 引言

自 20 世纪 90 年代开始, 气候的年代际变化已特别引起大家的关注, 并在跨世纪的国际重大科学研究计划——气候变化及其可预报性研究 (CLIVAR) 中成为重要研究内容之一^[1]。年代际气候变化是十分重要的不同于年际时间尺度的气候变化, 一般指时间跨度为十几年到几十年的气候变化, 它的变化规律和机理会不同于年际气候变化。因此, 年代际气候变化研究对认识气候和自然环境有重要科学意义。年代际变化又是年际甚至月季气候变化的重要背景, 搞清年代际气候变化对认识及预测年际和月季气候变化都有好处, 从而年代际气候变化研究又具有实际应用价值。

在 20 世纪 90 年代, 有关年代际气候变化的研究最先是针对海洋状况进行的, 因为人们认为海洋是慢变过程, 其年代际时间尺度特征可能更显著。一些研究表明, 北大西洋海表温度的变化不仅确实存在明显的年代际特征^[2,3], 并且还同北大西洋涛动 (NAO) 有密切关系^[4]。在太平洋, 虽然有关研究相对较少, 但一些研究已表明 ENSO 活动也有年代际变化特征^[5,6]。同时, 对北太平洋海温的 EOF 分析表明, 其主分量的一部分与 ENSO 变化相一致, 被认为是年际变化的代表^[7]; 而其余部分则被认为是年代际时间尺度的变化, 并因认为它与 ENSO 模有一些类似, 有人称其为“类 ENSO 模”^[8]; 还因这种“类 ENSO 模”在中纬度地区有较强的异常信号, 又被称为太平洋年代际振荡 (PDO)^[9]。另一些研究用其他方法也指出了北太平洋海温年代际时间尺变化的存在^[10~12], 且在温跃层也相当明显^[13]。后来的研究还发现一种有趣的现象, 即北太平洋海温年代际变化型有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的特征^[14]。

在有关北太平洋海温年代际变化的后续研究中, 一方面进一步强调了 PDO 的存在, 因为盐度也有 PDO 的特征^[15]。但更多的分析研究和数值模拟表明, 北太平洋海温

2002-03-11 收到, 2002-06-25 收到修改稿

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分和中国科学院 KZCX2-203 项目共同资助

的年代际变化既有类 ENSO 模, 还有中纬度偶极模^[16~18]。并且认为热带海洋的年代际变化主要是由中纬度年代际变化所驱动; 而大气环流异常的变化又是其重要联系过程^[19,20]。显然, 关于北太平洋海温年代际变化, 尤其是年代际变化的模态, 还有进一步研究的必要。而且, 关于用某一个 EOF 主分量表示某一时间尺度气候变化的问题, 国内外已有一些异议, 认为某一主分量并不仅仅表示一种时间尺度的变化。因此, 对于已有的结果也还需要进一步确认, 或者说, 北太平洋海温年代际变化的特征并未真正搞清楚, 它到底主要包括几种模态, 各个模态的基本活动规律又如何, 都是还有待深入研究的重要问题。

本文将用英国 Hadley 中心的 1900~1997 年海温资料 (有关资料情况可参见文献 [21, 22]), 以不同于 EOF 分析的方法来进行进一步研究北太平洋海温的年代际模及其演变特征。

2 北太平洋海温年代际变化的主要模态

为了搞清楚北太平洋 (本文指整个 10°S 以北的太平洋) 海温年代际变化, 我们需要知道北太平洋海温的时间变化特征。为此, 首先对北太平洋不同海域及整个北太平洋的海表温度 (SST) 进行了频谱分析。其结果表明, 北太平洋海温年代际变化的最显著海区是北太平洋北部, 较为不显著的海区是赤道太平洋 (那里以 2~7 年周期的年际变化为主)。比较分析各个海区 SST 的年代际变化曲线及功率谱特征, 虽然不尽相同, 但却都有两个主要谱峰存在, 其中一个是 7~10 年周期的谱峰, 另一个是 25~35 年的谱峰。因篇幅关系, 这里仅给出太平洋北部海区 ($35^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{W}$) 平均 SST 的时间变化和功率谱 (图 1), 很清楚, 两个主要谱峰 (7~10 年和 25~35 年) 都十分显著。各个海区平均海温的小波分析也表现出相似的特征, 图 2 分别给出了太平洋北部海区和副热带东北太平洋海区 ($10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $180^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$) 平均的 SST 变化的子波分析结果, 可以看到, 7~10 年和 25~35 年仍是相对显著的周期。因此, 无论在图 1 还是在图 2 中, 虽然也可以看到还有其他周期的变化存在, 但最主要的是准 7~10 年周期和准 25~35 年周期两个年代际模。或者说, 北太平洋海温年代际变化有两个最显著的模态, 即 7~10 年模态和 25~35 年模态。

为了进一步完整地描写北太平洋海温年代际变化的两个主要模的形势, 我们对北太平洋 SST 分别进行了 7~10 年和 25~35 年的带通滤波处理, 从而得到了两个年代际模的水平分布特征 (型)。图 3 分别给出的是准 7~10 年模的基本形势, 它们可以代表该模态正位相和负位相的主要特征。很显然, 在正位相时, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 纬度带的 140°W 以西海区为 SST 的正距平, 30°N 以南及靠北美大陆的东北太平洋海区为 SST 的负距平; 在负位相时, 北太平洋 SST 距平的分布有几乎相反的形势, 30°N 以南及靠北美大陆的东北太平洋海区为 SST 的正距平, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 纬度带的 140°W 以西海区基本为 SST 的负距平。

分析准 25~35 年模的基本形势, 可以清楚看到它与 7~10 年模基本相似, 在正 (负) 位相时, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 纬带的 140°W 以西海区为 SST 的正 (负) 距平, 30°N 以南及靠北美大陆的东北太平洋海区为 SST 的负 (正) 距平。因此, 这里省略了 25~35 年模

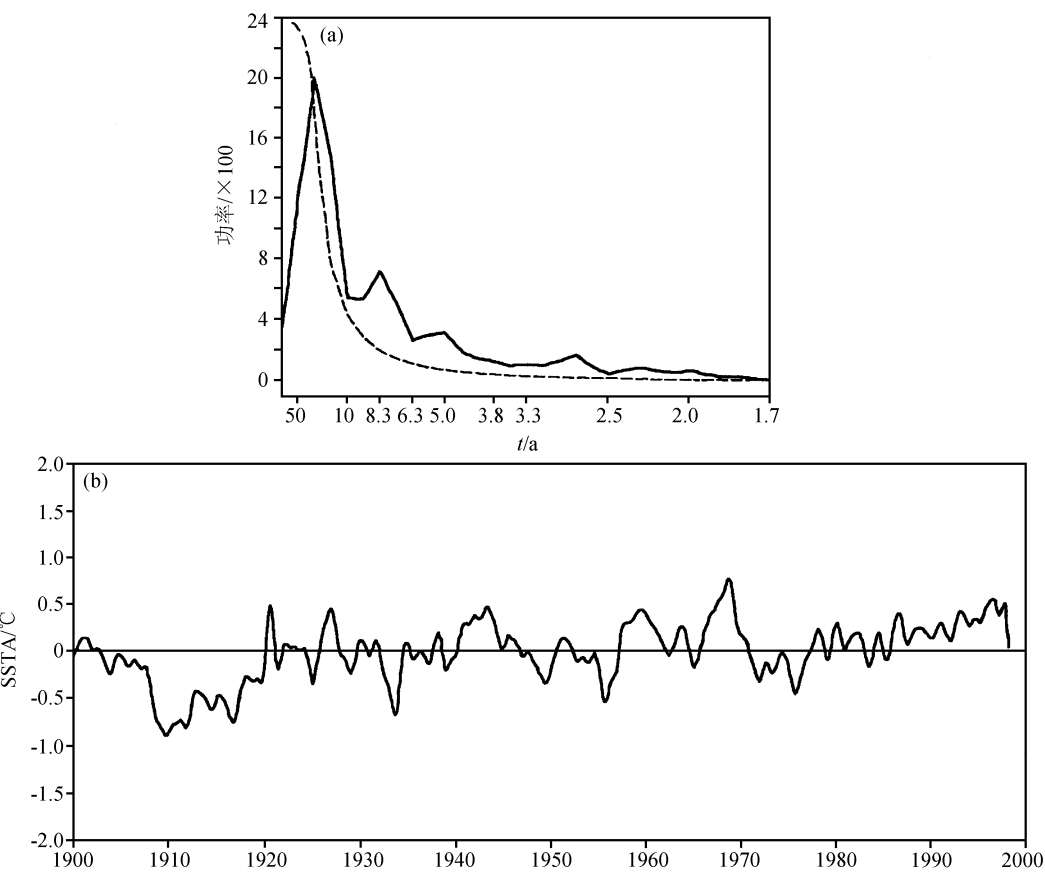


图1 太平洋北部海区 (35~55°N, 140°E~135°W) 平均的 SST 的时间变化 (b) 和功率谱 (a)
虚线表示 95% 的信度

的形势图。

最近，有研究基于长期观测的空气温度资料和树轮资料的分析^[23]，清楚地表明东北太平洋的气候变化存在着三种时间尺度的振荡，即 2~8 年振荡，20~40 年振荡和 60~80 年振荡。因资料的长度限制，我们的分析要想显示 60~80 年振荡尚有困难，但上面分析得到的 25~35 年模与 20~40 年气候振荡较好一致的；而时间尺度为 2~8 年周期的振荡难说属于年际变化范畴。

虽然 7~10 年模和 25~35 年模有大体一致的型态，但没有必要将它们合成为一个模，因为频谱分析表明它们彼此独立存在，人为地合为一个模反而不好。本文视它们为两个模会更好，下面由我们所定义的指数的时间变化很自然地反映出两个模的存在将是一个证明。

3 北太平洋海温年代际变化指数

由于 7~10 年模和 25~35 年模有十分类似的特征型，而且它们的主要正负 SSTA 中心区又比较明显，为了方便表示北太平洋海温年代际变化的最主要特征，依据图 3 所

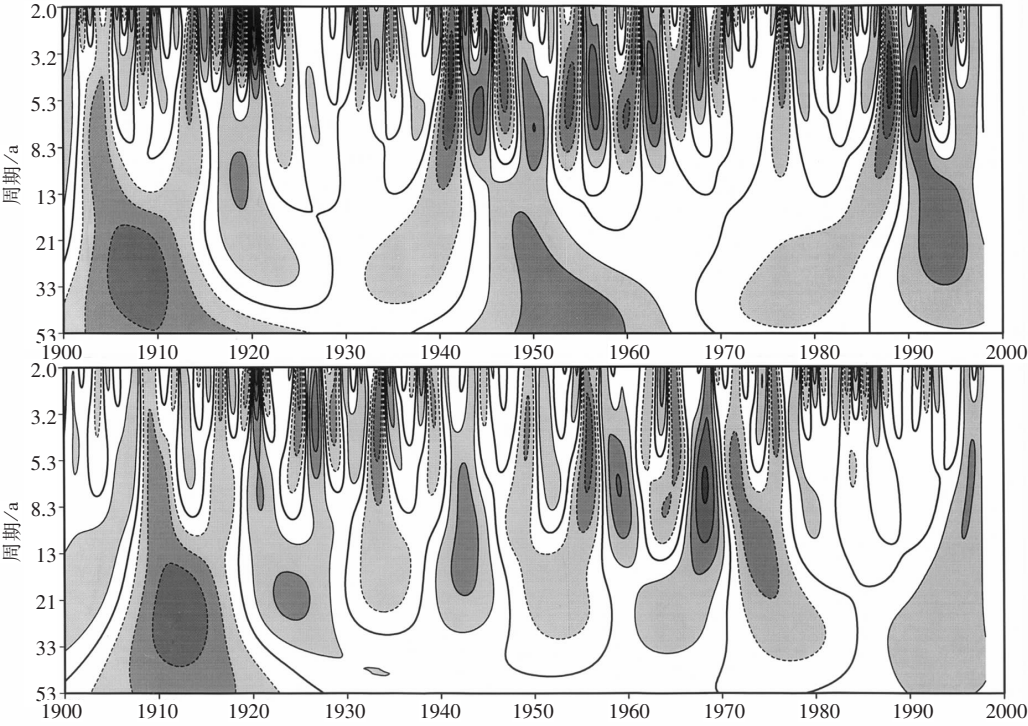


图2 太平洋不同海区平均 SST 变化的子波分析结果
(a) (35~55°N, 140°E~135°W) 海区情况; (b) (10~30°N, 180~120°W) 海区情况

给出的特征形势，便可以定义一个统一的指数，即北太平洋海温年代际变化指数 I_{NPD} ，它是标准化的 (30~45°N, 160°E~150°W) 海区和 (5~20°N, 180~130°W) 海区平均的 SSTa 之差。选取这两个海区来定义北太平洋海温年代际变化 (NPD) 的指数，是因为在该两个海区 SST 的年代际变化幅度相对较大，所给出的指数 I_{NPD} 既能反映中纬度海温的情况，也同时反映了热带海温的年代际变化特征。

图 4 (见图版) 给出了指数 I_{NPD} 的年际变化及其子波分析结果，十分清楚，图 4 主要表现了较长时间尺度的变化特征，并且准 25~35 年周期模和准 7~10 年周期模最为显著，同前面的分析结果十分一致。可见，NPD 能够很好地反映北太平洋海温的年代际变化特征， I_{NPD} 是名副其实的北太平洋海温年代际变化指数。

为了比较 I_{NPD} 和 I_{PDO} 指数，我们引用了 I_{PDO} 指数的时间变化图 (图 5)，通过比较不难看到，对于在 1925、1943 和 1977 年发生的三个年代际突变现象来讲，本文的 I_{NPD} 更为清楚和显著。例如， I_{PDO} 指数难以确定在 1925 年有突变；在 1995 年 I_{PDO} 却又表明是有突变，而 Mantua 等^[9] 分析其他许多要素的变化都表明不存在 1995 年的突变。但本文定义的 I_{NPD} 既没有 1995 年的突变现象，而 1925 年的突变现象又十分明显，表明 I_{NPD} 是比较好的北太平洋海温年代际变化指数。另外，本文用 I_{NPD} 还能比 I_{PDO} 更好地反映北太平洋海温年代际变化的本质，其原因有两个：一是 I_{PDO} 有整个太平洋之意，反映北太平洋海温年代际变化不必定义为 I_{PDO} ；另一个是北太平洋海温年代际变化模难以用振荡 (oscillation) 一词完全真正地描写，用一般化的“北太平洋海温年代际变化”

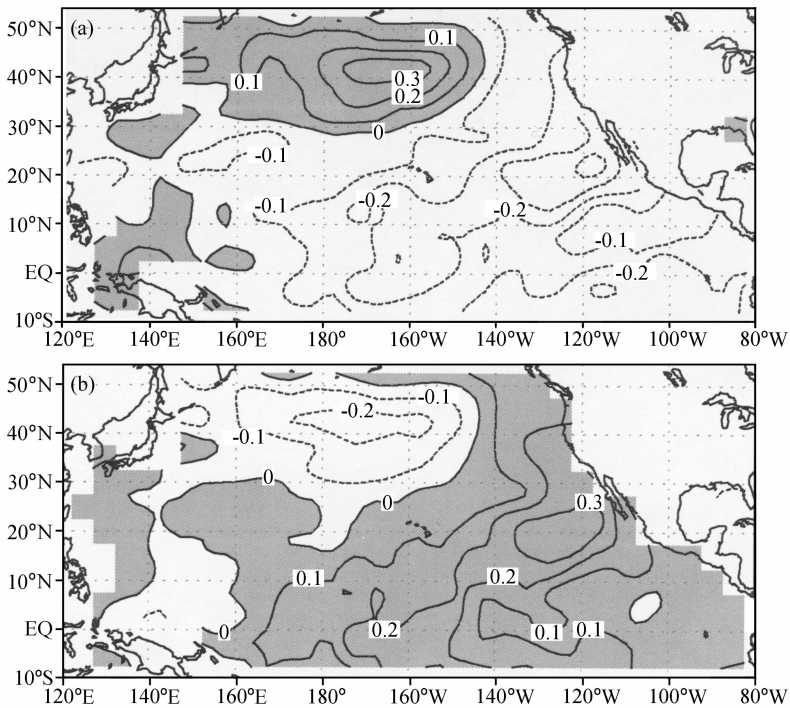


图 3 北太平洋海温年代际变化的 7~10 年模在正 (a) 和负 (b) 位相时的形势

(NPD) 更为妥当，尽管上述年代际变化模的正负位相是其最主要的模态。

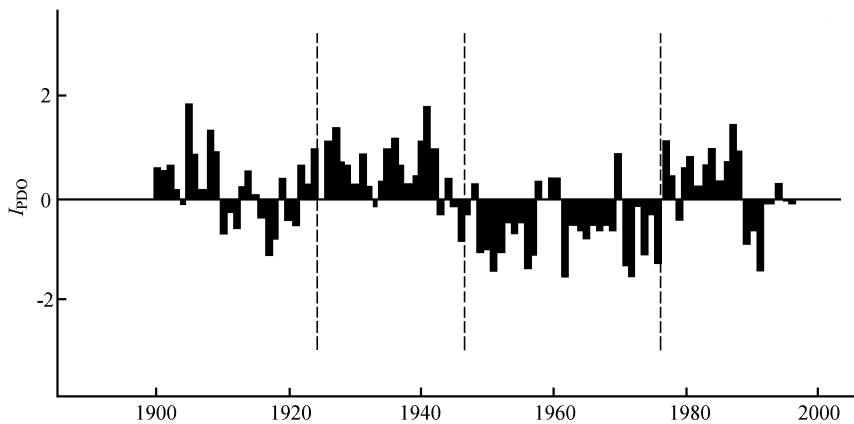


图 5 I_{PDO} 指数的时间 (年际) 变化特征 (引自文献[9])

北太平洋海温年代际变化的两个最基本模态如图 3 所示，虽然在这些正位相和负位相之间还有过渡态 (形势)，但相对于正、负位相两个主模态，过渡态的形势比较不稳定，有时还较为零乱一些。因此在一定意义上，北太平洋海温年代际模也有西北—东南向振荡的特征。图 3 所显示的北太平洋年代际变化的基本模态虽然也有中纬度信号强于热带的特征，但它们同所谓“类 ENSO 模”有明显的差异。因为 ENSO 模在北太平洋的基本特征是：赤道东太平洋有范围较为狭窄的正 (负) SSTA，其最大值位于

赤道附近海区；赤道西太平洋到东北太平洋有西南—东北向的负（正）SSTA 带；在西北太平洋有正（负）SSTA 存在。而图 3 所示的北太平洋海温变化的年代际模在赤道太平洋、西太平洋和东北太平洋均为符号基本一致的 SSTA 分布，ENSO 模的特征在这里并不明显。

4 北太平洋海温年代际模演变的基本特征

已有研究表明，北太平洋上层海温的年代际变化有沿着北太平洋海盆作顺时针旋转的特征^[14]。我们分析北太平洋海表水温的年代际模（7~10 年模和 25~35 年模）的演变，也发现有类似的循环过程。在图 6（见图版）中给出了 25~35 年模随时间的演变情况，这里虽然没有作 EOF 分析，也未作相关系数的变化分析，已经可以十分清楚地看到主要的海温异常区作顺时针旋转的特征。为了清楚，我们注意 SSTA 负值区的演变。开始时 SSTA 的负值区主要在北太平洋存在，但热带西太平洋也存在弱的 SSTA 负值区（1936 年），然后负 SSTA 仅存在北太平洋海区（1940 年）；其后这个 SSTA 负值区依次出现在热带东太平洋，但北太平洋海区还有小片 SSTA 负值区（1944 年），后来 SSTA 的负值区整体移到了热带太平洋海区（1948~1956 年）；最后 SSTA 负值区又出现在热带西太平洋和北太平洋海区（1960 年），其主要特征有些类似于 1936 年的形势。因此可以认为，北太平洋 SSTA 年代际模有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的演变特征。但是，由于北太平洋海温年代际模的两个主要型态为图 3 所给出的形势，且它们所持续的时间又相对较多，其它过渡型都不及它们那么显著。因而年代际模沿海盆作顺时针旋转的演变特征也就部分地被掩盖了，所以在图 6 中也可以看到 25~35 年模的演变也有近乎南北振荡的特征。但是仔细分析就不难发现，对于 25~35 年模的 SSTA 场来讲，其主要的正、负区仍有十分清楚的沿海盆作顺时针旋转的特征。

对于 7~10 年模的时间演变情况，也可以清楚看到类似于 25~35 年模沿海盆作顺时针旋转的特征。如果注意位于西北太平洋〔例如在（30~40°N，150°E~180°）海区〕的 SSTA 正值中心的活动，我们会看到它将依次逐渐出现在东北太平洋，其后在副热带东太平洋海区，然后在副热带西太平洋海区，最后又回到西北太平洋海区（图略）。这种演变形势与 25~35 年模一样，既有南北振荡的特征也有沿海盆作顺时针旋转的特征。

总之，准 7~10 年和准 25~35 年这两个北太平洋海温年代际模有着十分相似的活动形态。也就可以认为，沿着北太平洋海盆作顺时针旋转也是北太平洋海表水温年代际模的最主要演变特征。有关北太平洋海温异常沿海盆作顺时针旋转的机理研究已表明，它主要是由于温跃层中行星波动力学过程所造成的^[24]，尽管这仍须深入进行动力学研究。考虑到前面已指出的北太平洋海温年代际模的两个最主要型有一定的振荡特征，可以综合认为：呈西北—东南向振荡和沿海盆作顺时针旋转是北太平洋海温年代际模的共存演变特征。

5 结论

本文用不同于国外的方法分析研究了北太平洋海温年代际变化，主要结果如下：

(1) 北太平洋海温的年代际变化主要有准 7~10 年和准 25~35 年两个年代际模。

(2) 北太平洋海温的两个年代际模有十分相似的形势, 并有相类同的两个最基本模态, 可以分别视为它们的正、负位相, 但它们却都不同于所谓“类 ENSO 模”。在正位相时, 30~50°N 纬度带的 140°W 以西海区为 SST 的正距平, 30°N 以南及靠北美大陆的东北太平洋海区为 SST 的负距平; 在负位相时, 北太平洋 SST 距平的分布有几乎相反的形势, 30°N 以南及靠北美大陆的东北太平洋海区为 SST 的正距平, 30~50°N 纬度带的 140°W 以西海区基本为 SST 的负距平。

(3) 本文定义的北太平洋海温年代际变化指数 I_{NPD} 可以很好地表示北太平洋海温年代际变化的最主要特征。

(4) 本文的结果还从另一角度表明, 北太平洋海表温度年代际模也还有沿着北太平洋海盆作顺时针旋转的演变特征。因而可以认为, 呈西北—东南向振荡和沿海盆作顺时针旋转是北太平洋海温年代际模的共存演变特征。

参 考 文 献

- 1 WCRP, CLIVAR - A Study on Climate Variability and Predictability Science Plan, WCRP No. 89, WMO/TD No. 690, Geneva, 1995.
- 2 Deser C., and M. L. Blackmon, Surface climate variations over the North Atlantic Ocean during winter 1900—1989, *J. Climate*, 1993, **6**, 1743~1753.
- 3 Kushnir Y., Interdecadal variations in the North Atlantic sea—surface temperature and associated atmospheric conditions, *J. Climate*, 1994, **7**, 141~157.
- 4 Hurrell, J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation, *Science*, 1995, **269**, 676~679.
- 5 Wang, B., Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate*, 1995, **8**, 267~285.
- 6 钱维宏、朱亚芬、叶谦, 赤道东太平洋海温异常的年际和年代际变率, 科学通报, 1998, **43**, 1098~1102.
- 7 Tanimoto, Y., N. Iwasaka, K. Hanawa et al., Characteristic variations of sea surface temperature with multiple time scales in the North Pacific, *J. Climate*, 1993, **6**, 1153~1160.
- 8 Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti, ENSO like decadal to century scale variability: 1900—93, *J. Climate*, 1997, **10**, 1004~1020.
- 9 Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, et al., A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**, 1069~1079.
- 10 Trenberth, K. E., and J. W. Hurrell, Decadal atmosphere—ocean variations in the Pacific, *Climate Dynamics*, 1994, **9**, 303~319.
- 11 Li Chongyin, The quasi—decadal oscillation of air—sea system in the northwestern Pacific region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, **15**, 31~40.
- 12 李崇银, 十年及年代际气候变化, 气候动力学引论 (第二版), 北京: 气象出版社, 2000, 421~448.
- 13 王东晓、刘征宇, 太平洋年代际海洋变率的信号通道, 科学通报, 2000, **45**, 808~815.
- 14 Zhang, R. H., and S. Levitus, Structure and cycle of decadal variability of upper-ocean temperature in the North Pacific, *J. Climate*, 1997, **10**, 710~727.
- 15 Overland, J. E., S. Salo, and J. M. Adams, Salinity signature of the Pacific decadal oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**, 1337~1340.
- 16 Weng, W. J., and J. D. Neelin, On the role of ocean atmosphere interaction in midlatitude interdecadal variability, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**, 167~170.
- 17 Barnett, T. P., D. W. Pierce, R. Saravanan et al., Origins of the midlatitude Pacific decadal variability, *Geo-*

phys. Res. , Lett. , 1999, 26, 1453~1456.

18 Yukimoto, S. , M. Endoh, Y. Kitamura et al. , ENSO—like interdecadal variability in the Pacific Ocean as simulated in a coupled general circulation model, *J. Geophys. Res. , 2000, 105C, 13945~13964.*

19 Barnett, T. P. , D. W. Pierce, M. Latif et al. , Interdecadal interaction between the tropics and midlatitudes in the Pacific basin, *Geophys. Res. Lett. , 1999, 26, 615~618*

20 Pierce, D. W. , T. P. Barnett, and M. Latif, Connections between the tropic and midlatitude on decadal time scales, *J. Climate, 2000, 13, 1173~1194.*

21 Parker, D. E. , P. D. Jones, C. K. Folland et al. , Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century, *J. Geophys. Res. , 1994, 99, 14373~14399.*

22 Smith, M. S. , R. E. Livezey, and S. S. Shen, An improved method for analyzing sparse and irregularly distributed SST data on a regular grid: The tropical Pacific Ocean, *J. Climate, 1998, 11, 1717~1729.*

23 Ware, D. M. , and R. E. Thomson, Interannual to Multidecadal timescale climate variations in the Northeast Pacific, *J. Climate, 2000, 13, 3209~3220.*

24 Liu, Z. , and R. H. Zhang , Propagation and mechanism of decadal upper—ocean variability in the North Pacific, *Geophys. Res. Lett. , 1999, 26, 739~742.*

Interdecadal Modes of Sea Surface Temperature in the North Pacific Ocean and Its Evolution

Xian Peng and Li Chongyin

(*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract The feature and basic patterns of interdecadal variation of sea surface temperature (SST) in the North Pacific are studied by using about 100 years SST data from Hadley Center. The results show that there are two kinds of interdecadal variations, i. e. , 7~10 years period and 25~35 years period variations. These two modes have similar pattern, but it is different from the “ENSO-like mode” obviously. The analyses show further that the NW-SE oscillation and the clockwise rotation are coexistent feature of these interdecadal modes.

Key words: sea surface temperature; North Pacific; interdecadal variation; pattern; evolution