

第五讲 ENSO 研究和模式发展

1 引言

自从上个世纪后期,人们开始认识到 ENSO 现象给全球气候异常带来的影响以后,各国政府及科学家投入了极大的人力和物力对 ENSO 现象进行了研究。80 年代初,世界气象组织 (WMO)、国际科协 (ICSU) 和政府间海委会 (IOC) 为研究 ENSO 现象以及对气候的影响,制定了为期 10 年的“热带海洋和全球大气”(TOGA)。当时我国是该计划最积极响应国家之一。从 1985~1991 年我国还与美国合作开展了“热带西太平洋海气相互作用的研究”,其目的也在于研究 ENSO 现象。另外在 1991~1993 年我国还参加了国际“海洋和大气相互响应试验”(TOGA-COARE)。近年,世界气象组织主持的一个研究项目“季与年的短期气候预测研究”中的一个重要内容,就是厄尔尼诺预测。我国国家气候中心“九五”项目“中国短期气候预测系统”中的一个专题,就是研究季与年的厄尔尼诺预测动力学模式。中国科学院大气物理研究所也建立了海气耦合模式预测厄尔尼诺。在监测方面,美国与日本、法国等国和地区合作,在赤道太平洋布放了庞大的“TAO”阵列浮标(见图 1),建立了实时立体监测体系,为 ENSO 研究提供了丰富的资料,使厄尔尼诺预测成为可能。

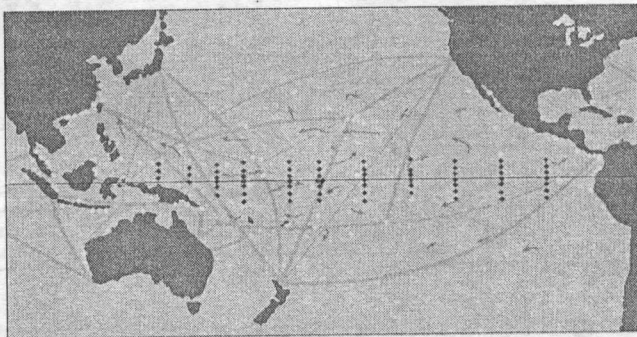


图 1 “TAO” 阵列浮标实时立体监测系统

作者简介: 蔡怡 (1961-), 女, 研究员, 从事海洋数值模式与厄尔尼诺及预测研究。

2 机制研究

通过近 20 年对厄尔尼诺的研究,使人们对 ENSO 现象有了一定的了解,但是由于人们大规模研究这一现象只有近 20 多年的历史,而且,ENSO 现象平均每间隔 3~4 年才发生一次,因此,可供研究的观测资料还不是很多,目前对 ENSO 的理论研究和预测能力都处于一种不成熟的阶段。

关于 ENSO 循环机制的最早研究是 Bjerkness^[1] 提出的海气相互作用理论。他认为 Hadley 环流和 Walker 环流之间的相互变化及调整是形成 ENSO 循环的物理机制。当东太平洋的秘鲁沿岸,海水温度升高处于暖位相时, Hadley 环流开始加强,使信风加强,而信风加强又使海水上翻加强,从而抑制了东太平洋海温升高的速度,当信风的作用经过一段时间的积累之后,东太平洋的海温就会低于平均值,于是进入拉尼娜阶段。而在冷海温阶段, Hadley 环流减弱,信风减弱,导致海水上翻减弱,使东太平洋增温,于是下一个暖位相开始。但是在这一理论中,他并没有解释系统怎样从暖或冷位相转换到另一种位相。从这种 Hadley 环流和 Walker 环流之间的相互变化,我国科学家根据上述理论进一步研究了东亚季风异常与 ENSO 的关系,取得了很好的结果,图 2 是典型的 ENSO 与异常东亚季风相互作用过程^[2]。

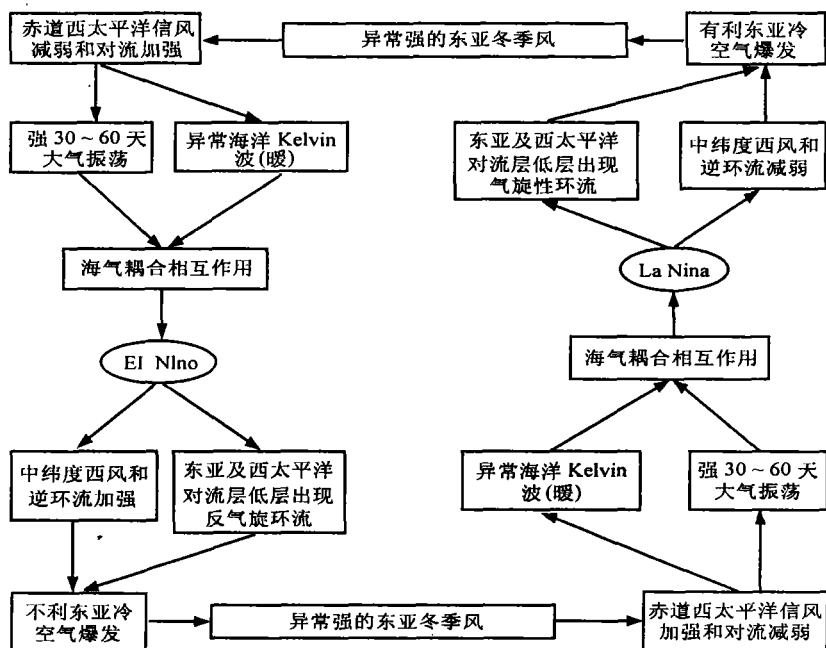


图 2 ENSO 与异常东亚季风相互作用过程示意图

关于 ENSO 循环的另一种假设是热带波动理论, Philander^[3] (1984) 提出了海气相互作用不稳定机制, 试图用海气相互作用不稳定理论来解释观测中大气异常变量和海洋异

常变量在时间方向上的同步增长现象。Gill^[4] (1985) 采用低频长波近似研究了海气耦合系统的不稳定模, 得到 Kelvin 波和 Rossby 波也是可以不稳定的。巢纪平等^[5] 指出, Kelvin 波和 Rossby 波之间以及 Rossby 波和 Rossby 波之间的相互作用的耦合波可以引起海气耦合系统条件不稳定。他们认为正是这些海气相互作用的不稳定波导致 ENSO 现象的发生。

近年来, 人们还提出了一种“时滞振子”理论(Delayed Oscillator)来解释 ENSO 现象, Battisti^[6] 用 Zebiak and Cane 的动力学框架, 在 1988 年阐述了 ENSO 循环的“时滞振子”理论: 在正反馈情况下热带海气耦合不稳定增长过程首先是一个在赤道东太平洋的正海温距平产生赤道中太平洋的西风异常。反过来, 这个西风异常产生下翻 Kelvin 波, 使东部斜温层加深, 最后导致东部海温出现最大正距平。在负反馈情况下, 在上述不稳定增长过程中, 西风异常也产生诱生的 Rossby 波, 此波在近赤道外向西传播, 当遇到西边界后成为沿赤道上翻的 Kelvin 波。这个冷性 Kelvin 波到达赤道中太平洋减小对大气的热通量, 迅速使耦合系统进入冷的状态。

综上所述, 在 ENSO 循环机制中这两种典型理论: 海气相互作用不稳定理论和时滞振子理论在 ENSO 循环中都有重要作用, 它们都在一个方面解释了 ENSO 的产生机制, 但是都不完善。

3 模式预测

随着人们对 ENSO 现象认识的深入和各种观测研究手段的增加, 对 ENSO 的预测也成为可能。美国气候预测中心(CPC)已把厄尔尼诺预测列入业务化气候预测项目, 在日本、美国夏威夷和阿拉斯加也成立了预报厄尔尼诺和气候变化的分中心。中国国家海洋环境预报中心也于 1996 年 5 月, 成立了专门从事厄尔尼诺监测预测研究小组。目前对 ENSO 的预测, 主要有数值和统计预测模式以及通过大气海洋各指数变化, 来分析热带太平洋大气和海洋变化的经验预测方法。

在模式预测中主要有数值模式、统计模式和数值统计相结合的预测模式, 在数值模式中又分为简单海气耦合模式和复杂全球海气耦合模式。在数值预报 ENSO 的历史上, 我们不能不提的是 C-Z (Cane-Zebiak)^[7] 模式, 后来这个模式也用其所在单位命名, 为了与以后的改进方案区别称为 LDEO1。这是一个赤道 β 平面的浅水方程与风应力耦合, 是一个简化的海气耦合模式。Z-C 模式成功地预测了 1986~1987 年的厄尔尼诺, 而且在一些模式纷纷预测 1990 年将出现厄尔尼诺事件时, 正确预测出 1991~1992 年的厄尔尼诺事件, 使当时的人们大受鼓舞, 乐观地以为他们已经解决了 ENSO 的预测问题, 但是在接下来的几年里, C~Z 模式接连遭到了失败, 未能报出 1993 年及 1994~1995 年两次弱厄尔尼诺。也使人们进一步认识到 ENSO 预测的艰巨性, 1995 年 Chen^[8] 等对 Z-C 模式提出了改进方案, 称为 LDEO2。在这个方案中增加了风场初始场的张弛逼近(nudging)。LDEO2 能预测出后两次弱厄尔尼诺。但是在 1997~1998 的 ENSO 现象中, 无论原来的

Z-C 的 LDEO1 模式, 还是改进的 LDEO2 模式, 均未能预报出这次本世纪最强的 ENSO 现象。1998 年 Chen^[9] 等又提出了新的改进方案, 增加了海面高度场的张弛逼近, 称为 LDEO3。改进后的模式, 可以预报出 1997~1998 年的厄尔尼诺。但是对未来的 ENSO 预报, 该模式的性能如何, 仍不得而知。近年来随着计算机特别是平行计算机的迅速发展, 复杂全球海气耦合模式有了快速的发展, 表 1 是我们所选的目前国内外用于 ENSO 预测的一些主要数值模式以及以 1997~1998 年 ENSO 为例的预测检验。

从表 1 中可以看到, 就 1997~1998 年的 ENSO 事件预测, 复杂全球海气耦合模式的预测结果好于其它模式。

表 1 国内外用于 ENSO 预测的一些主要数值模式以及以 97/98 年 ENSO 为例的预测检验

模式类型	研制单位	模式名称	大气部分	海洋部分	相关系数 (1996 年 6 月至 1998 年 3 月) Nino3 区 SST	暖事件 开始 (1997 年 3~5 月)	暖事件 结束 (1998 年 4~6 月)
简单海气耦合模式	美国哥伦比亚地球观察台	LDEO-1	箱式 5.625 X2.0	12.5 (50m/150m) 2.0 X 0.5 124°E~80°W 29°S~29°N 距平模式	-0.38	-	-
简单海气耦合模式	同上	LDEO-2	同上	同上	-0.48	-	-
简单海气耦合模式	同上	LDEO-3	同上	同上	0.81	/	/
简单海气耦合模式	澳大利亚气象局	BMRC ^[10]	箱式 3.0X 3.0	L2.5 (50m/150m) 特征值方法 124°E~80°W 29°S~29°N 距平模式	0.70	+ (0)	-
统计大气耦合 简单海洋模式	英国牛津大学	Oxford ^[11]	统计大气	L2.5 (50m/150m) 1.5 X 1.5 123°E~69°W 30°S~30°N	0.26	-	+ (-1)
统计大气耦合 全球海洋模式	德国马普研究所 和美国 Scripps 海洋研究所	SCR/MPI ^[12]	统计大气	全球海洋动力数值模式	0.70	-	+ (-4)
复杂全球海气 耦合模式	美国马里兰大学 陆地-海洋-大气 研究所	COLA ^[13]	全球大气动力 数值模式	全球海洋动力数值模式	0.81	+ (-1)	+ (-4)
复杂全球海气 耦合模式	美国国家环境 预测中心	NCEP ^[14, 15]	全球大气动力 数值模式	全球海洋动力数值模式	0.83	-	+ (0)
复杂全球海气 耦合模式	中国科学院物理 研究所	IAP ^[15, 16]	全球大气动力 数值模式	全球海洋动力数值模式	缺资料	缺资料	缺资料

关于统计预测模式,这里我们主要想介绍一下中国国家海洋环境预报中心研制的统计预测模式^[17],该模式主要是利用东亚 500mb 夏季和冬季经向环流指数,提前半年到一年来预测 Nino3 区的 SST。在 1997~1998 年的 ENSO 事件中,预报中心曾用该模式,提前半年成功的预测了 ENSO 事件,取得了良好的社会效益。

关于经验预测,我们知道 ENSO 现象包括南方涛动等大气海洋物理现象的异常,它们之间存在有机的联系,因此,我们可以通过分析表示海洋大气变化的各种指数,来预测 ENSO 现象。这里我们分析比较多的是南方涛动指数,赤道西太平洋西风指数和向外长波辐射指数以及赤道太平洋 SST 的变化。

自八十年代后期开始发展起来的 ENSO 模式预测以来,目前对 ENSO 的预测已经取得了一定的成绩,但是还远不能满足社会发展的需求,随着计算机发展和对 ENSO 研究的进一步深入,有理由相信未来人们能更好地做好 ENSO 预测。

参考文献

- [1] Bjerknes, J., A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus*, 1966,18: 820~829.
- [2] Li Chongyin, ENSO cycle and anomalies of winter monsoon in east Asia, workshop on El Nino, Southern Oscillation and monsoon, ICTP, SMR/930~18, Trieste, 1996,15~16.
- [3] Philander, S. G. H., T. Yamagata and Pacanowski, R. C., Unstable air-sea interactions in the tropics, *J. Atmos. Sci.*, 1984,41: 604~613.
- [4] Gill, A. E. and E. M. Ramusson, The 1982~1983 climate anomaly in the equatorial Pacific, *nature*, 1983,305,229~234.
- [5] 巢纪平,王彭贵. 简单的海气耦合波-Rossby 和 Kelvin 波的相互作用. *气象学报*, 1990, 48 (1): 46~53.
- [6] Battisti, D. S. and A. C. Hirst, Interannual variability in a tropical atmosphere-ocean model: influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity, *J. Atmos. Sci.*, 1989, 46: 1687~1712.
- [7] Zebiak, S. E. and M. Cane, A model El Nino-Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 1987,115: 2263~2278.
- [8] Chen, D., Zebiak, S. E., A. J. Busalacchi and M. A. Cane, An improved procedure for El Nino Forecasting: Implications for Predictability, *Science*, 1995, 269: 1699~1995.
- [9] Chen, D., M. A. Cane, Zebiak, S. E., and A. Kaplan, The impact of sea level data assimilation on the Lamont model prediction of the 1997/98 El Nino, *Geo. Res. Lett.*, 1998,25: 15,2837~2840.
- [10] Kleeman, R., A. M. Moore and N. R. Smith, Assimilation of sub-surface thermal data into an intermediate tropical coupled ocean-atmosphere model, *Mon. Wea. Rev.*, 1995,123: 3103~3113.
- [11] Balmaceda, M. A., D. L. Anderson, M. K. Davey, ENSO prediction using a dynamical ocean model coupled to statistical atmosphere, *Tellus*, 1994,46a: 497~511.
- [12] Pierce, D. W., The hybrid coupled model, version3, Technical notes, SIO Reference Series No. 96~27, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, 1996.
- [13] Kirtman, B. P., J. Shkla, B. Huang, Z. Zhu, E. K. Schneider, Multi-seasonal predications with a coupled tropical ocean global atmosphere system, *Mon. Wea. Rev.*, 1997,125: 789~808.
- [14] Ji, M., A. Kumar and A. Leetmaa, A multi-season climate forecast system at the national meteorological center, *Bull. Am. Meteor. Soc.* 1994a, 75: 569~577.
- [15] Ji, M., A. Kumar, A. Leetmaa, and V. E. Kousky, Coupled model forecasts of enso during the 1980s and 1990s at the national meteorological center, *J. Climat*, 1996, 9: 3105~3120.
- [16] 李旭,袁重光. 1998 年夏季降水预报, *气候预测评论*, 国家气候中心主编, 1998,83~84.
- [17] Song Jiaxi and Wang Zhanggui. A new advance in el nino prediction, *Chinese Science Bulletin*, 1998,43 (6): 504~505.