

国外海气耦合模式及其季、年际 预报的研究现状

汤 绪

(国家气象局科教司,北京 100081)

提 要

通过对国外各类海气耦合模式及其预报试验的综合分析,从海气耦合模式的分类、模式气候漂移和 ENSO 年际变化的处理、模式分辨率、耦合方式和模式参数的变化对模式年际变化的影响、ENSO 年际预报与预报起始时间和资料的关系、ENSO 和季风的海陆气耦合系统等方面评述了影响季和年际数值预报水平的有关问题及发展现状,并对开展我国相应试验研究工作提出了看法。

关键词:海气耦合模式;季和年际预报。

1 引 言

近年来,用于热带海洋和全球大气研究的海气耦合模式在数量和质量上都有了实质性进展(因本文篇幅限制,模式表略)。在模式数量增多的基础上,现在有可能对各种模式进行分类并评价其效果。通过模式的对比分析,发现了各种模式结果之间的可能联系。在模式质量提高的基础上,开展了 ENSO 季、年际预报试验。通过对预报效果的检验发现了预报效果与季节和初始资料质量的关系。与此同时,对季、年际数值预报业务系统至关重要的同化分析系统的研究也有了实质性进展,有的已进入业务应用阶段。本文综述这方面的进展并提出了几点看法。

2 海气耦合模式的分类及其特征

对许多海气耦合模式特性作相似分类和差异分类^[1]比较,有可能找出各种模拟结果之间的联系。分类的标准是,有无年际变化以及气候漂移程度(用 SST 作为气候漂移的敏感指标)。由于模式分类界限不可能绝对化,因此把介乎年际变化型及气候漂移之间的模式归为“中间模式”型。

(1)气候漂移型:它包括10年尺度的漂移(与上层海洋热力调整有关)以及耦合模式模

拟时出现的一种更快形式的气候调整(Cli-mate crash)。通常人们把所有耦合模式模拟气候对观测值或单一的大气环流模式或海洋模式模拟气候的显著偏离统称之为气候漂移。一些模式为避开气候漂移的难题对通量作了某种形式的修正,而另一些模式不作通量修正,只用辐射参数代替云的范围的简便处理却能很好地再现气候特征。

(2)中间(intermediate)模式型。这是目前最成功的一类。近年来专门用这种模式研究 ENSO 现象。其特点是避免了模式大气及海洋平均气候之间的不连续性。其他类型的模式所用的随季节变化的 SST 场与初始起动大气模式的 SST 场几乎完全不同,故出现了不

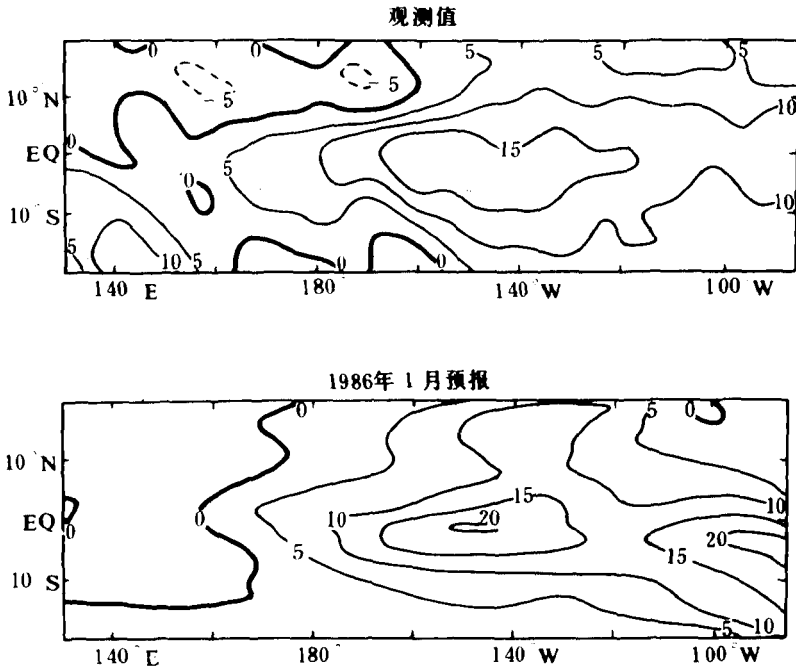


图1 1987年 SST 距平分布图(上图为实况,下图为预报图)

(取自第十三次气候诊断年会论文集,美国商业部,1989年3月,第500页)

连续。中间模式已作为扰动模式,在 ENSO 预报及物理机制研究方面发挥了重要作用。其中最著名的是 M. Cane 的模式^[2](参见图1)。

(3)年际变化型:能模拟热带年际变化的模式大致又可分为两类,即 SST 传播类和 SST 距平原地发展类。

SST 距平传播型是指气压和风速距平、洋流和海水上下翻距平随 SST 距平同时传播。海洋波动力学特征对传播型振荡的出现并不重要,但对 SST 原地发展型而言,赤道波动力学对振荡的出现却很重要。一些模式无年际变化产生的原因是由模式自身的具体原因造成的,如赤道上翻过强或偏弱、风应力偏弱或通量订正处理不当等。

通过分类对比,发现气候漂移与年际振荡之间无明显关系。模拟出年际变化的同时,模式模拟气候仍与实际气候有明显差异。然而有些模式虽然模拟出较真实的气候特征,却无年际变化出现。

3 减少海气模式气候漂移和再现 ENSO 年际变化的处理

对绝大多数大气环流模式而言,气候漂移仍然是有待解决的棘手问题。然而,最近在减少耦合模式的气候漂移方面有了显著的进展。对耦合模式的洋面各种通量作订正处理已证明,这不是减少大气环流模式气候漂移的有效途径。德国 Max Plank 研究所 Latif^[3]和英国 Hook 研究所 Gordon^[4]各自研制的耦合模式都可积分15年,都未对洋面通量作订正,而气候漂移却相对很小。这两个模式都含有云的相互作用。Gordon 的模式很好地模拟出了季节变化,但无 ENSO 类振荡出现。而 Latif 模式除了有季节变化外,也模拟出 ENSO 类振荡,只是偏弱。美国 GFDL 的 Philander^{[5][6]}的耦合模式也未作通量订正并采用了固定云参数的处理。虽无季节变化,却很好地再现出 ENSO 类型的变化。这三个模式都用作 ENSO 预报试验,前两个模式在“预报”82/83年 ENSO 试验中已取得显著进展。

不作通量订正可能是出现 ENSO 振荡的主要原因。Latif 模式原先有通量订正项,通量的订正增加了向东的风应力。由于 Ekman 辐散的增强造成了海洋平均垂直速度的增加。根据稳定度分析,平均上翻速度对 SST 距平有负反馈作用。通量订正起到了促使系统处于稳定状态而不出现振荡的作用。然而,美国 GFDL 的 Miyakoda^[5]利用 Rosati 和 Miyakoda 的全球耦合模式(采用大小可变的热通量订正)也可能很好地预报出 ENSO 现象。

4 模式分辨率、耦合方式和模式参数的变化对 ENSO 年际变化的影响

通过大气模式与海洋模式的配套耦合试验可以研究模式的局限性和观测误差对预报的敏感性。1989年,Philander^[6]等人进行了 GFDL 大气模式与高分辨海洋模式耦合的试验,模拟出了相当真实的年际变化。而与低分辨海洋模式耦合的试验,却出现了 ENSO 时间尺度的年际变化并向西传播。Philander 等人认为,在低分辨模式中由于无凯尔文波出现,这能解释 SST 距平在东西方向上的传播现象,但不能解释 SST 距平原地发展的现象。

德国 Max Plank 气象研究所^[1]进行了用同一海洋模式与三个不同的大气模式耦合的试验。这三个大气模式是:(1)线性统计回归大气模式,(2)多层平衡大气模式(含有线性季节变化的平均状态),(3)ECMWF 低分辨 AGCM 版本。采用(3)的耦合试验无 ENSO 变化产生,采用(2)的耦合试验有 ENSO 变化出现,但其周期为16个月,采用(1)的耦合试验结果最佳,模拟出近3年的变化周期。Latif 已用这一模式作了 ENSO 预报试验(见图2、图3)。同一海洋模式与不同大气模式耦合得到不同的响应结果说明海气耦合系统对模式内某些参数的微小变化,特别是对海气耦合方式是敏感的。

用一些简单的和中间模式进行的可预报性对参数变化(为海气耦合强度和海洋跃层厚度)的敏感性研究表明(Neelin(1989)^[7],Zeibiak 和 Cane(1987)^[2]),ENSO 振荡的参数取值,对可预报性无显著影响。然而,一些参数相对较小的变化却会改变模式响应的特征。

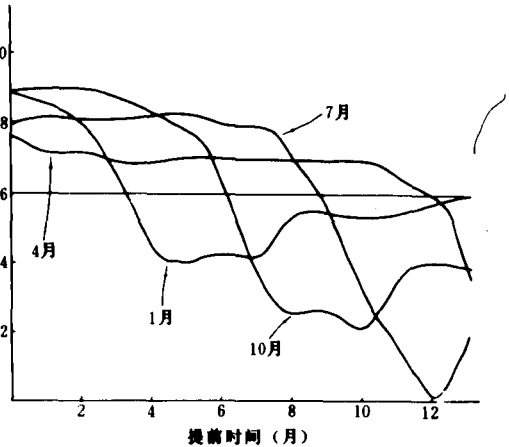
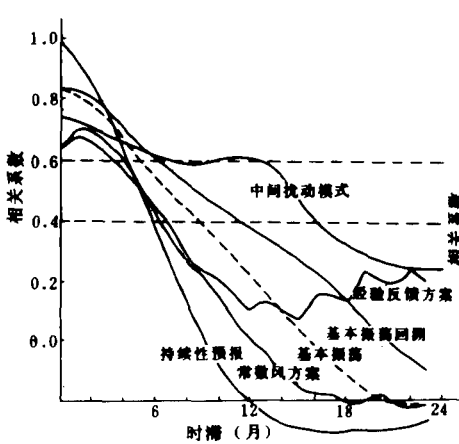


图2 各种模式对热带太平洋温度距平的预报技能*

图3 预报起始时间与相关技能的关系*

5 ENSO 年际预报与预报起始时间的关系

目前,一般公认 ENSO 的年际变化是一种耦合海气系统内在的可预报的自然变化现象。它由 ENSO 冷期西太平洋暖水的积聚和 ENSO 暖期海洋热量的损失这两部分组成的。

简单耦合模式(其动力过程基本上受海洋控制)作 ENSO 预报试验的结果说明,提前数月对热带 SST 作出预报的技术已经逐渐成熟。图2说明5种模式 SST 预报值与 SST 观测值之比的距平相关系数。这5种模式的方案为:(1)“常数风”方案(假设风应力在整个预报中维持常数), (2)“经验反馈”方案(通过统计计算得出的大气应力距平与 SST 距平的关系), (3)“基本振荡”PoP 回溯(hindcast)方案(用 PoP 法作统计预报,它以赤道海洋300米以上海水温度作为 SST 距平的预报因子), (4)“基本振荡 PoP 预报”方案(类似于(3),但是其统计关系与时间段有关), (5)“CZ”方案(即 Cane-Zeibiak 中间扰动模式)。

在时效超过6个月的情况下,这5种方法的预报效果超过了持续性预报。但是预报的能力明显受季节影响。晚冬到初春时段的初始资料的预报效果最差^[6]。由于预报误差增长相对很小,因此,提前1—2年作预报的可能性是可信的。图3表明用统计预报方案,用1月、4月、7月、10月份资料的预报相关技巧与预报时效的关系,用春季资料作预报,效果不好的原因可能是 SST 距平在春季的可预报能力最低。Cane-Zeibiak 模式也有类似结果。

6 ENSO 年际预报与资料*

图2给出了有预报能力的模式预报试验的结果。这些模式都采取了一年以上的洋面风历史资料。由此计算出的 SST 初始状态与 SST 的实际观测值不尽相同,这是由海洋模式

* 选自 TOGA 数值试验组第4次会议技术报告(1990),WMO/TD-No. 393,21.

的误差以及风场资料的质量原因造成的。从图2(如 PoP 模式)可以预见,利用海洋浅表层热力资料可提高对 SST 的预报技能。Latif 和 Graham^[9]的研究表明只用洋面风资料作 SST 预报的效果不如用浅海层热力场统计资料作出的预报。Leetmaa^[10]已在美国 NMC 准业务海洋资料同化中采用了浅海层热力资料。

观测资料的取值区域对 ENSO 预报的影响目前尚无一致的认识。Cane-Zeibiak 模式有效的预报范围在南北纬10°之间,但这不是充要条件。来自中高纬的资料对 ENSO 预报是有价值的。因为中纬度过程形成的小扰动对低纬周期性出现的现象有影响,会触发 ENSO 事件的发生。由于在印度洋上也有太平洋 ENSO 现象出现的前兆信号^[13],因此,用于 ENSO 预报的海气耦合模式的区域不能局限于低纬太平洋。

海洋模式的改进和海洋资料实时性的增强,为以海洋环流模式为核心的海洋分析系统的发展打下了基础。海洋分析系统的建立又为海洋资料的质量控制、诊断研究提供了基本的手段,为开展海气耦合模式的数值预报提供了初始资料。目前,有两大海洋分析业务系统^{[1][6]},一个在美国 NMC 的气候分析中心(CAC),对热带太平洋资料作逐周分析,另一个在法国的海洋动力气候研究所(LODYC),对大西洋资料作逐月分析。除此之外,英国和日本也在进行海洋资料分析研究。英国 Hooke 研究所印度洋区域海洋模式为核心的分析系统正在准业务运行。

7 ENSO 和季风海陆气耦合系统

ENSO 现象是海气耦合系统的年际振荡的表现,这被近年来的大量研究所证实。然而,近年来的观测和模拟研究都发现了亚洲和澳洲季风与太平洋海气系统存在着密切的联系。而且已经证实亚洲夏季风年际变化受欧亚大陆冬季和春季雪盖的影响(Hahn 和 Shukla(1976)^[11]);季风和 ENSO 现象的关系说明了海陆气耦合系统的存在。Nikaidou 通过模式计算发现,从春季到夏季弱(或强)的陆地加热(或陆海对比加热)决定了海洋上弱(或强)的副热带高压的形成。Yasunari 认为,这一结果是对观测事实的最好的物理解释^[12]。Fennessy 和 Shukla^[13]利用海陆气相互作用研究中心的 R40模式研究了全球 SST 与北半球季风降水的关系。他们在成功地模拟出一些重要的印度季风特征的同时,又准确地模拟出1988年 La Nina 与1987年 EL Nino 降水量的明显差值。该模式加进了 Sellers 的简单生态圈相互作用模式(SiB),并采用有交替季节变化特征的 SST 气候值和 SST 实测值。日本气象厅数值预报处 Kinmoto 等人的海气耦合试验反映了印度、亚洲季风系统对 ENSO 的负反馈作用,即海陆气系统的耦合联系。

8 展 望

综合以上评述,我们可以看出:

(1)尽管目前用于 ENSO 研究的海气耦合模式千差万别,按模式的特性可分为“气候漂移类”、“中间模式类”和“年际变化类”三种。

(2)不对海气界面的各种通量作任何修正,可以减少气候漂移现象并能再现出 ENSO

类型年际振荡现象。然而,这需要有更准确的通量观测资料。

(3)高分辨的海洋模式与大气模式耦合模拟出相当真实的 ENSO 年际变化。与真实 ENSO 振荡相关的模式参数的变化对预报无影响,但参数较小的变化却会影响模式海气响应的特征。

(4)海气耦合模式的预报效果明显地受季节影响,用晚冬至初春的资料作预报效果相对较差。用风应力场资料作预报初始场和用浅海层热力场资料作初始场预报 SST 场,相比之下,后者的预报效果更佳。

(5)海陆气耦合模式的模拟试验说明,在未来热带海洋和全球大气季和年际数值预报试验中要考虑陆面的影响。

虽然在运用海气耦合模式作 ENSO 年际预报方面取得了显著进展,然而要形成对 ENSO 的季和年际数值预报业务仍有大量的工作要做。

在海气耦合模式方面,目前的耦合模式在模拟 ENSO 时,西太平洋区域的西风距平偏弱(Hirst, 1988; Cane, 1989)。这可能是由于模式的物理过程不完备,也可能是西太平洋大气与其它太平洋上热带大气以及副热带地区大气的相互作用的影响。还有 GCM 模拟的海气耦合系统目前模拟出的气候平均状态和年际变化周期还不一致。对这些模拟结果的分析发现,问题出在模式中的海气通量和对流过程参数化上。为此,WMO 在 TOGA 计划之下组织了有针对性的 TOGA-COARE 计划,即海气耦合响应试验,以使海气耦合模式更加完备。

ENSO 资料样本数量及缺乏完整的 ENSO 资料,影响了耦合模式预报试验及其效果检验的发展。需要用最新的模式、同化分析方案对历史资料再分析,以获得完整连续的历史资料 and 新的产品(如海气风应力、洋面温度、湿度和界面辐射强度等)供 ENSO 年际预报应用。更重要的是要延长 ENSO 样本序列。根据世界海气资料现状,这类资料的重建能追溯到本世纪50年代。国外资料重建工作的经验可供我们借鉴。逐步建立我国自己的海洋资料分析系统,延长 ENSO 样本序列,发展并完善反映 ENSO 与我国天气气候关系的历史资料集,是我们的当务之急。

根据国外成功的经验,简单耦合模式作 ENSO 预报对计算机资源要求不高。这对发展我国自己的用于 ENSO 预报的简单模式是一条可行的途径。此外,开展简化的大气业务模式(如 T42或 T21)与海洋模式的耦合试验,发展适合我国计算条件的季、年际预报模式值得尝试。

致谢:中国气象科学研究院丁一汇教授对本文提出了宝贵意见,作者表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 1 WMO-TD-NO. 393. TOGA Numerical Experimentation Group. Report of the 4th Session. Palisades, U. S. : WMO, 1990. 1-24.
- 2 Zeibak P. ,M. A. Cane. A model ElNino-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* ,1987, **114**:2262-2278.
- 3 Latif M. J. Biercamp. H. Von Storch, M. J McPhaden. E. Kire. Simulation of ENSO related surface wind anomalies with an atmospheric GCM forced by observed SST. *J. Clim.* ,1990, **3**:509-521.
- 4 Gorden C. ,R. Corry. A model simulation of the seasonal cycle in the tropical Pacific ocean using climatological and

- modelled surface forcing. UK Met. Office Tech. Report, 1989.
- 5 WMO-TD-NO. 387. JCC/CCCO TOGA Scientific Steering Group. Report of the 9th Session. Hawaii, U. S. : WMO, 1990, 15.
 - 6 Philander S. G. H. , N. C. Lat, R. C. Pacanowki, M. J. Nath. Two different simulations of the southern oscillation and ElNino with coupled ocean-atmosphere general circulation models. *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, 1989, A329, 167—178.
 - 7 Neelin J. D. . Interannual oscillation in an ocean general model coupled to a simple atmosphere model *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* , 1989, A. 329, 189—205.
 - 8 WMO-TD-NO. 339. JSC/CCCO TOGA NEP. Reprint of the 3rd Session. Hamburg, FRG: WMO, 1989. 2—12.
 - 9 Mojib latif, Nicholas E. Graham. How much predictive skill is contained in the thermal structure of an OGCM? TOGA notes. 1991, No. 2, 6—9.
 - 10 Ants Leetmaa, et. al. . CAC data assimilation-tropical oceans, International TOGA Scientific Conference Proceedings, WMO/TD-No. 379, 1990, 9—18.
 - 11 Hahn D. G. , J. Shukla. An apparent relationship between Eurasian snow cover and Indian Monsoon rainfall. *J. Atmos. Sci.* , 1976, **33**: 2461—2426.
 - 12 Tetsuzo Yasunari. Monsoon and ENSO: A Coupled Ocean/Land/Atmosphere System, TOGA notes, 1991, No. 2, 9—13.
 - 13 Fennessy M. J. , J. Shukla, COLA. Influence of global SST simulation of the Northern Hemisphere monsoon circulation of 1987 and 1988. Report of the Second Session of the Monsoon Numerical Experimentation Group, WMO/TD-NO. 392. 1991.

A REVIEW OF THE DEVELOPMENT OF AIR-SEA COUPLED MODEL AND THE EXPERIMENT ON SEASONAL AND INTERANNUAL PREDICTION

Tang Xu

(Department of Science and Education, SMA, BeiJing 100081)

Abstract

The current status on the air-sea coupled models and prediction experiments is introduced and reviewed by analysing the model intercomparisons as following: (1) treatment on climate drift and ENSO interannual variability, (2) influence of model resolution coupled pattern and parameterization on the interannual variation, (3) the relationship of ENSO-related interannual prediction to the initial time and data, and (4) the relationship of ENSO to monsoon; air-sea-land coupled system. Finally, a suggestion on how to run the corresponding experiment in China is proposed.

Key words: Air-sea coupled model; Seasonal and interannual prediction.