

IAP PSSCA 两组预测试验的评估及比较^{*}

I. 降水部分

赵彦 林朝晖 李旭 袁重光

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

摘要 利用中国科学院大气物理研究所研制的短期气候距平数值预测系统(IAP PSSCA), 采用两种版本的大气环流模式: AGCM 1.1 和 AGCM 1.2, 分别以2月11~19日的9天大气观测值为初始场, 以给定海温为边界场, 对1980~1994年的15年的降水异常进行了两组集合后报试验。对试验结果进行定量评估表明: IAP PSSCA 对降水异常具有一定的预测能力, 特别是在中国东部受东亚季风及海温异常影响的地区, IAP PSSCA 具有较高的预报技巧, 其中以东南区域(包括江淮流域和华南地区)最高, 尤其是对有洪涝灾害的降水异常年, 距平相关系数在0.50左右, 接近可供业务使用的要求, 说明模式能够抓住在东亚季风区存在的某种物理机制, 从而提高了这一地区的预报技巧; 另外, 两个大气环流模式相比, 改进了地表反照率的 AGCM 1.2 的15年集合平均预测技巧略高于 AGCM 1.1, 特别是在华北地区, 预测效果有明显提高, 这表明改进地表反照率从而改进了模式的气候平均态的模拟, 能提高气候模式的预测能力, 说明较好的陆面过程引入模式对短期气候预测是有益的。

关键词: 数值气候预测; 海温异常

1 引言

在热带海洋与全球大气(TOGA)计划取得成功以后, 发展热带外地区的短期气候(季到年际)预报成为气候变化及其预报(CLIVAR)研究计划的重要目标之一。特别是进入90年代以来, 国际上纷纷成立专门研究机构, 发展数值气候预报模式来制作短期气候预报, 以期在此领域取得进展^[1~3]。

我国位于东亚季风区, 特别是东部地区, 降水年际变化大, 旱涝灾害频繁, 给国民经济和社会发展带来严重影响, 所以, 如果能提前一二个季度对春、夏季降水作出预报, 即使有限的预报技巧, 也会带来巨大的社会效益。中国科学院大气物理研究所(IAP/CAS)及大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室(LASG)自80年代就开展有关短期气候预测方面的研究。1988年底用IAP气候模式作出了首例成功的跨季度降水距平预测试验^[4], 并于1991年建立了短期气候距平数值预测系统(IAP PSSCA)^[5], 开始了准业务跨季度降水距平的数值预测, 提供用户使用。近十年的准业务预测结果令人鼓舞, 表明IAP PSSCA对我国东部地区的重大降水事件具有一定的预测能力。

1998-11-05收到, 1999-05-12收到再改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目49505070以及国家科委攀登项目95-预-21“气候动力学和气候预测理论的研究”共同资助

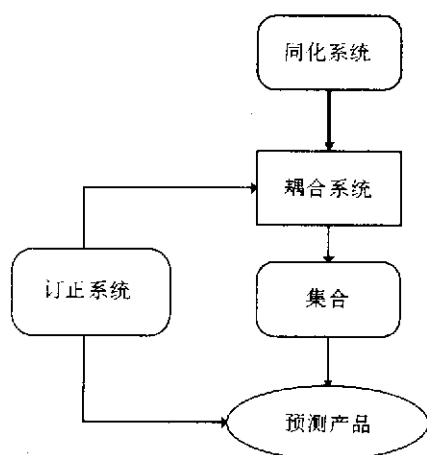


图1 短期气候距平数值预测系统 (IAP PSSCA) 结构示意图

步结论。

2 试验方案和资料来源

在准业务预测中,经常使用一种简化方案,即仅用大气环流模式和给定的海水表面温度 (SST)。这里给定的 SST 等于逐月气候海水表面温度 (SSTM) 和当年 2 月观测海水表面温度异常 (SSTA) 之和。由于海温的持续性很强,这种给定海温的方法具有一定的合理性^[6]。此方案简便易行,多年实践也表明它具有一定的预报技巧,所以本文中的试验均采用此方案进行。

为了评估 IAP PSSCA 的预测性能,同时比较两个版本大气环流模式的预报能力,试验方案设计如下:

(1) IAP L2 AGCM 1.1 和给定的 SST。这里给定的 SST 为逐月气候海水表面温度和当年 2 月观测海水表面温度异常之和,此方案记为 S1。

(2) IAP L2 AGCM 1.2 (与 IAP L2 AGCM 1.1 相比, IAP L2 AGCM 1.2 中使用了一个改进的地面反照率参数化方案) 和与 S1 相同的 SST,此方案记为 S3。

林朝晖^[7]分析了 IAP 气候模式中的反馈机制,研究 IAP L2 AGCM 1.1 对地表反照率变化的敏感性,改进了模式中的地表反照率计算,形成了 IAP L2 AGCM 1.2,从而改进模拟结果,特别是亚洲夏季风及其降水模拟更为接近实况。

大气初始场的资料取自美国国家环境预测中心 (NCEP) 1980~1994 年再分析资料,包括风、相对湿度、高度场和温度场,由于地温、地面湿度及雪盖等没有观测资料,用 IAP L2 AGCM 模式积分第 35 年的模式气候场代替;海表面温度场采用 NCEP 的由 Reynolds 等^[8]分析的全球海温资料。用于评估的观测降水来自中国大陆 336 个站点 1951~1994 年逐旬降水资料,经处理已转换为 $5^{\circ} \times 4^{\circ}$ 网格点上的季降水距平百分率。

试验中,每年的预测均用 2 月 11~19 日的观测大气作为 9 个初始场,积分至 8 月

IAP PSSCA 主要包括三部分 (图 1): 数据同化系统,气候模式,集合和订正系统。其中气候模式是 IAP PSSCA 的核心部分,目前使用的是 IAP L2 AGCM 和 IAP L4 OGCM 相耦合的大气海洋耦合模式。

为了进一步改进 IAP PSSCA,有必要定量地、系统地了解现有 IAP PSSCA 的预测性能。最近我们对有完整资料的 1980~1994 的 15 年进行了一系列后报试验,每年的预测均用 2 月 11~19 日的 9 天分别作为初始场,积分至 8 月 31 日,然后通过算术平均对 9 个积分进行集合。通过对集合平均的定量评估,得到一些初

31 日, 对 9 个单个预测进行算术平均作为集合预报结果, 通过对集合预报结果的评估来考察 IAP PSSCA 的预测性能和比较两个版本的大气环流模式的预报能力。

由于模式的分辨率较低 ($5^{\circ} \times 4^{\circ}$), 模式反映的只能是对大尺度降水的预测能力。试验中所用初值、边界值等及试验方案设计见表 1、表 2。

表 1 初值、边界值和观测降水资料

大气初值: 气温、高度场、风、相对湿度 地面温度、地面湿度、雪盖	NCEP 再分析资料 2 月 11~19 日 (1980~1994 年) IAP L2 AGCM 第 35 年的模式积分值
边界条件: 海水表面温度 (SST)	Reynolds 等分析的 NCEP 月平均 SST (1980~1994 年)
观测降水距平百分率	中国大陆 336 站点观测资料 (1951~1994 年)

表 2 试验方案设计及说明

试验方案 S1	IAP AGCM L2 1.1 + SST
试验方案 S3	IAP AGCM L2 1.2 + SST
SST = SSTM + 观测 SSTA (2 月)	
9 个单个积分	积分起始时间: 2 月 11~19 日 积分结束时间: 8 月 31 日
集合方法	算术平均

3 定量评估

3.1 评估指标

目前对短期气候预测结果的评估工作开展的很少, 特别是对于异常降水预测, 国际上还没有较为公认的评估方法。本文同时选用同号率 (r) 和距平相关系数 (A_{cc}) 对预测试验的结果进行定量试评估。

(a) 同号率 (r):

$$r = \frac{N_t}{N},$$

式中, N 为评价区域的格点数, N_t 为预测与实况降水距平百分率符号相同或距平为零的格点数, 过去不少长期天气预报方法都用同号率来检验预报效果。这一指标主要反映降水异常的趋势。

(b) 距平相关系数 (A_{cc}):

这是世界气象组织 (WMO) 于 1996 年 11 月在意大利召开的第十一届工作会议上确定并建议使用的指标。用下式表示:

$$A_{cc} = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta R_{PI} - \overline{\Delta R_f})(\Delta R_{OI} - \overline{\Delta R_o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta R_{PI} - \overline{\Delta R_f})^2 \sum_{i=1}^N (\Delta R_{OI} - \overline{\Delta R_o})^2}},$$

式中 ΔR_{oi} 为第*I*站点（格点）预报的降水距平百分率值， $\overline{\Delta R_f}$ 为预报的降水距平百分率在评估区域的空间平均值； ΔR_{oi} 为第*I*站点（格点）观测的降水距平百分率值， $\overline{\Delta R_o}$ 为观测的降水距平百分率在评估区域的空间平均值；*N*为参加评估的总站点（格点）数。

关于定量评估，我们提出两点看法：

（1）在进行评估时，我们应当首先考察同号率。只有当同号率大于 0.50，降水异常的主要趋势能被反映出来时，考察强度的预测效果才是有意义的。

（2）同号率和距平相关系数是两个评估指标，它们从不同的角度反映预报水平，评估结果基本应是一致的。但是，同号率不能反映预报强度，而对于短期气候预测来说，强度预报又是主要目的之一，所以在具体评估中，我们将综合考虑同号率和距平相关系数，但更侧重于后者。

3.2 评估结果

为了考察 IAP PSSCA 在不同区域的预测能力，将中国大陆部分（68 个格点）沿 105°E 划分为东部（37 个格点）、西部（37 个格点）；继而又划分 3 个子区域：东北（42°N 以北，17 个格点）、华北（34~42°N，100°E 以东，15 个格点）和东南（34°N 以南，105°E 以东，16 个格点），区域划分示意图见图 2，分别计算各区域的同号率和距平相关系数。两组试验的 15 年集合平均预测评估结果见表 3、表 4，记季度预测的 3~5 月为 MAM，跨季度预测的 6~8 月为 JJA。

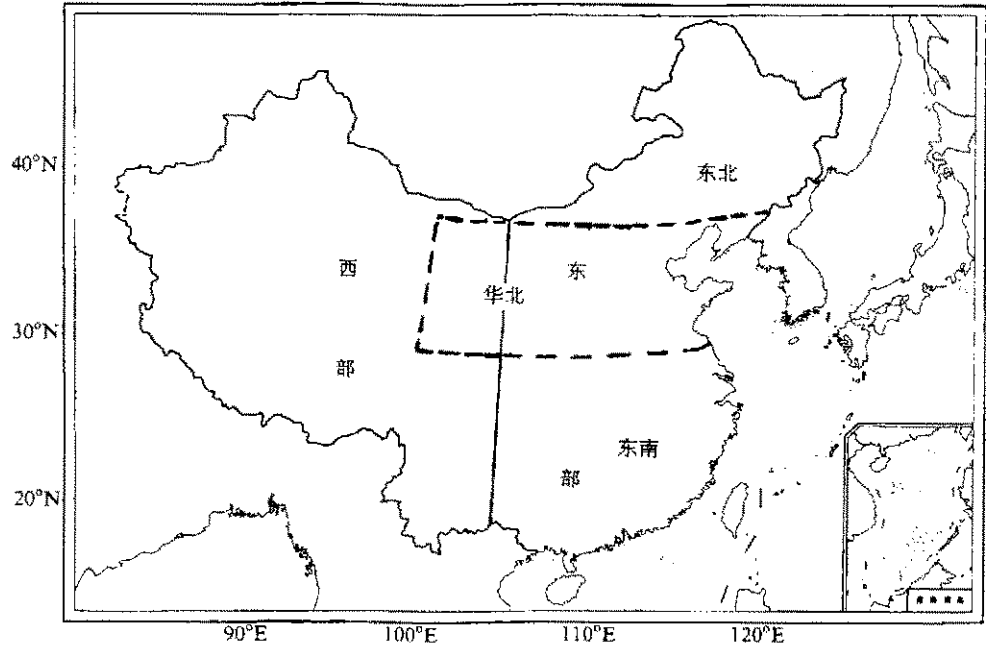


图 2 短期气候距平数值预测评估区域划分示意图

由表 3、表 4 可以看到:

(1) 总的看来, IAP PSSCA 对大尺度异常降水具有一定的预报技巧。在表 3 中, 除华北地区之外, 同号率均大于 0.50, 表明 IAP PSSCA 能预测出主要的降水趋势; 在表 4 中, 距平相关系数 A_{cc} 远达不到业务使用的要求, 但现阶段短期气候预测的发展水平不高, 1978~1995 年我国汛期降水距平百分率预报综合会商的试评估结果中, 距平相关系数仅为 0.03^[9], 相比之下, IAP PSSCA 的距平相关系数还是比较高的。

表 3 1982~1994 年降水距平季度与跨季度集合预测的同号率

方案	同号率 (r)											
	全国		东部		西部		东北		华北		东南	
	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA
S1	0.56	0.54	0.56	0.53	0.56	0.53	0.54	0.50	0.50	0.47	0.58	0.56
S3	0.52	0.55	0.53	0.57	0.51	0.53	0.51	0.56	0.47	0.58	0.56	0.56

表 4 1982~1994 年降水距平季度与跨季度集合预测的距平相关系数

方案	距平相关系数 (A_{cc})											
	全国		东部		西部		东北		华北		东南	
	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA	MAM	JJA
S1	0.16	0.11	0.26	0.12	0.10	0.05	0.08	-0.15	0.17	-0.15	0.44	0.33
S3	0.14	0.16	0.26	0.27	0.01	0.06	0.14	0.14	0.15	0.25	0.39	0.33

(2) IAP PSSCA 对东部的预测技巧高于西部。在表 3 中, 东部同号率略高于西部。在 3 个子区域中, 以东南地区最高, S1 的季度和跨季度预测的同号率分别为 0.58、0.56, 均高于全国平均的 0.56、0.54, 也高于东部平均的 0.56、0.53。分析 S3 有类似的结论。在表 4 中, 东部距平相关系数高于西部。在 3 个子区域中, 以东南地区最高, S1 的季度和跨季度预测的距平相关系数分别为 0.44、0.33, 均高于全国平均的 0.16、0.11, 也高于东部平均的 0.26、0.12。分析 S3 有类似的结论。

(3) 比较两个预测方案 S1 和 S3, 总的来说两个方案的平均预测技巧大体相当, 华北地区 S3 的跨季度预测明显优于 S1。对于 S1, 季度预测的同号率和距平相关系数均略高于跨季度预测的同号率和距平相关系数; 而对于 S3, 除华北地区外, 季度预测的同号率和相关系数与跨季度预测的同号率和距平相关系数基本相当, 没有显著差异。

(4) 从以上的评估过程也可看到, 同号率 r 和距平相关系数 A_{cc} 反映的预测水平基本是一致的。

东南地区 (包括江淮流域和华南) 的汛期降水多年来是国家和政府关注的焦点, 下面我们将进一步考察这一地区汛期降水的逐年预报情况 (见图 3)。

在 1980~1994 年中, 1981、1990、1993 年东南地区没有大的洪涝灾害发生, 为降水正常年, 其余为降水异常年。如不计这些正常年份, 这一地区异常年的距平相关系数 A_{cc} 在 0.50 左右, 通过了 5% 的信度检验。如按中期环流形势预报中距平相关系数 A_{cc} 达到 0.60 作为可使用的指标, 经过一些努力是有可能达到的。

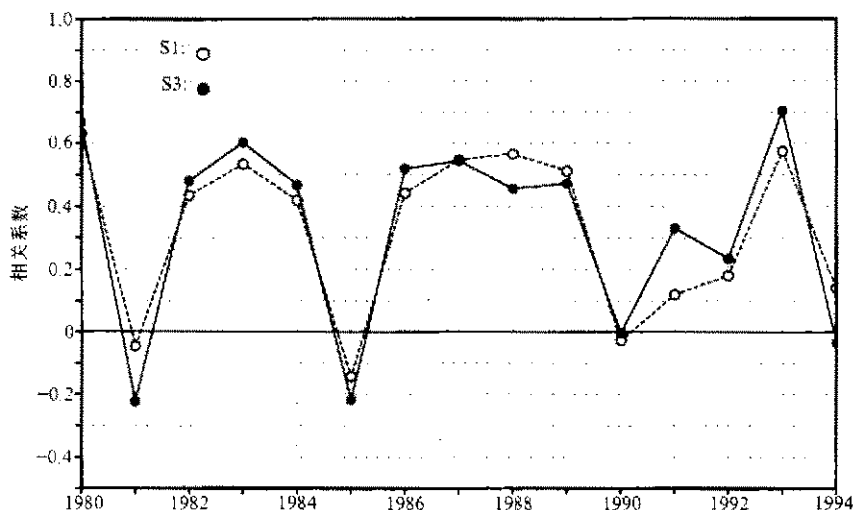


图3 东南地区跨季度降水距平预测距平相关系数 A_{cc} 的逐年变化曲线

4 结论和讨论

利用同号率和距平相关系数,对两组、15年(1980~1994年)、包含9个单个积分的集合后报试验进行综合定量评估,得到以下初步结论:

(1) 总的看来, IAP PSSCA 对大尺度降水具有一定的预报技巧,除东北、华北地区的个别季节外,同号率高于0.50,距平相关系数高于1978~1995年全国汛期预报综合会商试评估的平均水平。

(2) IAP PSSCA 对东部的预测技巧高于西部。特别是在东南地区,预测技巧高于东部平均水平,尤其对于有严重旱涝灾害发生的重大降水异常, IAP PSSCA 显示出较高的预测技巧,接近可供业务使用的水平。

用气候模式作季度、跨季度的短期气候预测的物理基础主要在于:缓慢变化的下垫面异常强迫很大程度上影响大气状态的发展变化。在这些外强迫中,海水表面温度(SST)是被考虑最多的因子,土壤湿度、雪盖也可能起着很重要的作用^[10]。一般认为,对于热带, SST 几乎控制大气环流,因而短期气候异常可预报性较好。对于中、高纬度,大气内部的混沌行为减弱、抵销甚至掩盖 SST 外强迫带来的可预报信号,短期气候是否可以预报尚有争议。但是在 ENSO 事件发生时, SST 对中、高纬度大气运动产生影响,如出现所谓的 PNA,从而在这些区域的可预报性增加。对于东亚地区,是否也存在一个物理过程影响这一地区的大气运动呢?黄荣辉等^[11]发现赤道西太平洋对流活动的异常产生一向北波列,可以影响我国江淮流域的夏季降水。杨芳林等^[12,13]的数值试验发现:在太平洋赤道北侧有一个 SST 异常时,它可以激发出一个向北传播的准定常异常行星波,经过我国东部上空,与低层季风活动相叠加,产生一个降水的异常区,从而提出所谓“持续异常区假说”^[14]。由于这一过程存在,并且模式能够描写这一

过程,在中国东部,特别是纬度较低的东南地区,预报的确定性增加,预测技巧因而较高。而在我国西部地区降水量少,变率大,预报的困难性较大,可能是预报技巧低的原因之一。

(3) 对于东部区域, S3 的平均预报技巧略好于 S1, 但不同季节、区域,改进程度不同。在华北区域的夏季,改进最为明显。同号率和距平相关系数差异分别达到 0.11、0.40, 而对于 S1, 华北正是预报技巧最低的区域; 东北地区的夏季改进也较大, 同号率和相关系数差异分别达到 0.06、0.29。其他季节、区域的差别没有这么显著。

上文已指出, S3 较 S1 采用了一个改进地表反照率方案的大气环流模式 AGCM 1.2, 因而改进了气候平均态的模拟, 这样一个改进的大气环流模式能更敏感地响应下边界强迫的异常变化, 从而改善预测效果。华北地区春季是干旱季节, 地面反照率变化小, 两个模式中地表变量对大气运动的影响接近, 预测技巧差别不大; 在夏季, 地面反照率变化大, 改进后的模式相对正确地描写了陆面过程对大气运动的影响, 使得这一地区的预测技巧有较大提高。所以对纬度较高地区, 陆面过程对后期大气环流变化影响的作用也许能与海温异常的作用相比, 因此对中、高纬地区的短期气候预测, 陆面过程是重要的, 使用包括陆面过程的气候模式对短期气候预测是有益的。

(4) 由于模式的分辨率较低, 试验个例也不够多, 加上模式预测降水量级的能力较弱, 在多数区域距平相关系数达不到信度的要求, 尽管如此, 用距平相关系数结合同号率作为评估指标, 其评估结果还是具有一定参考价值的。这一方面反映了中、高纬度气候预测的不确定性, 同时也说明加强定量评估工作, 建立一套既能反映气候预测特点, 又能与现阶段预测水平相匹配的评估指标是很必要的。

参 考 文 献

- 1 Stern, W. and K. Miyakoda, The feasibility of seasonal forecasts inferred from multiple GCM simulations, *J. Climate*, 1995, **8**, 1071~1085.
- 2 Ji, M., A Kumar and A. Leetma, A multiseason climate forecast system at National Meteorological Center, *Bull. Amer. Soc.*, 1994, **75**, 569~577.
- 3 王绍武, 气候预测研究, 北京: 气象出版社, 1996.
- 4 曾庆存, 袁重光, 王方秋, 张荣华, 跨季度气候距平数值预测实验, *大气科学*, 1990, **14**(1), 10~25.
- 5 李旭, 短期气候异常的数值模拟与预测研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1992.
- 6 赵彦, IAP短期气候距平预测系统的定量评估及订正技术的改进研究, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文, 1997.
- 7 Lin Zhaohui and Zeng Qingcun, Simulation of East Asian summer monsoon by using an improved AGCM, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**, 513~526.
- 8 Reynolds, R. W., A real-time global sea surface temperature analysis, *J. Climate*, 1988, **1**, 75~86.
- 9 陈桂英, 赵振国, 短期气候预测评估方法和近二十多年来短期气候预测业务初估, *气候预测评论*, 1997, 141~149.
- 10 Shukla, J., Predictability of time averages. Part II: the influence of the boundary forcing, in: *Problems and Prospects in Long and Medium Range Weather Forecasting*, D. M. Burridge and E. Kallen, Eds., Springer-Verlag, 1984, 155~206.
- 11 Huang Ronghui and Sun Fengying, Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70B**, 243~255.
- 12 杨芳林, 袁重光, 1985年夏季长江和黄海领域降水异常成因的数值分析, *大气科学*, 1994, **18**(6), 701~709.

- 13 杨芳林, 袁重光, 夏季赤道太平洋海温异常对全球及东亚短期气候变化影响的数值试验, 大气科学, 1995, 19(5), 535~544.
- 14 袁重光, 李旭, 曾庆存, 跨季度气候距平数值预测研究小结, 气候与环境研究, 1996, 1(2), 150~159.

Assessment and Comparison of Two Prediction Schemes of IAP PSSCA Part I: Precipitation

Zhao Yan, Lin Zhaohui, Li Xu and Yuan Chongguang

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

Abstract With the IAP Prediction System of Short-term Climate Anomaly (IAP PSSCA), two sets of seasonal and extra-seasonal ensemble hindcasts have been performed during the period of 1980~1994 in order to assess the prediction skill of the IAP PSSCA with two different schemes. The difference of the two schemes is in the different version of AGCM used, with the IAP AGCM 1.1 in one scheme and the IAP AGCM 1.2 with an improved surface albedo parameterization in the other. Comparisons of the hindcast results with the observations show that IAP PSSCA is capable of predicting the precipitation anomaly to some extent. In the eastern China largely affected by Asian monsoon and SST anomalies, the prediction skill is relatively high, especially in the Southeastern China where the anomaly correlation coefficient can reach as high as 0.50 in the severe flood and drought years. This may suggest that the possible mechanisms for these severe disasters have been well captured by the IAP PSSCA. The prediction skill is higher for the modified model AGCM 1.2 as the model's climatological state is well simulated. This indicates that models with reasonable land process will improve the prediction skill for short-term climate prediction.

Key words: numerical climate prediction; sea surface temperature anomaly