2010年拉尼娜事件发生的动力机制研究

刘国林^{1,2},袁东亮²

(1. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 2. 中国科学院 海洋研究所, 中国科学院 海洋环流与波动重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要:利用"LASG/IAP气候系统海洋模式"(LASG/IAP Climate system Ocean Model,简称 LICOM 海 洋模式)和全球简单海洋资料同化分析系统产成的 SODA(simple ocean model assimilation)资料研究了 2010年拉尼娜事件发生的动力机制。结果表明,2010年拉尼娜事件发生于 2010年6月,是继 2009年 厄尔尼诺事件之后发生的一次较为特殊的一次冷事件,该事件将持续到 2011年;该事件主要是由 2010 年西边界反射的东传上升 Kelvin 波和西太平洋异常东风激发的,而赤道太平洋纬向流异常在该事件的 形成过程中也起着非常重要的作用。通过对本次拉尼娜事件动力机制和发生发展过程的研究分析,进 一步加深了对拉尼娜事件动力机制的了解,同时对拉尼娜事件的预报及防灾减灾有重要意义。

关键词:赤道 Kelvin 波;赤道 Rossby 波; 拉尼娜; 动力机制 中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)05-0001-09

拉尼娜事件系指赤道太平洋东部和中部海面温 度持续异常偏冷的现象(与厄尔尼诺事件正好相反), 它是热带海洋和大气共同作用的产物。当赤道太平 洋爆发异常东风,太平洋上空的 Walker 环流变得异 常强烈,异常东风将被太阳加热的表层海水吹向太 平洋西部,致使暖水在西太平洋堆积,西太平洋海 平面增高,水温上升,气压下降,而东部次表层海水 上翻,致使东太平洋表层水温异常偏低,形成拉尼 娜事件。

拉尼娜事件会给全球造成严重的旱涝灾害, 使 许多国家的工农业生产遭受严重损失。据世界气象 组织报道, 2010 年拉尼娜事件在引起中国"南冻北 旱"的同时, 也给全球造成了严重灾害: 低温寒流席 卷亚洲大部, 寒冷天气导致印度至少129人死亡, 俄罗 斯东北部出现–60℃的低温天气, 日本连降暴雪; 澳大 利亚多处地区因持续暴雨遭遇严重的洪涝灾害; 菲律 宾南部连降暴雨, 强降水引发洪水和泥石流; 印尼的 爪哇地区遭受龙卷风袭击, 使得大量民房倒塌。

有学者很早就指出,海-气相互作用对厄尔尼诺 和拉尼娜事件的产生有很大作用^[1],而且异常风应 力是激发 1997/1998 年厄尔尼诺事件及其之后的拉 尼娜事件的主要原因^[2]。一般拉尼娜事件会随着厄尔 尼诺事件的结束而发生,有时会出现在厄尔尼诺事件发生之后的当年或第二年。与厄尔尼诺事件类似, 拉尼娜事件的持续时间也有很大差别,短则半年, 长达两年多。1997/1998 年厄尔尼诺事件是 20 世纪 50年代以来最强的一次事件,并于当年秋季(1998年 9 月,以 Nino3 指数为判据)发生了一次强拉尼娜事 件(1998/2000年)。

2010 年拉尼娜事件是一次比较特殊的事件,因 为它是 1951 年来所有拉尼娜事件当中继厄尔尼诺事 件发生后发展速度最快的一次事件。2009/2010 年厄 尔尼诺事件于 2010 年 5 月结束,而在 2010 年 6 月便 发生了该次拉尼娜事件。那么,2010 年拉尼娜事件的 诱发机制是什么?海洋波动(赤道 Kelvin 波和 Rossby 波)和表层流在其形成过程中有何作用?这些科学问 题迄今尚未研究。因此,本文拟利用资料分析与数

Marine Sciences / Vol. 36, No. 5 / 2012

收稿日期: 2011-05-04; 修回日期: 2011-06-01

基金项目:山东省杰出青年基金;自然科学基金面上项目(40676020); 中国科学院"百人计划"项目

作者简介:刘国林(1987-),男,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向 为海洋环流与数值模拟,E-mail:guolin231@163.com;袁东亮(1966-), 男,通信作者,教授,博士,主要从事陆架环流动力学的研究以及赤 道太平洋和印度洋环流动力学和海 - 气耦和研究, E-mail: dyuan@ qdio.ac.cn

值实验相结合的研究方法来具体分析 2010 年拉尼 娜事件发生的动力机制,以期为深入了解拉尼娜 事件的形成原因及其可预报性研究提供可靠的科 学依据。

1 模式简介及资料与方法

本文所用的模式是由中国科学院大气物理研究 所LASG 实验室开发的准全球的"LASG/IAP 气候系 统海洋模式"(LASG/IAP Climate system Ocean Model, 简称 LICOM 海洋模式),所用的版本是 LICOM 1.0^[3], 模式覆盖的海域为 90°N~79°S,0°~360°的全球海域, 水平分辨率为 0.5°×0.5°(经度×纬度),垂直有 30 层。 它采取的参数化方法(如中尺度涡参数化方案 GM90^[4]和热带上层海洋垂直混合的 P-P 方案^[5])较 好地改善了模式的模拟效果。模式使用风应力、净 短波辐射、非短波通量作为初始场,而温盐初始场来 自 Levitus94 气候温盐资料集^[6],垂向共 30 层。通过 900 a 积分,使表层海温和盐度恢复到 WOA98 月平 均 SST 和 SSS。 本文所用的强迫场资料包括短波、长波、海面 以上2m处气温、10m处风速、海表压力和海表比 湿。这些参数均取自于NCEP1990~2010年间的日平 均资料。1993~2007年间的海面高度资料为TOPEX 卫星高度计资料,而1991~2010年间的月平均海表 温度资料来自于Hadley中心。此外,本文还使用了 2010年1~12月SODA(simple ocean model assimilation)资料的表层流数据。

本文采用赤道波分解方法分析全流海洋模式的 模拟结果^[7-8]。

2 模式结果验证

2.1 海面高度验证

为了检验模式模拟结果的可靠性,本文将模式 结果与 TOPEX 卫星高度计资料进行了对比分析。图 1 给出了 1993~2010 年赤道区域(2S°~2°N)平均的观 测和模拟的海面高度异常分布。由图 1 可知,模式能 够很好地再现赤道太平洋海面高度异常的分布特征 和演化规律,特别对厄尔尼诺事件(1994/1995,



图 1 1993~2010 年赤道太平洋海表高度异常分布(单位: m) Fig. 1 Interannual sea surface height anomaly of the equatorial pacific (unit:m)

1997/1998 和 2009/2010 年)和拉尼娜事件(1995/1996, 1998/2000 和 2010 年)的形成与发展过程都有很好的 模拟。但应指出的是,模式模拟的海面高度异常值比 观测的略小些,即模式对厄尔尼诺与拉尼娜事件的 模拟强度要弱于观测,这是由海洋动力过程造成的 偏差引起的^[9]。在赤道上,虽然正压过程的计算误差 较大,但本文所要计算的斜压过程的误差则比正压 误差偏小,而且海面高度的误差也较小,这对我们 用波分解方法进行动力机制分析影响不大,亦即这 种误差可以忽略不计。

2.2 海表温度验证

由于海表温度异常(SSTA)的传播是厄尔尼诺与 拉尼娜事件的主要特征之一,因此本文还对模拟的 SSTA 与实测结果进行了对比。图 2 为 1991~2010 年 模拟和观测的赤道区域(2°N~2°S)平均 SSTA 分布。 可以看到,模拟的 SSTA 与观测值比较一致,并对厄 尔尼诺事件和拉尼娜事件的形成与发展过程都有很好的体现。除了模拟的 1997/1998 年厄尔尼诺事件期间正 SSTA 中心的位置要比观测结果略偏西外,其他厄尔尼诺事件(1991/1992, 1994/1995, 2002/2003 和2009/2010 年)和拉尼娜事件(1995/1996, 1998/2000, 2007/2008 和 2010 年)期间的模拟结果和实测值都比较吻合。

值得指出的是,由于 2010 年拉尼娜事件是在 2009/2010 年厄尔尼诺事件结束后不久发生的,因 此进一步对比分析 2009~2010 年模拟的 SSTA 和实 测结果是十分必要的。由图 3 可以看出,模拟结果 和观测非常相近,特别是模拟的拉尼娜事件发生 时间和观测相一致,只是模拟的 SSTA 比观测值略 大。从模拟结果可以清楚地看到,发生于 2010 年 6 月的拉尼娜事件,在 2010 年 12 月仍然很强(赤道 中东太平洋的 SST 仍为很大的负异常),并没有减 弱的趋势。





2.3 与 Nino3 指数对比

以前的观点认为, 厄尔尼诺和拉尼娜的发生都

是从东太平洋南美洲秘鲁沿岸开始的,对拉尼娜事件的判断标准也各不相同,有 Nino1+2 指数、Nino3 指数、Nino3.4 指数以及 TNI 指数^[10-11]。但是近年

来的观测事实表明, 拉尼娜事件和厄尔尼诺事件都 是先从赤道中太平洋开始的, 然后扩展到东海 岸^[12]。因此本文利用 Nino3 指数来检验模拟结果的 可靠性^[13]。

由图4可以看到,模拟的Nino3指数与实测结果 非常一致,而且两者的数值也比较接近,特别是除 了模拟的拉尼娜事件强度比实测略弱些外,对 1992/1993、1997/1998及最近的2009/2010 厄尔尼诺 事件都模拟得很好。拉尼娜事件与厄尔尼诺事件的 振幅存在着非对称性,这主要是由海洋的非线性温 度平流造成的^[14]。因此可以认为,本文的模拟结果是 可信的。



Fig. 3 Interannual sea surface temperature anomaly (unit:)



3 拉尼娜事件的发生过程

图 5 给出了 2009~2010 年模式的海面高度异常 (SSHA)和纬向风应力异常分布。可以看到,在 2010 年 4 月,赤道中东太平洋均出现了海面高度负异常, 而在同年 5 月赤道西太平洋(120°~160°E)的海面高度 为正异常,这意味着赤道中东太平洋的暖水开始流 向西太平洋。6 月,中东太平洋的海面高度负距平明 显增大(SSHA<-0.05 m),并于 10 月达至最大,为 -0.15 m,位于 160°W 附近。这说明,拉尼娜事件自 2010 年 6 月爆发以来,其强度迅速增强,并将一直 持续下去。这主要与持续的东风异常有关。如图 5 中的右图所示,自 2010 年 4 月以来,赤道中太平洋



图 5 2009~2010 年赤道太平洋海面高度(m)异常和纬向风应力(N/m²)异常 Fig. 5 Model sea surface height anomaly and model zonal windstress anomaly of equatorial pacific from 2009 to 2010

一直维持东风异常,特别在 7 月以来东风异常显著 加强,这有助于赤道中东太平洋的暖水减少,次表 层冷水上翻,使得拉尼娜事件增强。

以前的观点认为, 厄尔尼诺事件和拉尼娜事件 都起源于赤道东太平洋, 而近几年的观测资料则 表明, 厄尔尼诺和拉尼娜事件是由中太平洋温跃 层开始的^[9]。为了进一步了解 2010 年拉尼娜事件 的成因, 图 6 给出了赤道太平洋海温异常分布。可 以看到, 2010 年 5 月在赤道中太平洋的 60~140 m 水层有一负海温异常(TA<-2.0)存在, 之后它向 东向上迅速传播, 并于 6 月影响到海面, 使得赤道 中东太平洋海面基本为负海温异常所控制。这与近 年来冷、暖事件都是从中太平洋温跃层开始的观测 事实相一致。

4 拉尼娜事件发生的动力机制

从前面的分析可知,赤道中太平洋的东风异常 在 2010 年拉尼娜事件的发生和发展过程中起着很重 要的驱动作用。众所周知,风异常不仅能引起海洋波动(如赤道 Kelvin 波和 Rossby 波),而且还将驱动海水运动,形成海流。那么,海洋波动和海流在拉尼娜事件形成过程中的作用如何?为此,下面重点分析海洋波动和表层流对拉尼娜事件的影响,进而探讨拉尼娜事件发生的动力机制。

试 验 中 所 用 的 波 分 解 方 法 是 在 赤 道 区 域(5°N~5°S)平均的密度剖面基础上计算出特征函数 和斜压模态的波速。为了得到每个斜压模态的系数, 把深达 2 700 m(25 层)的三维动力高度和纬向流分解 成特征函数,再把这些系数分解成赤道 Kelvin 波和 Rossby 波^[7-8]。图 7 为第一斜压模态的 Kelvin 波和 Rossby 波,这些系数与模式模拟的海面高度异常有 一定的关系。

模式分解的赤道 Kelvin 波和 Rossby 波系数显示, 2009 年上半年和下半年各有一支东传的下降的 Kelvin 波(图7),前者来自西边界反射,并受西太平 洋东风异常的加强(图5),后者显然是由西太平洋西



图 6 2010 年 5~12 月赤道太平洋海水温度异常剖面图(单位:) Fig. 6 Equatorial Pacific sea temperature anomaly profile from May to December of 2010 (unit:)

风异常强迫的,从 2009 年 10 月西传并于 2010 年初 传到东太平洋,这部分 Kelvin 波显然对 2009 年底的 弱厄尔尼诺事件有重要贡献。

2009 年底中太平洋西传的上升 Rossby 波于 2010 年初达到西边界, 然后反射形成 2010 年的上 升 Kelvin 波, 而东传的上升 Kelvin 波也受西太平洋 异常东风的加强(图 5), 显然该反射 Kelvin 波与东 风异常共同作用,进一步生成 2010 年底的拉尼娜 事件。

以上分析显示, 西边界反射和赤道太平洋纬向 风异常对于 2009 年至 2010 年间的热带太平洋的厄 尔尼诺和拉尼娜事件起了重要作用。

Qi 等^[15]的研究结果表明, 波致流(由赤道 Kelvin 波和 Rossby 波引起的纬向流异常)是赤道太平洋表



图 7 2008~2010 年赤道 Kelvin 波和赤道 Rossby 波分解系数

Fig. 7 Decomposed coefficients of equatorial Kelvin wave and Rossby waves of the first baroclinic mode from 2008 to 2010 正值表示下沉;负值表示上升。Kelvin 波一单位对应于 0.33 m 的海表高度,第一斜压模态 Rossby 波一单位对应于 0.14 m 的海表高度 The contour units correspond to 0.33 m for Kelvin wave sea level and 0.14 m for the first meridioal-mode Rossby wave sea level on the equator

层暖水纬向运动的主要驱动因素。那么,纬向流 异常在 2010 年拉尼娜事件形成中的作用如何? 为此,本文给出了 2010 年 2~12 月间的热带太平 洋表层流异常场(图 8)。可以看到,2 月除了在赤 道西太平洋存在较强的异常东向流外,在赤道东 太平洋已出现异常西向流。而这种情况在3 月份 已发生了明显的改变,即异常西向流区向西扩展 至 160°E 附近。自4 月之后,赤道太平洋完全由 异常西向流所控制。大范围的异常西向流将使得 赤道中东太平洋的表层暖水西迁,致使赤道中东 太平洋的温跃层冷水上翻,表层水温下降,形成 拉尼娜事件。由此可见,赤道太平洋表层纬向流 异常在 2010 年拉尼娜事件的形成过程中起着非 常重要的作用。但是,这些纬向流异常的形成机 制尚不清楚,拟另文研究。

5 结论

本文利用 LICOM 海洋模式成功地模拟了 2010 年 拉尼娜事件,并利用模式结果和 SODA 资料研究了拉 尼娜事件发生的动力机制,得到研究结果主要如下。

(1)2010年拉尼娜事件发生于 2010年 6月, 是继 2009年厄尔尼诺事件之后发生的一次较为特殊的一 次冷事件,该事件将持续到 2011年。(2)2010年的拉 尼娜事件的产生由 2010年西边界反射的东传上升 Kelvin 波和西太平洋异常东风激发的,这部分 Kelvin 波是由 2009年底中太平洋西传的上升 Rossby 波在西边界反射形成的。(3)赤道太平洋表层纬向流 异常在 2010年拉尼娜事件的形成过程中起着非常重 要的作用。但是,这些纬向流异常的形成机制尚不清 楚,拟另文研究。



Fig. 8 The anomaly surface current of pacific from May to December in 2010 向东为正 East is positive

参考文献:

Atmospheric Sciences, 1985, 42(23): 2652-2662.

[1] Philander S G H. El Niño and La Niña[J]. Journal of the

[2] Picaut J, Hackert E, Busalacchi A J, et al. Mechanisms of the 1997-1998 El Niño-La Niña, as inferred from

space-based observations[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107: NO. C5, 10.1029/2001JC000850.

- [3] 刘海龙, 俞永强, 李薇, 等. LICOM1.0 参考手册[M].北京: 科学出版社, 2004: 1-107.
- [4] Peter R, Janmes C. Isopycnal Mixing in Ocean Circulation Models[J]. Journal of Physical Oceanography, 1990, 20: 150-155.
- [5] Pacanowski R C, Philander S G H. Parameterization of Vertical Mixing in Numerical Models of Tropical Oceans[J]. Jouranl of Physical Oceanography, 1981, 11: 1443-1451.
- [6] Levitus S, Boyer T P. World Ocean Atlas[J]. Temperature, NOAA Atlas NESDIS, 1994, 4: 1-177.
- [7] Yuan Dongliang, Michele M, Paul S. Long wave dynamic of interannual variability in a numerical hindcast of equatorial pacific ocean circulation during the 1990s[J].Journal of Geophysical Research,2004,109, C05019, doi:10.1029/2003JC001936.
- [8] Yuan Dongliang, Liu Hailong. Long-waves dynamic of sea level variations during Indian Ocean Dipole Events[J]. Journal of Physical Oceanography, 2008, 39:

1115-1132.

- [9] 梁晓妮, 俞永强, 刘海龙. ENSO 循环年代际变化及 其数值模拟[J].大气科学, 2008, 32(6): 1471-1482.
- [10] Deborah E, Mark A, James J, et al. A quantitative evaluation of ENSO Indices [J]. Americian Meteorological Society, 2003, 16: 1249-1258.
- [11] Kevin E, David P. Indices of El Nino Evolution[J]. Journal of Climate, 2001, 14: 1697-1701.
- [12] 巢继平. 对"厄尔尼诺"、"拉尼娜"发展的新认识[J].中国科学院院刊, 2001, 6: 412-417.
- [13] 涂方旭,李耀先,李桂峰,等. 厄尔尼诺与拉尼娜的 诊断[J]. 广西气象,2001,22(1):44-46.
- [14] Su Jingzhi, Zhang Renhe, Rong Xinyao, et al. Causes of the El Niño and La Niña amplitude asymmetry in the Equatorial Eastern Pacific[J]. Americian Meteorological Society, 2009, 23: 605-617.
- [15] Qi Qinghua, Zhang Qilong, Hou Yijun. Dynamic mechanism of interannual zonal displacements of the eastern edge of the western Pacific warm pool[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2010, 28(2): 387-397.

Dynamic research and analysis of the 2010 La Niña

LIU Guo-lin^{1,2}, YUAN Dong-liang²

(1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 2. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; Key Laboratory of Ocean Circulation and Waves, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: May,4,2011

Key words: equatorial Kelvin wave; equatorial Rossby wave; La Niña; Dynamic mechanism

Abstract: Ocean Model LICOM(LASG/IAP Climate system Ocean Model) and SODA (simple ocean data assimilation) data are used to analyse the dynamic of La Niña events in 2010. The results show that, La Niña events in 2010 following the 2009 El Niño events as a more special cold event, occurred in June 2010, and it'll continue into 2011. The event is mainly excited by the western boundary reflection Kelvin wave and the eastward wind anomalies increase in the western Pacific wind anomalies, and zonal flow anomalies in the equatorial Pacific during the formation of the event also plays a very important role.

(本文编辑: 刘珊珊)