

# 埃尔尼诺事件与“大尺度海陆风”假说

## EL NINO EVENTS AND THE “LARGE SCALE OCEAN-LAND WIND” HYPOTHESIS

崔茂常

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

70年代初,全球气候问题开始成为举世瞩目的大事,而且人们已逐渐认识到海洋在全球气候系统中的重要性。因此,海气相互作用对气候形成及演变作用的研究获得了巨大发展。如,70年代末美国开始的“赤道东太平洋环流研究”(EPOCS;1978年至今)、“太平洋赤道动力学”(PEQUAD)、“热带热量”(Tropical Heat)、“第一次全球大气实验”(FGGE)以及现在还在进行的国际计划“热带海洋与全球大气”(TOGA;1985~1994)、“世界大洋环流实验”(WOCE;1990~2000)和世界各国或双边、多边合作进行的众多研究项目,如澳美“赤道西太平洋海洋环流研究”(WEPOCS;1985~1988)、中美“赤道西太平洋海气相互作用”(1985~1990)、19国“赤道海洋和全球大气海气耦合响应实验”(1991~1995)和德、英、美、加“气候变化及其可预报性研究”(CLIVAR;1995~2010),可以充分显示出,气候变化与海气相互作用研究是当今气候科学中最主要的国际研究潮流和前沿课题之一。为与这一重大国际前沿课题并行或接轨,我国有关部门和科研机构也制订并实施了相应的研究计划。如,“七·五”攻关项目“我国陆架环流与大洋环流的变异、相互作用及其与短气候变化的关系”(1986~1990),中国科学院重大项目“赤道环流与我国浅海环流的关系及其在海气相互作用中的作用”(1986~1990)和重点项目“西太平洋热带海域海洋大气相互作用和耦合响应”(1991~1995),国家基金委重大项目“气候动力学研究”(1991~1995)和自由申请项目“太平洋地区多时间尺度海气相互作用和 ENSO 形成关系研究”(1994~1996)等。

热带地区气候系统低频变化的典型现象是引起全球气候异常的 ENSO(埃尔尼诺与南方涛动)事件,埃尔尼诺期间 Hadley 环流和 Walker 环流异常,季风变异,整个赤道太平洋海面水温异常变暖长达几个月之久或更长时间,并伴随有诸如水位、表层及次表层海流、降水和海面气压的异常。还有证据表明,ENSO 对北半球冬季大气环流有相当大的影响。早在 60 多年以前 Walker 就

描述了南方涛动的气候特征;而 Bjerknes 在 25 a 前指出作为埃尔尼诺特征的秘鲁沿岸海面水温异常变暖可以一直延伸到赤道太平洋中部,并首次提出把大气中的南方涛动和海洋中的埃尔尼诺联系起来;认为热带海洋的长期记忆和反馈作用是全球气候年际变化的原因,而大尺度 ENSO 现象是赤道太平洋地区海气耦合的结果。1971 年 Madden 和 Julian 发现热带太平洋上 30~60d 的季节内振荡(MJO),这一重要的海气相互作用现象直到 80 年代才得到人们的重视。不少人认为与 MJO 密切相关的西风暴是产生埃尔尼诺的重要原因,所以 MJO 的形成与维持也是 80 年代人们研究的重要对象之一。从此,关于埃尔尼诺形成机制的理论研究和数值模拟就成为气候变化研究中的一个引人注目的课题。1982~1983 年持续出现的埃尔尼诺事件,在已经热衷于 ENSO 现象的国际海洋气象学界又掀起一个新的研究高潮。80 年代之前赤道东太平洋(暖水出现的地方)一直是人们研究埃尔尼诺事件的重点海域,许多人把世界各地的现象与这里的 SST 作相关分析,言之为埃尔尼诺的影响。80 年代中期,人们通过数值实验发现全球大气环流对太平洋日界线附近 SST 距平比对东太平洋 SST 距平的响应更敏感<sup>[1]</sup>。赤道西太平洋海气耦合不稳定性可能是埃尔尼诺事件的原因。随后提出 ENSO 产生的关键海域和因子的问题,大致可分为两大类:“海洋振荡”理论和“西太平洋海气耦合不稳定”理论。前者认为海洋 Rossby 波在西边界的反射是埃尔尼诺事件的原因<sup>[2,3]</sup>。根据这一理论,Battisti 使用一个简化的热带太平洋海气耦合模式模拟出 3~4a 的周期性 ENSO 事件<sup>[4]</sup>;“西太平洋海气耦合不稳定性”理论<sup>[5,6]</sup><sup>①</sup>,要求赤道西太平洋的热含量通过绝热和非绝热过程增

① Lau, K. M. and S. Shen, 1987. On the dynamics of interseasonal oscillation and ENSO. *J. Atmos. Sci.*, accepted.

收稿日期:1994 年 7 月 8 日

加,而不要求 Rossby 波在西边界反射,西太平洋热带和温带大气间的相互作用(与 30~60 d 振荡有关)以及局地海气界面间水汽、热量和动量通量驱动的风距平可能引发西太平洋“暖池”(Warm pool)的不稳定性移动。为此,赤道西太平洋暖水区海气耦合响应实验 TOGA-COARE 于 1992 年付诸实施。上述研究的基础都是假设 ENSO 事件主要是赤道太平洋地区海气相互作用的结果。

中纬度海洋对大气环流到底有多少影响?这个问题还没有搞清楚。Charney(1969)提出中纬度的影响可以驱动或引起低纬度的扰动并建立了一个波动通过纬向平均基本气流传播的判据,但是他的结果却论证了中纬度的扰动对于热带大气只有很小的影响或没有影响。已有一些理论认为热带外海面温度异常对大气环流仅有相当小的反馈作用,但是这些理论都是在水平无辐散的前提条件下推导出来的,因此不适用于热带太平洋上的强对流区域。而且基于观测资料的分析显示,中纬度的扰动正是通过这些区域进入热带大气中的,所以其结论无法令人信服。从海平面气压场的季节变化来看,冬季北太平洋主要受一个深厚强低压的控制,副热带高压仅龟缩于热带太平洋东北部;而在夏季则完全为反气旋所盘踞,副热带高压向西北方向发展为太平洋高压。它清楚地表明:至少中、低纬度的大气环流的季节性变化是密切相关的。

然而,现有的研究成果表明某些赤道外的因素也有可能触发厄尔尼诺事件。许多中国的专家、学者认为经向风异常是形成厄尔尼诺事件不可忽视的因素。亚洲季风南北半球的相互作用以及太平洋地区信风场和印度洋季风联合对海洋的强迫作用,对厄尔尼诺的发生发展具有重要的影响。冬半年异常频繁的强东亚大槽的活动也可能是导致厄尔尼诺发生的重要原因之一,东亚大陆冷空气的南下路径在厄尔尼诺年冬季偏东,而在反厄尔尼诺年偏西。这一学术观点不妨称之为“东亚寒潮触发说”。还有人指出:西太平洋暖池增温特别是菲律宾周围强对流激发可产生类似厄尔尼诺事件出现时的大气遥相关波列;青藏高原的热力与动力作用甚至极地海冰的变化均可引起低纬度大气环流的异常变化;新近研究还表明,类似于厄尔尼诺现象的太平洋海面水温距平的特征波型与中纬度东北太平洋上空海洋引起的海面气压距平涡旋密切相关,它隐含着储藏在海洋中的热能可能是触发厄尔尼诺事件的重要因素之一<sup>[7]</sup>。此外,还有人认为菲律宾及赤道东太平洋海底的火山爆发可激发厄尔尼诺事件。最近,王彬<sup>①</sup>所做的 40 年统计分析结果表明:在 10 年以上的尺度下热带太平

洋海面水温也存在一个类似于厄尔尼诺的变化过程,当海面水温背景场于热带东太平洋偏低、西北太平洋偏高时标志厄尔尼诺出现的海面风场与水温的变化总是从东向西演变;反之,则从西向东演变。这一基本事实有力地证明,赤道外的风异常有可能是形成厄尔尼诺事件的决定因素。

80 年代初期美国国家气候数据中心联合其他国家和地区的有关组织收集整理了全球综合海洋大气数据库(The Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set or COADS),紧随其后美国国家气象局在麻省理工学院的帮助下推出了气象局基本海洋数据库(The Meteorological Office Main Marine Data Bank or MOMMDB),为全球气候变化的研究与模拟奠定了坚实的基础。目前人类已在理解热带太平洋海气相互作用,特别是重要的赤道海洋对大气的动力学响应方面取得了初步的然而令人鼓舞的进步。在气候变化的模拟与预报方面,已从早期简单的热带海气耦合模式发展到今天复杂的全球综合海气耦合模式,并较成功地实现了提前半年至两年的厄尔尼诺预报。这方面的研究工作正在英国的牛津、美国的普林斯顿和德国的汉堡继续进行,中国科学院大气所和中国气象科学院也积极开展了类似的研究工作。

用实测水温场强制的综合大气环流模式单独的 10a 积分已经令人信服地模拟了赤道降水距平与 1982~1983 年和 1987 年的 ENSO 事件;用实测风场和实测海洋上层水温初始化的相对简单的热带海洋(实际上就是热带太平洋)和覆盖其上的大气耦合模式,也显示出模拟 ENSO 事件在热带地区的主要但不是全部演变特征的能力。然而,在中纬度地区大气环流的某些分量对海面水温距平场的响应却显得混乱无序。为此,德国马普气象所的冯·斯多切博士首创降尺度技术以弥补现存海气耦合模式之不足<sup>[8,9,10]</sup>。不仅如此,现有的海气耦合全球模式中除美国外均采用了通量订正(Flux corrections),以保证得到合理的海气环流平均流场。然而通量订正的引入扭曲了海气能量交换的物理过程,无法真实地模拟海气相互作用。例如,热带大气平流层中的准两年振荡是自然界中一个显著特征,却无法使用任何全球气候模式再现出来;在对全球 10a 以上时间尺度的气候变化可能有重要意义的海洋深层热盐环流的模拟上还有许多问题。此外,尽管人们已经能够较成功地

① 王彬,1994. 热带太平洋海面水温和风场的年代际变化,1994 年 7 月于青岛国家海洋局第一海洋研究所所做学术报告。

预测出 1991 年开始的 ENSO 事件,但现有的气候预测模式的精度还不尽人意。人们自然而然地将这一切归咎于现有的资料既非完整又乏精度,导致关于海气界面的热量和动量参数化方法不够精确、还达不到海面净热量通量的误差小于  $10 \text{ W/m}^2$  的要求(World Climate Research Programme, 1990)。

诚然,自然界中的气候系统是十分复杂的,大气和海洋流动的混沌状态不可避免地 在许多时间尺度下和空间尺度中表现出来。气候科学的使命就是将这些错综复杂的变化与某些特定的机制联系起来,并提出可以验证的定性解释。然而,可供使用的资料往往是不够完整和远非精确的,以致于从不同角度分析研究的结果有的相互包容、有的大相径庭,并形成众多的关于埃尔尼诺现象形成机制的假说。因此,充分利用前人的研究成果对埃尔尼诺的相关因子进行筛选,从中选择出既基本又相对合理的,并将它们纳入气候模式中,是至关重要的。人们已经知道:大气过程在提供或控制驱动气候系统的能量输入时,除去诸如平流层的准两年振荡以外其典型调整时间尺度小于一个月。因此,对于季节性和更长期的气候预报大气本身的作用是微乎其微的。陆地表面的记忆能力(例如通过湿度含量)可以超过季节的时间尺度,但是只有海洋(包括海冰)才能为气候预报提供足够长的记忆能力和足够大的空间范围。这样,可以在埃尔尼诺形成机制的数值研究中忽略青藏高原的热力与动力作用。还有一个重要而有趣的事实是,已经发现在赤道大西洋和印度洋中也存在着类似于埃尔尼诺的海面水温冷暖变化过程。只是由于其空间尺度和所伴随的海气能量交换太小、对全球气候变化的影响微不足道。但是据此可以推论,某些太平洋所独有的特征,诸如:西太平洋“暖池”和太平洋与大西洋截然不同、现有的综合海洋环流模式又难以准确模拟的深层热盐环流对于埃尔尼诺事件的形成与演变也许并不那么重要。而“类似于埃尔尼诺现象的太平洋海面水温距平的特征波型”与中纬度东北太平洋上空海洋引起的海面气压距平涡旋密切相关,隐含着储藏在海洋中的热能可能是触发埃尔尼诺事件的重要因素之一”,可以概括为“大尺度海陆风”假说,它实际上与“东亚寒潮触发说”相包容。

“海洋振荡”理论的依据是:在热带太平洋海气耦合系统中,主要洋流与大气环流之间呈现出约 24~48 个月的明显耦合振荡,并得到了线性解析及非线性数值海气耦合模式理论上的解释与证实;云和海温之间也存在着周期为 34~48 个月的耦合振荡,它是由云-幅射-海温反馈所激发出的。“大尺度海陆风”假说是根据由实

测水位、海洋表面水温和海面大气压三者之间月平均季节性距平所作的卡依相关分析的结果提出的。它类似于季风,也以海洋与陆地的不均匀加热为其主要成因;又不同于季风,它更多地与海洋环流相关联。北半球的海面气压距平的卡依相关波型为几个中心在中纬度洋面上的海面气压距平涡旋,其中位于东北太平洋上空的特别巨大,具有足以改变全球气候的行星尺度。其物理机制显然在于,海水约 5 倍于陆地的比热和流动性所造成的远大于陆地的储存和释放热量的能力。这种由于海陆热力学差异和海洋环流输送热量的变化所形成的大尺度海面气压距平涡旋驱动的月平均季节性风场距平,不妨称之为“大尺度海陆风”。相对于年平均场而言,东亚寒潮盛行的冬季,它表现为一个覆盖在东北太平洋之上巨大的气旋性涡旋。它的出现必然削弱北面的西风带、南面的贸易风和整个北太平洋风生环流;当它足够强大时就会触发埃尔尼诺事件。而在东亚季风盛行的夏季,情况则刚好相反。这样,“大尺度海陆风”假说就解释了埃尔尼诺事件为什么总是发生于秋、冬季,尤其是圣诞节前后,结束于春夏之交。统计分析的结果还表明,除去地质变迁影响的日本沿海水位的长周期变化有一部分是由上层海水的热膨胀效应控制的,因而可作为一个表示储藏在太平洋中,特别是东北太平洋黑潮延伸区中海洋向大气释放热能数量的参数。其随时间的变化表现为十几年周期的振荡;并且存在一个临界水位,在此水位线以下太平洋不能释放足够的能量将全球气候从一个状态转变到另一个状态。这样,“大尺度海陆风”假说又可以解释埃尔尼诺事件出现的频率会发生 3~4a 与 7~8a 等复杂的变化。不仅如此,它还可以解释赤道外太平洋海气耦合系统也是自身反馈的。卡依相关分析的结果表明,长周期日本沿海水位的变化与类似于埃尔尼诺现象的太平洋海面水温距平的特征波型及中纬度东北太平洋上空海洋引起的海面气压距平涡旋彼此密切相关。因此,当日本沿海水位处于低谷时东北太平洋所储藏的热量较少、表层水温较低,这样夏季的反气旋性“大尺度海陆风”变得较强而冬季的气旋性“大尺度海陆风”变得较弱、甚至反向;从而北太平洋环流不断加速、更多的暖水从低纬度流向高纬度;东北太平洋储藏的热量不断增多而日本沿海水位因热膨胀效应逐渐升高。反之亦然。由于赤道太平洋海域 3~4a 和北太平洋海域与“大尺度海陆风”相关联的年代际海气耦合振荡都会通过改变北太平洋环流影响太平洋海面水温场,它们所引起的海面水温距平场具有类似的波型和不同的频率与振幅。又因为“大尺度海陆风”实际上是大气对海洋的热力学响应,当低频的秋、

冬季海面水温背景场于热带东太平洋偏低、西北太平洋偏高时,气旋性“大尺度海陆风”变得东强西弱,标志埃尔尼诺出现的海面风场与水温的变化于是从东向西演变;反之,则从西向东演变。

鉴于全球综合海气耦合模式还不够成熟及以上关于埃尔尼诺相关因子的筛选分析,如果将“海洋振荡”理论和“大尺度海陆风”假说结合起来,把 Zebiak 的简化海气耦合模式或王彬的中间模式从热带海域延伸到北太平洋;运用卡依相关分析和主振荡波型分析等先进的统计方法提高海气界面热量交换参数化精度;对埃尔尼诺的形成机制做较深入的研究;就有可能用数值模拟的方法更真实地再现埃尔尼诺事件。

#### 主要参考文献

- [1] Palmer, T. N. and D. A. Mansfield, 1984. *Nature* 310: 483-485.
- [2] McCreary, J. P., 1983. *Mon. Wea. Rev.* 111:370-389.
- [3] Zebiak, S. E. and M. Cane, 1987. *Mon. Wea. Rev.* 115: 2 262-2 278.
- [4] Battisti, D. S., 1988. *J. Atmos. Sci.* 45:2 889-2 991.
- [5] Weickmann, K. M., G. R. Lussky, and J. E. Kutzbach, 1985. *Mon. Wea. Rev.* 113:941-961.
- [6] Meyer, G., J. R. Donguy, and R. K. Reed, 1986. *Nature* 323: 523-526.
- [7] Cui, M., H., von Storch, E., Zorita, and D., Hu, 1993. Influence of sea surface temperature and wind anomalies on sea level at the Japanese coast. European Geophysical Society Annales Geophysicae Part II, C150.
- [8] Storch, H. von, E., Zorita and U., Cubasch, 1993. *J. Climate* 6, 1 161-1 171.
- [9] Zorita, E., V. Kharin and H. von Storch, 1992. *J. Climate* 5; 1 097- 1 108.
- [10] Cui, M., H., von Storch, and E., Zorita, 1994. Coast sea level and the large-scale climate state; a downscale exercise for Japanese Islands. *Tellus* (1995) 47A:132-144.