海洋与气候动力学

THE OCEAN AND CLIMATE DYNAMICS

崔茂常

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

气候学已逐渐从以统计方法为主、仅作为气象学或地理学的一个分支发展成以气候动力学为中心, 研究方法包括诊断、解析和数值模拟, 由大气科学、海洋学、地球物理和地球化学、地理学、地质学、冰川学、天文学、生物学以至社会科学等众多学科相互渗透、共同研究的交叉科学。近来, 作为世界气候研究首要计划与协调机构的 WCRP 继一系列着重研究包括大气、海洋、海冰和陆地及其表面的物理气候系统的子计划: IGBP、TOGA、WOCE 和 GEWEX 之后, 又接受 CLIVAR (“气候变化及预测”) 为其新的主要研究计划。它侧重研究诸如海洋、冰川和雪原, 以及陆地表面特征等“缓慢”气候系统的变化规律, 因而成为主要研究由大气湍流环流引起的全球能量与水循环快变通量 GEWEX 的自然延伸与补充。

影响大气和海洋自然环境的主要因素来自海洋, 海洋是海气运动的原动机。占地球表面 71% 的海洋吸收了进入地球大气系统上界太阳辐射量的 70% 左右, 并将其中的 85% 储存在海洋表层, 它是形成海气运动的热源。另一方面, 海洋提供了大约 86% 的大气水汽来源。海洋热状况和蒸发强度的变化等将直接影响大气中能量和水汽的时空变化, 影响气候。海洋“热机”首先以各种形式(如长波有效辐射、感热和潜热) 从底部再加热大气, 由大气温度分布形成的有效热能可转换成动能产生大气运动; 大气运动又诱发上层海洋的流动和波动, 后者又改变大气运动状态。如果这种耦合是线性的则形成良性循环的正常海气环境。海洋(总质量 1.4×10^{21}kg) 和大气(总质量 5.1×10^{19}kg) 之间质量和热容量有着悬殊的差别。因此, 大气对于海面状态变化的响应时间约以“周”计, 而海洋动物对于大气状态变化的响应时间长达“月”计。两个响应时间差别悬殊的耗散系统间的线性耦合是不能产生共振性或发散性的结果, 据此可以推断: 异常的气候和海洋环境必由局部强扰动的海气非线性耦合产生。热带海洋是海洋“热机”的主机。年平均大气中的潜热释放集中于辐射通量净收入的热带海洋, 这里的海气相互作用表现最为强烈; 由于柯氏力的制约, 低频海洋波动穿越中纬度大洋所需时间为 10 年的量级, 而在赤道地区重力斜压 Kelvin 波穿越大洋只需 3 个月。因此只有在热带, 海洋运动可以与以月为特征时间的大气过程发生强烈的耦合振荡。

热带西太平洋是全球海洋温度最高的海域, 全球暖海水大部分集中在这里。它又称暖池(Warm pool), 是大气热量主要供应地之一。源自热带东太平洋的北赤道流在信风的趋动下流向热带西太平洋, 在近 20 000km 的旅途中不断吸收太阳辐射热和大气感热而逐渐升温; 在抵达热带西太平洋后分为北上的黑潮和南下的棉兰老流, 近来发现在棉兰老流之下还存在较弱的北向棉兰老潜流, 它们共同组成了太平洋西部边界流系。太平洋西部边界流在暖池的形成和演变过程中具有十分重要的作用, 这一点已被简单的海洋环流数值模拟所证实[5]。因此, 可以说太平洋所特有暖池是西太平洋环流受其西部边界制约的产物, 其形成与演变的物理机制基本上属于海洋动力学的研究范畴。然而, 目前关于暖池与太平洋西部边界流的相互作用及其季节性与年际变化还不甚了然, 这方面的研究工作急待深入开展。

暖池在气候动力学中的重要性在于它与诱发 El Nino 事件的西风暴发密切相关联。80 年代以后出现的 El Nino 事件都是从西向东演变, 并以数次强烈的西风暴发为先兆。TOGA COARE 观测期间的卫星资料清楚地显示: 具有季节内振荡周期的北半球冬季东亚季风与南半球夏季澳大利亚季风在暖池上空相遇, 冷热气流交汇形成强裂的降水过程并释放出巨大的凝结潜热, 大气温度再分布所形成的有效热能迅速转变为大气运动的动能, 促成了一次又一次的西风暴发, 最终触发了 1992~ 1993 年的 El Nino 事件。深入了解这类海气相互作用过程的物理基础、制订利用月平均资料计算相应的热量与动量通量的参数化方案, 对于彻

收稿日期: 1995 年 12 月 1 日

底揭开 El Nino 形成之迷并利用海气耦合气候模式模拟与预报 El Nino 事件, 无疑具有重大的意义。

暖池热状态及其上空的对流活动对北半球夏季气候异常起着十分重要的作用。黄荣辉等人的研究工作表明[1,2]: 暖池增温时, 由菲律宾群岛上空的强对流活动所激发的大气遥相关波列可以波及西欧和北美, 与此同时, 西太平洋副热带高压的位置偏北, 我国江淮流域夏季降水偏少; 反之, 则菲律宾周围的对流活动减弱, 副热带高压偏南, 江淮流域的降水偏多, 黄河流域的降水偏少, 易发生干旱。早期的研究工作也显示出[3]: 源于暖池的黑湖区前冬期海温距平与我国长江三角洲 5 月、长江流域梅雨季节和华北平原地区 7, 8 月的降水距平均有较好的正相关; 黑潮区海温的影响先从低纬开始, 逐渐向北伸展。从海洋环流和海气相互作用的角度探讨这些统计结果之间的内在联系, 显然也是一个与我国农业乃至国民经济的发展密切相关的研究课题。

许多观测研究把热带外的海表温度异常作为年际气候变化的原因来考虑[6,7], 但是还没有得到大气环流数值模拟方面的证实。Namias[8]认为, 北太平洋大气异常是海洋造成的。Davis[9,10]分析了北太平洋的海面温度距平和海平面气压距平, 得到了与 Namias 一致的结论。后者发现夏季海面温度可以作为秋季海平面气压的预报指标。问题在于, 夏季海平面气压也是秋季海平面气压的一个同样好的预报因子。谁也不能排斥它们都是某种未知的共同机制作用结果的可能性。在其他季节海面温度和海平面气压之间的关系就不是那么清楚。与根据季节资料得出的结论相反, 从年平均资料得出的结论是大气影响海洋, 这种影响类似一种随机影响。

冷暖气流和海流在中纬度地区交汇, 大气和海洋流动的混沌状态在这里表现分外明显, 由此引起许多随机强迫作用(如: 海洋中的交错侵入(Interleaving)、大气中的成云降水等都会直接或间接地引起海水温度的随机变化)使得有规律的气候变化信息变得十分微弱。海气系统中这种随机强迫作用的季节性变化, 诸如: 海洋中春季刚开始形成的浅薄脆弱的温跃层和大气流型在从冬季向夏季演变过程中所表现出的不稳定性, 致使观测资料中的信噪比大为减小, 很可能是造成现存热带海气耦合预报模式中经常出现的春季预报障碍(Predictability barrier)的主要原因。目前复杂的全球综合海气耦合模式的结果反而不如相对简单的热带海气耦合中间模式, 原因也在于对中纬度海洋和大气运动中的随机过程的模拟还存在诸多问题以及中纬度海气相互作用的参数化还达不到足够的经度。

中纬度海气相互作用参数化的主要困难在于海洋混合层温度距 平的垂直结构变化很大。有些很浅; 有些虽然很深(大约可达 400m), 但表面距平却不明显; 也有一些很深而表面距平也很明显。可以预料, 混合层在随机强迫作用下产生的温度距平只能达到冬季混合层深度。一些在表面也许并没有反映的比较深的温度距平结构, 可能源于埃克曼抽吸作用或低频斜压波动的调整[11]。在 40°N 附近的北太平洋测量的结果表明, 在弱强迫作用中, 斜温层的移动与埃克曼抽吸作用得出的概念是一致的(气旋性风应力旋度增大, 斜温层深度相应减小)。然而, 在冬季月份, 当风暴的强迫作用最强时, 海洋对大气强迫作用的响应却恰恰与预期的相反[12]。这表明平流可能在起着重要作用: 较深的距平可能是从混合层更深厚的高纬度移入的, 因而这种距平可能是由随机产生的混合层深度距平所致。虽然各种距平的形成机制和它们出现的相对频率还不清楚, 但可以推测比较浅薄的混合层距平应该是最为频繁的。

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[13]提出中纬度的影响可以趋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幅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。

人们已经发现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。这些基本事实构成了 El Nino 事件形成机制的"海洋振荡"理论的依据。然而, 沿着这一方向的研究工作只能模拟出热带太平洋海气耦合系统 3~ 4a 的周期振荡, 但却不能解释 El Nino 事件的准周期性[14]。为此, 人们又将注意力从热带海域移向中纬度地区。已有工作表明[15], 北太平洋海气系统也存在着低频耦合振荡, 在年代际时间尺度下类似于 El Nino 事件的太平洋海面水温距平波型与中纬度北太平洋黑潮延伸区上空具有行星尺度的海面气压距平涡漩密切

相关, 它隐含着储藏在中纬度太平洋中的热能可能是触发 El Nino 事件的重要因素之一。由实测资料可估算出①, 北太平洋海洋对大气加热异常值的标准偏差在绝大部分海区都超过 15W/m^2, 其中冬季超过 22W/m^2; 北太平洋西部典型年份在大气能量生成时间(5×10^5)内异常加热值达 1×10^{20}~ 1.4×10^{20}J, 接近北半球大气运动总动能(10^{21}J)。由此可见, 中纬度海洋异常加热的量级足以改变大气环流型。因此, El Nino 事件的准周期性极有可能是热带太平洋 3~ 4a 海气耦合振荡与中纬度海气系统年代际变化相互作用的结果[4]。

太平洋的面积约 165.2×10^9m^2(不包括附属海), 比大西洋和印度洋的面积之合还大 9.4×10^9m^2。引起世界气候异常的 ENSO 事件是热带太平洋地区气候系统低频变化的典型现象; 海面水温高踞全球之冠的暖池区域就位于热带西太平洋, 这里所发生的强烈海气相互作用在全球气候变化中处于举足轻重的地位。因此, 热带西太平洋是当今国际上年际气候研究的焦点和关键海域。太平洋西部边界流是海洋极向热量输送和太平洋-印度洋间水交换的关键通道, 其北上分支黑潮濒邻黄、东海, 对东亚和我国的气候变化起着至关重要的作用。因而, 利用我国的地理优势和已有基础, 积极参与国际 CLIVAR 计划, 深入研究中纬度太平洋海气相互作用的规律和西太平洋海洋变异及其在气候变化中的作用, 不仅可以使我国的海洋科学和气候科学研究跻身于国际前沿之列; 对了解西太平洋海洋动力学和海洋在气候变化中的作用等重大理论问题具有重要的科学意义; 对改进全球, 东亚和我国的气候预报具有重大的社会效益, 而且也是中国作为太平洋西海岸大国在全球气候科学研究与发展中义不容辞的责任。

参考文献

[1] 黄荣辉、孙凤英, 1992。大气科学 16: 52~ 61。

[2] 黄荣辉、孙凤英, 1994。大气科学 **18**(2): 141~ 151。

[3] 中国科学院大气物理所长期预报组, 1978。中国科学院大气物理所集刊。科学出版社, 6: 1~ 12。

[4] 崔茂常, 1995。海洋科学 5: 15~ 18。

[5] Hu, D. and Cu, M., 1989. Proceedings of Western Pacific International meeting and Workshop on TOGA COARE, Noumea, New Caledonia 123-134.

[6] Nicholls, N., 1980. *Rev. Geophys. and Space Phys.* 18: 771-788.

[7] Namias, J. and Cayan. D. R., 1981. *Since*, 214: 869-876.

[8] Namias, J., 1976. *Mon. Weath. Rev.* 104: 1 107-1 121.

[9] Davis, R. E., 1976. *J. Phys. Ocean* 6: 249-266.

[10] Davis, R. E., 1978. *J. Phys. Ocean* 8: 233-246.

[11] Bryan, K. and P. Ripa, 1978. *J. Geophy. Res.* 83, C5: 2 419-2 429.

[12] White, W., *et al.*, 1980. *J. Phys.*, *Ocean* 10: 372-384.

[13] Charney, J. G., 1969. *J. Stmos. Sci.* 26: 182-185.

[14] Bennett, J. R. and Young, J., 1971. *Mon. Weath. Rev.* 99: 202-214.

[15] Cui, M., 1995. *Chi. J. Oceanol. Limnol.* **13**(4): 303-309.

① 赵永平、陈永利, 1995。中纬度海气相互作用与短期气候变化和预测, 待刊。