

1971—1972年冬季大气与海洋变化的一些客观预报实验

Jerome Namias

引 论

1971—1972年冬季与过去14年的冬季在很多方面有所不同。例如1958—1971年间几个冬季，美国及其毗邻区域在东部以比常年寒冷为主，在西部则比常年暖和〔1〕，而在1971—1972年冬季则相反。图1表示 Atlanta 站温度变化情况，这个站的纪录是均一的，并能代表美国东南部。1971—1972年冬季每个月天气特点的细节，文献〔2〕，〔3〕，〔4〕已作过分析。

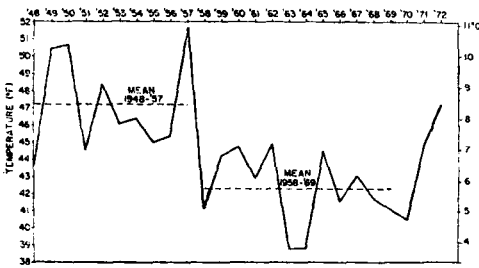


图1 Atlanta 历年冬季平均温度

同时，北太平洋海面温度（简称 SST，下同）型与 60 年代比较也有急剧的变化。60 年代冬季的特征是在美国西海岸近海水温较暖，太平洋中部水温较冷；而 1971—1972 年冬季在美国西海岸近海则是较冷的水温，在北太平洋东部则是较暖的水温。Namias 作过关于 1958—1970 年间各冬季北太平洋大范围 SST 型与大气流型的详细描述〔5〕。

本文目的是把大范围 SST 型与导致这种情况（包括 1971—1972 年冬季）的大气流型连系起来，并叙述控制海洋和空气两者型式变化的简单模式。

在讨论海-气的相互作用时，出发点是可以任意选定的，这里我们将从北太平洋的 SST 型开始谈起，这样做的原因之一，正如本文（以及作者先前的论文）所指出，长期天气预报的关键乃在于搞清楚 SST 型。

北太平洋的 SST 距平

1971 年秋季和 1971—1972 年冬季 SST 对 20 年（1947—1966 年）平均值的距平是按 5° 的方格计算的，



图2 1971年秋季海面温度与1947—1966年平均值的偏差(°F)

小于 -1°F 的地区用斜线表示，
大于 $+1^\circ\text{F}$ 的地区用点区表示

如图 2 和图 3 所示, 从秋到冬的距平变化如图 4 所示。这些图的突出现象是暖中心的东移(约 18 个经度)和加强, 以及西海岸附近冷区向夏威夷方向的扩大。如各月 SST 距平图所表示(图略), 冬季 SST 型的演化似乎是有次序的和渐变的过程。图 5 中三个有代表性地点 SST 距平的变化即是其例。值得注意的是, 异常增暖趋势早在 1971 年 6 月就开始出现在 40°N 、 165°W , 直到 9 月还停留在 45°N 、 140°W , 此时在 30°N 、 130°W 已开始出现异常冷却现象。

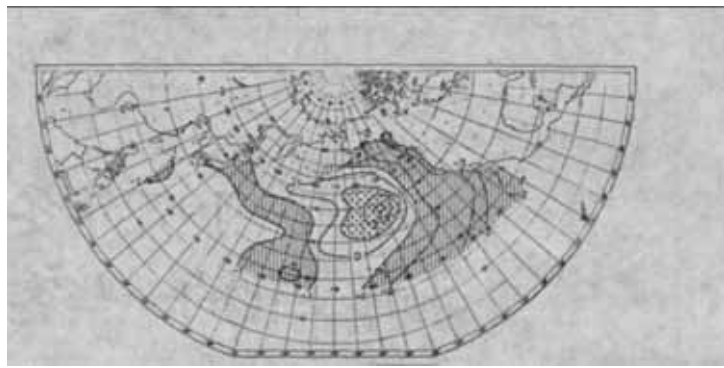


图 3 1971—1972 年冬季海面温度与 1947—1966 年平均值的偏差 ($^{\circ}\text{F}$) 说明同图 2



图 4 1971 年秋与 1971—1972 年冬海面温度距平的变化 说明同图 2

的位置与实测的情况很符合(图 3)。特别要说明的是, 在秋季形成的趋势场, 从秋季到冬季一直明显地保持相似(图 4)。故 1971 年秋季对于确定其后的 1971—1972 年冬季的 SST 型来说具有重要的预报信息。这种运动学处理, 虽突出缓慢演变的趋势, 但却未说明为什么会出现这样的演变。为探讨后一问题, 在下面考虑热交换和热平流的相对重要性。

冬季 SST 距平的物理原因

在拉约拉(La Jolla)的国家海洋渔业服务台用 Johnson 的方法, 每月计算海-气热交换的各分量, 在计算中把潜热和显热的损失、日射和反射等均考

由于 SST 型从秋到冬的演化具有明显规律性, 因此可以用运动学方法加以处理。为此, 我们将秋季趋势, 即 11 月减去 9 月的 SST 距平的差值加在秋季平均 SST 型上, 如图 6 所示。从这两个月趋势的等值线和秋季 SST 的距平场, 可以计算个别特征区(如暖水区)的位移, 其作法和天气学中的气压场与气压趋势场的作法相同〔6〕。图 6 中的箭头表明这样的运动学计算: 箭头表示在假设没有加速情况下暖水区三个月的净位移和纬向

位移分量。所计算的暖水区的

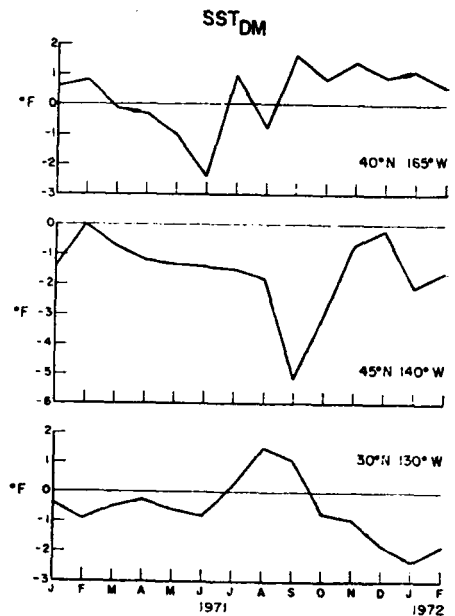


图 5 逐月平均海面温度距平

在内〔7〕。由该台人员提供了1971年12月和1972年1—2月净热交换量 Q 及其距平的资料。利用这些 Q 值,我计算冬季穿过此面失热及得热的距平的情况。然后假定在整个混合层中存在均一的温度交换条件下,计算了相应的海面温度距平。由于在1971—1972年冬季缺少混合层厚度的实际纪录,所以近似地用Robinson和Bauer最近求得的气候平均值来代替各层的实际状况〔8〕。在 180° 以东到 120°W 之间与 20°N 以北的大部分区域,冬季平均混合层厚度约100米,而在加州海外减到60米。

这种热交换计算的结果,以温度距平表示出来,如图7所示。比较计算值与实测的SST距平值(图7和图3),在整个混合层内平流与交换显然起了重要作用。这一结论在所观测到的暖水区附近(计算表明该处水区有热量损耗)和 $30^\circ\text{—}40^\circ\text{N}$ 、 $160^\circ\text{—}180^\circ\text{W}$ 之间以及其它距平符号相反的地区特别真实。另一方面,在夏威夷和加利福尼亚州之间与 20°N 、 180° 处所观测到的冷却现象也与热交换计算相符。

可是,由于缺少混合层厚度的纪录,所以不能对这方面进行分析。无论如何,我们将看到,平流是起支配作用的。由于SST距平等值线在很多区域中与北太平洋平均洋流圈是正交的,所以实验可根据下列假设:对于任何海洋水块SST距平是守恒的,它简单地沿平均洋流输送。把有输送作用的洋流作为气候平均值(图略),把它应用到图2的SST距平上,虽然看来这是个天真的设想,如果季节变化是按常态进行的,而距平型又很强大并对大范围是一致的话,就可作为平流变化的第一近似值。至少后一要求对我们的情况是适合的(参阅图2和图3)。本文将秋季的SST的初始距平图改换为另一种形式(图略),新的SST距平型的预报是以15天间隔直到一季(90天)。

其预报结果表明: 1) 暖水区向东移动17个经度(实况是18个经度), 2) 暖距平区轴线方向,(零值线)从西北-东南向变为主要为南北向, 3) 冷距平向东移动时, 暖水区后的冷水区是在加强的, 4) 约在 20°N 、 180° 的小冷区向西南移动。

对于暖水区强度增加 $1\text{—}3^\circ\text{F}$ 和从夏威夷向东和向西北直到海岸一带的冷距平的发展都没有预报出来。第一个失败是一切单纯距平平流系统所固有的。与流体的涡度平流一样,拉格朗日方



图6 1971年秋运动学图
实线是3个月的海面温度距平等值线,虚线是11月与9月距平的差值,趋势等值线按 2°F 间隔画,斜线区和点区分别代表趋势超过 $+2^\circ\text{F}$ 和 -2°F 的区域,箭头是暖中心三个月位移



图7 1971—1972年冬季由于海-气交换所造成的混合层海面温度距平变化($^\circ\text{F}$) 说明同图2

法(Lagrangian method)只能估计 SST 距平的重新分布,而并不能估计距平的产生或加强。第二个失败即未能报出东太平洋冷距平,表明气候平均洋流速度太小,以致不能将冷距平海水带到这样偏南的地区。虽然这里有由距平热交换(图7)所引起的冷距平(1—2°F),但这个冷却的强度不够,也没有伸展到整个负距平区域。我倾向于设想,在这种特殊的秋冬季节,加利福尼亚洋流比正常情况有所加强,因此产生了负距平。这种设想部分地是受以下事实的启发:即由于暖水区向东位移与随之而产生的东西方向的 SST 梯度的加强,新的密度场将驱使海水流向海岸,而地球自转偏向力则将助长向南流的加利福尼亚洋流。可庆幸的是1972年3月渔情公报中登载根据一些宝贵的海水温度计观测资料所作的两个温度剖面图^[9],使作者得到流向东南方向剖面的加利福尼亚洋流“大于以往年份”的结论。

看来平流方法好象过份简化了问题,但事实上它却表明了,在1971—1972年冬季围绕太平洋洋流圈的单纯平流在形成 SST 距平型中起了主要的作用。下一个需要研究的问题是 SST 型对大气可能有的反馈过程和大范围的大气流型的演化。

海气相互关系

如前所述,1971—1972年冬季的特点是大范围天气与环流距平与以往14年是相反的。东部是一个温和的冬季(特别在12月和1月),而西部部份地区则比常年要冷。这个实况在图8右方以三级系统表示出来。相应的冬季降水型也在图8上用三个等级分别表示出来。基本上美国东半部偏湿,西南部很干,而西北则很潮湿。在加利福尼亚州南部的干旱是这样的显著,

1—3月的总降水量在圣地亚哥只有0.17吋,在洛杉矶只有0.13吋,这样的新纪录,估计其出现机率为 $\frac{1}{1700}$ 。

导致这种700mb面季平均环流型及其距平表示在图9上,由该图可明显看出,在东太平洋和百慕

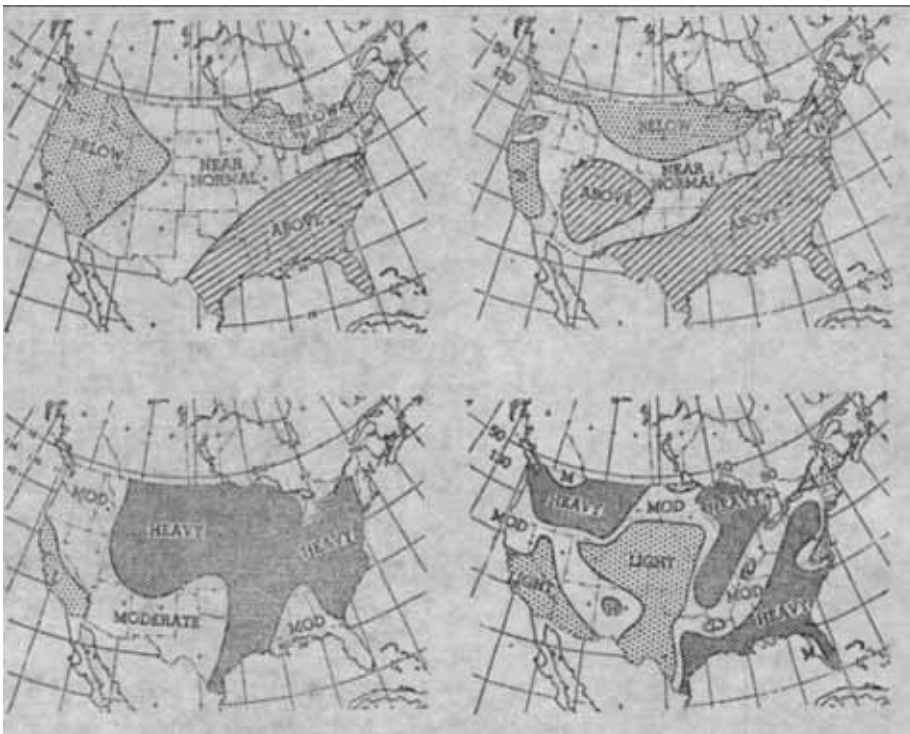


图8 1971—1972年冬季温度距平实况(右上图)与降水型(右下图),与NOAA中期预报处1971年11月23日所作的实验预报(左图)。温度和降水均分正距平、正常、负距平三级



图9 1971—1972年冬季700mb面等高线
(实线)和等距平线(虚线)

大高压都有强大的正距平。例如，在东太平洋的210呎的距平值约等于该地点22年纪录冬季平均值的标准差的1.3倍，而百慕大附近的160呎距平则为标准差的2倍。后一距平和其附近的等距平线意味着从墨西哥湾的暖源区有多于常年的气流流向东方，而太平洋距平等值线表明有更多的冰洋与极地空气流入最西部和北部平原。降水分布一般说来与这个流型也是符合的，当然，如果考虑到冬季平均地面天气图，效果将会更好。

东太平洋和西太平洋的对流层中部高度的同时上升是大家所熟知的一种遥间关系^[10]。

例如，图10是O'Connor所作的一张概率等值线图^[11]，它表示当 50°N 、 150°W 地区有正距平的情况下，700mb高度距平的符号的出现概率，从该图可见，西大西洋和东太平洋反气旋的变化常常是一致的(其间相距一个整罗斯贝波长)。当太平洋反气旋强烈向北发展时，在东部西南气流的距平增加，在西部则出现相反的偏北气流距平。

以上所述大都是天气和环流现象的相互关系和描述，而不是解释。而要对冬季东太平洋和西大西洋反气旋的发展和维持进行满意的物理解释，则还需要在数值模型化方面进行多年耐心的努力。在寻求解决这一问题的途径时，我认为大气和海面的相互作用乃是很重要的因素。下文就想用大量的观测资料和统计指标来支持这种设想。

大气预报模式的实验

大范围大气型和海面的基本热力特征之间有着相关关系，这个假定目前已为大家所接受，这就可以用同期的海平面气压型来详细说明海面温度型，或者反过来用同期的海面温度型来说明海平面气压型。这种说明可以用准物理的方法或统计方法^[12, 13]。统计方法是采用多元逐步回归(筛选)，从同期的海面温度型来说明海平面气压型。所用的资料是 20°N 以北北太平洋以 5° 为间隔的20年资料(1947—1966)。在冬季海平面气压(SLP)距平作为SST距平的函数方程中取前4项，可以计算方差的45%。由于SST距平型相对于大气变化是非常缓慢的，有很好的持续性，故使用秋季SST距平作为回归方程的输入，即可估计出1971—1972年冬季的SLP型。预报结果如图11所示。将预报(图11)与实况(图12)作一比较，气压分布(实线)估计得很准。阿留申切断低压、东太平洋高压和夏威夷附近的低纬槽都预报出来了。预报的距平值与实测的距平值也是相近的，但两者在位置和强度上有些差别。看来最重要的一点是在于正确地预报出了与北太平洋高压脊的延伸相联系的

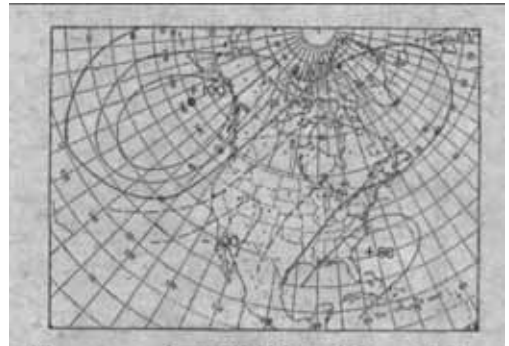


图10 700mb距平符号与 50°N 、 150°W (冬季)处距平符号相同的概率等值线图 等值线有三种: 50% (粗实线)、70%、90%

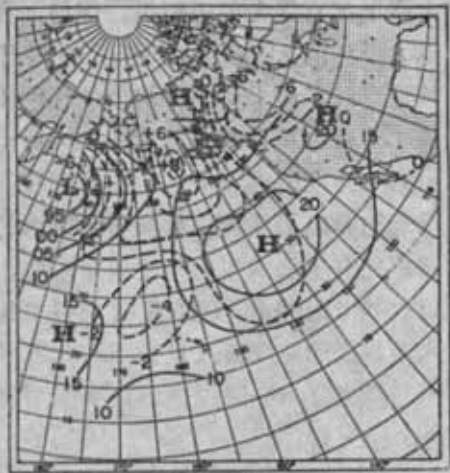


图 11 1971—1972 年冬季海平面气压 (实线) 和偏差等值线 (虚线) 的客观预报

工作中已提出过^[1, 14]。但大气究竟是如何受到 SST 梯度的影响呢？也许由 SST 梯度产生的热成风的变化是一个原因。为了估计这种作用的大小，分别计算了 20 年 (1947—1966) 平均的和 1971—1972 年冬季的热成风 U 、 V 分量。然后把实际海平面和 700mb 图上的分量与计算出的热成风距平 (假定 SST 距平延伸到 700mb) 作一比较，二者相关很好 (图略)。这两种方法都表明约在 $160^{\circ}W$ 以东为热成风偏北分量距平，约在 $160^{\circ}W$ 以西为热成风偏南分量距平。其量级有时大于 2 米/秒，和 20 年平均经向热成风一样大。当 SST 型有很大的东西向梯度时，就能通过热成风的机制影响气流。

此外还作了一个类似的实验，首先从 SLP 20 年平均值加上由 SST 距平得出的厚度计算 1971—1972 年冬季的 700mb 高度，然后用 SLP 距平实况值加上由正常 SST 值得出的厚度来计算这个高度。这两种计算所得的 700mb 距平都与实况很相符，而第二种更好些。最后，假定 1971 年秋季标准化 SLP 距平 (距平除以标准偏差) 在整个冬季维持不变，且假定冬季的 SST 型可以由上述的方法进行预报，这样，就作出了 700mb 试验预报，如图 13 所示。从秋到冬 SLP 标准化距平维持不变性的原则如果能够适用，也就意味着海气交换过程从 1971 年秋到冬是一直维持着的，并有季节性的增强。这个趋势实际上在秋季的运动学 SST 图 (图 6) 上已可以看出来。

作者和 NOAA 天气服务局的中期预报处的同事在 1971—1972 年冬季及以后一段时间里做了以上工作，并且还早在 1971 年 11 月即用上述一

强正距平，因为正如早先所指出的，这与下游的美国上空环流型的建立很有关系。如 SST 冬季分布能预报出来并作为方程的输入，那么，方程的使用情况将会更好。在这种情况下，用冬季 SST 的实况 (图未绘出) 并不会改进 SLP 的估计结果。

虽然所用的是统计模式，但其中也有一定大尺度物理学的含义。例如，从图 2、图 3 可看出：1971 年秋季和冬季的东西向 SST 距平梯度可在东北太平洋的很多地区观察到。为了与实际的冷距平一致起见，关于 SLP 预报的 SST 输入资料要求一个相似的从北向阿拉斯加海湾及更南输送的大气流型。冷水区西部的暖水区是与近地面气流的東西向距平分量相联系的 (在该区域西风气流递减)。这些合理而明确的结论在早期的工



图 12 1971—1972 年冬季海平面气压 (实线) 和偏差等值线 (虚线) 的实况

一些基本概念和工具，对该年的冬季作了一个试验性的季节预报。温度及降水的预报结果和实况如图 8 所示。温度预报比降水预报稍好些，这和以往温度预报评分高于降水预报的情况是一致的。本文所述客观预报方法增加了人们对温度预报的信心，也改善了降水预报的前景。

气候状况可能的长期变化

由于1971—1972年冬季和以往14年相比，气象和海洋方面都出现一些反常现象，这就提出一个问题，即在70年代中是否将有新的特征出现。而目前的预报技术尚不能作出这种预报，但无论如何，还是有一些很有趣的事实，指出了冬季天气型正在发生长期变化：

1. 北太平洋 SST 距平型和60年代极不相同。SST距平型是在1970—1971年冬季真正发生改变的，新的型（中太平洋暖，西海岸冷）在1971—1972年的冬季变得愈明显。

2. 1971—1972年的冬季海平面气压和对流层中部高度距平，在北美及其邻近海面上亦反常。

3. 美国的温度距平型反映了环流的改变。

上面这些现象是相互依存的，不能把它们分开来各自单独地用以证明10年变化。对广大地区来说，第一点所述SST距平的改变也许是气候变化的最有力的指标，这是因为一个新的SST型一旦产生，就有很强的持续趋势，并在下一个冷季再现^[15]。SST型距平从一个季节到下一年同季节的持续性指标如图 14 所示。图上绘出了SST距平型隔年同季的相关。基本资料是北太平洋从1948—1972年冬每一季节按 5° 网格计算的。图14约包括 9×10^6 次船舶观测的结果。

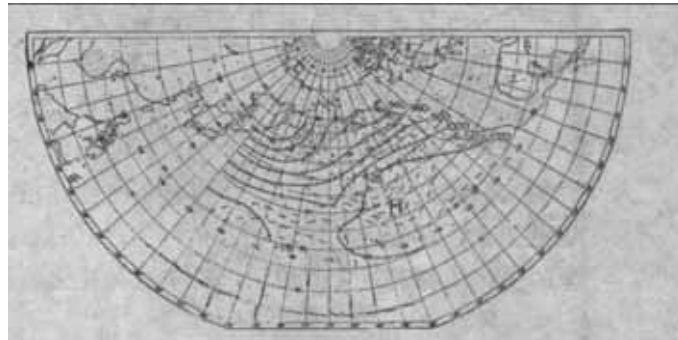


图 13 1971—1972 年冬季700mb等高线（实线）和距平（虚线）的试验预报

除了个别例外，图14显示了隔年同季节有相当好的持续关系。持续关系被破坏的最长期间是1957—1958年，那时有一个新的SST型形成。其它的负值表示了失败，这种失败是由于变化没能维持一个足够长的时期或只表示了浅水的的变化不表示深水的的变化。当改变不出现在冬季的两个相邻季节，这时斜温不象冬天那样深。第二种情形就更有可能。1970—1971年两个冬季之间的负值标志着气候状态的一个主要变化。它与1957—1958年的负值在强度上（而不是在持续时间上）相同，并出现在斜温最深的时期（冬天）。这种中断可能是暂时的，并不是新状态的标志，或仅是一个新状态的前兆，象1955年秋和1955—1956年冬季那个负值一样。气象学家和海洋学家期望能作出更明确的结论的时代将到来。

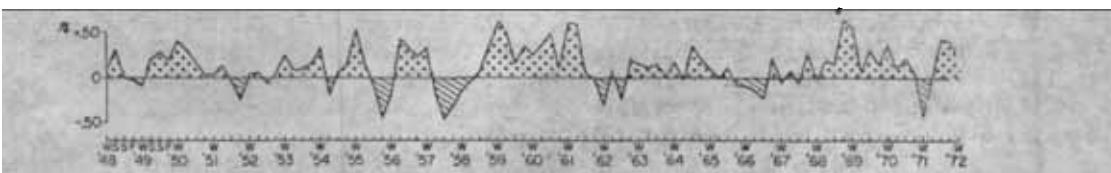


图 14 北太平洋海面温度距平型的隔年同季节的相关

结 束 语

1971—1972年冬季北太平洋和北美的大气环流和以往14年冬季大不相同。这个变化和北太平洋海面温度距平型同样明显的改变有关。由于北太平洋流圈周期的平流输送,1971—1972年型(西海岸冷,中部和东部太平洋暖)从秋季形成,发展为冬季型。从秋天SST距平的运动学计算指出,从秋到冬有一个缓慢的有次序的发展过程。用平均表面洋流作为距平荷载者的拉格朗日计算方法看来已抓住了冬季型的本质特征。除了夏威夷和加利福尼亚之间的地区外,热交换对冬季SST距平的发展是起了一些作用的,有时是相反的作用;但即使在夏威夷和加州之间的地区,加速的加利福尼亚洋流对冷距平的形成也是有作用的。由于SST等值线大部与北太平洋流圈的主洋流正交,所以这是一种特殊情况。

冬季SST距平型要求洋面上空大气环流的配合。使用前20年资料样本所得出的以海面温度型来说明海平面气压型的回归方程。即可预先看到所观测到的两者之间的反映。海洋向大气反馈的物理机制,在这个情况下,由于水面热供应距平不同,使等压面产生倾斜(流体静力学的)而表现出来的。

对季节大气环流进行一些补充的预报,其中包括标准化距平的持续性和SST对其上空气层的影响,则需要更高的技巧。

最后,将1971—1972年冬季和前14年的情况作了对比。对比结果是:1)美国温度型(1971—1972年东部暖而西部冷)和以往相反,2)北太平洋SST型(西海岸近海冷,中太平洋暖),和以往相反,3)东太平洋反气旋1971—1972年较强大,而在60年代中则较弱。

这些因素,尽管他们间是相互依存的,但仍意味着70年代将有新的气候状态发生的可能。SST型的变化给我们很大的启示,看来这种变化将持续很多季甚至多年。

参 考 文 献

- [1] Namias, J., 1970, *Science*, 170, 741—743.
- [2] Dickson, Robert R., 1972, *Mon. Wea. Rev.*, 100, 239—244.
- [3] Wagner, A. James, 1972, *Mon. Wea. Rev.*, 100, 322—328.
- [4] Taubensee, Robert E., 1972, *Mon. Wea. Rev.*, 100, 411—416.
- [5] Namias, J., 1972, *Proc. 20th Nobel Symposium*, Gothenburg, Sweden, Almquist and Wiksells Boktryckeri, Uppsala (in press).
- [6] Petterssen, S., 1956, *Weather Analysis and Forecasting*, Vol. I. 428 pp.
- [7] Johnson, J. H., 1965, U. S. Dept. of the Interior, Fish and Wildlife Service, *Spec. Science Reprint. Fisheries No. 503*.
- [8] Robinson, M. K., and R. A. Bauer, 1971, Monterey, Calif., *Fleet Numerical Weather Central*, 96 pp.
- [9] Laurs, R. M., 1972, *Fishing Information Bull.*, No. 3, 17 pp.
- [10] Namias, J., 1953, *Meteor. Monger.*, 2, No. 6, 83 pp.
- [11] O'Connor, J. F., 1969, *ESSA Tech. Rept. WBIO*, 103 pp.
- [12] Clark, N. E., 1967, Ph. D. thesis, M. I. T., 148 pp.
- [13] Namias, J. and R. M. Born, 1970, *S. I. O. Reference Series 72-1*. University of California San Diego, Scripps Institution of Oceanography, 47 pp.
- [14] Namias, J., 1970, *J. Geophys. Res.*, 75, 565—582.
- [15] Namias, J., and R. M. Born, 1970, *J. Geophys. Res.*, 75, 5952—5955.
- [16] Stidd, C. K., 1954, *J. Meteor.*, 11, 202—213.

译自美国《应用气象杂志》11卷8期(1972年,12月)

(张家诚 赵溱译 史国宁校)