

太阳活动与北半球副热带高压强度的耦合振荡

徐 群 金 龙*

(江苏省气象科学研究所)

提 要

近28年(1954—1981)逐月太阳黑子数和北半球500hPa各海洋副高面积指数存在着十分显著的后延1—3年的高相关。后者的功率谱分析显示出存在着明显的11和22年振动,且和太阳活动相应的周期很好地耦合。西太平洋副高面积(强度)指数最显著的周期为11年,其次才是受赤道东太平洋海温影响的3.67年振动。

一、引 言

近年来,随着国际上短期气候变化研究的迅速发展,日-地关系的研究也再度活跃起来,在物理机理上论点很多,但作为基础的严格统计工作并不多。Pittcock 据此有全面否定日-地关系之论^[1]。作为太阳活动研究专家的 Eddy 也承认:“在许多研究工作中所提出的太阳活动与天气的关系是依据不充分的统计样本得出的”^[2]。在近两年工作中,我们发现太阳活动和次年夏季西太平洋副高面积指数、强度指数都有较高的正相关联系^[3]。为了更严格验证这种关系,如今采用按自然时间顺序排列的逐月副高指数和逐月太阳黑子数(W)进行大样本($N=336$ 月)的交叉谱计算。计算发现 W 和 500hPa 北半球各海洋副高面积指数(H)都存在着稳定而可靠的密切联系, H 的各功率谱图上都存在显著的11和22年振动,从而揭示出太阳活动对低纬大气环流具有十分显著的影响。

二、资 料

副热带高压面积指数和强度指数都能从不同侧面较好地反映副热带高压强度的特征^[3]。为此,我们采用中央气象台长期预报科所整理的历年逐月西太平洋副高面积指数和强度指数以及他们确定的逐月西太平洋副高西伸脊点经度(LWR)、脊线纬度(LRC)和

1984年4月16日收到,6月27日收到修改稿。

* 余丰宁(江苏省气象科学研究所)和曲维政(山东海洋学院)参加过部分计算工作。

1) 在月平均500hPa高度图上,按所规定的经度范围内统计 10°N 及以北的所有 ≥ 588 位势什米的网格点数称为面积指数。各网格点上 >587 部分的以位势什米为单位的累积值称为强度指数。

588 线北界纬度 (NB) 等分别组成时间序列进行谱分析, 同时我们整理了东太平洋区 (175—115°W)、北大西洋区 (0—80°W) 和北半球副高总面积指数。由于冬半年各月东太平洋区 500hPa 层高度值很少达到 588 位势什米, 为此, 在该区降低标准, 选取 10°N 以北 ≥ 586 位势什米的格点数作为其面积指数。

另外, 考虑到低纬度高度资料的质量问题, 确定: (1) 统一选取近期质量较好的 28 年 (1954—1981) 资料, (2) 根据北半球逐月 500hPa 图上资料质量较好的 20°N 及以北地区高度值作出北大西洋区 (0—80°W) 和北半球副高总面积指数, 将上述各种资料的时间序列 (28 年, 336 个月) 和逐月太阳黑子相对数 (瑞士苏黎士天文台资料) 分别计算交叉相关和一、二维谱。

考虑到副高面积 (强度) 指数的逐月序列中存在着显著的季度变化, 为消除此种影响, 对这部分资料按月进行标准化处理:

$$\Delta H_i = \frac{H_i - \bar{H}_i}{\left(\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H}_i)^2 / N \right)^{\frac{1}{2}}}$$

ΔH_i 为标准化后的新序列, H_i 和 $\bar{H}_i$ 分别为某月原始值及该月的 N 年平均值。

三、交叉相关

近 28 年 (1954—1981) 太阳黑子数 (W) 和各副高指数 (H) 的交叉相关计算, 分别

表 1 太阳活动和各副高指数的高相关 (信度 0.001) 时段分布

W 和下列各副高指数	正 相 关			负 相 关		
	t_R	T_M	R_M	t_R	T_M	R_M
NH	0—42	16 24—29	0.44 0.43			
NAH	2—51	29—30	0.49			
EPH	0—36 113—132	14—15 130	0.41 0.42	63, 66—67 76	76	-0.22
WPH ₁	0—29	16	0.31	61—66	65	-0.24
WPH ₂	0—28	16	0.32	62—65	65	-0.21
LWR				25—27	26	-0.19
LRC	33—59	45	0.25	126—127	127	-0.13
NB	30—34	33	0.20			

注: 表中 NH、NAH、EPH 顺次为北半球、北大西洋和东太平洋副高面积指数, WPH₁、WPH₂ 分别为西太平洋副高面积指数和强度指数, LWR、LRC 和 NB 的含义见文中

显示出 H 响应 W 变化而出现一系列不同滞的高相关。现将信度达到 0.001 的高相关月序 (t_R)、最高相关值 (R_M) 及其月序 (T_M) 列如表 1。

从表 1 可归纳出如下几点:

(1) 太阳活动与北半球以及各海洋副热带高压面积指数 (H) 都存在着从同期到后延 2—3 年左右信度达 0.001 的高正相关, 其中与北大西洋副高 (NAH) 的后延高正相关可持续到四年零三个月。

(2) W 与各副高指数的高相关极大值 R_M 出现时间 (T_M) 以 EPH 最早 (第 14—15 个月), 其次为 WPH_1 和 WPH_2 (均为第 16 个月), NAH 最迟 (第 29—30 个月)。

(3) W 对 LWR 、 LRC 和 NB 都有显著影响, 即太阳活动强, 西太平洋副高脊点偏西 (第 2 年 1—3 月), 588 线北界偏北 (第 2 年 6—10 月), 最后 (第 2 年 9—11 月) 是脊线偏北, 反之, 一切向相反趋势发展。

(4) EPH 、 WPH_1 和 WPH_2 均在滞后 5—6 年处出现达到 0.001 信度的负相关, 这反映出东太平洋副高和西太平洋副高强度都存在着显著的 11 年振动。

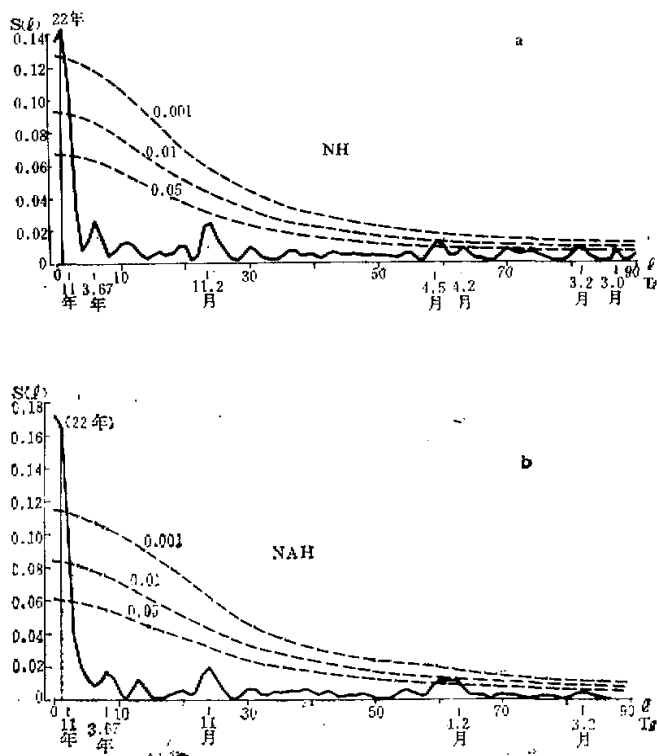


图 1 各副高
 I 为波序, T_I 为周期长度, $S(I)$ 为潜值,

四、一维和二维谱分析

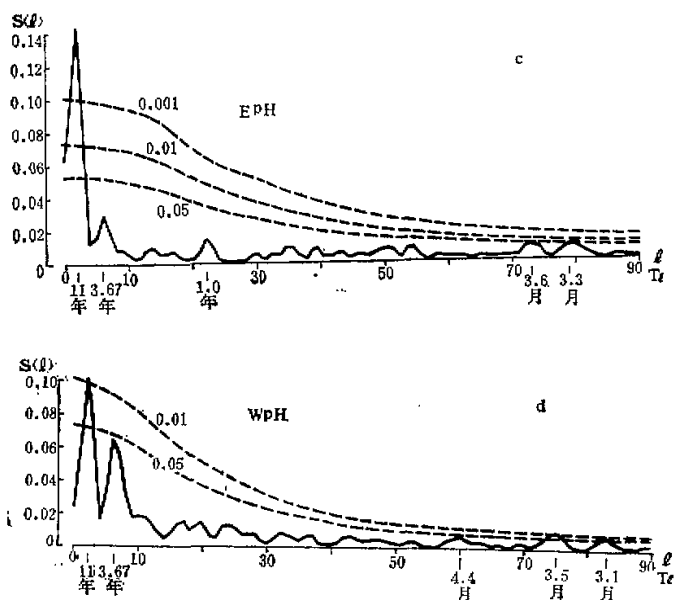
为了更好研究太阳活动与各副高指数 (H) 的关系, 我们进一步计算了各 H 值的一维功率谱, 并计算了 W 与 H 在各个谐波分量上的凝聚函数 (同调), 这样, 从功率谱图上可以知道在各 H 数的方差中起主要贡献的振动周期, 从凝聚谱分布上又可知道这些主要振动周期和太阳活动联系的密切程度。

各 H 数功率谱图列出如图 1a—1d, 并给出各谱峰达到不同信度的显著性检验临界值 (红噪声谱否定域上界), 现将谱图上最显著的主峰和次峰归于表 2, 并同时给出在这些主要振动周期处各个 H 和 W 的凝聚函数 (r_{WH}), 它能反映两组序列在各个谐波上相关的密切程度, 是类似于一般线性相关系数的无固次量。

从图 1 和表 2 可归纳出如下几点:

(1) 各 H 谱图上最显著的振动周期中都出现有 11 年周期, 其中东太平洋副高和西太平洋副高的振动周期中, 11 年周期的谱值最大, 尤其是东太平洋副高的 11 年周期最突出, 其谱峰甚至远超过信度 0.001 的显著性检验临界值 (图 1c)。

(2) 各 H 的 11 年周期, 除西太平洋副高西伸脊点 (LWR) 外, 都和太阳活动的 11 年周期有很好的耦合, 它们的凝聚函数都很显著, 均达到 0.01 信度, 其中包括西太平洋副高的脊线纬度 (LRC) 和北界纬度 (NB)。



指数的功率谱

虚线为达到不同信度的显著性检验临界值

表 2 各副高指数功率谱的主、次峰周期长度 (L) 及与太阳活动
相同周期的凝聚函数 (r_{WH})

		NH			NAH			EPH		WPH ₁	
一维谱	L	22	长趋势	11	长趋势	22	11	11	22	11	3.67
	信度	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.01	—
二维谱	r_{WH}	0.603	0.593	0.593	0.548	0.567	0.556	0.447	0.465	0.465	0.239
	达到0.01信度者	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

		WPH ₂		LWR			LRC		NB	
一维谱	L	11	3.67	22	11	长趋势	0.9	11	0.8	11
	信度	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
二维谱	r_{WH}	0.565	0.195	0.175	0.093	0.527	0.284	0.577	0.211	0.423
	达到0.01信度者	✓				✓		✓		✓

(3) 北大西洋副高、北半球副高和东太平洋副高都存在着显著的 22 年振动, 且和 W 的 22 年周期有很好的耦合关系 (表 2)。

(4) 东太平洋副高、北大西洋副高以至整个北半球副高面积指数的前 2—3 个最大谱峰都和 W 的相应振动耦合得很好 (表 2), 表中不仅有 11 年和 22 年周期, 北大西洋副高和北半球副高本身还存在十分显著的长期趋势, 且和 W 的长期趋势密切联系。

综上所述, 以东太平洋副高 (11 年周期最显著) 和北大西洋副高 (22 年周期和长期趋势最显著) 为典型的整个北半球副高面积指数在 11 年周期以上的所有低频波域都和太阳活动密切联系。

五、太阳活动和东、西太平洋副高指数长期振动的联系

图 2 清楚显示出太阳黑子数 (W) 和东太平洋副高面积指数 (EPH) 两者 11 年振动位相的一致性, 后者的三个主峰落后于 W 的波峰 1—1.7 年左右, 此种响应太阳活动的 11 年振动特征在 WPH_2 的长期演变曲线上也有所反映 (W 和 WPH_1 、 WPH_2 两序列在 11 年周期处的凝聚函数均达到 0.01 信度, 见表 2)。兹以赤道、120°—180°W 处 12 个格点上海温距平平均值代表赤道东太平洋海温距平 (ΔS_E), 确定凡 ΔS_E 在连续两月以上 $\geq +1.3^\circ\text{C}$, 即定为异常升高期, 它在 1954—1981 年内出现的年份和 Angell、Rasmusson 确定的 El Niño 年 (1957、1963、1965、1969、1972 和 1976) 完全一致^[4-5], 从图 2 可见 WPH_2 和 W 二曲线位相显著不一致的时期 (1963、1965、1972 和 1976 年) 无例外均和出现 El Niño 现象有关。这说明主要由于赤道东太平洋海温异常升高导致的 Hadley 环流加强现象能显著影响西太平洋副高强度变化, 使它在响应太阳活动准 11 年振动的基调上还迭加了 El Niño 现象影响产生的波峰。

协谱可以显示出在哪个周期处, 两组序列的相关对于同期 (零后延) 相关贡献最大。为此计算了 ΔS_E 和 WPH_2 的协谱 (略去高频), 其峰值正出现于 3.67 年周期处 (图 3 虚

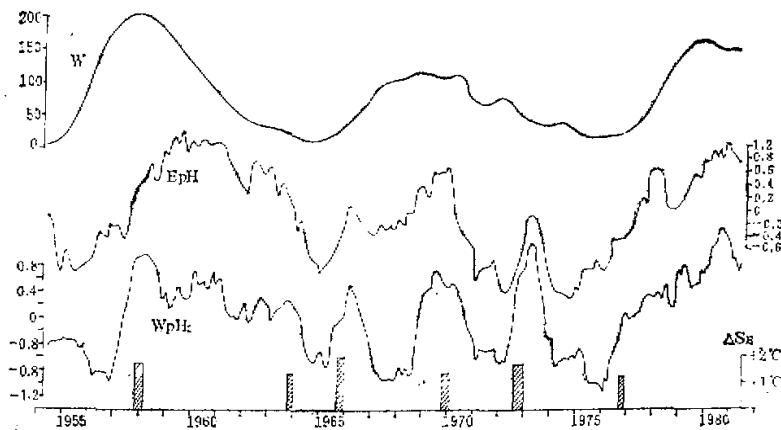


图 2 太阳黑子数 (W) 和东、西太平洋副高指数 (EPH 、 WPH_2) 的 12 个月滑动平均曲线

EPH 和 WPH_2 均为标准化距平, 下面的长方形斜阴影区显示出赤道东太平洋海温的异常升高期 (El Niño) 及其平均的海温距平 (ΔS_E)

线), 而 WPH_2 和 W 的协谱峰值却出现于 11 年周期处 (图 3 实线)¹⁾, 这说明控制西太平洋副高强度变化的两个主要周期 (11 年和 3.67 年) 分别起因于太阳活动和赤道东太平洋海温的影响。

地理所长期组曾对西太平洋副高面积指数作过功率谱分析, 他们算出了显著的 3.5 年周期^[3], 这和本文所得的 3.67 年周期接近, 却未能算出更重要的 11 年周期, 估计是由于他们所取的资料年代较短, 最大后延 $m = 100$ 个月^[3]。波谱分析技术在低频域计算的局限性使他们无法算出 11 年周期附近的谱峰。

在 El Niño 现象前后, 首先出现于南美西岸的海温正距平区会沿赤道逐步向西扩展并伸向赤道中太平洋^[5]; 此处年平均海温较高 ($\geq 28^\circ\text{C}$), 一旦其上再迭加西伸的正距平, 这意味着此高海温区的热塔——地区性 Hadley 环流会进一步增强, 从而能对西太平洋副高产生显著的加强作用。然而 El Niño 现象对其北侧邻近的东太平洋副高却影响较小 (图 2 上可见在 1965—1966 和 1972—1973 年, EPH 增长的幅度较小), 这是因为赤道东太平洋是冷水区, 其海温平均比赤道中—西太平洋偏低 5—10°C, 这一带海温即使剧升到 25°C , 也不足以产生深厚的对流^[6]。这样, 显著影响西

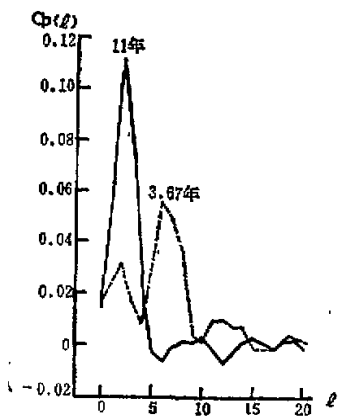


图 3 WPH_2-W (实线) 和 $WPH_2-\Delta S_E$ (虚线) 的两组协谱 $Cp(l)$ 分布, l 为波数。

1) WPH_2 和 ΔS_E 的协谱分布十分相似于图 3 (从略)。

太平洋副高强度的 El Niño 现象并未能有效地调制赤道东太平洋副高强度 (EPH) 的变化,从而使后者能够清晰地保持因响应太阳活动而出现的准 11 年周期特征。

不少作者强调赤道东太平洋海温变化对副热带高压强度的影响,但我们的计算表明太阳活动的准 11 年振动可能起着更重要的作用。

ΔS_E 的谱图显示出其首要的周期为 3.67 年(图略),但此周期在各副高指数的功率谱中所占谱值有很大出入(表 3),只有西太平洋副高的 3.67 年振动相对于其 11 年周期的

表 3 各副高指数两种周期谱值 (S) 的对比

S	$NH1$	WPH_1	WPH_2	EPH	NAH
$S(3.67)$	0.0259	0.0657	0.0531	0.0303	0.0085
$S(11)$	0.1059	0.1001	0.0764	0.1427	0.1050
$S(3.67)/S(11)$	0.245	0.656	0.695	0.212	0.081

谱值比具有一定的地位,在东太平洋副高和北半球副高总面积谱值中,3.67 年振动所起的作用很小,仅相当于 11 年周期谱值的 $1/4-1/5$,而在北大西洋副高 (NAH) 处,其作用已可略去。

六、结论和进一步讨论

(1) 近 28 年逐月资料的交叉谱计算表明:太阳活动和西太平洋、东太平洋以至整个北半球的 500hPa 副热带高压面积指数存在着基本上是同相的振动。各副高面积指数、西太平洋副高强度指数、其西伸脊点经度、脊线纬度和北界位置都存在着显著的 11 年振动。太阳活动强(弱),同期或后 2、3 年不仅副高面积(强度)指数增大(减小),且伴随着西太平洋副高脊点西伸(东退),脊线和北界偏北(南)。

(2) 如从太阳活动与各副高面积指数高相关极大值 R_M 出现迟早来判断,则以东太平洋副高响应最早(1 年后 2—3 个月),其次为西太平洋副高(1 年后 4 个月),北大西洋副高较迟(2 年后 5—6 个月),但其 R_M 值最大。就西太平洋副高各指数而言,则首先响应的是面积和强度指数(1 年后 4 个月),其次是西伸脊点经度(2 年后 1—3 个月),588 线北界(2 年后 6—10 个月),最后才是其脊线纬度(2 年后 9—11 个月)。

(3) 北半球各副高指数响应 W 的周期振动,从其周期类型看又可分为三类:

i) 11 年周期型。东太平洋副高的 11 年周期十分突出,其谱峰甚至远超过信度 0.001 的显著性检验临界值。

ii) 11 年周期加 3.67 年周期型。西太平洋副高受到太阳活动 11 年周期和赤道东太平洋海温 3.67 年周期的双重影响。

iii) 太阳活动复合低频振动型。北大西洋副高和北半球副高不仅有明显的 11 年周期,还存在着更为显著的 22 年周期和长期趋势。

(4) 太阳活动对各副高指数的影响(尤其是 11 年周期)是普遍存在的,而赤道东太平洋海温的 3.67 年周期的影响仅作为西太平洋副高谱图上的次峰而存在。因此就外在强

迫因子而言,太阳活动的影响是首要的。

(5) 太阳活动对北半球副热带高压带的最大影响区——东太平洋副高(11年周期型)和北大西洋副高(复合低频振动型)分别位于西半球的两大洋上,显然这和北磁极偏向西半球有关。

(6) 近500年台湾树木年轮宽度也呈现显著的11年周期,交叉谱分析表明:置信水平达到0.99时年轮宽度的11年振动与太阳黑子数(W)有关,但时间位相落后于 W 约1/4周期^[7]。Outi (1962)指出,台湾树木年轮宽度受附近的气压梯度影响,后者又和北太平洋高压强度有联系(引自[7])。这和本文所发现的太阳活动强,导致西太平洋副高强,脊点西伸的关系十分一致。

(7) 长年的历史资料表明,太阳活动峰年时期长江中下游梅雨显著^[8],多出现雨涝^[9]。如今看来,这和太阳活动强,以致西太平洋副高强,脊点西伸相联系。初夏偏强的西南暖湿气流和冷空气活动相交绥,促使长江中下游汛期多雨。

(8) 近年来的卫星探测表明太阳常数变化很小,年际变幅 $<0.1\%$,且此种小振幅波动与太阳黑子变化反相^[10]。因此本文所发现的太阳黑子数与副热带高压强度的同相振动是无法用太阳常数的变化进行解释的,太阳活动可能通过另一些途径(如大气机制)影响低纬以至全球大气环流的长期振动^[11-12]。有关此点尚待深入研究。

(9) 由于高空副热带环流资料不长,上述的一系列统计关系自然是很初步的;但(6)和(7)两点所引用的长年日-地关系资料充分支持本文的结果,从而在一定程度上弥补了本文的不足。总之,本文提供了一个值得深入研究的重要线索。

参 考 文 献

- [1] Pittock, A. B., 1978, *Rev. Geophys. Sp. Phys.*, Vol. 16, No. 3.
- [2] Eddy, A., 1982, Solar variability weather and climate.
(译载于“气象科技”, 1983年3期, p. 44-49).
- [3] 地理所长期预报组, 1977, 科学通报, 7期.
- [4] Angell, J. K., 1981, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, No. 2, 230-243.
- [5] Rasmusson, E. M and T. H. Carpenter, 1982, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 110, No. 5, 354-384.
- [6] Krueger, A. F. and J. S. Winston, 1975, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 103, No. 6.
- [7] Mori, Y., 1981, *J. Climatol.*, Vol. 1, No. 4, 345-353.
- [8] 徐群, 1965, 气象学报, 35卷4期, p. 517.
- [9] 吴达铭, 1981, 大气科学, 5卷4期, 376-387.
- [10] Eddy, J. A. et al., 1982, *Nature*, vol. 300, 689-693.
- [11] 徐群等, 1984, 气象科学, 1期.
- [12] Markson, R., 1978, *Nature*, Vol. 273, 103-109.

(下转 170 页)

A NEW METHOD OF DATA PROCESSING FOR THE MEASURED VERTICAL VELOCITY BY MONOSTATIC ACOUSTIC RADAR

Chen Yanjuan Lu Naiping

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

Based on the geometric acoustics and the law of acoustic refraction, an accurate formula for calculating the vertical velocity measured by monostatic acoustic radar under the influence of horizontal wind velocity has been derived. The vertical velocity caused by various horizontal wind velocities and acoustic antenna beamwidths has been estimated. Finally, comparing the calculated results with the data of observations obtained from the Institute of Atmospheric physics, Academia Sinica and the Boulder Atmospheric Observatory shows that they are rather consistent with each other.

~~~~~

## THE COUPLED OSCILLATION OF SOLAR ACTIVITY WITH THE STRENGTH OF SUBTROPICAL HIGH IN NORTHERN HEMISPHERE

Xu Qun Jin Long

*(Meteorological Institute of Jiangsu)*

There are high correlations between data series (1954—1981) of the monthly mean sunspot numbers and the monthly area indexes of subtropical marine highs at 500 hPa in the Northern Hemisphere, the former having a lead of 1—3 years. The power spectrum analyses of the subtropical high indexes reveal a significant 11- and 22- years cycle, coupling well with the same cycle of solar activity. The first prominent period in the area (intensity) change of the West Pacific subtropical high is 11 years, and the second is the 3.67- year period caused by equatorial sea surface temperature anomalies in the East Pacific.