

北太平洋中纬海区海-气热量交换 对其上空大气环流的影响*

赵永平

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 本文计算并分析了北太平洋中纬海区海-气热量交换的特征, 发现中纬黑潮海区的海-气热量交换与北太平洋上空长波的发展有着密切联系。研究结果表明: 在中纬海洋, 冬半年北方冷空气的强弱对海-气热量交换有着重要的贡献。本文以海-气热量交换值作为基本因子来讨论中纬海洋对大气的影晌, 比单用水温或气温更为合理, 并给出了中纬海洋海-气相互作用的一个简单的不可逆模式: 冷空气强(弱) → 海-气热量交换值大(小) → 经向(纬向)环流发展 → 冷空气强(弱) → ……。这过程一般在晚秋开始, 到夏半年环流调整为止。

近几年来, 海-气相互作用的研究已取得很大的进展, 特别在低纬赤道海洋与大气环流相互作用的研究方面获得了显著成果。中纬海洋面积宽广, 特别是大洋西部边界的北向暖流, 将海洋在低纬吸收的太阳辐射热能带到中高纬海区, 通过海-气界面, 海洋终年不息地向大气输送热量。研究表明, 这些海区海-气热量交换的异常, 对大气有一定的影响。但究竟中纬海洋对大气有多大影响? 这些影响是通过怎样的过程来实现的? 目前尚没有详细的研究, 已有的工作结果也不尽一致^[1,4]。本文试图寻求中纬海洋海-气热量交换与其上空大气环流之间的相关事实, 进而讨论它们之间可能的影响过程。

一、北太平洋中纬海域海-气热量交换的特征

Wyrki^[5] 用多年的平均水文气象资料, 计算了整个太平洋海-气交换平均分布, 指出沿黑潮流轴有一最大的海洋向大气输热区。为说明海-气热量交换的纬向分布, 取 35°N, 130°E—130°W, 计算其海-气之间潜热和感热交换值绘制如图 1。由图可以看到, 北太平洋西部, 特别是黑潮区域, 年平均向大气输热最多, 总输热量(潜热和感热之和)达 400 cal/cm²·d, 在 140°E 最大, 往东迅速减小, 180° 以东纬向变化很小。平均总交换值约 150 cal/cm²·d。西部海域的海-气热量交换平均值约为东部的两倍。

北太平洋中纬海域东西两部分海-气热量交换(感热)的年变化见图 2。图中用 33°N, 140°E 和浮标站 N(30°N, 140°W) 来分别代表大洋西部和东部的海-气热交换的变化特征。由图可见, 两者具有相同的年变化趋势, 冬季最大, 夏季最小, 但两者年变化的量值极不相同。在北太平洋西部, 冬季海洋给大气热量最多, 其值约 320 cal/cm²·d。夏季海洋从大气获得热量, 其值为 10 cal/cm²·d, 年较差为 330 cal/cm²·d。|北太平洋东

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1264 号。

收稿日期: 1983 年 11 月 25 日。

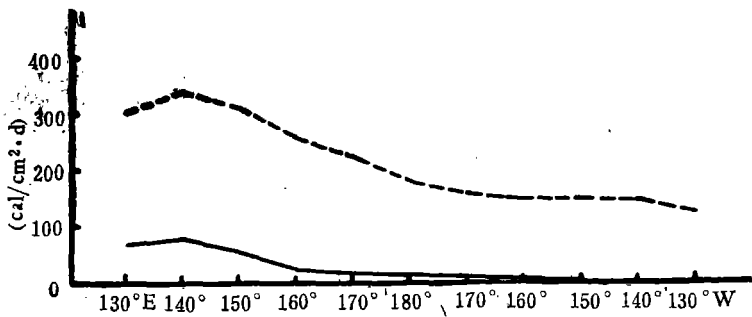


图1 北太平洋中纬(35°N)海-气热量交换的纬向分布($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$)
----- 潜热; — 感热。

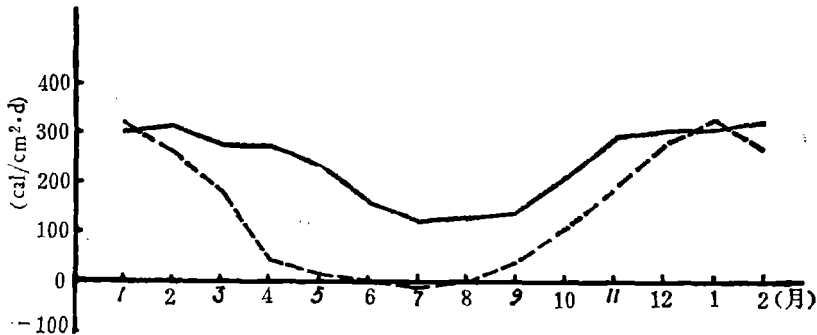


图2 北太平洋西部和东部海-气热量交换的年变化 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$)
-----西部; —东部。

部海洋终年给大气输送热量,冬季最大值为 $324\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$,夏季最小值为 $127\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$,年较差为 $200\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$,前者为后者 1.5 倍以上。

综上所述可以认为,西部海域(主要在黑潮暖流海域)在北太平洋中纬海域海-气热量交换场中,占有很重要的地位,因为该海域的海-气热量交换的量值与年变化都较东部海域大得多。可以预计,这一海域的海-气热量交换的变异对中纬大气环流可能有重要影响。

二、北太平洋中纬海域海-气热量交换对其上空大气环流的影响

经对 1963 年 7 月—1972 年 12 月计 114 个月的北太平洋西部海-气热量交换值逐月进行计算后,再取 $21^\circ\text{N}, 125^\circ\text{E}$; $25^\circ\text{N}, 125^\circ\text{E}$; $29^\circ\text{N}, 130^\circ\text{E}$; $33^\circ\text{N}, 135^\circ\text{E}$; $33^\circ\text{N}, 140^\circ\text{E}$; $33^\circ\text{N}, 145^\circ\text{E}$; $35^\circ\text{N}, 150^\circ\text{E}$; $37^\circ\text{N}, 155^\circ\text{E}$; $37^\circ\text{N}, 160^\circ\text{E}$; $37^\circ\text{N}, 165^\circ\text{E}$ 等 10 个站,计算其平均值。这些站正位于黑潮流轴附近,其平均值的变化可以代表西部海域海-气热量交换的特征。由于感热值量级较小,特别是在夏季,这里采用潜热输送值 (Q_E) 来表征该海域的总海-气热量交换。为消除年变化,将计算的逐月潜热值分别减去各月的多年平均值,从而得到逐月的距平值。为消除小的扰动,又对资料进行了 5 个月滑动平均。

北太平洋上空大气环流的特征采用该区上空纬向环流指数表示,读取 $25^\circ\text{N}, 50^\circ\text{N}, 140^\circ\text{E}$ — 140°W ,每隔 10 个经度的 500mb 高度值 (h) 按下式计算

$$I_z = \sum_{i=1}^9 h_{\varphi_{25}} - \sum_{i=1}^9 h_{\varphi_{50}}$$

由于太平洋上空观测资料稀少, 计算结果发现某些月份的纬向环流指数的时间序列很不规则, 显然这是资料误差所致。为消除误差, 首先将计算的环流指数点绘在图上, 根据环流的连续性, 对资料进行规律性校正后, 再进行距平滑动。从而获得滤去年变化及 5 个月以下小扰动的逐月距平值。

将上述结果绘制成图 3。由图可见, 两者呈明显的负相关; 其相关系数为 -0.45。本资料序列样本数 $N = 114$, 这一相关的信度远远超过 0.001。也即是说, 在北太平洋西部中纬海域, 当海洋向大气输送较正常为多的热量时, 太平洋上空纬向环流指数就减弱。这意味着大气长波的经向度加大, 槽脊发展; 相反, 当海洋向大气输送较正常为少的热量时, 北太平洋上空纬向环流指数就加强, 此时西风加强, 大气长波平浅。

为了解海洋与大气相互作用的过程, 我们又计算了两者的时滞相关(图 4)。图 4 横坐标零为两者同期相关, 大于零者为潜热对后期大气环流的相关, 小于零者为前期环流

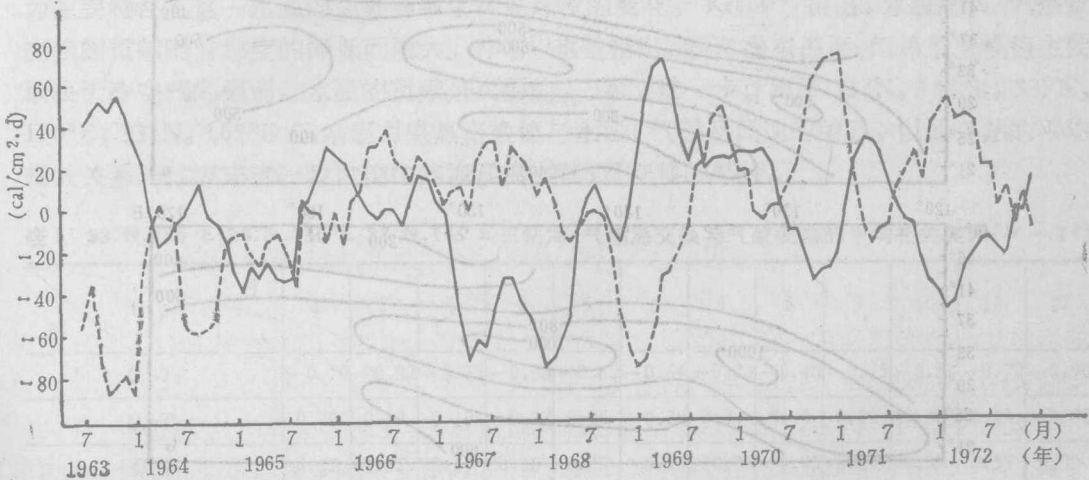


图 3 北太平洋西部中纬海区海-气热量交换距平值 (cal/cm²·d) 和纬向环流指数距平值(位势什米)的演变曲线
 -----海-气热量交换; ————纬向环流指数。

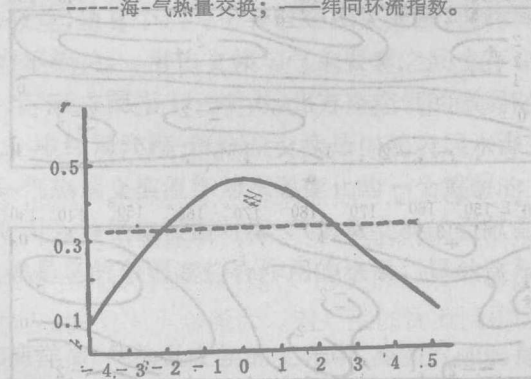


图 4 海-气热量交换与纬向环流指数的时滞相关
 (图中虚线为 0.001 信度线)

对潜热的相关。纵坐标为相关系数的绝对值，平行于横坐标的虚线为 0.001 信度临界值 ($r = 0.32$)。由图可见,两者同期的相关最好 ($r = -0.45$)。前期 1—2 个月大气环流对当月潜热和当月潜热对后期 1—2 个月的大气环流的相关也都超过 0.001 的信度。这一结果表明,前期 1—2 个月和当月大气环流的状况影响当月海—气热量交换的多少,而当月海—气热量交换的多少影响当月和后期 1—2 个月的大气环流的状况,两者均为负相关关系。

为进一步说明异常加热时的环流特征,我们选取两个典型月,其中 1963 年 11 月纬向环流指数为大的正距年,海—气热量交换值为大的负距年;但 1970 年 11 月恰相反,纬向环流指数为大的负距年,海—气热量交换为大的正距年。这两个月的海上加热场见图 5。由图可见,1963 年 11 月沿黑潮有一带状高值区,最大值在 $600\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 以上。1970 年 11 月,沿黑潮也有一带状高值区,但其最大值在 $1000\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 以上,远远大于 1963 年

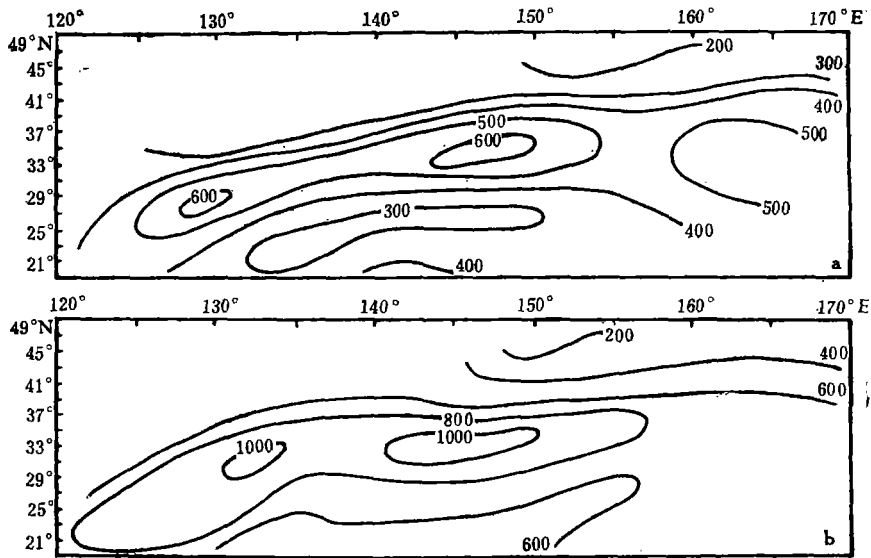


图 5 1963 年 11 月(a)和 1970 年 11 月(b)北太平洋西部海上加热场 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$)

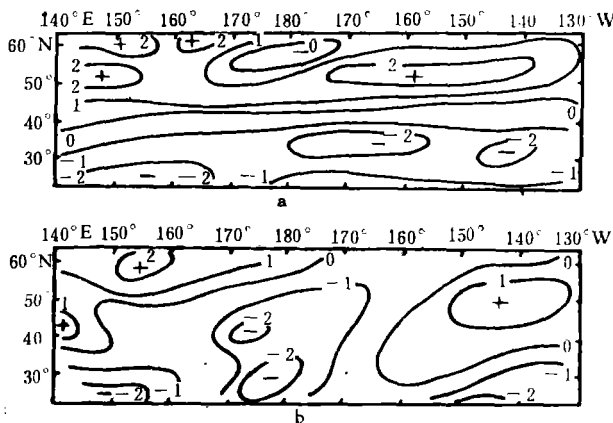


图 6 1963 年 11 月(a)和 1970 年 11 月(b)北太平洋上空 500mb 涡度场

11 月的值。图 6 为同期 500mb 涡度场。1963 年 11 月, 涡度场呈明显的纬向分布。45°N 以北为正涡度区, 45°N 以南为负涡度区, 这表明该月环流平直, 西风强劲。1970 年 11 月, 涡度场的主要特征是涡度的经向分布。太平洋中部的负涡度显著北伸, 其两侧为正涡度, 这表明此时大气环流经向度大, 太平洋中部高脊压向北隆起。

以上事实表明, 北太平洋西部中纬海洋对其上空的大气环流具有显著的影响。当海洋受热量多于正常年份时, 北太平洋上空纬向环流指数减少, 环流的经向度加大。当海洋受热量少于正常年份时, 北太平洋上空纬向环流指数加大, 环流平直。

三、讨 论

以下拟对中纬海洋的海-气相互作用的特性和过程进行初步讨论。

1. 中纬海洋海-气相互作用的特性

海-气相互作用主要是通过海-气热量交换来进行的, 已有的研究表明, 在赤道海洋, 水温的变化对该海区的海-气热量交换具有较大的贡献, El Niño 现象就是以水温升高为主要特性。这一水温的变异导致了沃克环流的变化。Kraus^[4] 指出, 水温对海-气热量交换的贡献随着纬度的降低而增大。作者^[1]也曾指出, 在冬季东海海-气热量交换值主要取决于冷空气的强弱, 水温的贡献是次要的。本文进一步计算了 33°N, 135°E; 33°N, 150°E; 33°N, 165°E 三站逐月感热交换值与水温、气温及风速的关系, 以此三站的平均相关关系为代表来进一步讨论中纬海洋海-气热量交换的特性。

表 1 33°N, 135°E; 33°N, 150°E; 33°N, 165°E 三站海-气感热交换与气象要素的平均相关关系(N = 14)

项	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_c - T_a$	-0.70	-0.82	-0.75	-0.33	-0.62	-0.64	-0.23	-0.40	-0.75	-0.50	-0.72	-0.90
$Q_c - T_w$	0.29	0.07	0.10	-0.32	0.06	-0.28	0.24	0.45	0.20	0.22	0.18	-0.02
$Q_c - v$	0.37	0.32	0.55	0.16	0.39	-0.13	-0.20	-0.05	0.34	0.33	0.55	0.39

以 0.01 为置信标准, 由表 1 可以看出, 海-气感热交换与气温的相关关系, 11—3 月期间最为密切, 其他月份较差, 虽有个别月份有较好相关关系, 但时间不连续; 各月感热交换值与水温及风速之间均不相关。潜热交换与气象要素之间也存在类似关系。这一结果说明, 在中纬海洋, 冬半年(主要指 11—3 月)北方冷空气的强弱对海-气热量交换有着决定性的贡献。实际上, 中纬海洋海-气热量交换是引起表层水温变化的主要原因之一。Jacobs^[5] 曾将海面的海-气热量交换值作为水温变化的一个重要的上边界条件来进行水温预报。夏半年(指 4—10 月), 各气象要素对海-气热量交换的贡献都不大, 可以认为, 在这段时间内海-气热量交换是各气象要素综合作用的结果。显然这与低纬海洋海-气热量交换的特性不一样。

综上所述, 在中纬海洋海-气热量交换的变化中, 冷空气强弱有着非常重要的贡献, 特别在冬季。在讨论中纬海洋对大气的影晌时, 应以海-气热量交换值作为基本因子来进行考虑。

2. 海-气热量交换对北太平洋上空大气环流的影响过程

黑潮海域正处于太平洋长波槽脊附近。根据长波理论,当槽前有异常多的受热时,有利于低层气旋和高空槽前高压脊的发展。相反,当槽前有异常少的受热时,则不利于高空槽前高压脊的发展。由于西风带大型环流的变化过程就是纬向环流的破坏和建立过程,因而纬向环流指数的强弱就反映了这一变化。当西风带槽脊发展时,纬向环流指数则减少;当西风带环流平直时,纬向环流指数则加大。由此,从理论上解释了北太平洋西部中纬海区海-气热量交换与北太平洋上空环流的负相关关系,即海-气热量交换大(小),则纬向环流指数小(大)。

本文仍用1963年11月和1970年11月500mb高度场和相应的海平面气压场来进一步阐明这一过程。图7为500mb高度距平形势,比较1963年11月和1970年11月的分布,可以明显看出,当海-气热量交换小于常年时(1963年11月),北太平洋西部和中部为正距平,其最大值为9位势什米,东部为负距平,最大为-12位势什米;当海-气热量交换大于常年时(1970年11月),北太平洋中部和东部为大的正距平,最大值为+19位势什米,西部为负距平,最大负值为-18位势什米。这两种距平场的分布表明,前者(西正东负)环流平直,后者(西负东正)环流经向度加大,尤其在太平洋中部和东部的高压脊加强。图8为相应的海平面气压场,两者比较,有以下几点差别:1963年11月,低压从中太平洋到北美大陆连成一片,表示气旋主要呈纬向活动;1970年11月,气旋的经向活动加大,此时大陆冷高压比1963年11月冷高压亦强;1963年11月,副高脊线偏南;1970年

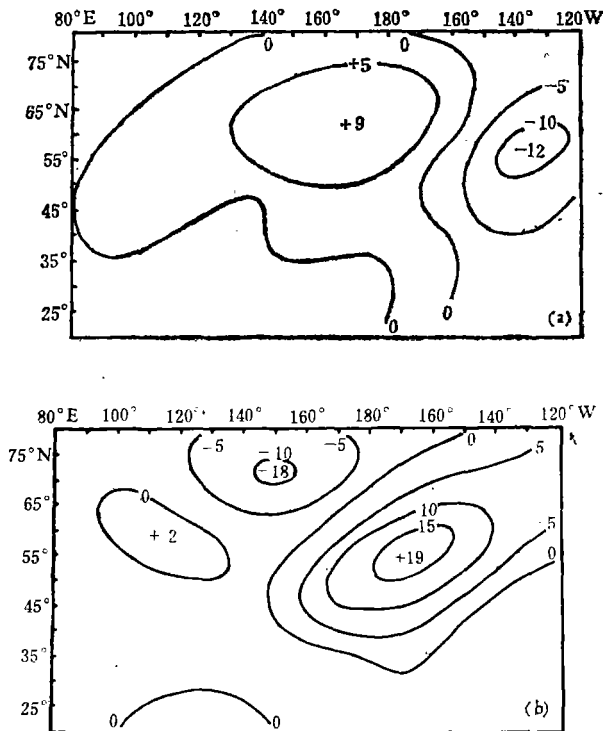


图7 1963年11月(a)和1970年11月(b)500mb高度距平场(位势什米)

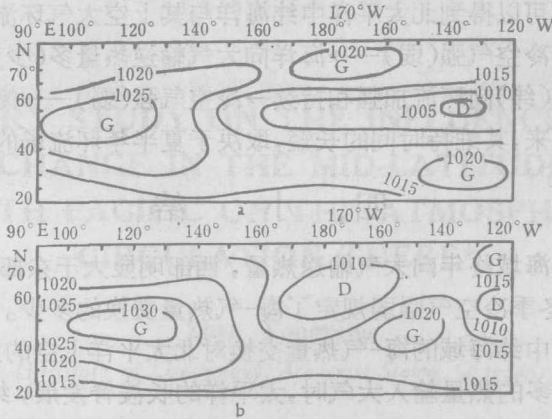


图8 1963年11月(a)和1970年11月(b)海平面气压场

11月,副高脊线位置偏北。显然这些分布与500mb高度场形势是一一对应的。

由此可以得出结论,海洋受热场的异常对大气环流确有影响。当黑潮海域海-气热量交换较常年为多(少)时,大气获得较常年为多(少)的非绝热加热,促使北太平洋高压脊的发展(减弱),海平面气压场也由此发生相应的变化。

关于海-气相互作用的时间滞后问题,已有不少研究,但结论尚不一致。Namias认为:北太平洋大气和海洋之间存在着明显的季节时间滞后;Kraus认为:时间滞后过长,就不可能产生海-气之间的共振,使相互作用减弱。Bjerknes也指出大尺度大气环流与赤道海洋输热的初始异常值之间的时间滞后很小,可以以日计算。本文的计算结果表明(图4),当月海-气热量交换与纬向环流之间相关关系最为密切,当月的海-气热量交换值对其后1—2个月环流和前期1—2个月环流对当月海-气热量交换都有着显著的影响。这种以同期相关最好的现象也可能是中纬海-气相互作用的另一个特点。究其相互作用的因果关系,可以设想,特定的西风环流场首先规定了海-气热量交换场,一旦大气获得异常的海洋热量输送后,就使原来的环流形势加强和维持,其后两者不断地相互作用。

由图3可以看到,热量交换场或纬向环流场一旦建立,往往可以维持较长时间。1963—1972年共发生12次转换过程,其中大于6个月的过程就有8次,大于10个月的有4次,最长的一次达25个月。统计其转换期,多发生在夏半年(10/12),发生在初冬(12月)仅2次。在一般情况下,北太平洋西风带长波槽脊的经向度加大,有利于冷空气加强和南下;相反,则冷空气位置偏北,强度弱。由此可以认为:冬半年,当冷空气较常年冷(暖)时,造成该海区热量交换异常强(弱),促使北太平洋上空长波的经向度加大(减小)和维持[对应的纬向环流指数低(高)],这一形势又进一步有利于冷空气加强(减弱)南下,从而形成了一个不可逆过程。这一过程一旦建立就会维持较长时间。夏半年,由于环流场发生转换,海-气热量交换场也随之发生变化。一旦新的环流场建立,北太平洋中纬海洋的海-气热量交换与其上空大气环流之间新一轮不可逆过程立即开始。由于这是一个不可逆的正反馈作用过程,当月海-气热量交换场对后期环流场及前期环流场对当月海-气热量交换场之间必然会存在较好的相关。从而解释了图4中前后两个月都有较高的可信度相关的事实。

综上所述,我们可以得到北太平洋中纬海洋与其上空大气环流相互作用的一个简单的不可逆模式,即:冷空气强(弱)→海洋向大气输送热量多(少)→太平洋的长波高压脊加强(减弱)即经(纬)向环流加强和持续→冷空气强(弱)→海洋向大气输送热量多(少)→……。一般说来,其维持时间的长短,取决于夏半年环流场的调整。

四、小 结

1. 北太平洋中纬海域终年向大气输送热量,西部明显大于东部;热量交换的年变化,西部也比东部显著;冬季冷空气强弱规定了海-气热量交换的多少。

2. 北太平洋西部中纬海域的海-气热量交换对北太平洋上空的大气环流有显著影响。当该海域有较常年为多的热量输入大气时,太平洋的长波脊发展,纬向环流就减弱;当该海域较常年较少的热量输入大气时,太平洋高压脊减弱,纬向环流就加强。这一过程的维持与异常的海面非绝热加热有密切的联系。

3. 中纬海洋海-气相互作用是一种不可逆过程,它取决于冬半年的冷空气强弱。当冷空气强(弱)时,海-气热量交换强(弱),太平洋上空长波脊发展加强(减弱)。结果又反过来促使冷空气持续强(弱)。如此不断进行,直到夏半年(4—10月)环流调整为止。

西风带环流形势的变化是由多种因素造成的,低纬海洋的海-气热量交换对中纬环流也有重要的影响。因此将中低纬海洋作为一个整体研究似应考虑。另外,有关中纬海洋海-气相互作用的不可逆过程,在什么条件下能够维持和发生转换,是长期预报的关键。对此我们将作进一步的深入研究和探讨。

参 考 文 献

- [1] 赵永平、张必成、井立才, 1983. 东海黑潮海-气热量交换对长江中下游汛期降水的影响. 海洋与湖沼 14(3): 256—262.
- [2] 潘以航, 1975. 冬春海洋加热场与两湖盆地汛期降水的初步分析. 中国科学院大气物理所集刊. 6: 102—115.
- [3] Jacobs, J., 1967. Numerical semiprediction of monthly mean sea surface temperature. *J. G. R.* 172 (6): 1681—1689.
- [4] Kraus, B., 1972. Three-dimension interactions. *Atmosphere-Ocean Interaction Part 7. Oxford University Press*, pp. 200—254.
- [5] Wyrтки, K., 1965. The average annual heat balance of the Pacific Ocean and its relation to ocean circulation. *J. G. R.* 170(18): 4547—4559.

A PRELIMINARY STUDY ON THE INFLUENCE OF SEA-AIR HEAT EXCHANGE IN THE MID-LATITUDE OF THE NORTH PACIFIC ON THE ATMOSPHERIC CIRCULATION THERE*

Zhao Yongping

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

ABSTRACT

Characteristics of the sea-air heat exchange in the midlatitude of the North Pacific showed that there was a good relationship between the sea-air heat exchange on the Kuroshio and the long wave over the North Pacific and that the strength of the cold air had a great contribution to the sea-air heat exchange, which might be a more effective factor for predication than the air or sea temperature alone. Based upon the analysis, a simple irreversible model was proposed: the stronger (weaker) the cold air, the bigger (smaller) the sea-air heat exchange, the more improvement the longitudinal (latitudinal) circulation, the stronger (weaker) the cold air, This process generally began in the late autumn and continued till the adjustment of the circulation in the summer half year.

* Contribution No. 1264 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.