

冬季大气环流对北太平洋海冰 和黑潮暖流海温的强迫作用*

方之芳

(成都气象学院, 成都 610041)

J. M. Wallace

(美国华盛顿大学大气科学系)

摘 要 本文应用奇异值分解等统计方法, 探讨冬季北太平洋海冰浓度、海温与大尺度大气环流型间的联系。分析结果表明: 冬季北太平洋海域海冰存在一个主要的分布型, 即鄂霍次克海和白令海的海冰呈反位相。海冰的这种分布特征是与大气中的 WP 型紧密联系的, 并以大气超前海冰一个月最为明显。同时, WP 型强迫作用于黑潮暖流区的海温, 海温滞后大气一个月。具体表现为在东亚冬季风较弱的年份, 鄂霍次克海海冰增多, 白令海海冰减少, 黑潮暖流区海温增高, 反之则相反。

关键词 海冰浓度 大气环流 黑潮暖流海温 奇异值分解方法

1 引言

在气候系统中, 海冰、海表温度和大气三者之间的相互作用十分复杂。海冰浓度的变化源于海冰的凝结、融化和移动。海冰的凝结、融化与海温、气温等有关; Walsh 和 Sater 指出, 白令海海温正距平与当时海冰浓度偏少有关^[1]。海冰移动与大气环流和洋流有联系; Colony 和 Thorndike 指出, 海冰移动与地转风存在 10° 至 45° 的偏右夹角(北半球), 移速和移向随风力而变化^[2,3]。

冬季, 北半球高空和地面风场均较强, 冷暖平流明显。高纬处于极夜阶段, 因此极冰对辐射平衡影响较弱; 而大气环流对海冰的强迫作用相当明显。方之芳和 Wallace 提出, 冬季大西洋海域, 格陵兰岛阻塞高压影响巴伦支海、格陵兰海和戴维斯海峡海冰的分布^[4,5]。Overland 和 Pease 指出, 冬季当气旋中心位于白令海南部(偏南), 海冰常为正距平^[6]。

中高纬度的海温场与大气环流场有紧密联系。刘雅章指出, 大气中的西太平洋环流型(WP), 能影响海洋混合层的温度^[7]。Wallace, Smith 和蒋全荣研究表明, 冬季大气对海温有超前一个月的强迫作用^[8]。

由于海冰资料的局限性^[9,10], 对鄂霍次克海域研究相对较少。本文应用一套较完整的海冰资料, 包括鄂霍次克海海冰, 探讨冬季北太平洋海冰、海温和大气环流的联系和可能过程。

1994-04-11 收到, 1995-09-19 收到再改稿

* 本文得到中国科学院“灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配影响”项目的支持

2 资料和方法

北极北太平洋区海冰浓度 (Concentration) 资料来源于美国冰雪资料中心 (NSIDC) 1991 年提供的北极海冰卫星资料 (SIGRID)。处理为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 格点, 范围为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, 时间为 1972~1989 年的各月平均海冰浓度。

大气资料是应用美国 NCAR 资料库的 NMC 八边型极地投影北半球资料, 共 445 格点, 范围在 20°N 以北, 资料年代与海冰一致。

北太平洋海温资料来源于美国 NCAR 的 COADS 资料, 格点距 $4^{\circ} \times 6^{\circ}$ (经度间隔 6° , 纬度间隔 4°)。范围为 $2^{\circ} \sim 58^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, 资料年代与海冰一致。

应用经验正交函数 (EOF) 和奇异值分解方法 (Singular Value Decomposition, 简称为 SVD)。Bretherton, Smith 和 Wallace 在 1992 年详细介绍 SVD 方法^[11,12]。首先识别所讨论的两个场的某些特殊的各对相关型 (heterogeneous correlation pattern), 分析各对相关型在总体中所占的权重 (SCF), 相关型的时间序列, 它们之间的相关值 (r), 予以综合分析讨论。

3 冬季海冰和海温的气候背景和联系

方之芳和 Wallace 曾指出^[4], 在北极太平洋海域, 鄂霍次克海海冰浓度由东南向西北增加, 东亚沿岸为最大; 白令海海冰浓度由南向北增加, 在白令海峡处最大, 均达 80% 以上。鄂霍次克海和白令海分别为海冰浓度均方差大值中心, 其值大于 20%。即这两个海域有明显的重冰年和轻冰年。

作太平洋海域海冰浓度的经验正交分解, 第一特征向量场 (EOF1) 权重为 27% (图 1a)。鄂霍次克海和白令海分别存在正负中心, 值为 -0.69 和 0.74, 呈反向振荡。中心位置与海冰均方差中心一致^[4] (图略)。在海冰易发生变化的海域, 海冰浓度分布常呈反位相。

国内外学者已细致分析冬季北太平洋海温的分布特征, 选用 Wallace 等的 EOF1 场 (图 1b)^[12]。正负中心均位于太平洋东部, 而太平洋西部相关值相当小。

取海冰浓度距平场和海温距平场为 SVD 分析的两个场。各年的 1 月、2 月和 3 月

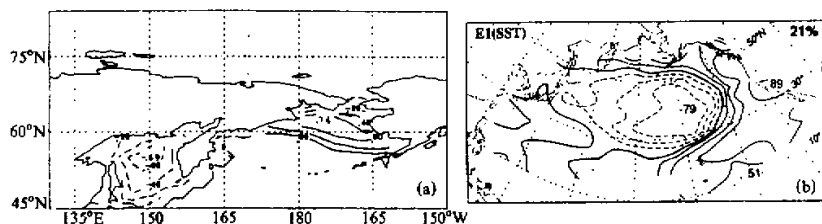


图 1 冬季北太平洋的 EOF1

(a) 海冰浓度, 其数值表示 EOF1 时间序列与每一格点海冰值的相关值, 等值线间隔为 0.2, 负值用虚线; (b) 海温, 权重为 21%

(简称为 JFM) 代表冬季海冰。海温时间变动, 分别取前一年 10 月、11 月和 12 月 (OND) 至当年 3 月、4 月和 5 月 (MAM)。其分析结果是各月海温与海冰的 SVD1 相关场图型相似, SCF1 均在 60% 左右, 相关系数 r_1 为 0.65 左右, 即海冰与各月海温均相关。

海冰和海温同时的 SVD1 显示, 海冰的相关型 (图 2a) 与 EOF1 型 (图 1a) 相似, 代表北太平洋海冰主要特征。海温的 SVD1 场 (图 2b) 与 EOF1 (图 1b) 有很大差异, 在日本东侧有明显的正中心, 值为 0.61; 太平洋东部原有的正中心减弱。反映为鄂霍次克海重冰年, 常伴随邻近月份黑潮暖流区海温增高。在时间序列上 (图 2c), 总趋势一致, 相关值 0.66, 也反映上述结果。

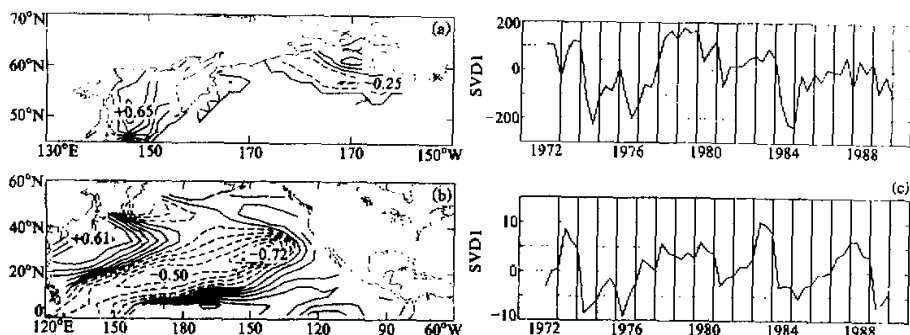


图 2 冬季北太平洋海冰 (JFM) 和海温 (JFM) 的 SVD1 相关型

(a) 海冰, (b) 海温, 等值线间隔为 0.1, 负值用虚线表示,

(c) 海冰和海温的 SVD1 时间序列, 垂直线为年间隔。上图海冰, 下图海温

应用冬季黑潮暖流指数 ($20^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 170^{\circ}\text{E}$, 海温距平平均值), 求其与北太平洋海冰浓度相关场, 结果与图 2a 相仿 (图略)。

冬季鄂霍次克海海冰与黑潮暖流海温的正相关, 若从海冰与海温的直接关系考虑^[1], 难以理解。设想两者之间存在某一间接联系。冬季大气对海冰和海温均有较强的强迫作用^[4~8], 进而可讨论大气环流所起的作用。

4 大气环流与海冰和海温的联系

应用 SVD 方法, 取海冰距平场和大气距平场; 大气场变动, 从 OND 至 MAM。结果列于表 1。

由表 1 可见, 在大气超前海冰一个月时 (即大气是 DJF), 两者关系最为密切, 权重达 50% 左右, 相关值在 0.73 以上。表现大气作用于海冰的倾向。

海冰的 SVD1 相关型 (图 3a) 与 EOF1 (图 1a) 相似, 代表海冰主要特征。500 hPa 距平场的 SVD1 结果表示 (图 3b), 在亚洲和西太平洋区域存在一对明显的正负相关区, 负中心位于东西伯利亚 (60°N , 150°E); 正中心在日本以东洋面 (30°N , 150°E)。与 Wallace 和 Gutzler^[13]提出的 WP 型位置基本一致。在 500 hPa 高度场上, 上述区域的正负距平表示为极涡中心偏向东西伯利亚, 东亚大槽北端加强, 引导气流偏

表 1 冬季北太平洋海冰 (JFM) 和大气场的 SVD1 结果

滞后月数	500 hPa		海平面气压		厚度	
	SCF1 / %	r_1	SCF1 / %	r_1	SCF1 / %	r_1
-3	38	0.56	34	0.54	37	0.65
-2	40	0.56	43	0.59	38	0.59
-1	49	0.73	51	0.73	51	0.76
0	42	0.62	43	0.61	50	0.73
1	39	0.59	47	0.56	45	0.66
2	37	0.54	32	0.52	36	0.58

说明: (1) 滞后月数, 表示大气滞后海冰的月数, 例如-3, 表示大气超前海冰3个月; (2) SCF1, 表示第一对相关场的权重; (3) r_1 , 表示两个场第一对相关型时间序列相关值

北, 风暴路径和气旋活动均偏北, 不利于白令海海冰扩展, 而有利于鄂霍次克海海冰的增加, 与 Overland 的结论一致^[6]。

海平面气压距平场的 SVD1 图中 (图 3c), WP 型更明显。鄂霍次克海上空等值线密集, 呈东西走向, 即西风分量增加; 白令海上呈西南-东北走向, 即西南风分量加强。根据海冰分布特征和地转风对海冰移速移向的影响^[2,3], 导致鄂霍次克海海冰的东进和白令海海冰的后退。上述气压场距平, 即为蒙古高压和阿留中低压均较弱的弱冬季风形势。

在厚度距平场的 SVD1 场中 (图 3d), 鄂霍次克海和白令海分别为负值和正值中心, 反映气温高、海冰少的物理现象。

图 3e 中, 海冰和 500 hPa 的 SVD1 时间序列峰值谷值一一对应, 相关值为 0.73。海冰的时间序列与图 2c 的几乎一致, 相关达 0.91, 即该海冰分布与前期大气和同期海温均有密切联系。

应用黑潮暖流指数 (JFM) 求其与大气场的相关。在大气取 NDJ 至 FMA 时, 存在与 WP 型极相似的相关型, 中心位置与图 3b、c、d 一致 (图略)。在大气为 OND 和 MAM 时, WP 型不复存在。其结果列于表 2。当大气超前海温一个月时, 相关最大。即在冬季风较弱环流形势下, 黑潮暖流区海温呈正距平, 由于海洋的热力动力特性^[7,8], 海温增温滞后大气一个月左右。

综上所述, 冬季大气中的 WP 型, 既影响北极海冰的分布, 也影响黑潮暖流的海温, 由于海冰和海温的热力动力特征, 致使其滞后大气一个月左右。

表 2 冬季黑潮暖流指数和大气中 WP 型的相关值

滞后月数	500 hPa		海平面气压		厚度	
	S.r	N.r	S.r	N.r	S.r	N.r
-3	no WP		no WP		no WP	
-2	0.57	-0.36	0.66	-0.20	0.60	-0.39
-1	0.77	-0.46	0.69	-0.47	0.74	-0.38
0	0.50	-0.35	0.43	-0.36	0.58	-0.22
1	0.38	-0.36	0.36	-0.41	no WP	
2	no WP		no WP		no WP	

说明: (1) 滞后月数, 表示大气滞后黑潮暖流的月数; (2) S.r, 30°N, 150°E 的相关值, N.r, 60°N, 150°E 的相关值; (3) no WP, 表示在相关图中无 WP 型

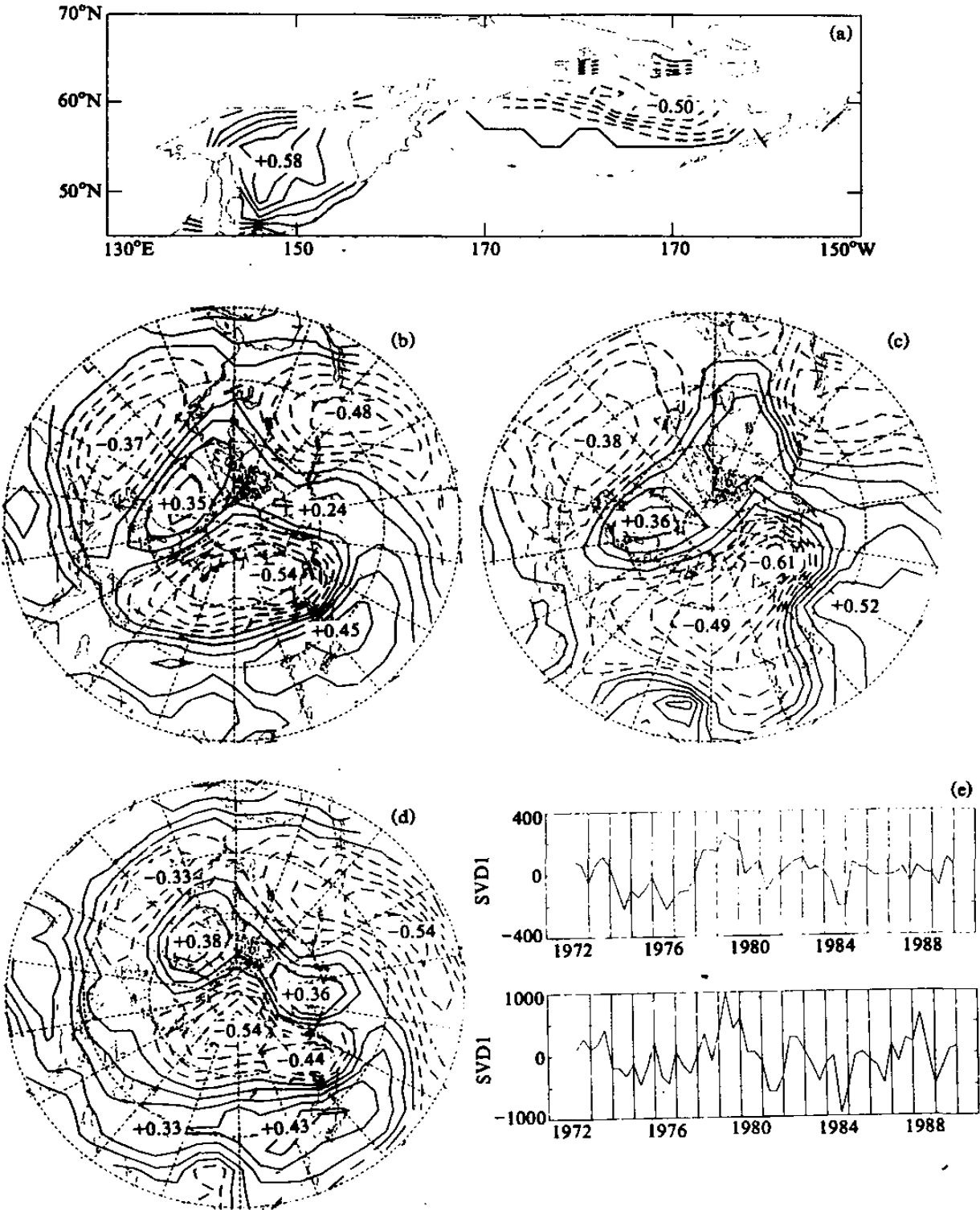


图 3 冬季北太平洋海冰 (JFM) 和大气场 (DJF) 的 SVD1 相关型

(a) 海冰, (b) 500 hPa, (c) 海平面气压, (d) 1000~500 hPa 厚度,

(e) 海冰和 500 hPa 场的时间序列。上图为海冰, 下图为大气, 说明同图 2

致谢：本文计算和绘图工作是第一作者访问华盛顿大学时完成的。感谢 Roger Colony 和 Ignatius Kigor 提供海冰资料，程欣华和张媛提供大气和海温资料，Iwasaka Naoto (岩板直人) 的讨论和建议。感谢中国科学院大气物理研究所吴国雄和李崇银先生对第一作者的支持和协助。

参 考 文 献

- 1 Walsh, J.E. and J.E.Sater, 1981, Monthly and seasonal variability in the ocean-ice-atmosphere system of the North Pacific and the North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, **86**, 7425~7445.
- 2 Colony, R., and A.S.Thorndike, 1984, An estimate of the mean field of Arctic sea ice motion, *J. Geophys. Res.*, **89**, 10623~10629.
- 3 Thorndike, A.S., and R.Colony, 1982, Sea ice motion in response to geostrophic winds, *J. Geophys. Res.*, **87**, 5845~5852.
- 4 Fang Z.-F. and J.M. Wallace, 1994, Arctic sea ice variability on a time scale of weeks and its relation to atmospheric forcing, *J. Climate*, **7**, 1897~1914.
- 5 Fang Z.-F. and J.M. Wallace, 1993, The relationship between the wintertime Blocking over Greenland and sea ice distribution over North Atlantic, *Advances in Atmospheric Sciences*, **10**, 453~464.
- 6 Overland, J.E., and C.H.Pease, 1982, Cyclone climatology of the Bering Sea and its relation to sea ice extent, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 5~13.
- 7 Lau, N. C., 1988, Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in the circulation pattern, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 2718~2743.
- 8 Wallace, J.M., C.Smith and Q.-R. Jiang (蒋全荣), 1990, Spatial pattern of Atmosphere-Ocean interaction in the Northern winter, *J. Climate*, **3**, 990~998.
- 9 许健民等编, 1985, 北极逐月海冰覆盖资料, 北京: 气象出版社.
- 10 方之芳等编, 1989, 逐月北极海冰覆盖资料, 北京: 气象出版社.
- 11 Bretherton, C.S., C.Smith and J.M.Wallace, 1992, An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data, *J. Climate*, **5**, 541~560.
- 12 Wallace, J.M., C.Smith and C.S.Bretherton, 1992, Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500 hPa height anomalies., *J. Climate*, **5**, 561~576.
- 13 Wallace, J.M., and D.S.Gutzler, 1981, Teleconnection in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784~812.

Sea-Ice in the North Pacific and the Kuroshio SST Relation to Forcing of the Winter Monsoon

Fang Zhifang

(Chengdu Institute of Meteorology, Chengdu 610041)

J.M. Wallace

(Department of Atmospheric Sciences,
University of Washington, U.S.A)

Abstract In this paper, the relationship among large scale patterns of the atmospheric variability, sea ice concentration and SST over the north Pacific in winter is investigated using Singular Value Decomposition (SVD) of the temporal covariance matrix. The conclusions are as follows: the strongest sea ice pattern over Pacific sector is comprised of a dipole with opposing centers of action in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea. Its temporal variability is strongly coupled with the atmospheric West Pacific Pattern (WP), the relationship between the two patterns is the strongest with the pattern formed in the atmosphere one month earlier than in the sea-ice. The WP pattern also affects SST in the Kuroshio one month later. When the 500 hPa height anomalies are negative over 60°N, 150°E, and positive over 30°N, 150°E, the north part of the East Asia trough is stronger than normal, and the storm track propagates to rather north of its climatic mean position. In SLP field, the Mongolia high and the Aleutian low are weaker than normal, it is a weaker winter monsoon situation in East Asia. The northerly wind covering the sea of Okhotsk replaces the normal easterly wind, which would be conducive to the advance of the ice edge. The south-east wind covers the Bering sea which probably the result of reduced southward transportation of sea ice. The northerly wind over the East Japan in the Pacific is weaker than normal, and would cause positive anomalies SST in the Kuroshio, and vice versa.

Key words sea ice concentration general circulation SST in the Kuroshio singular value decomposition (SVD)