

北半球海冰强迫作用下大气可预报性研究*

王 嘉 郭裕福

(中国科学院大气物理研究所 LASG,北京 100029)

摘 要

使用 LASG/IAP GOALS 耦合模式中的全球大气环流模式分量 AGCMR15L9 的计算结果,在其他外强迫维持气候值不变的情况下,用方差分析的方法,以外部方差与总方差之比 R_e 作为衡量标准,考察该模式关于海冰的季节和跨季节潜在可预报性的大小。结果发现,从总体上看,北半球海冰变化所造成的潜在可预报性较小,只有在大气低层的一些气候要素,如温度、湿度的结果中,才存在 $R_e > 0.5$ 的现象。潜在可预报性结果的局地特征比较明显,高值往往发生在海冰年际变率大的区域里。与中低纬海温在中高纬地区的影响相比,不排除海冰的作用更大的可能性。另外,如果分区域看,北半球某些区域的海冰,在若干挑选出的其区域海冰面积发生大异常年份中的潜在可预报性可能会比不做挑选的总体结果要大。这说明北半球某些区域海冰在面积发生较大异常的时候,可能对同期或(及)后期环流有着比较重要的影响。

关键词:北半球海冰 潜在可预报性 区域海冰

引 言

海冰位于地球热机的两极热汇地区,通过热力、动力等过程参与全球气候系统的能量、动量、质量循环,是气候系统的一个重要组成部分。一方面,海冰的形成与变化受到大气和海洋条件的制约;另一方面,海冰一旦形成又会通过改变地表反照率、热通量及海水盐度等性质,影响有关的大气与海洋过程。

由于海冰对大气环流的响应极其敏感,在冰气相互作用这个双向的问题当中,海冰对大气的响应方面愈来愈受到人们的重视与肯定。Walsh^[1,2]、Rogers^[3]、Fang^[4]、Deser^[5]等学者的研究工作表明:与北冰洋接壤的北大西洋与北太平洋海域的海冰,无论在天气尺度还是季节尺度上,都与前期局地大气环流强迫存在着比较密切的联系。这种联系在冬半年表现得最为突出。与冬季北大西洋和北太平洋海冰分布相联系的大气环流型在海平面气压场上分别主要表现为 NAO 和 NPO 遥相关型。

然而 Agnew^[6]通过合成分析认为:在北半球极地、副极地的不同海域,海冰与其上空大气的相互作用的性质可能是不同的。例如在戴维斯海峡,局地上空大气环流对海冰的形成及分布起了主导作用;而在白令海,海冰异常则可能通过改变海洋向上热通量的大小,强迫产生局地上空大气环流和热力状况的异常。其他许多研究工作亦表明,海冰对上方的大气不仅存在被动的响应,还存在一定的强迫作用。海冰的强迫作用不仅能对局地

* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目(G1998040903)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(ZKCX2-SW-210)和国家自然科学基金项目(40135020)共同资助。

2003-04-01 收到,2003-06-18 收到修改稿。

上空大气环流造成影响,还可能通过有关海洋或大气过程,影响到海冰异常发生区以外的区域。例如,方之芳^[7]通过相关分析指出,冬春季发生在白令海、波弗特海一带的海冰异常,可能通过洋流的作用对后期北太平洋副热带高压产生影响。武炳义等^[8]、曾刚等^[9],则通过大气中 EU、WA 等遥相关型将冬季巴伦支海、戴维斯海峡的海冰与西伯利亚高压和东亚冬季风联系起来。蒋全荣、王春红等^[10,11,12]也认为北极某些区域的海冰可能激发出大气中的某种遥相关响应。除了上述的统计分析外,一些数值模拟研究也揭示了部分海冰对大气环流的可能影响机制。武炳义等^[13]、杨修群等^[14]通过数值试验指出,北极海冰厚度及面积的异常不仅可以诱发局地上空大气环流的显著异常,还可能通过行星波的传播,导致更大范围内的大气环流异常。二者都指出,当格陵兰海、巴伦支海附近海冰较正常偏多时,对应了较强的东亚夏季风位相。谢倩、杨修群等^[15,16]采用大气环流模式模拟海冰异常对大气环流影响的结果表明:冬季白令海及其以北区域的海冰异常可能激发出 PNA 遥相关型,而夏季格陵兰海至巴伦支海一带或巴芬湾附近的海冰异常则可能激发出类似亚洲-北美的遥相关型。众所周知,这两种分别存在于冬季与夏季的典型遥相关型主要是和赤道中东太平洋以及西太平洋暖池区的海表温度(以下简称海温)异常联系在一起的。从这个角度出发,他们认为:极冰异常对大气环流造成的影响甚至可以和赤道太平洋海温异常的作用相比拟。

既然诸多研究结果表明海冰可能是一个能够引发大范围气候异常的因子,更有某些海区的海冰异常与东亚地区的气候异常密切相关。我们自然希望能够将之引入到我国跨季汛期降水预报的物理框架中来,通过对高低纬相互作用过程的改善,提高我国汛期降水预报的能力。但是,我们也注意到当前实际的业务预报中几乎没有人使用海冰作为一个预报因子,究其原因可能还是对海冰作用缺乏一个比较一致的认识。因此有必要对海冰强迫在短期气候中的作用给出一个总体评价。

本文采用近年来在国内外短期气候数值预报研究中广泛使用的方差分析方法,探讨单一海冰外强迫对短期气候的潜在可预报性。虽然利用全球大气环流模式,采用方差分析方法,考察大气环流对某种外强迫预报因子的响应(即外强迫对模式的潜在可预报性问题)的工作已经很多,但之前工作的着眼点主要局限于考察大气对海温的响应特征。具体做法包括维持海冰的气候平均季节变化,在非海冰区采用逐年变化的海温强迫大气环流模式考察海温的可预报性(本文提到的可预报性均指潜在可预报性)^[17],以及在全球范围内一并改变海冰和海温两个下垫面因子考察大气环流的响应^[18,19]。这些研究强调了海温异常在季节预报尺度上对中低纬大气环流存在非常显著的影响。迄今为止,尚未有人在单一海冰对大气的强迫作用方面给出一个比较明确的评价。为此,本文将海冰的影响从海温的影响中独立出来,用中国科学院大气物理研究所的 9 层 15 波菱形截断的全球大气环流模式来进行这项工作,并将之与海温的结果进行简单比较。

1 资料、模式与试验方案

1.1 资料

逐月平均海冰密集度观测资料,来自美国国家冰雪数据中心(NSIDC),长度为 1968

~1998 年,共 31 年,372 个月。主要是卫星观测资料,水平分辨率为 1° (纬度) \times 3° (经度)。将其插值到模式所需精度上。当网格内海冰密集度达到或超过一成时,认为网格全部被冰覆盖,否则认为网格为开洋面。

1990~1998 年观测海温来自 Reynolds 的全球逐月平均,分辨率为 1° (纬度) \times 1° (经度),插值到模式所需的分辨率。

1.2 模式

本文使用的大气环流模式是 LASG/IAP 发展的全球海-气-陆耦合系统气候模式 (GOALS) 中的大气分量。水平方向为 15 波菱形截断,垂直方向采用 σ 坐标,共 9 层。该模式的详细说明见文献[20]。

将此模式自己有的某年 1 月 1 日开始,用由 Reynolds 1990~1997 年观测值求平均得到的气候海温,以及由 1979~1988 年 (AMIP) 平均得到的其他诸如海冰、二氧化碳、臭氧等气候量,强迫积分 10 年。取最后 5 年的平均作为模式气候态^[21]。

1.3 试验方案

为了研究海冰的潜在可预报性,选取前述 10 年积分结果中的第 6~10 个模式年的共 5 个 1 月 1 日的积分结果分别作为大气初始场,在 1968~1998 年的每一年中,利用当年的观测海冰强迫运行模式,进行 1 月 1 日至 8 月 31 日的 5 个集合积分。在积分的过程中,保持其他外强迫为如上的气候值不变,不存在年际差异。对集合积分结果采用方差分析的方法,考察全部 31 年春季 (3~5 月) 和夏季 (6~8 月) 的季平均气候要素场的结果。

为进一步分析海冰的可预报性,除一般讨论 31 年整个北半球海冰的可预报性外,还特别注意关键海区海冰大异常年的可预报性问题。为此,使用月平均海冰密集度观测序列做出各月北半球海冰 31 年变化标准差分布图 (图略)。从图中找出海冰变化比较剧烈的区域。本文选择其中的 3 个区域作为主要研究对象。在这些区域内,海冰变率基本上在 1~8 月都比较大。分区的具体情况见表 1。

表 1 本文主要考察的几个海冰区域

区域标号	主要地理位置	经纬度范围
R1	巴伦支海	$70^\circ \sim 85^\circ \text{N}, 15^\circ \sim 60^\circ \text{E}$
R2	格陵兰海	$70^\circ \sim 85^\circ \text{N}, 45^\circ \text{W} \sim 15^\circ \text{E}$
R3	白令海峡	$55^\circ \sim 70^\circ \text{N}, 159^\circ \text{E} \sim 150^\circ \text{W}$

在上述 3 个区域范围内,通过累加各格点上的加权 (权重为相应网格面积) 海冰密集度值,得到该区域的海冰面积指数。做出各区 1~8 月各月的海冰面积指数标准差标准化的 31 年时间变化曲线 (图略)。定义:当某年海冰面积指数距平绝对值超过 1 个标准差时,该年为该区在该月的海冰大异常年。对于每一个区,遵照先逐月挑选,再综合所有 8 个月结果的原则,挑选出 10 个 1~8 月该区海冰都出现大异常的年份 (见表 2)。考察这 10 年中,该区海冰变化对春夏季季平均变量场造成的可预报性与前面 31 年分析所得出的结果有什么不同。

表 2 各区域的 10 个海冰大异常年

区域编号 (名称)	海冰大异常年份
R1 (巴伦支海)	1968、1969、1978、1979、1981、1982、1990、1992、1993、1995
R2 (格陵兰海)	1968、1969、1970、1977、1992、1993、1994、1995、1996、1998
R3 (白令海峡)	1971、1975、1976、1977、1985、1991、1993、1996、1997、1998

所考察的气候要素包括海平面气压和降水这两个地表变量,以及含大气温度、相对湿度、位势高度、比湿、垂直涡度、散度、流函数、水平风速在内的共 9 种等压面要素。研究中选取 1000 hPa、500 hPa 和 200 hPa 分别代表对流层低、中、高层,主要考察要素在这三层上的结果。

2 方差分析方法

方差分析方法是近年来研究气候模式潜在可预报性的一个比较可行的方法,已被广泛采用。

假设 X_{ij} 是模拟得到的某气候要素 x 的值, i 为第 i 个积分, j 为第 j 年。它可以分解为两个部分:一部分表征大气内部动力学过程的影响,由这部分影响造成的方差被称作内部方差,记为 Q_1 ;另一部分表征外强迫的影响,在这里特指海冰的影响,它的方差被称作外部方差,记为 Q_2 。内部方差和外部方差的表达式分别写作:

$$Q_1 = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_{.j})^2$$

和

$$Q_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\bar{X}_j - \bar{X}_{..})^2$$

二者之和被称作总方差,记为 Q ,容易证明:

$$Q = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_{..})^2$$

本文中, m 取 5, n 取 31。 $\bar{X}_{..} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}$ 为总体平均。 $\bar{X}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{ij}$ 为第 j 年的集合平均。

外部方差与总方差之比被记作 R_c ,它反映了外强迫(本文特指海冰)引起的方差在变量全部方差中所占的比例,可以用作衡量模式第二类可预报性的一个指标。 R_c 越大,说明外强迫对气候变量的影响越大。当 $R_c > 0.5$ 时,说明外强迫的作用超过了大气内部动力学过程的作用,该外强迫对此气候变量有较大的潜在可预报能力。

3 结果分析

3.1 31 年海冰的可预报性

总的来说,北半球海冰的可预报性较低。在所有被考察的 29 个变量中,只有大气低层(1000 hPa)的变量场才可能出现 R_c 大于 0.5 的情况;对其他各层要素而言,海冰变化的影响,均小于初始场变化的影响。

在大气低层变量中,也并不是所有的变量都出现了 $R_c > 0.5$ 的现象。只是在 1000 hPa 温度、相对湿度和比湿这三个变量的结果中存在海冰的作用大于初始场作用的较好的可预报性结果。海冰与大气低层温度的好的相关性已被许多统计分析所验证:无论是海冰资料与站点气象要素求相关^[22],还是北极海冰场与北半球气象要素场分别作正交经验函数(EOF)展开后的主分量求相关^[1],结果都是大气低层气温场比较环流场要素与海

冰变化的关系更为密切。因此在大气低层诸如温度、湿度这类要素场出现较高的可预报性是可以理解的。

图1给出了1000 hPa温度场的结果。可以看到,春季海冰可预报性高值区($R_c > 0.5$)位于北半球高纬度的丹麦海峡、格陵兰海和巴伦支海,在阿拉斯加半岛以北的北太平洋北部也有小片区域存在较高的可预报性。这些地区全部对应了该季节北半球海冰面积年际变率高值的区域(图略)。很明显,图1与文献[17]中海温造成的可预报性在中低纬度很高,并大致呈纬向带状分布的情形是完全不同的,它主要显示了海冰强迫作用的局地性特征。比较二者在中高纬的数值,海冰的可预报性值则更大。因此不排除海冰在中高纬的可预报性与海温作用相当,甚至更强的可能性。但是由于两工作使用的模式、资料及集合个数等都不同,该结论尚需进一步的验证。

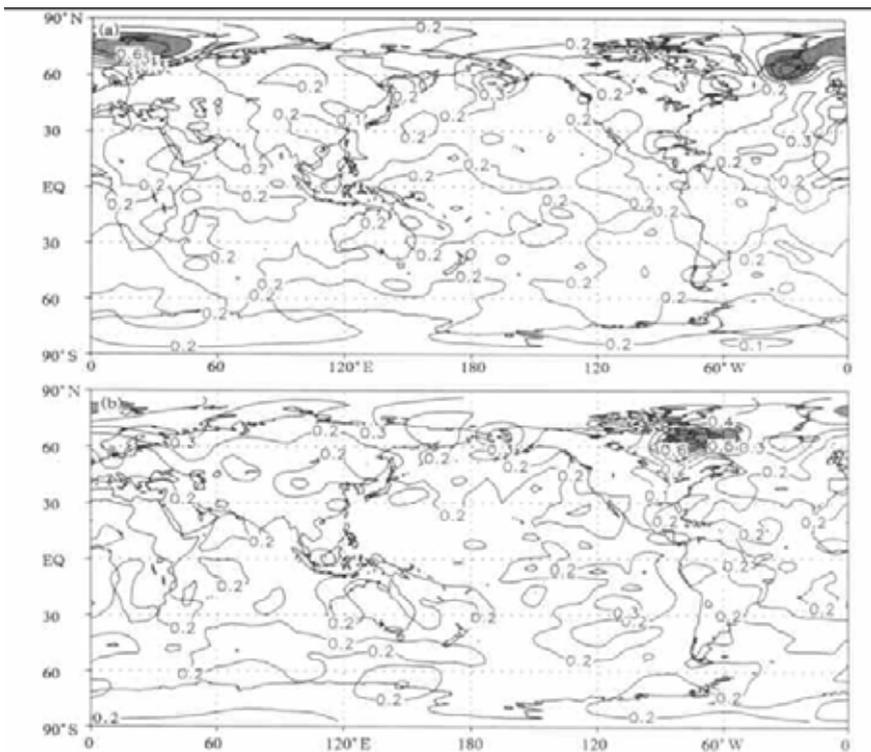


图1 31年1000 hPa大气温度场的 R_c 分布(阴影表示 $R_c > 0.5$ 的区域)

(a) 春季, (b) 夏季

夏季,海冰可预报性高值区面积与春季相比有所缩小,这一情形与 Walsh^[1]作出的海冰在增冻季节对大气的影晌比在融化季节对大气的影晌要大的结论是不相违背的。同样的,夏季海冰可预报性高值区依旧对应了该季节内海冰年际变率的高值区,主要位于戴维斯海峡、哈得孙湾和格陵兰海北部。

如果继续向上考察高层等压面上的情况,以春季气温场为例,从图2中可以看到:在500 hPa(图2(a))上, $R_c > 0.5$ 的现象已经不复存在。但是,图2(a)中的可预报性高值中

心的位置大致与图 1(a) 的高值中心所在位置相对应,只是量值偏小,中心的最大值未超过 0.5 这一临界值。在图 2(b) 的 200 hPa 结果中, R_c 的值降得更小,并且相对高值区亦不再与对流层中低层的可预报性高值区相对应,而是位于东半球的中低纬度附近。这说明北半球海冰是影响局地上空大气低层温度场的一个很重要的预报因子,随着高度的增加,海冰的作用明显减弱。

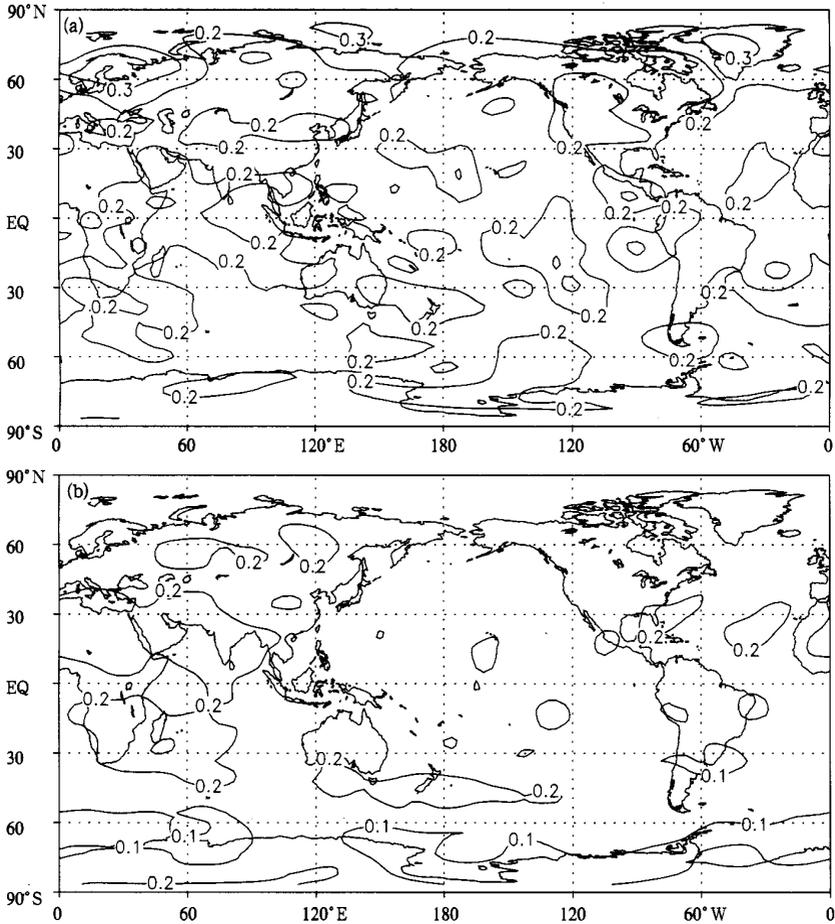


图 2 31 年春季大气温度场的 R_c 分布

(a) 500 hPa, (b) 200 hPa

比湿与相对湿度(图略)在 1000 hPa 上的结果,在可预报性高值中心的位置方面,与大气温度场的结果比较一致,体现了海冰对局地上空湿度场的重要影响。但是 $R_c > 0.5$ 的区域范围比温度场的结果更小,夏季对流层的全部三个层次上都无 $R_c > 0.5$ 的区域,而且海冰的影响随高度的增加递减得更快,对流层中层的分布与低层的分布之间就已经出现了比较大的不同。

另外,图 3、4 分别给出了我们所关注的 500 hPa 位势高度场和海平面气压场的可预报性结果。

可以看到,这两张图中虽然不存在 $R_e > 0.5$ 的区域,但是在图 3(a) 里,北半球高纬地区的可预报性相对高值区依旧位于巴伦支海、斯堪的纳维亚半岛一带上空,中心最大值在 0.3 以上,位置大致对应了图 1(a) 巴伦支海上 $R_e > 0.5$ 的区域。图 3(b) 中有一位于格陵兰海北部的中心强度亦在 0.3 以上的可预报性相对高值中心,也大致对应了图 1(b) 中格陵兰海一带的 $R_e > 0.5$ 的高可预报区。这些相对高值区的可预报性值虽然无法超过 0.5 的临界值,但由于可能包含了一定的物理意义,在考虑海冰的作用时需认真加以考虑。

图 4 中的可预报性相对高值区(中心强度在 0.3 以上)在春季位于欧洲北部和亚速尔高压西北部,说明当海冰变化时,模式模拟得到的海平面气压场在这些区域响应比较敏感。随着春季向夏季的转变,可预报性相对高值区均表现出比较明显的北移。

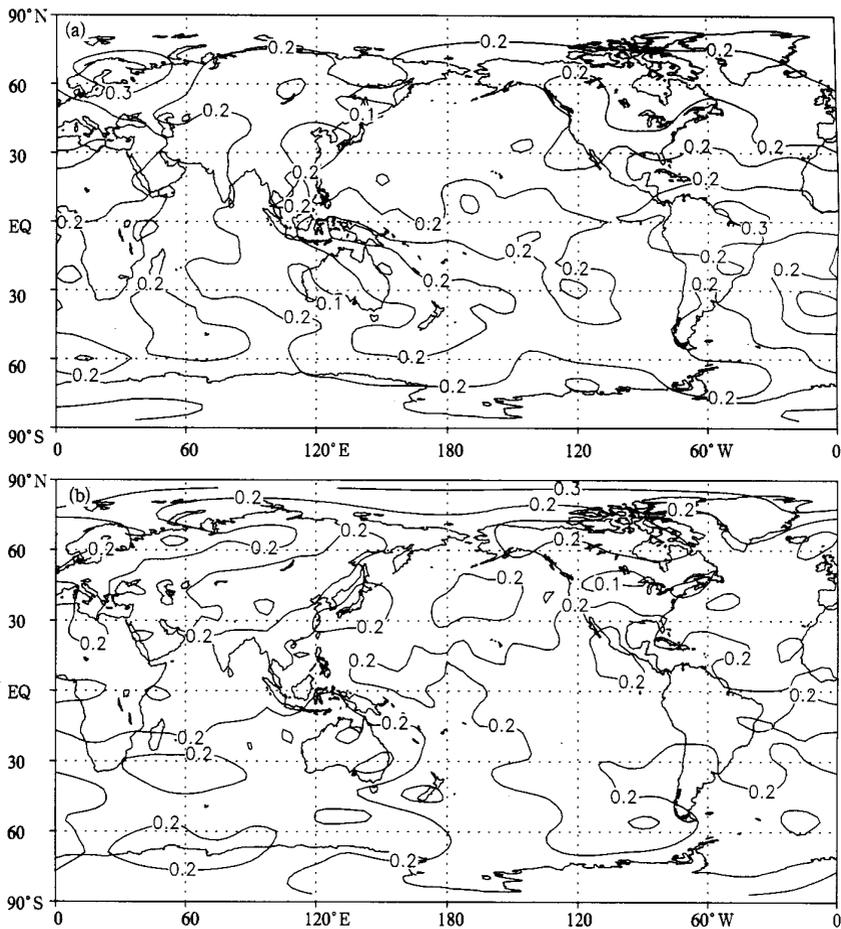


图 3 同图 1, 但为 500 hPa 位势高度场的结果

3.2 区域海冰在 10 个大异常年的可预报性

虽然在全部的 31 年中,海冰可预报性很少存在 $R_e > 0.5$ 的结果,但是如果依据海冰变率高值区域的海冰面积变化挑选出大海冰异常年份,考察这些年的海冰可预报性结果。

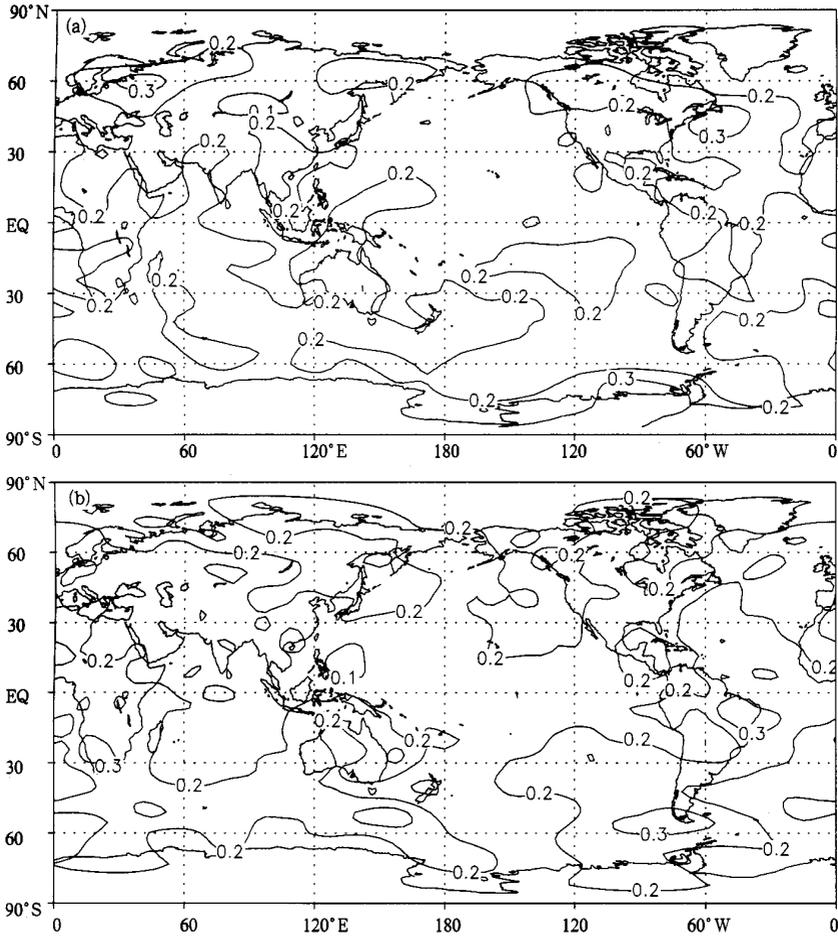


图 4 同图 1, 但为海平面气压场的结果

下面给出三个区在各自的 10 个大海冰异常年的可预报性结果。

3.2.1 R1 区(巴伦支海)的结果

巴伦支海是春、夏季北半球海冰年际变化最剧烈的区域之一。

通过巴伦支海海冰大异常 10 年中的可预报性结果与 31 年总体结果的比较可以看到,虽然在 R1 区海冰大异常 10 年中, $R_c > 0.5$ 的区域依旧有限,并只出现在少数变量的结果中,但是绝大多数变量 31 年结果中出现的可预报性相对高值区的数值在 10 年的结果中有所增大,高值区范围有所增加。

图 5 是 1000 hPa 大气温度场的结果,与图 1 相比,可以看到,春季,10 年结果中 $R_c > 0.5$ 的区域的最大值与区域范围都大于 31 年的结果(图 1(a)),夏季可预报性高值区的范围也比 31 年结果(图 1(b))有一定的增加。巴伦支海海冰的这种对局地上空大气低层温度的强迫作用在早期 Schell 的工作^[23-24]中已通过统计分析得到了验证。只是模式模拟得到的 $R_c > 0.5$ 较 Schell 统计分析得到的 R1 区及格陵兰海区海冰的可能影响区域要小。海冰变化主要影响局地海洋上空的大气温度,对北欧的影响并不大。

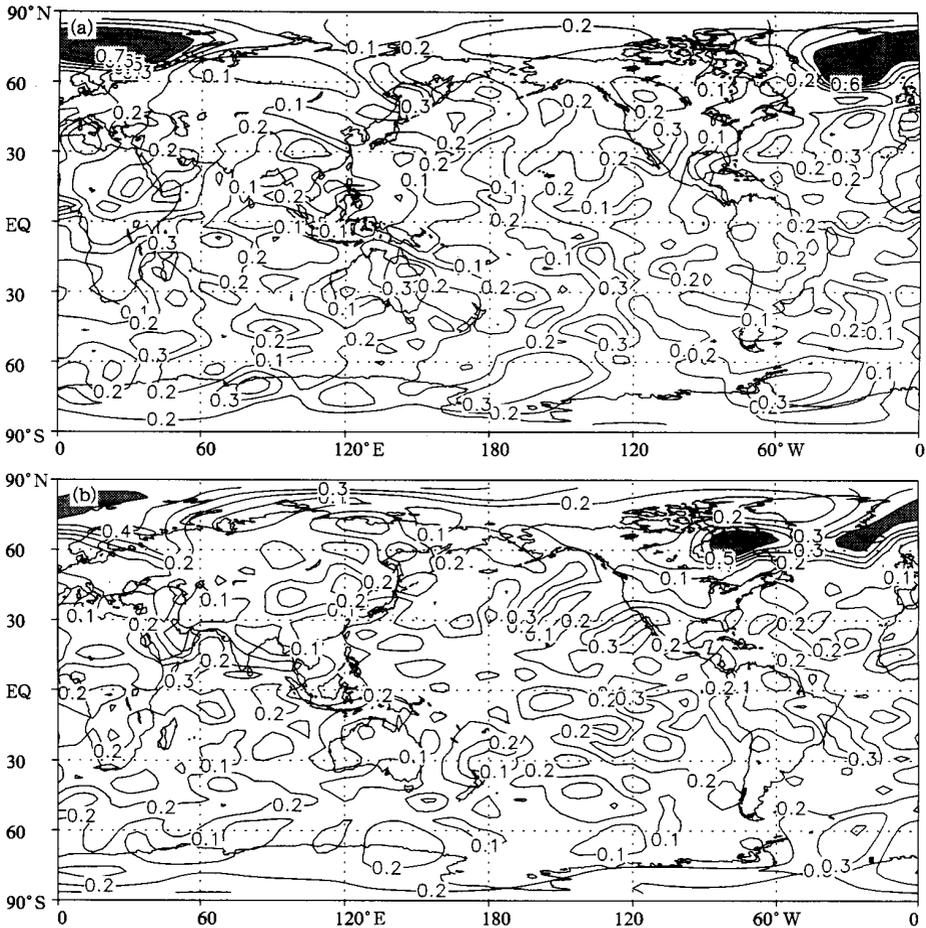


图5 RI 区 10 个大海冰异常年 1000 hPa 温度场的 R_e 分布(阴影表示 $R_e > 0.5$ 的区域)

(a) 春季, (b) 夏季

大气相对湿度与比湿的结果(图略)与温度场比较相似。与 31 年结果相比不同的是,两变量在夏季的结果中都出现了 $R_e > 0.5$ 的情况。相对湿度的外部方差超过内部方差的区域位于巴伦支海北部,体现了巴伦支海海冰的局地强迫作用。比湿的可预报性高值区出现在哈得孙湾上空,其原因究竟是前期巴伦支海影响的结果,还是对同期巴伦支海影响的遥相关响应,抑或是对哈得孙湾局地或其他区域海冰的响应尚需进一步研究验证。

另外,春季,在孟加拉湾以南的赤道印度洋区域 200 hPa 南北风速场,赤道中太平洋的 1000 hPa 垂直涡度场,热带北太平洋中部的 500 hPa 温度场,赤道中太平洋的 500 hPa 相对湿度场,以及热带中南太平洋和非洲几内亚湾北岸的降水场和夏季的热带北太平洋中部 500 hPa 温度场均出现了范围很小的 $R_e > 0.5$ 区域(图略)。这些高值区域是否具有物理意义以及它们之间的联系都有待于进一步研究论证。

总之,当巴伦支海区域出现较大幅度的海冰面积异常时,可能对大气环流产生比较明显的影响,这种影响甚至在夏季也可以表现出来,但是巴伦支海海冰的影响范围依旧主要

被限制在大气低层。

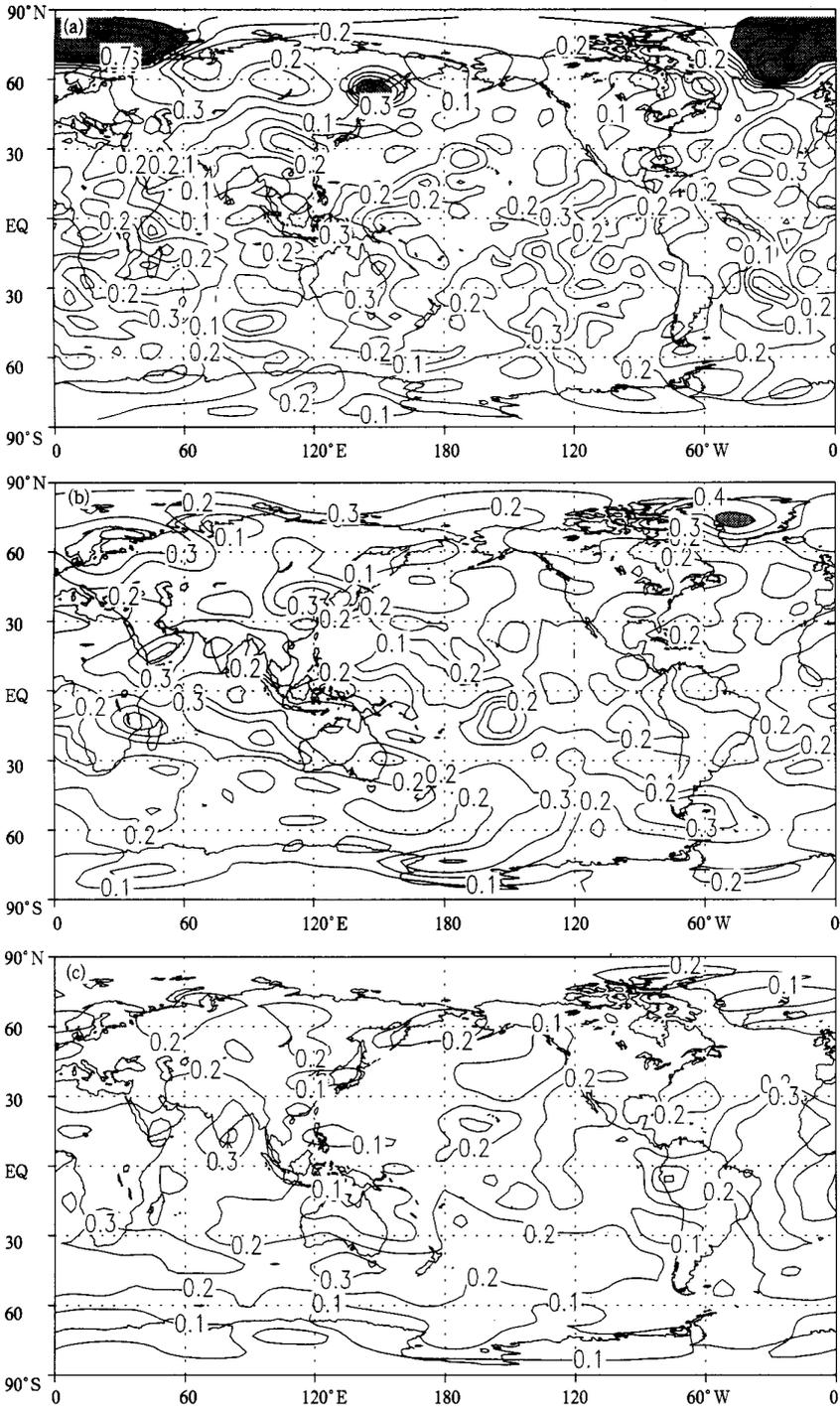


图 6 R2 区 10 个大海冰异常年春季大气温度场的 R_e 分布 (阴影表示 $R_e > 0.5$ 的区域)

(a) 1000 hPa, (b) 500 hPa, (c) 200 hPa

3.2.2 R2 区(格陵兰海)的结果

格陵兰海的结果与巴伦支海在很大程度上较为一致。

以温度场为例,在1000 hPa 高度上,春季(图 6(a)) 格陵兰海、巴伦支海上空存在大范围的可预报性高值区,中心值在 0.7 以上,反映了格陵兰海海冰对低层大气非常明显的局地非绝热冷却作用。同时在鄂霍次克海,也存在局地的可预报性高中心。到了夏季(图略),鄂霍次克海上空高中心消失,这说明春季的鄂霍次克海中心极有可能是鄂霍茨克海海冰的局地作用造成的,夏季鄂霍次克海海冰融化,该中心随之消失。但格陵兰海至巴伦支海北部高值区仍维持,只是强度有所减弱。另外,哈得孙湾一带出现新的高值中心,这一中心是由格陵兰海海冰造成的还是由当地海冰造成的还需进一步研究。

图 6(b)、(c)是春季 500 hPa、200 hPa 大气温度场在 R2 区 10 个大海冰异常年的结果。可以看到,在格陵兰岛上空的可预报性高值区不仅出现在低层 1000 hPa 高度上,还继续向上影响到了 500 hPa。这一结果说明格陵兰海区域的海冰大幅度异常将有可能影响到局地上空整个对流层中下层的温度场分布。在这种情况下,流场必然会做出相应的

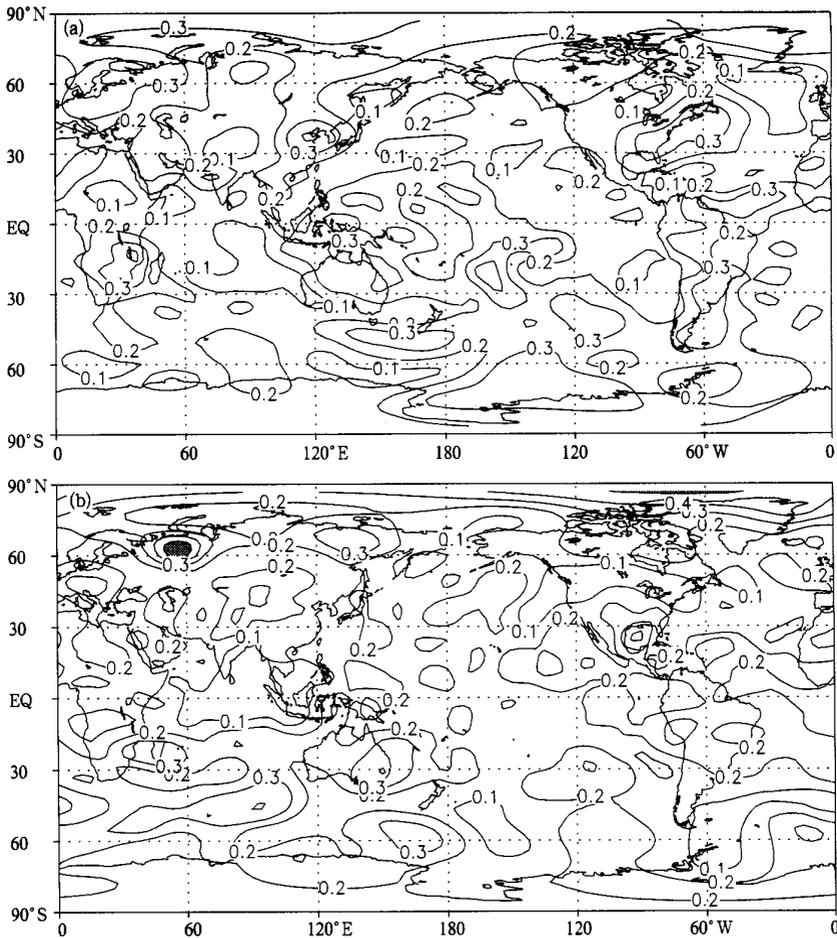


图 7 R2 区 10 个大海冰异常年 500 hPa 位势高度场的 R_2 分布(阴影表示 $R_2 > 0.5$ 的区域) (a) 春季, (b) 夏季

调整来适应热力场的变化。格陵兰海海冰极有可能通过这样的过程影响到整个对流层中下层的环流场分布,因此应该给予更多的重视。

另外,在 R2 区的 10 个海冰大异常年中,500 hPa 高度场的可预报性也比 31 年结果有了一些提高。从图 7(a)中可以看到,原本图 3(a)中的相对高值区依旧对应了图 7(a)的相对高值区,只是图 7(a)中相对高值区的数值普遍较图 3(a)中的大,而且图 7(a)中位于巴伦支海上方高值中心量值已达 0.4 以上。夏季的情况亦是如此(见图 7(b)),图 3(b)中巴伦支海南部及格陵兰海北部的相对高值区在图 7(b)中都得到了加强。有的区域甚至出现了 $R_e > 0.5$ 的现象,这对可预报性的改进是较为显著的。

由于该区海冰在 500 hPa 高度场上的可预报性最高值区并不位于局地上空,而是位于新地岛南侧的北欧大陆上空。这说明当格陵兰海冰异常幅度达到一定程度时,一则显著影响了局地上空对流层中低层的大气温度,二则可以导致亚欧大陆北侧上空环流场的邻域响应。这种邻域响应应该体现了大气环流场向热力场的适应过程,大致对应了欧亚型(EU)遥相关型发生的地理位置。这样一来格陵兰海海冰异常的影响就可能像 Schell^[23, 24]分析的那样,对北欧大陆地区的天气气候产生影响了。至于为什么 1000 hPa 温度场的可预报性值春季大于夏季,而 500 hPa 高度的结果却是夏季大于春季,这也需要进一步探讨解决。

海平面气压场与 500 hPa 高度场有着类似的结果(图略),当选用 R2 区 10 个大海冰异常年进行可预报性研究时,得到的可预报性相对高值区与 31 年结果相对应,只是相对高中心范围有所增大,而且部分中心值较 31 年结果高 0.1~0.2,个别点还存在 $R_e > 0.5$ 的现象。

3.2.3 R3 区(白令海峡)的结果

R3 区影响大气低层温度、水汽的范围主要位于阿拉斯加半岛以北的小范围洋面,对温度的影响可以持续到夏季(图略)。

在 R3 区的结果中,可预报性不仅在白令海附近存在相对高值,在格陵兰海、巴伦支海也存在相对高值。这可能是由于样本数量太少,区域海冰间又存在比较好的相关联系,

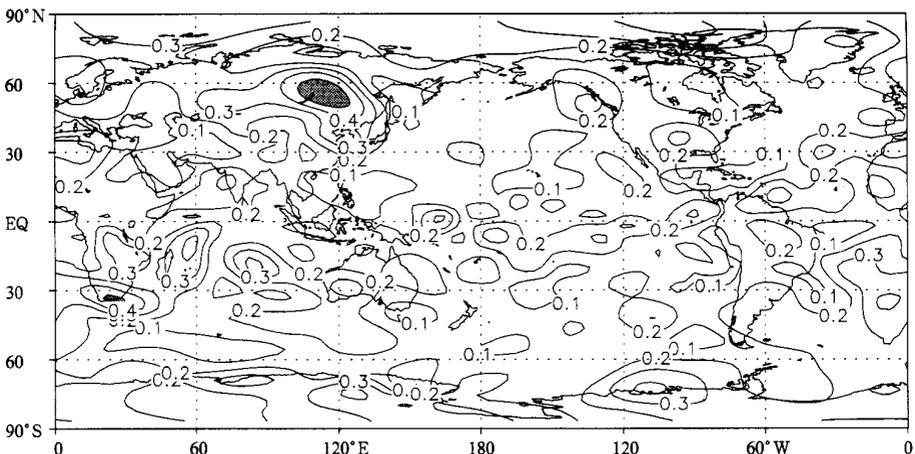


图 8 R3 区春季 500 hPa 流函数场的 R_e 分布(阴影表示 $R_e > 0.5$ 的区域)

导致按照每个区域海冰状况挑选出的年份间无法相互独立造成的。在此不作详细讨论。

值得一提的是,在该区春季 500 hPa 流函数结果中,在贝加尔湖附近存在一个超过 0.5 的可预报性高值区(图 8)。由于贝加尔湖区流场状况与中国天气气候变化密切相关,如果这一可预报性高值的确是由该区海冰造成的,那么该区海冰应该被视作中国区域天气气候变化的一个预报因子。

4 结论及讨论

由以上可预报性的分析以及与文献[3]中结果的对比,可以看到:

(1) 总的来说,与海温相比,单一海冰的可预报性是比较低的。与海温相反的是海冰的可预报性高纬大于低纬。在低纬地区,海冰的可预报性远小于海温的可预报性。然而在中高纬,不能排除海冰可预报性与海温作用相当甚至超过海温的可能性。

(2) 海冰对中高纬低层大气温度场、湿度场的可预报性较好,局地性较强。高中心主要位于海冰年际变率较大的区域,如巴伦支海、格陵兰海、白令海等。以上说明要研究中高纬度大气环流的变化,只考虑海温这一个因子是肯定不够的,有必要综合考虑其他因素。海冰是影响中高纬度大气环流的可能因素之一,至少在较低层大气中,海冰外强迫是一个比较重要的影响因子。海冰可以并且应该作为影响中高纬度大气环流的一个因子,被考虑到中高纬度大气环流物理模型中来。

(3) 区域大海冰异常年海冰可预报性结果与全部 31 年结果的比较说明,在某海区海冰出现大幅度异常时,该区域海冰对大气环流的影响可能在强度上比较明显,空间尺度也比较大,垂直方向上的影响也有所加大。格陵兰海海冰就可能影响到对流层中层的温度场,这将必然导致流场向热力场的适应。因此虽然海冰的影响似乎比较局限于局地的作用,但是这并不排除在某种情况下,某些区域的海冰可能影响更大区域范围内的大气环流状况的可能性。

与观测结果相比,海冰潜在可预报性数值试验中之所以没有大量出现某些依观测事实所揭示的,可能与海冰变化密切相关的遥相关型分布的可预报性高值区,分析原因可能有以下几点:(1) 本文的方差分析所揭示的潜在可预报性反映的是一种多年“平均”的海冰强迫的影响。这并不排除在某些海冰大异常年能够激发出大气遥相关型的可能性。但由于平均作用的削弱,这种影响未在结果中得到体现。(2) 根据文献[10]的结果,海冰面积变化与大气遥相关型的联系还与扰动频率有关。我们的工作是用存在年际差异的海冰作为外强迫,从同一组初始场开始,作季节尺度上的集合积分。这种做法必然削弱了年际尺度的海冰变化对大气造成的连续影响,亦即削弱了海冰变化的低频(周期在一年以上)影响。这种做法可能丢失部分遥相关信息。(3) 根据文献[19],模拟得到的大气变量(例如季节平均的 1000 hPa 温度等)异常由几个部分组成:除去由于集合积分之间使用的计算机不同造成的影响外(我们的工作中不存在这个因素),还包括外强迫的影响,由外强迫与大气内部过程相互作用产生并主要由大气内部过程所决定的存在一定可预报性的影响,以及纯粹随机的大气内部动力学过程三个部分。在我们的工作中,将第二部分划归随机的大气内部动力学过程,由内部方差所解释,这可能在一定程度上削弱了海冰场的实际影

响结果。在这方面更加深入的工作,作者将另文给出。

另外,在一方面从总体上肯定海冰对气候变率的影响比较小,但另一方面对高纬环流可能存在比较重要的影响这一主要结论的同时,不应忽视的几个问题是:(1)通过数值模拟得到的海冰潜在可预报性结果存在较强的模式依赖性,因此本文的结论尚需其它模式相关工作的验证。(2)由于样本数量的限制,在挑选各个区域的海冰大异常年时,无法做到区域之间彼此相互独立。因此对结果的物理意义还需要进一步分析。(3)本文使用的是单一的大气环流模式,无法考虑冰-气间的相互反馈作用,这将给结果带来一定的影响。

总而言之,海冰对季节预报的潜在可预报性虽然不及海温,但是由于某些区域的大幅度海冰异常有可能导致当地乃至中高纬其他地区显著的大气环流异常,在研究中高纬度大气环流异常的时候,就应该将海冰作为一个外强迫因子引入进来。由于海冰对大气环流模式的可预报性较低,在使用动力数值模式进行海冰数值模拟研究时一方面可能需要采用集合的方法来减小初始场的影响,另一方面需要将模拟结果同数据分析结果进行对比,相互印证。

致谢:感谢成都信息工程学院的方之芳教授为本工作提供了海冰观测资料,感谢中国科学院大气物理研究所的赵彦博士为本文提供部分模式积分结果。

参考文献

- 1 Walsh J E, Johnson C M. Interannual atmospheric variability and associated fluctuations in Arctic sea ice extent. *J Geophys Res.*, 1979, **84**(C11): 6915 ~ 6928.
- 2 Walsh J E, Sater J E. Monthly and seasonal variability in the ocean-ice-atmosphere system of the North Pacific and the North Atlantic. *J Geophys Res.*, 1981, **86**: 7425 ~ 7445.
- 3 Rogers J C, van Loon H. The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part 2: Some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes. *Mon Wea Rev.*, 1979, **107**: 509 ~ 519.
- 4 Fang Zhifang, Wallace J M. Arctic sea ice variability on a timescale of weeks and its relation to atmospheric forcing. *J Climate.*, 1994, **7**(12): 1897 ~ 1914.
- 5 Deser C, Walsh J E, Timlin M S. Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends. *J Climate.*, 2000, **13**(3): 617 ~ 633.
- 6 Agnew T. Simultaneous winter sea-ice and atmospheric circulation anomaly patterns. *Atmosphere-Ocean*, 1993, **31**(2): 259 ~ 280.
- 7 方之芳,高玉庄,代民. 极地海冰对北太平洋副热带高压影响的可能途径. *海洋学报*, 1986, **8**(5): 558 ~ 565.
- 8 武炳义,黄荣辉,高登义. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响. *大气科学*, 1999, **23**(3): 267 ~ 275.
- 9 曾刚,孙照渤,闵锦忠. 冬季戴维斯海峡的海冰面积年际变化与东亚气候关系研究. *南京气象学院学报*, 2001, **24**(4): 476 ~ 482.
- 10 蒋全荣,王春红. 北极海冰面积变化与大气遥相关型. *气象科学*, 1995, **15**(4): 158 ~ 165.
- 11 蒋全荣,王春红,徐桂玉. 北极 I 区海冰面积变化及其与大气遥相关型的联系. *气象学报*, 1996, **54**(2): 240 ~ 247.
- 12 王春红,蒋全荣,余志豪. 北极 III 区海冰面积低频变化对北半球冬季大气环流异常的作用. *大气科学*, 1997, **21**(1): 123 ~ 126.
- 13 武炳义,黄荣辉,高登义. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟. *气象科学*, 2001, **59**(4): 414 ~ 427.

- 14 杨修群,谢倩,黄土松.北极海冰异常对亚洲夏季风影响的数值模拟.海洋学报,1994,16(5):34~40.
- 15 谢倩,黄土松.冬季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的研究.气象科学,1990,10:325~338.
- 16 杨修群,谢倩,黄土松.夏季赤道中东太平洋海温和北极海冰异常对大气环流影响的数值模拟.海洋学报,1995,17(1):24~31.
- 17 赵彦,郭裕福,袁重光,等.短期气候数值预测可预报性问题.应用气象学报,2000,11(增刊):64~71.
- 18 Rowell D P. Assessing potential seasonal predictability with an ensemble of multidecadal GCM simulations. *J Climate*, 1998, 11: 109~120.
- 19 Zwiers F W. Interannual variability and predictability in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with CCC GCM2. *Climate Dynamics*, 1996, 12: 825~847.
- 20 Zhang X H, Shi G Y, et al. IAP global ocean-atmosphere-land system model. Beijing: Science Press, 2000. 252.
- 21 赵彦. 中国汛期旱涝预测的机理研究和预测方法研究:[博士学位论文]. 北京:中国科学院大气物理所,2000.
- 22 Rogers J C. Meteorological factors affecting interannual variability of summertime ice extent in the Beaurort Sea. *Mon Wea Rev.*, 1978, 106(6): 890~897.
- 23 Schell I I. Interrelations of Arctic ice with the atmosphere and the ocean in the north Atlantic - Arctic and adjacent areas. *J Meteor.*, 1955, 13: 46~58.
- 24 Schell I I. Arctic ice and sea temperature anomalies in the northeastern North Atlantic and their significance for seasonal foreshadowing locally and to the eastward. *Mon Wea Rev.*, 1970, 98(11): 833~850.

ASSESSING POTENTIAL PREDICTABILITY ASSOCIATED WITH BOREAL SEA ICE WITH AN AGCM

Wang Jia Guo Yufu

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The potential predictability associated alone with boreal sea ice on the seasonal to intraannual scale is studied with AGCMR15L9, the atmospheric component of LASG/IAP GOALS. With the aid of the analysis variance, it is found that the predictability index, expressed as a ratio of the external variance to the total, is weak in most regions. But as far as some low level, say 1000 hPa, variables are concerned, such as the atmospheric temperature and relative humidity, stronger predictability larger than 0.5 can be found in some regions where the interannual sea ice variability is great. Compared with sea surface temperature (SST) in the lower latitude, the boreal sea ice may have an equivalent or even stronger impact on the mid-high latitude atmospheric circulation. In addition, in some regions where the local sea ice variance is great, a greater predictability in the years of large sea ice area anomalies can be achieved than the results of the total 31 years. It means that large sea ice anomalies in some specific regions may lead to great anomalies in the corresponding atmospheric circulation.

Key words: Boreal sea ice Potential predictability Local sea ice