

北极海冰变化的时间和空间型^{*}

汪代维 杨修群

(南京大学大气科学系, 南京, 210093)

摘 要

利用 44 a (1951~1994 年) 北极海冰密度逐月资料, 分析提出了一种与北极冰自然季节变化相吻合的分季法, 并根据这种分季法, 使用 EOF 分解, 揭示了北极各季海冰面积异常的特征空间型及其对应的时间变化尺度。结果表明: (1) 北极冰面积异常变化的关键区, 冬季 (2~4 月) 主要位于北大西洋一侧的格陵兰海、巴伦支海和戴维斯海峡以及北太平洋一侧的鄂霍次克海和白令海, 夏季 (8~10 月) 则主要限于从喀拉海、东西伯利亚海、楚科奇海到波佛特海的纬向带状区域内, 格陵兰海和巴伦支海是北极海冰面积异常变化的最重要区域; (2) 春 (5~7 月)、秋 (11 月~次年 1 月) 季各主要海区海冰面积异常基本呈同相变化, 夏季东西伯利亚海、楚科奇海、波佛特海一带海冰面积异常和喀拉海呈反相变化, 而冬季巴伦支海、格陵兰海海冰面积异常和戴维斯海峡、拉布拉多海、白令海、鄂霍次克海的海冰变化呈反相变化; (3) 北极冰总面积过去 44 a 来确实经历了一种趋势性的减少, 并且叠加在这种趋势变化之上的是年代尺度变化, 其中春季 (5~7 月) 海冰面积异常变化对年平均北极冰总面积异常变化作出了主要贡献; (4) 位于北太平洋一侧极冰面积异常型基本具有半年的持续性, 而位于北大西洋一侧极冰面积异常型具有半年至一年的持续性。

关键词: 北极海冰, 长期趋势, 年代尺度变化, 持续性。

1 引 言

极地海冰作为气候系统的一个重要组成部分, 对气候演变有重要作用^[1]。一般来说, 作为气候系统中的一个敏感性因子, 一方面海冰同时受大气和海洋条件的影响; 另一方面, 通过改变表面反照率、大气与海洋之间的热量、水汽和动量交换以及深水层的上层海洋层结, 海冰变化反过来又会影响气候^[2]。

温室气体浓度的增加导致全球变暖, 而对于极区变暖的增大, 表面反照率的效应被认为是最主要的因素之一。Deser 等^[3]根据 1958~1997 年海冰密度月平均资料分析研究表明, 冬季 (1~5 月) 格陵兰以东海域海冰呈现长期减少的趋势, 夏季 (7~9 月) 海冰变化则呈现较好的空间一致性, 整个北极地区海冰面积在 40 a 里呈现单调减少的趋势; Cavalieri 等^[4]的研究也表明, 整体而言北极海冰在 1979~

1997 年间呈减少的趋势, 其中夏季减少最大, 而冬季的变化则可以忽略; 而 Parkinson 等^[5]研究指出, 虽然整体而言冬季海冰面积相对稳定, 但是不同海域的变化很不一致, 有些海域的变化趋势可以与夏季变化大小相当。

鉴于北极海冰覆盖面积在各种时间尺度上均具有显著的变化, 在进行极冰和气候关系的研究时, 有必要弄清楚北极海冰自身变化的时间和空间型。但是过去的研究一般采用人为的办法对北极海冰范围进行分区和分季, 例如王小兰等^[6]使用分区的方法对北极海域各区的海冰面积变化进行了分析, 指出北极海冰面积具有显著的季节性和非季节性周期振荡现象, 各分区海冰界线的多年平均位置及年际变化幅度差异甚大。基于以往的分区和分季, 已有不少研究揭示了北极不同区域海冰面积变化与气候系统中其他要素之间的可能联系, 例如, 谢倩、杨修群和黄土松^[7~13]较早地分析了冬、夏季北极 4 个区海

* 初稿时间: 2000 年 7 月 26 日; 修改稿时间: 2000 年 11 月 13 日。

资助课题: 《国家重点基础研究发展规划》G1998040900 项目第一部分。

冰覆盖面积异常和北半球 500 hPa 高度场及中国气候异常的关系, 并使用大气环流模式的敏感性试验揭示了极冰异常影响大气环流的可能动力学途径; 蒋全荣和王春红^[14]研究了北极不同区域海冰面积变化和大气遥相关型的联系; 钱步东等^[15]讨论了北极海冰与赤道东太平洋 SST 及厄尔尼诺的关系; Rogers^[16]、方之芳^[17]、Mysak^[18]以及 Slonosky^[19]等揭示了冬季海平面气压变化和海冰异常的关系; 解思梅等^[20]分析了两极冷源和热带海洋热源的可能相互作用; 武炳义等^[21, 22]分析了冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响以及冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对后期北太平洋海温的影响, 等等。显然, 对北极海冰进行人为分区和分季的方法虽然在以往的研究中很流行, 但是缺乏客观性。

为了避免主观性, 研究中在对海冰季节变化分析的基础上, 提出一种区别于传统的季节划分的新分季方法, 并采用 EOF 分析等方法, 试图揭示北极海冰面积变化的时间和空间型。

2 海冰资料

由英国 Hadley 气候研究中心提供的 1951 年 1 月至 1994 年 12 月北半球逐月海冰密度经纬度格点资料, 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$, 数值为每个网格内海冰覆盖面积占网格总面积的份数, 也就是说, 如果该网格内有 $M/10$ ($M = 0, 1, 2 \dots 10$) 的面积被海冰覆盖, 则该网格处的值为 M , 全被海冰覆盖时取 10, 完全没有海冰时取 0。显然, 海冰密度变化应反映海冰面积变化。

3 海冰气候分布及其季节变化

北极海冰分布空间上具有不均匀性, 图 1 为 44 a (共 528 月) 平均的北半球海冰密度的空间分布, 它清楚反映了气候海冰分布的空间变化。由图可见, 北冰洋中心海区(大约 75°N 以上)为永冻区, 海冰常年不化(数值为 10); 冰界线随经度变化很大, 在鄂霍次克海区和拉布拉多海区海冰界线可以向南延伸到 45°N 附近, 而在挪威海附近, 冰界线明显北抬, 最高已经达到 70°N 纬圈以内。海冰分布的纬向不均匀性, 与海陆分布、气候条件、洋流状况等因素有关。陆地的存在限制了海冰的分布, 被陆地包围的海湾(如哈得孙湾和巴芬湾)较同纬度的开放海洋包含更多的海冰; 平均气温也是影响海冰分布的因素之一, 同纬度北美大陆东岸沿海有较多的

海冰, 而西岸沿海海冰则很少, 可能是因为东岸沿海平均气温要比西岸低的缘故; 另外, 海洋洋流也会影响海冰的分布, 挪威海及其临近海域内海冰界线向北极退缩, 应该是由于大西洋暖流的影响。

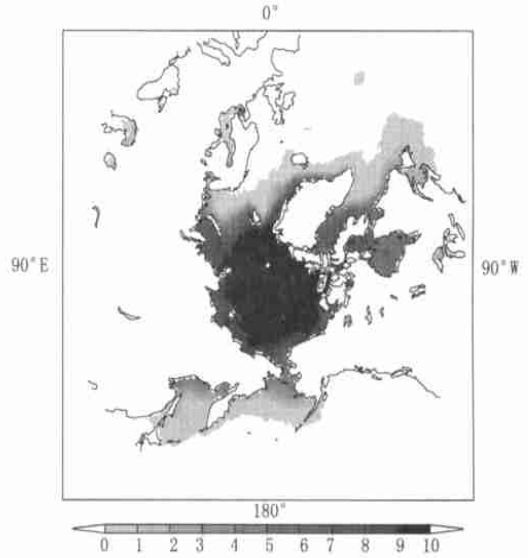


图 1 44 a (1951~1994 年) 平均的北半球海冰密度年平均分布

北极海冰面积具有显著的季节变化特征, 这种季节变化最根本的原因在于太阳辐射的季节变化, 从而导致了海冰界线在一年中随季节在经向有较大的波动。图 2 给出了 3, 6, 9, 12 月海冰密度的 44 a 平均场, 它们基本反映海冰面积分布的季节变化, 3 月海冰分布范围最大, 纬度较低的鄂霍次克海、白令海、戴维斯海峡、拉布拉多海和波罗的海等区域均有海冰存在, 而北冰洋中心海区包括贴近大陆的喀拉海、拉普贴夫海、东西伯利亚海、楚科奇海、波佛特海以及哈得孙湾、巴芬湾的大部海区全部覆盖着海冰。9 月海冰范围最小, 不但鄂霍次克海、白令海基本没有海冰, 哈得孙湾、戴维斯海峡、巴芬湾海冰明显减少, 而且全部被海冰覆盖的海域范围也退缩到北冰洋中心海域(即大约 75°N 以内的范围)。6 月和 12 月海冰分布范围则基本介于 3 月和 9 月之间。有趣的是, 与大西洋相连的格陵兰海、丹麦海峡和巴伦支海等海域海冰面积季节变化似乎不大, 其原因可能是这些海区海冰变化主要受稳定的北大西洋暖流的影响。

为了更直观反映海冰面积的季节变化, 本文根据网格点海冰密度资料计算了北半球海冰总面积, 总面积定义为所有网格点上海冰密度的面积加权之和(其中网格面积考虑为随纬度变化)。图 3 给出了

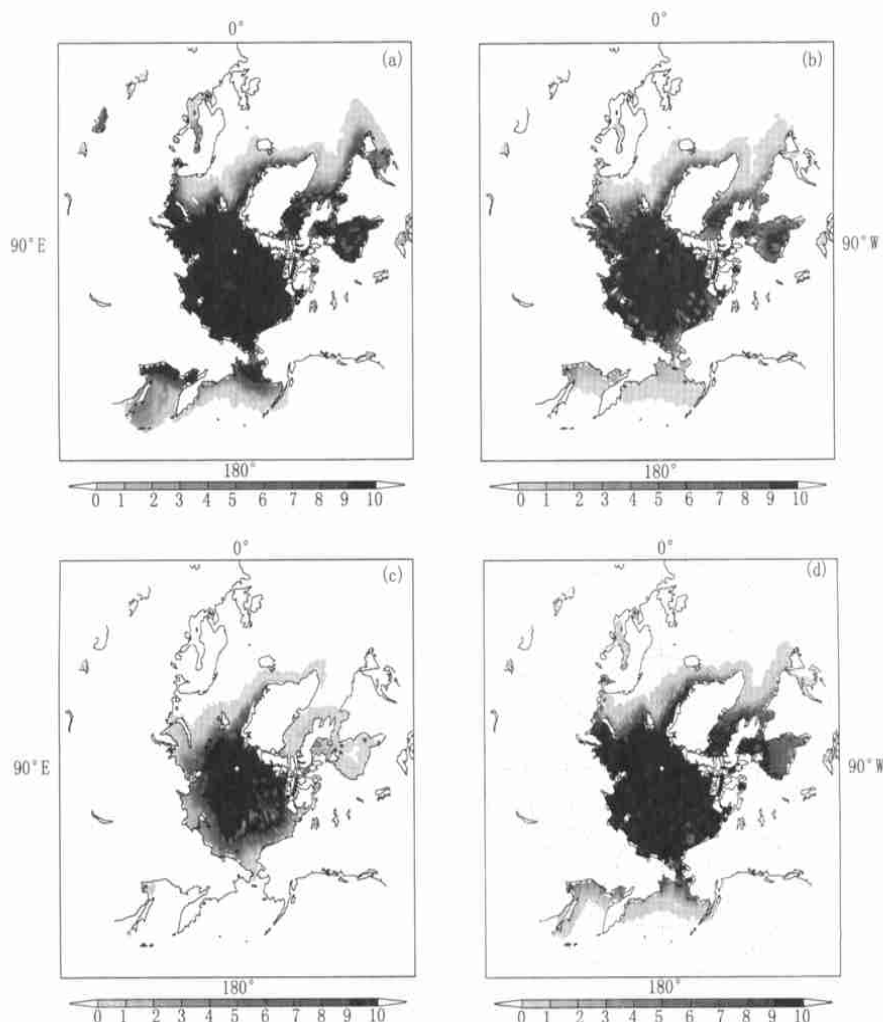


图2 44 a (1951~ 1994 年)平均的北半球海冰密度分布
(a. 3月, b. 6月, c. 9月, d. 12月)

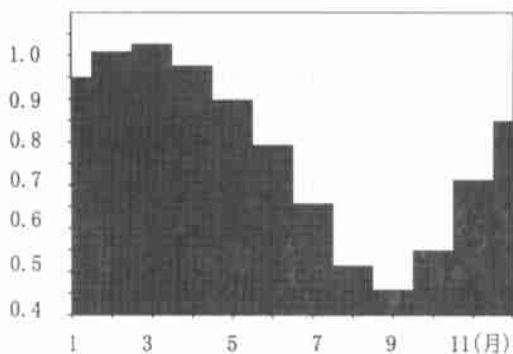


图3 北半球海冰总面积 44 a 平均的季节变化

北半球海冰总面积多年平均的季节变化, 由图可见, 3月海冰面积最大, 2, 4月次之; 9月海冰面积最

小, 8, 10月次之。且2~ 4月, 以及8~ 10月海冰面积变化幅度不大; 而4~ 8月和10月~ 次年1月海冰面积变化幅度则相当大。

据此, 对于海冰时空变化, 本文提出如下分季方法: 冬季(2~ 4月); 春季(5~ 7月); 夏季(8~ 10月); 秋季(11月~ 次年1月)。显然, 本文定义的北极海冰季节中, 冬季、夏季海冰面积季节变化较小, 比较稳定, 极大面积和极小面积分别代表两种气候平衡态; 而春季、秋季分别为海冰的消融和增长阶段, 海冰面积季节变化显著, 属于过渡季节。本文的季节划分方法与传统划分方法有所不同, 但它比传统的分季方法(即12月~ 次年1月为冬季, 3~ 5月为春季, 6~ 8月为夏季, 9~ 12月为秋季) 应更适用

于对北极海冰的分析研究。

为了了解图 3 所揭示的北极海冰总面积季节变化特征是否在空间分布上具有一致性, 本文计算了多年平均的北极海冰总面积季节变化时间序列与多年平均的每一格点海冰密度季节变化时间序列之间的相关场, 结果表明, 绝大部分海域均为相关系数大于 0.6 的高相关区(北冰洋中心海区是常年永冻区, 无季节变化, 故相关系数为零), 这说明图 3 所揭示的北极海冰面积季节变化特征在空间上具有相当好的一致性。因此, 本文提出的分季方法对于各个海区具有较好的普遍性。

4 海冰异常的时间和空间型

4.1 海冰异常变化的关键区

通过计算海冰密度距平的均方根差来描述海冰面积的变率, 其空间分布的高值区应反映海冰面积异常变化的关键区。图 4 给出了冬、夏季海冰密度

距平的均方根差分布(均方根差 > 0.5), 均方根差分布可以直观反映海冰面积变率的范围和大小。由图 4 可见, 海冰密度距平的均方根差分布主要呈纬向带状分布, 反映海冰面积距平的变率主要发生在气候平均冰界线附近。然而, 由于海冰平均冰界线具有较强的季节变化, 故带状的大的海冰面积距平变率区域随季节也有很大的变化。冬季海冰异常变化区所在纬度较低, 分布在北太平洋一侧的鄂霍次克海、白令海, 以及北大西洋一侧的拉布拉多海、戴维斯海峡、巴芬湾、丹麦海峡、格陵兰海、巴伦支海以及波罗的海(见图 4a)。夏季海冰异常变化区所在纬度明显偏高(见图 4b), 基本局限在北冰洋内, 包括喀拉海、拉普贴夫海、东西伯利亚海、楚科奇海和波佛特海等海域, 北太平洋一侧因已无冰, 故无海冰异常, 而在北大西洋一侧, 只有巴芬湾、格陵兰海有海冰异常分布, 位置也较冬季明显偏北。

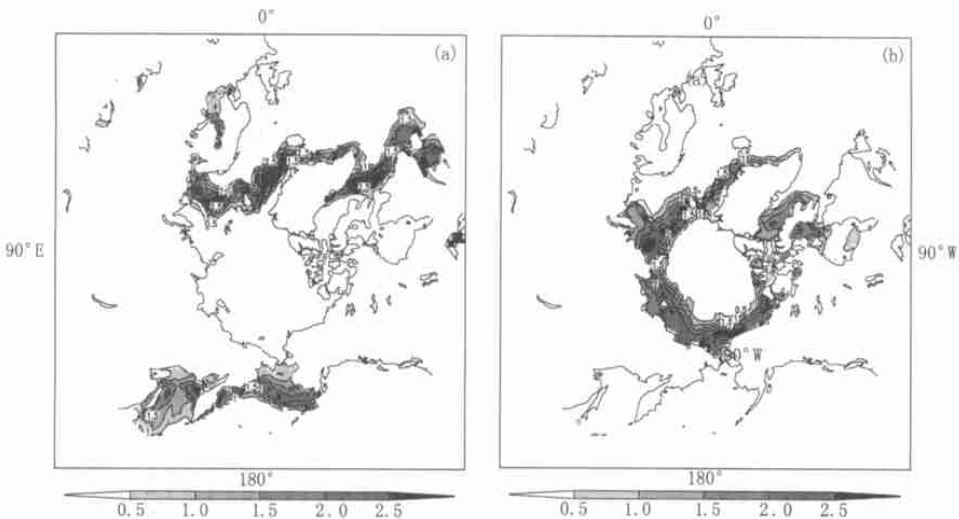


图 4 北极海冰密度距平的均方根差(> 0.5)分布
(a. 冬季(2~4月), b. 夏季(8~10月))

4.2 海冰异常变化的特征型

使用 EOF 分析方法来研究北极海冰面积异常变化的时间和空间特征型。由前面分析可知, 海冰异常区域随季节南北变化很大, 故进行 EOF 分析时, 必须对海冰进行分季处理。季节划分采用前面所述分季方法, 对各季平均的海冰距平场分别作了 EOF 分解, 图 5 给出了各季 EOF 第一模态的空间分布及其对应的时间序列。

由图 5a 可见, 春季海冰面积距平场 EOF 第一

模态空间型的主要特征是, 各海区基本呈同位相分布, 其中格陵兰海、巴伦支海为高值区, 说明该海区海冰异常变化最强; 其对应的时间序列特征表现为一个年代尺度的波动叠加在一个十分显著的下降趋势变化上。联系该 EOF 模态在空间分布上主要为同位相的正值, 时间序列过去 44 a 来的下降趋势变化表明, 在格陵兰海、巴伦支海、白令海峡等主要区域内, 春季海冰面积表现为一种趋势性减小特征。本文定义的春季正是海冰消融的季节, 这种趋势性

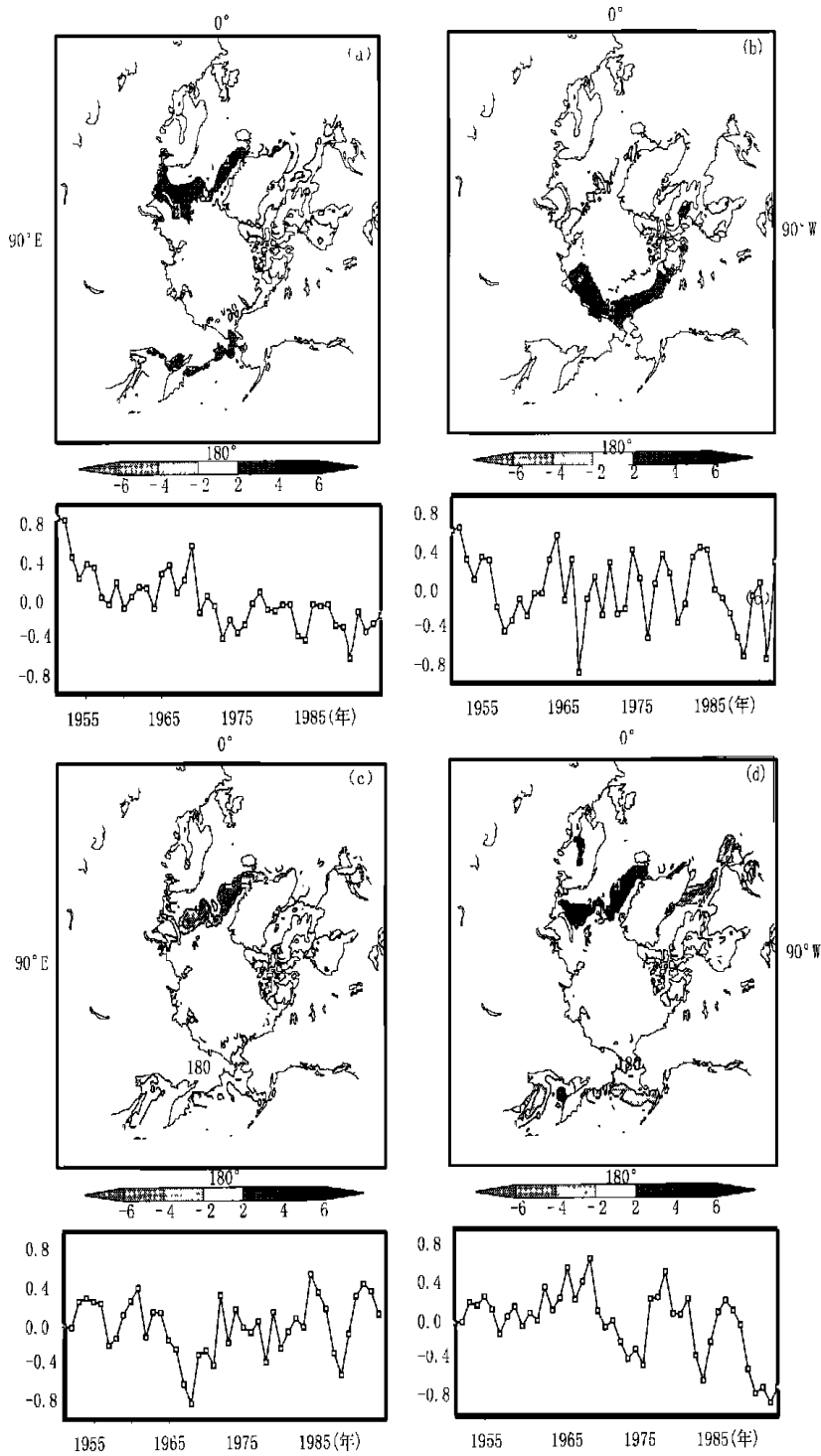


图5 北半球各季海冰面积距平场 EOF 第一模态空间型及其时间序列

(a. 春季, 解释总方差 16.8%; b. 夏季, 解释总方差 18.3%;

c. 秋季, 解释总方差 22.4%; d. 冬季, 解释总方差 23.0%)

的减少可能与全球变暖有关。

通过进一步计算分析表明, 年平均北极海冰总面积距平时间序列(见图 6)和春季海冰面积距平

EOF 第一模态时间序列(见图 5a)相当一致, 这一现象表明, 北极海冰面积过去 44 a 来确实经历着一种趋势性的减少, 而叠加在这种趋势变化之上的是年

代尺度变化,而春季(5~7月)海冰异常变化作出了主要贡献。

由图 5b 可见,在夏季海冰面积距平场 EOF 第一模态的空间型中,东西伯利亚海、楚科奇海和波佛特海一带为高的正值区,喀拉海附近为负值区,而其它海域海冰变化相对不明显,其时间序列则主要表现为年际变化,趋势变化不明显。

由图 5c 可见,秋季海冰面积距平场 EOF 第一模态空间型与春季 EOF 第一模态空间型较为相似(只不过符号相反),各海区也基本呈同相分布,其中格陵兰海、巴伦支海同样呈现为高值区。只是秋季第一模态的时间序列在表现为年代尺度波动的同时,线性的趋势变化很小,不像春季那么显著。

由图 5d 可见,冬季海冰面积距平场 EOF 第一模态的空间型特征是,巴伦支海、格陵兰海与戴维斯海峡、拉布拉多海、白令海、鄂霍次克海呈反相变化关系;其对应的时间序列显示出年代尺度的波动叠加在一个线性下降趋势上,这表明,除了年代尺度振荡外,冬季巴伦支海、格陵兰海的海冰也具有一种趋势性减少特征,但戴维斯海峡、拉布拉多海、白令海以及鄂霍次克海则表现一定的趋势性增加特征。

综上所述可以得到:(1)春、秋、冬 3 季,格陵兰海和巴伦支海均为第一 EOF 模态的高值区,说明该海区海冰面积异常对北极海冰异常主要时空型的贡献最大,因此可以认为是北极海冰面积异常变化的一个重要的关键区;(2)总体上而言,北极海冰面积各区一致性的趋势性减少主要发生在春季(5~7月),而冬季只有巴伦支海、格陵兰海海冰面积具有类似的趋势性减少特征;(3)除了趋势性变化特征外,海冰异常主要表现为年代变化特征,其次为年际变化。

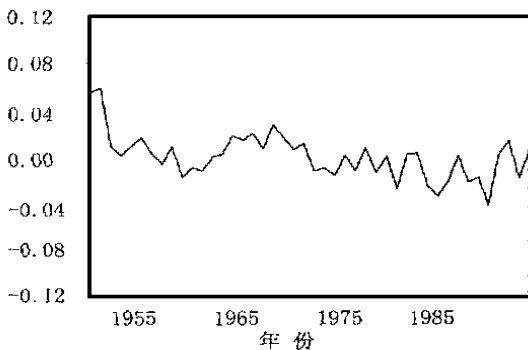


图 6 北极年平均海冰总面积距平时间序列

4.3 海冰面积异常型的持续性

为了讨论北极海冰面积主要异常空间型的持续

性,本文计算了各季海冰面积距平场 EOF 第一模态时间序列与前、后两季及本季海冰面积距平场的相关场,通过调查同符号相关系数值的持续时间来确定海冰面积变化的持续性。

图 7 给出了夏季海冰面积距平场 EOF 第一模态的时间序列与前一个冬季(图 7a)、前一个春季(图 7b)、本季(图 7c)、后一个秋季(图 7d)、以及后一个冬季(图 7e)海冰面积距平场的相关场。首先,由图 7c 可见,夏季海冰面积距平场 EOF 第一模态的时间序列与本季(即夏季)海冰面积距平场的相关场和该季海冰面积距平场 EOF 第一模态的空间型分布是完全类似的(见图 5b),这显然是理所当然的,它反映夏季北极海冰异常变化的型为:东西伯利亚海、楚科奇海和波佛特海一带海冰面积异常和喀拉海附近区域变化符号相反。但从该 EOF 模态和其它季节海冰异常的超前/滞后相关可见,夏季海冰年际变化的关键区即东西伯利亚海附近区域的海冰年际异常,仅仅可以追溯到前一季节即春季(图 7b),即当东西伯利亚海、楚科奇海和波佛特海一带夏季海冰面积异常大时,则春季该区域以及白令海区域海冰也异常大,反之亦然。而夏季东西伯利亚海、楚科奇海和波佛特海一带海冰异常型几乎没有任何后续持续性(见图 7d, 7e),这在一定程度上反映夏季该区域海冰面积异常型缺少记忆性。

其它季节海冰面积异常型一般均具有比夏季海冰面积异常型更长的持续性,这主要表现在一个季节的海冰异常型不仅可以追溯到前一季节甚至前二个季节,而且还具有一至二个季节的后续持续性,具有较长的跨季记忆性。例如,图 8 给出了与图 7 类似的冬季相关场,即冬季海冰面积距平场 EOF 第一模态的时间序列与前一个夏季(图 8a)、前一个秋季(图 8b)、本季(图 8c)、后一个春季(图 8d)、后一个夏季(图 8e)海冰面积距平场的相关场。由图 8c 可见,冬季海冰年代变化的主要关键区和图 5d 给出的冬季海冰面积异常型的第一 EOF 空间型完全类似,即格陵兰海、巴伦支海和拉布拉多海、戴维斯海峡、白令海、鄂霍次克海呈反相变化关系。其中两个关键区即格陵兰海、巴伦支海和拉布拉多海、戴维斯海峡的海冰异常型可以追溯到前一季秋季(图 8b),并可持续到后一季春季(图 8d);而格陵兰海、巴伦支海的海冰异常甚至可以与前二个季节的夏季(图 8a)、及后二个季节的夏季(图 8e)有较好的相关,表明该区域海冰异常有近一年的持续性。然而也注意到,

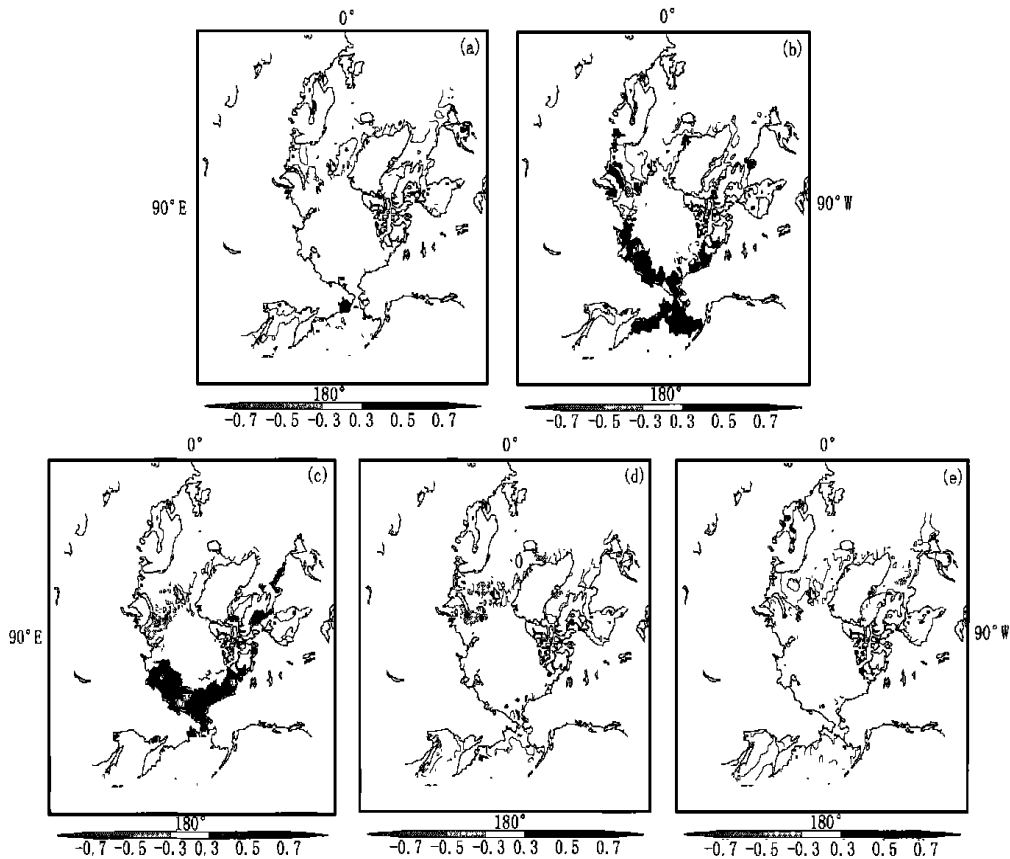


图7 夏季海冰面积距平场 EOF 第一模态的时间序列与各季海冰距平的相关场
(a. 前一个冬季, b. 前一个春季, c. 本季, d. 后一个秋季, e. 后一个冬季)

冬季白令海和鄂霍次克海海冰异常型除了和前一秋季有连续性外, 和后续季节几乎没有关系。

另外, 春季海冰面积异常型(见图 5a)基本可以从前一季节持续到后一季节(图略), 而秋季格陵兰海和巴伦支海海冰面积异常型可以追溯到前二个季节并持续到后二个季节。

综上所述可以得到, 位于北太平洋一侧的极区海冰面积异常型基本具有半年持续性, 而位于北大西洋一侧的极区海冰面积异常型的持续时间可达 0.5~ 1 a。

5 结 论

通过对 44 a 北极海冰面积变化的时空特征分析, 结果表明:

北半球海冰面积具有十分显著的季节变化, 虽然北极海冰分布在空间上具有不均匀性, 但其平均的季节变化却具有一致性。根据北极海冰多年平均总面积的季节变化特征, 本文提出了一种更为合理

的北极冰变化自然分季法: 2~ 4 月划分为冬季, 其中在 3 月北极冰面积达到最大, 8~ 10 月划分为夏季, 其中 9 月北极冰面积达到最小, 而剩余的 5~ 7 月划分为春季, 11 月~ 次年 1 月划分为秋季。根据这种分季法, 冬、夏两季北极冰面积相对稳定, 变化较小, 而春、秋两季分别正值海冰的消融和增长, 变化较大。

北极海冰面积异常具有较大的年际、年代际、甚至是趋势性变化特征, 并且其变化的时间和空间型具有明显的季节性。就其变化的关键区来看, 冬季海冰面积异常区主要位于北大西洋一侧的格陵兰海、巴伦支海和戴维斯海峡, 以及北太平洋一侧的鄂霍次克海和白令海; 而夏季海冰面积异常区空间分布相对均匀, 主要限于从喀拉海、东西伯利亚海、楚科奇海到波佛特海的纬向带状区域内。

就其变化的空间型来看: 春、秋季各主要海区海冰面积异常基本呈同位相分布, 其中格陵兰海、巴伦支海异常变幅最大; 夏季表现为东西伯利亚海、楚科

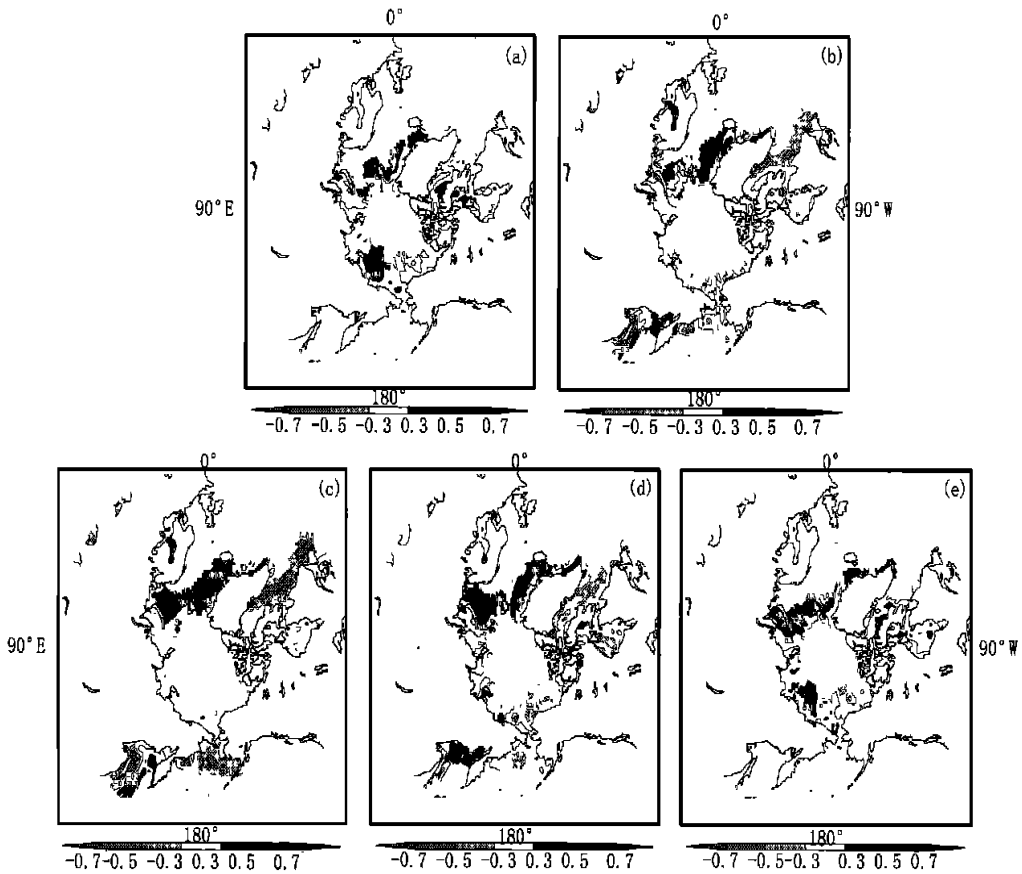


图8 冬季海冰面积距平场 EOF 第一模态的时间序列与各季海冰距平场的相关场

(a. 前一个夏季, b. 前一个秋季, c. 本季, d. 后一个春季, e. 后一个夏季)

奇海、波佛特海一带海冰面积异常和喀拉海变化相反;而冬季则表现为巴伦支海、格陵兰海海冰面积异常和戴维斯海峡、拉布拉多海、白令海、鄂霍次克海的海冰变化呈反相关系。由于春、秋、冬3季,格陵兰海和巴伦支海均为异常变幅的大值区,表明该区域海冰面积异常对北极海冰异常主要时空型的贡献最大,因此可以认为是北极海冰面积异常变化的主要关键区。

就其变化的时间特征来看:春季海冰异常型表现为一个年代尺度的波动叠加在一个十分显著的下降趋势变化上,即格陵兰海、巴伦支海、白令海峡等主要区域内,春季海冰面积表现为一种趋势性减小特征;夏季海冰异常型则主要表现为年际变化,趋势变化不明显;秋季海冰异常型表现为年代尺度波动,线性趋势变化很小;而冬季海冰异常型显示出年代尺度的波动叠加在一个线性下降趋势上,它表明,除了年代尺度振荡外,冬季巴伦支海、格陵兰海的海冰具有一种趋势性减少特征,但戴维斯海峡、拉布拉多

海、白令海以及鄂霍次克海则表现一定的趋势性增加特征。通过计算表明,北极海冰总面积过去44a来确实经历着一种趋势性的减少,并且叠加在这种趋势变化之上的是年代尺度变化,这种变化特征和春季(5~7月)北极海冰面积异常型的变化特征相当一致,它表明春季海冰异常变化对年平均北极海冰总面积的异常变化作出了主要贡献(这和以往研究认为夏季作出主要贡献的结果显著不同)。因此,总体上而言,北极海冰面积各区一致性的趋势性减少主要发生在春季(5~7月),而冬季只有巴伦支海、格陵兰海海冰面积具有类似的趋势性减少特征,除了趋势性变化特征外,海冰异常主要表现为年代变化特征,其次为年际变化。

就北极海冰面积异常型的持续性特征来看:位于北太平洋一侧的极冰面积异常型基本具有半年的持续性,而位于北大西洋一侧的极冰面积异常型持续时间可达0.5~1a。

本文只对北极海冰自身变化特点进行了分析,

建立在此基础之上的冰-气关系研究将是有待进一步研究的主要内容。

参考文献

- 1 彭公炳, 李倩, 钱步东. 气候与冰雪覆盖. 北京: 气象出版社, 1992. 349pp
- 2 Walsh J E, Johnson C M. An analysis of arctic sea ice fluctuations, 1953—1977. *J Phys Oceanogr*, 1979, 9: 580~ 591
- 3 Deser C, Walsh G E, Timlin M S. Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends. *J Climate*, 2000, 13: 617~ 633
- 4 Cavalieri D J, Gloersen P, Parkinson C L, et al. Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changes. *Science*, 1997, 278: 1104~ 1106
- 5 Parkinson C L, Cavalieri D G, Gloersen P, et al. Arctic sea ice extent, area, and trends, 1978—1996. *J Geophys Res*, 1999, 104(C9): 20837~ 20856
- 6 王小兰, 范钟秀, 彭公炳等. 北极海冰面积时空分布特征. *海洋学报*, 1991, 13(4): 475~ 488
- 7 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海环流影响研究. *气象科学*, 1990, 10(4): 325~ 336
- 8 杨修群, 黄土松. 北半球夏季南极冰气候效应的数值试验. *大气科学*, 1992, 16(1): 69~ 76
- 9 黄土松, 杨修群, 谢倩. 北极冰对大气环流和气候影响的观测研究和数值试验. *海洋学报*, 1992, 14(6): 32~ 42
- 10 Yang Xiuqun, Huang Shisong. Numerical simulation of summer atmospheric response to the anomalies of the central eastern equatorial Pacific SST and Arctic sea ice cover. *Acta Oceanol Sinica*, 1992, 11(3): 75~ 85
- 11 杨修群, 谢倩, 黄土松. 赤道中东太平洋海温和北极海冰与夏季长江流域旱涝的相关. *热带气象*, 1992, 8(3): 261~ 265
- 12 杨修群, 谢倩, 黄土松. 北极海冰对亚洲夏季风影响的数值模拟. *海洋学报*, 1994, 16(5): 34~ 40
- 13 黄土松, 杨修群, 蒋全荣等. 极地海冰变化对气候的影响. *气象科学*, 1995, 15(4): 46~ 56
- 14 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(2): 155~ 165
- 15 钱步东, 范钟秀, 彭公炳等. 北极海冰与赤道东太平洋海温的相互影响及其与 El Nino 的联系. *热带气象学报*, 1994, 10(4): 325~ 334
- 16 Rogers J C, Van Loon H. The seasaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part II: Some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes. *Mon Wea Rev*, 1979, 107: 509~ 519
- 17 Fang Z, Wallace J M. Arctic sea ice variability on a time scale of weeks: Its relation to atmospheric forcing. *J Climate*, 1994, 7: 1897~ 1913
- 18 Mysak L A, Power S B. Sea-ice anomalies in the western Arctic and Greenland-Iceland sea and their relation to an interdecadal climate cycle. *Climate Bull*, 1992, 26: 147~ 176
- 19 Slonosky V C, Mysak L A, Derome J. Linking Arctic sea ice and atmospheric circulation anomalies on interannual and decadal time scales. *Atmos Ocean*, 1997, 35: 333~ 366
- 20 解思梅, 包澄澜, 郝春江. 两极冷源和热带海洋热源的相互作用. *海洋学报*, 1996, 18(2): 41~ 49
- 21 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响. *高原气象*, 1999, 18(4): 590~ 594
- 22 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对后期北太平洋海温的影响. *气候与环境研究*, 1999, 4(2): 165~ 175

TEMPORAL AND SPATIAL PATTERNS OF ARCTIC SEA ICE VARIATIONS

Wang Daiwei Yang Xiuqun

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract

Temporal and spatial patterns of the Arctic sea ice variations have been documented in this study with 44 year (1951–1994) monthly sea ice concentration dataset. A more objective season is defined for describing natural seasonal variations of the sea ice, with winter in February–April, spring in May–July, summer in August–October and fall in November–January. According to such a definition, dominant patterns of the sea ice anomalies in the extent are examined with EOF decomposition. It was found that key regions with large variability of sea ice are located in the Greenland and Barents Seas, the Davis Strait, the Bering Sea and the Sea of Okhotsk during winter, but confined to a zonal area along the Kara, Laptev, East Siberian and Beaufort Seas during summer. Dominant modes of sea ice variability exhibit in phase fluctuations in most of the key regions during spring and fall, yet out of phase fluctuations between the western North Atlantic (the Greenland and Barents Seas) and the eastern North Atlantic (the Labrador Sea and the Davis Strait) together with the North Pacific (the Bering Sea and the Sea of Okhotsk) during winter, and out of phase fluctuations between the East Siberian and Beaufort Seas and the Kara Sea during summer. The annual mean extent of the Arctic sea ice is characterized by a decadal-scale variation superimposed upon a long term diminishing trend over the 1951–1994 period, which is largely attributed to the dominant mode of spring (May–June–July) sea ice variability. Finally, it was also found that the persistence of sea ice anomalies in North Pacific basically is six months, while that in North Atlantic is up to one year.

Key words: Arctic sea ice, Decadal variability, Long term trend, Persistence.