

The Relationship between Arctic Sea Ice Anomalies and Atmospheric Circulation in the Autumn and Winter of 2016-2017

Kan Xu

College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong
Email: xukan@stu.ouc.edu.cn

Received: Jun. 22nd, 2019; accepted: Jul. 2nd, 2019; published: Jul. 9th, 2019

Abstract

Arctic sea ice extent hit a record low in the winter of 2016-2017. In this paper, Arctic sea ice extent index data and NCEP/NCAR atmospheric data were used to analyze the variation characteristics of Arctic sea ice during the 2016-2017 autumn and winter, and its relationship with atmospheric circulation. In the autumn and winter of 2016-2017, the Arctic sea ice was far lower than the multi-year average, and there were several times of sea ice reduction or stagnation of sea ice development. The two main sea ice anomaly areas are the Barents-Kara Sea and the East Siberia-Chukchi-Beaufort Sea. Analysis of the atmospheric circulation in the middle and high latitudes of the northern hemisphere found that from October to November 2016, the continuous and abnormal atmospheric circulation was the reason for affecting the atmospheric temperature and humidity, and thus the sea ice. The guidance of the westerly jet by the anomalous high pressure makes the atmosphere move from the north Atlantic and north Pacific to the Arctic Ocean, which results in the increase of atmospheric temperature and water vapor over the Arctic and the long-wave radiation. From November 2016 to March 2017, advection is the main effect on local atmosphere.

Keywords

Autumn and Winter of 2016-2017, Arctic Sea Ice, Atmospheric Circulation

2016~2017年秋冬季北极海冰异常与大气环流的关系

徐 侃

中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛
Email: xukan@stu.ouc.edu.cn

摘要

2016~2017冬季，年北极海冰范围创下自1979年以来最低记录。本文利用美国冰雪数据中心(NSIDC)的北极海冰范围指数和NCEP/NCAR大气再分析数据，分析了2016~2017年秋冬季北极海冰的变化特点及其与大气环流的关系。2016~2017年秋冬季北极海冰远低于多年平均值，并且出现了若干次海冰减少或海冰发展停滞的现象。两个主要海冰异常区为巴伦支-喀拉海和东西伯利亚-楚科奇-波弗特海，其中巴伦支-喀拉海海冰异常最为明显。对北半球中高纬度大气环流的分析发现，2016年10月~11月，持续的、异常的大气环流是影响大气温湿度进而影响海冰的原因。异常高压对西风急流的引导作用使得大气从北大西洋和北太平洋向北冰洋运动，引起北极上空大气增温、水汽增加则导致长波辐射。2016年11月~2017年3月，没有明显的持续性的环流异常，但是在较短的时间尺度上，依然有强烈的平流作用使得大气升温，从而影响了海冰。

关键词

2016~2017年秋冬季、北极海冰、大气环流

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

观测数据显示，北极海冰正在加速减少[1]。过往的研究发现海冰急剧减少时，冬季海冰并未明显减少。但这种规律从2005、2006年开始打破了。2005、2006年的北极冬季海冰异常减少，这种减少与温度上升和风场的异常有关[2]。北极海冰通常在9月中旬达到最少，在3月初最多。秋冬季(10月~次年3月)是北极海冰的结冰期，结冰期北极海冰的变化对北半球中高纬度的天气和气候有着重要的影响。

2016~2017年的冬季，北极经历了有记录以来最暖的一个冬季。美国冰雪数据中心提供的卫星观测的海冰数据显示，2017年3月北极海冰范围是自1979年以来3月海冰范围的最低记录，仅为 $14.27 \times 10^6 \text{ km}^2$ (多年平均值为 $15.43 \times 10^6 \text{ km}^2$)。在2016年10月~2017年3月的北极结冰期内，东西伯利亚海、楚科奇海、波弗特海、巴伦支海、喀拉海的海冰异常最为明显(图1)。Hegyí和Taylor [3]研究了2016~2017年结冰期北极海冰变化异常的原因。他们发现，热量和水汽的输送是造成异常的主要原因，一方面，热量和水汽的积累导致了向下长波辐射的增加，另一方面，辐射降温过程的减弱也使得北极保存了更多的热量。他们指出，在2016/2017年结冰期北极有15天海冰在减少，这是自1979年以来最多的一年。

2. 数据与方法

本研究使用了美国冰雪数据中心(NSIDC, National Snow and Ice Data Center)的每日海冰范围指数 Sea Ice Index Version 3 [4]，其中包括了北极以及北极各个边缘海的海冰指数。大气数据为NCEP/NCAR的大气再分析数据[5]，包括位势高度、温度、风矢量、向下长波辐射、感热通量等要素。本文中所选取的气候态平均均为1981~2010年三十年的平均值。

海冰密集度(SIC, Sea Ice Concentration)为单位面积的海洋内，海冰覆盖的面积占总面积的比值，0为

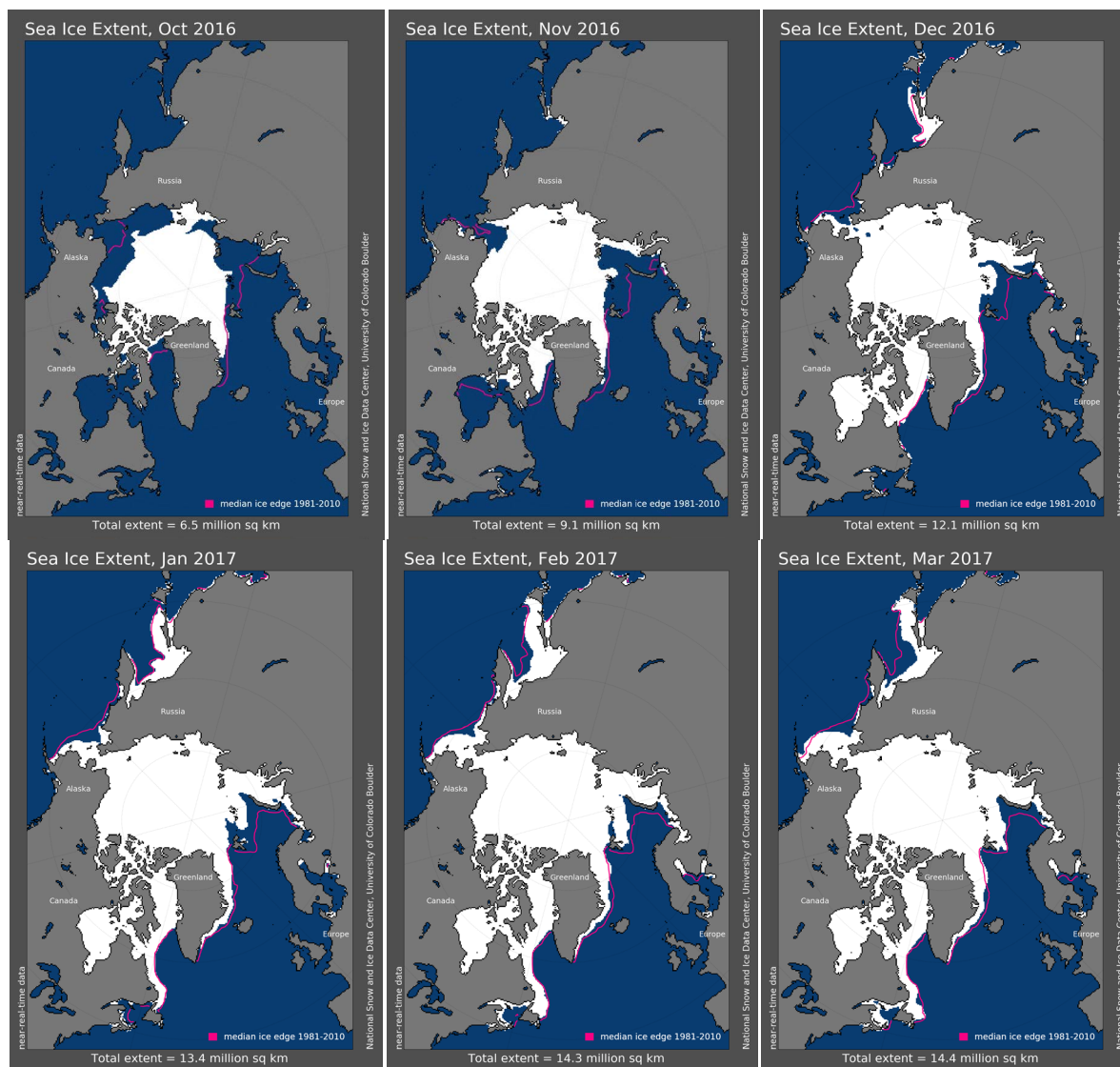


Figure 1. Arctic sea ice distribution from October 2016 to March 2017. The white area is the arctic sea ice extent, where sea ice concentration reaches 15%, and the red solid line is the climatology average marginal

图 1. 2016 年 10 月~2017 年 3 月北极地区海冰分布。白色区域为海冰密集度达到 15% 的地区，白色区域面积即为北极海冰范围，红色实线为多年平均的边缘线。(来源：NSIDC)

无海冰，1 为海冰完全覆盖。海冰范围(SIE, Sea Ice Extent)为海冰密集度达到 15% 的海洋面积[2]。在本研究中，主要使用海冰范围作为海冰变化的指标。

温度平流的计算公式如下：

$$advT = - \left(u \frac{dT}{dx} + v \frac{dT}{dy} \right)$$

3. 2016~2017 年秋冬季北极海冰变化过程

如图 1 所示，2016 年 10 月，东西伯利亚海、楚科奇海、波弗特海、喀拉海的海冰明显少于多年平均水平。到了 11 月，东西伯利亚海、波弗特海基本都已被海冰覆盖，楚科奇海、喀拉海的海冰依然少于平均值，巴伦支海海冰也没有增加的趋势。按照多年来的海冰变化趋势，从 10 月到 11 月，巴伦支 - 喀

拉海海冰会有明显的增加,但是在2016年11月,巴伦支海海冰与10月相比并没有明显变化,喀拉海的海冰也远未达到平均水平。从2016年12月到2017年3月,海冰异常则集中在巴伦支海和白令海,3月份鄂霍次克海的海冰也出现了明显的异常。

综上所述,在整个结冰期,东西伯利亚海、楚科奇海、波弗特海、喀拉海和巴伦支海的海冰在整个北极的海冰变化中扮演了非常重要的角色。为方便研究,我们将位于大西洋一侧的巴伦支海和喀拉海作为一个整体研究,将位于太平洋一侧的东西伯利亚海、楚科奇海和波弗特海作为一个整体研究。

图2为2016年9月1日到2017年3月31日北极和巴伦支-喀拉海以及东西伯利亚-楚科奇-波弗特海的海冰变化时间序列。首先,整个北极海冰的在2016~2017年结冰期始终低于多年平均水平,并且多次出现海冰减少的现象。在结冰期,海冰减少是气候异常的信号,常常伴随着强烈的大气的影响。通过分析巴伦支-喀拉海和东西伯利亚-楚科奇-波弗特海的海冰变化过程可以更加清晰地看到海冰变化的进程。将巴伦支-喀拉海冰范围时间序列与多年平均比较,可以发现,在2016年,巴伦支-喀拉海每日海冰范围发展有一个明显的延迟。在2016年,巴伦支-喀拉海开始结冰的时间为11月,比平均时间月平均晚了接近一个月。巴伦支-喀拉海海冰结冰的过程在2016年9月1日到2017年3月31日期间,被数次的阶段性海冰减少打断了,这很可能是2016年秋季北极海冰增长如此缓慢的原因之一。东西伯利亚-楚科奇-波弗特海的结冰过程虽没有像巴伦支-喀拉海这样出现明显的化冰事件,但是也在10月到12月有海冰发展停滞的现象,比如在10月初到10月中旬这段时间,以及11月初。局地作用很难打破海冰的结冰过程,有的研究指出,北极地区变暖变湿的源头来自于中纬度,是因为中纬度的对流层的水汽和热量输送造成的[6][7][8]。Zhong等[9]的研究结果则显示除去巴伦支-喀拉海局地的水汽补充,来自于外界的水汽输送占了该地区总的水汽含量的57.3%,这些水汽来自于挪威海和中纬度的北大西洋。

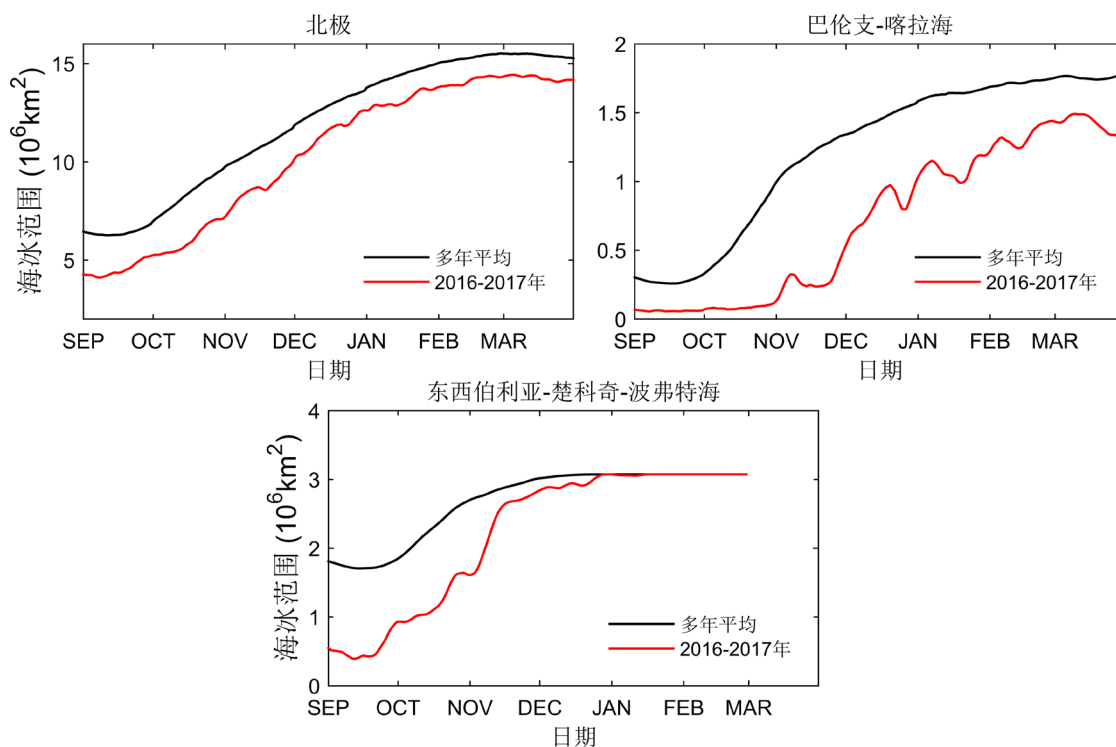


Figure 2. Sea ice extent time series and its climatology mean of East Siberian-Chukchi-Beaufort Sea (a) and Barents-Kara Sea (b)

图2. 2016年9月1日~2017年3月31日东西伯利亚-楚科奇-波弗特海海冰范围时间序列及其气候平均(a)和巴伦支-喀拉海海冰范围时间序列及其气候平均(b)

综上所述, 2016~2017 年秋冬季北极海冰和主要异常区海冰都远低于多年平均值, 并且出现了若干次海冰减少或海冰发展停滞的现象, 其中以巴伦支 - 喀拉海表现最为明显。

4. 2016~2017 年秋冬季大气环流

图 3 为 2016 年 10 月至 2017 年 3 月的北半球 30°~90°N 月平均 500 hPa 位势高度异常和 850 hPa 温度异常, 图 4 为向下长波辐射异常。在北极, 向下长波辐射的增加主要来自于大气中水汽含量的增加和温度的上升。10 月份, 在北冰洋上空存在两个异常强大的高压中心, 影响了整个北半球高纬度地区的环流形势。其中一个高压中心位于斯堪的纳维亚半岛北部和斯瓦尔巴岛中间的海面上, 呈东北 - 西南走向, 覆盖了巴伦支海、喀拉海、挪威海、格陵兰海以及格陵兰和亚欧大陆北部的部分地区。在该高压的南部西伯利亚地区则是一个低压中心。对应的, 在巴伦支 - 喀拉海北部、格陵兰海 850 hPa 平均温度异常偏高, 西伯利亚地区温度异常偏低。另一个高压中心位于阿拉斯加北部, 而在其东西两侧 - 库页岛和阿拉斯加湾上空, 则为两个低压中心。在这样的大气环流影响下, 东西伯利亚海、楚科奇海和波弗特海附近范围内的大气中下层平均温度表现为正的温度异常, 库页岛南部和北美东部为负温度异常。两处温度正异常可达到+7°C。从向下长波辐射的异常可以看出, 长波辐射也在巴伦支 - 喀拉海北北部、东西伯利亚 - 楚科奇 - 波弗特海以及格陵兰东部明显较高。这可以一定程度上解释 10 月份巴伦支 - 喀拉海和东西伯利亚 - 楚科奇 - 波弗特海的海冰偏少和发展停滞的现象。

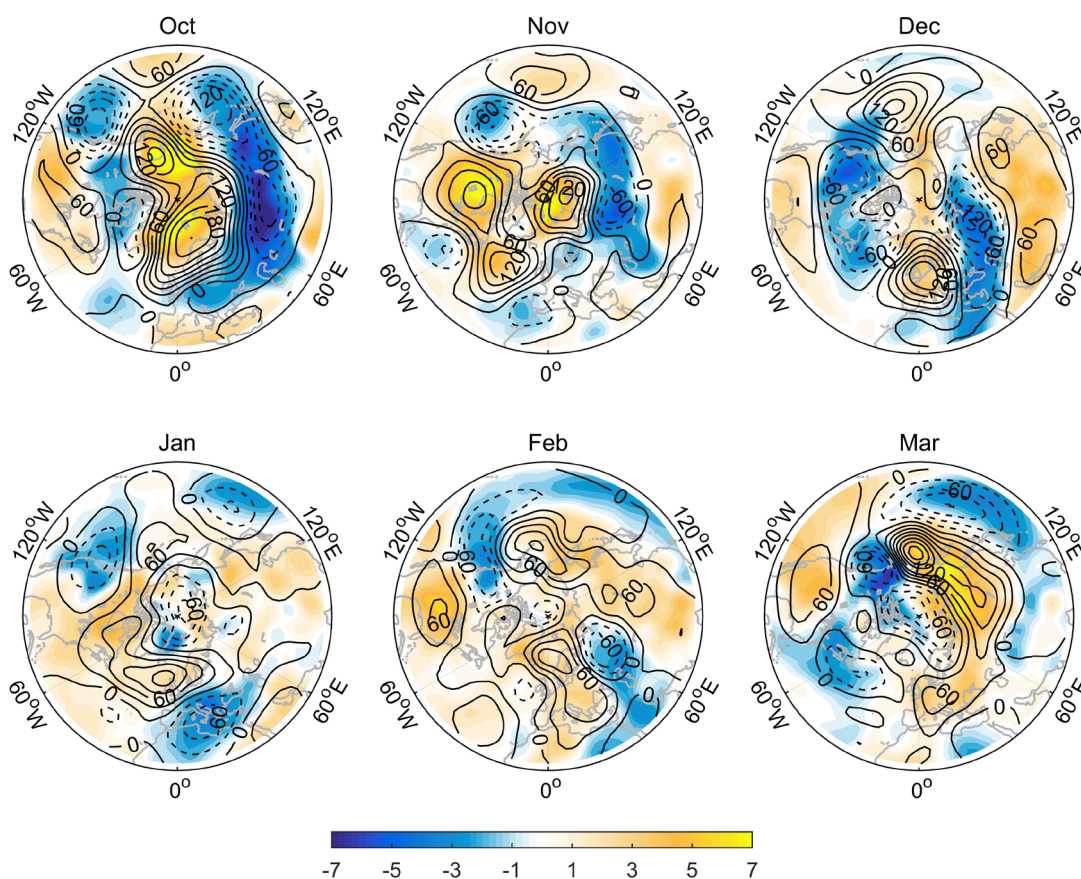


Figure 3. Monthly mean 500 hPa geopotential height anomaly (contour) and 850 hPa temperature anomaly (shading, °C) of October 2016 to March 2017 in the northern hemisphere (30°~90°N)

图 3. 2016 年 10 月~2017 年 3 月北半球 30°~90°N 月平均 500 hPa 位势高度异常(等值线)和 850 hPa 温度异常(填色图, 单位为°C)。等值线间隔为 30 gpm, 气候态平均取 1981~2010 年

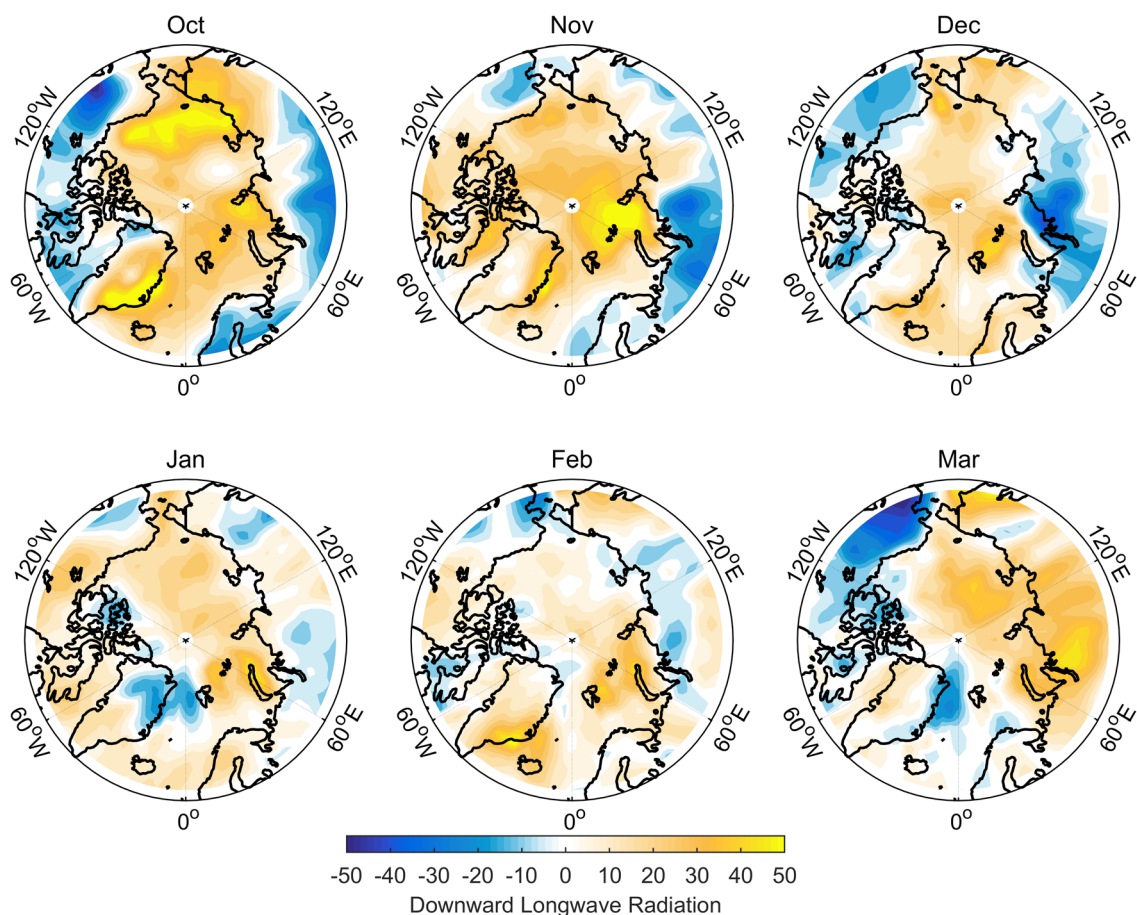


Figure 4. Monthly mean downward longwave radiation flux anomaly (W/m^2) of October 2016 to March 2017 in the northern hemisphere ($30^\circ\sim 90^\circ\text{N}$)

图 4. 2016 年 10 月~2017 年 3 月北半球 $60^\circ\sim 90^\circ\text{N}$ 月平均向下长波辐射异常(单位为 W/m^2)

在 2016 年 10 月的大气环流场中, 位于欧洲北部的这个高压对西风急流的引导作用使得大气从北大西洋向北冰洋运动, 来自低纬度的空气更加温暖、湿润, 会引起巴伦支 - 喀拉海上空大气增温, 同时水汽增加也会引起长波辐射增加, 这两种过程都会阻碍海冰的结冰过程。在太平洋一侧也是类似的过程。异常的大气环流也影响了中纬度的大气, 从欧洲到西伯利亚直至远东地区都处在异常低温的影响下。这种模态与 Luo 等人[10]中提出的阻塞高压引起暖北极 - 冷大陆的模式相似。

11 月, 同样在环流异常的影响下出现了温度异常。但不同的是, 相比于 10 月, 11 月的大气环流异常较弱, 但异常向下的长波辐射集中在巴伦支 - 喀拉海北部。在巴伦支 - 喀拉海北部和西伯利亚地区分别存在一个高压中心和低压中心, 对应着两个地区的正温度异常和负温度异常。在太平洋至北美地区则表现为 PNA 波列的遥相关型。12 月, 在欧洲地区再次出现高压中心, 对应西伯利亚地区低压, 从 12 月到 3 月, 在巴伦支 - 喀拉海地区的高压逐渐减弱, 对大气温度的影响也逐渐变小, 没有出现明显的高温异常。而与此同时, 巴伦支 - 喀拉海的海冰异常有十分明显。如上所述, 在 11 月到 3 月巴伦支 - 喀拉海的海冰结冰过程被数次阶段性的海冰减少事件所打断, 这些海冰减少事件通常持续时间不超过 10 天。因此猜想, 这些阶段性海冰减少过程可能受到了大气快变过程的影响。

根据 2016 年 11 月至 2017 年 3 月的巴伦支 - 喀拉海海冰逐日变化过程, 挑选出了 6 个海冰减少事件, 以海冰减少速度达到最大为准, 分别为 2016.11.10, 2016.12.23, 2017.1.10, 2017.1.17, 2017.2.10, 2017.3.18。

因为巴伦支 - 喀拉海在 2016~2017 年结冰较多年平均延迟了一个月, 这些海冰减少事件都发生在 11 月~3 月。以这些日期为中心, 分别计算了 Lag-1 天的大气温度平流, 并将它们合成分析(图 5)。对于某地, 正的温度平流说明该地有增温现象, 负温度平流则相反。从合成的温度平流来看, 海冰减少事件发生时, 巴伦支 - 喀拉海地区存在强烈的正温度平流, 且在近地面最为明显。因此, 虽然在月平均的温压场中巴伦支 - 喀拉海地区的异常并不突出, 但是在较短的时间尺度上, 依然有强烈的平流作用使得大气升温, 从而影响了海冰。

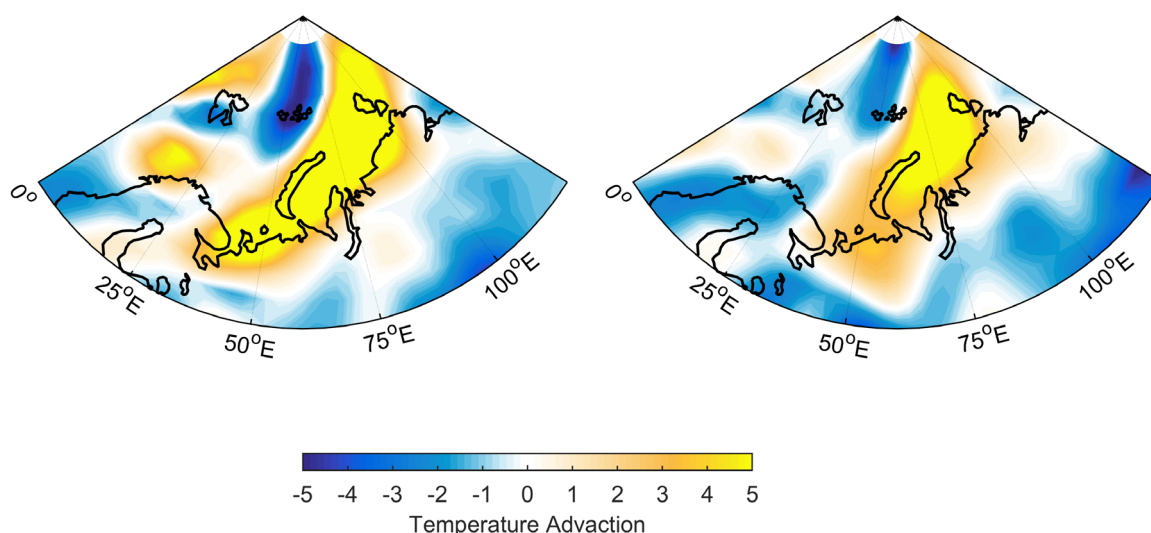


Figure 5. The temperature advection in Lag-1 day of sea ice decrease event in the Barents-Kara Sea in the autumn and winter of 2016-2017

图 5. 2016~2017 年秋冬季巴伦支 - 喀拉海海冰减少事件 Lag-1 天温度平流(单位 $10^3 \text{ K} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) (a) 1000 hPa (b) 850 hPa

5. 结论

1) 2016~2017 年秋冬季北极海冰远少于多年平均值, 其中东西伯利亚海、楚科奇海、波弗特海、喀拉海和巴伦支海的海冰在整个北极的海冰变化中扮演了非常重要的角色。2016~2017 年秋冬季北极海冰和主要异常区海冰都远低于多年平均值, 并且出现了若干次海冰减少或海冰发展停滞的现象, 其中以巴伦支 - 喀拉海表现最为明显。

2) 2016 年 10 月~11 月, 持续的、异常的大气环流是影响大气温湿度进而影响海冰的原因之一。异常高压对西风急流的引导作用使得大气从北大西洋和北太平洋向北冰洋运动, 来自低纬度的空气更加温暖、湿润, 会引起北极上空大气增温, 水汽增加也会引起长波辐射增加。

3) 2016 年 11 月~2017 年 3 月, 没有明显的持续性的环流异常, 但是在较短的时间尺度上, 依然有强烈的平流作用使得大气升温, 从而影响了海冰。

参考文献

- [1] Comiso, J.C., Parkinson, C.L., Gersten, R. and Stock, L. (2008) Accelerated Decline in the Arctic Sea Ice Cover. *Geophysical Research Letters*, **35**, L01703. <https://doi.org/10.1029/2007GL031972>
- [2] Comiso, J.C. (2006) Abrupt Decline in the Arctic Winter Sea Ice Cover. *Geophysical Research Letters*, **33**, L18504. <https://doi.org/10.1029/2006GL027341>
- [3] Hegyi, B.M. and Taylor, P.C. (2018) The Unprecedented 2016-2017 Arctic Sea Ice Growth Season: The Crucial Role of Atmospheric Rivers and Longwave Fluxes. *Geophysical Research Letters*, **45**, 5204-5212. <https://doi.org/10.1029/2017GL076717>

-
- [4] Fetterer, F., Knowles, K., Meier, W.N., Savoie, M. and Windnagel, A.K. (1978) Sea Ice Index, Version 3. National Snow and Ice Data Center, Boulder.
- [5] Kalnay, *et al.* (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437-470. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- [6] Stramler, K., *et al.* (2011) Synoptically Driven Arctic Winter States. *Journal of Climate*, **24**, 1747-1762. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3817.1>
- [7] Park, H.S., Lee, S., Son, S.W., Feldstein, S.B. and Kosaka, Y. (2015) The Impact of Poleward Moisture and Sensible Heat Flux on Arctic Winter Sea Ice Variability. *Journal of Climate*, **28**, 5030-5040. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0074.1>
- [8] Woods, C. and Caballero, R. (2016) The Role of Moist Intrusions in Winter Arctic Warming and Sea Ice Decline. *Journal of Climate*, **29**, 4473-4485. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0773.1>
- [9] Zhong, L., *et al.* (2018) Local and External Moisture Sources for the Arctic Warming over the Barents-Kara Seas. *Journal of Climate*, **31**, 1963-1982. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0203.1>
- [10] Luo, D., *et al.* (2016) Impact of Ural Blocking on Winter Warm Arctic-Cold Eurasian Anomalies. Part I: Blocking-Induced Amplification. *Journal of Climate*, **29**, 3925-3947. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0611.1>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org