

The Variation Characteristics of Temperature in Barrow Alaska during 1925-2018

Zhaoyu Liu, Bingyun Wang*, Yanxin Xie, Shuhan Hu, Ziyue Wang, Linyuan Yue

College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: lzy_qingdao@163.com, *bywang@cuit.edu.cn

Received: Oct. 16th, 2019; accepted: Nov. 1st, 2019; published: Nov. 7th, 2019

Abstract

Using the Mann-Kendall mutation test, Morlet wavelet analysis, correlation analysis, linear trend regression methods, the variations of temperature in Barrow, from the Barrow Airport monthly temperature data, were analyzed during 1925-2018. The whole tendency of annual change of temperature in 94 years is rising, with the trend approximately $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{a}$. Before 1976, the mean annual temperature fluctuated downward, and after that, it showed an obvious upward trend nearly $9.3^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, which indicated that Barrow experienced a process from cooling to rapid warming. Winter showed the most significant increasing trend among four seasons, with the average rate $4.27^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, which is more than three times as high as that in summer ($1.38^{\circ}\text{C}/100\text{a}$), right corresponding to the characteristic of "Arctic amplification". The mutation of mean annual temperature occurred around 2005, and the value of temperature existed in a primary period of 15 years and a sub-cycle of quasi-8, quasi-28 years. The relevant conclusions are of reference value to the trend of temperature change in Arctic area and to the comprehension of "Arctic amplification".

Keywords

Barrow, Mean Annual Temperature, Mann-Kendall Mutation Detection Algorithm, Morlet Wavelet Algorithm, Climate Changes

北极巴罗地区1925~2018年气温变化特征分析

刘昭宇, 王炳贇*, 谢滢馨, 胡舒涵, 王梓月, 岳林源

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: lzy_qingdao@163.com, *bywang@cuit.edu.cn

收稿日期: 2019年10月16日; 录用日期: 2019年11月1日; 发布日期: 2019年11月7日

*通讯作者。

摘要

本文使用Mann-Kendall突变检验、Morlet小波分析、线性趋势回归等方法,对1925~2018年阿拉斯加巴罗地区的气温变化趋势进行了分析。该地区年均温在近94年间整体呈上升趋势,趋势系数约为 $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。在1976年之前年均温呈波动下降趋势,1976年之后呈明显的上升趋势,且增长率高达 $9.3^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,这说明巴罗地区的气候存在先变冷再急剧变暖的过程。四季当中冬季是增温最明显的季节,94年来的平均增长率达到 $4.27^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,是夏季气温增长率 $1.38^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 的三倍有余,与“北极放大”现象相一致。年均温的突变发生在2005年左右,并且年均温存在以准15年的主周期和准8年与准28年的次周期的周期变化。相关结论对深入了解北极地区近百年的气候变化过程以及“北极放大”现象有重要的参考价值。

关键词

北极巴罗地区, 年均温, Mann-Kendall突变, Morlet小波分析, 气候变化

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

气候变暖已是目前公认的最严重的全球性问题之一。不断增长的温度会引发后续一系列气候和环境变化,如冰川的大量消融,海平面的上升,旱涝灾害的频发等,会对整个自然界造成不可忽视的影响。因此,为了认识并调整 and 适应气候变暖对自然界带来的影响,对全球各地区气候变暖现象展开研究是必要的。而气温作为气候中的首要因子,对不同地区气温变化的趋势分析就显得格外重要。

近年来,随着观测资料的积累和丰富,关于各地的气候研究越来越受到关注。德例归古等对“世界第三极”青藏高原近三十年的日平均温度研究表明,青藏高原的气温分布空间上呈现出自北向南“高-低-高”的分布形态,时间上呈逐年上升的趋势,并且冬季的上升趋势最显著;高原年平均气温在21世纪以前整体普遍偏低,之后变为偏高;高原年平均气温自1997年显著增加,且自2005年之后增暖趋势非常显著,产生突变[1]。肉孜买买提·阿不来提等的研究表明,新疆伊犁地区的气温变化总体呈上升态势,平均增长率高达 $6.5^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,且在1991年发生突变[2]。张可扬等人在对大兴安岭的气温降水变化趋势进行分析时指出,大兴安岭地区自1961~2014年来,气温总体呈增长趋势,平均气温趋向率高达 $8.8^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,远超平均气温增长水平,是全球气候变暖显著的区域之一[3]。

尽管近些年来全球变暖的速度整体已经有所减缓[4],然而,对比地球的其他地区,北极地区的气候变暖却呈现出持续加速的态势,地表气温的上升速度超过全球气温平均增速的两倍,而四季之中又以冬季最为显著,其平均温度以高于平均水平四倍的速度急剧上升。这一现象被称为“北极放大”[5],该现象主要体现在海冰尚未融化的冬季,在夏季却极为不明显。Crook等分析认为导致“北极放大”的因素是海冰反照率辐射反馈作用[6],曹云锋等认为其根源可从北极地区能量收支平衡进行分析[7]。目前,对于导致这一现象的真正机制尚未明确,仍在研究之中。

巴罗地区位于美洲大陆最北端,因为地势平坦受极地风影响显著,极地气候极其明显。所以其气候变化可在一定程度上反映整个北极地区的气候变化情况。因此对巴罗地区的气温变化趋势进行分析有利于认识和理解北极地区的气候变化规律和其独特的“北极放大”现象。

2. 数据资料和研究方法

2.1. 研究区域概况和数据资料

巴罗地区位于美洲大陆的最北端，隶属美国阿拉斯加州。该地为典型的极地气候，常年寒冷干燥，又因为该地区地势平坦，从北极而来的气流不受任何阻挡，加剧了巴罗的低温，一月温度达到最低，平均仅有 -27°C 。年降雨量有 106 mm，降雪量达到 74 cm。此外，受极地东风的影响，大量水汽从北冰洋吹来，使得巴罗成为全球最多云的地区之一。站台资料数据来自于美国国家海洋和大气管理局(网络地址为 <http://gis.ncdc.noaa.gov>)。在控制数据质量的情况下，择优选取 1925~2018 年巴罗机场站台的气温月值数据进行分析研究。

2.2. 研究方法

本文采用非参数统计检验方法的 M-K 突变检验对巴罗地区年均温进行突变检验，采用 Morlet 小波周期分析对年均温进行周期变化分析，同时还采用了线性回归进行线性拟合趋势变化分析[8]。

3. 结果分析

3.1. 气温年变化特征

由巴罗地区 1925~2018 的年均温变化和趋势图(图 1)可知，该地区 94 年来的年均温度总体呈上升趋势，增长率为 $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ，在 2016 年达到最大值 -7.2°C ，而最低温记录发生在 1964 年，为 -15.2°C 。然而，年均温并不是持续处于增长状态，1976 年之前，巴罗地区的年均温呈现出波动的下降趋势，下降率约为 $-2.88^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ，而 1976 年后，该地区呈现出显著升温的趋势，截止到 2018 年，增长率高达 $9.3^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。即近 43 年的增温速率绝对值超过其前 50 年的降温速率绝对值 3 倍多，有力地证明了近 40 年来北极地区气候变暖问题显著。

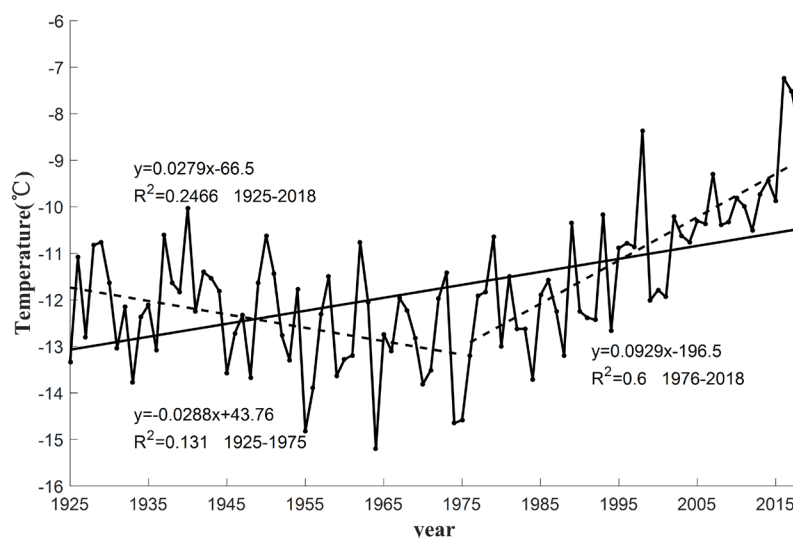


Figure 1. Annual changes and trend of average temperature in Barrow in 1925-2018

图 1. 北极巴罗地区 1925~2018 年均气温变化曲线

3.2. 气温的季节变化特征

由 1925~2018 年期间四季均温的际年变化图(图 2)可以看出，春季平均温度主要在 -20°C ~ -15°C 之间，

在 1998 年达到最高值 -11.8°C ，在 1964 年为最低值，为 -20.8°C 。夏季平均温度变化较小，主要在 $0^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间，在 1989 年达到最高值，为 6.1°C ，在 1969 年达到最低值，为 0.7°C 。秋季平均温度主要在 $-15^{\circ}\text{C}\sim -5^{\circ}\text{C}$ 之间，在 2016 年达到峰值，为 -3.3°C ，而在 1988 年达到最低值，为 -14.7°C 。冬季平均温度主要在 $-30^{\circ}\text{C}\sim -20^{\circ}\text{C}$ 之间，均温在 2017 年达到最高值，为 -17.8°C ，而在 1925 年拥有最低均温 -32°C 。由此可知，巴罗地区的四季均温差异十分显著，其变化程度也大不相同。冬季是温度增长率最大的季节，增长率高达 $4.3^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ，与此相反，夏季是温度上升幅度最小的季节，增长率只有 $1.4^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ，不足冬季的三分之一。这与“北极放大”现象的特点相一致，即北极地区冬季的气温增速远超其他季节，夏季的气温变化不明显。此外，春季和秋季相比，秋季的平均温度要明显高于春季，两者的增长率基本一致，都为 $2.7^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。近些年来巴罗地区频频创下高温记录，气候变暖已十分显著，呈现出典型的“北极放大”现象。

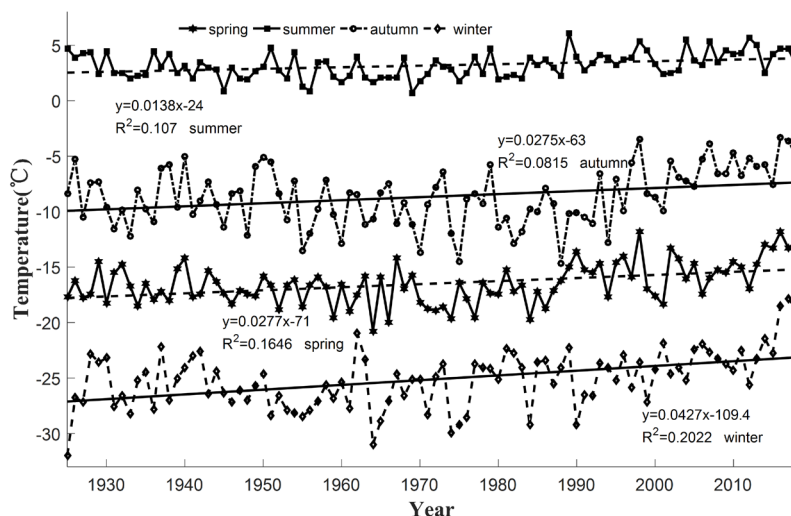


Figure 2. Annual changes and trends of average temperature in four seasons in Barrow
图 2. 四季气温变化

3.3. 年均温的突变检验

由图 3 巴罗地区年均温的 M-K 突变检验可知，在 1925~1950 时间段内，UF 统计量在 0 上下震荡两次，表明该时间段内巴罗地区年均温的变化呈现出明显的周期性，且周期约为 15 年。在 1950~1998 时间段内，UF 值长时间为负值，且一度在 1970~1980 内越过 -1.96 临界线，表明该时间段内巴罗地区气温总体上呈显著下降趋势，且以短周期的小波动为主。而 1976 年后总体降温结束，年均温呈现出上升趋势。1998 年后，UF 值重新为正，之后该地区的温度几乎直线上升，且在 2005 年左右越过 1.96 临界线，表明年均温上升显著。此外，UF 线与 UB 线的交点也在 2005 年左右，表明 2005 年为该地区年均温突变年，之后的年均温将迅速上升，且上升速度将会越来越快，这与“北极放大”现象的特点相一致，即近年来北极地区的气温正在加速增加，且未来增速将越来越快。

3.4. 周期性分析

为了进一步研究巴罗地区气温时间序列的周期性，利用 Morlet 小波分析对巴罗地区 1925~2018 的年均温度数据做周期变化分析，做出小波系数实部等值线(图 4 左)和小波方差曲线(图 4 右)，便可得到年均温时间序列的周期及其在时域上的分布。由等值线图可知，巴罗地区近 94 年来的年际气温变化大致具有 5-8, 14-18, 27-30, 小中大三种时间尺度的周期。进一步分析，对于 5~8 年的小尺度震荡，其波动在 1950

年之前和 1980 年之后相对较弱，而在中间的 30 年显著(与 M-K 突变检验的分析结果一致)。与之相反，对于 14~18 年的中尺度震荡，1950 年之前震荡极为显著(与 M-K 检验的分析结果一致)，而之后 40 年则相对较弱，在 1990 年之后又呈现出逐渐加强的趋势，总体来说，该尺度下的周期性是最稳定也是最显著的。至于 27~30 年长周期的波动，1975 年之前等值线稀疏，说明波动十分微弱，之后的等值线逐渐密集，且尚未闭合，说明长时间尺度下的震荡有持续增强的趋势。

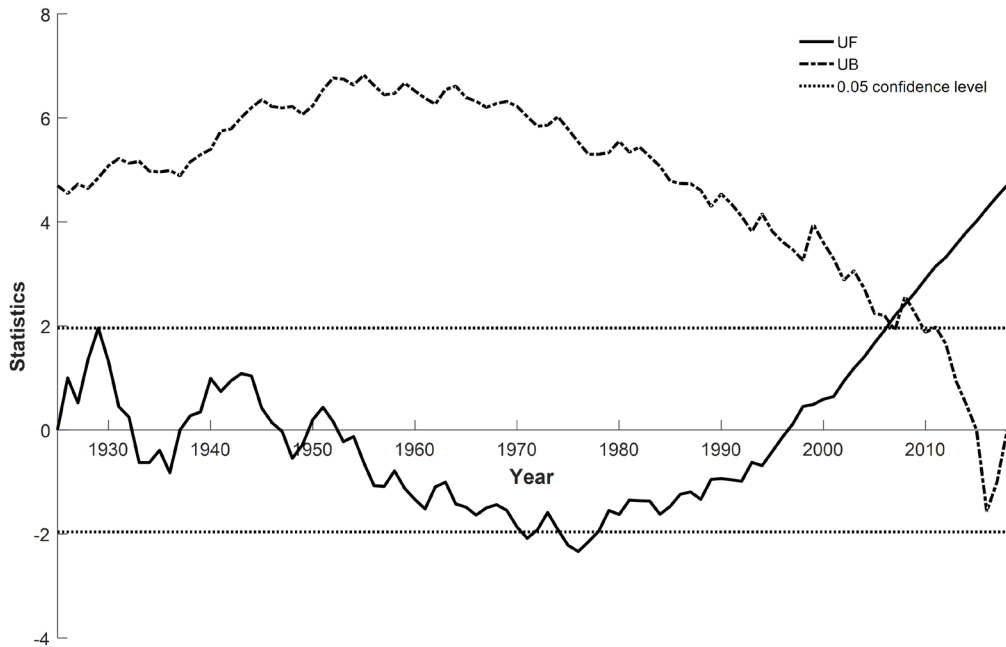


Figure 3. Mann-Kendall mutation detection of mean annual temperature in Barrow

图 3. 年均温的突变检验

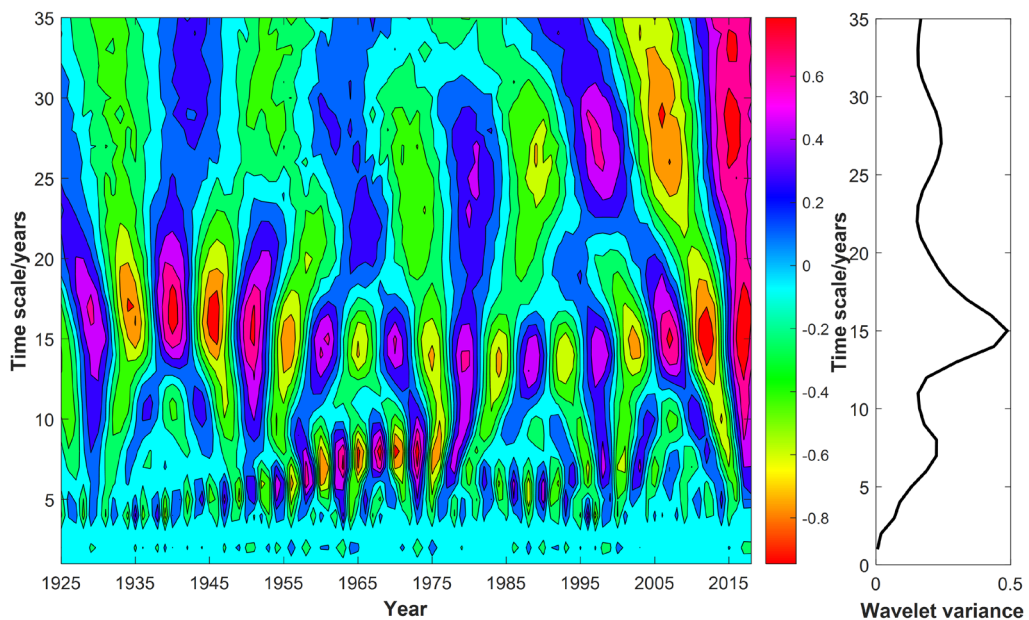


Figure 4. Real contour map (left) and wave-wave variance chart (right) of mean annual temperature wavelet coefficient in Barrow

图 4. 年均温小波系数实部等值线图(左)和小波方差图(右)

而又由小波方差曲线峰值可具体得出, 巴罗地区年均气温的周期变化这 94 年来具有准 8a, 准 15a, 和准 28a 三个主周期, 且第一主周期约为 15a, 而 8a 与 28a 这两种主周期强度大致相同, 共同作为第二主周期。

4. 结论

本文利用北极巴罗地区 1925~2018 年的气温资料分析了巴罗地区气温年际变化, 得出如下结论:

1) 近 94 年来巴罗地区的气温总体呈现出波动上升的趋势, 总体平均增长率为 $2.8^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。在 1976 年之前, 气温呈波动下降趋势, 1976 年之后, 气温逐年上升, 且在 2005 年发生突变现象, 气温急剧上升, 最高温目前出现于 2016 年, 均温达到 -7.2°C 。

2) 在气温的季节性变化当中, 冬季的温度变化最大, 平均增长率可达 $4.3^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 相比其他三季呈现出更强烈的增长趋势, 夏季的气温变化最小, 增长率仅有 $1.4^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 冬季增温速率超过夏季速率的 3 倍。四个季节的最高温记录分别出现在 1998 年、1989 年、2016 年和 2017 年。由此可见, 巴罗地区气候变暖明显, 以冬季最为显著, 且近些年来频频创下高温记录, 温度的上升越来越快。

3) 对于巴罗地区气温变化的周期性, 在 1950 年前以 14~18 年的中尺度震荡为主, 准周期为 15 年。中间 40 年则以 5~8 年的小尺度波动为主, 准周期为 8 年。1990 年后 14~18 年的中尺度震荡和 27~30 年的大尺度震荡呈现出增强的趋势, 逐渐占据主导, 而小尺度波动则逐渐减弱。

基金项目

国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(91644226)和面上项目(41775147)以及四川省雅安市科技局 2019 年度科技计划项目(2019yyjskf02), 成都信息工程大学大学生创新创业项目《四川省居民价格指数与同期气象要素相关性研究》共同资助。

参考文献

- [1] 德例归古. 近 30 年青藏高原气温变化趋势分析[J]. 西藏科技, 2019(7): 36-43.
- [2] 肉孜买买提·阿不来提, 穆振侠. 新疆伊犁地区巩乃斯河流域 1972-2015 年气温及降水时间序列的变化特征及趋势分析[J]. 地下水, 2018, 40(6): 162-165.
- [3] 张可扬, 李天权, 曲延浩, 高峰, 林婧文, 姜立春. 大兴安岭地区降水量和气温变化趋势分析[J]. 森林工程, 2018, 34(5): 8-14.
- [4] Kosaka, Y. and Xie, S.P. (2013) Recent Global-Warming Hiatus Tied to Equatorial Pacific Surface Cooling. *Nature*, **501**, 403-407. <https://doi.org/10.1038/nature12534>
- [5] Cohen, J., Screen, J.A., Furtado, J.C., *et al.* (2014) Recent Arctic Amplification and Extreme Mid-Latitude Weather. *Nature Geoscience*, **7**, 627-637. <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>
- [6] Crook, J.A., Forster, P.M. and Stuber, N. (2011) Spatial Patterns of Modeled Climate Feedback and Contributions to Temperature Response and Polar Amplification. *Journal of Climate*, **24**, 3575-3592. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3863.1>
- [7] 曹云锋, 梁顺林. 北极地区快速升温的驱动机制研究进展[J]. 科学通报, 2018, 63(26): 2757-2771.
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.