

1960–2020 年区域海平面变化和趋势

一、研究背景

利用几种方法使用潮汐仪数据和卫星测高数据比较了过去 1960–2020 年间区域海平面变化和趋势。就早期的趋势与实际情况相比而言，太平洋地区边缘海测得的数据远好于大西洋。独立的公海表面高度数据，因此无法对测高前的公海高度趋势和变异性进行合奏验证。因此，在进行测高之前估算区域海平面变化仍然是一项尚未解决的挑战。了解观测到的海平面变化与潜在过程之间的因果关系是正在进行的海平面研究的重要方面，也是确定人为因素对气候影响的前提。结合海洋数值模型的输出，这些观察结果揭示了全球和区域海平面变化的复杂情况，并且从海洋可变性以及潜在的海量，密度，和流通。使用这些信息来改善耦合的气候模型将对未来的海平面上升做出更准确的预测。

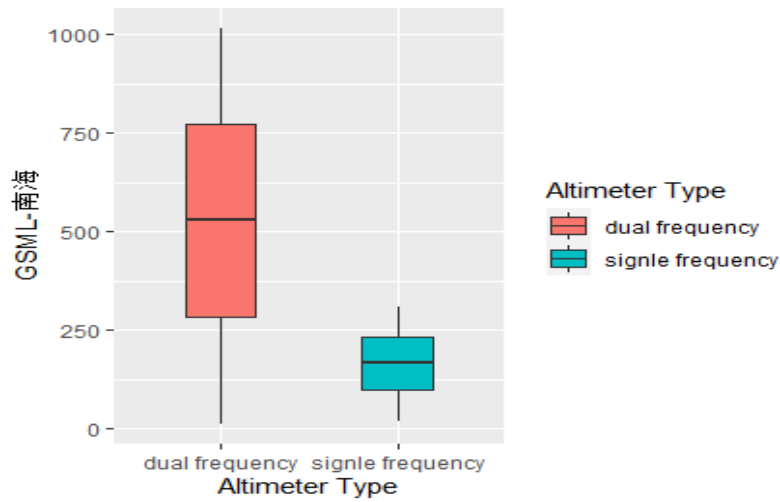
自 1992 年精确卫星测高仪问世以来，就需要高质量的区域海平面变化观测资料，这些观测资料必须连续不断并具有准全球覆盖范围。由于缺乏足够的历史原位或卫星海洋观测资料，因此在测高时代之前获得有关空间海平面变化的观测信息仍然是一个挑战。结果，在大多数海洋中，不存在历史区域海平面变化估计值；对于南半球尤其如此。在过去甚至近 40 至 50 年的历史时期内，只能通过扩展稀疏可用的且空间上不均匀的潮汐仪数据。

由大气再分析驱动并受少数可用的历史性海洋观测值约束的海洋模型是这些统计方法的一种有价值的替代方法，它将为基于观测的区域范围内过去海平面变化的重建提供有用的补充信息。在过去 50 年中，卫星双频测量变异性和趋势模式的估计值与最近的测高计所观察到的值明显不同，幅度要低得多，在某些地区甚至有相反的趋势。这表明，从卫星双频数据估计的区域趋势并不代表长期趋势，而是很有可能主要代表低频内部动力模式。长期潮汐仪和测高仪的测量因为垂直地表运动可能会使区域海平面变化的过程变得复杂。

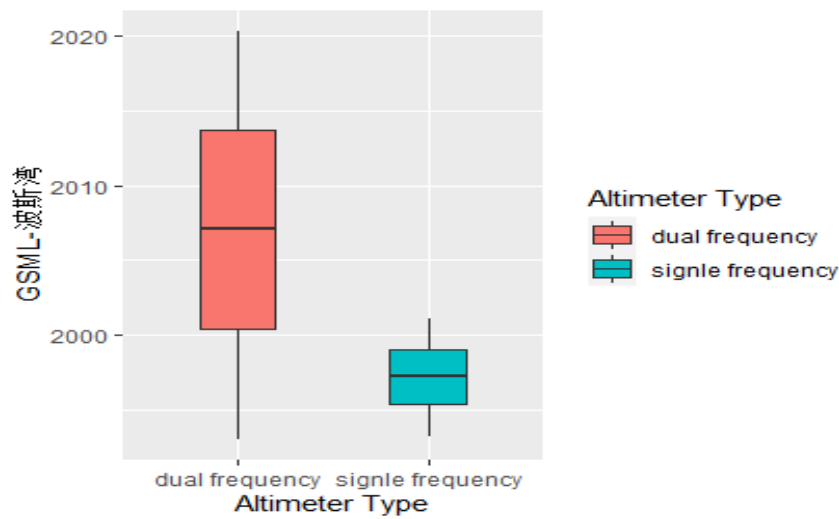
二、研究过程

1.部分区域海平面数据分析

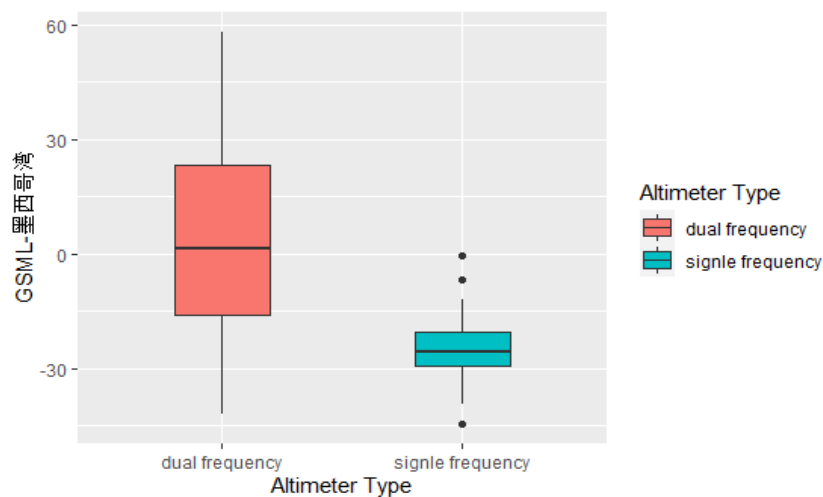
我们选取了世界几个较为著名的海湾和还有油气集聚区的海平面数据进行处理分析。结果如下：



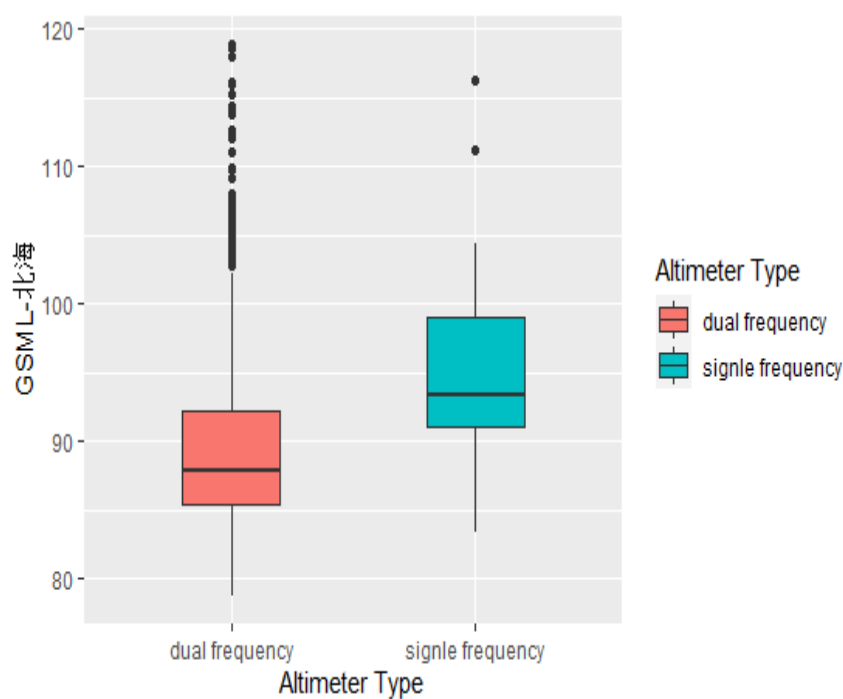
南海平均海平面单频和双频分布差异



波斯湾平均海平面单频和双频分布差异



墨西哥湾平均海平面单频和双频分布差异



北海平均海平面单频和双频分布差异

还有其他一些地区卫星双频测高计测量和潮汐仪测量结果置于附件。从图中可以看出，两种测量方式得出的结果分布相差较大。将测高计与潮汐仪进行比较，以探索相似之处，优势和劣势。这些重建尝试通过各种手段来填补公海中缺失的区域海平面数据，包括采用潮汐仪来拟合一系列经验正交函数（EOF），这些经验正交函数表示开放海洋的变化模式。

2. 垂直地面运动造成的数据误差问题

重要的是要注意，海平面的重建和模型不一定代表同一海平面。尤其是，海平面重建在其海平面估算中包括陆地冰融化和其他海量变化，例如陆地水储量，而大多数面向过程的模型则没有，尽管具有数据同化的模型受到观测的限制。海洋模型从本质上反映了空间效应和质量再分配的区域变异性，尽管低分辨率模型未充分捕捉到的内部变异性可能会丢失，而潮汐仪重建也包括任何会影响空间分布的过程。潮汐仪测量值，包括局部垂直地面起伏，构造运动，加上由于陆地冰量持续减少而引起的质量重新分布和变化，都有可能不包括在其应用的测量校正中。从所有数据集以及用于比较的潮汐仪中消除全局平均值，解决了很大一部分冰块流失和地下水存储问题。

将潮汐仪数据与测高计进行比较。在许多地方，由于气象强迫，潮汐仪数据也不能反映出与卫星测高仪测量的公海相同的平均海平面高度。很明显，在重建过程中，需要纠正垂直陆地运动。在计算重建数据之前，将常用的卫星测高数据集与潮汐仪数据进行比较。然而，最近的研究指出，为了计算平均海平面高度，缺乏足够准确的潮汐仪位置垂直地面运动估计。虽然我们在本文中关注区域趋势和可变性，但残留的垂直地面运动也可能是潮汐仪估计区域趋势时出现误差的原因。



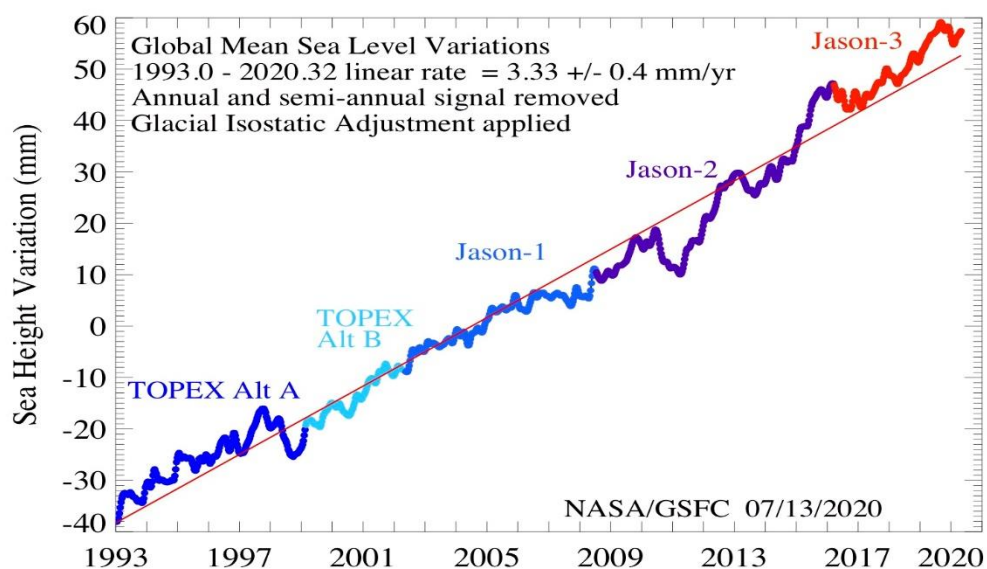
北斗潮汐仪

3.分析方法

选择删除一些海平面平均高度的估计值，这样可以接近潮汐表的原始时间平均值-也就是说，将所有潮汐表时间序列取平均值，不考虑空间权重，最大程度地减小了区域趋势分析中的差异。如果删除了不同的海平面平均高度估计值，呈现的统计信息会有一些差异，但是这些差异很小，不会使呈现的结果和结论无效。

选择那些潮汐时间序列在 1960 - 2020 年之间具有足够长记录的时间序列。检索到的数据最初是每月平均数据；现有的长达 24 个月的数据缺口可以通过将气候月度平均值拟合到缺口中来及时填补，而缺口的起点和终点之间的“瞬时”趋势则将其倾斜。用这种方式填补的大多数差距都少于一年，只有少数潮汐仪数据的差距长达两年。超过 2 年的缺口尚未填补。从进一步的分析中删除了任何缺少 1960 年至 2020 年之间年度数据总计（不一定连续）超过 24 点的计量器。剩余的三个最短的潮汐仪数据集记录具有 31、32 和 39 个年度数据点。

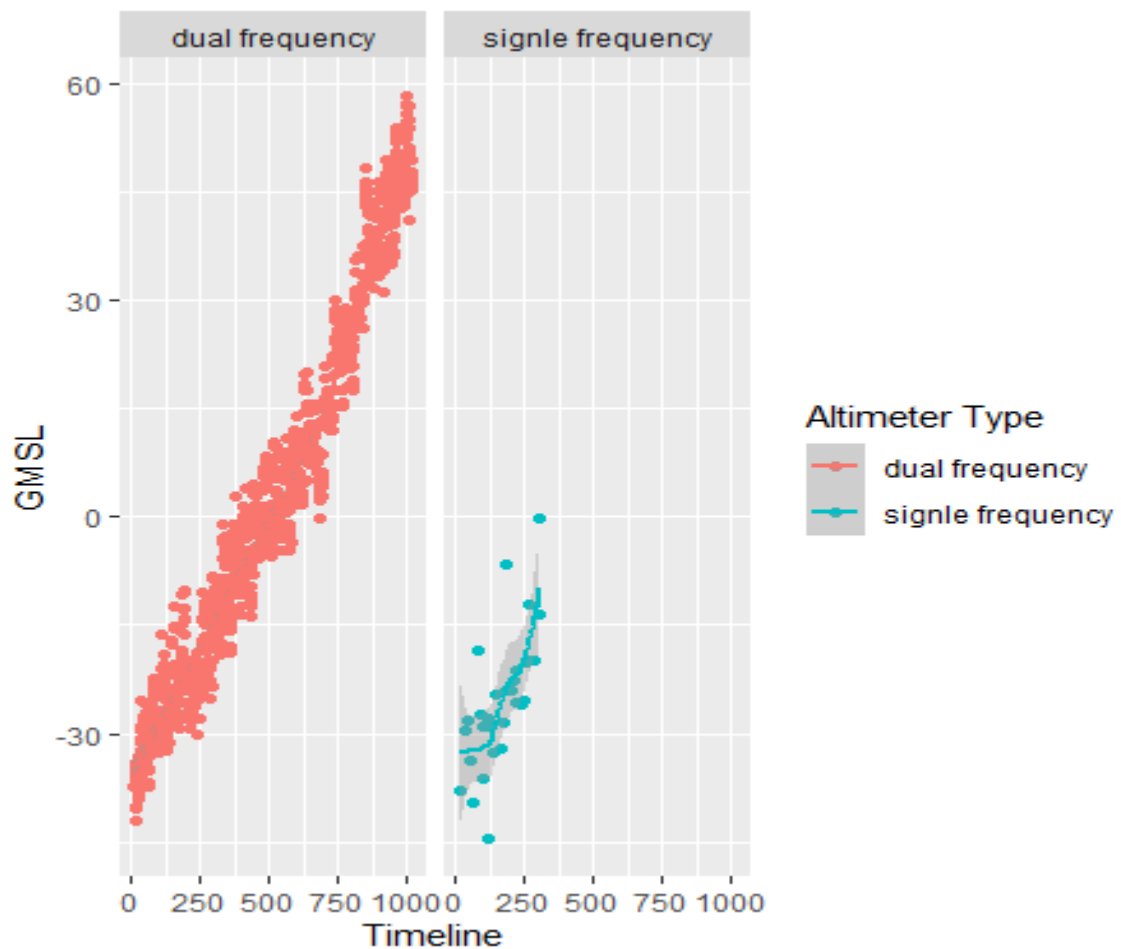
首先对每个潮汐观测站上的各个相关项执行 Fisher 转换（将它们渲染为正态分布值），然后取平均值，然后对该平均值执行反向 Fisher 转换，可以计算共处的潮汐仪数据与重构之间的平均相关性。取中位数不会产生明显不同的结果。数据集和潮汐表的标准偏差的 RMS 均值之比也可以根据趋势值计算，因此，与潮汐表相比，这是对海平面平均高度变化幅度的估计。



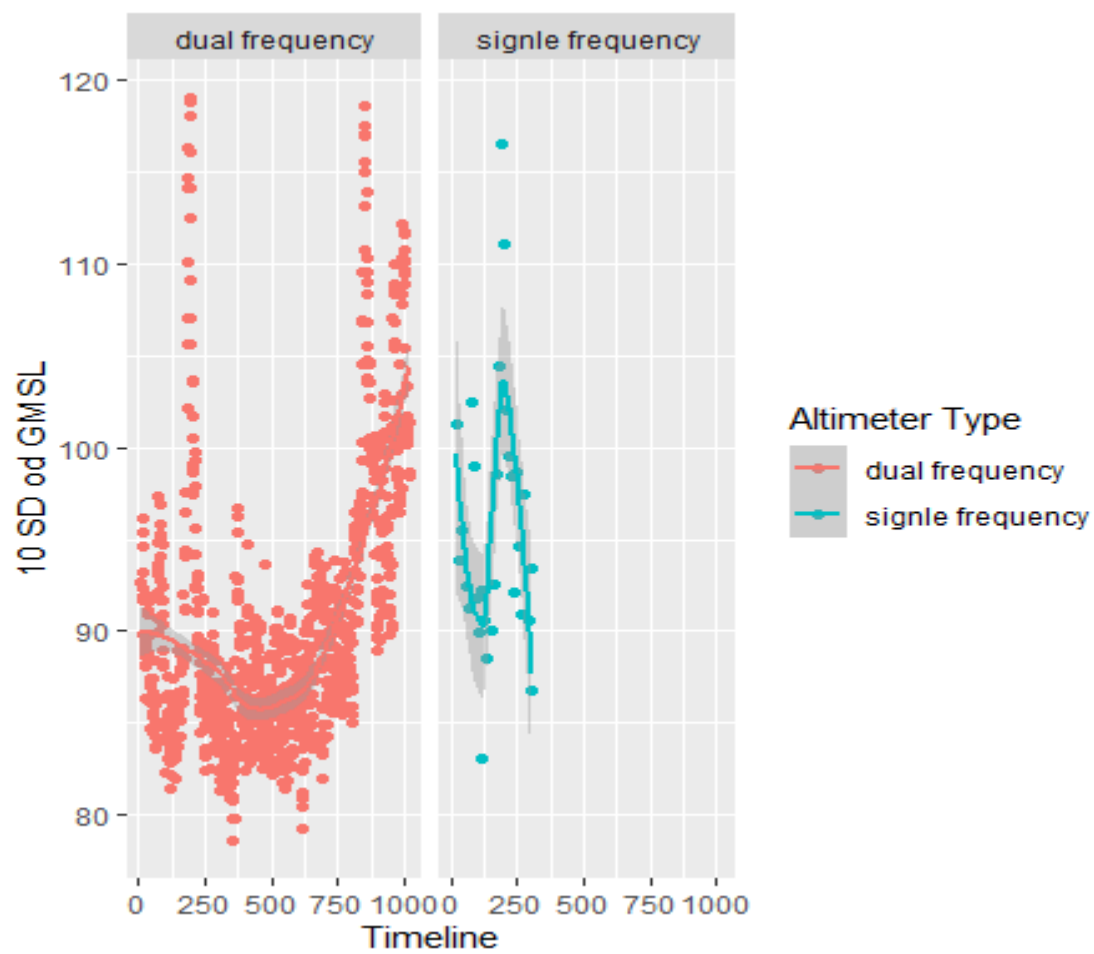
三、结果分析

为了进行对全球平均水平有一个大概的了解,选取位于不同大洋边缘海的潮汐仪站点数据重建时间序列。求取全局平均值,估计全球平均海平面高度。增加了从潮汐仪中删除的相同平均值。尽管在某些情况下,卫星测高计与潮汐仪数据的一致性非常好,但总的来说相互之间误差还是较大。选择这些特定位置是因为它们可以查询到较为精确的经验潮汐表与拟合结果进行比较。

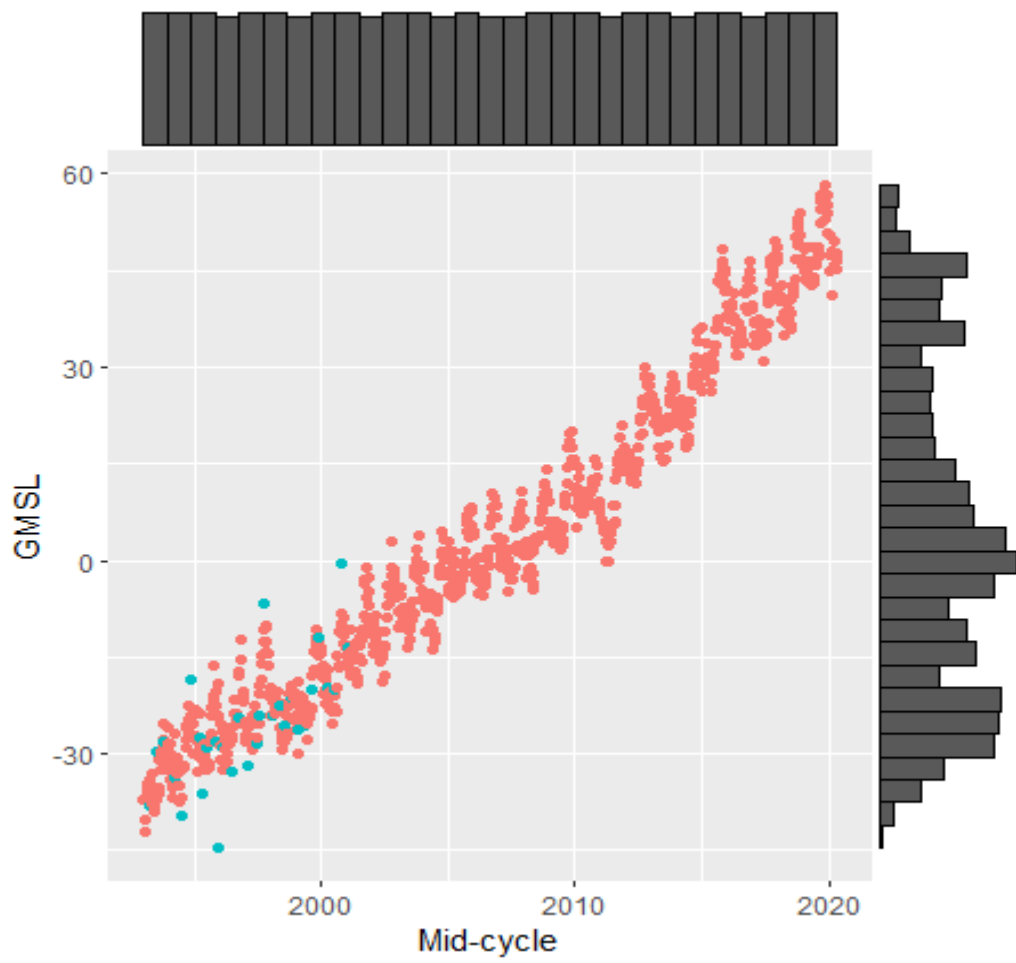
1.全球海平面时间序列分析



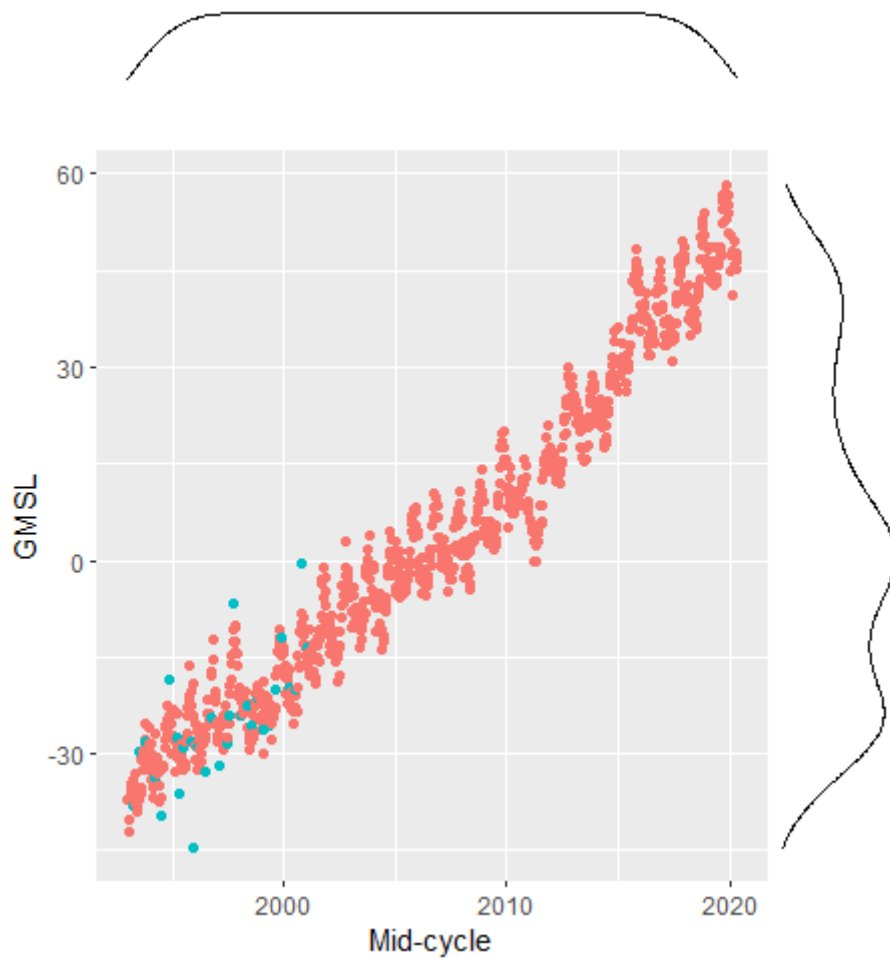
全球平均海平面趋势走向



全球平均海平面年度增量方差变化



1990~2020 年全球平均海平面变化（从柱状图可知并非正态分布）

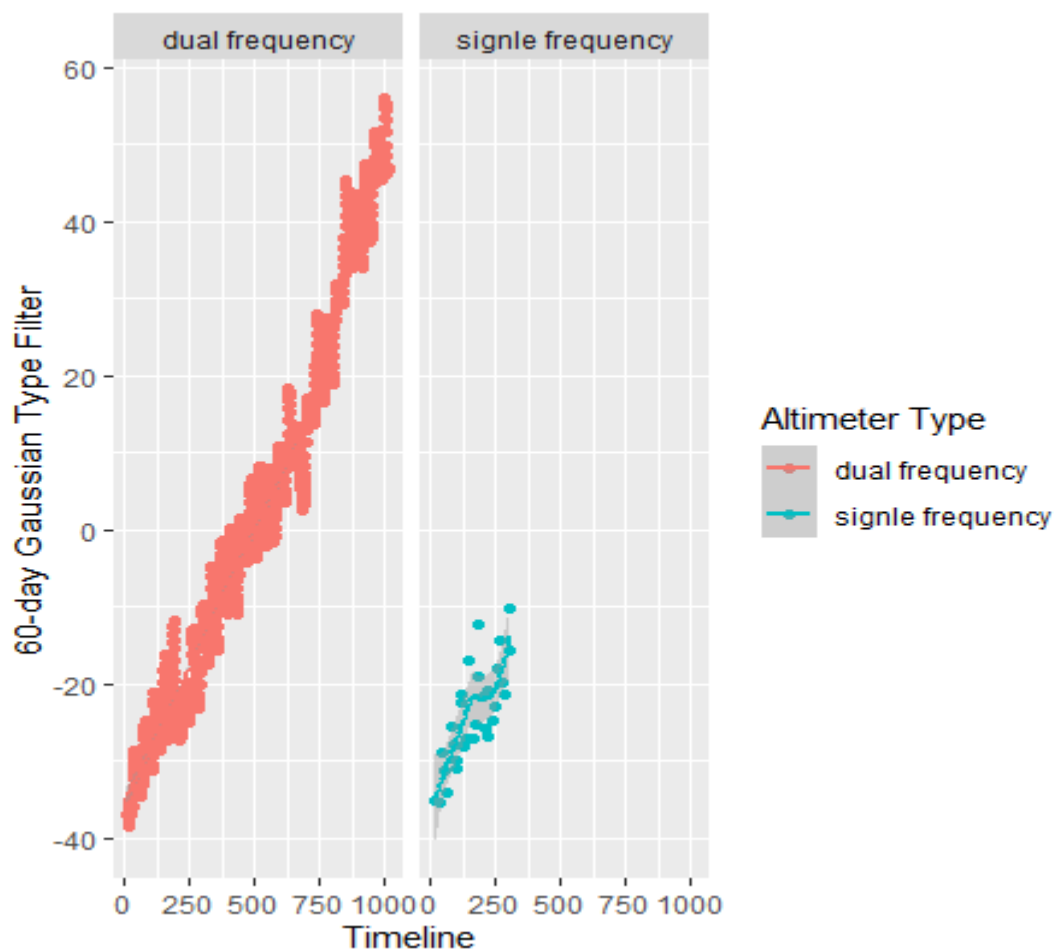


1990~2020 年全球平均海平面变化

2.低频变化

当直接将潮汐数据与测高数据进行比较时，发现所有得到的相关性都比从与潮汐仪数据的比较中获得的相关性更好。尽管如此，在所有数据集中，某些位置与潮汐数据和测高数据之间的联系仍然非常差。通过将带有滤波器的移动平均值本地去趋势处理后应用于数据集在整个公共时期内的局部趋势数据，探索各种数据集再现潮汐仪记录和测高中中发现的低频变化的能力。

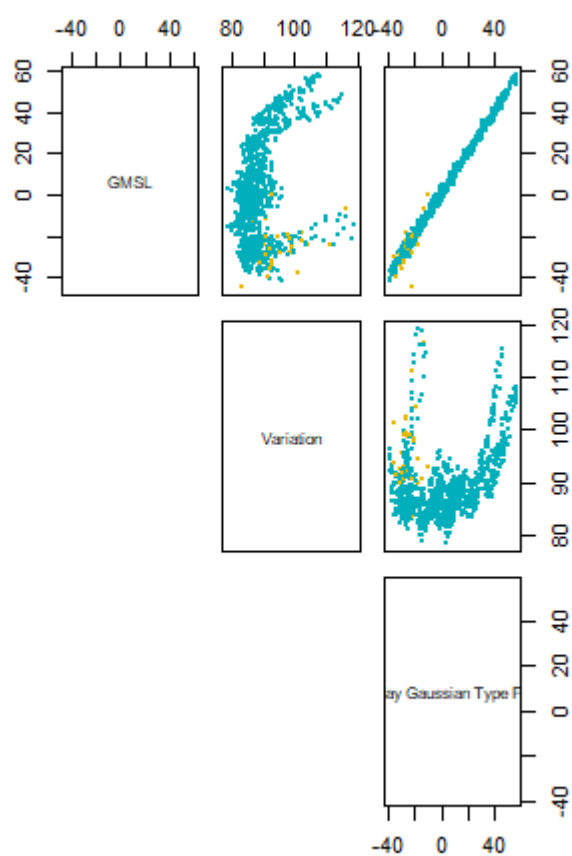
通过计算选取的全球各站点综合平均水平，绘制潮汐计和测高仪中已去趋势化的时间序列相关性，进一步探索低频位置处海平面的情况。



经过高斯滤波器处理 60 天平均海平面数据走向趋势

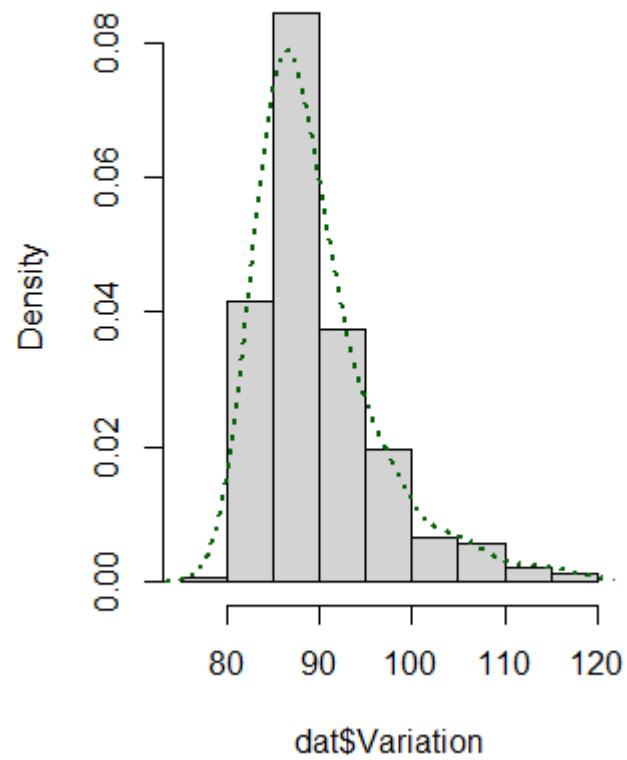
3.研究结果的空间可靠性

量化这些结果的稳健性的另一种方法是比较这些数据集在它们之间重现相同结果的程度，而不仅仅是比较它们与经验潮汐数值的差异。潮位计的变化并不代表北大西洋的公海变化，因此不适合基于双频测高的公海平均海平面测量；以及，测高仪运行的时间不够长，无法捕获该区域的低频变化模式。



全球平均海平面变化趋势及年度增量方差变化散点分布

Histogram of dat\$Variation



全球平均海平面年度增量方差变化成正太分布



四、结论

在过去的 50 到 60 年中，尽管进行了多次海平面重建，但所有数据集在区域海平面变化和趋势上都显示出明显的偏差。总体呈现上升趋势。潮汐仪测量的趋势可能会因为潮汐计位置处的局部垂直陆地运动产生偏离，因此公海表面趋势的基本上采用估算的方式。较短时间内的中低频变化模式测量记录分辨率不足，重建的区域趋势也可能是错误的。现有技术手段暂时无法充分描述区域海平面变化情况。

五、参考文献

- [1]Janhabhi Meher,Ramakar Jha.Time-series analysis of monthly rainfall data for the Mahanadi River Basin, India[J], 2013,(1).73-84.doi:10.3724/SP.J.1226.2013.00073.
- [2]丁荣荣,左军成,杜凌,等.南海海平面变化及其比容高度和风场间的关系[J].中国海洋大学学报（自然科学版）,2007,(052).23-30.
- [3]刘秦玉,贾英来,杨海军,等.南海北部海面高度季节变化的机制[J].海洋学报（中文版）,2002,(051).134-141.