

1. Global methane levels from 2002

1.1 [5 points] Compute methane climatology for each month, and plot your results in 12 panels.

1) 数据加载与预处理

使用 `xarray.open_dataset()` 加载 2003-2020 年期间的 C3S-L3 甲烷观测数据提取关键变量 `xch4` (甲烷干空气摩尔分数)。

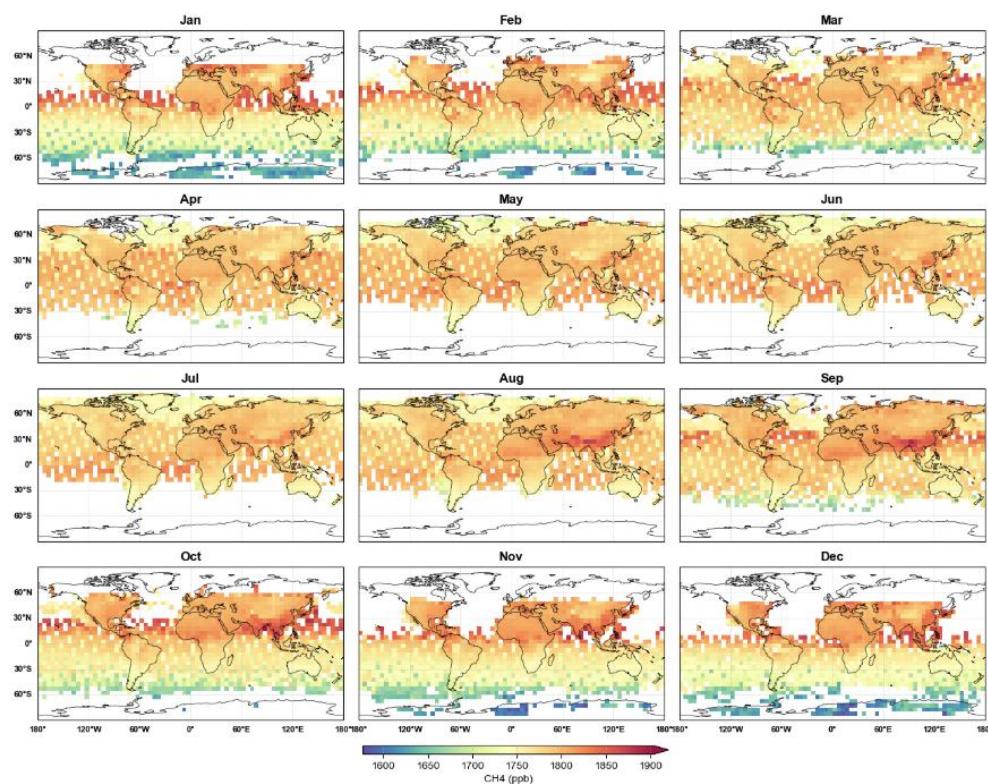
2) 气候态计算

利用 `groupby('time.month')` 按日历月份分组数据，使用 `mean('time')` 计算每个月份在所有年份上的平均值，生成 12 个月的气候态数据，代表典型的月平均甲烷分布模式。

3) 可视化实现

使用 `matplotlib.pyplot.subplots()` 创建 4×3 子图网格，`cartopy.crs.PlateCarree()` 设置地图投影，`ax.pcolormesh()` 绘制填色图。(原数据过于单调增添了世界底图)

Result:

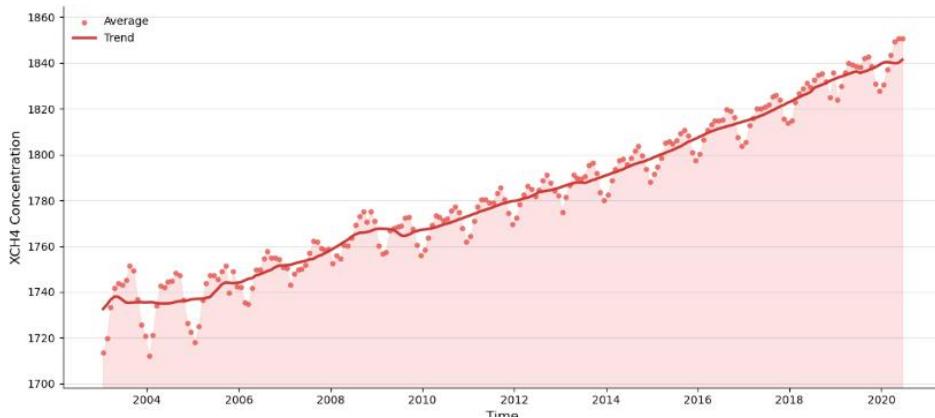


1.2 [5 points] Plot globally-averaged methane from 2003-01 to 2020-06 as a time series.

使用 `numpy.deg2rad + numpy.cos`, 将纬度从度转换为弧度, 计算每个纬度点的余弦值作为权重因子

使用 `xarray` 内置的加权平均功能。对纬度(lat)和经度(lon)维度同时进行加权平均

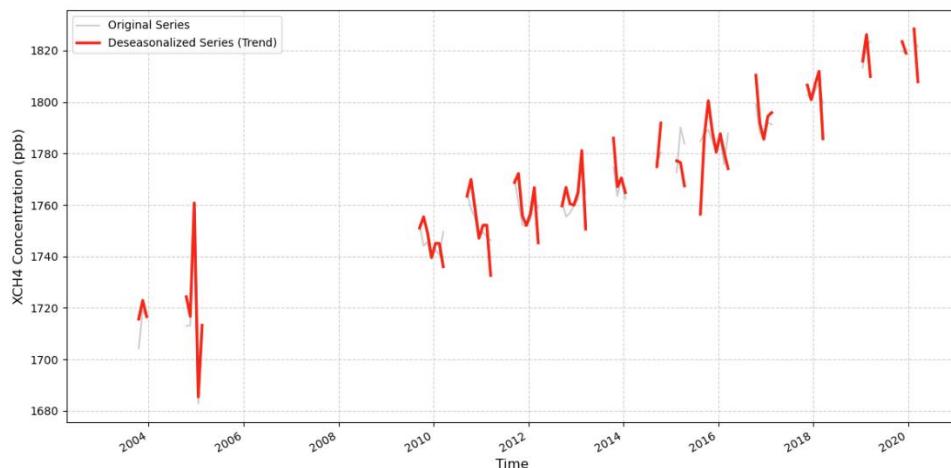
Result:



1.3 [5 points] Plot deseasonalized methane levels at point $[15^{\circ} \text{ S}, 150^{\circ} \text{ W}]$ from 2003-01 to 2020-06 as a time series. Describe your results.

使用 `xarray.DataArray.sel + method='nearest'` 选择南太平洋 $15^{\circ} \text{ S}, 150^{\circ} \text{ W}$ 代表性点位, 季节气候态计算使用 `groupby('time.month') + mean('time')`, 对所有年份的同月份数据求平均使用整个观测期(2003-2020)计算月气候态, 输出 12 个月的气候平均值序列, 使用 `groupby('time.month') - point_clim` 去除月循环。

Result:



2. Niño 3.4 index

1.1 [10 points] Compute monthly climatology for SST from Niño 3.4 region, and subtract climatology from SST time series to obtain anomalies.

1) 数据加载与验证

使用 `xarray.open_dataset` 读取 NOAA 海表温度数据文件, 提取 `sst` 变量作为主要分析对象, 打印数据维度和时间范围, 验证数据的完整性。

2) 区域选择

使用 `xarray.DataArray.sel+ slice` 选择 Niño 3.4 标准区域

3) 空间平均计算

使用 `xarray.DataArray.mean()` 对选定区域的纬度和经度维度进行平均得到单一时间序列, 代表 Niño 3.4 区域平均海温。

4) 气候基准期处理

使用 `sel(+ groupby('time.month')) + mean` 选择: 1981-2010 (30 年标准气候期) 作为基准, 计算每个月的长期平均值, 各月实际值减去对应月份的气候态值。

Result:

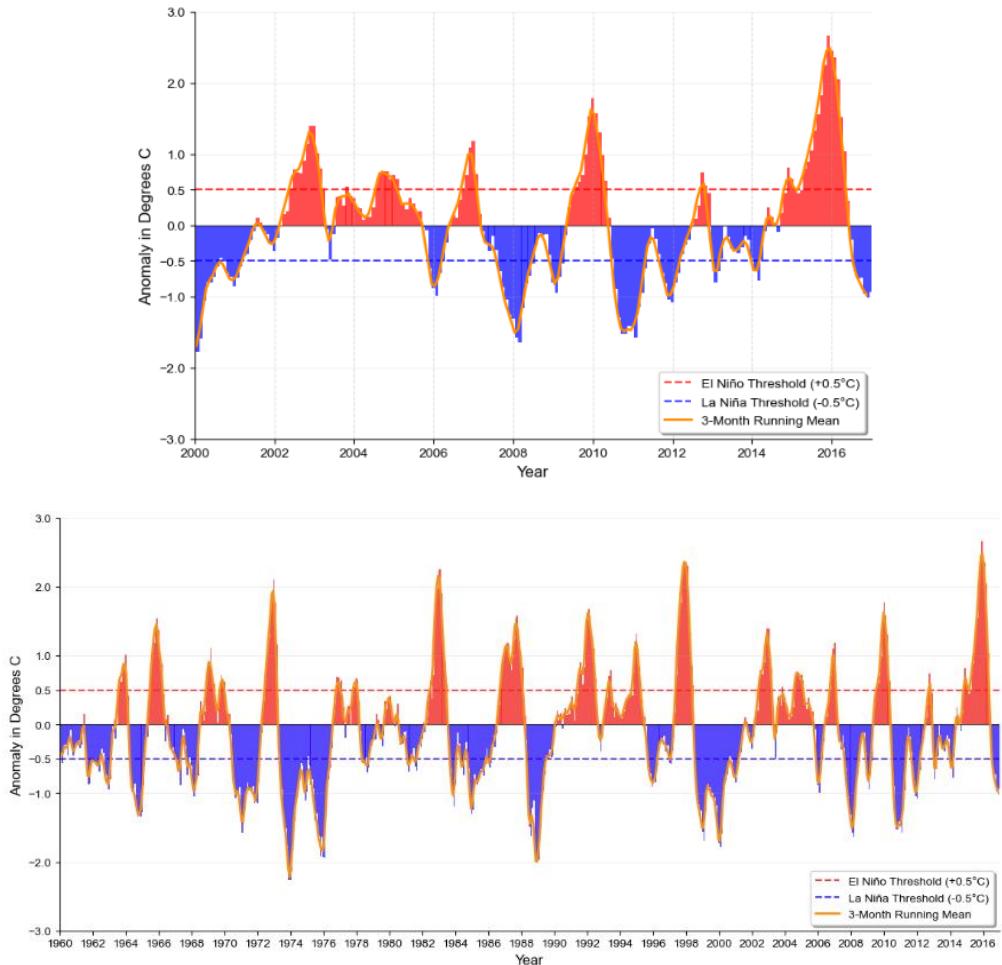
```
数据维度: ('time', 'lat', 'lon')
时间范围: 1960-01-15T00:00:00.000000000 到 2016-12-15T00:00:00.000000000
Niño 3.4区域范围: 纬度-5°到5°, 经度190°到240°
区域平均SST计算完成, 时间点数量: 684
气候基准期: 1981-2010, 已计算12个月的气候平均
异常值计算完成

==== Niño 3.4指数统计信息 ====
平均异常值: -0.090°C
最大异常值: 2.658°C
最小异常值: -2.264°C
标准差: 0.858°C
El Niño月数(≥0.5°C): 159
La Niña月数(≤-0.5°C): 227
```

1.2 [10 points] Visualize the computed Niño 3.4.

使用 `time.values` 提取时间序列, `rolling(time=3, center=True).mean()` 计算 3 个月中心滑动平均

Result:



3. Explore a netCDF dataset

3.1 [5 points] Plot a time series of a certain variable with monthly seasonal cycle removed.

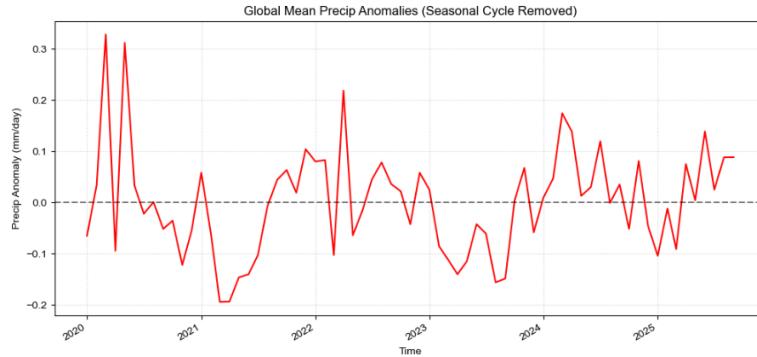
使用了全球 2020-20255 年的降水 nc 数据，首先将日尺度合成为月尺度，模仿第一题中的步骤，按月份分组，计算各月长期平均气候态。这里没有考虑投影的问题（由于计算内存以及耗时，实际问题需要考虑），直接对纬度和经度维度直接平均，得到全球单一时间序列，提供初步的全球降水异常趋势。

Result:

```

*** 单个文件信息 (precip.2020.nc) ***
(Variable: Dataset)
Dimensions: (lat: 360, lon: 720, time: 366)
Coordinates:
  * lat    (lat) float32 89.75 89.25 88.75 88.25 ... -88.75 -89.25 -89.75
  * lon    (lon) float32 0.25 0.75 1.25 1.75 2.25 ... 358.2 358.8 359.2 359.8
  * time   (time) datetime64[ns] 2020-01-01 2020-01-02 ... 2020-12-31
Data variables:
  precip  (time, lat, lon) float32 ...
Attributes:
  Conventions: CF-1.0
  version: V1.0
  title: CPC GLOBAL PRCP V1.0 RT
  date_created: 2020-01-01
  Source: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/
  References: https://www.psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprec...
  history: Updated 2021-01-02 23:31:03

```



3.2 [10 points] Make at least 5 different plots using the dataset.

(a) 全球平均降水分布图

使用 `clim_mean = da_monthly.mean(dim='time')` 计算整个时间序列的月平均降水，使用 YlGnBu 色彩方案，蓝色到绿色的渐变表示降水强度，通过 PlateCarree 投影展示全球分布探究全球平均降水量的空间差异。

(b) 纬向平均剖面图

使用 `zonal_clim = clim_mean.mean(dim='lon')` 对每个纬度带求经度平均，使用填充区域突出降水随纬度的变化。

(c) 区域降水分布箱线图

将全球划分为 5 个纬度带：南半球极地、中纬度、热带、北半球中纬度、极地，提取每个区域内所有网格点的降水值，用箱线图展示各区域的统计分布。

(d) 平均降水与季节幅度散点图

X 轴：`clim_mean` 代表各网格点年平均降水 Y 轴：`clim_cycle.max() - clim_cycle.min()` 月降水最大值与最小值之差，探索降水均值与季节变化幅度的关系。

(e) 年降水异常柱状图

首先对月平均降水数据按年份进行分组，计算每个年份的全球平均降水量，得到年际降水序列。然后计算整个研究时段的长期平均降水量作为基准值。年降水异常值通过各年份的平均降水量减去这一长期基准值获得，用以表示每年相对于气候平均状态的偏离程度。

具体绘制时，借鉴了 DeepSeek 的生成代码，采用 matplotlib 的 fast 风格作为基础绘图风格

Result:

