

Lab Report #3

1. Global methane levels from 2002

1.1. 实验目的

掌握利用卫星观测数据（netCDF 格式）分析大气温室气体的方法，特别是甲烷（CH₄）的时空分布特征。学习计算甲烷的月度气候值（climatology）并绘制全球分布图；掌握计算全球加权平均甲烷时间序列的方法，并分析其长期变化趋势；学习针对单点观测数据进行季节去除处理（deseasonalization），分析局地甲烷浓度变化特征。

1.2. 实验原理与思路

数据读取与预处理

- 1) 使用 xarray 打开 netCDF 文件，提取甲烷浓度（xch4）。
- 2) 将填充值（fill_value = 1e20）替换为 NaN，并统一单位为 ppb。

月度气候值计算与绘图

- 1) 按月份对数据分组并计算均值，得到每个月的平均甲烷分布。
- 2) 使用 pcolormesh 绘制 12 张全球分布图（每个月一张），显示甲烷空间分布特征。

全球加权平均时间序列

- 1) 按纬度对数据加权（权重 = cos(lat)），计算全球平均甲烷浓度。
- 2) 对缺失值进行线性插值，绘制 2003–2020 年全球平均甲烷浓度时间序列，并分析长期趋势及年际变化。

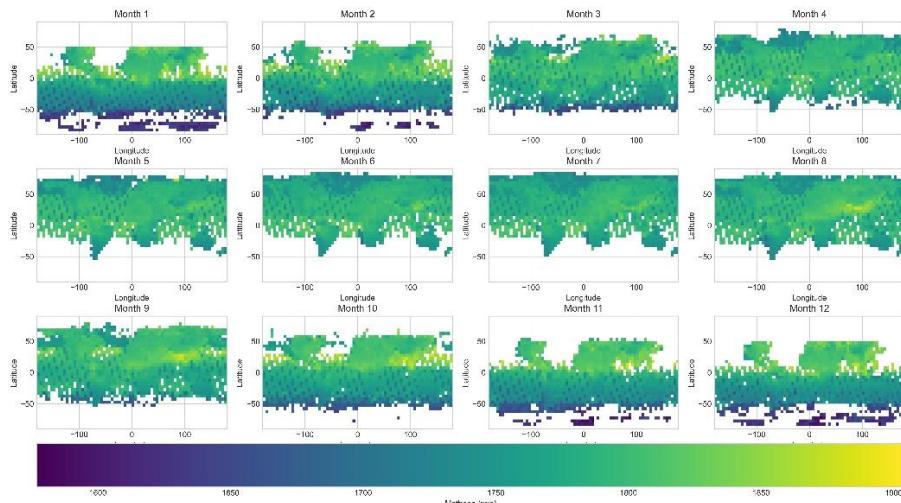
单点去季节化时间序列

- 1) 对目标点（如 15°S, 150°W）提取最近格点和逐时间最近非空格点的甲烷浓度序列。
- 2) 计算每个月的平均值作为气候值（climatology），并用原始值减去月平均值得到去季节化序列。并绘制原始与去季节化时间序列，分析局地甲烷变化特征

1.3. 实验结果

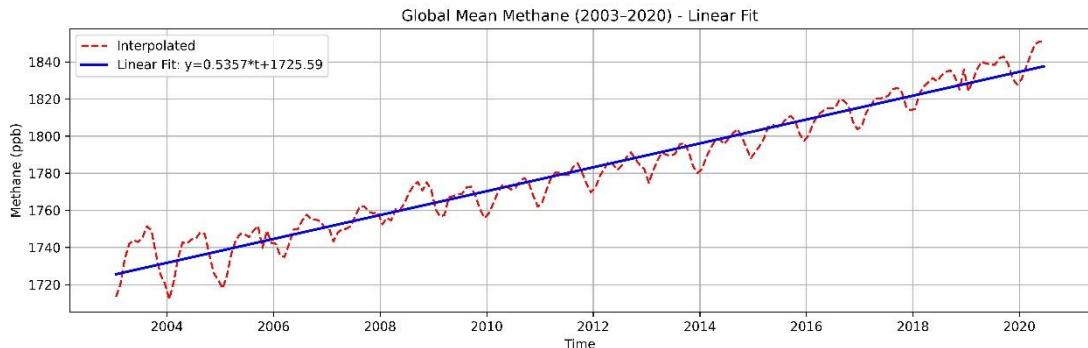
A. 月度气候值（Climatology）

2003–2020 年每个月的全球甲烷分布图如下：



甲烷浓度在南北半球呈季节性变化，高值主要集中在北半球中纬度地区。北半球夏季（8.9月）甲烷排放增强，南半球夏季（12–2月）也有湿地排放峰值。

B. 全球平均甲烷时间序列



全球加权平均甲烷浓度从 2003 年约 1715 ppb 增长至 2020 年约 1860 ppb，呈明显上升趋势。

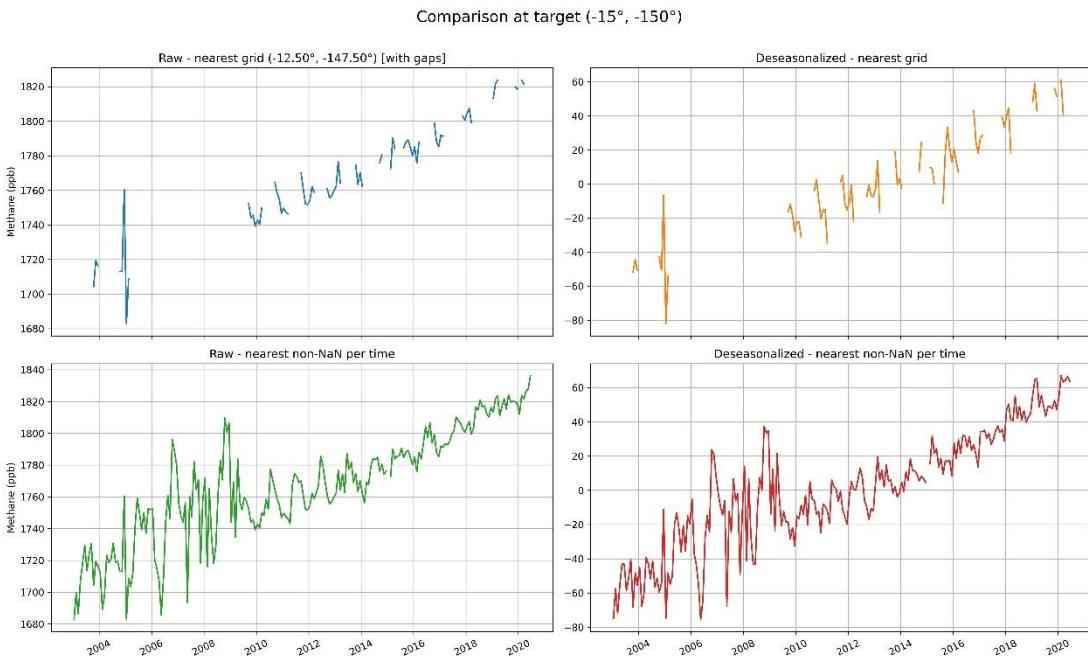
可以看到基本和 NASA 官网给出的趋势基本一致。

C. 单点去季节化甲烷时间序列

在 15° S, 150° W 点（太平洋中南部）绘制了原始与去季节化序列。分别使用最邻近点和最邻近非空点进行空间匹配，共得到四张时间序列图。

结果显示：

- ◆ 原始时间序列存在显著的季节周期，冬季低、夏季高。
- ◆ 去季节化序列消除了年度周期，更清晰地显示长期趋势和年际异常。
- ◆ 最邻近非空点序列相比直接最近格点序列，缺失值更少，更适合长期趋势分析



2. Niño 3.4 index

2.1. 实验目的

- 1) 掌握海表温度 (SST) 数据的读取与处理方法，特别是 NOAA ERSST 数据集。
- 2) 学习计算 Niño 3.4 区域（赤道太平洋 5° N – 5° S、 170° W – 120° W）的月度气候值 (climatology) 及异常值 (anomalies)。
- 3) 学习利用滚动平均法 (3 个月滑动平均) 计算 Niño 3.4 指数。
- 4) 掌握根据 Niño 3.4 指数识别 El Niño 与 La Niña 事件的方法，并进行可视化。

2.2. 实验原理与思路

月度气候值计算与异常值

- 1) 按月份对 SST 数据分组计算平均值，得到 Niño 3.4 区域的月度气候值 (climatology)。
- 2) 每个月的 SST 减去对应月的气候值，得到 SST 异常值 (anomalies)。

滚动平均 Niño 3.4 指数

- 1) 对异常序列进行 3 个月滑动平均，得到平滑 Niño 3.4 指数，用于监测 ENSO 事件。

El Niño / La Niña 事件识别

- 1) 编写函数检测连续 ≥ 5 个月超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的时期，分别标记为 El Niño 或 La Niña 事件。

可视化

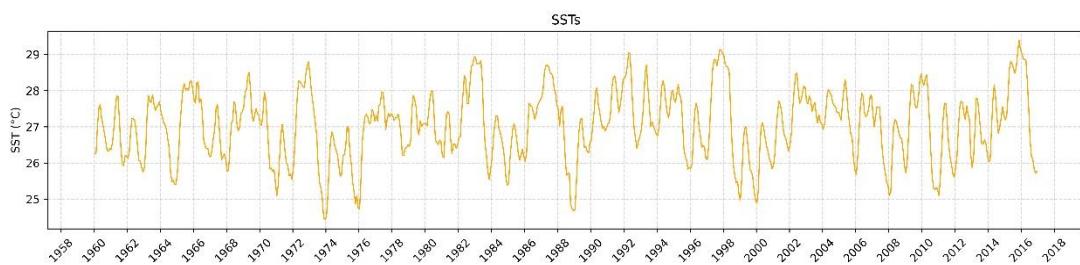
1. 原始 SST 时间序列。
2. Niño 3.4 月度气候值。
3. SST 异常直方图叠加 3 个月滚动 Niño 3.4 指数，并标注 El Niño / La Niña 阈值与事件区间。

2.3. 实验结果

A. 原始 SST 时间序列

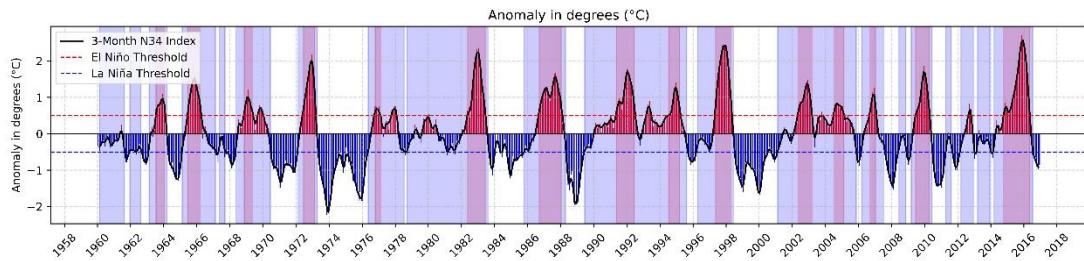
Niño 3.4 区域的 SST 在 20 世纪末至 21 世纪初呈波动上升趋势，年际变化明显。

时间序列显示季节性变化和年际波动，反映赤道太平洋 SST 的自然变动。



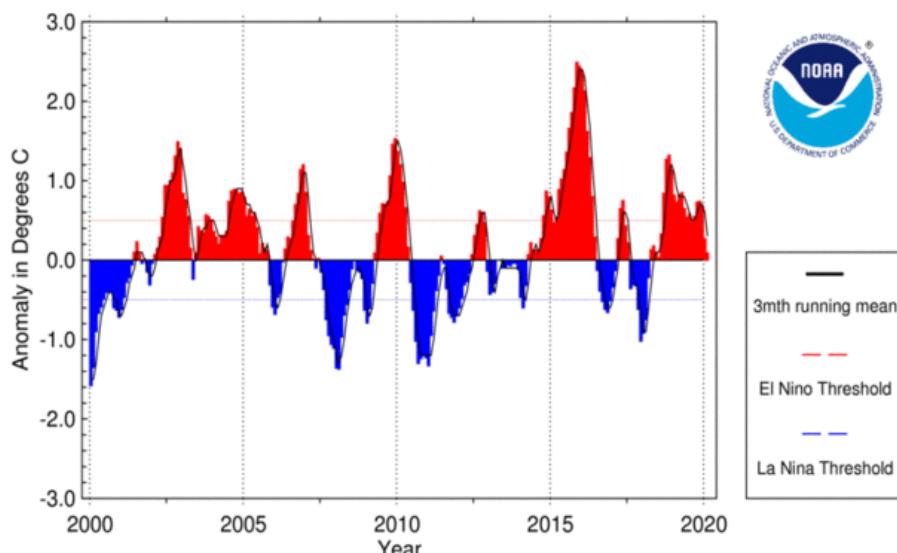
B. Niño 3.4 月度气候值+C. Niño 3.4 异常与指数

SST 异常直方图的直方图显示正异常 (红色) 和负异常 (蓝色) 的分布。3 个月滚动 Niño 3.4 指数 (黑线) 平滑了短期波动，更清晰地反映 ENSO 事件。阈值 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 及连续 5 个月的事件检测有效标识了 El Niño 和 La Niña 事件。观察到多个明显的 El Niño 和 La Niña 事件周期，如 2009 – 2010 El Niño、2015 – 2016 La Niña 等。阴影区标注事件持续时间，使 ENSO 事件在时间序列中一目了然。



可以看到，与官网给出的参考图趋势保持一致。

SST Anomaly in Nino 3.4 Region (5N-5S,120-170W)



3. Explore a netCDF dataset

3.1. 实验目的

学习计算全球及各区域的平均净生态基量（NBE）时间序列，并去除月度季节循环，分析异常变化，学习绘制多种空间和时间可视化图表，包括全球平均分布、经纬度剖面、季节循环及变率。

3.2. 实验原理与思路

NBE (Net Biome Exchange) 表示生态系统与大气之间的二氧化碳净通量，正值表示释放 CO₂，负值表示吸收 CO₂。

全球平均及去季节化处理

- 1) 计算全球加权平均 NBE (以有效面积为权重)，得到全球时间序列。
- 2) 按月份分组计算月度气候值，并从时间序列中减去季节循环，得到异常值 (anomaly)。

可视化设计

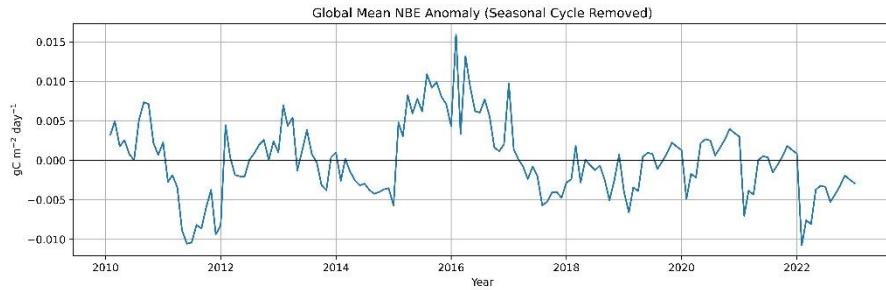
- A. 图 1：全球平均 NBE 异常时间序列 (去季节循环)

- B. 图 2: 多年平均空间分布
- C. 图 3: 经度剖面 (纬度平均)
- D. 图 4: 纬度剖面 (经度平均)
- E. 图 5: 北半球与南半球的月度季节循环
- F. 图 6: 全球月度平均 NBE (12 个月平均)
- G. 图 7: NBE 时空变率 (标准差)

3.3. 实验结果

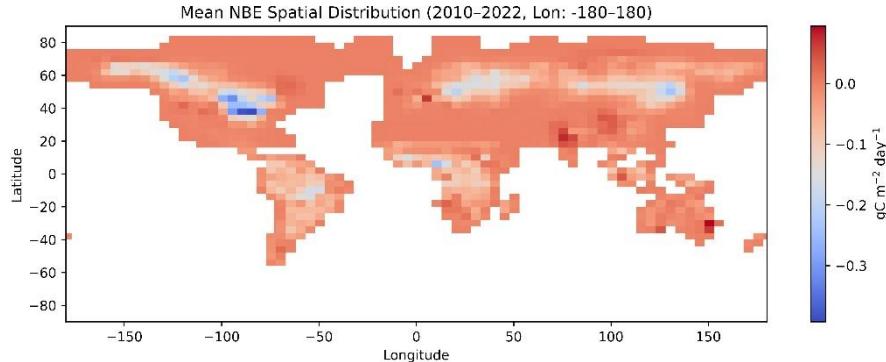
A. 全球平均 NBE 异常 (去季节循环)

去除季节循环后的全球平均 NBE 时间序列显示 2010 – 2022 年间生态系统的碳通量异常。异常曲线揭示了年际波动和异常年份，例如干旱或火灾导致的碳释放异常。



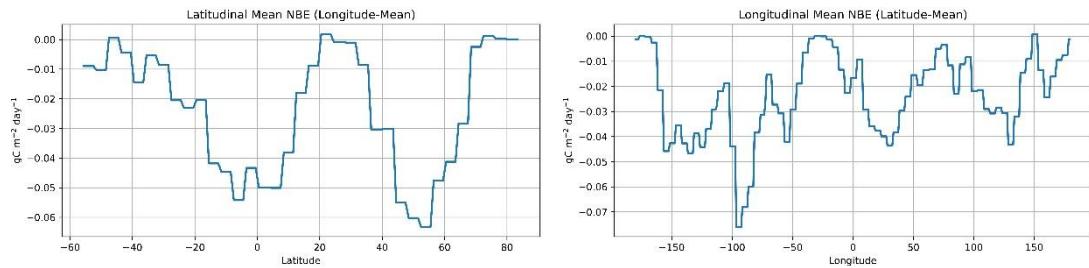
B. 多年平均空间分布

多年平均 NBE 显示北半球温带地区生态系统整体吸收 CO₂，而部分热带和干旱区呈碳排放。图中呈现明显的纬度梯度，反映生态系统生产力的空间差异。



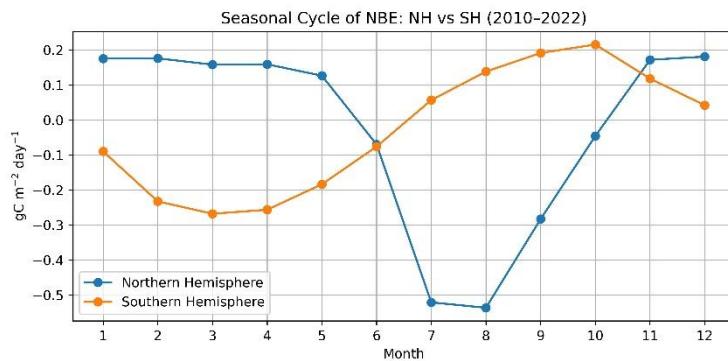
C. 经度剖面 (纬度平均) 与 纬度剖面 (经度平均)

经度剖面显示沿纬度平均后的 NBE 变化，南半球与北半球差异显著。纬度剖面显示沿经度平均后的 NBE 变化，东半球与西半球差异显著。



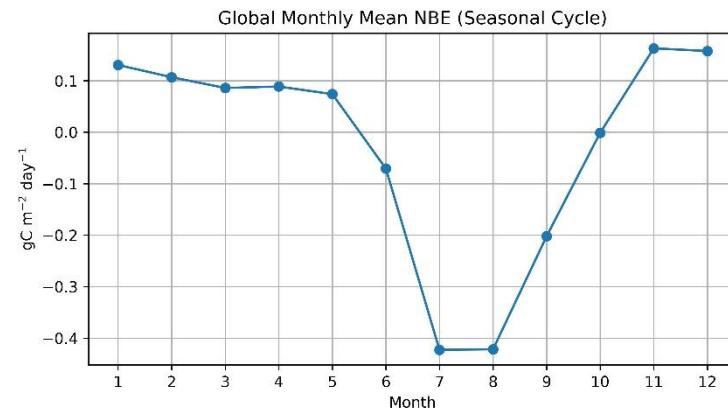
D. 北半球 vs 南半球月度季节循环

北半球 NBE 季节循环峰值出现在春夏季，南半球则在对应的冬夏季节呈现反向模式。月度季节循环反映生态系统碳通量的季节性规律。



E. 全球月度平均 NBE (12 个月平均)

平均值曲线显示全球 NBE 在不同月份存在明显的季节性高低点，夏季吸收 CO_2 增强，冬季减弱。



F. NBE 空间变率 (标准差)

标准差分布显示中纬区域生态系统的 NBE 变率较大，反映生态系统对气候和环境变化的敏感性。高纬度和低纬度地区变率较低，生态系统相对稳定。

