

1. Modeling of carbon cycle

In this problem, we will build a box model to understand the Earth's carbon cycle based on the framework in [Tomizuka 2009](#).

1.1 [15 points] Following equation 1-2 (without the buffer effect), build a two-box model to compute the atmospheric CO₂ level in ppm (parts per million) from 1987 to 2004.

1.2 [20 points] Following equation 3-4 (with the buffer effect), build a two-box model to compute the atmospheric CO₂ level in ppm from 1987 to 2004.

代码思路

1. 导入所需的库，包括 NumPy、Pandas 和 Matplotlib，用于数据处理和可视化。
2. 定义了一个名为 **euler_integration** 的函数，用于执行欧拉积分。该函数接受大气和海洋中初始的 CO₂ 浓度、转移速率等参数，并计算 CO₂ 浓度随时间的变化。如果选择使用缓冲效应，则在计算中会考虑缓冲效应。
3. 从 CSV 文件中读取了包含时间和 γ (gama) 值的数据，并在 1987 年到 2004 年之间进行了筛选。
4. 定义了一些常量，例如初始的 CO₂ 浓度、转移速率等。
5. 调用 **euler_integration** 函数，分别进行了有和无缓冲效应的 CO₂ 浓度计算，并将结果存储在 **calculation_without_buffer** 和 **calculation_with_buffer** 列表中。
6. 使用 **for** 循环输出了 1987 到 2004 年每年的无缓冲效应和有缓冲效应的 CO₂ 浓度值。

运行结果

无缓冲效应的 CO₂ 浓度值：

年份: 1987, CO₂ 浓度: 348.71 ppm
年份: 1988, CO₂ 浓度: 350.08 ppm
年份: 1989, CO₂ 浓度: 351.47 ppm
年份: 1990, CO₂ 浓度: 352.87 ppm
年份: 1991, CO₂ 浓度: 354.27 ppm
年份: 1992, CO₂ 浓度: 355.62 ppm
年份: 1993, CO₂ 浓度: 356.95 ppm
年份: 1994, CO₂ 浓度: 358.32 ppm
年份: 1995, CO₂ 浓度: 359.75 ppm
年份: 1996, CO₂ 浓度: 361.21 ppm
年份: 1997, CO₂ 浓度: 362.70 ppm
年份: 1998, CO₂ 浓度: 364.15 ppm
年份: 1999, CO₂ 浓度: 365.56 ppm
年份: 2000, CO₂ 浓度: 367.03 ppm
年份: 2001, CO₂ 浓度: 368.57 ppm
年份: 2002, CO₂ 浓度: 370.12 ppm
年份: 2003, CO₂ 浓度: 371.83 ppm
年份: 2004, CO₂ 浓度: 373.69 ppm

有缓冲效应的 CO₂ 浓度值：

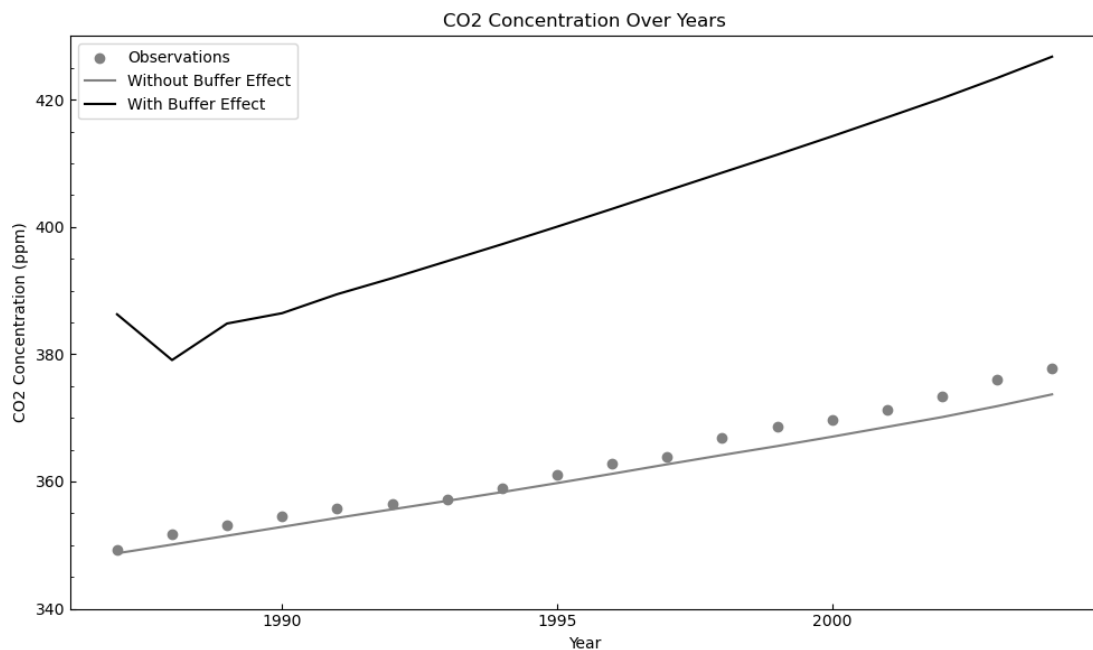
年份: 1987, CO₂ 浓度: 386.27 ppm
年份: 1988, CO₂ 浓度: 379.08 ppm
年份: 1989, CO₂ 浓度: 384.82 ppm
年份: 1990, CO₂ 浓度: 386.44 ppm
年份: 1991, CO₂ 浓度: 389.42 ppm
年份: 1992, CO₂ 浓度: 391.94 ppm
年份: 1993, CO₂ 浓度: 394.61 ppm
年份: 1994, CO₂ 浓度: 397.28 ppm
年份: 1995, CO₂ 浓度: 400.03 ppm
年份: 1996, CO₂ 浓度: 402.83 ppm
年份: 1997, CO₂ 浓度: 405.68 ppm
年份: 1998, CO₂ 浓度: 408.52 ppm
年份: 1999, CO₂ 浓度: 411.34 ppm
年份: 2000, CO₂ 浓度: 414.24 ppm
年份: 2001, CO₂ 浓度: 417.21 ppm
年份: 2002, CO₂ 浓度: 420.20 ppm
年份: 2003, CO₂ 浓度: 423.40 ppm
年份: 2004, CO₂ 浓度: 426.75 ppm

1.3 [5 points] Based on your results from 1.1 and 1.2, reproduce Figure 2 in Tomizuka (2009) as much as you can.

代码思路

1. 使用 Pandas 读取名为 'observations.csv' 的观测数据文件,并筛选出 1987 年到 2004 年之间的数据。
2. 从筛选后的数据中获取年份和对应的平均二氧化碳浓度观测值。
3. 使用 Matplotlib 库绘制图表,包括散点图(观测值)和两条线图(表示有无缓冲效应的模拟值)。
4. 自定义了图表的外观,包括设置图表大小、坐标轴范围、刻度位置、轴标签、标题、图例等,以及调整图表布局。
5. 最后调用 `plt.show()` 方法展示图表。

运行结果



[Bonus] [15 points] Following equation 5-13, compute the atmospheric CO₂ level in ppm and reproduce Figure 4 in Tomizuka (2009).

Useful data sets:

- [Global Fossil-Fuel CO₂ Emissions](#)
- [Mauna Loa CO₂ annual mean data](#)
- [Historical CO₂ Records from the Law Dome DEo8, DEo8-2, and DSS Ice Cores](#)

Source: Tomizuka (2009), Is a box model effective for understanding the carbon cycle?, *American Journal of Physics*, 77, 156, doi: 10.1119/1.3013196 (●).

该题为与朱昱光、温承彦等同学共同讨论完成

代码思路

1. 使用 **Pandas** 库加载 CO2 观测数据、土地利用数据和化石燃料排放数据。对加载的数据进行预处理，包括选择特定的列、计算新的衍生特征和调整数据格式。定义了一系列模型中使用的参数，例如不同物质间的速率常数 (**k** 值)、初始条件等。
2. 循环针对每个 **Beta** 值进行模拟。在每个模拟中，模型根据微分方程描述了大气和地球系统中 CO2 浓度的变化，考虑了化石燃料排放、土地利用变化等因素，并使用数值方法迭代计算每一年的 CO2 浓度变化。
3. 使用 **Matplotlib** 库创建图表。图表中包括了观测数据的散点图以及模型计算结果的曲线图，分别用不同颜色标示不同的 **Beta** 值模拟结果。

运行结果

