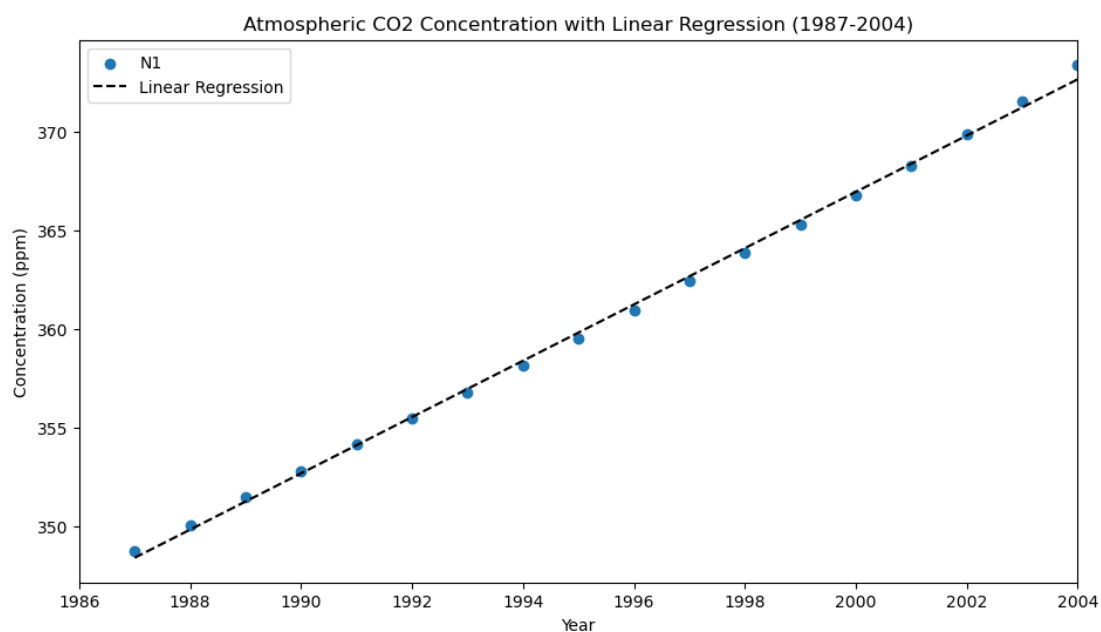


Problem 5.1

本题计算和绘制 1987 年至 2004 年间大气二氧化碳浓度。

首先从给定的路径导入全球 1751 年至 2014 年化石燃料燃烧和水泥生产的总碳排放数据。选取数据文件中的前两列，删除第一行（通常是列标题），并转换数据类型。将碳排放量从百万吨转换为碳的质量（以克为单位），然后转换为 ppm（百万分率）单位。选择 1987 年至 2004 年间的数 据作为分析的时间段，并初始化列表和各种参数。计算研究期间的年数。然后通过一个循环，使用一个简化的模型计算每年大气中的二氧化碳水平。在这个模型中， N_1 和 N_2 是大气和海洋表面的碳浓度， k_{12} 和 k_{21} 是转移系数， γ 是来自化石燃料的二氧化碳输入。每一年迭代计算后，计算新的 N_1 和 N_2 值，并将结果存储在列表 a 中，并打印每一年的大气中二氧化碳水平。再创建一个数组来表示年份和计算得到的二氧化碳浓度，进行线性回归并拟合数据。最后预测二氧化碳浓度，绘制实际的二氧化碳浓度和线性回归预测的结果。

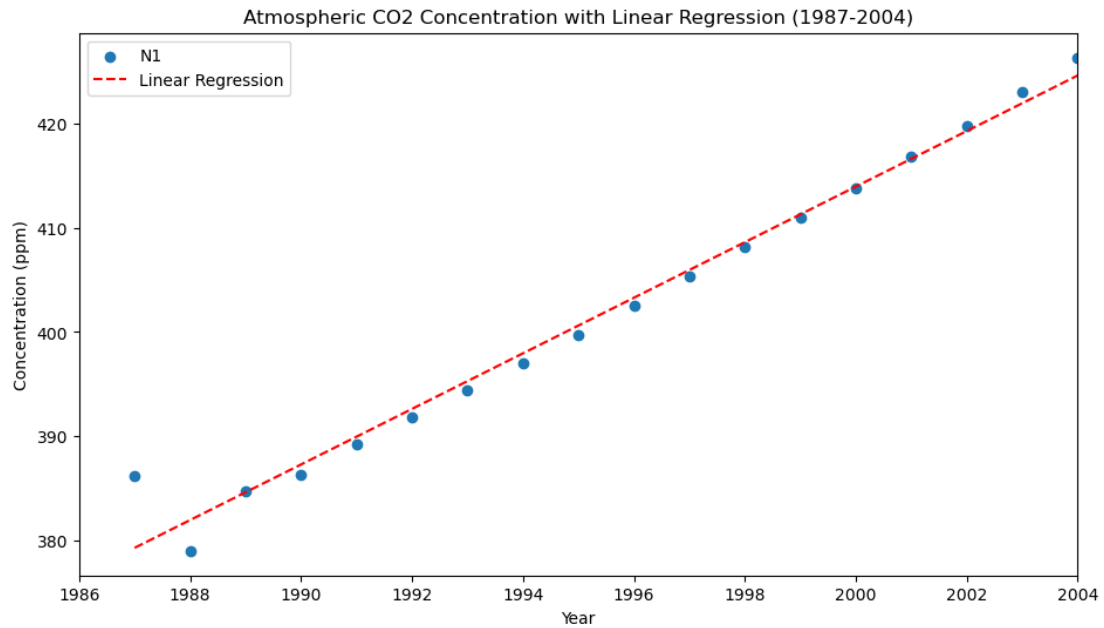


Problem 5.2

本题计算包含缓冲效应的大气二氧化碳的浓度，并且使用线性回归对数据进行拟合和预测。

首先初始化一个空列表 b 来存储每一年计算出的二氧化碳浓度值。设置大气和海洋表面的初始碳浓度 N_1 和 N_2 ，以及海洋缓冲能力的初始值 N_{20} 。设置传输系数 k_{12} 和 k_{21} 。循环遍历数据集中的每一年。从 ppm 数据框中提取对应年份的年份和 γ 值（化石燃料燃烧导致的 CO_2 增加量）。

计算 z ，它代表大气中的二氧化碳浓度，用于计算缓冲系数 x_i 。计算缓冲系数 x_i ，它是大气 CO_2 浓度的函数。使用包含缓冲效应的二氧化碳动态模型，计算 dN_1_{dt} 和 dN_2_{dt} 。设置时间步长 dt 为 1 年。更新 N_1 和 N_2 的值。将计算出的大气二氧化碳浓度添加到列表 b 。打印每一年的大气中二氧化碳水平。创建一个时间的数组和二氧化碳浓度的数组。创建线性回归模型 regressor。对数据进行拟合，用线性回归模型预测二氧化碳浓度，再绘制实际的二氧化碳浓度和线性回归预测的结果。

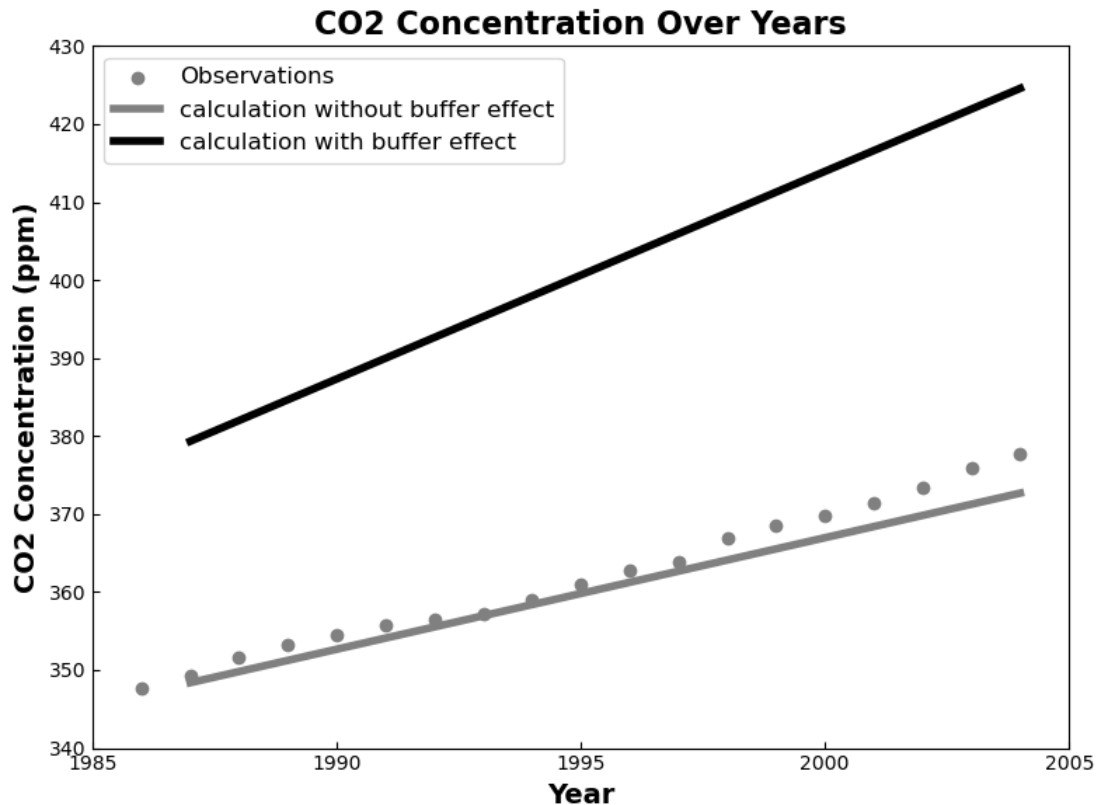


Problem 5.3

本题需要读取并可视化 1986 年至 2004 年间的大气二氧化碳浓度观测数据，以及之前计算出的不考虑缓冲效应和考虑缓冲效应的二氧化碳浓度预测数据。

从给定的路径读取莫纳罗亚观测站的年平均二氧化碳数据。从数据集中过滤出 1986 年到 2004 年的数据。提取过滤后数据集中的年份和二氧化碳浓度平均值。设置绘图的大小。绘制观测数据的散点图，点的颜色为灰色，标签为“Observations”。绘制不考虑缓冲效应的二氧化碳浓度预测曲线，颜色为灰色，线型为实线，标签为“calculation without buffer effect”，线宽为 4。绘制考虑缓冲效应的二氧化碳浓度预测曲线，颜色为黑色，线型为实线，标签为“calculation with buffer effect”，线宽为 4。设置 x 轴刻度线的方向为向内。设置 y 轴刻度线的方向为向内，对所有刻度线生效。设置 x 轴和 y 轴标签的字体大小和加粗。设置图表标题的字体大小和加粗。关闭网格线。

设置 x 轴的刻度范围，每 5 年标记一次。设置 x 轴的显示范围为 1985 年到 2005 年。设置 y 轴的显示范围为 340 ppm 到 430 ppm。显示图例，字体大小为 12。使用 `plt.tight_layout()` 自动调整子图参数，以便子图填充整个图形区域。



Problem 5.4

本题模拟 1751 年至 2000 年间大气中二氧化碳浓度的变化，并将模拟结果与观测数据进行对比。它使用了一个更复杂的模型，考虑了多个碳库之间的转移、化石燃料排放、土地使用变化和生物地球化学反馈。

首先读取关于二氧化碳观测、土地使用和化石燃料排放的数据文件。对土地使用数据进行处理，只选取“Year”和“Global”两列，并计算土地使用变化导致的二氧化碳排放量。对化石燃料排放数据进行处理，计算化石燃料排放的二氧化碳排放量。定义模型中使用的传输系数。设置模型的初始条件。设置另外两个参数的初始值。初始化结果存储列表。循环遍历两个不同的 β 值。 β 是一个参数，用于模拟海洋生物地球化学反馈对碳循环的影响。将初始条件复制到各碳库变量中。初始化存储大气碳浓度的列表。再对每一个年份，使用模型方程计算大气和其他碳库中碳浓度的变化。将每年的大气碳浓度追加到列表中。将计算结果追加到结果存储列表中。设置绘图的大小。绘制观测数据的散点图。在图上添加文本标签，用于解释图中的不同部分。绘制 $\beta=0.38$ 和 $\beta=0.50$ 时模型预测的二氧化碳浓度变化。设置 x 轴和 y 轴的标签、字体大小和字体加粗，设置图表标题，显示图例，显示绘制的图形。

CO2 Concentration Over Years

