

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.

这段代码的主要目标是加载全球碳排放数据，建立一个模型来模拟大气和海洋之间的碳交换，并使用这个模型来预测 1987 年到 2004 年间大气中的二氧化碳浓度。

首先，代码导入了所需的库，包括 `numpy`、`matplotlib`、`pandas` 和 `scipy` 的 `odeint` 函数。然后，设置了图形的字体样式和大小。

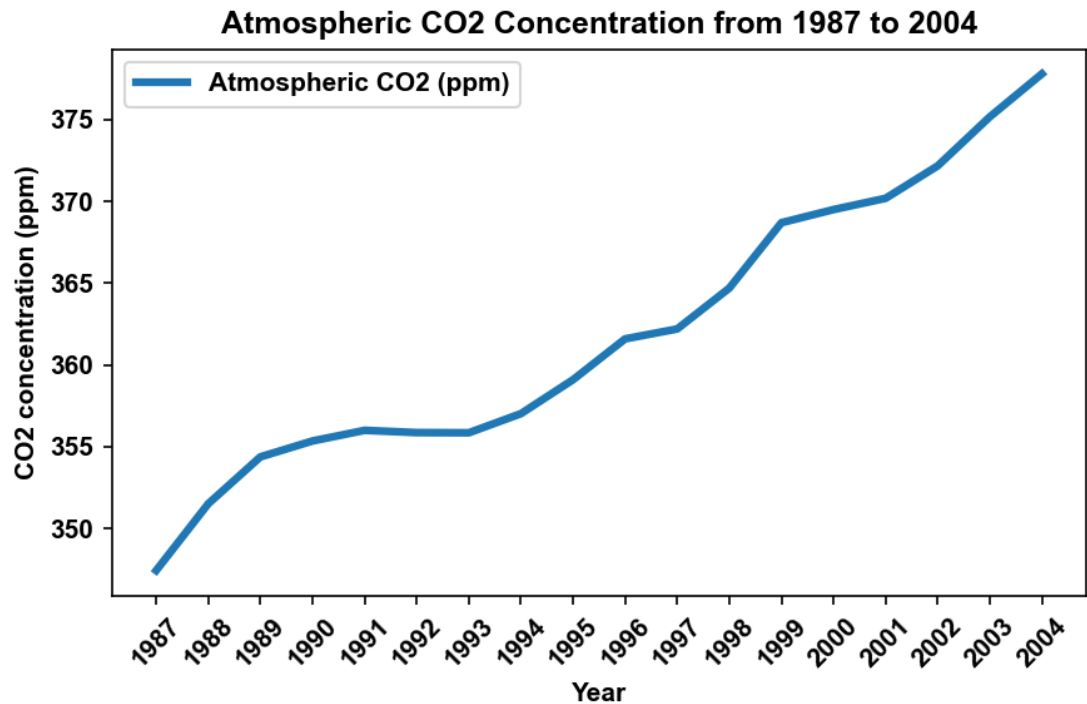
接着，代码加载了全球碳排放数据，并对数据进行了预处理，包括设置表头、删除无关的行和列、筛选出 1987 年到 2004 年的数据，并计算了总碳排放量。

然后，代码定义了模型的常数和初始值，包括大气到海洋的碳转移系数、海洋到大气的碳转移系数、1986 年大气和海洋表面的碳含量。并将大气中的碳含量从 `PgC` 单位转换为 `ppm` 单位。

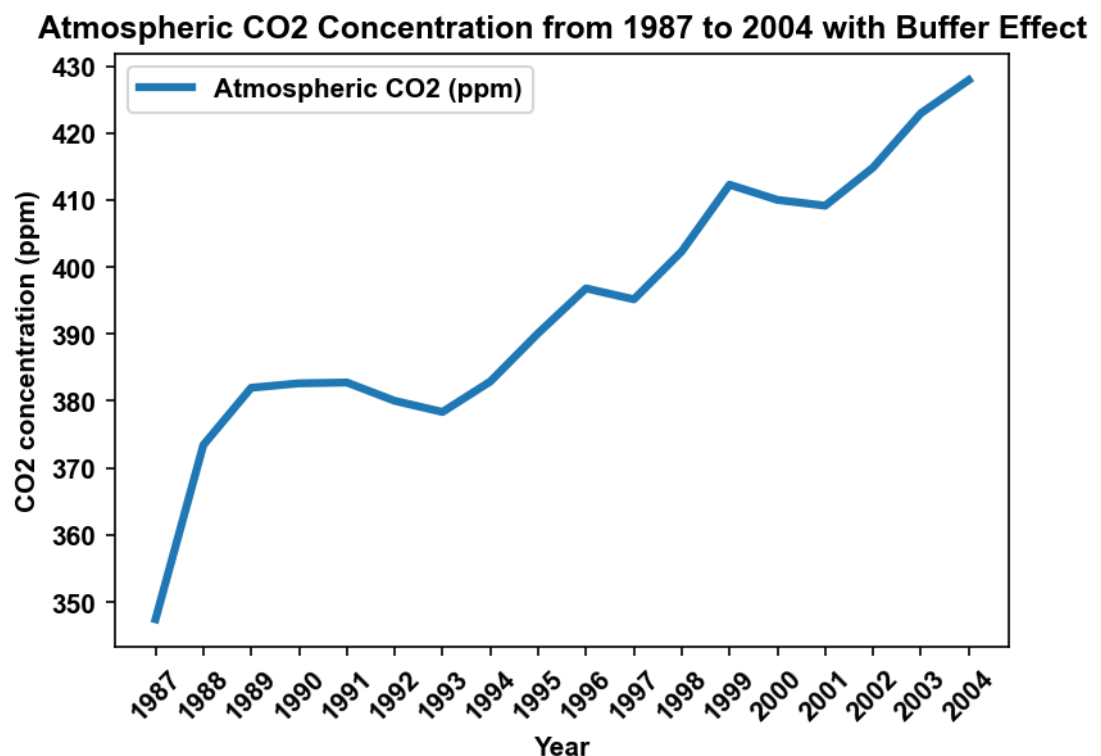
接下来，代码定义了模型的微分方程，这个方程描述了大气和海洋之间的碳交换以及人类活动对大气碳含量的影响。

然后，代码使用 `odeint` 函数解决了这个微分方程，并提取了大气中的二氧化碳浓度。

最后，代码绘制了 1987 年到 2004 年间大气中的二氧化碳浓度的时间序列图。图中的 `x` 轴是年份，`y` 轴是二氧化碳浓度，标题是 "Atmospheric CO₂ Concentration from 1987 to 2004"，并添加了图例。



- 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.



这段代码的主要目标是加载全球碳排放数据，建立一个模型来模拟大气和海洋之间的碳交换，并考虑缓冲效应，使用这个模型来预测 1987 年到 2004 年间大气中的二氧化碳浓度。

首先，代码导入了所需的库，包括 `numpy`、`matplotlib`、`pandas` 和 `scipy` 的 `odeint` 函数。

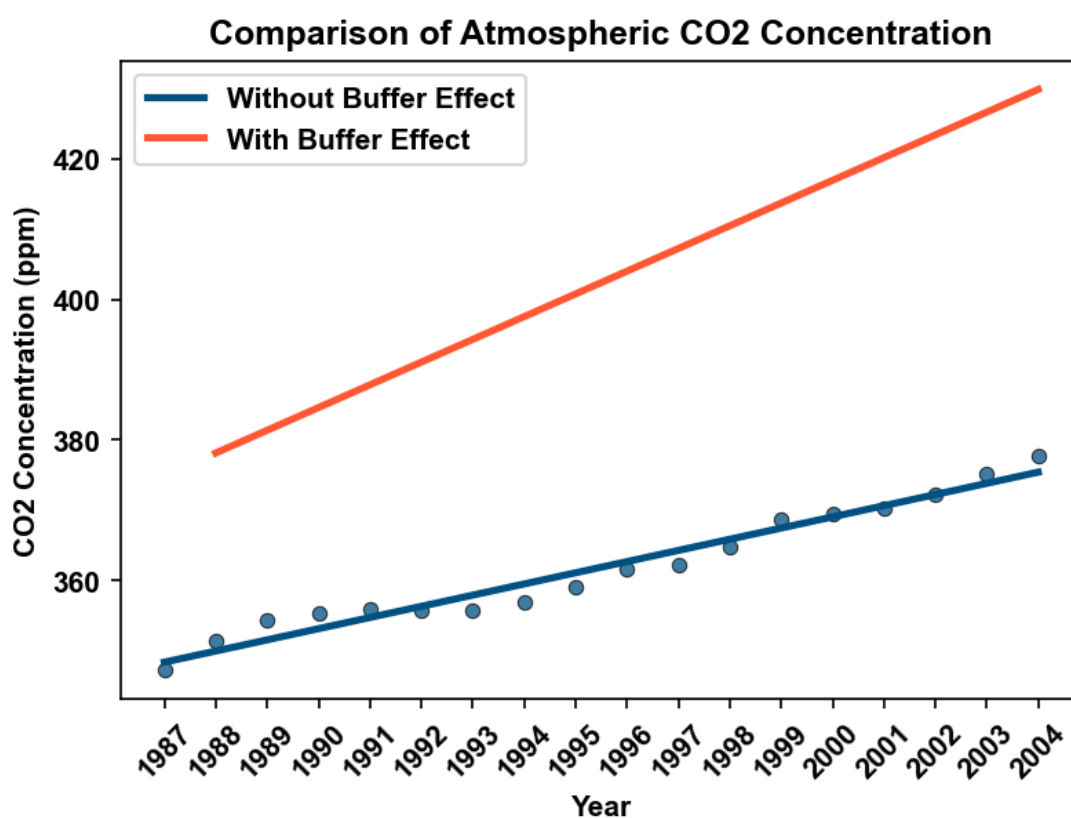
接着，代码加载了全球碳排放数据，并对数据进行了预处理，包括设置表头、删除无关的行和列、筛选出 1987 年到 2004 年的数据，并计算了总碳排放量。

然后，代码定义了模型的常数和初始值，包括大气到海洋的碳转移系数、海洋到大气的碳转移系数、缓冲效应因子、1986 年大气和海洋表面的碳含量。并将大气中的碳含量从 `PgC` 单位转换为 `ppm` 单位。

接下来，代码定义了模型的微分方程，这个方程描述了大气和海洋之间的碳交换、人类活动对大气碳含量的影响以及缓冲效应。

然后，代码使用 `odeint` 函数解决了这个微分方程，并提取了大气中的二氧化碳浓度。

最后，代码绘制了 1987 年到 2004 年间大气中的二氧化碳浓度的时间序列图。图中的 x 轴是年份，y 轴是二氧化碳浓度，标题是 "Atmospheric CO2 Concentration from 1987 to 2004 with Buffer Effect"，并添加了图例。



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.

这段代码的主要目标是比较考虑缓冲效应和不考虑缓冲效应两种情况下, 大气中二氧化碳浓度的变化。

首先, 代码使用之前定义的模型参数和函数, 分别解决了不包含缓冲效应和包含缓冲效应的微分方程。这两个微分方程都描述了大气和海洋之间的碳交换以及人类活动对大气碳含量的影响, 但是包含缓冲效应的微分方程还额外考虑了缓冲效应。

然后, 代码提取了两种情况下大气中的二氧化碳浓度, 并将其从 PgC 单位转换为 ppm 单位。

最后, 代码绘制了 1987 年到 2004 年间大气中的二氧化碳浓度的时间序列图, 比较了考虑缓冲效应和不考虑缓冲效应两种情况下的结果。图中的 x 轴是年份, y 轴是二氧化碳浓度, 标题是"Comparison of Atmospheric CO₂ Concentration", 并添加了图例。

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

这段代码主要是用来模拟和分析过去 250 年间大气中二氧化碳浓度的变化。首先, 它从两个数据文件中读取了关于化石燃料消耗、水泥生产和土地利用变化的二氧化碳排放数据。然后, 它定义了一组初始值和模型系数, 这些都是根据文献中的数据进行设定的。

接下来, 定义了一个名为 `model1_3` 的函数, 这个函数实际上是一个微分方程组, 用于描述大气中各种碳库之间的碳交换过程。这个函数的参数包括时间 `t`、模型系数 `k12`、`k21` 等、以及两个字典 `yearly_emissions` 和 `land_use_change`, 这两个字典分别存储了每年的化石燃料和土地利用变化的二氧化碳排放量。

然后, 使用 `scipy.integrate.odeint` 函数来求解这个微分方程组。这个函数的参数包括微分方程、初始值、时间序列以及微分方程的其他参数。这里进行了两次求解, 分别对应了两个不同的 `β` 值。

最后, 提取了求解结果中的 `N1` (大气中的二氧化碳浓度) 并绘制了图表。图表展示了过去 250 年间大气中二氧化碳浓度的变化趋势, 两条线分别对应了两个不同的 `β` 值。

CO2 Trend over 250 Years

