数値シミュレーション実験

第 1 回レポート

提出日　2025 年 5 月 29 日

提出者　今村　優斗

学籍番号　2713240012-7

課題 1

データとして，$x_0 = 1.2, x_1 = 2.1, x_2 = 4.2, x_3 = 8.5$　が与えられているとき，下記の式で計算される s を，for 文を使って計算し，結果を表示するプログラムを作れ．さらに出力結果を示せ．

$$s = \sum_{i=0}^{3} x_i^2$$

解答：

プログラムを図 1 に、実行結果を図 2 に示した。

図 1 より、配列 x[4]を作成し、要素を追加した。その後 for 文にて変数 s に順番に加算し合計値を求めた。

```
#include <stdio.h>

int main(void){
    double x[4]={1.2,2.1,4.2,8.5};
    int i;
    double s=0.0;

    for(int i=0;i<4;i++){
        s+=x[i]*x[i];
    }

    printf("和:%lf",s);
    return 0;
}
```

図 1　課題 1 のプログラム

$ ./k1-1

和:95.740000

図 2　課題 1 の実行結果

課題 2

以下の漸化式で求められる変数a_n をa_1 からa_{10} まで計算するプログラムを作り，プログラムと実行結果を示せ.

$$a_0 = 0.0$$

$$a_{n+1} = a_n \times 0.5 + 0.5$$

解答：

課題 2 のプログラミングを図 3 に、実行結果を図 4 に示した。

図 3 より、N を 10 と定義し、配列 a[N+1]を作成した。a[0]=0.0 で初期化し、a[1]以降に関しては for 文で a[i+1]=a[i]*0.5+0.5 を計算することで初期化した。

```
#include <stdio.h>
#define N 10
int main(void){
    double a[N+1];

    a[0]=0.0;
    printf("a[0]=%f¥n",a[0]);

    for(int i=0;i<N;i++){
        a[i+1]=a[i]*0.5+0.5;
        printf("a[%d]=%lf¥n",i+1,a[i+1]);
    }

    return 0;
}
```

図 3　課題 2 のプログラム

$ ./k1-2

a[0]=0.000000

a[1]=0.500000

a[2]=0.750000

a[3]=0.875000

a[4]=0.937500

a[5]=0.968750

a[6]=0.984375

a[7]=0.992188

a[8]=0.996094

a[9]=0.998047

a[10]=0.999023

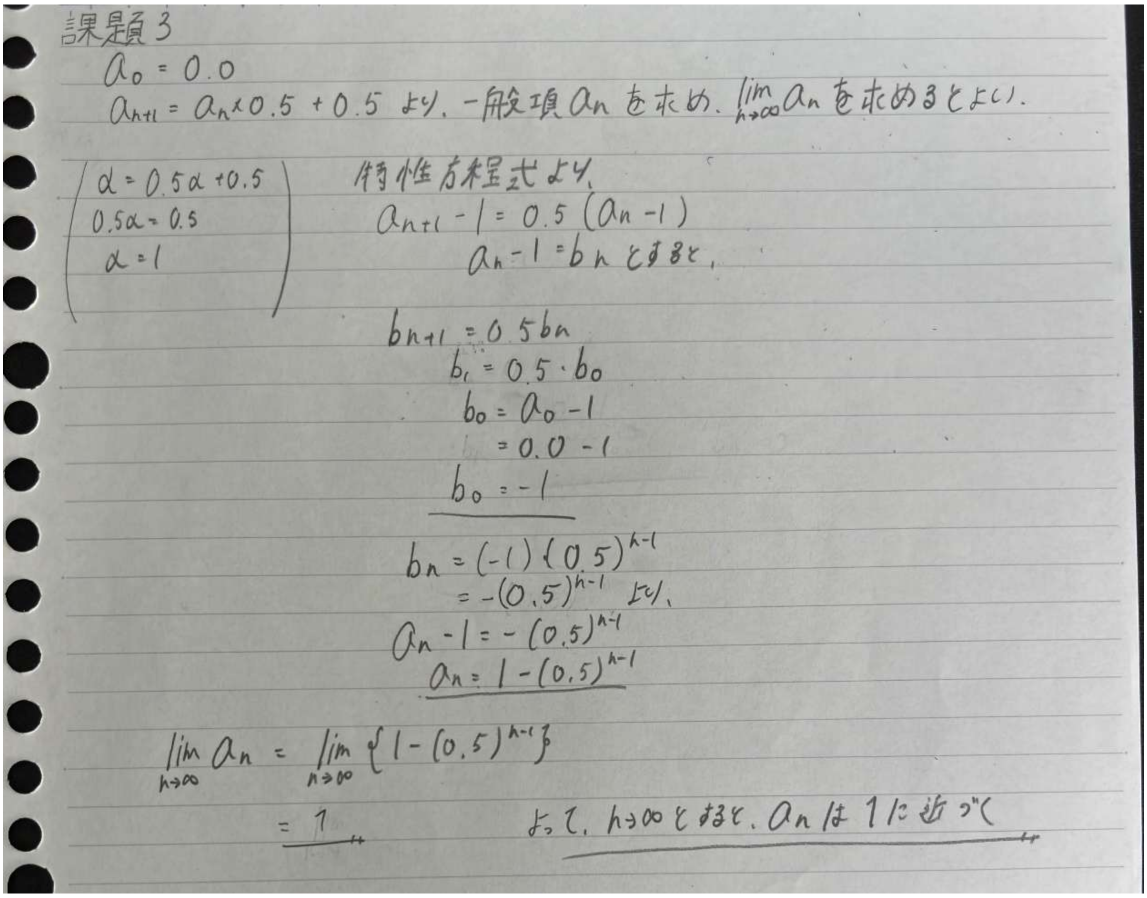
図４　課題２の実行結果

課題３

上記の課題で,n を増やしていくと、a_nは一定の値に収束するようになる．収束した値を求める方法を説明せよ.

解答：

図５に方法と結果を示した。


課題3

$a_0 = 0.0$

$a_{n+1} = a_n \times 0.5 + 0.5$ より、一般項 a_n を求め、$\lim_{n\to\infty} a_n$ を求めるとよい。

$\left(\begin{array}{l} \alpha = 0.5\alpha + 0.5 \\ 0.5\alpha = 0.5 \\ \alpha = 1 \end{array}\right)$

特性方程式より、

$a_{n+1} - 1 = 0.5(a_n - 1)$

$a_n - 1 = b_n$ とすると、

$b_{n+1} = 0.5 b_n$

$b_1 = 0.5 \cdot b_0$

$b_0 = a_0 - 1$

$= 0.0 - 1$

$\underline{b_0 = -1}$

$b_n = (-1)(0.5)^{n-1}$

$= -(0.5)^{n-1}$ より、

$a_n - 1 = -(0.5)^{n-1}$

$\underline{a_n = 1 - (0.5)^{n-1}}$

$\lim_{n\to\infty} a_n = \lim_{n\to\infty} \{1 - (0.5)^{n-1}\}$

$= 1$

よって、$n\to\infty$ とすると、a_n は 1 に近づく

図 5　課題 3 の方法と結果

課題 4

式(9) の左辺 dh/dt は，ある物理量 h の時間微分であり，この式は，h の時間変化の性質を表した式である．この式は，物理量 h が時間とともにどのように変化する性質を表現した式か説明せよ．また，生命現象の中で，このような性質を示すと考えられる「物理量」の例を挙げよ．

解答：

dh/dt は h の変化率を表している。つまり時間によって h がどの程度上昇するのか、減少するのかを表現した式である。また、生命現象の中で dh/dt と表すことができるものとして、血中酸素濃度があると考えた。血中酸素濃度は息を吸ったときに肺から血液に酸素が取り込まれるため、濃度が上昇する。その後は、時間がたつにつれ細胞に酸素が渡され、二酸化炭素を血液に取り込むことになるため、濃度が低下する。つ

まり、物理量 h を血中酸素濃度とすると、時間によって変化するため dh/dt の関係が成り立つ。

課題 5

関数 x(t) の微分が以下の式で与えられているとする．このとき x(t) をオイラー法で計算するプログラムを作り，x の時間変化を出力するプログラムを作れ．なお，x(t) の初期値は x(0) = 1.0，時間間隔 Δt は，0.01[s] とし，0.0[s] から 10.0[s] までの変化を計算し，結果をグラフとして示せ．

$$\frac{dx}{dt} = -x$$

解答：

図 6 にプログラムを、図 7 に結果のグラフを示した。

図 6 より、関数 double f(double x)を微分する関数とし作成する。今回、$\frac{dx}{dt} = -x$と定義されているため、関数 f は受け取った値の符号を変換して送り返す関数とした。次に、main 関数内で x の値を表す配列 x,x の微分を表す配列 dxdt,時間間隔を表す変数 dt を作成した。その後、x[0]を初期値である 1.0 で初期化し、以降の配列は for 文内で x[i+1]=x[i]+dxdt[i]*dt を計算することによって初期化した。この時、dxdt[i]の値は事前に f(x[i])により x[i]を微分した値を代入しておいた。最後に、dt*(i+1),x[i+1]の値を表示するようにプログラムをした。図 7 より、実行して表示された値を gnuplot にて表示した。以降の、グラフが示されている図は、プログラム実行時に新たなテキストファイルにリダイレクトし、作成されたテキストファイルを gnuplot に読み込ませて表示した。

```
#include <stdio.h>
#define N 1000  //0.01 刻みで 0s から 10s まで変化させるため

double f(double x){
    double dxdt=-x;
    return dxdt;
}

int main(void){
```

```
    double x[N+1];
    double dxdt[N+1];
    double dt=0.01;

    x[0]=1.0;   //初期
    printf("%lf %lf¥n",dt*0,x[0]);  //座標

    for(int i=0;i<N;i++){
        dxdt[i]=f(x[i]);
        x[i+1]=x[i]+dxdt[i]*dt;
        printf("%lf %lf¥n",dt*(i+1),x[i+1]);
    }

    return 0;
}
```
図 6　課題 5 のプログラム

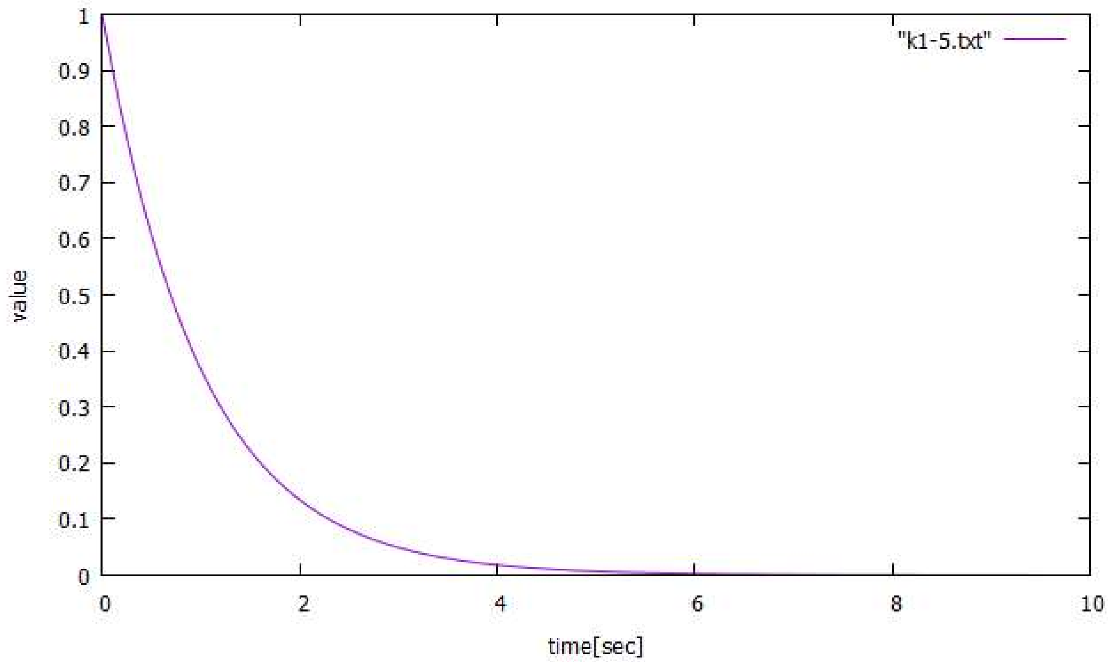


図 7　課題 5 の結果を表すグラフ

課題 6

時刻 0[min] から 5[min](=300[sec]) までを 3000 ステップに分割して，時刻 t [min] と，時刻で決まる濃度[mmol/L] の関数 C = 0.1×t を表示するプログラムを作成せよ．時刻[min] と C を 1 行ずつ 3000 行出力することとし，出力結果はグラフとして示せ．なお，ループ変数(通常は変数 i) を for 文などで，0 から 3000 まで変化させる場合，時刻 t [min] を変数 i から計算する必要があるので注意すること．また，各変数の単位に気を付け，必要であれば単位の換算を行うこと．

解答：

図 8 に課題 6 のプログラムを、図 9 に結果のグラフを示した。

変数 i を単位[sec]の変数とし、3000 ステップに分割して計算する必要があるため、配列 t を単位[ステップ]とした。それを t[i]=i/600.0 で表した。その後、濃度を表す配列 c に計算結果を代入し、表示させた。

```
#include <stdio.h>
#define N 3001

int main(void){

    double c[N+1];
    double t[N+1];
    for(int i=0;i<N;i++){
        t[i]=i/600.0;
        c[i]=0.1*t[i];
        printf("%lf %lf¥n",t[i],c[i]);
    }

    return 0;
}
```
図 8　課題 6 のプログラム

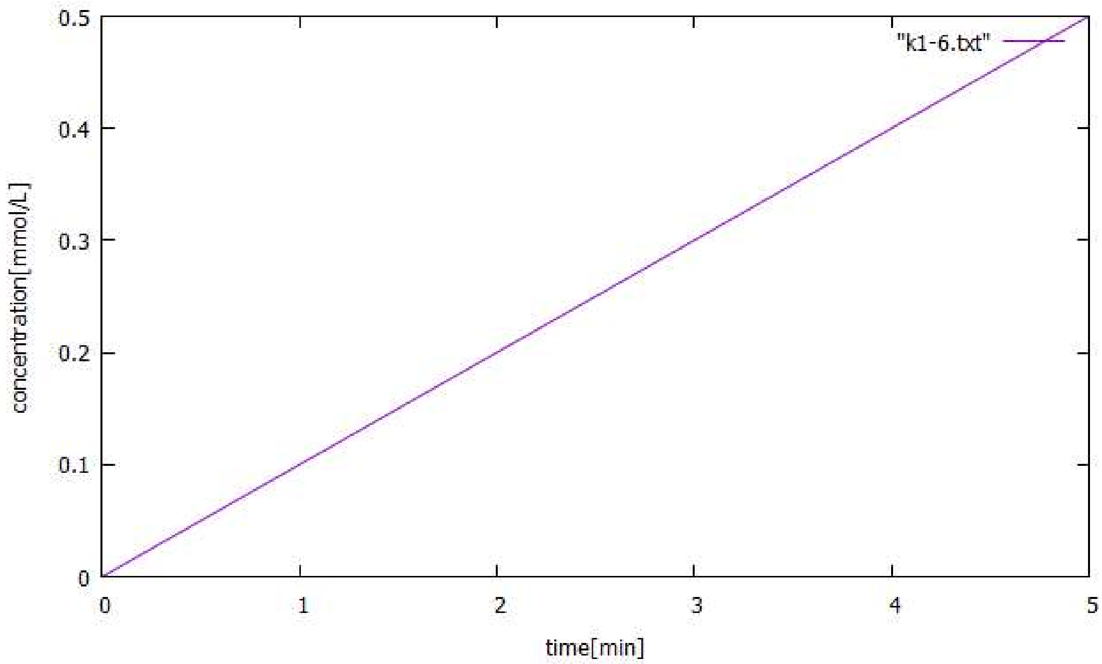


図 9　課題 6 の結果のグラフ

課題 7

時刻 0[min] から 5[min](=300[sec]) までを 3000 ステップに分割して，下記の式で決まる濃度変化をオイラー法で計算し，時刻 t [min] と濃度[mmol/L] を表示するプログラムを作成し，結果をグラフで示せ．なお，グルコース濃度の初期値は 1.0[mmol/L] ， x は 1.0[mmol/L/min] とし，各変数の単位系に注意してプログラムを作成すること．

$$\frac{dC_{GLU}}{dt} = x$$

解答：

図 10 に課題 7 のプログラムを、図 11 に結果のグラフを示した。

図 10 より、課題 6 と同様に微分を行う関数 f を作成し、濃度を計算するようにプログラムを作成した。

```
#include <stdio.h>
#define N 3000
double f(){
    return 1.0;
```

```
}

int main(void){
    double c[N+1];
    double dxdc[N+1];
    double dt=1/600.0;

    c[0]=1.0;
    printf("%lf %lf¥n",dt*0,c[0]);

    for(int i=0;i<N;i++){
        dxdc[i]=f();
        c[i+1]=c[i]+dxdc[i]*dt;
        printf("%lf %lf¥n",dt*(i+1),c[i+1]);
    }

    return 0;
}
```

図 10　課題 7 のプログラム

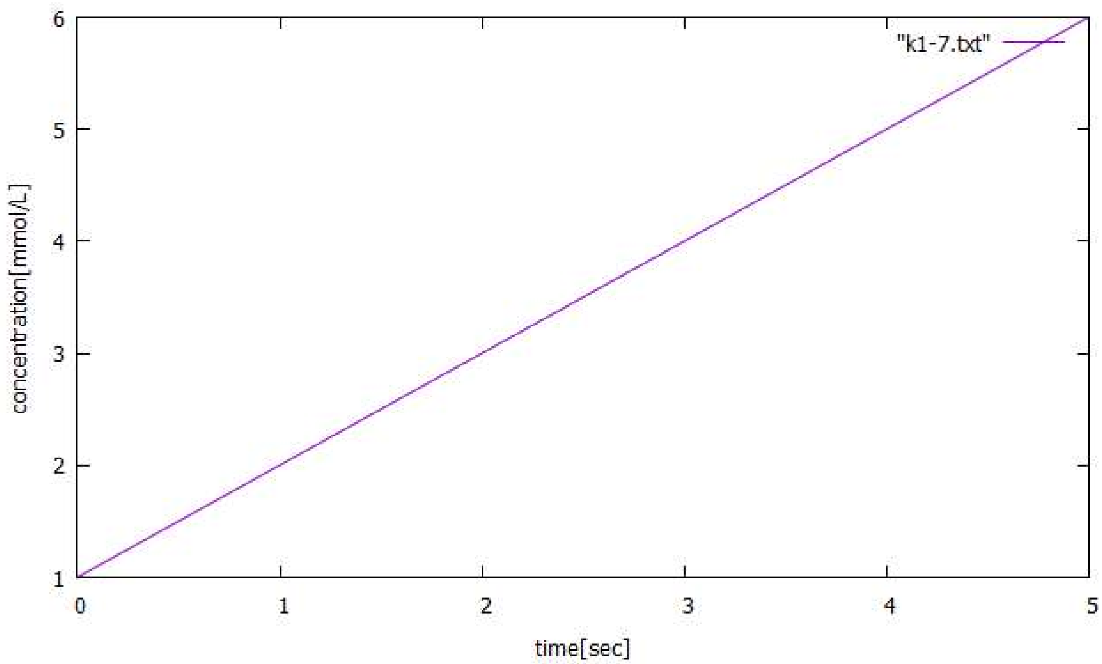


図 11　課題 7 の結果のグラフ

課題 8

時刻 0[min] から 5[min](=300[sec]) までを 3000 ステップに分割して，下記の式で決まる濃度変化をオイラー法で計算し，時刻 t [min] と濃度[mmol/L] を表示するプログラムを作成し，結果をグラフで示せ．なお，グルコース濃度の初期値は 0.0[mmol/L] ，x は 1.0[mmol/L/min] とし，各変数の単位系に注意してプログラムを作成すること．

$$\frac{dC_{GLU}}{dt} = x \times t^2$$

解答：

図 12 に課題 8 のプログラム、図 13 に課題 8 の実行結果を示した。

図 12 より、課題 7 と同様にプログラムを組んだ。変更点として、微分された式にt^2が含まれているため、経過時間を表す変数 i[sec]を用いて、t[i]=i/600.0 とし、計算した。

```
#include <stdio.h>
#define N 3000
double f(double t){
    return 1.0*t*t;
}

int main(void){
    double c[N+1];
    double dxdc[N+1];
    double t[N+1];
    double dt=1/600.0;

    c[0]=0.0;
    printf("%lf %lf¥n",dt*0,c[0]);

    for(int i=0;i<N;i++){
        t[i]=i/600.0;
        dxdc[i]=f(t[i]);
        c[i+1]=c[i]+dxdc[i]*dt;
```

```
        printf("%lf %lf¥n",dt*(i+1),c[i+1]);
    }

    return 0;
}
```
図 12　課題 8 のプログラム

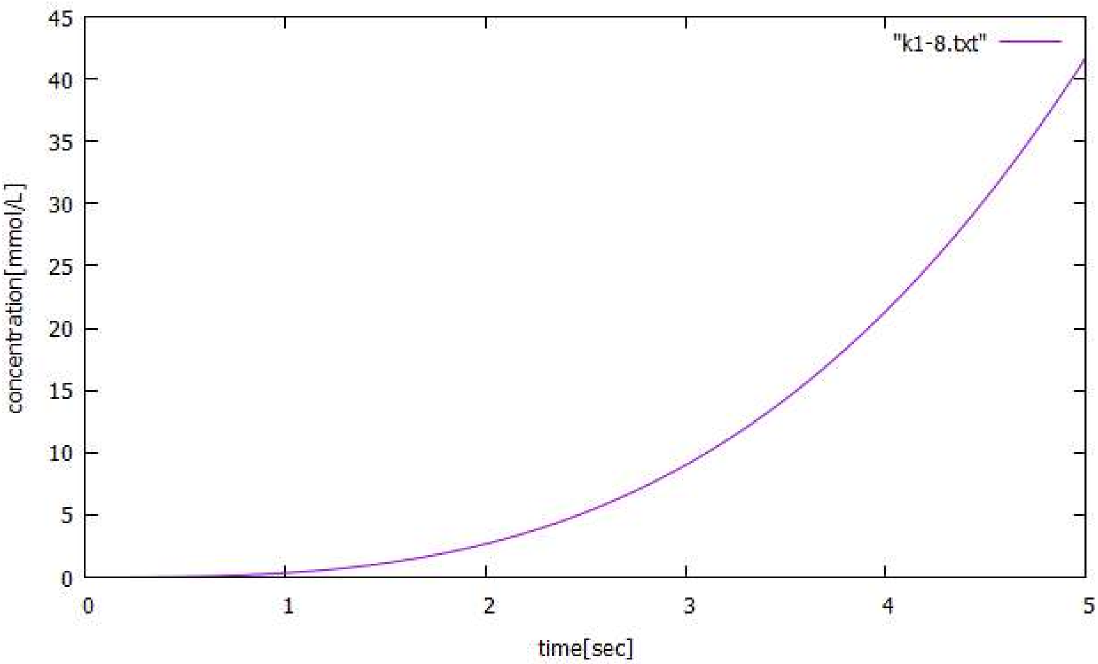


図 13　課題 8 の結果のグラフ