

GLSC3D の勧め

桂田 祐史

2017年12月2日, 2017年12月14日

1 はじめに

GLSC3D¹は、北海道大学の秋山正和²氏を中心とするチームによって開発・保守がされているグラフィックス・ライブラリである。長い間、使われて来た GLSC (Graphic Library for Scientific Computing) の後継というべきソフトウェアである。

マニュアル [1] は WWW 上に置かれている。

特徴を (独断で) 述べると

- OpenGL 3.3+GLSL に基づく 3D 描画機能
- 最近の環境を基礎にした設計
(GLSC は、X Window System を利用していて、オリジナルの龍谷大学版の最終更新日時が 1995 年)
- 動画の作成も快適に行える
(GLSC のやや弱かった面が大幅に改善された)
- GLSC と使い方が似ているので、GLSC に慣れている人にはとっつきやすい
- GLSC と共存が可能
(似ているが別物で、一つのシステムに両方インストールしても何ら問題がない)

コンピューター・システムの性能向上により、空間 3 次元のシミュレーションが比較的気軽に出来るようになってきている。その可視化の手段として GLSC3D は真っ先にあげられる選択肢になる。

2 Mac へのインストール

2.1 インストール手段の選択理由

GLSC3D では、Mac, Windows, Linux 環境がサポートされているが、Mac はメインの扱いのようで (?), 現象数理学科のメンバーとしてはとても心強い。

二つのインストール手段が提供されている。

1. 「最小限でインストール」

いわゆるバイナリー・インストールであるが、(良くあるように) OS のバージョンごとにバイナリーが用意されていないので、しばしば警告が出る。

¹<http://www-mm.es.hokudai.ac.jp/~masakazu/#section14>

²<http://www-mm.es.hokudai.ac.jp/~masakazu/>

2. 「フルインストール」

ソースプログラムからコンパイルしてライブラリを生成する。Xcode と MacPorts を利用する。

ゼミの学生が持っている Mac (現象数理学科 Mac) の状況を考えると (Xcode と MacPorts は入っている、結構古い macOS を使っている人がいる)、フルインストールが適当であると考えられる。

2.2 準備

(1) (これはオプションで、やらなくても多分大丈夫) macOS のアップグレード — これは必要ではないけれど、前からアップグレードしようかどうか迷っていた人には、この機会にやってみることを勧める。アップグレード自身に長い時間がかかり、アップグレードすると Xcode, MacPorts の再インストールも必要になるので、かなりの時間がかかる。でも、どうせ (2) をするならば、この機会に macOS のアップグレードをするのはトータルでトクになるかもしれない。

(2) Xcode のアップデート

- 最初に Xcode を起動できるかどうか確認すること。macOS をアップグレードした人の中には、Xcode がなくなっている人もいる。Xcode がなくなっている人は、App Store でインストールすること。
- Xcode がある人の場合、左上の林檎マーク → 「この Mac について」 → [ソフトウェア・アップデート] で表示されるところに Xcode があれば、アップデートする。
- アップデートするとき、大量のファイルをダウンロードする必要があるため、この作業は、時間に余裕があるときに、高速なネット接続があるところで行うこと。大学でするのは (日曜日でもない限り) 勧められない。

(3) MacPorts のアップデート

ターミナルで

```
sudo port selfupdate
sudo port upgrade outdated
```

を実行する。

(sudo を知らない人に: コマンドを管理者権限で実行するためのコマンドである。最初に sudo を用いるとき、その意味を理解しているかどうか警告される。パスワード入力を求められる。パスワードの後に enter(return) を入力する。パスワードを打っても (盗み見されないよう) 画面には表示されないことに注意する。)

もしかすると、最新の MacPorts をインストールするように促されるかもしれない (がんばって英語を読むこと)。その場合は <https://www.macports.org/install.php> から自分の macOS に適合するバージョンをダウンロードしてからインストール。

参考: <https://trac.macports.org/wiki/Migration>, <http://nalab.mind.meiji.ac.jp/~mk/knowhow-2017/node32.html>

(4) フルインストール用ファイル Script_on_mac.zip の入手

http://www-mmc.es.hokudai.ac.jp/~masakazu/Software/Script_on_mac.zip を適当な場所 (ターミナルで作業しやすい場所) に保存する。

本当は「現象数理学科 Mac の環境の更新マニュアル」みたいなものを作るべきかもしれない(素材は既にあちこちに書き散らしてある)。

2.3 フル・インストール手順

```
unzip Script_on_mac.zip
cd Script_on_mac
./1_Install_macports_mac
./2_Install_dependency_library_mac
./3_Test_GLSC3D_on_mac
```

途中で “Do you want to run the Sample Program? (YES=1, NO=0)”, “Do you want to run the Advanced Program? (YES=1, NO=0)” と尋ねられる。

```
./4_Install_GLSC3D_on_your_mac
```

コマンドの名前が長目であるが、全部タイプする必要はない。例えば `1_Install_macports_mac` を入力するためには、`./1` をタイプした後に `tab` キーを押すと良い。

`GLSC_Working_Directory` というディレクトリが残る、「消しても構わない」という意味のメッセージが出るが、サブディレクトリ `GLSC3D` にソース・プログラムが残っているので、残しておく方が良い場合もある。

2.4 「最小限」から「フル・インストール」への切り替え手順

「最小限」でインストールしたが、「フル・インストール」に切り替えたい場合の手順を以下に述べる。

「最小限」のファイルのディレクトリ³に `UninstallGLSC3D` というスクリプトが残っている⁴。これを実行してから、前項の手順を踏む、が大まかな内容であるが、途中で `sudo port install libpng` が必要のようだ。

```
cd GLSC3D_mac_minimum/
./UninstallGLSC3D
unzip Script_on_mac.zip
cd ../Script_on_mac
./1_Install_macports_mac
./2_Install_dependency_library_mac
sudo port install libpng
./3_Test_GLSC3D_on_mac
./4_Install_GLSC3D_on_your_mac
```

無事インストール出来たかどうか確認するには、例えば

³もう消してしまった人は、もう一度ファイルを入手すれば良い。

⁴`/usr/local/lib` と `/usr/local/include` にインストールしたファイルと `/usr/local/bin/ccg` を削除する、という内容。

```
cd ~/GLSC3D_Working_Directory
ls
ccg Hello_GLSC3D.c
./Hello_GLSC3D.c
```

(Hello_GLSC3D プログラムを、インストールした ccg でコンパイルして実行できるかどうか)

~/GLSC3D_Working_Directory/ の下に GLSC3D というディレクトリがあり、そこに C プログラムがある (例えばサンプル・プログラムのソースプログラムは Src の下にある。)

```
cd GLSC3D/Samples
ls
ccg Sample_g_pyramid.c
./Sample_g_pyramid
```

2.5 ドキュメント

マニュアル [1] の PDF ファイルが用意されている。

この手のものは、ソースプログラムもドキュメントの一部かもしれない (読んで勉強になるから)。フルインストール後には、ホームディレクトリの下に GLSC3D_Working_Directory/GLSC3D というディレクトリが残り、その下の Src にソース・プログラムが置かれている。

3 C, C++プログラムのコンパイル

大抵の場合、スクリプト ccg を使う、で OK.

```
ccg なんとか.c
```

あるいは

```
ccg なんとか.cpp
```

GLSC3D で提供される ccg には二種類ある。

1. 「フルインストール」でインストールされるもの
普通、~/bin にコピーされる。インクルードファイル (glsc3d_3.h, glsc3d_3_math.h) は ~/include に、ライブラリ・ファイル (GLSC3D の libglsc3d.a) は、~/lib に置いてあると想定してある。

```
ccg
if [ ${1##*.} = cpp ]
then
c++ ${1} -W -Wall -O2 -I ~/include -L ~/lib -lglsc3d_3 -framework OpenGL -L/opt/local/lib -lsdl
else
cc ${1} -W -Wall -O2 -I ~/include -L ~/lib -lglsc3d_3 -framework OpenGL -L/opt/local/lib -lsdl
fi
```

2. 「最小限」でインストールされるもの

普通、`/usr/local/bin` にコピーされる。インクルードファイルは `/usr/local/include` に、ライブラリ・ファイル (GLSC3D の `libglsc3d.a` 以外に、`libpng`, `libfreetype` など) は、`/usr/local/lib` に置いてあると想定してある。

自分がどちらを実行しているか知りたいときは

```
which ccg
```

とすると良い (`/usr/local/bin/ccg` ならば、おそらくは「最小限」の方)。

Mac の場合は、インクルード・ファイル、ライブラリ・ファイルを移動しても問題がない。その場合、スクリプト・ファイルを適当に書き換えれば良い。

4 GLSC ユーザーのための情報

4.1 公式ドキュメントから引用

0. `#include <glsc.h>` を `#include <glsc3d_3.h>` に変更。
1. `g_init` の ウィンドウサイズ指定は `int` でピクセル単位にする。
2. `g_device`, `g_term` は消す。
3. `g_def_scale` は `g_def_scale_2D` に変更。std 座標はピクセル単位になっているので変更 (3倍ぐらい?) する必要あり。
4. 描画終わりに `g_finish` を挿入。
5. 全ての色指定は (r, g, b, a) に変更。
6. `g_move`, `g_plot`, `g_box`, `g_circle` の後ろに `_2D` をつける。
7. `g_polyline`, `g_polygon`, `g_data_plot`, `g_contln` の後ろに `_2D` をつける。
8. `g_text` は `g_text_standard` に変更。std 座標の変更。
9. `g_bird_view`, `g_hidden` は `g_bird_view_3D` に変更。引数も変更。
10. `g_sleep(G_STOP);` の `G_STOP` マクロはないので、`-1` などとおく。
11. `g_def_scale` で座標を決めるのに使った長方形の枠を描くときは、従来は `g_box` で描いていたが、`glsc_3d` では `g_box_2d` ではなく `g_boundary` を使う。
12. `g_sel_scale` が呼ばれた時点では `g_clipping(0)` になっているので、`g_boundary` で描かれる枠の外にも絵を描きたいときは、`g_sel_scale` を呼んだ直後に `g_clipping(1)` としておく。
13. アニメを作るとき、動くオブジェクトを部分的に塗りつぶして、再描画するという方法を取っていた場合、うまくいかなくなっている。`g_cls` でクリアして、全体を再描画するように変更する。

文責:小林亮

(桂田注) 一番大事なのは `g_finish()` を挿入することかも。他はコンパイラーがこんな関数知らないとか、引数がおかしいとか教えてくれるけれど、`g_finish()` については指摘してくれないから。

4.2 プログラム例 1: 1 変数関数のグラフ

これは以前書いた「GLSC の紹介」4 節⁵ のプログラムを書き直したもの。

```
1 /*
2  * draw-graph-GLSC3D.c -- 1 変数関数のグラフを描く
3  * コンパイル: ccg draw-grap-GLSC3D.c
4  */
5
6 #include <stdio.h>
7 #include <math.h>
8
9 #ifdef OLD
10 #define G_DOUBLE
11 #include <glsc.h>
12 #else
13 #include <glsc3d_3.h>
14 #endif
15
16 double pi;
17
18 int main()
19 {
20     int i, n;
21     double a, b, c, d;
22     double h, x;
23     double f(double);
24 #ifdef OLD
25     char title[100];
26 #endif
27     double win_width, win_height, w_margin, h_margin;
28
29     pi = 4 * atan(1.0);
30
31     /* 表示する範囲 [a,b] × [c,d] を決定 */
32     a = - 10 * pi; b = 10 * pi; c = - 2.0; d = 2.0;
33
34     /* 区間の分割数 n */
35     n = 200;
36
37     /* GLSC の開始
38      * メタファイル名、ウィンドウ・サイズの決定 */
39 #ifdef OLD
40     win_width = 200.0; win_height = 200.0; w_margin = 10.0; h_margin = 10.0;
41 #else
42     win_width = 600.0; win_height = 600.0; w_margin = 30.0; h_margin = 30.0;
43 #endif
44     g_init("GRAPH", win_width + 2 * w_margin, win_height + 2 * h_margin);
45
46 #ifdef OLD
47     /* 出力デバイスの決定 */
48     g_device(G_BOTH);
49 #endif
50
51     /* 座標系の定義: [a,b] × [c,d] という閉領域を表示する */
```

⁵<http://nalab.mind.meiji.ac.jp/~mk/labo/howto/intro-glsc/node6.html>

```

52 #ifdef OLD
53     g_def_scale(0,
54                 a, b, c, d,
55                 w_margin, h_margin, win_width, win_height);
56 #else
57     g_def_scale_2D(0,
58                   a, b, c, d,
59                   w_margin, h_margin, win_width, win_height);
60     g_cls(); // ないとマズイ?
61 #endif
62
63 /* 線を二種類用意する */
64 #ifdef OLD
65     g_def_line(0, G_BLACK, 2, G_LINE_SOLID);
66     g_def_line(1, G_RED, 0, G_LINE_SOLID);
67 #else
68     // 線の type は用意されていない
69 #define G_LINE_SOLID (0)
70     g_def_line(0, 0, 0, 0, 1, 2, G_LINE_SOLID);
71     g_def_line(1, 1, 0, 0, 1, 2, G_LINE_SOLID); // 太くしないと点線のように見える
72 #endif
73 /* 表示するための文字列の属性を定義する */
74 #ifdef OLD
75     g_def_text(0, G_BLACK, 3);
76 #else
77     g_def_text(0, 0, 0, 0, 1, 24); // 文字のサイズの単位が全然違う
78 #endif
79 /* 定義したものを選択する */
80     g_sel_scale(0); g_sel_line(0); g_sel_text(0);
81
82 /* 座標軸を描く */
83 #ifdef OLD
84     g_move(a, 0.0); g_plot(b, 0.0);
85     g_move(0.0, c); g_plot(0.0, d);
86 #else
87     g_move_2D(a, 0.0); g_plot_2D(b, 0.0);
88     g_move_2D(0.0, c); g_plot_2D(0.0, d);
89 #endif
90 /* タイトルを表示する */
91 #ifdef OLD
92     sprintf(title, "Bessel function J0(x) (%g<=x<=%g)", a, b);
93     g_text(20.0, 10.0, title);
94 #else
95     g_text_standard(60.0, 30.0, "Bessel function J0(x) (%f<=x<=%f)", a, b);
96 #endif
97 /* 刻み幅 */
98     h = (b - a) / n;
99 /* グラフを描くための線種を選択 */
100     g_sel_line(1);
101 /* 折れ線でグラフを描く */
102 #ifdef OLD
103     g_move(a, f(a));
104 #else
105     g_move_2D(a, f(a));
106 #endif
107     for (i = 1; i <= n; i++) {
108         x = a + i * h;
109 #ifdef OLD
110         g_plot(x, f(x));
111 #else
112         g_plot_2D(x, f(x));
113 #endif
114     }

```

```

115 #ifndef OLD
116     g_finish();
117 #endif
118
119     /* ユーザーのマウス入力を待つ */
120     printf("終わりました。X の場合はウィンドウをクリックして下さい。\\n");
121     g_sleep(-1.0);
122     /* ウィンドウを閉じる */
123 #ifdef OLD
124     g_term();
125 #endif
126     return 0;
127 }
128
129 double f(double x)
130 {
131     /* 0 次 Bessel 関数 */
132     return j0(x);
133 }

```

- (前項の繰り返し) `g_finish()` は忘れないように。
- `glsc.h` のかわりに `glsc3d.h` をインクルードする。以前のように `G_REAL` はなくなったので、`G_DOUBLE` を定義したりする必要はない。
- `g_text()` で `printf()` のような書式が使えるようになったので、`char` 型の配列を準備して、`sprintf()` を呼び出す必要はなくなった。
- `g_init()` でウィンドウ・サイズを指定するとき、以前はプリントしたときの長さ (mm) が単位だったのを、ドット数 (ピクセル数, ただし `float` 型) が単位に変更された。こういう名前が同じで仕様が異なる関数が導入されるのは困ったことだが、まあ受け入れ可能なレベルである。3 倍程度にするというのには同意 (例えば 200 mm = 20 cm を 600 ピクセルにする)。
- `g_{def,sel}_scale()` でも単位が長さ (mm) からドット数に変更されたので、`g_init()` での変更に応じて、数値を大きくする必要がある。
- `g_device()` は不要であると。確かにファイル出力のしかけが変わったからな。
- 以前は最初に黒板を消す必要、もとい `g_cls()` を実行する必要はなかったが、それが必須になった? ゴミが表示される (勘違いでなければ)。
- 線のタイプを名前では指定できないようになった。これは少しまずいんじゃないかな。マジック・ナンバーの埋め込みには反対。
- 実線を指定したつもりで、線の太さが小さいと、点線のように見えることがある。バグ?
- 線の色を名前でなく、R, G, B で指定するようになった。同じ名前の関数の仕様を変えてしまうのは、率直に言って賛成できない変更。関数の名前を変える方が良かった (C++ ではないので、多重定義というわけにはいかないのか)。
- `g_def_text()` で文字のサイズを指定する方法も変わったけれど、この辺はオリジナルでは単位もあやふやだったので仕方がないと思う。…昔は文字を描くのは大変で、色々なことが思い出されるけれど、今は `freetype` もあるし、スマートに解決できた、と言っていいのかも。ぱちぱちぱち。

4.3 プログラム例 2: 2 変数関数のグラフの等高線&鳥瞰図

まず GLSC バージョンのプログラムを掲げる。

```
/*
 * test-contln.c --- 左側に等高線、右側にグラフの bird view を描く
 *   cglsc test-contln.c
 */

#include <stdio.h>

/* 動的に確保できる行列 matrix */
#include <stdlib.h>
typedef double **matrix;
matrix new_matrix(int, int);
void delete_matrix(matrix);

#include <math.h>
#ifndef G_DOUBLE
#define G_DOUBLE
#endif
#include "glsc.h"

#define W0 80.0
#define H0 80.0
#define W1 80.0
#define H1 80.0
#define W_MARGIN 10.0
#define H_MARGIN 10.0

double pi;

void compute(double (*)(double, double), matrix,
             double, double, double, double,
             int, int);
double f(double, double);

double max(double x, double y) { return (x > y) ? x : y; }

int main()
{
    int m, n, k;
    double xmin, xmax, ymin, ymax;
    matrix u;

    pi = 4 * atan(1.0);

    /* 分割数 */
    m = 100; n = 100;
    /* 定義域は  $[-\pi, \pi] \times [-\pi, \pi]$  */
    xmin = - pi; xmax = pi; ymin = - pi; ymax = pi;

    /* 格子点における数値を納める変数 */
    if ((u = new_matrix(m+1,n+1)) == NULL) {
        fprintf(stderr, " 行列のためのメモリーが確保できませんでした。 \n");
        return 1;
    }
    /* GLSC */
    g_init("Meta", W0 + W1 + 3 * W_MARGIN, max(H0, H1) + 2 * H_MARGIN);
    g_device(G_BOTH);
    /* ウィンドウ 0 */
    g_def_scale(0,
               xmin, xmax, ymin, ymax,
```

```

        W_MARGIN, H_MARGIN, W0, H0);
g_def_scale(1,
            xmin, xmax, ymin, ymax,
            W_MARGIN + W0 + W_MARGIN, H_MARGIN, W1, H1);
/* */
g_def_line(0, G_BLACK, 0, G_LINE_SOLID);
g_def_text(0, G_BLACK, 2);
/* 定義したものを呼び出す */
g_sel_scale(0);
g_sel_line(0);
g_sel_text(0);
/* title */
g_text(W_MARGIN + W0 * 0.6, H_MARGIN / 2, "contour and bird view");
/* 格子点上での関数値を計算する */
compute(f, u, xmin, xmax, ymin, ymax, m, n);
/* 等高線 */
for (k = -10; k <= 10; k++)
    g_contln(xmin, xmax, ymin, ymax, &u[0][0], m+1, n+1, 0.1 * k);
/* 鳥瞰図 */
g_hidden(1.0, 1.0, 0.4,
        -1.0, 1.0,
        /* 視点 (距離, 方角を表わす ( $\theta$ ,  $\phi$ )) */
        5.0, 30.0, 30.0,
        W_MARGIN + W0 + W_MARGIN, H_MARGIN,
        W1, H1,
        &u[0][0], m + 1, n + 1, 1,
        G_SIDE_NONE, 2, 1);

printf("終了したらウィンドウをクリックして終了してください。 \n");
g_sleep(-1.0);
g_term();

return 0;
}

/*
 * [xmin,xmax] × [ymin,ymax] を x 軸方向に m 等分、y 軸方向に n 等分して
 * 各格子点上の f の値を u に格納する。
 */
void compute(double (*f)(), matrix u,
            double xmin, double xmax, double ymin, double ymax,
            int m, int n)
{
    int i, j;
    double dx, dy, x, y;

    dx = (xmax - xmin) / m;
    dy = (ymax - ymin) / n;
    for (i = 0; i <= m; i++) {
        x = xmin + i * dx;
        for (j = 0; j <= n; j++) {
            y = ymin + j * dy;
            u[i][j] = f(x, y);
        }
    }
}

double f(double x, double y)
{
    return sin(3 * x) * sin(y);
}

matrix new_matrix(int m, int n)

```

```

{
    int i;
    double *dp;
    matrix p;
    if ((p = malloc(sizeof(double *) * m)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "new_matrix(): cannot allocate memory\n");
        return NULL;
    }
    if ((dp = malloc(sizeof(double *) * m * n)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "new_matrix(): cannot allocate memory\n");
        free(p);
        return NULL;
    }
    for (i = 0; i < m; i++)
        p[i] = dp + i * n;
    return p;
}

```

```

void delete_matrix(matrix a)
{
    free(a[0]);
    free(a);
}

```

次に GLSC3D バージョンのプログラム。

```

/*
 * test-contln-GLSC3D.c --- 左側に等高線、右側にグラフの bird view を描く
 *   ccg test-contln-GLSC3D.c
 */

```

```

#include <stdio.h>

```

```

/* 動的に確保できる行列 matrix */

```

```

#include <stdlib.h>
typedef double **matrix;
matrix new_matrix(int, int);
void delete_matrix(matrix);

```

```

#include <math.h>
#include "glsc3d_3.h"
double pi;

```

```

void compute(double (*)(double, double), matrix,
             double, double, double, double,
             int, int);
double f(double, double);
double max(double x, double y) { return (x > y) ? x : y; }

```

```

#define W0 480.0
#define H0 480.0
#define W1 480.0
#define H1 480.0
#define W_MARGIN 50.0
#define H_MARGIN 50.0

```

```

int main()
{
    int m, n, k;
    double xmin, xmax, ymin, ymax;
    matrix u;

    pi = 4 * atan(1.0);

```

```

/* 分割数 */
m = 100; n = 100;
/* 定義域は  $[-\pi, \pi] \times [-\pi, \pi]$  */
xmin = - pi; xmax = pi; ymin = - pi; ymax = pi;

/* 格子点における数値を納める変数 */
if ((u = new_matrix(m+1,n+1)) == NULL) {
    fprintf(stderr, " 行列のためのメモリーが確保できませんでした。 \n");
    return 1;
}
g_init("Meta", WO + W1 + 3 * W_MARGIN, max(H0, H1) + 2 * H_MARGIN);
g_def_scale_2D(0,
               xmin - 0.1, xmax + 0.1, ymin - 0.1, ymax + 0.1,
               W_MARGIN, H_MARGIN, WO, HO);
g_def_scale_3D(1,
               xmin, xmax, ymin, ymax, -1.2, 1.2,
               xmin, xmax, ymin, ymax, -1.2, 1.2,
               W_MARGIN + WO + W_MARGIN, H_MARGIN, W1, H1);

/* */
g_def_line(0, 0, 0, 0, 1, 1, 0);
g_def_text(0, 0, 0, 0, 1, 24);
g_sel_line(0);
g_sel_text(0);
/* 定義したものを呼び出す */
g_sel_scale(0);
g_move_2D(xmin, ymin); g_plot_2D(xmax, ymin); g_plot_2D(xmax, ymax);
g_plot_2D(xmin, ymax); g_plot_2D(xmin, ymin);
/* */
g_cls();
/* title */
g_text_standard(W_MARGIN + WO * 0.8, H_MARGIN / 2, "contour and bird view");
/* 格子点上での関数値を計算する */
compute(f, u, xmin, xmax, ymin, ymax, m, n);
/* 等高線 */
for (k = -10; k <= 10; k++) {
    g_contln_f_2D(xmin, xmax, ymin, ymax, m+1, n+1, &u[0][0], 0.1 * k);
}
//g_finish(); // 毎回呼ぶとおかしくなる。
}
//g_finish(); // ここで呼ぶと、次の鳥瞰図を描いた後消えてしまう
/* 鳥瞰図 */
g_sel_scale(1);
g_bird_view_f_3D(xmin, xmax, ymin, ymax,
                 m + 1, n + 1,
                 &u[0][0],
                 0, 1);
g_finish();
printf("終了したらウィンドウをクリックして終了してください。 \n");
g_sleep(-1.0);

return 0;
}

/*
 * [xmin,xmax] × [ymin,ymax] を x 軸方向に m 等分、y 軸方向に n 等分して
 * 各格子点上の f の値を u に格納する。
 */
void compute(double (*f)(), matrix u,
             double xmin, double xmax, double ymin, double ymax,
             int m, int n)
{
    int i, j;
    double dx, dy, x, y;

```

```

    dx = (xmax - xmin) / m;
    dy = (ymax - ymin) / n;
    for (i = 0; i <= m; i++) {
        x = xmin + i * dx;
        for (j = 0; j <= n; j++) {
            y = ymin + j * dy;
            u[i][j] = f(x, y);
        }
    }
}

double f(double x, double y)
{
    return sin(3 * x) * sin(y);
}

matrix new_matrix(int m, int n)
{
    int i;
    double *dp;
    matrix p;
    if ((p = malloc(sizeof(double *) * m)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "new_matrix(): cannot allocate memory\n");
        return NULL;
    }
    if ((dp = malloc(sizeof(double *) * m * n)) == NULL) {
        fprintf(stderr, "new_matrix(): cannot allocate memory\n");
        free(p);
        return NULL;
    }
    for (i = 0; i < m; i++)
        p[i] = dp + i * n;
    return p;
}

void delete_matrix(matrix a)
{
    free(a[0]);
    free(a);
}

```

`g_finish()` が良く分からない。

A 講習会のサンプル・プログラムを読む

A.1 はじめに

以下のプログラムは 2017/11/? の講習会で解説されたものである。
 例えば `1_CreateWindows.c` をコンパイル・実行するには

```

ccg 1_CreateWindow.c
./1_CreateWindow

```

とすれば良い。

GLSC のグラフィックスのウィンドウで `esc` を入力するとウィンドウが閉じられる。

A.2 1_CreateWindow.c

```
1_CreateWindow.c
1 #include<stdio.h>
2 #include<glsc3d_3.h>
3
4 int main()
5 {
6     g_init("Window", 600, 600); //Pixel Size
7     g_def_scale_2D(0,          //ID
8                   -1, 1,      //xmin,xmax
9                   -1, 1,      //ymin,ymax
10                  20.0, 20.0,  //Window (Left, Top) Position
11                  560, 560);  //Window Size (x,y)
12     g_cls();                 //Clear window
13     g_sel_scale(0);          //Select Virtual scale
14     g_boundary();            //Draw Boundary
15     g_finish();              //flush Draw buffer
16     g_sleep(10.0);          //Sleep 10 sec
17
18     return 0;
19 }
```

- 2行目 glsc.h でなく glsc_3d.h をインクルード。
- 6行目 ウィンドウのサイズの単位はピクセルであることに注意。
- 7行目 g_def_scale() でなくて g_def_scale_2D() という名前であるが、引数の意味は g_def_scale() と同様。
- 14行目
- 15行目 g_finish() これを適切なタイミングで実行するのが、GLSC とは違うところ。

A.3 2_VectorField.c

```
VectorField.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3
4  int main()
5  {
6      g_init("Window", 600, 600); //Pixel Size
7      g_def_scale_2D(0,           //ID
8                    -1, 1,       //xmin,xmax
9                    -1, 1,       //ymin,ymax
10                   20.0, 20.0,   //Window (Left, Top) Position
11                   560, 560);   //Window Size (x,y)
12      g_cls();                  //Clear window
13      g_sel_scale(0);           //Select Virtual scale
14      g_boundary();             //Draw Boundary
15      int Imax = 10;
16      int Jmax = 10;
17      double VecX; double VecY;
18      for(int i = 1; i < Imax; i ++)
19      {
20          for(int j = 1; j < Jmax; j ++)
21          {
22              double x = i*0.2 - 1.0, y = j*0.2 - 1.0;
23              VecX = x; VecY = y;    // Divergence
24              //VecX = -y; VecY = x; // Rotation
25
26              g_arrow_2D(x, y,      // Base Point
27                        VecX, VecY, // Direction
28                        0.1,        // Size of Arrow Length
29                        0.05,       // Size of Arrow Head
30                        2);         // Arrow kinds
31          }
32      }
33      g_finish();                //flush Draw buffer
34      g_sleep(10.0);            //Sleep 10 sec
35      return 0;
36 }
```

- 26行目 `g_arrow()` というのは、オリジナルの GLSC にはなく、後から導入されたコマンドで、`g_arrow_2D()` は GLSC3D における 2次元バージョン。注釈のおかげで意味はほぼ分かる。最後の引数は Arrow kinds だそうだけど、マジック・ナンバーなのはちょっと嫌。

A.4 3_Animation.c

```
Animation.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3
4  int main()
5  {
6      int INTV = 100;
7      g_init("Window", 600, 600);           //Pixel Size
8      g_def_scale_2D(0,                     //ID
9          -1, 1,                             //xmin,xmax
10         -1, 1,                             //ymin,ymax
11         20.0, 20.0,                         //Window (Left, Top) Position
12         560, 560);                         //Window Size (x,y)
13
14     /////////////// Start time loop ///////////////
15     for (int i_time = 0; ; i_time++) {
16         double dt = 0.0001;                //Time Discritization
17         double t = i_time * dt;            //Time
18         /////////////// Calculation Part ///////////////
19         double x = 0.5 * cos(2.0*M_PI * t); //X Coordinate
20         double y = 0.5 * sin(2.0*M_PI * t); //Y Coordinate
21         /////////////// Draw Part ///////////////
22         if (i_time%INTV == 0) {
23             g_cls();                        //Clear window
24             g_sel_scale(0);                 //Select Virtual scale
25             g_boundary();                  //Draw Boundary
26             g_area_color(1,0,0,1);         //Area Color
27             g_circle_2D(x, y, 0.1, G_NO, G_YES); //g_circle_2D
28             g_finish();                    //flush Draw buffer
29             g_sleep(0.01);                 //Sleep 0.01 sec
30         }
31     }
32     return 0;
33 }
```

- 19行目円周率を意味する M_PI は、C言語の規格には入っていないけれど(だから GCC, LLVM にはあるけれど、Visual Studio の C コンパイラーでは定義されていない?)、定義されていないときは GLSC3D で定義するのだそうです。
- 26行目 `g_area_color()` という名前の関数は、GLSC にもあるけれど、引数が変わっている。R, G, B, と不透明度を並べるのだとか。
- 27行目 `g_circle()` ...`g_circle_2D()`

A.5 4_Wave_2D_Contln.c

Wave_2D_Contln.c

```
1  /*****
2
3  This program solves a wave equation using the explicit method.
4
5  A wave equation is  $utt = c * c * uxx$ .
6  The function f is the initial shape of wave.
7
8  Time loop in this program consists of
9  "Calculation part" and "Draw Part".
10
11  Calculation part is controlled by the interval parameter INTV.
12  This numerical result is visualized by using "g_contln_2D" of GLSC3D.
13
14  *****/
15
16 #include<stdio.h>
17 #include<glsc3d_3.h>
18
19 #define N (100)
20 #define M (100)
21
22 double f(double x,double y)
23 {
24     return 3 * exp(-((x - M_PI / 2)*(x - M_PI / 2) + (y - 3 * M_PI / 2)*(y - 3 * M_PI / 2))/ 0.
25 }
26
27 int main()
28 {
29     double x, y;
30
31     double Lx = 8 * M_PI;
32     double Ly = 8 * M_PI;
33     double dx = Lx / N;
34     double dy = Ly / M;
35     double dt = 0.002;
36     double c = 1.0;
37
38     double u0[N + 2][M + 2];
39     double u1[N + 2][M + 2];
40     double u2[N + 2][M + 2];
41
42     double lambda_x = c * dt / dx;
43     double lambda_y = c * dt / dy;
44
45     int INTV = 100;
46
47     g_init("Window", 600, 600); //Pixel Size
48
49     g_def_scale_2D(0, //ID
50                 -Lx*0.5, Lx*0.5, //xmin,xmax
51                 -Ly*0.5, Ly*0.5, //ymin,ymax
52                 20.0, 20.0, //Window (Left, Top) Position
53                 560, 560); //Window Size (x,y)
54
55     //Set initial calculation
56     {
57         //Step1
58         for(int j = 1;j < M + 1; j ++)
59         {
60             y = (j - 0.5) * dy;
61             for(int i = 1;i < N + 1; i ++)
62             {
63                 x = (i - 0.5) * dx; 18
64                 u0[i][j] = f(x,y);
65             }
66         }
67     }
68 }
```

- 長方形領域上の2次元波動方程式 $\frac{1}{c^2}u_{tt} = u_{xx} + u_{yy}$ (境界条件は同次 Neumann なのかな) を差分法で解いた解を可視化する (等高線を描く) プログラム。
- `g_line_color()` も `g_area_color()` とおなじく、R, G, B, 不透明度を引数に取る。
- 長方形 $[x_{\min}, x_{\max}] \times [y_{\min}, y_{\max}]$ で定義された関数 u があるとき、定義域を x 軸方向に N_x 等分, y 軸方向に N_y 等分して格子を作り、格子点での値 $u(x_i, y_j)$ ($0 \leq i \leq N_x, 0 \leq j \leq N_y$) を2次元配列 `u[nx+1,ny+1]` に記録してあるとする。このとき関数値が `level` である等高線を描くには、

```
g_contln_2D(xmin, xmax, ymin, ymax, nx+1, ny+1, u, level);
```

とすれば良い。

A.6 5_Turing_2D_Contln.c

```
5_Turing_2D_Contln.c
1  /*****
2
3  This program solves reaction-diffusion equations using the explicit method.
4
5  Reaction-diffusion equations are  $u_t = D_u u_{xx} + f(u,v)$  and  $v_t = D_v v_{xx} + g(u,v)$ .
6
7  Time loop in this program consists of
8  "Calculation part" and "Draw Part".
9
10 Calculation part is controlled by the interval parameter INTV.
11 This numerical result is visualized by using "g_contln_2D" of GLSC3D.
12
13 *****/
14
15 #include<stdio.h>
16 #include<stdlib.h>
17 #include<glsc3d_3.h>
18
19 #define N (100)
20 #define M (100)
21
22 double f(double u, double v)
23 {
24     return u * (1 - u * u) - v;
25 }
26 double g(double u, double v)
27 {
28     return 3.0 * u - 2.0 * v;
29 //     return 3.0 * (u + 0.05) - 2.0 * v;
30 //     return 3.0 * (u - 0.05) - 2.0 * v;
31 }
32
33 int main()
34 {
35     double Lx = 100.0;
36     double Ly = 100.0;
37     double dx = Lx / N;
38     double dy = Ly / M;
39     double dt = 0.001;
40     double du = 1.0;
41     double dv = 10.0;
42
43     double lambda_u = du * dt / (dx * dx);
44     double lambda_v = dv * dt / (dy * dy);
45
46     double u0[N + 2][M + 2];
47     double u1[N + 2][M + 2];
48     double v0[N + 2][M + 2];
49     double v1[N + 2][M + 2];
50
51     int INTV = 200;
52
53     g_init("Window", 600, 600); //Pixel Size
54
55     g_def_scale_2D(0, //ID
56                  -Lx*0.5, Lx*0.5, //xmin,xmax
57                  -Ly*0.5, Ly*0.5, //ymin,ymax
58                  20.0, 20.0, //Window (Left, Top) Position
59                  560, 560); //Window Size (x,y)
60     //Set initial calculation
61     {
62         //Step1
63         double u_Init_Sum = 0.0;
64         double v_Init_Sum = 0.0;
```

- 反応拡散方程式 (reaction diffusion equations) を差分法で解いて、等高線を描くプログラム。

A.7 6_Turing_2D_ColorMap.c

6_Turing_2D_ColorMap.c

```
1  /*****
2
3  This program solves reaction-diffusion equations using the explicit method.
4
5  Reaction-diffusion equations are  $u_t = D_u u_{xx} + f(u,v)$  and  $v_t = D_v v_{xx} + g(u,v)$ .
6
7  Time loop in this program consists of
8  "Calculation part" and "Draw Part".
9
10 Calculation part is controlled by the interval parameter INTV.
11 This numerical result is visualized by using "g_color_map" made in this program.
12
13 *****/
14
15 #include<stdio.h>
16 #include<stdlib.h>
17 #include<glsc3d_3.h>
18
19 #define N (100)
20 #define M (100)
21
22 //////////// Color map: g_color_map ////////////
23 void g_color_map(double Array[][M+2],
24                 double dx_width, double dy_width,
25                 double L_bottom_x, double L_bottom_y,
26                 double max, double min
27 )
28 {
29     int Fine_Grid = 1;
30     for (int j=0; j < M+2; j++) {
31         for (int i=0; i < N+2; i++) {
32             if (Fine_Grid == 0) {
33                 g_area_color((Array[i][j]-min)/(max-min), 0, 1.0-(Array[i][j]-min)/(max-min), 0.5);
34                 g_box_center_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y, dx_width,
35                                dy_width, G_NO, G_YES);
36             }
37             if (Fine_Grid == 1) {
38                 double tmpColor;
39                 if (j-1<0) tmpColor = Array[i][j];
40                 else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i][j-1]*0.5;
41                 g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
42                 g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
43                              dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
44                              dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
45                              G_NO, G_YES);
46
47                 if (i+1>=N+2) tmpColor = Array[i][j];
48                 else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i+1][j]*0.5;
49                 g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
50                 g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
51                              dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
52                              dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
53                              G_NO, G_YES);
54
55                 if (j+1>=M+2) tmpColor = Array[i][j];
56                 else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i][j+1]*0.5;
57                 g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
58                 g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
59                              dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
60                              dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
61                              G_NO, G_YES);
62
63                 if (i-1<0) tmpColor = Array[i][j];
64                 else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i-1][j]*0.5;
```


- 反応拡散方程式 (reaction diffusion equations) を差分法で解いて、レベルを色で表したプログラム。

A.8 7_Wave_2D_ColorMap.c

7_Wave_2D_ColorMap.c

```
/******
```

This program solves a wave equation using the explicit method.

A wave equation is $utt = c * c * uxx$.
The function f is the initial shape of wave.

Time loop in this program consists of
"Calculation part" and "Draw Part".

Calculation part is controlled by the interval parameter INTV.
This numerical result is visualized by using "g_color_map".

```
*****/
```

```
#include<stdio.h>
#include<glsc3d_3.h>
```

```
#define N (100)
#define M (100)
```

```
////////// Color map: g_color_map //////////
```

```
void g_color_map(double Array[][M+2],
                 double dx_width, double dy_width,
                 double L_bottom_x, double L_bottom_y,
                 double max, double min
                )
```

```
{
```

```
    int Fine_Grid = 1;
    for (int j=0; j < M+2; j++) {
        for (int i=0; i < N+2; i++) {
            if (Fine_Grid == 0) {
                g_area_color((Array[i][j]-min)/(max-min), 0, 1.0-(Array[i][j]-min)/(max-min), 0.5);
                g_box_center_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y, dx_width, dy_width, G_NO, G_YES);
            }

```

```
            if (Fine_Grid == 1) {
                double tmpColor;
                if (j-1<0) tmpColor = Array[i][j];
                else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i][j-1]*0.5;
                g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
                g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             G_NO, G_YES);

```

```
                if (i+1>=N+2) tmpColor = Array[i][j];
                else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i+1][j]*0.5;
                g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
                g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             G_NO, G_YES);

```

```
                if (j+1>=M+2) tmpColor = Array[i][j];
                else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i][j+1]*0.5;
                g_area_color((tmpColor-min)/(max-min), 0, 1.0-(tmpColor-min)/(max-min), 1);
                g_triangle_2D(dx_width * (i) + L_bottom_x, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x + dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             dx_width * (i) + L_bottom_x - dx_width*0.5, dy_width * (j) + L_bottom_y,
                             G_NO, G_YES);

```

```
                if (i-1<0) tmpColor = Array[i][j];
                else tmpColor = Array[i][j]*0.5 + Array[i-1][j]*0.5;

```

- 2次元波動方程式 $\frac{1}{c^2}u_{tt} = u_{xx} + u_{yy}$ を差分法で解いた解を値を色で表して可視化するプログラム。

A.9 8_Wave_2D_BirdView.c

8_Wave_2D_BirdView.c

```
1  /*****
2
3  This program solves a wave equation using the explicit method.
4
5  A wave equation is  $utt = c * c * uxx$ .
6  The function f is the initial shape of wave.
7
8  Time loop in this program consists of
9  "Calculation part" and "Draw Part".
10
11  Calculation part is controlled by the interval parameter INTV.
12  This numerical result is visualized by using "g_bird_view_3D" of GLSC3D.
13  Please note that this program set "g_def_scale_3D".
14
15  *****/
16
17 #include<stdio.h>
18 #include<glsc3d_3.h>
19
20 #define N (100)
21 #define M (100)
22
23 double f(double x,double y)
24 {
25     return 3 * exp(-((x - M_PI / 2)*(x - M_PI / 2) + (y - 3 * M_PI / 2)*(y - 3 * M_PI / 2)))/ 0.
26 }
27
28 int main()
29 {
30     double x, y;
31
32     double Lx = 8 * M_PI;
33     double Ly = 8 * M_PI;
34     double Lz = 8 * M_PI;
35     double dx = Lx / N;
36     double dy = Ly / M;
37     double dt = 0.002;
38     double c = 1.0;
39
40     double u0[N + 2][M + 2];
41     double u1[N + 2][M + 2];
42     double u2[N + 2][M + 2];
43
44     double lambda_x = c * dt / dx;
45     double lambda_y = c * dt / dy;
46
47     int INTV = 100;
48
49     g_init("Window", 600, 600); //Pixel Size
50
51     g_def_scale_3D_fix(0, //ID
52                       -Lx*0.5, Lx*0.5, //xmin,xmax
53                       -Ly*0.5, Ly*0.5, //ymin,ymax
54                       -Lz*0.5, Lz*0.5, //zmin,zmax
55                       20.0, 20.0, //Window (Left, Top) Position
56                       560, 560); //Window Size (x,y)
57
58     // g_vision(0, //ID
59               // 0.0, -Ly, Lz, //eye
60               // 0.0, 0.0, 1.0, //up
61               // 1.25 //zoom
62               // );
63     //Set initial calculation 30
64     {
```

- 2次元波動方程式 $\frac{1}{c^2}u_{tt} = u_{xx} + u_{yy}$ を差分法で解いた解をのグラフの鳥瞰図 (bird view) を描くプログラム。

A.10 9_Diffusion_1D.c

9_Diffusion_1D.c

```
#include<stdio.h>
#include<glsc3d_3.h>

#define N (200)

int main()
{
    double x;
    double L = 5;
    double dx = L / N;
    double t = 0.0;
    double dt = 0.0001;
    double u[N + 2];
    double tmpu[N + 2];
    double D = 1.0;
    int INTV = 100;
    g_init("Window", 600, 320); //Pixel Size
    g_def_scale_2D(0, //ID
                  -L*0.5, L*0.5, //xmin,xmax
                  -0.2, 1.2, //ymin,ymax
                  20.0, 20.0, //Window (Left, Top) Position
                  560, 280); //Window Size (x,y)
    //Set initial calculation
    {
        //Step1
        for(int i = 1;i < N + 1; i ++)
        {
            x = i*dx - L*0.5;
            u[i] = exp(-(x*x));
        }
        //Step2
        u[0] = u[1];
        u[N + 1] = u[N];
    }
    //Start time loop
    for (int i_time = 0;t < 10 ; i_time++) {

        t = i_time * dt;

        //Draw Part
        if (i_time%INTV == 0) {
            g_cls(); //Clear window
            g_sel_scale(0); //Select Virtual scale
            g_line_color(0.0, 0.0, 0.0, 1.0);
            g_boundary(); //Draw Boundary
            g_line_width(1.0);
            g_line_color(0.0, 0.0, 0.0, 0.5);
            g_move_2D(-L*0.5, 0.0); g_plot_2D(L*0.5, 0.0); //X Axis
            g_move_2D(0.0, -1.2); g_plot_2D(0.0, 1.2); //Y Axis
            //Profile of u
            g_line_width(2.0);
            g_line_color(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
            for (int i=0; i<N-1; i++) {
                g_move_2D(i*dx-L*0.5, u[i]);
                g_plot_2D((i+1)*dx-L*0.5, u[i+1]);
            }

            g_text_size(18);
            g_text_color(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
            g_text_2D_virtual(L*0.5 - 0.4, 1.0, "u: -");

            g_finish(); //flush Draw buffer
            g_sleep(0.0); //Sleep 0.0 sec
        }
    }
}
```

- 空間1次元の拡散方程式のグラフを描くプログラム。

A.11 10_Diffusion_1D_Text.c

```

10_Diffusion_1D_Text.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3
4  #define N (200)
5
6  int main()
7  {
8      double  x;
9      double  L = 5;
10     double  dx = L / N;
11     double  t = 0.0;
12     double  dt = 0.0001;
13     double  u[N + 2];
14     double  tmpu[N + 2];
15     double  D = 1.0;
16     int     INTV = 100;
17     g_init("Window", 900, 320); //Pixel Size
18     g_def_scale_2D(0,           //ID
19                  -L*0.5, L*0.5, //xmin,xmax
20                  -0.2, 1.2,    //ymin,ymax
21                  20.0, 20.0,   //Window (Left, Top) Position
22                  560, 280);   //Window Size (x,y)
23
24     g_def_scale_2D(1,           //ID
25                  -L*0.5, L*0.5, //xmin,xmax
26                  -0.2, 1.2,    //ymin,ymax
27                  620.0, 20.0,   //Window (Left, Top) Position
28                  260, 280);   //Window Size (x,y)
29
30     //Set initial calculation
31     {
32         //Step1
33         for(int i = 1; i < N + 1; i ++)
34         {
35             x = i*dx - L*0.5;
36             u[i] = exp(-(x*x));
37         }
38         //Step2
39         u[0] = u[1];
40         u[N + 1] = u[N];
41     }
42     //Start time loop //
43     for (int i_time = 0; t < 10; i_time++) {
44         t = i_time * dt;
45         //Draw Part //
46         if (i_time%INTV == 0) {
47             g_cls(); //Clear window
48             //Graph Part //
49             {
50                 g_sel_scale(0); //Select Virtual scale
51                 g_line_color(0.0, 0.0, 0.0, 1.0);
52                 g_boundary(); //Draw Boundary
53
54                 g_line_width(1.0);
55                 g_line_color(0.0, 0.0, 0.0, 0.5);
56                 g_move_2D(-L*0.5, 0.0); g_plot_2D(L*0.5, 0.0); //X Axis
57                 g_move_2D(0.0, -1.2); g_plot_2D(0.0, 1.2); //Y Axis
58
59                 //Profile of u
60                 g_line_width(2.0);
61                 g_line_color(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
62                 for (int i=0; i<N-1; i++) {
63                     g_move_2D(i*dx-L*0.5, u[i]);
64                     g_plot_2D((i+1)*dx-L*0.5, u[i+1]);
65                 }
66             }
67         }
68     }
69 }

```

- 空間1次元の拡散方程式のグラフを描くプログラムという点では、9_Diffusion_1D.c と同じ。凡例というのか、パラメーターや現在時刻を表示する。そのために、二つの scale を定義している。

A.12 11_g_def_scale_2D.c

```
11_g_def_scale_2D.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WINDOW_SIZE_X    (600)
4  #define WINDOW_SIZE_Y    (300)
5  int main()
6  {
7      g_init("Window", WINDOW_SIZE_X, WINDOW_SIZE_Y);
8      g_def_scale_2D(0, -1, 1, -1, 1,
9                    20.0, 20.0,
10                   260.0, 260.0);
11     g_def_scale_2D(1, -1, 1, -1, 1,
12                   // g_def_scale_2D(1, -2, 2, -2, 2,
13                   320.0, 20.0,
14                   260.0, 260.0);
15     for (int i_time = 0;; i_time++)
16     {
17         g_cls();
18         g_sel_scale(0);
19         g_boundary();
20         g_circle_2D(0.0, 0.0, 1.0, 1, 1);
21
22         g_sel_scale(1);
23         g_boundary();
24         // g_area_color(0, 1, 0, 1);
25         // g_circle_2D(0.0, 0.0, 1.0, 1, 1);
26         g_finish();
27     }
28     return 0;
29 }
```

•

A.13 12_g_def_scale_3D_fix.c

```
12_g_def_scale_3D_fix.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5  int main()
6  {
7      g_init("Window", WX, WY);
8      g_def_scale_3D_fix(0,
9                          -1, 1,
10                         -1, 1,
11                         -1, 1,
12                         20.0, 20.0,
13                         WX - 40.0, WY - 40.0);
14
15     for (int i_time = 0;; i_time++)
16     {
17         g_cls();
18         g_sel_scale(0);
19         g_boundary();
20         g_sphere_3D(0.0, 0.0, 0.0,
21                   1.0, 0, 1);
22
23         g_box_3D(-1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 0);
24         g_finish();
25     }
26     return 0;
27 }
```

•

A.14 13_g_vision.c

```
13_g_vision.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5  int main()
6  {
7      g_init("Window", WX, WY);
8      g_def_scale_3D_fix(0,
9                          -1, 1,
10                         -1, 1,
11                         -1, 1,
12                         20.0, 20.0,
13                         WX - 40.0, WY - 40.0);
14
15     for (int i_time = 0;; i_time++)
16     {
17         double a = -1;
18         g_vision(0,
19                 0, a, 4,
20                 0, 0, 1,
21                 1.0);
22         g_cls();
23         g_sel_scale(0);
24         g_boundary();
25         g_box_3D(-1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 0);
26         //X-Axes
27         g_area_color(1, 0, 0, 1);
28         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
29                   1.0, 0.0, 0.0,
30                   2.0, 0.25,
31                   0, 1);
32         //Y-Axes
33         g_area_color(0, 1, 0, 1);
34         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
35                   0.0, 1.0, 0.0,
36                   2.0, 0.25,
37                   0, 1);
38         //Z-Axes
39         g_area_color(0, 0, 1, 1);
40         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
41                   0.0, 0.0, 1.0,
42                   2.0, 0.25,
43                   0, 1);
44
45         g_area_color(1, 1, 0, 1);
46         g_cone_3D(0, 0, -1,
47                  0, 0, 1,
48                  1.0, 0.25,
49                  0, 1);
50     }
```


•

A.15 14_g_def_scale_3D_1.c

```
14_g_def_scale_3D_1.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5
6  #define XLEN    (2.0 * M_PI)
7  #define YLEN    (2.0 * M_PI)
8  #define ZLEN    (2.0 * M_PI)
9  #define Imax    (100)
10 #define Jmax    (100)
11
12 int main()
13 {
14     g_init("Window", WX, WY);
15     g_def_scale_3D_fix(0,
16                       -XLEN / 2, XLEN / 2,
17                       -YLEN / 2, YLEN / 2,
18                       -ZLEN / 2, ZLEN / 2,
19                       20.0, 20.0,
20                       WX - 40.0, WY - 40.0);
21     double u[Imax][Jmax];
22     double dx = XLEN / Imax, dy = YLEN / Jmax,rx,ry;
23
24     for(int i = 0;i < Imax;i ++)
25     {
26         rx = (i + 0.5) * dx - XLEN / 2;
27         for(int j = 0;j < Jmax;j ++)
28         {
29             ry = (j + 0.5) * dy - YLEN / 2;
30             u[i][j] = sin(rx * ry) * 0.5;
31         }
32     }
33     for (int i_time = 0;; i_time++)
34     {
35         g_cls();
36         g_sel_scale(0);
37         g_boundary();
38         g_box_center_3D_core(0, 0, 0, XLEN, YLEN, ZLEN*0.5, 0, 1, 0);
39         g_bird_view_3D(-XLEN / 2, XLEN / 2,
40                      -YLEN / 2, YLEN / 2,
41                      Imax, Jmax,
42                      u, 0, 1);
43         g_finish();
44     }
45     return 0;
46 }
```

•

A.16 15_g_def_scale_3D_2.c

```
15_g_def_scale_3D_2.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5
6  #define XLEN    (2.0 * M_PI)
7  #define YLEN    (2.0 * M_PI)
8  #define ZLEN    (2.0 * M_PI)
9  #define Imax    (100)
10 #define Jmax    (100)
11
12 int main()
13 {
14     g_init("Window", WX, WY);
15     // g_def_scale_3D_fix(0,
16     //                    -XLEN / 2, XLEN / 2,
17     //                    -YLEN / 2, YLEN / 2,
18     //                    -ZLEN / 2, ZLEN / 2,
19     //                    20.0, 20.0,
20     //                    WX - 40.0, WY - 40.0);
21     g_def_scale_3D(0,
22                 -XLEN / 2, XLEN / 2,
23                 -YLEN / 2, YLEN / 2,
24                 -ZLEN / 4, ZLEN / 4,
25                 -XLEN / 2, XLEN / 2,
26                 -YLEN / 2, YLEN / 2,
27                 -ZLEN / 2, ZLEN / 2,
28                 20.0, 20.0,
29                 WX - 40.0, WY - 40.0);
30
31     double u[Imax][Jmax];
32     double dx = XLEN / Imax, dy = YLEN / Jmax,rx,ry;
33
34     for(int i = 0;i < Imax;i ++)
35     {
36         rx = (i + 0.5) * dx - XLEN / 2;
37         for(int j = 0;j < Jmax;j ++)
38         {
39             ry = (j + 0.5) * dy - YLEN / 2;
40             u[i][j] = sin(rx * ry) * 0.5;
41         }
42     }
43     for (int i_time = 0;; i_time++)
44     {
45         g_cls();
46         g_sel_scale(0);
47         g_boundary();
```

•

A.17 16_NewFunction1.c

```
16_NewFunction1.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5  int main()
6  {
7      g_init("Window", WX, WY);
8      g_def_scale_3D_fix(0,
9                          -1, 1,
10                         -1, 1,
11                         -1, 1,
12                         20.0, 20.0,
13                         WX - 40.0, WY - 40.0);
14     for (int i_time = 0;; i_time++)
15     {
16         double dt = 0.01;
17         double t = i_time * dt;
18         g_vision(0,
19                 3 * cos(t), 3 * sin(t), 3,
20                 0, 0, 1,
21                 1.0);
22         g_cls();
23         g_sel_scale(0);
24         g_boundary();
25         g_box_3D(-1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 0);
26         //X-Axes
27         g_area_color(1, 0, 0, 1);
28         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
29                   1.0, 0.0, 0.0,
30                   2.0, 0.25,
31                   0, 1);
32         //Y-Axes
33         g_area_color(0, 1, 0, 1);
34         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
35                   0.0, 1.0, 0.0,
36                   2.0, 0.25,
37                   0, 1);
38         //Z-Axes
39         g_area_color(0, 0, 1, 1);
40         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
41                   0.0, 0.0, 1.0,
42                   2.0, 0.25,
43                   0, 1);
44
45         g_area_color(1, 1, 0, 1);
46         g_cone_3D(0, 0, -1,          49
47                  0, 0, 1,
```

•

A.18 17_NewFunction2.c

```
17_NewFunction2.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WX      (600)
4  #define WY      (600)
5  int main()
6  {
7      g_enable_highdpi();
8      g_set_antialiasing(4);
9      g_init("Window", WX, WY);
10     g_def_scale_3D_fix(0,
11                         -1, 1,
12                         -1, 1,
13                         -1, 1,
14                         20.0, 20.0,
15                         WX - 40.0, WY - 40.0);
16
17
18     for (int i_time = 0;; i_time++)
19     {
20         double dt = 0.01;
21         double t = i_time * dt;
22         g_vision(0,
23                 3 * cos(t), 3 * sin(t), 3,
24                 0, 0, 1,
25                 1.0);
26         g_cls();
27         g_sel_scale(0);
28         g_boundary();
29         g_box_3D(-1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 0);
30         //X-Axes
31         g_area_color(1, 0, 0, 1);
32         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
33                   1.0, 0.0, 0.0,
34                   2.0, 0.25,
35                   0, 1);
36         //Y-Axes
37         g_area_color(0, 1, 0, 1);
38         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
39                   0.0, 1.0, 0.0,
40                   2.0, 0.25,
41                   0, 1);
42         //Z-Axes
43         g_area_color(0, 0, 1, 1);
44         g_arrow_3D(-1, -1, -1,
45                   0.0, 0.0, 1.0,
46                   2.0, 0.25,
47                   0, 1);
```

•

A.19 18_Hinode_Tuki_1.c

```
18_Hinode_Tuki_1.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WINDOW_SIZE_X    (800)
4  #define WINDOW_SIZE_Y    (400)
5  int main()
6  {
7      g_init("Hinode_Tuki", WINDOW_SIZE_X, WINDOW_SIZE_Y);
8      g_def_scale_2D(0, -4, 4, -2, 2,
9                  0.0, 0.0,
10                 WINDOW_SIZE_X, WINDOW_SIZE_Y);
11
12     for (int i_time = 0;; i_time++)
13     {
14         g_cls();
15         g_sel_scale(0);
16         g_boundary();
17         g_finish();
18     }
19     return 0;
20 }
```


A.20 19_Hinode_Tuki_2.c

```
19_Hinode_Tuki_2.c
1  #include<stdio.h>
2  #include<glsc3d_3.h>
3  #define WINDOW_SIZE_X      (800)
4  #define WINDOW_SIZE_Y      (400)
5  int main()
6  {
7      g_init("Hinode_Tuki", WINDOW_SIZE_X, WINDOW_SIZE_Y);
8      g_def_scale_2D(0, -4, 4, -2, 2,
9                  0.0, 0.0,
10                 WINDOW_SIZE_X, WINDOW_SIZE_Y);
11
12     g_capture_set("");
13     double dt = 0.005, t, tmax = 5;
14
15     for (int i_time = 0;; i_time++)
16     {
17         t = i_time * dt;
18         g_cls();
19         g_sel_scale(0);
20         g_boundary();
21
22         //Sora
23         g_area_color(0.6, 0.6, 0.6, 1);
24         g_box_2D(-4,4,-0.5,2,G_NO,G_YES);
25
26         //Tuki
27         g_area_color(1, 1, 0, 1);
28         g_circle_2D(2.0, 1.0, 0.2, G_NO, G_YES);
29         g_area_color(0.6, 0.6, 0.6, 1);
30         g_circle_2D(1.8, 1.0, 0.2, G_NO, G_YES);
31
32         //Taiyo
33         g_area_color(1, 0, 0, 1);
34         g_circle_2D(0.0, tanh(t) - 1, 0.5, G_NO, G_YES);
35
36         //Umi
37         g_area_color(0.2, 0.6, 1, 1);
38         g_box_2D(-4,4,-2,-0.5,G_NO,G_YES);
39
40         //Moji
41         if(t > tmax)
42         {
43             g_text_standard(350, 100, "日本一!!");
44         }
45
46         g_finish();
47         g_capture();
```

- Frames.2017.月.日.時.分.秒/ というディレクトリを作り、000000.png, 000001.png, ... という 6 桁の数 + .png という名前で画像ファイルを出力する。

```
ffmpeg -i Frames.2017.月.日.時.分.秒/%06d.png なんとか.mpg
```

とすると (%06d というのは printf() で用いる書式の流用である)、それら PNG ファイルから なんとか.mpg という名前の動画ファイルを作る。

B なぞ

- g_cls() を実行しないとゴミが表示される？
- g_finish() を連続して実行するとおかしい。バッファが空のときの動作が変、ということらしい。
- g_contln_f_2D() の動作が不安定。一度描いた等高線が消されてしまう？なぜ？
- マニュアルの関数の説明で引数の意味が書いていないことが多い。実験精神を発露させるか、ソースを読むか。

参考文献

- [1] 秋山正和, 館入数磨, 館入数磨, 小林亮: GLSC3D (Ver. 3.0.0) Manual, http://www-mmcs.es.hokudai.ac.jp/~masakazu/Software/Manual/GLSC3D_Ver3.0.0Manual/GLSC3D_Manual.pdf (2017/11/22).