コンピューターグラフィックス基礎 第 8 回 課題

情報メディア創生学類 3 年 202313625 藤川興昌

実行環境

- Ubuntu 22.04.3 LTS
- gcc version 11.4.0

課題 1

ソースコード

```
#define NOMINMAX    // Windows 上で min/max のマクロを無効化するためのおまじない
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#ifdef __APPLE__
    #define GL_SILENCE_DEPRECATION
    #include <OpenGL/gl.h>
    #include <GLUT/glut.h>
#else
    #include <GL/gl.h>
    #include <GL/glut.h>
#endif
#include <math.h>
#include <algorithm> // 小さい方の値を返す std::min 関数を使うため

class Vector3d {
public:
    double x, y, z;
    Vector3d() { x = y = z = 0; }
    Vector3d(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }
    void set(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }

    // 長さを1に正規化する
    void normalize() {
        double len = length();
        x /= len; y /= len; z /= len;
    }

    // 長さを返す
    double length() { return sqrt(x * x + y * y + z * z); }

    // s倍する
    void scale(const double s) { x *= s; y *= s; z *= s; }

    // 加算の定義
    Vector3d operator+(Vector3d v) { return Vector3d(x + v.x, y + v.y, z +
v.z); }
```

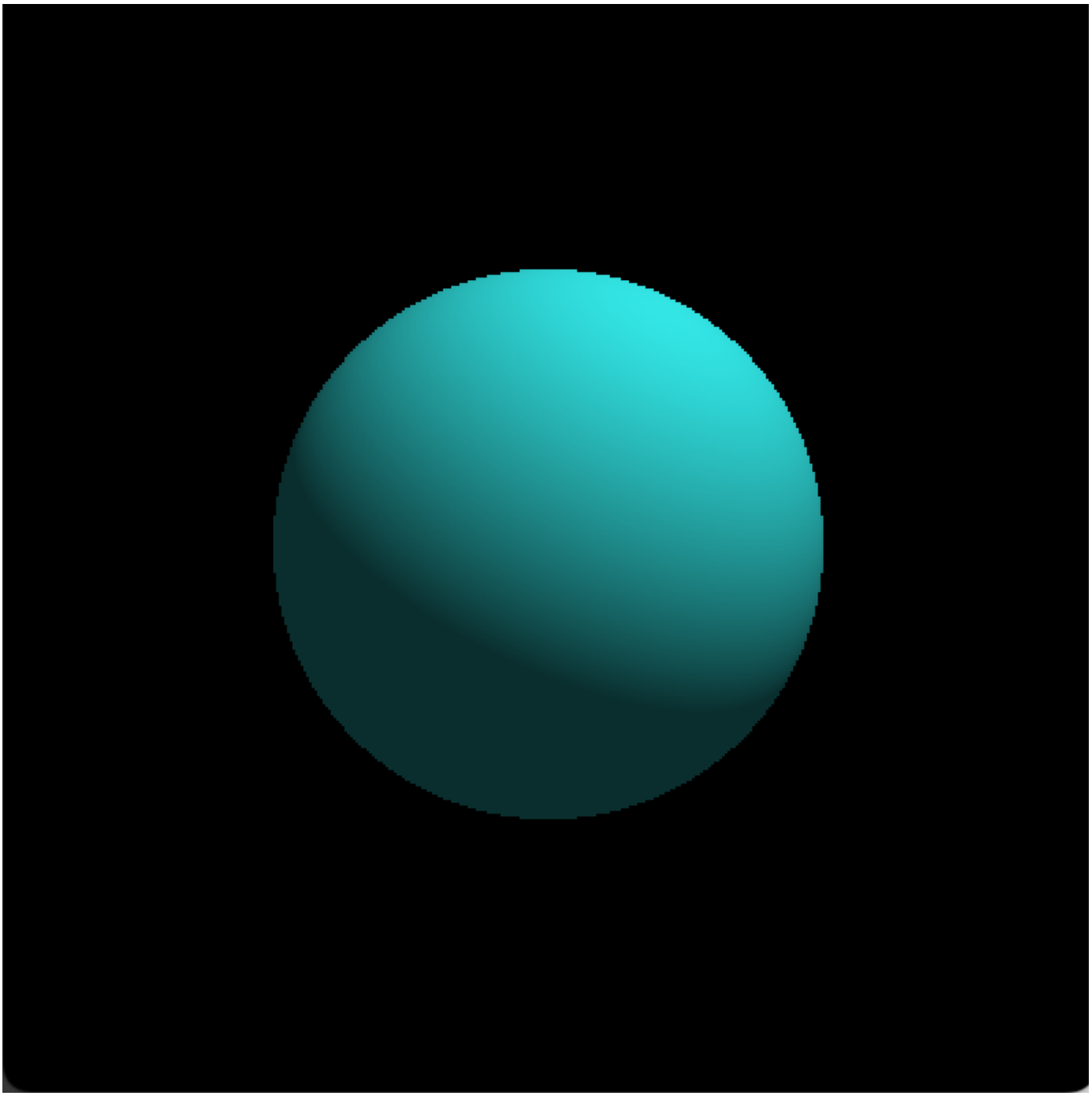
```
    // 減算の定義
    Vector3d operator-(Vector3d v) { return Vector3d(x - v.x, y - v.y, z - v.z); }

    // 内積の定義
    double operator*(Vector3d v) { return x * v.x + y* v.y + z * v.z; }

    // 外積の定義
    Vector3d operator%(Vector3d v) { return Vector3d(y * v.z - z * v.y, z * v.x - x * v.z, x * v.y - y * v.x); }

    // 代入演算の定義
    Vector3d& operator=(const Vector3d& v){ x = v.x; y = v.y; z = v.z; return (*this); }

    // 加算代入の定義
    Vector3d& operator+=(const Vector3d& v) { x += v.x; y += v.y; z += v.z; return (*this); }

    // 減算代入の定義
    Vector3d& operator-=(const Vector3d& v) { x -= v.x; y -= v.y; z -= v.z; return (*this); }

    // 値を出力する
    void print() { printf("Vector3d(%f %f %f)\n", x, y, z); }
};
// マイナスの符号の付いたベクトルを扱えるようにするための定義 例：b=(-a); のように記述できる
Vector3d operator-( const Vector3d& v ) { return( Vector3d( -v.x, -v.y, -v.z ) ); }

// ベクトルと実数の積を扱えるようにするための定義 例： c=5*a+2*b; c=b*3; のように記述できる
Vector3d operator*( const double& k, const Vector3d& v ) { return( Vector3d( k*v.x, k*v.y, k*v.z ) );}
Vector3d operator*( const Vector3d& v, const double& k ) { return( Vector3d( v.x*k, v.y*k, v.z*k ) );}

// ベクトルを実数で割る操作を扱えるようにするための定義 例： c=a/2.3; のように記述できる
Vector3d operator/( const Vector3d& v, const double& k ) { return( Vector3d( v.x/k, v.y/k, v.z/k ) );}


// 球体
class Sphere {
public:
    Vector3d center; // 中心座標
    double radius;   // 半径
    double cR, cG, cB;  // Red, Green, Blue 値 0.0～1.0

    Sphere(double x, double y, double z, double r,
        double cr, double cg, double cb) {
            center.x = x;
```

```
            center.y = y;
            center.z = z;
            radius = r;
            cR = cr;
            cG = cg;
            cB = cb;
    }

    // 点pを通り、v方向のRayとの交わりを判定する。
    // 交点が p+tv として表せる場合の t の値を返す。交わらない場合は-1を返す
    double getIntersec(Vector3d &p, Vector3d &v) {
        // A*t^2 + B*t + C = 0 の形で表す
        double A = v.x * v.x + v.y * v.y + v.z * v.z;
        double B = 2.0 * (p.x * v.x - v.x * center.x +
            p.y * v.y - v.y * center.y +
            p.z * v.z- v.z * center.z);
        double C = p.x * p.x - 2 * p.x * center.x + center.x * center.x +
            p.y * p.y - 2 * p.y * center.y + center.y * center.y +
            p.z * p.z - 2 * p.z * center.z + center.z * center.z -
            radius * radius;
        double D = B * B - 4 * A * C; // 判別式

        if (D >= 0) { // 交わる
            double t1 = (-B - sqrt(D)) / (2.0 * A);
            double t2 = (-B + sqrt(D)) / (2.0 * A);
            return t1 < t2 ? t1 : t2; // 小さいほうのtの値を返す
        } else { // 交わらない
            return -1.0;
        }
    }
};


int halfWidth;    // 描画領域の横幅/2
int halfHeight;   // 描画領域の縦幅/2

// 各種定数
double d = 1000;  // 視点と投影面との距離
double Kd = 0.8;  // 拡散反射定数
double Ks = 0.8;  // 鏡面反射定数
double Iin = 1.0; // 入射光の強さ
double Ia  = 0.2; // 環境光

Vector3d viewPosition(0, 0, 0); // 視点位置
Vector3d lightDirection(-2, -4, -2); // 入射光の進行方向

// レンダリングする球体
Sphere sphere(0.0, 0.0, -1500, // 中心座標
              150.0,           // 半径
              0.2, 0.9, 0.9);  // RGB値


// 描画を行う
void display(void) {
```

```
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); // 描画内容のクリア

    // ピクセル単位で描画色を決定するループ処理
    for(int y = (-halfHeight); y <= halfHeight; y++ ) {
        for(int x = (-halfWidth); x <= halfWidth; x++ ) {

            Vector3d ray(x - viewPosition.x, y - viewPosition.y, -d -
viewPosition.z); // 原点からスクリーン上のピクセルへ飛ばすレイの方向
            ray.normalize(); // レイの長さの正規化

            // レイを飛ばして球との交点を求める
            double t = sphere.getIntersec(viewPosition, ray);

            if(t > 0) { // 交点がある
                double Is = 0; // 鏡面反射光
                double Id = 0; // 拡散反射光
                Vector3d v = ray;
                v.scale(t);
                Vector3d N = (viewPosition + v) - sphere.center;
                N.normalize();

                // ★ここで Is および Id の値を計算する
                double cos_a = -lightDirection * N;
                Id = cos_a < 0 ? 0 : Iin * Kd * cos_a;



                double I = Id + Is + Ia;
                double r = std::min(I * sphere.cR, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする
                double g = std::min(I * sphere.cG, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする
                double b = std::min(I * sphere.cB, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする

                // 描画色の設定
                glColor3d(r, g, b);

            } else { // 交点が無い

                // 描画色を黒にする
                glColor3f(0.0f, 0.0f, 0.0f);
            }

            // (x, y) の画素を描画
            glBegin(GL_POINTS);
            glVertex2i(x, y);
            glEnd();
        }
    }
    glFlush();
}
```

```
void resize(int w, int h) {
    if (h < 1) return;
    glViewport(0, 0, w, h);
    halfWidth = w/2;
    halfHeight = h/2;
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();

    // ウィンドウ内の座標系設定
    glOrtho( -halfWidth, halfWidth, -halfHeight, halfHeight, 0.0, 1.0);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}

void keyboard(unsigned char key, int x, int y) {
    switch (key) {
      case 27: exit(0);  /* ESC code */
    }
    glutPostRedisplay();
}

int main(int argc, char** argv) {
    lightDirection.normalize();

    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
    glutInitWindowSize(400,400);
    glutCreateWindow(argv[0]);
    glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
    glShadeModel(GL_FLAT);

    glutDisplayFunc(display);
    glutReshapeFunc(resize);
    glutKeyboardFunc(keyboard);
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

スクリーンショット



課題 2

ソースコード

```
#define NOMINMAX    // Windows 上で min/max のマクロを無効化するためのおまじない
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#ifdef __APPLE__
    #define GL_SILENCE_DEPRECATION
    #include <OpenGL/gl.h>
    #include <GLUT/glut.h>
#else
    #include <GL/gl.h>
    #include <GL/glut.h>
#endif
```

```
#include <math.h>
#include <algorithm> // 小さい方の値を返す std::min 関数を使うため

class Vector3d {
public:
    double x, y, z;
    Vector3d() { x = y = z = 0; }
    Vector3d(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }
    void set(double _x, double _y, double _z) { x = _x; y = _y; z = _z; }

    // 長さを1に正規化する
    void normalize() {
        double len = length();
        x /= len; y /= len; z /= len;
    }

    // 長さを返す
    double length() { return sqrt(x * x + y * y + z * z); }

    // s倍する
    void scale(const double s) { x *= s; y *= s; z *= s; }

    // 加算の定義
    Vector3d operator+(Vector3d v) { return Vector3d(x + v.x, y + v.y, z +
v.z); }

    // 減算の定義
    Vector3d operator-(Vector3d v) { return Vector3d(x - v.x, y - v.y, z -
v.z); }

    // 内積の定義
    double operator*(Vector3d v) { return x * v.x + y* v.y + z * v.z; }

    // 外積の定義
    Vector3d operator%(Vector3d v) { return Vector3d(y * v.z - z * v.y, z
* v.x - x * v.z, x * v.y - y * v.x); }

    // 代入演算の定義
    Vector3d& operator=(const Vector3d& v){ x = v.x; y = v.y; z = v.z;
return (*this); }

    // 加算代入の定義
    Vector3d& operator+=(const Vector3d& v) { x += v.x; y += v.y; z +=
v.z; return (*this); }

    // 減算代入の定義
    Vector3d& operator-=(const Vector3d& v) { x -= v.x; y -= v.y; z -=
v.z; return (*this); }

    // 値を出力する
    void print() { printf("Vector3d(%f %f %f)\n", x, y, z); }
};
// マイナスの符号の付いたベクトルを扱えるようにするための定義 例：b=(-a); のように記述で
きる
```

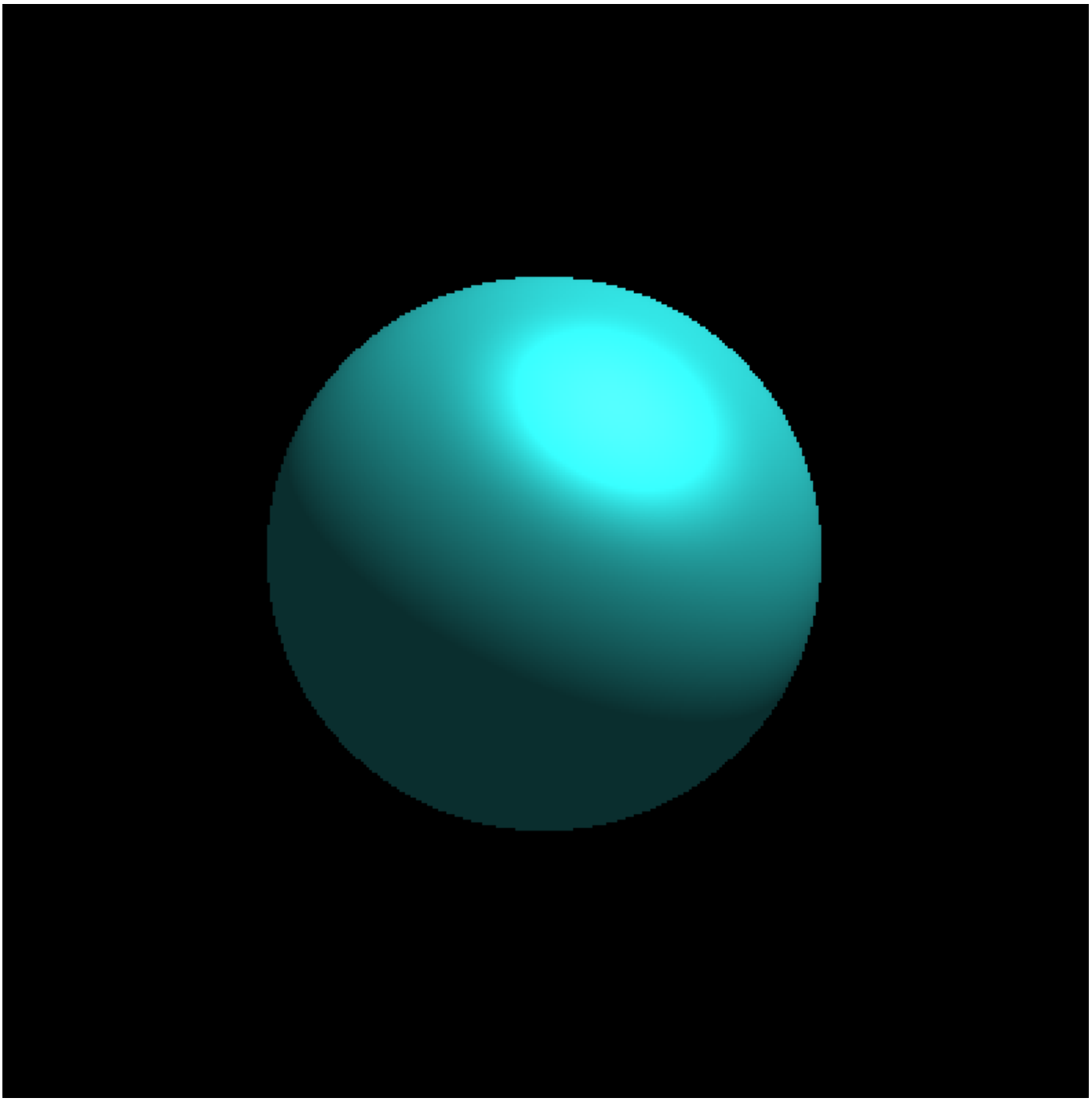
```
Vector3d operator-( const Vector3d& v ) { return( Vector3d( -v.x, -v.y, -
v.z ) ); }

// ベクトルと実数の積を扱えるようにするための定義 例： c=5*a+2*b; c=b*3; のように記述
できる
Vector3d operator*( const double& k, const Vector3d& v ) { return(
Vector3d( k*v.x, k*v.y, k*v.z ) );}
Vector3d operator*( const Vector3d& v, const double& k ) { return(
Vector3d( v.x*k, v.y*k, v.z*k ) );}

// ベクトルを実数で割る操作を扱えるようにするための定義 例： c=a/2.3; のように記述でき
る
Vector3d operator/( const Vector3d& v, const double& k ) { return(
Vector3d( v.x/k, v.y/k, v.z/k ) );}


// 球体
class Sphere {
public:
    Vector3d center; // 中心座標
    double radius;   // 半径
    double cR, cG, cB;  // Red, Green, Blue 値 0.0～1.0

    Sphere(double x, double y, double z, double r,
        double cr, double cg, double cb) {
            center.x = x;
            center.y = y;
            center.z = z;
            radius = r;
            cR = cr;
            cG = cg;
            cB = cb;
    }

    // 点pを通り、v方向のRayとの交わりを判定する。
    // 交点が p+tv として表せる場合の t の値を返す。交わらない場合は-1を返す
    double getIntersec(Vector3d &p, Vector3d &v) {
        // A*t^2 + B*t + C = 0 の形で表す
        double A = v.x * v.x + v.y * v.y + v.z * v.z;
        double B = 2.0 * (p.x * v.x - v.x * center.x +
            p.y * v.y - v.y * center.y +
            p.z * v.z- v.z * center.z);
        double C = p.x * p.x - 2 * p.x * center.x + center.x * center.x +
            p.y * p.y - 2 * p.y * center.y + center.y * center.y +
            p.z * p.z - 2 * p.z * center.z + center.z * center.z -
            radius * radius;
        double D = B * B - 4 * A * C; // 判別式

        if (D >= 0) { // 交わる
            double t1 = (-B - sqrt(D)) / (2.0 * A);
            double t2 = (-B + sqrt(D)) / (2.0 * A);
            return t1 < t2 ? t1 : t2; // 小さいほうのtの値を返す
        } else { // 交わらない
            return -1.0;
```

```
        }
    }
};


int halfWidth;    // 描画領域の横幅/2
int halfHeight;   // 描画領域の縦幅/2

// 各種定数
double d = 1000;  // 視点と投影面との距離
double Kd = 0.8;  // 拡散反射定数
double Ks = 0.8;  // 鏡面反射定数
double Iin = 1.0; // 入射光の強さ
double Ia  = 0.2; // 環境光

Vector3d viewPosition(0, 0, 0); // 視点位置
Vector3d lightDirection(-2, -4, -2); // 入射光の進行方向

// レンダリングする球体
Sphere sphere(0.0, 0.0, -1500, // 中心座標
              150.0,           // 半径
              0.2, 0.9, 0.9);  // RGB値


// 描画を行う
void display(void) {

    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); // 描画内容のクリア

    // ピクセル単位で描画色を決定するループ処理
    for(int y = (-halfHeight); y <= halfHeight; y++ ) {
        for(int x = (-halfWidth); x <= halfWidth; x++ ) {

            Vector3d ray(x - viewPosition.x, y - viewPosition.y, -d -
viewPosition.z); // 原点からスクリーン上のピクセルへ飛ばすレイの方向
            ray.normalize(); // レイの長さの正規化

            // レイを飛ばして球との交点を求める
            double t = sphere.getIntersec(viewPosition, ray);

            if(t > 0) { // 交点がある
                double Is = 0; // 鏡面反射光
                double Id = 0; // 拡散反射光
                Vector3d v = ray;
                v.scale(t);
                Vector3d N = (viewPosition + v) - sphere.center;
                N.normalize();

                // ★ここで Is および Id の値を計算する
                double cos_a = -lightDirection * N;
                Id = cos_a < 0 ? 0 : Iin * Kd * cos_a;

                N.scale(2.0 * cos_a);
                Vector3d R = lightDirection + N;
```

```
                double n = 5.0;
                double cos_y = R * (viewPosition - ray);
                Is = cos_y < 0 ? 0 : Iin * Ks * pow(cos_y, n);

                double I = Id + Is + Ia;
                double r = std::min(I * sphere.cR, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする
                double g = std::min(I * sphere.cG, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする
                double b = std::min(I * sphere.cB, 1.0); // 1.0 を超えないよ
うにする

                // 描画色の設定
                glColor3d(r, g, b);

            } else { // 交点が無い

                // 描画色を黒にする
                glColor3f(0.0f, 0.0f, 0.0f);
            }

            // (x, y) の画素を描画
            glBegin(GL_POINTS);
            glVertex2i(x, y);
            glEnd();
        }
    }
    glFlush();
}

void resize(int w, int h) {
    if (h < 1) return;
    glViewport(0, 0, w, h);
    halfWidth = w/2;
    halfHeight = h/2;
    glMatrixMode(GL_PROJECTION);
    glLoadIdentity();

    // ウィンドウ内の座標系設定
    glOrtho( -halfWidth, halfWidth, -halfHeight, halfHeight, 0.0, 1.0);
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}

void keyboard(unsigned char key, int x, int y) {
    switch (key) {
      case 27: exit(0);  /* ESC code */
    }
    glutPostRedisplay();
}

int main(int argc, char** argv) {
    lightDirection.normalize();

    glutInit(&argc, argv);
```

```
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
    glutInitWindowSize(400,400);
    glutCreateWindow(argv[0]);
    glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
    glShadeModel(GL_FLAT);

    glutDisplayFunc(display);
    glutReshapeFunc(resize);
    glutKeyboardFunc(keyboard);
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

スクリーンショット



課題 3

影響

視点と投射面の距離(d)

- 大きくすると球が大きく描画される
- 小さくすると球が小さく描画される

拡散反射定数(Kd)

- 大きくすると球の光が当たっている部分が明るくなる
- 小さくすると球の光が当たっている部分が暗くなる

鏡面反射定数(Ks)

- 大きくすると球のハイライトが明るくなる
- 小さくすると球のハイライトが暗くなる

入射光の強さ(Iin)

- 大きくすると球の光が当たっている部分が明るくなる
- 小さくすると球の光が当たっている部分が暗くなる

環境光の強さ(Ia)

- 強くすると全体が明るくなる
- 弱くすると全体が暗くなる

cos(γ)の乗根数(n)

- 大きくすると球のハイライトが小さくなる
- 小さくすると球のハイライトが大きくなる

視点位置(viewPosition)

- 変更すると視点の位置が変わる

入射光の進行方向(lightDirection)

- 変更すると球のハイライトの位置が変わる