WebGL によるデータ可視化入門*

glMatrix

陰山 聡

神戸大学 システム情報学研究科 計算科学専攻

2014.06.10

*情報可視化論 X021（2013 年前期） 情報知能演習室

定数頂点データ

演習

glMatrix の紹介

演習

演習

レポート課題

定数頂点データ

定数頂点データ

複数の頂点で属性が共通な場合（例えば複数の頂点で色が同じなど）

定数頂点データ（constant vertex data）を指定する

方法は簡単

1. その属性の汎用属性インデックスを無効化する
   （disableVertexAttribArray）
2. 定数属性データを指定する（vertexAttrib4f 等）
   - gl.vertexAttrib4f(index, v0, v1, v2, v3)
   - gl.vertexAttrib3f(index, v0, v1, v2)
   - gl.vertexAttrib2f(index, v0, v1)
   - gl.vertexAttrib1f(index, v0)

頂点配列と定数頂点データが混在するとき

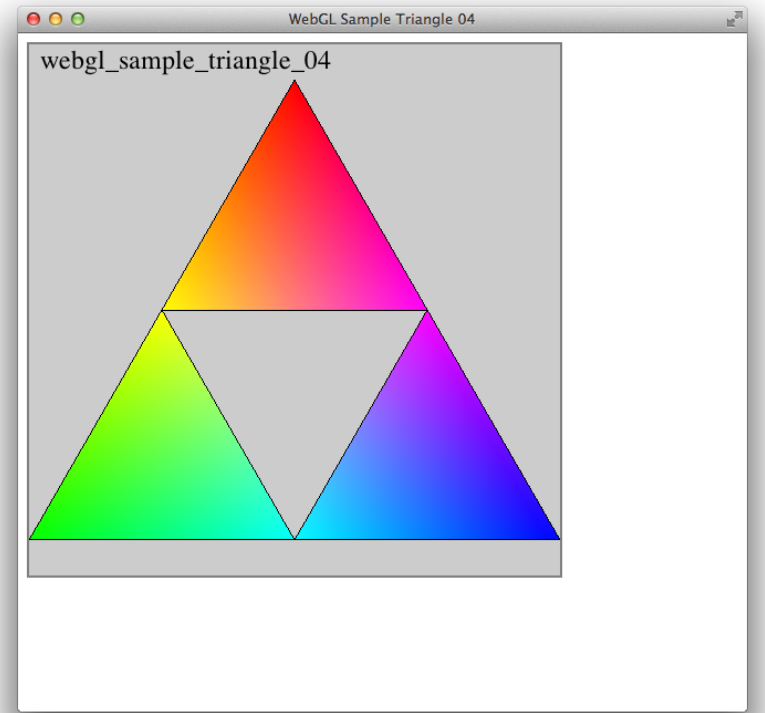
gl.enableVertexAttribArray がコールされている → 頂点配列から読む

gl.disableVertexAttribArray がコールされている → gl.vertexAttrib() で設定された値を使う

例題：webgl_sample_triangle_04.html

面の色：頂点配列

線の色：定数頂点データ（黒）



演習兼復習

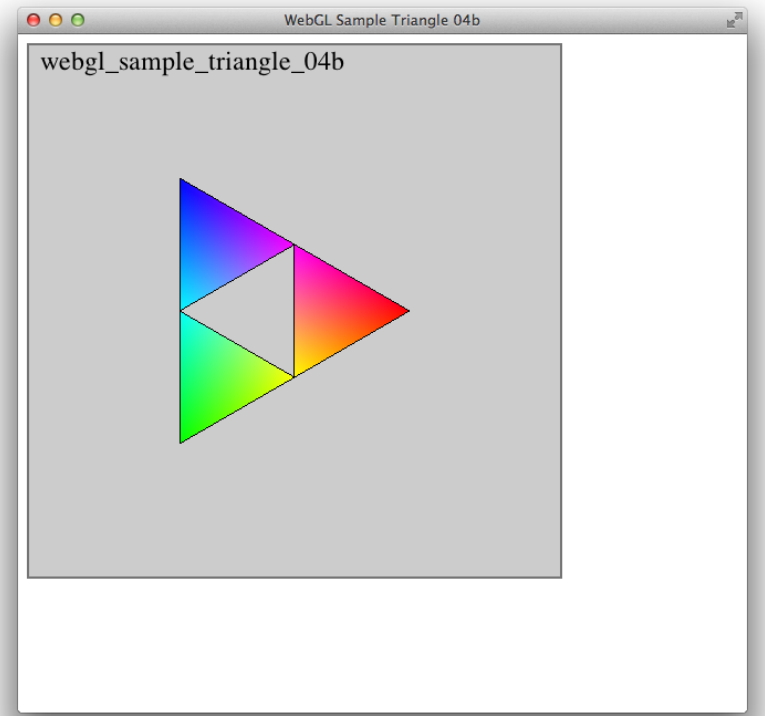
ちょっと復習：シェーダ内部での計算

頂点シェーダ内部での計算

webgl_sample_triangle_04b.html

$(x, y, z, 1) \Longrightarrow (y/2, x/2, z, 1)$ （縮小して裏返し）

裏面を表示（表の面をカリング）



glMatrix の紹介

行列ライブラリ

- WebGL では JavaScript で行列を扱う必要がある
- モデル変換、ビュー変換、射影変換
- 4x4 または 3x3 の行列演算
- JavaScript で行列を扱うライブラリは複数ある
- その中で、ここでは glMatrix を使う

glMatrix.js

http://glmatrix.net

最新バージョンは 2.0

この講義ではバージョン 0.9.6 を使用

以下の URL からソースコードを入手
http://www.research.kobe-u.ac.jp/csi-viz/members/kageyama/lectures/H26_FY2014_former/visualization/src/glMatrix.js

自分の WebGL ソースコードと同じディレクトリに glMatrix.js という名前で保存

glMatrix.js Copyright

```
/*
 * glMatrix.js - High performance matrix and vector
     operations for WebGL
 * version 0.9.6
 */

/*
 * Copyright (c) 2011 Brandon Jones
 *
 * This software is provided 'as-is', without any express or
     implied
 * warranty. In no event will the authors be held liable for
     any damages
 * arising from the use of this software.
 *
 * Permission is granted to anyone to use this software for
     any purpose,
 * including commercial applications, and to alter it and
     redistribute it
 * freely, subject to the following restrictions:
```

glMatrix のベクトルと行列

vec3, vec4, mat3, mat4, quat4

全て 型付き配列 Float32Array

glMatrix の関数

vec3.{create/set/add/subtract/negate/scale/normalize/cross/length/
dot/direction/lerp/str}

mat3.{create/set/identity/transpose/toMat4/str}

mat4.{create/set/identity/transpose/determinant/inverse/
toRotationMat/toMat3/toInverseMat3/multiply/multiplyVec3/
multiplyVec4/translate/scale/rotate/rotateX/rotateY/rotateZ/
frustum/perspective/ortho/lookAt/str}

quat4.{create/set/calculateW/inverse/length/normalize/multiply/
multiplyVec3/toMat3/toMat4/slerp/str}

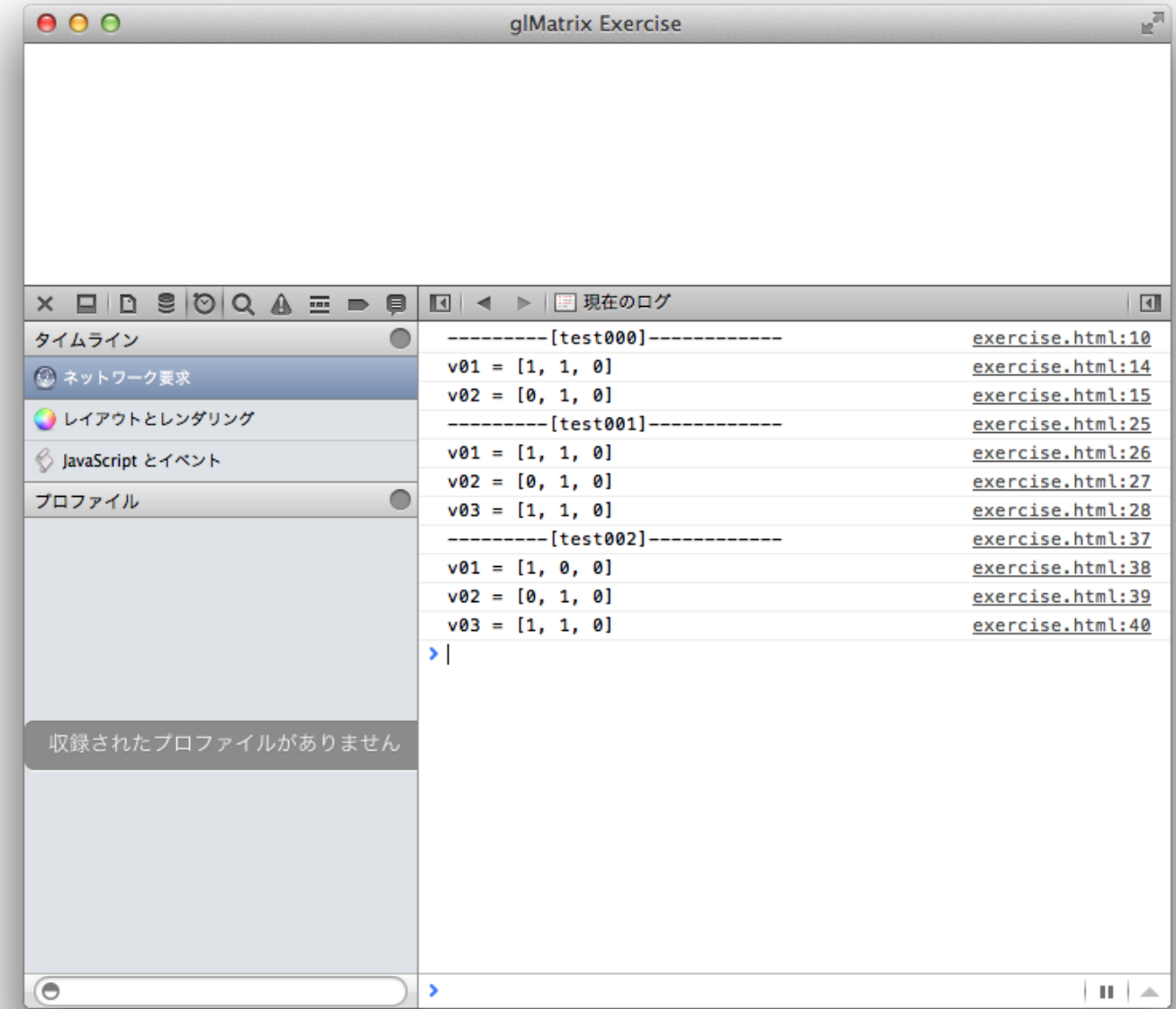
例： glMatrix_exercise_00.html

```
<!DOCTYPE HTML>
<html lang="en">
<head>
<title>glMatrix Exercise</title>
<meta charset="utf-8">
<script type="text/javascript" src="glMatrix.js"></script>
<script type="text/javascript">

function test000() {
  console.log("----------[test000]----------");
  var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
  var v02 = vec3.create([0.0, 1.0, 0.0]);
  vec3.add(v01,v02);
  console.log("v01 = " + vec3.str(v01));
  console.log("v02 = " + vec3.str(v02));
```

```
  test001();
}

function test001() {
  var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
  var v02 = vec3.create([0.0, 1.0, 0.0]);
  var v03 = vec3.create();

  v03 = vec3.add(v01,v02);
  console.log("----------[test001]----------");
  console.log("v01 = " + vec3.str(v01));
  console.log("v02 = " + vec3.str(v02));
  console.log("v03 = " + vec3.str(v03));
  test002();
}
```

```
function test002() {
  var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
  var v02 = vec3.create([0.0, 1.0, 0.0]);
  var v03 = vec3.create();
  vec3.add(v01,v02,v03);
  console.log("----------[test002]--------------");
  console.log("v01 = " + vec3.str(v01));
  console.log("v02 = " + vec3.str(v02));
  console.log("v03 = " + vec3.str(v03));
}

</script>
</head>
```

glMatrix_exercise_00.html：結果



glMatrix における引数のルール

ベクトルの足し算

第一引数が更新される

vec3.add(v01, v02);　　// v01 + v02 ⇒ v01

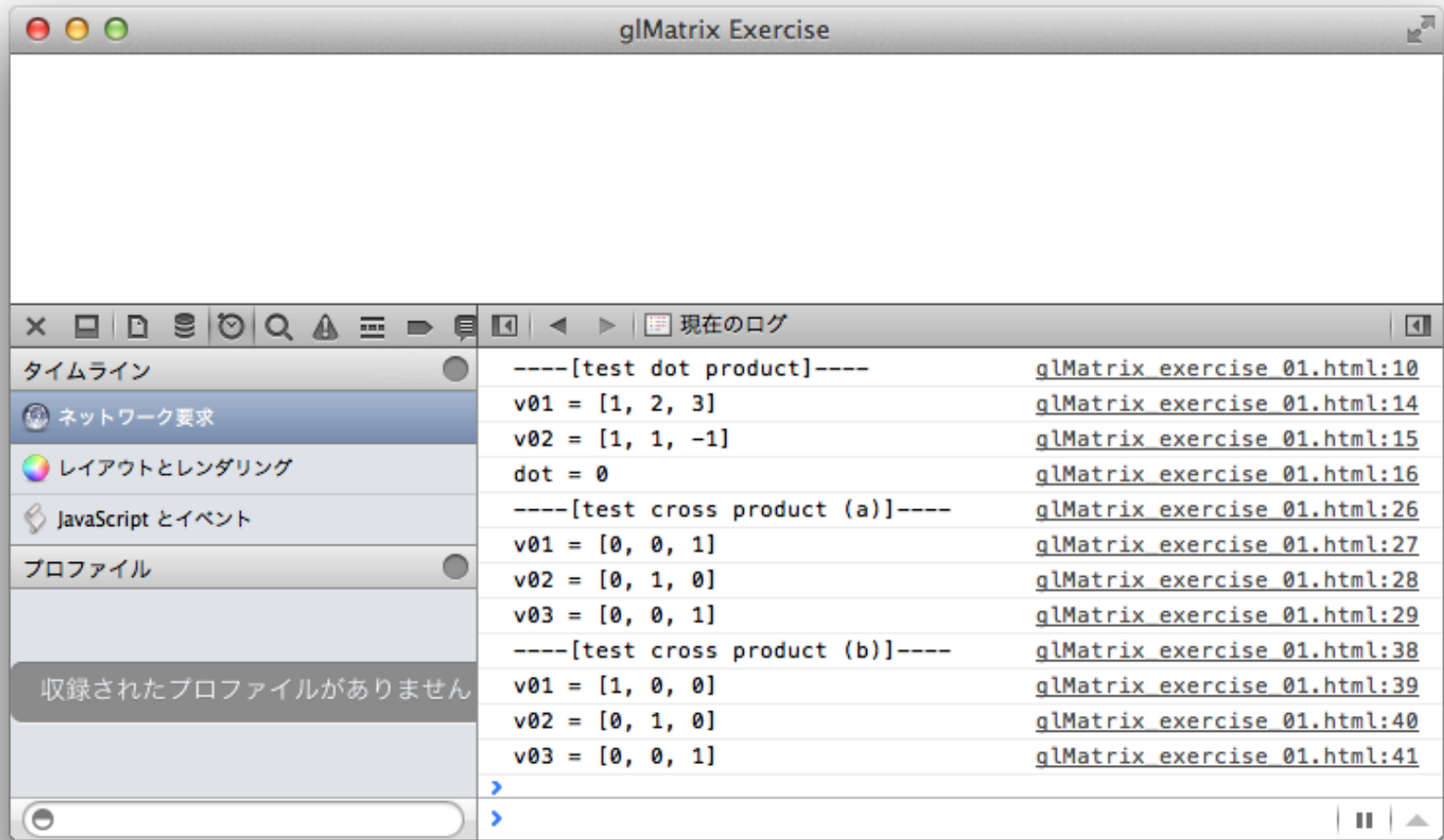
左辺と第一引数が更新される

```
v03 = vec3.add(v01, v02);          // v01 + v02 ⇒ v01 & v03
```

第一引数を更新したくない場合はこうする：

vec3.add(v01, v02, v03);　　// v01 + v02 ⇒ v03

ベクトルの内積と外積
glMatrix_exercise_01.html



ベクトルの内積
glMatrix_exercise_01.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create([1.0, 1.0, -1.0]);
var ans = vec3.dot(v01, v02);          // ans = 0
```

ベクトルの外積 (a)
glMatrix_exercise_01.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
var v02 = vec3.create([0.0, 1.0, 0.0]);
var v03 = vec3.create();
v03 = vec3.cross(v01, v02);        // v01 は更新される（=v03）
```

ベクトルの外積 (b)
glMatrix_exercise_01.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
var v02 = vec3.create([0.0, 1.0, 0.0]);
var v03 = vec3.create();
vec3.cross(v01, v02, v03);          // v01 は更新されない。
```

演習

演習

- glMatrix_exercise_00.html と
- glMatrix_exercise_01.html を動かしてみよう。

ブラウザでコンソールを開くこと。

ベクトルの規格化 (a)
glMatrix_exercise_02.html

長さを 1 にする

```
var v01 = vec3.create([3.0, 4.0, 0.0]);
vec3.normalize(v01);
```

ベクトルの規格化 (b)
glMatrix_exercise_02.html

```
var v01 = vec3.create([3.0, 4.0, 0.0]);
var v02 = vec3.create();
vec3.normalize(v01, v02);
        // v01 を規格化したものが v02 に入る。
        // v01 は更新されない。
```

ベクトルの大きさ
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([3.0, 4.0, 12.0]);
var amp = vec3.length(v01);
```

ベクトルのコピー
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create();
vec3.set(v01,v02)
        // v01 の 3 成分全てが v02 にコピーされる
```

ベクトルの符号反転 (a)
glMatrix_exercise_03.html

```
vec3.negate(v01);
        // v01 の符号を変える
```

ベクトルの符号反転 (b)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([3.0, 4.0, .0]);
var v02 = vec3.create();
vec3.negate(v01, v02);
        // v01 の符号を変えたものが v02 に入る。
        // v01 は変わらない。
```

ベクトルの引き算
glMatrix_exercise_03.html

add と同じ

vec3.add ⇒ vec3.subtract

とすればいい。

add と同様に 3 通りの書き方がある。

ベクトルの拡大縮小 (a)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var s = 0.1;
vec3.scale(v01, s);
        // v01 が s 倍される。
```

ベクトルの拡大縮小 (b)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create();
var s = 0.1;
vec3.scale(v01, s, v02);
        // v01 を s 倍したものが v02 に入る。
        // v01 は変わらず。
```

二つの点を結ぶ単位方向ベクトル (a)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create([1.0, 2.0, -2.0]);
vec3.direction(v01, v02);
        // 点 v01 から点 v02 に向かう方向の単位ベクトルが v01 に入る。
```

二つの点を結ぶ単位方向ベクトル (b)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create([1.0, 2.0, -2.0]);
var v03 = vec3.create();
vec3.direction(v01, v02, v03);
        // 点 v01 から点 v02 に向かう方向の単位ベクトルが v03 に入る。
        // v01 は変わらず。
```

二点間の線形補間 (a)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create([1.0, 2.0, -2.0]);
var s = 0.6;
vec3.lerp(v01, v02, s);
        // 点 v01 と点 v02 を結ぶ線分を比率 s で線形補間した位置ベクトル
        // 結果は v01 に入る。
```

二点間の線形補間 (b)
glMatrix_exercise_03.html

```
var v01 = vec3.create([1.0, 2.0, 3.0]);
var v02 = vec3.create([1.0, 2.0, -2.0]);
var v03 = vec3.create();
var s = 0.6;
vec3.lerp(v01, v02, s, v03);
        // 点 v01 と点 v02 を結ぶ線分を比率 s で線形補間した位置ベクトル
        // 結果は v03 に入る。v01 は変わらず。
```

4x4 単位行列
glMatrix_exercise_04.html

単位行列[†]

```
var m01 = mat4.create([
    1.0, 0.0, 0.0, 0.0, // 1st column
    0.0, 1.0, 0.0, 0.0, // 2nd column
    0.0, 0.0, 1.0, 0.0, // 3rd column
    0.0, 0.0, 0.0, 1.0 // 4th column
    ]);
```

[†]もっと便利な作り方は次のページ

4x4 単位単位行列
glMatrix_exercise_04.html

単位行列を作るにはこうするのが簡単

```
var m01 = mat4.create();
mat4.identity(m01);
```

転置 (a)
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
      1.0, 1.0, 1.0, 1.0, // 1st column
      0.0, 1.0, 1.0, 1.0, // 2nd column
      0.0, 0.0, 1.0, 1.0, // 3rd column
      0.0, 0.0, 0.0, 1.0 // 4th column
      ]);
mat4.transpose(m01);
      // m01 の転置
```

転置 (b)
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
      1.0, 1.0, 1.0, 1.0, // 1st column
      0.0, 1.0, 1.0, 1.0, // 2nd column
      0.0, 0.0, 1.0, 1.0, // 3rd column
      0.0, 0.0, 0.0, 1.0 // 4th column
      ]);
var m02 = mat4.create();
mat4.transpose(m01,m02);
      // m01 の転置が m02 に入る。m01 は変わらず。
```

行列

行列成分の配置は列優先であることに注意

```
mat4.create([
        a00, a10, a20, a30, // 第 1 列
        a01, a11, a21, a31, // 第 2 列
        a02, a12, a22, a32, // 第 3 列
        a03, a13, a23, a33 // 第 4 列
        ]);
```

行列のかけ算

var m03 = mat4.multiply(m01, m02)

行列 m01 と行列 m02 をかけた結果が m03 に入る。

行列 m01 も書き換わる（=m03）

行列 m01 を変更したくない場合は

mat4.multiply(m01, m02, m03)

とする。

行列式
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
        1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
        2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
        0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
        0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
        ]);
console.log(" det(m01) = " + mat4.determinant(m01));      // = -2
```

逆行列 (a)
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
        1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
        2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
        0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
        0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
        ]);
mat4.inverse(m01);
```

m01 が自分の逆行列に置き換わる

逆行列 (b)
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
      1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
      2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
      0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
      0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
      ]);
var m02 = mat4.inverse(m01);
```

m01 が自分の逆行列に置き換わる。m02 に同じものが入る。

逆行列 (c)
glMatrix_exercise_04.html

```
var m01 = mat4.create([
      1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
      2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
      0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
      0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
      ]);
var m02 = mat4.create();
mat4.inverse(m01,m02);     //m01 が自分の逆になる。m02 も同じもの
var m03 = mat4.create(); mat4.multiply(m01,m02,m03)   // m01 は不変
```

3x3 から 4x4 行列へ (a)
glMatrix_exercise_05.html

```
var m01 = mat3.create([
      1.0, 2.0, 3.0, // 1st column
      0.0, 1.0, 2.0, // 2nd column
      0.0, 0.0, 1.0 // 3rd column
      ]);
var m02 = mat3.toMat4(m01);
```

3x3 から 4x4 行列へ (b)
glMatrix_exercise_05.html

左上の 3 行 3 列に要素をコピーする。それ以外は、4 行 4 列目は 1、それ以外は 0 でうめる。

```
var m01 = mat3.create([
        1.0, 2.0, 3.0, // 1st column
        0.0, 1.0, 2.0, // 2nd column
        0.0, 0.0, 1.0 // 3rd column
        ]);
var m02 = mat4.create();
mat3.toMat4(m01,m02)
            // m01 = [1, 2, 3, 0, 1, 2, 0, 0, 1]
            // m02 = [1, 2, 3, 0, 0, 1, 2, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1]
```

4x4 から 3x3 行列へ (a)
glMatrix_exercise_05.html

左上の 3x3 成分をとりだす。

```
var m01 = mat4.create([
        1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
        2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
        0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
        0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
        ]);
var m02 = mat4.toMat3(m01);

    // m01 = [1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 0, 2, 3, 3, 0, 3, 4, 4]
    // m02 = [1, 1, 2, 2, 1, 2, 0, 2, 3]
```

4x4 から 3x3 行列へ (b)
glMatrix_exercise_05.html

左上の 3x3 成分をとりだす。

```
var m01 = mat4.create([
        1.0, 1.0, 2.0, 1.0, // 1st column
        2.0, 1.0, 2.0, 2.0, // 2nd column
        0.0, 2.0, 3.0, 3.0, // 3rd column
        0.0, 3.0, 4.0, 4.0 // 4th column
        ]);
var m02 = mat4.create();
mat4.toMat3(m01, m02);

    // m01 = [1, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 0, 2, 3, 3, 0, 3, 4, 4]
    // m02 = [1, 1, 2, 2, 1, 2, 0, 2, 3]
```

3x3 行列のコピー

mat3.set()

使い方は vec3.set() と同じ

これまでの説明で以下の引数入出力パターンには十分なじんだと思うので、以後、並記はしない。

mat4.operator(src_and_dest, param)

dest = mat4.operator(src_and_dest, param)

mat4.operator(src, param, dest)

ただし、次の multiplyVec3 は

mat4.multiplyVec3(param, src_and_dest);

mat4.multiplyVec3(param, src, dest);

というパターンである。

4x4 行列と vec3 の積 (a)
glMatrix_exercise_05.html

```
var M = mat4.create([
1.0, 0.0, 0.0, 0.0,
2.0, 0.0, 1.0, 0.0,
3.0, 1.0, 0.0, 0.0,
4.0, 0.0, 0.0, 1.0
]);
var v01 = vec3.create([1, 0, 0]);
      // [1, 0, 0, 1] という vec4 に変換されてから、積をとる
mat4.multiplyVec3(M,v01);    //積の結果の vec4 の第 4 成分は捨てられる
      // v01 = [5, 0, 0]
```

4x4 行列と vec3 の積 (b)
glMatrix_exercise_05.html

```
var m01 = mat4.create();
mat4.identity(m01);
var v01 = vec3.create([1.0, 0.0, 0.0]);
var v02 = vec3.create();
mat4.multiplyVec3(m01, v01, v02);
```

z 軸の周りの回転行列を右からかける
glMatrix_exercise_05.html

```
var M = mat4.create([
        1.0, 0.0, 0.0, 0.0, // rotate
        0.0, 0.0, 1.0, 0.0, // around
        0.0,-1.0, 0.0, 0.0, // x-axis
        0.0, 0.0, 0.0, 1.0 // for 90 deg.
        ]);
var angle = Math.PI/2;
var N = mat4.create();
mat4.rotateZ(M, angle, N);    // N = MR (not RM)
var v01 = vec3.create([1,0,0]);
mat4.multiplyVec3(N, v01);     // v01 = [0, 0, 1]
```

同様な関数：

mat4.rotateX()：x 軸周りの回転行列をかける

mat4.rotateY()：y 軸周りの回転行列をかける

mat4.rotate()： 指定した軸の周りの回転行列をかける

平行移動行列を右からかける
glMatrix_exercise_05.html

```
var M = mat4.create([
        1.0, 0.0, 0.0, 0.0, // rotate
        0.0, 0.0, 1.0, 0.0, // around
        0.0,-1.0, 0.0, 0.0, // x-axis
        0.0, 0.0, 0.0, 1.0 // for 90 deg.
        ]);
var transv = vec3.create([0,1,0]);   // translate in y
var N = mat4.create();
mat4.translate(M, transv, N);       // N = MT
var v01 = vec3.create([1,0,0]);
mat4.multiplyVec3(N, v01);       // v01 = [1, 0, 1]
```

射影行列の作成

- モデルビュー変換と射影変換については後で説明（復習）する。
- それぞれの関数の使い方はこの後のサンプルコードで。
- 詳細はソースコード（glMatrix.js）を参照。

```
mat4.frustum(left, right, bottom, top, near, far, dest);
mat4.perspective(fovy, aspect, near, far, dest);
mat4.ortho(left, right, bottom, top, near, far, dest);
mat4.lookAt(eye, center, up, dest);
```

その他便利な関数

mat4.toInverseMat3： 左上 3x3 行列の逆行列を取り出す。法線ベクトルの変換に便利

mat4.scale： 引数の vec3 で指定した成分でスケールする

quat4.*：4 元数関係

{vec3,vec4,mat3,mat4,quat4}.str：成分の書きだし

演習

演習

- glMatrix_exercise_02.html から
- glMatrix_exercise_05.html までをベースに各自自由に。

レポート課題

- glMatrix を使い、任意の計算をせよ‡。
- 提出はメールで。添付ファイルは２つ§。
  1. レポートの PDF ファイル： ファイル名： report_03.pdf
  2. 作成した HTML ファイル： ファイル名：report_03.html
     - ファイル名中のアンダースコア（_）は半角
     - ファイル拡張子は html とし、htm としない
- gmail アドレス：kageyama.lecture@...
- メールのタイトル： 情報可視化論 レポート 3
- レポート本文には以下を記述すること
  - 学籍番号と氏名
  - 公開用タイトル（20 字以内）例１：「ベクトル 3 重積」 例２：「4x4 の直交行列とその転置行列の積」
  - glMatrix を使ってどのような計算をしたかの記述
  - 計算結果のコンソール出力のキャプチャ図
  - ウェブ公開時、匿名を希望する場合はペンネーム
- 締め切り： 6/16（月）23:59

‡画像のない純粋な数値計算でよい。
§アーカイブはしないように。