課題３　３次の Bezier 曲線と双３次 Bezier 曲面

16 個の制御点座標値をファイルから読み込み，３次のベジエ曲線上の点と，双３次のベジエ曲面上の点の座標値を，指定した分割数で出力せよ．
マクロ定数は以下のように定義する．

```
#define HDIM 4 /* 同次座標表現の次数 */
#define BDIM 3 /* ベジエ曲線・曲面の次数 */
```

1. ３次ベジエ曲線上の点：$q^3(t)$ を，行列表現式：$q^3(t) = [\vec{P}_0\vec{P}_1\vec{P}_2\vec{P}_3] \cdot M_B \cdot \begin{bmatrix} t^0 \\ t^1 \\ t^2 \\ t^3 \end{bmatrix}$，$M_B = \begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 & -1 \\ 0 & 3 & -6 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

   から求める．計算過程の見通しを良くするために次の補助関数を実装し，それらを利用して曲線上の点を求める関数を実装せよ．なお，同次座標表現の次数とベジエ曲線・曲面の次数は互いに無関係であることから，補助関数に一般の行列・ベクトル計算とは別の名前をつけている．

   (a) `void set_param_vector(double pv[BDIM+1], double t);`
   パラメータベクトル (t^0, t^1, t^2, t^3) を返す．
   `pv` (O) パラメータベクトルを格納する配列．
   `t` (I) パラメータ．$0 \leq t \leq 1$ の実数．

   (b) `void mulMVb(double u[BDIM+1], double mb[BDIM+1][BDIM+1], double v[BDIM+1]);`
   行列とベクトルの積を求める．係数行列とパラメータベクトルの積に用いる．
   `u` (O) 積演算の結果得られるベクトル．
   `mb` (I) ３次のベジエ曲線用係数行列．
   `v` (I) パラメータベクトル．

   (c) `void mulLCpVb(double u[HDIM], double cps[BDIM+1][HDIM], double v[BDIM+1]);`
   制御点リストとベクトルの積を求める．
   `u` (O) 積演算の結果得られるベクトル．
   `cps` (I) 制御点リストを格納する２次元配列．
   `v` (I) ベクトル．
   ヒント：
      i. 行列計算の定義通りに実装しても良いが，成分に展開せず制御点ベクトルのまま計算した方が見通しが良い．
      ii. $\vec{p} = \vec{p} + \vec{u}$ は，`add4h(p, p, u);` を実行すればよい．
      iii. i 番目の制御点 P_i は「`cps[i]`」で参照できる．

   (d) `void on_bezier3_curve(double q[HDIM], double mb[BDIM+1][BDIM+1], double cps[BDIM+1][HDIM], double t);`
   パラメータ t に対応した３次のベジエ曲線上の点を求める．
   `q` (O) ベジエ曲線上の点．
   `mb` (I) ３次のベジエ曲線用係数行列．
   `cps` (I) 制御点リストを格納する２次元配列．
   `t` (I) パラメータ．$0 \leq t \leq 1$ の実数．

2. 双３次ベジエ曲面上の点：$q^3(u,v)$ を，行列表現式：$q^3(u,v) = [u^0 u^1 u^2 u^3] \cdot M_B^T P M_B \cdot \begin{bmatrix} v^0 \\ v^1 \\ v^2 \\ v^3 \end{bmatrix}$ から求める．

ただし，M_B^T は M_B の転置行列，制御点行列：$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix}$ とする．計算過程の見通しを良くするために次の補助関数を実装し，1 で実装した補助関数も利用して，曲面上の点を求める関数を実装せよ．

(a) `void mulMCpVb(double lcp[BDIM+1][HDIM], double mcp[BDIM+1][BDIM+1][HDIM], double v[BDIM+1]);`
制御点行列とベクトルの積を求める．
`u`（O）積演算の結果得られるベクトルリスト．
`cps`（I）制御点行列を格納する３次元配列．
`v`（I）ベクトル．
ヒント：
   i. この式は成分に展開するとわかりにくい実装になる．制御点ベクトルのまま計算した方が見通しが良い．1c と考え方は同じ．
   ii. 制御点 $P_{i,j}$ は「`mcp[i][j]`」で参照できる．

(b) `void on_bezier3_surface(double q[HDIM], double mb[BDIM+1][BDIM+1],`
`double cps[BDIM+1][BDIM+1][HDIM], double u, double v);`
パラメータ t に対応した３次のベジエ曲線上の点を求める．
`q`（O）ベジエ曲面上の点．
`mb`（I）３次のベジエ曲線用係数行列．
`cps`（I）制御点配列を格納する３次元配列．
`u,v`（I）パラメータ．$0 \le u \le 1$，$0 \le v \le 1$ の実数．

3. 双３次ベジエ曲面の制御点を次のように設定した時の曲面上の点と，v 方向に制御点を選んだ４本の３次ベジエ曲線上の点を求め，座標値を画面に出力せよ．ただし，u, v 各方向ともパラメータ区間の分割数を 20（21 点）とせよ．

		v			
		0	1	2	3
u	0	P_{00}={0, 0, 0}	P_{01}={1, 3, 1}	P_{02}={1, 6, 1}	P_{03}={0, 9, 0}
	1	P_{10}={3, 0, 1}	P_{11}={3, 3, 6}	P_{12}={3, 6, -6}	P_{13}={3, 9, -1}
	2	P_{20}={6, 0, 1}	P_{21}={6, 3, -3}	P_{22}={6, 6, 3}	P_{23}={6, 9, -1}
	3	P_{30}={9, 0, 0}	P_{31}={8, 3, -1}	P_{32}={8, 6, -3}	P_{33}={9, 9, 0}

main 関数の処理手順

(a) 制御点データファイルを作成する．データファイルの書式は，１行にタブ区切りで：
< i : u 方向 index><j : v 方向 index><X 座標値 ><Y 座標値 ><Z 座標値 >
を並べる．

(b) 制御点データファイルを読み込み，制御点行列に代入する．

(c) パラメータ (u, v) を指定の分割数で区切り，パラメータ値ごとに曲面上の点を求め，１行１点，タブ区切りで座標値を画面出力する．

(d) データの区切りのために２行改行する．

(e) 制御点リストを $\{P_{00}, P_{01}, P_{02}, P_{03}\}$，$\{P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}\}$，$\{P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{23}\}$，$\{P_{30}, P_{31}, P_{32}, P_{33}\}$，として曲線上の点を求め，１行１点，タブ区切りで座標値を画面出力する．
ヒント：i 番目の制御点リストを得るには「`cps[i]`」とすればよい．

(f) 制御点リストを切り替える前に，データの区切りのために２行改行する．

(g) 画面表示をファイルにリダイレクトし，リニアングラフ 3D 等で表示する．

■