社会システム分析のための統合化プログラム１９

ー 関数グラフ・パラメータ関数グラフ ー

福井正康・*石丸敬二

福山平成大学経営学部経営学科
*福山大学経済学部経済学科

概要

我々は教育分野での利用を目的に社会システム分析に用いられる様々な手法を統合化したプログラム College Analysis を作成してきた。今回は１変量関数と２変量関数の描画プログラムを改訂し、新たに２次元パラメータ関数と３次元パラメータ関数の描画プログラムを作成した。特に３次元パラメータ関数の描画プログラムは、描画結果が面白い立体図形になるので、関数形を考える過程が楽しめるプログラムである。

キーワード

College Analysis，数学，グラフ，２変量関数，パラメータ関数

URL:　http://www.heisei-u.ac.jp/ba/fukui/

１．はじめに

数学や自然科学、経済学等の授業では $y = f(x)$ の形で与えられる１変量関数や $z = f(x, y)$ の形で与えられる２変量関数のグラフを描くことが多い。これらは Excel 等で座標データを与えて簡易的に作成することもあれば、専用のソフトウェアを用いて数式から直接作成することもある。今回我々はこれらのグラフを簡単に描画することのできる、１変量関数グラフ、２変量関数グラフという２つのプログラムを改訂し [1]、２次元パラメータ関数グラフ、３次元パラメータ関数グラフという２つのプログラムを新しく作成した。この中で３次元空間に表示するグラフについては、３Ｄビューアという３次元グラフィック表示用の汎用プログラムを作成し、グラフを自由な角度と距離から眺められるようにした [2), 3)]。現在３Ｄビューアは３Ｄグラフやフラクタルビューア等、我々が作成した多くのプログラムから利用されている。

関数グラフには円や双曲線、球やトーラス等、上で述べた形式では表しにくいものもある。これらの関数の描画を扱うプログラムが、２次元及び３次元パラメータ関数グラフである。特に３次元パラメータ関数グラフは、２つのパラメータ u, v を用いて、$x = f(u, v)$, $y = g(u, v)$, $z = h(u, v)$ という形で関数を表示するもので、様々な図形を作り出せる楽しめるプログラムでもある。またこれらの図形に対しても３Ｄビューアの基本機能が利用できるので、見た目に面白いデモ画面を作成することも可能である。さらに、パラメータ関数グラフでも描けないような、$f(x, y) = 0$ や $f(x, y, z) = 0$ の陰関数形式のグラフの簡単な描画機能も、パラメータ関数グラフのメニューに加えた。これらは、２次元では点の集合で、３次元では球（泡）の集合で関数を表すようにしている。

１変量関数や２変量関数及び、２次元パラメータ関数グラフの場合、軸のスケールはメニューで指定された範囲で自由に設定できるようにしているが、３次元パラメータ関数については、メニューの煩雑さを避けるためと図形の全体的な形状の印象を重視するため、３つの軸を常に同一のスケールで表示するようにしている。

表示されるグラフを表す数式では、通常の四則演算 +, −, *, / とべき乗 ^ に加え、sin(), cos(), tan(), atan(), exp(), log(), log10(), sinh(), cosh(), tanh(), int(), abs(), theta(), def() の関数が利用可能である。ここで $\mathrm{theta}(x)$ 関数については、$x \geq 0$ のとき 1、$x < 0$ のとき 0 、$\mathrm{def}\,(x)$ 関数については、$x \geq 0$ のとき 0、$x < 0$ のとき error（未定義）を返す。前者は範囲ごとに違う形の関数を表示することに利用でき、後者は関数を範囲付きで表示することに利用する。これらの利用法については後に詳述する。また、定数としては pi（$=\pi$）と ep（$= e$）が利用できる。

関数を表示する場合、複数個表示して、それらの性質を比較することもあるので、数式を２つ以上並べて記述して、グラフを複数個同時に表示する機能を付けた。１変量関数の場合、これまでのバージョンではテキストボックス内の１つの関数を次の関数で書き換えて、グラフを追加する形式にしていたが、同時に複数の関数をテキストボックスに記述する形式に統一した。２次元パラメータ関数や

３次元パラメータ関数の場合は、２つまたは３つの数式で１つの関数を表すようになっているので、２つのグラフを同時に表すには２倍の数の式を並べて書く必要がある。

また、１変量関数グラフでは x 切片、極値、変曲点、接線の関数形、２変量関数グラフでは極値と接平面の関数形を求める機能も追加した。この機能を利用して、グラフに接線や接平面を容易に加えることができる。その際、これらをグラフ描画領域の一部に表示したい場合には、def( ) 関数を利用すればよい。

２．１変量関数グラフ

１変量関数グラフは、$y = f(x)$ の形の関数のグラフである。College Analysis のメニュー［分析－数学－１変量関数グラフ］を選択すると図 2.1 のような描画メニューが表示される。

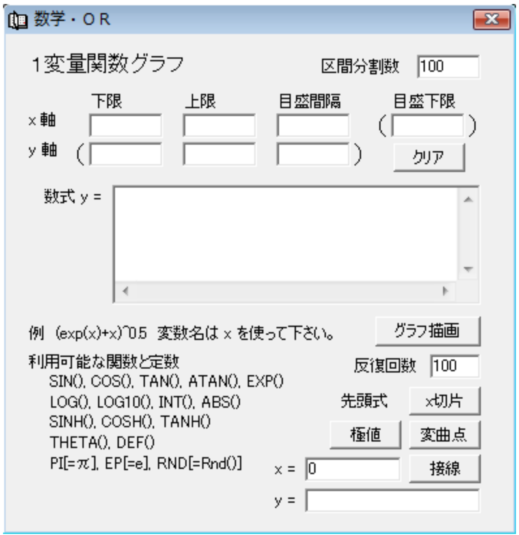


図 2.1　１変量関数グラフ描画メニュー

「数式 y = 」のテキストボックスに、描きたいグラフの関数形の右辺を入力し、x 軸の下限、上限、目盛間隔のテキストボックスに必要な数値を入力して、「グラフ描画」ボタンをクリックすると、y 軸の目盛が適当な値になり、グラフが描画される。例えば、数式として $y = sin\ x$（テキストボックスには右辺 sin(x) を入力する），下限を-3，上限を 3， 目盛間隔を 1 とすると、表示結果は図 2.2a のようになる。また、同じ数式で、下限を-pi， 上限を pi， 目盛間隔を pi/2 とすると、表示結果は図 2.2b のようになる。

表示結果は範囲に数値を用いると図 2.2a のように軸目盛が数値となり、「pi」を使った値を用いると図 2.2b のようなラジアン表示になる。y 軸の目盛はメニューに値を入力することで変更が可能である。

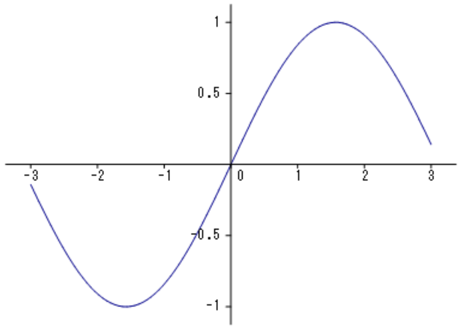


図 2.2a $y = sin\,x$ のグラフ１

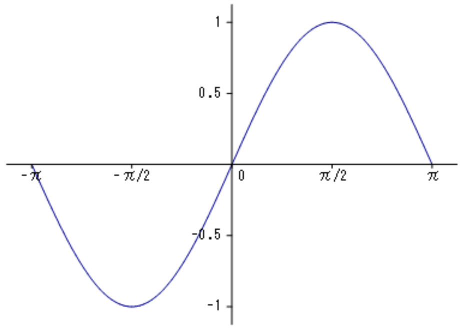


図 2.2b $y = sin\,x$ のグラフ２

「数式 y = 」テキストボックスに改行して複数の数式の右辺を入力することにより、複数のグラフを同時に表示できる。図 2.3a に $y = sin\,x$, $y = cos\,x$ のグラフ、図 2.3b に $y = x$, $y = 1/x$, $y = x + 1/x$ のグラフを示す。

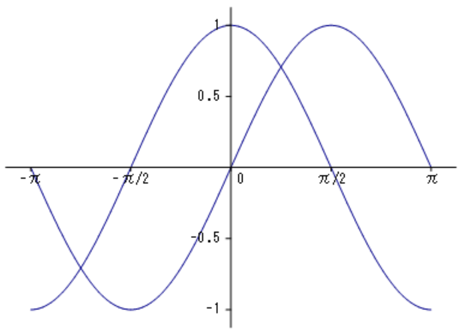


図 2.3a $y = sin\,x$, $y = cos\,x$ のグラフ

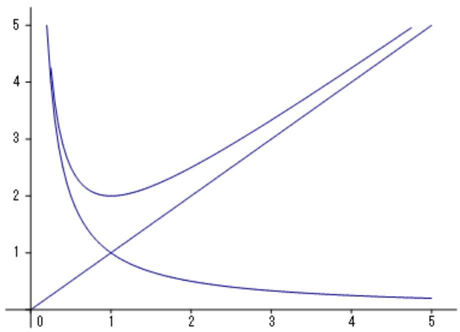


図 2.3b $y = x$, $y = 1/x$, $y = x + 1/x$ のグラフ

このプログラムでは、1 行目に書いた関数の x 切片を求めることができる。例えば、$y = x^5 - x^3$ のグラフを描くと、図 2.4 のようになるが、描画メニューの「x 切片」ボタンをクリックすると、図 2.5 のように x 切片が表示される。ここで、計算は初期値をランダムに x 軸表示範囲内に取り、ニュートン法を用いている。「収束解の個数」は、描画メニューで乱数発生の「反復回数」を 100 回として実行した場合の各 x 切片に収束した回数である。x 切片は表示境界上の値も含めるようにしている。

また、描画メニューの「極値」ボタンをクリックすると、表示領域内の極値を求めることができる。図 2.6 にその結果を示す。同様に、描画メニューの「変曲点」ボタンをクリックすると、変曲点の座標も求めることができる。図 2.7 にその結果を示す。

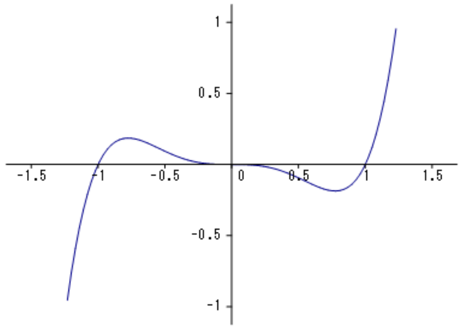


図 2.4 $y = x^5 - x^3$ のグラフ

計算結果（表示範囲内x切片）

	解 1	解 2	解 3
X	-1.0000	0.0000	1.0000
y値	0.0000	0.0000	0.0000
収束解の個数	19	54	27

図 2.5 $y = x^5 - x^3$ の x 切片

計算結果（表示範囲内極値）

	解 1	解 2	解 3
X	-0.7746	0.0000	0.7746
極値	0.1859	0.0000	-0.1859
判定	極大	他停留点	極小
収束解の個数	34	34	31

図 2.6 $y = x^5 - x^3$ の極値

計算結果（表示範囲内変曲点）

	解 1	解 2	解 3
X	-0.5477	0.0000	0.5477
y値	0.1150	0.0000	-0.1150
収束解の個数	41	18	32

図 2.7 $y = x^5 - x^3$ の変曲点

さらにこのプログラムでは先頭に記述した関数の、指定した x 座標における、接線の方程式を求めることができる。描画メニューの「x = 」テキストボックスに接点の x 座標を入力し、「先頭式接線」ボタンをクリックすると、その下の「y = 」テキストボックスに接線の方程式の右辺部分が表示される。例えば、図 2.4 の $x = 0.8$ での接線の方程式は、$y = 0.128x - 0.287$ となり、「0. 128*x-0. 287」を数式に追加して描画すると、図 2.7a のように表示される。このままでは接線が長いと思い、$0.2 \leq x \leq 1.4$ の範囲で描画しようと考えると、関数定義を「0. 128*x-0. 287+def(x-0. 2)+def(1. 4-x)」に変更して描画する。def( ) 関数が$x \geq 0$ だけで $\mathrm{def}(x) = 0$ と定義されているため、結果は図 2.7b のようになる。

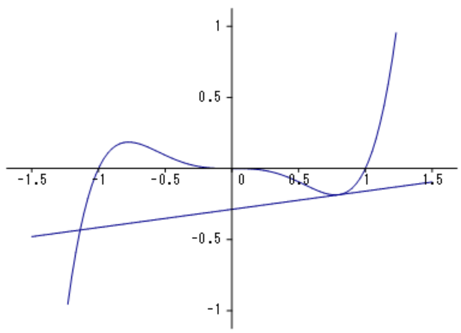


図 2.7a 接線を追加したグラフ

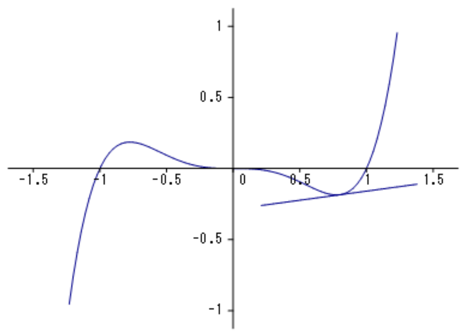
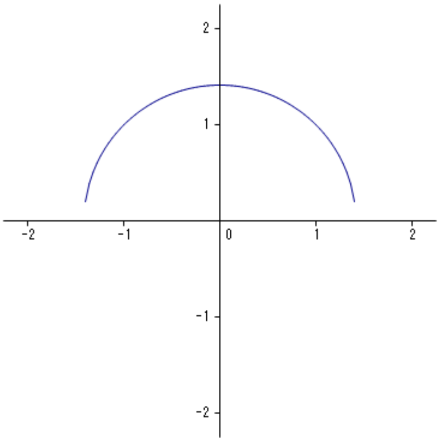


図 2.7b 接線の範囲を指定したグラフ

このグラフ表示のプログラムには問題がある。例えば $y = \sqrt{2 - x^2}$ のグラフを描こうとした場合、デフォルトの「区間分割数」100 では図 2.8a のように表示される。これは、境界の近くで、描画要素の端が、定義されない領域に入るためで、「区間分割数」1000 にしても、図 2.8b のように多少は改善されるが、まだ隙間は残る。「区間分割数」を極端に多くしたり、数字をうまく調節して、繋がったように描くことは可能であるが、これでは問題を解決したとは言えない。



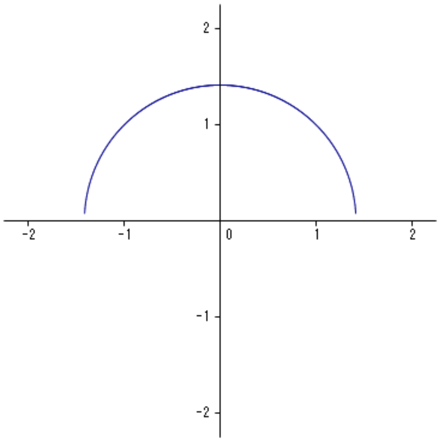


図 2.8a $\mathrm{y} = \sqrt{2 - \mathrm{x}^2}$ のグラフ（分割数 100）　図 2.8b $\mathrm{y} = \sqrt{2 - \mathrm{x}^2}$ のグラフ（分割数 1000）

この問題を解決するのは、次章で述べる２次元パラメータ関数である。

３．２次元パラメータ関数グラフ

前章の終りで、グラフを $y = f(x)$ の形で描く場合の定義域の境界の問題点を述べたが、これを解決する１つの方法がパラメータによる関数表示である。２次元パラメータ関数は、ある範囲をとるパラメータ u を用いて、関数を $x = f(u),\ y = g(u)$ の形式で表現するものである。この章では２次元パラメータ関数グラフの描画プログラムについて説明する。メニュー［分析－数学－２次元パラメータ関数］を選択すると、図 3.1 に示す描画メニューが表示される。

利用法は､「u 変数」テキストボックスにパラメータ u の範囲を記述し、数式テキストボックスの、「x =」、「y =」の位置に u で表わされた関数形を記述して、「グラフ描画」ボタンをクリックする。上の x 軸と y 軸の下限、上限、目盛間隔は必要があれば記入する。空白の場合は、図が収まる範囲で適当な値となる。２章の終りで述べた半円を描くには以下のようにする。また、円は描画範囲を２倍にする。

描画範囲：$0 \le u \le \pi$　（テキストボックス内で π は pi で表わす。）

関数：　$x = \sqrt{2}\,cos\,u,\ y = \sqrt{2}\,sin\,u$

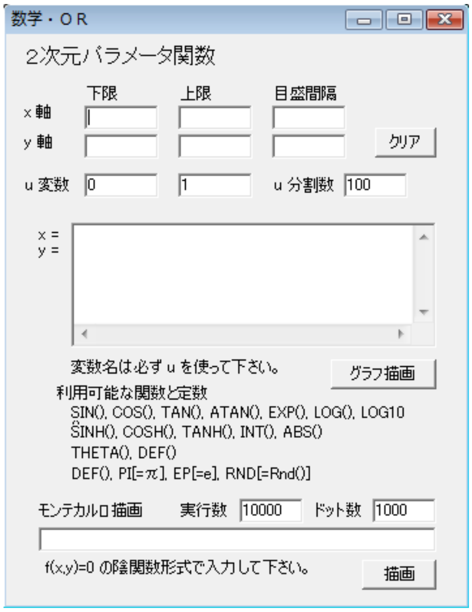


図 3.1　２次元パラメータ関数描画メニュー

図 3.2a に半円、図 3.2b に円の描画結果を示す。ここでパラメータ u は、極座標の角度座標 θ の役割を果たす。

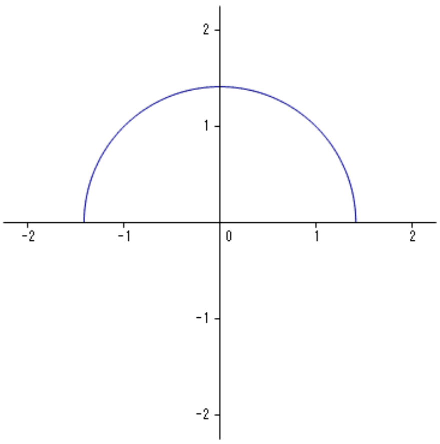


図 3.2a 半円

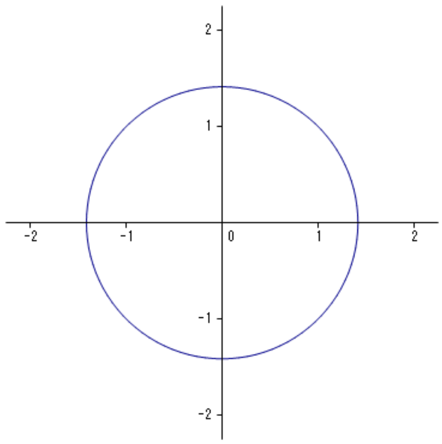


図 3.2b 円

複数組の式を使った２次元パラメータ関数の例を図 3.3 に描いておく。

$y = 1$ と $x = 1$

描画範囲：$-2 \leq u \leq 2$

関数：　$x = u,\ y = 1,\quad x = 1,\ y = u$

放物線（軸の上限と下限も記入）

描画範囲：$-2 \leq u \leq 2$

関数：　　$x = u,\ y = u^2,\quad x = u^2,\ y = u$

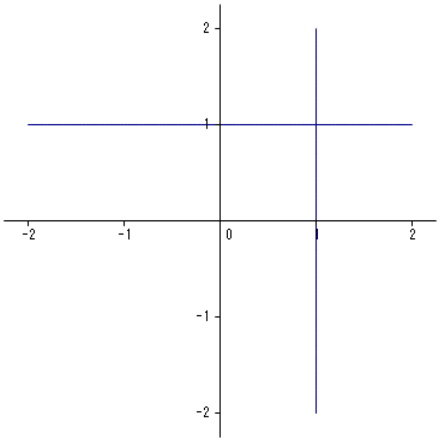


図 3.3a $y = 1$ と $x = 1$

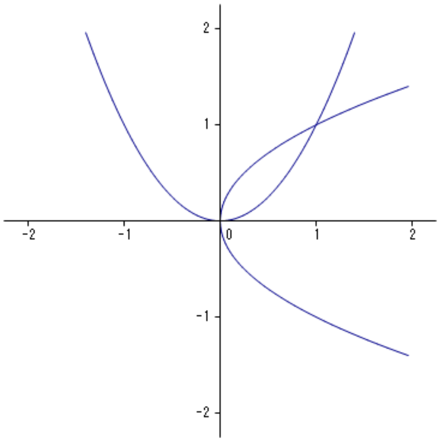


図 3.3b 放物線

双曲線

描画範囲：$-2 \leq u \leq 2$

関数：　　$x = \cosh u\,,\ y = \sinh u,\quad x = -\cosh u\,,\ y = \sinh u$

らせん

描画範囲：$0 \leq u \leq 6\pi$

関数：　　$x = u\cos u\,,\ y = u\sin u,\quad x = -u\cos u\,,\ y = -u\sin u$

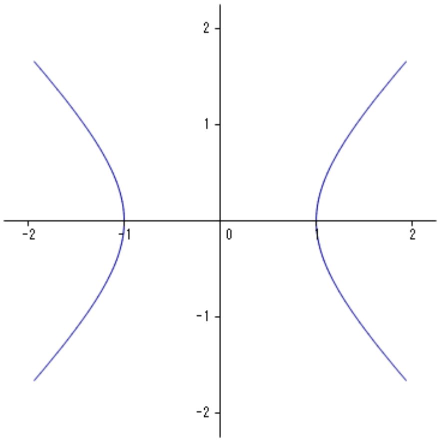


図 3.3c 双曲線

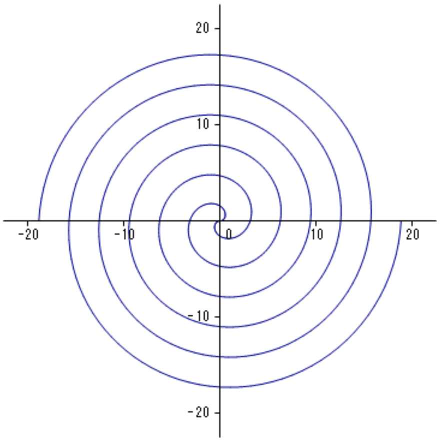


図 3.3d らせん

描画メニューの「モンテカルロ描画」は、陰関数のグラフ描画用に作られた追加機能である。テキ

ストボックスに $f(x,y)=0$ の形式で方程式を入力し、表示領域を両軸とも設定して（この場合は必須)、「描画」ボタンをクリックすると、方程式の解を表すグラフが表示される。描画の方法は、表示範囲内でランダムに x 値または y 値を与えて（どちらかをランダムに決める)、他の変数について、１変数方程式を解いて点を描画する方式なので、描画結果は１変量関数グラフやパラメータ関数グラフのようにきれいではなく、計算時間もかかる。しかし、方程式をそのまま記述するだけなので、１変量関数やパラメータ表示で書けない複雑な式でも解を求めることができる。例として図 3.4 に、この方法で描いた、$sin^2 x - tan\, y + x + y = 0$ と $e^{x+y} - sin\, y + xy - 1 = 0$ の２つのグラフを示す。いずれも、単純に１変量について解くことも、パラメータ表示にすることもできないグラフである。描画は線が太かったり、途切れたりして、決してきれいとは言えないが、陰関数をそのまま表示できるところは有用である。

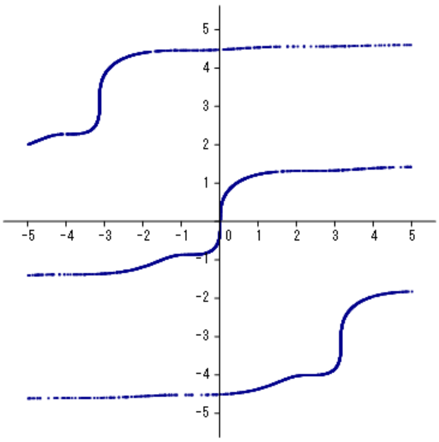


図 3.4a $sin^2 x - tan\, y + x + y = 0$ のグラフ

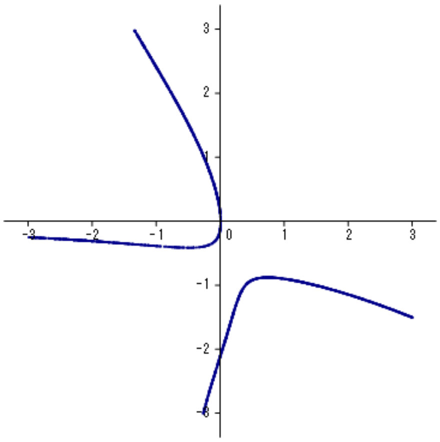


図 3.4b $e^{x+y} - sin\, y + xy - 1 = 0$ のグラフ

４．２変量関数グラフ

２変量関数グラフは、$z = f(x,y)$ の形の関数のグラフである。College Analysis のメニュー［分析－数学－２変量関数グラフ］を選択すると図 4.1 のような描画メニューが表示される。「数式 z ＝ 」のテキストボックスに描きたいグラフの関数形の右辺を入力し、x 軸の下限・上限、y 軸の下限・上限テキストボックスに数値を入力して、「グラフ描画」ボタンをクリックすると、z 軸目盛が適当な値になり、グラフが描画される。必要があれば、それぞれの目盛の分割数、z 軸の下限・上限を指定する。x 軸、y 軸の下限・上限で π 表示にすると、軸目盛は分数の π 表示となる。このグラフは１変量関数グラフと異なり、軸目盛の間隔は分割数で表わす。図 4.2a に$z = xe^{-x^2-y^2}$のグラフを、図 4.2b に $z = sin\, x + cos\, y$ の π 表示のグラフを示す。

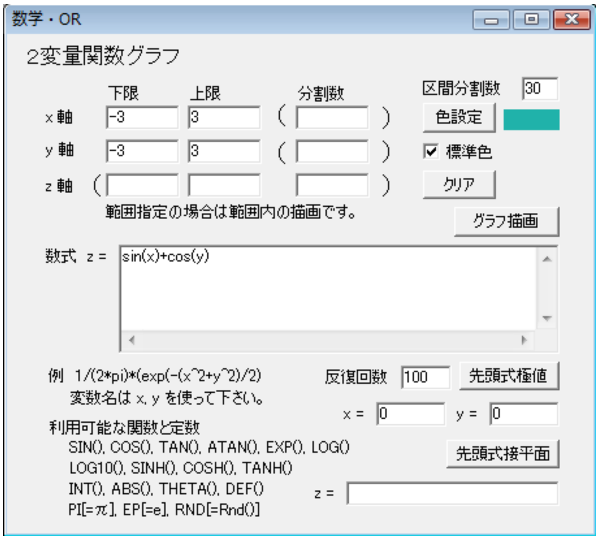


図 4.1　２変量関数メニュー

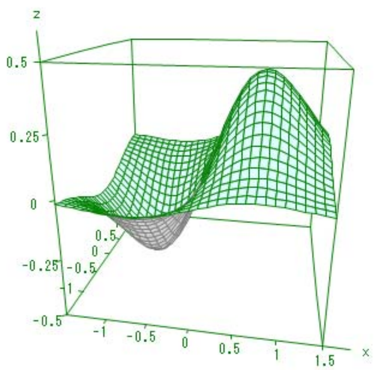


図 4.2a　$z = xe^{-x^2-y^2}$ のグラフ

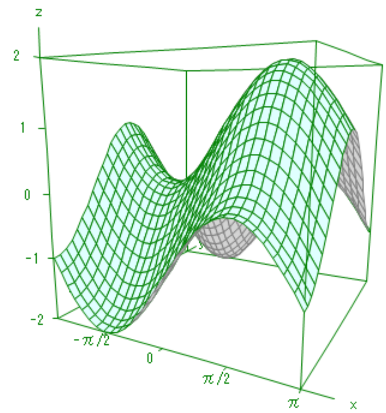


図 4.2b　$z = sin\,x + cos\,y$ のグラフ

１変量関数と同様、２変量関数の場合も複数のグラフの表示が可能である。図 4.3a は 2 つの関数を表示したもので、図 4.3b は色分けした３つの関数を表示したものである。このプログラムでは、１変量関数のプログラムと同様に、1 行目に書いた関数の表示領域内の極値を求めることができる。例えば $z = \sin x + \cos y$ のグラフで、描画メニューの「先頭式極値」ボタンをクリックすると、図 4.3 のように極値が表示される。ここに領域境界上の点は含めるようにしている。

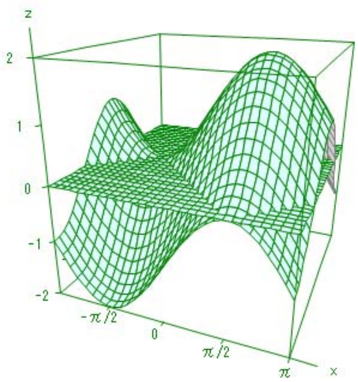


図 4.3a　２つの関数表示

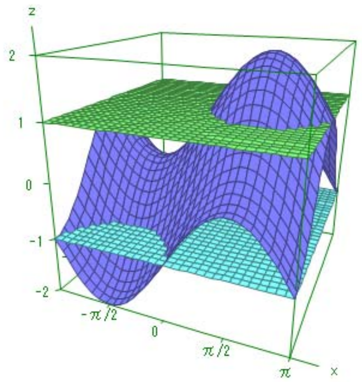


図 4.3b 色分けした３つの関数表示

計算結果（表示範囲内極値）

	解 1	解 2	解 3	解 4	解 5	解 6
X	-1.5708	-1.5708	-1.5708	1.5708	1.5708	1.5708
Y	-3.1416	0.0000	3.1416	-3.1416	0.0000	3.1416
極値	-2.0000	0.0000	-2.0000	0.0000	2.0000	0.0000
判定	極小	鞍点	極小	鞍点	極大	鞍点
収束解の個数	10	17	9	6	11	5

図 4.3 極値の表示

また、x, y 座標を指定し、「先頭式接平面」ボタンをクリックして、接平面の方程式を表示することができる。さらに、それを図に追加して表示することも可能である。例えば、$x = 1.5,\ y = -0.5$ の接平面は $z = 0.071x + 0.479y + 2.009$ で表わされ、それを表示すると図 4.4a のようになる。また、def( ) 関数を用いて、接平面の描画領域を半径 $\sqrt{2}$ の円形状に指定すると図 4.4b のようになる。但し、分割数を少し上げて、より円形に見えるようにしている。

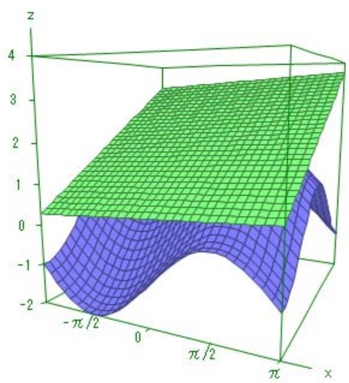


図 4.4a 接平面

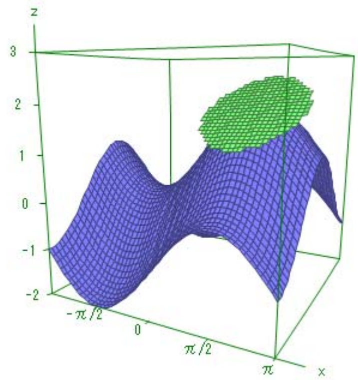


図 4.4b 領域を円形状に指定した接平面

さて、このプログラムで図形を描くには限界がある。例えば、$z=\sqrt{4-x^2-y^2}$ の式で半球を描こうとすれば、図 4.5a のように未定義の部分との境がきれいに表示されない。$z=\pm\sqrt{4-x^2-y^2}$ として、2つの関数を重ねて球体を表現しようとしても、図 4.5b のように描画されない部分も残るし、表面の裏表が変わる。

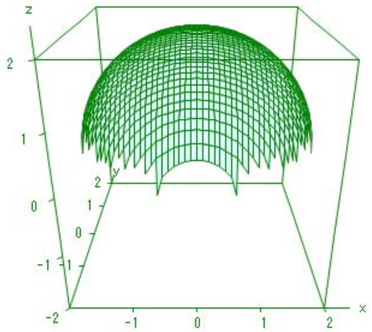


図 4.5a 上半分の球

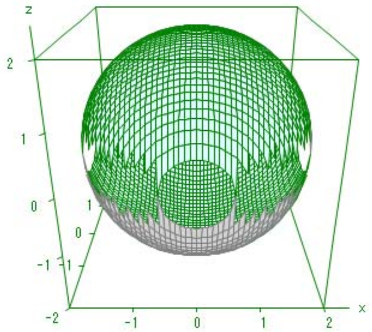


図 4.5b 2つの曲面を利用した球

この問題は2章の1変量関数より深刻である。何故なら2変量関数の場合、分割数をあまり大きく取れないからで、しかも分割数の値を調節してきれいに描くこともできない。また、裏表の問題は面の描き方にも影響する大きな問題である。これらを解決してきれいな半球や球を描くプログラムが5章の3次元パラメータ関数である。

5. 3次元パラメータ関数

4章で述べたように、通常の2変量関数は1価関数であるので、球やトーラス等の形状を表現することはできない。我々はこのような関数を表示するために、図形を3次元パラメータ関数として表現するプログラムを作成した。3次元パラメータ関数は2変量パラメータ関数とも呼ばれ、ある範囲の値をとる2つのパラメータ u,v を用いて、$x=f(u,v),\ y=g(u,v),\ z=h(u,v)$ の形で表わされる関数である。

メニュー「分析－数学－3次元パラメータ関数」を選択すると、図 5.1 のような描画メニューが表示される。利用法は、「u 変数」、「v 変数」テキストボックスにパラメータ u,v の範囲を記述し、大きなテキストボックスの、「x =」、「y =」、「z =」の位置に u,v で表わされた関数形を記述して、「グラフ描画」ボタンをクリックする。例えば、4章の半球の場合は以下のようにする。

描画範囲：$0\le u\le \pi/2,\ 0\le v\le 2\pi$ （テキストボックス内で 2π は 2*pi で表わす。）

関数： $x=2\sin u\cos v,\ y=2\sin u\sin v,\ z=2\cos u$

グラフは、図 5.2a が半球で、図 5.2b が球の場合である。球の場合、描画範囲を$0 \leq u \leq \pi$ に変え、u 分割数を２倍にしている。

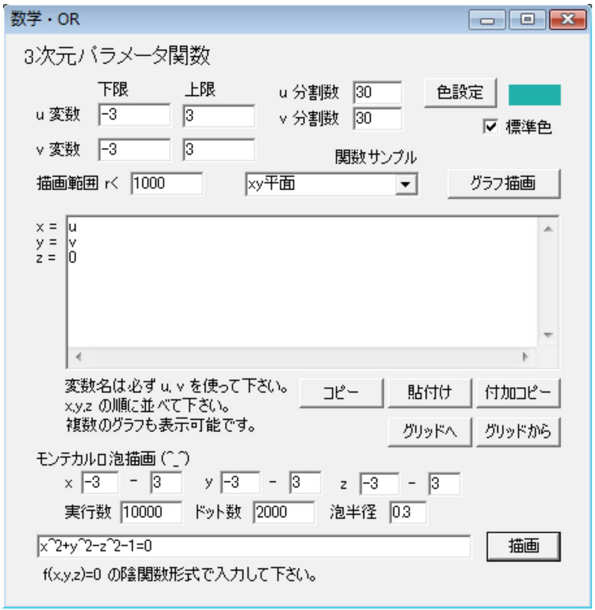


図 5.1　３次元パラメータ関数描画メニュー

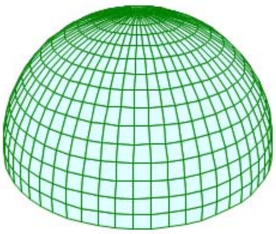


図 5.2a　半球の表示

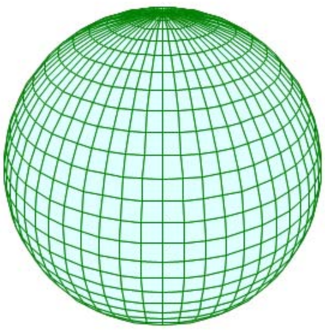
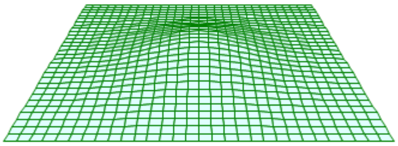


図 5.2b　球の表示

　このプログラムでは、軸表示や描画範囲の表示も可能であるが、３Ｄビューアに標準で備わった機能を利用するので、詳細な設定はできない。また、図形の形が重要であるため、描画はすべての軸を同じスケールにしている。例えば２変量標準正規分布（相関 0）の密度関数を３次元パラメータ関数と２変量関数、２つの表示法によって描くと、図 5.3a と図 5.3b のようになる。これらは目的に応じて使い分ける必要がある。



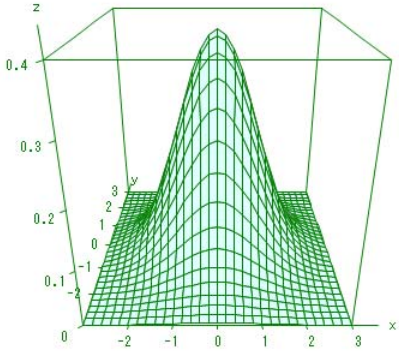


図 5.3a　3 次元パラメータ関数表示　　図 5.3b 2 変量関数表示

「関数サンプル」コンボボックスには参考のための、以下のようなサンプルが入っている。これらのグラフは図 5.4 に示す。

円筒

描画範囲：$0 \le u \le 2\pi,\ 0 \le v \le 20$

関数：　$x = 5\cos u,\ y = 5\sin u,\ z = v$

メビュウス

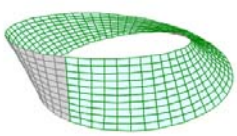
描画範囲：$0 \le u \le 2\pi,\ -3 \le v \le 3$

関数：　$x = (10 - v\sin(u/2))\cos u,\ y = (10 - v\sin(u/2))\sin u,\ z = v\cos(u/2)$

トーラス

描画範囲：$0 \le u \le 2\pi,\ 0 \le v \le 2\pi$

関数：　$x = (10 + 5\sin u)\cos v,\ y = (10 + 5\sin u)\sin v,\ z = 5\cos u$



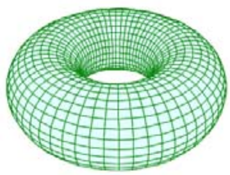


図 5.4a 円筒　図 5.4b メビュウス　図 5.4c トーラス

これらの他に、少し工夫をすると様々な図形が表示可能である。図 5.5 に簡単な例を示す

円錐

　描画範囲：$-3 \leq u \leq 3,\ 0 \leq v \leq 2\pi$

　関数：　　$x = u\,cos\,v$，$y = -u\,sin\,v$，$z = u$

巻貝のような図形

　描画範囲：$0 \leq u \leq \pi,\ 0 \leq v \leq 4\pi$

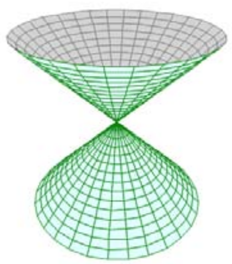
　関数：$x = 5(1+u)(1+v)\,sin\,u\,cos\,v$，$y = 5(1+u)(1+v)\,sin\,u\,sin\,v,$

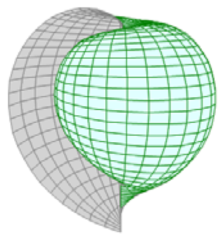
　　　　$z = 5(1+u)(1+v)\,cos\,u$

歪んだトーラス

　描画範囲：$0 \leq u \leq 2\pi,\ 0 \leq v \leq 2\pi$

　関数：　　$x = (10 + 5\,sin\,u)\,cos\,v$，$y = (10 + 5\,sin\,u)\,sin\,v$，$z = 5\,cos\,u + 5\sin 2v$





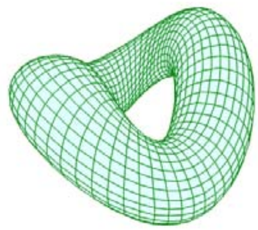
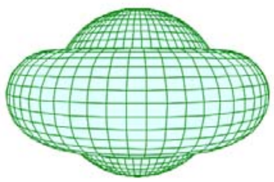
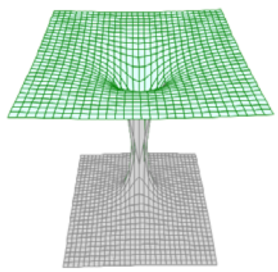


図 5.5a 円錐　　図 5.5b 巻貝のような図形　　図 5.5c 歪んだトーラス

　このプログラムでは、複数組の数式を並べて書くことによって、２つ以上のパラメータ関数を同時に表示することができる。式は省略するが、図 5.6 に複数の図形を組み合わせた例を示す。図 5.6a と図 5.6b は２つの図形、図 5.6c は４つの図形である。





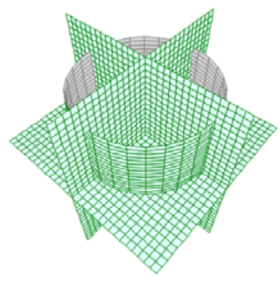


図 5.6a ２つの図形１　　図 5.6b ２つの図形２　　図 5.6c ４つの図形

複数の図形は２変量関数の場合と同様に、色で塗り分けることもできる。

　３次元パラメータ関数は、複雑な表記のものが多いので、数式データをグリッドエディタに保存できるようにしている。図形を描いた後、描画メニューで、「グリッドへ」ボタンをクリックすると、

描画データが、グリッドエディタの現在のページへ保存される。例えば半径 5 の球の場合、グリッドデータは図 5.7 のようになる。

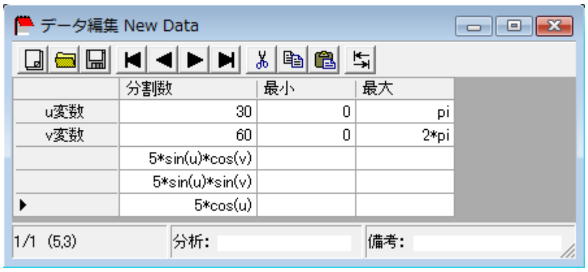


図 5.7 グリッドへ保存された関数データ

これには、関数形だけでなく、u, v 変数の範囲や描画の際の分割数も保存されている。

この関数は場合によって非常に大きな描画範囲に渡ることがあるので、予め描画の最大値を中心からの距離で、「描画範囲」テキストボックスに入力しておく。描画要素の一部がこの範囲を超えると、その要素は描画されない。

表示する関数式をワープロ等にコピーする場合、普通にコピーする場合は「コピー」ボタンを利用するが、変数の範囲や分割数などもコメントとして追加してコピーすることもできる。その際は「付加コピー」ボタンをクリックする。例えば球では以下のような形式でデータがクリップボードにコピーされる。

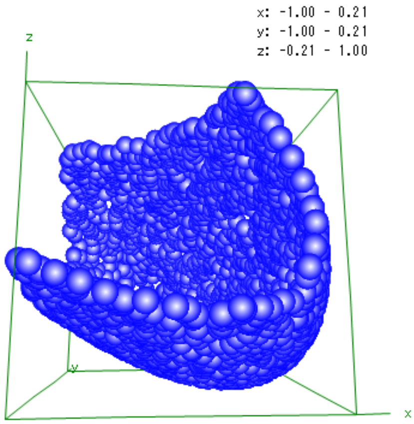
```
5*sin(u)*cos(v)
5*sin(u)*sin(v)
5*cos(u)

# u 下限：0
# u 上限：pi
# v 下限：0
# v 上限：2*pi
# u 分割数：30
# v 分割数：30
```

この表示を数式入力用のテキストボックスにそのまま貼り付けた場合、先頭に「#」の付いた行はコメント行となる。

実用的とは言えないが、3 次元陰関数グラフも表示できるように、“おまけ”として「モンテカルロ泡描画」というものを作ってみた。2 次元の場合と異なり、3 次元空間では、ドットで点を打っても位置が認識しにくく、面が繋がったように表示するには、描画の点が莫大な数になり、実用的ではない。そのため、精度は落ちるが、球で描画し、関数の繋がりを表現できるようにしてみた。描画方法は、空間の 2 軸を乱数で選択し、残りの変数について方程式を解くという処理を行っている。この処理には各軸の描画範囲が必要であるため、必ず描画の下限と上限を入力し、「描画」ボタンをクリックする。図 5.8 にこの方法で描いた見た目に怪しいグラフを表示している。図 5.8a は 2,000 点、

図 5.8b はかなり精度を上げて、30,000 点の描画で、色付けをしている。とにかく楽しんでもらいたいと思う。



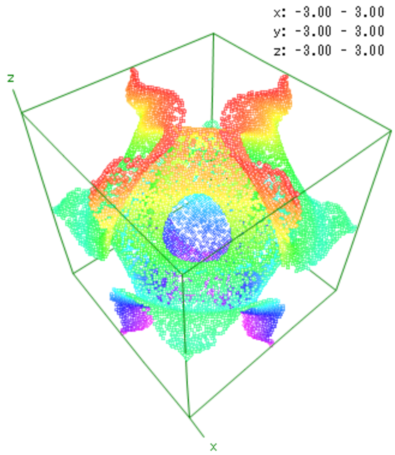


図 5.8a $e^{x+y}+(y+z)^2+(z+x)^2-1=0$ のグラフ　図 5.8b $xyz-sin(x^2+y^2+z^2)=0$ のグラフ

もっとうまいアルゴリズムを見付けて、きれいな図が描けるようになった際には、正式な機能としたい。

６．おわりに

我々はグラフ表示用に４つのプログラムを作成したが、１変量関数グラフと２変量関数グラフはすでに作られたものを改良した。１変量関数グラフでは、軸目盛の表示機能の強化、x 切片の表示機能と変曲点の表示機能の追加、極値の表示の並び（昇順）についての改良、２変量関数グラフでは、軸目盛の表示機能の強化（特に π 表示）、軸の分割数の変更機能の追加、極値の表示の並び順についての改良を行った。

１変量関数グラフと２変量関数グラフでは軸目盛の間隔の表示法に違いがある。前者では分割幅を記入し、後者では分割数を入力する。どちらかに統一すべきかと考えるが、分割幅を入力する場合、入力が直感的で容易になり、分割数を入力する場合、３D ビューアでの表示が容易になるという利点がある。現在はそれぞれの利点を考えて、使い分けているが、今後変更する可能性もある。

３次元パラメータ関数グラフは、通常考えるグラフより図形に近いので、軸の細かな設定は取り入れておらず、描画範囲を表示するに留めている。３次元パラメータ関数グラフで複数の図形を表示する場合、パラメータの分割数を図形ごとに変えると描画がきれいになるが、我々のプログラムではメニューの煩雑化を避けて、パラメータの範囲や分割数は１種類だけとしている。どうしても必要な場合は、変数が正の部分だけで 0 に定義された def( ) 関数を式に加えて、パラメータの変化の範囲を限定することを考えるとよい。例えば $0 \le u \le 2$ の場合、分割数を半分にしたいのであれば、def $(1-u)$

を式に加えて、パラメータ u を $2u$ に置き換えるとよい。我々は数式で利用できる関数の中に def() 関数を加えたが、パラメータ関数では、これは単に描画の範囲を限定するだけでなく、分割数の調整にも役立つ便利な関数である。

１変量関数グラフや２変量関数グラフでは、極値等を求めることができたが、それらが未定義の領域との境界の近くにある場合には、求められないことがある。解がないわけではないので、十分注意する必要がある。

最後に、グラフの描画は、Mathematica 等の数式処理ソフトでは、素晴らしい結果が得られる。少しでも近づけたいと努力しているが、陰関数表示などは現時点では全く歯が立たない。今後の課題は大きい。

参考文献

１）College Analysis における「２変量関数表示ユーティリティ」の構造と機能，石丸敬二，福井正康，福山大学経済学論集，第 35 巻, 2 号, (2010) 87-106.

２）社会システム分析のための統合化プログラム 16 －３Ｄビューアとその応用－，福井正康，尾崎誠，石丸敬二，福山平成大学経営研究，７号, (2011) 111-127.

３）College Analysis における３次元グラフィック出力環境の開発，福井正康，石丸敬二，尾崎誠，日本教育情報学会第 27 回年会論文集，(2011) 290-291.

Multi-purpose Program for Social System Analysis 19

- Function Graph, Parameter Function Graph -

Masayasu FUKUI and *Keiji ISHIMARU

Department of Business Administration, Faculty of Business Administration,
Fukuyama Heisei University
* Department of Economics, Faculty of Economics,
Fukuyama University

Abstract

We have been constructing a unified program named College Analysis on the social system analysis for the purpose of education. This time we revise programs that draw univariate and bivariate functions and create new programs that draw two dimensional and three dimensional parameter functions. Especially, process of considering the functional forms of three dimensional parameter functions is interesting because the shapes of these functions are strange and beautiful.

Keywords

College Analysis, social system analysis, OR, statistics, rough set analysis

URL: http://www.heisei-u.ac.jp/ba/fukui/