

コンピュータ概論

防衛大学校機能材料工学科 阿部 洋

はじめに

日本人とアメリカ人がコミュニケーションするには「英語」か「日本語」が必要である。それと同じように人間とコンピュータが会話するためには「プログラム言語」が必要になる。この授業では、英単語や英文法に相当することを学ぶ。

「プログラム言語」はたくさんあるが、その中で BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) は初心者が学ぶにはわかりやすい言語である。特に EXCEL には BASIC が標準で準備されているので、新たにプログラム言語を買う必要がない。また、計算結果を EXCEL で簡単にグラフ化できるメリットもある。

まず、EXCEL で表計算(統計計算)とデータのグラフ化を学習する。その後、マクロ(決まりきった手順の自動化)とマクロの限界を学び、マクロをカスタマイズして汎用のプログラムに作り変える。多くの例題を通じて、VBA (Visual Basic for Applications) を習得する。最終的に簡単な数値計算ができるようになり、学生実験や卒業研究でのデータ処理・解析、計算機シミュレーションが無理なくできることを目的とする。

目次

1. エクセルの基礎	
1.1 セルの参照	4
1.2 オートフィル	7
1.3 関数	10
1.4 グラフ	18
1.5 最小二乗法	23
2. エクセルのマクロ	
2.1 定型作業	27
2.2 マクロの編集	30
2.3 マクロの限界	35
3. VBA(Visual Basic for Applications)の基本	
3.1 VBA の構成	36
3.2 VBA の操作法	40
3.3 プログラムを構成する単語	45
4. Basic のプログラミング	
4.1 For 文	50
4.2 条件判断	55
4.3 繰り返し	59
4.4 配列	62
4.5 プロシージャ	65
4.6 ファイル処理	71
5. VBA の応用	
5.1 VBA のデバッグ	74
5.2 コントロール	
6. 数値計算	

1. エクセルの基礎

§ 1.1 セルの参照

セルは Excel のワークシートを構成している最小のユニットである。横のセルを『行』、縦のセルを『列』と呼ぶ。つまり、Excel は『セル』 『行・列』 『ワークシート』 の階層構造となっている。Excel のワークシート上で表計算をするには、セルの場所をはっきりさせないといけない。ここではセルの場所の表し方を中心に学ぶ。

Check Point

1. 行、列、セルの選択範囲の表し方を覚える。
2. 相対参照と絶対参照の違いを把握する。

1.1.1 セル、行、列、ワークシート

『Sheet1』ワークシートの『1』行、『A』列がアクティブになっている。『Sheet2』をクリックすると『Sheet2』ワークシートに移る。

また、『挿入(I)』の『ワークシート』でワークシートを追加することができる。

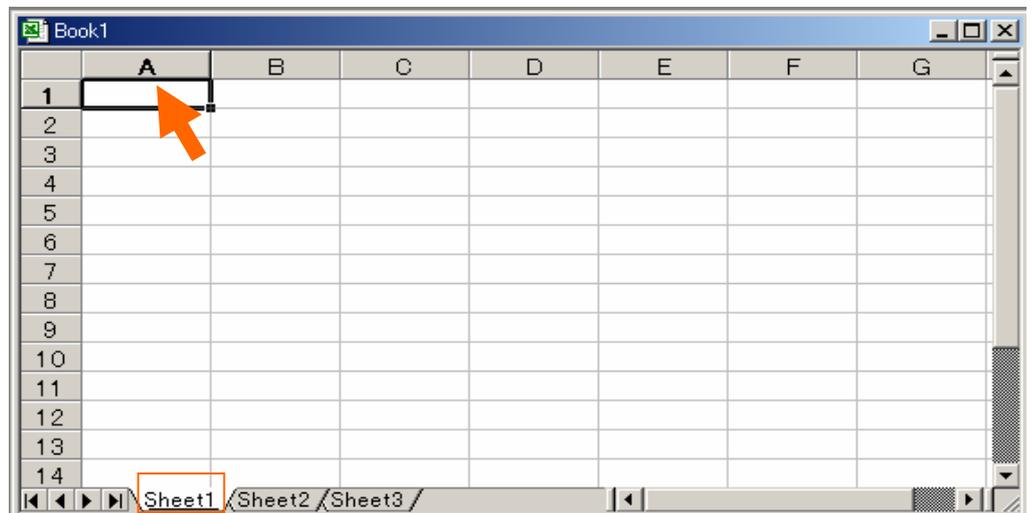


図 1.1.1

次に、数値や文字が入るセルについて説明する。図 1.1.2 で 10 行・A 列のセルがアクティブになっていて、実際に『A10』と表示される。

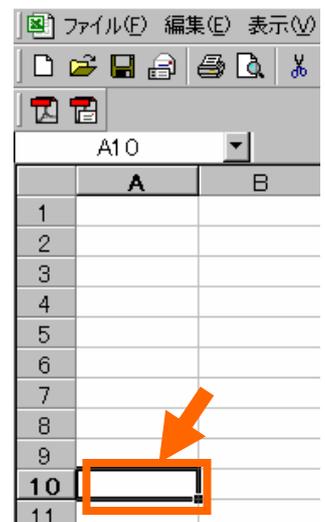


図 1.1.2

複数のセルをアクティブにする場合、例えば『A1』セルをアクティブにして、マウスの左クリックを押しながら『A10』まで移動することによって指定することができる(図1.1.3)。

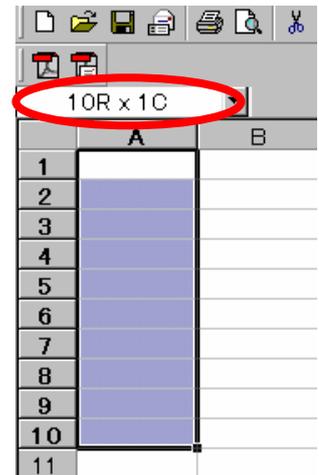


図 1.1.3

『1 ~ 10』行、『A』列のセル範囲は、プログラム上『A1:A10』と表される。ここで、『:(コロン)』は ~ の意味である。

Excel では、『10R x 1C』と表示される。

10R x 1C の意味 :

Row (行)

Column (列)

10行 x 1列のセルという意味。

『2』行、『A ~ D』列のセル範囲は、『A2:D2』は、図1.1.4のようになる。

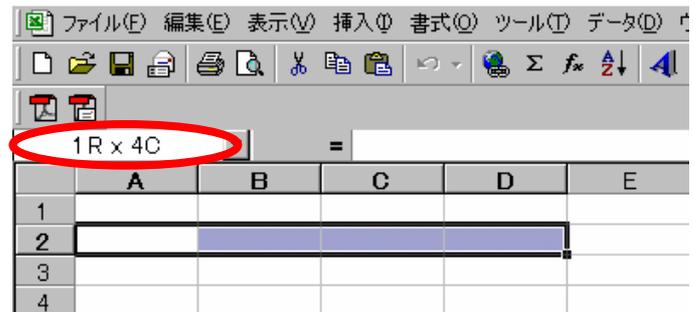


図 1.1.4

『B』列のすべてのセルは『B:B』となる(図1.1.5)。

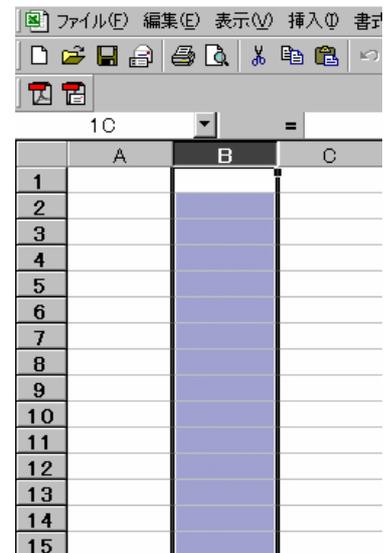


図 1.1.5

行 2 のすべてのセルは『 2:2 』となる。(図 1.1.6)

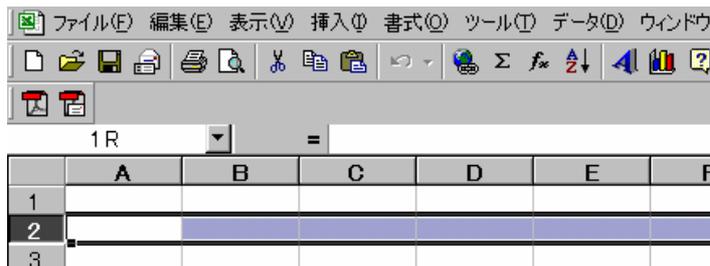


図 1.1.6

1.1.2 絶対参照と相対参照

セルを選択するとき、絶対参照と相対参照の 2 通りの方法がある。実行する処理によって、数式が入力されているセルを基点にして他のセルを参照する相対参照、または特定の位置にあるセルを常に参照する絶対参照を使うことができる。

絶対参照の表示：

数式が入力されているセルの位置に関係なく、参照するセルの絶対的なアドレスを指定する形式。絶対参照は **A1 形式** では『 **\$A\$1** 』、**R1C1 形式** では『 **R1C1** 』のように表されます。

A1 形式： 列のアルファベットと行番号でセルを特定する方式。

R1C1 形式： 列、行ともに数字で特定する方法。基準となるセルから何行目、何列目といった相対的な参照方式。

具体例：

- R[-2]C 同じ列で 2 行上のセルを表す**相対参照**
- R[2]C[2] 2 行下で 2 列右のセルを表す**相対参照**
- R2C2 2 行の 2 列にあるセルを表す**絶対参照**
- R[-1] アクティブ セルの 1 つ上の行全体を表す**相対参照**
- R アクティブ セルのある行を表す**絶対参照**

課題 1. セル、行、列、シート、ブックの関係を書け！

課題 2. 絶対参照の長所と短所を述べよ。

§ 1.2 オートフィル

同じ値を繰り返す場合や各種の連続データを自動的に入力するときに便利である。

Check Point

1. 連続データの増大値をマスターする。

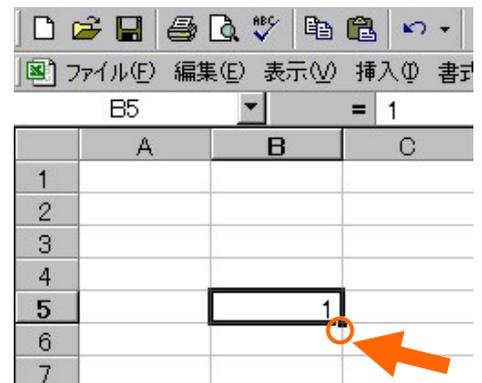
1.2.1 同じ数値の入力

数個の同じ数値をセルに入力するときは、手を入れたほうが早いですが、例えば、100 個の『1』を入力するときはオートフィルという機能を使うと簡単にできる。

適当なセルに『1』を入力する (図 1.2.1)

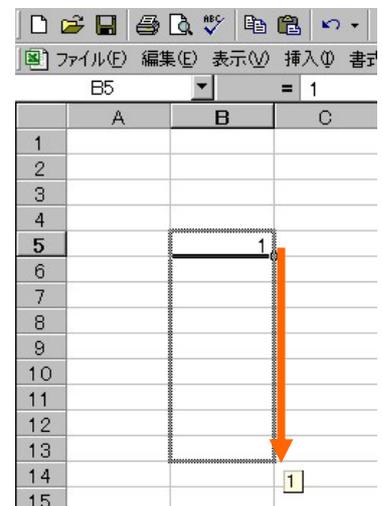
マウスポインターを**セルの右下のマーク**に持っていく
(マウスポインターのマークが変わる)

図1.2.1



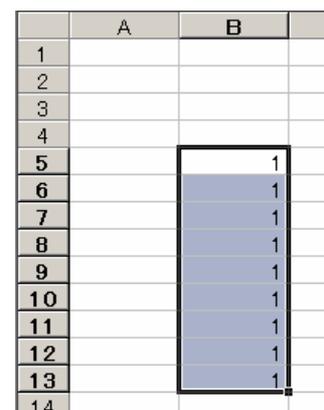
左クリックを押しながらマウスを下に移動する (図1.2.2)

図 1.2.2



同じ値がコピーされる。(図 1.2.3)

図 1.2.3



課題 1. 横に「1」を 10 個並べなさい。

課題 2. 「月」をオートフィルするとどうなるか？

1.2.2 連続データの入力

1 つずつ増大

初期値 『 1 』 を入力する (図 1.2.4)

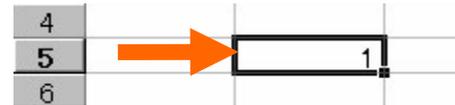


図 1.2.4

セルの右下にマウスポインターを持っていき、マウスのマークが変わったら、**右クリック**をしながら下に移動する (図 1.2.5)。

右クリックを離すと、メッセージ・ボックスが表示されるので『**連続データ(S)**』を選択する (図 1.2.5)。

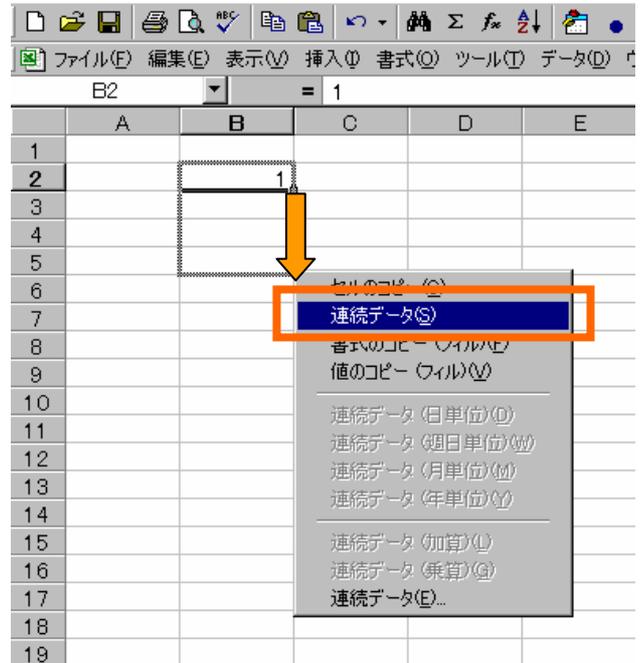


図 1.2.5

初期値 『 1 』 から連続的に 1 ずつ増える (図 1.2.6)。

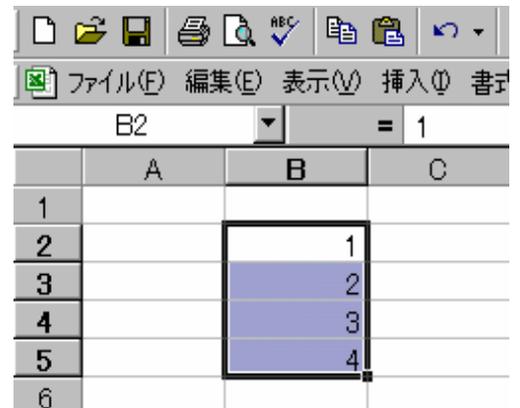


図 1.2.6

課題 1. 下から上へ数値を増大させなさい！

任意に増大
右クリック+移動後に現れるウィンドウで
 『**連続データ(E)**』を選択する(図1.2.7)。

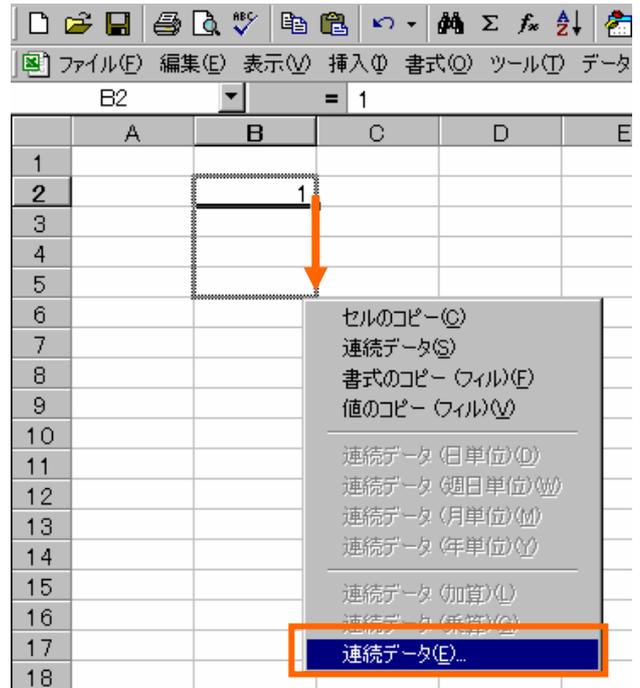


図 1.2.7

新たにウィンドウが表示されるので**増大値**を変更する(図1.2.8)。

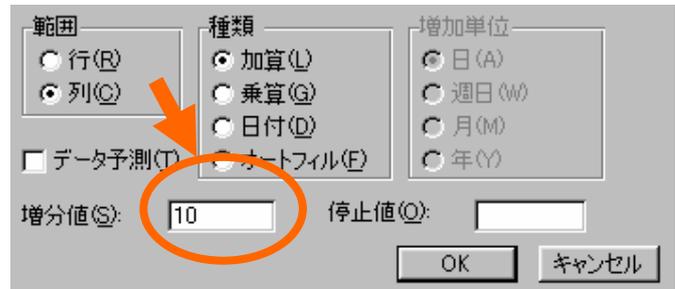


図 1.2.8

初期値『1』から10ずつ増大して入力される(図1.2.9)。

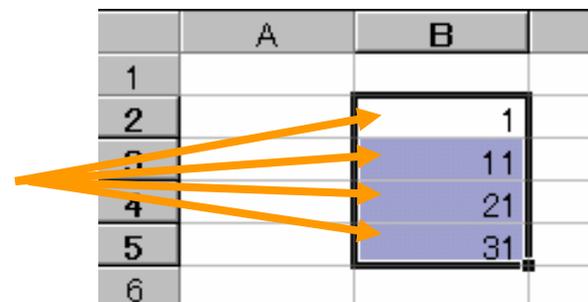


図 1.2.9

課題 1. 縦に 1 から 100 まで奇数を表示しなさい。

課題 2. 0, 10, 20, . . . , 360 の数字を発生させなさい。

§ 1.3 関数

Excel は財務関数、情報関数、論理関数、検索関数および行列関数、数学関数および三角関数、統計関数、文字列操作関数など数多くの関数を持つ。これらの関数をうまく使って、表計算が簡単に行える。

また、複数の数式を組み合わせた複雑な計算をする時、ユーザー設定の関数を作成することができる。これらの関数は、ユーザー定義関数と呼ばれ、2章の「エクセルのマクロ」で詳しく述べる。

Check Point

1. 関数を用いて、データ数の多い計算を行う。
2. 算術演算子、比較演算子、文字列演算子、参照演算子の演算子をマスターする。

1.3.1 計算演算子

加算、減算、乗算、除算、べき算などの基本的な計算を行う。数学の表記と異なるので注意する。

+	(プラス記号)	加算	$2 + 3$
-	(マイナス記号)	減算、負の数	$1 - 5$ 、 -20
*	(アスタリスク)	乗算	2×3
/	(スラッシュ)	除算	$1 / 10$
^	(キャレット)	べき算	10^5
mod		整数除算の余り	

演算子の優先順位

1. 括弧で囲まれたもの $(1 + 3)$
2. 関数 $\sin(1.0)$
3. べき算 $10 ^ 5$
4. 負符号 $- 2.5$
5. 乗算、除算 $1 * 3$ 、 $2 / 3$
6. 整数の除算 $5 \text{ \textyen } 3$ (エクセルの表計算で無効、Basic で有効)
7. 整数の余り $7 \text{ mod } 2$ (エクセルの表計算で無効、Basic で有効)
8. 加算、減算 $5 * 3$ 、 $1 / 3$

計算の表記法

$\frac{1 \times 3}{5 \times 9}$ の計算は、 $1 * 3 / 5 / 9$ もしくは、 $1 * 3 / (5 * 9)$ と書く。

課題 1. $10^2 * 2 / 3 - (3 + 4) / 2 / 3$ の答えは？

消費税の計算

A1 から A4 に適当な数値を代入する (図 1.3.1)。

	A	B
1	1500	
2	980	
3	380	
4	260	
5		
6		

図 1.3.1

B1 に『 **=A1*1.05** 』と代入する(図 1.3.2)。
『 = 』は計算結果をこのセルに代入しなさい
という意味である。

	A	B	C
1	1500	=A1*1.05	
2	980		
3	380		
4	260		
5			

図 1.3.2

マウスポイントを B1 セルの右下にもって
いき、左クリックを押しながら下に移動させる。
(図 1.3.3)

	A	B	C
1	1500	1575	
2	980		
3	380		
4	260		
5			

図 1.3.3

自動的に消費税の計算が行われる (図 1.3.4)。

	A	B	C
1	1500	1575	
2	980	1029	
3	380	399	
4	260	273	
5			

図 1.3.4

A1 セルを 2000 にすると、リアルタイムに
消費税の計算をし直す (図 1.3.5)。

	A	B	C
1	2000	2100	
2	980	1029	
3	380	399	
4	260	273	
5			

図 1.3.5

課題 1. 512 は 2 の何乗か？

$$\frac{d}{dx}e^x = e^x \text{ の証明}$$

まず、 x の値としてオートフィルで『 -1 ~ 1 』（0.1 間隔）の数字を発生させる（図 1.3.6）。

次に与えられた x に対応する指数関数 $f(x) = e^x$ の値を求める。B 行で $f(x)$ の計算を行う（図 1.3.7）。B4 セルに『 = EXP(A4) 』と代入する。左クリックを押しながらマウスを下へ移動させる。

$f(x)$ の微分（関数の傾き）の計算は、近似的に以下の式で計算できる。

$$\frac{df(x)}{dx} = \lim_{dx \rightarrow \infty} \frac{f(x+dx) - f(x)}{dx} \cong \frac{f(x+dx) - f(x)}{dx}$$

dx の値によって、傾きの近似度が変化する。図 1.3.7 のように C1 セルに dx の値を入力する。

dx を絶対参照で表記すると、『 \$C\$1 』となる。 $f(x)$ は、『 EXP(A4) 』となるので、 $f(x+dx)$ は、『 EXP(A4+\$C\$1) 』と書き表せる。

	A	B	C
1		dx	0.001
2			
3			
4	-1		
5	-0.9		
6	-0.8		
7	-0.7		
8	-0.6		
9	-0.5		
10	-0.4		
11	-0.3		
12	-0.2		
13	-0.1		
14	0		
15	0.1		
16	0.2		
17	0.3		
18	0.4		
19	0.5		
20	0.6		
21	0.7		
22	0.8		
23	0.9		
24	1		
25			

図 1.3.6

傾きの近似計算は、C4 セルに『 = (EXP(A4+\$C\$1) - EXP(A4)) / \$C\$1 』
同様に、左クリックを押しながらマウスを下へ移動させると、各 x の値の傾きが求められる（図 1.3.8）。

	A	B	C
1		dx	0.01
2			
3			
4	-1	=EXP(A4)	
5	-0.9		
6	-0.8		
7	-0.7		

図 1.3.7

dx の値（C1 セル）を小さくすると近似度が上がっていくことが分かる（図 1.3.8）。

$f(x)$ と $f(x)$ の傾きの値がほぼ等しくなる。

	A	B	C	D	E	F
1		dx	0.01			
2						
3						
4	-1	0.367879))/\$C\$1			
5	-0.9	0.40657				
6	-0.8	0.449329				
7	-0.7	0.496585				

図 1.3.8

1.3.2 関数を用いた計算

簡単な $y = \sin(x)$ の計算を行う。

x の値として 『 0, 10, 20, 30, . . . , 360 』 の数字をオートフィルで発生させる (図1.3.9)

	A	B	C
1			
2		0	
3		10	
4		20	
5		30	
6		40	
7		50	
8		60	
9		70	
10		80	
11		90	
12		100	
13			

図 1.3.9

C2 セルに 『 = sin(B2*pi()/180) 』 と入力する (図 1.3.10)。

	A	B	C	D	E	F
1						
2		0	=sin(B2*pi()/180)			
3		10				
4		20				
5		30				

図 1.3.10

注意：

三角関数の計算では必ずラジアンでなければならない。『 pi() 』は円周率である。
『 = 』を忘れないように！

例) 72°は何ラジアン？

$$x \quad : \quad = \quad 72^\circ \quad : \quad 180^\circ$$

(ラジアン) (ラジアン)

$$x = 72 \frac{\pi}{180}$$

関数とは？

(引数) の形で表される。『 = (イコール) 』は関数の値を代入しなさいという意味である。

『 pi() 』は円周率の関数である。どんな変数でも 3.14159 . . . と一定なので引数はいらぬ。

オートフィルと同様にC2セルの右下にマウスポイントをもっていき、マウスポインタが変わったら、**左クリック**しながらマウスを下に移動しクリックを止める（図1.3.11）。

C2セルの部分が自動的に C3, C4, C5, ... と変わり、『**0 ~ 360°**』までの **sin** を計算する。

	A	B	C	D
1				
2		0	0	
3		10	0.1736	
4		20	0.342	
5		30	0.5	
6		40	0.6428	
7		50	0.766	
8		60	0.866	
9		70	0.9397	
10		80	0.9848	
11		90	1	
12		100	0.9848	
13				

図 1.3.11

sin180° が0でない! ?

『 **1.22515E-16** 』という計算結果が得られる。この E は 10 の -16乗 という意味である。つまり、 1.22515×10^{-16} と同等である。数値計算の丸め誤差のため、厳密に0にならない！
4章の「Basicのプログラミング」で誤差について説明する。

課題 1. $\sin(x) \times \sin(x)$ と $\sin(x) \times \sin(3x)$ の計算をなさい。

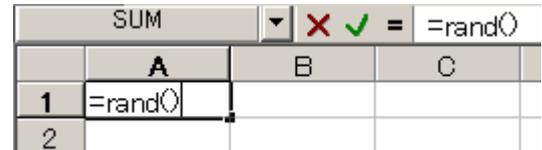
課題 2. $\sin(x) \times \cos(x)$ の計算をなさい。

1.3.3 いろいろな関数

他にも知っておくと役に立つ関数がたくさんある。

乱数

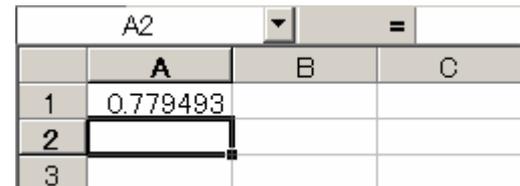
A1セルに『**=rand()**』と入力する(図 1.3.12)。『Enter』で『**0 A1セル < 1**』の範囲の乱数が発生する(図 1.3.13)。



	A	B	C
1	=rand()		
2			

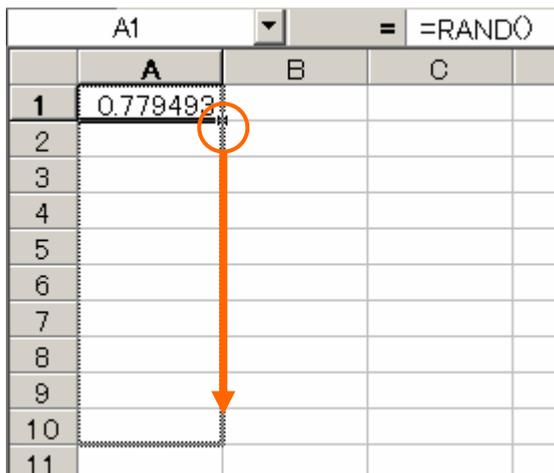
図 1.3.12

また、図 1.3.14のように、A1セルの右下にマウスポイントをもっていき、左クリックしながら下に移動する。新たな乱数がセルに現れる(図 1.3.15)。



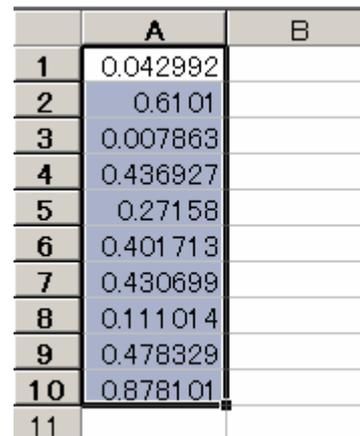
	A	B	C
1	0.779493		
2			
3			

図 1.3.13



	A	B	C
1	0.779493		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

図 1.3.14



	A	B
1	0.042992	
2	0.61101	
3	0.007863	
4	0.436927	
5	0.27158	
6	0.401713	
7	0.430699	
8	0.111014	
9	0.478329	
10	0.878101	
11		

図 1.3.15

課題 1. 整数化の関数 INT() を使って、全くでたらめな二桁の整数を発生させなさい。

和、平均、標準偏差

乱数を 10 個発生させる。和を求める関数は『 **SUM()** 』である。例えば、図 1.3.16 のように乱数を 10 個発生させてその和を求めるには A11 セルに『 **=SUM(A1:A10)** 』と入力する。

平均は、関数『 **AVERAGE()** 』で計算される。同様に『 **=AVERAGE(A1:A10)** 』の入力で簡単に平均が求まる。

標準偏差の関数は『 **STDEV()** 』である。実際の計算では『 **=STDEV(A1:A10)** 』となる。

	A	B
1	0.521143	
2	0.913062	
3	0.392957	
4	0.444316	
5	0.84319	
6	0.18068	
7	0.666036	
8	0.34771	
9	0.073379	
10	0.863895	
11	=sum(A1:A10)	
12		

図 1.3.16

課題 1. 乱数の平均を計算する時、乱数の個数が多いほど平均が 0.5 に近づくことを示せ。

EXCEL のいろいろな関数

EXCEL はいろいろな関数を持っている。どのような関数があるのかを調べるには、『 **挿入(I)** 』のプルダウンメニューの中の『 **関数(F)** 』を選択する(図 1.3.17)。

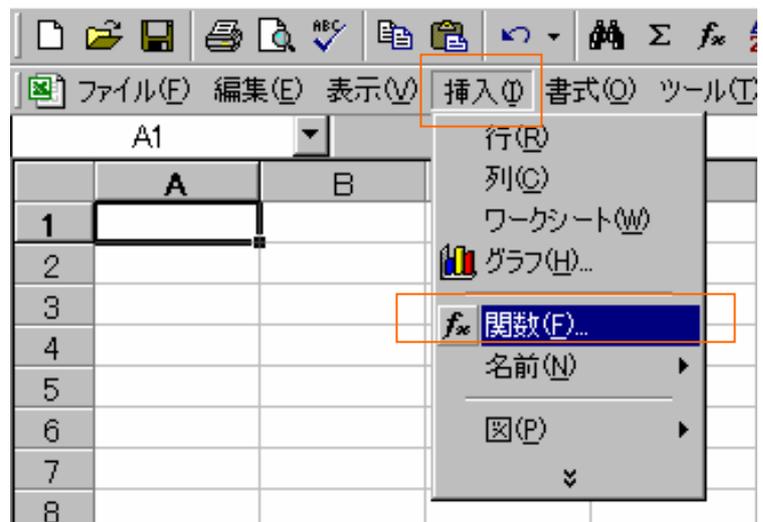


図 1.3.17

図 1.3.18 のようなウィンドウが現れる。選択された関数の説明が表示される。関数をダブルクリックするとセルに関数が自動的に表示される。この方法を用いると関数のスペルを間違えることがなくなる。

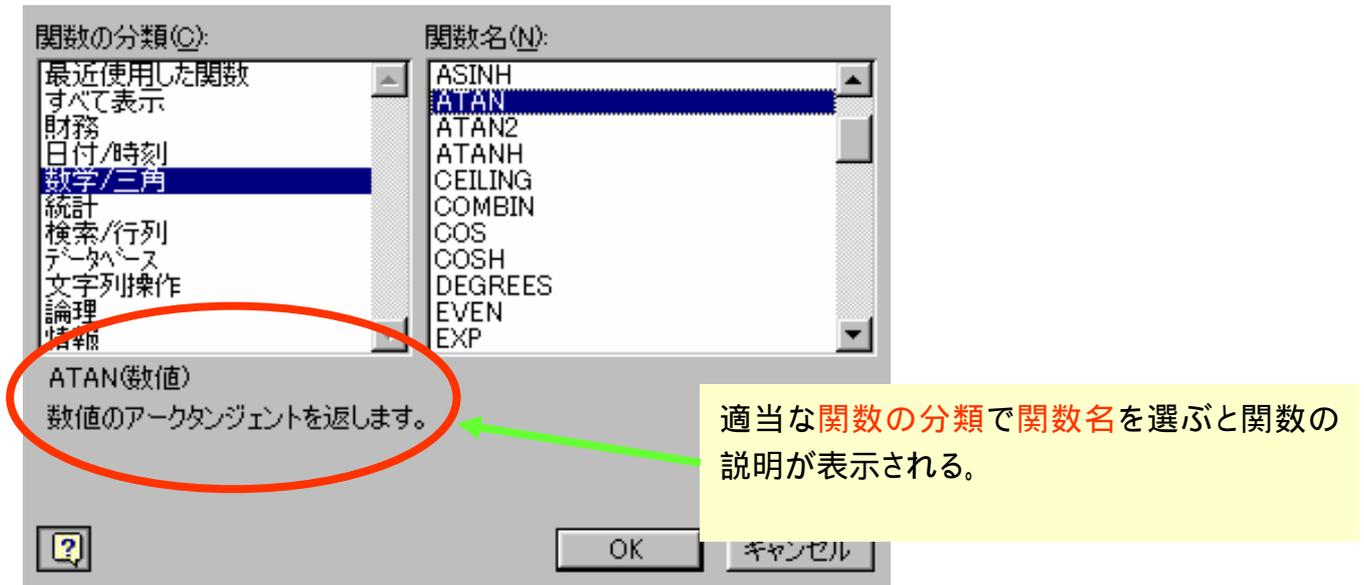


図 1.3.18

ヘルプも参考にして、いろいろな関数を使ってください！

§ 1.4 グラフ

これまで簡単な表計算を行ってきた。これらの計算結果をグラフにすると分かりやすくなる。EXCEL は数多くの種類のグラフ機能を持っているが、学生実験や卒業研究などで最も使われる散布図を中心に進める。

Check Point

1. ワークシートのデータをグラフにする。

1.4.1 グラフ化

まず、『0, 5, 10, . . . 360』の に対する $y = \sin()$ の計算を行う(図 1.4.1)。1.3.2 節に計算方法が書いてある。

次に y のデータを選択する。

	A	B	C
1			
2		0	0
3		5	0.0872
4		10	0.1736
5		15	0.2588
6		20	0.342
7		25	0.4226
8		30	0.5
9		35	0.5736

図 1.4.1

『**グラフマーク**』をクリックする(図 1.4.2)。

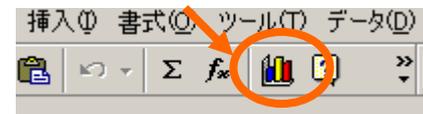


図 1.4.2

もしくは、図 1.4.3 のように『**挿入(I)**』のプルダウンメニューの『**グラフ(H)**』を選択する。

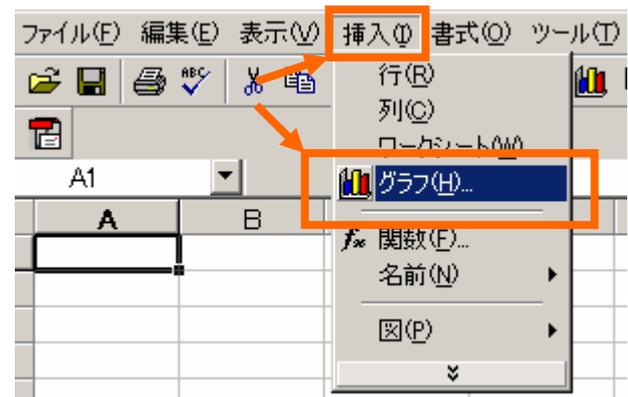


図 1.4.3

図1.4.4のようなウィザードが立ち上がるので『**散布図**』を選択して『**次へ**』をクリックする。

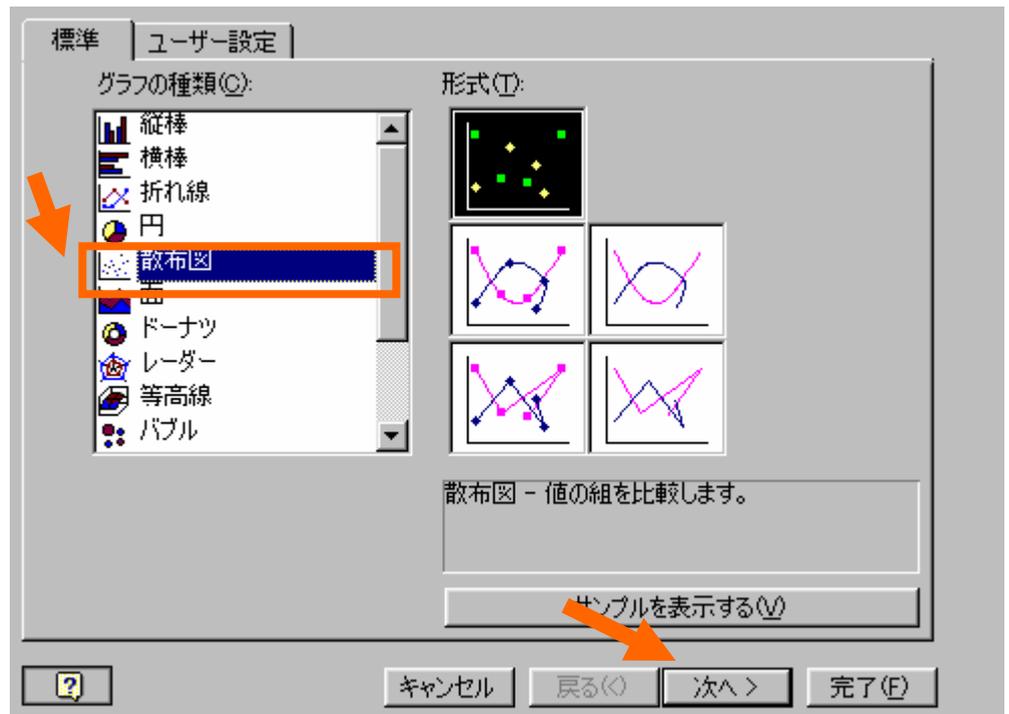


図 1.4.4

次のウィザードになったら『**系列**』をクリックする(図1.4.5)。

xの最大値が**360**でないことに注意！x軸はデータの個数に対応している。実は、まだxの値を指定していないからである。

『**xの値(X)**』欄の赤丸の**赤い矢印**  の部分をクリックする。

ウィザードが消えて、ワークシートに戻る。

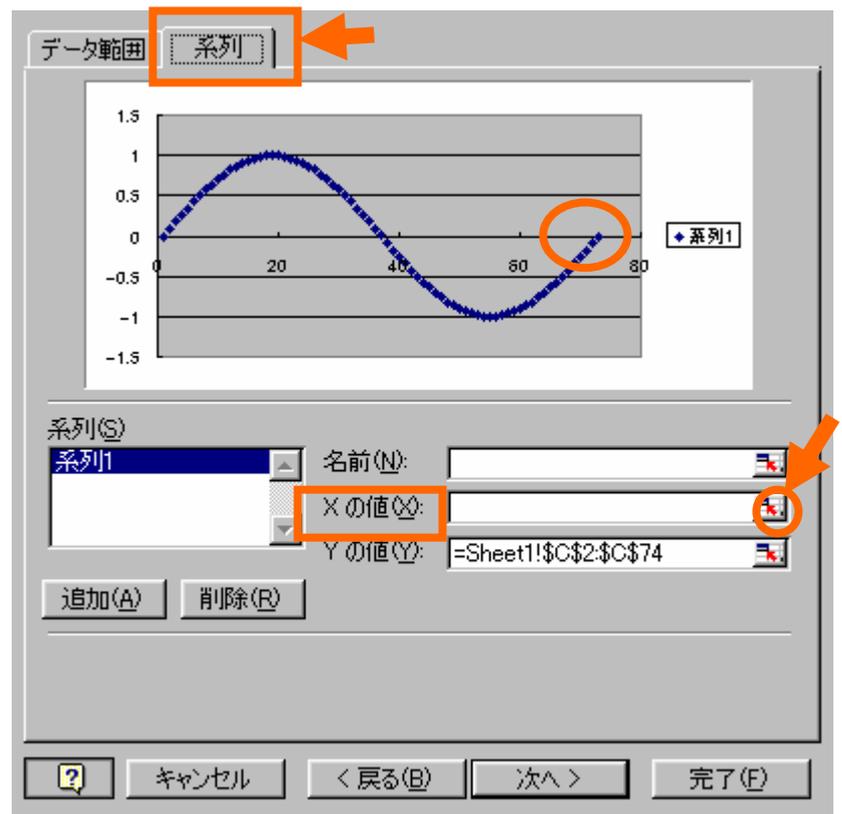


図 1.4.5

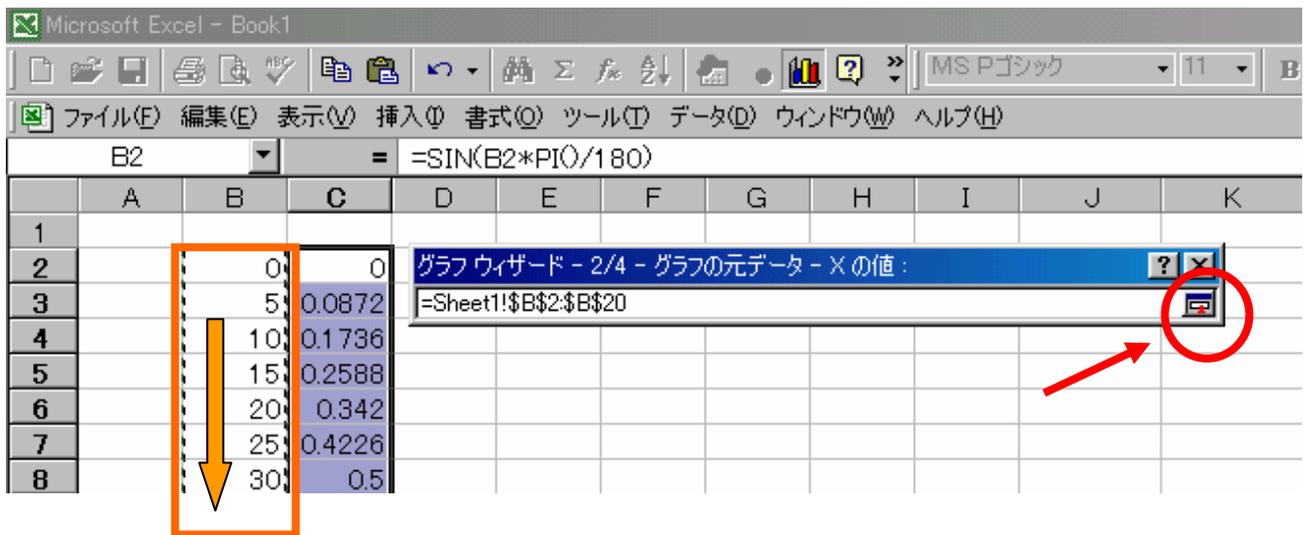


図 1.4.6

左クリックを押しながら、xデータの範囲のセルを**選択**する（図 1.4.6）。その後、**赤い矢印**  の部分をクリックしてグラフウィザードに戻る。

xの最大値が**360**になっていることを確認する（図 1.4.7）。

また、Xの値(X)：データ範囲が指定されていることも確認する。

次に『**グラフタイトル**』、『**X / 数値軸**』、『**Y / 数値軸**』の設定だが、後でも設定できるので『**完了(F)**』をクリックしてグラフ化する。

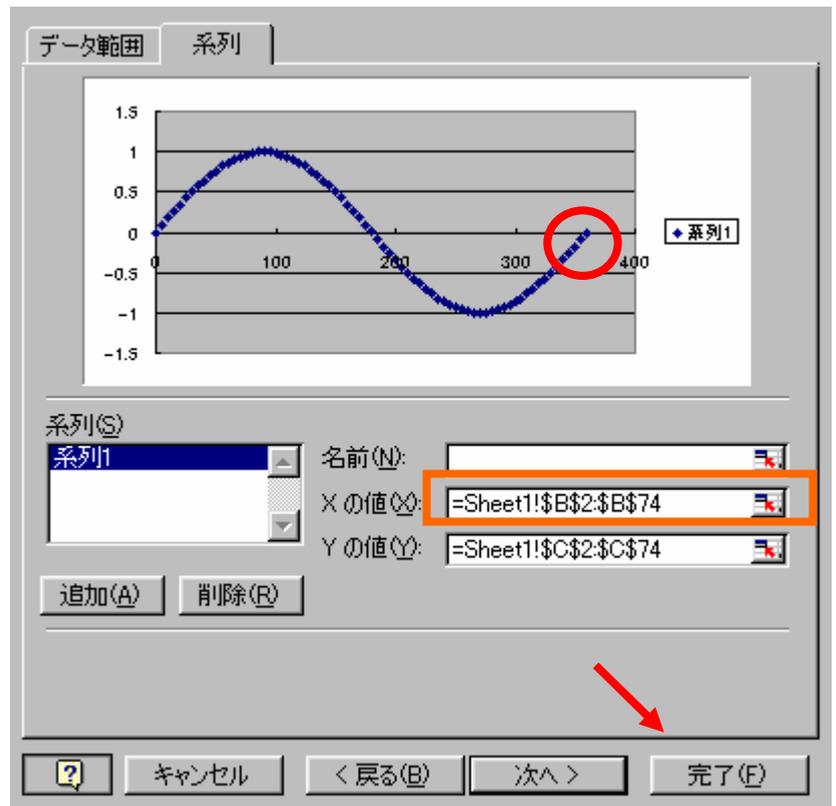


図 1.4.7

注意： **散布図**以外ではXの値を指定することができない

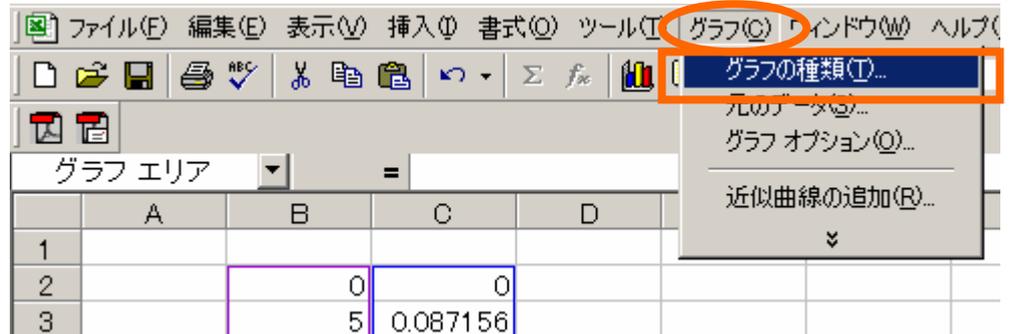
1.4.2 グラフの設定変更

作製したグラフの書式・設定を変更する場合、変更したいグラフの部分（x軸、y軸など・・・）にマウスポインターを持っていき、右クリックする。ウィザードが自動的に立ち上がるのでメニューにしたがって変更する。以下に具体的な例を挙げる。

グラフの種類の変更

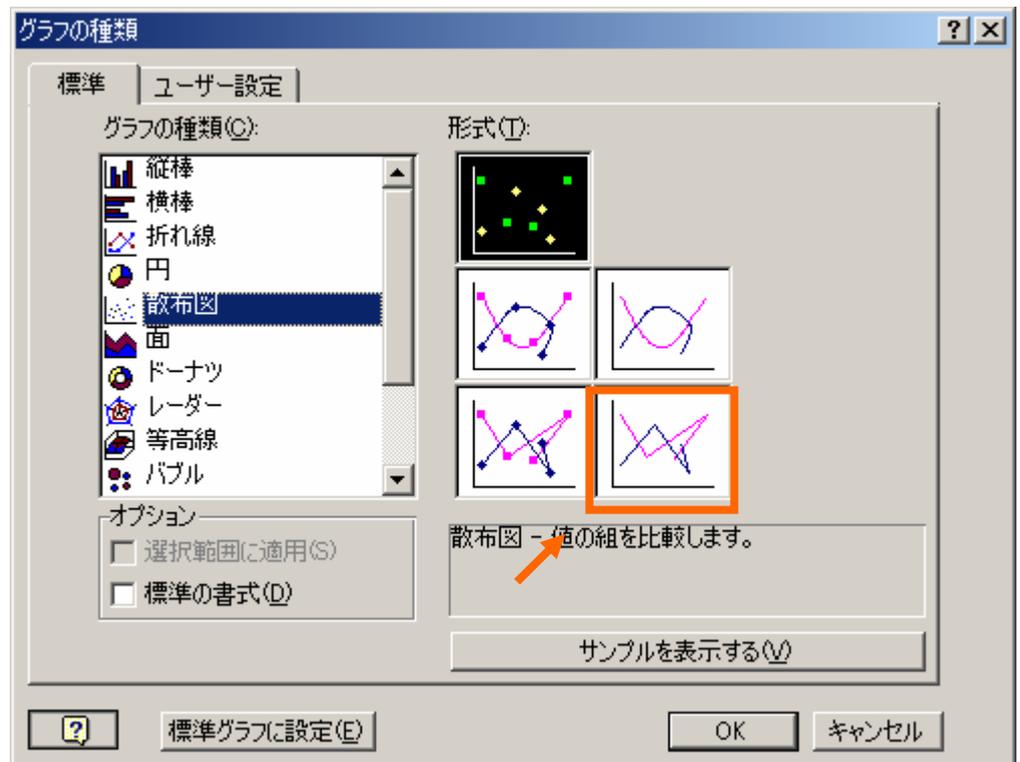
『**グラフ (C)**』のプルダウンメニューの『**グラフの種類 (I)**』を選択する(図1.4.8)。

図 1.4.8



散布図から折れ線に変更する場合は、図1.4.9の折れ線グラフのマークをクリックする。

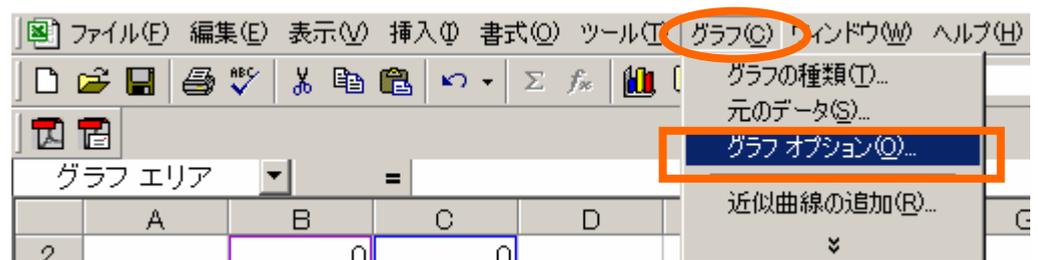
図 1.4.9



グラフオプション

『**グラフ**』のプルダウンメニューの『**グラフの種類 (I)**』を選択する(図1.4.10)。

図 1.4.10



立ち上がったウィザードに従って、『**グラフタイトル**』、『**x軸の名前**』、『**y軸の名前**』を挿入する(図 1.4.11)。

それぞれの文字のフォント・大きさ・色なども変更することができる。

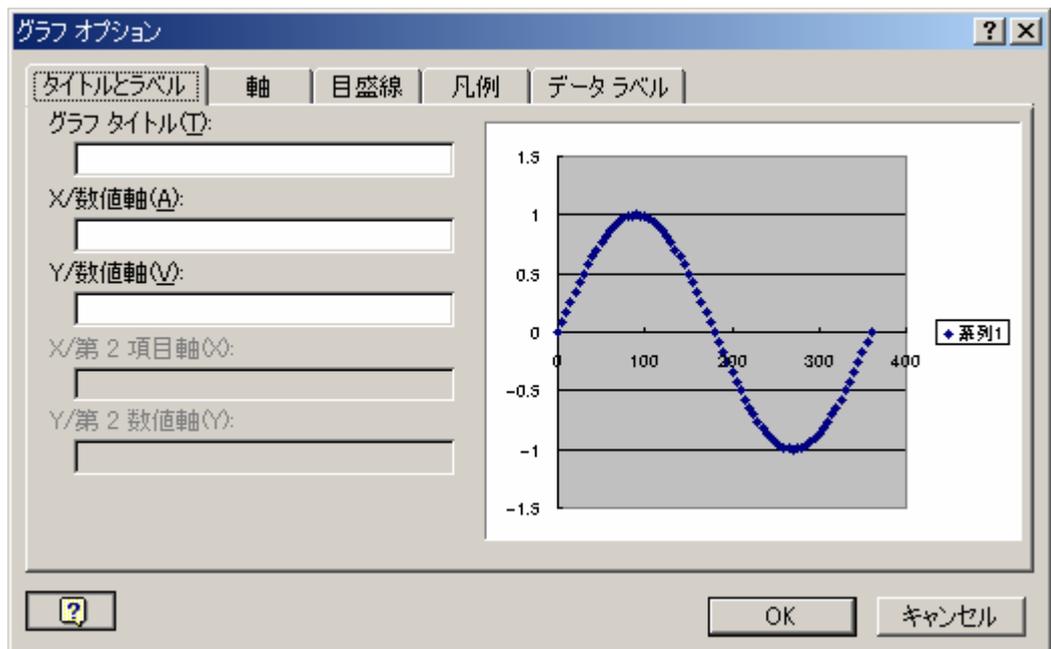


図 1.4.11

課題 1. 1.3.1 節の e^x と e^{-x} の傾きをグラフ化しなさい。

また、 dx が小さくなると e^x に近づくことを確かめなさい。

課題 2. $\sin(m) \times \sin(n)$ を計算してグラフ化しなさい。 $m = n$ のとき、積分値 $(0 \sim 2)$ が 0 になることを確かめなさい。また、 $m \neq n$ のとき、積分値は 0 でない値を持つことも確かめなさい。

§ 1.5 最小二乗法

EXCEL はグラフ上で簡単に最小二乗法の計算ができる。学生実験や卒業研究などの実験データには必ず実験誤差が含まれる。一般に最小二乗法によって誤差を評価される。ここではデータ解析に使われる簡単な線形近似を中心に学ぶ。

Check Point

1. グラフからの最小二乗法の計算をマスターする。
2. 分散や標準偏差を求める。

1.5.1 一次関数

グラフ

まず、アルミニウムの電気抵抗率の温度変化データ（表 1.5.1）のグラフをつくる。

最小二乗法

『**グラフ**』のプルダウンメニューの『**近似曲線の追加 (R)**』を選択する。

[]	[$\times 10^{-8}$ m]
20	2.54
100	3.61
200	4.69
300	5.81
400	7.35

表 1.5.1

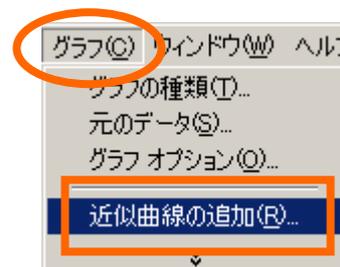


図 1.5.1

自動的に立ち上がったウィザードの『種類』の『**線形近似 (L)**』を選択する(図 1.5.2)。

2次関数、3次関数、または、それ以上の高次関数の場合は『**多項式近似 (P)**』をクリックして『**次数 (D)**』を変更する。



図 1.5.2

さらに計算結果を表示させるために『オプション』の『グラフに数式を表示する(E)』と『グラフにR-2乗値を表示する(R)』をチェックする(図1.5.3)。

『OK』をクリックして最小二乗法の計算を行う。

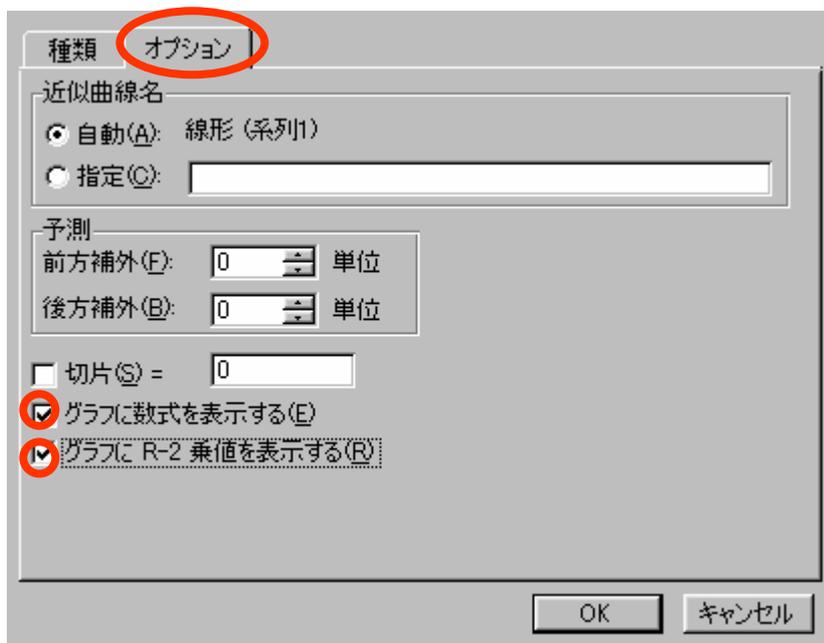


図 1.5.3

1.5.2 片対数

指数関数と片対数

指数関数 $y = e^{ax}$ ($x > 0$) の関係式を持つ物理量はたくさんある。両辺の自然対数をとると、

$$\ln(y) \propto ax \quad (x > 0)$$

となる。Ln(y) と取り直すと (y 軸方向の片対数)

$$Y = ax$$

という 1 次関数になる。実験データが指数関数の関係を持つかどうか調べるには、片対数グラフを作って、データが直線に乗るかどうかを調べればよい。

粘性の活性化エネルギー

粘性 は以下の式で表される。但し、Rはモル気体定数で、[8.31441](#) [J / mol / K] となる。

$$\eta \propto e^{\frac{E}{RT}}$$

温度を絶対温度 ([273.15](#) K) に変換して、 $x = 1 / T$ を計算すると、

$$\eta \propto e^{\frac{E}{R}x}$$

となる。両辺の自然対数をとると、

$$\ln(\eta) \propto \frac{E}{R}x \quad (x > 0)$$

が導かれて、 $y = \ln(\eta)$ としてグラフにすると、 $y = ax + b$ の 1 次関数になる。この傾き a に、モル気体定数を掛けると活性化エネルギー E が求められる。

水の粘性 (log の計算 + 線形近似)

水の粘性の実験結果は表 1.5.2 のようになる。まず、 $1/T$ (絶対温度) と $\ln(\eta)$ の自然対数の計算をする。

その後、x 軸が $1/T$ で y 軸が $\ln(\eta)$ のグラフを書く。

次に 1.5.1 節の『線形近似(L)』で最小二乗法の計算を行う。傾きにモル気体定数 R を掛けて活性化エネルギーを求める。

T [K]	[cP]
10	1.31
20	1.11
30	0.78
40	0.66
50	0.53
60	0.47
70	0.39
80	0.37

表 1.5.2

水の粘性 (片対数グラフ + 線形近似)

x 軸が $1/T$ で y 軸が $\ln(\eta)$ のグラフを書く。

y 軸を片対数にするには、y 軸を右クリックして『軸の書式設定(O)』を選択する (図 1.5.4)。

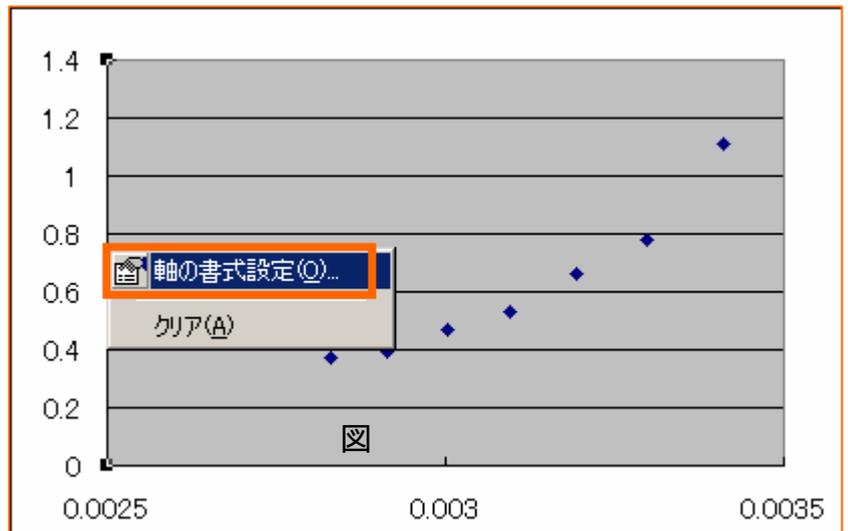


図 1.5.4

その後、『指数近似(X)』で最小二乗法の計算を行う (図 1.5.5)



図 1.5.5

水の粘性（線形グラフ + 対数近似）

x軸が $1/T$ でy軸が のグラフを書く。次に、『指数近似(X)』で最小二乗法の計算を行う。

この場合、y軸が線形なので、最小二乗法の計算結果が直線ではなく曲線になる。つまり、見た目でも のように直線性を確かめることができない！

1.5.3 両対数

べき乗と両対数

べき乗関数 $y = x^a$ の関係式を持つ物理量もたくさんある。両辺の自然対数をとると、
 $\ln(y) \propto a \cdot \ln(x)$

となる。 $\ln(x) = X$, $\ln(y) = Y$ と取り直すと（x軸方向とy軸方向の両対数）
 $Y = aX$

という1次関数になる。

実験データが指数関数の関係を持つかどうか調べるには、両対数グラフを作って、データが直線に乗るかどうかを調べればよい。また、傾きの大きさから変数xの何乗であるかが実験的に求められる。

半導体の不純物濃度

Si結晶中に不純物Alに対する光強度の測定結果を表1.5.3に示す。光照射強度と蛍光の発光強度の強度比と不純物濃度の間には必ずしも比例関係が成り立つとは限らない。

そこで、両対数グラフを書いて、それらの関係式を求める。

$10^{12} [\text{cm}^{-3}]$	光強度比
4.6	0.48
32.1	1.5
98.4	3.6
284	12.2
1912	48.9

表 1.5.3

課題 1. アルミニウムのX線吸収の実験結果は表1.5.4のようになる。 μ をアルミニウムのX線吸収係数、アルミニウムの厚さを t [cm]、その時の観測された強度を I [cps] とすると、

$$I \propto e^{-\mu t}$$

の関係がある。最小二乗法を用いて、アルミニウムのX線吸収係数 μ を求めなさい。

t [cm]	I (cps)
0.0025	6273
0.005	4572
0.0075	3234
0.01	2296
0.015	1201
0.02	595

表 1.5.4