

Excel でグラフを書く

Excel を用いると、データの解析やグラフの作成が容易に行えます。ここでは、電磁波の干渉縞の実験を例にとって、表計算とグラフ作成の手順を紹介しします。ぜひ、授業や実験の解析に活用してみてください。

■ 題材とする実験の説明

グラフの題材として、図 1 のように幅 d の複スリットを通った 2 つの電磁波が、半径 R の円形スクリーン上に作る干渉縞の様子を計算することを考えていきます。そしてここでは図 2 のような干渉縞のグラフを作ることを目標とします。一見難しそうですが、高校物理で習ったヤングの実験の発展版と捉えれば理解しやすいと思います。

これから説明する手順通りに進めていけば、**Excel 初心者でも同じグラフを作れるようになるので、ぜひ挑戦してみてください！**

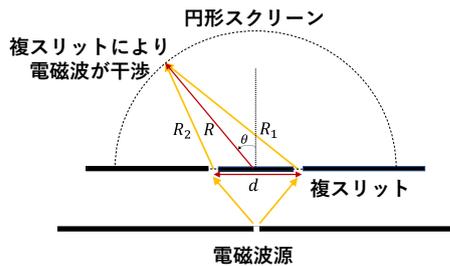


図 1 今回の題材となる実験の設定

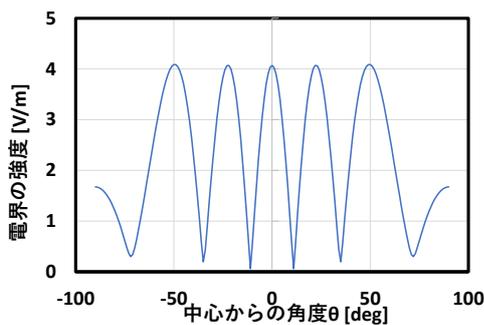


図 2 出来上がったグラフ

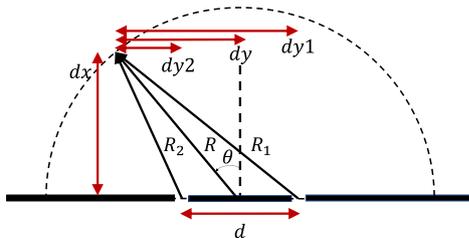


図 3 この実験での変数の設定

■ グラフを作成するまでの見通し

ここでは、電界強度の求め方について説明します。

計算で使う数式について

まず、電磁波の干渉の計算で使う数式について軽く説明していきます。大学 1 年生では学習していない内容で、**Excel の使い方には直接関係ないので**、「そういうものなのか」という程度の認識で大丈夫です。

角度 θ の方向に、距離 R だけ離れた場所に生じる、電界の強度 $|E|/A$ は、オイラーの公式 ($e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$) を使って

$$|E|/A = |E_1 + E_2| = \left| \left(\frac{e^{-ik_0 R_1}}{R_1} + \frac{e^{-ik_0 R_2}}{R_2} \right) \right| \quad (1)$$

$$\left(\begin{array}{l} R_1, R_2 : \text{各スリットからの距離} \\ k_0 : \text{電磁波の波数} = 2\pi/\lambda \\ A : \text{定数} \end{array} \right)$$

で表されます。この $|E|/A$ を $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ について計算し、グラフにすると干渉縞が現れることが確認できます。

式は難しいですが、 k_0 と A の値は定数なので、 R_1 と R_2 が θ によってどのように変化するかを求めれば、 $|E|/A$ が求められるということになります。そして、 R_1 と R_2 は直接求めるのが大変なので、図 3 のように定めた、 $dx, dy, dy1, dy2$ を使って求めることを考えます。

変数 $dx, dy, dy1, dy2$ はそれぞれ幾何的な関係から、

$$dx = R \cos \theta \quad (2)$$

$$dy = R \sin \theta \quad (3)$$

$$dy1 = dy + \frac{d}{2} \quad (4)$$

$$dy2 = dy - \frac{d}{2} \quad (5)$$

のように表すことができます。

そして、 R_1 と R_2 は $dx, dy, dy1, dy2$ を使うと、

$$R_1 = \sqrt{dx^2 + dy1^2}$$

$$R_2 = \sqrt{dx^2 + dy2^2}$$

のように表すことができます。

ここまでの $|E|/A$ を求める流れを整理すると、**まず変数 $dx, dy, dy1, dy2$ を求め、それを使って R_1, R_2 を求め、最後に公式から $|E|/A$ を求めれば良い**ということが分かりました。

表の全体像

それでは次に、この計算を Excel 上で行っている様子を見てみましょう。

図 4 作成する表の全体像

具体的な Excel の使い方は次の項目から説明していきますが、図 4 中の①で設定した変数 θ をもとに、②の途中過程で $dx, dy, dy1, dy2, R_1, R_2$ を求めていき、それらを使って最終的に③の結果を求めています。

ここまでで前提となる話は終わりです。では、具体的な Excel の使い方について見ていきましょう！

定数の準備

ここでは、計算の際に必要な定数の取り扱いについて説明します。

半径 R やスリット間の長さ d 、波数の値 k_0 など、計算に使用する定数は中央の表とは別に図 5 のようにまとめて、図 4 のように左上などにまとめて用意しておきます。こうすることで、後で定数の値を変える時になどに分かりやすくなります。さらに、後で説明する絶対参照をするときも見やすくなります。また、虚数単位の出し方もここでは説明していませんが、後で説明するのでここでは気にせず進んでください。

	A	B
9		
10	虚数単位	-i
11	R (m)	0.49
12	d (m)	0.075
13	k_0 (1/m)	220.4626

図 5 定数の準備

変数 θ を準備 (オートフィル機能)

ここでは、図 4 中の①のように、-90 から 90 まで 1deg 刻みに変化する変数 θ の値を用意する方法について説明します。

-90 から 90 まで θ を一つ一つ手で入力していくのは非常に大変なので、オートフィルと呼ばれる機能を使って図 6 に示すように、以下の手順に沿って進めていくことで、半自動的に入力することができます。

- ① セルに -90、-89 と入力し、白い十字のカーソルで 2 つのセルを選択
- ② カーソルをセルの右下の端に持ってきてカーソルを黒い十字にする
- ③ そのまま下にドラッグしていくと、選択したセル内の数字の関係性から自動的に次の値が入力される

図 6 オートフィル機能による補完

ここでは、ドラッグによってオートフィルを行いました。隣の列に既にデータが入っている場合、黒十字になった時にダブルクリックすることで隣の列に合わせてオートフィルが実行されます。

また、-90 から 90 の連続データを作成する際、データ数が 180 程度しかなかったため、ドラッグでオートフィルを行いましたが、[ホーム] タブの [編集] グループにある [フィル] から「連続データの作成」を利用すると、巨大な連続した数も簡単に扱うことができます。この機能の詳しい使い方については「Excel 連続データ」などで検索して調べてみてください。

θ(rad) を求める (セルに数式を書く)

ここでは、先ほど作成した-90 から 90 までの変数 θ の単位を deg から radian 単位に直す操作を説明します。ですが、それをするためには、Excel での「簡単な計算方法」、「参照機能を用いた計算方法」、「関数を用いた計算方法」について理解する必要がありますので、それらを先に説明していきます。

簡単な計算

Excel にはセルに文字や数値を入れるだけでなく、数式を記述して計算させる表計算機能があります。数式を書くにはセル内を「=」で始めて、数式を入力する必要があります。

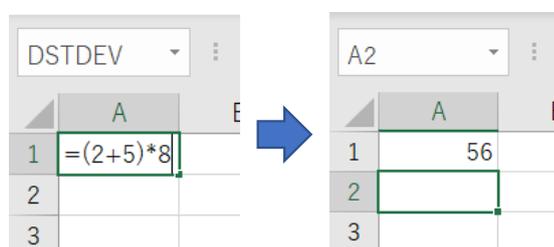


図 7 Excel の表計算機能の使用例

参照機能を用いた計算

数式では数値だけでなく、他のセルの値を代入することもできます。例えば図 8 のように、A 行 1 列、A 行 2 列、A 行 3 列のセルにそれぞれ、2、5、8 という数字が入っている場合に、A 行 4 列のセルに「=A1+A2+A3」と入力すると、A 行 4 列のセルには「=2+5+8」という計算の結果が入力されます。この機能は、「参照」と呼ばれており、よく使うので、後で詳しく説明します。

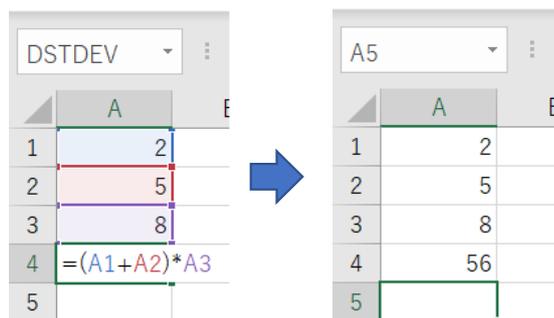


図 8 参照機能を使った計算

関数を用いた計算

平方根や三角関数を用いるには、Excel の関数機能を使用します。関数は、「関数名」(「引数」) の形で使います。例えば、 $\sqrt{10}$ は「SQRT(10)」のように表現されます。

以下の表は、主な演算子と関数の使用例です。これ以外にも、様々な関数が用意されているので、必要に応じて Web で調べてみましょう。

表 1 演算子の表記例

演算子	入力例	数学的表現
加算 +	=1+1	1 + 1
減算 -	=2-1	2 - 1
乗算 *	=3*3	3 × 3
除算 /	=4/2	4 ÷ 2
べき乗 ^	=2^10	2 ¹⁰

表 2 関数の表記例

関数	入力例	数学的表現
平方根 SQRT	=SQRT(10)	$\sqrt{10}$
三角関数 SIN,COS,TAN (引数の単位はラジアン)	=SIN(PI()/2) =COS(0) =TAN(PI())	$\sin(\pi/2)$ $\cos(0)$ $\tan(\pi)$
指数関数 EXP	=EXP(2)	e^2
対数関数 LOG	=LOG(10,2)	$\log_2(10)$

単位を deg から radian に直す

ここでは角度の単位を、deg から radian に変換するので、deg の値を radian の値に変換する関数である「RADIANS」を使用します。今回は図 9 で示すように以下の手順で進めます。

- ① B 列 17 行目に「=RADIANS(A17)」と入力して、隣の A 列の deg 単位の θ の値を参照して radian 単位に変換する
- ② 黒十字カーソルにしてドラッグすることで、オートフィル機能を利用して残りの deg 単位の θ を radian に変換する
- ③ A 列で-90deg から 90deg まで作った θ が、B 列目でも radian の単位に変換された

① 「=RADIANS(A26)」と入力 ➡ ② 黒十字カーソルで下までドラッグ ➡ ③ オートフィル結果

図 9 関数とオートフィル機能を使って単位を変換

dx, dy を求める (相対・絶対参照)

相対参照と絶対参照について

Excel の参照機能には、相対参照と絶対参照の 2 種類があります。先ほどまで使っていた参照は相対参照に分類されますが、ここでは絶対参照も使っていきます。そのため、まずはその 2 つの違いについて説明していきます。2 つの違いは以下の通りです。

- ・相対参照：セル番号をそのまま入力。オートフィル機能によって**変化する**。変数の参照に用いる。

入力例：B11

- ・絶対参照：行列番号の前に\$を付けることで、オートフィル機能によって**変化しない**。定数の参照に用いる。

入力例：\$B11 (列のみ固定する場合)、B\$11 (行のみ固定する場合)、\$B\$11 (行列とも固定する場合)

(絶対参照は\$マークを毎回入力するより、Windows の場合は F4 キーを使った方が楽にできます。)

dx と dy を求める

それでは実際に、実際に相対参照と絶対参照を使い分けて dx と dy を求めてみて、それぞれの違いについての理解を深めましょう。

dx と dy はそれぞれ、式(2)と式(3)から、 $dx = R \cos \theta$ 、 $dy = R \sin \theta$ と表されますが、R は定数であり参照先が変化しないので絶対参照し、 θ は変数で参照先が変化していくので相対参照します。

ここで R を相対参照としてしまうと、図 10 のように、オートフィル機能によって参照先 B11 が B12, B13, B14... と変化してしまいます。

Cell	Formula	Result
C17	=B11*cos(B17)	3.00161E-17
C18	=B12*cos(B18)	0.00130893

図 10 相対参照での失敗例

そのため、オートフィル機能で変化しないように、図 11 のように「絶対参照」とすることに注意が必要です。絶対参照とした場合、オートフィル機能を使っても参照先が変化しなくなります。

Cell	Formula	Result
C17	=\$B\$11*cos(B17)	3.00161E-17
C18	=\$B\$11*cos(B18)	0.008551679
C19	=\$B\$11*cos(B19)	0.017100753
C20	=\$B\$11*cos(B20)	0.025644619

図 11 絶対参照を使って補完した結果

dyとR₁を求める

ここでは dy_1 と R_1 の値を計算します。 dy_1 と R_1 の数学的表現は表3中央で示すようになります。そして、 dx, dy, dy_1 はそれぞれ C, D, E 列 17 行目にあり変数なので相対参照するのに対し、 d は B 列 12 行目にあり定数なので絶対参照します。そのため、これまでに学んだことを利用すると、それぞれの数学的表現に対応する Excel 表記は表3右のようになります。

表3 dy_1 と R_1 の数学的表現と Excel 表現

求める値	数学的表現	Excel表現
dy_1	$dy + d/2$	= D17 + \$B\$12/2
R_1	$\sqrt{dx^2 + dy^2}$	= SQRT(C17^2 + E17^2)

このようにして実際に計算すると以下ようになります。

図12 R_1 を計算した結果

同様に dy_2, R_2 も $dy_2 = dy_1 - d, R_2 = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ から求めておきます。

$\exp(ik_0R_1)/R_1$ を求める(複素数の計算)

ここまでで、式(1)に代入するための、 R_1, R_2 を求めることができたので、ここでは式(1)の一部である $\exp(-ik_0R_1)/R_1$ の値を計算します。複素数を含む計算であるため、「Excelでの複素数計算の基本」を説明した後で、実際の計算方法について説明します。

Excelでの複素数計算の基本

複素数は COMPLEX 関数を用いて、「COMPLEX(実数,虚数) = 実数 + 虚数」と表現することができます。表記を見やすくするため、定数欄に COMPLEX(0,-1) として虚数 $-i$ などを作っておくと良いでしょう。

図13 虚数単位の準備

そして、複素数の計算をする際は、通常関数に虚数(imaginary)の頭文字 IM を付けた関数を用います。実際に、複素数 a, b を四則演算するときは、表4のような関数で置き換えます。

表4 複素数計算の表記

複素数の計算	Excelでの書き方
加算 $a + b$	=IMSUM(a,b)
減算 $a - b$	=IMSUB(a,b)
乗算 $a \times b$	=IMPRODUCT(a,b)
除算 a/b	=IMDIV(a,b)
指数関数 e^a	=IMEXP(a,b)

$\exp(ik_0R_1)/R_1$ を求める

そして、実際に $\exp(-ik_0R_1)/R_1$ を計算すると、図14のようになります。定数 $-i, k_0$ は絶対参照、変数の R_1 は相対参照とすることに注意してください。 $\exp(-ik_0R_2)/R_2$ も同様に求めます。

図14 $\exp(ik_0R_1)/R_1$ の計算

最終結果 $|E|/A$ を求める

ここでは、これまでに計算した値を用いて、式(1)から電界強度 $|E|/A$ を計算します。複素数の加算には IMSUM 関数、絶対値には IMABS 関数を用いると表 5 のような表記になります。

表 5 $|E|/A$ の数学的表現と Excel 表記

	数学的表現	Excel表記
$ E /A$	$ \frac{e^{-ik_0R_1}}{R_1} + \frac{e^{-ik_0R_2}}{R_2} $	=IMABS(IMSUM(G17,J17))

結果をグラフにする

θ と $|E|/A$ の関係を表すグラフを作成します。グラフを挿入するには次の①～⑤の操作を行います。

- ① 「 θ (deg)」の行を -90° から 90° まで、マウスのドラッグ操作で選択する。
- ② ①の選択が残った状態で、Ctrl キー (Mac の場合 cmd キー) を押しながら「 $|E|/A$ 」の行を同時に選択する。
- ③ 挿入タブへ移動
- ④ 散布図から「散布図 (直線)」を選択
- ⑤ グラフのデザインタブからタイトルと軸ラベル (グラフが複数ある場合は凡例も) を追加し、内容を編集する。

θ (deg)	θ (rad)	dx	R2)/R2	$ E /A$
-90	-1.5708	0.0	0.28821344+0.104389480300616i	1.67414
-89	-1.55334	0.0	0.813168125+0.102176456470587i	1.669463
-88	-1.53589	0.0	0.210727065+0.095536831984846i	1.655421
-87	-1.51844	0.02	0.5554273+0.0844691305126667i	1.63198
-86	-1.50098	0.07	0.47304445+0.0689714999407603i	1.599088
-85	-1.48353	0.0	0.683930668+0.0490426236710895i	1.556677
-84	-1.46608	0.05	0.11974422+0.0246829934249761i	1.504668
-83	-1.44862	0.05	0.97421068-0.00410345990172001i	1.442983
-82	-1.43117	0.0	0.718866989-0.0373073826313686i	1.371553
-81	-1.41372	0.0	0.826735461-0.0749116694419807i	1.290336
-80	-1.39626	0.08	0.92083149-0.116888799751456i	1.199343
-79	-1.37881	0.09	0.974948832-0.163197853472289i	1.09868
-78	-1.36136	0.1	0.116900191-0.213781224815502i	0.988616
-77	-1.34391	0.11	0.62821369-0.268561058188228i	0.869718

図 15 グラフのデータ選択

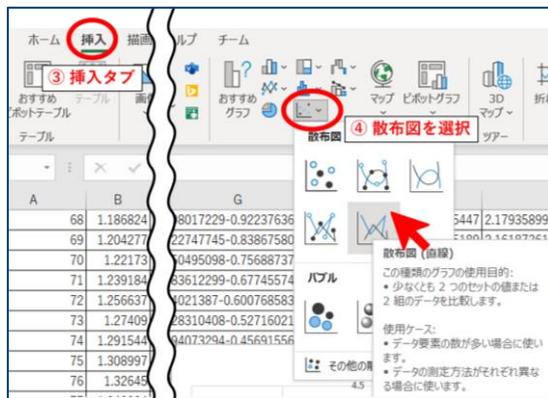


図 16 散布図の作成

図 15 の①、②の操作でx 軸、y 軸に対応するデータを指定しています。

実験データをプロットしたい場合は、図 16 の④のように、散布図をよく使用します。作りたいグラフに応じて散布図以外のグラフを選択することもできます。⑤のタイトル、軸ラベル、凡例は、レポートなどにする場合必須ですので、図 17 のようにしてグラフの体裁を整えるようにしましょう。グラフの詳しい書き方については 2023 年 5 月に配信した「Tokyo Tech Study Tips vol.11 物理学実験のグラフの作り方」を参考にしてください。

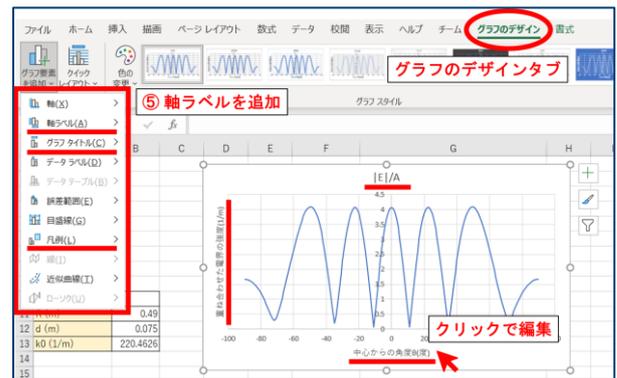


図 17 散布図の作成

まとめ

ここまで読んでいただきありがとうございました。初めて Excel を触る人にとっては難しい箇所もあったと思いますが、お疲れ様でした！

今回は電磁波の干渉のシミュレーションを例に様々な関数を紹介してきましたが、Excel には他にも便利な関数や機能、ショートカットなどが数多くあります。このハンドアウトで Excel について興味を持っていただけたら、次は自分の実験のシミュレーションや結果の分析に応じて、自分で使い方を調べてみましょう。そうすることで、自分に合った Excel の便利な機能をさらに知ることができ、さらに効率的にレポートを仕上げることができようになるはずです！