

Activity 2 – 遠くからの光

数学的な側面

- ◆ グラフによるデータの表現
- ◆ 予測とデータの比較
- ◆ 逆2乗則
- ◆ 誤差の原因とその影響

理科学的な側面

- ◆ データの収集と分析
- ◆ 光の強さと距離の測定

用意するもの

- ◆ CBL 2™
 - ◆ TI グラフ電卓
 - ◆ 接続ケーブル
 - ◆ TI 光センサー
 - ◆ 60W白熱球と電球ソケット
 - ◆ 定規またはメジャー
-

Introduction

光の強さは光源から遠ざかるにつれてだんだん弱くなることはご存知でしょう。理論的には、光の強さ I と光源からの距離 d の間には、次のような式で表される関係があります。

$$I = \frac{A}{d^2}$$

ここで、定数 A は光源の電球によって定まります。この節の学習活動は、光の強さについて理論からの予測値と実際の測定値を比較してみようというものです。

光の強さを測るには、CBL 2 に付属する TI 光センサーを使います。距離の測定には、メジャーや物差しを用います。

Set-up

比較的暗い部屋が必要です。白熱球を部屋の端に置き、その背景を黒くします。この白熱球からの光の強さをいろいろな距離で測定するわけです。

Data Collection

1. CBL 2 とグラフ電卓を接続ケーブルで接続してください。さらに、光センサーを CBL 2 のチャンネル1 [CH 1] に接続します。
2. 電卓上で DataMate プログラム (またはアプリケーション) を実行します。DataMate は自動的に光センサーを検出し、実験を初期設定します。DataMate のメイン画面が表示されます。

```
CH 1: LIGHT      .008

MODE: TIME GRAPH-5
-----
1: SETUP      4: ANALYZE
2: START      5: TOOLS
3: GRAPH      6: QUIT
```

3. メイン画面で **1** を押し、SETUP を選択します。

```
▶ CH 1: TILIGHT
CH 2:
CH 3:
DIG:
MODE: TIME GRAPH-5

1: OK      3: ZERO
2: CALIBRATE 4: SAVE/LOAD
```

4. **2** または **3** を押して MODE にカーソルを合わせ、**ENTER** を押しします。Select Mode 画面に切り替わります。

```
SELECT MODE
-----
1: LOG DATA
2: TIME GRAPH
3: EVENTS WITH ENTRY
4: SINGLE POINT
5: SELECTED EVENTS
6: RETURN TO SETUP SCREEN
```

5. **3** EVENTS WITH ENTRY を押しします。再び Setup 画面に戻ります。

```
CH 1: TILIGHT
CH 2:
CH 3:
DIG:
▶ MODE: EVENTS WITH ENTRY

1: OK      3: ZERO
2: CALIBRATE 4: SAVE/LOAD
```

6. **1** OK を押して、メイン画面に戻ります。

```
CH 1: LIGHT      .016

MODE: EVENTS WITH ENTRY
-----
1: SETUP      4: ANALYZE
2: START      5: TOOLS
3: GRAPH      6: QUIT
```

7. **2** START を押しします。右図のような画面が表示されます。光センサーの位置を動かすと、表示される数値が変化することを確認してください。

これで、いろいろな距離から光センサーを光源に向けたときの光の強さを測定する用事が整いました。光源からセンサーまでの距離は 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5m, 3m を用いると、だいたいうまくいきます。

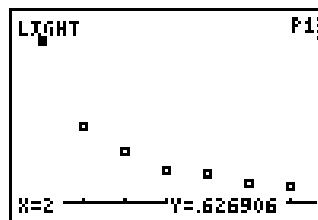
```
PRESS CENTER TO COLLECT
OR STOP TO STOP
1      .009
```

8. 最初の測定地点を定め、**[ENTER]**を押してください。そのときの測定値を記録します。続いて、右図のような画面が表示されます。



9. 光センサーの先端から電球までの距離を入力してください。
10. 8, 9の操作を異なる距離で繰り返し、6~8個くらいの光の強さのデータを収集してください。データを集め終わったら **[STOP]**を押して、測定を終了します。

下の図は測定結果を表示した一例です。



Analysis

Student Data Reporting Sheet の問にすべて答えてください。

この実験が焦点を当てているのは簡単な関係ですが、実は潜在的にたくさんの誤差の要因が存在しています。できるだけ多くの誤差の要因を探し出し、誤差を最小にしたり、帳消しにしたりする方法を試みてください。

Going Further

測定誤差による影響を調べる1つの方法は、理論式から得られる予測値を使うことです。光の強さと距離の関係が、次のような関数で正確に表現されているとします。

$$I = \frac{A}{d^2}$$

この式は、0.5m で測った光の強さと、1m で測った光の強さの関係について、どのようなことを意味しているのでしょうか。また、もし 0.5m として測定したデータが実は 45cm で、1m として測定したデータが実は 105cm であったとしたらどうなるのでしょうか。

もしすべての誤差の要因をできる限り最小にしたとすると、ほかにどんな誤差の原因が残るでしょうか。たとえば、距離の測定には誤差がつきものです。距離の測定値の精度はどれくらいでしょうか。そこで生じた誤差が、どのくらい測定データに影響するのでしょうか。

Student Data Reporting Sheet

1. データの点を結ぶとしたら、どのような形の曲線になるか、一般的な形を説明してください。

2. やキーを用いてグラフから測定値を読み取り、下の表に書き込んでください。

距離	光の強さ

3. 理論的には、光の強さと距離の関係は次のような式で表されます。

$$I = \frac{A}{d^2}$$

ここで、 I は光の強さ、 d は光センサーの先端から電球までの距離です。この式が正しいとすれば、距離が0.5mと1mのときの、光の強さの比はいくらになると考えられますか。

距離が1mと2mのときの、光の強さの比はいくらになると考えられますか。

距離が1.5mと3mのときの、光の強さの比はいくらになると考えられますか。

4. 上で考えた比の値と、実際のデータの比の値を比較してください。

5. 式から考えた比の値と、実際のデータの比の値とは、おそらく少し異なるでしょう。こうしたことはよく起こります。これには一般に2つの原因があります。測定に誤差のある場合と理論に誤差のある場合です。ここでは測定誤差の原因について探究してみましょう。考えられる誤差の原因について、列記してみてください。

6. 考えられる誤差の原因の1つに、光センサーの先端から電球までの距離の測定があります。光センサーの先端を電球から正確に 1m 離して光の強さを測定するという作業を、何度かやってみてください。光の強さの値がどのように異なるか、記してください。

7. このような誤差の要因を最小にする方法はいくつもあります。できることをいくつか記してください。

8. 光センサーの先端から電球までの距離の測定における誤差の影響を調べるために、わざと誤差を作って測定するという方法があります。0.5m に対して 5cm ずらして光の強さを測定すると、どれだけの影響が出ますか。

9. 1m に対して 5cm ずらして光の強さを測定すると、どれだけの影響が出ますか。

10. 誤差の要因には、部屋の中に他の明かりがあることも考えられます。この要因の影響を調べるために、もう1つ電球を用意し、これをオン・オフにして測定した光の強さを比較するという方法があります。観察結果を記してください。

11. どのようにすれば、もう1つの電球の影響を帳消しにできるでしょうか。

測定誤差をできるだけ最小限にして、最初の実験を繰り返してください。

Teacher Section

理論

光の強さ I と距離 d の関係は、次のような関数で表すことができます。

$$I = \frac{A}{d^2}$$

しかし、誤差の生じる潜在的な要因が多数あるため、理論的な予測値と実際のデータの間にはしばしばズレが出てきます。こうしたズレのすべてが「実験誤差」であるとして退けられるわけにはいかないということを知るのも、生徒にとって非常に重要なことです。そのために、この節では誤差の要因を突き止め、これを打ち消す方法を試みるようになっています。

生徒が気づくべき誤差の要因には、次のようなものがあります。

- ◆ 距離を測定する際の誤差
- ◆ 部屋の中に光源以外の光があるための誤差
- ◆ 光センサーの向きによる誤差
- ◆ 光センサーの零点調整 - 光のない状態で、光センサーの値が 0 になっていないことによる誤差

ズレのすべてが「実験誤差」であるとして退けられるわけにはいかないということを知る1つの方法は、蛍光灯を用いて光の強さを測定することです。蛍光灯はチカチカ点滅するため、測定値が飛び跳ねるからです。

解答例

データの一部と解答例を示します。

1. “U” の字の左半分のような形 (距離が増えるにつれて、光の強さは急速に下降する)。
- 2.

距離(m)	光の強さ
.5	.228
1	.070
1.5	.034
2	.026
2.5	.020
3	.014
3.5	.013

3. 距離が 0.5m のときの光の強さは、1m のときの光の強さの4倍になるはずです。
距離が 1m のときの光の強さは、2m のときの光の強さの4倍になるはずです。
距離が 1.5m のときの光の強さは、3m のときの光の強さの4倍になるはずです。

4. 大きなズレがあります。たとえば、実際の測定値では距離が 2m のときの光の強さは、4m のときの光の強さの 3.06 倍しかありません。
5. 部屋の中に光源以外の光がある、距離を測定する際の誤差、光センサーの零点調整、センサーがまっすぐ電球に向いていない、など。
6. 実験結果による。
7. ひもを非常に正確な長さに切り、ひもの一端に、光源に向かって光センサーの先端を固定し、もう一方の端を高原の電球近くに固定します。電球でやけどをしないように注意してください。
8. 光の強さは、約 20 % 増減します。
($(1+0.1)^{-2}=0.826$, $(1-0.1)^{-2}=1.235$ より、約 20 % の増減があります。)
9. 光の強さは、約 10 % 増減します。
($(1+0.05)^{-2}=0.907$, $(1-0.1)^{-2}=1.108$ より、約 10 % の増減があります。)
10. 光源以外に光があると大きな誤差を生じます。「もう1つの電球をオンにすると、0.15 増えた」など。
11. 光源からの距離1つについて、光の強さを2回測定します。1回目は光源の電球をオンにして、2回目はオフにします。これらの測定値の差が、求める光源の光の強さです。