

## 歩いて測る地球の大きさ 指導資料

### 1 目的

自分の歩幅を知り、歩測によって2地点間の距離を求めることができる。

学校内の2地点間の距離と緯度差より、エラトステネスと同じ方法で地球の大きさを求める。

### 2 準備するもの

50m 巻き尺、チョーク、学校の航空写真または敷地図、電卓、

※ 航空写真はグーグルアース (Google Earth) 等で入手

※ GPSがあれば、直接、学校内の2地点の緯度、経度を求めることが可能

### 3 中学校までの既習事項

中学校までは、地球が球体であることを自明なこととして扱っているが、地球の大きさについては何も言及がない。

### 4 実習の所要時間

- ・ 20m 区間を用いて歩幅を求める (15 分)
- ・ 指示された2地点間を歩き、歩数を求める (10 分)
- ・ 教室に戻って、地球の大きさを計算する (20 分)

※事前に、実習のやり方等を説明しておかないと、この時間配分では収まらない可能性あり。

### 5 実習間のつながり

角度の単位が、度、分、秒であり、1秒は非常に小さいこと (全周の1,296,000分の1、直径2mの円であれば、1秒に相当する円弧は約0.005mmでしかない)を、補足説明しておく必要がある。ただし、この実習の前に年周視差を扱っていれば、既習事項となる。

固体地球分野の実習として位置付けたが、天文分野において足下の地球の大きさを求めるという設定でも有効である。

### 6 実習上の留意点

#### (1) 事前準備

- ・ 歩幅を決定するための基準となる20mの区間を、巻き尺を使って定めておく (スタートとゴールにチョークで線を引いておく)。屋外の準備は5分もあれば十分である。
- ・ グーグルアース等を用いて、学校内の2地点をプロットした航空写真または地図を用意し、生徒用プリントの所定の欄に貼り付ける。2地点を設定する際は以下の点に気をつける。
  - ① 2地点は経度が同じ (つまり南北上の2点) である必要がある。
  - ② 計算を楽にするため、緯度差が、ちょうど2"あるいは3"あるいは4"になるように2地点を設定する。なお、1"に対する弧の長さは、30.9mである。理論上は1"でも良いが、③に述べる理由により、2~4"が適当である。
  - ③ グーグルアースでは、かなり高精度で緯度、経度が求まる。ところが、画像の解像度が良くないために、グーグルアースで測定した2地点が、実際の地上のどこに当たるかが、正確に決められない恐れがある。そこで2地点は、なるべくピンポイントで決まる特徴的な目印 (例えば校門) の近くを設定すると良い。2地点間の距離が長いほど、緯度、経度と実際の場所との不一致から生じる誤差が少なくなる。
  - ④ 上記2地点の緯度、経度を記録しておく。
    - ※ グーグルアースの使い方は、「8 補足」を参照。

#### (2) 実習指導のコツ

- ・  $L : 360 = d : \theta$  から、Lを求める式について、暗算でできるような簡単な例題を、実習前に生徒にさせておくと良い。

- ・自分の歩幅（1歩の長さ）を知るために20mを何歩で歩けるか数えるが、1歩をあまり意識しすぎないように、しかもまっすぐに歩かせる。1回は意識しない歩き方を練習させると良い。3回歩かせ、簡易的な方法で平均をとる。ほぼ同じ歩数になるので、例えば28歩、29歩、28歩なら、平均28歩と見なして良い。
- ・コースを広く取り、10人くらいの生徒が同時に歩けるようにすると時間がかからない。
- ・2地点間の歩数も、理想的には複数回測定した平均値を用いるべきだが、時間的な関係から1回の測定としてもよい（普通に歩くと、長距離の歩数は、ほとんど変わらない）。
- ・意識して歩くと一歩が大きくなってしまいうため、足元を見ないで少し先を見ながら、リラックスして歩くと良い。なお、前の人を追いかけるようにして歩くと自分のペースで歩けないので注意が必要。

## 7 解答・解説

### [ 歩幅の計算 ]

略（個人差が大きい、0.5~0.8mくらいになる）

### [ 考察 ]

(1) 真の地球の円周を40000kmとすれば下記の場合、次のような割合となる。

① (例) 38000km →  $38000/40000 \times 100 = 95\%$  (に相当) 誤差5%

② エラトステネス 46000km →  $46000/40000 \times 100 = 115\%$  (に相当) 誤差15%

なお、エラトステネスの誤差は15%と大きいように見えるが、これには理由がある。実はアレキサンドリアとシエネは、同一経線上に位置していない（南北の関係にない）。図のように、本来ならアレキサンドリアの真南の地点（★）との距離と、2地点の緯度差（7.2度）を使って円周を求めるところ、アレキサンドリアとシエネの距離（斜めの太線）を使って計算すると、2地点間の距離が大きく見積もられてしまう。

この問題を補正して、地球の円周を求めると、誤差は数%と小さくなる。このことを考慮すると、エラトステネスの求めた値は、極めて正確な値と評価すべきであることを補足したい。

深谷第一高校における2015年度地学基礎8講座（1年生：299人）の結果は以下の通りとなった。

最小値 30240km（誤差 25.4%） 最大値 50976km（誤差 27.4%）

平均値 39123km（誤差 2.2%）

これから計算すると地球の半径は下記の通りである。

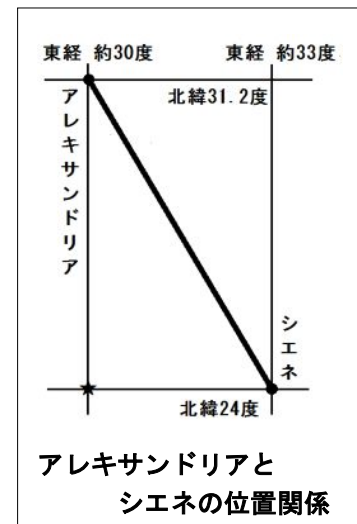
最小値 4815km 最大値 8117km 平均値 6230km

(2) 測定結果の平均値は、必ず40000kmを下回る。この原因は、次のように考えられる。

歩幅を決める短い区間（20m）での歩き方と、それより長い2地点間の距離を求める時の歩き方では、歩き方が異なってしまうということである。2地点間の距離を求める長い区間を歩く際には、頑張って歩いてしまう傾向があるようだ。そのため本来の歩幅より、長いストライドで歩いてしまい、歩数が少なくなってしまうのである。

教員研修でこの実習を行うと、求められた地球の大きさは、高校生の求めた結果より、必ず小さくなる。これは、教員（大人）は、少ない時間で効率的に行動しようとする意識が働くため、どうしても一歩の歩幅が伸びてしまい、本来より歩数が少なくなってしまうようだ。特に前の人を追いかけて歩くように実習を行った場合はこの傾向が強い。

時間に余裕のある（タラタラと行動する）高校生が良い結果を出すのは、理に叶ったことであり、この実習は高校生にふさわしい実習と言えるだろう。



## 8 補足

### [ グーグルアースの使用方法 ]

(1) 正常にインストールされると、日本列島を中心とした地球全図が示される。「手のひら」マークを地図上で移動させると、マークで指定した地点の緯度経度、その地表面の高度（海底ならマイナス）が画面下記に示される。

(2) 画面上に手のひらマークが出る。これを目標とする地点の上に置き、左ダブルクリックすると、中

央部分が拡大を始める。ダブルクリックを繰り返すと、どんどん拡大する。逆に縮小したいときには右ダブルクリックする。途中で動きを止めたいときには、それぞれ一度だけクリックすれば良い。

(3) 拡大とともに目標地点からずれていることがわかったら、ドラッグすると画面が動く。拡大するとともに画面上に主な町の名前や市町村の境界線などが表示されてくる。また青い口に手のひらマークを重ねると、駅名などが表示される。それらを目印に、自分の学校のある領域まで絞り込む。

(4) 目印としたい位置にカーソルを動かすと、その地点の緯度・経度が表示されるが、カーソルのどこがその地点なのか判らないので、目印を付ける必要がある。画面上方中程にピンマークがある(右図)ので、これをクリックする。



(5) 画面中央に黄色いピンマークが出るので、これをドラッグさせて目的の場所に移動する。右のようなボックスも現れ、0.01"の精度で緯度・経度が表示される。表示を見ながら歩測の開始地点と終了地点で

① 緯度の差の秒数が整数(2~4")になるようにする

② 経度が同じになるようにする(2地点が南北に並ぶ)

ことに気をつけて、2地点を決定する。名前を入力して「OK」をクリックすると位置が確定する。このとき場所を変えたい場合は、ピンの上で右クリックをし、現れた別のボックスの「削除」をクリックすればよい。

(6) この写真を印刷したい場合は、画面上方右よりの印刷マークをクリックし、現れたボックスの「3Dビューの画像」の欄をクリックしてチェックし、「印刷」をクリックすれば印刷ができる。

