



第7回
科学の甲子園ジュニア 全国大会

実技競技①

「地球トライアスロン」
ほし
—私たちの惑星を科学する—

⌘ 解答例と解説 ⌘



はじめに

地球は、多様な生命体を育んできた惑星^{ほし}である。46億年前に誕生した地球はマグマの海が地表をおおい、窒素、二酸化炭素などのガスでできた原始大気が空をつくっていたと考えられている。地球の温度が徐々に下がってくると、水蒸気が雨となって大量に地表に降り注ぎ、海がつくられた。その後、生命が誕生し、長い年月を経て現在の地球の姿となっている。また現代においては、温暖化や自然災害などの地球環境問題や人間社会への影響も指摘されている。国連サミットで採択されたSDGs (Sustainable Development Goals) には17のゴール、169のターゲットからなる地球の持続可能な開発目標が設定されており、今後の地球の環境や未来を考えるうえで、時間と空間の連なりを視野に入れた、幅広い総合的な学問が大切となってきている。さて、地学に関する競技、「地球トライアスロン」—私たちの惑星^{ほし}を科学する—はいかがであったか。

採点については、実技器材や観測地点により測定値の差が生じるので、測定値の差等をあらかじめ実測のうえ、得点に影響しない様配慮をした。

【課題1】「川上から石がどんぶらこ」

(解答例)

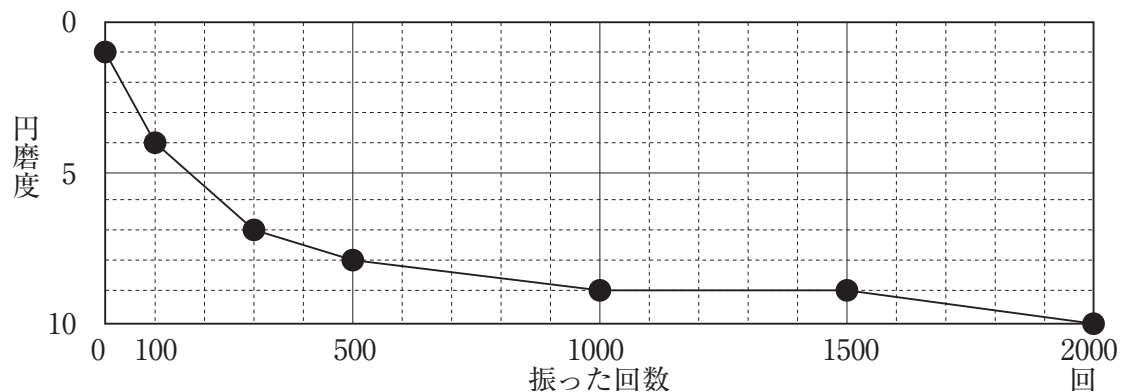
<実験>石こうブロック提出

表1

振った回数	0回	100回	300回	500回	1000回	1500回	2000回
円磨度	1	4	7	8	9	9	10

問1

表1の計測点は、●で記入し、各点を直線で結ぶこと。



問2

だんだん丸くなっていくが、最初のうちにすぐ丸くなっていき、その後はあまり変わらない。

問3

①	岩石
②	距離
③	135
④	157.5
⑤	エ
⑥	似ている

問4

①	カ
②	X … A
	Y … D
③	ケ

(解説)

この問題では、体力も知力もそしてメンバーの協力も必要とされる。この実験を通じて、河川において岩石が運搬される時、どのように削られ丸くなっていくか、息をはずませながら体感できたと思う。

ボトルを振っていくと石こうブロックが次第に丸くなっていく。問1でグラフを作りながら理解できたように、振った回数が少ないうちにけっこう丸くなっていた。横方向に振り続けたり、しとやかに振ったりすると、この傾向は不明瞭だったかも知れないが、それでも似たような傾向は読みとれただろう。問2では、その点を丁寧に解答してほしい。

実際の河川にあてはめると、石こうブロックは流されていく岩石に相当する。また、振った回数は岩石同士がぶつかった回数だから、もう一步踏み込んで、上流からの距離を表していると考えて良いだろう。つまり実験結果から、礫れきはそれほど下流まで行かないうちに、かなり丸くなっていくことがわかる。実際の河川でも河原で礫を採集してみると、そのとおりになっていることがわかる。(図①～④)



図① 河川上流部

(東京あきる野市養沢川…多摩川の支流の1つで、最下流部(東京湾)まで約150 km である)



図② 同場所の河原 礫の形は角張っている



図③ 図①より7 km 下流



図④ 図③の河原の礫 丸みをおびた礫が目立ってきた

問3では、岩石の丸くなっていく理由を、甲子君と子園さんが考えていく中で、子園さんは石こうブロックの内角の変化に着目して説明していた。ブロックが壊れていくにしたがって、内角が徐々に増えていく（逆に言えば外角が徐々に減っていく）ところは、図形問題を解く数学力があれば十分に理解できたと思う。2倍×2倍×2倍のように倍数で増えていくが、このような変化を指数変化とって、高等学校で学ぶとさらに理解が深まるだろう。また子園さんのような発想は、数学や科学の基礎になる「微分」の考え方にも通じ、やはり高等学校で学ぶ。ぜひ期待しながら学習を進めてほしい。

問4は、上流部の地図であり、河川の傾斜は下流部よりも大きいので、水は徐々に集まってくるという性質がある。つまり枝分かれが集まってくる方向が、それより下流方向ということである。ちなみに最下流部では海に流れ込むので傾斜もなくなり、水は四方八方に広がっていかうとするので、河川は海方向に向かって枝分かれしていくことになり、三角州（デルタ）を形成していくことが多い。

この実験からわかるように、河川の条件が同じなら、つまり河川の傾斜、流れる水の量や流されていく土砂や岩石の量、そして岩石の硬さなどの条件が同じならば、同じように丸くなっていくことが想像できるだろう。

問4の図4を見ると、本流部分の最上流部から地点Dまでの距離と、支流の最上流部から地点Fまでの距離は同じであることに気づく。地点Dから地点Cまでの距離よりも、地

点Fから地点Eまでの距離のほうが短い。つまり地点Eの礫は地点Cほど運ばれていないことがわかる。そこで図5の地点Cの礫のスケッチを見れば、地点Eの礫はそれより角張っているはずであることが想像できるので、図6から礫のサイズも考慮に入れてそれに相当するスケッチを選べば良い。

今回は石こうブロックを実験に用いたが、実際の岩石（比較的柔らかい石灰岩など）を用いて同じ実験をすると、5000回振っても円磨度は0.5しか丸くならない。つまり実際の岩石が丸くなるには、かなりのエネルギーが必要なことが想像される。

また岩石のかたさの違いも円磨度に影響する。(図⑤)



図⑤ 同じ河原でも礫の硬さによって礫の円磨度が異なる。左：砂岩礫 右：チャート礫(砂岩より固い)
(図①と図③の中間部の河原にて)

【課題2】「地球の大きさを測る」

(解答例)

問1

Xの経度	E 140 度	6 分	55.68 秒
------	---------	-----	---------

Yの経度	E 140 度	6 分	57.25 秒
------	---------	-----	---------

経度の差	1.57 秒
------	--------

つくば市における緯線の長さ	33000 km
---------------	----------

問2 自転による地面の速さ

北極	0 m/秒
----	-------

つくば市	382 m/秒
------	---------

赤道	464 m/秒
----	---------

問3 人工衛星の打ち上げに有利な順

1位 (赤道)	2位 (つくば市)	3位 (北極)
-----------	-------------	-----------

理由

地表の速さが大きいほど加速に必要なエネルギーを使わないので、有利になる。

(解説)

地球が丸いこと

古代ギリシャの哲学者の中には地球が丸い形であると主張する人たちがいました。

古くはピタゴラス学派（紀元前 500 年ごろ）の人たちが、陸から離れた海上から陸を見ると、ある高さより高い部分しか見えないことを証拠としてあげて、地球は丸いと推定しました。アリストテレス（紀元前 384-322 年）は月食が地球の影によって起こると考え、その形が丸いことから、地球の形が丸いと推測しました。また、星の高度が緯度によって異なることも証拠としてあげています。

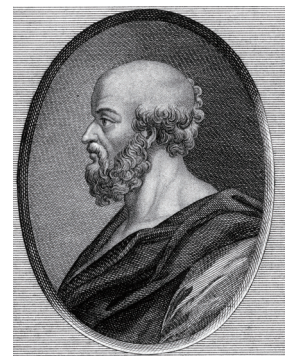
エラトステネスの測定

紀元前 230 年頃にエラトステネス（図⑥）はエジプトのアレキサンドリアとシエネ（現アスワン）での夏至の正午の太陽の高度の情報から、地球の大きさを推定しています（図⑦）。アレキサンドリアで図書館の館長をしていた彼は、北回帰線上にあるシエネでは夏至の日の正午の太陽が井戸の水面に映ること知りました。アレキサンドリアではそのようなことは起こらず、夏至の日の太陽は南に 7.2 度傾いた方向に見えます。

このことは地球が丸いことを前提にして、図⑧のようになっていると考えられます。2 地点の南中時の太陽高度の差を求めることは、2 地点の緯度差（南北方向）を測定することに相当します。緯度の差は 7.2° で、地球を球体と仮定したときの全周の 360° の 1/50 でした。アレキサンドリアとシエネの距離を測定できれば、それは地球の全周の 1/50 のはずなので、地球の経線に沿った方向の円周を知ることができます。これがエラトステネスの考え方です。

実際には地図に表されているようにアレキサンドリアとシエネは同じ経線の上にはなく、東西方向のずれがあります。また直線を測定できるわけではないので、彼の測定値から求めた地球の円周は、実際の地球よりかなり大きくなっていました。

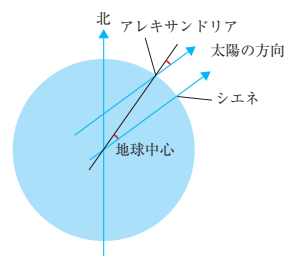
今回は会場前広場で距離の分かっている 2 点の経度差を G N N S で測定し、つくば市を通る緯線の長さを求めました。



図⑥ エラトステネス



図⑦ アレキサンドリアとシエネ



図⑧ アレキサンドリアとシエネの緯度差

- 問1 東西方向の2点間の距離は、40 m であるから、経度の差から比例計算で円周を出せば良い。
- 問2 北極点は移動していないので、地球が1回転しても地面が進んだ距離は0 km、つくば市は問1の測定値、赤道は半径が6378 km であるから1周40054 km。それぞれを24時間(86400秒)で割ると速さが求まる。
- 問3 ロケットは東方向に打ち上げれば、地面の速さを利用できる。人工衛星になるための最低の速さ7200 m/秒のうちの一部ではあるが有利となる。

【課題3】「湖水の振動（セイシュ）」

(解答例)

第1モードの周期	
【小数第三位を四捨五入】計算（5回分を平均する）	（理論値） 2.26 秒

第2モードの周期	
【小数第三位を四捨五入】計算（5回分を平均する）	（理論値） 1.13 秒

第3モードの周期	
【小数第三位を四捨五入】計算（5回分を平均する）	（理論値） 0.75 秒

(解説)

問題文にもあるとおり、湖水や湾には固有の振動が観測されることがあります。この振動のことをセイシュ (Seiche) と呼びます。日本語では、語源のセイシュにひっかけて？ 静振 (せいしん) ともいいます。セイシュとは、これはスイスのレマン湖 (ジュネーブ湖) で発生する振動に起因したこの地方の方言だそうです。この振動の周期は湖や湾の大きさによって決まります。洗面器の水が揺れるのと同じ現象です。

周期の理論値は、 $\frac{L}{\sqrt{gh}}$ (L は波長, g は重力加速度, h は水深) であることが知られています。両端が鉛直壁の場合、 $L = \frac{2l}{n}$ で、 l は壁間の距離, n はモード数です。今回は $n=1, 2, 3$ の3つについて実験してもらいました。

理論値

$$\text{第1モード} \quad \frac{2 \times 100}{\sqrt{980 \times 8}} = 2.26$$

$$\text{第2モード} \quad \frac{2 \times 100 / 2}{\sqrt{980 \times 8}} = 1.13$$

$$\text{第3モード} \quad \frac{2 \times 100 / 3}{\sqrt{980 \times 8}} = 0.75$$