

9

健太さんと花子さんは、学校で学習したエネルギーの移り変わりについて興味をもち、徳島県の発電所について調べてみた。次の(1)～(6)に答えなさい。

いろいろな発電の方法とエネルギーの変換について

健太さんと花子さんは、徳島県に見られる発電所や、1人が1日に消費する電力量について調べ、次のような表や図にまとめた。

表1 徳島県のおもな発電所

発電の方法（発電所の数）	最大発生電力 [kW]
火力発電（3か所）	4100000
水力発電（19か所）	270000
太陽光発電（2か所）	4000
風力発電（1か所）	19500

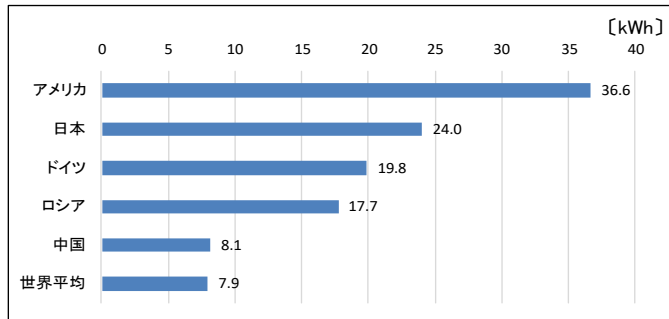


図1 1人が1日に消費する電力量（2010年）

健太さん：電気エネルギーは、いろいろな方法で作ることができるんだね。

花子さん：水力、火力、原子力、風力、太陽光、地熱などによって発電ができるみたいね。

健太さん：徳島県には、水力、火力、太陽光、風力の発電所があるよ。

花子さん：阿南市橘湾の石炭火力発電所は、国内最大級の設備で最大210万kWの発電ができるのよ。発電した電気は四国だけでなく、関西や中国、九州地方にも送られているそうよ。

健太さん：国内最大級って、どれぐらい発電できるのかな。日本人が1日に消費する電力量と比べて考えてみてはどうか。

花子さん：図1で日本人1人あたりの消費する電力量を見てみると、1日に24kWh、つまり100Wの電球（ A ）個を1日中つけたままにしたほどのエネルギーを消費していることになるわ。

健太さん：ということは、（ B ）人分の1日に消費する電力量をまかなえることになるんだ。すごい量だね。でも、火力発電は化石燃料を使用するから、さまざまな問題があることも学習したね。

花子さん：徳島県でも、太陽光や風力などの新しい再生可能エネルギーの利用が始まっているけど、まだまだ開発途上だから、ずっと使われてきた水力は大切なエネルギー資源よ。

健太さん：徳島県には、吉野川や那賀川などに19か所も水力発電所があるようだね。水力発電について、もっとくわしく調べてみよう。

(1) 下線部の火力発電で電気エネルギーがつけられる流れになるように、次の（ ）にあてはまるエネルギーの名称を、ア～エからそれぞれ1つずつ選びなさい。

() → () → 電気エネルギー

ア 光エネルギー イ 熱エネルギー ウ 化学エネルギー エ 核エネルギー

(2) 表1・図1をもとに、（ A ）（ B ）にあてはまる数字を求めなさい。

A		B	
---	--	---	--

水力発電と位置エネルギーの大きさとの関係について調べる実験

健太さんと花子さんは、水力発電では、位置エネルギーが電気エネルギーに変換されていることを知った。そこで、物体の高さや質量と位置エネルギーとの関係について調べる実験を行った。ただし、空気の抵抗や摩擦は考えないものとする。

〔実験〕

- ① 図2の位置エネルギー実験器を用いて、基準面からの高さを変えて、小球を斜面の上から転がし、木片に当てて、木片の移動距離を調べる。
- ② 質量が異なる小球を使って、①と同じように調べる。

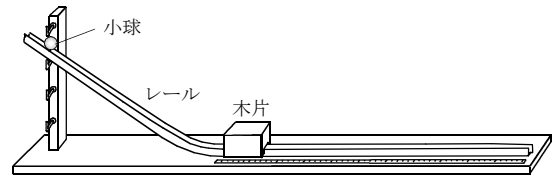


図2

〔結果〕

表2

小球の質量が同じ場合 小球の質量：20.8g

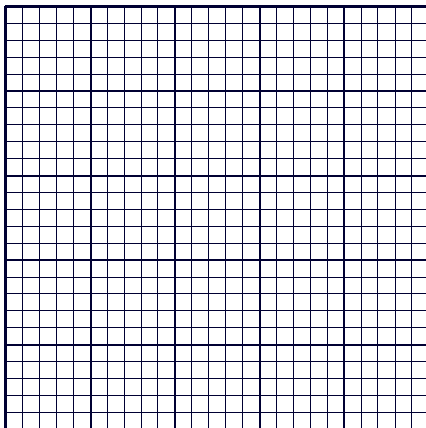
小球の高さ [cm]	木片の移動距離 [cm]
5.0	7.1
10.0	14.3
15.0	21.0

表3

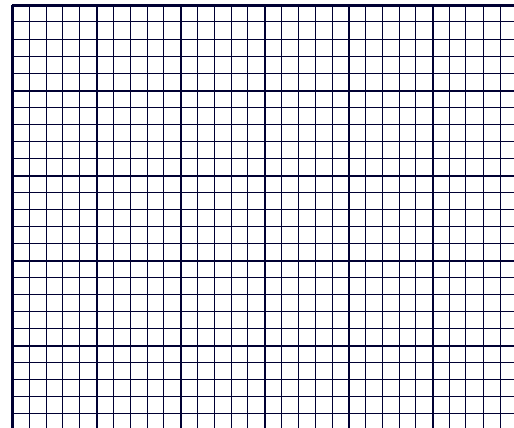
小球の高さが同じ場合 小球の高さ：10cm

小球の質量 [g]	木片の移動距離 [cm]
20.8	14.8
44.6	33.8
56.3	45.6

- (3) ①・②の〔結果〕について、適当な目盛りや単位などをかき、グラフに表しなさい。



小球の高さと木片の移動距離の関係



小球の質量と木片の移動距離の関係

- (4) 次の文章は、この実験内容と水力発電との関係について説明したものである。正しい文になるように、「 A 」～「 C 」に適する語句を書きなさい。

水力発電で得られる電気エネルギーは、ダムなどの高いところから水を落下させることで、水がもつ位置エネルギーを運動エネルギーに変換し、さらに、運動エネルギーを電気エネルギーに変換している。〔実験〕①・②で、木片の移動距離を測定したのは、小球がもつエネルギーは、木片に対して「 A 」をさせることによって、その大きさをはかることができるからである。また、小球の高さや質量を変化させたことは、それぞれ、水力発電における「 B 」や「 C 」の変化に相当する。

A		B		C	
---	--	---	--	---	--

那賀川流域の水力発電についての考察

健太さんと花子さんは、徳島県や電力会社などのwebページをもとに、那賀川流域の水力発電のようすについて調べ、表や図にまとめた。

健太：那賀川流域には、水力発電所が5か所もあるんだね。

花子：最も下流の川口発電所はダムのすぐ近くに発電所があるけど、他の4か所の発電所はダムから離れているわね。

表 4

発電所名	最大発電電力 [kW]	最大使用水量 [m ³ /s]	有効落差 [m]
陰平発電所	46650	60	89.7
坂州発電所	2400	6.3	47.9
日野谷発電所	62000	60	116.35
川口発電所	11700	70	20.49
広野発電所	35700	14.3	292.7

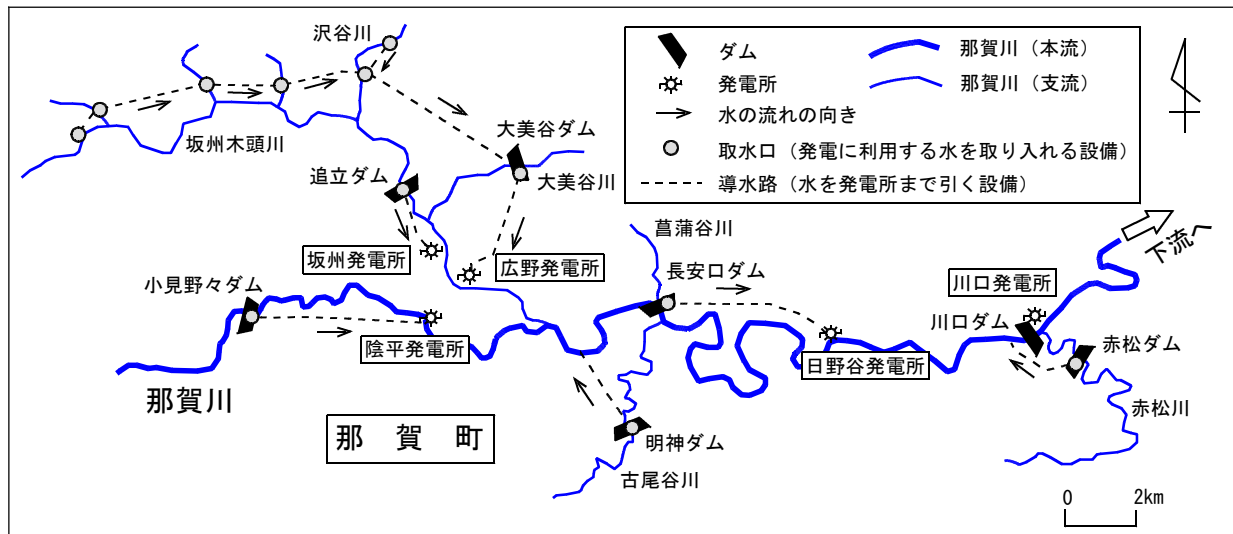


図 3 那賀川流域の発電のようす

(5) 表 4 の陰平発電所と日野谷発電所の最大発電電力を比較したとき、発生する電力は日野谷発電所の方が大きい。この理由について、次の「 」に文を書き説明しなさい。

理由 日野谷発電所の方が陰平発電所より発生する電力が大きいのは、「

」、日野谷発電所の方が位置エネルギーが大きくなるためである。

(6) 日野谷発電所は、徳島県では1年間に発電できる電力量が最大の水力発電所である。このことについて、位置エネルギーを大きくするという観点から、どのような工夫がされていると考えられるか、図 3・表 4 をもとに、2つ書きなさい。

工夫 1

工夫 2

遺伝について高い関心をもっている詩織さんと翔太くんは、理科の先生のもとへ話を聞きに行くことにした。次の(1)～(10)に答えなさい。

翔太くん：エンドウの種子の形の遺伝はとても興味深いものでした。

詩織さん：遺伝子が親から子へ伝わることで形質が遺伝するんですね。

先生：そうですね。それでは、種子の形の遺伝の復習をしてみましょう。

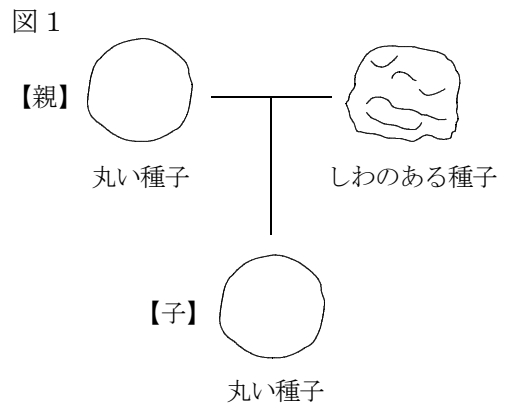
翔太くん：エンドウの種子の形には丸いものとしわのものがありました。

先生：種子の形の「丸」と「しわ」のように、1つの形質に同時に現れない形質が2つ存在するとき、これらの形質を（あ）といいましたね。

詩織さん：図1のように、丸い種子をつくる純系と、しわのある種子をつくる純系とをかけ合わせると、子はすべて丸い種子をつくりました。

先生：ここで、（あ）をもつ純系どうしをかけ合わせたとき、子に現れない形質のことを（い）といいましたね。

翔太くん：生まれた子を育てて自家受粉させると、孫には丸い種子としわのある種子が現れました。



(1) 文中の（あ）、（い）にあてはまる語句を書きなさい。

あ		い	
---	--	---	--

(2) 文中の下線部について、① 生まれた孫に現れる丸い種子としわのある種子の割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。また、② 種子を丸くする遺伝子をA、しわにする遺伝子をaとすると、生まれた孫の種子の遺伝子の組み合わせは「AA」、「Aa」、「aa」のいずれかになる。生まれた孫の種子における、3種類の遺伝子の組み合わせの割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。

①	丸い種子 : しわのある種子 =
②	AA : Aa : aa =

詩織さん：メンデルはエンドウについて、種子の形だけでなく、子葉の色や花のつき方などについても研究したみたいですね。これらも種子の形と同じように遺伝するのですか。

先生：はい、そうです。メンデルは8年もかけて、エンドウの7種類の形質について遺伝の規則性の研究をしたのですよ。

翔太くん：ふええ。大変な研究だったんですね。

先生：そうですね。

詩織さん：ところで、なぜメンデルはエンドウを用いて研究したのですか。

先生：それは、エンドウが（う）という点で、遺伝の研究に適していたからです。

(3) 文中の (う) に入る文章として適切でないものを、下のア～エから1つ選びなさい。

- ア 人の手によって、容易に受粉を行うことができる
- イ 水管理や温度管理などに手間がかからず、栽培が容易である
- ウ 親の世代から子の世代までの期間が比較的長い
- エ 1つの親から生まれる子の数が多い

先生：同時に2種類の形質について、遺伝の規則性を考えることもできますよ。

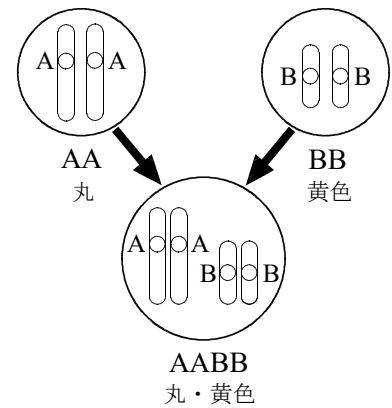
詩織さん：本当ですか。

先生：エンドウの「種子の形」と「子葉の色」の2種類に着目してみます。

子葉の色は黄色が顕性形質であり、種子の形の遺伝子と子葉の色の遺伝子は別々の染色体にあります。

種子を丸くする遺伝子をA、しわにする遺伝子をaとし、子葉の色を黄色にする遺伝子をB、緑色にする遺伝子をbとします。種子が丸い形で子葉が黄色(丸・黄色)の純系は、図2のようにAA(丸)とBB(黄色)を合わせたものになるので、遺伝子の組み合わせは「AABB」と表します。

図2



翔太くん、詩織さん：なるほど。

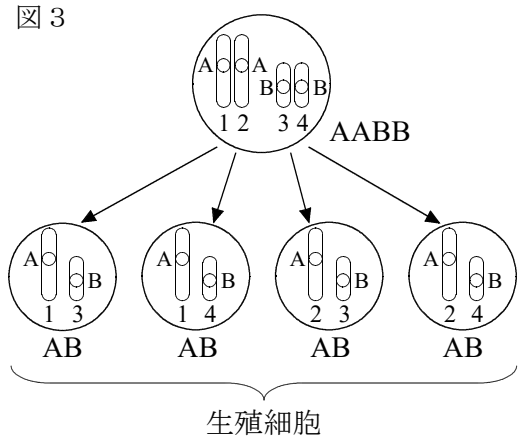
先生：遺伝子の組み合わせの表し方はわかりましたか。それでは、種子が丸い形で子葉が黄色(丸・黄色)の純系と、種子がしわで子葉が緑色(しわ・緑色)の純系を親としてどのような子孫が生じるか、考えてみましょう。

翔太くん：「しわ・緑色」の遺伝子の組み合わせは (え) と表しますね。

先生：その通りです。

詩織さん：う～ん。親がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせの表し方がわかりません。

先生：図3のように考えます。2種類の対になっている遺伝子(AAおよびBB)がそれぞれ分かれて別々の生殖細胞に1つずつ入ります(図3では、どの遺伝子が生殖細胞に入ったかをわかりやすくするために、1～4の番号をつけてあります)。4つから2つを選ぶときの組み合わせは全部で4通りあるので、4通りの遺伝子の組み合わせをもつ生殖細胞が生じますが、AABBの場合、生殖細胞の遺伝子の組み合わせはすべて同じになり、「AB」となります。



(4) 文中の (え) にあてはまる遺伝子の組み合わせを書きなさい。

- (5) 1つの種子に現れる「種子の形」と「子葉の色」の2種類の形質を同時に考える場合、現れる形質には「丸・黄色」、「丸・緑色」、「しわ・黄色」、「しわ・緑色」の4種類がある。それぞれの形質について、遺伝子の組み合わせをすべて書きなさい。

丸・黄色	
丸・緑色	
しわ・黄色	
しわ・緑色	

- (6) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子の遺伝子の組み合わせは1種類である。子の、① 遺伝子の組み合わせと、② 現れる形質をそれぞれ書きなさい。ただし、現れる形質は「しわ・黄色」のように書くこと。

①		②	
---	--	---	--

- (7) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせとその割合はどのようになるか、書きなさい。ただし、割合は最も簡単な整数の比で表し、解答は「AB : ab = 1 : 1」のように書くこと。

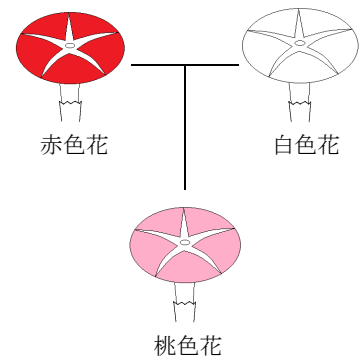
--

- (8) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子を育てて自家受粉した結果、生まれた孫に現れる形質とその割合を書きなさい。ただし、割合は最も簡単な整数の比で表し、解答は「丸・黄色 : しわ・緑色 = 1 : 1」のように書くこと。

--

翔太くん：エンドウの遺伝がさらによくわかりました。
 詩織さん：他の生物もエンドウと同じような遺伝のしかたをするのですか。
 先生：そうではありません。例外もたくさんあります。例えば、荒地や道端で見られるマルバアサガオの花の色の遺伝です。
 翔太くん：どのように違うのですか。
 先生：図4を見てください。マルバアサガオの花の色には、赤色花と白色花があります。赤色花の純系と白色花の純系とをかけ合わせると、子は赤色と白色の中間の色である桃色の花になるんです。
 翔太くん：確かにエンドウの遺伝とは違いますね。
 詩織さん：マルバアサガオの花の色の遺伝では、顕性の法則が成り立っていないのですね。
 先生：その通りです。

図4



- (9) 下線部について、マルバアサガオの花の色の遺伝とエンドウの遺伝との違いを説明しなさい。
ただし、マルバアサガオの花を赤くする遺伝子をR、白くする遺伝子をrとし、これらの記号を用いて説明すること。

- (10) 桃色花のマルバアサガオを自家受粉させて生まれた孫に現れる形質の割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。ただし、現れない形質については「0」と書くこと。

赤色花 : 桃色花 : 白色花 =

科学部に所属する中学生の晴男さんたちは、酸とアルカリに興味をもち、実験を行った。

[三人の会話] と [実験 1]・[実験 2] を読んで(1)～(13)に答えなさい。

[三人の会話]

晴男さん：授業で酸性のもとになるものが水素イオンだって習ったけど、とても驚いたよ。酸性というくらいだから酸素原子が関係していると思っていたからね。

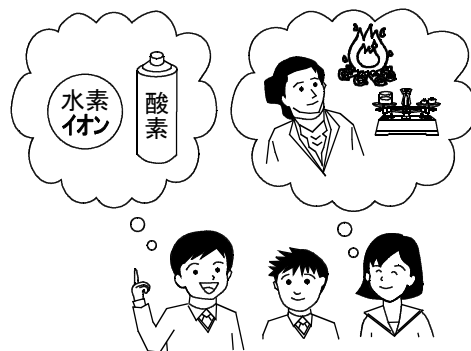
夏雄さん：そんなことを考えていたなんてすごいね。僕はあまり深く考えなかったよ。

亜季さん：「酸素」の名前は、フランスのラボアジエが、①金属以外の物質が気体の酸素と反応すると酸ができることから、この気体が酸のもとだと考えて名付けたんだって。

晴男さん：ラボアジエってどんな人だろう。僕と同じ間違いをした人だから気になるよ。

亜季さん：ラボアジエは、ものが燃えるのは酸素と化合することだという「燃焼理論」や化学反応の前後で質量の総和が変化しないという「質量保存の法則」を発見した、とても偉大な科学者なのよ。

夏雄さん：そんなすごい人と同じことを考えるなんてたいしたものだね。



(1) 水素イオンの化学式、酸素原子の原子の記号を書きなさい。

水素イオン	酸素原子
-------	------

(2) 次の文は、下線部①について述べたものである。正しい文になるように、文中の (あ)・(い) にあてはまる言葉を書きなさい。

木炭が燃焼して酸素と反応すると、気体の (あ) となる。これが水に溶けると、(い) 水となり、酸性を示す。

あ	い
---	---

[三人の会話]

晴男さん：ところで、どうして酸素ではなく水素イオンだってわかったんだろうね。

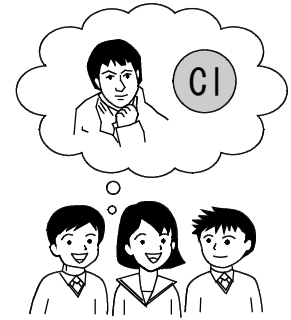
亜季さん：はっきりと水素イオンだとわかるのは、ラボアジエが酸素の命名をしてから100年くらい後になるのよ。でも、まずは、イギリスのデービーが塩酸に酸素がふくまれないことを示したことで、酸のもとが酸素ではないということがわかったの。

晴男さん：確かに塩酸には酸素はふくまれないね。僕たちは化学式を知っているからすぐにわかるけど、デービーはどうやって、そのことを調べたのだろう。

亜季さん：デービーは②塩酸を電気分解して、2種類の気体を取り出し、1つがすでに知られていた水素であり、もう1つが③塩素という酸素をふくまない単体だということを示したのよ。そのことで塩酸には酸素がふくまれないことがわかったの。

夏雄さん：塩酸の電気分解なら授業で実験したね。あのプールを消毒するときのにおいは忘れられないなあ。

亜季さん：デービーは、「イオン」を最初に考えたファラデーを育てた科学者でもあるのよ。



(3) 下線部②に関して、塩酸は塩化水素の水溶液であり、電気分解すると水素と塩素が得られる。表1は、塩化水素、塩素、水素、酸素についての性質をまとめたものである。(あ)～(え)にあてはまる言葉を書きなさい。

表1

気体名	色	におい	空気と比べた重さ	水への溶けやすさ
塩化水素	なし	(あ)	重い	非常に溶けやすい
水素	なし	なし	非常に軽い	(い)
塩素	(う)	刺激臭	重い	溶けやすい
酸素	なし	なし	(え)	溶けにくい

あ	い
う	え

(4) 下線部③に関して、気体として取り出したある純物質 X に酸素がふくまれることを示す実験結果として適切なものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

- ア 集気びんに入れた X 中に、加熱した銅を入れると激しく燃焼した。
- イ 試験管に X と B T B 溶液を加えた水を入れて振り混ぜると黄色くなった。
- ウ X と木炭が入った密閉容器を加熱し、発生した気体を石灰水に通すと白く濁った。
- エ X と水素の混合気体に点火すると爆発的に反応した。

[三人の会話]

晴男さん：ところで、アルカリ性のもとになるものが水酸化物イオンだということはどのようにしてわかったのかな。

亜季さん：酸性のもとになるのが水素イオン、アルカリ性のもとになるのが水酸化物イオンという考えは、スウェーデンの科学者アレーニウスが考えたのよ。アレーニウスは水溶液の中で電解質が電離してイオンになっているという「電離説」を提唱し、それと同じ頃にこの考えを発表したの。

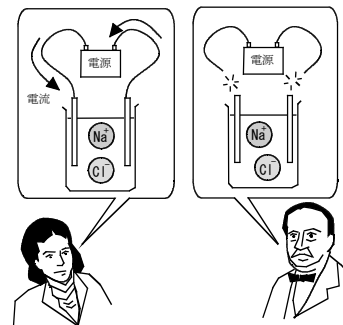
夏雄さん：あれ、イオンの考えはファラデーが考えついたんじゃないかな。

亜季さん：確かにそうだけど、ファラデーは電流を通したときだけイオンになると考えていたのよ。アレーニウスは電流を通していなくても電離してイオンになっていると考えたの。その考えはとても画期的なことだったので、最初は支持してもらえなかったの。

晴男さん：確かに溶けているだけで、電気をもった粒子になっているなんて、普通には考えられないよ。

亜季さん：この考えには、電離することにより溶質の粒子の個数が変化しているということが重要なヒントになったのよ。

夏雄さん：よし、今度の中和の実験では、できるだけイオンのような粒子の個数をイメージしながら実験してみよう。



(5) 下線部④について、塩酸と酢酸ではそれぞれの分子が水溶液中で電離する割合が異なっており、うすい水溶液中において、塩化水素ではすべての分子が電離するが、酢酸ではもとの酢酸分子の1.7%しか電離しない。塩化水素分子と酢酸分子が、それぞれ1000個ずつあり、うすい水溶液中で電離しているとしたとき、(a)・(b)に答えなさい。ただし、1個の酢酸分子は、電離すると水素イオン1個と酢酸イオン1個を生じる。

(a) それぞれの水溶液中にある水素イオンの個数は何個か、求めなさい。

塩酸	個	酢酸	個
----	---	----	---

(b) それぞれの水溶液中にある、溶質の粒子の合計の数は何個か、求めなさい。

塩酸 (考え方)	答え	個
酢酸 (考え方)	答え	個

【実験1】

- ① 図1のように、ビーカーに2.5%水酸化ナトリウム水溶液10.0cm³を入れ、フェノールフタレイン溶液を2、3滴加えた。
- ② 図2のように、こまごめピペットを用いて、①のビーカーに、2.5%塩酸を少しずつ注意深く、ビーカー内の水溶液の赤色がちょうど消えるまで加えた。
- ③ 図3のように、水溶液の一部をガラス棒でスライドガラスにとり、水分を蒸発させ、現れた結晶を顕微鏡で観察した。

図1



図2

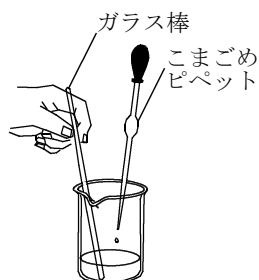
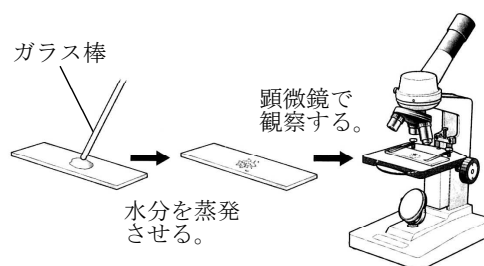
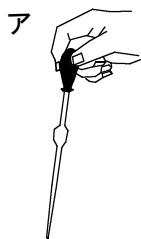


図3



(6) こまごめピペットの持ち方として正しいものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。



(7) 【実験1】②でフェノールフタレインの赤色が無色になったことから考えられることを、「水酸化ナトリウム」、「酸」、「アルカリの性質」という言葉を用いて説明しなさい。

(8) 【実験1】②での水酸化ナトリウムと塩酸の反応を化学反応式で表しなさい。

(9) [実験1] ①で水酸化ナトリウム水溶液にふくまれていたナトリウムイオンの個数をAとしたとき、[実験1] ②で、次の(a)、(b)のときのイオンの個数の合計をAを用いた式で表しなさい。

(a) 水溶液の赤色がちょうど消えたとき。

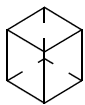
(考え方)	
	答え 個

(b) 水溶液の赤色がちょうど消えたときの2倍の量の塩酸を加えたとき。

(考え方)	
	答え 個

(10) [実験1] ③で観察された結晶の形として正しいものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

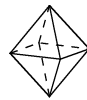
ア



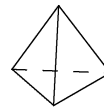
イ



ウ



エ



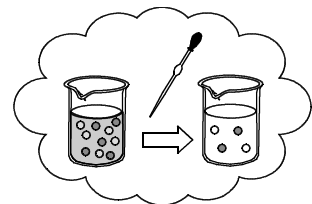
--

[三人の会話]

晴男さん：中和の実験は最初は単純だと思っていたけど、やってみると興味深かったよ。加えた塩酸がだんだんと多くなってくると、一度色が消えてから赤色に戻るのが遅くなっていき、水酸化物イオンの数が減っていることがよくわかったよ。

夏雄さん：僕は、最初、塩酸を一気に入れてしまって、すぐに透明になってしまったよ。

亜季さん：私は、クラスみんながほぼ同じ量の塩酸でちょうど中和することにとっても驚いたわ。中和をするときの、濃度や体積についてもう少し詳しく実験してみましよう。



[実験 2]

- ① 図4のように、試験管①～④に2.5%と5.0%の水酸化ナトリウム水溶液をそれぞれ5.0cm³と10.0cm³ずつとり、フェノールフタレイン溶液を2、3滴ずつ加えた。
- ② 図5のように、メスシリンダーに2.5%塩酸を20.0cm³入れ、この塩酸を試験管①に少しずつ加えた。フェノールフタレイン溶液の赤色がちょうど消えたとき、メスシリンダーに残っている塩酸の体積から必要だった塩酸の体積を求め、記録した。
- ③ 同様にして、試験管②～④についても調べた。表2はその結果をまとめたものである。

図4

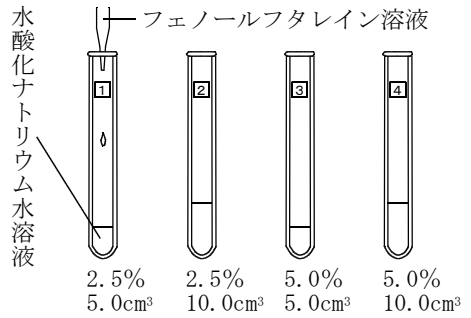
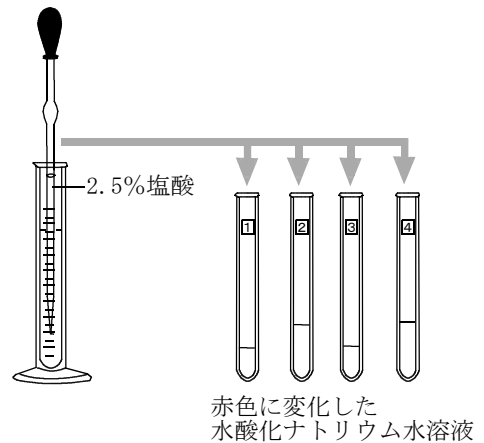


表2

試験管	水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積		水溶液を中性にするのに必要だった2.5%塩酸の体積 [cm ³]
	濃度 [%]	体積 [cm ³]	
①	2.5	5.0	4.4
②	2.5	10.0	8.8
③	5.0	5.0	8.8
④	5.0	10.0	17.6

図5



- (11) 次の文は、[実験 2]で、水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積の両方を①の2倍にした試験管④の結果について考察し、さらに、濃度をm倍、体積をn倍にしたときについて予想したものである。正しい文になるように、文中の (あ) ~ (く) にあてはまる言葉を書きなさい。

水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積の両方を2倍にしたときには、(あ) イオンの数が (い) 倍になり、それを中和するための (う) イオンの数は (え) 倍になるので、必要な塩酸の体積は (お) 倍になった。

水酸化ナトリウム水溶液の濃度をm倍、体積をn倍にしたときには、(あ) イオンの数が (か) 倍になり、それを中和するための (う) イオンの数は (き) 倍になるので、必要な塩酸の体積は (く) 倍になると予想される。

あ	い	う
え	お	か
き	く	

- (12) [三人の会話] 下線部⑤に関して、[実験2]の結果をもとに、[実験1]で夏雄さんが塩酸を加えすぎてしまった水溶液を2.5%水酸化ナトリウム水溶液を用いて中性にしようと考えた。夏雄さんが加えた2.5%塩酸が12.0cm³であったとすると、これを中性にするために加える2.5%水酸化ナトリウム水溶液は何cm³か、小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで求めなさい。

(考え方)

答え

cm³

- (13) 濃度のわからない水酸化ナトリウム水溶液15.0cm³をこの実験で用いた2.5%塩酸と反応させ、[実験2]と同様の操作を行うと、フェノールフタレイン溶液の赤色がちょうど消えるまでに必要だった塩酸の体積は14.0cm³であった。水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何%か、小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで求めなさい。

(考え方)

答え

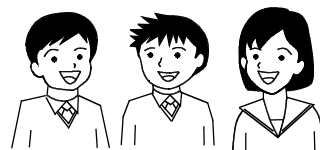
%

[三人の会話]

晴男さん：中和について粒子の個数をイメージしながら考えることで、濃度のことがよく理解できるようになったよ。何事もじっくり考えることが大切だね。

夏雄さん：質量パーセント濃度の計算が苦手だったけど、あの計算の意味がはじめてわかった気がしたよ。

亜季さん：みんなといっしょに話をしながら考えていると、昔の科学者になったような気がしたわ。中学校で習うことって、簡単そうだけど追究すると奥が深いってことをすごく感じたわ。



15

優太さんと香奈さんは、アメリカから短期留学で来日しているジムさんとともに、京都に観光に行きました。(1)～(9)に答えなさい。

優太さん：ここは梅尾山（とがのおさん）の高山寺（こうさんじ）です。このお寺には少し変わった絵があるんですよ。



鳥獣人物戯画

ジムさん：この絵は何というものですか。

香奈さん：これは「鳥獣人物戯画」といって、約800年前に描かれたものです。

優太さん：サルやウサギ、カエルなどが人間のように描かれていて、日本最古の漫画ともいわれています。

香奈さん：このほかにも、キツネやシカが描かれているものもあるんですよ。

ジムさん：でもそうするとカエルだけ特別な感じがします。

優太さん：どうしてですか。

ジムさん：脊椎動物のなかまわけでいうと、サル・ウサギ・キツネ・シカは（あ）ですが、カエルは（い）だからです。

香奈さん：なるほど。

(1) 文中の（あ）、（い）にあてはまる語を書きなさい。

あ		い	
---	--	---	--

(2) 表は、カエルとサルについて、それぞれの特徴を示したものである。ア～エにあてはまる言葉をそれぞれ書きなさい。ただし、ウは子と親のおもな生活の場所をそれぞれ書くこと。

表

特徴 \ 生物	カエル	サル
なかまのふやし方	ア	胎 生
体 温	変 温	イ
おもな生活の場所	ウ	陸 上
体 表	うすく湿った皮膚	エ

ア		イ	
ウ		エ	

(3) 生物が長い年月の中で世代を重ねる間に変化していくことを進化という。脊椎動物では、魚類のあるものから会話文中の（ い ）へ、会話文中の（ い ）のあるものからは虫類へ進化したと考えられている。会話文中の（ い ）が魚類とは虫類の間にあると考えられている根拠を、それぞれの生物の特徴を踏まえて2つ書きなさい。

優太さん：あ、クヌギの木にカブトムシがいますよ。

ジムさん：これが日本のカブトムシですか。

香奈さん：カブトムシは、サルやカエルと違って無脊椎動物のなかまですね。

優太さん：そうです。また、無脊椎動物にもいろいろななかまがありますが、カブトムシは節足動物のなかまです。

ジムさん：カブトムシの体はかたいですね。

香奈さん：このように、体をかたい殻のようなものでおおっているつくりを（ う ）といいます。

ジムさん：無脊椎動物の特徴と脊椎動物の特徴は、まったく違うのでしょうか。

優太さん：違うところもありますが、①共通しているところもありますよ。



カブトムシ

(4) 文中の（ う ）にあてはまる語を書きなさい。また、（ う ）のはたらきについて2つ書きなさい。

--

はたらき

(5) 下線部①について、カブトムシと脊椎動物の一種であるヘビとの共通点を示した文として誤っているものはどれか、ア～エから最も適切なものを選びなさい。

ア 卵を産んでなかまをふやす。

イ まわりの温度変化にともなって体温が変化する。

ウ 肺で呼吸する。

エ 陸上で生活する。

--

(6) 無脊椎動物には、節足動物のほかに軟体動物とよばれるなかまがいる。

(a) 軟体動物のなかまではないものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

ア ヒトデ イ ナメクジ ウ アサリ エ イカ

(b) 軟体動物は、内臓をおおっている膜をもっている。この膜を何というか、書きなさい。

ジムさん：京都は自然が豊かですね。

優太さん：徳島も負けてないですよ。あ、あその池にミシシippアカミミガメがいますよ。

ジムさん：ミシシipp…??

香奈さん：池の底には、アメリカザリガニがいますよ。

ジムさん：アメリカ…??

香奈さん：ジムさん、どうしたのですか。

ジムさん：あのカメやザリガニはアメリカのものですか。

優太さん：そうなんです。もともとミシシippアカミミガメもアメリカザリガニもアメリカに生息していたものです。

ジムさん：なぜ日本の池にいるのですか。

香奈さん：ミシシippアカミミガメは「ミドリガメ」というペットとして輸入されたものですが、誰かが池に放してしまったものが増えたとされています。

優太さん：アメリカザリガニはもともと食用ガエルのえさとして輸入されました。その後、養殖されたものが逃げ出して増えたとされています。

ジムさん：そうなんです。でも、日本の自然の中にもアメリカの生物がいるのでうれしいです。

優太さん：でも喜んでばかりもいられないのです。②もともとその地域にいなかったのに、人間の活動によってほかの国や地域からやってきて住み着いた生物が、③さまざまな悪影響を及ぼしていることがあるのですよ。

ジムさん：そんなこととは知らずに…。日本の自然は美しいので、大切にしたいですね。

香奈さん：現在、多くの国や地域で、科学的な調査のもと、生物のつながりや自然環境を保全するための取り組みや法整備が進められているのですよ。



ミシシippアカミミガメ



アメリカザリガニ

(7) 下線部②のような生物を何というか、書きなさい。

(8) 下線部②について、日本固有の生物をア～クからすべて選びなさい。

ア オオクチバス イ ウシガエル ウ セアカコケグモ エ メダカ
オ セイタカアワダチソウ カ アライグマ キ イシガメ ク シロツメクサ

--

(9) 下線部③について、下線部②の生物が及ぼす悪影響には、大きくわけて「人の生命・身体への影響」、「農林水産業への影響」、「生態系への影響」の3つがある。「人の生命・身体への影響」については、毒をもっていることや刺したりかんだりして危険であることが考えられる。また、「農林水産業への影響」については、農林水産物を食べたり田畑を踏み荒らしたりすることが考えられる。「生態系への影響」について考えられることを3つ書きなさい。

16

連さんと令さんは、宇宙を舞台にした映画「スター・ウォーズ」を鑑賞した帰りに、日没後すぐの空を見ながら宇宙や惑星について話し合った。(1)～(7)に答えなさい。

太陽系の惑星について

連さん：映画、面白かったね。でもこれがシリーズ完結編だと思うと、さびしい気がするね。

令さん：実際の宇宙でも、映画みたいいろいろな惑星があるのかな。

連さん：映画は、「遠い昔、遙か彼方の銀河系で・・・」という設定だけど、僕たちの太陽系に実在する8個の惑星も、それぞれに特徴があって、とても面白いよ。

令さん：私は天体望遠鏡で、土星の環を見たことがあるわよ。

連さん：僕も見たことがあるよ。ちなみに、あの明るい星は金星だよ。「宵の明星」とよばれることもあるんだ。

(1) 令さんがあげた土星は木星型惑星、連さんがあげた金星は地球型惑星とよばれるグループに属している。

木星型惑星と地球型惑星を比べたとき、対照的な違いが見られる。どのような違いがあるか、表から読みとれることをすべて答えなさい。

表【惑星の特徴】

	太陽からの平均距離	公転周期(年)	自転周期(日)	赤道半径	質量	大気的主要成分	惑星の表面温度(°C)
水星	0.4	0.24	58.65	0.38	0.06	ほとんどなし	約170
金星	0.7	0.62	243.02	0.95	0.82	二酸化炭素	約460
地球	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	窒素 酸素	約15
火星	1.5	1.88	1.03	0.53	0.11	二酸化炭素	約-60
木星	5.2	11.9	0.41	11.2	317.8	水素 ヘリウム	約-120
土星	9.6	29.5	0.44	9.4	95.2	水素 ヘリウム	約-130
天王星	19.2	84.0	0.72	4.0	14.5	水素 ヘリウム	約-200
海王星	30.1	165.0	0.67	3.9	17.2	水素 ヘリウム	約-200

表中の太陽からの平均距離、赤道半径、質量は、地球を1としたときの値

(2) 地球の平均密度は約 5.5 g/cm^3 である。土星と金星の平均密度はどのくらいか。表から読みとれることをもとに考え、ア～コから最も適切なものをそれぞれ選びなさい。

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ア 水素の密度約 0.00090 g/cm^3 程度 | イ 二酸化炭素の密度約 0.0019 g/cm^3 程度 |
| ウ ガソリンの密度約 0.69 g/cm^3 程度 | エ 水の密度 1.0 g/cm^3 程度 |
| オ 飽和食塩水の密度約 1.2 g/cm^3 程度 | カ 花こう岩の密度約 2.7 g/cm^3 程度 |
| キ 地球の平均密度約 5.5 g/cm^3 程度 | ク 鉄の密度約 7.9 g/cm^3 程度 |
| ケ 鉛の密度約 11.0 g/cm^3 程度 | コ 金の密度約 19 g/cm^3 程度 |

土星	金星
----	----

(3) 表は太陽からの平均距離が小さい惑星を上から順に並べている。平均距離に対する規則性が見られる惑星の特徴は何か、書きなさい。ただし、表であげられた、太陽からの平均距離以外の6項目からあてはまるものを選ぶこと。

地球に生物が存在する理由

令さん：映画ではたくさんの惑星で、さまざまな宇宙人が生活していたけど、将来、金星や火星に人間が移住することはできるのかな。

連さん：今のままの金星や火星の環境では、人間がそのまま住むことはできないね。

令さん：なぜ地球だけさまざまな生物が生存できるのかな。

(4) 現在、地球上に数多くの生物が生存しているのは、地球に生物の生存を可能にする条件が備わっているからである。表の内容にふれながら、主な条件を2つ書きなさい。

条件 1

条件 2

金星の位置と見え方

令さん：今日の金星は、普通の星と比べてどれくらい明るいのかな。

連さん：-4等星より明るくて、普通の1等星と比べると5等級も明るいんだよ。これは光度で表すと100倍以上の明るさなんだ。今は日没時の地平線からの高度が40°未満だけど、およそ1か月後には日没時の地平線からの高度が最も高くなり、今よりさらに長時間観測できるよ。それから太陽からの見かけの角度が約45°ぐらいとなって太陽から最も離れた位置になり、さらに光度も増すので、晴天の日なら工夫すると青空の中に白い点となって肉眼でも見られるんだ。

令さん：今度、青空の中で金星を見ることに挑戦してみたいわね。ところで、今の金星を天体望遠鏡で見たら、どのように見えるのかな。

(5) 2人が映画を見た日の、地球から見た金星の位置は、図1の模式図の**ア～キ**のどこか、最も適切なものを選びなさい。また、この日の金星を天体望遠鏡で観測したとすると、金星の輝いている部分はどのような形に見えるか、図2の模式図の**あ～え**から最も適切なものを選びなさい。ただし、**あ～え**は、肉眼で見たときの向きに直している。

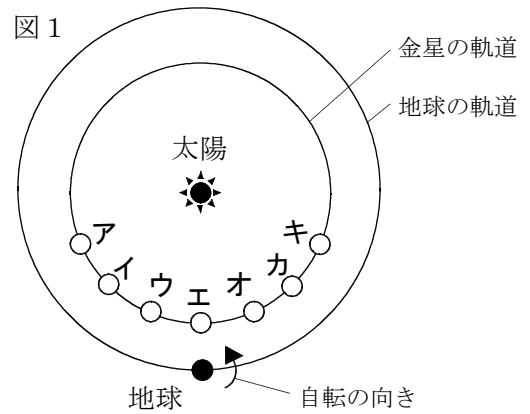
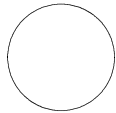
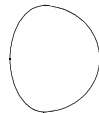


図2

あ



い



う



え



金星の位置

金星の形

金星の位置と見え方の時間経過による変化

令さん：今年はずっと金星が夕方見やすいのかな。

連さん：いや、そうではないよ。いずれ観測できない時期が来て、その時期を過ぎると、今度は明け方の空で「明けの明星」として見えるようになるんだ。かなり早起きしないと見られないけどね。

令さん：どうして金星は「宵の明星」になったり、「明けの明星」になったりするのかな。

- (6) 金星が地球に最接近しているとき、見かけの金星の大きさは最大になるはずだが、実際には金星を地球から観測することができない。なぜ金星を観測できないか、理由を書きなさい。

- (7) 2人が映画を見た日からおよそ1か月後に、地球から見て金星が見かけ上太陽から最も離れた位置になった。その日から何か月経つと、金星が地球に最接近するか、表【惑星の特徴】の公転周期の値を用いて、地球と金星がそれぞれ1か月で太陽の周りを、角度で何度公転するかを考えて求めなさい。

計算過程

答え（約 か月後）

17

涼さんと華さんと翔さんは、文化祭の模擬店で台車を利用することを考え、斜面を下る台車の運動について話し合った。[三人の会話]と[実験Ⅰ]・[実験Ⅱ]を読んで、(1)～(7)に答えなさい。ただし、台車はなめらかに運動し、空気の抵抗や摩擦、記録タイマーのテープの質量は考えないものとする。

[三人の会話]

涼さん：模擬店の商品を台車に乗せて斜面を走らせ、お客さんがいるところまで運ぼうと思うのだけど、どうかな。

華さん：手渡しをするより面白さがあると思う。

翔さん：装置を作る必要があるね。

華さん：商品に乗せた台車は、どのぐらいの速さで斜面を下るのかな。

涼さん：装置を作って、記録タイマーで台車の運動を調べてみよう。

[実験Ⅰ]

- ① 図1のように、1秒間に60打点する記録タイマーを斜面の上部に固定し、記録テープを記録タイマーに通して台車につけ、台車を手で支えて斜面の上部に置いた。
- ② 記録タイマーのスイッチを入れて、台車を支える手を静かに離し、台車を運動させた。
- ③ 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図2はこの結果を示したものである。

図1

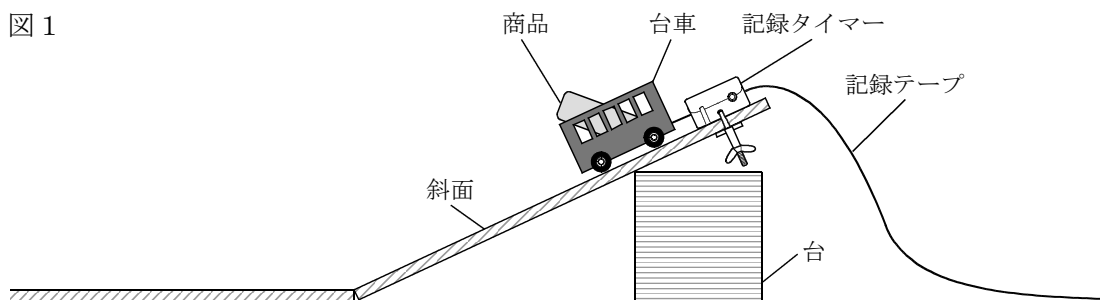
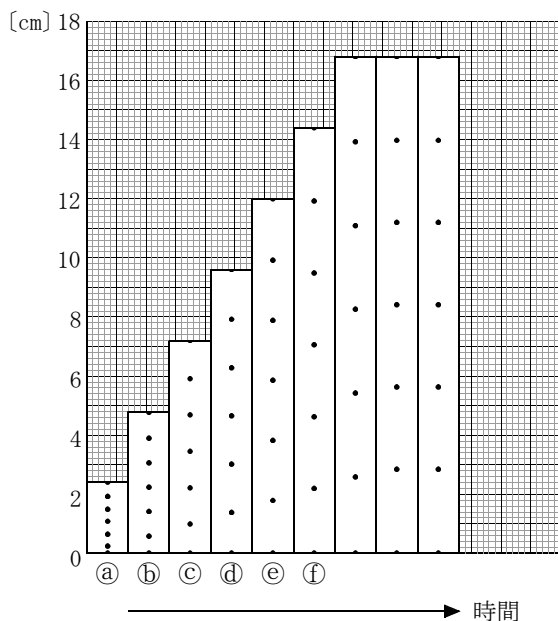


図2



- (1) 図2のグラフ用紙に、6打点ごとの記録テープの長さがわかるように、縦軸に目盛りを書いた。縦軸があらわしているものは何か、縦軸の軸名を書きなさい。

- (2) 図2の記録テープ④について、この区間における台車の平均の速さは何 cm/s か、求めなさい。

cm/s

- (3) 図2の記録テープ③～⑤の長さがしだいに長くなっていることから、斜面を下る台車の運動についてどのようなことがわかるか、説明しなさい。

[三人の会話]

翔さん：商品を安全に運ぶために、斜面の傾きを小さくした方がいいんじゃないかな。

華さん：そうだね。この装置を **装置 Ver.1** とすると、**装置 Ver.1** より斜面の傾きを小さくした **装置 Ver.2** を作ってみたいらどうかな。

涼さん：**装置 Ver.1** の斜面の角度は 25° だから、**装置 Ver.2** は斜面の角度を 15° にしてみるね。

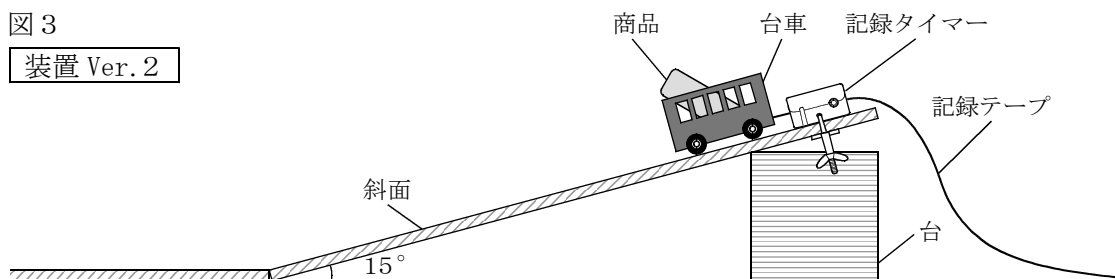
翔さん：**装置 Ver.1** と同じようにして、**装置 Ver.2** の台車の運動を調べてみよう。

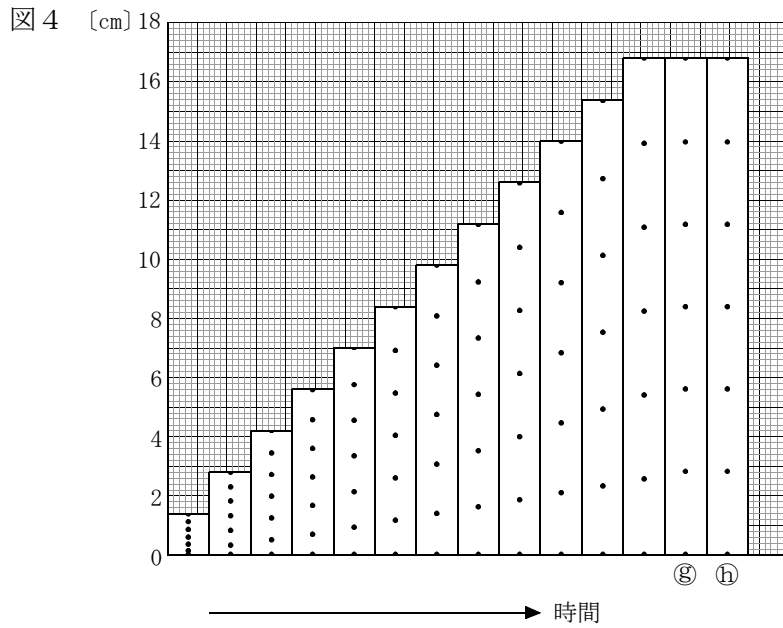
[実験Ⅱ]

- ① [実験Ⅰ] で使用した **装置 Ver.1** の商品、台車、台は変えず、図3のように、台を置く位置を変えて斜面の角度が 15° の **装置 Ver.2** を用意し、[実験Ⅰ] と同じようにして台車を運動させた。
- ② 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図4はこの結果を示したものである。

図3

装置 Ver.2





(4) 斜面の傾きが小さいほど、斜面を下る台車の速さのふえ方が小さくなるのはなぜか、台車にはたらく力に着目して、説明しなさい。

[三人の会話]

涼さん：図4の記録テープのうち、長さが同じものが3本あるね。

華さん：3本の中でも記録テープ㉓と㉔は、打点の間隔も同じだね。

翔さん：記録テープ㉓・㉔と、そのほかの区間では、何が違うのかな。

(5) 図4の記録テープ㉓・㉔について、この区間における台車の運動と同じような運動はどれか、最も適切なものをア～エから選びなさい。

- ア 振り子が1往復するときの運動
- イ 学校の屋上から1階までボールを落下させたときの運動
- ウ 水平な氷の上でカーリングのストーンが進み続けているときの運動
- エ 停車駅が近づき、ブレーキをかけている電車の運動

[三人の会話]

翔さん：実は、[実験Ⅰ]と[実験Ⅱ]で、斜面上に置く台車の高さを同じにしたんだけど、台車の運動に何か関係していることはあるかな。

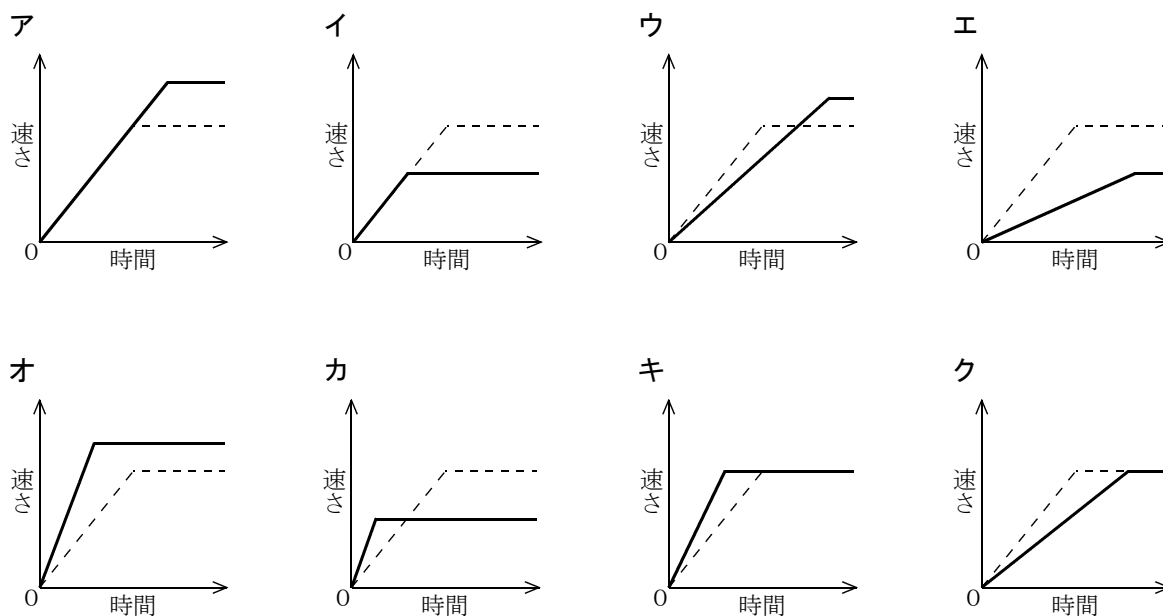
華さん：斜面上に置く台車の高さを変えて実験したら、台車の運動の変化についてわかるんじゃないかな。

涼さん：斜面上に置く台車の高さや斜面の傾きをいろいろ変えて、台車の運動を調べてみよう。

翔さん：そうだね。その結果から、模擬店でお客さんのところに運ぶまでの時間や台車の速さについて考えて、最適な装置を作ろう。

(6) 三人は、次の①～③のように、[実験Ⅱ]と条件を変えて装置を作り、台車を走らせた。①～③の条件で、斜面上のある位置で台車から静かに手を離れたとき、台車から手を離れた後の、時間と速さの関係を表すグラフとして最も適切なものはどれか、ア～クからそれぞれ選びなさい。ただし、ア～クのそれぞれのグラフ中の-----は、[実験Ⅱ]の結果を示している。

- ① [実験Ⅱ]より斜面の傾きを大きくし、同じ高さで台車から静かに手を離れた。
- ② [実験Ⅱ]より斜面の傾きを小さくし、低い位置で台車から静かに手を離れた。
- ③ [実験Ⅱ]と斜面の傾きを変えずに、[実験Ⅱ]より高い位置で台車から静かに手を離れた。



①	②	③
---	---	---

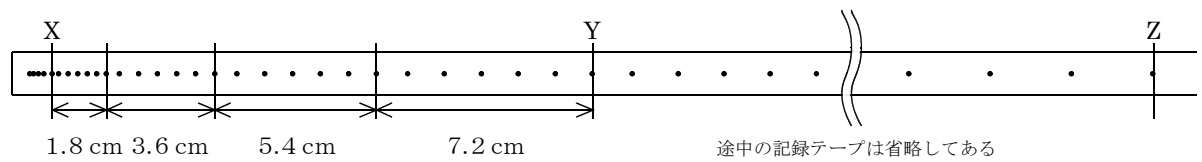
[三人の会話]

涼さん：[装置 Ver. 7]まで装置を作って調べた結果、[装置 Ver. 5]の斜面の傾きや斜面上に置く台車の高さが一番いいと思う。

翔さん：そうだね。[装置 Ver. 5]を模擬店で使うことにしよう。

華さん：文化祭が楽しみだね。

図 5



- (7) 図 5 は、装置 Ver. 5 で [実験 I]・[実験 II] と同じようにして台車の運動を調べたときの記録テープで、明確にわかるはじめの打点を X とし、6 打点ごとに線を引いて各区間の長さをはかったものである。打点 Y からさらに 0.5 秒後の打点 Z までの区間、台車が斜面を走り続け、記録テープに打点が記録されており、打点の記録から、台車の速さは同じ割合でふえていることがわかった。打点 Y から打点 Z までの区間の距離は何 cm か、求めなさい。

cm

9 健太さんと花子さんは、学校で学習したエネルギーの移り変わりについて興味をもち、徳島県の発電所について調べてみた。次の(1)～(6)に答えなさい。

いろいろな発電の方法とエネルギーの変換について

健太さんと花子さんは、徳島県に見られる発電所や、1人が1日に消費する電力量について調べ、次のような表や図にまとめた。

表1 徳島県のおもな発電所

発電の方法（発電所の数）	最大発生電力 [kW]
火力発電（3か所）	4100000
水力発電（19か所）	270000
太陽光発電（2か所）	4000
風力発電（1か所）	19500

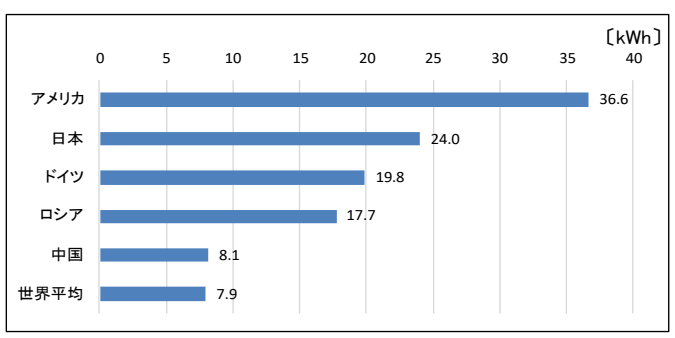
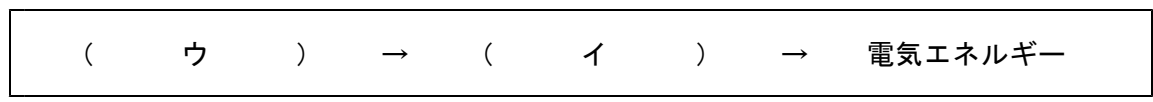


図1 1人が1日に消費する電力量（2010年）

健太さん：電気エネルギーは、いろいろな方法で作ることができるんだね。
 花子さん：水力、火力、原子力、風力、太陽光、地熱などによって発電ができるみたいね。
 健太さん：徳島県には、水力、火力、太陽光、風力の発電所があるよ。
 花子さん：阿南市橘湾の石炭火力発電所は、国内最大級の設備で最大210万kWの発電ができるのよ。発電した電気は四国だけでなく、関西や中国、九州地方にも送られているそうよ。
 健太さん：国内最大級って、どれぐらい発電できるのかな。日本人が1日に消費する電力量と比べて考えてみてはどうかね。
 花子さん：図1で日本人1人あたりの消費する電力量を見てみると、1日に24kWh、つまり100Wの電球（ A ）個を1日中つけたままにしたほどのエネルギーを消費していることになるわ。
 健太さん：ということは、（ B ）人分の1日に消費する電力量をまかなえることになるんだ。すごい量だね。でも、火力発電は化石燃料を使用するから、さまざまな問題があることも学習したね。
 花子さん：徳島県でも、太陽光や風力などの新しい再生可能エネルギーの利用が始まっているけど、まだまだ開発途上だから、ずっと使われてきた水力は大切なエネルギー資源よ。
 健太さん：徳島県には、吉野川や那賀川などに19か所も水力発電所があるようだね。水力発電について、もっとくわしく調べてみよう。

(1) 下線部の火力発電で電気エネルギーがつけられる流れになるように、次の（ ）にあてはまるエネルギーの名称を、ア～エからそれぞれ1つずつ選びなさい。



- ア 光エネルギー イ 熱エネルギー ウ 化学エネルギー エ 核エネルギー

【解説】 エネルギーの変換に関する基礎的・基本的な知識・理解を問う問題。
 石油、石炭、天然ガスなどのエネルギー資源がもつエネルギーを化学エネルギーという。火力発電ではエネルギー資源を燃焼させて発生した熱エネルギーを、さらに運動エネルギーに変換して発電機を回転させることで電気エネルギーを得ている。 「知識」(知識)

(2) 表1・図1をもとに、(A) (B) にあてはまる数字を求めなさい。

A	10	B	2100000
---	----	---	---------

【解説】 電力に関する基礎的・基本的な知識や資料を活用して、発電所で発生する電力の大きさについて、身近な生活で使われる電力と比較して考える問題。

図1の日本人1人が1日に使う電力量24kWhとは、1kWの電力（たとえば100Wの電球10個）を1日中（24時間）つけたままにしたときの大きさである。単位時間（1時間）あたりの電力は1kWであることから、

$$210\text{万kW} \div 1\text{kW} = 210\text{万人分}$$

となる。

参考：表1「徳島県のおもな発電所」は、J-POWER電源開発、徳島県企業局web、NEDO国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の各webページをもとに作成。

「活用」(適用)

水力発電と位置エネルギーの大きさとの関係について調べる実験

健太さんと花子さんは、水力発電では、位置エネルギーが電気エネルギーに変換されていることを知った。そこで、物体の高さや質量と位置エネルギーとの関係について調べる実験を行った。ただし、空気の抵抗や摩擦は考えないものとする。

〔実験〕

- ① 図2の位置エネルギー実験器を用いて、基準面からの高さを変えて、小球を斜面の上から転がし、木片に当てて、木片の移動距離を調べる。
- ② 質量が異なる小球を使って、①と同じように調べる。

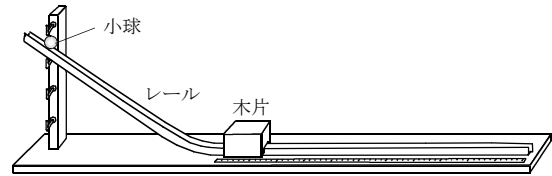


図2

〔結果〕

表2

小球の質量が同じ場合 小球の質量：20.8g

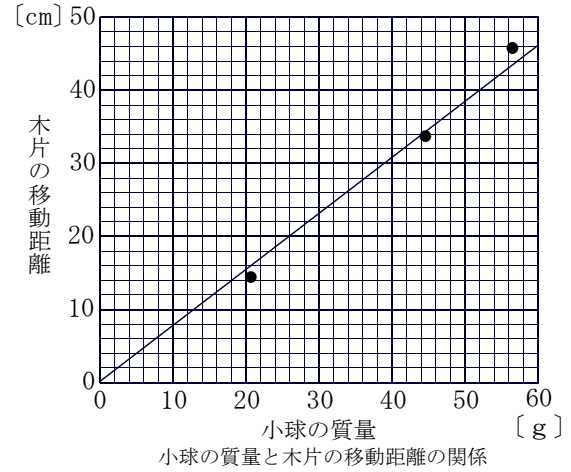
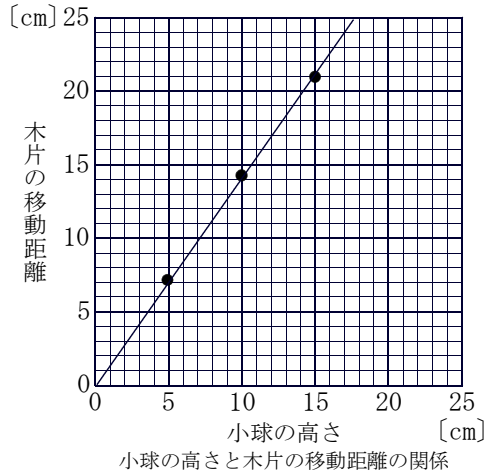
小球の高さ [cm]	木片の移動距離 [cm]
5.0	7.1
10.0	14.3
15.0	21.0

表3

小球の高さが同じ場合 小球の高さ：10cm

小球の質量 [g]	木片の移動距離 [cm]
20.8	14.8
44.6	33.8
56.3	45.6

(3) ①・②の〔結果〕について、適当な目盛りや単位などをかき、グラフに表しなさい。



【解説】 実験データを適切に処理し図表にまとめるなどの観察・実験の技能を問う問題。

○「グラフのかき方」についての注意事項

- ①横軸（変化させた量）と縦軸（変化量）を決定し、その名称を書く。
- ②横軸と縦軸に、適切な目盛り、数値をつけ、量の単位を書く。
- ③測定値を点（・）で、はっきりと正確に記入し、点の並び具合を見て、曲線か直線か判断する。
- ④曲線と判断した場合：なるべく多くの点の上やその近くを通るなめらかな曲線を引く。
直線と判断した場合：原点を通るかどうかを考えて、点が直線の上下に同程度に散らばるように直線を引く。

○表2・表3の実験結果について

表2・表3のデータは、図2と同様の実験装置で実験した結果である。なお、衝突直前の小球の速度はほぼ一定であったが、木片の移動距離は下表のようにばらつきが大きかったので、それぞれ10回分の平均値を表のデータとして用いた。

実験① 物体の高さと位置エネルギーの関係

小球の質量 20.8g 小球の高さを変化させたときの木片の移動距離[cm]

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
5cm	7.1	6.6	7.5	6.7	7.2	7.4	6.9	6.9	7.5	7.0	7.08
10cm	13.5	13.9	14.0	14.9	14.5	14.4	14.8	14.6	14.2	14.1	14.29
15cm	19.9	21.4	21.9	20.4	21.4	20.0	21.3	20.6	21.9	21.4	21.02

実験② 物体の質量と位置エネルギーの関係

小球の高さ 10cm 小球の質量を変化させたときの木片の移動距離[cm]

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	平均
20.8g	13.8	14.9	14.8	14.8	14.2	14.4	15.1	14.9	15.1	15.6	14.76
44.6g	33.1	32.9	33.4	35.0	31.8	33.3	34.9	36.2	33.7	34.2	33.85
56.3g	43.3	44.3	45.5	45.7	47.0	46.8	46.2	45.4	46.3	45.5	45.60

「知識」（技能）

(4) 次の文章は、この実験内容と水力発電との関係について説明したものである。正しい文になるように、「 A 」～「 C 」に適する語句を書きなさい。

水力発電で得られる電気エネルギーは、ダムなどの高いところから水を落下させることで、水がもつ位置エネルギーを運動エネルギーに変換し、さらに、運動エネルギーを電気エネルギーに変換している。[実験] ①・②で、木片の移動距離を測定したのは、小球がもつエネルギーは、木片に対して「 A 」をさせることによって、その大きさをはかることができるからである。また、小球の高さや質量を変化させたことは、それぞれ、水力発電における「 B 」や「 C 」の変化に相当する。

A	仕事	B	水を落下させる高さ	C	落下させる水量
---	----	---	-----------	---	---------

※ B・Cは順不同

【解説】 位置エネルギーに関する基礎的・基本的な知識を活用して、基準面から持ち上げられた小球がもつ位置エネルギーの大きさをはかる実験を、水力発電の場合にあてはめて考える問題。

Aは「エネルギー」「仕事」の定義についての基礎的・基本的な知識である。エネルギーとは仕事をする能力であることから、物体がもつエネルギーの大きさは、他の物体に対して仕事をさせることによってはかることができる。このため、エネルギーの単位には仕事の単位と同じジュール〔J〕が使われる。

B・Cは、水力発電における「落下させる最大水量」が「小球の質量」に、「有効落差」が「小球の基準面からの高さ」に相当すると考え、小球を用いた実験により、水力発電で発生する電力と位置エネルギーとの関係について考えることをねらいとする実験である。

「知識」(知識) / 「活用」(適用)

那賀川流域の水力発電についての考察

健太さんと花子さんは、徳島県や電力会社などのwebページをもとに、那賀川流域の水力発電のようすについて調べ、表や図にまとめた。

健太：那賀川流域には、水力発電所が5か所もあるんだね。

花子：最も下流の川口発電所はダムのすぐ近くに発電所があるけど、他の4か所の発電所はダムから離れているわね。

表 4

発電所名	最大発電電力 [kW]	最大使用水量 [m ³ /s]	有効落差 [m]
陰平発電所	46650	60	89.7
坂州発電所	2400	6.3	47.9
日野谷発電所	62000	60	116.35
川口発電所	11700	70	20.49
広野発電所	35700	14.3	292.7

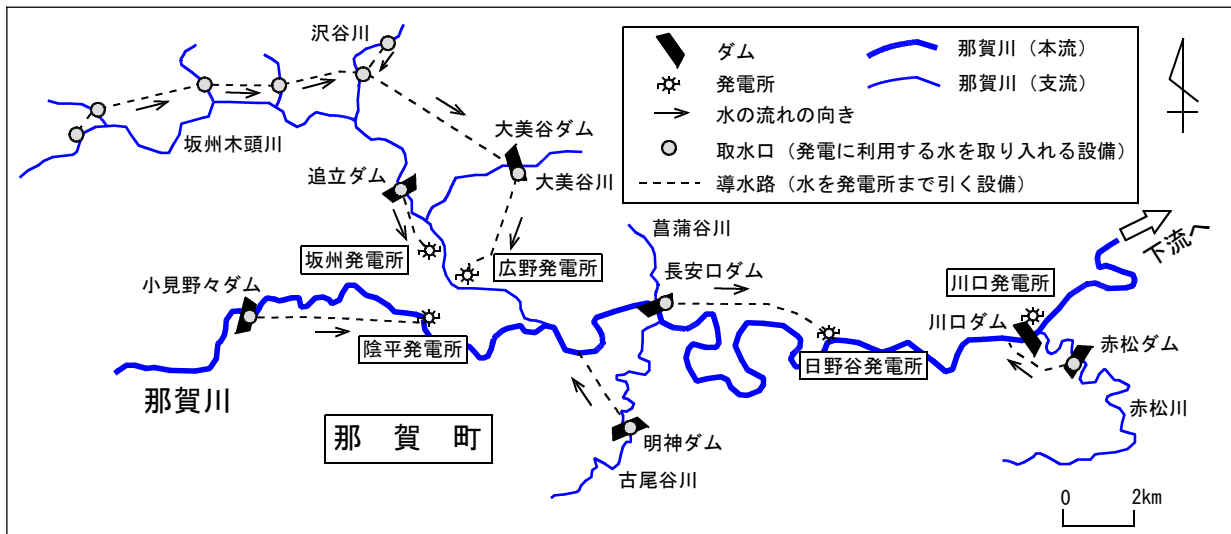


図 3 那賀川流域の発電のようす

(5) 表 4 の陰平発電所と日野谷発電所の最大発電電力を比較したとき、発生する電力は日野谷発電所の方が大きい。この理由について、次の「 」に文を書き説明しなさい。

理由 日野谷発電所の方が陰平発電所より発生する電力が大きいのは、「落下させる水量は2つの発電所で同じであるが、水を落下させる有効落差は日野谷発電所の方が大きいので」、日野谷発電所の方が位置エネルギーが大きくなるためである。

【解説】 位置エネルギーに関する基礎的・基本的な知識や資料のデータを活用して、2つの発電所の発電量の違いについて、その理由を考察する問題。

位置エネルギーは、物体の質量が大きいほど、また、物体の基準面からの高さが大きいほど、大きくなる。発電に使用する最大水量は質量に、有効落差は物体の基準面から高さに相当することから、この2つの点について着目して比較する。

	陰平発電所	日野谷発電所
最大使用水量 (物体の質量)	60m ³ /s	60m ³ /s
有効落差 (物体の基準面からの高さ)	89.7m	116.35m

「活用」(適用)

- (6) 日野谷発電所は、徳島県では1年間に発電できる電力量が最大の水力発電所である。このことについて、位置エネルギーを大きくするという観点から、どのような工夫がされていると考えられるか、図3・表4をもとに、2つ書きなさい。

工夫1

長安口ダムは他の支流が合流する地点の下流付近に設置され、他の支流からダムと導水路により水を引くことで、落下させる水量を大きくしている。

工夫2

長安口ダムから離れた下流の発電所まで導水路を引いて水を落下させることで、落下させる高さをより大きくしている。

※工夫1・工夫2は順不同

【解説】 位置エネルギーに関する基礎的・基本的な知識や他教科で学習した知識・技能を活用して、図表や資料を分析し、解釈できることを問う問題。

位置エネルギーを大きくするためには、質量と高さを大きくする必要がある。水力発電では、①落下させる水の量を多くする工夫、②水を落下させる落差を大きくする工夫の2点が考えられる。

○発電方式（水の利用方式）

- ①流込み式：（一時的な変動分を除き）水を蓄えず、そのまま流す方式
- ②調整池式：短期間の運転を賄う水を蓄える方式
- ③貯水池式：長期間の運転を賄う水を蓄える方式
- ④純揚水式：運転に必要な水を全て揚水する方式
- ⑤混合揚水式：運転に必要な水を揚水分に加え上部貯水池への自然流入分も使用する方式。

○発電形式（落差を得る方法）

- ①水路式：水路で水を導き落差を得る方法
- ②ダム式：ダムによって落差を得る方法
- ③ダム水路式：ダムによって得られた落差 + 水路で導いて得られた落差の両方を利用する方法

○那賀川流域の発電所について（発電量等は表4のとおり）

- ①川口発電所（川口ダム 調整池式 ダム式 貯水量：6,463,000m³/s）
- ②日野谷発電所（長安口ダム 貯水池式 ダム水路式 貯水量：54,278,000m³/s）
- ③広野発電所（大美谷ダム 調整池式 ダム水路式 貯水量：451,000m³/s）
- ④坂州発電所（追立ダム 流込み式 水路式 貯水量：※流込み式）
- ⑤陰平発電所（小見野々ダム 混合揚水式 ダム水路式 貯水量：16,750,000m³/s）

○落差が大きい発電所

小口川第三発電所（富山県 常願寺川水系 ダム水路式 621.20m）

○水量が多い発電所

揚川発電所（新潟県 阿賀野川水系 460.00m³/s）

参考webページ：四国電力、徳島県企業局、水力ドットコム

「活用」（分析・解釈）

遺伝について高い関心をもっている詩織さんと翔太くんは、理科の先生のもとへ話を聞きに行くことにした。次の(1)～(10)に答えなさい。

翔太くん：エンドウの種子の形の遺伝はとても興味深いものでした。

詩織さん：遺伝子が親から子へ伝わることで形質が遺伝するのですね。

先生：そうですね。それでは、種子の形の遺伝の復習をしてみましょう。

翔太くん：エンドウの種子の形には丸いものとしわのものがありました。

先生：種子の形の「丸」と「しわ」のように、1つの形質に同時に現れない形質が2つ存在するとき、これらの形質を（あ）といいましたね。

詩織さん：図1のように、丸い種子をつくる純系と、しわのある種子をつくる純系とをかけ合わせると、子はすべて丸い種子をつくりました。

先生：ここで、（あ）をもつ純系どうしをかけ合わせたとき、子に現れない形質のことを（い）といいましたね。

翔太くん：生まれた子を育てて自家受粉させると、孫には丸い種子としわのある種子が現れました。

図1

(1) 文中の（あ）、（い）にあてはまる語句を書きなさい。

あ	対立形質	い	潜性形質
---	------	---	------

【解説】 遺伝を学習する中で現れる用語（遺伝、遺伝子、形質、純系、対立形質、顕性形質、潜性形質、自家受粉、他家受粉など）は、遺伝現象を理解するために必要となるので、正確に理解をしておくことが大事である。

(2) 文中の下線部について、① 生まれた孫に現れる丸い種子としわのある種子の割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。また、② 種子を丸くする遺伝子をA、しわにする遺伝子をaとすると、生まれた孫の種子の遺伝子の組み合わせは「AA」、「Aa」、「aa」のいずれかになる。生まれた孫の種子における、3種類の遺伝子の組み合わせの割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。

①	丸い種子 : しわのある種子 = 3 : 1
②	AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1

【解説】

図 I は、親から子への遺伝子の伝わり方を、図 II は子から孫への遺伝子の伝わり方を表している。

図 I、II ともに、生殖細胞をつくるときに減数分裂を行い、対になっている遺伝子が分かれて別々の生殖細胞に入っていくことがわかる。これを『分離の法則』という。その後、雌雄の生殖細胞が受精し、遺伝子は再び対になる。

図 II で、子 (Aa) から生殖細胞が A : a = 1 : 1 の割合で生じ、これらが組み合わせることにより、孫が AA : Aa : aa = 1 : 2 : 1 の割合で生まれる。AA と Aa は丸い種子、aa はしわのある種子となるので、丸い種子 : しわのある種子 = 3 : 1 となる。

なお、Aa が丸い種子になるのは、顕性の法則が成り立っているためである。顕性の法則については、問 (9) で解説します。

図 I

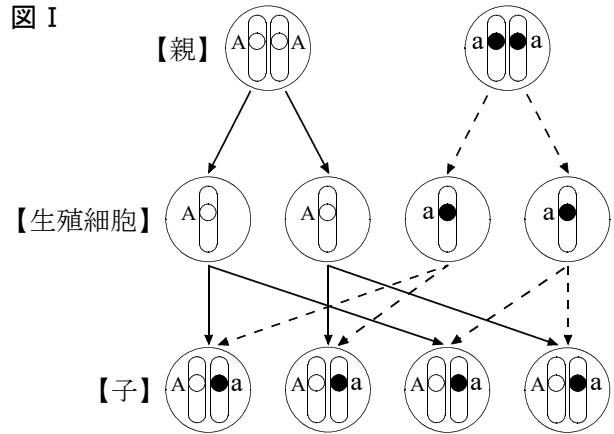
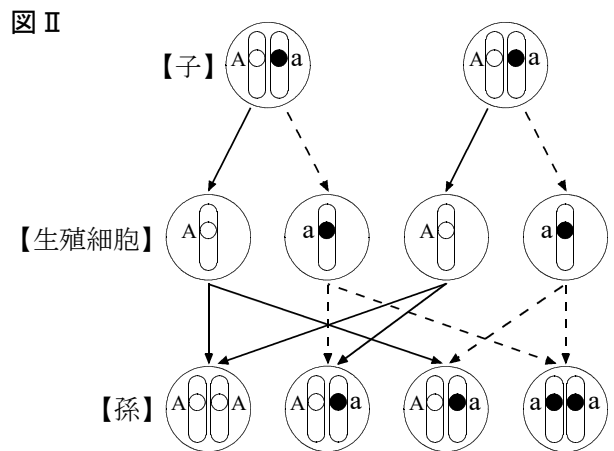


図 II



詩織さん：メンデルはエンドウについて、種子の形だけでなく、子葉の色や花のつき方などについても研究したみたいですね。これらも種子の形と同じように遺伝するのですか。

先生：はい、そうです。メンデルは8年もかけて、エンドウの7種類の形質について遺伝の規則性の研究をしたのですよ。

翔太くん：ふええ。大変な研究だったんですね。

先生：そうですね。

詩織さん：ところで、なぜメンデルはエンドウを用いて研究したのですか。

先生：それは、エンドウが（ う ）という点で、遺伝の研究に適していたからです。

(3) 文中の（ う ）に入る文章として適切でないものを、下のア～エから1つ選びなさい。

- ア 人の手によって、容易に受粉を行うことができる
- イ 水管理や温度管理などに手間がかからず、栽培が容易である
- ウ 親の世代から子の世代までの期間が比較的長い
- エ 1つの親から生まれる子の数が多い

ウ

【解説】

エンドウが遺伝の研究に適していた点として、以下のことがあげられる。

- ・栽培が容易であること。
- ・1つの親から生まれる子の数が多いこと。
- ・自然状態では自家受粉を行うが、人の手によって容易に他家受粉を行うことができること。
- ・自然状態で自家受粉を行うので、純系の維持がしやすいこと。
- ・対立形質がはっきりしていること。
- ・親の世代から子の世代までの期間が比較的短いこと。

遺伝の研究においては、できるだけ多くの遺伝現象を検証しなければならない。

そのため、世代間の期間が長い生物は、遺伝現象をなかなか確認できないため、研究には適さない。

先生：同時に2種類の形質について、遺伝の規則性を考えることもできますよ。

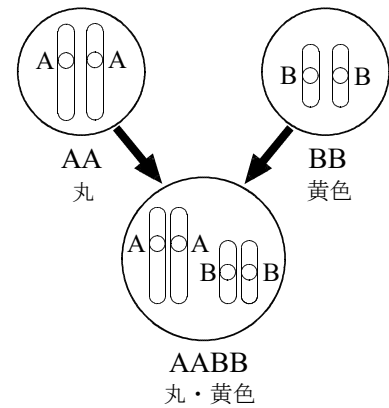
詩織さん：本当ですか。

先生：エンドウの「種子の形」と「子葉の色」の2種類に着目してみます。

子葉の色は黄色が顕性形質であり、種子の形の遺伝子と子葉の色の遺伝子は別々の染色体にあります。

種子を丸くする遺伝子をA、しわにする遺伝子をaとし、子葉の色を黄色にする遺伝子をB、緑色にする遺伝子をbとします。種子が丸い形で子葉が黄色（丸・黄色）の純系は、図2のようにAA（丸）とBB（黄色）を合わせたものになるので、遺伝子の組み合わせは「AABB」と表します。

図2



翔太くん、詩織さん：なるほど。

先生：遺伝子の組み合わせの表し方はわかりましたか。それでは、種子が丸い形で子葉が黄色（丸・黄色）の純系と、種子がしわで子葉が緑色（しわ・緑色）の純系を親としてどのような子孫が生じるか、考えてみましょう。

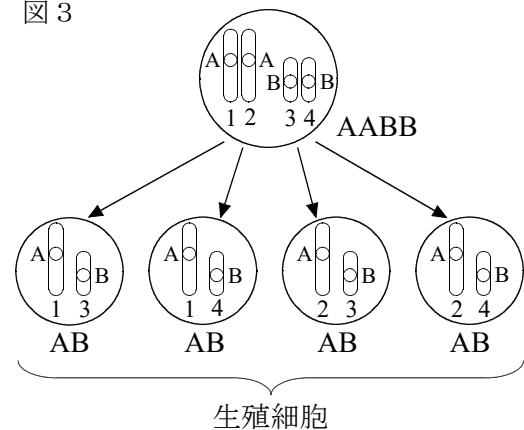
翔太くん：「しわ・緑色」の遺伝子の組み合わせは（え）と表しますね。

先生：その通りです。

詩織さん：う～ん。親がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせの表し方がわかりません。

先生：図3のように考えます。2種類の対になっ 図3

ている遺伝子（AAおよびBB）がそれぞれ分かれて別々の生殖細胞に1ずつ入ります（図3では、どの遺伝子が生殖細胞に入ったかをわかりやすくするために、1～4の番号をつけてあります）。4つから2つを選ぶときの組み合わせは全部で4通りあるので、4通りの遺伝子の組み合わせをもつ生殖細胞が生じますが、AABBの場合、生殖細胞の遺伝子の組み合わせはすべて同じになり、「AB」となります。



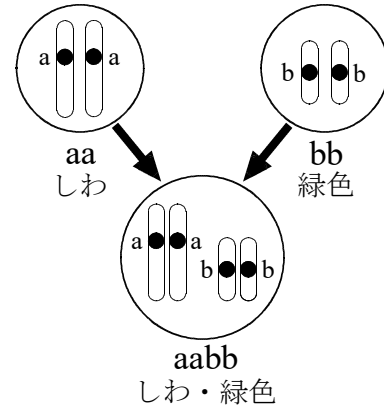
(4) 文中の (え) にあてはまる遺伝子の組み合わせを書きなさい。

aabb

【解説】

図2と同じように考える。aa(しわ)とbb(緑色)を合わせたものになるので、図Ⅲのようになる。

図Ⅲ



(5) 1つの種子に現れる「種子の形」と「子葉の色」の2種類の形質を同時に考える場合、現れる形質には「丸・黄色」、「丸・緑色」、「しわ・黄色」、「しわ・緑色」の4種類がある。それぞれの形質について、遺伝子の組み合わせをすべて書きなさい。

丸・黄色	AABB 、 AABb 、 AaBB 、 AaBb
丸・緑色	AAbb 、 Aabb
しわ・黄色	aaBB 、 aaBb
しわ・緑色	aabb

【解説】

種子の形と子葉の色という2種類の形質を同時に見ていく遺伝であるが、種子の形はAとaの組み合わせ、子葉の色はBとbの組み合わせで形質が決まり、それぞれ次のようになる。

- ・種子の形について
丸 … AA 、 Aa しわ … aa
- ・子葉の色について
黄色 … BB 、 Bb 緑色 … bb

これらを組み合わせることで、4種類の形質における遺伝子の組み合わせが決まる。

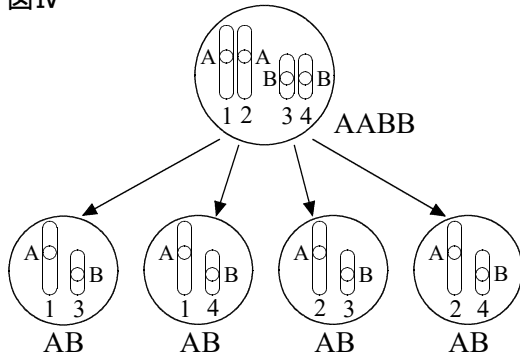
- (6) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子の遺伝子の組み合わせは1種類である。子の、① 遺伝子の組み合わせと、② 現れる形質をそれぞれ書きなさい。ただし、現れる形質は「しわ・黄色」のように書くこと。

①	AaBb	②	丸・黄色
---	------	---	------

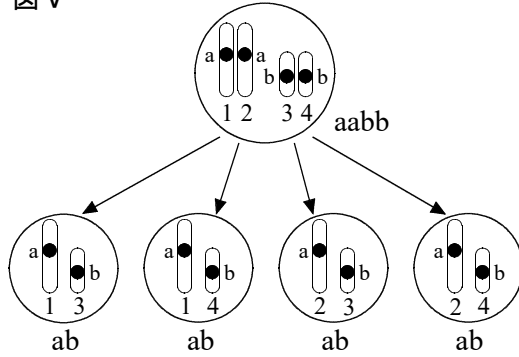
【解説】

図Ⅳは「丸・黄色」(AABB) がつくる生殖細胞、図Ⅴは「しわ・緑色」(aabb) がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせを示している。「丸・黄色」(AABB) からは4通り(遺伝子の組み合わせはすべてAB)、「しわ・緑色」(aabb) からは4通り(遺伝子の組み合わせはすべてab)の生殖細胞が生じる。これらが組み合わせることで子が生まれるため、その組み合わせを表を用いて表すと図Ⅵのようになり、16通りの子が生まれ、それらはすべて遺伝子の組み合わせがAaBbとなる。Aaは「丸」、Bbは「黄色」なので、現れる形質は「丸・黄色」となる。

図Ⅳ



図Ⅴ



図Ⅵ

		 AB	 AB	 AB	 AB
 ab	 AaBb	 AaBb	 AaBb	 AaBb	
 ab	 AaBb	 AaBb	 AaBb	 AaBb	
 ab	 AaBb	 AaBb	 AaBb	 AaBb	
 ab	 AaBb	 AaBb	 AaBb	 AaBb	

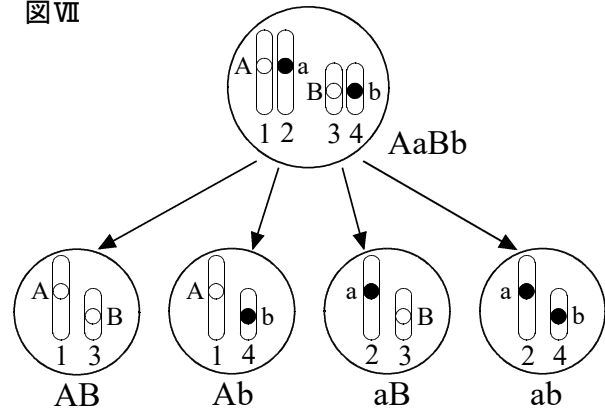
(7) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせとその割合はどのようになるか、書きなさい。ただし、割合は最も簡単な整数の比で表し、解答は「AB : ab = 1 : 1」のように書くこと。

$$AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1$$

【解説】

図Ⅶは、「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子「丸・黄色(AaBb)」がつくる生殖細胞の遺伝子の組み合わせを示している。考え方は問(6)と同じだが、生じる4つの生殖細胞はそれぞれ遺伝子の組み合わせが異なるものが生じる。

図Ⅶ



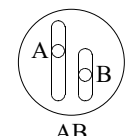
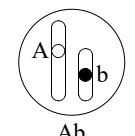
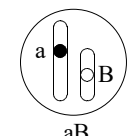
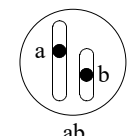
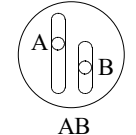
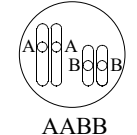
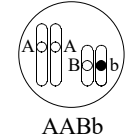
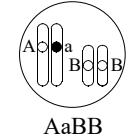
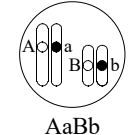
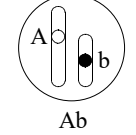
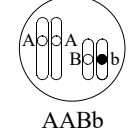
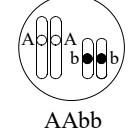
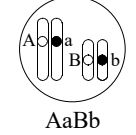
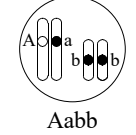
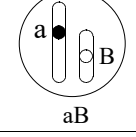
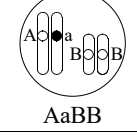
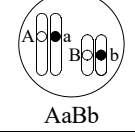
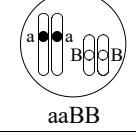
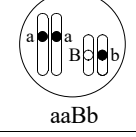
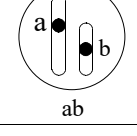
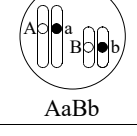
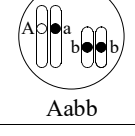
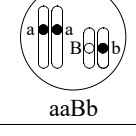
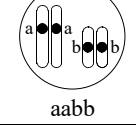
(8) 「丸・黄色」の純系と「しわ・緑色」の純系をかけ合わせて生まれた子を育てて自家受粉した結果、生まれた孫に現れる形質とその割合を書きなさい。ただし、割合は最も簡単な整数の比で表し、解答は「丸・黄色：しわ・緑色＝1：1」のように書くこと。

丸・黄色：丸・緑色：しわ・黄色：しわ・緑色＝9：3：3：1

【解説】

自家受粉なので、同じ個体「丸・黄色 (AaBb)」がつくる生殖細胞によって孫が生まれる。したがって、問(7)で考えた生殖細胞 (AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1) どうしの組み合わせとなり、図Ⅷの表のように、16通りの孫が生まれる (考え方は問(6)と同じ)。

図Ⅷ

	 AB	 Ab	 aB	 ab
 AB	 AABB	 AABb	 AaBB	 AaBb
 Ab	 AABb	 AAbb	 AaBb	 Aabb
 aB	 AaBB	 AaBb	 aaBB	 aaBb
 ab	 AaBb	 Aabb	 aaBb	 aabb

孫に現れる4種類の形質の数は、

「丸・黄色」… AABBが1、AABbが2、AaBBが2、AaBbが4 合計 9

「丸・緑色」… AAbbが1、Aabbが2 合計 3

「しわ・黄色」… aaBBが1、aaBbが2 合計 3

「しわ・緑色」… aabbが1 合計 1

となり、丸・黄色：丸・緑色：しわ・黄色：しわ・緑色＝9：3：3：1となる。

翔太くん：エンドウの遺伝がさらによくわかりました。

詩織さん：他の生物もエンドウと同じような遺伝のしかたをするのですか。

先生：そうではありません。例外もたくさんあります。例えば、荒地や道端で見られるマルバアサガオの花の色の遺伝です。

翔太くん：どのように違うのですか。

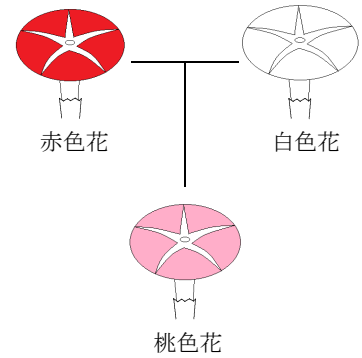
先生：図4を見てください。マルバアサガオの花の色には、赤色花と白色花があります。赤色花の純系と白色花の純系とを掛け合わせると、子は赤色と白色の中間の色である桃色の花になるんです。

翔太くん：確かにエンドウの遺伝とは違いますね。

詩織さん：マルバアサガオの花の色の遺伝では、顕性の法則が成り立っていないのですね。

先生：その通りです。

図4



(9) 下線部について、マルバアサガオの花の色の遺伝とエンドウの遺伝との違いを説明しなさい。ただし、マルバアサガオの花を赤くする遺伝子をR、白くする遺伝子をrとし、これらの記号を用いて説明すること。

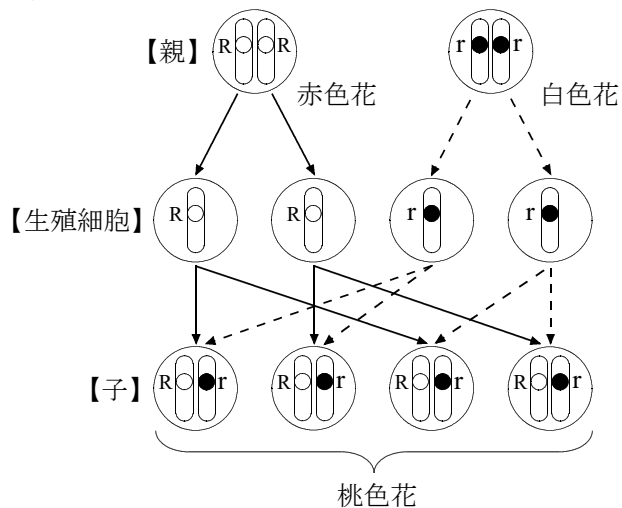
マルバアサガオの赤色花の純系 (RR) と白色花の純系 (rr) を掛け合わせて生まれる子の遺伝子の組み合わせはRrとなる。このとき、エンドウの遺伝にみられるような法則が成り立っているならば、赤色花か白色花のどちらかの形質が現れるが、Rrの遺伝子の組み合わせで現れる形質は中間の色である桃色花になっている。マルバアサガオには赤色花の遺伝子Rと白色花の遺伝子rに顕性と潜性の関係がないことが、エンドウの遺伝との違いである。

【解説】

エンドウの種子の形の場合、丸い種子の純系 (AA) としわのある種子の純系 (aa) を掛け合わせて生まれる子の遺伝子の組み合わせはAaとなり、形質は丸い種子のみが現れる。これは、Aaのように顕性形質の遺伝子と潜性形質の遺伝子を対でもつ場合、顕性形質のみが現れるためである。このように、対立形質の純系どうしを掛け合わせたとき、子に親のどちらか一方の形質が現れることを『**顕性の法則**』という。

マルバアサガオの花の色の遺伝をしてみよう (図Ⅹ)。赤色花 (RR) と白色花 (rr) とを掛け合わせて生まれる子の遺伝子の組み合わせはRrである。顕性の法則にしたがえば、赤色花か白色花のどちらかの形質が現れるはずであるが、実際には赤と白の中間色である桃色花のみが現れる。これは、赤色花の遺伝子Rと白色花の遺伝子rのあいだで顕性と潜性の関係がないために起こる現象である。

図Ⅹ



ちなみに、マルバアサガオの花の色の遺伝のように、Rとrのあいだに顕性・潜性の関係がなく、遺伝子の組み合わせがRrのときに中間の形質が現れる場合、このような遺伝を「不完全顕性」という。

- (10) 桃色花のマルバアサガオを自家受粉させて生まれた孫に現れる形質の割合を、最も簡単な整数の比で書きなさい。ただし、現れない形質については「0」と書くこと。

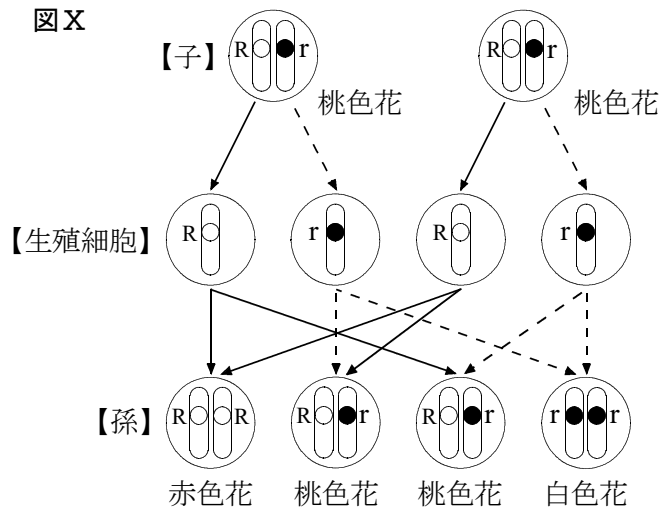
赤色花 : 桃色花 : 白色花 = 1 : 2 : 1

【解説】

遺伝子の伝わり方は問(2)と同じであり、図Xようになる。

生まれる孫の遺伝子の組み合わせは $RR : Rr : rr = 1 : 2 : 1$ となり、RRが赤色花、Rrが桃色花、rrが白色花となるので、赤色花 : 桃色花 : 白色花 = 1 : 2 : 1となる。

図X



科学部に所属する中学生の晴男さんたちは、酸とアルカリに興味をもち、実験を行った。
[三人の会話] と [実験 1]・[実験 2] を読んで(1)～(13)に答えなさい。

[三人の会話]

晴男さん：授業で酸性のもとになるものが水素イオン
だって習ったけど、とても驚いたよ。酸性
というくらいだから酸素原子が関係してい
ると思っていたからね。

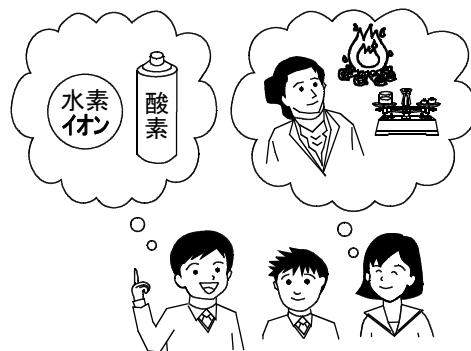
夏雄さん：そんなことを考えていたなんてすごいね。
僕はあまり深く考えなかったよ。

亜季さん：「酸素」の名前は、フランスのラボアジエ
が、①金属以外の物質が気体の酸素と反応
すると酸ができることから、この気体が酸
のもとだと考えて名付けたんだって。

晴男さん：ラボアジエってどんな人だろう。僕と同じ間違いをした人だから気になるよ。

亜季さん：ラボアジエは、ものが燃えるのは酸素と化合することだという「燃焼理論」や化学反応
の前後で質量の総和が変化しないという「質量保存の法則」を発見した、とても偉大な
科学者なのよ。

夏雄さん：そんなすごい人と同じことを考えるなんてたいしたものだね。



(1) 水素イオンの化学式、酸素原子の原子の記号を書きなさい。

水素イオン	H^+	酸素原子	O
-------	-------	------	---

【解説】 原子の記号はラテン語の頭文字から決められている。水素原子は“hydrogeni i”からH、酸素は“oxygeni”からOと記される。水素イオンは、水素原子から電子1個が失われた1価の陽イオンである。水溶液中で酸性を示すもととなるのは、実際には水分子と水素イオンが結合したオキソニウムイオン H_3O^+ である。

ラボアジエはフランスの科学者で、非科学的な要素がふくまれていた錬金術から、精密な定量実験に基づいた実証的な学問としての化学を作り上げた科学者であり、「近代化学の父」とも呼ばれている。

ラボアジエが質量保存の法則を発表したのは1774年、酸素を命名したのが1779年である。ドルトンにより原子説が提唱されたのが1803年であるが、その当時もまだ、原子の存在が広く認識されていたわけではない。そのような時代に、まさに化学の基礎を築き、物質の世界を探究するための扉を開いたのがラボアジエである。

現在のように物質をその成分から考えることが容易ではなかった時代に、現在と比べ低い精度の実験器具しかない状況で丁寧に実験を行い、その結果を分析し、鋭い考察により真実を解き明かしたことは驚くべきことである。

(2) 次の文は、下線部①について述べたものである。正しい文になるように、文中の（ あ ）・（ い ）にあてはまる言葉を書きなさい。

木炭が燃焼して酸素と反応すると、気体の（ あ ）となる。これが水に溶けると、（ い ）水となり、酸性を示す。

あ	二酸化炭素	い	炭酸
---	-------	---	----

【解説】 炭酸水は水に二酸化炭素が溶け込んだ水溶液であり弱い酸性を示す。空気中にも約0.04%の二酸化炭素がふくまれており、空気と接した水には二酸化炭素が溶け込んでいる。このときのpHは5.6程度である。市販の炭酸水では冷却及び加圧により、より多くの二酸化炭素を溶かし込んでおり、pHは製品により差異はあるが、概ね4～5程度である。

炭素の酸化物である二酸化炭素が炭酸となるように、非金属の酸化物が酸になる例は多い。例えば、硫酸(H_2SO_4)、硝酸(HNO_3)については、それぞれ硫黄(S)、窒素(N)の酸化物である二酸化硫黄(SO_2)、二酸化窒素(NO_2)からつくることができる。

[三人の会話]

晴男さん：ところで、どうして酸素ではなく水素イオンだってわかったんだろうね。

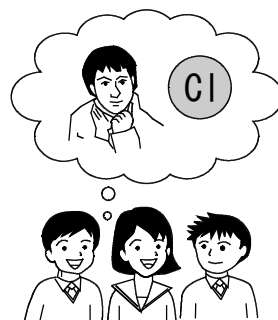
亜季さん：はっきりと水素イオンだとわかるのは、ラボアジエが酸素の命名をしてから100年くらい後になるのよ。でも、まずは、イギリスのデービーが塩酸に酸素がふくまれないことを示したことで、酸のもとが酸素ではないということがわかったの。

晴男さん：確かに塩酸には酸素はふくまれないね。僕たちは化学式を知っているからすぐにわかるけど、デービーはどうやって、そのことを調べたのだろう。

亜季さん：デービーは②塩酸を電気分解して、2種類の気体を取り出し、1つがすでに知られていた水素であり、もう1つが③塩素という酸素をふくまない単体だということを示したのよ。そのことで塩酸には酸素がふくまれないことがわかったの。

夏雄さん：塩酸の電気分解なら授業で実験したね。あのプールを消毒するときのにおいは忘れられないなあ。

亜季さん：デービーは、「イオン」を最初に考えたファラデーを育てた科学者でもあるのよ。



(3) 下線部②に関して、塩酸は塩化水素の水溶液であり、電気分解すると水素と塩素が得られる。表1は、塩化水素、塩素、水素、酸素についての性質をまとめたものである。(あ)～(え)にあてはまる言葉を書きなさい。

表 1

気体名	色	におい	空気と比べた重さ	水への溶けやすさ
塩化水素	なし	(あ)	重い	非常に溶けやすい
水素	なし	なし	非常に軽い	(い)
塩素	(う)	刺激臭	重い	溶けやすい
酸素	なし	なし	(え)	溶けにくい

あ	刺激臭	い	溶けにくい
う	黄緑色	え	重い

【解説】 化学の発展において、電気の利用が可能になったことは非常に大きな進歩をもたらした。デービーは電気分解により、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム、バリウムなどを発見した。

塩酸の電気分解においては、陽極に塩素、陰極に水素が発生し、酸素は発生しない。デービーはこの事実に着目し、さらにいくつかの実験を行うことで、酸のもとになるものが酸素であるというラボアジエの説を覆すことに成功した。

(4) 下線部③に関して、気体としてとり出したある純物質 X に酸素がふくまれることを示す実験結果として適切なものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

- ア 集気びんに入れた X 中に、加熱した銅を入れると激しく燃焼した。
- イ 試験管に X と BTB 溶液を加えた水を入れて振り混ぜると黄色くなった。
- ウ X と木炭が入った密閉容器を加熱し、発生した気体を石灰水に通すと白く濁った。
- エ X と水素の混合気体に点火すると爆発的に反応した。

ウ

【解説】 実験結果から物質の成分について考察する問題である。酸素そのものが示す化学反応と混同しないように注意しなければならない。「激しく燃焼する」、「爆発的に反応する」という表現は酸素が示す性質ではあるが、このことで成分として酸素がふくまれていると結論付けることはできない。

ア 二酸化炭素中でマグネシウムが燃焼するように、酸化物と金属が反応することが考えられるので、X に酸素がふくまれている可能性がある。しかし、確かに酸素が

ふくまれているとは判断できない。実際に、酸素をふくまない塩素中で加熱した銅が燃焼し、塩化銅が生じる。

イ Xが水に溶けて酸性を示す気体であることがわかる実験結果である。酸性のものになるものは酸素ではないので、誤りである。

ウ 木炭とともに加熱したときに発生し石灰水を白く濁らせる気体は二酸化炭素である。木炭は酸素をふくんでいないため、ここで生じた二酸化炭素は、木炭が酸素と反応した結果としか考えられないので、X中に酸素がふくまれていたと考えられる。これは実際にデービーが試みた実験の1つである。

エ 加熱した酸化銅に水素を通すと銅が還元されて水が生じるように、酸化物と水素が反応することが考えられるので、Xに酸素がふくまれている可能性がある。しかし、確かに酸素がふくまれているとは判断できない。実際に、酸素をふくまない塩素について、水素との混合気体に点火すると爆発的に反応して塩化水素を生じる。

[三人の会話]

晴男さん：ところで、アルカリ性のもとになるものが水酸化物イオンだということはどのようにしてわかったのかな。

亜季さん：酸性のもとになるのが水素イオン、アルカリ性のもとになるのが水酸化物イオンという考えは、スウェーデンの科学者アレーニウスが考えたのよ。アレーニウスは水溶液の中で電解質が電離してイオンになっているという「電離説」を提唱し、それと同じ頃にこの考えを発表したの。

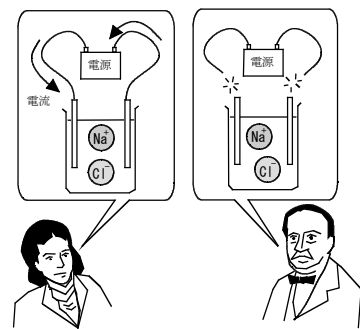
夏雄さん：あれ、イオンの考えはファラデーが考えついたんじゃないかって。

亜季さん：確かにそうだけど、ファラデーは電流を通したときだけイオンになると考えていたのよ。アレーニウスは電流を通していなくても電離してイオンになっていると考えたの。その考えはとても画期的なことだったので、最初は支持してもらえなかったの。

晴男さん：確かに溶けているだけで、電気をもった粒子になっているなんて、普通には考えられないよ。

亜季さん：この考えには、電離することにより溶質の粒子の個数が変化している④ということが重要なヒントになったのよ。

夏雄さん：よし、今度の中和の実験では、できるだけイオンのような粒子の個数をイメージしながら実験してみよう。



(5) 下線部④について、塩酸と酢酸ではそれぞれの分子が水溶液中で電離する割合が異なっており、うすい水溶液中において、塩化水素ではすべての分子が電離するが、酢酸ではもとの酢酸分子の1.7%しか電離しない。塩化水素分子と酢酸分子が、それぞれ1000個ずつあり、うすい水溶液中で電離しているとしたとき、(a)・(b)に答えなさい。ただし、1個の酢酸分子は、電離すると水素イオン1個と酢酸イオン1個を生じる。

(a) それぞれの水溶液中にある水素イオンの個数は何個か、求めなさい。

塩酸	1000	個	酢酸	17	個
----	------	---	----	----	---

(b) それぞれの水溶液中にある、溶質の粒子の合計の数は何個か、求めなさい。

塩酸		HCl	→	H ⁺	+	Cl ⁻		
(考え方)	電離前〔個〕	1000						
	電離後〔個〕			1000		1000		
		1000 + 1000 = 2000					答え	2000 個
酢酸		酢酸	→	水素イオン	+	酢酸イオン		
(考え方)	電離前〔個〕	1000						
	電離後〔個〕	983		17		17		
		983 + 17 + 17 = 1017					答え	1017 個

【解説】 塩酸と酢酸では酸の強さが異なる。これは、分子が水溶液中で電離する割合が異なっており、塩酸ではすべてが電離するのに対し、酢酸では一部しか電離しないので、もとの酸の分子数が同じでも生じる水素イオンの数が異なるためである。

酸の強さの違いは、教科書ではマグネシウム片の溶け方の違いとして説明されている。また、酸の強さを表す数値としてpHが紹介されている。これらは、ともに水溶液中の水素イオンの濃度の違いによるものであり、水素イオンの濃度が大きいほど強い酸性を示す。水素イオンの濃度は電離する割合により決まる。電離する割合が大きいと、水溶液中の水素イオンの濃度が大きくなり、電離する割合が小さいと、水溶液中の水素イオンの濃度が小さくなる。

この問題では与えられた情報を読みとって、必要な計算をすれば正答を導くことができるが、酸のもとが水素イオンという学習をしていると、酢酸のように、水溶液中でも電離していない酢酸分子が存在していることがイメージしにくい。

原子やイオンなどは、非常に小さな粒子であり、実際に目でみることはできない。しかし、それらが結合したり離れたりするようすや、個数の変化するようすなどについてのイメージをしっかりともてるように学習していくことが大切である。そのためには、日頃から様々なことに対して疑問をもち、自分なりに掘り下げて考える習慣を付けていくことが必要である。

【実験1】

- ① 図1のように、ビーカーに2.5%水酸化ナトリウム水溶液10.0cm³を入れ、フェノールフタレイン溶液を2、3滴加えた。
- ② 図2のように、こまごめピペットを用いて、①のビーカーに、2.5%塩酸を少しずつ注意深く、ビーカー内の水溶液の赤色がちょうど消えるまで加えた。
- ③ 図3のように、水溶液の一部をガラス棒でスライドガラスにとり、水分を蒸発させ、現れた結晶を顕微鏡で観察した。

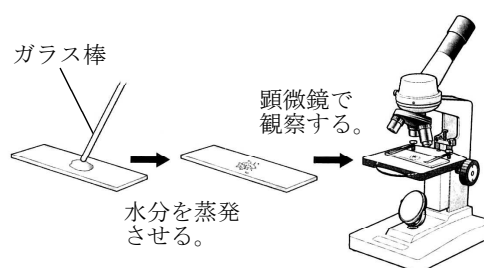
図1



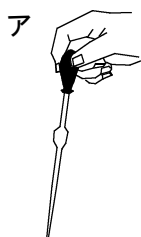
図2



図3



(6) こまごめピペットの持ち方として正しいものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。



イ

【解説】 こまごめピペットは小・中・高校理科で継続して利用するため、正しい操作方法を身に付けておく必要がある。アでは、ピペットの先が安定せず液がこぼれる恐れがある。ウでは、先端が安定しないほか、液の出し入れを細かく制御することが難しい。エでは、片手で液の出し入れをすることができない。

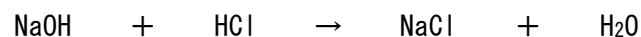
器具の名称は東京都立駒込病院に由来する。駒込病院は1920年代に伝染病を専門的に扱う病院として重要な役割を果たしていた。多くの伝染病患者を収容しており、治療を行うには、多量のピペットが必要であった。また、当時はピペットは口で吸うものであったが、病原菌をふくむサンプルを口で吸うのはきわめて危険なことであった。このような中、安全・確実・迅速にサンプルを計量・採取できるピペットとして、当時の院長 二木謙三氏により考案されたのが、こまごめピペットである。こまごめピペットは、精度の高い計量には適さないが、安価・簡便であるので、英語名「Komagome Pipette」として、世界的にも広く利用されている。

- (7) [実験 1] ②でフェノールフタレイン溶液の赤色が無色になったことから考えられることを、「水酸化ナトリウム」、「酸」、「アルカリの性質」という言葉を用いて説明しなさい。

水酸化ナトリウムのアルカリの性質が酸により打ち消された。

【解説】 実験の結果としてのフェノールフタレイン溶液の色の変化が何を意味するのかを記述する問題である。この実験によってわかったことは「フェノールフタレイン溶液の色が赤色から無色になったこと」ではなく、「アルカリの性質がなくなった」ことである。フェノールフタレイン溶液を加えたことにより何を知りたかったかを押さえておくことが大切である。観察・実験において、「どのような変化が見られるか」や「実験操作を行う上で注意することは何か」などについて、単に暗記するのはなく、「結果として見られた変化が意味することは何か」や「なぜそのようなことを注意する必要があるのか」など、学習内容や観察・実験の本質を理解することで、理科の学習がより興味深いものとなる。

- (8) [実験 1] ②での水酸化ナトリウム水溶液と塩酸の反応を化学反応式で表しなさい。



【解説】 水溶液の化学反応における最も重要な化学反応式の1つである。水酸化ナトリウム水溶液も塩酸も、アルミニウムを溶かしてしまうなど非常に強い反応性のある試薬であるが、適量混合すると身近な水溶液である食塩水に変わる。この現象は、大変不思議なものである。この現象を目にしたときに起こる「なぜ？」という気持ちを大切にしたい。そのような疑問をもった上で、酸性やアルカリ性のもとになるものは何か、イオンとは何か、中和するとはどういうことか、などの学習を行うと学習内容が印象に残り、より深く理解することができる。

- (9) [実験 1] ①で水酸化ナトリウム水溶液にふくまれていたナトリウムイオンの個数をAとしたとき、次の(a)、(b)のときのイオンの個数の合計をAを用いた式で表しなさい。

(a) [実験1] ②で、水溶液の赤色がちょうど消えたとき。

(考え方)				
水酸化ナトリウム A [個]	→	ナトリウムイオン A	+	水酸化物イオン A
塩酸 A [個]	→	水素イオン A	+	塩化物イオン A
ナトリウムイオンA個と塩化物イオンA個はそのまま水溶液中に存在している。				
水素イオンA個と水酸化物イオンA個は反応して水になる。よって				
$A + A = 2A$		答え	2A	個

(b) 水溶液の赤色がちょうど消えたときの2倍の量の塩酸を加えたとき。

(考え方)				
水酸化ナトリウム A [個]	→	ナトリウムイオン A	+	水酸化物イオン A
塩酸 2A [個]	→	水素イオン 2A	+	塩化物イオン 2A
ナトリウムイオンA個と塩化物イオン2A個はそのまま水溶液中に存在している。				
水素イオンA個と水酸化物イオンA個は反応して水になる。				
残りの水素イオンA個はそのまま水溶液中に存在している。よって				
$A + 2A + A = 4A$		答え	4A	個

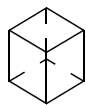
【解説】 [三人の会話] で夏雄さんが言っているように、中和反応における粒子の個数をイメージすることが大切である。

水酸化ナトリウムも塩化水素もそれぞれ、1個の陽イオンと1個の陰イオンに電離すること、水素イオンと水酸化物イオンは1:1の比で結合して水になること、酸の陰イオンである塩化物イオンとアルカリの陰イオンであるナトリウムイオンは、イオンのまま水溶液中に残っていること、これらを理解した上で文字式を計算することができれば正答を導くことができる。

「1000個」などの数値ならイメージできるが、「A個」のような文字だとイメージできないという場合もある。理科においては、文字式で計算を行う場面は多くないが、文字式で表すことにも慣れておきたい。

(10) [実験1] ③で観察された結晶の形として正しいものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

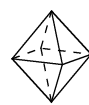
ア



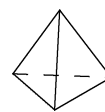
イ



ウ



エ



ア

【解説】 塩化ナトリウムの結晶が立方体であることは小学校理科の「ものの溶け方」で学習する。また、このときに、ミョウバンの結晶も観察している。結晶の形は物質が異なることを識別する重要な手がかりである。中学理科地学領域では、磁鉄鉱の正八面体の結晶を観察することが鉱物についての認識を深める機会となっている。

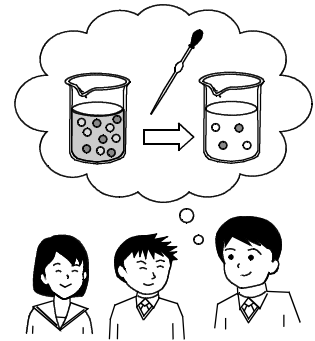
教科書では、水酸化ナトリウムと塩酸の中和によって塩化ナトリウムが生成することを、塩化ナトリウムの結晶を顕微鏡で観察し、確認できるようにしており、中和という目に見えない現象について実感が得られるようになっている。

〔三人の会話〕

晴男さん：中和の実験は最初は単純だと思っていたけど、やってみると興味深かったよ。加えた塩酸がだんだんと多くなってくると、一度色が消えてから赤色に戻るのが遅くなっていき、水酸化物イオンの数が減っていることがよくわかったよ。

夏雄さん：僕は、最初、⑤塩酸を一気に入れてしまって、すぐに透明になってしまったよ。

亜季さん：私は、クラスみんながほぼ同じ量の塩酸でちょうど中和することにとっても驚いたわ。中和をするときの、濃度や体積についてもう少しわしく実験してみましょう。



〔実験 2〕

- ① 図4のように、試験管①～④に2.5%と5.0%の水酸化ナトリウム水溶液をそれぞれ5.0cm³と10.0cm³ずつとり、フェノールフタレイン溶液を2、3滴ずつ加えた。
- ② 図5のように、メスシリンダーに2.5%塩酸を20.0cm³入れ、この塩酸を試験管①に少しずつ加えた。フェノールフタレイン溶液の赤色がちょうど消えたとき、メスシリンダーに残っている塩酸の体積から必要だった塩酸の体積を求め、記録した。
- ③ 同様にして、試験管②～④についても調べた。表2はその結果をまとめたものである。

表 2

試験管	水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積		水溶液を中性にするのに必要だった2.5%塩酸の体積 [cm ³]
	濃度 [%]	体積 [cm ³]	
①	2.5	5.0	4.4
②	2.5	10.0	8.8
③	5.0	5.0	8.8
④	5.0	10.0	17.6

図 4

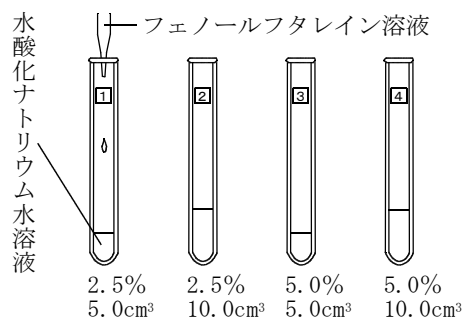
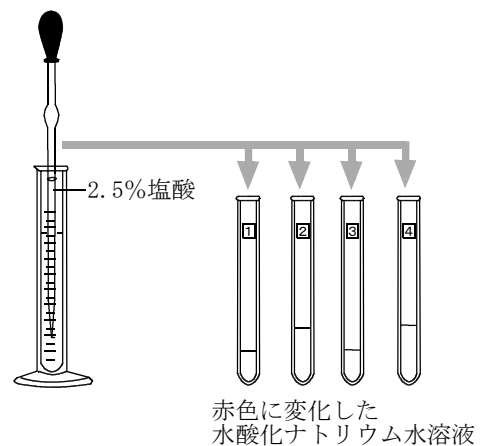


図 5



- (11) 次の文は、[実験2]で、水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積の両方を $\boxed{1}$ の2倍にした試験管 $\boxed{4}$ の結果について考察し、さらに、濃度を m 倍、体積を n 倍にしたときについて予想したものである。正しい文になるように、文中の（あ）～（く）にあてはまる言葉を書きなさい。

水酸化ナトリウム水溶液の濃度と体積の両方を2倍にしたときには、（あ）イオンの数が（い）倍になり、それを中和するための（う）イオンの数は（え）倍になるので、必要な塩酸の体積は（お）倍になった。

水酸化ナトリウム水溶液の濃度を m 倍、体積を n 倍にしたときには、（あ）イオンの数が（か）倍になり、それを中和するための（う）イオンの数は（き）倍になるので、必要な塩酸の体積は（く）倍になると予想される。

あ	水酸化物	い	4	う	水素
え	4	お	4	か	mn
き	mn	く	mn		

【解説】 教科書では、中和における濃度と体積の関係については発展的な内容として扱われている。しかし、既習の中和における粒子の個数や濃度についての考え方を組み合わせることで理解が可能である。ただし、質量パーセント濃度はあくまでも質量の割合を表したものであるため、体積について考える際には、「密度」を考える必要があることには注意すべきである。ここでは、教科書にならい、密度については触れていない。

質量パーセント濃度は、溶液の質量に対する溶質の質量の割合を表したものである。また、化学反応の量的関係における学習から、溶質の質量は溶質粒子の個数に比例することが考えられるので、質量パーセント濃度が2倍になれば、一定質量の溶液にふくまれる溶質粒子の個数も2倍になったと考えることができる。

なお、ここでは溶液の量を質量ではなく体積で扱っているが、うすい水溶液の場合には、この実験で扱っているようなある程度の傾向を調べることはできる。

- (12) [三人の会話] 下線部⑤に関して、[実験2]の結果をもとに、[実験1]で夏雄さんが塩酸を加えすぎてしまった水溶液を2.5%水酸化ナトリウム水溶液を用いて中性にしようと考えた。夏雄さんが加えた2.5%塩酸が12.0cm³であったとすると、これを中性にするために加える2.5%水酸化ナトリウム水溶液は何cm³か、小数第2位を四捨五入し、小数第1位まで求めなさい。

(考え方) 表2より、2.5%水酸化ナトリウム水溶液10.0cm³をちょうど中和するために必要な2.5%塩酸は8.8cm³である。過剰に加えた塩酸は、 $12.0 - 8.8 = 3.2 \text{ cm}^3$

この3.2cm³とちょうど反応する2.5%水酸化ナトリウム水溶液の体積を求める。

求める体積をx [cm³] とすると、濃度が一定の水酸化ナトリウム水溶液の体積と中性にするために必要な塩酸の体積は比例するので、

$$10.0 : x = 8.8 : 3.2$$

$$x = 10.0 \times 3.2 / 8.8$$

$$= \text{約 } 3.6 \text{ cm}^3$$

答え	3.6	cm ³
----	-----	-----------------

【解説】 ここでは、[実験1]で、ちょうど中性にするために必要であった塩酸が8.8cm³であったことを[実験2]の結果より読みとり、過剰に加えた塩酸とちょうど反応する水酸化ナトリウムの体積を求めるという手順で解答している。正答を導くためには、与えられた多くの情報から必要なものを取捨選択して処理する必要がある。そのためには、例えば、体積といっても、何の（どの物質の）体積なのか、また、どのような実験操作で測定した体積なのかというふうに、数値の意味をよく把握して処理することを日頃から意識することが大切である。

- (13) 濃度のわからない水酸化ナトリウム水溶液15.0cm³をこの実験で用いた2.5%塩酸と反応させ、[実験2]と同様の操作を行うと、フェノールフタレイン溶液の赤色がちょうど消えるまでに必要だった塩酸の体積は14.0cm³であった。水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何%か、小数第2位を四捨五入し、小数1位まで求めなさい。

(考え方) (11)により、濃度がm倍、体積がn倍になると、中性にするために必要な塩酸はmn倍となる。濃度のわからない水酸化ナトリウム水溶液の濃度をy [%] とし、表2の、5.0%水酸化ナトリウム水溶液5.0cm³のとき2.5%塩酸が8.8cm³であるという値を利用すると、濃度は $y / 5.0$ [倍]、体積は $15.0 / 5.0$ [倍] となっており、そのときに必要な塩酸は14.0cm³である。よって

$$8.8 \times (y / 5.0) \times (15.0 / 5.0) = 14.0$$

$$y = 2.65\cdots$$

$$= \text{約 } 2.7\%$$

答え	2.7	%
----	-----	---

【解説】 (11)で濃度が m 倍、体積が n 倍となったとき、ちょうど中性にするために必要な塩酸が mn 倍になるという考えを用いて計算すれば正答を導くことができる。この解答例では、表2の5.0%水酸化ナトリウム水溶液が 5.0cm^3 のとき2.5%塩酸が 8.8cm^3 であるという値を利用している。表2の他の値を用いても同様に正答を導くことができる。濃度と体積が何倍になっているかについて考えると、濃度については、5.0%が y [%] になったので、 $m = y / 5.0$ [倍]、体積については、 5.0cm^3 が 15.0cm^3 になったので、 $n = 15.0 / 5.0$ [倍] である。もとの体積が 8.8cm^3 であり、それが mn 倍になって 14.0cm^3 となったので

$$8.8 \times m \times n = 14.0$$

$$8.8 \times (y / 5.0) \times (15.0 / 5.0) = 14.0$$

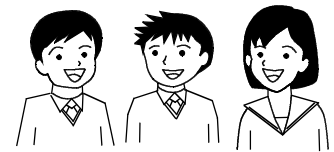
この方程式より y を求めればよい。

[三人の会話]

晴男さん：中和について粒子の個数をイメージしながら考えることで、濃度のことがよく理解できるようになったよ。何事もじっくり考えることが大切だね。

夏雄さん：質量パーセント濃度の計算が苦手だったけど、あの計算の意味がはじめてわかった気がしたよ。

亜季さん：みんなといっしょに話をしながら考えていると、昔の科学者になったような気がしたわ。中学校で習うことって、簡単そうだけど追究すると奥が深いってことをすごく感じたわ。



15

優太さんと香奈さんは、アメリカから短期留学で来日しているジムさんとともに、京都に観光に行きました。(1)～(9)に答えなさい。

優太さん：ここは梅尾山（とがのおさん）の高山寺（こうさんじ）です。このお寺には少し変わった絵があるんですよ。

ジムさん：この絵は何というものですか。

香奈さん：これは「鳥獣人物戯画」といって、約800年前に描かれたものです。

優太さん：サルやウサギ、カエルなどが人間のように描かれていて、日本最古の漫画ともいわれています。

香奈さん：このほかにも、キツネやシカが描かれているものもあるんですよ。

ジムさん：でもそうするとカエルだけ特別な感じがします。

優太さん：どうしてですか。

ジムさん：脊椎動物のなかまわけでいうと、サル・ウサギ・キツネ・シカは（あ）ですが、カエルは（い）だからです。

香奈さん：なるほど。



鳥獣人物戯画

(1) 文中の（あ）、（い）にあてはまる語を書きなさい。

あ	哺乳類	い	両生類
---	-----	---	-----

【解説】

脊椎動物は、背骨（脊椎）と頭がい骨をもち、内骨格や筋肉が発達している。また、神経系や臓器も発達し、ほかの動物と比較して複雑な構造をしている。脊椎動物は特徴の違いによって、魚類・両生類・は虫類・鳥類・哺乳類の5種類に分けられる。哺乳類のなかまとして、サル・ウサギ・キツネ・シカのほかにイヌやネコ、ヒトなどがある。両生類のなかまとして、カエルのほかにイモリやサンショウウオがある。5種類の脊椎動物については、代表的な生物名を覚えておくとよい。

(2) 表は、カエルとサルについて、それぞれの特徴を示したものである。ア～エにあてはまる言葉をそれぞれ書きなさい。ただし、ウは子と親のおもな生活の場所をそれぞれ書くこと。

表

特徴 \ 生物	カエル	サル
なかまのふやし方	ア	胎 生
体 温	変 温	イ
おもな生活の場所	ウ	陸 上
体 表	うすく湿った皮膚	エ

ア	卵生	イ	恒温
ウ	子は水中、親は陸上	エ	毛

(3) 生物が長い年月の中で世代を重ねる間に変化していくことを進化という。脊椎動物では、魚類のあるものから会話文中の(い)へ、会話文中の(い)のあるものからは虫類へ進化したと考えられている。会話文中の(い)が魚類とは虫類の間にあると考えられている根拠を、それぞれの生物の特徴を踏まえて2つ書きなさい。

生活場所が、魚類は水中では虫類は陸上であり、(い)[両生類]は子が水中で親が陸上で生活すること。
呼吸のしかたが、魚類はえらでは虫類は肺で行う。(い)[両生類]は、子はえらで呼吸し、親は肺で呼吸すること。

【解説】 下の表は、5種類の脊椎動物の特徴をまとめたものである。

	魚 類	両生類	は虫類	鳥 類	哺乳類
なかまのふやし方	卵 生	卵 生	卵 生	卵 生	胎 生
体 温	変 温	変 温	変 温	恒 温	恒 温
生活場所	水 中	子は水中 親はおもに陸上	陸 上	陸 上	陸 上
体 表	うろこ	しめった皮膚	うろこ	羽 毛	毛
呼 吸	え ら	子はえら 親は肺と皮膚	肺	肺	肺

(2) 5種類の脊椎動物における5つの特徴については覚えておきたい。それぞれの脊椎動物について具体的かつ身近な生物（魚類ならコイ、は虫類ならヘビなど）をイメージすると覚えやすい。また、カエル（両生類）とサル（哺乳類）を比較すると、5つの特徴がすべて異なっていることがわかる。

(3) 生物は、約40億年前に誕生したと考えられている。その生物は単純な構造の1個の細胞でできていた（単細胞生物）と考えられており、その生物を共通の祖先として現在までにさまざまに進化して、多様な生物が出現したと考えられている。

脊椎動物は約5億年前に出現したと考えられている。最初に出現したのは魚類で、一生を水中で生活していた。その後、生物が陸上で生活できる環境が整うと、陸上生活を行う両生類が出現した。しかし、両生類は

- ・受精や発生、幼少期の生活を水中でしか行うことができない
- ・皮膚が乾燥に耐えうる構造でない

ことから、水辺でしか生活ができなかった。その後、陸上で受精・発生が可能で、皮膚が乾燥に強いうろこでおおわれているは虫類が出現し、脊椎動物の陸上化が達成される。そして、は虫類から哺乳類と鳥類が進化したと考えられている。

進化において、両生類が魚類とは虫類の間にあるという根拠を考えると、脊椎動物の水中生活から陸上生活への変化に着目することがある。魚類は一生を水中で、は虫類は一生を陸上で過ごす。つまり、両生類は水中生活から陸上生活への変化の過渡期にあると考えられる。そこで、前ページの表より、そのことがわかる項目を考えると、「生活場所」と「呼吸」がそれにあたる。両方とも、両生類が水中生活をする生物と陸上生活をする生物の中間のような特徴をもっていることがわかる。

なお、両生類では陸上生活をするにあたり、魚類の胸びれが前足に、腹びれが後ろ足に形質が変化し、四肢で歩行できるようになったと考えられている。

優太さん：あ、クヌギの木にカブトムシがいますよ。

ジムさん：これが日本のカブトムシですか。

香奈さん：カブトムシは、サルやカエルと違って無脊椎動物のなかまですね。

優太さん：そうです。また、無脊椎動物にもいろいろななかまがありますが、カブトムシは節足動物のなかまです。

ジムさん：カブトムシの体はかたいですね。

香奈さん：このように、体をかたい殻のようなものでおおっているつくりを（う）といいます。

ジムさん：無脊椎動物の特徴と脊椎動物の特徴は、まったく違うのですか。

優太さん：違うところもありますが、①共通しているところもありますよ。



カブトムシ

- (4) 文中の (う) にあてはまる語を書きなさい。また、(う) のはたらきについて2つ書きなさい。

外骨格

はたらき

体を支える

体内の保護

【解説】

背骨（脊椎）をもたない生物を無脊椎動物という。無脊椎動物のなかまである節足動物では、体の外側がかたい殻でおおわれており、これを外骨格という。

外骨格で体をおおうことによって体を支えたり、外部の刺激（紫外線や熱など）や外敵の攻撃から体内を守るはたらきがある。

また、2つのはたらきのほかに、水分を通しにくいいため、体内の水分を保つのに役立つ。このはたらきは、節足動物が水中から陸上へ進出するのに好都合であったため、両生類が陸上生活を行うより前に、節足動物が陸上生活を行っていたと考えられている。

- (5) 下線部①について、カブトムシと脊椎動物の一種であるヘビとの共通点を示した文として誤っているものはどれか、ア～エから最も適切なものを選びなさい。

- ア 卵を産んでなかまをふやす。
イ まわりの温度変化にともなって体温が変化する。
ウ 肺で呼吸する。
エ 陸上で生活する。

ウ

【解説】

カブトムシとは虫類のなかまであるヘビはともに卵生、変温動物であり、陸上生活をしている。

ヘビは肺で呼吸を行う。カブトムシのような昆虫類では、体表の一部が管状になって体内に落ち込んだ構造をもつ。この構造により、体表に現れる小さな穴を「気門」といい、ここで空気の出し入れが行われる。また、体内に落ち込んだ管状のものを「気管」といい、細かく枝わかれしながら全身に分布し、ここでガス交換が行われる。

(6) 無脊椎動物には、節足動物のほかに軟体動物とよばれるなかまがいる。

(a) 軟体動物のなかまではないものはどれか、ア～エから1つ選びなさい。

ア ヒトデ イ ナメクジ ウ アサリ エ イカ

ア

(b) 軟体動物は、内臓をおおっている膜をもっている。この膜を何というか、書きなさい。

外とう膜

【解説】

(a) 軟体動物のなかまには、アサリやサザエなどの貝類、イカやタコ、ウミウシ、アメフラシ、ナメクジ、カタツムリなどがある。なお、ヒトデは棘皮（きょくひ）動物のなかまであり、ほかにウニやナマコなどがある。

(b) 内臓をおおう外とう膜をもっていることは、軟体動物の特徴の1つである。貝類やカタツムリでは、外とう膜から石灰質を分泌し、いわゆる「貝殻」を形成する。

ジムさん：京都は自然が豊かですね。

優太さん：徳島も負けてないですよ。あ、あその池にミシシippアカミミガメがいますよ。

ジムさん：ミシシpp…??

香奈さん：池の底には、アメリカザリガニがいますよ。

ジムさん：アメリカ…??

香奈さん：ジムさん、どうしたのですか。

ジムさん：あのカメやザリガニはアメリカのものですか。

優太さん：そうなんです。もともとミシシippアカミミガメもアメリカザリガニもアメリカに生息していたものです。

ジムさん：なぜ日本の池にいるのですか。

香奈さん：ミシシippアカミミガメは「ミドリガメ」というペットとして輸入されたものですが、誰かが池に放してしまったものが増えたとされています。

優太さん：アメリカザリガニはもともと食用ガエルのえさとして輸入されました。その後、養殖されたものが逃げ出して増えたとされています。

ジムさん：そうなんです。でも、日本の自然の中にもアメリカの生物がいるのでうれしいです。

優太さん：でも喜んでばかりもいられないのです。②もともとその地域にいなかったのに、人間の活動によってほかの国や地域からやってきて住み着いた生物が、③さまざまな悪影響を及ぼしていることがあるのですよ。

ジムさん：そんなこととは知らずに…。日本の自然は美しいので、大切にしたいですね。

香奈さん：現在、多くの国や地域で、科学的な調査のもと、生物のつながりや自然環境を保全するための取り組みや法整備が進められているのですよ。



ミシシippアカミミガメ



アメリカザリガニ

(7) 下線部②のような生物を何というか、書きなさい。

外来種

【解説】

人間の活動によって、意図的あるいは非意図的に本来の生息場所から別の場所に移入されて、そこに定着した生物を外来種または外来生物という。外来種のうち、移入先の生態系に深刻な影響を与えるものを「特定外来生物」に指定し、これらの生物は「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」（外来生物法）によって、飼育や栽培、保管、運搬、輸入の取り扱いが規制されている。なお、特定外来生物については、環境省のホームページの「日本の外来種対策」（<http://www.env.go.jp/nature/intro/index.html>）内の「特定外来生物等一覧」のページに全種類の解説が掲載されている。

(8) 下線部②について、日本固有の生物をア〜クからすべて選びなさい。

ア オオクチバス イ ウシガエル ウ セアカゴケグモ エ メダカ
オ セイタカアワダチソウ カ アライグマ キ イシガメ ク シロツメクサ

エ キ

【解説】

メダカおよびイシガメは日本固有の生物であり、そのほかはすべて外来種である。なお、ウの「セアカゴケグモ」はメスが毒をもつ外来種であり、発見したらむやみに近づかず、周りの大人に駆除してもらいましょう（セアカゴケグモは特定外来生物に指定されている）。



セアカゴケグモ（徳島県HPより）

(9) 下線部③について、下線部②の生物が及ぼす悪影響には、大きくわけて「人の生命・身体への影響」、「農林水産業への影響」、「生態系への影響」の3つがある。「人の生命・身体への影響」については、毒をもっていることや刺したりかんだりして危険であることが考えられる。また、「農林水産業への影響」については、農林水産物を食べたり田畑を踏み荒らしたりすることが考えられる。「生態系への影響」について考えられることを3つ書きなさい。

在来種を食べる。

えさの奪い合いをする。

在来種の生息・生育環境を奪ってしまう。

【解説】

生物とそれらを取り巻いている環境（水、大気、土、光など）のまとまりを生態系という。生態系では、生物と環境の間、また生物と生物の間で互いに影響を及ぼしあっており、安定した生態系では、それらが絶妙なバランスを保っている。「生態系への影響」とは、外来種の侵入によってこのバランスが崩れることである。

外来種により在来種（日本固有の生物）の数が減少する場合がある。その主な原因として、

- ① 外来種が在来種を食べてしまう（例：アメリカ南東部原産のは虫類のなかまであるグリーンアノールが、小笠原諸島に生息する国の天然記念物であるオガサワラゼミを食べる）。
- ② 外来種と在来種が同じ生物をえさとした場合、えさの奪い合いをし、在来種が負けてしまう（例：北アメリカ南部原産のミシシippアカミミガメと在来種のイシガメは同じようなエサ（小魚やエビ、ミミズ、水草など）を食べる。ミシシippアカミミガメはイシガメより体が大きく、繁殖力（増える力）が強く短期間で大量に増えるため、えさの奪い合いで

はミシシippアカミミガメが有利になる)。

③外来種が在来種の生息・生育環境を奪ってしまい、在来種が生活や子育てする場所がなくなってしまう(例:南アメリカ原産の水草であるホテイアオイは、池などで夏に水面をおおいつくすほど繁殖する。そのため、在来種の水草や水生生物が生育できない)。

がある。どれにおいても在来種が減少することで食物連鎖(食物網)が変化し、生態系のバランスが崩れる。

また、上の3つに加えて、「近縁の在来種との間で子(雑種)をつくる」ということも「生態系への影響」の1つである。ある在来種とよく似た種で、その在来種との間で子をつくることが可能な外来種が侵入すると、在来種と外来種との間で子が生まれることがある。この子は在来種と外来種の「雑種」であり、在来種と外来種の遺伝子を半分ずつもつようになる。このようなことが繰り返されると雑種が増加し、在来種の遺伝子のみをもつ種(つまり在来種のこと)が減少していく。このようなことを「遺伝子汚染」または「遺伝子攪乱(かくらん)」という。

なお、外来種の影響については、環境省のホームページの「日本の外来種対策」(<http://www.env.go.jp/nature/intro/index.html>)内の「外来種問題を考える」のページにある「外来種の問題点」にくわしく説明が記載されている。

連さんと令さんは、宇宙を舞台にした映画「スター・ウォーズ」を鑑賞した帰りに、日没後すぐの空を見ながら宇宙や惑星について話し合った。(1)～(7)に答えなさい。

太陽系の惑星について

連さん：映画、面白かったね。でもこれがシリーズ完結編だと思うと、さびしい気がするね。

令さん：実際の宇宙でも、映画みたいいろいろな惑星があるのかな。

連さん：映画は、「遠い昔、遙か彼方の銀河系で・・・」という設定だけど、僕たちの太陽系に実在する8個の惑星も、それぞれに特徴があって、とても面白いよ。

令さん：私は天体望遠鏡で、土星の環を見たことがあるわよ。

連さん：僕も見たことがあるよ。ちなみに、あの明るい星は金星だよ。「宵の明星」とよばれることもあるんだ。

- (1) 令さんがあげた土星は木星型惑星、連さんがあげた金星は地球型惑星とよばれるグループに属している。

木星型惑星と地球型惑星を比べたとき、対照的な違いが見られる。どのような違いがあるか、表から読みとれることをすべて答えなさい。

表【惑星の特徴】

	太陽からの平均距離	公転周期(年)	自転周期(日)	赤道半径	質量	大気的主要成分	惑星の表面温度(°C)
水星	0.4	0.24	58.65	0.38	0.06	ほとんどなし	約170
金星	0.7	0.62	243.02	0.95	0.82	二酸化炭素	約460
地球	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	窒素 酸素	約15
火星	1.5	1.88	1.03	0.53	0.11	二酸化炭素	約-60
木星	5.2	11.9	0.41	11.2	317.8	水素 ヘリウム	約-120
土星	9.6	29.5	0.44	9.4	95.2	水素 ヘリウム	約-130
天王星	19.2	84.0	0.72	4.0	14.5	水素 ヘリウム	約-200
海王星	30.1	165.0	0.67	3.9	17.2	水素 ヘリウム	約-200

表中の太陽からの平均距離、赤道半径、質量は、地球を1としたときの値

木星型惑星（木星・土星・天王星・海王星）は、地球型惑星（水星・金星・地球・火星）と比べたとき、太陽からの平均距離が大きい、公転周期が長い、自転周期が短い、赤道半径が大きい、質量が大きい、という対照的な違いが見られる。

（例外があるため参考として示すが、次の項目もかなり対照的な違いが見られる。大気的主要成分については、水星を除く地球型惑星は二酸化炭素、窒素、酸素など比較的密度の大きい重い気体であるのに対し、木星型惑星は水素、ヘリウムなど比較的密度の小さい軽い気体である。また惑星の表面温度は、火星がやや低い、おおむね地球型惑星は比較的温度が高いのに対し、木星型惑星は-100°Cを下まわり、非常に温度が低い。）

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能を活用して、各惑星の特徴をまとめた一覧表に示された数値を比較・分析し、そこから地球型惑星と木星型惑星の違いを説明することを問う問題。

表であげた7つの項目のうち、太陽からの平均距離、公転周期、自転周期、赤道半径、質量については、地球型惑星と木星型惑星で明らかに大きく異なっていることがわかる。

大気的主要成分や惑星の表面温度については、水星や火星が例外となるため、表から読みとれる対照的な違いとしてそのままあげるのには難しいが、大気的主要成分については、地球型惑星が密度の大きい、比較的重い気体、木星型惑星が密度の小さい、比較的軽い気体といえる。水星は太陽系の惑星の中で最も質量が小さく、大気を引き留めるだけの十分な重力がなかったため、大気のほとんどが失われたと考えられている。また惑星の表面温度については、おおむね太陽から受けるエネルギーの影響が大きく、太陽に近い地球型惑星は比較的高温で、太陽から遠い木星型惑星は比較的低温となっている。

地球型惑星と木星型惑星の違いについては、問題(2)でとり上げる、惑星の質量と体積から導かれる平均密度(天体を構成する物質1cm³あたりの質量(g))も対照的である。地球型惑星は、表面が地球のような岩石でできており、内部は岩石より重い金属でできていると考えられるため、平均密度が大きい。一方、木星型惑星は、水素やヘリウム、メタンなど密度の小さい比較的軽い物質からできていて、中心部も岩石や氷など、地球より密度の小さい比較的軽いものでできていると考えられる。そのため平均密度が小さい。

その他の地球型惑星と木星型惑星との対照的な違いとしては、環の有無、衛星の数が多いか少ないかなどもあげることができる。

なお、木星と土星には惑星内部に岩石や氷でできた中心核を包む金属水素(超高压下の特殊な状態)の厚い層があり、天王星と海王星には惑星内部に岩石や氷でできた中心核を包む氷の層があると考えられており、厳密には両者の間にはある程度差異が見られる。

一方、地球型惑星と木星型惑星で共通することとしては、太陽の周りを公転する軌道がほぼ円に近い楕円軌道であること、公転の向き、各惑星が公転する面(公転面)の傾き(→全ての惑星が、ほぼ同一平面上で公転)などがあげられる。

このように、太陽系の惑星は多様性と共通性をあわせもっているといえる。

「活用」(分析・解釈)

表【惑星の特徴】※平均密度を加えた表

	太陽からの平均距離	公転周期(年)	自転周期(日)	赤道半径	質量	大気的主要成分	惑星の表面温度(°C)	平均密度	
地球型惑星	水星	0.4	0.24	58.65	0.38	0.06	ほとんどなし	約170	5.43
	金星	0.7	0.62	243.02	0.95	0.82	二酸化炭素	約460	5.24
	地球	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	窒素 酸素	約15	5.51
	火星	1.5	1.88	1.03	0.53	0.11	二酸化炭素	約-60	3.93
木星型惑星	木星	5.2	11.9	0.41	11.2	317.8	水素 ヘリウム	約-120	1.33
	土星	9.6	29.5	0.44	9.4	95.2	水素 ヘリウム	約-130	0.69
	天王星	19.2	84.0	0.72	4.0	14.5	水素 ヘリウム	約-200	1.27
	海王星	30.1	165.0	0.67	3.9	17.2	水素 ヘリウム	約-200	1.64

表中の太陽からの平均距離、赤道半径、質量は、地球を1としたときの値

(2) 地球の平均密度は約 5.5 g/cm^3 である。金星と土星の平均密度はどのくらいか。表から読みとれることをもとに考え、ア～コから最も適切なものをそれぞれ選びなさい。

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ア 水素の密度約 0.00090 g/cm^3 程度 | イ 二酸化炭素の密度約 0.0019 g/cm^3 程度 |
| ウ ガソリンの密度約 0.69 g/cm^3 程度 | エ 水の密度 1.0 g/cm^3 程度 |
| オ 飽和食塩水の密度約 1.2 g/cm^3 程度 | カ 花こう岩の密度約 2.7 g/cm^3 程度 |
| キ 地球の平均密度約 5.5 g/cm^3 程度 | ク 鉄の密度約 7.9 g/cm^3 程度 |
| ケ 鉛の密度約 11.0 g/cm^3 程度 | コ 金の密度約 19 g/cm^3 程度 |

土星	ウ	金星	キ
----	---	----	---

【解説】 表で与えられた数値から、必要なものを選び、理科および数学の基礎的・基本的な知識・技能を組み合わせ活用し、答えを導く問題。

惑星の平均密度は、次の式で求められる $\text{惑星の平均密度} = \frac{\text{惑星の質量}}{\text{惑星の体積}}$

このように密度は惑星の質量に比例し、惑星の体積に反比例する。
また、惑星を赤道半径を基準とする球であると考え、

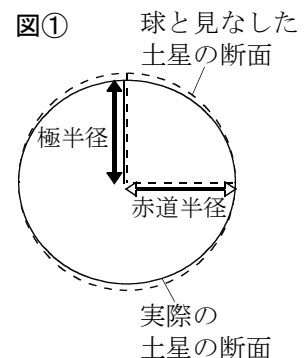
$$\text{惑星の体積} = \frac{4}{3} \times \pi \times \text{惑星の赤道半径}^3 \quad \text{となる。}$$

よって、惑星の平均密度は、質量に比例し、赤道半径の3乗に反比例すると考えることができる。
金星については、表の値をみると質量、赤道半径の両方も、地球とおおむね同じであることから、平均密度も地球とほぼ同じであると考えられる。また、質量が地球の約0.82倍、赤道半径が約0.95倍という値を用いて実際に計算しても、地球に対する金星の密度は $0.82 \div 0.95^3 \approx 1$ 倍で、地球とほぼ同じという結果が得られる。

一方、土星については、表より、質量が地球の約95.2倍、赤道半径が約9.4倍なので、土星の平均密度は、地球の平均密度の $95.2 \div 9.4^3 = 0.11461 \dots \approx 0.115$ 倍となる。地球の平均密度は約 5.5 g/cm^3 であるので、土星の平均密度 $5.5 \times 0.115 \approx 0.63 \text{ g/cm}^3$ という値が得られる。

図①のように、土星は実際には赤道方向にかなりふくらんでおり、赤道半径を基準とする球よりも体積は小さい。このため土星の密度は計算した値より大きくなり、 0.69 g/cm^3 となっている。それでも、水の密度をかなり下まわっていることがわかる。土星は水に浮かぶぐらい密度が小さく、太陽系の惑星の中で密度は最小である。

「活用」(適用)



(3) 表は太陽からの平均距離が小さい惑星を上から順に並べている。平均距離に対する規則性が見られる惑星の特徴は何か、書きなさい。ただし、表であげられた、太陽からの平均距離以外の6項目からあてはまるものを選ぶこと。

公転周期

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能を活用して、各惑星の特徴をまとめた一覧表に示された数値を比較・分析し、規則性を見いだすことを問う問題。

表であげた7つの項目のうち、太陽からの平均距離と公転周期との間には、平均距離が大きいほど公転周期が長いという明確な規則性が見られる。この関係は、ケプラーの第3法則（調和の法則）「惑星の公転周期の2乗は、軌道長半径（＝太陽からの平均距離）の3乗に比例する」で表される。

惑星の表面温度は、(1)でとり上げたように、太陽から受けるエネルギーの影響が大きいため、太陽からの平均距離との規則性がおおむね見られるが、太陽に近い水星より、太陽から遠い金星の方が高温になっていて、逆転している。その理由については次のとおりである。

水星は大気がほとんどないため、昼の側の表面温度が430℃ほどになるのに対し、夜の側は熱が宇宙に直接逃げて-180℃ほどまで下がるため、惑星全体を平均すると、約170℃ほどになる。一方、金星は地球よりたくさん太陽エネルギーを受けているうえ、大気の主成分が二酸化炭素であり、大気圧が約90気圧もあるため、強い温室効果が発生し、夜の側も含めて惑星全体が非常に高温となり、太陽系で最も高温の惑星となっている。

「活用」（分析・解釈）

地球に生物が存在する理由

令さん：映画ではたくさんの惑星で、さまざまな宇宙人が生活していたけど、将来、金星や火星に人間が移住することはできるのかな。

連さん：今のままの金星や火星の環境では、人間がそのまま住むことはできないね。

令さん：なぜ地球だけさまざまな生物が生存できるのかな。

(4) 現在、地球上に数多くの生物が生存しているのは、地球に生物の生存を可能にする条件が備わっているからである。表の内容にふれながら、主な条件を2つ書きなさい。

条件1

表の惑星の大気の成分の項目から、地球は酸素を多く含む大気があること。

条件2

表の惑星の表面温度の項目から、水が凍ったり蒸発したりせずに、液体の状態で存在できる温度であること。

【解説】 表で与えられた数値から、必要なものを選び、基礎的・基本的な知識・技能を組み合わせ、答えを導く問題。

地球に関する数値と、他の惑星を比較し、地球が生命に適した条件が何であるかを考察する。

地球が生物の生存に適した条件の一つとして、酸素を多く含む比較的厚い大気が存在することがあげられる。このことについては、大気を引き留めるために十分な惑星の質量があることも大きく関係している。水星や火星は大気を引き留めるために十分な惑星の質量がなく、大気のほとんどが失われてしまった。火星は重力が小さい分、地球より大気が薄くなる傾向があったうえ、地球のような磁場がないため、太陽風（太陽から吹き付ける高速の電気を帯びた粒子の流れ）によって大気が吹き飛ばされた結果、150～170分の1気圧ほどしかない非常に薄い大気となっていて、生命には適さない環境となっている。

地球が生物の生存に適したもう一つの条件は、液体の水が存在できる表面温度であることがあげられる。このことについては、太陽からの平均距離がちょうどよいことも深く関係している（図②のような、太陽からちょうどよい距離にあるドーナツ状の領域は、ハビタブルゾーン/居住可能領域とよばれる）。

金星は地球とほぼ同じ質量で、地球より厚い大気が存在する。しかし、地球より太陽に近く、惑星の表面温度がもともとかなり高いうえに、大気中の二酸化炭素による温室効果でさらに高温になった結果、水は蒸発し、蒸発した水は大気上層で強い紫外線によって分解し、軽い水素は宇宙へ逃げ、酸素は地表の岩石などと反応して酸化物となったため、ほとんど失われてしまったと考えられている。

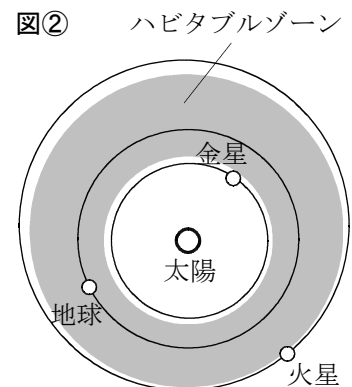
一方火星は、太陽からわずかに遠いため、太古の時代には比較的豊富な液体の水があった痕跡があるものの、現在はその一部が氷（永久凍土）の状態ですべて地下に閉じ込められていると考えられている。ただし火星については、太古に存在した海で誕生した、細菌類のような原始的な微生物が氷の中に閉じ込められている可能性があり、将来の詳細な探査が期待される。

ちなみに地球の月は、太陽からの距離は地球と同じでちょうどよいが、重力が地球の約6分の1しかなく、大気を地表に引き留めることができなかつたため、生命は存在していない。

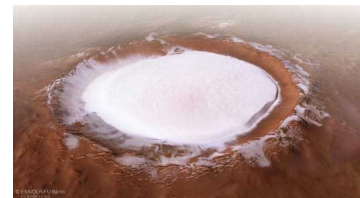
なお、現在の地球では、酸素を利用する生物が圧倒的に多いが、酸素を必要としない生物も存在する。そして、地球最初の生命については、原始地球の深海底の熱水噴出孔（海底にしみこんだ海水が、地下にあるマグマの熱で高温の熱水となり、様々な物質を溶かしこんで海底から噴き出す場所で、酸素に乏しい環境）付近で誕生したという説が有力視されている。

最初の生命は海で誕生し、酸素を必要としない微生物であったが、長い年月をかけて光合成を行う細菌類（シアノバクテリア）が現れ、大気中の二酸化炭素を酸素へと変えていった。その結果、酸素を多く含む大気をもち、酸素から生じたオゾン層で有害な紫外線から守られた、地球独特の生命に非常に適した環境が形成されていった。

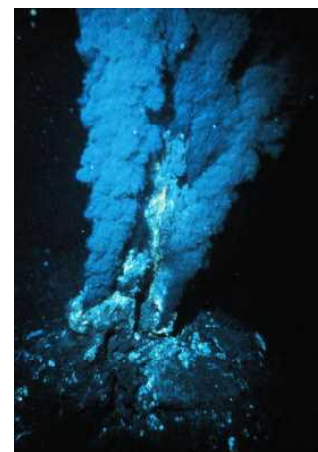
「活用」(適用)



ハビタブルゾーンの例
※金星や火星の公転軌道も含まれるという説がある



大量の氷に覆われた火星の北極付近にあるコロリョフクレーター



大西洋の熱水噴出孔

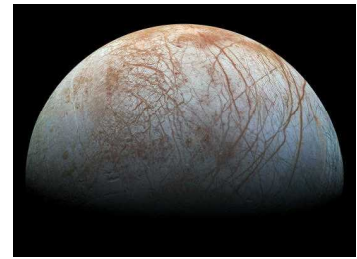
【補足】

映画「スター・ウォーズ」シリーズには、巨大ガス惑星の周りをまわり、生き物が住んでいる複数の衛星が登場し、物語の重要な舞台に設定されている。

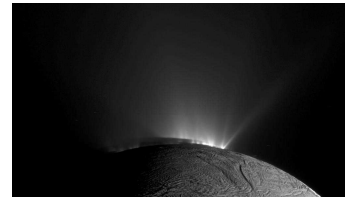
一方、実在する木星の衛星エウロパやガニメデ、土星の衛星エンケラドゥスにも、生命が存在する可能性があることがわかってきた。これは映画が公開された後に行われた宇宙探査による研究成果によるもので、これらの衛星は、表面が厚い氷で覆われているが、その下に、“海底に熱水が噴出する液体の海”という原始地球と同じような環境が存在する可能性があると考えられている。そのため、将来の地球外生命探査のターゲットにあげられている。

また、土星の衛星タイタンには、1.5気圧ほどで窒素が主成分という、地球と共通する比較的厚い大気がある。表面温度は -180°C ぐらいの極低温の世界であるが、有機物のメタンが地球の水と同様に地表や大気中を循環している。衛星の表面は水を主成分とする氷でできており、地表面にたまった液体メタンの湖から、メタンが蒸発して雲をつくり、メタンの雨となって降り、地表にメタンの川が流れていると考えられている。そのようすは、地球における岩石の代わりに氷が、水の代わりにメタンが担っているかのようである。そしてタイタンの環境では、生命材料となる複雑な有機物が形成されている可能性が高いとされている。なお、全ての地球生命は生命活動に液体の水を用いているが、生命活動に液体メタンなどを用いる生物も科学的にはあり得るため、タイタンには地球と全く異なる生命が誕生している可能性がある。

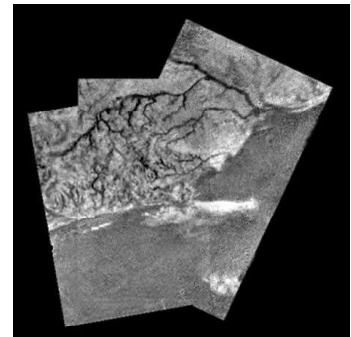
さて、1977年に第1作目が公開された映画「スター・ウォーズ」シリーズでは、あたりまえのように様々な惑星が登場していたが、実際に太陽系外の惑星が初めて発見されたのは、映画公開から18年後の1995年であった。観測技術の飛躍的な発達で、恒星の前を惑星が横切るときの明るさのわずかな変化や、恒星の位置のわずかなふらつきを捉えたり、恒星の光を遮って恒星の周囲を撮影する方法などにより、恒星より遙かに暗い惑星を捉えられるようになったのである。そして、最初は木星より大きなガス惑星しか発見できなかったが、さらなる観測技術の向上で、地球のような小型の惑星が発見できるようになり、その中には主星である恒星のハビタブルゾーンをまわる岩石質の惑星が複数見つかった。現在、太陽系外惑星や地球外生命は、天文学の研究分野として大きな関心を集めている。



滑らかなエウロパ表面
表面の氷が、絶えず新しい氷に更新されていて、
地下に液体の海がある可能性を示している。



エンケラドゥス表面の割れ目から噴き出す間欠泉



液体メタンがつくった
タイタンの河川地形

金星の位置と見え方

令さん：今日の金星は、普通の星と比べてどれくらい明るいのかな。

連さん：-4等星より明るくて、普通の1等星と比べると5等級も明るいんだよ。これは光度で表すと100倍以上の明るさなんだ。今は日没時の地平線からの高度が40°未満だけど、およそ1か月後には日没時の地平線からの高度が最も高くなり、今よりさらに長時間観測できるよ。それから太陽からの見かけの角度が約45°ぐらいとなって太陽から最も離れた位置になり、さらに光度も増すので、晴天の日なら工夫すると青空の中に白い点となって肉眼でも見られるんだ。

令さん：今度、青空の中で金星を見ることに挑戦してみたいわね。ところで、今の金星を天体望遠鏡で見たら、どのように見えるのかな。

(5) 2人が映画を見た日の、地球から見た金星の位置は、図1の模式図の**ア~キ**のどこか、最も適切なものを選びなさい。また、この日の金星を天体望遠鏡で観測したとすると、金星の輝いている部分はどのような形に見えるか、図2の模式図の**あ~え**から最も適切なものを選びなさい。ただし、**あ~え**は、肉眼で見たときの向きに直している。

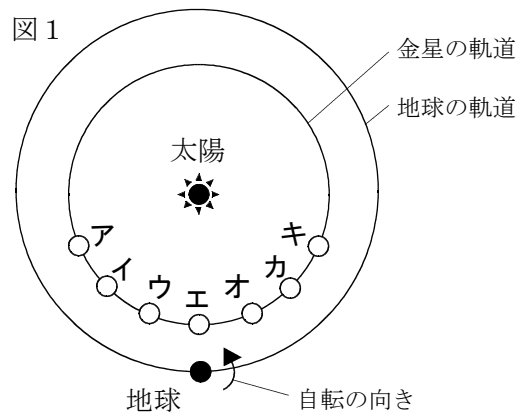
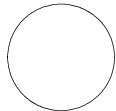
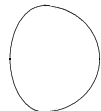


図2

あ



い



う



え



金星の位置 **ア**

金星の形 **い**

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能を活用し、地球からの観測の結果を、地球の外側から見た視点に置き換えて天体同士の位置関係を考察し、改めて地球からの天体の見え方を総合的に判断する問題。

先に、2人が映画を見た日から約1か月後の太陽、金星、地球の位置関係から考察する。

図③のように、金星が地球から見て、見かけ上太陽から最も離れるとき、太陽、金星、地球はおおむね直角二等辺三角形をなす位置関係となり、太陽から見たときの金星と地球がなす角度は 45° となる。 45° になる位置は、XとYの2か所があるが、日没後に金星が見える位置はXである。次の問題(6)の解説も参照すること。これは問題(5)の図1においては、「イ」の位置となる。

次に、2人が映画を見た日について考える。この日は図③のおよそ1か月前ということになるが、地球の自転の向きから、図③および問題(5)の図1で、金星は反時計まわりに公転していくことがわかる。よって、図③のおよそ1か月前の金星と地球は、図③の位置から、両方とも時計まわりに少し戻った位置にいることになる。このとき、問題(1)の表からわかるように、金星の公転速度は地球より速いため、金星と地球の位置関係は図④のようになる。これは問題(5)の図1においては、「ア」の位置となる。よって答えは「ア」である。

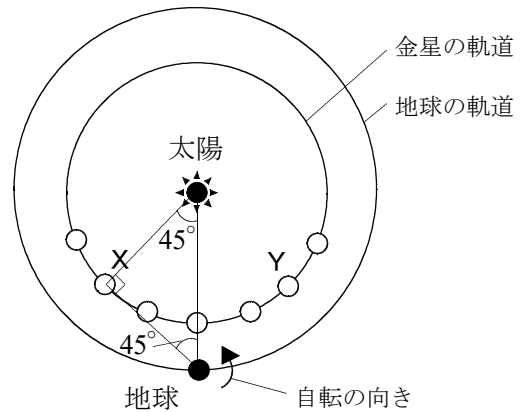
金星の形については、金星が問題(5)図1の「イ」の位置(図③のXの位置)のとき、地球から見ると、問題(5)図2の「う」のような半月状に見えるのに対し、それより前の「ア」の位置では、光っている側が半月状より広く見え、それより後の「ウ」の位置では光っている側が半月状より欠けて見える。よって答えは「い」となる。

金星の見かけの大きさの変化や満ち欠けと、太陽・金星・地球の位置関係については、教科書にあるようなモデル実験を用いると理解しやすい。

「活用」(検討・改善)

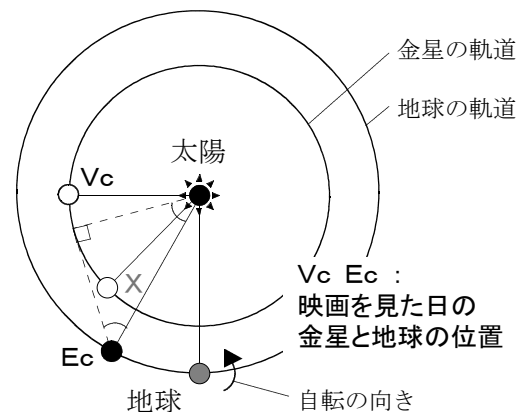
図③

映画を見た日からおよそ1か月後の金星が太陽から最も離れて見える位置



図④

映画を見た日の太陽・金星・地球の位置



金星の位置と見え方の時間経過による変化

令さん：今年はずっと金星が夕方見やすいのかな。

連さん：いや、そうではないよ。いずれ観測できない時期が来て、その時期を過ぎると、今度は明け方の空で「明けの明星」として見えるようになるんだ。かなり早起きしないと見られないけどね。

令さん：どうして金星は「宵の明星」になったり、「明けの明星」になったりするのかな。

(6) 金星が地球に最接近しているとき、見かけの金星の大きさは最大になるはずだが、実際には金星を地球から観測することができない。なぜ金星を観測できないか、理由を書きなさい。

金星が地球に最接近するのは、金星が太陽と地球を結ぶ線分上にきたときであるが、このとき地球から見ると、金星は太陽のすぐ近くに位置しているうえ、新月と同じように夜の側を地球に向けていて、太陽の光を反射して輝く昼の側が地球から見えないため観測できない。

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能を活用して、観測結果などを分析して解釈することを問う問題。

太陽、地球、金星の位置関係から、地球での見え方を考察する内容である。金星が地球に最接近する位置は、図⑤のように、太陽に重なるP（内合）で、月の満ち欠けにおける新月の位置と同様、金星は地球から見て、昼の空で太陽のすぐ近くにあり、夜の面を地球に向けているため、最接近により見かけの大きさは最も大きくなるが、実際には見ることができない。

なお、太陽に重なるQの位置（外合）にきた金星は、満月のように昼の側を地球に向けているが、Pと同様、太陽のすぐ近くで、地球からは見ることができない。

なお、このような模式図あるいは問題(5)の解説でふれたモデル実験では、太陽・金星・地球が一直線に並んだとき、地球から見た金星は太陽と重なって見えると思いがちだが、実際の空では、太陽と金星がいつもわずかにずれているため、地球から見て太陽の前を金星が横切っていく様子はほとんど見ることができない。

例えば、太陽の直径を約2cmの球とする700億分の1の縮尺で正確にモデル化すると、地球と金星は、ともに直径0.2mm程度の微小球となる。このとき、太陽と金星の距離は約1.5m、太陽と地球の距離は約2.1mとなる。そのため太陽・金星・地球が一直線上からほんのわずかもずれていると、地球から見た金星が太陽と重なって見えないことが理解できるであろう。太陽面を黒い影となった金星が横切っていくのが見える「金星の太陽面通過」は極めて珍しい天文現象である。

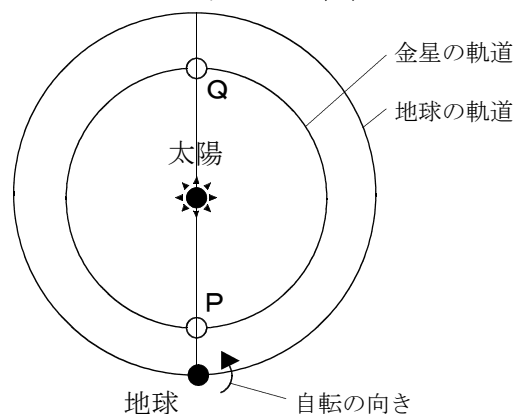
模式図やモデル実験では、天体間の距離の縮尺のまま作図したりモデル化したりすると、天体が非常に小さくなって示すことができなくなるため、便宜上天体を極めて大きく表現しており、実際の天体同士は、互いに非常に離れていることに留意したい。

なお、太陽系の広がりを実感させたいときは、太陽の直径を縮尺の基準として、太陽・惑星間の距離を求め、校庭や体育館など広い場所で惑星模型を配置して「太陽系モデル」をつくることが有効である。先述の700億分の1の縮尺だと、太陽と海王星の距離は約63mに達する。

「活用」(分析・解釈)

図⑤

金星が地球から見えない位置



2012年6月に起こった金星の太陽面通過。
次回は2117年12月。

【会話中の令さんの疑問に対する解説】

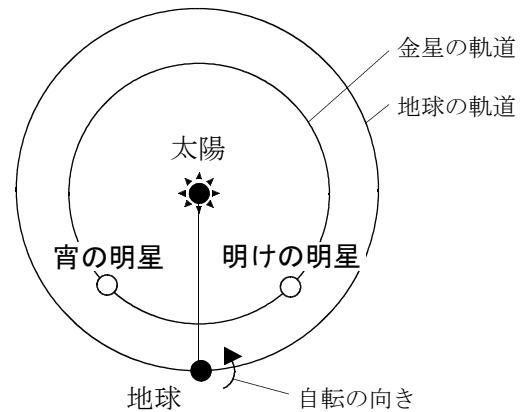
図⑥のように、太陽が南中したときの太陽の東側（左側）に金星が位置しているとき、金星は太陽の後を追いかけるように西に動いていく。そのため、日の入りのときの金星は、西の地平線にまだ沈んでいないため、夕方西の空に輝いて見える。これが「宵の明星」である。

一方、太陽が南中したときの太陽の西側（右側）に金星が位置しているとき、金星は太陽を後に従えるように西に動き、太陽より先に西の地平線に沈む。そして、日の出のときの金星は、太陽より先に東の地平線から昇ってくるため、明け方東の空に輝いて見える。これが「明けの明星」である。

金星を継続して観測していると、「宵の明星」から、観測できない時期を経て、「明けの明星」へと変化していくことがわかる。

図⑥

宵の明星と明けの明星



- (7) 2人が映画を見た日からおよそ1か月後に、地球から見て金星が見かけ上太陽から最も離れた位置になった。その日から何か月経つと、金星が地球に最接近するか、表【惑星の特徴】の公転周期の値を用いて、地球と金星がそれぞれ1か月で太陽の周りを、角度で何度公転するかを考えて求めなさい。

計算過程

金星が地球から見て、見かけ上太陽から最も離れるとき、太陽、金星、地球はおおむね直角二等辺三角形をなす位置関係となり、太陽から見たときの金星と地球のあいだの角度は 45° となる。

金星は地球より公転速度が速いため、時間が経つと太陽から見たときの金星と地球のあいだの角度は 45° からだんだん小さくなっていき、 0° になったとき、金星が太陽と地球を結ぶ線分上にきて地球に最接近する。

次に、地球と金星が、1か月で太陽の周りを、角度で何度公転するかを考える。

①地球の公転周期は1年なので、

地球が1か月で太陽の周りをまわる角度は、 $360^\circ \div 12 = 30^\circ$

②金星の公転周期は0.62年なので、地球の 30° に対し、

金星が1か月で太陽の周りをまわる角度は、 $30^\circ \div 0.62 \doteq 48^\circ$

①・②から、1か月で太陽から見た金星と地球の角度の差は 18° 小さくなることがわかる。よって、 $45^\circ \div 18^\circ = 2.5$ より、金星が見かけ上太陽から最も離れてから2.5か月後に、地球に最接近することがわかる。

答え（約2.5か月後）

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能を活用し、地球からの観測の結果を、地球の外側から見た視点に置き換えて天体同士の位置関係を考察し、改めて地球からの天体の見え方を総合的に判断する問題。

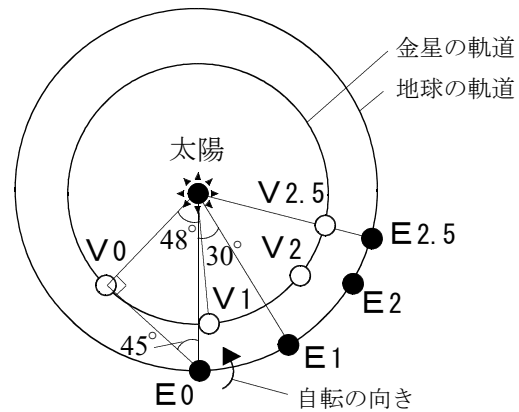
(5)、(6)で示したように、太陽から見たときの地球と金星のあいだの角度が 45° になったときから、 0° になるまでの時間を求める問題である。地球の外側から見た太陽、地球、金星の位置関係は、地球と金星の公転速度が異なるため刻々と変わっていく。そのようなすを表したものが図⑦である。

どういう位置関係のときに地球からどのように見えるか、また時間とともに見え方がどのように変化していくか、空間的な捉え方が必要である。

「活用」(検討・改善)

図⑦

金星と地球の位置の変化



- V0 E0 : 最初の金星と地球の位置
- V1 E1 : 1か月後の金星と地球の位置
- V2 E2 : 2か月後の金星と地球の位置
- V2.5 E2.5 : 2.5か月後の金星と地球の位置

17

涼さんと華さんと翔さんは、文化祭の模擬店で台車を利用することを考え、斜面を下る台車の運動について話し合った。[三人の会話]と[実験Ⅰ]・[実験Ⅱ]を読んで、(1)～(7)に答えなさい。ただし、台車はなめらかに運動し、空気の抵抗や摩擦、記録タイマーのテープの質量は考えないものとする。

[三人の会話]

涼さん：模擬店の商品を台車に乗せて斜面を走らせ、お客さんがいるところまで運ぼうと思うんだけど、どうかな。

華さん：手渡しをするより面白さがあると思う。

翔さん：装置を作る必要があるね。

華さん：商品に乗せた台車は、どのぐらいの速さで斜面を下るのかな。

涼さん：装置を作って、記録タイマーで台車の運動を調べてみよう。

[実験Ⅰ]

- ① 図1のように、1秒間に60打点する記録タイマーを斜面の上部に固定し、記録テープを記録タイマーに通して台車につけ、台車を手で支えて斜面の上部に置いた。
- ② 記録タイマーのスイッチを入れて、台車を支える手を静かに離し、台車を運動させた。
- ③ 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図2はこの結果を示したものである。

図1

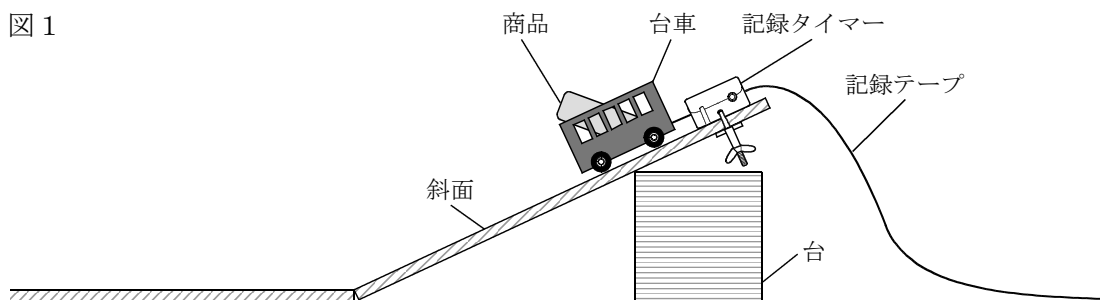
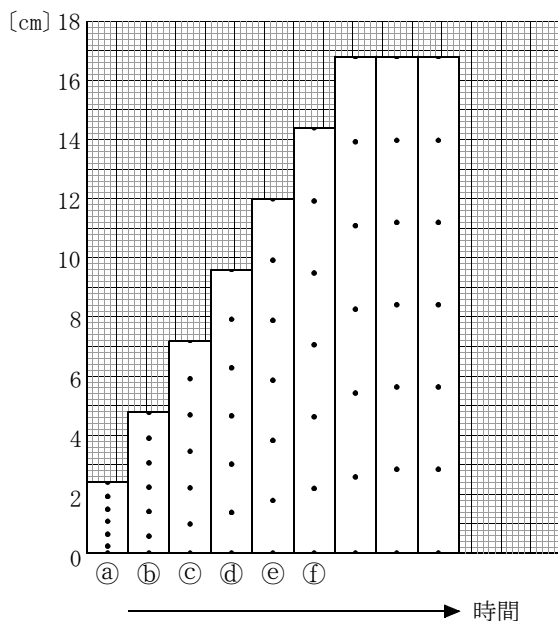


図2



- (1) 図2のグラフ用紙に、6打点ごとの記録テープの長さがわかるように、縦軸に目盛りを書いた。縦軸があらわしているものは何か、縦軸の軸名を書きなさい。

0.1秒間に進んだ距離

【解説】 記録タイマーを使った実験の内容と、グラフのかき方について、基礎的・基本的な知識と理解を問う問題。

実験で使用した記録タイマーは、1秒間に60打点するので、6打点ごとに切った記録テープの長さは、0.1秒間に進んだ距離[m]を表している。

【補足】

記録タイマーは、一定の時間間隔でテープに点を打つため、一定の時間ごとの物体の移動距離を記録することができる。1秒間に打点する回数は、地域の電源の交流周波数や器具によって異なり、時間間隔は、1秒間に東日本では50回、西日本では60回打点するものが多い。

交流で、1秒間にくり返す電流の変化の回数をその交流の周波数といい、単位にはヘルツ(記号Hz)を使う。西日本では60Hz、東日本では50Hzの交流が使われている。これは、明治のはじめに、大阪はアメリカから、東京はドイツからそれぞれの発電機を輸入したために、こうした違いが生じた。現在の境界は糸魚川付近である。

- (2) 図2の記録テープ④について、この区間における台車の平均の速さは何cm/sか、求めなさい。

96.0 cm/s

【解説】 平均の速さについての基礎的・基本的な知識を活用し、グラフの数値を読みとって、答えを求める問題。

運動している物体の速さは、一定時間に移動する距離で表される。物体が、ある時間、同じ速さで動き続けたと考えたときの速さを、平均の速さという。

平均の速さは、次の式で求められる。 平均の速さ = $\frac{\text{移動距離}}{\text{移動にかかった時間}}$

記録テープ④の区間で、台車が移動にかかった時間は0.1秒、移動距離は記録テープの長さで9.6cmであるので、

$$\text{平均の速さ [cm/s]} = \frac{9.6 \text{ [cm]}}{0.1 \text{ [s]}} = 96.0 \text{ [cm/s]}$$

- (3) 図2の記録テープ①～⑥の長さがしだいに長くなっていることから、斜面を下る台車の運動についてどのようなことがわかるか、説明しなさい。

斜面を下る台車の速がしだいに大きくなっていること。

【解説】 記録タイマーを使った実験に関する基礎的・基本的な知識・技能を活用して、グラフを分析し、斜面上の物体の運動の規則性を考察する問題。

グラフの縦軸は、台車が0.1秒間に進んだ距離、つまり0.1秒間の平均の速さを表している。記録テープが長いほど、0.1秒間に台車が移動した距離が大きく、平均の速さ大きい。記録テープ①～⑥の長さがしだいに長くなっていることから、斜面を下る台車の速がしだいに大きくなっていることがわかる。

〔三人の会話〕

翔さん：商品を安全に運ぶために、斜面の傾きを小さくした方がいいんじゃないかな。

華さん：そうだね。この装置を [装置 Ver.1] とすると、[装置 Ver.1] より斜面の傾きを小さくした [装置 Ver.2] を作ってみたいらどうかな。

涼さん：[装置 Ver.1] の斜面の角度は 25° だから、[装置 Ver.2] は斜面の角度を 15° にしてみるね。

翔さん：[装置 Ver.1] と同じようにして、[装置 Ver.2] の台車の運動を調べてみよう。

〔実験Ⅱ〕

- ① [実験Ⅰ] で使用した [装置 Ver.1] の商品、台車、台は変えず、図3のように、台を置く位置を変えて斜面の角度が 15° の [装置 Ver.2] を用意し、[実験Ⅰ] と同じようにして台車を運動させた。
- ② 記録されたテープを6打点ごとに切り、左から時間の経過順に下端をそろえてグラフ用紙にはりつけた。図4はこの結果を示したものである。

図3

[装置 Ver.2]

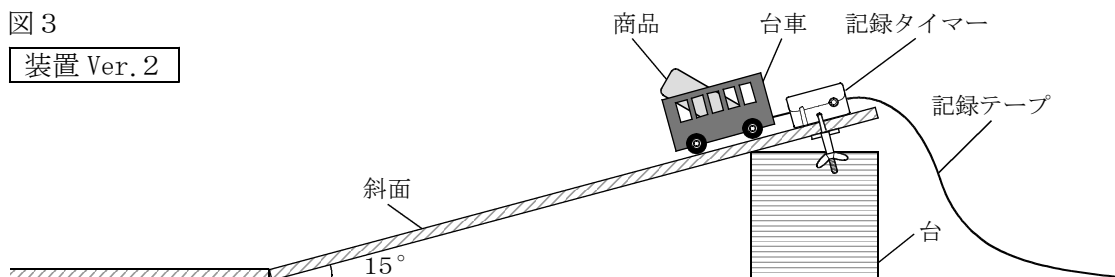
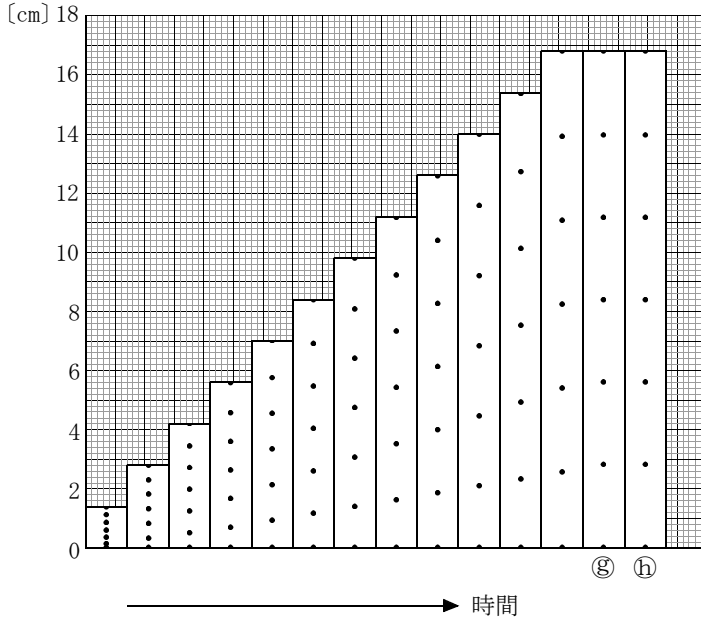


図4



(4) 斜面の傾きが小さいほど、斜面を下る台車の速さのふえ方が小さくなるのはなぜか、台車にはたらく力に着目して、説明しなさい。

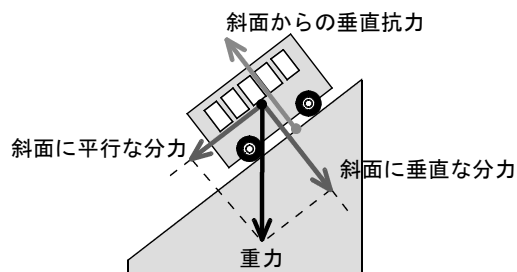
斜面の傾きが小さいほど、台車にはたらく重力の斜面に平行な分力が小さくなるから。

【解説】 斜面上の物体にはたらく力についての基礎的・基本的な知識を活用して、斜面の傾きの大きさと斜面を下る物体の速さの関係を説明する問題。

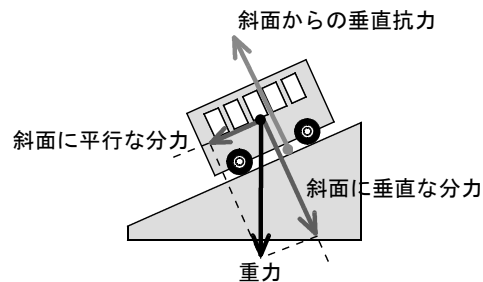
斜面上の物体にはたらく重力を、斜面に垂直な方向と平行な方向に分解して考えると、斜面の傾きが大きいときの分力より、斜面の傾きが小さいときの分力のほうが、斜面に平行な分力が小さくなる。

斜面を下りる台車の速さは、台車の運動の向きと同じ向きにはたらく。斜面に平行な力が小さいほど、速さのふえ方は小さくなる。

(i) 斜面の傾きが大きいとき



(ii) 斜面の傾きが小さいとき



[三人の会話]

涼さん：図4の記録テープのうち、長さが同じものが3本あるね。

華さん：3本の中でも記録テープ㉔と㉕は、打点の間隔も同じだね。

翔さん：記録テープ㉔・㉕と、そのほかの区間では、何が違うのかな。

(5) 図4の記録テープ㉔・㉕について、この区間における台車の運動と同じような運動はどれか、最も適切なものをア～エから選びなさい。

ア 振り子が1往復するときの運動

イ 学校の屋上から1階までボールを落下させたときの運動

ウ 水平な氷の上でカーリングのストーンが進み続けているときの運動

エ 停車駅が近づき、ブレーキをかけている電車の運動

ウ

【解説】 基礎的・基本的な知識を活用して、グラフを分析して物体の運動のようすを考察し、身近な物理現象と関連付けて答えを導く問題。

物体が一定の速さで一直線上を動く運動を、等速直線運動という。

記録テープの長さや打点の間隔が同じであることから、記録テープ㉔・㉕の区間では、台車が斜面を下ったのではなく、水平な面を等速直線運動したことがわかる。

「ア」の振り子の運動では、物体の高さが低くなると速さが大きくなり、高が高くなると速さが小さくなる。「イ」のボールの運動は、自由落下であり、斜面上の物体の運動よりも速さのふえ方が大きい。「エ」の電車は、しだいに速さが小さくなり静止する。

慣性の法則により、物体に力がはたらいていないときや、力がはたらいていてもそれらがつり合っているときは、動いている物体は等速直線運動を続ける。「ウ」のストーンは、水平で摩擦力の小さい氷の上で運動するため、長い時間ほぼ一定の速さで進み続ける。

[三人の会話]

翔さん：実は、[実験Ⅰ]と[実験Ⅱ]で、斜面上に置く台車の高さを同じにしたんだけど、台車の運動に何か関係していることはあるかな。

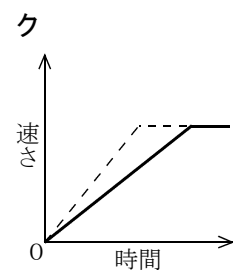
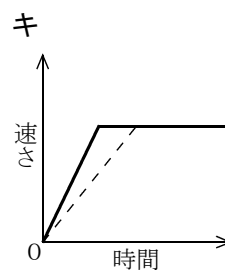
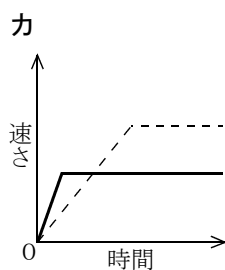
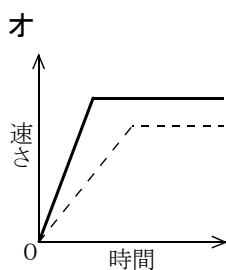
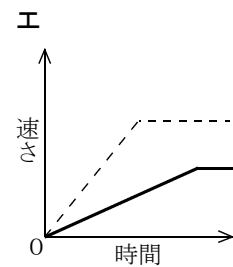
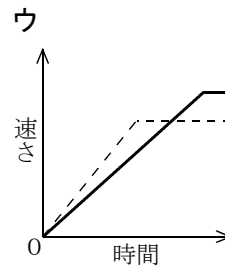
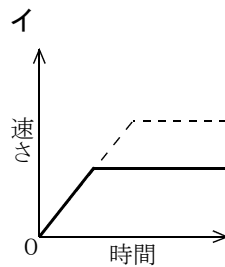
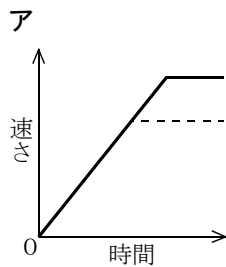
華さん：斜面上に置く台車の高さを変えて実験したら、台車の運動の変化についてわかるんじゃないかな。

涼さん：斜面上に置く台車の高さや斜面の傾きをいろいろ変えて、台車の運動を調べてみよう。

翔さん：そうだね。その結果から、模擬店でお客さんのところに運ぶまでの時間や台車の速さについて考えて、最適な装置を作ろう。

(6) 三人は、次の①～③のように、[実験Ⅱ]と条件を変えて装置を作り、台車を走らせた。①～③の条件で、斜面上のある位置で台車から静かに手を離れたとき、台車から手を離れた後の、時間と速さの関係を表すグラフとして最も適切なものはどれか、ア～クからそれぞれ選びなさい。ただし、ア～クのそれぞれのグラフ中の-----は、[実験Ⅱ]の結果を示している。

- ① [実験Ⅱ] より斜面の傾きを大きくし、同じ高さで台車から静かに手を離した。
 ② [実験Ⅱ] より斜面の傾きを小さくし、低い位置で台車から静かに手を離した。
 ③ [実験Ⅱ] と斜面の傾きを変えずに、[実験Ⅱ] より高い位置で台車から静かに手を離した。



①	キ	②	エ	③	ア
---	---	---	---	---	---

【解説】 位置エネルギーと運動エネルギー、斜面上の物体にはたらく力についての基礎的・基本的な知識を活用して、斜面を下る物体の速さの変化を考察し、答えを導く問題。

位置エネルギーの大きさは、基準面からの高さが高いほど大きい。また、運動エネルギーの大きさは、物体の速さが大きいほど大きい。摩擦や空気の抵抗がなければ、位置エネルギーと運動エネルギーの和である力学的エネルギーはいつも一定に保たれている。これを力学的エネルギー保存の法則という。斜面を下る物体は、位置エネルギーが減少するとともに運動エネルギーが増加し、高さが低くなるにつれて速さが大きくなる。

- ① [実験Ⅱ] より斜面の傾きが大きいとき、重力の斜面に平行な分力が大きくなるため、速さのふえ方が大きくなり、水平面に達するまでの時間が短くなる。[実験Ⅱ] と同じ高さで台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときと同じになり、水平面での台車の速さも同じになる。
- ② [実験Ⅱ] より斜面の傾きが小さいとき、重力の斜面に平行な分力が小さくなるため、速さのふえ方が小さくなり、水平面に達するまでの時間が長くなる。[実験Ⅱ] より低い位置で台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときより小さくなり、水平面での台車の速さは小さくなる。
- ③ [実験Ⅱ] と斜面の傾きが同じとき、水平面に達するまでの時間も同じになる。[実験Ⅱ] より高い位置で台車から手を離すとき、台車の持つ位置エネルギーは [実験Ⅱ] のときより大きくなり、水平面での台車の速さは大きくなる。

【補足】

位置エネルギーは、次の式で表される。

位置エネルギー [J] = 物体にはたらく重力 [N] × 基準面からの高さ [m]

重力は物体の質量に比例するため、位置エネルギーの大きさは物体の質量と基準面からの高さにそれぞれ比例する。

一方、運動エネルギーは、次の式で表される。

$$\text{運動エネルギー [J]} = \frac{1}{2} \times \text{質量 [kg]} \times \text{速さ [m/s]} \times \text{速さ [m/s]}$$

運動エネルギーの大きさは、物体の質量に比例し、速さの2乗に比例する。

斜面上の台車の質量は同じであるため、位置エネルギーは斜面上に置いた台車の基準面からの高さに比例し、運動エネルギーは台車の速さの2乗に比例する。

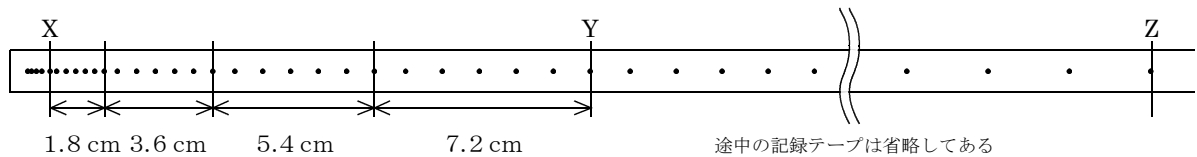
[三人の会話]

涼さん：装置 Ver. 7 まで装置を作って調べた結果、装置 Ver. 5 の斜面の傾きや斜面上に置く台車の高さが一番いいと思う。

翔さん：そうだね。装置 Ver. 5 を模擬店で使うことにしよう。

華さん：文化祭が楽しみだね。

図 5



- (7) 図 5 は、装置 Ver. 5 で [実験 I]・[実験 II] と同じようにして台車の運動を調べたときの記録テープで、明確にわかるはじめての打点を X とし、6 打点ごとに線を引いて各区間の長さをはかったものである。打点 Y からさらに 0.5 秒後の打点 Z までの区間、台車が斜面を走り続け、記録テープに打点が記録されており、打点の記録から、台車の速さは同じ割合でふえていることがわかった。打点 Y から打点 Z までの区間の距離は何 cm か、求めなさい。

63.0 cm

【解説】 与えられた数値から分析して斜面を下る物体の運動の規則性を見だし、理科および数学の基礎的・基本的な知識・技能を組み合わせ活用して、答えを導く問題。

記録テープの6打点ごとの長さから、斜面を下る台車の速さが、一定の割合でしだいに大きくなっていることがわかる。

0.1秒ごとの速さのふえ方は等しく、その値は $3.6 - 1.8 = 1.8$ [cm]である。打点Yからさらに0.1秒後の移動距離は、 $7.2 + 1.8 = 9.0$ [cm]、打点Yからさらに0.2秒後の移動距離は、 $9.0 + 1.8 = 10.8$ [cm]、打点Yからさらに0.3秒後の移動距離は $10.8 + 1.8 = 12.6$ [cm]、打点Yからさらに0.4秒後の移動距離は、 $12.6 + 1.8 = 14.4$ [cm]、打点Yからさらに0.5秒後の移動距離は $14.4 + 1.8 = 16.2$ [cm]、である。よって、打点Yからさらに0.5秒後の打点Zまでの区間は、 $9.0 + 10.8 + 12.6 + 14.4 + 16.2 = 63.0$ [cm]である。