



第4回 全国大会 科学の甲子園ジュニア

筆記競技

解答例と解説



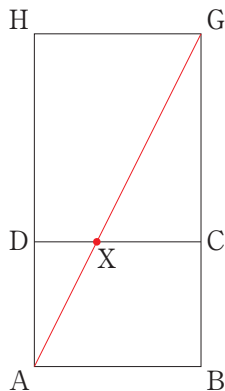
問1

(1)

直方体の展開図で考えると、アリが点 A から出発し、CD 上のある点 X を経由して点 G まで移動するときの最短移動距離は、点 A と点 G を結ぶ線分の長さの長さに等しい。

AD=3, DH=5, HG=4 より、

$$DX = \frac{AD}{AH} \times HG = \frac{3}{8} \times 4 = \frac{3}{2}$$



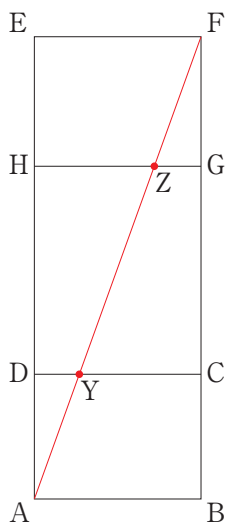
答 DX =

(2)

直方体の展開図で考えると、アリが点 A から出発し、CD 上のある点 Y, GH 上のある点 Z を経由して移動するときの最短移動距離は点 A と点 F を結ぶ線分の長さに等しい。

$$DY = \frac{AD}{AE} \times EF = \frac{3}{11} \times 4 = \frac{12}{11}$$

$$HZ = \frac{AH}{AE} \times EF = \frac{8}{11} \times 4 = \frac{32}{11}$$



答 DY =

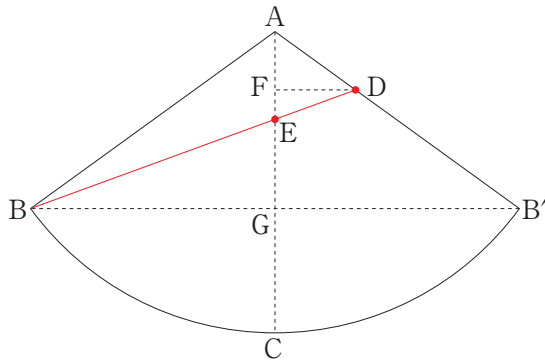
HZ =

問2

展開図で考えると、アリが点Bから出発して、AC上のある点Eを経由して、点Dまで移動するときの最短移動距離は、点Bと点Dを結ぶ線分の長さと同じ。図で点DからACにおろした垂線の足（点DからACに引いた垂線とACとの交点）を点Fとし、ACとBB'の交点をGとすると、

AD=10, AB'=30より、

$$\frac{ED}{BE} = \frac{FD}{GB} = \frac{FD}{GB'} = \frac{AD}{AB'} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$$



答 $\frac{ED}{BE} =$ $\frac{1}{3}$

問3

(1)

点DのABに対する対称点をD', ACに関する対称点をD''とすると、アリの移動距離 x は、 $ED=ED'$, $FD=FD'$ より

$$x = DE + EF + FD = D'E + EF + FD''$$

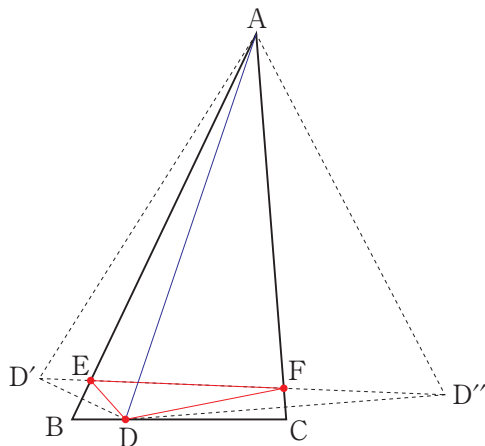
よって、アリの最短移動距離は線分D'D''の長さである。

また、

$$\angle D'AD'' = 60^\circ, AD' = AD = AD''$$

より、 $\triangle AD'D''$ は正三角形である。

$$\therefore D'D'' = 19$$



答 最短移動距離 = 19

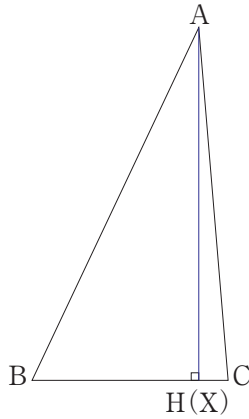
(2)

AXの長さが最小となるときに、アリの移動距離が最短となるので、求めるアリの最短移動距離 y は点 A から BC への垂線の足（点 A から BC に引いた垂線と BC との交点）を点 H とすると、求める最短移動距離 y は AH に等しい。

$$S = \frac{1}{2} \times BC \times AH$$

$$AH = \frac{2S}{BC} = \frac{2 \times 90}{10} = 18$$

$$\therefore y = 18$$

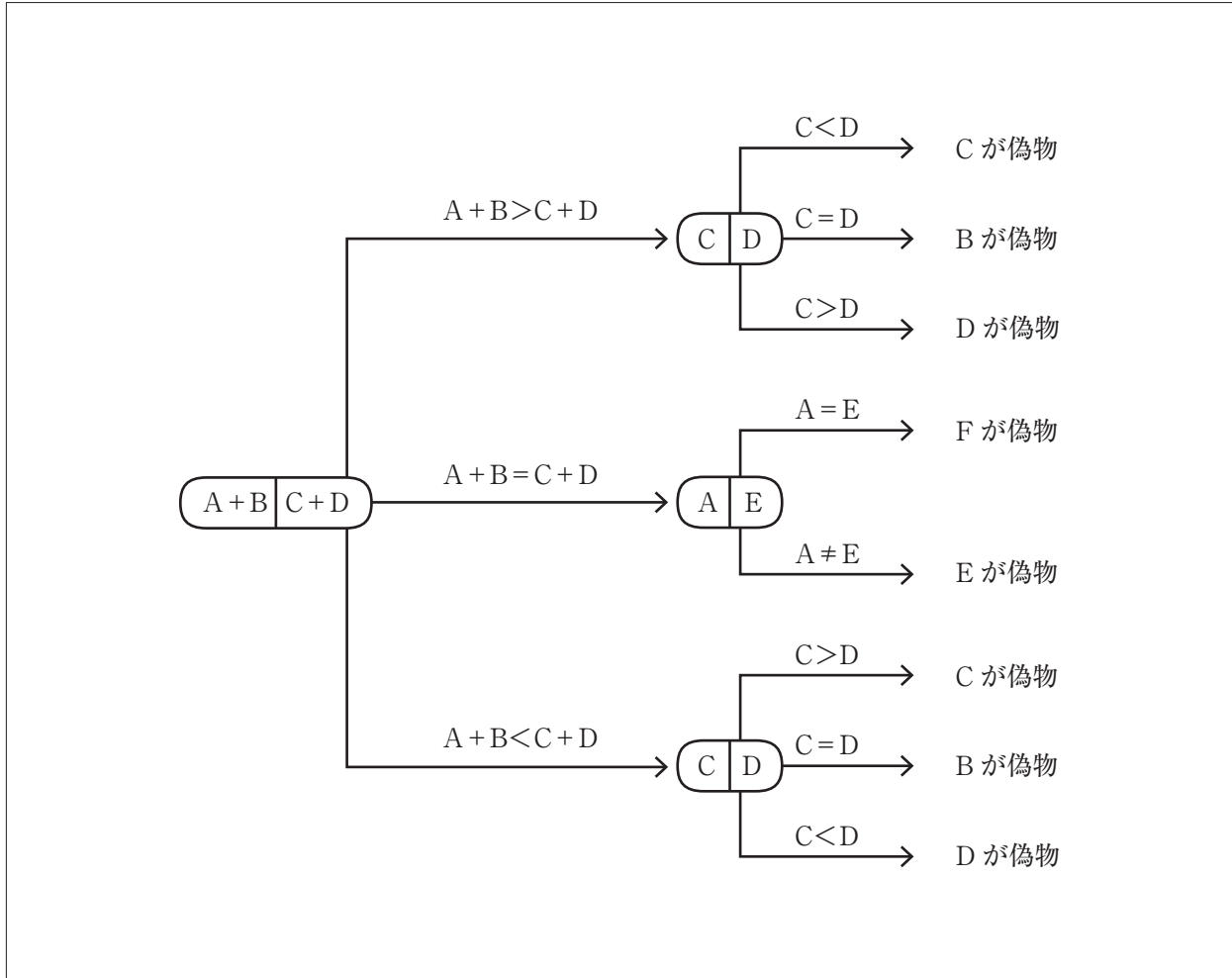


答 最短移動距離 =

18

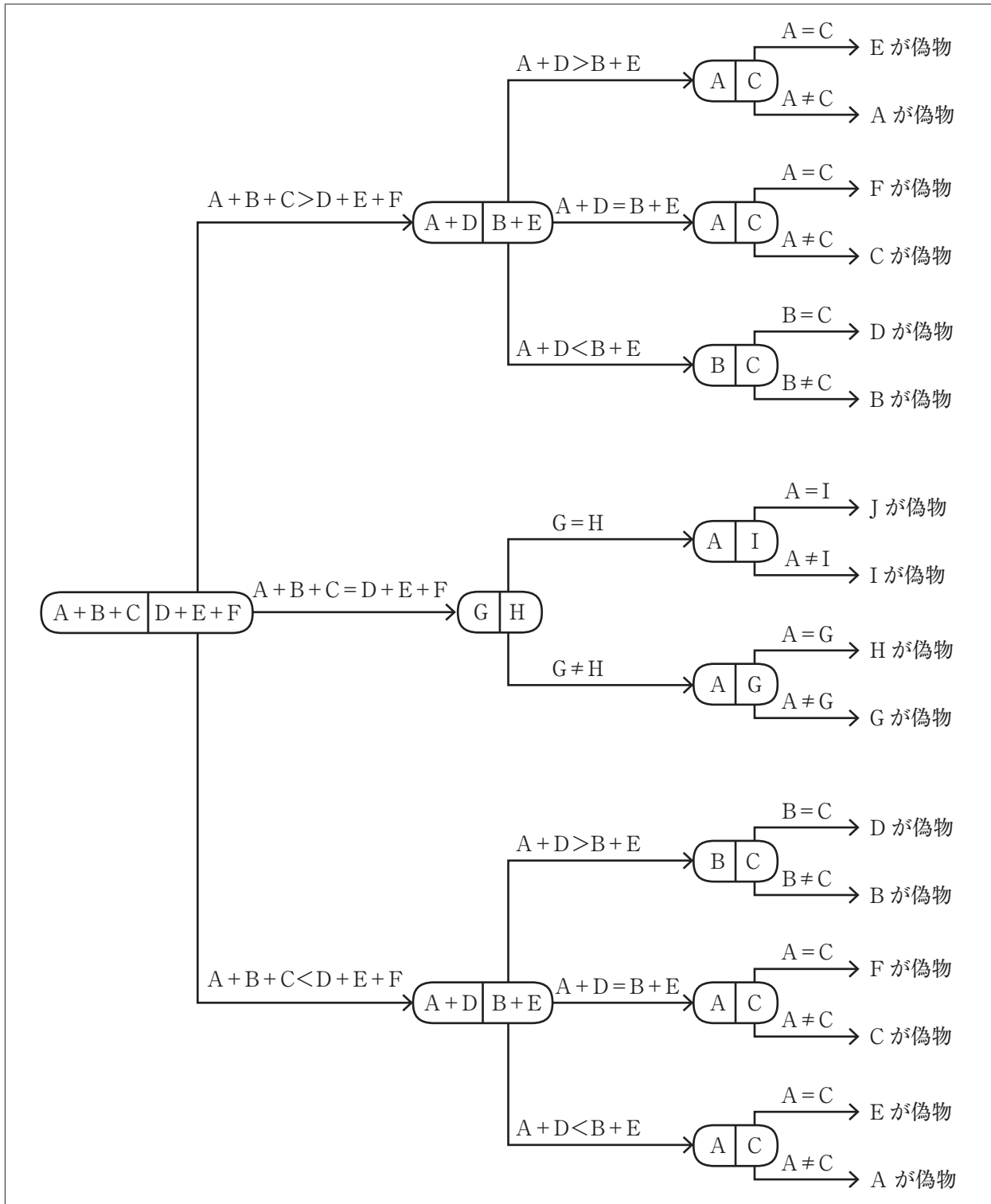


問1



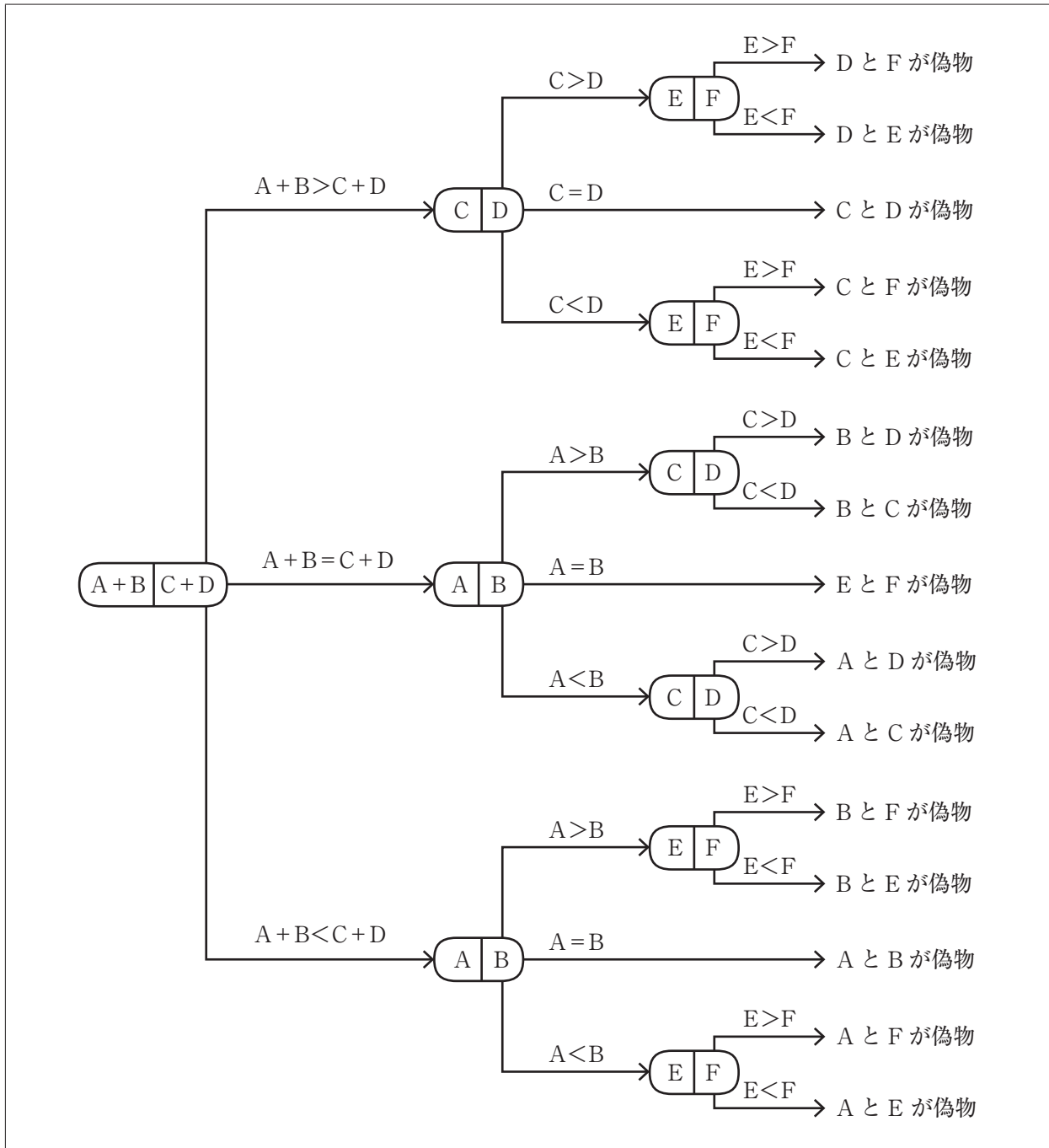
Aが本物なので、片方にAを乗せ、もう一方にBからFまで順番に乗せていけば、最大5回で偽金が見つかる。しかし、上記のようにすれば最大2回で済む。

問2



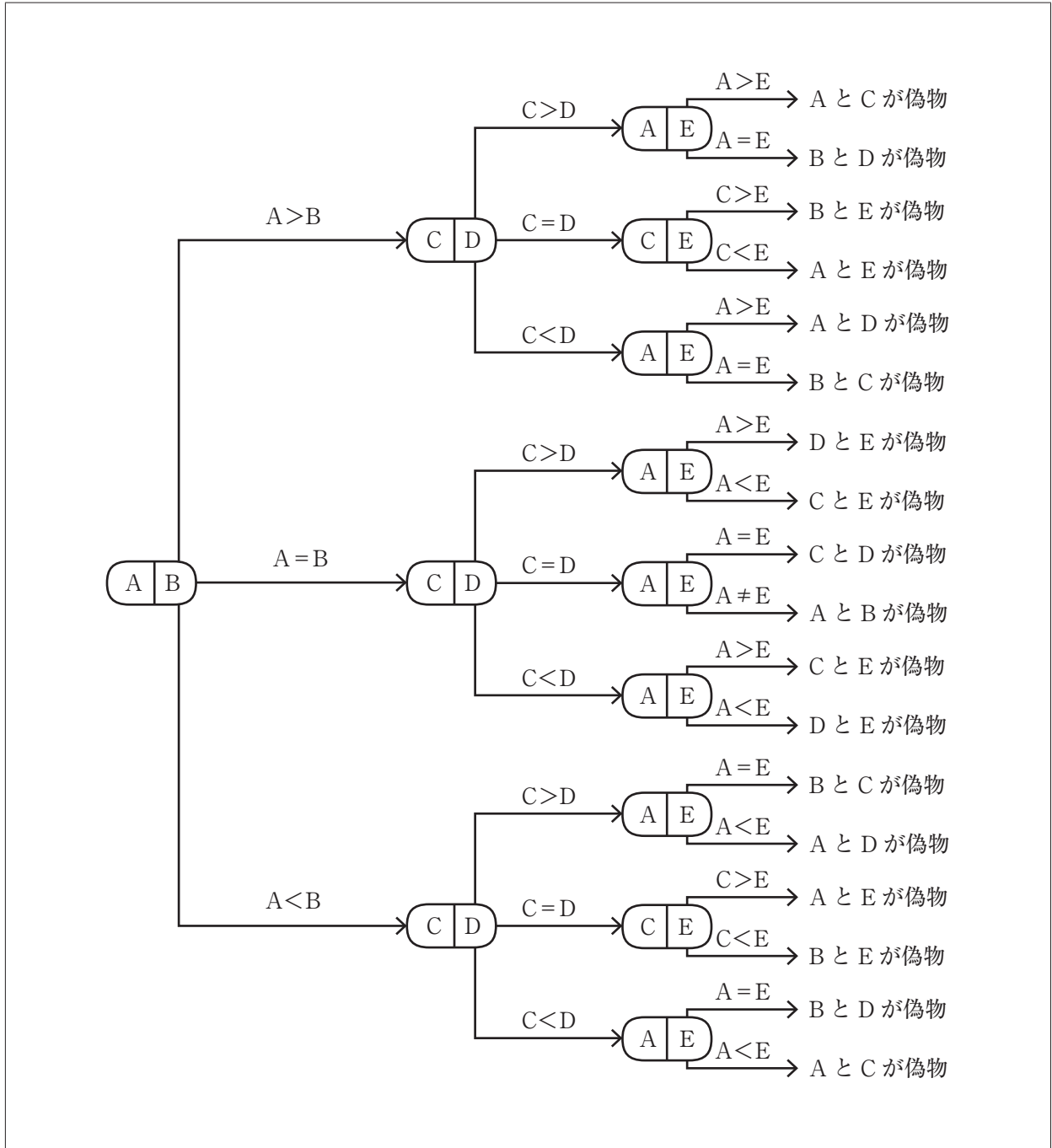
情報量の考え方から、最低でも3回は必要である。最初の測定でつり合った場合は、残りの金貨の中に偽物があるとわかるが、問1の結果を用いると、残りが5枚以下なら、あと2回で偽金貨を見つけ出すことができる。よって、最初に3枚ずつ乗せる方法を考えると、上記のような手順が見つかる。

問3



まず1枚ずつを比べ、天秤が傾けば軽い方が偽物で重い方が本物、もし天秤がつり合えば、両方とも本物か、両方とも偽物であり、そのうち1枚を他の金貨と比べることで、本物の1枚を確定することができる。あとはその本物と他の金貨を順に比べていけば全部を確定させることはできる。しかし、もっと少ない手順も存在する。偽金貨のパターンは15通りなので、情報量の考え方から少なくとも3回は必要であるが、実際に上記のような手順が存在する。

問4



同じ重さごとに、2枚と3枚のグループに分けることができれば、2枚のグループが偽物となる。偽物のパターンは10通りなので、情報量の考え方から最低でも3回は必要だが、実際に上記のような手順が見つかる。



問1

| | |
|-------|----|
| 原子の種類 | 炭素 |
|-------|----|

砂糖（ショ糖）の化学式は $C_{12}H_{22}O_{11}$ であるので、加熱すると分解し、炭素を成分とするものが黒色になり、残っていた。

問2

| | |
|-------|---|
| 固定の方法 | エ |
| 理由 | 炭酸水素ナトリウムを加熱分解すると水分が発生する。その水分が、加熱しているところに流れてしまうと試験管が割れてしまう可能性があるから。 |

熱せられて熱い部分を水滴が急冷すると、試験管のガラスの内側と外側とで温度差が生まれる。このため、試験管の内側と外側とでひずみが生じるので試験管が割れる。そこで、水滴が試験管の底に流れて行かないようにするため、試験管の口をやや下向きにして加熱する。すると、試験管の口付近に水滴がたまることになり、試験管が割れることがなくなる。

問3

| | |
|------|-------------------------------|
| 確認方法 | 塩化コバルト紙に水滴をたらす。 |
| 結果 | 塩化コバルト紙に水分が付着すると、青色から赤色に変化する。 |

塩化コバルトは、水分で湿ってくると赤色に変化し、乾いてくると青色に変化する性質がある。このような塩化コバルトをしみこませた試験紙が塩化コバルト紙である。使用する前には、必ず青色であることを確認してから実験を始めること。使用前に赤色になっている場合は、ドライヤーなどで乾かし、青色に変化させてから使用すると良い。

問4

| | |
|-----------------------|--|
| 火を消す前にやらないと ならないこと | 石灰水からガラス管をぬくこと。 |
| 理由 | 石灰水にガラス管が入ったままの状態 で火を消すと、試験管全体が冷え、 試験管内の圧力が下がる。このため、 石灰水が試験管内に逆流する可能性 があるから。 |

炭酸水素ナトリウムの入った試験管の中は、密閉された空間になっている。試験管内の気体は、ガスバーナーで温めれば膨張し、冷えれば収縮する。このため、密閉された空間の状態
でガスバーナーの火を消すと、石灰水が逆流してしまう。火を消す前には、密閉された空間
とならないようにしておく必要がある。

逆に、缶コーヒーなどを直火で加熱すると、缶コーヒー内が密閉された状態になっている
ので、爆発の危険性がある。缶コーヒーなどを直火で加熱してはいけない。

問5

| | |
|-----|-------|
| 気体Z | 二酸化炭素 |
|-----|-------|

石灰水を濁らせる気体は二酸化炭素である。石灰水は水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の飽和
水溶液のこと、そして二酸化炭素 CO_2 と反応して濁ったときに生じた物質は炭酸カルシウ
ム CaCO_3 である。化学反応式で表すと、 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ と表すことがで
きる。

問6

| | | | |
|-----------|---|---------|---|
| 炭酸水素ナトリウム | イ | 炭酸ナトリウム | ア |
|-----------|---|---------|---|

フェノールフタレイン溶液は、アルカリ性であると赤色を示す指示薬である。薄い赤色の
ときは弱いアルカリ性、濃い赤色のときは強いアルカリ性を示す性質がある。

問7



炭酸水素ナトリウム，水，二酸化炭素，炭酸ナトリウムの化学式は，順に NaHCO_3 ， H_2O ， CO_2 ， Na_2CO_3 である。矢印（→）の左辺には反応前の物質，右辺には反応後の物質の化学式を記す。そして，両辺の原子の数を比べ，原子数が過不足のないように化学式に係数を記す。このとき，1は省略する。そうすると，解答のような化学反応式が書ける。

問8

| | | | | | |
|---|---------|---------|-----|-----|---------|
| 水 | $b - c$ | 炭酸ナトリウム | c | 気体Z | $a - b$ |
|---|---------|---------|-----|-----|---------|

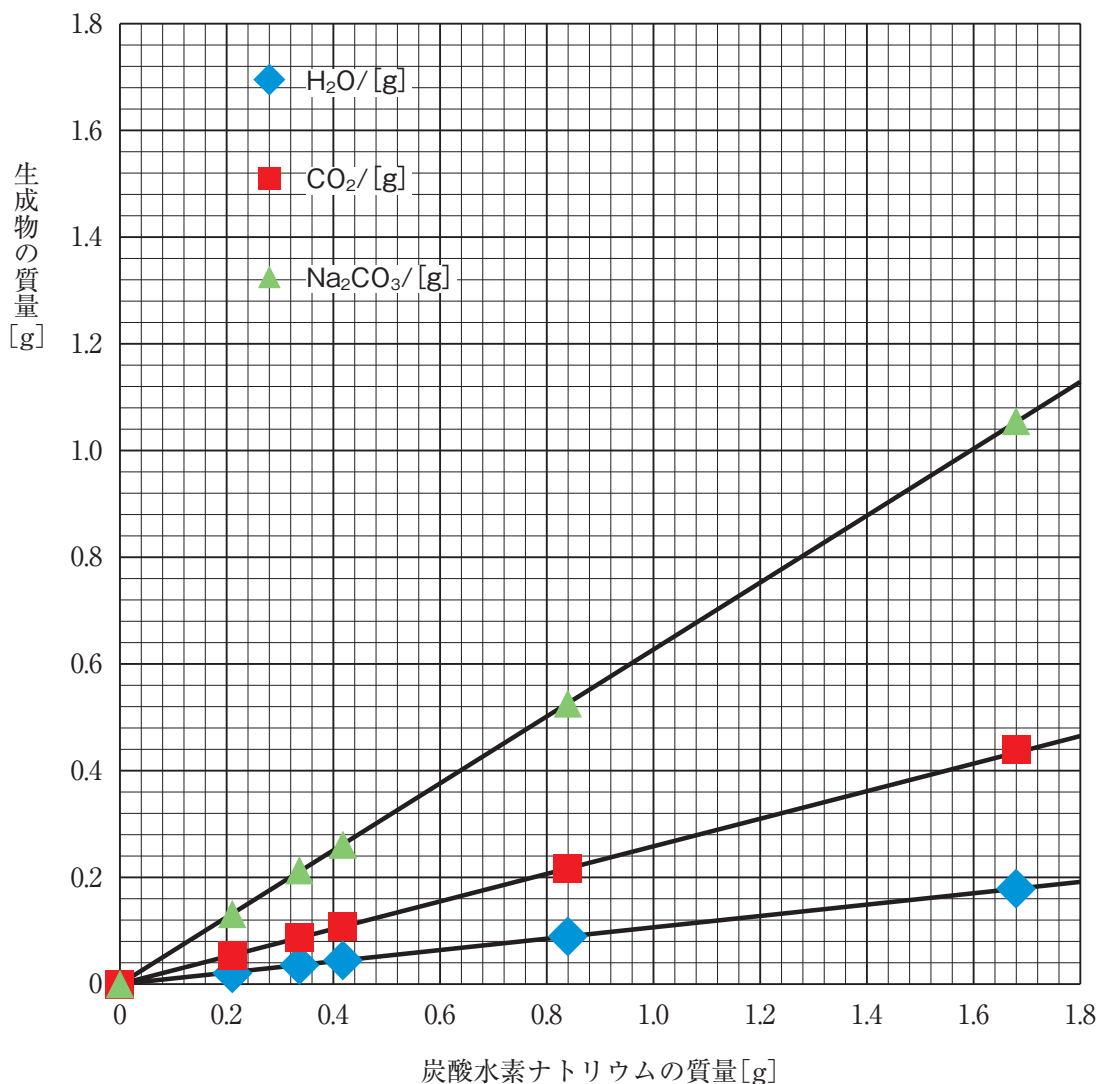
a は反応前の炭酸水素ナトリウムの質量である。一方， b と c は反応後の物質の質量となる。そして， b は，二酸化炭素以外の質量となるので，水と炭酸ナトリウムの合計の質量である。また， c は水をふき取った後の質量なので，炭酸ナトリウムの質量である。さらに，反応の前と後とでは，質量保存の法則が成り立っているため，炭酸水素ナトリウムの質量 a は，水と二酸化炭素と炭酸ナトリウムの質量の合計に等しい。このため，二酸化炭素の質量は， $a - b$ となる。また，最後に残った物質が炭酸ナトリウムであるから，水の質量は $b - c$ となる。

問9

| 質量 | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 炭酸水素ナトリウム[g] | 1.680 | 0.840 | 0.420 | 0.336 | 0.210 |
| 水[g] | 0.180 | 0.090 | 0.045 | 0.036 | 0.022 |
| 炭酸ナトリウム[g] | 1.060 | 0.530 | 0.265 | 0.212 | 0.133 |
| 気体Z[g] | 0.440 | 0.220 | 0.110 | 0.088 | 0.055 |

問8の答えに従って計算すると，上の表が得られる。

問 10



それぞれの値をグラフ上にプロットし、直線で結ぶと上のようなグラフが得られる。

問 11

比例(正比例)

問 10 のように直線のグラフが得られるので、いずれの関係も (正) 比例ということになる。

問 12

$$m = n + o + p$$

質量保存の法則から、反応前の物質の質量は、反応後の物質の質量に等しい。このため、反応前の炭酸水素ナトリウムの質量 m は、反応後の物質である水の質量 n と炭酸ナトリウムの質量 o と二酸化炭素の質量 p の合計に等しい。従って、 $m = n + o + p$ となる。

問 13

計算式

$$\begin{aligned} & \text{炭酸水素ナトリウム} : \text{水} : \text{炭酸ナトリウム} : \text{二酸化炭素} \\ & = 1.680 : 0.180 : 1.060 : 0.440 \\ & = 1.680 \times \frac{100}{1.680} : 0.180 \times \frac{100}{1.680} : 1.060 \times \frac{100}{1.680} : 0.440 \times \frac{100}{1.680} \\ & = 100 : 10.71 : 63.09 : 26.19 \\ & = 100 : 11 : 63 : 26 \end{aligned}$$

| | | |
|---------|----|---|
| 水 | 11 | g |
| 炭酸ナトリウム | 63 | g |
| 気体 Z | 26 | g |

第1回目のデータから、炭酸水素ナトリウム、水、炭酸ナトリウム、二酸化炭素の質量は、順に 1.680 g, 0.180 g, 1.060 g, 0.440 g となり、これらの質量比は常に一定である。炭酸水素ナトリウムが 100 g とすると、第1回目のデータの 100/1.680 倍となることから、上記のような計算となる。

問 14

計算式

$$26 \times 0.5 = 13$$

答 13 L

二酸化炭素 1.0 g が二酸化炭素 0.5 L であることから、上記のような計算となる。



問1

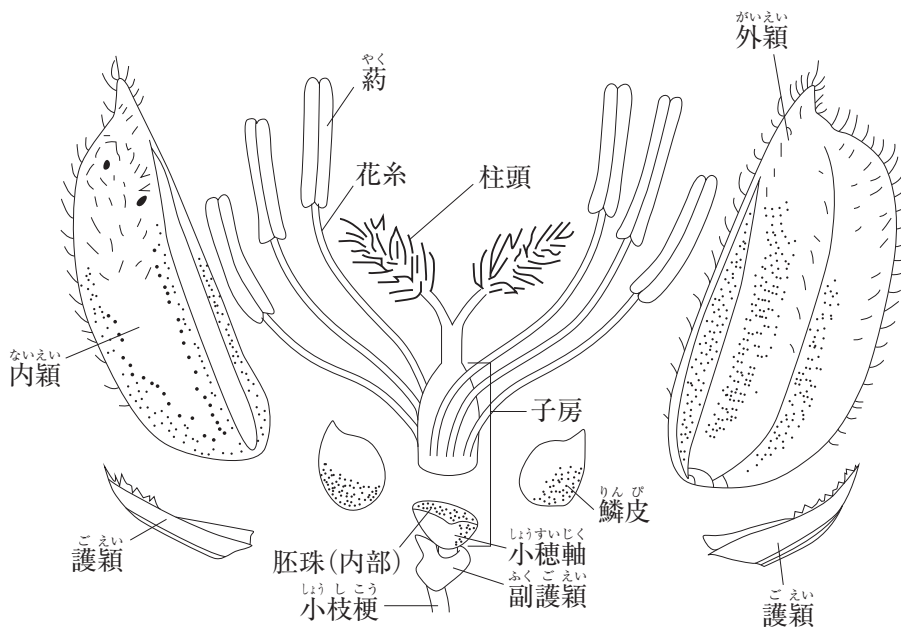
オ

(ア) おこわや赤飯の材料はモチ米。(イ) 寿司の米はウルチ米。(ウ) そばの原料はそば粉。
(エ) たこ焼きの原料は小麦粉。(オ) チャーハン (またはパエリア) には、粘り気の少ないインディカ米を用いる。ぱらぱらした食感となる。

問2

エ

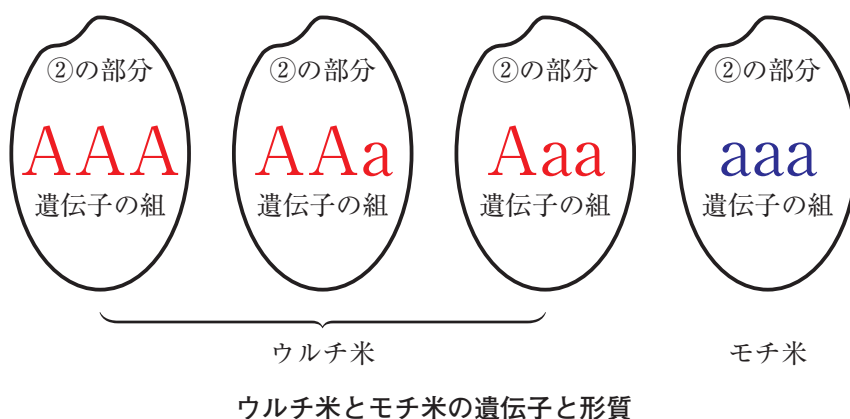
イネの花を開くと下の図のようになる。めしべの下の膨らんだ部分の子房といい、その中に胚珠 (①) がある。胚珠の部分は、やがて胚のうとなり、受精後、胚 (【図3】の (③) の部分) と胚乳 (②) からなる種子となる。



問3

- ・作付時期を変え、花の咲く時期が重ならないようにする。
- ・ウルチ米の花粉が飛んでこない遠い（高い）ところで栽培する。
- ・ハウス内でモチ米のイネを栽培する。

ウルチ米になるかモチ米になるかは遺伝のルールに従う。ウルチ米の遺伝子をA（優性遺伝子）とし、モチ米の遺伝子をa（劣性遺伝子）とし、【図2】の（②）の部分（胚乳）の遺伝子型が、AAA, AAa, Aaaのときはウルチ米に、aaaのときのみモチ米になる（下の図）。つまり、胚乳の部分にA遺伝子が1個でも含まれるとウルチ米になってしまう。めしべの胚珠の遺伝子型はAAかaaのどちらかで、花粉の遺伝子はAかaしかない。また、胚乳のどの細胞も、遺伝子型は同じである。このような遺伝現象は「キセニア」と呼ばれ、胚乳（3n）が、2つの極核（n+n）と1つの精核（n）との合体により生じることによる。



モチ米の作付面積は、イネ全体の4%ほどであるが、北海道では生産者が連携して「モチ米団地」を結成し、地域全体でモチ米づくりを行っている。これもウルチ米の花粉が混入しない工夫でもある。また、イネの開花している時間は午前中の2～3時間と短いことが知られている。

問4

アミラーゼ

デンプンを分解する酵素は、アミラーゼである。だ液や唾液中に含まれる加水分解酵素で、水とともにデンプンをブドウ糖などに分解する。植物の種子中にも含まれる。詳しくは問6の解説を参照。

問5

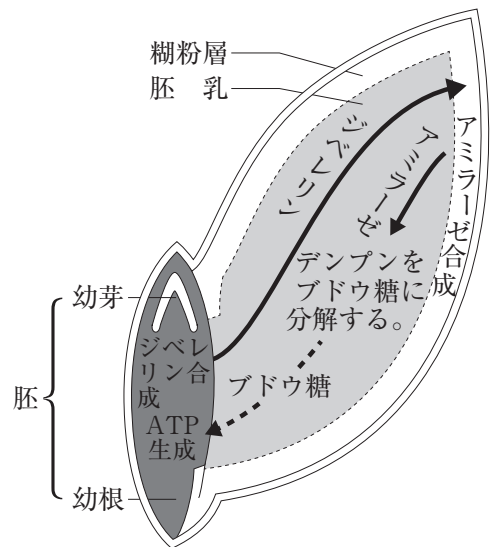
糖が含まれる溶液にベネジクト液を加えると、加熱前は青色の溶液が加熱すると赤褐色となり、沈殿を生じる。

デンプンが分解されて、ブドウ糖が何分子か結合した状態で、反応前は青色のベネジクト液を加えて加熱すると、赤褐色の沈殿（酸化銅）ができる。なお、ベネジクト液は糖以外の物質（たとえば尿素）に反応しないことや長期保存に耐えられるなど、フェーリング液より優れている。一方でフェーリング液はベネジクト液よりも反応が良いという特徴もある。なお、アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて銀鏡反応をみたり、シッフ試薬を用いる方法もある。

問6

オ

種子が発芽するためには、胚乳②中のデンプンをブドウ糖に分解する必要がある。吸水した種子の胚③からは、ジベレリンというホルモンが分泌され、種皮の内側の糊粉層という部分に届く。ここでアミラーゼが合成されて、胚乳中に放出され、デンプンがブドウ糖に分解され、胚に供給される。



- A ヨウ素反応は、ヨウ素がデンプンの分子中にあるときに青色を示し、デンプンが分解されると青色はなくなる。この場合、アミラーゼによってデンプンが分解され、ブドウ糖になったものと考えられるので、正しい文章である。
- B 寒天中にブドウ糖が混入しても、デンプンがある限り、ヨウ素反応には影響せず、青色を示したままである。また、胚③の部分からはブドウ糖は生成されない。そもそも胚にブドウ糖を供給するために、胚乳②中のデンプンがブドウ糖に分解される。
- C 実験結果より明らか。正しい文章。
- D 胚③のついた半種子の糊粉層からはアミラーゼが分解されるので、胚③のついた半種子の胚乳②のデンプンは糖に変わり減少している。しかし、胚③のない半種子では、アミラーゼが合成されていないので、胚乳②中のデンプンは分解されていない。

問7

加熱によりデンプンの分子構造が崩れ、分子間に水が浸透することで、デンプン分解酵素がはたらきやすくなり、多くのブドウ糖をつくることができる。

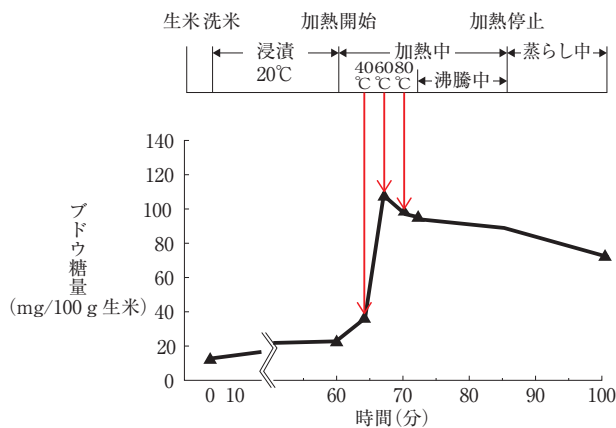
デンプンは、水を加え、温度を上げていくと吸水して膨れ始める。やがて膨れ方が激しくなり、粘性の強い糊状になる。この状態を糊化といい、糊化する前のデンプンを β デンプン、糊化後のデンプンを α デンプンという。 α デンプンは、デンプン分解酵素（加水分解酵素）がよくはたらいて、ブドウ糖が多くつくられるので消化しやすい。 α デンプンは冷えると、再び β デンプンにもどるとい性質がある（老化という）。

問8

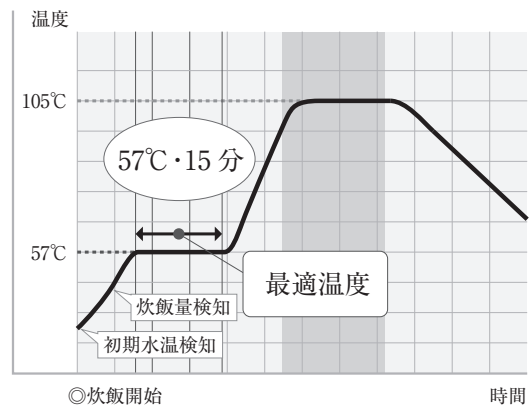
40～60℃の温度でデンプン分解酵素がよくはたらき、多くのブドウ糖が生成されるが、60℃以降では生成量が次第に減少する。

炊飯には、浸漬～加熱～蒸らしの過程がある。浸漬とは、米粒に水分を十分に吸水させるための時間で、常温で行われる。次の加熱過程では、ブドウ糖量の増加がみられる。その温度帯は40～60℃である。60℃以上になるとアミラーゼの酵素活性が低下して、ブドウ糖量の増加はみられなくなる（下の左の図）。

下の右の図は、ある炊飯器の炊飯温度変化を示したものである。低い温度帯を精度良く検知するセンサーにより、仕込み段階から温度制御を始め、甘みが増す最適条件の「57℃で15分間」をしっかりと保っていることがわかる。



米の炊飯過程におけるブドウ糖量の変化



炊飯中の時間と温度の変化

問9

沸騰する前のデンプン分解酵素が最もよくはたらく時間を保ち、甘み成分を引き出すこと。

「はじめチョロチョロ、中パッパ、赤子泣いてもふた取るな」、さらに「はじめチョロチョロ中パッパ、ジュウジュウ吹いたら火を引いて、赤子泣くともふた取るな、最後にワラを一握り、パッと燃え立ちゃできあがり」といったフレーズまである。お釜でご飯を炊くときの火加減について唄ったものである。「はじめチョロチョロ」とは、最初に強火にすると釜の底の一部分にだけ熱が加わって炊きムラを起こすので、釜全体を温める程度の中火が良いという意味もあるが、この問題では、【グラフ1】のデータと照らし合わせた場合とあるので、グラフで甘みが引き出される温度帯のことをいっているものと解釈する。「中パッパ」は強火でしっかり沸騰させるという意味。「ジュウジュウ吹いたら火を引いて」とは、釜に乗せた重いふたの隙間から白い蒸気と炊き汁が吹き出てくる現象。「赤子泣くともふた取るな」とはしっかりと蒸らすこと。最後の「ワラの投入」は釜内に残った余分な水分をもう一度加熱して飛ばすことである。また、釜の底に「お焦げ」をつくるためという説もある。

問10

お供え餅→

餅は表面から乾燥するので、内部に水分が保たれたまま（一部が糊化の状態）で、熱を加えると水分が膨張して膨らむ。

煎餅→

煎餅は材料の餅が薄くのばされ、内部まで十分に乾燥しているため（老化の状態のため）、内部に水分がないので膨張が起こらず膨らまない。

餅についても主成分はデンプンなので、柔らかくなった状態を α 化（「糊化」）、固くなった状態を β 化（「老化」）という。柔らかい大きな餅が固くなった場合、餅は α 化に必要な水分を十分保ったまま β 化しているので、餅は加熱によって水とデンプンが混ざり、再び柔らかくなって膨らむ。しかし、不思議なことに水分が40%以下になると熱を加えても α 化しなくなる。これが煎餅やあられづくりの原料となる餅である。煎餅の場合、薄く伸ばした餅は、熱風で十分に乾燥させて焼きに入る。表と裏を返しながら、膨らみ（「コブ」という）や反りを、押さえて平らにして焼き色を付け、醤油などの「たれ」を塗ればできあがりである。

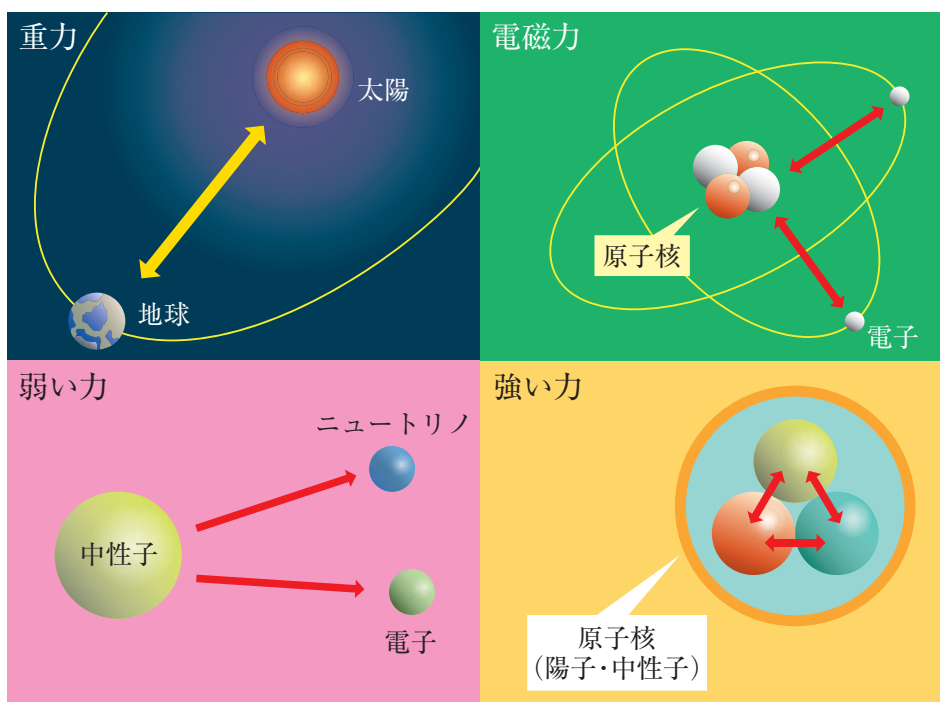


出題の意図

最新の物理学の理論では、自然界には4つの力（強い相互作用の力、弱い相互作用の力、電磁気的な力、重力）が存在するとされ、それらの力の起源、性質、伝わり方等については、素粒子物理学の分野で先端研究が行われてきている。その中で電気・磁気の力は、重力と並んで、私たちにとってなじみ深い力なので、問題として扱った。

小学校では電気の流れを電流として扱うに留めて、すこし曖昧な存在として考えていた。実際の電流は正確には電子という荷電粒子の流れであることを理解してもらいたい。このような電荷を持つ粒子が電流の正体とすると、電流が引き起こす現象は、その小さな荷電粒子の運動、荷電粒子への外部からの影響、などで説明していく必要がある。本問ではじめに取り上げた、電流が導線中を流れることによる磁界の発生については、すでに小学校で習っている電磁石の原理につながるものである。また、中学2年生では、電磁誘導現象を取り上げ、コイルの中の磁界の時間的変化により生じる、誘導電流の発生を理解する。本問では、模擬実験として理科実験で行われることのあるアルミパイプ中のネオジム磁石の球の落下現象を取り上げる。重力による自由落下との対比から、力のつり合いの考え方を理解し、ネオジム磁石の球の落下運動についてその現象を説明することを試みている。この実験で使用する道具は簡単に用意でき、アルミパイプ内でのネオジム磁石の球の運動は予想外のものなので、ぜひ一度体感してもらいたい。

本問は電気・磁気分野からの出題としたが、関連して重力による自由落下運動、力のつりあい、といった内容を含む複合問題として作られている。高校では、複雑な物体の運動を取り上げて学習していくが、ニュートンの運動の法則を基本として、その現象の解明に取り組んでもらいたい。



問 1

| | |
|--------------|--|
| ① 磁力線 | ② 発生させたり，なくしたり |
| ③ コイルの巻き数 | ④ 電流の大きさ |
| ⑤ 電流の方向 | ※③④の解答は順不同。また，上記以外の解答についても，磁界の強さを変化させることができる場合は正答とする。 (鉄しんを入れるなど) |

直線の導線に電流を流すとその導線の回りに対称に磁界がつくられることは，1820年にデンマークの科学者ハンス・クリスティアン・エルステッド（右）が発見した。教科書ではアンペールの法則として扱われている。この直線状の導線を一卷してコイルとし，さらに複数回巻いたソレノイドコイルがつくられる。電流を流すことでソレノイドコイルの周りに磁界を発生させることができ，これを電磁石と呼ぶ。その永久磁石にない利便性は，磁界・磁力の大きさ，方向を制御できることにある。また電気エネルギーを力学的エネルギーに変換できる点も重要であり，多くの家電用品に電磁石は用いられている。



エルステッド

問 2

| | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| ① ア | ② ア | ③ エ | ④ ア |
|--------|--------|--------|--------|

電気と磁気の関係はお互い相補的である。前問で取り上げた「電流が流れることで磁界がつくられる」からは，その逆の現象を考えることができる。本問で取り上げた電磁誘導の法則は，1831年マイケル・ファラデーが発見した。この法則は，コイル内での磁界の時間的変化が電流を生み出すことを説明しており，電磁気学全体をまとめ上げたマクスウェルの法則の一つとしても重要な法則である。この電磁誘導は中学2年生の教科書に記されている。ここでは電流という電気エネルギーをつくり出すために，どのようなエネルギーが使われ，変換されたのか，を考えることも大切であり，コイル内で永久磁石を動かすという力学的エネルギーがその源になっていることはたやすく想像できる。物体にはたらく力が仕事をすることで電流を生み出し，その点からは永久磁石がコイル中に静止した状態では誘導電流がつかれないことはもっともなことである。

問3

イ

本問では一度、電気・磁気の話から離れ、物体の自由落下運動について考える。この場合、物体には重力という一定の大きさの力が作用している。より現実的な運動では、空気の抵抗などの考察も必要になるが、ここではビー玉・ネオジム磁石の球を使い、落下距離も1 m 程度に設定してあることからそれを無視している。一定の力を受けて運動する物体は、等加速度運動をする。これはニュートンの運動の第2法則で示されている。等加速度運動とは、速さが一定の割合で増加（または減少）していく運動のことで、一定の速さで運動する等速運動とは異なる。ちなみに等速円運動は等速で運動するにもかかわらず、向心力という力を受け続ける運動である。この力による加速度は円運動の速さの変化ではなく、物体の運動方向が変化することである。

問4

グラフ1より落下開始後、0.4秒後の速さは3.9 m/s。落下時間0秒のときは速さは0 [m/s] なので、0.4秒間で速さが3.9 m/sだけ増加する。1秒あたりの変化量として、加速度は、 $9.75 \text{ [m/s}^2\text{]}$ となる。

物体が直線運動をする際の速さと加速度について考えてみる。物体が単位時間あたりに進む距離を速さ [m/s] と呼び、その大小で運動の様子を理解する。一方で、その速さも時間とともに変化することが一般的であり（等速運動でない）、その場合は、どのように速さが増加するのかを示す量が必要である。加速度は、単位時間あたりの速さの変化を表したものであり（単位は、 $[\text{m/s}^2]$ ）、その大小は物体に力を加えたとき、その運動の違いで変化する。物体に力を加えると速さが増す。同じ物体に、より大きな力をかければその速さの単位時間あたりの増加量は大きい。一定の割合で速さが増加する場合（直線運動の場合）、等加速度運動と呼び、このとき一定の大きさの力が物体には加わっている。本問では【グラフ1】のビー玉の速さが直線的に変化することからその傾きは一定であり、一定の加速度として求めることができる。

本問では、アルミパイプ内のビー玉（もしくは磁石の球）の落下する速さと時間との関係を取り上げている。測定にあたってはパイプ内での物体の運動を直接、外から測定することができない。自由落下運動における速さの測定実験では、物体に取り付けた記録テープと一定時間ごとに打点する記録タイマーを用いて、そのデータの解析から速さの変化を求める方

法がよく用いられる。

問5

落下を始めて0.5秒間程度はネオジム磁石の球の速さは増加している。
その後、約0.15 m/sの一定の速さで落下している。

グラフから物体の運動の特徴を読み解くことを課題としている。【グラフ2】をみて把握できる特徴は、落下してはじめての0.5秒程度までは速さが増加することから、一見、重力による自由落下現象を反映しているように見えるが、速さの増加割合が徐々に小さくなり、すぐに等速運動に移る。解答においては、その速さも単位も含めてきちんと読み取ってもらいたい。

問6

| | |
|----------|--------------------|
| 静止している物体 | 静止した状態を保つ。 |
| 運動している物体 | 同じ方向に、同じ速さで運動を続ける。 |

この問題はニュートンの運動の3法則のうち、慣性の法則を説明したもので、問4の直線運動時の加速度運動で述べたように、物体に力を加えると速さが増えるため、力を加えない場合には物体の運動において加速度が生じない。特に、物体に2つの力がかかっても、つり合った力であれば、静止している物体や運動している物体に影響を与えないことを表している。

問7

ネオジム磁石の球には、落下運動中、常に重力が下向きにかかっている。この力は同じ向きで大きさはほぼ一定である。重力のみだと落下物体の速さはだんだん増加する。ネオジム磁石の球の落下では、はじめ速さが増加するが、その後増加量は小さくなる。やがて一定の速さに達し、その速さを保つ。一定の速さを保つのは、重力とは別にそれとつり合う逆向きの力がかかっていることで説明できる。はじめ一定の速さになるまでは、重力と逆向きの力がかかっているが、その力は重力とつり合っておらず、重力が勝っている。

力のつり合いは、物体に複数の力が加わっているとき、その物体がどのように運動するか

を把握する上で重要な概念である。異なる2つの力を考えてみると、それらが物体に同じ方向に、もしくは逆方向に、はたらくかによって、物体の運動方向と速さは異なる。力のつり合いは小学校では学習していないので、問題の中で簡単な例をもとにして解説した。静止している物体を動かすためには力が必要であり、物体が等速で直線的に動いているとき、その物体には力が加わっていないか、もしくはつり合いのとれた力が作用していると考えられる。これらを読み取ると、ネオジム磁石の球がパイプ内で一定の速さで運動している状態をどのように考えたらいいかについて理解できるだろう。物体には常に重力がはたらいっているため、これ以外の力が物体にはたらかなければ物体の落下の速さは増加する。したがって、それとつり合うような力（誘導電流と磁力）が磁石の球の下向きの加速度運動を妨げる向きに生じることによるものとして、等速運動を説明できる。

問8

ネオジム磁石の球は常にその周りに磁界を持ち、磁界を保ちつつ重力によってパイプ内を落下し始める。この落下の過程で、球の回りのアルミパイプ部分には電磁誘導により誘導電流が流れ、その電流によりあらたに磁界が生じる。この磁界により、落下するネオジム磁石の球にはその落下運動を妨げる向きに磁力がはたらく。その力の大きさが重力とつり合うことにより、一定の速さで落下し続けることができる。

最後にアルミパイプ中のネオジム磁石の球の自由落下運動を妨げる力について解説する。磁石の球は、速さゼロで落下し始め、主に重力により徐々にその落下の速さは増加していく。一方でその速さが大きくなるにつれて、ネオジム磁石の球の周りに存在する磁界がパイプ内で移動するとき、落下各位置において、磁界の変化による誘導電流（渦電流）が発生する。その誘導電流は落下する磁石の球に力を及ぼす磁界をつくる。その磁界と磁石が作用して、落下とは逆向きに磁力が生じる。はじめはその力の大きさは小さいが、磁石の落下の速さに依存して増加し、重力とつり合った状態以降、一定の速さの落下運動になる。これは、雨粒が上空から重力の作用で落下するにもかかわらず、地上に届くときには一定の速さで降ってくる現象と似ている。雨粒が地上付近で一定の速さになるのは、落下の速さに依存した空気抵抗が重力とつり合う（「終端速度」という）現象が起きているからである。



出題の意図

西経 150 度，南緯 23.4 度にある南海の孤島，それが青島と高本のいる島だ。二人は，2048 年 12 月 20 日から 21 日にかけて，太陽の影を追い，宵の明星を眺め，満月の高さを測り，木星を眺める。自分たちがいる時と場所を知るために。

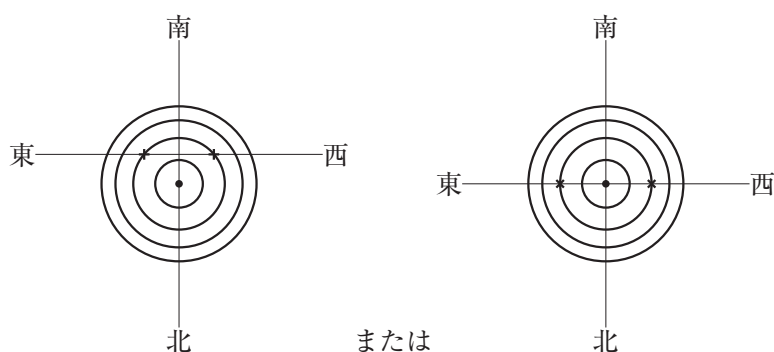
この設定の日は，32 年後である。このとき，君たちは 40 代半ばとなり，きっと世界で活躍しているに違いない。その頃の君たちには，ちょうど今の君たちくらいの子どもがいるのかもしれない。第 36 回科学の甲子園ジュニアに，君たちの子どもが出場しているのだろうか。その子どもたちのためにも，君たちの力で平和で豊かな世界を創ってほしい。そのためには，根拠に基づいて科学的に判断し，行動できる能力を身につける必要がある。そのためにこの問題は作られた。

科学の甲子園ジュニアでともに戦った仲間と，2048 年のこの時この地で，世界を語り合おう。そこでは，昼，君たちの頭上に 32 年前と変わらぬ太陽が輝いていることだろう。夕暮れ，太陽から 45 度ほど離れて金星が輝き，東の空に満月が上がってくる。深夜になると，月の位置は北の空の高度 45 度あたり。昼の太陽の高さから見るとあまりに低い。その近くには，ガリレオが発見した 4 つの衛星で有名な木星が見えている。天頂付近には，全天で一番明るいおおいぬ座のシリウスが，まるで LED 照明（32 年後の照明は何だろう）のようにするどく輝いているだろう。その近くには，日本の冬の代表的な星座・オリオン座が見える。もしかすると，オリオン座の赤い星ベテルギウスは，このころには超新星爆発で失われてしまっているかもしれない（ベテルギウスはやがて超新星爆発を起こすと予測されている）。そのときには，君たちが使った中学理科の教科書を子どもたちに見せるとよい。32 年前のオリオン座の形に驚くだろう。人類は火星に住み始めているのだろうか。地球温暖化の影響は，この南海の孤島にどんな影響を与えているのだろうか。1543 年，コペルニクスが「天球の回転について」を発表し，地動説が提唱された。1609 年，ガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡を夜空に向け，宇宙への扉を開いた。望遠鏡という新しい科学機器が，ガリレオに地動説への確信を導いた。500 年前，誰もが信じて疑わなかった宇宙観が，大きく変わっていった。科学における大変革，パラダイムシフトが起こった。21 世紀に要請されるパラダイムシフトを実現するのは君たちだ。2043 年，コペルニクスの転回から 500 年を迎える。そのとき，君たちは世界のリーダーとして活躍していることだろう。30 年間は，君たちが思う以上に短い。21 世紀半ばを目指して，君たちの力で世界を動かし，世界を創ってほしい。

問 1

説明

- ①棒と糸で、水平な地面に円を描く。
- ②円の中心に棒を地面と垂直に立てる。
- ③日の出から日の入りまで棒の影を観察し、棒の影の先が円と接するところに印をつける。
- ④円上に付けた2つの印を直線で結ぶ。この直線の方が東西である。日の出の向きが東である。
- ⑤④の直線と垂直の方が南北である。東を向いて左が北である。



太陽の動きが、午前と午後ではほぼ対称な動きをすることを利用して、日時計の影の動きから東西を調べることができる。影が一番短くなったとき、その影の方向が南北を示す。

その土地の時刻を示す時計があれば、短針を太陽に向けると短針の向きと12時の向きとの角度をちょうど二分する向きがおよその南である。この方向と直角方向が東西となる。

東西南北を正確に決定している古代文明の存在が知られている。方角の決定には、水平面に垂直な棒を立てて、この影の動きを利用することが考えられる。この影の動きを使った日時計も、古くから知られている。単なる棒の影の動きから、空間と時間という概念を認識していることにも驚かされる。どんな古代文明がどのようにして方角や日時を正確に決定していたのだろうか。なぜ東西南北や日時を正確に知りたかったのだろうか。そもそも東西南北とは、時間とは、何だろう。

問2

この経度 東経 30 度 または 西経 150 度

判断の説明

24時間で経度360度を太陽の南中が1周するから、1時間で経度は15度違う。

①もしもこの時計が日本時間の午後7時を指しているのなら、日本より西側に7時間遅れて正午になる場所にいるはず。この場合は、日本から西へ $15 \text{度} \times 7 = 105 \text{度}$ ずれているから、東経 $135 \text{度} - 15 \text{度} \times 7 = \text{東経 } 30 \text{度}$ となる。

②日本時間の午前7時を指しているなら、日本より東に5時間先に正午になる場所にいることになる。この場合は、日本から東へ $15 \text{度} \times 5 = 75 \text{度}$ ずれているから、東経 $135 \text{度} + 15 \text{度} \times 5 = \text{東経 } 210 \text{度} = \text{西経 } 150 \text{度}$ となる。

①もしもこの時計が日本時間の午後7時を指しているのなら、日本より西側に7時間遅れて正午になる場所にいるはず。

②日本時間の午前7時を指しているなら、日本より東に5時間先に正午になる場所にいることになる。

24時間で経度360度を太陽の南中が1周するから、1時間で経度は15度違う。

①の場合は、日本から西へ $15 \text{度} \times 7 = 105 \text{度}$ ずれているから、東経 $135 \text{度} - 15 \text{度} \times 7 = \text{東経 } 30 \text{度}$ となる。

②の場合は、日本から東へ $15 \text{度} \times 5 = 75 \text{度}$ ずれているから、東経 $135 \text{度} + 15 \text{度} \times 5 = \text{東経 } 210 \text{度} = \text{西経 } 150 \text{度}$ となる。

当初、イギリスのグリニッジ天文台を通る経線を経度0度とし、この経線上を太陽が東から西に通過する時（南中）を正午としていた。日本は、東経135度の経線を太陽が通過するときを正午とするため、世界標準時よりも9時間進んでいる。

太陽の南中周期を24時間として、時間の基準にした時代は長く続いた。しかし、実際には地球の公転軌道は円形ではなく、その他の惑星の影響も受けることや、地球の自転自体も一定ではないため、この時間の定義ではあいまいさが残ってしまう。

現在の時間の定義は、「セシウム133原子の基底状態の2つの超微細準位間の遷移に対応する放射の9192631770周期の継続時間」とされている。この定義にしたがった正確な時を刻むために、原子時計が使われている。

現在でも、太陽が南中する時刻を正午の基準にしているが（協定世界時）、地球が一様な運動をしていないため、原子時計が示す時刻（国際原子時）とずれが生じる。そこで、そのずれが1秒以内となるように、必要に応じてうるう秒を実施している。しかし、このような方法をとっていると、時刻の連続性が維持されず、精密な時刻を必要とする場合には不都合がある。現在、協定世界時（UTC）と国際原子時（TAI）では、36秒（2016年8月）のずれが生じている。この問題設定の2048年までには、正解の年月日時も、国際原子時を基準

に刻まれているかもしれない。

問3

太陽の向き _____ **ア** _____ 方角 _____ **キ** _____

惑星は、太陽光を反射して光っているので、太陽の方向が光っているはずである。太陽は水平線から日没するところだから、惑星もその向き（下向き）が光っている。

日没は、この土地では冬至の日には西よりも最も南寄りとなる。日本の夏至に日の入りが北側に振れるのと同じ現象である。金星は太陽から45度離れており、およそ西空に見えている。

17世紀初頭、ガリレオ・ガリレイが望遠鏡で月、惑星、恒星を観測した。この観測で、金星が満ち欠けをし、木星の周りに4つの衛星が回っていることを発見した。この事実から、地球やその他の惑星が、太陽の周りを運航している地動説を確信していった。

問4

惑星名 _____ **金星** _____

月のように大きく満ち欠けする惑星は、地球よりも内側にある惑星（水星と金星）だけである。太陽系の惑星配置図や惑星の軌道情報の表から、太陽から45度も離れる惑星は、金星しかない。

金星は、水星よりも大きく、太陽と地球に近いために明るく見えるとともに、水星よりも太陽から離れて見えることがあるので、夕方や明け方の空に光り輝く目立つ星である。このため、金星は極めて明るく見えることがある惑星で、宵の明星、明けの明星と呼ばれている。

水星は、太陽に近い軌道を公転しており、太陽から大きく離れて見えることがない。

各惑星の軌道面は、それぞれわずかに傾いている。このため、水星や金星が地球から見て太陽面を通過するように見える現象は、まれにしか起きない。金星の太陽面通過は2012年に観測されたが、次に生じるのは2117年と予測されている。水星の太陽面通過は、2016年5月に観測され、次は2019年と予測されている。なお、日本で水星の太陽面通過が見られるのは、2032年と予測されている。

問5

答 エ

理由の説明

南緯 23.4 度で太陽が真上に来る日の夜には、月は天頂から $23.4 \text{ 度} + 23.4 \text{ 度} = 46.8 \text{ 度}$ に来るので、水平線からの高度は約 43 度、目分量では、45 度くらいと見えてもおかしくない。

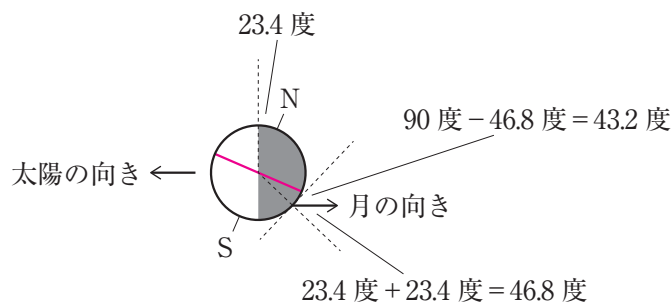
【別解】

影が消えたことから太陽が真上に来たことがわかる。これは北緯 23.4 度（北回帰線）から南緯 23.4 度（南回帰線）の間でしか起こらない。したがって、ア、オは答えではない。赤道上（南北緯度 0 度）で太陽が真上に来ている場合、（地球の軌道面と月の軌道面が一致しているとすれば）満月も真上に来るので、ウでもない。北緯 12.3 度で太陽が真上に来るときには、夜の側での北緯 12.3 度では月は南側に見えるので、イでもない。

太陽の高度が季節により異なるように、月の高度も季節により変化する。満月は太陽と地球をはさんでちょうど反対側にあるので、太陽の高度と逆の動きをする。日本では、夏至の頃の太陽が一番高い高度になり、月の高度が一番低い。逆に冬至の頃の太陽は、高度が一番低いが、冬の月の高度は高い。

実際には、月の軌道面は地球の軌道面や地球の赤道面とは一致していないので、季節と月の高度を、上記のように単純には計算できない。それぞれの軌道面のずれのために、日食や月食が毎回の新月や満月で起きることもない。

地球から見た太陽と月の見かけの大きさは、ほとんど同じ（角度にして約 0.5 度）である。しかも、月の軌道が円形ではないので（地球の軌道も円形ではない）、月の見かけの大きさが太陽よりも大きくなったり小さくなったりするために、皆既日食となったり金環日食となったりする。



問6

答 オ

この問題の鳥の位置が南回帰線付近にあることがわかった。南回帰線付近で太陽による影が消えたことから、日本の冬至あたりと考えられる。

問7

答 2048年12月下旬

判断の説明

日本での冬至は、ほぼ12月20～22日あたりであるから、12月下旬が1か月以内で含まれている太陽系の配置図は2049年1月6日の図である。この図では、太陽と金星の角度も45度くらいと見える。

惑星のデータ表から、軌道上を1か月で公転する角度は、地球では30度、金星では48度くらいであることがわかる。すると、観測日には地球は【図7】の位置から時計と逆回りに15度ほどの位置にあり、金星は時計と逆回りに24度ほどの位置となる。このとき、地球から見た金星は、太陽と45度くらいの角度に離れて見えるだろう。

設定は、2048年12月20～22日。日本では、20日～21日にかけて満月（の予定）。12月20日は日本の冬至（の予定）。この島のこの日の深夜、月が北の空に高度45度くらいで上がっているとき、ほぼ天頂には全天で一番明るいシリウスが輝いているはずだ。

問8

答 エ

判断の説明

2048年の冬至の日から、2049年1月6日まで、およそ2週間である。地球は12か月で360度公転するので、2週間では15度移動する。一方、木星は、12年で360度公転するので、2週間では、1度あまりにすぎない。すると、ちょうど冬至の日あたりに太陽、地球、木星が並び、満月の近くに木星が見えると予想できる。

木星は、小さな望遠鏡でも縞模様などや4つの衛星がよく見える明るい惑星である。太陽系で一番大きい、地球からは遠く離れた軌道を公転している。

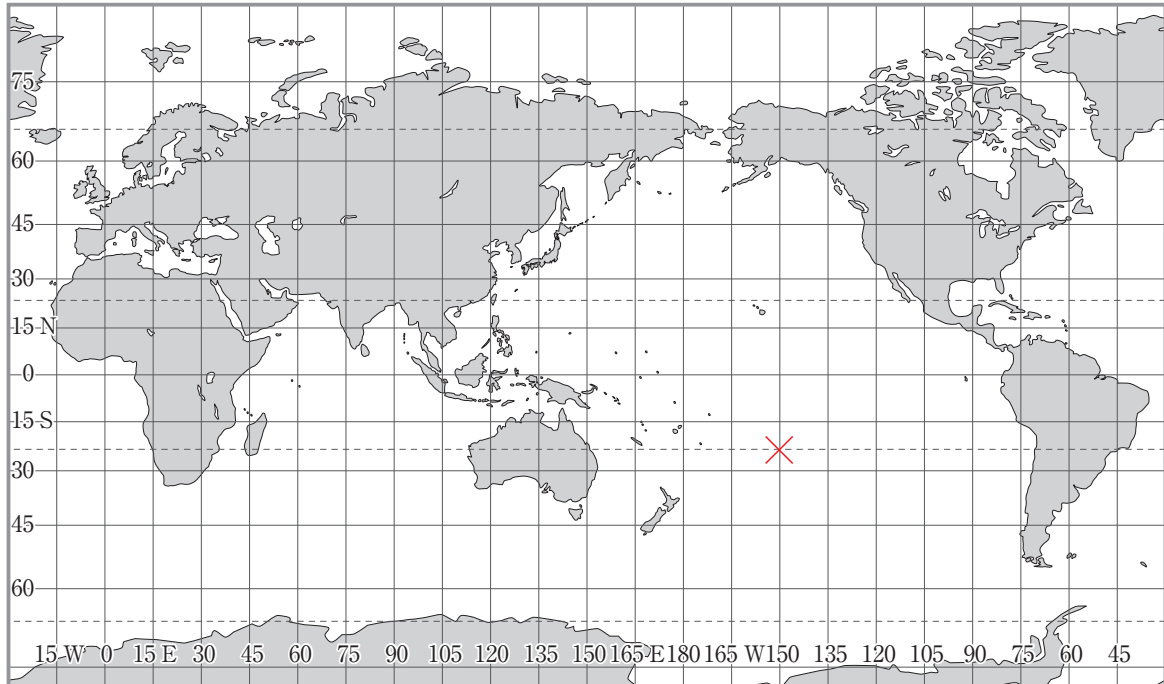
1972年に打ち上げられたパイオニア10号は、1973年に木星に接近し、人類初の木星探査機となった。

1970年代から1980年代には、ボイジャー1号、2号が木星、土星、天王星、海王星に接近し、観測を行った。このころ、外惑星の配置がほぼ同じ方向に並び、スイングバイを利用して、飛行コースを連続してつなげる外惑星の連続探査が可能であった。

問9

解答用紙の南回帰線と西経 150 度の交点に×

設定は、オーストラル諸島（トゥブアイ諸島） 南緯 23 度，西経 150 度である。東経 30 度，南緯 23 度は，南アフリカ共和国となり，大陸内である。離れ小島ではないので，正解ではない。



問 10

2048 年 12 月 21 日

推定年月日は，2048 年 12 月 20 ～ 22 日あたり（冬至は 12 月 20 日前後なので）の前後 1 週間程度のどこかと考えられる。

