とやま科学オリンピック 2022

（高校部門）

解答例および解説

数学　P.　1
物理　P. 15
化学　P. 31
生物　P. 38

2022年８月11日(木)

富山県　　富山県教育委員会

$\boxed{1}$ 解答

(1)　$2^{31}-1$

(2)　$496=2^4\cdot 31$ より 496 の約数の総和は,

$(2^0+2^1+2^2+2^3+2^4)(31^0+31^1)$

$=(1+2+4+8+16)(1+31)$

$=992$

よって，496 は完全数である。

(3)　28

自然数	素因数分解	総和	自然数	素因数分解	総和
n			16	2^4	31
2	2	3	17	17	18
3	3	4	18	$2\cdot3^2$	39
4	2^2	7	19	19	20
5	5	6	20	$2^2\cdot5$	42
6	$2\cdot3$	12	21	$3\cdot7$	32
7	7	8	22	$2\cdot11$	36
8	2^3	15	23	23	24
9	3^2	13	24	$2^3\cdot3$	60
10	$2\cdot5$	18	25	5^2	31
11	11	12	26	$2\cdot13$	42
12	$2^2\cdot3$	28	27	3^3	40
13	13	14	28	$2^2\cdot7$	56
14	$2\cdot7$	24	29	29	30
15	$3\cdot5$	24	30	$2\cdot3\cdot5$	72

(4)　$p^2\cdot q$ の因数は

$1, p, p^2, q, pq, p^2q$　であるので、

$(1+p+p^2)(1+q)=2p^2q$ より、次のどちらかが成り立つ。

$\begin{cases}1+p+p^2=2q\\1+q=p^2\end{cases}$ …①　または　$\begin{cases}1+p+p^2=q\\1+q=2p^2\end{cases}$ …②

①は

$1+p+p^2=p(p+1)+1$ より奇数となるので不可。

②より

$p^2-p-2=0$

$(p-2)(p+1)=0$

$p=2$，$q=7$

よって，$p^2\cdot q$ という形の完全数は 28 のみである。

(5)　$2^{n-1}(2^n-1)$ の約数の総和 $S(n)$ は

$S(n)=(1+2^1+2^2+\cdot\cdot\cdot+2^{n-1})\{1+(2^n-1)\}$

$=(2^n-1)\cdot 2^n=2\{2^{n-1}(2^n-1)\}$

2 （１） まず，左の皿に３枚，右の皿に３枚のコインを載せる。（１回目）

左の皿が高くなった場合には，左の皿に偽物があるので，左の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。どちらかが高くなったならば，それが偽物。釣り合ったならば，残りのコインが偽物。（２回目）

右の皿が高くなった場合には，同様な作業を行う。（２回目）

釣り合った場合には，残った３枚の中に偽物のコインが入っているので，残りの３枚のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。どちらかが高くなったならば，それが偽物。釣り合ったならば，残りのコインが偽物。（２回目）

（２）13枚のコインを４枚，４枚，５枚に分けて，左から順番にA，B，C グループとする。

１回目　AとB グループを天秤に載せる。

①天秤が釣り合った。

このとき，天秤の上には本物のコインしかない。よって，偽物は天秤に載せなかったC グループの中にある。これから，天秤を最大あと２回使って偽物を見つけ出す方法を示せばよい。

＜解答１＞

C グループの５枚とA グループの１枚を足して６枚にし，３枚ずつ天秤に載せる。（２回目）
左が低くなった場合は，左の皿に偽物がある。左の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
右が低くなった場合は，右の皿に偽物がある。右の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
載せた皿のうち，低くなった方の皿にあるコインが偽物である。釣りあった場合には，残りのコインが偽物である。（３回目）

＜解答２＞

C グループの５枚のうち，２枚ずつ天秤に載せる。（２回目）
釣り合った場合には，残りのコインが偽物であるので，天秤は**２回の使用で終了。**
左が低くなった場合は，左の皿に偽物がある。左の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
右が低くなった場合は，右の皿に偽物がある。右の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
載せた皿のうち，低くなった方の皿にあるコインが偽物である。（３回目）

②天秤が釣り合わなかった。

このとき，天秤の上には偽物のコインがある。偽物は重いので，天秤が低くなったグループの中に偽物がある。これから，天秤を最大あと２回使って偽物を見つけ出す方法を示せばよい。
低くなったグループの４枚を，２枚ずつ天秤に載せる。（２回目）
左が低くなった場合は，左の皿に偽物がある。左の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
右が低くなった場合は，右の皿に偽物がある。右の皿のコインのうち，１枚ずつ皿に載せる。
載せた皿のうち，低くなった方の皿にあるコインが偽物である。（３回目）

（３）i について繰り返しループでは，初期値２，終了値６，増分１である。

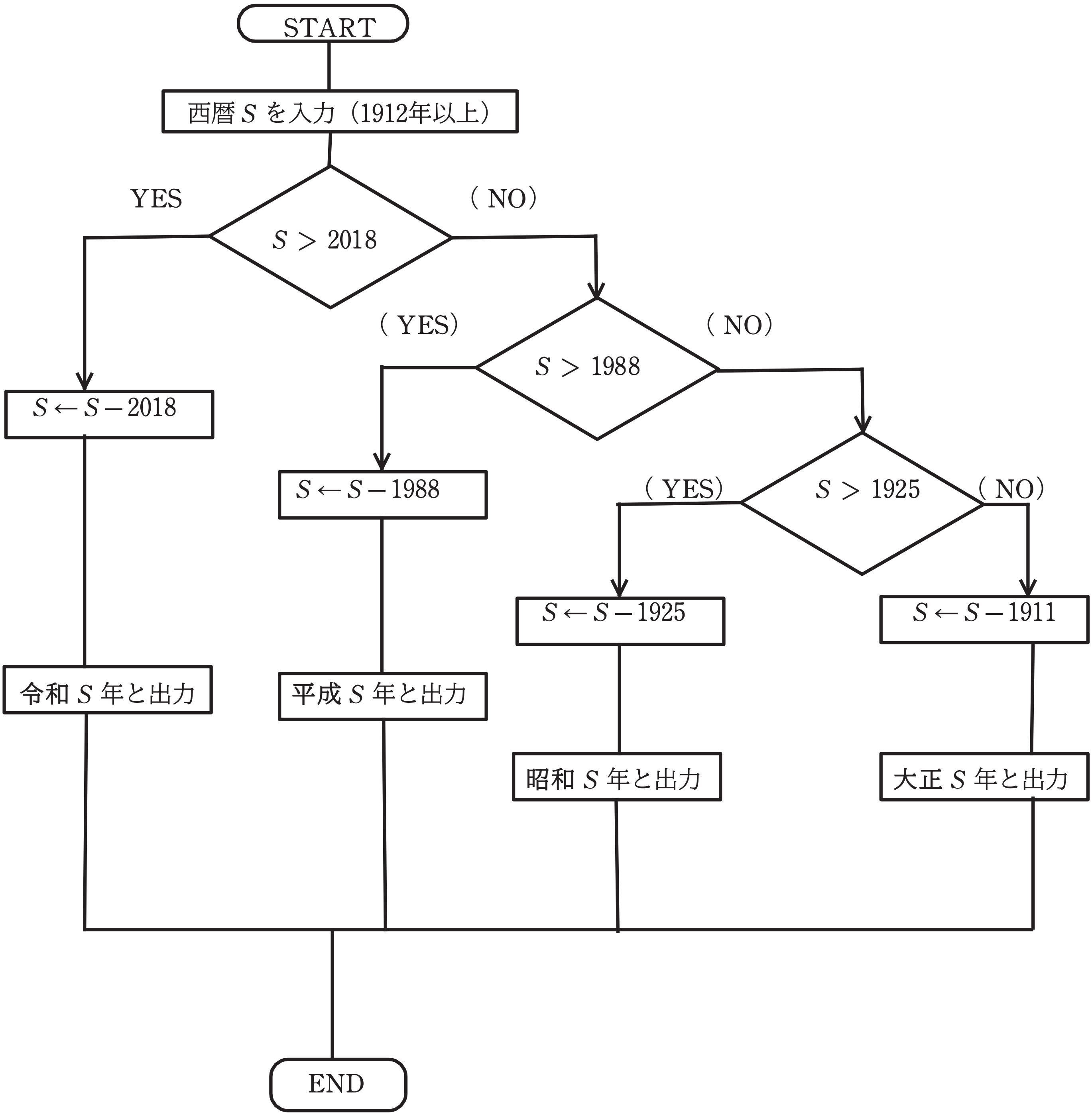
条件分岐で $i \mod 3 = 0$

より，i が３の倍数のときのみ，Y の計算は行われる。$Y = 2X(X-3)(X-6)$

また，$Y \leftarrow Y + 4X$　この式を変形すると，$Y = 2X(X-4)(X-5)$

出力　$Y = 0$ となるには，$X = 0, 4, 5$ である。

（４）1912年～1925年は 大正，1926年～1988年は 昭和，1989年～2018年は 平成，2019年以後は令和とするので



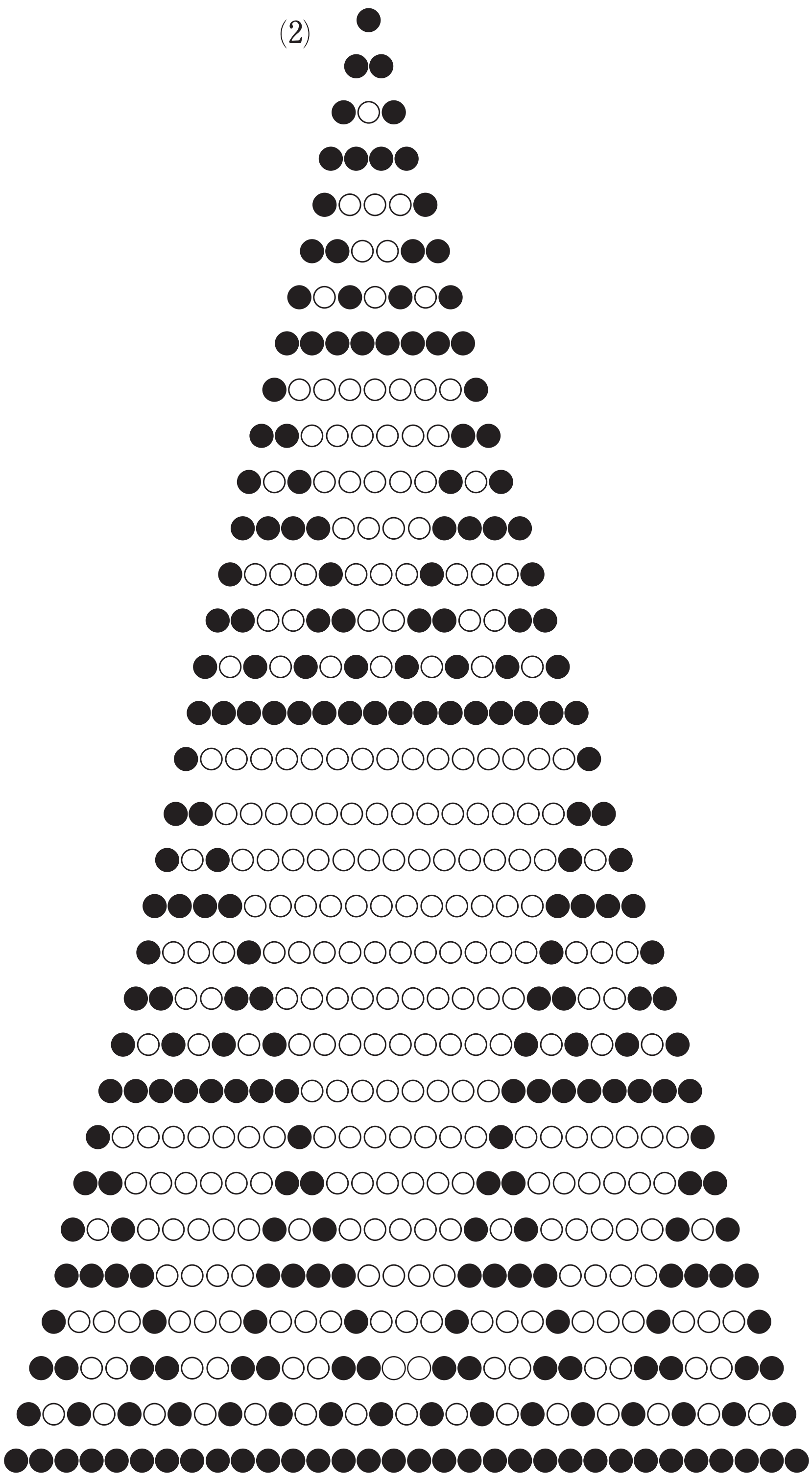
3 解答

【出題の意図】パスカルの三角形は，高校の数学Ⅱで学習するが，学習する内容のほかにも多くのおもしろい性質があります。今回はフラクタル(自己相似)という性質を中心に出題しました。(2) で作った模様はシェルピンスキーのガスケットとも呼ばれます。なお京都大学には，フラクタルを利用した日除けがあり，これも非常に面白いです。興味があれば，色々と調べてみてください。

(1)

1
1 1
1 2 1
1 3 3 1
1 4 6 4 1
1 5 10 10 5 1
1 6 15 20 15 6 1
1 7 21 35 35 21 7 1

(2)



(3)　(2)の図では，17行目から32行目までの○と●の配置は，1行目から16行目までの配置を２つ並べたものとなっている。このことから，33行目から64行目までの○と●の配置は，1行目から32行目までの配置を２つ並べたものとはと予想できる。 よって，62行目に含まれる●の個数は30行目に含まれる●の個数を２倍したものと考えられる。

従って，62行目に含まれる●の個数は　$16\times2=32$　(個)　である。

(4)　図３は，図形の部分と全体が自己相似になって構成されている。 2^n 行毎に新たな相似が生まれる。またこの三角形の配色は左右対称である。このことを用いて，白黒をはっきりさせる。

$2^{11}=2048$, $2^{10}=1024$ であり， $2022=2^{11}-26$ であるから，2022行目の左から805番目の色は， 998 $(=1024-26)$ 行目の左から805番目と同色である。

この三角形は左右対称であるから，998 行目の左から805番目の色は，998 行目の右から805番目，すなわち，左から 194番目の色と同色である。

以下同様に， $2^9-26=512-26=486$ ， $2^8-26=256-26=230$ より，998行目の左から194番目の色は，486 行目の左から194番目の色と，230行目の左から194番目の色と同色である。また，230 行目の左から194番目の色は，230 行目の右から194番目，すなわち，左から37番目の色と同色である。

$2^7-26=128-26=102$，$2^6-26=64-26=38$ より，230行目の左から37番目の色は，102 行目の左から37番目の色と，38行目の左から37番目の色と同色である。また，38 行目の左から37番目の色は，38 行目の右から37番目，すなわち，左から2番目の色と同色である。

$2^5-26=32-26=6$ より，38行目の左から2番目の色は，6 行目の左から2番目の色と同色であり，(2)で作った三角形より，●である。

以上より，2022行目の左から803番目の色は，●である。

4 解答

(1)

$10^{\square}=1$	$\square=0$
$10^{\square}=2$	$\square\fallingdotseq 0.3010$
$10^{\square}=3$	$\square\fallingdotseq 0.4771$
$10^{\square}=4$	$\square\fallingdotseq 0.6020$
$10^{\square}=5$	$\square\fallingdotseq 0.6990$

$10^{\square}=6$	$\square\fallingdotseq 0.7781$
$10^{\square}=7$	$\square\fallingdotseq 0.8541$
$10^{\square}=8$	$\square\fallingdotseq 0.9030$
$10^{\square}=9$	$\square\fallingdotseq 0.9542$
$10^{\square}=10$	$\square=1$

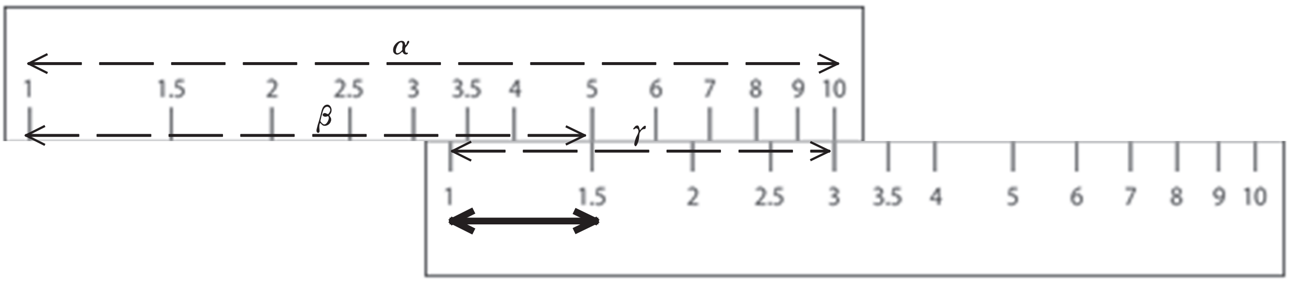
$10^{\square}=5$ について $5=\dfrac{10}{2}\fallingdotseq\dfrac{10^1}{10^{0.3010}}=10^{1-0.3010}=10^{0.6990}$

$10^{\square}=6$ について $6=2\times 3\fallingdotseq 10^{0.3010}\times 10^{0.4771}=10^{0.3010+0.4771}=10^{0.7781}$

$10^{\square}=8$ について $8=2^3\fallingdotseq(10^{0.3010})^3=10^{3\times 0.3010}=10^{0.9030}$

$10^{\square}=9$ について $9=3^2\fallingdotseq(10^{0.4771})^2=10^{2\times 0.4771}=10^{0.9542}$

(2)



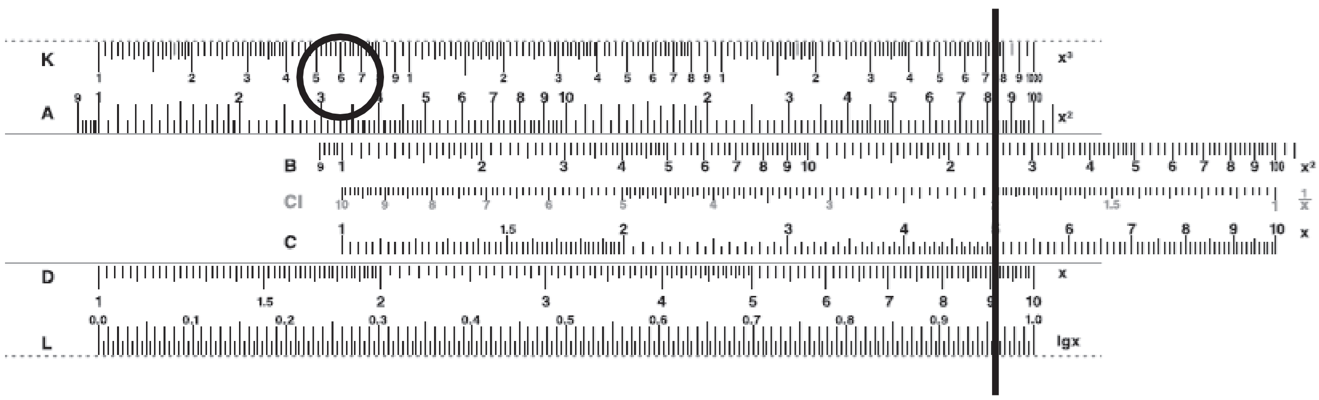
上図のα，β，γについて，

$10^{\alpha}=10$ で，$\alpha=1$，　$10^{\beta}=5$ で，$\beta\fallingdotseq 0.6990$，　$10^{\gamma}=3$ で，$\gamma\fallingdotseq 0.4771$　となる。

このとき，実線の長さは点線の長さの和と差により $-\alpha+\beta+\gamma$ で表される。

$10^{-1+0.6990+0.4771}=\dfrac{10^{0.6990}\times 10^{0.4771}}{10^1}\fallingdotseq\dfrac{5\times 3}{10}=1.5$　　以上より，実線の右端は1.5になる。

(3)



Kの目盛り(x^3の目盛り)の６の真下をDの目盛りで見ると，そこは$6^{\frac{1}{3}}$を表す値である。

つまり，$6^{\frac{1}{3}}\times 5$ の値が縦線のDの目盛りのところに現れる。

ここでDではなくKの目盛りを見ると，その3乗の値である 6×5^3 である，750にあたる値が読み取れる。

$\boxed{5}$ 解答

（１）r=100 メートル

水深 h＝15 メートルより

$r^2+(R-h)^2=\mathrm{R}^2$

$2\mathrm{R}h=r^2+h^2$

$\therefore \mathrm{R}=\dfrac{r^2+h^2}{2h}=\dfrac{100^2+15^2}{2\times 15}=\dfrac{2045}{6}$ メートル

（２）①池の周囲の長さは $\dfrac{\sqrt{2}}{2}a\times 6=3\sqrt{2}a$ より，$\dfrac{\sqrt{2}}{2}\times 6=3\sqrt{2}a=630$

したがって　$a=630\times\dfrac{3}{\sqrt{2}}=105\sqrt{2}$　メートル

また，池の深さは,

$\dfrac{1}{2}\sqrt{a^2+a^2+a^2}=\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$ （立方体の対角線の $\dfrac{1}{2}$）

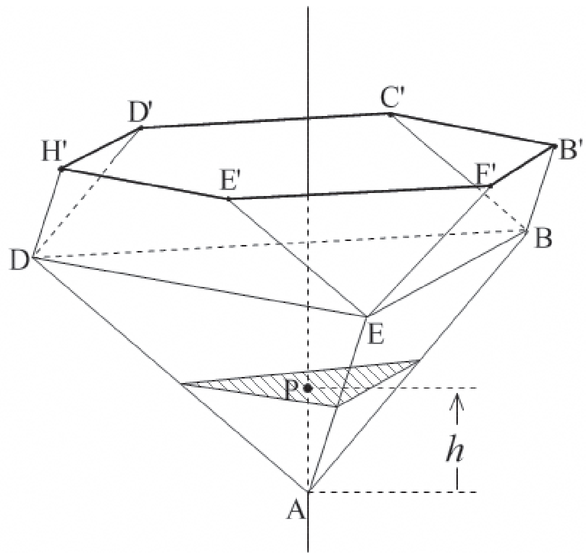
であるから,

$\dfrac{\sqrt{3}}{2}\times 105\sqrt{2}=\dfrac{105\sqrt{6}}{2}$　メートル

②水面が B 点，D 点，E 点より低い場合

下図に示すように BD, DE,EB は１辺 a の正方形の対角線の長さとなるから

BD＝DE＝EB＝$\sqrt{2}a$



∴三角形 BDE は正三角形となる。ここで三角形 BDE の内心を I，線分 AI と水面の交点を P とし，水深 AP を h とおくと，三角形 BDE の面積は，

$$\Delta\mathrm{BDE}=\frac{\sqrt{3}}{4}\left(\sqrt{2}a\right)^2=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2$$

また，DI は，正三角形 BDE の高さの $\frac{2}{3}$ 倍であり，正三角形 BDE の 1 辺の長さ

$\mathrm{DE}=\sqrt{2}a$ であるから

$$\mathrm{DI}=\frac{2}{3}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\mathrm{DE}=\frac{\sqrt{3}}{3}\cdot\sqrt{2}a=\frac{\sqrt{6}}{3}a$$

水面が AD,AB,AE と交わる点を結んでできる正三角形の 1 辺の長さを l とおくと

$$\mathrm{AP}:\mathrm{AI}=l:\mathrm{DE}=l:\sqrt{2}a$$

$$l\cdot\mathrm{AI}=\sqrt{2}a\cdot\mathrm{AP}$$

また， $\mathrm{AI}^2=\mathrm{AD}^2-\mathrm{DI}^2$ より，

$$\mathrm{AI}^2=a^2-\left(\frac{\sqrt{6}}{3}a\right)^2=\left(1-\frac{2}{3}\right)a^2=\frac{1}{3}a^2 \quad \therefore \mathrm{AI}=\frac{\sqrt{3}}{3}a$$

$\mathrm{AP}=h$ より

$$\mathrm{AP}:\mathrm{AI}=h:\frac{\sqrt{3}}{3}a=l:\mathrm{DE}=l:\sqrt{2}a$$

$$\therefore \sqrt{2}ah=\frac{\sqrt{3}}{3}al,\quad l=\sqrt{6}h$$

したがって　1 辺 l の正三角形の面積は

$$\frac{\sqrt{3}}{4}l^2=\frac{\sqrt{3}}{4}\cdot\left(\sqrt{6}h\right)^2=\frac{3\sqrt{3}}{2}h^2$$

∴水面が三角形 BDE より低いとき，水面の面積 $\mathrm{S}(h)$は

$$\mathrm{S}(h)=\frac{3\sqrt{3}}{2}h^2 \qquad \left(0\leq h\leq\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)$$

となる。したがって貯水量 $\mathrm{V}(h)$は

$$\mathrm{V}(h)=\frac{1}{3}\mathrm{S}(h)\cdot h=\frac{1}{3}\cdot\frac{3\sqrt{3}}{2}h^2\cdot h=\frac{\sqrt{3}}{2}h^3 \qquad \left(0\leq h\leq\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)$$

となる。

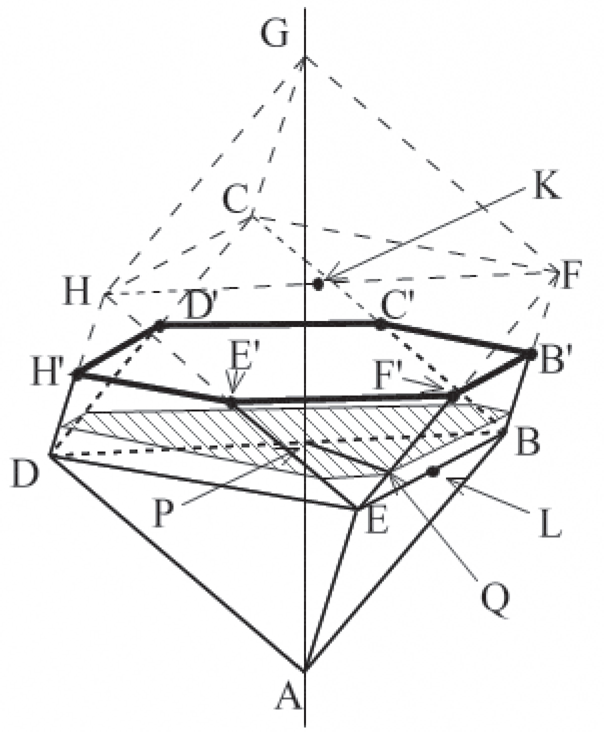
③水面が B 点，D 点，E 点より高い場合

＜手順＞１． 下図において，FH,CH,CF は１辺 a の正方形の対角線の長さとなるから

$\mathrm{FH}=\mathrm{CH}=\mathrm{CF}=\sqrt{2}a$

つぎに，線分 FH の中点を K，線分 BE の中点を L とすると

$\mathrm{BE}=\sqrt{2}a$ より $\mathrm{EL}=\dfrac{1}{2}\mathrm{BE}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$，　$\mathrm{FK}=\mathrm{EL}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$



つぎにこの図を真上からみた図（下左図）および AEF 部を抜き出した図（下右図）において，

$\mathrm{EL}:\mathrm{EF}=\sqrt{3}:2$ より

$\mathrm{EF}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\mathrm{EL}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}\times\dfrac{\sqrt{2}}{2}a=\dfrac{\sqrt{6}}{3}a$

FK//MQ　より

三角形 EFK∽三角形 EQM，∠MQE＝∠KFQ

一方，下右図において F を通り AE に平行な直線と，Q を通り E’F’に平行な直線の交点を N’とすると，∠MQE＝∠FQN’,

したがって

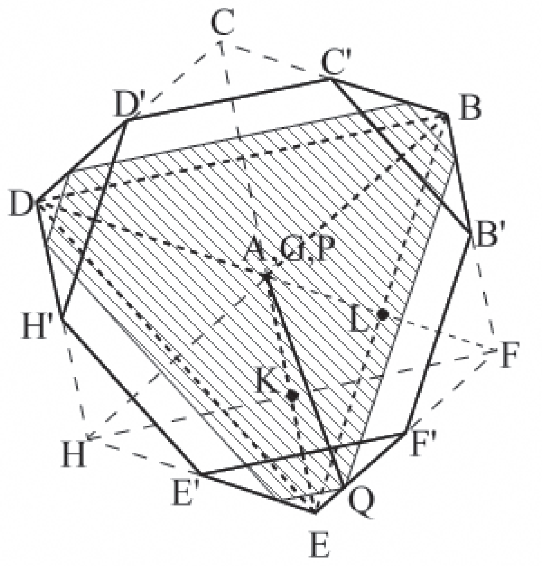
∠FQN’＝∠KFQ

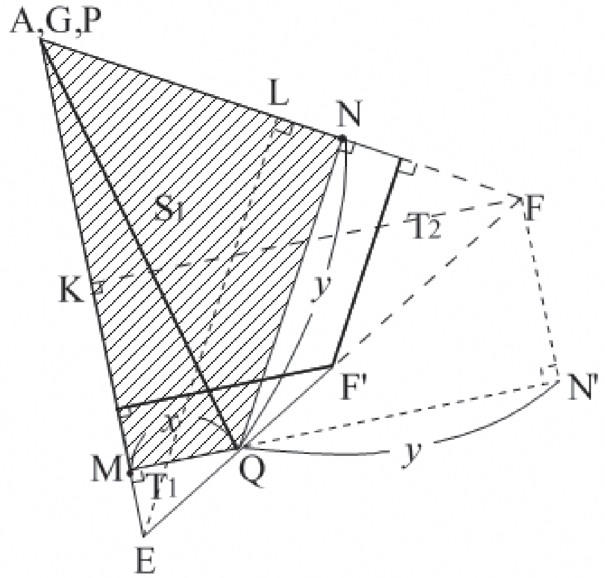
△NQF≡△N’QF

$\mathrm{N'Q}=\mathrm{NQ}=y$

であり， $x+y=\mathrm{MQ}+\mathrm{FQ}=\mathrm{MQ}+\mathrm{N'Q}=\mathrm{MN'}=\mathrm{FK}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$

となる。





＜手順＞２． 上右図において，

$\mathrm{EM}:\mathrm{MQ}=1:\sqrt{3}$

$\mathrm{EM}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\mathrm{MQ}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}x$

三角形 EMQ の面積 T_1 は

$T_1=\dfrac{1}{2}\mathrm{EM}\cdot\mathrm{MQ}=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{3}x\cdot x=\dfrac{\sqrt{3}}{6}x^2$

また， $\mathrm{FN}:\mathrm{NQ}=1:\sqrt{3}$

$\mathrm{FN}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\mathrm{NQ}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}y$

三角形 FQN の面積 T_2 は

$T_2=\dfrac{1}{2}\mathrm{NQ}\cdot\mathrm{FN}=\dfrac{1}{2}\cdot y\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{3}y=\dfrac{\sqrt{3}}{6}\left(\dfrac{\sqrt{2}}{2}a-x\right)^2=\dfrac{\sqrt{3}}{12}\left(a-\sqrt{2}x\right)^2$

したがって，上右図における斜線部分の面積 S_1 は

$S_1=\dfrac{\sqrt{3}}{4}\mathrm{EF}^2-T_1-T_2=\dfrac{\sqrt{3}}{4}\left(\dfrac{\sqrt{6}}{3}a\right)^2-\dfrac{\sqrt{3}}{6}x^2-\dfrac{\sqrt{3}}{12}\left(a-\sqrt{2}x\right)^2=\dfrac{\sqrt{3}}{12}a^2+\dfrac{\sqrt{6}}{6}ax-\dfrac{\sqrt{3}}{3}x^2$

＜手順＞３.

三角形 CFH の内心を J，三角形 BDE の内心を I とおく。

$\mathrm{GJ}=\mathrm{AI}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}a$ であり，AG は 1 辺が a の立方体の対角線の長さに等しいから，

$\mathrm{AG}^2=a^2+a^2+a^2=3a^2 \quad \therefore \mathrm{AG}=\sqrt{3}a$

したがって　$\mathrm{IJ}=\mathrm{AG}-\mathrm{GJ}-\mathrm{AI}=\mathrm{AG}-2\,\mathrm{AI}=\sqrt{3}a-2\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{3}a=\dfrac{\sqrt{3}}{3}a$

また　$\mathrm{IP}:\mathrm{IJ}=\mathrm{MQ}:\mathrm{KF}$　であるから

$z:\dfrac{\sqrt{3}}{3}a=x:\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$　より　$x=\dfrac{\sqrt{6}}{2}z$

また, MQ すなわち x の範囲は，$0\le z\le\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{3}a=\dfrac{\sqrt{3}}{6}a$　より　$0\le x\le\dfrac{\sqrt{3}}{6}\cdot\dfrac{\sqrt{6}}{2}a=\dfrac{\sqrt{2}}{4}a$,

$\therefore x=\dfrac{\sqrt{6}}{2}z$　（$0\le x\le\dfrac{\sqrt{2}}{4}a$）

＜手順＞４.

$\mathrm{S}_1=\dfrac{\sqrt{3}}{12}a^2+\dfrac{\sqrt{6}}{6}ax-\dfrac{\sqrt{3}}{3}x^2$　に　$x=\dfrac{\sqrt{6}}{2}z$ を代入すると

$$\mathrm{S}_1=\frac{\sqrt{3}}{12}a^2+\frac{\sqrt{6}}{6}a\left(\frac{\sqrt{6}}{2}z\right)-\frac{\sqrt{3}}{3}\left(\frac{\sqrt{6}}{2}z\right)^2=\frac{\sqrt{3}}{12}a^2+\frac{1}{2}az-\frac{\sqrt{3}}{2}z^2$$

＜手順＞５.　水面の面積 S は S_1 の６倍であるから

$$\mathrm{S}(z)=6\mathrm{S}_1=6\times\left\{\frac{\sqrt{3}}{12}a^2+\frac{1}{2}az-\frac{\sqrt{3}}{2}z^2\right\}=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2+3az-3\sqrt{3}z^2$$

また，水深 h は，$\mathrm{AP}=\mathrm{AI}+\mathrm{IP}$　より

$h=\dfrac{1}{\sqrt{3}}a+z$　（$0\le z\le\dfrac{\sqrt{3}}{6}a$）

であるから $z=h-\dfrac{1}{\sqrt{3}}a$

$$\therefore \mathrm{S}(h)=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2+3a\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)-3\sqrt{3}\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)^2$$

$\mathrm{S}(h)=-3\sqrt{3}h^2+9ah-\dfrac{3\sqrt{3}}{2}a^2$　（$\dfrac{\sqrt{3}}{3}a\le h\le\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$）

参考：水面が三角形 BDE より高いときの貯水量

水面がちょうど B，D，E 点に達したときの貯水量 $V_1=V_1\left(\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)$ は

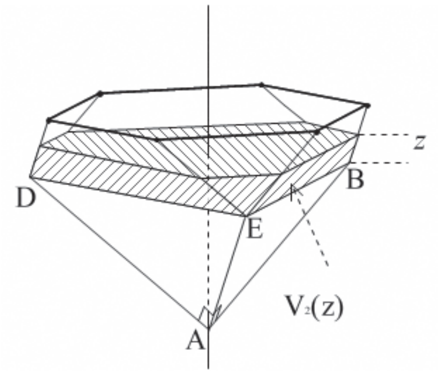
$$V_1=V\left(\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)=\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)^3=\frac{1}{6}a^3$$ （1 辺 a の立方体の体積の $\frac{1}{6}$ に等しい）

一方下図中の水面の面積 $S(z)$ は

$$S(z)=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2+3az-3\sqrt{3}z^2$$

で表されるから，下図の斜線部の体積 V_2 は

V_2 を z で表すと



$$V_2(z)=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2z+\frac{3}{2}az^2-\sqrt{3}z^3 \qquad (※)$$

また $z=h-\frac{1}{\sqrt{3}}a$ 　より

$$V_2(h)=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)+\frac{3}{2}a\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)^2-\sqrt{3}\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)^3$$

$$=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2\left(h-\frac{\sqrt{3}}{3}a\right)+\frac{3}{2}a\left(h^2-\frac{2\sqrt{3}}{3}ah+\frac{1}{3}a^2\right)-\sqrt{3}\left(h^3-\frac{3}{\sqrt{3}}ah^2+\frac{3}{3}a^2h-\frac{\sqrt{3}}{9}a^3\right)$$

$$=\frac{\sqrt{3}}{2}a^2h-\frac{1}{2}a^3+\frac{3}{2}ah^2-\sqrt{3}a^2h-\sqrt{3}h^3+3ah^2-\sqrt{3}a^2h+\frac{1}{3}a^3$$

$$=-\sqrt{3}h^3+\left(\frac{3}{2}+3\right)ah^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-\sqrt{3}-\sqrt{3}\right)a^2h+\frac{1}{3}a^3$$

$$\therefore \mathrm{V}_2(h) = -\sqrt{3}h^3 + \frac{9}{2}ah^2 - \frac{3}{2}\sqrt{3}a^2h + \frac{1}{3}a^3 \qquad \left(\frac{\sqrt{3}}{3}a \le h \le \frac{\sqrt{3}}{2}a\right)$$

したがって，$\frac{\sqrt{3}}{3}a \le h \le \frac{\sqrt{3}}{2}a$ のとき，求める貯水量 $\mathrm{V}(h)$は

$$\mathrm{V}(h) = \mathrm{V}_2(h) + \mathrm{V}_1 = -\sqrt{3}h^3 + \frac{9}{2}ah^2 - \frac{3}{2}\sqrt{3}a^2h + \frac{1}{3}a^3 + \frac{1}{6}a^3$$

$$\therefore \mathrm{V}(h) = -\sqrt{3}h^3 + \frac{9}{2}ah^2 - \frac{3}{2}\sqrt{3}a^2h + \frac{1}{2}a^3$$

となる。

※高さ方向に垂直な断面積が，容器の底からの高さ h の関数

$$\mathrm{S}(h) = ah^2 + bh + c$$

で表されるとき，容器の底から水面までの水の体積 $\mathrm{V}(h)$が

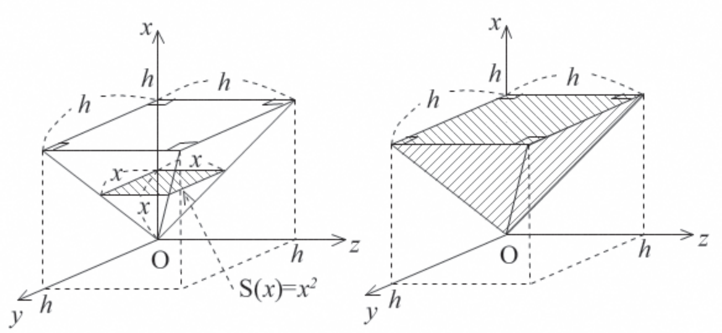
$$\mathrm{V}(h) = \frac{a}{3}h^3 + \frac{b}{2}h^2 + ch$$

で与えられる理由

1）容器の最下端からの高さ x における高さ方向に垂直な断面積 $\mathrm{S}_1(x)$ が容器の最下端からの高さ x の２乗で表されるとき（$\mathrm{S}_1(x) = x^2$）

　下図に示すように，高さ h のとき，断面積 $\mathrm{S}_1(h) = h^2$ であるから，求める立体の体積 V_1（右下図の斜線部）は底面積 $\mathrm{S}_1(h) = h^2$，高さ h の四角錐の体積に等しいから

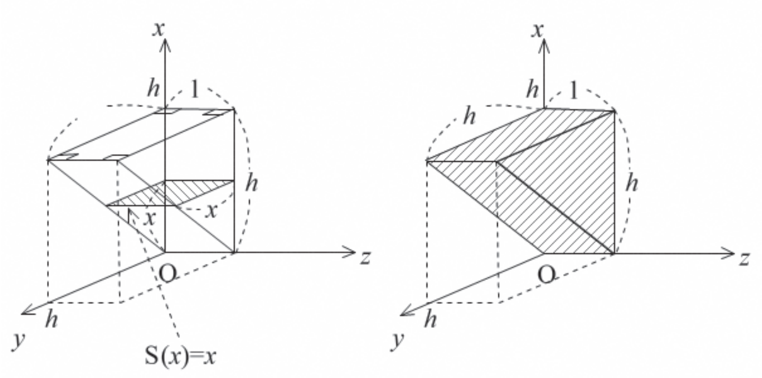
$$\mathrm{V}_1 = \frac{1}{3}\mathrm{S}_1(h)\cdot h = \frac{1}{3}h^2 \cdot h = \frac{1}{3}h^3$$



2）容器の最下端からの高さ x における高さ方向に垂直な断面積 $S_2(x)$ が容器の最下端からの高さ x で表されるとき（$\mathrm{S}_2(x) = x$）

　下図に示すように，高さ h のとき，求める立体の体積（右下図の斜線部分）V_2 は，高さ１，底面積が $\frac{1}{2}h^2$，の三角柱の体積に等しいから

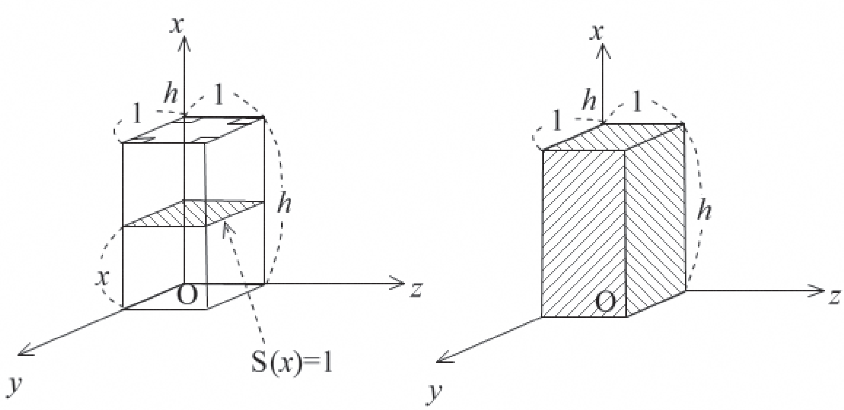
$$\mathrm{V}_2 = \frac{1}{2}h^2 \times 1 = \frac{1}{2}h^2$$



3) 容器の最下端からの高さ x における高さ方向に垂直な断面積 $\mathrm{S}_3(x)$ が１辺が１の正方形の面積すなわち１で表されるとき（$\mathrm{S}_3(x)=1^2=1$）

下図に示すように，高さ h のとき，求める立体の体積（右下図の斜線部分）V_3 は，高さ h，底面積が１，の四角柱の体積に等しいから

$$\mathrm{V}_3 = h \cdot 1 = h$$



したがって，題意の表面積は

$$\mathrm{S}(x) = ax^2 + bx + c = a\mathrm{S}_1(x) + b\mathrm{S}_2(x) + c\mathrm{S}_3(x)$$

より

$$\mathrm{V}(h) = a\mathrm{V}_1 + b\mathrm{V}_2 + c\mathrm{V}_3 = \frac{a}{3}h^3 + \frac{b}{2}h^2 + ch$$

ここで h を y に置き換えると

$$\mathrm{V}(y) = \frac{a}{3}y^3 + \frac{b}{2}y^2 + cy$$

が得られる。

参加番号

高校部門　物理

1　1

①
重力

②
大きくなる

③
大きくなる

④
大きくなる

1　２－（１）

三平方の定理より

$\mathrm{AB} = \sqrt{5^2 + 20^2} \fallingdotseq 20.6\mathrm{m}$

1　２－（２）

力学的エネルギー保存の法則より

$\frac{1}{2}mv^2 = m \times 10 \times 5.0$ よって $v = 10.0m/s$

1　２－（３）

平均の速さ

$\bar{v} = \frac{0 + 10.0}{2} = 5.0\mathrm{m/s}$

1　２－（４）

$t = \frac{20.6}{5.0} \fallingdotseq 4.1$ 秒

※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

1　３－（１）

①

・折れ曲がり前

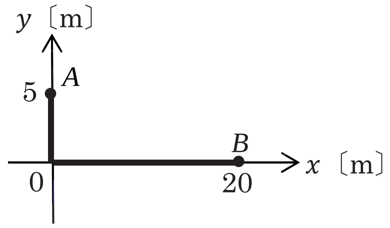
レールの長さ　5.0m

２－（２）より力学的エネルギー保存の法則から

折れ曲がり地点での速さ　10.0m/s

平均の速さ　$\frac{0+10.0}{2}$=5.0m/s

時間　$t_1 = \frac{5.0}{5.0}$=1.0 秒



・折れ曲がり後

レールの長さ　20.0m

この区間は等速直線運動より

平均の速さ　10.0m/s

時間　$t_2 = \frac{20.0}{10.0}$=2.0 秒

点 A から点 B までかかる時間　$t = t_1 + t_2 =$ 1.0+2.0 = 3.0 秒

②

・折れ曲がり前

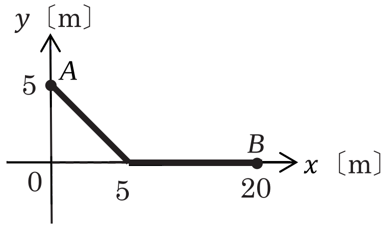
レールの長さ　$\sqrt{5^2+5^2} \fallingdotseq$ 7.1m

２－（２）より力学的エネルギー保存の法則から

折れ曲がり地点での速さ　10.0m/s

平均の速さ　$\frac{0+10.0}{2}$=5.0m/s

時間　$t_1 = \frac{7.1}{5.0}$=1.4 秒



・折れ曲がり後

レールの長さ　15.0m

この区間は等速直線運動より

平均の速さ　10.0m/s

時間　$t_2 = \frac{15.0}{10.0}$=1.5 秒

点 A から点 B までかかる時間　$t = t_1 + t_2 \fallingdotseq$ 1.4+1.5 ≒ 2.9 秒

※ここには何も書かないでください。

参加番号

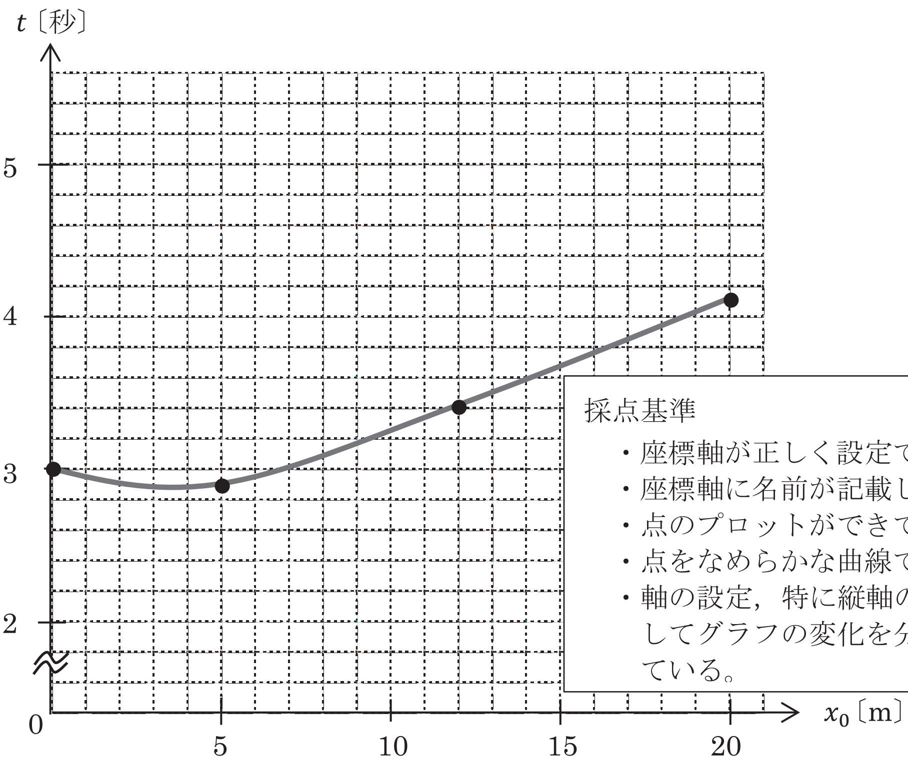
高校部門　物理

1　３－（２）

x_0〔m〕	0	5	12	20
t〔秒〕	3.0	2.9	3.4	4.1

1　３－（３）

座標軸や目盛りは各自で記入

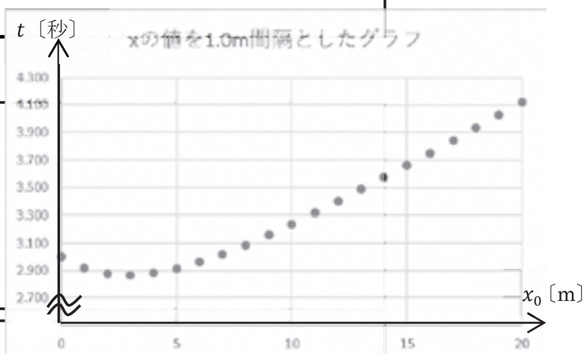


採点基準
- 座標軸が正しく設定できているか。
- 座標軸に名前が記載してあるか。
- 点のプロットができているか。
- 点をなめらかな曲線で結べているか。
- 軸の設定，特に縦軸のスケールを工夫してグラフの変化を分かりやすく示している。

1　３－（４）

（ｉ）

x_0が増加するに従い，時間が短くなり再び長くなるように変化している。



（ⅱ）

最も短い時間はx_0 =4m 付近であると推測される。

（グラフと内容が一致する。）

※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

1　4－（1）

①　・折れ曲がり前

レールの長さ　$\sqrt{10^2+1^2} \fallingdotseq 10.0\text{m}$

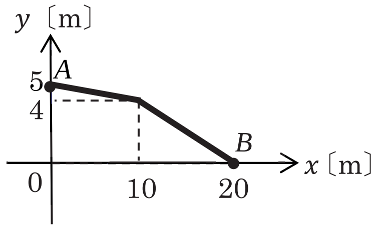
力学的エネルギー保存の法則より

$\frac{1}{2}mv^2 = m \times 10 \times 1.0$

折れ曲がり地点での速さ　4.5m/s

平均の速さ　$\frac{0+4.5}{2} \fallingdotseq$ 2.3m/s

時間　$t_1 = \frac{10.0}{2.3} \fallingdotseq$ 4.3 秒



・折れ曲がり後

レールの長さ　$\sqrt{10^2+4^2} \fallingdotseq 10.8\text{m}$

力学的エネルギー保存の法則より

点 B での速さ　10.0m/s

平均の速さ　$\frac{4.5+10.0}{2} \fallingdotseq$ 7.3m/s

時間　$t_2 = \frac{10.8}{7.3} \fallingdotseq$ 1.5 秒

点 A から点 B までかかる時間　$t = t_1 + t_2 \fallingdotseq 4.3 + 1.5 = 5.8$ 秒

②　・折れ曲がり前

レールの長さ　$\sqrt{10^2+10^2} \fallingdotseq 14.1\text{m}$

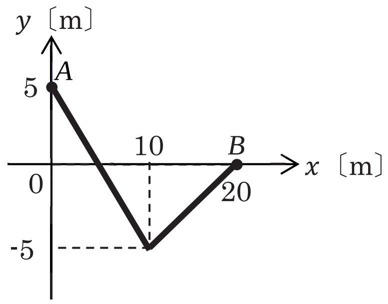
力学的エネルギー保存の法則より

$\frac{1}{2}mv^2 = m \times 10 \times 10$

折れ曲がり地点での速さ　14.1m/s

平均の速さ　$\frac{0+14.1}{2} \fallingdotseq$ 7.1m/s

時間　$t_1 = \frac{14.1}{7.1} \fallingdotseq$ 2.0 秒



・折れ曲がり後

レールの長さ　$\sqrt{10^2+5^2} \fallingdotseq 11.2\text{m}$

力学的エネルギー保存の法則より

点 B での速さ　10.0m/s

平均の速さ　$\frac{14.1+10.0}{2} \fallingdotseq$ 12.1m/s

時間　$t_2 = \frac{11.2}{12.1} \fallingdotseq$ 0.93 秒

点 A から点 B までかかる時間　$t = t_1 + t_2 = 2.0 + 0.93 \fallingdotseq 2.9$ 秒

※ここには何も書かないでください。

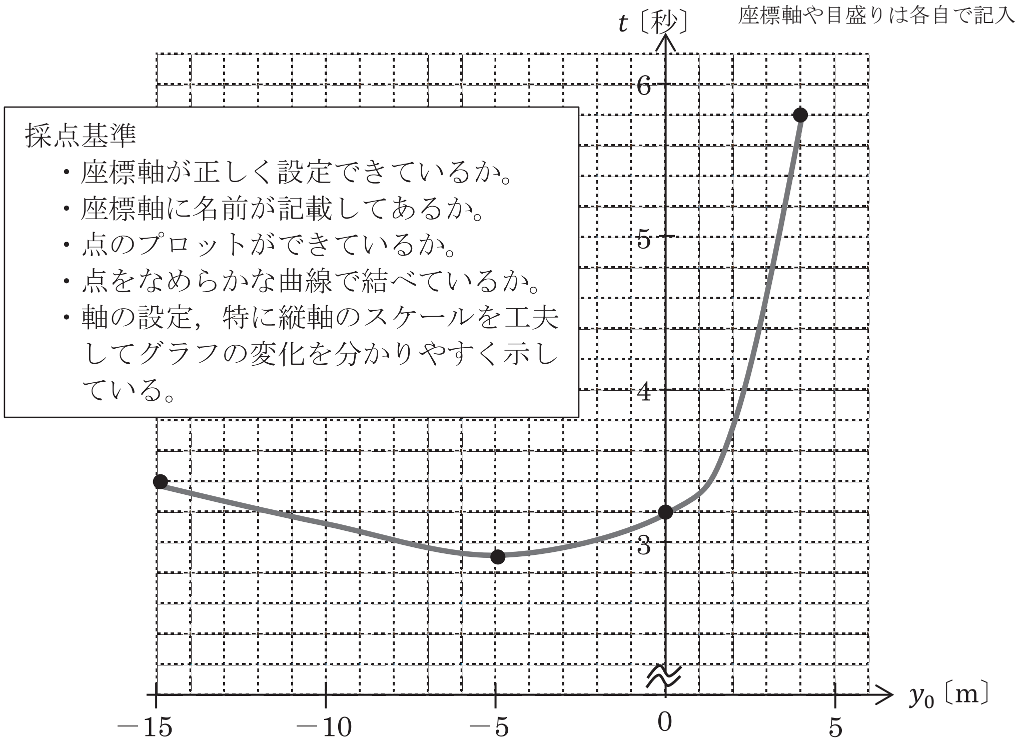
参加番号

高校部門　物理

1　4－（2）

y_0〔m〕	4	0	−5	−15
t〔秒〕	5.8	3.2	2.9	3.4

1　4－（3）

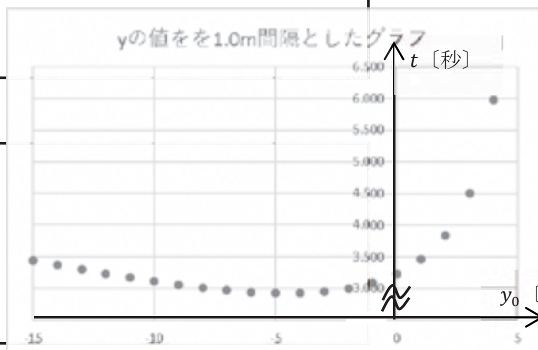


採点基準
- 座標軸が正しく設定できているか。
- 座標軸に名前が記載してあるか。
- 点のプロットができているか。
- 点をなめらかな曲線で結べているか。
- 軸の設定，特に縦軸のスケールを工夫してグラフの変化を分かりやすく示している。

1　4－（4）

（ｉ）

y_0が 5m より減少するに従い，時間が短くなり再び長くなるように変化している。



（ⅱ）

最も短い時間はy_0 = −5m 付近であると推測できる。

（グラフと内容が一致する。）

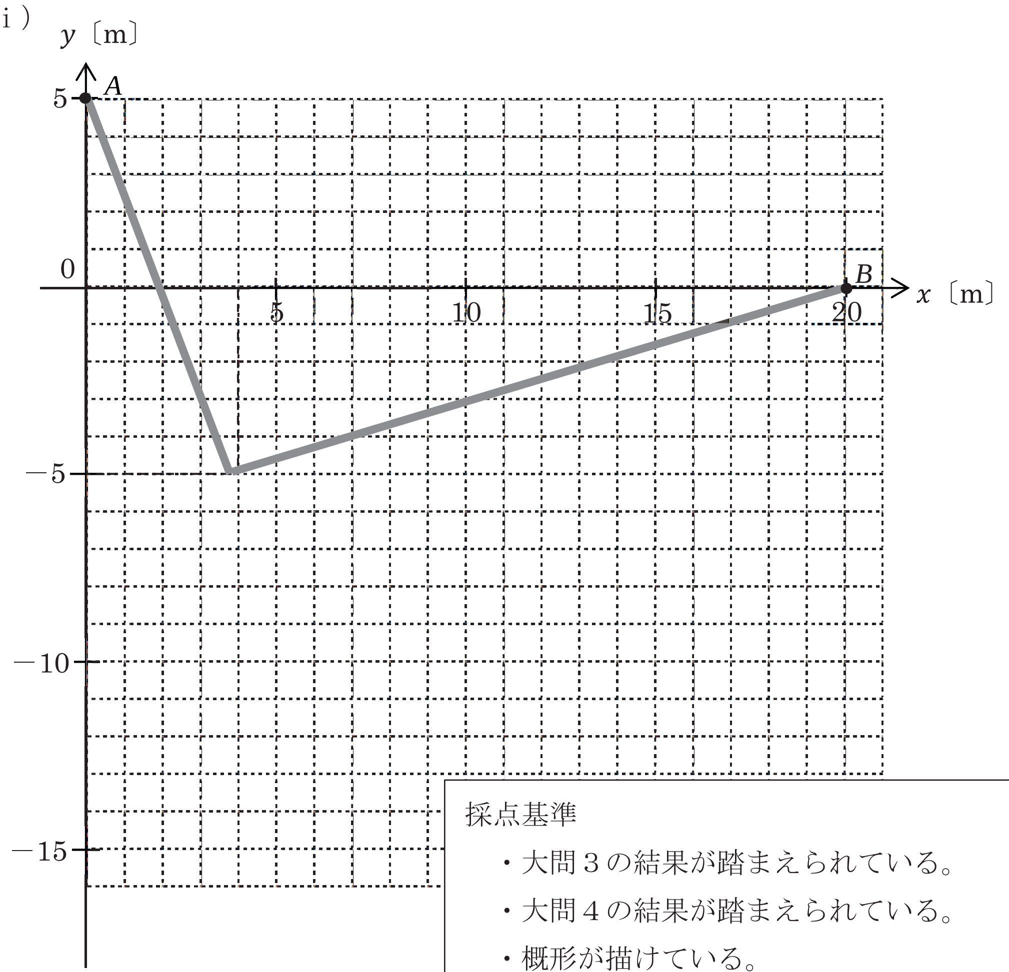
※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

1　5

（i）



採点基準

・大問３の結果が踏まえられている。

・大問４の結果が踏まえられている。

・概形が描けている。

・曲線でもよい

（ii）

大問３より$x_0 =$ 4.0　付近が最も早く到達できると考えられる。

大問４より$y_0 =$ −5.0 付近が最も早く到達できると考えられる。

以上より，それぞれの条件を満たす座標を折れ曲がる点とすると最短時間のルートとなると考えられる。

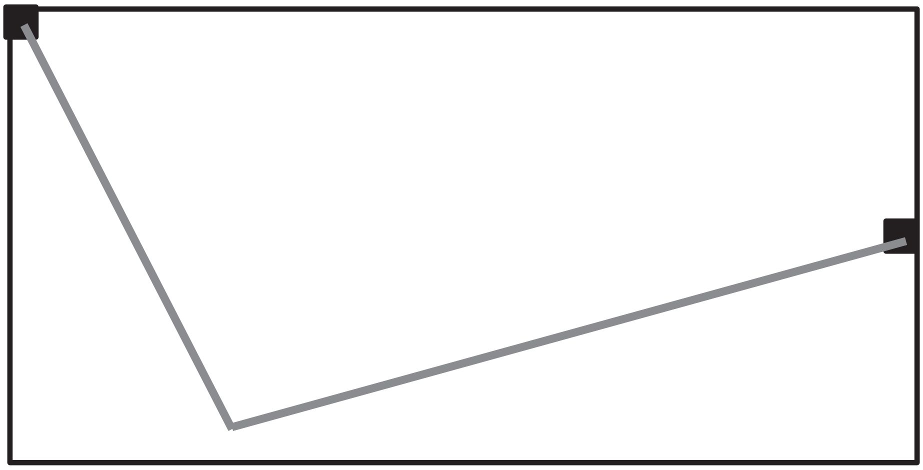
※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

$\boxed{2}$　レポート１（１）－A

（ｉ）



（ⅱ）

実験ペアそれぞれの意見を記入する。

ここに記載する内容は筆記問題を終えた際に$\boxed{1}$５で考えられるルートである。

例

・筆記問題で，ゴール地点よりいったん低い地点を通るルートが早くゴールに到達できるとあったので，事前に一気にルートを下げて，小球を加速できるようにした。

など

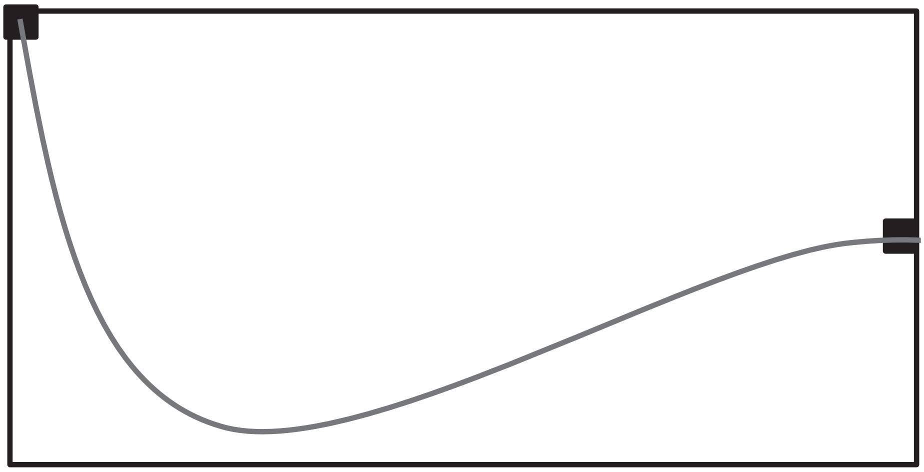
※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

2　レポート１（１）－B

（ｉ）



（ⅱ）

実験ペアそれぞれの意見を記入する。

ここに記載する内容は筆記問題を終えた際に$\boxed{1}$５で考えられるルートを曲線化したものである。

例

・筆記試験の結果を反映させ，始めに下る坂を急にした。

・坂は一度ゴールより低い位置を通過させ，小球の速さを大きく上げる。

・ホースを曲げることで，小球がバウンドして遅くなることを防ぐ。

など

※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

2　レポート１（２）

実験ペアで話し合った内容を記載する。

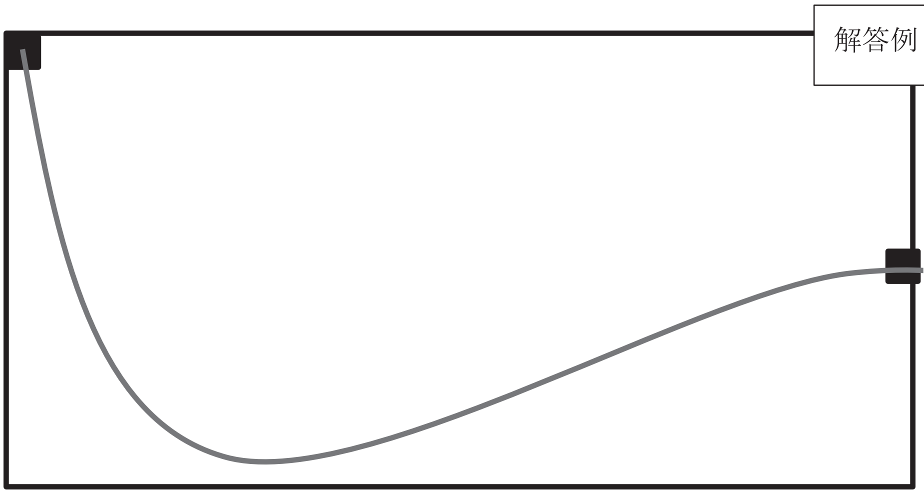
採点基準
・実験ペアで話し合いがなされ，その内容がまとめてある。

例
・筆記試験の答え合わせをして，ゴールより下まで小球が下るとよいことを確認した。
・お互いの作図を見せ合い，確認したところ，直線で直接結ぶと曲がり角でバウンドして減速しないのではないかと考えた。

など

2　レポート１（３）

解答例



※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

2　レポート２（１）

実際に試行錯誤した結果を踏まえて，変更点や追加された条件を記載する。

・試行錯誤の内容の理由が述べられている。
・複数の条件で実験をして，比較がなされている。

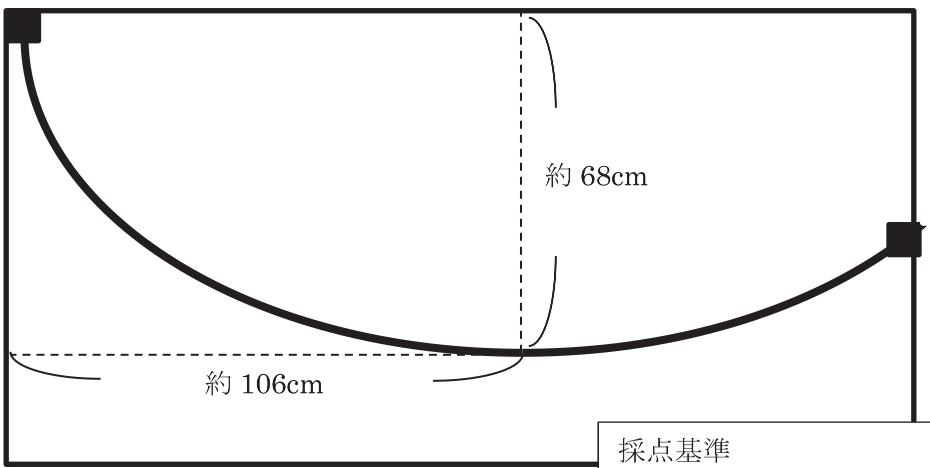
以上を踏まえた変更点が記載されている。

例

・曲がり角での減速が大きいため，ホースの中で鉄球がバウンドして衝突していることが原因と考えた。いろいろな角度と最下点の高さで試すと，減速が起こらないためにホースの曲げ方を緩やかにしたときが一番減速が少なく，加速もしやすそうであったため，曲がり角を緩やかにした。

2　レポート２（２）

（例）理論上最短になるルート（サイクロイド曲線）



採点基準

・ホースのルートが明記されている。
・長さが記載されており，実際の寸法と一致する。
・実際に作成したものの写真と比較して正しくかけている。

※ここには何も書かないでください。

参加番号

高校部門　物理

2　レポート３（１）

競技結果

秒

各実験部屋で実験（競技）を行い，すべての部屋のタイム順によって点数をつける。

よかった点や改善点

・よかった点や改善点について記載されている。
・改善点の根拠を提示できている。
・具体的によかった点を説明できている。

例
・ゴールの高さよりホースを下げている班が見られたため，ちょうどPP プレートの真ん中でプレートの下の端っこを通るようにすればよかった。
・前半部分の坂を急にしていたが，最下点を後半部分に持ってくる班が多く，加速し続けることができるため，そのようにすればよかった。

など

2　レポート３（２）

筆記問題との比較がなされているか。

筆記問題との比較についての記述がある。
・縦方向と横方向の変化を同時に行っている点について述べている。
・直線での思考と曲線での実験についての違いについて述べている。
・実験時に生じる摩擦や空気抵抗，鉄球のバウンド等に言及がある。

例
・筆記問題では直線で考えたが，実験問題では緩やかな変化・曲線的な変化が可能で，等加速度直線運動とは異なるから違いが生じる。
・摩擦や鉄球のバウンドを考慮する必要があるため違いが生じる。

など

※ここには何も書かないでください。

解説

$\boxed{2}$　実験問題

鉛直面内にスタートとゴールを定めてその間をなめらかなレールで結び，初速をつけずに小球をすべり落とす。小球がゴールするまでの時間はレールの経路によって変わってくるが，最短の時間でたどり着くような経路を「最速降下曲線」と呼ぶ。以下ではこの最速降下曲線を求める。なお，数学の知識として，次の（１）～（３）を前提に解説を行う。

（１）微分と積分

関数 $y=f(x)$ において，微分 $f'(x)$ は，**図 1** のように関数 $f(x)$ の各点における傾きである。そのため， x から微小量 dx だけ離れた点での値 $f(x+dx)$ は，直線で近似して次式のように書ける。

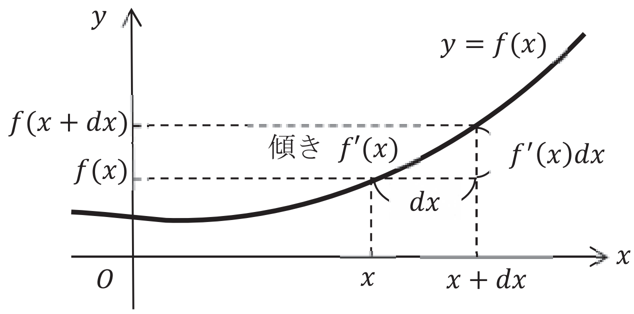


図 1

$$f(x+dx)=f(x)+f'(x)dx \tag{1}$$

もし x でこの関数が極値を取るなら $f'(x)=0$ だから，次式のように変形できる。

$$0=f(x+dx)-f(x) \tag{2}$$

なお，この後，関数の変数が明らかなときは，$f(x)$ を f と書くなど変数を省略して書くことがある。

（２）２変数関数の偏微分と全微分

２変数関数は， $z=f(x,y)$ のように書ける。この関数は，平面上の点 (x,y) に対して高さ z を与えるから，**図 2** のように曲面と対応することができる。ここで，平面上を点 (x,y) から点 $(x+dx,y+dy)$ に変位したとき，関数の変化量 df は次式のように書ける。

$$df=f(x+dx,y+dy)-f(x,y)$$

右辺の１項目に式(1)を繰り返し使えば，以下のように変形できる。ただし，dx と dy は微小量とし，その２次の項は１次の項よりずっと小さいので無視する。

$$df=\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}dx+\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}dy \tag{3}$$

ここで $\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$ と $\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$ は偏微分と呼ばれ，それぞれ y，x を定数として x，y で関数 $f(x,y)$ を微分したものである。

なお，式(3)は**図 2** から理解することもできる。まず，y を一つ定めたとき，曲面 $z=f(x,y)$ は xz 平面上の曲線になる。この曲線の xz 平面内での傾きは，$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$ である。

したがって，x方向に dx だけ動いたときの関数の変化量は，**図 2** の①のように$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}dx$となる。

同様に，y 方向に dy だけ動いた時の関数の変化量は，**図 2** の②のように $\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}dy$ となる。

したがって，x 方向に dx，y 方向に dy だけ同時に変位したときの関数の変化量 df は，①と②を足したもので近似できる。これは式(3)と同じになる。

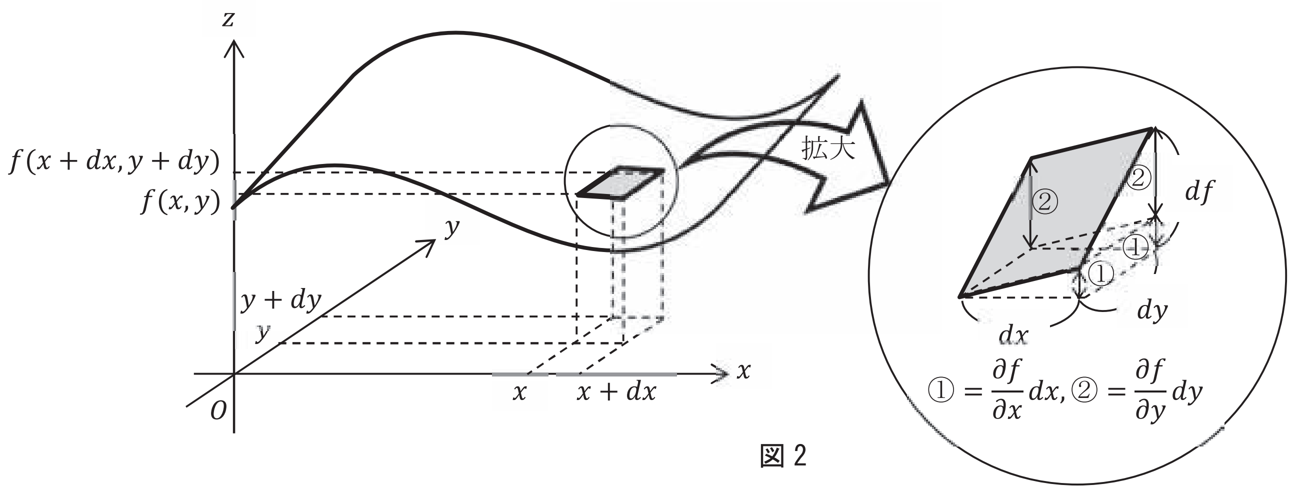


図 2

（３）汎関数の微分と普通の関数の微分との類似

汎関数とは，変数が関数であるような関数のことである。つまり，関数 $f(x)$ を入力すると実数値を出力するようなものである。例えば，$y=f(x)$ でレールの形を指定したとき，スタートからゴールまでにかかる時間 T を出力するものなどが汎関数にあたる。こうした汎関数の微分は、普通の関数の微分と似た感じで扱える。

以上の（１）～（３）を前提として，最速降下曲線について解説する。

図 3 のように，小球（質点として扱う）が落下を始める位置を　原点 O とし,鉛直下向きを y ，水平方向を x とする。なお，x 方向は xy 平面に終点 A が 含まれるように設定する。

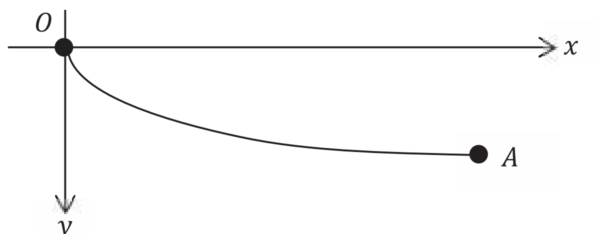


図 3

経路上で高さが y だけ下がったとき，小球の質量を m，速さを v，重力加速度の大きさを g とすると，力学的エネルギー保存の法則　$0=\frac{1}{2}mv^2-mgy$　より次式が成り立つ。

$$v=\sqrt{2gy} \tag{4}$$

ここで微小時間 dt での x 方向の変位を dx，y 方向の変位を dy とすると，移動距離 ds は三平方の定理より次式のように表される。

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$$

$$= \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}\, dx = \sqrt{1 + y'^2}\, dx \tag{5}$$

また，速さが $v = ds/dt$ で求められることと式(4)および式(5)からは次式が得られる。

$$dt = \frac{1}{v} ds = \sqrt{\frac{1 + y'^2}{2gy}}\, dx$$

この両辺を原点 O から点 A まで積分すると，経路上をすべり落ちるのにかかる時間 T は次式のようになる。

$$T = \int_O^A dt = \int_O^A \sqrt{\frac{1 + y'^2}{2gy}}\, dx$$

最速降下曲線は，この汎関数 T が最小（極小）になるような関数 $y = y(x)$ である。

普通の関数の微分と同様，汎関数でも極値では式(2)が成り立つから，この汎関数の変数である $y(x)$ を微小な関数 $\delta(x)$ だけ変化させると次式を得る。

$$0 = \int_O^A F(y + \delta, y' + \delta')dx - \int_O^A F(y, y')dx$$

なお，$F(y, y') = \sqrt{\frac{1+y'^2}{2gy}}$ とした。ここで，式(1)を繰り返し使うと，次式のように変形できる。

$$0 = \int_O^A \left(\frac{\partial F}{\partial y}\delta + \frac{\partial F}{\partial y'}\delta'\right) dx \tag{6}$$

また，右辺の２項目は部分積分すると，

$$\frac{\partial F}{\partial y'}\delta' = \left[\frac{\partial F}{\partial y}\delta\right]_0^A - \frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}\right)\delta = -\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}\right)\delta$$

となる。ここでは $y(x)$ を変化させるとき，スタートとゴールである点 O と点 A は動かせないので積分の両端において $\delta(x) = 0$ であることを使った。よって，式(6) を整理すると，次式を得る。

$$0 = \int_O^A \left\{\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}\right)\right\} \delta dx \tag{7}$$

さて，任意の関数 $\delta(x)$ に対して式が成り立つためには，式(7)の｛ ｝内が 0 でなくてはならない。すなわち，

$$\frac{\partial F}{\partial y}=\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}\right) \tag{8}$$

となる。一方で，式(3)において変数 (x,y) を関数 (y,y') とすると，

$$dF=\frac{\partial F}{\partial y}dy+\frac{\partial F}{\partial y'}dy'$$

となる。この両辺を dx で割ると次式が成り立つ。

$$\frac{dF}{dx}=\frac{\partial F}{\partial y}y'+\frac{\partial F}{\partial y'}y''$$

ここに式(8)を代入すれば， $\frac{dF}{dx}=\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}\right)y'+\frac{\partial F}{\partial y'}y''=\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial F}{\partial y'}y'\right)$ となり，

$$0=\frac{d}{dx}\left(F-\frac{\partial F}{\partial y'}y'\right)$$

となる。したがって，$F-\frac{\partial F}{\partial y'}y'$ は定数である。ここで $F=\sqrt{\frac{1+y'^2}{2gy}}$ だったから，

$$\text{定数}=F-\frac{\partial F}{\partial y'}y'=\frac{1}{\sqrt{2gy(1+y'^2)}}$$

であり，$y(1+y'^2)$ は定数である。この定数を$2a$（$a\geq 0$）とおくと，

$$y'=\pm\sqrt{\frac{2a-y}{y}} \tag{9}$$

となる。

ここで， $y=a(1-\cos\theta)$ とパラメータ θ を用いて表すことにする。こうすると，$\theta=0$ のときは出発点 $y=0$ であり，どのような θ に対しても根号内の y や $2a-y$ が負になることはない。この y を θ で微分すると，次式を得る。

$$\frac{dy}{d\theta}=a\sin\theta=2a\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}$$

また，y を式(9)に代入すると，

$$y'=\pm\sqrt{\frac{1+\cos\theta}{1-\cos\theta}}=\frac{\cos\frac{\theta}{2}}{\sin\frac{\theta}{2}}$$

となる。この２式を辺々で割ると，次式のようになる。

$$\frac{dx}{d\theta} = 2a\sin^2\frac{\theta}{2} = a(1-\cos\theta)$$

ここで両辺を θ で積分すれば，

$$x = a(\theta - \sin\theta) + d$$

となる。d は積分定数である。なお，$\theta = 0$ は出発点であるから，$\theta = 0$ では $x = 0$ でなくてはならない。よって $d = 0$ であることが分かる。

以上をまとめると，最速降下曲線は次式で与えられる。

$x = a(\theta - \sin\theta)$，$y = a(1-\cos\theta)$

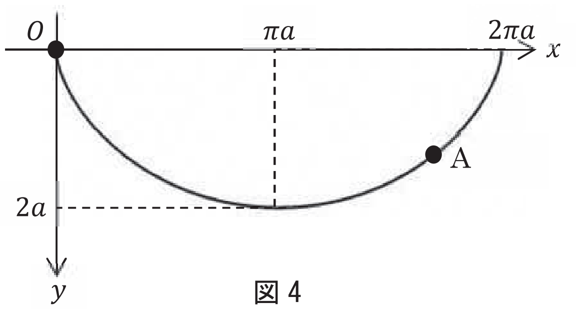


図 4

$0 \leq \theta \leq 2\pi$ の範囲で求めてみると，図 4 のようなグラフになる。なお，今回の実験課題では，A 点の x 座標は y 座標の約4倍であったから，グラフのように点 A より下を通る経路が最速となることが分かる。

ちなみにこのグラフを上下反転すると，図 5 のようなサイクロイドになる。サイクロイドとは，円を直線上で滑らせずに転がしたとき，円上の一点が描く曲線のことである。

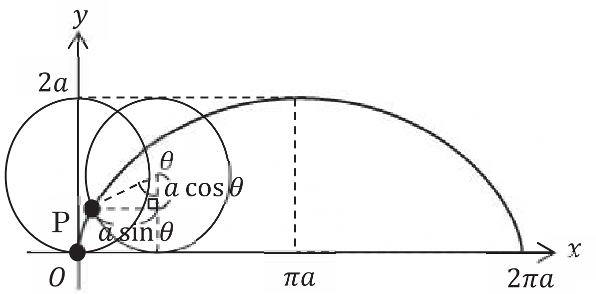


図 5

例えば，半径 a の円上の点 P が右図のように原点 O にいたとする。この円が x 軸に沿って角度 θ だけ転がったとき，円の中心座標は円弧の長さだけ x 方向に進み，$(a\theta, a)$ となる。そして点 P は円の中心から x 方向に $a\sin\theta$，y 方向に $a\cos\theta$ だけ戻るから，その座標は，$x = a(\theta - \sin\theta)$，$y = a(1-\cos\theta)$ となる。これは上下が反転した最速降下曲線と同じである。

より詳しく知りたい人は，最速降下曲線やサイクロイドで検索してみるとよい。

2022とやま科学オリンピック　筆記問題　解答と解説

1

問1

① メスシリンダー	② 電子天秤	③ 少量	④ 水素
⑤ 塩素	⑥ 酸素	⑦ 浸透圧	

問2

（ア） 111	（イ） 2	（ウ） 100.018

（ア）1000g の水に x　g の NaCl を溶かして 10 % NaCl 水溶液に調製したとする。

$$\frac{x}{1000+x} = 0.100 \qquad 0.900x = 100 \qquad x \fallingdotseq 111$$

（イ）$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$　水溶液中で 1mol の NaCl から 2 mol のイオンが生じる

（ウ）0.034×0.52＝0.018　℃　　100 + 0.01768≒100.018

問3

(1)実験 a

①　200 mL ビーカーに2種類の濃度の NaCl 水溶液を 100 g ずつ電子天秤で量って入れる。各溶液について，NaCl が，あとどれだけ溶解できるか計算する。

10% NaCl 水溶液 は溶液 100 g 中に水が 90 g ， NaCl 10 g が含まれているので

$$36\times\frac{90}{100} - 10 = 22.4$$ g　溶解可能

0.1% NaCl 水溶液 は溶液 100 g 中に水が 99.9 g ， NaCl 0.1 g が含まれているので

$$36\times\frac{99.9}{100} - 0.1 \fallingdotseq 35.6$$ g　溶解可能

②　よって，200 mL ビーカーにビーカーに 100 g ずつ電子天秤で量りとったそれぞれの食塩水に，22.4～35.6　g の間で決めた量の NaCl を溶解させ，全て溶解すれば 0.1% NaCl 水溶液，しばらく撹拌した後も NaCl が溶けずに残る溶液（NaCl 飽和溶液）が 10% NaCl 水溶液である。

加える NaCl の量は　28（22.4～35.6　g の間）　g

(2)実験ｂ

① ２つの 200 mL ビーカーの質量をそれぞれ量る。それぞれのビーカーに，２種類の濃度の NaCl 水溶液を 10　g ずつ電子天秤で量って入れる。

② ①100 ℃前後に設定したホットプレートに，①のそれぞれのビーカーを載せて加熱する。

③ NaCl が乾固したビーカーを室温まで放冷して，電子天秤で質量を量る。

④ 再度③のビーカーをホットプレートに載せ，加熱する。

⑤ ④のビーカーを室温まで放冷して，電子天秤で質量を量る。

⑥ 加熱，放冷，秤量の操作を繰り返し行い，一定の質量になった時点で，ビーカーの質量を差し引き，析出した NaCl の質量を算出する。

理論上は 10% NaCl 水溶液からは 1 g ，0.1% NaCl 水溶液からは 0.01 g の NaCl が析出する。

ホットプレート上に２つの NaCl 溶液を同量（同体積または同質量）とって加熱し，先に結晶析出が確認された方が 10%であるとする。も可

(参考データ)

２５ ℃における食塩水の濃度と密度などの関係

出典　http://www.edu.utsunomiya-u.ac.jp/chem/v7n1/ashida2/TabC02.htm

質量百分率濃度(%)	0	0.001	0.01	0.1	1
溶液密度(g／mL)	1	1.000004	1.000041	1.000409	1.00409
モル濃度(mol／L)	0	0.000171	0.001711	0.017118	0.171807
溶液体積／水量	1	1.000006	1.000059	1.000592	1.00599

質量百分率濃度(%)	2	4	6	8	10
溶液密度(g／mL)	1.01112	1.0253	1.03963	1.05412	1.06879
モル濃度(mol／L)	0.346019	0.701744	1.06733	1.44294	1.82877
溶液体積／水量	1.00919	1.01596	1.02328	1.03115	1.0396

質量百分率濃度(%)	12	14	16	18	20
溶液密度(g／mL)	1.08365	1.09872	1.11401	1.12954	1.14533
モル濃度(mol／L)	2.22504	2.63198	3.04984	3.4789	3.91948
溶液体積／水量	1.04864	1.05831	1.06864	1.07965	1.09139

質量百分率濃度(%)	22	24	26	26.4
溶液密度(g／mL)	1.1614	1.17776	1.19443	1.19776
モル濃度(mol／L)	4.37192	4.83655	5.31376	5.41055
溶液体積／水量	1.10388	1.1172	1.13138	1.13436

$\boxed{2}$

問１

(1)

前日に火山活動があり，発生したガス（の主成分である SO_2 など）が河川により多く混合していたため。

(2)

・飲料水や農業用水に用いることができない

・鉄やコンクリートなどを変質させてしまう　　　　　など

問２

(1)

$H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$

$2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

(2)

$H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$ …①

$2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$ …②

①，②の式より，$CaCO_3 : CO_2 = 1 : 1$ で反応が進むとわかる

$CaCO_3$ の物質量は，$CaCO_3=100$ より

$10000\times10^3/100 = 100000$ mol

生成する CO_2 の質量(kg)は，$CO_2=44$ より

$100000\times44/1000 = 4.4\times10^3$ kg

問３

(1)

年間で 14 kg を固定するので，

1 年間を 365 日であるとすると

$14/365 = 0.03835\cdots \fallingdotseq 3.8\times10^{-2}$ kg

(2)

この事業から発生する二酸化炭素の年間排出量を求めたあとに，樹木Ａの年間固定量で割ることで求められるので

$4400\times365\div14 = 114714.28\cdots \fallingdotseq 1.1\times10^5$ 本

問４

・冷暖房の設定温度を暖房はいまより低く、冷房は高く設定することで、無駄な電力を使わないようにする。火力発電で発生する二酸化炭素の削減につながる。

・家族の車に乗るのを控え、近くの移動は自転車や徒歩にすることで、無駄な燃料の削減につながり、二酸化炭素の排出削減となる。
・止まっているときは車のアイドリングストップをしてもらう。無駄な燃料の削減、CO2 排出の削減になる。
・使わない家電製品のコンセントを抜く。もしくは待機電力の少ない家電に買い換えることで、無駄な電力の削減、火力発電で発生する二酸化炭素の削減につながる。
・家の電気の一部を太陽光発電に変えてもらう。初期投資は大きいが、電力の削減につながる。
・風呂で体を洗うとき、お湯を出しっぱなしにしないようにする。無駄な水の使用を控える。お湯を作る電力、水のくみ上げ電力の削減につながる。
・お風呂の残り湯を洗濯に使い、無駄な水の使用を控える。
・電気ポットやジャーの無駄な保温を止める。
・できるだけ家族がまとまって過ごし、使わない部屋の電気を消す。
・買い物袋を持ち歩いて、ビニール袋を使わない。割り箸や、スプーン、ストローなどは自前のものを使うようにすることで、石油製品の使用を減らし、CO2 削減につながる。
・テレビを見る時間を決め、だらだらつけっぱなしにしないようにする。

など、電力の使用、水、石油、燃料の使用を控えることにつながる回答であること。

解答・解説

1

問1

①　結果 　陽極につないだ鉄くぎの先端からろ紙の色が青色に変化し、ろ紙に青い線が現れる。
②　手順と結果 　食塩水のみをろ紙にしみこませた状態で、陽極のクリップに鉄くぎ、陰極のクリップにはろ紙とアルミニウムをはさんで、鉄くぎの先をろ紙上でゆっくり移動させる。(鉄くぎの先端が移動した後のろ紙には薄い黄緑色の線が残る。) 　そこにヘキサシアノ鉄（Ⅲ）酸カリウム水溶液をたらすと、ろ紙上に引いた線が濃青色になる。このことから、鉄くぎが電気分解で溶けて Fe^{2+} イオンが発生したといえる。

問2

①　手順 ［1］　ろ紙に食塩水とフェノールフタレイン溶液をしみこませて、陰極に鉛筆の芯を用いてろ紙上を移動させる。 ［2］　ろ紙にデンプン水溶液とヨウ化カリウム水溶液をしみこませて、陽極に鉛筆の芯を用いてろ紙上を移動させる。 ［3］　ろ紙にヨウ化カリウム水溶液とフェノールフタレイン溶液をしみこませて、陰極に鉛筆の芯を用いてろ紙上を移動させる。 ［4］　ろ紙に食塩水とヨウ化カリウム水溶液をしみこませて、陽極に鉛筆の芯を用いてろ紙上を移動させる。
②　結果 ［1］　炭素棒を移動させたところがピンク色に変化する。 ［2］　炭素棒を移動させたところが青紫色に変化する。 ［3］　炭素棒を移動させたところがピンク色に変化する。 ［4］　炭素棒を移動させたところが茶色(褐色)に変化する。
③　理由 ［1］　陰極では水の電気分解により還元反応によって水素が発生し、電極の周辺では水酸化物イオンが生成し水溶液が塩基性に傾きフェノールフタレイン溶液がピンク色になるから。 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ［2］　陽極ではヨウ化物イオンが酸化反応によってヨウ素が発生し、ヨウ素デンプン反応により青紫色になるから。 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$ ［3］　陰極では水の電気分解により還元反応によって水素が発生し、電極の周辺では水酸化物イオンが生成し水溶液が塩基性に傾きフェノールフタレイン溶液がピンク色になるから。 $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ［4］　陽極ではヨウ化物イオンが酸化反応によってヨウ素となり、褐色になる。 $2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$

2

問１

（例）
ホールピペットの中が乾燥しているか確認し，ぬれている場合は共洗いした後，硫酸銅(II)水溶液を 10mL ホールピペットで分取して，100mL メスフラスコに入れる。その際に標線とメニスカスの底部が重なるように測り取る。
メスフラスコに洗びんを用いて蒸留水を標線付近まで入れ，メニスカスの底部が，標線と重なるように小スポイトを用いて調製する。
など

問２

青（紫）色

問３

外れ値を除くことができる。
1 回だけではその値が正確か判断しきれない。など

問４

- ビュレットの先端まで溶液が入っているか確認する。
- ビュレットに溶液を入れる際にはビーカーに一度移し，ろうとが縁につかないように持って注ぐ。
- 滴定操作中はろうとは外す
- 滴定操作は立って行う

など

問５

データ

	はじめの目盛	終点の目盛	その差
1 回	0	6.05	6.05
2 回	6.05	12.15	6.10
3 回	12.15	18.00	5.85

結果・計算過程

実験結果より比較的数値が近いため，外れ値のないものとする。
平均値が 6.00mL の滴定値となる。

$2Cu^{2+} + 4I^{-} \rightarrow 2CuI + I_2$

$2S_2O_3^{2-} + I_2 \rightarrow 2I^{-} + S_4O_6^{2-}$

この 2 つの反応式の係数比より、Cu^{2+}と $S_2O_3^{2-}$は 1：1 の関係といえるので、
ヨウ素と反応したチオ硫酸ナトリウムと，ヨウ素を生成する際に反応した硫酸銅の物質量が一致するといえる。
したがって，8.00×10^{-2}mol/L－チオ硫酸ナトリウム 6.00mL に含まれる物質量は

8.00×10^{-2}〔mol/L〕$\times\frac{6.00}{1000}$＝4.80×10^{-4}〔mol〕

硫酸銅(II)は 10mL 中に同様の物質量を含んでいると考えられるため
4.80×10^{-4}〔mol〕$\times\frac{1000}{10}$〔/L〕＝4.80×10^{-2}〔mol/L〕

最初に 1/10 に薄めているので，10 倍して
$4.80\times10^{-2}\times10$＝$4.80\times10^{-1}$〔mol/L〕　または　0.48〔mol/L〕

生物　筆記・実験　解答・解説

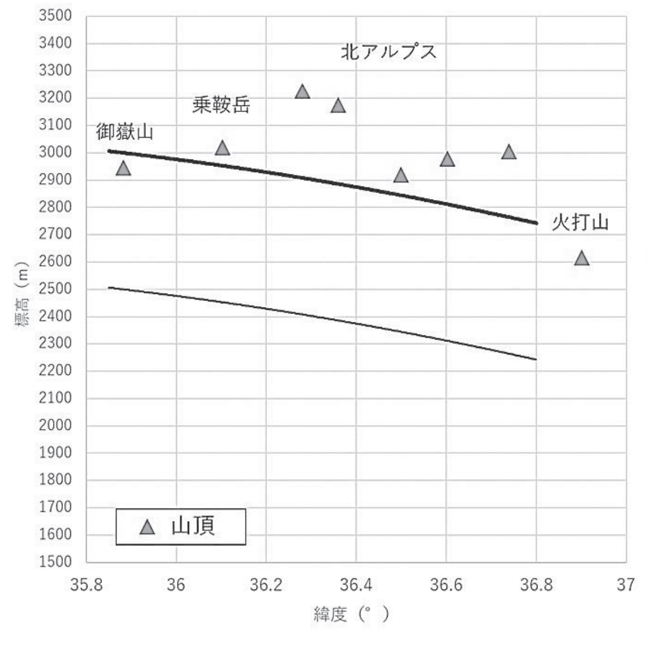
$\boxed{1}$

<table>
<tr><td rowspan="3">(1)</td><td>①</td><td>時期：5 月下旬～6 月上旬

根拠
表 1 より，
$$\frac{15.8-19.1\ (℃)}{2420-1930\ (m)}\times 100\ (m)=-0.63\ldots\ldots(℃)$$
よって，標高が 100m高くなると，気温は約 0.6℃低くなる。
7 月上旬のブナ坂（標高 1,000m）の気温は，標高 1,930m の弥陀ヶ原の気温と比べて，次の計算により約 5.9℃高くなると考えられる。
$$\frac{1930-1000\ (m)}{100\ (m)}\times 0.63=5.859\ (℃)$$
よって，7 月上旬のブナ坂の気温は約 24.8℃となる。
表 2 より，石川県金沢市では 5 月下旬～6 月上旬にこの気温となることが考えられるので，湯涌に生息するヤマトアザミテントウの活動開始時期は，5 月下旬～6 月上旬であると予想される。</td></tr>
<tr><td>②</td><td>1185 個体

〔解　説〕
N：320＝200：54　を計算して，1185.2　四捨五入し　1185 個体</td></tr>
<tr><td>③</td><td>捕まえやすくなった場合・・・・・・・総個体数は実際よりも少なくなる
捕まえにくくなった場合・・・・・・・総個体数は実際よりも多くなる

〔解　説〕
N：全体の個体数，M：１回目の捕獲個体数，ｎ：２回目の捕獲個体数，
R：標識再捕獲個体数は以下の関係式で表される。
N　：　M　＝　n　：　R
これを変形すると，
$$N=\frac{nM}{R}$$
となる。標識個体が捕まえやすくなった場合は，Ｒの値が大きくなるので，総個体数（N）の値は小さくなる。標識個体数が捕まえにくくなった場合，Ｒの値が小さくなるので，総個体数（N）の値は大きくなる。
このため，捕まえやすさに差が出ないように標識する必要がある。</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="5">(2)</td><td rowspan="2">①</td><td>A　ハクサンシャクナゲ</td><td>B　ハイマツ</td></tr>
<tr><td>C　クロウスゴ
E　コケモモ</td><td>D　シラタマノキ</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">〔解　説〕
(a)は雷鳥南尾根，(b)はみくり谷，(c)は室堂山，(d)は乗越の記述。(b)の調査地にはハイマツが見られないが，ハイマツは調査地に広く分布していることが，予想されるため，種Bがハイマツ。(b)より，クロウスゴとシラタマノキは種C，種Dのいずれかとなる。表3より種Cは低木層に出現し，種Dは草本層に出現している。『花のアルペンルート立山』よりクロウスゴの樹高は1m，シラタマノキの樹高は15cmとわかるので，種Cがクロウスゴ，種Dがシラタマノキである。(a)よりハクサンシャクナゲは低木層に出現していることが分かる。表3より低木層に出現している種Aがハクサンシャクナゲとなり，種Eがコケモモとなる。</td></tr>
<tr><td>②</td><td colspan="2">北アルプスと白山の間には，標高は低いが１，５００m以上の山がいくつかあります。(北ノ俣岳と白山の間には，計１３個；もっとも離れている間は約２２ｋｍ)）それらの山々を経由して移動を続け，最終的に白山にたどりついたと考えられる。</td></tr>
<tr><td>③</td><td colspan="2">

〔解　説〕
標高が100m高くなると，気温は約0.6℃低くなることから，3℃気温が高くなると，下限線の標高が500m高くなると考えられる。またかりに3℃気温が高くなると，御嶽山，乗鞍岳，火打山のライチョウが絶滅する可能性が高くなる。</td></tr>
</table>

2

⑴	カタクリは夏緑樹林の林床に生育することから，冬から春先にかけて，日当たりがよく，夏は樹木の日陰となり温度変化が少ない環境が生育に適している。また，種子を運ばせるアリの行動範囲は限られるため，その範囲内の環境が適している。 ＊別　解 カタクリは光合成をしない期間は地中で休眠している。休眠中も乾燥しない土壌が適しており，落葉性の夏緑樹林は落葉により腐葉土があり，乾燥しないため，カタクリの生育に適する環境である。
⑵	奇想天外は砂漠に生息し，その上空を他の植物が覆うことがない。茎を上にのばして他の植物と光をめぐる競争をしなくてよいから。 〔解　説〕 茎をもつ植物は，茎をもたない植物よりも上に葉を広げることができるため，葉を高い位置に保持して他の植物よりも有利な立場に立つことができる。奇想天外のように上部を覆うものがない場合は，茎をのばす必要がないと考えることができる。
⑶	落葉樹が芽吹くころには，葉を枯らして次の春まで地中で冬を越すための栄養分となるデンプンを鱗茎に蓄える必要があるから。 〔解　説〕 光合成ができる期間がごく短いため，花を咲かせるだけの栄養分を鱗茎に蓄えることは容易ではない。そのため，カタクリは種子が芽を出してから花を咲かせるだけの十分な栄養分を蓄えるために８，９年もの歳月を必要とするとされている。

⑴，⑶　共通解説

＜カタクリ＞

カタクリは夏緑樹林の葉が少ない早春に１年分の光合成を行い，それ以降は地中で休眠をしている。早春のごく短い期間に花を咲かせ，春の終わりとともにその姿を消すことから，「スプリング・エフェメラル」（はかない命）とも呼ばれる。

＜夏緑樹林＞

夏の生育期に葉をつけて光合成を行う。秋は紅葉し，冬は厳しい寒さのため落葉する。

<table>
<tr><td rowspan="3">(4)</td><td>①</td><td>タブノキ
タブノキのような常緑広葉樹は，冬の寒さや乾燥に耐えなくてはならない。そのため，葉を厚くして生育に必要な物質を貯めたり，凍りにくくしたりする必要があるから。

〔解　説〕
落葉樹は，太陽の光が弱く，日照時間も少ない冬の間は，光合成を行わない。その代わり毎年葉をつくり，秋には落葉させてしまうが，葉を薄くすることでロスを少なくしている。</td></tr>
<tr><td>②</td><td>タブノキ
タブノキの葉の方が厚いため，100ｃｍ^{2}あたりの重さも重くなる。

〔解　説〕
落葉樹は常緑樹とは違い，毎年葉を新しくつくりかえるかわりに光合成を行う期間が短い。そのため，薄く，面積の広い葉をつくることで，短い期間で効率よく光合成を行うことができる。</td></tr>
<tr><td>③</td><td>①，②より，常緑樹は冬でも光合成を行うことができる葉を持っており，２年以上使う常緑性のしっかりしたつくりの葉にして環境に適応している。一方落葉樹が生育する地域は冬に光合成には不適当な環境となるため，葉を落として冬を越し，翌春新しい葉を展開するほうが１年間葉をつけているよりも有利になるように，落葉樹は葉を薄くして適応している。

〔解　説〕
夏緑樹の生育する環境は，秋から冬にかけて，日照時間が短く，気温が低く，水を吸い上げる力が衰えるなどの光合成に向かない条件である場合が多い。そのため，光合成に不向きな時期は葉を落とし，寿命の短い，薄い葉をつけることになる。一方照葉樹の生育する環境は，冬でも光合成をやめるほどの条件ではないため，照葉樹は，越冬して葉をつけるため，寿命の長い，厚い葉をつけることになる。</td></tr>
<tr><td colspan="2">(5)</td><td>常緑広葉樹は比較的温暖な地域に分布するため，冬でも呼吸による有機物の消費より，光合成による有機物の生産の方が上回るため，1 年を通して葉がついている。落葉広葉樹が分布する地域では，冬の温度が低下するだけでなく，光合成ができる時間や光量が減り，呼吸による有機物の消費より光合成による生産が下回ってしまうため，落葉広葉樹は冬に落葉させて，春に葉を新しくつけかえる生活形が有利になる。</td></tr>
</table>

⑹	柵状組織を通り抜けてきた光を乱反射させて葉の内側にとどめ，光を効率よく光合成に利用することができる。 〔解　説〕 円柱状の細胞は光ファイバーと同じ原理で説明することができる。柵状組織に光が入ると，光は円柱状の細胞に沿って奥へ誘導される。もし葉の裏側まで柵状組織が続いていたら，光はそのまま葉の裏側へと通り抜けてしまう。そこで，海綿状組織が光を屈折・乱反射させて，光路を稼ぐことで，できるだけ光を葉の中にとどめ，葉緑体が光を吸収する確率を高める。

3

(1)	31.20 mm 〔解　説〕 **図３**において，副尺のゼロ 0 の目盛線が，主尺の 31-32㎜ の目盛りの間にあるので，測定している対象物の外径が 31.〇〇㎜ であることが分かる。 また，主尺と副尺の目盛りは副尺目盛りの 0.20 で一致している。よって，合計して 31.20㎜ となる。
(2)	＊方眼紙で解答 （例）

富富富の米粒のサイズ

サンプル番号	粒長(㎜)	粒幅(㎜)	粒厚(㎜)
1	4.40	3.00	2.10
2	4.40	2.80	2.00
3	4.35	2.95	1.95
4	4.30	2.90	1.95
5	4.35	2.85	2.05
平均	4.36	2.90	2.01

コシヒカリの米粒のサイズ

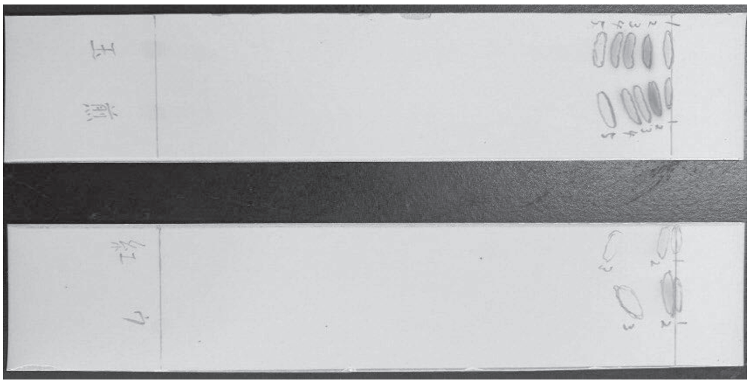
サンプル番号	粒長(㎜)	粒幅(㎜)	粒厚(㎜)
1	4.75	3.00	2.10
2	4.60	2.80	2.05
3	4.55	2.95	1.95
4	4.70	2.90	2.10
5	4.75	2.80	2.05
平均	4.67	2.89	2.05

インディカ米の米粒のサイズ

サンプル番号	粒長(㎜)	粒幅(㎜)	粒厚(㎜)
1	6.75	1.60	1.50
2	6.60	1.50	1.45
3	6.85	1.55	1.45
4	7.00	1.50	1.40
5	6.75	1.50	1.45
平均	6.79	1.53	1.45

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>〔解　説〕
・爪などで1粒ずつ種籾を剥く。シャーレの底（外側）と蓋の裏（内側）に，布ガムテープを張り，間に種籾を挟んですり合わせることで，一気にたくさんの種皮を剥くこともできる。
・ノギスを使って，米を測定する際は，マスキングテープの粘着面を上にして，実験台に張り付け，そこに米粒を置いて固定して測定するなどの工夫をすることで測定しやすくなる。
・3 品種の米について，５粒ずつ，ノギスのジョーで米の粒長，粒幅，粒厚を測定する。粒長，粒幅，粒厚それぞれの平均を品種ごとに求め，解答例のように表にまとめる。</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">(3)</td><td>例　富富富　13.30 ㎜^{3}</td></tr>
<tr><td>　　コシヒカリ　14.48 ㎜^{3}</td></tr>
<tr><td>　　インディカ米　7.88 ㎜^{3}</td></tr>
<tr><td>〔解　説〕
(2)で求めた値を使って，以下の式に当てはめて計算する。
$$\frac{4}{3}\times 3.14\times\left\{\frac{1}{2}\times(\text{粒長})\right\}\times\left\{\frac{1}{2}\times(\text{粒厚})\right\}\times\left\{\frac{1}{2}\times(\text{粒幅})\right\}$$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(4)</td><td>①</td><td>デンプン顆粒間にできた隙間とその顆粒表面の小さなへこみなどにより，光が屈折そして乱反射することによって，玄米のその部分が白く濁り，不透明になる。</td></tr>
<tr><td>②</td><td>・高温により呼吸量が増加し穂の炭水化物含有量が減少するため。
・高温によりデンプンを合成する酵素の活性が変化するため。</td></tr>
</table>

4

<table>
<tr><td>⑴</td><td></td></tr>
<tr><td>⑵</td><td>
玉露
<table>
<tr><td>色素番号</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>色</td><td>橙黄</td><td>灰緑</td><td>青緑</td><td>黄緑</td><td>黄</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>色素名</td><td>カロテン</td><td>フェオフィチン</td><td>クロロフィルa</td><td>クロロフィルb</td><td>ルテイン</td><td></td><td></td></tr>
</table>
煎茶
<table>
<tr><td>色素番号</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>色</td><td>橙黄</td><td>灰緑</td><td>青緑</td><td>黄緑</td><td>黄</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>色素名</td><td>カロテン</td><td>フェオフィチン</td><td>クロロフィルa</td><td>クロロフィルb</td><td>ルテイン</td><td></td><td></td></tr>
</table>
烏龍茶
<table>
<tr><td>色素番号</td><td>1</td><td>2</td><td>⑶</td><td>⑷</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>色</td><td>橙黄</td><td>灰緑</td><td>(青緑)</td><td>(黄緑)</td><td>黄</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>色素名</td><td>カロテン</td><td>フェオフィチン</td><td>(クロロフィルa)</td><td>(クロロフィルb)</td><td>ルテイン</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="8">＊⑶，⑷は見えないこともある</td></tr>
</table>
紅茶
<table>
<tr><td>色素番号</td><td>1</td><td>2</td><td>⑶</td><td>⑷</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr>
<tr><td>色</td><td>橙黄</td><td>灰緑</td><td>(青緑)</td><td>(黄緑)</td><td>黄</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>色素名</td><td>カロテン</td><td>フェオフィチン</td><td>(クロロフィルa)</td><td>(クロロフィルb)</td><td>ルテイン</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="8">＊⑶，⑷は見えないこともある</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>⑶</td><td>シリカゲルは酸素原子を多く含んでおり，極性が非常に高い。そのため，水に溶けやすい物質（極性の高い物質）ほどシリカゲルに吸着しやすく，脂溶性の物質（極性の低い物質）ほどシリカゲルに吸着しにくい。この性質から，色素の有機溶媒への親和性に基づき，極性の差（水への溶けやすさ）で色素を分離することができる。</td></tr>
<tr><td>⑷</td><td>⑵の結果より，玉露は他のどの茶葉よりもクロロフィルaが多く，クロロフィルaの緑色が強く出ている。烏龍茶と紅茶ではクロロフィルaとクロロフィルbが薄く，光合成色素が全体的に減少していることがわかる。これらのことから茶葉の色の違いは，光合成色素の量によって変化していると考えられる。</td></tr>
</table>

⑸	⑵の結果より，玉露のクロロフィルａの量は煎茶よりも多くなっている。そのため。葉緑素の含量が通常よりも多いことが考えられる。このことから，光が遮光されることで光合成ができなくなるため，フィードバックによって，より光合成をするために葉緑素を合成することによって緑色が濃くなっていると考えられる。
⑹	⑵の結果より，煎茶から烏龍茶，紅茶と萎凋の期間によってクロロフィルの減少が見られる。殺青後の煎茶の茶葉が緑色でクロロフィルａを保持していることから，萎凋期間中にクロロフィルを分解する作用は加熱によって停止することができると考えられる。このことから萎凋期間中に細胞内の酵素によってクロロフィルの分解が起こっており，殺青によって酵素が失活することで色素の分解が止まるため，萎凋の期間によって茶葉の色が変わると考えられる。