



第3回
科学の甲子園 ジュニア

筆記競技

解答例と解説



小学校では三角形，平行四辺形，台形，円の面積を学んだ。中学校，高校，大学と進むにつれ，扱う図形や計算は発展していくが，ここでは分解したり，対称性を用いることにより基本図形の面積に帰着させる方法を集めてみた。

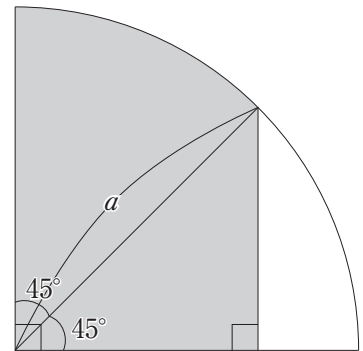
問1 (1)~(3)は扇形と三角形に分割する。

(1)

$$\text{右の図より扇形} = \pi a^2 \times \frac{1}{8} = \frac{\pi}{8} a^2$$

$$\text{直角二等辺三角形} = a^2 \times \frac{1}{4} = \frac{a^2}{4}$$

$$\text{よって求める面積} = \left(\frac{\pi}{8} + \frac{1}{4}\right) a^2$$



答

$$\text{面積} = \left(\frac{\pi}{8} + \frac{1}{4}\right) a^2$$

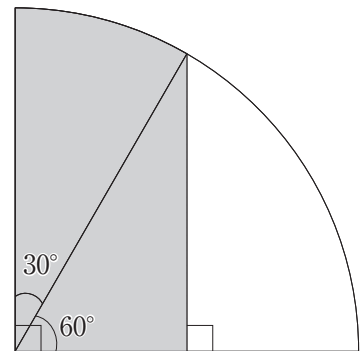
(2)

$$\text{右の図より扇形} = \pi a^2 \times \frac{1}{12}$$

$$= \frac{\pi}{12} a^2$$

残りは1辺 a の正三角形の半分の面積

$$\text{よって求める面積} = \frac{\pi}{12} a^2 + \frac{1}{2} S$$



答

$$\text{面積} = \frac{\pi}{12} a^2 + \frac{1}{2} S$$

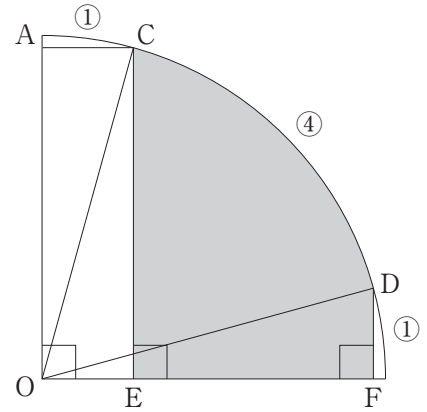
(3)

$\triangle OEC = \triangle OFD$ (合同) より

図形 CEFD の面積 + $\triangle OEC =$ 扇形 OCD + $\triangle OFD$

よって図形 CEFD の面積

$$\begin{aligned}
 &= \text{扇形 OCD} = \pi \times 8^2 \times \frac{1}{4} \times \frac{4}{1+4+1} \\
 &= \pi \times 16 \times \frac{2}{3} \\
 &= \frac{32\pi}{3}
 \end{aligned}$$



答

$$\text{面積} = \frac{32\pi}{3}$$

問2

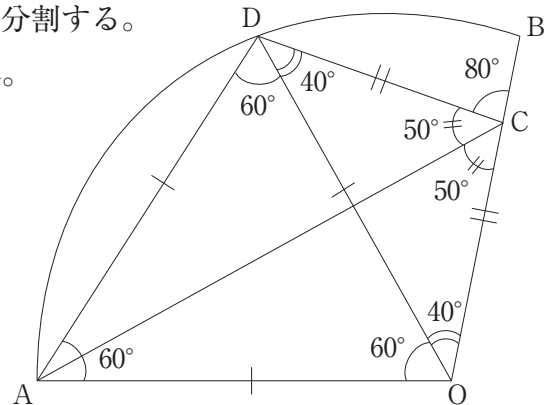
対称性を用いて四角形を正三角形と二等辺三角形に分割する。

$\triangle AOD$ は正三角形。また、 $\triangle DCO$ は二等辺三角形。

$$\angle DOC = \frac{180^\circ - \angle OCD}{2} = \frac{180^\circ - 100^\circ}{2} = 40^\circ$$

よって $\angle ADC = 60^\circ + 40^\circ = 100^\circ$

$$\text{よって求める面積} \quad \text{扇形 OAB} = \pi \times 6^2 \times \frac{100^\circ}{360^\circ} = 10\pi$$



答

$$\text{面積} = 10\pi$$

問3

やはり対称性を用いて正三角形とその半分の図形を見つける。

下の図で $OB = OF = 8$

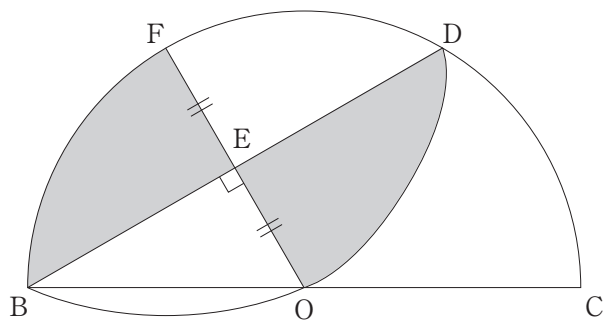
よって $OE = \frac{1}{2} OF = 4$

よって $OB : OE = 8 : 4 = 2 : 1$

$\angle BEO = 90^\circ$ より $\angle BOE = 60^\circ$

また、対称性より影の面積は等しい。

よって求める面積 = 扇形 $OBF = 8 \times 8 \times \pi \times \frac{60^\circ}{360^\circ} = \frac{32}{3} \pi$



答

$$\text{面積} = \frac{32}{3} \pi$$

以上のような手法でむずかしい問題をやさしい問題におきなおすことは非常に重要。

哲学者デカルトはこう言っている。

「困難は分割せよ」

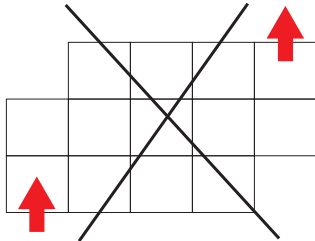
現代の日常生活においても通用する言葉だ。



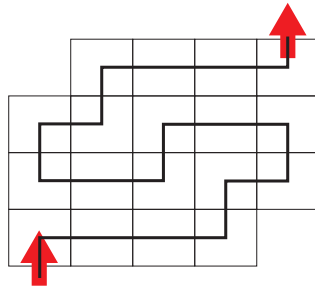
問 1

(1)

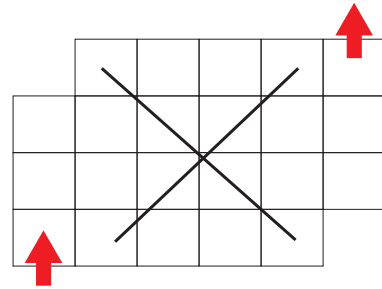
(ア)



(イ)



(ウ)



(2)

m と n が両方とも奇数、もしくは両方とも偶数のときには経路は存在しない。 m と n の一方が偶数でもう一方が奇数のときは、奇数が3で偶数が4以上のときは経路が存在しないが、それ以外の場合は存在する。

$m \backslash n$	2	3	4	5	6
2	×	○	×	○	×
3	○	×	×	×	×
4	×	×	×	○	×
5	○	×	○	×	○
6	×	×	×	○	×

(3)

まず、 m と n が両方とも奇数、もしくは両方とも偶数のときを考える。部屋を黄色と白の市松模様塗りに塗り分ける。入り口のある左下の部屋を白に塗るとすると、出口のある右上の部屋も白となる。白い部屋と黄色い部屋は交互に通るので、部屋の総数は奇数でなければならない。よって、 m と n が両方とも偶数のときには経路は存在しない。

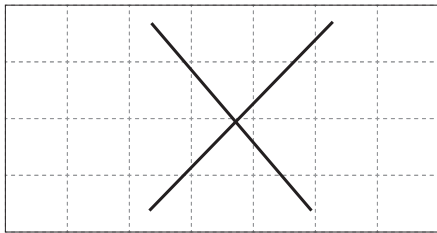
また、白い部屋は黄色い部屋の数より1つだけ多くなければならないが、 m と n が両方とも奇数のときには、白い部屋が $\frac{mn-3}{2}$ 部屋、黄色い部屋が $\frac{mn-1}{2}$ 部屋となり、白い部屋より黄色い部屋が多いので、 m と n が両方とも奇数のときも経路は存在しない。

$m=3$ で n が4以上のときには、まず入り口のある部屋から右に行くか上に行くかの2通りが考えられる。もし右に行くと、入り口の部屋の上の部屋が袋小路になってしまうし、もし上に行くと、その次は右に行くしかないが、その後どの方向に進んでも上か下に袋小路ができてしまう。よって、 $m=3$ で n が4以上のときには経路はない。同様に考えると、 $n=3$ で m が4以上のときも経路はない。

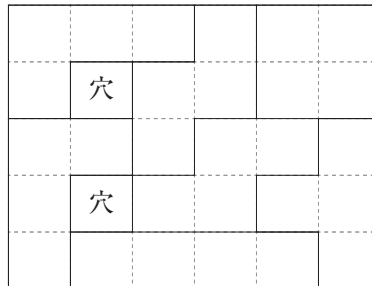
問2

(1)

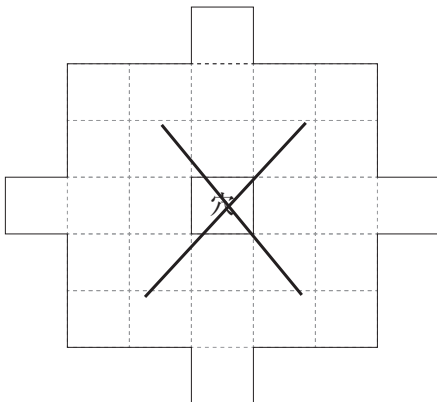
(ア)



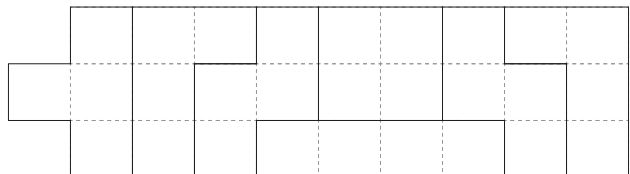
(イ)



(ウ)



(エ)



(2)

各ピースを白と黄色で市松模様塗り分けると、T字のピースのみ色にかたよりが生じ、白い正方形が3個で黄色い正方形が1個、もしくは白い正方形が1個で黄色い正方形が3個となる。他のピースは、白い正方形も黄色い正方形も2つずつになる。よって、市松模様塗り分けたときに、黄色と白の正方形の数の差が2にならないような図形を作成することはできない。(ア)については、市松模様塗り分けたときに白と黄色の個数が同数になるので作成不可能、(ウ)については白と黄色の個数の差が4になるので、これも作成不可能である。



問1

① 11	② 10	③ 17	④ 18
---------	---------	---------	---------

- ① ナトリウム原子はプラスの電気をもつ陽子を11個、マイナスの電気をもつ電子を11個もっている。原子全体ではプラスマイナス0で、電氣的に中性であることから考える。
- ② ナトリウム原子が電子1個を放出したときを考える。陽子の数は変わらず11個、電子は10個になるので、全体として、プラスが1個多くなる。これがナトリウムイオンである。プラスが1個多いので、 Na^+ と表す。
- ③ 原子全体ではプラスマイナス0で電氣的に中性なので、塩素原子はプラスの電気をもつ陽子を17個、マイナスの電気をもつ電子を17個もっていると考えられる。
- ④ 塩素原子が電子1個を受けとったことに注目する。陽子の数は変わらず17個、電子は18個になるので、全体として、マイナスが1個多くなる。これが塩化物イオンである。マイナスが1個多いので、 Cl^- と表す。

問2

ウ

- (ア) 誤 水素は無色無臭である。都市ガスにはメタン、エタンやプロパンが利用される。
- (イ) 誤 水素は中性の物質である。
- (ウ) 正 水素は水に溶けにくい気体である。
- (エ) 誤 水素を燃焼させると水のみが生成し、二酸化炭素は発生しない。

問3

① 30	② 40	③ 100	④ 30
---------	---------	----------	---------

はじめの塩酸には、水素イオン H^+ が 100 個、塩化物イオン Cl^- が 100 個溶けている。ここに、マグネシウム原子 Mg 30 個を入れると、次のような化学反応が起きて水素が発生する。



マグネシウム原子 Mg 1 個と 2 個の水素イオン H^+ が反応し、マグネシウムイオン Mg^{2+} と水素分子 H_2 に変化していることが読み取れる。

したがって、反応後の溶液に存在するマグネシウムイオンは 30 個である。水素イオンは 60 個が反応で失われたので、溶液中には $100 - 60 = 40$ 個存在している。また、水素分子 H_2 は 30 個発生する。一方、塩化物イオン Cl^- は化学反応にかかわらず、100 個のまま変わらない。

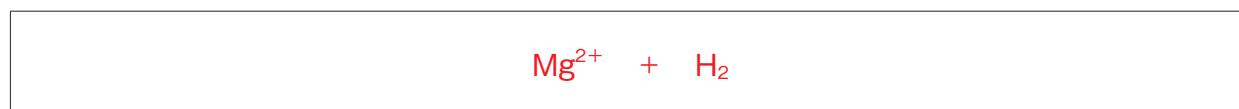
もし、マグネシウム原子をもう 20 個加えて反応させたとすると、溶液中には 50 個のマグネシウムイオンと、100 個の塩化物イオンが存在することになる。この溶液から水を蒸発させると、塩化マグネシウム $MgCl_2$ が残ることになる。このように、水に溶かすと陽イオンと陰イオンに分かれる物質も多く存在する。

問4

(ア) ×	(イ) △	(ウ) ○
-------	-------	-------

問3がヒントになっている。塩酸の中の水素イオンはマグネシウムと反応するので、マグネシウムを入れると水素イオンは減少、マグネシウムイオンは増加するが、塩化物イオンの数は変化しない。

問5



化学反応式の①と②を足すことで求められる。マグネシウム原子が放出した電子 2 個は、2 個の水素イオンが受けとっている。

問6



④の化学反応式をヒントにする。①・②と同様、電子を放出する反応と、電子を受けとる反応がセットになっている。表の中から銅イオンのイオンの式を探すと Cu^{2+} とあるので、プラスの電気を帯びている。したがって、電子2個を受けとれば、銅原子になることがわかる。

問7

ア	ウ
---	---

ここで起きている化学反応は、④と⑤を足した、



である。化学反応式の両辺を比較すると、鉄がイオンになって水に溶け、銅イオンは電子を受けとって金属の銅原子になることがわかる。

- ア 正 銅イオンがなくなると、溶液の中には鉄イオンのみとなる。
なお、塩化物イオン Cl^- も存在するが、反応には関係しない。
- イ 誤 最終的には鉄イオン Fe^{2+} と塩化物イオン Cl^- のみになる。
- ウ 正 反応前後の色を比べると、銅イオンは青色であるといえる。
- エ 誤 化学反応式より、水素は発生しない。

問8

溶液の色の変化	(溶液は)だんだん青くなる。
金属の変化	(銅板の表面に)銀が生成する。

ここで起きている現象を化学反応式で表すと、少し難しいが、



となる。銅と銀を比べると、銅の方がイオンになりやすいので、銅が電子を放出してイオンになり、銀イオンは電子を受けとって金属の銀になる。したがって、見た目の変化は、反応が進むにつれ、溶液は、銅イオンの青色に変化していく。また、銅板の表面に金属の銀が付着していく。

問9

鉄より先に亜鉛が雨水の中の酸と反応し、鉄を守るから。
または
鉄より亜鉛の方が酸と反応しやすいから。

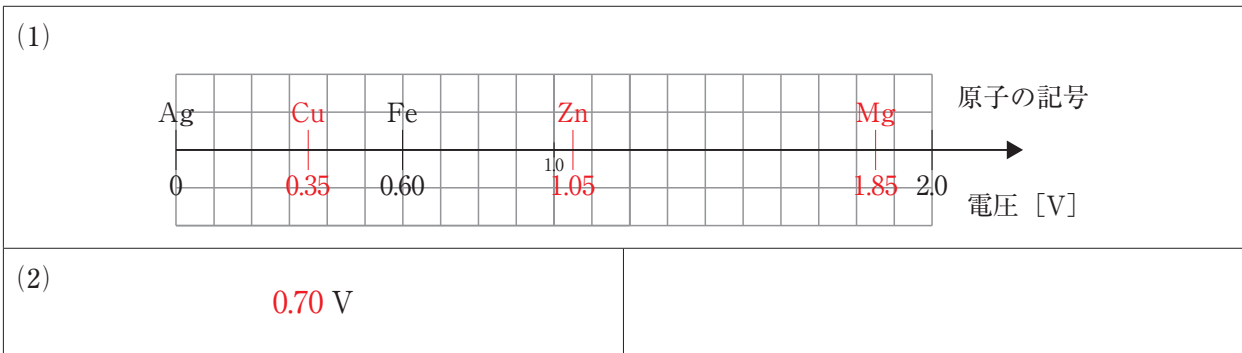
【表1】から、鉄より亜鉛の方が酸と反応しやすい（イオンになりやすい）ことがわかる。したがって、酸性の雨水が降ると、鉄より先に亜鉛が反応する。そのため、鉄がさびることを防ぐことができ、美しい見た目を保つことができる。これによって、メッキしていない鉄を使うよりも長持ちする。

問10

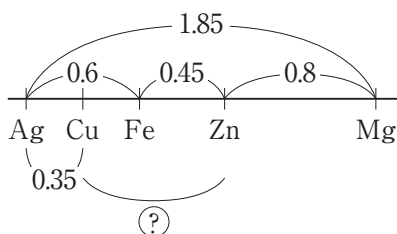
イ

亜鉛と銅では、亜鉛の方が塩酸と反応しやすい。亜鉛板から発生した電子が導線を通して銅板まで移動し、途中にあるプロペラを回転させたことになる。したがって、電子の移動方向はbとなる。

問11



(1) 下のような図を描くとわかりやすい。



各金属の配置は、解答用紙の方眼を利用していねいに記そう。

(2) (1)の図をもとに考えると、銅板と亜鉛板を用いた時の電圧は

$$(0.60 - 0.35) + 0.45 = 0.70 \text{ V}$$

となる。

1780年、イタリアの生物学者ガルバーニは、カエルのあしの神経に2種類の金属をふれさせると電気が流れ、あしの筋肉がピクピク動くのを発見した。これが化学電池発見のきっかけといわれている。

【図8】のように、種類の異なる2つの金属板を導線で結ぶことで、亜鉛板から発生した電子が銅板まで移動するが、銅板は変化が起こらない。この過程で、エネルギーを取り出すことができる。これが、現在の化学電池の原型である。発見したのは、1800年、イタリアの科学者ボルタである。これ以降、実用に適したさまざまな

電池が開発されていった。なお、一般的な乾電池は一度しか使えないが、今日では、材料を工夫することで、充電して何度も使える電池が多く開発されている。

ところで、亜鉛板だけを塩酸にひたすとどうなるのだろうか？ 実は、これは、普段の理科の実験で行っている金属と酸の反応そのものであり、亜鉛が溶解し、そこから同時に水素が発生する。これでは電気エネルギーを取り出せず、電池として使うことができない。





2015年は、国際連合において「光と光技術の国際年（国際^{ひかり}光年）」とすることが宣言された年である。そこで光年にちなんで、本問題では、まず植物の発芽における光屈性を導入に考えた。展開としては、生徒二人と先生の3人の対話形式で進行する。まず、宇宙ステーションという地上とはちがった無重力に近い環境での発根現象を検証し、問題を解くにしたがって発根における重力の影響を考察していく。オーキシンという成長を調節するホルモンが茎頂で生成されること、このホルモンの感受性が植物の部分によって異なること、根冠という根の先端部分の細胞で逆流すること、この逆流は根冠細胞内にあるアミロプラストというデンプン粒が重力を感じて調節していることを順に学習する。

光が発芽に及ぼす現象は、進化論で有名なダーウィン父子によって、1880年に研究が行われた。しかしながらそのメカニズムは、ごく最近までわからなかった。問題の最後に導入で使った光屈性の最新知見を加え、さらなる科学への探究心を誘った。

問1

エ

光に向かう性質を正の光走性、光から遠ざかる性質を負の光走性という。このように動物が刺激源に対して、近づいたり遠ざかったりする性質を走性と呼ぶ。これには、化学走性（化学物質）、重力走性（重力）、電気走性（+と-）などがある。なお、植物が光の来る方向に曲がる性質は光屈性という。このほかに重力屈性（重力）、接触屈性（接触）、化学屈性（化学物質）などが知られている。

(ア)落葉は葉の付け根（葉柄）の部分に離層という細胞層が形成され、葉の脱離を引き起こす現象。

(イ)ポリフェノールがポリフェノール酸化酵素によって酸化されると変色する。

(ウ)化学走性の例。蚊は呼気や皮膚から放出される二酸化炭素に寄ってくる性質がある。

(エ)正の光走性の例。ガは夜、明るい光源に向かって、ある角度を保ち、旋回しながら近づく性質がある。

(オ)接触屈性の例。オジギソウの葉の根元の葉枕細胞の圧力が減少して葉が閉じる現象。

問2

「発芽についてわかったこと」

光の方向に伸長していると考えられる。

「発根についてわかったこと」

無重量に近い環境では四方八方に伸長している。

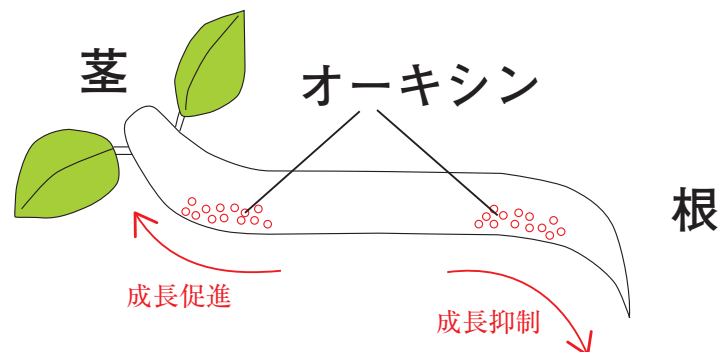
地上実験と宇宙ステーション実験とでちがう環境は、宇宙ステーションでは無重量に近い環境が長時間得られることである。わざわざ宇宙で実験した意味がそこにある。そのほかの条件は、地上も宇宙ステーションも変えていないはずである。したがって、光についてはともに上方より当てているはずである。しかし、宇宙ステーションの実験では、光はやや右上より照射されているようである。結果から判断して、発芽については地上と宇宙ステーションとで同じ結果になったと判断できる。

次に発根については、【図2】で判断するとよい。地上での発根は重力の影響を受けて下方に伸長しているが、宇宙ステーションでは、その方向性は無秩序である。したがって無重量に近い環境では、伸長方向が定まらないことがわかる。

問3

イ

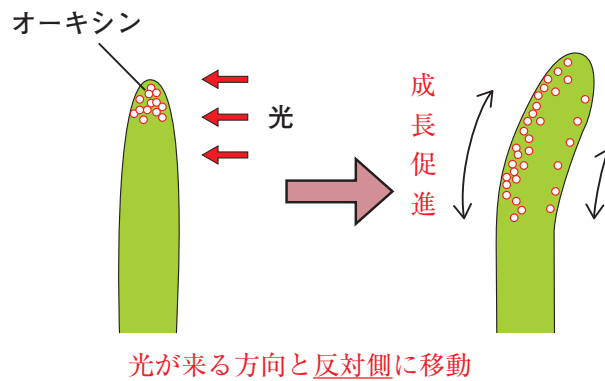
問題文にもあるように、オーキシンは植物内を下方に移動するにしたがって、その濃度は低くなっていく。起立した正常な状態での成長であれば、茎や根のオーキシン濃度は、最適な濃度になり、それぞれの部分の成長を促進するが、寝かせたりすると地面側と反対側とで濃度に差が生じる。グラフを見ると、茎では広い範囲で成長が促進（①）されることがわかる。したがって、茎の部分では、地面側の細胞のオーキシン濃度が高くなっても成長は促進される。一方、根ではグラフを見ると地面側の細胞のオーキシン濃度が高くなると、成長が抑制（②）側に転じていることがわかる。なお、根の部分でオーキシン濃度が地面側で高くなっている理由は、このあとの問題で明らかにされていく。



問4

反対または逆

茎頂で分泌されたオーキシンは、重力にしたがって下方に移動するが、光に対しては反対側に移動する性質がある。茎であるので、オーキシンの濃度が高くなると成長が促進されるので、光の来る方向に曲がる。



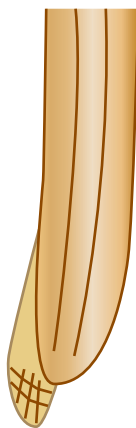
問5

「位置によって濃度がちがわない」

整理しながら考えてみるとよい。

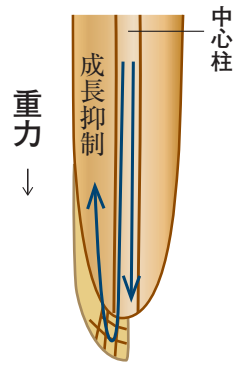
1. 根が下に曲がるのは、地面側の細胞のオーキシン濃度が高くなり、細胞の成長が抑制されるから。
2. 根が曲がらずに伸長していることから、地面側のオーキシン濃度に変化はない。
3. または、地面側へのオーキシンの移動量に変化がない。

問6

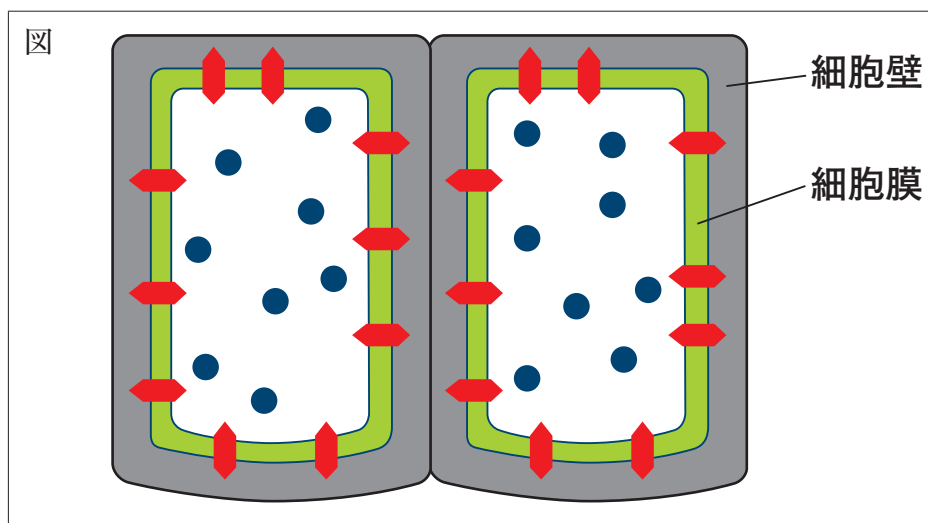
文章 図	<p style="color: red;">左側に曲がって伸長する</p> 	<p>理由</p> <p style="color: red;">向かって左側の根冠細胞内でのみオーキシンが逆流し、オーキシンの濃度が高くなって左側の伸長域の細胞の成長が抑制されるから。</p>
---------	--	---

根冠を経由したオーキシンの流れは、次ページの図のようになり、オーキシンの濃度が高くなった側の成長が抑制されるので左側に曲がって伸長する。なお、右側へのオーキシンの逆流がなくなるが、ひとつ前の根冠を取り除いて寝かせた実験では、全体が伸長しているの

で、オーキシンの逆流がなくなっても伸長することがわかる。

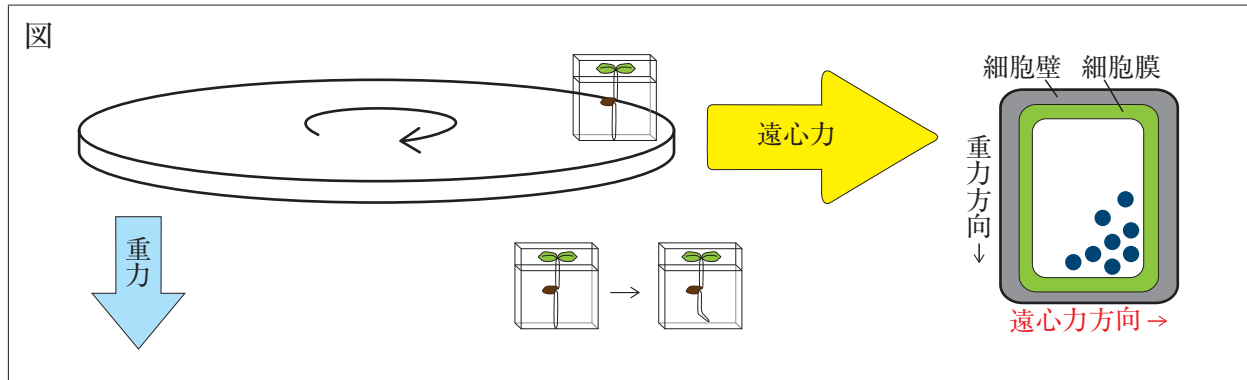


問7



宇宙ステーション内は重力の影響が少ないので、アミロプラストは細胞内では浮遊状態にあるといえる。したがってオーキシシン排出タンパク質も、アミロプラストからの刺激を受けないので、四角い細胞内の四面（図では四面）に平均的にあればよい。アミロプラストの若干の偏りやオーキシシンの流れの不均一から、根は方向が定まることなく伸長していく。

問8



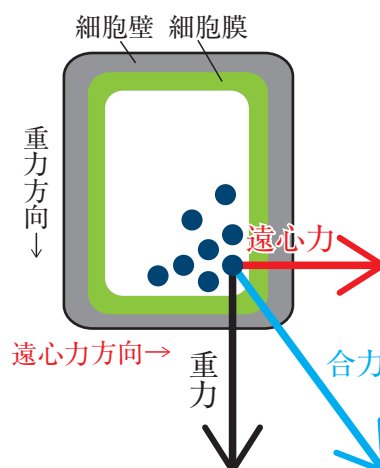
文章

寒天培地の中で発芽させた種子を用意し、遠心力が発生できる大型円盤の上に固定し、遠心力を与えながら成長させる。光は上方より照射する。根冠細胞内のアミロプラストは重力と遠心力の合力方向に移動し、これに伴ってオーキシン排出タンパク質も細胞膜の底部～円周側に移動する。よってオーキシンの逆流も円周側が増加し、円周側の細胞の成長が抑制されて根が遠心力方向に曲がって成長することを確認する。

いろいろなアイデアが示されると思うが、要点は以下のとおりである。

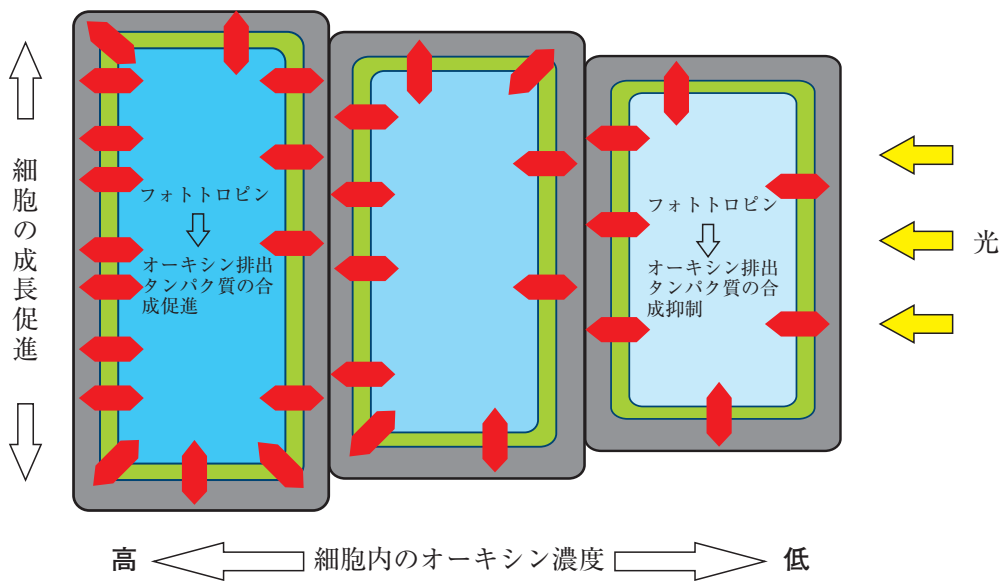
1. 根の伸長結果を得るための実験期間が必要。できれば3～5日程度必要。
2. 地上実験なので、重力の影響を取り去ることはできない。
3. 植物体が、重力以外の力を受けるようにする。

重力の影響を受けるアミロプラストに対して、この重力を排除することは地上ではできない。したがって重力以外の力をアミロプラストに作用させることを考える。今回、問題文中に指示したように、遠心力を利用した実験を考案する。果たしてどの程度の回転数が必要なのか、寒天の硬さなど、予備実験に手間がかかると思うが、可能な実験である。垂直下方に重力が作用し、水平方向に遠心力が働くので、アミロプラストは2つの力の合力方向に集まると考えられる。仮に大きな遠心力が発生できたとしても、重力を取り去ることはできないので、アミロプラストが遠心力側の細胞膜にすべて集まることはない。



〔光屈性のしくみ〕

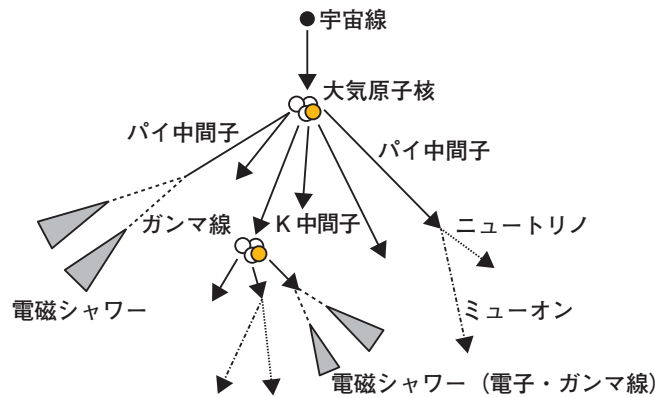
茎の先端部に側方より光があたると、光があたる側の細胞内にあるフォトトロピンというタンパク質が光を感知する。このフォトトロピンは、オーキシン排出タンパク質を合成する遺伝子のはたらきを抑制してしまうので、新たに作られるオーキシン排出タンパク質の合成量が減少する。一方、光のあたっていない側の細胞ほど、フォトトロピンの抑制作用はじょじょに少なくなり、オーキシン排出タンパク質の合成と再配置がおこなわれ、オーキシンが光の当たらない細胞にスムーズに移動できるようになり、細胞内のオーキシン濃度が高くなる。茎では、オーキシン濃度が高くなる細胞ほど伸長が促進されるので、光の当たらない側の細胞がより伸長して、茎の先端が光の方に曲がるようになる。





第5問は「放射線」を取り上げた。みなさんはミクロの世界とマクロな世界，どちらに興味を抱くだろうか？ 放射線は原子の一種なので，ミクロの世界のメッセンジャーだが，一方で，宇宙からも地球にやって来る。この放射線（宇宙線）の起源・伝搬にはまだ謎が多く，特に極限エネルギーを持つ宇宙線の生い立ちは，天体の姿をわれわれに教えてくれる使者として大変に重要な研究対象である。

今年の10月6日，東京大学宇宙線研究所の梶田先生が「大気ニュートリノ観測によるニュートリノ振動の発見とニュートリノ質量の確証」でノーベル物理学賞を受賞した。出題の宇宙線ミュオンは，宇宙からやってくる宇宙線陽子が大気の中で大気原子と衝突して作り出された素粒子である。大気ニュートリノはまさに，この衝突でミュオンとともに作られた兄弟粒子ということになる（下の図は宇宙線陽子と大気原子との衝突の様子）。ミュオンは身の回りの放射線としてなじみ深い粒子で，100年前に発見された。また，ニュートリノは地球を突き抜けてしまうほど大変に透過力の強い粒子で，観測の難しさからその性質もなかなか理解できなかった。この問題を通して，「宇宙からの来訪者」としての宇宙線について理解を深めてもらいたい。



問1

イ

X線の透過力は一定だが，それが通過する物質の量に比例して，後方のスクリーンにたどり着くX線の量は変化する。X線フィルムなどを用いると，外からのぞくことのできない箱の中にある物質の分布をフィルム上の濃淡で映し出すことができる。

問2

比率

20

%

理由

ビル内で測定した自然放射線の中には宇宙からやってくる（上からやってくる）放射線（ミューオン）が含まれている。ミューオンが建物の天井や床を突き抜け、1階にたどり着くまでに、ビルの途中でコンクリートなどの物質で遮蔽され、1階まで届かないものが出てくるため。

ビルの天井や床の厚さは約15 cm だそうだ。コンクリートが主な成分だが、それを9枚突き抜けて、ミューオンは1階にまで到達する。それでも、その物質量のせいで途中の階で消滅してしまうミューオンもあり、9階と1階では測定する数に差が出てくる。ちなみに、ニュートリノを観測するために岐阜県神岡鉱山の跡地に作られた施設は地下1000 mにあるが、高いエネルギーをもつミューオンは、地中を突き抜けてそこまでたどりつくものもある。それらは、ニュートリノの観測にとってはノイズとなり、その除去が課題となる。

問3

120

年

$\frac{1}{1024}$

放射性同位元素と呼ばれる原子が崩壊すると、放射線が飛び出して来る。原子核の中からアルファ線が飛びだしてくるわけだが、本来は固い原子核の外壁でさえぎられ、飛び出すことは困難なはずだ。それを可能にしているのが量子力学でいう「トンネル効果」であり、ある確率で壁をすり抜けて、放射線として姿を現すことができる。そのときの壁のすり抜けやすさが「半減時」の大小と関わっている。

問4

グラフを見ると地上からの高度が高くなるにつれて放射線の量が増えていくことがわかる。当時、放射線は地表面から出てくる、と考えられており、そうであれば地上から離れば離れるほど（高度が高くなれば）その量は減ることが予想されるが、測定結果は逆の傾向になっている。このことは、下からのみならず、上から（宇宙の方向）も十分な量の放射線がやってくることを示しており、それが宇宙からの成分であることを発見した。

宇宙線はオーストリアのヘスによって 100 年ほど前に発見された。この発見でヘスは後年、ノーベル賞を受賞している。実はヘスの気球実験の 3 年ほど前に同じような実験がパリのエッフェル塔で行われている。たかだか 300 m ほどの高度差での放射線量の測定だが、得られた結果は、「高いところの方が放射線量は少ない」だった。そのときの高い所の測定数値は、低いところより少ないものの、予想したより多かったということだったそうで、今一步のところでは宇宙線の発見に結びつかなかった。

問5

過程

表中の 10 データの平均を求めると 56.6 個 / 5 分

1 秒あたりに直して 0.19 個 / 秒。

センサーは 40 mm × 10 mm ゆえ 面積は 4 cm²。

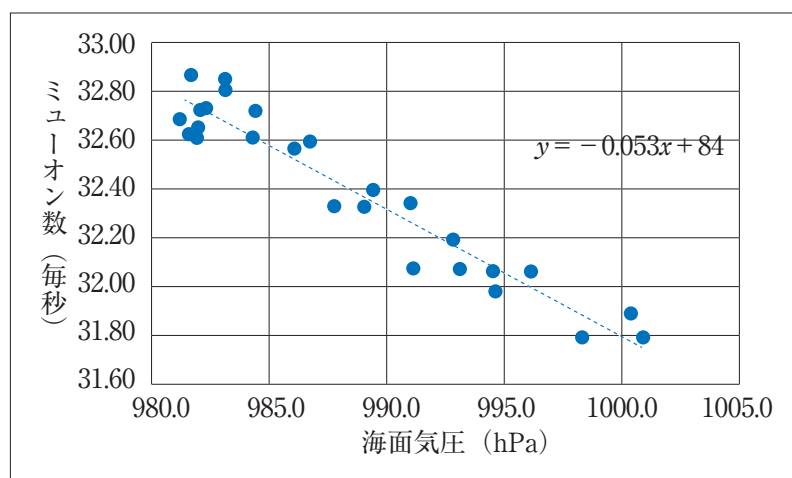
1 m² あたりに換算するために $\frac{10000}{4}$ 倍すると答えになる。

1 秒・1 m² あたりの
放射線量

475 個

私たちの身体の表面積を 1 m² とすれば、「常時 500 個弱のミューオンが身体を突き抜けている」ということが、この結果から理解できる。宇宙線は大昔から一定量地球に降り注いできたとして、年代測定に利用される。宇宙線は大気中で放射性元素「炭素 14」を作る。それが生体内に平衡状態として一定量取りこまれる。死後、それは崩壊し数が減っていく。半減期が 5730 年なので、現在見つかる昔の植物などの炭素 14 の量から、生きていた年代を推定できる。ちなみに「陽子は崩壊するのか」の検証は、ニュートリノ研究と肩を並べる神岡での主要な研究テーマだった。予想寿命は 10³³ 年だが、いまだその寿命は実験的に確定できていない。

問6



傾き

-0.053

測定データを元にしてグラフを描いたあと、そのグラフ中のデータ分布にどのような特徴があるかをまず検討する。今回のグラフからは反比例の関係が読み取れるが、さらにその関係の程度を定量的に数値で求めてみる必要がある。

問7

過程	直線式 $y = -0.053x + 84$ より $x = 630$ hPa のとき 毎秒あたりの 0.25 m^2 あたりのミュオン数は 50.6 個/秒 (別解有)	
	毎秒あたりの ミュオン数	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 50.6 個 </div>
理由	空気(大気)という物質の中をミュオンが上空から地上に向かって通過してくる途中で、気圧が高い場合は通過する大気物質量は大きいことから、その間でのさえぎられるミュオンの数が多くなり、地上にたどり着くミュオンの数は減る傾向になるため。	

宇宙線量は高度依存性を持つ。この結果は理科年表にも載っているもので、調べてみてほしい。飛行機が飛ぶ高度では地上の30—50倍程度の放射線量になる。一方で、緯度依存性もあることがわかっており、同じ高度でも緯度の高い地方での放射線量は一般に高くなる。エネルギーの低い宇宙線(多くは太陽や銀河系内が起源)は地磁気の影響を受け、北極・南極付近でその密度が高くなる。緯度の高いところで見られるオーロラ現象は、このことと関係している。

問題では地上付近でのミュオン測定値から気圧依存性(傾き)を求めて、それを富士山頂の高度まで延長してみた。上空になると宇宙線としてはミュオンだけでなく、電子成分や陽子成分の量が増えてくるので、この方法による予想値は正しくないが、高度に依存して急激に放射線量が増加する現象を理解できる結果である。



問1

地震波 P 波 ゆれ 初期微動

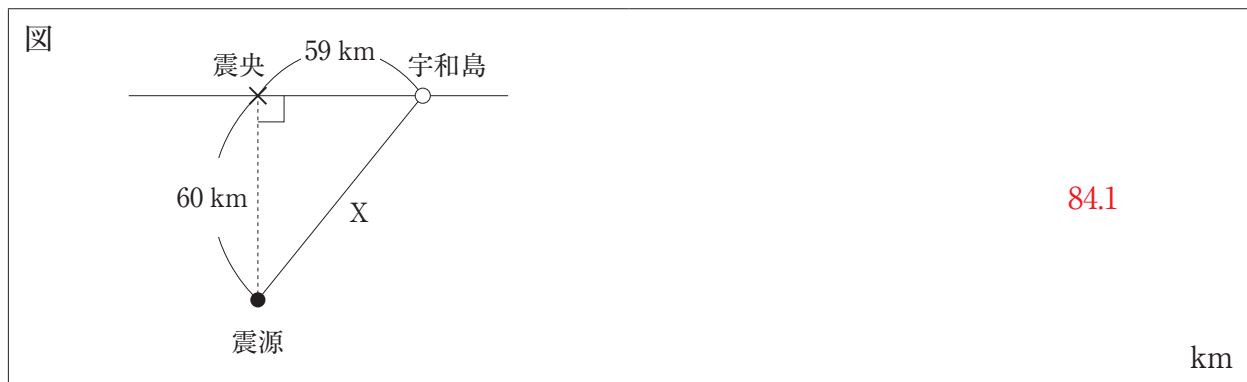
最初に感じる地震波は、伝わるのが速いP波。P波のみのゆれを初期微動という。

問2

25.3 秒後 地震波 S 波

図の同心円は緊急地震速報が発表されてから主要動が到達するまでの時間を示している。緊急地震速報は地震発生後15.3秒後に発表されたと示してあるので、10秒の同心円上に位置する宇和島では、地震発生後15.3+10=25.3秒後に主要動が到着した。主要動は伝わるのが遅いS波の到着によってもたらされる。

問3



図の右下にあるスケールを用いて震央と宇和島の距離を測定すると59 kmとなる。震源の深さは60 kmと示してあるので、宇和島の震源距離は上の図のXのように表される。三平方の定理を用いて、 $X = \sqrt{59^2 + 60^2}$ となり、計算をすると $X = 84.1$ kmと求められる。

問4

3.3 km/秒

震源距離が問3で求められ、その経路を伝わるのに要した時間は問2で求めている。主要動をもたらすS波の速度は $84.1 \div 25.3 = 3.3$ km/秒と求められる。

問5

6.3 km/秒

地震波

P波

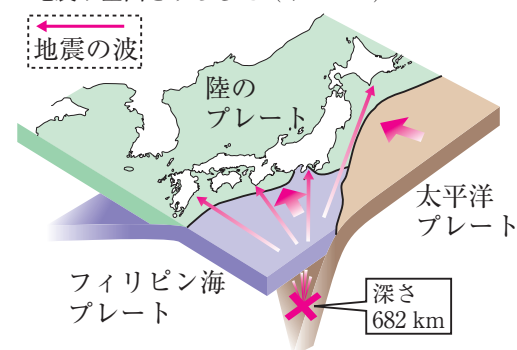
震源の深さは 60 km, 地震発生 9.5 秒後に最も早く初期微動が検知された。緊急地震速報に利用されている地震計網は全国 1000 カ所以上もあり, 最初に検知した地点はほぼ震央と考えて大きくは差し支えない。60 km の距離を 9.5 秒かけて伝わったので, 速度は $60 \div 9.5 = 6.3$ km/秒と求められる。

問6

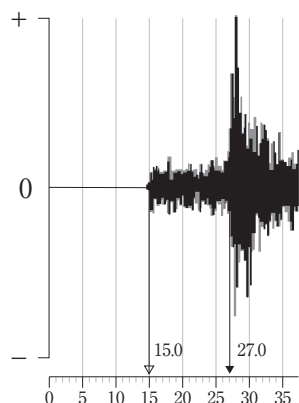
マグニチュードが大きく, 震源の深さが深いため広い範囲にゆれが伝わったから。

2015 年 5 月 30 日に発生した小笠原諸島西方沖地震は, マグニチュード 8 クラスでは観測史上最も深い地震だった。浅い地震の場合, 震源距離と震央距離は大きく変わらないので, 震央に近いほど強くゆれる。一方, 震源が深い場合, 震央とそこから離れた遠隔地でも震源距離は大差ない。さらにこの地震は地震の規模 (マグニチュード) も大きかったので, 人が感じることのできる程度のゆれを広い範囲にもたらした。

太平洋プレート内部の地下深くで発生した地震が全国をゆらした (イメージ)



問7



初期微動継続時間

12 秒

正しく初期微動の始まる点から, 時間スケールに線を引き▽印をマークしているか, 同じく正しく主要動の始まる点から, 時間スケールに線を引き▼印をマークしているかを確認する。初期微動継続時間は▽印と▼印の間隔を読み取る。

問 8

震源距離（日立） 120 km

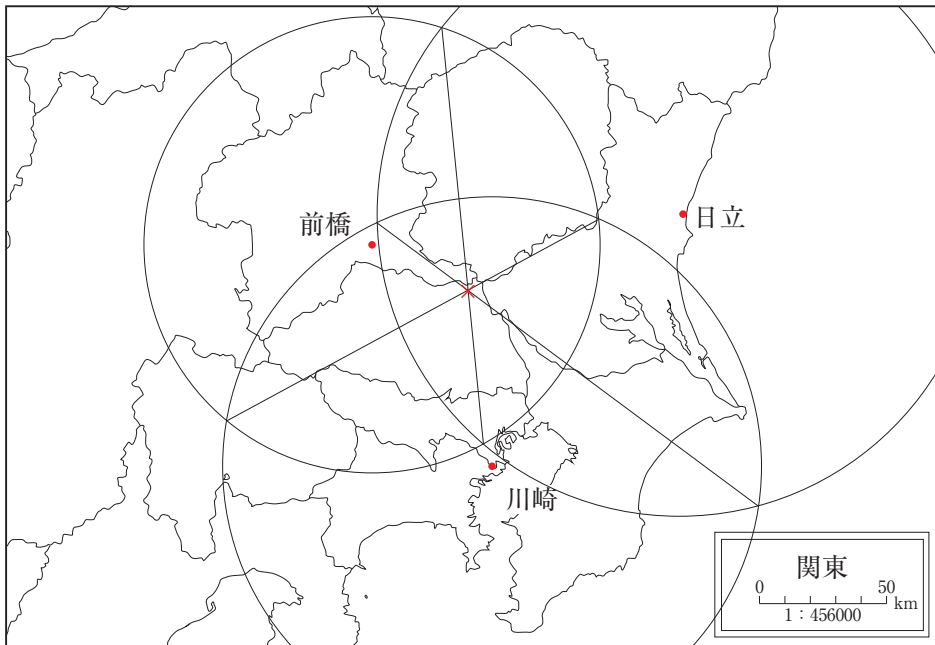
大森公式 $D = kT$ ($k=10$) より，震源距離 $D = 10 \times 12 = 120$ km と求められる。

問 9

震源距離（前橋） 90 km 震源距離（川崎） 110 km

地震計の記録から前橋，川崎の初期微動継続時間を求め，それぞれの震源距離を求める。

問 10



× 点

震央

作図については以下の点を確認する。

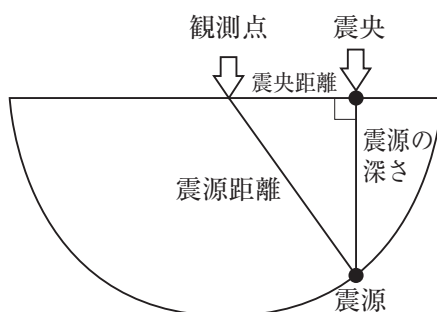
- ・ 震源距離から地図スケールに合った半径の円を描いているか。
- ・ 円と円の交点を正しく結んでいるか。
- ・ 3本の線分が交わる点に×印が記入されているか。
- ・ ×印が作例の位置に対し 10 km の半径の円内であれば正答とする。

円と円が交わる線分は，震源距離を半径とする半円が交わる線を真上から見たものである。3地点からそれぞれの震源距離を満たす地点が震源であり，それを真上から見た地表の点は震央となる。

問 11

観測点	観測点と×点の距離	震源距離(問8,9の値)	震源の深さ
日立	88.2 km	120 km	81.4 km
前橋	38.9 km	90 km	81.2 km
川崎	72.4 km	110 km	82.8 km

平均値 81.8 km



震央距離は図右下の距離スケールを利用して、作図した図を測定して求める。震源距離は大森公式を用いてすでに求めてあるので、直角三角形の2辺の長さがわかっている。ここで三平方の定理を用いると、 $\text{震源距離}^2 = \text{震央距離}^2 + \text{震源の深さ}^2$ であるので、震源の深さは、 $\sqrt{\text{震源距離}^2 - \text{震央距離}^2}$ で求めることができる。

問 12

(例) 地上付近の浅い地震のほか、太平洋から本州地下にかけて震源がだんだんと深くなるように分布している。

地震の多くはプレートの動きによって生じている。プレートの境界で最も起きやすく、また同じプレート内でも他のプレートに押されることで弱い部分が破壊されて地震が生じる。東北地方の断面図を見ると、地表近くの浅い地震が多く発生している。これが、同じプレートの弱い部分が壊れて生じた地震である。規模はさほど大きくはないが震源が浅く、人の住んでいる場所の近くで発生するので大災害となることがある。これを直下型地震という。一方太平洋から本州深くにかけて震源が帯のように分布している。これは日本列島に沈み込む太平洋プレートによって生じている地震である。プレートの沈みはじめの深い溝を海溝という。海溝から震源がだんだんと深く、あたかも一枚の板の上で発生しているように見える。この面を発見者の名前を取って、和達-ベニオフ面という。

