

1

たくさん運動して①汗をかいた体に風が当たると、体が冷えるので気持ちがいいですね。意外なことに、ほ乳類の中で汗をたくさんかくことができるように進化したものは少数で、ウマのなかまと人間くらいです。ウマのなかまは長い間走り続けることが多いので、また、人間の脳は熱に弱いので、体温が上がりすぎないように進化したと考えられています。

問1 下線部①と同様の現象と考えられるものを次のア～オから2つ選び、記号で答えなさい。

- ア. 暑い日に、道路に打ち水をして涼しくした。
- イ. 足を水の中に入れて夕涼みをした。
- ウ. 発熱したときに額を氷まくらで冷やした。
- エ. コップに氷水を入れたら、コップの周りに水滴がついた。
- オ. 夏に遊園地でミスト(霧状の水滴)を浴びた後に歩いたらひんやりとした。

問2 私たちの体は、足やうでに比べ、額や胴体(胸、背中など)によく汗をかきます。このことの利点を説明しなさい。

汗はどのようなしくみで出るのでしょうか。皮膚の表面には、温点や冷点という温度を感じる点が数多くあります。そこには感覚神経の先端がのびていて、暑さを感知した感覚神経は、その刺激を脳に伝えます。すると脳から「汗を出せ」という指令が、別の神経を通じて体表の汗腺(汗を出す穴)に伝えられ汗が出るのです(図1)。

温点や冷点には、感知する温度が20℃付近、30℃付近、43℃以上など、さまざまな感覚神経があります。たとえば、43℃以上のお湯にふれたときには43℃以上を感知する感覚神経だけが反応し、熱いと感ずります。この感覚神経には、トウガラシにふくまれるカプサイシンという辛み物質を感知したときや、痛みを感知したときにも反応するというおもしろい特ちょうがあります。つまり、この感覚神経は、高温・辛み・痛みの3種類のどの刺激を受けても区別せず、同じように反応するのです。カプサイシンを舌で感知すると「熱い・辛い・痛い」と感じ、皮膚で感知すると「熱い・痛い」と感ずります。辛い物を食べた翌日、おしりの穴が痛くなる理由もこれで分かりますね。②また、高温・辛み・痛みの刺激が2種類、3種類と重なると、脳に伝わる刺激がより大きくなります。



図1

問3 「暑い夏には辛い物を食べるとよい」と言われます。これについて説明した次の文中の空欄に入る適切な語句をそれぞれ答えなさい。

辛い物を食べると、カプサイシンを感知する感覚神経が反応して脳に情報を伝える。辛さ(あ)の情報は混同して脳に伝わるため、脳が汗腺に汗を出せという指令を送り汗が出る。汗の効果で体が(い)ので、暑い日にすっきりすることができる。

問4 辛い料理は食べたいが汗をかくのはいやだ、という人は、辛い料理を食べるときにどのような工夫をすれば、汗をかきにくくなるでしょうか。下線部②を参考にして工夫の例を1つ答えなさい。ただし料理の辛さ成分の量や食べる量、周囲の環境は同じとします。

皮膚が日焼けをすると、赤くはれたりすることがあります。赤く日焼けした皮膚の細胞からはある物質が放出されます。この物質により、43℃以上を感知する感覚神経は、33℃以上の温度でも反応し脳に刺激を伝えるようになります。

問5 43℃以上を感知する感覚神経の反応する温度が、43℃から33℃に下がると起こることについて、次の文中の空欄に入る適切な語句を、それぞれ2文字で答えなさい。

33℃は(あ)より低いため、通常は43℃以上を感知する皮膚の感覚神経が、刺激を脳に送り続ける。そのため、常に熱さだけでなく(い)も感じることになる。

冷点には約25℃以下の温度を感知する感覚神経もありますが、あるマウスAにはこの感覚神経が生まれつきありません。

図2の装置は、床の右半分はマウスが快適と感じる30℃に常に保たれ、左半分(斜線の部分)では温度を20℃または30℃に変えることができます。この装置に、正常なマウスとマウスAを別々に入れて、それぞれ5分ずつ観察しました。左半分の温度を20℃にした場合と30℃にした場合それぞれで、2種のマウスが床の左半分に滞在した時間を表1に示します。

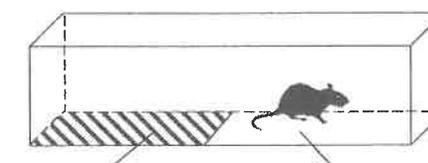


図2

表1: 左半分に滞在した時間

左半分の温度	20℃	30℃
正常なマウス	10秒	2分35秒
マウスA	2分25秒	2分30秒

問6 表の結果の説明として適当なものを次のア～オから2つ選び、記号で答えなさい。

- ア. マウスAは20℃を感じるできないので、20℃の床より30℃の床を好む。
- イ. マウスAは20℃と30℃の床温度の違いを区別することができない。
- ウ. マウスAは20℃だと温度を感じないですむので、30℃の床より20℃の床を好む。
- エ. 正常なマウスが30℃の床で過ごした時間は全体の約半分の時間だった。
- オ. 正常なマウスはほとんどすべての時間を、30℃の床の上で過ごした。

問7 約25℃以下の温度を感知する感覚神経は、ハッカなどにふくまれるメントールという物質を感知したときにも反応して、本来は冷たくなくても冷たいと感ずります。メントールをとかしたハッカ湯には、冷たく感じて気持ちがいいだけでなく、湯冷めしにくい効果もあります。ハッカ湯に入ると湯冷めしにくい理由として最も適当なものを次のア～エから選び、記号で答えなさい。

- ア. 体が冷やされると感知し、お風呂で温まっても汗があまり出ず、体が冷えにくいから。
- イ. 体が冷やされると感知し、お風呂で温まると汗が出やすくなり、体温が下がるから。
- ウ. メントールによって体が冷やされ、お風呂で体が温まらず、汗もあまり出なくなり、それ以上は体が冷えないから。
- エ. メントールによって体が冷やされ、すぐに体温を上げようと体が発熱するから。

2022年5月、私たちが住む銀河系の中心に位置するブラックホールの天体画像が発表されました。2019年に発表されたM87という天体にふくまれるブラックホールの画像に続き2例目です。

ブラックホールが周囲のあらゆる物を吸いこむだけの存在と思う人も多いでしょう。しかし、ブラックホールの周囲からは物がふき出てもあります。たとえば、図1右のように、M87では中心部から高速でふき出たガスによる「ジェット」という構造が見られます。ジェットは多くの天体で見られ、画像から測った運動の速さが、光の速さの10倍をこえるものも見つっています。アインシュタインの相対性理論によると、物体は光の速さをこえないとされているので、一見するとこれは不思議な現象です。



図1：(左) M87の中心部にあるブラックホール (右) ジェットの天体画像

物体の立体構造をつかむためには、縦・横・奥行き(おくゆき)の3つの長さが必要です。図2のように、はなれた位置に置いた2つの棒を左右の眼で観察すると、左右の眼はそれぞれ異なる像を得ます。私たちは、この2つの像を比べることで奥行を測っています。

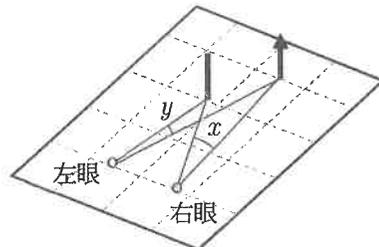


図2

問1 図2の左眼と右眼から見える像として、最も適当なものを次のア～エからそれぞれ1つずつ選び、記号で答えなさい。

- ア.                      イ.                      ウ.                      エ.
- ↑                      ↑                      ↑↑                      ↑↑

問2 図2の2つの棒が、眼からより遠くにあると奥行をつかみづらくなります。その理由を説明する次の文中のa～cについて、[ ]に入る適当な語句をそれぞれ選び、記号で答えなさい。

$x$ の角の大きさがa [ア. 小さく イ. 大きく]、 $y$ の角の大きさがb [ウ. 小さく エ. 大きく] となり、 $x$ と $y$ の角の大きさの差がc [オ. 小さく カ. 大きく] となり過ぎるから。

問3 宇宙の奥行をつかむには工夫が必要です。その工夫を説明する次の文中のa, bについて、[ ]に入る適当な語句をそれぞれ選び、記号で答えなさい。

左右の眼よりも間隔(かんかく)のa [ア. せまい イ. 広い] 2つの場所から目的とする物体の像を得ると、 $x$ と $y$ の角の大きさの差がb [ウ. 小さく エ. 大きく] となり、遠くの物体の奥行をつかめる。

地球は太陽のまわりを動くので、季節を変えて同じ天体の画像を得ることで、私たちは宇宙の奥行をつかめます。しかし、限界はあり、画像からはあまりに遠い天体の奥行をつかめません。

さて、図3の点Cにいる観測者が、点Aから点Bに向けて動くジェット中のあるガスのかたまりを観測するとします。点Aや点Bは点Cから十分に遠いため、直線BCと直線HCは平行とみなせます(図3下)。このとき、点Cからはジェットが点Hから点Bに動くように見え、天体画像ではこの見かけの運動が観測されます。この見かけの運動は、ジェットの実際の運動と同じとは限りません。

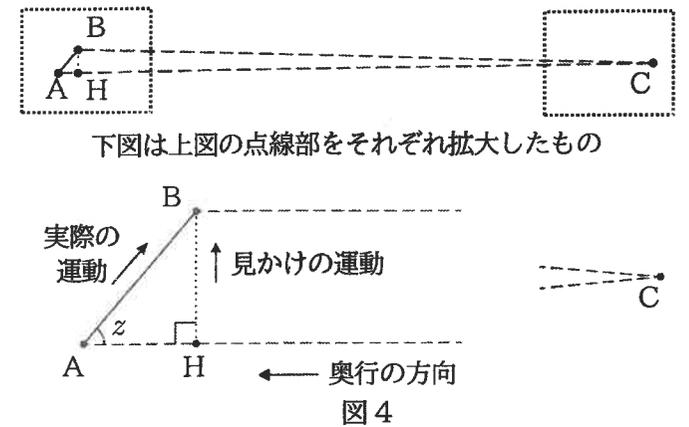


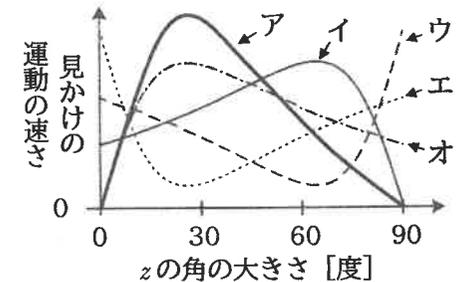
図4

問4 点Aと点Bの間の距離(きょり)が18光年、点Aから点Bに向けて動くガスのかたまりの速さが1年あたり0.9光年、 $z$ の角の大きさが60度として次の問いに答えなさい。1光年とは光が1年間に進む距離のことです。また、必要に応じて、内角の1つが60度である直角三角形の3辺の長さの比を1:1.7:2として計算しなさい。

- (1) ガスのかたまりが点Aを出発してから点Bに着くまでの時間を答えなさい。
- (2) 点Aと点Hの間の距離は何光年か答えなさい。
- (3) 点Aから点Bに向けて動くガスのかたまりが「点Aで放った光が点Hを経て点Cに着く時刻」と、ガスのかたまりが「点Aから点Bまで動き、そこで放った光が点Cに着く時刻」の差が何年か答えなさい。ただし、直線BCと直線HCの長さは等しいとします。
- (4) 私たちは、物体が放つ光によって物体の運動をとらえています。そのため、点Cから見ると、(3)で答えた時間の間に、ガスのかたまりは点Hから点Bまで動くように見えます。この見かけの運動の速さは1年あたり何光年か答えなさい。ただし、答えが割り切れないときは小数第2位を四捨五入して小数第1位まで答えなさい。

問5  $z$ の角の大きさが30度のとき、ガスのかたまりによる点Hから点Bまでの見かけの運動の速さは1年あたり何光年か答えなさい。ただし、 $z$ の角の大きさ以外の条件は問4と同じとします。答えが割り切れないときは、小数第2位を四捨五入して小数第1位まで答えなさい。

問6 点Cから見てジェットが点Hから点Bまで動く速さは、 $z$ の角の大きさによって変わります。見かけの運動の速さと $z$ の角の大きさの関係を示すグラフとして最も適当なものを右のア～オから選び、記号で答えなさい。ただし、 $z$ の角の大きさ以外の条件は問4と同じとします。



このように、天体画像からわかる見かけの運動の速さは、光の速さをこえることがあります。遠くの天体に限らず、観察からわかる見かけの姿は本当の姿と異なることがあります、注意が必要です。

3

マイクは音を電気信号に変える道具で、電気信号をスピーカーに送ると、スピーカーから音を出すことができます。太鼓などの打楽器、ギターなどの弦楽器、声を発する人の喉など、音を発するものはすべて自らが振動することで音を出し、同じようにスピーカーもまた振動することで音を出します。図1では、簡易的なスピーカーに、電源を接続しています。スピーカーはコイルと、磁石のついた膜でできています。まず、電源に色々な電池を使うと図2のように膜の位置が移動しました。電池とスピーカーをつなげると膜の位置は移動しますが、つなげたままでは音が出ません。それは、電流の大きさで膜の位置が決まり、また、電流の向きで膜が移動する向きが決まるからです。次に、電源を手回し発電機に入れかえて、同じ方向に回し続けると音が出続けました。

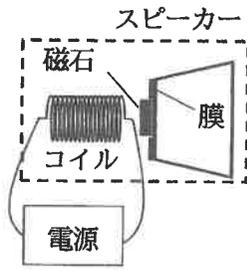


図1

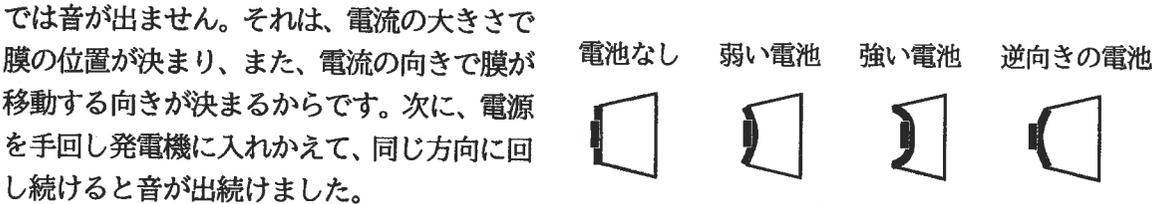
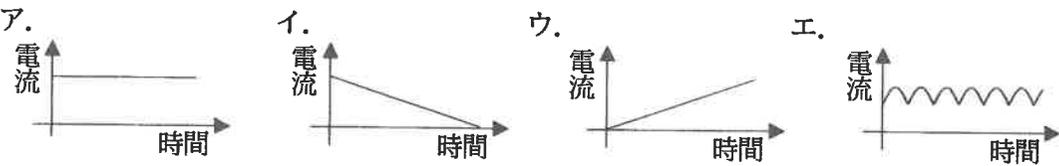


図2

問1 電池とスピーカーをつなげたままでは、音が出なかった理由を答えなさい。

問2 手回し発電機でスピーカーから音を出し続けているとき、コイルを流れる電流の大きさと時間の関係を表す最も適当なグラフを次のア～エから選び、記号で答えなさい。



一方で、図1のスピーカーはマイクとしても利用できます。このような構造のマイクはダイナミックマイクといわれ、磁石とコイルのどちらかを動かすことによって電流をつくる装置になっています。手回し発電機も磁石とコイルが内部にあり、ハンドルを回すことでそれらを動かして、電流をつくります。マイクの場合は膜を動かすことで電流をつくります。図3のようにマイクとスピーカーを接続します。このマイクの膜の部分を押し込むとコイルの部分に電気が流れ、スピーカーの膜が出っ張りました。逆に、マイクの膜の部分を引き張るとスピーカーの膜が引っ込みました。

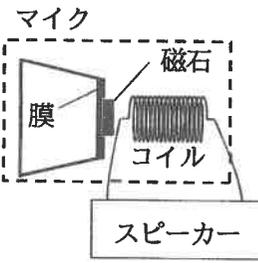


図3

問3 図3でマイクの近くで声を出し続けると、スピーカーから音が出続けました。その理由を説明する次の文中のa～cについて、〔 〕に入る最も適当な語句をそれぞれ選び、記号で答えなさい。

マイクの膜がa〔ア. 振動する イ. 出っ張る ウ. 引っ込む〕と、スピーカーにb〔エ. 向きが一定の オ. 向きが変わる〕電流が流れ、スピーカーの膜がc〔カ. 振動し キ. 出っ張りク. 引っ込み〕、音が出る。

次に、ダイナミックマイクとはしくみの異なるコンデンサーマイクを考えます。コンデンサーは電気をためられ、充電電池のように使用することができるものです。まず、コンデンサーの性質を次の実験で調べました。

実験1：市販のコンデンサーAとBを用意し、それらを図4のように乾電池と電流計にそれぞれ接続しました。Aを接続した場合もBを接続した場合も、スイッチを入れてからしばらくすると、電流は流れなくなりました。電流が流れなくなったらコンデンサーの充電を完了とし、AとBを回路からはずし、それぞれLED（発光ダイオード）に接続すると、Bに接続したLEDの方がより長く明るく光りました。

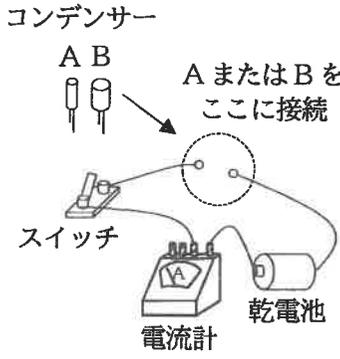


図4

実験1の結果から、コンデンサーが充電電池のはたらきをもっており、またその種類によって、ためられる電気の量が異なることが分かります。AとBではBの方が多く電気をためていたため、より長く明るくLEDを光らせることができたのです。

次に、どのようなコンデンサーが電気を多くためることができるか次の実験で調べました。なお、図5のようにコンデンサーの構造は、2本の導線がそれぞれ繋がった金属板が一定の間隔をあけて向かい合うように設置されているとみなせます。

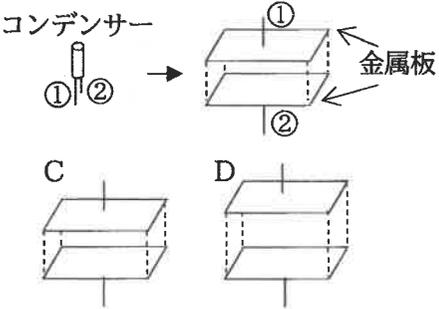


図5

実験2：金属板の間隔だけが異なる2種類のコンデンサーCとDを充電し、それぞれLEDに接続すると、Cの方がより長く明るくLEDが光りました。

実験2の結果から、コンデンサーの金属板の間隔が変わると、コンデンサーの電気をためる能力が変わることが分かります。

コンデンサーの電気をためる能力は金属板の面積によっても変えられ、金属板の面積は大きいほど多くの電気をためられます。

問4 下線部について、コンデンサーを充電電池として利用する場合、より電気をためられるものが必要になることがあります。ただし、より電気をためるコンデンサーには問題点もあります。この問題点についての説明として最も適当なものを次のア～エから選び、記号で答えなさい。

ア. コンデンサーの寿命が長くなり、新しいものと交換しにくい。  
 イ. 乾電池との差がなくなってしまう。  
 ウ. コンデンサーが小型化しにくい。  
 エ. コンデンサーの充電が速くなり、制御が難しい。

次に、コンデンサー、乾電池、検流計を図6のように接続し、コンデンサーを充電しました。この回路を流れる電流の向きは、検流計の針が振れる向きによって分かります。

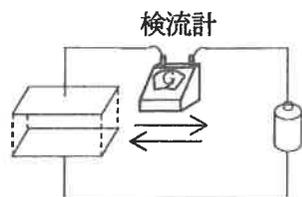


図6

問5 充電したコンデンサーの金属板の間隔を近づけると、検流計に電流が流れました。この電流の向きを説明する次の文中のa~cについて、〔 〕に入る適切な語句をそれぞれ選び、記号で答えなさい。

コンデンサーの金属板の間隔を近づけると、コンデンサーにためられる電気の量が a [ア. 増え イ. 減り]、電気がコンデンサーの b [ウ. 外から入ってくる エ. 外に出ていく] ため、検流計には c [オ. 図6の→の向き カ. 図6の←の向き] に電流が流れる。また、金属板の間隔をはなしたときは、すべて逆のことが起こる。

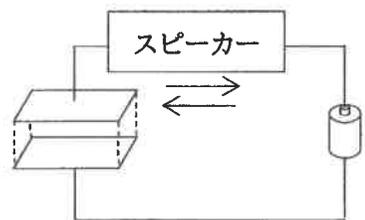


図7

次に、乾電池、コンデンサー、スピーカーを図7のように接続しました。コンデンサーの充電中、スピーカーの膜は何も接続していないときよりも出っ張っていましたが、充電が完了するとスピーカーの膜は元に戻りました。

問6 充電が完了した状態からコンデンサーの金属板の間隔をはなしました。

(1) このとき、スピーカーに流れる電流の向きはどうなりますか。最も適当なものを次のア~ウから選び、記号で答えなさい。

ア. 電流は流れない。 イ. 図7の→の向き。 ウ. 図7の←の向き。

(2) このとき、スピーカーの膜はどうなりますか。最も適当なものを次のア~エから選び、記号で答えなさい。

ア. 膜は変化しない。 イ. 膜は出っ張る。  
ウ. 膜は振動する。 エ. 膜は何も接続していないときよりも引っ込む。

コンデンサーの金属板のうち1枚を外から揺らしやすい薄い膜にし、その膜の近くで音を出すと、コンデンサー部分はマイクとして利用でき、これをコンデンサーマイクといいます。実際の回路は図7よりも複雑ですが、コンデンサーのはたらきは変わりません。

問7 コンデンサーマイクは、ダイナミックマイクに比べて小型化しやすいです。その理由を答えなさい。

問8 ダイナミックマイクと違い、コンデンサーマイクを使用するためには、電源が必要になります。その理由を答えなさい。

4

皆さんは若いので「カロリー」を気にしない人が多いと思いますが、いろいろな食品のパッケージに表1のような栄養成分表示がついていることは知っているでしょう。この一番上に記されている「エネルギー」の数値こそが、いわゆる食品の「カロリー」のことなのです。

表1から分かるように、「カロリー」はエネルギーの単位なのですが、その定義は「1gの水を1℃上昇させるために必要な熱量(エネルギーの一種)を1cal(1カロリー)とする」と定められています。なお、kは「キロ」で、1kcal=1000calとなります。つまり、表1のエネルギー33kcalとは、20℃の水1kgがあったとして、この温度を(あ)℃まで上昇させることができる熱量に相当することになります。

エネルギー	33kcal
タンパク質	0.5g
脂質	1.2g
炭水化物	5.0g
食塩相当量	0.05g

問1 空欄(あ)にあてはまる整数を答えなさい。

もちろん、水の中にこの表1の食品を入れても温度は上昇しません。この熱量の数値は、この食品を燃やしたことにより発生する熱量のことなのです。食品を摂取しても体内で火をつけて燃やしたりしないのに、なぜ?と思うかもしれません。実は、われわれが食品を摂取して消化・吸収して栄養成分としてたくわえ、活動する際にこれらを消費してエネルギーを得る反応は、多くの物質を経由しますが、最終的にはこれらの成分を燃やす反応とほぼ同じなのです。だからこそ、われわれが食品から得るエネルギーとして、それらを燃やしたときの数値が目安として用いられているのです。では、食品中の各成分について、燃やしたときに発生する熱量(発熱量)について考えていきましょう。

食品中の各成分は、それぞれ原子というとても小さな粒がたくさん結びついてできている分子という粒からできています。まずは炭水化物から考えていきましょう。一般的な炭水化物は、ブドウ糖という分子(図中「ブ」)どうしがつながってできています。このとき、下の図1のようにブドウ糖の分子の間から水の分子(図中「水」)が1個とれて、つながっています。このとき、2個のブドウ糖の分子とくらべると、つながった分子はとれた水の分子の分だけ、少し軽くなります。炭水化物の一種であるデンプンは、とても多くのブドウ糖の分子がつながってできています。

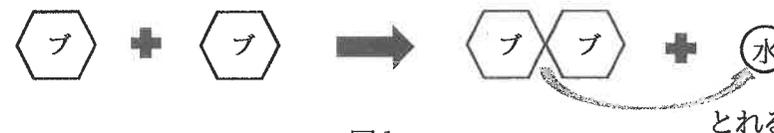


図1

ブドウ糖の分子を180g集めて燃やすと、669kcalの熱が生じることが知られています。また、図1のように水の分子がとれていくと、水の分子18gがとれるたびに、つながった分子の方は24kcalの熱をたくわえます。したがって、ブドウ糖の分子がつながっていくにしたがって、その分子を1g集めて燃やしたときの発熱量は少しずつ増えていくことになります。なお、ブドウ糖の分子と水の分子の1個あたりの重さの比は10:1です。ここでは、食品中の炭水化物の代表例として、砂糖の主成分であるショ糖の分子とよく似た、麦芽糖の分子（ブドウ糖の分子が2個つながったもの）を燃やしたときの発熱量を考えます。

問2 360gのブドウ糖の分子が2個ずつつながって、すべて麦芽糖の分子になったとします。このとき、生じた水の分子をすべてとりのぞくと、何gの麦芽糖の分子が生じたか答えなさい。

問3 問2で生じた麦芽糖を燃やすと、発熱量は麦芽糖1gあたり何kcalか求めなさい。答えが割り切れないときは小数第3位を四捨五入して小数第2位まで答えなさい。

次に、脂質について考えましょう。一般的な脂質はグリセリンの分子（図中「GE」が脂肪酸の分子（図中「脂」）3個とつながった構造をしており、油脂とよべれます。このとき、下の図2のようにつながった3か所それぞれから水の分子が1個ずつ、つまり計3個の水分子がとれます。



図2

脂肪酸にはいろいろな種類がありますが、ここでは平均的な長さの、ある脂肪酸のみがふくまれているものとして考えていきます。グリセリン、脂肪酸、水の分子1個あたりの重さの比は92:284:18です。また、グリセリン92gを燃やすと発熱量は406kcal、脂肪酸284gを燃やすと発熱量は2516kcalです。炭水化物のときと同様に水分子18gがとれるたびに、つながった分子の方は24kcalの熱をたくわえます。

問4 92gのグリセリンの分子と852gの脂肪酸の分子がすべて油脂になったとします。このとき、生じた水の分子をすべてとりのぞくと、何gの油脂が生じたか答えなさい。

問5 問4で生じた油脂を燃やすと、発熱量は油脂1gあたり何kcalか答えなさい。答えが割り切れないときは小数第3位を四捨五入して小数第2位まで答えなさい。

以上の考えをふまえると、炭水化物1gを燃やしたときの平均の発熱量は約4kcalなので、炭水化物の1gあたりのエネルギーは4kcal/gと表されます。また、平均的なタンパク質は、これとほぼ同じ数値となることが知られているので、タンパク質の1gあたりのエネルギーも4kcal/gと表されます。また、脂質は発熱量が大きく、その1gあたりのエネルギーは9kcal/gとなります。以下の計算では、一般のカロリー計算と同様に、これらの数値を用いて計算します。

問6 表2はある食品の成分表示です。次の文章を読み、空欄に適した語句や数値を答えなさい。なお、空欄(a)には小数第1位までの数値を、空欄(c)には適する食品を下のア～オから選び、記号で答えなさい。

表2: 栄養成分表示  
210gあたり

エネルギー	140kcal
タンパク質	7.0g
脂質	8.1g
炭水化物	9.7g
食塩相当量	0.21g

表2の成分表示より、タンパク質、脂質、炭水化物のエネルギーを計算すると、合計(a)kcalとなる。したがって、表示のエネルギーとほぼ同じ数値となっており、表2には記されていないが、この食品の主な成分である(b)は、エネルギーの計算にふくめる必要がないことが分かる。成分の内容量も考えると、この食品は(c)である。

ア. 豚肉 イ. 納豆 ウ. 牛乳 エ. スポーツドリンク オ. 食パン

最後に、表3を見てみましょう。炭水化物の項目が2つに分かれていることに気が付くでしょう。このうち「糖質」のほとんどは、先ほど紹介したようにブドウ糖がつながってできており、1gあたりのエネルギーは4kcal/gです。

問7 一般に、栄養成分表示の「食塩相当量」の項目については、エネルギーを計算する際に考える必要がありません。その理由を考えて答えなさい。

表3: 栄養成分表示  
1食分あたり

エネルギー	437kcal
タンパク質	11.0g
脂質	22.0g
炭水化物	
-糖質	47.5g
-食物繊維	2.5g
食塩相当量	3.2g

問8 食物繊維のエネルギーは何kcal/gか答えなさい。答えが割り切れないときは、小数第2位を四捨五入して小数第1位まで答えなさい。また、糖質と食物繊維を燃やしたときの1gあたりの発熱量はほぼ同じであるにもかかわらず、エネルギーの数値が異なっているのはなぜでしょうか。その理由を考えて答えなさい。

皆さんが大人の体格になると、1日に必要なカロリーはおおよそ2000kcal程度になります。当たり前のことですが、カロリーの合計値だけを見て食事の計画を立てるのではなく、バランスのよい食事を心がけましょう。タンパク質、脂質、炭水化物はそれぞれ違う構造をもつ分子たちで、からだに対しての役割も異なりますから。

《問題は以上です》

