問題２　以下の文章は『重金属のはなし - 鉄、水銀、レアメタル』（渡邉泉著、中公新書、2012）より抜粋、一部改変したものである。次の文章を読んで、後の問 1～14 に答えなさい。

さまざまなグループ分け

「重金属」とはなんだろうか。言葉どおりにとらえれば、重い金属のことを指すと考えられる。 しかし、重金属という言葉は、じつはかなり曖昧(あいまい)な単語である。たとえば、鉄や金、銀、そして鉛やカドミウム、水銀は重金属であるが、しばしばセレンやヒ素、ときにホウ素やベリリウムなども、「重金属等」として同じカテゴリーに含まれる。しかし、これらは厳密な定義でいえば重金属ではない。セレンやヒ素、ホウ素はそもそも金属ではないし、ベリリウムやリチウム、アルミニウムなどは軽金属である。

また、重金属のグループに含まれる同一の物質である鉄や鉛、カドミウムなどが「微量元素」というグループでまとめられることがある。つまり、カドミウムや鉄のことを調べたくなって本を探す場合、重金属と微量元素、両方のキーワードで探すことが必要となる。このように、重金属について定義することは簡単ではない。

金属とはなにか

では、そもそも「金属」とはなんであろうか。

金属は「金に属するもの」というくらいだから、その代表は、なんといっても金であろう。我々の宇宙を構成する元素には、現在、110 以上の元素が知られているが、そのうち人工的に作られた元素を除くと、水素から始まってウランまでの 92 種がある。そのなかで、常温で固体であり、引っ張って延ばしたり(延性)、叩(たた)いて延ばしたり(展性)することができ、**<u>（１）コウタク</u>**をもち、［　　（あ）　　］を金属という。水銀は常温で液体だが、金属に典型的な**<u>（１）コウタク</u>**をもち、熱や電気をよく通す、さらに後に述べる金属結合をしているので例外的に金属に含まれる。

金はとくに金属の性質がよく現れていて、金箔(きんぱく)に加工されるとき、わずか 1 センチメートル四方の粒が、10 平方メートルまで叩き延ばされる。また、金の輝きは古来、多くの人を魅了してきた。さらに、金は金属のなかでも電導性にもっとも優れ、携帯電話など小型のハイテク機器ではふんだんに使われている。

重金属の定義と量

金属元素をグループ分けするときのひとつの基準として比重を用いることがある。比重とは、 ある物質の質量が、同体積の摂氏 4 度の水の質量の何倍に相当するかを示す比である。たとえば、1 リットルの牛乳パックに金を詰めると（1000 立方センチメートル）その重さは約 19 キログラムなので、同体積の水 1 キログラムの 19 倍となり、比重は［　（い）　］である。つまり牛乳パック 1 個に詰めた金塊は、20 リットルのポリタンクに入った水とほぼ同じ重さで、ついでながら金額でざっと 1 億円近い。当然、比重が 1 よりも重ければ、その物体は水に沈む。この比重で 4 以上の金属が重金属、4 以下のもの

が軽金属と分けられる。また、重金属は「鉄より重い金属のこと」ということがよくあるが、鉄の比重は約 7.9 あるので、比重 4 以上を重金属とした場合は、鉄より軽いチタン（比重 4.5）やバナジウム（6.1）、クロム　（7.1）、マンガン（7.47）も重金属となる。一方で比重が 2.7 の**（Ａ）アルミニウム**や、約 3 のスカンジウム、身近なところでは骨の主成分であるカルシウム（約 1.6）や塩の主成分であるナトリウム（比重 0.97）などは軽金属となる。

重金属と呼ばれる元素は、宇宙を構成する約 90 種の元素のなかの過半数が相当する。物理化学的性質が非常に似通った、いわゆる希土類と呼ばれるランタノイドや、ウランやトリウム、プルトニウムを含むアクチノイドと総称されるグループの元素を個別に数えれば、60 種が相当するので、おおよそ 70 パーセントが重金属となる。そのため、じつは重金属は我々にとっても非常に身近な存在といえる。

地球を構成している成分のうち重量にして 39 パーセントは重金属である。そのなかでは鉄がいちばん多く 36 パーセントである。つづいて、鉄とともに地球内部の核（コア）を形成しているニッケル　（2 パーセント）が多く、クロム（0.5 パーセント）、コバルト（0.1 パーセント）と続く。

（う）

意外かもしれないが、重金属は私たちの体にも含まれている。

動物の体は、主に水でできている。そのため、**（Ｂ）体を構成する元素の約 60 パーセントは（　①　）、25 パーセントは（　②　）である。また、有機物を構成する（　③　）は約 10 パーセント、（　④　）は約 3 パーセントを占め、以上で人体の 98 パーセント以上となる。**これら 4 元素に、骨を構成するカルシウムとリンを加えた 6 元素を多量元素という。

これらについで多く存在するのが、必須アミノ酸(さん)の主要な成分である硫黄や、骨に多いマグネシウム、そして、いわゆる塩であるナトリウムや塩素、カリウムで、これら 5 元素を少量元素という。以上の 11 元素で、動物の体重はほぼ 100 パーセントが構成される。

しかし、非常に微量ながら生命の存続のために不可欠な元素が存在する。血液の赤い色を出している鉄分や、各種のビタミン、たとえばビタミン B_{12} を構成するコバルトなどを想像すればわかりやすいが、それ以外にも、亜鉛や銅も重要な栄養として人体には含まれている。

亜鉛は人体に約 17 ミリグラム、濃度にして 330 ppm が含まれている。ppm は 100 万分の 1 をあらわし、1 キログラムのなかに 0.001 グラム含まれると 1 ppm となる。きわめてわずかな濃度を示す単位で、たとえば目薬 1 滴は 0.05 ミリリットルほどなので、2 リットルのペットボトルに 1 滴入れると、［（え）］ ppm くらいになる。この、ppm 単位で体内に存在する元素が生体微量元素とされ、マンガンや銅などの元素が該当する。それ以下、つまり ppb（10 億分の 1）や ppt（1 兆分の 1）のレベルで存在する元素は、“超” 微量元素と呼ばれることがあり、ニッケルやクロム、カドミウムなどの元素がこれにあたる。

このように、生物の体内には極微量だが多くの重金属類が存在している点、生体における役割が不明な元素も含まれているが、その一部は生命の存在に不可欠な必須元素であるという点を覚えておいてほしい。

（中略）

原子を分解していくと

重金属は、現在の人間社会を成り立たせている産業のなかで、きわめて重要な位置を占めている。使用されている“量”で重金属を分類するなら、多い順に「産業の骨格」「産業の血管」、そして「産業のビタミン」となろう。とくに「産業の骨格」としての重金属は、我々の生活になくてはならないものであるばかりか、歴史的にも人類の発展に深く関わっている。さらに近年は、「産業の生命線」とまで呼称されるほど、我々の生活をすみずみまで支えている。

重金属がなぜ、我々の生活を支える素材として活用されているのだろうか。それは金属自体がさまざまな特徴を有していることに由来する。その理由のひとつが、金属に特徴的な原子の構造である。原子とは、この世界を構成している物質の極小単位のひとつである。たとえば、わたしたちが呼吸している酸素の気体は酸素原子が 2 個つながった酸素分子の形をしている。ダイヤモンドは炭素の原子が規則正しくたくさんつながったものである。

原子はさらに小さい単位に分解できる。ほとんどの原子は、陽子と中性子からできた原子核と、その周囲を雲のように覆う電子でできている。陽子と中性子の質量はほぼ等しく、電子はきわめて軽い。**（C）原子核に含まれる陽子の数を（　⑤　）といい、陽子と中性子の個数の和を（　⑥　）という。**宇宙でもっとも小さな原子は水素だが、水素はひとつの陽子とひとつの電子だけで構成されている。そのため、水素の原子番号は 1、質量数も 1 となる。2 番目に小さなヘリウムは 2 つの陽子と 2 つの中性子、そして 2 つの電子からなっており、原子番号は 2、質量数は 4 である。質量数は原子の性質を決める大きな要因である。

質量、つまり重さとともに原子の性質を決定するもうひとつの要因が、電荷（でんか）である。電荷とは、原子の電気的な性質であるが、陽子はプラスに荷電し、原子核の周囲を回っている電子はマイナスに荷電している。中性子はその名のとおり、電気的に中性である。プラスに荷電した陽子の数が増える、つまり大きく重い原子になれば、マイナスの電子の数も増え、電荷が釣り合うようになる。ここで、電子は勝手に動き回っているのではなく、それぞれ原子核の周囲を回る決まった軌道のなかを運動している。ひとつの軌道には 2 個の電子が入ることができ、軌道は電子殻と呼ばれる層状構造に入っている。原子の中心、つまり原子核に近い電子殻ほどエネルギーは低くなり、電子は入りやすい中心の殻から入っていくことになる。一番外側に位置する殻は最外殻と呼ばれ、原子の性質を決定する重要なパーツである。つまり、最外殻にいくつの電子をもっているかによって原子の性質が決まる。最外殻に分布する電子を価電子という。

同位体をもつ金属

ウラン 238 やウラン 235 のように、元素の名前に数字が付くことがある。この数字は前述した質量数をあらわしており、ウラン 238 は陽子 92、中性子 146 で質量数が 238、ウラン 235 は陽子 92、中性子 143 で質量数が 235 である。このように、同じ元素であっても質量数が異なることがある。これを同位体と呼ぶ。宇宙に存在するもっとも小さな原子として水素を紹介したが、じつは水素には 3 種類がある。それは原子核を構成する中性子の数が異なるものである。我々が一般に水素という場合、陽子 1 個のみをもち、中性子はもたないものを指す。これを軽水素ともいい、実際に存在する水素の 99.98 パーセントを占める。これに対し、重水素はひとつの陽子とひとつの中性子でできており、自然界にごくわずかに存在する。さらに三重水素というものも存在し、ひとつの陽子と 2 つの中性子をもつ。これらは、水素の同位体であり、そのなかでも、構造が不安定なため放射線を出しながら崩壊していく原子核をもつ原子はとくに放射性同位体と呼ばれ、水素では（D）三重水素がこれにあたる。他の 2 つの同位体は、比較的安定しており、放射線を放出せず安定同位体として区別される。

自然界では同一元素において同位体が存在する割合はほぼ決まっており、たとえば水素では軽水素が 99.98 パーセントで、重水素が 0.02 パーセント、三重水素はほぼ 0 パーセントとなっている。しかし、地球上のさまざまな環境では、いくつかの要因で同位体の比率が異なることがある。この現象は、たとえば強毒性元素である鉛の汚染源の推定などに応用されている。

金属はなぜ電気を通すのか

原子の性質を決める電気の状態は、陽子と電子の釣り合い、そして電子が存在する軌道と、それが収まっている電子殻の状態に支配される。ここで、電子殻が電子で一杯になると、その原子はエネルギー的に安定となる。しかし、電子殻に入ることのできる電子の数は一定のルールのもとに定まっており、各原子は電子殻を満席にするため、不足している電子を他から取り込み、また、余分な電子は放出することになる。その結果、原子全体としては電気的に陽子のプラスのほうが多くなったり、反対に電子のマイナスのほうが多くなったりする。これがイオンの状態で、前者が陽イオン、後者が陰イオンと呼ばれる。

たとえば、ナトリウムは電子 11 個と陽子 11 個、中性子 12 個からなるが、電子は 3 つの電子殻に分かれて収まっている（図）。電子殻の定員は、内側から 2 個、8 個、18 個なので、いちばん外側にひとつだけ存在する電子は放出されやすい。この電子が放出されると、ナトリウムイオン（Na^{+}）となる。

金属は、電子を放出することで正の電荷、つまり陽イオンになる。とくに純粋な単体同士で結晶をつくるとき、放出された電子が結晶全体に拡散し、自由に移動できるようになる。この結合を金属結合と呼ぶ。その原子同士で共有する形となる電子を自由電子といい、電子が移動することによって生じる静電気の力で原子が相互に結びついている。このような金属に電圧を加えると自由電子が容易に移動するため、金属は［　　　　（お）　　　　］という特徴をもたらす。

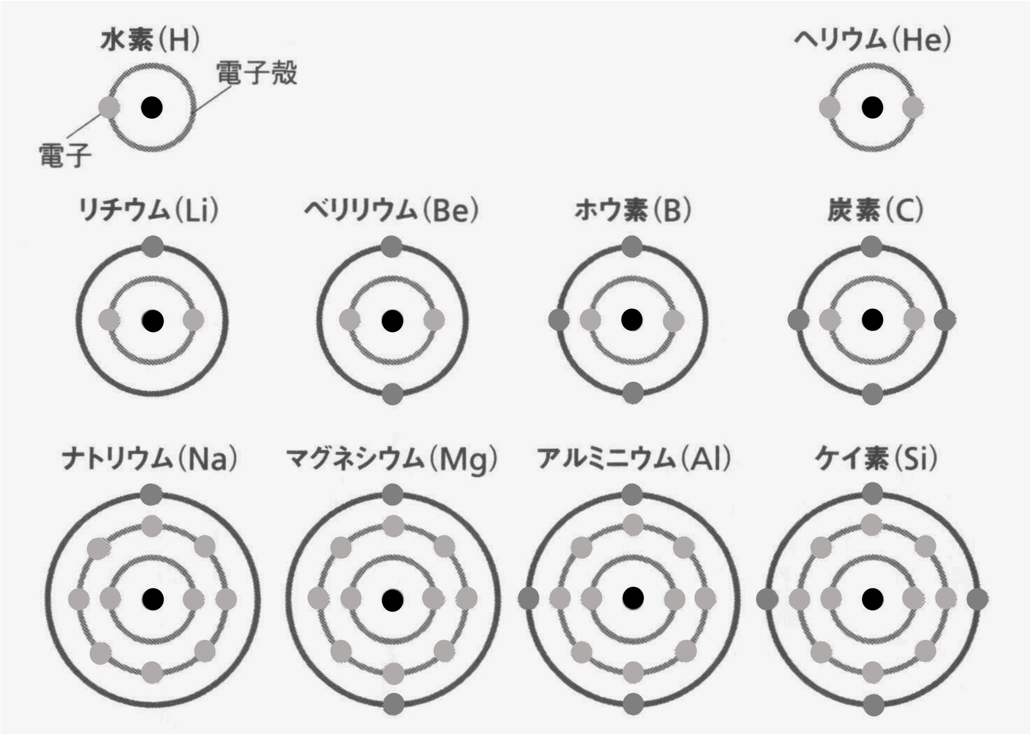

図　電子殻

また、自由電子は光の粒子である光子と相互作用する結果、光を反射し、金属独特の<u>（１）コウタク</u>をもたらす。さらに、自由電子が動き回ることで金属の原子核を結びつけているので、外部からの力によって変形しても結合を保つことができるため、叩いて延ばしたり、曲げたりすることができる。

（中略）

生命の維持になくてはならない重金属

現在の人類の生活に重金属は欠かせない存在である。科学技術に必須であるだけでなく、じつは人類の生存、さらにいえば生物すべての生命維持にも、重金属類は不可欠な存在である。なかでも多細胞化した高等動物は、複雑かつさまざまな生体内の働きのために重金属を利用しており、生命の維持に必要なそれらの金属は、栄養となる金属、つまり必須元素（必須微量元素）と呼ばれる。ここで生体を構成する酸素や炭素、水素、窒素、さらに骨や体液に豊富なカルシウムやリン、硫黄、カリウム、ナトリウム、塩素、マグネシウムも“必須”であるが、これらは多量元素、少量元素と呼ばれ、必須常量元素とされる。

必須元素（ここでは必須微量元素）とされるには、以下の３つの条件を満たさなければならない。第一は、その元素の不足で欠乏症が生じること、第二として、欠乏症は他の物質の摂取では改善されず、その元素の摂取でのみ回復すること、第三はその元素を含むタンパク質や酵素といった化合物が体内から取り出されることである。これら３つの条件を満たす元素は、生物によって差があり、たとえば実験動物で必須性が確認されてもヒトでは認められないといった事態も生じる。その結果、動物ではニッケ

ルやバナジウム、スズなど約 20 種の微量元素が必須元素として確認されているが、ヒトでは鉄、亜鉛、マンガン、銅、セレン、ヨウ素、モリブデン、クロムそしてコバルトの 9 元素のみが必須元素とされている。ヨウ素を除き、これらは、すべてが重金属である。

必須元素の発見

必須元素の発見は意外に古い。特定の栄養素を欠くと起きる欠乏症に人々が気づいたことから、必須元素の存在が知られるようになった。必須元素発見の第一号はやはり鉄であった。古くから周期的な健康不良と鉄分の摂取との因果関係が知られていた女性の貧血などがきっかけとなり、鉄の必須性が確認されたのは 17 世紀のことである。現在も女性の 20 パーセントは鉄欠乏性の貧血であるとされる。

我が国では他に銅と亜鉛も摂取量が不足していることが明らかになりつつある。長野県で行われた調査は、亜鉛の投与が老人患者のうつ症状などの回復を劇的に助けること、老衰の原因に亜鉛不足に伴う味覚障害が関与していた可能性を報告した。

世界的には、いくつかの風土病が金属欠乏と関わっていることが知られている。とくに大陸の内部、海から離れた場所では重金属を含めた栄養元素の恒常的な供給不足が起こりやすい。たとえば、タイ東北部のカリウム欠乏症や、ユーラシア大陸内部のセレン欠乏症による心筋症（克山（こくさん）病）は長年多数の患者を出したと考えられる。内陸部は海洋沿岸の地域と異なり海藻を摂取できないために、いくつかの必須元素不足が生じやすく、とくにヨウ素の不足は甲状腺腫（こうじょうせんしゅ）を引き起こす。現在では、このような必須元素欠乏の克服のために食事以外からの摂取、いわゆるサプリメントの活用が**（２）スイショウ**されている。

じつは必須元素が欠乏するという事態は、基本的には起こりにくい。私たちが日常的に摂取している「食べもの」は、それ自体が生物であり、必須元素が含まれているからである。しかし、ひとたび欠乏が起きるときわめて深刻となる。必須元素の不足は細胞の生存自体に関わるため、成長障害や骨格異常など、体の形態そのものに及ぼす異常や、生殖能力の低下といった生命の根幹に関わる**（３）ジュウトク**なものとなって現れやすい。

体内での調整機能

通常、必須元素は、欠乏状態になれば消化の過程で積極的に食べものから取り込み、過剰になれば取り込みの抑制や排出の促進を行う結果、体内で一定量が維持される。このメカニズムを**（Ｅ）ホメオスタシス**（恒常性の維持）という。そのため、必須元素による健康影響は、基本的には上に述べたような欠乏症が深刻となる。

しかし、欠乏症以外にも、ホメオスタシスの乱れ、つまり代謝異常が深刻な病変を引き起こす特殊なケースも存在する。たとえば、銅の代謝異常であるウィルソン病やメンケス病は、通常の銅の運搬メカニズムに障害が生じた結果、肝臓での異常蓄積や、反対に吸収できなくなることで**（３）ジュウトク**な症状を生じる。また、BSE（牛海綿状脳症、いわゆる狂牛病）として有名になった脳や中枢神経の疾患

であるクロイツフェルトヤコブ病は、その発現メカニズムの一部に、プリオンと呼ばれるタンパクの金属結合異常があると考えられている。つまり正常の状態ではプリオンは銅や亜鉛と結合することで抗酸化力をもつが、マンガンと結合することで異常が生じるメカニズムが疑われている。

酵素の役割

では、必須元素である重金属類は生体内でどのような役割を果たしているのだろうか。

生体を構成する元素を多い順に挙げると、まず先に示したように水素、酸素、炭素、窒素など、水や有機物を構成する多量元素がある。ついで、一部のタンパク質や骨に必要な硫黄やリン、カルシウム、さらに、血液に含まれるカリウムや、ナトリウム、マグネシウム、塩素といった少量元素が続き、これらは身体そのものを構成している。その次に鉄や亜鉛、銅などの元素が続くが、必須元素としての重金属が多く含まれる微量元素は、エネルギーの貯蔵や、細胞の浸透圧調整、細胞膜の電位調整、そして酵素の活性中心（酵素の働きである触媒作用・化学反応を担う部分）、呼吸といった役割を果たしている。

なかでも酵素における重金属の利用は重要であり、ここからは酵素と重金属との関係について説明する。生物が生きているということは、じつは体内でエネルギー獲得や生命活動維持のためのさまざまな化学反応が起きている結果ともいえる。しかし、体内では、実験室で行うような火で熱したり有機溶媒のなかで反応させたりといった過酷な環境で化学反応を起こすことはできない。そのため、温度や水分を一定に保ちながら複雑な化学反応を進める必要がある。このとき、マイルドな条件で化学反応を進めるため、それを助ける触媒が必要となる。触媒は、特定の化学反応において、反応速度を劇的に速める役割をもつ。しかし、あくまでその役割は反応を助ける補助であり、反応の前後で自身は変化しないという特徴をもつ。**（Ｆ）酵素は、さまざまな生命活動を支える生体触媒タンパク質であり、酸化還元反応や加水分解、転移反応など数千種の反応の触媒として作用することが明らかとなっている。**

【問１】　本文中の下線部（１）～（３）と同じ漢字を含むものを、1～5 より 1 つずつ選びなさい。

（１）コウタク

1. 二者タクイツを迫る　2. 技量がタクエツしている　3. 子供をタクジショに預ける
4. 出かけるシタクをする　5. 予算がジュンタクにある

解答番号[19]

（２）スイショウ

1. 実権をショウアクする　2. ショウメイで明るくする　3. 攻撃のタイショウとなる
4. 貸与されたショウガクキン　5. 善行に対しヒョウショウされる

解答番号[20]

（３）ジュウトク

1. トクシュな技能　2. 野球のカントク　3. 品性としてのジントク
4. 機械操作をエトクする　5. 慈善事業に熱心なトクシ家である。

解答番号[21]

【問２】　本文中の（あ）に入る言葉として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 割れやすく重いもの
2. 軟らかくて溶融しないもの
3. 固体で板状であるもの
4. 電気と熱をよく伝えるもの
5. 電気は伝えるが、熱は伝えないもの

解答番号[22]

【問３】　本文中の（い）に入る数字として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 1.9
2. 2
3. 19
4. 10
5. 20

解答番号[23]

【問４】　本文中の（う）に入る言葉として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 体のなかにも重金属が含まれる
2. 動物の体は水でできている
3. 必須アミノ酸の主要な成分
4. 生体における役割が不明な元素
5. ビタミン B_{12} を構成するコバルト

解答番号[24]

【問５】　本文中の（え）に入る数字として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 2.5
2. 10
3. 25
4. 100
5. 250

解答番号[25]

【問６】　本文中の（お）に入る言葉として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. イオン化しやすい
2. 融点が低い
3. 密度が高い
4. 磁石としての性質をもつ
5. 電気伝導性がよい

解答番号[26]

【問７】　本文中の下線部（A）について、さまざまな製品として利用されているアルミニウムの説明として**適切でない**ものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 共有結合をして電気を通さない
2. 鉄や銅などに比べてやわらかく、加工しやすい
3. 磁石に引き付けられない
4. 一円硬貨や鍋、住宅用のサッシなど広く利用されている
5. 製造には大量の電気を必要とするため、アルミニウム缶などが再利用されている

解答番号[27]

【問８】　本文中の下線部（B）で、文中の①～④の組み合わせで適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

	①	②	③	④
1.	酸素	水素	炭素	窒素
2.	水素	酸素	炭素	窒素
3.	炭素	窒素	水素	酸素
4.	窒素	酸素	炭素	水素
5.	水素	窒素	炭素	酸素

解答番号[28]

【問９】　本文中の下線部（C）で、文中の⑤、⑥の組み合わせで適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

	⑤	⑥
1.	原子量	原子番号
2.	質量数	原子番号
3.	原子番号	原子量
4.	原子番号	質量数
5.	質量数	原子量

解答番号[29]

【問１０】本文中の下線部（D）は、12.3 年の半減期をもつ。この放射性同位体の 24.6 年前の放射能は今の放射能の何倍であったか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 0.5
2. 2
3. 4
4. 8
5. 10

解答番号[30]

【問１１】本文中の下線部（Ｅ）が示す、ホメオスタシスの説明として、**適切でない**ものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 暑いとき汗をかき、皮膚の血管が広がる
2. 寒いとき体が震え、皮膚の血管が縮まる
3. 食後に血糖値が上昇すると膵臓からインスリンが分泌される
4. 腎臓の働きによって、体液中の塩類濃度をほぼ一定に保っている
5. 走った後、呼吸回数が増えてそのまま元に戻らない

解答番号[31]

【問１２】本文中の下線部（Ｆ）について、触媒としての酵素の例を以下に示す。説明として適切なものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

「４本の試験管に過酸化水素水を 10 mL 入れ、それぞれに、大根片、すりおろした大根、ニワトリの生の肝臓片、煮沸した肝臓片を加える」と、どのようになるか。

1. すりおろした大根よりも、大根片から多くの水素が出る
2. 大根片よりも、すりおろした大根から多くの水素がでる
3. 煮沸した肝臓片よりも、生の肝臓片から多くの酸素が出る
4. 生の肝臓片よりも、煮沸した肝臓片から多くの酸素が出る
5. 生の肝臓片からのみ酸素が出る

解答番号[32]

【問１３】図のヘリウムについての説明として**適切でない**ものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 電子の数は 2 個である
2. 空気より重い
3. 貴ガスと呼ばれる
4. 安定でほとんど化合物を作らない
5. 単原子分子である

解答番号[33]

【問１４】酵素についての説明として**適切でない**ものはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 種類によって触媒する反応が決まっている
2. 温度の影響を受ける
3. pH の影響を受ける
4. 触媒すると消費される
5. 高熱に弱い

解答番号[34]

正解

解答番号[19]	5
解答番号[20]	4
解答番号[21]	5
解答番号[22]	4
解答番号[23]	3
解答番号[24]	1
解答番号[25]	3
解答番号[26]	5
解答番号[27]	1
解答番号[28]	2
解答番号[29]	4
解答番号[30]	3
解答番号[31]	5
解答番号[32]	3
解答番号[33]	2
解答番号[34]	4