

## 平成 26 年度入学者選抜個別(第 2 次)学力検査問題

# 理 科

### 注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 29 ページあり、第 1～3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机の上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

## 生 物

1

社会性昆虫として有名なアリは、巣を作ってコロニーと呼ばれる集団で生活する<sup>a)</sup>。基本的には、女王アリと多数の働きアリなどからなり、土中などに巣を作っ<sup>b)</sup>て生活する。アリは社会性を維持するために様々なフェロモンを使ったコミュニケーションを行っている。特に、同じコロニーのアリと別のコロニーのアリを区別することは、社会性昆虫にとって最も重要な事柄である。例えば、クロオオアリがある器官<sup>c)</sup>を使って異なるコロニーの個体の体表に触れた場合、その個体に対して攻撃行動を示すが、同じコロニーの個体の体表に触れても攻撃行動を示さない。仲間を識別するためのこのフェロモンの正体は、体表に存在する不揮発性の炭化水素であることが示されている。クロオオアリでは、体表近くに分布するエノサイトと呼ばれる細胞において少なくとも 18 種類の炭化水素が合成され、体表に分泌されている。図 1 に異なるコロニー(A と B)で生活しているクロオオアリの体表から抽出した炭化水素をガスクロマトグラフィー<sup>(註)</sup>で分析した結果を示す。実験的に、あるクロオオアリの体表から抽出された炭化水素を直径 4 mm のガラスビーズに塗り、これを異なるコロニーのアリに近づけると、このガラスビーズに対して攻撃行動を示す。一方、同じコロニーのアリの体表の炭化水素を塗ったガラスビーズには攻撃行動を示さない。<sup>d)</sup>

昆虫では他にも、敵が来たことを仲間に知らせる警報フェロモン、集団を形成し維持するための集合フェロモン、異性を誘引する性フェロモンなどが知られている。

昆虫に限らず、多くの脊椎動物においても多彩なフェロモンが知られている。両生類のイモリ<sup>e)</sup>では、雄の腹部肛門腺から性フェロモンが分泌され、同種の雌を誘惑する。このイモリの性フェロモンは脊椎動物で初めて発見されたペプチドフェロモンで、ソデフリンと命名された。マウスにおいては、雄マウスの尿中のフェロモンが幼若な雌マウスの性成熟をはやめることや、交尾後の雌マウスが、着床の前<sup>f)</sup>に交尾相手ではない雄の匂いを嗅ぐと、着床が阻害され妊娠の成立が阻

止されてしまうことが報告されている。またヤギでは、成熟した雄の頭部や頸部の皮膚にある皮脂腺からのフェロモンが非繁殖期の雌を発情させて排卵を起こさせる現象が知られている。

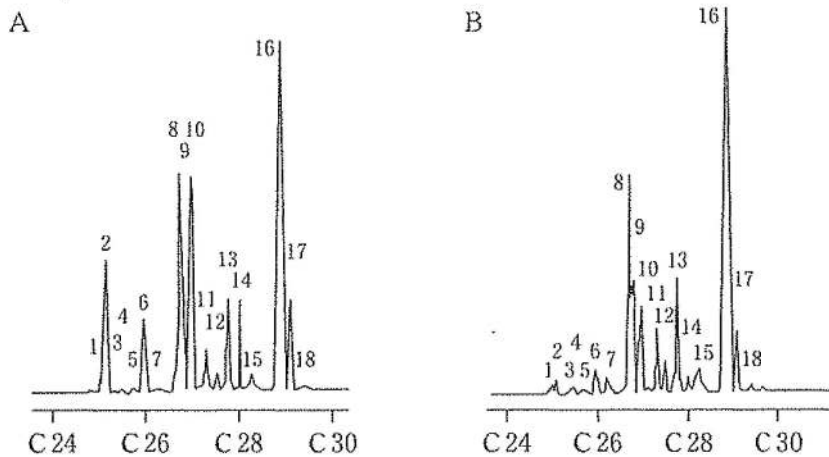


図1 異なるコロニーのクロオオアリ体表炭化水素の比較

1—18のピークは異なる18種類の炭化水素を示す。横軸はそれぞれの炭化水素の位置を、縦軸は相対的な濃度を示す。

(註) ガスクロマトグラフィーとは、ペーパークロマトグラフィーのように混合物を分けるときに用いる方法である。

問1 下線部a)～f)に関連した次の問題に答えよ。

- a) 1) 昆虫は旧口動物である。旧口動物とはどのような特徴を持つ動物か、述べよ。
- 2) 昆虫が属する門の名称を答え、ミミズなどの環形動物門の体の構造との類似点と相違点を1つずつ挙げよ。
- b) 餌を得ること以外に、アリが集団で生活することの利点を挙げよ。
- c) 1) ある器官とは何か答えよ。
- 2) この器官は化学物質を受容する。ヒトにおいて、化学物質を適刺激とする受容器の例を1つ挙げ、その器官の名称と、それにより生じる感覚を答えよ。

d) この実験結果と図1をふまえて、アリは何の違いによって、自分と同じコロニーの個体と他のコロニーの個体とを識別していると考えられるか答えよ。

e) 1) 図2にイモリ胞胚の原基分布図(予定運命図)を示す。以下の語群から①~⑤にあてはまる言葉を選択し、原基分布図を完成させよ。

語群：体節、神経板、脊索、側板、表皮

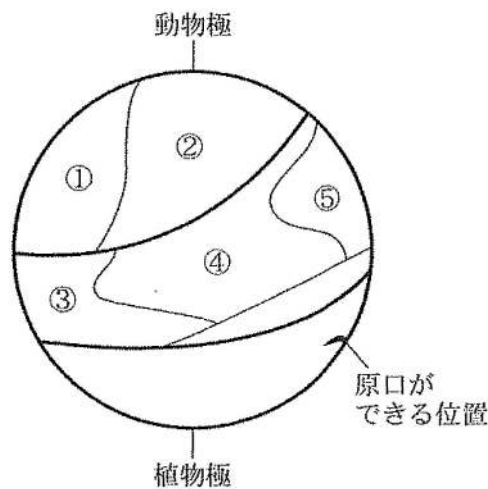


図2 イモリ胞胚の原基分布図

2) イモリを含む脊椎動物は、受精後の胚(原腸胚)が3種類の胚葉を形成する三胚葉動物である。その後、発生が進むにつれ各胚葉から器官が形成されるが、皮膚を構成している表皮と真皮はそれぞれ何胚葉に由来しているのか答えよ。

f) ヒトでは受精卵は通常どこに着床するか、また着床時の受精卵のステージは何期か答えよ。

問2 アリと相利共生関係にある昆虫を以下の中から1つ選べ。また、両者の相利共生関係を具体的に述べよ。

テントウムシ、アブラムシ、ゴキブリ、ミツバチ

ヒトの骨は、からだを支える支持組織として重要な役割を持つ。骨には、主として塩酸を分泌して骨を溶かす働きがある破骨細胞と、骨を作る働きがある骨芽細胞、そして骨芽細胞が分化した骨細胞が存在している。また、これらの細胞の間を埋める大量の細胞間基質は、主にⅠ型コラーゲンとハイドロキシアパタイト(リン酸カルシウムの結晶)よりなる。骨は、支持組織として働く以外に、血液中のカルシウム濃度を一定に保つために、常に骨からのカルシウム溶解(骨吸収)と骨へのカルシウム沈着(骨形成)を繰り返している。破骨細胞は、血液幹細胞から分化することが知られているが、単独では分化できず、破骨細胞の前駆細胞と骨芽細胞との間で、それぞれの細胞表面に存在するタンパク質が結合することによって初めて分化できる。また、単核の破骨細胞が、塩酸を分泌するような活発な状態の多核の破骨細胞になる時も、骨芽細胞との相互作用が大切な役割を担っていることが分かっている。したがって、破骨細胞の単独の培養系では、破骨細胞の分化や機能を調べるのは難しい。

そこで、生体内に近い状態を反映した骨のモデルとして、魚類の鱗(図3)が注目されている。鱗には骨と同じように破骨細胞と骨芽細胞が存在し、Ⅰ型コラーゲンを基質としてカルシウムがハイドロキシアパタイトの形で沈着している。したがって、魚から鱗を抜いて培養液に入れてやれば、破骨細胞と骨芽細胞が共存する状態を保ったままで培養できる。また、鱗は淡水魚においては血液中のカルシウムの供給源となっており、骨と類似した役割も担っている。さらに、鱗と骨は、進化学的にも古生代の異甲類のもつ甲皮(脊椎動物が最初に獲得した硬組織で、頭部をおおう甲冑のような構造<sup>a)</sup>)由来であると考えられている。鱗は2層構造からなり、血液中のカルシウムの供給源となる骨質層と、それを下から支える繊維層からなる。また、鱗の一部は表皮がおおっており、ここにさまざまな色素細胞が存在するため、魚の種類によっては色鮮やかな鱗となる。骨質層の表面に生じる隆起線(成長線)は、一定の割合で外周へと増えていくため、耳石<sup>b)</sup>と並んで魚類の年齢推定によく利用されている。鱗はその成長過程に軟骨が関与しないので、ヒトの頭蓋骨などで見られる膜性骨に近く、さらに構成する細胞は骨質層の表面にのみ存在するため、骨質層の表面のみが石灰化していく点で、非常

に単純な骨のモデルといえる。

キンギョの鱗の培養系を用いて、破骨細胞に対する無(微小)重力応答実験が、2010年5月に国際宇宙ステーションの「きぼう」実験棟において実施された。1961年のガガーリンによる人類初の宇宙飛行以来これまでのべ500人以上が宇宙飛行を経験しており、宇宙飛行士の心身には驚くべき変化が観察された。それらは、骨量の著しい減少を代表格に、筋量の減少、消化管の吸収能力の低下、免疫機能の低下など、宇宙飛行がまさに「加齢加速現象」を引き起こすことを示していた。<sup>d)</sup>宇宙飛行では、骨量が1ヶ月に約1~2%の割合、すなわち地上の約10倍のスピードで減少するために、骨粗しょう症になる危険性が高まる。宇宙空間で生じる骨量の著しい減少は、破骨細胞の骨吸収活性が亢進するからではないかと推測されている。しかし、培養維持が難しい哺乳類の破骨細胞を用いる宇宙実験は、フライトの延期など、さまざまな宇宙実験特有の条件に対応することが困難なため研究が進まなかった。しかし、鱗の破骨細胞は、4℃の培養下で1週間以上生存可能なため、そのような問題にも対応できる点で優れている。

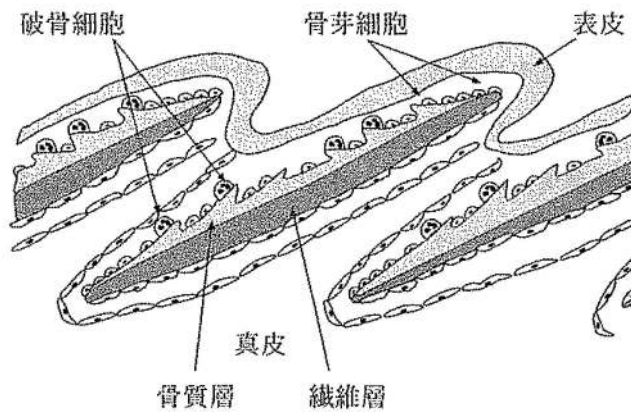


図3 キンギョの鱗の断面模式図

問 1 下線部 a)～d)に関連した次の問題に答えよ。

a) 異甲類は最初に出現した脊椎動物の仲間であるが、何という名称の分類群に属するか答えよ。また、デボン紀になると原始的な両生類が進化した。陸上生活に適応するために消化管の一部が膨らんで、ある器官が発達した。その器官の名称を答えよ。また、重力の影響から内臓を支えるために、その後の進化の過程で何という骨が特に発達したか答えよ。

b) メダカやフナの鱗を使って、黑色素胞を観察することにした。拡散している(色素顆粒が放射状に広がっている)黑色素胞は、背側と腹側のどちらの方が多いか、または変わらないか答えよ。

c) ヒトでは内耳の前庭と半規管が平衡器として働いている。次の用語をすべて指し示した「前庭」の模式図を描け。

①耳石(平衡石) ②リンパ液 ③感覚毛と感覚細胞 ④前庭(平衡)神経

d) ヒトの白血球の数は、血液  $1\text{ mm}^3$  中およそどれくらいか答えよ。また、リンパ球は大きく2種類に分けられるが、その細胞の名称と、それらのもとになる細胞はどこで作られ、どこに移動して成熟するのか、それぞれ答えよ。

問 2 あきら君は、キンギョを使い鱗を抜き取って形や大きさを調べてみた。すると、鱗は場所によって形や大きさが異なっていた。また、ホルマリンで固定してから特殊な染色をすると、鱗の表面に存在する破骨細胞の数も異なっていることが分かった。授業で習った、血液中のカルシウム濃度を上昇させる、あるホルモンの作用を調べるために、キンギョの鱗を培養して、その培養液にこのホルモンを添加して、破骨細胞の様子を観察することにした。

- 1) あるホルモンとは何か答えよ。
- 2) 実験には必ず対照群を置く必要があると先生から教わった。どのような鱗を用いれば、対照群と実験群(ホルモンの添加群)の鱗の破骨細胞数をほぼ同じにできるだろうか。その方法を考えて答えよ。ただし、肉眼や顕微鏡では破骨細胞を見ることはできない。
- 3) 2)で決定した方法を用いて、実験した結果を表1に示した。  
表1の結果からこのホルモンには破骨細胞に対してどのような作用があると考えられるか答えよ。また、どのようにして血液中のカルシウム濃度が上昇するのか、本文をよく読んで考えを述べよ。

<表1> 鱗に存在する破骨細胞の数

	1細胞当たりの核の数						
	1	2	3	4	5	6	7
対照群	70	15	10	0	0	0	0
実験群	2	2	3	6	8	5	3

- 4) 宇宙空間においては宇宙放射線が降り注いでおり、地上とは条件が異なっている。そこで、「きぼう」実験棟において、どのような実験計画を立てれば、重力の影響だけをみることが出来るか、考えを述べよ。実験装置は自由に考えて良いものとする。



食べた物は口の中でかみ砕かれ、唾液と混ぜ合わされて飲み込みやすくなるとともに、一部は消化される。唾液は唾液腺で作られ排出管によって口腔内に分泌されるが、この唾液中に含まれる酵素 $\alpha$ アミラーゼ(以下、唾液アミラーゼ)がデンプン<sup>a)</sup>を加水分解して、オリゴ糖や二糖類のマルトース(麦芽糖)を生成する。デンプンをよくかむと、ほんのりと甘く感じるのはマルトースのためである。唾液中に分泌されるアミラーゼはアミノ酸 496 個からなるタンパク質で、基質結合部位<sup>b)</sup>には、長い糖鎖のうちの5つ分のグルコースが収まるへこみがあり、このへこみにデンプンの糖鎖が収まると加水分解がおこる。

食物が口から胃に移動すると、胃内の強い酸性により唾液アミラーゼは活性を失い、オリゴ糖やマルトースはそのまま小腸に送られる。小腸の一番初めの部分は十二指腸で、ここに膵臓から膵管を通して膵液が分泌される。この膵液中の $\alpha$ アミラーゼ(以下、膵液アミラーゼ)によって、オリゴ糖の大部分はマルトースにまで消化される。

十二指腸に分泌される膵液アミラーゼは膵臓の消化酵素産生細胞で作られるが、この細胞集団の中に、ホルモンを分泌する細胞の塊が島状に点在<sup>c)</sup>している。膵臓は消化酵素だけでなく、ホルモンを生産する重要な臓器である。膵液アミラーゼもアミノ酸 496 個からなり、唾液アミラーゼとは一部のアミノ酸配列が異なっているが、酵素活性に重要な位置を占めるアミノ酸の種類はまったく同じであり、立体構造も変わらない。

こうして、デンプンは大部分が二糖類のマルトースにまで消化され、次の空腸に送られるが、二糖類ではまだ吸収できない。ここまでの消化は口腔や十二指腸の管腔の中で行われたが、二糖類から単糖類への消化は、小腸上皮細胞の細胞膜に埋め込まれた加水分解酵素マルターゼによって行われ、すぐに吸収される。小腸の管腔内で単糖類にまで消化してしまうと、腸内細菌に奪われてしまう可能性があるからである。

グルコースの吸収は、小腸上皮細胞膜に埋め込まれたタンパク質によって行われる。ナトリウムイオンが濃度勾配に従ってこのタンパク質が作る穴を通して細胞内に入るときに、グルコースと一緒に引き込まれ細胞内に取り込まれる。細胞

外のナトリウムイオン濃度が細胞内部に対して高いのは、小腸上皮細胞基底面の細胞膜に埋め込まれた膜タンパク質である $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ という酵素が、ATPのエネルギーを使い、常にナトリウムイオンを細胞外へ汲み出しているからである。

<sup>d)</sup>  
ヒトに限らず霊長類には、唾液と膵液にアミラーゼがあり、ヒトではこれらをコードする遺伝子は同じ染色体の非常に近い位置にある。この領域を詳しく調べてみると、<sup>e)</sup>唾液アミラーゼの遺伝子はチンパンジーでは2個(相同染色体に1個ずつ)だが、ヒトではこれよりずっと多い。唾液アミラーゼの遺伝子の数が多いほど唾液中のアミラーゼの量が多くなるので、遺伝子数の増加は、霊長類の進化の過程でヒトがデンプンを多く含む食べ物に依存するようになったためだと考えられる。一方、イヌやオオカミでは唾液にアミラーゼは含まれていない。最近、膵液アミラーゼの遺伝子の数がイヌとオオカミで異なることが報告された。オオカミでは遺伝子の数は2個だが、イヌでは4個から30個あることが両者のゲノムの解析によって明らかになった。

<sup>f)</sup>  
多くの臓器は、交感神経と副交感神経による拮抗的な二重支配を受けているが、唾液アミラーゼの分泌も、交感神経と副交感神経による神経支配<sup>g)</sup>を受けている。しかしながら、唾液腺の腺細胞を支配する自律神経の場合は、どちらも唾液の分泌を促進する。交感神経の興奮は、軸索末端からのノルアドレナリンの分泌を促す。この神経伝達物質が唾液腺の腺細胞基底側の細胞膜にある受容体に結合すると、アミラーゼの分泌が促進される。一方、副交感神経の興奮は、軸索末端からのアセチルコリンの分泌を促す。アセチルコリンが腺細胞基底側の細胞膜にあるアセチルコリン受容体(ムスカリン性アセチルコリン受容体)と結合すると、<sup>h)</sup>主として水やイオンの分泌が促進される。これらの二重の神経支配のバランスのもとに唾液は分泌されている。

ストレスがかかると交感神経の働きが高まるので、アミラーゼ濃度の高い唾液が分泌される。そのため、唾液中のアミラーゼを測定することで、ストレスをどのくらい受けているかを評価することができる。ストレスによって、副腎皮質の糖質コルチコイドであるコルチゾールも唾液中に出てくるが、アミラーゼのほうが測定が簡単なため、アミラーゼを利用したストレスチェッカーが市販されている。

<sup>i)</sup>

下線部 a) ~ i) に関連した次の問題に答えよ。

- a) このような分泌を何と呼ぶか。
- b) 唾液アミラーゼを構成しているアミノ酸をコードしている塩基の数は何個か。また実際の遺伝子を構成している塩基の数はこれよりずっと多いが、それはなぜか。
- c) この島状の細胞集団を何というか、またそこから分泌されるホルモンを2つ挙げよ。
- d) このような輸送を何と呼ぶか。
- e) 一般的には1つの遺伝子が1つのタンパク質を作るが、1つの遺伝子が複数のタンパク質を作る場合がある。どのような方式でこれを実現しているか答えよ。
- f) イヌとオオカミはおよそ1万5千年以上前に分岐したと考えられているが、イヌに唾液アミラーゼ遺伝子の数が多いのはどのような要因によると考えられるか答えよ。
- g) 心臓が受けている自律神経の拮抗的二重支配について、その作用機構がわかるように本文中の用語を用いて説明せよ。
- h) 運動ニューロンの軸索末端(終板)からもアセチルコリンが神経伝達物質として放出され筋肉に作用する。終板ではアセチルコリンがどのような変化をひき起こし神経情報を伝えるのか答えよ。

i) ストレスチェッカーの有用性を調べるために次のような実験を行った。実験では、まず唾液を採取し(直前)、ショッキングなビデオを15分間見せて、その後3分ごとに唾液を採取した。唾液のアミラーゼ活性は、デンプンを基質とした比色法で測定した。一方のコルチゾールは抗原抗体反応を利用したELISAという方法で唾液中の濃度を測定した。比較のために、唾液の流量も測定した。得られたデータを表にすると次のようになる。結果をわかりやすく、また効果を比較しやすいように表すためには、どのようなグラフを描けばよいか、表2の3種類の測定項目を使ってグラフを描け。また、このグラフをもとにアミラーゼがコルチゾールよりストレス指標として優れているのは、どのような点か、2つ答えよ。

<表2> 唾液中のアミラーゼとコルチゾールの変化

	直前	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	(分)
アミラーゼ活性 (IU/mL)	120	168	222	228	222	180	144	120	126	132	126	
コルチゾール濃度 (pg/mL)	1000	1050	1250	1500	1450	1400	1550	1250	1150	1050	1150	
唾液流量 (mg/min)	0.50	0.50	0.50	0.55	0.50	0.55	0.50	0.45	0.45	0.50	0.45	

⑥ IU: アミラーゼ活性の国際単位  
pg:  $10^{-12}$  g