

# とやま科学オリンピック 2019

## 生 物

(高校部門)

2019年8月8日(木)

時間：9時45分～12時15分(150分)

### 注意事項

1. 指示があるまで、問題冊子を開かないで、以下の注意事項をよく読むこと。
2. 問題は1と2の、10 ページにわたって印刷してあります。
3. 机の上には、筆記用具、定規、時計(時間計測のみのも)とし、電子辞書およびインターネットに接続できる端末の使用は認めない。
4. 解答はすべて解答用紙に記入し、解答用紙だけを提出すること。
5. 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
6. 途中で気分が悪くなった場合や、トイレに行きたくなった場合は、すぐに申し出ること。
7. 実験はチームで協力して行うこと。他のチームの実験操作を参考にしてはいけない。
8. 実験にあたっては、周囲の人の安全に十分に注意すること。
9. 実験中に器具が故障・破損したり、けがをしたりした場合には速やかに申し出ること。

みなさんの健闘を期待しています。

1

1 富山県沿岸の藻場面積はおよそ 10~11 km<sup>2</sup>と見積もられ、豊かな藻場が存在している。県西部の氷見市と高岡市や、県東部の入善町と朝日町の沿岸では、ホンダワラ類で構成されるガラモ場を中心とした藻場が形成されており、滑川市や魚津市沿岸では、紅藻類のテングサ類、緑藻類のアナアオサや褐藻類のワカメなどで構成される藻場が確認されている。一方、砂泥域に繁茂するアマモ類の分布は、氷見市から高岡市沿岸の水深 5~15m付近にはほぼ限られている。

< (公団) 環日本海環境協力センター 豊かな海をつくるために—富山湾の大切な藻場—より >

(1) アマモは「海藻」とは異なり、砂泥域に藻場を形成する種子植物のなかまである。アマモの外観を観察し、藻類とは異なる構造が確認できる部分を2つ以上答えなさい。

アマモはビニール袋に入っているのので、袋から取り出しトレーに入れて観察しなさい。また、アマモは5月に採取し、冷凍保存したものである。

(2) アマモ場をはじめ、藻場は富山湾の環境を保護する上で重要な役割を担っている。どのような役割を果たしているか、考えられる役割をできるだけたくさん述べなさい。

(3) 藻場は、衰退・減少傾向にある。藻場が減少する原因について、できるだけたくさん述べなさい。

(4) 富山県沿岸では、約300種の海藻が確認されており、様々な色の海藻が存在している。そこで海藻が陸上植物に比べ、様々な色のものが存在することに注目し、海藻の光合成色素について調べたところ、下記の海藻には、次のような色素が含まれていることがわかった。

表1：各生物に含まれる主な光合成色素

生物	体色	クロロフィル			カロテノイド			フィコビルリン	
		クロロフィルa (青緑)	クロロフィルb (黄緑)	クロロフィルc (黄緑)	β-カロテン (黄橙)	ルテイン (黄)	フコキサンチン (褐色)	フィコエリトリン (紅)	フィコシアニン (青)
陸上植物 (ツバキ)	緑色	○	○		○	○			
アナアオサ	緑色	○	○		○	○			
アカモク (ナガラモ)	褐色	○		○	○		○		
アサクサノリ	紅色	○			○	○		○	○

上記の海藻を粉末にしたもの、A、B、Cを準備した。用意した3つのマイクロチューブは、それぞれの粉末に抽出液であるジエチルエーテルを加え、よく振って放置したものである。次の手順に従って実験を行いなさい。

**準備**

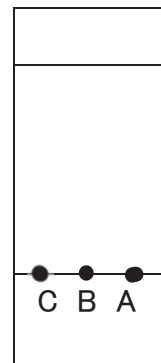
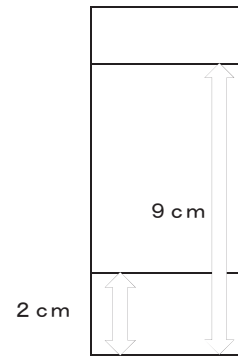
海藻粉末・ジエチルエーテル入りマイクロチューブ (A~C)

展開管、展開液 (石油エーテル：アセトン=7：3)・・・既に展開管に展開液は入れている。

シリカゲル薄層プレート3枚 (予備として2枚)、ガラス細管6本 (予備として3本)、鉛筆、ピンセット、ものさし、テープ

**手順**

- 1：薄層プレート（白い面）を用いる。端から2 cm（原線）と9 cm（展開終線）のところに鉛筆で線を引く。表面を鉛筆で削らないように注意する。
- 2：マイクロチューブの上澄み液（抽出した色素）にガラス細管の先を浸し、自然と吸い上がった液を薄層プレートの原線上に右の図のように付着させる。乾燥したら数回同じ操作を行い、なるべく濃く付着させる。
- 3：ピンセットで薄層プレートを静かに展開管に入れる。この際、原線が展開液に浸らないように注意する。入れた後は、展開管はしっかりふたをし、展開中は、動かさない。
- 4：溶媒前線（展開液の染みこんだ上端）が9 cmの展開終線に達したら、ピンセットで薄層プレートを展開管からすみやかに引き出し、分離した各色素の輪郭を鉛筆で囲み、色素横に番号を記入する。色素番号は展開終線側から1・2・3～とする。
- 5：薄層プレートの展開面をテープで全て覆うようにして、解答用紙の添付欄に貼り付ける。



- ① 解答用紙に分離した各色素の色と番号を記入しなさい。
- ② 原線から分離させた各色素の中央部の距離を測り、下記の式に従ってR f 値を求めなさい。なお計算式も解答欄に示し、R f 値は、小数第2位まで求めるものとする。  
(R f 値は、展開液、薄層プレートの種類、温度などの条件が同じ場合、色素により一定の値を示す。)

$$R f \text{ 値} = \frac{\text{原点から色素中央までの距離 (cm)}}{\text{原点から溶媒前線までの距離 (cm)}}$$

- ③ 光合成色素をうまく分離させるためには、上記手順で示したこと以外に、どのような点に注意して実験を行う必要があるか。実験を通して気づいた注意点を述べなさい。
- ④ 海藻A、B、Cは表1のどの海藻に該当するか。薄層クロマトグラフィーの結果と表2をもとに答えなさい。

表2 薄層クロマトグラフィーで分離した時のR f 値

色素	R f 値
クロロフィルa	0.45～0.55
クロロフィルb	0.40～0.50
クロロフィルc	0.05～0.15
フェオフィチン※	0.55～0.65
β-カロテン	0.90～0.95
ルテイン	0.35～0.45
フコキサンチン	0.20～0.25
ビオラキサンチン	0.20～0.30
ネオキサンチン	0.10～0.20

※クロロフィルのMgが2個のHに置き換わった灰色の色素、その多くは作業中に生じる。

⑤ アサクサノリに含まれるフィコエリトリン（紅）、フィコシアニン（青）は水溶性であり、色素の性質が他の色素と異なるため、上記手順による方法では分離させることができない。これらの色素が含まれていることを確認する場合、どのような工夫を施せばよいか。考えられる方法を述べなさい。

(5) アナアオサに熱を通しても緑色のまま変色しないが、アカモク（ナガラモ）は熱を通すと褐色から緑色に変色する。アカモクが変色する理由を述べなさい。

(6) 紅藻類は、緑藻類や褐藻類と比較すると、海の深い場所で生育している仲間が多い。紅藻類が海の深い場所でも生育できる理由を、次の図とグラフから読み取り、答えなさい。

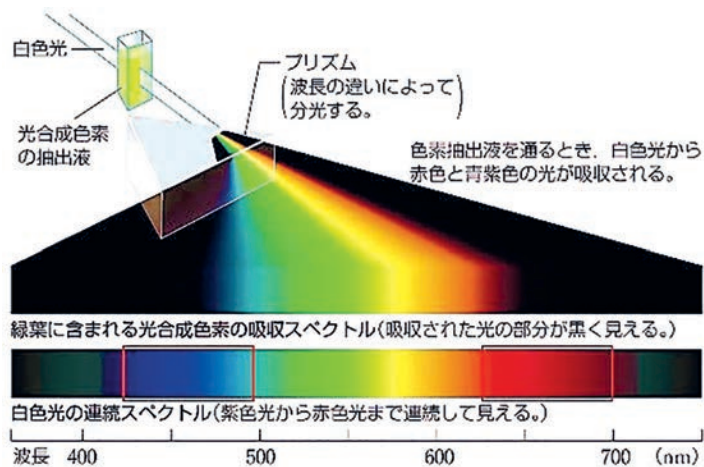


図1 光合成色素の吸収スペクトルと作用スペクトル

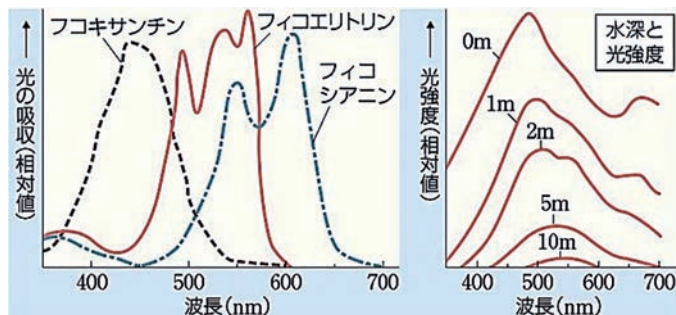


図2 藻類に含まれる光合成色素の吸収スペクトルと光環境

(第一学習社 「スクエア最新図説生物neo」より)

(7) 緑藻や紅藻の葉緑体は、真核単細胞生物にシアノバクテリアが共生して葉緑体になったと考えられている。そのため、葉緑体が二重膜に包まれている。それに対して、褐藻やケイ藻、ミドリムシ類の葉緑体は、葉緑体をもった藻類が従属栄養の真核単細胞生物に取り込まれたものと考えられている。

前者の葉緑体の断面図の模式図を図3のように示すとすると、後者の葉緑体はどのような構造になっていると考えられるか。図示しなさい。

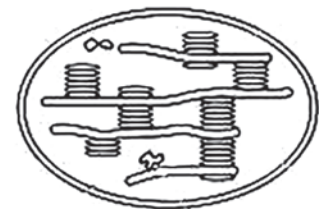


図3 葉緑体の断面図

(数研出版「リードLight ノート生物」より)

2 富山地方気象台の観測では、「一冬を通しての最低気温」と「各日の最低気温」が0℃以下になった日数をまとめている。近年の富山市内の都市化や気象台周辺の環境が変化したことによる影響を考える必要があるが、近年は年間最低気温が-6℃以上となっており、過去と比較して非常に寒い日が減っている。また、冬日についても、昔は50~60日程度あったが、近年は30日を下回る年が増えている。今後の更なる冬季の昇温により、特に平野部における降雪量への影響が予想される。また、その冬で初めに氷が張った日（結氷初日）と春に最後に氷が張った日（結氷終日）についても観測している。近年は結氷初日が遅くなり、結氷終日が早まっている。氷の張る期間がこの70年間で20日以上も短くなっている。このような気象の変化は、富山湾や日本海の生態系にも影響を与えている。

低緯度の海域では、植物プランクトンの光合成による有機物の生産が行われる表層の水温と、それより深い下層の水温との差が一般に大きく、その間には水温躍層とよばれる水温が大きく変化する層がある。このような海域では、表層と下層の栄養塩や酸素、二酸化炭素の濃度に差が生じる。

それに対して、ペルー沖の海域では、他の同じような低緯度の海域に比べて、表層水温は低く、水温躍層は周囲ほど発達しておらず、また、植物プランクトンの有機物の生産量が多くなる傾向がある。

エルニーニョ現象がペルー沖の海域で発生すると、表層の水温が上昇するだけでなく、生息する生物にも大きな変化が生じ、植物プランクトンでは、現存量の低下と群集組成の変化が起こる。また、図に示すように通常期とエルニーニョ期では植物プランクトンの大きさの組成が大きく異なっている。このような 生産者の大きさの組成の変化は食物連鎖の構造にも影響を与える。

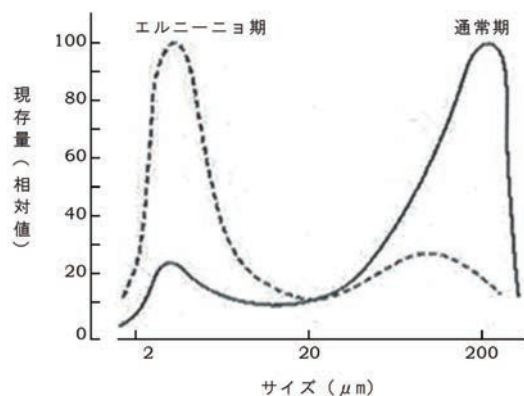


図4 通常期とエルニーニョ期の植物プランクトンの大きさと現存量

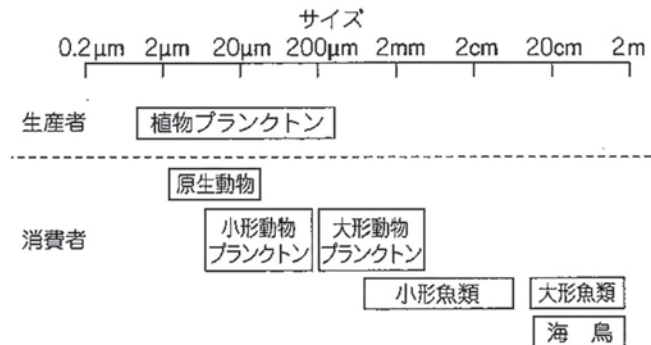


図5 海洋に生息する生物のサイズ

(筑波大学 2015年 前期)

- (8) 下線部アについて、栄養塩や酸素、二酸化炭素の濃度について、表層の濃度が下層に比べて低いのか高いのか答えなさい。
- (9) 下線部イについて、ペルー沖の海域では、他の同じような低緯度の海域に比べて、植物プランクトンの有機物の生産量が多い。その理由を「栄養塩」という語を用いて、答えなさい。
- (10) 図4に示すように通常期とエルニーニョ期で植物プランクトンの大きさに差がでる理由を答えなさい。
- (11) 下線部ウについて、図5は海洋の食物連鎖に関係する主な生物の大きさを示している。図4と図5を参考にして、エルニーニョ期の食物連鎖の特徴を答えなさい。



生物多様性という概念は、大きく分けて3つの要素から構成されている。まず最も大きなくくりとして、生態系の多様性があり、続いて種多様性、最も身近にとらえづらいのは遺伝的多様性である。

富山県は生態系の多様性が高く、高山から低地、海洋まで、県土における変化が大きいいため、それぞれの山・平野・海で多様な生態系が育まれている。

次に種多様性であるが、これも生態系の多様性と同様、富山県は日本国内でも高い部類に入る。例えば、陸では国土の約1%に過ぎない県土に、約1,800種の種子植物が観察され、これは日本の種子植物の約4割弱にあたる。海では、富山湾沿岸に海藻藻場がひろがり、希少種も分布する。富山湾の湾奥は底生生物の種数が多く、ヒラメ、ヤリイカ等の産卵場でもあり、富山湾全体にはホタルイカの産卵場がある。

遺伝的多様性の例としては、ヒトの肌の色や眼の光彩の色の違いが挙げられる。遺伝的多様性は地域や国が異なることで、その地域に高い頻度で存在する遺伝子が異なり、地域特有の形質の違い(特徴)として現れることになる。

- 1 種の多様性を考えるうえで、種間の相互作用は必要不可欠な要素である。以下に示した実験は、特定外来種であるブルーギルと、コイとの間での食う—食われるの関係について示したものである。文章を読んで問いに答えなさい。

ある地域で、ブルーギルの環境影響を調べるために、実験を行った。まず、あらかじめコイ稚魚を入れた水槽にブルーギル1尾を入れ、コイ稚魚の減少状況を調査した。この食害影響試験は2回行い(図1)、2種類の重量のコイの稚魚を用いた。1回目はコイ稚魚は150尾/水槽であり、2回目は30尾/水槽であった。ブルーギルのサイズは大(173 mm, 221 g)・中(148 mm, 123 g)・小(113 mm, 59 g)である。結果は図1の通りである。

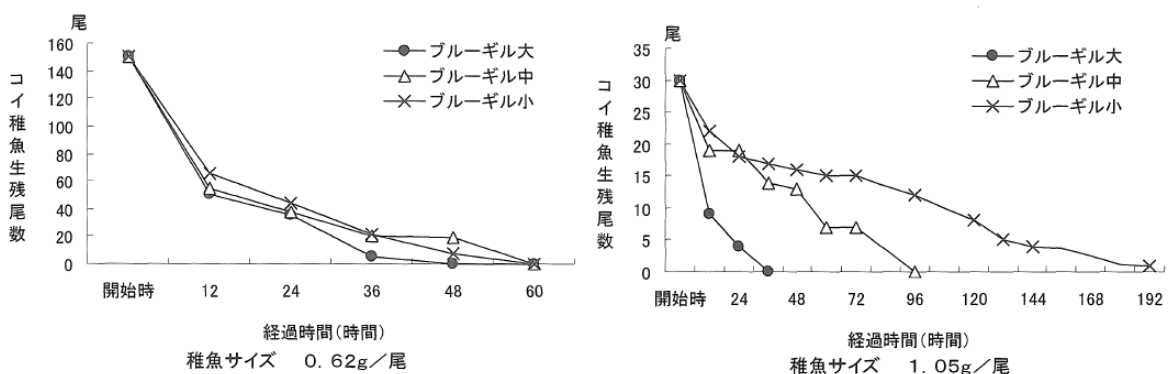


図1 コイ稚魚に対するブルーギル食害影響試験  
(福岡県 水産海洋技術センター)

- (1) 図1から、ブルーギルの摂食行動について考えられることは何か、答えなさい。

(2) 自然界では、図1で示された結果とは異なり、すべての個体が捕食によって失われてしまうことは少ない。この理由について、実験に用いた条件と自然条件とで、対比させながら答えなさい。

ブルーギルによるコイ稚魚の再生産に対する影響を調べる試験を、水が400トン入る試験池2面(面:池の数を数える助数詞)で行った(表1)。1面は試験区(ブルーギルを放流した池)とし、ふ化直前のコイ卵を入れた。もう1面は対照区とし、ふ化直前のコイ卵のみを垂下した(池に入れた)。8月試験では、標準体長129~152mmのブルーギルをそれぞれ60尾ずつ入れた。また、この試験では、コイ稚魚のエサとしてタマミジンコを池に入れ、その密度についても調査を行った。この実験でのタマミジンコ密度の推移を図2に示す。なお、ブルーギルはタマミジンコを捕食しない。

表1は、ブルーギルによるコイ稚魚の再生産に対する影響を調べる試験終了時に試験池から取り出したコイ稚魚の尾数および重量である。

表1 ブルーギルによるコイ稚魚再生産に対する影響

		8月試験	
		ブルーギル放流池	対照区
卵垂下日(試験開始日)		8月15日	同左
稚魚取り上げ日		9月17日	〃
コイ稚魚	取り上げ数	1	1,036
	平均体長	71mm	44.4mm (24.9~72.2mm)
	平均体重	10.5g	3.2g (0.51~12.31g)

注:( )内の値は、「最小の個体の値」~「最大の個体の値」の意味である。

(福岡県 水産海洋技術センター)

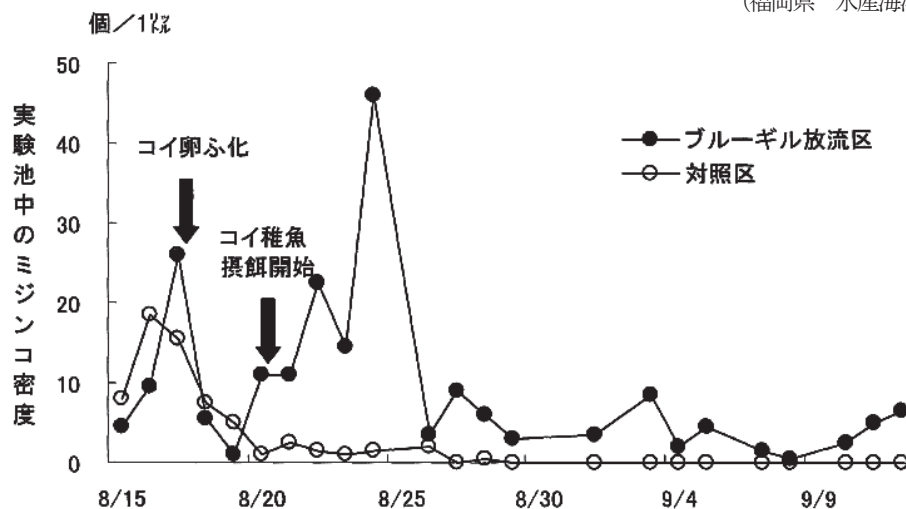


図2 実験池(400トン)におけるタマミジンコ密度の推移

(福岡県 水産海洋技術センター)

(3) 表1の8月試験から、以下の仮説を設定した。

仮説:「ブルーギル放流池では、捕食されず生き残ったコイ稚魚が、エサを独占できたため、体重が対照区と比べ大きくなった」

この仮説は、2つの観点から検証する必要がある。以下の2つの観点それぞれについて、どのような試験を行うとよいか、設定の理由とともに答えなさい。

- ① エサの密度(単位体積あたりどれだけのエサが含まれるか)が原因と考える場合。
- ② 個体群密度(単位体積あたりどれだけの個体が存在するか)が原因と考える場合。

(4) 図2からタマミジンコの密度とコイとの関係について考えられることを簡潔に答えなさい。

2 種多様性に関連し、生物の種分化について考える上で基礎となるのは系統樹の考え方である。系統樹は、生物の集団、種、遺伝子の進化史的関係について表現するのに用いられてきており、以下に示す表2から図4のように示すことが可能である。このとき、分析を進めようとする種間の関係を調べる上で、グループ内で系統的には最も遠い種を基準に考察していくとわかりやすい。

表2で見てみると、「爪」という形質についてはニホントカゲ、イリエワニ、ニホンライチョウおよびアカネズミ、ニホンザルは共有しているが、これがホクリクサンショウウオには無いことがわかる。このため、ニホントカゲ、イリエワニ、ニホンライチョウおよびアカネズミ、ニホンザルが、ホクリクサンショウウオと比較的して互いに近縁であることがわかる。このようにして、作成した図が図4の系統樹である。

表2 動物の形質

	形質							
	顎	肺	爪	砂囊※1	羽毛	体毛	乳腺	ケラチン主体のウロコ
ヤツメウナギ	-	-	-	-	-	-	-	-
サクラマス	+	-	-	-	-	-	-	-
ホクリクサンショウウオ	+	+	-	-	-	-	-	-
ニホントカゲ	+	+	+	-	-	-	-	+
イリエワニ	+	+	+	+	-	-	-	+
ニホンライチョウ	+	+	+	+	+	-	-	+
アカネズミ	+	+	+	-	-	+	+	-
ニホンザル	+	+	+	-	-	+	+	-

※1 砂囊：消化器官の1種で、分厚い筋肉や体内に飲み込んだ砂などで食べ物をすりつぶす。

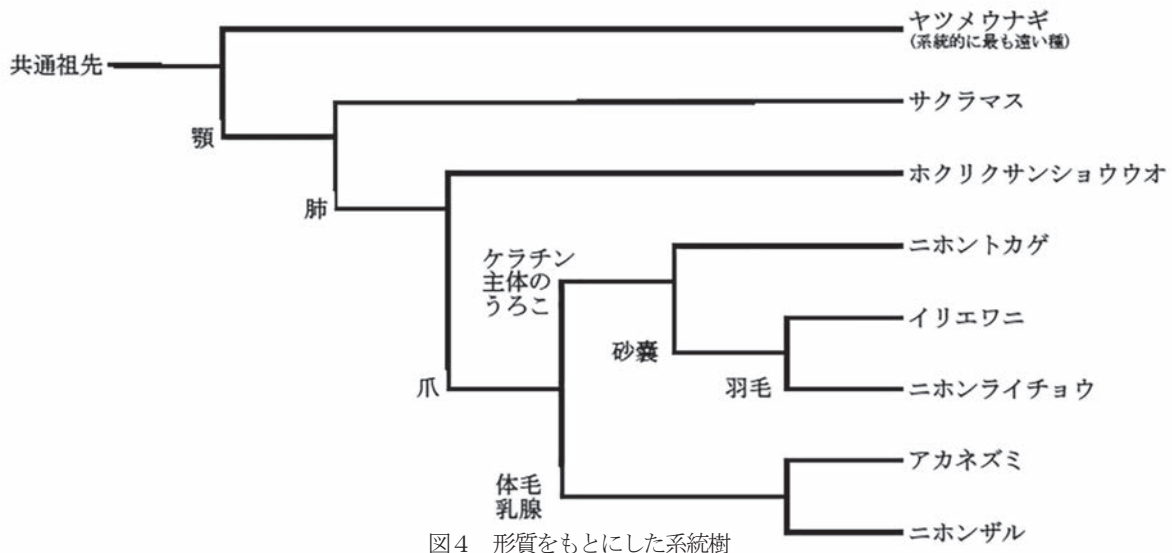


図4 形質をもとにした系統樹

(5) 図4より、系統的に最も近縁であるのはどの2種か答えなさい。

(6) 以下の表3は、7種類の陸上植物と、系統的に最も遠い種(シャジクモという水生植物)についてのデータである。それぞれの形質が、各植物に存在するか(+)、存在しないか(-)が書かれている。この表を用いて陸上植物の系統樹を復元せよ。



表3 シャジクモと陸上植物の形質

	形質						
	胚が守られている	根がある	常に緑色の胞子体	維管束細胞がある	気孔	葉がある	種子
シャジクモ	-	-	-	-	-	-	-
ゼニゴケ	+	-	-	-	-	-	-
マツ	+	+	+	+	+	+	+
シダ	+	+	+	+	+	+	-
ヒカゲノカズラ	+	+	+	+	+	-	-
ミズゴケ	+	-	-	-	+	-	-
ツノゴケ	+	-	+	-	+	-	-
ヒマワリ	+	+	+	+	+	+	+

(7) 系統樹の概念は、以前は形質を基にした生物の分類に用いられることが多かったが、現在は分子遺伝学の分野にまで利用は拡大し、生物の全分野にわたっている。すべての地球上の生物は共通の祖先を有すると仮定すると、本来すべての生物は同じ塩基配列を持つはずである。しかし、長い間に多様な理由（転写など内的要因や、紫外線、放射線などの環境要因）によって塩基配列は変異を起こすため、種と種の間では塩基配列が異なり、その異なる度合いが大きいほど、分類的に遠い種とみなすことができる。

下の表4は、形態によって分類された生物の種と種の間での系統関係を、遺伝子という視点から見直すために用意された、表4の7種の生物すべてに共通して存在するタンパク質のアミノ酸配列の一例である。（タンパク質は、アミノ酸の種類が多少変化しても、立体構造に大きな影響がなければ機能に影響はないため、同じタンパク質とみなしている）

表4の7種の生物の系統樹を作成しなさい。ただし、系統的に最も遠い種をカイメンとし、アミノ酸を指定する塩基の変異の確率は同等であるとする。また、アミノ酸を指定する塩基の変異が起こり、異なるアミノ酸を指定するようになったあとは、その部分の塩基に変異は起こらないものとする。

表4 動物の共通タンパク質に含まれるアミノ酸の種類

動物	アミノ酸番号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
カイメン	P	P	M	S	V	R	Q	N	L	V	I	L
アサリ	E	A	M	R	I	K	L	S	I	V	I	L
ミミズ	E	P	M	R	I	K	L	S	I	V	M	L
クマムシ	E	K	M	R	I	R	L	N	L	V	L	L
ショウジョウバエ	E	K	M	R	I	S	L	D	L	V	L	L
ウニ	E	P	M	R	V	R	Q	N	L	T	V	K
ヒト	E	P	I	R	V	R	Q	N	L	T	V	K

3. 次のAとBの2人の会話を読み、以下の問いに答えなさい。

A：今日も庄川でたくさんの人が鮎釣りをしていたね。

B：アユは川で生まれ、海で成長して翌年に再び産卵のために産まれた川に戻ってくる回遊魚なんだよね。大正時代頃から、琵琶湖産のアユ<sup>※2</sup>の種苗放流が全国的に行われてきたって聞いたけど、富山県在来のアユは減ってきているのだろうなあ。

A：ブラックバスやウシガエルのように外国から導入されて日本に定着した<sup>ア</sup>外来生物であれば、生態系に悪い影響を及ぼすからね。アユの場合は同じ種同士だし、国内産に変わりはないから問題は無いと思うけど……。

B：確かに氷見市の十二町潟にいるイタセンパラも、ブラックバスの捕食によって<sup>イ</sup>個体数が減ってきているのだよ。

A：イタセンパラは国指定の天然記念物で、氷見市が保護しているにも関わらず、さらに生息域が減少しているらしいよ。

B：<sup>ウ</sup>生息域が減少すると<sup>エ</sup>遺伝的多様性<sup>※3</sup>が低下して、<sup>エ</sup>ますます個体数が減少するんだよね。生物が多様性を持つためには、同じ種でも遺伝子が多様でなければいけないんだ。

A：となると、別の場所から導入した生物と交雑させることは、むしろ遺伝的多様性を増やすことになり、いいことなのかも。

B：それは違うのではないかな。ほら、このサイトに、家で飼っていたメダカを川に放つことは、もともとその川にいたメダカの遺伝的多様性を結果的に低下させる可能性があるって書いてあるよ。<sup>オ</sup>琵琶湖で育ったアユを富山県の川に放流することも、遺伝的多様性の面から考えると同じなのではないかなあ。

※2 琵琶湖を海の代わりにして、川と湖を回遊したり一生湖で過ごしたりする。つまり、琵琶湖産アユは一生を通じて淡水で生活することになる。

※3 遺伝的多様性は、1つの個体群内の個体間の遺伝的変異だけでなく、局所的な条件に適応していることの多い個体群間の遺伝的変異をも含む。もし1つの個体群が絶滅すれば、その種の進化を可能にする遺伝的多様性の一部を失うことになる。

(8) 下線部アに関して、外来生物が移入先で急激に個体数を増やす場合がある。どのような状況の場合か、例をあげて答えなさい。

(9) 下線部イについて、池などの閉鎖的な環境で動き回る淡水魚などの個体数を推定する方法として、標識再捕法がある。この方法を用いて、ある池に生息するブラックバスの個体数を推定した。ブラックバスを12匹捕獲した後、それらのすべてを標識して再び池に放した。放した個体が池に十分広がった後に再びブラックバスを捕獲したところ、16匹が捕獲され、そのうち4匹に標識が認められた。な

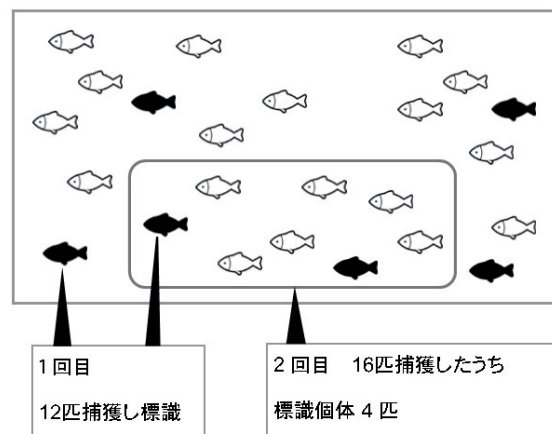


図5 標識再捕法

お、ブラックバスのこの池への移入や移出はなく、調査期間中にブラックバスの出生や死亡は起こらなかったものとする。

- ① 標識再捕法で行う標識方法で、気をつけるべきことは何か。2つ答えよ。
- ② この調査から推定される、この池に生息するブラックバスの全個体数を答えよ。



ブラックバス的一种 オオクチバス  
(写真提供 魚津水族博物館)



イタセンパラ  
(写真提供 氷見市)

(10) イタセンパラのような希少種の個体数を調べたいときには、標識再捕法では難しい。そこで、次のような調査を計画した。

- i) イタセンパラを捕獲する(1回目)。捕獲したイタセンパラは池に戻さずいけすで飼育する。
- ii) 数日後、1回目と同じ条件で、イタセンパラ捕獲する(2回目)。捕獲したイタセンパラは、1回目とは別のいけすで飼育する。
- iii) 1回目と2回目で捕獲したイタセンパラの個体数を数え、1回目をX個体、2回目をY個体とする。
- iv) 捕獲したイタセンパラは、すべて池に戻す。

- ① この方法で調査した場合、池に生息するイタセンパラの個体数をX、Yを用いた式で答えなさい。
- ② この方法の良い点と悪い点を説明しなさい。

(11) 下線部ウに関して、生息域が減少するとなぜ遺伝的多様性が低下するのか、説明しなさい。

(12) 下線部エに関して、遺伝的多様性が低下するとなぜ個体数が減少するのか、説明しなさい。

(13) 下線部オに関して、あなたの意見を理由と共に述べなさい。

