

本実験試験では、異なる温度環境に置かれたカイワレ大根を題材として、低分子の糖の蓄積を調べた。植物の多くは低温にさらされると、凍結による細胞の損傷や道管内の水の凍結をふせぐために、グルコースやスクロースなどの糖を蓄積する。

この実験試験では、最初に、4℃で育成したカイワレ大根の子葉（条件 A のカイワレ大根）と 22℃で育成したカイワレ大根の子葉（条件 B のカイワレ大根）を乳鉢と乳棒ですりつぶし、フィルターに通すことで、それぞれの抽出液を得る。すりつぶす際に、子葉と磨砕緩衝液を正確に取ることで、また条件 A と条件 B の試料を同様にすりつぶすことが重要である。

第一部では、上記の条件 A と条件 B の抽出液、標準試料であるスタキオース、ラフノース、スクロース、グルコースを薄層プレートに塗布し、薄層クロマトグラフィーを行った。塗布は、同じ量を取り、指定した位置に塗布する必要があった。問 1 と問 2 は標準の糖の移動度に関する問題であり、比較的平易であった。問 3 は、糖残基の数が多いほど、移動度が低くなることを答える問であった。問 4 では、条件 A と条件 B を比較し、条件 A で糖が蓄積していることを答える。ただし、グルコースとスクロースの分離は十分ではため、薄層クロマトグラフィーの結果では、どちらの糖が蓄積しているかは判定できない。そのために、第二部の実験を行っている。問 5 では、展開時間を倍とすると、それぞれの糖の移動距離も倍になることを答える。互いの移動度の関係が維持されて、全体的に移動距離が伸びている図を描けていれば、正答とした。予備体験で、時間とともにインクが上方に移動したことを思い出せれば、比較的容易に答えられた。問 6 は仮想の実験の解釈であった。α-アミラーゼはアミロースの様々な部位に作用するため、グルコースとマルトースに加えて、様々なオリゴ糖が生じる。

第二部では、グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼの連続反応を利用して、条件 A と条件 B の試料のグルコース濃度を測定した。最初の操作として、それぞれを 10 倍希釈した。この段階で、条件 A と条件 B の試料の同じように 10 倍希釈することが重要であった。すりつぶす際に約 10 倍に希釈したため、カイワレ大根の子葉の中の実際の濃度は、この実験で測定する濃度の約 100 倍（問 2）である。問 1 では、色見本との比較から、スクラーゼ処理した条件 A 試料（ア）、スクラーゼ処理していない条件 A 試料（イ）、スクラーゼ処理した条件 B（ウ）、スクラーゼ処理していない条件 B 試料（エ）のグルコース濃度を測定した。解答例の値は参考値であり、この通りの値でなくても、同じ傾向が得られていれば、正答とした。まず、イとエを比較して、条件 A の方がグルコースが蓄積していることがわかる（問 3）。また、アとイの比較から、スクロースはあまり蓄積しないことがわかる（問 4）。問 5～7 は、対照とした試料の結果の解釈である。問 5 では、グルコース検出試薬がグルコースに反応すること、または水とは反応しないことを答える。問 6 では、スクラーゼが作用し、グルコースが生じたことを答え

る。問7はやや難しい問題であった。グルコースの溶液、スクロースの溶液いずれも0.2 mg/mLであり、同じ量（体積）を用いている。「はじめに」にあるように、スクロースはグルコースとフルクトースが結合した物質であるため、スクラーゼで分解してもすべてがグルコースにはならず、同じ濃度のグルコースよりも発色は弱くなる。問8は、同じ比率で反応を行えば、色の濃さは変わらないことを答える。問9は、低温にさらされた植物が低分子の糖の蓄積による凝固点降下により、凍結から細胞をまもることを答える。

以上

実験試験 植物生理学 解答用紙 <第一部>

受験番号	氏名

問1

_____スタキオース _____

問2

_____スクロース_____

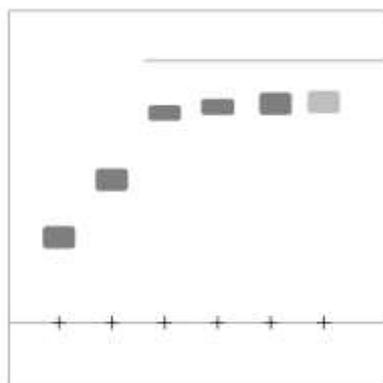
問3

_____糖が多く結合したもののほど移動距離が短い_____ 1

問4

_____条件 A _____

問5



展開時間を2倍とすることで、
いずれの糖も移動距離が2倍
になる。

左からスタキオース、ラフィノース、スクロース、グルコース、条件 A の試料、条件 B の試料とする。

問6 (ア)

_____α-アミラーゼ_____

問6 (イ)

_____α-グルコシダーゼ_____

問6 (ウ)

_____β-アミラーゼ_____

実験試験Ⅱ 生物情報学 模範解答・解説・講評

講評

生物情報学においては生命現象のデータ化とモデル化が重要となる。生命現象のデータ化により、自然現象の観察結果はデータベースに集積され、適宜様々な切り口で比較解析される。また、生命現象をモデル化することで、定量やシミュレーションを通じて自然現象の理解や予測が可能となる。今回の三つの問題ではいずれも、生命現象のデータ化とモデル化について、実際にプログラムを動かしつつ正しく理解できるかを問うものであり、採点においてもその点を重視した。

問1では、組織・臓器ごとの遺伝子発現のパターンからそれぞれの遺伝子の機能を予想するという、分子生物学者の仮説生成のステップを体験した。遺伝子発現のパターンを一つ一つの遺伝子についてグラフ化して注意深く観察することは研究の基本である。一方で、遺伝子の集合全体について俯瞰する場合、遺伝子発現の傾向を何らかの指標で数値化すると便利な場合が多い。シャノンのエントロピーの式を初めて見たという学生も多かったと思うが、式の意味がすぐに読み取れなかった場合でも、実際の遺伝子発現パターンの様子と数値の変わり方をいくつか手を動かして調べることで、その意味するところが理解できたはずである。このようなデータの俯瞰を通じた生命現象の発見・理解は生物情報学の醍醐味の一つである。

問2は、いくつかの複合的な知識を問うもので、生物情報学分野において今では典型例とも言える配列解析の一連の手順を実際にたどるものである。塩基配列やアミノ酸配列といった文字列の取り扱い、一塩基多型に関する知識、DNAシーケンサーを用いた計測データの取り扱い、メンデル遺伝や非メンデル遺伝に関する理解が問われる。今回の例のように、エピジェネティックな現象の研究にも生物情報学が重要となっている。

問3は数理モデルに基づく自然現象の解釈に関する設問である。生物学において数理モデルは様々な分野で利用されている。今回のテーマになった生態学における個体数動態だけでなく、転写因子同士の転写制御ネットワークの動態予測、タンパク質と低分子化合物の相互作用シミュレーションといった場面でも用いられる。このように、生物学では複数の要素が複雑な相互作用を示す系を扱うことが多く、要素間の相互作用をモデル化しシミュレーションすることで、予測や理解が深まる。

現在はRNA-seqやマイクロアレイなどについて知っている人が増えていることも後押ししたのか、問1については全体に正答率は高かった。一方、問2と問3については、正答率が高い参加者と低い参加者に二極化する傾向が見られた。

生物情報学の射程は幅広い。コンピュータや数式はこれまで生物学から遠いものと思われがちであったが、生命現象のデータ化とモデル化は生物学のあらゆる領域において今後ますます重要になると予想される。これからの時代を担う若い皆さんは壁を作らず、生命の謎を明らかにするために生命情報学の世界に積極的に飛び込んでほしい。

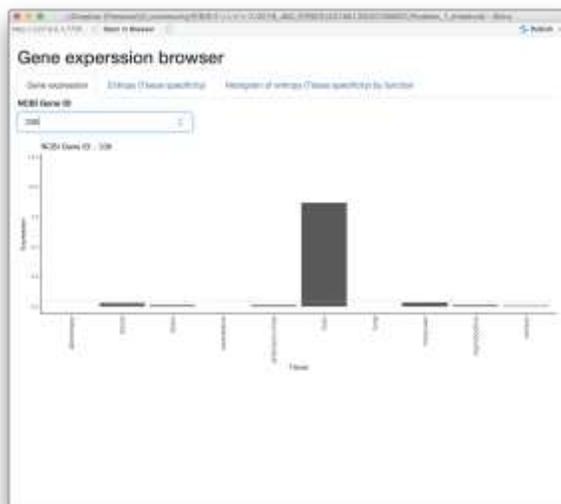
問 1

問 1 - 1

解答例：肝臓で特異的な発現を示していた（肝臓でのみ発現していた）。そのため、APOA2 遺伝子は肝臓の機能に関連すると予想される。

解説：組織特異的発現パターンをグラフから読み取り、さらにそこから遺伝子の機能を予想させる問題である。肝臓の機能についての知識に基づいた予想した場合には加点した。ただし乏しい知識に基づいて断定的に記載してある場合は減点した。

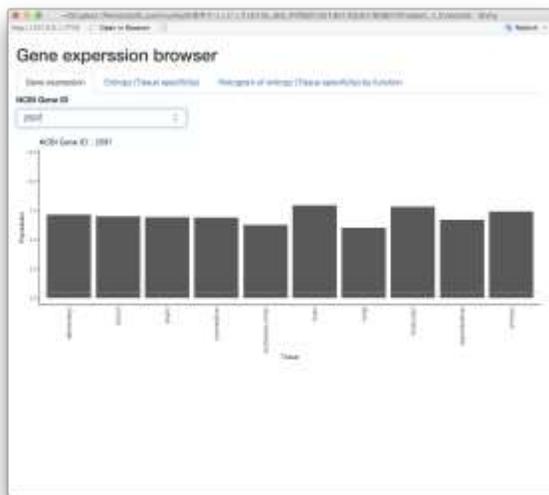
なお、この問題では、遺伝子は発現している組織内で機能していると推定して良いこととしているが、実際の生体内での現象としては mRNA として発現しているだけで翻訳はされていないとか、翻訳されても機能が分からない場合も多い。それでもなお、遺伝子の発現パターンが高い組織特異性を示す場合は、その遺伝子の機能する場所の候補として取り扱われることが一般的である。



問 1 - 2

解答例：どの組織でも高い発現を示していた。それに対し、APOA2 遺伝子は肝臓でのみ発現を示していた。

解説：問 1 - 1 と同様に、グラフを読み取る問題である。なお、RNA-seq で計測された発現量は相対量であり、問題で示された情報だけからでは発現量の差異についての厳密な議論が難しい。そのため、組織間での発現量の差異に関する記載されていたとしても、加点も減点もなしとした。



問 1 - 3

解答例：エントロピーが最も高い遺伝子は 3181 であり、どの組織でも発現が見られた。エントロピーが最も低い遺伝子は 4153 であり、肝臓でのみ発現が見られた。これらの結果から、エントロピーが高いことは組織特異性が低いことを意味すると予想される。

解説：与えられたデータに基づいて妥当な考察ができるかを評価した。

シャノンのエントロピーは情報の不規則さが大きいほどその値が大きくなるように定義されている。ここで、情報の不規則さが大きい場合とは、「ある遺伝子が一定の確率で各組織に発現する」と捉えることができる。このとき、特定の組織で発現が見られる遺伝子はどの組織で発現するか確定的（規則的）であると解釈できる。一方、どの組織でも一様に発現を示す遺伝子はどの組織で発現するか不確定（不規則的）であると解釈できる。

遺伝子発現のパターンを一つ一つの遺伝子についてグラフ化して注意深く観察することは研究の基本である。一方で、遺伝子の集合全体について俯瞰する場合、遺伝子発現の傾向を何らかの指標で数値化すると便利な場合が多い。今回は組織特異的発現の指標としてエントロピーを使用した。たとえ、指標を定義する数式の理解が難しかったとしても、実際のデータ・グラフと見比べることで指標の意味するところを掴むのは、研究だけでなく様々な場面で役立つ思考テクニックである。

なお、問題文では「組織特異的発現が高い」と書かれているが「組織特異性が高い」という表現の誤植であった。そのため、解答で「組織的特異的発現が高い/低い」といった表現が用いられていた場合でも、今回に限り問題ないとした。

問 2

問 2 - 1

解答例：191 番目の塩基が対立遺伝子 Q では C、対立遺伝子 q では A になっている。

解説：ペアワイズアラインメントとは、2つの配列（文字列）の各文字が他方の配列のどの文字と対応するか（あるいは対応する文字が存在しないか）を明らかにする手法である。ペアワイズアラインメントにより、2つの塩基配列やアミノ酸配列のどの部分が同一でどの部分が異なっているのかを知ることができる。ペアワイズアラインメントは、進化生物学、育種学、ゲノム遺伝学、ゲノム医学などにおいてよく利用されている。

今回は、ペアワイズアラインメントの結果を読み取れるかを問うた。以下に、対立遺伝子 Q と q の間で塩基が異なる箇所とその周辺の配列を示す。

塩基配列の一部（上段が Q、下段が q。太字の塩基が互いに異なる。）

```
157 ATGCAGACACCAATGGGAATCCCAATGGGGAAGTCGATGCTGGTGCTTCTCACCTTC 214  
157 ATGCAGACACCAATGGGAATCCCAATGGGGAAGTAGATGCTGGTGCTTCTCACCTTC 214
```

問 2 - 2

解答例：64 番目のセリン（S）が終止コドン（X）に変化する。よって、アミノ酸配列が途中で切れたものとなる。

解説：対立遺伝子 Q と q の塩基配列をそれぞれアミノ酸配列に翻訳し、2つのアミノ酸配列に対してペアワイズアラインメントを行うことで、どのアミノ酸が変化したかが分かる。この問題のように、アミノ酸をコードするコドンが終止コドンに変化する変異を、特にナンセンス変異と呼ぶ。

終止コドンへの変化によるタンパク質への影響も考察できているかを評価した。ここでは「不完全なタンパク質になる」という表現でも正解とした。なお、直後（65番目）のアミノ酸がメチオニンだったことから「2つのタンパク質ができる」と答えた場合があったが、このような場合に直ちに2つのタンパク質が作られるかは定かではないため、ここでは不正解としつつ加点も減点もしなかった。

以下に、対立遺伝子 Q と q の塩基配列およびそれらが翻訳されたアミノ酸配列を示す。

対立遺伝子 Q（上段が cDNA 配列、下段がアミノ酸配列）

157 ATGCAGACACCAATGGGAATCCCAATGGGGAAGT**C**GATGCTGGTGCTTCTCACCTTC 214
53 -M--Q--T--P--M--G--I--P--M--G--K--**S**--M--L--V--L--L--T--F- 71

対立遺伝子 q（上段が cDNA 配列、下段がアミノ酸配列）

157 ATGCAGACACCAATGGGAATCCCAATGGGGAAGT**A**GATGCTGGTGCTTCTCACCTTC 214
53 -M--Q--T--P--M--G--I--P--M--G--K--**X**--M--L--V--L--L--T--F- 71

問 2 - 3

解答例：

A : Q

B : Q

C : q

D : q

解説：問 2 - 1 で答えた対立遺伝子 Q と q の間で異なる塩基について、それぞれを含む配列のどちらが多いかを数えればよい。

なお、今回は試験問題を簡単にするため、mRNA 配列に対して RNA シーケンス法によって決定された塩基配列を並べ、mRNA 上の 5'末端からの塩基数を横軸の座標とし

て示した。一方で、通常はゲノム配列に対して並べる事が多く、その場合はゲノム配列上の座標（ゲノム座標）で表現されるため、横軸の数値は異なる。

問 2 - 4

解答例：A、B、C、D のいずれでも、父親由来の対立遺伝子（A: Q、B: Q、C: q、D: q）の mRNA の発現量が高かった（発現が見られた）が、母親由来の対立遺伝子の mRNA の発現量が低かった（発現は見られなかった）。

解説：家系図から対立遺伝子の由来（父親か母親）を読み取り、それを個体ごとの対立遺伝子の発現量の偏りと結びつけて考えられるかを問うた。

なお、問題文では「大小」を問うている一方で、問 2 - 3 の図では母親由来の対立遺伝子から転写された mRNA の塩基配列の本数は 0 であるため、母親由来の対立遺伝子の mRNA については「ない」でも「少ない」でも正解とした。

問 2 - 5

解答例：通常のメンデル性遺伝の場合、父親由来と母親由来の対立遺伝子の両方が発現すると想定される。一方、*IGF2* の場合、父親由来の対立遺伝子のみから mRNA の発現が見られ、母親由来の対立遺伝子は発現が見られない。その結果、家系 2 の場合、父親から遺伝した対立遺伝子 q の mRNA のみが子で発現し、アミノ酸配列が途中で切れたタンパク質が翻訳され、疾患 X を発症する。一方、家系 1 の場合、野生型の対立遺伝子 Q が父親由来のため、正常型の遺伝子のみが子で発現するため、疾患 X を発症しない。結果として、対立遺伝子 Q と q を 1 つずつ持っていたとしても、対立遺伝子 q がどちらの親由来かによって、子が疾患 X を発症するかどうかメンデル性遺伝と異なる結果になった。

解説：問2-1から2-4までの解答に基づいて、疾患Xの発症・非発症のパターンの原因について考察できるかを問うた。対立遺伝子QとqのmRNAの発現様式、対立遺伝子の由来、疾患Xの発症について正しく対応付けられていれば正解とした。さらに、通常のメンデル性遺伝がどのようなものかについて述べ、疾患Xの場合と比較できていることも採点対象とした。さらに、家系1や家系2とは異なる家系ではどのような発症パターンになるかを予想している解答には加点した。

なお、知っている生命現象と結びつけたものの、問2-1から2-4までの観察結果と不整合な解答については不正解とした。

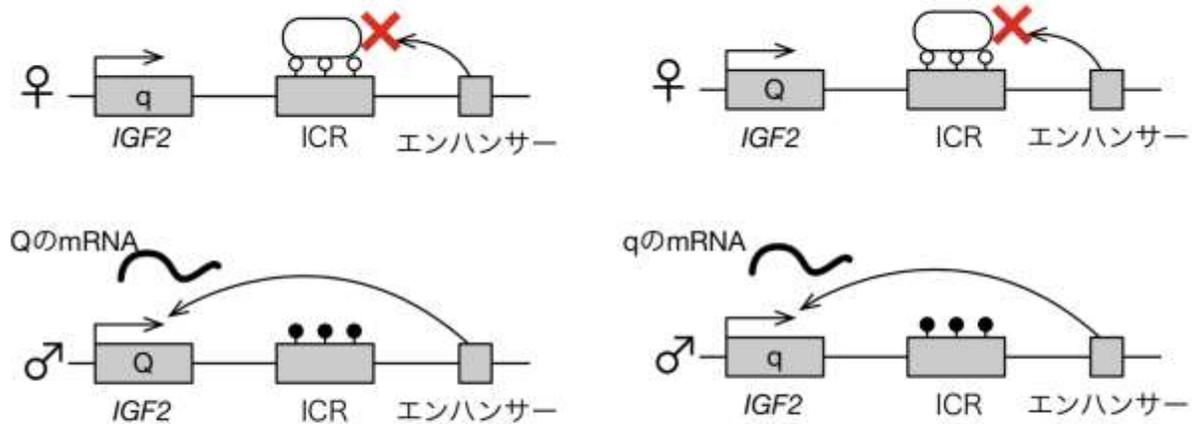
IGF2 遺伝子と疾患 X について

どちらの親から受け継いだかに応じて遺伝子の発現の仕方が変わる現象をゲノム刷り込み（ゲノムインプリンティング、Genomic imprinting）と呼ぶ。ゲノム刷り込みはエピジェネティックな現象の一種であり、非メンデル性遺伝様式のメカニズムの一種でもある。

IGF2（insulin-like growth factor 2）遺伝子はゲノム刷り込みが観られる遺伝子の代表例である。*IGF2* のゲノム刷り込みのメカニズムには、*IGF2* の遺伝子発現を正に制御するエンハンサー領域が関与している。このエンハンサー領域は *IGF2* 遺伝子領域との物理的相互作用によって *IGF2* の転写を活性化するが、エンハンサー領域と *IGF2* 遺伝子領域が相互作用できるかは染色体の由来によって異なる（下図）。母親由来の染色体では、*IGF2* 遺伝子の近傍に存在する ICR（Imprinting control region）にインシュレータータンパク質が結合している。このインシュレータータンパク質の存在により、エンハンサー領域は *IGF2* 遺伝子と相互作用することができず、結果として遺伝子発現が抑えられる。一方、父親由来の染色体では、ICR が DNA メチル化を受けておりインシュレータータンパク質が結合できず、結果としてエンハンサーが *IGF2* 遺伝子と相互作用することで *IGF2* 遺伝子が発現する。

家系1の子 (Qq)

家系2の子 (Qq)



♀：母親由来の染色体 ♂：父親由来の染色体
 ●：DNAメチル化領域 ○：DNA非メチル化領域
 ○：インシュレータータンパク質

今回は、*IGF2* の対立遺伝子 Q が野生型の対立遺伝子で、対立遺伝子 q が変異型の対立遺伝子である場合を考えた。対立遺伝子 Q に対して対立遺伝子 q では mRNA の 191 番目の塩基が C から A に置換し、それによってアミノ酸配列における 64 番目のセリンが翻訳終了点となる。この変異型対立遺伝子を父親から受け取った子だけに発育不全 (Growth restriction) およびシルバー・ラッセル症候群 (原発性低身長症の一種) が観られることが報告されている[1]。野生型の対立遺伝子を持っていたとしても、母親由来の場合は発現されず結果として野生型の *IGF2* タンパク質を作ることができず、疾患につながると考えられる。

[1] Begemann, Matthias, et al. "Paternally inherited *IGF2* mutation and growth restriction." *New England journal of medicine* 373.4 (2015): 349-356.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26154720>

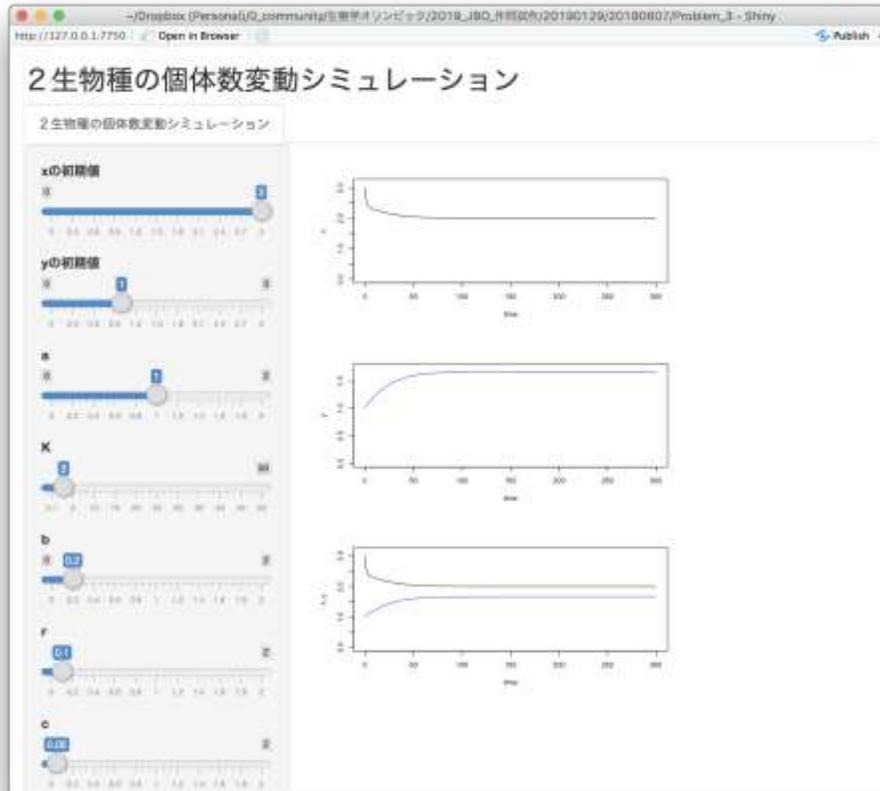
問3

訂正：問3冒頭の問題文中の「ある世代における2種の個体数が次の世代の2種の個体数に影響される」は「ある世代における2種の個体数が次の世代の2種の個体数に影響する」の誤植である。

問3-1

解答例：(工) 被食者は初期値から減って一定のところまで変動しなくなる。捕食者は初期値から増えて、一定のところまで変動しなくなる。

解説：ソフトウェアを正しく操作し、結果を適切に読み取れているかを問うた（下図参照）。



問3-2

解答例：

1～4：(ク) (1) 下がり、(2) 上がって、(3) 下がって、(4) 個体数が0になる

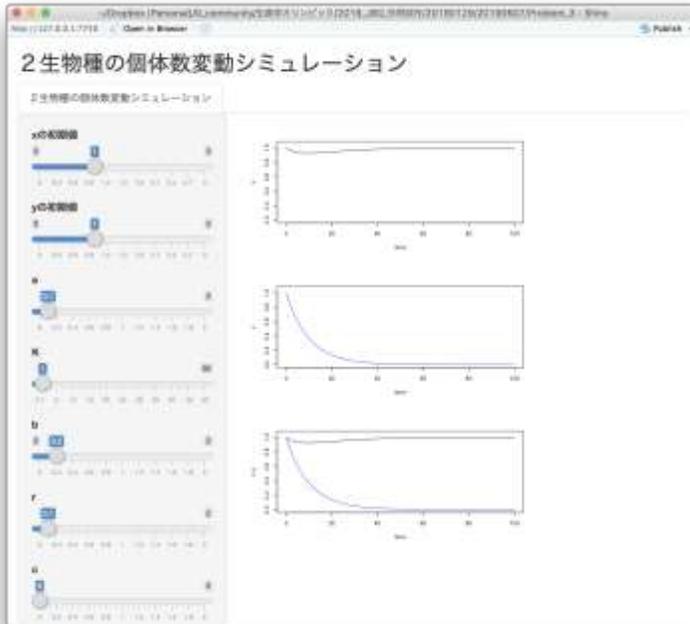
5：(ケ) (5) xもyも振動する

cは何を表す係数か：(ア) xの個体数がyの個体数変化に及ぼす影響の大きさ

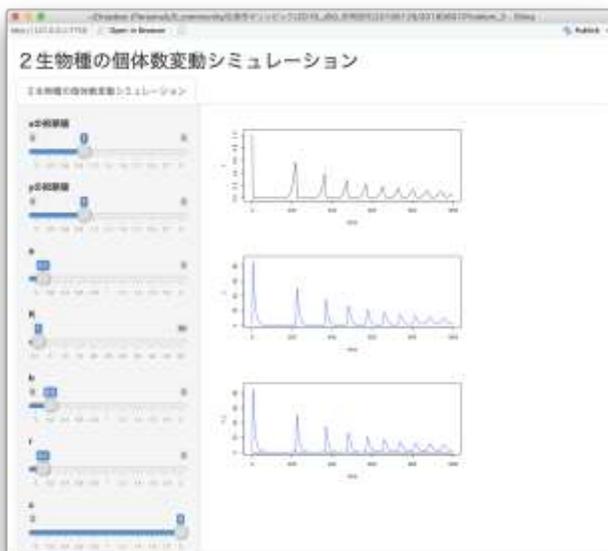
解説：ソフトウェアを正しく操作し、結果を適切に読み取れているかを問うた（下図参照）。また、ロトカ・ヴォルテラ方程式の dy/dt （捕食者の個体数増殖速度）の式にお

いて、 c は x の係数であることから、 c は x の個体数が y の個体数変化に及ぼす影響の大きさを表すことがわかる。

$c=0$ の場合：



$c=2$ の場合：



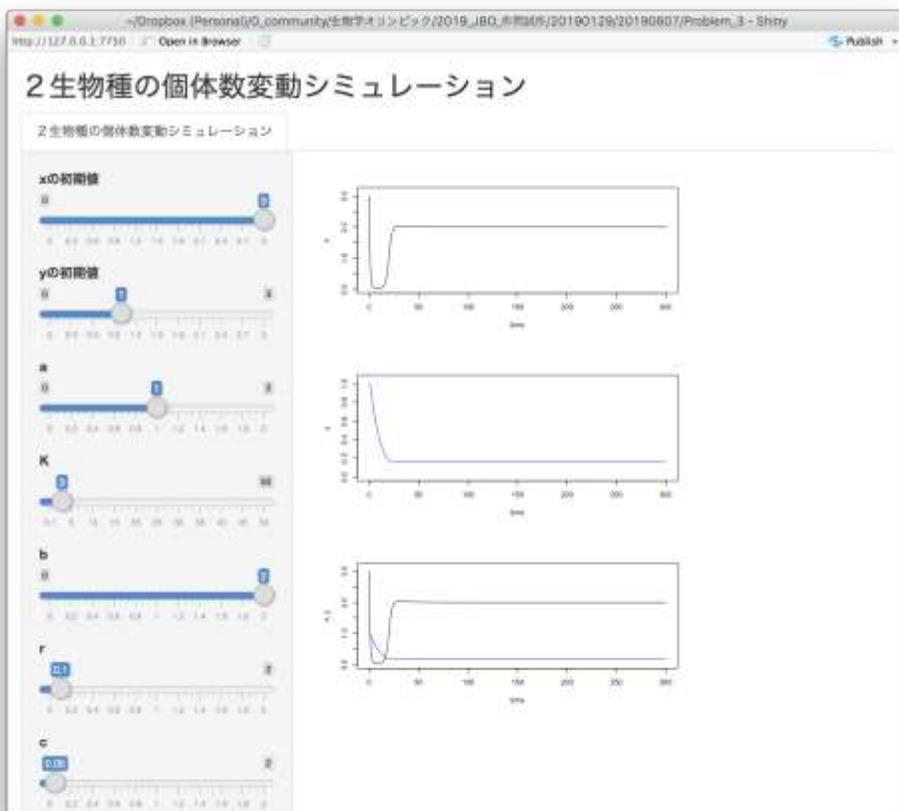
問3-3

解答例：

1～4：(工) (1) 下がり方が急に (2) 一定 (3) 一定

bは何を表す係数か： (イ) yの個体数がxの個体数変化に及ぼす影響の大きさ

解説：bを増やしていくと、xの最初の下がり方が急になる。また、bを増やしていくと、観測期間中の最終的なxの値は一定である一方、yの値は単調減少する。そのため、正解は(ウ) ((1) 下がり方が急に (2) 一定 (3) 単調減少) である。



なお、問題文では「bを増やしていくと、xの最初の(1)になり、その後観測期間中の値は最終的にはxは(2)となりyは(3)となる」とあり、「その後」があ

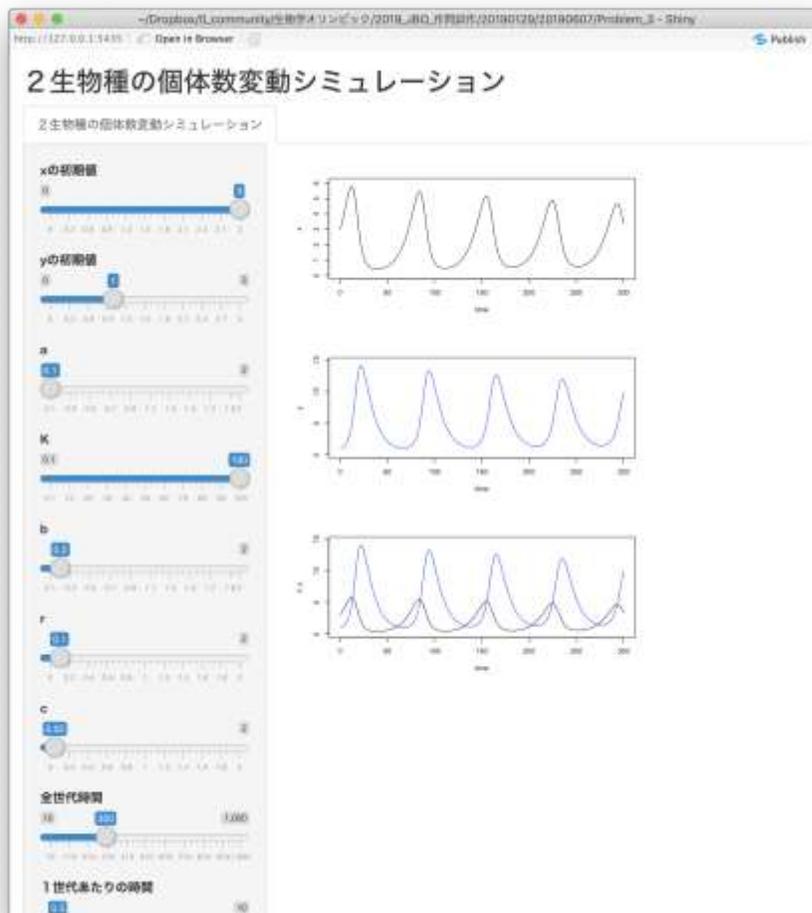
ることで「bを増やしていくと」という節が文中のどの箇所に係っているかが曖昧になっていた。そのため、今回に限り、(ウ)に加えて(エ)も正解とした。

また、ロトカ・ヴォルテラ方程式の dx/dt (被食者の個体数増殖速度) の式において、bはyの係数であることから、yの個体数がxの個体数変化に及ぼす影響の大きさを表すことがわかる。

問3-4

解答例：(ケ) xもyも振動する

解説：この問題でもソフトウェアを正しく操作し、結果を適切に読み取れているかを問うた(下図参照)。



問3-5

解答例：cは、カンジキウサギの単位個体数がカナダオオヤマネコの個体数変化に及ぼす影響の大きさである。

c=0の場合：

- 例1：カナダオオヤマネコ集団に消化器官の異常が蔓延し、カンジキウサギを食べても栄養を摂取できず、個体数増加につながらない。
- 例2：カンジキウサギが突然変異で肉がほとんどつかなくなり、カナダオオヤマネコが捕食しても個体数増加につながらない。

解説：問2-3の解答から、 c は何を表す係数かについてカンジキウサギとカナダオオヤマネコについて具体的に記述すればよい。また、 $c=0$ の場合、カンジキウサギの単位個体数がカナダオオヤマネコの個体数変化に及ぼす影響の大きさが0になる。このとき、どのようなことが起こっているかを自分の持つ知識と結びつけつつ、想像力豊かに可能性を書けていれば正解とした。よくある間違いは、同時にカンジキウサギもオオヤマネコから影響を及ぼされなくなると考えてしまうことだが、そうではないことに注意。

なお、実際に与えられたデータから理解される記述があり、それが妥当である場合、加点した。また、3-1~3-4の小問やパラメータへの理解が明快である場合に、加点した。

試験 III 解説

講評

今回台風による試験時間短縮の変更があり、当初予定していた問題を一部削りました。それでも 120 分で取り組むには大変な内容であったと思います。そのような状況の中で、大変優れた観察力と洞察力を発揮してくれた選手が多くいたことを作題者一同とても嬉しく思っています。

問題冊子の冒頭にあるように、本試験の評価項目は以下のようになっています。

- ・ 生きた個体の行動を的確、かつ詳細に観察し記述できていること。
- ・ 目的を達成するために必要な実験計画が組み立てられていること。
- ・ 観察やデータを明快にまとめられていること。
- ・ 観察やデータに基づいて論理的に考察ができていること。

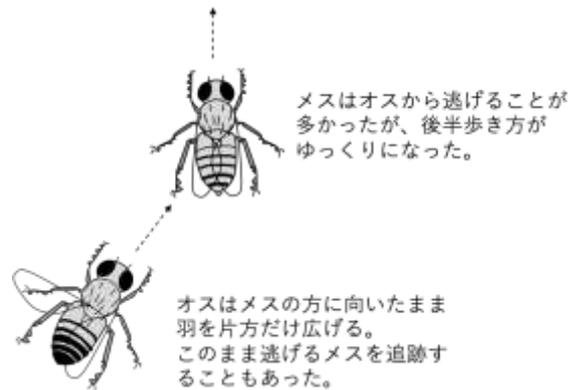
評価の際には、これらのことを念頭にじっくりと答案を読んで、選手の観察する力、結果を分析する力、そしてそれを表現する力を評価させていただいたつもりです。つまり本実験試験では単に知識に頼った正解が書いてある答案よりも、自分で実験プランを考えて実行し、その記録に基づいた洞察を行っている答案を重視したということです。問題自体は単純なことを問うていますが、実際に生き物と相対してそこからデータを取り出すという過程はかなりハードだと感じたのではないのでしょうか。このような問題にした狙いは、本当に実験力があり国際大会で半分のウェイトを占める実験試験で力を発揮できる人を選ぶことを目的としたからです。とは言いつつも試験が始まるまでは、ショウジョウバエの取り扱いやオスメスの見分け方で戸惑う選手が出るかも知れないなど、いろいろ心配していました。しかしふたを開けてみれば良い意味で期待は裏切られ、手際よくショウジョウバエを扱って黙々と試験に取り組んでいる選手たちの姿に感心させられました。

解答と解説

課題 1 野生型の求愛行動

設問 1 求愛行動（エ）の記述

解答例：オスがメスの方向を向いて、あるいはメスを追跡しながら、片方の翅を自分の体の横方向に広げることを、2～3秒間ずつ繰り返す。



解説：ショウジョウバエの求愛行動はオスメスのパターン化された行動がそれぞれ鍵刺激となって次段階へ進んでいきます。(エ)に相当する行動要素はオスの求愛ソングと呼ばれ、ショウジョウバエの求愛行動の中でも最も目立つ分かりやすいものです。オスは片方だけ広げた翅を振るわせて決まった周波数の音を発生させ自分をアピールします。メスはその求愛ソングを聴いて次の段階に進むかどうかを判断します。この設問では(ア)～(エ)の行動要素を確認しながらオスの求愛行動を観察し、頭の中でよく整理してから記述することが求められます。また、オス単独ではどのような行動が観られるか予め確認し、オスメスがペアでいる時の行動を正しく割り出すことも必要です。

設問2

解答例：

行動記録の例：

記録1 (ペア1)

観察開始→ —ウア— ウアアエウエウア — ウアエウエウア

エアウエウアエウアエウエウアエウエエウエウエイ コー

ウエイエエイ 交尾 5分36秒

記録2 (ペア2)	
観察開始 →	—ウ—アウウアエウエウエアウ —ウアウエウエエ
	ウエエウエイ —ウエウエエウウエアエウイエウエウエウエウイ
	—イウエエ— エエイ コ —エイ—イコ —エイエイエイ 交尾
	7:59
記述欄	
メスはオスから早足で逃げる。	メスの歩調がゆっくりになる。
コ：交尾を試みたが交尾に至らない場合	オスが追いかけてながらエとイを同時に行う。

解説：野生型のオスメスの求愛行動を観察し、その行動要素が見られた順番を記号の配列として表します。解答例の求愛行動では、各行動要素が繰り返されながら徐々に段階が進んでいく様子がわかります。

ただ記録を取ろうと試みると、これはそれなりに難しいということに気がついたと思います。ショウジョウバエは小さいし、動きが素早いので、上手に行動記録を取るには周到な計画と準備が必要です。それには、ショウジョウバエの細かな動きまで観察するためにルーペを使用すること、あらかじめ予備観察をして全体を把握すること、各行動要素を判定するために自分なりの判断基準を明確に決めておくこと、速く正確に観察記録を取るための時間記録や筆記の体制を作り自分なりの約束事などを決めておくことなどが考えられます。また次の設問で行動の順序が問われているため、交尾まで、あるいは交尾を試みる（コ）が確認できた記録を解答するべきです。

また行動を記録する上で必要と思われる情報は書き足して良いことになっています。求愛行動はオスメス互いに鍵行動があって次の段階に進んでいくものであると考えるならば、メス側の変化は全体の流れを理解するうえで意味のある情報となります。繰り返しですが、ここでもオス単独の時とオスメスがペアの時に観られる行動の違いを正確に把握していることが前提です。

設問3

解答例：

行動の順序：

ウ → ア → エ → イ → 交尾行動

- 1：(ウ) オスによるメスの追跡は行動全般にわたって観られるが、オスとメスが関わる行動の冒頭に必ず観察された。更にオスメスが離れた時間帯(一実線部)の後は、ウから再開している事が殆どだった。よって1番目とした。
- 2：(ア) タッピングは(ウ)の次に早い時期から観察される割合が多かった。また、(エ)は交尾が起きる直前まで頻繁に観察されたので、(ア)が(エ)の前だと判断した。
- 3：(エ) 求愛行動の前半から始まるが後半に起こる割合が多いこと、また交尾行動の直前に(イ)と(エ)が同時に観察されたことから(ア)よりも後であると考えられる。
- 4：(イ) 交尾、あるいは交尾行動の直前に集中して繰り返し観察されたので4番目とした。

解説：解答のポイントは、行動記録のどこを根拠としているかが明確に記されていること、観察記録からできるだけ論理的に正しく説明されていることです。採点では、この解答を設問2の行動記録と照合し、整合性があれば正答としました。上記のような観察の記述の他に、前半、あるいは後半に特定の行動が現れる割合、ある行動要素の後に次の行動要素が現れる割合などが数値化された解答も評価しました。

課題2 変異体の求愛行動異常の観察

設問1

解答例：

- ・ 野生型ではオス同士が互いに干渉する様子はほとんど観られないが、変異型ではオスがオスを追いかけて盛んに(エ)の翅を横に広げている様子が観察された。3匹以上が連なって求愛行動をしているものもいた。また、オス同士が互いに向き合って前肢で叩きあっているような様子も観られた。
- ・ 野生型は活発に歩き回り、バイアルの管壁を登っているものが多い。一方、変異体は歩き回る個体が少なく、バイアルの餌の上にとどまっているものが多い。

解説：バイアルを外から眺めただけでも野生型と変異型の行動の様子が明らかに違うこ

とはすぐわかると思います。それを具体的に言葉で表現して記述してもらえば良いです。解答例にあげた2つが、一番気がつきやすいものだと考えられます。特に野生型では観られないオスのオスに対する求愛行動は次の設問にとって大事なヒントになります。

設問2

a) 解答：1と1（1と3）、1と2、4と3、4と2

b) 解答例：

データの取り方1、a)の組み合わせについて求愛行動記録を行い、単位時間あたりに占める求愛行動時間の割合を比較する。この時どの行動要素かによらず求愛行動を行なっていると判断された時間を求める。記録は各組み合わせ3ペアずつ行う。

データの取り方2、a)の組み合わせについて求愛行動記録を行い、一定時間内に各行動要素が確認された回数を数えて野生型と変異型で比較する。記録は各組み合わせ3ペアずつ行う。

解説：

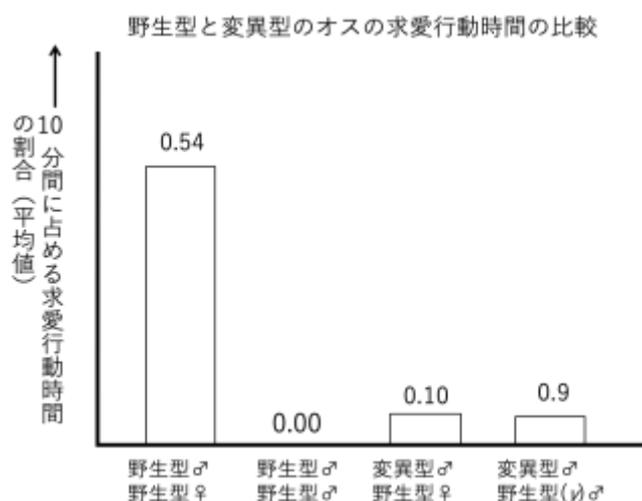
- a) 設問にある1)同性と異性への反応の変化を比較するためには、野生型と変異型について、オスメスのペアとオスオスのペアを比較しなければならないことから考えて解答が得られると思います。
- b) 課題1の求愛行動記録の結果を参考にして、そこから野生型と変異型の求愛行動の違いを定量化し比較する方法を自分で探し出す作業を行います。変異体の行動の変化に対して感度良く数値化できることとしては、単位時間あたりの行動要素の回数、求愛行動を行なった時間などが考えられます。交尾成功率としてしまうと与えられた時間内での観察が難しくなることや、そもそも変異体が交尾行動までいかない場合は野生型と同じ結果になってしまいます。また、求愛行動時間はストップウォッチのカウントアップ機能を使用して計測する、行動要素の回数は正の字などを書いて記録するなど試験中に自分で工夫して方法を考える部分もあります。更に設問文には表現型の確定には複数観察が必要とありますから、そのことを計画に明記すべきです。

設問3

解答例：

方法、表の各ペアをチャンバーに入れ行動観察をして、10分間に占める求愛行動時間の割合を求めた。求愛行動時間は、求愛行動要素のいずれかが観察された時間の積算とした。観察したペア数とデータを表に記し、複数回行った実験の平均の値をグラフで表した。

組み合わせ	観察ペア数	10分間に占める求愛行動時間の割合
野生型♂ と 野生型♀	2	0.63 0.44
野生型♂ と 野生型♂	3	0.00 0.00 0.00
変異型♂ と 野生型♀	2	0.13 0.07
変異型♂ と 野生型(y)♂	3	0.05 0.13 0.09



観察したこと

1. 野生型のオス同士は互いに干渉せずに歩き回っていたが、変異型オスは、メスだけでなくオスに対しても求愛行動をすることが確認された。しかし、変異型の求愛行動時間は顕著に短く、行動要素の継続時間も短かった。行動要素としてはウとアがほとんどでエが観察されることは全体でも2回だけだった。
2. チャンバー内では野生型に比べて変異型の動きが鈍かった。多くの時間を歩き回らずに同じ場所でじっとしていた。この運動性の鈍さが求愛行動に影響している可能性が考えられる。

結論

野生型に比べて変異型ではオスが求愛行動をする相手としてのオスメスの識別に異常

が観られる。また、変異型は運動性が鈍いことが原因で求愛行動が全般に低いレベルに抑えられている可能性がある。

解説：設問 2 b) の解答の中から自分で可能だと思われるものを選んで観察を行い定量性のあるデータを求めます。試験時間が限られているため、データは多くは取れなかったかもしれません。それも考慮して以下のポイントを評価しました。①設問 2 a) で答えた必要な組み合わせで実験がなされているか。②定量性のあるデータで示すことができるか。定性的な記述は定量データを捕捉するものとして評価しました。③結果を表やグラフなどにまとめてわかりやすく表現できているか。④複数の個体についてデータを取っているか、あるいは複数個体のデータを取ろうとしていたか。⑤観察結果に基づいた結論がまとめられているか。

課題 3 原因遺伝子の機能の考察

解答：

観察から変異型についてわかることは、①オスによるオスメスの識別が混乱し、オスがオスを追いかけるなどの行動が観られる。②しかし、オスはオスとして行動し、求愛行動はメス化していない。つまり変異型オスが他個体と出会った時に、相手がオスかメスカを嗅覚や視覚に基づいて判断する過程に異常があると言える。よってオスメスの認識を行うフェロモンなど感覚受容に関わる遺伝子の神経細胞内での発現を調節している、あるいは感覚受容からオスメスの判断を行うところまでの神経系回路の神経細胞がオス型となるような因子の遺伝子発現を調節していると考えられる。

解説：今回の実験には *fruitless* (*fru*) 変異体を使用しました。キイロショウジョウバエでは性染色体 (X 染色体) の本数の違いによりオスメスは決定し、その下流で働く因子が各細胞の性を決定します。細胞の性別に従い様々な遺伝子群が更に下流で働きます。正常な *fru* 遺伝子は体細胞の一部の細胞のオス化にとって必須であることが知られていて、*fru* 変異体では、オスによるメスの認識に関わる神経細胞が一部メス化しており、オスがオスに対して求愛行動をするということが起こると考えられています。しかし、今回、限られた試験時間内に得られた観察結果が選手によって変わる可能性があることを踏まえて、解答には課題 2 の結果との関係性を大切にして、神経細胞のオス化に関わる遺伝子の発現調節ということが書かれていなくてもよいことにしました。採点は以下の点を重視して採点を行いました。

- ① 転写調節因子という言葉を理解していること。
- ② 課題2の変異型オスの行動観察の結果と矛盾しないこと。
- ③ 遺伝子の役割についてできるだけ具体的に書かれていること。