

東北大学 医学部 歯学部

平成 26 年度前期日程入学試験学力検査問題

平成 26 年 2 月 25 日

理 科

物 理…… 4 ～ 23 ページ, 化 学…… 24 ～ 37 ページ

生 物…… 38 ～ 49 ページ, 地 学…… 50 ～ 58 ページ

志 望 学 部	試 験 科 目	試 験 時 間
理 学 部 農 学 部	物理, 化学, 生物, 地学のうちから 2 科目選択	13 : 30 ~ 16 : 00 (150 分)
医 学 部 歯 学 部	物理, 化学, 生物のうちから 2 科目選択	
薬 学 部 工 学 部	物理(指定), 化学(指定)	

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで, この問題冊子, 解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は, 58 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。なお, ページの脱落, 印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は, 必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し, ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1 枚につき 2 か所)には, 忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は, 必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後, この問題冊子は持ち帰ること。

問題訂正（前期）

理科【生物】

48ページ

3 問(3)上から5行目

(誤)

「自家受粉させた種子を環境Aと環境Bで育て、その種子から育った個体の種子の大きさを測定した。図3は、3個体から採集した種子の大きさを示している。」

(正)

「血縁関係のない大きさの異なる種子から成長した個体(親個体)を自家受粉して種子を得た。その種子を環境Aと環境Bで育て、育った個体(子ども個体)の種子の大きさを測定した。図3は、異なる3つの親個体を自家受粉して得た子ども個体の種子の大きさを示している。」

49ページ

3 図3説明文

(誤)

異なる印(○, ●, ■)は、異なる個体からとれた種子を表す。

(正)

異なる印(○, ●, ■)は、種子を得た個体の親個体が異なることを示す。

3 問(4)② 上から1行目

(誤) こども

(正) 子ども

生 物

解答に字数の指定がある場合、字数には句読点、数字、アルファベット、および記号も1字として数えよ。

1 次の文章を読み、以下の問(1)～(8)に答えよ。

脊椎動物では、脳より随意運動の指令が発せられると、脊髄に細胞体が存在する運動神経が興奮する。^(a)運動神経が活動電位を発すると、活動電位は軸索を伝導し、運動神経終末に達する。^(b)運動神経終末と筋肉の細胞膜は ア を形成しており(図1の点線で囲まれた部分)、運動神経終末に活動電位が達すると、運動神経終末内に存在する ア 小胞に封入された イ が、 ア 間隙に放出される。放出された イ が、筋細胞の終板に存在する受容体と結合すると、受容体のイオンチャネル部位が開く。その結果、筋細胞に ウ の変化が起こり活動電位が発生する。この筋細胞で発生した活動電位は、筋細胞内の エ に伝わり、筋細胞内のカルシウム濃度を上昇させる。その結果、筋原繊維を構成しているアクチンフィラメントとミオシンフィラメント(図1)が反応し、筋細胞は収縮する。筋細胞の電氣的興奮が止まると、 エ からのカルシウム放出が停止し、カルシウムポンプなどの働きによって、筋細胞内のカルシウム濃度が減少する。その結果、アクチンフィラメントとミオシンフィラメントの反応は停止し、筋細胞は弛緩する。

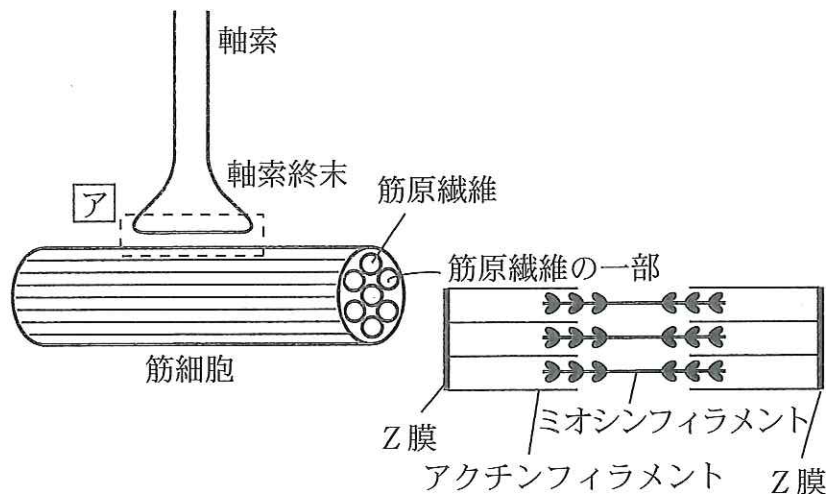


図1

問(1) ア ~ エ に適切な語句を入れよ。

問(2) 筋原繊維を構成するアクチンフィラメントとミオシンフィラメントは筋収縮前には図2の状態であったとする。筋収縮が起こったとき、このアクチンフィラメントとミオシンフィラメントはどのように変化するか。以下の①~④より選び番号で記せ。

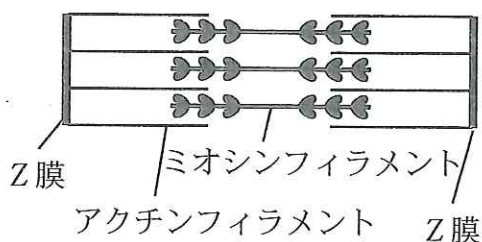
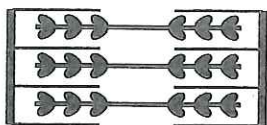


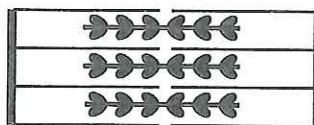
図2 収縮前の状態

①



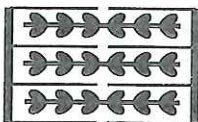
アクチンフィラメントが縮む

②



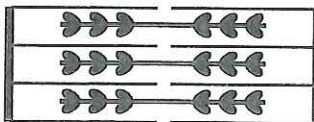
ミオシンフィラメントが縮む

③



両方縮む

④



両方縮まない

問(3) 下線部(a)の随意運動の指令は、脳のどの部位から発せられるか。次の①~⑥より選び番号で記せ。

① 延髄

② 中脳

③ 間脳

④ 小脳

⑤ 大脳

⑥ 脳下垂体

問(4) 下線部(b)の活動電位の発生に関与するイオンチャネルの名称を枠内に記せ。

問(5) 下線部(b)の軸索を活動電位が伝導するしくみを枠内に簡潔に記せ。

問(6) 筋肉に神経をつけて取り出した神経筋標本を考える。この神経筋標本の神経に電気刺激を与えると、刺激の強さと筋肉の収縮力との関係は図3のようになることが知られている。なぜこのようになるのか、100字以内で説明せよ。

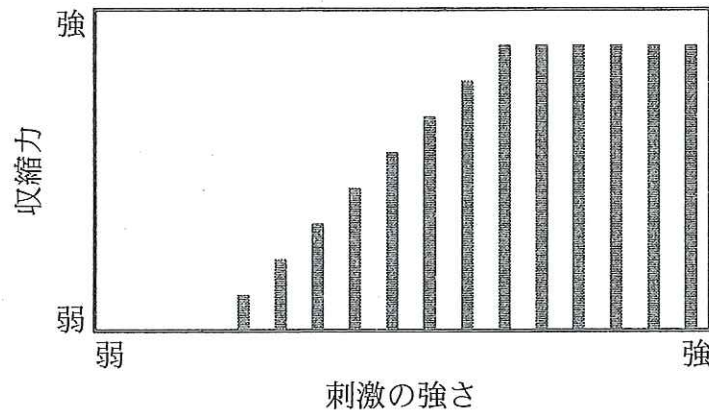


図3

問(7) 筋細胞に一回活動電位が発生すると、筋細胞内では図4のようなカルシウム濃度変化が生じると仮定する。筋細胞の収縮力はカルシウム濃度に比例し、筋細胞内のカルシウム濃度変化と筋収縮の間に時間的な遅れはないとした場合、この筋細胞が完全強収縮を引き起こすためには、1秒間に最低何回活動電位が発生する必要があるか、答えよ。

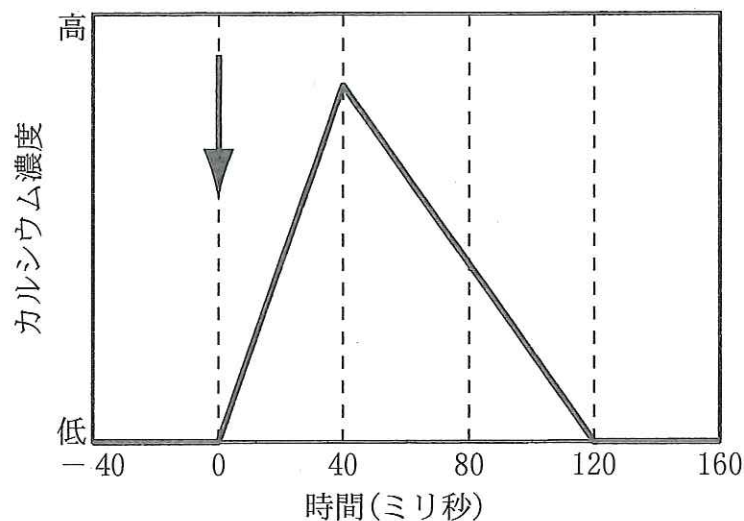


図4

(矢印のタイミングで活動電位が発生している。)

問(8) 筋組織からアクトミオシン、トロポミオシン、トロポニン単離精製し、試験管内でこれらのタンパク質を混ぜ合わせて、ミオシン ATP 分解酵素活性を測定した。種々の濃度で試験管内にカルシウムを添加したときのミオシン ATP 分解酵素活性を図 5 に示した。アクトミオシンとは、筋繊維を構成する収縮性の複合タンパク質でアクチンとミオシンの 2 種のタンパク質からなる。水溶液中でアクトミオシンに他の筋繊維を構成するタンパク質であるトロポニンとトロポミオシン、さらにカルシウム、マグネシウム、ATP を加えると、これらのタンパク質は凝集する。

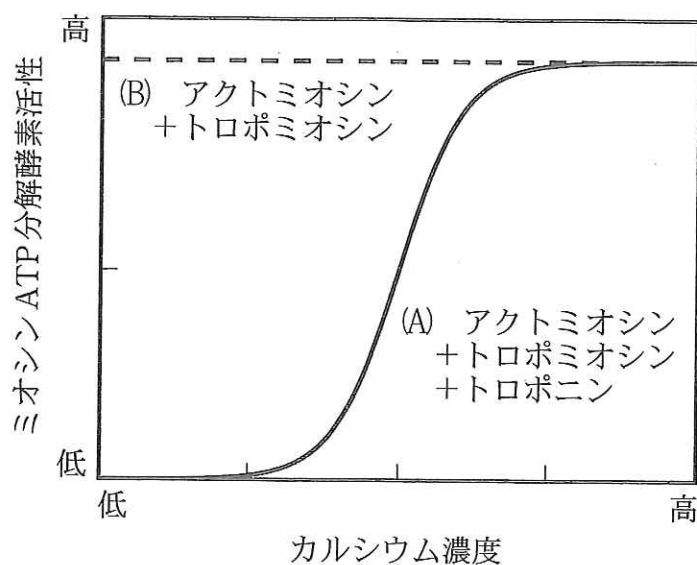


図 5

図 5 に示すように、試験管内で ATP を含む反応液中にアクトミオシン、トロポミオシン、トロポニンを添加した条件(A：実線)では、カルシウム濃度依存性にミオシン ATP 分解酵素の活性が上昇した。一方、トロポニンを除いた条件(B：破線)ではカルシウム濃度に依存せず、常に一定のミオシン ATP 分解酵素活性が得られた。条件(A)においてトロポニン添加によりミオシン ATP 分解酵素活性のカルシウム濃度依存性はどのようにして生まれるのか、125 字以内で説明せよ。

大腸菌のような原核生物からヒトのような多細胞動物まで、地球上のすべての生物は共通してリン脂質 2 重層からなる細胞膜で囲まれた細胞を単位とし、遺伝物質として DNA をもつ。DNA は地球上のすべての生物の遺伝子の本体で、子孫細胞に正確に遺伝情報を伝えるために必要であるとともに、タンパク質に DNA の情報を伝えることにより細胞構造と機能を維持するために不可欠である。

[I] 遺伝子としての DNA

DNA が遺伝物質であることは、1944 年にアベリー(エイブリーともよばれる)らによる肺炎双球菌の抽出液を用いた実験により証明された。アベリーらは、病原性のある S 型菌をすりつぶした抽出液と病原性のない R 型菌を混ぜて培養すると、S 型菌が出現することを示した。さらに、S 型菌の抽出液にタンパク質を分解する酵素を加えても S 型菌は出現するが、DNA を分解すると S 型菌の出現がなくなった。この実験により、タンパク質ではなく DNA が、R 型菌から S 型菌に変える本体であることが示された。

シャルガフによる DNA の塩基解析とウィルキンスらによる X 線回折の結果より、1953 年、ワトソンとクリックは DNA の構造モデルを示した。これに基づき、DNA は半保存的に複製されることが予測され、1958 年にメセルソンとスタールにより実証された。1956 年、コーンバーグは大腸菌の DNA ポリメラーゼを発見し、DNA 複製のメカニズム解明への一歩が始まった。

DNA ポリメラーゼは、プライマーとよばれる 2 つの合成ヌクレオチドを用いて、特定の DNA 断片を増幅するポリメラーゼ連鎖反応法(PCR 法)に応用されている。PCR 法は、2 本鎖 DNA を 94℃ で加熱して 1 本鎖に分離し、次に温度を下げたプライマーと結合させ、その後 DNA ポリメラーゼによりプライマーに続く塩基配列をもつ DNA を合成するという一連の反応を 20 回以上繰り返すことにより、微量の DNA から特定の DNA 断片を 100 万倍以上に増幅することができる。しかしながら、大腸菌由来の一般的な

DNA ポリメラーゼを用いた PCR 法は実用的ではなかった。米国イエローストーン国立公園から採取された特殊な細菌由来の DNA ポリメラーゼの発見と DNA 増幅装置の開発により、初めて PCR 法は自動化され、生物学をはじめ DNA 鑑定などに幅広く用いられている。

問(1) 組換え体 DNA を用いたヒトのインスリンの合成やウイルスベクターを用いて iPS 細胞が作られるのは、すべて DNA の作用の結果である。DNA が細胞内に導入され、その結果、細胞の性質が変わる現象名を枠内に記せ。

問(2) シャルガフによる DNA の塩基解析の結果を枠内に簡潔に記せ。

問(3) シャルガフによる DNA の塩基解析の結果より予測された、DNA に特徴的な構造を枠内に簡潔に記せ。

問(4) ウィルキンスらの X 線回折により明らかにされた DNA の立体構造名を枠内に簡潔に記せ。

問(5) 米国イエローストーン国立公園から採取された特殊な細菌由来の DNA ポリメラーゼは、PCR 法を可能にするための重要な性質を有している。その性質を枠内に簡潔に記せ。

[II] DNA から伝令 RNA (mRNA) への転写

DNA の情報がタンパク質に伝わるために、中間体となる RNA の存在が予想された。

大腸菌の RNA の約 80 % はリボソーム RNA で、15 % が運搬 RNA (tRNA) で、残り 5 % は平均 12,000 塩基長の不均一な RNA である。これらの不均一な塩基長の RNA の中に、DNA からの情報をタンパク質へ伝える mRNA が存在すると考えられた。

1961 年、ブレナー、ジャコブ、メセルソンは T2 バクテリオファージを

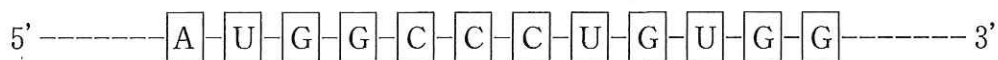
用いて、感染直後に新たに RNA が合成されることを見つけた。この RNA を T2 バクテリオファージの DNA とともに熱変性させ、ゆっくり温度を下げると、DNA・RNA ハイブリッドを形成することから、T2 バクテリオファージの DNA に相補的な RNA であることが示された。すなわち、T2 バクテリオファージは大腸菌に感染後すぐにファージ DNA から RNA を作り、ファージの増殖に必要な新しいタンパク質を作ることが示された。このような実験から、DNA からタンパク質に情報を伝える中間体である mRNA の存在が明らかにされた。

問(6) mRNA の遺伝情報をもとに、DNA を合成する逆転写酵素と、DNA ポリメラーゼにより作られる DNA を相補的 DNA とよび、mRNA の構造解析に用いられている。

ヒトのインスリンを作る mRNA の塩基配列の一部を以下に示した。この配列から予測される相補的 DNA 配列の塩基を A, T, G, C と略して枠内に記せ。

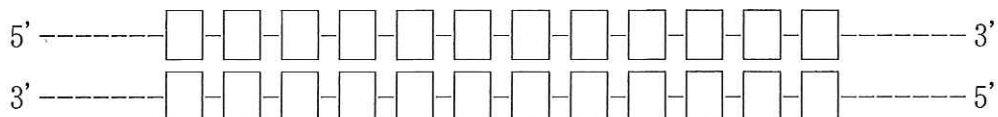
なお、3' と 5' はホスホジエステル結合する五炭糖の 3 位と 5 位をそれぞれ示し、一般的に DNA と mRNA の塩基配列は、頭部である 5' 側から尾部である 3' 側に向かって記す。

mRNA



↓ 逆転写酵素 + DNA ポリメラーゼ

相補的 DNA



[Ⅲ] mRNA からタンパク質への翻訳

A, U, G, C と略される 4 種のリボヌクレオチドで構成される mRNA からどのようにしてタンパク質に翻訳されるか、大きな謎であった。A, U,

G, Cのうち、1塩基が1アミノ酸に対応するならば4アミノ酸のみ、2塩基が1アミノ酸に対応するならば16アミノ酸しか対応しないので、20種のアミノ酸に対応するためには、64種類の組み合わせが可能な説、すなわち3塩基が1アミノ酸に対応するトリプレット説が有力であった。

1961年、ニーレンバーグらは大腸菌の抽出液を用いて、試験管内でタンパク質を合成することに成功した。この合成系に、ポリU (UUUUU-----UUU)の配列をもつ合成RNAを加えてタンパク質を合成させたところ、フェニルアラニンのみが合成タンパク質に取り込まれた。すなわち、UUUがフェニルアラニンに対するコドンであることが初めて明らかにされた。同様にポリC合成RNAを用いたところ、プロリンのみが、ポリA合成RNAの場合はリジンのみが合成タンパク質に取り込まれ、この実験により初めて3つのアミノ酸のコドンが明らかにされたが、残りのコドンを決めるためには、さらに年月を要した。

1964年、ニーレンバーグらは3つの塩基配列をもつ合成トリヌクレオチドを用いて実験し、合成トリヌクレオチドがその配列に特異的なtRNAのリボソームへの結合を促進することを示した。たとえば、pUUU(pは五炭糖の5位のリン酸基を示す)を用いるとフェニルアラニンのtRNAがリボソームと結合した。同様にpAAAを用いるとリジンのtRNAが、pCCCではプロリンのtRNAがリボソームと結合した。この実験は、配列の明らかな合成トリヌクレオチドと放射性アミノ酸と結合したtRNAをタンパク質合成系に加えるだけの簡単な操作で、一気にすべてのコドンを明らかにした。

問(7) pUUUの配列をもつ合成トリヌクレオチドは、なぜフェニルアラニンのtRNAと結合できるのか、tRNAの構造に基づいて枠内に簡潔に記せ。

問(8) UAA, UAG, UGAに対応するtRNAは存在しないが、mRNA中にはこれらの配列は多数存在している。UAA, UAG, UGAはリボソーム上のタンパク質合成にどのように作用するのか、枠内に簡潔に記せ。

3 次の文章を読み、以下の問(1)~(4)に答えよ。

キャベツヤシの一種(*Euterpe edulis*)はブラジルの熱帯雨林の主要な構成種である。このヤシは、果実をつけ、果実が運ばれ、発芽・成長し、個体群は更新されていく。*Euterpe edulis* の寿命は最大でも 50 年を越えないとされ、平均的な世代時間は 19 年と推定されている。ブラジルの熱帯雨林では、100 年以上も前から森林伐採が行われ、森林は分断化され、野生動物の多くが絶滅の危機にある。大型の鳥類およびほ乳類が絶滅した 7 地区(絶滅地区*)と絶滅していない 15 地区(非絶滅地区**)にわけ、そこに自生する *Euterpe edulis* の種子の大きさを測った。その結果を図 1 に示した。鳥は種子を分散させる役割を担っており、大型の鳥類は、大きなサイズの果実を食べて種子を運ぶことが知られている。

*絶滅地区：大型鳥類(くちばしを開いた幅が 12 mm より大きい種)の 9 種が絶滅した地区を示す。くちばしを開いた幅が 12 mm 以下の種が多くを占める。大型のほ乳類も何種か絶滅していることで、小型のネズミ類が増加している。

**非絶滅地区：くちばしを開いた幅が 12 mm を越える大型鳥類が多くを占める。大型のほ乳類が生息するために、小型のネズミ類は絶滅地区に比べ、減少している。

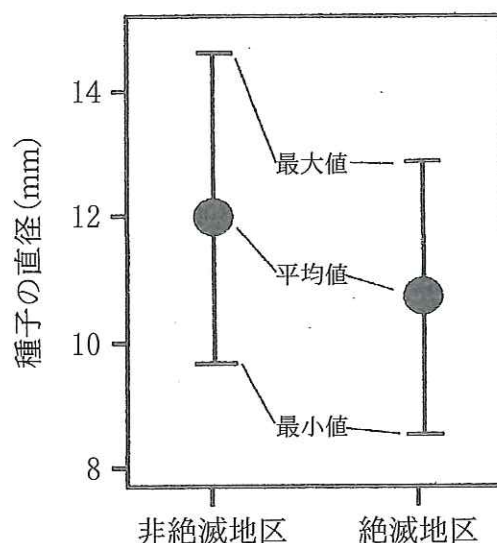


図 1 非絶滅地区と絶滅地区の *Euterpe edulis* の種子の大きさ

問(1) 植物において、個体群密度と成長の関係を調べるために、ダイズを用いて実験した。実験農場に $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の区画を多数設置し、区画内のダイズの種子の数を変えて育てた。種子は、区画内に均等に並べて植えた。80 日後に、育ったダイズの乾燥重量と個体数との関係を調べた(図 2)。密度に関係なく発芽率、生存率は一定であった。1 個体の平均乾燥重量と個体数($1\text{ m} \times 1\text{ m}$ あたり)の関係を最も適切に示しているものを a~d の中から選び、記号で記せ。また、その記号を選んだ理由を枠内に記せ。なお、実験農場は鳥獣などの出入りができないように管理された土地で、光・水は充分に与え、肥料は個体が枯れない最小限を与えた。また、どの区画も環境条件は同じになるようにした。

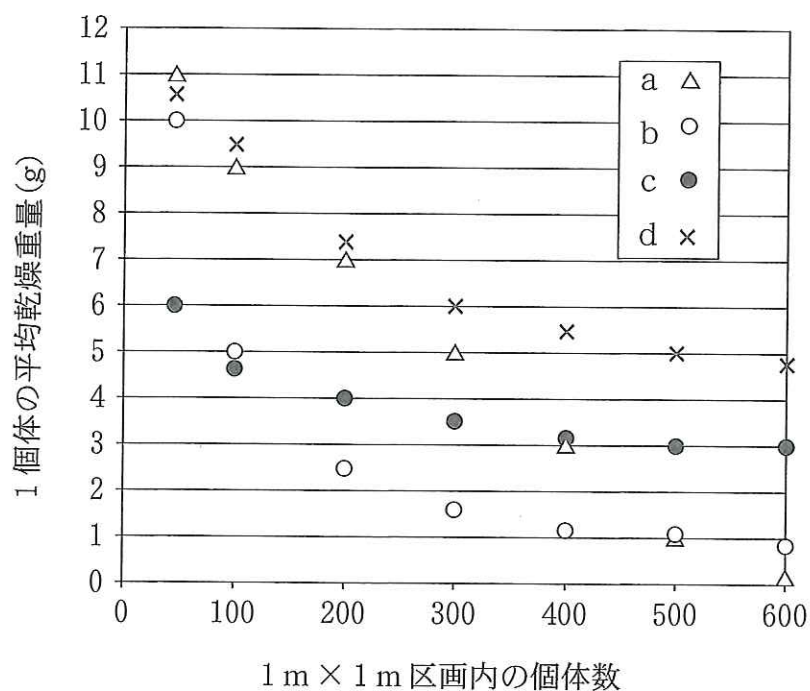


図 2 区画内の個体数と 80 日後の 1 個体の平均乾燥重量

問(2) *Euterpe edulis* の自生する自然の状態では、鳥に運ばれなかった果実は地上に落ちる。地上に落ちている種子の数と芽生えまでの生存率との関係を調べた。絶滅地区および非絶滅地区の両方で、 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の区画あたりに落下している種子の数を数え、8ヶ月後にそこから成長した芽生えの数を調べた。すると、種子の密度の高い区画ほど、芽生えの生存率(芽生えの数/種子数)は低下していた。また、絶滅地区の芽生えの生存率は非絶滅地区に比べて低かった。次の①と②について答えよ。

- ① 芽生えの生存率(芽生えの数/種子数)を低下させる密度効果の原因として何が考えられるか、枠内に記せ。
- ② 非絶滅地区に比べて絶滅地区で芽生えの生存率が低下した原因として何が考えられるか、枠内に記せ。

問(3) 自然選択による進化が生じるためには、下記に示した3つの条件を必要とする。条件1：変異(個体間の性質の違い)が存在すること、条件2：その変異によって、残す子どもの数に違いが生じること、条件3：その変異は親から子へ遺伝すること。*Euterpe edulis* の種子の大きさの違い(変異)が遺伝するかどうかを調べるために、実験を行った。自家受粉させた種子を環境Aと環境Bで育て、その種子から育った個体の種子の大きさを測定した。図3は、3個体から採集した種子の大きさを示している。*Euterpe edulis* の種子の大きさが遺伝しないことを示しているデータは(ア)~(ウ)のうちどれか、記号で記せ。

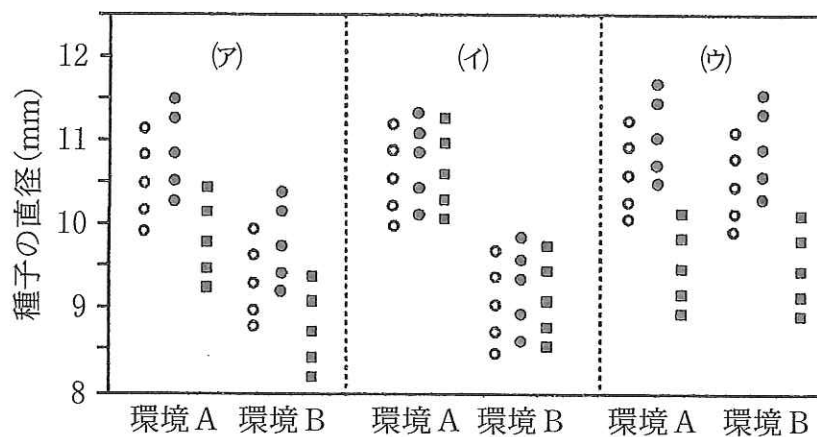


図3 一つの印は一つの種子の大きさ(直径)を示す。異なる印(○, ●, ■)は、異なる個体からとれた種子を表す。

問(4) 図1で示したように、絶滅地区の *Euterpe edulis* は、非絶滅地区に比べて小さい種子をつくる。これは、人間が森林を伐採し始めてから100年以上の間に、小さい種子を作る *Euterpe edulis* が進化したからだと考えられている。次の①と②について答えよ。

① 絶滅地区で小さい種子が自然選択によって進化するためには、問(3)で示した条件1を満たすために必要な変異は何か。以下の(a)~(c)より適切な記述を選び、記号で記せ。

- (a) 絶滅地区と非絶滅地区との集団の間で種子の大きさに変異がある。
- (b) 絶滅地区と非絶滅地区のすべての個体の間に種子の大きさに変異がある。
- (c) 絶滅地区の集団の中の個体の間に種子の大きさに変異がある。

② 問(3)で示した条件2について、なぜ種子の大きさによって残すこどもの数に違いが生じたのか、考えられる原因を枠内に記せ。