

令和 8 年度

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 試験問題・解答用紙
専門科目(植物代謝制御学)

注意事項

- 1) 表紙 1 枚、問題用紙 1 枚、解答用紙 3 枚があります。
- 2) 専門基礎問題(問題 1～問題 3)および専門問題(問題 4～問題 5)のすべてに解答しなさい。
- 3) 解答用紙すべてに受験番号を記入しなさい。

植物代謝制御学 試験問題

< 専門基礎問題 >

問題 1. RNA ポリメラーゼによる DNA の転写のプロセスを説明しなさい。(20 点)

問題 2. 相補的 DNA (cDNA) の合成法 (実験手順) を説明しなさい。(20 点)

問題 3. 光合成電子伝達反応の仕組みを説明しなさい。(20 点)

< 専門問題 >

問題 4. 葉緑体ストロマにおいて酵素の活性化を媒介するフェレドキシン-チオレドキシン系についてその仕組みを説明しなさい。(20 点)

問題 5. 葉緑体の光化学系においてクロロフィルが吸収した光エネルギーは xanthophyll cycle (ザントフィル[キサントフィル]サイクル) により熱として散逸される。(i) その仕組みを説明しなさい。加えて、野外でのザントフィル (キサントフィル) サイクルの環境応答について、(ii) 陽葉と陰葉の違いおよび (iii) 夏と冬の違いに着目して説明しなさい。(20 点)

令和 8 年度

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 試験問題・解答用紙
専門科目(造林学)

注意事項

- 1) 表紙 1 枚、問題用紙 3 枚、解答用紙 5 枚があります。
- 2) 専門基礎問題(問題 1 ~ 問題 5)から 3 問, 専門問題(問題 6 ~ 問題 8)から 2 問を選んで解答しなさい。
- 3) 解答用紙すべてに受験番号を記入しなさい。
- 4) 選択した問題が分かるように解答用紙の選択した問題の口に○を記入しなさい。

造林学 試験問題

<専門基礎問題>

問題 1. 以下の問いに答えなさい。((1) ~ (3)各 2 点 (4)6 点 (5) 8 点)

- (1) DNA のヌクレオチドを構成する 3 つの成分を示しなさい。
- (2) ある DNA において、ヌクレオチドの 24% がアデニンであった。他のヌクレオチドの割合を求めなさい。
- (3) DNA 塩基配列中の 1 つの塩基が別の塩基に置き換わる突然変異を何と呼ぶか？
- (4) (3) で示した DNA 塩基配列が遺伝子のエキソン配列とするとき、エキソン部位に (3) の突然変異が起こることによって生じる変化を簡単に説明しなさい。
- (5) (4) で示した塩基配列中の 4 塩基が欠失したとするとき、この突然変異が起こることによって生じる変化を簡単に説明しなさい。

問題 2. 以下の問いに答えなさい。(20 点)

ある薬剤を利用して、新たな薬剤抵抗性生物を創出した結果、薬剤抵抗性個体群(集団)が成立した。このメカニズムを簡単に説明しなさい。

問題 3. 以下の問いに答えなさい。((1) と (2)各 3 点 (3)14 点)

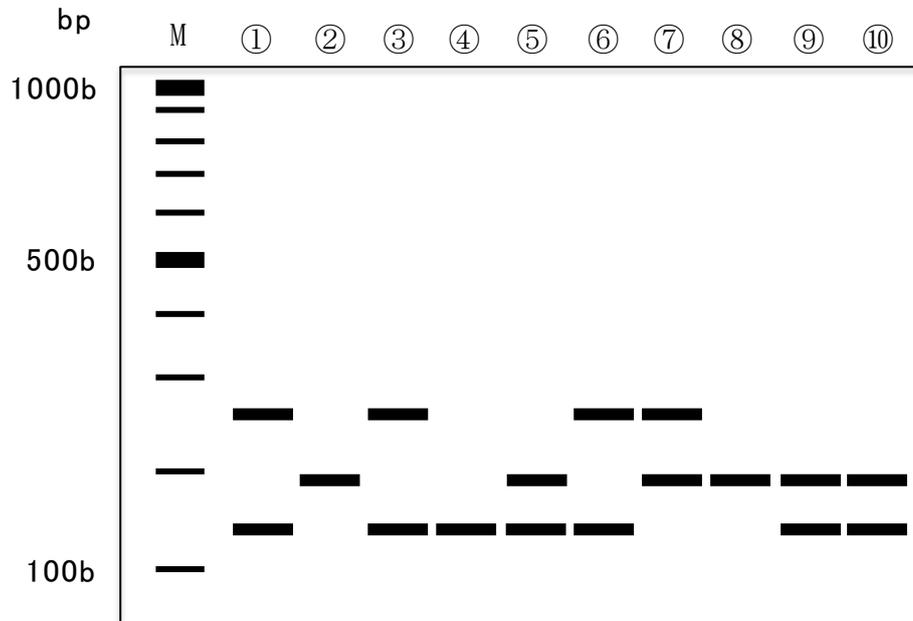
- (1) 地域的に十分離れた 2 つの個体群(集団)において配偶子が移動し、異なる集団間で配偶子の交換が起こる現象は何と呼ばれているか？
- (2) 植物の場合、配偶子の移動および交換の主体は何か？
- (3) ある 2 つの集団間で (1) の現象が長期間強く起こった場合、最終的に 2 つの集団間の遺伝子プールの差はどのようになると推測されるか？簡単に説明しなさい。

問題 4. 以下の問いに答えなさい。((1) ~ (3)各 2 点 (4)4 点 (5)10 点)

- (1) 階層的分類階級において生物の基本単位は種となる。種の定義はこれまで様々提唱されてきたが、互いに自然に交配し繁殖能力のある子孫を作る集団を種として定義した種概念を何と呼ぶか？
- (2) *Pinus densiflora* は日本のアカマツを分類学で普遍的に利用される二名法によって表記したものである。2 語のラテン語のうち、後者の *densiflora* は種小名と呼ばれることがある。前者の *Pinus* は、階層的分類階級を示している。2 語のうち、前者の階層的分類階級は何か？その名称を答えなさい。
- (3) (2) の分類階級よりも上位の階級となる(目・綱・科)をより高次から低次の順に並べ替えなさい。
- (4) 祖先が共通しない分類群間にも関わらず形態形質が類似するような進化(例: 魚類とイルカ)を何と呼ぶか？
- (5) 1990 年代以前には主に形態形質などを利用して階層的分類が行われてきた。1990 年代以降は、DNA を利用した進化系統樹が急速に普及し、現代では、階層的分類を考えるうえで DNA の利用は不可欠となっている。形態形質と DNA を利用した階層的分類の違いを簡単に説明しなさい。

問題 5. 以下の問いに答えなさい。(各 10 点)

- (1) 下の図はカラマツのある集団 A を対象として PCR を行った電気泳動像を示している。この電気泳動像を基にこの集団 A のヘテロ接合体率（接合度）の観察値および期待値をそれぞれ求めなさい。なお、この電気泳動像は、核ゲノム中の 1 遺伝子座の結果であり、この遺伝子座の重複は核ゲノムおよびオルガネラゲノムにはないことが確認されている。



M: DNA サイズマーカー（左横の数字は DNA のサイズを示す。）①～⑩：各個体を示す。

- (2) (1) の集団とは異なる別の集団 B は、主分布域から隔離されており、著しく小集団化（20 個体程度で構成）した遺存集団と考えられた。この集団に (1) で調査した同じ遺伝子座を PCR し、電気泳動を行った結果、ヘテロ接合体率の観察値は 0.14 と極めて低かったのに対して、期待値は集団 A の値とそれほど変化はなかった。この集団 B のヘテロ接合体率の観察値が極めて低い値を示した理由を簡潔に記しなさい。

<専門問題>

問題 6. 林木（樹木）の育種に関する以下の問いに答えなさい。（5×4 点）

- (1) 林木（樹木）は稲や作物などの農作物と比較して育種する際に不利となる特徴がある。その特徴を 3 つ示しなさい。
- (2) 確率論的育種とは何か？簡単に説明しなさい。
- (3) 育種目標を達成するために、いくつかの選抜法が提唱されている。このうち、まず優良な成長を示した個体を選抜し、次に選抜された個体の中から病害虫に強い個体を選抜するように育種目標を次々と達成する選抜法は何と呼ばれるか？
- (4) 「無花粉スギ」は一般的に利用される林業用品種よりも成長が劣っており、「無花粉スギ」を林業用品種として活用するためには育種的改良を必要とする。「無花粉スギ」を育種的改良する方法を簡単に説明しなさい。

問題 7. 温量指数（WI: warmth index）うち暖かさの指数は以下の式で示される

$$WI = \sum (t-5) \quad t \text{ は } 5^{\circ}\text{C} \text{ 以上となる月の平均気温}$$

以下の問いに答えなさい（(1) 8 点 (2) と (3) 各 6 点）

- (1) 以下の上表はある地域における月ごとの平均気温である。この地域の温量指数を求め、下表の森林の種類から選びなさい。

上表. ある地域の月の平均気温

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均気温	-7.8	-7.2	-2.4	5.2	11.7	16.5	20.5	21.1	15.6	8.8	2	-4.1

下表. WI により分類される森林の種類

WI	0~15	15~45	45~85	85~150	150~240	240~
森林の種類	ツンドラ	亜寒帯	冷温帯	暖帯林	亜熱帯林	熱帯林

- (2) 日本では、温量指数を求めるにあたって、5°C以上の温度を算出することとされている。温度を 5°C以上とする理由は何か？簡単に説明しなさい。
- (3) 日本では、森林は暖かさの指数でおおよそ分類できる。暖かさの指数のみで日本の森林帯（森林の種類）をおおよそ分類できる理由は何か？簡単に説明しなさい。

問題 8. 以下の問いに答えなさい。（各 10 点）

- (1) 生物遺伝資源について説明しなさい。
- (2) 生物遺伝資源が十分ではない、とされたとき、“十分ではない”の意味を具体的に説明しなさい。

令和8年度

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 試験問題・解答用紙
専門科目（流域環境制御学）

注意事項

- 1) 表紙 1 枚、問題用紙 3 枚、解答用紙 5 枚があります。
- 2) 専門基礎問題（問題 1 ～問題 2）のすべて、専門問題（問題 3 ～問題 6）から 2 問 を選んで解答しなさい。
- 3) 解答用紙すべてに受験番号を記入しなさい。
- 4) 解答用紙の各問題の口に選択した問題が分かるように○を記入しなさい。

流域環境制御学 試験問題

< 専門基礎問題 >

以下の問題 1 および問題 2 の専門基礎問題のすべてに答えなさい。

問題 1. 次の問題の空欄を埋めよ。

スギ林とヒノキ林で細根バイオマスが異なるのかどうかを調べるために、隣りあうスギ林およびヒノキ林において、表層の細根バイオマスを 5 地点測定し、下記のデータを得た。スギ林の平均値および標準偏差は (A) ± (B) であり、ヒノキ林では (C) ± (D) であった。この平均値に統計的な有意差があるかどうかを調べるために、対応のない t 検定を実施した。スギ林およびヒノキ林の不偏分散はそれぞれ (E) と (F) であり、 t 値は約 (G) となった。自由度が (H)、有意水準が 0.05 のときの t 値は 2.3 である。得られた t 値の絶対値はこれよりも (I) ので、スギ林とヒノキ林の細根には有意差が (J) と結論づけられた。数字については有効数字 1 桁で答えよ。 $\sqrt{3.5}=1.87$ 、 $\sqrt{0.9}=0.95$ とする。(25 点)

測定地点	スギ	ヒノキ
A	2	4
B	3	4
C	4	7
D	2	2
E	4	3

(単位 Mg ha⁻¹)

問題 2. ヒノキ林、広葉樹林、竹林が混在する 10ha の流域において、それぞれの植生タイプの面積および林分当たりの日蒸散量が表のように与えられている。このときの、流域全体の日蒸散量はいくらか？単位は mm/day と m³/day の両方について答えなさい。(25 点)

	面積 ha	日蒸散量 mm/day
ヒノキ林	5	1.5
広葉樹林	4	2.5
竹林	1	2.0
合計	10	-

< 専門問題 >

以下の問題 3 から問題 6 の専門問題のうち 2 問を選んで答えなさい。

問題 3. 森林の水源涵養機能には、洪水緩和機能と水資源貯留機能など複数の機能が含まれるが、これらの間には「トレードオフ」が存在する。ここでトレードオフとは、ある機能を高めることが他の機能の低下をもたらす関係を指す。蒸発散過程を例として、

(a) 洪水緩和機能への影響

(b) 水資源貯留機能への影響

を具体的に説明しなさい。さらに、c) なぜ a と b の両者にはトレードオフ関係にあるのか、またそのトレードオフを考慮する必要がある理由も述べよ。(25 点)

問題 4. 森林生態系における純生態系炭素交換量 (NEE) は、渦相関法によって大気との炭素の出入りを直接的に測定するが、純一次生産 (NPP) の積み上げ法や生態系呼吸 (RE) の測定に基づいて算定される純生態系生産 (NEP) の推定値とは、しばしば不一致が生じることが報告されている。

この不一致が生じる具体的な要因に関して、(a) NEE と NEP についてそれぞれ説明し、不一致が生じる要因、(b) 水循環に伴う炭素の流域外輸送過程について、主な形態とその生成・輸送機構、の 2 点について、それぞれ論述しなさい。(25 点)

問題 5 . 酸性雨に関する以下の文章を読んで、問いに答えなさい。(25 点)

酸性雨(酸性降下物)は、大気汚染物質に含まれる(あ)や(い)の化合物が雨に溶解酸性となったものである。かつて欧米の大規模な森林衰退は酸性雨が原因といわれたが、(う)、(え)、(お)などに由来する各種ストレスが複合的に作用した結果と考えられている。ただし、酸性雨や大気汚染による汚染物質の流入①は、生態系の物質循環システム全体を攪乱しバランスを崩す原因となっていることに変わりはない。さらに大気汚染物質は長距離を運ばれるので、都市から遠く離れた広範囲の森林生態系にも慢性的かつ長期的な影響をおよぼす可能性がある。

- (1) 文章中の(あ)から(お)に入る語句を答えなさい。(10 点)
- (2) 下線部①に関して、主な流入形態である2つについてそれぞれ説明せよ。(8 点)
- (3) 1990 年代以降、わが国で起きている酸性雨の影響について述べよ。(7 点)

問題 6 . 森林からの土砂流出に関する以下の文章を読み、以下の問いに答えなさい。(25 点)

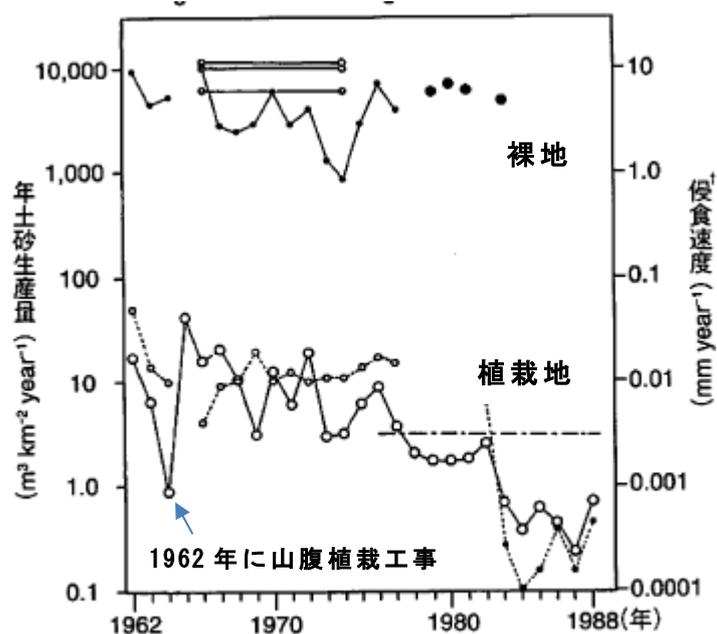


図 1 田上山地の荒廃裸地と植栽地の土砂生産量(鈴木・福嶋 1989 水利科学)
 †侵食速度は、年土砂生産量から土砂の密度(1.0 Mg m⁻³)を仮定し計算されている。

- (1) 上の図は、裸地と植栽地の土砂生産量および侵食速度を示している。この図から読み取れることは何か答えよ。(12 点)
- (2) 近年、森林で生じる土壌侵食も問題となっている。特に、ヒノキ林で発生している土壌侵食のメカニズムについて説明せよ。(13 点)

令和 8 年度後期

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 解答例
専門科目(植物代謝制御学)

問題 1

RNA ポリメラーゼは、DNA に沿って少しずつ動きながら先頭部分で DNA のらせんをほど
き、重合部位で DNA 鎖を鋳型にして RNA 鎖にヌクレオチドを 1 個ずつ付加していく。
したがって転写産物の RNA は、DNA の二本鎖の一方を相補的に写し取った一本鎖となる。
ポリメラーゼには突出部があって新たに合成した RNA 鎖を解離させるので、2 本の DNA
鎖はポリメラーゼのうしろでふたたび二本鎖に戻る。つまり短い DNA/RNA らせん
(長さは約 9 ヌクレオチド) の形成は一過性で、DNA/RNA らせんを含む“窓”はポリ
メラーゼとともに DNA 鎖に沿って移動する。取り込まれるのはリボヌクレオシドリン酸
(ATP、UTP、CTP、GTP) で、そのリン酸-リン酸結合がもつエネルギーが重合反応の
駆動力となる。

問題 2

ある組織から全 mRNA を抽出し、逆転写酵素によって相補的な DNA (cDNA) につくり替
える。mRNA の 3' 末端のポリ A 尾部に相補的な短いオリゴヌクレオチドを準備する。そ
れを mRNA とハイブリッド形成させ、逆転写酵素のプライマーとする。逆転写酵素はこ
の RNA から相補的な塩基配列の DNA 鎖をつくり、DNA/RNA ハイブリッドのらせんが形成
される。DNA/RNA ハイブリッドを酵素 RNアーゼ H で処理し、RNA 鎖をとところどころ切
る。残った一本鎖の cDNA を DNA ポリメラーゼで複製させて、二本鎖 cDNA をつくる。こ
の合成反応のプライマーとなるのは元の mRNA の断片である。

受験番号： _____

問題 3

光は膜に埋め込まれた 2 つの光化学系のアンテナ複合体により捕捉され、反応中心のクロロフィル分子に渡される。これらの電子は次いで可動型の電子運搬体であるプラストキノン、プラストシアニン（銅を含む小型のタンパク質）、およびフェレドキシン（鉄-硫黄中心を含む小型のタンパク質）を次々に移動する。シトクロム b6-f 複合体は、葉緑体の電子伝達系で能動的な H ⁺ の取り込みが起こる唯一の場所となる。水の酸化により放出された H ⁺ と NADPH の形成の過程で取り込まれた H ⁺ は、ともに電気化学的プロトン勾配の形成に寄与している。チラコイド膜内外のプロトン勾配が、同じチラコイド膜にある ATP 合成酵素を駆動する。

問題 4

フェレドキシン-チオレドキシン系は葉緑体チラコイド膜で感受された光シグナルによりストロマ内の酵素活性を制御する光シグナル媒介システムである。日中におけるカルビン-ベンソン回路の酵素の活性化は、電子伝達系によるフェレドキシンの還元とともに始まる。還元型フェレドキシンと 2 つのプロトンが鉄-硫黄酵素であるフェレドキシン-チオレドキシン還元酵素のジスルフィド基(-S-S-)を還元し、それが小さな制御蛋白質であるチオレドキシン (Trx) のジスルフィド基を還元する。次に、還元型のチオレドキシンのスルフィドリル基 (-SH HS-) が標的酵素のジスルフィド基 -S-S-を-SH HS-に還元し酵素を活性化する。暗所ではフェレドキシンへの電子伝達が止まるのでチオレドキシンは酸化状態となる。チオレドキシンによって活性化された酵素が暗所でどのように不活性化するかは十分にはわかってはいないが、O ₂ 分子による直接の酸化反応が酸化型チオレドキシンを生じさせることが引き金となるようである。酸化型チオレドキシンのジスルフィド結合 (-S-S-) が還元型酵素のスルフィドリル基(-SH HS-)を酸化型 (-S-S-) に戻す反応を起こすことにより酵素は触媒機能を失う。

受験番号： _____

□ 問題 5

Xanthophyll cycle (ザントフィル[キサントフィル]サイクル) は、3つのカロテノイド分子、ビオラザンチン、アンテラザンチン、ゼアザンチンからなり、葉の過剰光エネルギーの放散能力と関連している。強光では、ビオラザンチンはアンテラザンチンへ、
そしてゼアザンチンに変換される。ビオラザンチンはその分子中の両端の芳香環が酸素原子をもっているが、アンテラザンチンには片方にしかなく、ゼアザンチンにはない。
ゼアザンチンは3つのザントフィルの中で最も高い熱放散効果をもち、アンテラザンチンはその半分しかない。
アンテラザンチンの割合は日中ほぼ一定であるが、ゼアザンチンの量は強光下で多く、弱光下で少ない。強光下で育っている葉では、日中最も強い光のもとでは総ザントフィル量におけるゼアザンチンとアンテラザンチンの割合は40%にまで達する。こういった条件では、チラコイド膜が吸収した過剰光の大半が熱として散逸され、葉緑体の光化学系II等の光合成機構が光のダメージから守られる。陽葉は陰葉に比べザントフィルプールのサイズが著しく大きく、はるかに多量の過剰光エネルギーを散逸できる。その一方で、ザントフィルサイクルは森林林床に生育している植物でも、たまに起こるサンフレックのためにはたらいっている。たった1回のサンフレックでも多量のビオラザンチンをゼアザンチンへ変換しているのである。
ザントフィルサイクルは、冬季に葉を付けたままの植物種でも重要である。冬季には光合成速度は低い光吸収は起こる。夏にはザントフィルサイクルは日変化を起こすが、冬にはザントフィルは一日中多いままになっている。この機構によって光エネルギーの放散が最大化され、炭素同化が寒さで進まない状況でも光酸化から葉が守られている。

令和 8 年度後期

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 解答例

専門科目(造林学)

問題 1

(1) デオキシリボース	塩基	リン酸
(2) T : 24 %	G : 26 %	C : 26 %
(3) 点突然変異 (塩基置換でも可)		

(4)

この突然変異がアミノ酸置換を伴う非同義置換である場合には、遺伝子のアミノ酸配列の変化を引き起こす。一方で、アミノ酸置換を伴わない同義置換である場合には、特段の変化は生じない。

(5)

この突然変異はフレームシフト突然変異であり、その変異は4塩基の欠失であることから、欠失部位からコドンの読み枠の変化が生じると考えられる。

問題 2

薬剤が突然変異誘起性をもつ場合、この薬剤に対して抵抗性を示す突然変異が誘起される可能性がある。一方で、誘起性を持たない場合、個体群中に抵抗性を示す遺伝変異を持つ個体が選抜される。選抜された抵抗性遺伝子を持つ個体は遺伝的浮動またはその環境に生存することが有利であると考えられるため抵抗性遺伝子を持つ個体が集団に拡散し、薬剤抵抗性集団が成立する。

問題 3

(1) 遺伝子流動
(2) 花粉 (および種子)

受験番号： _____

(3)

仮に十分 2つの集団が物理的に離れた場所にあるとしても長期間に亘って
2つの集団間で遺伝子流動による遺伝子交換が起こった場合には
両集団間の遺伝子プールの差は小さくまたはなくなることが推測される。

問題 4

(1) 生物学的種概念
(2) 属
(3) 綱→目→科の順に低次の分類階級となる。
(4) 収斂進化

(5)

ある種（生物）間の形態形質を比較し、より類似性が認められるほど、より
近縁と考える手法が形態形質を利用した分類であり、この方法を利用してよ
り高次の分類階級へと階層化する。しかし、形態形質の類似性は時間軸の概
念を適用することが難しい。一方で、DNA はその変異量は時間軸に沿って変化
するものと考えられており、現代では、生物進化を反映する進化系統樹作成
は DNA を利用することが一般的となった。そのため、形質を利用した階層的
分類は形質の類似性をまとめたものである一方で、DNA による階層的分類は
時間軸に沿っている点で違いがある。

問題 5

(1) 観察値：0.7	期待値：0.64
-------------	----------

観察値はゲルからヘテロ接合と考えられるものを全体で除すのみ 7/10

期待値は今上から 3つの対立遺伝子があるため、順に A/B/C とするとそれぞれ

受験番号： _____

の数は A: 4 B と C: 共に 8 (ホモ接合体は 2 としてカウント)

対立遺伝子は個体数 (10) × 2 で 20 であるため、20 でそれぞれの対立遺伝子を
除すると

A: 0.2 B と C: 0.4 これらがホモ接合体になる確率はそれぞれ A: 0.04 B
と C: 0.16 であることから期待値 = $1 - (0.04 + 0.16 + 0.16) = 0.64$ となる。

問題 5

(2) 小集団化により、ハーディ・ワインベルグ平衡に乱れが生じ、(見かけ上
の) 近親交配が増大したことで対立遺伝子数は変化しないのに対し、ホモ
接合体数が増大した結果、期待値と観察値にズレが生じたため。

受験番号： _____

<専門問題>

問題 6

(1) 個体サイズが大きく、広大な育成空間を必要とする
個体サイズが大きいため、人工環境下での育成と試験が困難
交配までの時間を要し、交配試験による分離比検定に時間がかかる
ゲノムサイズが巨大であり、遺伝子を利用した試験に制限がある など

(2) 優れた親個体から優れた後代が得られる確率が高いと考える育種法。

(3) 順繰り選抜

(4) 無花粉スギを成長の優れた個体と交配する。得られた後代のうち、無花粉形質を示し、成長量の優れた個体を再び成長の優れた個体と交配するような交雑育種を行う。

問題 7

(1) 冷温帯

計算式 温量指数は>5の月のみが計算対象となるため

$$WI = 0.2 + 6.7 + 11.5 + 15.5 + 16.1 + 10.6 + 3.8 = 64.4$$

(2) 月平均気温が5℃よりも高い時を植物が成長できる期間としているため

(3) 日本は湿潤な環境にあり、植物の成長を制限する温度と水のうち、降水量が十分確保されており、温度が主要な制限要因として働くから。

受験番号： _____

□ 問題 8

(1) 生物遺伝資源とは、第一次産業の対象となる農作物や樹木・水産物
に加え、医薬用品など産業利用上の重要となる生物群またはその個体群のこ
と。必ずしも収集保存されているものだけでなく、現地で保存される場合もあ
る。

(2) 生物遺伝資源が十分ではないとしたとき、産業利用において利用する遺
伝子数が十分ではないことを意味する。この場合、収集した生物材料に含まれ
る遺伝子数がすでに利用されつくされて十分ではないとする場合や収集した
生物群の遺伝的多様性が低い場合に十分ではないとされる。

令和 8 年度後期

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 解答例
専門科目(流域環境制御学)

<専門基礎問題>

以下の問題1および問題2の専門基礎問題のすべてに答えなさい。

問題1. 次の問題の空欄を埋めよ。

スギ林とヒノキ林で細根バイオマスが異なるのかどうかを調べるために、隣りあうスギ林およびヒノキ林において、表層の細根バイオマスを5地点測定し、下記のデータを得た。スギ林の平均値および標準偏差は $(3.0) \pm (1.0)$ であり、ヒノキ林では $(4.0) \pm (1.9)$ であった。この平均値に統計的な有意差があるかどうかを調べるために、対応のない t 検定を実施した。スギ林およびヒノキ林の不偏分散はそれぞれ (1.0) と (3.5) であり、 t 値は約 (1.05) となった。自由度が (8) 、有意水準が 0.05 のときの t 値は 2.3 である。得られた t 値の絶対値はこれよりも **(低い)** ので、スギ林とヒノキ林の細根バイオマスの平均値には有意差が **(ない)** と結論づけられた。数字については有効数字1桁で答えよ。 $\sqrt{3.5}=1.87$ 、 $\sqrt{0.9}=0.95$ とする。

(25点)

測定地点	スギ	ヒノキ
A	2	4
B	3	4
C	4	7
D	2	2
E	4	3

(単位 Mg ha^{-1})

問題2. ヒノキ林、広葉樹林、竹林が混在する 10ha の流域において、それぞれの植生タイプの面積および林分当たりの日蒸散量が表のように与えられている。このときの、流域全体の日蒸散量はいくらか? 単位は mm/day と m^3/day の両方について答えなさい。(25点)

	面積 ha	日蒸散量 mm/day
ヒノキ林	5	1.5
広葉樹林	4	2.5
竹林	1	2.0
合計	10	-

$\text{mm/day } 1.5 \cdot 5/10 + 2.5 \cdot 4/10 + 2.0 \cdot 1/10 = 1.3 \text{ mm/day}$

m^3/day ヒノキ林における日蒸散量(m^3)は、 $5\text{ha} \cdot 10000\text{m}^2 \cdot 1.5\text{mm} \cdot 10^{-3} = 75\text{m}^3$

広葉樹林における日蒸散量(m^3)は、 $4\text{ha} \cdot 10000\text{m}^2 \cdot 2.5\text{mm} \cdot 10^{-3} = 100\text{m}^3$

草地における日蒸散量(m^3)は、 $1\text{ha} \cdot 10000\text{m}^2 \cdot 2.0\text{mm} \cdot 10^{-3} = 20\text{m}^3$

合計 $75 + 100 + 20 = 195\text{m}^3/\text{日}$

問3 森林の水源涵養機能には、洪水緩和機能と水資源貯留機能など複数の機能が含まれるが、これらの間には「トレードオフ」が存在します。ここでトレードオフとは、ある機能を高めることが他の機能の低下をもたらす関係を指します。蒸発散過程を例として、

- (a) 洪水緩和機能への影響
- (b) 水資源貯留機能への影響

を具体的に説明しなさい。さらに、なぜ c) 両者がトレードオフ関係にあるのか、またそのトレードオフを考慮する必要がある理由も述べなさい。(20点)

(a) 蒸発散は、森林の洪水緩和機能に対してはプラスに作用する。蒸散により土壌水分が低下すると、未飽和層の貯留容量が増大し、降雨時に浸透が持続しやすくなる。また、遮断蒸発により降雨が林冠に保持され、土壌へ到達する雨量が直接的に減少するため、地表流の発生が抑制される。これらの過程により、豪雨時の流出量を抑制し、洪水リスクを低減する。

(b) 一方で、蒸発散は降水が流域外へ水蒸気として失われる過程でもあるため、長期的には森林流域における利用可能な水資源量（特に年間流出量や渇水期の基底流量）を減少させる。

(c) その結果、蒸発散は洪水緩和機能を高める一方で、水資源貯留機能を低下させるという相反する作用を示す。すなわち、同一の蒸発散過程が両機能に逆方向の影響を与える。森林流域の水源涵養機能を評価する際には、単一の機能のみを取り上げるのではなく、洪水緩和・水資源貯留といった複数の機能間のトレードオフや相互作用を考慮した総合的な検討が必要となる。

問4 2) 森林生態系における純生態系炭素交換量 (NEE) は、渦相関法によって大気との炭素の出入りを直接的に測定するが、純一次生産 (NPP) の積み上げ法や生態系呼吸 (RE) の測定に基づいて算定される純生態系生産 (NEP) の推定値とは、しばしば不一致が生じることが報告されています。

この不一致が生じる具体的な要因について、以下の点についてそれぞれ論述しなさい。

(a) NEE と NEP についてそれぞれ説明し、不一致が生じる要因。

(b) 水循環に伴う炭素の流域外輸送過程について、主な形態とその生成・輸送機構。

a) 純生態系炭素交換量 (NEE) は、渦相関法によって森林と大気間の CO_2 フラックスを直接測定した値であり、大気基準で定義されるため、負の値は生態系による炭素吸収を示す。一方、純生態系生産 (NEP) は、総一次生産 (GPP) から生態系呼吸 (RE) を差し引く ($\text{NEP} = \text{GPP} - \text{RE}$)、あるいは純一次生産 (NPP) から従属栄養呼吸を差し引いて算定される値である。両者の不一致は、(1) 渓流水を介した炭素輸送や、(2) 伐採や動物

による物理的なバイオマス除去などがある。(系境界の違いを述べている場合は本質的な模範解答とし、正解とする)

(b) 水循環を介した炭素流出には、溶存有機態炭素 (DOC)、溶存無機態炭素 (DIC)、粒状有機態炭素 (POC) の3成分が含まれる。DOC はリターや土壤有機物の分解によって生成され、表層土壤水に溶解して直接流出成分とともに放出される。DIC は、土壤中で根呼吸や微生物分解により発生した CO_2 が水に溶解して運搬される。POC はリターや土壤有機物の微細片などであり、侵食・降雨流出により生態系外へ物理的に輸送される。(メタン、揮発性有機物も正解とする)

問5 酸性雨に関する問題

(1) (あ) 硫黄 (い) 窒素 (う) オゾン (え) 窒素過剰 (お) 気候変動 (10点)

※ (あ) と (い)、(う) と (え) と (お)、それぞれで順番は問わない。

(2) 下線部①に関して、主な流入形態である2つについてそれぞれ説明せよ。(8点)

湿性沈着と乾性沈着について、それぞれ説明する。

解答例：大気汚染物質は二酸化硫黄 (SO_2) を主体とした硫黄酸化物 (SO_x)、二酸化窒素 (NO_2) を主体とした窒素酸化物 (NO_x)、炭化水素や重金属類が含まれている。これらの成分が雨に取り込まれ、硫酸や硝酸を含んだ雨となる。雪やあられ、霧も含むので酸性雨は酸性降下物ともよばれる。一方、ガスまたは微粒子状(エアロゾル)のものを乾性降下物という。湿性降下物や乾性降下物が地上に達することを沈着というので、地上の観測は湿性沈着、乾性沈着ともよばれる。また生態系に沈着することを負荷といい、沈着量は負荷量ともよばれる。

(3) 1990年代以降、わが国で起きている酸性雨の影響について述べよ。(7点)

長距離越境汚染の傾向、土壤への影響(アルミニウムの溶出など)、樹木への影響(成長抑制、枯死)、流域レベルでの影響などについて述べる。

問題6 土砂生産に関する問題

- (1) 裸地に比べて植生地からの土砂生産が小さく、その差は3オーダーも違うこと。1962年に山腹植栽工事が行われたことで土砂生産が徐々に低下している等、森林(または植生)には土壤保全機能があることを述べる。
- (2) ヒノキ林などの樹林地で土壤侵食を引き起こす侵食要因は、一義的には林内雨による雨滴衝撃力である。地表の浮遊土砂は、雨滴ではね飛ばされながら移動と堆積をくり返し徐々に斜面下方へと移動し、また表面流によっても土砂が斜面下方

に運搬される。森林に降った雨水は一たん樹冠にトラップされ、樹冠通過雨（林内雨）となって林床に落下する。その際、林内雨の平均粒径は林外雨よりも大きくなる。そのため、樹木が成長し雨滴の落下高さが数メートルを超えると、林内雨が地面に到達するときの衝撃力は林外雨よりも大きくなる。このような林内雨の平均粒径が林外雨よりも大きくなって雨滴衝撃力が増大する仕組みは、樹種によらず共通のものである。それにもかかわらずヒノキ人工林でとくに土壌侵食が活発化しやすいのは、リターが堆積しにくい、樹冠がうっぺいすると下層植生がとぼしくなる、などの理由である。

令和 8 年度後期

九州大学大学院 生物資源環境科学府
環境農学専攻 森林環境科学教育コース

修士課程一般入試第2次 出題の意図

- ・植物代謝制御学
- ・造林学
- ・流域環境制御学

出題の意図

【植物代謝制御学分野】

植物代謝制御学分野では樹木の環境ストレス耐性機構および物質生産機構の解明に必用な植物生理学の基礎知識を問う。

【造林学分野】

造林学分野では、育種を実施する上で必要となるゲノム科学および林木育種の基礎および生態学的基礎を問う問題を出題している。

【流域環境制御学分野】

流域制御学分野で研究するために必要な基礎的な統計学、森林水文学および森林生態系の物質循環に関わる知識を問う。