

試験日 : 2025 年 9 月 13 日 (土)

入試種別 : 大学院入学試験(4 月入学)修士課程 秋期試験

学部・研究科: 先端理工学研究科 環境科学コース

科目名 : 専門科目

解答又は解答例

I

問 1

① マテリアルフロー分析 (MFA)

マテリアルフロー分析 (MFA) は物質フロー分析と呼ばれ、ある定めた社会システムや地域内における**物質のインプットおよびその流れと蓄積を、系統的かつ定量的に明らかにすることを目的とする分析手法**である。手順としては、課題の設定、対象物とプロセスの選択、データの収集、フローチャートの作成、物質量の算出と精査を行うことが一般的で、原材料の採取などの資源投入から、製品化や廃棄といったアウトプット、蓄積を把握できるようにするが、結果の可視化法の工夫が大切であることも多い。

② サブスタンスフロー分析 (SFA)

サブスタンスフロー分析 (SFA) は、MFA について、特定の元素や化合物 (例えば鉄や水、窒素、水銀、リン) の流れを追跡する手法である。MFA が定めた系内の資源や製品などの主要な物質すべてを対象とするのに対し、SFA はそれらの中の注目する限られた対象物質についての分析を行う。よって、分析の目的も手法も広義には MFA と同じであるが、細かくみると、SFA では資源性や毒性が高い物質を対象として用いることが多いため、特に手法において、各物質や製品中の対象成分の「濃度情報の調査」が加わる。

問 2

③ 資源効率 (資源生産性)

数式:

資源生産性 = 経済的価値 (GDP や付加価値でもよい) / 資源投入量

資源効率は、投入した資源あたり、どれだけの経済価値を生み出したかを示す指標である。循環型社会形成推進基本計画では、国内総生産 (GDP) を天然資源等投入量で割った値と定義している。少ない資源で同じ価値や豊かさを生み出すほど大きい数字となり、

資源の利用効率が高いと評価できる。資源制約下での持続可能な生産・消費、即ち環境負荷の低減と経済成長を両立させるための指標として重要である。

④ 環境効率（エコ効率）

数式：

環境効率 = 製品・サービスの価値 / 製品・サービスを生み出すための環境負荷

環境効率は、得られる価値に対して、どれだけ環境負荷を小さくできているかを示す指標である。分母の環境負荷については、資源効率より広い環境への影響・負荷を含む概念であり、具体的には資源やエネルギー消費だけでなく、CO₂排出量、廃棄物量などの排出負荷も含まれる。原料やエネルギーだけでなく、製品の製造および使用、廃棄やリサイクルを含む総合的な評価を行うことから、対象とする製品等のライフサイクルや製造工程を評価したり、製品間で比較したりできる。

（「ISO14045」の概念に基づいていること、「経済活動と環境負荷のデカップリング」の直接的な指標であることや、「環境配慮製品の評価基準」となりうる点を述べても良い。）

II

問1 環境影響評価法に基づく環境アセスメントの対象となる事業は、道路、ダム、鉄道、空港、発電所、廃棄物処分場、埋め立て、土地区画整理、市街地開発、工場団地造成などの事業で、これらのうち、第1種事業については必ず実施し、第2種事業については環境アセスメントの実施の可否を個別に判断して実施する。

問2 アセスメントの実施の可否を判断する時間をかけたくない場合や、環境アセスメントを実施して、事業実施対象地周辺住民に事業計画を積極的に説明開示して理解を求めるとともに、必要な情報を得られやすくして事業実施を円滑に推進したい意図などがある。

問3 人間の活動によって発生する環境への影響を緩和、または補償する行為。

問4

ミティゲーションシーケンス：ミティゲーションを検討する場合、「回避」「最小化」「修正・修復」「軽減」「代償」の順に対策を検討することで、環境への影響を限りなく小さくするための工夫を促す効果がある。

ノー・ネット・ロスの原則：ある地域内において開発行為により自然（例えば湿地や草原）の損失が避けられない場合に、そのプロジェクトにおいて同等の自然価値を創出す

ることで均衡を取り、自然の量を一定に保とうとする政策、原則のこと。定性的な対策のみでは実質が伴わないこともあり得るため、定量的な対策を講じることで自然の価値を減じさせない効果がある。

Ⅲ

問 1

Chemical Oxygen Demand

問 2

水中の有機汚濁の度合いを、酸化剤で酸化した際に消費される酸素の量で示す指標

問 3

主な方法として「100℃における酸性過マンガン酸カリウムによる酸素消費量」がある。その概要は以下。

（「酸性過マンガン酸カリウム法」「過マンガン酸カリウム法」「酸性法」などでもよい）

まず適量の試料水や希釈液との混合液に、酸性条件とするために 1 + 2 硫酸を加えた後、酸化剤として過マンガン酸カリウムを加えて沸騰水浴中、つまり 100℃の酸性条件下で一定時間（30 分）反応させることで有機物質を酸化分解させる。次に、その反応で消費した酸化剤である過マンガン酸カリウムの量を求め、その量を最終的に酸素量に換算することで求める。「消費した過マンガン酸カリウムの量」は、反応後の液にしゅう酸ナトリウム溶液を加え、反応しきれずに残っていた過マンガン酸カリウムを還元、その際に消費しきれずに余ったしゅう酸ナトリウムを、過マンガン酸カリウム溶液で逆滴定して求める。（約 280 文字）

（試料中に塩素イオンを含む場合を想定した銀イオンを用いた塩素イオンのマスキング操作や、逆滴定時の終点の液の色（うすい紅色）、酸素量への換算式や各液の濃度などの説明が入っていても、文字数が適切であれば良い）

問 4

琵琶湖の COD 値はここ数年、北湖については 2.5 mg/L 付近、南湖については 3.0 mg/L 付近概ね横ばいで推移しており、環境基準値の 1.0 mg/L を超過した状況が続いている。

（値は、例えば COD75% 値を用いるなら令和 5 年度の南湖は 4.7mg/L であるし、年度によって異なるので、上の記述中の測定結果の数値については他の値であっても良い。主に傾向を問うていた。）

IV

仮想煙源とは、煙突の排出口の直上に煙の排出源があると仮想的に考えたものである。煙の正規分布とは、仮想煙源から排出された煙が風下において上下に拡散する分布が正規分布に従っているとする仮定である。煙の反射は、地面に煙が当たった際に風下方向に煙が反射していく仮定である。仮想煙源は煙突ダウンウォッシュが生じる場合は煙が上昇しないため仮定に合わない。フミゲーションの場合、風下方向で煙が地表に下降するため正規分布に従わない。煙が森林へ沈着や吸着する場合、反射することができないため仮定に合わない。(245 文字)

V

問 1 文字式の名称：合理式

問 2

(1) 径深

開水路における水の流れにおいて、流れの断面積を水に接している長さ(周囲長)で除した値で、水理学的平均水深とも呼ばれている。

(2) 粗度係数

河川や水路を流れる水が河岸(水路壁)や河床(水路床)などと触れる際の抵抗の状況を数値で表したもの。

(3) 動水勾配

水が流れるために必要な水頭差(水の流れに関わるエネルギーを高さで表したときに生じる差)を水が流れる距離で除し、これを比(勾配)で表したもの。

問 3

径深 = 流積 / 潤辺 で算出する。 円周率を π として、

$$\text{流積} = D^2 / 4 \times \pi \times 1 / 2 = D^2 / 8 \pi$$

$$\text{潤辺} = D \pi \times 1 / 2 = D / 2 \pi$$

$$\therefore \text{径深} = \{ D^2 / 8 \pi \} / \{ D / 2 \pi \} = D / 4$$

VI

問 1

① 浮力

② $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_w$

③ $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s$

④ $\frac{2g(\rho_s - \rho_w)}{9\mu} r^2$

問 2

4 倍となる。

【説明】

(4)式から、沈降速度は半径の 2 乗に比例することがわかる。従って半径が 2 倍になると沈降速度は 2² 倍となることがわかる。以上から解答は、4 倍 が正解となる。

VII

(ア) 琵琶湖の水生生物に対する気候変化の影響

近年の琵琶湖では水温上昇や循環不全の頻発が報告されており、水生生物への影響が懸念されている。例えば、冬季の全層循環が弱まると深層への酸素供給が減少し、底生生物や深場を利用する魚類に悪影響を与えうる。また、アユやビワマスなどの季節行動や産卵時期の変化も指摘されている。一方で、外来魚や南方系生物の定着拡大を水温上昇のみで説明できるかについては議論があり、流域開発や水質変化など他要因との切り分けが重要である。今後は単なる平均水温ではなく、猛暑年や暖冬など極端気象の影響評価が重要になると考えられる。

(イ) α (アルファ) 多様性と β (ベータ) 多様性の違い

α 多様性は、ある地点や群集内に存在する種数や均等度など、局所的な生物多様性を示す概念である。例えば、ある森林調査区内に 20 種の樹木が存在する場合、その種数は α 多様性の指標となる。一方、 β 多様性は地点間での種組成の違いを示し、「場所ごとの違いの大きさ」を表現する概念である。例えば、同じ 20 種ずつを含む森林でも、構成種が全く異なれば β 多様性は高い。近年の保全生態学では、単に局所的な種数を守るだけでなく、地域間の群集差異を維持する観点から β 多様性の重要性が強調されている。開発影響評価でも β 多様性を現状より重視すべきとの意見もある。

(ウ) ダム等で流量を制御することが河川棲魚類に及ぼす影響

ダムによる流量制御は、洪水防止や利水に有効である一方、河川棲魚類に多面的影響を及ぼす。例えば、出水頻度の低下は河床攪乱を減少させ、アユやオイカワの産卵環境を変化させうる。また、流量平準化により、本来季節変動に適応してきた魚類の移動や繁殖行動が阻害される場合がある。さらに、ダムは物理的な移動障壁ともなり、回遊魚の個体群維持に影響する。一方で、一部の止水性魚類には新たな生息場を提供する例もある。

る。「平均流量」だけでなく、自然河川に近い流況変動を再現する管理が重要である。

(エ) アフリカ大地溝帯に列在する古代湖の魚類群集間に見られる類似点と相違点
タンガニイカ湖、マラウイ湖、ヴィクトリア湖などの古代湖では、シクリッド類を中心とした著しい適応放散が共通して見られる。例えば、藻類食、鱗食、貝食など、多様な食性への特殊化が繰り返し進化している。一方で、湖ごとの湖齢、水深、透明度、酸素環境などは大きく異なり、魚類群集の構造にも違いが見られる。タンガニイカ湖では古い系統が長期存続しているのに対し、ヴィクトリア湖では比較的新しい急速放散が特徴である。また、同様の生態的地位を占める魚が別湖で独立に進化した例は、収斂進化の代表例として知られる。

(オ) 過去 100 万年の人類と魚類の関わり の歴史

人類は更新世を通じて魚類を食料資源として利用してきた。特に *Homo sapiens* 以降、沿岸資源への依存が顕著になったとする説もある。沿岸や河川での漁労は、狩猟採集社会におけるタンパク源確保に寄与したと考えられている。縄文時代の貝塚からは魚骨や漁具が多数出土しており、日本列島でも古くから漁労文化が発達していたことが分かる。近代以降は漁船や冷蔵技術の発達によって大量漁獲が可能となった一方、乱獲や生息地改変による資源減少も深刻化した。また近年では、養殖業の発展によって水産物供給の安定化が進む一方、外来魚問題や河川改修など、人間活動が魚類群集へ与える影響も拡大している。今後は単なる資源利用ではなく、生態系全体を視野に入れた持続的な共存が必要と考える。

VIII

問 1

滋賀県南部の平野部は現在、暖温帯に属し、コナラなどの落葉広葉樹とシイ・カシ類などの常緑広葉樹が混在する森林が見られる。年平均気温が 5℃低下すると、暖温帯性の樹種の競争力が低下し、冷温帯落葉広葉樹の優占度が高まると予想される。

根拠として、植物の分布は生理的耐性のみで決まるのではなく、種間競争の影響も強く受ける。温暖な条件では、常緑広葉樹は冬季にも葉を保持し、長い光合成期間を利用して有利になりやすいが、低温条件では凍結ストレスや光合成可能期間の短縮によってその優位性が低下する。一方、落葉広葉樹は冬季に葉を落とすことで凍結や乾燥によるストレスを回避できるため、低温環境で有利になりやすい。また、日本の植生帯は標高勾配に沿って温度依存的に変化するため、そのパターンを水平移動として捉えることができる。

問 2

滋賀県南部の現在の年間降水量はおおむね 1500 mm 前後であり、1000 mm 減少すると、強い乾燥環境になる。この場合、森林全体のバイオマスは低下し、湿潤条件に依存する樹種が減少して、乾燥耐性の高い樹種の割合が増加すると予想される。さらに極端な乾燥条件では、疎林や草本優占の植生に移行する可能性もある。

根拠として、植物は光合成を行うために気孔を開く必要があるが、乾燥条件では気孔を閉じて蒸散を抑制する。その結果として CO₂吸収量が低下し、成長が制限される。また、水ポテンシャルの低下によって木部導管の塞栓が生じれば、水輸送が困難となり個体は枯死する。

問 3

短期的には、植物の一次生産力は増加すると予想される。

根拠として、C3 植物では現在の大気 CO₂濃度は Rubisco のカルボキシル化を十分飽和させておらず、CO₂濃度上昇によって光呼吸が抑制され、純光合成速度が増加する可能性が高い。森林を構成する多くの樹木は C3 植物であるため、生産量が増加すると考えられる。また、同じ光合成速度を維持するのに必要な気孔開度が小さくなるため、水利用効率の向上も見込まれる。ただし、生産力の増加には限界があり、窒素やリンなどの栄養塩不足、水不足、高温ストレスなどが生じると、二酸化炭素濃度が高くても生産力が大きく増加しない場合もある。

IX

問 1

- (1) 森林は、樹木による光合成を通じて大気中の二酸化炭素を吸収し、炭素を樹体や土壌中に蓄積することで、温室効果ガス濃度の上昇を抑える働きを持つ。また、蒸散によって水蒸気を放出し、周囲の気温上昇を和らげる働きもある。このように森林は、地球規模および地域規模の気候を調節している。
- (2) 森林土壌は落葉や微生物を多く含み、高いろ過機能を持つ。そのため、降雨が森林内を通過する過程で、土壌中の微生物や土粒子によって窒素やリンなどの栄養塩類、不純物、有害物質などが吸着・分解され、水質が浄化される。また、土壌侵食を防ぐことで河川への土砂流出も抑制している。
- (3) 森林では、降った雨がリター層や土壌に一時的に蓄えられ、ゆっくりと地下へ浸透する。その結果、河川への流出が緩やかになり、洪水を抑えるとともに、渇水時にも安定して水を供給することができる。このように森林は、水資源を安定的に蓄え供給する役割を果たしている。

問 2

森林の樹木は、光合成によって大気中の CO_2 を吸収し、有機物として幹・枝・葉・根などに炭素を蓄積する。このため、森林は CO_2 の吸収源として働き、地球温暖化の抑制に貢献している。また、落葉や枯死した植物体の一部は土壌中に蓄積され、長期間炭素を貯蔵する。一方で、森林生態系は呼吸や分解によって CO_2 を放出もしている。植物自身の呼吸や、土壌中の微生物による有機物分解によって CO_2 が大気中へ戻されるため、森林は吸収と放出の両方を行っている。さらに、湿地林などの嫌氣的土壌ではメタンが発生する場合もあり、森林の種類や環境条件によって温室効果ガスへの影響は異なる。

このように、森林生態系は光合成・呼吸・分解などを通じて大気中の温室効果ガス濃度を調節し、地球規模の気候変動に大きな影響を与えている。

X

問 1

$$P_A^* = 1 - m/c_A$$

問 2

$$c_A > m$$

問 3

$$P_B^{**} = 1 - (1 + c_A/c_B)(1 - m/c_A) - m/c_B$$