

試験日 : 2023年2月18日(土)

入試種別 : 2023年度 大学院(修士課程)入学試験問題

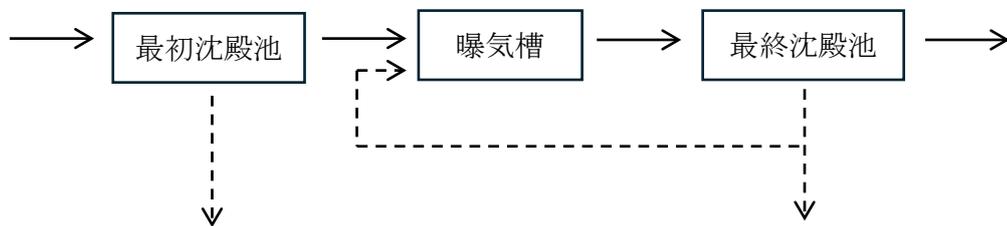
学部・研究科 : 理工学研究科 環境ソリューション工学専攻

科目名 : 専門II

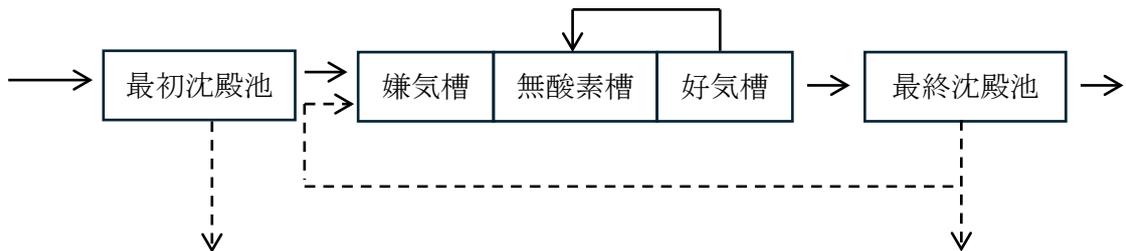
解答又は解答例

## I

### 問1 標準活性汚泥法



### 問2 嫌気無酸素好気法



(解答のポイント)

下水処理の基本である『標準活性汚泥法』とその変法『嫌気無酸素好気法』に対する学生の理解を確認することを目的に、出題しました。

## II

- ① ストーカ式焼却炉は、稼働する火格子を並べたストーカの上に廃棄物を投入し焼却を行う焼却炉のことで、火格子が前後に動くことで廃棄物が攪拌されながら空気と接触し、性状が不均一な廃棄物を安定して焼却することが可能となる。
- ② 流動床式焼却炉は、砂などの流動媒体が充填された炉内に下から空気を送り込み媒体を流動させ、高温の流動層に廃棄物を投入して燃焼を行う焼却炉のことで、幅広い種類の廃棄物を安定的に処理可能である。

- ③ ロータリーキルン炉は、円筒形の炉体を主要構造とする横置回転式の炉で、構造が簡単かつ容量が比較的大きいことから、油泥類、廃油類、廃プラスチック類など広範囲の廃棄物を処理することが可能である。

### III

反応器内の流速と同じ速度で移動する微小体積要素をコントロールボリュームにとると、微小体積要素は回分式反応器に近似できる。したがって物質収支式は次の通りとなる。

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

$t$  : 時間[ $\text{min}$ ],  $V$  : 反応器容積[L],  $C$  : 汚染物質濃度[ $\text{mmol/L}$ ]

これを解くと

$$C = C_0 \exp(-kt)$$

$C_0$  : 汚染物質初期濃度[ $\text{mmol/L}$ ]

反応時間は反応器内滞留時間と等しい。流量を  $F$  で表すと滞留時間  $t = V/F$  より

$$C = C_0 \exp\left(-k \frac{V}{F}\right)$$

$C_0 = 8.0 \text{ mmol/L}$ ,  $k = 0.050 \text{ min}^{-1}$ ,  $V = 10 \text{ L}$ ,  $F = 0.50 \text{ L/min}$  を代入すると

$$C = 8.0 \times \exp\left(-0.050 \times \frac{10}{0.50}\right) = \frac{8.0}{e} = \frac{8.0}{2.7} = 2.96 \dots \approx 3.0 \text{ mmol/L}$$

### IV

問1 ①異化 ②同化

問2

ア) 他栄養性 (従属栄養性) 微生物

イ) 自栄養性 (独立栄養性) 微生物

問3

(1)  $\left(\frac{dx}{dt}\right) = \mu x$  (ただし  $t = 0$  のとき,  $x = x_0$ ) と書ける。変数分離法より

$$\frac{dx}{x} = \mu \cdot dt$$

両辺を積分すると

$$\log x = \mu t + c \quad \text{ただし, } c \text{ は積分定数}$$

$$x = e^{\mu t + c}$$

$t = 0$  のとき,  $x = x_0$  となるので

$$x = x_0 \cdot e^{\mu t}$$

(2) ある時刻  $t$  における微生物濃度  $x$  は, (1) から次の式で表すことができる。

$$x = x_0 \cdot e^{\mu t} \quad (1)$$

ある時刻  $t$  から平均倍加時間  $t_d$  が経過したときには微生物量が 2 倍になることから, 次の式が導かれる。

$$2x = x_0 \cdot e^{\mu(t+t_d)} \quad (2)$$

(2) 式の  $x$  に (1) 式を代入して整理すると,

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu}$$

V

出題意図：環境中の重要な物理現象の一つである熱について、当キャンパスに近い琵琶湖の水環境での実際の現象を理解、科学的に説明する力を問うているが、実際の環境は複雑であるため、いくつもの要因について可能性を定量的に考察して提示する能力も問うている。

この系における太陽からの放射による温度上昇は、砂あるいは水による吸収（放射伝熱）によるものだと考えられ、湖水と砂の吸収率は同程度、空気ではそれらより極めて低いと考えられる（仮定してよい）。可能性が高いのは、A の系で湖水が存在する空間を B の系では空気が占めていると考え、水と空気の「比熱」を比較すると水の方が大きいため、吸収した同じ「熱量」による温度上昇は、水の比率が大きくなるほど低下する（温まりにくい）、という説明である。また、空気の小さい光（電磁波）吸収による熱量のため、砂地表面の空気の部分を湖水が占めるた場合について、水と砂の

「比熱」を比較する、即ち同じ熱量に対する水と砂の温まりやすさを比較しても良い（水の方が温まりにくいいため、温度上昇が小さい）。

他の可能性、要因としては、上と同じく比熱の差から冷めやすさについての側面を説明をしてもよいし、Aの系では湖水の蒸発があると考えられるが、その場合は水が水蒸気になる際の「潜熱」分の温度上昇が妨げられることも述べられる。他には、水が染みているということは、Aの系では下層部に湖水が存在する可能性が高いことを示し、水と空気の比熱の差から生まれる上部と下部の温度差を仮定し、下部へ移動する熱量の差も可能性として挙げられる。

上の複数の可能性を、文字数内でまとめられていたら良い。

## VI

### 問1

- (ア) パスکیل      (イ) A                      (ウ) 中立                      (エ) 攪拌  
(オ) 高く              (カ) 低く

### 問2

夜間は地表が冷えるため高度方向に温度が増加する逆転層が生じる。(31字)

## VII

- ① 外来魚が定着するかどうかは、受け入れ側の生態系がどれだけ改変されているかに強く依存する。人為的な水質悪化、護岸化、底質の均質化などによって在来魚が利用していた複雑な微小環境が失われると、生態的要求が単純な外来魚が優勢になりやすい。たとえばブラックバスは透明度が低く植生が乏しい湖沼で在来小魚を捕食しつつ急速に定着するが、同じ湖でも自然度の高いワンドや抽水植物帯では定着が阻まれる例が多い。生態系改変は外来魚を「入りやすく」「増えやすく」する環境を作り、結果として定着を加速させる。
- ②  $\alpha$ 多様性は「ある地点の種数や種組成の豊かさ」を示す局所的な指標であり、 $\beta$ 多様性は「地点間の種組成の違い」を示す空間的な異質性の指標である。たとえば1つの水田に存在するカエルや水生昆虫の種数は $\alpha$ 多様性で、隣接する水田との組成差（片方にタガメがいて他方にはいないなど）が $\beta$ 多様性に相当する。土地利用の均質化が進むと、各地点の $\alpha$ 多様性が保たれていても、地点間の違いが小さくなり $\beta$ 多様性が低下することがある。これにより地域全体の生物多様性の劣

化が覆い隠される点が重要である。

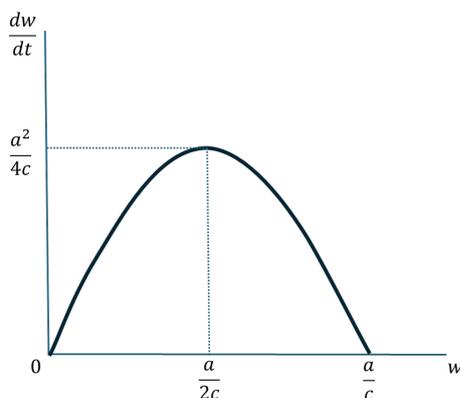
- ③ 年二回攪拌湖（春・秋に全層循環が起こる湖）では、夏季の成層期に表層が高酸素、深層が低酸素という鉛直勾配が発達する。これは表層での光合成と大気との交換が活発な一方、深層では有機物分解に伴う酸素消費が卓越するためである。秋の冷却で成層が崩壊すると全層が再び高い酸素濃度に均される。冬季は対流による混合が続き、春の昇温で再び成層が形成される。琵琶湖北湖のように深い湖ではこのパターンが典型で、深層低酸素化の程度は陸域負荷や気候条件に敏感に応答する。
- ④ 同所的種分化とは、地理的な隔離なしに同一の空間で種が分化する現象である。理論的には、資源利用の分化や性的選択の偏りが強い場合に、遺伝的分岐が進む可能性が指摘されてきた。代表例としてアフリカ大湖のシクリッド類が挙げられ、特にタンガニカ湖の底生魚では微小生息場所の違いや求愛行動の差異が遺伝的クレードに対応することが示されている。またリンゴハエの寄主植物転換による分化も有名で、同じ地域で異なる果実を利用する個体群間で交配の偏りが生じ、遺伝的隔離が進行していることが分かっている。
- ⑤ 正の頻度依存選択とは、多数派の表現型ほど生存や繁殖で有利になる現象を指す。捕食者の学習効果が典型例で、まれな色彩型は捕食者にとって識別しにくいいためむしろ不利になることがある。結果として表現型の多様性は維持されにくく、単一の型へ収束する傾向が強い。たとえば模様が一定方向に偏る貝類集団や、色彩多型が急速に失われる昆虫群集がその例である。この選択圧が強くと、集団は遺伝的・形態的に均質化し、環境変動への適応余地が狭まり、長期的には絶滅リスクの増大にもつながり得る。

## VIII

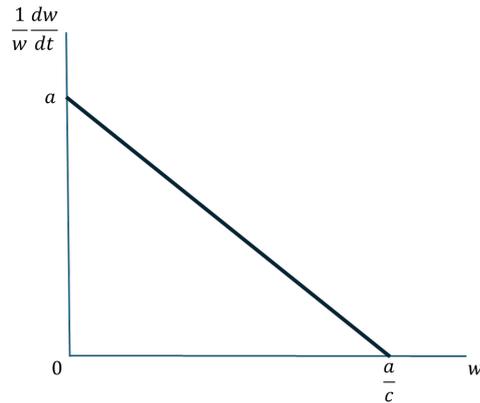
問 1

$$\frac{dw}{dt} = a \cdot w - c \cdot w^2$$

問 2



問3



問4

$$w = \frac{\frac{a}{c}}{1 + \frac{\frac{a}{c} - w_0}{w_0} e^{-at}}$$

あるいは

$$w = \frac{\frac{a}{c}}{1 + k \cdot e^{-at}} \quad \text{ただし } k = \frac{\frac{a}{c} - w_0}{w_0}$$

問5

$$w_{t \rightarrow \infty} = \frac{a}{c}$$

IX (解答のポイント, 配点・(1)(4)10点、(2)(3)15点)

- 問1 現存植生と潜在植生の説明。「極相」「人為」等の観点が含まれているか。具体的な植物名が書かれているか。
- 問2 暖かさの指数：月平均気温の平年値-5°Cがゼロを超える時に、その値を積算したもの。寒さの指数：月平均気温の平年値-5°Cがゼロを下回る際のその値を積算し、負の記号を付したもの。
- 問3 成長に必要な積算温度の観点で暖かさの指数を用い、成長休止時の長さや寒さの強さの観点で寒さの指数を用いる。
- 問4 東アジアは降水量が十分にあり、温度条件で植生の記述が可能であるが、ヨーロッパでは降水量が不足する植生も見られ、温度条件を中心とした評価では植生の記述は難しい。

## X

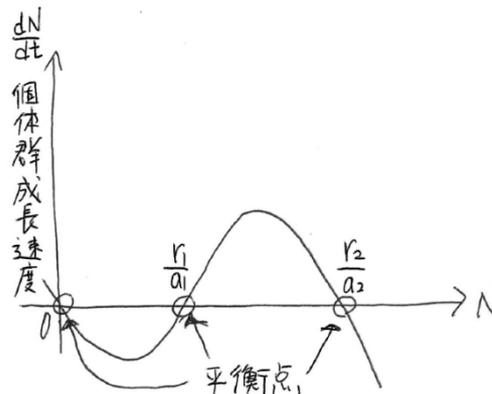
- 問1 半自然草地は、草を刈ったり、火を入れたり、家畜を放牧したりといった人の手が定期的に加えられることによって、森林への遷移が抑えられ、長期間にわたって草地状態が維持されてきた土地を示す。
- 問2 身近な生活で必要としていた茅葺や家畜飼料としての草の利用の減少、放牧の衰退、農村人口の減少と高齢化などにより、半自然草地の管理が行われなくなった。その結果、草地は森林へと遷移したり、農地・宅地へ転換されたりして、面積が急激に縮小した。
- 問3 草原性の在来の植物や、チョウ・ガ類などの昆虫で、半自然草地の縮小によって個体数が減少、絶滅の危機に瀕している種類が知られている。半自然草地の環境の変化や面積の縮小によって、これらの多くの個体群が縮小、絶滅危惧種に指定される種も多く知られている。これらの草地性生物の個体数を回復させるために、半自然草地そのものを適切に維持・再生することが不可欠である。具体的には、定期的な草刈り、野焼き、放牧の再導入、草地面積の連続性の維持、外来植物の除去などが考えられる。

## XI

流水環境では放出された DNA が下流へ流されるため、検出地点が必ずしも実際に魚がいる地点であるとは限らない。高精度に移動を捉えるには、上流から下流に向けて細かく定点を設け、移動時期には高頻度な採水を行う必要がある。解析においては、放出後の希釈の効果を補正するため、単なる DNA 濃度ではなく流量を乗じた DNA 流出量（フラックス）で評価すべきである。さらに、流速や分解率を考慮した移流拡散モデルを適用すれば、下流での検出結果から上流の放出源（魚群）の位置を逆推定することによって、移動の動態をより正確に推定できる。(248 文字)

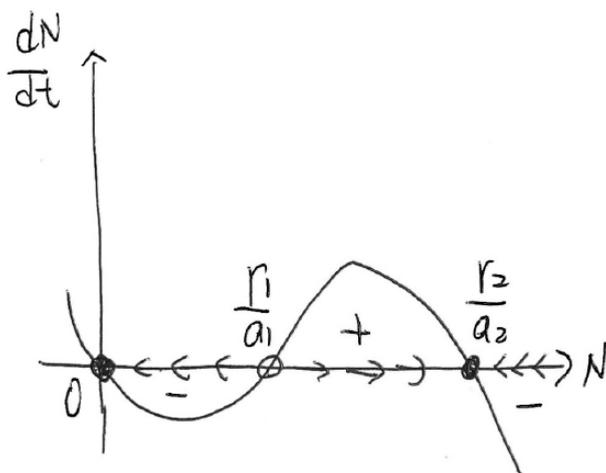
## XII

問1 図(右)の通り



問2 図(上)の通り(問1のグラフ上に答える)

問3 図(下)の通り、 $N^* = 0$  と  $N^* = r_2/a_2$  は局所(漸近)安定平衡点、 $N^* = r_1/a_1$  は局所不安定平衡点.



問4

$F = (-r_1 + a_1N)(r_2 - a_2N)N$  とおく.

$F$  の導関数は以下の通り導出できる.

$$dF/dN = a_1(r_2 - a_2N)N - (-r_1 + a_1N)a_2N + (-r_1 + a_1N)(r_2 - a_2N) \equiv g(N)$$

$N^* = 0$  において、

$$g(0) = 0 - 0 + (-r_1)r_2 < 0$$

なので、 $N^* = 0$  は局所漸近安定.

$N^* = r_1/a_1$  において、

$$g(r_1/a_1) = a_1 \left( r_2 - \frac{a_2 r_1}{a_1} \right) \frac{r_1}{a_1} - 0 + 0 = a_1 a_2 \left( \frac{r_2}{a_2} - \frac{r_1}{a_1} \right) \frac{r_1}{a_1} > 0$$

なので、 $N^* = r_1/a_1$  は局所不安定.

$N^* = r_2/a_2$  において、

$$g(r_2/a_2) = 0 - a_2 \left( -r_1 + \frac{a_1 r_2}{a_2} \right) \frac{r_2}{a_2} + 0 = a_1 a_2 \left( \frac{r_1}{a_1} - \frac{r_2}{a_2} \right) \frac{r_2}{a_2} < 0$$

なので、 $N^* = r_2/a_2$  は局所漸近安定.