

科目記号	科目名
E	水産工学

解答（解答例）・出題の意図

出題内容：水産海洋工学

出題番号 151

【解答例】

- (1) 等速直線運動をしている場合は、推進力 T と抵抗 D が釣り合うため、以下のように計算できる。

$$T = D = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2$$

それぞれ代入すると、以下ようになる。

魚 A

$$\begin{aligned} T_A = D_A &= \frac{1}{2} \cdot 0.2 \cdot 1000 \cdot (0.5 \cdot 0.1 \cdot 0.1) \cdot (2 \cdot 0.1)^2 \\ &= 0.02(N) \end{aligned}$$

魚 B

$$\begin{aligned} T_B = D_B &= \frac{1}{2} \cdot 0.2 \cdot 1000 \cdot (0.5 \cdot 1 \cdot 1) \cdot (2 \cdot 1)^2 \\ &= 200(N) \end{aligned}$$

- (2) レイノルズ数の定義から、それぞれ以下のように求められる。

魚 A

$$\begin{aligned} Re_A &= \frac{\rho U L}{\mu} = \frac{1000 \cdot (2 \cdot 0.1) \cdot 0.1}{0.001} \\ &= 20,000 (= 2.0 \times 10^4) \end{aligned}$$

魚 B

$$\begin{aligned} Re_B &= \frac{\rho U L}{\mu} = \frac{1000 \cdot (2 \cdot 1) \cdot 1}{0.001} \\ &= 2,000,000 (= 2.0 \times 10^6) \end{aligned}$$

- (3) レイノルズ数は、流れの中で慣性力と粘性力のどちらが相対的に支配的かを表す無次元数であり、慣性力/粘性力を意味する。(2)の結果から、魚 A よりも魚 Bの方がレイノルズ数が大きい。したがって魚 A では魚 B に比べて粘性の影響が相対的に大きい。一方、魚 B では慣性の影響が強く、粘性の影響は限定的で、流れ場全体としては慣性が支配的になりやすい。

【解答例】

- (1) 翼面近傍に形成される境界層において、流れが壁面に沿って付着した状態を保てなくなり、翼面から離れて後流側に剥がれ落ちる現象である。
- (2) 迎角が小さい範囲では、流れは翼面上に付着しており、迎角の増加に伴い翼の負圧面側と正圧面側の圧力差が大きくなり、揚力係数が増加する。この時、抵抗係数の増加は緩やかである。
しかし、迎角が大きくなり流れの剥離が生じると、翼面の負圧面側の低圧域が維持できなくなり、圧力差が減少し、揚力係数は急激に低下する。加えて、剥離によって後流が大きく乱れて圧力抵抗が増加し、抵抗係数は急激に増加する。
- (3) 理想流体は粘性を考慮しない流れであり、実在流体は粘性を有している流れである。
- (4) 理想流体では粘性をゼロとしていることから境界層は生じない。流れの剥離は境界層の形成と関係しており、境界層が逆圧力勾配によって壁面への付着が失われることによって生じる現象であり、理想流体では剥離は生じない。
一方で、実在流体では境界層が形成され、(2)で説明したような剥離に伴う流体力特性の変化が生じることとなる。

【出題の意図】

進学後に水産工学、特に水産海洋工学関連での研究を希望する受験者は流体力学やシミュレーションに関する知識を有していることが求められる。

出題番号 151 は、魚の遊泳と流体力学の接続について、基礎的な知見を有しているかを問うた。魚の推進力と流体力学の関係性は、魚の遊泳シミュレーションや、漁具・養殖水槽内を遊泳する魚の流体力特性の理解にも重要と考える。

出題番号 152 は、流体力学における「剥離」や「理想流体」に関する基礎知識と絡めて、翼形における流体力特性との関係性を、暗記でなく体系的に理解しているかを問うた。翼形状の流体力特性は、水産現場でもオッターボードや漁具などでも度々登場し、同知識は水産現場への流体力学の応用という観点でも重要といえる。

出題内容：水産情報・工学

出題番号 161

【解答例】

(1) この問題では以下のような解答が求められる。

全体の分散を V_t 、群内分散を V_w 、群間分散を V_b とすると、
分散の分解より

$$V_t = V_w + V_b \text{ が成り立つ。}$$

相関比 η^2 は、全体の分散に占める群間分散の割合として定義され、

$$\eta^2 = \frac{V_b}{V_t} = \frac{V_b}{V_w + V_b} \text{ と表される。}$$

相関比は、群内分散が小さく、群間分散が大きいほど 1 に近づく。

すなわち、各群内のデータのばらつきが小さく、群の平均値同士が大きく異なる場合、説明変数（群）が目的変数をよく説明していることになり、相関比は 1 に近づく。

(2) 2 変数 X, Y の共分散は、それぞれの単位や尺度に依存して値が変化する。そこで、各変数を平均 0、分散 1 となるように標準化（平均との差を標準偏差で割る処理）を行い、その後に共分散を求める。この処理によって得られる値は単位に依存せず、2 変数間の増減関係のみを反映する相関係数（ピアソンの積率相関係数）となる。

【数式による解答例】

2 変数 X, Y の共分散は

$$\text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

で定義され、 X と Y の単位に依存する。

そこで、各変数を標準偏差で割って標準化する：

$$X'_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_X}, Y'_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y}$$

このとき、標準化後の共分散は

$$\text{Cov}(X', Y') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sigma_X \sigma_Y} \text{ となり、}$$

これはピアソンの積率相関係数

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad \text{と一致する}$$

(3) 疑似相関関係とは、2 変数間に相関が見られるように見えても、実際には直接的な因果関係は存在せず、第三の変数の影響や時間的トレンドなどによって生じる見かけ上の相関である。疑似相関を検出するためには、第三の変数（交絡因子）の存在を考慮し、偏相関やトレンド除去後の相関を評価することが有効である。また、生物学的・物理的な因果メカニズムの妥当性を検討することも重要である。回避する方法としては、共変量を含む回帰モデルの使用、調査設計の工夫や独立データによる検証が挙げられる。

例：例えば、ある漁業において漁獲量と燃料消費量の間強い正の相関が見られても、これは作業時間や作業回数といった努力量が両者に共通して影響しているためである。燃料消費量が漁獲量を増加させているわけではなく、このような関係は疑似相関である。努力量で標準化した指標（CPUE）を用いるなどで、この影響を除くことができる。

出題番号 162

【解答例】

(1) この問題では以下のような解答が求められる。

音の基本的属性には、大きさ、高さ、音色がある。

音の大きさ L_p は、音波の振幅に対応する音圧 p によって決まり、基準音圧 p_0 （大気中では $20 \mu\text{Pa}$ 、水中では $1 \mu\text{Pa}$ ）に対する音圧レベルとして

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

で表される。水中では空気中に比べ音圧の基準が異なり、魚類の発生音や船舶雑音の強度評価に用いられる。

音の高さは音波の周波数に対応し、周波数が高いほど高い音として知覚される。周波数が 2 倍になる関係は 1 オクターブと定義される。オクターブは周波数比に基づく対数的尺度である。水産音響では、オクターブ帯や 1/3 オクターブ帯でスペクトルを解析することで、背景雑音や生物音の周波数分布を評価することが多い。

音色は波形や周波数スペクトル構造に対応し、基本周波数に加えた倍音成分や帯域幅の違いによって決まる。同じ音圧・周波数であっても、スペクトル構成の違いにより異なる音色として識別され、音源識別の重要な情報となる。

(2)

(a) データ 1 : 各観測日に繁殖行動が観察されたか否か (0/1)

確率分布 : ベルヌーイ分布 (同値として二項分布でも可)

リンク関数 : logit 関数

$$\text{logit}(p_i) = \log \frac{p_i}{1 - p_i} = \beta_0 + \beta_1 x_i$$

理由 : 目的変数は 0/1 の二値であり、扱うべき量は「繁殖行動が観察される確率」 p_i である。ベルヌーイ分布は 0/1 データの分布として自然であり、logit リンクを用いると線形予測子 $\beta_0 + \beta_1 x_i$ を確率 $p_i \in (0, 1)$ に写像でき、推定値が確率として解釈可能になる。

データ 2 : 各観測日に記録された繁殖行動の回数 (0,1,2,...) ※

確率分布 : ポアソン分布

リンク関数 : log 関数

$$\log(\lambda_i) = \beta_0 + \beta_1 x_i$$

理由 : 目的変数は非負整数のカウントデータであるため、カウントの平均発生率 (期待回数) $\lambda_i > 0$ を扱うモデルが適切である。ポアソン分布は一定期間 (ここでは 1 観測日) に起きる事象回数のモデルとして標準的で、log リンクを用いることで λ_i が必ず正になる (負の回数を予測しない) ようにできる。

※条件を明示して (例 : 目的変数に過分散が生じ得るなど)、負の二項分布の適用を回答した場合も加点とする。

(b) データ 1 (0/1) に対して正規分布・最小二乗による通常の線形回帰を用いると、(i) 誤差が正規分布で連続量であるという仮定が 0/1 データに合わず、(ii) 回帰式の予測値が 0 未満や 1 を越える可能性があり、確率として解釈できないため不適切である (0/1 データでは分散が一定でなく、不均一分散にもなりやすい)。

【出題の意図】

近年の水産・海洋分野における計測・観測技術の高度化により、多様なデータが取得されるようになってきている。これらのデータを適切に解釈・活用するためには、統計学およびデータ解析に関する基礎的な理解が不可欠である。

本問では、水産工学分野の大学院生として身につけておくべき基礎的なデータ解析能力を評価することを目的とした。出題番号 161 では、群間差の評価指標である相関比や、相関係数の意味とその前処理、ならびに疑似相関の概念について理解しているかを問うことで、統計量の解釈力およびデータの背後にある因果構造を考察する力を評価した。

出題番号 162 では、音に関する基本的な物理量とその工学的・水産学的解釈について理解しているかを確認するとともに、実際の観測データを想定した確率モデルの選択とその妥当性について説明できるかを問うことで、計測データの性質に応じた統計モデル選択能力を評価した。

出題内容：行動計測工学

出題番号 471

(1) 調査員 A の計測の方が精密である (Precision が高い)

理由：精密さ (precision) はばらつきの小ささ (標準偏差が小さい) で評価する。

同一の既知長 90.0 cm スケールを計測した結果、

A : 90.3 ± 0.2 cm (SD=0.2)

B : 90.0 ± 0.6 cm (SD=0.6)

であり、A の方が標準偏差は小さく、繰り返し計測の再現性が高い。

(2) 大型ノギスによる尾叉長 (89.8 cm) を真値とすると、ステレオカメラで得られた平均値 (86.6 cm) が過小となった主因として、遊泳行動に伴う魚体の屈曲の影響が考えられる。ステレオ計測では吻端と尾鰭切れ込み点の 3 次元位置を推定し、その 2 点間の直線距離を算出して尾叉長計測を行うが、遊泳中のクロマグロは体幹を左右に湾曲させながら尾鰭を振るため、体が直線状に伸びていない瞬間には直線距離が短くなり、計測尾叉長が過小に推定されうる。スケール計測では大きな過小が見られないことから、装置の固定的バイアスよりも、魚体の形状・視認性に起因する誤差が大きいと考えられる。結果として、90 フレーム平均が伸長瞬間よりも屈曲フレームに強く引っ張られ、平均が 86.6 cm まで下がり、ばらつきが大きくなったと考えられる。

あるいは、

尾鰭の開閉や姿勢角変化により尾鰭切れ込み点が見えにくくなり、手動点検出が尾叉点からずれて内側 (または尾柄側) を拾うと、系統的に短くなる

が解答例となる

カメラキャリブレーションの不備や水中屈折の問題などの誤差も影響する可能性はあるが、スケール計測結果から主因とは考えにくいいため、減点となる。

(3) 提案例：

1. 伸長フレーム選別 (最大伸長時を抽出)。90 フレーム平均ではなく、尾部振動周期に対し最大伸長に近いフレームだけを採用する。

2. 2 点計測から体軸モデルとする (中点追加・曲率補正)。吻端と尾叉だけでなく、体幹上に複数点 (例：吻端、背鰭基部付近、尾柄、尾鰭) を取り、体軸 (曲線) を推定して伸長時の推定尾叉長や曲がり補正長を算出する。

そのほか計測点の明確化や計測ノウハウの向上による観測誤差の低減なども考えられるが、尾鰭振動に伴う魚体屈曲が主因と考えられることからこれらは部分点となる。

出題番号 472

(1) 1-0 サンプルング, ランダム観察, 時間帯観察など

(2) 20 分間隔

サンプル時刻 : 0, 1200, 2400, 3600, 4800, 6000, 7200 (計 7 点)

黒帯に入っている時刻 : 1200, 2400 (計 2 点)

$2/7 = 0.286$ (28.6%)

10 分間隔 (600 s)

サンプル時刻 : 0, 600, 1200, … , 7200 (計 13 点)

黒帯に入っている時刻 : 1200, 1800, 2400, 3000, 4200, 6600 (計 6 点)

$6/13 = 0.462$ (46.2%)

5 分間隔 (300 s)

サンプル時刻 : 0, 300, 600, … , 7200 (計 25 点)

黒帯に入っている時刻 : 1200, 1500, 1800, 2100, 2400, 2700, 3000, 4200, 4500, 6300, 6600, 6900 (計 12 点)

$12/25 = 0.480$ (48.0%)

(3)

長所

高時間分解能で連続記録に近い記録ができ, 400-500 s のような短時間の遊泳も検出しやすい。観察者の負担が減り, 見落とし・判断のばらつきを低減できる。夜間・濁り・死角など, 目視観察や動画観察が難しい条件でも記録できる。

短所

データロガー装着による内的・外的ストレス・流体力学的な抵抗の増加で行動が変化する可能性がある。行動推定するために、加速度等の信号を解析をする必要があり, 解析手法に問題があると誤判定が起こり得る。機器コスト, 電池寿命, 脱落・故障・回収不能などの運用リスクがある。

出題意図

471 は, ステレオカメラによる魚体計測を題材に, 精密さ・正確さなどの基本知識から行動由来誤差を類推する応用力, 計測結果を俯瞰して評価・改善できる能力をはかることを目的としている。

472 は, 行動観察法の分類・原理などの基本的な知識をはかり, 行動様式のサンプルングの特性や限界を、具体的な事例を交えながら論理的に説明できるかを評価することを目的としている。