

科目記号	科目名
L	水産資源開発工学

## 解答（解答例）・出題の意図

### 出題内容：化学工学

出題番号 401

【解答例】

$$(1) R_c = \frac{\alpha CV}{A}$$

$$(2) \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu \left( R_f + \frac{\alpha CV}{A} \right)} \quad (V \text{ と } t, \text{ 変数分離して, 次式を得る。})$$

$$\left( R_f + \frac{\alpha CV}{A} \right) dV = \frac{\Delta P \cdot A}{\mu} dt \quad (t=0 \text{ で } V=0 \text{ として, 積分する。})$$

$$\frac{R_f}{A} V + \frac{1}{A} \frac{\alpha CV^2}{2A} = t \frac{\Delta P}{\mu}$$

$$\frac{\mu}{\Delta P} \frac{R_f}{A} V + \frac{\mu}{\Delta P} \frac{\alpha C}{2A^2} V^2 = t \quad (\text{両辺を } V \text{ で除して, 次の(1)式を得る。})$$

$$\frac{t}{V} = \alpha \left( \frac{\mu C}{2A^2 \Delta P} \right) V + \frac{\mu R_f}{A \Delta P} \quad (1)$$

(1)式は傾きが、 $\alpha \left( \frac{\mu C}{2A^2 \Delta P} \right)$ 、切片が、 $\frac{\mu R_f}{A \Delta P}$ 、である直線の式であることを示している。また、傾きは含まれる

全ての変数が正の値しかとり得ないことから、傾きの値は必ず正の値となる。また傾きの値から $\alpha$ を決定することができる(誘導終わり)。

出題番号 402

【解答例】

(1)・吸着剤表面に単層で吸着する；吸着座席は全て均質である；吸着質同士の相互作用は無い；吸脱着は可逆反応である（このうち3つ書いてあれば正解）

$$(2) r_a = k_a C(X_s - X), \quad r_d = k_d X$$

$$(3) X_e = K X_s C_s / (1 + K C_s)$$

【出題の意図】

ろ過は機械的分離操作の代表的な分離操作であり化学工学の基盤である単位操作としても非常に重要である。また、吸着分離は拡散分離法の一つであり、単位操作中の物質移動の一つとして非常に重要である。上述の2つの分離方法は研究室で取り組んでいる、凝集分離、凝集ろ過分離、吸着分離と密接に係わっており、受験者がこれらの基礎素養を十分に理解しているかどうかの確認を行う為に出題した。

**出題内容：物理化学****出題番号 421****【解答例】**

(1)

$$P_T = P_b + P_t = P_{b0}x_b + P_{t0}x_t = P_{b0}x_b + P_{t0}(1 - x_b) = (P_{b0} - P_{t0})x_b + P_{t0},$$

$$\therefore P_T = (P_{b0} - P_{t0})x_b + P_{t0}$$

$$88^\circ\text{C} \text{ の場合, } P_T = (1.285 \times 10^5 - 5.081 \times 10^4)x_b + 5.081 \times 10^4 = 7.769 \times 10^4 x_b + 5.081 \times 10^4$$

$$\therefore P_T = 7.769 \times 10^4 x_b + 5.081 \times 10^4$$

(2)

$$P_b = P_{b0} x_b = (1.285 \times 10^5) \times 0.65 = 8.355 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \therefore P_b = 8.355 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$P_t = P_{t0} x_t = (5.081 \times 10^4) \times (1 - 0.65) = 1.778 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \therefore P_t = 1.778 \times 10^4 \text{ Pa}$$

(3)

(1) より,  $100^\circ\text{C}$ における全圧  $P_T$  と  $x_b$  の関係式は,

$$P_T = (1.800 \times 10^5 - 7.422 \times 10^4)x_b + 7.422 \times 10^4 = 1.0578 \times 10^5 x_b + 7.422 \times 10^4$$

 $P_T = 1.013 \times 10^5$  であるので,

$$1.013 \times 10^5 = 1.0578 \times 10^5 x_b + 7.422 \times 10^4$$

$$x_b = (1.013 \times 10^5 - 7.422 \times 10^4) / (1.0578 \times 10^5) = 0.256$$

$$x_t = 1 - x_b = 1 - 0.256 = 0.744 \quad \text{より } x_t = 0.744$$

 $100^\circ\text{C}$ での  $P_t$  は

$$P_t = (7.422 \times 10^4) \times 0.744 = 5.5219 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{気相中のトルエンのモル分率} = P_t / P_T = (5.5219 \times 10^4) / (1.013 \times 10^5) = 0.545 \quad \therefore y_t = 0.545$$

**出題番号 422****【解答例】**

エンタルピーを  $H$ , 内部エネルギーを  $U$ , 圧力を  $P$ , 体積を  $V$  とすると, エンタルピーの定義式,  $H = U + PV$ , を微分して次式(1)を得る。

$$dH = d(U + PV) = dU + VdP + PdV \quad (1)$$

また, 系に入るエネルギーを  $Q$  とすると, 熱力学第一法則のエネルギー保存則の式,

$$dQ = dU + PdV \quad (2)$$

(2)式が成立する。さらに, 温度を  $T$ , エントロピーを  $S$  とすると, エントロピーの定義式は次の(3)式で表すことができる。

$$dS = dQ/T \quad (3)$$

(3)式より,

$$dQ = TdS \quad (4)$$

(4)式の関係を得るので, この(4)式を(2)式中の  $dQ$  に代入して,

$$TdS = dU + PdV \quad (5)$$

(5)式を得る。(5)式を  $dU$  について解くと,

$$dU = TdS - PdV \quad (6)$$

(6)式を開いた系に拡張すると, 物質  $i$  成分の微小変化量を  $dn_i$ , また, 温度, 圧力, その他の成分の

物質質量を変化させずに  $i$  成分を 1 モル加えた時の系全体の内部エネルギーの増加を  $\mu_i$  とすると、(6) 式は、次の(7)式のように表すことができる。

$$dU = TdS - PdV + \sum \mu_i dn_i \quad (7)$$

この(7)式を(1)式右辺の  $dU$  に代入して、次の(8)式を得る。

$$dH = TdS + VdP + \sum \mu_i dn_i \quad (8)$$

$dS = 0$ ,  $dP = 0$ ,  $i$  成分以外の物質質量が一定ならば、(8)式は(9)式として表すことができる。

$$dH = \mu_i dn_i \quad (9)$$

この関係より、(10)式の関係を得る。

$$\mu_i \equiv \left( \frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S, P, n_j} \quad (10)$$

(10)式は断熱定圧においては物質質量の変化に伴い変化するのはエンタルピーであることを意味する。  
(誘導終わり)

#### 【出題の意図】

出題番号 421 は Raoult の法則に関する問題であり、相平衡の理解の確認、および、異相形成を伴う分離法の基礎である。また、出題番号 422 は一般的な開いた系における化学ポテンシャルの定義を導出する問題である。両問題は研究室での研究活動の基礎素養として求められる事項であることから、今回の入試問題とした。

#### 出題内容：酵素機能化学

##### 出題番号 431

##### 【解答例】

この問題は、酵素タンパク質の特性および酵素タンパク質の一次構造解析手法に関する理解度の把握を目的としたものであり、以下の二点が解答されていることが求められる。

(1) 酵素は特定の立体構造（高次構造）を形成することで触媒作用を発揮する。酵素の立体構造が変化し、その触媒作用が失われることを失活という。例えば、①酵素はタンパク質でできているため、高温によってその立体構造が壊れて本来の機能を失う場合がある。一般に、50 °Cを超えると酵素タンパク質が変性して失活する。また、②反応系の pH が変化すると、活性部位のアミノ酸残基の官能基の電離状態が変化し、酵素活性が失われる場合がある。ほとんどの酵素の至適 pH は 5~8 だが、胃酸存在下で働くペプシンの場合は pH 1.5~2 にある。

(2) 好熱性細菌 *Thermus aquaticus* 由来の耐熱性 DNA ポリメラーゼである。90 °C以上の高温にも耐える温度安定性を持つため、PCR の熱変性サイクル中に失活しないという利点がある。

##### 出題番号 432

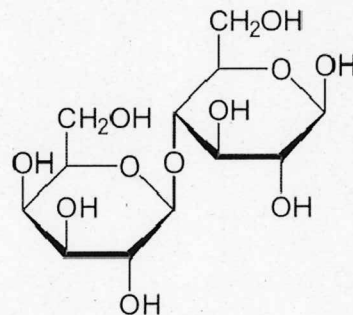
##### 【解答例】

この問題は、酵素の産業利用に関する習熟度の把握を目的としたものであり、以下の点が解答されていることが求められる。

(1) 牛乳などに含まれる「乳糖 (ラクトース)」を分解する酵素「 $\beta$ -ガラクトシダーゼ (ラクターゼ)」が不足しているため消化吸収ができず、下痢・腹部膨満・腹痛などの症状が起きる状態を『乳糖不耐症』という。伝統的に牧畜を営み、チーズなどの乳製品を食してきた欧州地域では乳糖不耐症者が少ないのに対し、牧畜よりも農耕が発展した日本を含むアジア地域では乳糖不耐症者が多い。

(2) ①乳糖を分解する『 $\beta$ -ガラクトシダーゼ (ラクターゼ)』を牛乳に加えて製造する。②この酵素処理により、牛乳の『乳糖 (ラクトース)』が『ガラクトース』と『グルコース』に分解され、乳糖不耐症の人でも吸収しやすくなり、下痢などの症状が改善される。③酵素反応により生成した『ガラクトース』と『グルコース』は『乳糖 (ラクトース)』よりも『甘み』が強く、低乳糖牛乳は通常の牛乳よりも自然な甘みを感じることもある。

(3) ガラクトースとグルコースが  $\beta$ -1,4-グリコシド結合した二糖。



#### 【出題の意図】

進学後に、水産生物由来酵素の抽出・分離・精製と構造・機能特性、および、水産物由来成分の酵素を利用した構造・機能改変等に関する研究を希望する受験者は、酵素機能化学を選択・受験すると考えられる。酵素に関連する研究に必要な基本的考え方と知識を身につけておく必要がある。これらを確認するため、酵素タンパク質の特性 (出題番号 431)、および、酵素の産業利用 (出題番号 432)に関する問題を出題した。

#### 出題内容：北方生物圏機能生物学

##### 出題番号 481

#### 【解答例】

- (1) 海水中の真骨類の鰓塩類細胞は、アクセサリ細胞と共に存在して細胞間間隙 (イオンの通り道) を形成し、またその頭頂部が環境水に接している。塩類細胞の側基底膜においては管状構造が発達して表面積が増大しており、そこに膜タンパク質である NKA が多く局在している。また塩類細胞はミトコンドリアに富み、多量の ATP を産生しており、それは NKA によるイオンの調節に使われていると考えられている。
- (2)  $\alpha$ サブユニット：112 kDa で、NKA の主な機能 (Na イオンと K イオンとの結合、ATP 加水分解の触媒およびウアバインとの結合) を担っている。  
 $\beta$ サブユニット：40-60 kDa の糖タンパク質で、 $\alpha$ サブユニットの折りたたみと細胞膜への局在を助ける。

$\gamma$ サブユニット：8-14 kDa で、 $\alpha$ と $\beta$ と異なり必須サブユニットではないが、NKAの活性を調節する。

- (3) 真骨類は進化の過程で3回の全ゲノム重複を経験しており、NKA  $\alpha$ サブユニットも複数のパラログが存在する。そのうち、 $\alpha 1a$ と $\alpha 1b$ と呼ばれるサブタイプはそれぞれ淡水中と海水中で高く発現しており、淡水型および海水型と考えられている。しかし、ニジマス、メダカ、ティラピアといった様々な広塩性魚類で $\alpha 1$ サブユニットサブタイプのアミノ酸配列を用いて系統樹を作成すると、各魚種の $\alpha 1b$ は同一クレードに入らない。これは同じ名称がついているものの、アミノ酸配列の相同性は低いことを意味している。このことから、各魚種で海水型(すなわち $\alpha 1b$ )とされるサブタイプは機能の平行進化により生じたと考えられる。

#### 出題番号 482

##### 【解答例】

- (1) (ア) 内温動物、(イ) 外温動物、(ウ) 恒温動物、(エ) 変温動物、(オ) 行動、(カ)  $Q_{10}$ 、(キ) 代謝余裕、(ク) 鰓、(ケ) 酸素

- (2) シロザケの小型高齢化の原因は、膨大な数のふ化放流魚の密度効果による成長停滞と考えられる。シロザケがある年齢の秋に成熟するには、前年の秋までの成長の良し悪しが重要とされる。群れて回遊するシロザケが密度効果により成長が停滞すると、成熟のスイッチが入りにくくなって成熟年齢が上がる。そのため小型化が原因による成熟タイミングの遅延という結果が生じるとされている。一方、タイセイヨウタラの小型若齢化の原因は、大型個体の乱獲によると考えられる。メカニズム的には2つ考えられる。1つは、大型個体が選択的に漁獲されると、小型もしくは若齢で成熟する形質を持った個体の適応度が上がり、成熟に関する形質が小型若齢化に遺伝的にシフトしたとするものである。もう一つは、大型個体が漁獲により除かれたことにより、表現型可塑性として小型個体の成長が良くなり、成熟のスイッチが入りやすくなり若齢化するというものである。これら2つの要因が合わさって本種の小型若齢化が生じたと考えられる。

##### 【出題の意図】

水産資源開発工学講座には、魚類生理学・機能生物学を専門分野とする研究室がある。この研究室は、生理学・生化学・機能生物学を基盤にしながら、水圏生物が環境に適応して進化してきたことや人間活動の影響を直接・間接的に受けることを理解した上で、水産資源を適切に開発・生産・管理していくことを目指している。大学院進学後にはそのような知識、視点および技術が必要となる。以上を踏まえ、出題番号 481 は、真骨類の体液のイオン調節に重要な鰓の塩類細胞の特徴と、イオン調節の駆動力となる $Na^+$ 、 $K^+$ -ATPaseのタンパク質としての性質や分子進化についての知識と理解を問う問題である。出題番号 482 は、地球温暖化、ふ化放流事業、漁獲といった人間活動が、魚類の成長・成熟といった生活史形質に及ぼす影響を生物学的知識を含めて説明できるかを問う問題となっている。

##### 出題内容：比較生理学

出題番号 491

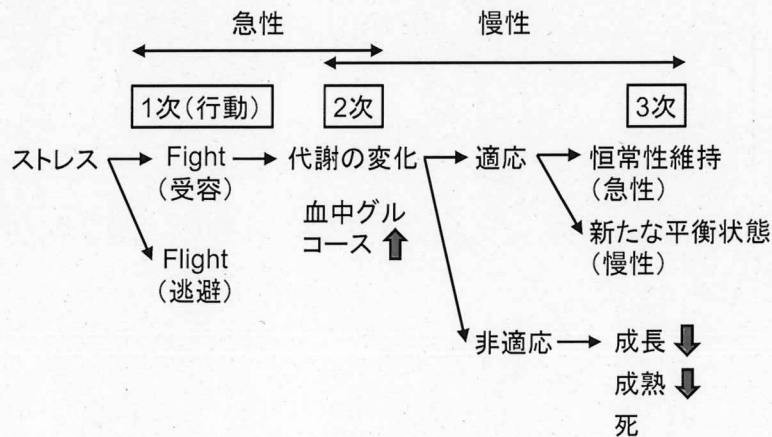
【解答例】

- (1) ペプチド/タンパク質ホルモン：インスリン、成長ホルモンなど  
アミノ酸誘導ホルモン：トリヨードサイロニン、アドレナリンなど  
ステロイドホルモン：コルチゾール、エストラジオール-17βなど
- (2) ホルモンには、ペプチド/タンパク質ホルモンのように親水性のものと、ステロイドホルモンのように疎水性（脂溶性）のものがある。前者は細胞の脂質二重層を通過できないため、ホルモンの情報は細胞膜上の受容体（膜受容体）により受容され、細胞内に伝達される。一方、後者は脂溶性のため細胞膜を通過でき、受容体は細胞内でホルモンを受容する。核受容体・ホルモンの複合体は通常2量体を形成して核内に移行し、特定のDNA配列に結合して遺伝子の発現を司る。

出題番号 492

【解答例】

- (1) 図に示すように、ストレス反応には1~3次反応がある。1次反応は行動による反応であり、急性ストレスに対し、受容するか逃避するかを選択となる。ストレスを受容した場合、2次反応として代謝の変化があり、血中グルコース量が増加するなどしてエネルギーを動員する。この2次反応が適応的な場合は、3次反応として、急性ストレスだと恒常性が維持され、慢性ストレスだと新たな平衡状態となる。一方、非適応的な場合、まず成長が停滞し、さらに成熟が停止し、最終的には死に至る。



- (2) アドレナリン：アミノ酸誘導体ホルモンで、副腎髄質で産生され、ストレスに対し秒単位で反応する。  
コルチゾール：ステロイドホルモンで、副腎皮質で産生され、ストレスに対し分単位で反応する。

【出題の意図】

水産資源開発工学講座には、魚類生理学・機能生物学を専門分野とする研究室がある。この研究室は、生理学・生化学・機能生物学を基盤にしながら、水圏生物が環境に適応して進化してきたことや人間活動の影響を直接・間接的に受けることを理解した上で、水産資源を適切に開発・生産・

管理していくことを目指している。大学院進学後にはそのような知識、視点および技術が必要となる。以上を踏まえ、出題番号 491 は、数多くあるホルモンを化学的な性質に基づいて4つに区分し対応させることができるかを問うている。また、ホルモン受容体はすべてタンパク質であり、リガンド（ホルモン）が細胞膜を通過できるか否かにより細胞局在が異なる。これらの点に基づいて、ホルモンによるシグナル伝達を説明することも求めている。出題番号 492 は、ストレスを持続時間や頻度から急性・慢性に区分するとともに、ストレス反応を1次反応から3次反応に段階的に分けて、それぞれ関与する具体的なホルモンとその役割を含めて説明することを求めている。

## 出題内容：水産生化学

### 出題番号 541

#### 【解答例】

1) Blue Native PAGE は、SDS のような強い変性剤を使用せず、試料中のタンパク質をクマシーブリリアントブルーG-250 と結合させて負に帯電させる。立体構造や複合体状態を維持した状態で分離することで分子量や形状などを評価できる電気泳動法である。それにより、タンパク質複合体の確認、複合体の分子量の推定、及び相互作用物質の同定などが可能となる。

2) 本タンパク質はサブユニットを有するため、変性状態で分離される SDS-PAGE では、複数のバンドが検出される。それぞれのサブユニットの分子量が明らかとなり、サブユニットを構成する割合も推定できる。また、変性状態のため、一般的に多糖との相互作用は検出できない。Blue Native PAGE では、複合体として得られるため単一のバンドとなることが予想される。一方、一般的に多糖は不均一な分子量を有するため、相互作用したタンパク質はスミアなバンドとして検出されることが予想される。

### 出題番号 542

#### 【解答例】

1) ゲノム未知生物の全一次構造決定には、mRNA の 5' 末端及び 3' 末端の未知領域を決定する必要があるため、Rapid Amplification of cDNA Ends (RACE) 法を行う。すなわち、水産生物から酵素が発現している組織の RNA を調製する。そして、5' RACE 又は 3' RACE 法により未知領域を決定する。

2) プライマーの設計には、DNA 二本鎖のうち、半分が一本鎖に解離する温度 melting temperature ( $T_m$ ) 値を考慮する。簡易的な計算式は以下になる： $T_m = 2 \times (A+T) + 4 \times (G+C)$ 。

また、プライマーの  $T_m$  値は約 55~65°C が適しており、フォワード及びリバースプライマー間の  $T_m$  差が 2°C 以内となるようにする。プライマーの長さは 18~25 塩基、GC 含量が 40~60% となるようにし、3' 末端に G 又は C を含むように設計する。ヘアピン、ダイマー形成しない配列とし、繰り返し配列を避けて設計する。また、BLAST など非特異的結合の有無を確認する。

3) 塩基配列 290 番付近に cccc があるので、それを避けるように 250-270 又は 300-330 付近で 5' から 3' に向けて作成するのが適切である。例：5' -CCACTGCTGATTCCAACAAG-3'

#### 【出題の意図】

進学後に生化学系での研究を希望する受験者は水産生化学を選択すると考えられる。生化学系では研究の軸を生化学的手法に基づいた成分の分離や同定技術・分析化学に重点をおいているため、

進学後にこの分野を研究するために必要な考え方と知識を身につけているかを確認するため、この分野に関連する成分の分析手法（出題番号 541）、および一次構造決定方法（出題番号 542）を中心とした問題を出題した。