

令和 5 年度 入学 試験 問題

理 科

各科目 100 点満点

《配点は、一般選抜学生募集要項に記載のとおり。》

物 理	(1～18 ページ)	化 学	(19～32 ページ)
生 物	(33～54 ページ)	地 学	(55～68 ページ)

(注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は監督者の指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は表紙のほかに 68 ページある。
3. 問題は物理 3 題，化学 4 題，生物 4 題，地学 4 題である。
4. 試験開始後，選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に学部名・受験番号・氏名をはっきり記入すること。表紙には，これら以外のことを書いてはならない。
5. ◇総合人間学部(理系)・理学部・農学部受験者は，物理・化学・生物・地学のうちから 2 科目を選択すること。
◇教育学部(理系)受験者は，物理・化学・生物・地学のうちから 1 科目を選択すること。
◇医学部・薬学部受験者は，物理・化学・生物のうちから 2 科目を選択すること。
◇工学部受験者は，物理・化学の 2 科目を解答すること。
6. 解答は，すべて解答冊子の指定された箇所に記入すること。
7. 解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがある。
8. 解答冊子は，どのページも切り離してはならない。
9. 問題冊子は持ち帰ってもよいが，選択した科目の解答冊子は持ち帰ってはならない。

化学問題 I

次の文章(a), (b)を読み, 問1~問6に答えよ。解答はそれぞれ所定の解答欄に記入せよ。原子量は, $C = 12$ とする。アボガドロ定数は, $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ とする。解答の数値は有効数字2けたで答えよ。

(a) 黒鉛は, 図1に示すような層状の結晶構造が繰り返された構造をもつ。この結晶の層内の最も近い炭素原子どうしは共有結合で結ばれている。一方, 層と層は, 共有結合の引力よりも弱い ア 力で結ばれており, 粘着テープにより一層のみをはがしとれることが知られている。この一層のシートはグラフェンと呼ばれ, 透明性や電気伝導性に優れることから, 透明導電膜や各種センサーなどへの応用が期待されている。

黒鉛は非常に多数のグラフェンが重なった構造を有する一方, 活性炭中には, グラフェンが数層だけ重なってできた厚さの薄い構造が多数存在し, それぞれが重なり合うことなく, さまざまな方向を向いているため空隙が大きい。そのため, 活性炭は単位質量あたりの表面積が大きく, 多くの物質を吸着することができる。

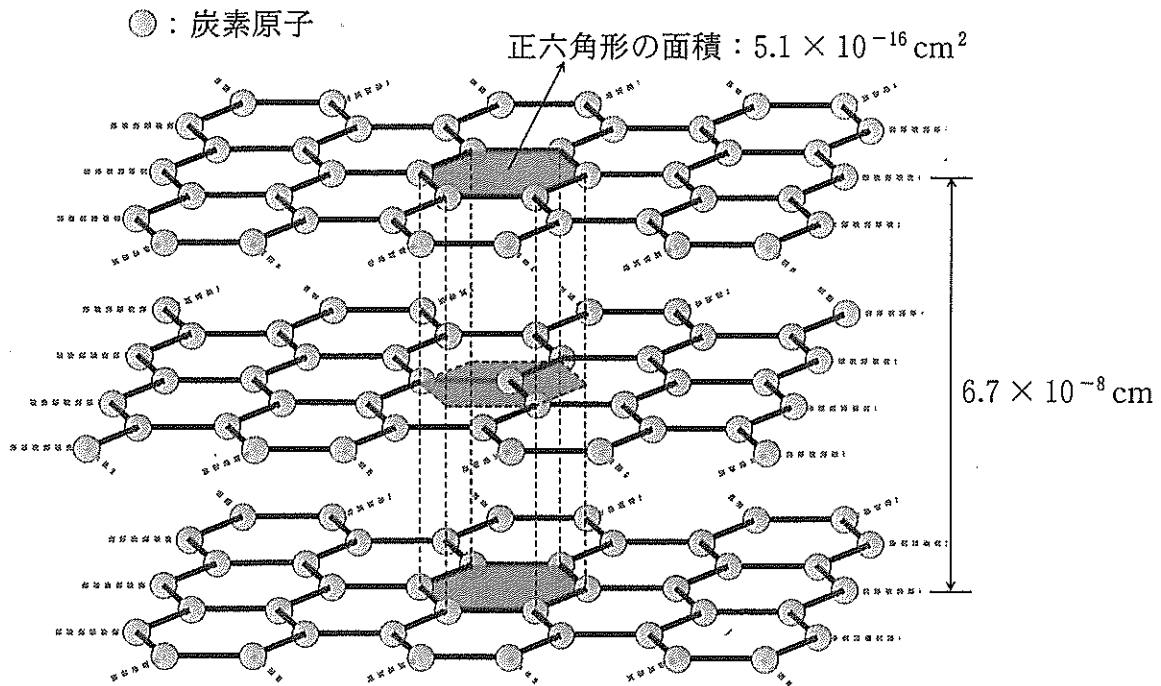


図 1

問 1 に入る適切な語句を答えよ。

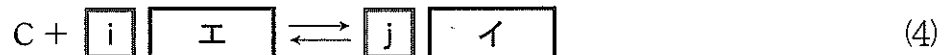
問 2 図 1 を用いて黒鉛の密度を求め、単位を g/cm^3 としたときの数値を答えよ。

問 3 下線部の構造について、図 1 のように、同じ大きさのグラフェンが 力で結ばれて 3 層重なった構造が、孤立して存在するものとして、その構造の単位質量あたりの表面積を求め、単位を cm^2/g としたときの数値を答えよ。ただし、表面に露出しているグラフェン面の面積を求めればよく、グラフェンの端で構成される側面の面積は考えなくてよい。また、グラフェン面を平面として面積を求めればよく、面の凹凸は考えなくてよい。

(b) 炭素が工業的に大規模に利用される例のひとつに、鉄鉱石から銑鉄^{せん}を製造する溶鉱炉での利用がある。溶鉱炉では炭素を主成分とする固体であるコークスが利用されるが、コークスの溶鉱炉における化学的な役割には、溶鉱炉を高温に保つための燃料としての役割と、鉄鉱石の主成分である酸化鉄 Fe_2O_3 を Fe まで還元するための還元剤を供給する役割がある。溶鉱炉では、図 2 に示すように、炉頂から鉄鉱石、コークス、石灰石が供給され、反応を起こしながら徐々に下方に移動し、炉底から溶融した銑鉄と、鉄鉱石中の不純物と石灰石が反応・混合してできたスラグが排出される。炉下部からは高温に加熱された空気が供給され、酸素 O_2 とコークス由来の炭素 C が反応し **イ** が生成する。反応式(1)~(3)に示すように、**イ** により Fe_2O_3 は、**ウ**、 FeO 、Fe と逐次的に還元され、**イ** は **エ** となる。



一方、反応(1)~(3)に必要な **イ** が、反応(4)によりコークス中の C から生成する。



反応(1)~(3)のいずれかと反応(4)がともに進行することで、炭素の消費と酸化鉄の還元が進み、**イ**、**エ**、 N_2 を主成分とするガスが炉頂から排出される。反応(1)~(4)はいずれも可逆反応であり、溶鉱炉の運転条件はさまざまな化学平衡の制約を受ける。

この化学平衡の制約に関して、気体として **イ**、**エ**、 N_2 のみが存在するものとして、反応(3)と反応(4)のみが起こる場合について考えてみよう。全圧は 100 kPa、温度は 939 K であり、この温度での反応(3)と反応(4)の圧平衡定数はそれぞれ 1.0(単位なし)、42 kPa である。**イ**、 N_2 のモル分率をそれぞれ x 、 y とすると、反応(3)が右向きに進行するためには、 x 、 y が次の式(5)を満たす必要がある。

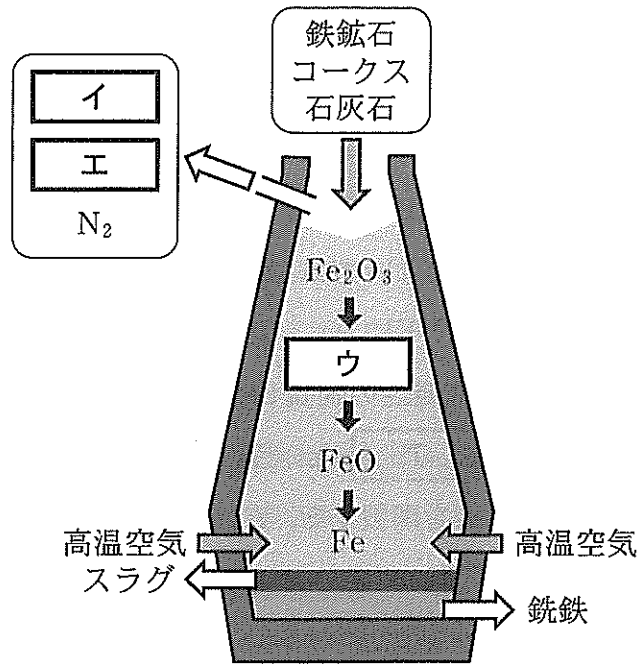


図2

y (5)

また、反応(4)が右向きに進行するためには、 x , y が次の式(6)を満たす必要がある。

y (6)

これらのことから、 y が 以下では、反応(3)と反応(4)がともに右向きに進行する気体組成が存在しないことになる。

問4 ~ に入る適切な化学式を答えよ。また、 ~ に入る適切な係数を整数で答えよ。

問5 , に入る適切な記号を、{ }の中からそれぞれひとつ選択し答えよ。また、, に入る適切な式を x を用いて答えよ。

問6 に入る適切な数値を答えよ。

化学問題 II

次の文章を読み、問 1～問 5 に答えよ。解答はそれぞれ所定の解答欄に記入せよ。

真空にした容器に揮発性の純粋な液体 A を入れ、ある一定温度 T で密閉したまま放置し、気液平衡が成立する条件下におく。このとき気体が示す圧力(すなわち蒸気圧)を P_A とする。液体 A に不揮発性の物質 B を溶かすと、溶液の蒸気圧は P_A とは異なる値を示す。この現象を ア という。B として非電解質を用い、その少量を A に完全に溶かして希薄溶液を調製する。 P_A とこの希薄溶液の蒸気圧の差は、 P_A と B のモル分率(溶液の全物質量に対する B の物質量の割合)の積に等しいという関係式が知られている。

物質 B を揮発性の液体 C に置き換えた混合溶液を考える。A と C の組み合わせによっては、液体中の成分 C のモル分率 x_c の大きさによらず、上記の関係式が成立する。すなわち P_A と混合溶液中の成分 A の蒸気圧の差は イ と表すことができ、混合溶液中の成分 A の蒸気圧は P_A と ウ の積に等しい。ここで、温度 T における純粋な液体 C の蒸気圧を P_c とすると(ただし、 $P_c > P_A$)、図 1 に示すように、A と C から成る混合溶液の全蒸気圧は x_c の一次関数として表せる。したがって、混合溶液中の成分 C の蒸気圧は P_c と エ の積に等しい。

成分 C のモル分率を x_{c0} に設定し、A と C から成る混合溶液を調製した。図 2 に示す実験装置中の密閉型容器 1 をこの溶液で完全に満たした。容器 1 は、バルブ 1 を介して温度制御機能付容器 2 につながっている。容器 2 は、バルブ 2 を介して真空ポンプにつながっており、また、隔壁の水平移動操作によって容積を変更できる。なお、実験装置には、容器 2 内の温度、圧力、および液体中と気体中の成分 C のモル分率を測定する装置が備わっている。予め、容器 2 を真空にし、バルブ 2 を閉じてから、次の状態 I～III を順につくった。なお、温度は常に T に保った。また、A と C は気体状態では理想気体としてふるまうものとする。

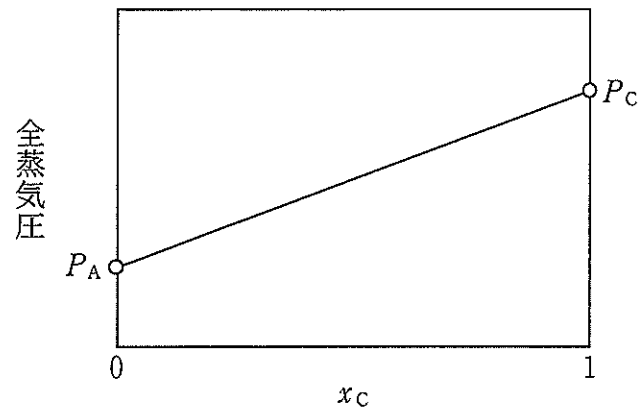


図1 AとCから成る混合溶液の全蒸気圧と成分Cのモル分率の関係

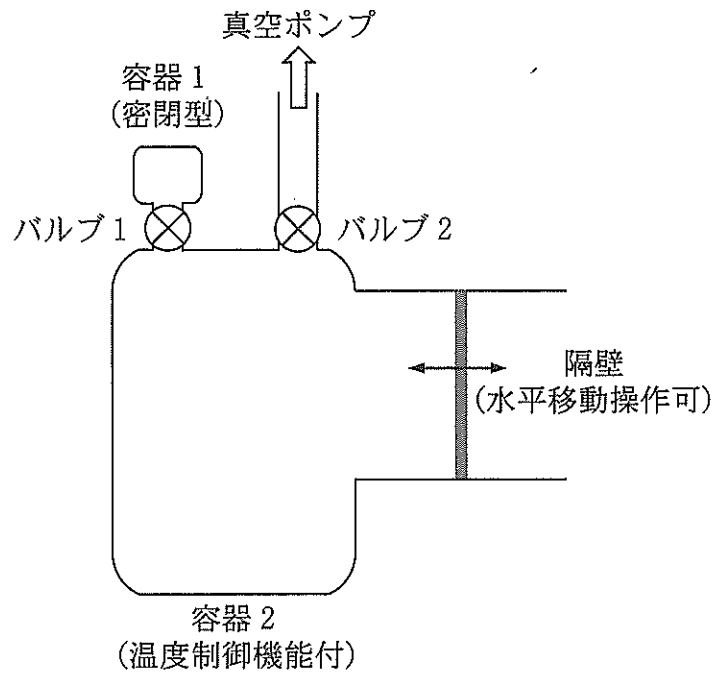


図2 実験装置

状態Ⅰ：バルブⅠを開き，AとCから成る混合溶液を容器Ⅱに入れて放置すると溶液の一部が蒸発し，平衡状態になった。このとき圧力計は P_1 を示していた。ここで，液体中の成分Cのモル分率を x_{c1} ，気体中の成分Cのモル分率を y_{c1} とする。 $P_C > P_A$ の条件より， $y_{c1} > x_{c1}$ になる。分圧の法則が成立するとき，成分Cに関する分圧と気体のモル分率の関係および分圧と蒸気圧の関係をを用いると，式(1)に示すように， y_{c1} は x_{c1} の関数として表せる。

$$y_{c1} = \frac{\boxed{\text{オ}}}{P_1} x_{c1} \quad (1)$$

さらに，成分AとCに関する分圧と蒸気圧の関係および分圧の法則を用いると，式(2)に示すように， y_{c1} は x_{c1} を使わずに表せる。

$$y_{c1} = \frac{\boxed{\text{オ}}}{P_1} \times \frac{\boxed{\text{カ}}}{P_C - P_A} \quad (2)$$

状態Ⅱ：次に，気液平衡状態を保ちつつ，隔壁を移動して容積をゆっくり大きくしていくと，溶液が気体になっていった。溶液のすべてが気体になった瞬間，圧力計は P_2 ($P_2 < P_1$)を示していた。この P_2 は式(3)で表せる。

$$P_2 = \frac{\boxed{\text{キ}}}{P_C - (\boxed{\text{ク}}) x_{c0}} \quad (3)$$

状態Ⅲ：次に，隔壁を移動して容積をゆっくり小さくしていくと，気体と液体が共存する平衡状態になった。液体の全物質量を n_L ，気体の全物質量を n_G とし，さらに液体中の成分Cのモル分率を x_{c3} ，気体中の成分Cのモル分率を y_{c3} とすると，物質量の収支から式(4)が得られる。

$$\frac{n_L}{n_G} = \frac{\boxed{\text{ケ}}}{x_{c0} - x_{c3}} \quad (4)$$

n_L と n_G が等しくなったとき、圧力計は $P_3(P_3 > P_2)$ を示していた。この P_3 は式(5)で表せる。

$$P_3 = \frac{(\boxed{\text{コ}})(P_C - P_A) + \sqrt{(\boxed{\text{コ}})^2(P_C - P_A)^2 + 4P_AP_C}}{2} \quad (5)$$

問 1 文中の $\boxed{\text{ア}}$ に適切な語句を記入せよ。

問 2 文中の $\boxed{\text{イ}}$, $\boxed{\text{ウ}}$, $\boxed{\text{エ}}$ に適切な式を記入せよ。

問 3 状態Ⅰに関する等式中の $\boxed{\text{オ}}$, $\boxed{\text{カ}}$ に適切な式を記入せよ。

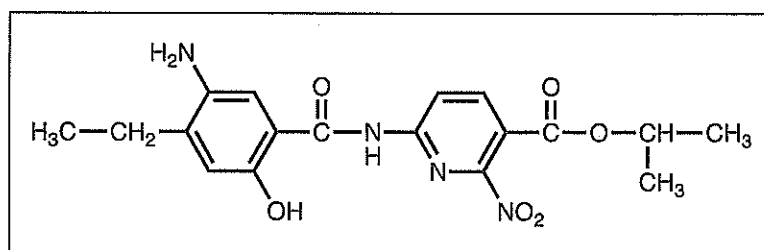
問 4 状態Ⅱに関する等式中の $\boxed{\text{キ}}$, $\boxed{\text{ク}}$ に適切な式を記入せよ。

問 5 状態Ⅲに関する等式中の $\boxed{\text{ケ}}$, $\boxed{\text{コ}}$ に適切な式を記入せよ。

化学問題 III

次の文章を読み、問1～問4に答えよ。解答はそれぞれ所定の解答欄に記入せよ。
構造式は、記入例にならって記せ。

構造式の記入例：



ベンゼンの6つのC—Hのうち、1つが窒素原子に置き換わった化合物をピリジンといい、ピリジンにみられる5つの炭素原子と1つの窒素原子からなる六角形の骨格をピリジン環という。ピリジン環をもつ化合物では、ピリジン環の窒素原子を1位とし、その隣から炭素原子を2位、3位、…と順に番号付けすることで、ピリジン環の炭素原子に結合した置換基の位置を指定できる(図1(a))。また、ピリジン環における窒素原子と2位の炭素原子との結合と、窒素原子と6位の炭素原子との結合は同等である。さらに、2位と3位の炭素原子間の結合と6位と5位の炭素原子間の結合は同等であり、3位と4位の炭素原子間の結合と5位と4位の炭素原子間の結合は同等であるため、ピリジン環における単結合と二重結合の位置を交換して表した図1(a)、(b)は全く同等である。また、ピリジンの構造式はベンゼンの構造式にならい、図1(c)、(d)のように表してもよい。

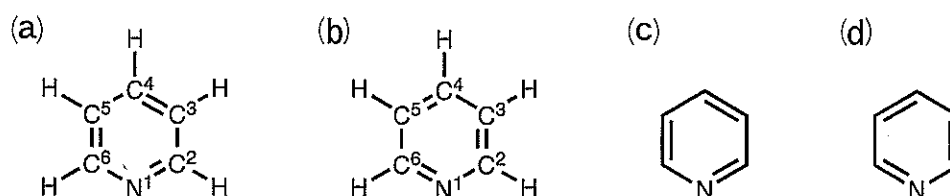


図1 ピリジンの構造式。N¹やC²～C⁶の数字は、ピリジン環の窒素原子と炭素原子の番号付けを表す。

ピリジン環をもつ化合物はベンゼン環をもつ化合物とよく似た性質を示すことがある。例えば、トルエンやスチレンを過マンガン酸カリウムで酸化すると **ア** が生成するのと同じように、ピリジン環の炭素原子に直接結合した炭化水素基は過マンガン酸カリウムで酸化される。

以下では、ピリジン環の炭素原子に結合した置換基は、ベンゼン環の炭素原子に結合した置換基と同様の化学反応を起こすとする。また、ピリジン環をもつ化合物では、化学反応の前後でピリジン環は変化しないとする。

問 1 **ア** に当てはまる適切な有機化合物名を答えよ。

問 2 分子式 C_7H_9N で表される、ピリジン環をもつ化合物として考えられる構造異性体の数を答えよ。ただし、ピリジン環の窒素原子に置換基は結合しないとする。また、図 2 に示す 4 つの構造式は全て同一の化合物を表すことに注意せよ。

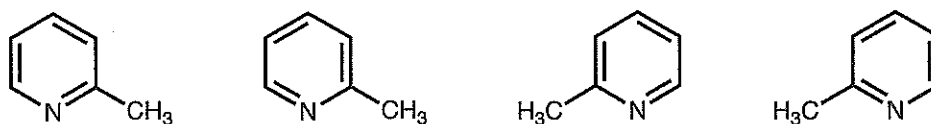


図 2

この問題は、次のページに続いている。

問 3 化合物 A~F はいずれも、ベンゼン環を構成する炭素原子のうち隣接する 2 つの炭素原子に置換基が結合した化合物、またはピリジン環の 3 位と 5 位の両方の炭素原子に置換基が結合した化合物である。以下の(あ)~(か)を読み、化合物 A~F の構造式を記せ。

(あ) 化合物 A~D はいずれも同じ分子式 $C_7H_7NO_2$ で表される。

(い) トルエンに濃硝酸と濃硫酸の混合物を加えて加熱すると、化合物 A を含む混合物が得られた。

(う) 化合物 A, B を過マンガン酸カリウムで酸化すると、それぞれ化合物 E, F が得られ、それらの分子式は同じであった。

(え) 化合物 B, F にメタノールと濃硫酸を加えて加熱し完全にエステル化すると、それぞれ分子式 $C_8H_9NO_2$, $C_9H_9NO_4$ で表される化合物が得られた。

(お) 化合物 E をスズと濃塩酸を用いて還元すると化合物 C が得られた。

(か) 化合物 D はヨードホルム反応を示した。

問 4 化合物 G~I はいずれも同じ分子式 $C_9H_{11}NO_2$ で表され、ベンゼン環に 1 つ置換基が結合した化合物、またはピリジン環の 2 位の炭素原子に置換基が結合した化合物である。化合物 G, H は不斉炭素原子をもたず、化合物 I は不斉炭素原子を 1 つもつ。以下の(き)~(け)を読み、化合物 G~I の構造式を記せ。ただし、鏡像異性体は区別しない。

(き) 化合物 G を完全に加水分解するとアルコール J とカルボン酸 K が得られ、アルコール J を硫酸酸性の二クロム酸カリウムで酸化するとアセトンが生成した。

(く) 化合物 H を完全に加水分解するとアルコール L と酢酸が得られた。アルコール L に濃硫酸を加えて加熱し脱水反応を行うと、置換基に二重結合をもつ化合物 M が生成し、化合物 M を過マンガン酸カリウムで酸化するとカルボン酸 K が得られた。

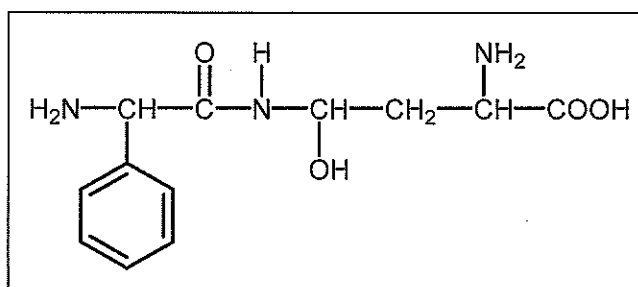
(け) 化合物 I を完全に加水分解すると、化合物 N と分子式 $C_3H_6O_3$ で表される化合物 O が得られた。

白 紙

化学問題 IV

次の文章を読み、問1～問5に答えよ。解答はそれぞれ所定の解答欄に記入せよ。
問題文中のLはリットルを表す。なお、解答にあたっては、鏡像異性体を区別する必要はない。構造式は、記入例にならい、電離を考慮せずに記せ。原子量は $H = 1.0$, $C = 12$, $N = 14$, $O = 16$ とする。

構造式の記入例：



分子内にアミノ基(—NH₂)とカルボキシ基(—COOH)の両方をもつ化合物をアミノ酸という。タンパク質は約20種類の α -アミノ酸が縮合してできているが、タンパク質を構成しない様々な α -アミノ酸も存在する。なお、ここでは図1の構造式で表される α -アミノ酸について考える。さらに、図2に示すように、 α -アミノ酸以外のアミノ酸も考えられる。

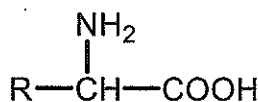


図1

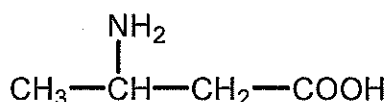


図2

次に、ジペプチドAとトリペプチドBについて以下の情報が与えられている。

ジペプチドAは不斉炭素原子を1つもつ化合物であり、分子式は $C_7H_{12}N_2O_5$ であった。Aに塩酸を加えて加熱し、完全に加水分解すると、環状構造をもたない2種類のアミノ酸X1とX2が生じた。X1とX2はいずれも図1の構造式で表される α -アミノ酸であった。X1を酸触媒の存在下でメタノールと反応させ、完全にエステ

ル化させると、分子式 $C_5H_9NO_4$ の化合物が得られた。pH 7.0 において、それぞれのアミノ酸の電気泳動を行うと、X2 はほとんど移動しなかったが、X1 は大きく陽極側に移動した。

トリペプチド B の分子量は 289 であった。B に塩酸を加えて加熱し、完全に加水分解すると、環状構造をもたない 2 種類のアミノ酸 Y1 と Y2 が物質質量比 1 : 2 で生じた。Y1 と Y2 のうち、Y2 のみが図 1 の構造式で表される α -アミノ酸であった。Y1 を酸触媒の存在下でメタノールと反応させ、完全にエステル化させると、分子式 $C_4H_9NO_2$ の化合物が得られた。

Y2 中の窒素原子はすべてアミノ基として含まれていた。0.1 mol の Y2 に含まれる窒素原子をすべてアンモニアに変えた。生じたアンモニアを 1 mol/L の硫酸水溶液 250 mL に吸収させたのち、残った硫酸を完全に中和するためには、1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液が 300 mL 必要であった。この実験結果から、Y2 に含まれる窒素の数は と決定される。

トリペプチド B とアミノ酸 Y2 は不斉炭素原子をもつが、Y2 に対してカルボキシ基を水素原子に置き換える反応を行うと、不斉炭素原子をもたない化合物が得られた。

問 1 図 2 に示した化合物の構造異性体となるアミノ酸の構造式をすべて記せ。ただし、化合物の電離は考慮しないものとする。

問 2 アミノ酸 X1 と X2 の構造式を記せ。

問 3 ジペプチド A の構造式を記せ。

問 4 に当てはまる適切な数値を答えよ。

問 5 アミノ酸 Y1 と Y2 の構造式を記せ。

化学問題は、このページで終わりである。