

クラス		受験番号	
出席番号		氏 名	

2012年度

全統医進模試

# 学 習 の 手 引 き

( 解 答 ・ 解 説 集 )

2012年11月実施

●英 語	1
●数 学	28
●理 科	
物 理	42
化 学	49
生 物	58
●小論文	
日本語論述問題	69
英 文 問 題	72
理科論述問題	82

**河合塾**



# 【英 語】

## ① 長文読解問題

### 【解答】

- 問1 世界は謎に満ちているのだが、科学には奇跡が入り込む余地はなく、21世紀の最も挑戦に値する科学的問題は、脳がどのように機能するのかを純粋に物質と関わりのある言葉で説明することに他ならない。
- 問2 脳について考えるためには脳を使わざるをえないこと。(25字)
- 問3 脳のおかげで、人は過去を鮮明に回想することができ、状況をよく理解した上で現在について判断ができ、将来に向けて合理的な行動方針を立てられる。
- 問4 しかし、もしかするとすべての中で最も際立っているものは、意識して認識できるようにする脳の能力であり、そのおかげで人は自分が次に何をするのかを自由に選べるとしてしまうのかもしれない。

### 【配点】 (40点)

問1 14点 問2 4点 問3 10点 問4 12点

### 【出典】 Michael O'Shea. *The Brain*.

### 【本文解説】

#### <第1段落>

1) Think for a few moments about a very special machine, your brain — an organ of just 1.2 kg, containing one hundred billion nerve cells, none of which alone has any idea who or what you are. 2) In fact the very idea that a cell can have an idea seems silly. 3) A single cell after all is far too simple an entity. 4) However, conscious awareness of one's self comes from just that: nerve cells communicating with one another by a hundred trillion interconnections. 5) When you think about it, this is a deeply puzzling fact of life. 6) It may not be entirely unreasonable therefore to suppose that such a machine must be endowed with miraculous properties. 7) But (1) while the world is full of mystery, science has no place for miracles, and the 21st century's most challenging scientific problem is nothing short of explaining how the brain works in purely material terms.

1) 非常に特別な機械である脳について少し考えてみなさい。それはほんの1.2キロしかない臓器で、千億もの神経細胞を含んでいて、その細胞のどれ1つとして単独では自分が何者なのかのわかりはしない。2) 実際、細胞が考えを持つことができるという考えそのものがばかげているようにも思える。3) そもそも単一の細胞だけではあまりにも単純な存在にすぎない。4) しかしながら、自分自身を意識して認識することはまさにそこから生じるのである。つまり、神経細胞が百兆もの相互連結によって互いに連絡しあうことから生じるのである。5) 考えてみると、これは極めて不可解な厳然たる事実である。6) したがって、そのような機械が奇跡的な特性を備えているに違いないと想定することは、まったく不合理であるというわけではない。7) しかし、(1)世界は謎に満ちているのだが、科学には奇跡が入り込む余地はなく、21世紀の最も挑戦に値する科学的問題は、脳がどのように機能するのかを純粋に物質と関わりのある言葉で説明することに他ならない。

- 1) ・none of which alone has any idea who or what you are の which の先行詞は one hundred billion nerve cells である。ここでの alone は「～だけ」の意味で which を修飾している。
- 2) ・文全体の構造は、the very idea that a cell can have an idea(S)+seems(V)+silly(C) である。
- ・the very ～ は、「まさにその～」という意味。the very idea that

- an organ 「臓器／器官」
- one hundred billion 「千億の」
- a nerve cell 「神経細胞」
- an entity 「存在」
- conscious awareness 「意識して認識すること／意識的な認識」

の that は〈同格の that〉で、that 以下は the very idea の内容を説明している。

- 3) ・far too simple an entity の far は, too を強調する副詞。
- 4) ・just that の後のコロン以下 (nerve cells communicating with one another by a hundred trillion interconnections) は, that の具体的な内容を述べている。
- 5) ・a fact of life は, 「厳然たる事実・避けがたい人生の現実」という意味の決まり文句。
- 6) ・文頭の It は形式主語で, to suppose 以下が真主語。
  - ・not ~ entirely は〈部分否定〉で, 「まったく～というわけではない」という意味。
  - ・must は, 文脈から「～に違いない」の意味。
- 7) ・【設問別解説】問1 参照。

- a hundred trillion 「百兆の」
- interconnections 「相互連結」
- puzzling 「困惑させる／不思議な」
- be endowed with A 「A を持っている／A に恵まれている」
- properties 「特性／性質」

〈第2段落〉

8) Thinking about your brain is itself something of a conundrum because you can only think about your brain *with* your brain. 9) You'll appreciate <sup>(2)</sup>the curious circularity of this riddle if you consider the consequence of concluding, as you might, that your brain is the most exquisitely complex and extraordinary machine in the known universe. 10) Clearly this is, and may be nothing more than, the opinion of your brain about *itself*: the brain's way of thinking about the brain. 11) So it seems we are caught in the logical paradox of a self-referencing, and in this case also a self-obsessed, system. 12) Perhaps the only reliable conclusion from this thought experiment is that the brain is about as conceited as it is possible to be!

8) 人は自分の脳について、自分の脳を使ってしか考えられないので、自分の脳を考えることはそれ自体かなりの難問である。9) 人の脳は知られている全宇宙で最も複雑で、並外れた機械だと結論付けるかもしれないが、その結果を考えてみれば、<sup>(2)</sup>この難問の奇妙な堂々巡りが正しくわかるであろう。10) 明らかにこれは脳が自らについて持っている意見、つまり、脳について脳がどう考えているのかであり、それ以上のものではないかもしれない。11) したがって、自己に言及し、そしてこの場合には自己に執着する組織でもあるという論理上のパラドックスに我々は陥ってしまっているようである。12) ひょっとすると、この思考の実験から得られる唯一の信頼できる結論は、脳はほぼこの上なく思い上がっているということかもしれない。

- 8) ・Thinking about your brain が主節のS。
  - ・with your brain の with は「～を使って」の意味。
- 9) ・【設問別解説】問2 参照。
  - ・that your brain is the most exquisitely complex and extraordinary machine in the known universe が concluding の目的語。
  - ・as you might は挿入句で, 「～かもしれないが」の意味。
- 10) ・この文の構造は以下の通りである。

Clearly this ① is,

and

② may be nothing more than,

③ the opinion of your brain about *itself*:

④ the brain's way of thinking about the brain.

つまり, ①と②に対する主語が this であり, ③ the opinion of

- something of a ~ 「ちょっとした～／かなりの～」
- appreciate O 「O を正しく理解する」
- exquisitely 「非常に」
- extraordinary 「並外れた／驚くべき」
- nothing more than A 「A に過ぎない／A に他ならない」
- be caught in A 「A に陥っている」
- self-referencing 「自己に言及する」
- self-obsessed 「自己に執着する」
- conceited 「うぬぼれた」

your brain about *itself* が文全体のC。③を言い換えたのが④である。

なお、③は、「脳が脳自身について持っている意見」という意味である。

- 11) ・the logical paradox of の of は、「～という」の意味。  
・a self-referencing と a self-obsessed が並列で、両方とも system を修飾している。
- 12) ・that the brain is about as conceited as it is possible to be が文全体のC。  
・as ～ as it is possible to be 「(それが)可能な限り～／この上なく～」という意味。

### ＜第3段落＞

13) Notwithstanding the brain's well-developed personal vanity, we must grant that it provides you with some very distinctive abilities.

14) It operates in the background of your every action, sensation, and thought. 15) <sup>(3)</sup>It allows you to reflect vividly on the past, to make informed judgements about the present, and to plan rational courses of action into the future.

16) It endows you with the seemingly effortless ability to form pictures in your mind, to perceive music in noise, to dream, to dance, to fall in love, cry, and laugh. 17) <sup>(4)</sup>Perhaps most remarkable of all, however, is the brain's ability to generate conscious awareness, which convinces you that you are free to choose what you will do next.

13) 脳の非常に発達したひとりよがりの虚栄心にもかかわらず、脳はいくつかの非常に際立った能力を人に与えることを我々は認めなければならない。

14) 脳は、人のすべての行動、感覚と思考の背景で働いている。15) <sup>(3)</sup>脳のおかげで、人は過去を鮮明に回想することができ、状況をよく理解した上で現在について判断ができ、将来に向けて合理的な行動方針を立てられる。16) 心の中にイメージを形成したり、音の中から音楽を感じ取り、夢を見て、踊り、恋に落ち、泣いたり笑ったりする、一見すると何の努力も要らないような能力を、脳は人に与える。17) <sup>(4)</sup>しかし、もしかするとすべての中で最も際立っているものは、意識して認識できるようにする脳の能力であり、そのおかげで人は自分が次に何をするのかを自由に選べるとしてしまうのかもしれない。

- 13) ・Notwithstanding the brain's well-developed personal vanity は「脳の非常に発達したひとりよがりの虚栄心にもかかわらず」という意味。

- 15) ・【設問別解説】問3参照。

- 16) ・to form pictures in your mind, to perceive music in noise, to dream, to dance, to fall in love, cry, and laugh はすべて ability を修飾している。

- 17) ・【設問別解説】問4参照。

- ・notwithstanding A 「Aにもかかわらず」
- ・vanity 「虚栄心」
- ・grant that 節「～であることを認める」
- ・distinctive 「特有の／際立った」
- ・endow A with B 「AにBを与える」

### 【設問別解説】

#### 問1 下線部和訳問題

下線部(1) while the world is full of mystery, science has no place for miracles, and the 21st century's most challenging scientific problem is nothing short of explaining how the brain works in purely material terms. を和訳せよ。

- ・have no place for A 「Aの余地がない」
- ・challenging 「挑戦に値する」
- ・nothing short of A 「A以外のなにものでもない／Aに他ならない」
- ・terms 「言葉・用語」
- ① while the world is full of mystery の while は「～だが」という意味で、この部分は副詞節。
- ② science has no place for miracles と, the 21st

century's most challenging scientific problem is nothing short of explaining how the brain works in purely material terms が and で結ばれている。

③後半部は, the 21st century's most challenging scientific problem がSで, nothing short of explaining how the brain works in purely material terms がCになっている。

④ how the brain works が動名詞 explaining の目的語で, in purely material terms は, 動名詞 explaining を修飾する副詞句。

⑤ in purely material terms は, 「純粋に物質と関わりのある言葉で」という意味。つまり, ここでは, 「脳は特別な一種の機械のような物である。したがって, その脳の働きについて説明するには, 抽象的・精神的な言葉ではなく, 純粋に物質と関わりのある言葉で説明する必要がある」ということを言いたいのである。terms は, ここでは「観点」ではなく「言葉・用語」と訳すべきである。

⑥したがって, 「世界は謎に満ちているのだが, 科学には奇跡が入り込む余地はなく, 21世紀の最も挑戦に値する科学的問題は, 脳がどのように機能するかを純粋に物質と関わりのある言葉で説明することに他ならない」のように訳せばよい。

## 問2 下線部内容説明問題

下線部(2) the curious circularity of this riddle が表す内容を, 本文に即して具体的に20~30字の日本語で説明せよ。ただし, 句読点も字数に含む。

- circularity 「循環性」
- riddle 「なぜ／難問」

①ここでの「なぜ」とは, 前文の Thinking about your brain (自分の脳について考えること)なので, 「自分の脳を考える上で, どのような点に循環性があるのか／どのようなことが堂々巡りになるのか」を考えてみる。

②すると, 「脳がどのようなものか」を考えるためには, 「脳そのものを使わざるをえない」ことがわかる。

③そして, 直前の文で you can only think about your brain *with* your brain という記述があるので, この部分の内容が答えになることがわかるであろう。

④したがって, 「脳について考えるためには脳を使わざるをえないこと」のように答えればよい。

## 問3 下線部和訳問題

下線部(3) It allows you to reflect vividly on the past, to make informed judgements about the present, and to plan rational courses of action into the future. を和訳せよ。ただし, 文頭の It が指すものがわかるように訳すこと。

- reflect on A 「Aについて熟考する」
- informed judgements 「状況をよく理解した上での判断／情報に基づく判断」
- rational 「合理的な」
- courses of action 「行動方針」

① It は the brain 「脳」を指している。

② 文全体は以下のような構造である。

It allows you (1) to reflect vividly on the past,  
(2) to make informed judgements about the present,  
and  
(3) to plan rational courses of action into the future.

つまり, allow O to do の to do の位置に(1)~(3)が来ている共通構文である。

③ It allows you to ... は, 直訳すれば, 「脳は人が~することができるようにする」であるが, 「脳のおかげで, 人は~できる」とすると自然な日本語になる。

④ 以上から, 「脳のおかげで, 人は過去を鮮明に回想することができ, 状況をよく理解した上で現在について判断ができ, 将来に向けて合理的な行動方針を立てられる」と訳せばよい。

## 問4 下線部和訳問題

下線部(4) Perhaps most remarkable of all, however, is the brain's ability to generate conscious awareness, which convinces you that you are free to choose what you will do next. を和訳せよ。

- remarkable 「際立っている」
- generate O 「Oを生み出す」 generate awareness で, 「認識を生み出す」→「認識できるようにする」
- conscious awareness 「意識して認識すること／意識的な認識」
- convince O that節 「~だとOに思わせる[確信させる]」

① most remarkable of all が文全体のCで, the

brain's ability to generate conscious awareness, which convinces you that you are *free to choose* what you will do next が文全体の S である。つまり, S is C → C is S のように, 補語と主部が入れ替わった語順となっている。しかし, 訳すときは前から訳せばよい。

② ability to *do* で「～する能力」

③ which の先行詞は, the brain's ability to generate conscious awareness と同 conscious awareness だけとも考えられる。いずれにとらえても実質的に同じことになるので, こだわらなくてよい。直訳すると「そのことが人に～だと思わせる[確信させる]」となるが, 無生物主語なので, 「その(認識の)おかげで, 人は～だと思ってしまう[確信する]」と訳すと自然な訳になる。

なお, この部分は, 「(実際には, 人間は自由意思

で行動を決められるのかどうかはわからないが)次に何をするか自分で自由に決めることができると思わせる」ということを言おうとしている。人間に自由意思があるかないかに関して筆者がどう思っているのかは不明なので, 「思わせてしまう」とか「確信させる」などのように訳するのが無難である。「思い違いをさせる」とか「思い込ませる」などと訳すと, 「人間が自由意思で行動を決めているという考えは間違っている」ということを含意するので避けるほうが好ましい。

④ be free to *do* で「自由に～できる」という意味。

⑤ したがって, 「しかし, もしかするとすべての中で最も際立っているものは, 意識して認識できるようにする脳の能力であり, そのおかげで人は自分が次に何をするのかを自由に選べると思ってしまうのかもしれない」のように訳せばよい。

## ② 長文読解問題

### 【解答】

問1 摂食障害になる女性は自己否定の気持ちが強く, やせていさえすれば申し分のない幸せな人生を送れると思っていること。(55字)

問2 そこで妻は自分の体重のことだけを考え, やせていさえすれば夫は浮気しなかっただろうに感じるものだ。

問3

1. 離婚して, 新たな伴侶を見つけるためにやせなければならないと思うから。(34字)

【別解】 離婚女性が新しい男性を求め, やせて魅力的にならなければいけないと思うため。(37字)

2. 夫が浮気をする, その原因は自分が太って魅力がなくなったせいだと思うから。(37字)

【別解】 既婚女性が夫の浮気は自分が太っているから魅力がないせいだと思ってしまうため。(38字)

3. 子育て後空虚感を埋めるためにやせようしたり, 食に慰めを求めて過食になるため。(39字)

問4 男性は体型が変わり白髪が増えても威風堂々としていられるのに対し, 女性は見た目に気を使わなくなったと思われてしまうから。(62字)

問5 今の自分と自分がやり遂げたことで, 自分を誇りに思いなさい。体重計に自分の人生を左右させてはもういけない。

問6 4

【配点】 (60点)

問1 8点 問2 8点 問3 各8点×3=24点 問4 8点 問5 10点 問6 2点

【出典】 Colleen Thompson. *Eating Disorders in Older Women*.

## 【本文解説】

### ＜第1段落＞

<p>1) Eating disorders continue to be on the increase in today's society and not just among teenage girls. 2) Many people believe that eating disorders affect only teenage girls, but that could not be further from the truth. 3) Women are under just as much pressure to be thin as teenagers are. 4) We are seeing more and more women developing eating disorders in their twenties, thirties, forties and beyond. 5) The onset of anorexia, bulimia and compulsive eating can occur at any time in a person's life.</p>	<p>1) 摂食障害は、今日の社会で増え続け、ティーンエイジャーの女の子だけにとどまっていない。2) 摂食障害はティーンエイジャーの女の子だけに影響を与えていると思っている人は少なくないが、これほど真実からかけ離れたものはないだろう。3) 女性にはティーンエイジャーとまったく同じくらいやせなくてはならないというプレッシャーを受けている。4) ますます多くの女性が20代、30代、40代そしてそれ以上の年代で摂食障害を起している。5) 拒食症、過食症、大食症の始まりは、人生のいついかなる時にでも起こりうるのである。</p>
--	--

2) ・that could not be further from the truth 「これほど真実からかけ離れたものは(ありえ)ないだろう」(可能性を表す can の婉曲用法の could)

3) ・be under as much pressure to *do* ... as ～ 「～と同じくらい…するようにというプレッシャーを受けている」

4) ・see O *doing* は、「Oが～しているのを見る」であり、ここでの develop は「(病気などに)かかる」の意。ただし、We are seeing more and more women developing ... を訳すときは、「ますます多くの女性が…にかかっている」とするほうが自然な日本語になる。

5) ・can は〈可能性〉を表す。また、肯定文での any は「どんな～/いついかなる～」の意。

- an eating disorder 「摂食障害」
- be on the increase 「増加している」
- thin 「やせほそって」
- the onset of A 「Aの開始/Aの始まり」

### ＜第2段落＞

<p>6) Even though the reasons for the development of an eating disorder may vary, <sup>(1)</sup>the feelings about oneself are usually the same. 7) The women suffer with feelings of self-hate, worthlessness, and low self-esteem, and they usually feel that in order to be happy, they must be thin. 8) Some may feel their lives are out of control, and they turn to the one area of their lives that they can control, their weight. 9) Others may believe that once they attain the “ideal” body image, then their lives will be perfect.</p>	<p>6) 摂食障害になる理由はさまざまあるかもしれないが、<sup>(1)</sup>自分自身に対する気持ちは普通同じである。7) そういう女性は自分を嫌悪し、自分に価値がなく、自分を低く評価してしまう気持ちを抱いて悩み、幸せになるにはやせなければいけないと感じるのが普通である。8) 中には自分の人生は手に負えないと感じ、手に負える1つの領域、つまり体重に目を向ける女性もいる。9) また、いったん「理想的」なボディと言える体型を手に入れることができれば、自分の人生は完璧になるだろうと信じる女性もいる。</p>
---	--

6) ・【設問別解説】問1 参照。

8) & 9) ・Some ～. Others ... 「～する人もいれば、…する人もいる」

9) ・ここでの once は接続詞で、「いったん～すれば…」と条件を表す副詞節になっている。

- vary 「さまざまである」
- suffer 「悩む/苦しむ」
- self-hate 「自己嫌悪」
- worthlessness 「価値がないこと」
- self-esteem 「自尊心」
- out of control 「手に負えない」
- turn to A 「Aに注意を向ける」



- attain O 「Oを手に入れる／Oを達成する」
- ideal 「理想的な」

〈第3段落〉

<p>10) There are many reasons why eating disorders develop later in one's life. 11) With the high rate of divorce, many women are finding themselves back in the dating game in their forties and fifties. 12) They begin to believe that in order to find another man, they must be thin. 13) If they are in a marriage and find out that their husband has been having an affair, they may blame themselves for that. 14) The woman might feel that her husband has strayed because he no longer finds her attractive. 15) <u>(2)She will then focus her attention on her weight and feel that if she had only been thin her husband would not have been unfaithful.</u> 16) Usually when affairs happen in a marriage, weight is not the problem; there are deeper problems in the marriage that probably caused the affair to happen. 17) Women need to stop blaming themselves for their husbands' infidelity. 18) In other situations, eating disorders may develop once the children are grown and out on their own. 19) A woman who has dedicated her life to raising her children may all of a sudden find herself alone and start to feel she has no real purpose anymore. 20) She may start focusing on her weight, believing that she will be happy once she becomes thin. 21) She may also turn to food for comfort to try and fill the void she feels inside.</p>	<p>10) もっと年を重ねてから摂食障害になる理由はたくさんある。11) 離婚率が高まるにつれ、40～50代でまた男性とデートをしようとすることになる女性が少なからずいる。12) 別の男性に出会うためにはやせていなければいけないと信じるようになる。13) もし女性が結婚していて、夫がずっと浮気をしていると気づいたら、それは自分のせいであると思うことがある。14) 夫はもう自分のことを魅力的であるとは思わないので不倫をしたのだと女性は感じるのかもしれない。15) <u>(2)そこで妻は自分の体重のことだけを考え、やせていさえすれば夫は浮気しなかっただろうに感じるものだ。</u>16) 結婚生活において浮気が生じるとき、体重だけの問題ではないのが普通である。たぶん浮気の原因となるもっと深い問題が結婚生活の中にある。17) 女性は夫の不貞を自分のせいにするのはやめるべきである。18) ひとたび子どもが成長して自立して出て行ったら、摂食障害が起きる場合もある。19) 子育てに自分の人生を捧げてきた女性が突然一人ぼっちになり、もはや現実的な目標がなくなったと感じるようになる。20) 女性は自分の体重のことばかり気にすることになることがある。いったんやせたら幸せになれるだろうと信じているからである。21) そんな女性はまた心の中のむなしさを埋めようとして食べ物に慰めを求めることもある。</p>
---	---

- |  |  |
|--|--|
| <p>11) ・find <i>oneself</i> ～「(自分が)～の状態であるのに気づく／気がつくと～している」という表現。</p> <p>13) ・文末の that は「そのこと」＝「夫が浮気していること」を受けける代名詞である。</p> <p>14) ・because ～ 以下は find O(=her) C(=attractive)「OがCであると思う」という5文型。</p> <p>15) ・【設問別解説】問2参照。</p> <p>16) ・ここでの that は関係代名詞。</p> <p>18) ・ここでの once S V は「いったん～すれば」という意味。once は接続詞。</p> <p>・the children are grown という表現は、この場合 be+過去分詞で〈完了〉を表し「子どもたちが成長して(しまって)いる」という意味になる。</p> | <p>● develop 「(病気などが)発症する」</p> <p>● an affair 「恋愛沙汰／浮気」</p> <p>● blame A for B 「BのことでAを責める」</p> <p>● cause O to do 「Oが～する原因となる」</p> <p>● infidelity 「不貞」</p> <p>● on <i>one's</i> own 「独力で／自立して」</p> <p>● dedicate A to B 「AをBに捧げる」</p> <p>● focus on A 「Aに焦点をあてる」</p> |
|--|--|

- 19) ・主語は A woman who から children まで。ここでの raise O は「Oを育てる」という意味になる。
- ・動詞は find と start が並列になっている。
  - ・all of a sudden で「突然／急に」、no ～ anymore で「もはや～ない」という意味のイディオム。
- 20) ・believing ... は, because she believes ... と書き換えることができる。

● a void 「空虚感／心の穴」

#### 〈第4段落〉

<p>22) Society also puts women under a lot of pressure to be thin. 23) Women are constantly being told that we must have a perfect marriage, be a perfect mother and have the perfect career. 24) We are given the message that in order to obtain all that, we must have the perfect body. 25) <u>(3) Growing older in today's society is very different for women than it is for men.</u> 26) If a man's body changes or his hair starts to turn gray, he is considered to be "distinguished." 27) If a woman's body changes and her hair starts to turn gray, she is considered to be "letting herself go." 28) Eating disorders become a woman's way of escaping the daily pressure of life. 29) We no longer enjoy food or allow ourselves to provide our bodies with the nutrition they need and deserve because society and the media make us feel guilty for eating.</p>	<p>22) 社会もまた、女性にやせなければいけないという大きなプレッシャーをかける。23) 女性は完璧な結婚生活をしなければいけない, 完璧な母親でいなければいけない, 完璧なキャリアを積まなければいけない, と常に言われ続けているのだ。24) それらすべてを手に入れるためには, 完璧な体型を手に入れなければいけないというメッセージが女性に伝えられているのだ。25) <u>(3) 現代社会で年を取るということは男性と女性とはでは, ずいぶん違う。</u> 26) たとえ男性の体型に変化が現れ, 白髪が増えだしたとしても「威風堂々としている」とみなされる。27) もし女性の体型に変化が現れ, 白髪が増えだしたら, 「見た目に気を配らない」とみなされる。28) 摂食障害が, 女性が日々の生活のプレッシャーからのがれる1つの方法になる。29) 社会やメディアが食べるということに罪悪感を感じさせるので, 食事を楽しんだり, 身体が必要とし, それに値する栄養を取ることを自ら許すことはもはやしないのである。</p>
--	--

- 23) ・Women are constantly being told that we must
- ① have a perfect marriage,
  - ② be a perfect mother
- and
- ③ have the perfect career.
- must に続く部分が①～③である。
- 24) ・all that の that は, ここでは代名詞で, having a perfect marriage, being a perfect mother and having the perfect career を指している。
- 25) ・【設問別解説】問4 参照。
- 29) ・the nutrition と they の間には関係代名詞 that または which が省略されている。
- ・need と deserve が並列関係になっている。
  - ・feel guilty for A は「Aに対して罪悪感をもつ／悪いと思う」というイディオム。

- put O under pressure to do 「Oに～するようプレッシャーを与える」
- a career 「経歴／一生の仕事」
- obtain O 「Oを得る／Oを獲得する」
- turn C 「Cになる」
- gray 「白髪まじりの」
- distinguished (形容詞) 「威風堂々とした／威厳のある」
- let oneself go 「見た目に気を配らない」
- no longer 「もはや～ない」
- nutrition 「栄養」
- deserve O 「Oに値する」

＜第5段落＞

<p>30) Women need to take a stand and stop trying to live up to the standards that society has set for us. 31) We need to stop buying those fashion magazines and diet products. 32) Instead, we need to focus on ourselves. 33) Diets just don't work and losing weight will never bring you true happiness. 34) <u>(4) Be proud of yourself for who you are and for your accomplishments.</u> 35) <u>Don't allow the bathroom scales to rule your life any more.</u></p>	<p>30) 女性は自分の立場をはっきりさせ、社会が女性に打ち立てた基準に添おうとする努力をやめる必要がある。31) 私たちはファッション雑誌やダイエット商品を買うのをやめる必要がある。32) そうするのではなく、自分自身に注目しなければいけない。33) ダイエットはまったく役立たないし、減量したところで真の幸福が得られることは決していないだろう。34) <u>(4)今の自分と自分がやり遂げたことで、自分を誇りに思いなさい。</u> 35) <u>体重計に自分の人生を左右させてはもういけない。</u></p>
--	---

30) ・need to のあとの take と stop が並列関係。

- ・関係代名詞 that ～ 以下は先行詞 standards を修飾している。
- ・for us の us は、筆者を含めた女性を指している。したがって、「(私たち)女性」と訳せばよい。

32) ・instead「そうするのではなく」ここでは、Instead of buying those fashion magazines and diet products「例のファッション雑誌やダイエット商品を買うのではなく」のことである。

33) ・just ～ not「まったく[とても]～ない」

- ・この場合の work は「(計画、方法などが)うまくいく」という自動詞。
- ・losing weight は、「減量することは～」という意味で、will never bring you true happiness に対する主部の役目を果たしている。

34) & 35) ・【設問別解説】問5 参照。

- ・take a stand「自分の立場[姿勢・考え方]をはっきりさせる」
- ・live up to A「A(期待など)に添う」

【設問別解説】

問1 内容説明問題

下線部(1) the feelings about oneself が表す内容を、本文に即して具体的に60字以内の日本語で説明せよ。ただし、句読点も字数に含む。

- ①下線部は、「自分自身についての感情」という意味であり、その具体説明は直後の第7)～9)文に書かれている。
- ②第7)文の出だしの The women は、The が付いていることからわかるように、女性全体ではなく、「摂食障害になる女性」のことを指している。
- ③また、第7)文、feelings of self-hate, worthlessness, and low self-esteem「自分を嫌悪し、自分に価値がなく、自分を低く評価してしまう気持ち」および they usually feel that in order to be happy, they must be thin「幸せになるにはやせなければいけないと感じる」の部分が自分の感情について言及している箇所である。
- ④つづく第8)～9)文も、「やせていさえすれば申し分

のない幸せな人生を送れる」と思っていると述べている。

- ⑤したがって、「摂食障害になる女性は自己否定の気持ちが強く、やせていさえすれば申し分のない幸せな人生を送れると思っていること」となる。

問2 下線部和訳問題

下線部(2) She will then focus her attention on her weight and feel that if she had only been thin her husband would not have been unfaithful. を和訳せよ。

- ・focus A on B「AをBに集中させる」focus one's attention on A「Aのことだけ考える」
- ・unfaithful「浮気して」
- ①この文全体は、以下のような構造になっている。

She will then ① focus her attention on her weight  
and

② feel that if she had only been thin her husband would not have been unfaithful.

つまり、She will then に対する述部が①と②の両方である。

②will はここでは、「～するものだ／～することがよくある」(習慣・習性)を表す。

(例) Oil will float on water.

「油は水に浮くものだ」

③ここでの then は「それゆえ」「そこで」「すると」のように訳すとよい。

④focus her attention on her weight は、直訳すると、「自分の注意を体重に集中させる」となる。これでも悪くはないが、「自分の体重のことだけを考える」とか「自分の関心を体重だけに向ける」などのように訳してもよい。

⑤上の構造説明の①に出てくる②の feel の後の that 節以下は、仮定法過去完了になって、過去に起こったことと反対のことを仮定している。

⑥ここでの unfaithful は、文脈から「浮気をして・不倫をして」と訳すべきである。「不誠実な」では、不十分な訳となる。

⑦したがって、全体で「そこで妻は自分の体重のことだけを考え、やせていさえすれば夫は浮気しなかっただろうに感じるものだ」となる。

### 問3 内容説明問題

女性が摂食障害を発症する理由について具体的に3つ、本文に即してそれぞれ40字以内の日本語で説明せよ。ただし、句読点も字数に含む。

中高年女性の摂食障害理由については、第3段落第10)文 There are many reasons ～ 以下に書かれている。

<1つ目>

①第11)～12)文には離婚が多くなり、独身になった中年女性がデートの相手を見つけないためやせて魅力的になりたいことが述べられている。

②したがって、「離婚して、新たな伴侶を見つけるためにやせなければならないと思うから」などのように答えればよい。

<2つ目>

①第13)～17)文では既婚女性について、自分がやせて

いれば夫は浮気しないのに、ということが書かれている。

②したがって、「夫が浮気をする、その原因は自分が太って魅力がなくなったせいだと思うから」などのように答えればよい。

<3つ目>

①第18)～21)文では、子育てが終わって目標を失い、やせたら幸せになれると思い、ダイエットを始める女性もいれば、虚無感を埋めようとして食べ物に慰めを求め、過食症になる女性もいると述べられている。

②したがって、「子育て後空虚感を埋めるためにやせようとしたり、食に慰めを求めて過食になるため」などのように答えればよい。

### 問4 下線部説明問題

下線部(3) Growing older in today's society is very different for women than it is for men.  
の理由を、本文に即して具体的に55～65字の日本語で説明せよ。ただし、句読点も字数に含む。

●be different than S + V 「～とは異なる」

①下線部の内容は「女性にとって今日の社会で年を重ねることは、男性(が年を重ねること)とはずいぶん異なる」である。その理由は直後の第26)～27)文に書かれている。

②第26)文は If a man's body changes or his hair starts to turn gray, he is considered to be "distinguished." 「男性が年をとって外見が変わる」→「威風堂々としている[威厳がある/気品がある]とみなされる」

③第27)文 If a woman's body changes and her hair starts to turn gray, she is considered to be "letting herself go." 「女性が年をとって外見が変わる」→「見た目に気を配らないとみなされる」

④したがって、男性対女性という対比に注目し、これらの内容を制限字数内にまとめると「男性は体型が変わり白髪が増えても威風堂々としていられるのに対し、女性は見た目に気を使わなくなったと思われるから」のようになる。

### 問5 下線部和訳問題

下線部(4) Be proud of yourself for who you are and for your accomplishments. Don't allow the bathroom scales to rule your life any

more. を和訳せよ。

- be proud of A「Aを誇りに思う」
- accomplishments「業績／達成」 your accomplishments「自分が(これまでに)成し遂げたこと」
- allow O to do「Oが～するのを許す」
- the bathroom scales「体重計」
- rule O「Oを支配する」

① Be proud of yourself

① for who you are

and

② for your accomplishments.

①と②の for は「理由」を表している。

② who you are「現在の自分・ありのままの自分」

③ not ~ any more (=not ~ any longer)「もはや～でない」

④ rule はここでは「～を支配する」という意味の動詞であり、the bathroom scales は「体重計」という意味である。

⑤ したがって、「今の自分と自分がやり遂げたことで、自分を誇りに思いなさい。体重計に自分の人生を左右させてはもういけない」となる。

問6 表題選択問題

この英文に表題をつけるとしたら、以下のどれが最も適切か。

1. Eating Disorders and Marriage
2. Childrearing, Husbands, and Diets
3. Teenagers and Elderly Women: Towards the Same Goal
4. Eating Disorders in Adult Women
5. How to Avoid Any Kind of Disorders

〈選択肢の訳〉

1. 摂食障害と結婚
  2. 子育て、夫、そしてダイエット
  3. ティーンエイジャーと年配女性：同じ目標を目指して
  4. 大人の女性における摂食障害
  5. どんな種類の障害をも回避する方法
- 文章全体は、以下のような流れになっている。

摂食障害は今や中高年女性にも顕著であるが、そういう女性たちは一様に自分自身について否定的な気持ちを持っている。摂食障害の主な原因は、離婚後のボーイフレンド探し、夫の浮気、子育てが終わった後のむなしさなどである。社会が女性にやせなければいけないというプレッシャーを与えている。自分をしっかり見つめて、社会の基準にふりまわされないようにすべきである。

表題は全体に一貫しているキーワードと、文章全体の主張を考慮に入れて選択する。

- ①本文では「摂食障害」と「結婚」に触れてはいるが、「結婚」だけが摂食障害の原因とはしていないので、選択肢1は不可。
- ②「子育て、夫」はキーワードとは言えないので、選択肢2も不可。
- ③本文の主役は中高年女性であり、選択肢3に出てくる「ティーンエイジャー」は、表題には不必要な表現であるため、選択肢3は不可。
- ④本文は「摂食障害」に限定しており、他の障害について言及がないため、選択肢5も不可。
- ⑤したがって、選択肢4「大人の女性における摂食障害」が適切な表題であると判断できる。

③ 長文読解問題

【解答】

問1 ウ 問2 エ 問3 ア 問4 ウ 問5 ア 問6 ウ 問7 ア 問8 ア  
問9 ア 問10 エ

【配点】 (40点)

問1～問10 各4点×10

【出典】 Leslie Norris. "A Roman Spring." *The Penguin Book of Welsh Short Stories*.

## 【本文解説】

### ＜説明文＞

<p><i>It is spring now. My wife and I are staying in idyllic countryside in Wales where we have a small house. We also have a very small tumble-down cottage called Hebron at the edge of our field. Although I don't have money to restore it, I feel attached to it. One day our neighbor Denzil, a farmer, showed me the ruins of a Roman castle in his field and an old Roman road that runs from the ruins, past Hebron, and on for hundreds of miles.</i></p>	<p>季節は春。妻と私は私たちが所有している小さな家のある、ウェールズののどかな田舎に滞在中だ。私たちが所有する牧草地の端にはまた、ヘブロンという名の荒れ果てた小さなコテージがある。修理をする金がないのだが、愛着がある。ある日、近所に住む農夫のデンジルが、自分の土地にあるローマ時代の城の遺跡と、そこからヘブロンを通過して数百マイルも先に続く古くからある道路を案内してくれた。</p>
---	--

\* 以下、英文全体を便宜上6つのパートに分けて解説する。

### PART 1

<p>1) I can't think why I went down to Hebron in the cool of the evening. 2) I walked listlessly down the hill, becoming a little more cheerful when I found a wren's nest in the hedge. 3) <sup>(1)</sup>There never was such a place for wrens. 4) They sing all day shaking their absurd little bodies with urgent song. 5) It was a good evening, cloudless and blue, the cool air tempering the earlier warmth. 6) I began to whistle. 7) At quiet peace with myself, aimless and relaxed, I approached the cottage. 8) When a man pushed his head and shoulders through the gaping window I was totally startled.</p>	<p>1) 夕べの涼しさの中、なぜヘブロンまで行ったのか思いつかない。2) ぼんやりとした気分で丘を歩いていると、少し気分が晴れてきた。その時ミソサザイが垣根に作った巣を見つけた。3) <sup>(1)</sup>ミソサザイにとってこれほど格好の場所ではなかった。4) 彼らはせきたてるようにさえずりながらその滑けいな小さい体を震わせ、一日中歌う。5) 雲の無い空は青く、涼しげな空気が日中の暖気を鎮め、快適な夕べだった。6) 私は口笛を吹き始めた。7) 当てもなくゆったりと、一人静かな安らぎを味わいながら私はそのコテージに近づいた。8) そこへ大きな穴のあいた窓から一人の男が上半身を突き出し、私は本当に飛び上がらんばかりに驚いた。</p>
---	--

- 1) ・I can't think ここでは「特に思い当たらない」という意味で用いられている。
- 2) ・becoming 以下は、主節の I walked listlessly down the hill の時に、何が起こったのかを示している。
- 3) ・【設問別解説】問1参照。
- 4) ・shaking 以下は、主節 They sing all day と並行して行われた行動を表す付帯状況を表す分詞構文。
- 5) ・the cool air tempering ... は、主文 It was ... blue とは主語が異なる付帯状況を表す独立分詞構文。
- 7) ・aimless and relaxed は、「私」についての状態を補足説明している。

- the cool 「涼味／冷氣」
- absurd 「ばかばかしい／滑けいな」
- urgent 「せきたてるような」
- startle 「びっくりさせる」

### PART 2

<p>9) 'How much for the house, then?' he said. 10) He withdrew from the window and stepping carefully, reappeared at the door, closing it slow-</p>	<p>9) 「それで、この家はいくらするのかね？」と、彼は言った。10) 彼は窓から身を引っ込めて、注意深い足取りで再び戸口に現れ、後ろ手でドアをゆっ</p>
---	---



<p>ly behind him. 11) He was a very small man. 12) Despite the mildness of the evening, he wore his reefer jacket wrapped around him, and its collar high. 13) He couldn't have been a couple of inches over five feet.</p> <p>14) 'It's not worth much,' I said. 15) He pushed his tweed cap off his forehead and smiled at me, a sweet, wise smile, but incredibly remote.</p> <p>16) 'No,' he said, 'not now. Oh, but it was lovely sixty years ago.'</p> <p>17) 'Did you know it,' I asked, 'all that time ago?'</p> <p>18) 'Longer,' he said. 'More than sixty years ago. Since I first saw it, that is.'</p>	<p>くりと閉めた。11) とても小さな男だった。12) 穏やかな夕べだったが、リーファージャケットにしっかりと身を包み、襟を立てていた。13) 5フィート2インチもなかっただろう。</p> <p>14) 「大した価値は無いですよ」と、私は言った。</p> <p>15) 彼はツイードの帽子を押し上げて脱ぎ、私に微笑みかけた。優しげで、賢そうで、しかしひどく距離を感じる微笑みだった。</p> <p>16) 「そうだね」と、彼は言った。「もう今はね。ああ、でも60年前は素敵な家だった。」</p> <p>17) 「そんなに前からこの家を知っていたのですか?」と私は尋ねた。</p> <p>18) 「もっと前からだよ」と、彼は言った。「60年以上前からだ。そう、私がこの家を初めて見たときからね。」</p>
--	--

- |   |   |
|---|---|
| <p>9) ・How much for the house, then? は、How much would [/do] you want [/charge] for the house? あるいは How much would I have to pay for the house? という意味である。</p> <p>10) ・この文全体は、以下のように読み取れる。First he left the window, then he appeared at the door, then he came out, and finally he closed the door. つまり、動作が起こった順序が <i>doing</i> 形でつながれている。</p> <p>12) ・high は、ここでは its collar がどういう状態であったのかを説明している。つまり、「襟が高い状態で」→「襟を立てて」という意味である。この老人は首回りを覆うため襟を立てていたのである。</p> <p>13) ・couldn't have been は、can't have been 「～であったということはありません」の can が、過去の文脈なので could になった場合である。</p> <p>15) ・pushed his tweed cap off his forehead は深々と額を覆うようにかぶっていたキャップのつばを押し上げたという意味。</p> <p>16) ・'No' は、「そうだね」と訳す。なぜなら、14)で 'It's not worth much,' と言ったのに対して同意して '<u>No</u>,' '<u>not</u> now. Oh, but it was lovely sixty years ago.' と言っているからである。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● reefer jacket 「リーファージャケット」丈が短めで折り返しが大きめな襟のついたジャケット。</li> <li>● remote 「距離を感じる／他人行儀な」</li> <li>● that is 「つまり」</li> </ul> |
|---|---|

### PART 3

<p>19) He stood outside the house, his hands deep in his pockets. 20) He stood very carefully, protectively, as if he carried something exceedingly fragile inside him. 21) His breathing was gentle and deliberate, a conscious act. 22) It gave him a curious dignity.</p> <p>23) 'Know it?' he said. 24) 'For years I lived in this house. 25) My brother, my mother, and me. 26) We came here when I was five years old, after my father died, and I was fifteen when</p>	<p>19) 彼は家の外に立ち、両手はポケットに深々と入れていた。20) 彼はまるで自分の体の中になにかとても壊れやすいものを抱えているかのように、注意深く身を守るようにして立っていた。21) 彼の息遣いは穏やかで意図的であった。つまり、意識的な振る舞いであった。22) それが彼にある不思議な威厳を与えていた。</p> <p>23) 「知っていたかって?」と彼は言った。24) 「私はこの家で何年も暮らしたんだよ。25) 兄と、母と私とでね。26) 私たちがこの家に来たのは私が</p>
---	--

we left. 27) I'm sixty-seven now.' 28) We turned together to walk down the hill. 29) He moved slowly, economically. 30) We had gone a little way up the lane on the thin asphalt, when we came to a couple of sticks, newly cut from the hedge. 31) 'I've been getting bean sticks,' he explained. 32) 'I've left them along the lane where I cut them, so that I can pick them up as I go back.'	5歳の時、父が亡くなった後のことで、家を出たのは私が15歳の時だった。27) 私は今67歳だ。」28) 私たちは振り返って、丘を下りた。29) 彼はゆっくりと、無駄のない動きをした。30) 薄層アスファルトの道をちょっと上がっていくと、垣根から切ったばかりの枝が2本あった。31) 「豆を支える枝を採っていたんだよ」と彼は説明してくれた。32) 「枝を切っては小道沿いに置いてきたんだ、帰りに拾えるようにね。」
---	---

- |  |  |
|--|--|
| <p>19) ・his hands 以下は、his hands <u>were</u> deep in his pockets → his hands <u>being</u> deep in his pockets → his hands deep in his pockets と考えればよい。</p> <p>23) ・'Know it?' は、ここでは <u>Did I know it?</u> のことである。第17文で 'Did you know it,' とある。つまり「知っていたんですか？」 → 「知っていたかって？」と考えればよい。</p> <p>32) ・so that S can <u>do</u> ～ はここでは「～できるように」という意味。<br/> ・as ～ はここでは「～しながら／～するとき」という意味。</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● protectively 「保護するように」</li> <li>● exceedingly 「極めて／ひどく／非常に」</li> <li>● deliberate 「故意の／慎重な」</li> <li>● conscious 「意識的な」</li> <li>● curious 「不思議な／好奇心をそそるような」</li> </ul> |
|--|--|

#### PART 4

<p>33) <sup>(5)</sup><u>We walked for a long time, and I warmed towards him.</u> 34) He was a great old man. 35) We stood there, the evening darkening around us, and he told me of people who had lived along the lane in the days of his boyhood, of his work as a young man in the farms about us, of the idyllic time when he lived in Hebron with his mother and brother.</p> <p>36) 'But there's no water there,' I said. 37) 'How did you manage for water?'</p> <p>38) 'I used to go up to your place,' he said. 39) 'To your well. 40) <sup>(6)</sup><u>Times without number I've run up this road, a bucket in each hand, to get water from your well.</u> 41) We thought it was the best water in the world.'</p>	<p>33) <sup>(5)</sup>一緒に長く歩いているうちに、彼に対して温かい気持ちを抱くようになった。34) 彼は素晴らしい老人だった。35) 夕闇が迫る中、私たちはそこに立ったままだったが、彼はかつて自分が少年だった頃にこの小道沿いに住んでいた人々のこと、この界隈の農場で働く一青年だった頃の自分の仕事のこと、母親と兄と共にヘブロンに住んでいた頃ののどかなときのことを私に話してくれた。</p> <p>36) 「でもあそこには水がないんです」と私は言った。37) 「水はどうやって手に入れていたのですか?」</p> <p>38) 「あんたの家まで行ったもんだよ」と彼は言った。39) 「あんたの井戸までね。40) <sup>(6)</sup>数えきれないほど何度も、あんたの井戸から水を汲むため両手にバケツを持ってこの道を駆けて行ったのさ。41) 私たちはそれがこの世で最もおいしい水だと思っていたよ。」</p>
--	--

- |  |  |
|--|--|
| <p>33) ・【設問別解説】 問5 参照。</p> <p>35) ・the evening darkening around us は the evening を主語とする、付帯状況を表す独立分詞構文。</p> <p>・and 以下は以下のような構造である。</p> |  |
|--|--|



he told me ❶of people who had lived along the lane in the days of his boyhood,

❷of his work as a young man in the farms about us,

❸of the idyllic time when he lived in Hebron with his mother and brother

つまり, he told me of A「Aについて私に話した」のAの部分に

❶～❸が来ている。

・the days はここでは「時代・時期」を意味する。

37) ・前置詞 for はここでは「～を得るため」を意味する。

39) ・To your well. は I used to go up to your well. を省略した形。

40) ・【設問別解説】問6参照。

## PART 5

42) Slowly we moved a few yards on, and the old man lifted the last of his bean sticks from where they lay. 43) Then he turned, faced resolutely forward, and prepared to make his way back to the village, perhaps a mile away over the fields.

44) 'I've got to be careful,' he said. 45) 'Take things very slowly, the doctor said. 46) I'm very lucky to be alive.' 47) He placed his hand delicately on the lapel of his navy coat. 48) <sup>(7)</sup>'Big Ben has gone with me,' he said. 49) 'Worn out. He doesn't tick as strongly as he used to.'

50) 'Let me carry those sticks for you,' I said, understanding now his deliberate slowness, his sweet tolerance, <sup>(8)</sup>his other-worldliness. 51) He was a man who had faced his own death closely, for a long time, and he spoke to me from the other side of knowledge I had yet to learn.

42) 私たちはさらに数ヤード, ゆっくりと歩みを進め, その老人は最後の豆用の枝を置いてあった所から拾った。43) そして彼は向きを変え, 毅然と前を向き, 村に戻る用意をした。村まではおそらく牧草地を越えて1マイルは離れているだろう。

44) 「気をつけなくちゃなんのだよ」と, 彼は言った。45) 「何事もうんとゆっくりやりなさいと, 医者に言われてね。46) 生きているなんて本当に運がいい。」47) 彼は繊細な手つきでネイビーコートの襟の折り返しに触れた。48) <sup>(7)</sup>「私の時計台はもうだめになってしまった」と彼は言った。49) 「くたびれてしまったのさ。もう前のようにしっかりと時を刻まなくなってしまうてね。」

50) 「枝を運んであげましょう」と私は言った。彼の意識的なゆっくりとした動き, 優しく包むような感じ, そして<sup>(8)</sup>浮世離れていることの理由が今になってやっとわかったのだ。51) 彼は長年自分の死に間近に向かい合ってきた人であり, 私にとって未知の世界から私に語りかけていたのだ。

42) ・move on 「進む」 moved a few yards on = moved on a few yards

・yard 「ヤード」長さの単位。1 ヤードは約90センチ。

43) ・perhaps a mile away は (which was) perhaps a mile away の省略形。

・over はここでは「～を越えて」という意味を表す前置詞。

44) ・have got to do は, 主にイギリス英語で用いられる表現で, 「～しなければならない」という意味。

46) ・つまり, 死んでも不思議ではない状態であるという意味。

48) & 49) ・【設問別解説】問7参照。

50) ・Let me do 「～させてください」→「～してあげましょう」

51) ・have yet to do は, 「まだ～していない」という意味。the other

・resolutely 「毅然として」

・make one's way 「進む／行く」

・mile 「マイル」長さ(距離)の単位。1 マイルは約1.6キロメートル。

・delicately 「繊細に／気配りして」

・tolerance 「包容力／寛大さ」

side of knowledge I had yet to learn は、老人は死に直面することはどんなふうか知っているが、私はそれがどんなふうかまだ知らないということを表す。

## PART 6

<p>52) 'I'll manage,' he said. 53) He bundled his sticks under one arm, opened the gate, and walked away. 54) It was so dark that he vanished against the black hedge while I could still hear his footsteps.</p> <p>55) In the morning I went into the field below Hebron. 56) It's not my field; Denzil rents it from an absentee landlord, and keeps a pony or two in it. 57) There's a steep bank below the hedge, below the old Roman road, that is, and Hebron's garden is immediately above this bank. 58) <sup>(9)</sup>As I had hoped, the ground there was spongy and wet, green with sopping mosses. 59) I climbed back up and into the garden hacking and pushing through invading bramble and blackthorn, through overgrown gooseberry bushes. 60) In the corner of the garden which overhangs Denzil's field, everything seemed to grow particularly well; the hedge grass was lush and rampant, the hazel bushes unusually tall. 61) I took my hook and my saw, and cleared a patch of ground about two yards square. 62) It took me most of the morning. 63) Afterwards I began to dig, and as I did so, I wondered why nobody had made life easier by doing this before.</p>	<p>52) 「大丈夫」と彼は言った。53) 彼は枝を片方の腕に押し込み、ゲートを開き去って行った。54) あたりがあまりに暗くなっていたので、彼の足音がまだ聞こえるうちに彼の姿は黒々とした垣根と見分けがつかなくなった。</p> <p>55) 朝になると私はヘブロンの方にある牧草地に行った。56) この牧草地は私のものではない。デンジルが不在地主から借りて、1～2頭のポニーをここで飼っている。57) 垣根の下、つまり古いローマ街道の下方には急な堤があるが、ヘブロンの庭はこの堤のすぐ上にあるのだ。58) <sup>(9)</sup>期待していた通り、そこの地面は水分を多く含み湿っており、ずぶ濡れの苔で緑色をしていた。59) 私は所構わずはびこるイバラやサンザシを、そして生い茂るグースベリーのやぶを叩き切り押し分けながら下りてきた堤をもう一度上り庭の中に入った。60) デンジルの牧草地にはりだしている庭の一角では、すべてがことさらよく育っているように見えた。垣根の草はみずみずしく勢いよく伸び、ハシバミのやぶは異常に背が高い。61) 私は草刈りかまとのこぎりを取り、一辺約2ヤード四方の地面からそれらを取り除いた。62) その作業は午前中いっぱいかった。63) その後私は穴を掘り始めたのだが、作業をしながら、なぜこれまで誰もこうして生活を楽にしようとはしなかったのだろうかと思議に思った。</p>
---	---

- 54) ・against は、ここでは「～を背景に」という意味を表す前置詞。暗闇の中で黒々と見える垣根を背景に見えなくなった、つまり老人の姿が闇の中に消えて行ったことを表す。
- 56) ・セミコロン(;)の前の It's not my field の field を、セミコロンの後で詳しく説明している。
- 57) ・that is は「つまり」という意味。ローマ街道はヘブロンの傍らを通っているため、「ヘブロンの垣根の下」は「つまりローマ街道の下」ということになる、という意味で用いられている。
- 58) ・【設問別解説】問9 参照。
- 59) ・hacking and pushing は「～しながら」という付帯状況を表す分詞構文。
- ・invading は bramble and blackthorn を修飾している現在分詞。
- 60) ・セミコロンはここではそれ以前の everything seemed to grow particularly well という状況をより詳しく説明する文を、接続詞を用いずにつなげる働きをしている。

- manage 「(自分で)なんとかする」
- bundle O 「Oを押し込む」
- walk away 「歩いて遠ざかってゆく」
- vanish 「見えていたものが突然消える／急にすっかり見えなくなる」
- an absentee landlord 「不在地主」
- bank 「堤」
- immediately 「直接／すぐに接近して」
- bramble 「イバラ／野バラ」
- blackthorn 「サンザシ」

- overgrown 「一面に茂った／大きくなりすぎた」
- gooseberry 「グースベリー／スグリ」
- bush 「やぶ／茂み」
- overhang 「張り出す」
- lush 「みずみずしい」
- patch 「(主に耕した)小地面／一区画」

## 【設問別解説】

### 問1 下線部解釈問題

Which of the following best explains the underlined part (1) There never was such a place for wrens?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

下線部(1)を最もよく説明しているのは、次のうちどれか。

- ア Wrens were seldom seen in the area in those days.  
 ア その頃ミソサザイはこの地域ではめったに見られなかった。  
 イ The area was the most unsuitable place for wrens.  
 イ その地域はミソサザイには最も不適切な場所だった。  
 ウ The area was the best kind of place for wrens.  
 ウ そのあたり一帯はミソサザイが巣を作るのに最もふさわしい場所だった。  
 エ The wrens didn't seem to like the area.  
 エ ミソサザイはその土地を気に入っていないようであった。

- ① 下線部(1)の There never was such a place for ~ は、文脈から判断すると「~にとってこれ以上の場所はない」という意味である。  
 ② つまり、Nowhere else were there so many wrens. とか Wrens were very numerous there. (there は「垣根沿いだけでなく、その地域一帯」を指している)ということを含意している。  
 ③ アの「この地域ではめったに見られなかった」および、イの「最も不適切な場所だった」、エの「ミソサザイはその土地を気に入っていない」は間違いということになる。

- ④ したがって、ウが正解。

### 問2 内容把握問題

In the first paragraph, what can you tell about the writer?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

第1段落において、筆者についてどのようなことがわかるか。

- ア He was anxious to see an old man at the cottage.  
 ア 彼はコテージである老人に会いたがっていた。  
 イ He was enjoying a leisurely walk when he happened to find a cottage.  
 イ 彼はゆったりと散歩を楽しんでいたとき、一軒のコテージを偶然見つけた。  
 ウ He wasn't happy about the wrens singing loudly near his cottage.  
 ウ 彼は自分のコテージの近くでミソサザイが大きな声でさえずっているのが気に入らなかった。  
 エ He was enjoying a leisurely walk to the cottage, where he found a man.  
 エ コテージまでゆったりと散歩を楽しんでいたが、そこで彼は一人の男を見つけた。

- ① 第1文に「夕べの涼しさの中、なぜヘブロンまで行ったのか思いつかない」とある。ここから、筆者が目的があってコテージまで行ったのではないことがわかる。したがって、アは不可。  
 ② 説明文に *We also have a very small tumbledown cottage called Hebron at the edge of our field.* とある。ということは、このコテージ(ヘブロンと呼ばれる)は筆者のものであるから、偶然見つけたわけではないことになるので、イも不可。  
 ③ 第4文に、*They sing all day shaking their absurd little bodies with urgent song.* (彼らはせきたてるようにさえずりながらその滑けいな小さい

体を震わせ、一日中歌う)と書かれているが、これは「気に入らなかった」ということを意味してはいない。したがって、ウも不可。

- ④第7)文と第8)文から、散歩をしていて、コテージに近づくとともに一人の男が壊れた窓ガラスの間から顔を出したことがわかる。したがって、エは内容と合致する。

⑤以上から、エが正解。

### 問3 内容把握問題

According to the second paragraph, which of the following best describes the man in the cottage?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

第2段落によると、次のうちコテージの中にいた男を最もよく説明しているのはどれか。

ア He was a small man in warm clothes who moved slowly.

ア 彼は小柄で暖かそうな衣服をまとい、ゆっくりと動いた。

イ He was a small but aggressive man wrapped in a heavy jacket.

イ 彼は小柄だが向こう気が強く、ずっしりとした上着をまとっていた。

ウ He was a businessman in a suit who was trying to buy the cottage.

ウ 彼はスーツを着たビジネスマンで、このコテージを買い取ろうとしていた。

エ He was tall and had a heavy jacket on but looked very weak.

エ 彼は背が高く、ずっしりとした衣服を着ていたがとても弱々しく見えた。

●aggressive「向こう気の強い／攻撃的な」

- ①第11)文と第13)文から、老人が小柄であったことがわかる。また、第12)文から「暖かそうな衣服をまとって」いたことがわかる。さらに第10)文の後半部に closing it slowly behind him とあることから、「ゆっくりとした動き」であることがわかる。したがって、アは内容に合っている。

②「向こう気が強く」というようなことは書かれていない。したがって、イは不可。

③「スーツを着たビジネスマン」とは書かれていないので、ウは不可。

④第11)文と第13)文に「小柄であった」と書かれているので、「背が高く」が間違いである。したがって、

エも不可。

⑤以上から、アが正解。

### 問4 内容把握問題

In the dialogue, what did the two men agree on?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

対話の中で、二人の男性は何について合意したか。

ア The cottage was about sixty years old.

ア そのコテージが築60年くらいであること。

イ The cottage was not known to anyone else apart from them.

イ そのコテージは彼ら二人以外の人には知られていないこと。

ウ The cottage didn't have much market value.

ウ そのコテージにはあまり市場価値がないこと。

エ The cottage lost its value sixty years ago.

エ そのコテージは60年前に価値がなくなってしまったこと。

●dialogue「対話／会話」

- ①第16)文と第18)文から、老人だけが60年以上前からコテージのことを知っていたことがわかる。したがって、アは不可。

②このコテージのことを他の人が知っているのかどうかに関しては二人の間で話題になっていないので、イも不可。

③第14)文で、筆者が It's not worth much と言ったのに対して、老人は第16)文で 'No,' he said, 'not now ...' と言っているので、ウは内容に合っている。

④そもそも筆者はそのコテージが築何年かも知らないなので「60年前に価値がなくなってしまった」は内容に合っていない。エも不可。

⑤以上から、ウが正解。

### 問5 下線部解釈問題

Which of the following best explains the underlined part (5) We walked for a long time, and I warmed towards him?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

下線部(5)を最もよく説明しているのは次のうちどれか。

ア While spending time with the man, the writer became friendly to him.

ア その男と時を過ごすうちに、筆者は彼に対して心から親しみを感じるようになった。

イ While walking with the old man, the writer began to feel warmer.

イ その老人と歩いているうちに、筆者は体が温かくなる感じがし始めた。

ウ While talking with the man, the writer came to realize he was a warm-hearted person.

ウ その男と話すうちに、筆者はその人が温かい心の持ち主であることに気が付いた。

エ While watching the man walk, the writer noticed his jacket was too warm for him.

エ その男が歩くのを見るうちに、筆者は彼のジャケットが彼には暖かすぎることに気が付いた。

① warmed towards him は、「彼に対して温かい気持ちを抱いた」という意味である。これは、「心から親しみを感じるようになった」と言い換えることができる。したがって、アは内容に合っている。

②「体が温かくなる感じがし始めた」わけではないので、イは不可。

③「その人が温かい心の持ち主であることに気が付いた」でもないの、ウも不可。

④エの「彼のジャケットが彼には暖かすぎることに気が付いた」も間違いである。

⑤以上から、アが正解。

#### 問6 内容把握問題

Which of the following describes the meaning of the underlined part (6) Times without number I've run up this road, a bucket in each hand, to get water from your well?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

次のうち下線部(6)の意味を説明しているのはどれか。

ア As a boy, the old man never had to run up the road to get water from the well.

ア その老人は、少年のころ井戸から水を汲むために道を駆けて行かなければならないことは一度もなかった。

イ The old man remembered a little boy who managed to get water for him several times.

イ その老人は、彼のために幾度も水を何とか手に入れてくれた幼い男の子のことを覚えていた。

ウ As a boy, the old man regularly had to go up and down the road to get water.

ウ その老人は、少年のころいつも、水を汲むため道を往復しなければならなかった。

エ The old man remembered exactly how many times he had run up to the well to get water.

エ その老人は、少年のころ何回井戸に水を汲みに行ったか正確に覚えていた。

①times without number は、「数えきれないほど」という意味である。したがって、下線部全体は、数えきれないほど何度も水汲みのために往復したという意味なので、ア「水を汲むために道を駆けて行かなければならないことは一度もなかった」は不可。

②その老人自身が水汲みをしたのだから、イ「彼のために幾度も水を何とか手に入れてくれた幼い男の子」も不可。

③「数えきれないほど」と言っているの、エ「何回井戸に水を汲みに行ったか正確に覚えていた」も不可。

④「少年のころいつも、水を汲むため道を往復しなければならなかった」ならば、「数えきれないほど」と矛盾がない。

⑤以上から、ウが正解である。

#### 問7 内容把握問題

Which of the following correctly describes the underlined part (7) 'Big Ben has gone with me,' he said. 'Worn out. He doesn't tick as strongly as he used to.'

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

下線部(7)を正しく説明しているのは次のうちどれか。

ア The man compared his weakening heart to a famous clock.

ア その男は自分の弱っている心臓を有名な時計に例えた。

イ The man was sorry about an old clock tower that was not in use any longer.

イ その男は、もう使われなくなってしまった古い時計台のことを残念に思っていた。

ウ The man was nostalgic about the time when he visited a clock tower.

ウ その男は、ある時計台を訪ねたことを懐かしんでいた。

エ The man believed the toll of an old clock tower made his heart weaker.

エ その男は、ある古い時計台の鐘の音が自分の心臓

を弱めていると信じていた。

- Big Ben「ビッグベン」(ロンドンの国会議事堂建物の有名な時計、または時計台全体)
- worn outは、wear out (=古くなって機能しなくなる、摩耗する)の過去分詞。
- tick「カチカチと(音を立てて)時を刻む」
- the toll of an old clock tower「時計台の鐘の音」
- ①イ「もう使われなくなってしまった古い時計台」では、文脈に合わない。
- ②ウ「ある時計台を訪ねたことを懐かしんでいた」は全くの的外れ。
- ③エ「時計台の鐘の音が自分の心臓を弱めている」も全くの的外れ。
- ④「もう前のようにしっかりと時を刻まなくなってしまったね」(第49)文は、時計台(ビッグベン)ではなく、自分の心臓の鼓動のことを言っている。したがって、「私の場合、時計台はもうだめになってしまった」(つまり自分の心臓がもうだめだという意味)から、老人が自分の心臓を時計台に例えていることがわかる。
- ⑤以上から、アが正解。

#### 問8 内容把握問題

Which of the following quoted from the main text expresses the same aspect of the man as stated in the underlined part (8) his other-worldliness?

##### <設問文と選択肢の訳>

本文からの次の引用のうち、この男について下線部(8)に述べられているのと同様な側面を表現しているのはどれか。

- ア a sweet, wise smile, but incredibly remote  
ア 優しげで、賢そうで、しかしひどく距離を感じる微笑み
- イ His breathing was gentle and deliberate  
イ 彼の息づかいは穏やかかつ慎重な、意図的なものだった
- ウ Then he turned, faced resolutely forward  
ウ それから彼は向きを変え、毅然と前を向いた
- エ he vanished against the black hedge  
エ 彼の姿は黒々とした垣根と見分けがつかなくなった
- other-worldliness「別世界にいるような感じ」
- ①第15)文に He pushed his tweed cap off his forehead and smiled at me, a sweet, wise smile, but

incredibly remote.「彼はツイードの帽子を押上げて脱ぎ、私に微笑みかけた。優しげで、賢そうで、しかしひどく距離を感じる微笑みだった」とある。

- ②また、下線部の直後の第51)文で、He was a man who had faced his own death closely, for a long time, and he spoke to me from the other side of knowledge I had yet to learn.「彼は長年自分の死に間近に向かい合ってきた人であり、私にとって未知の世界から私に語りかけていたのだ」と述べられている。これは、老人が筆者の住む世界と違う世界で生きていて、そういう世界から筆者に話しているように思えたという意味である。
- ③「浮世離れしている」と思えたのは、住む世界が違うがゆえに距離を感じたからである。
- ④イ、ウ、エのいずれも、具体的な老人の行動であり、老人の内面とは関係のないことなので、ここでの「浮世離れしている」こととは無関係であり不可。
- ⑤以上から、アが正解。

#### 問9 内容把握問題

In the underlined part (9) As I had hoped, the ground there was spongy and wet, green with sopping mosses, why was it that “the ground there was spongy and wet, green with sopping mosses”?

##### <設問文と選択肢の訳>

下線部(9)で、「期待していた通り、そこの地面は水分を多く含み湿っており、ずぶ濡れの苔で緑色をしていた」のは、なぜだったのか。

- ア Probably because there was a spring underground.  
ア おそらく地下に泉があったから。
- イ Probably because the area hadn't been maintained well.  
イ おそらくその地域はよく手入れされていなかったから。
- ウ Probably because the area was flooded when the Romans lived there.  
ウ おそらくその地域ではそこにローマ人が住んでいた頃洪水があったから。
- エ Probably because it had rained heavily the night before.  
エ おそらく前の日の夜に激しい雨が降ったから。



- spongy 「海綿状の／スポンジのような」
  - sopping 「ずぶ濡れの」
  - mosses 「(さまざまな種類の) 苔」
- ① 下線部で As I had hoped と言っている。ここから筆者が何を期待していたのか、また、第55)文～最後の部分から、筆者がなぜヘブロンに行ったのかを考えればよい。
- ② さらに、第60)文で、「すべてがことさらによく育っているように見えた」と述べられている。これは、その地域の土壌の水が単に一時的な過去や現在の洪水や大雨によるものではなく、植物の成長を常に促進する類のものであることがうかがわれる。
- ③ したがって、イ「その地域はよく手入れされていなかったから」、ウ「その地域ではそこにローマ人が住んでいた頃洪水があったから」、エ「前の日の夜に激しい雨が降ったから」のいずれも不可。
- ④ 地面が水分を多く含み、ずぶ濡れの苔で緑色をしていれば、地下に泉があると考えられるので、アが可能さが最も高いということになる。
- ⑤ 以上から、アが正解。

#### 問10 内容推理問題

Why do you think the writer dug?

#### 〈設問文と選択肢の訳〉

筆者はなぜ地面を掘り始めたのだと思うか。

ア To find Roman remains.

ア ローマ時代の遺跡を見つけるため。

イ To plant some trees.

イ 木を何本か植えるため。

ウ To build a new cottage.

ウ 新しいコテージを建てるため。

エ To make a well.

エ 井戸を作るため。

① デンジルの土地にすでにローマ時代の遺跡があることは、説明文に出てくる。しかし、筆者がローマ時代の遺跡を見つけるためということは本文から推測できないので、アは不可。

② 「木を何本か植えるため」とは書かれていない。したがって、イも不可。

③ 「新しいコテージを建てるため」とも書かれていない。したがって、ウも不可。

④ 第58)～62)文から、筆者は湿った土壌やことさらによく育っている植物を見て、地下から水が湧き出ていると見当をつけていることがうかがわれる。したがって、井戸を作るのが目的なのではないかと推測できる。また、第63)文は、井戸を掘れば生活がもっと便利になるのにどうしてそうしなかったんだろうかということを含意している。

⑤ 以上から、エが正解。

## ④ 和文英訳問題

### 【全文訳例】

(1) Experiments are often conducted to figure out how many hours human beings can stay awake. The record for the longest period without sleep is 11 days, but the average person can go without sleep for no more than three days. (2) You usually go to sleep when you feel sleepy, but people today can't always sleep whenever they want to. There are a number of symptoms caused by lack of sleep, such as drowsiness, headaches, or snoring, and if these symptoms persist, disorders like sleep apnea syndrome (SAS) or narcolepsy may sometimes develop. A survey carried out in 2000 revealed the reasons why a lot of people in Japan can't sleep. (3) 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep, while 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it. 30.5% of women aged 25 to 34 suffering from lack of sleep reported that it was due to childcare.

### 【解答例】

(1)

Experiments are often conducted to figure out how many hours human beings can stay awake.

〈別解例〉 Experiments are frequently done to find out how long people can manage without any sleep.

(2)

You usually go to sleep when you feel sleepy, but people today can't always sleep whenever they want to.

〈別解例〉 Although we usually sleep when we are sleepy, people nowadays aren't always able to sleep whenever they like.

(3)

40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep, while 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it.

〈別解例〉 Among men, those who said that work, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep accounted for 40.2 percent of those who suffered from lack of sleep, whereas among women, those who said that worries or stress were responsible for their lack of sleep represented 30.4%.

(注) 【解答例】 および 【設問別解説】 では、「睡眠不足」を lack of sleep で統一してあるが、loss of sleep / sleep loss / sleep deprivation のいずれも可である。

【配点】 (30点)

(1) 6点 (2) 6点 (3) 18点

【設問別解説】

(1)

〈解法のポイント〉

設問の日本語を以下のように2つの部分に分けて考える。

①「よく、…という実験が行われます」

②「人は何時間眠らなくても平気か」

〈表現のポイント〉

①「よく、…という実験が行われます」

• Experiments are often conducted to figure out ...

• Experiments are frequently done to find out ...

※「実験が行われる」⇒ Experiments are conducted [/done / carried out / performed] ...

• 「実験を行う」⇒ conduct [/do / carry out / perform] an experiment

• ここは不特定多数の実験なので experiments (無冠詞＋複数形)とする。

• Researchers conduct [/do / carry out / perform] experiments ... 「研究者たちは実験を行います」のように能動態で表すことも可能。

※「よく」⇒ often / frequently / repeatedly / commonly

• many times は、普通、個別的なことに使うのでここでは不可。

• habitually は「習慣的に」なのでここでは不適切。

※「…という実験」は「…を解明するための実験」と捉えて、Experiments are often conducted to figure out [/to find out / to see] ... とする。

• experiments that S+V ... のように「…という」を同格の that節で表すのは不可。

• experiments are often carried out into how long [/many hours] ... ならば可。

②「人は何時間眠らなくても平気か」

• how many hours human beings can stay awake

• how long people can manage without any sleep

※「人」⇒ human beings / humans / people。

• a human being / a human など単数形を用いることもできるが、ここでは不自然。(a person も避けたほうがよい)

• man は “Man has been around for millions of years.” のように「人類全体」の意味で用いるのでここでは避けたほうがよい。

• 複数形 men は “Men are stronger than women.” のように主に「男性」の意味で用いられ、性差別に通じるということから、「(男女を問わず)人間」を表す場合は使わないほうがよい。

• mankind / humankind / the human race / humanity なども “The human race could not survive the cooling of the sun.” のように「(集合的に) 人類全体」を意味するのでここでは不可。

※「何時間…か」⇒ how many hours+S+V ... または how long+S+V ...

• 間接疑問文なので、how many hours can people manage ... のように主語と助動詞を倒置させるのは間違い。

※「眠らなくても平気」は「起きたままでいられる」と解釈して how many hours human beings can stay awake [/can remain awake] とするか、「眠らなくても何とかできる」と捉えて how many



hours people can go [/ manage / cope] without (any) sleep [/ without sleeping (at all)] とする。

- ここでの「平気」というのは「何とかできる」ということなので, how many hours people don't care [/ don't mind / don't worry] without any sleep 「眠らなくても気にしない／心配しない」などとするのは不可。
- how many hours people can manage though they don't sleep は「実際眠らないけれども」の意なので不可。how many hours people can manage even if they don't sleep 「たとえ眠らなくても」なら許容範囲内ではあるが不自然な表現。

①～②をつなげてみると,

- Experiments are often conducted to figure out how many hours human beings can stay awake. となる。
- 「研究者たちはよく, 人は何時間眠らなくても平気かという実験を行います」というように能動態で文を作ると, Researchers often conduct experiments to figure out how long human beings can stay awake. となる。  
〈ただし, Researchers often conduct experiments that they will figure out how long human beings can stay awake. などのように「…という実験」を experiments that S+V ... で表すのは不可。〉  
〈Researchers often conduct experiments that how long human beings can stay awake. などと that のあとに how節を後続させる答案がよく見かけられるが, こういうふうには言えない。〉

(2)

〈解法のポイント〉

設問の日本語を以下のように2つの部分に分けて考える。

①「たいていは眠くなったら眠るのですが」

②「現代人は必ずしも休みたいときに休めるわけではありません」

〈表現のポイント〉

①「たいていは眠くなったら眠るのですが」

- You usually go to sleep when you feel sleepy, but ...
- Although [/ Though] we usually sleep when we are sleepy, ...

※主語は You か We。

- people today 「現代人」が後続するからといって主語を They とするのは不自然。

※「たいていは」⇒ usually / as a rule / common-

ly / generally / mostly

※「眠る」⇒ go to sleep か sleep。

- go to bed 「就寝する」は必ずしも「眠る」ことを意味しないので不可。
- get to sleep は「寝ようとして眠れる」というときに使われる。ところが, ここでは「眠くなると眠る」場合なので不可。

※「眠くなったら」⇒ when you [/ we] feel sleepy または when you [/ we] are sleepy

- if you feel sleepy 「もし眠くなったら」だと「眠くなることが定期的に起こらないかもしれない」ことを含意するので避けたほうがよい。

②「現代人は必ずしも休みたいときに休めるわけではありません」

- people today can't always sleep whenever they want to.
- people nowadays aren't always able to sleep whenever they like.

※「現代人」⇒ people today または people nowadays

- modern people / present-day people は避けたほうがよい。
- present people / recent people は不可。

※「必ずしも…ではない」⇒「いつも…なわけではない」ということなので not always で表現する。

- people today can't necessarily sleep は不自然だが, can't necessarily sleep whenever they want to とすれば不自然ではなくなる。

※「休める」⇒ can sleep [/ rest] または be able to sleep [/ rest]。

- can take a break 「休憩できる」は不可。take a rest も意味的にややずれる。

※「休みたいときに」⇒ when(ever) they want to または when(ever) they like

- whenever you [/ we] want to のように people today を you や we で受けるのは不自然。
- whenever they want to do のように代動詞で終わるのは不可。whenever they want to (代不定詞) で止めるか, whenever they want to do so のようにするか, whenever they want to sleep のように動詞を使えばよい。

①～②をつなげてみると,

- You usually go to sleep when you feel sleepy, but people today can't always sleep whenever they want to. となる。
- Although [/ Though] you usually go to sleep

when you feel sleepy, people today can't always sleep whenever they want to. としてもよい。

- You usually go to sleep when you feel sleepy. However, people today can't always sleep whenever they want to. とする手もある。

〈ただし, You usually go to sleep when you feel sleepy. But, people today can't always sleep whenever they want to. のように接続詞の直後にカンマを打つのは, 挿入句を後続させる場合以外は不可。〉

(3)

#### 〈解法のポイント〉

設問の日本語を以下のように2つの部分に分けて考える。

- ①「男性の場合は仕事・勉強・通勤・通学で40.2%を占め」
- ②「女性の場合は悩み・ストレスが30.4%を占めました」

#### 〈表現のポイント〉

- ①「男性の場合は仕事・勉強・通勤・通学で40.2%を占め」

- 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for (their) lack of sleep, while ...

- Among men, those who said that work, study, or commuting to work or school were responsible for (their) lack of sleep accounted for 40.2 percent of those who suffered from lack of sleep, whereas ...

※「仕事」⇒ (their) jobs または work (不可算名詞)。businesses「企業」(可算名詞), works「作品」(可算名詞)は不可。

※「勉強」⇒ study (不可算名詞)。可算名詞と捉えて studies (複数形)としてもよい。

※「通勤」⇒ commuting to work / going to and from work / their daily travel to (and from) the office / their regular commute

※「通学」⇒ going to school / commuting to school / attending school

※「男性の場合は仕事・勉強・通勤・通学で40.2%を占めた」は, A account for B や A represent B 「AはBを占める」などを用いて書くよりも, 「睡眠不足に悩む40.2%の男性は仕事・勉強・通勤・通学が睡眠不足の原因だと訴えた」と解釈し, 40.2% of men suffering from lack of sleep reported

that work, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep. と表現したほうがうまくとまる。

- ここでの「男性」は単なる men 「男性一般」ではなく「睡眠不足に悩む男性」のことなので, men suffering from (their) lack of sleep か men who suffered from (their) lack of sleep などとしなければならない。

- 「男性の場合は」を Among men [/ In the case of men] とし, Among men, 40.2% of those who suffered from lack of sleep reported that work, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep. としてもよい。

- 「男性の場合は仕事・勉強・通勤・通学で40.2%を占めた」は「男性の場合は仕事・勉強・通勤・通学が原因だと訴えたものが睡眠不足で悩む人の40.2%を占めた」などのように情報を補うことが必要である。Among men, those who reported that work, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep accounted for 40.2% of those who suffered from lack of sleep. とするか, Among men, those who said that their lack of sleep was caused by jobs, study, or commuting to work or school represented 40.2% of those who suffered from lack of sleep. などとする。

- 「AはB(割合)を占める」⇒ A account for B や A represent B は可であるが, A occupy B は「AはB(空間・時間など)を占める」の意なので不可。

- 2000年の調査なので, reported や accounted for などのように, 動詞には過去形を用いること。

- ②「女性の場合は悩み・ストレスが30.4%を占めました」

- 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it.

- among women, those who said that worries or stress were responsible for their lack of sleep represented 30.4%.

※「悩み」⇒ worries / problems / troubles / concerns. 一般論の可算名詞なので, 無冠詞+複数形で表現する。

※「ストレス」⇒ stress (不可算名詞)。一般論の場合 stress は不可算名詞で使うのが普通である。

※①と同様, 「女性の場合は悩み・ストレスが30.4%を占めた」は, 「睡眠不足に悩む女性の30.4%は悩み・ストレスが睡眠不足の原因だと述べた」と解釈

し, 30.4% of women suffering from lack of sleep said that worries or stress were responsible for their lack of sleep. と表現するとよい。

- ここでの「女性は」は単なる women 「女性一般」ではなく「睡眠不足に悩む女性」のことなので, women suffering from lack of sleep などとするべきだが, ①で men suffering from lack of sleep と表現してあれば, 「睡眠不足に悩む」はあえて繰り返す必要はない。
- ①と同様, 「女性の場合は」を among women [/ in the case of women] とし, among women, 30.4% said that worries or stress were responsible for their lack of sleep. としてもよい。
- ①と同様, 「女性の場合は悩み・ストレスが30.4%を占めた」は「女性の場合は悩み・ストレスが原因だと訴えたものが30.4%を占めた」などのように情報を補うことが必要である。among women, those who said that worries or stress were responsible for their lack of sleep represented 30.4%. とするか, among women, those who reported that their lack of sleep was caused by worries or stress accounted for 30.4%. などとする。
- ①と同様, 「AはB(割合)を占める」は A account for B や A represent B で表現できる。A occupy B は「AはB(空間・時間)を占める」の意なので不可。
- ①と同様, 2000年の調査なので, said や represented などのように, 動詞には過去形を用いること。

①～②をつなげてみると,

- 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep, while [/ whereas / and] 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it. となる。

〈なお, while [/ whereas] は接続詞なので, 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep, While [/ Whereas] 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it. などと副詞のように用いてはいけない。〉

- 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that work, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep. On the other hand, 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it. としてもよい。

〈また, on the other hand は副詞的な機能を果たすので, 40.2% of men suffering from lack of sleep reported that jobs, study, or commuting to work or school were responsible for their lack of sleep, on the other hand 30.4% of women said that worries or stress were responsible for it. などのように接続詞的に用いてはいけない。〉

- on the contrary は「それどころか」という意味で, 正反対のことを述べるときに使われるので, ここでは不可。

## ⑤ 自由英作文

### 【解答例】

#### 【解答例1】

If I were told that I had terminal stomach cancer, I would go into hospital and leave everything to a reliable fellow doctor. First, there are some long-term survivors with the latest chemotherapy. Second, by receiving the latest drugs, I would be able to repay the medical world through offering data on my own case. And if I were hospitalized, I could claim hospitalization insurance, which would help to cover the cost. I would want to try various kinds of chemotherapy, in the hope that there was at least a slight chance of one of the new anticancer agents proving effective. (101 words)

#### 【解答例2】

If I was in the final stages of stomach cancer, I would not depend on an anti-cancer agent or radiation therapy, but would opt for an alternative treatment such as a diet cure, however faint the hope. Anti-cancer agents and radiation therapy are ineffective in dealing with advanced stomach cancer, and the side effects are unpleasant. When doctors suffer from cancer, many of them refuse

these treatments. As a doctor, I have seen the pain and suffering of many patients who were undergoing chemotherapy. So I would prefer to fight the stomach cancer by some therapeutic method other than chemotherapy. (100 words)

【解答例3】

I would not expect any treatment to prolong my life, but would want to spend the time left to me peacefully at home. As a doctor, I know very well that cancer cures have not progressed greatly in the past few decades. I would refuse life-prolonging drug treatments because they have strong side effects and offer no possibility of a full recovery. While I was still able to, I would think about making arrangements for my funeral; and I would also consider ending my life at a suitable time, to avoid unnecessary suffering. (93 words)

【配点】 (30点)

【解説】

1. 答案完成までの手順

- ①課題に対する自分の考えを箇条書きにメモする。考えがまとまらないうちに書き始めないこと。
- ②メモを参考にしながら、いきなり英語で書き始める。書く内容を日本語で全部書き出してから英訳するというような手順でやらないように。
- ③書きたい内容を英語でどう言うべきか自信がないときは、書く内容をやや変える。つまり、初めに考えた内容にこだわらずに、英語として正しい表現にするために書く内容を変えること。
- ④最後に、三単現の“s”を落としていないか、可算名詞と不可算名詞を間違えていないかなど、文法・語法・構文の面から答案を見直すこと。

《頻出するミス》

(1) 人称、数の一致

人称が途中で変わってしまっている、名詞の単数形と複数形の区別ができていない、関係詞の先行詞と関係詞節内の数が一致していないなどのミスが目立つ。

(2) 名詞および冠詞

一般論か個別論か、可算名詞か不可算名詞かなどに応じて、冠詞をどうすべきかを間違っていることも少なくない。

(3) 時制・アスペクト・法

現在時制にすべきところを過去時制にするとか、進行形にすべきところを単純形にするミス、あるいは、仮定法にすべきところを直説法にするミスがよくある。

(4) 品詞の間違い

接続詞 (because, though, while など) と副詞句 (on the other hand, however, then など) と前置詞 (during, despite, in spite of など) との混同がよく見られる。

(5) 語数計算のミス

I'm は1語, I am は2語扱い。句読点はすべて語数に含まない。

(6) 句読法のミス

不要な comma を付けるミス。たとえば, But, ... のように接続詞の but の後に comma を入れる間違いがよくある。

(7) 綴りのミス

sense と書くべきところを sence としたり, lack と luck を混同するなど、綴りのミスがよくある。ふだんから英語で書く練習をして、綴りの間違いを減らすようにすべきである。

2. 書き方における注意点

①インデント[字下げ]を守ること。

段落の出だして1 cm くらい下げて書き出す。

②1つの段落で書くこと。

気まぐれに改行しないこと。100語程度ならば1つの段落で書けばよい。必要ならば2つの段落で書いてもよいが、最大限2つ程度にすること。

③できるだけ読みやすい字で書くように心がけること。以下のような答案にならないように気を付けること。

(1) 字が小さいもの。または字によって大きさが違うもの

(2) 鉛筆が薄すぎるもの。または消しゴムの跡が黒く残っているもの

(3) “a” か “o” か, “t” か “f” か, “h” か “n” か, “u” か “v” かなどの文字が判別しにくいことがよくある。特に筆記体の答案に頻繁に見られる。誰が読んでもすぐに判別できるようにきちんと書くようにふだんから気を付けるべきである

(4) 消書していない答案。欄外に書いた語句を矢印などで挿入しているもの

④大文字で書くべきところを小文字で書いたり、その逆にしたりしないこと。

極めて基本的なことだが、大文字と小文字の区別がいかげんなことが少なからずあるので、きちんと区別して書くこと。

⑤平易な語句・構文を用いた、わかりやすい文を書くように努めること。

英文解釈で見かけた語句・構文などを使うときは十分気を付けなければならない。堅すぎたり、重すぎる語句や表現になりがちだからである。しかも、1語だけ難解な語や堅苦しい語を使うのはまずい。その語だけが他から浮いてしまいかねないからである。

### 3. 【解答例】の解説と全訳

まず以下のように大ざっぱにメモしておいて、それから英語で表現すればよい。

#### 【解答例1】

メモ例：

医師として、入院した上で最新の化学療法に頼る

1. 化学療法による生存例がある
2. 自らのデータを提供することで医学界に恩返しをする
3. 入院することで入院保険を請求し、医療費をまかなえる

#### 【訳例】

もし末期の胃がんだと告げられたら、私は入院して、信頼できる同僚の医師にすべてを託すだろう。第一に、最新の化学療法によって長期間延命できた人もいる。第二に、最新の投薬治療を受けて、私自身の症例に関するデータを提供することによって医学界に恩返しができるだろう。また、入院すれば、入院保険の請求が可能になり、費用をまかなうのに役立つであろう。新しい抗がん剤の一つが効き目がある可能性がせめてわずかでもあればと望みながら、さまざまな化学療法を試したいと思うだろう。

#### 【解答例2】

メモ例：

患者の苦しみを知る医師として、代替治療を選択する

1. 抗がん剤や放射線治療は胃がんの治療には効果がなく、副作用もいやである
2. 医師でもこういった治療を拒否する者が多い
3. 苦しむ患者を目の当たりにしてきた

#### 【訳例】

もし私が胃がんの末期の段階にあれば、抗がん剤や放射線治療に頼るのではなく、いちろの望みしかなくても食事療法などの代替治療を選ぶであろう。抗がん剤や放射線治療は、進行胃がんの治療には効果がなく、副作用もいやである。医師ががんになった場合、これらの治療を拒否する者も少なくない。医師として、私は化学療法を受けていた多くの患者の苦痛と苦悩を目の当たりにしてきた。それゆえ、私は化学療法以外の治療方法で胃がんと闘うほうを選ぶであろう。

#### 【解答例3】

メモ例：

いっさいの治療を拒否する

1. がんの治療法はさほどの進歩を遂げていない
2. 副作用等の苦しみのほうが多い
3. できるうちに葬儀の準備をしたり、自分で人生の終わりを決めたい

#### 【訳例】

私だったらどんな延命治療も望まず、残された時間を自宅で穏やかに過ごすことを望むだろう。がんの治療法はここ数十年大した進歩を遂げていないことを私は医師としてよくわかっている。延命のための投薬治療では、副作用が強い上に完治する可能性がないので、そういう治療を受けることを拒否するだろう。まだできるうちに、自分の葬儀の段取りをすることを考えるだろう。また、不必要に苦しめないように、適当なところで人生を終わりにすることを考えるだろう。

# 【数 学】

1

(1) 関数  $y = \frac{x}{x^2+3}$  の増減、極値を調べ、そのグラフの概形をかけ。ただし、グラフの凹凸は調べなくてよいが、漸近線は調べよ。

(2) 曲線  $C_1: y = \frac{x}{x^2+3}$ ,  $C_2: y = \frac{\sqrt{3}}{x^2+3}$  および  $y$  軸によって囲まれる部分の面積を求めよ。

(3)  $x$  の方程式

$$\left(\frac{x}{x^2+3} - k\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{x^2+3} - k\right) = 0$$

の異なる実数解の個数が2となるような実数  $k$  の値の範囲を求めよ。

【配点】 50点

(1) 18点 (2) 18点 (3) 14点

【解答】

(1)  $f(x) = \frac{x}{x^2+3}$  とおくと、

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{1 \cdot (x^2+3) - x \cdot 2x}{(x^2+3)^2} \\ &= \frac{3-x^2}{(x^2+3)^2} \\ &= \frac{1}{(x^2+3)^2} (\sqrt{3}+x)(\sqrt{3}-x) \end{aligned}$$

より、 $f(x)$  の増減は次のとおり。

$x$	$\cdots$	$-\sqrt{3}$	$\cdots$	$\sqrt{3}$	$\cdots$
$f'(x)$	$-$	$0$	$+$	$0$	$-$
$f(x)$	$\searrow$	極小	$\nearrow$	極大	$\searrow$

よって  $f(x)$  の極値は、

$$\begin{cases} \text{極大値: } f(\sqrt{3}) = \frac{\sqrt{3}}{6}, \\ \text{極小値: } f(-\sqrt{3}) = -\frac{\sqrt{3}}{6}. \end{cases}$$

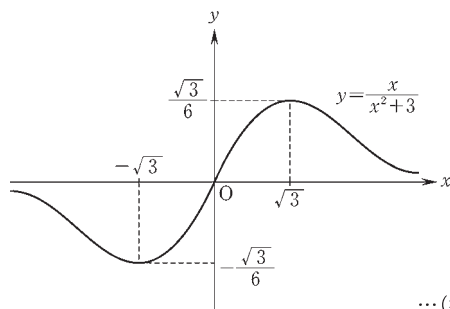
また、

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \lim_{x \rightarrow \pm\infty} \frac{1}{x + \frac{3}{x}} = 0$$

より、 $y = f(x)$  のグラフの漸近線は

直線  $y = 0$  ( $x$  軸)。

以上より、求めるグラフの概形は次のとおり。



…(答)

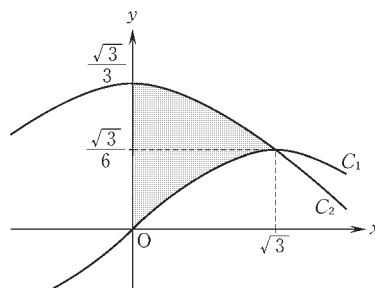
(2)  $C_1, C_2$  の交点の  $x$  座標は

$$\frac{x}{x^2+3} = \frac{\sqrt{3}}{x^2+3}$$

を解いて、

$$x = \sqrt{3}. \quad \cdots \textcircled{1}$$

これより、 $C_1, C_2$ , および  $y$  軸によって囲まれる部分は次図の網かけ部分である。



求める面積を  $S$  とすると、

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\sqrt{3}} \left( \frac{\sqrt{3}}{x^2+3} - \frac{x}{x^2+3} \right) dx \\ &= \sqrt{3} \int_0^{\sqrt{3}} \frac{1}{x^2+3} dx - \int_0^{\sqrt{3}} \frac{x}{x^2+3} dx. \end{aligned}$$

ここで、 $\int_0^{\sqrt{3}} \frac{1}{x^2+3} dx$  において

$$x = \sqrt{3} \tan \theta \quad \left( -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \right)$$

とおくと、

$$dx = \frac{\sqrt{3}}{\cos^2 \theta} d\theta, \quad \begin{array}{l|l} x & 0 \rightarrow \sqrt{3} \\ \hline \theta & 0 \rightarrow \frac{\pi}{4} \end{array}$$

より、

$$\begin{aligned} \int_0^{\sqrt{3}} \frac{1}{x^2+3} dx &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{3(\tan^2 \theta + 1)} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\cos^2 \theta} d\theta \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \int_0^{\frac{\pi}{4}} d\theta \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ \theta \right]_0^{\frac{\pi}{4}} \\ &= \frac{\pi}{4\sqrt{3}}. \end{aligned}$$



また,

$$\begin{aligned}\int_0^{\sqrt{3}} \frac{x}{x^2+3} dx &= \frac{1}{2} \int_0^{\sqrt{3}} \frac{2x}{x^2+3} dx \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\sqrt{3}} \frac{(x^2+3)'}{x^2+3} dx \\ &= \frac{1}{2} \left[ \log(x^2+3) \right]_0^{\sqrt{3}} \\ &= \frac{1}{2} (\log 6 - \log 3) \\ &= \frac{1}{2} \log 2.\end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned}S &= \sqrt{3} \cdot \frac{\pi}{4\sqrt{3}} - \frac{1}{2} \log 2 \\ &= \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \log 2. \quad \dots(\text{答})\end{aligned}$$

(3)  $x$  の方程式

$$\left( \frac{x}{x^2+3} - k \right) \left( \frac{\sqrt{3}}{x^2+3} - k \right) = 0$$

の異なる実数解の個数  $N$  は

「 $C_1, C_2$  をあわせてできる図形と

直線  $y=k$  との共有点の個数」

に一致する. ( $C_1, C_2$  は (2) の曲線)

ここで,  $g(x) = \frac{\sqrt{3}}{x^2+3}$  とおくと,  $C_2: y=g(x)$

は  $y$  軸に関して対称であり,  $x \geq 0$  において  $g(x)$  は単調に減少し, さらに

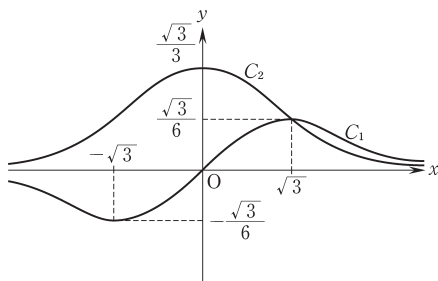
$$g(0) = \frac{\sqrt{3}}{3}, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} g(x) = 0$$

が成り立つ.

また, ① より  $C_1$  と  $C_2$  の交点は点  $(\sqrt{3}, \frac{\sqrt{3}}{6})$

のみである.

以上より, 「 $C_1$  と  $C_2$  をあわせてできる図形」は下図のようになる.



したがって,  $N=2$  となるような  $k$  の値の範囲は,

$$-\frac{\sqrt{3}}{6} < k < 0, \quad \frac{\sqrt{3}}{6} \leq k < \frac{\sqrt{3}}{3}. \quad \dots(\text{答})$$

## 【解説】

### ① グラフの対称性

本問 (1) の問題文では要求されていないが, 一般にグラフをかく際には「対称性」に注意すると考える部分を減らせたり問題を解く上で重要な特徴に気づいたりすることがある.

本問の場合,  $f(x) = \frac{x}{x^2+3}$  とおくと, 任意の実数  $x$  に対して

$$f(-x) = -f(x)$$

が成り立つことから,  $f(x)$  は奇関数であり,

$C_1: y=f(x)$  は原点对称であることがわかる.

また,  $g(x) = \frac{\sqrt{3}}{x^2+3}$  とおくと, 任意の実数  $x$  に対して

$$g(-x) = g(x)$$

が成り立つことから,  $g(x)$  は偶関数であり,

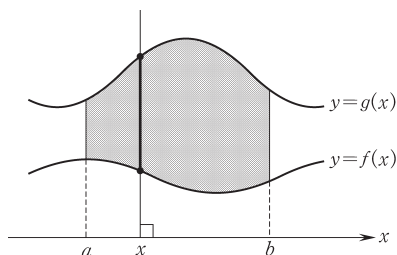
$C_2: y=g(x)$  は  $y$  軸対称であることがわかる.

### ② 面積と定積分

区間  $a \leq x \leq b$  において  $f(x) \leq g(x)$  であるとき, この区間において  $y=f(x)$  と  $y=g(x)$  の2つのグラフで挟まれる部分の面積は

$$\int_a^b \{g(x) - f(x)\} dx$$

で表される.



ここで,  $g(x)-f(x)$  は各  $x$  の値に対応する図の線分(太線)の長さを表す.

(2) では,  $0 \leq x \leq \sqrt{3}$  において  $\frac{x}{x^2+3} \leq \frac{\sqrt{3}}{x^2+3}$  であることを注意してこの事実を用いた.

### ③ 定積分の計算

定積分  $\int_0^{\sqrt{3}} \frac{1}{x^2+3} dx$  の値を  $\frac{1}{x^2+3}$  の原始関数(不定積分)を用いて求めるのは困難である. この定積分を計算するには  $x = \sqrt{3} \tan \theta$  ( $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) において置換積分法を用いるとよい.

一方、 $\frac{x}{x^2+3}$  の原始関数(不定積分)は容易に求められる。

$$\log(x^2+3) \xrightarrow{\text{微分する}} \frac{2x}{x^2+3}$$

これより、次が得られる。

$$\frac{2x}{x^2+3} \xrightarrow{\text{積分する}} \log(x^2+3) + C$$

( $C$  は積分定数)

#### ④ $(f(x)-k)(g(x)-k)=0$ の実数解

$x$  の方程式  $(f(x)-k)(g(x)-k)=0$  の実数解は

「 $f(x)=k$ ,  $g(x)=k$  の少なくとも

一方を満たす実数  $x$ 」

つまり、

「 $y=f(x)$  と  $y=k$  のグラフの共有点の  $x$  座標

または

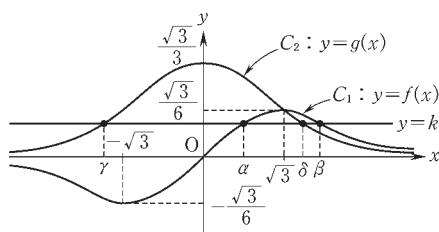
$y=g(x)$  と  $y=k$  のグラフの共有点の  $x$  座標」

として読みとれる。 $y=f(x)$  と  $y=g(x)$  のグラフを同時にかいて考えると、これはさらに

「 $y=f(x)$  と  $y=g(x)$  のグラフをあわせてでき

る図形と直線  $y=k$  との共有点の  $x$  座標」

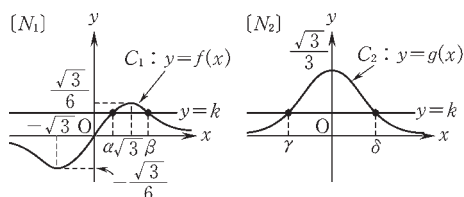
と言い換えることができる。



(3) の方程式の異なる実数解の個数は上記の共有点の個数に一致し、本問の場合、その個数  $N$  を  $k$  の値によって分類すると次のとおり。

$k$	...	$-\frac{\sqrt{3}}{6}$	...	0	...	$\frac{\sqrt{3}}{6}$	...	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	...
$N$	0	1	2	1	4	2	2	1	0

2 つの方程式  $f(x)=k$ ,  $g(x)=k$  それぞれの異なる実数解の個数  $N_1$ ,  $N_2$  を別々に考えてもよい。



この 2 つの方程式が  $k=\frac{\sqrt{3}}{6}$  のときのみ共通の

実数解を(ちょうど 1 つ)もつことを考慮すると次表を得る。

$k$	...	$-\frac{\sqrt{3}}{6}$	...	0	...	$\frac{\sqrt{3}}{6}$	...	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	...
$N_1$	0	1	2	1	2	1	0	0	0
$N_2$	0	0	0	0	2	2	2	1	0
$N$	0	1	2	1	4	2	2	1	0



2

$n$  を 3 以上の自然数とする. 箱の中に 1 から  $n$  までの番号が 1 つずつ書かれたカードが 1 枚ずつ合計  $n$  枚入っている. 次のような試行を箱の中にカードが残っている限り繰り返す.

試行: 箱の中から無作為に 1 枚のカードを取り出し, 書かれている番号を記録し, 取り出したカードを含めその番号以上の番号が書かれたカードすべてを箱の中から取り除く.

この試行を繰り返した結果, 記録された番号の中に 3 が含まれる確率を  $p_n$  とする. 以下の問に答えよ.

- (1)  $p_3, p_4, p_5$  をそれぞれ求めよ.
- (2)  $p_n$  を推測し, それを数学的帰納法を用いて証明せよ.

【配点】 50点

(1) 21点 (2) 29点

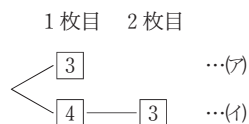
【解答】

以下, 一般に番号  $k$  が書かれたカードを  $\boxed{k}$  と表す.

- (1)  $n=3$  のとき, 番号 3 が記録されるのは初めに  $\boxed{3}$  を取り出すときであるから, その確率は

$$p_3 = \frac{1}{3}. \quad \cdots \textcircled{1} \quad (\text{答})$$

$n=4$  のとき, 番号 3 が記録されるようなカードの取り出し方には次の 2 つの場合がある.



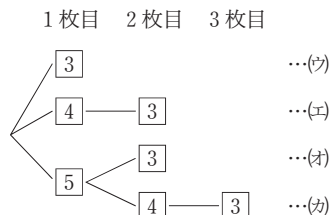
(ア) の確率は  $\frac{1}{4}$ ,

$$(イ) \text{ の確率は } \frac{1}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{12}.$$

よって,

$$p_4 = \frac{1}{4} + \frac{1}{12} = \frac{1}{3}. \quad \cdots (\text{答})$$

$n=5$  のとき, 番号 3 が記録されるようなカードの取り出し方には次の 4 つの場合がある.



(ウ) の確率は  $\frac{1}{5}$ ,

$$(エ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{15},$$

$$(オ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{20},$$

$$(カ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{60}.$$

よって,

$$p_5 = \frac{1}{5} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} + \frac{1}{60} = \frac{1}{3}. \quad \cdots (\text{答})$$

- (2) (1) より

$$p_n = \frac{1}{3} \quad \cdots (*) \quad (n=3, 4, 5, \cdots)$$

と推測される. これを数学的帰納法で証明する.

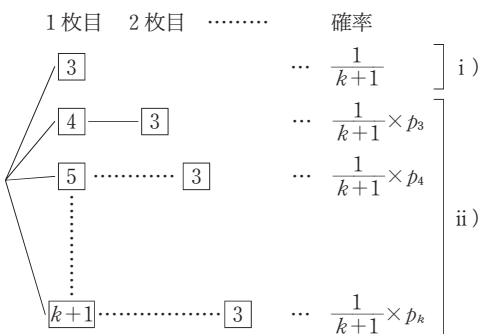
[I]  $n=3$  のとき ① より (\*) は成り立つ.

[II]  $n=3, 4, \cdots, k$  のとき (\*) が成り立つと仮定する. すなわち

$$p_3 = p_4 = \cdots = p_k = \frac{1}{3} \quad \cdots \textcircled{2}$$

とする.

$n=k+1$  のとき, 番号 3 が記録されるようなカードの取り出し方は 1 枚目に注目すると次のように分けられる.



i) 1 枚目が  $\boxed{3}$  である確率は  $\frac{1}{k+1}$ .

ii) 1 枚目が  $\boxed{i}$  ( $i$  は  $4, 5, \cdots, k+1$  のいずれか) であり, 箱の中が  $\boxed{1}, \boxed{2}, \cdots, \boxed{i-1}$  の状態から試行を繰り返して番号 3 が記録される確率は, 各々の  $i$  について

$$\frac{1}{k+1} \times p_{i-1}.$$

よって,

$$\begin{aligned} p_{k+1} &= \frac{1}{k+1} + \frac{1}{k+1} p_3 + \frac{1}{k+1} p_4 + \cdots + \frac{1}{k+1} p_k \\ &= \frac{1}{k+1} + \frac{1}{k+1} \cdot \frac{1}{3} (k-2) \quad (\textcircled{2} \text{ より}) \\ &= \frac{3+(k-2)}{3(k+1)} \\ &= \frac{1}{3}. \end{aligned}$$

よって,  $n=k+1$  のときも (\*) は成り立つ.

[I] と [II] により,  $n=3, 4, 5, \dots$  に対して (\*) が成り立つ.

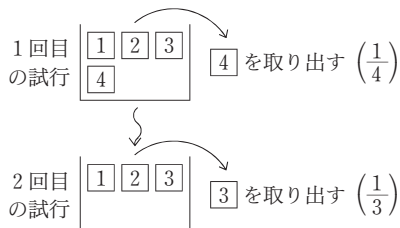
(証明終り)

【解説】

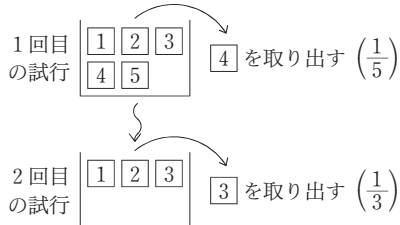
## ① 試行のルール of 把握

【解答】(1) の (イ) の場合を例にとって説明する。

初めに  $\boxed{4}$  を取り出し、2 回目の試行で 3 枚のカード  $\boxed{1}\boxed{2}\boxed{3}$  が入っている箱の中から  $\boxed{3}$  を取り出すから、(イ) の確率は  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{12}$  である。(下図において ( ) 内の数値は確率を表す.)



同様に，(1)の(エ)の確率は  $\frac{1}{5} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{15}$  である．



②  $p_5$  を  $p_3, p_4$  を利用して求める

カードの枚数が多くなると、番号3が記録されるようなカードの取り出し方も増え、それぞれの場合の確率の計算も繁雑になってくる。

そこで確率  $p_5$  について，初めに取り出すカードの番号に着目して次のように考えてみよう。

初めに  $\boxed{3}$  を取り出す場合，その確率は  $\frac{1}{5}$  である。

初めに  $\boxed{4}$  を取り出した場合，箱の中には  $\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3}$  の 3 枚のカードが入っている．この状態から試

行を繰り返して  $\boxed{3}$  を取り出す確率は  $p_3$  である。  
したがって、初めに  $\boxed{4}$  を取り出し、その後のある  
試行で  $\boxed{3}$  を取り出す確率は  $\frac{1}{5} \times p_3$  である。

初めに [5] を取り出した場合、箱の中には [1][2][3][4] の4枚のカードが入っている。この状態から試行を繰り返して [3] を取り出す確率は  $p_4$  である。したがって、初めに [5] を取り出し、その後のある試行で [3] を取り出す確率は  $\frac{1}{5} \times p_4$  である。

以上より,

$$p_5 = \frac{1}{5} + \frac{1}{5}p_3 + \frac{1}{5}p_4.$$

このように、 $k_5$  を  $k_3, k_4$  で表すことができたの

で,  $p_3=p_4=\frac{1}{3}$  を利用することによって

$$p_5 = \frac{1}{5} + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{3}$$

を得る。

この例から一般に、 $p_3=p_4=\cdots=p_k=\frac{1}{3}$  を仮定すれば  $p_{k+1}=\frac{1}{3}$  が導かれることが期待される。そこで【解答】のような数学的帰納法を用いた。

### ③ $p_n = \frac{1}{3}$ の証明における帰納的構造

【解答】(2)における数学的帰納法のしくみを図示すると次のようになる。

$$\begin{array}{ccc}
 \text{[ I ]} & p_3 = \frac{1}{3} & \xrightarrow{\text{[ II ]}(k=3)} p_4 = \frac{1}{3} \\
 \downarrow & & \swarrow \\
 & p_3 = p_4 = \frac{1}{3} & \xrightarrow{\text{[ II ]}(k=4)} p_5 = \frac{1}{3} \\
 \downarrow & & \swarrow \\
 & p_3 = p_4 = p_5 = \frac{1}{3} & \xrightarrow{\text{[ II ]}(k=5)} p_6 = \frac{1}{3} \\
 \downarrow & & \swarrow \\
 \vdots & & \vdots
 \end{array}$$

同様な数学的帰納法を用いると、本問の試行において、一般に番号  $m$  ( $m$  は  $n$  以下の自然数) が記録される確率は  $\frac{1}{m}$  であることが示される。

【参考】

$n=5$  のとき、番号 3 が記録されるようなカードの取り出し方を別の角度から考えてみよう。

$$(ウ) \text{ の確率は } \frac{1}{5},$$

$$(エ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3},$$

$$(オ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4},$$

$$(カ) \text{ の確率は } \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3}.$$

これら 4 つの確率の値は

$$\frac{1}{5} \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)$$

を展開して得られる

$$\frac{1}{5} \cdot 1 \cdot 1 + \frac{1}{5} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1 + \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3}$$

における 4 個の項の値と一致している。

取り出されるカード		展開における項	
	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">5</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">3</div>		
(ウ)	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">×</div> <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">×</div> ○ ……	$\frac{1}{5} \cdot 1 \cdot 1$	
(エ)	×	○ ○ ……	$\frac{1}{5} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3}$
(オ)	○ × ○ ……	$\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1$	
(カ)	○ ○ ○ ……	$\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{3}$	

○はカードが取り出されてその番号が記録されることを表し、×はその番号が記録されないことを表している。

同様に考えると、一般に  $n$  枚のカードの場合、番号  $m$  が記録される確率は

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n} \cdot \left(1 + \frac{1}{n-1}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{n-2}\right) \cdots \left(1 + \frac{1}{m}\right) \\ &= \frac{1}{n} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot \frac{n-1}{n-2} \cdots \frac{m+1}{m} \\ &= \frac{1}{m} \quad (n \geq m+1) \end{aligned}$$

となる。(これは  $n=m$  のときも成り立つ。)

3

$xyz$  空間において次の問に答えよ。

(1)  $xz$  平面において考える。

媒介変数  $t$  を用いて表された曲線

$$\begin{cases} x = t - \sin t, \\ z = 1 - \cos t \end{cases} \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$$

を  $C$  とする。

(i)  $C$  の概形を図示せよ。

(ii)  $C$  は直線  $x=\pi$  に関して対称であることを示せ。

(iii) 直線  $z=k$  ( $0 \leq k \leq 2$ ) と  $C$  との共有点の  $x$  座標を  $\alpha(k)$ ,  $\beta(k)$  (ただし  $\alpha(k) \leq \beta(k)$ ) とする。このとき、 $\alpha(k) + \beta(k)$  の値を答えよ。

また、定積分  $\int_0^2 \{\beta(k) - \alpha(k)\} dk$  を求めよ。

(2)  $0 \leq t \leq 2\pi$  を満たす実数  $t$  に対して 2 つの点

$$P(t - \sin t, 0, 1 - \cos t),$$

$$Q(0, t - \sin t, 1 - \cos t)$$

を定める。 $t$  が  $0 \leq t \leq 2\pi$  の範囲を変化するとき、線分 PQ が描く曲面と 3 つの座標平面で囲まれる立体の体積を求めよ。

【配点】 50点

(1)(i) 10点 (ii) 6点 (iii) 16点

(2) 18点

【解答】

(1)(i)  $x = t - \sin t$  より

$$\frac{dx}{dt} = 1 - \cos t.$$

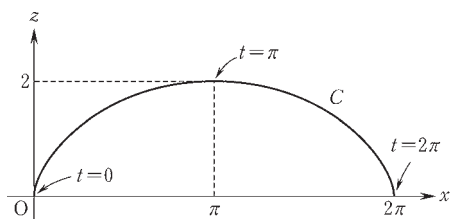
$z = 1 - \cos t$  より

$$\frac{dz}{dt} = \sin t.$$

よって、点  $(x, z)$  の移動の様子は次のようになる。

$t$	0	…	$\pi$	…	$2\pi$
$\frac{dx}{dt}$		+	+	+	
$\frac{dz}{dt}$		+	0	−	
$(x, z)$	(0, 0)	↗	( $\pi$ , 2)	↘	(2 $\pi$ , 0)

これより、 $C$  の概形は次の図である。



…(答)

$$(ii) \quad \begin{cases} f(t) = t - \sin t, \\ g(t) = 1 - \cos t \end{cases}$$

とおくと,

$$\begin{aligned} f(\pi + \theta) &= \pi + \theta + \sin \theta, \\ f(\pi - \theta) &= \pi - \theta - \sin \theta \end{aligned}$$

より,

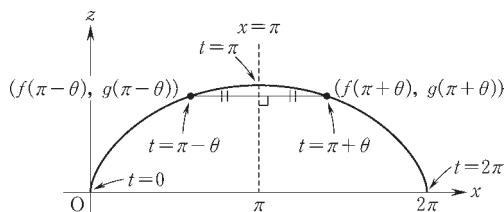
$$\frac{f(\pi + \theta) + f(\pi - \theta)}{2} = \pi. \quad \dots \textcircled{1}$$

また,

$$\begin{aligned} g(\pi + \theta) &= 1 + \cos \theta, \\ g(\pi - \theta) &= 1 + \cos \theta \end{aligned}$$

より,

$$g(\pi + \theta) = g(\pi - \theta). \quad \dots \textcircled{2}$$

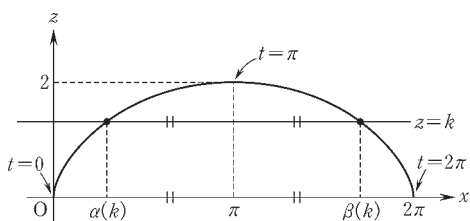


①, ②より,  $t = \pi - \theta, \pi + \theta$  に対応する  $C$  上の2点は直線  $x = \pi$  に関して対称である.

これは任意の  $\theta$  に対して成り立ち,  $0 \leq \theta \leq \pi$  のとき  $0 \leq \pi - \theta \leq \pi, \pi \leq \pi + \theta \leq 2\pi$  だから, 曲線  $C$  は直線  $x = \pi$  に関して対称である.

(証明終り)

(iii)



(ii)より曲線  $C$  は直線  $x = \pi$  に関して対称であるから,

$$\frac{\alpha(k) + \beta(k)}{2} = \pi.$$

よって,

$$\alpha(k) + \beta(k) = 2\pi. \quad \dots \text{(答)}$$

次に

$$I = \int_0^2 \{\beta(k) - \alpha(k)\} dk$$

とおく.

(1)(iii)のこれ以降の解答として, 以下の2通り)を載せる.

【解1】

$C$  と  $x$  軸が囲む図形を  $D$  とすると,

$\beta(k) - \alpha(k)$  は直線  $z = k$  による  $D$  の切り口の長さであるから, 定積分  $I$  は  $D$  の面積を表す. よって

$$I = \int_0^{2\pi} z \, dx,$$

$$z = 1 - \cos t, \quad dx = (1 - \cos t) \, dt,$$

$$\begin{array}{c|c} x & 0 \rightarrow 2\pi \\ \hline t & 0 \rightarrow 2\pi \end{array}$$

より,

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{2\pi} (1 - \cos t) \cdot (1 - \cos t) \, dt \\ &= \int_0^{2\pi} (1 - 2\cos t + \cos^2 t) \, dt \\ &= \int_0^{2\pi} \left( 1 - 2\cos t + \frac{1 + \cos 2t}{2} \right) \, dt \\ &= \left[ t - 2\sin t + \frac{1}{2} \left( t + \frac{1}{2} \sin 2t \right) \right]_0^{2\pi} \\ &= 3\pi. \end{aligned} \quad \dots \text{(答)}$$

(解1終り)

【解2】

$$\alpha(k) + \beta(k) = 2\pi \quad \text{より}$$

$$\beta(k) = 2\pi - \alpha(k)$$

だから,

$$\begin{aligned} I &= \int_0^2 \{2\pi - 2\alpha(k)\} dk \\ &= 4\pi - 2 \int_0^2 \alpha(k) dk. \end{aligned}$$

直線  $z = k$  と  $C$  との共有点の  $x$  座標のうち  $0 \leq x \leq \pi$  を満たすものが  $\alpha(k)$  なので,

$$\begin{cases} \alpha(k) = t - \sin t, \\ k = 1 - \cos t \end{cases} \quad (0 \leq t \leq \pi)$$

と表せる.

よって,

$$\begin{array}{c|c} k & 0 \rightarrow 2 \\ \hline t & 0 \rightarrow \pi \end{array}$$

なので,

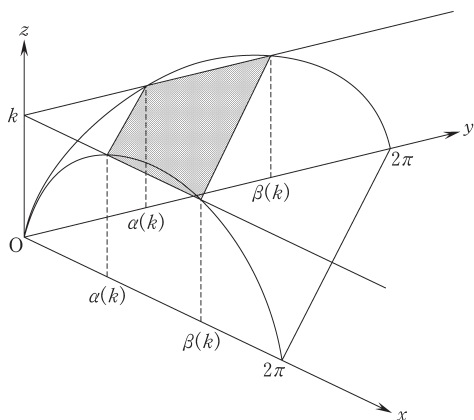
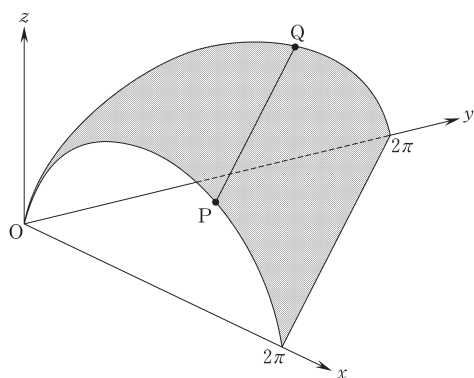
$$\begin{aligned} &\int_0^2 \alpha(k) dk \\ &= \int_0^\pi (t - \sin t) \sin t \, dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \int_0^\pi t \sin t \, dt - \int_0^\pi \sin^2 t \, dt \\
&= \left[ t(-\cos t) \right]_0^\pi + \int_0^\pi \cos t \, dt - \int_0^\pi \frac{1}{2}(1 - \cos 2t) \, dt \\
&= \pi + \left[ \sin t \right]_0^\pi - \frac{1}{2} \left[ t - \frac{1}{2} \sin 2t \right]_0^\pi \\
&= \pi - \frac{\pi}{2} \\
&= \frac{\pi}{2}.
\end{aligned}$$

よって,

$$\begin{aligned}
I &= 4\pi - 2 \cdot \frac{\pi}{2} \\
&= 3\pi. \quad \dots(\text{答}) \\
&\quad (\text{解 2 終り})
\end{aligned}$$

(2)



立体を平面  $z=k$  ( $0 \leq k \leq 2$ ) で切ったときの切り口の図形の面積を  $S(k)$  とする.

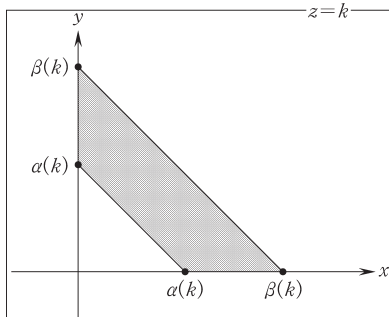
線分 PQ が  $xy$  平面に平行であることに注意すると, 線分 PQ が平面  $z=k$  上にあるのは

$$(P \text{ の } x \text{ 座標}) = (Q \text{ の } y \text{ 座標}) = \alpha(k),$$

または

$$(P \text{ の } x \text{ 座標}) = (Q \text{ の } y \text{ 座標}) = \beta(k)$$

のときである.



平面  $z=k$  による立体の切り口は上図網かけ部の四角形であり, その面積は

$$\begin{aligned}
S(k) &= \frac{1}{2} \beta(k)^2 - \frac{1}{2} \alpha(k)^2 \\
&= \frac{1}{2} \{\beta(k) + \alpha(k)\} \{\beta(k) - \alpha(k)\}.
\end{aligned}$$

(1)(iii) より  $\beta(k) + \alpha(k) = 2\pi$  だから,

$$S(k) = \pi \{\beta(k) - \alpha(k)\}.$$

よって, 求める体積  $V$  は,

$$\begin{aligned}
V &= \int_0^2 S(k) \, dk \\
&= \pi \int_0^2 \{\beta(k) - \alpha(k)\} \, dk \\
&= \pi \cdot I \\
&= \pi \cdot 3\pi \quad ((1)(iii) \text{ より}) \\
&= 3\pi^2. \quad \dots(\text{答})
\end{aligned}$$

### 【解説】

#### ① 『サイクロイド』について

$xz$  平面上で,

$$C: \begin{cases} x = t - \sin t, \\ z = 1 - \cos t \end{cases} \quad (0 \leq t \leq 2\pi)$$

は, 「サイクロイド」と呼ばれる有名曲線である.

概形は (1)(i) で図示したが, ここではもう少し深く調べることにする.

まず,  $0 < t < 2\pi$  において,

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\frac{dz}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{\sin t}{1 - \cos t},$$

$$\begin{aligned}
\frac{d^2 z}{dx^2} &= \frac{d}{dx} \left( \frac{dz}{dx} \right) \\
&= \frac{d}{dt} \left( \frac{\sin t}{1 - \cos t} \right) \cdot \frac{1}{\frac{dx}{dt}} \\
&= \frac{(\cos t)(1 - \cos t) - \sin t \cdot \sin t}{(1 - \cos t)^2} \cdot \frac{1}{1 - \cos t} \\
&= \frac{-(1 - \cos t)}{(1 - \cos t)^3} \\
&= -\frac{1}{(1 - \cos t)^2}.
\end{aligned}$$

よって  $\frac{d^2z}{dx^2} < 0$  が成り立つので、曲線  $C$  は上に凸である。

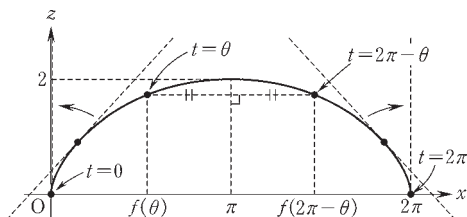
次に、接線の傾きについて考える。

$$\begin{aligned}\frac{dz}{dx} &= \frac{\sin t}{1 - \cos t} \\ &= \frac{(1 + \cos t) \sin t}{1 - \cos^2 t} \\ &= \frac{1 + \cos t}{\sin t}\end{aligned}$$

だから、

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow +0} \frac{dz}{dx} &= +\infty, \\ \lim_{t \rightarrow 2\pi - 0} \frac{dz}{dx} &= -\infty\end{aligned}$$

が成り立つ。これより、 $C$  上の動点  $P$  が点  $(0, 0)$ 、点  $(2\pi, 0)$  に近づくとき、 $P$  における接線は  $x$  軸に垂直な直線に近づくことがわかる。

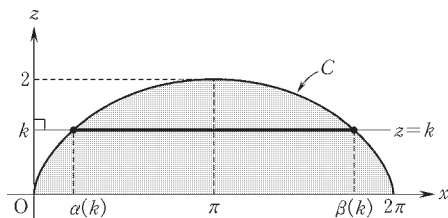


また、曲線  $C$  は (1)(ii) で示したように直線  $x = \pi$  に関して対称であるが、これは、

$$\begin{cases} \frac{f(\theta) + f(2\pi - \theta)}{2} = \pi, \\ g(\theta) = g(2\pi - \theta) \end{cases}$$

が成り立つことから言ってもよい。(上図参照)

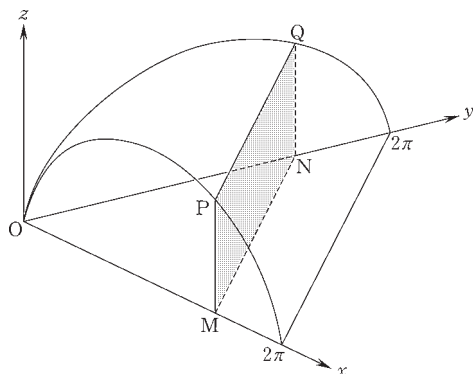
## ② $\int_0^2 \{\beta(k) - \alpha(k)\} dk$ の意味



上図において、 $z = k$  に対応する太線の長さは  $\beta(k) - \alpha(k)$  である。よって、**【解説】②** からわかるように、 $I = \int_0^2 \{\beta(k) - \alpha(k)\} dk$  は  $C$  と  $x$  軸で囲まれる部分の面積を表す。

## ③ 体積の別の求め方

設問の流れとは別な方法で (2) の体積を計算することもできる。



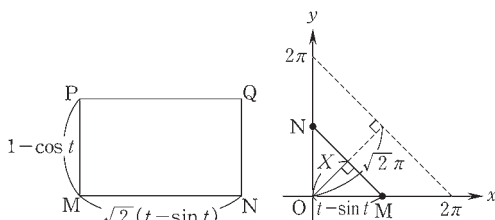
2つの点

$$\begin{aligned}P(t - \sin t, 0, 1 - \cos t), \\ Q(0, t - \sin t, 1 - \cos t)\end{aligned} \quad (\text{ただし, } 0 < t < 2\pi)$$

を結ぶ線分  $PQ$  を含み  $xy$  平面に垂直な平面、つまり  $P$  を通りベクトル  $(1, 1, 0)$  に垂直な平面を  $\gamma$  とする。

$$M(t - \sin t, 0, 0), N(0, t - \sin t, 0)$$

とくと、 $\gamma$  による立体の切り口は長方形  $PMNQ$  である。



原点  $O$  から平面  $\gamma$  へ下ろした垂線の長さを  $X$  ( $0 \leq X \leq \sqrt{2}\pi$ ) とし、 $\gamma$  による立体の切り口の面積を  $T$  とすると、

$$\begin{cases} T = \sqrt{2}(t - \sin t)(1 - \cos t) \quad (t = 0, 2\pi \text{ でも成立}), \\ X = \frac{1}{\sqrt{2}}(t - \sin t) \end{cases}$$

であり、求める体積  $V$  は

$$V = \int_0^{\sqrt{2}\pi} T dX.$$

ここで、

$$dX = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - \cos t) dt, \quad \begin{array}{c|c} X & 0 \rightarrow \sqrt{2}\pi \\ \hline t & 0 \rightarrow 2\pi \end{array}$$

だから、

$$\begin{aligned}V &= \int_0^{2\pi} \sqrt{2}(t - \sin t)(1 - \cos t) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - \cos t) dt \\ &= \int_0^{2\pi} (t - \sin t)(1 - \cos t)^2 dt \\ &= \int_0^{2\pi} t(1 - \cos t)^2 dt - \int_0^{2\pi} (1 - \cos t)^2 \sin t dt.\end{aligned}$$

ここで、

$$I_1 = \int_0^{2\pi} t(1 - \cos t)^2 dt,$$

$$I_2 = \int_0^{2\pi} (1 - \cos t)^2 \sin t dt$$

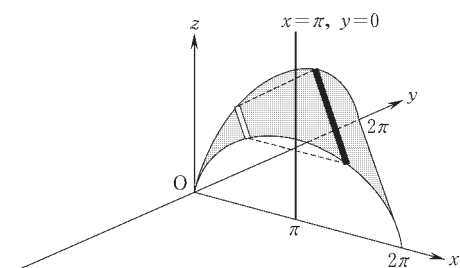
とおくと,

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^{2\pi} t \left( \frac{3}{2} - 2 \cos t + \frac{1}{2} \cos 2t \right) dt \\ &= \left[ t \left( \frac{3}{2} t - 2 \sin t + \frac{1}{4} \sin 2t \right) \right]_0^{2\pi} \\ &\quad - \int_0^{2\pi} \left( \frac{3}{2} t - 2 \sin t + \frac{1}{4} \sin 2t \right) dt \\ &= 2\pi \cdot 3\pi - \left[ \frac{3}{4} t^2 + 2 \cos t - \frac{1}{8} \cos 2t \right]_0^{2\pi} \\ &= 6\pi^2 - \frac{3}{4} \cdot 4\pi^2 \\ &= 3\pi^2, \\ I_2 &= \left[ \frac{1}{3} (1 - \cos t)^3 \right]_0^{2\pi} \\ &= 0 \end{aligned}$$

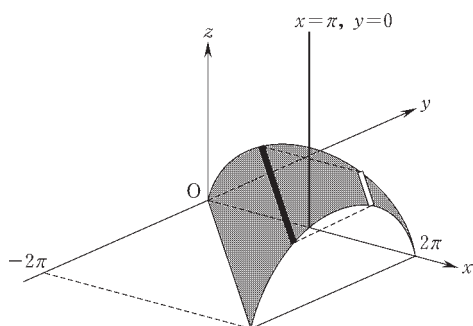
であるから,

$$V = I_1 - I_2 = 3\pi^2.$$

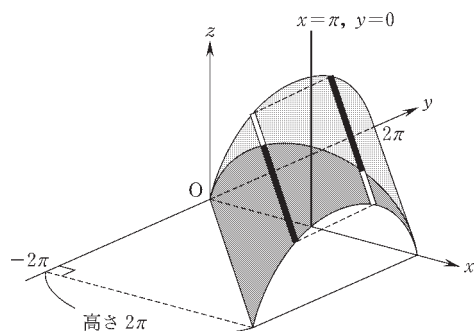
【参考】



本問の立体を、次図のように直線  $x=\pi, y=0$  のまわりに  $180^\circ$  回転したものを考える。



2つの立体を合わせる。このとき、2つの立体それぞれの  $xz$  平面上の面は、曲線  $C$  の対称性より完全に重なる。



この合わせた立体を、 $yz$  平面上の面を底面として見てみると、底面がサイクロイドと  $y$  軸で囲まれる図形である『斜サイクロイド柱』ができあがる。(2)で求める体積  $V$  は、この立体の体積の半分である。底面積が(1)(iii)より  $3\pi$  で、高さが  $2\pi$  であるから、

$$V = \frac{1}{2} \times 3\pi \cdot 2\pi = 3\pi^2$$

と求まる。

4

- (1)  $XY$  平面上で、点  $(r, 0)$  ( $r > 0$ ) を原点  $O$  のまわりに角  $\theta$  だけ回転した点を  $P$  とし、

$$\vec{u} = (r, 0), \vec{v} = (0, r)$$

とするとき、 $\overrightarrow{OP}$  を  $\vec{u}, \vec{v}, \theta$  を用いて表せ。

次に、 $xyz$  空間の 2 点  $M(4, 2, 1)$ ,

$N(5, 3, -3)$  とベクトル  $\vec{d} = (1, 1, 2)$  を考える。

$M$  を通り  $\vec{d}$  に平行な直線を  $l$  とし、 $N$  から  $l$  に垂線  $NH$  を下ろす。

- (2) 点  $H$  の座標を求めよ。

- (3)  $\overrightarrow{HN} = \vec{a}$  とする。次の条件を満たすベクトル  $\vec{b}$  の成分を求めよ。

$$\vec{b} \perp \vec{a}, \vec{b} \perp \vec{d}, |\vec{b}| = |\vec{a}|$$

ただし、 $\vec{b}$  の  $x$  成分は正であるとする。

- (4)  $H$  を通り  $\vec{d}$  に垂直な平面上で、中心が  $H$  であり、頂点の 1 つが  $N$  である正八角形を考える。この正八角形の頂点のうち、原点  $O$  から最も遠い点の座標を求めよ。なお、正八角形の中心とは正八角形に外接する円の中心のことをいう。

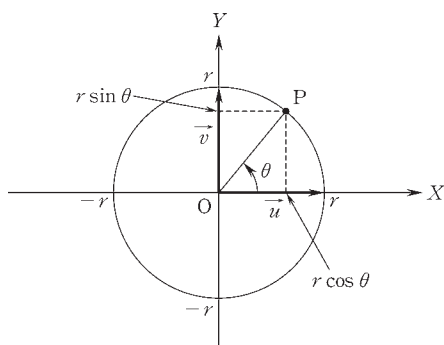
【配点】 50点

- (1) 8点 (2) 12点 (3) 8点 (4) 22点

【解答】

- (1) 三角関数の定義より、 $P$  の座標は

$$(r \cos \theta, r \sin \theta).$$



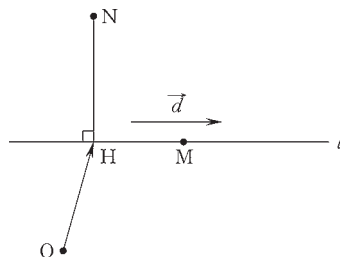
したがって、

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= (r \cos \theta, r \sin \theta) \\ &= \cos \theta (r, 0) + \sin \theta (0, r) \\ &= (\cos \theta) \vec{u} + (\sin \theta) \vec{v}. \end{aligned} \quad \dots(\text{答})$$

- (2)  $H$  は  $l$  上にあるから、実数  $t$  を用いて、

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OM} + t \vec{d}$$

と表せる。



このとき、

$$\begin{aligned} \overrightarrow{NH} &= \overrightarrow{OH} - \overrightarrow{ON} \\ &= (\overrightarrow{OM} + t \vec{d}) - \overrightarrow{ON} \\ &= (\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{ON}) + t \vec{d}. \end{aligned}$$

ここで、 $\overrightarrow{NH} \perp \vec{d}$  であるから、

$$\overrightarrow{NH} \cdot \vec{d} = 0.$$

$$(\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{ON}) \cdot \vec{d} + t |\vec{d}|^2 = 0.$$

$$\overrightarrow{OM} - \overrightarrow{ON} = (-1, -1, 4), \vec{d} = (1, 1, 2) \text{ より、}$$

$$6 + 6t = 0 \text{ すなわち } t = -1.$$

したがって、

$$\overrightarrow{OH} = \overrightarrow{OM} - \vec{d} = (3, 1, -1)$$

だから、

$$H(3, 1, -1). \quad \dots(\text{答})$$

- (3) (2) より、

$$\vec{a} = \overrightarrow{HN} = (2, 2, -2).$$

求める  $\vec{b}$  の成分を  $(a, b, c)$  ( $a > 0$ ) とおくと、

$$\begin{cases} \vec{b} \perp \vec{a} \text{ より、} \vec{a} \cdot \vec{b} = 0, \\ \vec{b} \perp \vec{d} \text{ より、} \vec{d} \cdot \vec{b} = 0, \\ |\vec{b}| = |\vec{a}| \text{ より、} |\vec{b}|^2 = |\vec{a}|^2, \end{cases}$$

すなわち、

$$\begin{cases} 2a + 2b - 2c = 0, & \dots(1) \\ a + b + 2c = 0, & \dots(2) \\ a^2 + b^2 + c^2 = 12, & \dots(3) \end{cases}$$

① より、

$$a + b - c = 0. \quad \dots(1')$$

② - ①' より、

$$3c = 0 \text{ すなわち } c = 0. \quad \dots(4)$$

よって、①' より、

$$b = -a. \quad \dots(5)$$

④、⑤ を ③ に代入すると、

$$2a^2 = 12.$$

これと  $a > 0$  と ⑤ より、

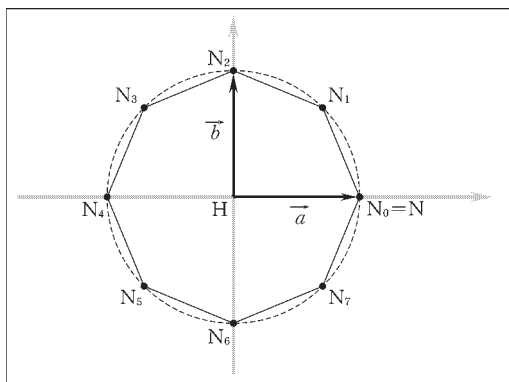
$$a = \sqrt{6}, b = -\sqrt{6}.$$

よって、

$$\vec{b} = (\sqrt{6}, -\sqrt{6}, 0). \quad \dots(\text{答})$$

- (4) 正八角形の頂点を、図のように  $N_0, N_1, N_2, \dots, N_7$  とする。





$\vec{a} \perp \vec{b}$  かつ  $|\vec{a}| = |\vec{b}| = \sqrt{12} = 2\sqrt{3}$  より, (1) と同様に考えて,

$$\overrightarrow{HN_k} = \left(\cos \frac{k}{4}\pi\right)\vec{a} + \left(\sin \frac{k}{4}\pi\right)\vec{b} \quad (k=0, 1, 2, \dots, 7).$$

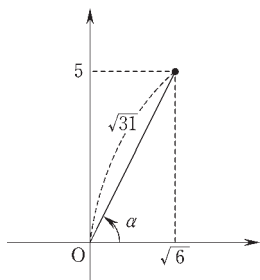
$\theta = \frac{k}{4}\pi$  とおくと,

$$\begin{aligned} \overrightarrow{ON_k} &= \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HN_k} \\ &= \overrightarrow{OH} + (\cos \theta)\vec{a} + (\sin \theta)\vec{b} \end{aligned}$$

だから,

$$\begin{aligned} |\overrightarrow{ON_k}|^2 &= |\overrightarrow{OH} + (\cos \theta)\vec{a} + (\sin \theta)\vec{b}|^2 \\ &= |\overrightarrow{OH}|^2 + (\cos \theta)^2 |\vec{a}|^2 + (\sin \theta)^2 |\vec{b}|^2 \\ &\quad + 2(\cos \theta)\overrightarrow{OH} \cdot \vec{a} + 2(\sin \theta)\overrightarrow{OH} \cdot \vec{b} \\ &\quad + 2(\cos \theta \sin \theta)\vec{a} \cdot \vec{b} \\ &= 11 + 12 \cos^2 \theta + 12 \sin^2 \theta \\ &\quad + 20 \cos \theta + 4\sqrt{6} \sin \theta + 0 \\ &= 4(\sqrt{6} \sin \theta + 5 \cos \theta) + 23 \quad \dots \textcircled{6} \\ &= 4\sqrt{31} \sin(\theta + \alpha) + 23. \end{aligned}$$

ここに,  $\alpha$  は次図の角である.



$$\tan^2 \alpha = \left(\frac{5}{\sqrt{6}}\right)^2 = \frac{25}{6} (< 5)$$

であり,

$$\tan^2 \frac{3}{8}\pi = \frac{1 - \cos \frac{3}{4}\pi}{1 + \cos \frac{3}{4}\pi} = 3 + 2\sqrt{2} (> 5)$$

であるから,

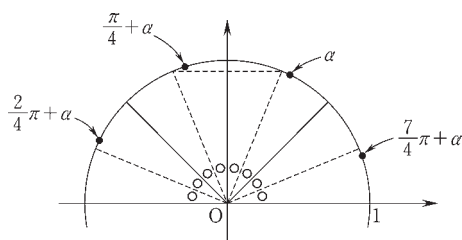
$$1 < \tan^2 \alpha < \tan^2 \frac{3}{8}\pi.$$

$\tan \alpha > 0$ ,  $\tan \frac{3}{8}\pi > 0$  も考慮すると,

$$\tan \frac{\pi}{4} < \tan \alpha < \tan \frac{3}{8}\pi$$

より

$$\frac{\pi}{4} < \alpha < \frac{3}{8}\pi.$$



$|\overrightarrow{ON_k}|^2$  が最大になるのは  $\sin(\theta + \alpha)$  が最大となるときであり, これは  $\theta + \alpha = \frac{k}{4}\pi + \alpha$  が最も  $\frac{\pi}{2}$  に近いときである. よって,  $|\overrightarrow{ON_k}|^2$  を最大にする  $k$  は 1 である.

$$\overrightarrow{ON_1} = \overrightarrow{OH} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{a} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{b}$$

だから, 求める頂点の座標は,

$$N_1(3 + \sqrt{2} + \sqrt{3}, 1 + \sqrt{2} - \sqrt{3}, -1 - \sqrt{2}). \dots (\text{答})$$

### 【解説】

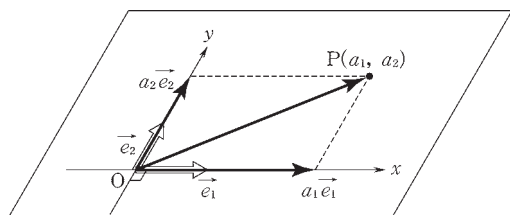
#### ① ベクトルによる直交座標の表現

$x$  軸,  $y$  軸の正の向きの単位ベクトルをそれぞれ  $\vec{e}_1, \vec{e}_2$  とすると, 点  $P(a_1, a_2)$  について,

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OP} &= (a_1, a_2) \\ &= a_1(1, 0) + a_2(0, 1) \\ &= a_1\vec{e}_1 + a_2\vec{e}_2 \quad \dots (*) \end{aligned}$$

と表せる.

逆に, (\*) の形で表せるときに  $(a_1, a_2)$  を  $P$  の座標と定めることもできる. この考え方は, 座標の導入されていない平面に, 新たに座標軸を定めるときに便利である. すなわち, ある平面上の適当な点  $O$  と, 2つの垂直な単位ベクトル  $\vec{e}_1, \vec{e}_2$  に対し,  $O$  が原点,  $\vec{e}_1, \vec{e}_2$  の向きがそれぞれ  $x$  軸,  $y$  軸の正の向きとなるような座標軸を定めるとき, (\*) を満たす点  $P$  の座標を  $(a_1, a_2)$  と考える.



こうすると、この平面上の図形は通常の  $xy$  平面上の図形と同様に扱うことができる。

【解答】では、(1)で考えた  $XY$  平面上における円周上の点の表し方を、(4)において空間内のある平面上における円周上の点を表現するのに用いている。

## ② 直線に下ろした垂線の足

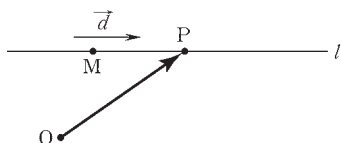
点  $N$  から直線  $l$  に下ろした垂線の足  $H$  を求めるには、 $H$  が  $l$  上にあることと、 $\overrightarrow{NH} \perp l$  であることを用いる。

$H$  の座標を求めるには、 $\overrightarrow{OH}$  の成分を求めればよい。

一般に、点  $M$  を通り  $\vec{d}$  に平行な直線  $l$  上の点  $P$  は、

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + t\vec{d} \quad \dots (*)$$

と表せる。これを  $l$  のベクトル方程式という。



$H$  も  $l$  上の点であるから、 $\overrightarrow{OH}$  を (\*) の右辺の形で表すことができ、これは、

$$\overrightarrow{OH} = (4, 2, 1) + t(1, 1, 2)$$

のように、 $\overrightarrow{OH}$  が 1 つの媒介変数  $t$  のみで表せることを意味する。

これを、 $\overrightarrow{NH} \perp l$ 、すなわち  $\overrightarrow{NH} \cdot \vec{d} = 0$  に代入すれば  $t$  が求まり、 $H$  の座標も求まる。

## ③ 2つのベクトルに垂直なベクトル

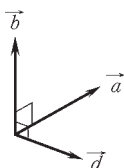
空間において、平行でない 2 つのベクトル  $\vec{a}, \vec{d}$  の両方に垂直なベクトルの方向は 1 つに定まる。

ただし、方向は定まっても大きさは定まらないから、

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = 0 \quad \text{かつ} \quad \vec{d} \cdot \vec{b} = 0$$

から定まるのは  $\vec{b}$  の 3 つの成分の比のみである。

(3)では  $\vec{b}$  の大きさと  $x$  成分が正であることも与えているから、成分も定まる。



## ④ ベクトル $\vec{d}$ に垂直な平面

$H$  を通り  $\vec{d}$  に垂直な平面

とは、

$$\overrightarrow{HP} \cdot \vec{d} = 0$$

を満たす点  $P$  全体が作る平面のことである。

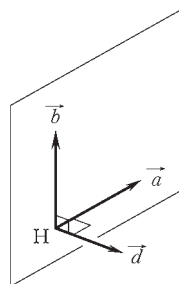
(3)で定めた  $\vec{a}, \vec{b}$  は  $\vec{d}$  に垂直であるから、 $\vec{a}, \vec{b}$  はこの平面に平行である。

したがって、この平面は、

$$\overrightarrow{HP} = s\vec{a} + t\vec{b} \quad (s, t \text{ は実数})$$

と表せる点  $P$  全体が作る平面のことでもある。(4)ではこのことを用いて、平面上のベクトル  $\overrightarrow{HN_k}$  を  $\vec{a}$  と  $\vec{b}$  で表した。

なお、③で述べたように、平行でない 2 つのベクトルに垂直な方向は 1 つに定まるから、この平面に垂直なベクトルは、 $\vec{a}, \vec{b}$  の 2 つのベクトルに垂直なベクトルということができる。



## ⑤ (4)の部分的別解

【解答】の (4)において、

$$|\overrightarrow{ON_k}|^2 = 4(\sqrt{6} \sin \theta + 5 \cos \theta) + 23 \quad \dots \textcircled{6}$$

まで変形した時点で、 $|\overrightarrow{ON_k}|$  を最大にする  $\theta$  の候補は、 $(\sin \theta, \cos \theta)$  の符号を考慮して、

$$\theta = 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}$$

まで絞り込むことができる。

さらに、

$$|\overrightarrow{ON_k}|^2 = 4\sqrt{3} \sin(\theta + \alpha) + 23$$

まで変形し、【解答】の図より  $\frac{\pi}{4} < \alpha < \frac{\pi}{2}$  を読み取れば、

$$\theta = 0, \frac{\pi}{4}$$

まで絞り込むことができる。候補が 2 つ (あるいは 3 つ) であれば、それらを上記 ⑥ に代入して得られる値を比べることも有効である。

## 【(4)の部分的別解】

( $|\overrightarrow{ON_k}|^2 = 4\sqrt{3} \sin(\theta + \alpha) + 23$  を導くまでは

【解答】と同じ。)

$\frac{\pi}{4} < \alpha < \frac{\pi}{2}$  より、 $|\overrightarrow{ON_k}|$  を最大にする  $\theta$  の候補

は、 $\theta = 0, \frac{\pi}{4}$  である。

$$|\overrightarrow{ON_k}|^2 = 4(\sqrt{6} \sin \theta + 5 \cos \theta) + 23$$

を用いると、 $|\overrightarrow{ON_k}|^2$  の値は、 $\theta = 0$  のとき  $20 + 23$ 、

$\theta = \frac{\pi}{4}$  のとき  $4\sqrt{3} + 10\sqrt{2} + 23$  である。

ここで、

$$(4\sqrt{3}+10\sqrt{2})^2-20^2=8(10\sqrt{6}-19)>0$$

$$(\sqrt{6}>2 \text{ より})$$

であるから、

$$4\sqrt{3}+10\sqrt{2}>20.$$

よって、 $\theta=\frac{\pi}{4}$  すなわち  $k=1$  のとき  $|\overrightarrow{ON_k}|^2$  は最大になる.

$$\overrightarrow{ON_1}=\overrightarrow{OH}+\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{a}+\frac{1}{\sqrt{2}}\vec{b}$$

だから、求める頂点の座標は、

$$N_1(3+\sqrt{2}+\sqrt{3}, 1+\sqrt{2}-\sqrt{3}, -1-\sqrt{2}). \dots(\text{答})$$

$$((4) \text{ の部分的別解終り})$$

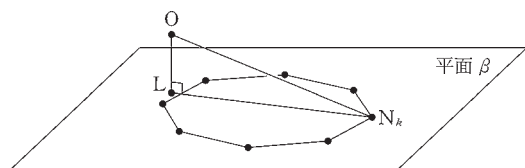
#### ⑥ (4) の別解

H を含み  $\vec{d}$  に垂直な平面を  $\beta$  とする.

O から  $\beta$  に下ろした垂線の足を L とすると、

$$ON_k^2=OL^2+LN_k^2.$$

OL は一定であるから、 $LN_k$  が最大となる  $k$  に対して  $ON_k$  も最大となる.



ここで、L が  $\beta$  上にあることから、

$$\overrightarrow{HL}=s\vec{a}+t\vec{b} \quad (s, t \text{ は実数})$$

とおける. このとき

$$\overrightarrow{OL}=\overrightarrow{OH}+\overrightarrow{HL}=\overrightarrow{OH}+s\vec{a}+t\vec{b}$$

であり、これが  $\beta$  と垂直であることから、

$$\overrightarrow{OL} \cdot \vec{a} = 0 \quad \text{かつ} \quad \overrightarrow{OL} \cdot \vec{b} = 0.$$

$$\overrightarrow{OL} \cdot \vec{a} = 0 \text{ より、}$$

$$\overrightarrow{OH} \cdot \vec{a} + s|\vec{a}|^2 + t\vec{b} \cdot \vec{a} = 0.$$

$$10+12s+0=0 \text{ すなわち } s=-\frac{5}{6}.$$

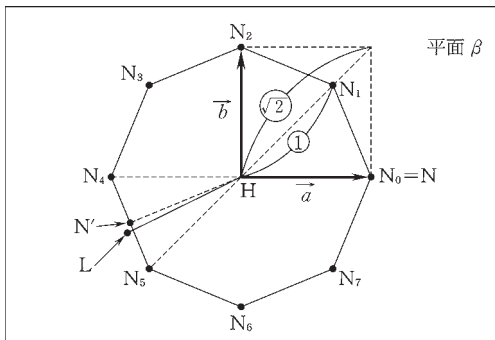
$$\overrightarrow{OL} \cdot \vec{b} = 0 \text{ より、}$$

$$\overrightarrow{OH} \cdot \vec{b} + s\vec{a} \cdot \vec{b} + t|\vec{b}|^2 = 0.$$

$$2\sqrt{6}+0+12t=0 \text{ すなわち } t=-\frac{\sqrt{6}}{6}.$$

よって、

$$\overrightarrow{HL}=-\frac{1}{6}(5\vec{a}+\sqrt{6}\vec{b}).$$



$s < t < 0$  より、L は  $\angle N_4HN_5$  内にある.

次に、辺  $N_4N_5$  の中点を  $N'$  とし、直線  $HN'$  と L の位置関係を調べる.

$$\begin{aligned} \overrightarrow{HN'} &= \frac{1}{2}(\overrightarrow{HN_4} + \overrightarrow{HN_5}) \\ &= \frac{1}{2}(-\overrightarrow{HN_0} - \overrightarrow{HN_1}) \\ &= \frac{1}{2}\left\{-\vec{a} - \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{a} + \vec{b})\right\} \\ &= -\frac{1}{2\sqrt{2}}\{(\sqrt{2}+1)\vec{a} + \vec{b}\} \end{aligned}$$

であるから、 $\overrightarrow{HN'}$  において、

$$\frac{\vec{b} \text{ の係数}}{\vec{a} \text{ の係数}} = \frac{1}{\sqrt{2}+1} = \sqrt{2}-1.$$

一方、 $\overrightarrow{HL}$  において、

$$\frac{\vec{b} \text{ の係数}}{\vec{a} \text{ の係数}} = \frac{\sqrt{6}}{5}$$

であり、

$$(\sqrt{2}-1)^2 - \left(\frac{\sqrt{6}}{5}\right)^2 = \frac{69-50\sqrt{2}}{25} < 0$$

$$(\sqrt{2} > 1.4 \text{ より}),$$

すなわち、

$$\frac{\sqrt{6}}{5} > \sqrt{2}-1$$

であるから、L は直線  $HN'$  に関して  $N_5$  と同じ側である.

よって、L は  $N_4$  より  $N_5$  の方に近い.

したがって、 $LN_k$  が最大となる  $k$  は 1 であるから、

$$\overrightarrow{ON_1}=\overrightarrow{OH}+\overrightarrow{HN_1}=\overrightarrow{OH}+\frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{a}+\vec{b})$$

より、求める頂点の座標は、

$$N_1(3+\sqrt{2}+\sqrt{3}, 1+\sqrt{2}-\sqrt{3}, -1-\sqrt{2}). \dots(\text{答})$$

$$((4) \text{ の別解終り})$$

# 【理 科】

## ■ 物 理 ■

### ① 力学総合問題

#### 【解答】

問 1	$v_0 = d\sqrt{\frac{k}{m}}$	問 2	$\frac{7}{12}v_0$
問 3	最大値 $\frac{1}{6}d$	時間	$\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
問 4	$V = v$	問 5	$v = d\sqrt{\frac{k}{6m}}$
問 6	$\frac{1}{2}d$	問 7	$\frac{1}{\sqrt{2}}d$

#### 【配点】 (34点)

問 1 4 点

問 2 6 点

問 3 最大値：4 点 時間：4 点

問 4 4 点

問 5 4 点

問 6 4 点

問 7 4 点

#### 【解説】

問 1 力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}kd^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\therefore v_0 = d\sqrt{\frac{k}{m}}$$

問 2 衝突直後の板 A、小球 B の速度を右向きを正として  $v_A$ 、 $v_B$  とおくと、運動量保存則より、

$$mv_0 = mv_A + 2mv_B \quad \cdots\cdots\textcircled{1}$$

はね返り係数の式より、

$$\frac{3}{4} = -\frac{v_A - v_B}{v_0} \quad \cdots\cdots\textcircled{2}$$

$$\text{式}\textcircled{1}, \textcircled{2} \text{より, } v_A = -\frac{1}{6}v_0 \quad v_B = \frac{7}{12}v_0$$

問 3 求める最大値を  $x_1$  とおく。衝突後の板 A についての力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}kx_1^2 \quad \therefore x_1 = |v_A|\sqrt{\frac{m}{k}}$$

問 2 と問 1 の結果を用いて変形すると、

$$x_1 = \frac{1}{6}v_0\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{1}{6}d$$

次に、時間について考える。A はばね振り子として単振動をする。振動の中心は点 O で、周期  $T$  は  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  と表される。この周期は振幅によらない。小球 B との衝突までは単振動の端から中心までの運動であり、時間は  $\frac{1}{4}T$  かかる。衝突後は  $v_A < 0$  より中心から左へ向かい、ばねの縮みが最大となる位置は単振動の端であり、その間の時間はやはり  $\frac{1}{4}T$  かる。したがって、求める時間は、

$$\frac{1}{4}T + \frac{1}{4}T = \frac{1}{2}T = \pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

問 4 A、B、台、それにばねを含めた物体系に対して運動量保存則が成立する。初め全体は静止し、全運動量は 0 なので、A と B が一体となって右へ動くと、台は左へ動く。したがって、右向きを正とすると、

$$0 = (m + 2m)v + (-3mV)$$

$$\therefore V=v \quad \cdots\cdots\textcircled{3}$$

問5 摩擦がないので、物体系に対して力学的エネルギー保存則が成立し、

$$\frac{1}{2}kd^2=\frac{1}{2}(m+2m)v^2+\frac{1}{2}\cdot 3m\cdot V^2$$

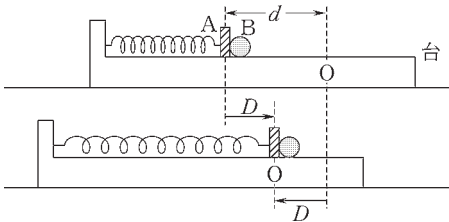
式③を代入すると、

$$\frac{1}{2}kd^2=\frac{1}{2}\cdot 3mv^2+\frac{1}{2}\cdot 3mv^2$$

$$\therefore v=d\sqrt{\frac{k}{6m}} \quad \cdots\cdots\textcircled{4}$$

問6 A, Bが点Oに達する前の、任意の位置でのA, Bの速さを $v'$ 、台の速さを $V'$ とすると、問4と同様にして運動量保存則より、 $V'=v'$ が得られる。つまり、A, Bと台の速さは常に等しい(時間と共に変化していくが)。したがって、同じ時間内に動く距離も等しい。求める台の移動距離を $D$ とすると、A, Bと台は逆方向にそれぞれ $D$ だけ動くことから、台上での(台に対する)A, Bの移動距離は $2D$ となる。これが題意より $d$ に等しいことから(次図を参照)、

$$2D=d \quad \therefore D=\frac{1}{2}d$$



問7 点Oを通過し、板Aから離れた小球Bは其の後は等速度運動をする。したがって、運動量保存則と力学的エネルギー保存則は、Aと台(ばねを含む)に対して適用することができる(実質的にBの考慮は不要になると考えてもよいし、Aと台はBから水平方向の力を受けないからと考えてもよい)。やがてばねの縮みが最大になるとき、Aは台に対して一瞬静止する(相対速度が0になる)ので、そのときのAと台の速度(水平面に対する速度)は等しい。それを $u$ とおくと、左向きを正として、運動量保存則より(右欄の図を参照)、

$$-mv+3m\cdot v=mu+3m\cdot u$$

$$\therefore u=\frac{1}{2}v \quad \cdots\cdots\textcircled{5}$$

一方、ばねの縮みの最大値を $x_2$ とおくと、力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}\cdot 3m\cdot v^2=\frac{1}{2}mu^2+\frac{1}{2}\cdot 3m\cdot u^2+\frac{1}{2}kx_2^2$$

$$2mv^2=2mu^2+\frac{1}{2}kx_2^2$$

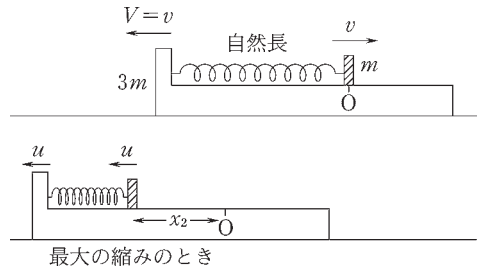
式⑤を用いると、

$$2mv^2=2m\left(\frac{v}{2}\right)^2+\frac{1}{2}kx_2^2$$

$$\therefore x_2=v\sqrt{\frac{3m}{k}}$$

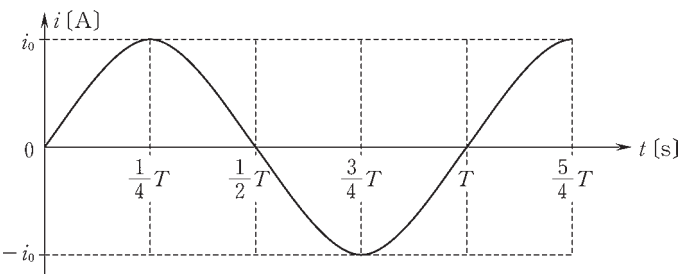
式④を用いれば、

$$x_2=\frac{1}{\sqrt{2}}d$$



## ② 電磁誘導と電気振動

### 【解答】

問 1	(1) $v_0 B \ell$ [V]	(2) Q→P	(3) $-L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ [V]
	(4) $-\frac{q}{C}$ [V]	(5) $2\pi\sqrt{LC}$ [s]	
問 2			
	$i_0 = \frac{2\pi Q_0}{T}$ [A]		
問 3	$Q_0 = C v_0 B \ell$ [C]	問 4	$\frac{Q_0^2}{2C} + \frac{1}{2} L i_0^2$ [J]
問 5	$\sqrt{2} Q_0$ [C]	問 6	$\frac{3}{8} T$ [s]
			$\frac{Q_0^2}{C}$ [J]

### 【配点】 (35点)

問 1 (1) 3点 (2) 2点 (3) 3点 (4) 3点 (5) 3点

問 2 グラフ：3点  $i_0$ ：3点

問 3 3点

問 4 3点 2点

問 5 4点

問 6 3点

### 【解説】

問 1 (1) 磁束密度の大きさが  $B$  の磁界中を、磁界に垂直に速さ  $v$  で動く長さ  $\ell$  の導体棒に生じる誘導起電力は公式化されていて、その大きさ  $V$  は、 $V = v B \ell$  と表される。ここでは  $v = v_0$  であり、

$$V = v_0 B \ell \text{ [V]}$$

(2) 誘導起電力の向きは、Q→P である。向きの決め方はいろいろな方法があり、各自確立しておかねばならない。

$V = v B \ell$  は導体棒中の自由電子が受けるローレンツ力に基づいて導出されていることも、この際改めて確認しておきたい。

もちろん、(1)、(2)はファラデーの電磁誘導の法則に基づいて求めることもできる。

(3) 自己誘導起電力  $V_s$  も公式となっていて、

起電力の正の向きと電流の正の向きを一致させれば、

$$V_s = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \text{ [V]}$$

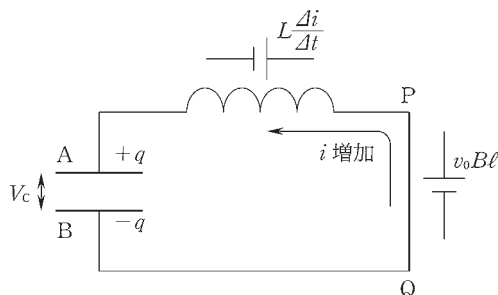
マイナス符号は、誘導起電力が電流の変化を妨げる向きに生じることに対応している。

(4) コンデンサーに着目して、極板 B に対する A の電位を  $V_c$  とすると、 $q = C V_c$  となっている。一方、B から導体棒とコイルをへて A の電位を調べると、 $v_0 B \ell + \left(-L \frac{\Delta i}{\Delta t}\right)$  となっている(次ページの図を参照)。したがって、

$$\begin{aligned} v_0 B \ell + \left(-L \frac{\Delta i}{\Delta t}\right) &= V_c \\ &= \frac{q}{C} \end{aligned}$$



$$\therefore v_0 B \ell + \left(-L \frac{di}{dt}\right) + \left(-\frac{q}{C}\right) = 0$$



$$0 \leq t \leq \frac{1}{4} T \text{ での状況}$$

回路を一周して、電位の上がり・下がり調べてもよい。いまの場合は B から反時計回りに一周し、コンデンサーで  $V_c$  だけ下がることに注意すれば、与えられた式がそのまま書き下せる。

(5) コイルとコンデンサーからなる回路では電気振動が生じ、その周期  $T$  は、

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \text{ [s]}$$

問2 与えられた電流の式  $i = \frac{dq}{dt}$  は厳密には微分として表される。与えられた  $q$  の式を時刻  $t$  で微分すると、

$$i = \frac{dq}{dt} = Q_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t \quad \cdots \textcircled{1}$$

これを図示すれば解答のようになる。

‘交流電流’と明記されていることと、図2より初め  $\left(0 \leq t \leq \frac{1}{2} T\right)$  コンデンサーの極板 A の電気量が増加しているの、電流  $i$  は  $i > 0$  となっていることが分かるから、定性的にも解答の正弦曲線は描ける。

(別解) 微分を用いずに式①を導くこともできる。与えられた  $q$  の式より、微小時間  $\Delta t$  の間の  $q$  の変化  $\Delta q$  は、

$$\Delta q = -Q_0 \Delta \left( \cos \frac{2\pi}{T} t \right)$$

$$\frac{2\pi}{T} t = \theta \text{ とおくと, } \frac{2\pi}{T} \Delta t = \Delta \theta \text{ であり,}$$

与えられた近似式を用いれば、

$$\begin{aligned} i = \frac{\Delta q}{\Delta t} &= -Q_0 \frac{\Delta(\cos \theta)}{\frac{T}{2\pi} \Delta \theta} = \frac{2\pi Q_0}{T} \sin \theta \\ &= \frac{2\pi Q_0}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t \end{aligned}$$

電流  $i$  の最大値  $i_0$  は、式①より、

$$i_0 = \frac{2\pi Q_0}{T} \text{ [A]} \quad \cdots \textcircled{2}$$

問3 前問の電流変化のグラフから、 $t = \frac{1}{4} T$  では電流は最大値となっていることが分かる。このとき、 $\frac{di}{dt} = 0$  であり、コイルの自己誘導起電力  $V_s$  は、

$$V_s = -L \frac{di}{dt} = 0$$

つまり、コイルは‘導線状態’となっている。すると、コンデンサーの電圧  $V_c$  と導体棒の電圧(誘導起電力)が等しいから、

$$V_c = v_0 B \ell \quad \cdots \textcircled{3}$$

一方、図2あるいは与えられた  $q$  の式より、 $t = \frac{1}{4} T$  でのコンデンサーの電気量は  $Q_0$  であり、

$$Q_0 = C V_c \quad \cdots \textcircled{4}$$

式③、④より、

$$Q_0 = C v_0 B \ell \text{ [C]}$$

問4 コンデンサーの静電エネルギーとコイルのエネルギー(コイルを流れる電流がつくる磁界のエネルギー)の和  $E$  を調べればよい。 $t = \frac{5}{4} T$  での電気量は図2より  $Q_0$  であり、問2のグラフから電流は  $i_0$  だから、

$$E = \frac{Q_0^2}{2C} + \frac{1}{2} L i_0^2 \text{ [J]}$$

問2で求めた式②を用い、さらに問1(5)の結果を  $T$  に代入すると、

$$i_0 = \frac{2\pi Q_0}{T} = \frac{2\pi Q_0}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{Q_0}{\sqrt{LC}}$$

$$\therefore E = \frac{Q_0^2}{2C} + \frac{1}{2} L \left( \frac{Q_0}{\sqrt{LC}} \right)^2 = \frac{Q_0^2}{C} \text{ [J]}$$

問5  $t = \frac{5}{4} T$  における電気量  $Q_0$  と電流  $i_0$  は、

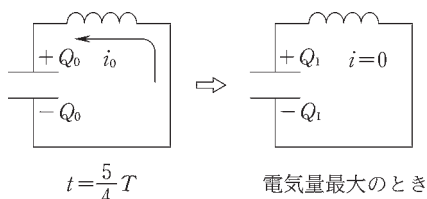
PQ を静止させた直後にも変わりはないことに注意する。求める電気量の最大値を  $Q_1$  とすると、それは電流が0となる瞬間に対応する。エネルギー保存則より(次ページの図を参照)、

$$\frac{Q_0^2}{2C} + \frac{1}{2} L i_0^2 = \frac{Q_1^2}{2C} + 0$$

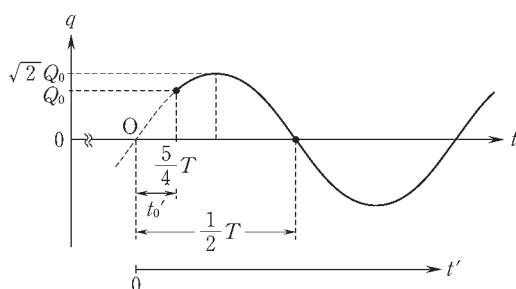
左辺は問4で求めた値に等しいから、

$$\frac{Q_0^2}{C} = \frac{Q_1^2}{2C}$$

$$\therefore Q_1 = \sqrt{2} Q_0 \text{ [C]}$$



問6  $t = \frac{5}{4} T$  以後の電気振動における、極板 A の電気量  $q$  の時間変化は、初め A に電流が流れ込み電気量を増やすことと前問の  $Q_1 = \sqrt{2} Q_0$  を考慮すると、次の実線のような正弦曲線となる。



この図の O の時点から測った時間を  $t'$  とおくと、

$$q = \sqrt{2} Q_0 \sin \frac{2\pi}{T} t'$$

$q = Q_0$  となるまでの時間  $t_0'$  は、

$$Q_0 = \sqrt{2} Q_0 \sin \frac{2\pi}{T} t_0'$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \sin \frac{2\pi}{T} t_0'$$

$$\therefore \frac{2\pi}{T} t_0' = \frac{\pi}{4} \quad \therefore t_0' = \frac{1}{8} T$$

図中の 2 つの黒丸の間の時間が求めるものであり、

$$\frac{1}{2} T - t_0' = \frac{1}{2} T - \frac{1}{8} T = \underline{\underline{\frac{3}{8} T \text{ [s]}}}$$

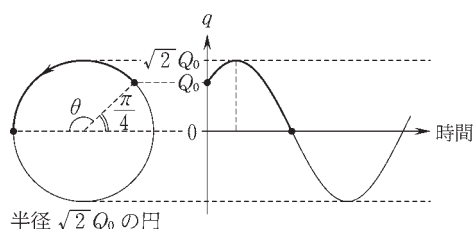
なお、最大値  $Q_1$  の  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  倍が  $Q_0$  であること

と、 $\sin \frac{\pi}{4} = \frac{1}{\sqrt{2}}$  から、 $t_0' = \frac{1}{8} T$  と決めることもできる。

(別解) 交流での時間変化(いまの場合は電気量  $q$  の時間変化)は単振動と同様に、対応する等速円運動を考えて扱うことができる。次図より回転角  $\theta$  は  $\pi - \frac{\pi}{4} = \frac{3}{4} \pi$  に対応するの

で、求める時間は、

$$\frac{\theta}{2\pi} T = \frac{\frac{3}{4} \pi}{2\pi} T = \underline{\underline{\frac{3}{8} T \text{ [s]}}}$$



### ③ 熱力学

#### 【解答】

問1	$\frac{1}{2}$	倍	問2	$\frac{P_0 S}{2g}$	問3	圧力 $\frac{3}{4} P_0$	体積 $\frac{4}{3} V_0$
問4	<div>理由</div> <div>断熱過程ⅠとⅢでの内部エネルギーの変化をそれぞれ <math>\Delta U_1, \Delta U_3</math> とおくと、熱力学第1法則より、 <math>\Delta U_1 = W_1, \Delta U_3 = W_3</math> AとX、OとBの温度はそれぞれ等しく、過程ⅠとⅢでは温度の変化が逆なので、 <math>\Delta U_1 = -\Delta U_3 \quad \therefore W_1 = -W_3</math></div> <div>関係式 <math>W_1 = -W_3</math></div>						
問5	$V_A = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{5}} V_0$		温度	$\left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{5}} T_0$			
問6	圧力	$\left(1 + \frac{1}{2} \sin \alpha\right) P_0$	体積	$\frac{3}{2 + \sin \alpha} V_A$			
問7	$\sin \alpha = \frac{1}{4}$						

#### 【配点】 (31点)

- 問1 4点  
問2 4点  
問3 圧力：3点 体積：2点  
問4 4点  
問5  $V_A$ ：3点 温度：2点  
問6 圧力：2点 体積：3点  
問7 4点

#### 【解説】

問1 等温変化だから、ボイルの法則が成り立つ。(圧力)×(体積)=一定であり、位置Bでの体積がAの2倍となったことから、Bでの圧力はAの  $\frac{1}{2}$  倍と決まる。

問2 ピストンの質量を  $M$  とし、位置Aでの気体の圧力を  $P_A$  とおくと、ピストンにはたらく力を示した右欄の図aより、

$$P_A S = P_0 S + Mg \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

一方、位置Bでの圧力  $P_B$  は、前問の結果より  $P_B = \frac{1}{2} P_A$  と表せるので、右欄の図bより、

$$\frac{1}{2} P_A \cdot S + Mg \sin 30^\circ = P_0 S \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

式①を②に代入すると、

$$\frac{1}{2} (P_0 S + Mg) + \frac{1}{2} Mg = P_0 S$$

$$\therefore M = \frac{P_0 S}{2g} \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

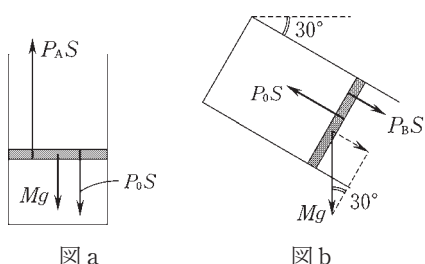


図 a

図 b

(力の矢印の長さは適当に描いている)

問3 式③を①に代入して  $P_A$  を求めると、

$$P_A = \frac{3}{2} P_0 \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

$$\therefore P_B = \frac{1}{2} P_A = \frac{3}{4} P_0 \quad \cdots \cdots \textcircled{5}$$

位置Bでの体積を  $V_B$  とし、BとOに対してボイルの法則を用いると、

$$\frac{3}{4} P_0 \cdot V_B = P_0 V_0$$

$$\therefore V_B = \frac{4}{3} V_0 \quad \cdots \cdots ⑥$$

問4 過程Ⅰは断熱変化で、気体が吸収した熱量は0である。内部エネルギーの変化を $\Delta U_1$ とすると、熱力学第1法則より、

$$\Delta U_1 = 0 + W_1 \quad \cdots \cdots ⑦$$

過程Ⅲも断熱変化なので、内部エネルギーの変化を $\Delta U_3$ とすると、

$$\Delta U_3 = 0 + W_3 \quad \cdots \cdots ⑧$$

内部エネルギーは温度で決まる(絶対温度に比例する)。位置OとBは温度が等しく、位置AとXも温度が等しい。すなわち、過程ⅠとⅢでは、初めの温度と変化後の温度が入れ替わっているので、

$$\Delta U_1 = -\Delta U_3 \quad \cdots \cdots ⑨$$

$$\text{式⑦, ⑧, ⑨より, } W_1 = -W_3$$

少し補足すると、単原子分子からなる理想気体の内部エネルギー $U$ は、物質質量(モル数)を $n$ 、気体定数を $R$ として、 $U = \frac{3}{2} nRT$ と表され、絶対温度 $T$ に比例している。位置OとBでの温度は $T_0$ であり、位置AとXでの温度を $T_A$ とすると、

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} nRT_A - \frac{3}{2} nRT_0$$

$$\Delta U_3 = \frac{3}{2} nRT_0 - \frac{3}{2} nRT_A$$

$$\therefore \Delta U_1 = -\Delta U_3$$

問5 このときも、位置Aでの圧力は式④で与えられる(ピストンの力のつり合いで決まるので、等温変化か断熱変化かは無関係)。断熱変化で成り立つ与えられた関係を用いて、位置OとAを結ぶと、

$$P_0 V_0^{\frac{5}{3}} = \frac{3}{2} P_0 \cdot V_A^{\frac{5}{3}}$$

$$\therefore V_A = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{5}} V_0 \quad \cdots \cdots ⑩$$

位置Oでの状態方程式は、

$$P_0 V_0 = nRT_0 \quad \cdots \cdots ⑪$$

位置Aでの状態方程式は、

$$\frac{3}{2} P_0 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{5}} V_0 = nRT_A \quad \cdots \cdots ⑫$$

式⑪と⑫を辺々で割り、整理すれば、

$$T_A = \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{5}} T_0$$

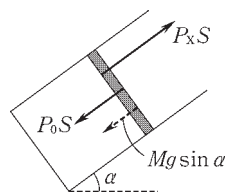
なお、位置OとAについてボイル・シャルルの法則を適用してもよい。

問6 位置Xでの圧力を $P_X$ とすると、ピストンの力のつり合いより(図c)、

$$P_X S = P_0 S + Mg \sin \alpha$$

式③を用いると、

$$P_X = \left(1 + \frac{1}{2} \sin \alpha\right) P_0 \quad \cdots \cdots ⑬$$



図c

AX間は等温変化なので、Xでの体積を $V_X$ とすると、ボイルの法則より、

$$\frac{3}{2} P_0 \cdot V_A = P_X V_X$$

$$= \left(1 + \frac{1}{2} \sin \alpha\right) P_0 V_X$$

$$\therefore V_X = \frac{3}{2 + \sin \alpha} V_A \quad \cdots \cdots ⑭$$

問7 過程ⅣのBO間は等温変化であり、位置Bの圧力 $P_B$ と体積 $V_B$ は問3で求めた値と同じであることに注意する。

過程ⅢのXB間は断熱変化であり、

$$P_X V_X^{\frac{5}{3}} = P_B V_B^{\frac{5}{3}}$$

式⑬, ⑭, ⑤, ⑥を代入すると、

$$\left(1 + \frac{1}{2} \sin \alpha\right) P_0 \left(\frac{3}{2 + \sin \alpha} V_A\right)^{\frac{5}{3}} = \frac{3}{4} P_0 \left(\frac{4}{3} V_0\right)^{\frac{5}{3}}$$

式⑩の $V_A$ を代入して整理すると、

$$\frac{3^{\frac{5}{3}}}{2(2 + \sin \alpha)^{\frac{2}{3}}} \cdot \frac{2}{3} = \left(\frac{4}{3}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\therefore \frac{3}{2 + \sin \alpha} = \frac{4}{3}$$

$$\therefore \sin \alpha = \frac{1}{4}$$

# 化 学

## Ⅰ 小問集合（無機各論，ヘンリーの法則，溶存酸素の定量）

### 【解答】

I	問1	N <sub>2</sub>	:N::N:	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$\text{H}:\ddot{\text{N}}::\ddot{\text{N}}::\text{H}$ H H			
	問2	NaN <sub>3</sub> + HCl → HN <sub>3</sub> + NaCl				問3	390 kJ/mol	
	問4	(1)	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O → 2HNO <sub>3</sub>			(2)	NO <sub>2</sub> : N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> = 3 : 1	
II	問1	2.8 L		問2	3.4 L		問3	6.9×10 <sup>5</sup> Pa
III	問1	+4						
	問2	MnO(OH) <sub>2</sub> + 2I <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> → Mn <sup>2+</sup> + I <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub> O						
	問3	青紫色 → 無色			問4	4 mol		問5

### 【配点】 (35点)

I 問1 2点×2 問2 2点 問3 3点 問4 (1) 2点 (2) 3点

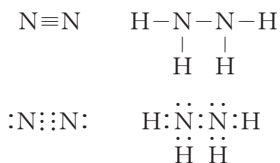
II 問1 3点 問2 3点 問3 3点

III 問1 2点 問2 3点 問3 2点 問4 2点 問5 3点

### 【解説】

#### I

問1 窒素 N<sub>2</sub> およびヒドラジン N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> の構造式，電子式は以下になる。

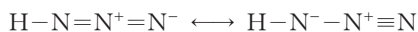


N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> には非共有電子対が2組あり，NH<sub>3</sub> と同様に H<sup>+</sup> と配位結合をつくるため，2 価の塩基としてはたらく。

問2 弱酸であるアジ化水素 HN<sub>3</sub> のナトリウム塩 NaN<sub>3</sub> に強酸である HCl を作用させると，弱酸である HN<sub>3</sub> が遊離する。



【参考】 HN<sub>3</sub> の構造は次のような共鳴構造によって表される。



#### 問3

(反応熱) = (生成物質の結合エネルギーの総和) - (反応物質の結合エネルギーの総和)  
だから，N-H 結合の結合エネルギーを  $x$  [kJ/mol] とすると，②式より，

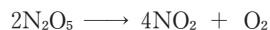
$$92 = 2 \times 3x - (942 + 3 \times 436)$$

$$\therefore x = 390.3 \div 390 \text{ (kJ/mol)}$$

問4 (1) 一般に，非金属元素の酸化物は酸性酸化物であり，H<sub>2</sub>O と反応すると，オキソ酸になる。N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が H<sub>2</sub>O と反応すると硝酸 HNO<sub>3</sub> が生じる。



(2) N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> を温めると，NO<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> に分解する。



反応前	0.100	0	0
反応後	0	0.200	0.050

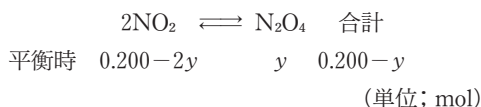
(単位; mol)

N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> の分解によって生じた NO<sub>2</sub> は N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> と

④ 式の平衡状態になる。



0.200 mol の  $\text{NO}_2$  のうち  $2y$  [mol] が  $\text{N}_2\text{O}_4$  になって ④ 式の平衡状態になったとすると、



容器内には  $\text{N}_2\text{O}_5$  の分解によって生じた  $\text{O}_2$  も存在し、気体の全物質量が 0.210 mol になっているから、気体の全物質量について、

$$(0.200-y)+0.050=0.210$$

$$\therefore y=0.040 \text{ (mol)}$$

したがって、 $\text{NO}_2$  と  $\text{N}_2\text{O}_4$  の物質量の比は、

$$\text{NO}_2 : \text{N}_2\text{O}_4 = (0.200-2 \times 0.040) : 0.040 = 3 : 1$$

## II

問 1 容器に入れたドライアイス  $\text{CO}_2$  は 4.40 g (0.100 mol) だから、気相の体積  $V_1$  は、理想気体の状態方程式より、

$$1.00 \times 10^5 \times V_1 = 0.100 \times 8.3 \times 10^3 \times (273+67)$$

$$\therefore V_1 = 2.82 \div 2.8 \text{ (L)}$$

問 2  $67^\circ\text{C}$  における水の飽和蒸気圧は  $2.7 \times 10^4$  Pa だから、気相の  $\text{CO}_2$  の分圧は、

$$1.00 \times 10^5 - 2.7 \times 10^4 = 7.3 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

ヘンリーの法則により、水に溶解する  $\text{CO}_2$  の物質量は  $\text{CO}_2$  の分圧に比例するから、1.00 L の水中の  $\text{CO}_2$  の物質量は、

$$0.015 \times \frac{7.3 \times 10^4}{1.00 \times 10^5} \text{ (mol)}$$

したがって、気相の  $\text{CO}_2$  の物質量は、

$$0.100 - 0.015 \times \frac{7.3 \times 10^4}{1.00 \times 10^5} = 0.0890 \text{ (mol)}$$

よって、気相の体積  $V_2$  は、

$$7.3 \times 10^4 \times V_2 = 0.0890 \times 8.3 \times 10^3 \times (273+67)$$

$$\therefore V_2 = 3.44 \div 3.4 \text{ (L)}$$

問 3 0.100 mol の  $\text{CO}_2$  をすべて水 1.00 L に溶解させればよいので、必要な  $\text{CO}_2$  の分圧を  $p_{\text{CO}_2}$  とおくと、

$$0.015 \times \frac{p_{\text{CO}_2}}{1.00 \times 10^5} = 0.100$$

$$\therefore p_{\text{CO}_2} = 6.66 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

水の飽和蒸気圧は  $2.7 \times 10^4$  Pa だから、気相の体積を 0 L にするのに必要な全圧の最小値

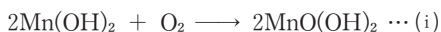
$P$  は、

$$\begin{aligned} P &= 6.66 \times 10^5 + 2.7 \times 10^4 \\ &= 6.93 \times 10^5 \div 6.9 \times 10^5 \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

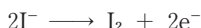
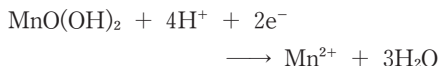
## III

問 1  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  中の Mn の酸化数は +4 である。

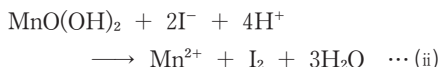
問 2 (操作 3) では、 $\text{Mn}(\text{OH})_2$  が溶存酸素  $\text{O}_2$  によって酸化されて  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  が生じる。



(操作 4) では、その  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  が酸化剤としてはたらき、 $\text{I}^-$  が酸化されて  $\text{I}_2$  が生成する。



これらの式より、 $\text{e}^-$  を消去すれば (ii) 式が得られる。



問 3 (操作 5) の滴定ではデンプンを指示薬として用いる。デンプンとヨウ素が共存すると、ヨウ素デンプン反応により青紫色を呈するが、ヨウ素がなくなると無色になる。この反応は鋭敏であり、滴定の終点の前後で、溶液の色は青紫色から無色に変化する。

問 4 (操作 5) の滴定では、(iii) 式の反応が起こる。



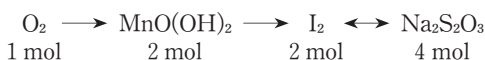
(操作 3) ~ (操作 5) での反応を整理すると、

(i) 式より、 $\text{O}_2$  1 mol から  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  2 mol が生じ、

(ii) 式より、 $\text{MnO}(\text{OH})_2$  2 mol から  $\text{I}_2$  2 mol が生じ、

(iii) 式より、 $\text{I}_2$  2 mol は  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  4 mol と反応する。

したがって、溶存酸素  $\text{O}_2$  1 mol は  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  4 mol に相当する。

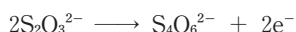


【別解】

$\text{O}_2$  は酸化剤として次式のように反応し、1 mol あたり  $\text{e}^-$  4 mol を受け取る。



$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  は還元剤として次式のように反応し、  
1 mol あたり  $e^-$  1 mol を放出する。



したがって、一連の操作において、 $\text{O}_2$  1 mol  
は  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  4 mol に相当する。

問 5 (操作 5) で滴下した  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  の物質量は、

$$0.0500 \times \frac{5.00}{1000} = 2.50 \times 10^{-4} \text{ (mol)}$$

これより、溶存酸素  $\text{O}_2$  の物質量は次のよう  
になる。

$$2.50 \times 10^{-4} \times \frac{1}{4} = 6.25 \times 10^{-5} \text{ (mol)}$$

次に、この  $\text{O}_2$  が溶けていた試料水の体積を  
求める必要がある。

(操作 1) で内容積 260 mL の試料瓶に試料水  
を採取したのち、(操作 2) では、その試料瓶の  
底の方に、 $\text{MnSO}_4$  水溶液 5 mL と  $\text{KI}$  水溶液 5  
mL を入れて、試料水を溢れさせたので、(操  
作 2) の段階で、試料瓶に採取した試料水(測定

に用いた試料水)の体積は、

$$260 - (5 + 5) = 250 \text{ (mL)}$$

ということになる。

(操作 3) で、試料水 250 mL 中に溶けていた  
 $\text{O}_2$  は、すべて  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  に変化する。

(操作 4) で、硫酸を 20 mL 加えるが、この  
とき  $\text{O}_2$  から生じた  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  は、沈殿とし  
てすべて試料瓶の底に沈降しているので、上澄  
み液が溢れ出ても  $\text{O}_2$  の測定にまったく影響は  
ない。

したがって、(操作 5) によって求めることが  
できる  $\text{O}_2$  の物質量は、試料水 250 mL 中の  $\text{O}_2$   
の値である。

よって、試料水 1 L あたりの溶存酸素  $\text{O}_2$  の  
質量 [mg/L] は次のようになる。

$$6.25 \times 10^{-5} \times \frac{1000}{250} \times 32.0 \times 10^3 = 8.0 \text{ (mg/L)}$$

## ② 電離平衡

### 【解答】

I	問1	(1)	H <sub>2</sub> O, CH <sub>3</sub> COOH			(2)	H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			(3)	H <sub>2</sub> O, HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
	問2	K <sub>a</sub> K <sub>b</sub>			問3	(1)	11.2		(2)	8.9			
II	問4	(1)	4.0		(2)	い	1.0			う	1.0×10 <sup>-5</sup>		
	問5	(1)	[HA <sup>-</sup> ] + 2[A <sup>2-</sup> ] + [OH <sup>-</sup> ]										
		(2)	K <sub>1</sub> K <sub>2</sub>			(3)	6.5						
		問6	(1)	V <sub>1</sub> =        V			(2)	V <sub>2</sub> =        2 V					

【配点】 (31点)

I 問 1 各 1 点  $\times$  3 問 2 2 点 問 3 (1) 3 点 (2) 3 点

II 問 4 (1) 3 点 (2) 各 2 点  $\times$  2 問 5 (1) 2 点 (2) 2 点 (3) 3 点

問 6 (1) 3 点 (2) 3 点

### 【解説】

I

問 1 プレンステッド・ローリーの酸・塩基の定  
義で、 $\text{H}^+$  の受授により相互に変化する一対の  
酸と塩基はたがいに共役であるという。(1)~(3)

の正反応では、いずれも  $\text{H}_2\text{O}$  が  $\text{H}^+$  を放出し  
て  $\text{OH}^-$  に変化しているの、 $\text{H}_2\text{O}$  は酸、 $\text{OH}^-$   
はその共役塩基である。したがって、(1)~(3)  
の正反応ではそれぞれ、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 、 $\text{NH}_3$ 、



$\text{SO}_4^{2-}$  が塩基としてはたらいっているので、(1)～(3)の逆反応ではそれぞれに対する共役酸である  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HSO}_4^-$  が酸としてはたらいっている。

問2 ③式と⑥式を辺々掛け合わせると、

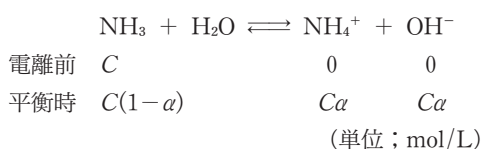
$$K_a \times K_b = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \times \frac{[\text{HA}][\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} \\ = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$$

となる。一般に、ある酸の電離定数  $K_a$  とその共役塩基の電離定数  $K_b$  とのあいだには、

$$K_a \times K_b = K_w$$

の関係式が成り立つ。

問3 (1)  $C$  [mol/L] のアンモニア水中の  $\text{NH}_3$  の電離度を  $\alpha$  とすると、



$\text{NH}_3$  の電離定数を  $K_b$  とすると、

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \\ = \frac{(C\alpha)^2}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$

$C \gg K_b$  であるとき、 $\alpha \ll 1$  と仮定することができ、 $1-\alpha \doteq 1$  と近似できるので、

$$K_b \doteq C\alpha^2 \quad \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{C}}$$

$$\therefore [\text{OH}^-] = C\alpha = \sqrt{CK_b}$$

したがって、 $0.10$  mol/L の  $\text{NH}_3$  水の場合、

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{0.10 \times 2.0 \times 10^{-5}} \\ = \sqrt{2.0} \times 10^{-3} \text{ (mol/L)}$$

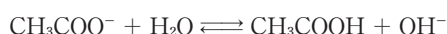
$$\therefore [\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{2.0} \times 10^{-3}} \\ = \frac{10^{-11}}{\sqrt{2.0}} \text{ (mol/L)}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log_{10} \frac{10^{-11}}{\sqrt{2.0}} \\ = 11 + \frac{1}{2} \log_{10} 2.0 \\ = 11.15 \doteq 11.2$$

なお、このとき、

$$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{C} \\ = \frac{\sqrt{2.0} \times 10^{-3}}{0.10} = \sqrt{2.0} \times 10^{-2} \ll 1$$

(2) 酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の水溶液は、酢酸イオン  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の加水分解により塩基性を示す。



この反応は弱塩基  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の電離平衡に他ならない。 $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の塩基としての電離定数を  $K_b$  とすると、

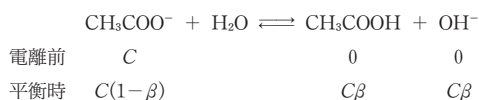
$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

$K_b$  の値は与えられていないが、酢酸の電離定数を  $K_a$  とすると、問2の結果を利用して求めることができる。

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.0 \times 10^{-5}} \\ = 5.0 \times 10^{-10} \text{ (mol/L)}$$

$C$  [mol/L] の  $\text{CH}_3\text{COONa}$  水溶液中の酢酸イオン  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の電離度(加水解離度)を  $\beta$  とすると、



$$K_b = \frac{(C\beta)^2}{C(1-\beta)} = \frac{C\beta^2}{1-\beta}$$

$C \gg K_b$  であるとき、 $\beta \ll 1$  と仮定することができ、 $1-\beta \doteq 1$  と近似できるので、(1)と同様にして、

$$K_b \doteq C\beta^2 \quad \therefore \beta = \sqrt{\frac{K_b}{C}}$$

したがって、

$$\therefore [\text{OH}^-] = \sqrt{CK_b} \\ = \sqrt{0.10 \times 5.0 \times 10^{-10}} \\ = \frac{10^{-5}}{\sqrt{2.0}} \text{ (mol/L)}$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{\frac{10^{-5}}{\sqrt{2.0}}} \\ = \sqrt{2.0} \times 10^{-9} \text{ (mol/L)}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log_{10} (\sqrt{2.0} \times 10^{-9}) \\ = 9 - \frac{1}{2} \log_{10} 2.0 \\ = 8.85 \doteq 8.9$$

なお、このとき、

$$\beta = \frac{[\text{OH}^-]}{C} = \frac{10^{-5}}{\frac{\sqrt{2.0}}{0.10}}$$

$$= \frac{10^{-4}}{\sqrt{2.0}} \ll 1$$

## II

問4 (1) 点Pの水溶液は、次の中和反応がちょうど2分の1完了した状態にある。



このとき、 $[\text{H}_2\text{A}] \doteq [\text{HA}^-]$ とおけるから、 $[\text{H}^+]$ を次のようにして求めることができる(注)。(iii)式より、

$$[\text{H}^+] = K_1 \times \frac{[\text{H}_2\text{A}]}{[\text{HA}^-]} \doteq K_1$$

$$\therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ (mol/L)}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log_{10}(1.0 \times 10^{-4})$$

$$= 4.0$$

(注)  $\text{H}_2\text{A}$  を  $\text{NaOH}$  で滴定するときの2分の1中和点において、 $\text{H}_2\text{A}$  と  $\text{NaHA}$  のモル濃度をいずれも  $C \text{ [mol/L]}$  とし、 $\text{H}_2\text{A}$  の第1段の電離定数を  $K_1$  とすると、

$$[\text{H}_2\text{A}] \doteq C, [\text{HA}^-] \doteq C \quad \cdots \cdots \text{①}$$

と近似できる場合、 $K_1$  の式より、 $[\text{H}^+]$  は次のようになる。

$$[\text{H}^+] = K_1 \quad \cdots \cdots \text{②}$$

一般には、このときの  $[\text{H}^+]$  は次のようにして求める。水溶液は酸性であり、 $\text{H}^+$  は  $\text{H}_2\text{A}$  の電離によって生じると考えてよいから、

$$[\text{H}_2\text{A}] = C - [\text{H}^+] \quad \cdots \cdots \text{③}$$

$$[\text{HA}^-] = C + [\text{H}^+]$$

これらより、

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HA}^-]}{[\text{H}_2\text{A}]}$$

$$= \frac{[\text{H}^+](C + [\text{H}^+])}{C - [\text{H}^+]} \quad \cdots \cdots \text{④}$$

④式を整理すると  $[\text{H}^+]$  の2次方程式が得られるので、これを解けば  $[\text{H}^+]$  が求まることになる。

③式において、 $C \gg [\text{H}^+]$  が成り立つときは④式のように近似でき、したがって、②式の結果が得られることになる。あるいは、④式の2次方程式の解は、 $C \gg K_1$  であれば  $[\text{H}^+] \doteq K_1$  となるので、②式が成り立つ条件は  $C \gg K_1$  であると言ってもよい。

本問題の場合、点Pでの  $\text{H}_2\text{A}$  と  $\text{NaHA}$  のモル濃度  $C \text{ [mol/L]}$  は、

$$C = 0.10 \times \frac{5.0}{10.0 + 5.0} = \frac{0.10}{3} \text{ (mol/L)}$$

したがって、 $K_1 = 1.0 \times 10^{-4} \text{ (mol/L)}$  だから、

$$C \gg K_1$$

が成り立っている。

(2) 任意のpHの水溶液中の各化学種( $\text{H}_2\text{A}$ ,  $\text{HA}^-$ ,  $\text{A}^{2-}$ )の物質質量あるいはモル濃度の比は  $K_1$ ,  $K_2$  を用いて決定できる。

$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  のとき、

$$\frac{[\text{HA}^-]}{[\text{H}_2\text{A}]} = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-4}} = 1.0$$

$$\frac{[\text{A}^{2-}]}{[\text{HA}^-]} = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-9}}{1.0 \times 10^{-4}} = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\therefore [\text{H}_2\text{A}] : [\text{HA}^-] : [\text{A}^{2-}]$$

$$= 1 : 1.0 : 1.0 \times 10^{-5}$$

問4の(1)では、第1段の中和反応だけを考慮し、次の第2段の中和反応については考慮しなかった。



このことの妥当性については、(2)の結果から容易に理解できるであろう。

問5 点Qは2価の弱酸の滴定における第1中和点に相当し、 $\frac{0.10}{2} \text{ mol/L}$  の  $\text{NaHA}$  の水溶液となっている。

(1) 電解質の水溶液中に存在する陽イオンと陰イオンの電荷の総和は0となる。 $\text{NaHA}$  の水溶液中に存在する陽イオンは  $\text{Na}^+$  と  $\text{H}^+$ 、陰イオンは  $\text{HA}^-$ 、 $\text{A}^{2-}$  と  $\text{OH}^-$  であり、 $\text{A}^{2-}$  1個のもつ電荷は電子1個のもつ電荷の2倍である。したがって、この水溶液での電気的中性の条件を表す式は、

$$[\text{Na}^+] + [\text{H}^+] = [\text{HA}^-] + 2[\text{A}^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad \cdots \cdots \text{(v)}$$

(2) 問題の(iii)式において、

$$[\text{HA}^-] \doteq C = \frac{0.10}{2} \text{ (mol/L)}$$

とすると、

$$K_1 = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$\ll \frac{0.10}{2} \text{ (mol/L)} = C \doteq [\text{HA}^-]$$

また、

$$K_2[\text{HA}^-] \doteq K_2C$$

$$= 1.0 \times 10^{-9} \times \frac{0.10}{2}$$

$$= 5.0 \times 10^{-11} (\text{mol/L})^2$$

だから、

$$K_w = 1.0 \times 10^{-14} \ll K_2[\text{HA}^-]$$

したがって、次のように近似できる。

$$K_w + K_2[\text{HA}^-] \doteq K_2[\text{HA}^-]$$

$$K_1 + [\text{HA}^-] \doteq [\text{HA}^-]$$

以上より、

$$[\text{H}^+]^2 = \frac{K_1(K_w + K_2[\text{HA}^-])}{K_1 + [\text{HA}^-]}$$

$$\doteq \frac{K_1 K_2 [\text{HA}^-]}{[\text{HA}^-]}$$

$$= K_1 K_2$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \sqrt{K_1 K_2} \quad \cdots \cdots (x)$$

(3) (2) より、

$$[\text{H}^+] = \sqrt{1.0 \times 10^{-4} \times 1.0 \times 10^{-9}}$$

$$= 10^{-6.5} (\text{mol/L})$$

$$\therefore \text{pH} = 6.5$$

なお、 $[\text{H}^+] = 10^{-6.5} \text{ mol/L}$  のとき、

$$\frac{[\text{HA}^-]}{[\text{H}_2\text{A}]} = \frac{K_1}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-4}}{10^{-6.5}} = 10^{2.5}$$

$$\therefore [\text{H}_2\text{A}] \ll [\text{HA}^-]$$

$$\frac{[\text{A}^{2-}]}{[\text{HA}^-]} = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-9}}{10^{-6.5}} = 10^{-2.5}$$

$$\therefore [\text{A}^{2-}] \ll [\text{HA}^-]$$

一方、

$$[\text{H}_2\text{A}] + [\text{HA}^-] + [\text{A}^{2-}] = \frac{0.10}{2} (\text{mol/L})$$

したがって、

$$[\text{HA}^-] \doteq C = \frac{0.10}{2} (\text{mol/L})$$

問 6 (1) 点 **P** では、 $[\text{H}_2\text{A}] \doteq [\text{HA}^-]$  となるので、溶液 **X** と溶液 **Y** を 1 : 1 の体積比で混合すれば、点 **P** と同じ pH の水溶液が得られる。したがって、必要な溶液 **Y** の体積  $V_1$  [mL] は溶液 **X** の体積  $V$  [mL] に等しい。

$$V_1 = V$$

(2) pH9.3 の緩衝液の  $[\text{H}^+]$  は、 $\log_{10} 2 = 0.30$  より、

$$[\text{H}^+] = 10^{-9.3} = 10^{-0.3} \times 10^{-9}$$

$$= \frac{10^{-9}}{10^{0.3}} = \frac{10^{-9}}{2}$$

$$= 5 \times 10^{-10} (\text{mol/L})$$

pH9.3 の緩衝液中の  $[\text{HA}^-]$  と  $[\text{A}^{2-}]$  の比は、

$K_2$  より、

$$\frac{[\text{A}^{2-}]}{[\text{HA}^-]} = \frac{K_2}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-9}}{5 \times 10^{-10}} = 2$$

したがって、溶液 **Y** と溶液 **Z** を 1 : 2 の体積比で混合すると pH9.3 の緩衝液が得られるから、必要な溶液 **Z** の体積  $V_2$  [mL] は溶液 **Y** の体積の 2 倍の  $2V$  [mL] に等しい。

$$V_2 = 2V$$

### ③ 有機化学

#### 【解答】

(計算過程)													
I	問1	クエン酸 1 分子中の COOH の数を $n$ 個とすると, 発生した CO <sub>2</sub> の物質質量について, $\frac{4.8}{192} \times n = \frac{1.68}{22.4} \quad \therefore n = 3.0$ <div>(答) 3 個</div>											
	問2	$\begin{array}{ccccccc} & & & \text{OH} & & & \\ & & &   & & & \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2- & \text{C} & -\text{CH}_2-\text{C}-\text{OH} \\ &   & &   & &    & \\ & \text{C}-\text{OH} & & \text{O} & & \text{O} \\ &    & & & & & \\ & \text{O} & & & & & \end{array}$					問3	$\begin{array}{ccccccc} \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2- & \text{C}=\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\ &   & &   & &    & \\ & \text{C}-\text{OH} & & \text{O} & & \text{O} \\ &    & & & & & \\ & \text{O} & & & & & \end{array}$					
	問4	4 種類											
II	問5	(1)	電	荷	の	総	和	が	0	(2)	(ウ)		
	問6	24 種類											
	問7	PbS											
	問8	(1)	Phe, Met				(2)	4 個					
	問9	(1)	P-1, R-2					(2) ①	R-1	②	R-2		
問10	Gly-Gly-Lys-Asp-Phe-Met												

#### 【配点】 (34点)

I 問1    3点    問2    3点    問3    3点    問4    2点

II 問5    (1) 2点    (2) 2点    問6    3点    問7    2点    問8    (1) 3点    (2) 2点

問9    (1) 2点    (2) 各 2点×2    問10    3点

#### 【解説】

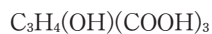
##### I

問1 カルボン酸は NaHCO<sub>3</sub> と反応し, このとき CO<sub>2</sub> が発生する。

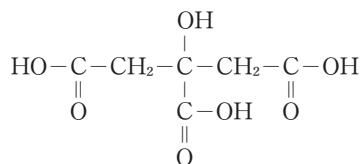


クエン酸 C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> (分子量 192) 1 分子中の COOH の数を  $n$  個とすると, クエン酸 1 mol から CO<sub>2</sub>  $n$  mol が発生するから, 問題の条件 (ii) より,  $n$  を求めることができる。

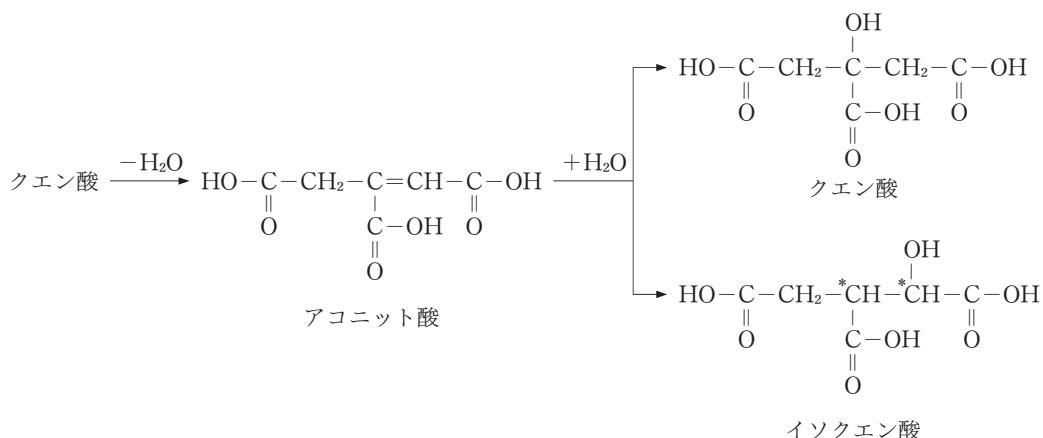
問2, 3 ヒドロキシ酸であるクエン酸は, 問1 より, 3 価のカルボン酸だから, その示性式は次のように表される。



さらに, 問題の条件 (i) より, 3 個の COOH は異なる C 原子に結合していること, および, 不斉炭素原子をもたないことから, クエン酸の構造が以下のように決まる。

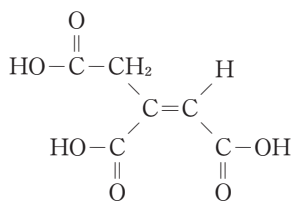


条件 (iii) に記された物質の変化を整理すると, 次のようになる。

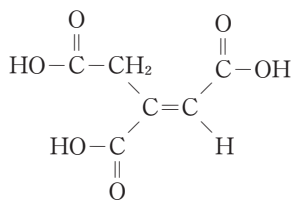


(\*印は不斉炭素原子を表す)

なお、アコニット酸には幾何異性体が存在する(生体内ではクエン酸回路の中間体としてシス体が存在することが知られている)。



シス-アコニット酸



トランス-アコニット酸

問4 イソクエン酸1分子中には不斉炭素原子が2個存在するから、 $2^2 = 4$  (個)の立体異性体(光学異性体)が存在する。

## II

問5 アミノ酸のイオンがもつ電荷の総和が0になるときのpHを等電点という。アラニンなどの中性アミノ酸の等電点は中性付近(pH約6)、グルタミン酸などの酸性アミノ酸の等電点は酸性側(pH約3)、リシンなどの塩基性アミノ酸の等電点は塩基性側(pH約10)にある。

問6 グリシン、アラニン、フェニルアラニン各1分子からなる鎖状のトリペプチドには、アミノ酸の配列順序の違いにより  $3 \times 2 \times 1 = 6$  (種

類)がある。それぞれのトリペプチド1分子中には不斉炭素原子が2個存在するので、 $2^2 = 4$  (種類)の立体異性体が存在する。

したがって、立体異性体を区別するとき、トリペプチドの総数は、

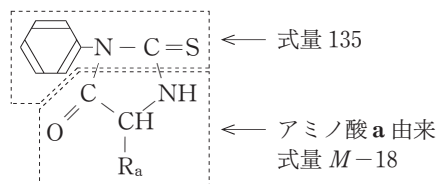
$$6 \times 4 = 24 \text{ (種)}$$

問7 Sを含むアミノ酸やペプチドにNaOHを加えて加熱し、酢酸で中和したのち酢酸鉛(II)水溶液を加えると、PbSの黒色沈殿が生じる。

問8 ペプチドをエドマン分解すると、N末端アミノ酸(アミノ酸aとする)が関与するペプチド結合が切断されて、アミノ酸aはPTH-アミノ酸aに変化する。PTH-アミノ酸の分子量がわかればN末端アミノ酸aの分子量がわかる。N末端アミノ酸aの分子量をM、PTH-アミノ酸aの分子量をM' とすると、

$$M' = 135 + M - 18$$

$$\therefore M = M' + 18 - 135$$



(1) 操作1より、ペプチドP-1は、ビウレット反応が陰性だからジペプチドであり、硫黄反応が陽性だからメチオニンMetを含む。

操作2より、P-1をエドマン分解して得られるPTH-アミノ酸yの分子量が282だから、アミノ酸yの分子量は、

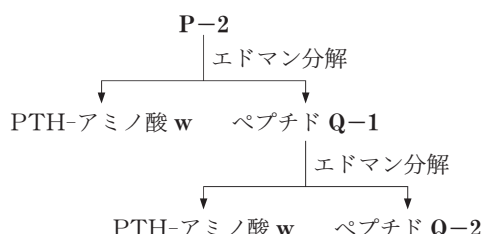
$$282 + 18 - 135 = 165$$

したがって、**y** はフェニルアラニン Phe とわかる。

以上より、**P-1** のアミノ酸配列が次のように決まる。

**P-1** ; Phe-Met

(2) 操作 2 でのペプチド **P-2** のエドマン分解を整理すると次のようになる。



エドマン分解を 2 回繰り返して得られたペプチド **Q-2** は、ビウレット反応が陰性なのでジペプチドである。したがって、**P-2** はアミノ酸 4 分子からなるテトラペプチドとわかる。

問 9 **P-2** のエドマン分解によって得られた PTH-アミノ酸 **w** の分子量が 192 だから、アミノ酸 **w** の分子量は、

$$192 + 18 - 135 = 75$$

したがって、**w** はグリシン Gly とわかるから、テトラペプチド **P-2** のアミノ酸配列は次のようになる。

**P-2** ; Gly-Gly-○-○

**P-1** と **P-2** は、**X** 中の酸性アミノ酸のカルボキシ基側のペプチド結合を加水分解して得られたペプチドであるから、**P-2** の C 末端はアスパラギン酸 Asp であり、**P-2**、**X** のアミノ酸配列は次のようになることがわかる。

**P-2** ; Gly-Gly-○-Asp

**X** ;  $\underbrace{\text{Gly-Gly-○-Asp}}_{\text{P-2}} - \underbrace{\text{Phe-Met}}_{\text{P-1}}$

さらに、**X** は問題の表中の 5 種類のアミノ酸より成ること、および、操作 3 を考慮すると、結局、**X** のアミノ酸配列は次のようになることがわかる。

**X** ; Gly-Gly-Lys-Asp-Phe-Met

操作 3 で、**X** 中の塩基性アミノ酸リシン

Lys のカルボキシ基側のペプチド結合を加水分解して得られるペプチドのうち、**R-1** は不斉炭素原子を 1 個だけもつことから、**R-1**、**R-2** のアミノ酸配列が次のように決まる。

**R-1** ; Gly-Gly-Lys

**R-2** ; Asp-Phe-Met

なお、**R-1**、**R-2** はいずれもトリペプチドであり、ビウレット反応が陽性である。

$\underbrace{\text{Gly-Gly-Lys}}_{\text{P-2}} - \underbrace{\text{Asp-Phe-Met}}_{\text{P-1}}$

(1) キサントプロテイン反応は、ベンゼン環をもつアミノ酸やペプチドに特有な反応である。ペプチド **P-1**、**P-2**、**R-1**、**R-2** のうち、フェニルアラニンを含むものは、**P-1** と **R-2** である。

(2) **P-1** (Phe-Met) および **P-2** (Gly-Gly-Lys-Asp) は、アミノ基とカルボキシ基の数が等しく、電気泳動の際、中性アミノ酸と同じ挙動を示すと考えられる。

**R-1** (Gly-Gly-Lys) はアミノ基の数がカルボキシ基の数より多いので塩基性アミノ酸と同じ挙動を示し、**R-2** (Asp-Phe-Met) はカルボキシ基の数がアミノ基の数より多いので、酸性アミノ酸と同じ挙動を示すと考えられる。

以上より、pH6 の緩衝液中で、**P-1**、**P-2** は全体としてほとんど電荷をもたないが、**R-1** は全体として正の電荷を、**R-2** は全体として負の電荷をもつと考えられる。したがって、pH6 の緩衝液中で直流電圧をかけると、**R-1** は陰極側に、**R-2** は陽極側にそれぞれ移動するが、**P-1**、**P-2** はほとんど移動しない。したがって、陰極側のバンド ① は **R-1**、陽極側のバンド ② は **R-2** によると推定できる。

問10 問 9 より、**X** のアミノ酸配列は次のようになる。

**X** ; Gly-Gly-Lys-Asp-Phe-Met

## ■ 生 物 ■

### ① 細胞

#### 【解答】

問1	1	クリステ	2	マトリックス	3	クエン酸回路	4	電子伝達系
問2	等張液中で、低温に保って操作を行う。(18字)							
問3	I	イ	II	エ	III	ウ		
問4	(1)	ア, ウ	(2)	3 モル	(3)	80 mg	問5	ウ
問6	細胞分裂の際に、変異遺伝子をもつ mtDNA と変異遺伝子をもたない mtDNA が娘細胞にランダムに分配される。(53字)							
問7	ウ							
問8	ミトコンドリアを除去した健康なヒトの細胞と核を除去した患者の細胞を融合させてサイブリッドを作成し、その機能を調べると、ミトコンドリアの機能障害がみられる。(77字) (別解) ミトコンドリアを除去した患者の細胞と核を除去した健康なヒトの細胞を融合させてサイブリッドを作成し、その機能を調べると、ミトコンドリアの機能障害がみられない。(78字)							

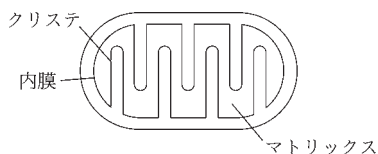
#### 【配点】 (25点)

問1 各1点×4    問2 2点    問3 各1点×3  
 問4 (1) 2点(順不同, 完答)    (2) 2点    (3) 3点  
 問5 1点    問6 3点    問7 1点    問8 4点

#### 【解説】

細胞小器官と好気呼吸に関する知識問題と、ミトコンドリア病に関する考察問題を出題した。

問1 ミトコンドリアの内膜はひだ状に突出しており、この構造はクリステと呼ばれる。また、内膜で囲まれた内側の部分はマトリックスと呼ばれる。好気呼吸の過程は、解糖系、クエン酸回路、電子伝達系の3段階に分けられ、解糖系は細胞質基質で、クエン酸回路はミトコンドリアのマトリックスで、電子伝達系はミトコンドリアの内膜(クリステ)でそれぞれ進行する。



問2 細胞分画法で組織片をすりつぶす際には、浸透圧差によって吸水が起こり、膜で包まれた

構造体が破裂するのを防ぐために、等張(もしくはやや高張)のスクロース溶液などを加える。また、細胞内に存在するタンパク質分解酵素などの分解酵素のはたらきによって細胞内の物質が分解されるのを防ぐために、低温に保つ。

問3 細胞分画法では、遠心力と遠心時間を次第に増やしていくことにより、大きな細胞小器官から順に沈殿させていく。核、リボソーム、ミトコンドリアの大きさは、核、ミトコンドリア、リボソームの順なので、分画Ⅰには核が、分画Ⅱにはミトコンドリアが、分画Ⅲにはリボソームがそれぞれ多く含まれると考えられる。

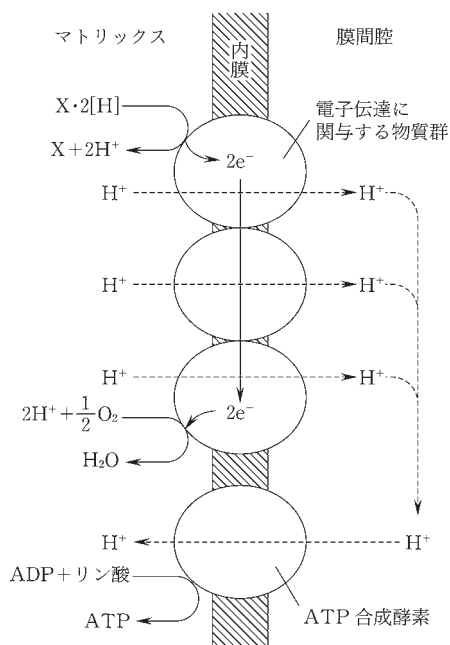
核内に存在する染色体は酢酸カーミンや酢酸オルセインによって赤色に染色される。ミトコンドリアはヤヌスグリーンによって青緑色に染色される。リボソームはRNAとタンパク質からなる構造体であり、ピロニン RNA を赤桃



色に染色するため、リボソームはピロニンによって染色される。なお、カルノア液は組織の固定に用いられる試薬であり、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液はデンプンの検出に用いられる試薬である。

問4(1) ミトコンドリアの電子伝達系では、解糖系やクエン酸回路で生成された還元型補酵素( $X \cdot 2[H]$ )が、内膜に存在する電子伝達に関する酵素群のはたらきによって酸化され、酸化型補酵素( $X$ )と水素イオン( $H^+$ )と電子( $e^-$ )に分けられる。電子は内膜に存在する物質間を伝達された後に、酸素( $O_2$ )に受容され、水素イオンとともに水を生成する。また、電子伝達の際に電子がもっているエネルギーを利用して、マトリックスから膜間腔(外膜と内膜の間の腔所)に輸送された水素イオンが、内膜に存在するATP合成酵素を通り濃度勾配にしたがってマトリックスに戻る際に、ADPとリン酸からATPが合成される。

ピルビン酸が呼吸基質として利用される過程において、アの「二酸化炭素を生成する」過程とウの「水を消費する」過程は、クエン酸回路のみに含まれる反応であり、マトリックスに存在する酵素によって触媒される反応なので、誤りである。



(2) 解糖系ではグルコース( $C_6H_{12}O_6$ ) 1分子から2分子のピルビン酸が生じ、この過程で脱水素反応により4個の水素が抜きとられるので、ピルビン酸の化学式は $C_3H_4O_3$ である。したがって、ピルビン酸が完全に酸化されたときの化学反応式は次のようになる。



これより、ピルビン酸1モルが完全に酸化されたときに生成される二酸化炭素は $\frac{6}{2}=3$ モルであることがわかる。

(3) 上述の化学反応式からわかるように、ピルビン酸が呼吸基質として利用されるときには、酸素が5モル消費されると二酸化炭素が6モル生成される。酸素と二酸化炭素の分子量はそれぞれ32と44なので、132 mgの二酸化炭素が生成された場合に消費された酸素の質量は、

$$\frac{132 \times 10^{-3}}{44} \times \frac{5}{6} \times 32 \times 10^3 = 80 \text{ (mg)}$$

となる。

問5 真核生物の染色体DNAは直鎖状であるが、ミトコンドリアDNA(mtDNA)は原核生物の染色体DNAと同様に、環状のDNAである。ミトコンドリアが独自のDNAをもち、さらに、mtDNAが原核生物の染色体DNAと共通する特徴をもつことは、好気性細菌が共生することによってミトコンドリアが生じたとする共生説の根拠となっている。

問6 発生過程で器官が形成される際、染色体DNAとmtDNAでは細胞分裂による娘細胞への分配様式が異なっている。染色体DNAは複製された後、各染色体が縦裂面で分離して娘細胞に分配されるため、娘細胞は互いに同じ染色体DNAをもつことになる。しかし、多数のミトコンドリアは細胞質分裂によって娘細胞にランダムに分配され、これに伴ってmtDNAが分配されるため、娘細胞には変異遺伝子をもつmtDNAと変異遺伝子をもたないmtDNAがランダムに分配されることになる。この結果、変異遺伝子をもつmtDNAの割合は娘細胞どうして異なり、図1のように、部位によって変異遺伝子をもつmtDNAの割合が大きく異なるようになる。

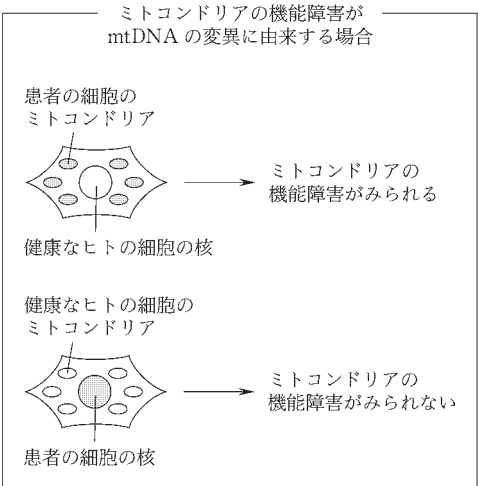
問7 細胞内におけるミトコンドリアの役割は、

生命活動に必要な ATP を生成することである。そのため、ミトコンドリア病によってミトコンドリアの機能が低下すると、ATP の生成速度が低下することになる。このため、ATP を多量に消費する組織や器官ほどその影響を受けやすく、機能障害が起こりやすくなる。したがって、骨格筋や中枢神経系などのように多量の ATP を消費する組織や器官でミトコンドリア病による機能障害が現れやすい。

問 8 ミトコンドリアの機能障害が mtDNA の変異に由来するのであれば、患者の細胞のミトコンドリアと健康なヒトの細胞の核をもつサイブリッドではミトコンドリアの機能障害がみられ、健康なヒトの細胞のミトコンドリアと患者の細胞の核をもつサイブリッドではミトコンドリアの機能障害がみられないはずである。

一方、ミトコンドリアの機能障害が核の染色体 DNA の変異に由来するのであれば、患者の細胞のミトコンドリアと健康なヒトの細胞の核

をもつサイブリッドではミトコンドリアの機能障害がみられず、健康なヒトの細胞のミトコンドリアと患者の細胞の核をもつサイブリッドではミトコンドリアの機能障害がみられるはずである。



## ② 血糖量調節

### 【解答】

問1	1	視床下部		2	ランゲルハンス島		3	肝臓		4	グリコーゲン	
問2	ウ		問3	(1)	アドレナリン		(2)	糖質コルチコイド		(3)	グルカゴン	
問4	インスリンの分泌が不足する (13字)											
問5	血液中の遊離脂肪酸濃度が低下し、骨格筋細胞や脂肪細胞への取り込みが減少するので、酵素Rによるタンパク質Pに対する抑制が解除され、インスリンの作用が現れやすい。(79字)											
問6	心臓 (脳)			問7	ウ							
問8	(1)	イ										
	(2)	欠損マウスはインスリン抵抗性を示し、インスリンを投与したときに正常マウスよりも血糖値を低下させにくいと考えられる。(57字)										
問9	イ		オ									

### 【配点】 (25点)

問 1 各 1 点 × 4    問 2 1 点    問 3 (1) 1 点    (2) 1 点    (3) 1 点  
 問 4 2 点    問 5 4 点    問 6 1 点    問 7 2 点  
 問 8 (1) 1 点    (2) 3 点    問 9 各 2 点 × 2 (順不同)

## 【解説】

血糖量調節についての知識問題と、インスリン抵抗性とアディポネクチンの作用に関する考察問題を出題した。

**問1** 食後に血糖値が上昇すると、間脳の視床下部が高血糖を感知し、副交感神経を介してすい臓のランゲルハンス島を刺激する。また、ランゲルハンス島自身も高血糖を感知して、B細胞からインスリンを分泌する。インスリンは、おもに肝臓の細胞や骨格筋細胞、および脂肪細胞に存在するインスリン受容体に結合する。インスリンは、肝臓の細胞では、グリコーゲン合成を促進し、グルコースの放出を抑制する。また、骨格筋細胞や脂肪細胞では、インスリン受容体と結合したタンパク質Pを介して酵素Qを活性化し、細胞内の膜小胞上にあるグルコース輸送体を膜小胞ごと細胞膜表面に移動させ、細胞膜上のグルコース輸送体の数を増やす。その結果、細胞内へのグルコースの取り込みが促進され、食事によって上昇した血糖値はもとにもどる。取り込まれたグルコースは呼吸基質として分解されるほか、骨格筋細胞ではグリコーゲンの合成に、脂肪細胞では脂肪の合成にそれぞれ利用される。

**問2** ホルモンを構成している物質は、タンパク質(ポリペプチド)、アミノ酸誘導体、および脂質の1種であるステロイドの3つに大別される。インスリンのほかに成長ホルモン、バソプレシンなど多くのホルモンが、タンパク質(ポリペプチド)からなる。一方、アミノ酸誘導体からなるホルモンとしては、チロキシン、アドレナリンなどがあり、ステロイドからなるホルモンには、副腎皮質から分泌される糖質コルチコイドおよび鉱質コルチコイドや、生殖腺から分泌される雄性ホルモンや雌性ホルモンなどがある。したがって、正解はウである。

**問3** 上昇した血糖値を低下させるホルモンはインスリンのみであるが、低下した血糖値を上昇させるホルモンは多種類ある。

(1) 副腎髄質から分泌されるのはアドレナリンである。アドレナリンは交感神経の刺激によって分泌され、肝臓の細胞や骨格筋細胞に貯蔵されているグリコーゲンの分解を促進して血中に

グルコースを放出させる。

(2) 組織のタンパク質の糖化を促進して血糖値を上昇させるホルモンは糖質コルチコイドである。糖質コルチコイドは副腎皮質から分泌され、副腎皮質刺激ホルモンによって分泌が促進される。

(3) インスリンと同じすい臓のランゲルハンス島から分泌されるホルモンはグルカゴンである。グルカゴンは、ランゲルハンス島が低血糖に反応したり、交感神経の刺激によって、ランゲルハンス島のA細胞から分泌される。グルカゴンはアドレナリンと同様に肝臓にはたらくて、グリコーゲンの分解を促進して血中にグルコースを放出させる。

**問4** 近年患者数が増加している疾病に糖尿病がある。糖尿病の人は、食事後に肝臓の細胞におけるグルコースの放出を抑制できず、また骨格筋細胞や脂肪細胞では糖の取り込みが低下するので、高血糖の状態が続く。糖尿病の原因は2つに大別される。1つは、自己免疫疾患などの理由でランゲルハンス島のB細胞が減少して、インスリンの分泌量が低下するもので、1型糖尿病またはインスリン依存型糖尿病と呼ばれる。1型糖尿病では、インスリンを投与することによりその症状が改善される。この問では、こちらの原因を記述すればよい。もう1つの原因は、インスリン受容体がインスリンを受容してからグルコース輸送体がグルコースを取り込むまでの過程など標的細胞の側に異常があるもので、2型糖尿病またはインスリン非依存型糖尿病と呼ばれる。十分量のインスリンが分泌されてもこれが作用できない状態を「インスリン抵抗性」と呼ぶ。日本人の糖尿病患者の9割以上はこのタイプであり、遺伝的な要因とともに、過剰な栄養摂取が大きな原因であると考えられている。

**問5** 図1および設問文に示された内容にしたがって順に因果関係をたどると、脂質をおさえた食事を摂る→血中の遊離脂肪酸が減少する→骨格筋細胞への遊離脂肪酸の取り込みが減少する→酵素Rによるタンパク質Pの抑制が低下する→インスリンがインスリン受容体に結合した

際にタンパク質Pを介して酵素Qが活性化される→グルコース輸送体が細胞膜表面に移動する→グルコースの細胞内への取り込みが促進され、糖尿病が改善される、というようになる。

**問6** 血中の遊離脂肪酸の増加は高脂血症を招き、動脈硬化性疾患の危険性を高める。特に、脳の血管や心臓の冠状動脈などで出血や血栓が生じると、即座に死に至る恐れがある。

**問7** Bの問題文には「体重が増加すると血中のアディポネクチン濃度が低下して、インスリン抵抗性となりやすい」と記されているので、アディポネクチン欠損マウスはインスリン抵抗性を示すと予想される。図2をみると、普通食では正常マウスと欠損マウスで違いはみられず、血糖値および遊離脂肪酸濃度ともにほぼ正常値を示すが、高脂肪・高スクロース食を与え続けると、正常マウスでは血糖値および遊離脂肪酸濃度の上昇がみられ、欠損マウスではさらにこの値が大きくなっている。また、問題文の最後には、「アディポネクチンはインスリンの分泌に直接影響を与えない」と記されている。したがって、高脂肪・高スクロース食の正常マウスでは、上昇した血糖値を低下させるためにインスリンの分泌量が通常よりも高まっており、また、高脂肪・高スクロース食の欠損マウスでは、インスリン抵抗性となって、インスリンが分泌されても血糖値が低下しないため、正常マウスよりもさらにインスリンの分泌量が高まっていると考えられる。これらのことから、インスリン濃度の違いを示すグラフは、血糖値および遊離脂肪酸濃度のグラフと同様の傾向を示すと考えられるので、ウが正解である。

**問8** 問7の解説で述べたように、欠損マウスはインスリン抵抗性を示すと考えられるので、インスリンを投与した際の血糖値(実際の血糖値は、欠損マウスのほうが高いが、図3では血糖値は正常マウス、欠損マウスともに投与前の値を100とした相対値で表している)の低下は正常マウスよりも緩慢になるはずである。したがって、欠損マウスのグラフとしては、イが適切である。

**問9** アディポネクチンの効果を、骨格筋細胞や脂肪細胞内の情報伝達を示した図1にもとづいて検討する。アディポネクチン欠損マウスはインスリン抵抗性となることから、アディポネクチンはインスリン抵抗性を軽減する効果があると考えられる。このことからアディポネクチンが作用したとき、タンパク質Pおよび酵素Qが活性化されてグルコースの骨格筋細胞への取り込みが促進されと考えられるので、ア～エの記述のうちではイが適切である。また、Bの問題文の最後に「欠損マウスでは骨格筋細胞や脂肪細胞の細胞膜において図1の脂肪酸輸送体の数が減少している」と記されているので、アディポネクチンは脂肪酸輸送体の数を増加させ、遊離脂肪酸の取り込みを促進していることがわかる。取り込まれた遊離脂肪酸がそのまま細胞内に留まれば、酵素Rを活性化し、タンパク質Pの作用を抑制して、グルコース輸送体の細胞膜への移動を抑制するが、取り込んだ遊離脂肪酸が骨格筋細胞内ですぐに分解されと考ええると、アディポネクチンによるインスリン抵抗性の軽減をうまく説明できる。したがって、オ～クの記述のうちではオが適切である。

### ③ 発生・遺伝

#### 【解答】

問1	(1)	4細胞期に P <sub>2</sub> 細胞と接していること。(17字)									
	(2)	ア	カ								
問2	アポトーシス										
問3	(1)	ア	2A+X	イ	A+X	ウ	A	エ	雌雄同体	オ	雄
	(2)	64通り									
問4	(1)	交配で生じた雄個体のうち、正常な雄個体と異常形態で異常行動を示す雄個体の合計が占める割合を求める。(49字)									
	(2)	(i)	0.12 %	(ii)	1.75 %						
問5	雄が存在しない場合に比べて、集団の遺伝子構成が多様化する。(29字)										

#### 【配点】 (25点)

問1 (1) 2点 (2) 各2点×2(順不同) 問2 1点  
 問3 (1) ア～ウ 2点(完答) エ・オ 2点(完答) (2) 2点  
 問4 (1) 3点 (2) (i) 3点 (ii) 3点 問5 3点

#### 【解説】

全発生過程の細胞系譜が調べられているセンチュウを題材に、その発生と遺伝に関する問題を出題した。

問1(1) 図1のように、正常な4細胞期胚では、ABa細胞とABp細胞は互いに接しており、どちらの細胞もEMS細胞と接しているが、ABp細胞がP<sub>2</sub>細胞と接しているのに対し、ABa細胞はP<sub>2</sub>細胞と接していない。**実験1**で、レーザー光を照射してP<sub>2</sub>細胞を破壊すると、ABp細胞がABa細胞と同じ細胞系譜を示すようになること、また、**実験2**で、ABp細胞がP<sub>2</sub>細胞と接しないようにすると、ABp細胞がABa細胞と同じ細胞系譜を示すようになることから、ABp細胞がABa細胞とは異なる細胞系譜を示すようになるためには、4細胞期にABp細胞がP<sub>2</sub>細胞と接している必要があることがわかる。

(2) ABa細胞、ABp細胞、P<sub>2</sub>細胞、EMS細胞の4つの細胞の1つから腸が形成されること

が問題文に書かれている。**実験3**で、4細胞期胚になってから8分以降にEMS細胞を分離し、EMS細胞を単独で培養すると、腸が100%分化していることから、ア～ウのうちアが適当である。

また、4細胞期胚になった直後(0分)にEMS細胞を分離し単独で培養しても腸は分化しないが、EMS細胞とP<sub>2</sub>細胞を密着させて培養すると、すべてのEMS細胞から腸が分化している。このことは、EMS細胞から腸が分化するためには、ABa細胞とABp細胞は必要ではなく、P<sub>2</sub>細胞が存在すればよいことを示唆している。4細胞期胚になってから8分が経過すると、EMS細胞を分離し単独で培養しても腸が分化している。これは、4細胞期胚になってから8分までの間に、EMS細胞が腸に分化するために必要なP<sub>2</sub>細胞からの接触が完了していることを意味している。これらのことから、エ～ケのうちカが適当である。



問2 生物の正常な発生過程では、決められた時期に決められた細胞が死んで失われていく「プログラムされた細胞死」が起こる。「プログラムされた細胞死」では、染色体(DNA)が断片化されて核が崩壊した後、細胞が断片化され、多数の小胞が生じる。この小胞はマクロファージなどの細胞に取り込まれて、さらに分解される。このような細胞死を、アポトーシスという。アポトーシスの例として、カエルのオタマジャクシの変態時にみられる尾の退縮がよく知られているが、ニワトリの後肢の指の形成やヒトの手足の指の形成などにもアポトーシスが関係している。アポトーシスは、正常な発生や器官の形成などにおいて欠くことのできない重要なしくみである。

問3(1) 問題文の下線部cに、「雌雄同体は性染色体であるX染色体を2本もつものに対し、雄はX染色体を1本しかもたない」とあるので、常染色体の一組をAで表すと、雌雄同体の体細胞の染色体構成は $2A+XX$ と表され、雄の体細胞の染色体構成は $2A+X$ と表される。雌雄同体からは減数分裂によって卵と精子がつくられ、その染色体構成はどちらも $A+X$ である。また、雄からは減数分裂によって精子がつくられるが、雄はX染色体を1本しかもたないため、X染色体をもつ $A+X$ の精子と、X染色体をもたないAの精子が、同じ割合で生じる。雌雄同体と雄がつくる配偶子の染色体構成と、それらの受精によって生じる個体の染色体構成をまとめると、下表のようになる。

	雌雄同体の精子 $A+X$	雄の精子	
		$A+X$	A
雌雄同体の卵 $A+X$	$2A+XX$ 雌雄同体	$2A+XX$ 雌雄同体	$2A+X$ 雄

(2) 雌雄同体の染色体数は $2n=12$ である。12本の染色体のうち、2本は性染色体(X染色体)であり、残りの10本は5対の相同染色体からなる常染色体である。卵が形成される際には、減数分裂が行われる。減数分裂では、対をなしている相同染色体がランダムに娘細胞に分配されるので、さまざまな染色体の組合せをもつ生殖細胞が生じる。したがって、 $2n=12$ の雌雄同体の場合、相同染色体が6対存在するの

で、減数分裂によって生じる卵における染色体の組合せは $2^6=64$ 通りとなる。

問4 交配1で生じた $F_1$ では、行動に関する形質は雌雄同体(正常)も雄(正常)も同じであるが、形態に関する形質は雌雄同体(正常)と雄(異常形態)で異なっている。この形態に関する形質の現れ方の違いは、「形態に関するD遺伝子がX染色体に存在する」と考えれば説明できる。

また、交配2で生じた $F_1$ では、形態に関する形質は雌雄同体(正常)も雄(正常)も同じであるが、行動に関する形質は雌雄同体(正常)と雄(異常行動)で異なっている。この行動に関する形質の現れ方の違いは、「行動に関するU遺伝子がX染色体に存在する」と考えれば説明できる。

これより、形態に関するD遺伝子と行動に関するU遺伝子がともにX染色体に存在することがわかる。また、交配1、2とも $F_1$ の雌雄同体が形態、行動とも正常であることから、正常遺伝子が異常遺伝子に対して優性であることがわかる。よって、正常形態遺伝子をD、異常形態遺伝子をd、正常行動遺伝子をU、異常行動遺伝子をuとそれぞれおくと、交配1と交配2は次のように表される。

交配1

雌雄同体	雄
$X^{DU}X^{dU}$	$X^{Du}$
└───┬───┘	
$F_1$ 雌雄同体 $X^{Du}X^{dU}$	雄 $X^{dU}$
(正常)	(異常形態)

交配2

雌雄同体	雄
$X^{Du}X^{Du}$	$X^{dU}$
└───┬───┘	
$F_1$ 雌雄同体 $X^{Du}X^{dU}$	雄 $X^{Du}$
(正常)	(異常行動)

(1) 交配1の $F_1$ の雌雄同体から得られた卵と、 $F_1$ の雄から得られた精子を受精させ、その交配結果からD遺伝子とU遺伝子の間の組換え価を求める。まず、組換え価が不明であるので、交配1の $F_1$ の雌雄同体( $X^{Du}X^{dU}$ )がつくる卵の分離比を、 $X^{DU} : X^{Du} : X^{dU} : X^{du} = m : n : n : m$ とおく。一方、雄はX染色体を1本しかもたず、D遺伝子とU遺伝子の間で組換え

が起こらないので、交配1のF<sub>1</sub>の雄(X<sup>du</sup>)がつくる精子の比は、X<sup>DU</sup>:・(ただし、・はX染色体をもたない精子を表す)=1:1となる。したがって、交配1のF<sub>1</sub>の雌雄同体から得られた卵と、交配1のF<sub>1</sub>の雄から得られた精子を受精させると、その交配結果は下表のようになる。

	mX <sup>DU</sup>	nX <sup>Du</sup>	nX <sup>du</sup>	mX <sup>du</sup>
X <sup>du</sup>	mX <sup>DU</sup> X <sup>du</sup> 正常	nX <sup>Du</sup> X <sup>du</sup> 正常	nX <sup>du</sup> X <sup>du</sup> 異常形態	mX <sup>du</sup> X <sup>du</sup> 異常形態
・	mX <sup>DU</sup> 正常	nX <sup>Du</sup> 異常行動	nX <sup>du</sup> 異常形態	mX <sup>du</sup> 異常形態・異常行動

交配1のF<sub>1</sub>の雌雄同体(X<sup>DU</sup>X<sup>Du</sup>)では、dとU、Dとuがそれぞれ連鎖しているので、D(d)遺伝子とU(u)遺伝子の間で組換えが起こって生じた卵は、X<sup>DU</sup>とX<sup>du</sup>である。上の交配表からもわかるように、交配1のF<sub>1</sub>の雌雄同体(X<sup>DU</sup>X<sup>Du</sup>)がつくる卵の遺伝子型の分離比と、交配によって生じた雄の表現型の分離比が一致するので、次式から組換え価(%)を求めることができる。

$$\frac{\text{正常な雄個体の数} + \text{異常形態} \cdot \text{異常行動を示す雄個体の数}}{\text{交配によって生じた雄個体の数}} \times 100$$

(2)(i) D遺伝子とU遺伝子の間の組換え価は7%であるので、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体(X<sup>Du</sup>X<sup>du</sup>)がつくる卵の比は、X<sup>DU</sup>:X<sup>Du</sup>:X<sup>du</sup>:X<sup>du</sup>=7:93:93:7であり、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体(X<sup>Du</sup>X<sup>du</sup>)がつくる精子の比も、X<sup>DU</sup>:X<sup>Du</sup>:X<sup>du</sup>:X<sup>du</sup>=7:93:93:7である。したがって、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体から得られた卵と精子を受精させた場合の交配結果は下表のようになる。

	7X <sup>DU</sup>	93X <sup>Du</sup>	93X <sup>du</sup>	7X <sup>du</sup>
7X <sup>DU</sup>				
93X <sup>Du</sup>				
93X <sup>du</sup>				
7X <sup>du</sup>				49X <sup>du</sup> X <sup>du</sup>

異常形態と異常行動をともに示す個体が生じる確率(%)を求めればよいので、交配表のマス目をすべて埋める必要はなく、異常形態と異常

行動をともに示す個体が生じる確率(%)は次式により求められる。

$$\frac{7^2}{(7+93+93+7)^2} \times 100 \approx 0.12 (\%)$$

(ii) D遺伝子とU遺伝子の間の組換え価は7%であるので、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体(X<sup>Du</sup>X<sup>du</sup>)がつくる卵の比は、X<sup>DU</sup>:X<sup>Du</sup>:X<sup>du</sup>:X<sup>du</sup>=7:93:93:7であり、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雄(X<sup>Du</sup>)がつくる精子の比は、X<sup>Du</sup>:・(X染色体をもたない精子)=1:1である。したがって、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体から得られた卵と、交配2で生じたF<sub>1</sub>の雌雄同体から得られた精子を受精させた場合の交配結果は下表のようになる。

	7X <sup>DU</sup>	93X <sup>Du</sup>	93X <sup>du</sup>	7X <sup>du</sup>
X <sup>Du</sup>				
・				7X <sup>du</sup>

異常形態と異常行動をともに示す個体が生じる確率(%)を求めればよいので、交配表のマス目をすべて埋める必要はなく、異常形態と異常行動をともに示す個体が生じる確率(%)は次式により求められる。

$$\frac{7}{(7+93+93+7) \times 2} \times 100 = 1.75 (\%)$$

問5 センチュウの多くは雌雄同体であり、通常、雌雄同体は卵と精子をつくって自家受精を行う。しかし、雄が存在する場合には、雌雄同体がつくる精子よりも雄がつくる精子を優先して受精に用い、他家受精が起こる。

自家受精は受精に他個体を必要とせず、安定した環境下では確実に受精を行うことができるという利点があるが、自家受精を繰り返行くと、集団内の各個体の遺伝子構成はしだいに多様性が低下していく。一方、他家受精では、遺伝子型の異なる個体から生じた配偶子どうしが合体して新個体が生じるので、自家受精を行う場合に比べ、集団の遺伝子構成が多様化し、環境の変化に対して適応できる確率が高くなる。



#### ④ 遺伝子

##### 【解答】

問1	1	RNA ポリメラーゼ			2	プロモーター		3	イントロン		4	エキソン	
	5	スプライシング			6	核膜孔							
問2	(1)	ゲノム	(2)	キ	(3)	イ	問3	イ	問4	ウ	問5	ウ	
問6	(1)	DNA断片中の転写調節配列に調節タンパク質Xが結合して、分子量が大きくなった。(39字)											
	(2)	エ											
問7	物質Yを与えていないときには、調節タンパク質Xは別のタンパク質と複合体を形成しており、この複合体はDNAに結合できない。(60字)												
問8	調節タンパク質Xは複合体から切り離されて細胞質から核に移り、免疫グロブリン遺伝子の転写調節配列に結合して転写を促進する。(60字)												

##### 【配点】 (25点)

問1 各1点×6    問2 (1) 1点    (2) 1点    (3) 1点    問3 1点    問4 2点  
 問5 2点    問6 (1) 3点    (2) 2点    問7 3点    問8 3点

##### 【解説】

遺伝子全般に関する知識問題と、免疫グロブリン遺伝子の転写調節に関する実験考察問題を出題した。

問1 真核生物のある遺伝子の転写が開始される際には、まず、その遺伝子の近くの転写調節配列と呼ばれる特定の塩基配列に、調節タンパク質が結合する。調節タンパク質は特定のDNAの塩基配列を認識して結合するタンパク質であり、遺伝子の転写を調節するはたらきをもつ。次に、調節タンパク質は、RNAポリメラーゼ(RNA合成酵素)と基本転写因子と呼ばれるタンパク質が、プロモーターと呼ばれる領域に結合することを、促進または抑制する。基本転写因子はRNAポリメラーゼがプロモーターの適当な位置(転写が開始される位置)に正しく結合するために必要なタンパク質である。こうして、RNAポリメラーゼはプロモーターに結合するとRNA合成を開始する。

また、真核生物の多くの遺伝子では、転写後そのまま翻訳されるエキソンと、転写後に翻訳されないイントロンが交互に並んだ状態で存在

している。転写の際にはエキソンとイントロンはどちらも転写されるが(合成されたRNAをmRNA前駆体と呼ぶ)、この後、核内でmRNA前駆体からイントロンが切り出され、エキソンがつなぎ合わされて成熟mRNAとなる。この過程をスプライシングという。

こうして合成された成熟mRNAは、核膜のところどころにあいた核膜孔(核孔)を通して細胞質に出てリボソームと結合し、リボソーム上で成熟mRNAの遺伝情報をもとにタンパク質が合成される。核膜孔は核と細胞質の間で物質が出入りする通路であり、成熟mRNAが核内から核膜孔を通して細胞質へと出るほか、細胞質で合成されたタンパク質のうち核ではたらくものは、核膜孔を通して核内に入る。

問2(1) ある生物を構成するために必要なすべての遺伝子、染色体、あるいはDNAのセットを、ゲノムという。ヒトを例にあげると、ヒトの体細胞は核内にゲノムを2セットもち、減数分裂によって配偶子にゲノムを1セットずつ分配する。ゲノムを1セットもつ配偶子が互いに

受精することで、ゲノムを2セットもつ受精卵が形成される。

(2)・(3) ヒトのゲノムDNAは約30億( $3.0 \times 10^9$ )塩基対からなり、この中に約22000( $2.2 \times 10^4$ )個の遺伝子が存在している。しかし、ゲノムDNA中で遺伝子の領域、すなわちタンパク質のアミノ酸配列の情報を保持している領域はわずか1～2%程度であり、残りの領域の多くは単純な繰り返し配列などで、その機能はほとんど明らかになっていない。

問3 核内に移行してはたらくタンパク質には、DNAを巻き付けて染色体を構成するヒストンのほか、RNAポリメラーゼやDNAポリメラーゼ、スプライシングを行う酵素、基本転写因子、多くの調節タンパク質などがある。

問4 ア ショウジョウバエなどの双翅目の昆虫の幼虫では、だ腺(だ液腺)細胞が分裂せずにDNA合成が繰り返され、複製されたDNAが分離しない。しかも相同染色体どうしも対合しているため、通常の染色体と比較して100倍～150倍の大きさの染色体(巨大染色体という)が存在する。だ腺細胞のこのような染色体をだ腺染色体と呼び、いつでも染色体を光学顕微鏡で観察することができる。よって、正しい。

イ だ腺染色体を酢酸カーミンや酢酸オルセインなどの色素で染色して観察すると、多数の横縞がみられる。この横縞は、染色体上の遺伝子の位置と対応する。このため、染色体異常によってある遺伝子を欠損しているショウジョウバエについて、欠損しているだ腺染色体の横縞の位置とその個体の表現型を対応させることで、染色体上のどの位置にどの遺伝子が存在するかを知ることができる。よって、正しい。

ウ だ腺染色体を観察すると、ところどころに染色体がふくらんで太くなっている部分がみられる。このような部分をパフという。パフではだ腺染色体が転写を行うためにほどけており、転写がさかに行われRNAが合成されている。パフでタンパク質が合成されているわけではないので、誤りである。

エ 前述のように、パフではRNAがさかんに合成されている。このため、放射性同位体で標識したウリジンをだ腺に与えると、標識ウリジ

ンがRNAを構成するヌクレオチドの成分として使われ、パフの部分から放射能が検出されるようになる。よって、正しい。

オ 異なる発生段階の幼虫でパフができる位置を観察すると、発生の進行とともにパフの位置が変化するのが観察される。これは、発生過程のそれぞれの時期に必要な遺伝子が異なり、それぞれの時期に特異的な遺伝子が発現することを示している。また、エクジソン(昆虫の変態を誘導するホルモン)のようなホルモンを与えても、やはりパフの位置が変化するのが観察されるが、これは、ホルモンの影響によって異なる遺伝子が発現するようになることを示している。よって、正しい。

問5 免疫グロブリン遺伝子の転写は調節タンパク質Xによって促進されるが、実験1では、未熟B細胞に物質Yを与えたときに、タンパク質合成阻害剤を与えても免疫グロブリン遺伝子の転写が促進されている。このことは、免疫グロブリン遺伝子の転写が促進される際に、調節タンパク質Xを新たに合成する必要がないことを示している。よって、アとイは誤りである。また、エのように、免疫グロブリン遺伝子の転写を促進する調節タンパク質Xの分解が促進されると、免疫グロブリン遺伝子の転写は抑制されるはずである。よって、エは誤りである。すなわち、ウのように、細胞内にもとから存在していた調節タンパク質Xが、物質Yの添加によって活性化され、これによって免疫グロブリン遺伝子の転写が促進されると考えられる。

問6(1) 実験2でも述べられているように、ゲル電気泳動法は分子量の差によって移動度に差が生じることを利用する方法であり、移動度が大きいものほど分子量は小さい。図1の矢印①のバンドは標識DNA断片のみが検出されたものなので、レーン3の矢印②のバンドは、標識DNA断片よりも分子量が大きい物質が含まれていることになる。この標識DNA断片には調節タンパク質Xが結合する転写調節配列が含まれているので、標識DNA断片にタンパク質Xが結合して分子量が大きくなり、この複合体が矢印②の位置に検出されていると考えることができる。

ただし、**実験2**のレーン3では、核から単離したタンパク質群と標識 DNA 断片を混合しているため、核内に存在する調節タンパク質X以外のタンパク質が標識 DNA 断片に結合している可能性を否定できない。そこで、**実験3**では調節タンパク質Xに対する抗体を混合して同様の実験を行っている。この場合、調節タンパク質Xに抗体が結合し、この複合体が標識 DNA 断片に結合するので、**実験2**よりも標識 DNA 断片を含む複合体の分子量がさらに大きくなり、より移動度が小さい位置にバンドが現れるはずである。これに対して、調節タンパク質X以外のタンパク質が標識 DNA 断片に結合しているとすると、このタンパク質に抗体は結合しないので、移動度がさらに小さくはならない。よって、矢印②のバンドには、標識 DNA 断片と調節タンパク質Xの複合体が含まれていると考えられる。

(2) 10倍量の非標識DNAを加えて実験を行った場合、調節タンパク質XのDNAに対する結合性に放射性同位体による標識の有無は影響しないので、調節タンパク質Xの多くが多量に存在する非標識DNAと結合すると考えられる。このため、標識DNAと調節タンパク質Xからなる複合体が減少し、矢印②の位置に現れるバンドは細くなると考えられる。

**問7** **実験2**のレーン2、すなわち物質Yを添加する前では②のバンドが現れていないが、**実験**

4のレーン2ではバンドが現れている。この結果から、物質Yを添加する前には調節タンパク質Xは細胞質に存在することがわかる(試薬Zは細胞からタンパク質を単離した後に加えているので、細胞内での調節タンパク質Xの分布に影響を与えない)。試薬Zはタンパク質どうしの結合を切断する作用をもつので、細胞質では調節タンパク質Xは他のタンパク質と結合して複合体を形成しており、この複合体は標識DNA断片に結合できないと考え、実験結果を矛盾なく説明できる。

**問8** **実験4**の結果をみると、物質Yを与える前には、細胞質から単離したタンパク質を用いたときにのみ②のバンドが現れる(レーン6)のに対して、物質Yを加えた後には、核内から単離したタンパク質を用いたときにのみ②のバンドが現れている(レーン7)。これと**問7**の解説で述べたことを考えあわせると、調節タンパク質Xは物質Yを与える前は細胞質に存在しており、他のタンパク質と複合体を形成しているが、物質Yが与えられるとタンパク質Xは複合体から切り離されて核に移行すると考えられる。さらに、核内では調節タンパク質Xは免疫グロブリン遺伝子の近くに存在する転写調節配列に結合して免疫グロブリン遺伝子の転写を促進するので、物質Yの添加により免疫グロブリン遺伝子の発現が起こることになる。

# 【小論文】

## ① 【日本語論述問題】

### 【解答例】

#### 解答例 1

高齢者の孤独死が社会問題化して久しい。一人暮らしの高齢者が誰にも看取られずに亡くなるのも悲しいことだが、死に先立って他人に気づかれないまま長く苦しむケースがあることはいつそう痛ましい。各自治体などで対策は立てられているものの、孤独死は増加し続けており、ある統計では2011年の日本での総数は15,000件に上るという。

図を見ると、友人や同僚などと全くあるいはめったに付き合わないと答えた比率は、日本が15.3%でOECD諸国のなかでは最も高い。他の諸国はメキシコを除けば10%以下にとどまり、最も低いオランダなどは日本の約8分の1に過ぎない。アンケートなので客観的な実態とどこまで対応するのかは不明だが、日本が社会的孤立を見直さなければならない状況に置かれていることは間違いないだろう。

図の示す意味で社会的に孤立していても、家族が同居していれば孤独死は避けられる。しかし、核家族で子供が独立して別居し、配偶者に先立たれば、単身で暮らさざるを得ない高齢者も多いだろう。仕事をリタイアすれば同僚との付き合いもなくなるし、地域コミュニティの崩壊した都市部では隣人間の交流も希薄になりがちだ。脳卒中の発作を起こす、肺炎で寝込む、転倒して骨折するといったことが起こると、誰にも発見されないまま死にいたるという危険は少なくない。

孤独死を防止していくためには、高齢者を社会的孤立に陥らせないことが必要だ。だが、介護や生活支援の介入を拒む高齢者も多い。高齢者が自発的に地域の人々と交流を持つことができ、健康づくりの情報交換や定期的な健康診断などもそこで行えるような施設を作るなど、地域において、個々の高齢者を不自然でない形で可視化することができるような、行政・医療・福祉連携の仕組みが必要ではないだろうか。

#### 解答例 2

愛媛の田舎で一人暮らしの祖母が、自転車で転倒して骨折。右脚の骨の多くを人工骨に置き換える手術を受けた。退院後、京都の伯父の家に同居したのだが、デイ・ケアに通う週2日は別として、他の日は家で一人ぼっち。近所には知人もなく、言葉も文化も違う環境の中で、頑張れば杖を使って歩行も可能なのに、買い物には出ず、隣人との付き合いもなく、閉じこもり気味になっ

てしまった。次第に体が弱って病気がちとなり、ふさぎ込んだところで、危機と考えた伯父が仕事を休んで連れ出してはリハビリに努め、少し快方に向かった時点で祖母は一人田舎に戻った。皆の心配をよそに、今では、近所を行き来して古くからの隣人とおしゃべりに興じ、デイ・ケアでは「主」となって、元気に暮らしている。

祖母は幸いに難を逃れたが、近年、地方の高齢者が要介護となって都市部に住む家族に引き取られ、祖母と同様の状況で生活不活発病となり、あるいは認知症も発症して、早々に亡くなっていくことが多いそうだ。人は、ただ周りに人が大勢いれば賑やかにやっていけるというものではない。年齢や境遇、言葉、文化、生活習慣など、多様な環境の一部でも共有点を持つ「仲間」が見つけれられない場合、「社会的孤立」に陥る。特に高齢者にとって、この孤立は心身両面に大きな負荷を与える。地方と都市の分離が進んだ結果、現在の日本には、この危険が満ちているように思う。人と「めったに付き合わない」人が多いという資料の図のデータは、日本社会のそんな一面も示しているのではないだろうか。

介護のための転居のほかにも、災害による避難生活、地域の再開発による周辺環境の変化など、高齢者が突如この危険に曝される場合は多い。この視点から、様々な人が趣味、スポーツ、伝統行事等、多様な形で交流できる文化施設・行事の振興を図るよう行政に訴えかけていくのも、今後は特に医療者の務めではあるまいか。

#### 解答例 3

図によれば、友人や仲間と「全く、あるいはめったに付き合わない」という人の割合が、日本では15%を超え、例えば米国の5倍に近い。15%程度だから少数派だとはいえ、資料中の国々のトップである。人が他者と交流することなく「社会的に孤立しがち」という状況は、確かに日本社会の1つの特徴なのだろう。

今の日本では、人々の職業やライフスタイルが多様な形で確立しており、人は学校や職場などそれぞれの集団のシステムに従っていれば、それ以外の他者とあまり関わらずに生きていける。多くの人は、そこに趣味やボランティア等による別種の人間交流を加えて生活を彩るが、中には、多忙でその余裕がない人や、ひたすら本業に打ち込む人もいる。また、インターネットの普及もあり、独りで楽しむ趣味に没頭する人もいる。そのような、余計な人間関係に煩わされない独立した生活は、順調である限り、現代人にとって大きな魅力でもあろう。

しかし、その小社会での対人関係に破綻が生じた時、周りにはそれを補う何者もないことになる。別種の人間交流から自身の状況を見つめ、価値観を変換するという機会もないのだから、社会から拒絶されたという孤立感・孤独感は余計に大きなものとなるのではないか。図のデータは、あるいは人々のそんな孤立感・疎外感を示



すものなのかもしれない。

近年、こうした孤立感からうつに陥る人が多いと聞く。逆に、うつの治療に、それまでとは全く別種の人間交流が有効なことが多いとも聞く。だとすれば、普段から、自分の属する小社会を越え、全く別種の価値観を持った多様な他者と交流できる場が多いことが、社会的孤立を防ぎ、うつを予防する基盤ともなり得る。公園や図書館、趣味サークルや文化センター、学びやボランティアの場など、人々が知り合い、交流する公共財と、利用・参加しやすい環境を積極的に整備する必要がある。

#### 解答例 4

現在、若者の中で「社会的引きこもり」と呼ばれる人たちが多くいるという。不登校は「社会的引きこもり」の生活を送るきっかけの一つとなる。不登校が長引くほどに学校生活に復帰することが難しくなり、進学や就職に関する機会を失って、家庭の中に「引きこもり」生活を送ることになった人が、私の周囲にもいる。

「社会的引きこもり」とは言えないまでも、友人その他との交流が希薄な生活を送っている若者は少なくない。現在、派遣社員や契約社員といった不安定就労が若者の間で増加している。そうした働き方をする若者たちは、深夜のコンビニでのバイトに見られるように、職場での同僚や上司との交流や、職場以外の友人との交流が希薄になりがちである。彼らは実家に「パラサイト」しながら働いている人が多いが、中には宿泊先としてネットカフェを転々とするといった生活を送っている人もいて、社会的孤立の状況に置かれているのだ。

2008年に起きた秋葉原大量殺傷事件は、このような社会的に孤立していた若者によって引き起こされた。社会的孤立が精神的病理現象を生み出すのである。

図が示すように、現代日本において社会的に孤立している人が増加しているのはなぜか。その原因は多岐にわたっていて明確にできない。ただ一つ言えることは、そうした社会的孤立に陥っている人に対し、あえて「自立」を進め、また社会生活の只中へと出ていくことを強く勧めることは、問題の解決にならないということである。むしろ家族以外の人との小規模な交流の機会や場を作っていくことが重要だ。体験や趣味生活を共有できるサークルや、地域でのボランティア活動といった場から、他人との関係の再構築を図っていくのである。そうした場は自由で各人が個性を発揮しやすいものであることが望ましい。社会的孤立に陥っている若者が自分たちの体験してきたことを話し合える場が必要ではないか。

【配点】 100点

#### 【解 説】

##### 〔はじめに〕

本問は、横浜市立大学医学部医学科および和歌山県立医科大学医学部の前期日程入試で出題される小論文に対応して作成したものである。両大学の小論文問題は、一定のテーマのもとに1本の見解論述のみを課す点で共通している。論述テーマは「……というテーマで論じなさい」といった形で直接に示されている場合もあれば、課された図表資料や短文などから解答者が自分で定めなければならない場合もあるが、いずれの場合も、要約や説明を求める設問はなく、1本の論述だけを求めるという出題が続いている。大きなテーマが与えられるので多様な解答が可能であることが多いが、その際に論述内容が、医学・医療の分野に絞られる場合、医学・医療に限らず他の分野についても解答できる場合、むしろ医学・医療を離れてもっと広い視野で考えるべき場合などがあり、それはテーマによって様々である。

以上のような傾向を踏まえ、本問では、参考資料として簡単な図を添え、幅広く様々な視点から考えることのできるテーマでの論述を求めることにした。現時点での論述力を試し、伸ばすことに役立ててほしい。

##### 〔テーマについて〕

今回のテーマは「社会的孤立」である。最近マスコミ等でもよく用いられ、目や耳にする機会が多い言葉ではあるが、論述テーマとしては漠然としていて、具体的な意味内容を捉え難いかもしれない。そこで、論述のヒント、方向付けになるよう、図を添えてある。図のタイトルに「社会的孤立の状況」とあり、グラフに示されているのが「友人、同僚、その他宗教・スポーツ・文化グループの人と全く、あるいはめったに付き合わない」と答えた比率(%)」であるから、ここで言う「社会的孤立」とは「(家族以外の)他人との付き合いがない状況」といったような意味であることがわかるだろう。このような意味での「社会的孤立」について論述するのが、今回の課題である。

##### 〔参考資料について〕

資料は、OECD(経済協力開発機構)が出した統計集“Society at a Glance: OECD Social Indicators 2005 Edition”(図表で見る社会: OECD社会指標2005年版)からのグラフである。先に示した調査項目について、OECD加盟国のうち20カ国のデータが示されている。各国の「全く付き合わない」と「めったに付き合わない」を合計すると日本の数値が最高位であることから、日本に住む人々の「社会的孤立」が進

んでいる状況を示す1つの指標として、よく引き合いに出される資料である。例えば、広井良典『持続可能な福祉社会―「もうひとつの日本」の構想―』（ちくま新書、2006年）や、斎藤環『「社会的うつ病」の治し方―人間関係をどう見直すか―』（新潮選書、2011年）などでも引用されている。

しかし、資料は、これだけを見るとかなり粗雑であり、調査の対象や方法などについてはわからないので、どこまで客観的に実態を反映しているものか判断し難い。また、「(人)と付き合わない」という回答が意味するのが、現実の状態なのか、それとも意識的な「孤独感」のことなのかも判然としない。おそらくは両者が混在するものだろう。だから、厳密なこと、細かなことは言えないのであるが、日本人の「概して人と付き合わない」という傾向を示すものであることは確かである。実際の入試でも、このような大まかな資料が課されることが多い。

#### 〔解答の要件〕

設問は、資料の図を参考に「社会的孤立」について論述しなさい、というもの。解答に必要なことから考えてみよう。

#### I テーマの理解

まず当然のことだが、テーマである「社会的孤立」の（本問での）意味を正しく理解しなければならない。既に示したように、「他人と付き合わない状況」が本問での「社会的孤立」の意味である。これを、例えば「災害などで、周囲との連絡が取れなくなった状態」や、「論争で、一人だけ意見が異なり皆と対立してしまった状況」などと取り違えたり、勝手にすり替えたりして答えないこと。

人間関係についての社会的な状況がテーマであるから、考察・論述の対象は医学・医療の分野に限られるものではない。しかし、後で見るように、医学・医療に関連させて考え、論じることができるテーマでもある。

#### II 資料を参考にすること

設問文は「図を参考に」することを求めている。図から、テーマの意味を把握するだけでなく、考察・論述の手掛かりとなるものを見つけることが必要だ。

とはいえ、既に述べたように、本問の図は大まかなもので、データを厳密に読み取ったり、細部に注目したりすることには、あまり意味がない。例えば、複数の国について詳細な比較を試みたり、メキシコの「全く付き合わない」の比率の多さに着目してみたりしても、有意義な考察には到達し難いだろう。ここでは、家族以外の人と「全く、あるいはめったに付き合わない

い」という人が、日本では（15.3%とはいえ、他国に比べると）多いのだということを踏まえさえすれば十分である。

一方で、これも既に述べたように、図のデータが示すのが、現実の付き合いの状況なのか、意識面・心理面の傾向なのかは、はっきりしない。このことは逆に、これが「現実」なのか「意識」なのかが自由な解釈に委ねられることを意味する。そして、その解釈によって、多様な解答が可能になるだろう。

#### III 論点・考察対象を定めること

上記のような解釈とともに、「社会的孤立」（＝日本人が、社会的に孤立しがちだという傾向）が、具体的にどのような問題を含んでいるのか、という論点を設定することが必要だ。その際、漠然と「日本人」あるいは「日本社会」一般について考えてみても、問題点ははっきり見えてこないだろう。例えば、特に高齢者が「社会的孤立」状況にあるというのは具体的にどういうことであり、そのことにどんな問題があるのだろうか？ 若者についてはどうなのだろうか？ 働き盛りとされる人々は？ と考えることで、「社会的孤立」の具体的な状況と問題が見えてくるはずだ。そこからさらに問題点を絞り込み、これを論点として設定することが、一貫した論述のためには不可欠である。

#### IV 論の掘り下げ

論点が定まったら、それを広く、深く掘り下げて論述を展開することが求められる。自分の設定した論点に沿って、例えば「社会的孤立」の問題点を指摘し、その原因や背景について考察し、対策を提言する、といったところがオーソドックスな論の展開方向である。その際に重要なのは、原因・背景についての十分な考察である。論点として取り上げた「社会的孤立」が、どのような社会的要因（例えば、少子高齢化、地方の過疎化、雇用の不安定化、ネット社会、ストレスの増加など）から発生してくるのか？ その点についての十分な考察があつてこそ、的確な対策も提示し得る。

また、論述に当たっては、抽象的・観念的なだけの論述にならぬよう、具体的な事象を示しながら論を進めることが大切だ。

#### 〔解答の方向〕

以上を踏まえ、いくつかの解答方向を具体的に考えてみよう。

例えば、高齢者の「社会的孤立」について考えてみる。特に独居の後期高齢者は、家に閉じこもりがちで、人との付き合いが欠如しやすいと言われる。そんな中で、「孤独死」（最近では「孤立死」と呼ばれること

もある)が頻発していることを、ニュースや新聞記事等を通して知っている人は多いだろう。この、「社会的孤立」が「孤独死」を招いているという問題が、重要な論点になり得る。この問題について考察したのが**解答例1**である。孤独死が増加している現状を伝聞による知識によって紹介しながら、今回のテーマである「社会的孤立」と結びつけ、問題の背景を考察し、対策を訴えたものである。孤独死は医療の課題ともなる重要な問題であり、本問への解答として格好の論点設定と言えるだろう。

孤独死までには至らない場合でも、「社会的孤立」は高齢者の健康状態に大きな危険をもたらす。医学科志望者として、この関係に論点を求めるのも正攻法と言える。**解答例2**がその例である。具体的な事例を基に、ふとした環境の変化が高齢者に「社会的孤立」状態をもたらし、生活不活発病の原因となるという危険性を指摘し、対策を訴えている。テーマを一貫して医療に結びつけた解答の例である。なお、この解答例のように、自身の体験や伝聞から具体的な事例を記述し、そこから問題点を提示するという手法は、論述の1つの有効な方法である。ただし、その場合、事例をただ物語るのではなく、主張内容に合わせて入念に再構成する必要がある。それが結構難しい技であることも、この解答例から学んでほしい。

以上2つの解答例は、図のデータを実際にある現実の状況を示したものと捉え、考えた例である。一方、図が示している「社会的孤立」という状況を、事実というよりむしろ「孤立感」という意識・心理として解釈して、そんな心理を生み出す日本社会の状況について考え、論じるという解答も可能だ。

例えば、受験生にとっては先輩に当たる、大学生であるとか、壮年・中年層の働き盛りの人たちについて考えてみることは、そのまま日本社会について考えることに繋がるだろう。これらの年代の人々について、「社会的孤立」という状況は当てはまるだろうか？そして、当てはまるとすれば、そこにはどういう背景があり、どんな問題があるのだろうか？**解答例3**は、そんな論点に沿って述べた例である。資料の図から、日本社会の特徴としての「社会的孤立」状況を読み取り、その意味と背景を解析して、うつを生み出す要因として位置づけ、対策を訴えている。壮年・中年層を対象化した社会論は受験生にとっては難しいだろうが、例えば精神科医が書いた本などをよく読んでいるような人には十分可能な解答方向だろう。

それよりも身近で実感のある年代について「社会的孤立」の状況を考察すれば、もっと具体的な問題点や

実際の事件が切実な意味をもって思い浮かぶことだろう。**解答例4**は、若者たちが置かれやすい「社会的孤立」の状況を取り上げ、その背景となる社会現象を問題視した文章である。時代が生んだライフスタイルがもたらした社会的孤立が精神的病理現象を生む、という点で、**解答例3**と共通する視点にたった解答例であるが、考察対象が受験生に近い年齢層に絞られているだけに、より実感が伴うのではないだろうか。

以上、4つの解答例は、あくまでも例である。これらを参考に、それぞれの視点からの答案について、反省し、復習してほしい。

ところで、4つの解答例では、資料の図への言及の仕方が異なっている。**解答例1・3**が比較的ていねいにデータを読み取り記述しているのに対し、**解答例2・4**では簡単に「日本には社会的に孤立しがちな人が多い」程度の言及をしているだけである。このことは、〔解答の要件〕Ⅱ 資料を参考にすること で述べたように、本問の資料の特徴に対応した結果としての解答方法であることに留意したい。実際の入試では、読解内容を論述の中で詳しく述べなければならない資料が課されたり、特に「読解・分析して…」といった指示が付されたりする場合もある。その場合は、**解答例1・3**のような、あるいはもっと子細な読み取りを記すことが必要になることを、心しておこう。

## ② 【英文問題】

### 【解答例】

#### 問1

私たちが必死になって抗菌スプレーで死滅させようとしている「細菌」は、結局のところ、私たちの敵ではないことがわかった。実は、私たちと細菌は密接できわめて重要な関係によって分かちがたく結びつけられているのである。この関係によって、私たちの身体は発達を方向づけられ、免疫系は学習を助けられ、細菌がいなければ得られないであろう代謝能力一式が私たちに授けられる。

#### 問2

疾患の多くは、ヒトと腸内菌叢との関係に生じた異常を原因としているため、現代的な生活習慣のせいで腸内菌叢の生物多様性が失われてしまうと、肥満や糖尿病の発症という形で健康に重大な障害を抱える人が増加する。

#### 問3

子宮内には微生物がいらないため、誕生時の新生児は100%ヒトの細胞から成るが、その後、身体内部や表面にヒトの細胞の10倍もの数の微生物が生息するようになるの



で、人体を構成している全細胞の数に対して微生物の細胞数が占める割合は、死亡時には  $\frac{10}{10+1} = \frac{10}{11} \approx 0.9$ 、つまり約90%になっている。

#### 問4

腸に含まれる大量の免疫組織は、腸内菌叢を見本にすることで味方の微生物を敵の微生物から区別できるようになっているため、免疫系は腸内菌叢に学習を助けられている。

#### 問5

従来のゲノム研究では生物個体の遺伝子が解析対象だったのに対し、メタゲノミクスは腸内生態系を構成する全遺伝子を解析対象とし、腸内微生物にどのような能力が備わっているのかを明らかにしようとする試みである。

#### 問6

痩せたマウスと太ったマウスの腸から微生物を取り出し、無菌状態にあるマウスに移植してみたところ、太ったマウスの微生物群を移植されたマウスでは、体重が顕著に増加することが判明した。だが、腸内菌叢の変化と健康障害は、どちらが原因でどちらが結果なのかがいまだ不明であるため、両者の因果関係を立証することが今後の研究課題である。

【配点】 100点

### 【解 説】

群馬大学医学部医学科（前期日程）小論文で出題されてきた課題文は、医系英文か自然科学系英文のいずれかに大別できる。この傾向はきわめて安定しており、最近5年間では、2012年度「遺伝子疾患の三大パターン」（医系英文）、2011年度「神経精神療の可能性」（医系英文）、2010年度「有性生殖と進化」（自然科学系英文）、2009年度「小児がん治療の課題」（医系英文）、2008年度「ホモ・フローレンシエンシスをめぐる論争」（自然科学系英文）となっている。2013年度も、医系英文あるいは自然科学系英文が出題されるものと考えてよいだろう。

出題には、英文の種類他にも顕著な特徴がいくつか見られた。

第1は、英文がきわめて長いことである。近年では、1,500～2,000語が標準であった。1題90分という解答時間を考慮したとしてもなお、かなりの速読力が必要だろう。

第2は、課題文に対して<sup>おびただ</sup>夥しい数の単語注がつけられていたことである。やや専門的な内容の英文であるため、大学側は受験生への教育的な配慮から懇切丁寧な単語注を用意していたものと推察される。だが、た

だでさえ長い英文を、膨大な単語注と照らし合わせながら読み進めていくのは、かなり大変な作業だろう。

第3に、設問の種類が多様で、その数も多かった。例年、6～8題ほどの設問が用意されており、各設問では和訳、抜き書き、穴埋め、説明、要約、推理、見解論述など、まったく異なる解答作成作業が要求されていた。さっさと頭を切り換え、次々に処理していかないと、制限時間内で完答するのはかなり難しいだろう。

以上の特徴から、これまで英文問題が相当に難度の高い試験になっていることは、あらためて指摘するまでもあるまい。と同時に、大学側が受験生に求めてきた能力もまた一貫していると言える。すなわち、英文速読力と正確で迅速な情報処理能力である。受験生としては、この点を銘記しておきたい。

本問は、こうした出題傾向への対応を意図して作成されたものである。腸内微生物の働きをヒトと微生物から成る生態系という観点から捉え、この生態系が私たちの健康にどのように関わっているかを解説した課題文は、主題的には医系英文と自然科学系英文の中間に位置している。医学を志している受験生諸君にとっては、とても興味深い内容だったはずである。まず、以下に課題文の【参考訳】と【語句解説】をあげておこう。自分の英文読解の正確さを確認しながら、課題文の内容を忠実にたどり、その後で【設問解説】へと読み進んでもらいたい。

#### 【参考訳】

国際ヒト・マイクロバイーム・コンソーシアムでは、私たちの身体内部や表面に生息するすべての微生物を特定して研究することを目指している。おかげで、ヒトの腸でコロニーを形成する生物についての理解は大きく変わりつつある。<sup>(a)</sup> 私たちが必死になって抗生剤で死滅させようとしている「細菌」は、結局のところ、私たちの敵ではないことがわかった。 実は、私たちと細菌は密接できわめて重要な関係によって分かちがたく結びつけられているのである。 この関係によって、私たちの身体は発達を方向づけられ、免疫系は学習を助けられ、細菌がいなければ得られないであろう代謝能力一式が私たちに授けられる。 私たちはみな、微生物とヒトから成る巨大で複雑な生態系の一部であり、個体というよりはむしろ「超個体」なのである。

この認識により、研究者たちは<sup>(b)</sup> ヒト生物学の研究に対するより全体的な観点からの取り組みをせざるをえなくなっている。たとえば、壊死性大腸炎（未熟児の5%をも死亡させている腸疾患）を通常の感染症と

みなすのではなく、まぎれもなく生態学的な災害、つまり生物種間の相互作用における壊滅的な障害として認識するようになる可能性がある。さらに、クローン病のような疾患、そして肥満や糖尿病などのありふれた病気でさえ、結局はみなヒトと腸内菌叢との関係に原因があるのかもしれない。それどころか、こうした病気の罹患率が増加していることから、私たちの体内生態系は現代的な生活習慣に脅かされており、健康に重大な影響が及んでいるのではないかと考えられる。私たちは身体の外部にある環境の生物多様性を懸念しているが、体内環境についても同じ懸念を抱くようになる日が遠くないかもしれない。

ヒトの微生物群を研究している微生物学者たちが好んで統計データを引き合いに出すのも、無理からぬことだろう。というのは、啞然とするような数値が登場するからである。平均的なヒトにはおよそ100兆、つまり  $10^{14}$  個体の微生物が住みついている。そのほとんどは細菌だが、ある種のウイルスや真菌や原生動物や古細菌もいる。あなたは、自身の身体においては少数派にすぎない。微生物の細胞数は、10対1の割合であなた自身の細胞数を圧倒しているからである。微生物はおそらく、あなたの体重のうち数キログラムを占め、腸、口腔、皮膚、粘膜、生殖器など、身体ありとあらゆる部分にコロニーとして存在する。実は、私たちに微生物がついていないのは子宮の中にいるときだけである。<sup>(c)</sup>あなたは100%人間として生まれるのだが、ほぼ90%微生物として死ぬのである。その2つの間に起こるさまざまな生態学的出来事は、いまだ探究されてはいない。だが、私たちを私たちたらしめるのに一役買っているのである。

腸ほど個体から超個体への変貌が劇的な場所はない。微生物群の圧倒的多数は、腸に生息しているからである。ヒトの腸内に生息する微生物は全部で1,000種を超えるだろうが、そのうち数百種が私たち1人ひとりに住みついている。微生物種に個人差があるのは、おそらく遺伝子の組成や生活習慣や環境や食生活といった要因が反映されているためだろう。この体内生物たちが欠けると深刻な障害に陥るであろうことは疑いえない。腸内菌叢が調和の保たれた健全な状態にあれば、病原性微生物の好むニッチが占領されてしまうので、病原性微生物が侵入するのを食い止める役に立つ。腸内菌叢はまた、免疫系の発達にも関与している。細菌が群がる外界の最前線に位置しているため、腸には大量の免疫組織が含まれている。そしてこの免疫組織は、腸内菌叢を見本とすることによって、味方となる微生物を敵となる微生物から区別できるように

なるのである。微生物群を欠いたマウスでは、免疫組織がきちんと成熟せず、病原体を感知して対応する分子の数も少ない。微生物は腸形成の手助けをさせている。微絨毛は腸内膜を形成する小さな襞で、食物の吸収に必要な表面積を大きくしているのだが、微生物を欠いたマウスでは正常には発達しない。

こうした発見が支持しているのは、ヒトの腸内微生物はひとまとまりで活動することによってより大きな全体を形成し、独自の機能を備えるようになったある種の別器官なのだという考え方である。だが腸内微生物は、その圧倒的多数が実験室では培養不可能なため、正確にはどのように相互作用しているのかを探究するのは困難であった。しかし、ゲノム技術の出現によって状況は一変した。標本から直接DNAを抽出してその塩基配列を解析できるようになったため、夥しい数の研究が行われるようになり、ヒトの身体内部に、いや、少なくとも糞便試料の起源である腸末端部に、何が生息しているのかが明らかになりつつある。ヒトの結腸には、主として2つの細菌門フィルミクテスとバクテロイデス、そして若干のプロテオバクテリア門が生息していることがわかった。菌叢にはごくわずかに真菌や原生動物も含まれるが、その正体はほとんどわかっていない。腸内に潜伏して細菌を餌食としているウイルスについても同様である。いずれも、ほとんどが未知の生物種から成り、個人差がきわめて大きいと思われる。

メタゲノミクスと呼ばれるもう1つの研究方法では、こうした腸内微生物たちにどのような能力が備わっているのかを探究しようとする試みがなされている。そのためには、生物個体に焦点を合わせた従来のゲノム研究とは異なり、生態系における全遺伝子を集め、その「メタゲノム」全体を構成しなければならない。つまり、実質的には、生態系の生物学的機能を支えている各部品の一覧表が必要になるのである。では、こうした遺伝子たちはどのような働きをしているのだろうか。その多くは、ヒトゲノムに潜む代謝の空白部分を埋めているように思われる。よく知られているように、腸内菌叢がなければ、私たちはビタミンBを十分に合成できないし、ビタミンKに至っては、まったく合成することができない。だが、微生物はその他にも多くの有益な機能を担っている。たとえば、腸内菌叢に含まれるある種の遺伝子は、複合炭水化物を低級脂肪酸と呼ばれるより単純な分子へと転換する。低級脂肪酸はヒトの重要なエネルギー源であり、全需要の5~15%をも賄っている<sup>まかな</sup>のである。他の主要遺伝子には、果実や野菜に含まれている植物セルロースやペク

チンなどの複合糖類を分解してくれるものがある。おかげで私たちは、そうした遺伝子なしにはどうすることもできない食物を消化できるのである。ヒトの生化学反応の制御において腸内菌叢が果たしている役割は受動的なものにすぎないという考え方は、完全に過去のものとなった。

腸内菌叢は、肥満にも関連している可能性がある。セントルイスにあるワシントン大学のジェフリー・ゴードンを中心とするチームは、痩せたマウスと太ったマウスの腸から微生物を取り出し、無菌状態にあるマウスに移植してみた。すると、太ったマウスの微生物群を移植されたマウスでは、体重が顕著に増加することがわかったのである。後続研究によれば、肥満した人の微生物群は食物からエネルギーを取り入れる能力が高くなっているという。こうした関連は、たしかに示唆に富んではいる。だが、本当に私たちの腸内菌叢が健康障害を引き起こしているのか、それとも、健康障害の結果として腸内菌叢が変化したにすぎないのかは、まだ明らかになっていない。この生態系はきわめて複雑であるため、因果関係の立証は難しいだろう。

健康な人と病気の人の微生物群がどのような構造になっているかをさらに詳しく研究することによって、運がよければ、治療法開発の第一歩を踏み出すことができるかもしれない。たとえば、私たちの腸内生態系の働きを変える薬剤やプロバイオティクスや食品、さらには便移植といった治療法がありうるだろう。

#### 〔語句解説〕

##### 第1段落

- the International Human Microbiome Consortium 「国際ヒト・マイクロバイーム・コンソーシアム」 腸内菌叢がヒトの健康と疾患に及ぼす影響を研究することを目的として2008年に発足した国際組織。
- identify O 「Oを特定する／の正体を明らかにする」
- living in and on our bodies 「私たちの身体内部や表面に生息する」
- colonise O 「Oでコロニーを形成する」
- it turns out that ... 「……（であること）が判明している」
- a germ 「細菌／<sup>ばい</sup>菌」
- do one's best to do 「～するために最善を尽くす／全力で～しようとする」
- exterminate O 「Oを死滅させる／根絶する」
- after all 「結局のところ」
- in fact 「実は／それどころか」

- be locked in A 「A〔状態、関係〕のまま変わらない」
- intimate 「密接な」
- vital 「決定的に重要な」
- a relationship with A 「Aとの関係」
- them = the germs
- it shapes = the intimate and vital relationship with them shapes
- shape O 「Oを決定づける／方向づける」
- physical development 「身体の発達」
- help do 「～するのを助ける」
- train O 「Oを訓練する／に学習させる」
- an immune system 「免疫系」
- equip O with A 「OにAを装備する／授ける」
- a set of metabolic abilities we would otherwise lack = a set of metabolic abilities which [that] we would otherwise lack
- a set of metabolic abilities 「代謝能力一式」
- otherwise 「そうでないとしたら（＝細菌がいなかったとしたら）」
- a microbe-human ecosystem 「微生物とヒトから成る生態系」
- less A than B 「AというよりはむしろB」
- an individual 「(生物の) 個体」
- a superorganism 「超個体／超生物」 通常は、アリやハチなど、各個体がそれぞれの役割を分担することによって全体が1つの生物のように機能している生物集団を指す。

##### 第2段落

- realisation 「認識」
- force O to do 「Oに～させる」
- a researcher 「研究者」
- instead of A 「Aの代わりに」
- view O as A 「OをAとみなす」
- up to A 「A〔分量、数量〕までも」
- a premature baby 「未熟児」
- regular 「通常の／普通の」
- an infectious disease 「感染症」
- for example 「たとえば」
- see O as A 「OをAとみなす」
- it = necrotising enterocolitis
- nothing short of A 「(まさに) Aにほかならない」
- an ecological disaster 「生態学的な災害」
- catastrophic 「壊滅的な」
- interaction between species 「(生物) 種間の相互

作用」

- likewise 「同様に／さらに」
- a common condition 「ありふれた病気」
- a root 「根源」
- prevalence of A 「Aの流行」
- such conditions = common conditions
- suggest that ... 「……（ということ）を示唆する／意味する」
- internal 「体内の」
- be under threat from A 「Aに脅かされている」
- a modern lifestyle 「現代の生活習慣」
- profound 「重大な」
- a consequence 「帰結／成り行き」
- external 「体外の」

### 第3段落

- a microbiologist 「微生物学者」
- research O 「Oを研究する」
- be fond of *doing* 「～するのを好む／好んで～する」
- cite O 「Oを引用する」
- statistics 「統計データ／統計学」
- and no wonder 「それもそのはずである／当然である」
- be home to A 「Aの生息地である／が住みついている」
- mostly 「ほとんどは」
- a minority 「少数派」
- a cell 「細胞」
- by 10 to 1 「10対1の割合で」
- contribute O to A 「Aに対してOを提供する」
- a couple of A 「2, 3のA」
- free from A 「Aが存在しない」
- these two events 誕生と死亡という2つの出来事を指す。
- a vista of unexplored ecology 「いまだ探究されてはいないさまざまな生態学的出来事」ほどの意。
- make us what we are 「私たちのあり方を成り立たせる／本質を構成する」

### 第4段落

- the transformation from A to B 「AからBへの変貌」
- dramatic 「劇的な」
- the vast majority of A 「Aの圧倒的多数」
- a total possible repertoire of A 「Aにまで及ぶる全体」
- the variation between individuals 「個人差」

- reflect O 「Oを反映する」
- a factor 「要因」
- genetic make-up 「遺伝子の組成／遺伝的素因」
- diet 「食生活」
- there is no doubt that ... 「……（ということ）に疑いはない」
- be in serious trouble 「深刻な障害に陥る」
- this internal menagerie = our microbiome
- balanced 「調和の保たれた」
- keep O at bay 「Oを寄せつけない／の侵入を防ぐ」
- disease-causing 「病原性の」
- be involved in A 「Aに関与する／従事する」
- the front line with A 「Aの最前線」
- germ-infested 「細菌が群がる」
- a large amount of A 「大量のA」
- immune tissue 「免疫組織」
- learn to *do* 「～できるようになる」
- distinguish O from A 「OをAから区別する」
- a microbial friend 「味方となる微生物」
- foe = microbial foe 「敵となる微生物」
- sample O 「Oを見本にする」
- mice 「マウス」 単数形は mouse
- lack O 「Oを欠く」
- fail to *do* 「～できない／しない」
- mature 「成熟する」
- properly 「適切に／きちんと」
- a molecule 「分子」
- sense O 「Oを感知する」
- react to A 「Aに対応する」
- a fold 「襞」
- the gut lining 「腸内膜」
- surface area 「表面積」
- absorb O 「Oを吸収する」
- abnormally 「異常に」
- microbe-free 「微生物のいない」

### 第5段落

- findings 「発見」
- the idea that ... 「……という考え方」
- collectively 「集団で／ひとまとまりで」
- a greater whole 「より大きな全体」
- a sort of extra organ 「1種の別器官」
- a function 「機能」
- interact 「相互作用する」
- culture O 「Oを培養する」
- with the advent of A 「Aの出現によって」

- genome technology 「ゲノム技術」
- extract O 「Oを抽出する」
- a sample 「試料」
- a wealth of A 「大量のA」
- originate 「起源をもつ／生まれる」
- dominate O 「Oを占める」
- smaller numbers of A 「若干のA」
- a tiny minority of A 「わずかな数のA」
- the flora = the gut flora
- the same goes for A 「Aにも同じことがあてはまる」
- prey on A 「Aを餌食とする」
- comprise O 「Oを構成する」
- vary 「互いに異なる」
- hugely 「大きく」

#### 第6段落

- be capable of A 「Aが可能である」
- conventional 「従来の／通常の」
- focus on A 「Aに焦点を合わせる」
- effectively 「実質的には」
- a parts list 「部品の一覧表」
- plug O 「Oを埋める」
- it is common knowledge that ... 「……（であること）はよく知られている」 it は that 以下を指す仮主語。
- synthesise O 「Oを合成する」
- vitamin B 「ビタミンB」
- vitamin K 「ビタミンK」
- assume O 「Oを担う／引き受ける」
- convert O into A 「OをAに転換する」
- an energy source 「エネルギー源」
- account for A 「A〔割合〕を占める」
- requirements 「必要量／需要」
- break down O 「Oを分解する」
- complex sugars 「複合糖類」
- allow O to do 「Oが～できるようにする」
- digest O 「Oを消化する」
- foods we could not handle without them = foods which [that] we could not handle without them
- handle O 「Oを処理する」
- them = other core genes
- Gone is the idea that ... 「……という考え方は消滅した」
- a passive role 「受動的な役割」
- regulate O 「Oを制御する」

- our biochemistry 「ヒトの生化学（反応）」

#### 第7段落

- be associated with A 「Aと関連がある／に関係している」
- Washington University 「ワシントン大学」
- St. Louis 「セントルイス」 米国ミズーリ州東部にある都市。
- lean 「痩せた」
- transplant O into A 「OをAに移植する」
- germ-free 「無菌状態の」
- those = mice
- put on A 「Aを増やす」
- significantly 「顕著に」
- subsequent 「その後の」
- indicate that ... 「……（ということ）を示す」
- harvest O from A 「AからOを取り入れる」
- While ... , ~. 「……である一方で～／……だが、～」
- suggestive 「示唆に富む」
- it is not yet clear whether ... or whether ~. 「……なのか、それとも～なのかは、まだ明らかではない」
- cause O 「Oを引き起こす／の原因である」
- a health problem 「健康障害」
- simply 「ただ～にすぎない」
- as a consequence 「（健康障害の）結果として」
- the system 腸内菌叢を中心とする生態系を指す。
- is so complex it will be hard to prove causation = is so complex that it will be hard to prove causation 「きわめて複雑なため、因果関係の立証は困難であろう」

#### 第8段落

- with luck 「運がよければ」
- detailed 「詳細な」
- the microbial communities = the gut flora
- a starting point 「出発点」
- develop O 「Oを開発する」
- these = therapies
- alter O 「Oを変える」
- a faecal transplant 「便移植」 腸内菌叢の異常を原因とする疾患に罹った人に対して、その腸内に健康な人の便を移植することによって治療を行う方法。

#### 〔設問解説〕

問1は、ごくふつうの和訳問題である。下線部(a)は、第1文、第2文とも、取り立てて難しい構文では



ない。熟語表現がいくつも使われているが、受験生諸君にはいずれもお馴染みのものだろう。かなり平易な和訳問題だったはずである。それだけに、ケアレスミスや不自然な訳語による失点は何としても避けたい。詳細は、〔語句解説〕で説明されている。自分の訳出作業を思い出しながら、しっかりと確認しておこう。

問2で問われているのは、近年における肥満や糖尿病の増加が下線部(b)「ヒト生物学の研究に対するより全体的な観点からの取り組み」によってどのように説明されるのかである。まず、この下線部を含む第2段落全体を確認しておこう。

This realisation is forcing researchers to develop (b) a more holistic approach to studying human biology. Instead of viewing necrotising enterocolitis (a bowel disease that kills up to 5 per cent of premature babies) as a regular infectious disease, for example, we may come to see it as nothing short of an ecological disaster—a catastrophic failure in interaction between species. Likewise, illnesses such as Crohn's disease, and even common conditions such as obesity and diabetes could all have roots in our relationship with our gut flora. In fact, the increasing prevalence of such conditions suggests that our internal ecosystems may be under threat from our modern lifestyles, with profound consequences for our health. We may soon be worrying as much about the biodiversity inside our bodies as we do about our external environment. (この認識により、研究者たちは (b) ヒト生物学の研究に対するより全体的な観点からの取り組み をせざるをえなくなっている。たとえば、壊死性大腸炎(未熟児の5%をも死亡させている腸疾患)を通常の感染症とみなすのではなく、まぎれもなく生態学的な災害、つまり生物種間の相互作用における壊滅的な障害として認識するようになる可能性がある。さらに、クローン病のような疾患、そして肥満や糖尿病などのありふれた病気でさえ、結局はみなヒトと腸内菌叢との関係に原因があるのかもしれない。それどころか、こうした病気の罹患率が増加していることから、私たちの体内生態系は現代的な生活習慣に脅かされており、健康に重大な影響が及んでいるのではないとも考えられる。私たちは身体の外部にある環境の生物多様性を懸念しているが、体内環境についても同じ懸念を抱くようになる日が遠くないかもしれない)

冒頭の「この認識」は、直前の第1段落末尾部分で

の説明内容を指している。すなわち、私たちは微生物とヒトから成る巨大で複雑な生態系にほかならず、生物個体というよりはむしろ超個体なのだという認識である。筆者によれば、こうした認識によって病気や健康に対する考え方が大きく変わりつつある。その総称が下線部(b)にほかならない。肥満や糖尿病の増加がどのように説明されるのかは、この段落後半から明らかだろう。解答作成にあたっては、以下の各論点を読み取ればよい。

- ①ヒトと腸内菌叢との関係に異常が生じると疾患が発生する。
- ②現代的な生活習慣によって腸内菌叢の生物多様性は失われがちである。
- ③(①により)②の生物多様性喪失が原因となつて、近年、肥満や糖尿病という健康障害が増加している。

問3では、下線部(c)についての説明が求められている。最初に、この下線部を含む第3段落全体を確認しておこう。

Microbiologists researching the human microbiome are fond of citing statistics and no wonder, for the numbers are jaw-dropping. The average person is home to about 100 trillion,  $10^{14}$ , microbes—mostly bacteria but also some viruses, fungi, protozoans and archaeans. You are in a minority in your own body: microbial cells outnumber your cells by 10 to 1. Your microbes contribute perhaps a couple of kilograms to your body weight and they are everywhere, colonising your gut, mouth, skin, mucous membranes and genitals. In fact, the only time anyone is free from microbes is in the womb. (c) You are born 100 per cent human, but die almost 90 per cent microbial. Between these two events lies a vista of unexplored ecology that helps make us what we are. (ヒトの微生物群を研究している微生物学者たちが好んで統計データを引き合いに出すのも、無理からぬことだろう。というのは、咄然とするような数値が登場するからである。平均的なヒトにはおよそ100兆、つまり  $10^{14}$  個体の微生物が住みついている。そのほとんどは細菌だが、ある種のウイルスや真菌や原生動物や古細菌もいる。あなたは、自身の身体においては少数派にすぎない。微生物の細胞数は、10対1の割合であなた自身の細胞数を圧倒しているからである。微生物はおそらく、あなたの体重のうち数キログラムを占め、腸、口腔、皮膚、粘膜、生殖器など、身体のありとあらゆる部分にコロニーとして存

在する。実は、私たちに微生物がついていないのは子宮の中にいるときだけである。<sup>(c)</sup>あなたは100%人間として生まれるのだが、ほぼ90%微生物として死ぬのである。その2つの間に起こるさまざまな生態学的出来事は、いまだ探究されてはいない。だが、私たちを私たちにたらしめるのに一役買っているのである)

生まれたときは100%人間なのに、死ぬときはほぼ90%が微生物であるとは、何ともショッキングな指摘だが、人体を構成する細胞の数が問題になっていることは容易に読み取れるだろう。ここでは、次の関係をしっかりと押さえておきたい。

人体を構成している細胞の総数

$$\begin{array}{c} \parallel \\ \text{ヒトの細胞数(A)} \\ + \\ \text{人体の表面と内部に生息している微生物の細胞数(B)} \end{array}$$

では、下線部前半の解説に取りかかろう。まず、100%人間として生まれるとは、誕生時において、

$$\frac{A}{A+B}=100\%$$

が成り立つということである。その理由は、誕生の直前までを過ごしてきた子宮内では、胎児に微生物がついていないからにほかならない。つまり、誕生時においては、

$$B=0$$

それゆえ、

$$\frac{A}{A+B}=\frac{A}{A}=100\%$$

となる。

続いて後半に移ろう。ほぼ90%微生物として死ぬとは、死亡時において、

$$\frac{B}{A+B}\doteq 90\%$$

が成り立つということである。その理由は、誕生直後から、人体の表面や内部に微生物が生息し始めるからにほかならない。では、なぜ約90%になるのだろうか。90%という数値はいったいどこから出てきたのだろうか。ここで、第3段落半ばの1文「微生物の細胞数は、10対1の割合であなた自身の細胞数を圧倒している」に注目しよう。この割合は、死ぬときまで続く。つまり、

$$A:B=1:10$$

のままなのである。したがって、死亡時においても、

$$\frac{B}{A+B}=\frac{10}{1+10}=\frac{10}{11}=0.9090\dots\doteq 90\%$$

ということになる。

解答作成にあたっては、以上の考察を次のように手際よくまとめた。

- ・子宮内には微生物がない。
- ・そのため、誕生時の新生児は100%ヒトの細胞から成る。
- ・ところが、誕生後、身体内部や表面にヒトの細胞の10倍もの数の微生物が生息するようになる。
- ・そのため、人体を構成している全細胞の数に対して微生物の細胞数が占める割合は、死亡時には $\frac{10}{10+1}=\frac{10}{11}\doteq 0.9$ 、つまり約90%となる。

問4では、免疫系と腸内菌叢はどのような関係にあるのかが問われている。「まとめなさい」という設問文の指示から、課題文を読み取って答えればよいことは明らかだろう。ただし、課題文中の下線部に関する設問であった問2や問3と異なり、ここでは読み取るべき箇所を自分で見つけ出さなければならない。要するに、解答作成に必要な作業が手間分多くなっているのである。とはいえ、該当箇所を見つければたやすかっただろう。immuneが「免疫の」を意味する英単語であることは、問1で下線部(a)を和訳した際、単語注で確認済みのはずである。この単語immuneは、第4段落まで登場しない。そして、免疫系と腸内菌叢の関係は、まさにその第4段落で説明されているのである。やや長くなるが、段落全体を確認してみよう。

Nowhere is the transformation from individual to superorganism more dramatic than in the gut, which is home to the vast majority of our microbiome. Each of us carries hundreds of species from a total possible repertoire of more than 1000 different microbes. The variation between individuals probably reflects factors such as genetic make-up, lifestyle, environment and diet. There is no doubt that we would be in serious trouble without this internal menagerie. A balanced and healthy gut flora helps keep disease-causing microbes at bay by occupying their preferred niches. Gut flora are also involved in the development of the immune system. The gut, being on the front line with the germ-infested outside world, contains a large amount of immune tissue, which learns to distinguish microbial friends from foe by sampling the gut flora. In mice lacking a microbiome, immune tissue fails to mature properly and carries fewer of the molecules that sense and react to pathogens. Microbes even help shape the gut. Microvilli—the tiny folds that form the gut lining and increase the surface area through which food



can be absorbed — develop abnormally in microbe-free mice. (腸ほど個体から超個体への変貌が劇的な場所はない。微生物群の圧倒的多数は、腸に生息しているからである。ヒトの腸内に生息する微生物は全部で1,000種を超えるだろうが、そのうち数百種が私たち1人ひとりに住みついている。微生物種に個人差があるのは、おそらく遺伝子の組成や生活習慣や環境や食生活といった要因が反映されているためだろう。この体内生物たちが欠けると深刻な障害に陥るであろうことは疑いえない。腸内菌叢が調和の保たれた健全な状態にあれば、病原性微生物の好むニッチが占領されてしまうので、病原性微生物が侵入するのを食い止める役に立つ。腸内菌叢はまた、免疫系の発達にも関与している。細菌が群がる外界の最前線に位置しているため、腸には大量の免疫組織が含まれている。そしてこの免疫組織は、腸内菌叢を見本とすることによって、味方となる微生物を敵となる微生物から区別できるようになるのである。微生物群を欠いたマウスでは、免疫組織がきちんと成熟せず、病原体を感知して対応する分子の数も少ない。微生物は腸形成の手助けをさしている。微絨毛は腸内膜を形成する小さな襞で、食物の吸収に必要となる表面積を大きくしているのだが、微生物を欠いたマウスでは正常には発達しない)

この段落半ばにある2文、すなわち、Gut flora are ... とそれに続くThe gut, being ... を参照すればよいことは明らかだろう。解答作成にあたっては、ここから次の各論点を読み取ればよい。

- ・腸には大量の免疫組織が含まれる。
- ・腸内の免疫組織は、腸内菌叢を見本にすることで、味方の微生物を敵の微生物から区別できるようになっている。
- ・したがって、免疫系は腸内菌叢に学習を助けられている。

問5では、メタゲノミクスについての説明が求められている。設問文に「本文に即して」という指示があるのだから、本設問もまた、課題文のどこかを読み取って答えればよい。どこだろうか。該当箇所は、すぐに発見できたはずである。metagenomics という印象的な単語は、第6段落でしか使われていない。

Another approach, called metagenomics, is exploring what these gut microbes are capable of. Unlike conventional genome studies, which focus on individual organisms, this entails collecting all the genes in an ecosystem to create a global “metagenome”—effectively a parts list for the biological functions of that ecosystem. So what do

these genes do? Many seem to be plugging metabolic gaps in our own genome. It is common knowledge that we are unable to synthesise enough vitamin B or any vitamin K without our gut flora, but microbes assume many other useful functions. For example, they contain genes that convert complex carbohydrates into simpler molecules called short-chain fatty acids, an important energy source accounting for between 5 and 15 per cent of our requirements. Other core genes break down plant cellulose and complex sugars such as pectin, found in fruit and vegetables, which allows us to digest foods we could not handle without them. Gone is the idea that gut flora had a passive role in regulating our biochemistry. (メタゲノミクスと呼ばれるもう1つの研究法では、こうした腸内微生物たちにどのような能力が備わっているのかを探究しようとする試みがなされている。そのためには、生物個体に焦点を合わせた従来のゲノム研究とは異なり、生態系における全遺伝子を集め、その「メタゲノム」全体を構成しなければならない。つまり、実質的には、生態系の生物学的機能を支えている各部品の一覧表が必要になるのである。では、こうした遺伝子たちはどのような働きをしているのだろうか。その多くは、ヒトゲノムに潜む代謝の空白部分を埋めているように思われる。よく知られているように、腸内菌叢がなければ、私たちはビタミンBを十分に合成できないし、ビタミンKに至っては、まったく合成することができない。だが、微生物はその他にも多くの有益な機能を担っている。たとえば、腸内菌叢に含まれるある種の遺伝子は、複合炭水化物を低級脂肪酸と呼ばれるより単純な分子へと転換する。低級脂肪酸はヒトの重要なエネルギー源であり、全需要の5～15%をも賄っているのである。他の主要遺伝子には、果実や野菜に含まれている植物セルロースやペクチンなどの複合糖類を分解してくれるものがある。おかげで私たちは、そうした遺伝子なしにはどうすることもできない食物を消化できるのである。ヒトの生化学反応の制御において腸内菌叢が果たしている役割は受動的なものにすぎないという考え方は、完全に過去のものとなった)

冒頭にある2つの文がメタゲノミクスの概要説明にあてられていることは明らかだろう。ここから次の各論点を読み取れば、「従来のゲノム研究との相違を明らかにしながら」という設問の条件は自動的に満たされる。説明問題としては、きわめて平易だったはずである。

[1]従来のゲノム研究では、生物個体の遺伝子が解析対象であった。

[2]それに対し、メタゲノミクスでは、腸内生態系を構成する全遺伝子が解析の対象である。

[3]メタゲノミクスの目的は、腸内微生物にどのような能力が備わっているのかを明らかにすることである。

上記段落では、従来のゲノム研究では生物個体の「遺伝子」を解析対象としていたことが明示されていないが、「ゲノミクス」なのだから、この程度の内容は、[2]に合わせて[1]で常識的に補っておきたい。

問6は、ゴードンらがマウスを使って行った実験に関する設問である。まず、次の3点が問われていることに注意し、もれなく答えるようにしたい。

(1)どのような実験を行ったのか。

(2)実験によって何が明らかになったのか。

(3)今後の研究課題は何か。

「まとめなさい」という設問文の指示から、本設問もまた課題文を読み取って答えればよいことは明らかだろう。どこに着目すればよいのかは、これもまたすぐにわかったはずである。Gordonという人名は、第7段落にしか登場しない。

Gut flora might also be associated with obesity. When a team led by Jeffrey Gordon from Washington University in St. Louis took microbes from the guts of lean and obese mice and transplanted them into germ-free mice, they found that those with the microbiome of obese mice put on significantly more weight. Subsequent studies indicate that the microbiomes of obese humans have a greater ability to harvest energy from food. While these associations are suggestive, it is not yet clear whether our gut flora actually cause health problems or whether they simply change as a consequence. The system is so complex it will be hard to prove causation. (腸内菌叢は、肥満にも関連している可能性がある。セントルイスにあるワシントン大学のジェフリー・ゴードンを中心とするチームは、痩せたマウスと太ったマウスの腸から微生物を取り出し、無菌状態にあるマウスに移植してみた。すると、太ったマウスの微生物群を移植されたマウスでは、体重が顕著に増加することがわかったのである。後続研究によれば、肥満した人の微生物群は食物からエネルギーを取り入れる能力が高くなっているという。こうした関連は、たしかに示唆に富んではいる。だが、本当に私たちの腸内菌叢が健康障害を引き起こしているのか、それとも、健康障害の結果として腸内菌叢が変化したにすぎないの

かは、まだ明らかになっていない。この生態系はきわめて複雑であるため、因果関係の立証は難しいだろう)

(1)については、第2文 When a team... の前半から、

①痩せたマウスと太ったマウスの腸から微生物を取り出し、無菌状態にあるマウスに移植する。

という実験を行ったことを読み取ることができる。さらに、(2)についても、この文の後半から、

②太ったマウスの微生物群を移植されたマウスでは、体重が顕著に増加した。

という実験結果を読み取ることができる。

なお、第3文 Subsequent studies indicate... が(2)に相当する内容になっていないということには注意しておきたい。「肥満した人の微生物群は食物からエネルギーを取り入れる能力が高くなっている」ということは、ゴードンらの実験の後にさらに行われた研究から浮かびあがってきた知見である。しかも、subsequent studies (後続研究)とあるだけなので、そもそも誰が行った研究なのかもわからない。

(3)については、続く第4文と第5文に説明がある。したがって、そこから慎重に次の各論点を読み取れば、解答は完成する。

③腸内菌叢の変化と健康障害(=肥満)は、どちらが原因でどちらが結果なのかがいまだ不明である。

④そのため、両者の因果関係を立証することが今後の研究課題である。

腸内菌叢の変化が原因で肥満が起こっているのなら、原因である腸内菌叢を改善すれば、肥満は解消されるにちがいない。ここから、最終段落で紹介されているような肥満治療の可能性が開かれるものと期待される。だが、もし因果関係がその正反対、つまり、腸内菌叢が変化したことが原因となって肥満が生じたのではなく、まず肥満が先に起こり、その結果として腸内菌叢が変化したのだとすれば、腸内菌叢をいくら正常化しても、肥満の解消は期待できない。肥満には腸内菌叢とは別の原因が存在していることになるからである。したがって、たんに因果関係が存在するとわかっただけでは研究は完結しない。どちらが原因でどちらが結果なのか、その確定がきわめて重要になるのである。

だが、①によって②が得られたのだから、移植され

た微生物群が肥満を引き起こしたことになるのではないか、つまり、どちらが原因でどちらが結果かはすでに判明しているのではないかと、そう考えた諸君もいることだろう。もっともな疑問ではある。しかし、課題文で強調されているように、腸内菌叢はきわめて複雑な生態系を構成しているものであった。その変化や作用はとても微妙なものなのである。もしかしら、②で体重増加を示したマウスは、もともと肥満の素因をもっていたにもかかわらず、それがまだ顕在化していなかっただけで、微生物群が移植されたとき、たまたまその素因が作用を開始して太り始めただけなのかもしれない。肥満の真の原因は腸内菌叢の変化ではないという可能性は、「①→②」が確認された後もなお残されているのである。この可能性を排除するためには、実験の条件をいろいろと変え、さらに研究を継続しなければならない。因果関係の立証はそれほど簡単なことではないのである。医学を志す諸君は、肝に銘じておこう。

### ③ 【理科論述問題】

#### 【解答例】

問 1

			AAbb		
			AaBb		
		Aabb	AaBb	AABb	
		Aabb	AaBb	AABb	
		aaBb	AaBb	AaBB	
aabb	aaBb	aaBB	AaBB	AABB	→

問 2

仮定に与えられた両親から生まれる子どもの遺伝子型の頻度は、図 2 右側にあるように

$AABB : AABb : AAbb : AaBB : AaBb : Aabb : aabb :$

$aaBb : aabb = \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} : \frac{4}{16} : \frac{2}{16} : \frac{1}{16} : \frac{2}{16} :$

$\frac{1}{16}$  となる。よって、表現型の出現頻度は、

$AB : Ab : aB : ab = \frac{9}{16} : \frac{3}{16} : \frac{3}{16} : \frac{1}{16}$

である。一卵性双生児の場合は、遺伝子型が一致しているため、表現型も同一となり、すべてのきょうだいが類似する。他方、遺伝子型が一致するとは限らない二卵性双生児の場合、その形質が類似するためには、きょうだいの表現型が  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$ ,  $ab$  のいずれかで一致し

ていればよい。したがって、その確率は

$$\left(\frac{9}{16}\right)^2 + \left(\frac{3}{16}\right)^2 + \left(\frac{3}{16}\right)^2 + \left(\frac{1}{16}\right)^2 = \frac{100}{256} \leq \frac{1}{2}$$

すなわち二卵性双生児が類似する確率は、2 分の 1 以下である。

問 3

共有環境による類似性への影響が、一卵性双生児と二卵性双生児に対して、等しく加わる。

問 4

(エ) 0.80 (オ) 0.00 (カ) 0.20

問 5

(i)

指紋隆線数と知能はともに相加的遺伝要因が影響するが、指紋隆線数は遺伝率が 0.92 で、共有環境の影響は 0.03、非共有環境の影響は 0.05 であり、ほとんど遺伝で決まる。それに対して、知能は遺伝率が 0.52 しかなく、共有環境の影響は 0.34、非共有環境の影響は 0.14 と、環境の影響も大きい。

(ii)

知能には相加的、外向性には非相加的遺伝要因の影響がある点は異なる。遺伝率は、0.52 と 0.49 と同程度である。環境の影響については、知能では非共有環境の影響 0.14 に対して、共有環境の影響が 0.34 と大きい一方で、外向性では共有環境の影響が 0.02 なのに対して、非共有環境の影響が 0.49 と非常に大きいという違いがある。

【配点】 100 点

#### 【解 説】

本問は、国公立大学医学部医学科の試験で出題されている理科論述問題に対応して作られたものである。理科論述問題では、自然科学的な内容の資料（文章や図表）やテーマが与えられ、それをもとにして、さまざまな説明、推論、論述することが求められる。必要となるのは、資料の読解力や分析力、自然科学に関する基礎的な知識、ある現象の原因や結果を推察する思考力、実験や観察の結果をもとに仮説を形成するための思考力、その仮説を検証する実験を立案するための創造力、そしてこれらを論理的に述べていく説明力などである。

今回の出題は、行動遺伝学の基本原理を解説した文章を題材として、生物に関する基礎知識、資料の読解力と数理的な推理力、論理的思考力を試す問題となっている。資料文の出典は、安藤寿康『心はどのように遺伝するか』（講談社ブルーバックス、2000年）である。

資料文の冒頭は中学校の理科でも習うメンデルの法則から始まるが、すぐに相加的効果という受験生には

馴染みのない内容となる。理科論述問題では、このように受験生にとっては未知の自然科学にかかわる内容が登場し、資料文をその場で理解し、応用することが求められる。未知の内容であったとしても、その基礎にあるのは高校までの理科で学ぶことであり、ここていばまずは遺伝の基礎事項を確認した上で、そこに新たな仮説を加えていくという手順で議論を進めている点に注意してほしい。

今回のテーマである行動遺伝学は、心理的、行動的な形質に対する遺伝の影響を探究する学問分野である。メンデルの法則で取り上げられる豆の形や色のような、遺伝子と一対一に対応する形質については生物学での研究が進んでいるのに対して、心理的、行動的な形質は多数の遺伝子と環境が作用する複雑な過程で形成されると予想され、そのメカニズムの解明はあまり進んでいない。そういった複雑な過程を対象とするのが行動遺伝学であるが、今回取り上げた資料文は、その研究の基本的な手法を紹介したものである。未解明の現象にアプローチする際に、自然科学者がどのようなやり方を探るのかということが述べられており、自然科学の研究の進め方という観点で整理しながら読んでいくと、資料文の理解も深まるだろう。自然科学の研究は、まず仮説を設定し、そこから予想される結果を導き、それと実際の調査結果とを比較する検証を行い、その両者が一致するよう仮説を修正し、再び検証を行うという過程を繰り返して進められていくのであり、そういう手順を知っておくとよい。

相加的遺伝とポリジーン・モデルは、もともと、さまざまな動植物の遺伝を研究する過程で、優性の法則が成り立たない形質を説明するために考案された仮説であった。資料文では、心理や行動にかかわる形質の遺伝の仕組みにそれを応用しているのである。複雑な対象を研究する際、いきなり完全な理論ができることはない。そこで、まずはもっともらしいモデルを仮説として設定するのである。次に仮説の検証が行われるのだが、そのためにここではポリジーン・モデルを与えてくれる一卵性双生児と二卵性双生児の類似性に対する予想と、実際の調査結果を対比している。

検証の際に予想と調査結果の間で一致しないところが出てきたら、仮説を修正して、結果とより上手く一致するものにする。たとえば資料文では環境の要因も考慮することで、ポリジーン・モデルで説明できない点を処理しようとしている。また、非相加的遺伝要因の場合分けで、仮説をより精密なものへと変えていくのである。そして、調査の範囲を拡げ、仮説をよりよいものに変えていくというのが、自然科学の研究の

プロセスである。以下、設問に即して資料文の細部を補い、解答するための考え方を解説していこう。

## 問1

資料文の読解にもとづき、推論と作図を要求する問題である。この問いに解答するためには、**遺伝子の効果は相加的**をていねいに読解し、ポリジーン・モデルが何を意味しているのかを読み取っていかねばならない。まず前提となるのが遺伝子についてのメンデルの法則で、**A と a**、**B と b** は、それぞれ独立の法則にしたがって伝わるということである。そこから、遺伝子型がどのような組み合わせになるのかについて、1つ1つ数え上げていくのだが、生物を履修していない受験生でも、図2を参考にすれば、理解は難しくないはずだ。遺伝子型を構成する4文字のそれぞれに対して、2個の内の1個が選択されるので、その組み合わせは $2^4=16$ 通りになるが、重複を考慮して頻度を数え上げることができる。

そのあとポリジーン・モデルの特徴を加えるのだが、対立遺伝子の効果が相加的という点に注目する。図4の表現型への影響で見ると、丸さ加減については、 $aa < Aa < AA$ の3種類の大きさがあり、**Aa**の出現頻度は、**aa**と**AA**の2倍になっている。2つの遺伝子がかかわるときは、 $aabb < Aabb$ だが、 $aaBb$ と**Aabb**は同じ丸さ加減になるというようなことである。16通りの組み合わせのそれぞれに、**A**または**B**が入っている個数(0～4個)によって表現型への効果を分類し、そこに入る個数から頻度を算出すればよい。

## 問2

与えられた仮説にもとづく推論を行うことを求めた問題である。まず、資料文の説明を補足していこう。形質の遺伝に関するポリジーン・モデルという仮説が与えられ、その有効性を検証するため、双生児の類似性を考察するというのが、**一卵性双生児と二卵性双生児の遺伝的類似性**から後の展開である。形質が完全にポリジーン・モデルだけで決まるのなら、一卵性双生児の類似度は100%、二卵性双生児の類似度は50%となるはずである。

ところが実際に調査してみると、図3にあるように多くの形質の類似度は、モデルの与える数値より小さい値になっている。そこで仮説に修正を加える過程を述べているのが**相加的遺伝効果は2対1**で、きょうだいでたとえば学校での友人関係など成長の過程で異なる影響が与えられるので、それを非共有環境とよんで、それによって形質の相違が生じると考えている。つまり、ポリジーン・モデルに非共有環境の影響を加



えた仮説へと修正を試みたわけである。この修正が完璧だとすれば、一卵性双生児と二卵性双生児の相関係数の比は2対1となるはずだ。

だが、図3では2対1となっていない形質が多く、まだ結果を上手く説明できる仮説となっていない。そこでさらなる修正を加えていくのが**共有環境の影響**であり、2つの場合分けを行っている。まず、二卵性双生児の相関係数が一卵性双生児の半分よりも大きくなるときは、きょうだいが同じ家庭で生活しているといったことの影響、すなわち共有環境の影響によって類似性が強められているのだとする。それに対して、二卵性双生児の相関係数が一卵性双生児の半分よりも小さいときが本設問の主題であり、**資料文**によれば、この場合には非相加的遺伝要因を考えなければならない。

そして、本設問では、非相加的遺伝要因の1つとして、優性の効果が加わるという仮説を採用することによって、下線部(イ)に述べられたような類似度の比になるということを説明するように求められている。与えられた**仮定**をもとに、一卵性双生児と二卵性双生児の遺伝子型、表現型がそれぞれどのような分布になるのかを求めればよい。

そこから、きょうだいが類似する確率を求めていく。一卵性双生児の場合は、つねに同じ遺伝子型となるので、表現型が一致し類似する確率は1となる。それに対して二卵性双生児の場合は、それぞれの遺伝子が図2の右側の図に示された16通りのいずれかをとるので、その組み合わせである $16 \times 16 = 256$ 通りについて、きょうだいの表現型が一致する個数を考えることになる。たとえば表現型がABとなる遺伝子の組み合わせは9通りあるので、きょうだいが2人とも表現型ABとなる組み合わせは、 $9 \times 9 = 81$ 通りになる。このような組み合わせをすべての表現型について求めれば、そこから類似する確率が計算でき、2分の1以下になることが示されるのである。

### 問3

資料文の読解にもとづく推論を求めた問題である。ポリジーン・モデルをもとにしつつ、共有環境と非共有環境の影響を考慮した仮説によって、個人の形質を形作る要因を説明しようというのが**遺伝率の算出**である。二卵性双生児の相関係数が一卵性双生児の半分以上になる場合について、遺伝、共有環境、非共有環境のそれぞれの寄与率を求める方法が与えられている。なお、非相加的遺伝要因がかかわる場合についてはこの方法では扱えないため、除外されている。

下線部(ウ)からが数式の導出であり、ここまで説明さ

れてきた仮説を理解し、1つ1つ式に置き換えていくものだ。設問の**仮定**と、**資料文**の導出過程を対応付けていこう。ここで、「遺伝要因は相加的」ということは議論の前提である。式①と②の左辺は、一卵性双生児と二卵性双生児の遺伝的類似度の調査結果の一例である。次に、「一卵性双生児と二卵性双生児の遺伝的類似度の比が2対1」となるということを式で表現したのが、①の右辺にはXを加えるのに対して、②の右辺にはその半分の $0.50X$ を加えているところである。

設問文中の「もう1つ仮定」とは、式①と②で説明されていないところだと考えることで解答できる。2つの式に等しくYが加えられているのだが、このことは設問文に述べられた仮定では説明されていない。**資料文**によりYは共有環境の寄与率であり、これが一卵性双生児にも二卵性双生児にも等しく加えられているので、そのことを仮定としておかなければ、式①、②が導けないのである。

なお、行動遺伝学ではこれを「等環境仮説」とよぶが、この仮説が妥当かどうかは、双生児研究の有効性を評価する上で重大な問題とされる。一卵性双生児の場合は顔などの外見が似ているために、そうでない二卵性双生児とは周囲の扱いが異なり、それが環境の寄与率の違いを生み出すのではないかという疑問もある。**資料文**の筆者は出典の他の箇所でも、これまでの研究において、等環境仮説はおおむね妥当だと示されている、すなわち共有環境の寄与率は一卵性双生児も二卵性双生児もほぼ等しいと考えてよいと述べている。

### 問4

資料文の読解にもとづく計算問題である。問3で考えた遺伝率、共有環境と非共有環境の寄与率を、実際に算出させることで、式①と②を理解できているかを試している。一卵性双生児と二卵性双生児の体重の相関係数を見ると、 $0.80 : 0.40 = 2 : 1$ となっているので、相加的遺伝要因がかかわる場合として式①、②が適用できることがわかる。左辺にこれらの相関係数を入れ、XとYの連立方程式を解けば(エ)と(オ)が得られる。なお、一卵性双生児と二卵性双生児の比がちょうど2対1になっているのだから、家族的類似が遺伝のみによるものだという**資料文**の説明とも合致するので、(オ)が0.00となることは納得できるだろう。そして、一卵性双生児の類似性に寄与しない残り0.20が非共有環境の寄与率となり、(カ)に入る。

### 問5

資料文全体の読解にもとづき、表を読み取って特徴を説明する問題である。**資料文**では「個性的」の指標

において非相加的遺伝要因がかかわる場合について言及しているが、具体的な説明はないので、これはそういう分類があると理解するにとどめてよい。ポリジーン・モデルの正当性は全体のまとめであり、ここまで述べてきた仮説にもとづくモデルが、研究において重要な役割を果たすことを強調した内容となっている。

下線部(キ)では、4つの要因の影響の大きさを知ることが、この研究の意義とされる。そこで、この問いでは、(i)と(ii)で取り上げられた形質について、それぞれ4つの要因の寄与率を1つ1つ比較し、その比率の大小などの相違点を説明することが求められている。解答においては、特徴的な数値も示しながら、明確な説明を行うようにするとよい。











