

クラス		受験番号	
出席番号		氏名	

2014年度
全統医進模試
学習の手引き
(解答・解説集)

2014年11月実施

●英語	1
●数学	29
●理科	
物理	43
化学	52
生物	62
●小論文	
日本語論述問題	71
英文問題	74
理科論述問題	86

河合塾



1461410119501000

【英語】

① 長文読解問題

【解答】

- 問1 主に、何百ページにおよぶメモや詳細な解剖スケッチが19世紀後期および20世紀初期まで公表されないままであったという理由で、それほどよく知られていないのは、神経科学の分野における彼の注目すべき洞察力に富んだ発見である。
- 問2 彼は五感がどのように作用するのか、とりわけ眼がどのようにして見えるのかについて一貫性のある理論を展開した。つまり、それは、このような知覚現象について、彼の本来の主たる職である工学の典型的な考え方を反映している機械論的説明であった。
- 問3 自然について熱心な研究者であったレオナルドは、古代ギリシャや古代ローマの大家たちの教えを繰り返し述べる傾向にあった同時代の解剖学者のほとんどと一線を画している。
- 問4 彼の時代において一般的だった考え方もまた、人間の脳を理解しようという彼の取り組みを形作り、ときには混乱させることもあった。

【配点】(40点)

問1 12点　問2 10点　問3 10点　問4 8点

【出典】 Jonathan Pevsner, "Leonardo da Vinci, Neuroscientist." *Scientific American* (2014).

【本文解説】

〈第1段落〉

1) The greatest example of a Renaissance man, Leonardo da Vinci is admired for his unequaled range of intellectual passions. 2) The creator of the *Mona Lisa* and other artistic masterpieces in the second half of the 1400s and early 1500s was also an accomplished musician, scientist and engineer whose inventions included ball bearings, instruments to measure the specific gravity of solids, and fantastic war machines, although he hated the "most inhuman insanity" of battle.

1) ルネサンス期の人物を代表する最も著名な例としてあげられるレオナルド・ダ・ヴィンチは、他に類を見ないほど多岐に渡る知的情熱の点で賞賛されている。2) モナリザや1400年代後半から1500年代初期のそのほかの芸術的傑作の制作者でもある彼はまた、熟練した音楽家、科学者、工学者でもあり、彼の発明品にはボールベアリングや固体の比重を計測する装置、さらに、彼は戦争という「最も残酷な狂気」を憎んでいたけれども、その発明品には奇想天外な兵器も含まれていた。

- 1) • The greatest example of a Renaissance man と Leonardo da Vinci は同格の関係。
- 2) • 関係代名詞 whose の先行詞は an accomplished musician, scientist and engineer である。
- a Renaissance man 「ルネサンス期の多才な教養人」
- admire A for B 「BのことでAを賞賛する」
- unequalled 「無類の」
- range 「範囲」
- intellectual 「知的な」
- passion 「情熱」
- creator 「制作者」
- masterpiece 「傑作」
- in the second half of A 「Aの後半」
- accomplished 「熟練した」

- invention 「発明(品)」
- instrument 「装置, 器具」
- measure O 「Oを計測する」
- solid 「固体」
- fantastic 「奇想天外な」
- inhuman 「残虐な」
- insanity 「狂気」

〈第2段落〉

3) (1) Less well known — largely because hundreds of pages of his notes and detailed anatomical drawings went unpublished until the late 19th and early 20th centuries — are his remarkable and penetrating findings in the field of neuroscience. 4) In an era more comfortable accepting notions handed down from medieval science and ancient Greece and Rome, he pioneered the practice of using his own direct observations to sketch anatomical features. 5) He also strove to establish a physical basis by which the brain interprets sensory stimuli and through which the mind functions. 6) And (2) he developed a coherent theory of how the senses operate, in particular how the eye sees — mechanistic explanations of these sensory phenomena that reflect the thinking typical of his primary career, engineering.

3) (1) 主に、何百ページにおよぶメモや詳細な解剖スケッチが19世紀後期および20世紀初期まで公表されないままであったという理由で、それほどよく知られていないのは、神経科学の分野における彼の注目すべき洞察力に富んだ発見である。 4) 中世の科学や古代ギリシャや古代ローマから伝えられた見解を受け入れるほうが楽だった時代に、彼は人体の解剖的特徴をスケッチするために自分自身で直接観察するというやり方の先駆けとなった。5) 彼はまた、知覚による刺激を脳が解釈し、心が作用する身体の基本原理を立証しようと努めた。6) そして、(2) 彼は五感がどのように作用するのか、とりわけ眼がどのようにして見えるのかについて一貫性のある理論を展開した。つまり、それは、このような知覚現象について、彼の本来の主たる職である工学の典型的な考え方を反映している機械論的説明であった。

- 3) ・【設問別解説】問1参照。
- 4) ・前半の In an era ... Greece and Rome では、handed down from ... Greece and Rome が直前の notions を修飾し、さらに more comfortable accepting notions が直前の an era を修飾している。
- 5) ・by which ... と through which ... の 2 つの関係詞節が a physical basis を共通の先行詞としている。
- 6) ・【設問別解説】問2参照。

- era 「時代」
- comfortable doing 「…して気楽な」
- notion 「見解」
- hand down O / hand O down 「O を伝える」
- medieval 「中世の」
- pioneer 「先駆けとなる」
- feature 「特徴」
- strive to do 「…しようと努力する」 strove は過去形。
- establish O 「Oを立証する」
- a physical basis 「身体の基本原理」
- interpret O 「Oを解釈する」
- sensory stimulus 「知覚による刺激」 stimuli は複数形。

〈第3段落〉

7) Leonardo never went to university and only

7) レオナルドは大学へは一度も行かず、40代に

began studying Latin in his 40s. 8) As he wrote, "my works are the issue of pure and simple experience, which is the one true authority." 9) (3) As a keen student of nature, Leonardo stands apart from most of his contemporary anatomists, who tended to repeat the teachings of earlier Greek and Roman authorities — from the school of Hippocrates to the teachings of Galen of Pergamum. 10) Yet he was not entirely free from his era's reliance on the past. 11) (4) The views common in his day also shaped — and sometimes confused — his efforts to understand the human brain.

なってようやくラテン語の勉強を始めた。8) 彼が記したように「私の作品は純然たる経験の所産であり、これこそが唯一の、そして真の権威である」9) (3) 自然について熱心な研究者であったレオナルドは、ヒポクラテス学派からペルガモンのガレノスの教義にいたる古代ギリシャや古代ローマの大家たちの教えを繰り返し述べる傾向にあった同時代の解剖学者のほとんどと一線を画している。10) しかし、レオナルドはその時代が過去に依存していたことから完全に解放されていたわけではない。11) (4) 彼の時代において一般的だった考え方もまた、人間の脳を理解しようという彼の取り組みを作り、ときに混乱させることもあった。

- 7) • only は時の副詞句 in his 40s を強調する副詞で「…してようやく」という意味。
- 8) • As は後続の主節の内容を指す関係代名詞。
• 非制限用法の関係詞 which の先行詞は pure and simple experience である。
- 9) • 【設問別解説】問3参照。
- 10) • Yet は逆接の接続詞で「しかし」という意味。
• not entirely は部分否定。「完全に…というわけではない」
- 11) • 【設問別解説】問4参照。

- issue 「結果、所産」
- pure and simple 「純然たる」
- authority 「権威」
- school 「学派」
- reliance 「依存」

【設問別解説】

問1 下線部和訳問題

下線部(1) Less well known — largely because hundreds of pages of his notes and detailed anatomical drawings went unpublished until the late 19th and early 20th centuries — are his remarkable and penetrating findings in the field of neuroscience. を和訳せよ。

- note 「メモ」
 - drawing 「スケッチ」
 - unpublished 「未発表の」
 - penetrating 「洞察力のある」
 - neuroscience 「神経科学」
- ①全体の文構造は (C) [Less well known] (V) [are] (S) [his remarkable and penetrating findings ...] という倒置構造で、(C)と(V)の間に largely because ... 20th centuries がダッシュ(—)を用いて挿入されている。
- ②less well known は「(彼の芸術作品や他の発明品や発見に比べて)よく知られていない」という意味。
- ③largely because ... は「主に…という理由で」とい

う意味。

- ④節中の went unpublished は「公表されないままであった」という意味。
(go+un- で始まる過去分詞) で「…されないままである」という意味。(例) go unnoticed 「気づかれないままである」
- ⑤以上のことから、「主に、何百ページにおよぶメモや詳細な解剖スケッチが19世紀後期および20世紀初期まで公表されないままであったという理由で、それほどよく知られていないのは、神経科学の分野における彼の注目すべき洞察力に富んだ発見である」と訳出できる。あるいは、通常の SVC の訳と同じように「主に、数百ページにおよぶメモや詳細な解剖スケッチが19世紀後期および20世紀初期まで公表されないままであったという理由で、神経科学の分野における彼の注目すべき洞察力に富んだ発見はそれほどよく知られていない」としてもよい。

問2 下線部和訳問題

下線部(2) he developed a coherent theory of how the senses operate, in particular how the eye sees — mechanistic explanations of these

sensory phenomena that reflect the thinking typical of his primary career, engineering. を和訳せよ。

- coherent 「首尾一貫した」
 - operate 「作用する」
 - phenomenon 「現象」 phenomena は複数形。
 - reflect O 「Oを反映する」
 - typical of A 「Aに典型的な」
 - primary 「主要な」
 - career 「職業」
 - engineering 「工学」
- ① A, in particular B は「A,とりわけB」という意味で, how the senses operate に対し, 具体例として how the eye sees が並列されている。how は「どのようにして…するか」または「…する方法」という意味。なお, the senses は「五感」という意味。
- ② ダッシュ(一)以下 mechanistic explanations ... engineering は a coherent theory of how the senses operate ... に対し, より詳細な説明を与えていている。
- ③ 関係詞節 that reflect ... engineering の先行詞は these sensory phenomena ではなく, mechanistic explanations である。
- ④ his primary career と engineering は同格関係で, typical of ... は直前の the thinking を修飾している。
- ⑤ したがって, 「彼は五感がどのように作用するのか,とりわけ眼がどのようにして見えるのかについて一貫性のある理論を展開した。つまり, それは, このような知覚現象について, 彼の本来の主たる職である工学の典型的な考え方を反映している機械論的説明であった」のように訳出できる。あるいは, 文を切らずに「彼は五感がどのように作用するのか,とりわけ眼がどのようにして見えるのかについて一貫性のある理論, つまりこのような知覚現象について, 彼の本来の主たる職である工学の典型的な考え方を反映している機械論的説明を展開した」としてもよい。

問3 下線部和訳問題

下線部(3) As a keen student of nature, Leonardo stands apart from most of his contemporary anatomists, who tended to repeat the teachings of earlier Greek and Roman authorities を和訳せよ。

せよ。

- keen 「熱心な」
 - apart from A 「Aから離れて」
 - contemporary 「同時代の」
 - anatomist 「解剖学者」
 - teachings 「教義, 教え」
- ① As は前置詞で「…として」だが, 直接 Leonardo に形容詞的につなげて, 「自然について熱心な研究者であったレオナルド」とするとよい。
- ② stand apart from は「…から離れて立つ」が文字通りの意味だが, ここでは「一線を画する」あるいは「まったく異なっている」という意味。
- ③ したがって, 「自然について熱心な研究者であったレオナルドは, 古代ギリシャや古代ローマの大家たちの教えを繰り返し述べる傾向にあった同時代の解剖学者のほとんどと一線を画している」となる。あるいは関係代名詞の who の前でいったん文を切り, 「自然について熱心な研究者であったレオナルドは, 同時代の解剖学者のほとんどと一線を画し, 彼らは古代ギリシャや古代ローマの大家たちの教えを繰り返し述べる傾向にあった」としてもよい。

問4 下線部和訳問題

下線部(4) The views common in his day also shaped—and sometimes confused—his efforts to understand the human brain. を和訳せよ。

- common 「一般的な」
 - day 「時代」
 - confuse O 「Oを混乱させる」
 - effort 「取り組み, 努力」
- ① common in his day が直前の The views を修飾しているため, The views (that were) common in his day における関係代名詞 (that) と be動詞 (were) の省略を考えることができる。
- ② (O) his efforts ... brain が (V₁) shaped と (V₂) confused の共通の目的語となっている。
- ③ effort(s) to do は「…する努力, …する取り組み」という意味。
- ④ 以上から, 「彼の時代において一般的だった考え方もまた, 人間の脳を理解しようという彼の取り組みを形作り, ときに混乱させることもあった」となる。

2 長文読解問題

【解答】

- 問1 しかし、患者がその話を語る機会は大してないだろうという公算が圧倒的に大きいのである。
- 問2 医師は事実だけを聞こうとし患者の話を頻繁にさえぎるので、患者はいったん話をさえぎられると再び話し出すことができず、医師に自分の話を最後まで聞いてもらうことができないから。(85字)
- 問3 聞き逃してしまうのはその患者自身の話であり、その話から、「何がおかしいのか」「どこでそうなったのか」「いつからおかしいのか」といった、医師が質問することによって聞き出すことができる情報だけではなく、「何故そうなったのか」「どのようにしてそうなったのか」という情報も得られることがよくあるのだ。
- 問4 患者から聞き出した症状や病気に関する想定は、平均的な患者には当てはまつても、特定の患者には当てはまらないかもしれないということ。(64字)
- 問5 患者がどのような病気を患っているのかということよりも、病気を患っている患者がどういう人間なのかを知ることのほうが大切であるということ。(67字)
- 問6 固有の事実を持つ患者と専門的知識を持つ医師の双方が納得いくまでやり取りを行い、医師は患者を診断し、患者はその病歴を自分史に組み入れるように、患者と医師が共同作業していくということ。(90字)

【配点】(60点)

問1 8点　問2 12点　問3 12点　問4 8点　問5 8点　問6 12点

【出典】Lisa Sanders, *Every Patient Tells a Story.*

【本文解説】

〈第1段落〉

1) When you go to see a doctor, any doctor, there is a very good chance that she will ask you what has brought you in that day. 2) And most patients are prepared to answer that—they have a story to tell, one that they have already told to friends and family. 3) (1) But the odds are overwhelming that the patient won't have much of an opportunity to tell that story.

1) 医師に診てもらいに行くときは、たとえどの医師であろうと、おそらく「今日はどうしましたか」と尋ねるだろう。2) そして、たいていの患者はその質問に答える心づもりをしている。つまり、彼らには語るべき話、すでに友人や家族に語った話があるので。3) (1)しかし、患者がその話を語る機会は大してないだろうという公算が圧倒的に大きいのである。

- 1) • there is a very good chance that she will ask ... は「…と医師(=she)が尋ねる可能性が極めて高い」という意味。
- what has brought you in は「なぜ診察を受けに来たか」という意味。
- 2) • one (= a story) that they have already told to friends and family の部分は、a story to tell と同格関係にあり、その内容を補足的に説明している。
- 3) • 【設問別解説】問1参照。

- see a doctor 「医師の診察を受ける」
- patient 「患者」

〈第2段落〉

4) Doctors often see this first step in the diagnostic process as an interrogation—with Dr. Joe Friday getting “Just the facts, ma'am,” and the patient, a passive bystander to the ongoing crime, providing a faltering and somewhat limited

4) 医師はこの診断手順の第1段階を取り調べだと考えている場合が多い。たとえば、ジョー・フライデー医師が「奥さん、事実だけを話してくれませんか」と要求し、患者、つまり今起こっている犯罪を受動的に傍観している者にたとえ、何が起こった

eyewitness account of what happened. 5) From this perspective, the patient's story is important only as a vehicle for the facts of the case.

かについて口ごもりながらやや限られた目撃証言を提供するのだ。5) このような見方からすれば、患者の話は、症状に関する事実を伝える手段としてのみ重要であるにすぎない。

- 4) • see (A) this first step in the diagnostic process [as] (B) an interrogation のように、「(A) <この診断手順の第1段階>を (B) <取り調べ>とみなす」という構造になっている。
- with 以下は with O C の構造を用いて、ダッシュ直前の主節の内容を比喩的に説明している。with (O) Dr. Joe Friday (C) getting "Just the facts, ma'am," 「ジョー・フライデー医師が『奥さん、事実だけを話してくれませんか』と要求して」, and (O) the patient ... (C) providing a faltering and somewhat limited eyewitness account of what happened 「患者…は、何が起ったかについて口ごもりながらやや限られた目撲証言を提供して」のように、2つの O と C が and で並列されている。また、a passive bystander to the ongoing crime の部分は、the patient と同格関係にあり、その内容を補足的に説明している。
- 5) • a vehicle for the facts of the case は「症状に関する事実を伝える手段」という意味。ここでの case は「(医学的)症状」だけではなく、話を警察の取り調べになぞって「(刑事)事件」という意味をほのめかす掛け詞になっている。

- diagnostic process 「診断手順」
- interrogation 「質問、尋問、(警察などの)取り調べ」
- ma'am 「奥様、お嬢さん」
- passive 「受動的な」
- bystander 「傍観者、見物人」
- ongoing 「進行している」
- falter 「ためらう、口ごもる」
- eyewitness account 「目撲証言」
- vehicle 「伝達手段、媒体」

〈第3段落〉

6) Because of that "facts only" attitude, doctors frequently interrupt patients before they get to tell their full story. 7) In recordings of doctor-patient encounters, where both doctor and patient knew they were being taped, the doctor interrupted the patient in his initial description of his symptoms over 75 percent of the time. 8) And it didn't take too long either. 9) In one study doctors listened for an average of sixteen seconds before breaking in—some interrupting the patient after only three seconds.

6) そのように「事実だけ」を聞こうとする態度で接するため、患者が話を最後までさせてもらえないうちに、医師が患者の話をさえぎることが頻繁に起こる。7) 医師と患者双方が録音されていることを承知の上で両者のやり取りの録音を聴くと、75パーセントを超えるケースで、患者が最初に自分の症状を説明する際に医師は患者の話をさえぎっていた。8) しかも、それに至る時間もそれほど長くはなかった。9) ある調査によると、医師は平均で16秒間患者の話を聞いた後で割り込み、中にはたった3秒間聞いただけで患者の話をさえぎる医師もいたということだ。

- 7) • ... over 75 percent of the time の the time は cases 「ケース、場合」という意味。なお、ここでは recordings (of doctor-patient encounters) のことを指す。
- 8) • it didn't take too long either は it didn't take too long for the doctor to interrupt the patient either ということを意味している。
- 9) • some interrupting the patient ... は some (=some doctors) が 意味上の主語である分詞構文。

- interrupt O 「Oの話をさえぎる、Oの話の腰を折る」
- get to do 「…する機会を得る、…させてもらう」
- recording 「録音」
- encounter 「やり取り、出会い」
- tape O 「Oを録音する」
- initial 「最初の」
- description 「説明」
- symptom 「症状」

| ● break in 「(話に)割り込む」

〈第4段落〉

10) And once the story was interrupted, patients were unlikely to resume it. 11) In these recorded encounters fewer than 2 percent of the patients completed their story once the doctor broke in.

10) そしていったん話がさえぎられると、患者が再び話し出すことはまずありえなかった。11) これらの録音されたやり取りにおいて、いったん医師に割り込まれると、話を最後までし終えた患者は2パーセントにも満たなかった。

- resume O 「Oを再び始める」
- complete O 「Oを終える」

〈第5段落〉

12) As a result, doctors and patients often have a very different understanding of the visit and the illness. 13) Survey after survey has shown that when queried after an office visit, the doctor and patient often did not even agree on the purpose of the visit or the patient's problem. 14) In one study, (2)over half of the patients interviewed after seeing their doctor had symptoms that they were concerned about but had not had a chance to describe. 15) In other studies doctor and patient disagreed about the chief complaint — the reason the patient came to see the doctor — between 25 and 50 percent of the time. 16) This is information that can come only from the patient and yet, time after time, doctors fail to obtain it. 17) Dr. George Balint, one of the earliest writers on this topic, cautioned: "If you ask questions you will get answers, and nothing else." 18) (3)What you won't get is the patient's story, and that story will often provide not only the whats, wheres, and whens extracted by an interrogation, but the whys and hows as well.

12) その結果、医師と患者は外来診療と病気に関して非常に異なった理解をすることが多くなる。13) 外来診察後に医師と患者に聞いてみると、来院の目的や患者の悩みに関して双方の考えが食い違っていることすらしづしづあったことが、相次ぐ調査によって明らかになっている。14) ある調査では、(2)診察後に質問を受けた患者のうち半数を超える人が、気になっているにもかかわらず、医師に説明する機会がなかった症状を抱えていたということがわかった。15) また別の調査によると、患者の主たる症状の訴え、つまり患者が医師に診てもらいに来た理由に関して、医師と患者の考えが食い違ったケースが25~50パーセントもあった。16) これは患者本人からしか聞くことができない情報であるにもかかわらず、医師はその情報を何度も繰り返し聞き逃してしまうのだ。17) この問題に関して最も早く著作を出した一人、ジョージ・バリン医師は次のように警告した。「患者に質問すれば答えは得られるだろうが、それ以外のことは何も得られない」18)(3)聞き逃してしまうのはその患者自身の話であり、その話から、「何がおかしいのか」「どこでそうなったのか」「いつからおかしいのか」といった、医師が質問することによって聞き出すことができる情報だけではなく、「何故そうなったのか」「どのようにしてそうなったのか」という情報も得られることがよくあるのだ。

- 13) • Survey after survey has shown that ... は「…ということが相次ぐ調査によって明らかになっている」という意味。
• when queried は when they (=the doctor and patient) were queried を省略した形。
- 14) • 【設問別解説】問2参照。
- 18) • 【設問別解説】問3参照。

- survey 「調査」
- query O 「O (人) に尋ねる, O (事) を尋ねる」
- agree on A 「Aに関して意見が一致する」
- disagree about A 「Aに関して意見が食い違う」
- the chief complaint 「(患者の) 主

- たる症状の訴え、病気、症状」
- time after time 「何度も何度も、繰り返し」
 - fail to do 「…しそこなう」
 - obtain O 「Oを手に入る」
 - caution 「警告する」

〈第6段落〉

19) Moreover, the interrogation model makes assumptions about the elicited symptoms and diseases. 20) And while these assumptions might be true for most of the people with those symptoms, they may not be true for this particular individual. 21) The great fictional detective Sherlock Holmes talks at length about the difference between the actions and thoughts of the individual and those of the average person. 22) Holmes tells Watson that (4) while you may be able to say with precision what the average man will do, "you can never foretell what any one man will do." 23) The differences between the average and the individual may not be revealed if the doctor doesn't ask.

19) さらに、医師の取り調べモデルでは、患者から聞き出した症状や病気に関してさまざまな想定がされる。20) そして、それらの想定はそのような症状を持つ人の大部分に当てはまるかもしれないが、ほかならぬこの人には当てはまらないかもしれないのだ。21) 偉大なる架空の探偵、シャーロック・ホームズは、個人の行動や思考と平均的な人間のそれとの違いについて詳しく語る。22) (4) 平均的な人間が何をするのかに関しては正確に言い当てることができるかもしれないが、「ある1人の人間が何をするのかを予測することは決してできない」と ホームズはワトソンに語るのだ。23) 医師が尋ねなければ、平均的な患者と個々の患者の違いは明らかにならないであろう。

22) • 【設問別解説】問4 参照。

- assumption 「想定」
- elicit O 「Oを引き出す、聞き出す」
- be true for A 「Aに当てはまる」
- this particular A 「特にこのA、ほかならぬこのA」
- fictional 「架空の」
- detective 「探偵」
- Sherlock Holmes 「シャーロック・ホームズ」：アーサー・コナン・ドイル作の推理小説『シャーロック・ホームズ』シリーズに登場する架空の探偵。
- at length 「詳しく」
- Watson 「(ジョン・)ワトソン」：『シャーロック・ホームズ』シリーズに登場するホームズの友人。
- reveal O 「Oを明らかにする」

〈第7段落〉

24) "It is much more important to know what kind of patient has the disease than what sort of disease the person has," Osler instructed his

24) 「その人がどのような病気を患っているのかということよりも、どのような患者がその病気を患っているのかを知ることのほうがはるかに重要

trainees at the turn of the twentieth century. 25) Even with all of our diagnostic technology and our far better understanding of the pathophysiology of disease, research suggests (5) this remains true.

だ」と、20世紀の変わり目、オスラーは自分が担当する研修医に指導した。25) 現代の診断技術と、病理生理学に関するはるかに進んだ理解を全てもってしても、(5) このことが依然として真実であるということを研究が示唆している。

25) • 【設問別解説】問5参照。

- Osler 「(ウィリアム・)オスラー」
: カナダの医学博士(1849-1919)
- instruct O 「O(人)に教える、指導する」
- trainee 「研修医」
- at the turn of the twentieth century 「20世紀の変わり目」
- diagnostic 「診断(上)の」
- suggest that S do(es) ... 「…を示唆する」

〈第8段落〉

26) So getting a good case history is a collaborative process. 27) One doctor who writes frequently about these issues uses (6) the metaphor of two writers collaborating on a manuscript, passing drafts of the story back and forth until both are satisfied. 28) "What the patient brings to the process is unique: the particular and private facts of his life and illness." 29) And what the physician brings is the knowledge and understanding that will help him order that story so that it makes sense both to the doctor—who uses it to make a diagnosis—and to the patient—who must then incorporate that subplot into the larger story of his life.

26) したがって、確かな病歴を編纂することは共同作業なのである。27) この問題に関してしばしば書いているある医師は、(6) 2人の作家が1つの原稿を制作するのに共同で作業し、双方が満足するまで物語の草稿をやり取りするという喻えを用いている。28) 「患者がこの作業で提供するのはその患者しか持っていないもの、つまり自分の人生と病気に関しての自分しか知らない特定の事実なのです」29) そして、医師が提供するものは、その病歴を用いて診断する医師と、後でその病歴という物語のわき筋を自らの人生のさらに大きな物語に組み入れなければならない患者の双方にとって、それが意味をなすように、患者がその物語を整理するのに役立つものにしてくれる知識と理解なのである。

27) • 【設問別解説】問6参照。

29) • the knowledge and understanding [that will help him order that story ...] 「患者がその物語を整理することに役立つ知識と理解」。
that 以下は the knowledge and understanding を修飾する関係詞節。

- so that it makes sense [both] (A) to the doctor—who ... and (B) to the patient—who ... 「(A)<…医師>と(B)<…患者>の双方にとってそれが意味をなすように」。ここでの so that S+V ... は「…するように」(目的)の意味。it makes sense 以下は both (A) and (B) という並列構造になっている。
- the doctor—who uses it to make a diagnosis 「その病歴を用いて診断する医師」という意味。
- the patient—who must then incorporate that subplot into the larger story of his life 「その病歴という物語のわき筋を自らの人

- case history 「病歴」
- collaborative 「共同の」
- unique 「固有の」
- physician 「医師、内科医」
- order O 「Oを整理する」
- make sense to A 「Aに理解できる」
- make a diagnosis 「診断する」
- incorporate A into B 「AをBに組み入れる」
- subplot 「(物語などの)わき筋」

生のさらに大きな物語に組み入れなければならない患者」という意味。

【設問別解説】

問1 下線部和訳問題

下線部(1) But the odds are overwhelming that the patient won't have much of an opportunity to tell that story. を和訳せよ。

- odds 「公算、見込み」
- overwhelming 「圧倒的な」
- opportunity 「機会」

- ①the odds are ~ that ... は、the odds と that 以下が同格関係であり、「…する公算(見込み)は～だ」という意味。the odds are overwhelming that S will do は「…する公算は圧倒的に大きい」という意味になる。
- ②the patient won't have much of an opportunity to do は「患者が…する機会は大してないだろう」という意味。
- ③that story とは、直前にある one (=a story) that they have already told to friends and family 「すでに友人や家族に語った話」のことを指す。特に指示がないのでこの内容を和訳に明示する必要はない。
- ④したがって、訳出としては「しかし、患者がその話を語る機会は大してないだろうという公算が圧倒的に大きいのである」、もしくは「しかし、患者にはその話を語る機会が十分に与えられるだろうという見込みはまずない」などと訳すとよい。

問2 下線部内容説明問題

下線部(2) over half of the patients interviewed after seeing their doctor had symptoms that they were concerned about but had not had a chance to describe のようなことがなぜ起こるのか。句読点も含めて80~90字の日本語で説明せよ。

- interview O 「Oと面接する、Oに質問する」
- be concerned about A 「Aが気になっている」
- describe O 「Oを(言葉で)言い表す」

- ①まず下線部の意味を考える。全体が_(S) over half of the patients ... (V) had (O) symptoms ... という構造で、the patients interviewed after seeing their doctorにおいて、interviewed 以下が直前の the patients を修飾していることを把握する。よって、

the patients [(who were) interviewed after seeing their doctor] であると考えることができる。symptoms [that they (A) were concerned about [but] (B) had not had a chance to describe] では、that 以下は symptoms を修飾する関係詞節で、その節内は(A)と(B)が並列されていて、(A)(B)の共通の主語は they であり、共通の目的語は目的格の関係代名詞(that)であることをつかむ。したがって下線部全体の意味は、「診察後に質問を受けた患者のうち半数を超える人が、気になっているにもかかわらず、医師に説明する機会がなかった症状を抱えていた」ということになる。

- ②この原因は、まず第3段落第6文 Because of that “facts only” attitude, doctors frequently interrupt patients before they get to tell their full story. に読み取れる。「患者が話を最後までさせてもらえないうちに、医師が患者の話をさえぎることが頻繁に起こる」ことが、「患者が自分の症状を医師に説明する機会がない」ことの原因の1つである。

- ③さらに、第4段落第10~11文 And once the story was interrupted, patients were unlikely to resume it. In these recorded encounters fewer than 2 percent of the patients completed their story once the doctor broke in. に注目する。「患者はいったん話をさえぎられると、再び話し出すことはまずありえなかった。これらの録音されたやり取りにおいて、いったん医師に割り込まれると、話を最後までし終えた患者は2パーセントにも満たなかった」こともまた「患者が自分の症状を医師に説明する機会がない」ことの原因だと考えられる。

- ④したがって、「医師は事実だけを聞こうと患者の話を頻繁にさえぎるので、患者はいったん話をさえぎられると再び話し出すことができず、医師に自分の話を最後まで聞いてもらうことができないから。」(85字)のようにまとめるといい。

問3 下線部和訳問題

下線部(3) What you won't get is the patient's story, and that story will often provide not only the whats, wheres, and whens extracted by an interrogation, but the whys and hows as well. を和訳せよ。

- extract O 「Oを引き出す」

①全体は、(A) What you won't get is ... [and] (B) that story will often provide ... のように(A)と(B)の2文が並列されている構造。前半部分は、(S) What you won't get (V) is (C) the patient's story、後半部分は、(S) that story (V) will often provide (O) not only ... という構造になっている。

②not only 以下は、not only (A) the whats, wheres, and whens ... [but] (B) the whys and hows as well のように、「(A)だけではなく(B)も」の構造になっている。

③the whats, wheres, and whens extracted by an interrogationにおいて、extracted 以下は直前の the whats, wheres, and whens を修飾していることを把握する。よってこの部分は、the whats, wheres, and whens [(that are) extracted by an interrogation] の構造であると考えることができる。

④直訳すれば、「その話は、医師の質問によって聞き出すことができる『何』『どこ』『いつ』だけではなく、『何故』、『どのように』も提供することがよくある」となる。

⑤whats, wheres, whens, whys, hows という言い方は、前後の文脈から考えると、「医師が患者に質問することによって得られるさまざまな情報」を表現しているものと思われる。よって、「何がおかしいのか」「どこでそうなったのか」「いつからおかしいのか」「何故そうなったのか」「どのようにしてそうなったのか」のように、「医師が患者に尋ねる質問」を想定して訳出するとわかりやすい。

⑥したがって、「聞き逃してしまうのはその患者自身の話であり、その話から、『何がおかしいのか』『どこでそうなったのか』『いつからおかしいのか』といった、医師が質問することによって聞き出すことができる情報だけではなく、『何故そうなったのか』『どのようにしてそうなったのか』という情報も得られることがよくあるのだ」などと訳すとよい。

問4 下線部内容説明問題

下線部(4) while you may be able to say with precision what the average man will do, "you can never foretell what any one man will do." について、医師の立場から具体的にどのようなことを言おうとしているのか。句読点も含めて60~70字の日本語で説明せよ。

- with precision 「正確に」

• foretell O 「Oを予言する・予告する」

①まず下線部の意味を考える。while は「…だけれども」の意。while (S) you (V) may be able to say (with precision) (O) what the average man will do.において、with precision 「正確に」がVとOの間に挿入されている。後半は、"(S) you (V) can never foretell (O) what any one man will do." という構造で、シャーロック・ホームズ自身の発言を引用した直接話法になっている。下線部全体は、「平均的な人間が何をするのかに關しては正確に言い当てることができるかもしれないが、『ある1人の人間が何をするのかを予測することは決してできない』」という意味である。

②第6段落第20文に、And while these assumptions might be true for most of the people with those symptoms, they may not be true for this particular individual. とあることから、この下線部は、「症状や病気に関する想定は個々の患者に当てはまるわけではない」ということを、筆者が探偵シャーロック・ホームズの言葉を用いて言おうとしていると考えられる。

③ここで、探偵シャーロック・ホームズの言葉を医師の言葉に置き換えてみると、「患者から聞き出した症状や病気に関する想定は平均的な患者には当てはまるかもしれないが、個々の患者には当てはまらないかもしれない」ということになる。

④したがって、「患者から聞き出した症状や病気に関する想定は、平均的な患者には当てはまつても、特定の患者には当てはまらないかもしれないということ。」(64字)のようにまとめるとよい。

問5 下線部内容説明問題

下線部(5) this の内容を、句読点も含めて60~70字の日本語で説明せよ。

①下線部の直後の remains true は、remain C 「Cのままである」の表現を用いたもので、「現代の診断技術と、病理生理学に関するはるかに進んだ理解を全てもってしても、このことが依然として真実であるということを研究が示唆している」というのが、下線部を含む文の意味。

②そこで、第7段落第24文のオスラーの発言に注目すると、"It is much more important to know what kind of patient has the disease than what sort of disease the person has." 「その人がどのような病気

を患っているのかということよりも、どのような患者がその病気を患っているのかを知ることのほうがはるかに重要だ」とあり、医師は患者の話をもっと聞かなければならないという筆者の論点に沿うことになるので、この発言が this の内容であると確認できる。

- ③したがって、「患者がどのような病気を患っているのかということよりも、病気を患っている患者がどういう人間なのかを知ることのほうが大切であるということ。」(67字)のようにまとめるとよい。

問6 下線部内容説明問題

下線部(6) the metaphor of two writers collaborating on a manuscript, passing drafts of the story back and forth until both are satisfied はどのようなことを言おうとした「喻え」なのか。文脈に即して句読点も含めて90字程度の日本語で説明せよ。

- metaphor 「隠喩、たとえ」
 - collaborate 「共同作業をする」
 - manuscript 「原稿」
 - pass O back and forth 「Oをやり取りする」
 - draft 「草稿」
- ①まず下線部の意味を考える。the metaphor of two writers collaborating ...において、two writers が collaborating の意味上の主語で、collaborating が動名詞であることを把握する。passing 以下は two writers を分詞の意味上の主語とする分詞構文で、(two writers) collaborating ... の内容を具体的に説明している。よって、「2人の作家が1つの原稿に関して共同で作業し、双方が満足するまで物語の草稿をやり取りする」という喻えであると解釈できる。
- ②「2人の作家」が「患者と医師」の喻えであることを把握し、第8段落第28文“What the patient brings to the process is unique: the particular and

private facts of his life and illness.”から、「自分の人生と病気についての自分しか知らない特定の事実を医師に伝える」のが患者の最初の作業であることを読み取る。

- ③次に、同段落第29文の前半部分 And what the physician brings is the knowledge and understanding that will help him order that story so that it makes sense both to the doctor ... and to the patient ... から、「専門的知識と理解によって患者の病歴を整理し、患者と自分の双方が納得のいくものにする」のが医師のやるべきことであることを読み取る。

- ④さらに、第29文の後半部分 the doctor — who uses it to make a diagnosis — and to the patient — who must then incorporate that subplot into the larger story of his life から、「医師はその病歴を用いて診断すること」と、「患者はその病歴を自己史の中に組み入れていくこと」を読み取る。

- ⑤このことから、この喻えを説明するために必要な情報は、
- ① collaborating on a manuscript : 病歴に関する共同作業
 - ② passing drafts of the story back and forth : 情報のやり取り
 - (1) 患者が提供する情報 : 患者の人生と病気に関する患者固有の事実
 - (2) 医師が提供する情報 : 専門的知識と理解
 - ③ until both are satisfied : 双方の納得
 - (1) 医師側の納得 : 病気の診断
 - (2) 患者側の納得 : 自己史への組み込み
- ということになる。

- ⑥したがって、「固有の事実を持つ患者と専門的知識を持つ医師の双方が納得いくまでやり取りを行い、医師は患者を診断し、患者はその病歴を自己史に組み入れるように、患者と医師が共同作業していく」ということ。」(90字)などとまとめるとよい。

3 長文読解問題

【解答】

問1 (1) (ア) (2) (イ) (3) (ア) (4) (エ) (5) (ウ)

問2 (A) discarded (B) did (C) getting (D) underlying

問3 (イ), (ウ), (ケ) (順不同)

【配点】(40点)

問1 各2点×5 問2 各3点×4 問3 各6点×3

【出典】 David J. Hand, *Improbability Principle: Why Coincidences, Miracles, and Rare Events Happen Every Day.*

【本文解説】

〈第1段落〉

1) In the summer of 1972, the actor Anthony Hopkins was signed to play a leading role in a film based on George Feifer's novel *The Girl from Petrovka*, so he traveled to London to buy a copy of the book. 2) Unfortunately, none of the main London bookstores had a copy. 3) Then, on his way home, waiting for an underground train at Leicester Square tube station, he looked down and there was a (A) book lying on the seat next to him. 4) It was a copy of *The Girl from Petrovka*.

1) 1972年の夏、俳優のアンソニー・ホプキンズは、ジョージ・ファイファーの小説『ペトロフカの少女』を原作にした映画の主役級の役を演じる契約をし、その小説を手に入れようとロンドンまでやって来た。2) あいにく、ロンドンのどの主な書店にもその小説が置かれていたなかった。3) そうして、帰る途中、レスター・スクエアの地下鉄の駅で列車を待っていたとき、彼が目を下にやると、隣の待ち合い席に捨てられた1冊の本があるのを目にした。4) それは『ペトロフカの少女』だった。

- 3) • waiting for an underground train は、分詞構文。空所(A)を含む部分は、【設問別解説】問2を参照。

- sign O 「Oと就業契約を結ぶ」
- play a leading role 「主役級の役を演じる」
- based on A 「Aが原作の、 Aに基づいた」
- copy 「(書籍の) 1冊、 1部」
- underground train 「(イギリスの)地下鉄の列車」
- tube station 「(イギリスの)地下鉄駅」

〈第2段落〉

5) As if that was not coincidence enough, more was to follow. 6) Later, when he had a chance to meet the author, Hopkins told him about this strange occurrence. 7) Feifer was interested. 8) He said that in November 1971 he had lent a friend a copy of the book — a uniquely annotated copy in which he had made notes on turning the British English into American English ("labour" to "labor," and so on) for the publication of an American version — but his friend had lost the copy in Bayswater, London. 9) A quick check of the annotations in the copy Hopkins had found showed that it was the very same copy that Feifer's friend had mislaid.

5) 偶然はそれだけでは十分ではないかのように、さらなる偶然が続くこととなった。6) その後、ホプキンズがその小説の作者と会う機会を得たとき、彼にこの不思議なできごとについて話をした。7) ファイファーは興味を示した。8) 1971年の11月に友人にその小説を1冊貸したと彼は述べた。その1冊は、独特な注釈の入ったもので、アメリカ版の出版に向けて (labour を labor とするような) イギリス英語からアメリカ英語に書き換えるまでの書き込みが入ったものであったが、ファイファーの友人はその本をロンドンのベイズウォーターで紛失してしまった。9) ホプキンズが見つけた本の注釈をさつと調べてみると、それはファイファーの友人が置き忘れたまさにその本であることがわかった。

- 5) • As if S V ... は「まるで…かのように」の意味。that was not coincidence enough は「偶然はそれだけでは十分ではなかった」

- coincidence 「偶然の一致」
- occurrence 「できごと」

- ということ。more was to follow がこの文の主節で、more が主語となっている。述語部分の was to follow は、be to do を用いることで「…することとなった」という意味の過去時における未来の予定のニュアンスを表している。
- 8) • in which ... an American version が、a uniquely annotated copy を修飾する関係詞節となっている。ダッシュ(ー)以下の a uniquely annotated copy ... an American version までがダッシュ直前の a copy of the book の内容を具体的に説明している。
- 9) • A quick check of the annotations in the copy Hopkins had found がこの文の主部。Hopkins had found の部分が直前の the copy を修飾する関係詞節で、目的格の関係代名詞が省略されている。また、述部は showed that it was ... mislaid までであり、that Feifer's friend had mislaid が the very same copy を修飾する関係詞節である。

- annotate O 「Oに注釈をつける」
- make notes on A 「Aに書き込みをする、Aにメモする」
- publication 「出版」
- annotation 「注釈」
- very 「まさに」
- mislay O 「Oを(どこかに)置き忘れる」

〈第3段落〉

10) You have to ask: What's the chance of that happening? 11) One in a million? 12) One in a billion? 13) Either way, it begins to stretch the bounds of credibility. 14) It hints at an explanation involving forces and influences (1) we are unaware, bringing the book back in a circle to Hopkins and then to Feifer.	10) そういうことが起こる可能性はどれくらいなのかということを考えずにはいられない。11) 100万分の1だろうか。12) 10億分の1だろうか。13)どちらにしても、このことは、信憑性の限界を拡大し始めるものではある。14) それは、当の本をホブキンズ、そしてファイファーへと一巡りさせることで、我々が認識していない力と影響に関する説明となる理由をほのめかしている。
--	---

- 10) • What's the chance of that happening? では、happening は動名詞で、that がその意味上の主語となっていて、the chance of that happening は「そういうことが起こる可能性」という意味。
- 13) • to stretch the bounds of credibility 「信憑性の限界を拡大する」とは、to be almost impossible to believe 「ほぼ信じ難い」というようなニュアンス。
- 14) • 空所(1)を含む部分は 【設問別解説】 問1を参照。
• bringing 以降は分詞構文。

- billion 「10億」
- either way 「どちらにしても」
- stretch O 「Oを拡大する、引き伸ばす」
- bound 「限界、境界、範囲」通常複数形で用いる。
- credibility 「信憑性、信用性」
- hint at A 「Aをほのめかす、Aを暗示する」
- involving A 「Aに関する」
- forces 「強制力」
- bring O back in a circle 「Oを一巡りさせて元の場所に戻す」

〈第4段落〉

15) Here's another striking incident, this time from the book <i>Synchronicity</i> , by the psychoanalyst Carl Jung. 16) He writes: "The writer Wilhelm von Scholz ... tells the story of a mother who took a photograph of her small son in the Black Forest. 17) She left the film to be developed in Strassburg. 18) But, (2) the outbreak of war,	15) ここにもまた別の特筆すべきできごとがある。今回は、精神分析学者のカール・ユングの著書である『シンクロニシティ』からのものである。16) ユングは次のように記述している。「作家のヴィルヘルム・フォン・ショルツは、…シュヴァルツヴァルトで自分の幼い息子の写真を撮った母親について述べている。17) 彼女は現像してもらうため
---	---

she was unable to fetch it and gave it up for lost. 19) In 1916 she bought a film in Frankfurt in order to take a photograph of her daughter, who had been born in the meantime. 20) When the film was developed, it was found to be doubly exposed: the picture underneath was the photograph she had taken of her son in 1914! 21) The old film had not been developed and had somehow got into circulation again among the new films."

にそのフィルムをストラスブルで預けてきた。 18)しかし、戦争が勃発したため、それを取りに行くことができず、なくなったものとしてあきらめていた。19)1916年に、彼女はその間に生まれた自分の娘の写真を撮ろうとフランクフルトでフィルムを購入した。20)フィルムが現像されるとそれは二重に感光していることがわかった。娘の写真の下に写っていたのは、彼女が1914年に自分の息子を撮ったものだったのだ！21)古いほうのフィルムは現像されずに、どういうわけか新しいフィルムに混ざって再度流通したのだった】

- 18)・空所(2)は、【設問別解説】問1を参照。
- 19)・ここでの in the meantime 「その間に」とは、具体的には、母親が1914年に息子の写真を撮った後に、戦争が勃発し、1916年に娘の写真を撮るまでの間のことを指す。
- 20)・コロン以降は、the picture underneath が主語、was が動詞 the photograph she had taken of her son in 1914 が補語で、関係代名詞の目的格が省略された関係詞節 (that) she had taken of her son in 1914 により the photograph が修飾されている。

- striking 「著しい」
- incident 「できごと、事件、事故」
- psychoanalyst 「精神分析学者」
- the Black Forest 「シュヴァルツヴァルト (Schwarzwald: ドイツ語で黒い森の意味)」ドイツのバーデン地方にある森・山地。
- develop O 「O(フィルム)を現像する」
- outbreak 「勃発、発生」
- fetch O 「Oを取りに行ってくる」
- give A up for lost 「give up A for lost」 「Aをないものとしてあきらめる」
- in the meantime 「その間に」
- expose O 「Oを感光させる」
- underneath (A) 「(A)のすぐ下に」
- circulation 「流通」

〈第5段落〉

22) Most of us will have experienced coincidences rather like these—(3) quite so extraordinary. 23) They might be more akin to thinking of someone just before she phones you. 24) Strangely enough, while I was writing part of this book, I had precisely this sort of experience. 25) A colleague at work asked me if I could recommend some publications on a specific aspect of statistical methodology (the so-called "multivariate t-distribution"). 26) The next day, I (B) a little research and managed to identify a book on exactly that topic by two statisticians, Samuel Kotz and Saralees Nadarajah. 27) I had started to type an e-mail to my colleague, giving him the details of this book, when I was

22)我々のほとんどは、これほど特異ではないにしても、このようなものにかなり似通った偶然のできごとを経験したことがあるだろう。23) そのような偶然のできごとは、誰かが電話をかけてくる直前にその人物のことを考えるというようなことにより似通っているかもしれない。24) 何とも奇妙なことに、この本の一部分を執筆している最中に、私はまさにこの類いの経験をした。25) 職場の同僚が統計的方法論(いわゆる多変量t分布)の特定の側面に関する出版物を何冊か奨めてくれないかと私に聞いてきた。26) 翌日、私は少し調べてみて、まさにそのテーマに関する2人の統計学者、サミュエル・コツとサラリース・ナダラジャによる1冊の本をなんとか特定することができた。27) 私は当の同僚にメールを打ち始め、その本の詳細を伝えようとして

interrupted by a phone call from Canada. 28) During the conversation, the caller happened to mention that Samuel Kotz had just died.

いたところ、カナダからの電話にさえぎられた。
28) その会話の中で、電話をかけてきた相手が、サミュエル・コツがたった今亡くなったばかりだということをたまたま伝えてきた。

- 22) · will have experienced は、「(我々のほとんどが)…を経験したことがあるだろう」という意味。
· 空所(3)に関しては【設問別解説】問1を参照。
- 25) · 全体が S ask O if S V … 「Oに…かどうか尋ねる」という構造の文である。
- 26) · 空所(B)に関しては、【設問別解説】問2を参照。
- 27) · giving him the details of this book の部分は分詞構文。

- extraordinary 「尋常ではない」
- akin to A 「Aに類似の、似た」
- strangely enough 「何とも奇妙なことには」
- precisely 「まさに、正確に」
- colleague 「同僚」
- specific 「特定の、具体的な」
- statistical methodology 「統計的方法論」
- multivariate t-distribution 「多変量t分布」
- identify O 「Oを特定する、同定する」
- statistician 「統計学者」
- interrupt O 「Oをさえぎる、Oの邪魔をする」
- happen to do 「たまたま…する」

〈第6段落〉

29) There's no (C) away from it: sometimes events occur which seem so (4), so unexpected, they hint that there's something about the universe we don't understand. 30) They make us wonder if the familiar laws of nature and causality, through which we run our everyday lives, occasionally break down. 31) They certainly make us doubt that they can be explained by the accidental confluence of events, by the random throwing together of people and things. 32) They almost suggest that something is exerting an invisible influence.

29) 宇宙に関して何か我々が理解できないことがあるのではないかということをほのめかすほど発生の可能性が低く、予期できないように思えるできごとが時として起こるものなのであり、こういうことから逃れることはできないのだ。30) 我々は、自然と因果律のなじみの深い法則性にのっとって普段の生活をおこなっているが、そういうできごとによう、それらの法則が時には崩壊するのではないかと思えてしまう。31) それらのできごとは、できごとが偶然に重なり合うことによって、つまり人とのとの無作為な巡り合わせによっては説明できないのではないかという疑念を必ず抱かせる。32) 何かが目に見えない影響を及ぼしているということを暗にほのめかしているのも同然なのだ。

- 29) · 空所(C)は【設問別解説】問2を参照。空所(4)に関しては、【設問別解説】問1を参照。
- コロン(:)は前の文の内容を説明・定義するために用いられることから、it はコロン以下の内容を指していると考えられる。
 - コロン以下は、which seem so ... we don't understand までが関係詞節で、主語の events を修飾し、occur が述語動詞という構造である。
 - 関係詞節中の構造は、主格の関係代名詞 which により導かれた

- hint that S V … 「…ということをほのめかす」
- universe 「宇宙、世界」
- causality 「因果律、因果関係」
- confluence 「合流、集合」
- random 「無作為の」
- exert an influence 「影響を及ぼす」

関係詞節 which seem so (4), so unexpected, (that) they hint ... we don't understand の節内に so 形容詞 (that) S V ... の構造を含んだものである。さらに、関係代名詞の目的格が省略された関係節 (that) we don't understand で something を修飾している。

- 30) ・全体の構造が、They (=events) make us wonder if S V ... であり、S make O wonder if 節「SはOに…ではないかと思わせる」という意味になっている。
・if 節中は、the familiar laws of nature and causality が主語、break down が動詞で、through which we run our everyday lives が非制限用法の関係詞節として the familiar laws of nature and causality を補足的に説明している。
- 31) ・全体が S make O doubt that S V ... という構造になっており、doubt は「…を疑問に思う、…ではないと思う」という意味。
(例) I doubt that the defendant is guilty. 「私は被告が有罪ではないと思う」
・the random throwing together of people and things は throw A together / throw together A 「Aを偶然巡り会わせる」を名詞的に用いて「人とのごとの無作為な巡り合わせ」という意味となり、直前の the accidental confluence of events 「ものごとの偶然の重なり合い」を言い換えたものであり、これまでに例示されてきたできごとを指している。

● invisible 「目に見えない」

〈第7段落〉

33) Often such occurrences merely startle us, and give us stories to tell. 34) On my first trip to New Zealand, I settled down in a café, and noticed that the notepaper being used by one of the two strangers at the neighboring table was from my own university back in the UK. 35) But at other times, these (5) events can significantly alter lives—for the better, as with a New Jersey woman who won the lottery twice, or for the worse, as with Major Summerford, who was struck by lightning several times.

33) しばしばそういうできごとは、単にわれわれを驚かし、逸話を提供してくれるだけなのだ。34) 初めてのニュージーランド旅行で、私はカフェに腰を下ろすと、隣り合わせたテーブルの見知らぬ2人の人物のうちの一方が使っていたレポート用紙が、私のイギリスの大学のものであったことに気づいた。35) しかしながら、場合によっては、このような尋常ならざるできごとは、人生を著しく変えてしまうことにもなりうる。良い方向への変化としては、宝くじに2度も当たったニュージャージーの女性もいれば、悪い方向への変化としては、サマーフォード少佐のように雷に数回打たれた人物もいる。

- 34) ・and noticed that ... 以降では、the notepaper が being used by one of the two strangers at the neighboring table によって修飾されることで that 節内の主部を形成している。
・ここでの notepaper とは、大学名あるいはロゴなどの入ったレポート用紙と考えられる。
- 35) ・空所(5)に関しては、【設問別解説】問1を参照。
・ダッシュ以降は、these (5) events can significantly alter lives の内容を具体的に例示し、for the better で良い方向への変化、for the worse で悪い方向への変化の例を挙げている。

- startle O 「Oを驚かす」
● settle down 「腰を落ち着ける」
● the UK (=the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) 「連合王国」いわゆるイギリスを指す。
● significantly 「著しく」
● alter O 「Oを変化させる」
● as with A 「Aのように」

- lottery 「宝くじ, ロタリー」
- major 「少佐」

〈第8段落〉

36) Humans are curious animals, so we naturally seek the causes behind strange coincidences. 37) What was it that led two strangers from the same university to travel to the far side of the world and end up sitting at neighboring tables in the same café at exactly the same time? 38) What was it that led the woman to pick those two winning sets of lottery numbers? 39) What was it that brought huge electrostatic forces to hit Major Summerford time and time again? 40) And what steered Anthony Hopkins and *The Girl from Petrovka* through space, and through time, to the same seat in the same underground station at the same moment?

36) 人間というものは好奇心の強い動物であるので、奇妙な偶然の背後にある原因を当然探そうとする。37) 同じ大学の見知らぬ2人が、世界の反対側に旅をし、同じカフェで、まったく同じ時間に隣り合ったテーブルに腰掛けるに至ったのはどういうわけであったのか。38) どうして例の女性は宝くじの当選番号を2度引き当てる事になったのか。39) サマーフォード少佐は一体どういうわけで、巨大な静電気の力に何度も打たれることになったのか。40) そして、空間と時を通り抜け、アンソニー・ホプキンズと『ペトロフカの少女』を同じ瞬間に同じ地下鉄駅の同じ待ち合い席へと導いたのは一体何であったのか。

- 37) この文の主語である疑問代名詞 what を強調した「…するの…体何か」という意味の強調構文となっている。述部は lead O to do で構成され、Oが two strangers from the same university であり、to do 部分は、等位接続詞 and により、to travel と (to) end up とが並列された形となっている。
- 38) 構造的には、第37文と同じ強調構文で、述部が lead O to do で構成されている。
- 39) 前出の2つの文と同じ強調構文で、述部では bring O to do 「Oに…するようにさせる」が用いられている。
- 40) 疑問代名詞の what が主語で、述部は「AをBへと導く」という意味の steer A to B が用いられている。

- curious 「好奇心の強い」
- end up doing 「結果として…する」
- electrostatic force 「静電気の力」
- time and time again 「何回とか」

〈第9段落〉

41) Beyond that, of course, how can we take advantage of the causes (D) such coincidences? 42) How can we manipulate them to our benefit?

41)もちろん、そういうことを越えて、どうしたらこのような偶然の根底にある原因を活用できるであろうか。42) どうしたらそういうものをわれわれの利益となるように操ることができるであろうか。

- 41) Beyond that の that は、前の段落の内容全体を受けていると考えられる。
- ・空所(D)に関しては、【設問別解説】問2を参照。

- take advantage of A 「Aを活用する」
- manipulate O 「Oを操る、操作する」
- to one's benefit 「自分の利益のために」

【設問別解説】

問1 適語(句)補充問題

(1)

It hints at an explanation involving forces and influences (1) we are unaware, bringing the book back in a circle to Hopkins and then to Feifer.

それは、当の本をホプキンズ、そしてファイファーへと一巡りさせることで、我々が認識していない力と影響に関する説明となる理由をほのめかしている。

- 空所の後にある *unaware* は、*be unaware of A* の形で用い、選択肢から *of which* を選択すると *forces and influences of which we are unaware* となり、「我々が認識していない力と影響」と文脈的にも自然な内容になるため、(ア)の *of which* が正解。

● *be unaware of A* 「Aを認識していない」

(2)

But, (2) the outbreak of war, she was unable to fetch it and gave it up for lost.
しかし、戦争が勃発したため、それを取りに行くことができず、なくなったものとしてあきらめていた。

- 直前の第17文で *She left the film to be developed in Strassburg.* 「彼女は現像してもらうためにそのフィルムをストラスブルで預けてきた」とあり、*she was unable to fetch it ...* 「それを取りに行けなかった」とあることから、何らかの要因でフィルムを取りに行くことが阻害されたことがわかる。選択肢から *owing to A* 「Aのせいで、Aが原因で」を選ぶと *owing to the outbreak of war* 「戦争の勃発のせいで」と文意が通るので、(イ)の *owing to* が正解。

- (ア)の *according to A* は、「Aによれば、Aに応じて」の意味の熟語。
- (ウ)の *with regard to A* は、「Aに関して」の意味の熟語。
- (エ)の *in addition to A* は、「Aに加えて」の意味の熟語。

(3)

Most of us will have experienced coincidences rather like these—(3) quite so

extraordinary.

我々のほとんどは、これほど特異ではないにしても、このようなものにかなり似通った偶然のできごとを経験したことがあるだろう。

- ダッシュの直前の *these* とは、前出のアンソニー・ホプキンズや、カール・ユングの著作中に出てくる母親などの極めて特異な偶然の経験を指しており、直後の第23文で *They might be more akin to thinking of someone just before she phones you.* 「そのような偶然のできごとは、誰かが電話をかけてくる直前にその人物のことを考えるというようなことにより似通っているかもしれない」と、特異性の程度が低い例が挙げられていることから、*if not* 「…ではないにしても」を入れるとダッシュ以下が「それほど特異ではないにしても」となり、前後の意味が通じるので、(ア)の *if not* が正解。
- (イ)の *if only* は「…でさえあれば」の意味で、主として仮定法の節を導く。
- (ウ)の *what if* は、「…したらどうなるだろう」の意味で、仮定法でも直接法でも用いられる。
- (エ)の *as if* は「まるで…のように」の意味で、仮定法でも直接法でも用いられる。

(4)

sometimes events occur which seem so (4), so unexpected, they hint that there's something about the universe we don't understand.

宇宙に関して何か我々が理解できないことがあるのではないかということをほのめかすほど発生の可能性が低く、予期できないように思えるできごとが時として起こるものなのである。

- ここまででは、特異な偶然の事例が述べられており、空所の直後の *so unexpected* 「あまりに予期できない」は、空所を含む *so (4)* 部分の言い換え、もしくは追加情報と考えられることから、選択肢の中で *unexpected* と意味的に近く、特異性に言及する *improbable* 「起こりそうにない」を入れると、後続する *they hint that there's something about the universe we don't understand* との意味関係も自然な流れになるので、(エ)の *improbable* が正解。
- (ア)の *disoriented* は、「(人が)混乱した、方向がわからない」などの意味の形容詞。
- (イ)の *inconsiderate* は、「思いやりのない」の意味

の形容詞。

- ・(ウ)の illegal は、「違法な」の意味の形容詞。

(5)

But at other times, these (5) events can significantly alter lives — for the better, as with a New Jersey woman who won the lottery twice, or for the worse, as with Major Summerford, who was struck by lightning several times.

しかしながら、場合によっては、このような尋常ならざるできごとは、人生を著しく変えてしまうことにもなりうる。良い方向への変化としては、宝くじに2度も当たったニュージャージーの女性もいれば、悪い方向への変化としては、サマーフォード少佐のように雷に数回打たれた人物もいる。

- ・ダッシュ以下で、「人生を著しく変えてしまうようなできごと」の良い方向への変化の例と悪い方向への変化の例が挙げられていることから、いずれも特異な例である。与えられた選択肢の中で, uncanny 「尋常でない」のみが特異性に言及できるので, (ウ)の uncanny が正解。
- ・(ア)の unpleasant は、「不愉快な」の意味の形容詞。
- ・(イ)の untold は、「明かされない、莫大な」などの意味の形容詞。
- ・(エ)の unsatisfactory は、「不十分な、不満足な」などの意味の形容詞。

問2 適語補充問題

(A)

Then, on his way home, waiting for an underground train at Leicester Square tube station, he looked down and there was a (A) book lying on the seat next to him.
そうして、帰る途中、レスター・スクエアの地下鉄の駅で列車を待っていたとき、彼が目を下にやると、隣の待ち合い席に捨てられた1冊の本があるのを目にした。

- ・there was a (A) book lying on the seat next to him となっていることから、空所には形容詞が入ることがわかる。どのような本が待ち合い席にあったのかを考え、与えられた語群中の discard を過去分詞にして形容詞的に用いると、a discarded book で「捨てられた本」という意味になり、文意

が通る。したがって、discarded が正解。

(B)

The next day, I (B) a little research and managed to identify a book on exactly that topic by two statisticians, Samuel Kotz and Saralees Nadarajah.

翌日、私は少し調べてみて、まさにそのテーマに関する2人の統計学者、サミュエル・コツとサラリース・ナダラジャによる1冊の本をなんとか特定することができた。

- ・語群の中から名詞の research を目的語にとり、文脈から「調べる」という意味となる動詞を選択する。動詞 do を選択し、do (a little) research とすると意味が成立する。さらに、and による並列関係にある動詞 managed が過去形であることから、文全体が過去の文脈であることがわかるので、do の過去形の did が正解。
- ・なお、research は他にも conduct や carry outなどの動詞と結びつく。

(C)

There's no (C) away from it:
こういうことから逃れることはできないのだ。

- ・it はコロン以下の内容を指していることをまず確認する。空所の直前が There's no となっていることから、動名詞を用いた There's no doing 「…できない」の形にし、away from と結び付く動詞として語群の中から get を選択し、get away from A 「Aを免れる、Aから逃れる」とすると「…なできごとが時として起こり、そのようなこと (= it) から逃れることはできない」という意味内容が成立する。以上から、get を動名詞にした getting が正解。

(D)

Beyond that, of course, how can we take advantage of the causes (D) such coincidences?

もちろん、そういうことを越えて、どうしたらこのような偶然の根底にある原因を活用できるであろうか。

- ・空所の直前が how can we take advantage of the causes になっていることから、空所以降は the causes を後置修飾していると考える。さらに、空所の直後には、such coincidences という

名詞句があることから、空所には他動詞が入ることがわかる。他動詞 underlie 「…の根底にある」を選択すると、such coincidences 「そのような偶然」と the causes 「原因」の間に「そのような偶然の根底にある原因」という意味関係が成立する。underlie を現在分詞にすると、the causes を後置修飾できるので、underlying が正解。

問3 内容不一致問題

(ア)

In 1972, the actor Anthony Hopkins was cast for a leading role in a film based on a novel, so he went to London to get a copy of the novel, only to find no copy available in any of the main bookstores there.

1972年に、俳優のアンソニー・ホプキンスは、ある小説を原作とした映画の主役級の役を与えられ、その小説を手に入れようとロンドンへと向かったが、結局、ロンドンのどの主な書店でも1冊も手に入らないことがわかった。

- ・第1段落の第1・2文の内容に一致している。
- be cast for A 「(俳優が) A(役柄)を割り当てられる」
- only to do 「結局…するだけだった」
- available 「入手(利用)可能な」

(イ)

George Feifer had lent one of his friends an American version of a copy of his novel *The Girl from Petrovka* in November 1971.

1971年の11月にジョージ・ファイファーは、友人のひとりに自分の小説である『ペトロフカの少女』のアメリカ版を1冊貸した。

第2段落の第8文の後半でファイファーが貸した本について、a uniquely annotated copy in which he had made notes on turning the British English into American English ... for the publication of an American version とあることから、その本はアメリカ版の出版に向けて注釈がメモされた本であり、アメリカ版ではない。したがって、この部分の内容に一致しないので、(イ)は正解となる。

- version 「(文芸作品などの)版」

(ウ)

Anthony Hopkins himself checked the

annotations in the book he had found at Bayswater Station to see if it was the copy George Feifer had lent to his friend.

アンソニー・ホプキンスは、自分がペイズウォーターの駅で見つけたその本の中の注釈を自分自身でチェックし、その本はジョージ・ファイファーが彼の友人に貸したものであったかどうか調べようとした。

- ・第1段落の第3文で、... waiting for an underground train at Leicester Square tube station, he looked down and there was a (A) book ... とあることから、ホプキンスが本を見ついたのは、ペイズウォーターの地下鉄の駅ではないことがわかり、この部分と一致しない。したがって、(ウ)は正解となる。
- ・なお、第2段落の第9文で、A quick check of the annotations in the copy Hopkins had found showed that it was the very same copy that Feifer's friend had mislaid とあり、注釈をチェックし、友人に貸した本かどうか確かめられるのは原作者のファイファー本人である可能性が高い。その点で Anthony Hopkins himself checked the annotations in the book ... という記述も内容に一致しないことがわかる。

(エ)

Carl Jung wrote in his book, *Synchronicity*, about the writer Wilhelm von Scholz, who had told a strange story about a photograph taken in the Black Forest by a mother.

カール・ユングは彼の著作である『シンクロニティ』の中で、作家のヴィルヘルム・フォン・ショルツについて書いており、ショルツは、ある母親がシュヴァルツヴァルトで撮影した1枚の写真についての奇妙な話に言及していた。

- ・第4段落の第15・16文の内容に一致している。

(オ)

The film a mother bought in 1916 in Frankfurt was the very same film she had used to take a photograph of her small son in 1914.

ある母親が、1916年にフランクフルトで購入したフィルムは、1914年に彼女の息子の写真を撮影するために用いたフィルムとまさに同じものだった。

- ・第4段落の第19～21文の内容と一致している。

(カ)

The writer of this article had begun writing an e-mail to his colleague about a book on statistical methodology when he was notified of the death of one of the two authors of the book. この文章の筆者は、自分の同僚に統計的方法論に関するある書籍について e メールを書き始めていたところ、同書の 2 人の筆者のうちの 1 人が亡くなつたという知らせを受けた。

- ・第5段落の第25～28文の内容に一致している。

● be notified of A 「Aを通知される、知らされる」
(キ)

During his first visit to New Zealand, the writer of this article found himself sitting very close to a person who was using notepaper that showed the person was from the very same university in the UK as the writer.

この文章の筆者は、初めてニュージーランドを訪れた際に、筆者とまさに同じ大学であることを示すレポート用紙を使っていた人物のすぐ近くに腰掛けていたことに気づいた。

- ・第7段落の第34文および第8段階の第37文の内容に一致している。

(ク)

Strange events can sometimes change someone's life for the better, as in the case of Major Summerford, who was struck by lightning more than once.

雷に複数回打たれたサマーフォード少佐のケースのように、時として奇妙なできごとは人の人生を良いものに変えることもある。

- ・第7段落の第35文の、these (5) events can significantly alter lives ... or for the worse, as with Major Summerford, who was struck by lightning several times. の for the worse の部分と明らかに一致していない。したがって、(ク)は正解。

● more than once 「一度ならず、複数回」

4 和文英訳問題

【全文訳例】

(1) Recently communications have developed so remarkably that you can listen to live radio broadcasts from all over the world if you have a smartphone. Many programs on the radio station BBC London feature radio personalities talking with their listeners on the phone. On these shows I often hear a listener say something like "How are you?" to which the host of the show responds "Very well, thank you." (2) When I started to study English, I doubted if they really had these kinds of bothersome conversations, but they do say things like these. Some people may say that ritualistic greetings are pointless. But English speakers' natural way of exchanging these "meaningless" greetings convinces me there's more to them than meets the eye. The Japanese language also has many phrases like this. For example, when giving a gift to someone, we say "tsumaranai-mono-desuga," meaning "this is something useless." Although we don't mean it literally, it represents the modesty of the giver, one of the Japanese virtues. (3) It is possible that their formal greetings make them feel more caring towards the other person.

【解答例】

(1)

Recently communications have developed so remarkably that you can listen to live radio broadcasts from all over the world if you have a smartphone.

〈別解例 1〉 Now that communications are so advanced, you can hear radio broadcasts from all over the

world live if you use a smartphone.

〈別解例2〉 With communications nowadays being so advanced, you can listen to live radio programs from all over the world if you have got a smartphone.

(2)

When I started to study English, I doubted if they really had these kinds of bothersome conversations, but they do say things like these.

〈別解例1〉 When I began to study English, I doubted whether it was true that they had this kind of bothersome conversation, but they actually say such things.

〈別解例2〉 When I started learning English, I wondered if they really had bothersome conversations like this, but they really do.

(3)

It is possible that their formal greetings make them feel more caring towards the other person.

〈別解例1〉 It's quite possible that their ritual [ritualistic] greetings make them feel more concerned about the person [people] they are talking to [with].

〈別解例2〉 It seems plausible that their formal greetings strengthen [reinforce] their feelings of concern about the other person.

【配点】 (30点)

(1) 10点 (2) 10点 (3) 10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3つの部分に分けて考える。[]内の語は言い換え可能なものを示している。

①「最近は通信の異常ともいえる発達で」

②「世界中のラジオ放送をライブで聴くことができるようになった」

③「スマホがあれば」

〈表現のポイント〉

①「最近は通信の異常ともいえる発達で」

・Recently [Lately] communications have developed so remarkably that ...

・Now that communications are so advanced, ...

・With communications nowadays being so advanced, ...

・As communication(s) systems have developed remarkably recently, ...

※「最近は」

・recently [lately] を用いるのであれば、現在完了形で書くことになる。nowadays [today] を用いたり、Now that ... で書き始めるなら、現在形で書くことになる。

※「通信の異常ともいえる発達で」

・「通信」は、communication(s) が最適であるが、そのほかに「通信技術」と考えて communication(s) technology、また「通信ネットワーク」と考えて

communication(s) networks としても英語自体は可ではあるが、日本語の文意をやや逸脱するため、ここでは避けたい。

・「異常に」は、通信の発達の「目覚ましさ」に言及する必要があるので、abnormally, unusually などは文意に合わない。

・「発達」は、「発達する」と考えて動詞 develop のほかに advance や progress なども使える。

・②との接続には、so ... that ~「とても…なので～」を用いた構文や、Now that [As] のような接続詞を使うことができる。また、付帯状況の with を用いて、With communications nowadays being so advanced, ... とすることも可能である。

②「世界中のラジオ放送をライブで聴くことができるようになった」

・you [one] can listen to live radio broadcasts [broadcasting / programs] from all over the world

・you can hear live radio broadcasts from all over the world

・you can listen to radio broadcasts live from all over the world

・you can listen to radio broadcasts from all over the world live

・you can listen to live broadcasts on the radio from all over the world

※「聴くことができるようになった」

・主語には一般人称の you、または one を用いる。we を使うと、この発話者の住む地域にのみ当ては

まるこのように感じられるので望ましくない。

- ・「聴く」は listen to (radio broadcasts) を用いるといが、hear (radio broadcasts) とすることもできる。
- ・「できるようになった」は日本語に忠実に have become able to do としても可であるが、can を用いて現状について言及すれば、意味は十分に通じる。なお、come to do の場合、動詞が realize, know, feel, love などに制限されるので、ここでは使うことができない。

※「世界中のラジオ放送」

- ・radio broadcasts [broadcasting / programs] from all over the world とする。単に (listen to live radio broadcasts) all over the world [throughout the world / across the world] とすると、「世界のどこでもラジオ放送が聴ける」という意味になり、日本文とは異なる意味の英文になるので注意。

※「ライブで」

- ・live を副詞で用いて、listen to radio broadcasts ... live とするか、「生の(ラジオ放送)」と考えて、live を形容詞で用いて live radio broadcasts とする。

③「スマホがあれば」

- ・if you have [have got] a smartphone

※主語にはここでも you を用いる。we を使うと、1台のスマホを私たちが共有しているような印象を与える。

※「スマホで(世界中のラジオ放送をライブで聴く)」と読みかえて、(listen to live radio broadcasting from all over the world) with [on] your smartphone とすることもできる。

①～③をつなげてみると、

・Recently communications have developed so remarkably that you can listen to live radio broadcasts from all over the world if you have a smartphone. のようになる。

※「最近の通信の異常ともいえる発達は、スマホがあれば、世界中のラジオ放送をライブで聴くことを可能にした」と読みかえて、以下のように無生物主語構文で書くこともできる。

- ・The remarkable development in communications these days enables you to listen to live radio broadcasts from all over the world, if you have a smartphone.
- ・The remarkable development in communications these days makes it possible (for you) to listen to live radio broadcasts from all over the world if

you have got a smartphone.

- ・Recent remarkable developments in communications mean that one can listen to live radio broadcasts from all over the world, if you have a smartphone.

また、thanks toなどを用いて次のように表現することもできる。

- ・Thanks to recent remarkable development in communications, you can listen to live radio broadcasts from all over the world, if you have a smartphone.

(2)

〈解法のポイント〉

設問の日本語を以下のように3つの部分に分けて考える。

①「英語を習い始めたとき」

②「本当にこんな面倒な会話を交わしているのかなと思ったものだが」

③「実際に彼らは言っているのだ」

〈表現のポイント〉

①「英語を習い始めたとき」

・When I started [began] to study [to learn] English

・When I started [began] studying [learning] English

②「本当にこんな面倒な会話を交わしているのかなと思ったものだが」

・I doubted if [whether] they really had these kinds of bothersome conversations, but ...

・I doubted if it was true that they had this kind of bothersome conversation, but ...

・I wondered if [whether] they really had bothersome conversations like this, but ...

※「…のかなと思ったものだ」は、I doubted if [whether] ... または、I wondered if [whether] ... を用いて書くとよい。I would [used to] doubt [wonder] ... という表現によって、過去を表してもよい。

・I doubted that ... は「…でないと思う」という意味で、ここでは望ましくない。また、「…かどうかと思う」の意味を表す場合、wonder は that節を後続することはないことに注意。さらに、think は原則として意見を述べる表現に用いるので、ここでは使えない。

※「本当に」は、(they) really (had ...) や、(if [whether]) it was true (that ...) のように表すこ

とができるが, I doubted if [whether] ... / I wondered if [whether] ... には疑いの気持ちが十分含まれているので, 明示的に訳出しなくても可とする。

- ※「会話を交わしている」という日本語を直訳して exchange conversations とするのは誤り。have conversations が「会話を交わす」の正しい言い方である。exchange を使うなら, 目的語には greetings や words を用いることになる。なお, make conversations とするのは, 意識的に会話を続けるという意味合いになり, ここでは望ましくない。
- ・「面倒な会話」は, bothersome conversations とするのがよい。troublesome [annoying] conversations なども可とするが, ここでは否定的な意味が強すぎるので避けたほうがよい。
- ・「わざわざこのような会話をする」と考えて, bother to have this kind of conversation と書くこともできる。
- ・「こんな」については, these kinds of (bothersome conversations), または this kind of (bothersome conversation) のように表すか, (bothersome conversations) like this [these] とする。

③「実際に彼らは言っているのだ」

- ・they do say things like this [these]
- ・they really [actually] say such things
- ・they really do

※「実際に」は, really [actually] で表すことができる。in fact も使えるが, in fact, they say ... のように, 節の先頭で用いるのが自然。また, 肯定の強調と考えて, 助動詞の do を使い, they do say ... することもできる。

※「彼らは言っているのだ」は, they say things like this のように, 目的語が必要となる。目的語は “How are you?” “Very well, thank you” のようなやり取りのことなので, things like this のような表現で言い換えるのがよい。ただし, 「こんな面倒な会話を交わしている」という全体の述部を do で置き換え, they (really) do とするのは正しい書き方である。時制は現在形で書くことになるが, 現在行われている最中の行為について述べているのではないので, 現在進行形を用いて they're saying ... とするのは不適。

①～③をつなげてみると,

- ・When I started to study English, I doubted if they really had these kinds of bothersome conversations,

but they do say things like these. のようになる。

(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「…ことは十分に考えられることだ」
- ②「彼らの形式化された挨拶が, 相手を気遣う気持ちをより強いものにしている」

〈表現のポイント〉

- ①「…ことは十分に考えられることだ」

- ・It is possible that ...
- ・It's (quite) possible that ...
- ・It seems possible [plausible] that ...
- ・It's quite conceivable that ...

※「…ことは十分に考えられることだ」 ⇒ 「…ことは十分ありうることだ」ということなので, 形式主語構文を用いて It's quite possible that ... などで表現する。

- ②「彼らの形式化された挨拶が, 相手を気遣う気持ちをより強いものにしている」

- ・their formal greetings make them feel more caring towards the other person
- ・their ritual [ritualistic] greetings make them feel more concerned about the person [people] they are talking to [with]
- ・their formal greetings strengthen [reinforce] their feelings of concern about the other person

※「彼らの形式化された挨拶」は their formal greetings とする。「形式化された」は「儀礼的な」と考えて ritual [ritualistic] を使うこともできる。

・「挨拶」は, ここでは対的に交わされる「挨拶の言葉」なので, 複数形を用いて greetings するのが正しい。

※「相手を気遣う気持ちをより強いものにしている」は, make O do 「Oに…させる」の表現を用いて make them feel more caring towards [concerned about] the other person とするのがよい。また, strengthen 「強化する」, reinforce 「補強する」を用いて strengthen [reinforce] their feelings of concern about the other person と表すこともできる。

日本語を直訳して make their feelings of consideration for the other person stronger と書いても可であるが, for the other person のように「相手」を表す言葉が必要。

- ・「相手」は the other person などで表す。「会話をしている(相手の)人」と考えて, the person they

<p>are talking to [with] と書いててもよい。 ①～②をつなげてみると、 • It is possible that their formal greetings make</p>	<p>them feel more caring towards the other person. のようになる。</p>
---	---

5 自由英作文

【解答例】

【解答例 1】

If I were given the elixir of life, I would definitely take it. There are many things I want to do before I die, and I doubt I will have time to do all of them. If I could live forever and stay young and strong, I could travel all over the world and master various skills, like painting or playing the piano. Also, if I knew that I could not die or I could survive any serious injury, I would try doing dangerous sports like rock climbing or car racing. I could live life to the full — forever! (99 words)

【解答例 2】

I don't think I would take the elixir of life because I think that without the knowledge that I would die eventually, I would have trouble enjoying life. I am always putting things off, telling myself that I will have the chance to do them later. If I knew that I was never going to die, I think I would be less motivated to enjoy life. Therefore, I would not go on trips or see new places or try new things. Part of the fun of life is that it is short, and taking the elixir of life would take that away. (102 words)

【解答例 3】

Whether I would take the elixir of life or not would depend on how it worked. For example, if I could take a sip of it every day to stay young, I would definitely use it. However, if a single dose had the power to make me immortal, I would hesitate to try it. It would be wonderful to be able to remain young and healthy for many years, but if I stayed young while everyone I loved grew old and died, I think I would become very sad and lonely. Eventually, I would want to die like a normal human being. (102 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。ある程度考えをまとめてから書き始める。
- ②メモを参考にしながら、書く内容を日本語で全部書き出してから英訳すると時間がかかるだけでなく、日本語の干渉を受けた英語になる恐れがあるので、日本語を介さず英語で書き始める。
- 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、初めに考えてい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、書く内容に手を加える。
- ④主張に対し論拠が示せているか確認すること。
- ⑤最後に、三单現の 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・構文の面から自分の答案を見直すこと。

《頻出するミス》

- (1) 数の一致のミス(関係代名詞の後での数、単数か

複数か、前後の語句を指す指示語の整合性が取れていないなど)

- (2) 名詞・冠詞のミス(定冠詞と不定冠詞のいずれを用いるか、あるいは無冠詞にするか、可算名詞か不可算名詞かなどに関するミス)
- (3) 時制・法のミス(単純形なのか完了形・進行形なのか、直説法なのか仮定法のかなどに関する注意不足や、前後の時制と整合性が取れていないなど)
- (4) 語法・品詞のミス(because と for, but と however, agree to と agree with など、接続詞の語法、接続詞と副詞の混同、前置詞のミスなど)
- (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) 句読点のミス(不要なコンマをつけるミスが多い。たとえば、But, ... のように接続詞の but の後にコンマを入れる間違いがよくある)

2. 書き方における注意点

- ①インデントを守る。つまり、他の行頭より出だしで

英字数文字下げて書き出す。

- ② 1つか2つの段落で書く。ただし、2つの段落にするときは、1つの段落をほぼ50語程度にすること。
気まぐれに改行しないこと。
- ③ 1つの文は平均して20語程度にし、4～6文で構成するとよい。あまりに短すぎる文をだらだらと並べたり、あまりに長い文を書いたりすると、非常に読みにくく英文になってしまふので避けたほうがよい。
- ④ できるだけ読みやすい字で書くように心がけること。
- ⑤ 自分の意見を求められている場合は、まずそれを明記することが望ましい。その意見に続けて、そう考える理由を明記していく。
- ⑥ It is true that S V ..., but S V ~ / Certainly, S V ..., but S V ~ 「確かに…だが、～だ」などの譲歩の表現を用いると、意見が一方的にならず客観的な文になる。
- ⑦ 情報を追加するときには、moreover [besides / what is more / furthermore / in addition] 「さらに」などの〈情報の追加〉を表す副詞を用いると、論旨が明確になる。

《読みにくい英文》

- (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) 字が薄すぎるもの。または消しゴムの跡が黒く残っているもの。
- (3) “a”か“o”か，“h”か“n”か，“n”か“u”か，“a”か“d”かなどで、文字がいいかけんで誤解を招くもの。
- (4) 書いた英文を読み直して、訂正線で英文を修正することは避けたいが、やむをえない場合、訂正線で修正してもある程度は許容される場合がある。しかし、欄外に書いた語句を矢印などで挿入したりはしないこと。
- (5) できるだけ平易な語句・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つけなければならない。堅すぎる、あるいは重すぎる語句や表現になりがちだからである。

3. 【解答例】の解説と訳例

本問の場合、「不老長寿の薬を手に入れたら」という、通常ありえない状況について自分の考えを述べることになるので、基本的に仮定法を用いて書く必要がある。また、「不老長寿の薬を手に入れたらどうする

か」という自分の考えに加え、その理由も明確に書く必要がある。

まず以下のように書くべき要点をメモしておいて、それから英語で表現すればよい。

【解答例1】

メモ例

意見：不老長寿の薬を飲む

理由：1. やりたいことをする時間が持てる
2. 危険なことにも挑戦できる

【訳例】

不老長寿の薬をもらったら、私は絶対にそれを飲むだろう。死ぬまでにしたいことが私にはたくさんあるし、それらすべてをする時間があるとは思えない。もし永遠に生きることができて若く健康なままでいられるなら、世界中を旅することができるし、絵画やピアノ演奏などのさまざまな技能を修得することができるだろう。また、もし自分が死ぬことがない、あるいはひどい怪我をしても生き延びることができるということがわかっていれば、ロッククライミングや自動車レースなどの危険なスポーツにも挑戦するだろう。私は人生を謳歌できるのである。それも永遠に！

【解答例2】

メモ例

意見：不老長寿の薬を飲まない

理由：1. 死ぬとわかっているからこそ充実した人生を送ることができる
2. そもそも私は物事を先延ばしにしがちだ



だから不老長寿になれば、(後でやればいいと考えて)人生を楽しめなくなる

【訳例】

私は不老長寿の薬を飲もうとは思わない。というのも、いずれは死ぬのだとわかっていないければ、人生をなかなか楽しめないだろうと思うからだ。私はいつも、後でやる機会があると自分に言い聞かせて、物事を先延ばしにしている。もし決して死ないとわかっていていれば、人生を楽しもうという気持ちが持てなくなると思う。だから、旅行をすることも、初めての場所を訪れることも、新しいことに挑戦することもないだろう。人生の楽しみの一部は人生が短いということであり、不老長寿の薬を飲むとそれが奪われてしまうだ

ろう。

【解答例 3】

メモ例

意見：不老長寿の薬を飲むかどうかは、その薬の効き方による

1. 毎日少しずつ飲むことで若さを維持することができるなら飲む
2. 一回飲むことで不老長寿になるなら飲まない

理由：(自分で死ぬことを選べなくなってしまい)

周りの愛する人たちが死んでいく中で1人だけ死ねずに寂しい思いをすることになる

【訳例】

私が不老長寿の薬を飲むかどうかは、その薬の効き方によるだろう。例えば、若さを保つために毎日少しずつその薬を飲むのであれば、私は絶対にそれを使うだろう。しかし、もしその薬を一回飲むことで不死になる力を得るのであれば、私はそれを飲むのをためらうだろう。ずっと若く健康なままでいられるのは素晴らしいことだが、私の愛するすべての人が年老いて死んでいく中で私が若いままだとしたら、私はとても悲しく孤独になるだろうと思うのだ。結局、普通の人と同じように死にたいと思うことになるだろう。

【数学】

1

a は実数の定数とする。2つの関数

$$f(x) = \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1}, \quad g(x) = \frac{a}{2} e^{2x} - 4e^x + (a+3)x$$

について、以下の間に答えよ。

(1) $f(x)$ の極値、および極限値 $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$,

$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x)$ を求めよ。

(2) 関数 $y=f(x)$ 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。

(3) $g(x)$ が極大値をとる x の個数 N 、極小値をとる x の個数 n を、 a の値によって分類して答えよ。

【配点】 50点

(1) 20点 (2) 5点 (3) 25点

【解答】

(1) $f(x) = \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1}$ より、

$$\begin{aligned} f'(x) &= \frac{4e^x(e^{2x}+1) - (4e^x-3) \cdot 2e^{2x}}{(e^{2x}+1)^2} \\ &= \frac{2e^x\{2(e^{2x}+1) - (4e^x-3)e^x\}}{(e^{2x}+1)^2} \\ &= \frac{-2e^x(2e^{2x}-3e^x-2)}{(e^{2x}+1)^2} \\ &= \frac{2e^x(2e^x+1)(2-e^x)}{(e^{2x}+1)^2}. \end{aligned}$$

$f'(x)=0$ となるのは、

$$e^x = 2,$$

すなわち

$$x = \log 2$$

のときのみであり、

$$f(\log 2) = \frac{4 \cdot 2 - 3}{2^2 + 1} = 1.$$

よって、 $y=f(x)$ の増減は次のようにある。

x	...	$\log 2$...
$f'(x)$	+	0	-
$f(x)$	↗	1	↘

したがって、 $f(x)$ の

極大値は 1 (極小値はない) \cdots (答)

である。

次に、 $\lim_{x \rightarrow -\infty} e^x = 0$, $\lim_{x \rightarrow -\infty} e^{2x} = 0$ より、

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = \frac{4 \cdot 0 - 3}{0 + 1} = -3. \quad \cdots \text{(答)}$$

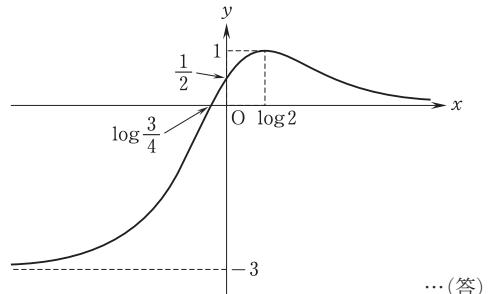
また、

$$f(x) = \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1} = \frac{4e^{-x} - 3e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

であることと $\lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-x} = 0$, $\lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-2x} = 0$ より、

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = \frac{4 \cdot 0 - 3 \cdot 0}{1 + 0} = 0. \quad \cdots \text{(答)}$$

(2) (1) より、 $y=f(x)$ のグラフの概形は、次のようになる。



… (答)

$$\begin{aligned} (3) \quad g'(x) &= \frac{a}{2} \cdot 2e^{2x} - 4e^x + (a+3) \\ &= a(e^{2x}+1) - (4e^x - 3) \\ &= (e^{2x}+1)\left(a - \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1}\right) \\ &= (e^{2x}+1)\{a - f(x)\}. \end{aligned}$$

• $g(x)$ が極大となる x は、 $g'(x)$ の符号が正から負に変わる x 、

• $g(x)$ が極小となる x は、 $g'(x)$ の符号が負から正に変わる x

である。

$e^{2x} + 1 > 0$ であるから、 $g'(x)$ の符号は $a - f(x)$ の符号と一致する。

よって、

$g'(x) > 0$ は $a > f(x)$ と同値、

$g'(x) < 0$ は $a < f(x)$ と同値

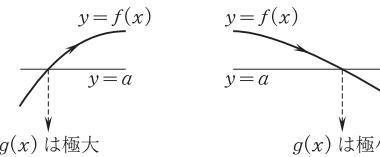
である。

したがって、

• $g(x)$ が極大となる x は、 $y=f(x)$ のグラフが直線 $y=a$ を下から上に横切る x (下図左)、

• $g(x)$ が極小となる x は、 $y=f(x)$ のグラフが直線 $y=a$ を上から下に横切る x (下図右)

である。



よって、 $g(x)$ が極大値をとる x の個数 N 、極小値をとる x の個数 n は、(2) のグラフより、次の表のようになる。

	N	n
$a \leq -3, a \geq 1$ のとき	0	0
$-3 < a \leq 0$ のとき	1	0
$0 < a < 1$ のとき	1	1

…(答)

【解説】

① 導関数の符号判定

数学Ⅲで扱われる関数の導関数は、数学Ⅱの微分法で扱われる関数の導関数より複雑なものが多く、符号の判定に手間取ることも多いと思う。

たとえば、本問の $f(x)$ についても、

$$f'(x) = \frac{2e^x(2e^x+1)(2-e^x)}{(e^{2x}+1)^2}$$

と、一見複雑そうである。

しかし、

$$e^x > 0 \text{ より } \frac{2e^x(2e^x+1)}{(e^{2x}+1)^2} > 0$$

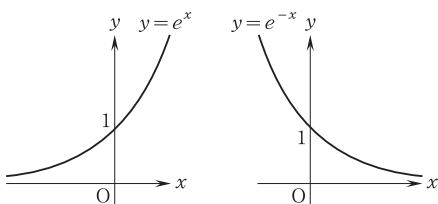
であることに気付けば、この部分は符号変化に無関係であり、 $f'(x)$ の符号は $2-e^x$ の符号と一致することがわかる。

このように、一見複雑そうに見えても、「つねに正である」部分を発見してその部分を削り取っていけば、 $f'(x)$ と符号が一致する「より簡単な式」が得られることが多い。

普段からこういった点に気をつけておけば、導関数の符号判定のスピードアップにつながるはずなので、こういった視点のなかった人は、今後意識して $f'(x)$ の式を見るようにしてほしい。

② 指数関数の極限

$y=e^x$, $y=e^{-x}$ のグラフは次のようにになり、下の極限を得る。



$$\lim_{x \rightarrow -\infty} e^x = 0, \quad \lim_{x \rightarrow +\infty} e^x = +\infty,$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} e^{-x} = +\infty, \quad \lim_{x \rightarrow +\infty} e^{-x} = 0.$$

本問の $f(x)$ の極限のうち、 $x \rightarrow -\infty$ の方は前記の事実を直接使えばよいが、 $x \rightarrow +\infty$ の方は分

母と分子がともに ∞ に発散する、いわゆる $\frac{\infty}{\infty}$ 型の不定形であるため、まず分母と分子を e^{2x} で割つて、

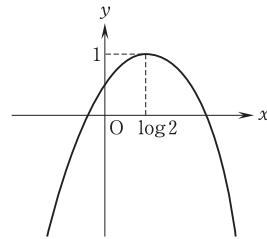
$$f(x) = \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1} = \frac{4e^{-x} - 3e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$$

としてから、前記の事実を使うことになる。

③ グラフをかく上での注意点

関数のグラフをかく際には、極値ももちろん大事であるが、 $x \rightarrow \pm\infty$ での極限も、重要な意味をもつことがある。

たとえば本問の場合、(2) のグラフで増減、極値のみに着目し、 $x \rightarrow \pm\infty$ での極限を顧みることなくグラフをかくと次のようないくつかのグラフになってしまうこともあります。



この場合、(3) の結果を「 $a < 1$ のときに極大値と極小値が 1 つずつ」と読み間違ってしまうことを考えれば、極限の重要性がわかると思う。

④ 極値と導関数

一般に、微分可能な関数 $F(x)$ について、

$F(x)$ が $x=\alpha$ で極値をとる $\Rightarrow F'(\alpha)=0$ が成り立つが、その逆は成り立つとは限らない。

たとえば、 $F(x)=x^3$ のとき、 $F'(0)=0$ であるが、 $F(x)$ は $x=0$ で極値をとらない。

本問の $g(x)$ については、

$g(x)$ が $x=\alpha$ で極値をとる

ための必要十分条件が、

$g'(x)$ が $x=\alpha$ で符号変化を起こすことであるから、【解答】では、これが成り立つかどうかをグラフを用いて調べている。

⑤ 定数の分離

具体的な値のわからない定数 a が含まれており、 $g'(x)$ の符号変化が調べにくいときは、【解答】にあるように a を分離して考えると、符号変化が捉えやすくなることがある。

$$g'(x) = a(e^{2x}+1) - (4e^x - 3)$$

$$= (e^{2x}+1) \left(a - \frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1} \right).$$

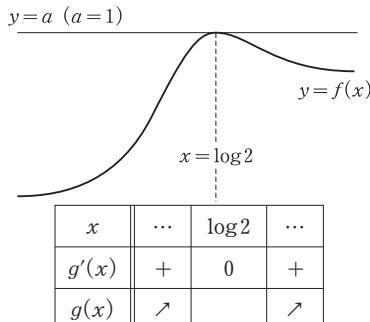
これにより、 $g'(x)$ の符号は a と $\frac{4e^x - 3}{e^{2x} + 1}$ によって決まる。

わち a と $f(x)$ の大小比較に帰着され、さらにこれは、直線 $y=a$ と(2)でかいた関数 $y=f(x)$ のグラフとの上下関係に帰着される。

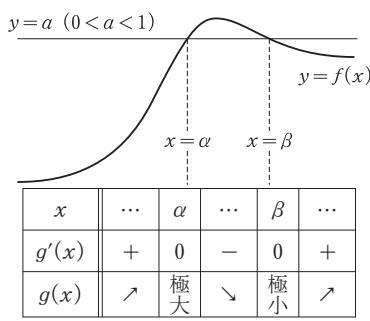
このように、固定された曲線($y=f(x)$ のグラフ)と x 軸に平行で上下に動く直線(直線 $y=a$)の位置関係を調べることによって状況を把握しやすくする手法は、ぜひマスターしておこう。

なお、④で一般的に説明した通り、 $g'(x) = 0$ になるかどうか(直線 $y=a$ と $y=f(x)$ のグラフが共有点をもつかどうか)だけでは不十分で、 $y=f(x)$ のグラフが直線 $y=a$ を「横切る」かどうかを調べなければならない。

たとえば、次図に示したように、 $a=1$ のとき、 $y=f(x)$ のグラフが直線 $y=a$ と $x=\log 2$ で共有点をもち、 $g'(\log 2)=0$ となるが、 $g(\log 2)$ は極値ではない。



これに対し、 $0 < a < 1$ のときは、次図のようにならう。



2

座標平面上に、原点 O を中心とする半径 1 の円 C がある。

C の第1象限に含まれる部分に点 P をとり, P における C の接線と x 軸との交点を Q とする。さらに、線分 OQ を直径とする円を S とし、 $\angle POQ$ の二等分線と S の交点のうち O と異なるものを R とする。線分 OP と x 軸の正方向のなす角を 2θ $\left(0 < \theta < \frac{\pi}{4}\right)$ として、以下の間に答えよ。

- (1) 線分 OQ の長さを θ で表せ. また, 線分 OR の長さ r を θ で表せ.

点 R' を、三角形 $OR'R$ が辺 OR' を斜辺とする直角二等辺三角形となるようにとる。ただし、 R' は直線 OR に関して Q と反対側にあるとする。

- (2) $\angle QOR' = \theta'$ とする。線分 OR' の長さ r' を θ' で表せ。

- (3) R' の座標を (x, y) とする.

θ が $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ の範囲を動くとき、点 R' の

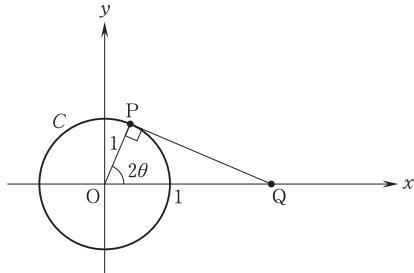
軌跡 F の方程式を求め、 F を図示せよ。

【配点】 50点

- (1) 17点 (2) 14点 (3) 19点

【解答】

- (1) 直線 PQ は円 C の接線である.



ゆえに

$$\angle OPQ = \frac{\pi}{2}.$$

$\angle POQ = 2\theta$ であるから、三角形 OPQ に注目して、

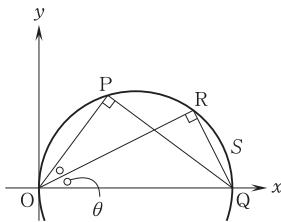
$$\frac{OP}{OQ} = \cos 2\theta.$$

これと $OP=1$ より、

$$OQ = \frac{1}{\cos 2\theta}. \quad \cdots ① \quad (\text{答})$$

また、点 R は線分 OQ を直径とする円 S 上にあるから、

$$\angle ORQ = \frac{\pi}{2}.$$



ゆえに直角三角形 OQR に注目すると、

$$\frac{OR}{OQ} = \cos \theta,$$

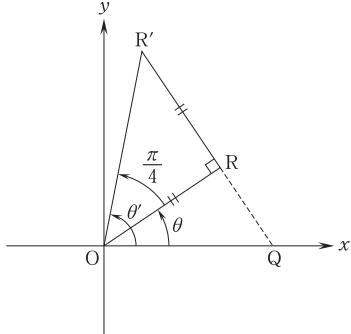
すなわち、

$$OR = OQ \cos \theta.$$

これと ① より、

$$r = OR = \frac{\cos \theta}{\cos 2\theta}. \quad \cdots(2) \quad (\text{答})$$

(2) 三角形 ORR' は辺 OR' を斜辺とする直角二等辺三角形である。



ゆえに、

$$\angle ROR' = \frac{\pi}{4}.$$

R' が直線 OR に関して Q と反対側にあることと $\angle QOR = \theta$ から、

$$\theta' = \theta + \frac{\pi}{4}.$$

すなわち、

$$\theta = \theta' - \frac{\pi}{4}.$$

ただし、 $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ から $\frac{\pi}{4} < \theta' < \frac{\pi}{2}$.

また、 $OR' = \sqrt{2} OR$ であるから、

$$r = \frac{r'}{\sqrt{2}}.$$

これらを ② に代入して、

$$\begin{aligned} \frac{r'}{\sqrt{2}} &= \frac{\cos(\theta' - \frac{\pi}{4})}{\cos(2\theta' - \frac{\pi}{2})} \\ &= \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \cos \theta' + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \theta'}{\sin 2\theta'} \\ &= \frac{\cos \theta' + \sin \theta'}{2\sqrt{2} \sin \theta' \cos \theta'}, \end{aligned}$$

すなわち、

$$r' = \frac{\cos \theta' + \sin \theta'}{2 \sin \theta' \cos \theta'} \left(\frac{\pi}{4} < \theta' < \frac{\pi}{2} \right). \quad \cdots(\text{答})$$

(3) $R'(x, y)$ より、(2) の θ' , r' に対して

$$x = r' \cos \theta', \quad y = r' \sin \theta'$$

が成り立つ。さらに、 $\frac{\pi}{4} < \theta' < \frac{\pi}{2}$ から、

$$r' > 0, \quad \sin \theta' \cos \theta' > 0.$$

これを用いて(2)の式を変形すると、

$$2r' \sin \theta' \cos \theta' = \cos \theta' + \sin \theta'. \quad \cdots(3)$$

両辺に r' (> 0) を掛けると、

$$2(r' \cos \theta')(r' \sin \theta') = r' \cos \theta' + r' \sin \theta'.$$

すなわち、

$$2xy = x + y.$$

変形すると、

$$(2x - 1)y = x.$$

これは $x = \frac{1}{2}$ では成立しないから、 $x \neq \frac{1}{2}$ のも

とで

$$y = \frac{x}{2x - 1},$$

すなわち、

$$y = \frac{1}{2} + \frac{1}{4(x - \frac{1}{2})}.$$

これは、2 直線 $x = \frac{1}{2}$, $y = \frac{1}{2}$ を漸近線とする双

曲線である。この双曲線を H とする。

次に軌跡の限界について考察する。

$$\frac{\pi}{4} < \theta' < \frac{\pi}{2} \text{ から,}$$

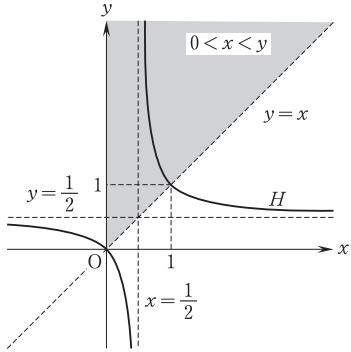
$$0 < \cos \theta' < \sin \theta'.$$

これに $r' (> 0)$ を掛けることにより、

$$0 < x < y$$

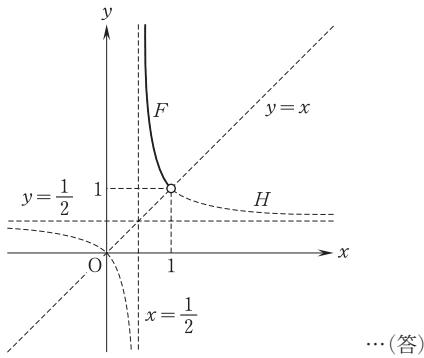
とわかる。

以上から、軌跡 F は、 H のうち、 $0 < x < y$ を満たす部分となる。



以上より、点 R' の軌跡 F は、双曲線 H の一部
 $y = \frac{1}{2} + \frac{1}{4(x - \frac{1}{2})} \quad (\frac{1}{2} < x < 1) \quad \cdots(\text{答})$

である。これを図示すると次の図の太線部となる。



【解説】

① 極方程式

まず、極座標と極方程式について確認しよう。

平面上に点 O を端点とする半直線 OX をとる。このとき、平面上の点 P を O からの距離 r と OX を始線とする動径 OP のなす角 θ で定めることができる。このとき、 (r, θ) を点 P の極座標といい、点 O を極、 θ を偏角、 r を動径 OP の大きさという。

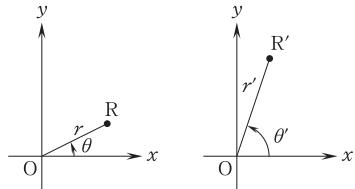
さらに、曲線 C 上の任意の点 (r, θ) に対して、
 $r = f(\theta)$

のような r と θ の関係式が成り立つとき、その関係式を C の極方程式という。

したがって、(1), (2) で得られた

$$r = \frac{\cos \theta}{\cos 2\theta}, \quad r' = \frac{\cos \theta' + \sin \theta'}{2 \sin \theta' \cos \theta'}$$

という関係式は、それぞれ、 R, R' の軌跡の極方程式になっている。



② 2つの極方程式の関係

(2) では、(1) で得られた関係式

$$r = \frac{\cos \theta}{\cos 2\theta} \quad \cdots(2)$$

と、 r と r' 、 θ と θ' の間に成り立つ関係式

$$r' = \sqrt{2}r, \quad \theta' = \theta + \frac{\pi}{4}$$

から、 r' と θ' の関係式を導く。そのためには、いったん

$$r = \frac{r'}{\sqrt{2}}, \quad \theta = \theta' - \frac{\pi}{4}$$

と r, θ を r', θ' で表し、それを(2)に代入した。

これは、たとえば

$$\begin{cases} x = t + 1, \\ y = t^2 + 3 \end{cases}$$

と表された点 $P(x, y)$ の軌跡を求める際に、いったん

$$t = x - 1$$

としてから $y = t^2 + 3$ に代入することで x, y の関係式

$$y = (x - 1)^2 + 3$$

を得ると同様である。

③ 直交座標と極座標の関係

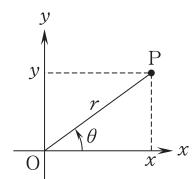
直交座標と極座標の関係を確認しよう。

点 O を原点とする xy 平面において、 O を極、 x 軸の正の部分を始線とする極座標を考える。

直交座標で表された点 (x, y) が極座標で (r, θ) と表せるとき、

$$\begin{cases} x = r \cos \theta, \\ y = r \sin \theta, \\ x^2 + y^2 = r^2 \end{cases}$$

が成り立つ。



これをを利用して(3)を x, y の式で表すためには $r' \cos \theta', r' \sin \theta'$ を作る必要がある。そのためには、(3)の両辺に r' を掛けた。

④ 点 R の軌跡の方程式

式 ②を用いれば、点 R の軌跡も(3)と同様の考え方で求められる。②より

$$r \cos 2\theta = \cos \theta.$$

両辺に $r (> 0)$ を掛けると、

$$r^2(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) = r \cos \theta.$$

さて、直交座標で $R(s, t)$ とすれば、

$$s = r \cos \theta, t = r \sin \theta$$

から、

$$s^2 - t^2 = s.$$

ただし、 $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ から、

$$0 < \sin \theta < \cos \theta$$

が成り立ち、 $r (> 0)$ を掛けば、

$$0 < r \sin \theta < r \cos \theta.$$

すなわち、

$$0 < t < s.$$

よって、R の軌跡は

$$\text{双曲線の一部 } x^2 - y^2 = x \quad (0 < y < x)$$

となる。

⑤ R と R' の軌跡の方程式の関係

$\overrightarrow{OR'}$ は \overrightarrow{OR} を $\frac{\pi}{4}$ 回転して

$\sqrt{2}$ 倍したものである。これに注目して $R(s, t)$ と $R'(x, y)$ の軌跡の直交座標による方程式の関係を論じてみよう。

(方法 1) 複素数平面を用いる

x 軸を実軸、 y 軸を虚軸とする複素数平面上で $R(s+ti)$, $R'(x+yi)$ とすれば、 \overrightarrow{OR} は $\overrightarrow{OR'}$ を $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍して $-\frac{\pi}{4}$ 回転したものである。ゆえに、

$$\begin{aligned} s+ti &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) + i \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) \right\} \\ &\quad \times (x+yi) \\ &= \frac{1-i}{2} (x+yi) \\ &= \frac{x+y}{2} + \frac{-x+y}{2} i \end{aligned}$$

から、

$$s = \frac{x+y}{2}, \quad t = \frac{-x+y}{2} \quad \cdots ④$$

を得る。

これを

$$s^2 - t^2 = s \quad (0 < t < s)$$

に代入すると、

$$\left(\frac{x+y}{2}\right)^2 - \left(\frac{-x+y}{2}\right)^2 = \frac{x+y}{2}$$

$$\left(0 < \frac{-x+y}{2} < \frac{x+y}{2}\right).$$

これを整理すると、

$$xy = \frac{x+y}{2} \quad (0 < x < y)$$

となり、【解答】(3)と同じ結論に至る。

以下、⑤の終わりまでは旧教育課程の1次変換を履修した人向けの解説である。

(方法 2) 1次変換を用いる

xy 平面上の1次変換を用いて

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) & -\sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) \\ \sin\left(-\frac{\pi}{4}\right) & \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \end{aligned}$$

とすれば、④を得る。

ここで1次変換を利用した解説を終える。

⑥ R と R' の媒介変数表示の関係

媒介変数 θ を前面に押し出した解法を紹介しよう。

②から、点 R の直交座標は θ を用いて

$$(r \cos \theta, r \sin \theta), \text{ ただし } r = \frac{\cos \theta}{\cos 2\theta}$$

と表せる。よって、 $R'(x, y)$ に対して、

$$\begin{aligned} x+yi &= \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) \\ &\quad \times (r \cos \theta + ir \sin \theta) \\ &= (1+i)r(\cos \theta + i \sin \theta) \\ &= r\{(\cos \theta - \sin \theta) + i(\sin \theta + \cos \theta)\} \end{aligned}$$

が成り立つ。

$$r = \frac{\cos \theta}{\cos 2\theta}$$

を代入し、 $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ のもとで变形すると、

$$x = \frac{\cos \theta (\cos \theta - \sin \theta)}{\cos 2\theta}$$

$$= \frac{\cos \theta (\cos \theta - \sin \theta)}{\cos^2 \theta - \sin^2 \theta}$$

$$= \frac{\cos \theta}{\cos \theta + \sin \theta},$$

$$y = \frac{\cos \theta (\sin \theta + \cos \theta)}{\cos 2\theta}$$

$$= \frac{\cos \theta (\sin \theta + \cos \theta)}{\cos^2 \theta - \sin^2 \theta}$$

$$= \frac{\cos \theta}{\cos \theta - \sin \theta}.$$

逆数をとると

$$\begin{cases} \frac{1}{x} = \frac{\cos\theta + \sin\theta}{\cos\theta} = 1 + \tan\theta, \\ \frac{1}{y} = \frac{\cos\theta - \sin\theta}{\cos\theta} = 1 - \tan\theta. \end{cases} \quad \cdots(5)$$

(6) より

$$\tan\theta = 1 - \frac{1}{y}.$$

これと (5), および $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ より,

$$\frac{1}{x} = 1 + \left(1 - \frac{1}{y}\right), \quad 0 < 1 - \frac{1}{y} < 1.$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = 2, \quad 0 < \frac{1}{y} < 1.$$

$$2xy = x + y, \quad y > 1.$$

これを変形すると, 【解答】(3) と同じ軌跡を得る.

3

n は自然数とする. xy 平面上で, 曲線
 $y = \frac{1}{\cos^2 \frac{x}{n}}$, x 軸, y 軸, および直線 $x = \frac{\pi}{4}$ で
 囲まれる部分の面積を S_n として, 以下の間に答えよ.

(1) S_n を n を用いて表し, 極限値 $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n$ を求めよ.

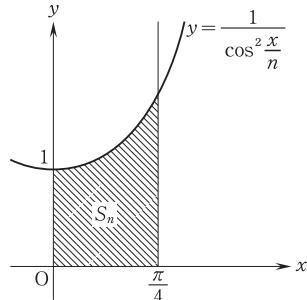
(2) $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ とする. $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ を
 用いて定積分 $\int_0^\theta \tan^2 x dx$ を求めよ. さらに,
 $x^2 \leq \tan^2 x \leq \frac{\tan^2 x}{\cos^2 x} \left(0 \leq x < \frac{\pi}{2}\right)$ を用いて
 $\frac{\theta^3}{3} \leq \tan\theta - \theta \leq \frac{\tan^3\theta}{3}$ を示せ.

(3) (1) で求めた極限値を c とする. $\lim_{n \rightarrow \infty} n^\alpha (S_n - c)$
 が 0 以外の定数に収束するように定数 α を定め, その極限値を求めよ.

【配点】 50点

(1) 15点 (2) 15点 (3) 20点

【解答】



$$(1) \frac{1}{\cos^2 \frac{x}{n}} > 0 \text{ だから,}$$

$$S_n = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{1}{\cos^2 \frac{x}{n}} dx$$

$$= \left[n \tan \frac{x}{n} \right]_0^{\frac{\pi}{4}}$$

$$= n \tan \frac{\pi}{4n}. \quad \cdots(\text{答})$$

また, $n \rightarrow \infty$ のとき $\frac{\pi}{4n} \rightarrow 0$ だから,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\tan \frac{\pi}{4n}}{\frac{\pi}{4n}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\pi}{4}. \quad \cdots(\text{答}) \\
 (2) \quad \int_0^\theta \tan^2 x dx &= \int_0^\theta \left(\frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) dx \\
 &= \left[\tan x - x \right]_0^\theta \\
 &= \tan \theta - \theta. \quad \cdots \textcircled{1} \quad (\text{答})
 \end{aligned}$$

$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ より, $0 \leq x \leq \theta$ においてつねに

$x^2 \leq \tan^2 x \leq \frac{\tan^2 x}{\cos^2 x}$ が成り立つから,

$$\int_0^\theta x^2 dx \leq \int_0^\theta \tan^2 x dx \leq \int_0^\theta \tan^2 x \cdot \frac{1}{\cos^2 x} dx.$$

これと \textcircled{1} より,

$$\begin{aligned}
 \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^\theta &\leq \tan \theta - \theta \leq \left[\frac{\tan^3 x}{3} \right]_0^\theta. \\
 \frac{\theta^3}{3} &\leq \tan \theta - \theta \leq \frac{\tan^3 \theta}{3}. \quad \cdots \textcircled{2} \quad (\text{証明終り})
 \end{aligned}$$

$$(3) (1) \text{ より } c = \frac{\pi}{4} \text{ だから,}$$

$$\begin{aligned}
 S_n - c &= n \tan \frac{\pi}{4n} - \frac{\pi}{4} \\
 &= n \left(\tan \frac{\pi}{4n} - \frac{\pi}{4n} \right). \quad \cdots \textcircled{3}
 \end{aligned}$$

ここで, $\theta_n = \frac{\pi}{4n}$ とおくと, $0 < \theta_n < \frac{\pi}{2}$ だから,

\textcircled{2} より

$$\begin{aligned}
 \frac{\theta_n^3}{3} &\leq \tan \theta_n - \theta_n \leq \frac{\tan^3 \theta_n}{3}. \\
 \frac{1}{3} &\leq \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \leq \frac{1}{3} \left(\frac{\tan \theta_n}{\theta_n} \right)^3.
 \end{aligned}$$

$n \rightarrow \infty$ のとき, $\theta_n \rightarrow 0$ より $\frac{\tan \theta_n}{\theta_n} \rightarrow 1$ だから,

上式の最左辺, 最右辺はいずれも $\frac{1}{3}$ に収束する. よって,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} = \frac{1}{3} \quad (\text{収束}). \quad \cdots \textcircled{4}$$

$T_n = n^\alpha (S_n - c)$ とおくと, \textcircled{3} より,

$$\begin{aligned}
 T_n &= n^\alpha \cdot n (\tan \theta_n - \theta_n) \\
 &= n^{\alpha+1} \theta_n^3 \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \\
 &= n^{\alpha+1} \left(\frac{\pi}{4n} \right)^3 \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \\
 &= \frac{\pi^3}{64} n^{\alpha-2} \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3}.
 \end{aligned}$$

これと \textcircled{4} より,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} T_n = \begin{cases} 0 & (\alpha-2 < 0 \text{ のとき}), \\ \frac{\pi^3}{64} \cdot \frac{1}{3} & (\alpha-2 = 0 \text{ のとき}), \\ \infty & (\alpha-2 > 0 \text{ のとき}). \end{cases}$$

以上より, 求める α は

$$\alpha = 2 \quad \cdots \text{答}$$

であり, 求める極限値は

$$\lim_{n \rightarrow \infty} T_n = \frac{\pi^3}{64} \cdot \frac{1}{3} = \frac{\pi^3}{192}. \quad \cdots \text{答}$$

【解説】

① $\frac{1}{\cos^2 x}$, $\tan^2 x$ の積分

関数 $\frac{1}{\cos^2 x}$ は, もっとも基本的な三角関数

$\sin x, \cos x, \tan x$ と比べればやや複雑な形をしているが,

$$(\tan x)' = \frac{1}{\cos^2 x} \quad \cdots \textcircled{7}$$

より $\frac{1}{\cos^2 x}$ の原始関数の 1 つは $\tan x$ であるから,

積分計算においては $\frac{1}{\cos^2 x}$ は「基本となる関数」

として扱うべきである.

また, 公式 $1 + \tan^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$ を用いると, (2)

前半のとおり, $\tan^2 x$ の積分は, $\frac{1}{\cos^2 x}$ の積分へと

帰着される. このように, $\tan x$ と $\frac{1}{\cos^2 x}$ は非常に密接な関係にあることを記憶しておこう.

なお, \textcircled{7} の関係は, (2) の後半において $\frac{\tan^2 x}{\cos^2 x}$ を

$$\tan^2 x \cdot \frac{1}{\cos^2 x} = (\tan x)^2 \cdot (\tan x)'$$

とみなして積分する際にも用いている.

② 定積分と不等式

本問(2)の後半では、次のことを用いている。

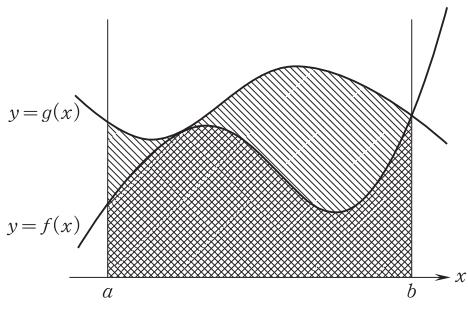
定積分と不等式

$a < b$ とする。 $a \leq x \leq b$ においてつねに

$f(x) \leq g(x)$ が成り立つならば、

$$\int_a^b f(x) dx \leq \int_a^b g(x) dx$$

が成り立つ。

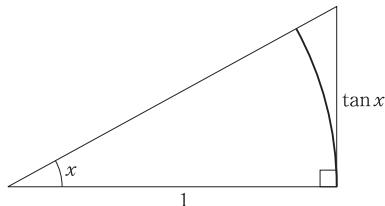


③ 不等式 $x^2 \leq \tan^2 x$

(2) 後半で誘導として与えられた不等式の一部：

$$x^2 \leq \tan^2 x$$

が成り立つことは、次のようにしてわかる。



上図において、半径が 1 で中心角が x ($0 < x < \frac{\pi}{2}$) である扇形と、底辺が 1 で高さが $\tan x$ である直角三角形の面積を比較すると

$$\frac{1}{2} \cdot 1^2 \cdot x < \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \tan x. \quad \dots \textcircled{1}$$

また、 $x=0$ のときこの不等式の両辺はどちらも 0 である。以上より、 $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$ のとき、 $x \leq \tan x$ が成り立ち、両辺とも 0 以上だから $x^2 \leq \tan^2 x$ も成り立つ。

ちなみに、不等式 ① は、極限公式

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1 \quad \dots \textcircled{2}$$

の証明にも用いられる。教科書で確認しておこう。

④ 不等式の別証明

(2) 後半の不等式は、微分法によって示すことも可能である。

$$f(\theta) = \tan \theta - \theta - \frac{\theta^3}{3} \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right) \text{ とおくと,}$$

$$f'(\theta) = \frac{1}{\cos^2 \theta} - 1 - \theta^2, \quad \dots \textcircled{3}$$

$$f''(\theta) = 2 \cdot \frac{\sin \theta}{\cos^3 \theta} - 2\theta = 2 \left(\frac{\sin \theta}{\cos^3 \theta} - \theta \right),$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} f'''(\theta) &= \frac{\cos \theta \cos^3 \theta - \sin \theta \cdot 3 \cos^2 \theta (-\sin \theta)}{\cos^6 \theta} - 1 \\ &= \frac{\cos^2 \theta + 3 \sin^2 \theta - \cos^4 \theta}{\cos^4 \theta} \\ &= \frac{\cos^2 \theta \sin^2 \theta + 3 \sin^2 \theta}{\cos^4 \theta}. \end{aligned}$$

以下、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ において考える。

$f'''(\theta) > 0$ より $f''(\theta)$ は増加するから、

$$f''(\theta) > f''(0) = 0.$$

同様にして

$$f'(\theta) > f'(0) = 0,$$

$$f(\theta) > f(0) = 0.$$

よって、

$$\frac{\theta^3}{3} \leq \tan \theta - \theta$$

が示された。

なお、② を変形して

$$\begin{aligned} f'(\theta) &= (1 + \tan^2 \theta) - 1 - \theta^2 \\ &= \tan^2 \theta - \theta^2 \end{aligned}$$

とすれば、誘導の不等式 $x^2 \leq \tan^2 x$ を用いて $f'(\theta) \geq 0$ が即座に示せる。

$$\text{次に, } g(\theta) = \frac{\tan^3 \theta}{3} + \theta - \tan \theta \quad \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right)$$

とおくと、

$$\begin{aligned} g'(\theta) &= \tan^2 \theta \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta} + 1 - \frac{1}{\cos^2 \theta} \\ &= \tan^2 \theta (1 + \tan^2 \theta) - \tan^2 \theta \\ &= \tan^4 \theta \\ &> 0 \quad \left(0 < \theta < \frac{\pi}{2} \right). \end{aligned}$$

したがって $g(\theta)$ は増加するから、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ に

おいて、

$$g(\theta) > g(0) = 0.$$

よって、

$$\tan \theta - \theta \leq \frac{\tan^3 \theta}{3}$$

も示された。

⑤ $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan \theta}{\theta} = 1$ について

この等式は、② から次のようにして簡単に導かれれる。

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan \theta}{\theta} = \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{1}{\cos \theta} \cdot \frac{\sin \theta}{\theta}$$

$$= 1 \cdot 1 = 1.$$

この等式、および

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{1 - \cos \theta}{\theta^2} = \frac{1}{2} \quad \dots \textcircled{④}$$

は、三角関数の極限において公式に準ずるものとして記憶しておきたい。④は、次のように示される。

$$\begin{aligned} \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{1 - \cos \theta}{\theta^2} &= \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{(1 - \cos \theta)(1 + \cos \theta)}{\theta^2(1 + \cos \theta)} \\ &= \lim_{\theta \rightarrow 0} \left(\frac{\sin \theta}{\theta} \right)^2 \cdot \frac{1}{1 + \cos \theta} \\ &= 1^2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

⑥ ③式以降の式変形

【解答】(3) で

$$S_n - c = n \tan \frac{\pi}{4n} - \frac{\pi}{4} \quad \dots \textcircled{⑤}$$

とした後で式変形を行う際の方針を解説する。

⑤と、(2)で得られた不等式

$$\frac{\theta^3}{3} \leq \tan \theta - \theta \leq \frac{\tan^3 \theta}{3} \quad \dots \textcircled{⑥}$$

の下線部を見比べて、「 $\frac{\pi}{4n}$ 」を「 θ 」と対応づければ

よいのではないかと考える。そこで、⑤を変形して

$$\begin{aligned} S_n - c &= n \tan \frac{\pi}{4n} - \frac{\pi}{4} \\ &= n \left(\tan \frac{\pi}{4n} - \frac{\pi}{4n} \right) \quad \dots \textcircled{⑦} \end{aligned}$$

とする。ここで、「 $\tan \theta - \theta$ 」の形を得たので、

$\theta_n = \frac{\pi}{4n}$ とおき、⑥を用いた評価を行う。こうして得られたのが

$$\frac{\theta_n^3}{3} \leq \tan \theta_n - \theta_n \leq \frac{\tan^3 \theta_n}{3} \quad \dots \textcircled{⑧}$$

である。

ここで、⑤で解説した等式： $\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan \theta}{\theta} = 1$ が知識として備わっている人なら、⑧の各辺を θ_n^3 で割って

$$\frac{1}{3} \leq \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \leq \frac{1}{3} \left(\frac{\tan \theta_n}{\theta_n} \right)^3 \quad \dots \textcircled{⑨}$$

の形を得れば、最左辺、最右辺が、 $n \rightarrow \infty$ つまり $\theta_n \rightarrow 0$ のときどちらも $\frac{1}{3}$ に収束することから、

$\frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3}$ も 0 以外の定数 $\frac{1}{3}$ に収束するという

帰結を得られることが予見できるだろう。

そこで、③から得られる

$$\begin{aligned} T_n &= n^\alpha (S_n - c) \\ &= n^\alpha \cdot n (\tan \theta_n - \theta_n) \end{aligned}$$

を、④の中辺の形を作るべく

$$T_n = n^{\alpha+1} \theta_n^3 \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3}$$

と変形し、 θ_n を $\frac{\pi}{4n}$ に戻して

$$\begin{aligned} T_n &= n^{\alpha+1} \left(\frac{\pi}{4n} \right)^3 \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \\ &= \frac{\pi^3}{64} n^{\alpha-2} \cdot \frac{\tan \theta_n - \theta_n}{\theta_n^3} \quad \dots \textcircled{⑩} \end{aligned}$$

と整理する。あとは、極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\alpha-2}$ を α の値に応じて考えればよい。

⑦ α を定める

④において、 $\alpha-2=0$ 、つまり $\alpha=2$ のとき、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\alpha-2} = \lim_{n \rightarrow \infty} 1 = 1$$

より $\lim_{n \rightarrow \infty} T_n$ は 0 以外の定数 $\frac{\pi^3}{64} \cdot 1 \cdot \frac{1}{3}$ に収束する

から、題意の条件：

$$\left[\lim_{n \rightarrow \infty} T_n \text{ が } 0 \text{ 以外の定数に収束する} \right] \quad \dots \textcircled{*}$$

は成り立つ。(つまり (*) に対して「 $\alpha=2$ 」は十分条件ではある。)

しかし、これだけでは設問(3)の要求どおり定数 α を“定めた”ことにはならない。(*)を満たす α が 2 以外にない(つまり (*) に対して「 $\alpha=2$ 」が必要条件でもある)ことが示されていないからである。そこで、 α が 2 以外の定数であるときについても調べてみる。

$\alpha-2>0$ 、つまり $\alpha>2$ のとき、(たとえば $\alpha=5$ なら $\lim_{n \rightarrow \infty} n^3$ を考える)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\alpha-2} = \infty.$$

$\alpha-2<0$ 、つまり $\alpha<2$ のとき、(たとえば

$\alpha=1$ なら $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n}$ を考える)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\alpha-2} = 0.$$

これと④より、 $\alpha \neq 2$ のときは(*)は成り立たないことが確かめられる。

以上により、(*)を満たす定数 α は、

$$\alpha=2$$

と定まる。

4

n は自然数とする。

箱の中に A と書かれたカード(以下, [A] と表す)と B と書かれたカード(以下, [B] と表す)が 1 枚ずつ入っている。この状態から始めて次の操作 T を繰り返す。

操作 T —

この箱からカードを 1 枚取り出す。取り出したカードが [A] のときはその [A] を箱に戻し、さらに [B] 1 枚を箱の中に追加する。取り出したカードが [B] のときはカードを戻さない。

T を n 回繰り返した後の箱の中に入っているカードの枚数を X_n とし、 $X_n = k$ となる確率を $P_n(k)$ とする。

(1) $P_3(5)$, $P_3(3)$, および $P_4(4)$ をそれぞれ求めよ。

(2) $P_n(n+2)$ を求めよ。

(3) $P_n(n) = q_n$ とおく。

(i) q_{n+1} を q_n を用いて表せ。

(ii) $S_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \cdots + \frac{1}{n+1}$ とする。

q_n を S_n を用いて表せ。

【配点】 50点

(1) 15点 (2) 10点 (3)(i) 15点 (ii) 10点

【解答】

各回の操作において、[A]を取り出すという事象を A, [B]を取り出すという事象を B とする。

1 回の操作においてカードの枚数の推移は

事象	[A] の枚数	[B] の枚数
A	不变	1 枚増加
B	不变	1 枚減少

である。

のこととはじめ箱の中に [A] と [B] が 1 枚ずつ入っていたことより、操作 T を n 回繰り返した後の箱の中の状態は、

[A] が 1 枚、[B] が $X_n - 1$ 枚の計 X_n 枚である。

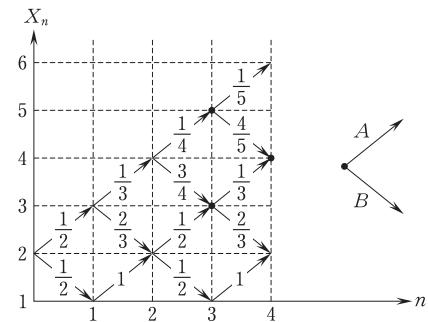
したがって、 $(n+1)$ 回目の操作をするととき A, B が起る確率は、それぞれ、 $\frac{1}{X_n}$, $\frac{X_n - 1}{X_n}$ である。

以上のことまとめると、 $n = 0, 1, 2, \dots$ に対して、 X_n と X_{n+1} の関係とその確率は次のようになる。

$$X_{n+1} = \begin{cases} X_n + 1 & \left(\text{確率 } \frac{1}{X_n}\right), \\ X_n - 1 & \left(\text{確率 } \frac{X_n - 1}{X_n}\right). \end{cases} \quad \dots (*)$$

(ただし、 $X_0 = 2$ とした。)

(1) (*) より、1 回目から 4 回目の操作において、カードの枚数 X_n は次の確率で推移する。



$X_3 = 5$ となるのは、1 回目から 3 回目まですべて A の場合であるから、

$$P_3(5) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{24}. \quad \dots (\text{答})$$

$X_3 = 3$ となるのは、1 回目から 3 回目までに A が 2 回で B が 1 回、すなわち AAB, ABA, BAA のいずれかが起こる場合であるから、

$$\begin{aligned} P_3(3) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \\ &= \frac{13}{24}. \end{aligned} \quad \dots (\text{答})$$

$X_4 = 4$ となる事象は次の 2 つの排反な場合に分けられる。

(ア) $X_3 = 3$ となっていて、4 回目に A

(イ) $X_3 = 5$ となっていて、4 回目に B

(ア) の確率は、 $P_3(3) \cdot \frac{1}{3}$,

(イ) の確率は、 $P_3(5) \cdot \frac{4}{5}$.

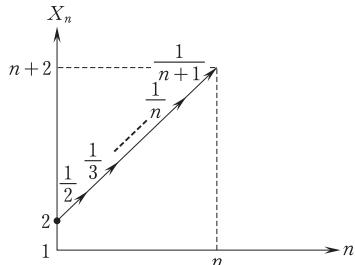
よって、

$$P_4(4) = \frac{1}{3} P_3(3) + \frac{4}{5} P_3(5).$$

$$P_3(3) = \frac{13}{24}, \quad P_3(5) = \frac{1}{24} \text{ を代入して,}$$

$$\begin{aligned} P_4(4) &= \frac{1}{3} \cdot \frac{13}{24} + \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{24} \\ &= \frac{77}{360}. \end{aligned} \quad \dots (\text{答})$$

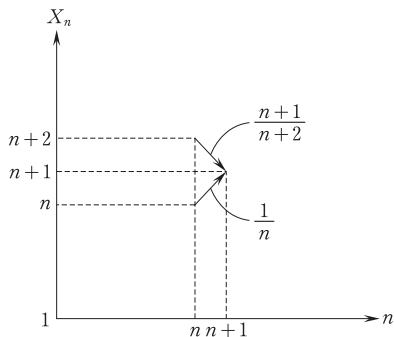
(2)



$X_n = n+2$ となるのは、1回目から n 回目まですべて A の場合であるから、

$$\begin{aligned} P_n(n+2) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdots \frac{1}{n+1} \\ &= \frac{1}{(n+1)!}. \end{aligned} \quad \cdots(\text{答})$$

(3)(i)



$X_{n+1} = n+1$ となる事象は次の2つの排反な場合に分けられる。

- (ウ) $X_n = n$ となっていて、 $(n+1)$ 回目に A
(エ) $X_n = n+2$ となっていて、 $(n+1)$ 回目に B

$$(\text{ウ})\text{の確率は}, P_n(n) \cdot \frac{1}{n},$$

$$(\text{エ})\text{の確率は}, P_n(n+2) \cdot \frac{n+1}{n+2}.$$

よって、

$$q_{n+1} = \frac{1}{n} q_n + \frac{n+1}{n+2} P_n(n+2).$$

(2)の結果を代入して、

$$q_{n+1} = \frac{1}{n} q_n + \frac{n+1}{n+2} \cdot \frac{1}{(n+1)!}.$$

よって、

$$q_{n+1} = \frac{1}{n} q_n + \frac{n+1}{(n+2)!} \quad (n=1, 2, 3, \dots). \quad \cdots(\text{答})$$

$$(\text{ii}) \quad q_1 = P_1(1) = \frac{1}{2}.$$

また、(i)の結果の両辺に $n!$ を掛けると、

$$n! q_{n+1} = (n-1)! q_n + \frac{1}{n+2}.$$

これより、 $n \geq 2$ のとき、

$$\begin{aligned} (n-1)! q_n &= 0! q_1 + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{k+2} \\ &= \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \cdots + \frac{1}{n+1} \right) \\ &= S_n. \end{aligned}$$

よって、

$$q_n = \frac{1}{(n-1)!} S_n \quad (n=2, 3, 4, \dots).$$

$$\frac{1}{(n-1)!} S_n \text{ で } n=1 \text{ とすると,}$$

$$\frac{1}{0!} S_1 = \frac{1}{2}$$

となり、 q_1 と一致するから、

$$q_n = \frac{1}{(n-1)!} S_n \quad (n=1, 2, 3, \dots). \quad \cdots(\text{答})$$

【解説】

① 状態の推移を表すグラフの有効性

各回の操作によって、箱の中のカードの枚数 X_n は変化する。つまり、各回の事象により、カードの枚数(状態)が推移する。このため試行の都度、**[A]**を取り出す確率、**[B]**を取り出す確率が変化する。そこで、(1), (2), (3)の解答のはじめにかいたように、操作の回数とカードの枚数の対応をグラフで表すことでその様子を捉えている。

② 漸化式の有効性とその作り方

上記①で述べた通り、本問では各回の試行の結果が、次回の試行における確率に影響を及ぼす。よって試行回数が増すと、たとえグラフをかいたとしても試行結果を1回目から追跡していくのは多少厄介になる。

そこで、たとえば(1)で $P_4(4)$ を求める際、4回目の試行の直前、つまり3回後における状態のうち、 $X_4=4$ へ移行することが可能な2つの状態 $X_3=3, X_3=5$ に注目し、それぞれの確率、およびそこから $X_4=4$ へ推移する確率を用いた。こうして(1)前半すでに考察した1回目から3回目の試行結果を再度追跡する手間を省くことに成功している。

このような方針に基づいて与えられた誘導が、(3)(i)の漸化式である。確率 $q_{n+1} = P_{n+1}(n+1)$ を表すにあたって、 $X_{n+1}=n+1$ へ移行可能な直前(n 回後)の2つの状態： $X_n=n, X_n=n+2$ に注目すると、前者の確率が q_n であり、後者の確率は(2)で求まっているから、あとはこれら2つの状態から $X_{n+1}=n+1$ へ推移する確率を考えればよい。

③ 漸化式の変形

$$a_{n+1} = f(n)a_n + g(n) \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

(ただし, $f(n) \neq 0 \quad (n=1, 2, 3, \dots)$)

の形の漸化式の変形方針を解説する。

$$\begin{cases} F(0)=1, \\ F(n)=f(1)f(2)\cdots f(n) \quad (n=1, 2, 3, \dots) \end{cases} \quad \cdots ①$$

とおくと,

$$F(n) = f(n)F(n-1) \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

となる。そこで漸化式の両辺を $F(n)$ ($\neq 0$) で割つて

$$\frac{a_{n+1}}{F(n)} = \frac{a_n}{F(n-1)} + \frac{g(n)}{F(n)} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

と変形する。

これより、数列 $\left\{ \frac{a_n}{F(n-1)} \right\}$ の階差数列が数列 $\left\{ \frac{g(n)}{F(n)} \right\}$ である。

さて、本問(3)(i)の結果

$$q_{n+1} = \frac{1}{n} q_n + \frac{n+1}{(n+2)!} \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad \cdots ②$$

では、 $f(n) = \frac{1}{n}$ ($\neq 0$) ($n=1, 2, 3, \dots$) を用いて

①の $F(n)$ を作ると、 $n=1, 2, 3, \dots$ のとき、

$$\begin{aligned} F(n) &= f(1)f(2)\cdots f(n) \\ &= \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{2} \cdot \cdots \cdot \frac{1}{n} \\ &= \frac{1}{n!}. \end{aligned}$$

($0!=1$ より、これは $n=0$ でも成立する。)

そこで、②の両辺を $F(n) = \frac{1}{n!}$ で割る、すなわち両辺に $n!$ を掛けて、

$$n! q_{n+1} = (n-1)! q_n + \frac{1}{n+2}$$

とし、数列 $\{(n-1)! q_n\}$ の階差数列が $\frac{1}{n+2}$ であることを用いて(3)(ii)を解決した。

④ (1) の $P_4(4)$ の別解

$X_4=4$ となるのは、1回目から4回目までにAが3回、Bが1回、すなわちAAAB, AABA, ABAA, BAAAのいずれかが起こる場合であるから、

$$\begin{aligned} P_4(4) &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{4}{5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{3} \\ &\quad + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \\ &= \frac{77}{360}. \end{aligned} \quad \cdots (\text{答})$$

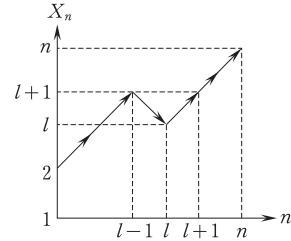
((1)の $P_4(4)$ の別解終り)

(参考) ④と同様に、(3)の q_n 、すなわち

$P_n(n) = P(X_n=n)$ も、漸化式を使わず直接求めることもできる。

$X_n=n$ となるのは、 n 回の操作のうちAが $(n-1)$ 回、Bが1回の場合であり、 $n \geq 3$ のとき、次の3つの排反な場合に分けられる。

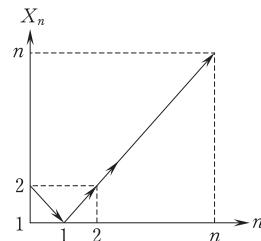
(オ) l ($2 \leq l \leq n-1$) 回目のみB、他はA。



この確率は

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdots \frac{1}{l} \cdot \frac{l}{l+1} \cdot \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{l+1} \cdots \frac{1}{n-1} \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdots \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{l+1} \cdots \frac{1}{n-1} \right) \left(\frac{l}{l+1} \cdot \frac{1}{l} \right) \\ &= \frac{1}{(n-1)!} \cdot \frac{1}{l+1}. \end{aligned}$$

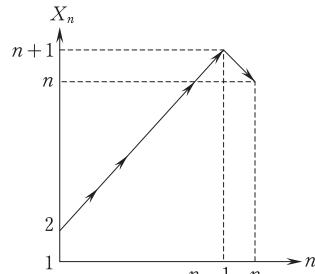
(カ) 1回目のみB、他はA。



この確率は

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} \cdots \frac{1}{n-1} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(n-1)!}. \end{aligned}$$

(キ) n 回目のみB、他はA。



この確率は

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdots \frac{1}{n} \cdot \frac{n}{n+1} \\ &= \frac{1}{(n-1)!} \cdot \frac{1}{n+1}. \end{aligned}$$

よって、 $n \geq 3$ のとき

$$\begin{aligned} q_n &= \sum_{l=2}^{n-1} \frac{1}{(n-1)!} \cdot \frac{1}{l+1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(n-1)!} + \frac{1}{(n-1)!} \cdot \frac{1}{n+1} \\ &= \frac{1}{(n-1)!} \left\{ \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \cdots + \frac{1}{n} \right) + \frac{1}{2} + \frac{1}{n+1} \right\} \\ &= \frac{1}{(n-1)!} S_n. \end{aligned} \quad \cdots(3)$$

(1) のグラフより、

$$q_1 = P_1(1) = \frac{1}{2},$$

$$q_2 = P_2(2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{5}{6}$$

であり、これらはそれぞれ

$$\frac{1}{0!} S_1, \quad \frac{1}{1!} S_2$$

と一致する。

よって、(3) は $n = 1, 2, 3, \dots$ で成り立つ。

【理 科】

■ 物 理 ■

1 円運動

【解答】

問1	速さ $\sqrt{v_0^2 - 2g\ell(1-\cos\theta)}$	張力 $mg(3\cos\theta - 2) + m\frac{v_0^2}{\ell}$
問2	最高点 B $\sqrt{g\ell}$	最下点 A $\sqrt{5g\ell}$
問3	$mg \sin\phi + m\frac{v_0^2}{\ell}$	問4 $\sqrt{5g\ell \sin\phi}$
問5	$-60^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$	問6 $\sqrt{(1+\sqrt{3})g\ell}$

【配点】 (34点)

問1 速さ：5点 張力：5点

問2 最高点：4点 最下点：4点

問3 4点

問4 4点

問5 4点

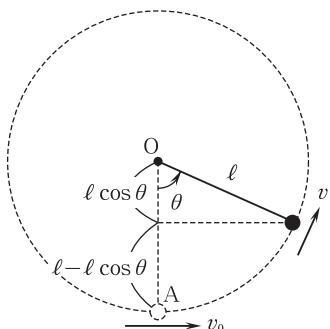
問6 4点

【解説】

問1 求める速さを v とおくと、力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot \ell(1-\cos\theta)$$

$$\therefore v = \sqrt{v_0^2 - 2g\ell(1-\cos\theta)} \quad \dots\dots \text{①}$$



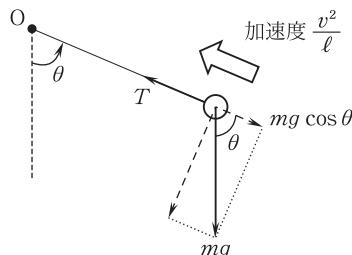
求める張力の大きさを T とおくと、半径方向の運動方程式より、

$$m\frac{v^2}{\ell} = T - mg \cos\theta$$

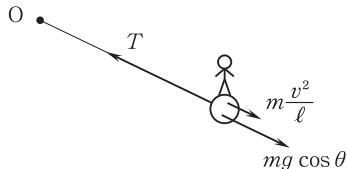
$$\therefore T = mg \cos\theta + m\frac{v_0^2}{\ell} \quad \dots\dots \text{②}$$

式①の v を代入して、

$$T = mg(3\cos\theta - 2) + m\frac{v_0^2}{\ell} \quad \dots\dots \text{③}$$



(別解) 小球 P とともに運動する観測者から見ると、半径方向外向きに遠心力(慣性力) $m\frac{v^2}{\ell}$ が加わる。



半径方向の力のつり合いより、

$$T = mg \cos \theta + m \frac{v^2}{\ell}$$

これは、式②と同じである。

問2 式③(または②)より、張力の大きさ T は上へ行くほど小さくなることがわかる。小球 P が円軌道を描いて一周するためには、常に糸が張っていればよいから、最高点 B での張力の大きさが 0 以上であればよい。

最高点 B での小球 P の速さを v_B とおくと、点 B での張力の大きさ T_B は、式②より、

$$T_B = mg \cos 180^\circ + m \frac{v_B^2}{\ell}$$

$T_B \geq 0$ より、

$$\begin{aligned} -mg + m \frac{v_B^2}{\ell} &\geq 0 \\ \therefore v_B &\geq \sqrt{gl} \end{aligned}$$

(最高点 B での速さの最小値)

また、 T_B は式③より、

$$T_B = mg(3 \cos 180^\circ - 2) + m \frac{v_0^2}{\ell}$$

と表されるので、 $T_B \geq 0$ より、

$$\begin{aligned} -5mg + m \frac{v_0^2}{\ell} &\geq 0 \\ \therefore v_0 &\geq \sqrt{5gl} \end{aligned}$$

(最下点 A での速さの最小値)

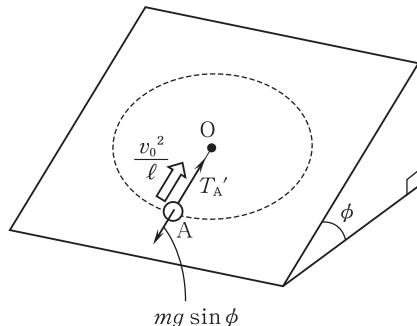
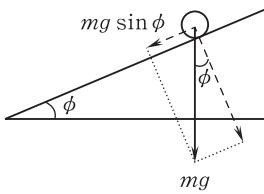
(補足) 最高点 B での速さ v_B が最小となるのは $T_B=0$ のときであるから、重力と遠心力がつり合うときである。よって、 v_B の最小値は、力のつり合いより、

$$m \frac{v_B^2}{\ell} = mg$$

$$\therefore v_B = \sqrt{g\ell}$$

このように考えれば、式②がなくとも、すぐに v_B の最小値を求めることができる。次に、力学的エネルギー保存則を用いて、 v_0 の最小値を求めねばよい。

問3 小球 P にはたらく重力の斜面平行成分の大きさは $mg \sin \phi$ である。



よって、求める張力の大きさを T_A' とする、半径方向の運動方程式より、

$$m \frac{v_0^2}{\ell} = T_A' - mg \sin \phi$$

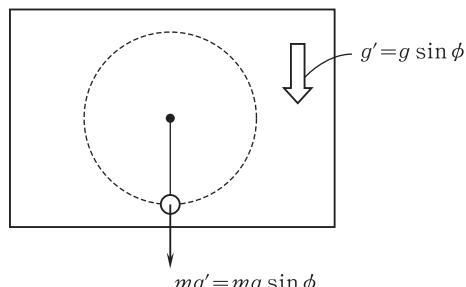
$$\therefore T_A' = mg \sin \phi + m \frac{v_0^2}{\ell}$$

ところで、重力の斜面平行成分 $mg \sin \phi$ を「見かけの重力 $m \cdot g \sin \phi$ 」と考えると便利である。すなわち、

見かけの重力 $mg' = mg \sin \phi$

見かけの重力加速度 $g' = g \sin \phi$

とすれば、斜面を重力加速度が g' の鉛直面のように考えることができる。以下では、これを用いて解答していく。



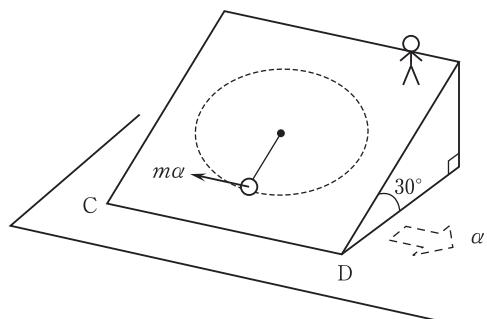
問4 問2の結果より、小球Pが円軌道を一周するための v_0 の条件は、 g を g' に置き換えて、

$$v_0 \geq \sqrt{5g'\ell}$$

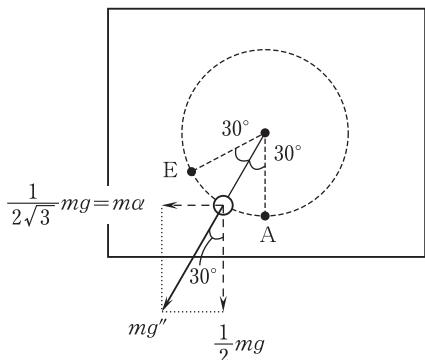
$$\therefore v_0 \geq \sqrt{5g\ell \sin \phi}$$

問5 台の加速度の大きさ $\frac{1}{2\sqrt{3}}g$ を α とおく。

台上で静止している観測者から見ると、小球Pには D→C の向きに大きさ $m\alpha$ の慣性力が加わっている。



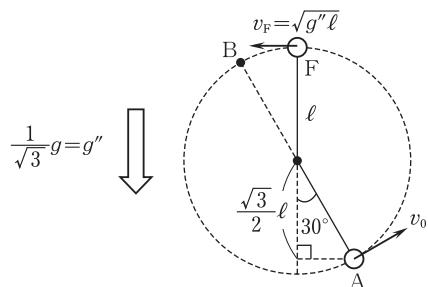
この慣性力と、重力の斜面平行成分の大きさ $mg \sin 30^\circ = \frac{1}{2}mg$ は、大きさの比が $1:\sqrt{3}$ であるから、台上的観測者から見た見かけの重力 mg'' は、次図のようになる。また、その大きさは $mg'' = 2m\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}mg$ ($g'' = \frac{1}{\sqrt{3}}g$) となる。



よって、Pが台に対して静止する場合、その位置は上図の $\theta = -30^\circ$ となる点であり、振動する場合はこの点を中心として振動する。振動はじめる位置(=振動の端)は点Aであるから、反対側の端は上図の点E($\theta = -60^\circ$)となる。よって、振動の範囲は、

$$-60^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$$

問6 見かけの重力の向きを下向きにした図を描くと、次図のようになる。



見かけの重力に対する円軌道の最高点Fでの小球Pの速さ(台に対する速さ)を v_F とするとき、一周できるときの v_F の最小値は、問2の v_B の最小値にならって、 $v_F = \sqrt{g''\ell}$ となる。よって、 v_0 の最小値は、力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}m(\sqrt{g''\ell})^2 + mg''\left(\ell + \frac{\sqrt{3}}{2}\ell\right)$$

$$v_0^2 = \frac{1}{\sqrt{3}}g\ell + \frac{2}{\sqrt{3}}g\ell\left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$\therefore v_0 = \sqrt{(1+\sqrt{3})g\ell}$$

2 コンデンサーとコイルを含む直流回路

【解答】

問1	$\frac{\epsilon_0 S}{3d}$	問2	$\frac{E}{R}$	問3	電流 $\frac{E}{R+r}$	$Q = \frac{r}{R+r} CE$
問4		$V_M = \frac{4r}{3(R+r)} E$ $\frac{E_1}{E_2} = \frac{1}{2}$	問5	$\pi\sqrt{LC}$	問6	向き 右 大きさ $\frac{2E}{R}$

【配点】 (33点)

問1 3点

問2 3点

問3 電流：3点 Q：3点

問4 V_M ：3点 グラフ：3点 $\frac{E_1}{E_2}$ ：2点

問5 3点

問6 向き：2点 大きさ：3点

問7 向き：2点 大きさ：3点

【解説】

問1 金属平板 A と M でひとつのコンデンサーとみなすと、その電気容量 C_1 は、

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

同様に、M と B によるコンデンサーの電気容量 C_2 は、

$$C_2 = \epsilon_0 \frac{S}{2d}$$

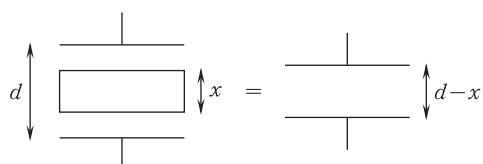
求める電気容量 C は、これらの直列接続であるから、

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{3d}{\epsilon_0 S}$$

$$\therefore C = \frac{\epsilon_0 S}{3d}$$

(別解) 一般に、コンデンサーの極板間に帯電していない金属板が挿入された場合、電気容量

は、金属板の厚さの分だけ極板間隔が減ったものと同等となる。



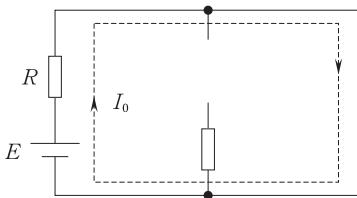
本問の場合、金属平板 M は“薄い”ので厚みは考えなくてよいが、厚みを考慮したとしても、AB 間の距離を $3d$ として、求める電気容量 C は、

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{3d}$$

問2 一般に、コイルは自身を流れる電流の変化

を妨げるため、スイッチ切替えの直前と直後で流れる電流が変化しない。S₁を閉じる前はコイルLを流れる電流は0であったから、S₁を閉じた直後も電流は0である。つまり、コイル部分は断線状態とみなせる。

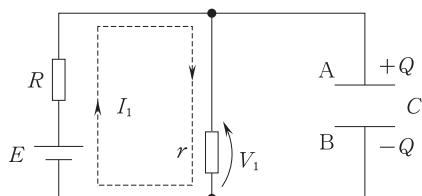
また、一般に電荷を蓄えていないコンデンサーは電圧が0であるから、スイッチ切替の直後は導線とみなせる。よって、S₁を閉じた直後は、次図の回路と等価である。



これより、求める電流の大きさ I_0 は、

$$I_0 = \frac{E}{R}$$

問3 十分に時間が経過すると、コイルLには一定の電流が流れ、導線とみなせる。また、コンデンサーには一定の電荷が蓄えられ、電流は流れ込まない。よって、このとき回路を流れる電流は次図のようになる。



これより、電池Eを流れる電流の大きさ I_1 は、

$$I_1 = \frac{E}{R+r}$$

また、抵抗rでの電圧降下(電位降下) V_1 は、

$$V_1 = rI_1 = \frac{r}{R+r}E$$

であり、これがAB間の電位差となる。金属平板Aに蓄えられた電荷Qは正であるから、

$$Q = +CV_1 = \frac{r}{R+r}CE$$

問4 十分に時間が経過すれば、コイルLは導線とみなせ、金属平板A, Bには電流は流れ込まないため、回路には大きさ I_1 の電流が問3と

同じように流れる。よって、抵抗rの電圧降下も V_1 となるから、次図の点X, Y, Zの電位はそれぞれ V_1 , V_M , 0となる。

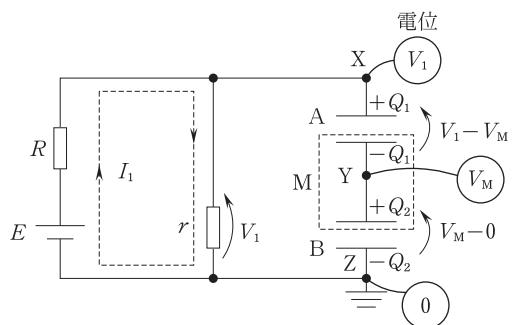
また、AM間, MB間の電気容量 C_1 , C_2 は、
 C を用いて表すと、それぞれ $3C$, $\frac{3}{2}C$ となる。

これらのコンデンサーに、次図のように Q_1 , Q_2 の電荷が蓄えられたとすると、

$$Q_1 = 3C \cdot (V_1 - V_M)$$

$$Q_2 = \frac{3}{2}C \cdot (V_M - 0)$$

と表される。



金属平板Mの電荷保存則より、

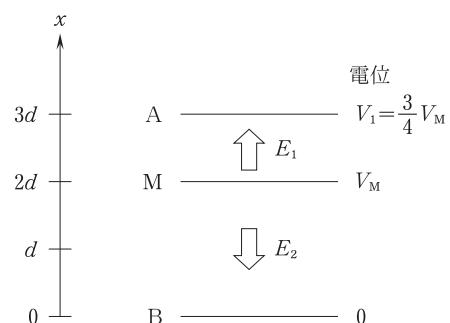
$$3Q = (-Q_1) + (+Q_2)$$

$$3 \cdot CV_1 = -3C(V_1 - V_M) + \frac{3}{2}CV_M$$

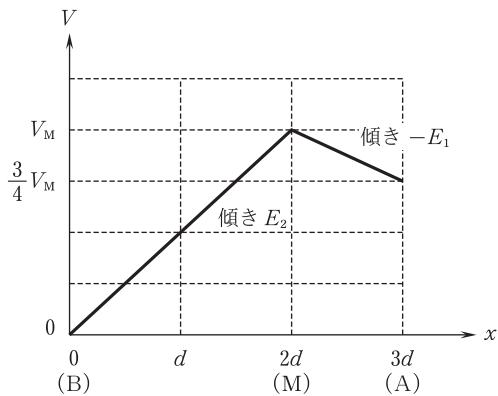
$$\therefore V_M = \frac{4}{3}V_1 = \frac{4r}{3(R+r)}E$$

また、これより $V_1 = \frac{3}{4}V_M$ となるから、金属

平板MはAより電位が高いとわかる。よって、実際には Q_1 は負で、Mの上側には正電荷が、Aには負電荷が蓄えられており、AB間の電位と電場 E_1 , E_2 のようすは次図のようになる。



金属平板の間の電場は一様であるから、電位は一定の割合で変化する。よって、 $V-x$ グラフは直線で、次のようになる。

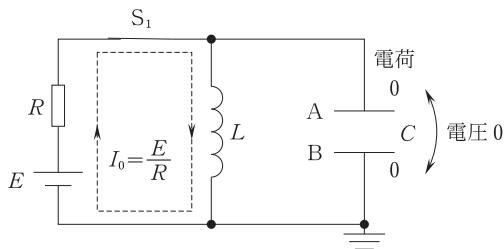


このグラフの傾きの絶対値が金属平板の間の電場の強さとなるので、

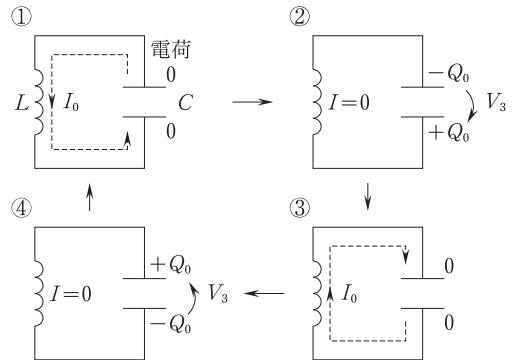
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{1}{4}V_M}{\frac{V_M}{2d}} = \frac{1}{2}$$

問5 以下では、AB 間を一つのコンデンサーとみなしていく。

スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過したとき、電流は次図のように流れる。 I_0 は一定であるから、コイル L には自己誘導起電力は発生せず、コイル L と並列接続されたコンデンサーにも電圧はかかるない。よって、このときコンデンサーが蓄えている電荷は 0 である。



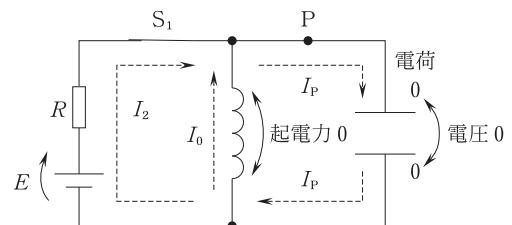
S_1 を開いた直後は、コイル L を下向きに流れる大きさ I_0 の電流が一瞬保たれ、次図のような電気振動が始まる。図は 4 分の 1 周期ごとのものであり、コンデンサーにかかる最大電圧を V_3 、蓄える最大電荷を Q_0 とおいた。



この 4 つの図で 1 サイクル(1 周期)であり、電気振動の周期 T は $T=2\pi\sqrt{LC}$ である。 S_1 を開いてからコイル L にはじめて上向きに最大の電流が流れるまで(図①→③)の時間は半周期 $\frac{T}{2}$ であるから、

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

問6 スイッチ S_1 を閉じるのは、電気振動の図③のときである。 S_1 を閉じた直後は、コイル L を上向きに流れる大きさ I_0 の電流が一瞬保たれる。また、このときコンデンサーの電荷は 0 であるから、コンデンサーと並列であるコイル L の自己誘導起電力も 0 となる。よって、 S_1 を閉じた直後の回路のようすは次図のようになる。



抵抗 R を上向きに流れる電流 I_2 は、キルヒホッフの第2法則より、

$$E - RI_2 = 0 \quad \therefore I_2 = \frac{E}{R} (=I_0)$$

以上より、点 P に流れる電流は右向きで、その大きさ I_P は、

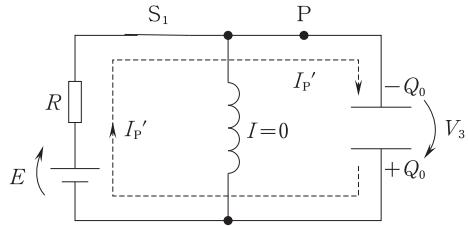
$$I_P = I_2 + I_0 = 2I_0 = \frac{2E}{R}$$

問7 スイッチ S_1 を閉じるのは、電気振動の図②のときである。このときのコンデンサーの電圧 V_3 は、エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}LI_0^2 = \frac{1}{2}CV_3^2$$

$$\therefore V_3 = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{E}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

また、コイルを流れる電流は、 S_1 を閉じた直後においては 0 のままである。これより、 S_1 を閉じた直後の回路のようすは次図のようになる。



よって、点 P を流れる電流は右向きで、その大きさ $I_{P'}$ は、キルヒホップの第 2 法則より、

$$E - RI_{P'} + V_3 = 0$$

$$\therefore I_{P'} = \frac{E + V_3}{R} = \underline{\underline{\frac{E}{R} \left(1 + \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \right)}}$$

③ ドップラー効果

【解答】

問1	$t_1 = \frac{L}{V}$	$t_2 = T + \frac{L-vT}{V}$	問2	$T_1 = \frac{V-v}{V} T$
問3	(ア) wt_3	(イ) Vt_3	(ウ)	$\frac{L}{V+w \cos \theta}$
	(エ) $T + \frac{L-vT}{V+w \cos \theta}$	(オ) $\frac{V+w \cos \theta - v}{V+w \cos \theta} T$		
問4	$T_3 = \frac{V-w \cos \theta - v}{V-w \cos \theta} T$	うなりの周期 $\frac{T_2 T_3}{T_2 - T_3}$		

【配点】 (33点)

問1 t_1 : 4点 t_2 : 4点

問2 4点

問3 (ア)3点 (イ)3点 (ウ)3点 (エ)3点 (オ)3点

問4 T_3 : 3点 うなりの周期: 3点

【解説】

問1 音速は、音源の速度によらず V であるから、

$$t_1 = \frac{L}{V}$$

時刻 $t=T$ のとき、音源 S と点 P の距離は $L-vT$ であるから、

$$t_2 = T + \frac{L-vT}{V}$$

問2 $t_2 - t_1$ が点 P で観測する音の 1 周期に相当するから、

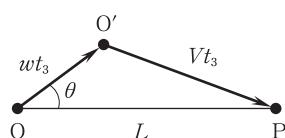
$$\begin{aligned} T_1 &= t_2 - t_1 \\ &= T - \frac{vt}{V} = \frac{V-v}{V} T \end{aligned}$$

問3 波面の円の中心は、速さ w で O → O' と流されるので、

$$OO' = wt_3 \quad (\text{ア})$$

一方、この円の半径 O'P は、音が音速 V で広がっていくことから、

$$O'P = Vt_3 \quad (\text{イ})$$



△OO'P における余弦定理より、

$$(O'P)^2 = L^2 + (OO')^2 - 2L \times OO' \times \cos \theta$$

$$\begin{aligned} (Vt_3)^2 &= L^2 + (wt_3)^2 - 2Lwt_3 \cos \theta \\ w \ll V, \quad wt_3 \ll L \quad \text{より} \quad (wt_3)^2 \text{の項を無視し,} \\ \text{さらに与えられた近似式を用いて,} \\ Vt_3 &\doteq \sqrt{L^2 - 2Lwt_3 \cos \theta} \\ &= L \sqrt{1 - 2 \frac{wt_3}{L} \cos \theta} \\ &\doteq L \left(1 - \frac{1}{2} \cdot 2 \frac{wt_3}{L} \cos \theta \right) \\ &= L - wt_3 \cos \theta \\ \therefore t_3 &= \frac{L}{V+w \cos \theta} \quad (\text{ウ}) \end{aligned}$$

また、時刻 $t=T$ のとき、音源 S と点 P の距離は $L-vT$ であるから、このときに S から出された音の波面が点 P まで伝わるのに要する時間は、 t_3 の式において $L \rightarrow L-vT$ と置き換えた

$$\frac{L-vT}{V+w \cos \theta}$$

である。よって、この波面が点 P に達した時刻 t_4 は、

$$t_4 = T + \frac{L-vT}{V+w \cos \theta} \quad (\text{エ})$$

$t_4 - t_3$ が点 P で観測する音の 1 周期に相当するから、

$$\begin{aligned}
T_2 &= t_4 - t_3 \\
&= T - \frac{vT}{V + w \cos \theta} \\
&= \frac{V + w \cos \theta - v}{V + w \cos \theta} T \quad (\text{④})
\end{aligned}$$

t_1 と t_3 , あるいは T_1 と T_2 の式を比べることにより, 音が S→P の向きに伝わる速さは $V + w \cos \theta$ だと考えることができる。

問4 音が S'→P の向きに伝わる速さは, 同様に $V - w \cos \theta$ と考えることができる。よって,

$$T_3 = \frac{V - w \cos \theta - v}{V - w \cos \theta} T$$

点 P の観測者が聞く, S, S' からの音の振動数をそれぞれ f_2 , f_3 , うなりの振動数を f_b とすると,

$$f_b = |f_2 - f_3|$$

振動数は周期の逆数であるから, うなりの周期を T_b とすると,

$$\frac{1}{T_b} = \left| \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3} \right|$$

ここで, T_2 と T_3 の大小関係は,

$$T_2 = \left(1 - \frac{v}{V + w \cos \theta}\right) T$$

$$T_3 = \left(1 - \frac{v}{V - w \cos \theta}\right) T$$

より, $T_2 > T_3$ とわかるので, 絶対値をはずすと,

$$\frac{1}{T_b} = \frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_2} = \frac{T_2 - T_3}{T_2 T_3}$$

$$\therefore T_b = \underline{\frac{T_2 T_3}{T_2 - T_3}}$$

■ 化 学 ■

1 小問集合

【解答】

問 1	(1) Sc : $K^2L^8M^9N^2$	(2)	Cs	
問 2	(1) $l = 2\sqrt{2} r$	(2)	$\frac{4M}{l^3 N}$	(3) +8.4 %

問 3	Cu	$\longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$		
	Zn	$\longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$		
	Ni	$\longrightarrow Ni^{2+} + 2e^-$		
	(2) 3.00 mol	(3) 94.2 %	(4) 4.2 g	

(1)	化学式	CuS		
	化学反応式	3CuS + 8HNO ₃ \longrightarrow 3Cu(NO ₃) ₂ + 3S + 2NO + 4H ₂ O		
(2)	イオン式	Fe ²⁺		
	イオン反応式	6Fe ²⁺ + Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ \longrightarrow 6Fe ³⁺ + 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O		
(3)	[Zn(NH ₃) ₄] ²⁺	(4)	4Fe(OH) ₂ + O ₂ + 2H ₂ O \longrightarrow 4Fe(OH) ₃	

【配点】 (34点)

問1 (1) 2点 (2) 2点

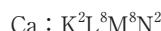
問2 (1) 2点 (2) 3点 (3) 3点

問3 (1) 3点 (2) 2点 (3) 3点 (4) 3点

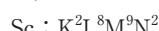
問4 (1) 化学式 1点, 反応式 2点 (2) イオン式 1点, 反応式 2点 (3) 2点 (4) 3点

【解説】

問1 (1) スカンジウム Sc は、原子番号 21 の第 4 周期 3 族の遷移元素であり、周期表上で、典型元素である第 4 周期 2 族のカルシウム Ca の隣に位置する。原子番号 20 の Ca 原子の電子配置は、



であり、遷移元素である Sc 原子の電子配置は、Ca 原子と比べると、最外電子殻である N 殼の電子数は変わらず、M 殼の電子数が 1 つ増加するので、次のようになる。

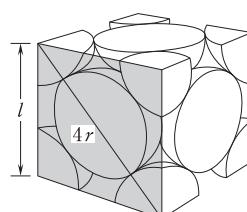


(2) アルカリ金属元素は、Li, Na, K, Rb, Cs の順に原子番号が大きくなる。同族元素の原子の

原子半径は、原子番号の順に大きくなるので、下線部の元素の原子半径の大小関係は次のようになる。



問2 (1) 面心立方格子の場合、立方体の面上で原子どうしが接する。



上図より、

$$l \times \sqrt{2} = 4r \quad \therefore l = \frac{4}{\sqrt{2}} r = 2\sqrt{2} r$$

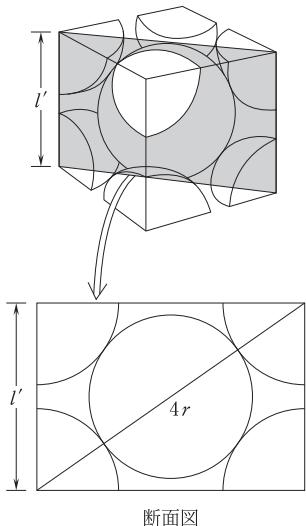
- (2) 面心立方格子の単位格子には、立方体の各面上に $\frac{1}{2}$ 個、各頂点に $\frac{1}{8}$ 個ずつの原子が含まれているので、

$$\frac{1}{2} \times 6 + \frac{1}{8} \times 8 = 4 \text{ (個)}$$

したがって、単位格子の一辺の長さを l [cm]、モル質量を M [g/mol]、アボガドロ定数を N [/mol] とすると、原子 1 個の質量は $\frac{M}{N}$ [g] となるので、密度 [g/cm³] は、

$$\frac{\frac{M}{N} \times 4}{l^3} = \frac{4M}{l^3 N} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

- (3) 体心立方格子において、単位格子の一辺の長さを l' [cm] とすると、原⼦どうしは立方体の体対角線上で接する。



上図より、

$$l' \times \sqrt{3} = 4r \quad \therefore l' = \frac{4}{\sqrt{3}} r$$

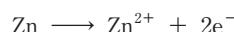
面心立方格子には原子が 4 個、体心立方格子には原子が 2 個含まれるから、これら 2 種の単位格子について、原子 1 個あたりの体積を比較すると、

$$\begin{aligned} \frac{\text{体心立方格子}}{\text{面心立方格子}} &= \frac{\left(\frac{4r}{\sqrt{3}}\right)^3 \times \frac{1}{2}}{\left(\frac{4r}{\sqrt{2}}\right)^3 \times \frac{1}{4}} = \frac{2\sqrt{2} \times 2}{3\sqrt{3}} \\ &= \frac{4 \times \sqrt{2} \times \sqrt{3}}{9} = 1.0841 \end{aligned}$$

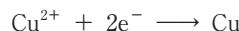
したがって、面心立方格子から体心立方格子に変化すると、結晶の体積が 8.4 % 増加する。

- 問 3 (1) 陽極に粗銅、陰極に純銅を用いて、硫酸で酸性にした CuSO₄ 水溶液を電気分解すると、陽極では、Cu が溶解するとともに、粗銅に含まれる Cu よりイオン化傾向が大きい金属 (Zn, Ni) も陽イオンとなって溶解する。一方、Cu よりイオン化傾向の小さい金属 (Ag) は、単体のまま陽極の下部に沈殿する (陽極泥)。

したがって、陽極で起こる化学変化は、Cu, Zn, および Ni の溶解であり、その反応は、



また、陰極では、Cu²⁺ だけが次式のように還元されて Cu が析出する。



- (2) 陰極では Cu だけが析出し、気体の発生は起らなかったから、1 mol の電子 e⁻ が流れると $\frac{1}{2}$ mol の Cu が析出する。したがって、流れた e⁻ の物質量は、

$$\frac{95.25 \text{ g}}{63.5 \text{ g/mol}} \times 2 = 3.00 \text{ mol}$$

- (3) 陽極では、Cu, Zn, Ni が陽イオンとなって溶け出す以外の反応は起こらないが、Ag が単体のまま沈殿し、陽極泥となるから、

$$\begin{pmatrix} \text{陽極から溶け出した} \\ \text{Cu, Zn, Ni の質量} \\ \text{の合計} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{陽極泥として} \\ \text{単体のまま沈殿した} \\ \text{Ag の質量} \end{pmatrix} = 99.40 \text{ g}$$

一方、陽極から溶け出す金属イオンはいずれも 2 倍だから、

$$\begin{pmatrix} \text{陽極から溶け出した} \\ \text{Cu, Zn, Ni の物質量} \\ \text{の合計} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{陰極に析出した} \\ \text{Cu の物質量} \end{pmatrix}$$

陰極では Cu²⁺ の還元だけが起こり、陽極で生じた Zn²⁺, Ni²⁺ は陰極で還元されずに電解液中に留まるから、

陰極に析出した Cu の物質量

$$= \begin{pmatrix} \text{陽極から} \\ \text{溶け出した} \\ \text{Cu の物質量} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{電解液中で} \\ \text{減少した} \\ \text{Cu}^{2+} の物質量 \end{pmatrix}$$

したがって、

陽極から溶け出した Cu の質量

$$\begin{aligned} &= \left(\begin{array}{l} \text{陰極に} \\ \text{析出した} \\ \text{Cu の質量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{電解液中で} \\ \text{減少した} \\ \text{Cu}^{2+} \text{の質量} \end{array} \right) \\ &= 95.25 \text{ g} - 63.5 \text{ g/mol} \times \left\{ (1.000 - 0.950) \right. \\ &\quad \left. \times \frac{500}{1000} \right\} \text{ mol} \\ &= 93.663 \text{ g} \end{aligned}$$

陽極に用いた 200 g の粗銅中の Cu の割合は、陽極で減少した 99.40 g の粗銅中の Cu の割合と等しいと考えてよいから、求める粗銅の純度は、

$$\frac{93.66 \text{ g}}{99.40 \text{ g}} \times 100 = 94.22 \div 94.2 \%$$

(4) 陽極から溶解した Zn と Ni の物質量の和は、電解液中で減少した Cu²⁺ の物質量に等しい。

$$(1.000 - 0.950) \text{ mol/L} \times \frac{500}{1000} \text{ L} \\ = 2.5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

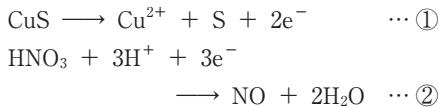
粗銅中の Zn と Ni の物質量比が 2 : 3 であることから、Zn と Ni の質量の和は、

$$65.4 \text{ g/mol} \times \left(2.5 \times 10^{-2} \times \frac{2}{5} \right) \text{ mol} \\ + 58.7 \text{ g/mol} \times \left(2.5 \times 10^{-2} \times \frac{3}{5} \right) \text{ mol} \\ = 0.654 + 0.880 = 1.534 \text{ g}$$

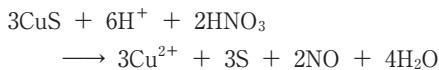
よって、陽極泥として沈殿した Ag の質量は、

$$99.40 \text{ g} - (93.663 + 1.534) \text{ g} = 4.20 \div 4.2 \text{ g}$$

問 4 (1) Cu²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺ を含む酸性溶液に硫化水素を通じると CuS の黒色沈殿が生じる。CuS に希硝酸を加えると沈殿が溶解し、硫黄 S が生成したことから、それぞれの変化を電子 e⁻ を含むイオン反応式で表すと、



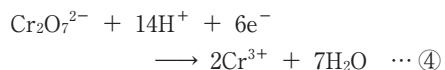
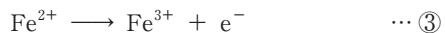
①×3+②×2 より、



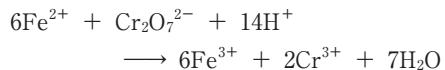
このイオン反応式の両辺に 6NO₃⁻ を加えれば、化学反応式が得られる。



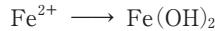
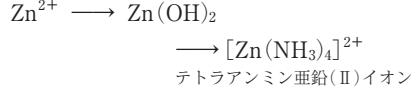
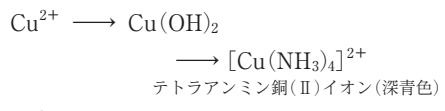
(2) Cu²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺ を含む酸性溶液に、二クロム酸カリウム水溶液を加えて加熱すると Fe²⁺ が Fe³⁺ に酸化される。それぞれの変化を電子 e⁻ を含むイオン反応式で表すと、



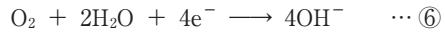
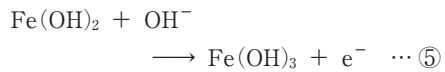
③×6+④ より、



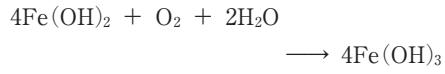
(3) Cu²⁺, Fe²⁺, Zn²⁺ を含む酸性溶液にアンモニア水を加えると、まず、それぞれの水酸化物の沈殿が生じ、さらに加えると Cu(OH)₂ と Zn(OH)₂ はアンミン錯イオンとなって溶解する。無色の錯イオンは、テトラアンミン亜鉛(II)イオン [Zn(NH₃)₄]²⁺ である。



(4) 操作(4)で生じた沈殿は緑白色の水酸化鉄(II)である。操作(4)では、反応液を大気中に放置したので、この沈殿は、溶液中に溶解した酸素により、赤褐色の水酸化鉄(III)に酸化されたと考えられる。それぞれの変化を電子 e⁻ を含むイオン反応式で表すと、



⑤×4+⑥ より、



2 反応速度、溶解平衡

【解答】

I	問1 (1)	$2.1 \times 10^{-3} \text{ mol}$	(2)	$7.1 \times 10^{-3} \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$			
	問2 (1)	$0.15/\text{min}$	(2) 式	$t^{\frac{1}{2}} = \frac{0.69}{k}$	数値	4.6 min	
II	問3 (1)	式⑧より、式①の反応において、横軸を t 、縦軸を $\frac{1}{[\text{A}]}$ とするグラフが直線になれば、反応は二次反応であることがわかり、その直線の傾きが速度定数 k の値に等しい。	(2)	$6.0 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol}\cdot\text{min})$			
	問4	$7.1 \times 10^{-5} \text{ mol}$	問5	$1.0 \times 10^{-7} \text{ mol}$			
II	問6 (1)	$4.4 \times 10^{-5} \text{ mol}$					
	(2)	$[\text{Ag}^+]$	$1.3 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$	NH_3	$3.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$		

【配点】 (33点)

I 問1 (1) 3点 (2) 3点

問2 (1) 3点 (2) 式 2点 数値 2点

問3 (1) 2点 (2) 3点

II 問4 3点 問5 3点

問6 (1) 3点 (2) $[\text{Ag}^+]$ 3点 NH_3 3点

【解説】

I

問1 (1) 反応開始から 3.0 min 間に発生した O_2 の物質量は、

$$\frac{24 \times 10^{-3} \text{ L}}{22.4 \text{ L/mol}} = 1.07 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

この間に分解した H_2O_2 の物質量は、

$$1.07 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 2 \\ = 2.14 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

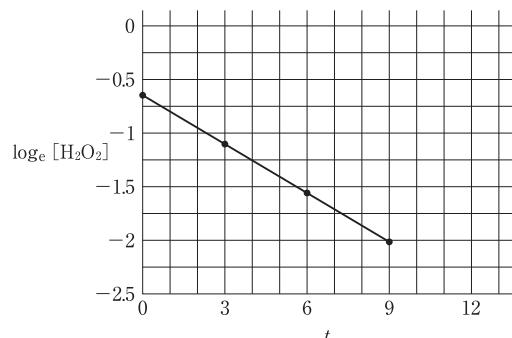
(2) 反応開始から 3.0 min 間に分解した H_2O_2 のモル濃度は、

$$\frac{2.14 \times 10^{-3} \text{ mol}}{100 \times 10^{-3} \text{ L}} = 2.14 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

この間の H_2O_2 の平均の減少速度 $\bar{v}_{\text{H}_2\text{O}_2}$ は、

$$\bar{v}_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{2.14 \times 10^{-2} \text{ mol/L}}{3.0 \text{ min}} \\ = 7.13 \times 10^{-3} \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$$

問2 (1) 次の図のように、横軸に t 、縦軸に $\log_e [\text{H}_2\text{O}_2]$ をとて、表1のデータを基に4点をプロットすると、4点が一直線上にのることがわかる。



この直線の傾きの絶対値が速度定数 k に等しいので、

$$k = \left| \frac{-2.044 - (-0.693)}{9.0 \text{ min} - 0 \text{ min}} \right| \\ = 0.150 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{min})$$

[補足 1]

通常、高校化学・入試の化学では、反応が一次反応であることを以下の手順で確かめて、速度定数を求める。

ある反応時間の平均の反応速度($[H_2O_2]$ の平均の減少速度)を \bar{v} [mol/(L·min)]、平均の $[H_2O_2]$ を \bar{C} [mol/L]とするとき、 $t=0\sim 3.0$, $3.0\sim 6.0$,

$6.0\sim 9.0$ min での \bar{v} , \bar{C} , $\frac{\bar{v}}{\bar{C}}$ を計算すると、

t [min]	$0\sim 3.0$	$3.0\sim 6.0$	$6.0\sim 9.0$
\bar{v} [mol/(L·min)]	6.03×10^{-2}	3.87×10^{-2}	2.43×10^{-2}
\bar{C} [mol/L]	0.410	0.261	0.167
$\frac{\bar{v}}{\bar{C}}$ [/min]	0.147	0.148	0.146

これより、 $\frac{\bar{v}}{\bar{C}}$ 一定であるから、この反応は一次反応であり、速度定数 k は平均をとって、

$$k = \frac{0.147 + 0.148 + 0.146}{3} = 0.147 \\ \doteq 0.15 / \text{min}$$

(2) $t=t_{\frac{1}{2}}$ のとき、 $[A]=\frac{[A]_0}{2}$ だから、式 ⑥' より、

$$\log_e \frac{[A]_0}{2} = -kt_{\frac{1}{2}} + \log_e [A]_0 \\ -kt_{\frac{1}{2}} = -\log_e 2 \\ \therefore t_{\frac{1}{2}} = \frac{-\log_e 2}{k} = \frac{0.693}{k} \doteq \frac{0.69}{k}$$

したがって、(1)の結果より、

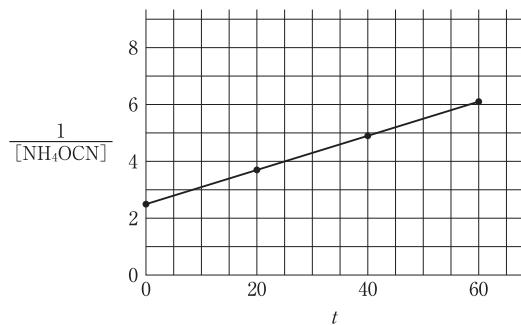
$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{0.150} \text{ min} = 4.62 \doteq 4.6 \text{ min}$$

問 3 (1) 解答例参照

(2) 表 2 より、 $\frac{1}{[NH_4OCN]}$ を計算する。

t [min]	0	20	40	60
$[NH_4OCN]$ [mol/L]	0.400	0.270	0.204	0.164
$\frac{1}{[NH_4OCN]}$ [L/mol]	2.50	3.70	4.90	6.10

次の図のように、横軸に t 、縦軸に $\frac{1}{[NH_4OCN]}$ をとて、4点をプロットすると、4点が一直線上にのることがわかる。



この直線の傾きが速度定数 k に等しいので、

$$k = \frac{6.10 \text{ L/mol} - 2.50 \text{ L/mol}}{60 \text{ min} - 0 \text{ min}} \\ = 6.0 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{min})$$

[補足 2]

通常、高校化学・入試の化学では、反応が二次反応であることを以下の手順で確かめて、速度定数を求める。

ある反応時間の平均の反応速度($[NH_4OCN]$ の平均の減少速度)を \bar{v} [mol/(L·min)]、平均の $[NH_4OCN]$ を \bar{C} [mol/L]とするとき、 $t=0\sim 20$, $20\sim 40$, $40\sim 60$ min での \bar{v} , \bar{C} , $\frac{\bar{v}}{\bar{C}^2}$ を計算する、

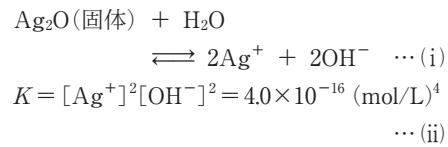
t [min]	$0\sim 20$	$20\sim 40$	$40\sim 60$
\bar{v} [mol/(L·min)]	6.50×10^{-3}	3.30×10^{-3}	2.00×10^{-3}
\bar{C} [mol/L]	0.335	0.237	0.184
$\frac{\bar{v}}{\bar{C}^2}$ [L/(mol·min)]	5.79×10^{-2}	5.88×10^{-2}	5.91×10^{-2}

これより、 $\frac{\bar{v}}{\bar{C}^2}$ 一定であるから、この反応は二次反応であり、速度定数 k は平均をとって、

$$k = \frac{5.79 + 5.88 + 5.91}{3} \times 10^{-2} \\ = 5.86 \times 10^{-2} \doteq 5.9 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{min})$$

II

問 4 水 1.0 Lあたりに Ag_2O が x [mol] 溶けて飽和に達したとすると、



式(i)より、

$$[Ag^+] = [OH^-] = \frac{2x \text{ [mol]}}{1.0 \text{ L}} = 2x \text{ [mol/L]}$$

このとき、式(ii)より、

$$\begin{aligned} K &= [\text{Ag}^+]^2[\text{OH}^-]^2 \\ &= (2x \text{ [mol/L]})^4 = 4.0 \times 10^{-16} \text{ (mol/L)}^4 \\ \therefore x^4 &= \frac{10^{-16}}{2^2} \\ \therefore x &= \frac{\sqrt[4]{2}}{2} \times 10^{-4} \\ &= 7.05 \times 10^{-5} \approx 7.1 \times 10^{-5} \text{ mol} \end{aligned}$$

問5 0.10 mol/L の NaOH 水溶液 1.0 L あたりに Ag_2O が y [mol] 溶けて飽和に達したとすると、

$$[\text{Ag}^+] = \frac{2y \text{ [mol]}}{1.0 \text{ L}} = 2y \text{ [mol/L]},$$

$$[\text{OH}^-] = (0.10 + 2y) \text{ [mol/L]}$$

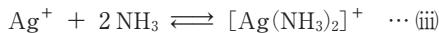
ここで、問4の結果より、 $y < 7.1 \times 10^{-5}$ mol だから、

$$[\text{OH}^-] \approx 0.10 \text{ mol/L}$$

したがって、式(ii)より、

$$\begin{aligned} K &= [\text{Ag}^+]^2[\text{OH}^-]^2 \\ &= (2y \text{ [mol/L]})^2 \times (0.10 \text{ mol/L})^2 \\ &= 4.0 \times 10^{-16} \text{ (mol/L)}^4 \\ \therefore y &= 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol} \end{aligned}$$

問6 AgNO_3 の水溶液に NH_3 を加えていくとき、式(iii), (v)の平衡が成り立ち、式(iv), (vi)が成り立つ。



$$K_f = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2} = 5.0 \times 10^6 \text{ (L/mol)}^2 \quad \dots \text{(iv)}$$



$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L} \quad \dots \text{(vi)}$$

(1) Ag_2O の沈殿が生じる条件は、式(ii)より、

$$[\text{Ag}^+]^2[\text{OH}^-]^2 > K = 4.0 \times 10^{-16} \text{ (mol/L)}^4$$

$$\therefore [\text{Ag}^+][\text{OH}^-] > \sqrt{K} = 2.0 \times 10^{-8} \text{ (mol/L)}^2 \quad \dots \text{(vii)}$$

ここで、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] \ll [\text{Ag}^+]$ だから、

$$[\text{Ag}^+] \approx 1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

このとき、式(vii)より、

$$[\text{OH}^-] > 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$[\text{OH}^-] = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ のときを考える。

式(v), (vi)より、 $[\text{NH}_4^+] \approx [\text{OH}^-]$ だから、

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} = \frac{(2.0 \times 10^{-5})^2}{2.0 \times 10^{-5}}$$

$$= 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

式(iv)より、

$$\begin{aligned} [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] &= K_f [\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2 \\ &= 5.0 \times 10^6 \times 1.0 \times 10^{-3} \times (2.0 \times 10^{-5})^2 \\ &= 2.0 \times 10^{-6} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

$$\ll [\text{Ag}^+] \approx 1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

以上より、 $[\text{OH}^-] = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ となるまでに滴下した NH_3 の物質量は、

$$\begin{aligned} ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] + 2 \times [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]) \times 1.00 \text{ L} \\ = 2.0 \times 10^{-5} + 2.0 \times 10^{-5} + 2 \times 2.0 \times 10^{-6} \\ = 4.4 \times 10^{-5} \text{ mol} \end{aligned}$$

(2) Ag_2O の沈殿がちょうどすべて消失したとき、問題文より、

$$[\text{OH}^-] = 1.51 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

このとき、式(ii)より、

$$\begin{aligned} [\text{Ag}^+] &= \frac{\sqrt{K}}{[\text{OH}^-]} = \frac{2.0 \times 10^{-8}}{1.51 \times 10^{-4}} \\ &= 1.32 \times 10^{-4} \approx 1.3 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \\ \therefore [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] &= 1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L} - 1.32 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \\ &= 8.68 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

一方、式(v), (vi)より、

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3] &= \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_b} = \frac{(1.51 \times 10^{-4})^2}{2.0 \times 10^{-5}} \\ &= 1.14 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

したがって、このときまでに滴下した NH_3 の物質量は、 $[\text{NH}_4^+] \approx [\text{OH}^-]$ だから、

$$\begin{aligned} ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] + 2 \times [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]) \times 1.00 \text{ L} \\ = 1.14 \times 10^{-3} + 1.51 \times 10^{-4} + 2 \times 8.68 \times 10^{-4} \\ = 3.02 \times 10^{-3} \approx 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

[補足3]

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]$ は式(iv)を用いて計算することもできる。

$$\begin{aligned} [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] &= K_f [\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2 \\ &= 5.0 \times 10^6 \times 1.32 \times 10^{-4} \times (1.14 \times 10^{-3})^2 \\ &= 8.57 \times 10^{-4} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

このとき、

$$\begin{aligned} ([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+] + 2 \times [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]) \times 1.00 \text{ L} \\ = 1.14 \times 10^{-3} + 1.51 \times 10^{-4} + 2 \times 8.57 \times 10^{-4} \\ = 3.00 \times 10^{-3} \approx 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

3 アミド化合物, α -アミノ酸とタンパク質

【解答】

問 1	(a)	$\text{CH}_3\text{COONH}_4 \longrightarrow \text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$					
	(b)	$\text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CONHCH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$					
問 2	$\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$						
問 3							
I 問 4	①	4	②	3	③	1	
問 5							
問 6	(1)	開環重合					
問 6	(2)						
問 7	ア	グリシン	イ	水素	ウ	ジスルフィド	
II 問 8					問 9	等電点	
問 10					問 11	48 種類	

【配点】 (33点)

I 問1 2点×2 問2 2点 問3 2点 問4 1点×3

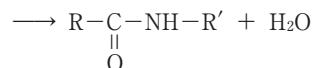
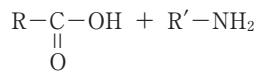
問5 4点 問6 (1) 2点 (2) 2点

II 問7 1点×3 問8 2点 問9 2点 問10 3点 問11 4点

【解説】

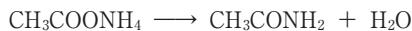
I アミド化合物

問1 アミド化合物(アミド)は、カルボン酸またはオキソ酸とアミン(またはアンモニア)が脱水縮合したかたちの化合物である。カルボン酸とアミンからアミドができる反応式は次のように表される。



(a) 酢酸アンモニウムおよびアセトアミドの示性

式は、それぞれ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, CH_3CONH_2 だから、 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ の脱水により CH_3CONH_2 ができると考えられる。



CH_3CONH_2 は CH_3COOH と NH_3 のアミドとみなすことができる。

ちなみに、尿素 H_2NCONH_2 は炭酸 H_2CO_3 と NH_3 のジアミドである。

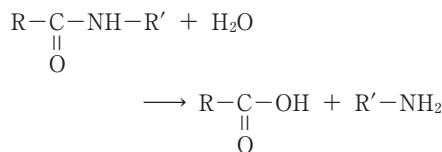
(b) N -メチルアセトアミド $\text{CH}_3\text{CONHCH}_3$ は、
 CH_3COOH とメチルアミン(アミノメタン)
 CH_3NH_2 のアミドとみなすことができ、アセトアミド CH_3CONH_2 の $-\text{NH}_2$ の H 原子 1 個が
 $-\text{CH}_3$ で置き換わった構造である。

(注) $\text{CH}_3\text{CONHCH}_3$ のように N 原子に $-\text{CH}_3$ 基が結合している場合、 N -メチルアセトアミドと命名する。

下線部(b)では、 CH_3COOH と NH_3 のアミドである CH_3CONH_2 が、 CH_3COOH と CH_3NH_2 のアミドである $\text{CH}_3\text{CONHCH}_3$ に変換したと考えられる。



問2 アミドを加水分解すると、カルボン酸とアミンが得られる。



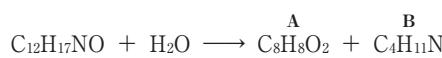
N,N -ジエチルトルアミド(分子式 $\text{C}_{12}\text{H}_{17}\text{NO}$)は、命名法に従うと、 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{N}-$ の構造をもっており、これを加水分解すると、第二級アミンである化合物 **B**(分子式 $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$)が得られるので、**B** の構造式は次のように決まる。



N,N -ジエチルトルアミドを加水分解したときに**B**とともに得られる酸性の化合物 **A** の分子式は、



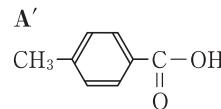
よって、この加水分解反応を分子式で表すと、次のようになる。



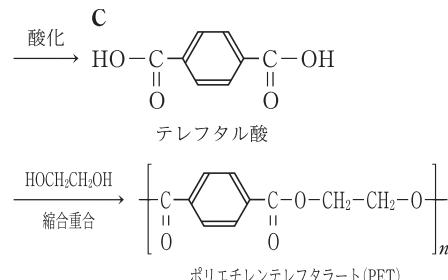
問3 **A** はベンゼンのメタ二置換体だから、**A** の

位置異性体である **A'** は、オルト体かパラ体であるが、**A'** を KMnO_4 で酸化してできる化合物 **C** をエチレンギコール $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ と縮合重合させるとポリエチレンテレフタラート(PET)が得られるので、**C** はテレフタル酸である。

よって、分子式より **A'** は *p*-メチル安息香酸(*p*-トルイル酸)であり、**A** は *m*-メチル安息香酸(*m*-トルイル酸)である。

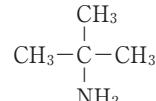
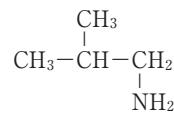
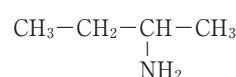
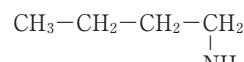


p-メチル安息香酸
(*p*-トルイル酸)

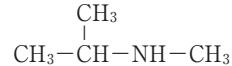


問4 分子式 $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ のアミンのうち、

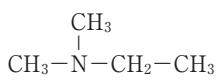
① 第一級アミン $\text{R}-\text{NH}_2$ は、次の4種類である。



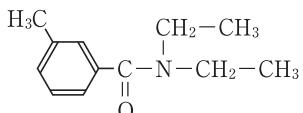
② 第二級アミン $\text{R}-\text{NH}-\text{R}'$ は、次の3種類である。



③ 第三級アミン $R-N-\overset{|}{R}'-\overset{|}{R}''$ は、1種類である。

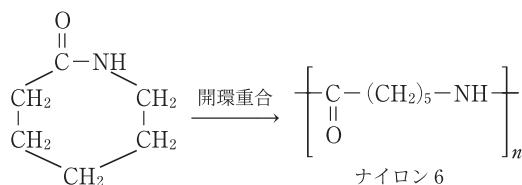


問5 N,N -ジエチルトルアミドは、Aの m -メチル安息香酸と第二級アミンであるBの N,N -ジエチルアミンからなるアミドであり、次の構造式で表される。

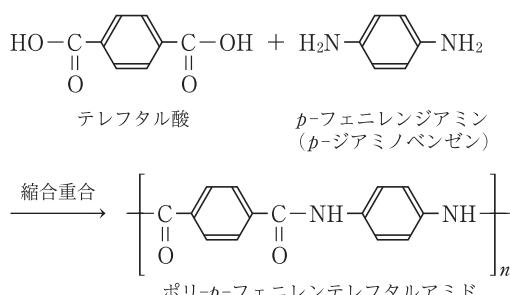


問6 (1) ポリアミドは、高分子どうしが、アミド結合どうしの間で数多くの水素結合を形成するため、引っ張り強度が大きく、ロープなどに用いられる。

ナイロン6(6-ナイロン)は、次のようにカプロラクタムの開環重合で得られる。



(2) 芳香族ジカルボン酸と芳香族ジアミンからなるポリアミド繊維をアラミド繊維という。テレフタル酸と *p*-フェニレンジアミン(*p*-ジアミノベンゼン)の縮合重合で得られるアラミド繊維は、非常に強度が大きいため防弾チョッキなどに用いられる。



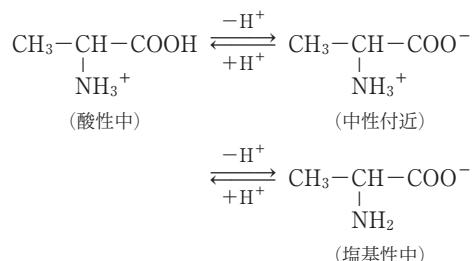
II α -アミノ酸とタンパク質

問7 ア タンパク質を構成する約20種類の α -アミノ酸のうち、不斉炭素原子をもたないのはグリシンだけである。

グリシン: $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$

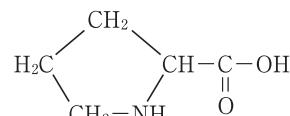
イ, ウ タンパク質は、その分子内のペプチド結合どうしの間で水素結合を形成したり、分子中の-SH基(-SH基は、システインの側鎖に含まれている)どうしの間でジスルフィド結合(-S-S-結合)を形成したりすることにより一定の立体構造を保っている。

問8 水溶液中の α -アミノ酸は、溶液のpHによってその状態や組成が変化する。アラニンは、酸性では主に陽イオン、中性付近では主に双性イオン、塩基性では主に陰イオンになっている。



問9 水溶液中の α -アミノ酸のイオンの組成(陽イオン、陰イオン、双性イオンの存在率)は、溶液のpHによって変化する。アミノ酸の電荷の総和が0になるpHを等電点といふ。

問10 分子式が $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$ の α -アミノ酸であるプロリンは、第二級アミンだから、C-NH-Cの部分構造をもっている。また、N原子を含む五員環があるので、その構造式は次のようにある。

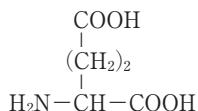


α -アミノ酸の一般式は通常、



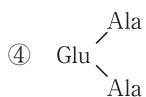
と表されるが、第二級アミンであるプロリンは、この一般式に該当しない例外的なアミノ酸である。なお、プロリンの構造式を暗記しておく必要はない。問題文の条件から、構造を推定することができればよい。

問11 グルタミン酸(Glu)は、次のような構造であり-COOHを2個もつ。



アラニン(Ala)2分子とグルタミン酸(Glu)
1分子の合計3分子が2つのアミド結合でつな
がる場合、アミノ酸配列が異なるものに、次の
4通りが考えられる。

- ① Glu-Ala-Ala
- ② Ala-Glu-Ala
- ③ Ala-Ala-Glu



(N末端($\text{H}_2\text{N}-$ がアミド結合しないで残っているア
ミノ酸)を左に表してある。)

①と②には、アミド結合に使われる Glu の
-COOH が異なるものが 2 種類ずつある。また、④は Glu の 2 個の -COOH が Ala の -NH₂
とアミド結合した化合物である。

したがって、アミノ酸配列の違い、およびア
ミド結合に使われる Glu の -COOH の違いに
よって、合計 6 種類の構造異性体が考えられ
る。

Ala, Glu ともに不斉炭素原子を 1 個もつ
て、立体異性体を区別して考えると、

$$6 \times 2^3 = 48 \text{ 種類}$$

の化合物が考えられる。

■ 生 物 ■

1 遺伝子

【解答】

問1	1	ヒストン	2	クロマチン	3	プロモーター	4	基本転写因子	5	RNA ポリメラーゼ
----	---	------	---	-------	---	--------	---	--------	---	------------

問2	(1)	(花弁, 花弁, おしへ, おしへ)	(2)	(がく, 花弁, 花弁, がく)	(3)	37.5%	
----	-----	--------------------	-----	------------------	-----	-------	--

問3	(1)	光周性	(2)	(i) ア	ク	(ii) ウ	エ	(iii) イ	キ	(3) 春化
----	-----	-----	-----	-------	---	--------	---	---------	---	--------

問4	(1)	選択的スプライシング	(2)	128 種類(2 ⁷ 種類)	
----	-----	------------	-----	---------------------------	--

問5	(1)	高温条件下では、F β が減少し F δ が増加するため、F β -S 複合体が減少し、F δ -S 複合体が増加する。F β -S 複合体は FT 遺伝子の調節領域に結合して転写を抑制するが、F δ -S 複合体は調節領域に結合しないため、高温条件下では FT 遺伝子の転写の抑制が起こりにくい。(116字)
	(2)	(i) ア (ii) ア

【配点】 (25点)

問1 各1点×5 問2 (1) 1点 (2) 1点 (3) 3点

問3 (1) 1点 (2) 各1点(順不同, 完答)×3 (3) 1点

問4 (1) 1点 (2) 2点 問5 (1) 5点 (2) 各1点×2

【解説】

遺伝子に関する知識問題と、花芽形成における遺伝子発現に関する考察問題を出題した。

問1 真核生物のDNAは、ヒストンと呼ばれるタンパク質に巻きついてヌクレオソーム構造を形成し、さらにこれが複雑に折りたたまれてクロマチン纖維をつくっている。このような状態となったDNA領域では、転写の開始に必要な各種のタンパク質がDNAに結合できないため、転写は起こらない。遺伝子が転写されるには、遺伝子とその近くのDNA領域のクロマチン纖維やヌクレオソーム構造が、ある程度ほどけた状態になっている必要がある。

遺伝子には、転写開始位置の上流側(転写が進行する向きと逆側)に、プロモーターと呼ばれる領域が存在する。真核生物のプロモーターは、転写開始時に基本転写因子とRNAポリメラーゼが結合する領域である。基本転写因子は調節タンパク質と相互作用することでRNAポリメラーゼと複合体を形成し、RNAポリメラーゼのプロモーターへの結合を促進して転写

を開始させるはたらきをもつ。

問2 (1) B遺伝子がすべての領域で発現するようになった変異株の花では、領域1と領域2でA遺伝子とB遺伝子が、領域3と領域4でB遺伝子とC遺伝子がそれぞれ発現する。したがって、A遺伝子とB遺伝子の両方が発現する領域1と領域2には花弁が形成され、B遺伝子とC遺伝子の両方が発現する領域3と領域4にはおしへが形成されるので、領域1から領域4の順に(花弁, 花弁, おしへ, おしへ)となる。
(2) C遺伝子がはたらかなくなった変異株の花では、A遺伝子がすべての領域で発現するようになるので、領域1と領域4ではA遺伝子のみが、領域2と領域3ではA遺伝子とB遺伝子がそれぞれ発現する。したがって、A遺伝子のみが発現する領域1と領域4にはがくが形成され、A遺伝子とB遺伝子の両方が発現する領域2と領域3には花弁が形成されるので、領域1から領域4の順に(がく, 花弁, 花弁, がく)となる。

(3) 「自家受精により次代を残すことができる個体」とは、おしべとめしべの両方をもつ花をつける個体のことである。おしべは *B* 遺伝子と *C* 遺伝子の両方が発現する領域に形成され、めしべは *C* 遺伝子のみが発現する領域に形成されるので、「自家受精により次代を残すことができる個体」は *B* 遺伝子と *C* 遺伝子の両方をもつ個体である。遺伝子型が *AabbCc* である個体と遺伝子型が *aaBbCc* である個体を交配したとき、*B* 遺伝子をもつ個体が生じる確率は $bb \times Bb$ であるので $\frac{1}{2}$ であり、*C* 遺伝子をもつ個体が生じる確率は $Cc \times Cc$ であるので $\frac{3}{4}$ である。*B* 遺伝子と *C* 遺伝子の両方をもつ個体が生じる確率は、この両遺伝子が独立の関係にあるので、 $\frac{1}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$ となる。したがって、自家受精により次代を残すことができる個体の割合は $\frac{3}{8} \times 100 = 37.5\%$ である。

問 3(1) 植物の花芽形成のように、生物が明暗周期に対して反応する性質を光周性と呼ぶ。光周性は、植物の花芽形成のほか、動物の繁殖期や鳥の渡りの時期の調節などにみられる。

(2) 植物には、日長が一定の長さ以上(連続した暗期が限界暗期以下)になると花芽を形成する長日植物と、日長が一定の長さ以下(連続した暗期が限界暗期以上)になると花芽を形成する短日植物がある。長日植物には、春から初夏にかけて花芽を形成するアブラナ、ホウレンソウ、コムギ、カーネーションなどがあり、短日植物には、夏から秋にかけて花芽を形成するオナモミ、コスモス、アサガオ、キクなどがある。また、日長に関係なく、一定の大きさに生育すると花芽を形成する植物を中性植物と呼び、エンドウ、トマト、トウモロコシなどがある。なお、スギナはシダ植物、ゼニゴケはコケ植物であり、どちらも花を咲かせることはなく、胞子で繁殖する。

(3) 花芽形成は、日長だけでなく、温度の影響を受ける場合がある。通常、秋まきコムギの種子を春にまくと、発芽して成長するが花芽は形成されない。一方、秋まきコムギの発芽種子に低温処理を行うと、春にまいても開花結実するようになる。このように、一定期間、低温にさらされることによって花芽形成が促進される現

象を春化と呼び、人為的に春化を引き起こすために低温処理することを春化処理と呼ぶ。

問 4(1) 転写された RNA (mRNA 前駆体) から mRNA がつくられるとき、スプライシングによって除去される部分の違いによって、1種類の mRNA 前駆体から 2種類以上の mRNA がつくられることがある。このような現象を選択的スプライシングと呼ぶ。選択的スプライシングにより、1つの遺伝子から複数種類のタンパク質が合成される。

(2) *F* 遺伝子の転写によって生じた mRNA 前駆体には、9つのエキソンと8つのインtron が存在する。スプライシングの際、8つのインtron はすべて除去されるが、エキソンについては除去される場合と除去されない場合がある。問題文に、「9つのエキソンのうち、第1エキソンと第9エキソンは除去されない」とあるので、スプライシングによって除去される、または除去されないという2通りの可能性があるエキソンは、第2エキソンから第8エキソンまでの7つのエキソンである。これらのエキソンについて除去される場合と除去されない場合では、塩基配列の異なる mRNA がつくられるので、*F* 遺伝子の転写によって生じた mRNA 前駆体から選択的スプライシングによってつくられる mRNA は、理論上、 $2^7 = 128$ 種類存在する。

問 5(1) 花芽が形成される時期が遅くなる低温条件では *Fδ* よりも *Fβ* の方が多く存在しており(実験1), *Fβ-S* 複合体はシロイヌナズナのフロリゲン遺伝子(*FT* 遺伝子)の調節領域に結合する(実験2)。また、花芽が形成される時期が早くなる高温条件では *Fβ* よりも *Fδ* の方が多く存在しており(実験1), *Fδ-S* 複合体は *FT* 遺伝子の調節領域に結合しない(実験2)。これらのことから、低温条件では *Fβ* が多く合成され、*Fβ-S* 複合体が *FT* 遺伝子の調節領域に結合して転写を抑制するため、花芽が形成される時期が遅くなる。一方、高温条件では *Fδ* が多く合成され、*S* は *Fδ* と結合して *Fδ-S* 複合体となり、*S* と *Fβ* が結合した *Fβ-S* 複合体が少なくなるので、*FT* 遺伝子の発現の抑制が起こりにくくなり、花芽が形成される時期が早くな

る、と考えるとすべての結果が説明できる。

(2) (1)で解説したように、シロイスナズナの野生株を 16°C の低温条件で栽培すると、 $\text{F}\beta$ の存在量が多くなり、 $\text{F}\beta\text{-S}$ 複合体が FT 遺伝子の調節領域に結合して転写を抑制するため、花芽が形成される時期が遅くなる。 F 遺伝子がはたらかなくなった F 変異株では $\text{F}\beta$ が合成され

ず、 S 遺伝子がはたらかなくなった S 変異株では S が合成されないため、これらの変異株では $\text{F}\beta\text{-S}$ 複合体が生じない。したがって、これらの変異株では、 FT 遺伝子の転写が $\text{F}\beta\text{-S}$ 複合体によって抑制されないので、ともに花芽が形成される時期が野生株よりも早くなると考えられる。

2 神経

【解答】

問1	1	グリア(神経膠)	2	シュワン(神経鞘)	3	細胞体	4	樹状突起
問2	ウ	問3	イ	ウ				
(1)	活動電位が生じる際にナトリウムチャネルが開き、軸索内に Na^+ が流入する。(34字)							
(2)	ア							
(3)	ミトコンドリアの内膜を境にした H^+ の濃度勾配が形成されないので、ATP 合成酵素が ATP を合成できず、 Na^+ の排出が行われない。(60字)							
問5	筋紡錘	問6	ア	エ	問7	82 m/秒		
問8	運動神経 M のニューロンがすべて興奮したため、感覚神経 S のニューロンに生じた興奮はヒラメ筋に伝わる途中で、運動神経 M のニューロンを脊髄側へ伝導する興奮と衝突し、不応期により消失した。(90字)							

【配点】(25点)

問1 各1点×4 問2 1点 問3 各1点×2(順不同)

問4 (1) 2点 (2) 2点 (3) 4点 問5 1点 問6 2点(順不同, 完答)

問7 3点 問8 4点

【解説】

神経に関する知識問題と、神経の興奮と脊髄反射に関する考察問題を出題した。

問1 神経組織はニューロンとグリア細胞(神経膠細胞)からなる。グリア細胞には髓鞘を形成するシュワン細胞(神経鞘細胞)などがある。ニューロンは核のある細胞体から多数の突起が伸びた細胞であり、長く伸びた突起を軸索、枝分かれした短い突起を樹状突起と呼ぶ。

問2 一般的なニューロンの軸索における静止電位の大きさは、 -60 mV 程度であり、活動電位の最大値は、 100 mV 程度である。

問3 ニューロンの静止部では、細胞内の電位は細胞外に対して負になっているが、興奮部では、細胞内の電位は細胞外に対して正になっている。これにより、興奮部と隣接する静止部の間で活動電流が流れる。したがって、アは誤りであり、イは正しい。

興奮が終わった直後の部位は不応期になり、活動電流が流れても興奮しない。これにより、興奮は逆戻りせずに伝導する。したがって、ウは正しい。

無髓神経纖維では、軸索が太いほど伝導速度

が大きい。したがって、エは誤りである。

有髓神経纖維では、軸索のまわりに絶縁性をもつ髓鞘があり、興奮がランビエ絞輪の部分だけで起こる跳躍伝導がみられる。したがって、オは誤りである。

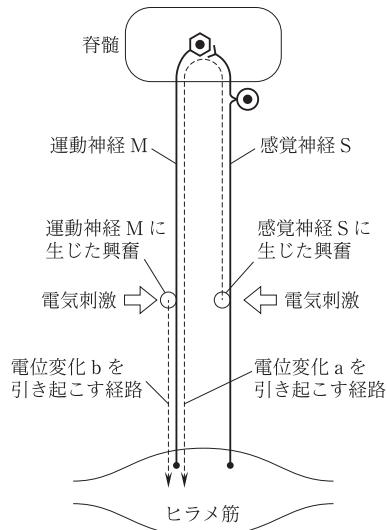
- 問4(1) ニューロンで興奮が生じる際には、ナトリウムチャネルが開いて、細胞内への Na^+ の流入が起こる。矢印ア、ウ、オのところでは、軸索に5分間刺激を与えて1秒間に50回の頻度で活動電位を発生させている。これにより、細胞内へ Na^+ が流入して、細胞内の Na^+ 濃度が上昇したと考えられる。
- (2) ナトリウムチャネルが開いて Na^+ が細胞内に流入し、それによって膜電位が逆転すると、次にカリウムチャネルが開いて K^+ が細胞外に流出し、それによって膜電位がもとに戻る。この後、ナトリウムポンプによる能動輸送によって、細胞内に流入した Na^+ は細胞外に排出され、細胞外に流出した K^+ は細胞内に取り込まれる。

(3) DNPはミトコンドリアにおける生体膜の水素イオン(H^+)の透過性を高める作用がある。ミトコンドリアでは、電子伝達系によって内膜を境にした H^+ の濃度勾配がつくられ、 H^+ の濃度勾配にしたがって H^+ がATP合成酵素内を移動する際に放出されるエネルギーを用いて、ATP合成酵素がATPを合成する。DNPを添加すると、内膜を境にした H^+ の濃度勾配が形成されなくなり、その結果、ATP合成が行われなくなってしまう、ATPを必要とするナトリウムポンプによる Na^+ の排出が起こらなくなる。

- 問5 骨格筋の内部には、筋肉の伸長に伴って生じる張力を受容する筋紡錘と呼ばれる受容器が存在する。しつがい腱反射が起こる際に刺激を受容するのも筋紡錘である。

- 問6 刺激電極で感覚神経S(感覚ニューロンの束)と運動神経M(運動ニューロンの束)に電気刺激を与えた場合、運動ニューロンに生じた興奮はそのままヒラメ筋に伝わるが、感覚ニューロンに生じた興奮は脊髄を経由してヒラメ筋に伝わる。そのため、運動ニューロンに生じた興奮に由来するヒラメ筋の電位変化よりも、感覚ニューロンに生じた興奮に由来するヒラメ筋の

電位変化の方が発生までに時間がかかる。したがって、電位変化aは感覚神経Sに生じた興奮に由来する電位変化であり、電位変化bは運動神経Mに生じた興奮に由来する電位変化である。



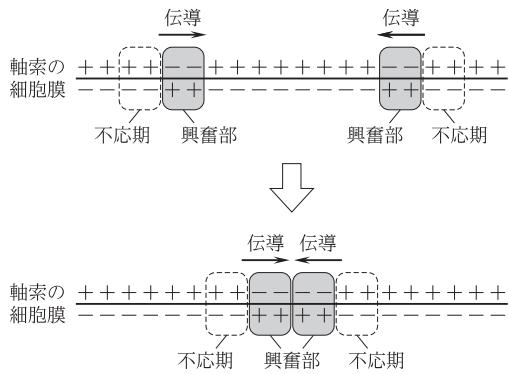
刺激強度1では、電位変化aはみられるが電位変化bはみられず、刺激強度2では、電位変化aと電位変化bがともにみられる。したがって、感覚神経Sの方が、運動神経Mよりも弱い刺激で興奮が発生したと考えられるので、電気刺激によって興奮が生じる際の閾値は、感覚神経Sの方が運動神経Mよりも低いと考えられる。

- 問7 電位変化bが記録されてから電位変化aが記録されるまでの時間は、 $20 - 4 = 16$ ミリ秒である。この時間は、刺激電極が装着された部位から脊髄にあるシナップスまで感覚ニューロンを興奮が伝導するのに要した時間と、感覚ニューロンから運動ニューロンに興奮が伝達するのに要した時間と、脊髄にあるシナップスから刺激電極が装着された部位まで運動ニューロンを興奮が伝導するのに要した時間の和である(問6の解説の図を参照)。感覚ニューロンの伝導速度は100m/秒(100mm/ミリ秒)であり、刺激電極が装着された部位から脊髄にあるシナップスまでの長さは70cm(700mm)であることから、感覚ニューロンの伝導に要した時間は、 $700\text{ mm} \div 100\text{ mm/ミリ秒} = 7$ ミリ秒となる。また、シナップスでの伝達に要する時間は0.5ミ

り秒であるので、運動ニューロンの伝導に要した時間は、 $16 - (7 + 0.5) = 8.5$ ミリ秒となり、その伝導速度は、 $700 \text{ mm} \div 8.5 \text{ ミリ秒} \approx 82.4 \text{ mm/ミリ秒}$ となり、答は 82 m/秒となる。

問 8 軸索に電気刺激を与えて興奮を発生させた場合、生じた興奮は軸索を両方向に伝導していく。電気刺激によって運動ニューロンに興奮が生じると、その興奮は、ヒラメ筋に向かって伝導して電位変化 b を生じさせるとともに、脊髄の方向へも伝導する。これが、感覚ニューロンに生じて伝導してきた興奮と衝突する。軸索上で伝導してきた興奮が衝突すると、興奮部は次の瞬間に不応期となるため、新たに興奮が発生せず、興奮は消滅する(次図)。刺激強度 3 では、ヒラメ筋に接続する運動神経 M に含まれ

ているすべての運動ニューロンに興奮が生じたため、感覚ニューロンに生じて伝導してきた興奮がすべて軸索上で消滅し、電位変化 a がみられなくなったと考えられる。



3 免疫

【解答】

問 1	1 樹状	2 胸腺	3 抗体産生	4 免疫グロブリン
問 2	抗原特異性がある。	免疫記憶が生じる。		
問 3	イ	ウ	力	
問 4	B 細胞どうしが融合した細胞、ミエローマ細胞どうしが融合した細胞			
問 5	ミエローマ細胞と融合しない B 細胞は寿命により短期間で死滅し、B 細胞と融合しないミエローマ細胞は塩基が合成できず死滅する。ハイブリドーマは B 細胞に由来するサルベージ経路により、塩基を合成して増殖する。(99字)			
問 6	(1) 造血幹細胞	(2) 骨髄		
	(1) g H鎖	h L鎖		
問 7	(2)	断片 A ががん細胞の表面のタンパク質と結合し、断片 B がマクロファージの受容体と結合するが、両者がつながっていないので、マクロファージががん細胞に作用できない。(78字)		

【配点】 (25点)

- 問 1 各 1 点 × 4 问 2 各 2 点 × 2 (順不同) 问 3 2 点(順不同, 完答)
 问 4 2 点(順不同, 完答) 问 5 5 点 问 6 各 1 点 × 2 问 7 (1) 各 1 点 × 2 (2) 4 点

【解説】

免疫に関する知識問題と、モノクローナル抗体作成の手順や抗体を介したがん細胞の排除のしくみに関する考察問題を出題した。

問1 細菌やウイルスなどの異物が体内に侵入すると、樹状細胞やマクロファージが食作用によってこれを細胞内に取り込んで分解し、その一部を細胞表面に抗原として提示する。提示された抗原をヘルパーT細胞が認識すると、インターロイキンを分泌して、抗原と反応する抗体を産生するB細胞を刺激する。刺激されたB細胞は増殖し、抗体産生細胞に分化して抗体を産生する。抗体は免疫グロブリンと呼ばれるタンパク質である。また増殖したヘルパーT細胞とB細胞の一部は記憶細胞として体内に残り、再び同じ異物が侵入すると二次応答を引き起こす。

問2 自然免疫では、マクロファージや好中球などの食細胞が体内に侵入した抗原を食作用により非特異的に排除するが、獲得免疫では、特定の抗原に対して特異的に反応する特定のリンパ球のみが免疫反応を行う。また獲得免疫では、抗原に特異的に反応するリンパ球の一部が記憶細胞として体内に残り、以前に侵入した異物の情報を記憶(免疫記憶)する。これによって、同じ抗原が再度侵入した場合には、記憶細胞が特異的に抗原を認識してすばやく強い免疫反応(二次応答)を起こし、抗原を効率的に排除できる。

問3 ア ABO式血液型不適合は、赤血球表面に存在する凝集原(抗原)と血しょう中に存在する凝集素(抗体)によって引き起こされる反応であり、体液性免疫が関与している。

イ 移植した皮膚が脱落する反応は、キラーT細胞が直接移植した皮膚の細胞を攻撃する細胞性免疫によって起こる。

ウ 抗体は細胞内に入り込んだウイルスには結合できない。ウイルスに感染した細胞は抗原提示を行い、これをキラーT細胞が認識して破壊する。この免疫反応は細胞性免疫の主要な反応の一つである。

エ 花粉症は、花粉の成分に対してIgEと呼ばれる特殊な抗体が産生されることが原因で起こ

る。IgEは粘膜などに存在するマスト細胞(肥満細胞)と結合し、これにさらに花粉の成分が結合すると、マスト細胞から炎症を引き起こすヒスタミンが放出される。ヒスタミンは、鼻水、くしゃみ、目のかゆみなどの花粉症の症状を引き起こす。よってこの反応は、体液性免疫である。

オ インフルエンザのワクチンは、インフルエンザウイルスの表面にあるタンパク質を濃縮してつくられている。このタンパク質を注射する(予防接種)と、このタンパク質に特異的に反応するヘルパーT細胞やB細胞が増殖し、その一部が記憶細胞として体内に残る。同じ抗原タンパク質をもつインフルエンザウイルスが体内に侵入すると、記憶細胞が素早く反応して大量の抗体を産生することで、ウイルスが不活性化される。よってこの反応は、体液性免疫である。

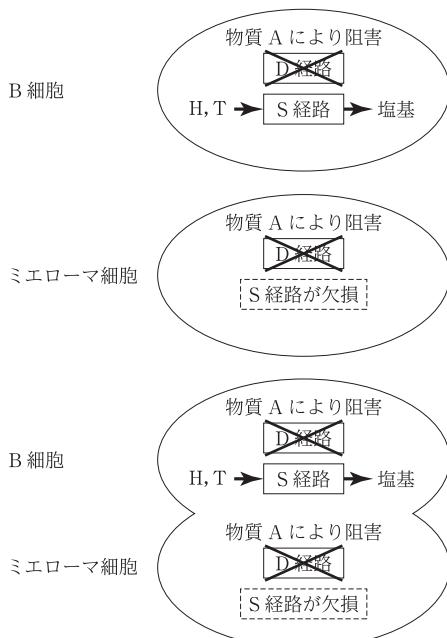
カ 結核菌の抗原を接種してその反応をみると、結核に対する免疫記憶の有無や結核菌の感染の有無を調べる方法をツベルクリン反応と呼ぶ。結核菌から抽出したタンパク質であるツベルクリンを皮下に注射すると、細胞性免疫による炎症反応が起こる。これが発赤である。結核菌は細胞内に侵入するため、抗体ははたらかない。

問4 細胞融合により目的とするハイブリドーマを作成する実験では、B細胞どうしが融合した細胞や、ミエローマ細胞どうしが融合した細胞が生じ、また、融合しなかったB細胞やミエローマ細胞も存在している。

問5 ハイブリドーマのみを選択するための方法は以下の通りである。ハイブリドーマ、B細胞、ミエローマ細胞の塩基を合成する経路がHAT培養液中でどのようにはたらいているかを次ページの図に示す。なお、デノボ経路はD経路、サルベージ経路はS経路、物質Hや物質TはそれぞれHとTで示してあり、B細胞どうしが融合した細胞やミエローマ細胞どうしが融合した細胞は、単独のB細胞およびミエローマ細胞とそれぞれ同様の経路をもつ。

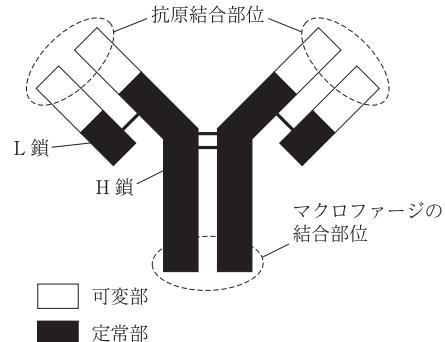
まず、B細胞(図上)では、デノボ経路が物質

A によって阻害されるが、サルベージ経路によって物質 H, T をもとに塩基が合成される。しかし、本文中に「寿命があり短期間しか生存できない」B 細胞があるので、長期間の培養でこの融合細胞は死滅する。次にミエローマ細胞(図中)では、デノボ経路が物質 A によって阻害され、サルベージ経路は欠損しているので、塩基の合成ができず死滅する。最後にハイブリドーマ(図下)では、デノボ経路が物質 A によって阻害されるが、B 細胞由来のサルベージ経路により物質 H, T をもとに塩基が合成され、ミエローマ細胞由来の無限に増殖する能力は維持される。したがって、長期間培養することでハイブリドーマのみが生き残るので、これを選択すればよい。



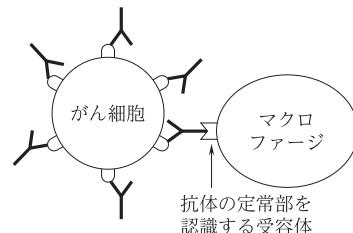
問6 血液中には赤血球や白血球(マクロファージやリンパ球などを含む)などのさまざまな細胞が存在するが、これらはすべて骨髄に存在する造血幹細胞から分化する。

問7(1) 抗体は次図のように、H鎖とL鎖の2種類のポリペプチド鎖が2本ずつ結合したY字型をしている。また、H鎖とL鎖、およびH鎖どうしあるジスルフィド結合(S-S結合)によって結合している。

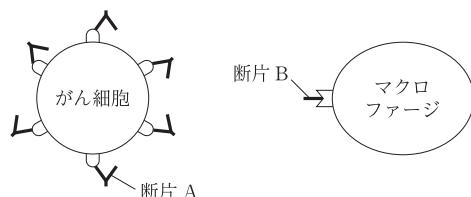


(2) 抗体は可変部の先端にある抗原結合部位で、がん細胞の表面に特異的に発現するタンパク質と結合し、H鎖の定常部の先端でマクロファージの細胞表面にある受容体と結合する。その結果、がん細胞とマクロファージがつながり、マクロファージの食作用によってがん細胞が排除される(次図上)。しかし、抗体をペプシンで処理して断片 A と断片 B に切断すると、断片 A はがん細胞に結合し、断片 B はマクロファージに結合するが、両者が離れているため、食作用によるがん細胞の排除は起こりにくくなる(次図下)。

無処理の抗体を注射した場合



断片 A と断片 B を同量混ぜて注射した場合



4 タンパク質

【解答】

問1	1	カルボキシ	2	シャペロン	3	核膜孔	4	ゴルジ体	
	(1)	α -ヘリックス		β -シート	(2)	ジスルフィド結合(S-S結合)			
問2	(3)	酵素の活性部位は特定の立体構造をもち、その立体構造に合致する物質にのみ作用する。 (40字)							
問3	ア	オ							
問4	(1) 記述	B	根拠	ア	(2) 記述	A	根拠	ケ	
問5	界面活性剤で膜小胞が破壊され、膜小胞内のポリペプチドがタンパク質分解酵素によって分解された。(46字)								
問6	試料⑧と試料⑨のそれぞれの膜画分にタンパク質分解酵素を作用させ、これを電気泳動で展開すると、標識されたポリペプチドが試料⑧では検出されず、試料⑨では検出される。(80字)								

【配点】(25点)

問1 各1点×4 問2 (1) 各1点×2(順不同) (2) 1点 (3) 3点

問3 各1点×2(順不同) 問4 各2点(完答)×2 問5 4点 問6 5点

【解説】

問1 タンパク質を構成するアミノ酸は、炭素原子に水素原子、アミノ基($-\text{NH}_2$)、カルボキシ基($-\text{COOH}$)、側鎖が結合したものである。アミノ酸どうしの $-\text{CO}-\text{NH}-$ という構造の結合はペプチド結合と呼ばれ、一方のアミノ酸のカルボキシ基と他方のアミノ酸のアミノ基から水が1分子取り除かれて形成される。多数のアミノ酸がペプチド結合でつながったポリペプチドは、折りたたまれて特定の立体構造を形成し、タンパク質となる。細胞内ではシャペロンと呼ばれるタンパク質が、ポリペプチドの正常な折りたたみを助ける。シャペロンには、熱変性したタンパク質の立体構造を正常に戻すはたらきをもつものもあり、タンパク質の立体構造の形成に大きく影響を与える。タンパク質は、適切な場所に輸送されてはたらく。例えば、RNAポリメラーゼなどのように核内ではたらくタンパク質の場合は核に移行するためのシグナル配列をもち、そのシグナル配列のはたらきで核内に移動できる。一方、消化酵素やホルモ

ンなどのように細胞外に分泌されてはたらくタンパク質の場合は、合成途中のポリペプチドがもつシグナル配列により小胞体内に取り込まれ、その後、ゴルジ体で糖鎖の付加などの修飾を受けて細胞外へ分泌される。

問2(1)・(2) ポリペプチドのアミノ酸配列は一次構造と呼ばれ、これがタンパク質の立体構造を決定する。まず、少し離れた位置のアミノ酸の間で規則的に水素結合が形成されて、ポリペプチドはらせん状の α -ヘリックスやジグザグ状の β -シートという構造をとる。このような部分的な立体構造は二次構造と呼ばれる。また、システインというアミノ酸は側鎖に $-\text{SH}$ という構造(SH 基、チオール基)をもち、離れた位置のシステイン残基間ではジスルフィド結合(S-S結合)が形成されることがある。その他、クーロン力やファンデルワールス力などさまざまな要因により、ポリペプチドはより複雑な立体構造をとる。このような立体構造は三次構造と呼ばれる。また、ヘモグロビンなどでは、三

次構造をとったポリペプチドがいくつか集まつて複合体を形成する。このような立体構造は四次構造と呼ばれる。

(3) タンパク質には、酵素としてはたらくものがある。酵素は活性部位(活性中心)において反応する物質(基質)と結合してはたらくため、酵素の活性部位の立体構造に合致し、結合できる物質にしか作用しない。

問3 細胞外に分泌されるタンパク質としては、ホルモンや消化酵素などがある。インスリンはすい臓のランゲルハンス島のB細胞で合成・分泌されるホルモンであり、アミラーゼは唾腺やすい臓で合成・分泌される消化酵素である。チューブリンは細胞骨格である微小管を形成するタンパク質、コハク酸脱水素酵素はミトコンドリアでクエン酸回路の反応を触媒する酵素タンパク質、ミオシンは細胞骨格であるアクチンフィラメントと相互作用するモータータンパク質、ヘモグロビンは赤血球内に存在して酸素を運搬するタンパク質であり、これらはすべて細胞内ではたらく。

問4(1) タンパク質Pは細胞外に分泌されるタンパク質なので、ポリペプチドの末端のシグナル配列により、小胞体内部に取り込まれて立体構造を形成する。試料②では、ポリペプチドがミクロソームの膜小胞の内部に取り込まれると考えられるが、試料①と比べて分子量が小さくなっている。このことは、ポリペプチドの末端の一部が膜小胞内部で分解されることを示唆するので、Bが正しい。ポリペプチド末端のシグナルは、ポリペプチドが小胞体膜に結合するために必要であるが、ポリペプチドが小胞体内に取り込まれると不要となるため分解されると考えることができる。また、試料③と試料④から、タンパク質分解酵素を加えてもポリペプチドの分解は起こらないが、界面活性剤で膜小胞を破壊するとポリペプチドが分解されて検出されないので、ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれていることがわかる。

(2) 試料⑤では、ポリペプチドの合成終了後にミクロソームを加えているが、試料①と同じ分子量のポリペプチドが検出されている。また、試料⑥でタンパク質分解酵素を作用させると、

ポリペプチドが分解されて検出されないことから、試料⑤中のポリペプチドは膜小胞内に入らないことがわかる。これは、ミクロソームを加える前にポリペプチドが立体構造を形成していると膜小胞内に入ることができないと考えられるので、Aが正しい。試料③のように、ポリペプチドの合成前から膜小胞が存在すれば、図1に示すように、ポリペプチドが立体構造を形成する前に膜小胞内に入るので、タンパク質分解酵素を作用させても分解されない。

問5 問4の(1)で解説したように、試料③では、ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれており、タンパク質分解酵素が作用しない。試料④では、界面活性剤のはたらきで膜小胞が破壊され、膜小胞内に取り込まれていたポリペプチドがタンパク質分解酵素によって分解される。

問6 「タンパク質Pのアミノ末端から70番目～110番目のアミノ酸配列はポリペプチドが小胞体膜に結合するために必要であり、110番目～150番目のアミノ酸配列はポリペプチドが小胞体内に取り込まれるために必要である」という設問の記述にしたがって考える。試料⑦のポリペプチドは膜小胞に結合できておらず、試料⑧のポリペプチドは膜小胞に結合しているが取り込まれてはいないことになり、また、試料⑨のポリペプチドは膜小胞に取り込まれていると考えられる。しかし、実験4の結果のみから判断すると、試料⑧や試料⑨では、ポリペプチドが膜小胞の表面に結合しているが膜小胞内には入っていない状態なのか、ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれている状態なのかがわからない。これを明らかにするには、タンパク質分解酵素を用いた実験を行えばよい。もし、ポリペプチドが膜小胞の表面に結合しているだけなら、タンパク質分解酵素によって表面に結合しているポリペプチドは分解されるが、ポリペプチドが膜小胞内に取り込まれているなら、ポリペプチドは分解されない。よって、試料⑧と試料⑨の膜画分について、タンパク質分解酵素を加えた実験を行い、試料⑧ではポリペプチドが分解されてバンドが検出されないこと、試料⑨ではポリペプチドが分解されずバンドが検出されることを確かめればよい。

【小論文】

① 【日本語論述問題】

【解答例】

解答例 1

A L S のような進行性の難病においては、患者は身体が次第に不自由になり、日常生活や仕事を発病前と同様に続けるのが困難になる。一方で、避けられない終末まで患者には残された時間があり、病状が許す限りで可能となる生き方を考える必要がある。告知を受けて筆者は「死を覚悟して生きる」と覚悟を固めたわけだが、その時点では難病を抱えた生き方の中身まで考えることができてはいなかっただろう。発病後の QOL を高く維持するため、これまでとまったく違う形での生き方を考える必要と、病気と付き合いながら積極的に生きる（稼ぐ）可能性に気づいてもらうために、考え方を切り替えて今後に向き合うことを、I 医師は促したのだと思われる。

患者自身が発病後の人生に向き合うためには、告知時における患者の精神的衝撃を和らげ、告知後の心の落ち込みを少しでも軽減することが必要である。そのため配慮すべきことの一つは、患者の経験、性格、価値観などについて十分把握することだ。患者の個別性にあわせて、最も適切な告知・説明の仕方を考えることが重要なのだ。もう一つは、共感的態度で患者を受け止めつつ、患者自身が衝撃を乗り越えるように働きかけることである。安易に励ましたり希望をもたせたりするのではなく、患者の心の動きを詳細に観察しながら、考え方の切り替えを促すことで、患者は精神的苦痛を自ら克服することができるのだと思う。

解答例 2

限られた生存期間しか許されていない患者さんは、その事実から目を背け、無意味な延命治療や対症療法に固執しがちである。ここで「無意味」と言ったのは、「不可能」ということと同時に、最期に、真にその人らしい意義ある人生を送るためという観点から見て意味がない、ということを言い表すためである。この生の時間への無意味なこだわりを捨て、「人生をリセット」するために、I 医師はあえて下線部のように語ったのだろう。

ここで I 医師が配慮している第一の事柄は、患者さんにとって最高の QOL を実現することである。不治の病においては、治療を施し、延命するだけの医療は、患者さんの生存の質（QOL）を維持する上であまり意味がない。現代医療においては、患者さんにとって真に意味のある生存のあり方を保障するということが求められる。そのため必要な第二の事柄として、告知におけるイ

ンフォームド・コンセントの質が挙げられる。それはより深いレベルでの、患者さんのよりよい生存ということに関する、患者さんと医師による共同決定を導くものでなければならない。患者さん自身が、ただ単に受動的かつ依存的に、医師の提供する治療方針にすがって生きていくのではなく、むしろ自らの不治の病という状況に対して向き合い、主体的に生き方を選択することができなければならないのだ。

解答例 3

不治の病の患者への告知は、病状や治療方針を伝えるだけでは十分とは言えない。告知後の人生や生活に向けての、患者の姿勢を確立する必要がある。そのため、I 医師はあえて挑発的な発言をしたのではないか。I 医師の一見厳しい言葉の裏に、患者がこれからの時間をどう生き、医療がそれをどのようにサポートするかについての、医師の配慮を見て取ることができる。

第一に、患者の自己実現を目標とした告知は、一回限りで終わりというわけにはいかない。患者の残された人生の時間に寄り添い、長期間にわたって関わっていかなければなるまい。病状は変化するし、それに応じて患者や家族の考え方や希望も変わるだろう。患者が望む生き方を実現するためには、医師がそのつどの告知、アドバイス、サポートを行うことで、患者の自己決定をくり返し導いていくといった配慮が求められるのだ。それは、医師と患者間の、時間のかかる、一連の課題を解決していくための、共同作業であると言うことができる。

第二に、そうした意味での告知においては、患者本人の性格、価値観、人間関係、生活環境などについて、理解、共感することが求められる。患者や家族とのコミュニケーションを深め、信頼関係を築き、患者の人間全体を把握するよう配慮すべきだ。それで、患者にとって望ましい人生、生活のあり方を提示することが可能になるのではないか。

【配点】 100点

【解説】

【出題意図】

本問は医学部医学科の小論文入試のなかで、日本語による論述 1 題を課すタイプの問題に対応して作られている。このような問題を出す大学のなかで、本模試の対象である前期日程の和歌山県立医科大学と信州大学では、ここ数年、短い文章や図表を読み、その内容について考えたことを論述する問題が出題されている。

医学部小論文入試の論述テーマは、患者と医師の望ましい関係、地域医療や高齢者医療の課題、先端医療技術とともに倫理的問題など、多岐にわたる。そ

したなかで、今回は難病告知をテーマとして取り上げた。医療の大きな目的が、病気の治療にあることは、言うまでもない。しかし、医療現場においては、不治・難治の病と、それを抱えた患者に対応する必要が存在する。

不治という重い事実に向き合いながら、病に苦しむ患者を受け止め、その患者に対して何ができるかを考える感性と資質が、医師には求められるのだ。そのため、末期がん告知や終末期における医療などをテーマとする問題が、医学部入試では一定の割合で出題される。今回のテーマは、そのような出題に対応したものである。

〔課題文解説〕

出典は、浅見昇吾編『死ぬ意味と生きる意味——難病の現場から見る終末医療と命のあり方』（上智大学新書、2013年）に収録された、船後靖彦「社会組織に於ける障害者論（序説）」。筆者は42歳でALSを発病し、全身麻痺になりながら、歯でかむセンサーを使ってパソコンを操作し、詩や童話などを創作している。また、難病患者の立場からその方面での著述も多い。

課題文は、ALSを発病した筆者が、初めて告知を受けてから、専門医のI医師を訪ねて説明を受け指示を受けるまでの、経緯と心情を語ったものである。ALSは進行する筋肉の萎縮と筋力低下をきたす神経変性疾患で、有効な治療法は確立されておらず、3年から5年で呼吸筋麻痺により死に至る。人工呼吸器を装着すれば延命は可能だが、気管を切開するため声は出せなくなり、一日に何度も痰を吸引しなければならない。本人だけでなく、家族の介護と経済的負担も大きい。

若干の語彙を除けば、課題文は難解ではなく、表面的に内容を読み取ることは困難ではないだろう。不治の病を宣告された筆者の絶望感や苦悩は、わがことのように理解はできないまでも、共感することは可能であるはずだ。ただ、医系小論文としての論述に臨むにあたっては、患者側の視点だけでなく、医療の視点からもとらえてみることが必要である。

何ヵ月かの間I医師が「ALSは不治である」という説明をくり返したとあるが、もちろん文字通りこの言葉だけをくり返したわけではないだろう。病気の原因、症状、可能な対処法などについて、どのような説明がなされたのか（なされるべきだったのか）を、あれこれ考えてみるとよい。また、この時間をかけた説明を通じて、「ALSは不治である」という言葉を、筆者が自分にとっての現実として「納得」するように

なっていることにも注目したい。このような納得（病の受容）を成立させることができ、患者が今後の人生設計に前向きに取り組むために重要なこと。

I医師の筆者への対応や、下線部の言葉を理解する上では、彼を推薦した研修医の言葉を踏まえることも必要だ。I医師が多くの患者に慕われているドクターであること、「様々な生き方を教えてくれる」ことを念頭に置くと、彼の対応と言葉の意味が、よりよく理解されるだろう。ちなみに、出典では課題文の後に、筆者自身がI医師の対応をのちにどのように理解したかが述べられている。やや長くなるが紹介しておこう。

時も流れ2002年4月、私は、H病院に長期入院をする事になった。

それは入院をしてから、暫くしての事だった。H病院でALSの妻と健常者の夫との、ALSという死病に真っ向から挑む、相生の松のようなご夫妻の講演があった。

その時私は見た。確かに見た。ご夫妻の話が終わった途端、I医師がすぐと立ち上がり、溢^{こぼ}す涙を拭^{ぬぐ}おうともせず、ご夫妻に繰り返し拍手をおく姿を。

その時私はかつて観た、I医師編纂のALSの人々の生活と活動の記録ビデオを、医師がただ「観なさい」とだけ言って渡してくれた情景を、さまざまと思い出し、そして気づいた。

2000年6月の初診療を含め、7月、8月と3か月にわたりALSは不治であると説明したのは、言外に「ALSを罹患した者は呼吸が停止するまで3年しか無い！」早急にALSは不治と自覚し、呼吸器装着での延命を希望する者は、これから生きてゆく上での目標を定めなくてはならない。また、人生を全うする者は、西方浄土へ旅立つ前に、家族や友人との時間を大切にし、残す彼らに出来得るだけ悲しみを遺すまいとするのが務めだ」という事を言いたかったのだと。

また、同年9月の「何かで稼げ」という指導は、「ALSになっても、社会に復帰したい、つまり自律^{ほきり}したいという思いが埃程^{ほこり}あれば、たとえ手足が動かずとも、たとえ呼吸器を装着していようとも、いつの日か必ず自律出来る！」との信念があつてこそこの指導だったのだと。

こと、私だけの事に関して言えば、自暴自棄のうちに意識下に沈めてしまった「生きて社会に帰りたい！再び自律した生活を営みたい！」という望みを、救わんとしての指導だったのだと。

ここで注目したいのは、I 医師の「何かで稼ぎなさい」という言葉を、文字通り経済的な意味での「自立」ではなく、自分で自分の生き方を決める「自律」を促すものと、筆者が受け止めていることである。筆者の解釈が絶対的な正解だと受け取る必要はないが、I 医師との関わりのなかで、難病を抱えた人生における自律の重要性を自覚するようになっていることを、心に留めておくとよいだろう。

〔設問解説〕

I 医師が筆者に「あなたが過去やってきた事の全てをゼロとし、人生をリセットしなさい。そして何かで稼ぎなさい」と言った理由を推測し、不治の病を告知する際に配慮すべきことを二つ挙げて論じることが求められている。推測と二つの配慮を丁寧な理由説明とともに提示すれば、指定字数の600字を埋めることは難しくないだろう。

しかし、推測と二つの配慮が、相互に無関係なまま並列されているだけでは、統一された論文とは見なされない。不治の病の患者に対して医療は何をすべきか、告知の目的とは何かといったことをよく考え、推測と配慮とが連関した論述を構成することが求められる。

告知を単純に病名を伝えることだけととらえると、I 医師と筆者の面談は最初の告知後の出来事であるため、I 医師の言葉と告知の際の配慮との結びつきが見えてこない。だが、ALS のような難病の場合、患者が自らの病気を受け入れ、今後の人生に前向きに取り組めるようになるのに時間がかかるため、告知自体が時間をかけた長いプロセスとなると考えられる。I 医師の言葉はそのようなプロセスのなかに位置づけることができる。

I 医師がこの言葉を発した理由に関しては、一つの正解があるわけではなく、各自の解釈によって多様性が生じうる。だが、この言葉が、考え方の切り替えを促していること、新しい生き方の発見を求めていることを踏まえる必要がある。あえて患者を挑発するような I 医師の表現のなかに、経験を積んだ専門医として患者に何を伝え、どのような姿勢をもたらせようとしたのかを、じっくり考えてから、解答作成に臨まなければならない。

告知の際に配慮すべきこともまた多岐にわたり、解答の方向性は一つに限られない。ただ、適切な内容であるためには、告知の目的とは何かをよく考えることが重要である。告知は病名を患者に告げさえすれば終わりというものではない。今後の治療方針を決定し、

患者の人生設計を支援するための前提として必要となるものである。I 医師の言葉もそのことと関連している。それを十分意識しながら、何に配慮すべきかを考えていこう。

二つの配慮は、それぞれが互いにはっきり区別される、明確なものであることが求められる。また、ひとつの配慮のなかに、様々に異なる要素が混在するのも好ましくない。信州大学では、複数の論点を示すことを求める出題が続いている。漫然と思いついたことを記述していくのではなく、論点を明確にする意識をもって、論述に取り組むことが求められる。

以上の留意点を踏まえて、具体的にどのような論述の方向性があるかを、解答例に基づいて検討することにしよう。

解答例 1は、患者の精神的衝撃・苦痛の軽減に的を絞って、告知の際に配慮すべきことを論じている。自分が不治の病におかされていることを知れば、ショックや苦悩が大きいだろうことは容易に想像できるから、この観点から配慮を論じた受験生は多いだろう。だが、単に精神的ケアが必要だといったことを述べるだけでは、二つの配慮を挙げた論述にならない。この解答例では、I 医師の言葉が示している考え方の切り替えと重ねることで、患者自身による困難の乗り越えを支援するという、二番目の配慮を提示することができているのだ。

解答例 2は、I 医師の言葉にある「人生のリセット」に注目しつつ、告知の際に配慮すべきこととして、最高の QOL の実現とインフォームド・コンセントを挙げている。ALS を発病することで、従来の生活をそのまま継続することは不可能になるのだが、患者にとってその事実を受け入れるのは容易ではなく、無意味な治療に固執してかえって QOL を低下させてしまう。従って、何よりも最高の QOL 実現を重視し、インフォームド・コンセントに基づく患者と医師の共同決定により、最良の選択を実現する必要があるのだ。QOL 向上とインフォームド・コンセントは、どんな医療場面でも求められるものであるが、「人生のリセット」との関わりで丁寧に説明することで、設問の要求を満たし、論述を統一していることに注目してほしい。

解答例 3は、告知が時間をかけたプロセスであることを意識しながら、患者が望む生き方の実現のために、医師が配慮すべきことを論じている。I 医師の一見厳しい言葉は、患者自身が今後の人生に向けて姿勢を確立するための挑発ととらえられている。そのような推測のもとで、その言葉の裏に医師の配慮を読み

取っている。患者が自分の望む生き方を実現するためには、その意思決定の過程に寄り添いながら、くり返し支援していく必要がある。そのためにはまた、性格・価値観・人間関係・生活環境などをすべて含め、患者を全人的に把握し共感する必要がある。このように二つの配慮を示している。患者自身に必要となる姿勢の確立と、医師の側からのサポートにおける配慮を、I 医師の言葉から導き出し、全体が統一された論述を構成していることは、大いに参考にできるだろう。

② 【英文問題】

【解答例】

問 1

最初の症状は全身の痛みで、患者は体に触られるのを嫌がるほどである。紫斑が体中、とくに下半身に広がり始める。その後、歯を噛み合わせられないほど歯ぐきが腫れ上がり、患者は水を飲むことしかできない。ついには、話をしている途中でも、突然、患者は死んでしまう。

問 2

壊血病の船員がサボテンの果実を食べたところ、症状が改善したのがきっかけとなり、長距離航海中に起こる果実と野菜の不足がこの病気の原因と判明した。1700年代後半にイギリス海軍は数百万ガロンものレモン果汁を艦船に積み込むようになり、壊血病の撲滅につながった。そしてアルベルト・セント=ジェルジは、壊血病治療に有効な成分がビタミンCであることを1928年に発見した。

問 3

ビタミンは小分子だが、ヒトを含め、あらゆる生物において、タンパク質を補助することにより、タンパク質だけでは起こせない多様な化学反応が可能になっているということ。

問 4

ビタミンDは、皮膚でコレステロール前駆物質に紫外線が当たったときに作られる。だが、ヒトがアフリカの赤道付近から高緯度地域へと移住すると、日中の太陽高度がそれ以前よりも下がってしまい、ビタミンD合成に必要な紫外線が十分に供給されなくなった。その結果、ヨーロッパ人とアジア人はわずか数千年間でより白い肌へと進化し、健全な量のビタミンD補充を継続できるようになった。

問 5

ビタミンC合成に必要なGULO遺伝子に突然変異が起こり、その機能が失われたのは、ヒトの祖先がビタミンCの豊富な果実や葉へと食料を切り替えた後だったため、体内で合成できなくても、外部から摂取可能な生息環境

であれば生存に差し支えがなかったから。

問 6

海洋に生息する細菌の多くはビタミンを自給自足できないのに、ビタミンCの不足を原因とするヒトの壊血病に相当する障害は見られない。これは、海洋環境下の細菌が不足分のビタミンを外部からつねに供給されているためだろう。細菌の種ごとに、ビタミン産生を分業し、互いに融通していると考えられる。

【配点】 100点

【解 説】

生物の生存や生長には、タンパク質、脂肪、炭水化物のほかにも、微量ながら必要不可欠な栄養素が2種類ある。1つは、ナトリウム、カリウム、カルシウム、鉄、リンなどの無機塩類、もう1つが本問の主題にもなっているビタミンである。ビタミン不足が健康に深刻な影響を及ぼすことは、現代ではもはや常識だろう。もともとビタミンは、偏った食事に起因する病気の原因を調べている過程で発見されたものであった。壊血病とビタミンCは、その一例である。歴史的なエピソードからビタミンの考察が始まる課題文は、医学を志している受験生なら、興味深く読み進めることができただろう。やや長いものの、難度としてはごく平均的な英文である。見慣れない英単語の多さに驚いた人がいるかもしれないが、すべて単語注がつけられているので、読解上の大きな障害にはならなかっただろう。この時期の受験生諸君にとって、大いに挑みがいのある英文であったにちがいない。以下に、課題文の【参考訳】と【語句解説】をあげておく。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】

スペイン艦隊の乗組員が重病に罹ったのは、1602年にメキシコの太平洋岸を北上しているときのことだった。「最初の症状は全身の痛みで、患者は体に触られるのを嫌がるほどである。紫斑が体中、とくに下半身に広がり始める。その後、歯を噛み合わせられないほど歯ぐきが腫れ上がり、患者は水を飲むことしかできない。ついには、話をしている途中でも、突然、患者は死んでしまう」と、この遠征に同行した司祭アントニオ・デ・ラ・アセンシオンは書いている。

乗組員は壊血病を患っていたのである。壊血病は、当時、いやというほど身近でありながら、とても謎めいた病気だった。なぜ船員が発病するのか、どうすれ

ば治療できるのか、誰にもわからなかったのである。だがアセンシオンは、1602年のこの航海で、奇跡としか思えない出来事を目撃した。上陸して死者を埋葬しているとき、壊血病に罹った乗組員の1人が、サボテンの果実を取って食べた。すると、気分がよくなり始めたのである。仲間の乗組員たちもこの船員にならった。「船員たちはみな、サボテンの果実を食べて、船に持ち帰るようになった。その結果、2週間後には、全員が回復した」と、この司祭は書いている。

続く2世紀の間に、壊血病の原因は長距離航海中に起こる果実と野菜の不足であることが徐々に明らかになっていた。1700年代後半になると、イギリス海軍が数百万ガロンものレモン果汁を艦船に積み込むようになり、壊血病の撲滅につながった。だが、壊血病の治療に有効な成分、すなわちビタミンCがハンガリー人の生化学者アルベルト・セント=ジェルジによって発見されたのは、1928年になってのことである。

20世紀初頭には、ビタミンの謎を解き明かす研究が続々と行われた。セント=ジェルジの実験もその1つである。ヒトの身体には微量ながら13種類の有機分子が必要であることを、科学者たちは発見した。ビタミンは、どれが不足した場合にも、さまざまな病気になる。ビタミンAの不足は失明、ビタミンB₁₂不足は重い貧血、ビタミンD不足はくる病の原因である。

今日、ビタミンの理解を目指して膨大な数の研究が行われている。どのビタミンも、私たち自身か他の生物種の生細胞内で作られる。たとえばビタミンDは、私たちの皮膚でコレステロールの前駆物質に日光が当たったときに作られる。またレモンの木は、グルコースからビタミンCを作る。ビタミンは、途方もなく入り組んだ工程を経由して作られることが多い。ある生物種では、22種類ものタンパク質を使ってビタミンB₁₂分子が合成されている。

タンパク質を構成する原子が数千にも及ぶことがあるのに対して、ビタミンはほんの数十の原子から構成されていることもある。しかし、小分子ではあるものの、私たちの身体では、ビタミンのおかげでより多様な化学反応が可能になっている。タンパク質だけでは不可能かもしれない場合でも、ビタミンが協力してくれるおかげで、タンパク質は化学反応を進めることができるのである。たとえばビタミンB₁は、タンパク質が分子中から二酸化炭素を取り出すのを手助けしている。ビタミンによってこうした化学反応が起こっているのは、私たち自身の身体だけではない。あらゆる生物において、そうなのである。(b)全生物に共通するこの化学は、おそらく進化の結果なのだろう。

ビタミンを作る能力がひとたび進化してしまうと、ビタミン合成をとりわけ得意とする生物種が現れた。たとえば植物は、ビタミンC製造工場へと進化を遂げ、その葉と果実はビタミンC分子であふれている。おそらく、最初、ビタミンCは植物をストレスから防衛していたのだろう。これは、私たちヒトを含め、他の生物にも見られるビタミンCの機能である。しかし、時間が経つにつれて、このビタミンは植物の中で、果実の発達を制御するなど、新たな役割を担うようになった。

植物がこれほど熟練したビタミンC製造者になるまでは、数億年を要した。だが、ずっと短い期間でも、ビタミン産生に変化が起こることがある。私たち自身の祖先がビタミンD産生を変えるのに必要としたのは、ほんの数千年にすぎない。ヒトがアフリカの赤道付近から高緯度地域へと拡散していくと、上空の太陽はそれまでよりも低い位置までしか上がらないため、紫外線が十分に供給されなくなってしまった。だがヨーロッパ人とアジア人は、より白い肌へと進化することによって、健全な量のビタミンD補充を継続できたのである。

ビタミンDとKを除くと、私たちヒトは、健康の維持に必要なビタミンのいずれをも作ることができない。私たちの祖先がそのいくつかを合成できたこともあるが、合成能力は失われてしまったのである。たとえば、私たち哺乳動物の1億年前の祖先は、自力でビタミンCを作ることができたので、けっして壊血病には罹らなかった。脊椎動物の多くは、いまでもビタミンCを合成できる。しかも、その際、祖先と同一の遺伝子群を使う。だが、カエルやカンガルーとは違って、私たちヒトでは、こうした遺伝子の1つ、GULOという名で知られる遺伝子に、機能喪失性の突然変異が起こっている。GULOタンパク質を作れないため、ビタミンC産生は私たちには不可能なのである。

「私たちヒトだけではありません。話はずっと昔に遡るのです」と、オタワ大学の分子進化生物学者ガイ・ドルアンは言った。彼とその共同研究者たちが発見したところによれば、靈長類のなかで私たちヒトに最も近縁な類人猿やサルでは、GULO遺伝子の機能が失われており、その多くに同じ突然変異が起こっている。およそ6000万年前に、私たちヒトとこれら他の靈長類との共通祖先がビタミンC産生能力を失ってしまったのだと、ドルアン博士は結論を下している。

コウモリや鳴禽など、他のいくつかの系統でも、靈長類の場合と同じようにGULO遺伝子の機能が失われている。科学者たちの発見によれば、動物が食料を

ビタミンCの豊富なものへと切り替えると、その後、ビタミンCの合成能力は失われやすいという。たとえば、私たち靈長類の祖先が果実や葉を食べ始めたとき、必要量をはるかに上まわるビタミンCが補充されることになった。自立した生存を可能にしてくれる遺伝子を失うというのは、直観に反すると思われるかもしれない。しかし、ビタミンに囲まれた環境に長期間ずっといるのなら、その遺伝子を使う必要はないのである。

科学者たちは数千もの生物種のゲノムを調べることができるようになったため、ビタミンの遺伝子に欠陥があったり、遺伝子そのものが完全に失われたりしている事例が次々に発見されている。南カリフォルニア大学のセルジオ・サヌード=ウィルヘルミーとその同僚は、最近、海洋に最も多く生息する細菌のうち、400種のゲノムを調べた。発表予定の論文で報告されているところによれば、細菌の24%がビタミンB₁を作る遺伝子を欠いており、63%の細菌がビタミンB₁₂を作れないという。

こうした近年の研究はとりわけ驚くべきものである。それは、細菌がこれまでずっと、ビタミンに関しては自給自足だと考えられてきたからにはかならない。いまや科学者たちは、(c) 海洋に生息する多数の細菌種が微生物版の壞血病で死んでしまうことがないのはなぜなのか、その解明に取りかかる必要がある。

科学者たちが海でビタミン量を測定するようになったのは、最近のことすぎないが、ビタミンが豊富な場所もあれば、ビタミンの砂漠も存在することが判明しつつある。この違いは、細菌や藻類だけではなく、それらを餌とする動物にまで影響を及ぼしているのかもしれない。

ビタミンは、海洋だけではなく、陸上においても、複雑な経路で運ばれていく。たとえば、私たちヒトは自力ではビタミンB₁₂を補充できないので、食物から摂取しなければならない。1つの方法は、牛肉など、ビタミンB₁₂を含む肉を食べることである。だが、私たちが食べている牛などの動物もまた、自身の細胞内ではビタミンB₁₂を作れないことがわかっている。そうした動物では、代わりに、腸内細菌がビタミンB₁₂を作ってくれているのである。

私たちの身体にもまた、数千種もの細菌が生息している。この細菌たちは、私たちが食物を摂取すると、それを食べてビタミンを合成する。すると私たちは、体内におけるビタミンの流通に依存しているということになるのだろうか。いまだ理論段階にすぎないのだが、私たちに必要なビタミンの一部は細菌によって供

給されているという証拠が集まりつつある。これが本当に事実なら、私たちの身体は、広大で自己充足的なビタミン流通網として捉えられるべきなのかもしれない。

〔語句解説〕

第1段落

- ・ a Spanish fleet 「スペイン（の）艦隊」
- ・ sail up the coast 「海岸沿いに（船で）北上する」
- ・ the Pacific coast of Mexico 「メキシコの太平洋岸」
- ・ become deathly ill 「重病に罹る」
- ・ pain in the whole body 「全身の痛み」
- ・ make O C 「OをCにする」
- ・ make it sensitive to touch 「触られることに対して敏感にする」 状況を漠然と指すitの用法。
- ・ a purple spot 「紫斑」〔内出血によって皮膚表面にできる赤紫色の斑〕
- ・ especially 「とくに」
- ・ from the waist down 「下半身で」
- ・ so ~ that ... 「とても～なので……／……であるほど～」
- ・ swollen 「腫れ上がった」
- ・ bring the teeth together 「歯を噛み合わせる」
- ・ they are 壊血病患者を指す。
- ・ finally 「ついには／結局は」
- ・ all of a sudden 「突然」
- ・ while talking = while they were talking
- ・ Antonio de la Ascensión 「アントニオ・デ・ラ・アセンシオン」〔スペイン人の司祭〕
- ・ an expedition 「遠征／探検旅行」

第2段落

- ・ suffer from A 「A〔病気〕を患う」
- ・ both A and B 「AもBも」
- ・ bitterly 「痛烈に」
- ・ familiar 「なじみある／身近な」
- ・ mysterious 「謎めいた／不思議な」
- ・ it struck = scurvy struck
- ・ strike O 「（病気・苦痛・死が）Oを襲う」
- ・ a sailor 「船員」
- ・ cure O 「Oを治療する」
- ・ witness O 「Oを目撃する」
- ・ what he considered a miracle 「（アセンシオンが）奇跡だと思ったもの」
- ・ consider O C 「OをCとみなす」
- ・ While ~, ... 「～の間、……」

- bury the dead 「死者を埋葬する」
- a cactus fruit 「サボテンの果実」
- feel better 「気分がよくなる」
- a crewmate 「乗組員仲間」
- follow a person's example 「人の例にならう」
- bring O back on board 「Oを船に持ち帰る」
- so that ... 「その結果、……／すると、……」
- after another two weeks 「2週間後／さらに2週間経つと」

第3段落

- over the next two centuries 「続く2世紀の間」 この前置詞 over は期間を表す。
- it gradually became clear that ... 「徐々に……（であること）が明らかになった」 it は that 以下を指す仮主語。
- cause O 「Oを引き起こす／の原因となる」
- a lack of A 「Aの不足／欠乏」
- a long-distance voyage 「長距離航海」
- the late 1700s 「1700年代後半」
- the British Navy 「イギリス海軍」
- supply O with A 「OにAを補充する／積み込む」
- millions of gallons of lemon juice 「数百万ガロンのレモン果汁」
- it wasn't until A that ... 「……はA〔時点〕になってからのことである／Aになってようやく……」
- Hungarian 「ハンガリー人の」

第4段落

- part of A 「Aの一部」
- a wave of A 「Aの群れ／大量のA」
- pull back the curtain on A 「Aの秘密を明らかにする」 元来は、カーテンを引いて、その背後に隠れていたAを見せるという意味。
- discover that ... 「……（であること）を発見する」
- the human body 「ヒトの身体」
- require O 「Oを必要とする」
- minuscule amounts of A 「微量のA」
- 13 organic molecules 「13種類の有機分子」 ヒトに必要なビタミンが全部で13種類 (A, B₁~B₃, B₅~B₇, B₉, B₁₂, C, D, E, K) であることを指している。
- a deficiency of A 「Aの不足／欠乏」
- lead to A 「Aを引き起こす／の原因となる」
- blindness 「失明」
- severe anemia 「重い貧血」

第5段落

- a huge amount of A 「膨大な量のA」

- go into A 「(時間・労力・予算が) Aに費やされる」
- a living cell 「生細胞／生体の細胞」
- species 「生物種」
- for example 「たとえば」
- sunlight 「日光」
- strike O 「(日光が) Oに当たる」
- make O out of A 「AからOを作る／合成する」
- enormously 「途方もなく」
- a process 「工程」
- it takes O to do 「～するにはO〔材料・労力〕が必要である」
- craft O 「Oを（念入りに）作る」

第6段落

- While ~, ... 「～（である）のに対して、……／～（である）一方で、……」
- be made up of A 「Aから作られている」
- thousands of A 「数千のA」
- just 「ただ／わずかに」
- a few dozen = a few dozen of atoms 「数十（個）の原子」
- and yet 「しかし」
- despite A 「Aにもかかわらず」
- their small size = vitamins' small size
- expand O 「Oを拡張する」
- chemical 「化学的な」
- cooperate with A 「Aと協力する」
- help them carry out = help proteins carry out
- help O do 「Oが～するのを助ける」
- carry out O 「Oを実行する」
- a reaction 「(化学) 反応」
- reactions they couldn't manage on their own = reactions which[that] proteins couldn't manage on their own 目的格の関係代名詞 which[that] の省略。
- manage O 「Oを処理する」
- on one's own 「自分で／独力で」
- pull O from A 「AからOを取り出す」
- carbon dioxide 「二酸化炭素」
- not just A but B 「AだけではなくBも」
- a living thing 「生物」
- universal 「すべてに共通の／普遍的な」
- likely 「おそらく……だろう／……の見込みが大きいにある」 全文修飾の副詞
- the result of A 「Aの結果／帰結」
- evolution 「進化」

第7段落

- Once ~, ... 「ひとたび～（になる）と、……」
- the ability to do 「～する能力」
- evolve 「進化する」
- good at doing 「～するのが得意な」
- making them = making vitamins
- a plant 「植物」
- evolve into A 「Aに進化する／進化してAになる」
- a factory 「製造所」
- pack O with A 「OにAを詰める／AでOを満たす」
- a leaf 「葉」
- the molecule = the molecule of vitamin C
- at first 「最初は」
- probably 「おそらく」
- defend O against A 「OをAから守る」
- stress 「ストレス」
- a function 「機能」
- a function it carries out in other species = a function which[that] vitamin C carries out in other species 目的格の関係代名詞 which[that] の省略。
- include O 「Oを含む」
- over time 「時が経つにつれて」
- take on A 「A〔使命・役割〕を引き受ける／担う」
- a job 「任務／仕事」
- like A 「Aのような」
- control O 「Oを制御する」
- the development of fruit 「果実の発達」

第8段落

- it takes O for A to do 「Aが～するのにO〔時間〕だけかかる」
- hundreds of millions of years 「数億年」
- proficient 「熟練した／巧みな」
- a manufacturer 「製造者」
- vitamin production 「ビタミン産生」 生体内での高分子合成のことを「産生」と言う。
- in far less time = in far less time than hundreds of millions of years
- an ancestor 「祖先」
- alter O 「Oを変える」
- leave O 「Oを離れる／去る」
- equatorial Africa 「アフリカの赤道付近」
- spread to A 「Aにまで拡散する」
- higher latitudes 「高緯度地域」
- evolve O 「Oを進化させる」
- light skin 「白い皮膚」

- a European 「ヨーロッパ人」

- an Asian 「アジア人」
- be able to do 「～することができる」
- continue doing 「～し続ける」
- make a healthy supply of A 「健全な量のAを補充する」

第9段落

- aside from A 「Aは別にして／を除くと」
- the vitamins we need to stay healthy = the vitamins which[that] we need to stay healthy 目的格の関係代名詞 which[that] の省略。
- stay healthy 「健康を維持する」
- in some cases 「いくつかの場合では」
- make them = make vitamins
- our mammalian ancestors 「私たち哺乳動物の祖先」
- 100 million years ago 「1億年前」
- get scurvy 「壞血病に罹る」
- an identical set of genes 「同一の遺伝子群」
- to do so = to make vitamin C
- unlike A 「Aとは異なり」
- a frog 「カエル」
- a kangaroo 「カンガルー」
- a crippling mutation 「機能喪失性の突然変異」
- known as A 「Aという名称で知られている」
- unable to do 「～することができない」
- the GULO protein 「GULO タンパク質」 [ビタミンCの合成に必要な酵素グロノラクトンオキシダーゼ。GULO は、gulonolactone oxidase の略称]

第10段落

- a molecular evolutionary biologist 「分子進化生物学者」
- the University of Ottawa 「オタワ大学」
- find that ... 「……（ということ）を発見する」
- an ape 「類人猿」 類人猿には、チンパンジー、ボノボ、ゴリラ、オランウータン、テナガザルが含まれる。
- close 「近縁の」
- a relative 「親類／血族」
- disable O 「Oの能力を奪う／を無効化する」
- GULO genes 「GULO 遺伝子」 [GULO タンパク質をコード化している遺伝子]
- conclude that ... 「……という結論を下す」
- the common ancestor 「共通祖先」
- the common ancestor we share with those other primates = the common ancestor which[that] we

share with those other primates 目的格の関係代名詞 which[that] の省略。

- share O with A 「OをAと共有する」
- around 60 million years ago 「およそ6000万年前」

第11段落

- as ... 「……であるように」
- it did in primates = the *GULO* gene became disabled in primates
- become disabled 「機能を失う」
- a bat 「コウモリ」
- a songbird 「鳴禽」〔ヒバリ、ツバメ、スズメなど、スズメ亞目に属する鳥の総称〕
- tend to do 「～しやすい／する傾向がある」
- a switch to A 「Aへの切り替え／変更」
- a diet rich in it = a diet rich in vitamin C
- rich in A 「Aが豊富な」
- start doing 「～し始める」
- than they needed = than our primate ancestors needed
- It may seem counterintuitive that ... 「……（であること）は直観に反すると思われるかもしれない」 it は that 以下を指す仮主語。
- enable O to do 「Oが～することを可能にする」
- independent 「自立した」
- surround O 「Oを取り囲む」
- for a long period of time 「長期間」
- need to do 「～する必要がある」

第12段落

- Now that ~, ... 「(いまや) ～なので, ……」
- scan O 「Oを詳しく調べる」
- a case 「事例／実例」
- either A or B 「AまたはB」
- decay 「崩壊する／腐敗する」
- disappear 「消失する」
- the University of Southern California 「南カリフォルニア大学」
- a colleague 「同僚」
- survey O 「Oを調べる」
- abundant 「豊富な」
- the oceans 「海洋」
- a paper to be published 「発表予定の論文」
- lack O 「Oを欠く」

第13段落

- self-sufficient 「自給自足の／自立した」
- when it comes to A 「Aに関しては」
- figure out O 「Oを解明する／理解する」

• be dead from A 「Aが原因で死ぬ」

• a microbial version of scurvy 「微生物における壞血病相当の病気」 ほどの意

第14段落

- Only recently have scientists made measurements of vitamins in the sea. = Scientists have only recently made measurements of vitamins in the sea.
- be abundant with A 「Aが豊富である」
- abundant with them = abundant with vitamins
- a desert 「砂漠／不毛の地」
- It is possible that ... 「……（ということ）は可能である／……かもしれない」 it は that 以下を指す仮主語。
- influence O 「Oに影響を及ぼす」
- feed on them = feed on bacteria and algae
- feed on A 「Aを常食とする／餌とする」

第15段落

- complex 「複雑な」
- on land 「陸上で」
- make one's own supply of A 「Aを自力で補充する」
- get it = get vitamin B₁₂
- contain O 「Oを含む」
- It turns out that ... 「……（ということ）がわかっている」 it は that 以下を指す仮主語。
- instead 「代わりに」
- manufacture it for them = manufacture vitamin B₁₂ for the cows and other animals
- manufacture O 「Oを製造する」

第16段落

- be home to A 「Aの本拠地である／所在地である」
- synthesize O 「Oを合成する」
- Does that mean ... の that は、直前にある一文の内容を指す。
- mean (that) ... 「……（ということ）を意味する」
- depend on A 「Aに依存している」
- internal 「体内の」
- vitamin traffic 「ビタミンの流通」 さまざまな生物の間をビタミンが移動していく様子を流通にたとえている。
- It's still theoretical, ... の It は、直前一文中にある we depend on our internal vitamin traffic の内容を指す。
- still 「依然として／まだ」

- theoretical 「理論的な」
- evidence is building that ... 「……という（ことを示す）証拠が集まりつつある」that 以下は、evidence と同格の名詞節。
- provide O 「Oを供給する」
- If that's so = If bacteria can provide some vitamins that we need
- think of A as B 「AをBとみなす」
- self-contained oceans of vitamin traffic 「広大で自己充足なビタミン流通網」ほどの意

〔設問解説〕

問1は、ごくふつうの和訳問題である。直後にある第2段落冒頭の一文から、下線部(a)が1602年当時の壞血病患者を描写したものであることはすぐにわかっただろう。この下線部は第1文、第2文とも、英文としてはきわめてやさしい。患者の姿を具体的に思い浮かべながら、ケアレスミスに注意して、自然な日本語表現になるように訳文を工夫しよう。詳細は、〔語句解説〕を参照してほしい。

問2では、壞血病の原因はビタミンC不足であることがアルベルト・セント=ジェルジによって突きとめられるに至るまでの経緯が問われている。設問文の指示「まとめなさい」から明らかなように、解答すべき論点はすべて課題文に書かれている。1928年にビタミンCを発見した科学者としてAlbert Szent-Gyorgyiの名が登場するのは第3段落末尾だが、そこまでの「経緯」をまとめるのだから、まずは17世紀初頭に目を向けなければならない。すなわち、第2段落である。

The crew was suffering from scurvy, a disease that was then both bitterly familiar and deeply mysterious. No one knew why it struck sailors or how to cure it. But on that 1602 voyage, Ascension witnessed what he considered a miracle. While the crew was ashore burying the dead, one sick sailor picked up a cactus fruit to eat. He started to feel better, and his crewmates followed his example. "They all began to eat them and bring them back on board so that, after another two weeks, they were all healed," the priest wrote. (乗組員は壞血病を患っていたのである。壞血病は、当時、いやというほど身近でありながら、とても謎めいた病気だった。なぜ船員が発病するのか、どうすれば治療できるのか、誰にもわからなかったのである。だがアセンションは、1602年のこの航海で、奇跡としか思えない出来事を目撲した。上陸して死者を埋葬しているとき、壞血病に罹った乗組員の1人が、サ

ボテンの果実を取って食べた。すると、気分がよくなり始めたのである。仲間の乗組員たちもこの船員にならった。「船員たちはみな、サボテンの果実を食べて、船に持ち帰るようになった。その結果、2週間後には、全員が回復した」と、この司祭は書いている。)

ここでは、きっかけとなる重大な事件が紹介されている。壞血病に罹った船員の1人が上陸時にサボテンの果実を食べたのは、おそらくはまったくの偶然だろう。誰にも治せなかつた謎の病気の症状が改善していくのを目の当たりにしたアセンションは、さぞや驚いたにちがいない。他の船員たちも同じように回復していった。この司祭にとっては、まさに奇跡に見えたことだろう。だが、原因が特定されるのはまだまだ先である。第3段落に移ろう。

Over the next two centuries, it gradually became clear that scurvy was caused by a lack of fruits and vegetables on long-distance voyages. In the late 1700s, the British Navy started supplying its ships with millions of gallons of lemon juice, eradicating scurvy. But it wasn't until 1928 that the Hungarian biochemist Albert Szent-Gyorgyi discovered the ingredient that cured scurvy: vitamin C. (続く2世紀の間に、壞血病の原因是長距離航海中に起こる果実と野菜の不足であることが徐々に明らかになっていった。1700年代後半になると、イギリス海軍が数百万ガロンものレモン果汁を艦船に積み込むようになり、壞血病の撲滅につながった。だが、壞血病の治療に有効な成分、すなわちビタミンCがハンガリー人の生化学者アルベルト・セント=ジェルジによって発見されたのは、1928年になってのことである。)

冷蔵庫も冷凍庫も存在しなかった時代のことである。長距離航海船の食料は、当時の技術で長期保存できるものに限られていた。すなわち、塩漬けした肉や魚、乾燥させた肉、小麦粉、ビスケット、豆、チーズなどが中心である。当然ながら、腐りやすい果実や生野菜をそのまま積み込むことはできない。長距離航海では、果実不足や野菜不足が常態だったのである。だから、1602年に起きた偶然の出来事は大きなヒントとなり、果実と野菜の不足が原因で壞血病が起こるという認識が次第に広まっていった。不足を回避すれば病気にならないと考えるのは自然であろう。そこでイギリス海軍は、1700年代後半から、大量のレモン果汁を艦船に積み込むことにした。こうして、長距離航海は壞血病から解放されることになったのである。だが、レモン果汁中のどんな成分が壞血病に有効なのかは不明のままであった。それを1928年に突きとめたの

が、セント=ジェルジにほかならない。

解答作成にあたっては、以上の流れを次のようにまとめあげよう。

- ・壊血病に罹った船員がサボテンの果実を食べたところ、症状が改善した。
- ・その出来事がきっかけとなり、長距離航海中に起こる果実と野菜の不足が壊血病の原因だということがわかった。
- ・1700年代後半には、イギリス海軍が数百万ガロンものレモン果汁を艦船に積み込むようになり、壊血病の撲滅につながった。
- ・アルベルト・セント=ジェルジは、壊血病治療に有効なレモン果汁成分がビタミンCであることを1928年に発見した。

なお、当時レモンは高価だったため、後にイギリス海軍は、レモンと同じ柑橘類のライムに代えている。

問3では、下線部(b)について本文に即した内容説明が求められている。「本文に即して」という指示は、解答に必要な情報が課題文にもれなく書かれていることを意味する。その点に注意しながら、この下線部のある第6段落を確認してみよう。

While a protein may be made up of thousands of atoms, a vitamin may be made up of just a few dozen. And yet, despite their small size, vitamins expand our chemical versatility. A vitamin cooperates with proteins to help them carry out reactions they couldn't manage on their own. Vitamin B₁, for example, helps proteins pull carbon dioxide from molecules. Vitamins carry out these chemical reactions not just in our own bodies but in all living things. (b)This universal chemistry is likely the result of evolution. (タンパク質を構成する原子が数千にも及ぶことがあるのに対して、ビタミンはほんの数十の原子から構成されていることもある。しかし、小分子ではあるものの、私たちの身体では、ビタミンのおかげでより多様な化学反応が可能になっている。タンパク質だけでは不可能かもしれない場合でも、ビタミンが協力してくれるおかげで、タンパク質は化学反応を進めることができるのである。たとえばビタミンB₁は、タンパク質が分子中から二酸化炭素を取り出すのを手助けしている。ビタミンによってこうした化学反応が起こっているのは、私たち自身の身体だけではない。あらゆる生物において、そうなのである。
(b)全生物に共通するこの化学は、おそらく進化の結果なのだろう。)

下線部(b)を「この普遍的な化学」などと機械的に訳

出しただけでは、本文に即した説明とはとても言えないことに注意しよう。この段落全体から、universalとchemistryそれぞれの内容をしっかりと読み取らなければならない。

まず、後者が第2文と第3文で説明されていることは明らかだろう。ヒトの体内で起こる重要な化学反応は、その大半が酵素の触媒作用によってはじめて可能になっている。そして、酵素はタンパク質である。いずれの事実も、本模試を受験した諸君なら知らないはずはあるまい。その酵素の働きを、ビタミンは補助しているのである。つまり、分子としては小さいが、ビタミンのおかげで、体内ではより多様な化学反応が可能になっている。これが後者chemistryの正体にはかならない。

そして第5文によれば、こうしたchemistryのあり方は、ヒトに限らず、あらゆる生物にあてはまる。これが前者universalの内実である。

解答作成にあたっては、以上の2つを的確に表現したい。

問4も説明問題である。これもまた、設問文に「本文に即して」という指示があることから、問3とまったく同じ方針で解答を作成すればよいとわかる。ただし、2つのことが問われている点には十分に注意したい。すなわち、アフリカの赤道付近から高緯度地域へと居住域を拡大していくにつれてヒトに生じた変化とその原因である。「アフリカの赤道付近」に相当する表現equatorial Africaは、第8段落でしか使われていない。まずは、この段落を確認しよう。

It took hundreds of millions of years for plants to become such proficient vitamin C manufacturers, but vitamin production can change in far less time. Our own ancestors needed just thousands of years to alter their production of vitamin D. When humans left equatorial Africa and spread to higher latitudes, the sun was lower in the sky and supplied less ultraviolet light. By evolving lighter skin, Europeans and Asians were able to continue making a healthy supply of vitamin D. (植物がこれほど熟練したビタミンC製造者になるまでには、数億年を要した。だが、ずっと短い期間でも、ビタミン産生に変化が起こることがある。私たち自身の祖先がビタミンD産生を変えるのに必要としたのは、ほんの数千年にすぎない。ヒトがアフリカの赤道付近から高緯度地域へと拡散していくと、上空の太陽はそれよりも低い位置までしか上がらないため、紫外線が十分に供給されなくなってしまった。だがヨーロッパ人とアジア人は、より白い肌へと進化することによっ

て、健全な量のビタミンD補充を継続できたのである。)

段落末尾から、変化の核心が「白い肌への進化」であることは見て取りやすい。この進化にビタミンD産生の変化が関係していることもわかる。だが、そもそも何が原因で進化したのかは、この段落だけでははっきりしない。それを読み取るには、ちょっとした準備作業が必要である。第4段落末尾によれば、ビタミンD不足はくる病の原因なのであった。そして続く第5段落は、ビタミンDについて次のように説明している。

Today, a huge amount of research goes into understanding vitamins. Every vitamin is made by living cells—either our own, or in other species. Vitamin D is produced in our skin, for example, when sunlight strikes a precursor of cholesterol. A lemon tree makes vitamin C out of glucose. Making a vitamin is often an enormously baroque process. In some species, it takes 22 different proteins to craft a vitamin B₁₂ molecule. (今日、ビタミンの理解を目指して膨大な数の研究が行われている。どのビタミンも、私たち自身か他の生物種の生細胞内で作られる。たとえばビタミンDは、私たちの皮膚でコレステロールの前駆物質に日光が当たったときに作られる。またレモンの木は、グルコースからビタミンCを作る。ビタミンは、途方もなく入り組んだ工程を経由して作られることが多い。ある生物種では、22種類ものタンパク質を使ってビタミンB₁₂分子が合成されている。)

ヒトは、体内でコレステロール前駆物質からビタミンDを合成することができる。ただし、そのためには皮膚に十分な日光が当たらなければならぬ。恒常に日の光が弱い環境では、体外からビタミンDをつねに摂取できていないと、くる病になってしまうのである。

これで準備が整った。第8段落の読解に戻ろう。緯度が高くなるにつれて、日中の太陽高度は下がっていく。それにともない、大気中を斜めに通過して地表に到達することになる太陽光線は、赤道付近に比べると弱くなる。日の光が正午前後には強く、日の出直後や日没前には弱いとの同じ原理である。こうして、高緯度地域へと移り住んだヒトは、ビタミンD合成に必要な日光、より正確には紫外線を、かつてほど十分には浴びることができなくなってしまった。だが、降り注ぐ紫外線が弱まったとしても、褐色だった皮膚の色を淡く、白くすれば、紫外線の透過率が高まり、紫外線量の減少分を相殺できるにちがいない。それこそが、ヨーロッ

パ人やアジア人の祖先がたどった進化の過程だったのである。

解答作成にあたっては、以上の流れを次のようにまとめればよい。

- ・ビタミンDは、ヒトの皮膚でコレステロール前駆物質に紫外線が当たったときに合成される。
- ・高緯度地域では、日中の太陽高度が赤道付近よりも低い。
- ・そのため、ヒトがアフリカの赤道付近から高緯度地域へと拡散していくと、ビタミンD合成に必要な紫外線を十分に浴びることができなくなってしまった。
- ・その結果、ヨーロッパ人とアジア人は、わずかに数千年間でより白い肌へと進化し、健全な量のビタミンD補充を継続できるようになった。

問5では、ヒトの進化において、*GULO*遺伝子の機能が失われていったのはなぜだと考えられているのかと問われている。ここでもまず、設問文に細心の注意を払いたい。「まとめなさい」という指示は、問3、問4と同じく、適切な論点を課題文から読み取って答えればよいということを意味している。まずは、課題文のどこに注目すべきかを見きわめよう。*GULO*遺伝子が最初に登場するのは、第9段落である。

Aside from vitamins D and K, we humans can't make any of the vitamins we need to stay healthy. In some cases, our ancestors could make them, but lost that ability. Our mammalian ancestors 100 million years ago never got scurvy, for example, because they could make their own vitamin C. Many vertebrates can make vitamin C, and use an identical set of genes to do so. Unlike a frog or a kangaroo, however, we have crippling mutations in one of those genes, known as *GULO*. Unable to make the *GULO* protein, we cannot produce vitamin C. (ビタミンDとKを除くと、私たちヒトは、健康の維持に必要なビタミンのいずれをも作ることができない。私たちの祖先がそのいくつかを合成できたこともあるが、合成能力は失われてしまったのである。たとえば、私たち哺乳動物の1億年前の祖先は、自力でビタミンCを作ることができたので、けっして壊血病には罹らなかった。脊椎動物の多くは、いまでもビタミンCを合成できる。しかも、その際、祖先と同一の遺伝子群を使う。だが、カエルやカンガルーとは違って、私たちヒトでは、こうした遺伝子の1つ、*GULO*という名で知られる遺伝子に、機能喪失性の突然変異が起こっている。*GULO*タンパク質を作れないため、ビタミンC産生は私たちには不可能なのである。)

脊椎動物の多くは、*GULO* 遺伝子のおかげでビタミンCを合成できる。ヒトもまた脊椎動物である。ところが、ヒトは *GULO* 遺伝子をもっているのに、その機能が失われている。現在のヒトへと至る進化の過程のどこかで、*GULO* 遺伝子に突然変異が起こったということである。では、それはいつのことなのだろうか。また、*GULO* 遺伝子の機能喪失は、生存に対して不利に作用しなかったのだろうか。この遺伝子さえ正常に機能していれば、けっしてビタミンC不足は起こらず、壊血病などという病気も存在しなかつたはずなのである。続く第10段落に目を向けてみよう。

“It’s not just us—it goes back a long time,” said Guy Drouin, a molecular evolutionary biologist at the University of Ottawa. He and other researchers have found that apes and monkeys, our closest primate relatives, have disabled *GULO* genes, with many of the same mutations. Dr. Drouin has concluded that the common ancestor we share with those other primates lost the ability to make vitamin C around 60 million years ago.（「私たちヒトだけではありません。話はずっと昔に遡るのです」と、オタワ大学の分子進化生物学者ガイ・ドルアンは言った。彼とその共同研究者たちが発見したところによれば、靈長類のなかで私たちヒトに最も近縁な類人猿やサルでは、*GULO* 遺伝子の機能が失われており、その多くに同じ突然変異が起こっている。およそ6000万年前に、私たちヒトとこれら他の靈長類との共通祖先がビタミンC産生能力を失ってしまったのだと、ドルアン博士は結論を下している。）

GULO 遺伝子の機能喪失は、ヒトだけで起こっているのではない。靈長類のうち、ヒトと近縁な類人猿やサルにも同じ突然変異が見られる。だが、ヒトが誕生した後に、それぞれの種において同じ突然変異が独立して起こったということは、まずありそうもない。この遺伝子の突然変異は、ヒトが誕生する以前の時代、つまり、ヒトやチンパンジーやゴリラなどへと分化していく以前に祖先種の段階で起こっていたものと考えるべきだろう。ではこの共通祖先は、*GULO* 遺伝子の機能を失い、ビタミンCを産生できなくなつても、なぜ生存できたのだろうか。この謎は、次の第11段落で明かされている。

As it did in primates, the *GULO* gene became disabled in a few other lineages, like bats and songbirds. Scientists have found that animals tend to lose vitamin C after a switch to a diet rich in it. Our primate ancestors, for example, started eating fruit and

leaves that supplied them with far more vitamin C than they needed. It may seem counterintuitive that you would lose a gene that enables you to be independent. But if you’re always surrounded by a vitamin for a long period of time, then you don’t need to use the gene.（コウモリや鳴禽など、他のいくつかの系統でも、靈長類の場合と同じように *GULO* 遺伝子の機能が失われている。科学者たちの発見によれば、動物が食料をビタミンCの豊富なものへと切り替えると、その後、ビタミンCの合成能力は失われやすいという。たとえば、私たち靈長類の祖先が果実や葉を食べ始めたとき、必要量をはるかに上まわるビタミンCが補充されることになった。自立した生存を可能にしてくれる遺伝子を失うというのは、直観に反すると思われるかもしれない。しかし、ビタミンに囲まれた環境に長期間ずっといるのなら、その遺伝子を使う必要はないのである。）

決定的な要因は、食料の切り替えであった。被子植物は白亜紀（約1億4500万年前～約6500万年前）の後半になって急速に多様化し、陸上を席巻していったことが知られている。果実や葉をつねに入手できる生息環境が出現したわけである。ヒトの祖先は、さっそくこれを食料源として利用したのだろう。こうしてビタミンCは、常食とする果実や葉から十分に供給されるようになった。その後、およそ6000万年前に、*GULO* 遺伝子に突然変異が起こり、その機能が失われたのである。もはやビタミンCを産生することはできなくなった。しかし、十分な量を食料からつねに得られる環境にいるのだから、この突然変異が生存に不利に作用することはなかったのである。

解答作成にあたっては、以上を次のように整理すればよい。

- ①ビタミンC産生には *GULO* 遺伝子が必要である。
- ②ヒトの祖先は、ビタミンCの豊富な果実や葉へと食料を切り替えた。
- ③ヒトの祖先の *GULO* 遺伝子に機能喪失性の突然変異が起こり、ビタミンCを産生できなくなつた。
- ④⑤により、③の突然変異が起こっても、ヒトの祖先の生存には差し支えがなかった。

なお、くれぐれも誤解のないように付言しておくが、「*GULO* 遺伝子が不要になったから、ヒトの祖先は突然変異によってその機能を消失させた」のではなく

い。遺伝子の突然変異はランダムに起こる現象である。生物はみずから突然変異を起こすことなどできないし、突然変異を選び好みすることもできない。ごくわずかな確率ではあるが、どの遺伝子にもつねに突然変異が起こりうるのである。生命の維持に必要不可欠な遺伝子に突然変異が起こり、その機能が失われた場合には、致命的な結果になりかねない。そのような個体は、子孫を残すことができないだろう。逆に、ほんの少しでも生存と繁殖に有利に作用する突然変異が遺伝子に生じた場合には、より多くの子孫を残すことができる。

一例として、問4で確認した「皮膚の色の進化」に即して考えてみよう。高緯度地域に移り住み、十分な紫外線を浴びることができなくなったヒトの場合、以前と同じ褐色の肌をした個体は、いずれはくる病を発症してしまっただろう。ほとんど子孫を残せなかつたにちがいない。だが、ごくわずかでも皮膚の色を淡くするような突然変異が遺伝子に生じた個体は、不足しがちなビタミンDの産生量がそれだけ増えるのだから、たとえ微増であったにせよ、明らかに他の個体より生存に有利である。この突然変異遺伝子は、ヒトの集団に広まつていったことだろう。その後、別な突然変異によってさらに肌が白くなった個体は、ますます多くの子孫を残したはずである。その突然変異遺伝子も、やはり急速に広まつていったんだろう。このような突然変異の発生とその後の自然選択の繰り返しが、進化の歴史にほかならない。

②の食物切り替え以降、つねに果実や葉を食べられる環境にあるヒトの祖先にとって、*GULO*遺伝子の機能は必要不可欠なものではなくなった。だから、③の突然変異が起こっても、生存には何の影響もないまま、今日に至っているのである。ただし、昔の長距離航海のように、ヒトの祖先にとって正常であった食環境から大きく逸脱した生活が続くと、ビタミンCが欠乏してしまう。その結果が壊血病なのである。

問6では、下線部(c)について2つの作業が求められている。1つは、この下線部にある問の内容を本文に即して明らかにすること、そしてもう1つは、その問の答を本文をもとに推察することである。まったく異なる方針で解答作成に臨む必要があることに、まず注意したい。前半では、「本文に即して」という指示から、課題文の読み取りで解答可能なことがわかる。だが後半では、「本文をもとに」という指示はあるものの、要求されているのは推察である。課題文中のヒントをもとに、自分で考えていかなければならぬ。この点に注意しながら、下線部(c)を含む第13段落から確

認していく。

These recent studies are especially surprising because bacteria have long been considered self-sufficient when it comes to vitamins. Now scientists need to figure out (c) why many species of bacteria in the ocean aren't dead from a microbial version of scurvy. (こうした近年の研究はとりわけ驚くべきものである。それは、細菌がこれまでずっと、ビタミンに関しては自給自足だと考えられてきたからにほかならない。いまや科学者たちは、(c) 海洋に生息する多数の細菌種が微生物版の壊血病で死んでしまうことはなぜなのか、その解明に取りかかる必要がある。)

冒頭の「こうした近年の研究」は、直前にある第12段落の内容を受けている。同段落によれば、ヒトの*GULO*遺伝子のように、ビタミン産生に必要な遺伝子に欠陥が生じたり、遺伝子そのものが失われてしまったりする事例が次々に発見された。最近になって、海洋に生息する細菌にも同じことがあてはまり、遺伝子の欠陥や欠損から、ビタミンB₁やB₁₂を作れない細菌がかなりの割合で存在することが判明したのである。これは、細菌はビタミンを自給自足しているという従来の常識を覆すものであった。必要なビタミンを自力調達できないのに、こうした細菌はなぜ生存できるのか、これが下線部(c)にある問の核心である。

前半の解答作成にあたっては、下線部の機械的な訳出だけで終わらないように注意したい。壊血病は、あくまでもヒトの病気なのである。細菌が文字どおりに壊血病患者になるわけではない。ここはしっかりと、

[1] 海洋に生息する細菌の多くはビタミンを自給自足できない。

[2] 海洋に生息する細菌では、ビタミンCの不足を原因とするヒトの壊血病に相当する障害は起こらない。

という事実を指摘して、下線部(c)が、

[3] [1]なのになぜ[2]が可能なのか？

を問題にしていることを示したい。

次に後半である。下線部(c)直後の第14段落に重大なヒントがあるのでそれを逃さないようにしよう。

Only recently have scientists made measurements of vitamins in the sea. They are finding some places that are abundant with them and others that are vitamin deserts. It is possible that the difference influences not just bacteria and algae, but the animals that feed on them. (科学者たちが海でビタミン量を測定

するようになったのは、最近のことすぎないが、ビタミンが豊富な場所もあれば、ビタミンの砂漠も存在することが判明しつつある。この違いは、細菌や藻類だけではなく、それらを餌とする動物にまで影響を及ぼしているのかもしれない。)

[1]から、「ビタミンの砂漠」に細菌が生息できないことは明らかである。とすれば、「ビタミンの豊富な場所」こそが海洋における細菌の生息環境でなければならない。ここから、[3]の問に対しても、

[4] 海洋環境下の細菌は、不足分のビタミンを外部からつねに供給されている。

という方向に答えていけばよいことがわかる。

では、そのビタミンはどこからやって来るのだろうか。どこかにビタミン鉱床のようなものが存在し、海底から噴出するビタミンを求めて細菌が集まっているということなのだろうか。けっしてそうではない。問4の解答作成に際して確認した第5段落を思い出そう。そこには、次の一文があった。

Every vitamin is made by living cells—either our own, or in other species. (どのビタミンも、私たち自身か他の生物種の生細胞内で作られる。)

ビタミン源は生物なのである。その正体が他の細菌であることは、第15～第16段落から容易に推察できるだろう。

Vitamins flow in complex routes, not just in the ocean, but on land. We humans can't make our own supply of vitamin B₁₂, for example, so we need to get it from food. One way is to eat meat like beef, which contains B₁₂. It turns out that the cows and other animals that we consume don't make B₁₂ in their own cells. Instead, the bacteria in their guts manufacture it for them. (ビタミンは、海洋だけではなく、陸上においても、複雑な経路で運ばれていく。たとえば、私たちヒトは自力ではビタミン B₁₂ を補充できないので、食物から摂取しなければならない。1つの方法は、牛肉など、ビタミン B₁₂ を含む肉を食べることである。だが、私たちが食べている牛などの動物もまた、自身の細胞内ではビタミン B₁₂ を作れないことがわかっている。そうした動物では、代わりに、腸内細菌がビタミン B₁₂ を作ってくれているのである。)

We are also home to thousands of species of bacteria, which synthesize vitamins as they eat our food. Does that mean we depend on our internal vitamin traffic? It's still theoretical, but evidence is building that bacteria can provide some vitamins that

we need. If that's so, we may need to think of our bodies as self-contained oceans of vitamin traffic. (私たちの身体にもまた、数千種もの細菌が生息している。この細菌たちは、私たちが食物を摂取すると、それを食べてビタミンを合成する。すると私たちは、体内におけるビタミンの流通に依存していることになるのだろうか。いまだ理論段階にすぎないのだが、私たちに必要なビタミンの一部は細菌によって供給されているという証拠が集まりつつある。これが本当に事実なら、私たちの身体は、広大で自己充足的なビタミン流通網として捉えられるべきなのかもしれない。)

地球上にどのくらいの数の細菌種が生息しているのかは、いまなお不明である。あまりにも多すぎて発見が追いつかない、というのも一因だが、主要な理由ではない。これまでの細菌研究では、細菌種の特定に先立って、単離培養が必要とされてきた。つまり、本来の生息環境から取り出し、他種の細菌から選り分け、実験室の人工的な環境下で培養てきてはじめて、新種の細菌と認められたのである。ところが、細菌の大半は単離培養できない。本来の生息環境を離れると、死滅してしまう場合がほとんどなのである。

だが近年では、ゲノム解析技術の劇的な進歩により、単離培養という手続きを経なくても、海底や土壤などに含まれるDNAそのものを調べることが可能になった。すでに同定されている細菌種のDNAと比較すれば、標本中に生息する細菌種の数を推定することができる。その結果、海底や土壤はもとより、ヒトなどの動物の腸内にも、^{おびただ}夥しい種類の細菌が生息していることが明らかになった。細菌は、膨大な数の種がネットワークを形成して生息しているのである。

細菌が生命を維持するためには、その生息環境から、ビタミンに限らず、さまざまな物質を取り込み、代謝しなければならない。代謝産物のうち、不要になった分は、周囲の環境へと排出される。ただし、何を取り込み、どう代謝し、何を排出するかは、けっして一様ではない。細菌種ごとにさまざまである。ここに、壮大な細菌ネットワークの端緒がある。

たとえば、細菌種Aにとって必須の物質Xが、他の細菌種Bにとっては無用の老廃物であり、この細菌種Bに不可欠な物質Yが第3の細菌種Cから排出されたものであり、この細菌種Cの生存には細菌種Aにとって用済みの物質Zを欠くことができない、というような状況は容易に想像できよう。自然界では、途方もない数の細菌種がこのような相互依存のもとに生息しているのである。単離培養できない細菌がほとんどなのは当然だろう。互いの織りなすネットワークから切

り離されたら、細菌は生存に必須の物質を調達できなくなってしまうのである。

これは、「自給自足」の対極と言えるだろう。一見、とても不確実で危うい生存形態に思える。環境の変化にまったく対処できないからである。だが、周囲の環境からつねに入手できる物質をわざわざ自力で合成していたら、それだけ多くのエネルギーを消費してしまう。また、代謝に不可欠なさまざまな酵素をコード化した遺伝子もたくさん必要になる。これでは、DNAの複製や保守に手間がかかり、増殖速度が落ちてしまう。安定した細菌ネットワークのもとでは、自給自足はかならずしも賢明な生存戦略ではないのである。

他方、細菌の遺伝子に突然変異が起り、ある酵素を産生できなくなったとしても、その酵素の作用で合成される物質が周囲の環境から安定供給されているなら、生存にはまったく差し支えない。この事情は、ヒトの *GULO* 遺伝子の場合と同じである。それどころか、余計なエネルギー消費と DNA 複製・保守の手間が省けるため、こうした細菌はより短時間で増殖できる。細菌のように世代交代が速い生物の場合、増殖速度にわずかでも差があると、生存競争に重大な影響が及ぶ。こうして、細菌はその進化の過程において、相互依存度をますます高めていったと考えられるのである。

海底や土壌、そしてヒトをはじめとする動物の腸内に生息する細菌は、おそらくどの細菌種も、必要とするビタミンの一部しか産生できない。だが、不足分を互いに補うことで、細菌ネットワーク全体では見事に必要が満たされているのである。これが、最終段落で筆者の言う「広大で自己充足的なビタミン流通網」にほかならない。

したがって、[4]のビタミン供給源に関しては、
[5]細菌の種ごとに、ビタミン産生を分業し、互いに融通している。

と考えることができる。

解答としては、以上[1]～[5]をまとめればよい。

③ 理科論述問題

【解答例】

問 1

- (a) 12
(b) 5

問 2

大発生に反応して捕食量を増やす点は共通している。クロカタビロオサムシはブナアオシャチホコが少ないブナ林にはほとんどいないが、えさが増加すると高い繁殖能力によって個体数を増やして捕食量も大きく増加させる。一方で、鳥は個体数を大きく変化させず、えさの種類を変えるだけで捕食量の増え方が小さい点が異なる。

問 3

7月下旬～8月上旬に子実体の子のうから胞子を飛ばし、胞子が発芽して菌糸を伸ばすサナギタケは、8月には土の中の菌密度が高い上に、気温が高く菌糸の発育もよいため、図1にあるように感染率も高くなるので、図2に示されているように8月に土壤中でさなぎになるブナアオシャチホコは、感染するのに都合がよいから。

問 4

サナギタケの感染率は、増加期の1992年には約10%だが、ピークの1993年には約65%まで急激に増加する。減少期に入りても、1994年に約60%，1995年に50%弱と緩やかに減少し、増加期よりも高い水準が続く。

問 5

大発生時には、クロカタビロオサムシの捕食やサナギタケの寄生やブナの葉の成分変化は、ブナアオシャチホコの密度を減らし、大発生を終息させるように影響を与える。その後、クロカタビロオサムシが姿を消す一方で、サナギタケとブナが密度の増加を抑制する効果は、数年間持続するが、これらの効果が弱くなると、その後は再び増加はじめる。このように、サナギタケとブナは、密度変動が長い周期になるような影響を与える。

【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、自然科学を題材とする内容の資料（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、論述をすることが求められる。必要となるのは、資料の読み解き力や分析力、自然科学に関する基礎的な知識、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思考力、その仮説を検証する実験を立案する創造力、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、森林の生態系を構成するさまざまな生物の関係を考察した文章を題材として、文章や図表の読み解き力と数理的な推理力、科学的研究の方法に対する基本的な理解、論理的思考力を試す問題となっている。資料文の出典は、鎌田直人・佐藤大樹「生物どう

しの関係が保つ安定性」で、金子繁・佐橋憲生編『ブナ林をはぐくむ菌類』(文一総合出版、1998年)に収録されている。

資料文は、ブナ林の生態系の安定性についての言及から始まる。自然の森林は安定した生態系を保ち、毎年同じ季節変化をくり返すだけのように思われがちだが、実はダイナミックに変動している。この**資料文**では変動の例として、数年に1回ブナオシャチホコが大発生し、ブナの葉が食いつくされるという現象を取り上げている。そして、大発生を引き起こし、やがては終息に向かわせる仕組みを、ブナ林の生態系を構成するさまざまな生物の相互作用として考察しようというのである。自然界の生態系については未解明なことも多く、**資料文**に紹介されている研究も、その仕組みの一端を明らかにしているに過ぎない。出典はブナ林にいるもっと多様な生物を研究対象としているのだが、**資料文**はそのなかから、ブナオシャチホコの天敵として代表的な3つを抜き出したものなので、この点は誤解しないように注意してほしい。**資料文**に取り上げられた現象は、研究途上の課題であって、高校までの理科で学ぶような完成した理論があるわけではない。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関わる内容が登場し、資料文をその場で理解し、解答するように求められることもある。ここでは科学的研究の基本的な方法を理解しているのかが問われており、資料文に与えられた調査結果を理解し、そこからわかる結論を、1つ1つ論理的に導いていくことが大切である。

周期的に起こる大発生の節は、調査の対象となるブナ林の変動を概観し、ブナオシャチホコの大発生の特徴を説明している。それが8~11年という長い周期の変動であることや、ブナオシャチホコの幼虫は、少ないと100平方メートルあたり2頭弱しかいないのに、1平方メートルあたり60頭から150頭に達するダイナミックな変動が起こることが紹介されている。後の節で、この大発生が起こる仕組みを調べていくわけだが、冒頭にあったように、著者はブナオシャチホコを捕食する生物や、寄生する生物に注目している。

クロカタビロオサムシの反応の節は、捕食者の1つである昆虫が、ブナオシャチホコの大発生にどう反応するかの説明だ。クロカタビロオサムシは高い飛翔能力と繁殖能力を持っているため、個体密度を高め捕食量を増やすのだが、それは次節にある表現を使えば「数の反応」と特徴づけられる。ブナオシャチホコの増殖に反応して天敵も増殖するので、その捕食量の

増加が大発生を終息させる要因の1つだと推測できるのである。

鳥たちの反応の節は、もう1つの捕食者である鳥についての説明だ。鳥はもともとえさの種類を季節によって変化させているのだが、大発生が起きた年は、それに反応して食事メニューも変わるという調査結果が示される。また、クロカタビロオサムシとの違いとして、鳥は個体密度が安定していることも述べられており、「数の反応」ではなく、「機能の反応」が起こっているとされる。大発生しているときは、容易に捕食できるブナオシャチホコを食べるようになるのだが、1,000倍以上のオーダーで増えるブナオシャチホコに対して、鳥の捕食量の増加は追いつかないでの捕食率(鳥に食べられるブナオシャチホコの割合)は低くなる。ここから、鳥の捕食はブナオシャチホコの大発生を終息させる要因として、大きな影響を与えていないと推測することができる。

ブナの反応の節は、捕食者その他、ブナ自身もブナオシャチホコの大発生に反応していることの説明だ。ここでは簡単にしか述べられていないが、葉の窒素量が少なくなるというの、ブナオシャチホコにとって葉から得られる栄養が低下することを意味する。また、タンニンとはいわゆるアクや渋味であり、その増加はブナオシャチホコにとって有害な成分が増加することを意味している。こうなると成虫まで育つ個体数が減り、産卵数も少なくなる。よって、ブナの反応も、大発生を終息させる要因の1つだと考えられるのである。

サナギタケの節では、ブナオシャチホコの寄生者の生態を説明している。前半ではサナギタケの生活史が紹介されているが、そこで注目しておきたいのは、胞子は落葉層で発芽して菌糸を伸ばすのだが、寄生するさなぎがいなくても土壤中で生きていくことができるという点だ。後半は土壤中でさなぎになったブナオシャチホコへの感染について説明しており、感染率に季節変化があるという実験結果が紹介されている。

ブナオシャチホコの生活史の節は、卵から幼虫、さなぎを経て成虫になるまでの過程を説明している。前節と比べることで、サナギタケはブナオシャチホコに感染するのに有利な生態を持っていることがわかる。

大発生はなぜ止まるの節では、ここまで調査をもとに、筆者が自らの仮説を提示している。まず、サナギタケの感染率の年変化についての実験であるが、大発生のピーク時に感染によるさなぎの死亡率が高くなり、大発生の終息後も感染率が高い年が続くことが示

されている。ここから「時間遅れの負のフィードバック」の理論を用いて、大発生が終息する仕組みと周期的な密度変動が引き起こされる理由を推論している。このフィードバックには、「1世代あとにだけ有効な性質」のものと、「効果が数世代にわたり長持ちする」ものもあるとする。クロカタビロオサムシが前者に、サナギタケが後者に相当する。

問1

資料文の読解にもとづいた計算を求めた問題である。ブナアオシャチホコの大発生は、ある年に突然起ころうではなく、数年間、増加が続くことによって生じるということを、1年あたりの増加率にもとづいた密度の変化を計算して、確かめることができるのである。計算は次のように行っていけばよい。

一番少ない密度 $\frac{2}{100}$ 頭/ m^2 から、60頭/ m^2 を超えるには、 $60 \div \frac{2}{100} = 3,000$ 倍以上に増加せねばならない。最も高い増加率9倍が続いたとしても、3年後には $9^3 = 729$ 倍までしか増えていない。そして、4年後に $9^4 = 6,561$ 倍となって、はじめて3,000倍を超えるのである。最も低い増加率2倍が続くなら、12年後に $2^{12} = 4,096$ 倍となってはじめて3,000倍を超える。よって、60頭/ m^2 を超えるまで増加するのは、4年後～12年後であり、(a) は12となる。

次に、150頭/ m^2 を超えるには、 $150 \div \frac{2}{100} = 7,500$ 倍以上に増加せねばならない。最も高い増加率9倍が続いたとしても、4年後には $9^4 = 6,561$ 倍までしか増えない。そして、5年後に $9^5 = 59,049$ 倍となって、はじめて7,500倍を超えるのである。最も低い増加率2倍が続くなら、13年後に $2^{13} = 8,192$ 倍となって、はじめて7,500倍を超える。よって、150頭/ m^2 を超えるまで増加するのは、5年後～13年後であり、(b) は5となる。

問2

資料文を読解し、要約する問題である。ここでは、クロカタビロオサムシの反応と鳥たちの反応の2つの節を読解し、両者の異同をまとめることができるのである。いざれもブナアオシャチホコの捕食量を増やすという点では、共通の反応をしている。相違点については、それぞれの節の最後に、反応の特徴が述べられているので、そこをていねいにまとめればよい。前者では、「クロカタビロオサムシは、時間的にも空間的にも、ブナアオシャチホコの密度変化にす早く反応している」とあるが、ようするに大発生に反応して個体数や密度を増加させ、捕食量も飛躍的に増やしている

のである。

それに対して後者では、「鳥類には、『機能の反応』は見られますが、『数の反応』が起こらないため、大発生時には鳥による捕食率は低くなります」とある。これはようするに、食事メニューを変えるだけでは捕食量をそれほど大きくすることができず、大発生したブナアオシャチホコのほんの一部しか食べられないということだ。

影響を与える要因はこの2つだけではないので断定的なことは言えないが、クロカタビロオサムシなどの昆虫類による捕食は、ブナアオシャチホコの大発生を終息させる要因として重要なものだと推測できる。それに対して、鳥類の捕食は、その効果が小さいと考えられる。

問3

資料文の読解にもとづいて推論を行う問題である。サナギタケとブナアオシャチホコの生活史の節にそれぞれについての説明が与えられているので、両者を重ね合わせて関係を考えてみればよい。図1からは、サナギタケの感染率が季節変化し、特に8月に高いことが読み取れる。それを念頭において図2を見れば、同時期にブナアオシャチホコが幼虫からさなぎになることがわかる。サナギタケは土壌中で感染するのだから、その時期に落下してさなぎになるブナアオシャチホコは、感染の可能性が高いということになる。

問4

図に示された実験結果を読み取る問題である。本設問では、図3に示されているブナアオシャチホコに対するサナギタケの感染率の年変化の情報を、客観的に読み取ることのみが求められている。図表の読み取りにおいては、できる限り数値も含めた詳細な論述を行うことを心がけよう。本問は100字と解答字数に余裕があるので、1992年から1995年までの感染率を1つ1つ数値も含めて読み取らなければならない。そして、ブナアオシャチホコの密度の増加期からピークに向かう1992～93年には、感染率が急激に増加しているのに対しても、減少期の1994～95年には緩やかにしか減少していないというように、変化の仕方を対比することも大切だ。

なお、本設問の解答においては、結果を客観的に読み取るだけでよいが、その意味を理解することが問5の解答に繋がるので、この点を補って説明しておこう。大発生はなぜ止まるの節には、1993年には約95%のさなぎがサナギタケで死亡しており、土の中にたくさんの菌糸が存在する年には、感染率はきわめて高い

と述べられている。この高い死亡率によって、ピークの翌年に成虫になるブナオシヤチホコが激減すると考えれば、大発生を終息させる要因として、サナギタケは強い影響力を持つことが推測されるのである。

そして、図3はわずか4年のデータしか示していないが、減少の緩やかさから、感染率が1992年の水準まで低下するにはもう少し長い年数がかかると推測できる。それが、「時間遅れの効果が数世代にわたり長持ちする」ということである。減少期の感染率低下が緩慢な理由は、サナギタケの節に述べられている、土壤微生物として生活することができるという特徴を反映したものだと考えられる。すなわち、ブナオシヤチホコに感染できなくてもサナギタケの菌糸は落葉層で生き続けるため、ピーク時に高まった土壤中の菌密度が、なかなか低下しないということだ。この効果が数年間持続するため、感染率の低下は緩やかで、その間、成虫になれるブナオシヤチホコは少なく、個体密度が低く抑えられると考えられる。

問5

資料文全体の読み解にもとづいて、そこで主題となっている現象の考察を始めた問題である。ここでは3つの生物がブナオシヤチホコの密度変動にどのような影響を与えるのかが問われており、まずは資料文中のそれぞれについての説明をきちんと理解する必要がある。クロカタビロオサムシについては問2で、サナギタケについては問3と問4で確認した。順番に解答してきたのだから、すでに頭に入っているはずだ。新たに分析する必要があるのは、ブナの反応だけである。大発生時には、これら3つはいずれも捕食したり、寄生したり、栄養を減らすなどして、ブナオシヤチホコを減らすような影響を与える。なお、ここでは大発生を終息させる方向で影響を与えるということのみが言えて、これらが終息させる決定的な要因だとまでは言えないということに注意しよう。他の天敵の影響や、ブナが食いつくされてえさがなくなることの影響も無視できず、資料文に紹介されたデータのみでは、決定的な要因を特定することは難しい。

もし、大発生への影響だけが問われていたのなら、3つはいずれもそれを終息させる方向の影響を与えると解答すれば十分だ。だが、本設問では、「密度変動」への影響が問われていることに注目せねばならない。大発生は8~11年周期で起こることなのだから、その一時期の変動に対する影響を考察するだけでは不十分なのだ。大発生が起こっていない年に、3つがどんな影響を与えるのかも考える必要がある。そこで参考になるのが、「時間遅れの負のフィードバック」の効果

と、その持続時間にはいろいろと程度があるという資料文の説明だ。問われている3つはいずれも、大発生時にブナオシヤチホコの個体密度を減らす「負のフィードバック」効果を持つのだが、大発生が終息した後、その効果がどれだけ持続するのかは異なり、そのため密度変動に与える影響も異なるものになるのである。

まずクロカタビロオサムシについては、大発生の終息後はまったく捕獲されないというように、効果の持続時間が短い。そのため、大発生した年以外は、捕食量もわずかで、密度変動に大きな影響を与えていないと考えられる。

それに対して、ブナの窒素量が低下しタンニン量が増えることと、サナギタケの菌糸が土壤中で高い密度を保つことは数年間続くため、大発生の終息後もブナオシヤチホコの密度に影響を与える「負のフィードバック」効果は持続する。そして、図3で感染率の緩やかな下降が示しているように、そうした効果も徐々に弱まっていくと考えれば、年数を経て効果がほとんどなくなった後にブナオシヤチホコの密度増加が始まり、天敵の反応が起こるまでの間、増加が続き、大発生に至る、というように長い周期での密度変動が説明できる。

以上のように、3つの生物が与える影響を、短期的なものと長期的なものに分けて考察していくことで、本設問に解答できる。

受験生諸君のなかには、問5で鳥が考察対象に含まれていないことを疑問に感じた人がいるかもしれない。ここでその理由を説明しておこう。問2で特徴をまとめたように、ブナオシヤチホコの大発生に対する鳥の反応は、「機能の反応」により捕食量を増やすものであって、1,000倍のオーダーでの増加には対応できない。それゆえ、密度変動への影響が小さいとみなし、考察対象から外した。ブナ林の生態系に属する多様な生物の全部を考察することは難しいので、まずは影響力の大きなものに対象を絞っているのである。ただし、ブナオシヤチホコの個体密度が小さい時期には、増加を抑える要因として鳥の捕食も大きな影響力を持ちうる。問5では、その可能性の検討を省略しているので、さらに調査を進めていく際には、鳥の影響も考慮に入れる必要が生じるという点に注意しよう。

本問を通じて、自然の生態系は、たとえ人間の活動が加わらなかったとしても、けっしてつねに一定というわけではなく、大きな変動を生じる場合があるということを学んでほしい。そういう変動の様子や原因に

は未知のものも多く、それらは自然科学の研究の対象なのである。環境の変動はなんでも人間の活動が原因だと考えたり、人間の関与がなければ自然是いつも同じだといった固定観念に囚われたりせずに、科学的なデータにもとづいて特徴を理解していこうとする姿勢が大切である。

© Kawaijuku 2014 Printed in Japan

無断転載複写禁止・譲渡禁止