

分野で読む現代文

地球・宇宙編

和会塾

本冊の使い方

本冊では、地層、地震、大気、気候、星、宇宙をめぐる六つの文章を読む。岩石や光に含まれる手がかりから、過去の出来事や遠い場所の性質がどのように分かるのかをたどりながら、地球と宇宙についての理解を深めていく。

まず本文を読み、設問に取り組もう。答えるために必要な知識は各章の中で説明されている。知っている用語があっても、その知識だけで答えを決めず、本文の説明と条件を確かめたい。章はそれぞれ独立して読めるが、順に進めると、地球の記録から宇宙の歴史へと視野が広がる。

選択問題では、選んだ答えが本文のどこに支えられているかを考え、他の選択肢がずれる箇所も確かめる。記述問題では、問いに必要な内容を選び、自分の言葉で短く説明する。原因と結果、証拠と説明を結ぶ関係や、必要な条件を落とさないようにしよう。

記述は指定された字数以内で書く。句読点やかぎ括弧も一字と数える。升目は右上から下へ書き、一列を書き終えたら左の列へ進む。ノートに答えを書く場合も、字数を数えて整えよう。

解答・解説は、自分の答案を書いてから読もう。模範解答と二つの別解例は、成立する表現の例である。語句が一致するだけでなく、「☆自己採点の観点」を使って、必要な内容とその関係が自分の答案に示されているかを見直す。

最後に「この章で押さえない分野知識」で、本文から理解できた基本事項と、区別すべきことを整理する。分からなくなった箇所は本文に戻り、観察された事実からどのような説明が導かれているかを確かめたい。

目次

第一章	地層は過去をどこまで語るのか	4頁
第二章	地震の起こり方と確率の読み方	16頁
第三章	天気予報はなぜ変わるのか	28頁
第四章	地球の気候は何によって決まるのか	41頁
第五章	星の光から何が分かるのか	53頁
第六章	遠い宇宙から届く過去	65頁

第一章 地層は過去をどこまで語るのか

本文

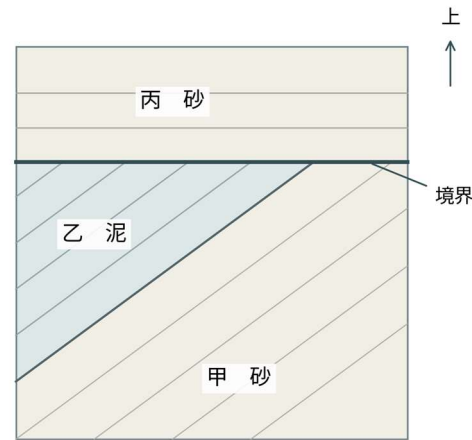
① 崖の表面に、色や手触りの違う層が重なっている。ある層には砂の粒が見え、別の層は細かな泥からできている。現在は陸地にあるその崖から、海で暮らす貝の化石が見つかることもある。目の前の岩石と、かつてそこにあった海は、どのようにつながるのだろうか。地層を調べると、現在の景色とは異なる場所の姿や、景色が変わってきた順序が見えてくる。

② 岩石が風化し、水の流れなどで削られると、大小の粒が生じる。その一部は川に運ばれ、川底や湖底、海底にたまる。このように物質が積もることを堆積という。粒の運ばれ方やたまり方は、水の動きに左右される。一般に、大きな粒を動かすには強い流れが必要である。一方、細かな粒は水中に長く漂い、流れが弱まった場所でゆっくり沈むことがある。水の動きが変わると、同じ場所にたまる粒の種類も変わり得る。

③ 砂や泥が繰り返したまると、違う性質を持つ層が重なる。さらに埋もれて圧縮されたり、粒の間にできた鉱物が粒同士を結びつけたりすると、堆積物は岩石になる。砂が固まったものが砂岩、泥が固まったものが泥岩である。ただし、地層は硬い岩石だけを指すのではない。まだ固まっていない砂や泥の層も地層に含まれる。崖の縞模様は、物質が積もったときの違いを、今に残している。

④ 地層ができた順序を考える基本は、先にたまった層の上に、後から新しい層が重なるという関係である。地殻の変動によって上下が逆転したり、断層で重なりが乱されたりしていなければ、下の層ほど古い。この関係から分かるのは、どちらが先にできたかという順序である。二つの層がそれぞれ何年前にできたかや、その間に何年が過ぎたかまで、重なりだけで分かるわけではない。

⑤ ここで、次のような崖の地層を考えてみよう。下から、砂の層を甲、その上の泥の層を乙、さらに上の砂の層を丙と呼ぶ。甲と乙は一緒に傾いており、その上端をほぼ平らな境界で切られている。丙はその境界の上に、ほぼ水平に重なる。ここでは、甲と乙は初めほぼ水平に堆積し、後から傾いたこと、上下の逆転や断層による層の入れ替わりはないことが、調査によって確かめられているものとする。



本文の例の模式図。実在する崖の観測図ではない。厚さや傾きは実際の比率を表さない。

⑥ 甲から乙への変化は、砂がたまる状態から、泥がたまる状態へ移ったことを示す。砂を動かす流れや波の影響が弱まり、細かな粒が沈みやすくなったという説明が考えられる。しかし、泥は海だけでなく湖などにもたまる。また、運ばれてくる粒の種類や量が変わっても、地層の性質は変わり得る。泥という一つの特徴から、海の深さや、流れが弱まった原因まで一度に決めることはできない。

⑦ そこで、乙に含まれる化石を調べる。化石とは、過去の生物の体や活動の痕跡が残ったものである。乙から海で暮らす種類の貝の化石が見つければ、海での堆積を考える手がかりになる。ただし、貝殻は生きていた場所から流されることもあるため、種類だけでなく、殻の壊れ方や向き、集まり方も調べる。生きていた場所に残されたと考えられる貝が多数見つかるなら、乙が海底にたまったという説明は、より強く支持される。

⑧ 粒の細かさは、主に物質が運ばれ、沈んだときの状態を示し、貝の種類や残り方は、生物が暮らした環境や、死後に運ばれた可能性を示す。両者は、同じことを繰り返し伝える証拠ではない。違う性質の手がかりを合わせることで、乙が穏やかな水の動きのもとでたまった海の地層だという説明を検討できる。甲の時期より水の動きが弱まったかを確かめるには、粒の供給の変化も調べる必要がある。過去の環境の説明は、現在の粒や化石に支えられている。

⑨ 次に、乙と丙の境界を見る。甲と乙が傾いたまま、その上に砂が積もっただけなら、下の層の上端は傾きを残すはずである。ところが、この例では、甲と乙の上端が、丙の下にある一つの面で切り取られている。この形は、甲と乙が堆積したあとに傾き、その上部が侵食によって削られ、できた面の上に丙が堆積したという順序を示す。目に見える三つの層だけでなく、傾くことや削られることも、その場所の履歴に含まれる。

⑩ 堆積の中断や侵食によって、上下の地層の間に時間の隔たりが認められる関係を、不整合という。この例では、乙の堆積が終わってから丙が堆積し始めるまでの出来事が、新しい層として連続的に積み重なって残ってはいない。何もたまらなかった時間があるかもしれない、一度できた層が削られた可能性もある。記録されていない時間は、何も起こらなかった時間とは限らない。むしろ、地層を失わせる変化が起きた時間でもあり得る。

⑪ 境界から出来事の順序が分かってても、それぞれにかかった時間は別に調べなければならぬ。地層の厚さも、そのまま時間の長さには置き換えられない。洪水などによって多量の砂が短期間にたまる場合もあれば、細かな粒が少しずつ長い時間をかけてたまる場合もある。後から圧縮されて厚さが変わることもある。同じメートルの層でも、形成に要した時間が同じとは限らないのである。

⑫ 一つの崖で途切れた記録を、別の場所が補うこともある。ある場所では侵食で失われた地層が、近くでは残っている場合があるからだ。その際には、似た色の層を同じ時代だと決めず、化石や粒の特徴、上下の重なりなどを照らし合わせる。同じ噴火に由来すると確認された火山灰層も、離れた場所の地層を対応させる有力な目印になる。各地の記録を結びと、一つの崖だけでは見えなかった地域の変化を調べられる。

⑬ もう一度、甲・乙・丙のある崖を見よう。粒や化石からは、水の中で物質がたまり、生物が暮らした環境が浮かび上がる。層の重なりと境界からは、砂の堆積、泥の堆積、地層の傾斜、侵食、新たな砂の堆積という順序が組み立てられる。地層が過去を語るのは、各層が昔の景色をそのまま保存しているからではない。粒や化石の特徴と、層同士の関係が、かつての環境と出来事を今も確かめられる形で残しているからなのである。

設問

問一

甲から乙への地層の変化について、本文に合う説明を一つ選べ。

ア 砂から泥への変化は水の動きが弱まったことを示すため、貝の化石は、その変化が起きた年代を調べる場合に用いる。

イ 砂から泥への変化は水の動きが弱まった可能性を示すが、粒の供給も変わり得るため、原因は粒の大きさだけでは決められない。

ウ 砂も泥も海にたまることがあるため、甲と乙の環境の違いを調べる際には、粒の大きさよりも層の厚さを比べる必要がある。

エ 泥は細かな粒が沈んでできるため、甲から乙への変化は、海の堆積が終わり、湖で新しい堆積が始まったことを示している。

解答「」

問二

乙が海底にたまったという説明を、本文に即してより強く支えるものを一つ選べ。

ア 海で暮らす種類の貝の殻が細かく碎けて密集していることを、そこで生きていた貝が多かった証拠として用いること。

イ 乙にも丙にも似た形の貝殻があることを、同じ時代の同じ場所で生きていた貝が残された証拠として用いること。

ウ 甲の上に乙があることを、砂より泥のほうが後から海底にたまるという、海の地層に特有の順序として用いること。

エ 海で暮らす種類の貝の化石が多数あり、殻の向きや集まり方などから、生きていた場所に残されたと考えられること。

解答「」

問三

同じ一メートルの地層でも、形成に要した時間が同じとは限らない理由として、最も適切なものを一つ選べ。

ア 一度に運ばれる物質の量やたまる速さが異なり、後からの圧縮も厚さに関わるため、厚さだけでは時間の長さを決められないから。

イ 洪水でたまる砂と少しずつたまる泥ではでき方が異なるため、砂の層は泥の層よりも必ず短い期間で形成されたと言えるから。

ウ 新しい層ほど圧縮が進んで薄くなるため、同じ厚さでも、上の層のほうが長い時間をかけて堆積したと考えられるから。

エ 上下の重なりから形成の前後関係を知ることができるが、厚さの違いは堆積の過程には関わらず、侵食だけで生じるから。

解答「」

問四

「下の層ほど古い」という判断が成り立つために、本文ではどのような条件が必要だとしているか。五〇字以内で説明せよ。

解答欄 五〇字以内

問八

「一つの崖で途切れた記録を、別の場所が補う」とはどういうことか。地層の対応を確かめる必要にも触れ、六〇字以内で説明せよ。

解答欄 六〇字以内

[illegible]

解答・解説

【全体の要点】

砂や泥などの堆積物は、その粒の特徴や含まれる化石に、たまったときの環境の手がかりを残す。粒の細かさと貝の化石は異なる情報を与えるため、役割を分けて組み合わせる。粒の変化だけで、海や湖、水深、変化の原因まで決めることはできない。

地層の上下や境界は、できた順序や、その後の変化を示す。本文の例では、甲・乙の堆積、傾斜、侵食、丙の堆積という履歴が復元できる。不整合では記録に欠落があるが、そのこと自体が堆積の中断や侵食を考える手がかりとなる。

出来事の前後関係と、何年前に起きたか・何年続いたかは別である。厚さを時間に直接置き換えることもできない。他の場所の地層との対応を確かめることで、一つの崖では失われた記録を補い、地域の変化を調べられる。

問一

正答 イ

根拠は第六・第八段落である。本文は、水の動きが弱まったという説明を可能性として示し、運ばれてくる粒の供給の変化も考慮している。イは、観察された砂から泥への変化と、その原因についての推定を区別している。

アは水の動きが弱まった可能性に注目した点では本文と重なるが、それを確定している。また、貝の化石を年代の調査に限定している。ウは砂も泥も海にたまる点には合うが、厚さを比べれば堆積環境の違いが分かるという説明は本文にない。エは泥が湖にもたまる可能性を、湖で堆積したという確定した説明へ変えている。

問二

正答 エ

根拠は第七段落である。海で暮らす貝の種類は海での堆積を考える手がかりになるが、貝殻が運ばれた可能性も検討する必要がある。エは種類と残り方を合わせており、乙自体が海底にたまったという説明をより強く支える。

アは多数の殻に注目する点では本文に近いが、砕けて密集していることだけで、その場所に多数の貝が生息したとは言えない。イは形の似かよりから、時代と生息場所の一致へ飛躍している。ウは地層の上下による前後関係を、海での堆積に特有の現象と取り違えている。

問三

正答 ア

根拠は第十一段落である。多量の砂が短期間にたまる場合と、細かな粒が長い時間をかけてたまる場合があり、さらに後の圧縮も厚さを変える。アは、堆積時の量・速さと、堆積後の変化を合わせて、厚さだけから時間を求められない理由を示す。

イは砂と泥ででき方が異なる場合には合うが、砂は必ず短期間、泥は必ず長期間と一般化している。ウは新しい層ほど圧縮が進むという関係を加えているが、本文にはない。エは前後関係の説明には合う一方、厚さを変える要因を侵食だけに限定し、堆積や圧縮を落としている。

問四

模範解答

地殻の変動による上下の逆転や、断層による重なりの乱れがなく、堆積時の順序が保たれていること。

別解例①

先にできた層の上に新しい層が重なった関係が、後の変動でも保たれ、現在の上下と一致していること。

別解例②

上下が逆転したり、断層で層の重なりが変わったりせず、先にたまった層の上に新しい層があること。

☆自己採点の観点

必要なのは、現在の上下が、堆積したときの前後関係を保っているという条件である。逆転と断層による乱れを具体的に挙げて、それらをまとめて堆積時の順序が保たれていると説明してもよい。「ほぼ水平であること」だけでは条件にならない。傾いていても逆転などがないければ前後関係を読める。また、地層が途切れず連続していることは、この判断の必須条件ではない。

問五

模範解答

粒の細さは運ばれ沈んだときの状態を、貝の種類や残り方は生息環境や死後に運ばれた可能性を示すということ。

別解例①

粒は堆積時の水の動きなどの手がかりとなり、貝の化石は暮らした環境や殻が運ばれた可能性を調べる手がかりとなる。

別解例②

堆積の状態を示す粒と、生息環境や死後の移動の手がかりとなる貝の化石は、異なる面から過去を説明するということ。

☆自己採点の観点

粒と化石を、異なる情報を与える手がかりとして対応させる。粒については、運搬・沈降や水の動きなど、堆積の状態を示すことが中心になる。化石については、種類が示す生息環境と、残り方から考える死後の移動を捉えたい。「二つとも海だったことを示す」だけでは役割の違いが説明されない。貝の種類や向きなどの観察項目をすべて並べる必要はなく、何を調べる証拠なのかを示せばよい。

問六

模範解答

傾いた甲と乙の上端が境界で切られ、その面をほぼ水平な丙が覆うため、傾斜と侵食が丙の堆積に先行したと分かるから。

別解例①

丙の下の境界は、甲と乙が傾いたあとにその上部が削られてできた面であり、丙はその面をほぼ水平に覆っているから。

別解例②

甲と乙を切る面の上に丙があるので、甲と乙が傾き、削られる過程を経てから、丙が堆積したと考えられるから。

☆自己採点の観点

単に「甲と乙が下にあり、丙が上にあるから」と書くと、層のできた順序は説明できても、傾いた時点の順序までは説明できない。傾いた下の層が境界で切られていることと、丙がその面を覆うことを結びつける。侵食の面が下の層の傾斜より後、丙の堆積より前にできたという関係を示せば、表現の順序は違ってよい。図の傾きから地震の発生時期や侵食の年数を補う必要はない。

問七

模範解答

堆積がない時期にも地層の傾斜や侵食が起こり得て、一度できた地層が失われた可能性もあるから。

別解例①

地層が傾き、その上部が削られて新しい層に覆われれば、傾斜や侵食の時間は層としては残らないから。

別解例②

残される地層がないことと出来事がないことは別で、既存の層を削って記録を失わせる侵食も起こり得るから。

☆自己採点の観点

記録がないという結果から、出来事もなかったと結論できない理由を述べる。新しい層として残らない傾斜・侵食や、一度できた層が失われる可能性を使って説明できる。「何かが起きたかもしれないから」だけでは、地層に記録が残らない理由が曖昧である。堆積の中断と侵食を両方列挙することより、記録を生まない、または失わせる変化があると示すことを重視する。

問八

模範解答

ある場所で失われた層が別の場所に残ることがあり、化石や重なりなどで対応を確かめれば、地域の変化を調べられるということ。

別解例①

一つの崖にない地層を他の場所で調べ、化石や火山灰などから同じ時代の層の対応を確認して、欠けた記録を補うということ。

別解例②

各地の地層の対応を複数の特徴から確かめ、場所ごとに残る記録を結び、一つの崖では見えない変化を知ること。

☆自己採点の観点

中心となるのは、場所によって記録の残り方が違うことと、地層の対応を確かめて記録を結ぶことである。対応の根拠は、化石・粒の特徴・重なり・同じ噴火の火山灰のうち必要なも

のを挙げればよい。「色が似ている層をつなぐ」では本文の注意を落としている。別の場所に必ずすべての記録が残る、あるいは地球全体の歴史が完全に分かる、とまで広げないことも確かめたい。

【この章で押さえない分野知識】

地層には、まだ固まっていない堆積物も、固まってできた堆積岩も含まれる。砂岩と泥岩の違いは、主にそれらをつくる粒の大きさによる。水の動きと供給される粒の両方が、堆積物の性質に関わる。

海で暮らす貝の化石は、海での堆積を考える証拠になる。ただし、貝殻の運搬にも注意し、種類と残り方を合わせて調べる。粒や化石から過去を推定することは、根拠なしに昔の景色を想像することとは異なる。

地層の重なりが乱されていなければ、下の層ほど古い。層を切る境界なども使えば、堆積以外の変化の順序を読める。不整合は、堆積の中断や侵食による記録の欠落を含む関係であり、記録がないことは出来事がなかったことを意味しない。

層の厚さだけでは形成に要した時間は決まらない。離れた地層を対応させる際には、色の似かよりにだけに頼らず、化石、粒、重なり、同じ噴火に由来する火山灰などを照合する。

第二章 地震の起こり方と確率の読み方

本文

① 地震の知らせには、異なる時間の情報が並ぶ。「今回の地震の規模」「今後三〇年間の発生確率」「このあと届く強い揺れ」。どれも地震に関わるが、すでに起きたことと、これから起こる可能性とでは、確かめる対象が違う。それらの情報の背後には、ゆっくりと変形する大地と、急にずれる岩盤、周囲へ広がる波がある。

② 地球の表面は、地殻という最外側の層と、その下のマントルの最上部からなる、硬い板状の岩盤に覆われている。この板をプレートという。プレートはゆっくり動き、互いに近づいたり、すれ違ったりしている。ところが、接する部分がいとも滑らかにずれるわけではない。摩擦などで動きが妨げられると、周囲の岩盤には押されたり引かれたりする変形が生じ、エネルギーが蓄えられる。その部分が力に耐えきれなくなり、急にずれると、エネルギーの一部が地震波として伝わる。

③ 日本の周囲では、海のプレートが陸のプレートの下へ沈み込んでいる。境界の一部が固く結びついていると、海のプレートの運動によって陸側も引きずられ、変形する。こうした境界の広い範囲が急にずれると、規模の大きな地震になる。しかし、地震が起こるのは境界だけではない。沈み込んだプレートの内部や、陸の浅い岩盤にも力が加わる。岩盤が割れ、その面を境にずれたものを断層といい、陸の地下の断層が急に動くことでも地震が起こる。地下で岩盤のずれが始まった地点が、震源である。

④ 岩盤のずれによって起きる地震そのものの規模を表すのが、マグニチュードである。一方、震度は、ある場所での揺れの強さを表す。同じ地震でも、震源からの距離や地盤の性質によって、各地の震度は異なる。距離がほぼ同じでも、硬い地盤と軟らかい地盤では揺れ方が違い得る。地震の規模が大きいことと、どの場所でも同じ強さで揺れることは、同じではない。

⑤ こうした発生の仕組みが分かって、次の地震の日時がそのまま求まるわけではない。個々の地震を発生前に予測するには、いつ、どこで、どれほどの規模の地震が起こるかを限定する必要がある。岩盤に力が加わり、断層がずれるという説明だけからは、どの部分がいっ動き、ずれがどこまで広がるかは決まらない。現在の科学では、時期・場所・規模を狭く限定した、確度の高い予測は難しい。

⑥ 一方、将来の地震の発生可能性を、長い期間について調べる方法がある。地震の観測記録や古い文書、過去の地震でずれた地層などから、ある場所でのような地震が繰り返してきたかを調べるのである。地球の長い歴史の中で比較的新しい時代に繰り返し活動し、今後とも動く可能性のある断層を、活断層という。その活動の時期や、海のプレート沈み込む地域の地震の履歴は、将来の発生を考える材料になる。

⑦ 繰り返しがあるといっても、地震は時計の針のように等間隔では起こらない。平均的な発生間隔を求めても、その年数のあとに次の地震が必ず来るとは言えない。長期評価では、間隔のばらつきと、前回の地震から現在までの経過時間などを合わせ、これからの一定期間に起こる可能性を計算する方法が用いられる。前回の時期が分からない場合などには、経過時間を使わない別の方法もある。過去の履歴と計算上の仮定に基づいて、将来の可能性を確率で表すのである。

⑧ 仮に、ある領域でマグニチュード七以上の地震が、評価の基準日から三〇年間に、少なくとも一度起こる確率が四〇%だとする。これは実在する地域の公表値ではない。この評価が対象にするのは、指定された領域と規模の地震が、三〇年間という期間の中で発生するかどうかである。三〇年後のある日に起こるという予告でも、その領域の四割が揺れるという意味でもない。期間の初めに起こる場合も、終わり近くに起こる場合も含まれる。

⑨ また、四〇%を三〇で割った値を、一年ごとの発生確率とすることもできない。三〇年間全体の確率だけから、各年の確率が一律だとは判断できない。各年の発生確率を単純に足せば、複数の年に起こる可能性があるとき、その場合を重ねて数えることになる。経過時間を使う計算法では、年が進むことで発生のしやすさも変わり得る。対象の領域、規模、期間や基準日を離して数字だけを見ると、その確率が何を表しているかが変わってしまう。

⑩ 四〇%という評価には、対象の地震が起こる可能性と、起こらない可能性がともに含まれる。残る六〇%は、その期間に対象の地震が発生しない可能性である。地震が起こらなかった一例だけで評価が誤りだと断定することも、起こった一例を評価の正しさの証明とすることもできない。また、同じ期間について確率の高い地震と低い地震が評価されていても、高いほうが先に起こると決まっているわけではない。発生しやすさの評価と、実際の発生順序は別だからである。

⑪ 発生確率は、その地震によって一軒の家に被害が生じる確率とも区別される。家のある場所での揺れには、地震の規模だけでなく、震源との位置関係や地盤の性質が関わる。さらに、同じ強さで揺れても、建物の耐震性や家具の固定の状態などによって被害は異なる。あ

る地震の発生確率が低いことは、その場所に被害が生じない保証ではない。別の場所で起きた地震による強い揺れが届くこともある。

⑫ 緊急地震速報は、地震が発生した直後の観測を使う。地震波が広がる途中で、その情報から各地の揺れを予測し、素早く知らせる仕組みである。例えば、震源に近い観測点で速く伝わる波を捉え、より遅く伝わる強い揺れが遠くの地点へ届く前に情報を伝えられる。すでに地震が始まっているからこそ、観測できる情報がある。ただし、解析と伝達には時間がかかるため、震源に近い場所では強い揺れに間に合わない場合もある。

⑬ 長期評価は、過去の地震の繰り返しを、建物の耐震化など時間をかけた備えにつなぐ。緊急地震速報は、始まった地震の観測を、これから揺れる場所で身を守るための行動につなぐ。プレートゆっくりした運動、断層の急なずれ、地震波の広がりには、異なる時間の尺度がある。その過程のどこを捉えるかによって、得られる情報と、それを使える時間が違うのである。

設問

問一

マグニチュードと震度の関係について、本文の説明に合うものを、次のア～エから一つ選べ。
ア マグニチュードは各地の地盤を含めた揺れの強さを表し、震度は断層の急なずれで生じる地震自体の規模を表す。

イ マグニチュードが同じ地震なら、震源からの距離が等しい場所では、地盤が違って同じ震度になる。

ウ マグニチュードは地震自体の規模、震度は各地の揺れの強さを表し、同じ地震でも地盤の違いで震度が変わり得る。

エ マグニチュードが大きい地震ほど、震源からの距離の違いにかかわらず、どの場所でも震度が大きくなる。

解答「」

問二

第八段落の仮の評価で示された「四〇％」の意味として、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 基準日から三〇年間に、指定された領域でマグニチュード七以上の地震が少なくとも一度起こる可能性が四〇％である。

イ 基準日から三〇年後の時点に起こる確率が四〇％なので、その時点より前の発生は、この値には含まれない。

ウ 指定された領域で三〇年間に起こる地震のうち、マグニチュード七以上の地震が占める割合が四〇％である。

エ 対象の地震が起こる可能性は四〇％であり、残る六〇％は、別の領域で地震が起こる可能性を示している。

解答「」

解答・解説

【全体の要点】

プレート運動で岩盤に変形とエネルギーが蓄えられ、断層の急なずれで地震波が広がる。マグニチュードは地震自体の規模を、震度は各地の揺れの強さを表す。地震が同じでも場所によって揺れは異なり、同じ揺れでも建物や室内の状態によって被害は異なる。

長期評価は、過去の地震の履歴と計算上の仮定から、一定期間の発生可能性を求める。平均的な発生間隔を次の発生日へ直結させず、ばらつきや、計算法に応じて前回からの経過時間を考える。確率には対象の領域・規模・期間・基準日が伴い、三〇年間の発生を示す値を、そのまま年間の確率や発生順序に置き換えることはできない。

個々の地震の時期・場所・規模を発生前に狭く限定する予測は、現在は難しい。緊急地震速報は、すでに始まった地震の観測を使って、これから各地に届く揺れを予測する。長期評価と速報では、捉える過程と情報を使える時間が異なり、それぞれ長期の備えと、揺れが届く前の行動につながる。

問一

正答 ウ

第四段落では、マグニチュードを「地震そのものの規模」、震度を「ある場所での揺れの強さ」と区別する。さらに、同じ地震でも距離や地盤によって震度は異なり、距離がほぼ同じでも揺れ方は違い得ると述べる。二つの指標の対象と、地盤の違いによる各地の差を保つウが正答となる。

アは、マグニチュードと震度が表すものを逆にしている。イは、距離が揺れに関わる点は本文と合うが、距離が等しければ地盤の違いを無視できるとしている点でずれる。エも、地震の規模が揺れに関わる点では合う。しかし、本文では距離や地盤も揺れに関わるため、規模の大小だけからすべての場所の震度を決めることはできない。

問二

正答 ア

第八段落は、対象の領域、マグニチュード七以上という規模、評価の基準日から三〇年間という期間を定め、その間に少なくとも一度発生する確率を四〇%としている。期間の初めの発生も終わり近くの発生も含む。これらの条件を保ち、期間中に対象の地震が発生する可能性として読むアが正答となる。四〇%は実在する地域の公表値ではない。

イは、期間の終わりの時点だけに対象を狭め、途中の発生を除外している。ウは、指定された領域と規模には合うが、発生するかどうかの確率を、地震の総数に対する割合へ変えている。エの前半は対象の発生可能性を示しているが、残る六〇％の意味が違う。第十段落によれば、それは期間内に対象の地震が発生しない可能性であり、別の領域の地震の発生確率ではない。

問三

正答 エ

第十段落では、四〇％という評価に発生と不発生の両方の可能性が含まれること、確率の高い地震が低い地震より先に起こるとは限らないことを述べる。可能性の評価を、必ず実現する結果や発生順序に置き換えないエが正答となる。

アは、不発生も評価に含まれる点までは合うが、それを理由に評価が誤りだったと結論する点が逆である。イも、発生が評価に含まれている点は合う。しかし、本文は、発生した一例だけを評価の正しさの証明にはできないと述べる。ウは、確率の高低を発生しやすさの違いとして読む点では合うが、その違いから実際の発生順序が決まるとしている。発生しやすさと先後関係を混同している。

問四

模範解答

摩擦でずれが妨げられ、変形した岩盤にエネルギーが蓄えられたのち、急なずれで波として伝わるから。

別解例①

地震波は、動きを止められた岩盤にたまったエネルギーが、力に耐えきれない部分の急なずれで伝わるから。

別解例②

プレートが動き続けても摩擦で動けない部分が変形し、そのエネルギーが急なずれで地震波となるから。

☆自己採点の観点

中心は、ゆっくりした運動で蓄えられたエネルギーが、岩盤の急なずれによって地震波として伝わるという関係である。摩擦などで動きが妨げられることを示し、変形・蓄積から急なずれへつなげたい。「力に耐えきれなくなる」は省いてもよい。「ひずみがたまる」などの表現も、岩盤の変形を指すと分かれば認められる。プレートの速度自体が急に上がるからだ

とする答案や、摩擦があるだけで揺れが始まるとする答案では、蓄積と解放の関係が抜けている。第二・第三段落に基づき、揺れが周囲へ伝わるまでを説明する。

問五

模範解答

発生間隔にばらつきがあり、平均の年数だけでは時期が決まらず、前回からどれほど経過したかも将来の可能性に関わるから。

別解例①

過去の間隔の平均は発生日を指定せず、間隔の散らばりと現在までの経過時間を使って、一定期間の可能性を計算するから。

別解例②

平均の年数を待てば起こるとは限らず、時期のばらつきと前回からの経過時間が、将来の発生のしやすさに関わるから。

☆自己採点の観点

発生間隔は一定ではなく、平均の年数どおりに次の地震が起こるとは限らないことをまず押さえる。そのうえで、間隔のばらつきと、前回の地震から現在までどれほど時間が過ぎているかを使い、現在から先の発生可能性を求めると説明する。平均を否定する必要はなく、平均だけでは足りないという関係が必要である。古い文書や地層など、履歴を調べる資料の列挙は省ける。「周期が決まらない」「間隔が散らばる」などでもよい。ただし、経過時間を使う方法についての問いなので、その要素は省かない。経過時間が分かれば発生日を確定できる、すべての長期評価がこの方法を使う、という断定は本文の範囲を超える。

問六

模範解答

各年の確率が一律とも、単純に足せるとも限らず、期間全体の値を等分できないから。

別解例①

発生のしやすさは年ごとに変わり得るため、期間全体の値を等分できないから。

別解例②

複数の年に起こる場合を重ねて数え得るので、全体の確率を単純に等分できないから。

☆自己採点の観点

四〇％は三〇年間に少なくとも一度起こる可能性であり、それだけでは各年の確率を同じ値に決められないことが中心となる。第九段落の、各年の発生のしやすさが変わり得るという理由か、複数の年に起こる場合が重なり、年ごとの確率を単純に足せるとは限らないという理由のいずれかを明確に示せばよい。両方を詳しく書く必要はない。「単純な割り算はできない」だけでは理由がない。「発生のしやすさ」を「一年ごとの確率」としても認められるが、毎年必ず確率が上がるという断定は避ける。本文にない計算式を使う必要はない。

問七

模範解答

その場所の揺れは震源との位置や地盤によって変わり、被害は同じ揺れでも耐震性や家具の固定などの条件によって異なるから。

別解例①

地震の起こりやすさは家での揺れを定めず、場所の地盤などが揺れに、建物や室内の状態が被害に関わるから。

別解例②

同じ地震でも場所によって揺れ方が違い、同じ強さで揺れても、建物の丈夫さや家具の状態で被害は変わるから。

☆自己採点の観点

二段階の関係を分けて示す。まず、家のある場所での揺れには、震源との位置関係や地盤の性質が関わる。次に、同じ強さで揺れても、建物の耐震性や家具の固定の状態などで被害が変わる。この二つをつなげれば、地震の起こりやすさだけから家での揺れや被害を決められない理由になる。各段階の条件は、一つ以上具体的に挙げればよく、すべてを列挙する必要はない。「建物の丈夫さ」などの言い方もよい。別の場所で起きる地震への言及は省ける。被害の条件を揺れの強さを決める条件として扱う答案や、発生確率が低ければ無被害だとする答案では、本文で区別した関係が混ざっている。

問八

模範解答

長期評価は過去の履歴などから一定期間の地震の発生可能性を、緊急地震速報は発生直後の観測から各地に届く揺れを予測する。

別解例①

これから地震が起こる可能性を過去の繰り返しから求めるのが長期評価で、始まった地震の情報からこれからの揺れを求めるのが緊急地震速報である。

別解例②

緊急地震速報はすでに生じた波を観測して揺れの到来を知らせる一方、長期評価は過去の地震の記録などをもとに期間内の発生確率を示す。

☆自己採点の観点

「用いる情報」と「予測する対象」を、二つの仕組みにそれぞれ対応させる。長期評価は過去の履歴や繰り返しを材料に、これからの一定期間に地震が起こる可能性を求める。緊急地震速報は始まった地震の観測を材料に、これから各地に届く揺れを予測する。説明の順序は自由で、資料の種類や波の速さ、備えの例は省いてよい。「発生確率」と「発生可能性」は、一定期間の評価だと分かればいずれも認められる。長期と直前という時間の違いだけでは、情報と対象の違いが不足する。速報を地震が始まる前の発生予告とする答案や、速報なら必ず揺れの前に届くとする答案は、本文の説明に合わない。

【この章で押さえてたい分野知識】

① プレーートの運動と地震 プレートは地殻とマンツルの最上部からなる硬い岩盤で、ゆっくり動いている。動きが妨げられた部分の周囲には変形とエネルギーが蓄えられ、断層の急なずれによって地震波が広がる。地震はプレートの境界だけでなく、内部でも起こる。震源はずれが始まった地点である。

② 規模・揺れ・被害 マグニチュードは地震自体の規模、震度はある場所での揺れの強さを表す。各地の揺れには震源との位置関係や地盤が関わり、被害には建物や室内の状態も関わる。この三つを同じものとして扱わない。

③ 長期評価の材料 地震の観測記録、古い文書、地層のずれなどから過去の履歴を調べる。平均的な発生間隔は、次の発生日を決める時計ではない。間隔のばらつきや、計算法に依じて前回からの経過時間を用い、仮定のもとで一定期間の可能性を求める。

④ 発生確率の範囲 確率を読むときは、対象の領域・規模・期間・基準日確かめる。本文の四〇％という評価には、対象の地震が起こらない可能性も含まれる。一度の結果だけで評価の正誤を確定しない。確率の高低は発生順序を決めず、低い値も、ある家や地域に被害がないことを保証しない。

⑤ 緊急地震速報 発生した直後の観測を使い、地震波が伝わる途中で各地の揺れを予測する。地震の発生前の予告ではない。波が届くまでの時間と解析・伝達に要する時間の関係で、震源に近い場所などでは間に合わない場合がある。長期評価と速報は、使う情報と行動に必要な時間が異なる。

第三章 天気予報はなぜ変わるのか

本文

① 朝に見た予報では夕方は雨だったのに、昼に確かめると曇りに変わっている。こうした変化は、どのように生じるのだろうか。ここでは、ある町と同じ日の午後六時について、朝には雨、昼には曇りと予報された仮の場面を考える。朝の計算では、西から近づく雨の帯が夕方には町に達すると見込まれていた。その見込みが変わるまでの間に、空と、空を調べる仕事の両方で何が起きているのだろう。

② 天気は、頭上にある雲だけで決まるわけではない。風は熱や水蒸気を運び、地面や海からも大気へ熱や水蒸気が渡される。地上付近の空気と上空の空気は、温度や動きが異なる。離れた場所から湿った空気が流れ込み、それが上昇すれば、さっきまで雲のなかった所にも雲が生まれ得る。天気を先まで考えるには、今見えている雲の形だけでなく、その雲を生み、変化させる周囲の大気の状態を知る必要がある。

③ 例えば、湿った空気が上昇すると、周囲の気圧が低くなるため空気は膨張し、温度が下がる。十分に冷えると、気体である水蒸気の一部が小さな水滴などになり変わり、雲をつくる。雲は水蒸気そのものではなく、小さな水滴や氷の粒の集まりである。前線と呼ばれる暖かい空気と冷たい空気の境目では、暖かい空気が冷たい空気の上へ押し上げられ、雲ができることがある。しかし、雲ができれば必ず地上で雨になるわけではない。粒が成長して落下し、途中で蒸発せず地上まで届くことなどが必要である。氷の粒が途中でとけて雨になる場合もある。

④ このような大気の状態を調べるため、観測は地上にも上空にも広がっている。地上では気温、気圧、湿度、風などを測り、気球につけた観測器では上空の空気を調べる。気象衛星の画像は広い範囲の雲の分布を示す。一方、気象レーダーは電波を送り、雨や雪の粒から戻る電波によって、降水の分布などを捉える。雲があることと、雨や雪が降っていることは同じではない。観測の方法を組み合わせることで、雲と降水、大気の流れの関係を調べられる。

⑤ それでも、大気のどの場所についても、同じ時刻のすべての状態が測られるわけではない。観測点の間や、観測の少ない海上には、直接の測定だけでは埋まらない部分がある。そこで、以前の計算が予測した現在の大気の状態を土台に、新しい観測を組み合わせる。観測にも計算にも誤差があるため、その性質を考慮して、計算の出発点となる状態を求めるので

ある。これは、今の空を丸ごと測った結果でも、前の予測をそのまま使ったものでもない。広い範囲について得られた情報を合わせた、現在の状態の推定である。

⑥ こうして求めた状態から先の変化を計算する方法を、数値予報という。大気を上下にも細かく区切り、それぞれの区画に気温や風、水蒸気の量などの値を与える。これが、予測の初めの状態を表す初期値である。数値予報モデルという計算の仕組みを用い、物理法則に基づいて、風が熱や水蒸気を運ぶことや、雲や雨が生じる過程などを計算する。少し先の状態を求め、さらにその先へと計算を重ねる。今の雲の画像を一定の速さで動かすだけでは、雲の発生や消滅は扱えない。

⑦ 計算結果は、各地の気温や降水量などを表す数値の集まりである。それを、地域ごとの天気や雨の降る時間帯など、利用しやすい予測資料にする。モデルで十分に表せない細かな地形による偏りなどは、過去の観測と予測の関係も利用して補正する。気象庁の天気予報では、予報官が計算に基づく資料を実際の天気の推移と照らし合わせ、必要な修正を加える。発表される雨や曇りという言葉には、観測、計算、その結果の検討という過程がある。

⑧ 冒頭の町へ戻ろう。午前中に繰り返したレーダー観測から、雨の帯の位置と移動が調べられた。その帯は、朝の計算で予想した正午の位置より西にあり、東へ進む速さも予想より遅いと分かった。これは、朝の計算結果と、その後に観測された状態との違いである。まだ来ていない午後六時の天気を、正午に直接観測できたわけではない。新しく得られたのは、予測の途中にあたる時刻の大気についての情報だった。

⑨ 新しい観測を取り込み、雨の帯の位置や周囲の風などを含む大気の状態を求め直して、そこから先を計算する。その計算では、雨の帯が町に達するのは夜となり、午後六時には雲はあるが雨は降らないと見込まれた。これにより、午後六時の予報は雨から曇りに変わった。朝と昼で、予測する時刻が違うのではない。同じ時刻の天気を考えるための材料と、計算の出発点が変わったのである。また、正午の町が曇りだから、そのまま夕方も曇りとしたのではない。

⑩ 観測が増えても、予測の誤差がすべてなくなるわけではない。一つの原因は、初期値と実際の大气の状態とのわずかな違いが、その後の予測に影響することだ。風の向きや水蒸気の量の小さな違いが、時間がたつにつれて、雨の帯の位置や発達の前測の違いに広がる場合がある。同じ日の夕方を予測するなら、昼からの計算は朝からより先の変化をたどる時間が短い。このことも一般に精度の向上に役立つが、昼の予報が一回ごとの結果でも必ず朝より正確だとは言えない。

⑪ もう一つは、モデルが現実の大気の変化を細部までそのまま再現しているわけではないことである。区画より小さな雲の働きなどは、その影響をまとめて表す必要がある。区画を細かくすれば捉えやすくなる現象はあるが、それだけで、測られていない大気の状態まで正確に分かるようにはならない。出発点をよりよく求めることと、変化を表す計算の仕組みをよりよくすることは、関連しながらも異なる仕事である。

⑫ 予測の確かさを調べるためには、初期値などに少しずつ違いを与えて、複数の計算を行う方法も使われる。これをアンサンブル予測という。同じ時刻について、雨の帯の位置などの予測が大きく分かれれば、一つの結果だけでは見えなかった不確定さが分かる。結果が近く集まれば、与えた違いに対しては似た予測が得られている。ただし、どの計算にも共通する偏りが残ることはあり、結果の一致が正しさの保証になるわけではない。複数の計算は、正解を多数決で決めるためではなく、予測の幅も調べるためにある。

⑬ 天気予報の更新は、未来の天気を変更する操作ではない。動き続ける大気を新たに捉え、その情報を使って同じ未来を考え直す仕事である。前の予測は、新しい観測と照合されると同時に、次の計算の出発点を求める材料にもなる。朝から昼へ、昼から夕方へ、観測と計算は切り離されずに続いていく。午後六時の雨が曇りへ変わった短い表示の背後には、風が水蒸気を運び、雲が生まれる過程を、そのつど現在の大气からたどり直す営みがある。

設問

問一

第六段落の「今の雲の画像を一定の速さで動かすだけ」では、先の天気を十分に考えられない理由として、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 空気の流れや水蒸気の量などが雲の発生や消滅に関わるため、見えている雲の位置の変化だけでは扱えないから。

イ 雲の水滴や氷の粒は地上での降水と同じものなので、雲の位置よりも地上で測った降水量を優先して考える必要があるから。

ウ 上空の空気は地上付近と温度や動きが異なるため、雲の移動については地上の観測を利用せず、衛星画像をもとに考える必要があるから。

エ 離れた場所から湿った空気が流れ込むと雲ができるため、今ある雲が同じ形のまま動く速さを、より細かく計算する必要があるから。

解答「」

問二

冒頭の仮の例で、朝と昼の予報を比べた説明として、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 朝と昼で観測する時刻は変わるが、雨の帯について得られる情報は同じなので、予測する時刻の違いが雨から曇りへの変更を生む。

イ 正午に雨の帯が予想より西にあることが観測され、町の午後六時に雨が降らないことも、その観測によって確かめられた。

ウ 朝と昼では利用できる観測と計算の出発点が異なり、それぞれの情報から、同じ午後六時の天気を予測している。

エ 正午に町が曇りだったことを材料に、今の天気がそのまま続くと判断し、午後六時の予報を曇りに変えた。

解答「」

問三

第十二段落のアンサンブル予報について、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 計算結果が近く集まる場合は、初期値の誤差が取り除かれ、大気の詳細な変化まで正確に計算されている。

イ 結果の集まり方は、与えた違いに対する予測の幅を示すが、計算に共通する偏りがないことまでは示さない。

ウ 計算結果が大きく分かれる場合は、計算の多い側を選ぶことで、初期値の違いによる誤差を取り除ける。

エ 結果のばらつきは、同じ時刻に起こり得る天気の違いではなく、観測時刻が異なるために生じる大気の変化を示す。

解答「」

問四

湿った空気が上昇すると、雲ができることがあるのはなぜか。気圧と水蒸気の変化に触れ、五〇字以内で説明せよ。

解答欄 五〇字以内

解答・解説

【全体の要点】

天気は、風による熱や水蒸気の運搬、空気の上昇、雲の粒の成長などによって変わる。雲は水蒸気そのものではなく水滴や氷の粒の集まりであり、雲があることと地上で雨が降ることは区別する。地上・上空の測定、衛星、レーダーは、それぞれ異なる情報を与える。

数値予報では、以前の計算が予測した現在の状態と新しい観測を組み合わせて初期値を求め、物理法則に基づいて先の大気の変化を計算する。本文の仮の例では、雨の帯が朝の予想より遅く進むという観測を取り込み、再計算した結果、同じ午後六時の予報が雨から曇りへ変わった。観測した現在と、計算した未来を同じものとして扱わない。

精度を高めるには、出発点の状態と、変化を表すモデルの両方を改善する必要がある。同じ時刻をより近い時点から予測することは一般に役立つが、一回ごとの的中を保証しない。複数の計算を比べるアンサンブル予報は予測の幅を調べる方法であり、多数決で正しさを決めるものではない。観測と計算を繰り返すことによって、動き続ける大気から予測を作り直していく。

問一

正答 ア

第二・第三段落では、湿った空気の流入や上昇により、今は雲のない所にも雲ができることを説明する。第六段落の数値予報は、大気の状態を出発点に、雲や雨が生じる過程を計算する。アは、今ある雲の移動と、雲そのものの発生・消滅とを区別しており、位置を動かすだけでは足りない理由になる。

イは、雲と降水を同じものとしている。水滴や氷の粒からできた雲があっても、地上で雨になるとは限らない。降水量が重要な情報であることから、他の大気の状態より優先すべきだとも言えない。ウは、上空と地上付近が異なる点では本文に合うが、地上の観測を使わないという結論へ飛躍している。第四段落は観測を組み合わせること述べる。エは、湿った空気の流入による雲の発生を挙げながら、今ある雲の形を固定し、移動速度の計算だけで扱おうとしている。

問二

正答 ウ

第一段落は、朝と昼の予報がともに「同じ日の午後六時」を対象とすると示す。第八段落の新しい観測は午前中から正午の雨の帯を捉え、第九段落では、それを取り込んで先の状態を計算し直す。ウは、予報を作る時点と予測対象の時刻を分け、変わったのが予測に用いる情報と出発点であることを押さえている。

アは、観測時刻が変わる点には合うが、得られる情報は同じだとしている。本文では帯の位置や進み方について新しい情報を得ており、予測する時刻は午後六時のままである。イは、正午に帯が予想より西にあるという観測を、午後六時に雨が降らないという未来の確認へ変えている。エは、現在の天気をそのまま未来に延長する説明である。第九段落では、正午に曇りだから夕方も曇りとしたのではないと、明確に区別している。

問三

正答 イ

第十二段落では、初期値などに少しずつ違いを与え、同じ時刻について得られる予測の集まり方を比べる。結果が近い場合にも、共通する偏りが残る可能性を示している。イは、与えた違いに対する予測の幅は調べられるが、その一致だけで偏りの不在や正しさを確定できないという範囲を保つ。

アは、結果が近いことを、誤差が取り除かれたことと同一視している。第十・第十一段落では初期値とモデルの両方に誤差の原因があり、第十二段落でも共通の偏りに注意する。ウは、複数の計算を比べる方法を多数決による正解の決定へ変えている。計算の数が多い側を選ぶだけで誤差は取り除けない。エは、同じ時刻についての異なる予測を、観測時刻の違いによる現実の天気の変化と取り違えている。

問四

模範解答

上昇すると周囲の気圧が低くなり、空気が膨張して冷え、水蒸気の一部が水滴などに変わるから。

別解例①

気圧の低い上空で空気が膨張して温度が下がり、十分に冷えると水蒸気から小さな水滴ができるから。

別解例②

雲になる水滴などは、上昇した空気が低い気圧の下で膨張し、十分に冷えたときに水蒸気からできるから。

☆自己採点の観点

第三段落の、周囲の気圧の低下↓空気の膨張と冷却↓水蒸気の一部が水滴などになる、という関係をつながたい。空気が上昇することは設問にあるので、答案では「上空で」などと短くしてもよい。雲が水蒸気そのものだとは読める表現は避ける。「水蒸気が凝結する」も、水滴への変化を指すと分かれれば認められる。氷の粒や前線の例を加える必要はない。気圧が低いだけで必ず雲になる、またはできた雲が必ず雨になる、と断定しない。

問五

模範解答

観測だけでは大気全体を測れず、広い範囲を示す前の予測にも誤差があるため、新しい観測で修正して現在の状態を求めるから。

別解例①

前の予測で観測のない所も補い、現実を捉えた新しい観測でその予測を直すことで、現在の大気を広く推定できるから。

別解例②

測定されていない場所は前の計算を利用し、その計算の誤差は観測で修正するという、両方の役割を生かせるから。

☆自己採点の観点

観測だけでは全域の状態がそろわないこと、前の予測が広い範囲の土台になること、観測を使ってその土台を修正することの関係が中心となる。二つの方法を別々に列挙するだけでなく、何を補い、何を直すのかを示す。海上や観測点の間という具体例、誤差の性質の詳しい説明は省いてよい。ただし、「前の予測は正しいので空白を埋めるだけ」としてはいけない。また、観測にも誤差はあるため、修正後は完全に正確になるとは言えない。ここで組み合わせる前の予測は、未来ではなく、計算開始時の現在を予測したものである。

問六

模範解答

雨の帯が予想より西にあり、進みも遅いと観測され、現在の状態を求め直した計算では、町への到達が夕方ではなく夜と見込まれたから。

別解例①

朝は夕方の到達を予測したが、帯が予想より西にあるという新しい観測を反映した計算では、雨は夜まで届かないと見込まれたから。

別解例②

観測で捉えた帯の位置や周囲の風をもとに計算し直すと、町で雨になる時刻が遅くなり、午後六時には降らないと予測されたから。

☆自己採点の観点

新しい観測で帯の位置や進み方を捉えたこと↓その情報から現在の状態を求め直し、先を再計算したこと↓夕方ではなく夜に雨が届くという見込みになったことを結ぶ。位置が予想より西、または進みが予想より遅いという具体的なずれを挙げると、変更の理由が明確になる。「午後六時には降らない」など、夜の到達を夕方の予報へつないでもよい。朝の発表時刻やレーダーという機器名は省ける。「観測で午後六時の曇りを確認した」では現在と未来が混同される。また、遅い動きを知っただけで未来が確定したのではなく、本文では再計算を経て見込まれたことに注意したい。

問七

模範解答

前者は新しい観測で現在の大気の状態を修正すること、後者は区画を細かくして小さな現象も捉えやすくすること。

別解例①

モデルの改善では区画を細かくして現象を捉えやすくし、出発点の改善では新しい観測を用いて現在の状態をよりよく推定する。

別解例②

初期値は観測を加えて現在の推定を直し、モデルは区画を細かくして小さな雲などの表現を改善するという違いがある。

☆自己採点の観点

出発点の改善では、新しい観測を組み合わせせて現在の状態の推定を修正する。モデルの改善では、例えば区画を細かくして、小さな現象を計算で捉えやすくする。この二つの方法と、改善する対象を対応させたい。初期値・数値予報モデルという用語を使わなくても、今の状態の推定と、変化の表し方を分けられればよい。両方を「観測を増やす」「計算を速くする」とまとめると、違いが消える。また、区画を細かくするだけで観測のない場所の状態も必ず正確になるとは書かない。モデルの改善方法が区画を細かくすることに限られるわけではないが、この問いでは本文の具体例を用いる。

問八

模範解答

予測する時間が短くなり、初期値の小さな違いが広がる時間も短くなるから。

別解例①

夕方に近い昼からの予測では、初期値の誤差が大きくなる過程をたどる時間が減るから。

別解例②

昼の初期値から出発すれば、誤差が広がり得る朝から昼までを予測せずに済むから。

☆自己採点の観点

同じ夕方までを考えるとという条件のもとで、昼からの予測は時間が短く、初期値の違いが大きくなる時間も減る、という関係が中心である。「夕方に近い時点から予測する」などの表現もよい。第九段落の観測更新だけを理由にすると、ここで問われた時間との関係が抜ける。帯の位置などの具体例は省いてよい。「昼の予報は必ず当たる」「短い計算なら誤差がなくなる」は本文以上の断定となる。別解例②の「予測せずに済む」は、昼から夕方までの予測の範囲を指す。昼の初期値を求める際に、以前の計算結果を利用しないという意味ではない。

【この章で押さえない分野知識】

① 雲と雨 雲は小さな水滴や氷の粒の集まりであり、気体の水蒸気そのものではない。湿った空気の上昇、膨張、冷却は雲をつくる過程の一つである。地上の雨には粒の成長や落下、途中で蒸発せずに届くことなども関わるため、雲があることと雨が降ることを区別する。

② 異なる観測の組合せ 地上と上空の観測は、その場所の気温や湿度、風などを調べる。衛星の画像は広い範囲の雲を示し、レーダーは雨や雪の粒から戻る電波で降水の分布などを捉える。異なる情報を組み合わせ、大気の状態を立体的に理解する。

③ 数値予報の出発点 大気のすべての場所を同時に測れるわけではない。以前の計算が予測した現在の状態を土台に、新しい観測と、それぞれの誤差を考慮して初期値を求める。初期値は、今の空を丸ごと直接測った結果ではない。

④ 数値予報モデル 大気を区画に分け、物理法則に基づいて先の変化を計算する仕組みである。今ある雲の移動だけでなく、雲や雨が生じる過程なども扱う。モデルで変化を表すことと、出発点の状態を推定することは区別する。

⑤ 予報の更新と予測の幅 新しい観測を取り込んで再計算すると、同じ対象時刻の予測が変わる場合がある。観測の時刻、予報を作る時点、予測対象の時刻を混同しない。予測期間が短くなることは一般に精度向上に役立つが、毎回の的を保証しない。アンサンブル予報は複数の計算から幅も調べる方法であり、結果の一致だけで正しさを保証するものではない。

第四章 地球の気候は何によって決まるのか

本文

① 地球の陸地や海は、昼に太陽の光を受けて暖まる。夜にも海から熱が大気へ渡され、地表や大気からは宇宙へエネルギーが放出されている。こうした出入りと移動は、毎日の気温だけでなく、季節ごとの暑さや寒さにも関わる。気候とは、長い期間にわたる気温や降水などの平均的な状態と、その変動の特徴である。ある日の空模様から視野を広げると、地球全体でエネルギーがどう受け取られ、どこに蓄えられ、どう出ていくかという関係が見えてくる。

② 太陽から届く光のすべてが地球を暖めるわけではない。一部は雲や雪、氷などによって反射され、そのまま宇宙へ戻る。地表や大気に吸収された分が、地球のエネルギーとなる。暖まった地表や大気も、光の一種である赤外線を放出する。赤外線は目には見えないが、エネルギーを運ぶ。このため、太陽光を反射して戻すことと、吸収したエネルギーを赤外線として放出することは、どちらも宇宙へ向かう光でありながら、異なる過程である。

③ 地球の気候が長期にわたってほぼ安定しているときには、太陽光として吸収する量と、赤外線として宇宙へ放出する量が、長い期間の平均でほぼ釣り合う。吸収する量が放出する量を上回る状態が続けば、地球に蓄えられるエネルギーは増える。これは地球全体の収支であり、昼の地面や一つの海域で、いつも出入りが等しいという意味ではない。現在の地球では、吸収する量が放出する量を上回り、主として海洋に熱が蓄えられている。

④ 宇宙へ向かう赤外線の経路には、大気に関わる。水蒸気や二酸化炭素などの気体は、地表から出た赤外線の一部を吸収し、自らも赤外線をさまざまな向きに放出する。そのうち地表へ向かう分は、地表を暖める働きを持つ。これが温室効果であり、この働きのない場合と比べて地表付近の温度は高くなる。大気がエネルギーを新しく作るのではなく、地表と大気の間で受け渡される経路が変わるのである。赤外線の一部は大気を通り抜け、また大気からも宇宙へ出ていくため、熱が永久に閉じ込められるわけではない。

⑤ 二酸化炭素が増えると、ほかの条件と変化前の温度を同じにして比べた場合、赤外線が宇宙へ出ていく量は減る。太陽光の吸収量がかわらなければ、地球にエネルギーが蓄えられる方向へ収支が変わる。やがて地表や大気が暖まると、赤外線を放出する量は増えていく。温室効果ガスの量がかわることと、その変化を受けて温度や放出量がかわることには順序が

ある。この二つの段階を区別すると、放出を抑える働きと、暖まれば放出が増える働きが両立することが分かる。

⑥ エネルギーの受け取り方は、地球上で様ではない。球形の地球では、高緯度ほど太陽光が地面に斜めに当たりやすく、同じ量の光が広い面積に分かれる。年間の平均で見ると、低緯度には吸収する量が宇宙へ放出する量より多い地域があり、高緯度には逆の地域がある。風や海流は、全体として低緯度から高緯度へ熱を運ぶ。この移動を含めて各地域の収支が成り立つので、地球全体がほぼ釣り合う状態でも、地域ごとの放射の収支まで等しくなる必要はない。ある土地の気候には、その場所の日射だけでなく、ほかの地域から運ばれる熱も作用する。

⑦ 海洋は熱を運ぶと同時に、蓄える働きを持つ。海は大量の水からなり、温度を上げるには多くのエネルギーを必要とする。さらに水の混合や流れによって、受け取った熱が内部へも運ばれる。そのため海の温度は陸地の表面ほど急には変わりにくく、周囲の気候との熱のやり取りを通じて、海沿いの季節の気温差を小さくする方向に働く。同じ緯度でも、海沿いと内陸で気候が違う理由の一つである。長期的な温暖化に対しても、海洋への熱の蓄積は地表付近の温度の変化を緩やかにする。ただし、熱を受け取ることは、熱を消すことではない。

⑧ 一つの変化が、別の要素を通じて元の変化を強めることもある。雪や氷が減って暗い地面や海面が現れると、太陽光を反射する割合が下がり、吸収する量が増える。それによる温度の上昇は、さらに雪や氷を減らす方向に働く。初めの温度上昇が、反射の変化を介して増幅されるのである。また、温度が上がると一般に大気中の水蒸気が増え、その温室効果が温暖化を強める。このように、変化の結果が原因の側へ戻って働く関係をフィードバックと呼ぶ。増幅があることだけで、温度が無限に上がると決まるわけではない。

⑨ 収支を変える要因には、自然のものもある。太陽の活動が変われば、届くエネルギーの量も変わる。大規模な火山噴火で硫黄を含む気体が大気の高い層まで達すると、そこからできた細かい粒子が太陽光を反射し、地表付近を冷やすことがある。粒子が取り除かれるにつれて、この影響は通常、数年ほどで弱まる。一方、二酸化炭素は海洋や陸地に一部が吸収されても、大気中に長く残る分があり、濃度の増加はより長い期間、収支に影響する。要因を比較するには、暖めるか冷やすかに加え、どの経路に作用し、どれほど続くかを考える必要がある。

⑩ 現在の長期的な温暖化の主因は、化石燃料の燃焼など、人間活動による温室効果ガスの増加である。これは、二酸化炭素の増加と気温の上昇が同時に起きたというだけの判断ではない。赤外線を吸収する性質、地上や海洋などで観測された変化、自然の要因だけを含む計

算と人間活動の影響も含む計算との比較が、この説明を支える。自然の要因だけでは近年の温暖化を説明できず、人間活動の影響を含めると、観測された変化をよく再現できる。自然にも変動があるという事実は、現在の温暖化の主因が分からないという結論を導かない。

⑪ 長期的な温暖化の上に、大気や海洋がもとも持つ変動が重なるため、世界の平均気温は毎年同じ幅で上がるわけではない。海面付近から海洋内部へ運ばれる熱が増えれば、地表付近の気温の上昇が鈍くても、地球全体に蓄えられる熱は増え得る。実際に、世界の平均気温の上昇率が小さかった期間にも、海洋に蓄えられた熱は増加していた。気温という一つの値と、地球全体が蓄える熱の量とでは、捉えているものが違う。短い期間の変動と長期の変化を、同じ尺度で扱うことはできない。

⑫ 地球の気候を形づくるのは、エネルギーの総量だけではない。宇宙との出入り、地域間の移動、海洋への蓄積が結びつき、雪や氷、大気の変化もそれらの働きを変える。受け取った熱が、その時、その場所の気温としてすべて現れるわけではなく、離れた場所へ運ばれ、長い時間をかけて温度の変化となることもある。海沿いと内陸の季節の気温差にも、地球全体の長期的な温暖化にも、こうした受け渡しがそれぞれの尺度で関わっている。気候を理解することは、熱の出入りを、場所と時間に広がる過程としてたどることである。

設問

問一

第三・第六段落で述べられるエネルギーの収支について、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 地球全体で吸収と放出がほぼ釣り合うときには、風や海流による熱の移動によって、各地域でも太陽光の吸収量と宇宙への放出量が等しくなる。

イ 低緯度で吸収が放出を上回る場合、高緯度への熱の移動は地球全体から熱を失わせるので、地球全体の収支も放出の方が大きくなる。

ウ 地域間で熱が移動するため、地域の放射の収支に差があっても地球全体の収支は釣り合い得るが、現在は全体で吸収が放出を上回っている。

エ 海洋へ熱が蓄えられると、その熱は地球全体の収支から差し引かれるので、現在も太陽光の吸収と宇宙への放出はほぼ等しい。

解答「」

問二

第五段落の二酸化炭素と赤外線放出量の関係を説明したものとして、本文に合うものを、次のア～エから一つ選べ。

ア 温度などを変化前と同じにして比べると、二酸化炭素の増加は宇宙への赤外線の放出を減らす、その後に暖まれば放出を増やす働きも生じる。

イ 二酸化炭素が増えると宇宙への赤外線の放出量が減り続け、その減少に伴って地表や大気の温度が高くなるので、放出量と温度は常に反対向きに変わる。

ウ 二酸化炭素が増えた後に地表や大気が暖まって赤外線の放出が増えるので、二酸化炭素が増えた直後から宇宙へ放出する量も増える。

エ 二酸化炭素が増えると、大気から地表への赤外線が太陽光の吸収を減らすため、宇宙への放出が減っても地球に蓄えられるエネルギーは変わらない。

解答「」

解答・解説

【全体の要点】

地球は、太陽光の一部を反射し、残りを地表や大気に吸収して、赤外線を宇宙へ放出する。吸収と放出の差が、蓄えられるエネルギーの増減に関わる。温室効果は、大気による赤外線の吸収と放出を通じて地表を暖める働きであり、エネルギーを作り出したり、宇宙への放出を完全に止めたりするものではない。二酸化炭素の増加の作用と、その後の温度上昇の作用を、比較条件と順序を保って読む。

地球全体の収支と、地域ごとの収支は尺度が異なる。大気や海洋は低緯度から高緯度へ熱を運び、海洋は多くの熱を蓄えて気温の変化を緩やかにする。雪や氷の減少による反射の変化、水蒸気増加による温室効果の強まりは、初めの温度上昇を増幅する。各要素は独立して並ぶだけでなく、作用し合う。

自然の要因も気候を変えるが、現在の長期的な温暖化の主因は人間活動による温室効果ガスの増加であり、物理的な仕組み、観測、計算の比較がこの説明を支える。短い期間の気温の変動と、長期の温暖化、地球全体への熱の蓄積は区別する。気候は、宇宙との出入りと、場所・時間をまたぐ熱の受け渡しが結びついて形づくられる。

問一

正答

ウ

第三段落は、気候がほぼ安定している場合の地球全体の収支と、現在の吸収が放出を上回る状態を区別する。第六段落では、低緯度から高緯度への熱の移動を含めて地域の収支が成り立つと述べる。ウは、全体と地域、安定した場合と現在という二つの区別を保っている。

アは、風や海流が熱を運ぶ点では合うが、その結果として各地域の放射の吸収と放出が等しくなるとしている。移動も含む収支と、宇宙との放射だけの収支を混同している。イは、低緯度の超過と高緯度への移動には合うが、地球内の移動を宇宙への放出に置き換える。エは、海洋への蓄積を挙げながら、その熱を地球の外へ失われた分として扱う。海洋も地球全体に含まれ、そこでの貯熱は吸収と放出の差が残る場所の一つである。

問二

正答

ア

第五段落の初めには「ほかの条件と変化前の温度を同じにして比べた場合」という条件がある。その条件で二酸化炭素の増加が放出を減らすことと、その後の温度上昇が放出を増やすことを、別の段階として読む。アは、比較の条件と変化の順序をどちらも示している。

イは、増加した二酸化炭素が放出を抑える点から、その後も放出が減り続けると広げている。温度上昇により放出が増える働きを落としている。ウは、暖まると放出が増えるという後の段階を、温度を同じにして比べる初めの段階に持ち込む。エは、大気から地表へ赤外線が向かう点では第四段落に合うが、それによって太陽光の吸収が減るという関係は本文にない。第五段落は、太陽光の吸収量が変わらない場合に、放出の減少によって蓄積が増える方向へ収支が変わると述べている。

問三

正答

エ

第十段落は、赤外線を吸収する性質という仕組み、地上や海洋などの観測、要因を変えた計算の比較を挙げる。自然の要因だけでは近年の温暖化を説明できず、人間活動の影響を含めるとよく再現できることも述べる。エは、異なる働きを持つ根拠が一つの説明を支える関係を捉えている。

アは、二つの増加が同時に起きた点には合うが、その一致だけで主因を判断する。本文はそれだけの判断ではないと明示する。イは、どちらにも気候への作用がある点には合うが、作用があることから、現在の温暖化に対する寄与まで同程度だとしている。ウは、計算が観測をよく再現する点には合うが、計算結果を観測値へ置き換える。照合する二つの情報は、よく一致しても同じ種類の情報にはならない。

問四

模範解答

大気が地表の赤外線を吸収し、地表へも放出するため、その働きのない場合より地表付近が暖まるから。

別解例①

地表は太陽光に加えて、地表からの赤外線を吸収した大気が放出するエネルギーも受け取り、暖まる。

別解例②

地表の赤外線を吸収した大気が地表へも放出し、エネルギーの受け渡しを変えて地表を暖めるから。

☆自己採点の観点

大気が地表からの赤外線を吸収すること、大気から地表へも赤外線が放出されて地表を暖めることを結ぶ。吸収だけでは、地表が暖まる経路が示されない。「太陽光に加え、大気からもエネルギーを受け取る」と地表側から組み立ててもよい。水蒸気や二酸化炭素の名前、宇宙へ抜ける分の詳しい説明は省ける。「大気が熱を作る」「地表から出た熱がすべて戻る」とはしない。赤外線と書かず「エネルギー」と表す場合も、その吸収と地表への放出という経路が分かれば認められる。

問五

模範解答

風や海流が低緯度から高緯度へ熱を運び、各地域の吸収と放出の差を補う収支が成り立つため。

別解例①

高緯度の放出の超過は、吸収が放出を上回る低緯度から風や海流で運ばれる熱によって補われるから。

別解例②

宇宙との放射の出入りに加え、風や海流による他地域との熱の移動も、地域の収支に含まれるから。

☆自己採点の観点

宇宙との放射の吸収・放出以外に、地域間の熱の移動があることを理由にする。低緯度の超過分が高緯度へ運ばれると具体的に書く形と、地域の収支に含まれる項目を示す形のどちらも成り立つ。風と海流を列挙する代わりに「大気と海洋が熱を運ぶ」としてもよい。斜めに当たる太陽光の説明は省ける。単に「地域の気温が違うから」では、収支が成り立つ理由にならない。また、移動によって各地域の吸収と放出が等しくなると書くと、本文が区別する二つの収支を混同してしまう。

問六

模範解答

初めの温度上昇で雪や氷が減ると、太陽光の反射が減って吸収が増え、さらに地表が暖まって雪や氷の減少が進む。

別解例①

雪や氷の減少で現れた暗い面が太陽光を多く吸収するため、初めの温度上昇が強まり、雪や氷の減少もさらに進む。

別解例②

温度上昇の結果である雪や氷の減少が、太陽光の反射を減らして吸収を増やし、次の温度上昇を促す原因にもなる。

☆自己採点の観点

温度上昇、雪や氷の減少、反射の減少と吸収の増加、その結果としてのさらなる温度上昇をつなぐ。最後を「雪や氷がさらに減る」としても、次の温度上昇を挟んで循環が分かれればよい。暗い面が現れることを使えば、「反射が減る」を省いて吸収の増加へ進める。用語の「フィードバック」を答案に繰り返す必要はない。初めの雪や氷の減少が、太陽から届く光そのものを増やすと書くのは誤りである。本文は、届いた光のうち反射と吸収の割合が変わることを述べている。増幅から無限の温度上昇も導けない。

問七

模範解答

火山の粒子は太陽光を反射し、通常は数年で冷却作用が弱まるが、二酸化炭素の増加は宇宙への赤外線放出を抑え、より長く影響する。

別解例①

二酸化炭素は大気に長く残る分が宇宙への赤外線の放出を抑えるのに対し、噴火で生じた粒子は太陽光を反射して冷やすが、通常数年で影響が弱まる。

別解例②

火山の粒子は太陽光の反射で受け取りを減らすが、通常数年で影響が弱まる。二酸化炭素の増加は宇宙への赤外線放出をより長く抑える。

☆自己採点の観点

火山の粒子は太陽光の反射、二酸化炭素は赤外線吸収による宇宙への放出の抑制に関わりと分ける。そのうえで、粒子の影響は通常数年で弱まり、二酸化炭素は大気に長く残る分がより長く作用すると比較する。硫黄を含む気体から粒子ができる過程や、海洋・陸地による二酸化炭素の吸収は省ける。「届く側のエネルギーを減らす／出る側を抑える」という表し方も、反射と赤外線関係が分かればよい。すべての噴火が地球を冷やす、二酸化炭素は永遠に全量残る、などの断定は本文を越える。数年は影響が弱まる目安で、一定の日に消える期限ではない。

問八

模範解答

海面付近から海洋内部に運ばれる熱が増え、地表付近の気温上昇が抑えられても、内部には熱が蓄えられるため。

別解例①

地表付近を暖める熱の一部が以前より多く海洋内部へ回れば、気温の上昇が鈍くなることと地球全体の貯熱が両立する。

別解例②

多くの熱を蓄える海洋の内部へ熱の移動が増えれば、地表付近の気温の上昇が鈍くても、地球全体には熱が蓄積するから。

☆自己採点の観点

海洋内部へ運ばれる熱が増えることと、地表付近の気温の上昇が抑えられることを結ぶ。海洋内部も地球の一部なので、そこへの蓄積は地球全体の熱の増加に含まれる。この関係があれば、「貯熱」「熱がたまる」などの表現は問わない。気温は温度の値であり、地球全体の蓄えた熱量を直接表す値ではない。海洋内部の水温や熱容量を数値で説明する必要はない。ただ「自然変動があるから」とするだけでは、両立する経路が不足する。海が熱を消した、宇宙へ逃がした、地表の気温上昇が鈍ければ温暖化は止まった、と書かない。

【この章で押さえない分野知識】

① **吸収・反射・放出** 反射された太陽光は、そのまま宇宙へ戻る。地表や大気に吸収された分が地球のエネルギーとなり、地表や大気は赤外線も放出する。長くほぼ安定した気候での釣り合いと、現在の吸収が放出を上回る状態を区別する。

② **温室効果と変化の順序** 水蒸気や二酸化炭素などは赤外線を吸収し、地表へも放出して暖める。二酸化炭素が増えた場合の作用は、温度などを同じにして比べる。その後に温度が上がれば、赤外線を放出する量が増える働きも生じる。

③ **大気と海洋の役割** 風や海流は地域間で熱を運び、海洋は大量の熱を蓄える。海洋内部も地球の一部であり、海への蓄積は熱の消失ではない。地域の放射だけの収支と、熱の移動を含む収支も分けて考える。

④ **変化の増幅** 雪や氷の減少が反射を減らし、吸収の増加からさらに温度が上がる場合、結果が元の変化を強める。水蒸気の増加にも増幅の働きがある。こうしたフィードバックから、無限の温度上昇が必然になるとは言えない。

⑤ **要因と時間尺度** 火山の粒子が太陽光を反射して冷やす影響は通常数年で弱まり、大気に長く残る二酸化炭素はより長く作用する。自然の変動があることと、現在の長期的な温暖化の主因が人間活動であることは両立する。気温の上昇が鈍い期間にも海洋への蓄熱は進み得るため、気温と地球全体の熱量を同一視しない。

第五章 星の光から何が分かるのか

本文

① 夜空の星を見比べると、赤みのあるものも、青白く見えるものもある。太陽と同じように自ら光を放つこれらの星を、恒星という。多くの恒星は、望遠鏡を向けても輪郭を見分けられず、光の点として観測される。その点をいくら拡大しても、星の物質を手に取りれるわけではない。それでも、届いた光を細かく調べると、その星の表面付近の温度や、大気に含まれる元素を知ることができる。どんな性質が、光のどこに現れるのだろうか。

② 白く見える太陽の光をプリズムに通すと、赤から紫へと続く帯ができる。光は波としての性質を持ち、波の山から次の山までの長さを波長という。可視光では、赤い光は波長が長く、青や紫の光は短い。色の違いは、この波長の違いに対応している。光を波長ごとに分け、それぞれの強さを調べることを分光という。その結果を波長の順に並べたものがスペクトルである。星の光も分光すれば、一つの点として見たときには重なっていた違いを分けて調べられる。

③ まず、スペクトル全体にわたる光の分布を見る。温度の高い物体は、その温度に応じた光を放つ。加熱した金属が赤く光り、さらに熱すると白く輝くのも、この働きによる。恒星の光の大まかな分布は、幅広い波長にわたる熱による放射として説明できる。温度が高くなるほど、光の分布の山は短い波長の側へ移り、可視光の中で青い光の割合が増す。赤みのある恒星より青白い恒星のほうが、一般に表面温度は高い。ここで求めているのは光が外へ出る表面付近を代表する温度であり、星の中心部の温度ではない。

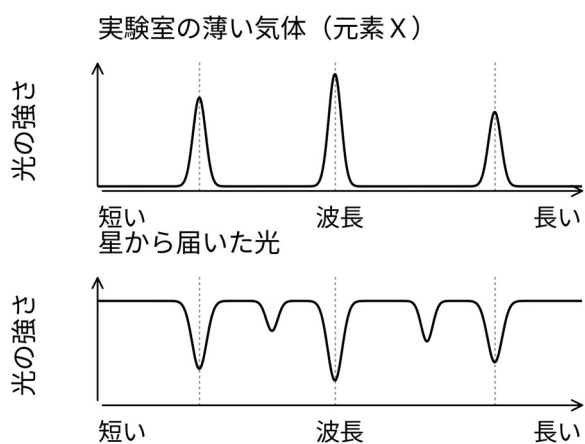
④ 温度を調べる際には、光の総量と、波長ごとの割合を区別する。地球に届く光の総量は、星が全体としてどれほどの光を放つかに加え、距離にも左右される。同じ量の光を放つ星なら、遠いほど届く光は少なくなる。また、同じ表面温度でも、大きな星は光を放つ面積が広い。明るく見えるというだけでは、表面温度が高いとは決められない。分光によって波長ごとの光の割合を比べれば、総量の大小とは別に、温度の手がかりを取り出せる。ただし、届くまでに光の割合が変えられた影響は確かめる必要がある。

⑤ スペクトルをさらに細かく見ると、連続した光の分布に、細い暗い線が重なっていることがある。吸収線と呼ばれるこの線は、その波長の光が周囲より弱いことを示す。多くの恒星では、内側寄りの高温の層から来た光が、より温度の低い外側の大気を通る際に、特定の波長で吸収される。原子が光のエネルギーを受け取るためである。大気も光を出す、その

波長では内側から来た光が十分に補われず、外から見ると暗い線になる。星の表面に黒い筋があるという意味ではない。

⑥ 吸収される波長が限られるのは、原子の中の電子が取れるエネルギーが、とびとびに決まっているためである。電子が低いエネルギーの状態から高い状態へ移るときには、差に合うエネルギーの光を吸収する。逆に高い状態から低い状態へ移るときには、その差に合う光を出す。光のエネルギーは波長に対応しているので、同じ二つの状態の間を移るなら、吸収と放出の波長は同じになる。その波長の組み合わせは元素によって異なり、地上の実験室で測定されている。

図 輝線と吸収線の対応（模式図）



元素Xは仮の元素。波長の尺度は上下で共通。線の間隔・強さ・連続光の形は実測を表さない。星の運動による波長のずれなどはないものとする。

⑦ 図では、仮に元素Xだけを含む薄い気体が出す光と、星の光とを、同じ波長の尺度にそろえている。上の光が強くなる位置と、下の光が弱くなる位置が対応していれば、星の吸収にその元素が関わっている手がかりになる。下に別の線があっても、それだけで対応が否定されるわけではない。星の大气には複数の元素が含まれるからである。実際の観測では、元素ごとの複数の線を照合し、星の運動による波長のずれや、地球の大气による吸収なども区別して、線の正体確かめる。

⑧ 元素の種類を確かめることと、その量を求めることには、違う作業が必要になる。吸収線が強いほど、その元素が多いと考えたくなるが、線の強さは元素の量だけでは決まらない。温度によって、光を吸収できる状態の原子の割合が変わるためである。電子を失った原子で

は、失う前とは異なる波長の線が現れる場合もある。大気の密度も原子の状態に影響する。同じ元素を同じ割合で含む二つの星でも、温度や密度が違えば、線の強さは変わり得る。

⑨ 水素は、この関係をよく示す。多くの恒星には水素が豊富に含まれるが、可視光で見える水素の吸収線は、低温の星でも非常に高温の星でも弱くなる。低温では、可視光を吸収するのに必要なエネルギーの状態にある水素原子が少ない。非常に高温になると、電子を失った水素が多くなり、その電子の状態の変化による吸収が起こりにくくなる。その間の温度では、可視光を吸収できる状態の原子が増え、線が強くなる。したがって、水素の線が弱いという観測だけで、水素が少ないと判断することはできない。

⑩ そこで、星の大気の温度、密度、元素の量を与えて、どんなスペクトルになるかを計算し、観測と比べる。温度の見積もりには、全体の光の分布だけでなく、温度に応じて変わる線の現れ方も使える。ある条件で一つの線だけが合っても、他の線が大きく食い違えば、その条件は見直さなければならない。複数の線の位置や強さを、同じ条件で説明できるかを確かめるのである。この照合を通して、大気の状態と元素の量を区別しながら、組成の見積もりを絞っていく。線の強さをそのまま元素の割合へ置き換える作業ではない。

⑪ 光は、星を出てからも変化する。星と地球の間にあるちりは、可視光の短い波長の光を長い波長の光より減らしやすく、届いた光を赤みのあるものにする。そのため、赤く見える理由には、星の表面温度が低いことと、途中で青い光が減らされたことがある。温度による吸収線の現れ方も調べて光全体の分布と照合すれば、星自身の性質と、光の通り道で受けた影響を分ける手がかりが得られる。光の変化を調べることは、その光が通ってきた空間を調べることにもつながる。

⑫ スペクトルの広い範囲にわたる分布と、その中の細い線とは、互いに関係しながら違う情報を示している。分布から表面付近の温度を調べ、線の波長から吸収に関わる元素を確かめ、線の強さを大気の状態と結びつけて量を見積もる。こうして求めているのは、光を出したり吸収したりする層の性質である。中心部まで同じ状態だと、そのまま読み替えることはできない。遠くの星へ実験道具を運ばなくても、地上で確かめた光と物質の関係を使えば、点の光から星の大気を具体的に描くことができる。

設問

問一

第二段落の『一つの点として見たときには重なっていた違いを分けて調べられる』とは、どういうことか。最も適切なものを選べ。

ア 光を波長ごとに分けることで、星からどの向きに放たれた光かを区別し、点として見えていた星の輪郭を復元する。

イ 光を波長ごとに分け、それぞれの強さを比べることで、ひとまとまりの光では見分けにくい分布や線の特徴を調べる。

ウ 光を波長ごとに分け、星の表面と中心部のどちらから来た光かを、色の違いによって振り分ける。

エ 光を波長ごとに分けて受け取る光の総量を増やすことで、暗い星の形をより詳しく観察する。

解答「」

問二

第五段落に述べられた、恒星の光に吸収線が現れる理由として最も適切なものを選べ。

ア 大気原子が内側から来た光を吸収し、そのエネルギーによって表面に低温の黒い筋が生じるため。

イ 内側の高温の層が元素に固有の波長の光だけを出し、それ以外の波長では光が出ないため。

ウ 内側から来た光に外側の大気が特定の波長の光を加え、その波長と周囲との強さの差が大きくなるため。

エ 内側寄りの高温の層から来た光が、より低温の外側の大気で特定の波長について吸収され、十分に補われないため。

解答「」

解答・解説

【全体の要点】

分光は、光を波長ごとに分け、それぞれの強さを測ることである。恒星の光の大まかな分布は表面付近の温度に関わるが、地球で見える明るさは距離や星の大きさにも左右される。光の総量と波長ごとの割合を区別して読む。温度の推定では、途中で光の割合が変えられる影響も確かめる。

吸収線は、特定の波長の光が周囲より弱くなることで現れる。原子の電子が状態を変える際に吸収・放出する光の波長には元素ごとの特徴があり、実験室の測定と星の線を照合して、大気のエレメントを特定する手がかりにできる。線の位置による種類の特定と、線の強さによる量の見積もりを分ける。

線の強さには、元素の量とともに温度や密度が関わる。水素の可視光の線が低温でも非常に高温でも弱くなる例は、量と原子の状態を区別する根拠となる。複数の線を同じ条件で説明できるかを確かめて、見積もりを絞る。全体の分布と線の特徴を結びつけることで、星の大気の性質や、途中のちりの影響を具体的に調べられる。

問一

正答

イ

第二段落では、分光を『光を波長ごとに分け、それぞれの強さを調べること』と説明している。第三段落の光全体の分布、第五段落の細い吸収線は、そのように分けて調べられる特徴である。イは、分ける対象と、その後には比べるものとともに捉えている。

アは、波長の違いを、星から光が出た向きの違いへ置き換えている。分光で星の輪郭を復元するとは書かれていない。ウも波長ごとに分ける点は合うが、表面と中心部の光を色で振り分けるという説明がずれる。第十二段落では、光を出したり吸収したりする層の性質を求めると述べている。

エは、波長ごとに分けることを、届く光の総量を増やすことと取り違えている。本文が述べるのは、受け取った光の中の違いを測ることである。また、星の形を詳しく見ることと、光の分布や線を調べることも混同している。

問二

正答

エ

第五段落では、高温の層から来た光が、より低温の外側の大気を通るときに特定の波長で吸収されると述べている。大気も光を出す、吸収された分を十分には補わず、その波長の光が周囲より弱くなる。この因果関係を保つのがエである。

アの『原子が光を吸収する』は本文に合う。しかし、線はスペクトル中で光が弱い部分であり、星の表面に黒い筋が生じるのではない。イは、第六段落の原子による特定の波長の放出を、内側の層から来る光全体の説明へ広げている。第五段落の出発点は連続した光の分布である。

ウは、大気も光を出すという点には合うが、特定の波長の光が強まる説明になっている。吸収線では逆に周囲より弱くなる。『特定の波長』という共通語だけで、光が強まる場合と弱まる場合を同じものにしてはならない。

問三

正答

ア

第二・第五段落で測るものは、届いた光の波長ごとの強さである。第六・第七段落では波長の対応から元素を確かめ、第八～第十段落では原子の状態や計算も用いて元素の量を求める。アは、光の測定と、その光から物質の性質を求める段階とを分けている。

イは、吸収線の強さを測定する点には合うが、その値を温度や元素の量そのものとみなしている。第八段落の説明により、一つの強さには複数の条件が関わる。計算も単なる補正ではなく、条件とスペクトルの対応を確かめるために用いられる。

ウは、調べる層の組成を、中心部まで無条件に広げている。第十二段落の範囲を超える。エは、量の見積もりに計算が必要なことを、種類の特定にもそのままではめている。第七段落には、実験室で測った波長との照合が元素の手がかりになるという積極的な根拠がある。

問四

模範解答

見かけの明るさは距離に左右され、同じ表面温度でも、大きな星は光を放つ面積が広くなるから。

別解例①

同じ表面温度でも星が大きければ多くの光を放ち、地球に届く光の総量には距離の違いも関わるから。

別解例②

近くにあることや光を放つ面積が広いことでも明るく見えるので、明るさを温度だけに結びつけられないから。

☆自己採点の観点

距離が見かけの明るさに関わることと、同じ表面温度でも星の大きさによって光を放つ面積が違ふことを示す。この二点が、明るさを温度だけで決められない理由として結びついていればよい。『大きな星ほど多くの光を放つ』という表現も、同じ表面温度で比べる条件を保っていれば認められる。距離について具体的な数式を書く必要はない。『遠い星ほど温度が低い』『大きな星ほど高温だ』とすると、届く総量と温度を混同する。『近い』『広い面積』から明るさを説明する別解例②も、温度以外の要因を示す答案である。

問五

模範解答

元素ごとに光を出したり吸収したりする波長が決まっており、明暗が逆でも線の波長が対応するから。

別解例①

星の暗い線が、実験室で元素Xが出す光の波長と重なり、同じ元素がその光を吸収したと考えられるから。

別解例②

同じ電子の状態の間では吸収と放出の光の波長が等しく、星の線を元素Xの実験結果と照合できるから。

☆自己採点の観点

図の上下で対応するのは、光の強さの値ではなく波長の位置である。元素に固有の波長があることと、同じ電子の状態の間で吸収と放出の波長が一致することを根拠に、星の吸収を実験室の元素と結びつける。『暗い線と明るい線の位置が同じ』だけでは、なぜ元素の手がかりになるかが足りない。電子のエネルギーの説明をすべて繰り返す必要はない。元素による

波長の特徴と吸収・放出の対応が示されればよい。図は模式図なので、線の高さを比較して元素の量まで決めたり、下の余分な線から元素Xの存在を否定したりしない。

問六

模範解答

低温では可視光を吸収できる状態の水素原子が少なく、非常に高温では電子を失った水素が多くなり、吸収が弱まるため。

別解例①

可視光の吸収には適した電子の状態が必要だが、低温ではその状態の原子が少なく、高温では電子が失われるため。

別解例②

水素が豊富でも、低温では必要なエネルギーの状態にある原子が少なく、非常に高温では電子を失い、吸収が弱まるから。

☆自己採点の観点

低温については、可視光を吸収できるエネルギーの状態にある原子が少ないこと、高温については、電子を失った水素が多くなることを分けて書く。どちらも、水素全体の量ではなく、その状態に関わる説明である。『低温では吸収する力が弱い』だけでは、本文が示す理由が不明確になる。高温の場合も、単に原子が少ないとせず、電子を失うことを示したい。『水素が豊富でも』は省いてよい。専門的な状態名や温度の数値は不要であり、本文の説明を自分の言葉で組み直して構わない。吸収する状態の違いを、元素の種類が変わることと取り違えない。

問七

模範解答

一つの線に合う条件が他の線にも合うとは限らず、大気の状態と元素の量を与えた同じ条件で、複数の線を説明する必要があるから。

別解例①

温度や元素の量の見積もりは一つの線との一致だけでは確かめられず、同じ条件の計算が他の線にも合うか見る必要があるから。

別解例②

他の線が食い違えば条件の見直しが必要なので、大気の状態や元素の量の見積もりが、複数の線をともに説明できるか調べるため。

☆自己採点の観点

一つの線との一致では条件を十分に確かめられないことと、同じ条件で複数の線が説明できるかを見ることを結ぶ。線ごとに都合のよい温度や元素の量を別々に与えればよい、という答案ではない。『他の線にも合うかを調べる』と書く場合は、一つの線だけでは足りない理由を添える。温度・密度・元素の量をすべて列挙せず、『大気の状態と組成』とまとめてもよい。複数の線が合えば未知の性質まで全部確定する、という断定は不要である。本文の結論は、観測に合う条件を確かめて、状態と元素の量の見積もりを絞ることにある。

問八

模範解答

温度に応じた吸収線の現れ方と光全体の分布を照合し、低温による赤さと、ちりが青い光を減らした影響を区別する。

別解例①

吸収線から推定した温度を光全体の分布と照合し、星の表面の低温による赤みと、ちりが光を変えた影響を分ける。

別解例②

ちりによる青い光の減少を低温による赤みと見分けるため、吸収線が示す温度の手がかりを光全体の分布と比べる。

☆自己採点の観点

照合するのは、光全体の分布と、温度に応じた吸収線の現れ方である。それによって、表面温度の低さによる赤みと、ちりが短い波長の光を減らす影響とを区別する。この情報と目的の関係を示したい。『ちりの有無を調べる』だけでは、何を比べるかが不足する。ちりの働きは『青い光を減らす』と具体化しても、『途中で光の割合を変える』とまとめてもよい。赤く見える星がすべてちりの影響を受けると決めたり、二つの理由が同時に働く可能性を否定したりしない。ここで求めるのは、二つの作用を分けるための手がかりである。

【この章で押さえない分野知識】

① **分光と波長** 分光は、光を波長ごとに分けて強さを調べること。可視光の赤は長い波長、青や紫は短い波長に対応する。スペクトルには、全体の分布と細い線の特徴がある。

② **表面温度と明るさ** 恒星の光の大まかな分布は、表面付近の温度の手がかりになる。見かけの明るさには距離や星の大きさも関わるため、明るさだけで温度を決めない。

③ **波長が示す元素** 電子が同じ二つの状態の間を移るとき、吸収と放出の光の波長は同じになる。元素による波長の特徴を実験室で調べ、星の吸収線と照合する。線は星の表面の黒い筋ではない。

④ **量と原子の状態** 吸収線の強さは、元素の量だけでなく温度や密度にも左右される。線が弱い、または見えないことから、ただちにその元素が少ない、存在しないとは言えない。複数の線を同じ条件で説明できるかも確かめる。

⑤ **星と光の通り道** ちりは可視光の短い波長を減らしやすく、星を赤く見せる。温度による線の特徴と全体の光の分布を照合し、星の性質と途中の影響を分ける。光から求めた大気の状態を、そのまま中心部へ広げない。

第六章 遠い宇宙から届く過去

本文

① 太陽の表面付近から出た光は、約八分二〇秒かけて地球に届く。太陽と地球の間には約一億五千万キロメートルの隔たりがあり、光も、その距離を進む時間を必要とするからだ。太陽の観測画像に写っているのは、光を受け取った瞬間の太陽ではなく、その光が出たときの太陽である。八分ほど前の姿を、私たちは今の観測によって受け取っている。対象を観測する時刻と、観測される光が対象を出た時刻とは、同じではない。

② 光は真空中を毎秒約三〇万キロメートルで進む。日常の距離では、光が届くまでの時間はあまりに短く、意識されにくい。しかし、天体までの距離を考えると、その短さを当然とはできない。天文学で使う「光年」は、光が真空中を一年間で進む距離を表す単位である。「年」という文字が含まれていても、時間の単位ではない。この単位には、光の速さと時間を用いて、日常の物差しでは扱いにくい長さを表す工夫がある。

③ 仮に、地球から一〇光年離れた星Aと、一〇〇光年離れた星Bがあるとすると。ここでは、光が旅をする間に星と地球の隔たりが変わる影響は無視できるものとする。同じ夜に両方の星の光を受け取っても、それらが星を出た時刻は違う。Aからの光は約一〇年前、Bからの光は約一〇〇年前に出発している。到着の時刻がそうなのは、遠い星の光が、それだけ早く出発していたからである。夜空の写真の中には、異なる時代に出た光が並んでいる。

④ ただし、一〇〇年前の光が届くことと、その星が一〇〇年前に生まれたことは別である。届くまでの時間だけでは、星が生まれてから何年たったかは分からない。また、過去の姿を見ているからといって、星が今はもう存在しないとも決まらない。光が出てから、どの程度の変化が起こり得るかは、星の性質と経過した時間による。光の旅の長さは、観測している姿がどれほど前のものかを示すが、その姿に至るまでの歴史や、その後の変化をすべて示すわけではない。

⑤ 望遠鏡の集光力を高めたり、長い時間をかけて光を集めたりすると、弱い光も捉えられるようになる。肉眼では見えない遠方の天体を観測できるのは、そのためである。遠方から届く少ない光を集める能力が、調べられる範囲を広げる。しかし、望遠鏡が大きくなっても、光の旅にかかった時間が短くなるわけではない。鮮明な画像を得ることと、遠い天体の現在の姿を得ることは別である。観測装置の性能が変えるのは、今ここに届いている光をどこまで捉えられるかである。

⑥ 観測の対象は、一つ一つの星だけではない。大量の星やガスなどが重力によってまとまった銀河も、光を送ってくる。銀河の中ではガスから新しい星が生まれ、銀河どうしの合体によって全体の形が大きく変わることもある。こうした銀河全体の構造の長い変化は、一人の観測者が同じ銀河を見続けるだけでは追いきれない。ところが、遠方の銀河からは、何十億年も前に出た光が届く。異なる時代の姿を含む観測は、銀河がどのように変化してきたかを調べる手がかりになる。

⑦ ここまでの距離と時間の関係を、遠方の銀河にそのまま当てはめることには注意が要る。宇宙は膨張しており、大きな尺度で見ると、銀河どうしの平均的な隔たりは時間とともに広がってきた。光が私たちへ向かって旅をする間にも、その隔たりは変わる。したがって、光の速さに旅の時間を掛けた長さを、その銀河までの現在の距離と同じにはできない。一方、重力で結び付いた太陽系や銀河の内部が、この膨張に従って一様に引き伸ばされているわけではない。どの尺度を扱うかによって、考慮すべき変化が違う。

⑧ 宇宙の膨張は、届く光にも痕跡を残す。光の波の山と次の山との隔たりを波長という。光が旅をする間の宇宙の膨張によって、波長は引き伸ばされる。遠方の銀河のスペクトルを調べると、元素に対応する線の並びが、実験室で測ったものより長い波長の側へずれている。これを赤方偏移という。可視光では赤い光の波長が長いことに由来する名だが、銀河が目に見ええることだけを指すのではない。線の並びを確かめ、波長がどの割合で伸びたかを測るのである。銀河自身の運動による波長の変化も、膨張による変化と区別する必要がある。

⑨ 赤方偏移を測ると、光が出てから届くまでに、宇宙がどれだけ膨張したかを調べられる。そこに、多くの観測から確かめられてきた、宇宙がどのような速さで膨張してきたかを表すモデルを組み合わせる。この手順によって、光が出た時代や旅にかかった時間、銀河までの現在の距離を推定できる。観測された波長の伸び自体が、何年前という時刻を直接示すのではない。また、天体の紹介で「何億光年」と書かれている場合にも、旅の時間を光の速さで距離に換算したものが、現在の隔たりを表したものを確かめる必要がある。

⑩ こうして観測された時代を分け、多くの銀河の形や、新しい星が生まれる活動を比較すると、銀河の集団が時代によってどう違うかが見えてくる。これは、同じ銀河の若い姿と年を経た姿を、順番に撮影しているのではない。異なる場所にある別々の銀河を、異なる時代の姿として観測している。銀河ごとに星の量や周囲の環境も違うため、比較する集団の条件をそろえることが重要になる。また、宇宙が若かった時代に見える銀河というだけで、その銀河が生まれた直後だとも決まらない。宇宙の時代と、個々の銀河が歩んだ時間は区別される。

⑪ 観測に入る銀河の偏りにも気を配らなければならない。ほかの条件が同じなら、同じだけの光を出す銀河でも、遠いものほど地球で捉える光は弱くなる。装置が捉えられる明るさに下限があれば、遠方では、もともと強い光を出す銀河が観測に残りやすい。近くでは弱い銀河も含めて調べ、遠くでは強い銀河だけを調べた結果を、そのまま比べることはできない。遠方の銀河が平均して強い光を出していても、その差を過去の銀河全体の特徴と即断してはならない。銀河自体が出す光の強さについて、両方で捉えられる範囲をそろえるなどして、時代の違いと観測条件の違いを分けて調べるのである。

⑫ 条件を確かめた比較を積み重ねると、星をつくる活動の盛んさや銀河の形の分布が、宇宙の歴史の中で変わってきたことを捉えられる。光は、出発した場所の情報を、旅の時間を経て届ける。私たちが一度に受け取る光には、太陽の数分前から銀河の何十億年前まで、異なる過去が含まれている。その隔たりは、現在の姿を知る際には考慮すべき条件となり、長い変化を調べる際には貴重な手がかりとなる。宇宙を観測することは、広がりの中に残された異なる時代の姿を集め、銀河がたどってきた歴史を組み立てることもある。

設問

問一

②で説明されている「光年」について、最も適切なものを次から一つ選べ。

ア 光が一年間進むことを基準に、天体が生まれてから経過した時間を表す単位である。

イ 一年間で集められる光の量を基準に、望遠鏡が観測できる範囲を表す単位である。

ウ 地球に光が届くまでの時間を、宇宙のどの距離についてもそのまま示す単位である。

エ 真空中の光の速さと一年という時間を用いて、非常に長い距離を表す単位である。

解答「」

問二

③・④の星A・星Bの説明から言えることとして、最も適切なものを次から一つ選べ。

ア 星Bの光が示す時代は星Aより古いため、星Bそのものも星Aより九〇年早く生まれた。

イ 星Bの光は星Aの光より早く出たものだが、その違いだけでは、二つの星の年齢の差は決まらない。

ウ 星Bの光は一〇〇年前のもので、その後の変化よりも、星Bが既に消えた可能性を重くみるべきである。

エ 星Aと星Bの光を同じ夜に受け取る写真では、両方の星の同じ時代の姿が比較できる。

解答「」

問三

⑩の銀河の比較について、最も適切なものを次から一つ選べ。

ア 観測された宇宙の時代が同じ銀河は、生まれてからの時間も同じなので、形の違いを直接比較できる。

イ 同じ銀河の光を距離の異なる場所で受け取り、若い姿から年を経た姿までの連続した変化を並べる。

ウ 別々の銀河を異なる時代の姿として観測し、集団の条件をそろえながら、時代による違いを調べる。

エ 時代ごとに最も強い光を出す銀河を選べば、周囲の環境の違いも除け、集団全体の変化を調べられる。

解答 「

問四

③で、同じ夜に受け取った星Bの光が星Aの光より早く出発しているのはなぜか。本文の条件を踏まえ、五〇字以内で説明せよ。

[illegible]

問五

⑤によれば、望遠鏡の集光力が高まっても、遠い天体の現在の姿を得ることはならないのはなぜか。捉えられる光の変化に触れ、五〇字以内で説明せよ。

[illegible]

問六

⑦で、光の速さに旅の時間を掛けた長さを、遠方の銀河までの現在の距離と同じにできないのはなぜか。六〇字以内で説明せよ。

[illegible]

解答・解説

【全体の要点】

光が届くには時間がかかるため、観測される姿は、光が対象を出た時刻の姿である。光年は距離の単位であり、光の旅の時間と天体そのものの年齢も区別される。同じ夜の観測には、異なる時代に出た光が含まれる。望遠鏡の集光力は届く弱い光を捉える能力を高めるが、光が出た時刻を現在へ近づけるものではない。

遠方の銀河では、光の旅の間の宇宙の膨張を考慮する必要がある。赤方偏移の測定と膨張の歴史を表すモデルを組み合わせ、光が出た時代や距離を推定する。光の速さに旅の時間を掛けた長さは、現在の隔たりと同じではない。

異なる時代の銀河の集団を比べると、長い変化を調べられる。ただし、同じ銀河の一生を順番に見ているのではなく、観測に入る銀河の範囲も距離によって偏る。集団と観測の条件を確かめた比較が、銀河の形や星をつくる活動の歴史を明らかにする。

問一

正答

エ

②は「光年」を、光が真空中を一年間で進む距離と定義している。定義に時間を使っていても、表している量は距離である。エは、定義に用いる二つの量と、単位が表す量の関係を保っている。

アは、光の移動に使われる一年を、天体が生まれてからの時間に置き換えている。④でも、光の旅の時間と天体の年齢は区別されている。ウは、③のように隔たりの変化を無視できる場合の関係を、あらゆる距離へ広げている。⑦・⑨によれば、宇宙の膨張や距離の定義を考慮する必要がある。イは、時間を用いる点では定義に近く見えるが、光の速さを集められる光の量にすり替えている。⑤の集光力の説明を、光年の定義と混同した選択肢である。

問二

正答

イ

③の条件では、星Aの光の旅は約一〇年、星Bの光の旅は約一〇〇年である。到着が同じなら、Bの光が出た時刻はAより古い。一方、④は、旅の時間だけでは星が生まれてからの時間は分からないと述べている。イは、この二つを区別している。

アは、光が出た時刻の差を、星が生まれた時刻の差と取り違えている。エは、同じなのが光を受け取る夜である点を捉えているが、それを星の姿が属する時代にも広げている。ウは、星のその後の状態を考える点では④に関わる。しかし、星が存在しなくなった可能性を優先する根拠は本文にない。④は、変化の程度を星の性質と経過した時間に応じて考えるとしている。

問三

正答

ウ

⑩は、観測しているのが「異なる場所にある別々の銀河」であることを明示する。そのうえで、星の量や周囲の環境にも違いがあるため、比較する集団の条件をそろえる必要を説明している。ウは、比較する対象、観測された時代、比較の条件をいずれも保っている。

イは、異なる時代の姿を比べる点には合うが、別々の銀河を同じ銀河に変え、本文にない観測方法を加えている。アは、宇宙の時代が同じことと、各銀河が生まれてからの時間が同じことを混同している。エは、比較の対象を選ぶ必要に触れているが、光の強さをそろえるだけで環境の違いまで除けるとは言えない。さらに、⑪によれば、強い銀河だけを選んだ結果を集団全体へ広げることに注意が要る。

問四

模範解答

隔たりの変化を無視すると、遠いBの光ほど旅に長い時間がかかり、同時に届くには早く出る必要があるから。

別解例①

隔たりが変わらない条件では、Bの光は九〇年長く旅するので、同時に届くには九〇年早く出発するから。

別解例②

光の速さは同じで、距離の変化も無視できるので、同じ夜に届くBの光は遠い分だけ早く出発しているから。

☆自己採点の観点

中心は、Bの方が遠いこと、光の旅に長い時間がかかること、同じ時刻に届くためには出発が早くなることにつながりである。③では隔たりの変化を無視している。この条件を「距離が変わらないとして」などと表してもよい。一〇年・一〇〇年の数値は、関係が説明できていれば省略できる。九〇年の差を使う場合も、旅の時間の差が出発時刻の差になることを示す。「遠いから早い」だけでは途中の関係が足りない。Bの光の方が速いから早く出た、あるいはBが早く生まれたからだ、という説明は本文から導けない。

問五

模範解答

集光力の向上は今届く弱い光を捉えやすくするが、その光が過去に出て旅した時間を短くするものではない。

別解例①

遠い天体の弱い光も集められるようになる一方、観測するのは旅の時間を経て今届いた、過去に出た光だから。

別解例②

望遠鏡が高めるのは弱い光を捉える能力であり、鮮明でも、その光が天体を出た時刻は過去のままだから。

☆自己採点の観点

集光力の向上で弱い光を捉えられるようになることと、その光が天体を出た時刻は過去のままであることの両方が必要である。「届く光を多く集める」「暗い天体も観測できる」などでも、性能が改善する点を示せる。装置が光の旅を短くしないことは、過去に出た光を今受け取るという説明でも表せる。真空中の光の速さの数値は不要である。「望遠鏡には限界がある」だけでは、どの能力が高まり、なぜ現在の姿にはならないかが分からない。また、集光力を高めても画像や観測範囲に何の改善もない、とする答えは⑤に反する。

問六

模範解答

宇宙の膨張で、光が私たちへ向かって旅する間にも銀河との隔たりが変わるため、旅の時間だけでは現在の距離が決まらないから。

別解例①

光の速さと旅の時間から求めた長さには、旅の間にも宇宙が膨張して隔たりが変化することが考慮されていないから。

別解例②

遠方の銀河では、光の旅の間にも隔たりが変わる影響を無視できず、宇宙の膨張を考慮して現在の距離を求める必要があるから。

☆自己採点の観点

必要なのは、宇宙が膨張することと、光が旅をする間にも銀河との隔たりが変わることの関係である。単に「銀河が遠いから」では、速さと時間を用いる計算がそのまま現在の隔たりを示さない理由にならない。「距離が一定という条件が成り立たない」と述べても、膨張とのつながりがあればよい。細かなモデルの計算法や距離の数値は不要である。「光の速が遅くなる」「光年が時間の単位だから計算できない」という説明は本文にない。太陽系や銀河の内部まで一様に広がると一般化せず、遠方の銀河との隔たりを扱っている範囲を保つ。

問七

模範解答

元素に対応する線の波長が伸びた割合を測り、宇宙がどのような速さで膨張してきたかを表すモデルと組み合わせ推定する。

別解例①

実験室の線の並びと銀河のスペクトルを比べて赤方偏移を測り、宇宙の膨張の速さの歴史を表すモデルを用いて時代を求める。

別解例②

観測した波長の伸びから分かる膨張の程度を、多くの観測で確かめられた膨張の速さの変化のモデルと結び付け、時代を推定する。

☆自己採点の観点

測るものは、スペクトルの線の波長が伸びた割合、すなわち赤方偏移である。組み合わせるものは、宇宙がどのような速さで膨張してきたかを表すモデルである。「膨張の歴史を表すモデル」でもよいが、膨張の程度を時間へ結び付ける説明であることを保つ。実験室の波長との比較、銀河自身の運動の影響、多くの観測による確認は、中心の二要素がそろえば全てを列挙する必要はない。「赤い色を見る」「波長から時刻を直接読む」では、測定する量やモデルの働きが抜ける。逆に、観測なしにモデルだけから時代を決めるという説明も不十分である。

問八

模範解答

遠方では弱い銀河の光が装置の捉えられる下限を下回り、強い光を出す銀河が観測に残りやすいため、平均に偏りが含まれるから。

別解例①

近くでは弱い銀河も調べられるが、遠方では強い銀河だけが残りやすく、観測条件の差と集団全体の違いを区別する必要があるから。

別解例②

遠方では届く光が弱くなるので、観測した銀河の平均は、捉えられなかった弱い銀河まで含む過去の集団の平均とは限らないから。

☆自己採点の観点

答案の中心は、遠方では弱い銀河が観測に入りにくく、もともと強い光を出す銀河が残りやすいという選ばれ方の偏りである。それにより、観測された平均を、その時代の銀河全体の平均と扱えないことを説明する。「近くと遠くで調べられる銀河の範囲が違う」と述べても、光の強さとの関係が分かればよい。明るさの下限という語や、比較する範囲をそろえる方法までを必ず書く必要はない。過去の銀河に特徴がないと断定することも、比較そのものが不可能だとすることも本文の結論ではない。観測条件の差を調べたうえで、時代による違いを確かめる余地を保つ。

【この章で押さえない分野知識】

① **光年と光の旅** 光年は、光が真空中を一年間で進む距離である。光を今受け取っても、それが出た時刻は過去である。旅の時間と、天体が生まれてからの時間は別の量である。

② **望遠鏡の集光力** 集光力を高めると、今届く弱い光も捉えやすくなる。観測範囲や画像が改善しても、光が旅してきた時間が短くなり、遠い天体の現在の姿が届くわけではない。

③ **膨張と距離の定義** 遠方の銀河との隔たりは、光の旅の間にも変わる。旅の時間を光の速さで長さに換算した距離と、銀河までの現在の距離を区別する。太陽系などが一樣に膨張するという意味でもない。

④ **赤方偏移の働き** 赤方偏移では、スペクトルの線の波長の伸びを測る。宇宙の膨張の歴史を表すモデルと組み合わせ、光が出た時代を推定する。見た目の赤い色だけから時刻を読むのではない。

⑤ **銀河の歴史の調べ方** 異なる時代に観測された別々の銀河の集団を比較する。遠方では強い光を出す銀河が残りやすいため、観測の範囲などをそろえ、時代による違いと観測条件の差を分けて考える。

制作 和会塾 二〇二六年十月