

問題2 以下の文章を読んで、後の問 1～14 に答えなさい。

### 地球では元素は生まれぬ

宇宙と(A)周期表なんて、まったく関係のないものだという先入観をお持ちだと思ひますが、これは縦割りの学校教育がもたらした(1)ハイガイでしょう。周期表を上手に使えば、宇宙への理解が飛躍的に高まる。この章でお伝えしたいのは、このひと言に尽きます。私は周期表そのものがひとつの宇宙だとさえ感じています。

私たちをとりまく元素は、どこで生まれていると思ひますか。実は、一部の例外をのぞき、天然の元素は地球上ではつくられません。(B)人体を構成している元素は、ほぼすべてが宇宙に由来しています。

元素を誕生させるには、決定的に重要な条件がひとつあります。それは、温度が 1000 万度を超えることです。

原子核は、陽子と中性子でできています。陽子は電氣的にプラスなので、そのままでは陽子と陽子が反発し合い、原子核は構成できません。しかし、あまりにも近くに接近すると、陽子や中性子の間に核力という別の力が働き、これが電氣的に反発し合う力を上回るため、原子核が維持されるのです。

この核力の仕組みを理論的に導きだしたのが、(C) 博士です。

彼は、陽子や中性子が質量を持つ未知の粒子を交換し合うことにより、お互いに引き合う「核力」が生じると考えました。この粒子は中間子と名づけられ、彼の理論は「中間子理論」と呼ばれるようになります。

そして 12 年後に、イギリスの物理学者セシル・パウエルによって、中間子が実際に発見されたのです。これによって中間子理論が正しいことが証明され、この(2)コウセキにより

(C) 博士は 1949 年、日本人初のノーベル賞に輝いたわけではす。

この発見には、面白いエピソードがあります。実は (C) 博士は、不眠症に悩まされていました。眠れない夜、天井の木の板の年輪模様を眺めていて、この中間子理論がひらめいたそうです。年輪の真ん中にグリグリした模様が 2 つあって、それをひょうたん形の年輪が取り囲んでいるのが原子核に見えたと、後に言葉を残しています。

中間子理論自体は数式で表されるものですが、年輪の模様というイメージから生まれたというのは実に興味深いことです。

さて、話を元に戻しましょう。

新しい元素を生み出すには、元の原子の原子核を、別の原子の原子核とお互いに核力が働く距離まで接近させる必要があります。しかし、原子核と原子核とは電氣的に反発し合っ

いるので、接近させるには、それを超える膨大なエネルギーが必要です。それが、1000 万度という途方もない高温状態だというわけです。

もちろん地球上には、基本的には 1000 万度を超える場所などありません。地表は当然ですが、地中深くに存在しているマグマでもたかだか 1000 度程度。1000 万度と比べれば話にならないほど低温です。そのため、地球では新しい元素はつくられないのです。

### 1000 万度以上の高温が元素を生む

では、宇宙のいったいどこで 1000 万度を超える高温になっているのでしょうか。そのきっかけは、大きく分けて次の 3 つのケースがあります。

#### ① 宇宙自体が誕生した「ビッグバン」の直後

宇宙は(D)137 億年前に、ビッグバンという大爆発によって誕生しました。何とんでもこの果てしない宇宙を創り上げた爆発なので、爆発直後は 1000 万度をゆうに超えていました。たとえば、ビッグバン 1 秒後の温度は、ケタ違いの 100 億度だと推計されています。

#### ② 太陽のような恒星の中で起こる「核融合」

恒星の内部の温度は 1000 万度を超えており、次々と新しい元素が生み出されています。もちろん、私たちにとって最も身近な恒星である太陽も例外ではありません。太陽の中心部の温度は、1500 万度もあり、これにより水素の原子核同士が融合し、新たに(E)ヘリウムが生み出されているのです。

といっても、太陽のどこでも核融合が起こるというわけではありません。太陽の表面は燃え尽きつつあるように見えますが、温度は 5500 度と低く、新たな元素は生み出されません。核融合を起こす 1000 万度がいかにすごいことかよくわかります。

#### ③ 寿命が尽きた恒星の「超新星爆発」

超新星爆発とは、太陽の 10 倍以上ある恒星が寿命を終えるときに、大規模な爆発を起こす現象です。実は、宇宙に存在している鉄より重い元素は、ほとんどが超新星爆発のはじめの 10 秒でつくられたものだと考えられています。

この 3 つのケースについて、それぞれ詳しく見てみましょう。

## 原始の宇宙はこうしてできた

宇宙は 137 億年前、ビッグバンと呼ばれる大爆発によって誕生したというのをご存じでしょう。では、なぜ、そんなことがわかったのでしょうか。

現在、宇宙はどんどん膨張していることが、観測によって明らかになっています。ということは、時間を過去にさかのぼればさかのぼるほど、宇宙はより小さい存在だったはずで、とことん時間をさかのぼると、最終的には宇宙全体が 1 点に集約されることになってしまいます。それが計算上、137 億年前になるのです。

これだけなら単なる机上の空論ですが、このときのなごりともいえる電磁波が、実際に観測されています。これは、ビッグバンがあったと考えないとうまく説明できません。

現在信じられている標準的な理論によれば、ビッグバンが発生した(F)100 万分の 1 秒後に素粒子が誕生し、その素粒子が集まって 1 秒後に水素の原子核ができました。さらに、ビッグバンの 3 分後に水素の原子核が集まって、ヘリウムができました。これにより、水素が 92%、ヘリウムが 8%という原始の宇宙が誕生したのです。

こうしてできた水素がやがて集まり、恒星がつくられます。その内部で水素の原子核が核融合を起こし、ヘリウムを生み出すのですが、この水素からヘリウムに変化するとき、膨大なエネルギーが生み出されます。この核融合エネルギーにより、恒星が輝いているのです。

さらに、水素が燃え尽きるとヘリウムが核融合を起こし、炭素(C)、窒素(N)、酸素(O)と、徐々に重い元素がつくられていきます。

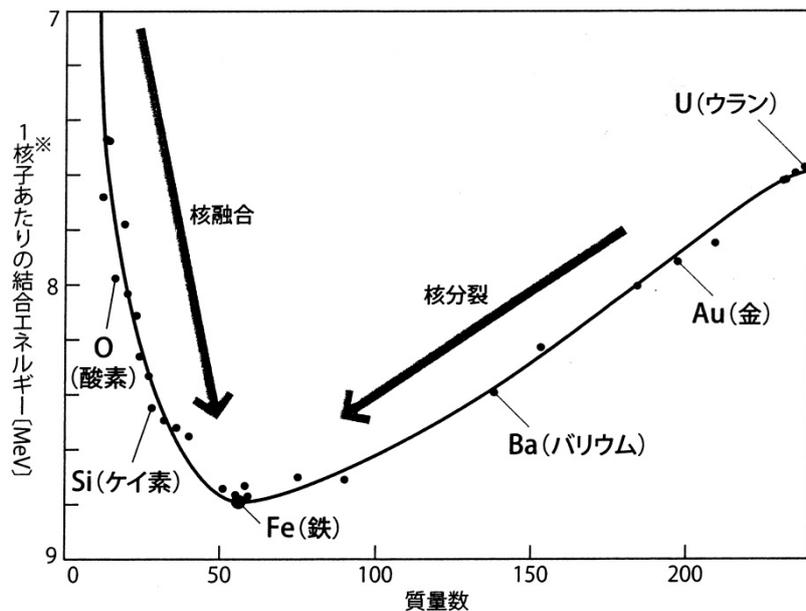
ただし、こうして恒星の内部でつくられる元素は、鉄(Fe)までです。原子核は鉄が最も安定しているので、鉄より重い元素が恒星の中でつくられることはありません。

## 鉄は元素の中の優等生

すべての元素の中で、鉄の原子核が最もエネルギーが安定しています。だから、水素など鉄より軽い元素は、核融合によって少しでも重くなろうとします。

対照的に、ウラン(U)やプルトニウム(Pu)など鉄より重い元素は、核分裂をして軽くなろうとする傾向があります。たとえば、ウラン 235 が中性子を吸収すると、クリプトン 92 とバリウム 141 に分裂します。

図 1 のように、水素、ヘリウム、炭素などと原子が重くなるに従って、原子核の結合エネルギーは大きくなります。その分だけ結合するとより安定になるため、水素からヘリウム、ヘリウムから炭素といった具合に核融合が起こるのです。



**図1 あらゆる元素はエネルギーが安定している鉄を目指す**

※核子：原子核を構成する陽子、中性子を総称して核子と呼ぶ。

しかし、こうした反応が起こるのは、鉄までです。鉄より重くなると、逆に原子核の結合エネルギーは小さくなり、余計に不安定になります。ですから、核融合を起こすどころか、むしろ逆に、最も安定した鉄を目指して核分裂を起こそうとします。

ちなみに、原子力発電や原子爆弾は、ウランなど重い元素が核分裂することによって、あまったエネルギーが熱に変わるという反応を利用しています。つまり、原子力発電は、図1の右側の結合エネルギーの差を電気に変換する発電法です。

一方、太陽がエネルギーを放射するのは、水素が核融合することによってあまったエネルギーが熱や光に変わっているためです。このエネルギーを利用したものが太陽光発電ですが、石油や石炭も、大昔に植物が太陽光のエネルギーを化学結合のエネルギーに変換してできたものです。ですから火力発電も、大局的には、図1の鉄より左側の核融合のエネルギーを利用したものといえます。

では、鉄より重い元素は、いったい宇宙のどこで、どのようにして生まれたのでしょうか。

決して量は多くありませんが、宇宙には鉄より重い元素が65種類ほど存在し、それぞれが重要な働きを担っています。たとえば、亜鉛(Zn)がなければ、私たちの神経は情報を適切に伝達することができなくなります。また、ヨウ素(I)がなければ、甲状腺ホルモンがつかれなくなって、全身の代謝が病的に低下してしまいます。銀(Ag)も金(Au)も白金(プラチナ, Pt)も、鉄よりははるかに重い元素ですが、少量ながら確かに存在しています。

こうした重い元素がどうやって誕生したのか、以前は宇宙の謎だとされていましたが、現在では、少なくともその大半が超新星爆発によってできたということがわかっています。

## 超新星爆発により生じる元素の化学進化

太陽は、あと 50 億年ほどたつと、水素などが燃え尽きてしまい、いったん(G)今の 100 倍以上の大きさの赤色巨星(大気が膨張して温度が下がり、赤くなった恒星)になります。もし、地球の公転軌道が現在と同じなら、太陽に飲み込まれる可能性が高くなりそうです。その後、太陽はガスを放出し、今から 70 億年後くらいになると、白色矮星<sup>わいせい</sup>という地球くらいの大きさの白くて小さな死骸のような星になってしまいます。

ところが、太陽より 10 倍以上大きな恒星は、星の内部の燃料が燃え尽きると、大きさを支えきれずに爆発を起こします。これが超新星爆発と呼ばれるものです。このとき、すさまじいエネルギーが放出され、超新星爆発の直後のたった 1 秒間に、鉄より重い元素が次々とつくられます。

現在では、原子核に中性子がぶつかり、その中性子が(H)ベータ崩壊(中性子が、陽子と電子と反ニュートリノに変換すること)を起こして陽子になると、より重い元素に移行していく現象が起こることがわかっています。

超新星爆発が起こると、周囲の宇宙空間に無数のチリがばらまかれます。このチリが集まって、また恒星が生まれます。この新しい恒星も、寿命が尽きると超新星爆発を起こし、より重い元素を生み出します。さらに、またチリが集まって恒星が生まれ、最後に超新星爆発を起こす……。宇宙では、こうして何度も何度も超新星爆発が発生し、そのたびにより重い元素がつくられていくプロセスを繰り返しているのです。

これは、「元素の化学進化」と呼ばれています。化学とは元素の組み合わせの変化を示す用語なので、私としては、厳密にいうと「原子核進化」、あるいは「元素進化」と呼んだほうが適切だとは思いますが……。

では、私たちがいる太陽系では、化学進化のどのような段階にあるのでしょうか。先ほどご説明したように、太陽自体は小さすぎて、今後、超新星爆発を起こすことはありません。ただし、地球をはじめ、太陽系には現に鉄より重い元素が存在しています。このため、すでに化学進化がかなり進んだ状態だといえます。

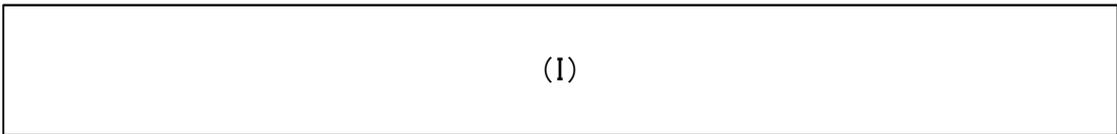
これは、太陽や地球が生まれる前に、すでに超新星爆発を経験していることを意味します。つまり、亜鉛やヨウ素など鉄より重い元素を利用している私たちは、そんな宇宙で繰り返し上げられた化学進化の歴史の上に成り立っている存在なのです。

## ベテルギウスの天体ショーはいつ起こる？

元素の話から少しそれますが、超新星爆発に関してぜひとも知っていただきたいトピックをお伝えしておきましょう。

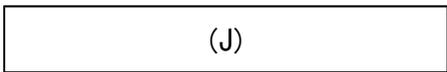
今、宇宙科学の専門家の中で、まもなく超新星爆発を起こすのではないかと注目を集めている恒星があります。それが、オリオン座のベテルギウスです。

オリオン座は、冬の星座の中でもとりわけ存在感がありますが、中でも最も目立つのが、オリオン座の肩の位置に当たる星です。赤くて明るい星なので、どなたも目にしたことがあるはずです。



もっとも、この超新星爆発は、今年や来年に確実に起こるということではありません。

今、この瞬間にベテルギウスが超新星爆発を起こしてもおかしくないのは事実ですが、最大で 100 万年後に起こってもやはり不思議はありません。宇宙の時の流れとは、そんな途方もないスパンで生じるものです。



太陽をはじめとした太陽系は、地球や火星などの惑星、月やエウロパなどの衛星、イトカワのような小惑星や隕石、それにハレー彗星のような彗星から成り立っています。図 2 は、こうした太陽系全体におけるそれぞれの元素の存在量を表しています。

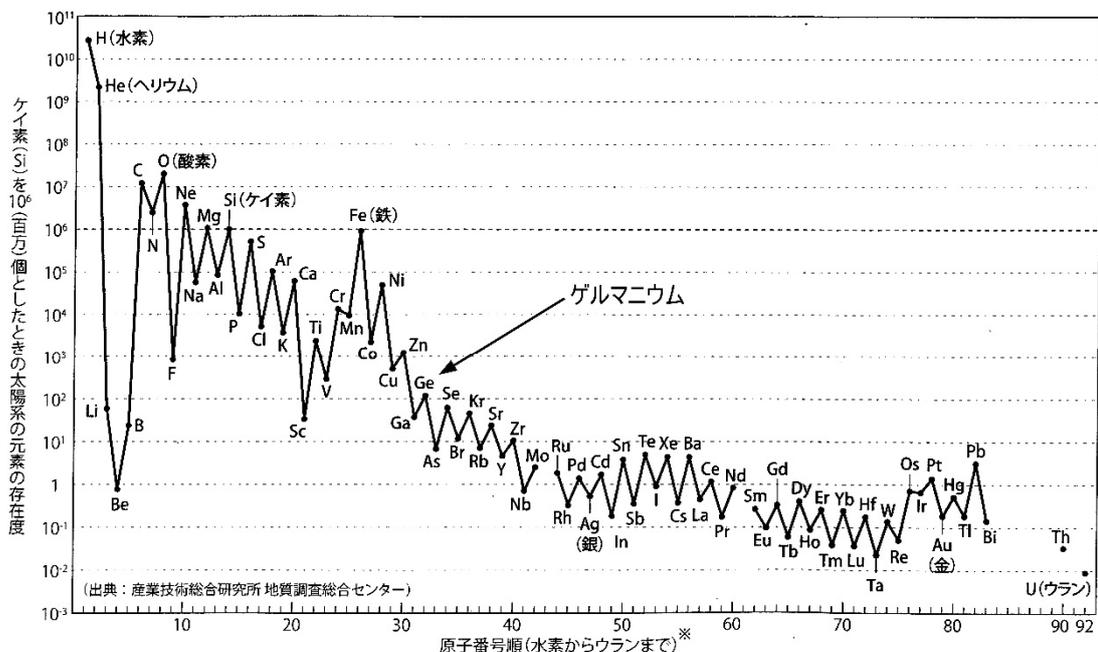


図2 太陽系の中の元素の存在度  
 ※H ~ Mo、Ru ~ Nd、Sm ~ Bi の範囲にあるすべての元素が原子番号順に記載されている。

宇宙はあまりにも大きいので、全体でどんな元素がどれほどあるかについては、研究者によって推計値にばらつきがあります。そこで、これよりもはるかに正確な数値がわかっている太陽系について考えてみましょう。

グラフの横軸は原子番号で、左にいくほど **(K)** 元素、右にいくほど **(L)** 元素です。周期表でいえば、グラフの左にある元素が周期表では **(M)** の位置、グラフの右へ行くほど周期表では **(N)** の位置にある元素だということです。

縦軸は、それぞれの元素の存在量を表しています。見ての通り、右にいくほど、つまり周期表でいえば **(O)** にいくほど、元素の存在量が少なくなっています。

注意していただきたいのは、グラフの縦軸が対数になっていることです。これは、1 目盛り小さいだけで、10 分の 1 であることを表しています。一見すると、酸素(O)は水素(H)よりやや少ないだけのように感じるかもしれませんが、しかし実際には、3 目盛りほどの差があるので、10 分の 1 の 3 乗、つまり、酸素は水素の 1000 分の 1 であることを示しています。厳密には 3 目盛りより差がもう少し大きく、太陽系に存在する酸素は水素の 3000 分の 1 です。

見ての通り、太陽系は水素だらけです。重量比でいうと、太陽系の 70.7%が水素、27.4%がヘリウムです。それ以外の元素は、全部足し合わせても 2%にも及びません。

さらに水素は軽いので、原子の数でいうと水素の割合はもっと多くなります。なんと太陽系にある元素全体の 90%が水素です。ヘリウムは原子の数の上では 9%、他のすべての元素を足し合わせて、やっとなんかの 1%です。

太陽系の外側に目を向けると、隣の恒星までの間には、ほとんど何もない真空の空間が延々と広がっています。しかし厳密にいうと、この空間にも、ほんの少しではありますが水素が含まれています。ものすごく薄い濃度ではありますが、宇宙空間は体積がとてつもなく大きいので、かけ算すると無視できない量になるのです。

宇宙の実態は水素だらけで、そこに少しヘリウムが含まれており、他の元素は隠し味程度といったところです。海水も雨水も血液の水分も、突き詰めれば、このように宇宙に豊富に存在している水素が元になっているわけです。

地球は**(P)**46 億年前、太陽の周りを回る岩石やチリが集まってできましたが、現在の地球にある物質の大半が、このときの元素のままです。なぜなら、先ほど説明したように、宇宙に存在しているほとんどの元素はビッグバン直後、恒星の中心部、超新星爆発の 3 つのケースで誕生したものであり、一部の例外を除いて地球上で元素が誕生することはないからです。

少なくとも 46 億年の地球の歴史上、元素は変わらぬまま存在し続けてきたわけです。変わっているのは、元素自体ではなく、元素と元素の組み合わせだけ。言い換えれば、無数の元素の組み合わせの変化によって生命が成り立っているということです。

そう考えると、命とは何ともとりとめのない、はかないもののように思えてきます。同時に、元素の歩む悠久の時の流れに、人智を超えた(3)ソウゴンささえ感じさせられます。

吉田たかよし『元素周期表で世界はすべて読み解ける 宇宙、地球、人体の成り立ち』光文社新書、2012年より抜粋、一部改変

【問1】本文中の下線部(1)～(3)と同じ漢字を含むものを、1～5より1つずつ選びなさい。

(1) ヘイガイ

1. 帝国は周辺国をヘイドした
2. ヘイシャで対応させていただきます
3. ゾウヘイ局
4. 放射線をシャヘイする
5. 彼の無神経さにヘイコウした

解答番号[19]

(2) コウセキ

1. 試料をブンセキする
2. セキネンの恨み
3. ボウセキ工場で働く
4. 列車はコンセキ5時に到着する
5. セキリョウ山脈

解答番号[20]

(3) ソウゴン

1. ゲンカンの冬
2. 悪のゴンゲ
3. 犯罪のコンセキを探す
4. コンシン会に参加する
5. ケンジツな経営

解答番号[21]

【問2】本文中の下線部(A)の「周期表」に関して、元素の性質の周期性に最初に気付いて周期表の基礎を築いた人物を1～5より1つ選びなさい。

1. アボガドロ
2. ラボアジェ
3. ダルトン
4. アリストテレス
5. メンデレーエフ

解答番号[22]

【問3】本文中の下線部(B)の「人体を構成している元素」に関して、主要な元素でないものを1～5より1つ選びなさい。

1. ケイ素
2. 炭素
3. 酸素
4. 水素
5. 窒素

解答番号[23]

【問4】本文中の空欄(C)に入る人物名を1～5より1つ選びなさい。

1. 白川英樹
2. 福井謙一
3. 江崎玲於奈
4. 朝永振一郎
5. 湯川秀樹

解答番号[24]

【問5】本文中の下線部(D)と同じ数値を1～5より1つ選びなさい。

1.  $1.37 \times 10^5$
2.  $1.37 \times 10^6$
3.  $1.37 \times 10^8$
4.  $1.37 \times 10^{10}$
5.  $1.37 \times 10^{12}$

解答番号[25]

【問6】本文中の下線部(E)の「ヘリウム」に関して、ヘリウムは周期表のどの族に分類されるか。1～5より1つ選びなさい。

1. ランタノイド族
2. 希ガス元素
3. ハロゲン
4. アルカリ金属
5. アルカリ土類金属

解答番号[26]

【問 7】本文中の下線部(F)を、単位の前に付ける接頭辞を使って表記したとき正しいのはどれか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 1 k(キロ)秒
2. 1 n(ナノ)秒
3. 1  $\mu$  (マイクロ)秒
4. 1 p(ピコ)秒
5. 1 m(ミリ)秒

解答番号[27]

【問 8】本文中の下線部(G)について、恒星が赤色巨星になって体積が 100 倍になった場合、元の恒星に比べて直径はおよそ何倍になるか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 2
2. 5
3. 7
4. 10
5. 12

解答番号[28]

【問 9】本文中の下線部(H)の「ベータ崩壊」では、原子核内の中性子が陽子に変わる。もし、ゲルマニウム(Ge)の原子核内の 2 つの中性子がベータ崩壊して 2 つの陽子に変化すると、どんな元素が生じるか。図 2 を参考にして、1～5 より 1 つ選びなさい。

1. ヒ素(As)
2. ガリウム(Ga)
3. 亜鉛(Zn)
4. セレン(Se)
5. ニッケル(Ni)

解答番号[29]

【問 10】本文中の空欄(I)には以下の①～④文章が入る。正しい順番を 1～5 より 1 つ選びなさい。

①ちなみにハッブル宇宙望遠鏡とは、600 キロ上空の軌道で地球を周回する、人工衛星による望遠鏡で、1990 年に米国によって設置されました。地表の大気や天候の影響を受けないので、高い精度で天体観測が可能です。

②東京大学の研究グループの試算では、ベテルギウスが超新星爆発を起こした場合には満月の 100 倍くらいの明るさに、また、南クイーンズ大学の研究グループの予測では昼間でもはっきりと見えるような明るさになると予測されています。

③宇宙は広いので、超新星爆発自体は毎日のように、どこかで起こっています。ただし、それは遠い別の銀河でのことです。私たちが住む天の川銀河の中に限れば、30年から50年に1度くらいしか起こりません。さらに、ベテルギウスは太陽系から近いので、超新星爆発を起こしたら、20万年前に私たちホモサピエンスが誕生して以来の、最大の天体ショーになるかもしれないのです。

④このベテルギウスが、現在、寿命の99%が尽きてしまい、いつ超新星爆発を起こしてもおかしくない状態にあるのです。

「ハッブル宇宙望遠鏡で観測したら、表面に白い模様ができていた」「すでに球形を維持できなくなり、大きなコブのようなものができている」「異常なスピードで収縮している」など、この星が終末の直前であることを示唆する観測結果が次々に報告されています。

1. ②→③→①→④
2. ③→②→④→①
3. ④→③→①→②
4. ④→①→③→②
5. ④→②→①→③

解答番号[30]

【問 11】本文中の空欄(J)にあてはまる最も適切な小見出しはどれか。1～5より1つ選びなさい。

1. 我々は宇宙の子供
2. 宇宙で生まれた元素の物語
3. 宇宙は希薄で広大な世界
4. 生命は無数の元素が奏でるハーモニー
5. 宇宙は水素だらけ

解答番号[31]

【問 12】本文中の空欄(K)～(O)に入る語句の組み合わせで正しいものを1～5より1つ選びなさい。

1. (K)軽いー(L)重いー(M)上ー(N)下ー(O)下
2. (K)重いー(L)軽いー(M)上ー(N)下ー(O)下
3. (K)軽いー(L)重いー(M)下ー(N)上ー(O)上
4. (K)重いー(L)軽いー(M)下ー(N)上ー(O)上
5. (K)軽いー(L)重いー(M)下ー(N)上ー(O)下

解答番号[32]

【問 13】 ビッグバンから現在までの 137 億年を 365 日のカレンダーになぞらえるコズミック(宇宙)カレンダーという考え方がある。本文中の下線部(P)の「46 億年前」はコズミックカレンダーでは何月に近いか。1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 2 月
2. 4 月
3. 6 月
4. 8 月
5. 10 月

解答番号[33]

【問 14】 図 1 で著者が述べる「鉄よりも左側の結合エネルギー」を利用していないものを 1～5 より 1 つ選びなさい。

1. 火力発電
2. 原子力発電
3. 太陽光発電
4. 光合成
5. 恒星

解答番号[34]

正解

解答番号[19]	2
解答番号[20]	3
解答番号[21]	1
解答番号[22]	5
解答番号[23]	1
解答番号[24]	5
解答番号[25]	4
解答番号[26]	2
解答番号[27]	3
解答番号[28]	2
解答番号[29]	4
解答番号[30]	4
解答番号[31]	5
解答番号[32]	1
解答番号[33]	4
解答番号[34]	2