

## 問題1：宇宙における生命の略歴

化学は生命の言語である。生命は原子、分子及び原子と分子を含んだ複雑な化学反応に基づいている。それゆえ、原子がどこから来たのかを問うことは極めて自然なことである。広く受け入れられているモデルによれば、宇宙は約**150億年前**にいわゆるビッグバン（大爆発）の際に始まり、それ以来広がり続けている。全体としての宇宙の歴史は、宇宙の冷却にともなう原始的な粒子から複雑な粒子への一連の凝縮過程として概観することができるだろう。もちろん、今日我々が生命であるとしているものは、地球の温和な温度で起きる特別な現象ではある。

軽元素、大部分は水素とヘリウムであるが、これらはビッグバンの後急激に膨張しそれゆえその後急激に冷えていく初期宇宙の中で、最初の数分間の間に形成された。星は宇宙においては特別な物体で、これは温度降下が星の形成の過程で反転するからである。また星は化学において重要である。なぜならば、生命に不可欠な重元素は星の中で作られるからであり、ここでは温度が数千万度を超える。

膨張する宇宙の温度は単純に以下の式によって見積もることができる。

$$T = 10^{10} / t^{1/2}$$

ここで**T**はケルビン単位（**K**）での宇宙の平均温度で、**t**は秒単位での宇宙の年齢である。以下の**1-1**から**1-6**について有効数字**1桁**で答えよ。必要とあれば四捨五入せよ。

**注（編集者）：プロトン＝陽子**

- 1-1. （ビッグバンの後）一秒たった後の宇宙の温度を見積もれ。なおこの時、温度はプロトンや中性子がヘリウム核に融合するには高すぎる。
- 1-2. 約3分後、ヘリウム核の合成がほとんど完了している時の宇宙の温度を見積もれ。
- 1-3. 温度が約**3000 K**、最初の中性の原子が水素と電子を持ったヘリウム核の組み合わせから形成された時の宇宙の年齢を見積もれ。
- 1-4. 宇宙における最初の安定な分子は、膨張している宇宙の温度が十分に低くなり（おおよそ**1000 K**）分子中の原子が結合している状態を保つことができるようになってからやっとできうる。温度が約**1000K**の時の宇宙の年齢を見積もれ。
- 1-5. 宇宙の年齢が約**3億年**で最初の星や銀河が生まれた時の宇宙の平均温度を見積もれ。
- 1-6. 現在の宇宙の温度を見積もれ。それが宇宙マイクロ波背景放射測定値（**3K**）とほぼ同じであることに注目せよ。

1-7. 以下のキーとなる凝縮過程を、膨張している宇宙における原子の99%以上が水素とヘリウムであるという事実に矛盾しないように論理的に並べよ。

a - ( ) - ( ) - ( ) - ( ) - ( ) - ( ) - ( ) - ( ) - ( )

- a. quarks → proton, neutron (クォーク (素粒子) → プロトン、中性子)
- b.  $10^{14}$  cells → human being ( $10^{14}$  細胞 → 人間)
- c. H, C, N, O →  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$  (in interstellar space : 星間空間)
- d. proton, helium nucleus + electron → neutral H, He atoms (プロトン、ヘリウム原子核 + 電子 → 中性の水素原子、ヘリウム原子)
- e. proteins, nucleic acids, membrane → first cell (タンパク質、核酸、膜 → 最初の細胞)
- f. proton, neutron → helium nucleus (プロトン、中性子 → ヘリウム原子核)
- g.  $H_2$ , He,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ , dust → solar system (水素分子、ヘリウム、メタン、アンモニア、水、塵 → 太陽系)
- h. H, He atoms → reionization, first generation stars and galaxies (水素、ヘリウム原子 → 再イオン化、第一世代の星や銀河)
- i. proton, helium nucleus (light elements) → heavy elements such as C, N, O, P, S, Fe, U; supernova explosion (プロトン、ヘリウム核 (軽元素)) → 炭素、窒素、酸素、リン、硫黄、鉄、ウラン ; 超新星爆発)
- j.  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ , etc.  
→ amino acids, sugars, nucleotide bases, phospholipids on Earth (水素分子、メタン、アンモニア、水など → 地球上のアミノ酸、糖、ヌクレオチド塩基、リン脂質)