

## 問題 4 (生物学)

以下の文章を読み、各問に答えよ。

膜を隔てたイオンの電気化学ポテンシャル差についてプロトンを例にみてる。V (ボルト) で表したプロトンの電気化学ポテンシャル差 ( $\Delta P$ ) は次式で与えられる。

$$\Delta P = \Delta \psi + 2.3 \frac{RT}{F} \log \frac{[H^+]_{in}}{[H^+]_{out}}$$

ここで  $\Delta \psi$  は膜電位 (V)、R は気体定数 ( $1.98 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )、T は絶対温度 (K)、 $[H^+]_{in}$  は膜内のプロトン濃度、 $[H^+]_{out}$  は膜外のプロトン濃度、F はファラデー定数 ( $2.3 \times 10^4 \text{ cal V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )

細菌のべん毛モーターはプロトンの電気化学ポテンシャル差を駆動力としているらしい。以下はこの仮説を検証した実験である。

運動性の球菌 *Streptococcus* を用いた。この細菌はグルコースのような酸化に使う基質の存在下では、ミトコンドリアで見られるような電子伝達系が駆動し、泳ぐことができる。しかし、グルコースがないと泳げない。プロトン濃度勾配や膜電位に影響を与える一連のイオノフォアを用いて、いくつかの観察を行った。

- グルコース存在下で泳いでいる細菌に、プロトン・イオノフォアである FCCP を加えると遊泳を停止した。
- グルコースを含むカリウム・リン酸緩衝液中で泳いでいる細菌に、 $K^+$ イオノフォアであるバリノマイシンを加えても何の影響もみられなかった。
- グルコースを含まないカリウム・リン酸緩衝液中で泳いでいない細菌に、バリノマイシンを加えてもそのまま泳がなかった。
- グルコースを含まないナトリウム・リン酸緩衝液中で泳いでいない細菌に、バリノマイシンを加えると短時間だけ泳いだあと停止した。

これらの観察結果は、細菌のべん毛モーターがプロトンの電気化学ポテンシャル差を駆動力とすることを示唆する。

問

- ミトコンドリアではどのようにプロトンの電気化学ポテンシャル差が形成され、主としてどのように利用されるか。その分子機構を説明せよ。
- この細菌の膜電位が  $-110 \text{ mV}$  で、細胞内 pH が 7.5、細胞外 pH が 6.5 であったとき、プロトンの電気化学ポテンシャル差を計算せよ。ただし、温度は  $27^\circ\text{C}$  とする。
- これらの観察結果は、べん毛の回転運動がプロトンの流れによって駆動されるという考えとなぜ一致するか、A~Dそれぞれについて説明せよ。(ただし、この細菌で細胞内の  $K^+$ 濃度は用いたカリウム・リン酸緩衝液中の  $K^+$ 濃度よりも低い。)
- 別の研究からべん毛モーターの駆動には、プロトンの電気化学ポテンシャル差が少なくとも  $-100 \text{ mV}$  必要であると報告されている。グルコースのような酸化に使う基質のない条件下に、塩酸を用いて細胞外 pH を低下させる実験を行う。このとき、細胞外 pH をどこまで低下させると泳ぎ始めると考えられるか。ただし、細胞内 pH は 7.5、温度は  $27^\circ\text{C}$  とする。
- 野生株の細菌は酸素の有無にかかわらず泳ぐことができる。しかし、プロトン流駆動型の ATP 合成酵素を欠く変異株は、酸素の存在下でしか泳げない。酸素を欠き電子の流れもない条件下で、野生株の細菌が泳げる理由を説明せよ。また、ATP 合成酵素を欠いた変異株が泳げなくなることについても説明せよ。