

蘭 様

お便りありがとうございます。

ご質問1.について

蘭様は、神経繊維内に分布するイオンの濃度が高いほど、そのイオンが「抵抗」となって「電導への影響」が大きいとお考えなのでしょう。つまり、神経繊維内にイオン濃度の高い部分があると、これがイオンの流れを妨げる(抵抗になる)というように考えておられるのでしょうか。このような考え方は、「神経繊維の中を電流が流れることによって興奮が伝えられる」という立場での考え方です。私が主張するところは「神経繊維の中を電流など流れていない」ということですから、イオンの濃度が高いほど「抵抗が大きい」とか「電導に(悪い)影響を与える」などというのは、私の主張するところとしては、まったくあり得ない考え方です。

私は、陽イオン濃度の高い状態、したがって電位の高い状態が波(パルス波)になって伝えられると考えているのであり、その波の進む速さは神経繊維内の細胞液の温度やイオン濃度などによって決まるものと考えています(音速が、気温の影響を受けるように)。無髄神経繊維でも有髄神経繊維でも、静止状態では神経繊維の内外の電位差がおよそ70mV程度とほぼ同じ値なのですから、どちらの神経繊維内のイオン濃度もほぼ同じだと考えています(※1)(※2)。したがって、神経繊維内を興奮が伝えられる速さ(パルス波の進む速さ)は無髄神経繊維でも有髄神経繊維でもそれほど変わらない(つまり髄鞘があろうがなかろうがどの部分でも同じ)ということになります。

(※1) 神経繊維内のどこかにイオン濃度の高い(または低い)部分があるとすると、その部分だけ周囲より電位が高く(または低く)なることとなりますが、興奮のパルス波が伝わってくるまでは(つまり静止電位が-70mV程度の静止状態では)どの部分も同じ電位になっているはずですが、したがって、どちらの神経繊維でも、その内部のイオン濃度はほぼ同じだと考えています。なお、レポートのp.18後半あたりの「ところで、物理の学習(F)の最後のところで」から始まる段落もお読みください。

(※2) 私は、神経繊維内のイオンは波の進行を妨げるものではなく、むしろ波を伝える媒質としてのイオンの濃度が高いほど波はよく伝えられると考えています。逆に、媒質としてのイオンが少なくなると波が伝えられなくなってしまうでしょう(空気が少なくなると音が伝わりにくくなるのと同じように)。

それにもかかわらず、有髄神経繊維の方が興奮の伝導速度が大きくなるのは、「伝導の小休止」が少なくなるからだとしてレポートの中(p.22~24の「(6)跳躍伝導だと、なぜ伝導速度が大きいのか」)で説明している通りです。

ご質問2.について

静止状態の神経繊維内の電位を-70mV(したがって、神経繊維の細胞膜にかかっている電圧を70mV)とし、神経繊維の細胞膜の厚さを仮に5nmとして、細胞膜の中に生じる電場の強さを計算してみますと、

$$E = 70 \times 10^{-3} [\text{V}] / 5 \times 10^{-9} [\text{m}] = 14 \times 10^6 [\text{V/m}]$$

となります。大気中で雷が放電を起こすときの電場の強さは $3 \times 10^6 [\text{V/m}]$ 以上(河崎善一郎「雷放電とは - 雷放電の物理 -」)とされていますから、神経繊維の細胞膜には雷放電が起きるほどの電場が生じていることとなります。したがって、Na⁺チャネルが開いた瞬間には、そこにあるNa⁺はまるで雷放電のような勢いで細胞内に突入することになります。

このようにして勢いよく細胞内に流れ込んだNa⁺が極めて狭い範囲に集中し、その濃度が増大するに

つれてその付近の電位が急激に上昇することで、次々とNa⁺チャンネルが開くようになって活動電位が発生するものとされています。このとき、細胞内に流れ込んだNa⁺が集中している部分の中心付近ではNa⁺の濃度が最も大きく、中心から遠ざかるほどその濃度が小さくなっていくと考えるのが自然です(※)。この濃度分布または電位分布がパルス波の形(幅が狭く高い山型)になるというわけです。

(※) 大きな池があつて、静かに水が貯えられているとします。このとき、濃い色を付けた水をバケツに一杯入れて、この色水をこの池に勢いよく(一気に)ザーッと注ぎ込んだときの様子を想像してみてください。おそらく、その色水が注ぎ込まれたところの中心付近の色が最も濃く(つまり濃度が大きく)、中心から遠ざかるほど色が薄く(つまり濃度が小さく)なっていくでしょう。そんなイメージです。

今回もまた、蘭様の疑問が解消しますことを祈っています。