

5B-2

杆体におけるロドプシン活性化過程のCRフィルタモデル

薛 斯毅† 富永 陽介† 小島 正典†

†大阪工業大学 情報科学部

1、まえがき

杆体の光変換機構の等価回路による実時間検証を目指している。光変換機構は、次の機能で構成される。ロドプシンの活性化、PDEの活性化、光感受性電流と膜電位の生成である。

この発表では初段の過程を等価回路で表し、周波数応答とステップ応答を調べた。初段は2つの線形微分方程式で表される。これはCRフィルタによる等価回路でモデル化できる。そこで等価回路に基づいて各応答をシミュレーションにより予測し、ついで実験で各応答を確認した。

この結果、活性化ロドプシンを電圧に変換して、任意の光の信号に対応した応答を実時間で次段に伝送できる目途を得た。これにより次段、3段の等価回路的な動作解析を推進できると考えられる。

2、視覚の仕組み

眼球の底に網膜がある。

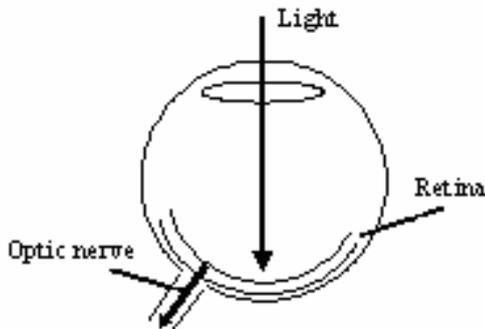


図1、眼球の構造(右)

網膜は透明で光は底の視細胞 P に達する。光の強さに従って視細胞の膜電位が変化し、膜電位は水平細胞 H 神経節細胞 G を通ってパルスに変換され、視神経から脳に伝達する。視細胞には錐体と杆体がある。

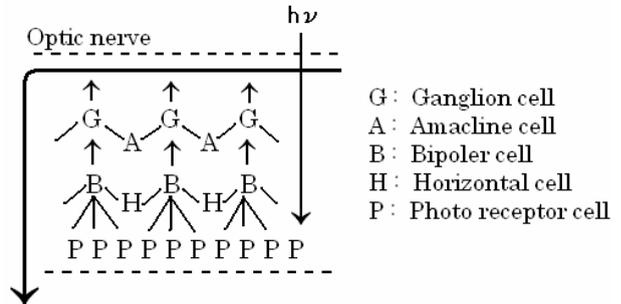


図2、網膜の構造

3、等価回路

トラフサンショウオの杆体の数理モデルが示されている[1]。活性化されたロドプシンの濃度 Rh は次の式で表される。Jhv はフォトイソメリゼーション、Rhi は非活性ロドプシンである。

$$d Rh/dt = Jhv - \lambda_1 Rh + \lambda_2 Rhi \tag{1}$$

$$d Rhi/dt = \lambda_1 Rh - (\lambda_2 + \lambda_3) Rhi \tag{2}$$

ただし、 $\lambda_1 = 2\text{sec}^{-1}$   $\lambda_2 = 0.8\text{sec}^{-1}$   $\lambda_3 = 0.6\text{sec}^{-1}$  である。次の方程式が示す伝達特性は図2の等価回路で表される。

$$E_i = E + T \frac{dE}{dt} \tag{3}$$

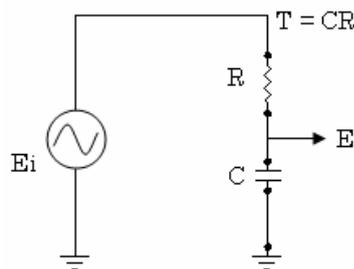


図3、CRフィルタ

(1),(2)式は次のように整理できる。

$$Jhv / (\lambda_1 + Rhi) - \lambda_2 / \lambda_1 = Rh + (dRh/dt) / \lambda_1 \tag{4}$$

$$Rh / \lambda_1 / (\lambda_2 + \lambda_3) = Rhi + (dRhi/dt) / (\lambda_2 + \lambda_3) \tag{5}$$

(3)式と(4)式および(3)式と(5)式を比較すると、Rh は2段のCRフィルタ回路で表すことができる。

これを整理すると図3の等価回路になる。時定数  $C1 \cdot R1 = 1 / (\lambda_1 - \lambda_2)$ 、 $C1 \cdot R2 = 1 / \lambda_2$ 、 $C2 \cdot R2 = 1 / \lambda_1$ 、 $C2 \cdot R3 = 1 / \lambda_3$  である。

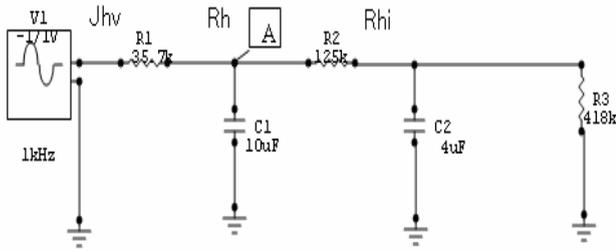


図 4、等価回路

#### 4、周波数特性のシミュレーション

等価回路の周波数特性を SPICE で調べた。

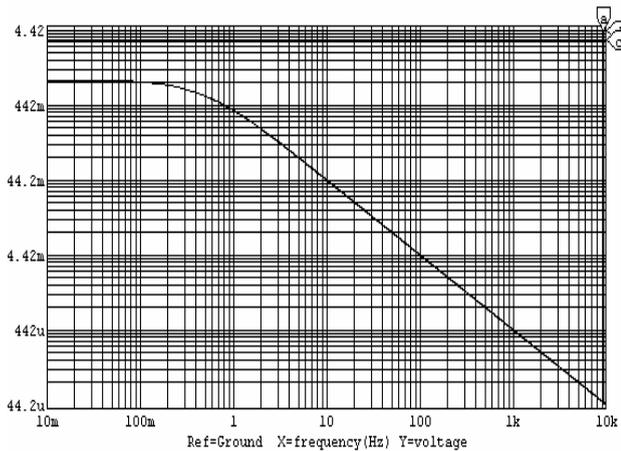


図 5、周波数特性のシミュレーション

#### 5、実験

オシロスコープで測定するため、C1 と C2 が 1/1000 の回路を構成した。実験結果は周波数を 1000 倍にするとシミュレーションとほぼ一致した。C1 と C2 を図 4 の諸元にすれば後段と接続して実時間検証可能と推定される。

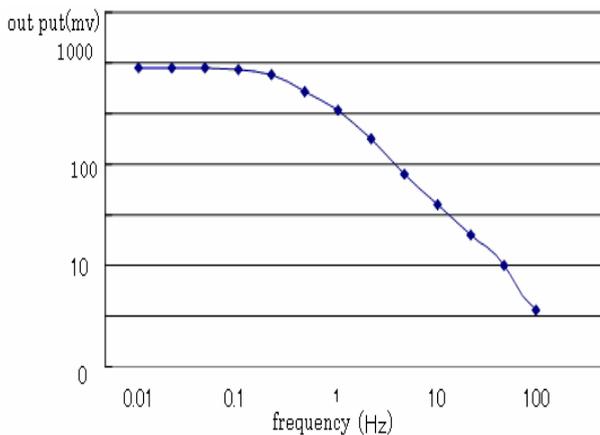


図 6、実験回路の周波数特性

#### 6、ステップ応答のシミュレーション

周期 120sec のステップ応答を SPICE で調べた。立下りが 1/1000 になるのに約 3 秒かかる。

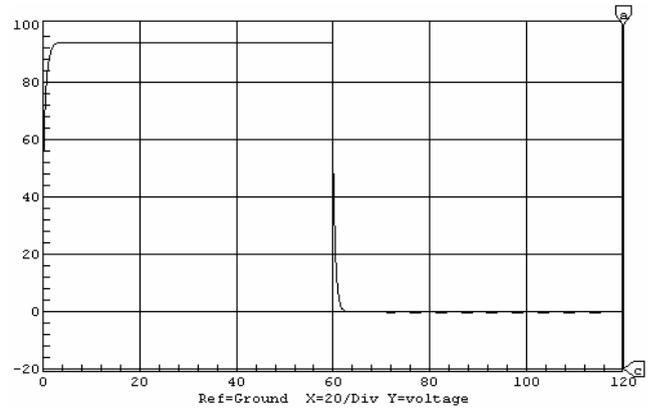


図 7、ステップ応答

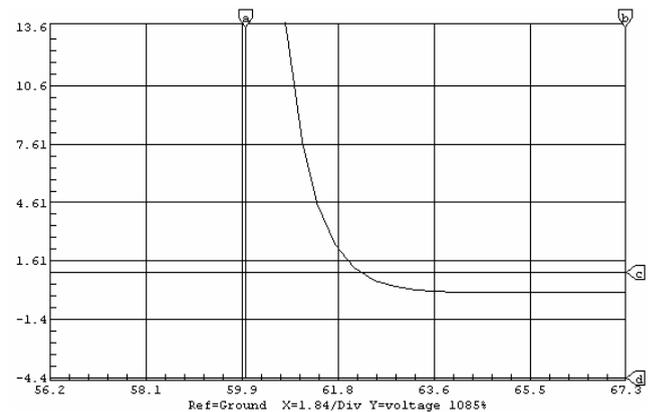


図 8、ステップ応答拡大図

#### 7、むすび

杆体のロドプシン活性化の数理モデルを CR フィルタ型の等価回路で表した。

この等価回路からロドプシン活性化過程の周波数特性とステップ応答が推測できた。

#### 文献

[1] 臼井支朗(編): “脳・神経システムの数理モデル”, 共立出版, 東京, pp.66-86(1997)