

杆体における光感受性電流生成のデジタルフィルタモデル

富永 陽介† 小池 靖† 小島 正典†

†大阪工業大学 情報科学部

1. まえがき

網膜の杆体外節における光変換機構は、3段の機能で構成される。ロドプシンの活性化、PDEの活性化、光感受性電流の変調である。初段と2段の周波数応答はすでに報告しており、この発表では終段の過程をデジタルフィルタのシグナルフローで表し、マイクロコンピュータによる実時間処理の可能性を確認する。終段は3つの非線形微分方程式で表される。これは小信号の場合、線形の微分方程式に近似でき、デジタルフィルタにモデル化できる。このデジタルフィルタの周波数応答をマイクロコンピュータを用いた実験で確認する。

2. 網膜の働き

網膜の底にある視細胞Pに達する光の強さに従って視細胞の膜電位と化学伝達物質のグルタミン酸(g1)の放出量に変化し、水平細胞、神経節細胞に順次伝達され、周期変調を伴うパルス列になって神経節から脳に伝達される。視細胞には錐体と杆体がある

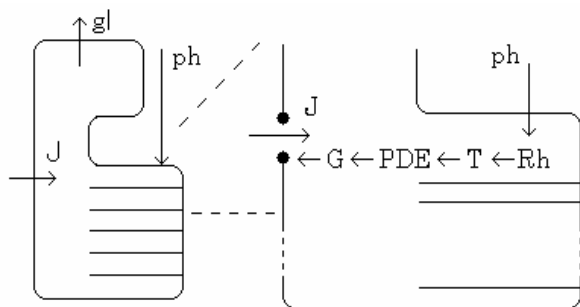


図1. 杆体と光変換過程

網膜の杆体外節では、光量子(ph)を受けるとロドプシン(Rh)、トランスデューション(T)、磷酸ジエステラーゼ(PDE)と順に活性化される。この結果、環状グアニル酸(Ga)の濃度が低下し、イオンチャンネルを閉じるので、イオン流に伴う電流が変調される。これが光感受性電流(J)である。

3. 光感受性電流変調過程

杆体外節の光変換機構における終段の数値モデルと係数の数値を示す。

J は光感受性電流、C はフリーカルシウムの濃度、Cb はバッファードカルシウムの濃度、Ga は環状グアニル酸の濃度、PDE は活性化磷酸ジエステラーゼの濃度である[1]。

$$dC/dt = bJ - r(C - C_0) - dC_b/dt \quad (1)$$

$$dC_b/dt = K_1(e_t - C_b)C - K_2C_b \quad (2)$$

$$dGa/dt = A_{\max}/\{1 + (C/K_c)^4\} - G(V + S \text{ PDE}) \quad (3)$$

$$J = J_{\max}Ga^3/(Ga^3 + K^3) \quad (4)$$

S:1 s⁻¹, r:50 s⁻¹, C₀:0.1 μM, V:0.4 s⁻¹,
b:0.625 μM⁻¹pA⁻¹, A_{max}:65.6 μM s⁻¹,
K_c:0.1 μM, K:10 μM, J_{max}:5040 pA,
K₁:0.25 s⁻¹ μM⁻¹, K₂:0.8 s⁻¹, e_t:500 μM

4. デジタルフィルタモデル

終段の数値モデルから線形のデジタルフィルタのシグナルフローを導く。

すなわち各変数の定常値には下付Sを付し、微小変化分を小文字で表し、微小変化分のための線形微分方程式に整理する。また、(3)(4)のCとGの関数はテーラ展開の1次で近似して、各々AとBで表す。また K₂ ≪ r, V ≪ r であるから dc/dt=0 とする。

$$dc/dt = K_1(e_t - C_b)C - K_1C_bC - K_2C_b \quad (6)$$

$$dga/dt = -Ac - S G_s pde - S PDE_s ga - Vga \quad (7)$$

$$j = Bga \quad (8)$$

$$A = 4A_{\max}(C_s/K_c)^4 / \{1 + (C_s/K_c)^4\} C_s \quad (9)$$

$$B = 3J_s(J_{\max}/J_s)^{1/3}/K \quad (10)$$

Digital Filter Model of photocurrent Modulation in Retinal Rods

† Faculty of Information Science, Osaka Institute of Technology

- [1] V. Torre, S. Forti, A. Menini, and M. Canpnini : Model of Phototransduction in Retinal Rods, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. LV., pp.563-573 (1990)