

眼球光学系を含めた錐体モザイクモデル

情報科学科 熊谷 滯

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

網膜視細胞は、角膜、水晶体などの眼球光学系を経た光を受け取る。光が眼球光学系を通過すると、収差が生じるため、網膜像がぼやける。したがって、眼球光学系は網膜の光応答に大きな影響を与えていると考えられる。しかし、これまでの錐体モザイクに関する研究では、眼球光学系を考慮した光応答の解析は行われていない。本研究では、眼球光学系が光応答に及ぼす影響を解析するために、眼球光学系モデルを構築した。さらに、先行研究 [1] で構築された錐体モザイクモデルとの統合を行い、眼球光学系を含めた光応答シミュレーションを行った。

2 眼球光学系モデル

幾何光学では、物点から出た光は反射または屈折によって、理想的には再び 1 点に集まる。しかし、光は眼球光学系を通過することで、収差と呼ばれる理想的な写像からのズレが生じる。この収差の影響により、網膜像は外界像に比べてぼやける。収差には、波長の違いによって起こる色収差、単一波長でも起こる球面収差などがある。本研究では、このような収差を含めた眼球光学系の特性を再現するために、Navarro によって提案された眼球光学系モデル [2] を利用する。

眼球光学系モデルは、網膜像を求めるモデルであり、入力画像と PSF(点広がり関数)を畳み込み積分することで網膜像を計算することができる。PSF は点光源に対する写像を計算する関数であり、瞳関数をフーリエ変換し、2 乗することで求める。瞳関数に色収差、球面収差を導入することにより、収差の影響を考慮したシミュレーションが可能となる。波長によって PSF が異なるため、RGB の各波長ごとの PSF を求め、その PSF と RGB 成分を畳み込み積分し、網膜像を求める。

3 錐体モザイクモデル

本研究では、眼球光学系モデルで求めた網膜像を曾根 [1] の錐体モザイクモデルの入力とすることで、モデルの統合を行った。

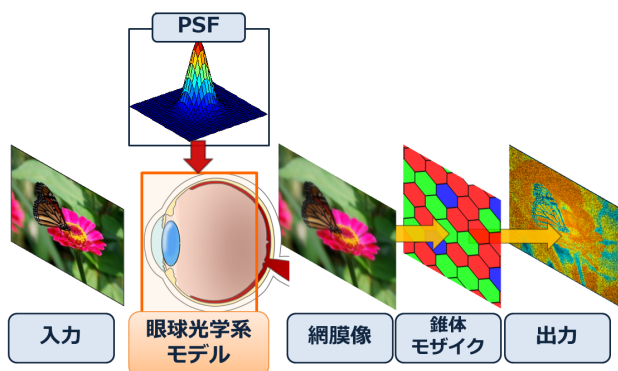


図1 本研究で構築した数理モデルの概略図

図1は統合したモデルの概略図である。錐体モザイクモデルは、錐体モザイク生成モデルと光応答モデルで構成される。錐体モザイク生成モデルは錐体の解剖学的特性、光応答モデルは錐体の生理学的特性を再現している。

本研究では、眼球光学系モデルを使って、RGBの波長をそれぞれ590, 526, 452[nm]と想定した、100×100[px]のカラー画像を外界像としたときの網膜像を求める。その網膜像を錐体モザイクに入力することで、眼球光学系を含めた錐体モザイクの光応答シミュレーションを行う。

4 シミュレーション結果

図2(d)は、図2(a)を外界像として、眼球光学系モデルで計算した網膜像である。図2(b), 2(e)はそれぞれ眼球光学系を考慮した場合と考慮していない場合において、図2(a)が視角サイズ1.0×1.0[degree]の錐体モザイクに入力されたときの応答を示しており、応答が大きいほど赤く表示されている。図2(c), 2(f)は応答の拡大図である。

眼球光学系を考慮しないとき(図2(b)), 錐体モザイクの光応答上で蝶の模様を確認できる。一方、眼球光学系を考慮すると(図2(e)), 蝶の模様の詳細は確認できない。蝶の羽の光応答を拡大すると、眼球光学系を考慮した場合(図2(f))は、眼球光学系を考慮しない場合(図2(c))に比べて、錐体の光応答が大きくなっている。これは、眼球光学系の収差の影響によるものと考えられる。網膜上では収差のため、光が広がり、周囲の光の影響で光が強くなる。その結果として、錐体の光応答が大きくなると考えられる。蝶の模様は黒色に近く、光が弱いため、錐体の光応答が大きくなり、模様の詳細が見えなくなったと考えられる。この結果から、眼球光学系が錐体モザイクの光応答に影響を与えることがわかった。

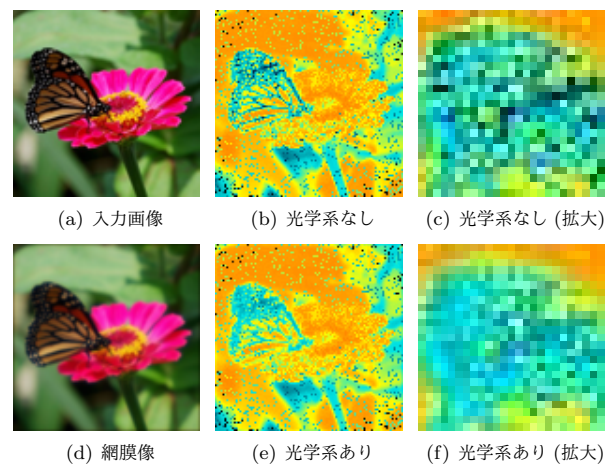


図2 眼球光学系の有無による応答の比較

5 まとめ

本研究では、眼球光学系が光応答に及ぼす影響を解析するために、眼球光学系を含めた錐体モザイクモデルを構築した。シミュレーションの結果、収差が空間的に及ぼす影響により、錐体の光応答が大きくなることを確認した。今後、解剖学的特性をより詳細に再現した視細胞モザイクモデルを構築し、情報量解析などによって、眼球光学系が視覚情報処理に与える影響の定量的な解析を行う。

参考文献

- [1] 曾根大樹 (2012), 平成 23 年度修士論文
- [2] R. Navarro, J. Santamaria and J. Bescos (1985), JOSA A2, 1273-1280.