

## 光とからくり

博士（芸術工学）日本写真学会フェロー  
桑山哲郎

### 第24回 眼球光学系の話(その1)

光学に関係した話題は大変多いのですが、私たちの目と視覚系については、個々の構造と動作原理が面白い事に加え、不思議な社会現象が存在している事も「面白い」と言うと不謹慎になりますが大変目立ちます。私は1972年に専門の先生の講義を受け、一般社会人の理解との食い違いを痛感しました。そして、機会があるたびに間違いあるいは数量的に不適当な事柄を他人に説くようになりました。今回最初に取り上げる「眼球の断面図」については、ネット上で多くの情報を入手できるようになってから一層、間違った説明が増えている様に思います。

ステレオ写真に興味を持ち、左右の目の配置について学び始めて出会うのは、図1です。眼球と視覚系については説明図が多数あり、各器官の詳細な名称と働きが解説されているのですが、注目したい点だけを描き他を消去した簡略図を掲載しています。眼球はカメラと同様、凸レンズの光学系で外界の物体を網膜上に結像しています。像は左右が外界とは反転しているのですが、左側の外界は網膜の右半に結像します。信号取り出し線である視神経は視交叉（視神経の交差部）で左右に分けられ、左右眼の網膜右半からは右脳に信号が伝達されます。ヒトの左半身の感覚神経と運動神経は右脳に繋がっていることは良く知られていますが、この仕組みが倒立像と見事に符合して日常の行動がうまくできているのは大変不思議です。

さて、網膜からの信号は網膜が存在しない領域から眼球の外に取り出されます。人体はほぼ左右対称なので、多くの場合水平に切った断面を上から見た図として図2が描かれています。診断装置が未発達な時代には、人体を解剖する経験がある人だけが図1の様子を見ることができたのですが、X線CTやNMR-CTの画像を一般の人が見る機会が増えて、実際の人体で図1の配置を目にする機会が増えていていると思います。以前からの、水平断面を垂直断面と間違っている状況に対して修正が進むと期待したのですが、状況は全く改善されていません。この水平断面だけではなく、間違ったあるいは数量的に不適切な記述を表1にまとめました。

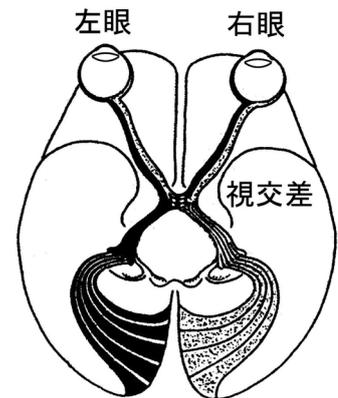


図1 頭部の水平断面図

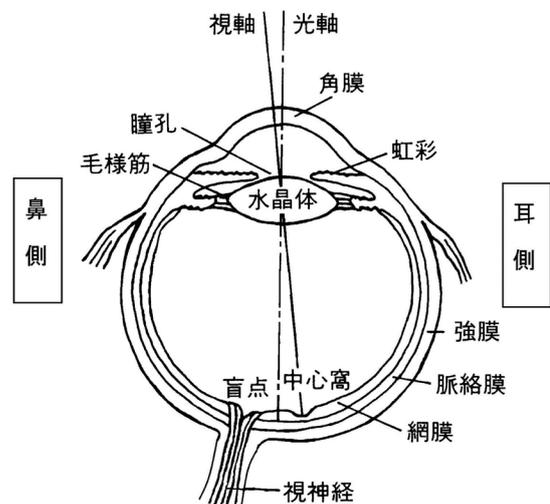


図2 右眼の水平断面図

表 1 眼球に関する記述の食い違い

	間違っただけあるいは不正確な記述	正確な記述
1	眼球の断面図は垂直断面。	視神経と盲点が見えるのは眼球の水平断面図。
2	水晶体はカメラのレンズに相当。	凸レンズとしての屈折力の 70%は角膜の第 1 面が負担し残り 30%を水晶体が負担。
3	虹彩が光量調節をする。	視覚が働く照度の範囲は百万倍を超えるが虹彩の光量調節は 5 倍程度。
4	網膜は撮像素子の光センサー部に相当。	網膜の視細胞は眼球の外側に向かい、光が入射する側に神経が配置されている。
5	眼球の光学系は色収差が補正されていて色ニジミが無い。	眼球の光学系は大きな軸上色収差を持っていて、画像処理により色ニジミを消している(文献 1)。
6	2次元の画像が一度に見える。	高い視力で見えるのは視野中心の狭い領域だけ。
7	視野全面がフルカラーに見える。	フルカラーが見えるのは視野中心付近だけ。

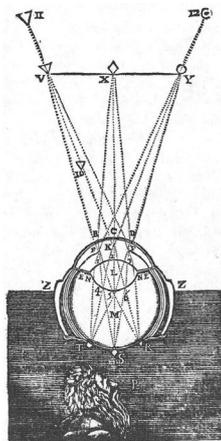


図 3 デカルト『屈折光学』の図

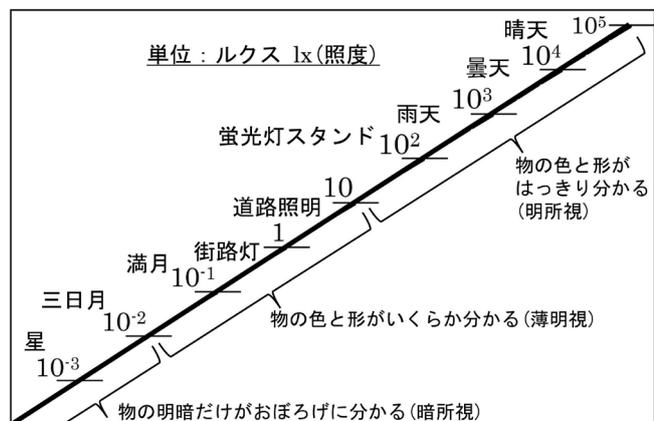


図 4 視覚が働く照度の範囲

各項目について説明を続けます。図 3 は 1630 年頃にルネ・デカルト(1596-1650)が『屈折光学』の中に描いた図です。物体上の 1 点から発散した光線群が、角膜表面と水晶体の第 1・第 2 面で順次屈折して網膜上に到達します。瞳孔を通過する光束だけが結像に寄与する点も正確に描かれています。残念ながら現在の社会人の多くは、カメラが物体を撮影するときの光路をあまり理解していない様です。瞳孔の径は明暗に対応し 7mm から 3mm に変化し面積は 5.5 倍変わります。図 4 は、視覚が働く照度の範囲を模式的に表して(元の図は 1987 年照明学会)います。実に  $10^6$  倍、百万倍を超えるレンジで視覚が働くのですがこれは、錐体と桿体という視細胞が明るい場合と暗い場合で役割分担としていること、また自動的に感度調整が行われることによっています。光量調節の説明に瞳孔径の変化だけを取上げる不適切さが分かります。教科書的な書物を参照することで、眼球光学系について知ることができますが、色収差と色消しレンズに関する話題は見つけにくいので参考文献<sup>1)</sup>を上げます。

参考文献

- 1) 桑山哲郎, ニュートンの『光学』を巡る話題から, 光学, 第 47 卷 5 号, 221 (2018).



桑山哲郎 KUWAYAMA, Tetsuro  
 博士(芸術工学) 日本写真学会フェロー  
 (当協会 人材育成委員会 委員, 「光応用技術研修会」講師)