

マックスウェル視のときの 網膜照度の計算と測定

池田 光 男

東京工業大学大学院総合理工学研究科
〒227 神奈川県横浜市緑区長津田町4259

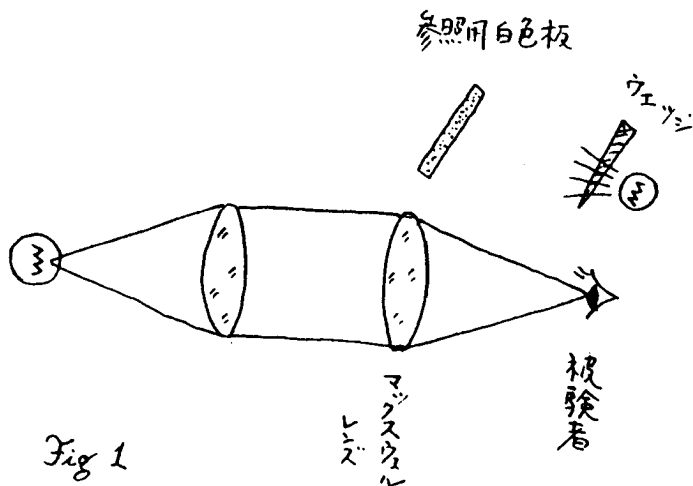
1. まえがき

視覚研究ではマックスウェル視をよく採用する。図1がその方式で、レンズによって刺激光を一点に集光させ、そこに瞳孔中心を配置して目に光を入れるものである。その利点は非常に明るい視野の刺激が得られること、それに、マックスウェリアン・レンズ ML の焦点距離の短いのを採用すれば、きわめて広い視野の刺激が得られることである。欠点は瞳孔中心位置を固定しなければならないこと、文字や絵などのパターン刺激の提示が、不可能ではないが、簡便でないこと、さらに測光が面倒であることである。

そこでここではその測光法について、とくに網膜照度の測定法を、我々の研究室で採用しているものについて紹介する。

2. 輝度の測定

網膜照度ではなく、刺激視野の輝度をどうしても知りたいという場合は、マックスウェル視の視野の横に、通常 of 自然視の視野を設置し、かつその輝度を調節できるようにしておき、明るさのマッチングを行う。そして自然視の方の輝度を輝度計で測ればよい。



3. 網膜照度の測定

網膜照度は網膜上の照度を表すものとして導入された。しかしその絶対値は眼球内の透過率や眼光学系の焦点距離など、眼球の光学的特性が厳密に定められないと計算できない。そこで相対値として「トロランド、Troland」(単位の表示はTd)という単位で与えられる網膜照度が定義されたのである。

いま図2に示すように、被験者が、自然視の状態で、面積 $A\text{m}^2$ 、輝度 $L\text{cd}/\text{m}^2$ の物体面を瞳孔面積 $s\text{mm}^2$ の目で見るとき、網膜照度 e (Td) は次式で定義される。

$$e = L \cdot s \quad (1)$$

瞳孔面積を m^2 で測り、それを S で表すと、これは

$$e = L \cdot S \cdot 10^6 \quad (2)$$

となる。

さて図2において、この物体面からどれだけの光束が網膜上に到達しているかを計算してみる。まず瞳上の単位面積当りの照度は

$$L \cdot A / d^2$$

ただし d は物体と目との距離で m 表示である。したがって目の中に入っていく全光束 F (lumen、 lm) は

$$F = L \cdot A \cdot S / d^2$$

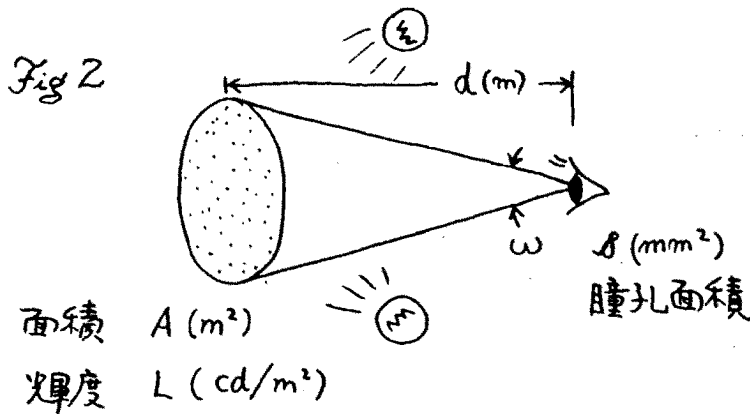
となる。

もし、 $L = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$ で $S = 10^{-6} \text{ m}^2$ とすると、この光束量は

$$F = A \cdot 10^{-6} / d^2 \quad (3)$$

となるが、実はこれは1Tdの網膜照度を与えるときである。上式を、被験者が面積 A の物体を見たときの立体角 ω を使って書き換えると、結局1Tdのときの目に入ってくる全光束は次のようになる。

$$F(1\text{Td}) = 10^{-6} \cdot x \quad (4)$$



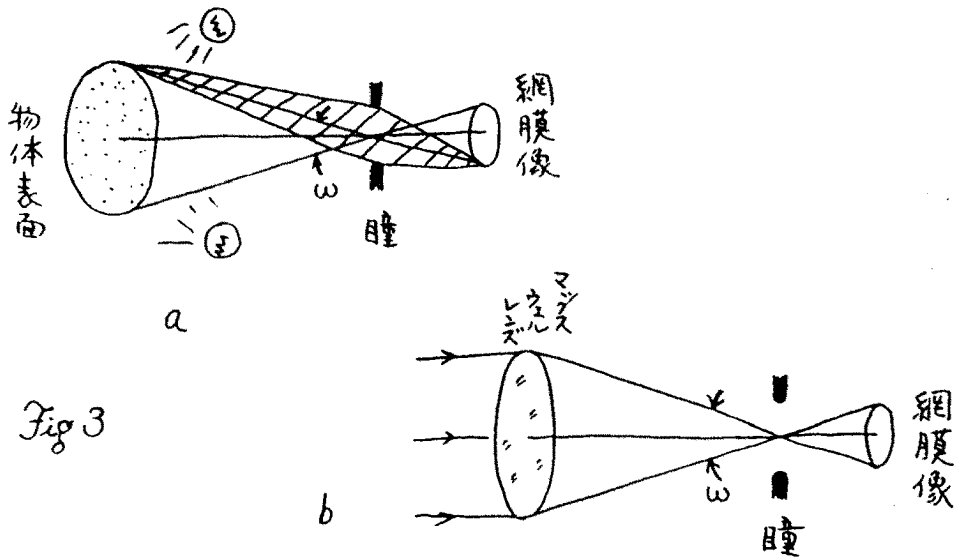


Fig 3

つぎにマックスウェル視と自然視を比較してみよう。図3a, bに示すように、目への光の入れ方は異なるが、結像の仕方は同じである。見ているものが一方はマックスウェル・レンズであるに対し、他方は物体であるだけの違いである。したがって、それらの立体角 x が同じなら、網膜像の大きさも同じである。ゆえに、マックスウェル視で、目にはいる全光束量が $F \text{ lm}$ であるときの網膜照度を計算するときにも(4)式が活用できる。すなわち F の値を(4)式で割ってやればよい。したがって結論として、

『被験者からみでの立体角が x (steradian, sr) であるようなマックスウェル・レンズから目の中に $F \text{ lm}$ の光束が入ってくる場合の網膜照度 $e \text{ Td}$ は

$$e = 10^6 \cdot F / x \quad (5)$$

で与えられる。』

4. 網膜照度の測定

マックスウェル視の場合の網膜照度 $e \text{ Td}$ を得るためには、目にはいる全光束量 F とレンズの立体角 ω さえ分かればよい。その順序を项目的に記述すると次のようになる。

(1) 図4に示すように、照度計をマックスウェル・レンズによる光束の焦点の位置から $D \text{ m}$ の距離に置き、照度を測る。その値を $K \text{ lx}$ とする。

(2) 網膜照度 $e \text{ Td}$ は

$$e = 10^6 \cdot K \cdot D^2 \quad (\text{Td}) \quad (6)$$

で与えられる。ただし、 K は lx で、 D は m の単位である。

(*) 説明：目にはいる全光束 F は、照度計の位置での、光束の広がり面積に含まれる全光束であるが、その面積 A は $A/D^2 = x$ の関係から $A = D^2 \cdot x$ で与えられる。照度の単位 lx は lm/m^2 であるので、 A 中の光束 (lm) は $K \cdot A$ あるいは $K \cdot D^2 \cdot x$ となる。これを式(5)の F に代入すると、網膜照度は

$$e = 10^6 \cdot K \cdot D^2 \quad (\text{Td})$$

となる。ただし、 K は lx で、 D は m で測っている。

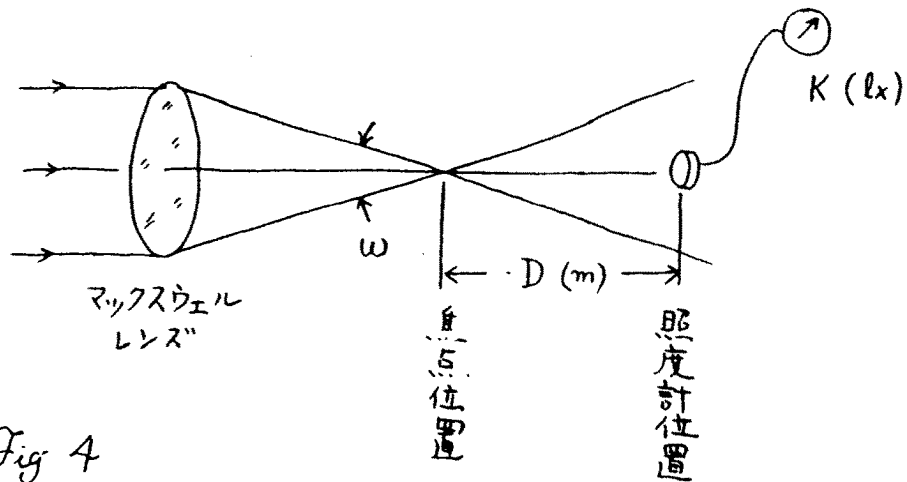


Fig 4

5. あとがき

網膜照度 e は網膜上の照度を表現するために導入されたもので、視覚系のメカニズムを研究する場合には好んで用いられる。視覚系の諸反応を左右するのは、対象物体の輝度ではなく、網膜上の単位面積当りにどれだけの光が落ちているか、つまり網膜照度であるとの考えられるからである。しかし実際面からは、ある網膜照度のときの物体の輝度 L はどのくらいかを知りたいことは多い。そのようなときは式(1)を利用すればよい。すなわち、

$$L = e / s \quad (7)$$

ただし、 L の単位は cd/m^2 、 e は Td 、 s は mm^2 である。

またそのような輝度の面を見るとき、部屋の照度はどのくらいかを知りたいこともある。しかしこれは厳密には導出できない。なぜなら L とその物体の表面での照度 E との間には

$$E = p \cdot L / q \quad (8)$$

の関係があるが、物体の反射率 q が分かっているからである。さらにこの式には物体表面が完全拡散面であることが仮定されている。つまり表面の輝度がそれを被験者が見る方向に関わらず一定であるという性質を持つ面である。一般の物体はこれを満足していない。しかしおおよその照度を推定したいときは、完全拡散面を仮定し、かつ反射率を適当に与えればよい。

(例) $e = 100 \text{ Td}$ とした場合

瞳孔直径を 4mm とすると、 $s = 12.57 \text{ mm}^2$

したがって

$$L = 7.96 \text{ cd}/\text{m}^2$$

反射率 $q = 0.5$ とすると

$$E = 49.99 \text{ lx}$$

となる。これは完全に明所視の照度レベルである。