

ピストル射撃の照準時における焦点距離

On the Focal Distance of the Eye during Sighting in Pistol Shooting

石垣 尚 男*
Hisao Ishigaki

枝川 宏**
Hirosi Edagawa

Abstract Based upon the focal distance and pupil diameter of the subjects sighting target 23m away, we estimated the point they were looking at during sighting. Calculation based on the depth of field, which can be derived from the pupil diameter of 4.5mm, suggested that the subjects were looking at the foresight of the pistol approx.80cm in front of the eye during sighting.

1. はじめに

ピストル射撃の照準は、照門、照星の上ぎわを水平にし、左右の間隔を均等にした状態で標的の6時に合わせ、標的の黒点と照星の間にわずかに白い線（すきま）ができるように照準する「6時照準白一線」がよいとされている¹⁾。

このような照準においては、射手は銃先（照門、照星）と遠方にある標的までの空間のどこを見るのだろうか？。銃先であろうか標的であろうか？。あるいは銃先と標的を交互に見るのであろうか？。

射手がどこを見ているかは、照準中の眼の焦点距離を測ることによって推定できる。この実験では、23m先の標的をピストルで照準しているときの焦点距離と瞳孔直径を測定することによって、照準中、射手はどこを見ているかについて実験をもとに推定した。

「脚注」

焦点距離は眼の焦点が結ばれている、ある1点までの距離である。眼の焦点は見ようとする対象より前方に結ばれる²⁾ので、焦点距離と対象までの距離は同じではない。どのくらい前方になるかは瞳孔直径からもたらされる焦点深度に依存する。したがって、焦点距離と瞳孔直径がわかれば見ようとしている対象までの距離が推定できる。

* 愛知工業大学基礎教育系（豊田市）

** 平成医療専門学院（岐阜市）

2. 方法

2.1 被験者

A県警のピストル射撃選手11名（男9名、女2名）である。年齢は21～44才で平均は29.0±8.1才、射撃選手としてのキャリアは平均7.6年である。全員、マスターアイ、利き手とも右である。Auto-refractometer AR-1100（NIDIK, Inc）による右眼のSphere値は-0.25d～+0.25dの範囲で、平均は0.09 diopterであった。Cylinderは-1.0d～0dの範囲で、平均は-0.16 diopterであった。全員、正視眼とみなされた。5m視力の平均は1.37であった。

2.2 装置

Auto refractometer AR-1100(NIDEC, Inc)は、内部視標と眼の視軸を一致させることによって、被験者の水晶体の屈折を連続的に測定できる装置である。図1のように被験者の眼前に Dichroic mirrorをおき、上部のミラーと併せて、被験者には銃先と標的が見えるような装置を作製した。これにより照準中の水晶体の屈折を測定した。屈折は0.08秒の sampling timeで computerに記録し、1/diopterで焦点距離に換算した。また、Auto refractometerのビデオ信号を瞳孔計（Hamamatu, Photo, Inc）に取り込み、0.03秒の sampling timeで瞳孔直径を記録した。銃は警察官が使用している実用拳銃である。銃の弾倉をはずし、撃針が Micro switchに作用したときの信号を激発時点として computerに記録した。被験

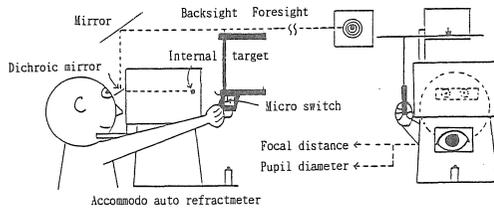


図1 実験装置

者眼と照門との距離は70 cm、照星との距離は80 cmで、標的までの距離は23mである。

2.3 調節力の測定

Auto refractometerの内部視標を1秒のステップ制御で、0 diopterから4 diopterに連続して5回移動させた。0 diopter→4 diopterの移動にたいする5回の調節について、それぞれの最大値 (diopter) を平均し被験者の調節力とした。

2.4 射撃方法

検者の「用意」の合図で拳銃し、10秒以内に被験者の任意のタイミングで激発した。11名全員がそれぞれ 8回測定した。実射しないので照準と着弾の関係は不明である。このため、被験者には不本意な照準であったものは申し出させ、納得できた照準のみを8回記録した。

2.5 射場

射場は室内であり、照度は960 Lx、標的の照度は725 Lxであった。

3. 結果

拳銃から激発までの8回を平均した時間は、最長の被験者で6.17秒、最短で1.56秒であった。11名の平均は 4.00 ± 1.28 秒であった。そこで、激発前4秒間の焦点距離と瞳孔直径を分析した。図2は11名の焦点距離と瞳孔直径の激発前4秒間の平均変動である。焦点距離は眼前 1.18 ± 0.25 mで、照準中、大きな変動はなかった。4秒間の瞳孔直径の平均は 4.49 ± 0.77 mmで、同じく大きな変動はなかった。

図3は、個人差の一例として、26才(女性、キャリア4年)と42才(男性、キャリア21年)を比較したものである。26才の被験者は焦点距離が約1.0mに

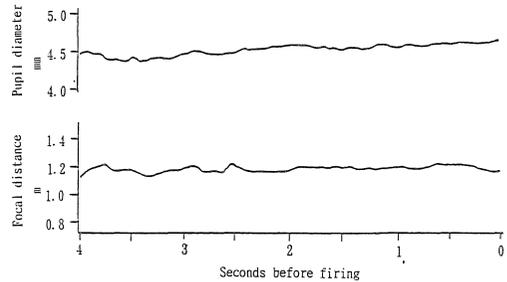


図2 激発前4秒間の焦点距離と瞳孔直径

あり、8回のバラツキが小さく、また1回の照準中の変動も少なく、ほぼ一定の距離を保っていた。これに対し、42才の被験者は8回の照準ごとの焦点距離のバラツキが大きく、また、1回ごとの照準中の変動も大きかった。

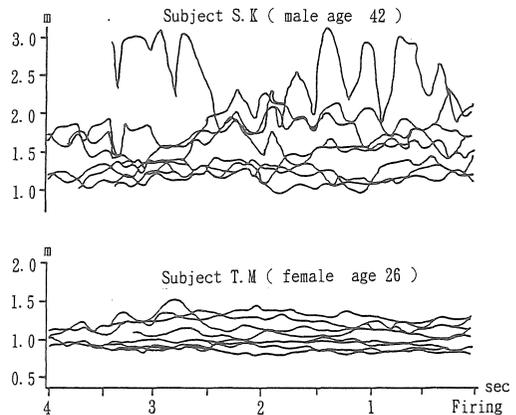


図3 焦点距離の個人差の一例

年齢と焦点距離には0.629の有意 ($p < .05$) な相関があり、年齢が高いほど焦点距離が眼前から遠ざかる傾向にあった。また、年齢と調節力には0.638 ($p < .05$) の相関があった。さらに、図4に示すように焦点距離と調節力には-0.634 ($p < .05$) の有意な相関

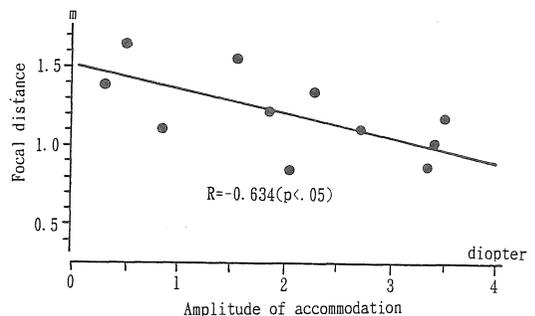


図4 焦点距離と調節力の相関

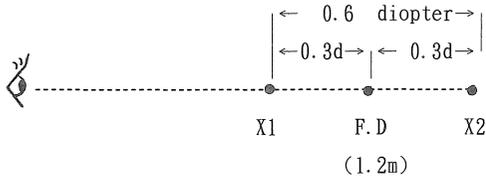
があった。しかし、焦点距離と瞳孔直径の相関は-0.08で有意ではなかった。この結果は、焦点距離の個人差は被験者の調節力と関係しており、加齢により調節力が減弱すると、焦点距離が眼前から遠ざかることを示唆している。

4. 論議

23m先の標的に照準しているときの焦点距離の平均は約1.2mで、激発までの間はほぼ一定の距離を保っていた。照門は眼前70cm、照星は80cmで、焦点距離はこれより40~50cm前方である。

笠井ら²⁾によれば、静止した対象に焦点調節する場合、完全にピントがあった像は網膜に結ばないとしている。焦点調節は対象より少し遠方に焦点を結ぶことによって、網膜には一定の量だけボケた像を保持する作用であるという。焦点はそのときの瞳孔直径からもたらされる焦点深度のほぼ1/2ぶんだけ対象より前方に結び、これによって網膜上にボケた像を作るとしている。

この仮説にもとづき、焦点距離と瞳孔直径から被験者の見ている対象までの距離を推定する。焦点距離を1.2m、瞳孔の直径を4.5mmとする。瞳孔直径が4.5mmの場合の焦点深度をOgelら³⁾の推定値から0.6 diopterと仮定する。しかし、焦点深度の見積りには、Mosesら⁴⁾の、瞳孔直径が4.0mmのときの焦点深度は0.03diopterという推定もあり様ではない。ここではOgelらの推定をもとにすると、被験者が見ている対象までの距離(X1)は、以下の式から求めることができる。



$$\frac{1}{X1} - \frac{1}{1.2} = 0.3 \text{ diopter} \quad X1 = 0.88\text{m}$$

$$\frac{1}{1.2} - \frac{1}{X2} = 0.3 \text{ diopter} \quad X2 = 1.88\text{m}$$

したがって、対象の距離 X1は0.88mとなる。この距離は焦点深度の見積りの違いによって若干の誤差があると思われるが、眼から0.88m前方は、おおむね照星(0.8m)とみなしてよいのではないだろうか。

つまり、この結果は被験者は照準の間、照星を見

ていることを示している。もし、標的を見ているようならば、焦点距離は遠方になるはずである。また、照星と標的を交互に見るならば、焦点距離は前後に大きく変化するからである。おそらく照準中は、照門と照星の上ぎわを水平にし、照門と照星の間の幅を同じにする「6時照準白一線」のために照星を見るのではないかと考えられる。

以上は平均にもとづく推定である。実際には図3のような焦点距離の個人差がある。個人差の原因とし、調節力と瞳孔直径が考えられる。被験者の調節力を同じとした場合、瞳孔直径が大きい者ほど焦点距離は遠方になるが、焦点距離と瞳孔直径には相関はなかった。つまり、瞳孔径の大小は個人差の要因ではないとみなされる。

被験者の年齢が高くなるほど焦点距離が眼前から遠ざかる傾向があった(図4)ことから、個人差の生じる原因として調節力があげられる。年令と調節力には0.638(p<.05)の相関があり、さらに、焦点距離と調節力には-0.634(p<.05)の有意な相関があった。このことは、照準中の焦点距離は被験者の調節力と関係しており、加齢により調節力が減弱することにより、焦点距離が眼前から遠ざかることを示唆している。

このことは図3の被験者 T.M(26才)と S.K(42才)の例から伺える。被験者 S.Kの調節力は4.0 diopterの視標の変化量にたいして3.43 diopterの調節力であったが、42才の被験者 S.Kはわずか0.50 diopterの調節力しかない。このためS.Kの焦点距離は、眼前1.6mほどになり、試行ごとの焦点距離が一定せず、しかも4秒の間に、前後に大きく焦点距離が動揺すると思われる。これに対し、調節力のあるT.Mは焦点距離も眼前に近く、しかも動揺がほとんどない結果になったものと思われる。

5. まとめ

この実験の結果、以下について明らかとなった。
 1)照準中の焦点距離の平均は1.2mで、焦点距離は瞳孔直径からもたらされる焦点深度のほぼ1/2ぶんだけ対象より前方に結ぶという説にほぼ一致した。
 2)焦点距離と瞳孔直径から、照準中、照星を見ていると推定された。これは「6時照準白一線」のためと思われる。

3)加齢にともなって焦点距離が眼前から遠のく傾向があった。これは調節力の減弱に起因するものと考えられた。

文献

1)現代体育スポーツ体系19 ピistol射撃の技術
講談社、東京、1985.

2)笠井 健、近藤勝也、関口 稔、藤井克彦：眼
の焦点調節における焦点深度の影響、医用電子と
生体工学、9(1)、28-36, 1971.

3)Ogle, K.N and Schwartz, J.T:Depth of Focus
of the Human Eye. J of the Optical Society
of America, 49(3), 273-280, 1959.

4)Moss, R. A:Physiology of the eye, 307, The C. V.
Mosby Company, St Louis, 1981.

(受理 平成7年3月20日)