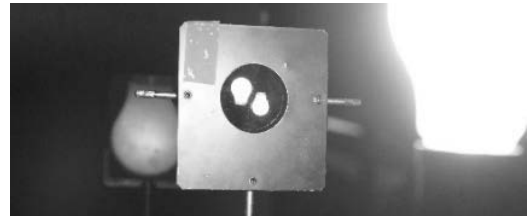


昆虫のマイクロレンズと副実像の関係性

熊本県立宇土高等学校 科学部物理班

1 はじめに

今まで認識されていた実像とは別の、凸レンズ付近に出現する二つの像を「副実像」【図1】と名づけ、2011年に研究をスタートさせた。先輩らは特注の片面コートレンズを用いて副実像は内部反射のみで結像していることを突き止め、結像のようすを光路図で説明することができた(2012年)。また、副実像はレンズゴーストの中でも魚眼効果を利用した“特別”なゴーストであることを突き止め、心霊写真の再現にも成功した。また、たらいに平凸状に水を張ってつくった水レンズでも副実像が出現することを確認した(2013年)。



【図1】レンズ付近に出現する“副実像”正立像（虚像）の横に前方の副実像（倒立像）が出現。

昨年、我々は、副実像の出現位置の測定精度を向上させ、凸レンズにおける副実像の出現範囲の特定と出現位置の数式化に成功(2014年)した。また、「人間の眼に副実像は見えるのか」という質問を受けたことをきっかけに、レンズ眼の性質をもつ昆虫の単眼に副実像は出現するのか疑問が生じ、調べることにした。

今回用いた昆虫は、単眼のサイズが比較的大きいオオスズメバチとトノサマバッタである。捕獲数や飼育方法は生物の先生の指導のもとで安全面や環境面に配慮して行った。ハチの捕獲には市役所から防護服を借り、駆除の対象エリアで捕獲した。処理後の残骸や死骸等は学校の敷地内に供養場所を設けて供養した。

2 研究の目的

人間の眼に副実像が出現するかを調べる。次に、単眼の形状と同じ凸及び平凸レンズの副実像の出現位置を調べる。また、焦点距離の異なるレンズを用いて、導出した副実像の数式化の検証を行い、さらに、平凸レンズがつくる副実像についても数式化を試みる。

3 研究の方法

- (1) ヒトの眼の副実像や昆虫の単眼を調べる。
- (2) オオスズメバチ、トノサマバッタの単眼と同じ形状のレンズを調べる。

4 結果

ヒトの眼球の3D画像（理研）を入手し、水晶体の厚みや曲率半径を算出したところ、水晶体は正確な球面ではないことがわかった。

オオスズメバチは額に三つ、トノサマバッタは正面に一つ触覚の後ろに二つあった。断面を観察したところ、それぞれ凸レンズ、平凸レンズの形状であることがわかった。

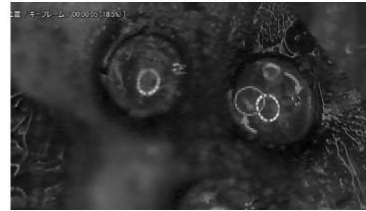
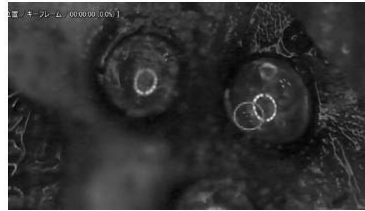


【表 1】曲率半径とレンズの厚み（単位：μm）

	前面 曲率 R_1	後面 曲率 R_2	厚 み	後 面 - 網膜間
ハチ	263	192	169	100
バッタ	190	-	120	120

【図 2】ハチとバッタの単眼の位置

まず、文字を書いた紙の上に単眼を乗せてレンズ眼であることが確認し、次にレンズ部分に LED 光源の光を入射させた。その結果、光源の動きと対照的な動きをする副実像



【図 3】単眼に写る副実像 (前方) の撮影に成功



【図 4】後方の副実像？

(前方)を捉えることができた。続けて、後方の副実像についても観測を行ったが、レンズ後面には細胞片が付着していて、LED 光源では後方の副実像は確認が不可能であった。そこで、レーザー光を入射させると、後方の副実像らしきものが観測できた【図 4】。しかし、まだ確定には至っていないため、慎重に調査中である。

次に、焦点距離の異なる凸レンズを購入して検証した。その結果、数式（近似値）と実験値がほぼ誤差内に入ることから、焦点距離が異なっても導出した式が成り立つことを確認した。

<昨年導出した式： $f = 150\text{mm}$ 使用。レンズ厚み $s=0$, 屈折率 $n=1.5$, 曲率半径 $R=f$ のとき >

$$\text{前方: } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{4}{f} \quad \text{後方: } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{7}{f}$$

5 考察

オオスズメバチの単眼（凸レンズ； $f=R$ ）の焦点距離 f はおよそ 230 μm で、レンズの厚みや網膜までの距離を考えても約 50 μm 程度ずれた遠視の状態である。また、トノサマバッタの単眼（凸レンズ； $f=2R$ ）は、焦点距離 f がおよそ 380 μm で、約 200 μm 程度ずれた遠視状態であることがわかった。オオスズメバチの単眼に、前方の副実像が出現したことから、この単眼は球面かつ透明性が比較的高く、極小レンズにもかかわらず反射光でも光を集められることがわかった。平凸レンズにおける副実像の出現位置を数式化（近似式）については、凸レンズで導出した手法（行列による近軸光線追跡）を利用した。これをさらに発展させ、レンズの種類によらず数式化（近似式）できる方法も考案し、数式化に成功した。

③凸平前方 集光 1 回 + 球面反射 0 回 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{R} & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{R=f/2, n=1.5} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{f}$	⑤平凸前方 集光 0 回 + 球面反射 1 回 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2n}{R} & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{R=f/2, n=1.5} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{6}{f}$
④凸平後方 集光 1 回 + 球面反射 1 回 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2n}{R} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{R} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2n+1}{R} & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{R=f/2, n=1.5} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{8}{f}$	⑥平凸後方 集光 1 回 + 球面反射 1 回 $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2n}{R} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{R} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2n+1}{R} & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{R=f/2, n=1.5} \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{8}{f}$

6 謝辞及び参考文献

直接ご指導を頂いている科学部顧問の梶尾滝宏先生、生物科の先生、また、昆虫の眼の専門的な知見や単眼の切り出し方などのご助言を頂いた総合研究大学院大学の木下充代先生に感謝申し上げます。