

凸レンズがつくる実像を探るⅢ ー副実像とゴースト現象・魚眼現象ー

熊本県立宇土高等学校 1年 科学部物理班 安部 友里菜 ほか6名

1 はじめに

一昨年、光源と科学部の活動中に、光源とレンズの間に立体的に浮かび上がって見える倒立像（副実像とよぶことにした。）を発見した。虚像と異なり、スクリーンに映すことができ、実像の特徴をもっていた。一昨年に平凸レンズや照度計、光度計を用いて測定・検証し、この副実像がレンズ付近に実在することを突き止め、昨年は、片面を反射防止膜でコーティングしたレンズを使い、どのように光が反射して像が現れるかを解明し、副実像はレンズの表面で光を反射するのではなく、レンズ内部で光を反射してできることを導いた。今年は、凸レンズ内部で反射した光が魚眼現象を作り出し、副実像が出現することを突き止めた。いわゆる心霊写真も副実像をもとに説明できることを証明した。

2 研究の目的

副実像は凸レンズ（ $f=150\text{ mm}$ ）の前方と後方、数cmの位置に出現していて、サイズは小さいがはっきりと目で確認できる。スクリーンに映るなど実像の特徴をもっているが、物体が焦点距離の内側にあっても出現する、平凸レンズでも同様に見られるなど不思議な点も多い。1枚の凸レンズが3つの実像をつくるという現象は専門書や文献には掲載されていない。定量的な実験を含め、様々な検証を行った結果、特注の片面コーティングレンズを用いたことで、レンズ内部で反射を繰り返して結像していることを突き止め、副実像の結像のしくみを示すことができた。本来の実像（主実像とよぶ）を含めると1つの凸レンズで3つ同時に実像が存在することから教科書や入試問題で凸レンズを扱う際、注意が必要であることを示すことができた。私達もこの現象に大変興味を持ち、研究を引き継いだ。特に、凸レンズの、副実像は強い光源ほど出現しやすい点や物体が光軸から外れても出現する点の謎を解き明かすため、平凸レンズがつくる像の全容解明に向けて研究を行った。

3 研究の方法

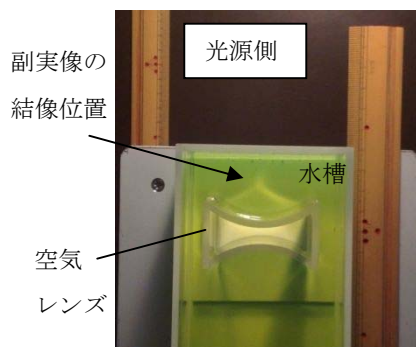
- (1) 昨年までの研究の確認と2つの副実像の特徴
- (2) 副実像の位置の可視化への挑戦
- (3) 副実像の出現位置の確認
- (4) 心霊写真の再現への挑戦
- (5) 光軸から外れた光源がつくる副実像の出現範囲の検証
- (6) フレネルレンズによる副実像の検証
- (7) 副実像を出現させるための水レンズ製作と検証
- (8) 平凸レンズが映し出す複雑な像の検証
- (9) 動的シミュレーションソフトGeoGebraによる平凸レンズがつくる副実像の検証

4 研究の結果・考察

- (1) まず、副実像の位置の可視化を行った。色付いた水中に空気レンズ（凹レンズ）入れ、凸レンズと同様に集光させた。その結果、副実像の出現の様子を捉えることに成功した（写真1）。
- (2) 次に、副実像は強い光源ほど出現しやすいという性質があることから、太陽など強い光源を用いた場合や暗室環境下で光源を用いた場合の副実像の出現の検証を行った。その結果、ゴ

ーストの出現のための条件を突き止めることができた。心霊写真の再現にも成功した。

- (3) 物体が光軸から外れても2つの副実像は出現するという性質に着目し、副実像の出現範囲を探った。平凸レンズを用いて詳しく検証した結果、平凸向きに置いた場合のレンズ前方の副実像は、180度の視野を一度に写す魚眼効果によって作り出されていることがわかった(写真2、3)。



＜写真1＞
凹型の空気
レンズで光
源の光が集
光している
様子。副実
像の集光の
ようすが確
認できる。



＜写真2＞
魚眼レンズ
(MDOKA; 安原製作
所)で天井を撮影。



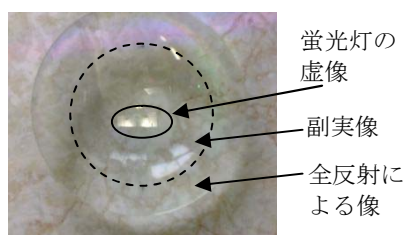
＜写真3＞平凸レンズの
魚眼現象 (副実像)。左の
写真と同じように蛍光灯
や柱や窓が映っている。

- (4) さらに、フレネルレンズと、たらいを用いた巨大水レンズでの検証を行った。魚眼現象を利用すれば、高価な魚眼レンズを購入しなくても、視野角180°の広さで強い光を放つ隕石などを捉える装置の開発が可能であると考え、検証した。その結果、フレネルレンズと水レンズでも副実像を捉えることができた(写真4)。水レンズは水面が波打つと観察はしにくい、大型化もしやすく、型さえ用意できれば水を注ぐだけで平凸レンズがつくれるため、簡易魚眼レンズとしての利用価値を高められることがわかった。



＜写真4＞たらいに平凸型
の水を張った「水レンズ」。
副実像が確認できる。

- (5) 平凸レンズに映る複雑な像について検証を行った。検証の結果、真上から観察した場合、平凸レンズの中心部には虚像と、魚眼現象によって創り出された副実像が映り、円周の縁部分は全反射によって創り出された像が映っていることがわかった(写真5、6)。また、平凸レンズを斜めから観察した場合、全反射や透過など複雑な像が組み合わさっていることがわかった(写真7)。これにより平凸レンズの結像のしくみが明らかになった。



＜写真5＞平凸レンズの真上
から撮影。虚像、副実像、全反射
による像が確認できた。



＜写真6＞平凸レンズを斜
めから撮影。平面部にピンク
のペン。右奥にシャープペ
ン、左奥にボールペン。

5 最後に

平凸レンズを詳しく調べたことで、レンズ前方に出現する副実像はレンズがつくる魚眼現象によって出現することを突き止めた。光源が光軸から外れても出現することも裏付けられ、「心霊写真」のしくみを解明できた。副実像の研究は、1枚のレンズが引き起こすゴースト現象の解明につながっただけでなく、光学現象に副実像という新たな概念を登場させることができた。