談 話 室

複眼の謎を解く

信州大学名誉教授 林 貞男

1. はじめに

昆虫の複眼は小さい個眼を凸面上に密に配列した構造である。多数の個眼の結像をどのように1つの物体像にまとめているのだろうか。片面凸レンズを密に並べた2枚のレンズアレイ間の光学を調べてみると、そのヒントらしい現象が読み取れる。

2. レンズアレイ間の光学実験と観察¹⁾

片面凸レンズを一面に規則正しく並べた同じレンズアレイ (LA) を2枚用意する。厚紙にF文字を切り抜き、その背後に電球を置いて明るく照らし出されるF文字を対象物とする。10数cmほど離れた所で、その対象物を2枚重ねのLAを通して観察する。対物LAを第1面、接眼LAを第2面とよび、両面の間に透明のスペーサーを挟む。スペーサーの厚さは第1面のレンズの結像面に第2面のレンズの前側焦点が重なるように調節する。

第1面を通して明るい対象物のF文字を見ると、個々のレンズの結像面に明るいF文字の倒立像が結像する。それに第2面を重ねた場合、今度は第1面の明るいF文字の倒立像が光源になる。第2面のレンズの中で前側焦点がちょうど第1面の明るい倒立像に重なったレンズは明るく見え、そうでないレンズは暗く見える。

口径が約2 mmの比較的大きなレンズからなる同じLA間の実験結果をFig.1に示す。Fig.1aは第1面のレンズで結像したF文字の倒立像である。倒立像は、中央のレンズではレンズの中にきちんと収まり、中央から遠いレンズほどレンズの中で上下左右へとずれて観察される。Fig.1bは第2面に現れたF文字の映像である。倒立像のピッチ (p_1) と第2面のレンズのピッチ (p_2) の関係は $p_1 > p_2$ である。一方、微小な口径レンズのLAを通

Fig.1 Photographs of images observed by two lens array planes composed of lenses with a large aperture (about 2 mm) (a) Inverted images focused by lenses in the object lens array plane. (b) Upright image appeared on the eye lens array plane. Magnifications of (a) and (b) are not the same.

して対象物を見たとなると、LAのレンズはみな倒立像をほぼ同じ位置に結像する。これに第2面を重ねても、第2面に映像は発現しない。この場合、 $p_1 = p_2$ である。

なお、微小な口径レンズのLA間では、レンズピッチが縦横ともに第1面 = 第2面ならば映像は観察されず、縦横ともに第1面 > 第2面ならば直立実像、第1面 < 第2面ならば倒立実像、縦が第1面 < 第2面で横が第1面 > 第2面ならば直立鏡像、縦が第1面 > 第2面で横が第1面 < 第2面ならば倒立鏡像の映像が観察される。

3. 複眼の謎解き

誰もが思う複眼の不可思議なことは、多数の個眼の結像はまとめられるのか？ 複眼は平面ではいけないのか？ 個眼が三角形、四角形、さらに、ランダムに配置されているのはなぜか？ 複眼の利点はなにか？ などである。

複眼は直径約20-30 μm の個眼を凸面上に平均数千個も配置している。個眼は外表面の角膜とその下の円錐晶体とからなる光学装置部分と、感桿が円錐晶体の底面の中心から中枢側へと伸びる視神経の光受容部分から構成され、角膜の中心軸は感桿上に達する関係にある。角膜のレンズ作用は古くから知られていた。また、昆虫の複眼の視覚機構は、Muller (1826) によってモザイク説が、その後、Exner (1891) によって昼行性の昆虫に連立像眼説と夜行性の昆虫に重複像眼説が提唱されてきた。日本では、八木らが、角膜のレンズ作用を写真撮影で見事に立証したが²⁾、多数の倒立像を1つにまとめ

Let's Try to Find the Answer to Some Questions about Compound Eyes

Sadao HAYASHI

Emer. Prof., Shinshu University

環境を飛び回る蝶のそれは長いものもある。この棒状物は複眼の塵よけと解釈するのも楽しい。

複眼は立体視をどのように行っているのだろうか。複眼は180度の視野が可能だとも言われているが、複眼全体で対象物を捉えているのだろうか。人間の眼のように中心窩の視力の優れた部分で固視しているのだろうか、あるいは動きを察知するだけの運動視なのだろうか、色の視覚はあるのだろうかなどなど、複眼は謎だらけである。

4. おわりに

昆虫は人類の出現以前から現在とほぼ同じ体制で生息していたと言われている。昆虫が長い年代にわたっ

て絶えることなく種を持続してきた理由は、外敵に勝る生活機能が賦与されていたからに違いない。その優れた機能の1つとして複眼を挙げることでもあるであろう。昆虫の複眼は虫けらの眼としてあしらうにはきわめて奇妙で、驚きの一言に尽きる。

文 献

- 1) 林 貞男, 瀬尾拓人, 渡部智子, 平井利博 (1995) 高分子論文集 52, 452-460.
- 2) Yagi, N. and Koyama, N. (1963) The Compound Eye of Lepidoptera, pp.299-306, Maruzen, Tokyo.
- 3) 立田栄光, 三村珪一, 冨永佳也, 小原嘉明 (1979) 行動から見た昆虫 - 2, 昆虫の神経生物学 (石井像二郎他共編), pp.146-156, 培風館, 東京.

林 貞男 (はやし さだお)
信州大学 名誉教授
連絡先: 〒386-0002 長野県上田市住吉424-5
E-mail: shayashi@athena.ocn.ne.jp