特2 紫外線カラー化カメラ

(BeeCAM・・・ミツバチの目で見た世界)

NHK放送技術研究所 山崎順一

UV Sensitive Color TV Camera Simulating Insect Vision

Junichi YAMAZAKI

Abstract : A three-tube color TV camera simulating insect vision by means of the false-color method and sensitive at wavelengths of 300 - 650 nm (from UV to yellow) has been developed. In this camera, UV components are converted into red, while blue and green components are left in their original colors. The camera makes it possible to show with great color an insect's view of floral nectar guides and sexual differences in coloration in the cabbage white butterfly, colors of which are invisible to the naked human eye. Applications of this camera in many fields including education, environment and medicine can be expected.

1. はじめに

ミツバチなどの昆虫は、紫外線から黄までの光を見分ける能力を持つことが知られている。もし、この昆虫の見ている世界をカラーの動画像として再現することができれば、それは大変興味深いことであるし、学術的にも意義があると考えられる。

従来、教育や教養などのテレビ番組では、紫外線情報を可視化できるテレビカメラとして、紫外線用ビジコンなどの撮像管を1管だけ用いたモノクロカメラが利用されてきた。しかし、視聴者に対して、即座に分かりやすく、また強い印象を与えるというテレビ本来の特質が十分に発揮されていたとは必ずしも言えない。番組の多様化や高度化にともない、不可視情報の画像化に対しても、より多彩化、特異化が求められるようになってきている。

今回、ミツバチなどの昆虫の色覚に類似させて、不可視情報を色鮮やかに表示できる3管式カラーテレビカメラ(愛称BeeCAM)を開発したので報告する。

2. 昆虫の色覚特性

1900年代初頭、ドイツの動物学者であるフォン・フリッシュは、花蜜と色紙を用いたミツ

バチの行動観察を通して、その色覚特性を明らかにしている¹⁾。彼の実験結果によるとミツバチの見ている波長域は、Fig.1に示すように、人間よりも短波長側にずれ、赤色光が見えない代わりに、紫外線が良く見える。そして、人間に青、緑、赤の三原色があるように、ミツバチにも紫外線、青、緑の三原色があり、補色や白色の感覚があることも明らかにされた。

さらに最近では、視細胞に細い電極を刺して光刺激応答を調べる方法によって、花を訪れる他の昆虫についても、ミツバチと同様の色覚が認められるようになった。

Fig. 1 Spectrum for human eye and bee's.

3. 昆虫色覚の映像化

昆虫の色覚をテレビの映像として表現するには、昆虫の三原色をテレビの三原色に割り当てればよい。この場合に色の組み合わせが6通り存在するので、まずシミュレーション実験を行った。その方法は、各種の被写体に対して、紫外線、青、緑、赤の各光学フィルターを通して撮影した写真を使い、これを画像処理ソフトを使って合成してブラウン管上で観察するものである。

ここで行うカラー化法は、Table 1に示す「偽カラー」に分類できる。この手法は、明るさの変化だけから色を作る「疑似カラー」とは本質的に異なり、得られた画像にはスペクトルに関する多くの情報が含まれる。合成された「真カラー」と「偽カラー」を対比させながら、最適な色の組合せを探った結果、以下のことが分かった。

(1) 強調したいものを赤に割り当てるのがよい。

(2) 可視光の色を1つでも残すと、実物との対比がとりやすくなる。

ここで、(1)の理由は、色差に対する人間の識別能力が、三原色の中でも赤と緑の間で特に高いことに加えて、赤が心理的に強い印象を与える色であることによると解釈できる。

これらの結果や、昆虫の視覚は赤色に対して不感であることを考え合わせて、紫外線を赤に割り当て、青色域と緑色域は、そのまま青と緑として残すことにした。

4. カメラの構成と特長

(1) 光学系

通常のテレビカメラの色分解光学系に用いられているガラス製のプリズムは紫外線を通さない。そこで、紫外線を良く通す石英をプリズム素材に使い、これに特別な干渉フィルターを蒸着して、Fig. 2に示す紫外線、青、緑の3波長分解光学系を製作した。その分光特性をFig. 3に示す。

レンズは、当初35mmスチルカメラ用のUVニッコール 105mmで代用したが、2/3インチ光学系の撮像素子に対しては画角が狭く、またフランジバックの長さの関係で無限遠が撮影できなくなるなどの問題があった。そこでズーム比3倍のマクロ機構付きテレビレンズを設計製作した。本レンズの仕様を代

Table. 1 Classification of coloring methods.

手法	撮像素子数	内容
疑似カラー (pseudo-color)	1	光の強度変化を色彩変化として表示
偽カラー (false-color)	2~3	光のスペクトル変化を別の色彩変化として表示
真カラー (true-color)	3	可視光領域を元の色に再現

Fig. 2 Optical system configuration.

Fig. 3 Prism spectral transmittance.

用レンズと比較して Table 2 に示す。ズームレンズは、Fig. 4 に示すように石英と蛍石からなるレンズを15枚組み合わせて色収差の補正を行っている。その設計に当たっては、蛍石の持つ劈開性ゆえに研磨レンズの曲率半径が制限されること、レンズ貼合わせ材は紫外線を吸収する性質があるため使用できないことなどを考慮した。

またフレアを低減させるため、15枚のレンズの全ての面に対して、紫外線から緑の波長域に有効な反射防止コーティングを施した。

(2) 撮像素子

撮像素子としては、従来からある紫外線ビジコンに比べて、感度や残像特性が大幅に優れているハープ撮像管²⁾を3つのチャンネルに適用した。

青と緑チャンネル用のハープ撮像管は、フェースプレート材料に通常のE7ガラス板が使われている。一方、光学系と同様の理由から、紫外線チャンネル用のハープ撮像管は、フェースプレートに石英を使い、透明電極等にも工夫をして、Fig. 5 に示すように紫外線透過特性を向上させた。

(3) カメラ

開発したカメラの外観をFig. 6 に示す。カメラの回路系や筐体などは、NHK 3 A(N)型ハンディカメラ(2/3インチ光学系の3管式サチコンカメラ)を改修して使用した。

光源の色温度が異なる場合に対処して、各々のハープ撮像管のアバランシェ増倍率を個別に調整できる回路を設け、さらにプリズムの前に色温度変換用のターレットフィルターを設けた。

なお、カメラのホワイトバランスは、室内においては照明にHM I ライトを用い、テフロン系の標準白色反射板を使って調整を行った。

5. 撮像例

開発したBee CAMを用いて実際の撮像テストを行った。アブラナの花の撮像例をFig. 7 に示す。肉眼で見るとただ黄一色の花だが、Bee CAMで撮ると、花の中心は紫外線を吸収して緑に、周辺は紫外線を反射して黄に映り、花の中心部がより目立つようになった。

このような模様は、蜜標(ハニーガイドまたはネクターガイド)と言われ、花がミツバ

Table 2 Comparison between the two lenses.

	撮影距離	対角画角	開放F値
代用レンズ UV-Nikkor105mm	0.7~0.4m	5°	4.5
上記に、負の補正レンズ	∞~0.4m	9°	
新開発UV-ZOOM 15.5~43.5mm (マクロ0.3)	∞~1.2m	14~40°	3.65

Fig. 4 Schematic diagram of the UV-transmitting zoom lens.

Fig. 5 Spectral transmittance of window materials in the UV-ch and G/B-ch HARP tubes.

Fig. 6 External view of the BeeCAM.

ちに蜜のありかを知らせる標識になっていると考えられている。ミツバチが効率よく次々と花の蜜を集めることは、花にとっては子孫を残す受粉の機会を増やすことになる。そのため、花は昆虫の色覚に合わせて進化してきたものと考えられる。

蜜標の現れる花は、他にもひまわりやタンポポ、キクイモ、ハンゴンソウ、エニシダなどたくさんある。昆虫がどのような色刺激としてこれを感じているかまでは分からないまでも、BeeCAMの映像を通して、ミツバチが見ている花の世界の豊かな彩りを知ることができる。

Fig. 8に、モンシロチョウの撮像例を示した。肉眼では、雌雄どちらも白く見えるモンシロチョウであるが、BeeCAMで撮ると、雌は紫外線を強く反射してピンクに、雄は紫外線を吸収してシアンに映った。また、実際に屋外でひらひらと舞うチョウの姿を映すと、雄が雌に求愛している様子が色の違いから即座にわかった。モンシロチョウは、仲間の雌雄の差を、遠くからでも羽の色の違いとして見分けていると想像できる。

Fig. 9は日焼けをしていない女性の顔を撮影したものである。顔は赤みをおびて映るが、眼鏡のプラスチックレンズや日焼け止めクリームを塗った頬の部分が紫外線を吸収してシアンに映り、これらが目や皮膚の保護に役立つことがわかる。

6. まとめ

昆虫の色覚に類似させて、紫外線を含めた情報をカラー表示できるテレビカメラを開発した。このカメラを用いると、昆虫や花などの自然の中に、私たちが日頃気づかないでいる情報が隠されていることを、色の違いとして分かりやすく、リアルタイムの映像として視聴者に伝えることができる。

このカメラは他にも、美術品の補修跡の検出、海洋や河川の汚濁の調査、指紋や皮膚病の検査、正常細胞と腫瘍の見分け等に利用できると考えられ、今後の活用が期待される。

参考文献

- 1) Karl von Frisch; "The Dance Language and Orientation of Bees", Harvard University Press (1993)
- 2) 山崎ほか;"非晶質Seアパランシェターゲットの紫外光特性"、テレビ全大、2-8 (1988)

Fig. 7 Reproduced images of rape flower (left; conventional camera, right; BeeCAM)

Fig. 8 Reproduced image of cabbage butterfly.

Fig. 9 UV protection attained from a plastic lens and sunblock.