

個眼構造に基づく昆虫の視覚推定

佐藤 葵[†] 戀津 魁[‡] 柿本 正憲[‡]

東京工科大学大学院[†] 東京工科大学[‡]

1. はじめに

ヒトとその他の動物では色覚が異なるほか、視覚の仕組みも大きく異なる。代表的な例は複眼である。昆虫にとって最適化された複眼は、視野や処理速度の面で大きな特長を持つ。現代ではマイクロカメラの技術に応用されている。

ただし、この技術は配置構造のみを模倣しており実際に複眼がどのような像を見ているのかは考慮していない。個眼の一つ一つが複数画素の像を持つような見え方は間違いである。複眼による見え方を正しく推定して画像化した研究はこれまで行われていない。本研究では複眼の構造に基づいて昆虫の視覚推定に取り組む。

2. 昆虫の視覚

2.1. 個眼[1]

複眼は多数の微小な眼で形成されている。これらは個眼と呼ばれる。昆虫はそれぞれの個眼から脳に信号を送ることで視覚を成り立たせている。

個眼一つにつき光に応答する一つの視神経を持つ。視神経の入り口では2~4種類の分光感度の異なる感桿分体が光を感知する。そのため、個眼一つから送られる情報は一画素と等しい。視力は極端に低い広い視野と特殊な色覚を持っていることが複眼の特徴である。

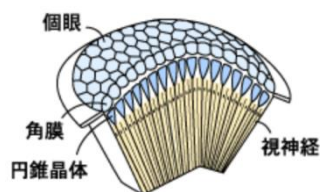


図1 複眼の内部[2]

2.2. 複眼の種類

複眼は個眼のレンズ系によって、連立像眼と重複像眼の二種類に大別される。

連立像眼は主に昼行性の種に多く見られる。各個眼は光学的に独立しており、個眼に入射した光は外に漏れない。重複像眼は光に対する高い感度を持ち、夜行性の種に多く見られる。ひとつの感桿に対し多数の個眼から光が集められるため、

暗所に強い。

本研究では連立像眼を対象として見え方の推定を行う。

2.3. 色覚

個眼はどの波長の光に強く反応するかで役割が分かれている。多くの昆虫は2~3タイプの個眼を持ち、それぞれ異なる分光感度を持つ。チョウ類では個体によってランダムにタイプの異なる個眼が分布することが判明している [3]。

3. 関連研究

谷田らは、角度の異なったレンズを並列配置する TOMBO システムを開発し、複眼光学系の有用さを実証した[4]。複数のレンズが撮影した像を繋ぎ合わせて画像を再構成するという仕組みを用いている。ただし、得ている像は昆虫の複眼のそれとは全く異なる。

淵之上らは、動物の分光感度をヒト用に置き換えることによって色覚の推定を行った[5]。推定の例として挙げられたミツバチは全ての個眼が同じ分光感度を持つ。しかしながら、これは昆虫の中では特殊であり、昆虫一般は分光感度の異なる複数タイプの個眼を持つ。

本研究では複眼構造を考慮して視覚再現を行い、多くの昆虫に適用できる視覚推定手法を提案する。

4. 昆虫の視覚の再現手法

4.1. 視覚推定の定義

視覚認識は脳の機能であり、昆虫の視覚の正確な再現は原理的に困難である。たとえ再現像を提示しても人間の脳で処理した時点で、昆虫の視覚とは言えない。

そこで本研究では、視覚認識系統のうち視細胞が光を感知するまでの部分を昆虫のものとし、視神経以降脳にいたるまでをヒトのものとする。そのような仮定のもと、得られた画像をもって昆虫の視覚の推定と考えることにする。

4.2. 基本的な考え方

個眼はそれぞれ狭い画角の担当視野を持つ。視野から集められた光は像として投影されず一画素として感知される。そのため、個眼の空間配置にしたがって画素を配置したような画像が

Insect vision estimation based on compound eye structure.

[†]Mamoru Sato, [‡]Kai Lenz, [‡]Masnoru Kakimoto

[†]Tokyo University of Technology Graduate School

[‡]Tokyo University of Technology

複眼の見え方であると考える。

図 2 に本手法の処理全体の流れを示す。入力
は単眼カメラ撮影による距離画像付の画像とする。
2.3 で述べた通り複眼は分光感度の異なる 2
~3 タイプの個眼を持つ。それぞれの分光感度から
[5]の手法で色覚を置換し、各個眼について視野
内の平均色を求める。各タイプの個眼の分布はラン
ダムとする。タイプ別に出出力した個眼の画像を合
成したものを昆虫の視覚とする。

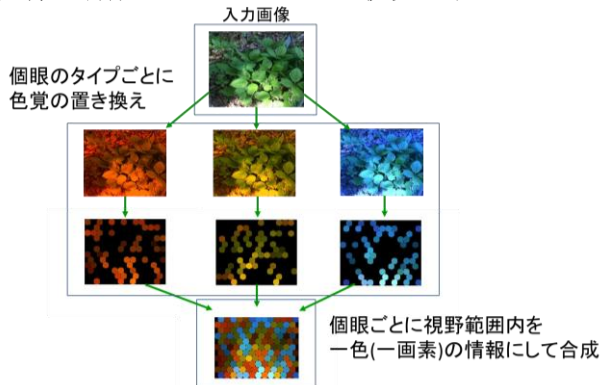


図 2 本手法の処理の流れ

5. 個眼形状を考慮した視覚推定基礎実験

個眼同士の視野が重複する際、本手法でどの
ように見えるかを確認する。複眼全体の曲率を 0
とし、色覚をヒトのまま複眼視へ変換する。今
回の視覚推定では、個眼の感知する色を一定半
径の表示円盤で表現する。個眼視野から集めら
れた光は一画素として感知されるため、各表示
円盤の色は該当個眼視野範囲内の平均色とする。
対象空間で個眼から遠い場所ほど、個眼視野
が重複する隣接個眼の数が増える(図 3)。その
ため遠い場所ほど多くの光が一画素の情報として
まとめられ、ぼやけたような見え方になる。

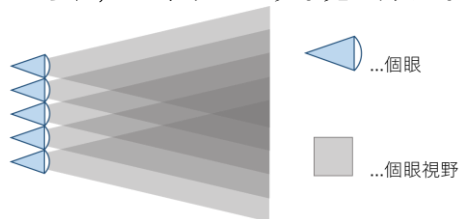


図 3 個眼視野範囲の模式図

個眼の視野と知覚色の推定のためにマスク画
像を生成する。対応する表示円盤を視野範囲内
の平均色で描画する。(図 4)

表示円盤の半径は今回は 10 画素とする。個眼
の視野とするマスク画像は、視野範囲とみならず
視野円盤の半径が一律 30 画素の場合とデプス情
報によって最大 50 画素となる場合の結果を出力
した。

結果画像は図 5 である。入力画像とデプス画

像は[6]のものを使用した。複眼からの距離が近
い場所で人物の輪郭が捉えやすいことがわかる。
これは個眼一個が知覚する情報が一画素でも距
離によって画像のぼけが起こることを示す。

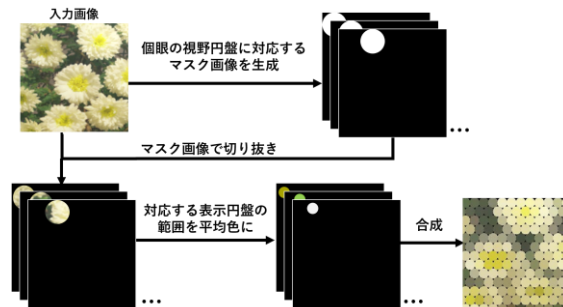


図 4 視覚推定基礎実験の処理の流れ

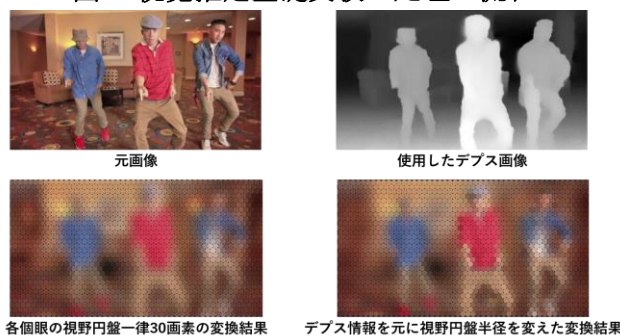


図 5 視覚推定基礎実験結果

6. おわりに

本研究では複眼の構造を考慮し、昆虫の視覚
を再現することを試みた。基礎実験では個眼の
担当視野を設定し、平均色への変換を行った。
変換結果から、複眼はヒトの眼と同様に距離に
よって画像のぼけが起こること、ピントは固定
で近い場所ほど鮮明に見えることを実証した。

今後は個眼の視野に関する詳細調査と実装へ
の反映を行い、複眼全体の曲率を反映させた見
え方推定を行う。さらに、昆虫の種類別に推定
結果を出力し、比較を行う。

参考文献

- [1] Invertebrate Brain Platform, "昆虫の視覚受容器," Available: https://invbrain.neuroinfo.jp/modules/html_docs/IVBPF/General/Insect_visual_organ.html/
- [2] 裳華房, "眼のしくみ," https://www.shokabo.co.jp/sp_opt/observe/eye/eye.htm
- [3] 蟻川健太郎, 若桑 基博, "訪花性昆虫複眼の構造とその多様性," 日本設計工学会誌, 45(2), pp. 75-83, 2010
- [4] Jun Tanida, et al. "Thin observation module by bound optics (TOMBO): concept and experimental verification," OSA Publishing, 40(11), pp. 1806-1813, 2001
- [5] 洲之上風太, 藤堂英樹, 柿本正憲, "分光画像推定による動物の色彩シミュレーション," 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集, pp. 341-342, 2018
- [6] Zhengqi Li, et al, "Learning the Depths of Moving People by Watching Frozen People," eprint arXiv : 1904.11111, 2019