

# 鷹の眼の生理特徴に基づいた飛行体用視覚システム

陳 恩恵<sup>†</sup>, 加藤 芳彦<sup>‡</sup>, 張 曉林<sup>‡</sup>

東京工業大学<sup>†‡</sup>

## 1. はじめに

地球上の生物は“進化”というプロセスにより、その誕生以来、長い年月をかけ徐々に無駄な部分を削ぎ落とし、有用な構造を残し改善することで環境に適応してきた。そのため、現存する生物の生理特徴には優れた点が多く、工学の分野では、それを解析し応用することで(一例としては競泳用ボディスーツのように)新しい技術が生み出される例もある。

近年、ヒトの優れた視覚機能をロボットで実現するために様々な視覚システムが開発されているが、ヒト以外の生物の視覚機能に注目し調べてみると、鳥類、特に猛禽類(鷹、フクロウ)の眼球が非常に特徴的な構造を有していることに気付く。

そこで我々は、鷹の目の眼球構造を工学的に解析・模倣することで、飛行体用の視覚システムに役立てることを目的とし、研究を行った。

## 2. 鷹の生理特徴

### ①外部構造

まず、眼球の外部構造に着目してみると、ヒトのそれと比べ極めて大きいことが見て取れる。これは、なるべく多くの光をレンズである角膜に集光するためであるといわれている。そして、その大きな眼球を支持するため、環状の骨で挟まれるようにして固定されており(図1参照)、その動作を著しく制限されている。その

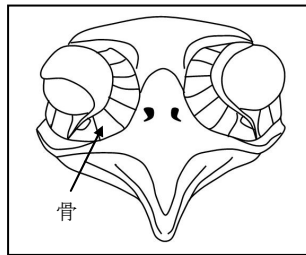


図1 眼の正面図<sup>(2)</sup>  
Fig.1. anterior view of eyes

うえ、首の稼動角度の範囲が非常に広いため、一見すると眼球自体は回転運動をしないような印象を受ける。しかし、構造を詳しく調べてみると、眼球の回転運動に使われる外眼筋があり、数度の単眼運動の確認も報告されている(種類により単眼運動の角度は違うが、例としてフ

A Vision System with Hawks' Eyeball Characteristics Mounted on a Flight

<sup>†</sup>Enhui Chen, <sup>‡</sup>Yoshihiko Kato, <sup>‡</sup>Xiaolin Zhang  
Tokyo Institute of Technology

クロウの場合は左右1.5°]である<sup>(1)</sup>) また、鷹はヒトと比べ両眼の距離が近いことを考えると、輻輳運動に関しては微小な回転が無視できない(表1参照)こともわかる。以上のことから、眼球の共役運動は、眼球自体は回転せずに首がそれを代替することにより実現し、輻輳運動に関してのみ、眼球が回転運動をすることで実現しているという解釈を得る。

表1 輻輳角度による最小可視距離の推移

Table.1. the minimum of visible distance according to the degree of vergence eye movement

輻輳角度[°] \ 視差 [cm]	2	3	4
1	57	86	114
2	28	43	57
3	19	29	38
4	14	21	28

### ②内部構造

次に眼球内部の構造を見てみると、ヒト等の哺乳類とは大きく異なり、一つの眼球内に二つの中心窩を有していることがわかる(図2参照)。これは他の多くの鳥類にも見られる特徴であるが、二つの中心窩はそれぞれ、遠距離の獲物を詳細に捉えるための深い中心窩(deep fovea)、近距離の獲物を両眼で立体的に捉えるための浅い中心窩(shallow fovea)と呼ばれており、これらを対象との距離に応じて速やかに切り替えて使うという特性を備えている。

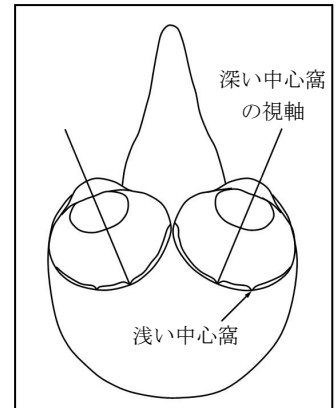


図2 中心窩面の図<sup>(3)</sup>  
Fig.2. view of the foveal plane

すなわち、遠くの獲物は視野の両側に位置する深い中心窩のエリアによって捉え、近くの獲物は視野の中央に位置する左右の浅い中心窩によって立体的に捉えていることとなる(図3参照)。

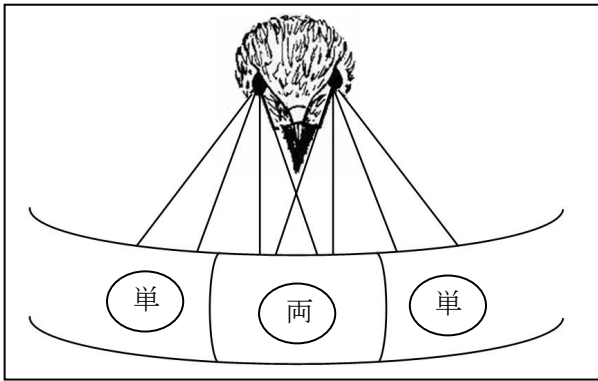


図3 単眼及び両眼視野<sup>(4)</sup>

Fig.3. monocular and binocular view field

そのため捕食動作には、遠距離から網膜で発見した獲物に深い中心窩を向け接近し、距離が近くなると左右二つの浅い中心窩を向けることによって距離を計測し、獲物を捕らえるという特性<sup>(3)</sup>がある。

### 3. 提案するシステムの構成

鷹の生理特徴を実現するために、図4のような視覚システムを提案する。代替するメカニズムは以下の通りである。

- ・眼球の輻輳運動を実現するための動作機構（1 DoF）
- ・対象の追従動作を担う首の運動を実現するための動作機構（3 DoF）
- ・網膜・深い中心窩・浅い中心窩を再現するための広角・望遠・通常のカメラ

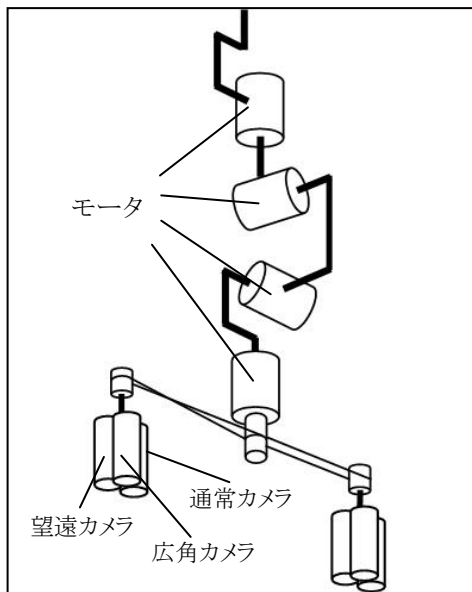


図4 システムの構造図

Fig.4. the structure of the vision system

### 4. 提案するシステムの特徴

- 提案するシステムには以下のような特徴がある。
- ・対象の発見及び追跡は首の3DoF機構により行う
  - ・遠距離では望遠カメラにより詳細な対象情報を得ることができる
  - ・近距離においては両眼の輻輳運動により対象の正確な距離と立体視を得る
  - ・ズームカメラ同様、遠距離から近距離までの広いレンジに対応が出来るうえ、対象に高速で接近した際にもズームイン・アウトではなく単に切り替えるだけなので、ズームよりも簡単に早く対応が可能である

### 5. おわりに

今回提案した視覚システムはカメラを素早く切替えるという特徴を有していることから、高空から低空へ高速で物体を追跡することが可能になる。

### 参考文献

- (1) Martin J. Steinbach, K.E.Money(1972) Eye movements of the owl. Vision research Vol13,pp.889-891
- (2) G.A. Bohorquez Mahecha, C.Aparecida de Oliveira(1998) An Additional Bone in the Sclera of the Eyes of Owls and the Common Potoo(Nictibius griseus) and Its Role in the Contraction of the Nictitating Membrane. Acta Anat 1998;163:201-211
- (3) VANCE A. TUCKER(2000) The deep fovea, sideways vision and spiral flight paths in raptors. The Journal of Experimental Biology 203,3745-3754
- (4) Christopher W. Tyler(2005) Binocular Vision. Foundations of clinical ophthalmology Vol 2, Chap 24