

## 運動学的知見を考慮した鳥の飛行モデル構築に向けた検討

栗崎美博<sup>†</sup> 安藤大地<sup>†</sup> 向井智彦<sup>†</sup>東京都立大学大学院 システムデザイン研究科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

鳥は映像作品に頻繁に登場する動物である。しかし、鳥は飛行動作において翼の関節や胴体、尾羽などを複雑に連動させて動かしており、違和感の無いアニメーションとして表現するためには、アニメーターの知識と多くの労力を要する。そこで本研究では、特に羽ばたき飛行における翼の動きに着目し、鳥の飛行動作の特徴を再現するような飛行アニメーションの自動生成ツールの開発を目指している。

鳥の羽ばたき飛行アニメーション生成に関する先行研究として、生きた鳩のモーションキャプチャデータと物理シミュレーションを用いて翼の動きを生成する手法[1]などがあるが、アニメーターによる操作の余地が少ない。我々は、物理的に正しい鳥の動作を再現することよりも、見た目の自然さを決定づける運動学的特徴を保つことが、自然なアニメーションの生成において重要と考える。したがって本研究では、鳥の運動学に関する研究報告や観察を通して得られた特徴を再現するような計算モデルの導出を試みる。そして、最終的にアニメーターがパラメータ調整で翼の角度やひねりの変化を与えられるようなツールの開発を目指す。

本稿では、調査によって明らかになった鳥の飛行アニメーション生成において重要と思われる特徴と、それらを踏まえて行ったモデル構築に向けた羽ばたきアニメーションの試作結果について報告する。

## 2. 鳥の飛行動作の特徴

アニメーションモデルの構築には翼の関節運動を取得したデータが必要であるが、こうしたデータは入手困難である。そこで、文献調査や観察を考慮した羽ばたきアニメーションを作成し、作成したアニメーションから得られるデータに基づく計算モデルの導出を試みる。

Towards flapping flight model of birds considering knowledge on bird's kinematics

<sup>†</sup> Mihiro kurisaki, Daichi Ando, Tomohiko Mukai  
Tokyo Metropolitan University

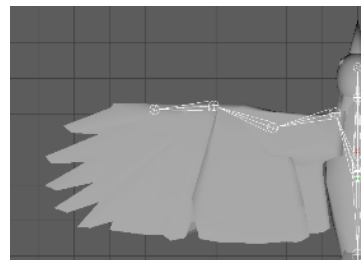


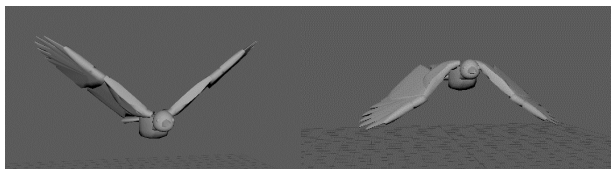
図1 作成した翼のリグ

まず、鳥の翼では胴体に近いものからそれぞれ人間の肩・肘・手首にあたる3つの関節が主な回転軸として働き、翼の曲げ伸ばしといった動きを生み出す[2]。また、鳥の羽ばたきにおける翼の動きは単純な上下運動ではない。カササギとハトの飛行に関する Tobalske らの研究では、翼端の軌道が円状や8の字であることや、翼を曲げたり捻ったりしていることが報告されている。また同研究によると、こうした動きの特徴は種や飛行速度によって異なる場合があり、例えば翼端の軌道は、カササギでは概ね円状で、飛行速度の増加に伴って僅かにしか変化しないが、ハトでは飛行速度 6m/s から 20m/s において 6m/s と 8m/s の時に8の字を描き、10~20 m/s の時に円状を描くと報告されている。さらに翼を振り上げた時の角度や翼を捻るタイミングなどもカササギとハトで異なり、ハトでは振り上げ時における手羽の回外運動の見掛け上の範囲に飛行速度が影響するが、カササギでは影響しないという結果が示されている[3]。また、体が小さい方が羽ばたきの頻度が高くなる傾向がある[4]。

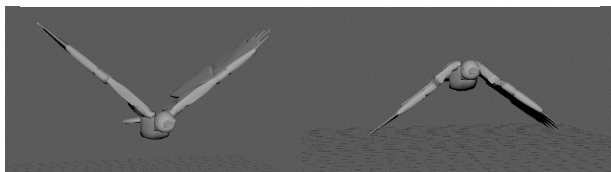
## 3. 鳥のリグとアニメーション

上記のような特徴が飛行アニメーションに重要であると考え、これらの要素を踏まえたリグとアニメーションを試作した。モデルのリグとして、先述の解剖学的調査で明らかになった鳥の骨格に倣い、翼部分に肩・肘・手首にあたる3つのジョイントを配置した(図1)。そして、文献調査から得たカササギの飛行動作の特徴を踏まえて、図2に示す3パターンアニメーションを作成した。まず調査結果に基づき、翼の先端の軌道が円状を描くことのみを考慮したアニ

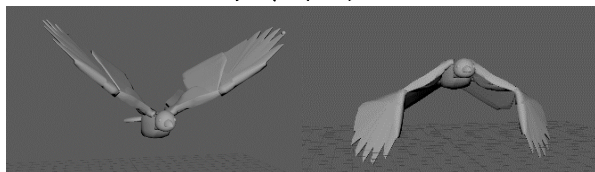
メーション1を作成した。次に、翼を振り下ろす途中で外転、振り上げる途中で内転させるという特徴を追加したアニメーション2を作成した。さらに、より細かい内転外転のタイミングや手首の捻りなどの特徴を考慮したアニメーション3を、文献・映像資料の両方を参考に作成した。



アニメーション1 翼端の軌道のみ



アニメーション2 翼端の軌道+内転外転のタイミング



アニメーション3 翼端の軌道+内転外転のタイミング+手首の捻り

図2 試作したアニメーション

図2には、それぞれ翼を上げた状態と下ろした状態を示している。このように、考慮する要素を増やすことで、より違和感の無い動きに近づいた。アニメーション1は、翼端の軌道が円状を描くという点で単純な上下運動よりも鳥の動きに近いが、翼を振り下ろす際に内転しており、調査結果通り外転しているアニメーション2と3に比べて実際の鳥の動きとアニメーションの見た目が大きく離れた。翼の内転外転はアニメーションの見た目に大きく影響するため、考慮することで自然な表現に繋がったと考えられる。また、アニメーション2と3で比較すると、手首の捻りもアニメーションの見え方への影響が大きく、重要な要素であると分かる。

さらにアニメーション3について、図3に示す肩ジョイント回転の時系列に注目して考察する。回転Xの増加が内転を表し、回転Yの増加が翼の前方への動きを、回転Zの増加が翼の振り下ろしを表す。まず、回転Zのみの変化では単純な上下運動になるため、図3のように回転X,Yも大きく変化させることが先に述べた複雑な翼の動きの

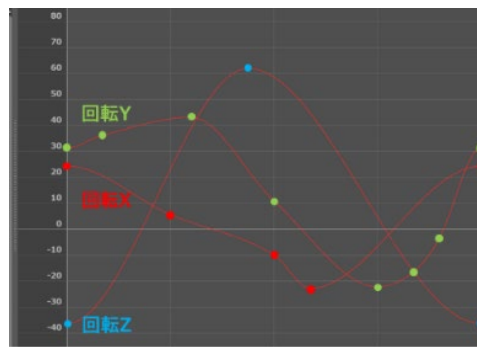


図3 肩のジョイントの回転時系列

再現に重要である。また、図3では回転XとZのカーブが極値をとる時間に差があり、翼の振り上げ、振り下ろしの切り替えと内転外転の切り替えが同時ではないことが示されている。このように運動の位相をずらすことで、翼の内転外転のタイミングが種や飛行速度によって異なるといった特徴を表現できることが示唆されている。

#### 4. 今後の予定

アニメーションの試作を通じ、翼端の軌道や翼の内転外転、手首の捻りにおける運動学的特徴を考慮することが、自然なアニメーション表現に重要であるという知見が得られた。さらに、今回考慮した特徴に加え、より多くの運動特徴を考慮した試作を繰り返すことで、アニメーション表現において重要な点を明らかにしたい。今後は、様々な特徴を含む多様なアニメーションデータを作成・分析することで、種や飛行速度ごとに生じる運動の差異を、単純なパラメータ調整を通じて表現できるような汎用的なモデルの導出を試みる。

#### 参考文献

- [1] E. Ju, J. Won, J. Lee, B. Choi, J. Noh and M. Choi: Data-driven Control of Flapping Flight, ACM Transactions on Graphics, Volume 32 Issue 5, 1-12(2013)
- [2] 松原始:鳥マニアックス 鳥と世界の意外な関係, 株式会社カンゼン(2019)
- [3] Tobalske, B. W. and Dial, K. P.: Flight Kinematics of Black-billed Magpies and Pigeons Over A Wide Range of Speeds, The Journal of Experimental Biology 199, 263-280(1996)
- [4] エアロクアバイオメカニクス協会編:エアロクアバイオメカニクス, 森北出版株式会社(2010)