

形状に適した魚類の遊泳モーション生成のための仮想骨格モデル Virtual Skeleton Model for Swimming Motion Generation of Fishes Suitable to Shape

萩原 幹大[†] 里井 大輝[†] 星野 准一[†]
Mikihiro Hagiwara Daiki Sato Junichi Hoshino

1. はじめに

水中において生命的な振る舞いをする対象物をつくることは、RPGなどのゲーム作品や、アニメーション作品の水中シーンなどで多く必要とされている。代表的なものとして魚が挙げられるが、魚類の種数は3万近くに及ぶと言われており、その形状や泳ぎ方は多岐にわたっている。さらに他の魚の動作や周囲の環境によっても振る舞いを変えるため、動きの表現は複雑である。

Tanら[1]は、カメやエイなども含む、多様な関節構造を持った水中生物の遊泳をシミュレーションする手法を提案しているが、泳ぎ方は周期的に躯体や腕を動かして前進する方法に限られている。また Xu と Terzopoulos の Artificial Fish[2]では、知覚機能と物理シミュレーションを用いて、エサを追う、逃げる、群れるなどの多様な振る舞いを実現しているが、魚の種類による泳ぎ方の違いがあまり考慮されておらず画一的な動きになりがちである。群衆シミュレーションの Boids モデル[3]なども同様に、多数の魚が集まったときの振る舞いに着目しており、単独の魚における泳ぎ方の多様性が考慮されていない。

そこで本研究では、魚類の形状や泳法の違いに基づき、骨格をいくつかの部分骨格モジュールに分割した仮想骨格モデルを構築する。ひれや躯体など、遊泳時に推進力を発生させる身体部位を部分骨格モジュールと対応付けて、それぞれの部分骨格モジュールを制御することにより、多様な遊泳モーションを生成する。

2. 魚類の形状と泳法

魚類の形状は、左右に平たい「側扁型」や砲弾のような形をした「紡錘型」などの6種類に分類される[4] (図1)。また泳法については、躯体を全体的に振動させる「ウナギ型」や尾びれ付近だけを振動させる「マグロ型」などの12種類に分類される[5]。同じ泳法となっている魚は形状も似通っているため、形状と泳法には対応関係があり、形状から泳法を推定することが可能である。例えば魚の外形を、魚の形状を「断面縦横比 (体高/体幅)」および「側面縦横比 (体高/体長)」の2パラメータで表した結果を図2に示す。このように、形状タイプによって大まかな領域分けがされており、単純な外形特徴からでも形状タイプの判別が可能である。

図3に泳法の分類図を示す。縦線がかかっている部位が遊泳時の可動部である。縦軸は運動で用いる部位を示しており、横軸は運動で用いる可動部の広さを示している。このように、魚が遊泳運動を行う際に動かす部位は、背びれ、臀びれ、胸びれ、尾びれの各ひれ、および躯幹といった部位から構成されており、魚種 (泳法タイプ) によって動かす部位が異なっている。

3. 部分骨格モジュールに基づく仮想骨格モデル

本研究では、ひれや躯体など、遊泳時に推進力を発生させる可動部位を、それぞれ「部分骨格モジュール」としてモデル化する。

多くの魚では、背びれ・臀びれ・胸びれは途中で折れ曲がるようなことはなく、一枚板のように動くのみである。大きい魚の胸びれや、アミア型の背びれ、躯幹から尾びれ

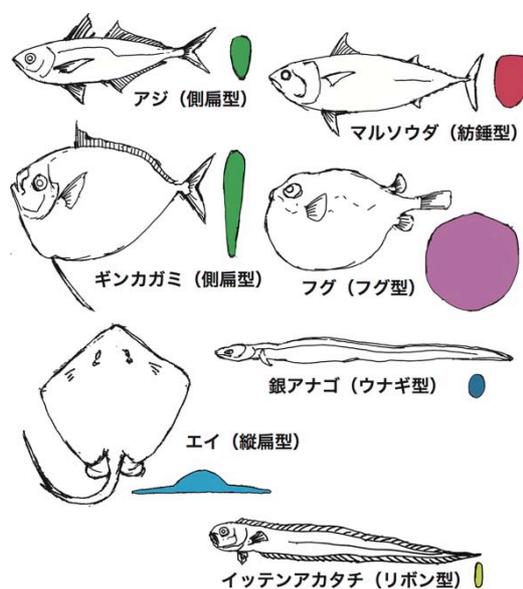


図1 6種類の形状タイプ

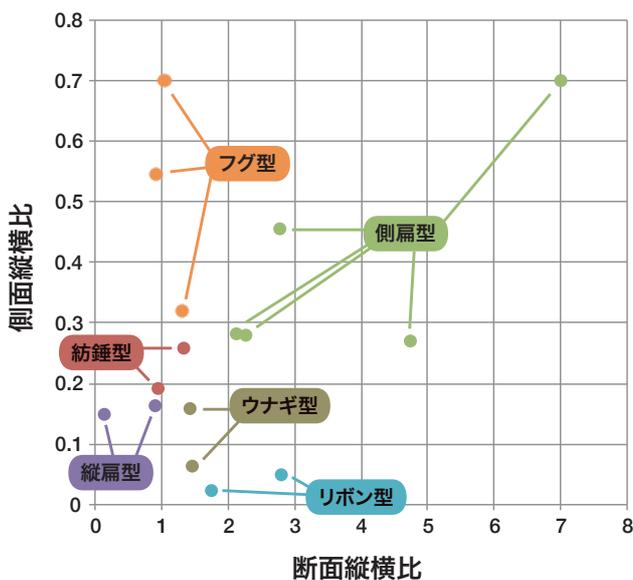


図2 外形の特徴空間

[†] 筑波大学, University of Tsukuba

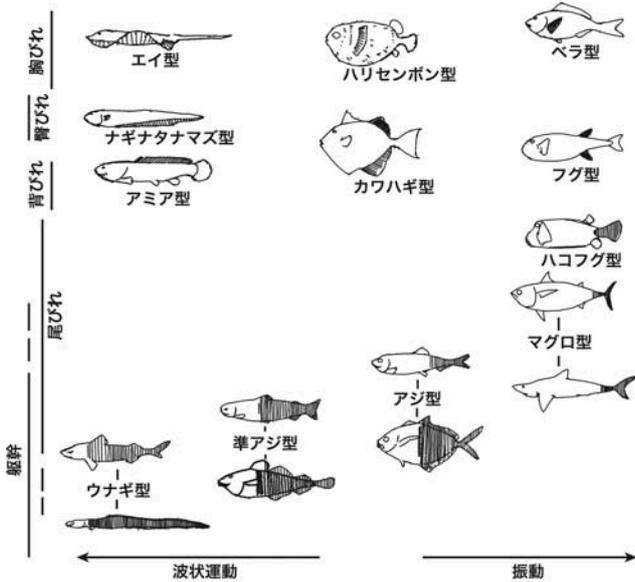


図3 12種類の泳法タイプ



図4 部分骨格モジュールの構成

にかけての部位については、途中でくねるようにして曲がることある。駆幹から尾びれにかけての部位を主に動かして遊泳するウナギ型、アジ型・準アジ型、マグロ型の4タイプは、脊柱から尾びれにかけての連結された骨格を動かしている点では共通しており、骨格の曲がりやすさが異なっていると捉えられるとと考えられる。

そこで部分骨格モジュールは、図4のように、1つ以上の剛体ユニットが回転バネで連結された構造とする。剛体ユニットの数 n は可変であり、一枚板のように動くひれについては $n=1$ とし、ウナギ型の躯体を動かす脊柱のように複雑なくねり方が必要とされる魚種については n を大きくすることで、多様な魚種の骨格に対応する。

魚はまっすぐ泳ぐ際に、尾びれを概ね周期的に振動させていることが知られている[5]。そのような遊泳を再現するときには、魚の可動部位の中で最も頭に近い位置の剛体ユニットに対して周期的にトルクを与えることにより、骨格への振動を与える。

部分骨格モジュールを構成するすべての剛体ユニットに対しては、常に「基準姿勢（躯体であれば、まっすぐ伸ばした姿勢）へのPD制御」「回転バネに基づき、前後の剛

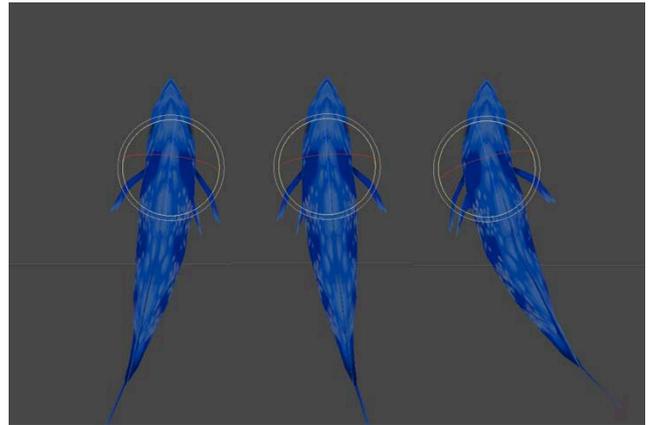


図5 シミュレーション例

体ユニットとの角度差を小さくしようとするPD制御」からなる2種類のPD制御をかけておく。これにより、1つの剛体ユニットに対して与えられた振動が他の剛体ユニットにも伝搬し、身体をくねるような動きを再現する。

この部分骨格モジュールが魚の各可動部位に対応しており、複数の部分骨格モジュールが連動する形で魚の仮想骨格モデルが構成される。

シミュレーション結果の例として、熱帯魚のCGモデルに、剛体ユニットの数 $n=6$ として本モデルを組み込んだ例を図5に示す。

参考文献

- [1] Tan, J., et al.: Articulated Swimming Creatures, ACM Transactions on Graphics, Vol.30, Issue 4, Article No.58, (2011).
- [2] Tu, X. and Terzopoulos, D.: Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior, Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH '94), pp.43-50, (1994).
- [3] Reynolds, C.W.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH '87), Vol.21, No.4, pp.25-34, (1987).
- [4] 木村清志: 新魚類解剖図鑑, 緑書房, 2010
- [5] Lindsey, C.C.: Form, function, and locomotory habits in fish, in Fish Physiology, Vol.7, Academic Press, New York, pp.1-100, (1978).