



Title	仮想物理環境における弾性体を用いた魚モデルの行動獲得に関する基礎研究
Author(s)	福本, 晃宏; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他
Citation	情報処理北海道シンポジウム講演論文集, 2009, 248-249
Issue Date	2009-10-03
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/51075">https://hdl.handle.net/2115/51075</a>
Rights	ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。
Type	journal article
File Information	Hokkaidosympo2009248-9.pdf



# 仮想物理環境における弾性体を用いた 魚モデルの行動獲得に関する基礎研究

福本晃宏 鈴木育男 山本雅人 古川正志  
(北大工) (北大情報科学)†

## 1 はじめに

人工魚の行動獲得として、D. Terzopoulos 等は初期の人工生命研究において 2 次微分方程式の解法に基づく遊泳法を提案している.[1] しかし、この研究では水中における抗力の影響を実現する物理環境をモデル化しておらず、その後も水中における人工魚に関する弾性体モデルの研究はほとんどされていない。

そこで本研究では、水中の抗力を考慮した仮想物理環境において人工魚の弾性体モデルの遊泳行動獲得を目的とする。モデルの制御装置として人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network, ANN) を使用し、その結合重みを進化計算によって最適化する。今回は作成した弾性体モデルが遊泳行動するために必要な動作が可能であることを示す。

## 2 仮想物理環境

本研究では NVIDIA 社が提供する物理エンジンである PhysX[2] を利用して物理現象をシミュレートする。PhysX では剛体や弾性体のシミュレーションが容易であり、かつ高速に実行可能である。しかし、PhysX において十分なサポートがされていない流体環境における浮力や抗力などは、別に実装する必要がある。今回は水中における浮力と抗力を導入した仮想物理環境を構築する。

### 2.1 浮力

水中ではアルキメデスの原理により鉛直方向上向きの力  $F_b$  (浮力) を受ける。この浮力  $F_b$  は次の式 (1) で表現され、本研究における水中環境の浮力として使用する。ここで、 $\rho$  は水の密度、 $V$  は力を受ける物体の体積、 $g$  は重力加速度である。

$$F_b = \rho V g \quad (1)$$

### 2.2 抗力

水中における抗力は物体と水との相対速度や、物体の形状、抗力を受ける投影面積など様々な要因が考えられる。しかし、全ての要因について考慮することはほぼ不可能であり、計算時間も膨大になる。そこで本研究では以下一般的な抗力の式 (2) で抗力  $F_D$  をモデル化する。ここで、 $\rho$  は水の密度、 $v$  は物体と水との相対速度、 $S$  は抗力を受ける物体の投影面積、 $C_D$  は物体固有の抗力係数である。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D \quad (2)$$

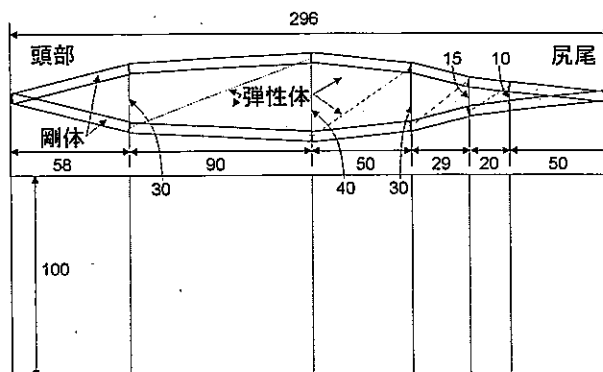


Fig. 1 弾性体モデル (単位 [mm])

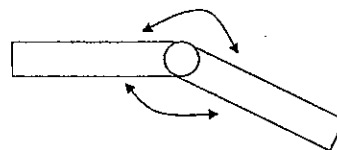


Fig. 2 剛体の結合

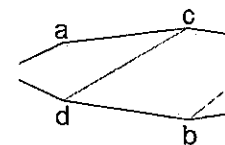


Fig. 3 弾性体の結合

## 3 弾性体モデル

今回、実験で使用した人工魚の弾性体モデルについて説明する。このモデルでは図 1 に示したように、人工魚の皮や鱗に当たる部分は剛体の板を複数枚結合させることで表現し、筋肉に当たる部分は弾性体を複数本用いて表現する。この剛体の板は水中において推進力となる抗力を得るためのものである。また、周囲の環境を感知するためのセンサとして光源を感知するフォトセンサを持たせることも可能である。今回は剛体と弾性体のみを実装し、フォトセンサは実装していない。

次に弾性体モデルの詳細について説明する。

### 3.1 剛体 (皮・鱗)

剛体は左右対象に 6 枚ずつの計 12 枚で構成され、大きさは図 1 の頭部から順に幅 60, 90, 50, 30, 20, 50 [mm] であり、高さや厚みは全て同じでそれぞれ 100, 5 [mm] である。密度は水中環境において適度な浮力を得るために水と同じ値に設定する。今回は  $1000 [\text{kg}/\text{m}^3]$  とした。また、隣接する剛体同士は結合しており、図 1 において鋭角な部分 (頭部と尻尾) は固定結合で、それ以外の部分は弾性体によって結合されている。ただし、弾性体による結合は図 2 のように自由度は 1 である。

fukumoto@complex.eng.hokudai.ac.jp

† 札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

Table 1 制御条件

弾性係数	100
減衰係数	0.1
自然長 [mm]	96,61,37,23

### 3.2 弾性体 (筋肉)

筋肉を模倣する弾性体は図3のように交差させた状態で、向かい合う剛体を結合するように配置する。交差させずに全ての弾性体を平行にした場合、モデルの体(尻尾)を左右に振動させる運動ができなくなってしまう。また、向かい合わない剛体同士を結合させた場合、モデルの形状や姿勢を安定させることが困難になると予測される。この弾性体は弾性係数や減衰係数、及び自然長を変更することで伸縮の制御を行う。

### 3.3 フォトセンサ (目)

光源までの距離や角度を感知するセンサであり、このセンサの信号を ANN の入力として使用することで、光源に向かって遊泳する行動を獲得することが期待できる。他にも障害物や他のモデルの感知など様々なセンサが考えられる。

## 4 制御方法

人工生命の動作を制御する手法として大きく二つに分類することができる。一つはルールベースによる制御で、もう一つは学習による制御である。本研究では学習による制御としての ANN を利用して弾性体モデルの制御を行うことを目指す。

### 4.1 結合重みの進化学習

ANN によってモデルを制御するためには結合重みを最適化する必要がある。本研究では進化計算を用いる。遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) では評価関数の設定により、間接的にはあるがモデルの動作をある程度指定することが可能である。

## 5 モデルの制御実験

今回は浮力や効力を考慮しない仮想物理環境内に弾性体モデルを作成し、弾性体のパラメータを変更することで動作を制御することが可能であるか実験を行って確認する。

### 5.1 実験条件

実験では全ての弾性体において弾性係数及び減衰係数は変更せずに一定値とし、自然長を変更することでモデルを制御する。これらの値を表1に示す。自然長は順に頭部から尻尾までの値である。弾性体の制御方法は図3における弾性体 ab の自然長を伸ばし、弾性体 cd は逆に縮める。この制御を交互に繰り返し、全ての弾性体について行う。

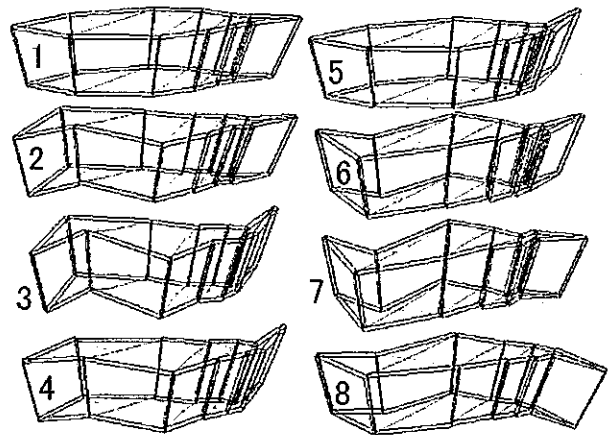


Fig. 4 動作結果

## 5.2 結果と考察

モデルの弾性体の自然長を変更することによって得られた行動の結果 [3] を図4にスナップショットで示す。モデル付近の数値の順に時間が経過する。弾性体モデルが曲り、頭部側よりも尻尾側をより大きく振動していることが確認できた。これは剛体の分割数や弾性体の本数が頭部側よりも尻尾側の方が多いため、より柔軟な動作が可能であるからだと考えられる。また、尻尾の振る角度が十分に大きいことから、水中環境に配置した場合にも効率よく抗力を利用することが可能であり、弾性体の伸縮を適切に制御できれば遊泳行動の獲得も可能であると思われる。

## 6 おわりに

今回の実験によって弾性体モデルが抗力を考慮した水中環境において遊泳行動するための動作が可能であることが示された。今後の課題として実際に水中における浮力と抗力の影響を考慮した仮想物理環境を構築し、弾性体モデルが抗力を受けて移動するかどうか検証する必要がある。その後、弾性体モデルにフォトセンサを取り付けることで光源を感知し、水中に配置した光源を目的地として遊泳行動の獲得実験を行う予定である。このとき制御は ANN によるものとし、その結合重みを GA によって最適化する。

## 参考文献

- [1] D.Terzopoulos, X.Tu, R.Grzeszczuk, "Artificial Fishes: Autonomous Locomotion, Perception, Behavior, and Learning", *Artificial Life*, vol.1-4, pp.327-351, 1994.
- [2] NVIDIA PhysX, [http://www.nvidia.com/object/physx\\_new.html](http://www.nvidia.com/object/physx_new.html)
- [3] Result movie: <http://autonomous.complex.eng.hokudai.ac.jp/items/movies/movingtest.avi>