

2003年度 卒業論文

3DCGにおけるFFDを用いた
魚が泳ぐ際の体の変形に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 3DCG アプリケーション構築プロジェクト

学籍番号 00P369

室伏 絹子

2003年度 卒業論文概要

論文題目

3DCGにおけるFFDを用いた
魚が泳ぐ際の体の変形に関する研究

メディア学部
学籍番号：00P369

氏名

室伏 絹子

指導
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

CG, 魚, FFD, 制御軸, 軸変形

近年、映画やゲームなど様々な映像表現では、3DCGを利用して、現実のような迫力ある画像を身近な環境でリアルタイムに楽しむことが可能になった。そんな中、3DCGにおいて生物を真似て表現することは非常に増えている。例えば、魚や鳥、昆虫などの表現をすることが多い。生物はそれぞれ特徴的な動作をしており、実際の動きに近づけるためにいろいろな研究が行われている。中でも、魚に着目すると、魚群の生成や経路選択、体の変形などの研究が進められている。魚は、生物学的にまだ解明されていない部分が多い。魚の体形は、エサや環境によって異なり、泳法は種類により様々である。

本研究では、様々な魚の泳法がある中で、それぞれの魚の種類に応じた泳ぐ際の体の変形を表現する手法を提案する。まず、様々な魚の泳法から動作を抽出した。魚の泳法には、細長い体全体をくねらす泳法や尾ヒレと体後半部を使う泳法、体をほとんど使わず尾ヒレだけを動かす泳法、背ビレや尻ビレの波状運動する泳法、胸ビレを主に用いる泳法などがある。これらの泳法を表現するために、体のしなりの動作とヒレの動作の2つに分けた。そして、2つの動作をFFDを用いて魚モデルを変形して表現する方法を示した。

体のしなりを表現する方法として、魚モデルの背骨にあたる部分にFFDの制御軸を設定した。制御軸を尾ヒレの方向へ行くにしたがって大きく動かすことにより、体のしなる表現を実現することができた。また、ヒレの動作にもFFDを適用した。ただし、ヒレは体全体の変形ではなく、体の一部分の変形なので、体と接続する部分を変形すると体から離れてしまうという問題が起こる。そこで、本研究では、ヒレの付け根部分に制御点を密接するように配置した。そして、ヒレと体が接続する部分を中心にヒレを回転し、胸ビレが前後する様子を表現した。これに対し、検証例によって本研究の有用性について考察した。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景と目的	1
1.2	論文の構成	2
第2章	魚の泳法の特徴	3
2.1	泳法の分類	3
2.1.1	体のしなりの動作	4
2.1.2	ヒレを使った動作	4
第3章	変形手法	6
3.1	FFD	6
3.1.1	制御軸	6
3.2	制御点間距離保持	10
3.2.1	制御点間距離保持のアルゴリズム	10
第4章	魚の表現	14
4.1	体のしなりの表現	14
4.2	ヒレの表現	15
4.2.1	FFDの制御点設定	15
4.2.2	ヒレ変形の手順	17
第5章	検証と考察	20
5.1	検証	20
5.2	考察	21
第6章	まとめ	23
	謝辞	25
	参考文献	26

目 次

2.1	魚の体がしなる様子	4
2.2	胸ビレの動かし方	5
3.1	モデルと制御曲線の関係	7
3.2	局所座標系 Σ	8
3.3	$M(t)$, P とパラメータ u, v の関係	9
3.4	制御点移動によるモデルの伸び方	10
3.5	制御点間距離保持のアルゴリズム	12
3.6	制御点間距離保持アルゴリズム適用前	13
3.7	制御点間距離保持アルゴリズム適用後	13
4.1	体の制御軸の設定	14
4.2	制御点の配置の違うヒレ部分の空間	16
4.3	ヒレ部分の空間の制御点配置による変形の違い	17
4.4	胸ビレ部分の頂点抽出の様子	18
4.5	胸ビレ部分の制御軸の設定	19
5.1	魚の体のしなり表現の実行の様子	20
5.2	胸ビレ前後運動の実行の様子	21

第 1 章

はじめに

1.1 背景と目的

近年、3DCG(3次元コンピュータグラフィックス)は各種ハードウェアおよびソフトウェアの高性能化と低価格化に伴い、現実のような迫力ある画像を身近な環境でリアルタイムに楽しむことが可能になった。映画やゲームでは3DCGを利用して、魚や鳥、昆虫など、様々な生物の動作を真似て表現している。それらの生物の中で、魚に関して着目すると、生物学的にまだ未解明な部分が多く現在も研究が進められている。また、現実の魚は、エサや環境によって体の形状が異なり、それぞれの種類によって泳ぎ方が異なる。一方、3DCGで魚を表現する研究の多くは、生物学的な泳ぎを踏まえるというよりも、現実のように見える魚の表現をしている。例えば、魚群の生成や経路選択、体の変形の研究などが代表的である[1][2][3]。魚の体の変形が生物学的に行われていない一因として、現在の提案である魚の体の変形手法では、モデルへの制限があり魚の形状によっては不向きとなるということがある。

魚の形状変化を表現する手法のひとつとして、NURBSの制御点メッシュを魚の形状になるように配置する手法[3]がある。これは、魚を輪切りにするような形で制御点群を作り、その制御点群を動かすことによってモデルを変形するというものである。しかし、この手法では、制御点群の間隔はできるだけ均等にすることが必要であるといった、適用するモデルに対する制約条件がある。この手法を適

用できる魚は、サメ、タラのような紡錘形、チョウチョウウオ、カワハギのような側面圧縮形、ウツボ、ウミヘビのような細身形の魚であり、エイやヒラメのような背腹圧縮形の魚やハコフグのように硬い魚には、適用することができない。このように、変形手法が適用できるモデルに制限があることによって、表現できる魚の形状が制限されてしまう。

モデルの形状によって制限を受けることのない手法として山野上らが提案する Free-Form Deformation(FFD)[4][5] がある。FFD とは、変形対象となる物体に対して制御格子と呼ぶパラメータ空間を設定し、制御格子をゆがめることで物体を変形する手法である。FFD に改良を加えた山野上が提案する手法 [5] は、制御軸という変形媒体を用いてモデルを変形する手法である。制御軸とモデルの各頂点に対応付けることにより、制御軸の形を変更することによってモデルの形も変形できる。また、この手法は、制御軸を魚の背骨として変形することができるので魚の形状変化を表現するのに適している。以上のことから、本研究ではこの FFD を魚モデルの変形手法として採用した。

本研究では、様々な魚の泳法がある中で、それぞれの魚の種類に応じた泳ぐ際の体の変形を 3DCG で実現するのを目的とした。魚の泳ぎ方は多くの種類が存在するため、多くの泳法の中から主な 2 つの動作を抽出した。ひとつは、背骨を中心とした体をしならせる動作であり、もうひとつはヒレを使った動作である。魚の体の変形には、山野上が提案する FFD を利用した。FFD を利用することにより、魚の体形や泳ぎ方によって制限を受けることのない変形を目的とした。

1.2 論文の構成

本論文の構成は次の通りである。第 2 章では魚の泳ぎ方の特徴について述べる。次に第 3 章において、本研究で用いる FFD という変形手法について述べる。続く第 4 章にて FFD を用いた魚の表現方法を述べる。第 5 章では、4 章で述べた方法を実際に適用した結果から検証、考察を行う。最後に、第 6 章において本研究のまとめを述べる。

第 2 章

魚の泳法の特徴

本章では、種類によって様々である魚の泳法を 3DCG で表現するために、まず魚の泳法を分類する。

2.1 泳法の分類

魚の泳法は、次のように分類できる [6]。

- ウナギやウミヘビなどの細長い体全体をくねらす泳法
- アジなどの尾ヒレと体後半部を使う泳法
- ハコフグなどの体をほとんど使わず尾ヒレだけを動かす泳法
- カワハギなどの背ヒレや尻ヒレの波状運動する泳法
- ハリセンボンやホウボウなど胸ヒレを主に用いる泳法

このように、魚の泳法には多くの種類があるが、これらの動きは体のしなりの動作とヒレの動作によって表現することができる。本研究では、体のしなりの動作とヒレの動作、2つの動作を表現することにより、魚の泳ぐ際の動作を実現する。

2.1.1 体のしなりの動作

頭部で始まり体長に沿って通る一連の曲線に、体形を変えてふり動かしている [7]。魚類の中では、水平に体を揺らすものが多いが、ヒラメ、カレイ類や多くの海産哺乳類では、垂直に体を揺らすものが多い。図 2.1 に、魚が泳ぐ際に体がしなる様子を示す。

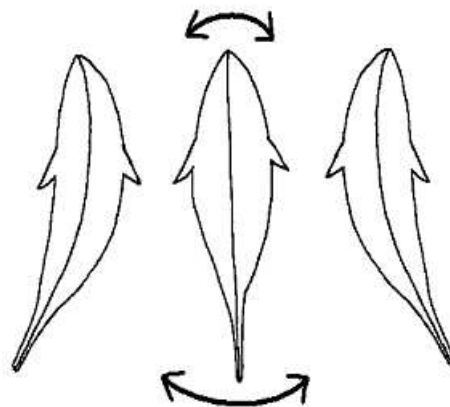


図 2.1: 魚の体がしなる様子

ほとんどの魚類の主な推進力は、尾ヒレにある。幅広い尾は、固定した出発点から、急速に突進する力を生み出す。この力は、エサを追って突進したり、外敵から急いで逃げなければならない魚にとって有効である。

河村らの研究 [3] では、魚モデルの背骨に \sin 波が走るように体を動かし、その波は尾ヒレの方向へ行くほど振幅が大きくなるように動きを設定し、体のしなりの動作を表現することに成功している。本研究においても、この動きのようにモデルを変形することで体のしなりを表現する。

2.1.2 ヒレを使った動作

魚のヒレは人間の手足に相当する。魚は、ヒレを主として、推進力、体の安定性、操縦性および制御を目的として使う [7]。例えば、水の中ほどで停止したり、

限られた水域をうろつきまわったり、すばやく回転したり、急に突進したりする。

魚は泳ぐとき、頭部が左右に動くので、進路からはずれがちである。偏走として知られているこの傾向を食い止めるため、魚は背ビレを立てる。この傾向は、魚体が長く細くなるにつれて、さらに小さくなる。胸ビレは多様な動きをする。具体的に、ヒレは前後運動、ひねり、上下運動を行っており、さらに伸縮運動も行っている [6][8]。図 2.2に、胸ヒレの前後運動、ひねり、上下運動する様子を示す。

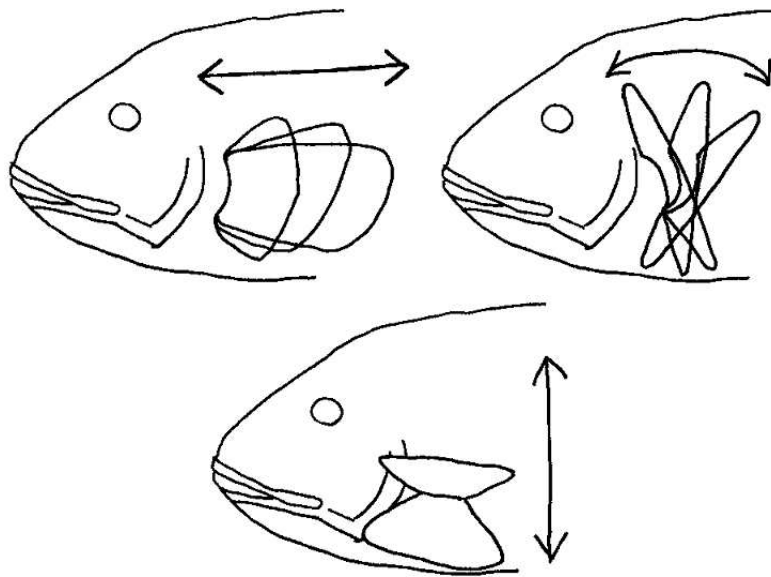


図 2.2: 胸ヒレの動かし方

魚が前進する場合、胸ビレを後方に動かす時、胸ビレの面は動きに対して垂直に向く。そして、胸ビレを前方に動かすとき、胸ビレは動きにほぼ平行に向く [9]。この動かし方を少し変えるだけで、前進・後退が容易になる。

このように、体のしなりの動作と、ヒレを使って泳ぐ動作の 2 つに分けて、魚が泳ぐ際の体の変形を表現する。

第 3 章

変形手法

魚の変形を表現するのに、第 1 章で述べた山野上らの提案した FFD(Free-Form Deformation) [4][5] を利用する。本章では、FFD によるモデルの変形方法について詳しく述べる。

3.1 FFD

FFD とは、3DCG の物体を変形するための一般的な手法である。変形対象となる物体に対して制御格子と呼ぶパラメータ空間を設定し、制御格子をゆがめることで物体を大域的に変形する手法である。FFD を初めて実用的な形で発表したのは、Sederberg と Parry である [4]。FFD にはいくつかの問題があり、改良した手法が数多く提案されている [5][10][11][12][13][14]。

本研究では、山野上が提案する、FFD に改良を加えた制御軸を用いた大域的な形状変形手法 [5] を利用して、魚の体の変形を表現する。山野上が提案する手法は、モデルの頂点と制御軸という曲線の間を相対的に関連付け、制御軸に変位を与えるとそれに伴ってモデルを変形する手法である。

3.1.1 制御軸

制御軸は、制御曲線と副軸から構成される。制御曲線は B-Spline 曲線で表される。制御点をひとつひとつ操作することにより、変形操作を行う。モデルと制御

曲線の関係を図 3.1 に示す。

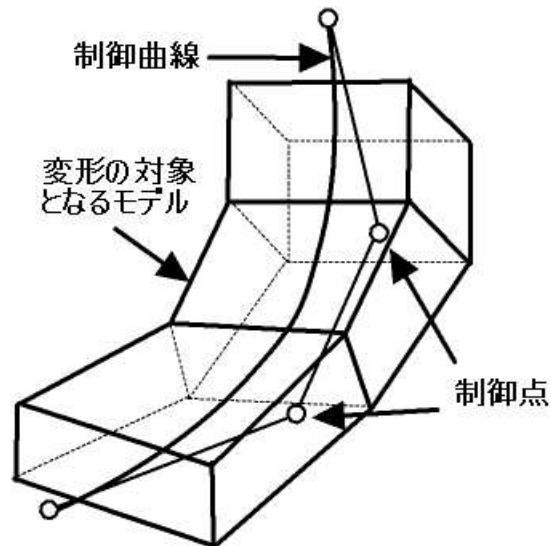


図 3.1: モデルと制御曲線の関係

制御軸を用いた大域形状変形は、以下の三つに分けることができる。

1. モデルを制御軸に投影
2. 制御軸の形を変更
3. 変更後の制御軸から変形後のモデルを逆算

最初の段階において、変形対象となるモデルの情報を制御軸に投影する。次に第二段階において、変形媒体となる制御軸の形を変更する。そして、第三段階で形を変更した制御軸からモデルの形状を逆算する。

1. モデルを制御軸に投影

まず、変形対象となるモデルの点 P を、点 P からの距離が最短となる制御曲線上の点を求め制御曲線上に投影する。ここで、副軸が必要となる。副軸は B-Spline 曲線で表される制御曲線の各制御点を持つ局所座標系を示す。副軸

の持つ情報と B-Spline 基底関数を利用することにより、制御曲線上の各パラメータ位置における局所座標系を求めることができる。

ここで、点 P を制御曲線に投影した点を $M(t)$ とする。 t は制御曲線におけるパラメータであり、 $0 \leq t \leq 1$ である。なお、パラメータ t が 0 より小さいか、1 より大きい場合は点 P を変形対象から除外する。

投影した点 $M(t)$ から点 P を求めるには、 $M(t)$ における局所座標系を定義し対応する座標値を保存しておく必要がある。つまり、点 P の位置を把握するためには、 $M(t)$ における局所座標系を求め、その座標系における点 P の位置をパラメータで保持していればよい。

$M(t)$ における局所座標系を $\Sigma(M(t); e_1, e_2, e_3)$ とする。なお、各座標軸を示すベクトル e_1, e_2, e_3 は単位ベクトルとする。図 3.2 に局所座標系 Σ を示す。

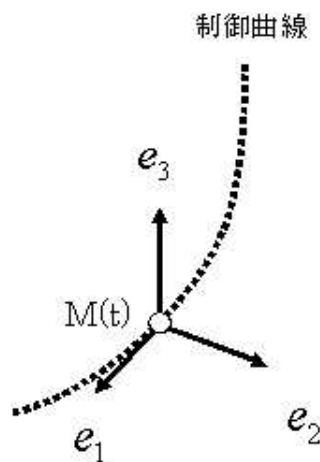


図 3.2: 局所座標系 Σ

次に、座標系 Σ において点 P の位置を計算する。そのためには、ベクトル e_1, e_2, e_3 の三方向において点 P のパラメータを求めればよい。ここで、位置座標が $M(t)$ である点 M を始点とし、点 P を終点とする有向線分を \overrightarrow{MP} とすると、有向線分 \overrightarrow{MP} は e_1 と垂直であるから、 e_1 方向のパラメータは必ず 0 に

なる。したがって、座標系 Σ における点 P の位置はベクトル e_2 および e_3 に射影した点の $M(t)$ からのパラメータを各々 u, v とすると、モデルの点 P の位置座標 P は、次の (3.1) 式のように表すことができる。図 3.3 は、 $M(t), P$ とパラメータ u, v の関係を表している。

$$P = M(t) + ue_2 + ve_3 \quad (3.1)$$

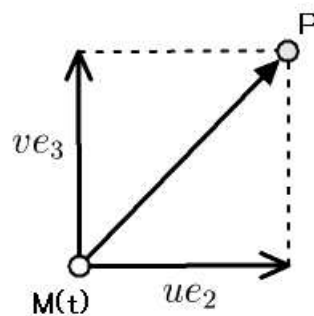


図 3.3: $M(t), P$ とパラメータ u, v の関係

2. 制御軸の形を変更

モデルの変形媒体となる制御軸の形を変更する。制御軸の形を変更するには、制御点をひとつずつ操作し、制御点は局所座標 e_2 軸と e_3 軸を移動する。

3. 変更後の制御軸から変形後のモデルを逆算

形を変更した制御軸をもとに、変形後のモデルを計算する。モデルを制御軸に投影する際に、計算したパラメータを u, v とし、モデルの変形後の $M(t)$ における局所座標系を $\Sigma(M(t); e'_1, e'_2, e'_3)$ とする。モデルの変形後 P' の計算式は (3.2) 式の通りである。

$$P' = M(t) + ue'_2 + ve'_3 \quad (3.2)$$

この手法を使えば、制御軸を変更するだけで魚の体のしなりを表現することができる。

3.2 制御点間距離保持

変形されたモデルの形状が変形前に比べて体長が伸び、不自然な形になってしまう場合が存在する。図3.4は、制御点を移動することによるモデルの伸び方を表す。

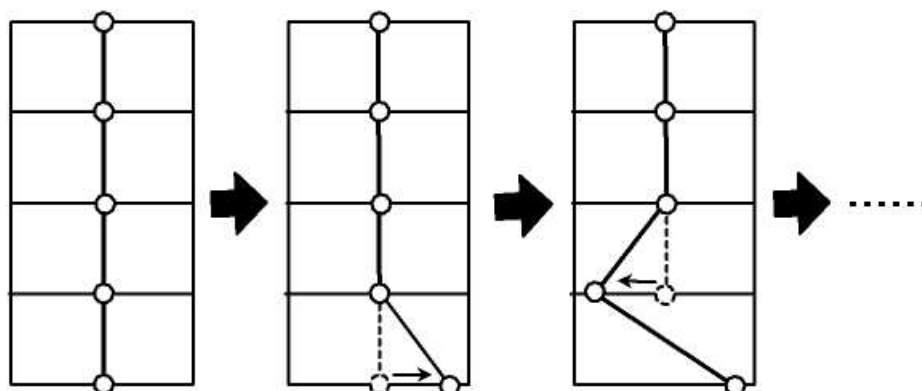


図 3.4: 制御点移動によるモデルの伸び方

このモデルの体長が伸びるという問題を解決するために、山野上が提案している手法 [5] を利用する。この手法は、制御点間の距離を変形前と変形後で保持することにより、制御点間の距離を一定に保つというものである。制御点が移動したら移動した制御点を中心とし、隣合う制御点との距離を半径とする円を描くことにより、移動した制御点以外の制御点の位置も移動する。

3.2.1 制御点間距離保持のアルゴリズム

n 個の制御点 $P_i (0 \leq i < 1)$ で表される制御曲線に対して、 P_i を変位 x だけ移動する場合を例に挙げて制御点間距離保持のアルゴリズムを以下に述べる。なお、 P_i と P_{i+1} の間の距離は $|P_i - P_{i+1}|$ と表記する。図 3.5 は、制御点間距離保持のアルゴリズムを表している。

1. まず P_i を変位 x だけ移動し、移動した点を P'_i とし、以下の処理を行う。

- 1.1 P'_i を中心とし、 $|P_i - P_{i-1}|$ を半径とする円を考える。 P_{i-1} と P'_i を結

ぶ線分とこの円が交差する点を P'_{i-1} とする (図 3.5(c) 参照)

1.2 P'_{i-1} を中心とし、 $|P_{i-1} - P_{i-2}|$ を半径とする円を考える。 P_{i-2} と P'_{i-1} を結ぶ線分とこの円が交差する点を P'_{i-2} とする。

1.3 同様にして、 P'_0 が求まるまで 1.1、1.2 の操作を繰り返す。

2. 以上の処理が終了したら、次の処理を同様に行う。

2.1 P'_i を中心とし、 $|P_i - P_{i+1}|$ を半径とする円を考える。 P_{i+1} と P'_i を結ぶ線分とこの円が交差する点を P'_{i+1} とする (図 3.5(d) 参照)。

2.2 P'_{i+1} を中心とし、 $|P_{i+1} - P_{i+2}|$ を半径とする円を考える。 P_{i+2} と P'_{i+1} を結ぶ線分とこの円が交差する点を P'_{i+2} とする (図 3.5(e) 参照)。

2.3 同様にして P'_{i-1} が求まるまで 2.1、2.2 の操作を繰り返す。

3. すべての制御点を P' まで移動することにより、制御点を移動する前と後における各制御点間の距離を保持することができる。

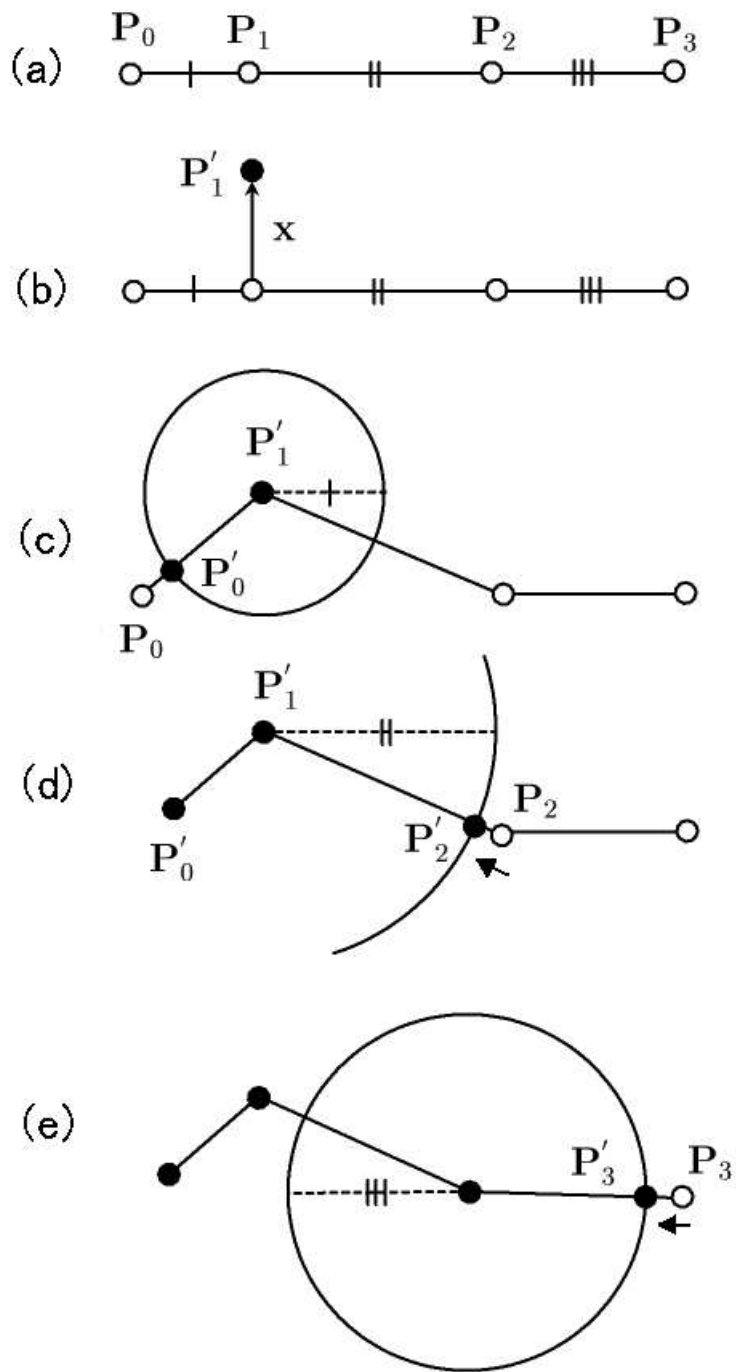


図 3.5: 制御点間距離保持のアルゴリズム

次に示す図 3.6は、魚モデルに制御点間距離保持のアルゴリズムを適用する前の状態であり、図 3.7は魚モデルに制御点間距離保持のアルゴリズムを適用した後の状態である。魚モデルの体長が伸びていないことがわかる。

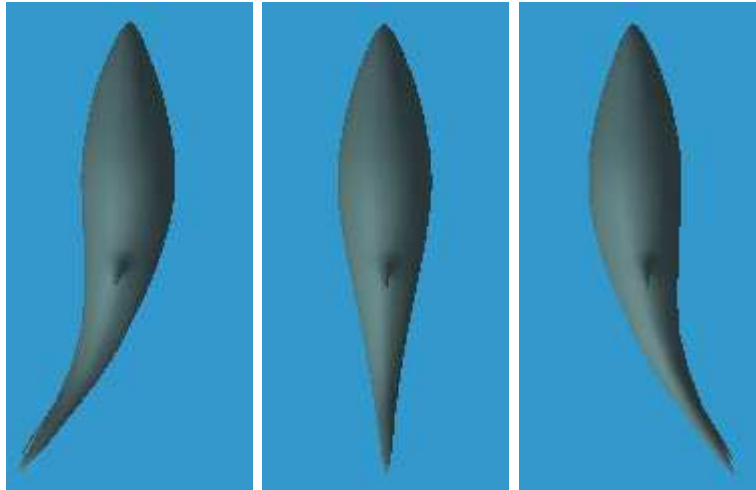


図 3.6: 制御点間距離保持アルゴリズム適用前

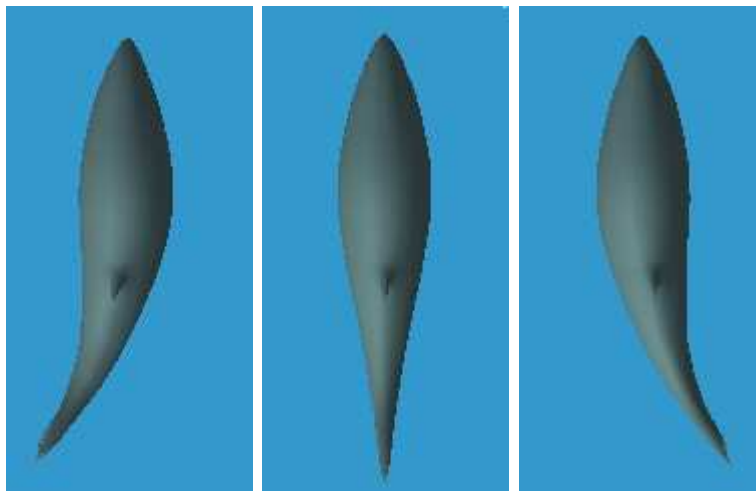


図 3.7: 制御点間距離保持アルゴリズム適用後

第 4 章

魚の表現

第 3 章で説明した FFD という変形手法を利用して、本章では具体的に魚モデルに変形手法を適用する方法を説明する。

4.1 体のしなりの表現

まず、魚の泳ぎの全身を使ったしなりについて、FFD を使った魚の泳ぎ方の表現方法を述べる。魚の全身を使ったしなりにおいて、FFD の制御軸は魚の背骨に沿って配置する。図 4.1 は、魚モデルに設定した 5 つの制御点と制御軸を表している。上は魚の上部から見た図であり、下は魚を側部から見た図である。

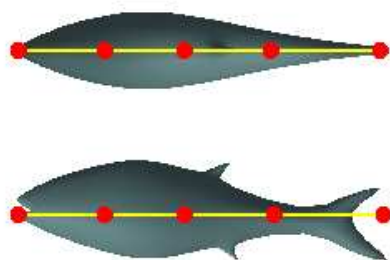


図 4.1: 体の制御軸の設定

制御軸は、魚モデルの頭の前から、尾ヒレの先までを通るように設定する。制

御点を動かすことにより、背骨を動かす魚の体の変形を行う。制御点は、魚から見て上下左右に動かすことができる。

4.2 ヒレの表現

4.2.1 FFDの制御点設定

第2章でも述べた通り、ヒレは前後運動、ひねり、上下運動をしながら体を制御している。ヒレの表現にも、第3章で説明したFFDの制御軸を適用する。しかし、ヒレの表現は体のしなり表現と違い、モデル全体に対する変形ではなく、部分的な変形であるため、ヒレと体の接続する部分が変形すると体とヒレの接続する部分が離れてしまったりして滑らかでなくなってしまう。そこで、ヒレの付け根近くの制御点は動かさないという設定をする。ヒレの付け根近くの制御点を動かさないようにすると、ヒレと体の接続する部分は変形せず、ヒレと体の接続する部分の問題はなくなる。ただし、ヒレの付け根付近の制御点を動かさない場合、体のしなり表現のように制御点を制御軸に等間隔に与えると、ヒレの外側の制御点を動かしたときに、ヒレの変形する部分が狭くなってしまふ。

この問題を解決するために、ヒレの付け根付近に制御点間の距離の狭い制御点を配置する。次の図4.2の上図と下図は、制御点の配置が違うヒレ部分の空間である。中央の線は制御曲線を表しており、赤い球は制御点である。立方体の左側を魚モデルの体と接続する部分とする。上の空間には、5つの制御点を等間隔に配置し、下の空間には5つの制御点のうち左の3点を密接するように配置している。両空間とも、左から3つ目までの制御点は動かさないことを前提としている。

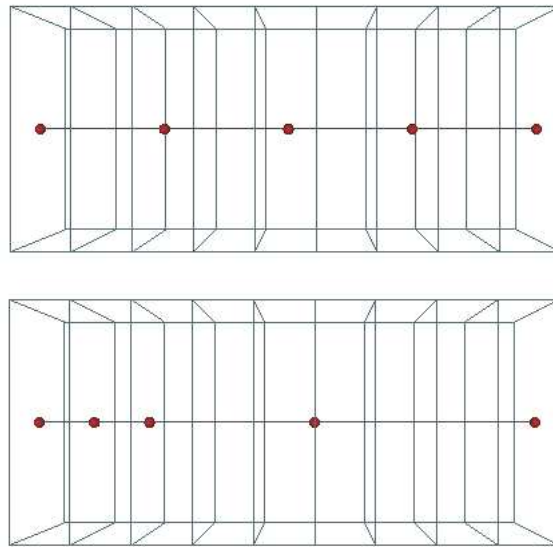


図 4.2: 制御点の配置の違うヒレ部分の空間

次に、この2つの空間の右側2点、つまりヒレにおける体と反対側の制御点を2つの空間で同じように動かす。図4.3は、空間の左側3つの制御点は動かさず、右側2つの制御点を動かした場合の2つの空間を表している。

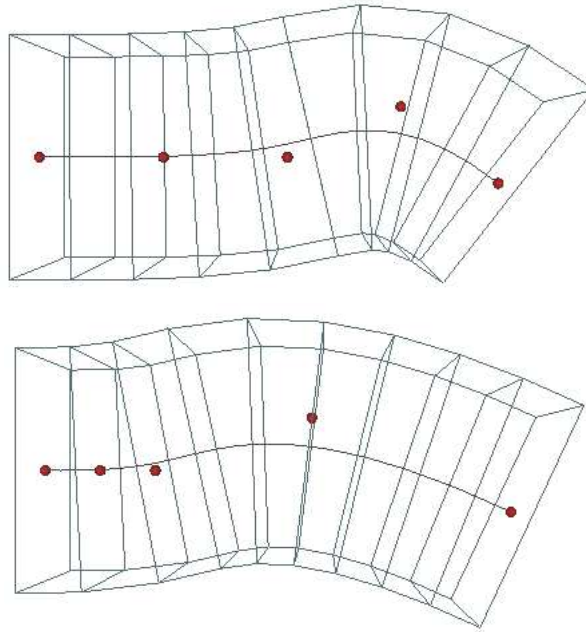


図 4.3: ヒレ部分の空間の制御点配置による変形の違い

下の左側の3つの制御点を密接させた場合の方が、右側2つの制御点を動かした際のヒレの変形している部分が広いことがわかる。

4.2.2 ヒレ変形の手順

ヒレ部分の変形は以下の手順で行う。

1. ヒレ部分の頂点抽出
2. ヒレ部分の制御軸の設定
3. ヒレ部分のモデルを制御軸に投影
4. 制御軸の形を変更
5. 変形後の制御軸から変形後のモデルの頂点を求める

最初に、魚モデルからヒレ部分の頂点を抽出し、次にヒレに制御軸を設定する。そして、ヒレ部分のモデルを制御軸に投影し、頂点と制御軸上の点を対応付ける。次に、制御軸の形を変更し、変更した制御軸から変形後のモデルの形状を求める。

1. ヒレ部分の頂点抽出

まず、魚モデルのヒレ部分の頂点座標を取得する。図 4.4は、胸ビレの頂点抽出の様子を示している。抽出した頂点に、赤い球を配置している。

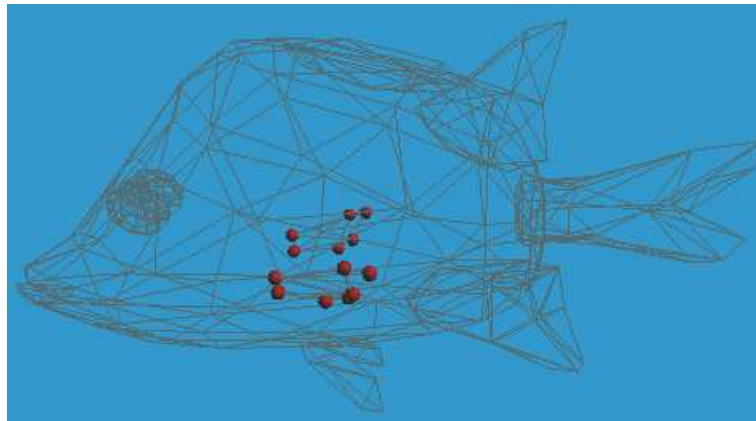


図 4.4: 胸ビレ部分の頂点抽出の様子

2. ヒレ部分の制御軸の設定

次に、ヒレ部分の中心となる位置に FFD の制御軸を設定する。図 4.5に、魚モデルの胸ビレ部分に設定した制御軸と制御点を示す。白い線は胸ビレ部分を表し、赤い球は制御点、黄色の線は制御軸を表している。

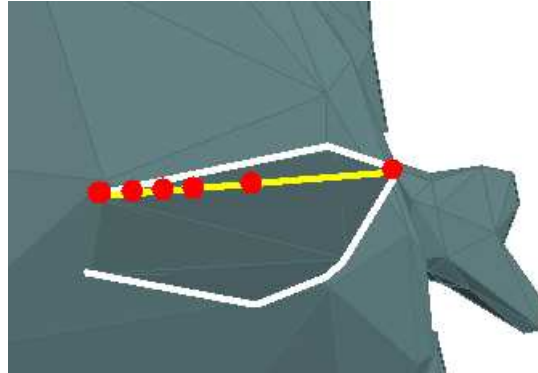


図 4.5: 胸ビレ部分の制御軸の設定

3. モデルを制御軸に投影

次に、変形対象となるモデルのヒレ部分である点 P を、点 P からの距離が最短となる制御曲線上の点を求め、制御曲線上に投影する。ヒレ部分の各頂点の制御軸におけるパラメータ t を求める。モデルの頂点を P とし、制御軸ベクトルを \vec{AB} とすると、パラメータ t は (4.1) 式のように表すことができる。

$$t = \frac{\vec{AB} \cdot \vec{AP}}{|\vec{AB}|^2} \quad (4.1)$$

4. 制御軸の形を変更

制御点を移動して、制御軸の形を変更する。

5. 変更した制御軸から変形後のモデルの頂点を求める

次に、変更した制御軸から変形後のモデルの頂点を求める。まず、制御軸に平行でない任意のベクトル V を用意する。そして、 V を制御軸に投影した際の垂直成分を e_2 とする。さらに、 e_2 と制御軸ベクトルの外積である e_3 を求める。

実際に、ヒレの動作を設定する。ヒレが体に対して前後に動く様子を表現するには、ヒレと体の接続する部分を中心にヒレの外側の制御点を回転する。

第 5 章

検証と考察

本章では、第 4 章で述べた手法による魚モデルの変形の実行例を示す。そして、次に本手法の有用性について検討、考察を行う。

5.1 検証

本研究では、3D グラフィックツールキットである FK System[15] を用いて実装を行った。まず、4 章で述べた魚を変形する手法を魚モデルに適用した。図 5.1 に魚の体のしなりの実行の様子を示す。魚モデルは、マグロである。

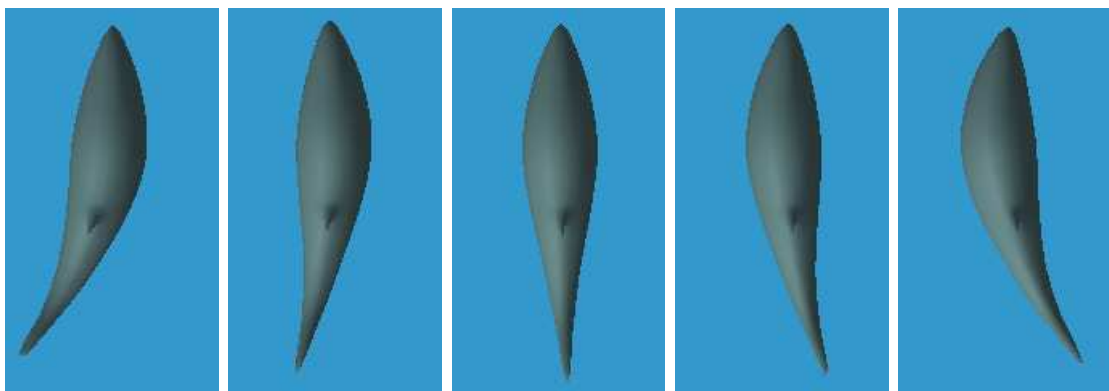


図 5.1: 魚の体のしなり表現の実行の様子

魚の体が、尾ヒレの方向に行くにしたがって、振幅が大きく動いている様子が

確認できた。また、魚モデルを変形する前の真中のモデルと比較して、変形後のモデルの体長が伸びていないということも確認できた。

次に、ヒレの動作について検証した。図 5.2に、胸ビレ前後運動の実行の様子を示す。魚モデルは、トガリエビスである。

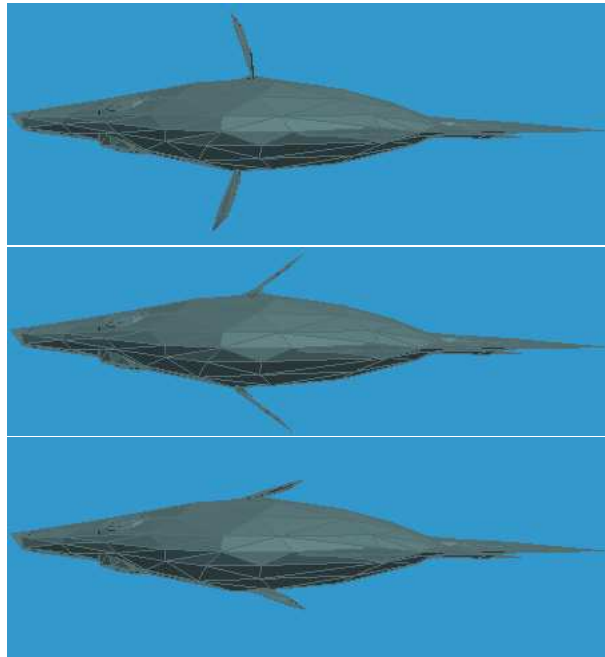


図 5.2: 胸ビレ前後運動の実行の様子

ヒレが、魚の体に対して前後に動いている様子が確認できた。

5.2 考察

FFD を利用して、魚の泳ぐ際の体の変形を実現することができた。今回の検証では、使用したモデルがマグロであるため、体のしなりを左右の方向に表現しているが、モデルに対して上下の方向に制御軸を動かすことにより、イルカやシャチ、クジラなどのモデルも表現することが可能である。魚の体形によって制限を受けることなく、様々な種類の魚を表現することが可能になった。しかし、本手法では次のような問題点がある。

- 魚モデルのヒレ部分の抽出

本研究では、魚モデルのヒレ部分は手動で抽出したが、ヒレ部分の頂点が多くなると、ヒレ部分が抽出しづらいという問題がある。

- 胸ビレ以外の表現

今回は、胸ビレの動きを実現した。しかし、魚には他にも背ビレや尻ビレなどがあるため、それらの動作を実現する必要がある。

- 体のしなりとヒレの動作の関連性

今回、体のしなりとヒレの動作をそれぞれ実現した。しかし、体のしなりとヒレの動作は独立したものではなく、泳ぐ際は連動している。したがって、体のしなりとヒレの動作の関連性について検討する必要がある。

第 6 章

まとめ

本論文の締めくくりとして、まとめと今後の展望に関して述べる。

本研究では、FFD を利用して種類に応じた魚の泳法を表現する手法を提案した。種類に応じて様々である魚の泳法の中から、2つの動作を抽出した。ひとつは背骨を中心とした体をしならせる動作であり、もうひとつはヒレを上下左右に動かす動作である。魚の体の変形を表現する手法としては、FFD を利用した。FFD は、制御軸をモデルに関連付けて変形する。制御軸は、B-Spline の制御曲線と制御点の局所座標である副軸で構成する。

まず、魚モデルの背骨にあたる部分に制御軸を設定し、その制御軸を尾ヒレの方向へ行くにしたがって大きく動かすことにより、体のしなる表現を実現した。また、魚モデルのヒレ部分の頂点を抽出し、ヒレ部分にも FFD の制御軸を設定した。ヒレに与える制御軸は、ヒレと体の接続する部分に変形しないようにヒレ付近に制御点を密接するように配置した。そして、ヒレの体から遠い制御点を、ヒレと体の接続する部分を中心に回転することにより、ヒレの動作も実現できた。今回は、胸ビレを前後に動かす動作だけで、上下に動かす動作は考慮していない。しかし、制御軸の副軸を操作することにより、ヒレの上下動作の表現も可能になると考えられる。

今後の課題としては、魚の動作をより現実に近づけるために、今回表現した胸ビレ以外のヒレの動作を実現する必要がある。さらに、体のしなりの動作とヒレ

を使った動作の関連性について検討する必要がある。また、今回はヒレ部分を指定する際に、頂点を手動で抽出している。ヒレ部分の頂点数が増えると指定が困難になるため、ヒレ部分の頂点抽出自動化を行う必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただきました渡辺大地先生、和田篤先生に深く感謝いたします。

また、日頃から多くの力添えや助言を頂いた先輩や同輩に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 水森龍太,「魚群の振る舞い生成に関する研究」,筑波大学大学院,システム情報工学研究科,コンピュータサイエンス専攻,2003.
- [2] 大草むつみ,「遺伝的アルゴリズム (GA) を利用した魚モデルの経路制御の最適化」,東京工科大学学士卒業論文,メディア学科,2003.
- [3] 河村貴弘,土肥浩,石塚満,「NURBS,逆運動学,強調的運動モデルによる自然観の高い魚の実時間 CG 動画像生成」,テレビジョン学会誌,Vol.49, No.10, 1995.
- [4] Thomas W. Sederberg, Scott R. Parry, "Free-Form Deformation of solid geometric models", Computer Graphics, Vol.20, No.4, Aug.1986.
- [5] 山野上寛,「制御軸を用いた大域的な形状変形手法に関する研究」,慶應義塾大学大学院,政策メディア研究科,1998.
- [6] 加藤直三,「水棲動物の泳ぎ方と水中機械生物」,『海のはくぶつかん』,vol.27, No.5, pp.4-6, 1997.
- [7] 末広恭雄 監修・訳,「クスター海の百科 5 泳法の秘密」,平凡社,1975.
- [8] 加藤直三,「アクアバイオメカニズム研究の海洋工学の応用」第16回海洋工学シンポジウム(日本造船学会),pp.131-138,2001.

- [9] 東昭, 「生物の動きの辞典」, 朝倉書店, pp.141-182, 1997.
- [10] J.Griessmair and W.Purgathofer, "Deformation of Solids with Trivariate B-Splines", *Proc. Eurographics 89*, Elsevier Science Publishers, North-Holland, 1989.
- [11] S.Coquillart, "Extended Free-Form Deformation: A Sculpturing Tool for 3D Geometric Modeling", *SIGGRAPH Proceedings*, 1990.
- [12] H.J.Lamousin, W.N.Waggenspack, "NURBS-Based Free-Form Deformations", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Nov.1994.
- [13] R.MacCracken, "K.I.Joy: Free-Form Deformation with Lattices of Arbitrary Topology", *SIGGRAPH Proceedings*, 1996.
- [14] 山野上寛, 若山和子, 「リアルタイム 3次元 CG におけるしなやかさを考慮した物体表現の有用性」, *3D Modeling*, vol 2, 千代倉研究室 編, 1996.
- [15] FK System
<http://www.teu.ac.jp/media/~earth/FK/>.