

2005年度 卒業論文

## 稚魚から成魚への形状モデリング

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 3DCG コンポーネントプロジェクト

学籍番号 M0102117

金子 直弘

2005年度 卒業論文概要

論文題目

稚魚から成魚への形状モデリング

メディア学部

学籍番号：M0102117

氏名

金子 直弘

指導  
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

3DCG、体形変化、形状モデリング、モーフィング、成長曲線

近年、3DCG コンテンツ作成の需要が増え、3DCG コンテンツ作成の効率化は重要な課題となった。なかでも、3DCG コンテンツ作成における3次元形状の生成はとても手間のかかる作業である。そこで、3次元形状の生成を自動・半自動的にを行うことを目的とした研究が数多くされてきた。しかし、3次元形状を自動・半自動的に生成することは非常に難しく、地形や樹など、ごく一部でしか実現されていない。なかでも、動物を表現する3次元形状の生成に関する研究はあまりなされていない。そのため、魚の成長を表現する際には、稚魚や成魚といった魚の体形特徴が強く現れる成長段階を表現した3次元形状のみが作成、利用される傾向にある。そこで本研究では、魚を対象に、さまざまな成長段階を表現する3次元形状の生成を効率的に行うことを目的とする。

本研究では形状生成の手法として、モーフィングを採用した。モーフィングは、2つの3次元形状を入力形状として、一方の3次元形状から他方の3次元形状への変化を出力する手法である。何か変化していく様子を出力するという特徴から、動物の成長の様子を表現する3次元形状の生成に有効な手段であると考えられる。なかでも、魚類のように、以前の成長段階の特徴を維持しながら、次の成長段階へと体形が変化していくものに有効であると考えられる。

しかし、通常のモーフィングをそのまま利用した場合、次のような問題が発生する。通常使われているモーフィングは、2つの入力形状の頂点を線形補間することにより、変形後の頂点の位置を求めている。そのため、中間の形状の頂点の移動経路は直線的になる。しかし、魚の成長過程で、体形の特徴点が直線的に移動することは少なく、滑らかなカーブを描くのが一般的である。

そこで、本研究では、ある魚の成長段階を表現した形状を3個以上用意し、それらを同時に混合するモーフィングを行う。用意した複数個の入力形状に対し、各成長段階に応じた混合率を設定することで、各成長段階における入力形状の特徴が調節できる。これにより、曲線的な変形が可能なモーフィングを実現した。本研究で提案する手法は、プログラムを作成し、様々な形の魚で検証を行った。

# 目次

第1章	序章	1
1.1	はじめに	1
1.2	論文構成	3
第2章	魚の形状	4
2.1	魚種による体形の違い	4
2.2	成長による体形の変化	7
第3章	魚を表現した3次元形状の効率的な作成	11
3.1	3つの入力形状の混合による形状変形	11
3.2	出力される形状の大きさ	15
3.3	形状変形グラフ	16
第4章	検証・結果と考察	19
4.1	結果	20
4.1.1	クロダイ (紡錘形と側扁形の検証)	20
4.1.2	シマフゲ (フグ形の検証)	21
4.1.3	クロアナゴ (ウナギ形の検証)	24
4.1.4	ヒラメ (ヒラメの検証)	25
4.2	考察	29
第5章	まとめ	31
	謝辞	32
	参考文献	33

# 目 次

2.1	カンパチの体形 (新江ノ島水族館提供) . . . . .	5
2.2	クロダイの体形 (新江ノ島水族館提供) . . . . .	5
2.3	ホシエイの体形 (新江ノ島水族館提供) . . . . .	6
2.4	アミウツボの体形 (新江ノ島水族館提供) . . . . .	6
2.5	ハリセンボンの体形 (新江ノ島水族館提供) . . . . .	7
2.6	クロダイ仔稚魚の成長に伴う外部形態の変化 (庄島、1958; 水戸、 1963・1966) . . . . .	9
2.7	クロアナゴの幼生 (落合ほか、1978) . . . . .	10
3.1	人からブタへのモーフィング . . . . .	11
3.2	通常モーフィングにおける頂点位置の変化 . . . . .	12
3.3	魚の一般的な成長変化 . . . . .	13
3.4	魚の成長における理想的な頂点位置の変化 . . . . .	13
3.5	本研究における形状変形 . . . . .	14
3.6	メバチの成長曲線 . . . . .	15
3.7	形状変形グラフの例 . . . . .	17
3.8	3つの入力形状を2つずつ混合する変形グラフ . . . . .	17
3.9	3つの入力形状を同時に混合する変形グラフ . . . . .	18
4.1	クロダイで使用した3つの入力モデル . . . . .	20
4.2	クロダイで使用した変形グラフ . . . . .	20
4.3	本手法での出力されたクロダイの形状 . . . . .	21
4.4	シマフグの仔稚魚 (藤田、1962) . . . . .	22
4.5	シマフグで使用した3つの入力モデル . . . . .	22
4.6	シマフグで使用した変形グラフ . . . . .	23
4.7	本手法での出力されたシマフグの形状 . . . . .	23
4.8	クロアナゴで使用した3つの入力モデル . . . . .	24
4.9	クロアナゴで使用した変形グラフ . . . . .	24
4.10	本手法での出力されたクロアナゴの形状 . . . . .	25
4.11	ヒラメの仔稚魚 (南、1982) . . . . .	26
4.12	ヒラメで使用した3つの入力モデル . . . . .	27

4.13	ヒラメで使⽤した変形グラフ . . . . .	27
4.14	本⼿法での出力されたヒラメの形状 . . . . .	28
4.15	3つの形状の混合による変形可能領域 . . . . .	29

# 第 1 章

## 序章

### 1.1 はじめに

近年、高性能なハードウェアが安価で普及し、3DCG が利用される機会は非常に増えた。それに伴い、3DCG コンテンツ作成の需要が増え、3DCG コンテンツ作成の効率化は重要な課題となった。しかし、3DCG コンテンツの制作は、3次元形状の作成やマテリアルの設定など、手間のかかる作業の連続である。そのため、これまでの研究では、3次元形状作成の効率化を目的とした研究が数多くされてきた。3次元形状を効率的に生成する研究では、自然物を表現する3次元形状を自動生成するものとして地形や樹、自然石等を対象としたもの [1, 2, 3] や複数の2次元画像を入力素材として3次元空間を構築するもの [4] などがある。

しかし、魚の3次元形状を自動・半自動的に生成するための有効な手法はない。そのため、魚の成長を表現する3次元形状を作成する際には、3次元形状の作成は非常に手間がかかるといった点や、魚は成長過程で体形や体色が大きく変化するという理由から、稚魚や成魚といった魚の体形特徴が強く現れる成長段階を表現した3次元形状のみが作成、利用される傾向にある。

しかし、魚類は時間をかけて段々と体形が変化するため、体形特徴が強く現れる成長段階のみを作成するだけでは不十分である。つまり、より現実に近い表現を目指すには、各成長段階の中間に相当する状態の体形を表現する3次元形状が

不可欠である。そこで、本研究では、魚の成長過程の 3 次元形状を自動・半自動的に生成することを目的とする。

一般に、動物を表現する 3 次元形状を自動的に生成することは困難である。その理由として、形態が複雑で生成そのものが困難であることや、身近なもののため観察者が無意識に精密な検証を行ってしまい、3 次元形状の欠陥を無視できなくなるため、高精度な形状の生成が必要となることがあげられる。

魚の成長を自動・半自動的に生成しようとした場合、次に述べるような形態の複雑さが主な課題となる。一口に魚と言っても、その種類は非常にたくさんあり、その体形は大きく異なる。また、同じ種類の魚であっても稚魚と成魚はまったく異なる体形や体色であり、その成長過程で体形や体色は大きく変化する [5, 6, 7, 8, 9]。更に、成長につれて異なる名前と呼ばれる魚や、ある成長段階で性転換する魚など、稚魚と成魚の中間に相当する成長段階であっても大きく異なる体形や体色を持つ魚も多い。

本研究では形状生成の手法として、モーフィングを採用した。モーフィングは、2 つの 3 次元形状を入力形状として、一方の 3 次元形状から他方の 3 次元形状への変化を出力する手法である [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]。

3DCG アニメーションを中心に使われているモーフィングという手法は、2 つの 3 次元形状を入力形状として、ある 3 次元形状からもう一方の 3 次元形状への変化を出力するものである。何かが変化していく様子を出力するという特徴から、段々と体形が変化する動物の成長を表現する 3 次元形状の生成に有効な手段であると考えられる。本研究で目的とする魚類の成長過程のような、以前の成長段階の特徴を維持しながら、次の成長段階へと体形が変化していくものには、特に有効であると考えられる。モーフィングでは、2 つの入力形状を変形することで 3 次元形状を出力するため、精度の高い入力形状を用意すれば、出力する形状の精度も高くすることができ、身近で馴染みのある動物ほど 3 次元形状の欠陥を無視できなくなるという問題も解消すると考えられる。

そこで本研究では、モーフィングを形状変形のベースとし、魚を対象に、さまざま

まな成長段階を表現する3次元形状の生成を効率的に行うことを目的とする。通常使われているモーフィングは、変形前の入力形状と変形後の入力形状で対応した頂点の位置を線形補間することで中間の形状を生成するため、中間の形状の頂点の移動経路は直線的になる。しかし、稚魚から成魚への成長過程で、体形の特徴点が直線的に移動することは少なく、滑らかなカーブを描くのが一般的である。本研究で提案する手法は、ある魚の成長段階を表現した形状を複数個用意し、それらを入力形状とするモーフィングを利用することで、稚魚と成魚の中間の成長段階になっている魚の3次元形状を自動的に生成する。用意した複数個の入力形状に対し、各成長段階に応じた混合率を設定することで、各成長段階で入力形状の特徴が調節できる。これにより、曲線的な変形が可能なモーフィングを実現できる。本研究では、提案する手法に対し、様々な形の魚で検証を行った。

## 1.2 論文構成

本論文の構成は、次のとおりである。2章では、魚の種類による体形の違い、魚の成長による体形の変化について説明する。3章では、本研究における具体的な生成手法の提案をする。4章では、いろいろな種類の魚に対し本研究の検証を行い、その種類ごとに考察を行う。5章では、本研究のまとめを示す。

# 第 2 章

## 魚の形状

### 2.1 魚種による体形の違い

魚の体形は、魚種による違いが非常に大きい。細長いもの、楕円形をしたもの、扁平なものなどさまざまである。また同じ種類の魚であっても、水温や餌の状況などの生活環境により、個体差が生じる。しかし魚類学では、便宜上、体の形状に応じて分類分けを行っている。現在ひろく用いられている分類法では、魚の体形は紡錘形 (fusiform)、側扁形 (compressiform)、縦扁形 (depressiform)、ウナギ形 (anguilliform)、フグ形 (tetraodontiform) の 5 型に分類できる [5, 8]。

- 紡錘形

体幹部の断面は円形に近く、体の輪郭は流線形で、運動力に富む。外洋を常に移動している種類が多く、長時間速い速度で泳ぐのに適した体形と言える。カツオ・マグロ類、ブリなどがその例である。



図 2.1: カンパチの体形 (新江ノ島水族館提供)

- 側扁形

紡錘形が背腹の方向に高くなり左右に薄くなったような形で、紡錘形ほどの運動力はないが方向展開や速度を変えるのに適している。沿岸水域の岩場に生息する種類が多く、狭い隙間での細かな動きに対応した体形と言える。イシダイやクロダイ、カワハギなどが、その例である。



図 2.2: クロダイの体形 (新江ノ島水族館提供)

- 縦扁形

紡錘形が背腹方向に扁平になり左右に幅広くなったような形で、体は平たい。運動力には乏しいが、水底に休息するとき体が安定するだけでなく、体の影ができないので、背方の捕食者に発見されにくく、水底生活に適した体形と言える。エイやアンコウなどがその例である。



図 2.3: ホシエイの体形 (新江ノ島水族館提供)

- ウナギ形

紡錘形を前後の方向へ延長したような形で、昼間は水底に埋没したり、物陰に隠れて生活するものが多い。ウナギ、ウツボ、クロアナゴ、などがその例である。



図 2.4: アミウツボの体形 (新江ノ島水族館提供)

- フグ形

紡錘形を前後の方向へ縮小したような形で、卵形または球形に近い。一般に運動は緩慢である。ハコフグやクサフグ、シマフグ、ハリセンボンなどがその例である。



図 2.5: ハリセンボンの体形 (新江ノ島水族館提供)

## 2.2 成長による体形の変化

魚の体形は、同じ種類の魚であっても稚魚と成魚はまったく異なる体形や体色であり、その成長過程で体形や体色は大きく変化する。さらに、成長につれて異なる名前と呼ばれる魚や、ある成長段階で性転換する魚など、稚魚と成魚の中間に相当する成長段階であっても大きく異なる体形や体色を持つ魚も多い。なかでも、変態と呼ばれる成長特性を持つ魚の成長変化は著しい[5, 6, 9]。変態とは、幼期に成魚と著しく異なった形態や生態を示した後、成魚へと成長していく成長特性である。変態を行う魚類はかなりあるが、ヤツメウナギ類、ウナギ類、ヒラメ・カレイ類が特に有名である。

- ヤツメウナギ類の変態

ヤツメウナギは、ふ化すると数年間川底の砂泥にもぐって生活する。眼は皮下に埋没し、口は溝状で吸盤を形成していない。変態が始まると、眼は体表に露出するようになり、口は吸盤状になる。砂泥の生活に適した体から、水中の生活に適した体へと体形変化がおこる。

- ウナギ類の変態

ウナギ・マアナゴ・ウツボなどが属するウナギ目魚類は、無色透明で柳の葉のような扁平な体形をしている。扁平な体形は浮力を得るには効率的な体形で、仔稚魚の浮遊生活に適応した形といえる。変態が始まると、扁平な体形から全体的に丸みおびてくる。

- ヒラメ・カレイ類の変態

ヒラメやカレイは、仔魚期の後期まで体は左右対称で眼も体の両側にあるが、仔魚期の終わりには変態が始まり、片側の眼は急に頭上を回るか、頭部を貫通して片側に2個集まり、体の各部も左右不対象を示すようになる。仔魚期の浮遊生活から、着底生活に移行するための体形変化がおこる。

- その他の変態

イトウダイ、チョウチョウウオは、頭部やヒレなどに非常に長い棘状の突起があり、変態が始まると、棘状の突起物は退縮するなどの変化をする。これらの突起物は、魚体の浮力を増大し、仔稚魚の浮遊生活を効率的にするほか、捕食者から身を守る役割がある。

魚の寿命は種類によって大きく異なり、生後1年またはそれ以内で死亡するものもあれば、30歳以上の高齢のものもある。そのため、稚魚から成魚へ変化をする成熟年齢も魚種によって異なる。さらに、成長に伴う雌雄における性的差異も生じる。また、魚の成長による体形変化は、図2.6、図2.7に示すように、以前の成長段階の特徴を維持しながら、次の成長段階へと体形が変化していく。

「新版魚類学（下）改訂版」，  
P728, 図 57・2

A : ふ化仔魚 (全長 1.9mm)	B : ふ化後 5 日仔魚 (全長 3.0mm)
C : 天然仔魚 (全長 5.5mm)	D : 天然仔魚 (全長 9.8mm)
E : 天然稚魚 (全長 12.0mm)	F : 天然稚魚 (全長 18.0mm)

図 2.6: クロダイ仔稚魚の成長に伴う外部形態の変化 (庄島、1958 ; 水戸、1963・1966)

「新版魚類学（下）改訂版」，  
P581, 図 44・10

A : 伸長期幼生 (体長 64.0mm)	B : 伸長期幼生 (体長 90.5mm)
C : 伸長期幼生 (体長 125.5mm)	D : 変態 1 期幼生 (体長 104.5mm)
E : 変態 2 期幼生 (体長 80.4mm)	F : 変態 3 期幼生 (体長 75.0mm)
G : 変態 4 期幼生 (体長 66.5mm)	H : 変態 5 期幼生 (体長 56.0mm)
I : 稚魚 (体長 72.5mm)	

図 2.7: クロアナゴの幼生 (落合ほか、1978)

以上からわかるように、稚魚と成魚での体形変化は著しく、稚魚から成魚への体形変化の時期も種類によって大きく異なる。

## 第 3 章

# 魚を表現した 3 次元形状の効率的な 作成

### 3.1 3つの入力形状の混合による形状変形

モーフィングとは、入力形状を 2 つ以上用意し、ある入力形状からもう 1 つの入力形状への変化をシミュレーションする技術である。本研究では、モーフィングをベースとした 3 次元形状の変形を行う。図 3.1 は人からブタへの変化をモーフィングにより行ったものである。

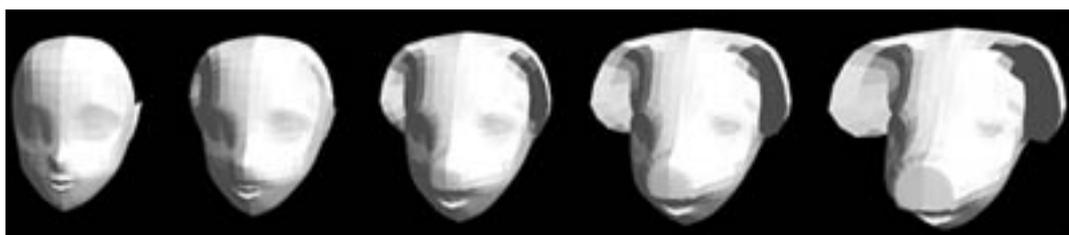


図 3.1: 人からブタへのモーフィング

通常のモーフィングでは、変形前の入力形状と変形後の入力形状で対応した頂点の位置を線形補間することで中間の形状を生成する。2つの入力形状で対応する頂点座標を  $\vec{S}$ 、 $\vec{T}$  とする時、変形の進行比  $t$  における出力形状の頂点座標  $\vec{P}$  は次式で求められる。

$$\vec{P}(t) = (1-t)\vec{S} + t\vec{T} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (3.1)$$

式 (3.1) からわかるように、式 (3.1) による線形補間を行った場合、中間の形状の頂点は、変形前の形状と変形後の形状の対応する頂点を直線で結んだ最短距離を移動する。そのため、図 3.2 のように、中間の形状の頂点の移動経路は直線的になる。

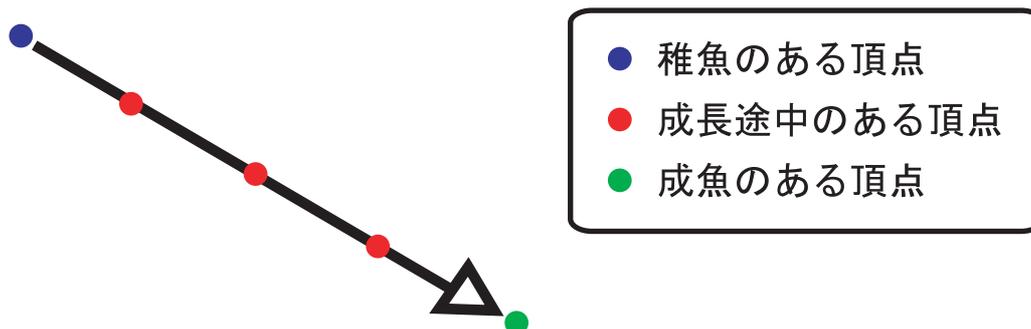


図 3.2: 通常モーフィングにおける頂点位置の変化

稚魚から成魚への成長では、その成長段階ごとに魚の形状は大きく異なる。たとえば、図 3.3 のように、背ビレの付け根に当たる頂点が、稚魚から成魚への成長過程で直線的に移動することは少なく、滑らかなカーブを描くのが一般的である。

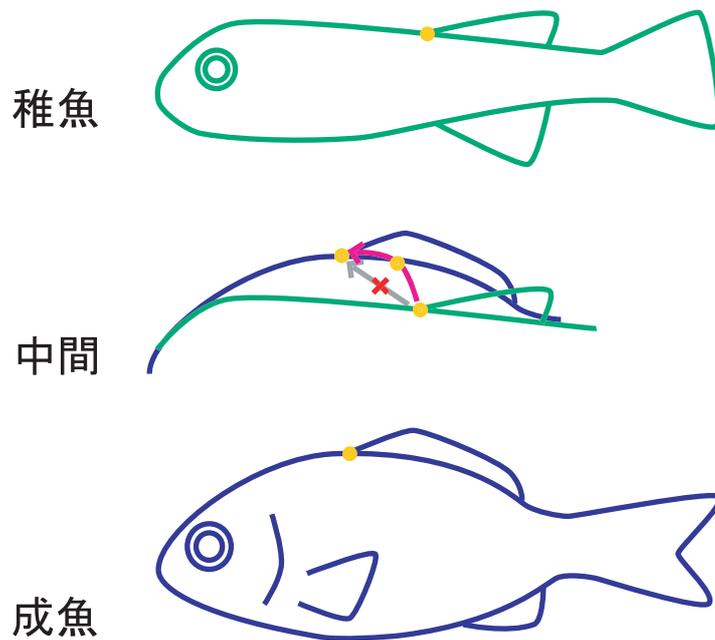


図 3.3: 魚の一般的な成長変化

稚魚から成魚への成長による形状変化を行うには、直線的な変化は好ましくなく、図 3.4 のような曲線的な変化が理想的だといえる。

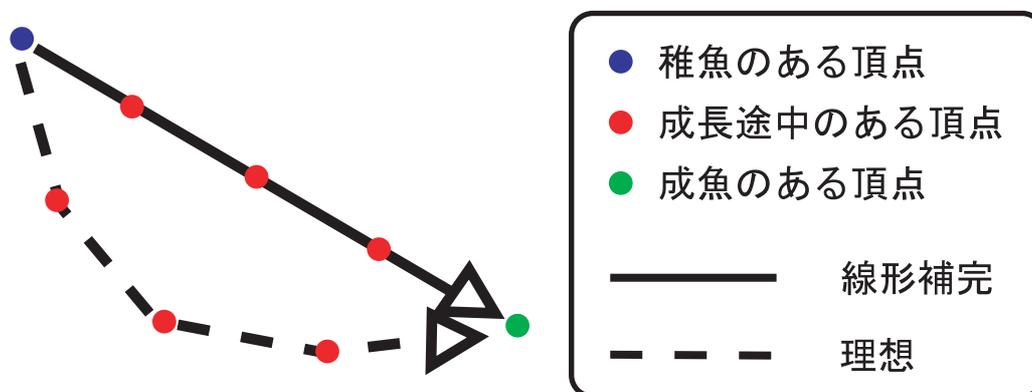


図 3.4: 魚の成長における理想的な頂点位置の変化

本研究では、特徴的な成長段階を表現した 3 つの形状を入力形状とし、それらを混合する。そして、各成長段階に応じて、3 つの入力形状へ異なる混合率を設定する。これにより、3 つの形状の特徴が各成長段階で調整でき、理想的な形状変化を実現できる。図 3.5 は混合率の設定による移動経路の変化を示したものである。

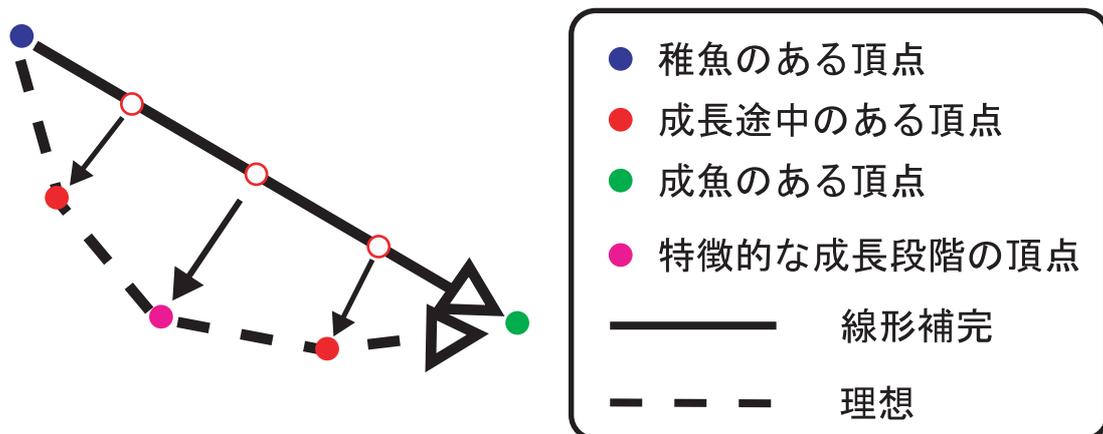


図 3.5: 本研究における形状変形

青い点では稚魚を表現した形状の混合率が 100%、紫の点では特徴的な中間の成長段階を表現した形状の混合率が 100%、緑の点では成魚を表現した形状の混合率が 100%となる。

3つの入力形状で対応する頂点座標を  $\vec{S}$ 、 $\vec{T}$ 、 $\vec{U}$ 、各形状の混合率を  $V_s$ 、 $V_t$ 、 $V_u$ 、とすると、変形の進行比  $t$  における出力形状の頂点座標  $\vec{P}$  は

$$\vec{P}(t) = V_s(t)\vec{S} + V_t(t)\vec{T} + V_u(t)\vec{U} \quad (3.2)$$

$$(0 \leq t \leq 1, \quad V_s(t) + V_t(t) + V_u(t) = 1)$$

より求められる。

本研究では、このような変形を行うために、入力形状の頂点数が同じ、各入力形状で対応する頂点に接続している稜線も全て同じ数、といった条件の入力形状を用意している。これにより、変形前の入力形状を構成する頂点と変形後の入力形状を構成する頂点の対応付けを適切に行っている。本研究で作成したプログラムには実装されていないが、このような特性を持った 3次元形状は、Multiresolution Interpolation Meshes[12] という手法から生成することができる。

## 3.2 出力される形状の大きさ

本研究では、より柔軟な変形を可能とするため、3つの入力形状は、その成長段階における特徴的な体形のみを作成し、体の大きさはほぼ同じにする。体形の変形と体の大きさの変形を別に扱うことで、特定の成長段階のみ現れる突起物など、体の大きさに関係する体形の特徴を直感的に操作できる。成長に伴う体の大きさの変化は、出力形状に対し拡大率を設定することで可能とする。また、拡大率の入力を補助する役割として、水産資源学で利用されている成長曲線を利用する [5, 17]。成長曲線は、ある魚の特定海域における体長、体重の成長をあらわす関数で、本研究では体長のみを利用する。図 3.6 はメバチの成長曲線の例である [18]。

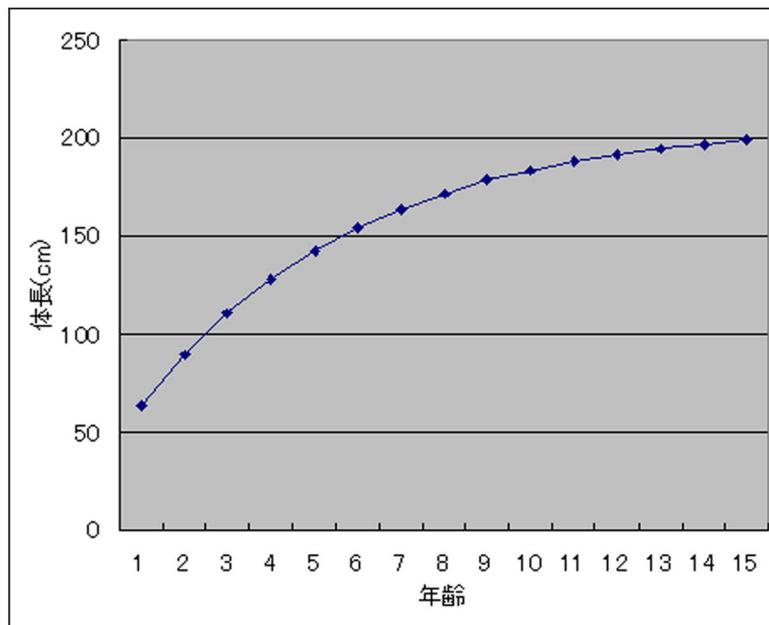


図 3.6: メバチの成長曲線

成長曲線は多く存在するが、広く利用されているものは Bertalanffy 式である。Bertalanffy 式は、複数のパラメータを設定することで成長曲線を生成する。

Bertalanffy 式は、以下のとおりである。

$$L_{(t)} = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (3.3)$$

$L_{(t)}$ :  $t$  年齢の体長

$L_{\infty}$ : 最大体長

$t_0$ : 体長が 0 となる推定年齢

$k$ : 異化係数  $K$  の  $1/3$  の値

水産資源学における成長曲線は、調査内容から容易に拡大率を設定することができる。しかし、水産資源学における成長曲線の多くは、年単位を基準とする長期的な成長を対象としており、稚魚から成魚への成長といった短期的な成長を対象としていない。成長曲線を生成するためのパラメータを短期的な成長へ適応した場合、孵化直後の体長がマイナスになるといった矛盾が生じる。本研究では、Bertalanffy 式で利用されている、体長が 0 となる推定年齢を自動で調整し、パラメータにおける矛盾を修正する。

### 3.3 形状変形グラフ

3つの入力形状の混合率、拡大率をより直感的に操作するために、本研究では形状変形グラフを使用する。また、形状変形グラフを利用することで、魚種ごとに異なる稚魚から成魚への成熟期を柔軟に制御することも可能となる。図 3.7 はその例である。赤い線、緑の線、青い線がそれぞれ入力形状の混合率を示し、紫の線が出力形状の拡大率を示す。

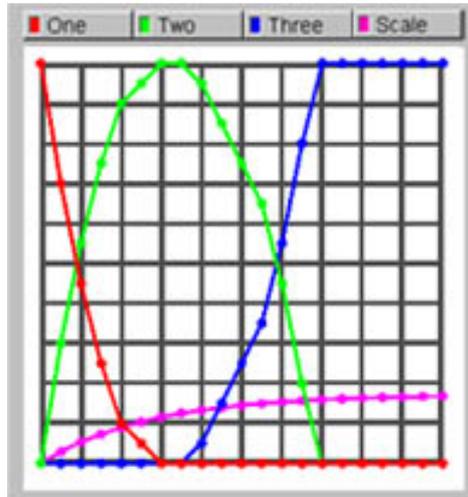


図 3.7: 形状変形グラフの例

形状変形グラフの入力補助として、あらかじめ2つのパターンの変形グラフをテンプレートとして用意する。図 3.8、図 3.9 がそのパターンである。

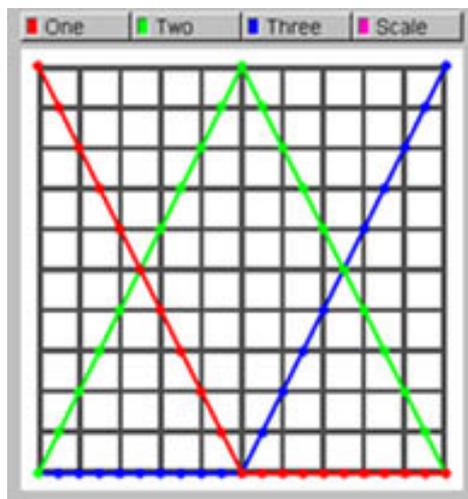


図 3.8: 3つの入力形状を2つずつ混合する変形グラフ

図 3.8 は、3つの入力形状のうち、入力形状を2つずつ混合するテンプレートである。これは、2つの入力形状を混合する通常のモーフィングを、2回連続して行うものである。そのため、曲線的な変形を行うことはできないが、成長段階において直線的な変化のみを考慮すれば十分な魚に対して適したテンプレートといえる。

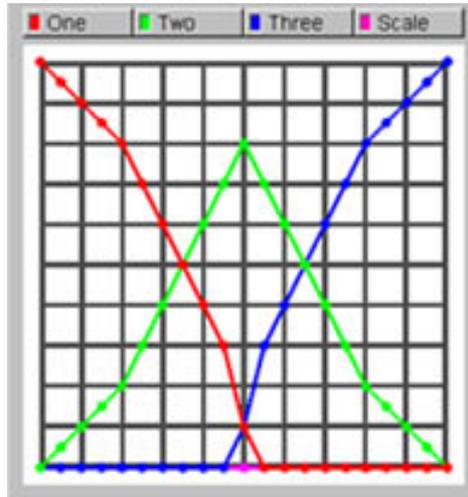


図 3.9: 3つの入力形状を同時に混合する変形グラフ

図 3.9 は、3つの入力形状を同時に混合するテンプレートである。曲線的な変形を行えるため、高い精度の変形を行えるが、通常の変形に対し入力形状を1つ余分に準備する必要がある。成長段階において、変態などの大きな変化をする魚に適したテンプレートである。

## 第 4 章

### 検証・結果と考察

本章では、3章で提案した手法に沿って作成したプログラムを使用し、その有用性を検証する。プログラムの作成には、3DCG ツールキットである FK Toolkit System[19] を用いた。検証は、魚類学で分類される 5 つの型を基準に 4 種類の魚に対して行なう。紡錘形と側扁形の検証にはクロダイを表現した形状、フグ形の検証にはシマフグを表現した形状、ウナギ形の検証にはクロアナゴを表現した形状、特殊な変態を行う魚の検証にはヒラメを表現した形状を使用する。縦扁形の検証は、成長の特性を示した論文や書籍が手に入らなかったため、本章では取り扱わない。しかし、ヒラメの形状特性は、縦扁形にきわめて近いため、ヒラメの検証・結果によって、縦扁形の変形は十分可能と考えられる。

## 4.1 結果

### 4.1.1 クロダイ (紡錘形と側扁形の検証)

魚の形として一般的な紡錘形と側扁形の検証を行うため、クロダイを表現した入力形状を用意した。クロダイは稚魚よりも前の成長段階にあたる仔魚の後期において、変態過程を経て稚魚になる。そのため、変化の大きい仔魚から稚魚への変形を試みた。また、クロダイの仔魚から稚魚への成長ではあまり曲線的な変化をしないため、曲線的な変形は行わなかった。入力形状は図 2.6 の A、C、E を元に作成し、使用した入力形状は図 4.1 の 3 つである。

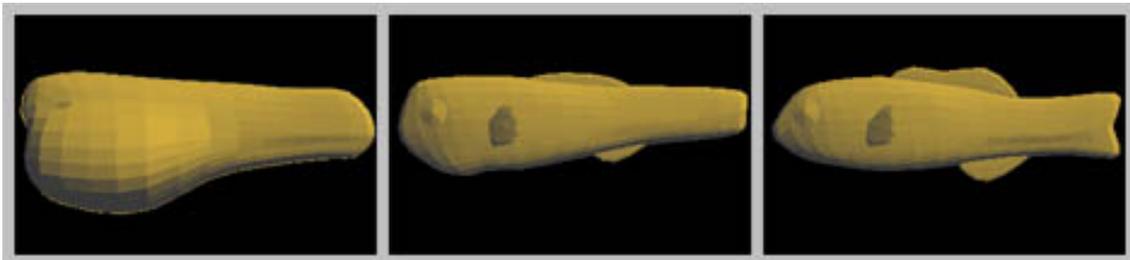


図 4.1: クロダイで使用した 3 つの入力モデル

変形グラフは、3 つの入力形状のうち、入力形状を 2 つずつ混合するテンプレートを使用し、図 4.2 のようにした。

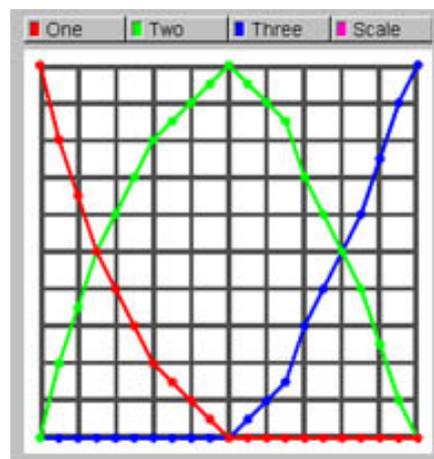


図 4.2: クロダイで使用した変形グラフ

結果は図 4.3 のとおりである。

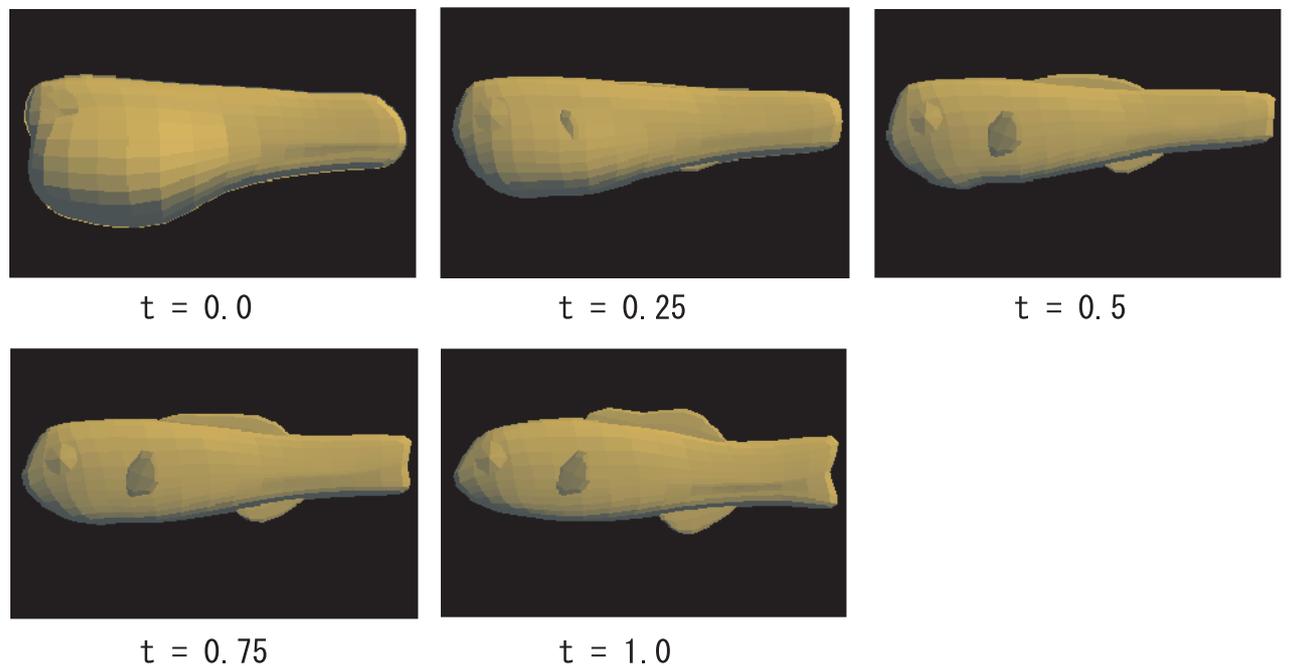


図 4.3: 本手法での出力されたクロダイの形状

3つの入力形状を同時に混合していないため、変形は直線的になるが、十分な精度で変形できた。より精度を上げたい場合、成長段階を表現した入力形状をより短い間隔で用意する、3つの入力形状を同時に混合することで曲線的な変形を行うといった対応策が考えられる。

#### 4.1.2 シマフグ (フグ形の検証)

丸みおびた形が特徴的なフグ形の検証を行うため、シマフグを表現した入力形状を用意した。シマフグは、稚魚よりも前の成長段階にあたる仔魚では比較的細長い形状を持つが、成長に伴い徐々に丸みおびる。成長の変化としては、比較的単調といえるため精度よりも効率を重視した形状変形を行った。入力形状は図 4.4 の A、B、C を元に作成し、使用した入力形状は図 4.5 の 3 つである。

「新版魚類学（下）改訂版」，  
P1027， 図 67・16

A：ふ化直後の仔魚 (全長 2.65mm)	B：稚魚 (全長 12.2mm)
C：稚魚 (全長 25.8mm)	

図 4.4: シマフグの仔稚魚 (藤田、1962)

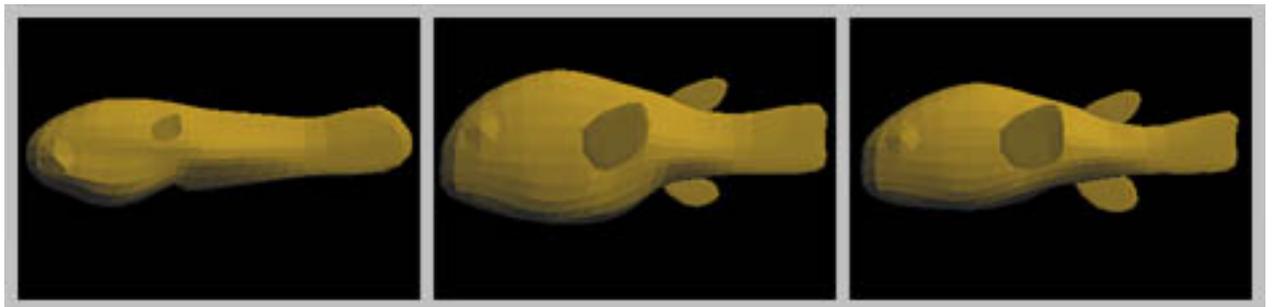


図 4.5: シマフグでを使用した 3 つの入力モデル

変形グラフは、3 つの入力形状のうち、入力形状を 2 つずつ混合するテンプレート  
を使用し、図 4.6 のようにした。

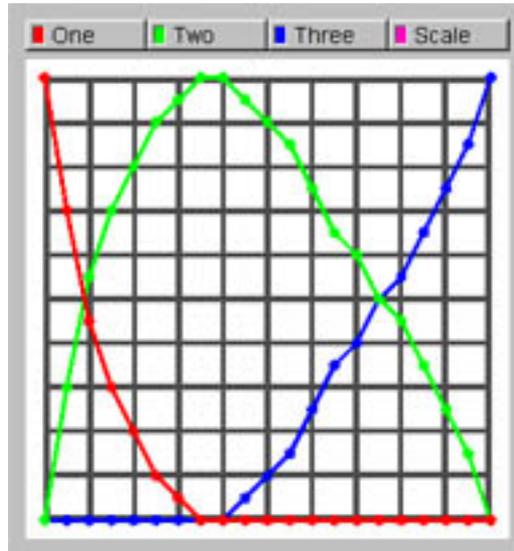


図 4.6: シマフグで使した変形グラフ

結果は図 4.7 のとおりである。

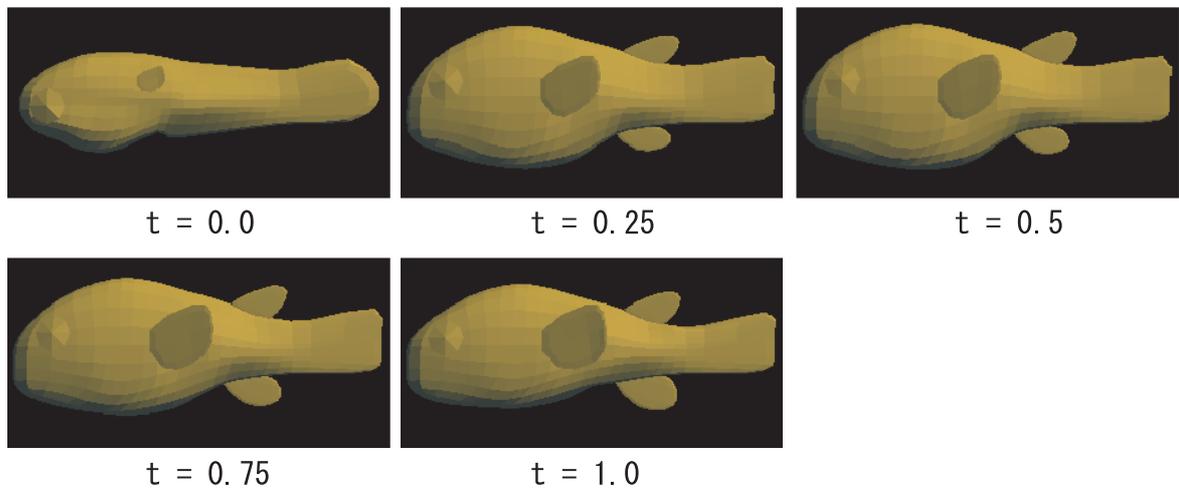


図 4.7: 本手法での出力されたシマフグの形状

3つの入力形状を同時に混合していないため、変形は直線的になるが、十分な精度で変形できた。

### 4.1.3 クロアナゴ (ウナギ形の検証)

細長い形が特徴的なウナギ形の検証を行うため、変態を行うクロアナゴを表現した入力形状を用意した。クロアナゴの体形は、背腹の方向に高くなり左右に薄くなったような形から、成長に伴い、全体的に丸みおびてくる。また、背ビレは成長に伴い、体の半分より著しく後方から胸びれの先端部上方まで移動する。入力形状は図 2.7 の A、E、I を元に作成し、使用した入力形状は図 4.8 の 3 つである。

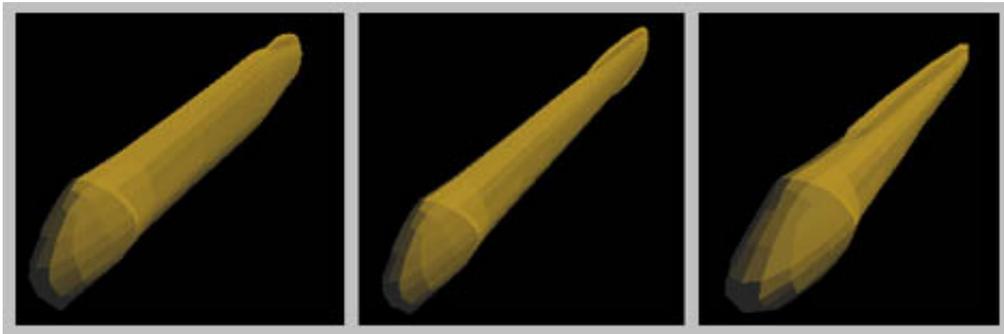


図 4.8: クロアナゴで使用した 3 つの入力モデル

変形グラフは、3 つの入力形状のうち、入力形状を 2 つずつ混合するテンプレートを使用し、図 4.9 のようにした。

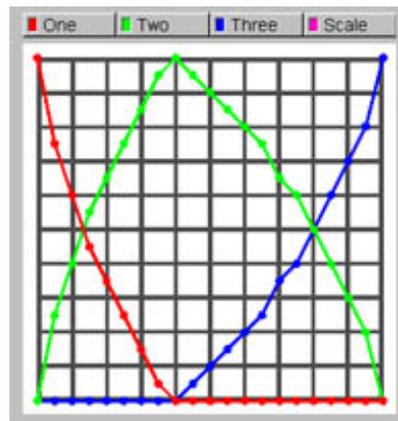


図 4.9: クロアナゴで使用した変形グラフ

結果は図 4.10 のとおりである。

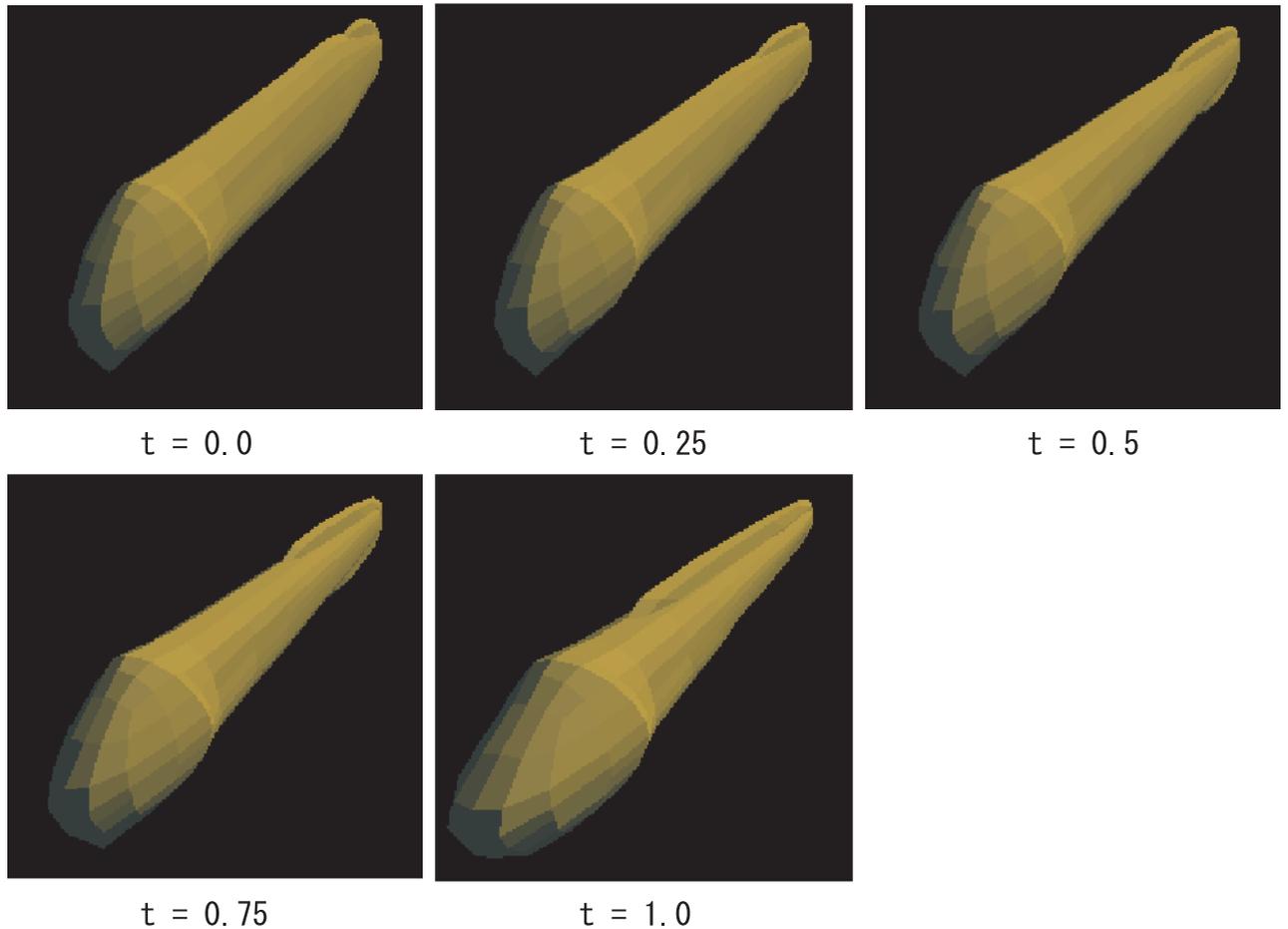


図 4.10: 本手法での出力されたクロアナゴの形状

3つの入力形状を同時に混合していないため、変形は直線的になるが、成長に伴い全体的に丸み帯びてくる様子や背ビレが体の半分より著しく後方から前方へと移動してくる様子が高い精度で実現できた。

#### 4.1.4 ヒラメ (ヒラメの検証)

きわめて特殊な変態を行い、縦扁形に近い形状特性を持つヒラメの検証を行うため、ヒラメを表現した入力形状を用意した。ヒラメは、全長 11mm 前後になると変態が始まる。体の左右対象性は崩れだし、右眼が頭の前背方へ移動する。体長 12mm 前後になると右眼は背正中線上に達する。そして、体長 13mm 前後になると右眼は完全に左側へ移動する。このようにヒラメの成長における最大の特徴

は、右眼が体の上部を回り込むように、体の左側へ移動することにある。

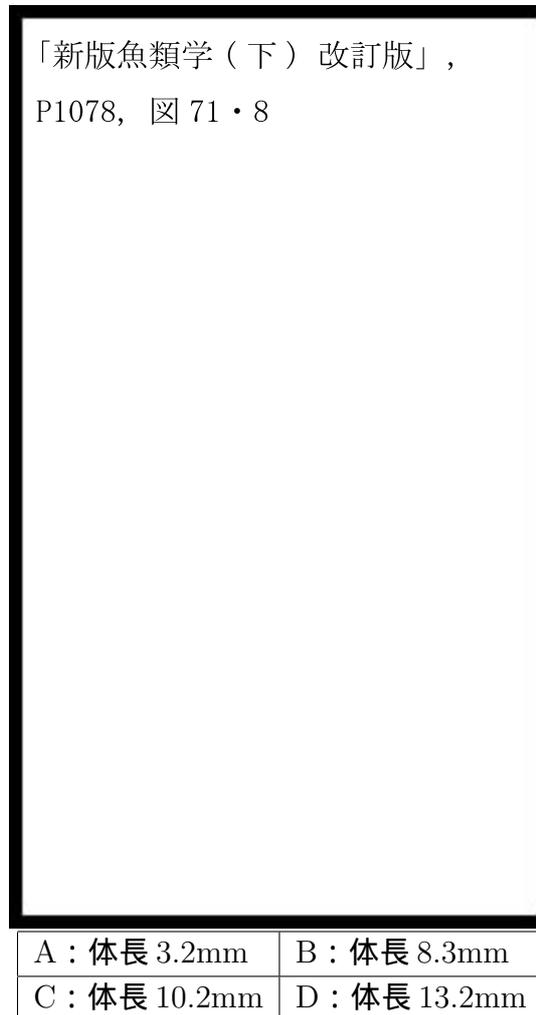


図 4.11: ヒラメの仔稚魚 (南、1982)

そこで、体の表面を回りこむような変形を試みた。入力形状は図 4.11 の B、C、D を元に作成し、使用した入力形状は図 4.12 の 3 つである。

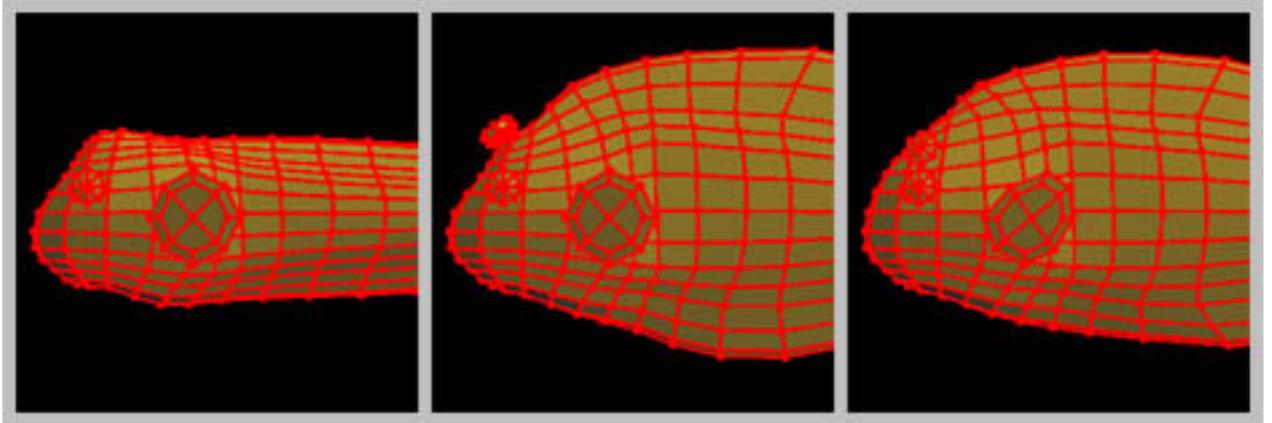


図 4.12: ヒラメで使用した 3 つの入力モデル

変形グラフは、3 つの入力形状を同時に混合するテンプレートを使用し、図 4.13 のようにした。

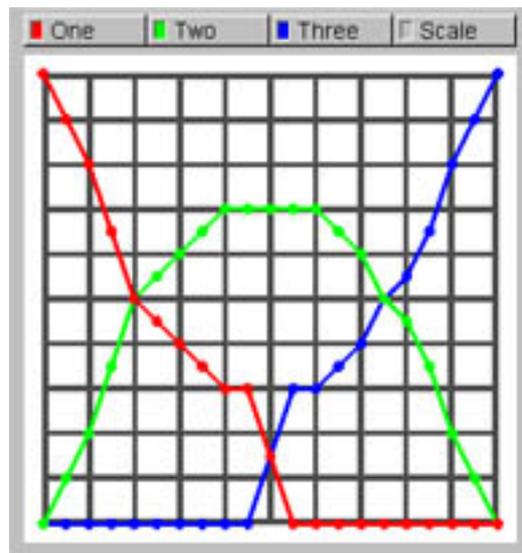


図 4.13: ヒラメで使用した変形グラフ

結果は図 4.14 のとおりである。

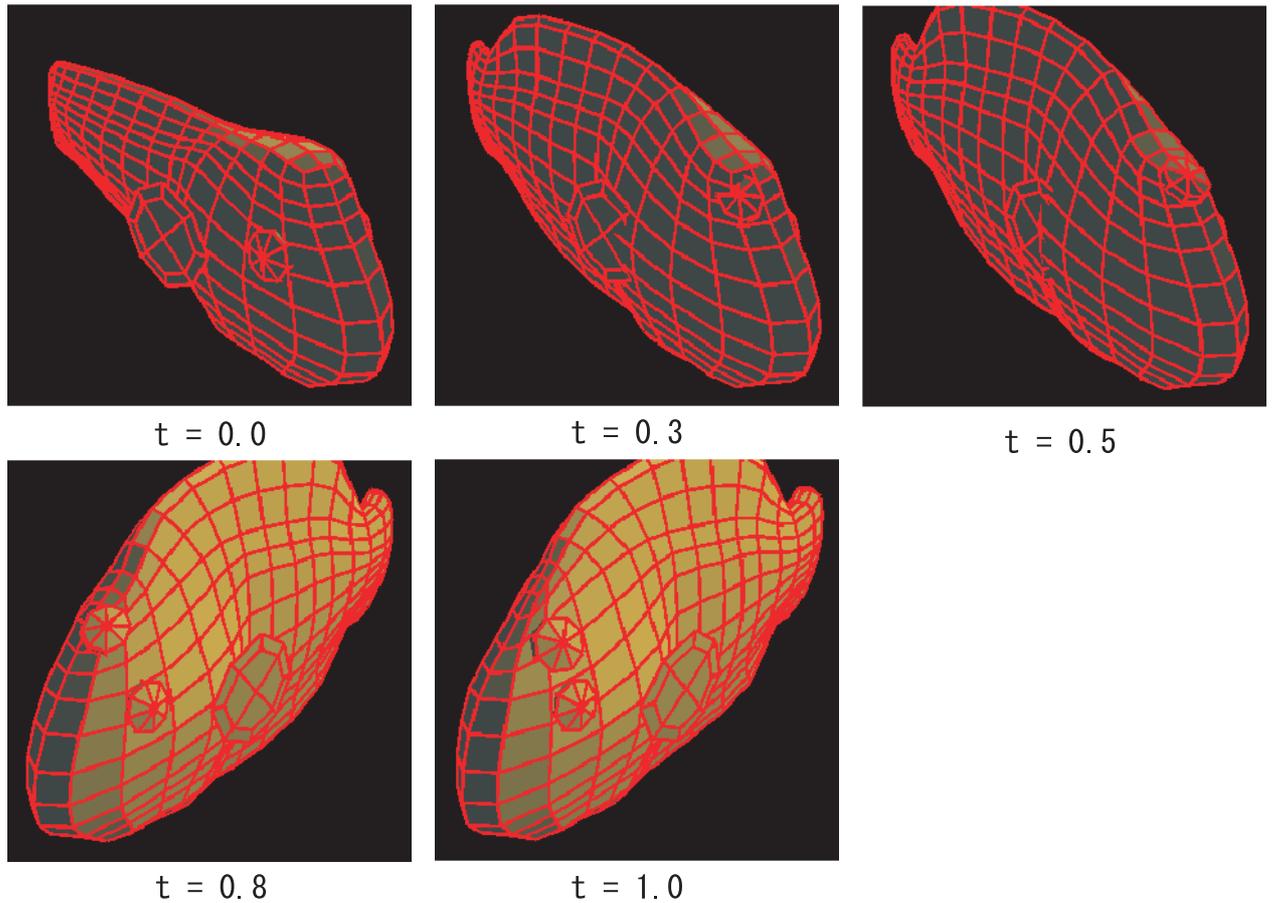


図 4.14: 本手法での出力されたヒラメの形状

3つの入力形状を同時に混合することで、眼が体の表面を回りこむような曲線的な変形を表現できた。しかし、検証の結果、3つの入力形状を同時に混合することで曲線的な変形を実現するには、入力形状に対し多少の工夫が必要であることが判明した。具体的な工夫としては、その成長段階の特徴をより強調した入力形状を作成する必要があるということである。そのため、図 4.12 の中央に表示された入力モデルは、体から眼がすこし飛び出したような形状になっている。

## 4.2 考察

ここでは、本章 1 節の検証の結果判明した、曲線的な形状変形を行う際に必要となる入力形状の工夫点について詳しく述べる。曲線的な変形を行う場合、頂点は図 4.15 の点線で示したような変形経路をたどる必要がある。しかし、3 つの入力形状の混合率は合計で 100% でなければならないという制約から、実際に変形可能な範囲は灰色で示した三角形の領域となる。そのため、本手法で実現可能な曲線的な変形経路は図 4.15 の赤線で示したものとなる。図 4.15 において中間の成長段階を表現した入力形状の混合率を 100% にした場合、曲線的な変形をすることができない。

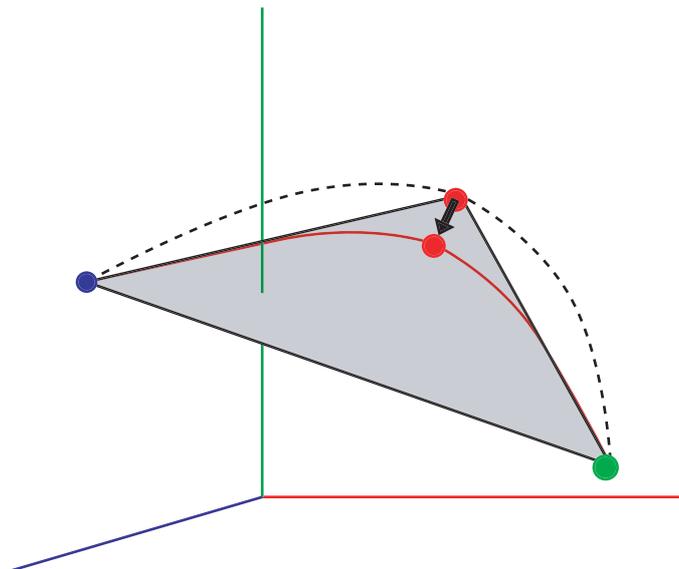


図 4.15: 3 つの形状の混合による変形可能領域

つまり、曲線的な変形を行うには、中間の成長段階を表現した入力形状の混合率は 100% 未満にする必要があるため、常に他の 2 つの入力形状からの影響を受けることになる。そのため、中間の成長段階を表現した入力形状は、成長段階の特徴をより強調した入力形状を作成する必要がある。曲線的な変形を行ったヒラメの検証では、中間の成長段階を表現した入力形状 (図 4.12 中央) の眼が体からすこし飛び出したような形状になっている。このような対応を行っているため、中間の

成長段階を表現した入力形状の混合率の最大値が70%であるにもかかわらず、眼が体を突き抜けず、体の表面を回りこむような変形を可能としている。

## 第 5 章

### まとめ

モーフィングは、何か変化している様子を表現する場合、とても有効な手法である。本研究では、モーフィングを利用し、魚の成長の様子を表現する 3 次元形状の効率的な生成を試みた。しかし、魚の成長を表現する場合、対応する頂点位置が曲線的に変化する、魚の種類に応じて稚魚から成魚への成熟期が異なるといった魚の成長の特性に対し、通常のモーフィングでは柔軟に対応することができなかった。そこで本研究では、曲線的な変化を実現するために提案した 3 つの入力形状を混合する手法をベースに、形状変形グラフや成長曲線の導入を提案した。

本手法により、魚種による体形の違い、成長による体形の変化、といった魚の成長特性に対して柔軟な変形が可能となった。実際に、様々な種類の魚において入力形状を用意し、検証を行った結果、曲線的な変化を考慮に入れた柔軟な変形が可能であった。以上のことから、本研究の目的である、魚の成長の様子を表現する 3 次元形状の効率的な生成は達成できたと言える。

さらに柔軟な変形を可能にする方法としては、入力形状の頂点ごとに混合率を設定していく方法が考えられる。この方法を実現することで、頭部、眼、背びれや胸びれといった体の部位単位でも、柔軟な変形が可能となる。しかし、利用者がより多くの入力操作を必要とするという問題点もある。今後は、より柔軟な変形を可能とすると共に、より容易な操作環境を実現していきたい。

# 謝辞

本論文を締めくくるにあたり、ご指導頂きました本校メディア学部の渡辺大地講師および和田篤氏（電気通信大学）に心より深く感謝いたします。

また、本校アクアプロジェクトを通じ、本研究のサポートをしていただいた本校メディア学部の若林尚樹教授、本校クリエイティブラボの高橋里奈氏、および新江ノ島水族館の植田育男氏に心より感謝いたします。

さらに、本研究を進めるにあたり、相談に乗っていただいた本校アクアプロジェクトのメンバー、および研究室のメンバーに深く感謝いたします。

最後に、私を支えてくれた家族と、全ての友人に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] James D.Foley, Andries van Dam, Steven K.Feiner, John F.Hughes 共著, 佐藤義雄 監訳, 「コンピュータグラフィックス理論と実践」, オーム社, 2001.
- [2] J.WEBER, and J.PENN, "Creation and rendering of realistic trees ", Proc. SIGGRAPH95, pp.119-128, 1995.
- [3] Kavita Bala Satyan Coorg, "Modeling Stalcite and Stalag-mite Formation", Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [4] Youichi Horry, Ken-ichi Anjo, Kiyoshi Arai, " Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image ", Proc. SIGGRAPH 97, pp.3-8, 1997.
- [5] 松原喜代松・落合明・岩井保, 「新版魚類学(上)」, 恒星社厚生閣, 1979.
- [6] 落合明・田中克, 「新版魚類学(下)改訂版」, 恒星社厚生閣, 1998.
- [7] 岩井保, 「水産脊椎動物 魚類」, 恒星社厚生閣, 1985.
- [8] ともなが たる, なかの ひろみ, まつざわ せいじ, 「さかなのかたち」, アリス館, 2005.
- [9] ともなが たる, なかの ひろみ, まつざわ せいじ, 「さかなのじかん」, アリス館, 2005.

- [10] Aaron W. F. Lee, David Dobkin, Wim Sweldens, Peter Schroder, "Multiresolution Mesh Morphing", SIGGRAPH 99 Computer Graphics Proceedings, pp.343-350, 1999.
- [11] Emil Praun, Wim Sweldens, Peter Schroder, "Consistent Mesh Parameterizations", Proc. SIGGRAPH 2001, pp.179-184, 2001.
- [12] Takashi Michikawa, Takashi Kanai, Masahiro Fujita, Hiroaki Chiyokura, "Multiresolution Interpolation Meshes" Proc. Pacific Graphics 2001, pp.60-69, 2001.
- [13] Tong-Yee Lee and Po-Hua Huang, "Fast and Intuitive Metamorphosis of 3D Polyhedral Models Using SMCC Mesh Merging Scheme", IEEE Transactions on visualization and computer Graphics, vol.9, No.1 January-March 2003.
- [14] Tong-Yee Lee and Po-Hua Huang, "Metamorphosis of 3D Polyhedral Models Using Progressive Connectivity Transformations", IEEE Transactions on visualization and computer Graphics, vol.11, No.1 January/February 2005.
- [15] 川井雅典, 向山明夫, 大淵竜太郎, "形状特徴の詳細度を考慮した 3次元メッシュモデルの補間変形", 情報処理学会報告会報告 Vol.2002 No.19, pp.31-36.
- [16] Paul J. Besl, and Neil D. McKay, "A Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol.14, No.2, February 1992
- [17] 赤嶺達郎・麦谷泰雄 編, 「日本水産学会監修 水産動物の成長解析」, 恒星社厚生閣, 1997.
- [18] 加藤健太, "東部太平洋で漁獲されたメバチ (Thunnus obesus) の耳石日周輪について (短報)", 神水研報, 6, 67-70, 2001
- [19] 渡辺大地, FK Tool Kit System Ver 2.7.11.4 for VisualC++ .NET2003.