

2005年度 卒業論文

リアルタイム3DCGにおける
密集した魚群の遊泳表現に関する研究

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 M0102434

石塚 拓磨

2005年度 卒業論文概要

論文題目

リアルタイム3DCGにおける
密集した魚群の遊泳表現に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0102434

氏名

石塚 拓磨

指導
教員

渡辺大地 講師

キーワード

魚群、boidモデル、フロッキング、AI、リアルタイム3DCG

近年CGの映像表現技術の進歩によりコンピュータ上で簡単にCGアニメーションを制作することが出来るようになった。その中には群れのように多くの物体の動きを取り入れたものもある。しかし多くの物体の動きを表現する場合、物体の制御を制作者の手によって設定するのは非常に困難な作業である。そのためコンピュータ上で効率よく群れの動きを表現するためには、群れの移動の自動的な制御が必要である。

これを実現する手法としてReynoldsが考案したboidモデルがある。このモデルは3つの簡単なルールによって群れを形成することが出来るアルゴリズムである。現在では鳥や魚などの様々な群れの動きを表現する手法の1つとして多くの制作者がこのboidモデルを利用している。しかしboidモデルには様々な群れの動きを表現するための汎用性があるが、群れの種類を限定したり、より本物に近い群れの動きを表現するためにはboidモデルを用いただけでは表現することが難しい。そのような群れの動きを表現するためにboidモデルを拡張・改善する研究が行われている。

魚の群れの動きを表現する研究の多くは、boidモデルに各々の提案した手法を加えることで魚の群れの動きを表現している。またこれらの研究の多くは一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現しているものが多い。一方魚の群れの中でもマイワシのような小魚の群れは一定のエリアに留まり遊泳することがある。既存研究ではこのような群れの動きを表現する手法が提案されていない。そこで本研究ではマイワシの群れのように一定のエリアに留まったり、一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現する。

この群れの動きを表現するために本研究ではboidモデルのルールを拡張し、表現する群れの種類によって切り替えた。拡張したルールには個々の魚を群れの内側へ引き寄せるための引力、個々の魚を群れの外側へ押し出すための斥力、群れの内側と外側で個々の魚の移動速度を変化させる速度制御のルールを拡張した。この拡張したルールは3次元空間内に用意した仮想的な力点を元に個々の魚に与えた。

以上の拡張したルールを用いることで本研究の目的である一定のエリアに留まる遊泳する群れの動きと従来表現されていた一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現することが出来た。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	概要と目的	1
1.2	本論文の構成	3
第2章	魚群	4
第3章	魚群の表現方法	8
3.1	boidモデル	8
3.2	拡張したルール	11
第4章	評価	16
4.1	一定のエリアに留まる群れの動き(1)	17
4.2	遊泳する群れの動き	20
4.3	一定のエリアに留まる群れの動き(2)	22
4.4	考察	24
第5章	まとめ	25
	謝辞	27
	参考文献	28

目 次

2.1	school	5
2.2	マイワシの群れ (1)	5
2.3	マイワシの群れ (2)	5
2.4	マイワシの群れ (3)	5
2.5	空間内を自由に遊泳する群れ	6
2.6	一定のエリアに留まる群れ	6
2.7	群れの内側へ潜る行動	6
2.8	群れの外側へ押し出される行動	6
3.1	Cohesion (結合)	9
3.2	Separation (引き離し)	9
3.3	Alignment (整列)	10
3.4	拡張したルール	11
3.5	一定のエリアに留まる群れ	12
3.6	群れの内側へ潜る様子	12
3.7	引力による作用	12
3.8	群れの外側へ押し出される様子	13
3.9	斥力による作用	13
3.10	速度制御	14
4.1	実行画面	17
4.2	一定のエリアに留まる群れ (0 秒)	17
4.3	一定のエリアに留まる群れ (10 秒後)	17
4.4	一定のエリアに留まる群れ (20 秒後)	18
4.5	一定のエリアに留まる群れ (30 秒後)	18
4.6	一定のエリアに留まる群れ (40 秒後)	18
4.7	一定のエリアに留まる群れ (50 秒後)	18
4.8	一定のエリアに留まる群れ (60 秒後)	19
4.9	一定のエリアに留まる群れ (70 秒後)	19
4.10	一箇所に留まらずに遊泳する群れ (80 秒後)	20
4.11	一箇所に留まらずに遊泳する群れ (90 秒後)	20

4.12	一箇所に留まらずに遊泳する群れ (100 秒後)	20
4.13	一箇所に留まらずに遊泳する群れ (110 秒後)	20
4.14	一箇所に留まらずに遊泳する群れ (120 秒後)	21
4.15	一定のエリアに留まる群れの動き (130 秒後)	22
4.16	一定のエリアに留まる群れの動き (140 秒後)	22
4.17	一定のエリアに留まる群れの動き (150 秒後)	22
4.18	一定のエリアに留まる群れの動き (160 秒後)	22
4.19	一定のエリアに留まる群れの動き (170 秒後)	23
4.20	一定のエリアに留まる群れの動き (180 秒後)	23
4.21	一定のエリアに留まる群れの動き (190 秒後)	23

第 1 章

はじめに

1.1 概要と目的

近年 CG の映像表現技術の進歩によりコンピュータ上で簡単に CG アニメーションを制作することが出来るようになった。これにより映画やゲームなどの映像はより現実に近い状態まで表現出来るようになってきている。しかし CG アニメーションの中には群れのように多くの物体の動きを取り入れたものもある。この動きを表現するために利用する手法の多くは物体の移動制御のほとんどを制作者の手に頼っている。例えばモーションパス [1] がある。モーションパスは制作者が空間上にパス（経路・軌道）を描き、そのパスに沿って物体が移動していく手法である。この手法では 1 つ 1 つの物体の動きを制作者の手で設定している。そのためこの手法を用いた場合、群れのように個体数が多く動きが複雑な物体の動きを自然に見せるのは非常に困難である。このような事からコンピュータ上で効率よく群れの動きを表現するためには、自動的な制御が必要であると考えられる。

群れの動きをコンピュータ上で自動的に表現する手法として Reynolds が考案した boid モデル [2, 3, 4] がある。この boid モデルは個々の物体が群れに近づくための Cohesion（結合）、物体が他の物体に衝突する場合に離れる Separation（引き離し）、物体の周りにいる他の物体と速度・向きを揃える Alignment（整列）の 3 つの簡単なルールを用いて、個々の物体が群れを形成する動きを表現した。現在では鳥や魚などの様々な群れの動きを簡単に表現する手法の 1 つとして多くの制作

者が boid モデルを利用している。しかし boid モデルは 3 つの簡単なルールにより群れの基本的な動きを表現するための汎用性があるが、表現する群れの種類を限定したり、より本物に近い群れの動きを表現するためには boid モデルを用いただけでは表現することは難しい。そこでより本物に近い群れの動きを表現するための研究が行われており、中でも boid モデルを改善・拡張した研究が多く行われている。

魚の群れの動きを表現した研究に関しても、boid モデルを改善・拡張した研究が多く行われている。松延ら [5] は、boid モデルに自己組織化理論を用いて、魚が群れを形成する際に中心となる魚が存在しないリーダー不在性、敵に襲われた際の個体間の情報伝達や逃避行動の表現を行った。水森ら [6] は、自己組織化理論や浸透理論を魚の群れに用いることで、生物学者達の研究を通して提案されてきた魚の群れの特徴である個々の魚が周りにいる他の魚との位置関係を一定に保とうとする定位性、魚が群れを形成する際に中心となる魚が存在しないリーダー不在性、個々の魚が一斉にある方向に並行に並ぶ極性化の表現を行った。小林ら [7] は、魚の群れの動きを自然界に近い形で表現するために boid モデルを参考にし、群れ内の衝突回避、視界内の中心への集合、目標物の追跡、障害物の回避、他の群れからの影響、水面・水底などの境界線から受ける影響の 6 つのルールに改良した新たな boid モデルを提案した。Tu ら [8] は、物理法則、移動運動、知覚、振る舞いを取り入れることで、ヒレの動き、泳ぎ方、視覚、捕食の行動を可能とする魚のモデル化を行い、魚の振る舞いを表現した。佐藤ら [9] は、2 種の魚が互いに競争関係にある状況において、それぞれの個体数の変化を支配する法則を取り入れ、時間とともに個体数を変化させる群れの表現を行った。

boid モデルの他にも魚の群れを形成するモデルがある。Y. Inada ら [10] の考案したモデルは近傍個体との関係により各個体が好む移動方向の変化により群れの動きを制御したものである。衝突回避、並行運動、救心運動の 3 つの行動決定領域を個々の魚に与えた。また行動決定領域内の他の魚が存在しない場合は、他の魚を探索するために遊泳方向を変化させる群れの表現を行った。

魚の群れの動きに関する既存研究の多くは、一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現しているものが多い。一方で実際の魚の群れの動きには、一箇所に留まらずに遊泳する群れの動き以外にもマイワシのような小魚に多く見られる一箇所に留まり遊泳する群れの動きがある。本研究ではこの群れの動きを一定のエリアに留まる群れの動きと呼ぶ。この一定のエリアに留まり遊泳する群れの動きは、個々の魚を円状に巡回させることで限られた範囲に群れを形成し維持する状態のことである。既存研究ではこのような群れの動きを表現する手法が提案されていない。そこで本研究ではマイワシのように群れが一定のエリアに留まったり、一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現することを目的とする。

この群れの動きを表現するために本研究では boid モデルのルールを拡張した。拡張したルールには個々の魚を一定のエリアに留めるために群れの外側にいる個々の魚を群れの内側へ潜らせる引力、群れの内側へ潜った他の魚の影響を受けて群れの外側へ押し出される斥力、群れの内側と外側で個々の魚の移動速度を変化させる速度制御のルールがある。またこの拡張したルールを各個体に与えるために 3次元空間内に仮想的な力点を用意した。

以上の拡張したルールを用いることで本研究の目的である一定のエリアに留まり遊泳する群れの動きと従来表現されていた一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現することが出来た。

1.2 本論文の構成

本論文では、2章で本研究の対象とする群れの形と動きについて述べる。3章では対象とする群れの動きを表現するために boid モデルと boid モデルに拡張したルールについて述べる。4章では評価と考察を述べ、最後に5章でまとめを述べる。

第 2 章

魚群

この章では本研究の対象とする群れの形と動きについて述べる。

一般に魚の群れといってもその動きや習性、形状には様々なものがある。例えば整然と海洋を回遊する魚の群れ、集魚灯に引き寄せられる魚の集団、海の潮や川の強い流れに流されて集まる小魚の群れなど、私たちは一様に魚の群れと呼んでいる。そこでこの群れの状態を分類するために、多くの生物学者が魚の群れについて研究を行っている。その中で最初に魚の群れの状態を分類したのが生物学者の Breder である。Breder は群れに関して solitary、aggregation、school、pod の 4 つの状態に分類した。solitary は魚が単独で泳いでいる状態、aggregation は個々の魚が漠然と集まった状態、school は全ての魚が同じ向きで一定の間隔を保ちながら移動する状態、pod は school を更に濃密にした集団で、個々の魚の向きがほぼ同じ又は異なった向きで移動する状態である。この Breder が分類した 4 つの群れの状態の中で、図 2.1 に図示した school の状態が通常多くの魚に見られる魚の群れの形とされている [11, 12]。

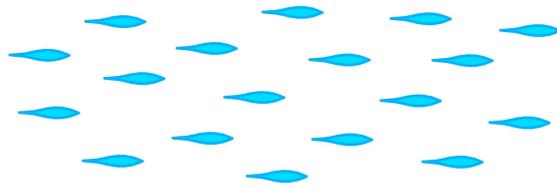


図 2.1: school

図 2.1 の school の状態は通常多くの魚が形成する群れの形である。しかし魚の群れの中でもマイワシのような魚は図 2.1 で図示した群れの形以外にも群れを形成する。

図 2.2 から図 2.4 は水族館で撮影したマイワシの群れの様子である。



図 2.2: マイワシの群れ (1)



図 2.3: マイワシの群れ (2)



図 2.4: マイワシの群れ (3)

マイワシの群れは図 2.2 から図 2.4 のように複数の魚が密集して群れを形成している。このとき群れに加わる魚の数は数千尾にもおよび、個々の魚が密集して1つ

の大きな塊となって群れを形成する。この状態でマイワシは一箇所に留まらずに遊泳する群れの形と一定のエリアに留まる群れの形を形成する。

図 2.5、図 2.6 はマイワシの群れの形を真上から図示したものである。

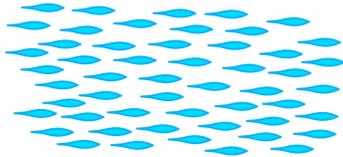


図 2.5: 空間内を自由に遊泳する群れ

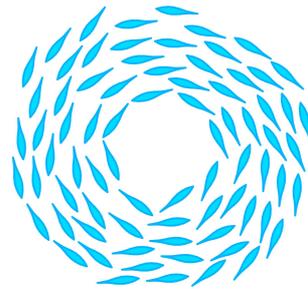


図 2.6: 一定のエリアに留まる群れ

図 2.5 は通常多くの魚が形成する school の状態を更に濃密にした pod の状態に近い群れの形を図示したものである。これはマイワシが一箇所に留まらずに遊泳する群れの形である。しかしマイワシは図 2.5 以外の群れの形も形成する。図 2.6 はマイワシの群れに見られる一定のエリアに留まる群れの形を図示したものである。これは個々の魚を円状に旋回させることで限られた範囲に群れを形成し維持する群れの形である。

また図 2.6 の一定のエリアに留まる群れの形を形成する際に個々の魚は群れの中で図 2.7、図 2.8 で図示した行動を行う。

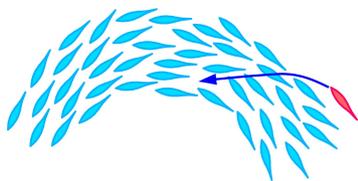


図 2.7: 群れの内側へ潜る行動

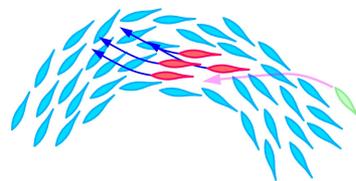


図 2.8: 群れの外側へ押し出される行動

図 2.7、図 2.8 は、図 2.6 の一定のエリアに留まる群れの形の一部分を拡大した

ものである。図 2.7 は一定のエリアに留まり群れを形成した個々の魚が群れの内側へ潜る行動を図示したものである。赤色が群れの内側へ潜る魚、青色の矢印が群れの内側の移動先を示す。図 2.8 は群れの内側へ潜った魚の影響を受けて、群れの内側の他の魚が群れの外側へ押し出される行動を図示したものである。黄緑色が群れの内側へ潜る魚、紫色の矢印が黄緑色の魚の移動先、赤色が黄緑色の魚の影響を受ける魚、青色の矢印が群れの外側へ押し出される魚の移動先を示す。

また図 2.6 の一定のエリアに留まる群れを形成する際に個々の魚は群れの中で移動速度を変化させている。群れの内側では多くの魚が密接になっているため個々の魚の移動出来る範囲が限られてしまい、移動速度が遅くなってしまふ。逆に群れの外側では魚が密接しているが個々の魚の移動出来る範囲が広いため、移動速度が速くなることがある。

第 3 章

魚群の表現方法

この章では魚の群れを形成するために用いた boid モデルと boid モデルに拡張したルールについて述べる。

魚は群れを保つために 2 つの行動規則を持っていると考えられている。1 つは個々の魚は隣の魚がそれ以上近づくことが出来ない一定の最小接近距離をもって、自分の周りに何も無い空間を保とうとする行動である。もう 1 つは個々の魚は自分にもっとも近い他の魚と向きを保とうとする行動である [13]。

このような行動規則をもとに魚が群れを形成していることから、基本的な群れの形成には簡単なルールにより群れを形成することが出来る boid モデルを用いた。さらに本研究では boid モデルの拡張を行うことで、マイワシのような魚の群れの動きを表現した。

3.1 boid モデル

boid モデルは 1987 年に Reynolds によって考え出されたアルゴリズムである [2, 3, 4]。boid モデルは Cohesion (結合)、Separation (引き離し)、Alignment (整列) の 3 つのルールを個々の個体に与え、個々の個体から一定の範囲内にいる仲間と相互に影響を及ぼしあうことで、全体として群れの動きを簡単に表現することが出来る手法である。

Cohesion (結合) は、仲間から離れてしまわないように範囲内にいる仲間の中心へ移動するものである。図 3.1 は自身が範囲内にいる仲間の中心へ移動する様子を図示したものである。

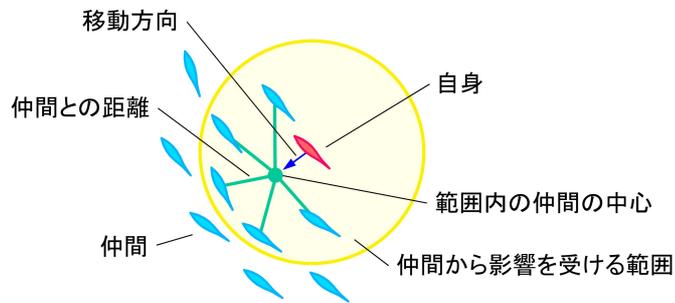


図 3.1: Cohesion (結合)

範囲内にいる仲間の位置から中心を求め、影響を受けた自身がその方向へ移動する。赤色が自身、青色の矢印が移動方向、黄色が仲間から影響を受ける範囲、緑色の線が範囲内の仲間との距離、緑色の点が範囲内の仲間の中心、水色が仲間を示している。

Separation (引き離し) は、仲間と衝突しないように範囲内にいる仲間と距離をあけようとするものである。図 3.2 は自身が範囲内にいる仲間と距離を開けようとする様子を図示したものである。

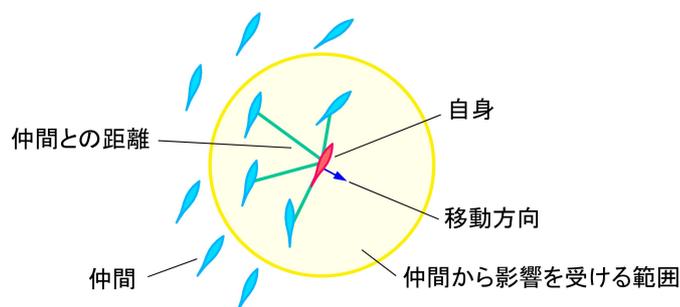


図 3.2: Separation (引き離し)

範囲内にいる仲間と自身の距離を求め、影響を受けた自身がその反対の方向へ移動する。赤色が自身、青色の矢印が移動方向、黄色が仲間から影響を受ける範囲、緑色の線が仲間との距離、水色が仲間を示している。

Alignment (整列) は、範囲内の仲間と速度や向きを合わせる。図 3.3 は自身が範囲内の仲間と速度・向きを合わせる様子を図示したものである。

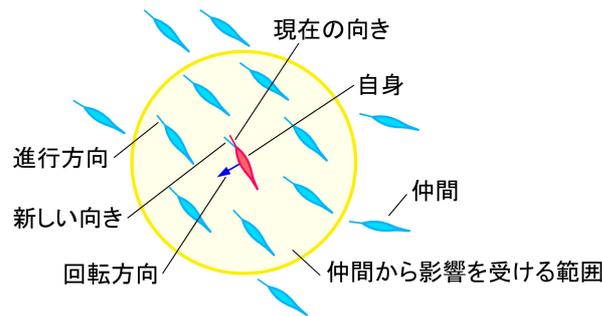


図 3.3: Alignment (整列)

範囲内にいる仲間の進行速度、進行方向角の平均をとり、自身の速度、向きを仲間と合わせるものである。赤色が自身、青色の矢印が回転方向、黄色が仲間から影響を受ける範囲、自身から伸びるオレンジ色の線が進行方向、水色が仲間を示している。

boid モデルは上記の 3 つのルールによって求められた各速度ベクトルを合計し、その合計した速度ベクトルを個々の個体の現在の位置ベクトルに足し合わせることで新しい移動方向を求めている。式 3.1、式 3.2 は boid モデルの次の瞬間の移動方向を求めるために用いた式である。ベクトル V'_i は次の瞬間の速度ベクトル、ベクトル P'_i は次の瞬間の位置ベクトルを示している。

$$V'_i = V_i + C_i + S_i + A_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.1)$$

$$P'_i = P_i + V'_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.2)$$

ベクトル C_i は Cohesion (結合)、ベクトル S_i は Separation (引き離し)、ベクトル A_i は Alignment (整列)、ベクトル V_i は古い速度ベクトル、ベクトル P_i は古い位置ベクトルを示している。

3.2 拡張したルール

マイワシのように個体数が多く動きが複雑で、密集した群れの動きを表現するために boid モデルの拡張を行った。そこで本研究では 2 章で示した群れの形や動きを表現するために boid モデルのルールを拡張した。

本研究では拡張したルールを以下のように定義し、図 3.4 にその様子を示した。

- 引 力：個々の魚を群れに近づけるための力
- 斥 力：個々の魚を群れから遠ざけるための力
- 速度制御：個々の魚の移動速度を変化させるための力
- 力 点：個々の魚の動きを制御する基礎

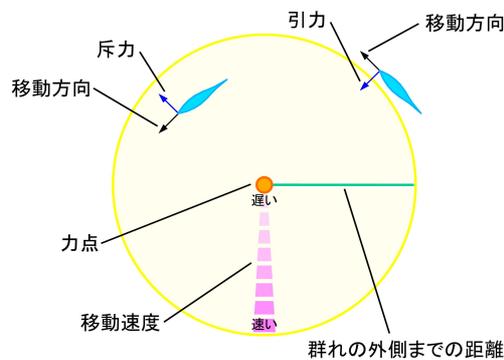


図 3.4: 拡張したルール

一定のエリアに留まる群れの動きを表現する際は、boid モデルと拡張したルールを用いた。

力点は、一定のエリアに留まる群れの動きを表現するために用意したものである。図 3.5 はオレンジ色の力点を中心に魚が一定のエリアに留まる様子を図示したものである。

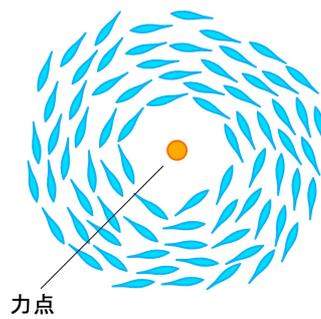


図 3.5: 一定のエリアに留まる群れ

このとき力点の位置は変化させずに群れの中心へ配置し、個々の魚との距離によって引力、斥力、速度制御のルールを与える働きをする。

引力は、個々の魚を一定のエリアに留まらせるために、群れの内側へ潜らせるための作用である。

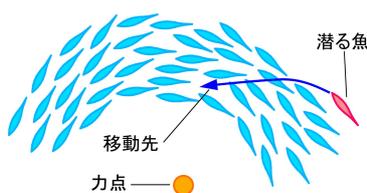


図 3.6: 群れの内側へ潜る様子

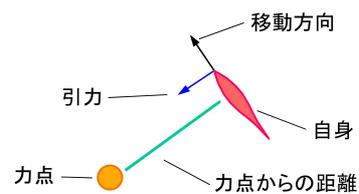


図 3.7: 引力による作用

図 3.6 はオレンジ色の力点から受けた引力の作用により、群れの外側にいる赤色の魚が青矢印のある群れの内側へ移動する様子を図示したものである。この作用を詳しく図示したものが図 3.7 である。オレンジ色の力点と赤色の自身との緑線の距離が大きいつき、黒矢印の移動方向に対して青矢印の引力が作用する。この作

用を個々の魚に与えることで群れの内側へ潜らせることができる。

式 3.3 は引力のベクトル M_i を求めるために用いた式である。

$$M_i = \begin{cases} 0 & (|\mathbf{F} - \mathbf{X}_i| < g_1) \\ \frac{\mathbf{F} - \mathbf{X}_i}{|\mathbf{F} - \mathbf{X}_i|} p_1 & (g_1 < |\mathbf{F} - \mathbf{X}_i| < g_2) \\ \frac{\mathbf{F} - \mathbf{X}_i}{|\mathbf{F} - \mathbf{X}_i|} p_2 & (g_2 < |\mathbf{F} - \mathbf{X}_i|) \end{cases} \quad (3.3)$$

$(i = 1, 2, \dots, m)$

\mathbf{F} は力点の位置ベクトル、 \mathbf{X}_i は個々の魚位置ベクトル、 g_1 と g_2 は、 $g_1 < g_2$ を満たす定数、 p_1 と p_2 は $p_1 < p_2$ を満たす定数で引力の強さを示している。

斥力は、群れの内側へ潜った魚の影響でその周りにいる他の魚が群れの外側へ押し出される際に働く作用である。

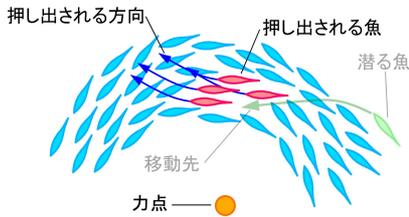


図 3.8: 群れの外側へ押し出される様子

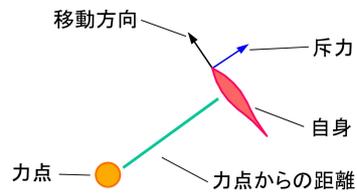


図 3.9: 斥力による作用

図 3.8 はオレンジ色の力点から受けた斥力の作用により、赤色の魚が青矢印の方向へ押し出される様子を図示したものである。この作用を詳しく図示したものが図 3.9 である。オレンジ色の力点と赤色の自身との緑線の距離が小さいとき、黒矢印の移動方向に対して青矢印の斥力が作用する。この作用を個々の魚に対して与えることで群れの外側へ移動させることができる。

式 3.4 は斥力のベクトル N_i を求めるために用いた式である。

$$\mathbf{N}_i = \begin{cases} 0 & (|\mathbf{F} - \mathbf{X}_i| < h_1, h_2 < |\mathbf{F} - \mathbf{X}_i|) \\ \frac{\mathbf{F} - \mathbf{X}_i}{|\mathbf{F} - \mathbf{X}_i|} q & (h_1 < |\mathbf{F} - \mathbf{X}_i| < h_2) \end{cases} \quad (3.4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, m \quad (i \neq j, h_1 < h_2))$$

$\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j$ は個々の魚の位置ベクトル、 \mathbf{F} は力点の位置ベクトル、 h_1 と h_2 は $h_1 < h_2$ を満たす定数、 q は定数で斥力の強さを示している。

速度制御は、群れの中にある個々の魚の移動速度を変化させるための作用である。群れの中では個々の魚の移動速度が異なるため、この作用を用いることで群れの内側の魚は移動速度を遅くすることが出来、群れの外側の魚は移動速度が速くすることが出来る。

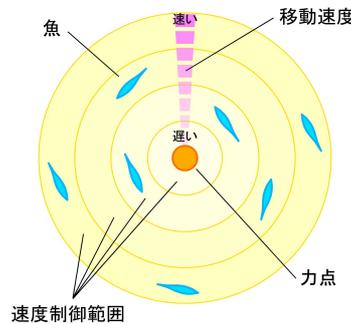


図 3.10: 速度制御

図 3.10 は個々の魚の移動速度を制御する様子を図示したものである。boid モデルの Alignment は周囲の仲間と速度を合わせるものであるが、ここでの速度制御とは力点からの距離によって、群れの内側の魚は移動速度を遅く、群れの外側の魚は移動速度を早くするために用いる作用である。図 3.10 はオレンジ色が力点、水色が個々の魚、黄色が一定間隔で示した速度制御範囲である。

式 3.5 は個々の魚の移動速度 w_i を求めるために用いた式である。

$$w_i = k_l \quad (i = 1, 2, \dots, m, \quad l = 1, 2, \dots, n \quad (d_l \leq |\mathbf{F} - \mathbf{X}_i| \leq d_{l+1})) \quad (3.5)$$

\mathbf{F} は力点の位置ベクトル、 \mathbf{X}_i は個々の魚の位置ベクトル、 k_l は $k_0 < k_1 < \dots < k_n$ を満たす数列、 d_l は $d_0 < d_1 < \dots < d_n$ を満たす数列を示している。

一定のエリアに留まる群れの動きを表現するために引力、斥力、速度制御のルールを boid モデルに拡張した。式 3.6、式 3.7 は拡張したルールにより次の瞬間の移動方向を求めるために用いた式である。ベクトル \mathbf{V}'_i は次の瞬間の速度ベクトル、ベクトル \mathbf{P}'_i は次の瞬間の位置ベクトルを示している。

$$\mathbf{V}'_i = \mathbf{V}_i + \mathbf{C}_i + \mathbf{S}_i + \mathbf{A}_i + \mathbf{M}_i + \mathbf{N}_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.6)$$

$$\mathbf{P}'_i = \mathbf{P}_i + \mathbf{V}'_i w_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.7)$$

ベクトル \mathbf{V}_i は古い速度ベクトル、ベクトル \mathbf{C}_i は Cohesion (結合)、ベクトル \mathbf{S}_i は Separation (引き離し)、ベクトル \mathbf{A}_i は Alignment (整列)、ベクトル \mathbf{M}_i は引力、ベクトル \mathbf{N}_i は斥力、ベクトル \mathbf{P}_i は 1 つ前の位置ベクトル、 w_i は速度制御の値を示している。

第 4 章

評価

この章では 3 章で述べたルールを実装し、その結果再現された群れの動きについて評価する。

本研究では boid モデルと boid モデルに拡張したルールを表現する 2 つの群れの動きによって切り替えた。一定のエリアに留まる群れの動きを表現する際は boid モデルと拡張したルールを用い、一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現する際は boid モデルと方向転換のルールを用いた。方向転換のルールは個々の魚が 3 次元空間内の障害物に衝突した場合に移動方向を変え、群れ全体の移動方向を変えるために用いたルールである。以上のルールを用いることで本研究の目的である群れの動きと従来の群れの動きを表現することが出来た。図 4.1 は実行したプログラム画面を図示したもので水色が魚、オレンジ色が力点を示している。今回は 600 匹の魚のモデルを用いて 2 種類の群れの動きを評価した。評価では一定のエリアに留まる群れの動きから一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きに切り替え、再度一定のエリアに留まる群れの動きに切り替えて行った。また評価に使用した図は左側が真上、右側が斜めから見た様子を示している。

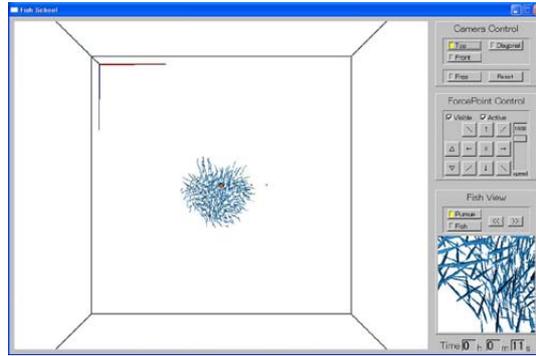


図 4.1: 実行画面

4.1 一定のエリアに留まる群れの動き (1)

以下の図は一定のエリアに留まる群れの動きを図示したものである。

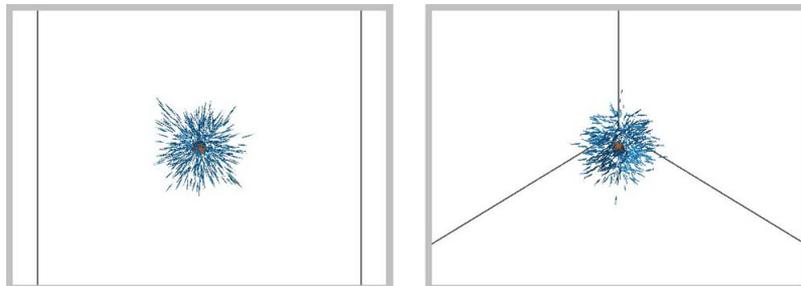


図 4.2: 一定のエリアに留まる群れ (0 秒)

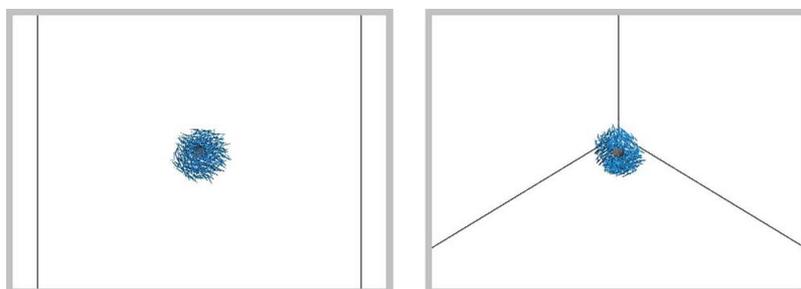


図 4.3: 一定のエリアに留まる群れ (10 秒後)

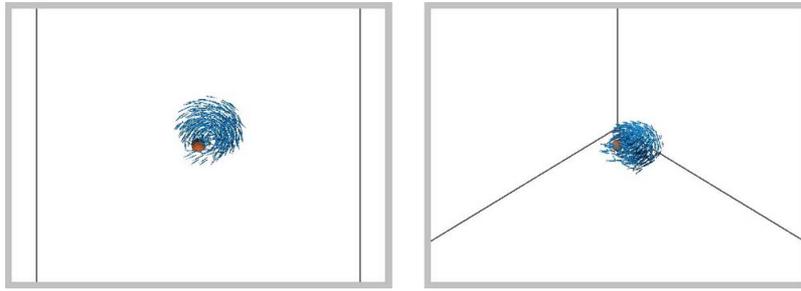


図 4.4: 一定のエリアに留まる群れ (20 秒後)

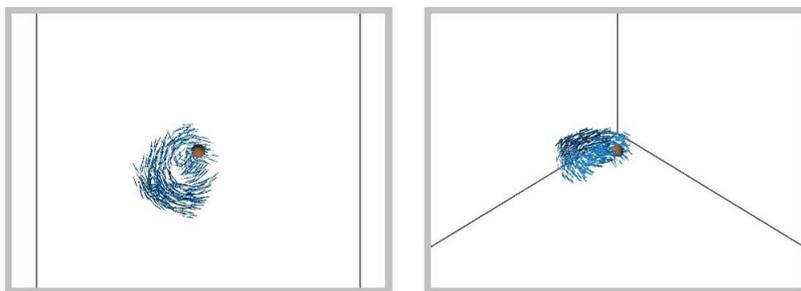


図 4.5: 一定のエリアに留まる群れ (30 秒後)

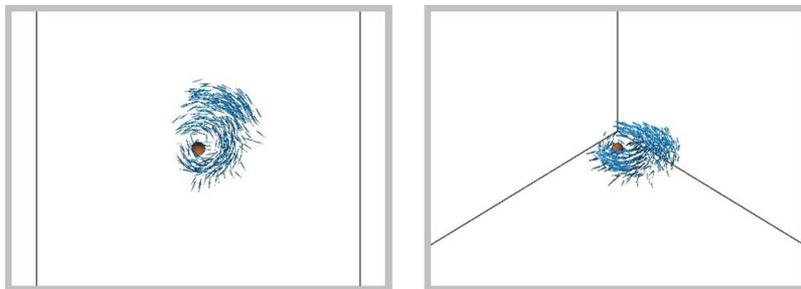


図 4.6: 一定のエリアに留まる群れ (40 秒後)

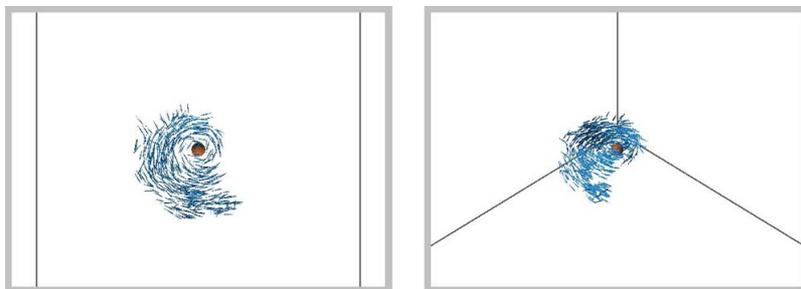


図 4.7: 一定のエリアに留まる群れ (50 秒後)

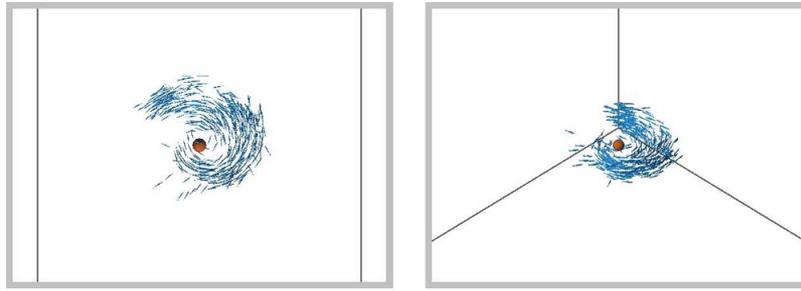


図 4.8: 一定のエリアに留まる群れ (60 秒後)

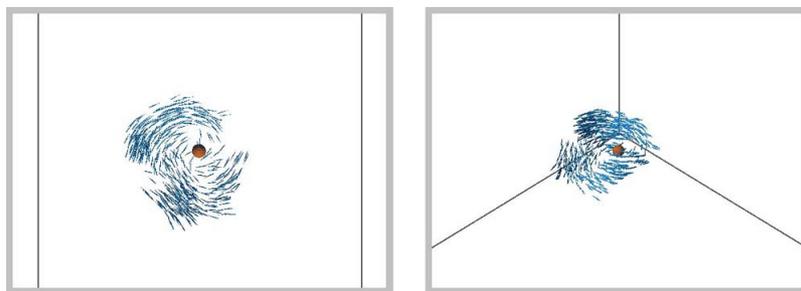


図 4.9: 一定のエリアに留まる群れ (70 秒後)

図 4.2 から図 4.9 は一定のエリアに留まる群れの動きを 10 秒ごとに図示したものである。この群れの動きを表現する際は力点の位置を 3 次元空間内の中心に固定し、boid モデル、引力、斥力、速度制御のルールを適用した。図 4.2 から図 4.4 は散らばっている個々の魚が徐々に力点からの作用を受けて、徐々に一定のエリアに留まる群れを形成している様子を図示している。図 4.5 から図 4.9 は力点の作用により群れが一定のエリアに留まり群れを形成し、その状態を保っている様子を図示している。

この群れの動きは引力、斥力の作用により個々の魚が力点の位置へ引き寄せられたり、遠ざかったりすることで群れが一定のエリアに留まる動きを表現した。これらの作用により群れの外側にいる魚は引力の作用を受けて群れの内側へ潜り、潜った魚の周りの他の魚は斥力の作用を受けて群れの外側へ押し出される動きを表現することが出来た。また速度制御の作用についても力点に近い群れの内側の魚は移動速度を遅く、群れの外側の魚は移動速度を速くさせて移動することが出来た。

4.2 遊泳する群れの動き

以下の図は遊泳する群れの動きを図示したものである。

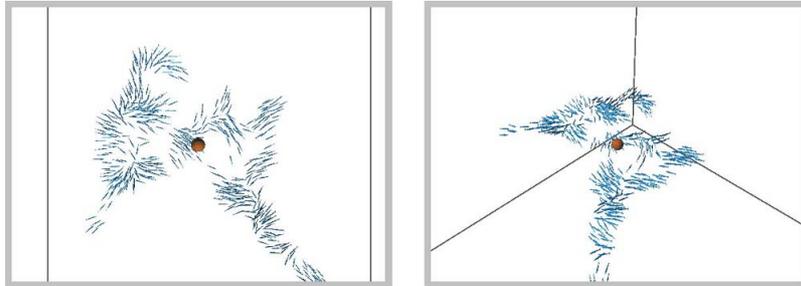


図 4.10: 一箇所に留まらずに遊泳する群れ (80 秒後)

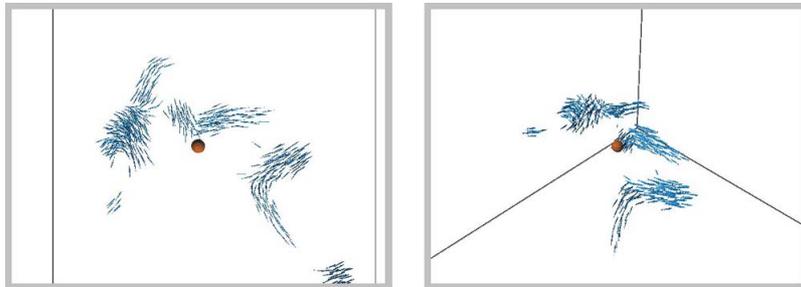


図 4.11: 一箇所に留まらずに遊泳する群れ (90 秒後)

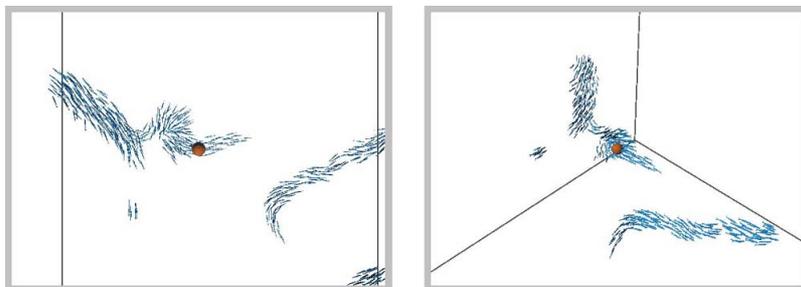


図 4.12: 一箇所に留まらずに遊泳する群れ (100 秒後)

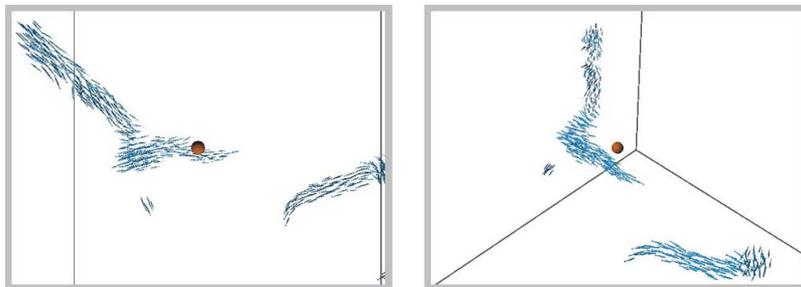


図 4.13: 一箇所に留まらずに遊泳する群れ (110 秒後)

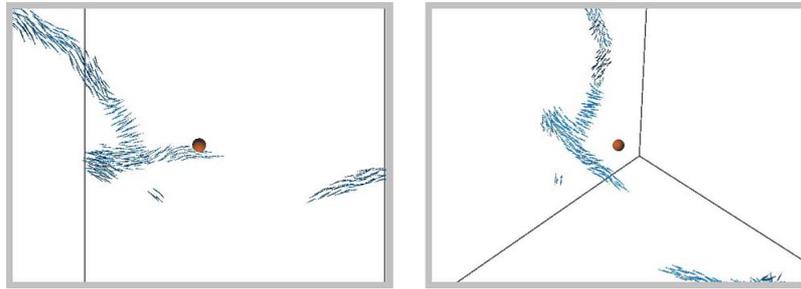


図 4.14: 一箇所に留まらずに遊泳する群れ (120 秒後)

図 4.10 から図 4.14 は一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを 10 秒ごとに図示したものである。この群れの動きを表現する際は一定のエリアに留まる群れの動きから力点の作用をなくし、boid モデルと方向転換のルールを適用した。このとき力点は再度一定のエリアに留まる群れの動きを形成する際に、群れの位置を変化させるため群れの中心へ移動させた。図 4.10 は力点の作用をなくした直後の様子を図示している。このとき力点からの引力、斥力、速度制御の作用は受けなくなり、個々の魚が散らばった状態になった。図 4.11 から図 4.14 は一箇所に留まらずに遊泳する群れを形成して与えられた空間内を自由に泳いでいる様子を図示している。

この群れの動きは boid モデルと方向転換のルールにより一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現することが出来た。しかしマイワシの群れは個々の魚が密集して大きな塊となって群れを形成し、その群れが分裂したり再度塊に戻ったりしながら移動する。今回の遊泳する群れの動きは boid モデルを基本とした移動を行っているために一度分裂した群れが再度塊に戻らずに散らばった状態となってしまった。boid モデルは群れを形成する際に自身から一定の距離にいる仲間の影響を受けて群れを形成しているためにこのような動きが起こったものである。これは個々の魚が他の魚から受ける影響範囲を大きくすることで改善できると考えられる。また方向転換のルールについては 3 次元空間内に定めた壁に衝突した場合に個々の魚が向きを変え、群れ全体の移動方向を変えるて表現することが出来た。

4.3 一定のエリアに留まる群れの動き（2）

以下の図は再度一定のエリアに留まる群れの動きを図示したものである。

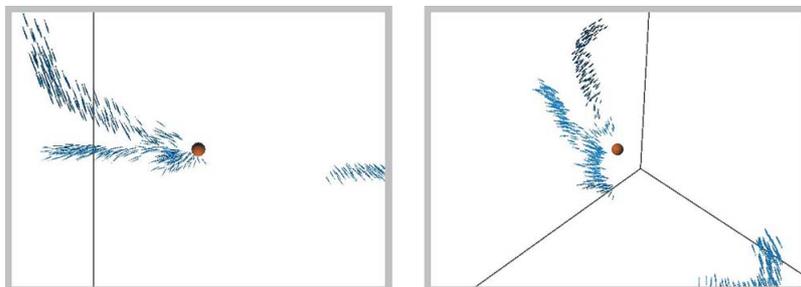


図 4.15: 一定のエリアに留まる群れの動き（130 秒後）

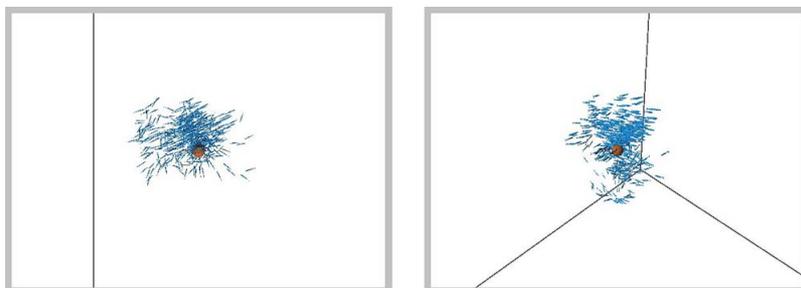


図 4.16: 一定のエリアに留まる群れの動き（140 秒後）

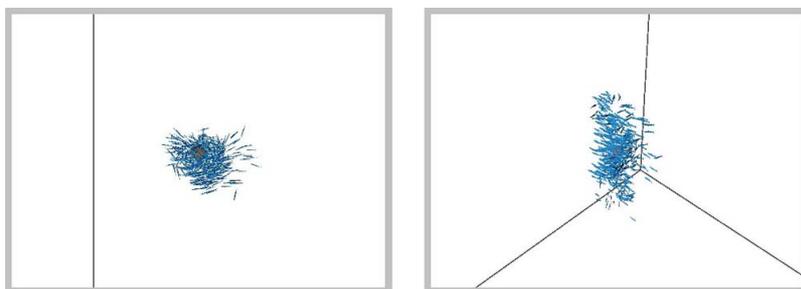


図 4.17: 一定のエリアに留まる群れの動き（150 秒後）

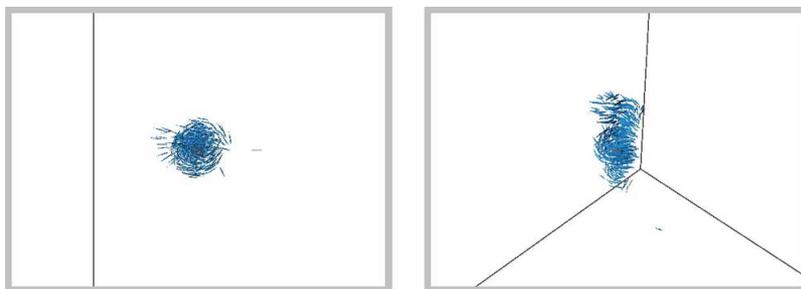


図 4.18: 一定のエリアに留まる群れの動き（160 秒後）

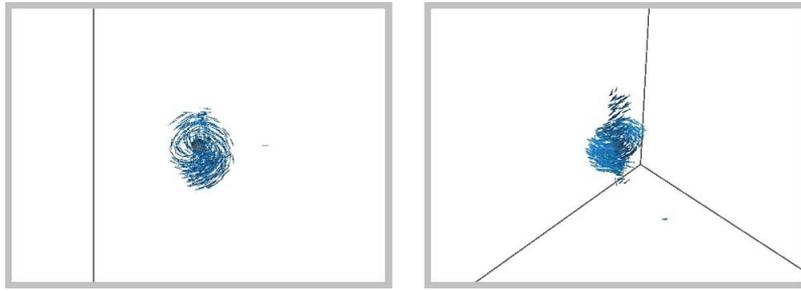


図 4.19: 一定のエリアに留まる群れの動き (170 秒後)

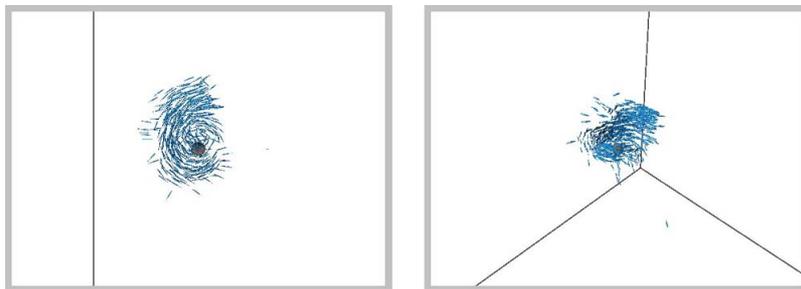


図 4.20: 一定のエリアに留まる群れの動き (180 秒後)

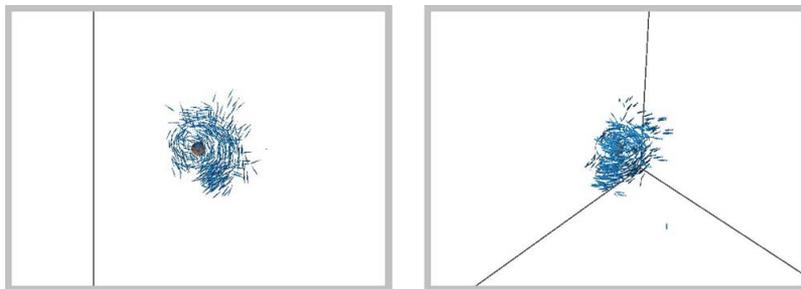


図 4.21: 一定のエリアに留まる群れの動き (190 秒後)

図 4.15 から図 4.21 は一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きから再度力点の作用を与え、一定のエリアに留まる群れの動きを 10 秒ごとに図示したものである。図 4.15 は再度一定のエリアに留まる群れを形成するために力点の位置を固定し、力点からの作用を受けた直後の様子を図示したものである。図 4.16 から図 4.21 は徐々に一定のエリアに留まる群れを形成し、留まっている様子を図示している。

遊泳する群れの動きから力点の位置を再度固定したことで、一定のエリアに留まる群れの位置を変化させることが出来た。しかし力点と個々の魚の距離が遠い

場合は引力作用により加速して力点に近づくために個々の魚の移動速度が速くなってしまった。これは個々の魚が力点から受ける強さを変えることで改善できると考えられる。

4.4 考察

boid モデルにルールを拡張し、一定のエリアに留まる群れの動きと一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを切り替えて表現することが出来た。拡張したルールには、群れの外側にいる個々の魚を群れの内側へ引き寄せるための引力、群れの内側にいる個々の魚を群れの外側へ押し出すための斥力、群れの外側と内側で個々の魚の移動速度を変化させるための速度制御を用いることで一定のエリアに留まる群れの形と動きを表現することが出来た。しかし表現した群れの動きにはいくつか問題点がある。まず一定のエリアに留まる群れの動きでは拡張したルールを用いることでマイワシのような魚の群れに見られる群れの形や動きを表現することが出来たが、力点と個々の魚の距離が遠い場合に引力の作用が強くなってしまいうために引き寄せられる際の移動速度が速くなってしまった。また群れの中心では魚が移動せずに止まった状態となり、円状に旋回しなかった。次に一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きでは boid モデルを基本とした移動を行ったため、群れが密集した状態で移動する動きを表現できなかった。

第 5 章

まとめ

本研究ではマイワシのように個体数が多く動きが複雑で、密集した個々の魚が 1 つの塊となって群れを形成し、その群れが一定のエリアに留まる群れの動きを表現することを目的とした。この一定のエリアに留まる群れの動きは個々の魚を円状に旋回させることで限られた範囲に群れを形成する動きのことである。この群れの動きを表現するために boid モデルと拡張したルールを用いた。このルールには、群れの外側にいる個々の魚を群れの内側へ引き寄せるための引力、群れの内側にいる個々の魚を群れの外側へ押し出すための斥力、群れの外側と内側で個々の魚の移動速度を変化させる速度制御のルールがある。更にこれらのルールを個々の魚に与えるために仮想的な力点を用意した。これを実装した結果、力点を中心として個々の魚が群れを形成し一定のエリアに留まる群れの動きを表現することが出来た。また拡張したルールをなくした場合は個々の魚が boid モデルのルールに従って群れを形成し、従来再現されていた一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きを表現することが出来た。

しかし表現した群れの動きにはいくつかの問題点がある。まず一定のエリアに留まる群れの動きでは拡張したルールを用いることでマイワシのような魚に見られる群れの動きを表現することが出来たが、力点と個々の魚の距離が大きくなった場合に個々の魚を群れの内側へ引き寄せるための引力の力が強くなってしまったため、個々の魚の移動速度が速くなってしまった。また群れの中心では魚が移

動せずに止まった状態となり、円状に旋回しなかった。次に一箇所に留まらずに遊泳する群れの動きでは boid モデルを基本とした群れの移動を行ったため、一度散らばったこの魚が基に戻るが出来ず、マイワシの群れのように密集した状態で移動する群れの動きを表現することが出来なかった。

今回は魚の群れの形と動きを表現することを目的としたが、実際の魚は群れを形成する以外にも様々な行動を行う。例えば魚の群れが外敵に襲われた際に一斉に散らばる行動や魚のヒレの動きなどがある。そのためより本物に近い群れの動きや魚の動きを表現するためには、実際の魚に見られる様々な行動や動きを取り入れていく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始温かいご指導をいただいた東京工科大学メディア学部の渡辺大地 講師、電気通信大学の和田篤 氏に心より感謝の意を表します。

また研究に協力していただいた新江ノ島水族館の方々、aqua project の先生方々・仲間、そして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] M. オローク 原著 袋谷賢吉 訳 大久保篤志 訳, ”3次元コンピュータ・アニメーションの原理 第2版”, 近代科学社, 2000.
- [2] Craig W. Reynolds, ”Flock, Herds, and Schools : A Distributed Behavioral Model”, In Computer Graphics 21(4), pp.3870-3873, July 1987.
- [3] Craig W. Reynolds, ”Reynolds Engineering & Design”,
<http://www.red3d.com/>.
- [4] 森川幸人, ”マッチ箱の脳 使える人工知能のお話 ”, p125-131, 2000.
- [5] 松延直美, 水森龍太, 蔡東生, ”自己組織化理論を用いた群れのアニメーション生成”, 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会, 122, 2003, pp59-64.
- [6] 水森龍太, ”魚群の振る舞い生成に関する研究”, 筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科 修士論文, 2003.
- [7] 小林佳奈美, ”遺伝的アルゴリズムを用いた知的魚群自動生成システムの形成”, 立命館大学理工部情報学科 卒業論文, 2005.
- [8] Xiaoyuan Tu and Demetri Terzopoulos, ”Artificial Fishes : Physics, Locomotion, Perception, Behavior” , Computer Graphics, pp43-50, 1994.

- [9] 佐藤大輔, 吉田典正, ”互いに競争関係にある二種の群れのシミュレーション”, 社団法人 情報処理学会 研究報告, 2004-CG-115.
- [10] Inada, Y. (2001), ”Steering mechanism of fish schools”, Complexity International, Volume 08, Paper ID: inada01.
- [11] 井上実, ”魚の行動と漁法”, 恒星社厚生閣, 1978.
- [12] 井上実, ”魚群 -その行動-", 海洋出版株式会社, 1981.
- [13] B.L. パートリッジ, ”魚はどのように群れを作るのか”, 日経サイエンス社, 1984.