

2013年度 卒業論文

金魚すくいにおける  
金魚の動きのシミュレーション

指導教員：渡辺 大地 講師  
三上 浩司 准教授

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト  
学籍番号 M0110502  
茨田 将史

2013年度 卒業論文概要

論文題目

金魚すくいにおける  
金魚の動きのシミュレーション

メディア学部

学籍番号：M0110502

氏名

茨田 将史

指導  
教員

渡辺 大地 講師  
三上 浩司 准教授

キーワード

シミュレーション、金魚、金魚すくい、3DCG、AI

日本では古来より、縁日等で金魚すくいが行われて来た。近年では、金魚すくいの大会も増えている。しかし、個人で金魚すくいの練習を行うのは困難である。そこで本研究では、金魚すくいのコンピュータによる表現に着目した。現在ある金魚すくいのコンピュータの表現は、エンターテインメント性が高く、あまりリアルではない。金魚すくいは狭い水槽に、かなり高い密度で金魚が入れられている事が特徴で、実際の金魚達は金魚同士ぶつからない様に回避行動をとっている。また、金魚には特徴的な行動が2種類ある。静止した影に集まる動きと酸素不足の時に水面に口を出して酸素を補給する鼻上げである。金魚の実測データを参考にパラメータを設定し、これらの回避行動と金魚がとる特徴的な行動を再現する事で金魚の動きをよりリアルに出来るのではないかと仮定した。本研究では、斥力とパーソナルスペースにOBBを用いた金魚の回避方法と、引力を用いた影に集まる動きと、体力の概念を設定した鼻上げを表現する為の手法を提案する。この手法を使ってシミュレーションを行い、金魚の高密度での回避行動をリアルな物に出来た。また、徐々に影に集まる金魚の動き、酸素不足で水面に口を出す鼻上げを再現できた。高速化の処理を行う事で、処理速度を10%から30%速くする事が出来た。

# 目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文構成	3
第2章	金魚の動き	4
2.1	金魚の移動速度	4
2.2	金魚の位置分布	6
2.3	金魚の特徴的な動き	8
第3章	金魚の動きを表現する手法	12
3.1	金魚の基本的な制御方法	12
3.2	金魚の行動選択	13
3.3	金魚の移動速度	14
3.4	金魚同士の回避行動	15
3.5	影に集まる動き	18
3.6	酸素残量に適応した動き	19
3.7	処理の高速化	20
第4章	検証と考察	22
4.1	金魚の回避の検証	22
4.2	金魚の影に集まる動きの検証	26
4.3	金魚の鼻上げの検証	27
4.4	処理速度の高速化の検証	27
4.5	考察	28
第5章	まとめ	30
	謝辞	31
	参考文献	32

# 目 次

2.1	尾ビレの振動周波数と対体長比速度の関係 . . . . .	5
2.2	体長 4.6cm の金魚の尾ビレの振動周波数と速度の関係 . . . . .	6
2.3	金魚の 1 次元座標の位置分布 . . . . .	7
2.4	実際の金魚すくいの様子 . . . . .	8
2.5	影が出来た時の金魚の密度 . . . . .	9
2.6	12 秒経過した金魚の密度 . . . . .	9
2.7	影が出来た時の金魚の密度 . . . . .	9
2.8	7 秒経過した金魚の密度 . . . . .	9
2.9	水温と酸素消費量および溶存量の関係 . . . . .	10
2.10	鼻上げの様子 . . . . .	11
3.1	モデルのローカル座標系と回転運動 . . . . .	13
3.2	金魚とパーソナルスペースの設定 . . . . .	15
3.3	金魚同士の正面衝突 . . . . .	16
3.4	金魚同士の側面からの衝突 . . . . .	17
3.5	金魚同士の追突 . . . . .	17
3.6	浮上と潜水による回避行動 . . . . .	18
3.7	影の影響範囲 . . . . .	18
3.8	金魚の体力の減少と行動の関係性 . . . . .	20
3.9	水槽内の分割数 . . . . .	20
3.10	金魚が参照する近傍の範囲 . . . . .	21
4.1	金魚の回避開始時 . . . . .	23
4.2	金魚の回避中 . . . . .	23
4.3	金魚の回避完了時 . . . . .	23
4.4	金魚の回避完了後 . . . . .	23
4.5	金魚の回避開始時 . . . . .	23
4.6	金魚の回避中 . . . . .	23
4.7	金魚の回避完了時 . . . . .	24
4.8	金魚の回避完了後 . . . . .	24
4.9	金魚の回避開始時 . . . . .	24

4.10	金魚の回避中	24
4.11	金魚の回避完了時	24
4.12	金魚の回避完了後	24
4.13	水槽全体を上から撮影	25
4.14	水槽の中心をズーム	25
4.15	水槽を横から撮影	25
4.16	水槽を斜めから撮影	25
4.17	シミュレーション開始時	26
4.18	1秒後の様子	26
4.19	6秒後の様子	26
4.20	10秒後の様子	26
4.21	シミュレーション開始時	27
4.22	1秒後の様子	27
4.23	3秒後の様子	27
4.24	10秒後の様子	27

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景と目的

日本では古来より、縁日等で金魚すくいが行われて来た。1995 年からは、奈良県の大和郡山市で 3 分の間に金魚をすくった数を競う、全国金魚すくい選手権 [1] が開催されるようになり、2013 年には、大和郡山市以外でも全国金魚すくい選手権認定の大会が 18 の場所で開催された。

しかし、金魚すくいの練習をする為には、縁日や専門のお店などで行うか、個人で準備する必要がある。勝田ら [2] によると、金魚の飼育は、最低でも金魚の体長と同じリットル数の水が必要とされていて、理想は体長の 3 倍のリットル数の水が必要とされている。この為、個人で金魚すくいの練習用に金魚を飼うには、大規模な設備が必要である事がわかる。

そこで本研究では、金魚すくいのコンピュータによる表現に着目した。仮にコンピュータでリアルな金魚すくいを表現できれば、縁日や専門のお店などに行かず、また自分で金魚を準備する必要もない。しかし、現在ある金魚すくいのコンピュータによる表現はエンターテインメント性が高く、リアルではない。例として、SEGA のアーケードゲームである、キッズ屋台村-金魚すくい-大量だヨ! 全員集合 [3] では、ポイと呼ばれる金魚をすくう道具が必ず 1 度で破れてしまう、金魚の行動も常時動き続ける、金魚の密度が低い等、あまりリアルではない。このような問題に対して、堀ら [4] は PHANTOM という入力デバイスを用いて金魚すくい

のポイを表現した。PHANTOMはプレイヤーの操作に対して、一定の抵抗を与える事が出来る装置で、ポイにかかる水の抵抗や、金魚をすくう際に金魚が跳ねる力等を物理的に計算し、反力として与える事で、現実に近い金魚すくいの操作感を実現した。しかし、金魚の動きが機械的であるという問題点を抱えていた。

金魚すくいは狭い水槽に、かなり高い密度で金魚が入れられている事が特徴で、実際の金魚達は金魚同士ぶつからない様に回避行動をとっている。これらをうまく表現する事で金魚の動きをよりリアルに出来るのではないかと仮定した。このような群集の回避行動は、交通工学や心理学等の分野などで盛んに研究が行われている。

岡田ら [5][6] はパーソナルスペースと呼ばれる、人と人との距離でこれ以上近づかれると不快に思う範囲を設定し、スクランブル交差点等の歩行シミュレーションを行った。さらに、歩行者の密度が高くなると膠着状態が起る原因を究明し、譲り合いの概念を導入する事で膠着状態の緩和に成功した。劉ら [7] は歩行者がどのようなタイミングで回避行動をとるのか計測し、計測データを元に玉子型のパーソナルスペースを設定した。更に歩行者だけではなく、車椅子が交差点に混入する場合や交差点内に障害物がある場合に、どのような影響が出るかシミュレーションした。阿久澤 [8] は駅構内をネットワークで表現し、壁や改札等の属性を持たせ、障害物などに引力や斥力を持たせるポテンシャルモデルと組み合わせる事で駅構内の群集の歩行を再現した。

本研究では、人の群集の回避行動シミュレーションで使われていた、パーソナルスペースの概念を参考にして、金魚の実測数値から金魚の動きを仮定し、金魚がスムーズに回避が出来るように3パターンの回避行動と金魚同士の斥力を設定し、シミュレーションを行った。金魚には特徴的な動きが2種類ある。まず第一に金魚が影に集まる動きで引力を用いて再現した。第二に鼻上げであり、体力の概念を設定し、再現した。

水槽内に金魚を600匹配置した場合でも、金魚同士が衝突しない様に動きにうまく回避を行っていた。影に集まる動きも実際の金魚の様に、影に徐々に集まり、

影の中に止まる動きを再現できた。鼻上げに関しても、実際の金魚の様に水面に鼻先を出し酸素を補給する様子を再現でき、提案手法の有用性を確認した。

## 1.2 論文構成

本論文は全 5 章で構成する。まず第 2 章にて実際の金魚の動きについて説明する。第 3 章では提案手法について述べる。第 4 章で、提案手法により表現した金魚の行動について評価と考察を行う。最後に第 5 章で、まとめと今後の展望について述べる。



## 第 2 章

# 金魚の動き

この章では、金魚すくいによく使われている和金 (小赤) と呼ばれる金魚の動きについて説明する。2.1 節では、実測データから金魚の移動速度について説明し本研究での活用方法を説明する。2.2 節では、1次元の金魚の位置分布を元に、金魚すくいの金魚の行動の仮説について述べる。2.3 節では、金魚すくいを行う際に起きる、特徴的な動きに関して説明する。

### 2.1 金魚の移動速度

金魚の遊泳速度は鈴木 [9] によると、大きく分けて3つある。数秒だけ持続する突進速度と、0.5 から 2 時間連続で泳げる巡航速度 (耐久遊泳速度) と通常生活での選好遊泳速度である。魚の移動速度を測る研究として、Bainbridge[10] は和金、うぐい、マスの遊泳速度に関して実験水槽を制作し、計測を行った。その結果、尻尾を 1 秒間に振った回数である、尾ビレの周波数  $f$  (ヘルツ,  $Hz$ ) と速度  $u$  と体長  $l$  の比である、毎秒体長の何倍進むかという対体長比速度  $\frac{u}{l}(1/sec)$  の関係を調べ、対体長比速度は尾ビレの周波数に比例するというデータを得ている。

永井ら [11] が Bainbridge の研究を元に、魚の種類を増やし実験を行い、図 2.1 に対体長比速度と尾ビレの周波数をプロットした。

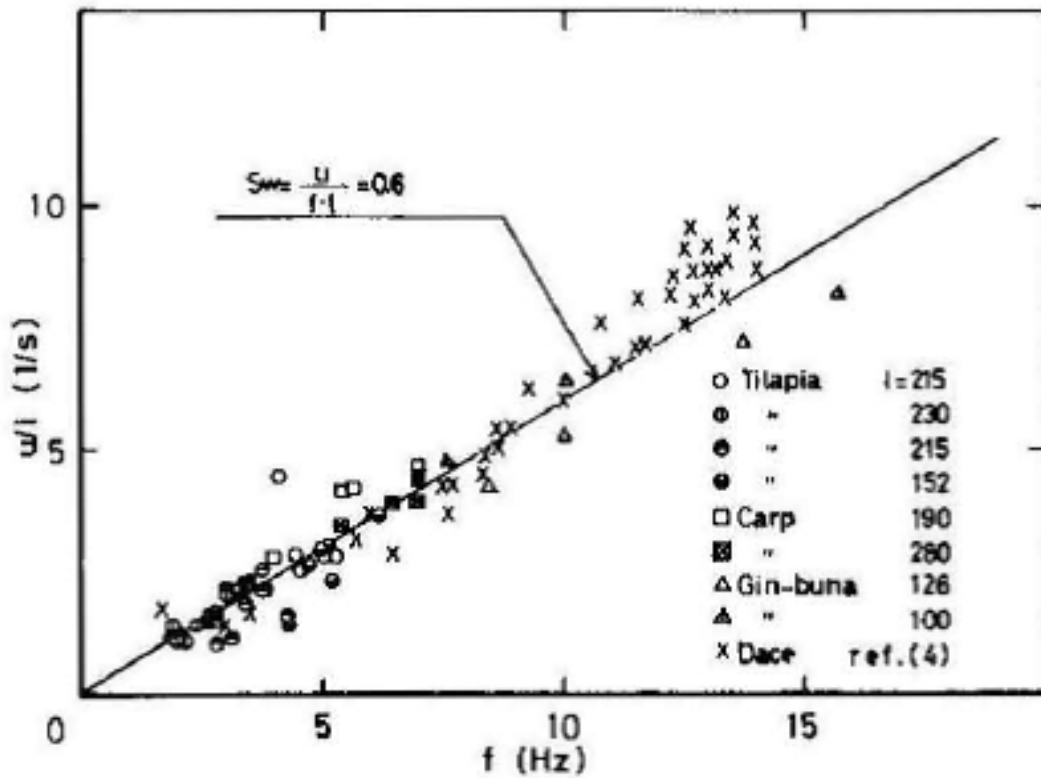


図 2.1: 尾ビレの振動周波数と対体長比速度の関係

図 2.1 に引かれている魚が尻尾一振りで行く距離である遊動数  $S_w$  の線は魚の種類や体長に関わらず同一直線状に乗る事が確かめられる。この事から永井らは魚の遊泳速度  $u$  を以下の式で表した。

$$u = S_w \cdot fl \quad (2.1)$$

対体長比速度  $\frac{u}{l}$  (1/sec) と尾ビレの周波数  $f$  (ヘルツ, Hz) の比を以下の式で表した。

$$S_w = \frac{u}{fl} \doteq 0.6 \quad (2.2)$$

Bainbridge の実験では、4.6cm の和金の尾ビレの周波数  $f$  (ヘルツ, Hz) と遊泳速度の関係は図 2.2 の様になった。

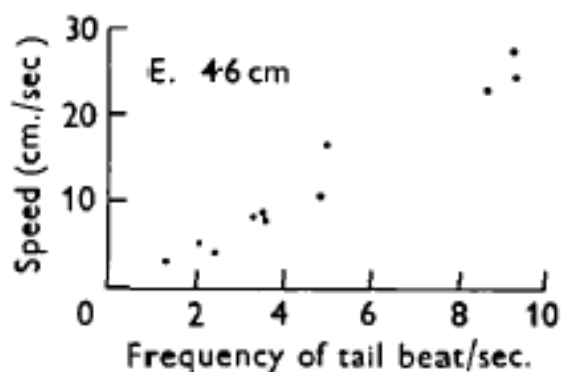


図 2.2: 体長 4.6cm の金魚の尾ビレの振動周波数と速度の関係

尾ビレの周波数  $f$  (ヘルツ,  $Hz$ ) は 1 から 10 辺りの数値を示している。この事から本研究では、最大周波数の 10 を突進速度とし、突進速度を除いた最高速度である周波数の 5 を巡航速度、3 から 4 にかけて分布が密集している為、周波数 3.5 を選好遊泳速度とする。本研究では金魚の体長を 5cm とし、式 (2.1) を参考に速度を決定する。突進速度を  $0.6 \times 10 \times 5 = 30(\text{cm/s})$ 、巡航速度を  $0.6 \times 5 \times 5 = 15(\text{cm/s})$  とし、選好遊泳速度を  $0.6 \times 3.5 \times 5 = 10.5(\text{cm/s})$  と設定する。

鬼束ら [12] が突進速度に達するまでの助走時間について研究を行った。突進速度の 95% までを助走速度と設定し、計測実験を行った。実験の数値を元に平均的な傾き定数  $a_T$  を 0.1772 と定めた。続いて、魚各種でそれぞれの切片  $b_T$  を求め、0.040 と定めた。魚の体長を  $B_L$  とした時、助走時間  $T_d$  を求める式は

$$T_d = a_T \times \log B_L + b_T \quad (2.3)$$

となる。金魚の体長を 5cm とすると突進速度の助走時間  $T_d$  は 0.163 秒となる。

## 2.2 金魚の位置分布

金魚の位置分布を測る研究として、佐藤 [13] が 1 次元の位置分布や光に向かって移動する走光性や壁付近に寄る走触性などについて研究を行った。図 2.3 に 1 次

元座標の位置分布をプロットし、走触性は壁から 20cm が有効範囲であると結論付けた。60 × 30cm 水槽の 60cm の座標で壁から離れると金魚の位置分布は指数関数的に減少する。

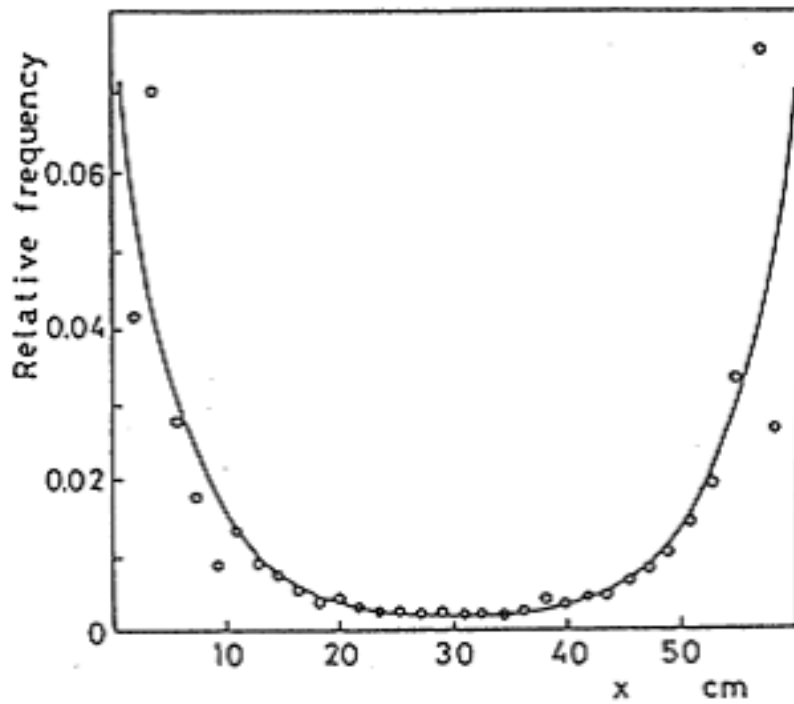


図 2.3: 金魚の 1 次元座標の位置分布

しかし、この研究は金魚が単体でいる場合で、金魚すくいでの金魚の場合必ずしも壁に寄るとは限らない。図 2.4 は実際に金魚すくいを行った時の動画のキャプチャー画像である。



図 2.4: 実際の金魚すくいの様子

図 2.4 を見ると中央にも金魚が多数いる事が分かる。これらは近くに金魚が居る事で壁と同じような動きをするのではないかと考える。

## 2.3 金魚の特徴的な動き

金魚には動いている影からは逃げて、一定時間静止した影に集まる習性がある。これを利用し、縁日の金魚すくいでは自分自身の体や、団扇などで影を作り、金魚を集める事ですくい易くなるというテクニックが有る [14]。図 2.5 は影が出来た瞬間の金魚の密集度の画像で、図 2.6 は図 2.5 から 12 秒時間が経過した画像である。図 2.7 も影が出来た瞬間の金魚の密集度の画像で、図 2.8 は図 2.7 から 7 秒時間が経過した画像である。それぞれ、金魚の密集度が上がっているのが分かる。



図 2.5: 影が出来た時の金魚の密度



図 2.6: 12 秒経過した金魚の密度



図 2.7: 影が出来た時の金魚の密度



図 2.8: 7 秒経過した金魚の密度

金魚には鼻上げという行動がある。この行動は狭い水槽に多数の金魚を入れる事などで酸欠が起きた際に、酸素の多い水面へと浮上し水面で口をパクパクさせる事を指す。金魚すくいでは金魚が鼻上げを行うと、浅い所ですくえる為、ポイへの負担が少なくなる。

日本ペットフード株式会社 [15] が、Web 上に水槽の水と酸素についてまとめている。図 2.9 は 100g の金魚が 1 時間あたりに消費する酸素の量と、水の中に溶けている酸素の量を水温別にプロットした物である。

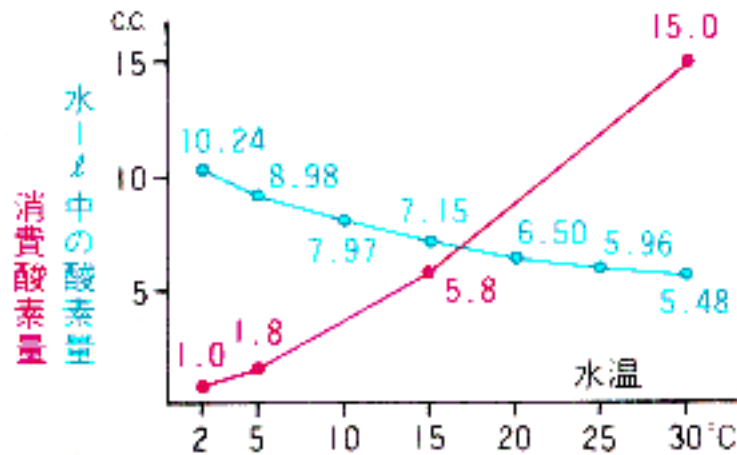


図 2.9: 水温と酸素消費量および溶存量の関係

図 2.9 のグラフの通り、水温が上がると溶存酸素量が減り、金魚の酸素消費量が増えている事が分かる。また、小嶋ら [16] によると気圧が下がる事でも溶存酸素量が低くなり、天気が悪い方が酸欠の危険度が増す。この様な事から、水温の高い夏場の金魚すくいでは、金魚の鼻上げが起こりやすくなっている。図 2.10 は実際に金魚が鼻上げを行っている様子である。

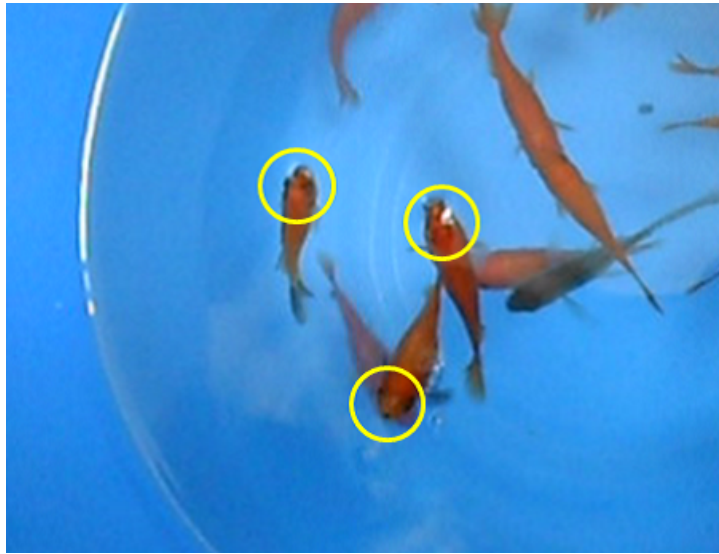


図 2.10: 鼻上げの様子

酸素を補給する為に体を水面の方向に向け、水面から口を出し、酸素を補給していることが分かる。



## 第 3 章

# 金魚の動きを表現する手法

この章では、金魚の動きを再現する為に用いた、手法について説明する。

### 3.1 金魚の基本的な制御方法

本研究では金魚の個体の事をモデルと呼ぶ。3次元空間に固定された右手座標系をグローバル座標系と呼び、モデルはグローバル座標系の中に配置している。グローバル座標系の上方向は  $+y$  方向を指す。グローバル座標系に対してモデルの重心を原点とし、モデルの姿勢によって規定する座標系をローカル座標系と呼ぶ。モデルの進行方向に対して右方向はローカル座標系の  $+x$  方向を指す。モデルにとっての上方向はローカル座標系の  $+y$  方向を指す。モデルにとっての前方向はローカル座標系の  $-z$  方向を指す。モデルにとって前方向を指すベクトルをモデルの方向ベクトルと呼ぶ。方向ベクトルは単位ベクトルであり、グローバル座標系で表す。モデルは基本的に、方向ベクトルに向かってまっすぐ進む。方向ベクトルに現在の速度を掛けて求めた値が、モデルの速度ベクトルとなる。モデルのローカル座標系と各軸を回転軸とした回転運動を、以下の図 3.1 の様に定義している。

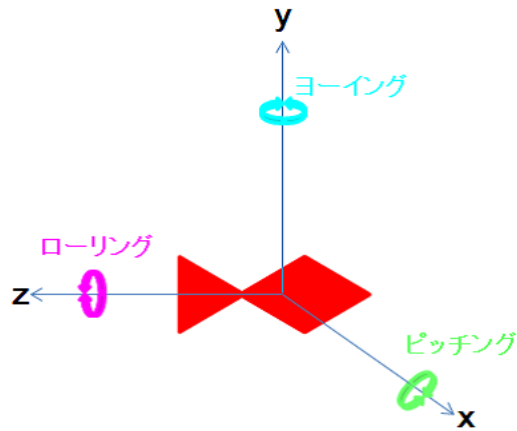


図 3.1: モデルのローカル座標系と回転運動

ローカル座標系の  $y$  軸を回転軸として、左右に回転運動をすることをヨーイングという。ローカル座標系の  $x$  軸を回転軸として、上下に回転運動をすることをピッチングという。ローカル座標系の  $z$  軸を回転軸として、回転運動することをローリングという。

3次元空間内の距離  $1$  を  $1\text{cm}$  と定め、金魚の大きさは、体長  $5\text{cm}$ 、高さ  $2\text{cm}$ 、幅  $1\text{cm}$  で設定している。金魚を入れる水槽の大きさを  $x$  方向  $136\text{cm}$ 、 $y$  方向  $23\text{cm}$ 、 $z$  方向  $65\text{cm}$  とした。これらは実際の金魚すくいの大会 [1] で使われる水槽の大きさを参考にした。金魚が水槽に衝突した場合、ヨーイングし、壁から離れる様になっている。

## 3.2 金魚の行動選択

金魚の行動は、突進・泳ぎ・静止の3つの状態からなる。本研究では金魚に体力の概念を持つことにより、疑似的に疲れを表現する。体力は  $0$  から  $100$  で表す。初期設定の体力は  $30$  から  $100$  のランダムで、個体差を持つ様に設定する。体力の残量から行動の選択確率が変化する。それぞれの選択確率は実際の金魚すくいの動画を観察し、主観的に設定した。体力残量が  $100$  の時に選択する確率は、突進を

選択する定数を 0.1 とし、泳ぎを選択する定数を 0.5 とし、静止を選択する定数を 0.4 とした。突進を選択する確率  $I$  は、体力上限を  $H_{max}$  とし体力残量  $H$  として、以下の式で表す。

$$I = 0.1 - \frac{H_{max} - H}{10} \quad (3.1)$$

体力が 0.0 の場合この行動は選択されないように設定した。この行動を選択した場合、体力は 1 秒間に 1 減少する。泳ぎを選択する確率  $J$  は以下の通りである。

$$J = 0.5 - \frac{2(H_{max} - H)}{5} \quad (3.2)$$

体力が 0.0 の場合この行動は選択されないように設定した。この行動を選択した場合、体力は 1 秒間に 0.2 減少する。静止を選択する確率  $K$  は以下の通りである。

$$K = 0.4 + \frac{H_{max} - H}{10} + \frac{2(H_{max} - H)}{5} \quad (3.3)$$

体力が少なくなると静止を選択し易く設定した。この行動を選択した場合、体力は 1 秒間に 0.1 回復する。行動を変更する間隔は突進時が 1 秒から 3 秒の間のランダムで、泳ぎ時と静止時は 5 秒から 20 秒の間のランダムである。行動の変更間隔は行動が変化する度に更新を行う。

### 3.3 金魚の移動速度

金魚の生成時に方向ベクトル (0,0,-1) にヨーイングを行い、0 度から 360 度のランダムで方向ベクトルを設定した。方向ベクトルは単位ベクトルである。この方向ベクトルは 3.2 節で説明した行動が変更されるタイミングで変更する。2.1 節で説明した通り、式 (2.1) から求めた値をそれぞれの行動に適用する。2.1 節の実験では実験水槽内で魚が単体で泳いだ場合の速度であり、金魚すくいの魚の密集状態での泳ぎ辛さを考慮し、全ての速度を  $\frac{1}{2}$  とする。突進状態の最高速度は 15(cm/s) とし、泳ぎの最高速度は 7.5(cm/s) とし、泳ぎの最適速度を 5.25(cm/s) と設定する。金魚は泳ぎを選択時、最適速度を目指して加速と減速を行う。最高速度は回避を

行う際や、影に集まる処理を行った際に、最適速度に他の違う力も加わる為、その際の上限速度として扱う。式(2.3)で求めた助走時間  $T_d = 0.163$  秒で、突進の処理は最高速度、泳ぎの処理は最適速度になる物とする。最終的な最高速度、最適速度  $s$  は、体力残量  $H$  に比例して減少する。現在の最高速度を  $d$  とし、 $s = d(0.8 + \frac{H}{5})$  で求める。

### 3.4 金魚同士の回避行動

この節では、金魚がどのように回避行動をとるか説明する。金魚はパーソナルスペースと呼ばれる空間を持ち、パーソナルスペース内に何かがある場合に反応を示す。本手法でのパーソナルスペースは Oriented Bounding Box(以下 OBB)[17] を採用する。OBB とは回転を考慮した直方体の当たり判定の事である。通常は球の当たり判定で行う事が処理速度等の観点から望ましいが、今回扱う金魚に球の当たり判定を設定すると金魚が直方体の為、大きなデットスペースが出来てしまう。処理速度よりも正確性に重きを置き OBB を採用する事にした。図 3.2 はどのようにパーソナルスペースを設定するか表した画像である。

赤：金魚モデル

青：パーソナルスペース

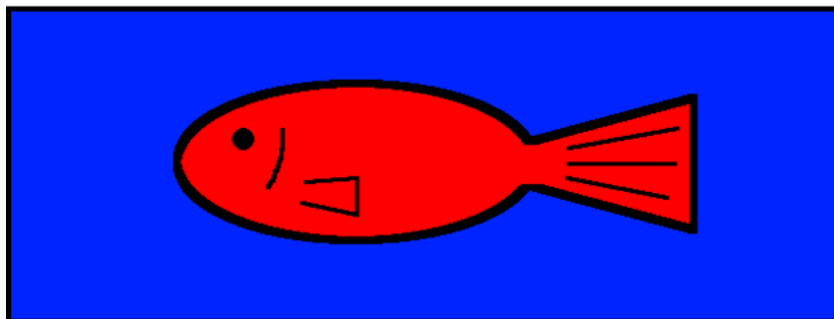


図 3.2: 金魚とパーソナルスペースの設定

金魚から各軸の正と負の方向に 1cm ずつパーソナルスペースを設ける。金魚の大きさが  $5 \times 2 \times 1$  なのに対し、OBB は  $7 \times 4 \times 3$  の大きさとなる。パーソナルスペースに侵入があった場合、ローカル座標系の  $y$  軸を回転軸として、左右に回転運動をするヨーイングを行い、方向ベクトルの向きを変更して回避行動をとる。ヨーイングの回避行動には 3 種類あり、以下の方法で回避行動の種類の判定を行う。OBB で衝突が判定された際に衝突した金魚の方向ベクトル  $\mathbf{L}$  と衝突された金魚の方向ベクトル  $\mathbf{R}$  からなす角  $\theta$  の検出を行う。以下の処理でなす角  $\theta$  を求める。

$$\theta = \arccos(\mathbf{L} \cdot \mathbf{R}) \quad (3.4)$$

角度が 0 から 20 度の時、追突していると判断し、角度が 160 から 180 度の時、正面衝突していると判断し、それ以外の角度の時、側面からの追突とする。

第一の行動は図 3.3 の様に正面衝突した場合である。

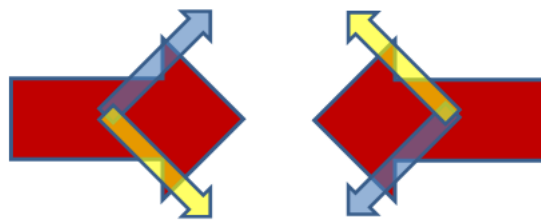


図 3.3: 金魚同士の正面衝突

金魚同士の正面衝突が起こった場合、左右どちらに避けるかをランダムで決定する。左右共に 5 割の確率で選択し、金魚は連動して、自分から見て右か左に避ける。

第二の行動は図 3.4 の様に側面から衝突をした場合である。

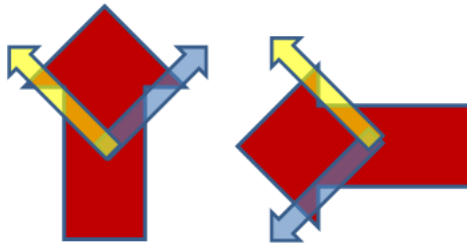


図 3.4: 金魚同士の側面からの衝突

金魚が側面から衝突した場合、側面から衝突した金魚が、相手の進行方向と逆側に避けるのが合理的である為、9割の確率で進行方向と逆側へと回避行動をとる。この際に衝突された金魚は左方向に避ける。側面から衝突した金魚は1割の確率で相手の進行方向へ回避行動をとる。この際衝突された金魚は右方向に避ける。

第三の行動は図 3.5 の様に追突する場合である。

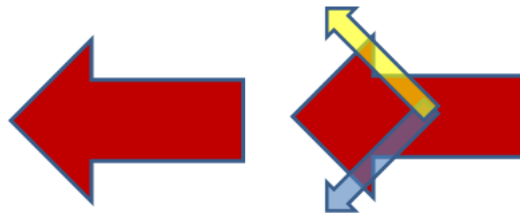


図 3.5: 金魚同士の追突

金魚の追突が起こった場合、追突しそうな金魚が左右どちらに避けるかをランダムで決定する。左右共に5割の確率で選択し、回避行動を行う。追突しそうな金魚の判定は自身のみ次の移動を行った場合の座標が、相手の金魚に近づいたら追突しそうな金魚と判定する。離れたら追突されそうな金魚と判定する。

ヨーイングでの回避が0.5秒間以内に出来ない場合、ローカル座標系の $x$ 軸を回転軸として上下に回転運動するピッチングを行い、方向ベクトルの向きを変更して回避行動をとる。図 3.6 は、金魚の位置と回避行動の関係性の図である。

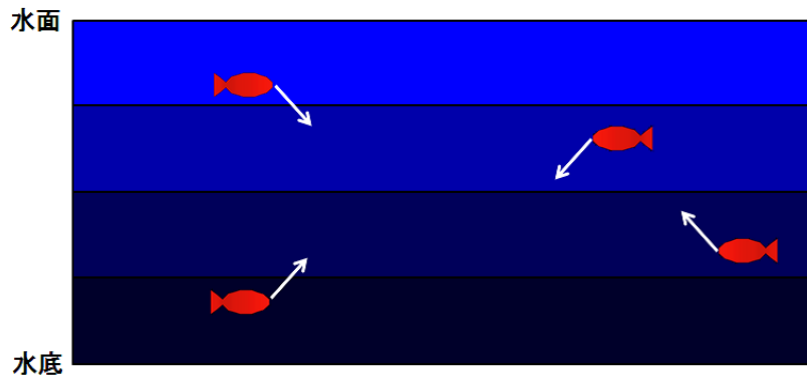
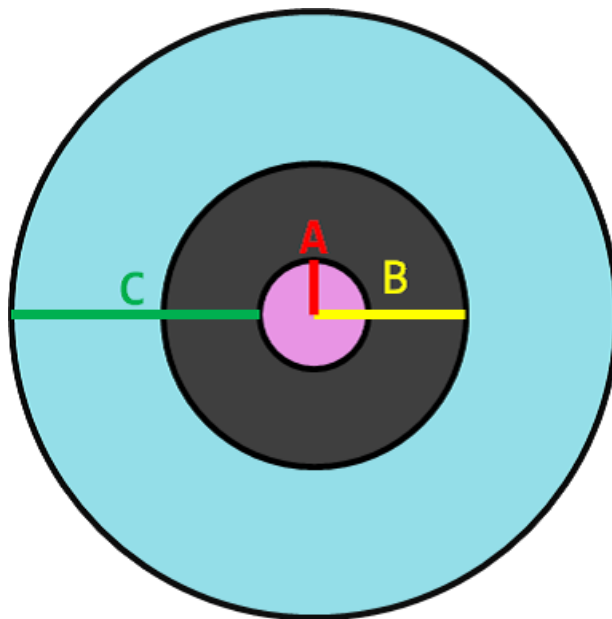


図 3.6: 浮上と潜水による回避行動

金魚が水面に近い場合には潜水を行い、水面から遠い場合には浮上を行う。

### 3.5 影に集まる動き

今回使う影は、団扇を想定し、円状の物とする。図 3.7 は、影の影響範囲を表した画像である。



A: 引力が働かない範囲  
 B: 影の範囲  
 C: 引力の働く範囲

図 3.7: 影の影響範囲

影の半径は 10cm とし、引力場は影の半径の倍である半径 20cm とする。半径 5cm 内は回避に影響が出ないよう引力は無いものとする。引力  $M$  は影の中央の位置ベクトル  $N$  と金魚の位置ベクトル  $P$  の距離から求める。引力調整用に定数  $S$  を定義する。 $S$  の値を変更する事で引力の強さが変わる。本研究では  $S$  を 0.01 と定めた。

$$M = S(20 - (|N - P|)) \quad (3.5)$$

以上の式から  $M$  を求め、金魚の位置から影の中央位置への方向ベクトルに  $M$  を掛けた値だけ金魚が移動する。

### 3.6 酸素残量に適応した動き

本研究では金魚の体力残量を利用し、鼻上げを再現する。体力残量が少ないという事は、活発に動いた証拠であり、金魚の体内に残っている酸素量が減少していると仮定し、体力残量に合わせて、ローカル座標系の  $x$  軸を回転軸として、上下に回転運動をするピッチングが起きる物とする。体力最大値 100 を 4 分割し、25 減少するごとに水面に近づくものとする。水は 20cm 入っている物とし、体力 100 から 75 以上の場合、水深 18cm を最適な水深と定義する。体力 75 未満から 50 以上の場合水深 13cm を最適な水深と定義する。体力 50 未満から 25 以上の場合水深 8cm を最適な水深と定義する。体力 25 未満から 0 以上の場合水深 3cm を最適な水深と定義する。回避行動などで、最適な水深からずれた場合は最適な水深へと向きの修正を行う。体力が 25 未満から 0 の場合は、ピッチングの回転角度を高く設定し、鼻上げの再現を行う。鼻上げを 3 秒間行くと体力が 100 に回復し、潜水を行う。図 3.8 は、金魚の体力の減少と行動の関係性を表した画像である。



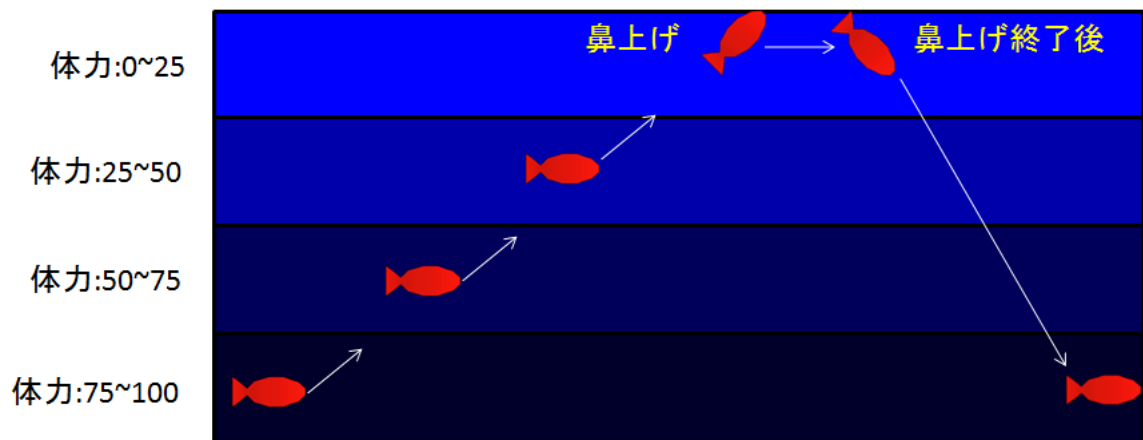


図 3.8: 金魚の体力の減少と行動の関係性

### 3.7 処理の高速化

この節では、処理の高速化を図る為の手法を説明する。金魚の数を  $n$  として通常のまま金魚同士のパーソナルスペースの当たり判定を行うと、 $\frac{n(n-1)}{2}$  回の処理が必要になってしまう。そこで本研究では、図 3.9 の様に水槽内を金魚のパーソナルスペースの最大値である 7cm の半径 3.5cm 四方に分割を行った。

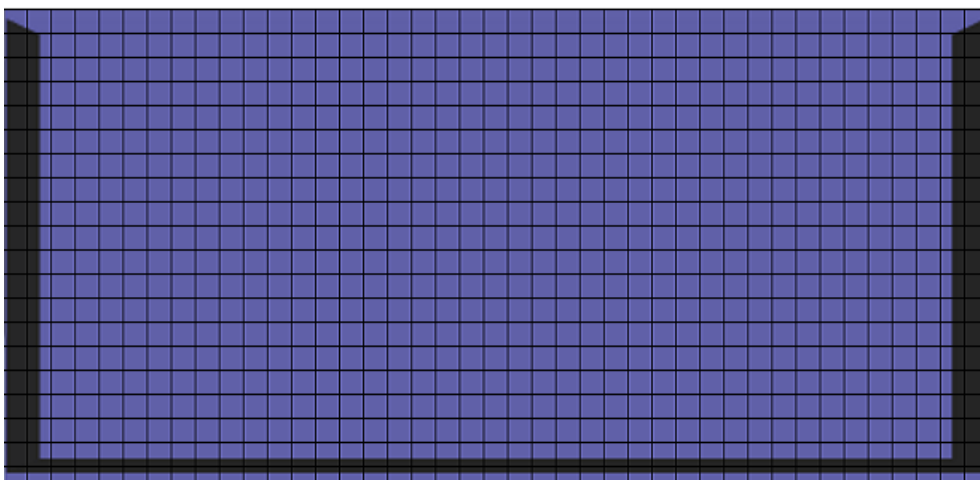


図 3.9: 水槽内の分割数

$x$  方向の分割数は 40、 $z$  の分割数は 20 となった。当たり判定の処理を行う前に、全ての金魚がどの空間にいるか登録し、金魚それぞれの座標をドットとすると図 3.10 の様にドットと同じ色の枠線の 9 つの近傍の金魚と当たり判定を行う。

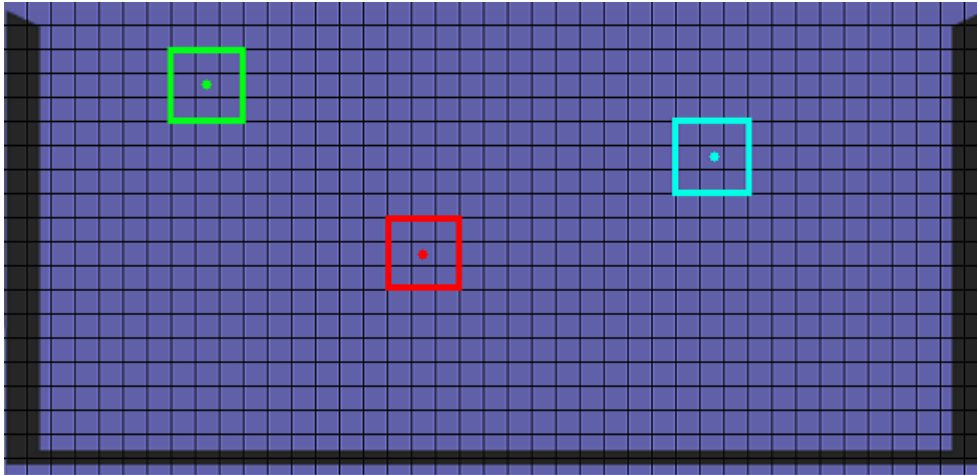


図 3.10: 金魚が参照する近傍の範囲

金魚の数  $n$  を 600 とした時  $\frac{600(600-1)}{2} = 179700$  必要だった処理回数が、以上の処理を行う事で、金魚が全てのセルに均等に分散していると仮定すると  $0.75 \times 9 \times 600 = 4500$  まで抑えられる。この例は理論値の為、実際の処理回数は数倍になると予想する。

# 第 4 章

## 検証と考察

この章では金魚の動きについての検証と考察を行う。実装したプログラムは、グラフィックス API の OpenGL[18] をベースとした 3 次元グラフィックスツールキットである、FineKernelToolKitSystem[19][20] を利用した。検証に使用した環境は表 4.1 の通りである。

表 4.1: 実行環境

OS	Windows 7 Enterprise 64bit
CPU	Intel Core i7-2637 1.70GHz
メモリ	6.0 GB
GPU	Intel HD Graphics Family

### 4.1 金魚の回避の検証

図 4.1 から図 4.4 は金魚が正面衝突を回避した時の動作である。

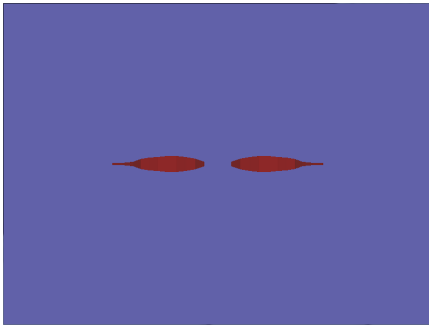


図 4.1: 金魚の回避開始時

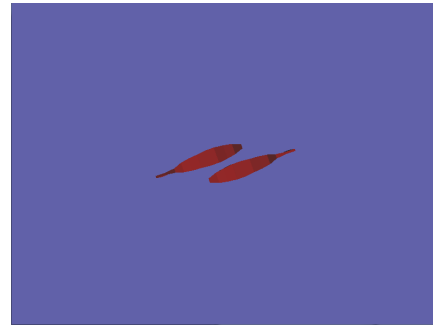


図 4.2: 金魚の回避中



図 4.3: 金魚の回避完了時



図 4.4: 金魚の回避完了後

画像時は回避方向を左に選択したのが分かる。本手法で正面衝突が回避できることを確認した。

図 4.5 から図 4.8 は金魚が側面からの衝突を回避した時の動作である。

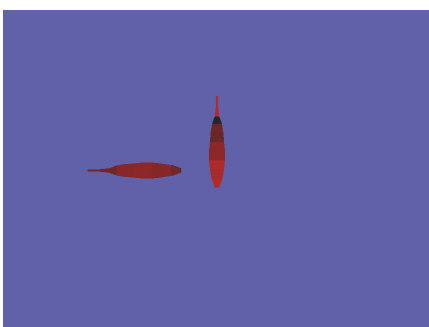


図 4.5: 金魚の回避開始時

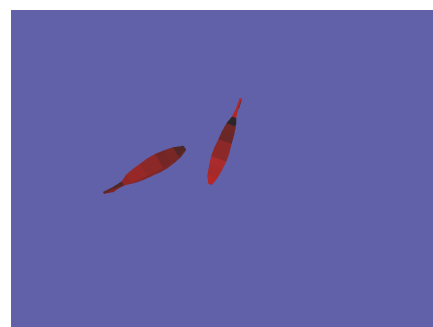


図 4.6: 金魚の回避中



図 4.7: 金魚の回避完了時

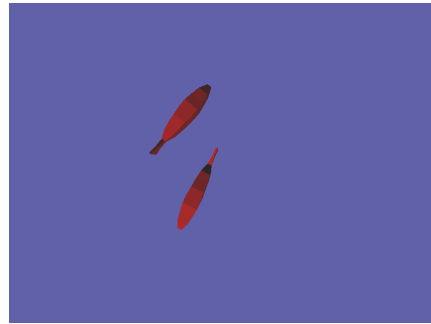


図 4.8: 金魚の回避完了後

画像時は回避方向を相手の方向ベクトルの逆ベクトル側に選択したのが分かる。  
本手法で側面からの衝突が回避できることを確認した。

図 4.9 から図 4.12 は金魚が追突を回避した時の動作である。

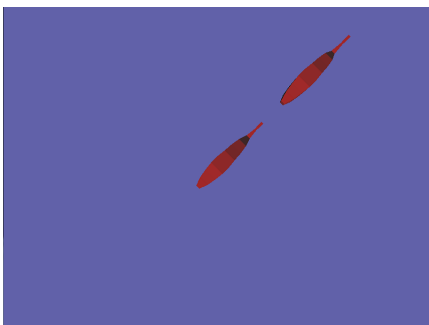


図 4.9: 金魚の回避開始時

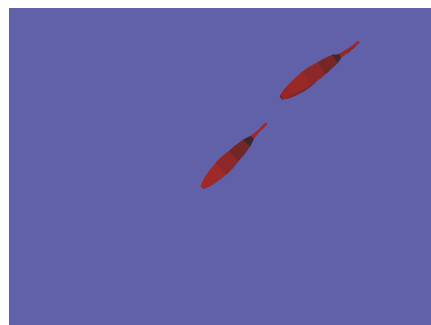


図 4.10: 金魚の回避中

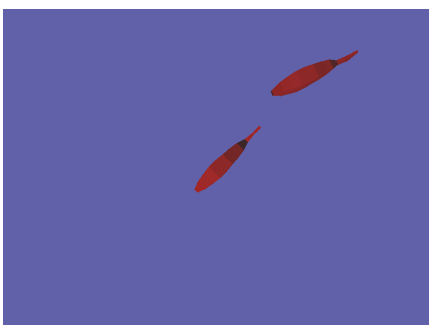


図 4.11: 金魚の回避完了時

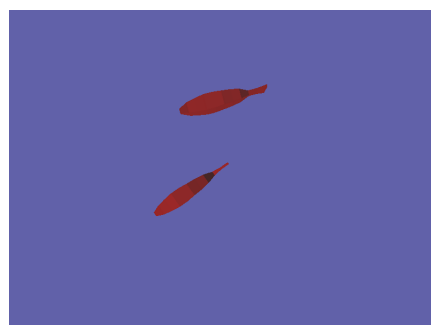


図 4.12: 金魚の回避完了後

画像時は回避方向を右に選択したのが分かる。本手法で追突が回避できることを確認した。

図 4.13 から図 4.16 は金魚を水槽内に 600 匹設置し、回避シミュレーションを行い、10 秒経過した時点でのシミュレーション結果である。

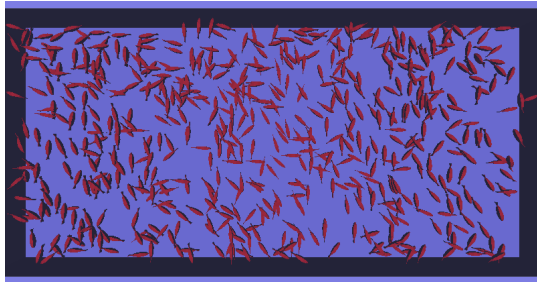


図 4.13: 水槽全体を上から撮影

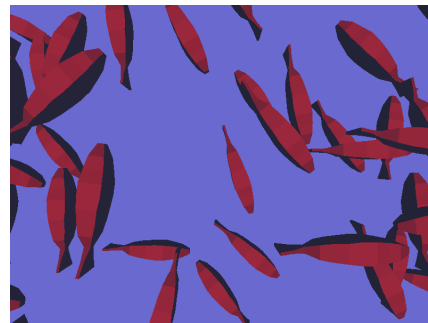


図 4.14: 水槽の中心をズーム

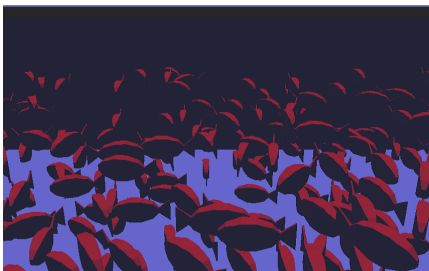


図 4.15: 水槽を横から撮影

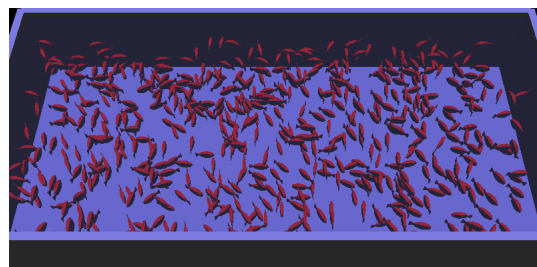


図 4.16: 水槽を斜めから撮影

図 4.13 と図 4.14 は水槽を上から撮影した画像である。図 4.15 は画像を横から撮影した画像である。図 4.16 は水槽全体を 60 度の角度で撮影した物である。600 匹という高密度の中、金魚同士が衝突すること無く、うまく動いている。また、当たり判定に OBB を用いた為、球の当たり判定と比べると横幅のデッドスペースが少なくなり、実際の金魚の様にすれ違いがスムーズに行えている。高密度での金魚の回避行動が再現出来た。

## 4.2 金魚の影に集まる動きの検証

このシミュレーションでは金魚の数を 200 匹に設定した。図 4.17 から図 4.20 は金魚が影に集まる動きをシミュレーションした画像である。

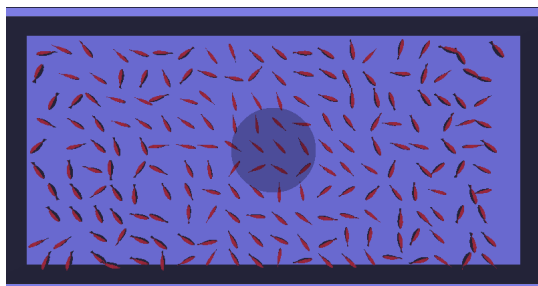


図 4.17: シミュレーション開始時

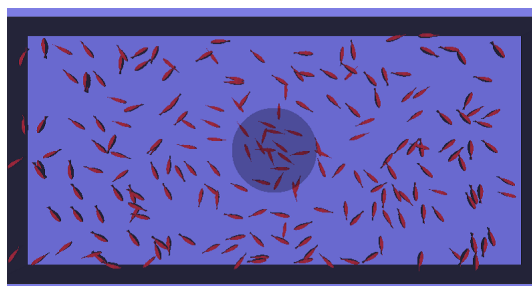


図 4.18: 1 秒後の様子

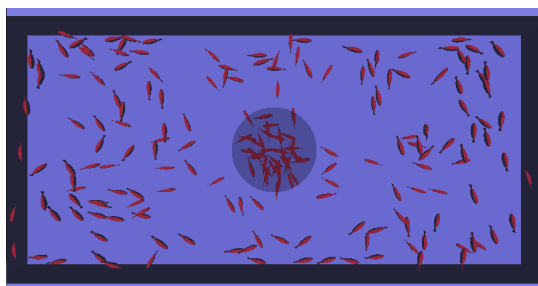


図 4.19: 6 秒後の様子

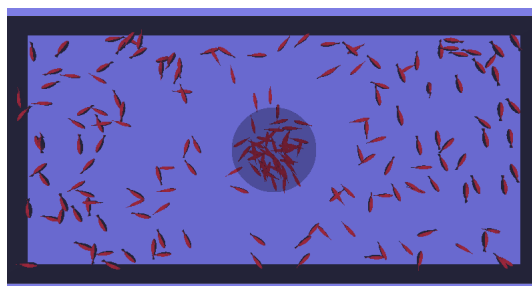


図 4.20: 10 秒後の様子

図 4.17 から図 4.18 にかけて、引力が強い影の中心に近い金魚がだんだん集まってくるのが分かる。図 4.19 では引力の弱かった部分からも金魚が集まっており、さらに密度が上がっている。図 4.20 では最初は影の影響範囲外にいた金魚も範囲内に入り、最も密度が上がっている。図 2.5 から図 2.8 の様に徐々に影に集まり、その場に止まる金魚の動きを再現出来た。

### 4.3 金魚の鼻上げの検証

このシミュレーションでは金魚の数を 200 匹、鼻上げを起こりやすくする為、金魚の初期体力を 20 に設定した。図 4.9 から図 4.12 は金魚の鼻上げをシミュレーションした時の画像である。

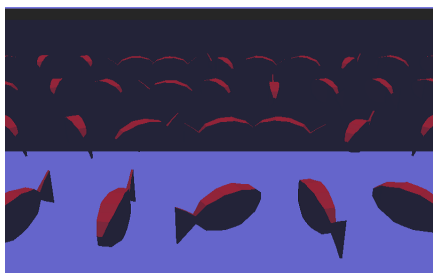


図 4.21: シミュレーション開始時

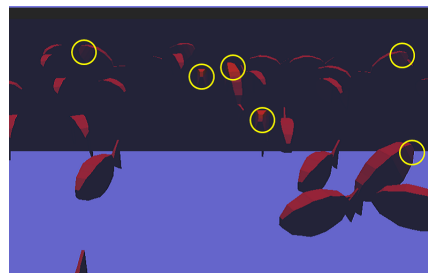


図 4.22: 1 秒後の様子

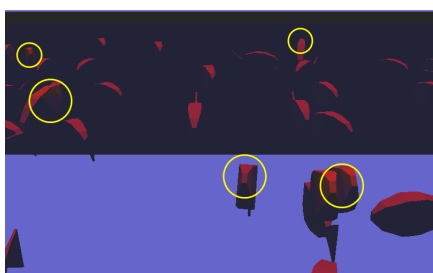


図 4.23: 3 秒後の様子

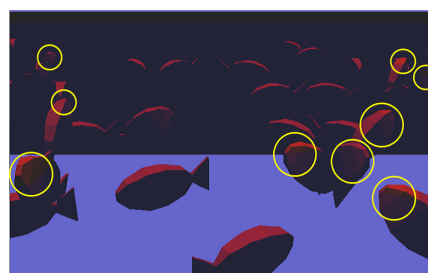


図 4.24: 10 秒後の様子

金魚が水面から鼻先を出し、赤い色が濃くなっているのが分かる。図 2.10 の実際の金魚の様に水面から鼻先を出し、酸素を補給しようとする動きが再現出来た。

### 4.4 処理速度の高速化の検証

高速化の処理を行う場合と行わない場合の 1 秒間の画面更新回数 (*FPS*) について検証を行った。開始から 10 秒間の *FPS* の値を計測し、平均化した値を表 4.2 にまとめた。



表 4.2: 金魚の数と高速化の処理の有無での画面更新回数

金魚数	高速化有	高速化無
50 匹	362.0 回	70.3 回
100 匹	175.0 回	9.7 回
150 匹	91.0 回	2.7 回
200 匹	60.4 回	1.9 回
250 匹	40.3 回	0.5 回
300 匹	26.5 回	0.3 回
400 匹	11.8 回	計測不可
600 匹	4.0 回	計測不可

表 4.2 の横軸は高速化の処理の有無で、縦軸は金魚の数を示している。高速化の処理を行う事で、どの金魚の数でも速度の向上が見られた。また金魚が増える事による速度の低下も高速化の処理を行う事で、処理無しと比べると緩やかな物となった。特に 300 匹の場合は高速化の処理有と無しを比べると、約 88 倍の速度を記録している。また、400 匹や 600 匹の場合、高速化の処理無しでは動かなかったが、高速化の処理を行う事で、低速ながら動くことが確認された。表を見て分かる通り、金魚の数が増えれば増えるほどこの処理が有効であることが確認され、期待通りの高速化を行えた。

## 4.5 考察

金魚の実際の速度等を参考にパラメータを設定し、パーソナルスペースとして OBB を設定して、斥力での移動と 3 種類の回避行動を使うことで、実際の金魚の様な金魚のスムーズな回避が実現出来た。また、金魚が行う特徴的な動きとして、引力を用いて金魚が影に集まる動きを再現し、金魚が行う鼻上げを体力の概念を持たせることで再現した。しかし、問題点もある。今回用いた OBB では回避の精度は上がるが、処理の速度が遅い。今回用いた高速化の処理では金魚の数が増えるほど効果が高くなったが、実際の金魚すくいの大大会ほどの密度は実現出来なかつ

た。さらなる高速化を行う事で、より密度の高いシミュレーションが行えるようになり、現実の金魚すくいに近い物になるであろう。

## 第 5 章

### まとめ

本研究では、金魚すくいシミュレーションの金魚の動きを現実近づけることを目的とした。動きをリアルにする為に、金魚の実測データを参考にパラメータを設定し、シミュレーションを行った。OBB と斥力を用いて回避行動を行う事で、スムーズな回避を実現出来た。また、引力を設定する事により、金魚が徐々に影に集まる動きを再現できた。体力の概念を設定する事で、金魚の体内の酸素量を表し、酸欠状態の時にとる行動の鼻上げを再現できた。しかし、課題点もある。今回の研究では OBB を用いた為、回避の精度は上がったが処理速度が著しく落ちてしまった。高速化の処理を行い、処理速度を 10% から 30% 速くする事が出来た。しかし、実際の金魚すくいの密度までは実現出来なかった。さらなる処理の高速化を行う事で、より密度の高いシミュレーションが行えるようになり、現実の金魚すくいに近い物になるであろう。

# 謝辞

本研究を締めくくるにあたり、ご指導ならびに適切なお助言を下さいました先生方に感謝の意を表します。また、様々な相談に応じて下さった院生の方々、並びに研究室のメンバーに深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 大和郡山市. 全国金魚すくい選手権大会 | 大和郡山市のホームページ. <http://www.city.yamatokoriyama.nara.jp/kankou/event/kchamp/>.
- [2] 勝田正志. 大森光子. 金魚の飼い方・育て方. 成美堂出版, 2004.
- [3] 株式会社セガ. キッズ屋台村 - 金魚すくい - |aou2011 amusement expo sega official site. [http://am-show.sega.jp/aou11/lineup/y\\_kingyo/](http://am-show.sega.jp/aou11/lineup/y_kingyo/).
- [4] 堀高範. 中村徳裕. 西尾考治. 小堀研一. Haptic device を用いたバーチャル金魚すくいの開発. 情報科学技術フォーラム, 2006.
- [5] 岡田公孝. 和田剛. 高橋幸雄. 個人行動をベースにした歩行モデルと歩行流シミュレーション. 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 102–103, 2003.
- [6] 岡田公孝. 和田剛. 高橋幸雄. 個人行動をベースにした歩行モデルと高密度シミュレーション. 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 178–179, 2004.
- [7] 劉建宏. 大枝良直. 角知憲. パーソナルスペースを用いた障害物を回避する歩行者の群集流動. 土木学会論文集 D Vol64 No.4, pp. 513–524, 2008.
- [8] 阿久澤あずみ. 駅構内における群集歩行シミュレーションモデルの研究. Master's thesis, 中央大学大学院, 2006.

- [9] 鈴木興道. 魚道の設計に資する淡水魚類の耐久遊泳速度. 土木学会論文集 no622, pp. 107–115, 1999.
- [10] Richard Bainbridge. The speed of swimming of fish as related to size and to the frequency and amplitude of the tail beat. *J Exp Biol* 35, pp. 109–133, 1958.
- [11] 永井實. 真栄田義才. 伊良部邦夫. 魚の泳動に関する研究. 琉球大学理工学部 紀要. 工学篇 = Bulletin of Science & Engineering Division, University of the Ryukyus. Engineering no.17, pp. 15–21, 1979.
- [12] 鬼束幸樹. 秋山壽一郎. 飯國洋平. 山本晃義. 静止流体中の魚の突進速度に関する実験的研究. 水工学論文集, 第 51 巻, p. ROMBUNNO.212, 2007.
- [13] 佐藤忠. 確率過程による水槽内金魚の遊泳行動の研究. 数理解析研究所講究録 (1993), 828, pp. 51–62, 1993.
- [14] 金魚屋の息子ぷに. 金魚すくいの極意. <http://www1.kcn.ne.jp/~puni/skill/index.html#4>.
- [15] 日本ペットフード株式会社. 魚の基礎知識: 水槽の水と酸素についてアーカイブ. <http://www.npf.co.jp/kisosakana/library-010/library-013/>.
- [16] 小嶋吉雄. 高井明德. 魚の世界-ミクロからマクロへ-. 裳華房, 2004.
- [17] ChristerEricson. ゲームプログラミングのためのリアルタイム衝突判定. 株式会社ボーンデジタル, 2005.
- [18] OpenGL.org. Opengl - the industry standard for high performance graphics. <http://www.opengl.org/>.
- [19] 渡辺大地. リアルタイムグラフィックスのためのツールキットに関する研究. Master's thesis, 慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科修士論文, 1996.

[20] 渡辺大地. Fine kernel tool kit system. <http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.