

魚の群れのリアルなアニメーション

日大生産工 (学部) ○佐藤大輔 日大生産工 吉田典正

1. まえがき

ライオンがシマウマを捕食するように、海に生息する生き物も捕食-被食関係によって生態系が成り立っている。従来の研究¹⁾では捕食者と被食者の魚の群れの個体数をロトカ・ヴォルテラの式を利用して時間と共に変化させる手法を提案した。この手法における捕食行為は、各捕食者が単純に一番近い被食者を追いかけて被食者と捕食者が重なったときに被食者を消滅させることで表現した。しかし、実際の魚の捕食行為の映像（例えば、映画 DEEP BLUE (2004) など）を参考にすると、複数種の捕食者が被食者の群れを海面下に追い詰めることで捕食行為を行っている。また、従来の研究で表現した魚の群れと実際の魚の群れの映像とを比較すると、群れの動作において改善の余地が存在する。

本研究では、実際の魚の映像を参考にして被食者の群れを表現し、複数種の捕食者によって捕食行為が行われる様子をコンピュータグラフィックスで表現する。ただし、実際の映像と同じになるような映像作成を目的とするのではなく、映像から読み取れる魚や群れの行動に合うような群れアルゴリズムの開発を行うものであり、映画やゲームで有用になることを目的とする。従って個体数や個体の配置、及びパラメータなどを調整することでユーザーが意図する魚群アニメーションを作成できるようなプログラムの作成を本研究の研究目的とする。

2. 実際の魚の群れの映像

実際の魚の群れの映像を参考にし、群れに関して次の性質があることが分かった。

① 群れ内の各個体は頻繁に入れ替わり、群れの形は常に変化している。

群れ内においてどの個体も決まった定位置を維持しているわけではなく、各個体が自由に移動することで頻繁に個体を入れ替わりが起こっている。また、各個体の自由な移動によって群れの形は常に変化している。

② 被食者の群れに捕食者が近づくと、被食者の群れは小さくひとつにまとまる。

捕食者と被食者の群れが出会う場面において、捕食者を発見した被食者の群れは各個体間の距離を縮めて群れを小さくひとつにまとまった形に変化させる。

③ 捕食者は被食者の群れを海面下に追い詰めてから捕食する。

捕食-被食の場面において、被食者の群れが十分な深さの海中に存在する場合、捕食者が単純に被食者の群れへ突入することで捕食行為が成功する場面は見受けられず、多くの捕食者は被食者の群れの下から上に向かって突入することで群れを海面下まで追い詰める行動を行う（捕食行為のような素早い突入ではなく、群れを上へ誘導するような緩やかな突入）。そして海面下に追い詰められた被食者（イワシなど）の群れの個体は、複数種（イルカ・サメ・カツオ・クジラ・海鳥など）の捕食者によって捕食される。

③において、生き物が群れを形成する理由のひとつとして、類似した個体の集合が同じ動作を行っているという点が挙げられる。従って被食者は群れを形成して動作を共にすることで捕食者の攻撃を巧みにかわしていると考えられる。しかし、捕食者が被食者の群れを海面下に追い詰めると、被食者は下から迫る捕食者からの攻撃に対して捕食者と逆の上方向へ逃げるができなくなる。そのため被食者は水面下を這うようにしてしか逃げるができず、多くの捕食者によって捕食行為が成功すると考えることができる。

本研究では、状況に応じてこれら三つの点を自然に満たす群れアルゴリズムの開発を行う。

3. 被食者の表現

3.1 被食者の群れの形成

群れを形成させる手法の一つに1987年 Craig Reynoldsによって提案されたBoidアルゴリズム²⁾という手法がある。これは群れを成す個体すべてに整列・結合・引き離しという共通の単純な三つのルールを与え、このルールが各個体間に相互作用することで群れを

Plausible Animation of Shoals of Fish

Daisuke SATO and Norimasa YOSHIDA

形成させるアルゴリズムである。図1において、黒の個体をBoidアルゴリズムのあるステップでの処理対象とし、白の個体をその仲間の個体としたときのBoidアルゴリズムの三つのルールを示す。図中の(a)は整列のルールを図示したもので、仲間の平均進行方向および平均スピードに合わせて自分の進行方向およびスピードを調整する処理である。(b)は結合のルールを図示したもので、仲間の平均位置に向かうよう自分の進行方向およびスピードを調整する処理である。(c)は引き離しのルールを図示したもので、自分と仲間との距離が一定以内になったとき仲間と逆方向に向かうよう自分の進行方向およびスピードを調整する処理である。

本研究では被食者の魚群を Boid アルゴリズムに基づいて群れを形成させながら移動させる。

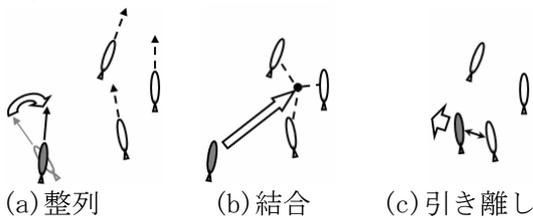


図1 Boid アルゴリズムの三つのルール

3. 2 複数の被食者の群れの表現

被食者の各個体に視野範囲パラメータを持たせて、Boidアルゴリズムに使用する仲間の情報を各個体の視野範囲の領域内に限定する。図2において、各個体における視野範囲を破線円で表している。図中の群れAの個体は群れBのどの個体も認識することができず、群れBの個体は群れAのどの個体も認識することができない。従ってこの二つの群れは今後距離が一定以上近づかない限り別々の群れとして動作する。このように、各個体に視野範囲パラメータを持たせることで複数の群れや群れの分裂・結合などを表現する。

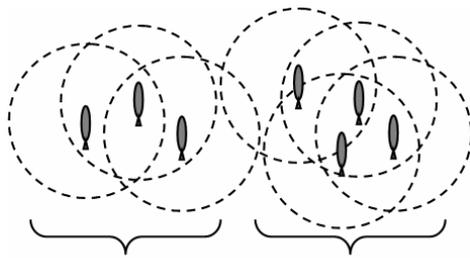


図2 複数の群れの表現

3. 3 群れ内における個体の入れ替わり

Boid アルゴリズムの三つのルールだけで群れを表現した場合、群れ内の個体の入れ替わりはほとんど起きず群れの形は一定となり、2の①で述べたように実際の映像と比較すると不自然である。そこで本研究では、各個体の視野範囲内に存在する自分以外の仲間の個体数をパラメータ n として個体に持たせる。そして各個体におけるパラメータ n の値と、ある一定値 N との値の比較後において次の処理を行う。

(1) $n > N$ となる個体

Boid アルゴリズムの三つのルールのうち、結合のルールの処理を行わないように切り替え、その代わりに自由に好きな方向へ移動することができるルールを追加する。

(2) $n \leq N$ となる個体

Boid アルゴリズムの結合ルールの処理を行うように切り替え、自由に移動できるルールを行わないように切り替える。

図3の(a)は各個体の視野範囲を円で表し、 $N=2$ としたときに処理(1)が実行される個体を白の個体で表し、処理(2)が実行される個体を黒の個体で表している。また図3(b)は処理が実行されたときの各個体の動作を矢印で表したものであり、黒の矢印は白の個体が自由な方向へ動作することを意味し、白抜きの矢印は黒の個体が群れの中心へ向かうことを意味している。このように、各個体が認識できる仲間の個体数に応じた処理を行うことで、各個体を群れの枠内を外れることなく自由に動かすことができ、群れ内における個体の入れ替わりを表現する。また、この手法によって群れ全体の形および群れの経路も複雑に変化する。

過去の研究に、自己組織化理論を用いて群れに非定常状態を与える研究³⁾があるが、それに比べて本研究の手法は単純であり自然な動きを形成できる手法である。

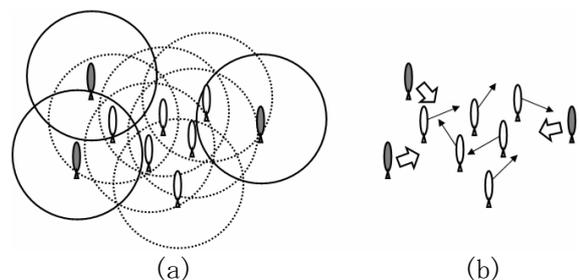


図3 $N=2$ としたときの群れ内の個体の入れ替わりと群れの形の変化

3. 4 捕食者の発見と捕食回避行動

本研究では、捕食者を発見した被食者の個体において被食者が持つ個体間距離パラメータを小さくする処理を行う。また、捕食者を認識しない被食者の個体において個体間距離パラメータを正常値に徐々に近づける処理を行う。こうすることで、捕食者を発見した被食者の群れは群れを縮めてひとつにまとめ、捕食者が去ると徐々に通常の大きさの群れに戻ることを表現する。また、捕食者との距離が一定以内になった被食者の個体において、捕食者との距離が一定以上になるまで捕食者と反対方向へ向かって最大スピードで移動させることで捕食回避行動を表現する。

4. 捕食者の表現

捕食者は被食者を発見するまでランダムに方向を決定して移動させ、被食者を発見したら被食者の群れの下から上へ向かって突入させる。突入中に進行方向に地面や壁などの障害物を発見した場合、突入をやめさせて障害物回避の処理を行わせる。そして、被食者の群れを海面下に追い詰めることができたならば、水面下にいる被食者の個体に向かって下から突入することで捕食行為を表現する。

5. ユーザーによる操作

被食者のパラメータ（個体数・視野範囲・群れ内の個体の入れ替わり処理における N の値など）と捕食者のパラメータ（個体数・個体の配置・視野範囲・速度など）を調整可能にする。obj 形式のファイルを読み込み、本プログラム上で魚の個体として実装可能にする。また、実装速度の調整を可能にする。

このように、各種パラメータの調整機能を本プログラムに付加することで、ユーザーが意図する様々な魚群アニメーションに対応できるプログラムの作成を行う。

6. 処理の高速化

Boid アルゴリズムを使用して魚の群れが実際に動いて見えるような実装速度を保つためには、群れの個体数を約数百以内に制限しなければならない。本研究では、多くの個体数の群れを表現できるように、空間分割によって処理することで処理速度の向上を行う。

7. 実行結果

プログラムには Visual Studio .net 2003 を使用した。実行画面を図 4 に示す。図中の (a) は各個体の視野範囲の値を大きく設定し

て大きな群れを形成させた様子であり、(b) は値を小さく設定して多くの小さな群れを形成させた様子である。(c) は Boid アルゴリズムによる群れの形成を、(d) は群れ内における個体の入れ替わりの様子を、(e) は被食者の群れに捕食者が突入する様子であり、各図の下にステップ数を示した。(f) は個体間距離が変化している様子であり、左の図は通常時の群れであり右の図は周辺に捕食者が存在し、群れが小さくひとつにまとまっている様子である。(g) は複数の捕食者によって被食者の群れが徐々に水面下に追い詰められる様子であり、(h) は被食者が水面下に追い詰められて複数の捕食者によって捕食されている様子である。

8. まとめ

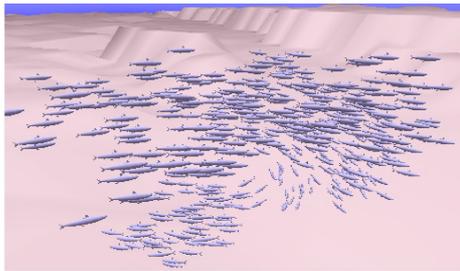
本研究では、実際の映像から読み取れる魚や群れの行動に合うような群れアルゴリズムの開発を行った。被食者の群れの形成には Boid アルゴリズムを使用し、各個体が認識できる仲間の情報を視野範囲内に限定することで複数の群れや群れの分裂・結合を表現した。また、群れの内側に存在する個体において結合ルールの変わりに自由に移動できるルールを追加することで群れ内の個体の入れ替わりを表現した。捕食-被食関係に関しては、捕食者を発見した被食者の群れは各個体間距離を縮めることでひとつに小さくまとまる様子を表現し、捕食者は被食者の群れを海面下に追い詰めることで捕食行為を表現した。

また、多くの調整機能を本プログラムに付加することで、ユーザーが意図する様々な魚群アニメーションに対応できるプログラムの作成を行った。その際、ユーザーが多くの個体群アニメーションを作成できるように、空間分割を使用して処理速度の向上を行った。

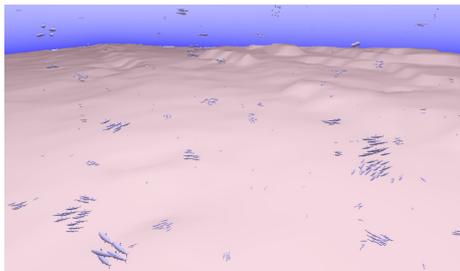
今後の研究としては、実際の映像から読み取れる魚の群れの行動において更に多くの事柄を本研究に導入し、更なる処理の高速化を目指すことが挙げられる。

参考文献

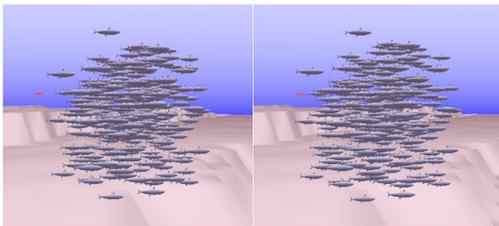
- 1) 佐藤, 吉田, "捕食者-被食者生態系に基づき個体数の変動する群れのアニメーション作成", 情報処理学会全国大会, 67, (2005), pp. 241-242.
- 2) Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), 21(4), Jul. (1987), pp. 25-34.
- 3) 松延, 水森, 蔡, "自己組織化理論を用いた群れのアニメーション作成", 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会, 112, (2003), pp. 59-64.



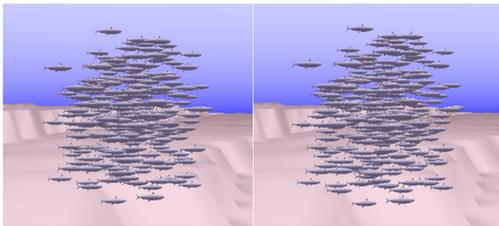
(a) 大きな群れを形成させた様子



(b) 多くの小さな群れを形成させた様子

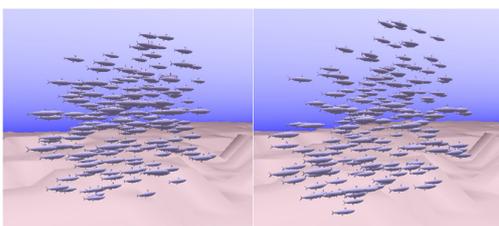


ステップ: 1 ステップ: 11

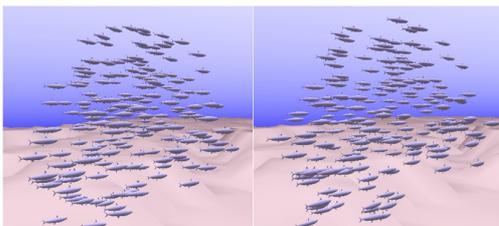


ステップ: 21 ステップ: 31

(c) Boid アルゴリズムによる群れの形成

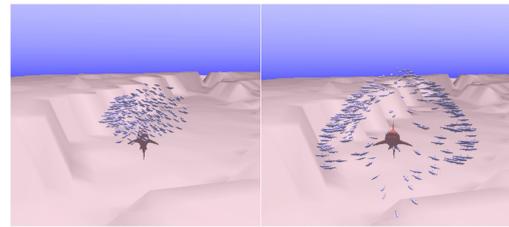


ステップ: 1 ステップ: 11

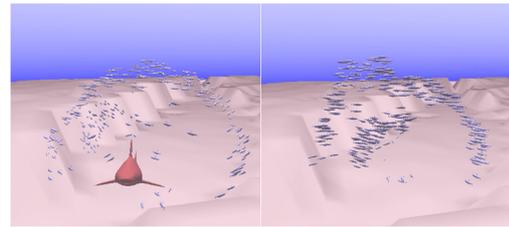


ステップ: 21 ステップ: 31

(d) 個体の入れ替わり処理を追加した様子

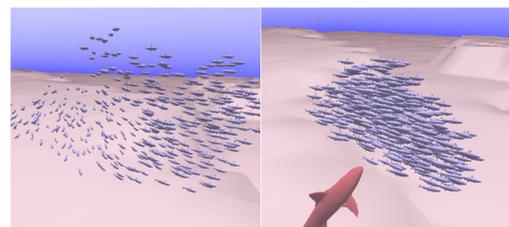


ステップ: 1 ステップ: 11

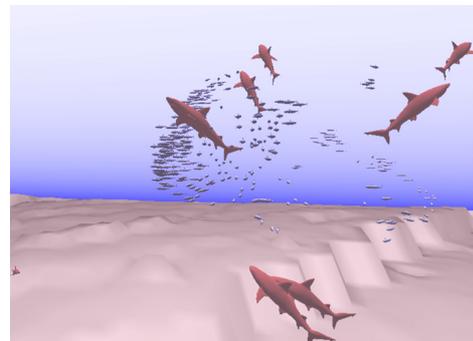


ステップ: 21 ステップ: 31

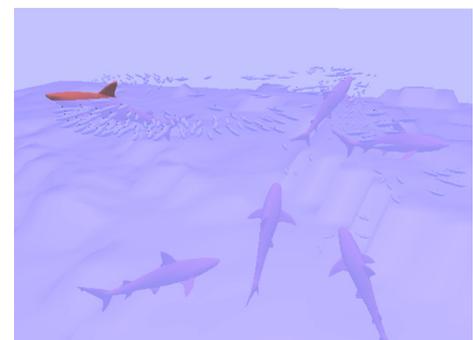
(e) 被食者の群れに捕食者が突入する様子



(f) 個体間距離が変化して群れがひとつにまとまる様子



(g) 被食者が複数の捕食者によって水面下に追い詰められる様子



(h) 被食者の群れが水面下に徐々に追い詰められ捕食される様子

図4 実行画面