

|             |                                                    |
|-------------|----------------------------------------------------|
| 氏 名         | なか みね ひろし<br>中 肇 浩                                 |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (学 術)                                          |
| 学 位 記 番 号   | 博 乙 第 16 号                                         |
| 学位授与の日付     | 平成 6 年 3 月 25 日                                    |
| 学位授与の要件     | 学位規則第 4 条第 2 項該当                                   |
| 学 位 論 文 題 目 | 水槽内における魚群行動のモデリングに関する研究                            |
| 審 査 委 員     | (主査)<br>教 授 三 宮 信 夫<br>教 授 吉 田 靖 夫    教 授 森    武 宏 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

魚群行動に関する研究は、水中における観測に基づいて行なわれるが、実際のフィールドで観測データを得ることは限られており、一般に困難である。このような限られたデータや知見から結論を導き出すために、モデリングの考え方や方法は有効であると思われる。

例えば、外敵や障害物に魚群が遭遇したときにどのように行動し、魚群内でどのような情報伝搬が行われているのかを知ることができれば、魚群行動を制御することが可能になると考えられる。しかし、フィールドにおける観測結果からこのことを調べることは不可能である。また、遊泳中の魚群の形状や空間的な広がりやを定量的に把握することは、魚群の来遊量を推定したり有効な漁獲法を開発するために必要である。しかし、魚群の観測データから魚群の形状や大きさを推定する方法は、これまでほとんど検討されていない。これらは、モデリング手法の適用によりその解明が期待される問題である。

本論文では水槽内を遊泳する魚群行動の数学的モデルを考察する。ここで提案されるモデルは物理モデルと自己回帰モデルの二種類に分けられる。物理モデルは、魚群を構成する各個体の行動を運動方程式を基に記述するものである。このモデルを構築するには群を構成する全個体の時系列データが必要である。したがって、個体数の多い群を扱うためには別のモデルを考えなくてはならない。ここでは、全個体の時系列データを必要としないように群の形状をなるべく簡単な形で近似し、その時間的な変動を推定するための自己回帰モデルを提案する。どちらの場合にも、モデルに含まれる未知パラメータは水槽実験により得られた時系列データを用いて、最小 2 乗法により推定する。モデルの妥当性は、シミュレーション、線形予測および残差の白色性検定により調べる。

第 2 章では、これまでに行われている魚群行動に関する研究の概要について述べる。また、これまでに得られている魚群行動に関する知見を整理する。

第 3 章では、水槽実験と画像処理について述べる。水槽実験では、まず魚群行動をビデオテープに記録する。次に、そのビデオ画像に画像処理を施すことによって個体位置に関する時系列データを取得する。ここでは、新たに形状などを基に魚の認識を行なう画像処理法を提案し、半自動的にデータを取得できることを示す。

第 4 章では、物理モデルについて述べる。物理モデルは、前方推進機構、成群機構および環境から受ける影響の三つから成り立つものとする。このモデルのパラメータを推定することによって、観察実験ではわかりにくい各個体の行動がパラメータ値に反映されることを示す。モデルの妥当性は、垣網に遭遇したときの魚群行動のシミュレーションを行い、これまでに得られている知見に合うような結果が得られることを示す。さらに、その結果を基にモデルパラメータの感度解析を行い、パラメータによって感度の違いがあることを示す。

第5章では、魚群行動を自律分散システムととらえなおしてモデルを構築する。すなわち、魚群内の各個体はほかの個体の位置や速度の情報を獲得し、それに協調するように自律的に行動するものとし、獲得できる情報の量を設定できるようにする。その結果、情報量の変化によって、魚群が多様な行動パターンを発生することを示す。また、魚群形成には、速度に比べて位置の情報が重要であることを示す。

第6章では、群の大きさの時間的変動を推定する自己回帰モデルを提案する。ただし、群の大きさは、群の先頭と最後尾の2尾の間の距離で表わす。このモデルのパラメータは個体数に依存しないこと、シミュレーションと残差の白色性検定の結果からこのモデルは妥当なものであることを示す。

第7章では、群の大きさだけでなく、群の傾きについても同時に推定する自己回帰モデルを提案する。これは、群の形状を最も簡単な形である1本の軸で近似するものである。このモデルパラメータを調べることによって、個体数の多い群と少ない群では、先頭の個体に最後尾の個体が追従する様子が異なることを示す。

第8章では、魚群の形状を楕円で近似する方法について考察する。楕円を表す変数としては、長軸、短軸および偏角の3種類を採用する。すなわち、長軸で群の軸と長さ、短軸で群の横の広がり、および偏角で群の傾きを表現する。ここでは、楕円近似法として確率楕円法、4点法および周囲長等価楕円法を提案する。これらの方法を実際のビデオ画像に適用した結果、確率楕円法が最も近似精度の高いことを示す。

第9章では、群の形状を楕円で近似し、その3変数の時間的変動を推定する自己回帰モデルを提案する。このモデルを用いて、水槽実験から得られた時系列データの予測を行った結果、ほぼ正確に予測が行えることを示す。

## 論文審査の結果の要旨

システム工学の研究対象として、最近単に工学や技術システムだけでなく、非工学システムも扱われるようになったが、魚群行動を扱った例は極めて少ない。本研究は、この魚群行動のモデリングに関して、データの取得、モデルの作成、パラメータ推定、モデルの統計的検定、およびシミュレーションによる評価を一貫して実行して、有用なモデルを構築した点が評価される。ここで用いたデータは水槽実験によるものであるが、そのことが本研究の有用性を限定するものではないと思われる。すなわち、魚群行動の本質的な性質は水槽実験でも確かめられるし、フィールドデータが得られれば本研究で用いた方法がそのまま適用でき、新たな知見を得ることが期待できるからである。

また、本研究で提案された魚群行動モデルは、水産学の他の研究者によって種々な設定条件のもとでその妥当性が追試されている。今後、海洋牧場の実用化とともに、魚群行動を推定あるいは制御する必要性が増すと、本研究で提案されたモデルはその基礎的考察のために有用になると考えられる。

本論文の基礎となったのは、11編の学術論文である。そのうち、国内各学会の論文誌に掲載されたもの8編、査読制度のある国際学会のProceedingsに掲載されたものが3編で、これらの論文のうち、5編の論文は申請者が筆頭著者となっている。

以上の検討結果より、本論文の内容には独創性、有用性が十分認められ、学術的価値は高いと考えられるので、本論文は学位論文に値すると判定される。