氏　名	MOHAMMAD ALI DOUSTARI（モハンマド アリ ドゥスタリ）
学位(専攻分野)	博　士　（学　術）
学位記番号	博　甲　第　63　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 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学位論文題目	A STUDY ON SCHOOLING BEHAVIOR OF FISH USING SIMULATION TECHNIQUE （シミュレーションによる魚群行動に関する研究）
審査委員	（主査）教授 三宮信夫 教授 吉田靖夫　教授 大住　晃

論文内容の要旨

本論文は、水槽実験データに基づいて作成された魚群行動モデルを用いて種々のシミュレーションを試み、モデルの構造と群れの遊泳状態との関係を追求し、新たな知見を得たものである。特に本論文では、魚群行動モデルを自律分散システムとしてとらえ、自律分散メカニズムを具体的にモデル化し、そこに含まれるパラメータが魚群行動に重要な影響を与えることを示している。

自律分散システムとは、最近注目されている大規模システムの設計概念である。すなわち、従来の集中管理型システムは、規模が大きくなると信頼性、耐故障性や環境に変化が生じたときの適応性、柔軟性に問題があった。そこで、各サブシステムに自律性をもたせ、システム全体の統括者が存在しなくても各サブシステム間の情報交換によって、統括者が指令するのと同等の運用を実現しようとするものである。本論文は、自然界におけるそのようなシステムの例として魚群行動モデルを取り上げている。魚群は群れの個体数が増加するとリーダが存在しないといわれており、それにもかかわらず群行動という秩序ある行動をするのは自律分散機能が働くからであると仮定して、シミュレーションにより具体的にその様子を再現している。

まず、第 3 章で魚群行動モデルにおける自律分散機構を個体間の相互誘引力および成群力として定義し、群れを構成している個体間の相互情報の範囲を表すパラメータを変化させることによって、この自律分散機構がいかに働くかを示している。

第 4 章では、魚群の個体数を 2 尾から20尾まで変化させて、初期条件やパラメータの種々の値に対して魚群の遊泳軌跡や群れの構造がどのようになるかをシミュレーションに基づいて明らかにしている。

シミュレーション結果よりわかることは、個体数、個体の性質および初期条件に依存して、群れが定常状態において、一定の個体配置構造を保ち円軌跡を描いて遊泳する場合があるということである。この場合、群れの大きさ、個体間距離および個体の速さなどの特性は、時間の経過とともに一定となる。これに対して、群れの個体配置構造が時間とともに変化し、円軌跡を遊泳しない場合もあり、そのような場合には、群れの大きさ、個体間距離および個体の速さなどの特性は周期的な変化をする。

第 5 章ではシミュレーション結果を水槽実験データと比較するために、境界条件を水槽実験の状態と同様の長方形の限られた空間に限定してシミュレーションを行い、その結果を分析して水槽実験データと類似の結果が得られることを確かめている。

シミュレーションには二つの方法を用いている。一つは、魚群の不規則的な行動を反映する不規則性を

無視した数学モデルに基づくものであり、もう一つの方法は、不規則な要因を考慮するモデルに基づくものである。不規則な要因は、モデルに付加する不規則項により表現され、その統計的性質は、モデルに関する式誤差に等しいと仮定している。不規則項を適用して水槽内における魚群行動のシミュレーションを行った結果、実際の魚群行動が十分表現できることを示している。

第6章では上に述べたこれまでのモデルとは異なるモデルについて考察している。すなわち、これまでのモデルで用いたデータは長方形の水槽によるものであったが、水槽のコーナは魚群の動きを停止させる作用をするので、データの定常性は必ずしも成立しない。そこで、円形水槽を用いて新たに実験を行い、そのデータを用いて魚群の形状変化と水槽の壁に沿う移動に関するモデルを作成して、その妥当性を考察している。群れの形状は楕円であると仮定して、楕円の2軸および群れの偏角の変動に関する3変数の自己回帰モデルを作成している。群れの偏角の変動は、新しい方法としてランダムウォークアルゴリズムにより計算し、その結果、白色検定による妥当性を満足するモデルが得られている。

論文審査の結果の要旨

本論文で用いたモデルは多変数かつ非線形の微分方程式系で表されているために、解析的にその解の性質を調べて魚群行動の様子を明らかにすることはできない。そこで、本論文ではシミュレーションにより、その検討を行っている。しかし、これまでの、研究におけるシミュレーションでは、比較的短時間の現象を考察するのにとどまっていた。これに対して本論文では、長時間のシミュレーションを行い、新たに種々のパラメータに対する行動軌跡の依存性が明らかとなり、興味深い現象が得られた。この現象は、システム方程式における非線形性と相互干渉項の強さとのバランスに基づくものであると考えられる。すなわち、魚群が遊泳中に一定の個体間距離と一定速度を保って円軌道を描くか、あるいは遊泳中個体間距離と速度を周期的に変化させて複雑な軌跡を描くかはモデルパラメータの微妙な変化によって定まる。このような二つの現象はともに水槽実験により観察されるものであるが、モデルの形は同一でパラメータ値の変化のみによってシミュレーションで示すことができるということは興味ある新しい知見である。

このように、この論文では主として魚群の自律分散機能をモデル化してそのシミュレーション結果を示すとともに、水槽実験データとの比較によるモデルの妥当性の検証を行って、有意な結果を示した。また、本論文の基礎となったのは、5編の学術論文である。いずれも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、新規性が十分認められ、学術的評価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。