

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：56101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04462

研究課題名(和文) 共創場原理に基づく選択的集魚システムの開発

研究課題名(英文) Development of Selective Fishing System Based on Co-creation Field Principle

研究代表者

杉野 隆三郎 (Sugino, Ryuzaburo)

阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・教授

研究者番号：10259822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：魚群などの生物が構成する群行動パターンの解析について、各個体の行動モデルを重畳するかたちで群行動モデルに対して共創場原理を用いたレベルセット関数に置き換えることで数理解析を試み、実際の漁法に応用可能な計算機シミュレーションのアルゴリズムを開発することができた。さらに、魚群における群れ行動パターンのカオス性、フラクタル性、情報エントロピー、自己相関関数を数値解析し、重要な環境パラメータである集魚灯の波長や水槽サイズの変更による群行動の変化を数値的に明らかにすることで、選択的集魚システムを用いた新しい漁法の可能性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カオス・フラクタル解析等の複雑系理論を用いた生物行動の研究は、昆虫類の摂食行動などの研究があるがLED光の発光波長および発光パターンに対する海水魚の誘引忌避行動解析に関するものは限られた魚種にしか存在していない。さらに、人間が形成する場を解釈する共創場原理に基づいた生物の群集行動に対する精密な科学研究はほとんど存在していない。本研究は、我々がこれまでの研究で蓄積してきた技術的なノウハウを基に持続可能な漁業に対する魚群の行動制御法に応用するものであり、共創場原理に基づく計測および解析システムとして極めて高いオリジナリティを有しているうえ、将来のスマート漁業に対する有用性を持ち合わせている。

研究成果の概要(英文)：This investigation has made a mathematical analysis of fish schooling as animal flocking pattern using co-creation field principle in which the group behavior model will be to be superimposition the principle. Further, we try to do the complex system analysis such as chaos, fractals, information entropy and autocorrelation functions of group behavior estimation, and we can make a presentation possibilities for selective fishing system through it is important parameters the wavelength and the scale effect of schooling area under experimental water tank. The above-mentioned results are leading to effectiveness for the new fishing method.

研究分野：数理工学，群集行動

キーワード：共創原理 魚群行動 LED光制御 レベルセット法 群行動モデル 選択的漁法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

魚群行動の数理的研究は古くから存在しているが、これらは音響ソナー等の粒度の荒いデータから行動パターンを類推して制御系モデルや質点系モデルに帰着させることが多く、妥当性を平均や分散などの統計量で検証しているに過ぎない。本研究では、実フィールドにおける数百から数千の個体で形成される魚群行動パターンに対して自由境界を有する密度場を適用し、レベルセット法を用いて魚群を包含する自由境界(界面)として抽出、その界面の自己組織化パターンをレベルセット関数の分布で調べるアプローチをとる(図1参照)。

この定式化を用いると、魚群を構成する魚個体が発現する個別性を捨象し、知的な認知判断をとる生物行動の総和と考えられる集団行動の本質的な機能と性質を数学的な諸量で把握できる可能性がある。このように生物の集団行動パターンを密度関数のランドスケープとそのレベルセットでモデリングする手法は、近年注目されているLED光応用技術による新型漁法のシステム設計に応用可能であり、水産学研究者と連携して魚群行動の実データとの検証をする。このような理工学と水産学との密接な連携研究は存在しない。以上により、本研究は科学研究と技術開発を伴う研究として高い学術性とチャレンジ性を有している。

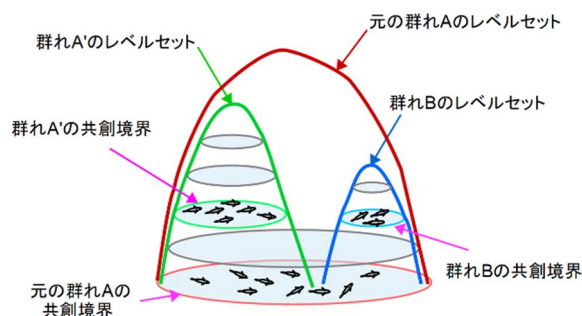


図1 レベルセットによる魚群の分類

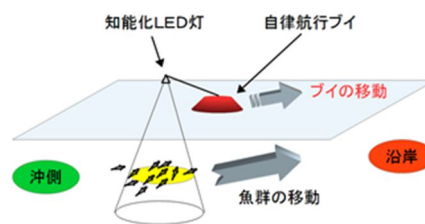


図2 自走LED灯ブイによる新型漁法

2. 研究の目的

新しく提案する集団行動モデルを計算機ソフトに実装し、図2に示すような各種の魚群行動制御実験との比較検討を繰り返し、環境・魚群相互作用に対するレベルセット魚群行動モデルの適用性を検証する。さらに、本研究による成果が実際の光技術応用新型漁法の視点からどの程度有効であるかを明らかにする。阿南高専、東京農業大学、徳島県水産研究課が連携して以下の工学的な有効性を明らかにすることを目的とする。さらに集団行動システムのゆらぎと駆動力の素過程を抽出するカオス・フラクタル解析が必須であることも明らかにする。

魚群行動パターンの解析とそのレベルセットモデルの構築

一般的な魚種について魚群行動のデータを水槽実験とフィールド調査から取得する。そして、現在開発中のカオス・フラクタル解析の高度化とレベルセット法による点群データのセグメンテーションをベースにした魚群行動のレベルセットモデルを構築

新型漁業技術開発への応用

魚群行動パターンのレベルセットモデルから新しい数理的定式化を導出し、それらをベースとするコンピュータシミュレーションを用いて、LED光技術を用いた新型漁業への適用性を検証

3. 研究の方法

研究の進め方として、阿南高専は暗視 CCD カメラ、赤外線 LED 投光器、画像解析システム、小型 LED 水中灯などを開発し、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課美波庁舎は大・中型水槽による魚類の生態条件を管理した海水魚の群行動実験をする。東京農業大学では、研究代表者と他の研究者を交えた学術コンソーシアムを企画・運営し、加えて群集行動に関する数理モデルならびに数値シミュレーション手法の開発を支援する。

以上の方法を用いて魚群行動パターンの共創場原理に基づく数理的定式化を導出し、それらをベースとするコンピュータシミュレーションを開発・適用することで、LED光技術を用いた新型漁業への適用性を検証するため、以下の3つのフェーズに従い研究を進展させる。

【フェーズ1】レベルセット法による魚群行動の解析：徳島県で捕獲した魚類(アジ、イワ、イセエビ)を水産研究課で水槽実験、データをレベルセット法により魚群パターンを解析

【フェーズ2】レベルセット魚群行動モデルの構築：フェーズ1で得られた結果を数学的・水産学的に吟味し、群行動パターンのレベルセット法によるコンピュータ計算技術を開発

【フェーズ3】新型漁業技術への適用と応用技術の確立：得られた新しいモデリング手法による生物の集団行動の解析技術を確立し、LED光応用新型漁法に対する適用性を検証

4. 研究成果

以上の研究課題に対するアプローチに基づいて令和元年から令和5年までに得られた研究成果を以下に示す。

(1) 魚群行動の制御実験

新型コロナウイルス感染症のパンデミックにより、徳島県農林水産総合技術センター水産研究課における海洋上すなわち実フィールドでの魚群行動実験を実施することはできなかったが、LED集魚灯の波長を変えた魚群行動の実験と水槽サイズ変更することによる魚群の行動パターンの変化を調べる実験を実施できた。LED光の波長変化実験は暗視下・白色光・赤色光・青色光・緑色光の5パターン、遊泳行動のスケール効果として円形水槽の直径を小型0.8M、中型1.6M、大型3.1Mの3パターンに変えて魚群行動実験を実施して動画データを取得できた(図3参照)。

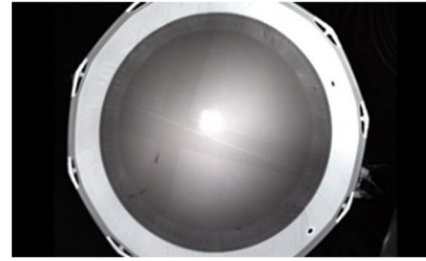


図3 大型水槽における魚群行動

(2) 魚群行動パターンの複雑系解析

我々はこれまでの研究においても魚群行動解析に対するカオス性やフラクタル性によるパターン分析の重要性を指摘してきた。本研究において、さらに、情報エントロピー計算、自己相関関数計算さらに時間フラクタルに加えて空間フラクタルの分析手法も開発した(図4参照)。LED光波長について魚群の制御として重要な特徴量をまとめると、
 ・群速度 暗闇<赤色<青色<白色<緑色
 ・群れサイズ 暗闇<青色<赤色<白色<緑色
 となり、海中での魚群のコントロールには緑色光を中心とした波長で目的に応じた漁法技術を開発すれば良いことが分かった。水槽サイズ変更による魚群行動のスケール効果については、今のところ精密な解析ができてないがスケールが小さいほど行動パターンのランダムネスが大きくなることは判明している。

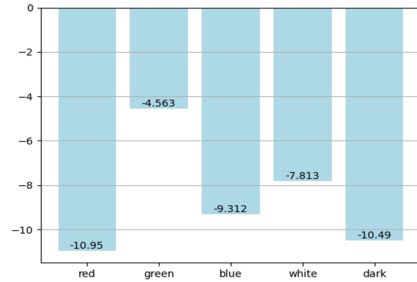


図4 LED波長毎の空間フラクタル性

(3) 魚群のレベルセット計算

本研究で提案する共創場行動の数学モデルは、以下に示す極めて高い非線形性を有する2種類の偏微分方程式のセットで構成される。

$$- \frac{d}{dt} \psi = Dw(\psi, \phi) \text{ in } \Omega, \quad \psi = \Psi \cup d\phi = \Phi \text{ on } d\Omega \quad \dots (1)$$

$$\frac{d}{dt} \psi + V(\psi, \phi) \cdot \nabla \psi = 0 \quad \dots (2)$$

ここで、移流速度 $V(\psi, \phi)$ には行動や環境からのフィードバックで構成されるものとして魚群の持つ群れ行動の生物原理や光環境や水槽環境などの物理条件を組み込まれることになる。

図5に示す計算機シミュレーションの結果は、

10個体の魚群を単純ポイド法でモデリングした場合のレベルセットの時間進展であり、初期条件として共創場が2つに分離するパターンでは近距離効果により、すぐに群れが1つに合体するとともに各個体の遊泳行動が急速に緩慢になることがわかった。ただ、ポリゴン型レベルセット計算にナローバンド近似を与えると群れ行動のレベルセットモデルの生成に問題を生じることが判明した。

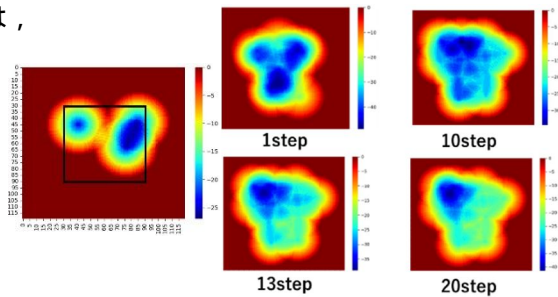


図5 2つの群れが相互作用するレベルセット

さらに魚群行動の撮像データから各種の時系列解析をするには遊泳軌跡の抽出をしなければならぬ。これまで、「人手によるマニュアル抽出」を行ったきたが実験で取得されるデータが大規模になってきたので「機械学習アルゴリズムによる自動化」にも取り組んだ。その成果を図6に示すが12,000フレームを超える魚群行動の撮像動画から自動的に5個体の遊泳軌跡が得られていることがわかる。用いたアルゴリズムはポイド法によるWeakAI計算とYOLOによるDL計算の比較検討であり、現在その性能を検証中である。

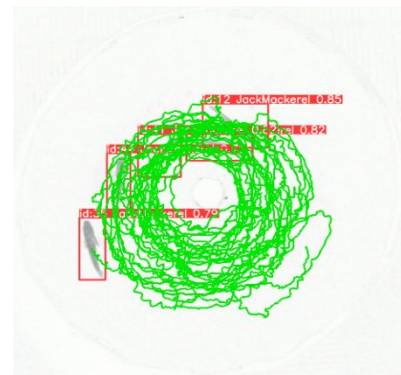


図6 DL法による魚群トラッキング

共創場原理による魚群制御技術を実際の漁法に昇華させるには、コロナ禍における各種不自由の影響もあって、いまだ途上にあると言わざるを得ない。しかしながら、本研究で得られた要素技術をさらに発展させて「産業応用可能な技術」とさせるために今後も研究を継続していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 品川裕依菜, 杉野隆三郎, 福田耕治	4. 巻 1
2. 論文標題 共創場原理を考慮した群集行動モデルの提案と検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2020, 講演概要集, pp.106-108	6. 最初と最後の頁 106,108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 吉原大貴, 福見淳二, 福田耕治, 杉野隆三郎, 住友寿明
2. 発表標題 藻場モデル水槽内における魚類行動に対するカオス性の解析
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高木慎一朗, 伊丹伸, 杉野隆三郎, 福見淳二, 福田耕治, 三宅修平, 住友寿明
2. 発表標題 フラクタル次元解析を用いた魚群行動の定量化
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野優作, 伊丹伸, 杉野隆三郎, 福見淳二, 福田耕治, 三宅修平, 住友寿明
2. 発表標題 LED 光源下における小サイズ魚群行動の複雑系解析
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高岡実里, 杉野隆三郎, 福田耕治
2. 発表標題 VRを利用した群集行動実験システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 美馬歩高, 杉野隆三郎, 福田耕治
2. 発表標題 巣内部での蟻の行動記録システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山口真翔, 杉野隆三郎, 福田耕治
2. 発表標題 群集VR実験システムにおける接触感覚提示システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 楠崇斗, 福見淳二, 福田耕治, 杉野隆三郎, 住友寿明
2. 発表標題 マルチエージェントを用いた藻場環境モデルの構築
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三好俊輔, 福見淳二, 福田耕治, 杉野隆三郎, 住友寿明
2. 発表標題 360°カメラを用いた水槽内の魚類行動計測システムの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下敦史, 三宅修平, 杉野隆三郎, 福田耕治
2. 発表標題 蟻コロニーの3Dシミュレーションシステム開発 - トータル行動モデルの検討と基本機能の構築 -
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ryusei Niki, Shin Itami, Koji Fukuda, Junji Fukumi, Ryuzaburo Sugino, Keiichiro Yosimi, Shuhei Miyake
2. 発表標題 Development of Estimation Algorithm for Fish Schooling Pattern Using Boids Method
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福見淳二, 福田耕治, 杉野隆三郎, 三宅修平, 今井哲郎, 吉見圭一郎
2. 発表標題 全方位カメラによる動画データから抽出された魚類行動の複雑系解析
3. 学会等名 2023年度日本水産工学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junji Fukumi, Koji Fukuda, Ryuzaburo Sugino, Keiichirou Yoshimi
2. 発表標題 Development of Fish Behavior Measurement System Using 360-degree Camera and Monocular Depth Estimation Model
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺尾 颯真, 福見 淳二, 杉野 隆三郎, 福田 耕治, 吉見 圭一郎
2. 発表標題 単眼深度推定モデルを用いた水槽内の魚類行動計測システム
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仁木 琉聖, 杉野隆三郎, 伊丹伸, 福田耕治, 福見 淳二, 吉見圭一郎, 三宅修平
2. 発表標題 魚群行動解析のための群集トラッキング手法の開発
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福見淳二, 福田耕治, 吉見圭一郎, 杉野隆三郎
2. 発表標題 360°カメラを用いた水槽内の魚類行動計測システムの開発
3. 学会等名 2022年度日本水産工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 唐住雄哉, 杉野隆三郎, 三宅修平, 福田耕治
2. 発表標題 個体間情報交換を考慮したアリの役割分担シミュレーション
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoya Sawaguchi, Koji Fukuda, Ryuzaburo Sugino, Shuhei Miyake
2. 発表標題 Numerical Simulation Based on 3D Behavior Model for Fish Schooling
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 元木太一, 福田耕治, 杉野隆三郎
2. 発表標題 イセエビの行動シミュレータ開発を目指したデブスカメラによる水槽実験
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴野顕豊, 杉野隆三郎, 福田耕治
2. 発表標題 Depthカメラによる3次元魚群遊泳軌跡計測システムの構築
3. 学会等名 計測自動制御学会四国支部学術講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	福田 耕治 (Fukuda Koji) (40208955)	阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・教授 (56101)	
研究 分担者	伊丹 伸 (Shin Itami) (60212982)	阿南工業高等専門学校・創造技術工学科・講師 (56101)	
研究 分担者	三宅 修平 (Shuhei Miyake) (00200139)	東京農業大学・情報教育センター・教授 (32515)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------