HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Water Flow Control Methodology to Inhibit Seaweed Twist Based on Physics Simulation [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	小川, 純
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11742号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58623
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Jun_Ogawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（情報科学）　氏名　小川 純

学 位 論 文 題 名

Water Flow Control Methodology to Inhibit Seaweed Twist Based on Physics Simulation
（物理シミュレーションに基づく海洋バイオマスの絡み制御技術）

本論文では, 緑色海藻種であるスジアオノリ群の培養効率化を実現する上で培養槽における海藻間の絡みの制御問題に対し, 情報工学的な観点から糸状海藻群の絡みのシミュレーション解析に取り組み, 絡みを抑制する水流制御法に関する知見獲得を研究目的とする. 現状の海藻培養は, 培養コストと収穫量との費用対効果を打破する手段を模索している段階である. 海藻培養における従来の研究では, 生態学的観点から光合成機能を検証して最適な成長条件を分析する方法と工学的観点から効率的な一度の培養効率化に向けた実用的な培養装置の開発が取り組まれている. しかし, 両アプローチでは実培養を通すことで初めて有効性の検証が可能となるため時間的・コスト的負担が課題として挙げられる. 一方, 情報工学分野では実環境において検証困難とされる多くの状況を想定し検証可能な方法にシミュレーション解析がある. 海藻培養が抱えるコスト軽減を目指すにはシミュレーションの介入が必要不可欠である. そこで本論文では, 一度の培養における収穫量の増加が最も期待される高密度培養の実現に着目する. 高密度培養における課題として海藻同士が葉を密着させながら運動する過程で生じる絡みの形成がある. 絡みの形成は全個体の光合成を滞らせることで成長速度を低下させるため, 絡みが形成されないように海藻の運動を制御する必要がある. 特に高密度培養における糸状海藻の絡みの形成を抑制するように海藻の運動を制御することは形状の複雑さから最も困難な課題であり, 糸状海藻の絡みの制御で得られる知見は屋内海藻培養効率化への重要な知見獲得となる.

情報工学の観点から取り組む本研究の第一段階として, スジアオノリ群の絡みの形成過程を解析する物理シミュレーション基盤の構築および絡み形成の定量化問題の解決を目指す. 絡みの形成は人の認識により解釈が異なる曖昧な定性的事象であり, 既存の手法では無数に存在する運動中の海藻の絡みを解析する数式は定義はなされていない. 絡みを定量的に扱える指標はシミュレーションに基づき絡み形成を数値的に解析可能とする. 第二段階として第一段階で達成された絡み形成の定量化を用いて, 絡み制御に向けて有効な水流制御に対する知見の獲得を目指す. 初めに絡み形成に対して海藻の絡み形成の発生リスクを軽減するための解析に取り組む. ここでは高密度環境における海藻群の運動では接触による物理的相互作用が行われるが絡みが形成される個体と形成されない個体が存在する点に着目している. 絡み形成はその形成条件を満たす物理的相互作用が存在し, 絡み制御を実現するためには絡み形成に寄与する相互作用の性質を明らかにする必要がある. そこで本論文で提案された絡みの定量化指標を用いることで, 海藻群の運動における個体間相互作用はその動的性質を相互作用ネットワークとして記述し解析することが可能となる. 相互作用ネットワークに対し情報拡散の観点から絡みの形成過程を分析する方法を提案し, 絡み形成に寄与する個体間相互作用の性質を明らかにすることで絡み形成の発生を軽減するための知見を獲得する. 次にシミュレーション解析に基づき獲得される分析結果の妥当性を検証し, 本シミュレーション研究の有用性を示す. 本論文の絡みの定量化指標および絡み形成の発生に関する知見に基づき絡みを抑制する水

流特性を提案し, シミュレーション解析により得られた水流が実環境での絡み形成に対しても抑制可能な水流であることを定量的に検証する. その検証結果から絡み解析に関する本シミュレーションの妥当性と絡みを制御可能な水流特性を明らかし, 本研究の有用性を示す.

本論文は全 5 章で構成しており, 第 1 章で海藻培養研究の背景と関連研究の紹介し, 従来の研究に対する本研究の位置付けと目的を説明する. 第 2 章では, 本研究の基盤となる物理シミュレーション基盤の構築方法について記述する. 水中環境下におけるスジアオノリの運動を剛体力学および流体力学で表現し, その生態構造を剛体連結および確率的成長モデルの適用により任意空間への高密度群生成を実現する. 本研究における物理シミュレーションはスジアオノリの自然な絡みが形成される結果を示した. また絡みの定量化問題に対し, 発生した絡みの特徴を物理的要因, 時間的要因, 幾何学的要因の 3 要素に対する数理モデルを提案し, 各要素をベクトル化することで非線形サポートベクターマシンに基づいたベクトルパターン学習を可能にする. 分類実験により学習済み SVM が解析者の認識に近い絡み状態を高精度で判定可能な分類器であること示している. 第 3 章では, 本シミュレーションモデルと絡みの定量化指標を用いて運動するスジアオノリ群を絡みの相互作用ネットワークとして記述し, そのネットワーク構造からで絡みの形成要因を分析する解析手法を提案する. 本章では個体をネットワークにおけるノード, 絡みの定量化指標をノード間のリンク重みに用いることで, 海藻群の運動に応じてリンク構造が時系列変化する動的ネットワークとして表現した. 任意の時刻における運動から表現されるネットワーク構造から, 一定の時間経過後において任意の個体間の絡み形成が別の個体間の絡み形成に与える影響を解析するための情報拡散に基づくリンク解析手法を提案する. 本章では異なる相互作用の性質を解析する隣接行列および拡散カーネル行列に基づいた解析法を適用することで, 絡み形成が生じる個体間と絡み解消が生じる個体間について時系列解析を行う. その検証結果から絡み形成される個体間相互作用は局所的な領域で集塊化する性質である点を明らかにしている. 第 4 章では, 実環境におけるスジアオノリ群に対する水流制御とシミュレーションの妥当性について記述している. 本章では, ネオジム磁石を埋め込んだ円盤回転子の回転速度をマグネチックスターラーに実装したマイクロコンピュータで制御する実環境を構築し, スジアオノリの攪拌実験を行う. 絡み解析に関するシミュレーションの妥当性を検証すために, 実環境側における絡みの解析指標として絡みが原因となり生じる海藻の密集状態を任意の固定視点から写像された 2 次元画像の画素領域で計測する方法を提案している. サポートベクターマシンでの絡みの定量化指標および画素領域での計測指標を用いてスジアオノリの絡み制御に有効な水流特性を解析するために, シミュレーションに基づいて絡み形成を抑制する水流特性を検証し, その検証結果をマグネチックスターラーに与える電圧を一定および周期関数により変化させることで実環境へ反映させる. 本章での検証実験結果から, 定常水流では絡み形成の原因が渦流の発生に起因する点を究明し, 渦流軽減効果を持つ非定常水流を逆流の周期的生成により生成し, その水流特性は絡み抑制に有効である点を示した. 第 5 章ではこれまでの結果を取りまとめ, 結論を述べた.