

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05881

研究課題名(和文) ため池の最適管理の提案に向けて - 小規模水域の水質-生態環境解析モデルの構築 -

研究課題名(英文) A Proposition for Optimal Management of Reservoir environment : Development of Eco-hydrodynamic Model for small water bodies

研究代表者

齋 幸治 (Sai, Koji)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授

研究者番号：30516117

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年，多くのため池において，水生植物の無秩序な繁茂が管理上の問題となっている。高知県内のため池において，植生繁茂の状況を調べた結果，最繁茂期の夏季において，水生植物は水面の7割以上を覆っている現状が明らかとなった。水生植物の存在は，水中の乱れエネルギー(水や物質の移動・攪拌を発生させるエネルギー)を著しく低下させ，懸濁物・有機物の過剰な堆積を引き起こしていることが分かった。また，池内の水温環境にも大きな影響を及ぼし，夏季における底層の貧酸素状態を引き起こす大きな要因となっていた。外来性浮遊植物であるホテイアオイを対象に，繁茂の原因を究明し，種子シードバンク発生地点の浚渫等の対策を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年，就農者の減少や地域の混住化などの影響を受けて，管理の行き届かないため池が多くみられる。とくに，ホテイアオイ等の外来性水生植物の異常繁茂が，水域における水利用上・水環境上の深刻な問題を引き起こすケースが全国的に頻発している。本研究の成果は，このような小規模水域における植生の異常繁茂の問題に対して，植物が“水利用・水環境にどのような悪影響を及ぼしているのか”や，“具体的にどのような対策が講じられるべきか”等を，観測データ・科学的解析を基にして言及したものであり，同様の問題を抱える水域管理者に有益な知見を提供する。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the enormous blooming of aquatic plants has become a serious problem at various reservoirs. As a result of observations of vegetations at the reservoir, located in Kochi Pref., water surface coverage of plants reached to over 70% at summer season. The result of hydrodynamic analysis showed that the enormous vegetation seriously diminished the turbulent energy and caused excessive deposition of suspended sediment and organic matters to the bottoms of the bodies. High surface coverage of plants affected water temperature environment. It was main factor caused oxygen deficient at water bottoms. Finally, the result of bed-material analysis suggest that the dredge up sediment including seed bank of alien plants was effective to prevent enormous vegetation.

研究分野：環境水理学

キーワード：ため池 水利用 水環境 管理 水生植物 生態環境 水質 外来種

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ため池は、農業用水の確保や洪水調整、生態系の保全、浸水の場の提供等、農業農村地域において多面的な機能を持つ。しかしながら、近年では、就農者の減少や高齢化、地域の混住化等の影響により、管理の行き届かない水域が全国的に散見され、各地で水利用上・水環境上の様々な問題が生じている。たとえば、ホテイアオイに代表される外来性水生植物の無秩序な繁茂は、ため池を含む水系内の雨水調整施設の不良を招くのみならず、植物体の枯死・堆積による有機的な汚濁を促進させる。このような諸問題に対して、地域住民を含めた各管理主体は、水域のより良い管理に向けて様々な対策を講じているが、現状としては試行錯誤的に活動を行っている場合がほとんどであり、水環境保全・改善に向けた有効かつ具体的な対策マニュアルは確立していない。このようなため池の抱える課題の解決に向けて、水域内で生じている物理・生物・化学的諸現象の定量的理解は必要不可欠であり、さらには数理環境解析の導入と、その高精度化は重要な位置づけにあるといえる。

2. 研究の目的

上述のようなため池に関わる課題の達成に向けて、本研究では以下のような具体的な研究目的を設定した。

【1】水質-生態環境の現状把握

詳細な水質・生態環境に関する現地観測データを集積し、水域環境の現状を分析した。

【2】外来性水生植物を対象とした分布調査ならびに水環境へ及ぼす影響の定量化

ここではとくに、浮葉植物および浮遊植物を対象にして、それらの繁茂の季節的消長・分布特性について明らかにする。また、水生植物の存在が、水域内の環境へ及ぼす影響について、主に水理学的観点から定量的に検討した。

【3】数理モデルへの植生データの活用とモデルパラメータの最適化

水生植物の影響を組み込んだ高精度水環境解析数理モデルを構築した。また、モデルパラメータの設定において最適化アルゴリズムを導入し、モデルの妥当性の確保を試みた。

3. 研究の方法

高知県南国市に位置する石土池を研究対象水域として設定した。上述の研究目的に対して、以下のような手法・手順を踏まえながら研究を進めた。

・無人空撮技術（ドローン）の応用：

近年、同技術の一般普及はめざましく、当該研究分野への応用も活発である。一方で、得られるデータの定量的解析および現場課題へのデータの積極的活用は不十分であると思われる。本研究においては、水域における植生の水面被覆状況や存在量、さらにそれらの経時的变化について、年間の航空写真撮影の継続およびその画像解析を通じて検討した。

・植物の水面被覆が水域の環境へ及ぼす影響の定量化：

従来の一般的な水環境解析において、水生植物をはじめとする生態環境の影響を、十分に考慮している報告は少ない。本研究では、植生-水環境の相互関係に関する現地観測や、上述の空撮・画像解析技術による繁茂状況の解析等を通じて、植生の存在が水域への物理・化学環境へ及ぼす影響について詳細に究明した。

・水環境解析・将来予測モデルの最適化：

観測により得られたデータに基づいて、小規模水域に対応した水環境解析モデルを構築した。モデルの構築にあたっては、各種のモデルパラメータ（乱流拡散係数等）の設定に遺伝的アルゴリズムを導入し、モデルの高精度化を目指した。

なお、本研究対象水域は、高知県東土木事務所が管理主体となっており、研究期間中において情報交換等の交流を行った。研究最終年度においては、研究成果の社会還元を念頭に置き、外来性植物の効果的な防除方法についても検討した。具体的には、ホテイアオイを対象に、その繁殖過程と主な発生源についても究明した。

4. 研究成果

本研究の主な成果は以下のとおりである。

(1) 水生植物の時空間的分布特性

水生植物の水表面被覆状況の一例を Fig. 1, 2 に示す。同図のような航空写真より、水生植物が水表面を覆う割合（以下、表面被覆率）を求めた。2018～2020 年までの植物種別（布袋お会い、ヒシ）の表面被覆率の時間的推移を Fig. 3 に示す。

ホテイアオイの表面被覆率に着目すると、2019 年 12 月から 2020 年 1 月にかけて、冬季にも関わらずホテイアオイが減少しなかった。これは、この時期の気温が比較的高かったことが原因として挙げられた。ホテイアオイは、平均気温 7°C以上が生育可能な温度であり、この時期の石土池近辺の日平均気温は、2019 年 12 月が 10.3°C、2020 年 1 月が 9.2°Cであった。2020 年に前年と比較して急激にホテイアオイの表面被覆率が増加した理由についても同様に、2019 年から 2020 年にかけての冬季の気温が比較的高かったことが挙げられた。2019 年 12 月から 2020 年 2 月の間に氷点下を記録したのは、2月5日、2月6日、2月10日、2月18日のみであった。ホテイアオイの越冬できる限界温度は、0°C以下の積算気温が-500°C×時間であるという既往の研究結果（富久、1989）から、2020 年 1 月に増加傾向にあったホテイアオイが越冬し、2020 年におけるホテイアオイの表面被覆率増加に影響したと考えられた。このことから、前年の冬季の気温が、ホテイアオイの繁茂に影響していると推測された。

ヒシの表面被覆率に着目すると、ヒシは 8 月に被覆率のピークを迎え、その後徐々にその数を



Fig. 1 水生植物の被覆状況
(2019 年 7 月)



Fig. 2 水生植物の被覆状況
(2020 年 9 月)

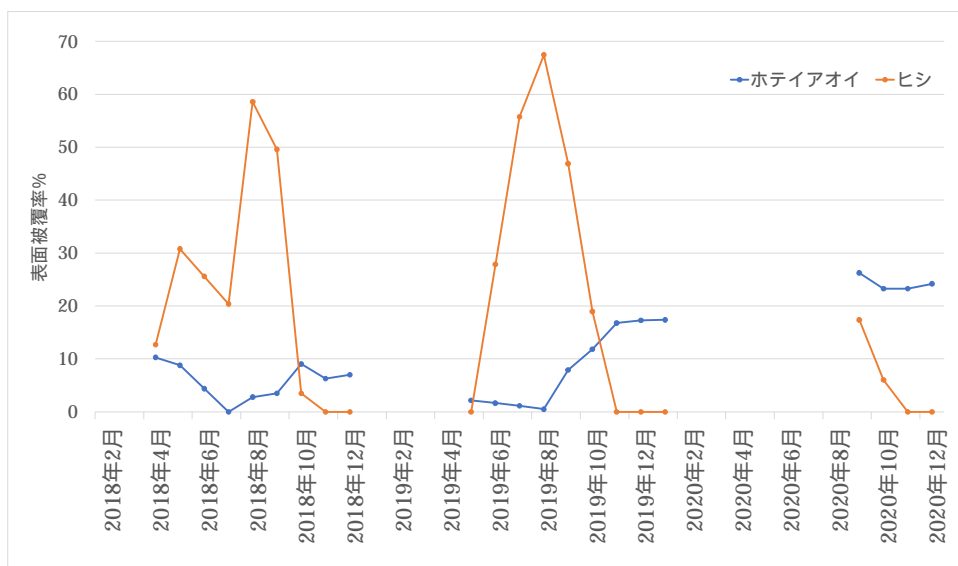


Fig. 3 水生植物による表面被覆率の時間的推移

減らしていき、冬季には表面被覆率が0%を示した。また、ホテイアオイが少ない年の夏季にヒシの大繁茂が起こっていた。ヒシの繁茂期が8月から9月頃である(角野, 1994)ことを考慮すると、石土池のヒシの増減はヒシの生活史の通りであるといえるが、ホテイアオイの少ない2018年と2019年の夏季にヒシが大繁茂したことから、ホテイアオイがヒシの増殖を制限していると推測された。

(2) 水生植物が池内の水理環境へ及ぼす影響

ホテイアオイとヒシが、池内の流れ場へ与える影響について検討するため、ホテイアオイとヒシそれぞれの植生下および植生のない地点で流速を連続的に測定した(サンプリングレート 1.25 Hz)。また、同時刻に風速も測定し、水表面に作用する摩擦速度を算出した。測定した流速と摩擦速度から、ホテイアオイとヒシの植生が流れ場の流速に与える影響について定量的に検討した。さらに、水生植物の存在が、水域内の乱れ発生に及ぼす影響について検討するために、流速の時系列データより乱れエネルギー k を算出した。

ホテイアオイ植生下およびヒシ植生下における流速と摩擦速度の関係の一例を Fig. 4, 5 に示す。同図より、植生のない地点では、水深が浅く、摩擦速度が大きいほど流速は速くなっているのに対し、植生下ではホテイアオイとヒシの両方で水深や摩擦速度が変化しても流速はほとんど変化しなかった。とくに、水深0.1m地点、水深0.4m地点においては、植生の有無が摩擦速度による流速の発生に大きく影響していた。また、植生の無い地点では水深が深くなるにつれて流速の傾きは小さくなっていくのに対して、植生下では水深が深くなって流速はほとんど変化しないことが分かった。このことから、植物種を問わず、植物体の存在が風による流れの駆動力を障害し、流速および水深方向での流速勾配を著しく小さくしていることが明らかとなった。

つぎに、ホテイアオイ植生下、ヒシ植生下、植生のない地点の3種類それぞれの乱れエネルギーについて水深ごとに算出した。観測期間中の平均乱れエネルギーを Table 1 にまとめる。また、航空写真より求めた植生の被覆率データを基にして、池内における乱れエネルギーの分布を算定した。乱れエネルギーの空間分布の一例を Fig. 6 に示す。これらの図より、水生植物の繁茂が盛んな夏~秋季に、乱れエネルギーの小さい区画が南岸および北岸付近でみられた。冬季には、枯死せずに残った一部のホテイアオイが北風の影響で南部に密集するため、南部で乱れエネルギーの小さい区画が確認された。また、春季から秋季にかけて、池の北東部で乱れエネルギーが小さい状態が長く続いていることが分かった。この要因としては、北東部において、春季から秋季にかけてヒシの表面被覆率が比較的高い状態にあることが原因の一つとして挙げられた。ヒシが繁茂している区域では、ヒシが枯死することで被覆状況が大きく変化し、乱れエネルギーに影響を及ぼすと推測

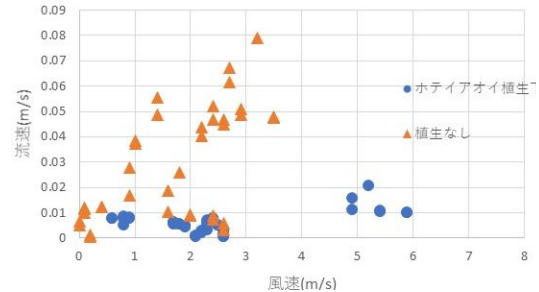


Fig. 4 ホテイアオイ植生下における流速と摩擦速度の関係

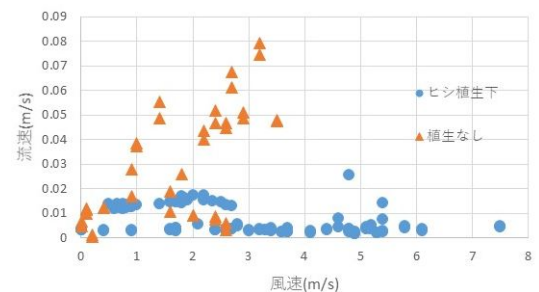


Fig. 5 ヒシ植生下における流速と摩擦速度の関係

Table 1 水中の乱れエネルギー (/10⁵ [m²/s²])

| 水深 | ホテイアオイ | ヒシ | 植生なし |
|------|--------|-------|-------|
| 0.1m | 0.785 | 0.908 | 2.186 |
| 0.4m | 0.607 | 0.391 | 6.889 |
| 0.8m | 0.664 | 0.793 | 1.528 |

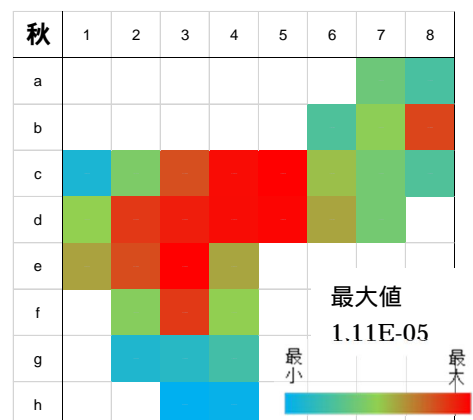


Fig. 6 池内の乱れエネルギーの分布

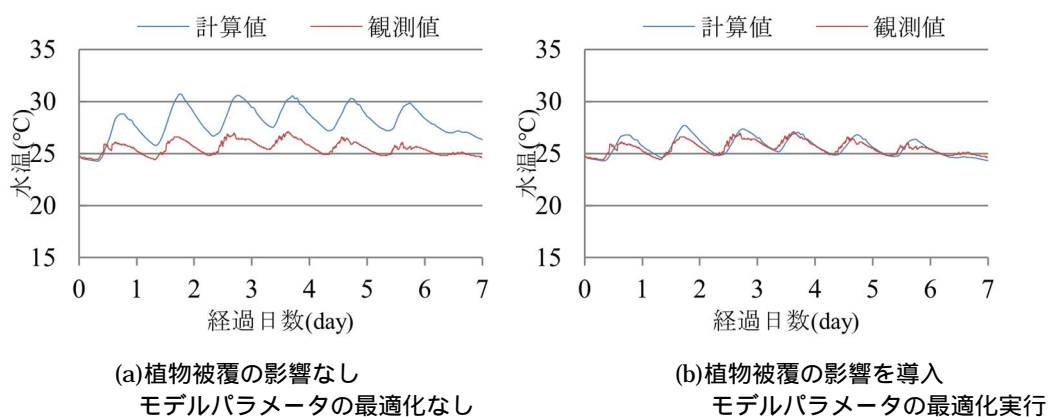
された。

以上より、植生は池内の水理環境へ多大な影響を及ぼし、とくに水生植生の密な南岸・北岸付近において乱れエネルギーが小さく、懸濁物や有機物等の過剰な堆積を招くことが危惧された。

(3) 水環境解析数理モデルへの植生繁茂の影響の導入

水深方向の1次元水温予測数理モデルを準備し、植生被覆による池内の水温環境への影響を同モデルへ導入した。ここでは、とくに浮遊植物による日射遮蔽効果を反映し、水温の再現計算を行った。さらに、水温の輸送に関わる乱流拡散係数のモデルパラメータ設定に遺伝的アルゴリズムを導入し、モデル精度の向上を図った。現地観測により得られた水温時系列データの再現結果の一例を Figs. 7 に示す。両図より、植生の影響を加味し、さらにモデルパラメータの最適化を実行したことで、モデルの妥当性の顕著な向上に成功した。

一方で、植生が水域内の水温環境へ及ぼす影響としては、日射遮蔽効果のみならず、水表面における熱交換機構の変化等も考えられたが、顕熱・潜熱量等の観測は現地の地理的要因から困難であった。これらの要素に関するベンチスケールでの実験・分析等が、今後、課題として挙げられた。



Figs. 7 水温解析モデルによる再現計算結果
(再現期間：2015年9月10日0:00～9月17日0:00)

引用文献)

富久保男(1989):岡山県におけるホテイアオイの生態と防除に関する研究,雑草研究,Vol.34(2), pp.94-100

角野康郎(1994):日本水草図鑑,文一総合出版

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 齋 幸治・野村昌平・浦安 慧・村上雅博 |
| 2. 発表標題 浮遊植物の繁茂が小規模閉鎖性水域内の物理的環境に及ぼす影響について |
| 3. 学会等名 農業農村工学会 |
| 4. 発表年 2018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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|