

38. 地球温暖化が高知城堀に及ぼす水質環境変化と バイオマニピュレーション

浦安 慧^{1*}・押谷 優¹・村上 雅博²

¹ 高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻（〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185）
² 高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻 教授（〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185）

* E-mail: 175002p@kochi-tech.ac.jp

気候変動の影響を考慮した持続的な水質環境保全の適応策を提案するため、高知城内堀の水質と魚類の活性度の関係についてメソコスム実験手法を適用し、水温の変化が魚類（鯉）の活性度に与える影響と濁度の関係性を評価した。高知城内堀は、魚類（鯉）による底泥の巻き上げにより濁度が上がり水質や景観が悪化している。メソコスム実験の結果は、水温が15℃を上回る時魚類の活性度と濁度が急激に上昇し、水温が25℃近くになる時と水温が15℃を下回る時、魚類の活性度と濁度が著しく低下することが分かった。本論は、少ない費用で環境負荷がほとんどかからないバイオマニピュレーション手法を適用して持続的な水質環境保全を行うことを提案する。

Key Words : global warming, bio-manipulation, mesocosm experiment

1. はじめに

今日の日本の多くの半閉鎖的な環境における水域では、植物プランクトンの大量発生や底泥が多くたまりやすく魚類が泥を巻き上げることで水質悪化の問題が各所発生している。底泥を巻き上げ水質や景観の悪化の主要な原因である魚類の生態系（食物連鎖網）に着目した¹⁾。鯉は、日本では古くから鑑賞用や食用などで親しまれている雑食性の魚類でなんでも食べる特性を持ち、底泥に生息する生物（底生昆虫類）を好んで食べるため泥を大量に巻き上げる。結果、春先から夏にかけて著しく水質を悪化させている。これは、冬季が過ぎ水温上昇に伴い魚類（鯉）が活性化するためである。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）において世界の平均気温は1910年から2010年の100年間で0.74℃上昇していることが報告されている¹⁾。近年の世界の平均気温は急速に上昇しており、1980年から2010年の30年間では、0.4℃上昇している。図-1は、高知市の平均気温の経年変化を表している。1980年頃からの高知県の平均気温も、1.792℃と急速に上昇している。この30年間の高知県の平均気温が世界の平均気温よりも上昇傾向で

ある原因は2つある。1つは、世界最大規模の暖流・黒潮海流が土佐湾沖を通っていることである。もう1つは黒潮海流が運んだ熱エネルギーを土佐湾のお椀型の地形が受け止める形となっているためである。このことから高知県は、他の地域よりも温暖化の影響を非常に受けやすいホットスポットとなっている²⁾。

本研究では、高知城内堀の水質と鯉の関連性を評価し、水温の変化が魚類（鯉）の活性度に与える影響と濁度の関係性を明らかにし、高知城内堀の水質改善策を提案することが目的である³⁾。

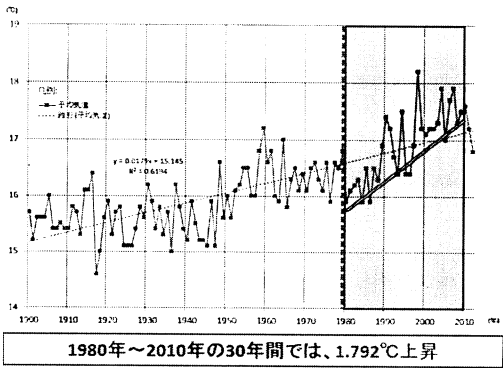


図-1 高知市の気温変化の傾向

2. 高知城内堀の水質環境変化

(1) 高知城内堀の概要

高知城は、太平洋沿岸に面した高知県中央部の高知市に位置している。高知城は観光名所として高知県の象徴的存在である。高知城内堀は昔から景観の1つとして県民から親しまれていた。内堀の水は、江戸時代から隣接する江の口川の水を導水していたが、公園整備の際に川と切り離し雨水を集める城堀跡になった。結果、水質が悪化しアオコが大発生して景観や臭い等の影響が出た。これらの問題を解決するため高知県は浅井戸から水を汲み上げ高知城内堀の水源とした。地下水は一般的に水質が良好で水温も年間を通じて15～20℃と安定しているため理想的な水源とされ、問題解決の切り札であるとされた。地下水が流入する内堀の上流部では水質は良好で透明度も高い。写真-1のように大型の鯉が高密度に生息している下流部では水質環境は著しく悪化している。

(2) 環境モニタリングの概要

本調査は気温・水温の変動に応じた高知城内堀の水質変動特性と、水質汚濁メカニズムの検証を行うために月1～2回の頻度で実施した⁴⁾。図-2に高知城内堀のサンプリング地点を示す。西側最奥を地点①としそこから、取水源である地下水を②、高知県庁舎前を③④、城門付近を⑤、最下流地点を⑥⑦とした計7地点でのサンプリングと分析を実施した。調査項目は、一般水質項目(水温・pH・電気伝導度・溶存酸素量・COD・全窒素・溶存態リン)に加え濁度、クロロフィル-aの測定を行った。

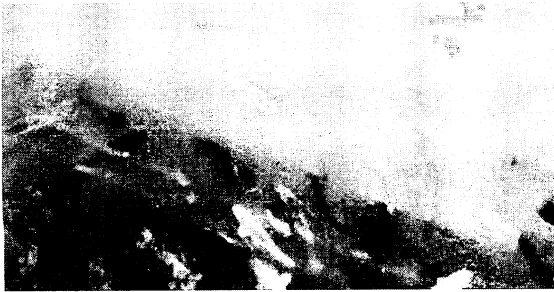


写真-1 下流域に密集する鯉

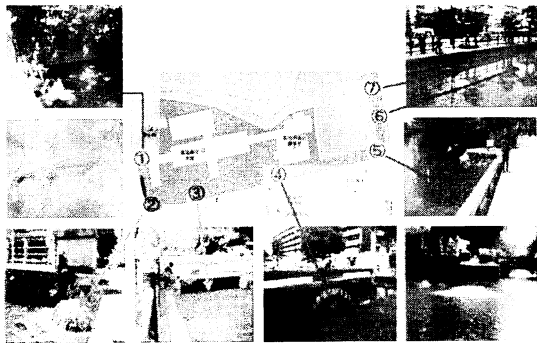


図-2 高知城内堀の調査地点

(3) 水質調査の結果

高知城内堀の水温・クロロフィル-a・濁度・溶存酸素量の年間の変化を図-3～6に示す。地下水流入口である地点②は水温15～20℃間で一定であり、対比的に下流の地点④・⑤は夏季と冬季の温度変化が顕著に表れた。冬季の水温は約10℃で夏季の水温は約30℃に達した。水温の高い夏季では濁度やクロロフィル-aが上昇、冬季ではそれらの値が低下しており、水温変化に水質が比例している。気温の高い7～9月に掛けて下流域の地点④・⑤では、濁度とクロロフィル-aのは大きな変化はなく高い値を維持していた。溶存酸素量は、地点②(地下水)では6(mg/L)と低く、下流の地点⑤に於いては9～11(mg/L)と高い。

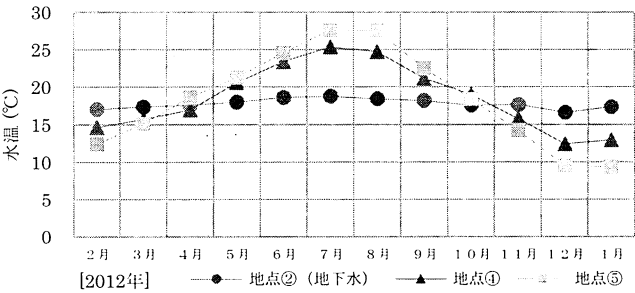


図-3 高知城内堀の水温の年間変動

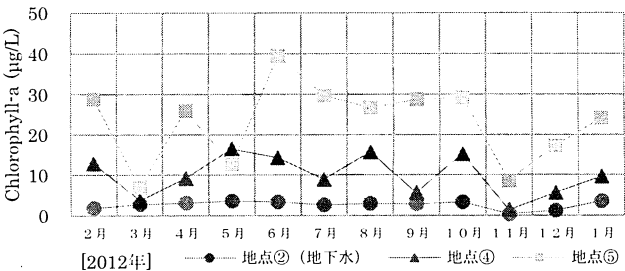


図-4 高知城内堀のクロロフィルの年間変動

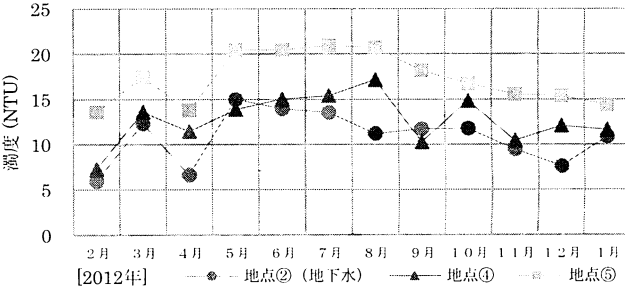


図-5 高知城内堀の濁度の年間変動

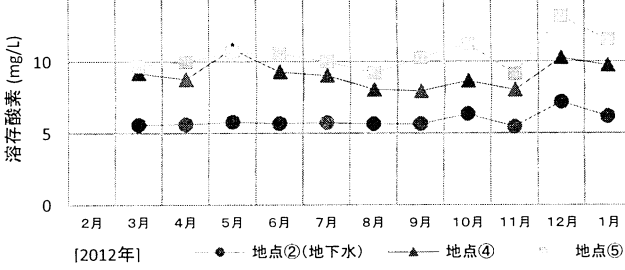


図-6 高知城内堀の溶存酸素の年間変動

(3) 水質モニタリング調査のまとめ

高知城内堀の水温と高知市の気温の関係を図-7 に示す。高知城内堀の下流では水温の上昇は気温に支配されていることが分かる。地下水が流入している地点②では水温が1年を通して安定していることが確認された。それ以外の下流の地点④・⑤では水温が10～30℃の範囲で変動していた。このため冬季には魚類の多くが安定した水温の地点②付近に移動していることが確認された。春先の水温上昇に伴い魚類の活性化も確認され、濁度も2月から3月にかけて急激に上昇していることが図-8から分かる。溶存酸素量は下流域において1年を通して常に過飽和状態である。しかし高知城内堀には鯉や草魚がいるため水草は全く生えていない。このことから高知城内堀の溶存酸素は植物プランクトンの寄与が大きい。

これらのことから、高知城内堀は地下水が流入している地点②は1年間を通してどの水質項目も安定していることがわかった。しかし、下流の地点④・⑤は気温による水温の変化に伴って大きく変化していることがわかる。またこの水温変化が魚類（鯉）に対して活性度の変化をもたらしていることもわかった。

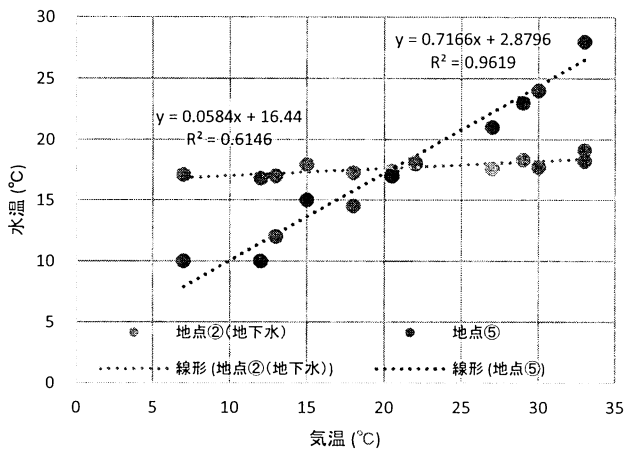


図-7 高知城内堀の気温と水温の関係性

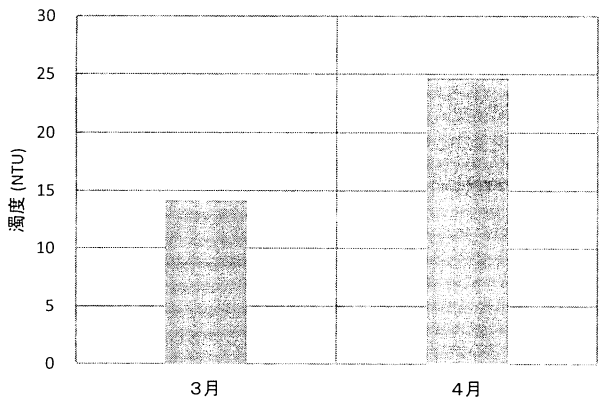


図-8 高知城内堀⑤地点における春先の濁度比較

3. 水温の変化と魚類の活性度及び濁度

(1) メソコスム実験の手順

メソコスム水槽（25L）に高知城内堀から採取してきたヘドロと鯉の幼魚（体長15cm）1匹を入れることで高知城内堀の水質環境を再現したモデルをつくった³⁾。高知城の水と底泥を投入した後2日間放置し、水質のサンプリングを始めた。鯉の投入をサンプリング開始から2日後にし、魚類の有無で水質環境がどのように変化するかと比較実験を行った。全行程をまとめたものを図-9に示す。

(2) メソコスム実験の条件

水温の変化と鯉の活性度と濁度の関係を明らかにするために行った2つのパターンの実験条件を図-10に示す。第1は水温調節を行わず冬の外気温（2月）にさらし、第2は水温調節し15℃・20℃・25℃と変化させたときのそれぞれの鯉の活性度と濁度の変化とその相関について調べた（写真-2、3参照）。

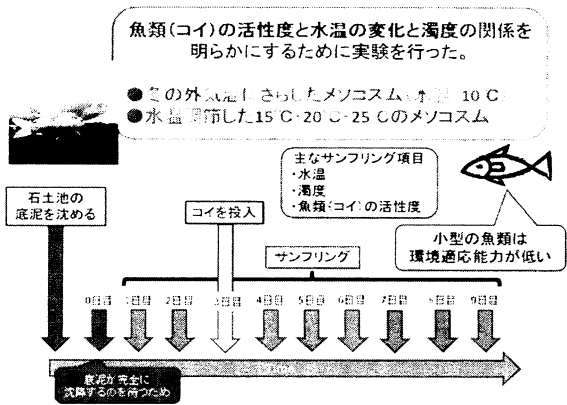


図-9 メソコスム実験の全行程

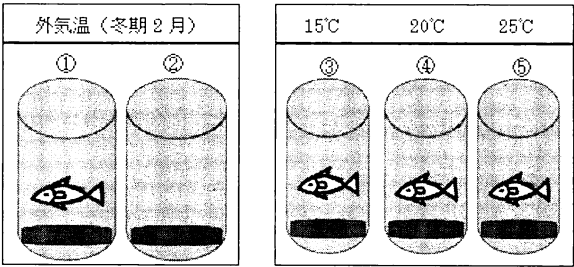


図-10 高知城内堀の気温と水温の関係性

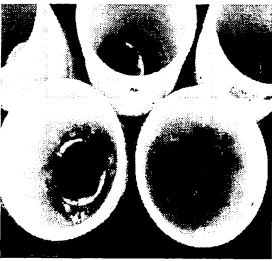


写真-2 メソコスム水槽（温度調整無）

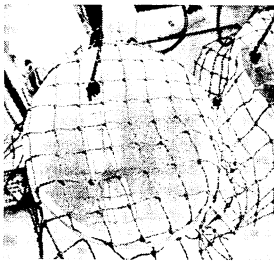
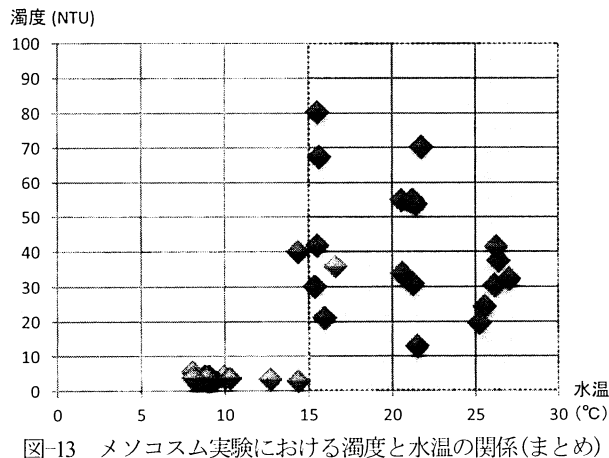
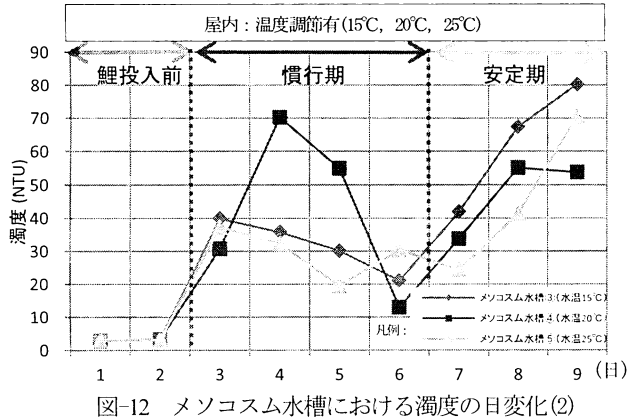
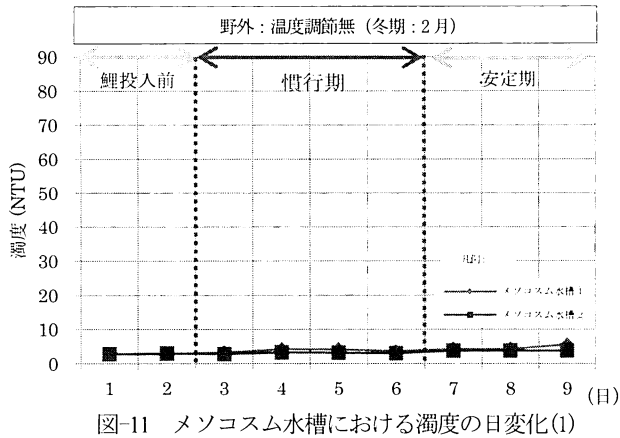


写真-3 メソコスム水槽（温度調整有）

(3) メソコスム実験の結果と考察

測定期間によってメソコスム水槽の状態が異なったため、鯉投入前・慣行期・安定期の3つの期間に分けた。図-11に示すように温度調節無の場合の水温はほぼ8℃と低温で鯉の活性度は非常に低く、泥の巻き上げもほとんどなかった。図-12の温度調節したメソコスム水槽では鯉が投入された後に濁度が実験初期に比べ最大で約40倍に上昇している。鯉がメソコスム水槽の水温に慣れた安定期から濁度が上昇し続けた。また水温が25℃近くになると濁度が若干低下した。図-13に示す全てのメソコスム水槽の水温と濁度の関係では、15℃を境に急激に上昇した。



4. まとめ

高知城内堀の水質と生態系モニタリングの結果から、高知城内堀の水質は地下水を水源としたため急激な水質の悪化を防いでいることがわかった。高知城内堀の水質は、水源を地下水としているため堀の上流側では良好に保たれている。気温の影響を大きく受ける堀の下流側では濁度とクロロフィルが水温に伴って上昇している。

良好な水質の指標として用いられる琵琶湖北湖と高知城内堀地点⑤を比較すると大きな違いがある。高知城内堀地点⑤の濁度は約5倍、クロロフィルは最大約6~20倍も琵琶湖北湖より高い数値を示している。地点⑤のクロロフィルは年間を通して高くアオコの発生の目安である20(μg/L)を超えているが⁶⁾ 地下水の流入によって水温の異常な上昇がなくアオコの発生が抑えられてる。地点⑤の濁度が高い状態は大型の魚類(鯉や草魚)による底泥の巻き上げによるものが大きく3月下旬に水温が15℃~17℃を超えたあたりから濁度が急激に上昇することが確認された。

魚類(鯉)の活性度は水温変化に支配されていることがわかった。春先の急激な水の濁りは鯉が生殖活動のために底泥中の底生生物(底生昆虫類)を捕食するために巻き上がる泥成分によるものである。高知城内堀では水温の上昇に伴い濁度も増加したが夏季には濁度の上昇が止まった。メソコスム実験では25℃を超えたあたりから鯉の活性度が鈍くなり低下した。

高知城内堀は長年同じ環境で生息してきた成魚(50~100cm)のため水温の変化にも対応ができ水温が高い状態でも活性化していた。実験の幼魚(15cm)は水温変化に適応できていないため水温が25℃を超えたあたりから鯉の活性度が低下した。また高知城の内堀は上流水源にて地下水が常に汲み上げられて一定水温(15℃~20℃)に保たれているため魚類にとって生息しやすい環境となっている。このため地下水が導入されている地点②では、年間を通して水温が15℃~20℃で安定しており魚類にとって生息しやすい適正温度であるため、夏季と冬季に鯉や草魚が多く集まっていることが確認された。

高知城内堀における濁度の改善は、底泥の浚渫を定期的に行う、もしくは大型の雑食魚(鯉や草魚)の生息密度をコントロールすることで水の透明度が上がる効果につながる。

謝辞：本発表は文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム」(RECCA)の経費を用いて実施されたもので、資料収集と実験の遂行に際し協力を頂いた多くの方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書技術要約
<http://www.ipcc.ch/>
- 2) 村上雅博, (2012), “地球温暖化と土佐湾海水温度の時空間変動”, 高知工科大学紀要第 9 巻 1 号, pp.1-9, 2012 年
- 3) Hospers S.H. And Meljer M-L., (1999), “Biomaniipulation in Shallow Lakes: Results of Nine Long-term Case Studies in the Netherlands”, 水環境学会誌, Vol.22, No1, pp.18-23
- 4) 森本敬光, (2010), “水温の変化が沈水性植物の水質改善効果に及ぼす影響-石土池を対象として-”, 高知工科大学 2010 年度修士論文
- 5) 藤原友佳, (2011), “高知城内堀の水質環境の特性について [高知城内堀の水質環境特性]”, 高知工科大学 2011 年度修士論文
- 6) 農林水産省 農村振興局農村環境課: 農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書, pp.11-14, 2012