

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20880019

研究課題名（和文） 都市化・混住化が進行する農業農村地域における富栄養貯水池の水環境
評価手法の確立研究課題名（英文） Establishment of Optimal Management of Agricultural Reservoir
located in a rural-urban fringe

研究代表者

齋 幸治（SAI KOJI）

高知大学・教育研究部自然科学系・講師

研究者番号：30516117

研究成果の概要（和文）：

混住化地域における富栄養貯水池の水環境問題の解決に向けた調査研究を実施した。対象水域は高知市東部に位置する農業用貯水池である絶海池とした。水質モニタリングの結果、過去から現在に至るまで池内に堆積した底泥が汚濁源として、貯水池の水環境に大きな悪影響を及ぼしていることが確認された。また、地域住民が貯水池の水環境に抱く意識の調査を行い、その結果を基に、最適な水環境修復技術を提案した。

研究成果の概要（英文）：

A Research on water environment of eutrophic reservoir located in rural-urban fringe was conducted. Tarumi Pond located in eastern Kochi City was selected as the research reservoir. As a result of multipoint survey of water quality, it was confirmed that the bottom mud accumulated in the reservoir had caused a harmful influence for the water environment of the reservoir as a source of contamination. Based on the questionnaire survey of inhabitant consciousness about the water environment of Tarumi Pond, the author suggested the water purification method with lower cost performance.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,340,000	402,000	1,742,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,540,000	762,000	3,302,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：地域水環境，都市化，混住化，水質汚濁，貯水池

1. 研究開始当初の背景

全国各地には約 21 万箇所のため池があり、地域において、洪水緩和、生態系保全、地下水涵養、景観形成等多面的な役割を果たしている。しかしながら、近年とくに都市外縁部

の拡大に伴う営農者と非営農者の混住化が進行している地域において、排水の多様化や二次産業の活性化等の影響により、ため池の水環境悪化が危惧されている。また、ため池の管理主体の労働力低下や営農者の高齢化

といった社会情勢の中で、ため池の適切な管理が十分に行われていないケースも少なくない。ため池が持つ多面的機能の維持および健全な水環境の保全是、地域が達成すべき喫緊の課題であり、効率的かつ持続的なため池の管理手法の提案が強く求められている。

高知市高須・五台山地区に位置する農業用ため池である絶海池も例外ではなく、近年の池周辺部の混住化とともに、水環境の悪化が顕在化している。例えば、植物プランクトンの異常増殖による景観の悪化や悪臭などがしばしば生じ、農業用水源としての価値も低下している。また、池底には、池内全域に渡り多量の泥が堆積しており、一部ヘドロ化している箇所も見受けられる。底泥の堆積は、池が持つ貯水能力の低下を引き起こし、洪水調整池としての絶海池の価値も低下させる。絶海池は、上述したような農業用水源、洪水調整池としての利用のみならず、地域住民の親水・レクリエーションの場となるなど、社会的・文化的な価値も高い。したがって、絶海池の水環境改善・保全是、地域にとって克服すべき課題であるとともに、大きな願望であると思われる。

2. 研究の目的

上記の課題を達成するにあたり、水域の水環境の現状を詳細に把握するとともに、汚濁メカニズムを究明していくことは極めて重要である。また、それらの結果を基にして、同水域に応じた水環境改善策を提示していく必要がある。

ところで、現在、実質的な絶海池の管理は、地元土地改良区や営農者が主に行っており、農業従事者人口の減少や高齢化といった人的資源の問題から、その維持管理が困難になりつつある。混住化地域に存在する同池では、今後、農業従事者のみならず、非営農者を含めた地域全体での適切な管理形態を取ることが望まれる。その実現には、地域社会を構成する周辺住民全体に適切な管理の重要性を理解してもらう必要がある。この達成に向けて、現在地域住民が絶海池の水環境に抱く意識の把握も重要である。

以上を鑑みて、本研究では、以下の項目について調査・検討した。

- (1) 絶海池の水環境の現状の把握
- (2) 汚濁メカニズムの解明
- (3) 水質浄化技術の考案とその有効性に関する研究
- (4) 地域住民の絶海池に対する意識調査

3. 研究の方法

(1) 絶海池の水環境の現状の把握

図1に示すような池内および流入水路の多地点において、有機汚濁・富栄養化に関する項目を主として、水質調査を実施した。



図1 調査地点

(2) 汚濁メカニズムの解明

大量に堆積している底泥（ヘドロ）が池の水環境に与える影響について、実験的に検討した。すなわち、図2のような装置を用いて、リンに関する溶出試験を実施した。

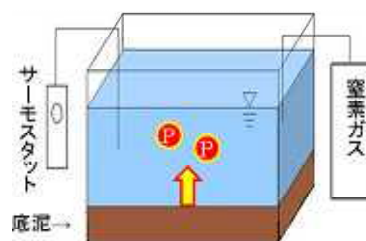


図2 溶出試験の概要

(3) 水質浄化技術の考案とその有効性に関する研究

地域住民にとって現実的な取り組みを支援するために、安価な地域資源を利用した水質浄化技術を提示し、その有効性について検討した。本研究では、廃瓦を利用した水質浄化法および浮島型植生浄化法について検討した。ここでは、植栽植物として池周辺に自生しているオランダハッカ（以下、ミント）ならびに浮島素材としてマダケを利用した浮島型植生浄化法を取り上げ、同材料における浄化装置の有効性について報告する。

(4) 地域住民の絶海池に対する意識調査

絶海池の水環境改善に向けて重要となる池周辺住民のため池に対する価値観や保全活動に対する意識について、その把握を目的としたアンケート調査を行った。

4. 研究成果

(1) 絶海池の水環境の現状の把握

平成 20～21 年度にかけて、継続した水質モニタリングを行った。ここでは一例として、平成 21 年度における全窒素（TN）および全リン（TP）の調査結果について報告する。

TN の観測結果を図 3 に示す。調査期間中の TN の値は、水路で 0.14～4.47mg/L、池内で 0.70～2.80mg/L の範囲で推移した。絶海池は栄養塩に関する環境基準は指定されていないが、とくに池内における各地点の平均値は 1.20mg/L を超えており、これは窒素に関わる湖沼の環境基準の類型 V に相当する。水路においても、C3 を除くすべての地点において、

平均濃度が1.0mg/L以上であり、高窒素濃度の水が池内に流入していることが確認された。とくに、集落内を流れ生活排水が直接流入する南岸の水路(C6, C7)におけるTNは極めて高い値であった。

TPの観測結果を図3に示す。調査期間中のTPの値は、水路で0.11~1.46mg/L、池内で0.02~1.08mg/Lの範囲で推移した。池内において、OECD(経済協力開発機構)が富栄養化の基準としている0.035mg/Lおよび過栄養化の基準である0.1mg/Lを超える地点も多く見られることから、池内は栄養塩過多の状態にあることが窺える。水路においても、各地点の平均濃度は0.20mg/L以上であり、高リン濃度の水の流入が確認された。また、TNと同様に、南岸の水路(C6, C7)において、TPが高い傾向が見られた。

以上のことから、池への外部負荷の軽減に向けて、池南岸の水路における排水対策が重要であることが明らかとなった。

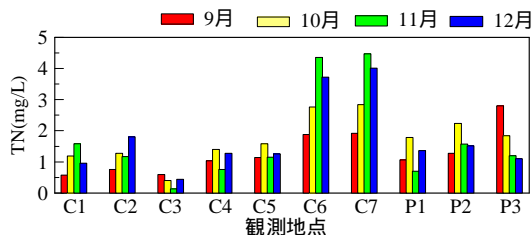


図3 TNの測定結果

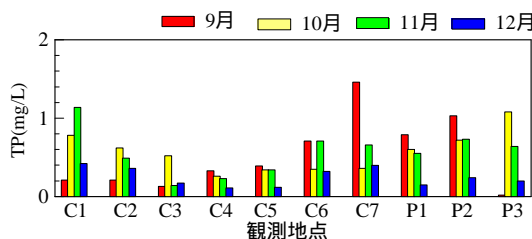


図4 TPの測定結果

(2) 汚濁メカニズムの解明

前述したように、絶海池には多量の底泥が堆積しており、それが池の水環境に大きく寄与している可能性が考えられる。そこで、底泥からの内部負荷が池の水環境に与える影響について定量的に検討するために、底泥からの栄養塩の溶出に関する試験を行った。ここでは、自然環境中に微量にしか存在せず、日本の多くの湖沼・ため池において、植物プランクトン増殖の制限要因となる溶出態リン(DP)に着目し、その溶出過程について検討した。

本試験で用いた底泥は、図1中のP2において、エクマンバージ採泥器を用いてサンプリングした。図2に示したような17×17×17cmの水槽にサンプリングした底泥を敷き詰め、

泥を巻きあげないように注意しながら慎重に純粋を湛水した。また、栄養塩溶出に大きく影響する水温およびDOについて、それらを強制的に制御することで、水温およびDOが溶出に与える影響について検討した。ここでは、春季~夏季の高水温期における栄養塩溶出量を推定するために、サーモスタットを用いて20と25に水温を調整した。また、窒素曝気を行うことにより、栄養塩溶出が活発となる嫌気的環境を設けた。本試験における実験条件は以下の4ケースである。

- (A)水温 25 , 貧酸素状態(窒素曝気あり)
- (B)水温 20 , 貧酸素状態(窒素曝気あり)
- (C)水温 25 , 有酸素状態(窒素曝気なし)
- (D)水温 20 , 有酸素状態(窒素曝気なし)

測定期間は4週間とし、試験開始から0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28日後にそれぞれ採水し、リン分析に供した。

図5に各実験ケースにおける水槽内のリン濃度の経時変化を、図6に溶出速度の経時変化を示す。図5より、いずれの実験ケースにおいても時間が経過するごとにリンの濃度が上昇し、試験開始後28dには、Aで4.33mg/l、Bで2.77mg/l、Cで0.98mg/l、Dで1.09mg/lとなった。有酸素状態である実験ケースC、Dでは、試験開始後5dまでは、リンの溶出は見られなかったものの、その後濃度の上昇が見られ、Cで21.99mg/m²/d、Dで23.48mg/m²/dの最大溶出速度を記録した。一方、貧酸素条件下のA、Bでは、試験開始後ただちにリンの溶出が始まり、試験期間を通じてAで97.53mg/m²/d、Bで115.50mg/m²/dという極めて大きい溶出速度を記録した。絶海池の池底の大部分が、今回採泥したサンプルと同様の底泥で覆われていることを考慮すると、池内のDOが低下した場合は、お

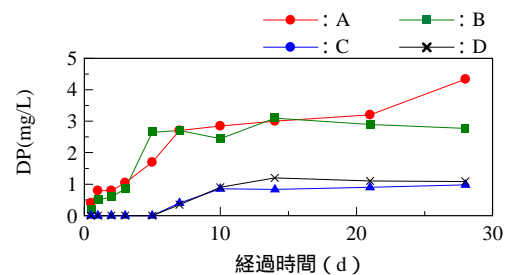


図5 水槽内のリン濃度の経時変化

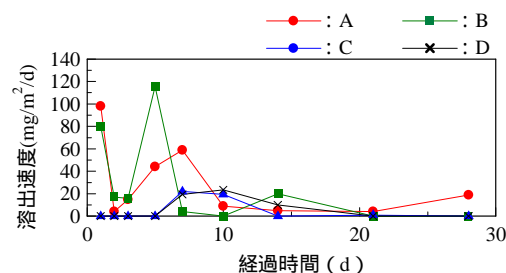


図6 溶出速度の経時変化

およそ 16kg/d という莫大な量のリンが池内に供給されることになる。

以上のことから、底泥からの栄養塩の溶出が、絶海池の水環境に与える影響は極めて大きいことが推測された。とくに、夏季において池水の DO の低下は起こり得ることであり、今後絶海池の水環境の保全・改善を考えていくにあたり、底泥への対処が重要であると考えられた。

(3) 水質浄化技術の考案とその有効性に関する研究

ミントおよびマダケを用いた浮島型植生浄化装置の実用化に向け、その備えるべき各種性能に関する評価実験を行った。検討項目は、植物による水質汚濁要因物質の除去能力の評価、浮島の水上における耐久性能、系外排出後の植物の利用性、とした。

まず、除去技術の評価には、栄養塩類の一つで植物プランクトンの抑制物質であるリンに着目し、ミントのリン除去能力と生長量に関する実験を行った。ミントの選定理由は、既往の研究で一部評価・検討がなされていることに加え、絶海池付近での自生が確認できたためである。本試験では、角バットに濃度の異なるリン酸態リン溶液と絶海池から採水した水を準備し、その中にミントを植生することで、リン除去性能の評価を行った。準備した DP 溶液の濃度は 20, 10, 5.0, 1.0mg/L である。用意した絶海池の水は、生活排水が直接流入する南岸の水路 (C7, 図 1 参照) から採水したものであり、上述のように、リン濃度が非常に高い地点である。

角バット内のリン除去率を図 7 に示す。同図より、基本的に全てにおいてリン量が減少し、ミントの良好なリンの吸収、除去能力が確認された。今回の実験では初期の DP 濃度の最大値が 20mg/L であり、このとき一株当たりの DP 吸収量は 0.465mg/1 株/d であった。

なお、上記のリン除去実験と生長量の測定は 11 月から開始し、約 3 ヶ月行った。この期間は気温が低く日照量も少ないため、一般にミントの生長度合いが小さい時期である。

● 初期DP濃度20mg/L ■ 初期DP濃度10mg/L
● 初期DP濃度5mg/L ▲ 初期DP濃度1mg/L
× 絶海池水 (C7)

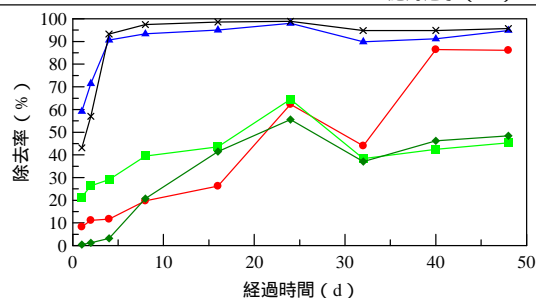


図 7 各条件におけるリン除去率

しかし、それに関わらず、ミントにはリン除去する能力が存在し、生長が確認できた。このことから、ミントは夏場に比べ生長が少ない冬場においても、リン除去性能を示すことが明らかとなった。

つぎに、浮島の水上における耐久性能について検討した。浮島の構成材料はマダケを想定した。竹製浮島は長期間の供用により浮力の低下、沈没する可能性がある。そこで、水中におけるマダケの浮力の経時的変化を観測した。試験には、絶海池周辺に自生しているマダケを使用した。本試験では、1, 2, 4, 8, 16, 32, 40, 48 日後のマダケの密度を測定した。

マダケの密度の経時的変化を図 8 に示す。同図より、その結果、マダケは実験期間中常時 1.0g/cm³ 未満の値であり、浮島として十分な浮力を保ち続けた。また、マダケの密度の増加は緩やかであり、図 8 から将来のマダケの密度変化を予想すると、マダケは約 2 年半の間、1.0g/cm³ 未満を保ち続けることが予想された。すなわちマダケを使用した浮島型植生浄化装置は概ね約 2 年半の供用期間が期待される。以上より、同材を使用した浮島型植生浄化装置の物理的な妥当性が確認できた。

ところで、系外排出後の植物は、可能な限り再資源化されることが望ましい。そこで、ミントを対象としたリン除去後の植物の利用性の検討を行った。今回は水蒸気蒸留法に沿ったアロマ成分 (アロマ水) の抽出を試みた。本来、ミントからの精油の抽出には、蒸留法によって油分 (精油) と水分 (フローラルウォーター) の混合物を抽出し、その後分離する作業が必要である。しかしながら、そのためには専用機材設備のコストがかかること、地域住民にとっても極力簡易的な方法が望ましいこと、などの理由から、今回は油分・水分分離操作は行わないこととした。そのため、ここで抽出した液体は油分と水分が一緒になった状態のものである。水蒸気蒸留法によるアロマ水抽出蒸留装置として、市販の蒸し鍋、金属製パイプ、漏斗を組み立てたものを使用した。なお、ミントの葉の量と蒸留させる水の量の比率に関しては、葉を約 32g、水の量を約 200ml とした。

抽出試験を行った結果、約 1 時間半蒸留に

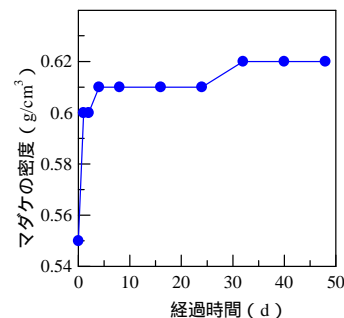


図 8 密度試験の結果

より約 100mL のアロマ水の抽出に成功した。この結果から、系外排出後のミントの再資源化が可能であることが確認された。しかしながら、今回の実験は簡易的な装置による抽出であったために、商品化・実用化できるほどの良質なアロマ水の抽出は困難であった。より品質の高いアロマ水の抽出をするためには、精製方法の改良が必要であると考えられる。また、地域社会の振興の視野から、大量生産が可能となる方法の開発も今後の課題となる。

(4) 地域住民の絶海池に対する意識調査

今後の混住化地域におけるため池の保全活動を展開していくにあたっては、ため池の直接的な受益者である営農者のみならず、非営農者を含めた周辺住民の保全活動に対する合意形成が必要不可欠となる。そこで、池周辺住民のため池に対する価値観や保全活動に対する意識の把握を目的としたアンケート調査を行った。調査は絶海池近隣の商業施設3店舗および絶海池南岸・北岸地区で実施し、有効回答数は193であった。以下では、アンケート結果の一例として、「水辺の環境保全活動に対する参加意思」、「現住地域に対する関心」の各項目に対する回答結果について考察を行う。

水辺の環境保全活動に対する参加意志を尋ねた結果を図9に示す。その結果、79%の回答者が参加の意志を示した。同様の質問に対する回答を、「現住地域が好きか」という質問に対する回答の内訳と比較した結果を図10に示す。ただし、同項目において「どちらかといえばきれい」と「きれい」に該当する回答はなかった。同図より、現住地域が好きな人ほど活動に対し積極的であり、より良い住環境創りへの積極性が窺える。以上のことから、環境保全意識の向上には、個々人の地域への関心度が影響することが確認された。今

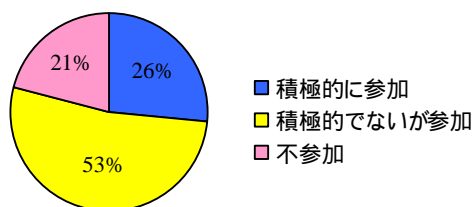


図9 水辺の環境保全活動に対する参加意識

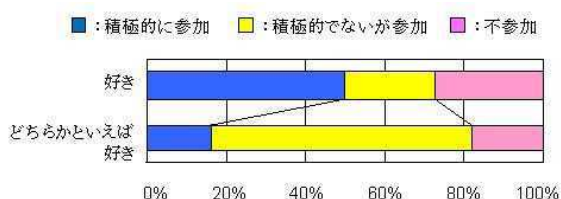


図10 現住地域に対する関心と水辺の環境保全活動に対する参加意識

後、清掃活動を含む地域行事の活性化を通して、現住地域に対する周辺住民の理解・関心を高めることが重要であるといえる。

その他のアンケート項目に関する回答結果も併せて以下にまとめる。

- 1) 地域住民の90%以上は、絶海池に対して「きたない」というイメージを持っており、同池の水環境改善が強く望んでいた。
- 2) 地域住民のため池に対する要望としては、「きれいな景観・親水空間」と「豊かな自然」が多勢を占めた。また、池の環境改善に向けて具体的・行政的な対策を望んでいる回答も多く見られた。
- 3) 半数を超える周辺住民が、活動に対して「積極的ではないが参加」という意思を示しており、実際に行われる活動に参加・協力する姿勢はあると考えられた。したがって、水辺の環境保全活動を実施していくことは十分に可能であると判断された。しかし、活動を実際に行うにあたっては、費用対効果や労力対効果を考えなくてはならない。地域住民の水環境保全活動への参加意思の向上のためにも、これらを具体的に算出・提示することが重要である。

最後に、研究成果をまとめる。

まず、水質調査ならびに底泥からの栄養塩溶出試験では、以下のことが明らかとなった。水質調査の結果、有機汚濁・富栄養化に関する水質項目はいずれも、池内で高い値を示し、絶海池の有機汚濁・富栄養化が極めて深刻な状況にあることが明らかとなった。また、流入水路に関しては、とくに池南岸の水路において極めて高い栄養塩濃度が観測されたことから、今後これらの水路を対象とした排水処理対策が必要と思われた。

溶出試験の結果、とくに夏季を想定した条件下で、底泥からの栄養塩溶出速度は極めて大きくなった。このことから、絶海池において、底泥が池内の水環境に与える負荷は極めて大きく、今後絶海池の豊かな水環境の創造のためには、底質の改善に向けた取り組みが重要となると予想された。

つぎに、地域資源を利用した浮島型植生浄化法の有効性について検討した。リン除去実験では、ミントの良好な除去能力を確認できた。また、秋季～冬季においてもミントのリン除去が確認された。本試験で用いたミントは絶海池周辺で自生する地域資源であることから、本種を用いた植栽水質浄化手法はコストのかからない有用な方法であるといえる。

浮島の物理的耐久性を検討するために、水中におけるマダケの密度試験を実施した。その結果、内部の空洞を保持したままの利用を想定すると、概ね2年半という長期間浮力を

保ち続けることが予想された。また、マダケはミント同様、地域の未利用資源であり、低コストでの浮島製作が可能となる。

アロマ水抽出試験では、抽出に成功したことから、系外排出後の再資源化が可能であることが確認できた。また、本試験では簡易的に作られた装置を用いて蒸留し、アロマ水を抽出した。市販の蒸し鍋を用いて装置を作ったということから、誰でもアロマ水の抽出が可能であると考えられる。しかしながら、より高品質のアロマ水の抽出を目指すためには今後精製方法の改良が必要であると思われる。以上より、ミントおよびマダケで構成された浮島型植生浄化装置は絶海池のリン除去技術としての有用であると考えられ、系外排出後のミントの再資源化にも期待ができることが確認された。

最後に、地域住民の絶海池の水環境に対する意識調査の結果から、一般の周辺住民の多くが、現在よりもきれいな水辺環境を望んでいる半面、水辺をきれいにする活動への参加に対して積極的な姿勢はあまり見られないことが分かった。さらに、水辺の環境保全活動への参加意識は、現住地域が好きな人、将来も住みたいと考える人、営農者と回答した人に活動に対して積極的な姿勢が見られた。周辺住民の池の環境整備に関する要望としては、ゴミやヘドロの除去という声が多かったことから、池内の水質改善に向けた直接的な方法として、浚渫や清掃が周辺住民の理解・賛同を得る上で有効と考えられた。しかし、要望の中には行政による管理を求める意見もあり、ため池の管理主体に対する認識不足も見受けられたため、ため池に関する理解を深める場などの設定が必要と考えられた。

周辺住民によるため池の適切な維持管理活動を実施していくには、「積極的な意識」の向上が重要である。アンケート結果からも、環境保全意識の向上には、個々人の地域への関心度が影響することが確認された。今後、清掃活動を含む地域行事の活性化を通して、現住地域に対する周辺住民の理解・関心を高めることが重要であるといえる。このことは、今後の具体的な水環境浄化対策（浚渫や植栽浄化法）の遂行を進めていくにあたって重要であり、より幅広い周辺住民全体を含めた啓蒙活動の展開が望まれる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計1件)

Shushi Sato, Koji Sai, Masahiro Hyodo, Takahiro Fukuoka, M. Rokunuzzaman, M. Salequzzaman and Tsuguhiko

Nonaka, Availability of Reuse and Recycle of Wasted Roof Tile as Water Environment Restoration Material, *Proceedings of the International Conference on Solid Waste Management*, 査読有, Vol.2, 2009, pp.749-756.

〔学会発表〕(計1件)

齋 幸治, 混住化が進行する農業農村地域におけるため池の最適管理に向けた調査研究, 農業農村工学会, 2009年8月5日, 筑波大学(茨城県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋 幸治 (Sai Koji)

高知大学・教育研究部自然科学系・講師

研究者番号: 30516117